






Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makalesi

Renk Tutarsızlığı Problemleri ve Çözümleri: Bir Araştırma

 Melike BEKTAŞ KÖSESOY ^{a,*},  Seçkin YILMAZ ^b,  Turgay Tuğay BİLGİN ^b

^a Bilgi İşlem Daire Başkanlığı, Bursa Teknik Üniversitesi, Bursa, TÜRKİYE

^b Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bursa Teknik Üniversitesi, Bursa, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: melike.bektas@btu.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.1125321

ÖZ

Renk tutarsızlığı problemi görüntü sahteciliği, görüntü iç boyama, kare jigsaw puzzle, görüntü birleştirme gibi birçok farklı alanı yakından ilgilendiren güncel bir disiplinlerarası problemidir. Ancak literatürde renk tutarsızlığı problemini genel bir çerçevede ele alıp inceleyen herhangi bir araştırma çalışması bulunmamaktadır. Bu çalışma ile renk tutarsızlığı problemi ele alınarak genel bir sınıflandırma yöntemi ilk defa önerilmiştir. Bu çalışma sonucunda renk tabanlı yöntemler kullanılarak ilgili problemlerin çözülebileceği ve bu problemlerin çözümünde ağırlıklı olarak RGB, CIE Lab ve YCbCr renk uzaylarının tercih edildiği belirlenmiştir. İncelenen çalışmalarda görüntü iç boyama ve görüntü sahteciliği probleminde derin öğrenme algoritmalarının daha fazla kullanıldığı belirlenmiştir. Çalışmalarda PSNR, SSIM gibi değerlendirme metriklerinin kullanıldığı görülmüştür. Sonuç olarak bu çalışma ile renk tutarsızlığı ile uğraşacak araştırmacılara önemli bir yol haritası sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Görüntü sahteciliği, Renk tutarsızlığı, Görüntü iç boyama, Kare Jigsaw Puzzle, Görüntü birleştirme, Renk uzayları.

Color Inconsistency Problems and Solutions: A Survey

ABSTRACT

Color inconsistency problem is an actual interdisciplinary problem that closely concerns many different fields such as image forgery, image inpainting, square jigsaw puzzle, and image stitching. However, no research study in the literature analyzes the color inconsistency problem in a general framework. A general classification method was proposed for the first time by addressing the color inconsistency problem in this study. Consequently, it has been determined that related problems can be solved by using color-based methods, and RGB, CIE Lab, and YCbCr color spaces are mostly preferred in solving these problems. In the studies examined, it was determined that deep learning algorithms were used more in image inpainting and image forgery problem. It has been observed that evaluation metrics such as PSNR and SSIM are used in studies. Eventually, an important guideline was presented to researchers who will deal with color inconsistency in this study.

Keywords: Image forgery, Color inconsistency, Image Inpainting, Square Jigsaw Puzzle, Image Stitching, Color Spaces.

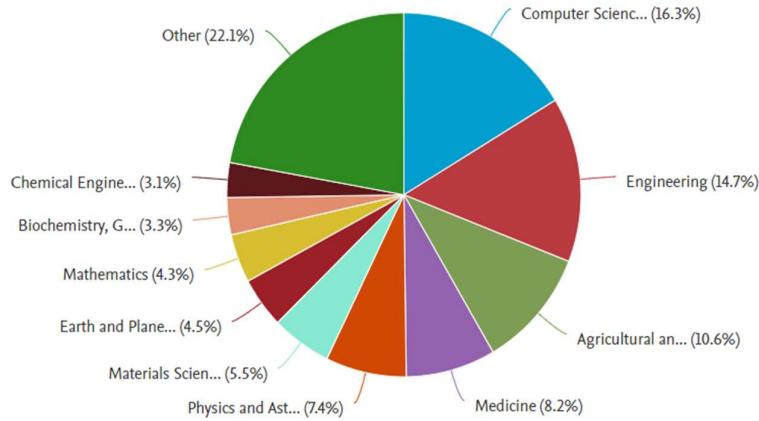
Geliş: 02/06/2022, Düzeltme: 27/10/2022, Kabul: 14/11/2022

I. GİRİŞ

Tutarlılık ayrı ayrı parçaların bütünde birbiriyle çelişmemesi ve uyumlu olmasıdır. Renk tutarlılığı ise bir görüntüde yer alan renklerin birbirleri ile bütünde çelişmemesi, renk bütünlüğü ve renk birliğinin sağlanması olarak tanımlanabilir [1]. Aynı görüntü içerisinde yer alan bir bölümün görüntünün diğer bölümleri ile renk, doku ve yapısal olarak benzerlik göstermesi ve bütünde bu parçaların birbirleriyle uyumlu olması gerekmektedir [2][3].

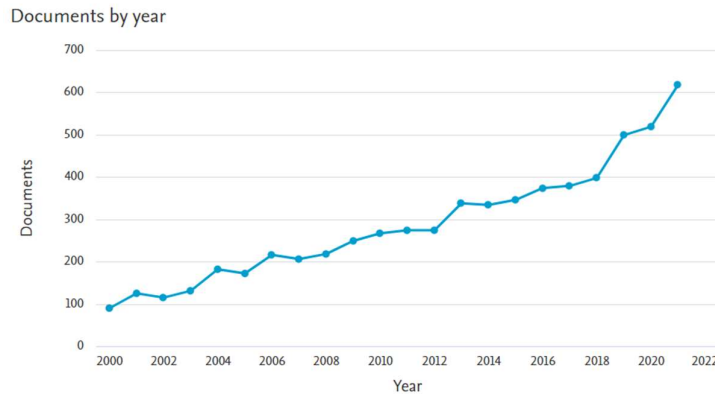
Günümüzde renk tutarlılığının dikkate alınması gereken birçok problem bulunmaktadır. Örneğin bir görüntüde sahtecilik olup olmadığına, görüntüde yer alan renklerin ve bölgelerin birbiriyle tutarlı olup olmadığı kontrol edilerek karar verilebilir [4]. Aynı şekilde bilgisayar destekli restorasyon işlemi de bir eserde yer alan eksik ya da hasarlı bölgelerin tamamlanması için onarılan bölgenin diğer bölgeler ile renk bakımından tutarlı olması gerekmektedir [5]. Bir başka durum ise tahribata uğramış görüntülerin onarılmasıdır. Orijinal hali bilinmeyen görüntülerin onarılması işlemi genel olarak iç boyama yönteminden faydalanılmaktadır. Bu yöntemde dijital görüntü içerisinde yer alan bir bölümün görüntünün diğer bölümleri ile renk, doku ve yapısal olarak benzerlik göstermesine bakılmaktadır [6].

Renk tutarlılığının sağlanması problemi oldukça kapsamlı ve güncel bir konu olup literatürde bu konu ile ilgili birçok çalışma yer almaktadır. Şekil 1’de Scopus veritabanından “color inconsistency” ve “color consistency” anahtar kelimeleri ile yapılan araştırma sonucunda hangi alanlarda çalışmalar yapıldığı verilmiştir.



Şekil 1. Alanlara göre renk tutarsızlığı probleminin dağılımı [7]

Şekil 1’de görüldüğü gibi bu konu birçok farklı alanda uğraşılan bir problemdir. Literatürde 2000 ile 2022 yılları arasında yapılan, Şekil 1’de bulunan alanları kapsayan yayın sayısı ise Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. 2000 ve 2022 yılları arasında yapılan yayın sayısı [7]

Şekil 2’de yer alan yıllara göre doküman sayısı grafiği incelendiğinde renk tutarlılığı ve renk tutarsızlığı ile ilgili çalışmalarda son yıllarda bir artış olduğu görülmektedir.

