

Kenar Belirleme Tekniklerinin Ayrık Dalgacık Dönüşümü Tabanlı Damgalama Yaklaşımının Başarısına Etkisi

Mürsel Ozan İncetas¹

Murat Meriçelli²

Özet

Dijital damgalama (filigranlama), özellikle telif hakkı koruması, kimlik doğrulama ve güvenlik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Damga görüntüsünün, taşıyıcı görüntüye gömülmesi sırasında, filigranın görünürlüğü ve sağlamlığı, görüntünün özelliklerine ve kullanılan tekniklere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Kenar belirleme teknikleri, görüntünün belirgin hatlarını ve sınırlarını tespit ederek, damga görüntüsünün daha stratejik bir şekilde yerleştirilmesini ve korunmasını sağlamaktadır. Bu çalışmada, görüntü işleme alanında yaygın şekilde kullanılan kenar belirleme teknikleri olan Sobel, Roberts ve Prewitt operatörlerinin, damgalama sürecindeki performansları analiz edilmiştir. Bu amaçla, 32x32, 64x64, 128x128 ve 256x256 olmak üzere 4 farklı boyuttaki damga görüntüsü, 7 farklı taşıyıcı görüntüsüne, uygulanmış, sonuçlar SSIM ve PSNR metrikleriyle değerlendirilmiştir. Her bir algoritmanın damgalama işlemi sonrası ve damga görüntüsünün tekrar çıkartılması üzerindeki etkileri ayrıntılı olarak karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, Prewitt yönteminin genellikle daha yüksek başarı sağladığını göstermiştir. Çalışmada ilaveten kenar belirleme tekniklerinin dijital damgalama başarısına olan kritik katkısını vurgulamakta ve damgalama sürecinde hangi tekniklerin daha etkili olduğunu ortaya koymaktadır.

1 Doç. Dr., Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, ozan.inctas@alanya.edu.tr, 0000-0002-1016-1655

2 Dr. Öğr. Üyesi, Kastamonu Üniversitesi, mmericelli@kastamonu.edu.tr, 0000-0003-0168-3221

1. Giriş

Görüntü işleme, görsel verilerin analizi, işlenmesi ve şifrenmesi gibi bazı uygulamalar için kullanılan bir dizi teknik ve yöntem içeren önemli bir çalışma alanıdır [1]. Tıp, adli bilişim, savunma sanayi gibi birçok önemli sektörde görüntü işleme kullanılmaktadır [2]. Görüntü damgalama ise dijital görüntülere, sahibinin haklarını koruma amacıyla görünür ya da gizli işaretler eklemek için kullanılan ve araştırmacıların dikkatini çeken bir alt uygulama alanıdır. Görüntü damgalama, dijital içeriklerin izinsiz kullanılmasını önlemek ve sahibini tanımlamak amacıyla yaygın olarak başvurulan tekniklerdendir [3]. Genellikle telif hakkı koruması ve güvenlik gibi amaçlarla tercih edilen damgalama yöntemlerinde, dijital görüntülerin manipülasyonuna karşı dayanıklılık önem taşır. Filigranın yerleştirildiği noktanın belirlenmesi ve yerleştirilen filigranın güvenli bir şekilde gizlenebilmesi için görüntünün yapısal özelliklerinin doğru bir şekilde analiz edilmesi gerekmektedir. Kenar belirleme teknikleri, söz konusu analiz aşamasında önemli bir rol oynar [4-7]. Filigranın belirgin olmayan, ancak görüntünün temel yapısını koruyan bölgelerde saklanması hem görüntünün bütünlüğünü korumak hem de filigranın görünürlüğünü azaltmak açısından hayatidir. Bu nedenle, damgalama süreçlerinde kenar belirleme yöntemlerinin doğru bir şekilde kullanılması, damgalama işleminin güvenliğini ve kalitesini artıran önemli parametrelerdendir. Kenar belirleme, bir görüntünün farklı alanlarındaki piksellerin gri seviye farklarını analiz ederek, nesnelere veya yapıların sınırlarını belirler. Bu teknikler, bir görüntüde keskin geçişlerin olduğu alanları tanımlamak için matematiksel işlemler kullanır [8]. Sobel, Roberts ve Prewitt gibi yaygın kenar belirleme yöntemleri, görüntülerin farklı bölgelerinde hassas sınırların tespit edilmesine olanak tanır. Bu sınırlar, görüntünün anlamlı bölgelerini belirlemek ve filigranın hangi piksellere yerleştirileceğine karar vermek için kullanılmaktadır. Filigranın, kenarların olduğu bölgelerde yerleştirilmesi, filigranın görüntünün yapısal bütünlüğüne zarar vermeden gizlenmesini sağlar. İlâveten, gelişmiş kenar belirleme algoritmaları, görüntüdeki gürültüyü minimize ederek daha doğru sonuçlar elde edebilme yeteneğine sahiptir. Bu durum, filigran yerleştirme süreçlerinde kritik öneme sahiptir. Çünkü filigranın görüntünün genel yapısal özelliklerini bozmayacak şekilde yerleştirilmesi istenirken, filigranın izinsiz kaldırılmasının da zorlaştırılması gerekmektedir. Kenar belirleme algoritmaları sayesinde, filigranın nereye yerleştirileceği daha doğru bir şekilde belirlenebilir ve bu filigranın güvenliği açısından önemli bir katkı sağlar.

