

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**GÖRÜNTÜLERDE KOPYALAMAYA DAYALI SAHTECİLİKLERİN
ART İŞLEMLERE DAYANIKLI OLARAK TESPİTİ**

DOKTORA TEZİ

Bilgisayar Yük. Müh. Emre GÜRBÜZ

**TEMMUZ 2020
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**GÖRÜNTÜLERDE KOPYALAMAYA DAYALI SAHTECİLİKLERİN
ART İŞLEMLERE DAYANIKLI OLARAK TESPİTİ**

Bilgisayar Yük. Müh. Emre GÜRBÜZ

ORCID : 0000 -0002 -1959 - 9856

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"DOKTOR (BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ)"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29 / 05 / 2020

Tezin Savunma Tarihi : 28 / 07 / 2020

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mustafa ULUTAŞ

ORCID : 0000 -0001 - 8876 - 9591

Trabzon 2020

ÖNSÖZ

Sayısal görüntüler günlük yaşamda gerçeklerin birer somut göstergesi olarak kabul edildiklerinden; yargı sisteminde kanıt olarak değerlendirilebilmekte, geniş halk kitlelerini ikna etmede ve yönlendirmede kullanılabilirler. Bu nedenlerle, sayısal görüntülerin orijinalliklerinin doğrulanması da önemi giderek artan bir çalışma konusu hâline gelmiştir. Sayısal görüntüler üzerinde gerçekleştirilen en yaygın sahtecilik türleri arasında, görüntü üzerindeki belirli bir bölgenin kopyalandıktan sonra doğrudan ya da döndürme, ölçekleme gibi işlemlere tabi tutularak aynı görüntü üzerinde farklı bir alana yapıştırılmasını içeren kopyalamaya dayalı sahtecilikler yer almaktadır. Bu sahtecilikleri gerçekleştiren kimseler, çoğu zaman, gerçekleştirdikleri sahtecilik işlemlerinin tespit edilmesini zorlaştırmak amacıyla, elde ettikleri sahte görüntülere birtakım art işlemler uygulamaktadırlar. Bu doktora tezi kapsamında, kopyalamaya dayalı görüntü sahteciliklerinin bahsedilen art işlemlere karşı dayanıklı biçimde tespit edilmesi amacıyla, literatürde yer alan ve aynı amaç için geliştirilmiş olan yöntemlerin zayıf noktaları da göz önünde bulundurularak yeni ve özgün sahtecilik tespit yöntemleri geliştirilmiştir. Ayrıca, tez kapsamında, kopyalama-yer değiştirme sahtecilikleri üzerinde kaynak bölge-hedef bölge ayrımı yapılabilmesini mümkün hâle getiren yeni ve özgün bir yöntem geliştirilmiştir.

Bu doktora tezinin hazırlanmasında bana yol göstererek bilgisini ve desteğini benden esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Mustafa ULUTAŞ hocama, önerileriyle teze çok değerli katkılarda bulunan tez izleme komitesi üyeleri Prof. Dr. Vasıf NABIYEV hocama ve Prof. Dr. Ali GANGAL hocama, beni tez sürecinde üzerinde çalıştığım konularla tanıştıran ve bu konularda çok defa bilgisine başvurduğum Doç. Dr. Güzin ULUTAŞ hocama, manevi desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

Bu doktora tezini, isimlerinin yazılış sırasının herhangi bir öneminin olmadığını belirterek; annem Sebiha GÜRBÜZ'e, babam Enis Behiç GÜRBÜZ'e ve biricik kardeşim Alper GÜRBÜZ'e ithaf ediyorum.

Emre GÜRBÜZ

Trabzon 2020

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum "Görüntülerde Kopyalamaya Dayalı Sahteciliklerin Art İşlemlere Dayanıklı Olarak Tespiti" başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Mustafa ULUTAŞ'ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 28/07/2020

Emre GÜRBÜZ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Sayısal Görüntüler Hakkında Temel Bilgiler.....	2
1.3. Sayısal Görüntüler Üzerinde Gerçekleştirilen Sahtecilik Yöntemleri.....	11
1.3.1. Görüntü Birleştirme Sahteciliği.....	11
1.3.2. KYDS.....	11
1.4. Sayısal Görüntüler Üzerinde Gerçekleştirilen Sahteciliklerin Tespitinde Kullanılan Yöntemler.....	12
1.4.1. Aktif Yöntemler.....	12
1.4.2. Pasif Yöntemler.....	13
1.4.2.1. Pasif Yöntemler ile Kaynak Kimliklendirme.....	14
1.4.2.2. Pasif Yöntemler ile Sahtecilik Tespiti.....	14
1.4.2.2.1. Blok Üretimine Dayanan Yöntemler.....	15
1.4.2.2.2. Anahtar Nokta Temelli Yöntemler.....	15
1.5. Tez Kapsamında Geliştirilen Yöntemlerin Sınıflandırılması.....	16
1.6. Sahtecilik Tespitini Zorlaştıran Etkenler.....	17
1.6.1. Görüntü Sıkıştırma Yöntemleri.....	17
1.6.1.1. Kayıpsız Görüntü Sıkıştırma Yöntemleri.....	18
1.6.1.2. Kayıplı Görüntü Sıkıştırma Yöntemleri.....	18
1.6.1.2.1. JPEG Görüntü Sıkıştırma Yöntemi.....	19
1.6.2. Görüntü Bulanıklaştırma İşlemi.....	20
1.7. Literatürde Yer Alan Sahtecilik Tespit Yöntemlerinde Görülen Eksiklikler.....	24

2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	26
2.1.	Sayısal Görüntüler Üzerinde Serbest Biçimli KYDS Tespiti.....	26
2.1.1.	Yoğunluk Tutarlılık Vektörü.....	34
2.1.2.	Özellik Çıkarımı, Benzer Bölgelerin Eşleştirilmesi ve Benzer Bölgelerin Belirlenmesi.....	35
2.2.	Sayısal Görüntüler Üzerinde Serbest Biçimli KÖYDS Tespiti.....	43
2.3.	Sayısal Görüntüler Üzerinde Serbest Biçimli KDYDS Tespiti.....	48
2.3.1.	Aradeğerleme Kavramı.....	55
2.3.2.	Özellik Çıkarımı ve Benzer Bölgelerin Eşleştirilmesi	59
2.3.3.	Eşleştirilen Bölgelerden Hareketle Olası Döndürme Açılarının Tespit Edilmesi.....	65
2.3.4.	Tespit Edilen Olası Döndürme Açılarında Hareketle Benzer Bölgelerin Belirlenmesi.....	69
2.4.	KYDS'ler Üzerinde Kaynak-Hedef Ayırımı Yapılması	74
2.4.1.	DVM (Destek Vektör Makinesi)	76
2.4.2.	Veri Kümesinin Hazırlanması	79
2.4.3.	Özellik Çıkarma İşlemi.....	80
3.	BULGULAR VE İRDELEME.....	90
3.1.	Sayısal Görüntüler Üzerinde Serbest Biçimli KYDS Tespitine Dair Bulgular... 91	
3.2.	Sayısal Görüntüler Üzerinde Serbest Biçimli KÖYDS Tespitine Dair Bulgular	108
3.3.	Sayısal Görüntüler Üzerinde Serbest Biçimli KDYDS Tespitine Dair Bulgular	111
3.4.	KYDS'ler Üzerinde Kaynak-Hedef Ayırımı Yapılmasına Dair Bulgular	118
3.5.	Görüntü Gezdirmeye Yaklaşımının Sahtecilik Tespiti Başarısına Etkisi	119
3.6.	Geliştirilen KYDS ve KDYDS Tespit Yöntemlerinin Girdi Boyutu ve İşlem Süresi Yönünden Değerlendirilmesi.....	123
4.	SONUÇLAR.....	127
5.	ÖNERİLER	130
6.	KAYNAKLAR.....	131

ÖZGEÇMİŞ

Doktora Tezi

ÖZET

GÖRÜNTÜLERDE KOPYALAMAYA DAYALI SAHTECİLİKLERİN
ART İŞLEMLERE DAYANIKLI OLARAK TESPİTİ

Emre GÜRBÜZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Mustafa ULUTAŞ
2020, 139 Sayfa

Günlük hayattaki önemi giderek artan sayısal görüntüler insanlar üzerinde ikna edici etkiye sahiptirler, hatta mahkemelerde kanıt olarak kullanılmaktadırlar. Sayısal görüntüler üzerinde sahtecilik yapılmasına olanak sağlayan yazılımların yaygınlaşması, sayısal görüntü sahteciliklerinin de yaygınlaşmasına yol açmıştır. Bunların sonucunda, sayısal görüntülerin orijinalliklerinin doğrulanması gibi bir zorunluluk ortaya çıkmıştır. Literatürde, sayısal görüntüler üzerinde gerçekleştirilen kopyalamaya dayalı görüntü sahteciliklerinin tespitini konu alan pek çok sahtecilik tespit yöntemi bulunmaktadır. Ancak bu yöntemlerin en temel eksiklikleri; sahtecilik tespitini zorlaştıran faktörlerden kolayca etkilenmeleri, sahtecilik tespitinde kaynak bölge-hedef bölge ayrımı yapamamaları ve genel olarak insan gözüyle dahi anlaşılabilir nitelikteki amatör sahteciliklere karşı test edilmeleridir. Bu tez kapsamında; görüntü üzerindeki sahteciliğin tamamına odaklanabilen, sahtecilik tespitini zorlaştıran art işlemlerden mümkün olduğunca az etkilenen, sahtecilik tespitinde kaynak bölge-hedef bölge ayrımı yapabilen, insan görme sistemiyle anlaşılması mümkün olmayan profesyonel sahteciliklerin tespitini konu alan ve yüksek başarı oranlarına sahip sahtecilik tespit yöntemleri geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Görüntülerde kopyalamaya dayalı sahteciliklerinin tespiti,
Görüntülerde kopyalamaya dayalı sahteciliklerin tespitinde
kaynak-hedef ayrımı

PhD. Thesis

SUMMARY

DETECTION OF COPY-MOVE IMAGE FORGERIES
IN A ROBUST WAY AGAINST POST-PROCESSES

Emre GÜRBÜZ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Computer Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Mustafa ULUTAŞ
2020, 139 Pages

Digital images, importance of which is increasing gradually in daily life, have a convincing effect on people and are even used as evidence in courts. The widespread use of software that enables tampering digital images has led to the spread of digital image forgeries. As results of these, an obligation has arisen to verify the authenticity of digital images. In the literature, there are many forgery detection techniques about detection of the copy-move image forgeries, performed on digital images. However, the main deficiencies of these methods are; they are easily affected by the factors that make the forgery detection difficult, they cannot make discrimination between the source region and the destination region in forgery detection and they are usually tested against amateur forgeries that are understandable even with the human eye. Within the scope of this thesis; forgery detection methods which can focus on the whole of the forgery on the image, which are affected as little as possible by the post-processes that make it difficult to detect forgery, which can make discrimination between the source region and the destination region in the detection of forgery, which are about the detection of professional forgeries that cannot be understood by the human vision system, and which have high success rates have been developed.

Key Words: Detection of copy-move image forgeries, Source-destination discrimination in the detection of copy-move image forgeries

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Renkli bir sayısal görüntü.....	2
Şekil 2. Gri ölçekli bir sayısal görüntü.....	3
Şekil 3. İkili bir sayısal görüntü	6
Şekil 4. Şekil 1'de verilen renkli görüntüye ait renk kanalları	6
Şekil 5. Işık renklerinin karışımları	7
Şekil 6. Görüntü bulanıklaştırma işleminin temsilî gösterimi.....	23
Şekil 7. KYDS işleminde seçilen bölgenin şeklinin önemi.....	30
Şekil 8. Serbest biçimli KYDS tespiti işlemlerine dair bazı örnek deney görüntüleri	32
Şekil 9. Serbest biçimli çoklu KYDS tespiti işlemlerine dair bazı örnek deney görüntüleri	33
Şekil 10. Görüntü gezdirme işleminin temsilî gösterimi.....	40
Şekil 11. KYDS tespitinde benzer bölgelerin eşleştirilmesine kadarki işlemlere ait akış diyagramı	41
Şekil 12. KYDS tespitinde benzer bölgelerin eşleştirilmesinden sonraki işlemlere ait akış diyagramı	42
Şekil 13. Çoklu olmayan KYDS tespiti işlemine ait akış diyagramı.....	42
Şekil 14. Serbest biçimli KÖYDS tespiti işlemlerine dair bazı örnek deney görüntüleri ...	47
Şekil 15. KDYDS işleminde seçilen bölgenin şeklinin önemi.....	52
Şekil 16. Serbest biçimli KDYDS tespiti işlemlerine dair bazı örnek deney görüntüleri ...	53
Şekil 17. Aradeğerleme işleminin temsilî gösterimi	58
Şekil 18. KDYDS tespitinde benzer bölgelerin eşleştirilmesine kadarki işlemlere ait akış diyagramı	65
Şekil 19. KDYDS tespitinde benzer bölgelerin eşleştirilmesinin sonrasında olası döndürme açılarının belirlenmesine kadarki işlemlere ait akış diyagramı	69
Şekil 20. Tespit edilen döndürme açısından hareketle benzer bölgelerin saptanması amacıyla üst üste koyulan görüntülerle yapılan gezdirme işleminin temsilî gösterimi	71
Şekil 21. KDYDS tespitinde olası döndürme açılarının belirlenmesinden sonraki işlemlere ait akış diyagramı.....	73
Şekil 22. Belirli bir açı değeri ile KDYDS bölgesi tespiti işlemine ait akış diyagramı	74
Şekil 23. DVM'nin en uygun ayırıcıyı hesaplamasının temsilî gösterimi	78
Şekil 24. KYDS'ler üzerinde kaynak-hedef ayırımı işlemlerinde kullanılan bazı örnek deney görüntüleri.....	79

Şekil 25. Özellik vektörü elde edilmesine dair örnekler içeren temsili renklendirilmiş maske görüntüleri	81
Şekil 26. Art işlem içermeyen ve art işlem olarak yalnızca JPEG sıkıştırması içeren serbest biçimli KYDS tespiti deneylerine ait doğru pozitif oranları ve [64] ile karşılaştırma	93
Şekil 27. Art işlem içermeyen ve art işlem olarak yalnızca JPEG sıkıştırması içeren serbest biçimli KYDS tespiti deneylerine ait pozitif öngörü değerleri	94
Şekil 28. Art işlem içermeyen ve art işlem olarak yalnızca JPEG sıkıştırması içeren serbest biçimli KYDS tespiti deneylerine ait hatasızlık değerleri	94
Şekil 29. Art işlem içermeyen ve art işlem olarak yalnızca JPEG sıkıştırması içeren serbest biçimli KYDS tespiti deneylerine ait yanlış keşif oranları ve [64] ile karşılaştırma	95
Şekil 30. Art işlem içermeyen ve art işlem olarak yalnızca JPEG sıkıştırması içeren serbest biçimli KYDS tespiti deneylerine ait yanlış pozitif oranları	95
Şekil 31. Art işlem olarak yalnızca görüntü bulanıklaştırma içeren ve art işlem olarak görüntü bulanıklaştırmayı takiben JPEG sıkıştırması içeren serbest biçimli KYDS tespiti deneylerine ait doğru pozitif oranları	96
Şekil 32. Art işlem olarak yalnızca görüntü bulanıklaştırma içeren ve art işlem olarak görüntü bulanıklaştırmayı takiben JPEG sıkıştırması içeren serbest biçimli KYDS tespiti deneylerine ait pozitif öngörü değerleri.....	96
Şekil 33. Art işlem olarak yalnızca görüntü bulanıklaştırma içeren ve art işlem olarak görüntü bulanıklaştırmayı takiben JPEG sıkıştırması içeren serbest biçimli KYDS tespiti deneylerine ait hatasızlık değerleri ve [75] ile karşılaştırma	97
Şekil 34. Art işlem olarak yalnızca görüntü bulanıklaştırma içeren ve art işlem olarak görüntü bulanıklaştırmayı takiben JPEG sıkıştırması içeren serbest biçimli KYDS tespiti deneylerine ait yanlış keşif oranları.....	97
Şekil 35. Art işlem olarak yalnızca görüntü bulanıklaştırma içeren ve art işlem olarak görüntü bulanıklaştırmayı takiben JPEG sıkıştırması içeren serbest biçimli KYDS tespiti deneylerine ait yanlış pozitif oranları ve [75] ile karşılaştırma	98
Şekil 36. Art işlem olarak JPEG sıkıştırmasını takiben görüntü bulanıklaştırma içeren serbest biçimli KYDS tespiti deneylerine ait doğru pozitif oranları	98
Şekil 37. Art işlem olarak JPEG sıkıştırmasını takiben görüntü bulanıklaştırma içeren serbest biçimli KYDS tespiti deneylerine ait pozitif öngörü değerleri	99
Şekil 38. Art işlem olarak JPEG sıkıştırmasını takiben görüntü bulanıklaştırma içeren serbest biçimli KYDS tespiti deneylerine ait hatasızlık değerleri	99
Şekil 39. Art işlem olarak JPEG sıkıştırmasını takiben görüntü bulanıklaştırma içeren serbest biçimli KYDS tespiti deneylerine ait yanlış keşif oranları.....	100

Şekil 40. Art işlem olarak JPEG sıkıştırmasını takiben görüntü bulanıklaştırma içeren serbest biçimli KYDS tespiti deneylerine ait yanlış pozitif oranları	100
Şekil 41. Şekil 36'daki çizgede yer alan ve belirgin başarı değişimi görülen verinin, dikey eksen aralığının %0 ile %100 arasında belirlendiği çizgede görünümü...	105
Şekil 42. ÖNİOG veri kümesinde bulunan görüntülerden üç farklı örnek.....	107
Şekil 43. Görüntü gezdirme yaklaşımının sahtecilik tespiti başarısına etkisi konusunda yapılan deneylere ait hatasızlık değerleri	122
Şekil 44. Geliştirilen KYDS tespit yönteminin STYİSD veri kümesinde yer alan farklı boyutlardaki KYDS görüntüleri için ortalama çalışma süreleri	124
Şekil 45. Geliştirilen KDYDS tespit yönteminin STYİSD veri kümesinde yer alan farklı boyutlardaki KDYDS görüntüleri için ortalama çalışma süreleri.....	125

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. İncelenen KYDS tespit yöntemlerinin sahip oldukları dezavantajlar veya eksiklikler.....	29
Tablo 2. İncelenen KDYDS tespit yöntemlerinin sahip oldukları dezavantajlar veya eksiklikler.....	51
Tablo 3. Art işlem içermeyen, art işlem olarak $q=90$ kalite faktörüne sahip JPEG sıkıştırması içeren ve art işlem olarak görüntü bulanıklaştırma içeren serbest biçimli çoklu KYDS tespiti deneylerine ait başarı oranları.....	105
Tablo 4. Art işlem içermeyen serbest biçimli KÖYDS tespiti deneylerine ait başarı oranları.....	109
Tablo 5. Art işlem olarak $q=90$ kalite faktörüne sahip JPEG sıkıştırması içeren serbest biçimli KÖYDS tespiti deneylerine ait başarı oranları.....	109
Tablo 6. Art işlem olarak görüntü bulanıklaştırma içeren serbest biçimli KÖYDS tespiti deneylerine ait başarı oranları.....	110
Tablo 7. Art işlem içermeyen serbest biçimli KDYDS tespiti deneylerine ait başarı oranları.....	112
Tablo 8. Art işlem olarak $q=90$ kalite faktörüne sahip JPEG sıkıştırması içeren serbest biçimli KDYDS tespiti deneylerine ait başarı oranları.....	113
Tablo 9. Art işlem olarak görüntü bulanıklaştırma içeren serbest biçimli KDYDS tespiti deneylerine ait başarı oranları.....	113
Tablo 10. Geliştirilen KDYDS tespit yönteminin dayanıklılık bakımından diğer yöntemlerle karşılaştırılması.....	114
Tablo 11. KYDS'ler üzerinde kaynak-hedef ayırımı deneylerine ait başarı oranları	119

SEMBOLLER DİZİNİ

ADD	: Ayrık Dalgacık Dönüşümü
ADDD	: Ayrık Durağan Dalgacık Dönüşümü
AKD	: Ayrık Kosinüs Dönüşümü
DHAHDD	: Değiştirilmiş Hızlı Ayrık Haar Dalgacık Dönüşümü
DİD	: Döngüsel İzdüşüm Dönüşümü
DVM	: Destek Vektör Makinesi
FMD	: Fourier-Mellin Dönüşümü
HİDD	: Halkasal İz Düşümü Dönüşümü
HSÖ	: Hızlandırılmış Sağlam Özellikler
KDYDS	: Kopyalama-Döndürme-Yer Değiştirme Sahteciliği
KÖYDS	: Kopyalama-Ölçekleme-Yer Değiştirme Sahteciliği
KYDS	: Kopyalama-Yer Değiştirme Sahteciliği
ÖBÖD	: Ölçekten Bağımsız Özellik Dönüşümü
RTV	: Renk Tutarlılık Vektörü
TAKD	: Ters Ayrık Kosinüs Dönüşümü
TBA	: Temel Bileşen Analizi
TBA-ÖA	: Temel Bileşen Analizi-Özdeğer Ayrışımı
TDA	: Tekil Değer Ayrışımı
YİÖ	: Yerel İkili Örüntü
YTV	: Yoğunluk Tutarlılık Vektörü

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Sayısal görüntüler, içinde bulunduğumuz teknoloji çağında, günlük hayatımızın vazgeçilmez bir parçası hâline gelmiştir. Kullanım alanı son derece geniş olan sayısal görüntülerin; insanlar üzerinde, onların hayatlarını doğrudan etkileyebilecek ya da düşüncelerini ciddi ölçüde değiştirebilecek kadar güçlü bir etkiye sahip oldukları tartışmasızdır. Mahkemelerde kanıt olarak kullanılmak suretiyle suçların aydınlatılmasına, suçluların cezalandırılmasına ve zan altında bulunan masum insanların ceza almaktan kurtulmasına aracı olan sayısal görüntülerin, sosyal medyada ve basın-yayın araçlarında geniş halk kitlelerinin algılarını yönlendirmek amacıyla kullanılmasına da sıklıkla rastlanmaktadır.

Görüntü düzenleme yazılımlarının yaygınlaşmasıyla, sayısal görüntüler üzerinde meydana gelen ve görüntülerin orijinalliklerini bozan değişikliklerde büyük bir artış meydana gelmiştir. Elbette, bu değişikliklerin tamamının art niyetli olduğunu söylemek doğru olmaz. Örneğin, bir sayısal fotoğraf makinesi ile elde edilen bir aile fotoğrafının çerçevesi vitrine koyulmak amacıyla fotoğraf baskı makinesine verilmesinden önce, fotoğraftaki öğelerin gözle daha rahat seçilebilmesi amacıyla, fotoğrafın saklandığı sayısal görüntü dosyasının parlaklık ve kontrast iyileştirmesine tabi tutulması, herhangi bir art niyet içermeyen bir değişiklik olacaktır. Bahse konu olan değişikliğin, görüntünün taşıdığı anlamda herhangi bir farklılığa yol açmadığı ortadadır. Oysa art niyetli değişiklikler, doğrudan, görüntünün taşıdığı anlamı değiştirmeyi hedeflemektedirler. Bu tür değişikliklere "görüntü sahteciliği" adı verilmektedir. Sayısal görüntülerin insan hayatına olan etkilerinin büyüklüğü nedeniyle, sayısal görüntülerin orijinalliklerinin doğrulanması büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla geliştirilen yöntemler, "görüntü sahteciliği tespit yöntemleri" olarak adlandırılırlar. Bu tezde, sayısal görüntüler üzerinde gerçekleştirilen kopyalamaya dayalı sahtecilikler ile bu sahteciliklerin tespit edilmesi ele alınmıştır.

1.2. Sayısal Görüntüler Hakkında Temel Bilgiler

Sayısal görüntüler; görüntülerin sayılarla ifade edilmesi yoluyla elde edilen, sayısal ortamlarda saklanabilen ve sayısal ortamlar arasında iletilebilen veri türleridir. Sayısal görüntüler renkli, gri ölçekli ya da ikili (siyah-beyaz) hâlde olabilirler.



Şekil 1. Renkli bir sayısal görüntü

Sayısal görüntülerin yapı taşlarına "piksel" adı verilmektedir. Bir sayısal görüntünün görüntü boyutu; yatay ve dikey eksenlerdeki piksel sayılarıdır. Şekil 1'de tarafımızca sayısal bir fotoğraf makinesi kullanılarak elde edilmiş olan renkli bir sayısal görüntü temsil edilmekte olup bu görüntü, orijinalde 4096×3072 piksel boyutundadır. Bu görüntü işbu dokümana taşınırken, dokümanın hazırlanmasında kullanılan sözcük işlemci program tarafından bu görüntünün daha düşük boyutlu bir kopyası oluşturulduğu için, Şekil 1'de yer alan görüntü, orijinali ile farklılık gösterecektir. Bu durum, tezde yer alan ve sayısal görüntülerin temsil edildiği diğer tüm şekiller için de geçerlidir. Bu bölümde, ilgili görüntünün orijinalinden hareketle anlatım yapılacaktır. Şekil 1'de verilen sayısal görüntünün orijinali; yatay ekseninde 4096 adet, dikey ekseninde ise 3072 adet piksele sahiptir. Bu görüntünün sahip olduğu toplam piksel sayısı ise, $4096 \times 3072 = 12582912$ adet olacaktır.

Bir sayısal görüntünün bit derinliği ise, bu görüntünün tek bir pikselini temsil etmek için kullanılan bit sayısıdır. Bu değer, günümüzde yaygın olarak kullanılan renkli görüntülerde 24 bittir. Şekil 1'de temsil edilen sayısal görüntü, 24 bitlik bit derinliğine sahiptir.



Şekil 2. Gri ölçekli bir sayısal görüntü

Gri ölçekli görüntülerde her bir piksel 8 bit ile ifade edilmektedir. Bu da, gri ölçekli bir görüntüde herhangi bir pikselin sahip olabileceği değerlerin $[0, 255]$ kapalı aralığında bir tamsayı olduğu anlamına gelmektedir. Gri ölçekli görüntülerde 0 değerine sahip olan pikseller siyah renkte görüntülenirken, 255 değerine sahip olan pikseller ise beyaz renkte görüntüleneceklerdir. Bu iki değer dışındaki değerlere sahip olan pikseller ise, değer büyüdükçe renkleri siyahtan beyaza doğru yaklaşmak kaydıyla, grinin 254 tonundan biri ile görüntüleneceklerdir. Şekil 1'de temsil edilen renkli sayısal görüntü gri ölçekli hâle dönüştürülerek Şekil 2'de temsil edilen görüntü elde edilmiştir. Belirtilen dönüşüm işlemi, MATLAB R2017b'de standart olarak yer alan *rgb2gray* fonksiyonu kullanılarak yapılmış olup, bu fonksiyon, dönüşüm işlemi ifade (1)'de yer alan denkleme göre gerçekleştirmektedir.

Renkli görüntülerde görüntünün hangi pikselinin hangi renkte olacağını belirlemek amacıyla, pikselleri oluşturan bitlerin nasıl düzenleneceğini ifade eden modellere "renk

uzayı" adı verilmektedir. Çeşitli renk uzayları bulunmakla birlikte, son yıllarda en yaygın biçimde kullanılan renk uzayı, KYM renk uzayıdır [1]. Şekil 1'de temsil edilen renkli sayısal görüntü de KYM renk uzayında yer almaktadır. KYM renk uzayındaki sayısal görüntüler; kırmızı, yeşil ve mavi renk kanallarından (bileşenlerinden) oluşurlar.

$$YD = 0.299K + 0.587Y + 0.114M \quad (1)$$

İfade (1)'de yer alan K , Y ve M parametreleri renkli görüntüde bulunan ve gri ölçekli hâle dönüştürülecek olan bir pikselin sırasıyla kırmızı, yeşil ve mavi renk kanallarındaki parlaklık değerlerini temsil ederken; YD parametresi ise, bu piksel gri ölçekli hâle dönüştürüldüğünde sahip olacağı yoğunluk değerini temsil etmektedir. Bahse konu olan dört parametre de, $[0, 255]$ kapalı aralığında birer tamsayı değerine sahiptir. İfade (1)'deki işlem renkli bir görüntünün tüm piksellerine uygulandığında, renkli görüntüden gri ölçekli bir görüntü elde edilmiş olacaktır.

Renk uzayları arasında dönüşüm yapmak, yani bir renk uzayındaki görüntüyü başka bir renk uzayına taşımak mümkündür. İfade (1)'de yer alan denklem ile yapılan işlem, aslında, KYM renk uzayında yer alan bir görüntüyü, KYM'den farklı renk uzayları olan YUV renk uzayına ya da YCbCr renk uzayına taşıdıktan sonra, görüntüyü bu renk uzaylarındaki üçer farklı bileşenden sadece yoğunluk bileşenini kullanarak temsil etmek anlamına gelmektedir. KYM renk uzayından YUV renk uzayına dönüşüm yapılması sırasında, YUV renk uzayının yoğunluk bileşeni ifade (1)'deki gibi hesaplanmaktadır. Bu bileşen normalde Y ile temsil edilir ancak bu tezde, KYM renk uzayındaki yeşil renk kanalına ait parlaklık değerini temsil etmede kullanılan Y parametresi ile karıştırılmaması için YD ile temsil edilecektir. YUV renk uzayının "renklilik bileşenleri" olarak adlandırılan diğer iki bileşeni (U ile V) ise sırasıyla ifade (2)'deki ve ifade (3)'teki gibi hesaplanmaktadır [2]. K , Y ve M parametrelerinin bu ifadelerdeki anlamları ve işlevleri, ifade (1)'de olduğu gibidir. KYM renk uzayındaki bir görüntüyü YUV renk uzayına taşımak için, tüm görüntü pikselleri üzerinde ifade (1)'de, ifade (2)'de ve ifade (3)'te yer alan işlemlerin tamamı gerçekleştirilir.

$$U = -0.147K - 0.289Y + 0.436M \quad (2)$$

$$V = 0.615K - 0.515Y - 0.1M \quad (3)$$

YUV renk uzayından KYM renk uzayına dönüşüm yapılmasında ise ifade (4)'te, ifade (5)'te ve ifade (6)'da yer alan denklemler kullanılır [2]. Bu ifadelerdeki parametrelerin anlamları ve işlevleri, yukarıda yer alan renk uzayı dönüşüm denklemlerindeki gibidir.

$$K = YD + 1.14V \quad (4)$$

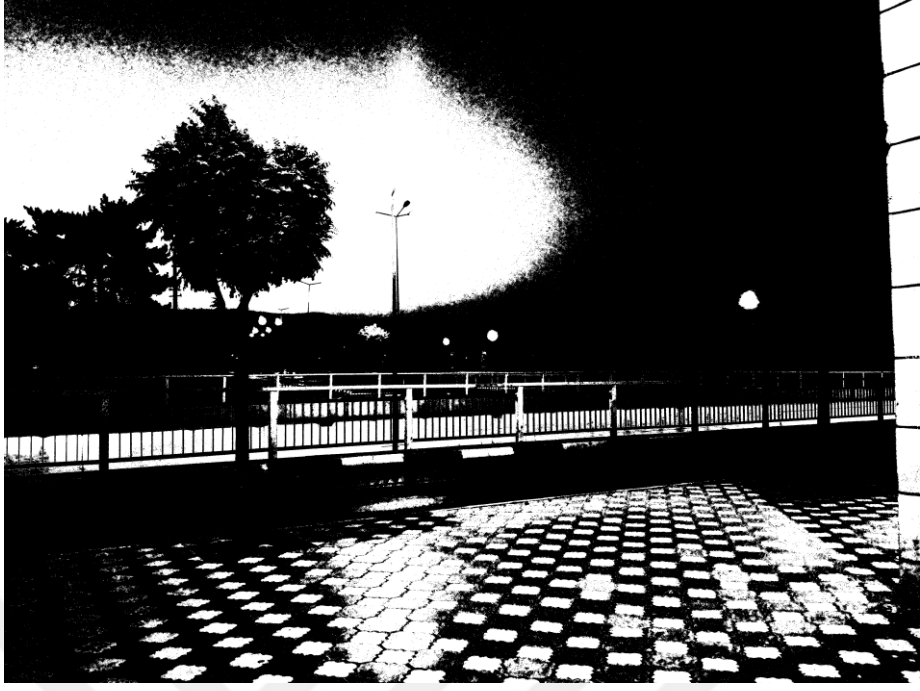
$$Y = YD - 0.395U - 0.581V \quad (5)$$

$$M = YD + 2.032U \quad (6)$$

YCbCr renk uzayı ile YUV renk uzayı birbirinden farklıdır ancak, her iki renk uzayının yoğunluk bileşenleri de aynı şekilde hesaplandığından, yukarıda bahsedilen *rgb2gray* fonksiyonunun bu iki renk uzayından herhangi birine dönüşüm yaptığını ifade etmek mümkündür. YUV renk uzayının ifade (1)'de yer alan denklem yoluyla hesaplanan bileşeninin, bu tezde olduğu gibi "yoğunluk bileşeni" olarak adlandırıldığı başka çalışmalar da mevcuttur [3, 4]. Aynı bileşenin "parlaklık bileşeni" olarak ifade edildiği çalışmalar da mevcuttur [2].

Şekil 2'de temsil edilmekte olan gri ölçekli görüntünün boyutları ve toplam piksel sayısı, Şekil 1'de temsil edilen görüntününkiyle aynıdır.

İkili görüntülerde ise, her bir pikselin tek bir bit ile ifade ediliyor olması nedeniyle, herhangi bir pikselin sahip olabileceği değer 0 ya da 1 olmaktadır. Değeri 0 olan pikseller siyah renkte görüntülenirken, değeri 1 olan pikseller ise beyaz renkte görüntülenecektir. Şekil 2'de temsil edilen gri ölçekli görüntü ikili hâle dönüştürülerek Şekil 3'te temsil edilen görüntü elde edilmiştir. Bu ikili görüntünün elde edilmesi işleminde, MATLAB R2017b'de standart olarak yer alan *im2bw* fonksiyonundan yararlanılmıştır. Bu fonksiyon, girdi olarak gri ölçekli bir görüntü ve $[0.0, 1.0]$ kapalı aralığında ondalık sayı olan bir eşik değeri almaktadır. Eşik değeri, gri ölçekli görüntüde bulunan ve ikili görüntüde beyaz olması istenen piksellerin sahip oldukları minimum yoğunluk değerinin 256'ya oranına eşittir. Dönüşüm işleminde, gri ölçekli görüntüdeki piksellerden yoğunluk değeri 127 ve daha az olanların siyah ile, 128 ve daha fazla olanların ise beyaz ile gösterilmeleri istendiğinden, eşik değeri $128/256=0.5$ olarak belirlenmiştir.



Şekil 3. İkili bir sayısal görüntü

Şekil 3'te temsil edilen ikili görüntünün boyutları ve toplam piksel sayısı, Şekil 1'de temsil edilen görüntününkiyle aynıdır.

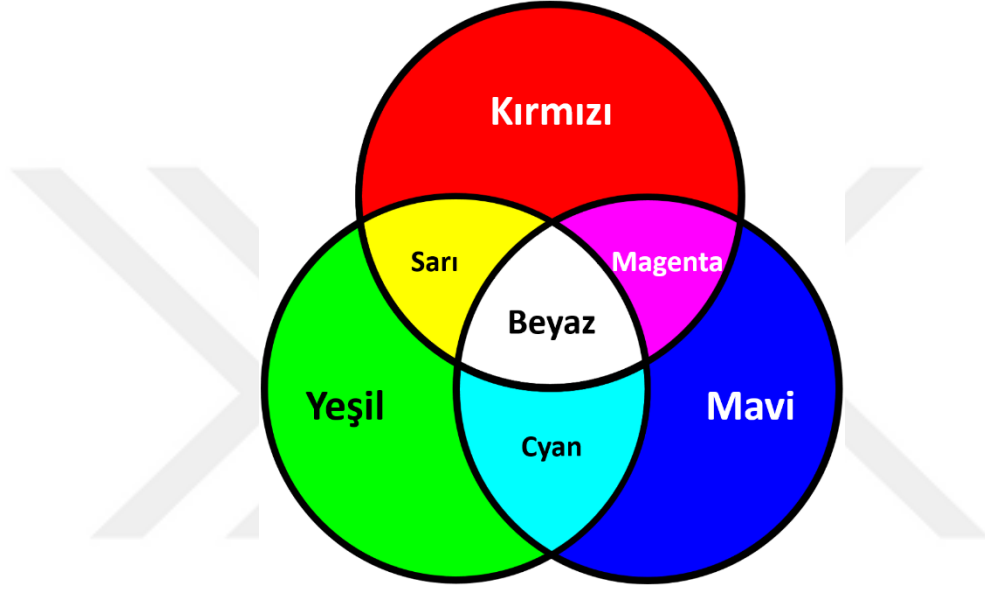


Şekil 4. Şekil 1'de verilen renkli görüntüye ait renk kanalları

KYM renk uzayında bulunan renkli görüntüler; kırmızı, yeşil ve mavi renk kanallarına sahiptirler. Bu renk uzayında, 24 bitlik bit derinliğine sahip olan renkli bir görüntünün, aslında 8'er bitlik bit derinliğine sahip 3 adet gri ölçekli görüntünün bir araya gelmesiyle oluştuğu düşünülebilir. Başka bir ifade ile, 24 bitlik renkli görüntülerde her bir piksel 24 bit ile temsil edilmekle birlikte; bu 24 bitin ilk 8 biti ilgili pikselin kırmızı renk bileşeninin

parlaklık değerini, ortadaki 8 biti bu piksele ait yeşil renk bileşeninin parlaklık değerini, son 8 biti ise bu pikselin mavi renk bileşenine ait parlaklık değerini vermektedir.

Şekil 1'de yer alan renkli goruntuyeye ait kırmızı, yeşil ve mavi renk kanallarının görüntüleri sırasıyla Şekil 4.a'da, Şekil 4.b'de ve Şekil 4.c'de verilmiştir. Bu kanal görüntülerini doğru yorumlamak için, ışık renklerinin karışımlarını göz önünde bulundurmak gerekmektedir.



Şekil 5. Işık renklerinin karışımları

Şekil 5'te ışık renklerinin karışımları verilmiştir. Işığın üç ana rengi; kırmızı, yeşil ve mavi renkleridir. Işığın ara renkleri ise; kırmızı ile yeşil rengin eşit oranlı karışımı olan sarı, kırmızı ile mavi rengin eşit oranlı karışımı olan magenta ve yeşil ile mavi rengin eşit oranlı karışımı olan cyan renkleridir. Beyazın, grinin ve özellikle siyahın birer renk olup-olmadıkları birer tartışma konusudur. Işığın üç ana renginin yüksek şiddette ve eşit oranlı karışımı beyaz olarak, yüksek olmayan şiddette ve eşit oranlı karışımı ise gri olarak algılanmaktadır ve ikişer ana rengin eşit oranlı karışımı olan sarının, magentanın ve cyanın renk olarak kabul ediliyor olmaları, beyazın ve grinin de renk olarak kabul edilmelerini gerektirmektedir. Siyah ise, ışığın hiç olmaması durumudur. Siyahın renk olarak kabul edilmemesi durumunda, siyah olarak görünen nesnelerin renklerinin olmadığına dair, yani bu nesnelerin renksiz olduklarına dair bir sonuç ortaya çıkacaktır. Bu durum da, "renksizlik" kavramının normalde su gibi, cam gibi saydam nesnelere için kullanılıyor olması nedeniyle

çelişkiye yol açacaktır. Oysa günlük hayatta, araç ruhsatlarından giyecek satışı yapılan internet sitelerine kadar pek çok ortamda beyazın, grinin ve siyahın da tıpkı kırmızı, yeşil ve mavi gibi birer renk olarak kabul edildiği bir gerçektir. Bu nedenle; beyazın, grinin ve siyahın da birer renk olarak kabul edilmesinin doğru olacağı kanaatindeyiz ve tezin hazırlanmasında bu kanaatimiz doğrultusunda hareket etmiş bulunmaktayız.

KYM renk uzayı; sayısal görüntülerin ışığın üç ana rengini temsil eden üç adet renk bileşeninden oluşması esasına dayanmaktadır. Renkli görüntülerde kırmızı rengin yoğun olduğu bölgeler, sadece kırmızı ya da kırmızıya yakın bir renk tonunda görünen bölgeler değildir; sarı, magenta, beyaz renklerin ya da bu üç renge yakın tondaki renklerin bulunduğu bölgelerde de kırmızı renk parlaklığı fazla olacaktır. Benzer şekilde; yeşil, sarı, cyan, beyaz renklerin ya da bu dört renge yakın tondaki renklerin bulunduğu bölgelerde yeşil renk parlaklığı; mavi, magenta, cyan, beyaz renklerin ya da bu dört renge yakın tondaki renklerin bulunduğu bölgelerde ise mavi renk parlaklığı fazla olacaktır.

Şekil 1'de yer alan renkli görüntünün orta kısımlarında bulunan ve yatay ekseninde uzanan yeşil renkli alan; Şekil 4.a'da bulunan kırmızı renk kanalı görüntüsünde ve Şekil 4.c'de bulunan mavi renk kanalı görüntüsünde koyu renkte iken Şekil 4.b'de bulunan yeşil renk kanalı görüntüsünde açık renktedir. Bunun nedeni, renkli görüntünün ilgili bölgesindeki yeşil renk parlaklığının fazla, kırmızı ve mavi renk parlaklıklarının ise düşük olmasıdır. Bu renk parlaklıkları, birer gri ölçekli görüntü olan renk kanalı görüntülerinde, her bir piksel için $[0, 255]$ kapalı aralığında bir tamsayı ile temsil edilmektedir. Şekil 4.b'deki yeşil renk kanalı görüntüsünde, bahse konu olan bölgedeki piksellerin parlaklık değerleri 255'e eşit ya da yakın olduğundan bu bölgeler beyaz ya da beyaza yakın renktedirler. Şekil 4.a'daki kırmızı renk kanalı görüntüsünde ve Şekil 4.c'deki mavi renk kanalı görüntüsünde ise aynı bölgedeki piksellerin parlaklık değerleri 0'a eşit ya da yakın olduğundan bu bölgeler de siyah ya da siyaha yakın renktedirler. Şekil 4.a'daki kırmızı renk kanalı görüntüsünde ve özellikle Şekil 4.c'deki mavi renk kanalı görüntüsünde, ilgili bölgenin bazı kısımlarının açık renkte olmasının sebebi ise, bu kısımların, ışıklandırma farkından kaynaklı olarak, aynı bölgenin diğer kısımlarına kıyasla daha yüksek parlaklıkta kırmızı ve mavi renk içeriyor olmalarıdır ki zaten Şekil 1 incelendiğinde, bahse konu olan kısımların renklerinin, ilgili bölgenin geneli ile farklılık gösterdikleri görülecektir. Benzer biçimde; Şekil 4'teki renk kanalı görüntüleri incelendiğinde, gökyüzünün yer aldığı kısımların en açık renkte olduğu görüntünün, Şekil 4.c'de yer alan mavi renk kanalı görüntüsü olduğu görülecektir. Şekil 4.a'da ve Şekil 4.b'de verilen ve sırasıyla kırmızı ile yeşil renk kanallarına ait olan görüntülerde ise gökyüzünün

yer aldığı kısımların nispeten daha koyu oldukları ancak siyah renge çok yakın da olmadıkları görülmektedir. Bunun nedeni, ağırlıklı olarak mavi renk içeren gökyüzünün, yeşil ve kırmızı renkleri de dikkate değer oranda içeriyor olmasıdır. Zaten, Şekil 1'de bulunan görseldeki gökyüzünün rengi incelendiğinde, Şekil 5'te verilen mavi renge kıyasla açık, yani beyaz renge daha yakın olduğu görülecektir. Şekil 5'te görülen mavi renkte kırmızı ve yeşil renk bileşenlerinin parlaklıklarının 0'a eşit olduğu da göz önünde tutulduğunda, Şekil 1'deki gökyüzü renginin ortaya çıkması için mavi rengin beyaza yaklaşmasının gerektiği, bunun için de yüksek parlaklıkta mavi renk ile daha düşük parlaklıklarda kırmızı ve yeşil renklerin bir araya gelmesinin gerektiği anlaşılacaktır.

Sıkıştırılmamış bir sayısal görüntünün dosya boyutu, sahip olduğu toplam piksel sayısının bit derinliği ile çarpımına dosyaya ait başlık boyutunun eklenmesiyle hesaplanır. Dosya başlığında, görüntüye ait genişlik, yükseklik, piksel başına düşen bit sayısı gibi birtakım bilgiler yer almaktadır. Şekil 1'de temsil edilen renkli görüntü BMP formatında olup sıkıştırılmamış hâdedir. Burada, BMP formatındaki bu görüntünün, daha önceden sıkıştırmaya maruz kalmış olduğunu da belirtmemiz gerekmektedir. Sayısal fotoğraf makinelerinin tamamına yakını, görüntüyü yakalar yakalamaz JPEG sıkıştırmasına tabi tutacak ve JPEG formatında kaydedecek biçimde üretilmiştir. Bundaki amaç, elde edilen görüntülerin dosya boyutlarının küçük olması ve böylelikle bu görüntülerin saklanmalarının ve iletilmelerinin kolay olmasıdır. Elbette, bahse konu olan sıkıştırma işlemi görüntüde geri dönüşü olmayan bir kalite kaybına yol açmıştır, ancak, bu sıkıştırma işleminin ardından görüntü başka herhangi bir kayıplı sıkıştırma işlemine maruz kalmadan tarafımızca BMP formatına dönüştürülerek saklanmıştır. Sayıları her ne kadar az olsa da görüntüyü herhangi bir kayıplı sıkıştırma işlemine tabi tutmaksızın kaydeden sayısal fotoğraf makineleri de vardır, ancak, bunların kullanım alanlarının son derece sınırlı olması nedeniyle, BMP formatındaki görüntümüzü yukarıda belirttiğimiz yolla elde etmeyi uygun görmüş bulunmaktayız. Bu görüntüyü BMP formatında saklamamızın nedeni ise, sayısal görüntülerin dosya boyutlarının hesaplanışını anlaşılır biçimde anlatabilmek adına sıkıştırmanın söz konusu olmadığı bir görüntü formatına gereksinim duymamızdır. Şekil 1'de temsil edilen renkli görüntü, KYM renk uzayında yer almakta olup, 24 bitlik bit derinliğine sahiptir yani bu görüntünün her bir pikseli için sayısal ortamda 24 bit tahsis edilmektedir. Piksel başına tahsis edilen 24 bit ise 8'er bitlik 3 bölüme ayrılmıştır ve bu bölümlerde, o pikselin sahip olduğu kırmızı, yeşil ve mavi renk parlaklıkları, $[0, 255]$ kapalı aralığında birer tamsayı olacak biçimde ancak ikilik sayı sistemine göre kodlanmış hâlde

tutulmaktadır. Yani, KYM uzayında yer alan ve 24 bitlik bit derinliğine sahip olan renkli bir görüntü, bu görüntünün kırmızı, yeşil ve mavi renk bileşenlerini oluşturan ve 8'er bitlik bit derinliğine sahip olan gri ölçekli üç farklı görüntünün üst üste bindirilmiş hâlidir. Şekil 1'de temsil edilen renkli görüntü 4096×3072 piksel boyutunda ve 24 bitlik bit derinliğine sahip olduğundan, bu görüntünün tüm pikselleri, sayısal ortamda $4096 \times 3072 \times 24 = 301989888$ bit yani 36 MB yer kaplayacaktır. Sayısal görüntü dosyalarında, piksellerde tutulan bilgilere ek olarak, "başlık" adı verilen ve görüntü ile alakalı birtakım bilgilerin tutulduğu özel alanlar da bulunmaktadır. Bahsi geçen görüntünün dosya boyutu, piksellerinde tutulan bilgilerin kapladıkları alan ile başlık alanının toplamı kadar olup, 36 MB değerinin biraz üzerinde olacaktır. Elbette, bahsi geçen görüntü, sıkıştırmanın söz konusu olduğu bir formatta kaydedildiğinde dosya boyutu küçülecektir. Şekil 2'de temsil edilen gri ölçekli görüntü de tıpkı Şekil 1'de temsil edilen renkli görüntü gibi BMP formatında olup sıkıştırılmamış hâlde bulunmaktadır. Şekil 2'de temsil edilen görüntü gibi 8 bitlik bit derinliğine sahip olan gri ölçekli sayısal görüntüler, normalde "PGM" isimli bir formatta kaydedilirler. Ancak bu format BMP formatına kıyasla daha az yazılım tarafından desteklendiğinden, gri ölçekli olan bu görüntüyü de BMP formatında kaydetmeyi tercih etmiş bulunmaktayız. BMP formatındaki görüntüler 24 bitlik bit derinliğine sahip olabilecekleri gibi, 8 bitlik bit derinliğine de sahip olabilirler ve normalde her iki durumda da renkli görüntüleri tutmak için kullanılırlar. Bit derinliği azaldıkça, görüntünün içerebileceği renk çeşidi de azalacaktır. Ancak, yaygın kullanım biçiminden farklı olarak, 8 bitlik bit derinliğine sahip bir BMP görüntüsünün gri ölçekli olması da mümkündür. Nitekim Şekil 1'de temsil edilen renkli görüntü, MATLAB R2017b'de standart olarak yer alan *rgb2gray* fonksiyonu aracılığı ile gri ölçekli hâle dönüştürülüp BMP formatında kaydedilmiş ve bu yolla, Şekil 2'de temsil edilen gri ölçekli görüntü elde edilmiştir. BMP formatında ve 8 bitlik bit derinliğinde olan, ancak renkli değil gri ölçekli olan görüntü dosyalarının, BMP formatını destekleyen yazılımlarla uyumlu olduklarını da deneyimlemiş bulunmaktayız. Şekil 2'de temsil edilen gri ölçekli görüntü 4096×3072 piksel boyutunda ve 8 bitlik bit derinliğine sahip olduğundan, bu görüntüde bulunan piksellerin tamamı, sayısal ortamda $4096 \times 3072 \times 8 = 100663296$ bit yani 12 MB yer kaplayacaktır. Bu görüntünün dosya boyutu ise, başlık alanının da eklenmesiyle 12 MB değerinden biraz fazla olacaktır. Şekil 3'te temsil edilen ikili görüntü de BMP formatındadır ve dolayısı ile sıkıştırılmamış hâldedir. BMP formatındaki görüntülerin 1 bitlik bit derinliğine sahip olmaları da mümkündür. Şekil 2'de temsil edilen gri ölçekli görüntü, MATLAB R2017b'de standart olarak bulunan *im2bw* fonksiyonu kullanılarak ikili

hâle dönüştürülmüş ve BMP formatında kaydedilmiştir ve bunun sonucunda Şekil 3'te temsil edilen ikili görüntü elde edilmiştir. Elde edilen ve bit derinliği 1 bit olan bu görüntünün tüm pikselleri, sayısal ortamda $4096 \times 3072 = 12582912$ bit yani 1.5 MB yer kaplayacaktır. Bu görüntüye ait dosya boyutu ise, başlık alanının da eklenmesi ile 1.5 MB değerinin biraz üzerinde olacaktır.

1.3. Sayısal Görüntüler Üzerinde Gerçekleştirilen Sahtecilik Yöntemleri

Sayısal görüntüler üzerinde, görüntü düzenleme yazılımları kullanılarak çok çeşitli değişiklikler gerçekleştirilebilmektedir. Ancak, bu değişikliklerin "sahtecilik" olarak nitelenebilmesi için, görüntünün taşıdığı anlamda değişikliğe yol açmaları ve art niyet içermeleri gerekmektedir. Sayısal görüntü sahteciliklerini; görüntü birleştirme sahtecilikleri ve KYDS (kopyalama-yer değiştirme sahteciliği)'ler olmak üzere iki ana kategoriye ayırmak mümkündür [5].

1.3.1. Görüntü Birleştirme Sahteciliği

Görüntü birleştirme sahteciliği, bir ya da birden çok sayıda sayısal görüntünün içeriğinin belirli bir kısmının kopyalanarak farklı bir sayısal görüntüye aktarılması işlemidir. Bu tür sahteciliklerde, sahtecilik işleminin insan görme sistemi ile kolayca anlaşılabilmesi için, kaynak görüntülerin ışıklandırması ile hedef görüntülerin ışıklandırması birbirine benzer nitelikte olmalıdır. Bu durum da, sahteciliğe tabi tutulacak olan hedef görüntü için kullanılacak olan kaynak görüntü sayısını önemli ölçüde sınırlandırmakta, görüntü birleştirme sahteciliklerinin uygulama alanını daraltmaktadır. Buna rağmen, görüntü birleştirme sahteciliklerinin tespiti aktif bir araştırma konusudur ve son yıllarda bu alanda yapılmış olan pek çok çalışma mevcuttur [5-16].

1.3.2. KYDS

KYDS, bir sayısal görüntünün içeriğinin belirli bir kısmının kopyalanarak aynı görüntü üzerinde başka bir bölgeye yapıştırılması işlemidir. Bu tür sahteciliklerde, her iki bölgenin de aynı görüntü üzerinde bulunuyor olması nedeniyle, kaynak bölgenin

ışıklandırması ile hedef bölgenin ışıklandırması genellikle benzer nitelikte olmaktadır. Bunun sonucunda, ışıklandırma faktörü göz önünde tutulduğunda, KYDS'nin, görüntü birleştirme sahteciliğine kıyasla daha kolay biçimde ve gözle anlaşılması daha zor olacak şekilde gerçekleştirilebileceği ifade edilebilir. KYDS'lerin tespit edilmesi pek çok araştırmacının ilgisini çekmiş olan bir konudur ve bu alanda son yıllarda yapılmış olan çok sayıda çalışma bulunmaktadır [17-28]. Bu tez kapsamında da KYDS tespiti ele alınmıştır.

KYDS'lerde, sayısal görüntü üzerinde kopyalanan bir bölge, aynı görüntü üzerinde farklı bir alana yapıştırılmadan önce; döndürme, ölçekleme gibi birtakım işlemlere tabi tutulabilir. Bu işlemler sonucunda, KYDS işleminin farklı türleri gerçekleştirilmiş olacaktır. Kopyalanan bölgenin yapıştırılmadan önce döndürme işlemine maruz bırakıldığı KYDS türüne "KDYDS (kopyalama-döndürme-yer değiştirme sahteciliği)", ölçekleme işlemine maruz bırakıldığı KYDS türüne ise "KÖYDS (kopyalama-ölçekleme-yer değiştirme sahteciliği)" adı verilir. KDYDS'lerde, döndürme işleminin doğal bir sonucu olarak, döndürme işlemine tabi tutulan bölgenin ışıklandırması ile, görüntünün genelinin ışıklandırması arasında farklılıklar meydana gelebilecektir. Bu tez kapsamında KDYDS ve KÖYDS tespiti de ele alınmış olup, bu alanlarda diğer araştırmacılar tarafından yapılan çeşitli çalışmalar da mevcuttur [29-36].

1.4. Sayısal Görüntüler Üzerinde Gerçekleştirilen Sahteciliklerin Tespitinde Kullanılan Yöntemler

Sayısal görüntüler üzerinde gerçekleştirilen sahteciliklerin tespitinde kullanılan yöntemler; aktif yöntemler ve pasif yöntemler olmak üzere iki ana kategoriye ayrılırlar [37].

1.4.1. Aktif Yöntemler

Aktif yöntemler, bir sayısal görüntünün orijinalliğinin korunup-korunmadığını tespit edebilmek adına, bu görüntü için önceden sayısal imza ya da sayısal damga kullanılarak üretilmiş olan bilgiye ihtiyaç duyan yöntemlerdir.

Sayısal bir görüntünün güvenliğinin sağlanması amacıyla sayısal imza kullanılması durumunda, bir kıyım fonksiyonu aracılığı ile, ilgili görüntüye ait özellikleri barındıran bir kıyım dosyası elde edilir. Sonrasında, bu kıyım dosyası, göndericiye ait bir özel anahtar ile şifrelenir ve bu sayede görüntü, sayısal olarak imzalanmış olur. Şifrelenmiş olan bu kıyım

dosyası, alıcıya gönderilir. Sonrasında, alıcı, ilgili görüntünün kendisine dolaylı yollardan ulaşan ve orijinalliğinden emin olamadığı kopyasını aynı kıyım fonksiyonuna tabi tutarak yeni bir kıyım dosyası elde eder. Alıcı, aynı zamanda, kendisine gönderici tarafından gönderilmiş olan şifrelenmiş kıyım dosyasını da kendi özel anahtarı aracılığı ile çözerek, kendisine ulaşan görüntüden elde ettiği kıyım dosyası ile karşılaştırır. Eğer her iki kıyım dosyası da birebir aynı ise alıcı, kendisine ulaşan görüntünün orijinalliğinden emin olur [38]. Literatürde, sayısal görüntülerin güvenliklerinin sağlanması amacıyla sayısal imza kullanılmasını konu alan çeşitli araştırmalar mevcuttur [38-40].

