



Füzyon Tabanlı Hibrit Sis Kaldırma

Bahadır ARABALI



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FÜZYON TABANLI HİBRİT SİS KALDIRMA

Bahadır ARABALI
0000-0002-1485-3149

Prof. Dr. Kemal FİDANBOYLU
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİMDALI

BURSA – 2023
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FÜZYON TABANLI HİBRİT SİS KALDIRMA

Bahadır ARABALI

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Kemal FİDANBOYLU

Dış mekânlarda elde edilen dijital görüntüler, atmosfer içerisinde oluşan sis nedeni ile önemli olan detayların, nesnelerin, renklerin bozulmasına veya kaybolmasına sebep olabilir. Görüntülerdeki sis kaynaklı bozulmaların düzeltilmesine, ilgi alanlarının ortaya çıkartılmasına ve sisin görüntü içinden çıkarılmasına sis kaldırma (haze removal, fog removal) denir. Bu amaçla geliştirilmiş olan filtre tabanlı Dark Channel Prior (DCP) algoritması sis kaldırma algoritmaları içerisinde önemli bir yere sahiptir. DCP algoritması, sis içermeyen dış sahne görüntülerinin farklı renk kanallarında çok düşük piksel yoğunluğu değerleri olduğu gözlemine dayanmaktadır. Bu algoritma ile görüntüdeki sis için bir yama oluşturulur ve görüntü içerisindeki sis kaldırabilir veya azaltılabilir. Pozlama füzyonu algoritmalarının önemli ve yaygın olarak kullanılan örneklerinden biri ise Exposure Fusion algoritmasıdır. Bu algoritma, farklı pozlama seviyelerinde yakalanan görüntüyü doygunluk ve kontrast değerlerine göre ağırlıklandırır ve gerçekleştirdiği füzyon işlemi ile imgenin pozlama seviyesini düzeltir. Bu tez kapsamında, Dark Channel Prior ve Exposure Fusion algoritmaları beraber kullanılarak, görüntü içerisindeki sis kaldırma işlemi daha başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Böylelikle, sis kaldırma işleminden sonra yapısal olarak daha az bozulmuş, daha doğal ve ilgi alanları sis görüntüsünden arındırılmış görüntüler elde edilmiştir. Geliştirilen yaklaşım, sis içeren imgenin ilk olarak pozlanmasının düzeltilmesi, daha sonra ise pozlaması düzeltilmiş imgenin DCP algoritması ile sis kaldırma işlemine alınmasını içermektedir. Bu sayede, DCP algoritmasının sis kaldırma başarımı artırılmıştır. Önerilen yaklaşım, sis içeren imgelerden oluşan O-Haze veri tabanı içindeki imgeler ile test edilmiş ve sonuçlar farklı performans metrikleri ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Görüntü İşleme, Sis Kaldırma, Görüntü Onarma, Kontrast İyileştirme, Dark Channel Prior Algoritması, Exposure Fusion Algoritması
2023, xii + 40 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

FUSION-BASED HYBRID FOG REMOVAL

Bahadır ARABALI

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Computer Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Kemal FİDANBOYLU

Digital images obtained outdoors may cause the deterioration or loss of important details, objects and colors due to the fog formed in the atmosphere. Correcting the fog-related distortions in the images, revealing the areas of interest and removing the fog from the image is called haze removal. The filter-based Dark Channel Prior (DCP) algorithm developed for this purpose has an important place among fog removal algorithms. DCP algorithm is based on the observation that fog-free outdoor scene images have very low pixel density values in different color channels. With this algorithm, a patch is created for the fog in the image and the fog in the image can be removed or reduced. One of the important and widely used example of image fusion algorithms is the Exposure Fusion algorithm. This algorithm weights the image captured at different exposure levels according to the saturation and contrast values and corrects the exposure level of the image with the fusion process it performs. Within the scope of this thesis, the process of removing fog from the image was performed more successfully by using the Dark Channel Prior and Exposure Fusion algorithms together. Thus, images that are less structurally distorted, more natural and areas of interest free from fog images were obtained after defog removal. The developed approach consists of firstly correcting the exposure of the image containing the fog, and then taking the exposure corrected image into the fog removal process with the DCP algorithm. In this way, the fog removal performance of the DCP algorithm has been increased. The proposed method has been tested with images in the O-Haze database, which consists of fog images, and the results are compared with different performance metrics.

Key words: Image Processing, Fog Removal, Image Repair, Contrast Enhancement, Dark Channel Prior Algorithm, Exposure Fusion Algorithm

2023, xii + 40 pages.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitim sürecimde desteklerini ve tecrübelerini benimle paylaşan, tez çalışmamın her aşamasında bana yol gösteren, öğrencisi olmaktan kıvanç duyduğum Prof. Dr. Kemal FİDANBOYLU'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak benim iyiliğimi benden daha çok düşünen, hayatımın her anında bana destek çıkan ve yanımda olan, çok sevdiğim annem Aynur ARABALI, babam Timur ARABALI ve kardeşim Batuhan ARABALI'ya teşekkürlerimi ve sevgilerimi sunarım.

Bahadır ARABALI
22/02/2023

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Filtre Tabanlı Sis Kaldırma Algoritmaları	4
2.2. Renk Düzeltme Tabanlı Sis Kaldırma Algoritmaları	9
2.3. Öğrenme Tabanlı Sis Kaldırma Algoritmaları	13
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	22
3.1. Pozlama Füzyonu	22
3.2. Dark Channel Prior Sis Kaldırma Algoritması	27
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	31
4.1. Görsel Sonuçlar	31
4.2. Nicel Sonuçlar	34
5. SONUÇLAR	36
KAYNAKLAR.....	37
ÖZGEÇMİŞ	40

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
A	Atmosferik Işık
$A_{\text{map}}(.)$	İşlenmiş Derinlik Haritası
β	Atmosfer Katsayısı
d	Sahnenin Kamerasına Olan Uzaklığı
$ds_2[.]$	İmgeyi Yarı Boyutuna Alt Örnekleyen Gauss Çekirdeği Operatörü
$G(.)$	Kılavuz İmge
$I_c(.)$	Sis İçermeyen Görüntü
$I_f(.)$	Sis İçeren Görüntü
$P(.)$	Filtrelenen İmge
S	Doygunluk
t	İletim Haritası
U_3	Özdeşlik Matrisi
$us_2[.]$	İmgeyi İki Katı Boyutunda Üst Örnekleme Operatörü
γ	Karşıtlık İyileştirme Faktörü

Kısaltmalar	Açıklama
AMEF	Yapay Çoklu Pozlama Füzyonu
BReLU	Bilateral Rectified Linear Unit
CNN	Evrişimsel Sinir Ağları
DC	Karanlık Kanal
DCP	Dark Channel Prior
EF	Pozlama Füzyonu
GIF	Kılavuzlu İmge Filtresi
MEF	Çoklu Pozlama Füzyonu
PSNR	En Yüksek Sinyal-Gürültü Oranı
SSIM	Yapısal Benzerlik Endeksi
WGIF	Ağırlıklandırılmış Kılavuzlu İmge Filtresi

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Restorasyon tabanlı sis kaldırma akış diyagramı	4
Şekil 2.2. DCP algoritması uygulama örneği. a) sis içeren imge, b) tahmin edilen iletim haritası, c) iyileştirilmiş iletim haritası, d) sonuç imge	5
Şekil 2.3. Salazar- Colores vd. (2018) akış diyagramı (Salazar Colores vd. 2018)	8
Şekil 2.4. Ancuti vd. (2020) akış diyagramı (Ancuti vd., 2020)	9
Şekil 2.5. Huang vd. (2014) akış şeması (Huang vd., 2014).....	11
Şekil 2.6. Peng vd. (2018) algoritması akış diyagramı (Peng vd., 2018).....	12
Şekil 2.7. Berman vd. (2020) “haze line” kümelenmesi. a) sis içermeyen imge renk kümelenmesi, b) sis içermeyen imge renk kümelenmesi grafiği, c) sis içeren imge renk kümelenmesi, d) sis içeren imge “haze line” dağılımı (Berman vd., 2020)	13
Şekil 2.8. Renk zayıflaması öncülü (Zhu vd., 2018).....	14
Şekil 2.9. DeHaze-Net mimarisi (Cai vd., 2016)	15
Şekil 2.10. AOD-Net mimarisi (Li vd., 2017).....	16
Şekil 2.11. cGAN mimarisi (Li vd., 2018)	17
Şekil 2.12. PSM-Net ağ yapısı	17
Şekil 2.13. TDN mimarisi (Liu vd., 2020)	18
Şekil 2.14. DeGlowDehaze mimarisi (Kuanar vd., 2021).....	19
Şekil 2.15. EDN-GTM mimarisi (Tran vd., 2022).....	20
Şekil 3.1. Farklı pozlanma durumları. a) referans imge b) düşük pozlanmış alan c) aşırı pozlanmış alan (Galdran, 2018)	23
Şekil 3.2. Füzyon işlemi (Galdran, 2018).....	25
Şekil 3.3. EF algoritması pozlama füzyonu (Mertens vd., 2007).....	26
Şekil 4.1. O-Haze veri tabanından seçilen imgeler ve referansları. a) imge 1 referans durumu, b) imge 1, c) imge 2 referans durumu, d) imge 2, e) imge 3 referans durumu, f) imge 3	32
Şekil 4.2. DCP ve önerilen yaklaşımın sis kaldırma sonuçları. a) imge 1 DCP sonucu, b) imge 1 önerilen yaklaşım sonucu, c) imge 2 DCP sonucu, d) imge 2 önerilen yaklaşım sonucu, e) imge 3 DCP sonucu, f) imge 3 önerilen yaklaşım sonucu	33

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 4.1. Nicel sonuçlar	35
-----------------------------------	----



1. GİRİŞ

Atmosferimizde oluşan sis, küçük boyutlarda su damlacıklarını bünyesinde barındıran ve görüş mesafesini doğrudan etkileyen bir hava olayıdır. Görüş mesafesinin bu denli etkilenmesi farklı zorlukları da beraberinde getirmektedir. Sisin görüş mesafesinde azalmaya neden olmasından dolayı sürüş esnasında yatay görüş mesafesinin 3-6 m'nin altına kadar düşmesine, bundan dolayı trafiğin algılanmasını zorlaştırmakta ve kazalara neden olmaktadır (Coşkun, 1999).

Sisli hava şartlarında yakalanan görüntüler içinde, sisin etkisinden dolayı gürültüler ve bozulmalar meydana gelmekte, imge içindeki ilgi alanlarında bozulmalar yaşanmaktadır. İmge içinde bulunan sis görüş mesafesinin azalmasının yanı sıra iki farklı şekilde de bozulmaya yol açar. Bu doğrudan zayıflama (direct attenuation) ve hava ışığı (air-light) bozulması olarak adlandırılmaktadır (Narashiman vd., 2000). Doğrudan zayıflama bozulmasında imge içindeki piksel değerleri bozulmalar yaşarken, hava ışığı bozulmasında imgenin kontrastında azalma gerçekleşir. Bu bozulmalar imge içindeki ilgi alanlarını bozar veya tamamen görünmez kılar. Bu bozulmalardan dolayı bilgisayar ile görü uygulamalarındaki işlevsellik azalır veya kaybolur.

Yıllar içinde yapılan farklı çalışmalar ve yaklaşımlar sis nedeni ile yakalanan imgeler içindeki, kaybolan ve bozulmaya uğrayan bilgileri ve ilgi alanlarını onarmaya çalışmıştır. Bu sayede sis içeren imgeler bilgisayar ile görü uygulamalarında (navigasyon, nesne takibi, nesne tanıma vb.) kullanılabilir hale getirilmesi ve imge kalitesinin artırılması hedeflenmiştir. Bu çalışmalar literatürde sis kaldırma (fog removal) algoritmaları olarak adlandırılmaktadır

Bu tezin amacı sis kaldırma algoritmalarının önemli uygulamalarından biri olan DCP algoritmasının (He vd., 2011), başarımını arttırmak ve sis kaldırma işleminde DCP algoritmasına göre daha iyi sonuçlar elde edecek bir yaklaşım sunmaktır. Bu amaç ile literatürde bulunan farklı sis kaldırma algoritmaları incelenmiş ve analiz edilmiştir. Bu kaynak araştırması ışığında, imge pozlamanın sis kaldırma işlemi öncesi iyileştirilmesi

daha sonra sis kaldırma işlemi uygulanmasının daha başarılı sonuçlar verebileceği yargısına varılmış ve bu yönde bir yaklaşım sunulmuştur.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Sis kaldırma çalışmalarının ilk örnekleri incelendiğinde, yaklaşımlar farklı iki şekilde gruplanmaktadır. Bu yaklaşımlar görüntü iyileştirme tabanlı sis kaldırma ve restorasyon tabanlı sis kaldırmadır. Görüntü iyileştirme tabanlı algoritmalar kontrast düzenlemesi gerçekleştirerek imgeyi sisten arındırmayı amaçlamaktadır. Histogram eşitlemesi bu yaklaşımlara bir örnektir. Bu yaklaşım düşük yoğunlukta sis barındıran imgeler için iyi sonuçlar verse bile imge içindeki sis yoğunluğu arttıkça görüntü iyileştirme tabanlı sis kaldırma uygulamaları istenilen sonuçları elde etmekte zorlanmaktadır. Restorasyon tabanlı sis kaldırma yaklaşımları, imge içinde yakalanan sisin imgede yapmış olduğu bozulmaları tahmin ederek bu bozulmaları düzeltmeyi amaçlamaktadır. Yapılan bu işlem Koschmieder fiziksel sis modelini kullanır (Denklem 2.1) (Narashiman, 2000).