Kenar belirleme görüntü işleme alanında temel bir problem olup birçok çalışma yapılmıştır. Liu ve arkadaşları 2020 yılında etkili bir

kenar belirleme yaklaşımı sunmuşlardır. Söz konusu çalışmada gerçek zamanlı uygulamalar için kullanılacak, etkili ve başarılı bir kenar tespit yaklaşımı geliştirmişlerdir. Gradyan yönü boyunca bağlı noktalarla yapılan karşılaştırmalarda, kenar pikselleri olma olasılığı yüksek olan bağlantı noktaları tespit edilmiştir. Deneysel sonuçlar, önerilen kenar dedektörünün tespit doğruluğu açısından geleneksel kenar takip yöntemlerinden daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur [9]. Bir başka çalışmada ise Otsu algoritması ve Canny operatörü birleştirilerek kullanılmıştır. Canny operatörünü Otsu eşikleme tekniği çift eşik kullanarak ve mikro çatlaklar için kenar algılama performansını artırılmıştır. Otsu-Canny kenar algılama tekniği, %92,83 algılama oranıyla mikro çatlakları tespit etmek için diğer geleneksel kenar algılama algoritmalarından daha doğru sonuçlar üretmiştir [10]. Benzer şekilde 2019 yılında yapılan bir çalışmada gri ölçekli görüntüler için uyarlanabilir bir Canny kenar tespit algoritması önerilmiştir. Gri ölçekli görüntülerin gradyanı Sobel operatörü ile elde edilerek akabinde gradyan görüntülerinin entropisi hesaplanmıştır [11]. Sobel kenar algılama, yalnızca yatay ve dikey yönlerdeki bilgilerin dikkate alındığı yaygın olarak kullanılan kenar algılama tekniklerinden biridir [12]. Ranjan ve Avasthi Sobel yaklaşımı motivasyonunda yaptıkları çalışmada doğru kenar tespiti için ağırlıklı kılavuzlu görüntü filtrelemeyi de kullanmışlardır. Ağırlıklı kılavuzlu görüntü filtreleme kenarları iyileştirirken, Sobel maskesi kenar tespiti için kullanılmıştır [13]. Kuantum kenar algılama, klasik algoritmaların karşılaştığı kısıtlamaları ele alarak gerçek zamanlı görüntü analizi için umut verici bir yol sunmaktadır. Bununla birlikte, mevcut kuantum kenar algılama yöntemleri genellikle klasik kenar algılama operatörlerine dayanır ve özellikle yüksek çözünürlüklü görüntülerde karmaşık kenar ayrıntılarının kaybolmasına neden olmaktadır. Wang ve diğerleri yeni bir kuantum görüntü kenar algılama algoritması sunmuşlardır. Çalışmalarında görüntünün dalgacık dönüşümü yoluyla kenar tespitinin gerçekleştirilmesini ve ters dalgacık dönüşümü yoluyla kenar görüntüsünün elde edilmesini içermektedir. Bu yenilikçi yöntem sadece kenar bilgisi kaybını azaltmakla kalmamış, aynı zamanda tanımlamadaki hassasiyeti de artırmıştır. Geçekleştirilen deneyler ve bulgular önerilen şemanın üstün kenar bilgisi ve yüksek doğruluk ile çalıştığını göstermiştir [14].