Bir sayısal görüntünün güvenliğinin sağlanması amacıyla sayısal damga kullanılması durumunda ise, görüntü içerisine, gönderici tarafından oluşturulduğunu ifade eden bir damga yerleştirilir. Bu damga, görünür ya da görünmez nitelikte olabilir. Alıcı tarafında ise bu damga görüntüden çıkarılarak incelenir. Eğer görüntü, alıcıya ulaşana kadarki süreçte değişikliğe maruz kalmışsa, damga da orijinalliğini yitireceğinden alıcı, kendisine ulaşan görüntünün orijinal olmadığını anlayabilecektir [38]. Görüntü güvenliğini sağlamak amacıyla sayısal damga kullanılması güncelliğini korumakta olan bir araştırma konusudur ve bu alanda çok sayıda araştırma mevcuttur [41-52].

Aktif yöntemler, hem görüntü birleştirme sahteciliklerinin hem de KYDS'lerin tespitinde kullanılabilirler.

1.4.2. Pasif Yöntemler

Pasif yöntemler, görüntünün orijinalliği hakkında herhangi bir ek bilginin bulunmadığı yani elde sadece şüpheli görüntünün bulunduğu durumlarda; olası bir sahtecilik işleminin, görüntüde, sahteciliğin tespitine olanak sağlayacak nitelikte birtakım değişiklikler meydana getirmiş olacağı yaklaşımıyla, görüntü üzerinde çeşitli incelemeler yaparak görüntünün orijinal olup-olmadığına hükmeden yöntemlerdir.

Pasif yöntemlerin kullanım alanı, iki temel kategoride incelenebilir. Bunlardan birincisi, kaynak kimliklendirmedir. Kaynak kimliklendirme, bir sayısal görüntünün elde edilmiş olduğu aygıtın tespit edilmesini konu almaktadır. İkinci kategori ise, sahtecilik tespitidir [53].

1.4.2.1. Pasif Yöntemler ile Kaynak Kimliklendirme

Kaynak kimliklendirme, bir sayısal görüntünün elde edildiği aygıtın belirlenmesi işlemidir. Kaynak kimliklendirme işleminin gerçekleştirilmesinde kullanılan üç farklı yöntemden bahsetmek mümkündür [54].

Birinci yöntem, görüntünün elde edilmesi esnasında meydana gelen bozulmalardan hareketle kaynak kimliklendirmesi yapılmasıdır [54]. Bu yöntem; farklı marka veya model fotoğraf makinelerinin farklı özelliklere sahip olmaları nedeniyle, elde edilen görüntüler üzerinde fotoğraf makinesinin markasının ve modelinin tespit edilmesine olanak sağlayacak bozulmalar meydana geleceği yaklaşımından hareket etmektedir. Ayrıca bu yöntem; aynı marka ve model fotoğraf makinelerinde kullanılan özdeş lenslerin dahi üretimden kaynaklı farklılıklara sahip olabileceklerini, bu farklılıkların da görüntünün elde edildiği aygıtın tespit edilmesini mümkün kılacağını varsaymaktadır.

İkinci yöntem, sensördeki kusurlardan hareketle kaynak kimliklendirmesi yapılmasıdır [54]. Bu yöntem; gerek farklı markaya ya da modele sahip olan, gerekse aynı markaya ve modele sahip olan fotoğraf makinelerinin görüntüleme sensörlerinde çeşitli kusurlar meydana gelebileceğini ve bu kusurlardan hareketle görüntünün oluşturulduğu aygıtın tespit edilebileceğini varsaymaktadır.

Üçüncü yöntem ise, görüntüleme aygıtının özelliklerinden hareketle kaynak kimliklendirmesi yapılmasıdır [54]. Bu yöntem; fotoğraf makinelerinde görüntünün elde edilmesi işleminin sonrasında gerçekleşen görüntünün kaydedilerek saklanması aşamasında meydana gelen art işlemlerin, görüntünün elde edildiği aygıtın tespit edilmesine olanak sağlayacak ipuçları verebileceğini varsaymaktadır.

Literatürde, kaynak kimliklendirme konusunda yapılmış olan çeşitli çalışmalar mevcuttur [55-62].

1.4.2.2. Pasif Yöntemler ile Sahtecilik Tespiti

Pasif yöntemleri gerek görüntü birleştirme sahteciliklerinin tespitinde, gerekse KYDS'lerin tespitinde kullanmak mümkündür. Bu tezde, KYDS'lerin yanı sıra KYDS'nin birer alt türü olan KDYDS'lerin ve KÖYDS'lerin pasif yöntemler aracılığıyla tespit edilmesi üzerinde durulmaktadır.

KYDS'lerin tespitinde kullanılan pasif yöntemleri, "blok üretimine dayanan yöntemler" ve "anahtar nokta temelli yöntemler" olmak üzere iki ana kategoriye ayırmak mümkündür [53].

1.4.2.2.1. Blok Üretimine Dayanan Yöntemler

Blok üretimine dayanan yöntemler, şüpheli görüntüyü birbirleri ile örtüşen ve eşit boyutlara sahip bloklara ayırdıktan sonra bu bloklardan özellik vektörleri elde etmeyi ve bu özellik vektörlerini sıralayarak birbirinin kopyası olan bölgeleri saptamayı amaçlamaktadırlar [53]. Bu tez kapsamında geliştirilmiş olan KYDS tespit yöntemi, KDYDS tespit yöntemi ve KÖYDS tespit yöntemi de blok üretimine dayanan yöntemler kategorisinde yer almaktadırlar. Tezin devamında, bu tür yöntemlerden "blok temelli yöntemler" ifadesi ile de bahsedilecektir.

Blok temelli yöntemler, bloklardan özellik vektörü elde etmek amacıyla çok çeşitli özellik çıkarma alt yöntemlerinin kullanılabilmesine olanak sağlarlar. Bu özellik çıkarma alt yöntemleri literatürde mevcut olan yöntemler olabileceği gibi, gerçekleştirici tarafından geliştirilen yöntemler de olabilir. Nitekim, sırasıyla Bölüm 2.1'de ve Bölüm 2.2'de ele alınan KYDS ve KÖYDS tespit yöntemleri kapsamında, özellik çıkarma alt yöntemi olarak, literatürde önceden yer alan YTV (Yoğunluk Tutarlılık Vektörü) elde etme algoritması kullanılmışken, Bölüm 2.3'te incelenen KDYDS tespit yönteminde ise, özellik çıkarma alt yöntemi olarak, bu tez kapsamında özgün olarak geliştirilen bir teknikten yararlanılmıştır.

Literatürde; KYDS, KDYDS ve KÖYDS tespitinde kullanılan çok sayıda blok temelli yöntem yer almaktadır [29, 31, 32, 34-36, 63-76].

1.4.2.2.2. Anahtar Nokta Temelli Yöntemler

Anahtar nokta temelli yöntemler, blok temelli yöntemlerden tamamen farklıdırlar. Bu yöntemlerde, görüntünün bloklara ayrılması söz konusu değildir ve özelliklerin elde edilmesi işlemi, görüntünün tamamı üzerinde gerçekleştirilir. Anahtar nokta temelli yöntemler, blok temelli yöntemlere kıyasla daha düşük hesaplama maliyetine sahiptirler. Ancak, KYDS'ye konu olan bölgelerin homojen yapıya sahip olmaları durumunda, bu

bölgelerden anahtar nokta elde edilemeyecek olması nedeniyle, anahtar nokta temelli yöntemlerin sağlıklı biçimde çalışamamaları söz konusu olacaktır [53].

Anahtar nokta temelli yöntemlerde özellik çıkarma işlemi için en yaygın biçimde kullanılan iki alt yöntem, ÖBÖD (ölçekten bağımsız özellik dönüşümü) ile HSÖ (hızlandırılmış sağlam özellikler) alt yöntemleridir [53].

Literatürde; KYDS, KDYDS ve KÖYDS tespitinde kullanılan ve anahtar nokta temelli olan çeşitli yöntemler mevcuttur [26, 30, 33, 77-79].

1.5. Tez Kapsamında Geliştirilen Yöntemlerin Sınıflandırılması

Bu tezde, sayısal görüntü sahteciliklerinin tespiti için pasif yöntemlerden yararlanılmasının daha uygun bir tercih olacağı düşüncesinden hareket edilmiştir. Aktif yöntemlerin; elde yalnızca şüpheli bir sayısal görüntü bulunması ve bunun haricinde herhangi bir bilgiye sahip olunmaması durumunda bu şüpheli görüntünün orijinal olup-olmadığına dair herhangi bir çıkarımda bulunamıyor olmaları, böylesi bir dezavantaja sahip olmayan pasif yöntemlerin tercih edilmesinde ana neden olmuştur.

Bu tez kapsamında geliştirilmiş olan KYDS, KDYDS ve KÖYDS tespit yöntemleri, blok temelli yöntemler kategorisinde yer almaktadırlar. Anahtar nokta temelli yöntemler kategorisi yerine blok temelli yöntemler kategorisini tercih etmemizin temel nedeni; blok temelli yöntemlerde, bloklardan özellik vektörleri elde etmek amacıyla kullanılan özellik çıkarma alt yöntemlerinin belirlenmesinde oldukça geniş bir tercih alanının bulunmasıdır. Başka bir ifadeyle, özellik çıkarma işleminde kullanılan alt yöntemlerin sahtecilik tespit yöntemlerinin başarısını doğrudan etkilediği göz önünde bulundurulduğunda, çok sayıda özellik çıkarma alt yönteminin birbirine alternatif olarak denenmesi ve en ideal olanının bulunması blok temelli yöntemlerin tercih edilmesiyle mümkün olmaktadır.

Geliştirmiş olduğumuz KYDS, KDYDS ve KÖYDS tespit yöntemleri, her ne kadar blok temelli olsalar da, blok eşleştirme mekanizmasını sadece sahteciliğe konu olan bölgelerin karşılıklı olarak işaretlenmesi amacıyla kullanılmaktadırlar ve sahte bölgelerin kesin olarak tespitini, ilerleyen bölümlerde detaylarıyla açıklanacak olan tamamen özgün bir yaklaşımla gerçekleştirmektedirler. Dolayısı ile, bu tez kapsamında geliştirilmiş olan KYDS, KDYDS ve KÖYDS tespit yöntemlerinin, blok temelli klasik yöntemlerden farklı olduklarını da ifade etmek gerekir.

1.6. Sahtecilik Tespitini Zorlaştıran Etkenler

Sayısal görüntüler üzerinde sahtecilik işlemi gerçekleştiren kimseler, sahtecilik işlemlerinin tespit edilebilmesini zorlaştırmak, hatta olanaksız hâle getirmek amacıyla, sahte görüntüleri birtakım art işlemlere tabi tutmaktadırlar. Buradaki hareket noktası, sahtecilik işlemlerinin görüntülerde bıraktıkları izlerin, pasif sahtecilik tespit yöntemleri tarafından algılanamayacak ve kullanılamayacak biçimde ortadan kaldırılması ya da değiştirilmesidir. Görüntü sahteciliği işlemlerinin izlerini kaybettirebilmek amacıyla sahte görüntüye uygulanan farklı türlerde art işlemler mevcuttur. Bu tez kapsamında ise, bahsedilen amaca yönelik olarak kullanılan art işlemlerden JPEG sıkıştırması art işlemi ile görüntü bulanıklaştırma art işlemi üzerinde durulmuştur.

Bu tez kapsamında yapılan serbest biçimli KYDS tespiti deneylerinde KYDS işlemlerinin sonrasında sahte görüntüye uygulanan art işlemler; değişen kalite faktörlerine sahip JPEG sıkıştırması işlemleri, görüntü bulanıklaştırma işlemi ve bu iki tür işlemin farklı sıralarda art arda gerçekleştirilmesi olmuştur. Gene bu tez kapsamında yapılan serbest biçimli KDYDS ve KÖYDS tespiti deneylerinde, KDYDS ve KÖYDS işlemlerini takiben sahte görüntüye uygulanan art işlemler, $q=90$ kalite faktörüne sahip JPEG sıkıştırması işlemi ve görüntü bulanıklaştırma işlemi olmuştur. Burada amaçlanan; geliştirilen sahtecilik tespit yöntemlerinin, görüntü sahteciliklerinin görüntüler üzerinde bıraktıkları etkiyi azaltmayı hatta yok etmeyi hedefleyen art işlemlere karşı dayanıklı olmalarını sağlamaktır. Tez kapsamında, sahtecilik tespit yöntemlerinin bahsi geçen art işlemlere karşı dayanıklı kılınması konusu üzerinde ciddi biçimde durulmasının, geliştirilen KYDS, KDYDS ve KÖYDS tespit yöntemlerinin özgün nitelikte olmalarına önemli ölçüde katkı sağladığını ifade etmemiz gerekir.

1.6.1. Görüntü Sıkıştırma Yöntemleri

Sayısal görüntü elde etmede kullanılan aygıtların çözünürlüklerinin giderek artmasının doğal sonucu olarak, bu aygıtlarla elde edilen sayısal görüntülerin taşıdıkları bilgilerin boyutunda da artış meydana gelmiştir. Böylece, sayısal görüntülerin sayısal ortamlarda depolanması ve iletimi de önemli bir konu hâline gelmiştir. Sıkıştırılmamış ve büyük dosya boyutuna sahip olan sayısal görüntülerin sayısal ortamlarda saklanmaları durumunda depolama alanının yetersiz kalması, bu görüntülerin internet ya da diğer ağlar üzerinde

iletilmeleri esnasında ise veri trafiğinin olumsuz etkilenmesi söz konusu olmaktadır. Sıkıştırılmamış hâldeki görüntülere örnek olarak, Windows ortamında kullanılan bit eşlem görüntüleri verilebilir [80]. Bit eşlem görüntü türü, "BMP" olarak da ifade edilmektedir. Bu tezde, bit eşlem görüntüleri için "BMP formatındaki görüntüler" ifadesi de kullanılmaktadır.

Yukarıda açıklanan nedenlerden dolayı, sayısal görüntülerin taşıdıkları anlamda herhangi bir değişikliğe yol açmadan dosya boyutlarını küçültmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlere "görüntü sıkıştırma yöntemleri" adı verilmektedir. Görüntü sıkıştırma yöntemleri; kayıpsız görüntü sıkıştırma yöntemleri ve kayıplı görüntü sıkıştırma yöntemleri olmak üzere iki ana kategoriye ayrılırlar [80].

1.6.1.1. Kayıpsız Görüntü Sıkıştırma Yöntemleri

Kayıpsız görüntü sıkıştırma yöntemleri, görüntülerin dosya boyutlarını, bu görüntülerin tekrar kullanılmak üzere açılmaları durumunda orijinal hâllerinin birebir aynının elde edilmesini garanti edecek biçimde düşüren yöntemlerdir. Kayıpsız sıkıştırma yolu ile elde edilen görüntülere örnek olarak PNG formatındaki görüntüler verilebilir [80].

Kayıpsız biçimde sıkıştırılan görüntülerin piksel parlaklık değerlerinde sıkıştırma işlemi öncesindeki hâllerine kıyasla herhangi bir değişiklik meydana gelmemesi nedeniyle, görüntü sahteciliği işlemlerinin ardından, bu işlemlerin görüntülerde bıraktıkları izleri ortadan kaldırmak amacıyla sahteciliğe konu olan görüntüleri kayıpsız sıkıştırma işlemine tabi tutmanın herhangi bir anlamı olmayacaktır.

1.6.1.2. Kayıplı Görüntü Sıkıştırma Yöntemleri

Kayıplı görüntü sıkıştırma yöntemleri, görüntülerin dosya boyutlarını bu görüntülerin taşıdıkları anlam aynı kalacak biçimde düşüren yöntemlerdir. Kayıplı bir görüntü sıkıştırma yöntemi ile sıkıştırılmış olan bir görüntünün orijinal hâlini elde etmek, sıkıştırma işlemi esnasında meydana gelen bilgi kayıpları nedeniyle olanaksızdır. Kayıplı görüntü sıkıştırma yöntemlerine gereksinim duyulmasının temel nedeni, bu yöntemlerin, görüntülerin dosya boyutlarını kayıpsız görüntü sıkıştırma yöntemlerine kıyasla daha yüksek oranda düşürebiliyor olmalarıdır. Bunun temel nedeni, kayıpsız görüntü sıkıştırma yöntemlerinin görüntü kalitesinden ödün vermemelerine karşın kayıplı görüntü sıkıştırma yöntemlerinin

kaliteden ödün vererek daha yüksek oranda sıkıştırma yapma amacı taşımalarıdır. Kayıplı sıkıştırma yolu ile elde edilen görüntülere örnek olarak, çok yaygın biçimde kullanılan JPEG formatındaki görüntüler verilebilir.

Kayıplı sıkıştırma işlemleri, görüntü kalitesinde bozulmalara yol açarlar. Bu bozulmaların şiddeti, sıkıştırma oranı ile doğru orantılıdır. Düşük şiddetteki bozulmaların insan görme sistemi tarafından algılanması çok zor, hatta olanaksız olabilir; ancak bu durumda görüntü dosyasının boyutundaki azalma fazla olmayacaktır. Görüntü dosyasının boyutunu kayda değer biçimde azaltabilmek adına ise yüksek oranda sıkıştırma yapılması gerekecektir ki bu durum da görüntü kalitesinin ciddi biçimde, yani insan görme sistemi ile kolayca anlaşılabilir biçimde bozulması anlamına gelecektir. Burada en önemli nokta, sıkıştırılan görüntüde insan gözüyle rahatlıkla anlaşılabilir nitelikte bozulmalar meydana gelse bile, sıkıştırılan görüntünün taşıdığı anlam ile orijinal görüntünün taşıdığı anlamın birebir aynı olmasıdır; aksi takdirde görüntü sıkıştırma işleminin herhangi bir manası olmayacaktır.

Kayıplı görüntü sıkıştırma yöntemleri görüntülerin piksel parlaklık değerlerinin sıkıştırma işlemi öncesindeki hâllerinde kalıcı değişikliklere yol açtıklarından, görüntü sahteciliği işlemlerinin ardından bu sahteciliklerin görüntülerde bıraktıkları izleri ortadan kaldırmak amacıyla sahteciliğe konu olan görüntüleri kayıplı sıkıştırma işlemine tabi tutmak tercih edilen bir yoldur.

1.6.1.2.1. JPEG Görüntü Sıkıştırma Yöntemi

JPEG görüntü sıkıştırma yöntemi, günlük hayatta en yaygın biçimde kullanılan görüntü sıkıştırma yöntemidir [81]. JPEG sıkıştırma yöntemi ile elde edilen JPEG formatındaki görüntüler internette son derece yaygın olarak bulunmaktadır ve sayısal görüntü elde etmede kullanılan pek çok aygıt da sayısal görüntüleri bu formatta üretmektedir. JPEG görüntü sıkıştırma yöntemi, AKD (Ayrık Kosinüs Dönüşümü) işlemine dayanan kayıplı bir görüntü sıkıştırma yöntemidir ve diğer tüm görüntü sıkıştırma yöntemleri gibi, sayısal görüntülerin taşıdıkları anlamları muhafaza ederek bu görüntülerin dosya boyutlarını küçültmeyi amaçlar.

JPEG sıkıştırma yöntemi kullanılarak bir sayısal görüntünün farklı kalite faktörleri ile sıkıştırılması mümkündür. Bu tezde, JPEG sıkıştırma yöntemine ait kalite faktörü q parametresi ile temsil edilmiş olup bu parametre, kullanıldığı yerlerde, taşımakta olduğu

değer ile birlikte ifade edilmiştir. q parametresinin taşıdığı değer küçüldükçe görüntü kalitesi düşecek, görüntüye ait dosya boyutu da küçülecektir.

JPEG sıkıştırma yönteminin kullanım alanları arasında, sayısal görüntüler üzerinde gerçekleştirilen sahteciliklerin görüntü üzerinde bıraktıkları izlerin yok edilmesi ya da gizlenmesi de yer almaktadır. Görüntü sahteciliği işlemleri görüntülerde kendilerini ele verecek birtakım izler bırakırlar. Görüntüler piksel parlaklık değerlerinden (gri ölçekli görüntüler söz konusu olduğunda piksel yoğunluk değerlerinden) oluştuğu için, bu izlerin de bu parlaklık değerlerinde bulduklarını ifade etmek mümkündür. Görüntü sahteciliği işlemlerini gerçekleştiren kimseler, sahtecilik işlemi sonrasında bu izleri tamamen yok etmeyi ya da gizlemeyi hedeflerler, bunun için de görüntünün anlamında değişikliğe yol açmayacak ancak piksel parlaklık değerlerinde ihmal edilmeyecek ölçüde ve kalıcı değişikliklere neden olacak birtakım art işlemler uygulamayı tercih ederler. JPEG sıkıştırmasının sayısal görüntüler üzerindeki etkileri göz önünde bulundurulduğunda, bahsi geçen art işlemlerden biri olarak kullanılmaya uygun olduğu anlaşılmaktadır. Bu tez kapsamında, JPEG sıkıştırma işleminin kopyalamaya dayalı görüntü sahteciliklerinin tespiti üzerindeki zorlaştırıcı etkisi dikkate alınmıştır.

1.6.2. Görüntü Bulanıklaştırma İşlemi

Görüntü bulanıklaştırma işlemi, görüntü üzerindeki piksellerin parlaklık değerlerinin (gri ölçekli görüntüler için yoğunluk değerlerinin), kendi parlaklık değerleri ile birlikte kendilerine komşu olan piksellerin parlaklık değerleri de kullanılarak yeniden hesaplanmasına dayanan bir sayısal görüntü işleme yöntemidir. Görüntü bulanıklaştırma işlemi, görüntü üzerinde yer alan kenarların belirginliklerinin azaltılmasını, başka bir ifade ile, görüntü piksellerinin arasındaki parlaklık değeri farklarının düşürülmesini sağlar. Bulanıklaştırma işlemi KYM renk uzayındaki renkli görüntüler üzerinde yapılabileceği gibi gri ölçekli görüntüler üzerinde de yapılabilir. KYM renk uzayındaki renkli bir görüntü, üç adet gri ölçekli görüntünün bir araya gelmesiyle oluşmaktadır ve bu tür bir görüntünün bulanıklaştırılması işlemi, aslında, kendisini meydana getiren gri ölçekli görüntülerin ayrı ayrı bulanıklaştırılması yoluyla gerçekleştirilir.

Gri ölçekli görüntüler, aslında tüm elemanları $[0, 255]$ kapalı aralığında tamsayı olan matrislerdir. Gri ölçekli bir görüntü bulanıklaştırmaya tabi tutulduğunda, elde edilecek olan görüntünün de gri ölçekli olması gerektiği için, bulanıklaştırma işlemi ile hesaplanan yeni

piksel yoğunluk değerlerinin de bahsi geçen aralıkta olması zorunludur. Bulanıklaştırma işlemi, gri ölçekli görüntü üzerinde maske gezdirilmesi yoluyla yapılır. Maske gezdirme işlemi ise, aslında, büyük boyutlu bir matris üzerinde, elemanları toplamı 1 olan küçük boyutlu bir matrisin yatay ve dikey eksenlerde gezdirilerek her adımda skaler matris çarpımı işlemi yapılması ve elde edilen sonuçlarla yeni bir matris oluşturulmasıdır. Bu tez kapsamında kullanılan deney görüntülerinden bir kısmı bulanıklaştırma işlemine tabi tutulmuş olup, bahsi geçen bulanıklaştırma işlemlerinde kullanılan maske, 2×2 boyutunda olan ve ifade (7)'de yer alan $bm_{2 \times 2}$ matrisidir.

$$bm_{2 \times 2} = \begin{bmatrix} 0.25 & 0.25 \\ 0.25 & 0.25 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Gri ölçekli bir görüntünün $bm_{2 \times 2}$ matrisi yani maskesi kullanılarak bulanıklaştırılması işleminde, ilk önce bu görüntü ile aynı boyutta boş bir matris oluşturulur. Daha sonra görüntünün en sağında yer alan piksellerin sağ taraflarına, geçici olarak, yoğunluk değerleri 0'a eşit olan birer adet piksel eklenir. Ardından, görüntünün en altında yer alan piksellerin alt taraflarına, geçici olarak, yoğunluk değerleri 0 olan birer adet piksel eklenir. Elbette, en son bahsedilen iki işlemin sıralarını değiştirmek nihai anlamda herhangi bir değişikliğe yol açmayacaktır. Sonrasında, görüntüde yer alan ve birbiriyle örtüşen 2×2 piksel boyutundaki her bir kare piksel bloğunun yoğunluk değerleri ortalaması hesaplanarak en yakın tamsayıya yuvarlanır ve nihai yoğunluk değeri elde edilir. Burada, bahsi geçen kare piksel bloklarının merkezleri, sol üst köşelerinde yer alan elemanlarının görüntü üzerindeki koordinatları olarak kabul edilir. Her bir kare bloktan elde edilen nihai yoğunluk değeri, yukarıda belirtilen boş matriste, bu bloğun merkezine denk gelen indekse kaydedilir. Elde edilen matris, görüntünün bulanıklaştırılmış hâli olacaktır.

Görüntü bulanıklaştırma işleminde, 3×3 piksel boyutundaki maskelerin kullanımı oldukça yaygındır. Ancak bu tür maskelerle yapılan bulanıklaştırma işlemlerinde, bulanıklaştırılmış görüntüye ait piksel parlaklık değerlerinin hesaplanması aşamasında, maskenin uygulandığı alandaki piksellerden hangilerinin ne kadar oranda belirleyici etkiye sahip olacağına dair belirli bir standart bulunmamaktadır. Oysa ifade (7)'de verilen ve 2×2 piksel boyutunda olan maskenin uygulanışı, birbirine eşit uzaklıkta bulunan ve bir araya gelerek kare şeklinde bir blok oluşturan piksellerin her birinin parlaklık değerlerinin eşit

oranda etki etmesine dayanmaktadır ve görüntü bulanıklaştırma işleminde bu maskenin kullanımının standart bir yaklaşım olarak kabul edilebileceğini ifade etmek mümkündür.

İfade (8)'de verilen G matrisi, 5×8 piksel boyutundaki gri ölçekli bir görüntünün piksel yoğunluk değerlerini tutuyor olsun.

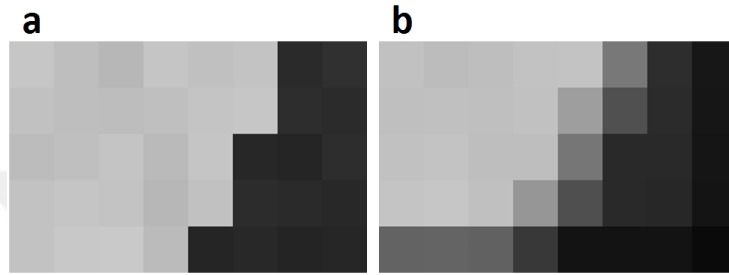
$$G = \begin{bmatrix} 198 & 190 & 183 & 197 & 192 & 195 & 42 & 48 \\ 193 & 190 & 189 & 191 & 196 & 198 & 45 & 43 \\ 188 & 191 & 196 & 186 & 197 & 39 & 37 & 45 \\ 194 & 197 & 195 & 183 & 193 & 44 & 42 & 40 \\ 194 & 200 & 201 & 187 & 37 & 40 & 36 & 38 \end{bmatrix} \quad (8)$$

G matrisine $bm_{2 \times 2}$ filtresi uygulandığında elde edilecek olan sonuç matrisi H olarak adlandırılırsa, H matrisi de ifade (9)'da verildiği gibi olacaktır.

$$H = \begin{bmatrix} 193 & 188 & 190 & 194 & 195 & 120 & 45 & 23 \\ 191 & 192 & 191 & 193 & 158 & 80 & 43 & 22 \\ 193 & 195 & 190 & 190 & 118 & 41 & 41 & 21 \\ 196 & 198 & 192 & 150 & 79 & 41 & 39 & 20 \\ 99 & 100 & 97 & 56 & 19 & 19 & 19 & 10 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Bu matrislere karşılık gelen gri ölçekli görüntüleri incelemek yararlı olacaktır. Şekil 6.a'da, ifade (8)'de verilen G matrisinin gri ölçekli gösterimi, Şekil 6.b'de ise ifade (9)'da verilen H matrisinin gri ölçekli gösterimi yer almaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken bir nokta; 4 piksele ait yoğunluk değerinden 1 piksele ait yoğunluk değerinin hesaplanmasına dayanan bulanıklaştırma işleminde görüntü boyutunun korunabilmesi adına yapılan geçici genişletme işlemidir. Bahsi geçen işlem uyarınca, orijinal görüntünün en sağındaki piksellerin sağlarına, geçici olarak, yoğunluk değerleri 0 olan birer adet piksel eklenmekte ve bunun ardından orijinal görüntünün en altındaki piksellerin altlarına da, geçici olarak, yoğunluk değerleri 0 olan birer adet piksel eklenmektedir. Bunun sonucunda, bulanıklaştırılmış görüntünün en sağ sütunundaki ve en alt satırındaki piksellerin yoğunluk değerleri düşük olmaktadır. Bu nedenle, Şekil 6.a'daki orijinal görüntü ile Şekil 6.b'deki bulanıklaştırılmış görüntü arasında karşılaştırma yapılırken, bahsi geçen satırların ve

sütunların dikkate alınmaması yerinde olacaktır. Her boyuttaki görüntüde sadece 1'er satır ve 1'er sütun için ortaya çıkacak olan bu durumun büyük boyutlu görüntülerdeki etkisi de ihmal edilebilir düzeyde olacaktır. Şekil 6.a'da verilen orijinal görüntü ile Şekil 6.b'de verilen bulanıklaştırılmış görüntü karşılaştırıldığında, bulanıklaştırma işleminin komşu piksellerin yoğunluk değerleri arasındaki yüksek farkları düşürdüğü, yani görüntüdeki kenarların belirginliğini azalttığı ifade edilebilir.



Şekil 6. Görüntü bulanıklaştırma işleminin temsili gösterimi

Görüntü bulanıklaştırma işleminin bu tez kapsamında incelenen asıl yönü ise, görüntü sahteciliği işlemlerinin görüntüler üzerinde bıraktıkları izlerin ortadan kaldırılmasında ya da gizlenmesinde, yani görüntüler üzerinde gerçekleştirilen sahteciliklerin tespitinin zorlaştırılmasında kullanılıyor olmasıdır. Görüntüler piksel parlaklık değerlerinden oluştukları için, bahse konu olan izler de elbette bu parlaklık değerlerinde yer almaktadırlar. Bu izleri yok etmek ya da gizlemek ise, bu piksel parlaklık değerlerini, görüntünün taşıdığı anlamda değişikliğe yol açmadan değiştirmekle mümkün olmaktadır. Sırasıyla Şekil 6.a'da ve Şekil 6.b'de yer alan gri ölçekli görüntüler, temsil etmekte oldukları ve sırasıyla ifade (8)'de ve ifade (9)'da verilen G ve H matrisleri ile beraber incelendiklerinde, görüntü bulanıklaştırma işleminin, görüntünün taşıdığı anlama müdahalede bulunmaksızın görüntü piksellerinin sahip oldukları yoğunluk değerlerinde -özellikle pikseller arası yoğunluk değeri farklarının yüksek olduğu bölgelerde- dikkate değer ölçüde değişikliğe yol açtığı ifade edilebilir. Bu tez kapsamında, görüntü bulanıklaştırma işleminin kopyalamaya dayalı görüntü sahteciliklerinin tespiti üzerindeki zorlaştırıcı etkisi dikkate alınmıştır.

1.7. Literatürde Yer Alan Sahtecilik Tespit Yöntemlerinde Görülen Eksiklikler

Literatürde yer alan ve sayısal görüntü sahteciliklerinin tespitini konu alan yöntemler incelendiğinde, bu yöntemlerde iki temel noktada eksiklikler olduğu sonucuna varılmıştır.

Bu noktalardan birincisi; KYDS, KDYDS ve KÖYDS tespit yöntemlerinin, birbirinin kopyası olan bölgelerin tespiti sırasında, bu bölgelerin tamamını doğrudan tespit etmeye odaklanmak yerine, bu bölgeleri oluşturan bloklardan/piksellerden mümkün olan en fazlasını tespit etmeye odaklanmalarıdır. Bu yaklaşım, çözülmeye çalışılan problemin doğasına uygun değildir; zira bu yöntemlerden beklenen, sahtecilik işlemine konu olan bölgelerin tamamını bir bütün hâlinde tespit etmeleridir. KYDS tespiti alanında yapmış olduğumuz araştırmalar ve deneyler sonucunda; sahteciliğe konu olan bölgelerin literatürdeki klasik yöntemlerde olduğu gibi, bir bütün olarak görülmeden tespit edilmeye çalışılması durumunda, JPEG sıkıştırması ve görüntü bulanıklaştırma gibi sahteciliğin tespitini zorlaştıran art işlemlerin, sahtecilik tespiti işlemlerinin başarısını ciddi oranda düşürdüğünü gözlemlemiş bulunmaktayız. Bunun yerine, bu tez kapsamında geliştirmiş olduğumuz ve ilerleyen bölümlerde detaylarıyla açıklamış olduğumuz yöntemler kullanılarak sahteciliğe konu olan bölgelerin tamamına odaklanması durumunda, yukarıda bahsi geçen art işlemlerin sahtecilik tespitinin başarısını düşürücü nitelikteki etkilerinin önemli ölçüde ortadan kalktığını ifade etmemiz mümkündür. Ayrıca, KYDS'nin bir alt türü olan KDYDS işleminin tespiti alanında yapmış olduğumuz araştırmalar ve deneyler sonucunda da, geliştirmiş olduğumuz ve sahteciliğe konu olan bölgelerin tamamına odaklanmayı esas alan yöntemimizin; gerek aradeğerlemeli gerekse aradeğerlemesiz döndürme işlemlerine ve döndürme işlemlerinden sonra sahtecilik tespitini zorlaştırmak amacıyla gerçekleştirilen JPEG sıkıştırması ve görüntü bulanıklaştırma art işlemlerine karşı yeterli dayanıklılığı gösterdiğini de gözlemlemiş bulunmaktayız.

İkinci nokta ise, literatürde yer alan KYDS tespit yöntemlerinin, birbirinin kopyası olan bölgeleri tespit edebilmelerine karşın, bu bölgelerden hangisinin kaynak bölge, hangisininse hedef bölge olduğunu belirleyemiyor olmalarıdır. Bu nedenle, tez kapsamında, KYDS'ler üzerinde kaynak-hedef ayrımı yapılması konusu da ele alınmış olup, bu konuyla alakalı olarak geliştirilen yöntem ve elde edilen sonuçlar ilgili bölümlerde yer almaktadır.

Bu iki noktanın haricinde, literatürde yer alan çalışmalardan kopyalamaya dayalı görüntü sahteciliklerinin tespitini konu alanlar incelendiğinde, pek çok çalışmada, önerilmiş olan yöntemlerin başarılarını ölçmek amacıyla, dikdörtgen bölge seçimi yoluyla

gerçekleştirilmiş olan sahtecilik işlemleri içeren deney görüntülerinin kullanıldığı görülmüştür. Kopyalamaya dayalı görüntü sahteciliklerinin amacı, sayısal görüntülerin taşıdıkları anlamları, insan görme sistemi -hatta mümkünse sahtecilik tespit algoritmaları- tarafından fark edilemeyecek biçimde değiştirmektir. Oysa, dikdörtgen bölge seçimi yoluyla yapılan görüntü sahtecilikleri, sahtecilik tespit yöntemlerine dahi gereksinim duyulmaksızın, doğrudan insan gözü ile anlaşılabilir. Bu durum, ilerleyen bölümlerde örnek görseller kullanılarak açıklanmıştır. İnsan görme sistemiyle kolayca anlaşılabilir nitelikteki görüntü sahteciliklerinin günlük hayatta uygulanabilir olduklarından söz etmek mümkün değildir. Bu tür amatör sahteciliklerin, sahtecilik tespit yöntemleri tarafından, insan gözüyle kolayca anlaşılacak nitelikte olan ve serbest biçimli bölge seçimi yoluyla yapılan profesyonel sahteciliklere kıyasla çok daha kolay biçimde ve çok daha yüksek başarı oranlarıyla tespit edilebilecekleri son derece açıktır. Literatürdeki pek çok çalışmada bu tür amatör sahteciliklerin tespitini konu alan deneylerin yapılarak bu deneylere ait başarı oranlarının paylaşılması ile, bu çalışmalarda önerilen yöntemleri olduklarından daha başarılı göstermenin amaçlandığı kanaatindeyiz. Bu tez kapsamında KYDS, KDYDS ve KÖYDS tespiti alanlarında yapılan deneylerin tamamında, sahteciliğe konu olan bölgelerin seçimi serbest biçimli olarak yapılmıştır. Bundan hareketle, geliştirmiş olduğumuz sahtecilik tespit yöntemlerinin, insan görme sistemi tarafından anlaşılması zor, hatta olanaksız olan profesyonel KYDS, KDYDS ve KÖYDS işlemlerinin tespitini amaçladığını ifade edebiliriz.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu tezde, sayısal görüntüler üzerinde kopyalamaya dayalı sahteciliklerin tespiti konusunda çalışmalar yapılmış olup, yapılan çalışmalar bu bölümde yer alan dört alt başlıkta ele alınmıştır. Her bir alt başlıkta, geliştirilmiş olan tüm yöntemler ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Bu alt başlıkların her birinde, diğer alt başlıklardakilerle aynı isimlere sahip parametrelerin kullanılmış olması söz konusu olup, bu parametreler aksi belirtilmedikçe birbirlerinden tamamen bağımsız olarak düşünülmelidir.

2.1. Sayısal Görüntüler Üzerinde Serbest Biçimli KYDS Tespiti

En yaygın olarak kullanılan sahtecilik yöntemlerinden biri KYDS'dir. KYDS tespiti için geliştirilen ilk yöntem, blok temelli bir yöntemdir ve şüpheli görüntüyü 8×8 boyutunda ve birbirleriyle örtüşen kare bloklara ayırmaktadır [66]. Bahsedilen yöntem, AKD kullanarak bu blokların her birinden 1×64 boyutunda özellik vektörleri elde etmekte ve bu özellik vektörlerini sözlüksel olarak sıraladıktan sonra birbirine komşu olan özellik vektörlerince temsil edilen blokların benzer olup-olmadıklarına karar vermektedir. Burada, iki blok arasındaki benzerlik, bu blokların birbirlerinin kopyası oldukları anlamına gelmektedir.

KYDS tespiti için geliştirilen ve blok temelli olan bir diğer yöntem ise, özellik çıkarımı için TBA (Temel Bileşen Analizi)'yı kullanmaktadır [71]. Yöntem, bu sayede, özellik vektörlerinin boyutlarını küçültmektedir ve sahtecilik tespiti işleminin karmaşıklığını azaltmaktadır.

Yukarıda bahsedilen yöntemlerin [66, 71] ortak dezavantajları, sahte görüntüler üzerinde sahteciliğin tespitini zorlaştırmak amacıyla yapılan bulanıklaştırma ve gürültü ekleme gibi art işlemlere karşı dayanıksız olmalarıdır. Bulanıklaştırma ve gürültü ekleme art işlemlerine karşı dayanıklı olacak biçimde geliştirilen başka bir yöntem, bulanıklaştırma işleminden bağımsız özelliklerin çıkarılması temeline dayanmaktadır [67]. Ancak, yalnızca görsel sonuçlar sunması nedeniyle, bu çalışma ile sayısal bir karşılaştırma yapmak mümkün olmamıştır.

KYDS tespiti alanında gürültü eklenmesi, bulanıklaştırma ve JPEG sıkıştırması art işlemlerine karşı dayanıklılık amacıyla geliştirilen bir diğer yöntem ise, görüntüye ait bloklara AKD uygulayarak özellik vektörleri elde etmeyi ve bu özellik vektörlerinin önceden belirlenmiş kısımlarını kullanmayı konu almaktadır [73].

KYDS tespitini konu alan diğer bir çalışmada geliştirilen başka bir yöntem ise; görüntüden elde edilen bloklara ait frekans bileşenlerinin bu bloklara AKD uygulanması yoluyla elde edilmesini, daha sonra bu frekans bileşenlerinin dört bölgeye ayrılmasını ve her bir bölgeye ait ortalama değerlerin kullanılmasıyla 1×4 boyutundaki özellik vektörlerinin oluşturulmasını konu almaktadır [76]. Çalışmada, bahsi geçen özellik vektörlerinin gürültü ekleme ve bulanıklaştırma art işlemlerine karşı dayanıklı oldukları belirtilmektedir.

Yukarıda bahsi geçen yöntemler [73, 76] dikdörtgen bölge seçimi yoluyla gerçekleştirilen KYDS'ler üzerinde yapılan sahtecilik tespiti işlemleriyle ilgili sayısal sonuçlar vermelerine karşın, serbest biçimli KYDS'lerin tespitini konu alan deneylerle ilgili olarak yalnızca görsel sonuçlar sunmaktadırlar ve bu durum da belirtilen çalışmalar ile sayısal karşılaştırma yapılmasını olanaksız kılmaktadır.

KYDS tespitini konu alan başka bir çalışmada ise, şüpheli görüntünün ve özellik vektörlerinin boyutlarının küçültülmesi amacıyla ADD (Ayrık Dalgacık Dönüşümü) ile TBA-ÖA (Temel Bileşen Analizi-Özdeğer Ayrışımı) işlemlerinin bir arada kullanıldığı blok temelli bir yöntem önerilmektedir [70]. Bu sayede, sahtecilik tespiti işleminin hızlı bir biçimde gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Çalışmada kullanılan test görüntüleri, yalnızca, kolayca tespit edilebilecek nitelikte olan ve dikdörtgen bölge seçimi yoluyla yapılan KYDS'ler içermektedir. Çalışmaya ait deneysel sonuçlar, çalışmada önerilen yöntemin, JPEG sıkıştırması art işlemlerinde JPEG kalite faktörünün azalması durumuna karşı kararlı olmadığını göstermektedir.

KYDS tespitini konu alan başka bir çalışmada ise, blok temelli olan ve özellik çıkarma aşamasında özellik vektörlerinin boyutlarını küçültüp sahtecilik tespiti işlemini hızlandırmak amacıyla AKD ile TDA (Tekil Değer Ayrışımı) işlemlerinden yararlanan bir yöntem önerilmiştir [63]. Bu çalışmaya ait deneysel sonuçlar, dikdörtgen bölge seçimi yoluyla yapılan KYDS'lere maruz bırakılmış sahte görüntüler üzerinde elde edilmiştir ve bu sonuçlar da, yöntemin, azalan kalite faktörlerine sahip JPEG sıkıştırması art işlemlerine karşı kararlı olmadığını göstermektedir. Çalışmada, değişen kalite faktörleriyle yapılan JPEG sıkıştırması art işlemlerinin söz konusu olduğu serbest biçimli KYDS'nin tek bir örneğine

rastlanmaktadır ancak bu örnek, yöntemin bu işlemler karşısındaki kararlılığı hakkında yeterince ipucu vermemektedir.

KYDS tespiti alanında yapılan bir diğer çalışmada ise, özellik çıkarma işlemini YİÖ (Yerel İkili Örüntü) ve TDA aracılığıyla yapan ve blok temelli olan bir yöntem önerilmiştir [74]. Çalışmaya ait deneyler, hem dikdörtgen bölge seçimi yoluyla yapılan hem de serbest biçimli KYDS'ler içermektedir ancak bu deneylere ait herhangi bir sayısal sonuç bulunmadığından, bahsi geçen yöntemin başarı oranları ve değişen kalite faktörlerine sahip JPEG sıkıştırması art işlemleri karşısındaki kararlılığı değerlendirilememiştir.

KYDS tespitini konu alan diğer bir çalışmada ise, DİD (Döngüsel İzdüşüm Dönüşümü) ve DHAHDD (Değiştirilmiş Hızlı Ayrık Haar Dalgacık Dönüşümü) kullanılan blok temelli bir yöntem önerilmiştir [65]. Yöntem, DHAHDD kullanarak hesaplama maliyetinin düşürülmesini ve özellik çıkarımı için de HİDD (Halkasal İz Düşümü Dönüşümü) kullanılmasını amaçlamaktadır. Ancak, ilgili çalışmada değişen kalite faktörlerine sahip JPEG sıkıştırması art işlemlerinin etkileri incelenmediğinden, yöntemin bu konudaki kararlılığı hakkında yeterli bilgi yoktur. Ayrıca, ilgili çalışmada başarı oranları piksel temelli ölçütler yerine doğru ve hatalı biçimde teşhis edilmiş görüntü sayıları üzerinden hesaplandığından, bu çalışma ile sayısal bir karşılaştırma yapılamamıştır.

KYDS tespitinin konu alındığı bir başka çalışmada ise, özellik indirgemesi için ADD ve AKD'nin bir arada kullanıldığı blok temelli bir yöntem önerilmiştir [72]. Bahsedilen yöntem, serbest biçimli KYDS tespitini konu almaktadır. Ancak bu çalışmada da değişen kalite faktörleriyle gerçekleştirilen JPEG sıkıştırması art işlemlerinin etkileri incelenmemiştir ve bu nedenle bahsedilen yöntemin bu art işlemler karşısındaki kararlılığı hakkında bilgi edinilememiştir.

KYDS tespitini ele alan diğer bir çalışmada ise, blok temelli olan ve özellik çıkarımı için AKD kullanılan bir yöntem önerilmiştir [68]. Ancak, bu çalışmada da değişen kalite faktörleriyle gerçekleştirilen JPEG sıkıştırması art işlemlerinin etkileri incelenmediği için bahsi geçen yöntemin bu art işlemler karşısındaki kararlılığı değerlendirilememiştir.

Yukarıda incelenen çalışmalarda yer alan KYDS tespit yöntemlerinin sahip oldukları dezavantajlar veya eksiklikler, Tablo 1'de bir arada verilmiştir.

Tablo 1. İncelenen KYDS tespit yöntemlerinin sahip oldukları dezavantajlar veya eksiklikler

<i>Yöntem</i>	<i>Dezavantaj veya Eksiklik</i>
[66], [71]	Bulanıklaştırma art işlemine karşı dayanıksız olma
[67], [74]	KYDS tespiti deneylerine ait sonuçların sayısal olarak sunulmaması
[73], [76]	Serbest biçimli KYDS tespiti deneylerine ait sonuçların sayısal olarak sunulmaması
[70]	JPEG sıkıştırması art işlemlerinde JPEG kalite faktörünün azalması durumuna karşı kararsız olma
[63]	Serbest biçimli KYDS tespitinde değişen kalite faktörleriyle gerçekleştirilen JPEG sıkıştırması art işlemlerine karşı kararlılık hakkında yeterli bilgi bulunmaması
[72], [68], [65]	KYDS tespitinde değişen kalite faktörleriyle gerçekleştirilen JPEG sıkıştırması art işlemlerine karşı kararlılık hakkında yeterli bilgi bulunmaması
[65]	Başarı oranlarının piksel temelli ölçütlerle ifade edilmemesi

KYDS tespiti alanında incelenen yöntemler bir arada değerlendirildiğinde; bu yöntemlerin, KYDS bölgelerini bir bütün hâlinde tespit etmektense bu bölgeler üzerindeki benzer kısımları mümkün olan en iyi biçimde eşleştirerek KYDS tespiti yapmayı hedefledikleri ifade edilebilir. Ancak, bahsedilen yöntemlerin benimsedikleri yaklaşım ile yapılan deneyler sonucunda; sahtecilik tespitini zorlaştırmayı amaçlayan art işlemlerin görüntü üzerindeki bozucu etkileri arttıkça, KYDS bölgelerindeki benzer kısımların eşleştirilmesinin de önemli ölçüde zorlaştığı gözlenmiştir. Bu durum da; ilgili art işlemlerin bozucu etkilerinin artmasıyla beraber, deneylerin başarılarının ciddi ölçüde düşmesi anlamını taşımaktadır. Bu problemin üstesinden gelebilmek adına, tez kapsamında geliştirilen KYDS tespit yönteminde, KYDS bölgelerinin yeni ve orijinal bir yaklaşımla, bir bütün olarak tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu sayede, geliştirilen yöntemin, hem yüksek başarıya sahip olması hem de art işlemlerin giderek artan bozucu etkileri karşısında kararlı olması sağlanmıştır.

KYDS tespiti için geliştirmiş olduğumuz yöntem de blok temelli bir yöntem olmasına rağmen, blok eşleştirme mekanizmasını sadece sahteciliğe konu olan bölgelerin karşılıklı olarak işaretlenmesi amacıyla kullanmaktadır ve sahte bölgelerin tespitini yeni ve orijinal bir yaklaşımla yapmaktadır.



Şekil 7. KYDS işleminde seçilen bölgenin şeklinin önemi

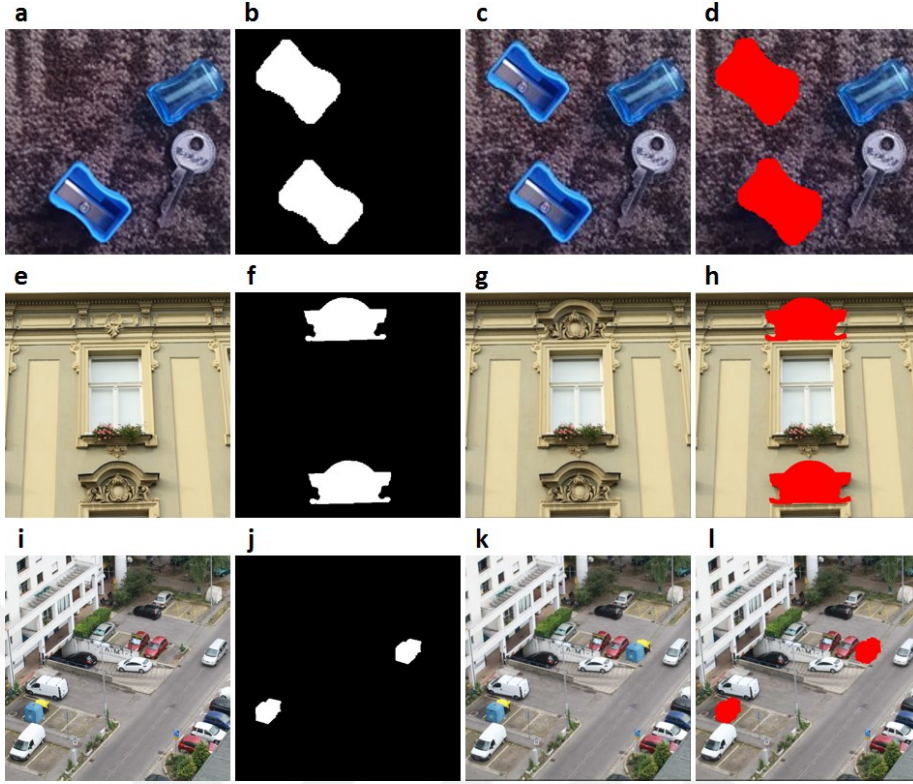
KYDS işleminde seçilen bölgenin serbest biçimli olması ile dikdörtgen olması arasındaki fark, Şekil 7'de açıkça görülmektedir. Şekil 7.a'da yer alan orijinal görüntüde bulunan tornavida serbest biçimli KYDS işlemiyle aynı görüntü üzerinde farklı bir bölgeye yapıştırılarak Şekil 7.b elde edilmiştir. Benzer işlem, bu kez dikdörtgen bölge seçimi yoluyla gerçekleştirilerek Şekil 7.c elde edilmiştir. Şekil 7.b doğal görüldüğü için buradaki sahteciliği insan görme sistemiyle fark etmek neredeyse olanaksızken, Şekil 7.c'deki sahtecilik işlemi görüntüye bakılır bakılmaz kolaylıkla anlaşılacaktır. Şekil 7 incelendiğinde, profesyonel KYDS işlemleri için serbest biçimli bölge seçiminin gerekli olduğu ve geliştirilen sahtecilik tespit yöntemlerinin başarılarının sağlıklı biçimde ölçülebilmesi için profesyonel KYDS deneyleri üzerinde test edilmeleri gerektiği anlaşılmaktadır.

Bir sayısal görüntü üzerinde KYDS işlemi gerçekleştirildiğinde, kopyalanan ve yapıştırılan bölgenin şekli, sahtecilik tespit algoritması için son derece önemlidir. Eğer sahteciliğe konu olan bölge serbest biçimli olarak seçilmişse, blok temelli yöntemler sahteciliği tespit etmekte zorlukla karşılaşacaklardır çünkü kare bloklar, sahteciliğe konu olan bölgelerin dış yüzeyleri ile eşleşmeyebilirler. Bu sorunun çözümü için blok boyutunun küçük tutulması durumunda ise, bloklarda tutulan bilgi miktarı azalacağı için, benzerlik göstermeyen nesnelerin benzer yapıdaki küçük bölgeleri birbirleriyle eşleştirilerek hatalı benzerlik ilişkileri kurulabilecektir.

Bu çalışmada, serbest biçimli KYDS'lerin tespiti için yeni ve orijinal bir yöntem geliştirilmiştir ve geliştirilen yöntemin başarısını test etmek için kullanılan tüm test görüntüleri serbest biçimli KYDS'ler içermektedir. Geliştirilen yöntem blok temellidir ve bloklardan özellik çıkarma işlemi için YTV kullanılmaktadır. Alışılmış blok temelli yöntemlerden farklı olarak, geliştirilen yöntem, sahteciliğe konu olan bölgelerin tespitini

birbiri ile benzer bulunarak eşleştirilen blok çiftlerini işaretlemek yerine şüpheli görüntünün iki kopyasını üst üste yerleştirip bunların farklarını hesaplamaya dayanan özgün bir yaklaşım ile yapmaktadır. Bu yöntem sayesinde, KYDS tespit işlemi, art işlemlerin sahte görüntü üzerindeki bozucu etkisi artsa bile, başarı oranları bakımından kararlı bir performans göstermektedir. KYDS tespitini konu alan çalışmamızdaki tek başarı ölçütünün ortalama başarı oranlarının yüksekliği olmadığını, aynı zamanda sahteciliğin tespitini zorlaştırmayı amaçlayan art işlemlerin etkilerine karşı kararlı bir performans sergilenmesini de önemli bir başarı ölçütü olarak gördüğümüzü belirtmemiz gerekmektedir.

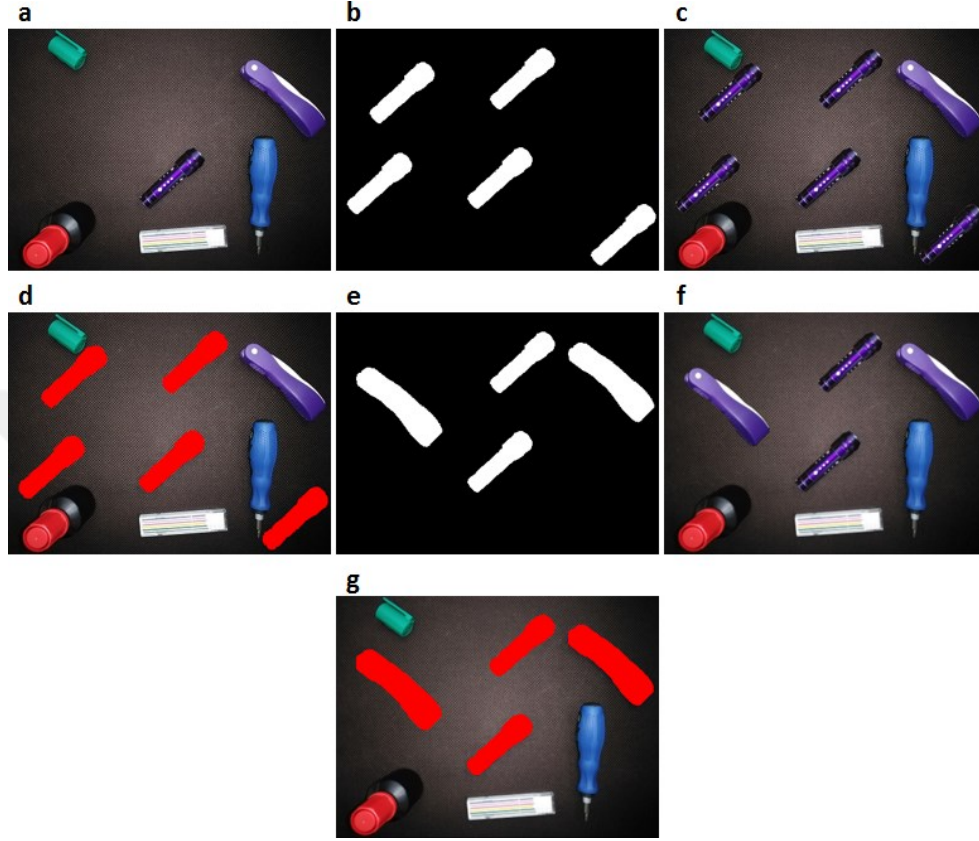
Şekil 8'de, serbest biçimli KYDS tespiti işlemlerine dair bazı örnek deney görüntüleri verilmiştir. Şekil 8.a'da, SBKYDS (Serbest Biçimli Kopyalama-Yer Değiştirme Sahteciliği) veri kümesinde [82] yer alan orijinal bir görüntü; Şekil 8.b'de, Şekil 8.a'da verilen görüntü için kopyalama-yer değiştirme maskesi; Şekil 8.c'de, Şekil 8.a ile Şekil 8.b kullanılarak elde edilen ve art işlem olarak $q=85$ kalite faktörüne sahip JPEG sıkıştırmasına tabi tutulan sahte görüntü; Şekil 8.d'de ise Şekil 8.c için sonuç görüntüsü yer almaktadır. Şekil 8.e'de, CoMoFoD veri kümesinde [83] yer alan orijinal bir görüntü; Şekil 8.f'de, Şekil 8.e'de verilen görüntü için kopyalama-yer değiştirme maskesi; Şekil 8.g'de, Şekil 8.e ile Şekil 8.f kullanılarak elde edilen ve art işlem olarak önce görüntü bulanıklaştırma işlemine, sonrasında ise $q=70$ kalite faktörüne sahip JPEG sıkıştırmasına tabi tutulan sahte görüntü; Şekil 8.h'de ise Şekil 8.g için sonuç görüntüsü yer almaktadır. Şekil 8.i'de, CoMoFoD veri kümesinde yer alan başka bir orijinal görüntü; Şekil 8.j'de, Şekil 8.i'de verilen görüntü için kopyalama-yer değiştirme maskesi; Şekil 8.k'de, Şekil 8.i ile Şekil 8.j kullanılarak elde edilen ve art işlem olarak önce $q=55$ kalite faktörüne sahip JPEG sıkıştırmasına, sonrasında ise görüntü bulanıklaştırma işlemine tabi tutulan sahte görüntü; Şekil 8.l'de ise Şekil 8.k için sonuç görüntüsü yer almaktadır. Bahsedilen sonuç görüntüleri, geliştirmiş olduğumuz KYDS tespit yöntemi tarafından üretilmiştir. Serbest biçimli bir KYDS'de, Şekil 8.a'daki gibi orijinal bir görüntü üzerinde, düzensiz bir şekle sahip olan belirli bir bölge kopyalanır ve Şekil 8.b'deki gibi bir kopyalama-yer değiştirme maskesi referans alınarak Şekil 8.c'de olduğu gibi, aynı görüntü üzerinde farklı bir bölgeye yapıştırılır.