Renk tutarsızlığının ağırlıklı olarak bilgisayar bilimleri ve mühendislik alanlarında çalışmaların yapıldığı multidisipliner bir problem olduğu tespit edilmiştir. Kapsamı oldukça geniş olan bu problem çalışmamızda; görüntü sahteciliği, görüntü iç boyama, kare jigsaw puzzle ve görüntü birleştirme konuları ile sınırlandırılmıştır. Bu çalışma ile renk tutarsızlığı konusu literatürde ilk defa genel çerçevede detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

Çalışma kapsamında literatüre yapılan katkılar şu şekildedir:

- Renk tutarlılığının sağlanmasında kullanılan yöntem ve ölçütlerin incelenmesi
- Renk tutarlılığının ortaya konulması için kullanılan renk uzaylarının incelenmesi
- Renk tutarlılığı ve tutarsızlığı temel alınarak çözülen başlıca problemlerin incelenmesi

Bu çalışma ile renk tutarlılığı konusunu ele alacak araştırmacılara önemli bir yol haritası sunulması amaçlanmıştır.

Çalışmanın geri kalan kısmı şu şekilde organize edilmiştir. İkinci bölümde renk tutarlılığının sağlanması gereken problemler, üçüncü bölümde renk tutarlılığının sağlanmasındaki ana kriterlerin belirlenmesi, dördüncü bölümde literatürde yer alan çalışmalar ve son bölümde ise bu çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar paylaşılmaktadır.

II. RENK TUTARLILIĞININ SAĞLANMASI GEREKEN PROBLEMLER

Çalışmada renk tutarlılığının sağlanması gereken problemler aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır.



Şekil 3. Renk tutarlılığının sağlanması gereken problemlerinin sınıflandırılması

Şekil 3’te yer alan problemlerden görüntü sahteciliği renk tutarsızlıkları belirlenerek tespit edilebilir. Görüntü iç boyama, kare jigsaw puzzle ve görüntü birleştirme problemlerinde ise eksik bölgelerin tamamlanması ve birleştirilmesi için renk tutarlılığının gözetilmesi gerekmektedir. Şekil 3’te verilen sınıflama literatürde farklı konular ile daha fazla genişletilebilir. Örneğin görüntü sahteciliğinde alt dal olarak Deepfake eklenebilir [8].

A. GÖRÜNTÜ SAHTECİLİĞİ

Günümüzde ücretsiz ve kolay ulaşılabilen photoshop programlarının kullanımının artması ile dijital görüntüler manipüle edilebilir, değiştirilebilir bir hale gelmiştir [9]. Çoğu zaman devletlerin askeri gücünün olduğundan daha büyük gösterilmesi, toplantı veya miting gibi organizasyonlarda kişi sayısının artırılması, görüntüde yer alan bir nesnenin gizlenmesi ya da görüntü içerisinde çıkarılması gibi işlemlerle dijital görüntüler olduğundan farklı gösterilmektedir.

Görüntü sahteciliği temelde aktif ve pasif yaklaşımlar olarak iki alt başlıkta incelenmektedir. Aktif yaklaşımlarda dijital görüntünün doğrulanabilmesi için dijital damgalama (watermarking) veya dijital imza (signature) gibi bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır [10]. Pasif yöntemlerde ise görüntü hakkında bir ön bilgiye gerek duyulmamaktadır [11][12]. Aktif yöntemde renk tutarsızlığını ele alan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Dolayısıyla bu çalışmada pasif yaklaşımlar kullanılarak yapılan yayınlara odaklanılmıştır.

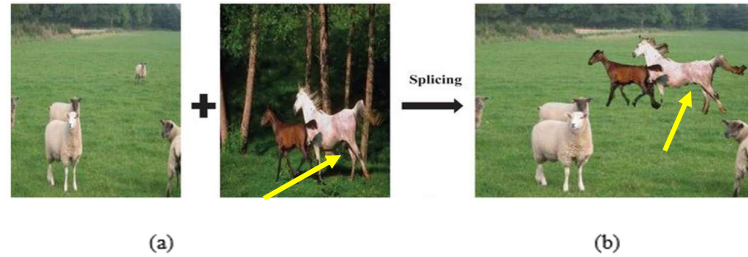
Kopyala taşı sahteciliği görüntünün bir parçasının kopyalanarak, kopyalanan parçanın aynı görüntüde farklı bir bölüme yapıştırılması işlemi olarak tanımlanmaktadır. Aynı görüntü içerisinde kopyalanıp yapıştırılan bölüm görüntünün diğer bölümleri ile renk, doku ve yapısal olarak büyük oranda benzerlik göstermektedir. Bu sebeple bu sahtecilik yöntemi çıplak gözle tespit edilememektedir [3]. Şekil 4'te kopyala taşı sahteciliği ile ilgili görüntülere yer verilmiştir.



Şekil 4. Kopyala taşı sahteciliği ile ilgili görüntüler [13]

Şekil 4'te bulunan (a) orijinal görüntüyü, (b) ise kopyala taşı işlemi sonucunda elde edilen sahte görüntüyü göstermektedir. Görüntüde herhangi bir kurcalama (kopyala taşı vb.) olduğunda renkte tutarsızlıklar oluşmaktadır.

Görüntü birleştirme sahteciliği ise iki ya da daha fazla görüntünün dijital olarak birleştirilerek tek bir görüntünün oluşturulduğu sahtecilik yöntemidir [14]. Bir görüntü üzerine başka bir görüntü veya görüntülerin eklenmesi ile birçok tutarsızlık ve uyumsuzluklar meydana gelmektedir. Bu sebeple bu sahtecilik yöntemi görüntü içerisinde yer alan renk ve aydınlatma bilgileri göz önüne alınarak çözülebilir. Şekil 5'te görüntü birleştirme sahteciliği ile ilgili oluşturulmuş görüntülere yer verilmiştir.



Şekil 5. Görüntü birleştirme sahteciliği ile ilgili örnek görüntüler [15]

Şekil 5'te (a) orijinal görüntüyü, (b) ise görüntü birleştirme sahteciliği işlemi sonucunda elde edilen sahte görüntüyü göstermektedir. Şekil 5.a'da renk geçişinde herhangi bir yapaylık bulunmazken Şekil 5.b'de sarı ok ile gösterilen kısımda at görüntülerinin kenarlarında yapay bir geçiş oluşmuştur.

B. GÖRÜNTÜ İÇ BOYAMA

Dijital görüntülerin tutarlı bir şekilde tamamlanabilmesi için eksik olan bölgeye ait pikseller komşu pikseller ile ele alınmaktadır [6][16]. Görüntü iç boyama işlemi temelde şu şekilde gerçekleşmektedir: İlk olarak iç boyama ile tamamlanacak bölümler yani eksik hedef bölümler seçilir. Hedef bölgenin dışında kalan kısımlara kaynak bölge adı verilir. Ardından yama olarak kullanılacak blok ve boyutu belirlenir. Yama olarak seçilecek bölge diğer yama bölgelerin öncelik değerlerine bakılarak maksimum

öncelik değerine sahip olmasına göre belirlenir daha sonra iç boyama işlemi gerçekleştirilir [6]. Şekil 6'da iç boyama ile ilgili örnek bir görüntü verilmiştir.



Şekil 6. Görüntü iç boyama ile tamamlanmış sanat eseri görüntüleri [17]

Şekil 6'da bulunan (a) görüntüsü tahribata uğramış bir sanat eserine, (b) görüntüsü ise aynı sanat eserinin iç boyama ile tamamlanmış haline aittir. Şekil 6'da görüldüğü gibi renk tutarlılığı gözetilerek bir sanat eseri başarılı bir şekilde onarılmıştır.

C. KARE JIGSAW PUZZLE

Jigsaw puzzle problemi kare/dikdörtgen şeklinde parçalardan oluşmaktadır. Her bir parça, şekilsel/yapısal olarak aynı olduğu için bu problem ancak parçaların içerik yönünden birbirleriyle eşleştirilmesi ile çözülebilmektedir. Burada içerik ile kastedilen parçadaki renk, doku bilgileridir. Bu problem NP-complete bir problemdir [18]. Şekil 7'de bir kare jigsaw puzzle problemi gösterilmiştir.