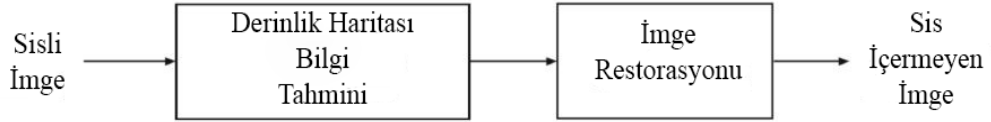
$$I_f(x) = I_c(x)t(x) + A(1 - t(x)) \quad (2.1)$$

Denklem 2.1’de, $I_f(x)$ sis içeren görüntüyü, $I_c(x)$ sis içermeyen görüntüyü, A atmosferik ışığı ve $t(x)$ iletim haritasını temsil eder. $I_c(x)t(x)$ terimi, sisin bozulma etkilerinden biri olan doğrudan zayıflamayı temsil eder ve imge içindeki sis nedeni ile oluşan kontrast azalmasının başlıca sebebidir. $A(1 - t(x))$ terimi ise, hava ışığı bozulmasını ve buna bağlı oluşan renk kaymalarını gösterir. Sis yoğunluğu sahneyi yakalayan kamera ve obje arasındaki mesafeye bağlıdır. Bu sebeple, sis kaldırma işlemi gerçekleştirilirken, bazı çıkarımlar veya öncül veriler kullanılmaktadır. Atmosferin homojen olduğu durumlarda $t(x)$, Denklem 2.2’deki gibi ifade edilir. Bu denklemde, β atmosfer katsayısını, d ise sahnenin kameraya olan uzaklığını ifade eder.

$$t(x) = e^{-\beta d(x)} \quad (2.2)$$

Bu bölümde incelenen sis kaldırma algoritmaları problemin çözümüne göstermiş olduğu teknik farklılıklara göre gruplandırılmış, incelenmiş ve okuyucuya sunulmuştur. Bunlar sırası ile, Filtre Tabanlı Sis Kaldırma Algoritmaları, Renk Düzeltme Tabanlı Sis Kaldırma Algoritmaları ve Öğrenme Tabanlı Sis Kaldırma Algoritmalarıdır. Filtre tabanlı ve renk

düzeltilme tabanlı sis kaldırma algoritmaları restorasyon tabanlı sis kaldırma uygulamalarıdır. Öğrenme tabanlı sis kaldırma uygulamaları ise problemin çözümünde daha farklı bir açıdan yaklaşmaktadır. Şekil 2.1’de restorasyon tabanlı sis kaldırma algoritmalarının genel bir diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Restorasyon tabanlı sis kaldırma akış diyagramı

2.1. Filtre Tabanlı Sis Kaldırma Algoritmaları

Filtre tabanlı sis kaldırma algoritmalarını diğer çalışmalardan ayıran en belirgin özelliği iletim haritası iyileştirmesinde ve hesaplanmasında filtre kullanmasıdır.

He vd., 2011 yılında yayınladığı “Dark Channel Prior” (DCP) algoritması filtre tabanlı sis kaldırma algoritmalarının örneklerinden biridir. DCP algoritması, sis içermeyen dış sahne görüntülerinin farklı renk kanallarında çok düşük piksel yoğunluğu değerleri olduğu gözlemine dayanmaktadır (He vd., 2011). DCP algoritması Denklem 2.3’teki gibi gösterilmektedir.

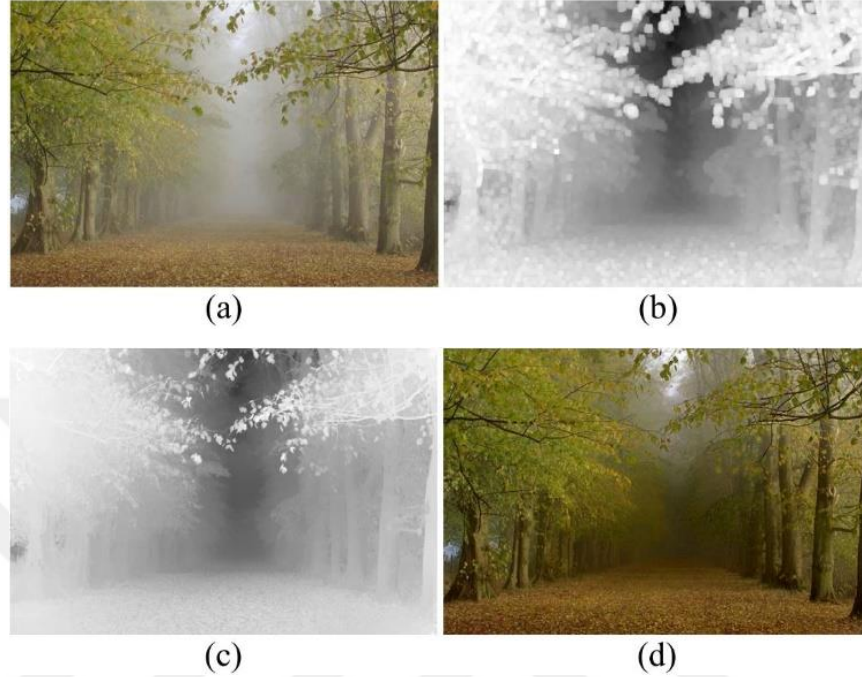
$$I_{\text{DCP}}(x) = \min_{y \in \Omega(x)} \left(\min_{c \in (r,g,b)} I^c(y) \right) \quad (2.3)$$

Denklem 2.3 içindeki I^c görüntünün renk kanalı, I görüntüyü, $\Omega(x)$ ise x lokasyonunda merkezlenmiş yerel yamayı temsil eder. İletim haritası Denklem 2.4’te ifade edilmiştir.

$$t(x) = 1 - \omega * \min_{y \in \Omega(x)} \left(\min_{c \in (r,g,b)} \frac{I_{\text{foggy}}^c(y)}{A^c} \right) \quad (2.4)$$

İletim haritası yumuşak ayrıştırma (Levin vd., 2008) kullanarak iyileştirilme yapar. İyileştirilmiş iletim haritası sis içermeyen imgeyi elde etmek için kullanılır. DCP algoritması imge içinde birden fazla ve parlak nesneler veya ışık kaynakları içeriyorsa, sis kaldırma işlemi sonrasında sonuç imge içinde parlamalar (halo) ve yapay bozulmalar

meydana getirir. Şekil 2.2’de DCP algoritmasının sis içeren imgeye nasıl işlem yaptığını göstermektedir.



Şekil 2.2. DCP algoritması uygulama örneği. a) sis içeren imge, b) tahmin edilen iletim haritası, c) iyileştirilmiş iletim haritası, d) sonuç imge

Şekil 2.2 içinde yer alan (a) imgesi sis içeren imgeyi, (b) imgesi tahmin edilen iletim haritasını, (c) imgesi yumuşak ayırıştırma ile iyileştirilmiş iletim haritasını ve (d) imgesi sis kaldırma işleminden sonra elde edilen imgeyi göstermektedir.

Karanlık kanal (DC) tahmininde Tripathi ve Mukhopadhyay (2012) renk kanalı üzerinden en düşük yoğunluklu pikseli almış ve uzamsal filtrelemeyi atlamıştır (Tripathi ve Mukhopadhyay.2012) (Denklem 2.5).

$$I_{DC}(x) = \min_{c \in (r,g,b)} (I_{foggy}^c(x)) \quad (2.5)$$

Düzenlenen DC tahmin işlemi sonrasında, imge içerisindeki yapısal bütünlüğü daha iyi korumayı amaçlamaktadır. Derinlik haritası çıkarmak amacı ile karanlık kanal üzerine anizotropik difüzyon uygulanmıştır. Bu sebepten dolayı imge içinde bulunan nesnelerin

kenarları hariç derinlik haritası düz olmalıdır. Anizotropik difüzyon merkezi noktalarda yumuşatma yaptığından kenar bilgileri işlem sonrasında DCP'ye göre korunmuş olmaktadır (Tripathi vd., 2012). Geliştirilen işlenmiş derinlik haritası sis kaldırma işlemini Denklem 2.6'daki gibi temsil edilir.

$$I_{\text{clear}}^c(x) = \frac{I_{\text{foggy}}^c(x) - A_{\text{map}}(x)}{1 - \frac{A_{\text{map}}(x)}{A^c(x)}} \quad (2.6)$$

Denklem 2.6 içinde bulunan $A_{\text{map}}(x)$ işlenmiş derinlik haritasını temsil eder. Atmosferik sabit 1 olarak kullanılmıştır. İşlem sonrası elde edilen imge düşük kontrastlı olacağından histogram esnetmesi uygulanmıştır (Gonzalez vd., 2009).

He vd. (2011) tarafından geliştirilen DCP algoritması imge içeriğine bağlı olarak sis kaldırma sonrasında istenmeyen yapay bozulmalar oluşturmaktadır. Bu problem etkisiz hale getirmek amacı ile He vd., (2013) Kılavuzlu İmge Filtresi (GIF) algoritmasını geliştirmişlerdir. GIF algoritması, filtrelenmiş olan çıktının yerel pencere içinde bulunan kılavuzlu alanın ölçeklendirilmiş ve dönüştürülmüş hali olmasıdır (He vd., 2013) (Denklem 2.7).

$$P(x) = a_i G(x) + b_i; \quad x \in w_i \quad (2.7)$$

Denklem 2.7'de bulunan w_i yerel pencereyi, x piksel konumunu, a_i ve b_i , w_i içindeki katsayıları G kılavuz imgeyi ve P filtrelenmiş imgeyi temsil etmektedir. Bu yöntemde Denklem 2.5'teki karanlık kanal imgesi kılavuz imge G olarak kullanılmaktadır. Katsayıların belirlenmesi amacı ile çıkış imgesi olan $P(x)$ Denklem 2.8'deki gibi modellenmiştir.

$$P(x) = Q(x) - n(x) \quad (2.8)$$

Denklem 2.8 içindeki $P(x)$ sisten arındırılmış çıktı imgesini, $Q(x)$ filtre imgesini (DCP) ve $n(x)$ gürültüyü ifade eder. $P(x)$ ve $Q(x)$ arasındaki farkı sıfıra indirmek için maliyet fonksiyonu (w_i penceresi içinde) Denklem 2.9'daki gibi hesaplanmaktadır.

$$E(a_i, b_i) = \sum_{x \in w_i} ((a_i G(x) + b_i - Q(x))^2 + \epsilon a_i^2) \quad (2.9)$$

Maliyet fonksiyonu ile optimum katsayıların bulunmasının ardından, GIF algoritması ile iletim akışı hesaplanır ve Denklem 2.1 içindeki sis içermeyen görüntü $I_f(x)$ elde edilir.

Li ve Zheng. (2015) geliştirdiği “Weighted Guided Image Filter” (WGIF) algoritması, GIF algoritmasının sonucunu iyileştirmeyi amaçlamıştır (Li ve Zheng 2015). WGIF algoritmasının GIF algoritmasına göre farkı kenar bilinçli ağırlıklandırma içermesidir. Kenar bilinçli ağırlıklandırma pikselin kılavuz imge için değerini hesaplamaktadır. Yapılan bu iyileştirme Denklem 2.10’daki gibi gösterilmektedir (Li ve Zheng 2015).

$$\Gamma_G(x) = \frac{M(\sigma_{G,\Omega}^2(x) + \epsilon)}{\sum_{x'=1}^M (\sigma_{G,\Omega}^2(x') + \epsilon)} \quad (2.10)$$

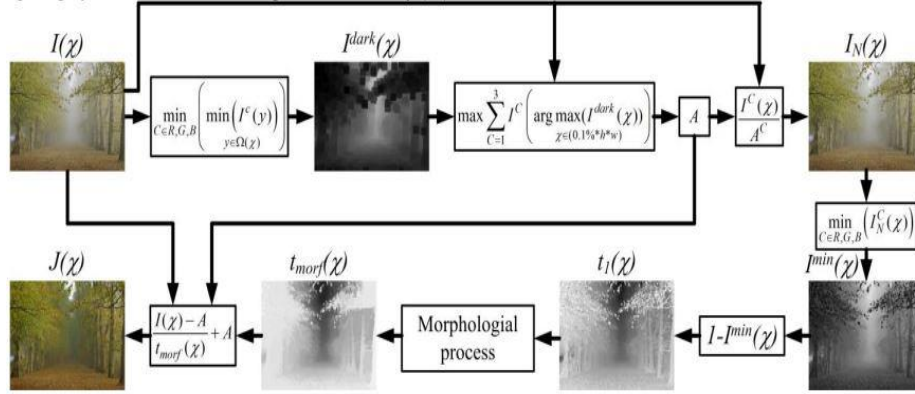
Denklem 2.10 içindeki $\sigma_{G,\Omega}^2(x)$ ifadesi kılavuz imge olan G imgesinin x pikselinin üzerinde bulunan pencerenin varyansını göstermektedir. M kılavuz imgenin toplam piksel sayısını temsil ederken, ϵ ise sabit bir katsayıdır. Bu durumda kenar alanlarındaki piksellerin Γ değeri, imge içerisindeki diğer piksellere göre daha yüksek olmaktadır. Bu ağırlıklandırma Denklem 2.11’deki gibi, maliyet fonksiyonuna eklenir.

$$E(a_i, b_i) = \sum_{x \in w_i} \left((a_i G(x) + b_i - Q(x))^2 + \frac{\gamma}{\Gamma_G(i)} a_i^2 \right) \quad (2.11)$$

Bu şekilde WGIF algoritması GIF algoritmasının farklı durumlarda engelleyemediği bozulmaları engellemeyi amaçlamaktadır.