Literatür incelendiğinde kenar belirleme teknikleri kullanan birçok filigran çalışması ile karşılaşılmaktadır. 2023 yılında en az anlamlı bit (LSB) mekanizmasını kullanan dikkat çeken çalışma Faheem ve arkadaşları tarafından önerilmiştir. Yapılan çalışmada geliştirilen algoritmanın hesaplama karmaşıklığının düşük olması önemli bir avantaj olarak sunulmuştur. Pergel kenar algılamaya dayalı bir optimizasyon tekniği kullanılarak filigran verileri kenar piksellerine gömülmüştür. Filigran sinyallerini şifrelemek

için ise kaos tabanlı S-Box modeli tercih edilen çalışmanın başarısı çeşitli ölçüm metrikleri ile kanıtlanmıştır [15]. 2024 yılında önerilen bir çalışma blok zinciri tabanlı şifreleme ve görünmez resim filigranının birleşimi ile yeni bir model sunmuştur. Ayrık dalgacık dönüşümü (Discrete Wavelet Transform - DWT) katsayıları kenar tespiti adına kullanılmaktadır. Tıbbi görüntülerin kullanılmış olduğu söz konusu yaklaşımda HH dalgacık bandı kenar katsayılarını oluşturmak için kullanılmıştır. Filigranın gömülme işlemi için ise genişleme ve kenar katsayısı arasındaki farklar kullanılmıştır. Böylece sağlamlığın artırılması hedeflenmiştir. Filigranın bulunduğu resim, blok zinciri teknolojisine dayanan ve özellikle tıbbi resimler için geliştirilen bir hashing işlemi kullanılarak şifrelenmiştir. Şifre çözme işleminin sonunda şifre çözme prosedürü tamamlandıktan sonra resim yeniden oluşturulur. Farklı bir bakış açısı ile geliştirilen bahsi geçen çalışma deneysel sonuçları ile dikkat çekmektedir [16]. Kuantum Haar dalgacık dönüşümünün Sobel kenar belirleme tekniğinin ile kullanıldığı yaklaşım ise 2023 yılında geliştirilmiştir. Çalışmada, kuantum görüntüsünü ayırıştırmak için Kuantum Haar dalgacık dönüşümü kullanılmakta ve taşıyıcı görüntünün köşegen alt bantlarını elde etmek için görüntü ayırıştırmaya kullanılmaktadır. Akabinde uygun gömme piksellerini bulmak için köşe alt bant üzerinde Sobel kenar tespiti gerçekleştirilmiştir. Son olarak, filigran resmi keşfedilen optimum gömme yerine yerleştirilmiştir [17].

Sonuç olarak, kenar belirleme teknikleri ile görüntü damgalama arasındaki ilişki, dijital görüntü işleme ve güvenlik alanında önemli bir araştırma konusudur. Kenar belirleme tekniklerinin, görüntü damgalama işleminin hem etkinliğini hem de güvenilirliğini artırma potansiyeli büyüktür. Bu çalışmada, Sobel, Prewitt ve Roberts olmak üzere 3 farklı kenar belirleme yaklaşımının, damgalama performansına etkileri analiz edilmiştir.

2. Materyal Metot

Bu çalışmadaki testler süresince, 512x512 boyutlu ve 8 bitlik gri-seviyeli 7 adet taşıyıcı görüntü kullanılmıştır. Damgalama için daha önce benzer çalışmalarda da kullanıldığı için seçilen bir görüntünün 32x32, 64x64, 128x128 ve 256x256 olmak üzere 4 farklı boyutuna deneysel çalışmalarda yer verilmiştir. Damgalama görüntüsünü gizleme ve tekrar elde etme işlemlerinin seçilen görüntüler üzerinde test edilmesi ve performans metriklerine göre sonuçların elde edilmesine ilişkin tüm kodlama süreçleri MATLAB yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Kullanılan taşıyıcı görüntüler ile bu görüntüler içerisine gizlenen damgalama görüntüsü Şekil 1'de verilmiştir.