Şekil 7. Kare olarak parçalara ayrılmış jigsaw puzzle problemi ve çözümü [19]

Şekil 7'de (a) görüntünün parçalara ayrılmış halini, (b) ise puzzle'ın tamamlanmış halini göstermektedir. Şekil 7.a'daki puzzle problemi renk tutarlılığı gözetilerek Şekil 7.b'deki gibi başarılı bir şekilde bir araya getirilmiştir. Herhangi bir parça yanlış konumlandırıldığı takdirde renk tutarlılığı sağlanamayacaktır.

D. GÖRÜNTÜ BİRLEŞTİRME (IMAGE STITCHING)

Görüntü birleştirme üst üste binen alanlara sahip iki ya da daha fazla görüntünün hizalanarak tek bir görüntüde hem geometrik hem de renk tonu olarak kusursuz bir şekilde birleştirilmesi işlemidir [20]. Bazı uzaktan algılama problemlerinde ve panoramik görüntülerin elde edilmesinde kullanılmaktadır. Bu işlem gerçekleştirilirken renk farklılıkları ya da tutarsızlıkları meydana gelebilmektedir [21]. Şekil 8'de görüntü birleştirme işlemi örneklendirilmiştir.



Şekil 8. Görüntü birleştirme işlemi [22]

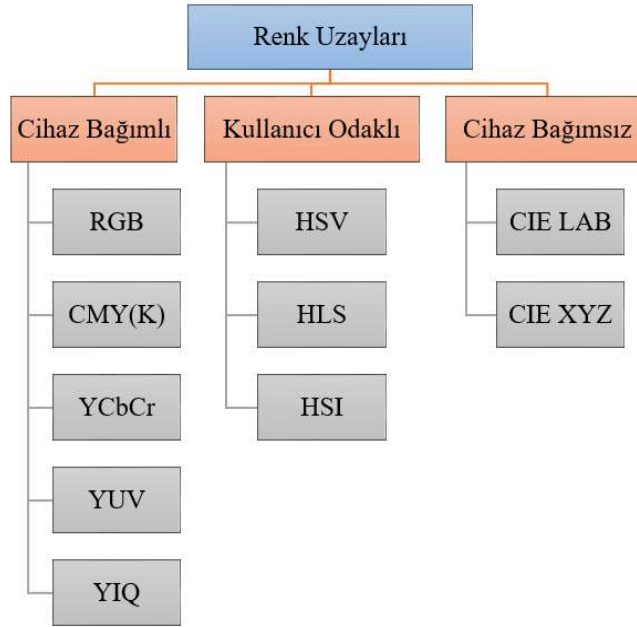
Şekil 8'deki görüntüler renk ve parlaklık tutarlılığı gözetilerek başarılı bir şekilde birleştirilmiş ve panoramik bir görüntü elde edilmiştir.

III. RENK TUTARLILIĞININ SAĞLANMASINDAKİ ANA KRİTERLERİN BELİRLENMESİ

Bu bölümde renk tutarlılığının sağlanmasındaki ana kriterlerin belirlenmesi için kullanılan renk uzayları, kullanılan ölçüt ve yöntemler anlatılmıştır.

A. RENK UZAYLARI

Renkler dijital ortamda renk uzayları ile matematiksel olarak 3 veya 4 renk kanalı ile ifade edilmektedir [23]. Farklı amaçlar için kullanılan birçok renk uzayı bulunmaktadır. Bu renk uzaylarından bazıları RGB, CMYK, HSV, HSI, YCbCr, YUV, CIE LAB gibidir. Şekil 9'da renk uzaylarının sınıflandırılması yer almaktadır.



Şekil 9. Renk uzaylarının sınıflandırılması [23]

RGB renk uzayı; Kırmızı, Yeşil ve Mavi olmak üzere üç renk kanalından oluşmaktadır. En yaygın kullanılan renk uzaylarından biridir.

CMY(K) renk uzayı; Cyan, Magenta ve Sarı renk kanallarından oluşmaktadır. Ağırlıklı olarak yazıcılarda ve baskı işlemlerinde kullanılan renk uzayıdır.

HSV renk uzayı; Hue (renk özü), Saturation (doygunluk) ve Value (değer) bileşenlerinden oluşmaktadır. Hue değeri rengin tonunu ifade etmektedir ve 0 ile 360 derece arasında değer almaktadır. Saturation değeri rengin yoğunluğunu value ise rengin parlaklığını temsil etmektedir. Saturation ve value bileşenleri 0 ile 100 arasında değer almaktadır.

HSI renk uzayı; Hue, Saturation ve Intensity (yoğunluk) bileşenlerinden oluşmaktadır. Intensity yani I değeri ışığın miktarını göstermektedir.

YCbCr renk uzayı; Y, Cb ve Cr bileşenlerinden oluşmaktadır. Y bileşeni luma yani parlaklık bilgisi, Cb (mavi minus luma) ve Cr (kırmızı minus luma) renk bileşenleri olarak adlandırılmaktadır. Dijital videolarda en yaygın kullanılan renk uzayıdır.

L*a*b* (CIE Lab) renk uzayı; cihaz bağımsız renk uzayıdır. Bu renk uzayında L* bileşeni parlaklık (lightness), a* bileşeni kırmızı/yeşil ve b* ise mavi/sarı olarak tanımlanmaktadır.

B. RENK TUTARLILIĞININ SAĞLANMASINDA KULLANILAN ÖLÇÜTLER

Bu bölümde görüntü sahteciliği, görüntü iç boyama, kare jigsaw puzzle ve görüntü birleştirme çalışmalarında renk tutarlılığının sağlanması için sıklıkla kullanıldığını gördüğümüz ölçüt ve yöntemler anlatılmıştır.

Scale-invariant feature transform (SIFT)/Speeded up robust features (SURF): Görüntülerdeki anahtar noktaların bulunması, özelliklerin çıkarılması için kullanılan yöntemlerdir. SURF yöntemi SIFT'e göre daha hızlıdır [24].

Sum of Squared Distance (SSD): İki görüntü ya da görüntü içerisinde yer alan iki parça arasındaki farkları hesaplamak için kullanılan bir ölçüttür. Bu ölçüt sınırlara bitişik kısımlar boyunca piksellerin renk farklılıklarının kareleri toplanarak hesaplanır. Ayrıca kullanılan renk uzayına bağlı olarak ilgili problemlerin çözülebilmesi için renk tabanlı olarak da (RGB SSD gibi) tanımlanabilir [25].

Mahalanobis Gradient Compatibility (MGC): Bu ölçüt iki görüntü ya da iki parça arasındaki farkı hesaplamak için kullanılmaktadır. Sadece piksel bilgisini dikkate almakla kalmayıp buna ek olarak kenar gradyan bilgisini de bu bilgiler ile birlikte kullanır [25].

Histogram Eşleştirme: Histogram dijital görüntülerde piksel dağılımını göstermektedir. Histogram eşleştirme işlemi ise dijital bir görüntünün, histogramının belirli bir histogramla eşleşmesi için dönüştürülmesidir ve bu işlem sayesinde görüntüler arasındaki renk ve parlaklık tutarlılığı sağlanmaktadır [26].

Peak signal-to-noise ratio (PSNR): Orijinal ve yeniden oluşturulmuş görüntü arasındaki kalite ölçümü için kullanılmaktadır. PSNR bir sinyalin maksimum gücünün, gürültü sinyalinin maksimum gücüne oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu değer desibel cinsindedir ve ne kadar yüksek çıkar ise görüntünün kalitesi de o kadar iyidir [27].

Structural Similarity Index (SSIM): Wang ve arkadaşları tarafından geliştirilmiş iki görüntü arasındaki benzerliği ölçen ve birçok uygulama alanı bulunan bir görüntü kalite ölçüm metriğidir [27].

IV. RENK TUTARLILIĞINI ELE ALAN ÇALIŞMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

A. GÖRÜNTÜ SAHTECİLİĞİ

Bu bölümde görüntü birleştirme sahteciliği, kopyala taşı sahteciliği ile ilgili literatürde bulunan çalışmalara yer verilmiştir. Tablo 1’de görüntü sahteciliği ile ilgili incelenen çalışmalar, bu çalışmaların literatüre katkıları ve kısıtları bulunmaktadır.