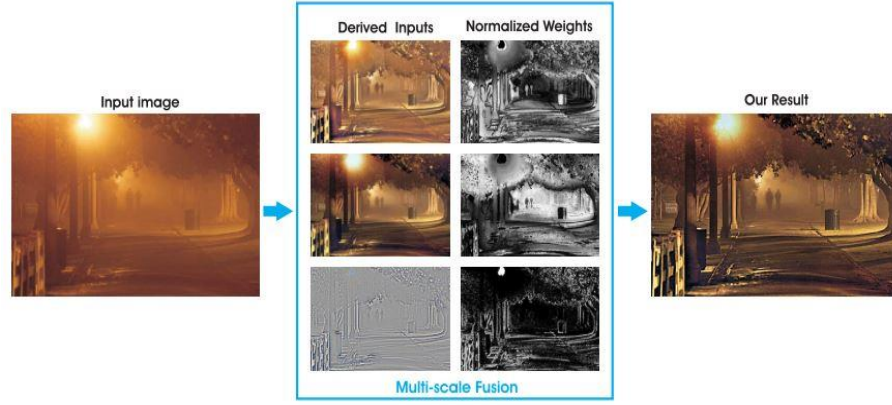
Karanlık kanal öncülü kullanan bir başka algoritma ise Salazar-Colores vd., (2018) geliştirdiği algoritmadır (Salazar-Colores 2018). Algoritma morfolojik yeniden yapılandırma kullanmakta ve bu yöntem ile sis kaldırma başarımını ve hızını iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Yeniden oluşturma aşamasında uygulanan morfolojik işlemler gri kanallı imge üzerinde gerçekleştirilmektedir. Bu işlemler gri tonlamalı aşındırma, gri tonlamalı genişleme ve jeodezik aşındırma ve genişlemedir. İmgenin parçalanması

sırasında aşındırma ve genişleme işlemleri uygulanır. Algoritmanın akış diyagramı Şekil 2.3'te gösterilmiştir (Salazar-Colores vd., 2018).



Şekil 2.3. Salazar- Colores vd. (2018) akış diyagramı (Salazar- Colores vd., 2018)

Sis kaldırma algoritmaları dış sahnenin gece veya gündüz yakalanma durumuna göre farklı yaklaşımlara ihtiyaç duymaktadır. Ancuti vd., (2020) tarafından geliştirilen algorithma ise hem gündüz sahneleri hem de gece yakalanan sisli sahneler aynı algorithma ile işlenerek sis kaldırma işlemi uygulanabilir (Ancuti vd., 2020). Algorithma öncelikle yerel ortam ışığını belirler. Bu işlem farklı boyutlardaki yamaların kullanılması ile hesaplanır. Füzyon işleminde kullanılan ilk girdi küçük bir yama kullanılarak (20 x 20) oluşturulur. Bunun nedeni farklı ışık kaynaklarından yanlış şekilde ortam ışığı tahminini engellemektir. İşlem sonrasında elde edilen imgede kontrast ve chroma kayıpları söz konusu olur. Bunun önüne geçmek amacı ile oluşturulan ikinci girdi için daha büyük bir yama kullanılır (80x80). Elde edilen girdi global kontrastı artırır. Son girdide ise ayrık bir Laplacian filtre kullanılarak detayların son çıktı imgesinde korunmasını amaçlamaktadır. Algorithma bu girdilere denk düşen ağırlıklandırmalar ile Gauss piramidi yapısında füzyonlanır ve sis içermeyen imge ortaya çıkar. Şekil 2.4'te algorithmanın akış diyagramı gösterilmektedir (Ancuti vd., 2020).



Şekil 2.4. Ancuti vd. (2020) akış diyagramı (Ancuti vd., 2020)

2.2. Renk Düzeltme Tabanlı Sis Kaldırma Algoritmaları

Bu yaklaşım, imgeler içinden sis kaldırırken renk düzelmesinden faydalanır. İmge içinde yakalanan sis görüntüsü renklerde bozulmalara ve kaymalara neden olur. Bu yaklaşımlarda renk kanallarındaki kaymaların ve bozulmalarının incelenmesi, renk düzeltmesi yapılması ile birlikte sis kaldırma amaçlanmaktadır.

Huang vd. (2014) tarafından 2014 yılında sunulan çalışma bu kategorideki çalışmalardan biridir. Algoritma DCP ve medyan filtresini beraber kullanılması ile birlikte sisli imge içinden iletim haritası elde eder. Medyan filtresi imge içindeki kenarları koruduğu gibi bozulmaların etkilerini de zayıflatır. Geliştirilen algoritma imge içerisinden kenar bilgilerini Denklem 2.12'deki gibi hesaplar (Huang vd., 2014).

$$E_{(x)} = \omega * \min \left(n_y \in \Omega(x) I_{DC}(y), I_{DC}(x) \right) - \min I_{DC} \quad (2.12)$$

Denklem 2.12'deki ω denklem sabitidir. İyileştirilmiş iletim haritası, Denklem 2.4'teki DCP iletim haritasından, Denklem 2.12'deki kenar bilgi denkleminin çıkarılması ile elde edilir. Bu şekilde DCP algoritmasına göre kenar bilgilerini daha iyi korumayı amaçlayan bu yöntem içinde buna ek olarak adaptif gama düzeltmesinde bulunmaktadır. Adaptif gama düzeltmesi iletim haritasını iyileştirmek amacı ile görevi ile algoritma içinde yer almaktadır. Gama değeri Denklem 2.13'teki gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned} \gamma &= 1 + (th/I_{max}), \text{ eğer } th > TH \\ &= 1, \text{ eğer } th < TH \end{aligned} \quad (2.13)$$

Denklem 2.13 içindeki I_{max} imgenin maksimum yoğunluk değerini ifade eder. Eğer th birikimli dağılım fonksiyonu 0,1'e eşit ise yoğunluk değerini belirtir. Eşik değeri TH empirik bir değerdir ve 120'ye eşittir. Gama değerinin hesaplanmasından sonra geliştirilmiş transmisyon haritası Denklem 2.14'teki gibi bulunur.

$$t_e = I_{max} (t_r / I_{max})^\gamma \quad (2.14)$$

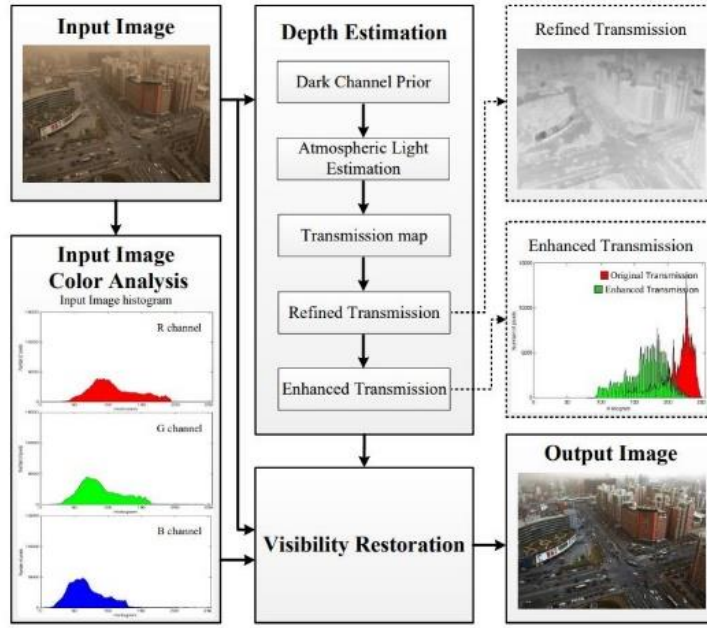
Her bir renk kanalının renk kayması gri uzay çıkarımı yardımı ile hesaplanır. Yapılan bu hesaplamalardan sonra Denklem 2.1'deki sisten arındırılmış imge fonksiyonun bu algoritma için dönüştürülmüş hali Denklem 2.15'teki gibidir.

$$\begin{aligned} I_{clear}^c(x) &= \frac{I_{foggy}^c(x) - (A^c - d_{shift}^c)}{\max(t_e(x), t_0)} \\ &+ (A^c - d_{shift}^c), c \in r, g, b \end{aligned} \quad (2.15)$$

Her bir renk kanalı için renk kayması d_{shift}^c Denklem 2.16'daki gibi temsil edilir.

$$d_{shift}^c = avg_r - avg_c \quad c \in r, g, b \quad (2.16)$$

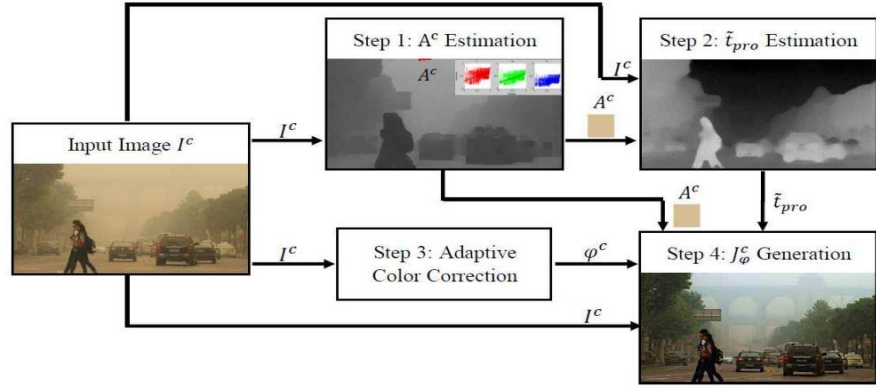
Algoritmanın akış diyagramı Şekil 2.5'teki gibi gösterilmektedir (Huang vd., 2014).



Şekil 2.5. Huang vd. (2014) akış şeması (Huang vd., 2014)

Bir başka renk düzeltme ile sis kaldırma algoritması ise Fattal (2014) tarafından geliştirilen algoritmadır. Algoritmada, doğal imgeler üzerinde RGB renk uzayında yapılan gözlemler sonucunda, piksellerin küçük alanlar üzerindeki dağılımlarının oluşturduğu tek boyutlu yapılardan (“color lines”) faydalanılmıştır (Fattal 2014). İyileştirilme uygulanmamış iletim haritası, imge içinde tespit edilen renk hatlarının orijine uzaklığına göre oluşturulur. İyileştirilmiş iletim haritası ise geliştirilen rastgele Markov modeli ile hesaplanır. Bu iyileştirme yapay bozulmaları ve gürültüleri engellemeye çalışır.

Peng vd. (2018) geliştirdiği algoritma renk düzeltme tabanlı sis kaldırma algoritmalarına bir başka örnektir. Algoritma derinliğe bağlı olan renk geçişlerinde faydalanarak hava ışığını hesaplamaktadır. İletim haritası tahmini, gözlemlenen yoğunluk ve hava ışığının mutlak değerinden hesaplanır. Bu hesaplamalardan elde edilen bilgiler ile beraber DCP algoritması kullanılır ve sis görüntü içinden kaldırılmış olur. Geliştirilen algoritmanın akış diyagramı Şekil 2.6’da gösterilmektedir (Peng vd., 2018).



Şekil 2.6. Peng vd. (2018) algoritması akış diyagramı (Peng vd., 2018)

Renk kaymasının bulunduğu imgelerde renk düzeltme katsayısı Denklem 2.17'deki gibi temsil edilir.

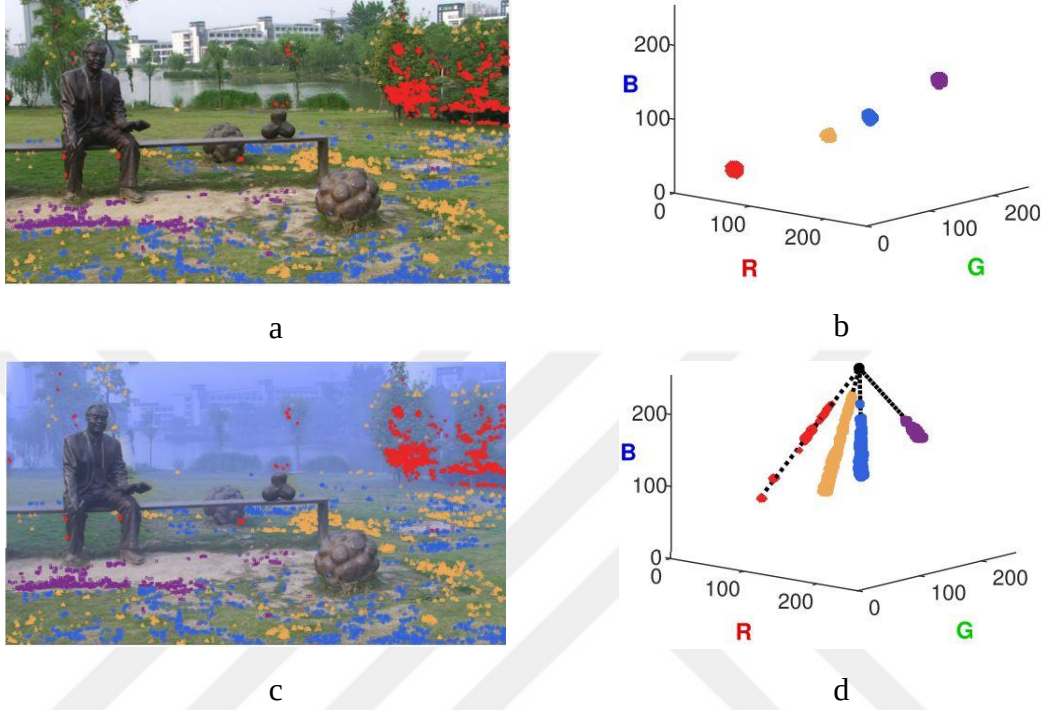
$$\theta^c = \frac{\left(\max_{l \in (r,g,b)} I_{\text{avg}}^l \right)^l \frac{1}{\sqrt{\max(\phi(D_\sigma), 1)}}}{I_{\text{avg}}^c} \quad (2.17)$$

Burada, $\phi(y) = y$ eğer $y > \epsilon$
 $\phi(y) = \infty$, eğer $y \leq \epsilon$

Renk kayması CIELab renk uzayı içinde hesaplanmaktadır. $D_\sigma = 0$ olması, renk kayması olmadığını göstermektedir. D_σ büyüdükçe renk kayması artar. Denklem 2.1'de bulunan ortam ışığının renk düzeltme katsayısına bölünmesi şeklinde renk kayması düzeltilir. Düzeltilmiş ortam ışığının Denklem 2.1 içinde kullanılması ile imge içinden sis kaldırılır.