Şekil 8. Serbest biçimli KYDS tespiti işlemlerine dair bazı örnek deney görüntüleri

Geliştirilen yöntem çoklu KYDS'ler üzerinde de, yani bir görüntü üzerinde serbest biçimli olarak seçilen bir bölgenin kopyalanarak aynı görüntü üzerinde farklı alanlara birden çok defa yapıştırılması veya bir görüntü üzerinde serbest biçimli olarak seçilen birden çok bölgenin kopyalanarak aynı görüntü üzerinde farklı alanlara yapıştırılması durumlarında da sahtecilik tespiti yapabilmektedir. Şekil 9'da, serbest biçimli çoklu KYDS tespiti işlemlerine dair bazı örnek deney görüntüleri verilmiştir. Şekil 9.a'da, SBÇKYDS (Serbest Biçimli Çoklu Kopyalama-Yer Değiştirme Sahteciliği) veri kümesinde [84] yer alan orijinal bir görüntü; Şekil 9.b'de, Şekil 9.a'da verilen görüntü için bir bölgenin kopyalanarak aynı görüntü üzerinde farklı alanlara birden çok defa yapıştırılmasını ifade eden kopyalama-yer değiştirme maskesi; Şekil 9.c'de, Şekil 9.a ile Şekil 9.b kullanılarak elde edilen ve art işlem olarak $q=90$ kalite faktörüne sahip JPEG sıkıştırmasına tabi tutulan sahte görüntü; Şekil 9.d'de Şekil 9.c için sonuç görüntüsü; Şekil 9.e'de, Şekil 9.a'da verilen görüntü için birden çok bölgenin kopyalanarak aynı görüntü üzerinde farklı alanlara yapıştırılmasını ifade eden kopyalama-yer değiştirme maskesi; Şekil 9.f'de, Şekil 9.a ile Şekil 9.e kullanılarak elde edilen ve art işlem olarak görüntü bulanıklaştırma işlemine tabi tutulan sahte görüntü; Şekil

9.g'de ise Şekil 9.f için sonuç görüntüsü yer almaktadır. Sonuç görüntüleri, geliştirmiş olduğumuz KYDS tespit yönteminde üretilmiştir.



Şekil 9. Serbest biçimli çoklu KYDS tespiti işlemlerine dair bazı örnek deney görüntüleri

Geliştirilen yöntem, şüpheli görüntüyü birbirleriyle örtüşen kare bloklara ayırmakta ve bu bloklardan özellik çıkarmak için YTV kullanmaktadır. Örtüşen blokların tamamından özellik çıkarılması işleminden sonra bu özelliklerin tutulduğu özellik vektörleri sözlüksel olarak sıralanmaktadır ve ileride açıklanacak olan işleyiş uyarınca, benzer bölgelere ait olan bloklar birbirleriyle eşleştirilmektedir. Geliştirilen yöntem kapsamında; yüksek başarı oranlarının yanı sıra art işlemlere karşı dayanıklılık elde edebilmek amacıyla, birbiriyle eşleştirilen blok çiftlerini işaretlemek yerine yeni ve özgün bir yaklaşım tercih edilmiştir. Bu yaklaşıma göre, eşleştirilen blokların oluşturduğu blok kümelerine ait merkez noktalar hesaplanmakta ve bu noktalar, kaynak ve hedef bölgelere ait referans noktaları olarak kabul edilmektedir. Bunun ardından, sahteciliğe konu olan bölgeleri eşleştiren bu referans noktaları kullanılarak şüpheli görüntünün iki kopyası üst üste yerleştirildikten sonra bu

görüntülerin farkları hesaplanmakta ve en düşük farkın elde edildiği bölgelerden hareketle sahteciliğe konu olan bölgeler saptanmaktadır. Görüntüde çoklu KYDS olması durumunda ise; eşleşen blokların oluşturduğu bölgelerin tümü tespit edildikten sonra kendi aralarında ikişerli gruplar hâlinde karşılaştırılarak her bir eşleşme durumu için çoklu olmayan KYDS işlemi varmışçasına sahtecilik tespiti yapılmakta, bunun sonucunda da görüntü üzerinde birbirinin kopyası olan tüm bölgeler tespit edilebilmektedir.

2.1.1. Yoğunluk Tutarlılık Vektörü

YTV, bir sayısal görüntüye ait piksellerin yoğunluk değerlerinden hareketle belirlenen tutarlı ve tutarsız piksel adetlerinden oluşan bir vektör olarak tanımlanabilir [85]. Bir pikselin tutarlı olarak sınıflandırılabilmesi için, benzer yoğunluk değerine sahip olan ve birbirleriyle komşuluk ilişkisine sahip olmak kaydıyla geniş bir alan kaplayan piksel topluluğunun bir üyesi olması gerekmektedir, aksi durumda bu piksel tutarsız olarak kabul edilir. Bir yoğunluk değerinin tutarlılığı, birbirine komşu piksellerden oluşan büyük bölgelerin üyeleri olan, bu yoğunluk değerine veya benzer yoğunluk değerlerine sahip toplam piksel sayısıdır. Tutarlı bölgeler, bir bloğun imzası olarak kabul edilebilir. Bir bloğun YTV'sinin hesaplanmasından önce, ön işlem olarak bulanıklaştırma işlemi yapılması gerekir. Daha sonra, yoğunluk uzayı, n farklı yoğunluk derecesi elde edilecek biçimde ayrıklaştırılır. Bloğun imzasını elde etmek için, bir sonraki adımda, bağlı bileşenler hesaplanır. Aynı ayrıklaştırılmış yoğunluk derecesine sahip herhangi bir piksel çifti (p_1, p_2) için, eğer p_1 ile p_2 arasında, ayrıklaştırılmış yoğunluk derecesi aynı olan başka pikseller aracılığı ile bir bağlantı kurulabiliyorsa, bu piksel çifti bağlı bileşenler olarak kabul edilir. Bağlı bileşenlerin hesaplanması işlemi, her bir ayrıklaştırılmış yoğunluk derecesi için ayrı ayrı yapılır. Bir pikselin tutarlı olup-olmadığına karar verebilmek adına, bir eşik değeri kullanılır. Eğer bir pikselin bağlı bileşenleri toplamda bu eşik değerinden fazla sayıda eleman içeriyorsa bu piksel tutarlı olarak kabul edilirken, aksi durumda bu piksel tutarsız olarak kabul edilir. Bir blokta, her bir ayrıklaştırılmış yoğunluk derecesi için, tutarlı pikseller de, tutarsız pikseller de bulunabilir. Bir blok için toplamda s adet ayrıklaştırılmış yoğunluk derecesi olduğu varsayılırsa, k . ayrıklaştırılmış yoğunluk derecesinde m_k adet tutarlı, n_k adet de tutarsız piksel bulunması durumunda, bu bloktan elde edilen özellik vektörü ifade (10)'daki gibi olacaktır.

$$\langle (m_1, n_1), (m_2, n_2), \dots, (m_k, n_k), \dots, (m_s, n_s) \rangle \quad (10)$$

YTV, RTV (Renk Tutarlılık Vektörü)'nin farklı bir biçimi olarak da düşünülebilir. RTV'de tüm renk kanalları kullanılırken YTV'de sadece yoğunluk bilgisi kullanılmaktadır. Sayısal görüntüler üzerinde gerçekleştirilen uygulamalarda RTV'nin kullanıldığı çalışmalar mevcuttur [86-88].

2.1.2. Özellik Çıkarımı, Benzer Bölgelerin Eşleştirilmesi ve Benzer Bölgelerin Belirlenmesi

B 'nin tek sayı olması kaydıyla, geliştirilen yöntem, görüntüyü gri ölçekli hâle dönüştürdükten sonra birbiriyle örtüşen $B \times B$ boyutundaki kare bloklara ayırır. B , değeri kullanıcı tarafından belirlenen bir parametredir. Görüntünün gri ölçekli hâle dönüştürülmesi işlemi, MATLAB R2017b'de standart olarak yer alan *rgb2gray* fonksiyonu aracılığı ile, ifade (1)'de yer alan denkleme göre gerçekleştirilmektedir.

Gri ölçekli hâle dönüştürme işleminin ardından, $B \times B$ boyutundaki kare blokların her biri için hem birer YTV elde edilmekte, hem de bu bloklar için birer çeşitlilik değeri (CD_{BLOK}) hesaplanmaktadır. CD_{BLOK} değeri hesaplanırken ilk önce blok, vektör hâline getirilir. Vektördeki her bir eleman kendisi haricindeki diğer tüm elemanlarla birer kez eşleştirilir ve her bir eşleşmede, eşleşen elemanların farklarının mutlak değerleri hesaplanır. Hesaplanan bu mutlak değerlerin tümünün toplanarak vektörün eleman sayısına bölünmesiyle CD_{BLOK} değeri elde edilmiş olur. Bloğa ait YTV'nin sonuna CD_{BLOK} değerinin ve bu değeri takiben ilgili bloğun sol üst köşe noktasına ait x ve y koordinatlarının da eklenmesiyle oluşacak olan vektör, bu bloğa ait özellik vektörü olarak kabul edilir. Çıkarılan bu özellik vektörleri, OM (özellikler matrisi)'nin satırlarını oluştururlar. Sonrasında OM matrisi sözlüksel olarak sıralanır ve birbirine benzer olan bloklara ait özellik vektörlerinin birbirlerine yakın satırlarda yer almaları sağlanır.

Sözlüksel sıralama işleminden sonra, birbiri ile benzeşen blokların hangileri olduğuna karar verilebilmesi için birtakım eleme işlemlerine gereksinim duyulacaktır. Bu eleme işlemleri için gerekli olan dört parametre; SU_{MAKS} (maksimum sözlüksel uzaklık), OK_{MIN} (minimum Öklid uzaklığı), E_C (çeşitlilik eşiği) ve BF_{MAKS} (bloklar arası maksimum fark) parametreleridir. Bu parametrelerin eşleştirme ve eleme işlemlerinde hangi görevleri

üstlendikleri aşağıdaki paragraflarda açıklanacak olup, parametre değerleri her bir deney için kullanıcı tarafından belirlenmektedir.

Sıralanmış olan OM matrisindeki her bir satır tek bir bloğu temsil ediyor olacaktır. Birbirine benzeyen bloklara ait özellik vektörlerinin OM matrisi üzerinde birbirlerine yakın konumlarda bulunacağı mantığından hareketle, birbirlerine benzemeyen blokları eleyerek bu blokların benzer olarak değerlendirilmesini engellemek için SU_{MAKS} değerinden yararlanılır. Her bir bloğun, OM matrisi üzerinde bulunan diğer bloklardan kendisine SU_{MAKS} değerinden daha fazla uzaklığa sahip olan bloklara benzemediği kabul edilir.

OK_{MIN} parametresi, gökyüzü ya da belirli bir nesnenin yüzeyi gibi tekdüze renklerden oluşan bölgelerin algoritmayı yanıltmaması için, benzer olan ancak Öklid uzaklığı bakımından birbirine yakın olan blokların elenmesi amacıyla kullanılır. Eğer iki bloğun koordinatları (sol üst köşelerindeki piksellerin x ve y koordinatları) arasındaki Öklid uzaklığı OK_{MIN} değerinden küçükse, bu iki bloğun birbirlerine benzemedikleri kabul edilir.

EC parametresi de OK_{MIN} parametresine benzer şekilde, gökyüzü ya da belirli bir nesnenin yüzeyi gibi tekdüze renklerden oluşan bölgelerin algoritmayı yanıltmasını engellemek amacıyla kullanılır. Ancak EC parametresi iki blok arasındaki herhangi bir ilişkiye (Öklid uzaklığı, sözlüksel sıralamadaki uzaklık vb.) bakılmaksızın kullanılan bir parametredir. CD_{BLOK} değerleri EC 'den daha düşük olan tüm blokların başka herhangi bir blokla benzerlik gösteremeyecekleri kabul edilir çünkü tek biçimli renklere sahip olduklarından, bu blokların algoritmanın nesnelere tanıyabilmesi ve ayırt edebilmesi için yeterli ipucu veremeyecekleri düşünülür.

İki bloğun benzer olup-olmadığına karar verilmesinde kullanılan diğer bir parametre de BF_{MAKS} parametresidir. Bu parametre kullanılarak yapılan eleme işlemlerinde, yardımcı bir parametre olan genişletme uzaklığı parametresinden (U_G) de yararlanılmaktadır. U_G parametresinin değeri, kullanıcı tarafından negatif olmayan bir tamsayı olarak belirlenir. Benzerliği kontrol edilecek olan herhangi iki bloktan her ikisi de sağa ve aşağı doğru U_G değeri kadar genişletilir. Sonrasında, genişletilmiş olan bu iki blok üst üste getirilerek her blok elemanının farkının mutlak değerleri hesaplanır ve elde edilen bu değerler birbiriyle toplanır. Eğer bu toplam BF_{MAKS} değerinden büyükse, bu iki bloğun birbirlerine benzemedikleri kabul edilir.

Klasik blok temelli KYDS tespit yöntemlerinde, bu tür parametrelerin değerleri başarı oranlarını doğrudan etkilemektedir çünkü bu yöntemler, sahte bölgeleri doğrudan blok eşleştirme işlemleri yoluyla belirlemektedirler ve bu tür parametrelerin değerleri de eşleşen

blokların sayılarını ve konumlarını doğrudan etkilemektedir. Ancak geliştirdiğimiz yöntem, bu parametrelere sadece sahteciliğe konu olan bölgelerin göreceli konumlarını belirlemek için ihtiyaç duymaktadır ve bu bölgeleri, ileride açıklanacağı şekilde, orijinal bir yolla belirlemektedir.

Benzer blokların koordinatlarını tutmak üzere M_{K1} ve M_{K2} adında iki matris tanımlansın. OM üzerinde özellik vektörleri yer alan her bir blok, özellik vektörleri bu matris üzerinde kendisinden aşağı konumda bulunan diğer tüm bloklarla karşılaştırılır. Yukarıda bahsi geçen dört parametreye ait kurallardan tek bir tanesinde bile birbirlerine benzemediklerine dair bir sonucun ortaya çıkmadığı blok çiftleri, benzer olarak kabul edilirler. Bahsi geçen benzer blok çiftlerinden OM üzerinde daha yukarı konumda olanının koordinatları (sol üst köşe noktasına ait x ve y koordinatları) M_{K1} matrisinin sıradaki boş satırına, alt konumda olanının koordinatları ise M_{K2} matrisinin aynı numaralı satırına eklenir.

Yukarıda ayrıntılı olarak verilen teknik, sahteciliğe konu olan görüntü üzerindeki kopyalama ve yapıştırma işlemine maruz bırakılan bölgelerin birbirleriyle veya görüntünün kenarlarıyla kesişmediklerini varsaymaktadır. Benzer bölgelerin eşleştirilmesi ve belirlenmesi işlemi, aşağıdaki adımlar uyarınca gerçekleştirilmektedir:

Adım 1: Şüpheli görüntü ile aynı boyutlara sahip ikili bir görüntü olan bir çoklu sonuç maskesi (M_{CSNC}) oluşturulur ve tüm indekslerine 0 atanır.

Adım 2: İlk önce, sahteciliğe konu olan görüntü ile aynı boyutta olan ikili bir kontrol görüntüsü oluşturularak bu görüntünün tüm indekslerine 0 değeri atanır. Daha sonra, bu kontrol görüntüsü üzerinde, M_{K1} ile M_{K2} matrislerinde koordinatları yer alan tüm blokların denk geldikleri indekslere 1 değeri atanır. Bunun sonucunda, bahsi geçen kontrol görüntüsünde, birbiri ile eşleşmiş olan görüntü bloklarının denk geldikleri alanlar beyaz ile, geriye kalan alanlar ise siyah ile temsil ediliyor olacaktır. Eğer sahtecilik işlemi çoklu KYDS içeriyorsa, kontrol görüntüsü üzerinde en az üç farklı beyaz bölge olacaktır. Eğer sahtecilik işlemi çoklu olmayan KYDS içeriyorsa, kontrol görüntüsü üzerinde iki farklı beyaz bölge olabileceği gibi, ikinin katları kadar beyaz bölge olması da mümkündür (Sahtecilik işleminin çoklu olmayan KYDS içermesi durumunda sahtecilik tespit algoritması, bazen, sahteciliğe konu olan bölgelerin farklı kısımlarını birbirleriyle kesişmeyecekleri biçimde eşleştirebilmektedir. Bu durumda, ikinin katı kadar bölge eşleştirmesi yapılacaktır. Bu durumun, sahtecilik tespit işleminin başarı oranlarına herhangi bir olumsuz etkisi olmamaktadır.). Bahsedilen kontrol görüntüsü üzerindeki tüm bölgeler ayrı ayrı numaralandırıldıktan sonra bu bölgeler kendileri haricindeki diğer tüm bölgelerle birer kez

karşılaştırılır. Karşılaştırılan bölge çiftinin eşleştirilebilmesi için, M_{K1} ile M_{K2} matrislerinin paralel indekslerinde yer alan yani birbirine benzer oldukları kabul edilen en az 1 blok çiftini karşılıklı olarak içermeleri şartı aranır. Bu şartı sağlamayan bölge çiftleri dikkate alınmaz. Bu şartı sağlayan bölge çiftlerinin her biri için, M_{K1} ile M_{K2} matrislerinin paralel indekslerinde yer alan ve bu bölge çiftlerinin karşılıklı olarak içermekte oldukları tüm blok çiftlerinin koordinatları; sırasıyla M_{KBK} ve M_{HBK} adlı iki matrise karşılıklı olarak yerleştirilir ve sonrasında, aşağıdaki alt adımlarda yer alan işlemler sırayla gerçekleştirilir:

Adım 2.1: Algoritmanın ilerleyen adımlarında, kaynak blokların koordinatlarının M_{KBK} adlı bir matriste tutulduğu ve hedef blokların koordinatlarının M_{HBK} adlı bir matriste tutulduğu varsayılacaktır. Burada bir varsayımdan bahsedilmesinin nedeni, algoritmanın, eşleşen bölgelerden hangisinin kaynak bölge hangisininse hedef bölge olduğunu belirleyemiyor olmasıdır (Kaynak bölge ile hedef bölge ayrımının yapılması işlemi, Bölüm 2.4'te ayrıntılı olarak ele alınan yöntem sayesinde gerçekleştirilebilmektedir.). Aslında bu noktada istenen, karşılıklı olarak eşleşen iki bölgeye ait blok kümelerinden birinin koordinatlarının M_{KBK} matrisinde, diğerinin koordinatlarınınsa M_{HBK} matrisinde toplanmasıdır ve bunun sonucunda, koordinatları M_{KBK} matrisinde toplanan bölge kaynak bölge olarak, koordinatları M_{HBK} matrisinde toplanan bölge ise hedef bölge olarak kabul edilecektir. Bahsi geçen varsayımdan hareket edilerek yapılan deneyler, kaynak bölgeye ait blokların koordinatlarının bir kısmının M_{KBK} matrisinde, bir kısmının M_{HBK} matrisinde; hedef bölgeye ait blokların koordinatlarının da bir kısmının M_{HBK} matrisinde, bir kısmının M_{KBK} matrisinde yer aldıklarını göstermiştir. Bu durum, eşleşen blokların indeks değerlerinin M_{KBK} ve M_{HBK} matrislerinin paralel indekslerinde saklanması sayesinde blok eşleştirme işleminde herhangi bir soruna yol açmasa da, kaynak ve hedef bölgelerin kesin olarak tespit edildiği sonraki aşamalarda sorunlara yol açabilecektir. Bu nedenle, M_{KBK} ve M_{HBK} matrisleri, içerdikleri blok koordinatlarının ağırlık merkezlerine bağlı olarak bir kutuplaştırma işlemine tabi tutulmaktadırlar ve böylece M_{KBK} ve M_{HBK} matrislerinin, sırasıyla, yalnızca kaynak ve hedef bölgelere ait blokların koordinatlarını tutmaları sağlanmaktadır.

Adım 2.2: M_{KBK} matrisinde tutulan x ve y koordinatlarının ortalamasına $(B-1)/2$ değeri eklenerek sırasıyla Kx_{ort} ile Ky_{ort} değerleri elde edilir. Aynı zamanda, M_{HBK} matrisinde tutulan x ve y koordinatlarının ortalamasına $(B-1)/2$ değeri eklenerek sırasıyla Hx_{ort} ile Hy_{ort} değerleri elde edilir. Kx_{ort} ile Ky_{ort} değerleri kaynak blokların ağırlık merkezini verirken Hx_{ort} ile Hy_{ort} değerleri de hedef blokların ağırlık merkezini verecektir.

Adım 2.3: Şüpheli görüntünün renkli hâlinin renkli bir kopyası oluşturulur. Elemanları algoritmanın ilerleyen adımlarında belirlenmek üzere boş bir veriler matrisi (M_V) tanımlanır.

Adım 2.4: İlk önce, şüpheli görüntünün renkli hâlinin kopyası, şüpheli görüntünün renkli hâlinin aslı üzerine, asıl görüntüdeki $K_{x_{ort}}$ ve $K_{y_{ort}}$ koordinatları ile kopya görüntüdeki $H_{x_{ort}}$ ve $H_{y_{ort}}$ koordinatları çakışacak biçimde yerleştirilerek bir çakışma noktası belirlenir. Sonrasında, sadece pozitif tamsayı değerlerini kabul eden ve değeri kullanıcı tarafından belirlenen bir gezdirmeye uzaklığı parametresi (U_{GEZ}) belirlenir. Daha sonra, bahsi geçen çakışma noktasını referans noktası olarak kabul etmek suretiyle kopya görüntü, bahsedilen konumunun U_{GEZ} piksel yukarısı ile U_{GEZ} piksel aşağısı, aynı zamanda U_{GEZ} piksel solu ile U_{GEZ} piksel sağı arasında kalacak olan bölge üzerinde, Şekil 10'da yer alan temsili gösterimde olduğu gibi adım adım gezdirilir. Sözelimi, U_{GEZ} parametresinin değerinin 10 olarak seçilmesi durumunda, gezdirmeye işlemi toplamda $21 \times 21 = 441$ adımdan oluşacaktır. Bu gezdirmeye işlemlerinin her bir adımında, aşağıdaki alt adımlarda yer alan işlemler yapılır:

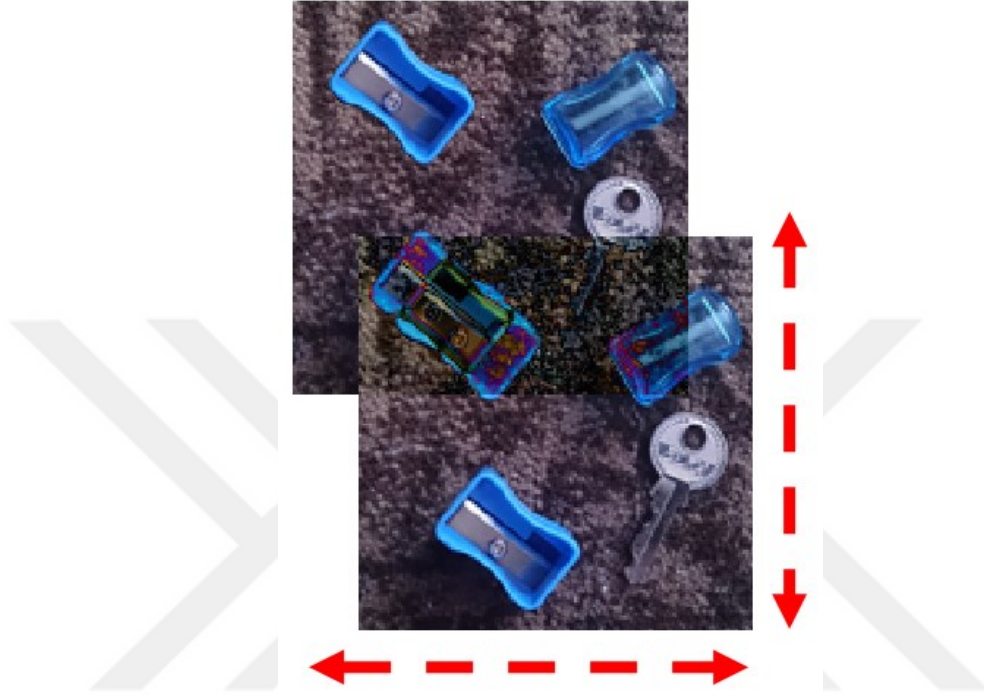
Adım 2.4.1: Her üç renk kanalı için ayrı ayrı olmak üzere, kopya görüntünün ($H_{x_{ort}}$, $H_{y_{ort}}$) koordinatını merkez olarak kabul eden $B \times B$ boyutundaki kare blok ile, bu bloğun asıl görüntü üzerindeki izdüşümüne denk gelen blok arasındaki farkın mutlak değeri pikseller bazında hesaplanarak toplanır. Her renk kanalı için elde edilen bu toplamların da birbirleriyle toplanmasıyla nihai fark değeri (Δ) elde edilir. Ayrıca, gezdirilen görüntüdeki $H_{x_{ort}}$, $H_{y_{ort}}$ koordinatları ile sabit tutulan görüntüdeki $K_{x_{ort}}$, $K_{y_{ort}}$ koordinatları arasındaki gezdirmeye işleminden kaynaklanan koordinat farkları ($FARK_{x_{ort}}$ ile $FARK_{y_{ort}}$) hesaplanır.

Adım 2.4.2: Δ , $FARK_{x_{ort}}$ ve $FARK_{y_{ort}}$ değerlerinden oluşan vektör, M_V matrisinin sıradaki boş satırına eklenir.

Adım 2.5: M_V matrisi sözlüksel biçimde sıralandıktan sonra, ilk satırında yer alan $FARK_{x_{ort}}$ ve $FARK_{y_{ort}}$ değerleri, üst üste yerleştirilen görüntülerin şüpheli bölgeleri arasındaki minimum farkın yakalandığı gezdirmeye adımında gezdirilen görüntünün sabit tutulan görüntüye göre bağlı konumunu verecektir.

Adım 2.6: Adım 2.5'te bahsedilen $FARK_{x_{ort}}$ ve $FARK_{y_{ort}}$ değerleri kullanılarak tekrardan üst üste yerleştirilen renkli hâldeki iki görüntünün kesişen kısımlarının farklarının mutlak değeri her üç renk kanalı için ayrı ayrı hesaplanarak bir fark görüntüsü elde edilir. Burada, birbirinin kopyası olan alanların üst üste gelmesi ve dolayısıyla bu alanların buldukları bölgede farkların mutlak değerinin sıfır veya sıfıra yakın olması beklenir. Daha sonra, görüntülerin giderilebilmesi için, elde edilen fark görüntüsüne, her üç renk kanalında ayrı ayrı olmak üzere iki boyutlu ortanca filtresi uygulanır ve sonrasında, fark görüntüsü

üzerinde, üç renk kanalındaki fark ortalamasının belirli bir eşik değerinden (τ_F) küçük olduğu komşu piksellerden oluşan bölgeler tespit edilir. τ_F parametresinin değeri, her bir deney için kullanıcı tarafından belirlenmektedir.



Şekil 10. Görüntü gezdirme işleminin temsili gösterimi

Adım 2.7: Bir önceki adımda bahsedilen işlemlerin sonucunda, görüntünün yapısına bağlı olarak, fark görüntüsü üzerinde irili ufaklı çok sayıda bölge oluşabilir. M_{KBM} matrisinin tüm elemanlarına $(B-1)/2$ değeri eklenmesiyle kaynak blokların ağırlık merkezlerinin tutulduğu M_{KBM} matrisi elde edilir. Bahsi geçen irili ufaklı bölgeler arasından, M_{KBM} matrisinde x ve y koordinatları tutulan noktalardan en fazla sayıda içermekte olanı seçilerek diğer bölgeler elenir. Eğer bahsi geçen noktalardan en fazla sayıda içermekte olan birden çok bölge varsa, bu bölgeler arasından Adım 2.4'te belirtilen çakışma noktasına Öklid uzaklığı bakımından en yakın olanlardan biri seçilerek diğerleri elenir. Bu durumda, seçilen bu bölge; asıl görüntüde kaynak bölgeye, kopya görüntüde ise hedef bölgeye karşılık gelecektir.

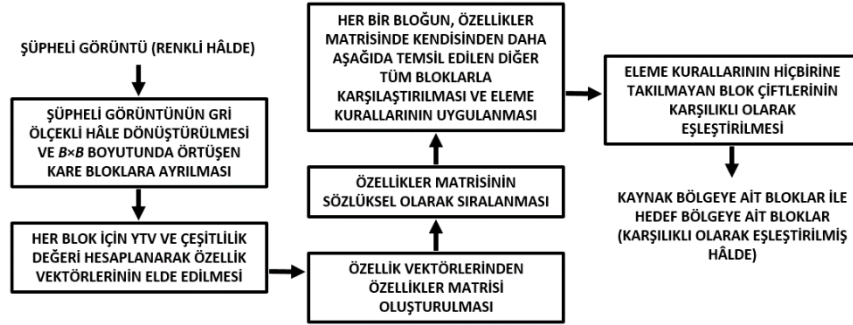
Adım 2.8: Bölge tespiti yapıldıktan sonra, şüpheli görüntü ile aynı boyutlara sahip ikili bir görüntü olan bir sonuç maskesi (M_{SNC}) oluşturulur ve tüm indekslerine 0 atanır. Saptanan bölge asıl görüntüde kaynak bölgeye karşılık geldiğinden M_{SNC} maskesi üzerinde bu bölge,

ilgili indekslere 1 atanması suretiyle doğrudan işaretlenir. Saptanan bölge, kopya görüntüde de hedef bölgeye karşılık geldiği için, bu bölgenin kopya görüntü üzerindeki bağıl konumu hesaplanır ve M_{SNC} maskesinin ilgili indekslerine de 1 atanır. Bu işlemler sonucunda, M_{SNC} maskesi üzerinde, birbirinin kopyası olan bölgeler beyaz renkte, geriye kalan bölgeler ise siyah renkte olacaktır. Bu adımda, M_{SNC} maskesi üzerinde birbirinin kopyası olan iki farklı beyaz bölge olması beklenir; aksi takdirde, şüpheli görüntüde KYDS olmadığına karar verilerek M_{SNC} maskesinin tüm indekslerine 0 atanır.

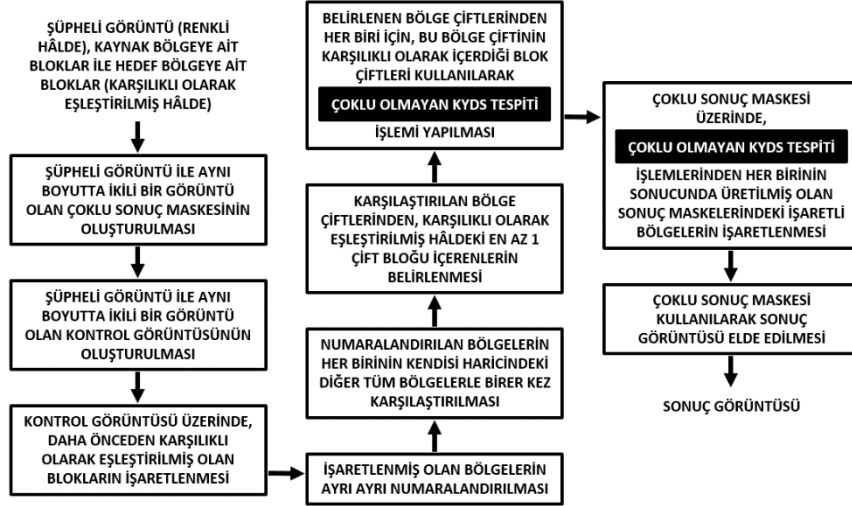
Adım 2.9: M_{CSNC} maskesinde, kendisiyle aynı boyutta olan M_{SNC} maskesinin değeri 1 olan tüm indekslerine karşılık gelen indekslerin tamamına 1 değeri atanır.

Adım 3: Elde edilen M_{CSNC} maskesi, geliştirilen KYDS tespit yönteminin çıktısıdır ve sahtecilik tespiti işlemine konu olan şüpheli görüntü üzerinde, birbirinin kopyası olan bölgelerin işaretlenerek eşleştirilmesinde kullanılır.

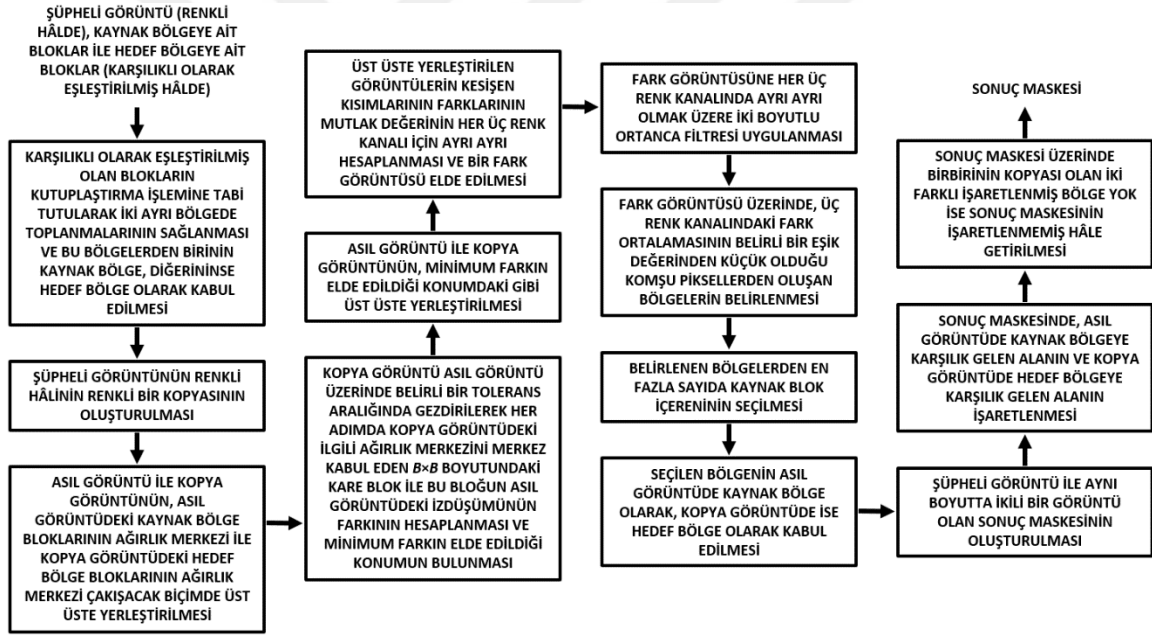
Geliştirilen KYDS tespit yöntemi, kopyalanan ve yapıştırılan alanların birbirleriyle veya görüntünün sınırlarıyla kesişmedikleri durumlarda KYDS tespiti yapacak biçimde tasarlanmıştır. Geliştirilen yöntem, sonuç olarak, şüpheli görüntünün, M_{CSNC} maskesindeki beyaz alanlara karşılık gelen kısımlarının Şekil 8.d'deki gibi özel bir renkle renklendirilmiş olduğu bir kopyasını üretmektedir.



Şekil 11. KYDS tespitinde benzer bölgelerin eşleştirilmesine kadarki işlemlere ait akış diyagramı



Şekil 12. KYDS tespitinde benzer bölgelerin eşleştirilmesinden sonraki işlemlere ait akış diyagramı



Şekil 13. Çoklu olmayan KYDS tespiti işlemine ait akış diyagramı

Geliştirilmiş olan KYDS tespit yönteminin çalışma ilkesi; Şekil 11'de, Şekil 12'de ve Şekil 13'te yer alan ve birbirinin tamamlayıcısı olan akış diyagramları ile de ifade edilmiştir.

Şekil 11'de yer alan akış diyagramında belirtilen işlemlerin gerçekleştirilmesiyle, kaynak bölgeye ait bloklar ile hedef bölgeye ait bloklar, karşılıklı olarak eşleştirilmiş hâlde elde edilmektedir. Sonrasında ise, eşleştirilmiş hâldeki bu bloklardan da yararlanılarak, Şekil 12'de verilen akış diyagramındaki işlemler gerçekleştirilmekte ve KYDS tespiti işlemi tamamlanmaktadır. Bu yolla, çoklu KYDS'ler ya da çoklu olmayan KYDS'ler tespit

edilebilmektedir. Geliştirilen yöntem, gerek çoklu KYDS'lerin gerekse çoklu olmayan KYDS'lerin tespitini, çoklu olmayan KYDS'lerin tespiti için tasarlanmış olan ve Şekil 13'teki akış diyagramında yer alan işlemleri temel alarak yapmaktadır. Şekil 13'te yer alan işlemler, Şekil 12'de siyah arka plan üzerinde temsil edilen yerlerde bir bütün hâlinde gerçekleştirilmektedirler.

2.2. Sayısal Görüntüler Üzerinde Serbest Biçimli KÖYDS Tespiti

Bir KYDS işleminde kopyalanan bölge yapıştırılmadan önce ölçeklemeye tabi tutulursa, gerçekleştirilen sahtecilik işlemi "KÖYDS" olarak adlandırılır. KÖYDS, KYDS'nin bir alt türü olarak ifade edilebilir. Bahsi geçen ölçekleme işlemi, sahteciliğin tespitini daha zor bir hâle getirmektedir. Tez kapsamında KÖYDS tespiti konusu da ele alınmıştır. KÖYDS tespiti için başlı başına yeni bir yöntem geliştirilmemiş olup, Bölüm 2.1'de anlatılmış olan KYDS tespit yönteminin KÖYDS tespiti yapmak üzere özelleştirilmiş bir hâli kullanılmıştır.

Bahse konu olan KÖYDS tespit yöntemi Bölüm 2.1'de ayrıntılarıyla ele alınan KYDS tespit yöntemi ile pek çok noktada aynı çalışma ilkesine sahip olmakla birlikte aralarında birkaç temel noktada fark bulunmaktadır (Bölüm 2.1'de yer alan KYDS tespit yönteminin anlatımında kullanılan ve bu bölümde ayrıca bahsedilmeyen tüm parametreler KÖYDS tespit yöntemi için de aynen geçerlidir.). Bu bölümde; geliştirilmiş olan KÖYDS tespit yönteminin işleyişinin adım adım açıklaması yerine bu yöntem ile KYDS tespit yöntemi arasındaki farklılıklar ele alınacak olup, iki yöntem arasında bu bölümde ifade edilen farklılıklar haricinde fark bulunmamaktadır.

Bu farklılıklardan biri, özellik çıkarma aşamasıdır. KÖYDS tespit yönteminin özellik çıkarma aşamasında kullanılan "ölçekleme sınırı (s_{δ})" ve "ölçekleme adımı (a_{δ})" isminde iki ek parametre bulunmaktadır. s_{δ} parametresi, $(0, 1]$ aralığında bir ondalık sayıdır. a_{δ} parametresi ise $(0, s_{\delta}]$ aralığında bir ondalık sayıdır. Bu iki parametrenin değerleri kullanıcı tarafından belirlenmektedir. a_{δ} ve s_{δ} parametrelerinin değerlerinden yararlanılarak bir ölçekleme vektörü (V_{δ}) elde edilir. Bu vektör, s_{δ} ile $2-s_{\delta}$ değerlerini ve s_{δ} değerinden $2-s_{\delta}$ değerine a_{δ} büyüklüğünde adımlarla gidilirken elde edilen tüm değerleri küçükten büyüğe sıralanmış hâle içermektedir. Örneğin; s_{δ} parametresinin değeri 0.85, a_{δ} parametresinin değeri ise 0.05 olarak alınırsa, V_{δ} vektörü $[0.85, 0.9, 0.95, 1.0, 1.05, 1.1, 1.15]$ şeklinde olacaktır. Özellik çıkarma aşamasında, KYDS tespit yöntemindekenden farklı olarak, V_{δ}

vektöründeki değeri 1'den küçük olmayan her bir eleman için, özellik çıkarma işlemine tabi tutulan blok, çift doğrusal aradeğerleme kullanılarak bu elemanın değeri kadar ölçeklenir ve daha sonra, ölçeklenmiş olan bloğun sol üst köşe pikselinden itibaren $B \times B$ 'lik kısmı alınarak elde edilen bloğa ait YTV ile CD_{BLOK} değeri hesaplanıp bu blok için özellik vektörü elde edilir. Bu sayede, bir blok için birden çok sayıda özellik vektörü elde edilebilecektir. Burada, a_{δ} parametresinin değeri küçültüldükçe algoritmanın hassasiyeti artacaktır ancak özellik vektörlerinin sayılarının da artacak olması nedeniyle çalışma süresi uzayacaktır. Özellik vektörleri; tıpkı KYDS tespit algoritmasında olduğu gibi, bloklardan elde edilen YTV'lerin sonuna bu bloklara ait CD_{BLOK} değerlerinin ve bu değerleri takiben sol üst köşe noktalarına ait x ve y koordinatlarının eklenmesiyle oluşturulmaktadır. Elde edilen tüm özellik vektörleri, OM matrisinin satırlarını oluşturacaktır.

KÖYDS tespit algoritmasının KYDS tespit algoritmasından diğer bir farkı ise, çoklu kopyalamanın söz konusu olmadığı görüntü sahtecilikleri için tasarlanmış olmasıdır. Geliştirilen KÖYDS tespit algoritması, görüntü üzerinde bir bölgenin kopyalanıp ölçeklenerek aynı görüntü üzerinde başka bir bölgeye tek bir defa yapıştırıldığını, birbirinin ölçeklenmiş kopyası olan bölgelerinse ne birbirleriyle ne de görüntünün kenarlarıyla kesiştiklerini varsaymaktadır. Bu nedenle, KÖYDS tespit algoritması, Bölüm 2.1.2'de yer alan benzer bölgelerin eşleştirilmesi ve belirlenmesi algoritmasındaki Adım 2.1'in başlangıcından Adım 2.8'in sonuna kadarki işlemleri içermektedir. Bunun sonucunda, KÖYDS tespit algoritmasında, KYDS tespit algoritmasında kullanılan M_{K1} ile M_{K2} matrisleri ve M_{CSNC} maskesi kullanılmamaktadır.

KÖYDS tespit algoritması ile KYDS tespit algoritması arasındaki farklardan bir diğeri ise, benzer blokların eşleştirilmesi aşamasında olup, BF_{MAKS} parametresinin kullanımı ile ilgilidir. SU_{MAKS} , OK_{MIN} ve EC parametrelerinin görevleri KYDS tespit algoritmasındaki görevleriyle birebir aynı olduğu gibi, BF_{MAKS} parametresi kullanılarak yapılan eleme işlemlerinde yardımcı bir parametre olarak kullanılan UG parametresinin görevi de KYDS tespit algoritmasındaki göreviyle aynıdır. BF_{MAKS} parametresinin görevinin de KYDS tespit algoritmasındaki görevleriyle birebir aynı olmasına karşın, bu parametrenin kullanım biçimi farklıdır. KYDS tespit algoritmasında; BF_{MAKS} parametresi kullanılarak yapılan eleme işlemlerinde, benzerliği kontrol edilecek olan herhangi iki bloktan her ikisi de sağa ve aşağı doğru UG değeri kadar genişletildikten sonra, genişletilmiş olan bu iki blok üst üste getirilerek her blok elemanının farkının mutlak değerleri hesaplanmakta ve elde edilen bu değerler birbiriyle toplanmaktaydı. Ancak KÖYDS tespitinde, biri diğerinin ölçeklenmiş

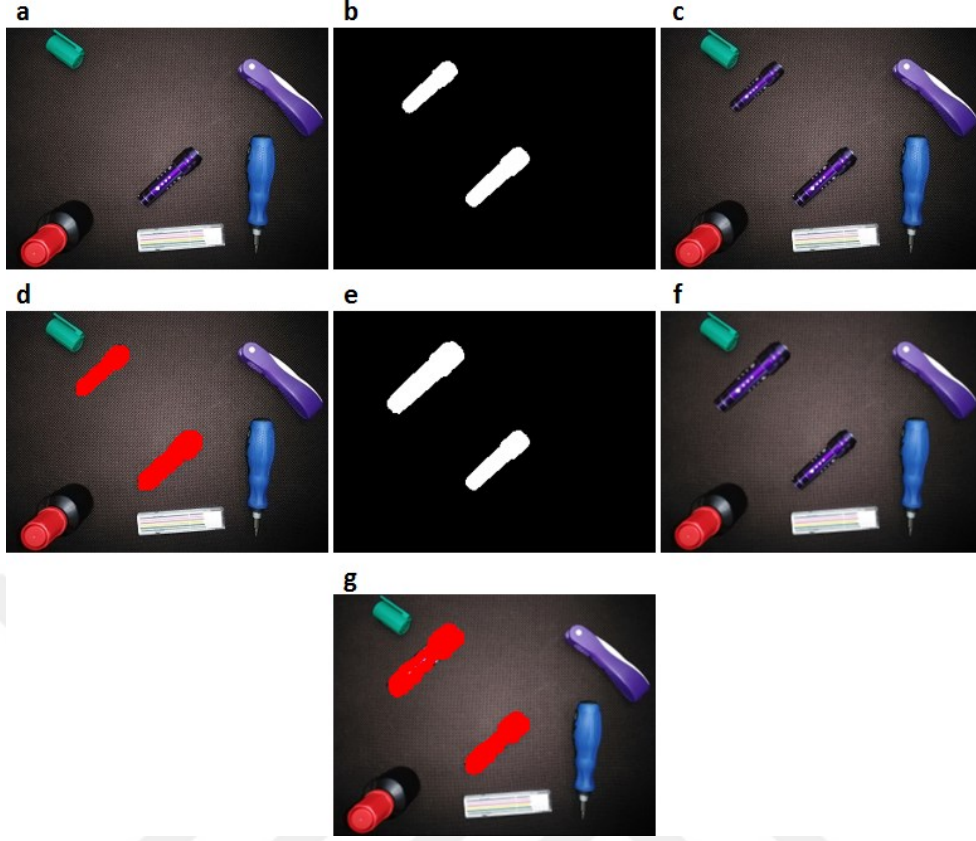
kopyası olan iki bölgenin denk konumlarından elde edilen iki bloğu üst üste koyarak bunların farklarını almak, bloklar arasındaki ölçek farklılığından dolayı uygun olmayacaktır ve bu blokların normalde benzer olmalarına karşın benzer değilmiş gibi değerlendirilmelerine yol açabilecektir. Bunun yerine; benzer olup-olmadıkları kontrol edilecek olan herhangi iki bloktan her ikisi de U_G değeri kadar genişletildikten sonra, bu bloklardan birincisi sabit tutulup ikincisi V_O vektörünün 1'den küçük olmayan her bir elemanının değeri ile ölçeklenerek elde edilen ölçeklenmiş bloğun sol üst köşesinden itibaren $(B+U_G) \times (B+U_G)$ 'lik kısmı alınır ve bu kısım birinci blok ile üst üste getirilip bloklardaki her bir elemanın farklarının mutlak değerleri hesaplanarak hesaplanan bu değerler birbiriyle toplanır. Daha sonra, aynı işlemler, ikinci blok sabit tutularak birinci blok üzerinde ölçekleme yapılması yoluyla gerçekleştirilir. Tüm bu işlemlerin sonucunda, V_O vektörünün 1'den küçük olmayan eleman sayısının iki katı kadar toplam değeri elde edilmiş olacaktır. Bu toplam değerlerinden en küçük olanı alınır ve eğer bu değer BF_{MAKS} değerinden büyükse, bu iki bloğun birbirlerine benzemedikleri kabul edilir. SU_{MAKS} , OK_{MIN} , EC , BF_{MAKS} ve U_G parametrelerin değerleri, KYDS tespit algoritmasında olduğu gibi, her bir deney için kullanıcı tarafından belirlenmektedir.

KÖYDS tespit algoritmasının KYDS tespit algoritmasından diğer bir farkı ise, KYDS tespit algoritmasında kullanılan dört eleme parametresine (SU_{MAKS} , OK_{MIN} , EC ve BF_{MAKS}) ek olarak beşinci bir eleme parametresi olan OU_{MAKS} (ortalamadan maksimum uzaklık) parametresinin de kullanılmasıdır. OU_{MAKS} parametresinin değeri kullanıcı tarafından belirlenmektedir. OM matrisi sözlüksel olarak sıralandıktan sonra, bu matris üzerinde özellik vektörleri yer alan her bir blok, özellik vektörleri bu matris üzerinde kendisinden aşağı konumda bulunan diğer tüm bloklarla karşılaştırılır. SU_{MAKS} , OK_{MIN} , EC ve BF_{MAKS} parametrelerine ait kurallardan tek bir tanesinde bile birbirlerine benzemediklerine dair bir sonucun ortaya çıkmadığı blok çiftlerinden, OM üzerinde daha yukarı konumda olanının koordinatları (sol üst köşe noktasına ait x ve y koordinatları) M_{KBB} matrisinin sıradaki boş satırına, alt konumda olanının koordinatları ise M_{HBB} matrisinin aynı numaralı satırına eklenir. Sonrasında ise, M_{KBB} ve M_{HBB} matrislerinde yer alan blok koordinatlarının ortalamaları ayrı ayrı hesaplanır. M_{KBB} matrisinde koordinatları yer alan bloklardan, bu matrise ait blok koordinatları ortalamasına Öklid uzaklığı bakımından OU_{MAKS} değerinden uzakta olanlar "aykırı blok" olarak belirlenir. Aynı işlemler, M_{HBB} matrisinde koordinatları tutulan bloklar için de yapılır. Sonrasında ise, M_{KBB} matrisinde koordinatları yer alan aykırı

bloklar M_{HBK} matrisindeki eşleriyle birlikte, M_{HBK} matrisinde koordinatları yer alan aykırı bloklar da M_{KBK} matrisindeki eşleriyle birlikte karşılıklı olarak elenirler.

Bahsedilen eleme işlemlerinin ardından, $V_{\hat{O}}$ vektöründe tutulan her bir değer için, iki aşamalı bir sahtecilik tespiti işlemi yapılır. İlk aşamada, Bölüm 2.1.2'de verilen algoritmada yer alan Adım 2.1'in başlangıcından Adım 2.8'in sonuna kadarki işlemler gerçekleştirilir. Bu işlemler esnasında, KYDS tespit algoritmasındakinden farklı olarak, şüpheli görüntünün kopyası oluşturulurken $V_{\hat{O}}$ vektöründeki ilgili değer ile ölçeklenir (Ölçeklenen görüntü için, kaynak ve hedef blok koordinatları ölçeğe uygun olarak yeniden hesaplanır.). Adım 2.8 tamamlandığında, ilk aşama için M_{SNC} maskesi elde edilmiş olacaktır. İkinci aşamada ise, M_{KBK} ve M_{HBK} matrislerinde tutulan değerlerin tamamı paralel biçimde takas edildikten sonra ilk aşamada yer alan işlemler tekrarlanır (Bu iki aşamadan sadece birinde asıl görüntüdeki kaynak bölge ile kopya görüntüdeki hedef bölge aynı ölçeğe sahip olarak örtüşeceklerdir.). Adım 2.8 tamamlandığında, ikinci aşama için de M_{SNC} maskesi elde edilmiş olacaktır. Tüm bu işlemler $V_{\hat{O}}$ vektöründe tutulan her bir değer için ayrı ayrı gerçekleştirildikten sonra, toplamda $V_{\hat{O}}$ vektörünün eleman sayısının iki katı kadar M_{SNC} maskesi elde edilmiş olacaktır. Bu maskelerden, 2'den az sayıda beyaz bölge içerenler elendikten sonra, geriye kalanlar içinde beyaz piksel sayısı en fazla olanı sonuç maskesi olarak kabul edilir. Elde edilen bu nihai sonuç maskesi, KÖYDS tespit yönteminin çıktısıdır ve sahtecilik tespiti işlemine konu olan şüpheli görüntü üzerinde, birbirinin ölçeklenmiş kopyası olan bölgelerin işaretlenerek eşleştirilmesinde kullanılır.

Şekil 14'te, serbest biçimli KÖYDS tespiti işlemlerine dair bazı örnek deney görüntüleri verilmiştir. Şekil 14.a'da, SBKÖYDS (Serbest Biçimli Kopyalama-Ölçekleme-Yer Değiştirme Sahteciliği) veri kümesinde [89] yer alan orijinal bir görüntü; Şekil 14.b'de, Şekil 14.a'da verilen görüntü için bir bölgenin kopyalandıktan sonra 0.85 ile ölçeklenerek aynı görüntü üzerinde farklı bir alana yapıştırılmasını ifade eden kopyalama-yer değiştirme maskesi; Şekil 14.c'de, Şekil 14.a ile Şekil 14.b kullanılarak elde edilen ve art işlem olarak $q=90$ kalite faktörüne sahip JPEG sıkıştırmasına tabi tutulan sahte görüntü; Şekil 14.d'de Şekil 14.c için sonuç görüntüsü; Şekil 14.e'de, Şekil 14.a'da verilen görüntü için bir bölgenin kopyalandıktan sonra 1.20 ile ölçeklenerek aynı görüntü üzerinde farklı bir alana yapıştırılmasını ifade eden kopyalama-yer değiştirme maskesi; Şekil 14.f'de, Şekil 14.a ile Şekil 14.e kullanılarak elde edilen ve art işlem olarak görüntü bulanıklaştırma işlemine tabi tutulan sahte görüntü; Şekil 14.g'de ise Şekil 14.f için sonuç görüntüsü yer almaktadır. Sonuç görüntüleri, geliştirilen KÖYDS tespit yöntemi tarafından üretilmiştir.



Şekil 14. Serbest biçimli KÖYDS tespiti işlemlerine dair bazı örnek deney görüntüleri

Geliştirilen yöntem, sonuç olarak, şüpheli görüntünün, nihai sonuç maskesindeki beyaz alanlara karşılık gelen kısımlarının Şekil 14.d'deki gibi özel bir renkle renklendirilmiş olduğu bir kopyasını üretmektedir.