Tablo 1. Görüntü sahteciliği konusu ile ilgili incelenen çalışmalar

Problem	Çalışma	Kullanılan Teknik	Renk Uzayı	Literatüre Katkılar	Kısıtlar
	Dhivya vd. (2020) [28]	SURF, Support Vector Machine (SVM), PSNR	Gri tonlamalı	-%95,86 accuracy başarıları elde edilmiştir.	-SURF gibi anahtar tabanlı geleneksel yöntemler renk geçişlerinin az olduğu görüntülerde başarılı değildir. -Önerilen yöntemin test edilmesi için sadece gri tonlamalı görüntüler kullanılmıştır.
Kopyala Taşı Sahteciliği	Malviya ve Ladhake (2016) [29]	Auto Color Correlogram (ACC), Manhattan uzaklığı	RGB	-Önerilen yöntem PCA, DCT, SURF ile karşılaştırılmıştır. -%95,65 precision başarıları elde edilmiştir.	-Önerilen yöntem 400 görüntüden oluşan bir veri seti üzerinde test edilmiştir. Daha büyük boyutlu bir veri seti üzerinde denenmemiştir.
	Zheng ve Zhang (2022)[30]	SIFT, Özellik Noktası Kümeleme	HSV	-%95.83 accuracy başarıları elde edilmiştir.	Önerilen yöntemin küçük boyutlu kopyala taşı sahteciliği algılamaya yönelik etkisinin iyileştirilebileceği belirtilmiştir.

Tablo 1. Görüntü sahteciliği konusu ile ilgili incelenen çalışmalar

Görüntü Birleştirme Sahteciliği	Abraham vd. (2019) [31]	Artificial Neural Network (ANN), Görüntü Doku Özellikleri	RGB, HSV, YCbCr	-Görüntü doku ve renk özellikleri dikkate alınmıştır. - Çalışma sonucunda %98.06 accuracy başarısı elde edilmiştir.	-Çalışmada 461, 1483 ve 180 görüntüden oluşan veri setleri kullanılmıştır.
	Fang vd. (2010) [32]	Color Edge Detection (Renk Kenarı Algılama)	HSV	-Yerel hue bileşeninin görüntü ekleme sahteciliğini ortaya çıkarmak için önemli bir iz olduğu belirtilmiştir.	-Önerilen yöntem 363 görüntüden oluşan bir veri seti üzerinde test edilmiştir.
	Habibi ve Hassanpour (2021) [33]	Contourlet Dönüşümü	YCbCr	-%97.08 accuracy başarısı elde edilmiştir. -Renk kenar tutarsızlıkları temel alınmıştır.	-Önerilen yöntem 363 görüntüden oluşan bir veri seti üzerinde test edilmiştir.
	Zhe ve Peng (2020) [34]	OSTU Algoritması	YCbCr	-%73 precision, %100 recall başarı değerine ulaşılmıştır.	%73 precision başarısı elde edilmiştir. Başarı artırılabilir.
	Stanton vd. (2019) [35]	White Point-Illuminant Consistency Algoritması, Convolutional Neural Network (CNN)	RGB, XYZ	-%76 AUC başarısı elde edilmiştir.	%76 AUC başarısı elde edilmiştir. Başarı artırılabilir. -Önerilen yöntem 200 görüntüden oluşan bir veri seti üzerinde test edilmiştir.

Tablo 1'deki çalışmalar haricinde Pourkashani ve arkadaşları çalışmalarında CNN ve k -means algoritmasını kullanarak kopyala taşı sahteciliğini tespit etmişlerdir. Önerilen yöntemin MICC-F2000, MIC-F600 ve MICC-F8 veri setleri üzerinde test edildiği belirtilmiştir. Çalışma sonucunda %94.13 precision ve %96.98 F1 Score başarısı elde edilmiş ancak bu sonuçlara hangi veri seti kullanılarak ulaşıldığı belirtilmemiştir [36]. Nikalje ve Mane çalışmalarında CNN algoritmasını kullanarak hem kopyala taşı hem de görüntü birleştirme sahteciliğini tespit etmişlerdir. Çalışmada YCbCr renk uzayı

tercih edilmiştir. Önerilen yöntem CASIA v1.0 ve CASIA v2.0 veri setleri üzerinde test edilmiştir. Çalışma sonucunda CASIA v1.0 veri setinde %99.1 CASIA v2.0 veri setinde ise %99.4 accuracy başarısı elde ettiklerini bildirmişlerdir [37].

Prasanna ve arkadaşları çalışmalarında görüntü birleştirme sahteciliğini tespit etmek için Viola-Jones ve SVM algoritmalarını kullanmışlardır. Bu çalışma ile %88.55 accuracy elde etmişlerdir [38]. Wei ve arkadaşları görüntü birleştirme sahteciliğini tespit etmek için Synthetic Adversarial Networks ve Hibrit Dense U-Net tabanlı bir yöntem önermişlerdir. Çalışmalarında YUV ve CIE LAB renk uzaylarını kullanmışlardır. Önerilen yöntem altı farklı veri seti üzerinde test etmişlerdir ve çalışma sonucunda %73 F1 Score başarısı elde etmişlerdir [39]. He ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada sahte resimleri Random Forest algoritması kullanarak tespit etmişlerdir. HSV, CIE LAB ve YCbCr renk uzaylarını kullanmışlardır. Çalışma sonucunda çoğu durumda %99'un üzerinde accuracy elde ettiklerini belirtmişlerdir [40].

İncelenen kopyala taşı sahteciliği çalışmalarında RGB, HSV, YCbCr renk uzayları ve gri tonlamalı görüntüler kullanılmıştır. Yine bu problemin çözümü için YCbCr renk uzayında yüksek başarılar elde edilmiştir. SIFT ve SURF gibi anahtar nokta tabanlı yöntemler renk geçişlerinin az olduğu görüntülerde başarılı değildir [41]. Dolayısıyla bu çalışmalarda anahtar nokta tabanlı yöntemlerin kullanılması ve küçük boyutlu veri setlerinin önerilen yöntemlerin test edilmesi için tercih edilmesi çalışmaların kısıtı olarak değerlendirilmiştir.

Görüntü birleştirme sahteciliği çalışmalarında ise RGB, YCbCr, XYZ, HSV, YUV, CIE Lab renk uzayları kullanılmıştır. Bu çalışmalarda YCbCr en çok, YUV ve XYZ renk uzayları ise en az kullanılan renk uzaylarıdır. Çalışmalar incelendiğinde YCbCr renk uzayını kullanan çalışmaların daha başarılı olduğu görülmüştür. Bu sonuçlardan YCbCr renk uzayının parlaklık dolayısıyla kullanıldığı ve problemin çözümünde daha başarılı olduğu çıkarımında bulunulabilir. Ancak incelenen çalışmalarda aynı veri seti ve aynı yöntemlerin kullanılması ile renk uzayları arasında bir kıyaslama yapılmadığı için bu alanda belirli bir renk uzayı ile daha başarılı sonuçlar alınacağına yönelik bir yorum yapmak doğru olmayabilir.

Görüntü birleştirme sahteciliği ve kopyala taşı sahteciliği ile ilgili çalışmalarda kullanılan veri setlerinin boyutları da küçük olduğundan çalışmalarda önerilen yöntemler daha büyük veri setlerinde ya da farklı bakış açıları ve yöntemler kullanılarak tekrar çözülebilir. Bu çalışmalar ile birlikte literatürde renk tabanlı tespit yöntemlerinin yanında ayrıca ışık ve aydınlatma tutarsızlıkları da göz önünde bulundurularak görüntü sahtecilikleri tespit edilebilmektedir. Örneğin; Tuba ve arkadaşları, HSV renk uzayı bileşenlerine göre dijital görüntülerdeki gölgelerden görüntü sahteciliğini bulmaya çalışmışlardır [42].