Kaynak araştırması sırasında incelenen ve sis kaldırma işleminde renk düzeltme kullanan algoritmalarından bir diğeri Berman vd. (2020) geliştirdiği algoritmadır. Algoritma imge içinden sis kaldırma işlemini, araştırmacıların sisin etkisinden dolayı oluşan ve “Haze Line” adı verdikleri yapay oluşumların kullanılması ile gerçekleştirmektedir. İmge içinde global olan bu öncül sis içermeyen imgelerin dar alanlarına sıkışan renklerin farklılıklarını gözlemlenmesi ile ortaya çıkarılmıştır (Berman vd., 2020). Yapılan bu incelemede renk sıkışma kümelerinin belirli bir düzen içinde yerel olmayan bir şekilde kümелendiği gözlemlenmiştir. Aynı imge sis etkisi altında incelendiğinde ise bu değişen renk kümelerinin mesafeleri farklı iletim katsayılarına evrilmektedir. Bu çizgiler

sayesinde algoritma atmosferik ışığı, iletim haritasını elde edebilir ve sis kaldırma işlemini gerçekleştirir. Şekil 2.7’de renk kümelerinin sis içermeyen ve sis içeren imgeye göre dağılımı gösterilmektedir.

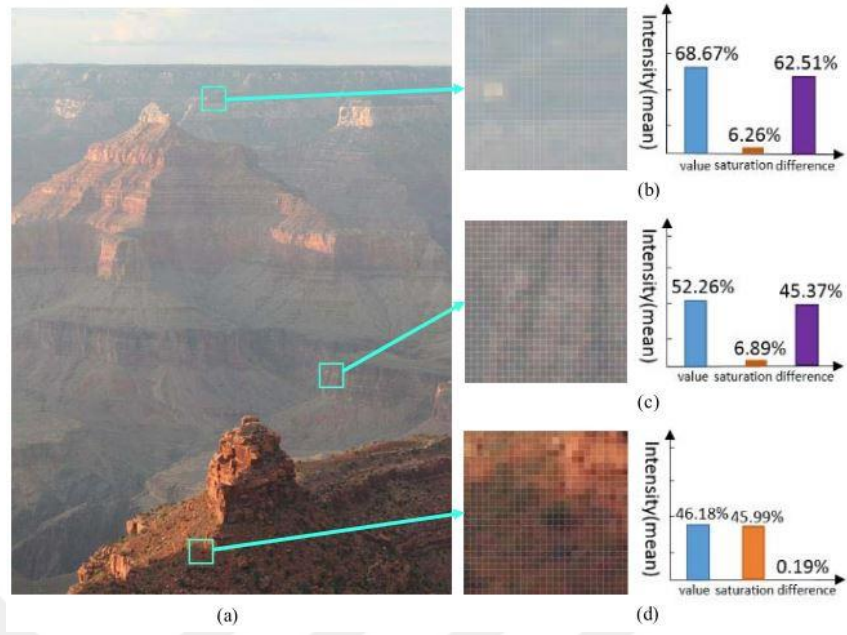


Şekil 2.7. Berman vd. (2020) “haze line” kümelenmesi. a) sis içermeyen imge renk kümelenmesi, b) sis içermeyen imge renk kümelenmesi grafiği, c) sis içeren imge renk kümelenmesi, d) sis içeren imge “haze line” dağılımı (Berman vd., 2020)

2.3. Öğrenme Tabanlı Sis Kaldırma Algoritmaları

Öğrenme tabanlı sis kaldırma algoritmalarında geliştirilen model girdi ve çıktı imgeleri arasında haritalama yapması için eğitilir. Modelin eğitim aşamasında haritalama fonksiyonu tahminidir. Model, sis içermeyen kesin referans imgeler ve yapay sis içeren sisli eş imgeler şeklinde eğitilir. Bu eğitim için sis içermeyen imgeler yapay olarak sis eklenmektedir.

Basit öğrenme modeli kullanılarak Zhu vd. (2018). tarafından sunulan sis kaldırma algoritması, renk zayıflaması öncülü (prior) ve kılavuzlu filtre kullanmaktadır (Zhu vd., 2018). Renk zayıflaması öncülü Şekil 2.8’de gösterilmektedir (Zhu vd., 2018).



Şekil 2.8. Renk zayıflaması öncülü (Zhu vd., 2018)

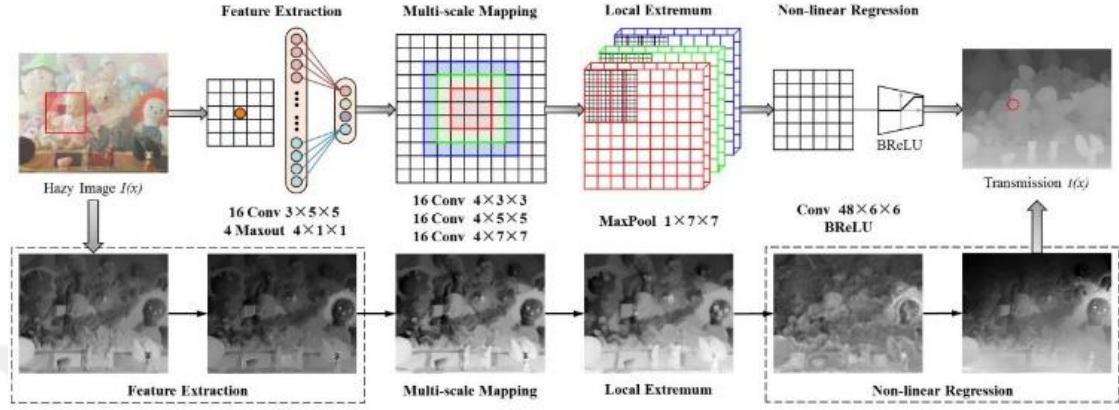
Model renk HSV renk uzayında çalışmaktadır. Renk zayıflaması öncülü, Denklem 2.18'deki lineer fonksiyonun o noktadaki sahne derinliği olduğu çıkarımına dayanır.

$$d(x) = k_0 + k_1 S(x) + k_2 v(x) + e(x) \quad (2.18)$$

Denklem 2.18 içinde x piksel konumunu, S doygunluğu, $v(x)$ parlaklığı ve $d(x)$ sahne derinliğini temsil eder. Katsayılar olan k_0 , k_1 ve k_2 denetimli öğrenme ile eğitim sırasında 500 yapay sis imgesi ile bulunmuştur. Denklem içinde bulunan $e(x)$ terimi ise dağıtılmış hata değeridir. Katsayılar, $k_0 = 0,121779$, $k_1 = -0,780245$ ve $k_2 = 0,959710$ olarak kullanılmaktadır. Derinlik haritası oluşturulduktan sonra sistem GIF kullanarak harita işlemlerini tamamlar. Kılavuz imge DC halinde kullanılır. Algoritma bu veriler ile Denklem 2.1'i kullanarak sis kaldırma işlemini gerçekleştirir.

Evrişimsel sinir ağları (CNN) kullanılarak Cai vd., (2016). tarafından geliştirilen algoritma, derin öğrenme tabanlı sis kaldırma algoritmalarına bir örnektir ve DeHazeNet olarak adlandırılmıştır (Cai vd., 2016). Algoritma iki taraflı doğrultulmuş doğrusal birim (bilateral rectified linear unit) "BReLU" kullanmaktadır. Algoritma, sis içeren imgeleri girdi olarak alır. Daha sonra algoritma iletim haritasını tahmin ettikten sonra Denklem

2.1'i kullanarak imge içinden sisi kaldırır. Algoritma transmisyon haritasını rafine etmemektedir. DeHazeNet mimarisi Şekil 2.9'da gösterilmektedir (Cai vd., 2016).



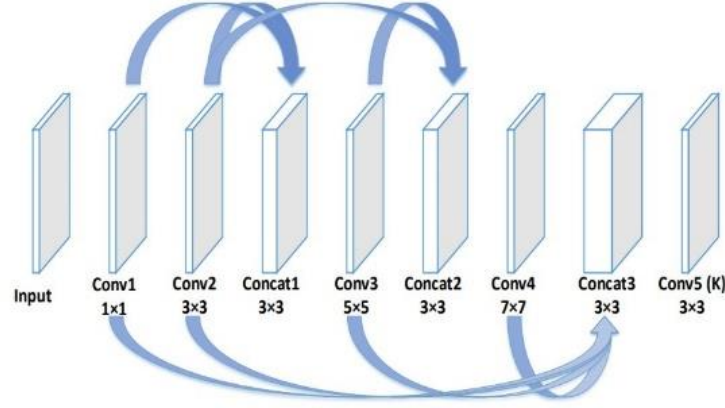
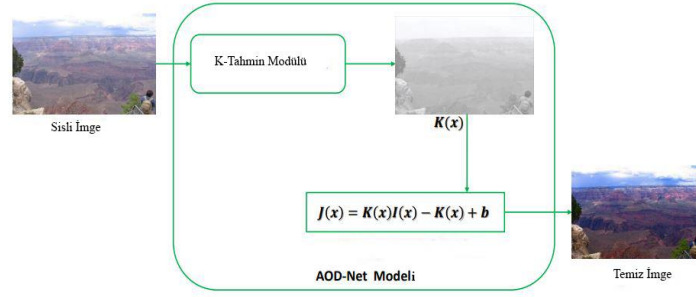
Şekil 2.9. DeHaze-Net mimarisi (Cai vd., 2016)

Li vd.(2017) tarafından geliştirilen CNN tabanlı AOD-Net algoritması bu kategoriye uyan bir başka sis kaldırma algoritmasıdır. Algoritma transmisyon haritasının ve atmosferik sabitin ayrı ayrı tahmin edilmesini ortadan kaldırmaktadır. Bunun yerine algoritma, uçtan uca haritalama yaparak sis içeren imgeden sis gürültüsünü kaldırabilmektedir. Li vd. algoritmada atmosferik katsayıyı, A , tahmini ve transmisyon haritası tahmini, $t(x)$, birleştirmek yoluyla piksel bazında hata seviyesini düşürmeyi başarmıştır (Li vd., 2017). Bu işlem Denklem 2.19'da ifade edilmiştir.

$$I_{\text{clear}}(x) = K(x)I_{\text{foggy}}(x) - K(x) + b, \quad (2.19)$$

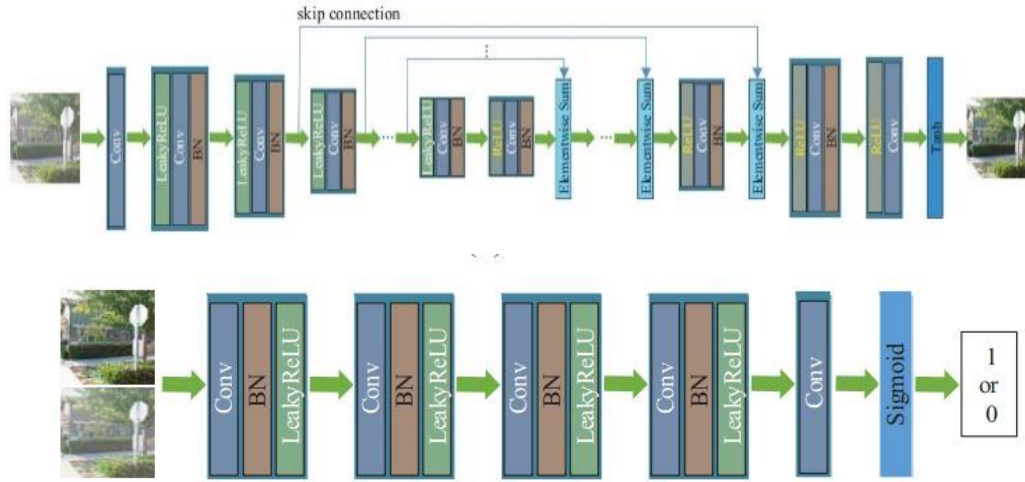
$$K(x) = \frac{\frac{1}{t(x)}(I_{\text{foggy}}(x) - A) + (A - b)}{I(x) - 1}$$

Denklem 2.19 içindeki $K(x)$ hem atmosferik ışığı hem de iletim haritasını temsil etmektedir. AOD-Net'in akış diyagramı Şekil 2.10'da gösterilmektedir (Li vd., 2017).



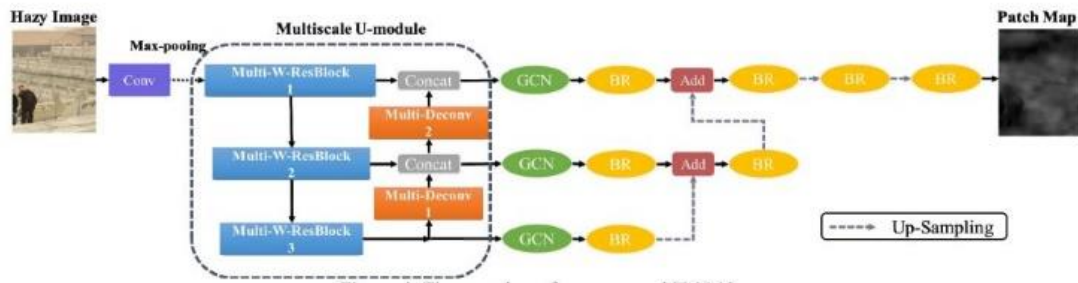
Şekil 2.10. AOD-Net mimarisi (Li vd., 2017)

Li vd. (2018) geliştirdiği bir başka CNN algoritması ise cGAN'dır (Liv d. 2018). Algoritma, Koşullu Çekişmeli Üretken Ağ Modeline (Conditional Generative Adversarial Network) dayanmaktadır. Bu modelde, önceden eğitilmiş Birleşmiş Görsel Geometri Grubu (Combined Visual Geometry Group) özellikleri kullanılmaktadır. Sis kaldırma aşamasında kodlayıcı ve kod çözücü uçtan uca imge sis içeren imgeden sis gürültüsünü kaldırır. Her bir kodlama katmanı evrişim, toplu normalleştirme (batch normalization) ve LeakyReLU içermektedir. Her bir kod çözücü katmanı ise ters evrişim, toplu normalleştirme ve ReLU içermektedir. Algoritma içindeki üretici (generator) imge içinden sis kaldırmaya çalışırken, ayrıştırıcı ise sis kaldırılan imgenin gerçek mi sahte mi olduğuna karar vermeye çalışmaktadır. Şekil 2.11'de cGAN algoritmasının mimarisi gösterilmektedir (Li vd., 2018).