Geliştirilen KÖYDS tespit algoritması, özellik çıkarma aşamasında, her bir bloğu V_0 vektöründe yer alan ve 1'den küçük olmayan değerlerin her biri ile ayrı ayrı ölçekleyip elde edilen ölçeklenmiş blokların sol üst köşelerinden itibaren $B \times B$ 'lik kısımlarını alarak bu kısımlarından özellik vektörü üretmektedir. Özellik çıkarma işleminde yukarıda örnek olarak verilmiş olan V_0 vektörünün kullanılması durumunda, her bir blok 1.0, 1.05, 1.1 ve 1.15 değerleri ile ölçeklenecek (1.0 ile ölçekleme işlemi blokta herhangi bir değişikliğe yol açmayacaktır.), bu sayede her bir bloktan dörder adet özellik vektörü elde edilecektir. Bu noktada, benzer bölgelerin eşleştirilmesi işlemini iki farklı örnek üzerinden açıklamak yararlı olacaktır. Birinci örnekte, şüpheli görüntü üzerindeki bir bölge kopyalandıktan sonra 1.1 ile ölçeklenerek başka bir alana yapıştırılmış olsun. Bu durumda, kaynak bölgeden 1.0, 1.05, 1.1 ve 1.15 ölçekleme ile elde edilen özellik vektörleri üretilirken; hedef

bölgeden -hedef bölgenin daha önce 1.1 ölçeklemeye tabi tutulduğu da göz önünde bulundurulursa- ise $1.1 \times 1.0 = 1.1$, $1.1 \times 1.05 = 1.155$, $1.1 \times 1.1 = 1.21$ ve $1.1 \times 1.15 = 1.265$ nihai ölçeklemeyle elde edilen özellik vektörleri üretilecektir. Sonuç olarak, kaynak bölgeden 1.1 ölçeklemeyle elde edilen özellik vektörleri ile hedef bölgeden 1.1 nihai ölçeklemeyle elde edilen özellik vektörleri birbirleriyle benzerlik gösterecekleri için algoritma tarafından eşleştirilebilecektir. İkinci örnekte ise, şüpheli görüntü üzerindeki bir bölge kopyalandıktan sonra 0.9 ile ölçeklenerek başka bir alana yapıştırılmış olsun. Bu durumda, kaynak bölgeden 1.0, 1.05, 1.1 ve 1.15 ölçekleme ile elde edilen özellik vektörleri üretilirken; hedef bölgeden -hedef bölgenin daha önce 0.9 ölçeklemeye tabi tutulduğu da göz önünde bulundurulursa- ise $0.9 \times 1.0 = 0.9$, $0.9 \times 1.05 = 0.945$, $0.9 \times 1.1 = 0.99$ ve $0.9 \times 1.15 = 1.035$ nihai ölçeklemeyle elde edilen özellik vektörleri üretilecektir. Burada, kaynak bölgeye ait ölçekleme değerleri arasında, hedef bölgeye ait nihai ölçekleme değerlerinden herhangi biri ile aynı olan bir değer bulunmamaktadır. Ancak, bu durumda da, kaynak bölgeden 1.0 ölçeklemeyle elde edilen özellik vektörleri ile hedef bölgeden 0.99 nihai ölçeklemeyle elde edilen özellik vektörleri birbirleriyle büyük ölçüde benzerlik gösterecekleri için algoritma tarafından eşleştirilebilecektir. Yapılan deneylerde, a_0 parametresinin değerinin yeterince küçük tutulması kaydıyla, ikinci örnekte görülen ölçek uyumsuzluğunun herhangi bir soruna yol açmadığı gözlenmiştir.

2.3. Sayısal Görüntüler Üzerinde Serbest Biçimli KDYDS Tespiti

Bir KYDS işleminde kopyalanan bölge yapıştırılmadan önce döndürme işlemine tabi tutulursa, gerçekleştirilen sahtecilik işlemine "KDYDS" ismi verilir. KDYDS, KYDS'nin bir alt türü olarak tanımlanabilir. KDYDS'lerde, kopyalanan bölgenin yapıştırılmadan önce döndürme işlemine maruz bırakılıyor olması, özellik çıkarma işleminin döndürmeden bağımsız biçimde yapılmadığı klasik sahtecilik tespit algoritmalarını, yani KYDS tespit algoritmalarını yanılttığından, KDYDS'lerin tespiti için farklı yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Literatürde; döndürme işleminin söz konusu olmadığı, "KYDS" olarak adlandırılan sahtecilik işlemlerinin tespiti amacıyla yapılmış olan çeşitli çalışmalar yer almaktadır [63, 69, 70, 72, 73, 75, 76, 90-94]. Bölüm 2.1'de, literatürde yer alan KYDS tespit algoritmalarının eksik yönleri ele alınarak KYDS tespiti için yeni ve orijinal bir yöntem önerilmişti. Ancak KYDS tespiti için geliştirilmiş olan yöntemler, kopyalanan bölgenin yapıştırılmadan önce döndürme işlemine maruz bırakılması, yani KDYDS'nin söz konusu

olması durumunda başarısız olmakta, sahtecilik işlemini tespit edememektedirler. Literatürde, KDYDS tespiti amacıyla geliştirilen yöntemler de mevcuttur [29, 31-36].

KDYDS tespitinin konu alındığı bir çalışmada, görüntüden elde edilen bloklar log-polar koordinat sisteminde ifade edildikten sonra, polar ekseninde izdüşüm yapılarak tek boyutlu özellik vektörleri üretilmiştir [36]. Bahsedilen çalışmada, dikdörtgen bölge seçimi yoluyla yapılan KDYDS işlemlerinin tespitine dair deneyler yapılmış olup, bu deneylerdeki döndürme işlemlerine ait döndürme açılarının aradeğerlemeyi zorunlu kılan değerlerde olup-olmadıkları hakkında bilgi verilmemiştir. İlgili çalışmada, bölge seçiminin serbest biçimli olarak yapıldığı ve aradeğerlemenin söz konusu olduğu bir açı değeri ile döndürme işleminin gerçekleştirildiği bir deneye de yer verilmiştir. Bahsi geçen deneylere ait sonuçlar incelendiğinde, ilgili yöntemin KDYDS tespiti konusunda tatmin edici bir başarıya sahip olmadığı görülmektedir.

KDYDS tespitinin konu alındığı diğer bir çalışmada, özellik çıkarımı aşamasında kare bloklar yerine dairesel bloklar kullanılmış ve bu bloklardan özellik çıkarımında Gauss piramidi ayrışımı yönteminden yararlanılmıştır [35]. Çalışmada; döndürme işleminin söz konusu olduğu görüntüler üzerinde yapılan deneylerin sonuçları görsel olarak paylaşılmış, sayısal olarak verilen başarı ölçütleri döndürme işleminin söz konusu olmadığı ve dikdörtgen bölge seçiminin söz konusu olduğu deneylerden elde edilmiştir.

KDYDS tespitini konu alan bir başka çalışmada ise, görüntünün örtüşen kare bloklara ayrılmasından sonra döndürme işleminden bağımsız olduğu bilinen Zernike momentlerinden yararlanılarak bu bloklardan özellik çıkarma yoluna gidilmiştir [34]. Ancak, bu yöntemin başarısının ölçülmesinde kullanılan görüntüler üzerinde KDYDS işlemi gerçekleştirilirken dikdörtgen bölge seçimi yapılmış olup bu yöntemin serbest bölge seçimi ile yapılan profesyonel KDYDS'ler üzerindeki başarısı hakkında tatmin edici düzeyde bilgi bulunmamaktadır.

KDYDS tespitinin konu alındığı başka bir çalışmada, ölçekten bağımsız özellik dönüşümünden yararlanılmıştır ancak yöntemin başarısının ölçülmesinde kullanılan sahte görüntüler üzerinde sadece 90, 180 ve 270 derecelik açılarla döndürme işlemleri yapıldığından bu yöntemin, bu dereceler haricindeki derecelere sahip açılarla yapılan ve aradeğerlemeyi zorunlu kılan sahtecilikler üzerindeki başarısı bilinmemektedir [33]. Ayrıca, bahsi geçen çalışmada yöntemin başarı oranları hakkında herhangi bir sayısal veri sunulmamış olup, sadece görsel sonuçlara yer verilmiştir.

KDYDS tespitinin ele alındığı bir diğer çalışmada ise görüntü örtüşen kare bloklara ayrıldıktan sonra bu bloklar iç içe geçmiş çerçevelere bölünmüş ve her bir çerçevedeki piksellerin yoğunluk değerlerinin ortalaması alınarak özellik vektörleri elde edilmiştir [32]. Ancak bu yöntemin başarısının ölçülmesinde kullanılan sahte görüntüler üzerinde sadece 90, 180 ve 270 derecelik açılarla döndürme işlemleri yapıldığından bu algoritmanın, diğer derecelere sahip açılarla yapılan ve aradeğerlemeyi zorunlu kılan sahtecilikler üzerindeki başarısı hakkında yeterli bilgi yoktur.

KDYDS tespiti alanında yapılan başka bir çalışmada ise, ikili ağaç kompleksi dalgacık dönüşümü yönteminden yararlanılmıştır [31]. Çalışmada, serbest bölge seçimi yoluyla oluşturulan KDYDS görüntüleri üzerinde sahtecilik tespiti deneylerine yer verilmiştir. Ancak, bu deneylerde elde edilen başarılarla ait sonuçlar sadece görsel olarak sunulmuştur ve diğer yöntemlerle görsel olarak karşılaştırma yapılmıştır. Bahsedilen çalışmada önerilen yöntemin başarısının test edilmesinde ve bu yöntemle ait başarı oranlarının sayısal olarak hesaplanmasında kullanılan görüntüler üzerinde sadece dikdörtgen bölge seçimi yapılmış, serbest bölge seçimi yapılmamıştır.

KDYDS tespitinin konu alındığı başka bir çalışmada ise, FMD (Fourier-Mellin Dönüşümü)'den yararlanılmıştır [29]. Ancak yöntemin başarısına dair herhangi bir sayısal veriye yer verilmemiş, sonuçlar görsel olarak sunulmuştur.

KDYDS tespiti alanında yapılmış olan ve yukarıda irdelenen çalışmalar göz önünde bulundurulduğunda, bu çalışmalar arasında, serbest bölge seçimli KDYDS tespitini konu alan ve aradeğerlemeyi zorunlu kılan döndürme açıları da dâhil olmak üzere tüm döndürme açıları için yüksek başarı elde edebilen, aynı zamanda JPEG sıkıştırması ve görüntü bulanıklaştırma gibi sahtecilik tespitini zorlaştıran art işlemlere karşı dayanıklı olan bir yöntemin bulunmadığı görülmektedir.

Yukarıda incelenen çalışmalarda yer alan KDYDS tespit yöntemlerinin sahip oldukları dezavantajlar veya eksiklikler, Tablo 2'de bir arada verilmiştir.

KDYDS tespiti alanında incelenen yöntemler bir arada değerlendirildiğinde; bu yöntemlerin, KDYDS bölgelerini bir bütün hâlinde tespit etmek yerine bu bölgeler üzerindeki benzer kısımları mümkün olan en iyi biçimde eşleştirmek suretiyle KDYDS tespiti yapmayı hedefledikleri ifade edilebilir. Ancak, ilgili yöntemlerin benimsedikleri yaklaşımla yapılan deneyler sonucunda; sahtecilik tespitini zorlaştırmayı hedefleyen art işlemlerin, KDYDS bölgelerindeki benzer kısımların eşleştirilmesini ciddi ölçüde zorlaştırdığı gözlenmiştir. Bu durum da; bahsi geçen art işlemlerin, deneylerin başarılarını

önemli ölçüde düşürmesi anlamına gelmektedir. Bu problemi çözebilmek adına, tez kapsamında geliştirilen KDYDS tespit yönteminde, KDYDS bölgelerinin yeni ve orijinal bir yaklaşımla, bir bütün hâlinde tespiti hedeflenmiştir. Böylelikle, geliştirilen KDYDS tespit yönteminin, yüksek başarıya sahip olmasının yanında art işlemlerin bozucu etkileri karşısında dayanıklı olması da sağlanmıştır.

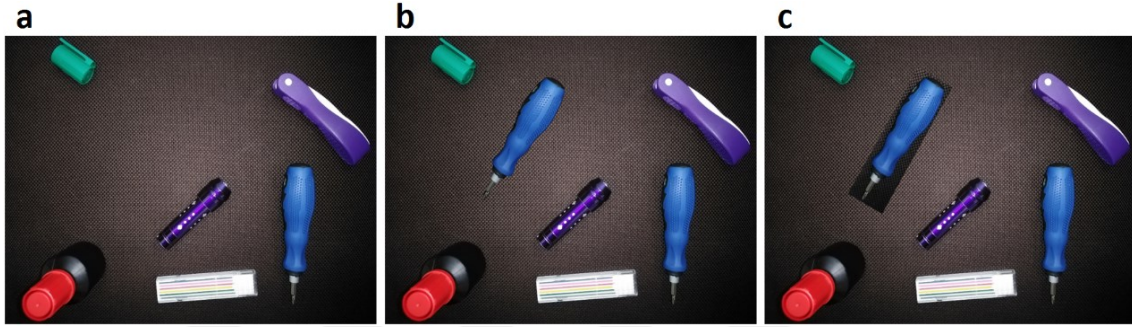
Tablo 2. İncelenen KDYDS tespit yöntemlerinin sahip oldukları dezavantajlar veya eksiklikler

<i>Yöntem</i>	<i>Dezavantaj veya Eksiklik</i>
[36]	KDYDS tespiti konusunda tatmin edici başarıya sahip olmama
[35], [29], [33]	KDYDS tespiti deneylerine ait sonuçların sayısal olarak sunulmaması
[34]	Serbest biçimli KDYDS'lerin tespitindeki başarı hakkında yeterli bilgi bulunmaması
[32], [33]	Aradeğerlemenin gerçekleştiği açı değerleriyle yapılan KDYDS'lerin tespitindeki başarı hakkında yeterli bilgi bulunmaması
[31]	Serbest biçimli KDYDS tespiti deneylerine ait sonuçların sayısal olarak sunulmaması

Dikdörtgen bölge seçiminden yararlanılarak yapılan KDYDS işlemi amatörce olacağı gibi, bu işleme konu olan görüntülerdeki sahteciliği herhangi bir sahtecilik tespit algoritması kullanmaksızın gözle tespit etmek de son derece basit olacaktır. Kopyalamaya dayalı profesyonel görüntü sahteciliklerinde, kopyalanacak olan bölgelerin, sahteciliğin insan gözü tarafından anlaşılabilmesi amacıyla serbest biçimde seçilmeleri söz konusu olmaktadır. Tez kapsamında geliştirilen KDYDS tespit yöntemi, sahteciliğin çıplak gözle anlaşılmasının mümkün olmadığı ve kopyalanan bölgelerin serbest biçimli olarak seçildiği, profesyonelce hazırlanmış KDYDS deney görüntüleri üzerinde test edilmiştir. Kopyalanan ve döndürme işlemine tabi tutulan bölgelerin serbest biçimli olarak seçilmesi de sahtecilik tespit algoritmasının başarısını olumsuz olarak etkileyen son derece önemli bir faktördür.

Şekil 15 incelendiğinde, KDYDS işleminde seçilen bölgenin serbest biçimli olması ile dikdörtgen olması arasındaki fark rahatlıkla görülecektir. Şekil 15.a'da verilen orijinal görüntüde bulunan tornavida serbest biçimli KDYDS işlemiyle, saat yönünde 30 derece döndürülerek farklı bir bölgeye yapılandırılmış ve Şekil 15.b elde edilmiştir. Benzer işlem, bu kez dikdörtgen bölge seçimi kullanılarak yapılmış ve Şekil 15.c elde edilmiştir. Şekil 15.b göze doğal görüldüğü için buradaki sahteciliği gözle anlamak neredeyse olanaksızken, Şekil

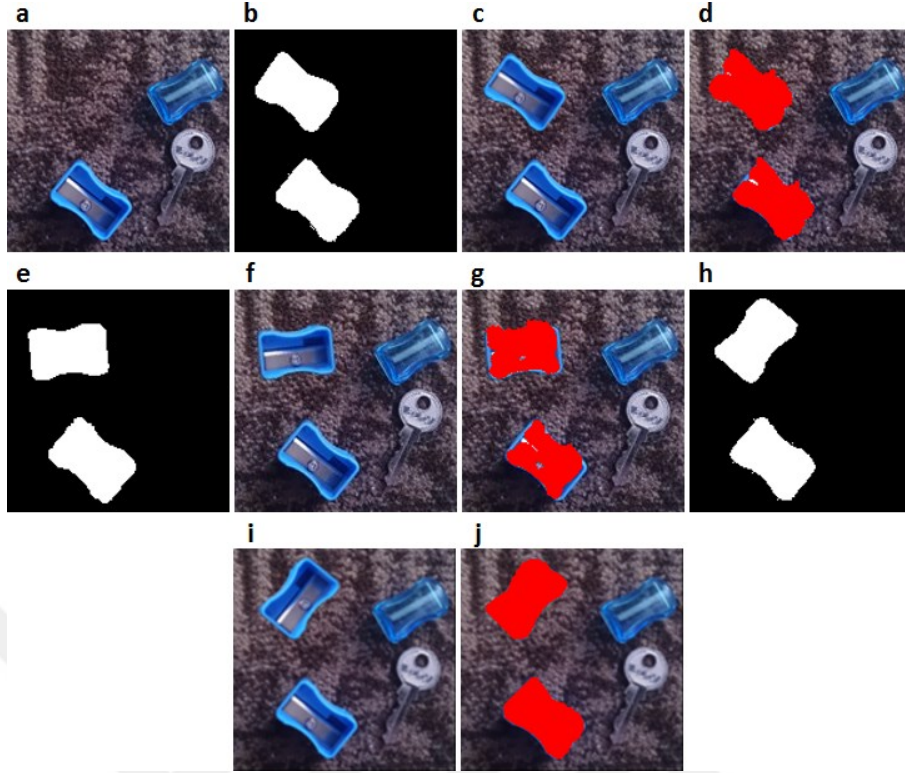
15.c'deki tutarsızlık daha ilk bakışta çok açık bir biçimde anlaşılmaktadır. Dikdörtgen bölge seçimi ile elde edilen ve son derece tutarsız ve amatörce bir sahtecilik girişimine örnek olan Şekil 15.c, profesyonel KDYDS'lerde serbest biçimli bölge seçimi yapılmasının olmazsa olmaz olduğunun ve geliştirilen sahtecilik tespit yöntemlerinin başarılarının sağlıklı bir biçimde ölçülebilmesi için deneylerin ancak ve ancak bu tür profesyonel sahte görüntüler üzerinde yapılması gerektiğinin somut bir kanıtıdır.



Şekil 15. KDYDS işleminde seçilen bölgenin şeklinin önemi

Blok temelli sahtecilik tespit yöntemleri kullanıldığında, serbest bölge seçimi ile yapılan sahteciliklerin tespiti de dikdörtgen bölge seçimiyle yapılanların tespitine göre daha zor olmaktadır. Bunun en önemli nedeni, serbest bölge seçimi yapıldığında kopyalanan bölgenin belirli bir geometrik şekle sahip olmamasıdır. Blok boyutu büyük ise kopyalanan bölgenin ince kısımlarında blok, arka planı da kapsayacak ve bu durum da algoritmanın yanılmasına yol açılacaktır. Blok boyutu küçük olarak belirlenirse de bloklarda tutulan bilgi az olacağından, benzeşmeyen nesnelerin benzer yapıdaki küçük bölgeleri birbirleriyle eşleştirileceği için hatalı eşleştirmelerin sayısı artacaktır. Tez kapsamında; gözle anlaşılması mümkün olmayan ve serbest bölge seçimi ile yapılan profesyonel KDYDS'lerin tespiti üzerinde durulmuş ve geliştirilen yöntemin başarısı sadece bu tür görüntüler kullanılarak ölçülmüştür.

Tez kapsamında, profesyonel KDYDS'lerin tespiti amacıyla yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Yöntem; bir görüntü üzerindeki belirli bir bölgenin serbest biçimli bölge seçimi ile kopyalandıktan sonra herhangi bir açı ile döndürme işlemine tabi tutularak aynı görüntü üzerinde başka bir bölgeye tek bir kez yapıştırılması yoluyla yapılan, birbirinin kopyası olan bölgelerin birbirleriyle veya görüntünün kenarlarıyla kesişmelerinin söz konusu olmadığı görüntü sahteciliklerini tespit etmeyi amaçlamaktadır.



Şekil 16. Serbest biçimli KDYDS tespiti işlemlerine dair bazı örnek deney görüntüleri

Şekil 16'da, serbest biçimli KDYDS tespiti işlemlerine dair bazı örnek deney görüntüleri verilmiştir. Şekil 16.a'da, SBKDYDS (Serbest Biçimli Kopyalama-Döndürme-Yer Değiştirme Sahteciliği) veri kümesinde [95] yer alan orijinal bir görüntü bulunmaktadır. Şekil 16.b'de, Şekil 16.a'da verilen görüntü için, saat yönünün tersi yönde 5 derecelik döndürme işleminin yapıldığı kopyalama-döndürme-yer değiştirme maskesi; Şekil 16.c'de, Şekil 16.a ile Şekil 16.b kullanılarak elde edilen ve herhangi bir art işleme tabi tutulmayan sahte görüntü; Şekil 16.d'de ise Şekil 16.c için sonuç görüntüsü yer almaktadır. Şekil 16.e'de, Şekil 16.a'da verilen görüntü için, saat yönünün tersi yönde 45 derecelik döndürme işleminin yapıldığı kopyalama-döndürme-yer değiştirme maskesi; Şekil 16.f'de, Şekil 16.a ile Şekil 16.e kullanılarak elde edilen ve art işlem olarak $q=90$ kalite faktörüne sahip JPEG sıkıştırmasına tabi tutulan sahte görüntü; Şekil 16.g'de ise Şekil 16.f için sonuç görüntüsü yer almaktadır. Şekil 16.h'de, Şekil 16.a'da verilen görüntü için, saat yönünün tersi yönde 90 derecelik döndürme işleminin yapıldığı kopyalama-döndürme-yer değiştirme maskesi; Şekil 16.i'de, Şekil 16.a ile Şekil 16.h kullanılarak elde edilen ve art işlem olarak görüntü bulanıklaştırma işlemine tabi tutulan sahte görüntü; Şekil 16.j'de ise Şekil 16.i için sonuç

görüntüsü yer almaktadır. Sonuç görüntüleri, geliştirilen KDYDS tespit yönteminde üretilmiştir.

Yukarıda incelenen diğer yöntemlerle kıyaslandığında, geliştirilmiş olan yöntemin ve bu yöntemin başarısını ölçmek üzere yapılan deneylerin iki temel noktada ön plana çıktıkları ifade edilebilir. Bu noktalardan birincisi; yöntemin, insan görme sistemi tarafından anlaşılacak derecede profesyonelce yapılmış olan sahtecilikleri tespit etmek üzere tasarlanmış olmasıdır. Yöntemin test edilmesinde ve başarısının ölçülmesinde kullanılan sahte görüntülerde döndürme işlemine tabi tutulmak üzere seçilen bölgeler dikdörtgen olarak ya da rastgele değil, görüntü üzerinde yer alan belirli bir nesnenin sınırlarıyla örtüşecek biçimde seçilmiştir. Bu sayede arka plandan bağımsız olarak alınan nesnelere kopyalanıp döndürme işlemine tabi tutulmakta ve başka bir bölgeye yapıştırılmaktadır. Bu durum, nesnelere serbest şekilli seçimle alınmasından ötürü sahtecilik tespit işlemini önemli ölçüde zorlaştırmaktadır. Bu bakımdan, geliştirilen yöntem, bahsi geçen zorlukların da üstesinden gelecek şekilde tasarlanmıştır. İkinci nokta ise; yöntemin test edilmesinde kullanılan sahte görüntülerde, kopyalanan nesnelere döndürme işlemine tabi tutulması için seçilen açıların, sadece aradeğerlemenin söz konusu olmadığı 90, 180 ve 270 derecelik açıları değil, aynı zamanda aradeğerlemenin kaçınılmaz olduğu 5, 15, 30 ve 45 derecelik açıları olmasıdır. Bu sayede, geliştirilen yöntemin, kopyalanan nesnelere piksel parlaklık değerlerinde aradeğerlemeden kaynaklanan değişikliklere yani bozulmalara karşı da dayanıklı olması söz konusu olmuştur. Bu iki nokta göz önünde tutulduğunda; gözle anlaşılacak kadar profesyonelce gerçekleştirilmiş olan KDYDS'ler üzerinde, döndürme açısı kaç derece olursa olsun başarılı sonuçlar verebilecek bir sahtecilik tespit yönteminin geliştirildiği söylenebilir. Yöntemin başarısı ise, literatürdeki diğer yöntemlere kıyasla daha ağır şartlar altında (kopyalanacak olan bölgenin serbest biçimli olarak seçilmesi, döndürme işlemine kullanılan açıların bir kısmının aradeğerlemeyi zorunlu kılacak biçimde seçilmesi) test edilmiştir.

Geliştirilmiş olan yöntem, başlıca üç aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada, görüntü üzerinde birbiri ile toplu hâlde benzer özellikler gösteren blok kümelerinin saptanması ve bu sayede şüpheli nesnelere belirli bölgelerinin işaretlenerek eşleştirilmesi söz konusudur. İkinci aşamada, işaretlenerek eşleştirilen bölgelerden hareketle olası döndürme açılarının tespit edilmesi işlemi yapılmaktadır. Üçüncü aşamada ise, tespit edilen olası döndürme açılarından ve eşleştirilen bölgelerin bağıl konularından hareketle, şüpheli görüntü üzerine şüpheli görüntünün döndürülmüş kopyasının koyularak dört ana yönde

gezdirilmesi, kesişen bölgelerin farklarının alınması ve bu farklardan hareketle kopyalanan bölgelerin kesin bir biçimde tespit edilmesi işlemleri gerçekleştirilmektedir.

2.3.1. Aradeğerleme Kavramı

Aradeğerleme; elde tanımı bulunmayan tek değişkenli bir fonksiyona verilmiş olan bazı değerlerden ve bu değerlere karşılık bu fonksiyon tarafından üretilmiş olan sonuçlardan hareketle, bu fonksiyonun, kendisine verilecek olan yeni değerlere karşılık hangi sonuçları üreteceğinin tahmin edilmesi işlemidir. Bahsi geçen fonksiyonun grafiğinin doğrusal olduğu biliniyorsa, yapılan tahmin işlemine de "doğrusal aradeğerleme" adı verilir. Bahsi geçen fonksiyonun tek değişkenli değil de çift değişkenli olmuş olması durumunda; bu değişkenlerden birincisinin değeri sabitken ikincisine bağlı olarak elde edilen fonksiyon grafiğinin doğrusal olduğu ve ikincisinin değeri sabitken de birincisine bağlı olarak elde edilen fonksiyon grafiğinin doğrusal olduğu biliniyorsa, bu durumda yapılan tahmin işlemine "çift doğrusal aradeğerleme" adı verilir.

Aradeğerlemenin bu tezdeki kullanım alanı ise, sayısal görüntülerin döndürme işlemine tabi tutulmaları esnasında, döndürme açısına bağlı olarak, bazı piksellerin parlaklık değerlerinin diğer piksellere ait parlaklık değerleri kullanılarak hesaplanması yani tahmin edilmesidir. Bir sayısal görüntü, herhangi bir görüntü işleme yazılımıyla döndürme işlemine maruz bırakıldığında, eğer döndürme açısı 90 dereceye veya 90 derecenin katlarından birine eşit değilse, aradeğerleme kaçınılmaz olmaktadır. Aradeğerlemenin türü döndürme işleminin gerçekleştirildiği yazılıma bağlı olmakla birlikte, tez kapsamında yapılan KDYDS tespiti deneylerinde en başarılı sonuçlar çift doğrusal aradeğerleme kullanılarak elde edilmiştir ve bu alt başlık kapsamında, çift doğrusal aradeğerleme üzerinde durulacaktır. Tez kapsamında, KDYDS tespiti esnasında gerekli olan çift doğrusal aradeğerleme işlemlerini gerçekleştirmek için MATLAB R2017b'de standart olarak yer alan *imrotate* fonksiyonundan yararlanılmıştır.

İfade (11)'de verilen I_0 matrisi, 8×8 piksel boyutunda gri ölçekli bir görüntünün piksel yoğunluk değerlerini tutuyor olsun.

$$I_0 = \begin{bmatrix} 60 & 60 & 60 & 60 & 60 & 60 & 60 & 60 \\ 60 & 60 & 60 & 120 & 120 & 120 & 60 & 60 \\ 60 & 60 & 60 & 120 & 180 & 120 & 60 & 60 \\ 60 & 60 & 60 & 120 & 180 & 120 & 60 & 60 \\ 60 & 60 & 60 & 120 & 240 & 120 & 60 & 60 \\ 60 & 60 & 60 & 120 & 240 & 120 & 60 & 60 \\ 60 & 60 & 60 & 120 & 120 & 120 & 60 & 60 \\ 60 & 60 & 60 & 60 & 60 & 60 & 60 & 60 \end{bmatrix} \quad (11)$$

Bu görüntünün saat yönünün tersi yönde 90 derece döndürülmesiyle elde edilecek olan görüntüye ait yoğunluk değerlerinin bulunduğu matris I_{90} olarak isimlendirilirse, I_{90} matrisi de ifade (12)'deki gibi olacaktır.

$$I_{90} = \begin{bmatrix} 60 & 60 & 60 & 60 & 60 & 60 & 60 & 60 \\ 60 & 60 & 60 & 60 & 60 & 60 & 60 & 60 \\ 60 & 120 & 120 & 120 & 120 & 120 & 120 & 60 \\ 60 & 120 & 180 & 180 & 240 & 240 & 120 & 60 \\ 60 & 120 & 120 & 120 & 120 & 120 & 120 & 60 \\ 60 & 60 & 60 & 60 & 60 & 60 & 60 & 60 \\ 60 & 60 & 60 & 60 & 60 & 60 & 60 & 60 \\ 60 & 60 & 60 & 60 & 60 & 60 & 60 & 60 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Görüldüğü gibi, sayısal görüntülerin aslında birer matris olmaları nedeniyle, bir sayısal görüntünün saat yönünün tersi yönde 90 derece döndürülmesi işlemi, aslında o sayısal görüntünün piksel yoğunluk değerlerini tutan matrisin aynı biçimde döndürülmesi anlamını taşımaktadır. Eğer anlatılan döndürme işlemi saat yönünün tersi yönde 180 derecelik açı ile yapılmış olsaydı I_{90} matrisinin aynı yönde 90 derece döndürülmüş hâli, saat yönünün tersi yönde 270 derecelik açı ile yapılmış olsaydı da I_{90} matrisinin aynı yönde 180 derece döndürülmüş hâli elde edilmiş olacaktı. Bahsedilen tüm bu işlemlerin, geri alınabilir nitelikte olan geometrik dönüşümler olduğunu ve bu işlemler sırasında herhangi bir bilgi kaybı meydana gelmediğini ifade etmek mümkündür.

Eğer ifade (11)'de verilen I_0 matrisinde yoğunluk değerleri yer alan görüntü saat yönünün tersi yönde 45 derece döndürülürse, bu durumda aradeğerleme zorunlu olacaktır; yani bu döndürme işlemini geri alınabilir nitelikteki geometrik bir dönüşümle, bilgi kaybı olmaksızın gerçekleştirmek mümkün olmayacaktır. Bu işlemin sonucunda elde edilecek olan görüntüye ait yoğunluk değerlerinin tutulduğu matris I_{45} olarak isimlendirilirse, I_{45} matrisi de ifade (13)'teki gibi olacaktır.

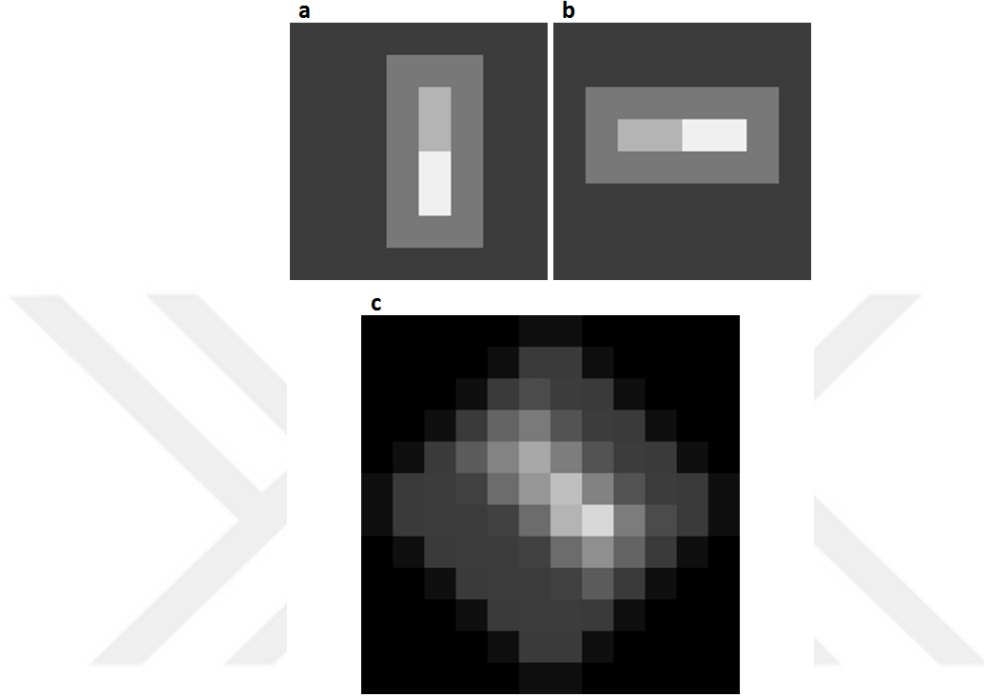
$$I_{45} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 15 & 15 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 15 & 58 & 58 & 15 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 15 & 58 & 75 & 60 & 58 & 15 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 15 & 58 & 100 & 122 & 83 & 60 & 58 & 15 & 0 & 0 \\ 0 & 15 & 58 & 92 & 131 & 168 & 125 & 83 & 60 & 58 & 15 & 0 \\ 15 & 58 & 60 & 65 & 108 & 150 & 191 & 130 & 83 & 60 & 58 & 15 \\ 15 & 58 & 60 & 60 & 65 & 108 & 180 & 215 & 124 & 75 & 58 & 15 \\ 0 & 15 & 58 & 60 & 60 & 65 & 108 & 143 & 100 & 58 & 15 & 0 \\ 0 & 0 & 15 & 58 & 60 & 60 & 65 & 92 & 58 & 15 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 15 & 58 & 60 & 60 & 58 & 15 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 15 & 58 & 58 & 15 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 15 & 15 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (13)$$

I_{45} matrisi, I_0 matrisinin *imrotate* fonksiyonu aracılığıyla ve çift doğrusal aradeğerleme kullanılarak saat yönünün tersi yönde 45 derece döndürülmesiyle elde edilen sonuç matrisindeki tüm değerlerin en yakın tamsayıya yuvarlanması yoluyla hesaplanmıştır.

I_0 matrisi 8×8 piksel boyutunda iken I_{45} matrisi 12×12 piksel boyutundadır. Boyut artışı olması doğaldır zira her bir piksel, kenar uzunluğu 1 birim olan bir kare olarak kabul edilirse, I_0 matrisi de kenar uzunluğu 8 birim olan bir kare olacaktır ve bu karenin köşegen uzunluğu da yaklaşık 11.3 birim olacaktır. Aradeğerleme işleminin çıktısı da bir sayısal görüntü yani bir matris olacağı için, köşegen uzunluğu 11 birimden fazla olan bir karenin saat yönünün tersi yönde 45 derece döndürülmesi işleminin ardından elde edilecek olan sonuç matrisinin satır ve sütun sayıları en az 12 olmak zorundadır. Bu işlemlerin sonucunda, sonuç matrisinde, döndürülmüş olan karenin denk gelmediği yerlerde bulunan değerler de 0 olacaktır. Burada verilen örnekte, anlatım kolaylığı bakımından I_0 matrisi bir kare matris

olarak seçilmiştir ancak elbette I_0 matrisinin kare matris olmaması durumunda da anlatılan işlemlerin gerçekleşmesi mümkün olacaktır.

I_0 , I_{90} ve I_{45} matrislerine karşılık gelen gri ölçekli görüntüler sırasıyla Şekil 17.a'da, Şekil 17.b'de ve Şekil 17.c'de verilmiştir.



Şekil 17. Aradeğerleme işleminin temsili gösterimi

Yukarıda verilen bilgiler bir arada değerlendirildiğinde; 90, 180 ve 270 derecelik açılarla yapılan görüntü döndürme işlemlerinin geri alınabilir nitelikte birer geometrik dönüşümden ibaret olduğu, bu açılarla yapılan döndürme işlemlerinde aradeğerlemenin söz konusu olmadığı ve bilgi kaybı meydana gelmediği; buna karşın, bahsi geçen değerlerin dışında kalan açılarla yapılan görüntü döndürme işlemlerinin aradeğerlemeyi zorunlu kıldığı ve görüntüde bilgi kaybına yol açtığı ifade edilebilir.

Aradeğerleme nedeniyle meydana gelen bilgi kayıpları, KDYDS tespit algoritmalarının sahtecilik tespitindeki başarılarını olumsuz yönde etkilemektedir. Tez kapsamında geliştirilen KDYDS tespit yöntemi ve bu yöntem kullanılarak yapılan deneylere ait sonuçlar birlikte incelendiğinde, aradeğerleme işleminin geliştirilen yöntemin başarısı üzerindeki olumsuz etkisinin kabul edilebilir düzeyde olduğunu ifade etmek mümkündür.

2.3.2. Özellik Çıkarımı ve Benzer Bölgelerin Eşleştirilmesi

B 'nin bir tek sayı olması kaydıyla, geliştirilen yöntem, şüpheli görüntüyü $B \times B$ boyutunda ve birbirleriyle örtüşen kare bloklara ayırır. B , değeri kullanıcı tarafından belirlenen bir parametredir. Döndürme işlemine karşı dayanıklılık açısından, her bir kare bloğun içerisine yerleştirilecek olan B çaplı dairenin dışarısında kalan pikseller ihmal edilirler. İleride detaylarıyla anlatılacak olan yöntemin anlaşılmasını kolaylaştırmak adına, M_{DU} (dairesel uzaklıklar matrisi) ve M_{DM} (dairesel maske matrisi) hakkında bilgi vermek yararlı olacaktır.

$$M_{DU}(5) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 4 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 2 & 3 & 0 \\ 4 & 2 & 1 & 2 & 4 \\ 0 & 3 & 2 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$M_{DU}(9) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 9 & 8 & 7 & 8 & 9 & 0 & 0 \\ 0 & 9 & 6 & 5 & 4 & 5 & 6 & 9 & 0 \\ 0 & 8 & 5 & 3 & 2 & 3 & 5 & 8 & 0 \\ 10 & 7 & 4 & 2 & 1 & 2 & 4 & 7 & 10 \\ 0 & 8 & 5 & 3 & 2 & 3 & 5 & 8 & 0 \\ 0 & 9 & 6 & 5 & 4 & 5 & 6 & 9 & 0 \\ 0 & 0 & 9 & 8 & 7 & 8 & 9 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (15)$$

M_{DU} matrisi, $B \times B$ boyutundaki bir kare matris içerisine sığabilecek olan en büyük dairenin dışarısında kalan elemanların ihmal edildiği, diğer elemanların ise dairenin merkezine olan uzaklıklarına göre tamsayılar kullanılarak numaralandırıldığı matristir. Merkezdeki eleman her zaman 1 değerini alır ve daire içerisindeki elemanlar için bu değer, merkeze olan Öklid uzaklıklarıyla paralel biçimde artar. Merkeze uzaklığı eşit olan elemanların değerleri de birbirine eşittir. Dairenin dışında kalan elemanların değerleri ise

0'dır. $B=5$ ve $B=9$ için hesaplanan dairesel uzaklıklar matrisleri sırasıyla ifade (14)'te ve ifade (15)'te verilmiştir.

M_{DM} matrisi ise kenar uzunluğu B olan bir kare matris içerisine sığabilecek olan en büyük dairenin dışarısında kalan elemanların değerlerinin 0, diğer elemanların değerlerinin ise 1 olduğu matris olarak ifade edilebilir. $B=5$ ve $B=9$ için hesaplanan dairesel maske matrisleri sırasıyla ifade (16)'da ve ifade (17)'de verilmiştir.

$$M_{DM}(5) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$M_{DM}(9) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (17)$$

Bloklardan özellik çıkarılması işleminde entropi (ε) değerlerinden de yararlanılmaktadır. Buna göre; k 'nin $[0, 255]$ kapalı aralığında bir tamsayı olması kaydıyla, p_k değerinin bir blokta k parlaklık değerine sahip piksellerin bulunma olasılığını gösterdiği kabul edilirse o bloğa ait entropi değeri, ifade (18)'deki gibi hesaplanır.

$$\varepsilon = - \sum_{k=0}^{255} p_k \log_2(p_k) \quad (18)$$

Blok genişliği B ile ifade edilmek kaydıyla, her bir kare bloktan elde edilen özellik vektörü, sahteciliğe konu olan görüntünün renkli hâli üzerinde aşağıda verilen biçimde hesaplanmaktadır:

Adım 1: İlgili bloğa ait sırasıyla kırmızı, yeşil ve mavi renk kanalları olan $blok_K$, $blok_Y$ ve $blok_M$ matrisleri, dairesel maske (M_{DM}) ile skaler biçimde çarpılarak, bloğun içine yerleştirilen dairenin dışında kalan parlaklık değerleri sıfırlanır ve bu bloğa ait dairesel kırmızı, yeşil ve mavi renk kanalları olan $blok_{Kd}$, $blok_{Yd}$ ve $blok_{Md}$ matrisleri elde edilir. Sırasıyla bu üç matrise ait entropi değerlerinin ifade (18) kullanılarak hesaplanmasıyla elde edilen sonuçlar (ϵ_{Kd} , ϵ_{Yd} , ϵ_{Md}), özellik vektörünün ilk üç elemanını oluştururlar.

Adım 2: μ_A adım genişliğini, μ_B de basamak genişliğini temsil eden parametreler olmak üzere ve ilgili bloğun her bir pikselinin MATLAB R2017b'de standart olarak yer alan $rgb2gray$ fonksiyonu kullanılarak, ifade (1)'de yer alan denkleme göre gri ölçekli hâle dönüştürülmesi sonucu elde edilen gri ölçekli blok $blok_G$ ile ifade edilmek kaydıyla, $blok_G$ üzerinde, aşağıdaki alt adımlarda yer alan işlemler yapılarak bir dögüsel ortalamalar vektörü (V_{DO}) elde edilir:

Adım 2.1: M_{DU} matrisinde bulunan maksimum değer M_{DU_maks} ile ifade edilsin. μ_A değeri kullanıcı tarafından, $[1, M_{DU_maks}]$ kapalı aralığında olacak biçimde belirlenir. μ_B değeri de kullanıcı tarafından $\mu_A \leq \mu_B \leq M_{DU_maks}$ olacak biçimde belirlenir. YON_{VDO} parametresi, V_{DO} vektörünün nasıl sıralanacağını tutan ve değeri kullanıcı tarafından belirlenen bir mantıksal parametre olsun.

Adım 2.2: $\alpha_{min}=1$, $\alpha_{maks}=\mu_A$ olsun.

Adım 2.3: $\alpha_{min} \leq M_{DU_maks}$ ve $\alpha_{maks} \leq M_{DU_maks}$ şartları sağlandığı sürece aşağıdaki alt adımlarda yer alan işlemler tekrar edilir:

Adım 2.3.1: x_{MDU} ve y_{MDU} değerlerinin $[1, B]$ kapalı aralığında yer alması kaydıyla, M_{DU} matrisin x_{MDU} numaralı satırında ve y_{MDU} numaralı sütununda bulunan eleman $M_{DU}(x_{MDU}, y_{MDU})$ ifadesi ile temsil edilsin. M_{DU} matrisinde bulunan ve $\alpha_{min} \leq M_{DU}(x_{MDU}, y_{MDU}) \leq \alpha_{maks}$ şartını sağlayan tüm matris elemanlarının buldukları indekslere karşılık gelen indekslerde yer alan tüm $blok_G$ elemanları toplanarak ortalamaları alınır ve elde edilen ortalama değeri V_{DO} vektörünün sonuna eklenir.

Adım 2.3.2: α_{min} değeri, $\alpha_{min} + \mu_B$ değeri ile M_{DU_maks} değerinden hangisi daha küçükse ona eşitlenir.

Adım 2.3.3: α_{maks} değeri, $\alpha_{maks} + \mu_B$ değeri ile M_{DU_maks} değerinden hangisi daha küçükse ona eşitlenir.

Adım 2.3.4: Eğer yukarıda verilen iki adımda α_{min} ve α_{maks} değerlerinin her ikisinde de μ_B kadar artış olmadıysa döngü sonlanır.

Adım 2.4: YON_{VDO} parametresinin değeri "yanlış" ise V_{DO} vektörü sondan başa doğru sıralanır.

Adım 3: Elde edilen V_{DO} vektörünün uzunluğu μ_A ve μ_B değerlerine göre değişmekle birlikte V_{DO} vektörü, ilk üç elemanı yukarıda belirtilmiş olan özellik vektörünün sonuna eklenir.

Adım 4: Gökyüzü ya da belirli bir nesnenin yüzeyi gibi tekdüze renklerden oluşan bölgelerin algoritmayı yanıltmaması için, her bloğa ait bir çeşitlilik değeri (CD_{BLOK}) hesaplanır. CD_{BLOK} değeri hesaplanırken ilk önce blokta; M_{DU} matrisindeki M_{DU_maks} değeri çift sayı ise bu matristeki M_{DU_maks} , M_{DU_maks-1} ve M_{DU_maks-2} değerine sahip olan elemanların; M_{DU} matrisindeki M_{DU_maks} değeri tek sayı ise de bu matristeki M_{DU_maks-1} , M_{DU_maks-2} ve M_{DU_maks-3} değerine sahip olan elemanların indeks değerlerine karşılık gelen elemanlar alınır ve vektör olarak ifade edilir. Vektördeki her bir eleman kendisi haricindeki diğer tüm elemanlarla birer kez eşleştirilir ve her bir eşleşmede, eşleşen elemanların farklarının mutlak değerleri hesaplanır. Hesaplanan bu mutlak değerlerin tümünün toplanarak vektörün eleman sayısına bölünmesiyle CD_{BLOK} değeri elde edilmiş olur. CD_{BLOK} değeri de özellik vektörünün sonuna eklenir.

Adım 5: Özellik vektörünün en son iki sütununa ise, ilgili bloğun sol üst köşe noktasına ait x ve y koordinatları eklenir.

Yukarıda maddeler hâlinde verilen işlemler, tek bir bloktan özellik çıkarılmasını anlatmaktadır. Şüpheli görüntü birbiri ile örtüşen kare bloklara ayrılmış olup, yukarıdaki özellik çıkarma işlemi bu kare blokların tamamı için ayrı ayrı yapılacaktır. Çıkarılan bu özellikler, özellik matrisinin (OM) satırlarını oluşturacaktır. Sonrasında ise OM matrisi sözlüksel biçimde sıralanarak birbiri ile benzeşen bloklara ait özellik vektörlerinin birbirine yakın satırlarda bulunmaları sağlanacaktır.

Sözlüksel sıralama işleminin ardından, birbiri ile benzerlik gösteren blokların hangileri olduğuna karar verilebilmesi için, blok eşleştirme işlemiyle beraber, Bölüm 2.1.2'de ele alınan eleme işlemlerine benzer birtakım eleme işlemlerine ihtiyaç duyulacaktır. Bu eleme işlemleri için gerekli olan dört temel parametre; SU_{MAKS} (maksimum sözlüksel uzaklık), OK_{MIN} (minimum Öklid uzaklığı), EC (çeşitlilik eşiği) ve SF_{MAKS} (sinyaller arası maksimum fark) parametreleridir. Bu parametrelerin eşleştirme ve eleme işlemlerinde hangi görevleri

üstlendikleri aşağıdaki paragraflarda açıklanacak olup, parametre değerleri her bir deney için kullanıcı tarafından belirlenmektedir.

Sıralanmış olan OM matrisindeki her bir satır tek bir bloğu temsil etmektedir. Birbirine benzerlik gösteren blokları temsil eden özellik vektörlerinin OM matrisi üzerinde yakın konumlarda bulunmaları gerektiği düşüncesinden yola çıkılarak, birbirlerine benzemeyen blokları eleyip bu blokların benzer olarak değerlendirilmesini önlemek için SU_{MAKS} değerinden yararlanılır. Her bir bloğun, OM matrisi üzerinde bulunan diğer bloklardan kendisine SU_{MAKS} değerinden daha uzakta olanlarla benzerlik göstermediği kabul edilir.

OK_{MIN} parametresi, gökyüzü ya da belirli bir nesnenin yüzeyi gibi tekdüze renklerden oluşan bölgelerin algoritmayı yanıltmaması amacıyla, benzerlik gösteren ancak Öklid uzaklığı bakımından birbirine yakın konumda olan blokların elenmesi maksadıyla kullanılmaktadır. Eğer iki bloğun koordinatları, yani sol üst köşelerindeki piksellerin x ve y koordinatları arasındaki Öklid uzaklığı OK_{MIN} değerinden küçükse, bu iki bloğun birbirlerine benzemedikleri kabul edilir.

EC parametresi de OK_{MIN} parametresine benzer şekilde, gökyüzü ya da belirli bir nesnenin yüzeyi gibi tekdüze renklerden oluşan bölgelerin algoritmayı yanıltmasını engellemek amacıyla kullanılır. Ancak EC parametresi iki blok arasındaki herhangi bir ilişkiye (Öklid uzaklığı, sözlüksel sıralamadaki uzaklık vb.) bakılmaksızın kullanılan bir parametre olup, CD_{BLOK} değerleri EC değerinden küçük olan tüm blokların başka herhangi bir blokla benzerlik gösteremeyecekleri kabul edilir çünkü tek biçimli renklere sahip olan bu blokların, algoritmanın nesnelere tanıyabilmesi ve ayırt edebilmesi için yeterli ipucu veremeyecekleri düşünülür.

İki bloğun benzer olup-olmadığına karar verilmesinde kullanılan diğer bir parametre de SF_{MAKS} parametresidir. Her bir bloğa ait özellik vektörünün içerisinde, yukarıda da bahsedildiği gibi bir V_{DO} vektörü yer almaktadır. Herhangi iki bloğa ait V_{DO} vektörleri üst üste koyularak farklarının mutlak değerleri toplamı alınır ve eğer bu toplam SF_{MAKS} değerinden büyük ise bu iki bloğun birbirlerine benzemedikleri kabul edilir.

Benzer blokların koordinatlarını tutmak üzere $M_{K BK}$ (kaynak blok koordinatları matrisi) ve M_{HBK} (hedef blok koordinatları matrisi) adında iki matris tanımlansın. OM üzerinde özellik vektörleri yer alan her bir blok, özellik vektörleri bu matris üzerinde kendisinden aşağı konumda bulunan diğer tüm bloklarla karşılaştırılır. Yukarıda bahsi geçen dört parametreye ait kurallardan tek bir tanesinde bile birbirlerine benzemediklerine dair bir sonucun ortaya çıkmadığı blok çiftleri, benzer olarak kabul edilirler. Bahsi geçen benzer

blok çiftlerinden OM üzerinde daha yukarı konumda olanının koordinatları (sol üst köşe noktasına ait x ve y koordinatları) M_{KBB} matrisinin sıradaki boş satırına, alt konumda olanının koordinatları ise M_{HBB} matrisinin aynı numaralı satırına eklenir. Yani bu aşamada, M_{KBB} matrisinin n numaralı satırında tutulan koordinatlara sahip bloğun, M_{HBB} matrisinin n numaralı satırında tutulan koordinatlara sahip blok ile benzer olduğu saptanmıştır.

Seçiciliği artırmak ve benzer olmayan blokların benzermiş gibi değerlendirilmelerini önlemek amacıyla ikinci bir kontrol mekanizmasına ihtiyaç duyulmuştur. Bu mekanizma uyarınca, değeri bir pozitif tamsayı olan ve kullanıcı tarafından belirlenen, "güvenilirlik eşiği" olarak adlandırılan bir kontrol parametresi (E_G) kullanılmaktadır. Buna göre; M_{KBB} matrisinin satır sayısı $s_{M_{KBB}}$ olarak kabul edilirse (Ki M_{HBB} matrisinin satır sayısı da aynı olacaktır.), indeksleri M_{KBB} ve M_{HBB} matrislerinde paralel olarak tutulan bloklar üzerinde aşağıdaki adımlarda belirtildiği gibi bir kontrol işlemi uygulanır (Kesişim sayısını tutmak için kullanılacak olan parametrenin adı S_{KES} olsun.):

Adım 1: $0 < x < (s_{M_{KBB}} + 1)$ olmak üzere tüm x değerleri için aşağıdaki alt adımda yer alan işlemler yapılır:

Adım 1.1: S_{KES} değeri 0'a eşitlenir.

Adım 1.2: $0 < y < (s_{M_{KBB}} + 1)$ ve $x \neq y$ şartını sağlayan tüm y değerleri için aşağıdaki alt adımda yer alan işlemler yapılır:

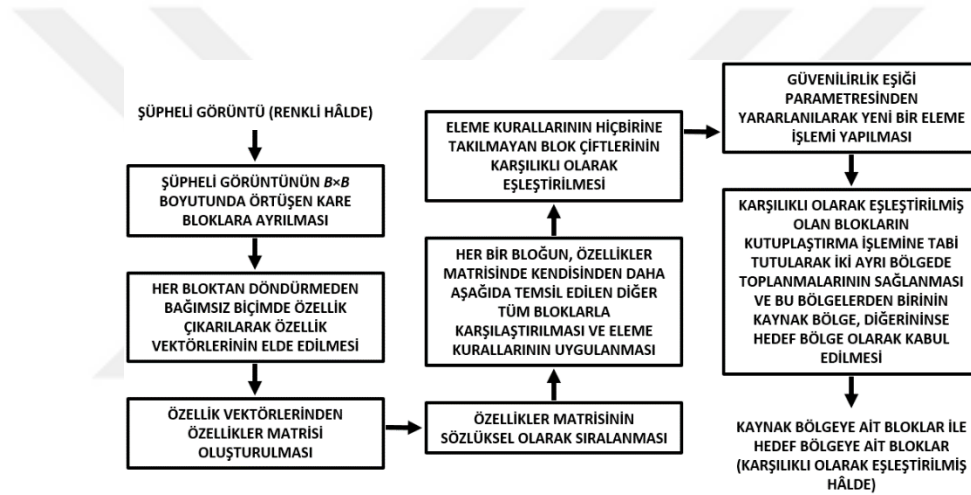
Adım 1.2.1: M_{KBB} matrisinin x . satırında indeks değerleri tutulan blok ile, M_{KBB} matrisinin y . satırında indeks değerleri tutulan blok arasındaki Öklid uzaklığı B değerinden küçükse ve aynı zamanda M_{HBB} matrisinin x . satırında indeks değerleri tutulan blok ile, M_{HBB} matrisinin y . satırında indeks değerleri tutulan blok arasındaki Öklid uzaklığı B değerinden küçükse ve aynı zamanda bahsi geçen bu iki Öklid uzaklığı arasındaki farkın mutlak değeri 2'den büyük değilse S_{KES} değeri 1 artırılır.

Adım 1.3: Adım 1.2'de belirtilen işlemler sonucunda elde edilen S_{KES} değeri, E_G değerinden büyük ya da ona eşit ise; M_{KBB} matrisinin x . satırında indeks değerleri tutulan blok ile M_{HBB} matrisinin x . satırında indeks değerleri tutulan bloğun birbirlerine benzer olduklarına, aksi durumda ise bu blokların benzer olmadıklarına karar verilir.

Adım 2: Adım 1'deki işlemler sonucunda benzer olmadıklarına karar verilmiş olan blok çiftleri, M_{KBB} ve M_{HBB} matrislerinden paralel biçimde çıkarılırlar.

Belirtilen kontrol işlemleri sonrasında, M_{KBB} ve M_{HBB} matrislerinde birbirleri ile benzer oldukları kesinleşen blok çiftlerine ait indeks değerleri paralel olarak yer alacaktır. Bu aşamaya kadar yapılan işlemler sonucunda, M_{KBB} ve M_{HBB} matrislerinden birinde kaynak

bölgeye ait blokların koordinatlarının, diğerindeyse hedef bölgeye ait blokların koordinatlarının toplanmış olması beklenmektedir. Ancak yapılan deneyler; kaynak bölgeye ait blokların koordinatlarının bir kısmının $M_{K BK}$ matrisinde, bir kısmının ise $M_{H BK}$ matrisinde yer aldığını; benzer biçimde, hedef bölgeye ait blokların koordinatlarının bir kısmının $M_{H BK}$ matrisinde, bir kısmının ise $M_{K BK}$ matrisinde yer aldığını göstermiştir. Burada da, tıpkı Bölüm 2.1.2'de bahsedildiği gibi bir kutuplaştırma işlemi gerçekleştirilerek $M_{K BK}$ ve $M_{H BK}$ matrislerinden birinde sadece kaynak bölgeye ait blokların koordinatlarının, diğerinde ise sadece hedef bölgeye ait blokların koordinatlarının toplanması sağlanır ki ilerleyen aşamalarda kaynak bölgeye ait blokların ve hedef bölgeye ait blokların ağırlık merkezlerinin hesaplanabilmesi için bunun yapılması gereklidir.