B. GÖRÜNTÜ İÇ BOYAMA

Bu bölümde görüntü iç boyama konusu ile ilgili incelenen çalışmalar ve bu çalışmaların değerlendirmeleri bulunmaktadır. Tablo 2'de incelenen çalışmalar ve bu çalışmalarda kullanılan yöntemler, renk uzayları, çalışmaların literatüre katkıları ve çalışmaların kısıtları bulunmaktadır.

Tablo 2. Görüntü iç boyama konusu ile ilgili incelenen çalışmalar

Çalışma	Kullanılan Teknik	Renk Uzayı	Literatüre Katkıları	Kısıtlar
Zhou vd. (2021) [43]	Referans rehberli iç boyama, SIFT, PSNR, SSIM, LPIPS	RGB	- Önerilen yöntem RealEstate10K isimli büyük boyutlu veri seti kullanılarak test edilmiştir.	-Az SIFT özellik noktası içeren, düşük ışık veya doku girdilerinde iyi çalışmayabileceği belirtilmiştir.
Zhou vd. (2021) [44]	Convolutional Long Short Term Memory (Convolutional LSTM)	RGB	-%88.4 AUC başarısı elde etmişlerdir.	-Genelleme ve sağlamlık açısından literatürde boşluklar olduğu belirtilmiştir.
Akbari vd. (2018) [45]	SVM	HSV, RGB	-Kolonoskopi görüntülerindeki yansımalar tespit edilmiş ve ardından iç boyama gerçekleştirilmiştir. -Çalışma sonucunda %99.68 accuracy başarısı elde edilmiştir.	-Gelecek çalışmalarda görüntü iç boyama yönteminin daha fazla geliştirilmesi gerektiği belirtilmiştir.
Alilou ve Yaghmae (2015) [46]	General Regression Neural Network (GRNN), PSNR	YCbCr	- Önerilen yaklaşımın performansı üç uygulama bağlamında değerlendirilmiş ve bu üç uygulamada da başarılı olmuştur: metin kaldırma, çizik giderme ve gürültü giderme	- Önerilen yaklaşımın, boyama tabanlı görüntü sıkıştırma, hata gizleme ve görüntü iyileştirme gibi diğer görüntü işleme uygulamalarında etkinliği değerlendirilmemiştir.
Ciortan vd. (2021) [47]	Generative Adversarial Network (GAN), PSNR, SSIM	CIE LAB	-Önerilen algoritma, kenar ve renk içeriğini ortaklaşa öğrenerek, bu iki özelliğin orijinalle uyumlu olduğu sonuçlar üretebilmektedir.	-Modelin sınırlamalarının, kısmen düşük eğitim ve (daha yüksek) test verisi çözünürlüğü arasındaki farklılıktan kaynaklandığı belirtilmiştir.

Tablo 2’de yer alan çalışmalara ek olarak Li ve arkadaşları çalışmalarında iki blok arasındaki benzerliğin SSD ile hesaplandığı gelişmiş Criminisi metodunu kullanarak iç boyama işlemini gerçekleştirmiş ve elde ettikleri sonuçları diğer çalışmalar ile karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda 46.81 PSNR değerine ulaştıklarını bildirmişlerdir [48]. Abin ve Thepade geliştirilmiş örnek tabanlı görüntü iç boyama gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada aynı zamanda YCbCr renk uzayı ve *k*-means algoritması kullanılmıştır.

Önerilen yöntem için ortalama 28.2869 PSNR ve 0.9759 SSIM değerlerine ulaştıklarını belirtmişlerdir [49]. İncelenen diğer çalışmalardan farklı olarak Yaghmaee ve Peyvandi SVD tabanlı yapı ve doku bilgilerinin kullanıldığı bir görüntü iç boyama yöntemi önermişlerdir. Çalışmalarında YCbCr renk uzayını, çalışmanın değerlendirilmesi için de PSNR ve SSIM metriklerini kullandıklarını belirtmişlerdir. Çalışma sonucunda 48.4966 PSNR değerine ulaşmışlardır [50].

Görüntü iç boyama çalışmaları incelendiğinde bu çalışmalarda sıklıkla makine öğrenmesi ve derin öğrenme algoritmalarının kullanıldığı görülmüştür. Bu çalışmalarda renk tutarlılığının sağlanması için ağırlıklı olarak RGB ve YCbCr renk uzayı kullanılmıştır. RGB ve YCbCr renk uzayının yanında CIE Lab ve HSV renk uzaylarının da kullanıldığı çalışmalar incelenmiştir. Görüntü iç boyama çalışmalarında, incelenen diğer renk tutarsızlığı problemlerine göre daha fazla derin öğrenme algoritmaları kullanılmıştır. Görüntü iç boyama problemlerinde derin öğrenme algoritmalarının kullanıldığı çalışmalarda yüksek başarılar elde edilmiştir. Yine bu çalışmalar ağırlıklı olarak PSNR, SSIM gibi değerlendirme metrikleri kullanılarak değerlendirildiği görülmüştür.

C. KARE JIGSAW PUZZLE

Bu bölümde kare jigsaw puzzle problemi ile ilgili çalışmalar ele alınmış ve değerlendirilmiştir. Tablo 3’de kare jigsaw puzzle problemi ile ilgili incelenen çalışmalara yer verilmiştir.

Tablo 3. Kare jigsaw puzzle konusu ile ilgili incelenen çalışmalar

Çalışma	Kullanılan Teknik	Renk Uzayı	Literatüre Katkıları	Kısıtlar
Cao vd. (2016) [51]	SSD, Açgözlü yaklaşım	RGB	- Eksik parçaları olan puzzle problemlerinde kullanılabilir. - 432 parçalı kare puzzle probleminde %96,69 accuracy başarıları elde edilmiştir.	- Önerilen yöntem 432, 540 ve 805 parçalı puzzle problemleri üzerinde test edilmiştir.
Paikin ve Tal (2015) [52]	Açgözlü yaklaşım, MGC	CIE Lab	- Eksik parçaları olan puzzle problemlerinde kullanılabilir. - %97,7 başarı oranı ile puzzle parçalarını birleştirdiği belirtilmiştir.	- Önerilen yöntem 432, 540, 805, 2360 ve 3300 parçalı puzzle problemleri için test edilmiştir.
Shih vd. (2019) [53]	Hausdorff tabanlı sınır uyumluluğu	CIE Lab	-Ortalama %87,1 başarı elde edildiği belirtilmiştir. -35 parçalı puzzleların 17’si 70 parçalı puzzleların ise 13’ü %100 doğrulukla çözülmüştür.	- Önerilen yöntem 35 ve 70 parçalı puzzle problemlerinde test edilmiştir. Puzzle sayısı artırılabilir. - Önerilen yöntemin eksik parça içeren puzzle problemlerini çözüp çözemeyeceği belirtilmemiştir.

Tablo 3. Kare jigsaw puzzle konusu ile ilgili incelenen çalışmalar

Guerroui ve Seridi (2020) [54]	SSD, Gist descriptor	RGB	- Önerilen yaklaşımın en son yöntemlerden daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir. - 540 parçalı kare puzzle probleminde 97.3% accuracy başarısı elde edilmiştir.	- Önerilen yöntemin puzzle eksik parçaları ve bilinmeyen boyutları dahil olmak üzere puzzle problemlerine genelleştirilebilir olduğu vurgulanmış fakat konu ile ilgili deneysel çalışmalara yer verilmemiştir. - Önerilen yöntem 540, 805, 2360 ve 3300 parçalı puzzle problemleri için test edilmiştir.
Kim vd. (2018) [55]	CNN, ImageNet, AlexNet, Öklid Uzaklığı	CIE Lab	-Önerilen yöntemin bir parçası eksik ve parçaları renksiz olan puzzle problemlerini de çözdüğü belirtilmiştir.	-Derin öğrenme modellerinin Lab renk uzayı L kanalından öğrenmektedir, diğer yöntemlere kıyasla biraz daha düşük puana neden olduğu belirtilmiştir.