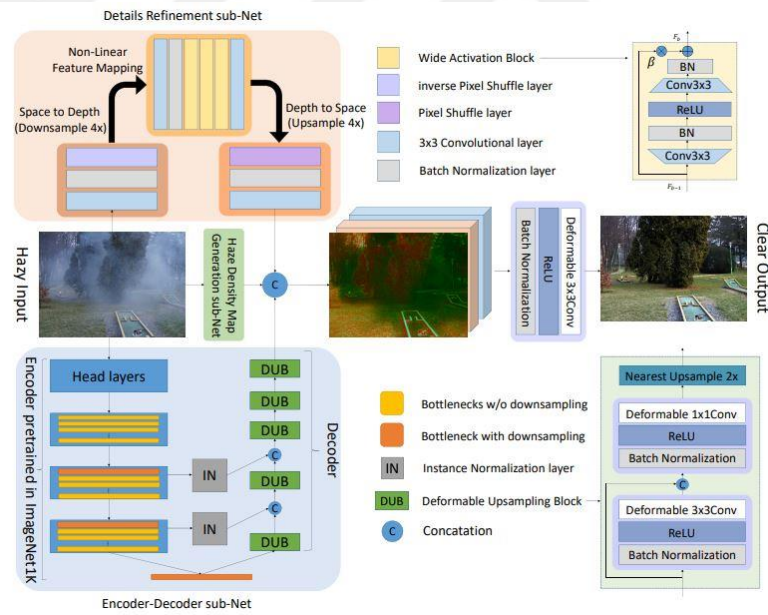
Şekil 2.11. cGAN mimarisi (Li vd., 2018)

Chen vd. (2019) tarafından sunulan derin öğrenme modeli sis kaldırma algoritması PMS-Net, bu kategoriye örnek bir algoritmadır (Chen vd., 2019). Algoritmanın diğer derin öğrenme tabanlı algoritmalarından en belirgin farkı sisli imgeden direk olarak iletim haritası tahmini etmek yerine, filtre tabanlı çalışan DCP algoritmasının filtre sabit yama (filtre) yapısının imgeye göre adaptif ve otomatik olarak CNN yapısı ile oluşturulması ve bu yamanın DCP içinde kullanılması ile sis kaldırma işleminin gerçekleştirilmesidir. Bu yaklaşım ile araştırmacılar DCP algoritmasının sabit yama kullanımından oluşan yapay bozulmalarını engellemek ve sis kaldırma işlemini daha başarılı hale getirmeye çalışmaktadır. Yama tahmini yapan bu modül PMS-Net olarak adlandırılmıştır. PMS-Net her bir piksel için uygun gördüğü yama boyutunu seçmek ile görevlidir. Şekil 2.12’de algoritmanın ağ yapısı gösterilmektedir (Chen vd., 2019).



Şekil 2.12. PMS-Net ağ yapısı

Liu vd. (2020). tarafından geliştirilen “Trident Dehazing Network” (TDN) algoritması, literatürdeki derin öğrenme tabanlı sis kaldırma algoritmalarından biridir (Liu vd., 2020). Araştırmacılar, sistemin içinde bulun sis yoğunluğunu tahmin ederek sis kaldırma işlemini daha başarılı hale getirmeyi amaçlamıştır. Özellikle homojen olmayan sis içeren imgeler için geliştirilmiştir. TDN 3 farklı alt ağdan oluşmaktadır. Bunlar “Encoder-DecoderNet” (EDN), “Detail Refinement Net” (DRN) ve “Haze Density Map Generation Net” (HDMGN) olarak adlandırılmıştır. EDN ağı imgenin ana ağı olarak görev yapar. Amacı sis içermeyen özelliklerin yeniden yapılandırılmasıdır. DRN ağı ise işlem esnasında kolay bir şekilde etkilenen yüksek frekansların korunmasında görevlidir. HDMGN ağı yoğunluğu yüksek sisli bölgelerin, yoğunluğu düşük sisli bölgelerden ayrıştırılmasından sorumludur. Bu sayede işlem farklı sis yoğunluklarına göre optimum sis kaldırma işlemi uygulamayı amaçlar. TDN mimarisi ve alt ağları ile birlikte Şekil 2.13’te gösterilmektedir.



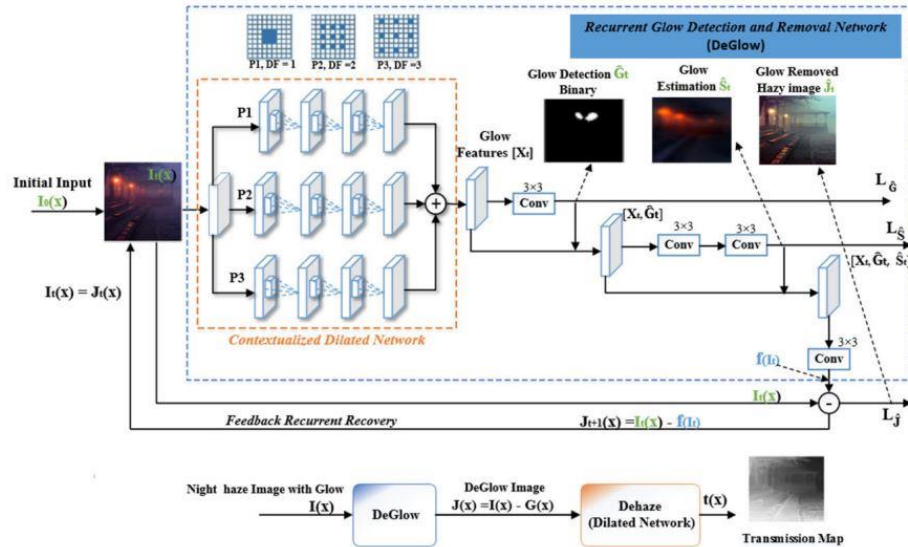
Şekil 2.13. TDN mimarisi (Liu vd., 2020)

2021 yılında sunulan ve gece yakalanan imgeler için daha etkili bir şekilde sis kaldırma işlemi amaçlayan derin öğrenme tabanlı çalışma ise Kuanar vd. (2021) tarafından geliştirilmiştir (Kuanar vd., 2021). Bu çalışmada araştırmacılar gece yakalanan imgeler için özel olarak geliştirilmiş bir yaklaşım oluşturmuşlardır. Bu yaklaşım gece yakalanan

imgelerdeki sis kaldırma işleminde oluşan “parlama” etkisini (gürültü) engellemeyi amaçlar. Araştırmacılar gece yakalanan sisli imgeleri, Kochimieder’in sis modelinde “parlama” gürültüsünü ayrı bir biçimde temsil etmiştir. Parlama temsili Denklem 2.20’deki gibidir.

$$\sum_{k=1}^n \hat{S}_k(x) * \hat{G} \quad (2.20)$$

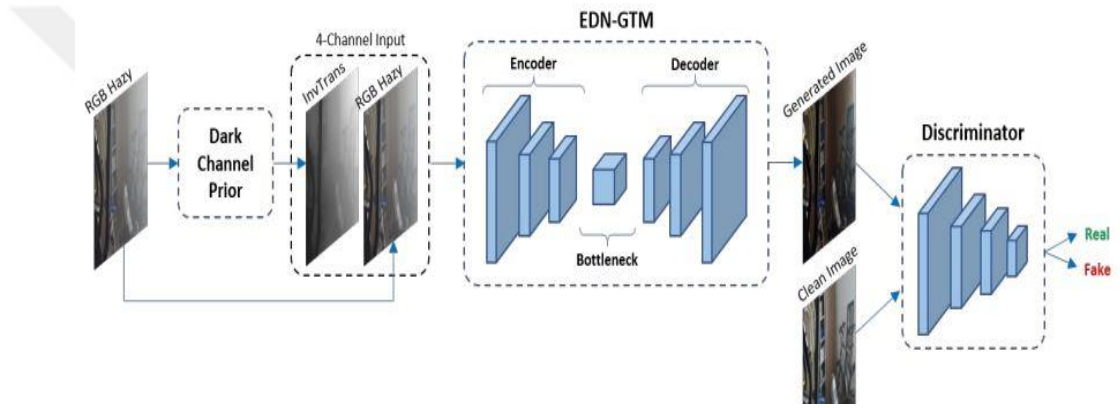
Denklem 2.20’de $\hat{S}_k$ parlamanın şeklini ve aydınlatma yönünü belirtirken, $\hat{G}$ ise imge içindeki görünür parlamaları temsil eder. Bu temsil CNN yapısında hem eğitim imgelerinin oluşturulmasında hem de sis kaldırma kısmında kullanılmaktadır. Geliştirilen CNN yapısında öncelikle “DeGlow” yapısı ile imge içinden parlama bozulması çıkartılır. Daha sonra ise “DeHaze” CNN yapısı ile sis kaldırma işlemi uygulanmaktadır. Geliştirilen sistem Şekil 2.14’teki gibidir.



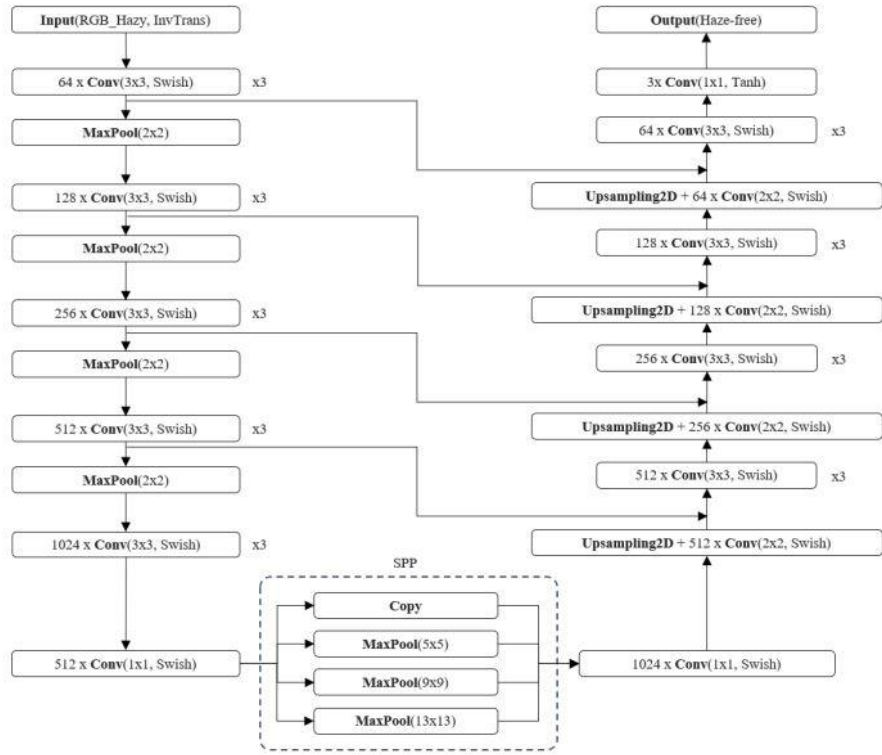
Şekil 2.14. DeGlowDehaze mimarisi (Kuanar vd., 2021)

Derin öğrenme tabanlı sis kaldırma yaklaşımlarından biri olan EDN-GTM (“Encoder Decoder Network with Guided Transmission Map”) Tran vd. (2022) tarafından geliştirilmiştir. Algoritma sis içeren imgenin DCP çıktısını ve orijinal halini geliştirilen EDN-GTM ağına girdi olarak alır. EDN-GTM ağının encode-decode bölümünde U-Net

(Isola vd., 2017) kullanılmıştır. U-net üzerinde ise sis kaldırma özelliklerinin artırılması amacı ile farklı geliştirmeler gerçekleştirilmiştir. Bunlar ağıın darboğaz kısmına uzaysal piramit kuyruğu eklenmesi, ReLU aktivasyonunun Swish aktivasyonu ile değiştirilmesi ve son olarak yukarı ve aşağı örnekleme işlemlerinden önce 3x3 boyutunda bir konvolüsyon katmanı uygulanmasıdır. Bu sayede algoritmanın imge içindeki detayları daha iyi koruması ve sis kaldırma işleminin başarımının artması amaçlanmıştır. EDN-GTM ağı sis kaldırma işlemi uygulanmış imgeyi bir ayrıştırıcı modüle gönderir. Bu modül çekişmeli üretken ağıın başarımını artırır. Sistemin mimarisi Şekil 2.15'te gösterilirken, ağı yapısı Şekil 2.16'da gösterilmektedir (Tran vd., 2022).