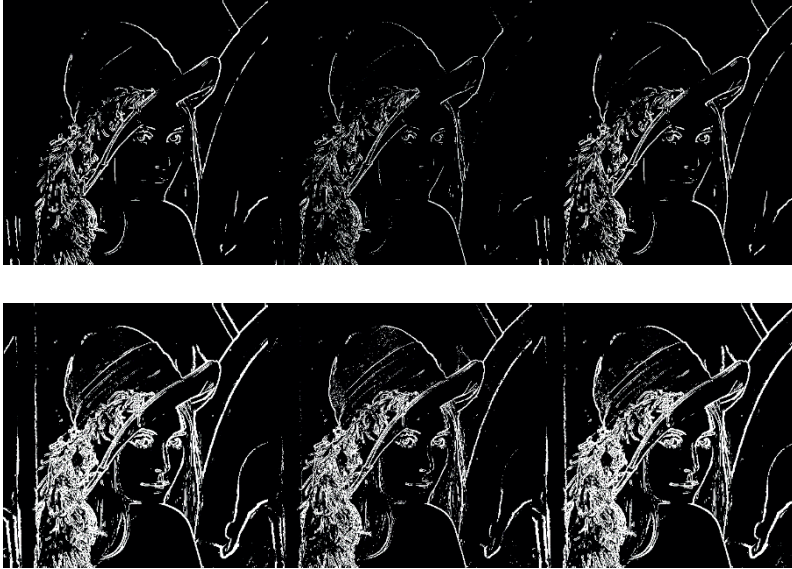
Şekil 1. Deneylerde kullanılan görüntüler. (a-g) Taşıyıcı görüntüler: Baboon, Boats, Couple, Lake, Lena, Peppers, Plane, (h) Damga görüntüsü

Bu çalışmada yapılan deneylerde, ilk olarak taşıyıcı görüntünün kenarları tespit edilir. Bu işlem için Sobel, Prewitt ve Roberts kenar belirleme yaklaşımları kullanılmıştır. Damgalama görüntüsü, kenar olarak işaretlenmiş piksellerin gri seviye değeri olarak atanarak taşıyıcı görüntüde gizlenecek olan mesaj görüntüsü elde edilir. Damgalama sürecinin ilk adımında DWT kullanılarak hem taşıyıcı hem de mesaj görüntülerinin LL, LH, HL ve HH alt bantları elde edilir. Ardından HH bantlarının Tekil Değer Ayrıştırması (Singular Value Decomposition – SVD) yardımıyla tekil değerleri hesaplanır ve α katsayısı ile birleştirilir. Birleştirilmiş yeni bant ve HH bantının yerini alır ve ters SVD ile ters DWT kullanılarak damgalanmış görüntü elde edilir. Böylece damgalama görüntüsü, taşıyıcı görüntünün içerisine gizlenerek eklenmiş olur. Bu yöntem pek çok çalışmada yer almış [18-21] ve gradyan temelli kenar tespit yaklaşımları ile birlikte kullanılmıştır.

2.1. Kenar Piksellerin Tespiti

Bu çalışmada, kenar piksellerinin belirlenmesi ve bu piksellerin damgalama süreçlerinde kullanımı kapsamında en bilinen kenar belirleme tekniklerinden olan Sobel, Prewitt ve Roberts kenar tespit yöntemleri karşılaştırılmıştır. Kenar pikseller belirlenirken, MATLAB *edge* fonksiyonundan yararlanılmıştır. Bir I görüntüsü için $edges = edge(I, 'sobel', 'th*c, 'nothinning')$; kod satırı yardımıyla kenar pikseller tespit edilmiştir. Kenarlar belirlenirken *nothinning* parametresi kullanılarak, kenarların inceltilmemesi ve daha çok pikselin kenar olarak işaretlenmesi sağlanmıştır. Ancak, özellikle 128x128 ve 256x256 boyutlarındaki damgalama görüntülerinin saklanabilmesi için gerekli kenar

pikselli sayısı $c=1$ değeri ile sağlanamamıştır. Bu nedenle bazı görüntüler ve kenar tespit yöntemleri için daha küçük c değerleri seçilmiştir. Eşik değeri olan th ise $[edge, th] = edge(I, 'sobel')$; kod satırı ile belirlenmiştir.