Khoroshiltseva ve arkadaşları çalışmalarında aşınmış ve eksik kenarlı puzzle problemini çözmek için GAN tabanlı JiGAN'ı önermişlerdir. JiGAN'ın puzzle problemini iki aşamalı olarak çözdüğü belirtilmiştir. İlk aşamada eksik veya aşınmış kenarlar GAN tabanlı olarak onarılmış ve parçalar arasındaki yakınlık MGC ile ölçülmüştür. İkinci aşamada ise puzzle problemi çözülmüştür. Önerilen yöntem 9, 70, 88 ve 150 parçadan oluşan 4 farklı veri seti üzerinde test edilmiştir [56].

Tablo 3'de yer alan çalışmalar puzzle sayısı, çalışmalardaki önerilen yöntemlerin eksik parçalar içeren puzzle problemlerini çözüp çözmemesi ve kullanılan renk uzayları bakımından değerlendirilmiştir. Kare jigsaw puzzle problemlerinde en önemli konulardan birisi iki kare parça arasındaki uyumluluğun hesaplanmasıdır. Bu uyumluluk renk farklılıkları tabanlı benzerlik ölçüsüdür. Tablo 3'de yer alan çalışmalarda puzzle parçaları arasındaki bu uyumluluğun hesaplanması için ağırlıklı olarak SSD ve MGC metrikleri kullanılmıştır. Yine bu çalışmalarda ağırlıklı olarak CIE Lab ve RGB renk uzaylarına bakılmıştır. Kullanılan her iki renk uzayında da kayda değer yüksek accuracy başarıları elde edilmiştir. YCbCr ve HSV, HSI, YUV gibi renk uzaylarının kullanıldığı çalışmalara rastlanmamıştır. CIE Lab renk uzayının çalışmalarda ağırlıklı olarak ön plana çıkmasından dolayı bu çalışmalarda parlaklığın önemli bir ölçüt olduğu yorumu yapılabilir. Ayrıca az sayıdan oluşan puzzle problemleri üzerinde test edilen çalışmalarda kullanılan yöntemler daha fazla parçadan oluşan puzzle problemleri ve eksik parçalı puzzle problemlerinin çözümü için de uygulanabilir.

D. GÖRÜNTÜ BİRLEŞTİRME

Bu bölümde görüntü birleştirme problemi ile ilgili çalışmalar ele alınmış ve bu çalışmalar değerlendirilmiştir. Tablo 4'de görüntü birleştirme problemi ile ilgili incelenen çalışmalara yer verilmiştir.

Tablo 4. Görüntü birleştirme konusu ile ilgili incelenen çalışmalar

Çalışma	Kullanılan Teknik	Renk Uzayı	Literatüre Katkıları	Kısıtlar
Xie vd. (2018) [21]	Histogram uç nokta eşleştirme, PSNR	CIE Lab	- Deneysel sonuçlardan önerilen yöntemin nitel analiz ve nicel tahmin yoluyla en gelişmiş algoritmadan daha başarılı olduğu belirtilmiştir.	- Görüntüler arasındaki renk farkı çok büyük olduğunda renk aktarımı için histogram eşleştirme algoritmasının zayıflığının piksel doygunluğu sorununa neden olabileceği belirtilmiştir.
Xia vd. (2017) [22]	Reweighted Multivariate Alteration Detection (IR-MAD), color Discrepancy (CD)	YCbCr	- Önerilen yöntem renk tutarlılığı konusunda iyi bir performansa sahiptir. - Piksel doygunluğuna sebep olmaz.	- Tek kanallı optimizasyon stratejisinin, beyaz dengesi sorununu çözemediği bildirilmiştir.
Tian ve Cohen (2017) [57]	Histogram eşleştirme, PSNR, SSIM, CS (Color Similarity Index)	RGB	- Referans görüntü ve test görüntüsü arasındaki renk farklılıklarını etkin bir şekilde en aza indirebilmektedir.	- Önerilen yöntem global bilgiyi kullanmaktadır, yerel komşu bilgisini kullanmamaktadır.
Niu ve Wang (2018) [26]	Histogram eşleştirme ve polinomsal regresyon	HSI	- Oklüzyon veya paralaksın neden olduğu görüntü kaydının iyi veya kötü sonucundan çok az etkilendiği vurgulanmıştır. - Deneysel sonuçlar, paralaks olsun veya olmasın yöntemin iyi etkilere sahip olduğunu göstermiştir	- Seamless stitching sonucunun ön koşul olduğu belirtilmiştir.
Wang vd. (2020) [58]	Vector Field Consensus (VFC) algoritması, SSIM, SCIELAB, FSIMC, CID	CIE Lab	- Önerilen yöntem görüntü birleştirme işleminde paralaksı başarılı bir şekilde düzeltmiştir.	- Tüm görüntü değerlendirme metriklerinde iyi sonuçlar alamamıştır.

Bu çalışmalar haricinde Lee ve arkadaşları çalışmalarında, görüntü birleştirme uygulamaları için renk sabitliği algoritmasına dayalı Gauss Laplacian algoritmasını sunmuşlardır [59]. Yao ve Li ise çalışmalarında panoramik görüntü birleştirmede tutarsızlık problemini çözmek için bir renk eşleştirme yaklaşımı önermişlerdir. Çalışmalarında RGB görüntüleri YUV renk uzayına dönüştürmüşlerdir. Çalışma sonucunda 28.89 PSNR değerine ulaştıklarını belirtmişlerdir. Önerilen yaklaşımın mobil cihazlarda panoramik görüntüleme için uygun olduğu ve komşu görüntüler arasındaki renk geçişlerinin de tutarlı bir şekilde olduğu bildirilmiştir [60]. Yuan ve arkadaşları çalışmalarında süper piksellere dayalı yeni bir görüntü birleştirme yöntemi önermişlerdir. Çalışmalarında insansız hava aracı ile elde edilmiş görüntüleri kullanmışlardır. Önerilen yöntemi YUV renk uzayını kullanarak gerçekleştirmişlerdir [61]. Lu ve arkadaşları çalışmalarında hem renk düzeltme hem de görüntü birleştirme işlemini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında histogram eşleştirme ve rasyonel fonksiyon modelini kullanmışlardır. RGB renk uzayını kullandıklarını belirtmişlerdir [62].

İncelenen görüntü birleştirme çalışmalarında görüntülerin renk tutarlılığı gözetilerek birleştirilebilmesi için RGB, HSI, YCbCr, CIE Lab ve YUV gibi farklı renk uzaylarının ve farklı yöntemlerin kullanılmıştır. CIE Lab ve YUV gibi renk uzaylarının ağırlıklı kullanıldığından ve bu renk uzaylarında parlaklık değeri bulunduğundan bu problemin çözümü için parlaklığın ön planda olduğu yorumu yapılabilir. Yine bu çalışmalarda renk tutarlılığının sağlanması için histogram eşleştirme yöntemi diğer yöntemlere göre daha fazla tercih edilmiştir. Bu çalışmalarda da görüntü iç boyama çalışmalarında olduğu gibi PSNR ve SSIM metrikleri diğer metriklere göre daha çok kullanılmıştır.