Şekil 2.15. EDN-GTM mimarisi (Tran vd., 2022)



Şekil 2.16. EDN-GTM ağ yapısı (Tran vd., 2022)

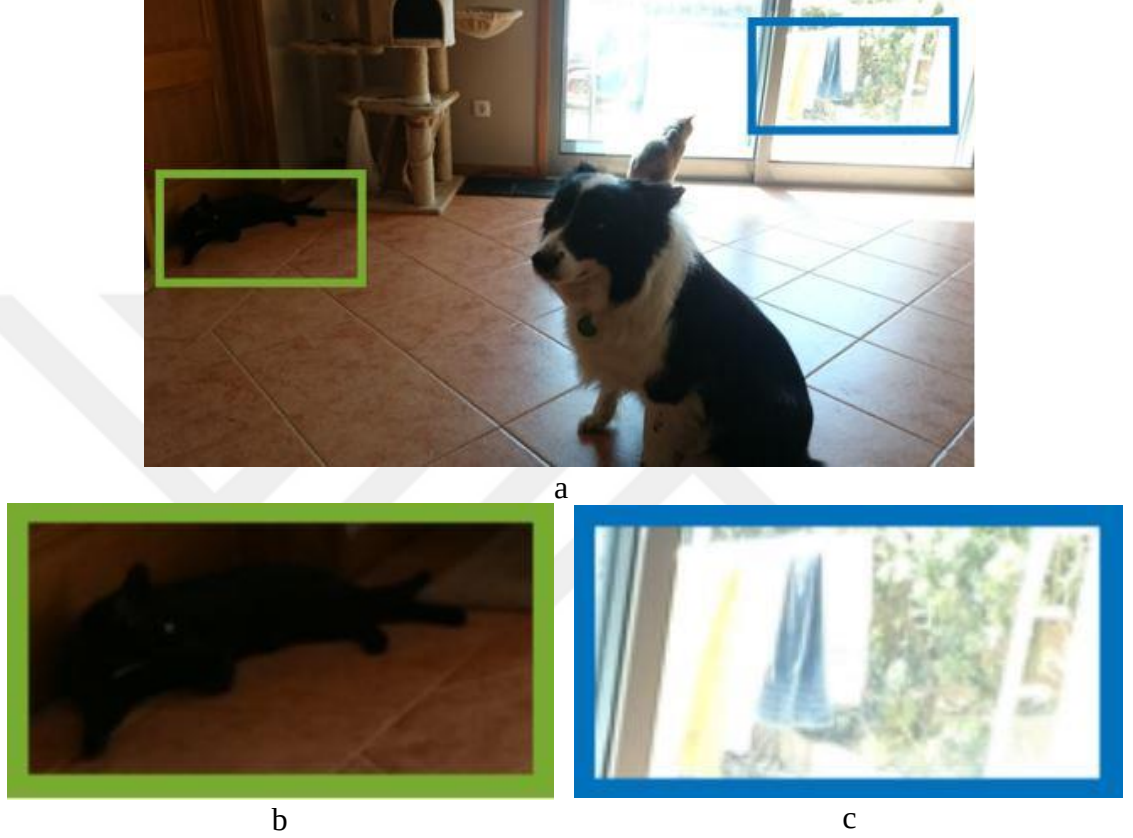
3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu tez çalışmasında yapılan kaynak araştırması ışığında önerilen yaklaşım sisin imgeler üzerinde oluşturmuş olduğu pozlama bozulmalarının düzeltilmesinden sonra DCP algoritması kullanımı ile imge içindeki sisin kaldırılması ve sis kaldırma işleminin performansının artırılmasıdır. İmge içindeki pozlamanın düzeltilmesi işleminde bir yapay çoklu pozlama füzyonu algoritması AMEF (Galdran 2018) algoritması kullanılmıştır. Önerilen yaklaşımda ilk olarak sis içeren görüntü AMEF algoritmasında gösterildiği gibi yapay olarak farklı seviyelerde pozlanan örnekleri oluşturulmaktadır. Bu imgelerin oluşturulmasından sonra imgeler birbirleri ile AMEF algoritmasında da kullanılan pozlama füzyonu algoritması olan “Exposure Fusion” algoritması (Mertens vd., 2007) ile füzyonlanarak sisli imgenin pozlaması iyileştirilir. Sonrasında DCP algoritması ile pozlaması iyileştirilmiş sis içeren imge sis kaldırma işlemine alınır. İletim haritası ve atmosferik ışık tahmini hesaplanan imge sis kaldırma işlemini tamamlar. Tezin bu bölümünde kullanılan algoritmalar detaylı bir biçimde anlatılmaktadır.

3.1. Pozlama Füzyonu

Pozlama kameranın sensörü tarafından algılanan ve imgeyi oluşturan ışığın miktarı olarak tanımlanır (Bertolomio 2014). Kameranın diyafram açıklığı ve deklanşör süresi ile pozlama ayarı gerçekleştirilebilir. Işık kaynağının konumu, kuvveti ve yakalanacak sahnenin düzenine göre yakalanan imge içindeki farklı bölgeler farklı pozlama seviyelerinde bulunabilir. Bunun sebeplerinden birisi kamera tarafından yakalanan ışığın yüksek dinamik aralıkta olmasıdır. Kullanılan kameranın yakalayabileceği en parlak ve en karanlık yoğunluk değerleri dinamik aralık olarak adlandırılır. Günlük hayatta kullanıldığımız kameralar genellikle düşük dinamik aralığa sahip olurken, profesyonel anlamda kullanılan kameralar yüksek dinamik aralığa sahiptir. Bundan dolayı yüksek dinamik aralıkta bulunan ışık kaynağı etkisinde sahnenin görüntüsü yakalanırken, kısa pozlama sahnenin parlak alanlarındaki detayları doğru şekilde yakalar. Aynı durum içinde, sahne içindeki karanlık alanların detayları kayıp olur ve bu alanlar düşük pozlanmış olur. Tam tersi durumda ise yüksek pozlama aralığında sahne içindeki karanlık alanlar iyi pozlanırken, parlak alanlardan yakalanan ışığın miktarı artacağı için bu

bölgeler parlaklıktan dolayı beyazlar ve detaylar kayıp olur. Bu durum ise aşırı pozlama olarak adlandırılır. Pozlama füzyonu algoritmaları bu problemi farklı pozlama seviyelerinde yakalanmış imgelerin füzyonlanması ile düzeltmeyi amaçlar. Şekil 3.1’de farklı pozlama durumları gösterilmektedir (Galdran, 2018).



Şekil 3.1. Farklı pozlanma durumları. a) referans imge, b) düşük pozlanmış alan, c) aşırı pozlanmış alan (Galdran, 2018)

Pozlama füzyonu algoritmalarının önemli örneklerinden biri Çoklu Pozlama Algoritmasıdır (MEF) (Burt 1984). Yakalanacak görüntünün farklı pozlama düzeylerinde yakalanması ve füzyonlanması ile sonuç imgesinin kalitesini arttırmayı amaçlar. Bir diğer yaklaşım ise tek bir imge üzerinden kontrast değişiklikleri yaparak pozlamanın yapay şekilde değiştirilmesi ve bu imgelerin füzyonlanmasıdır. MEF algoritması Denklem 5’teki gibi tanımlanmaktadır (Burt 1984). Buradaki amaç, Denklem 3.1’deki en iyi $W_k(x)$ ağırlığını hesaplamaktır.

$$J(x) = \sum_{k=1}^K W_k(x) E_k(x) \quad (3.1)$$

Denklem 3.1’de, K farklı düzeylerde pozlanmış imgelerin sayısını, $E_k(x)$ farklı düzeylerde pozlanmış imgeleri, $J(x)$ elde edilmek istenen iyi pozlanmış imgeyi ve $W_k(x)$ o imgeye karşılık gelen en iyi ağırlığı temsil eder. Bu şekilde MEF algoritması en uygun pozlanmış imgeyi oluşturmaktadır. Burt en uygun $W_k(x)$ ağırlığını bulmak ve imge birleştirmesinde oluşabilen yapay kalıntıları önlemek amacı ile Laplace piramidi kullanmıştır (Burt ve Kolczynski 1983).

Burt ve Adelson (1993) tarafından iyileştirilen MEF yöntemi ile MEF algoritmasında kullanılan, kontrast, doygunluk ve iyi pozlanma bilgileri Laplacian çok ölçekli füzyonlama işlemi öncesinde doğru pozlanmış alanların tespitinde kullanılmıştır. Bu füzyonlama işleminin $W_k(x)$ ağırlıkları ile gerçekleştirilmesi için ilk olarak her bir ağırlık vektörü için Gauss piramidi kurulur. Bu piramit Denklem 3.2’de gösterilmektedir.

$$W_k^i = ds_2[W_k^{i-1}] \quad (3.2)$$

Denklem 3.2’deki $ds_2[.]$ ifadesi, imgeyi yarı boyutuna alt örneklemede olan bir Gauss çekirdeğidir. Bu işlem N defa gerçekleştirilir ve işlem sonucunda orijinal imgeye göre yarı boyutuna düşürülmüş ve daha yumuşak imgeler elde edilir. Aynı şekilde $E_k(x)$ imgeleri içinde bu işlem gerçekleştirilir. Denklem 3.3’te bu işlem gösterilmektedir.

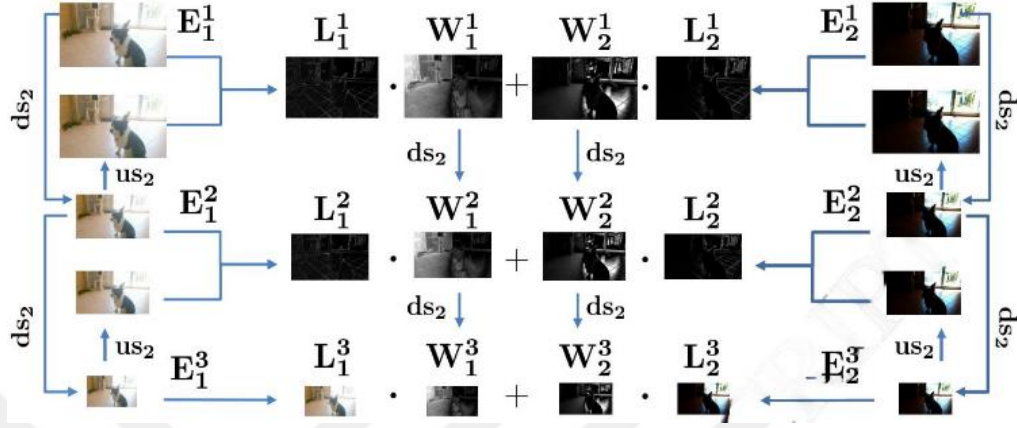
$$E_k^i = ds_2[E_k^{i-1}] \quad (3.3)$$

Bu aşamaların devamında ise $E_k(x)$ imgeleri için bir Laplace piramidi oluşturulur. Bu işlem Denklem 3.4’te gösterilmektedir.

$$L_k^i = E_k^i - us_2[E_k^{i+1}] \quad (3.4)$$

Denklem 3.4’teki $us_2[.]$ terimi imgenin yukarı örnekleme ile boyutunun 2 katına çıkarılmasını temsil etmektedir. Orijinal imgenin i ölçeğindeki frekans değerleri $L_k^i(x)$ olarak temsil edilmektedir. Çok ölçekli kombinasyon $E_k^i(x)$ ise K piramidinin her bir

seviyedeki her bir imgenin kombinasyonu ve yukarı örneklenen imgeler ile bir araya getirilmesi ile oluşturulur. Orijinal imgenin boyutlarının $m \times n$ olduğu kabul edilirse, füzyon işlemi Şekil 3.2’deki gibi gerçekleşmektedir (Galdran, 2018).



Şekil 3.2. Füzyon işlemi (Galdran, 2018)

Denklem 3.5’te ise bu pozlama füzyonu işleminin genel denklemi gösterilmektedir.

$$I(x) = \sum_{i=1}^N us_{(m,n)} \left[\sum_{k=1}^K L_k^i(x) \cdot W_k^i(x) \right] \quad (3.5)$$

Bu denklemdeki $us_{(m,n)}[.]$ ifadesi, verilen imgenin, $E_k(x)$ imgesinin boyutlarına yukarı örnekleme temsil etmektedir.

Tez kapsamında pozlama kalitesinin artırılması işleminde kullanılan pozlama füzyonu algoritması ise Galdran (2018) tarafından geliştirilen “Yapay Çoklu Pozlama Füzyonu” (AMEF) algoritmasıdır. Algoritma füzyon işleminde Mertens vd. (2007) tarafından geliştirilen “Exposure Fusion (EF)” pozlama füzyonu algoritmasını kullanır. Ancak farklı pozlama düzeyindeki imgeler yapay olarak oluşturulur. Sis kaldırma işleminin uygulanacağı imgelerin pozlaması üzerinde direk etkisi olmadığından bu algoritma pozlama füzyonu iyileştirilmesi için seçilmiştir. EF algoritması Burt ve Anderson’un geliştirdiği MEF algoritmasına göre farklı olarak ağırlık hesaplamasında yerel kontrast ve yerel doygunluk değerlerinden faydalanmaktadır. Bunun sebebi füzyon sonucu oluşacak yapay bozulmaları engellemek ve işlem kalitesini arttırmaktır. Ağırlık

hesaplamasında kullanılan kontrast ve doygunluk değerleri sırası ile Denklem 3.6 ve Denklem 3.7’de hesaplanmaktadır.

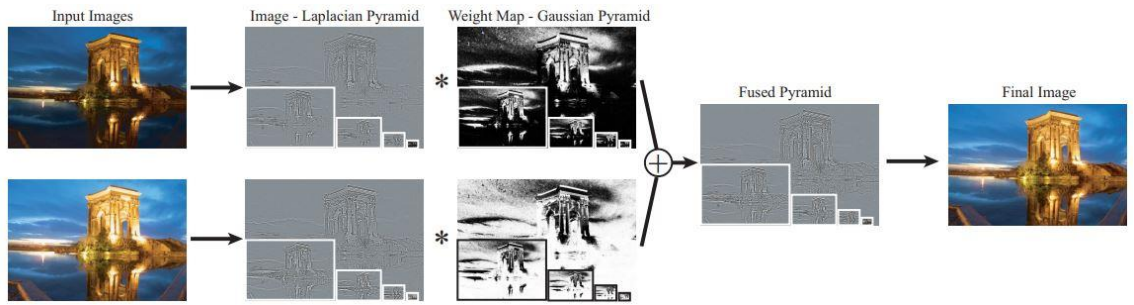
$$\mathbf{C}_k(x) = \frac{\partial^2 \mathbf{E}_k}{\partial x^2}(x) + \frac{\partial^2 \mathbf{E}_k}{\partial y^2}(x) \quad (3.6)$$

$$\mathbf{S}_k(x) = \sum_{c \in \{R,G,B\}} \left(\mathbf{E}_k^c(x) - \frac{\mathbf{E}_k^R(x) + \mathbf{E}_k^G(x) + \mathbf{E}_k^B(x)}{3} \right)^2 \quad (3.7)$$

Denklem 3.6’da imge $\mathbf{E}^k(x) = (\mathbf{E}_k^R(x), \mathbf{E}_k^G(x), \mathbf{E}_k^B(x))$ ile temsil edilirken, x pikseli üzerinde bulunan kontrast değeri $\mathbf{C}_k(x)$ terimi basit bir Laplacian filtresine verilen yanıtın mutlak değeri olarak ölçülmektedir. Her bir x pikselinin doygunluğunu ifade eden $\mathbf{S}_k(x)$, Denklem 3.7’deki gösterildiği gibi renk kanallarının standart sapması ile bulunmaktadır. Bir sonraki adımda ise her bir düşük pozlanmış imge için bulunan ağırlık, Denklem 3.8’deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\mathbf{W}^k(x) = \mathbf{C}^k(x) \cdot \mathbf{S}^k(x) \quad (3.8)$$

Denklem 3.8’de hesaplanan ağırlığın Denklem 3.5’te kullanılması ile füzyonlama işlemi gerçekleştirilmiş olur. EF algoritmasının füzyonlama işlemi Şekil 3.3’te gösterilmektedir (Mertens vd., 2007).