Şekil 18. KDYDS tespitinde benzer bölgelerin eşleştirilmesine kadarki işlemlere ait akış diyagramı

Geliştirilen KDYDS tespit algoritması, bu noktada, eşleşen bölgelerden hangisinin aslen kaynak bölge olduğunu, hangisinin ise aslen hedef bölge olduğunu bilmemekte olup, sadece, eşleşen bölgelerden birini kaynak bölge olarak, diğerini ise hedef bölge olarak varsaymaktadır. Geliştirilmiş olan KDYDS tespit yönteminde benzer bölgelerin eşleştirilmesine kadarki işlemlere ait akış diyagramı Şekil 18'de verilmiştir.

2.3.3. Eşleştirilen Bölgelerden Hareketle Olası Döndürme Açılarının Tespit Edilmesi

Bir önceki bölümde detaylarıyla anlatılan işlemler sonucunda, kaynak bölge ile hedef bölge arasında dairesel bloklar bazında eşleştirmeler yapılmış olup, eşleştirilen blokların

koordinat değerleri M_{KBB} ve M_{HBB} matrislerinde paralel olarak tutulmuştur. Ancak, yapılan deneyler sonucunda, eşleştirilen bu blokların, birbirinin döndürülmüş kopyası olan bölgelerin tamamına yakını değil de belirli kısımlarını kapladıkları, sadece eşleşen bu blokların işaretlenmesiyle elde edilecek sonuç görüntüsüne ait başarı oranının tatmin edici seviyede olmadığı görülmüştür. Buna çözüm olarak, gerçekleştirilen yöntemde, döndürme açısını tespit edebilme özelliği kazandırılması gerekli görülmüştür. Bu sayede, döndürme açısından hareketle; şüpheli görüntü üzerinde algoritma tarafından belirlenen konuma şüpheli görüntünün döndürülmüş kopyasının koyularak dört ana yönde gezdirilmesi, kesişen bölgelerin farklarının alınması ve bu farklardan hareketle birbirinin döndürülmüş kopyası olan bölgelerin kesin bir biçimde tespit edilmesi mümkün hâle gelecektir.

Döndürme açısının belirlenmesi işlemi, sahteciliğe konu olan görüntünün renkli hâli üzerinde aşağıda verilen adımlar uyarınca yapılmaktadır:

Adım 1: Eşleştirilmiş olan blokların bulunmaları gereken konumları ile mevcut konumları arasında az miktarda da olsa fark olabileceği öngörülerek, pozitif tamsayı olan bir tolerans değeri parametresi (D_{TOL}) tanımlanır. D_{TOL} parametresinin değeri kullanıcı tarafından belirlenir.

Adım 2: Pozitif rasyonel sayı olan bir açı hassasiyeti parametresi (h_{θ}) tanımlanır. h_{θ} parametresinin değeri kullanıcı tarafından belirlenir.

Adım 3: Tüm olası açı değerlerini sırasıyla tutacak olan bir vektör (V_{TOA}) tanımlanır. V_{TOA} vektöründe tutulabilecek olan değerler, $[0, 360)$ aralığında olup, bu vektörün elemanları arasındaki fark, h_{θ} parametresinin değeri kadar olmaktadır. Sözelimi, h_{θ} parametresinin değeri 5 olarak seçilirse, V_{TOA} vektörü $[0, 5, 10, \dots, 345, 350, 355]$ şeklinde olacaktır.

Adım 4: Seçilen blok boyutu (B) değeri için bir dairesel maske matrisi (M_{DM}) tanımlanır. Sözelimi, B değerinin 9 olarak seçilmesi durumunda, M_{DM} matrisi, ifade (17)'deki gibi olacaktır. Sonrasında, satır ve sütun sayısı, seçilen blok boyutu değerinin 2 eksiği ($B-2$) olacak biçimde, bir daraltılmış dairesel maske matrisi (M_{DDM}) tanımlanır. B değerinin 9 olarak seçilmiş olması durumunda $B-2$ değeri 7'ye eşit olacağından, M_{DDM} matrisi de ifade (19)'daki gibi olacaktır. M_{DDM} matrisi 0'larla çevrelenerek $B \times B$ boyutunda M_{DDMs} adlı yeni bir matris elde edilir. B değerinin 9 olarak seçilmiş olması durumunda, M_{DDMs} matrisi de ifade (20)'deki gibi olacaktır.

$$M_{DDM}(9) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$M_{DDMs}(9) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (20)$$

Adım 5: Elemanları algoritmanın ilerleyen adımlarında belirlenmek üzere boş bir açılar vektörü (V_A) tanımlanır.

Adım 6: $M_{K BK}$ matrisinin her bir satırı için aşağıdaki işlemler sırasıyla yapılır:

Adım 6.1: Elemanları algoritmanın ilerleyen adımlarında belirlenmek üzere boş bir veriler matrisi (M_V) tanımlanır.

Adım 6.2: V_{TOA} vektöründe yer alan her bir açı değeri için, bu açı değeri θ parametresi ile temsil edilmek üzere, aşağıdaki alt adımlarda yer alan işlemler yapılır:

Adım 6.2.1: $-D_{TOL} \leq \tau_x \leq D_{TOL}$ olmak üzere, τ_x 'in her bir değeri için, aşağıdaki alt adımlarda yer alan işlemler yapılır:

Adım 6.2.1.1: $-D_{TOL} \leq \tau_y \leq D_{TOL}$ olmak üzere, τ_y 'nin her bir değeri için, aşağıdaki alt adımlarda yer alan işlemler yapılır:

Adım 6.2.1.1.1: Şüpheli görüntü üzerinde bulunmakta olan ve $M_{K BK}$ matrisinin ilgili satırında indeks değerleri tutulan kaynak blok (B_K) alınır.

Adım 6.2.1.1.2: Yukarıdaki adımda $M_{K BK}$ matrisinin hangi satırı için işlem yapılmışsa, $M_{H BK}$ matrisinin aynı satırında tutulan indeks değerleri (p, r) olarak kabul edilsin. Şüpheli görüntü üzerinde bulunmakta olan ve indeks değeri $(p+\tau_x, r+\tau_y)$ olan hedef blok (B_H) alınır.

Adım 6.2.1.1.3: B_K bloğu M_{DM} matrisi ile skaler biçimde çarpılarak maskelenir ve bu çarpımın sonucu B_K bloğuna atanır.

Adım 6.2.1.1.4: B_H bloğu M_{DM} matrisi ile skaler biçimde çarpılarak maskelenir ve bu çarpımın sonucu B_H bloğuna atanır.

Adım 6.2.1.1.5: B_K bloğu, çift doğrusal aradeğerleme kullanılarak, θ açısı kadar döndürme işlemine tabi tutulur ve döndürme işleminden sonra blok boyutunda artış olmuşsa, elde edilen yeni bloğun merkezinden başlanarak, önceki boyutundayken sahip olduğu sınırlarına kadarki bölümü alınır ve B_K bloğu ile aynı boyuta sahip olan $B_{K\theta}$ bloğu elde edilir.

Adım 6.2.1.1.6: $B_{K\theta}$ bloğu M_{DDMs} matrisi ile skaler biçimde çarpılarak maskelenir ve $MB_{K\theta}$ matrisi elde edilir.

Adım 6.2.1.1.7: B_H bloğu M_{DDMs} matrisi ile skaler biçimde çarpılarak maskelenir ve MB_H matrisi elde edilir.

Adım 6.2.1.1.8: $MB_{K\theta}$ matrisi ile MB_H matrisinin farklarının mutlak değeri alınarak farklar matrisi (M_F) elde edilir. M_F matrisinin kırmızı, yeşil ve mavi renk kanalları sırası ile M_{Fk} , M_{Fy} ve M_{Fm} ile ifade edilsin.

Adım 6.2.1.1.9: M_{Fk} , M_{Fy} ve M_{Fm} matrislerinin üçünün de her bir indeksinde yer alan değerlerin tamamı birbiri ile toplanarak bir skaler sayı olan toplam fark değeri (Δ) elde edilir.

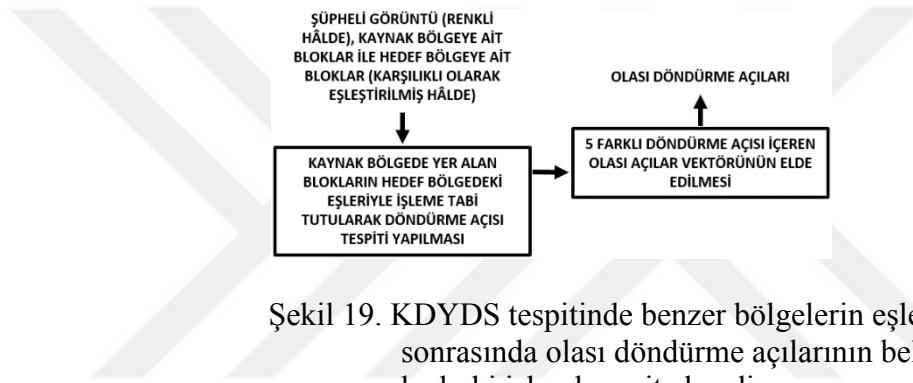
Adım 6.2.1.1.10: Veriler matrisinin (M_V) sıradaki satırına; sırasıyla Δ , θ değerlerinden oluşan bir vektör eklenir.

Adım 6.3: M_V matrisi sözlüksel biçimde sıralandıktan sonra ilk satırında bulunan açı değeri (θ), V_A vektörünün sıradaki indeksine eklenir.

Adım 7: Eğer V_A vektöründe tek açı değeri bulunuyorsa bu eleman, aday açı değeri (θ_A) olarak kabul edilir. Eğer V_A vektöründe iki açı değeri bulunuyorsa, bu iki açı değerlerinden hangisinde daha düşük toplam fark değeri (Δ) elde edilmişse o açı değeri aday açı değeri (θ_A) olarak kabul edilir. Eğer V_A vektörü üç ya da daha fazla elemana sahipse, V_A vektöründe en sık bulunan birinci ve ikinci açı değerinin bulunma sayıları hesaplanarak en sık bulunan birinci açı değerinin bulunma sayısı, en sık bulunan ikinci açı değerinin bulunma sayısına oranlanır. Eğer oran 2'den büyükse en sık bulunan birinci açı değeri, aday açı değeri (θ_A) olarak kabul edilir. Eğer oran 2'den büyük değilse, V_A vektörü küçükten büyüğe doğru sıralanır, tüm elemanlarının en başta yer alan 1/3'lük kısmı ile en sonda yer alan 1/3'lük kısmı

-ortanca filtresinin uygulanış mantığına benzer biçimde- elenerek geriye kalan elemanların ortalamaları alınıp h_{θ} değerinin katı olan en yakın sayıya yuvarlanarak bir aday açı değeri (θ_A) elde edilir.

Adım 8: Yapılan deneyler sonucunda, h_{θ} değerinin 5 olarak seçilmesi kaydıyla, yukarıda verilen algoritmanın döndürme açısını en fazla 10 derecelik yanılma payı ile saptadığı gözlenmiştir. Bu nedenle, yukarıdaki adımların sonucunda, θ_A değerinin $h_{\theta} \times 2$ eksiği, h_{θ} eksiği, h_{θ} fazlası ve $h_{\theta} \times 2$ fazlası da alınarak bir olası açılar vektörü (V_{OA}) elde edilir. Sözcülemi; θ_A değerinin 165 olması durumunda V_{OA} vektörü $[155, 160, 165, 170, 175]$ şeklinde, 0 olması durumunda ise V_{OA} vektörü $[350, 355, 0, 5, 10]$ şeklinde olacaktır.



Şekil 19. KDYDS tespitinde benzer bölgelerin eşleştirilmesinin sonrasında olası döndürme açılarının belirlenmesine kadarki işlemlere ait akış diyagramı

Geliştirilmiş olan KDYDS tespit yönteminde; benzer bölgelerin eşleştirilmesinin sonrasında olası döndürme açılarının belirlenmesine kadarki işlemlere ait akış diyagramı Şekil 19'da verilmiştir.

2.3.4. Tespit Edilen Olası Döndürme Açılarında Hareketle Benzer Bölgelerin Belirlenmesi

Bölüm 2.3.3'te verilen algoritma ile olası döndürme açıları hesaplanarak V_{OA} vektöründe tutulmuştu. Önerilen yöntemin geriye kalan aşamalarında ise, V_{OA} vektöründe tutulan açı değerlerinden en uygun olanının belirlenmesi ve bu değerden hareketle şüpheli görüntü üzerinde birbirinin döndürme işlemine tabi tutulmuş kopyası olan bölgelerin işaretlenmesi söz konusu olacaktır. Yöntemin devamı, aşağıda verilen adımlardan oluşmaktadır:

Adım 1: V_{OA} vektöründe yer alan her bir açı değeri için, bu açı değeri φ parametresi ile temsil edilmek üzere, aşağıdaki alt adımlarda yer alan işlemler yapılır:

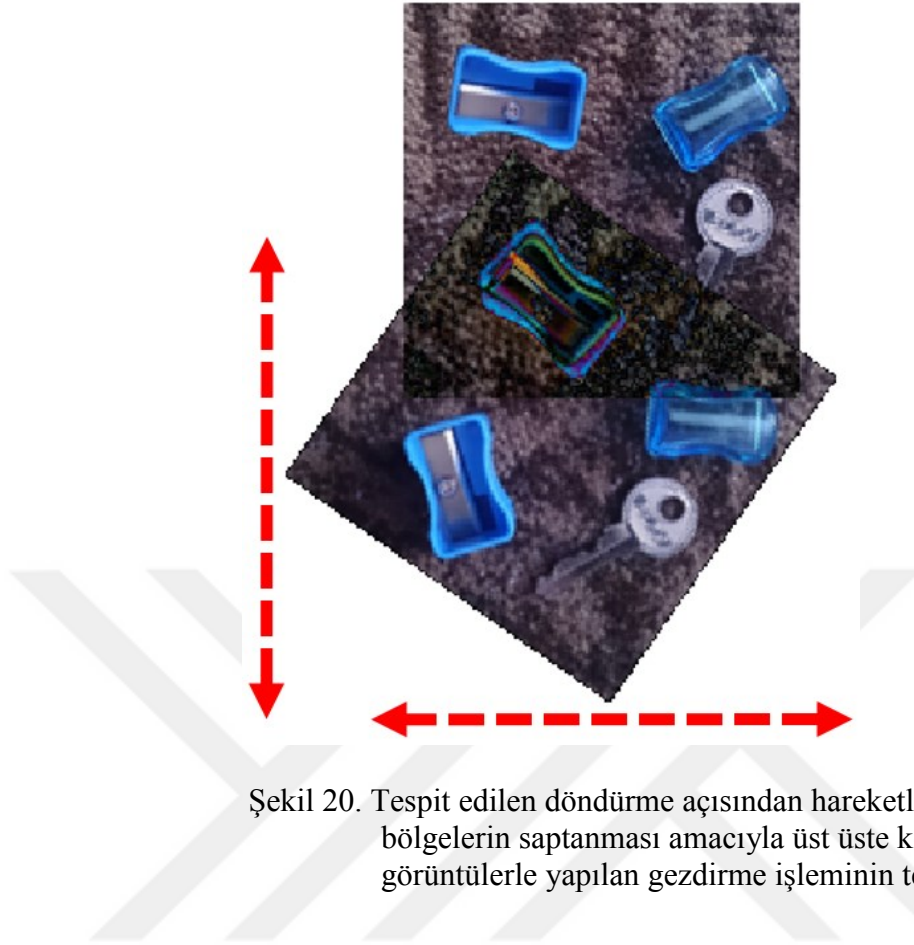
Adım 1.1: M_{KBK} matrisinde tutulan x ve y koordinatlarının ortalamasına $(B-1)/2$ değeri eklenerek sırasıyla Kx_{ort} ve Ky_{ort} değerleri elde edilir. Aynı zamanda, M_{HBK} matrisinde tutulan x ve y koordinatlarının ortalamasına $(B-1)/2$ değeri eklenerek sırasıyla Hx_{ort} ve Hy_{ort} değerleri elde edilir. (Kx_{ort}, Ky_{ort}) koordinatı kaynak blokların ağırlık merkezini verirken (Hx_{ort}, Hy_{ort}) koordinatı da hedef blokların ağırlık merkezini verecektir.

Adım 1.2: Şüpheli görüntünün renkli hâlinin renkli bir kopyası oluşturulur ve çift doğrusal aradeğerleme kullanılarak φ açısı kadar döndürülür. Döndürme işlemi sonucunda, döndürme işlemine tabi tutulan kopya görüntü üzerindeki hedef bloklara ait ağırlık merkezinin x ve y koordinatları olan Hx_{ort} ve Hy_{ort} değerleri HDx_{ort} ve HDy_{ort} olarak değişecektir.

Adım 1.3: İlk önce, elemanları algoritmanın ilerleyen adımlarında belirlenmek üzere boş bir veriler matrisi (M_{V2}) tanımlanır. Sonrasında, şüpheli görüntünün aslındaki Kx_{ort} ve Ky_{ort} koordinatları ile, döndürülmüş olan kopyasındaki HDx_{ort} ve HDy_{ort} koordinatları çakışacak biçimde her iki görüntü üst üste koyularak bir çakışma noktası belirlenir. Daha sonra, sadece pozitif tamsayı değerlerini kabul eden ve değeri kullanıcı tarafından belirlenen bir gezdirmeye uzaklığı parametresi (U_{GEZ}) belirlenir.

Adım 1.4: Adım 1.3'te belirtilen çakışma noktası referans noktası olarak kabul edilmek suretiyle, döndürülmüş görüntü, bahsedilen konumunun U_{GEZ} piksel yukarısı ile U_{GEZ} piksel aşağısı, aynı zamanda U_{GEZ} piksel solu ile U_{GEZ} piksel saği arasında kalacak olan bölge üzerinde, Şekil 20'de yer alan temsilî gösterimde olduğu gibi adım adım gezdirilir. Sözelimi, U_{GEZ} parametresinin değerinin 10 olarak seçilmesi durumunda, gezdirmeye işlemi toplamda $21 \times 21 = 441$ adımdan oluşacaktır. Bu gezdirmeye işlemlerinin her bir adımında, aşağıdaki alt adımlarda yer alan işlemler yapılır:

Adım 1.4.1: Döndürülmüş olan görüntünün HDx_{ort} ve HDy_{ort} koordinatlarını merkez olarak kabul eden B çaplı daire ile bu dairenin asıl görüntü üzerindeki izdüşümüne karşılık gelen diğer daire üst üste gelecek biçimde yerleştirildikten sonra, her bir renk kanalı için, bu daireler arasındaki farkların mutlak değerleri pikseller bazında ayrı ayrı toplanır ve daha sonra bu toplamlar da birbiri ile toplanarak Δ_2 değeri elde edilir. Ayrıca, gezdirilen görüntüdeki HDx_{ort} ve HDy_{ort} koordinatları ile sabit tutulan görüntüdeki Kx_{ort} ve Ky_{ort} koordinatları arasındaki gezdirmeye işleminden kaynaklanan koordinat farkları ($FARKx_{ort}$ ile $FARKy_{ort}$) hesaplanır.



Şekil 20. Tespit edilen döndürme açısından hareketle benzer bölgelerin saptanması amacıyla üst üste koyulan görüntülerle yapılan gezdirme işleminin temsilî gösterimi

Adım 1.4.2: Δ_2 , $FARKx_{ort}$, $FARKy_{ort}$ değerlerinin oluşturduğu vektör, M_{V2} matrisinin sıradaki boş satırına eklenir.

Adım 1.5: M_{V2} matrisi sözlüksel biçimde sıralanır. Bu işlemten sonra, M_{V2} matrisinin ilk satırında yer alan $FARKx_{ort}$ ve $FARKy_{ort}$ değerleri, üst üste koyulan görüntülerin şüpheli bölgeleri arasındaki minimum farkın yakalandığı gezdirme adımında gezdirilen görüntünün sabit tutulan görüntüye göre bağlı konumunu verecektir.

Adım 1.6: Adım 1.5'te bahsedilen $FARKx_{ort}$ ve $FARKy_{ort}$ değerleri kullanılarak tekrardan üst üste yerleştirilen renkli hâldeki iki görüntünün kesişen kısımlarının farklarının mutlak değeri her üç renk kanalı için ayrı ayrı hesaplanarak bir fark görüntüsü elde edilir. Burada, birbirinin kopyası olan alanların üst üste gelmesi sonucunda bu alanların buldukları bölgede farkların mutlak değerinin sıfır veya sıfıra yakın olması beklenir. Sonrasında, gürültülerin giderilebilmesi için, elde edilen fark görüntüsüne, her üç renk kanalında ayrı ayrı olmak üzere iki boyutlu ortanca filtresi uygulanır ve daha sonra, fark görüntüsü üzerinde, üç renk kanalındaki fark ortalamasının belirli bir eşik değerinden (τ_F)

küçük olduğu komşu piksellerden oluşan bölgeler tespit edilir. τ_F parametresinin değeri, her bir deney için kullanıcı tarafından belirlenmektedir.

Adım 1.7: Bir önceki adımda bahsedilen işlemlerin sonucunda, görüntünün yapısına bağlı olarak, fark görüntüsü üzerinde irili ufaklı çok sayıda bölge oluşabilir. M_{KBK} matrisinin tüm elemanlarına $(B-1)/2$ değeri eklenmesiyle kaynak blokların ağırlık merkezlerinin tutulduğu M_{KBM} matrisi elde edilir. Bahsi geçen irili ufaklı bölgeler arasından, M_{KBM} matrisinde x ve y koordinatları tutulan noktalardan en fazla sayıda içermekte olanı seçilerek diğer bölgeler elenir. Eğer bahsi geçen noktalardan en fazla sayıda içermekte olan birden çok bölge varsa, bu bölgeler arasından Adım 1.3'te belirtilen çakışma noktasına Öklid uzaklığı bakımından en yakın olanlardan biri seçilerek diğerleri elenir. Seçilen bu bölge; asıl görüntüde kaynak bölgeye, döndürülmüş olan görüntüde ise hedef bölgeye karşılık gelecektir.

Adım 2: Adım 1.7'de belirlenen bölgenin alanı, ϕ parametresinin sırasıyla aldığı açı değerlerinden her biri için ayrı ayrı hesaplanmış olacaktır. En geniş alan hangi açıda elde ediliyorsa, o açının ideal döndürme açısı olduğuna kesin olarak karar verilir. Sonrasında ise, ϕ parametresinin değeri bu ideal döndürme açısına eşit olacak şekilde, Adım 1'de yer alan işlemler bir defalığına daha gerçekleştirilir ve nihai bölge tespiti yapılır.

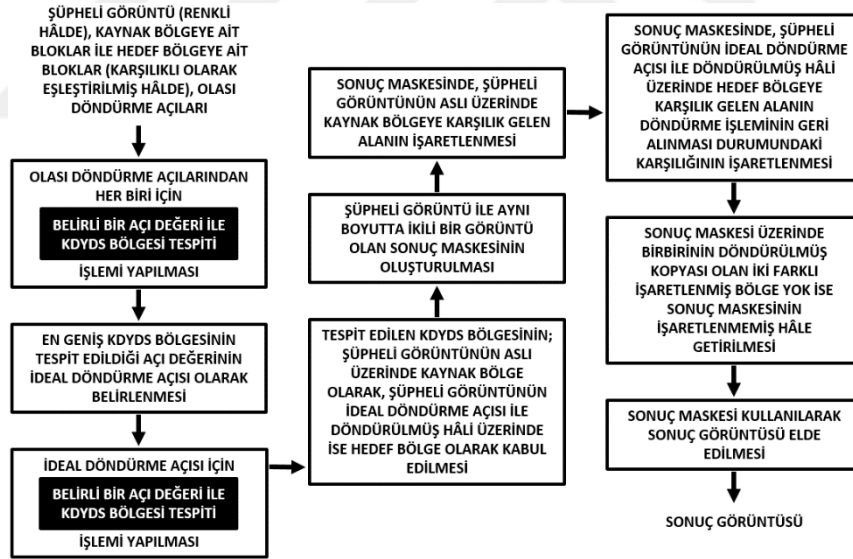
Adım 3: Nihai bölge tespiti yapıldıktan sonra, şüpheli görüntü ile aynı boyutlara sahip ikili bir görüntü olan bir sonuç maskesi (M_{SNC}) oluşturulur ve tüm indekslerine 0 atanır. Saptanan bölge, asıl görüntüde kaynak bölgeye karşılık geldiğinden M_{SNC} maskesi üzerinde bu bölge, indekslerine 1 atanması suretiyle doğrudan işaretlenir. Saptanan bölge, döndürülmüş olan görüntüde de hedef bölgeye karşılık geldiği için, döndürme işlemi geri alındığı zaman bu bölgenin hangi indekslere denk geleceği hesaplanarak M_{SNC} maskesinin bu indekslerine de 1 atanır. Bu işlemler sonucunda, M_{SNC} maskesi üzerinde, birbirinin döndürülmüş kopyası olan bölgeler beyaz renkte, geriye kalan bölgeler ise siyah renkte olacaktır. Bu adımda, M_{SNC} maskesi üzerinde birbirinin döndürülmüş kopyası olan iki farklı beyaz bölge olması beklenir; aksi takdirde, şüpheli görüntüde KDYDS olmadığına karar verilerek M_{SNC} maskesinin tüm indekslerine 0 atanır.

Adım 4: Elde edilen M_{SNC} maskesi, geliştirilen KDYDS tespit yönteminin çıktısıdır ve sahtecilik tespitine konu olan şüpheli görüntü üzerinde, birbirinin döndürülmüş kopyası olan bölgelerin işaretlenerek eşleştirilmesinde kullanılır.

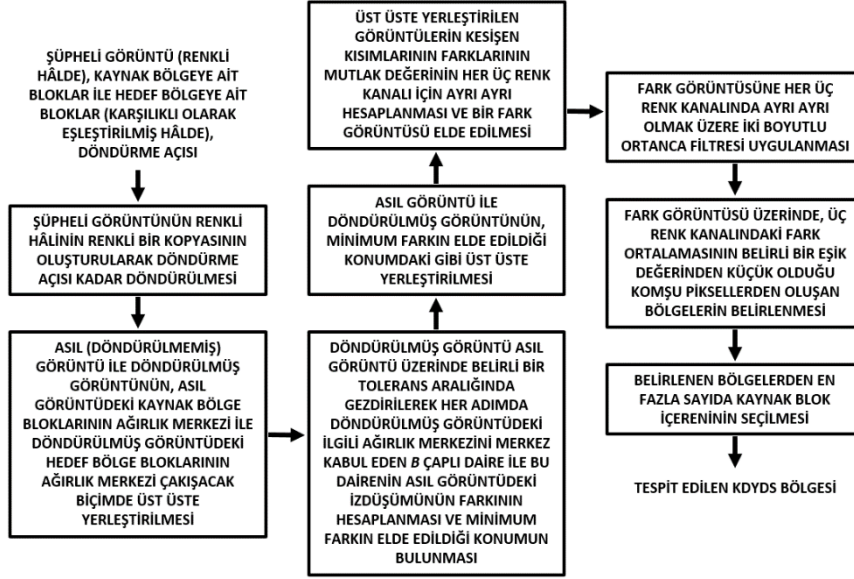
Geliştirilmiş olan KDYDS tespit algoritması, görüntü üzerinde bir bölgenin kopyalanıp döndürülerek aynı görüntü üzerinde başka bir bölgeye tek bir defa

yapıştırıldığını, birbirinin kopyası olan bölgelerinse ne birbirleriyle ne de görüntünün kenarlarıyla kesiştiklerini varsaymaktadır. Yöntem, tespit edilen bölgelerden hangisinin kaynak bölge hangisininse hedef bölge olduğu konusunda bilgiye sahip olmadığından, sözgelimi saat yönünde 45 derece açıyla döndürme işleminin söz konusu olduğu bir KDYDS deneyi için döndürme açısını saat yönünde 45 derece olarak bulabileceği gibi, saat yönünün tersi yönde 45 derece (yani saat yönünde 315 derece) olarak da bulabilmektedir. Geliştirilen yöntem, sonuç olarak, şüpheli görüntünün, M_{SNC} maskesindeki beyaz alanlara karşılık gelen kısımlarının Şekil 16.d'deki gibi özel bir renkle renklendirilmiş olduğu bir kopyasını üretmektedir.

Geliştirilmiş olan KDYDS tespit yönteminde; olası döndürme açılarının belirlenmesinin sonrasında gerçekleştirilen işlemlere ait akış diyagramları Şekil 21'de ve Şekil 22'de verilmiş olup bu işlemler, Şekil 18'de ve Şekil 19'da akış diyagramları bulunan işlemlerle birlikte birbirlerinin tamamlayıcısı durumundadırlar.



Şekil 21. KDYDS tespitinde olası döndürme açılarının belirlenmesinden sonraki işlemlere ait akış diyagramı



Şekil 22. Belirli bir açı değeri ile KDYDS bölgesi tespiti işlemine ait akış diyagramı

Şekil 18'de yer alan akış diyagramında belirtilen işlemlerin gerçekleştirilmesiyle, kaynak bölgeye ait bloklar ile hedef bölgeye ait bloklar, karşılıklı olarak eşleştirilmiş hâlde elde edilmişti. Ardından, Şekil 19'da verilen akış diyagramındaki işlemlerin yapılmasıyla, olası döndürme açıları belirlenmişti. Bu işlemlerin sonrasında, eşleştirilmiş hâldeki bu bloklardan ve olası döndürme açılarından da yararlanılarak, Şekil 21'de verilen akış diyagramında bulunan işlemler gerçekleştirilmekte ve KDYDS tespiti işlemi tamamlanmaktadır. Geliştirilen yöntem, KDYDS tespiti esnasında, belirli bir açı değeri ile KDYDS tespiti yapmak üzere tasarlanmış olan ve Şekil 22'deki akış diyagramında belirtilen işlemleri yerine getirmektedir. Şekil 22'de yer alan işlemler, Şekil 21'de siyah arka plan üzerinde temsil edilen yerlerde bir bütün hâlinde gerçekleştirilmektedirler.

2.4. KYDS'ler Üzerinde Kaynak-Hedef Ayırımı Yapılması

Sayısal görüntüler en önemli bilgi taşıma araçları arasında yer almaktadırlar ve bu nedenle, sayısal görüntülerin geçerliliklerinin doğrulanması son derece önemlidir. Sayısal görüntüler üzerinde kötü niyetli değişiklikler yapmak için kullanılan çeşitli teknikler mevcuttur ve bunlardan biri de KYDS'dir. Günümüze dek, KYDS tespiti için çok sayıda yöntem geliştirilmiştir. Ancak, bu yöntemlerin en önemli eksiklikleri, KYDS tespiti yapabiliyor olmalarına karşın, saptadıkları sahte bölgelerden hangisinin kaynak bölge,

hangisininse hedef bölge olduğunu belirleyemiyor olmalarıdır. Tezin bu bölümünde, KYDS'lerde kaynak bölgelerle hedef bölgelerin ayırt edilebilmesi amacıyla geliştirilmiş olan yeni bir yöntem önerilmektedir. Geliştirilen yöntem makine öğrenmesine dayanmaktadır ve DVM (Destek Vektör Makinesi) kullanmaktadır. Geliştirmiş olduğumuz yöntem; KYDS tespitinde kullanılan ve kaynak-hedef ayırımı yapamayan yöntemler için bir eklenti olarak da düşünülebilir. Geliştirilen yöntem, literatürde, KYDS'ler üzerinde kaynak bölge-hedef bölge ayırımı yapabilen ilk yöntemdir.

Sayısal görüntüler; mahkemelerde kanıt olarak kullanılmaları ve toplum üzerinde önemli derecede ikna edici bir etkiye sahip olmaları nedeniyle, günlük hayatta son derece önemli bir yere sahiptirler. Bu durum da, sayısal görüntülerin orijinalliklerinin doğrulanmasını güncel ve popüler bir araştırma konusu hâline getirmiştir. KYDS, en yaygın görüntü sahteciliği tekniklerinden biridir ve temel ilkesi, sayısal bir görüntü üzerindeki belirli bir bölgeyi kopyalayarak aynı görüntü üzerinde başka bir alana yapıştırmaktır.

Sayısal görüntü sahteciliğinde kullanılan pasif yöntemlerin görüntünün orijinalliği hakkında herhangi bir bilginin bulunmadığı, yani elde sadece şüpheli görüntünün bulunduğu durumlarda sahtecilik tespiti yapılmasını mümkün kılmaları, aktif yöntemlerin ise böylesi durumlarda sahtecilik tespiti yapamıyor olmaları nedeniyle, tezin diğer bölümlerinde olduğu gibi bu bölümünde de pasif yöntemler üzerinde durulmuştur. KYDS tespitinde kullanılan pasif yöntemler, blok temelli yöntemler ve anahtar nokta temelli yöntemler olmak üzere iki ana kategoriye ayrılırlar [53]. Tezin bu bölümünde; bu iki kategoriden hangisinde yer aldıklarına bakılmaksızın, güncel çalışmalarda önerilmiş olan çeşitli KYDS teknikleri ele alınmıştır. Literatürde, KYDS tespitini konu alan çeşitli çalışmalar yer almaktadır. Bu çalışmalarda, KYDS tespiti amacıyla; Çoklu Fraktal Spektrum [28], Süperpiksel Bölütleme ve Helmert Dönüşümü [27], Hızlandırılmış KAZE ve Ölçekten Bağımsız Özellik Dönüşümü [26], Sıradüzensel Özellik Noktası Eşleştirme [25], Anahtar Noktaların Ağırlık Merkezlerine Bağlanarak Kümelenmesi ve Çizge Benzerliği Eşleştirmesi [24], Piramit Modeli ve Zernike Momentleri [23], Yoğun Renk İçeriği Tanımlayıcısı ve Delaunay Üçgeni Eşleştirmesi [22], Hızlandırılmış Dayanıklı Özellikler ve Maksimum Durağan Uç Bölgeler [21], KYDS Tespiti-Ölçekten Bağımsız Özellik Dönüşümü [20] gibi farklı yöntemler ve yaklaşımlar kullanılmıştır.

Tezin bu bölümünde; diğer yöntemlerin sahtecilikleri nasıl tespit ettikleriyle değil, diğer yöntemlerin sahtecilik tespit sonuçlarının ne anlam ifade ettiğiyle ilgilenilmektedir. Bahsedilen yöntemlere ait sahtecilik tespit sonuçları incelendiğinde; bu yöntemlerin

tamamının KYDS'leri tespit edebildikleri ve birbirinin kopyası olan sahte bölgeleri eşleştirebildikleri, buna rağmen, bu yöntemlerden hiçbirinin, sahte olduklarını tespit ettikleri bölge çiftlerinden hangisinin kaynak bölge, hangisinin de hedef bölge olduğunu saptayamadıkları görülmektedir. KYDS tespiti yaparak sahteciliğe maruz kalmış olan bölgeleri saptamak, bu bölümde ele almakta olduğumuz yöntemimize değil, KYDS tespit yöntemlerine ait bir görevdir. Geliştirmiş olduğumuz yöntemin KYDS tespiti işleminden sonra gerçekleştirilen bir art işlem olması nedeniyle, yöntemimiz, girdi olarak, çoklu olmayan KYDS işleminin gerçekleştirildiği bir KYDS görüntüsü ve bu görüntüye ait sahtecilik tespit sonucu almakta ve DVM aracılığı ile, sahteciliğe konu olan bölgelerden hangisinin kaynak bölge, hangisininse hedef bölge olduğuna karar vermektedir. Yöntemimiz, literatürde yer alan yöntemler arasında, KYDS görüntüleri üzerinde kaynak bölge-hedef bölge ayrımı yapan ilk yöntemdir. Geliştirdiğimiz yöntem; düzenli ya da düzensiz şekle sahip bir çift kapalı alandan oluşan sahtecilik tespit sonuçları üreten herhangi bir KYDS tespit algoritmasına eklenerek bu algoritma ile bütünleştirilebilir.

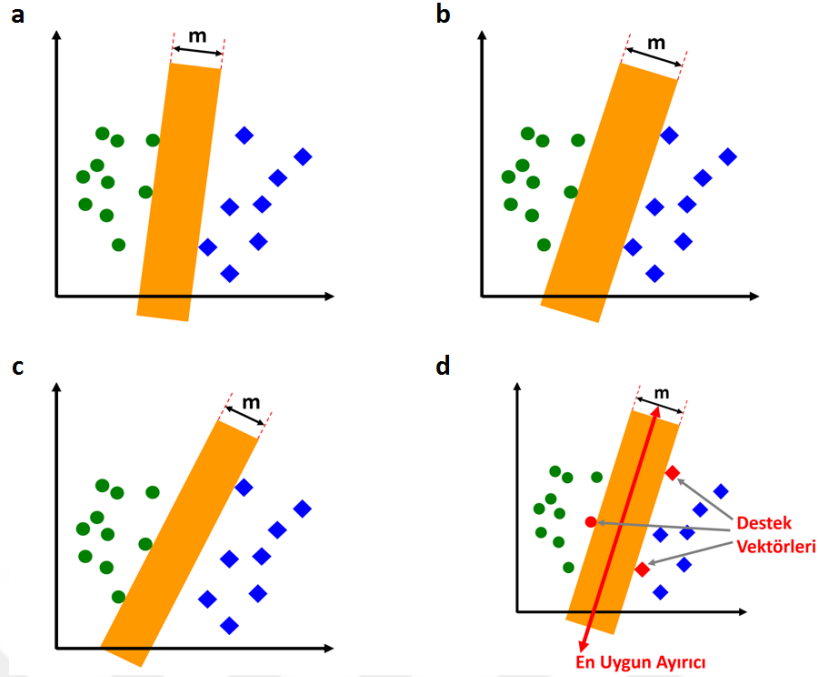
Geliştirmiş olduğumuz yöntem makine öğrenmesine dayanmaktadır ve KYDS'lerde kaynak bölge-hedef bölge ayrımının yapılmasında DVM sınıflandırıcısından yararlanmaktadır. DVM'nin eğitilebilmesi ve test edilebilmesi için, KYDS görüntüleri ve bu görüntülere ait sahtecilik bilgileri kullanılarak hazırlanmış bir veri kümesine ihtiyaç vardır. Bu veri kümesinin hazırlanmasında, sahtecilik bilgisi olarak, sahteciliği gerçekleştiren kişiler tarafından oluşturulmuş ve kaynak-hedef ayrımı yapılmış olan sahtecilik maskeleri kullanılabilmesi gibi, bir KYDS tespit algoritması tarafından yüksek başarı oranı ile üretilmiş ve KYDS deneylerinde kullanılan görüntülerin orijinaleri incelenerek kaynak-hedef ayrımına tabi tutulmuş olan sonuç görüntüleri de kullanılabilir. Her bir sahte görüntü; sahteciliğe konu olan bölgelerin birbirleriyle veya görüntünün sınırlarıyla kesişmedikleri tek bir kopyalama-yer değiştirme işlemi içermelidir. Elbette, veri kümesi hazırlanarak eğitim ve test işlemlerinin gerçekleştirilebilmesi için öncelikle özellik çıkarma işlemlerinin yapılması gerekmektedir. Geliştirilen yönteme ait detaylar, ilerleyen alt bölümlerde ele alınacaktır.

2.4.1. DVM (Destek Vektör Makinesi)

DVM, makine öğrenmesi alanında yaygın olarak kullanılan bir tür sınıflandırıcıdır. Danışmanlı bir öğrenme yöntemi olmasından dolayı, sınıf değerleri içeren eğitim verilerine

ihtiyaç duymaktadır. Eğitim aşamasında, DVM, eğitim veri kümesini sınıflandırabilecek en uygun ayırıcıyı hesaplamaktadır.

Şekil 23'te DVM'nin en uygun ayırıcıyı hesaplamasının temsili gösterimi yer almaktadır. DVM'nin çalışma ilkesini en basit biçimde anlatabilmek adına 2 boyutlu bir ortam yani bir düzlem üzerinde ele alınan bu örnekte, her bir alt figürde bulunan daireler ve eşkenar dörtgenler, iki farklı sınıfa ait verileri temsil etmektedirler. Düzlem üzerinde birer noktaya karşılık gelmekte olan bu verilerin her biri, DVM terminolojisinde "vektör" olarak adlandırılmaktadır. DVM, iki farklı sınıfa ait olan bu noktaları birbirinden en başarılı biçimde ayırmayı amaçlamaktadır. Anlatım kolaylığı bakımından, bahsi geçen veriler doğrusal olarak ayrılacak biçimde belirlenmişlerdir. DVM'nin görevi, bu verileri ayırabilmek için en uygun ayırıcıyı hesaplamaktır ki bu ayırıcı bir doğru olacaktır. Doğrusal olarak ayrılacak nitelikteki bu noktaları ayırabilecek sonsuz tane doğru vardır ancak önemli olan bunlardan en ideal olanını bulmaktır. En ideal doğrunun bulunabilmesi için, ilk önce iki farklı sınıfa ait verilerin arasından, bu verileri içine almamak kaydıyla geçirilebilecek en geniş ayırıcı düzlemin hesaplanması gerekmektedir. Bu verilerin arasından, onları kapsamamak şartıyla geçirilebilecek üçten fazla ayırıcı düzlem vardır ancak Şekil 23.a'da, Şekil 23.b'de ve Şekil 23.c'de bunlardan üç tanesinin gösterilmesi yeterli görülmüştür. Her dört alt şekilde de yer alan m parametresi, ilgili ayırıcı düzlemin genişliğini temsil etmektedir. Olası tüm ayırıcı düzlemler için m değerleri kıyaslandığında, en büyük m değerine sahip olan ayırıcı düzlem, ideal ayırıcı düzlem olarak belirlenir. Şekil 23.d'de yer alan ayırıcı düzlem, ideal ayırıcı düzlemi temsil etmektedir. Bu ideal ayırıcı düzlemin sınırlarında bulunan verilere "destek vektörü" adı verilir. Bahsi geçen ideal ayırıcı düzlemin tam merkezinden geçen doğru ise en uygun ayırıcıdır ve DVM'nin amacı bu doğrunun denklemini hesaplamaktır. Yukarıda ele alınan örnekte en geniş ayırıcı düzlemin bulunmasının amacı; DVM'nin, eldeki problem için en genel çözüm yolunu üretmesini ve böylelikle sonraki aşamalarda kendisine verilecek olan ve hangi sınıfa ait oldukları bilinmeyen test verilerini en başarılı biçimde sınıflandırabilmesini sağlamaktır.



Şekil 23. DVM'nin en uygun ayırıcıyı hesaplamasının temsili gösterimi

DVM ile sınıflandırılması söz konusu olan veriler her zaman yukarıda ele alınan örnekte olduğu gibi doğrusal bir yolla ayrılabilir nitelikte olmayabilirler. Böylesi durumlarda DVM, bu verileri daha yüksek boyutlu bir ortama aktararak onları bu ortamda haritalar. Örneğin, yukarıda verilen örnekteki veriler doğrusal biçimde ayrılamıyor olsalardı; DVM, iki farklı sınıfa ait olan bu verilerin tamamını 2 boyutlu ortamdaki 3 boyutlu ortama yani düzlemden uzaya taşıyacaktı ve her bir veri, uzayda farklı bir konumda yer alacaktı. Düzlemdeki en uygun ayırıcı bir doğru iken, uzaydaki en uygun ayırıcı ise bir düzlem olacaktı. Sonrasında ise DVM, düzlem üzerinde ifade edilen verileri ayırtmak için ideal doğrunun denklemini hesaplamasına benzer biçimde, uzaya taşınmış olan bu verileri ayırtmak için ideal düzlemin denklemini hesaplayacaktı.

DVM, düşük boyutlu ortamdaki yüksek boyutlu ortama haritalama işlemini yapabilmek için çeşitli çekirdek fonksiyonları kullanır ve hangi çekirdek fonksiyonunun kullanılacağı ise, çözülmesi gereken problemin türüne göre kullanıcı tarafından belirlenir.

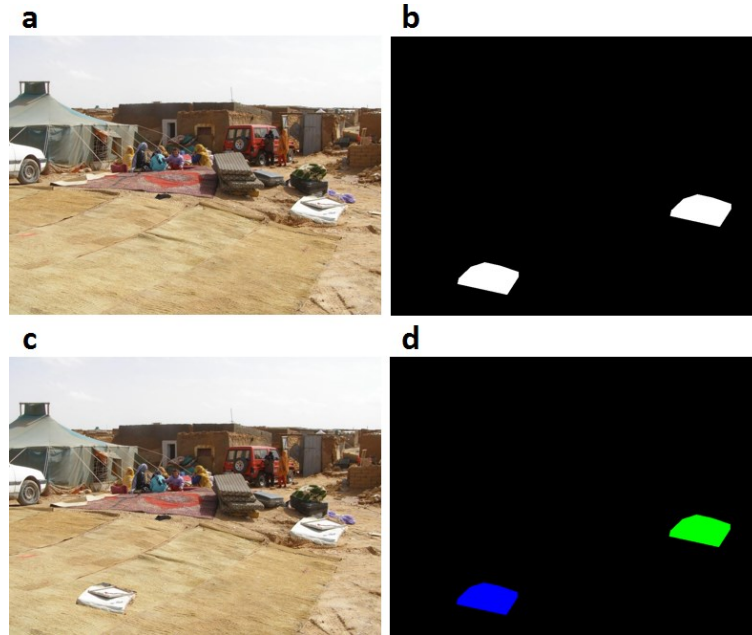
Ayrıca, DVM, *bias* adı verilen özel bir parametreye sahiptir ve bu parametrenin değeri kullanıcı tarafından belirlenmelidir. 2 boyutlu ortam üzerinde ele alınan örneği göz önünde bulundurarak ifade etmek gerekirse, *bias* parametresi, denklemin bulunmaya çalışılan en uygun ayırıcı doğrunun orijin noktasına olan uzaklığını tutmaktadır.

En uygun ayırıcının denklemi hesaplandığında eğitim aşaması tamamlanmış olacaktır ve DVM, sınıf değerleri içermeyen test verilerini almak için hazır hâle gelecektir. DVM, bahsi geçen en uygun ayırıcıyı kullanarak, test veri kümesinde yer alan tüm örneklere ait sınıf değerlerini tahmin edecektir.

Literatürde, DVM'nin kullanıldığı ve KYDS tespitini konu alan bazı çalışmalar mevcuttur [17-19, 96, 97]. Ancak, bu çalışmaların hiçbirinde, DVM, kaynak bölgeler ile hedef bölgeler arasında ayırım yapmak amacıyla kullanılmamıştır. Geliştirmiş olduğumuz yöntemin; makine öğrenmesinden yararlanarak KYDS'ler üzerinde kaynak bölge-hedef bölge ayırımı yapabilen yeni ve özgün bir yöntem olduğunu açıkça ifade edebiliriz. Literatürde aynı ya da benzer bir konuya sahip başka herhangi bir çalışmaya rastlamadığımız için, önerdiğimiz yöntemi farklı yöntemlerle karşılaştırmamız mümkün olmamıştır.

2.4.2. Veri Kümesinin Hazırlanması

Önerilen yöntemin test edilebilmesi adına, KYDS tespitinin konu alındığı bir çalışmada oluşturulmuş olan ve serbest biçimli KYDS görüntüleri içeren veri kümesi kullanılmıştır [98]. Literatürde, bahsi geçen veri kümesinin kullanıldığı başka çalışmalar da mevcuttur [24, 99, 100].



Şekil 24. KYDS'ler üzerinde kaynak-hedef ayırımı işlemlerinde kullanılan bazı örnek deney görüntüleri

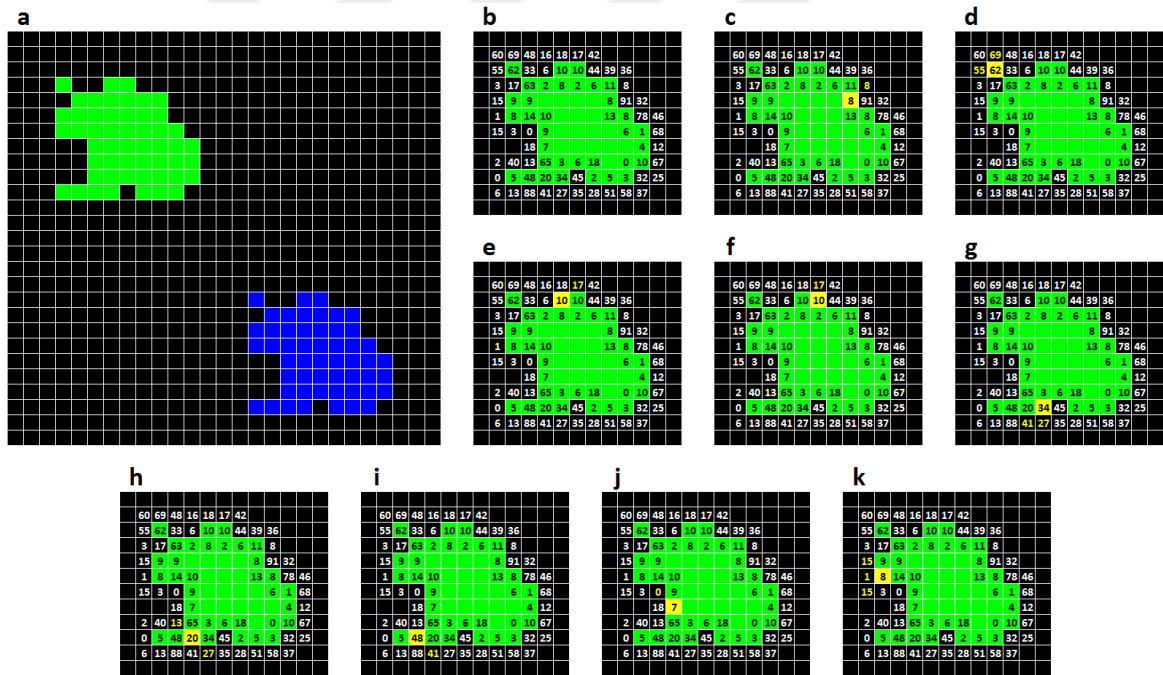
Şekil 24.c'de, bu veri kümesinde yer alan örnek bir KYDS görüntüsü verilmiştir. Bu görüntünün orijinali ile bu görüntüye ait KYDS maskesi ise sırasıyla Şekil 24.a'da ve Şekil 24.b'de verilmiş olup, bahsi geçen veri kümesinde bulunan her bir KYDS görüntüsü, orijinaliyle ve KYDS maskesiyle birlikte yer almaktadır. Geliştirilen yöntemin test edilmesi amacıyla, bahsi geçen veri kümesinden, KYDS'ye maruz kalmış bölgelerin birbirleriyle veya görüntünün sınırlarıyla kesişmedikleri ve tek bir kopyalama-yer değiştirme işlemi içeren 45 KYDS görüntüsü seçilmiştir. Bahsi geçen KYDS görüntülerinin tamamı serbest biçimli KYDS'ler içermektedir. Veri kümesinde her bir KYDS görüntüsüne ait orijinal görüntünün ve KYDS maskesinin bulunması sayesinde, tarafımızca, 45 KYDS görüntüsünün her biri için, renklendirilmiş KYDS maskeleri hazırlanmış olup, bu maskelerde kaynak bölgeler yeşille, hedef bölgelerse maviyle renklendirilmiştir. Bu renkleri seçmemizin arkasında yatan herhangi bir neden yoktur ve burada önemli olan, özellik çıkarma algoritmasının kaynak ve hedef bölgeleri ayırt edebilmesidir. Şekil 24.c'de yer alan örnek KYDS görüntüsü için hazırlanmış olduğumuz renklendirilmiş KYDS maskesi Şekil 24.d'de verilmiştir.

2.4.3. Özellik Çıkarma İşlemi

DVM sınıflandırıcısı kullanılarak eğitim ve test işlemlerinin yapılabilmesi için gerekli olan veri kümesini oluşturabilmek adına özellik çıkarma işlemleri yapılması gerekmektedir. Her bir KYDS görüntüsünün farklı çevre uzunluğuna ve farklı alana sahip sahtecilik bölgeleri içerebilecek olması nedeniyle, özellik çıkarma algoritmasının bu durumun üstesinden gelmesi ve her bir KYDS görüntüsü için eşit boyuta sahip özellik vektörleri elde etmesi zorunludur.

Deneylerde kullanılan her bir KYDS görüntüsü, bir kaynak bölge ile bir hedef bölge içermektedir. Geliştirmiş olduğumuz özellik çıkarma algoritması, kaynak ve hedef bölgelerin sınır pikselleri ile bu bölgeleri çevreleyen komşu pikseller arasındaki ilişkilerden yararlanmaktadır. Burada, görüntünün köşesinde ya da kenarında yer almayan herhangi bir pikselin toplamda 8 adet komşuya sahip olduğu kabul edilmektedir. Deney görüntüsünün gri ölçekli hâli üzerinden anlatım yapılacak olursa; Şekil 25.b'de yer alan ve üzerlerinde yoğunluk değerleri bulunan yeşil renkteki pikseller kaynak bölgeye ait sınır pikselleri iken, üzerlerinde yoğunluk değerleri bulunan siyah renkteki pikseller ise kaynak bölgeyi çevreleyen komşu piksellerdir. Anlatım kolaylığı bakımından; kaynak ve hedef bölgelere

komşu olup bu bölgeleri çevreleyen, bu bölgelere ait olmayan piksellerden "çevre pikseli" olarak, kaynak ve hedef bölgelerin dış yüzeylerinde yer alan ve çevre pikselleriyle komşulukları bulunan piksellerden de "sınır pikseli" olarak bahsedilecektir. Her bir KYDS görüntüsü için tarafımızca Şekil 24.d'deki gibi renklendirilmiş KYDS maske görüntüleri oluşturulmuş olduğundan, çalışma kapsamında geliştirilen özellik çıkarma algoritması kaynak bölgeler ile hedef bölgeleri ayırt edebilmektedir. Elbette, bu aşamada, kaynak bölgeler ile hedef bölgeler ayırt edilebiliyor olmalıdır, zira buradaki amaç, yöntemin kaynak bölgeler ile hedef bölgeler arasındaki farkları öğrenmesini sağlamak üzere özellik çıkararak veri kümesi elde etmektir. Algoritma, ilk önce, renkli olan sahtecilik görüntüsünü, ifade (1)'de yer alan denklem aracılığıyla gri ölçekli hâle dönüştürmektedir, yani, KYDS görüntüsüne ait yoğunluk değerlerini kullanmaktadır. İlerleyen anlatımlarda, "KYDS görüntüsü" ifadesi, "KYDS görüntüsünün gri ölçekli hâli" anlamında kullanılacaktır.



Şekil 25. Özellik vektörü elde edilmesine dair örnekler içeren temsili renklendirilmiş maske görüntüleri

Özellik vektörlerinin elde edilmesinde, KYDS işlemine konu olan bölgelerin, üzerinde buldukları görüntü bölgeleri ile olan sınır bazlı ilişkileri dikkate alınmaktadır. Bu süreçte; gri ölçekli hâle dönüştürülmüş olan KYDS görüntüsünün piksel yoğunluk değerlerinden oluşuyor olması nedeniyle, bahse konu olan ilişkilerin de piksel yoğunluk değerlerindeki

farklılıklara ve benzerliklere dayalı oldukları düşünülmüştür. Bu düşünceden hareketle, KYDS bölgelerinin dış kısımlarında bulunan sınır pikselleri ile bu bölgeleri çevreleyen ve sınır piksellerine komşu olan çevre pikselleri arasındaki yoğunluk değeri farkları, mutlak değerlerinin büyüklükleri bakımından, bulanık mantık da kullanılarak dört kategoriye ayrılmaktadır. Özellikler elde edilirken, bu dört kategoriden her birine düşen yoğunluk değeri farkları sayılarının birbirlerine çeşitli biçimlerde oranlanması ve dört kategoriden her birine düşen yoğunluk değeri farklarının mutlak değerlerine ait ortalamaların hesaplanması yaklaşımları izlenmekte olup; belirtilen yaklaşımlara dair işlemler, ilgili farkların mutlak değerleri alınmadan önce negatif olup-olmadıkları da göz önünde bulundurularak iki farklı koldan yürütülmektedir. Ayrıca, ilgili farklardan pozitif olanların sayısının negatif olanların sayısına oranlanmasıyla da özellik elde edilmektedir. Tüm bu işlemler, kaynak ve hedef bölgeler için ayrı ayrı gerçekleştirilmektedir. Bu işlemlerle amaçlanan; sınıflandırıcının, kaynak bölge ile hedef bölge arasındaki farkları, bu bölgelerin çevreleriyle olan sınır bazlı ilişkileri üzerinden öğrenebilmesini sağlamaktır.

Özellik çıkarma algoritmasının ayrıntılı olarak açıklanmasının öncesinde, dört yeni terimin tanımlanması gerekmektedir ki bunlar "yumuşak geçiş", "orta yumuşak geçiş", "orta sert geçiş" ve "sert geçiş" terimleridir. Kaynak ya da hedef bölgeye ait bir sınır pikseli ile bu piksele komşu olan bir çevre pikseli arasındaki yoğunluk farkının mutlak değerinin en fazla 63 olması durumuna "yumuşak geçiş"; en az 64, en fazla 127 olması durumuna "orta yumuşak geçiş", en az 128, en fazla 191 olması durumuna "orta sert geçiş"; en az 192 olması durumuna ise "sert geçiş" adı verilecektir.