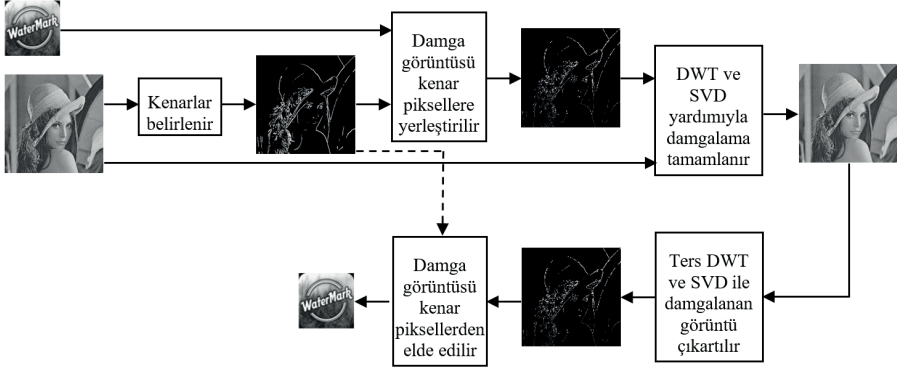


Şekil 2. Taşıyıcı görüntü (Lena) için belirlenen kenar pikselleri. (a) Prewitt $c=1$, (b) Roberts $c=1$, (c) Sobel $c=1$, (d) Prewitt $c=0.5$, (e) Roberts $c=0.5$, (f) Sobel $c=0.5$

Çalışmada kullanılan 3 yöntemin her biri ile belirlenmiş kenarlara ilişkin örnek görüntüler Şekil 2'de görülmektedir. c değerinin küçük seçilmesi durumunda kenar olarak seçilmiş piksellerin sayısının arttığı elde edilen kenar tespit sonuçlarında görülmektedir.

2.2. Ayrık Dalgacık Dönüşümü ve Tekli Değer Ayırıştırırmaya Dayalı Damgalama

DeneySEL sonuçlar elde edilirken, görüntüler üzerinde sırasıyla kenar belirleme, ardından da DWT ve SVD yardımıyla damgalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'de damgalama işleminde kullanılan yaklaşımın aşamaları görülmektedir. İlk adımda taşıyıcı görüntünün kenarları belirlenmektedir. Damga görüntüsünü her bir pikselinin gri seviye değeri, kenar piksellere sırasıyla atanmaktadır. Ardından elde edilen görüntü ile taşıyıcı görüntü, SVD ve DWT teknikleri yardımıyla birleştirilerek, damgalanmış görüntü elde edilmektedir.



Damga görüntüsünün çıkarılması sürecinde ise, ilk olarak damgalanmış görüntü üzerinden ters DWT ve SVD yardımıyla, gömülü görüntü elde edilir. Ardından orijinal taşıyıcı görüntünün kenar piksellerinde yer alan gri seviye değerleri bir araya getirilerek damga görüntüsü elde edilir.

3. Deneysel Bulgular

Damgalama süreçlerinde başarının ölçülmesinde yaygın olarak PSNR ve SSIM metrikleri kullanılmaktadır. Damga görüntüsünün farklı boyutlarda kullanılması ile gerçekleştirilen damgalama işlemi sonucunda elde edilen damgalanmış görüntü ve bu görüntüden tekrar çıkartılan damga görüntüsüne ilişkin sonuçlar aşağıdaki tablolarda ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablolar 1, 2, 3 ve 4'de sırasıyla 32x32, 64x64, 128x128 ve 256x256 boyutundaki damgalama görüntüsü ile damgalanmış taşıyıcı görüntülerin, orijinal görüntülerle karşılaştırılmasına ilişkin sonuçlar yer almaktadır. 32x32'lik damga görüntüsüne ait sonuçlar incelendiğinde, SSIM açısından damgalanmış görüntü ile orijinal taşıyıcı görüntü neredeyse aynıdır. Bu da damgalama açısından önemli bir başarı göstergesidir. Elbette damga görüntüsünün boyutu arttıkça SSIM değerinde de düşüş olmaktadır. 256x256'lık damga görüntüsünde ortalama SSIM değeri 0,99 seviyesine gerilemesine karşın, bu değer de oldukça yüksektir. Yine PSNR değerleri açısından bakıldığında, başarının hayli yüksek olduğu görülmektedir. Kenar belirleme teknikleri açısından bakıldığında ise her ne kadar sonuçlar yakın olsa da en yüksek ortalama başarının Prewitt operatörü ile yakalandığı görülmektedir. İkinci sırada ise Sobel operatörü bulunmaktadır. Roberts operatörü ise diğer iki kenar operatörüne göre daha düşük başarı elde etmiştir.