Şekil 3.3. EF algoritması pozlama füzyonu (Mertens vd., 2007)

Füzyon işlemi sırasında kullanılacak olan yapay olarak oluşturulmuş farklı pozlama düzeyindeki imgeler AMEF algoritmasındaki olduğu gibi oluşturulmuştur (Galdran, 2018). Bu imgeler sisin yapısından dolayı imgeyi aşırı pozlanma durumuna götürdüğü gözleminden dolayı düşük pozlama seviyelerinde oluşturulmaktadır. İmgeler Denklem 3.9’da gösterilen gama düzeltme fonksiyonu ile oluşturulmaktadır.

$$I(x) \mapsto \alpha \cdot I(x)^\gamma \quad (3.9)$$

İşlem sırasında, $\gamma \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$ şeklinde pozlama yapay olarak değiştirilerek imgeler oluşturulmuştur. Füzyon işlemi sırasında gama düzeltme fonksiyonu ile oluşturulan imgelere ek olarak füzyon işleminin sonucunun düşük pozlamaya yakınsamasının önüne geçmek amacı ile kontrastı düzeltilmiş bir imge daha füzyon işlemine alınır. Bu imge kontrast seviyesi “Contrast-Limited Adaptive Histogram Equalization” (CLAHE) (Zuiderveld 1994) algoritması ile kontrastı iyileştirilmiş bir imgedir. CLAHE algoritmasında oluşturulan imgenin en iyi sonucu kırpma aralığı değeri 0,10 değerinde verdiği deneysel olarak gözlemlenmiştir (Galdran 2018). İmgeler için Denklem 3.8’de gösterildiği gibi ağırlıklarının bulunması, bu ağırlıkların ve imgelerin daha sonra Denklem 3.5’te gösterildiği gibi pozlama füzyonu gerçekleştirilmektedir.

3.2. Dark Channel Prior Sis Kaldırma Algoritması

DCP algoritması tekil görüntüden filtre kullanarak sis kaldırma işlemi gerçekleştiren bir sis kaldırma algoritmasıdır (He vd., 2011). Algoritma sis kaldırma işlemini karanlık kanal öncülü olarak tanımladığı öncül ile gerçekleştirmektedir. Karanlık kanal öncülü sis içermeyen ve dış mekânda yakalanmış imgenin istatistiğine dayanmaktadır. Bu gözlem sis içermeyen imgelerin farklı renk kanallarında çok düşük piksel yoğunluğu değerleri olduğu gözlemine dayanmaktadır. Karanlık kanal öncülü Denklem 3.10’daki gibi hesaplanmaktadır.

$$I_{\text{DCP}}(x) = \min_{y \in \Omega(x)} \left(\min_{c \in \{r, g, b\}} I^c(y) \right) \quad (3.10)$$

Denklem 3.10 içindeki $I_{\text{DCP}}(x)$ imgenin karanlık kanal öncülünü, I^c imgenin renk kanallarından birini (kırmızı, yeşil veya mavi) ve $\Omega(x)$ ise x konumundaki yamayı göstermektedir. Denklem 3.10 içinde bulunan $\min_{c \in \{r, g, b\}}$ operatörü her bir piksel için gerçekleştirilirken, $\min_{y \in \Omega(x)}$ operatörü ise minimum işlemi temsil eder. Kullanılan imge sis içermeyen ve sabit bir gökyüzü görüntüsü değil ise $I_{\text{DCP}}(x)$ değerinin sıfır veya sıfıra yakın bir değer olduğu varsayılmaktadır. Koschimieder sis modeli denklemi içinde

karanlık kanal öncül ile gerekli sadeleştirmeler ve dönüşümler gerçekleştirildikten sonra ortaya çıkan iletim haritası Denklem 3.11’de gösterilmektedir.

$$t(x) = 1 - \omega * \min_{y \in \Omega(x)} \left(\min_{c \in (r,g,b)} \frac{I_{\text{foggy}}^c(y)}{A^c} \right) \quad (3.11)$$

İmge içinde sis kaldırma işlemi gerçekleştirilirken sisin bütünü ile kaldırmaya çalışmak görüntüdeki derinlik olgusunu ve doğallığı bozabileceğinden, araştırmacılar 0 ve 1 arasında değer alan ω sabit parametresini denkleme eklemişlerdir. Bu parametre 0,95 olarak kullanılmıştır. İletimin hesaplanmasından sonraki adım ise sis kaldırma işleminin istenmeyen bozulmaların azaltmak amacı ile gerçekleştirilen “soft matting” (yumuşak ayrıştırma) adımıdır. Bu adımda imgenin ön planı arka planından ayrılmakta ve iletim haritası iyileştirilmektedir. Sis denkleminin (Denklem 2.1) imge ayrıştırma denklemi ile benzerliklerinden yola çıkarak iletim haritası iyileştirilmesinde yumuşak ayrıştırma algoritması kullanılmıştır (Levin vd., 2008). İletim haritasının iyileştirilmiş halinin $t(x)$ ve bir önceki adım da hesaplanan ham halinin $\tilde{t}$ olarak gösterildiği var sayıldığında maliyet fonksiyonu Denklem 3.12’deki gibi gösterilmektedir.

$$E(t) = t^T L t + \lambda (t - \tilde{t})^T (t - \tilde{t}) \quad (3.12)$$

Denklem 3.12 içindeki birinci terim yumuşatma terimi iken, ikinci terim λ ile ağırlıklandırılmış bir veri terimidir. L matrisine ise bir Laplace matrisidir (Levin vd., 2006). L matrisinin (i,j) elemanı Denklem 3.13’deki gibi bulunmaktadır.

$$L = \sum_{k|(i,j) \in w_k} \left(\delta_{ij} - \frac{1}{|w_k|} \left(1 + (\mathbf{I}_i - \mu_k)^T \left(\Sigma_k + \frac{\varepsilon}{|w_k|} U_3 \right)^{-1} (\mathbf{I}_j - \mu_k) \right) \right) \quad (3.13)$$

Denklem 3.12’deki $\mathbf{I}_i$ ve $\mathbf{I}_j$ terimleri, I imgesi için i ve j pikselindeki renkleri temsil eder. δ_{ij} Kronecker deltası, μ_k , ve Σ_k , w_k penceresindeki renklerin ortalama ve kovaryans matrisini temsil eder. U_3 terimi ise 3x3 özdeşlik matrisidir. ε bir düzenleme

parametresidir. $|w_k|$, w_k penceresindeki piksel sayısıdır. İyileştirilmiş iletim haritası ise Denklem 3.14'teki gibi bulunmaktadır (He vd., 2011).

$$(L + \lambda U)t = \lambda \tilde{t} \quad (3.14)$$

Denklem 3.14 içindeki L ve U terimi aynı boyuta sahip olan bir özdeşlik matrisidir. Denklem içindeki λ teriminin değeri 10^{-4} olarak kullanmıştır. Denklemin hesaplanması ve son olarak iki taraflı (bilateral) filtre uygulanması ile birlikte iletim haritası iyileştirilmiş olur.

DCP algoritması atmosferik ışık tahminini Denklem 3.15'teki gibi hesaplanmaktadır.

$$I(x) = R(x)St(x) + R(x)At(x) + (1 - t(x))A \quad (3.15)$$

Denklem içindeki $R(x)$ her bir renk kanalının yansıma noktalarıdır. A atmosferik ışığı temsil eder. S terimi ise güneş ışığı kat sayısıdır. Denklem ile atmosferik ışık katsayısı hesaplandıktan sonra, görüntü içindeki parlaklık probleminin giderilmesi işlemi gerçekleştirilir (He vd., 2011).

Sis kaldırma işlemi sırasında iletim haritası ve atmosferik ışık ile beraber uygulanan işlem sırasında $t(x)$ iletim haritasının sıfıra yakınsadığı durumlar söz konusu olmaktadır. Bu durumda doğrudan zayıflama ($I_c(x)t(x)$) terimi sıfıra dahada yakınsar. Böylelikle, J gürültüsü nedeni ile imge parlaklığı gürültüden etkilenir. Bu etki iletim üzerinde bir kısıt oluşturur. Bu kısıtlanma t_0 ile temsil edilir ve yoğun sisin bulunduğu imge bölgelerinde az miktarda sis değerinin korunmasında etkilidir. Parlaklık değeri bu kısıt ile gösterildiğinde Denklem 3.16'te gösterildiği gibi olur (He vd., 2011).

$$J(x) = \frac{I(x) + A}{\max(t(x), t_0)} + A \quad (3.16)$$

İşlem sırasında Denklem 3.16'daki t_0 değeri 0,1 olarak kullanmıştır. İmgenin ışığının atmosferik ışık kadar parlak olmaması sonucu sis kaldırma işlemi sonrasında imge

pozlanması azalır ve loş bir görüntü elde edilir. Bu sayede imgenin pozlaması artırılarak sis kaldırma işlemi iyileştirilir (He vd., 2011).

DCP algoritması imge için karanlık kanal önseli hesaplarken 15x15 filtre boyutu kullanılmıştır. Filtre boyutunun büyüklüğü arttıkça karanlık kanal daha karanlık olur ve halo olarak adlandırılan bozulma artar (He vd., 2011). Bu hesaplamalardan sonra sis kaldırma işlemi gerçekleştirilir.



4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Önerilen yaklaşım ve DCP sis kaldırma algoritması O-Haze veri tabanı içinden seçilen üç farklı sisli imge üzerinde test edilmiştir. DCP algoritması Python programlama dili ile yazılmıştır. Python ile yazılan DCP algoritmasının yazımında Cv2, math, numpy ve matplotlib kütüphanelerinden yararlanılmıştır. AMEF pozlama füzyon algoritması ise “MATLAB” programının 2022a sürümü üzerinde gerçekleştirilmiştir. Uygulama esnasında Intel(R) Core(TM) i5-7500 4 Core CPU @ 3.40Ghz işlemci, 16 Gb RAM kullanılmıştır. Uygulamaların birbiri ile nicel karşılaştırması sırasında PSNR, SSIM ve BRISQUE metrik değerleri kullanılmıştır. PSNR ve SSIM ölçümlerinde sis içermeyen referans imgeye ihtiyaç varken BRISQUE referans olmadan ölçüm yapılabilmektedir. Bu ölçümler “MATLAB” üzerinde gerçekleştirilmiştir.

4.1. Görsel Sonuçlar

O-Haze, 45 farklı açık havada yakalanmış ve yapay olarak sis eklenmiş imgeler içeren bir veri kümesidir (Ancuti vd., 2018). Veri seti farklı sis kaldırma algoritmalarının birbiri ile kıyaslanması amacı ile oluşturulmuştur. Her bir referans imge sis içermeyen bir günde aynı kamera ayarları kullanılarak (poz süresi, kamera mesafesi, ışık aralığı, ISO ve beyaz dengesi) yakalanmıştır. Daha sonra profesyonel sis makinaları ile sahneye sis eklenmiş ve aynı kamera ayarları ile sis içeren imge yakalanmıştır. Bu sayede referans imge isteyen performans metriklerinin (PSNR, SSIM, MSE vb.) sis kaldırma algoritmalarının kıyasında kullanılması amaçlanmıştır. Şekil 4.1’de O-HAZE veri tabanından seçilen imgeler gösterilmektedir. Şekil 4.1.a İmge 1’in referans imgesini, Şekil 4.1.b İmge 1’i, Şekil 4.1.c İmge 2’nin referans imgesini, Şekil 4.1.d İmge 2’yi ve Şekil 4.1.e İmge 3’ün referans imgesini, Şekil 4.1.f ise İmge 3’ü göstermektedir.



a



b



c



d



e



f

Şekil 4.1. O-Haze veri tabanından seçilen imgeler ve referansları. a) imge 1 referans durumu, b) imge 1, c) imge 2 referans durumu, d) imge 2, e) imge 3 referans durumu, f) imge 3

Şekil 4.2’de DCP algoritmasının ve önerilen yaklaşımın uygulama sonuçları gösterilmektedir.



a



b



c



d



e



f

Şekil 4.2. DCP ve önerilen yaklaşımın sis kaldırma sonuçları. a) imge 1 DCP sonucu, b) imge 1 önerilen yaklaşım sonucu, c) imge 2 DCP sonucu, d) imge 2 önerilen yaklaşım sonucu, e) imge 3 DCP sonucu, f) imge 3 önerilen yaklaşım sonucu

Şekil 4.2’de sırası ile a, c ve e imgeleri DCP algoritmasının işlem sonuçları iken, b d ve f imgeleri önerilen yaklaşımın sonuç imgeleridir. İmge 1 için Şekil 4.1.a’daki ve Şekil 4.2.b’deki görseller incelendiğinde, DCP algoritmasının sis kaldırma işlemi sonrasında imge içinde kararmaya yol açtığı gözlemlenmektedir. Önerilen yaklaşım için İmge 1’in

sonucu incelendiğinde ise imgenin parlaklığının referans imgeye daha yakın olduğu görülmektedir. Ayrıca İmge 1 içinde önerilen yaklaşım sonucunda uzakta bulunan ağaçların görünürlüğü DCP algoritmasında artmıştır. İmge 2 sonuçları incelendiğinde önerilen yaklaşımın sonuç imgesindeki halo bozulması, DCP algoritmasının sonucuna göre daha azdır. Önerilen yaklaşımın İmge 3 için uygulama sonuçları incelendiğinde DCP algoritmasının sonucunda yapay bozulmalar tespit edilirken, önerilen yaklaşımda bu bozulmalar daha azdır.