Sınırları bu şekilde, keskin olarak belirlemek aslında ideal bir yaklaşım olmayacaktır çünkü örneğin, yumuşak geçişler için yoğunluk farkı sınırı 63 olarak belirlendiğinde, bu değere çok yakın olan 64, sınır dışında kalmaktadır. Bu sorunun üstesinden gelenebilmesi adına, bulanık mantıktan yararlanılarak, sınır dışında kalan yoğunluk farklarının etkilerinin 31 adımda gitgide azaltılması yolu izlenmiştir. Yukarıda açıklanan dört terimin bu yaklaşıma göre düzenlenmesiyle ortaya dört adet yeni terim çıkmış olacaktır ki bunlar "bulanık yumuşak geçiş", "bulanık orta yumuşak geçiş", "bulanık orta sert geçiş" ve "bulanık sert geçiş" terimleridir. Bu dört terim, kaynak ve hedef bölgelere ait özellik vektörlerinin elemanlarının hesaplanması esnasında kullanılacaktır.

Geliştirilen algoritma, bir KYDS görüntüsünde bulunan kaynak bölgeden 15 adet özellik çıkarmaktadır. Burada, "kaynak bölgeye ait negatif olmayan farkların histogramı (K_{NO})" ve "kaynak bölgeye ait negatif farkların histogramı (K_N)" isminde iki vektör

tanımlanması gerekmektedir. MATLAB programlama dilinde indeks numaralarının 1'den başlamasından bağımsız olarak, bu vektörlerin indeks numaralarının $[0, 255]$ kapalı aralığındaki tamsayılar olduğu ve başlangıçta her indekste 0 değerinin yer aldığı kabul edilmektedir. Özellik çıkarma işlemi sırasında, sınır piksellerinin her birine ait yoğunluk değerinden, kendisine komşu olan her bir çevre pikselinin yoğunluk değeri çıkarılmaktadır. Eğer sonuç negatif değilse, K_{NO} vektörünün bu sonuca karşılık gelen indeksinde yer alan değer 1 artırılır. Eğer sonuç negatifse, sonucun mutlak değeri hesaplanır ve K_N vektörünün bu mutlak değere karşılık gelen indeksinde yer alan değer 1 artırılır. Bu işlemler sınır piksellerinin tamamı için yapıldıktan sonra, K_{NO} ve K_N vektörlerinde sırasıyla kaynak bölgeye ait negatif olmayan ve negatif farkların histogramları tutuluyor olacaktır (K_N vektörünün 0 numaralı indeksinde sürekli 0 değeri bulunacağı için, bu vektörün indeks numaraları $[0, 254]$ kapalı aralığında tanımlanabilir; ancak, algoritmanın kolay bir biçimde anlatılabilmesi adına, K_N vektörü, K_{NO} vektörü ile özdeş olacak şekilde tanımlanmıştır.).

Bir sınır pikseline komşu olan çevre piksellerinin sayısı en az 1, en fazla 7 olabilir ve bu sayı kaç olursa olsun, önerilen algoritma bunların tamamını hesaba katmaktadır. Eğer bir çevre pikseli birden fazla sınır pikseline komşu ise, bu çevre pikseli, komşusu olduğu her bir sınır pikseli için ayrı ayrı hesaba katılmaktadır.

Şekil 25'te K_{NO} ve K_N vektörlerinin 0 ile 7 numaralı indekslerindeki değerlerin hesaplanmasına dair görsel bir örnek yer almaktadır. Şekil 25.a'da; kaynak bölgenin yeşil ile, hedef bölgenin ise mavi ile renklendirildiği, sembolik bir renklendirilmiş KYDS maske görüntüsü verilmiştir. Şekil 25.b'de ise, Şekil 25.a'da sadece kaynak bölgenin yer aldığı kısım verilmiş olup, sınır piksellerine ve çevre piksellerine ait yoğunluk değerleri de belirtilmiştir. Şekil 25'te yer alan ve K_{NO} ile K_N vektörlerinin hesaplanmasını gösteren diğer alt şekiller ise, bahsi geçen hesaplama işleminin anlatımını kolaylaştırmak amacıyla hazırlanmıştır.

Şekil 25'te yer alan örnek incelendiğinde, K_{NO} vektörünün 0 numaralı indeksinde bulunan değer 1 olması gerektiği anlaşılmaktadır çünkü bir sınır pikselinin yoğunluk değerinden kendisine komşu olan bir çevre pikselinin yoğunluk değeri çıkarıldığında elde edilen farkın 0 olduğu tek bir durum mevcuttur. Bu durum Şekil 25.c'de gösterilmiştir. Bahsi geçen çıkarma işleminde sonucun 0 olması durumunda sadece K_{NO} vektörünün 0 numaralı indeksinde değişiklik yapıldığı için, K_N vektörünün 0 numaralı indeksinde bulunan değer her zaman 0 olacaktır.

Şekil 25'te verilen örnek incelendiğinde, K_{NO} vektörünün 7 numaralı indeksinde bulunan değer 6 olması gerektiği anlaşılmaktadır çünkü bir sınır pikselinin yoğunluk değerinden kendisine komşu olan bir çevre pikselinin yoğunluk değeri çıkarıldığında elde edilen farkın 7 olduğu 6 farklı durum mevcuttur. Bu durumlar Şekil 25.d'de, Şekil 25.g'de, Şekil 25.h'de, Şekil 25.i'de, Şekil 25.j'de ve Şekil 25.k'de gösterilmiştir. Benzer biçimde, K_N vektörünün 7 numaralı indeksinde bulunan değer 7 olması gerektiği anlaşılmaktadır çünkü bir sınır pikselinin yoğunluk değerinden kendisine komşu olan bir çevre pikselinin yoğunluk değeri çıkarılması ile elde edilen farkın -7 olduğu 7 farklı durum vardır. Bu durumlar Şekil 25.d'de, Şekil 25.e'de, Şekil 25.f'de, Şekil 25.g'de, Şekil 25.h'de ve iki örneği bir arada bulunduran Şekil 25.k'de gösterilmiştir.

Kaynak bölgeden çıkarılacak olan 15 adet özelliğin parametrelerle ifade edilmesi uygun olacaktır. Buna göre, K_{NO} vektöründe tutulan toplam bulanık yumuşak geçiş sayısının aynı vektörde tutulan toplam bulanık sert geçiş sayısına oranı k_1 ile, K_{NO} vektöründe tutulan toplam bulanık orta yumuşak geçiş sayısının aynı vektörde tutulan toplam bulanık orta sert geçiş sayısına oranı k_2 ile, K_{NO} vektöründe tutulan toplam bulanık yumuşak geçiş sayısı ile toplam bulanık orta yumuşak geçiş sayısının birbiri ile toplamının aynı vektörde tutulan toplam bulanık orta sert geçiş sayısı ile toplam bulanık sert geçiş sayısının birbiri ile toplamına oranı k_3 ile, K_{NO} vektöründe tutulan tüm bulanık yumuşak geçişlere ait farkların mutlak değerlerinin ortalaması k_4 ile, K_{NO} vektöründe tutulan tüm bulanık orta yumuşak geçişlere ait farkların mutlak değerlerinin ortalaması k_5 ile, K_{NO} vektöründe tutulan tüm bulanık orta sert geçişlere ait farkların mutlak değerlerinin ortalaması k_6 ile, K_{NO} vektöründe tutulan tüm bulanık sert geçişlere ait farkların mutlak değerlerinin ortalaması k_7 ile ifade edilmiştir. $k_8, k_9, k_{10}, k_{11}, k_{12}, k_{13}$ ve k_{14} parametreleri; sırasıyla $k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6$ ve k_7 parametrelerinin karşılıkları olarak belirlenmiştir. $k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6$ ve k_7 parametreleri K_{NO} vektöründe tutulan veriler kullanılarak hesaplanırken; $k_8, k_9, k_{10}, k_{11}, k_{12}, k_{13}$ ve k_{14} parametreleri de K_N vektöründe tutulan veriler kullanılarak aynı yollarla hesaplanmaktadır. K_{NO} vektörünün pozitif numaralı indekslerinde yer alan tüm değerlerin toplamının K_N vektörünün pozitif numaralı indekslerinde yer alan tüm değerlerin toplamına oranı ise k_{15} ile ifade edilmiştir.

$k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6, k_7, k_8, k_9, k_{10}, k_{11}, k_{12}, k_{13}, k_{14}$ ve k_{15} parametreleri, sırasıyla ifade (21)'de, ifade (22)'de, ifade (23)'te, ifade (24)'te, ifade (25)'te, ifade (26)'da, ifade (27)'de, ifade (28)'de, ifade (29)'da, ifade (30)'da, ifade (31)'de, ifade (32)'de, ifade (33)'te, ifade (34)'te ve ifade (35)'te yer aldığı gibi hesaplanmaktadır.

$$k_1 = \frac{\sum_{n=0}^{63} K_{NO_n} + \sum_{n=64}^{94} \frac{95-n}{32} K_{NO_n}}{\sum_{n=161}^{191} \frac{n-160}{32} K_{NO_n} + \sum_{n=192}^{255} K_{NO_n}} \quad (21)$$

$$k_2 = \frac{\sum_{n=33}^{63} \frac{n-32}{32} K_{NO_n} + \sum_{n=64}^{127} K_{NO_n} + \sum_{n=128}^{158} \frac{159-n}{32} K_{NO_n}}{\sum_{n=97}^{127} \frac{n-96}{32} K_{NO_n} + \sum_{n=128}^{191} K_{NO_n} + \sum_{n=192}^{222} \frac{223-n}{32} K_{NO_n}} \quad (22)$$

$$k_3 = \frac{\sum_{n=0}^{63} K_{NO_n} + \sum_{n=64}^{94} \frac{95-n}{32} K_{NO_n} + \sum_{n=33}^{63} \frac{n-32}{32} K_{NO_n} + \sum_{n=64}^{127} K_{NO_n} + \sum_{n=128}^{158} \frac{159-n}{32} K_{NO_n}}{\sum_{n=97}^{127} \frac{n-96}{32} K_{NO_n} + \sum_{n=128}^{191} K_{NO_n} + \sum_{n=192}^{222} \frac{223-n}{32} K_{NO_n} + \sum_{n=161}^{191} \frac{n-160}{32} K_{NO_n} + \sum_{n=192}^{255} K_{NO_n}} \quad (23)$$

$$k_4 = \frac{\sum_{n=0}^{63} nK_{NO_n} + \sum_{n=64}^{94} \frac{95-n}{32} nK_{NO_n}}{\sum_{n=0}^{63} K_{NO_n} + \sum_{n=64}^{94} \frac{95-n}{32} K_{NO_n}} \quad (24)$$

$$k_5 = \frac{\sum_{n=33}^{63} \frac{n-32}{32} nK_{NO_n} + \sum_{n=64}^{127} nK_{NO_n} + \sum_{n=128}^{158} \frac{159-n}{32} nK_{NO_n}}{\sum_{n=33}^{63} \frac{n-32}{32} K_{NO_n} + \sum_{n=64}^{127} K_{NO_n} + \sum_{n=128}^{158} \frac{159-n}{32} K_{NO_n}} \quad (25)$$

$$k_6 = \frac{\sum_{n=97}^{127} \frac{n-96}{32} nK_{NO_n} + \sum_{n=128}^{191} nK_{NO_n} + \sum_{n=192}^{222} \frac{223-n}{32} nK_{NO_n}}{\sum_{n=97}^{127} \frac{n-96}{32} K_{NO_n} + \sum_{n=128}^{191} K_{NO_n} + \sum_{n=192}^{222} \frac{223-n}{32} K_{NO_n}} \quad (26)$$

$$k_7 = \frac{\sum_{n=161}^{191} \frac{n-160}{32} nK_{NO_n} + \sum_{n=192}^{255} nK_{NO_n}}{\sum_{n=161}^{191} \frac{n-160}{32} K_{NO_n} + \sum_{n=192}^{255} K_{NO_n}} \quad (27)$$

$$k_8 = \frac{\sum_{n=1}^{63} K_{N_n} + \sum_{n=64}^{94} \frac{95-n}{32} K_{N_n}}{\sum_{n=161}^{191} \frac{n-160}{32} K_{N_n} + \sum_{n=192}^{255} K_{N_n}} \quad (28)$$

$$k_9 = \frac{\sum_{n=33}^{63} \frac{n-32}{32} K_{N_n} + \sum_{n=64}^{127} K_{N_n} + \sum_{n=128}^{158} \frac{159-n}{32} K_{N_n}}{\sum_{n=97}^{127} \frac{n-96}{32} K_{N_n} + \sum_{n=128}^{191} K_{N_n} + \sum_{n=192}^{222} \frac{223-n}{32} K_{N_n}} \quad (29)$$

$$k_{10} = \frac{\sum_{n=1}^{63} K_{N_n} + \sum_{n=64}^{94} \frac{95-n}{32} K_{N_n} + \sum_{n=33}^{63} \frac{n-32}{32} K_{N_n} + \sum_{n=64}^{127} K_{N_n} + \sum_{n=128}^{158} \frac{159-n}{32} K_{N_n}}{\sum_{n=97}^{127} \frac{n-96}{32} K_{N_n} + \sum_{n=128}^{191} K_{N_n} + \sum_{n=192}^{222} \frac{223-n}{32} K_{N_n} + \sum_{n=161}^{191} \frac{n-160}{32} K_{N_n} + \sum_{n=192}^{255} K_{N_n}} \quad (30)$$

$$k_{11} = \frac{\sum_{n=1}^{63} nK_{N_n} + \sum_{n=64}^{94} \frac{95-n}{32} nK_{N_n}}{\sum_{n=1}^{63} K_{N_n} + \sum_{n=64}^{94} \frac{95-n}{32} K_{N_n}} \quad (31)$$

$$k_{12} = \frac{\sum_{n=33}^{63} \frac{n-32}{32} nK_{N_n} + \sum_{n=64}^{127} nK_{N_n} + \sum_{n=128}^{158} \frac{159-n}{32} nK_{N_n}}{\sum_{n=33}^{63} \frac{n-32}{32} K_{N_n} + \sum_{n=64}^{127} K_{N_n} + \sum_{n=128}^{158} \frac{159-n}{32} K_{N_n}} \quad (32)$$

$$k_{13} = \frac{\sum_{n=97}^{127} \frac{n-96}{32} nK_{N_n} + \sum_{n=128}^{191} nK_{N_n} + \sum_{n=192}^{222} \frac{223-n}{32} nK_{N_n}}{\sum_{n=97}^{127} \frac{n-96}{32} K_{N_n} + \sum_{n=128}^{191} K_{N_n} + \sum_{n=192}^{222} \frac{223-n}{32} K_{N_n}} \quad (33)$$

$$k_{14} = \frac{\sum_{n=161}^{191} \frac{n-160}{32} nK_{N_n} + \sum_{n=192}^{255} nK_{N_n}}{\sum_{n=161}^{191} \frac{n-160}{32} K_{N_n} + \sum_{n=192}^{255} K_{N_n}} \quad (34)$$

$$k_{15} = \frac{\sum_{n=1}^{255} K_{NO_n}}{\sum_{n=1}^{255} K_{N_n}} \quad (35)$$

Yukarıda yer alan ifadelerde, K_{NO} vektörünün ilk indeksine ait indeks numarasının 0 olması nedeniyle, K_{NO_0} ifadesinin, bu vektörün ilk indeksinde yer alan değeri vereceği unutulmamalıdır. Benzer şekilde, K_N vektörünün ilk indeksine ait indeks numarası da 0'dır ancak, daha önce de açıklandığı gibi, bu indekste tutulan değer daima 0'a eşit olmaktadır ve bu nedenle, yukarıda yer alan ifadelerde K_N vektörünün ilk indeksine erişim yapılmamıştır.

Yukarıda yer alan 15 ifadenin her birinde, paydanın 0'a eşit olması durumunda parametre değerinin -1 olduğu kabul edilmektedir. Bahsi geçen 15 parametre, KYDS görüntüsünde yer alan kaynak bölgeden çıkarılan özelliklerdir. Benzer bir biçimde, "hedef bölgeye ait negatif olmayan farkların histogramı (H_{NO})" ve "hedef bölgeye ait negatif farkların histogramı (H_N)" isminde iki vektör daha tanımlanacaktır. H_{NO} ve H_N vektörleri, sırasıyla K_{NO} ve K_N vektörlerinin karşılıkları olacaktır. K_{NO} ve K_N vektörlerinin içerikleri kaynak bölge üzerinde yapılan işlemlerle hesaplanırken, H_{NO} ve H_N vektörlerinin içerikleri de hedef bölge üzerinde yapılan eşdeğer işlemlerle hesaplanacaktır. Burada, K_{NO} ve K_N vektörlerinin içerikleri kullanılarak hesaplanan $k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6, k_7, k_8, k_9, k_{10}, k_{11}, k_{12}, k_{13}, k_{14}$ ve k_{15} parametrelerinin karşılıkları olacak şekilde, H_{NO} ve H_N vektörlerinin içerikleri kullanılarak eşdeğer işlemlerle hesaplanacak olan $h_1, h_2, h_3, h_4, h_5, h_6, h_7, h_8, h_9, h_{10}, h_{11}, h_{12}, h_{13}, h_{14}$ ve h_{15} parametrelerinin de tanımlanması gerekmektedir.

Bu aşamadan sonra, tek bir KYDS görüntüsü için toplamda 30 adet özellik elde edilmiş olacaktır. Eğitim ve test işlemlerinde kullanılacak olan veri kümesinin hazırlanması için, Bölüm 2.4.2'de bahsedilen 45 KYDS görüntüsünün her birinden 30'ar adet özellik çıkarılacaktır.

Burada, önemli bir noktaya değinmemiz gerekmektedir. İlk bakışta, tek bir KYDS görüntüsü için, kaynak ve hedef bölgelere ait özellikleri birbirinden ayırarak bunlara farklı farklı sınıf değerleri vermek iyi bir fikirmiş gibi görünmektedir.

$$[k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6, k_7, k_8, k_9, k_{10}, k_{11}, k_{12}, k_{13}, k_{14}, k_{15}] \rightarrow [1] \quad (36)$$

$$[h_1, h_2, h_3, h_4, h_5, h_6, h_7, h_8, h_9, h_{10}, h_{11}, h_{12}, h_{13}, h_{14}, h_{15}] \rightarrow [2] \quad (37)$$

İfade (36) ile ifade (37); kaynak ve hedef bölgelere ait özelliklerin birbirinden ayrılmasını ve bunlara sınıf değeri olarak sırasıyla 1 ile 2 verilmesini ifade etmektedir. Maalesef bu yaklaşım, istenmeyen bir duruma yol açmaktadır. Bilindiği gibi, sınıflandırıcılar her zaman kusursuz sınıflandırma sonuçları vermezler. Sınıflandırıcılardan, mümkün olan en düşük sınıflandırma hatası ile sınıflandırma yapmaları beklenir. Bahsi geçen yaklaşımın uygulanması durumunda, DVM sınıflandırıcısı, kaynak bölgelere ait özellik vektörleri ile hedef bölgelere ait özellik vektörleri arasındaki farkları öğrenmeye çalışacaktır. Sonrasında, bir test örneği üzerinde sınıflandırma işlemi yaparken hatalı sonuç üretmesi hâlinde, kaynak bölgeye ve hedef bölgeye ait özelliklerin her ikisi için de aynı sınıf değerini üretmesi söz konusu olabilecektir. Böylesi bir durum ise, KYDS görüntüsü üzerindeki sahte bölgelerden her ikisinin de kaynak bölge olduğu ya da her ikisinin de hedef bölge olduğu anlamına gelecektir. Bir KYDS görüntüsünde sadece bir adet kaynak bölge ve sadece bir adet hedef bölge bulunuyor olması nedeniyle, bu durum bir belirsizliğe yol açacaktır. Bu sorunun üstesinden gelebilmek adına, tek bir KYDS görüntüsü için, özellik vektörlerinin ifade (38)'de ve ifade (39)'da ifade edildiği gibi oluşturulması tercih edilmiştir.

$$[k_1, k_2, \dots, k_{14}, k_{15}, h_1, h_2, \dots, h_{14}, h_{15}] \rightarrow [1] \quad (38)$$

$$[h_1, h_2, \dots, h_{14}, h_{15}, k_1, k_2, \dots, k_{14}, k_{15}] \rightarrow [2] \quad (39)$$

İfade (38)'e ve ifade (39)'a göre, tek bir KYDS görüntüsü için iki adet özellik vektörü üretilmektedir. Bu yaklaşıma göre; kaynak bölgeye ait özelliklerin başta, hedef bölgeye ait özelliklerin de sonda yer aldığı özellik vektörüne ait sınıf değeri 1 olarak belirlenirken; hedef bölgeye ait özelliklerin başta, kaynak bölgeye ait özelliklerin de sonda yer aldığı özellik vektörüne ait sınıf değeri ise 2 olarak belirlenmektedir. Bu sayede, DVM sınıflandırıcısı hatalı bir sınıflandırma işlemi yapsa bile, KYDS görüntüsü üzerindeki sahte bölgelerin her ikisinin de kaynak bölge olarak saptanması ya da her ikisinin de hedef bölge olarak saptanması gibi bir sonuçla karşılaşılmayacak, herhangi bir belirsizlik söz konusu olmayacaktır.



3. BULGULAR VE İRDELEME

Bu bölümde, tez kapsamında geliştirilmiş olan yöntemlerin başarılarının ölçülmesi amacıyla yapılan deneyler sonucunda elde edilen bulgular ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.

Görüntülerde kopyalamaya dayalı sahteciliklerin tespiti alanında son yıllarda yapılan çalışmalarda, geliştirilen yöntemlerin başarılarını ölçmek adına birbirinden farklı ölçütler kullanılması nedeniyle, geliştirmiş olduğumuz sahtecilik tespit yöntemlerinin başarılarını da çeşitli ölçütler kullanarak ölçmemiz zorunlu olmuştur. Bu bölümde yer alan alt bölümlerde ele alınan KYDS, KÖYDS ve KDYDS tespit algoritmaları sahteciliğe konu olan bölgelerden hangisinin kaynak bölge, hangisinin ise hedef bölge olduğuyla ilgilenmediklerinden, başarı oranlarının hesaplanmasında da kaynak bölge-hedef bölge ayrımı yapılmamıştır. Sahte bölgeye ait olan ve algoritma tarafından da sahte bölgeye ait olarak etiketlenen toplam piksel adedi doğru pozitif (DP) olarak, sahte bölgeye ait olmayan ve algoritma tarafından da sahte bölge dışında olarak etiketlenen toplam piksel adedi doğru negatif (DN) olarak, sahte bölgeye ait olmayan ancak algoritma tarafından sahte bölgeye ait olarak etiketlenen toplam piksel adedi yanlış pozitif (YP) olarak, sahte bölgeye ait olan ancak algoritma tarafından sahte bölge dışında olarak etiketlenen toplam piksel adedi ise yanlış negatif (YN) olarak ifade edilirse; doğru pozitif oranı (O_{DP}), pozitif öngörü değeri ($D_{PÖ}$), hatasızlık değeri (D_H), yanlış keşif oranı (O_{YK}) ve yanlış pozitif oranı (O_{YP}) sırasıyla ifade (40)'teki, ifade (41)'deki, ifade (42)'deki, ifade (43)'teki ve ifade (44)'teki gibi tanımlanabilir.

$$O_{DP} = \frac{DP}{DP + YN} \quad (40)$$

$$D_{PÖ} = \frac{DP}{DP + YP} \quad (41)$$

$$D_H = \frac{DP + DN}{DP + DN + YP + YN} \quad (42)$$

$$O_{YK} = \frac{YP}{DP + YP} \quad (43)$$

$$O_{YP} = \frac{YP}{DN + YP} \quad (44)$$

Yukarıda yer alan O_{DP} , $DPÖ$ ve D_H ölçütleri ile elde edilen sonuçların yüksek çıkması yöntemlerin başarıları anlamında olumlu iken, O_{YK} ve O_{YP} ölçütleri ile elde edilen sonuçların yüksek çıkması ise yöntemlerin başarıları anlamında olumsuz olacaktır. Ancak; O_{YK} ve O_{YP} ölçütleri ile elde edilen sonuçlardan yola çıkılarak da yöntemler hakkında başarı değerlendirmesi yapılabiliyor olmasından hareketle, tezde, bu beş ölçütün tamamı "başarı ölçütü" olarak kabul edilmiştir.

Yukarıda verilen ölçütler içerisinde; tüm görüntü piksellerinin hesaba katıldığı tek başarı ölçütü, doğru biçimde etiketlenen toplam piksel sayısının görüntüye ait toplam piksel sayısına oranlanmasıyla hesaplanan ve ifade (42)'de yer alan hatasızlık değeri ölçütüdür ve bu ölçüt, deney sonuçlarının yorumlanmasında kullanılacak olan temel ölçüt olarak kabul edilmiştir. Diğer dört başarı ölçütüne ise, literatürde yer alan ve kopyalamaya dayalı görüntü sahteciliklerinin tespitini konu alan çeşitli çalışmalarda kullanılıyor olmaları nedeniyle yer verilmiştir.

3.1. Sayısal Görüntüler Üzerinde Serbest Biçimli KYDS Tespitine Dair Bulgular

Sayısal görüntüler üzerinde serbest biçimli KYDS tespiti için geliştirilen yöntem, tamamı serbest biçimli KYDS'ler içeren 242 adet deney görüntüsü üzerinde test edilmiştir.

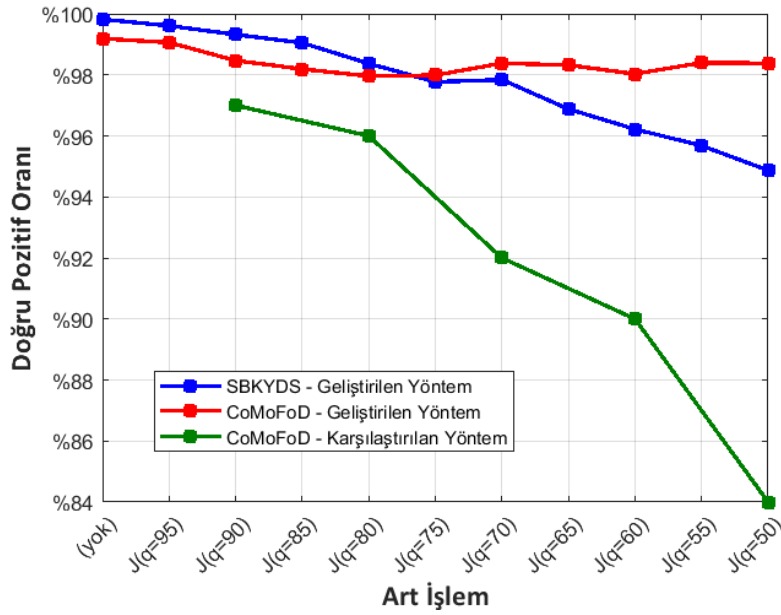
Belirtilen 242 görüntünün 224'ü, serbest biçimli tek bir bölgenin kopyalanarak aynı görüntü üzerinde farklı bir alana tek bir defa yapıştırıldığı, bahsedilen bu bölgelerin birbirleriyle veya görüntünün kenarlarıyla kesişmedikleri KYDS'ler içermektedir. Gerçek hayatta KYDS'ler genel olarak internette bulunan görüntüler üzerinde, bazen de sahtecilik işlemlerini gerçekleştiren kimseler tarafından sayısal fotoğraf makineleri kullanılarak bizzat elde edilen sayısal görüntüler üzerinde gerçekleştirilmektedir. Geliştirilen yöntemin günlük hayattaki şartlara uygun bir biçimde test edilebilmesi adına, tarafımızca SBKYDS veri kümesi [82] hazırlanmıştır. SBKYDS veri kümesi, 155 tanesi çeşitli art işlemlere tabi tutulmuş toplam 160 adet serbest biçimli KYDS görüntüsünden oluşmaktadır. Bu

görüntülerin tamamı tek bir bölgenin kopyalanarak aynı görüntü üzerinde tek bir yere yapıştırılması işlemini içermekte olup, kopyalanan ve yapıştırılan bölgeler birbirleriyle veya görüntünün kenarları ile kesişmemektedirler. Bu görüntülerden 128 tanesi internetten elde edilen 4 farklı kaynak görüntüden, geriye kalan 32'si ise tarafımızca sayısal fotoğraf makinesi ile elde edilen bir adet kaynak görüntüden türetilmiştir. Türetme işlemi sırasında, ilk önce bu 5 adet kaynak görüntü üzerinde serbest biçimli KYDS işlemleri gerçekleştirilmiş, sonrasında ise bu görüntüler farklı kalite faktörlerine sahip JPEG sıkıştırması işlemlerinden, görüntü bulanıklaştırma işleminden ve bu işlemlerin farklı birleşimlerinden oluşan art işlemlere tabi tutulmuşlardır. Görüntü bulanıklaştırma işleminde, ifade (7)'de verilen maske kullanılmıştır. Bu işlemlerin yapılmasıyla hedeflenen; geliştirilen yöntemin, sahtecilik tespitini güçleştirmek amacıyla gerçekleştirilen çeşitli art işlemlere karşı dayanıklılığını test edebilecek nitelikte bir veri kümesi hazırlamaktır. KYDS işleminden sonra herhangi bir art işlem yapılmamasıyla elde edilen 5 sahte görüntü de dâhil edildiğinde, toplam 160 adet sahte görüntüye sahip bir veri kümesi elde edilmiştir. Ayrıca, geliştirilen yöntemin başarısını diğer çalışmalarda [64, 69, 75] önerilen yöntemlerin başarılarıyla karşılaştırabilmek adına, CoMoFoD veri kümesinde [83] yer alan 2 adet KYDS görüntüsünden yukarıda anlatılan yollarla türetilen toplam 64 adet sahte görüntüden de yararlanılmıştır.

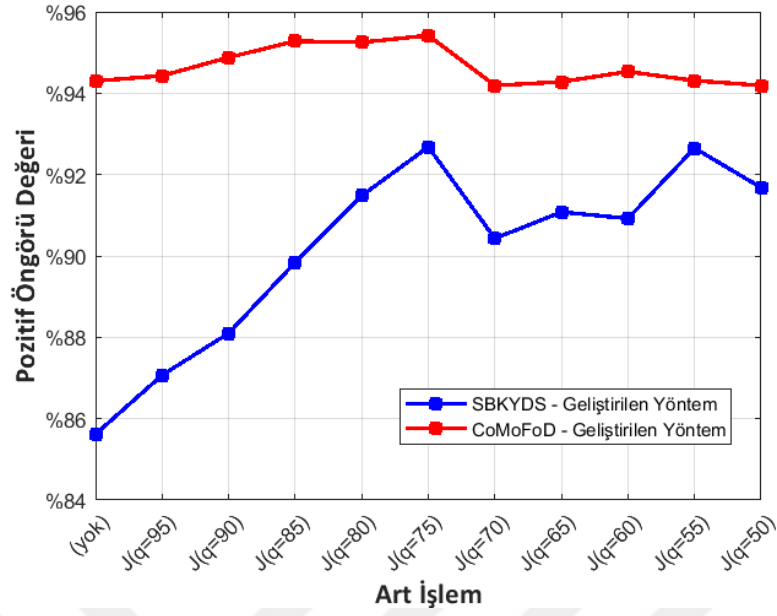
Belirtilen 242 görüntünün 18 adedi ise çoklu KYDS içermekte olup; bu görüntüler, geliştirilen yöntemin serbest biçimli çoklu KYDS işlemlerine karşı test edilebilmesi adına tarafımızca hazırlanmış olan SBÇKYDS veri kümesinde [84] yer almaktadırlar. SBÇKYDS veri kümesinde bulunan görüntüler üzerinde; gerek serbest biçimli olarak seçilen bir bölgenin kopyalanarak aynı görüntü üzerinde farklı alanlara birden çok defa yapıştırılmasına dayanan, gerekse serbest biçimli olarak seçilen birden çok bölgenin kopyalanarak aynı görüntü üzerinde farklı alanlara yapıştırılmasına dayanan sahtecilik işlemleri gerçekleştirilmiştir. SBÇKYDS veri kümesinde bulunan görüntülerden 6 tanesi internetten elde edilen bir adet kaynak görüntüden, geriye kalan 12 tanesi ise tarafımızca sayısal fotoğraf makinesi ile elde edilen bir adet kaynak görüntüden türetilmiştir. Türetme sürecinde, ilk önce bu 2 adet kaynak görüntü üzerinde toplamda 6 farklı serbest biçimli çoklu KYDS işlemi gerçekleştirilmiş; sonrasında ise bu görüntülerin herhangi bir art işlem uygulanmamış kopyaları ile birlikte art işlem olarak $q=90$ kalite faktörüne sahip JPEG sıkıştırması uygulanmış kopyaları ve görüntü bulanıklaştırma art işlemi uygulanmış kopyaları elde edilmiş olup SBÇKYDS veri kümesi bu görüntülerden oluşturulmuştur.

Yukarıda belirtilen görüntü bulanıklaştırma art işlemlerinin tamamında, ifade (7)'de yer alan maske kullanılmıştır. Geliştirilen yöntemin serbest biçimli KYDS tespitini amaçlaması nedeniyle, sadece serbest biçimli KYDS tespitinin konu alındığı yöntemlerle karşılaştırma yapılmıştır.

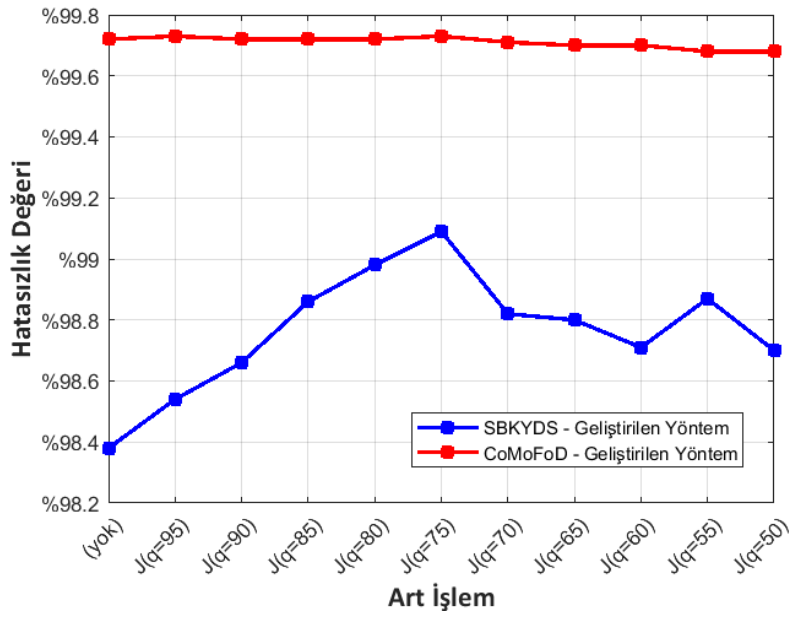
Geliştirilen yöntemin çoklu olmayan KYDS'lerin tespitindeki başarısını ölçmek amacıyla yapılan test işlemlerine ait sonuçlar, Bölüm 3'te detaylı olarak açıklanan ve sırasıyla ifade (40)'ta, ifade (41)'de, ifade (42)'de, ifade (43)'te ve ifade (44)'te verilen doğru pozitif oranı (O_{DP}), pozitif öngörü değeri ($D_{PÖ}$), hatasızlık değeri (D_H), yanlış keşif oranı (O_{YK}) ve yanlış pozitif oranı (O_{YP}) ölçütleri kullanılarak ifade edilmiş olup, CoMoFoD veri kümesinin kullanıldığı diğer bazı çalışmalara [64, 75] ait sonuçlarla da karşılaştırılmıştır.



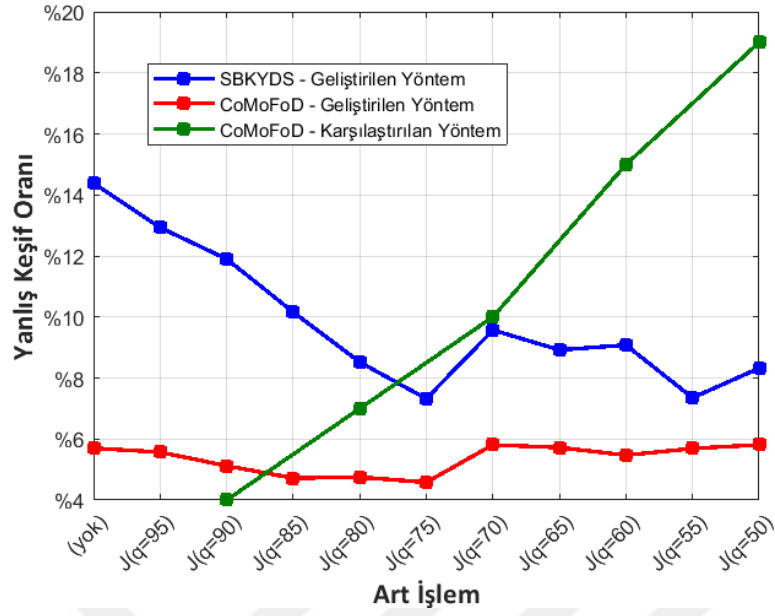
Şekil 26. Art işlem içermeyen ve art işlem olarak yalnızca JPEG sıkıştırması içeren serbest biçimli KYDS tespiti deneylerine ait doğru pozitif oranları ve [64] ile karşılaştırma



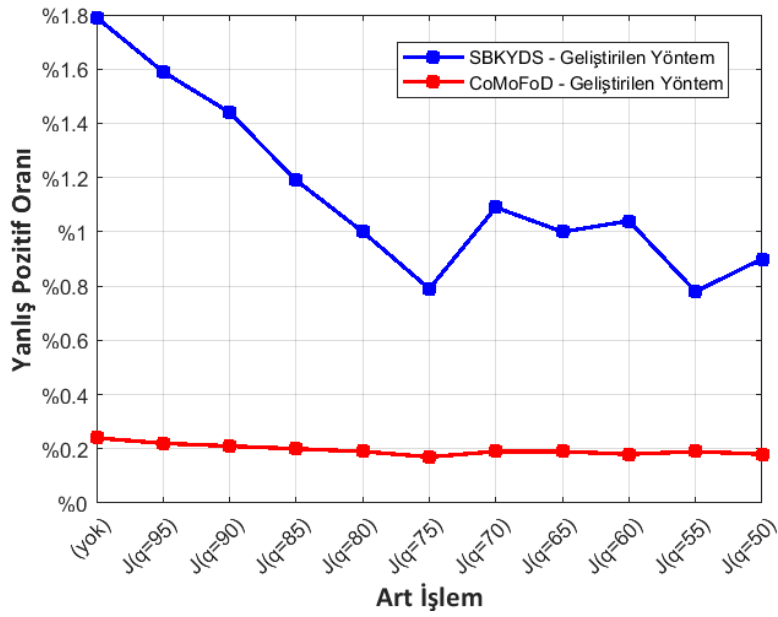
Şekil 27. Art işlem içermeyen ve art işlem olarak yalnızca JPEG sıkıştırması içeren serbest biçimli KYDS tespiti deneylerine ait pozitif öngörü değerleri



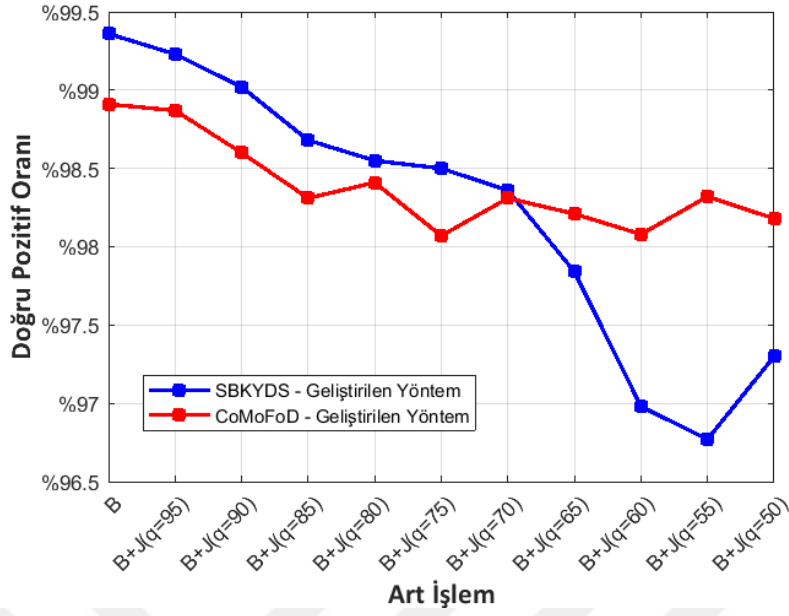
Şekil 28. Art işlem içermeyen ve art işlem olarak yalnızca JPEG sıkıştırması içeren serbest biçimli KYDS tespiti deneylerine ait hatasızlık değerleri



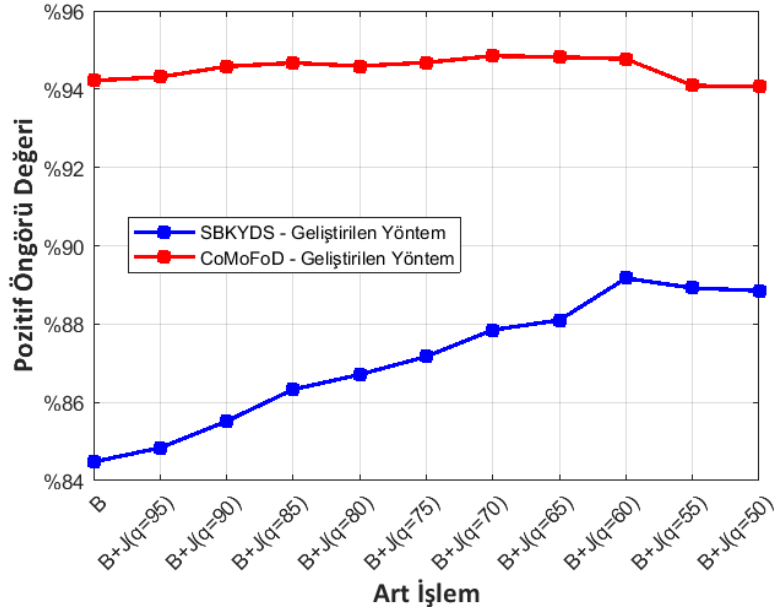
Şekil 29. Art işlem içermeyen ve art işlem olarak yalnızca JPEG sıkıştırması içeren serbest biçimli KYDS tespiti deneylerine ait yanlış keşif oranları ve [64] ile karşılaştırma



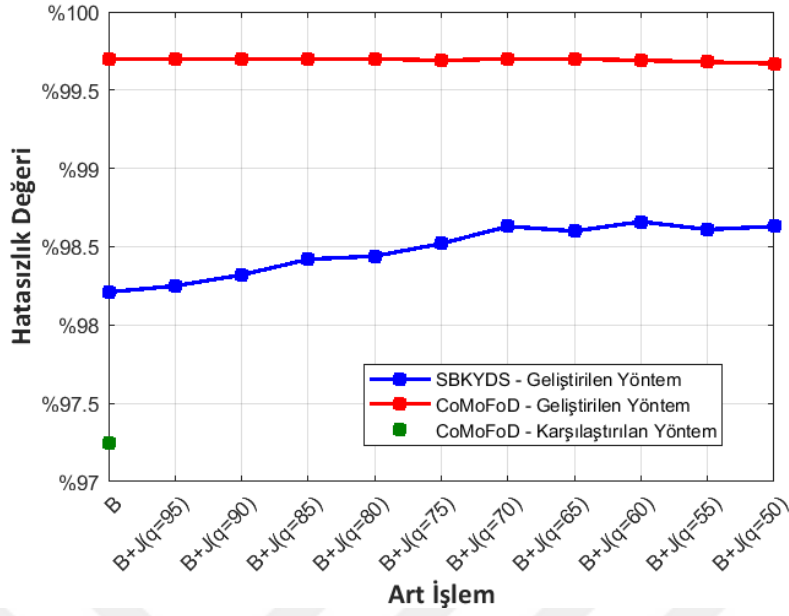
Şekil 30. Art işlem içermeyen ve art işlem olarak yalnızca JPEG sıkıştırması içeren serbest biçimli KYDS tespiti deneylerine ait yanlış pozitif oranları



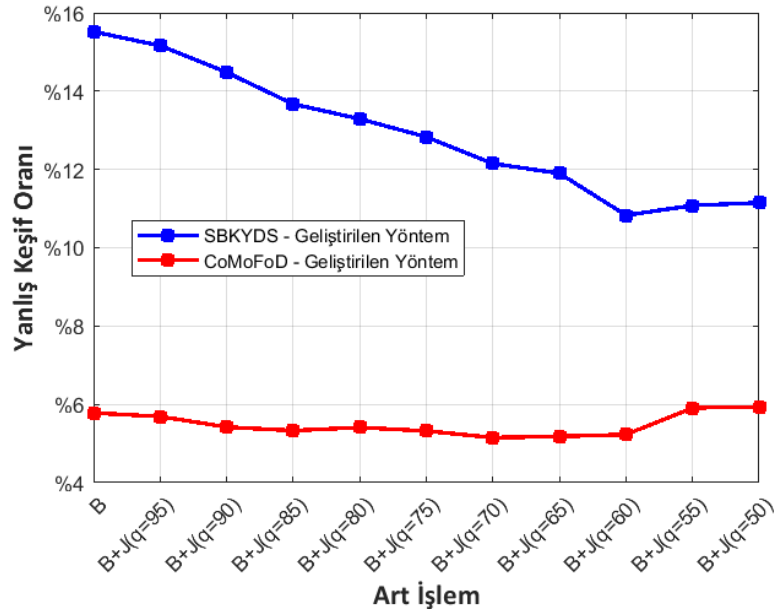
Şekil 31. Art işlem olarak yalnızca görüntü bulanıklaştırma içeren ve art işlem olarak görüntü bulanıklaştırmayı takiben JPEG sıkıştırması içeren serbest biçimli KYDS tespiti deneylerine ait doğru pozitif oranları



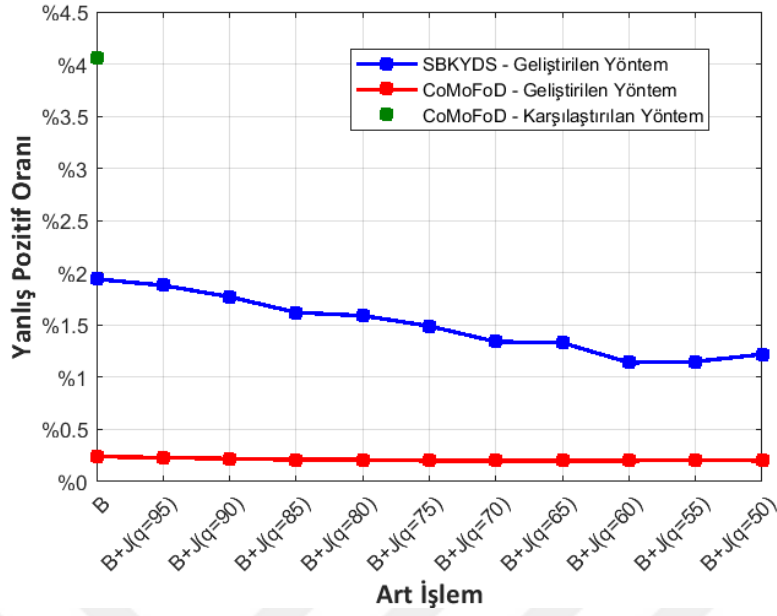
Şekil 32. Art işlem olarak yalnızca görüntü bulanıklaştırma içeren ve art işlem olarak görüntü bulanıklaştırmayı takiben JPEG sıkıştırması içeren serbest biçimli KYDS tespiti deneylerine ait pozitif öngörü değerleri



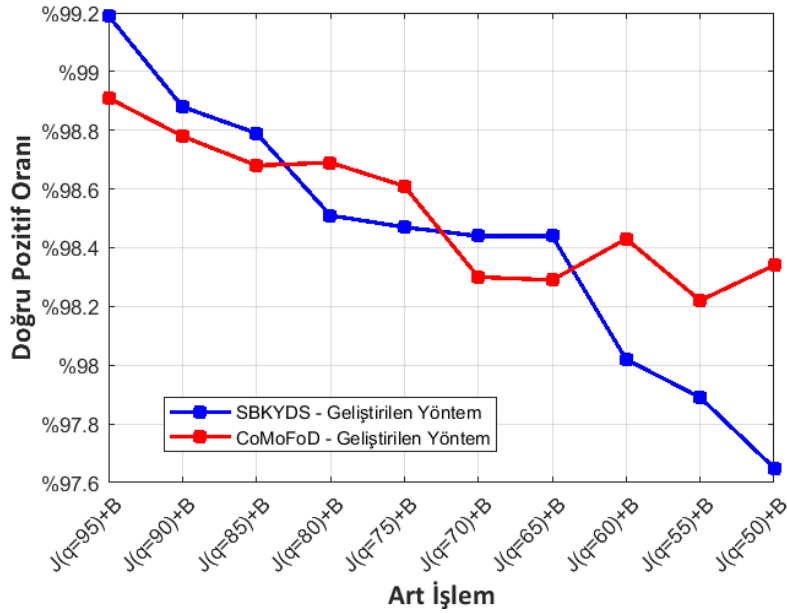
Şekil 33. Art işlem olarak yalnızca görüntü bulanıklaştırma içeren ve art işlem olarak görüntü bulanıklaştırmayı takiben JPEG sıkıştırması içeren serbest biçimli KYDS tespiti deneylerine ait hatasızlık değerleri ve [75] ile karşılaştırma



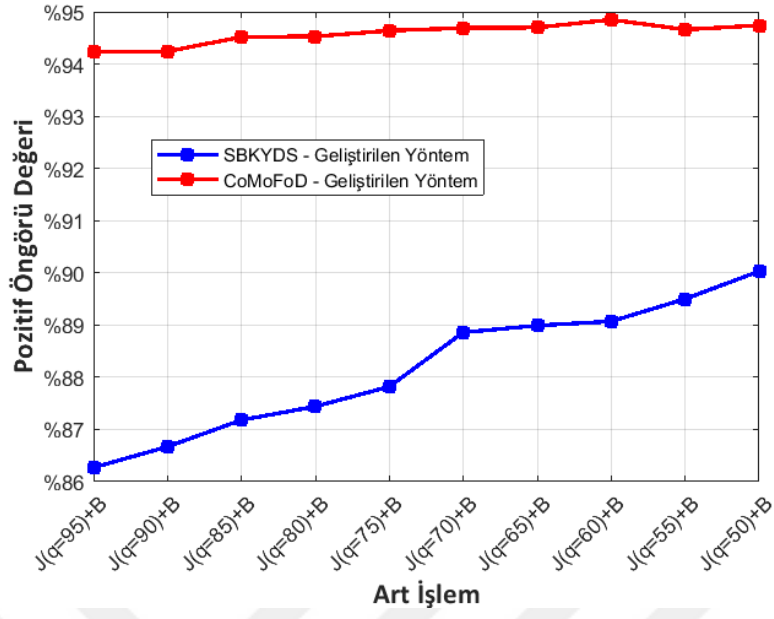
Şekil 34. Art işlem olarak yalnızca görüntü bulanıklaştırma içeren ve art işlem olarak görüntü bulanıklaştırmayı takiben JPEG sıkıştırması içeren serbest biçimli KYDS tespiti deneylerine ait yanlış keşif oranları



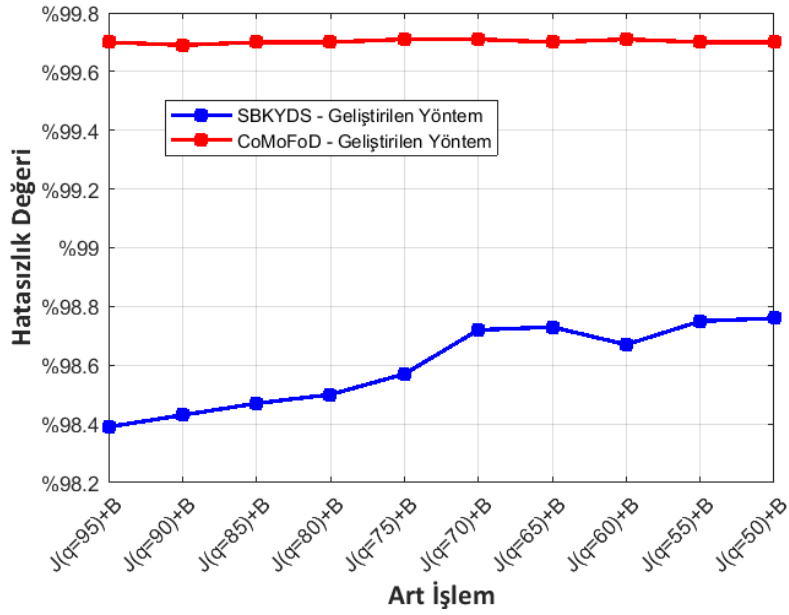
Şekil 35. Art işlem olarak yalnızca görüntü bulanıklaştırma içeren ve art işlem olarak görüntü bulanıklaştırmayı takiben JPEG sıkıştırması içeren serbest biçimli KYDS tespiti deneylerine ait yanlış pozitif oranları ve [75] ile karşılaştırma



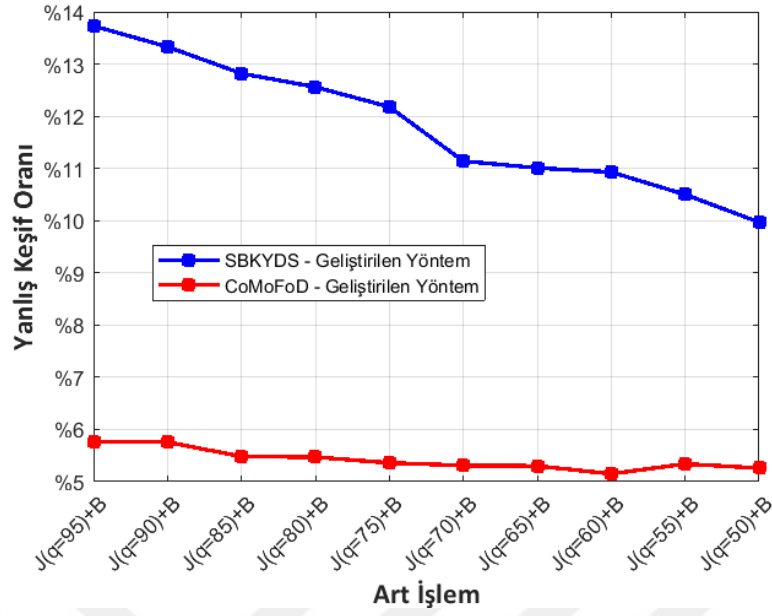
Şekil 36. Art işlem olarak JPEG sıkıştırmasını takiben görüntü bulanıklaştırma içeren serbest biçimli KYDS tespiti deneylerine ait doğru pozitif oranları



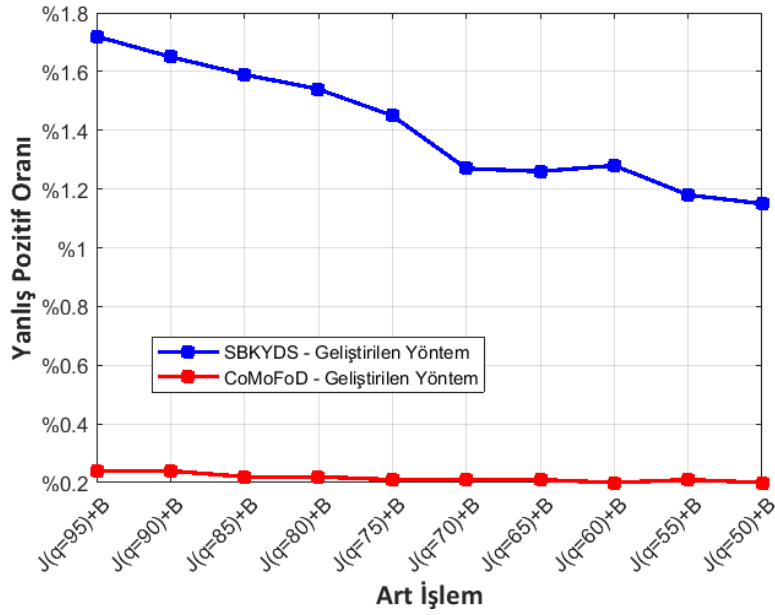
Şekil 37. Art işlem olarak JPEG sıkıştırmasını takiben görüntü bulanıklaştırma içeren serbest biçimli KYDS tespiti deneylerine ait pozitif öngörü değerleri



Şekil 38. Art işlem olarak JPEG sıkıştırmasını takiben görüntü bulanıklaştırma içeren serbest biçimli KYDS tespiti deneylerine ait hatasızlık değerleri



Şekil 39. Art işlem olarak JPEG sıkıştırmasını takiben görüntü bulanıklaştırma içeren serbest biçimli KYDS tespiti deneylerine ait yanlış keşif oranları



Şekil 40. Art işlem olarak JPEG sıkıştırmasını takiben görüntü bulanıklaştırma içeren serbest biçimli KYDS tespiti deneylerine ait yanlış pozitif oranları

Art işlem içermeyen ve art işlem olarak yalnızca JPEG sıkıştırması içeren serbest biçimli KYDS tespiti deneylerine ait sonuçlar, beş farklı ölçütle ifade edilmiştir. Bu

sonuçlar; Şekil 26'da doğru pozitif oranı lut ile, Şekil 27'de pozitif öngörü değeri lut ile, Şekil 28'de hatasızlık değeri lut ile, Şekil 29'da yanlış keşif oranı lut ile, Şekil 30'da ise yanlış pozitif oranı lut ile Çizgesel olarak ifade edilmiştir.