V. SONUÇLAR

Bu çalışmada görüntü iç boyama, kare jigsaw puzzle, görüntü birleştirme ve görüntü sahteciliği problemlerinden; kopyala taşı ve görüntü birleştirme sahteciliği problemleri renk tutarlılığı bağlamında ele alınmıştır. İlgili problemler farklı yöntemler ile çözülmektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda renk tabanlı çözümler kullanılarak bu problemlerin çözülebileceği görülmüş ve bu konular ile ilgili literatürde bulunan çalışmalar incelenmiştir. Renk tutarlılığının sağlanması için görüntü sahteciliği çalışmalarında ağırlıklı olarak YCbCr, görüntü iç boyama çalışmalarında RGB ve YCbCr, kare jigsaw puzzle çalışmalarında CIE Lab, RGB ve görüntü birleştirme çalışmalarında ise RGB, YUV ve CIE Lab ağırlıklı olmak üzere farklı renk uzaylarının tercih edildiği görülmüştür. Özellikle son yıllarda yapılan çalışmalar incelendiğinde bu çalışmalarda genellikle derin öğrenme algoritmalarından CNN, GAN gibi algoritmalar çoğunlukla kullanılmıştır. Kopyala taşı, görüntü birleştirme sahteciliği, görüntü iç boyama problemlerinde derin öğrenme algoritmalarının kullanıldığı çalışmaların kullanılmayanlara kıyasla daha yüksek doğruluk başarılarına ulaştığı görülmüştür. Görüntü birleştirme çalışmalarında ise genel olarak histogram eşleştirme yöntemi, kare jigsaw puzzle probleminde ise SSD ve MGC ölçütleri kullanılmıştır. Kullanılan bu yöntemler ile bu problemler yüksek başarı ile çözülmüştür. İlerleyen çalışmalarda da kullanılan geleneksel yöntemler derin öğrenme algoritmaları ile hibrit bir şekilde kullanılarak bu problemlerin çözümlerinde kullanılabilir ve bu sayede farklı çözüm yolları ve bakış açıları elde edilebilir. Genel olarak bu çalışmalar PSNR, SSIM gibi metrikler kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu literatür çalışması ile bu alanda araştırma yapmak isteyen araştırmacılara yol göstermek istenmiştir.

VI. KAYNAKLAR

- [1] Anonymous, “Consistency,” *Britannica Dictionary*, 2022. <https://www.britannica.com/dictionary/consistency> (accessed May 15, 2022).
- [2] A. H. Saber, M. A. Khan, and B. G. Mejbil, “A survey on image forgery detection using different forensic approaches,” *Advances Science Technology Engineering System Journal*, vol. 5, no. 3, pp. 361–370, 2020.

- [3] S. Mushtaq and A. H. Mir, "Image copy move forgery detection: a review," *International Journal of Future Generation Communication Network*, vol. 11, no. 2, pp. 11–22, 2018.
- [4] Y. Wu, W. Abdalmageed, and P. Natarajan, "Mantra-net: Manipulation tracing network for detection and localization of image forgeries with anomalous features," *Proc. IEEE Computer Society Conference Computer Visual Pattern Recognition*, vol. 2019-June, pp. 9535–9544, Jun. 2019, doi: 10.1109/CVPR.2019.00977.
- [5] T. Wang, H. Ouyang, and Q. Chen, "Image Inpainting with External-internal Learning and Monochromic Bottleneck," *Proc. IEEE Computer Society Conference Computer Visual Pattern Recognition*, pp. 5116–5125, 2021, doi: 10.1109/CVPR46437.2021.00508.
- [6] J. Jam, C. Kendrick, K. Walker, and V. Drouard, "A comprehensive review of past and present image inpainting methods," *Journal of Network Computer Applications*, vol. 203, p. 103147, 2021.
- [7] "Color Consistency, Color Inconsistency," 2022. <https://www.scopus.com/> (accessed May 15, 2022).
- [8] T. Zhang, "Deepfake generation and detection, a survey," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 81, no. 5, pp. 6259–6276, Feb. 2022.
- [9] N. B. Abd Warif, R. Wahab, Ainuddin Wahid Abdul Idris, Mohd Yamani Idna Ramli, and K.-K. R. Salleh, Rosli Shamsirband, Shahaboddin Choo, "Copy-move forgery detection: survey, challenges and future directions," *Journal of Network Computer Applications*, vol. 75, pp. 259–278, 2016.
- [10] S. Tyagi and Divakar Yadav, "A detailed analysis of image and video forgery detection techniques", *The Visual Computer*, 2022, doi: 10.1007/s00371-021-02347-4.
- [11] C. N. Bharti and P. Tandel, "A survey of image forgery detection techniques," in *2016 International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET)*, 2016, pp. 877–881.
- [12] G. Kaur, N. Singh, and M. Kumar, "Image forgery techniques: a review," *Artificial Intelligence Review*, pp. 1–49, 2022.
- [13] C. Liu, Ke Lu, Wei Lin, X. Huang, Xinchao Liu, and Y. Yeung, Yuileong Xue, "Copy move forgery detection based on keypoint and patch match," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 78, no. 22, pp. 31387–31413, Nov. 2019.
- [14] G. B. Abraham, Araz Rajab Rahim, Mohd Shafry Mohd Sulong, "Literature review: Detection of image splicing forgery," *International Journal of Applied Engineering Reserach*, vol. 12, no. 22, pp. 11855–11861, 2017.
- [15] M. Isaac, Meera Mary Wilscy, "Image forgery detection using region-based Rotation Invariant Co-occurrences among adjacent LBPs," *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, vol. 34, no. 3, pp. 1679–1690, 2018.
- [16] H. Xiang, Q. Zou, M. A. Nawaz, X. Huang, F. Zhang, and H. Yu, "Deep learning for image inpainting: A survey," *Pattern Recognition*, vol. 134, p. 109046, Feb. 2023, doi: 10.1016/J.PATCOG.2022.109046.
- [17] S. Zarif, I. Faye, and D. Rohaya, "Image Completion: Survey and Comparative Study," *International Journal of Pattern Recognition Artifical Intelligence*, vol. 29, no. 3, Apr. 2015.

- [18] F. Kleber and R. Sablatnig, "A survey of techniques for document and archaeology artefact reconstruction," in *2009 10th International Conference on Document Analysis and Recognition*, 2009, pp. 1061–1065.
- [19] D. Sholomon, O. E. David, and N. S. Netanyahu, "An automatic solver for very large jigsaw puzzles using genetic algorithms," *Genetic Programming and Evolvable Machines*, vol. 17, no. 3, pp. 291–313, 2016.
- [20] W. Lyu, Z. Zhou, L. Chen, and Y. Zhou, "A survey on image and video stitching," *Virtual Reality Intelligent Hardware*, vol. 1, no. 1, pp. 55–83, Feb. 2019, doi: 10.3724/SP.J.2096-5796.2018.0008.
- [21] R. Xie, M. Xia, J. Yao, and L. Li, "Guided color consistency optimization for image mosaicking," *ISPRS Journal of Photogrammetry Remote Sensing*, vol. 135, pp. 43–59, 2018.
- [22] M. Xia, J. Yao, R. Xie, M. Zhang, and J. Xiao, "Color consistency correction based on remapping optimization for image stitching," in *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision Workshops*, 2017, pp. 2977–2984.
- [23] P. Ganesan, B. S. Sathish, K. Vasanth, V. G. Sivakumar, M. Vadivel, and C. N. Ravi, "A comprehensive review of the impact of color space on image segmentation," in *2019 5th International Conference on Advanced Computing & Communication Systems (ICACCS)*, 2019, pp. 962–967.
- [24] A. Sahay and A. Gautam, "Comparison between SIFT and SURF image forgery Algorithms," *International Journal of Computer Applications*, vol. 164, no. 2, pp. 9–11, 2017.
- [25] D. Mondal, Y. Wang, and S. Durocher, "Robust solvers for square jigsaw puzzles," in *2013 International Conference on Computer and Robot Vision*, 2013, pp. 249–256.
- [26] H. Niu, Q. Lu, and C. Wang, "Color correction based on histogram matching and polynomial regression for image stitching," in *2018 IEEE 3rd International Conference on Image, Vision and Computing (ICIVC)*, 2018, pp. 257–261.
- [27] A. Hore and D. Ziou, "Image quality metrics: PSNR vs. SSIM," in *2010 20th international conference on pattern recognition*, 2010, pp. 2366–2369.
- [28] S. Dhivya, J. Sangeetha, and B. Sudhakar, "Copy-move forgery detection using SURF feature extraction and SVM supervised learning technique," *Soft Computing*, vol. 24, no. 19, pp. 14429–14440, 2020.
- [29] A. V Malviya and S. A. Ladhake, "Pixel based image forensic technique for copy-move forgery detection using auto color correlogram," *Procedia Computer Science*, vol. 79, pp. 383–390, 2016.
- [30] J. Zheng and K. Zhang, "Copy-Move Forgery Detection Algorithm based on Feature Point Clustering," *IEEE 6th Inf. Technol. Mechatronics Eng. Conf. ITOEC 2022*, pp. 775–780, 2022, doi: 10.1109/ITOEC53115.2022.9734556.
- [31] A. R. Abraham, M. S. M. Rahim, and G. Bin Sulong, "Splicing image forgery identification based on artificial neural network approach and texture features," *Cluster Computing*, vol. 22, no. 1, pp. 647–660, 2019.
- [32] Z. Fang, S. Wang, and X. Zhang, "Image splicing detection using color edge inconsistency," in

2010 *International Conference on Multimedia Information Networking and Security*, 2010, pp. 923–926.