4.2. Nicel Sonuçlar

Bu bölümde O-Haze veri kümesinden seçtiğimiz imgelerin DCP algoritması sonuçları ve önerilen yaklaşımın sonuçları birbirleri ile farklı performans metrikleri aracılığıyla kıyaslanmaktadır. Bu kıyaslamada 3 farklı parametre kullanılmıştır. Bu parametreler sırası ile PSNR, SSIM ve BRISQUE'dir. Metrik hesaplamalarında MATLAB kullanılmıştır.

PSNR sinyal içinde en yüksek sinyal gürültü oranını gösteren bir ölçüm metriğidir. İçine yapay olarak sis eklenmiş imge sis kaldırma işlemi sonrasında, sis içermeyen orijinal hali ile karşılaştırmaya alınır. Bu işlem Denklem 4.1'de gösterilmiştir. Denklem 4.1'deki R 'nin değeri 255'tir. PSNR değeri büyüdükçe başarımlar artar.

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{R^2}{MSE} \quad (4.1)$$

Yapısal benzerlik endeksi (SSIM), 2004 yılında Wang ve ark. tarafından geliştirilmiştir (Wang vd., 2004). Algoritma sis içermeyen referans imge ile sis gürültüsünden arındırılmış imge arasındaki benzerliği ölçer. SSIM değeri ne kadar büyükse o kadar iyidir. SSIM'nin değeri 0 ve 1 arasında değişmektedir ve Denklem 4.2'deki gibi hesaplanır.

$$SSIM(I, J) = \frac{(2\mu_I\mu_J + c_1)(2\sigma_{IJ} + c_2)}{(\mu_I^2 + \mu_J^2 + c_1)(\sigma_I^2 + \sigma_J^2 + c_2)} \quad (4.2)$$

Denklem 4.2'deki I referans imgeyi, J ise işlem görmüş imgeyi temsil eder. μ_I ve μ_J , sırası ile I ve J imgelerinin ortalamalarını, σ_I^2 ve σ_J^2 , I ve J imgelerinin varyanslarını, σ_{IJ} ise kovaryanslarını ifade eder. c_1 ve c_2 terimleri ise, $c_1 = (k_1 L)^2$ ve $c_2 = (k_2 L)^2$ ile temsil edilir. $k_1 = 0,01$ ve $k_2 = 0,03$ sabitlerdir. L ise piksel değerlerinin dinamik aralığını ifade eder. BRISQUE Mittal vd. tarafından 2012 yılında geliştirilmiş istatistik tabanlı, referans istemeyen imge kalitesi değerlendirme algoritmasıdır (Mittal vd., 2012) Algoritma imgenin içindeki detay kayıplarını istatistiksel gözlemlere dayanan çıkarımlar yardımı ile ölçer. Hesaplanan değer 0'a yaklaştıkça imge içindeki detay kaybı o kadar az olur. İlk olarak algoritma imgenin ortalama çıkartılmış kontrast normalizasyonunu hesaplar. Bu hesaplama Denklem 4.3'teki gibi gerçekleştirilmektedir. Hesaplanan değer destek vektör makinasında işlenmesi ile imge kalitesi hesaplanmaktadır.

$$\hat{I}(i,j) = \frac{I(i,j) - \mu(i,j)}{\sigma(i,j) + C} \quad (4.3)$$

Çizelge 4.1'de seçilen imgelerin metrik performans ölçüm sonuçları gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. Nicel sonuçlar

İmge	Ölçüm Metriği	DCP	Uygulanan Yaklaşım
İmge 1	PSNR	16,6717	20,5864
	SSIM	0,6826	0,7408
	BRISQE	10,0384	7,8168
İmge 2	PSNR	13,9426	17,3448
	SSIM	0,2925	0,4184
	BRISQE	11,2597	10,7485
İmge 3	PSNR	13,7981	17,0051
	SSIM	0,4034	0,5693
	BRISQE	18,0381	17,4119

Çizelge 4.1 incelendiğinde, her bir performans metriğinde bu tezde önerilen yaklaşım ile DCP algoritmasına göre daha başarılı sonuçlar elde edildiği görülmektedir.

5. SONUÇLAR

Bu tezde önerilen yaklaşım ile elde edilen sonuçlar, DCP algoritmasının uygulanması ile elde edilen sonuçlardan daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Sis kaldırma işleminden önce imgenin pozlamasının iyileştirilmesinin sis kaldırma işleminin başarımına doğrudan bir katkı sağladığı kanıtlanmıştır. Sis nedeni ile oluşan bozulma nedeni ile DCP algoritmasının uygulanmasından sonra, imgenin ışığının atmosferik ışık kadar parlak olmaması sonucu sis kaldırma işlemi sonrasında imge pozlamasının azaldığı gözlemlenmiştir. Bunun sonucunda DCP algoritmasının imgeye uygulanmasından sonra, imge pozlamasının azalması ve imge sahnesinin karardığı gözlemlenmiştir. DCP içinde bu bozulmanın iyileştirmesi için atmosferik ışık tahmini aşamasında sabit bir sayı ile iyileştirme yapılmıştır. Önerilen yaklaşımın, pozlama kalitesinin artırılmasından sonra gerçekleştirilen iletim haritası tahmini ve atmosferik ışık kestirimini performans metriklerinde ve görsel olarak daha iyi sonuçlar verdiği gösterilmiştir. Sonuç imgeler incelendiğinde önerilen yaklaşımın DCP algoritmasına göre daha az yapay bozulma içerdiği gözlemlenmiştir. Bu gözlem ayrıca uygulanan performans değerlendirme metriklerinin sonuçları ile uyushmaktadır. Çizelge 4.1'deki BRISQUE değerleri incelendiğinde, önerilen yaklaşımdaki detay kaybının DCP algoritmasına göre daha az olduğu gözlemlenmiştir. PSNR değerleri incelendiğinde ise, önerilen yaklaşımdaki gürültünün DCP algoritmasına göre daha az olduğu görülmektedir. Çizelge 4.1'deki SSIM değerleri incelendiğinde, önerilen yaklaşımda işlem sonrasındaki imgenin yapısal bütünlüğünün DCP algoritmasına göre daha iyi korunduğunu gözlemlenmiştir. Nicel sonuçlar incelendiğinde, önerilen yaklaşım ile sis kaldırma işlemi öncesi yapılan pozlama iyileştirmesinin sis kaldırma işleminin başarımını arttırdığı gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Ancuti, C., Ancuti, C. O., De Vleeschouwer, C., & Bovik, A. C. (2020). Day and night-time Dehazing by local Airlight estimation. *IEEE Transactions on Image Processing*, 29, 6264-6275. <https://doi.org/10.1109/tip.2020.2988203>
- Berman, D., Treibitz, T., & Avidan, S. (2020). Single image Dehazing using haze-lines. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 42(3), 720-734. <https://doi.org/10.1109/tpami.2018.2882478>
- Burt, P. J. (1984). The pyramid as a structure for efficient computation. *Multiresolution Image Processing and Analysis*, 6-35. https://doi.org/10.1007/978-3-642-51590-3_2
- Burt, P., & Kolczynski, R. (n.d.). Enhanced image capture through fusion. 1993 (4th) International Conference on Computer Vision. <https://doi.org/10.1109/iccv.1993.378222>
- Cai, B., Xu, X., Jia, K., Qing, C., & Tao, D. (2016). DehazeNet: An end-to-end system for single image haze removal. *IEEE Transactions on Image Processing*, 25(11), 5187-5198. <https://doi.org/10.1109/tip.2016.2598681>
- Chen, W., Ding, J., & Kuo, S. (2019). PMS-net: Robust haze removal based on patch map for single images. 2019 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). <https://doi.org/10.1109/cvpr.2019.01195>
- Coşkun, A., 1999. İklim koşullarının sürüş güvenliğine etkileri, 2. Ulaşım ve Trafik Kongresi, Ankara.
- Fattal, R. (2014). Dehazing using color-lines. *ACM Transactions on Graphics*, 34(1), 1-14. <https://doi.org/10.1145/2651362>
- Galdran, A. (2018). Image dehazing by artificial multiple-exposure image fusion. *Signal Processing*, 149, 135-147. <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2018.03.008>
- Gonzalez, R. C., Woods, R. E., & Masters, B. R. (2009). Digital image processing, third edition. *Journal of Biomedical Optics*, 14(2), 029901. <https://doi.org/10.1117/1.3115362>
- He, K., Sun, J., & Tang, X. (2013). Guided image filtering. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 35(6), 1397-1409. <https://doi.org/10.1109/tpami.2012.213>
- Huang, S., Chen, B., & Wang, W. (2014). Visibility restoration of single hazy images captured in real-world weather conditions. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 24(10), 1814-1824. <https://doi.org/10.1109/tcsvt.2014.2317854>
- Isola, P., Zhu, J., Zhou, T., & Efros, A. A. (2017). Image-to-image translation with conditional adversarial networks. 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). <https://doi.org/10.1109/cvpr.2017.632>
- K. Zuiderveld, Graphics Gems IV, Academic Press Professional, Inc., San Diego, CA, USA, 1994, pp. 474-485
- Kaiming He, Jian Sun, & Xiaoou Tang. (2011). Single image haze removal using dark channel prior. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 33(12), 2341-2353. <https://doi.org/10.1109/tpami.2010.168>
- Kuanar, S., Mahapatra, D., Bilas, M., & Rao, K. R. (2021). Multi-path dilated convolution network for haze and glow removal in nighttime images. *The Visual Computer*, 38(3), 1121-1134. <https://doi.org/10.1007/s00371-021-02071-z>

- Levin, A., Lischinski, D., & Weiss, Y. (2008). A closed-form solution to natural image matting. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 30(2), 228-242. <https://doi.org/10.1109/tpami.2007.1177>
- Li, B., Peng, X., Wang, Z., Xu, J., & Feng, D. (2017). AOD-net: All-in-One Dehazing network. *2017 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. <https://doi.org/10.1109/iccv.2017.511>
- Li, R., Pan, J., Li, Z., & Tang, J. (2018). Single image Dehazing via conditional generative adversarial network. *2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. <https://doi.org/10.1109/cvpr.2018.00856>
- Li, Z., & Zheng, J. (2015). Edge-preserving decomposition-based single image haze removal. *IEEE Transactions on Image Processing*, 24(12), 5432-5441. <https://doi.org/10.1109/tip.2015.2482903>
- Liu, J., Wu, H., Xie, Y., Qu, Y., & Ma, L. (2020). Trident Dehazing network. *2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*. <https://doi.org/10.1109/cvprw50498.2020.00223>
- M. Bertalmio, *Image Processing for Cinema*, 1st Edition, Chapman and Hall/CRC, Boca Raton, 2014.
- Mertens, T., Kautz, J., & Van Reeth, F. (2007). Exposure fusion. *15th Pacific Conference on Computer Graphics and Applications (PG'07)*. <https://doi.org/10.1109/pg.2007.17>
- Mittal, A., Moorthy, A. K., & Bovik, A. C. (2012). No-reference image quality assessment in the spatial domain. *IEEE Transactions on Image Processing*, 21(12), 4695-4708. <https://doi.org/10.1109/tip.2012.2214050>
- Narasimhan, S., & Nayar, S. Chromatic framework for vision in bad weather. *Proceedings IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. CVPR 2000 (Cat. No.PR00662)*. <https://doi.org/10.1109/cvpr.2000.855874>
- Ngo, D., Lee, G., & Kang, B. (2019). Improved color attenuation prior for single-image haze removal. *Applied Sciences*, 9(19), 4011. <https://doi.org/10.3390/app9194011>
- P. Burt, E. Adelson, The Laplacian Pyramid as a Compact Image Code, *IEEE Transactions on Communications* 31 (4) (1983) 532-540. doi:10.1109/TCOM.1983.1095851.
- Peng, Y., Cao, K., & Cosman, P. C. (2018). Generalization of the dark channel prior for single image restoration. *IEEE Transactions on Image Processing*, 27(6), 2856-2868. <https://doi.org/10.1109/tip.2018.2813092>
- Qingsong Zhu, Jiaming Mai, & Ling Shao. (2015). A fast single image haze removal algorithm using color attenuation prior. *IEEE Transactions on Image Processing*, 24(11), 3522-3533. <https://doi.org/10.1109/tip.2015.2446191>
- Salazar-Colores, S., Cabal-Yepez, E., Ramos-Arreguin, J. M., Botella, G., Ledesma-Carrillo, L. M., & Ledesma, S. (2019). A fast image Dehazing algorithm using morphological reconstruction. *IEEE Transactions on Image Processing*, 28(5), 2357-2366. <https://doi.org/10.1109/tip.2018.2885490>
- Tran, L., Moon, S., & Park, D. (2022). A novel encoder-decoder network with guided transmission map for single image dehazing. *Procedia Computer Science*, 204, 682-689. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.08.082>
- Tripathi, A., & Mukhopadhyay, S. (2012). Single image fog removal using anisotropic diffusion. *IET Image Processing*, 6(7), 966. <https://doi.org/10.1049/iet-ipr.2011.0472>

Wang, Z., Bovik, A., Sheikh, H., & Simoncelli, E. (2004). Image quality assessment: From error visibility to structural similarity. *IEEE Transactions on Image Processing*, 13(4), 600-612. <https://doi.org/10.1109/tip.2003.819861>