Art işlem olarak yalnızca görüntü bulanıklaştırma içeren ve art işlem olarak görüntü bulanıklaştırmayı takiben JPEG sıkıştırması içeren serbest biçimli KYDS tespiti deneylerine ait sonuçlar, beş farklı lutle ifade edilmiştir. Bu sonuçlar; Şekil 31'de doğru pozitif oranı lut ile, Şekil 32'de pozitif öngörü değeri lut ile, Şekil 33'te hatasızlık değeri lut ile, Şekil 34'te yanlış keşif oranı lut ile, Şekil 35'te ise yanlış pozitif oranı lut ile Çizgesel olarak ifade edilmiştir.

Art işlem olarak JPEG sıkıştırmasını takiben görüntü bulanıklaştırma içeren serbest biçimli KYDS tespiti deneylerine ait sonuçlar, beş farklı lutle ifade edilmiştir. Bu sonuçlar; Şekil 36'da doğru pozitif oranı lut ile, Şekil 37'de pozitif öngörü değeri lut ile, Şekil 38'de hatasızlık değeri lut ile, Şekil 39'da yanlış keşif oranı lut ile, Şekil 40'ta ise yanlış pozitif oranı lut ile Çizgesel olarak ifade edilmiştir.

Yukarıda yer alan 15 farklı çizgenin her birinde, geliştirilen yöntemin başarısının SBKYDS veri kümesi üzerinde llmesine dair veri noktalarının her biri 5'er farklı deney sonucunun ortalaması hesaplanarak elde edilmişken, geliştirilen yöntemin başarısının CoMoFoD veri kümesi üzerinde llmesine dair veri noktalarının her biri de 2'şer farklı deney sonucunun ortalamasının hesaplanmasıyla elde edilmiştir. Yukarıda yer alan 15 farklı çizgenin tamamında, deney görüntüleri üzerinde gerçekleştirilen art işlemler yatay ekseninde gösterilmiş olup; "J" ifadeleri yanlarında belirtilen kalite faktörlerine sahip JPEG sıkıştırması işlemlerini, "B" ifadeleri ise görüntü bulanıklaştırma işlemini temsil etmektedir. İlgili izgelerin her birinde yatay ekseninde soldan sağa doğru gidildikçe art işlemlerin bozucu etkilerinin artıyor olması bir süreklilik durumu meydana getirdiğinden, bu çizgelerde yer alan veri noktaları birbirlerine bağlanarak sürekli bir gösterim elde edilmiştir.

SBKYDS veri kümesi üzerinde gerçekleştirilen 160 deneyin tamamında; blok boyutunu belirten B parametresinin değeri 11 olarak, E_C parametresinin değeri 1700 olarak, SU_{MAKS} parametresinin değeri 5 olarak, U_G parametresinin değeri 5 olarak, U_{GEZ} parametresinin değeri ise 10 olarak seçilmiştir. Bu deneylerde BF_{MAKS} parametresinin değeri $[2600, 3600]$ kapalı aralığında alınmış olup, bu parametrenin değeri tüm deneylerin %80'inde 2600 olarak, geriye kalan %20'sinde ise 3600 olarak seçilmiştir. İlgili deneylerde OK_{MIN} parametresinin değeri $[30, 100]$ kapalı aralığında alınmış olup bu parametrenin değeri tüm deneylerin %80'inde 100 olarak, geriye kalan %20'sinde ise 30 olarak seçilmiştir. Bahsi

geçen deneylerde τ_F parametresinin değeri $[8, 55]$ kapalı aralığında deneysel olarak seçilmiştir.

CoMoFoD veri kümesi üzerinde gerçekleştirilen 64 deneyin tamamında; blok boyutunu belirten B parametresinin değeri 19 olarak, OK_{MIN} parametresinin değeri 100 olarak, SU_{MAKS} parametresinin değeri 200 olarak, U_G parametresinin değeri 5 olarak, U_{GEZ} parametresinin değeri ise 10 olarak seçilmiştir. Bu deneylerde BF_{MAKS} parametresinin değeri $[1100, 4000]$ kapalı aralığında deneysel olarak, E_C parametresinin değeri $[5500, 10000]$ kapalı aralığında deneysel olarak, τ_F parametresinin değeri ise $[10, 25]$ kapalı aralığında deneysel olarak seçilmiştir.

Bu çalışma ile başarı oranları bakımından karşılaştırılan bir çalışmada [75], KYDS tespiti için ADDD (Ayrık Durağan Dalgacık Dönüşümü)'nin kullanıldığı bir yöntem önerilmiştir. Yöntem; şüpheli görüntünün örtüşen bloklara ayrılmasına, bu bloklardan özelliklerin çıkarılmasına ve daha sonra bu özelliklerin kullanılması yoluyla benzer blokların eşleştirilmesine dayanmaktadır. Yöntemin CoMoFoD veri kümesi üzerinde test edildiği çalışmada, önerilmiş olan algoritmanın performansını ölçmek için ifade (42)'deki hatasızlık değeri ve ifade (44)'teki yanlış pozitif oranı kullanılmıştır. Çalışmada; bulanıklığa, parlaklık değişimine ve renk azalmasına karşı dayanıklılık testleri olmasına rağmen, yöntem JPEG sıkıştırmasına karşı test edilmemiştir. İlgili yönteme ve tarafımızca geliştirilen yönteme ait hatasızlık değerleri ve yanlış pozitif oranları, sırasıyla Şekil 33'te ve Şekil 35'te yer almakta olup, ilgili yöntem üzerinde yapılan deneylerde, art işlem olarak yalnızca görüntü bulanıklaştırma işlemi uygulanmıştır.

Bu çalışma ile başarı oranları bakımından karşılaştırılan diğer bir çalışmada [64] ise, KYDS tespiti için Gabor büyüklüğünün kullanıldığı bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntem de görüntünün birbiriyle örtüşen bloklara ayrılmasına ve bu bloklardan çıkarılan özelliklerin kullanılması yoluyla benzer blokların eşleştirilmesine dayanmaktadır. Özellik çıkarma işlemi, yönlendirilmiş Gabor büyüklükleri histogramı tanımlayıcılarından yararlanılarak gerçekleştirilmektedir. Yöntem, CoMoFoD veri kümesi üzerinde, art işlem olarak farklı kalite faktörlerine sahip JPEG sıkıştırılmalarının yapıldığı KYDS işlemlerine karşı test edilmiştir. Yöntemin başarısının ölçülmesinde, "doğru tespit oranı" olarak adlandırılan bir ölçüt kullanılmış olup, bu ölçüt, ifade (40)'ta yer alan doğru pozitif oranı ile aynı şekilde hesaplandığından, tarafımızca "doğru pozitif oranı" olarak ifade edilecektir. İlgili yöntemin başarısının değerlendirilmesinde kullanılan bir diğer ölçüt ise, ifade (43)'te verilen yanlış keşif oranıdır. Bahsi geçen yönteme ve tarafımızca geliştirilen yönteme ait doğru pozitif ve

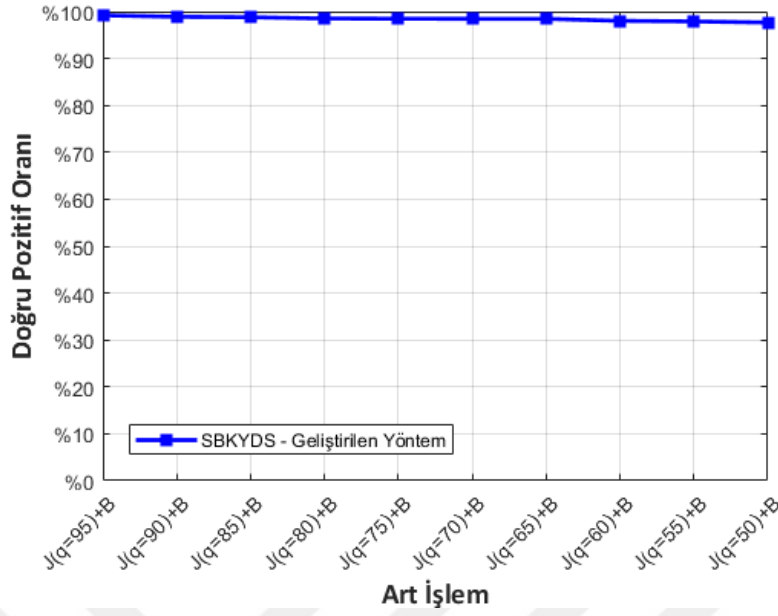
yanlış keşif oranları, sırasıyla Şekil 26'da ve Şekil 29'da yer almaktadır. Şekil 26'da ve Şekil 29'da bulunan çizgeler incelendiğinde, çoklu olmayan KYDS'lerin tespitine dair yapılan deneylere ait 15 çizge arasında en geniş dikey eksen aralığına sahip olanların bunlar oldukları görölmektedir. Dikey eksenlerinin üst sınırları ile alt sınırları arasındaki farkların %16 olduğu bu iki çizge birlikte değerlendirildiğinde, geliştirmiş olduğumuz yöntemin yukarıda bahsedilen yönteme karşı gerek başarı oranları bakımından, gerekse art işlemlerin bozucu etkilerine karşı dayanıklılık bakımından belirgin biçimde üstünlük sağladığı ifade edilebilir.

KYDS tespitini konu alan ve çalışmamızla başarı oranları açısından karşılaştırılan başka bir çalışmada [69] ise, renk bilgisinin ve renk bilgisine ait histogramların kullanıldığı blok temelli bir yöntem önerilmiştir. Çalışmada, önerilmiş olan yöntemin başarısını ölçmek amacıyla, "hatasızlık oranı" olarak adlandırılan bir ölçüt kullanılmış olup, bu ölçüt, ifade (40)'ta yer alan doğru pozitif oranı ile aynı şekilde hesaplandığından, tarafımızca "doğru pozitif oranı" olarak ifade edilecektir. Yöntemin test edilmesinde, CoMoFoD veri kümesinde yer alan görüntüler kullanılmıştır. Yöntem, herhangi bir art işlem içermeyen serbest biçimli KYDS'lere karşı test edilmiştir ve doğru pozitif oranının 0.95'in üzerinde olduğu ifade edilmiştir. Çalışmada, bahsi geçen yöntemin CoMoFoD veri kümesi üzerindeki başarı oranına dair daha fazla bilgi yer almadığından, bu yöntem ile tarafımızca geliştirilen yöntem arasında çizgesel olarak karşılaştırma yapmamız mümkün olmamıştır.

Geliştirmiş olduğumuz yönteme ait test sonuçları serbest biçimli KYDS tespitini konu alan çeşitli çalışmalara [64, 69, 75] ait sonuçlarla karşılaştırıldığında, yöntemimizin başarı ve kararlılık açısından diğer yöntemlere karşı üstünlük sağladığı görölmektedir. Yöntemimizin başarısını ve kararlılığını daha net bir biçimde gösterebilmek amacıyla, SBKYDS ile CoMoFoD veri kümeleri üzerinde yapılan deneylere ait sonuçlar, aynı çizgeler üzerinde ayrı ayrı ifade edilmiştir. CoMoFoD veri kümesindeki KYDS görüntüleri kullanılarak yapılan diğer deneylerde [64, 69, 75]; serbest biçimli KYDS işleminin ardından gerçekleştirilen görüntü bulanıklaştırma işlemine [75], serbest biçimli KYDS işlemini takiben gerçekleştirilen farklı kalite faktörlerine sahip JPEG sıkıştırması işlemlerine [64] ve serbest biçimli KYDS işleminin sonrasında herhangi bir art işlem gerçekleştirilmemesi durumuna [69] yer verilmiştir. Çizgesel olarak ifade edilen sonuçlar; geliştirmiş olduğumuz yöntemin [64, 75] ile karşılaştırılmasının yanı sıra, yöntemimizin değişik şiddetlerde bozma etkisine sahip art işlemler karşıındaki kararlılığını göstermektedir. Önerilen yöntemin başarısının iki ayrı veri kümesinden elde edilen görüntüler üzerinde ölçülmesinin nedeni

hem önerilen yöntemi diğer yöntemlerle karşılaştırabilmek, hem de önerilen yöntemin kararlılığını etkili bir biçimde kanıtlayabilmektir.

Blok temelli olan ve serbest biçimli KYDS tespiti amacıyla geliştirilen geleneksel yöntemlerin sahte bölge belirleme mekanizması üzerinde önemli ölçüde değişiklikler yapmış olmaktadır. Çizgesel olarak ifade edilen deney sonuçları, yöntemimizin, blok temelli olan ve serbest biçimli KYDS tespiti için geliştirilmiş olan geleneksel yöntemlerden farklı olarak, değişen JPEG kalite faktörlerine sahip art işlemler karşısında kararlı bir performans sergilediğini göstermektedir. Ayrıca, deney sonuçları, yöntemimizin; değişen kalite faktörlerine sahip JPEG sıkıştırması art işlemleri ile görüntü bulanıklaştırma art işleminin birleşimleri karşısında da kararlı olduğunu ve başarılı sonuçlar verdiğini göstermektedir. Özellikle, hatasızlık değeri ölçütü ile elde edilen sonuçların yer aldığı Şekil 28, Şekil 33 ve Şekil 38 birlikte incelendiğinde, geliştirilen yöntemin art işlemlerin bozucu etkilerine karşı dayanıklı olduğu görülmektedir. Bunlara ilaveten, KYDS tespit yöntemimizin başarısının değerlendirilmesinde kullanılan çizgelerde görülen bazı belirgin başarı değişimlerinin, çizgelerdeki dikey eksen sınırlarını %0 ile %100 aralığı olarak belirlemek yerine çizgelerde yer alan veri noktalarının konumlarına bağlı olarak belirlemiş olmamızdan kaynaklandığını ve bu durumun diğer sahtecilik tespit yöntemlerimizin başarılarının değerlendirilmesinde kullandığımız çizgeler için de geçerli olduğunu vurgulamayı gerekli görmekteyiz. Yukarıda verilmiş olan 15 farklı çizge incelendiğinde, tarafımıza ait deney sonuçları üzerindeki en belirgin başarı değişiminin Şekil 36'da bulunan çizgede meydana geldiği görülecektir. Oysa bahsedilen çizgede, dikey eksenin üst sınırı ile alt sınırı arasındaki fark yalnızca %1.6'dır. Şekil 41'de, Şekil 36'daki çizgede yer alan ve SBKYDS veri kümesi üzerinde yapılan deneylerin sonuçlarını gösteren verinin, dikey eksen sınırlarının %0 ile %100 aralığı olarak belirlendiği çizge üzerindeki görünümü verilmiştir. Şekil 41'de verilmiş olan çizgede dikkate değer bir iniş veya çıkış olmadığı açıktır. Bu noktada, kararlılığın en önemli kanıtı, özellikle art işlemlerin görüntü üzerindeki bozucu etkileri arttıkça keskin ve istikrarlı biçimde başarı düşüşlerinin olmamasıdır.



Şekil 41. Şekil 36'daki çizgede yer alan ve belirgin başarı değişimi görülen verinin, dikey eksen aralığının %0 ile %100 arasında belirlendiği çizgede görünümü

Geliştirilen yöntemin çoklu KYDS'lerin tespitindeki başarısını ölçmek amacıyla yapılan test işlemlerine ait sonuçlar, sırasıyla ifade (40)'ta, ifade (41)'de, ifade (42)'de, ifade (43)'te ve ifade (44)'te verilen doğru pozitif oranı (O_{DP}), pozitif öngörü değeri ($DPÖ$), hatasızlık değeri (D_H), yanlış keşif oranı (O_{YK}) ve yanlış pozitif oranı (O_{YP}) ölçütleri kullanılarak ifade edilmiştir.

Tablo 3. Art işlem içermeyen, art işlem olarak $q=90$ kalite faktörüne sahip JPEG sıkıştırması içeren ve art işlem olarak görüntü bulanıklaştırma içeren serbest biçimli çoklu KYDS tespiti deneylerine ait başarı oranları

Art İşlem	Başarı Ölçütü				
	O_{DP}	$DPÖ$	D_H	O_{YK}	O_{YP}
Yok	0.997	0.880	0.988	0.120	0.013
JPEG ($q=90$)	0.987	0.911	0.991	0.089	0.009
Bulanıklaştırma	0.991	0.895	0.989	0.105	0.011

Art işlem içermeyen, art işlem olarak $q=90$ kalite faktörüne sahip JPEG sıkıştırması içeren ve art işlem olarak görüntü bulanıklaştırma içeren serbest biçimli çoklu KYDS tespiti deneylerine ait başarı oranları, Tablo 3'te beş farklı ölçütle ifade edilmiştir. Tabloda, geliştirilen yöntemin başarısının SBÇKYDS veri kümesi üzerinde ölçülmesine dair başarı oranlarının her biri 6'şar farklı deney sonucunun ortalaması hesaplanarak elde edilmiştir.

SBÇKYDS veri kümesi üzerinde gerçekleştirilen 18 deneyin tamamında; blok boyutunu belirten B parametresinin değeri 15 olarak, BF_{MAKS} parametresinin değeri 4000 olarak, EC parametresinin değeri 6000 olarak, OK_{MIN} parametresinin değeri 80 olarak, SU_{MAKS} parametresinin değeri 20 olarak, U_G parametresinin değeri 5 olarak, U_{GEZ} parametresinin değeri ise 10 olarak seçilmiştir. Bu deneylerde τ_F parametresinin değeri $[5, 10]$ kapalı aralığında deneysel olarak seçilmiştir.

Geliştirilen KYDS tespit yönteminin SBÇKYDS veri kümesi üzerindeki başarısını ifade eden Tablo 3 incelendiğinde, yöntemin çoklu KYDS'lerin tespitini başarılı bir biçimde yapabildiği anlaşılmaktadır. Hatasızlık değeri ölçütü ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde, herhangi bir art işlemin söz konusu olmadığı deneylere ait hatasızlık değerleri ortalaması ile JPEG sıkıştırması ve bulanıklaştırma art işlemlerinin söz konusu olduğu deneylere ait hatasızlık değerleri ortalamalarının birbirlerine çok yakın oldukları, hatta bahsi geçen art işlemlerin gerçekleştiği deneylerde az farkla da olsa daha yüksek hatasızlık değerleri ortalamaları elde edilebildiği görülmektedir. Bu durumdan hareketle, geliştirilen yöntemin, çoklu KYDS'lerin tespitinde art işlemlerin bozucu etkilerine karşı dayanıklı olduğu ifade edilebilir.

Geliştirilen yöntemin özdeş nesnelere ya da birbirini tekrar eden görüntüler içeren görüntüler üzerinde de test edilebilmesi amacıyla, tarafımızca "Özdeş Nesnelere İçeren Orijinal Görüntüler (ÖNİOG)" isimli veri kümesi [101] hazırlanmıştır. ÖNİOG veri kümesi, özdeş nesnelere ya da birbirini tekrar eden görüntüler içeren 160 görüntüden oluşmakta olup, bu görüntülerin hiçbirinde KYDS bulunmamaktadır. Bu veri kümesinde 5 adet kaynak görüntü bulunmaktadır ve geriye kalan görüntüler, bu kaynak görüntülerin farklı kalite faktörlerine sahip JPEG sıkıştırması art işlemlerine, görüntü bulanıklaştırma art işlemine ve bu iki tür işlemin farklı birleşimlerine tabi tutulmasıyla türetilmişlerdir. Görüntü bulanıklaştırma art işlemlerinde, ifade (7)'de verilen maske kullanılmıştır. Bahsedilen kaynak görüntülerin tamamı, tarafımızca, sayısal fotoğraf makinesi kullanılarak elde edilmiştir. Şekil 42'de, ÖNİOG veri kümesinde bulunan görüntülerden üç farklı örnek yer almaktadır. Geliştirilen KYDS tespit yöntemi, ÖNİOG veri kümesi üzerinde de test

edilmiştir. Yöntem, değerlerinin kullanıcı tarafından belirlenmesi gereken parametreler içermektedir. Elbette, bu parametrelere sahtecilik tespitinin başarıyla gerçekleştiği deneylerde sahip oldukları değerlerden uzak değerler atanırsa, yöntemin benzer bölgeleri tespit etmesi zorlaşacaktır ve ÖNİOG veri kümesinde yer alan görüntülerin tamamının orijinal olduğuna hükmedecektir. Bahsedilen durumda ÖNİOG veri kümesi üzerinde %100 başarı elde edilebilecek olsa da, böylesi bir test işleminin herhangi bir anlamı olmayacaktır. Bahse konu olan parametre değerlerinin sonsuz sayıda farklı birleşimle belirlenebileceği de göz önünde bulundurulduğunda, en uygun yaklaşımın, SBKYDS veri kümesi üzerinde gerçekleştirilmiş olan 160 adet KYDS tespiti deneyindeki parametre değerlerinin ortalamalarının kullanılması olacağı düşünülmüştür. Buna göre, KYDS tespit algoritmasında değeri kullanıcı tarafından belirlenen her bir parametre için, bu parametrenin SBKYDS veri kümesi üzerinde gerçekleştirilmiş olan 160 adet KYDS tespiti deneyinde sahip olduğu 160 değerlerin ortalaması hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda, ÖNİOG veri kümesi üzerinde yapılan KYDS tespiti deneylerinin tümünde; blok boyutunu belirten B parametresinin değeri 11 olarak, BF_{MAKS} parametresinin değeri 2800 olarak, EC parametresinin değeri 1700 olarak, OK_{MIN} parametresinin değeri 86 olarak, SU_{MAKS} parametresinin değeri 5 olarak, UG parametresinin değeri 5 olarak, $UGEZ$ parametresinin değeri 10 olarak, τ_F parametresinin değeri ise 18 olarak seçilmiştir. Bu yolla yapılan deneylerde, geliştirilen yöntem, ÖNİOG veri kümesinde yer alan 160 görüntüden 154 tanesinde KYDS tespit etmemiş olup, geriye kalan 6 tanesinin de KYDS içerdiği sonucuna varmıştır. Buna göre, doğru sonuçların toplam görüntü sayısına oranı %96.25 olarak hesaplanmaktadır. Bu durum, geliştirilen yöntemin, özdeş nesnelere veya birbirini tekrar eden görüntüler içeren yanıltıcı görüntülere karşı dayanıklı olduğunu göstermektedir.



Şekil 42. ÖNİOG veri kümesinde bulunan görüntülerden üç farklı örnek

Serbest biçimli KYDS'lerin tespiti için geliştirilen ve blok temelli olan diğer yöntemlerin benzer bloklara ait bölgeleri işaretlemek üzerine odaklanmış olmalarına karşın geliştirdiğimiz yöntemin şüpheli bölgelerin tamamını doğrudan tespit etmek üzerine odaklanmış olması nedeniyle, serbest biçimli KYDS tespiti için yeni ve orijinal bir yaklaşım geliştirdiğimizi ifade etmemiz gerekir.

Geliştirmiş olduğumuz yöntemin, literatüre, KYDS tespitini başarılı biçimde yapmasının yanı sıra, sahtecilik tespitini güçleştirmeyi amaçlayan art işlemlerin farklı şiddetlerdeki bozucu etkileri karşısında sergilediği kararlı performansla da katkıda bulunduğunu açıkça ifade edebiliriz. İncelediğimiz diğer çalışmalarda yeterince üzerinde durulan bir durum olmamasına karşın, deneylerimizi farklı biçimlerdeki art işlemlere tabi tutulmuş serbest biçimli KYDS görüntüleri üzerinde gerçekleştirmemizin nedeni, yöntemimizin sahtecilik tespitini güçleştirmeyi amaçlayan çeşitli art işlemler karşısındaki kararlılığını kanıtlayabilmektir. Başka bir ifade ile, bu alandaki çalışmamızı, sadece geliştirdiğimiz yöntemin başarı oranlarını diğer yöntemlerinkiyle karşılaştırmak amacıyla değil, aynı zamanda önerdiğimiz yöntemin kararlılığını farklı türlerdeki deneylerle kanıtlamak amacıyla yapmış bulunmaktayız.

Deney sonuçları incelenerek bir arada değerlendirildiğinde, JPEG sıkıştırması art işlemine ve görüntü bulanıklaştırma art işlemine arka arkaya tabi tutulan görüntüler için, bu iki art işlemin uygulanış sırasının sahtecilik tespiti başarı oranlarını etkilediği ifade edilebilir; ancak, bu art işlemlerin uygulanış sırası ne olursa olsun, önerilen yöntemin kararlılığını koruduğu görülmektedir.

Ayrıca, ÖNİOG veri kümesinde yer alan görüntüler kullanılarak yapılan deneylerden hareketle, yöntemimizin, KYDS görüntülerini ve sahtecilik işlemine tabi tutulmamış ancak özdeş nesnelere ya da birbirini tekrar eden örüntüler içeren görüntüleri ayırt edebildiğini ifade edebiliriz.

3.2. Sayısal Görüntüler Üzerinde Serbest Biçimli KÖYDS Tespitine Dair Bulgular

Tez kapsamında geliştirilmiş olan KYDS tespit yöntemini temel alan ve bu yöntemin özelleştirilmiş bir hâli olarak tasarlanan KÖYDS tespit yönteminin test edilebilmesi amacıyla, tarafımızca SBKÖYDS veri kümesi [89] hazırlanmıştır. SBKÖYDS veri kümesi, 24 adet serbest biçimli KÖYDS görüntüsünden oluşmaktadır. SBKÖYDS veri kümesinde

bulunan görüntülerden 12 tanesi internetten elde edilen bir adet kaynak görüntüden, diğer 12 tanesi ise tarafımızca sayısal fotoğraf makinesi ile elde edilen bir adet kaynak görüntüden türetilmiştir. Türetme sürecinde, ilk önce bu 2 adet kaynak görüntünün her biri üzerinde 0.85, 0.95, 1.1 ve 1.2 ölçekleme değerleri ile serbest biçimli KÖYDS işlemleri gerçekleştirilmiş, sonrasında ise bu görüntülerin herhangi bir art işlem uygulanmamış kopyaları, art işlem olarak $q=90$ kalite faktörüne sahip JPEG sıkıştırması uygulanmış kopyaları ve görüntü bulanıklaştırma art işlemi uygulanmış kopyaları elde edilmiş olup, SBKÖYDS veri kümesi bu görüntülerden oluşturulmuştur. Görüntü bulanıklaştırma art işlemleri, ifade (7)'de verilen maske kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4. Art işlem içermeyen serbest biçimli KÖYDS tespiti deneylerine ait başarı oranları

Ölçekleme Değeri	Başarı Ölçütü				
	O_{DP}	$DP\bar{O}$	D_H	O_{YK}	O_{YP}
0.85	0.995	0.850	0.993	0.150	0.007
0.95	0.997	0.850	0.992	0.150	0.008
1.10	0.997	0.863	0.992	0.137	0.008
1.20	0.999	0.859	0.990	0.141	0.010

Tablo 5. Art işlem olarak $q=90$ kalite faktörüne sahip JPEG sıkıştırması içeren serbest biçimli KÖYDS tespiti deneylerine ait başarı oranları

Ölçekleme Değeri	Başarı Ölçütü				
	O_{DP}	$DP\bar{O}$	D_H	O_{YK}	O_{YP}
0.85	0.966	0.900	0.994	0.100	0.004
0.95	0.982	0.893	0.994	0.107	0.005
1.10	0.972	0.897	0.993	0.103	0.006
1.20	0.992	0.890	0.993	0.111	0.007

Tablo 6. Art işlem olarak görüntü bulanıklaştırma içeren serbest biçimli KÖYDS tespiti deneylerine ait başarı oranları

Ölçekleme Değeri	Başarı Ölçütü				
	O_{DP}	$D_{PÖ}$	D_H	O_{YK}	O_{YP}
0.85	0.978	0.856	0.993	0.144	0.007
0.95	0.981	0.841	0.991	0.159	0.008
1.10	0.986	0.856	0.991	0.144	0.009
1.20	0.985	0.866	0.990	0.134	0.010

Geliştirilen yöntemin başarısının ölçülmesinde; Bölüm 3'te detaylı olarak açıklanan ve sırasıyla ifade (40)'ta, ifade (41)'de, ifade (42)'de, ifade (43)'te ve ifade (44)'te verilen doğru pozitif oranı (O_{DP}), pozitif öngörü değeri ($D_{PÖ}$), hatasızlık değeri (D_H), yanlış keşif oranı (O_{YK}) ve yanlış pozitif oranı (O_{YP}) kullanılmıştır.

Art işlem içermeyen serbest biçimli KÖYDS tespiti deneylerine ait başarı oranları, Tablo 4'te beş farklı ölçütle ifade edilmiştir. Art işlem olarak $q=90$ kalite faktörüne sahip JPEG sıkıştırması içeren serbest biçimli KÖYDS tespiti deneylerine ait başarı oranları, Tablo 5'te beş farklı ölçütle ifade edilmiştir. Art işlem olarak görüntü bulanıklaştırma içeren serbest biçimli KÖYDS tespiti deneylerine ait başarı oranları ise, Tablo 6'da beş farklı ölçütle ifade edilmiştir. Tabloların her birinde, geliştirilen yöntemin başarısının SBKÖYDS veri kümesi üzerinde ölçülmesine dair başarı oranlarının her biri 2'şer farklı deney sonucunun ortalaması hesaplanarak elde edilmiştir.

SBKÖYDS veri kümesi üzerinde gerçekleştirilen 24 deneyin tamamında; a_0 parametresinin değeri 0.05 olarak, blok boyutunu belirten B parametresinin değeri 11 olarak, OU_{MAKS} parametresinin değeri 200 olarak, s_0 parametresinin değeri 0.8 olarak, SU_{MAKS} parametresinin değeri 40 olarak, U_G parametresinin değeri 5 olarak, U_{GEZ} parametresinin değeri ise 10 olarak seçilmiştir. Bu deneylerde BF_{MAKS} parametresinin değeri $[4000, 5500]$ kapalı aralığında alınmış olup, bu parametrenin değeri tüm deneylerin %50'sinde 4000 olarak, geriye kalan %50'sinde ise 5500 olarak seçilmiştir. Bahsedilen deneylerde E_C parametresinin değeri $[3000, 3500]$ kapalı aralığında alınmış olup, bu parametrenin değeri tüm deneylerin %50'sinde 3000 olarak, geriye kalan %50'sinde ise 3500 olarak seçilmiştir. Bahsi geçen deneylerde OK_{MIN} parametresinin değeri $[40, 80]$ kapalı aralığında alınmış olup bu parametrenin değeri tüm deneylerin %50'sinde 40 olarak, geriye kalan %50'sinde ise 80

olarak seçilmiştir. Belirtilen deneylerde τ_F parametresinin değeri [3, 10] kapalı aralığında deneysel olarak seçilmiştir.

Geliştirilen KÖYDS tespit yönteminin SBKÖYDS veri kümesi üzerindeki başarısını ifade eden Tablo 4, Tablo 5 ve Tablo 6 incelendiğinde, yöntemin serbest biçimli KÖYDS'lerin tespitini başarılı bir biçimde yapabildiği anlaşılmaktadır. Özellikle, bu tablolarda yer alan ve hatasızlık değeri ölçütü ile elde edilen sonuçlar birlikte incelendiğinde, geliştirilen yöntemin, serbest biçimli KÖYDS tespitini başarılı bir biçimde gerçekleştirebilmesinin yanında JPEG sıkıştırması ve görüntü bulanıklaştırma art işlemlerinin bozucu etkilerine karşı dayanıklı olduğu, değişen ölçekleme değerlerine karşı kararlı bir performans sergilediği ifade edilebilir.

3.3. Sayısal Görüntüler Üzerinde Serbest Biçimli KDYDS Tespitine Dair Bulgular

KDYDS'ler günlük hayatta, genel olarak internette bulunan görüntüler üzerinde, bazen de sahtecilik işlemlerini gerçekleştiren kimselerce sayısal fotoğraf makineleri kullanılarak bizzat elde edilen sayısal görüntüler üzerinde gerçekleştirilmektedir. Geliştirilen yöntemin günlük hayattaki şartlara uygun bir biçimde test edilebilmesi adına, tarafımızca SBKDYDS veri kümesi [95] hazırlanmıştır. SBKDYDS veri kümesi, 96 adet serbest biçimli KDYDS görüntüsünden oluşmaktadır. Bu görüntülerin 84 tanesi, tek bir bölgenin kopyalandıktan sonra döndürülerek aynı görüntü üzerinde tek bir yere yapıştırılması işlemini içermekte olup, kopyalanan ve yapıştırılan bölgeler birbirleriyle veya görüntünün kenarları ile kesişmemektedirler. Geriye kalan 12 görüntüde ise döndürme açısı 0 derece olduğundan, bu görüntülerin aslında serbest biçimli KYDS'ye tabi tutulduklarını söylemek mümkündür. Bahsi geçen bu 12 görüntüde de kopyalanan bölge aynı görüntü üzerinde tek bir yere yapıştırılmış olup, kopyalanan ve yapıştırılan bölgeler birbirleriyle veya görüntünün kenarları ile kesişmemektedirler. SBKDYDS veri kümesindeki 96 görüntüden 72 tanesi internette elde edilen 3 farklı kaynak görüntüden, geriye kalan 24'ü ise tarafımızca sayısal fotoğraf makinesi ile elde edilen bir adet kaynak görüntüden türetilmiştir. SBKDYDS veri kümesinde yer alan görüntülerin üçte biri sahtecilik işleminin ardından herhangi bir art işleme tabi tutulmamışken; üçte biri art işlem olarak $q=90$ kalite faktörüne sahip JPEG sıkıştırmasına, geriye kalan üçte biri ise görüntü bulanıklaştırma art işlemine tabi tutulmuştur. Görüntü bulanıklaştırma art işlemleri, ifade (7)'de verilen maske kullanılarak

yapılmıştır. SBKDYDS veri kümesinde yer alan ve döndürme işlemine maruz bırakılan 84 adet görüntünün yarısı saat yönünde, diğer yarısı ise saat yönünün tersi yönde döndürülmüştür. Döndürme yönünün yöntemin başarısına herhangi bir etkisinin olmadığını, başarıyı etkileyen faktörlerin döndürme açısı ve döndürme işleminden sonra yapılan art işlemler olduğunu da ifade etmek gerekir.

Geliştirilen yöntemin başarısının ölçülmesinde; Bölüm 3'te detaylı olarak açıklanan ve sırasıyla ifade (40)'ta, ifade (41)'de, ifade (42)'de, ifade (43)'te ve ifade (44)'te verilen doğru pozitif oranı (O_{DP}), pozitif öngörü değeri ($DPÖ$), hatasızlık değeri (D_H), yanlış keşif oranı (O_{YK}) ve yanlış pozitif oranı (O_{YP}) kullanılmıştır.

Herhangi bir art işlem içermeyen serbest biçimli KDYDS tespiti deneylerine ait başarı oranları, Tablo 7'de beş farklı ölçütle ifade edilmiştir. Art işlem olarak $q=90$ kalite faktörüne sahip JPEG sıkıştırması içeren serbest biçimli KDYDS tespiti deneylerine ait başarı oranları, Tablo 8'de beş farklı ölçütle ifade edilmiştir. Art işlem olarak görüntü bulanıklaştırma içeren serbest biçimli KDYDS tespiti deneylerine ait başarı oranları ise, Tablo 9'da beş farklı ölçütle ifade edilmiştir.

Tablo 7. Art işlem içermeyen serbest biçimli KDYDS tespiti deneylerine ait başarı oranları

<i>Döndürme Açısı</i>	<i>Başarı Ölçütü</i>				
	O_{DP}	$DPÖ$	D_H	O_{YK}	O_{YP}
0°	0.963	0.985	0.995	0.016	0.002
5°	0.929	0.972	0.990	0.028	0.003
15°	0.892	0.972	0.985	0.028	0.003
30°	0.917	0.969	0.989	0.031	0.003
45°	0.891	0.966	0.984	0.034	0.003
90°	0.953	0.988	0.995	0.012	0.001
180°	0.953	0.989	0.995	0.012	0.001
270°	0.961	0.984	0.995	0.016	0.002

Tablo 8. Art işlem olarak $q=90$ kalite faktörüne sahip JPEG sıkıştırması içeren serbest biçimli KDYDS tespiti deneylerine ait başarı oranları

<i>Döndürme Açısı</i>	<i>Başarı Ölçütü</i>				
	O_{DP}	$D_{PÖ}$	D_H	O_{YK}	O_{YP}
0°	0.952	0.981	0.994	0.019	0.002
5°	0.920	0.975	0.990	0.025	0.003
15°	0.911	0.960	0.986	0.041	0.004
30°	0.916	0.961	0.988	0.039	0.005
45°	0.884	0.968	0.983	0.032	0.003
90°	0.953	0.982	0.994	0.018	0.002
180°	0.941	0.987	0.994	0.013	0.001
270°	0.955	0.981	0.994	0.019	0.002

Tablo 9. Art işlem olarak görüntü bulanıklaştırma içeren serbest biçimli KDYDS tespiti deneylerine ait başarı oranları

<i>Döndürme Açısı</i>	<i>Başarı Ölçütü</i>				
	O_{DP}	$D_{PÖ}$	D_H	O_{YK}	O_{YP}
0°	0.936	0.982	0.993	0.019	0.002
5°	0.917	0.961	0.988	0.039	0.004
15°	0.889	0.970	0.985	0.030	0.003
30°	0.889	0.959	0.984	0.041	0.004
45°	0.861	0.957	0.981	0.043	0.004
90°	0.933	0.981	0.992	0.019	0.002
180°	0.933	0.980	0.992	0.020	0.002
270°	0.938	0.977	0.993	0.023	0.002

Tabloların her birinde, geliştirilen yöntemin başarısının SBKDYDS veri kümesi üzerinde ölçülmesine dair başarı oranlarının her biri 4'er farklı deney sonucunun ortalaması hesaplanarak elde edilmiş olup, bahsi geçen 4'er deneyin 2'ser tanesinde döndürme işlemi

saat yönünde yapılmışken, 2'şer tanesinde de saat yönünün tersi yönde yapılmıştır (Elbette, döndürme açısının 0 derece olduğu deneylerde döndürme yönünden bahsetmek mümkün olmamaktadır.).

SBKDYDS veri kümesi üzerinde gerçekleştirilen 96 deneyin tamamında; blok boyutunu belirten B parametresinin değeri 13 olarak, D_{TOL} parametresinin değeri 3 olarak, h_{θ} parametresinin değeri 5 olarak, SF_{MAKS} parametresinin değeri 6 olarak, SU_{MAKS} parametresinin değeri 150 olarak, U_{GEZ} parametresinin değeri 10 olarak, YON_{VDO} mantıksal parametresinin değeri "yanlış" olarak, μ_A parametresinin değeri 9 olarak, μ_B parametresinin değeri ise 9 olarak seçilmiştir. Bu deneylerde OK_{MIN} parametresinin değeri $[30, 100]$ kapalı aralığında alınmış olup bu parametrenin değeri tüm deneylerin %75'inde 100 olarak, geriye kalan %25'inde ise 30 olarak seçilmiştir. Bahsi geçen deneylerde E_C parametresinin değeri $[300, 640]$ kapalı aralığında deneysel olarak, E_G parametresinin değeri $[7, 380]$ kapalı aralığında deneysel olarak, τ_F parametresinin değeri ise $[7, 43]$ kapalı aralığında deneysel olarak seçilmiştir.

Geliştirilen yöntem; serbest biçimli bölge seçimine, aradeğerlemeli döndürme işlemine, JPEG sıkıştırması art işlemine ve görüntü bulanıklaştırma art işlemine karşı dayanıklılık bakımından literatürdeki diğer yöntemlerle karşılaştırılmış ve sonuçlar Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Geliştirilen KDYDS tespit yönteminin dayanıklılık bakımından diğer yöntemlerle karşılaştırılması

<i>Yöntem</i>	<i>Serbest Biçimli Bölge Seçimine Karşı Dayanıklılık</i>	<i>Aradeğerlemeli Döndürme İşlemine Karşı Dayanıklılık</i>	<i>JPEG Sıkıştırması Art İşlemine Karşı Dayanıklılık</i>	<i>Görüntü Bulanıklaştırma Art İşlemine Karşı Dayanıklılık</i>
[36]	Var	Var	Yok	Yok
[34]	Yeterli bilgi yok	Var	Var	Var
[32]	Var	Yok	Var	Var
[31]	Var	Var	Var	Yok
Geliştirilen Yöntem	Var	Var	Var	Var

KDYDS tespitinin konu alındığı bir çalışmada, geliştirilmiş olan yöntemin başarısını ölçmek için, tarafımızca kullanılan ölçütler arasında yer alan bir ölçütten yararlanılmıştır

[36]. İlgili çalışmada "hatasızlık değeri" olarak adlandırılan bu ölçüt, ifade (40)'ta yer alan doğru pozitif oranı ile aynı şekilde hesaplandığından, tarafımızca "doğru pozitif oranı" olarak ifade edilecektir. Bahsedilen çalışmada, üç farklı deney görüntüsü üzerinde dikdörtgen bölge seçimi yoluyla yapılan KDYDS işlemlerinin tespiti ele alınmış olup, bu görüntülerle yapılan deneylerden elde edilen üç farklı doğru pozitif oranının ortalaması 0.413'tür. Bahsi geçen deneylere ait döndürme açılarının aradeğerlemeyi zorunlu kılan değerlerde olup-olmadıkları ise belirtilmemiştir. İlgili çalışmada, hem serbest biçimli bölge seçiminin, hem de aradeğerlemenin söz konusu olduğu bir açı değeri ile döndürme işleminin gerçekleştirildiği yalnızca bir adet deney mevcuttur. Döndürme açısının 30 derece olduğu bu deneyde doğru pozitif oranı 0.63 olarak bulunmuştur. Bundan dolayı, ilgili yöntemin, serbest biçimli bölge seçiminin ve aradeğerlemenin söz konusu olduğu KDYDS'leri yeterince başarılı bir biçimde tespit edebildiğini söylemek mümkün görünmemektedir.

KDYDS tespitinin konu alındığı diğer bir çalışmada, geliştirilmiş olan yöntemin başarısını ölçmek için, tarafımızca kullanılan ölçütler arasında yer alan iki ölçütten yararlanılmıştır [34]. İlgili çalışmada "piksel tespit kesinliği" ve "piksel yanlış pozitif" adı verilen bu iki ölçüt, sırasıyla ifade (40)'ta yer alan doğru pozitif oranı ile ve ifade (43)'te yer alan yanlış keşif oranı ile aynı şekilde hesaplandıklarından, tarafımızca, sırasıyla "doğru pozitif oranı" ve "yanlış keşif oranı" olarak ifade edilecektir. İlgili çalışmada, dikdörtgen bölge seçimi yoluyla yapılan KDYDS işlemlerinin tespiti ele alınmış olup; döndürme açıları 0 dereceden 90 dereceye kadar 10'ar derecelik adımlarla belirlenmiştir. Bu durumda, 0 derece ve 90 derece açı değerleriyle yapılan döndürme işlemlerinde aradeğerleme söz konusu olmazken, diğer açı değerlerinde aradeğerleme meydana gelecektir. Yöntemin başarısının ölçülmesinde kullanılan test görüntüleri; dokulu görüntüler ve düz görüntüler olmak üzere iki kategoriye ayrılmıştır. Dokulu görüntüler üzerinde yapılmış olan deneylerin sonuçlarına göre, ilgili yöntemin, aradeğerlemenin olmadığı 0 ve 90 derece açı değerleri için elde etmiş olduğu ortalama doğru pozitif oranı 1, ortalama yanlış keşif oranı ise 0.096 iken; aradeğerlemenin olduğu diğer sekiz açı değeri için elde ettiği ortalama doğru pozitif oranı 0.989, ortalama yanlış keşif oranı ise 0.098 olmaktadır. Düz görüntüler üzerinde yapılmış olan deneylerin sonuçlarına göre ise, bahsi geçen yöntemin, aradeğerlemenin olmadığı 0 ve 90 derece açı değerleri için elde etmiş olduğu ortalama doğru pozitif oranı 1, ortalama yanlış keşif oranı ise 0.081 iken; aradeğerlemenin olduğu diğer sekiz açı değeri için elde ettiği ortalama doğru pozitif oranı 0.994, ortalama yanlış keşif oranı ise 0.098 olmaktadır. İlgili çalışmada, serbest biçimli KDYDS tespitinin ele alındığına dair görseller yer alıyor olsa da,

bu tespit işlemlerinin başarısına dair sayısal bilgiye yer verilmemiştir. Bahsi geçen yöntemin dikdörtgen bölge seçimi yoluyla yapılan KDYDS işlemleri üzerindeki başarısı her ne kadar yüksek olsa da, yöntemin, serbest biçimli KDYDS'lere karşı ne derece dayanıklı olduğuna dair yeterli bilgi bulunmamaktadır.

KDYDS tespitinin konu alındığı başka bir çalışmada, önerilmiş olan yöntemin başarısını ölçmek adına, tarafımızca kullanılan ölçütler arasında yer alan iki ölçütten yararlanılmıştır [32]. Bu ölçütlerden biri, "hassasiyet oranı" olarak adlandırılmış olup, ifade (41)'de yer alan pozitif öngörü değeri ile aynı şekilde hesaplandığından, tarafımızca "pozitif öngörü değeri" olarak ifade edilecektir. Bu ölçütlerden diğeri ise "geri çağırma oranı" olarak adlandırılan bir ölçüt olup, bu ölçüt ifade (40)'ta yer alan doğru pozitif oranı ile aynı şekilde hesaplandığından tarafımızca "doğru pozitif oranı" olarak ifade edilecektir. İlgili çalışmada, serbest biçimli bölge seçiminin söz konusu olduğu KDYDS işlemlerinin tespiti ele alınmış olup aradeğerlemenin söz konusu olmadığı döndürme açıları seçilmiştir ve yapılan deneyler sonucunda pozitif öngörü değeri 0.999 olarak, doğru pozitif oranı ise 0.990 olarak bulunmuştur. Belirtilen başarı ölçütleri her ne kadar yüksek olsa da, ilgili yöntem, aradeğerlemenin olduğu döndürme açıları ile yapılan KDYDS'lere karşı test edilmemiştir. Bahsedilen yöntemin, sahtecilik işlemi sonrasında gerçekleştirilen görüntü bulanıklaştırma ve JPEG sıkıştırması art işlemlerine karşı test edilmesine dair sonuçlar "performans oranı" ve "tespit oranı" olarak sunulmuştur ancak bu ölçütlerin hangi formüllerle hesaplandıkları hakkında herhangi bir bilgi verilmemiştir.

KDYDS tespitinin konu alındığı bir diğeri çalışmada, geliştirilmiş olan yöntemin başarısının ölçülmesinde, tarafımızca kullanılan ölçütler arasında yer alan iki ölçütten yararlanılmıştır [31]. Bu ölçütlerden biri, "hassasiyet oranı" olarak adlandırılmış olup, ifade (41)'de yer alan pozitif öngörü değeri ile aynı şekilde hesaplandığı için tarafımızca "pozitif öngörü değeri" olarak ifade edilecektir. Bu ölçütlerden diğeri ise "geri çağırma oranı" olarak adlandırılan bir ölçüt olup, bu ölçüt ifade (40)'ta yer alan doğru pozitif oranı ile aynı şekilde hesaplandığından tarafımızca "doğru pozitif oranı" olarak ifade edilecektir. İlgili çalışmada, dikdörtgen bölge seçimi yoluyla yapılan KDYDS işlemlerinin tespiti ele alınmış olup; döndürme açılarının 0 dereceden 360 dereceye kadar 10'ar derecelik adımlarla belirlendiği ifade edilmiştir. 0 derece açı değerinin 360 derece açı değeri ile aynı olduğu düşünüldüğünde; 0 derece, 90 derece, 180 derece ve 270 derece açı değerleriyle yapılan döndürme işlemlerinde aradeğerleme meydana gelmezken, diğeri açı değerlerinde aradeğerleme kaçınılmaz olacaktır. Bahsedilen açı değerleri kullanılarak yapılan ve herhangi

bir art işlemin söz konusu olmadığı KDYDS deneylerindeki dikdörtgen bölge seçimlerinde 4 farklı blok boyutu tercih edilmiş olup, en başarılı sonuçlar en büyük blok boyutunun (120×120 piksel) seçildiği durumlarda elde edilmiştir. Bu blok boyutunun seçildiği deneylerde elde edilen pozitif öngörü değeri 0.966 iken elde edilen doğru pozitif oranı da 0.836'dır. Belirtilen açı değerleri kullanılarak yapılan ve art işlem olarak farklı kalite faktörlerine sahip JPEG sıkıştırması işlemlerinin gerçekleştirildiği KDYDS deneylerindeki dikdörtgen bölge seçimlerinde de 4 farklı blok boyutu tercih edilmiş olup, en başarılı sonuçlar gene en büyük blok boyutunun (120×120 piksel) seçildiği durumlarda elde edilmiştir. Bu blok boyutunun seçildiği deneylerde elde edilen en yüksek pozitif öngörü değeri 0.916 iken elde edilen en yüksek doğru pozitif oranı da 0.733'tür. İlgili çalışmada, geliştirilmiş olan yöntem serbest biçimli KDYDS işlemlerine karşı da test edilmiştir ancak bu test işlemlerinin başarı oranları hakkında bilgi verilmemiş olup, ilgili test işlemleri sadece hesaplama zamanı yönünden irdelenmiştir. Ayrıca, bahsi geçen yöntem, KDYDS işlemi sonrasında görüntü bulanıklaştırma art işlemi yapılması durumuna karşı test edilmemiştir.

KDYDS tespitini konu alan bir diğer çalışmada döndürme işleminin söz konusu olduğu sahte görüntüler üzerinde yapılan deneylerin sonuçları görsel olarak paylaşılmıştır, ancak çalışmada verilen başarı ölçütleri döndürme işleminin söz konusu olmadığı deneylerden elde edilmiş olup bu nedenle bu çalışma ile geliştirilen yöntem arasında karşılaştırma yapılamamıştır [35].

KDYDS tespitinin konu alındığı diğer bir çalışmada ise yöntemin başarı oranları sayısal verilerle ölçülmemiş, sonuçlar sadece görsel olarak sunulmuştur [33]. Bu nedenle, bu çalışma ile geliştirilen yöntem arasında karşılaştırma yapılamamıştır.

KDYDS tespitini konu alan bir başka çalışmada da yöntemin başarı oranlarına dair herhangi bir sayısal değer verilmediği ve sonuçlar görsel olarak sunulduğu için, ilgili yöntem ile geliştirilen yöntem arasında karşılaştırma yapılamamıştır [29].

Gerek geliştirilen yönteme ait sonuçlar, gerekse yukarıda incelenen yöntemler göz önünde tutulduğunda, geliştirilen yöntemin, gözle anlaşılması mümkün olmayan profesyonel KDYDS'lerin tespitinde kullanılabilecek en uygun yöntem olduğu anlaşılmaktadır. Profesyonel KDYDS'lerde, sahteciliğin gözle anlaşılabilmesi için serbest biçimli bölge seçimi yapılması zorunludur. Yukarıda incelenerek geliştirmiş olduğumuz yöntemle karşılaştırılan yöntemler içerisinde, serbest biçimli bölge seçimi yoluyla yapılan sahteciliklerin tespitinde tatmin edici başarıya sahip olduğu bilinen tek bir yöntem bulunmaktadır [32]. Ancak bahsi geçen yöntem, BMP formatındaki görüntüler üzerinde

sadece 90, 180 ve 270 derecelik açılarla yapılan döndürme işlemlerine karşı test edilmiştir. 90, 180 ve 270 derecelik açılarla yapılan döndürme işlemleri aradeğerlemeye yol açmadığından bunların tespitini yapmak zor değildir. İlgili yöntemin; 90, 180 ve 270 derecelik açılar haricindeki açılarla gerçekleştirilen ve aradeğerlemenin kaçınılmaz olduğu, dolayısı ile sahtecilik tespitinin zorlaştığı KDYDS'ler üzerindeki başarı durumu hakkında herhangi bir bilgi yoktur.

Geliştirilen yöntemin dayanıklılık bakımından literatürdeki diğer yöntemlerle karşılaştırıldığı Tablo 10 ile bu yönteme ait deney sonuçları birlikte incelendiğinde, yöntemin, gözle anlaşılması son derece kolay olan ve tespit edilmeleri için bilgisayar desteğine dahi gerek olmayan, dikdörtgen bölge seçimi ile yapılan amatör KDYDS'lerin tespiti için değil, insan gözüyle anlaşılması mümkün olmayan ve tespit edilebilmeleri için bilgisayar desteğinin gerekli olduğu, serbest bölge seçimi ile yapılan profesyonel KDYDS'lerin tespiti için geliştirildiği ve profesyonel KDYDS'lerin tespitinde başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Ayrıca, geliştirilen yöntemin; hem 90, 180 ve 270 derecelik açılarla yapılan ve aradeğerlemenin söz konusu olmadığı döndürme işlemlerine karşı, hem de 90, 180 ve 270 derecelik açılar haricindeki açılarla yapılan ve aradeğerlemenin kaçınılmaz olduğu döndürme işlemlerine karşı dayanıklı olduğu görülmektedir. Bunların yanında, geliştirilen yöntemin, JPEG sıkıştırması ve görüntü bulanıklaştırma art işlemlerine karşı da dayanıklı olduğu görülmektedir.

KDYDS tespiti sonuçlarına dair 3 farklı tablo incelendiğinde, geliştirilen yöntemin; aradeğerlemenin söz konusu olmadığı açılarla gerçekleştirilen KDYDS deneylerinde, aradeğerlemenin gerçekleştiği açılarla gerçekleştirilen KDYDS deneylerine kıyasla daha başarılı olduğu görülmektedir. Özellikle, bu tablolarda verilen ve hatasızlık değeri ölçütü ile elde edilmiş olan sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, geliştirilen yöntemin; KDYDS tespitini başarılı bir biçimde gerçekleştirdiği, JPEG sıkıştırması ve görüntü bulanıklaştırma art işlemlerinin bozucu etkilerine karşı oldukça dayanıklı olduğu, aradeğerleme işleminden kaynaklanan bozulmalara karşı da yeterince dirençli olduğu sonucuna varılmaktadır.

3.4. KYDS'ler Üzerinde Kaynak-Hedef Ayırımı Yapılmasına Dair Bulgular

Geliştirilen yöntemin başarısını ölçmek adına, Bölüm 2.4.2'de bahsedilen 45 adet KYDS görüntüsünden Bölüm 2.4.3'te anlatılan şekilde çıkarılan özelliklerden oluşan bir veri kümesi kullanılmıştır. Tek bir KYDS görüntüsünden 1×30 boyutunda 1 çift özellik vektörü

elde edildiğinden ve her bir özellik vektörü için bir adet tamsayı sınıf değeri yer aldığından, bahsedilen veri kümesi 90×31 boyutunda olmaktadır. Yani, bu veri kümesinde toplamda 90 adet örnek yer almaktadır ve bu örneklerden 45 tanesinin sınıf değeri 1 iken, geriye kalan 45 tanesinin sınıf değeri de 2'dir.

Yukarıda bahsedilen veri kümesi, satırlar bazında 3 defa karılmış ve bu karma işlemlerinin sonucunda, VK_1 , VK_2 ve VK_3 isimlerinde 3 farklı veri kümesi elde edilmiştir. Elde edilen bu veri kümelerinin her biri üzerinde, DVM sınıflandırıcısı kullanılarak 5 katlamalı çapraz doğrulama işlemi gerçekleştirilmiştir. Çapraz doğrulama işlemlerinin her bir aşamasında, başarı oranı, doğru biçimde sınıflanan test örneği sayısının toplam test örneği sayısına oranı olarak hesaplanmıştır. Bahsi geçen üç veri kümesinin her biri üzerinde yapılan çapraz doğrulama işlemlerine ait ortalama başarı oranları Tablo 11'de verilmiştir. Bu çapraz doğrulama işlemlerinden elde edilen ortalama başarı oranlarının da ortalamalarının alınmasıyla hesaplanan genel ortalama başarı oranı ise %82.59 olarak bulunmuştur.