- [33] M. Habibi and Hjj. Hassanpour, “Splicing image forgery detection and localization based on color edge inconsistency using statistical dispersion measures,” *International Journal of Engineering*, vol. 34, no. 2, pp. 443–451, 2021.
- [34] S. Zhe and S. Peng, “Authentication of splicing manipulation by exposing inconsistency in color shift,” *Multimedia Tools and Applications*, vol. 79, no. 11, pp. 8235–8248, 2020.
- [35] J. Stanton, K. Hirakawa, and S. McCloskey, “Detecting Image Forgery Based On Color Phenomenology,” in *CVPR Workshops*, 2019, pp. 138–145.
- [36] A. Pourkashani, A. Shahbahrami, and A. Akoushideh, “Copy-move forgery detection using convolutional neural network and K-mean clustering,” *International Journal Electrical and Computer Engineering*, vol. 11, no. 3, pp. 2604–2612, 2021, doi: 10.11591/ijece.v11i3.pp2604-2612.
- [37] S. Nikalje and M. V. Mane, “Copy-Move and Image Splicing Forgery Detection based on Convolution Neural Network,” in *2022 Third International Conference on Intelligent Computing Instrumentation and Control Technologies (ICICT)*, 2022, pp. 391–395.
- [38] G. V. Sai Prasanna, K. Pavani, and M. K. Singh, “Spliced images detection by using Viola-Jones algorithms method,” *Materials Today: Proceedings*, vol. 51, pp. 924–927, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.MATPR.2021.06.300.
- [39] Y. Wei, J. Ma, Z. Wang, B. Xiao, and W. Zheng, “Image splicing forgery detection by combining synthetic adversarial networks and hybrid dense U-net based on multiple spaces,” *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 37, no. 11, pp. 8291–8308, Nov. 2022, doi: 10.1002/INT.22939.
- [40] P. He, H. Li, and H. Wang, “Detection of Fake Images Via the Ensemble of Deep Representations from Multi Color Spaces,” *Proc. - International Conf. Image Process. ICIP*, vol. 2019-September, pp. 2299–2303, Sep. 2019, doi: 10.1109/ICIP.2019.8803740.
- [41] G. Ulutaş, “G-SURF ve AKAZE tabanlı yeni bir kopyala-yapıştır sahteciliği tespit yöntemi,” *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 2017.
- [42] V. Tuba, R. Jovanovic, and M. Tuba, “Digital image forgery detection based on shadow HSV inconsistency.” In *2017 5th International Symposium on Digital Forensic and Security (ISDFS)*, 2017. doi: 10.1109/isdfs.2017.7916505.
- [43] Y. Zhou, C. Barnes, E. Shechtman, and S. Amirghodsi, “TransFill: Reference-guided Image Inpainting by Merging Multiple Color and Spatial Transformations.” In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2021.
- [44] P. Zhou, N. Yu, Z. Wu, L. S. Davis, A. Shrivastava, and S.-N. Lim, “Deep video inpainting detection,” *arXiv Prepr. arXiv2101.11080*, 2021.
- [45] M. Akbari, M. Mohrekesh, K. Najariani, N. Karimi, S. Samavi, and S. M. R. Soroushmehr, “Adaptive specular reflection detection and inpainting in colonoscopy video frames,” in *2018 25th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, 2018, pp. 3134–3138.
- [46] V. K. Alilou and F. Yaghmaee, “Application of GRNN neural network in non-texture image inpainting and restoration,” *Pattern Recognition Lett.*, vol. 62, pp. 24–31, 2015.

- [47] I.-M. Ciortan, S. George, and J. Y. Hardeberg, "Colour-Balanced Edge-Guided Digital Inpainting: Applications on Artworks," *Sensors*, vol. 21, no. 6, p. 2091, 2021.
- [48] C. Li, H. Chen, X. Han, X. Pan, and D. Niu, "An improved Criminisi method for image inpainting," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2022, vol. 2253, no. 1, p. 12023.
- [49] D. Abin and S. D. Thepade, "Improved Exemplar based Image Inpainting for Partial Instance Occlusion Handling with K-means Clustering and YCbCr Color Space," *IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications.*, vol. 12, no. 5, p. 2021, Accessed: Oct. 23, 2022. [Online]. Available: www.ijacsa.thesai.org
- [50] F. Yaghmaee and K. Peyvandi, "Improving image inpainting quality by a new SVD-based decomposition," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 79, no. 19–20, pp. 13795–13809, May 2020, doi: 10.1007/S11042-020-08650-X/FIGURES/9.
- [51] D. Cao, L. Chen, and Y. Liu, "Solving jigsaw puzzle with symbol matrixes," in *2016 IEEE/ACIS 15th International Conference on Computer and Information Science (ICIS)*, 2016, pp. 1–6.
- [52] G. Paikin and A. Tal, "Solving multiple square jigsaw puzzles with missing pieces," in *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 2015, pp. 4832–4839.
- [53] H.-C. Shih, J.-L. Lu, and C.-H. Ma, "Square Puzzle Solving Using Border Compatibility Matching," in *2019 16th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS)*, 2019, pp. 1–5.
- [54] N. Guerroui and H. Seridi, "Solving computational square jigsaw puzzles with a novel pairwise compatibility measure," *Journal King Saud University- Computer and Information Science*, vol. 32, no. 8, pp. 928–939, 2020.
- [55] D. Kim, D. Cho, D. Yoo, and I. S. Kweon, "Learning image representations by completing damaged jigsaw puzzles," in *2018 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV)*, 2018, pp. 793–802.
- [56] M. Khoroshiltseva, A. Traviglia, M. Pelillo, and S. Vascon, "Relaxation Labeling Meets GANs: Solving Jigsaw Puzzles with Missing Borders," *Lect. Notes Computer Science (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 13233 LNCS, pp. 27–38, 2022, doi: 10.1007/978-3-031-06433-3_3/COVER.
- [57] Q.-C. Tian and L. D. Cohen, "Histogram-based color transfer for image stitching," *Journal of Imaging*, vol. 3, no. 3, p. 38, 2017.
- [58] C. Wang, Z. Gao, and Q. Lu, "Parallax-Based Color Correction in Image Stitching," in *2020 IEEE 5th International Conference on Image, Vision and Computing (ICIVC)*, 2020, pp. 69–74.
- [59] T. H. Lee *et al.*, "Laplacian of Gaussian Based on Color Constancy Algorithm for Surrounding Image Stitching Application," *Proc. - 2022 IEEE International Conference Consum. Electron. - Taiwan, ICCE-Taiwan 2022*, pp. 287–288, 2022, doi: 10.1109/ICCE-TAIWAN55306.2022.9869055.
- [60] W. Yao and Z. Li, "Instant Color Matching for Mobile Panorama Imaging," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 1, no. 22, pp. 6–10, 2015, doi: 10.1109/LSP.2014.2345773.
- [61] Y. Yuan, F. Fang, and G. Zhang, "Superpixel-based seamless image stitching for UAV images,"

IEEE Transactions Geoscience Remote Sensing, vol. 59, no. 2, pp. 1565–1576, 2020.

- [62] Q. Lu, Z. Gao, and C. Wang, “Rational function model based color correction in image stitching applications,” *ACM International Conference Proceeding Ser.*, pp. 200–205, May 2019, doi: 10.1145/3330393.3330398.