Tablo 11. KYDS'ler üzerinde kaynak-hedef ayırımı deneylerine ait başarı oranları

	<i>Veri Kümeleri</i>			<i>Genel Ortalama</i>
	VK_1	VK_2	VK_3	
<i>Başarı Oranları</i>	%81.11	%83.33	%83.33	%82.59

DVM sınıflandırıcısının yapılandırılması esnasında, en başarılı sınıflandırma sonuçlarını vermiş olması nedeniyle, doğrusal çekirdek fonksiyonu tercih edilmiştir. Bölüm 2.4.1'de bahsedilen *bias* parametresinin değeri ise deneysel olarak belirlenmiştir.

Literatürde KYDS'ler üzerinde kaynak bölge-hedef bölge ayırımı yapılmasını konu alan başka herhangi bir çalışmaya rastlanmadığından, başka herhangi bir yöntemle karşılaştırma yapmak da mümkün olmamıştır. Elde etmiş olduğumuz genel ortalama başarı oranının tatmin edici düzeyde olduğu kanaatindeyiz.

3.5. Görüntü Gezdirmeye Yaklaşımının Sahtecilik Tespiti Başarısına Etkisi

Tez kapsamında geliştirilmiş olan ve Bölüm 2.1'de, Bölüm 2.2'de ve Bölüm 2.3'te ayrıntılı biçimde açıklanan sahtecilik tespit yöntemleri blok temelli olmalarına karşın, blok

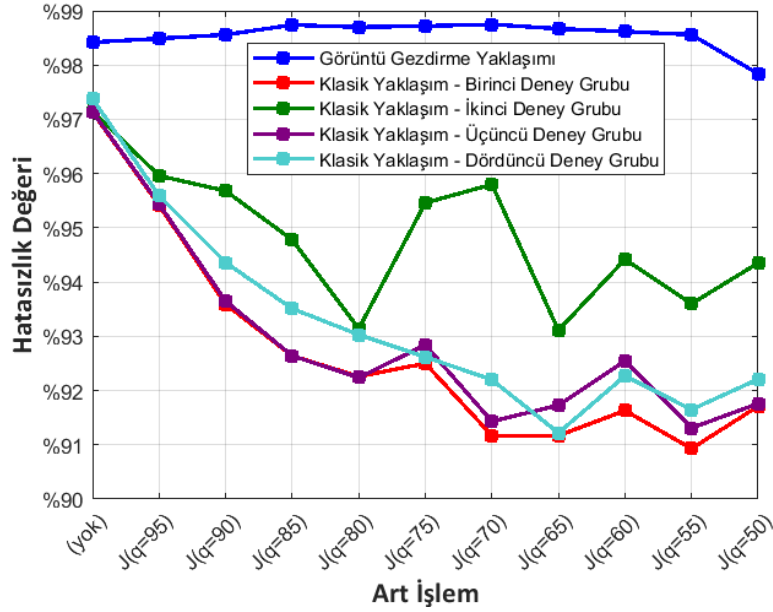
temelli klasik yöntemlerden farklı olarak, blok eşleştirme mekanizmasını sadece birbirinin kopyası olan görüntü bölgelerinin konumlarını belirlemek amacıyla kullanmaktadırlar; sahte bölgelerin kesin tespitini ise, kısaca "görüntü gezdirme yaklaşımı" olarak da adlandırabilecek olan, şüpheli görüntü üzerinde belirlenen konumlarda bu görüntünün kopyasını gezdirerek kesişen bölgelerin farklarını hesaplamaya dayanan yeni ve özgün bir yaklaşım ile gerçekleştirmektedirler. Bu yaklaşıma gerek duyulmasındaki iki temel nedenden birincisi, sahteciliğe konu olan görüntülere uygulanan art işlemlerin bozucu etkileri arttıkça eşleşen blok sayılarının azalması ve bunun doğal sonucu olarak da sahtecilik tespit işleminin başarısının düşmesidir. İkinci neden ise, serbest biçimli bölge seçiminin söz konusu olduğu sahteciliklerde, benzerlikleri kontrol edilen blokların, sahteciliğe konu olan bölgelerin dış yüzeyleri ile tam olarak eşleşmemeleri sonucunda sahtecilik tespit işleminin başarısının düşmesidir. İkinci nedene bağlı olarak belirtilen problemin olumsuz etkilerini azaltmak için blok boyutunun küçük tutulması alternatif bir yaklaşım olarak görülebilir ancak blok boyutu küçüldükçe blokta tutulan bilgi miktarı da azalacağı için, benzeşmeyen nesnelerin benzer yapıdaki küçük bölgeleri birbirleriyle eşleştirilecek, hatalı eşleştirmelerin sayısı artacaktır. Dolayısıyla, önermiş olduğumuz yaklaşım ile, sahtecilik tespit işlemlerinin hem yüksek başarıyla hem de art işlemlerin bozucu etkilerine karşı dayanıklı ve kararlı biçimde gerçekleştirilmesinin hedeflendiğini ifade edebiliriz. Önermiş olduğumuz yaklaşım ile sahteciliğe konu olan bölgeler birer bütün olarak ele alınmakta, art işlemlerin bozucu etkilerinin artmasına bağlı olarak bu bölgelerin eşleştirilmesinde kullanılan blokların sayılarının azalması durumu sahtecilik tespiti işleminin başarısını olumsuz yönde etkileyen bir etken olmaktan çıkmaktadır.

Görüntü gezdirme yaklaşımının sahtecilik tespiti başarısına etkisini inceleyebilmek amacıyla, SBKYDS veri kümesinde yer alan deney görüntülerinden 11 tanesi seçilmiştir. Bu 11 görüntünün tamamı birebir aynı sahtecilik işleminin sonucunda elde edilmiş olup, bunlardan 1 tanesi sahtecilik işleminin ardından herhangi bir art işleme maruz kalmamışken, diğer 10 tanesinden her birine, sahtecilik işlemi sonrasında, diğerlerine uygulananlardan farklı kalite faktörüne sahip JPEG sıkıştırması art işlemi uygulanmıştır. Seçilen deney görüntüleri üzerinde, Bölüm 2.1'de ele alınan KYDS tespit algoritması ile daha önceden yapılmış olan deneylere alternatif olarak, sonuç görüntülerinin eşleşen blokların işaretlenmesi yoluyla elde edildiği klasik yaklaşımla yeni deneyler yapılmıştır. Klasik yaklaşımın uygulanması sürecinde, Bölüm 2.1'de ayrıntılı olarak açıklanan KYDS tespit algoritmasının görüntü gezdirme mekanizması devre dışı bırakılarak, doğrudan, eşleşen

blokların işaretlenmesi yoluyla sonuç elde edilmiştir. Yeni deneyler yapılırken, karşılaştırmanın adil olması amacıyla, bu deneylerdeki eşleşen blok sayılarının olabildiğince fazla olmasına önem verilmiştir. Bu kapsamda, öncelikle, serbest biçimli KYDS işleminin söz konusu olduğu deney görüntülerinin dış yüzeylerinde daha fazla eşleşme gerçekleşebilmesi amacıyla blok boyutu küçük tutulmuş olup, blok boyutunu belirten B parametresinin değeri 7 olarak belirlenmiştir. Sonrasında ise, yukarıda belirtilen 11 adet deney görüntüsü kullanılarak, her biri 11'er adet deney içeren dört farklı deney grubu oluşturulmuş ve toplamda 44 adet yeni deney yapılmıştır. Birinci deney grubunda, $B=7$ değeri için, değerlerinin kullanıcı tarafından belirlenmesi gereken diğer tüm parametrelerin değerleri, 11 deney görüntüsünün tamamında sahte bölgeler arasında blok eşleşmesi meydana gelecek ve sahte bölgeler dışında blok eşleşmesi olmayacak biçimde belirlenmiş olup, 11 deneyin tamamı bu parametre değerleri kullanılarak yapılmıştır. Geriye kalan diğer üç deney grubunda ise, eşleşen blok sayılarının artırılması için birbirinden farklı adımlar atılmıştır. Geliştirilen KYDS tespit yönteminde, eşleşen blokların sayısının artırılması için algoritmanın seçiciliğinin azaltılması gerekmektedir. Elbette, seçiciliğin azalması da görüntü üzerindeki benzer olmayan bölgelerin benzermiş gibi algılanmasına yol açabilecektir. Geliştirilen KYDS tespit yönteminde, seçiciliğin belirlenmesinde kullanılan 4 ana parametre; SU_{MAKS} , OK_{MIN} , EC ve BF_{MAKS} parametreleridir. OK_{MIN} parametresi daha çok görüntünün boyutuna bağlı olarak belirlenmesi gereken bir parametre iken, diğer üç parametre için bu durum söz konusu değildir. SU_{MAKS} ile BF_{MAKS} parametrelerinin değerlerinin artırılması, EC parametresinin ise değerinin azaltılması algoritmanın seçiciliğinin azalmasına yol açmaktadır. İkinci deney grubunda, birinci gruptaki deneylerde kullanılan SU_{MAKS} haricindeki tüm parametrelerin değerleri aynen kullanılmış, SU_{MAKS} parametresinin değeri ise, 11 deneyden her biri için, sahteciliğe konu olan bölgeler dışında blok eşleşmesi olmaması şartını sağlayan en büyük değer olarak ayrı ayrı belirlenmiştir. Üçüncü deney grubunda, birinci gruptaki deneylerde kullanılan BF_{MAKS} haricindeki tüm parametrelerin değerleri aynen kullanılmış, BF_{MAKS} parametresinin değeri ise, 11 deneyden her biri için, sahteciliğe konu olan bölgeler dışında blok eşleşmesi meydana gelmemesi şartını sağlayan en büyük değer olarak ayrı ayrı belirlenmiştir. Dördüncü deney grubunda ise, birinci gruptaki deneylerde kullanılan EC haricindeki tüm parametrelerin değerleri aynen kullanılmış, EC parametresinin değeri ise, 11 deneyden her biri için, sahteciliğe maruz kalan bölgeler dışında blok eşleşmesi olmaması şartını sağlayan en küçük değer olarak ayrı ayrı belirlenmiştir. İkinci, üçüncü ve dördüncü deney gruplarında yer alan 11'er adet deneyin

tamamında, algoritmanın seçiciliği, sahtecilik işlemine maruz bırakılan bölgeler haricinde blok eşleşmesi gerçekleşmemesi kaydıyla düşürülerek, sahtecilik işleminin gerçekleştiği bölgelerdeki eşleşen blok sayılarının olabildiğince artırılması hedeflenmiştir.

Şekil 43'te; bahsi geçen dört deney grubunda yer alan deneylere ait sonuçlar, bu deney gruplarında kullanılan deney görüntüleri üzerinde Bölüm 2.1'de ele alınan KYDS tespit algoritması kullanılarak, yani görüntü gezdirmeye yaklaşımından yararlanılarak gerçekleştirilmiş olan deneylere ait sonuçlar ile birlikte; deney görüntülerinde yer alan tüm görüntü piksellerinin hesaba katıldığı bir başarı ölçütü olan, doğru biçimde etiketlenen toplam piksel sayısının görüntüye ait toplam piksel sayısına oranlanmasıyla hesaplanan ve ifade (42)'de yer alan hatasızlık değeri ölçütü kullanılarak gösterilmiştir.



Şekil 43. Görüntü gezdirmeye yaklaşımının sahtecilik tespiti başarısına etkisi konusunda yapılan deneylere ait hatasızlık değerleri

Şekil 43'te yer alan çizgede, veri noktalarının her biri tek bir deney sonucunda elde edilmiştir. Deney görüntüleri üzerinde gerçekleştirilen art işlemler yatay ekseninde gösterilmiştir. Yatay ekseninde yer alan "J" ifadeleri, yanlarında belirtilen kalite faktörlerine sahip JPEG sıkıştırması işlemlerini temsil etmektedir. Çizgede, yatay ekseninde soldan sağa doğru gidildikçe art işlemlerin bozucu etkilerinin artıyor olması bir süreklilik durumu oluşturduğundan, veri noktaları birbirlerine bağlanarak sürekli bir gösterim elde edilmiştir.

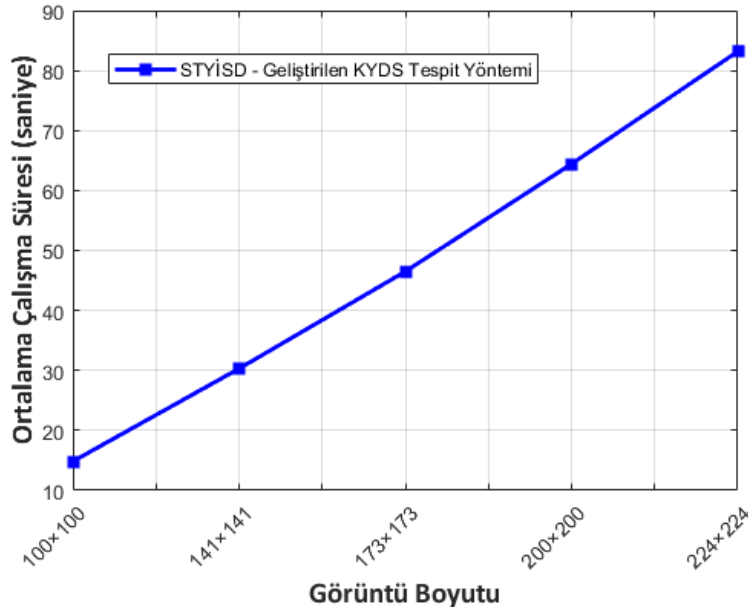
Şekil 43 incelendiğinde, tez kapsamında geliştirilmiş olan görüntü gezdirme yaklaşımının, eşleştirilen blokların işaretlenmesine dayanan klasik yaklaşım karşısında gerek başarı yönünden, gerekse art işlemlerin bozucu etkilerine karşı kararlılık yönünden dikkate değer ölçüde üstünlük gösterdiği sonucuna varılmaktadır.

3.6. Geliştirilen KYDS ve KDYDS Tespit Yöntemlerinin Girdi Boyutu ve İşlem Süresi Yönünden Değerlendirilmesi

Tez kapsamında; Bölüm 2.1'de incelenen KYDS tespit yöntemi ile Bölüm 2.3'te incelenen KDYDS tespit yöntemi olmak üzere iki temel sahtecilik tespit algoritması geliştirilmiş olup, Bölüm 2.2'de ele alınan KÖYDS tespit yöntemi, KYDS tespit yöntemin özelleştirilmiş bir hâlidir. Bahsedilen iki temel algoritmayı girdi boyutu ve işlem süresi yönünden değerlendirebilmek adına, tarafımızca STYİSD (Sahtecilik Tespit Yöntemleri İçin Süre Değerlendirmesi) veri kümesi [102] hazırlanmıştır. STYİSD veri kümesi; KYDS ve KDYDS olmak üzere iki alt veri kümesinden oluşmaktadır. KYDS alt veri kümesinde, bir serbest biçimli KYDS işleminin ardından farklı boyutlarda kaydedilmiş olan 5 farklı KYDS görüntüsü bulunmaktadır. KDYDS alt veri kümesinde ise, döndürme açısının saat yönünün tersi yönde 90 derece olduğu bir serbest biçimli KDYDS işleminin ardından farklı boyutlarda kaydedilmiş olan 5 farklı KDYDS görüntüsü yer almaktadır. Her iki alt veri kümesinde yer alan görüntülerin tamamı BMP formatında olup, bu görüntüler, sahtecilik işleminin ardından yeniden boyutlandırılmaları için gerekli olan ölçekleme işleminin haricinde herhangi bir art işleme tabi tutulmamışlardır. STYİSD veri kümesinde yer alan görüntülerin elde edilmesi için gerçekleştirilen KYDS ve KDYDS işlemlerinde kopyalanan bölgeler tek bir kez yapıştırılmış olup, kopyalama ve yapıştırma işlemlerine konu olan görüntü bölgeleri birbirleriyle veya görüntünün kenarlarıyla kesişmemektedirler. Her bir alt veri kümesinde bulunan 5'er adet görüntünün boyutları 100×100 , 141×141 , 173×173 , 200×200 ve 224×224 olarak belirlenmiştir. Bu görüntülerin içerdikleri piksel sayıları ise sırasıyla 10000, 19881 (yani yaklaşık 20000), 29929 (yani yaklaşık 30000), 40000 ve 50176 (yani yaklaşık 50000)'dir. Bu boyutların seçilmesinin nedeni, sahtecilik tespit algoritmalarına girdi olarak verilen görüntülerin piksel sayılarındaki artışlara karşılık algoritmaların çalışma sürelerindeki artışların kolay bir biçimde değerlendirilebilmesidir.

Bölüm 2.1'de detaylı olarak açıklanan KYDS tespit algoritmasına, STYİSD veri kümesinin KYDS alt veri kümesinde bulunan 5 farklı görüntünün her biri 5'er kez verilmiş

ve her defasında, algoritmanın çalışmaya başlamasından sonuç görüntüsü üretmesine kadar geçen süreler MATLAB R2017b'de yer alan *tic* ve *toc* komutları kullanılarak ölçülmüştür. Görüntülerin her biri için 5'er kez ölçülen çalışma sürelerinden en kısa ve en uzun olanlarının elenmesinin ardından geriye kalan 3'er çalışma süresinin ortalamaları hesaplanmıştır. Her bir görüntü için elde edilen ortalama çalışma süreleri Şekil 44'te yer almakta olup, görüntülerin boyutları yatay eksende belirtilmiştir.

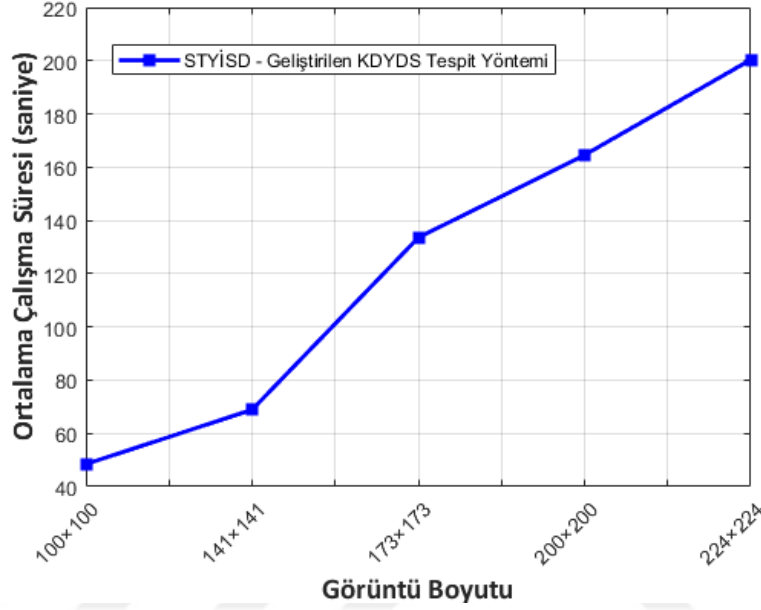


Şekil 44. Geliştirilen KYDS tespit yönteminin STYİSD veri kümesinde yer alan farklı boyutlardaki KYDS görüntüleri için ortalama çalışma süreleri

Yukarıda belirtilen 5 farklı görüntü üzerinde gerçekleştirilen KYDS tespiti deneylerinin tamamında; blok boyutunu belirten B parametresinin değeri 11 olarak, BF_{MAKS} parametresinin değeri 2600 olarak, EC parametresinin değeri 1700 olarak, OK_{MIN} parametresinin değeri 30 olarak, SU_{MAKS} parametresinin değeri 5 olarak, U_G parametresinin değeri 5 olarak, U_{GEZ} parametresinin değeri 10 olarak, τ_F parametresinin değeri ise 12 olarak seçilmiştir.

Benzer şekilde, Bölüm 2.3'te ayrıntılarıyla ele alınan KDYDS tespit algoritmasına, STYİSD veri kümesinin KDYDS alt veri kümesinde bulunan 5 farklı görüntünün her biri 5'er kez verilmiş ve her defasında, algoritmanın çalışmaya başlamasından sonuç görüntüsü üretmesine kadar geçen süreler MATLAB R2017b'de yer alan *tic* ve *toc* komutlarından

yararlanılarak ölçülmüştür. Görüntülerin her biri için 5'er kez ölçülen çalışma sürelerinden en kısa ve en uzun olanları elenerek geriye kalan 3'er çalışma süresinin ortalamaları hesaplanmıştır. Her bir görüntü için elde edilen ortalama çalışma süreleri Şekil 45'te verilmiş olup, görüntülerin boyutları yatay eksende belirtilmiştir.



Şekil 45. Geliştirilen KDYDS tespit yönteminin STYİSD veri kümesinde yer alan farklı boyutlardaki KDYDS görüntüleri için ortalama çalışma süreleri

Yukarıda belirtilen 5 farklı görüntü üzerinde gerçekleştirilen KDYDS tespiti deneylerinin tamamında; blok boyutunu belirten B parametresinin değeri 13 olarak, D_{TOL} parametresinin değeri 3 olarak, E_C parametresinin değeri 300 olarak, h_{θ} parametresinin değeri 5 olarak, OK_{MIN} parametresinin değeri 30 olarak, SF_{MAKS} parametresinin değeri 6 olarak, SU_{MAKS} parametresinin değeri 150 olarak, U_{GEZ} parametresinin değeri 10 olarak, YON_{VDO} mantıksal parametresinin değeri "yanlış" olarak, μ_A parametresinin değeri 9 olarak, μ_B parametresinin değeri 9 olarak, τ_F parametresinin değeri ise 9 olarak seçilmiştir. Bahsedilen deneylerde E_G parametresinin değeri $[122, 206]$ kapalı aralığında, eşleşen blok sayısı her bir deneyde 10 olacak biçimde, deneysel olarak belirlenmiştir. E_G parametresinin değerinin tüm deneylerde eşit sayıda blok eşleşecek biçimde belirlenmesinin nedeni, döndürme açısının tespiti esnasında eşleşen blokların tamamının kullanılıyor olması ve eşleşen blok sayısındaki artışın algoritmanın çalışma süresini ciddi ölçüde artırıyor

olmasıdır. Eşleşen blok sayılarının tüm deneylerde aynı tutulması yoluyla, geliştirilen KDYDS tespit algoritmasının çalışma süresinin girdi boyutu ile olan ilişkisinin daha sağlıklı bir biçimde değerlendirilebilmesi amaçlanmıştır.

Şekil 44'te ve Şekil 45'te yer alan çizgelerin her ikisinde de yatay ekseninde soldan sağa doğru gidildikçe görüntülerin toplam piksel sayılarının artıyor olması bir süreklilik durumu oluşturduğundan, veri noktaları birbirlerine bağlanarak sürekli bir gösterim elde edilmiştir.

Şekil 44 ile Şekil 45 birlikte incelendiğinde; tez kapsamında geliştirilen iki temel sahtecilik tespit algoritmasının çalışma sürelerinin, bu algoritmalara girdi olarak verilen şüpheli görüntülerin piksel sayılarındaki artışla birlikte doğrusala yakın bir biçimde artış gösterdiği sonucuna ulaşılmaktadır.

Bahsedilen deneylerin tamamı, Intel Core i7 4710MQ işlemciye ve 8 GB belleğe sahip, Windows 8.1 (64 bit) işletim sistemi yüklü bir dizüstü bilgisayar üzerinde, MATLAB R2017b kullanılarak yapılmıştır. Deneyler yapılmadan önce, sistem kaynaklarını yoğun biçimde ve düzensiz olarak kullanması söz konusu olabilecek olan uygulamalar devre dışı bırakılmış olup, bahse konu olan tüm deneyler aynı şartlar altında ve art arda gerçekleştirilmiştir.

4. SONUÇLAR

Tez kapsamında serbest biçimli KYDS'lerin tespiti amacıyla geliştirmiş olduğumuz ve blok temelli olan sahtecilik tespit yönteminin aynı amaçla geliştirilen ve blok temelli olan diğer yöntemlerden oldukça farklı ve özgün bir çalışma ilkesine sahip olduğunu ifade etmemiz gerekir. Bahse konu olan diğer yöntemlerin benzer bloklara ait bölgeleri işaretleyerek sonuç elde etmek üzerine odaklanmış olmalarına karşın geliştirdiğimiz yöntemin şüpheli bölgelerin tamamını doğrudan tespit ederek sonuç elde etmek üzerine odaklanmış olması, bunun somut kanıtıdır. Böylelikle, literatürde güncel ve önemli bir yere sahip olan KYDS tespiti konusu, yepyeni ve tamamen orijinal bir bakış açısı ile ele alınmıştır. Buradaki asıl amacımız aynı problemi farklı bir yolla çözmek değil, yüksek başarı oranlarına ulaşmanın yanı sıra art işlemlerin sahtecilik tespitini zorlaştıran etkilerine karşı kararlı bir performans elde etmek olmuştur. Geliştirmiş olduğumuz yöntemle ait deney sonuçları incelendiğinde yöntemimizin; başarı oranları ve kararlılık bakımından karşılaştırmaya tabi tutulan diğer yöntemlere karşı üstünlük sağladığı; blok temelli olan ve serbest biçimli KYDS tespitini konu alan geleneksel yöntemlerin aksine değişen kalite faktörlerine sahip JPEG sıkıştırması art işlemleri karşısında kararlı bir performans sergilediği; değişen kalite faktörleriyle gerçekleştirilen JPEG sıkıştırması art işlemleri ile görüntü bulanıklaştırma art işlemlerinin arka arkaya uygulanması durumlarına karşı dayanıklı olduğu görülmektedir. Geliştirmiş olduğumuz yöntemin, literatüre, sadece başarılı biçimde sahtecilik tespiti yapması ile değil, sahteciliğin tespitini zorlaştırmayı hedefleyen art işlemlerin farklı şiddetlerdeki bozucu etkileri karşısında sergilediği kararlı performansla da katkı sağladığını açıkça ifade edebiliriz. Deney sonuçları değerlendirildiğinde, art işlem olarak hem JPEG sıkıştırmasına hem de görüntü bulanıklaştırma işlemine tabi tutulan KYDS görüntülerinin kullanıldığı deneyler için, bu iki art işlemin uygulanış sırasının sahtecilik tespiti başarı oranlarını etkilediği söylenebilir; ancak bu art işlemlerin uygulanış sırası ne olursa olsun, geliştirilen yöntemin kararlılığını koruduğunu ifade etmek mümkündür. Geliştirilen KYDS tespit yöntemi, serbest biçimli bölge seçimi yoluyla yapılan çoklu KYDS işlemlerinin tespitini de başarılı bir biçimde gerçekleştirebilmektedir. Ayrıca, ÖNİOG veri kümesinde yer alan görüntüler kullanılarak yapılan deneyler de göz önünde bulundurulduğunda, geliştirmiş olduğumuz yöntemin, KYDS işlemine maruz kalmış sahte

görüntüleri ve sahtecilik işlemine tabi tutulmamış ancak özdeş nesnelere ya da birbirini tekrar eden örüntüler içeren görüntüleri başarılı biçimde ayırt edebildiği ifade edilebilir.

Tez kapsamında geliştirilen ve KYDS tespit yönteminin özelleştirilmiş bir hâli olan KÖYDS tespit yöntemine ait deney sonuçları incelendiğinde, yöntemin, serbest biçimli bölge seçimi yoluyla yapılan KÖYDS işlemlerini başarıyla ve JPEG sıkıştırması ile görüntü bulanıklaştırma art işlemlerine karşı dayanıklı biçimde tespit edebildiği, değişen ölçekleme değerlerine karşı kararlı bir performans sergilediği görülmektedir.

Gene tez kapsamında serbest biçimli KÖYDS'lerin tespiti alanında geliştirmiş olduğumuz ve blok temelli olan sahtecilik tespit yöntemi, geliştirmiş olduğumuz diğer bir yöntem olan KYDS tespit yöntemine benzer biçimde, birbirinin kopyası olan bölgeler üzerinde tespit edilerek eşleştirilen bloklara odaklanmak yerine bu bölgelerin tamamına odaklanmaktadır. Bahsi geçen yöntemde deney sonuçları incelendiğinde, yöntemin; hem aradeğerlemenin olmadığı 90, 180 ve 270 derecelik açılarla yapılan KÖYDS'lerin, hem aradeğerlemenin zorunlu olarak meydana geldiği ve 90, 180 ve 270 derecelik açıların dışında kalan açılarla yapılan KÖYDS'lerin, hem de döndürme işleminin söz konusu olmadığı sıradan KYDS'lerin tespitini başarılı bir biçimde gerçekleştirdiği görülmektedir. Bunun yanında, ilgili deney sonuçları, geliştirilen yöntemin art işlem olarak gerçekleştirilen JPEG sıkıştırması ve görüntü bulanıklaştırma işlemlerine karşı dayanıklı olduğunu göstermektedir. Ayrıca, Bölüm 2.3.2'de anlatılan ve E_G parametresi kullanılarak yapılan eleme işlemi, literatürdeki blok eşleştirmeye dayalı sahtecilik tespit yöntemlerinde kullanılmayan yepyeni bir yaklaşım olup, literatüre tarafımızca kazandırılmıştır.

Tez kapsamında geliştirilen KYDS, KÖYDS ve KÖYDS tespit yöntemleri tüm görüntü piksellerinin hesaba katıldığı tek başarı ölçütü olan ve ifade (42)'de verilen hatasızlık değeri ölçütü ışığında değerlendirildiklerinde, bu ölçüt kullanılarak elde edilen deney sonuçlarından hareketle, bu yöntemlerin sahtecilik tespit işlemlerindeki başarılarının oldukça yüksek olduğu ifade edilebilir.

Tez kapsamında geliştirilen KYDS, KÖYDS ve KÖYDS tespit yöntemlerinin başarılarının değerlendirilmesi amacıyla yapılan deneylerde insan gözüyle dahi anlaşılabilir nitelikte olan ve dikdörtgen bölge seçimi yoluyla yapılan amatör sahteciliklere yer verilmemesiyle, yani bu deneylerde yalnızca serbest bölge seçimi yoluyla yapılan profesyonel sahteciliklerin ele alınmasıyla, çalışmanın ciddiyetinin ve kalitesinin artırılması hedeflenmiştir.

Geliştirilen KYDS, KÖYDS ve KDYDS tespit yöntemleri, sahtecilik işlemine konu olan bölgelerin birbirleriyle veya görüntünün kenarlarıyla kesişmeleri durumunda sahtecilik tespitinde başarılı olamamaktadırlar. Ayrıca, JPEG sıkıştırması art işleminin çok düşük kalite faktörü ile (görüntüde ciddi anlamda kalite kaybına yol açacak biçimde) gerçekleştirilmesi de bahsedilen yöntemlerin başarılı biçimde sahtecilik tespiti yapmalarını engelleyecektir.

Tez kapsamında geliştirilmiş olan ve KYDS'ler üzerinde kaynak bölge-hedef bölge ayrımı yapılmasını konu alan yöntemin, böylesi bir işlemi konu alan başka bir çalışmaya rastlanmamış olması nedeniyle, literatüre önemli bir katkı sunduğu ifade edilebilir.



5. ÖNERİLER

İleriye yönelik çalışma konusu olarak; tez kapsamında geliştirmiş olduğumuz yöntemlerde yer alan ve değerlerinin kullanıcı tarafından deneysel olarak belirlenmesi gereken parametrelerin değerlerinin otomatik olarak belirlenmesine olanak sağlayacak ek yöntemler geliştirilmesini önermekteyiz.

İleriye yönelik diğer bir çalışma konusu olarak; geliştirmiş olduğumuz KYDS, KÖYDS ve KDYDS tespit algoritmalarına, kopyalamaya konu olan bölgelerin birbirleriyle veya görüntünün kenarlarıyla kesişmeleri durumunda da sahtecilik tespiti yapılmasını mümkün kılacak niteliklerin kazandırılmasını önermekteyiz.

Ayrıca, KYDS'ler üzerinde kaynak bölge-hedef bölge ayrımı yapılması amacıyla geliştirmiş olduğumuz yöntemin, daha yüksek başarı oranları elde edilebilmesi adına, farklı türde sınıflandırıcılar kullanılarak denenmesini de ileriye yönelik çalışma konusu olarak önermekteyiz.

6. KAYNAKLAR

1. Marques, J. S., Barata, C., ve Mendonça, T., On the Role of Texture and Color in the Classification of Dermoscopy Images, Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Eylül 2012, San Diego, Bildiriler Kitabı, 4402 - 4405.
2. Garcia-Lamont, F., Cervantes, J., López, A., ve Rodriguez, L., Segmentation of Images by Color Features: A Survey, Neurocomputing, 292 (2018) 1-27.
3. Zhen, Z., Yang, Z., Yuchou, L., Youjie, Y., ve Xurui, L., IP Camera-Based LSPIV System for On-Line Monitoring of River Flow, 13th IEEE International Conference on Electronic Measurement & Instruments (ICEMI), Ekim 2017, Jiangsu, Bildiriler Kitabı, 357 - 363.
4. Khan, A. ve Khan, A., Lossless Colour Image Compression using RCT for bi-Level BWCA, Signal, Image and Video Processing, 10,3 (2016) 601-607.
5. Xiao, B., Wei, Y., Bi, X., Li, W., ve Ma, J., Image Splicing Forgery Detection Combining Coarse to Refined Convolutional Neural Network and Adaptive Clustering, Information Sciences, 511 (2020) 172-191.
6. Revi K, R. ve Wilscy, M., Pretrained Convolutional Neural Networks as Feature Extractor for Image Splicing Detection, International Conference on Circuits and Systems in Digital Enterprise Technology, ICCSDET, Aralık 2018, Kottayam, Bildiriler Kitabı, 1 - 5.
7. Roy, A., Bhalang Tariang, D., Subhra Chakraborty, R., ve Naskar, R., Discrete Cosine Transform Residual Feature Based Filtering Forgery and Splicing Detection in JPEG Images, Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, Haziran 2018, Salt Lake City, Bildiriler Kitabı, 1552 - 1560.
8. Abdosalehi, S.-E. ve Mahmoodi-Aznavah, A., Splicing Localization in Tampered Blurred Images, 4th International Conference on Pattern Recognition and Image Analysis (IPRIA), Mart 2019, Tehran, Bildiriler Kitabı, 46 - 51.
9. Tambo, A., Albright, M., ve McCloskey, S., Low-and Semantic-Level Cues for Forensic Splice Detection, IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV), Ocak 2019, Hawaii, Bildiriler Kitabı, 1664 - 1672.
10. Chen, B., Gao, Y., Xu, L., Hong, X., Zheng, Y., ve Shi, Y.-Q., Color Image Splicing Localization Algorithm by Quaternion Fully Convolutional Networks and Superpixel-Enhanced Pairwise Conditional Random Field, Mathematical Biosciences and Engineering, 16,6 (2019) 6907-6922.

11. Mire, A. V., Dhok, S. B., Mistry, N. J., ve Porey, P. D., Automated Approach for Splicing Detection using First Digit Probability Distribution Features, EURASIP Journal on Image and Video Processing, 2018 (2018) 1-11.
12. Liu, Y., Zhu, X., Zhao, X., ve Cao, Y., Adversarial Learning for Constrained Image Splicing Detection and Localization based on Atrous Convolution, IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 14,10 (2019) 2551-2566.
13. Zhang, Q., Lu, W., Wang, R., ve Li, G., Digital Image Splicing Detection based on Markov Features in Block DWT Domain, Multimedia Tools and Applications, 77,23 (2018) 31239-31260.
14. Pham, N. T., Lee, J.-W., Kwon, G.-R., ve Park, C.-S., Efficient Image Splicing Detection Algorithm based on Markov Features, Multimedia Tools and Applications, 78,9 (2019) 12405-12419.
15. Zhang, D., Wang, X., Zhang, M., ve Hu, J., Image Splicing Localization using Noise Distribution Characteristic, Multimedia Tools and Applications, (2019) 1-25.
16. Zhu, N. ve Li, Z., Blind Image Splicing Detection via Noise Level Function, Signal Processing: Image Communication, 68 (2018) 181-192.
17. Islam, M. M., Karmakar, G., Kamruzzaman, J., Murshed, M., Kahandawa, G., ve Parvin, N., Detecting Splicing and Copy-Move Attacks in Color Images, Digital Image Computing: Techniques and Applications (DICTA), Aralık 2018, Canberra, Bildiriler Kitabı, 1 - 7.
18. Prakash, C. S., Kumar, A., Maheshkar, S., ve Maheshkar, V., An Integrated Method of Copy-Move and Splicing for Image Forgery Detection, Multimedia Tools and Applications, 77,20 (2018) 26939-26963.
19. Parashar, A., Upadhyay, A. K., ve Gupta, K., An Effectual Classification Approach to Detect Copy-Move Forgery using Support Vector Machines, Multimedia Tools and Applications, 78,20 (2019) 29413-29429.
20. Ikhlail, M., Hariadi, M., ve Pumama, I. K. E., Modified Multi-Scale Feature Extraction for Copy-Move Forgery Detection Based on CMD-SIFT, International Conference on Computer Engineering, Network and Intelligent Multimedia (CENIM), Kasım 2018, Surabaya, Bildiriler Kitabı, 260 - 264.
21. Ramirez-Gutierrez, K., Sanchez-Perez, G., ve Perez-Meana, H., Copy-Move Forgery Detection Algorithm using Frequency Transforms, SURF and MSER, 7th International Workshop on Biometrics and Forensics (IWBF), Mayıs 2019, Quintana Roo, Bildiriler Kitabı, 1 - 6.
22. Wang, X.-Y., Jiao, L.-X., Wang, X.-B., Yang, H.-Y., ve Niu, P.-P., Copy-Move Forgery Detection based on Compact Color Content Descriptor and Delaunay Triangle Matching, Multimedia Tools and Applications, 78,2 (2019) 2311-2344.

23. Ouyang, J., Liu, Y., ve Liao, M., Robust Copy-Move Forgery Detection Method using Pyramid Model and Zernike Moments, Multimedia Tools and Applications, 78,8 (2019) 10207-10225.
24. Dixit, R. ve Naskar, R., Region Duplication Detection in Digital Images Based on Centroid Linkage Clustering of Key-Points and Graph Similarity Matching, Multimedia Tools and Applications, 78,10 (2019) 13819-13840.
25. Li, Y. ve Zhou, J., Fast and Effective Image Copy-Move Forgery Detection via Hierarchical Feature Point Matching, IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 14,5 (2018) 1307-1322.
26. Prakash, C. S., Panzade, P. P., Om, H., ve Maheshkar, S., Detection of Copy-Move Forgery using AKAZE and SIFT Keypoint Extraction, Multimedia Tools and Applications, (2019) 1-24.
27. Huang, H.-Y. ve Ciou, A.-J., Copy-Move Forgery Detection for Image Forensics using the Superpixel Segmentation and the Helmert Transformation, EURASIP Journal on Image and Video Processing, 2019 (2019) 68.
28. Pavlović, A., Glišović, N., Gavrovska, A., ve Reljin, I., Copy-Move Forgery Detection based on Multifractals, Multimedia Tools and Applications, (2019) 1-24.
29. Li, W. ve Yu, N., Rotation Robust Detection of Copy-Move Forgery, IEEE International Conference on Image Processing, Eylül 2010, Hong Kong, Bildiriler Kitabı, 2113 - 2116.
30. Yu, L., Han, Q., ve Niu, X., Copy-Rotation-Move Forgery Detection using the MROGH Descriptor, IEEE International Conference on Cloud Engineering, Mart 2014, Boston, Bildiriler Kitabı, 510 - 513.
31. Wu, Y., Deng, Y., Duan, H., ve Zhou, L., Dual Tree Complex Wavelet Transform Approach to Copy-Rotate-Move Forgery Detection, Science China Information Sciences, 57,1 (2014) 1-12.
32. Fadl, S. M., Semary, N. A., ve Hadhoud, M. M., Copy-Rotate-Move Forgery Detection Based on Spatial Domain, 9th International Conference on Computer Engineering & Systems (ICCES), Aralık 2014, Kahire, Bildiriler Kitabı, 136 - 141.
33. Huang, H., Guo, W., ve Zhang, Y., Detection of Copy-Move Forgery in Digital Images using SIFT Algorithm, IEEE Pacific-Asia Workshop on Computational Intelligence and Industrial Application, Aralık 2008, Wuhan, Bildiriler Kitabı 2: 272 - 276.
34. Ryu, S.-J., Kirchner, M., Lee, M.-J., ve Lee, H.-K., Rotation Invariant Localization of Duplicated Image Regions Based on Zernike Moments, IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 8,8 (2013) 1355-1370.

35. Liu, G., Wang, J., Lian, S., ve Wang, Z., A Passive Image Authentication Scheme for Detecting Region-Duplication Forgery with Rotation, Journal of Network and Computer Applications, 34,5 (2011) 1557-1565.
36. Bravo-Solorio, S. ve Nandi, A. K., Passive Forensic Method for Detecting Duplicated Regions Affected by Reflection, Rotation and Scaling, 17th European Signal Processing Conference, Ağustos 2009, Glasgow, Bildiriler Kitabı, 824 - 828.
37. Deep Kaur, C. ve Kanwal, N., An Analysis of Image Forgery Detection Techniques, Statistics, Optimization & Information Computing, 7,2 (2019) 486-500.
38. Singh, M., Kaur, H., ve Kakkar, A., Digital Signature Verification Scheme for Image Authentication, 2nd International Conference on Recent Advances in Engineering & Computational Sciences (RAECS), Aralık 2015, Chandigarh, Bildiriler Kitabı, 1 - 5.
39. Khan, S., Wahid, M., Khan, T., Ahmad, N., ve Zafar, M. H., Column Level Image Authentication Technique using Hidden Digital Signatures, 24th International Conference on Automation and Computing (ICAC), Eylül 2018, Newcastle University, Bildiriler Kitabı, 1 - 6.
40. Ghanim, T. M. ve Nabil, A. M., Offline Signature Verification and Forgery Detection Approach, 13th International Conference on Computer Engineering and Systems (ICCES), Aralık 2018, Kahire, Bildiriler Kitabı, 293 - 298.
41. Kwon, O.-J., Choi, S., ve Lee, B., A Watermark-Based Scheme for Authenticating JPEG Image Integrity, IEEE Access, 6 (2018) 46194-46205.
42. Setyono, A. ve Setiadi, D. R. I. M., Image Watermarking using Discrete Wavelet-Tchebichef Transform, Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 16,3 (2019) 1416-1423.
43. Belilita, S., Amardjia, N., Bekkouche, T., ve Nouioua, I., Combining SVD-DCT Image Watermarking Scheme Based on Perona-Malik Diffusion, Elektronika ir Elektrotehnika, 25,4 (2019) 68-74.
44. Wang, J. ve Du, Z., A Method of Processing Color Image Watermarking based on the Haar Wavelet, Journal of Visual Communication and Image Representation, 64 (2019) 102627.
45. Noor, R., Khan, A., Sarfaraz, A., Mehmood, Z., ve Cheema, A. M., Highly Robust Hybrid Image Watermarking Approach using Tchebichef Transform with Secured PCA and CAT Encryption, Soft Computing, (2019) 1-9.
46. Ernawan, F., Tchebichef Image Watermarking Along the Edge Using YCoCg-R Color Space for Copyright Protection, International Journal of Electrical & Computer Engineering (2088-8708), 9,3 (2019) 1850-1860.

47. Pandey, M. K., Parmar, G., Gupta, R., ve Sikander, A., Non-Blind Arnold Scrambled Hybrid Image Watermarking in YCbCr Color Space, Microsystem Technologies, 25,8 (2019) 3071-3081.
48. Panyavaraporn, J. ve Horkaew, P., Wavelet-Based Digital Image Watermarking by Using Lorenz Chaotic Signal Localization, Journal of Information Processing Systems, 15,1 (2019) 169-180.
49. Li, M., Xiao, D., Zhu, Y., Zhang, Y., ve Sun, L., Commutative Fragile Zero-Watermarking and Encryption for Image Integrity Protection, Multimedia Tools and Applications, (2019) 1-16.
50. Sharma, S., Sharma, H., ve Sharma, J. B., An Adaptive Color Image Watermarking using RDWT-SVD and Artificial Bee Colony Based Quality Metric Strength Factor Optimization, Applied Soft Computing, 84 (2019) 105696.
51. Zhang, L. ve Wei, D., Dual DCT-DWT-SVD Digital Watermarking Algorithm based on Particle Swarm Optimization, Multimedia Tools and Applications, 78,19 (2019) 28003-28023.
52. Abdelhakim, A., Saleh, H. I., ve Abdelhakim, M., Fragile Watermarking for Image Tamper Detection and Localization With Effective Recovery Capability Using k-Means Clustering, Multimedia Tools and Applications, (2019) 1-41.
53. Sadeghi, S., Dadkhah, S., Jalab, H. A., Mazzola, G., ve Uliyan, D., State of the Art in Passive Digital Image Forgery Detection: Copy-Move Image Forgery, Pattern Analysis and Applications, 21,2 (2018) 291-306.
54. Redi, J. A., Taktak, W., ve Dugelay, J.-L., Digital Image Forensics: A Booklet for Beginners, Multimedia Tools and Applications, 51,1 (2011) 133-162.
55. Hwang, M. G., Park, H. J., ve Har, D. H., Source Camera Identification Based on Interpolation via Lens Distortion Correction, Australian Journal of Forensic Sciences, 46,1 (2014) 98-110.
56. Van, L. T., Emmanuel, S., ve Kankanhalli, M. S., Identifying Source Cell Phone using Chromatic Aberration, IEEE International Conference on Multimedia and Expo, Temmuz 2007, Beijing, Bildiriler Kitabı, 883 - 886.
57. Dafale, N. N. ve Naskar, R., Sensor Pattern Noise Based Source Anonymization, Third International Conference on Sensing, Signal Processing and Security (ICSSS), Mayıs 2017, Chennai, Bildiriler Kitabı, 93 - 98.
58. Behare, M. S., Bhalchandra, A., ve Kumar, R., Source Camera Identification using Photo Response Noise Uniformity, 3rd International conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA), Haziran 2019, Tamil Nadu, Bildiriler Kitabı, 731 - 734.

59. San Choi, K., Lam, E. Y., ve Wong, K. K., Source Camera Identification using Footprints from Lens Aberration, *Digital Photography II*, Ocak 2006, San Jose, Bildiriler Kitabı 6069: 60690J.
60. Freire-Obregón, D., Narducci, F., Barra, S., ve Castrillón-Santana, M., Deep Learning for Source Camera Identification on Mobile Devices, *Pattern Recognition Letters*, 126 (2019) 86-91.
61. Mieremet, A., Camera-Identification and Common-Source Identification: The Correlation Values of Mismatches, *Forensic science international*, 301 (2019) 46-54.
62. Zheng, Y., Cao, Y., ve Chang, C.-H., A PUF-Based Data-Device Hash for Tampered Image Detection and Source Camera Identification, *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 15 (2019) 620-634.
63. Sharma, K., Computationally Efficient Copy-Move Image Forgery Detection Based on DCT and SVD, *Advanced Research in Electrical and Electronic Engineering*, 1,3 (2014) 76-81.
64. Lee, J.-C., Copy-Move Image Forgery Detection based on Gabor Magnitude, *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 31 (2015) 320-334.
65. Ansari, M. D. ve Ghreera, S. P., Copy-Move Image Forgery Detection using Ring Projection and Modified Fast Discrete Haar Wavelet Transform, *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*, 9,3 (2017) 542-552.
66. Fridrich, J., Soukal, D., ve Lukás, J., Detection of Copy-Move Forgery in Digital Images, *Int. J. Comput. Sci. Issues*, 3 (2003) 55-61.
67. Mahdian, B. ve Saic, S., Detection of Copy-Move Forgery using A Method Based on Blur Moment Invariants, *Forensic science international*, 171,2-3 (2007) 180-189.
68. Alkawaz, M. H., Sulong, G., Saba, T., ve Rehman, A., Detection of Copy-Move Image Forgery Based on Discrete Cosine Transform, *Neural Computing and Applications*, 30,1 (2018) 183-192.
69. Zhou, H., Shen, Y., Zhu, X., Liu, B., Fu, Z., ve Fan, N., Digital Image Modification Detection using Color Information and Its Histograms, *Forensic science international*, 266 (2016) 379-388.
70. Zimba, M. ve Xingming, S., DWT-PCA (EVD) Based Copy-Move Image Forgery Detection, *International Journal of Digital Content Technology and its Applications*, 5,1 (2011) 251-258.
71. Popescu, A. C. ve Farid, H., Exposing Digital Forgeries by Detecting Duplicated Image Regions, *Dept. Comput. Sci., Dartmouth College, Tech. Rep. TR2004-515*, (2004) 1-11.

72. Hayat, K. ve Qazi, T., Forgery Detection in Digital Images via Discrete Wavelet and Discrete Cosine Transforms, Computers & Electrical Engineering, 62 (2017) 448-458.
73. Huang, Y., Lu, W., Sun, W., ve Long, D., Improved DCT-Based Detection of Copy-Move Forgery in Images, Forensic science international, 206,1-3 (2011) 178-184.
74. Wang, Y., Tian, L., ve Li, C., LBP-SVD Based Copy Move Forgery Detection Algorithm, IEEE International Symposium on Multimedia (ISM), Aralık 2017, Taichung, Bildiriler Kitabı, 553 - 556.
75. Thirunavukkarasu, V., Kumar, J. S., Chae, G. S., ve Kishorkumar, J., Non-Intrusive Forensic Detection Method using DSWT with Reduced Feature Set for Copy-Move Image Tampering, Wireless Personal Communications, 98,4 (2018) 3039-3057.
76. Cao, Y., Gao, T., Fan, L., ve Yang, Q., A Robust Detection Algorithm for Copy-Move Forgery in Digital Images, Forensic science international, 214,1-3 (2012) 33-43.
77. Mishra, P., Mishra, N., Sharma, S., ve Patel, R., Region Duplication Forgery Detection Technique based on SURF and HAC, The Scientific World Journal, 2013 (2013).
78. Chen, C.-C., Lu, W.-Y., ve Chou, C.-H., Rotational Copy-Move Forgery Detection Using SIFT and Region Growing Strategies, Multimedia Tools and Applications, (2019) 1-16.
79. Amerini, I., Ballan, L., Caldelli, R., Del Bimbo, A., ve Serra, G., A Sift-Based Forensic Method for Copy-Move Attack Detection and Transformation Recovery, IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 6,3 (2011) 1099-1110.
80. Sindhu, M. ve Rajkamal, R., Images and Its Compression Techniques - A Review, International Journal of recent trends in engineering, 2 (2009) 71-75.
81. Huang, F., Qu, X., Kim, H. J., ve Huang, J., Reversible Data Hiding in JPEG Images, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 26,9 (2015) 1610-1621.
82. Gürbüz, E., Ulutaş, G., ve Ulutaş, M., Serbest Biçimli Kopyalama-Yer Değiştirme Sahteciliği (SBKYDS) Veri Kümesi. <http://emregurbuz.tc/arastirma/goruntuverikumeleri/sbkyds/sbkyds.html> 28 Mayıs 2020
83. Tralic, D., Zupancic, I., Grgic, S., ve Grgic, M., CoMoFoD - New Database for Copy-Move Forgery Detection, Proceedings ELMAR, Eylül 2013, Zadar, Bildiriler Kitabı, 49 - 54.

84. Gürbüz, E. ve Ulutaş, M., Serbest Biçimli Çoklu Kopyalama-Yer Değiştirme Sahteciliği (SBÇKYDS) Veri Kümesi. <http://emregurbuz.tc/arastirma/goruntuverikumeleri/sbckyds/sbckyds.html> 28 Mayıs 2020
85. Suresh, D. ve Alii, P., Despeckling of SAR Images using Intensity Coherence Vector, Asian Journal of Information Technology, 15,3 (2016) 518-532.
86. Bălan, R. A., Ionescu, M., ve Franduş, M., Content-Based Image Retrieval: A Comprehensive User Interactive Simulation Tool for Endoscopic Image Databases, Applied Medical Informatics, 40,1/2 (2018) 31-38.
87. Qiao, Y.-L., Yuan, K.-L., Song, C.-Y., ve Xiang, X.-Z., Detection of Moving Objects with Fuzzy Color Coherence Vector, Mathematical Problems in Engineering, 2014 (2014) 1-8.
88. Roy, K. ve Mukherjee, J., Image Similarity Measure using Color Histogram, Color Coherence Vector, and Sobel Method, International Journal of Science and Research (IJSR), 2,1 (2013) 538-543.
89. Gürbüz, E. ve Ulutaş, M., Serbest Biçimli Kopyalama-Ölçekleme-Yer Değiştirme Sahteciliği (SBKÖYDS) Veri Kümesi. <http://emregurbuz.tc/arastirma/goruntuverikumeleri/sbkoyds/sbkoyds.html> 28 Mayıs 2020
90. Davarzani, R., Yaghmaie, K., Mozaffari, S., ve Tapak, M., Copy-Move Forgery Detection using Multiresolution Local Binary Patterns, Forensic science international, 231,1-3 (2013) 61-72.
91. Al-Qershi, O. M. ve Khoo, B. E., Passive Detection of Copy-Move Forgery in Digital Images: State-of-the-Art, Forensic science international, 231,1-3 (2013) 284-295.
92. Lynch, G., Shih, F. Y., ve Liao, H.-Y. M., An Efficient Expanding Block Algorithm for Image Copy-Move Forgery Detection, Information Sciences, 239 (2013) 253-265.
93. Amerini, I., Ballan, L., Caldelli, R., Del Bimbo, A., Del Tongo, L., ve Serra, G., Copy-Move Forgery Detection and Localization by means of Robust Clustering with J-Linkage, Signal Processing: Image Communication, 28,6 (2013) 659-669.
94. Christlein, V., Riess, C., Jordan, J., Riess, C., ve Angelopoulou, E., An Evaluation of Popular Copy-Move Forgery Detection Approaches, IEEE Transactions on information forensics and security, 7,6 (2012) 1841-1854.
95. Gürbüz, E., Ulutaş, G., ve Ulutaş, M., Serbest Biçimli Kopyalama-Döndürme-Yer Değiştirme Sahteciliği (SBKDYDS) Veri Kümesi. <http://emregurbuz.tc/arastirma/goruntuverikumeleri/sbkdyds/sbkdyds.html> 28 Mayıs 2020

96. Khuspe, K. ve Mane, V., Robust Image Forgery Localization and Recognition in Copy-Move using Bag of Features and SVM, International Conference on Communication, Information & Computing Technology (ICCICT), Ocak 2015, Mumbai, Bildiriler Kitabı, 1 - 5.
97. Jwaid, M. F. ve Baraskar, T. N., Detection of Copy-Move Image Forgery using Local Binary Pattern with Discrete Wavelet Transform and Principle Component Analysis, International Conference on Computing, Communication, Control and Automation (ICCUBEA), Ağustos 2017, Maharashtra, Bildiriler Kitabı, 1 - 6.
98. Ardizzone, E., Bruno, A., ve Mazzola, G., Copy-Move Forgery Detection by Matching Triangles of Keypoints, IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 10,10 (2015) 2084-2094.
99. Muzaffer, G., Karaagacli, E. S., ve Ulutas, G., Recent Keypoint Based Copy Move Forgery Detection Techniques, International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP), Eylül 2017, Malatya, Bildiriler Kitabı, 1 - 7.
100. Emam, M., Han, Q., Yu, L., ve Zhang, H., A Keypoint-Based Region Duplication Forgery Detection Algorithm, IEICE Transactions on Information and Systems, 99,9 (2016) 2413-2416.
101. Gürbüz, E., Ulutaş, G., ve Ulutaş, M., Özdeş Nesnelere İçeren Orijinal Görüntüler (ÖNİOG) Veri Kümesi. <http://emregurbuz.tc/arastirma/goruntuverikumeleri/oniog/oniog.html> 28 Mayıs 2020
102. Gürbüz, E. ve Ulutaş, M., Sahtecilik Tespit Yöntemleri İçin Süre Değerlendirmesi (STYİSD) Veri Kümesi. <http://emregurbuz.tc/arastirma/goruntuverikumeleri/styisd/styisd.html> 28 Mayıs 2020

ÖZGEÇMİŞ

Emre GÜRBÜZ, 1986 yılında Zonguldak'ta dünyaya geldi. 1992 yılında başladığı Turhal Şeker İlkokulundan 1997'de mezun oldu. Aynı yıl Turhal Anadolu Lisesinde eğitim görmeye başladı. İngilizce hazırlık sınıfı, ortaokul ve lise eğitimini Turhal Anadolu Lisesinde tamamlayarak 2004'te bu okuldan mezun oldu. Aynı yıl Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümünü kazandı. İngilizce hazırlık sınıfını da kapsayan lisans eğitimini 2009 yılında tamamlayarak bilgisayar mühendisi unvanını aldı. Aynı yıl Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2010 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı. Yüksek lisans eğitimini 2011 yılında tamamladı ve bilgisayar yüksek mühendisi unvanını aldı. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalında doktora eğitimine başladı. 2012 yılında ise, hâlen görev yapmakta olduğu Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Tokat Meslek Yüksekokulu Bilgisayar Teknolojileri Bölümünde öğretim görevlisi olarak çalışmaya başladı.

SCI-Expanded İndeksli Yayınlar:

Gürbüz, E., Ulutas, G. ve Ulutas, M., Detection of Free-Form Copy-Move Forgery on Digital Images, Security and Communication Networks, 2019.
(<https://doi.org/10.1155/2019/8124521>)