Tablo 1. 32x32 damga görüntüsü için damgalanmış görüntü sonuçları

Taşıyıcı Görüntü	Roberts		Sobel		Prewitt	
	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR
Mandrill	0,9999	56,28	0,9999	58,17	0,9999	58,42
Boats	0,9999	61,61	0,9999	62,72	0,9999	63,36
Couple	1,0000	61,40	1,0000	63,00	1,0000	62,90
Lake	1,0000	69,62	1,0000	87,26	1,0000	96,30
Lena	0,9999	59,95	0,9999	62,13	0,9999	62,22
Peppers	1,0000	71,89	1,0000	100,00	1,0000	100,00
Plane	1,0000	62,92	1,0000	65,17	1,0000	64,77
Ortalama	1,0000	63,38	1,0000	71,21	1,0000	72,57

Tablo 2. 64x64 damga görüntüsü için damgalanmış görüntü sonuçları

Taşıyıcı Görüntü	Roberts		Sobel		Prewitt	
	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR
Mandrill	0,9994	50,65	0,9995	51,54	0,9996	51,98
Boats	0,9990	53,46	0,9993	54,70	0,9993	54,96
Couple	0,9996	54,21	0,9997	55,17	0,9997	55,18
Lake	0,9990	53,26	0,9993	55,26	0,9994	55,77
Lena	0,9989	52,96	0,9993	54,50	0,9993	54,59
Peppers	0,9987	53,96	0,9992	56,27	0,9992	56,60
Plane	0,9998	55,90	0,9998	57,38	0,9998	57,22
Ortalama	0,9992	53,49	0,9994	54,98	0,9995	55,19

Tablo 3. 128x128 damga görüntüsü için damgalanmış görüntü sonuçları

Taşıyıcı Görüntü	Roberts		Sobel		Prewitt	
	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR
Mandrill	0,9981	45,48	0,9984	46,10	0,9985	46,57
Boats	0,9966	48,02	0,9972	48,81	0,9973	48,99
Couple	0,9976	48,06	0,9981	48,93	0,9982	49,13
Lake	0,9967	47,40	0,9975	48,71	0,9976	49,06
Lena	0,9953	47,40	0,9960	48,23	0,9963	48,48
Peppers	0,9953	48,24	0,9965	49,60	0,9967	49,82
Plane	0,9984	49,42	0,9988	50,32	0,9988	50,45
Ortalama	0,9969	47,72	0,9975	48,67	0,9976	48,93

Tablo 4. 256x256 damga görüntüsü için damgalanmış görüntü sonuçları

Taşıyıcı Görüntü	Roberts		Sobel		Prewitt	
	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR
Mandrill	0,9954	41,67	0,9960	42,24	0,9961	42,38
Boats	0,9902	43,26	0,9929	44,67	0,9931	44,81
Couple	0,9939	43,80	0,9950	44,75	0,9953	45,05
Lake	0,9918	43,17	0,9943	44,84	0,9944	44,98
Lena	0,9859	42,48	0,9903	44,10	0,9909	44,45
Peppers	0,9839	42,43	0,9907	45,00	0,9909	45,06
Plane	0,9939	44,22	0,9957	45,89	0,9960	46,17
Ortalama	0,9907	43,00	0,9935	44,50	0,9938	44,70

Tablolar 5, 6, 7 ve 8 ise damgalama işleminin ardından, damga görüntüsünün damgalanmış görüntüden çıkarılmasından sonra elde edilen karşılaştırma sonuçlarını içermektedir. Verilen PSNR ve SSIM sonuçları, çıkartılmış damga görüntüsü ile orijinal damga görüntüsünün karşılaştırılması sonucunda elde edilmiştir. Tablolar incelendiğinde, damga görüntüsünün çıkarılması açısından, operatörlerin SSIM ve PSNR değerleri oldukça benzerdir. Özellikle PSNR değerleri çok yakındır. Ayrıca farklı damga görüntüsü boyutlarında, başarısı en yüksek olan operatörler de değişmektedir.

Tablo 5. 32x32 damga görüntüsünün çıkartım işlemi sonuçları

Taşıyıcı Görüntü	Roberts		Sobel		Prewitt	
	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR
Mandrill	0,9995	54,04	0,9997	53,72	0,9997	53,74
Boats	0,9991	48,99	0,9993	49,11	0,9992	48,86
Couple	0,9987	51,51	0,9992	51,59	0,9991	51,69
Lake	0,9988	44,39	0,9994	45,97	0,9996	46,50
Lena	0,9991	52,84	0,9992	52,43	0,9992	52,38
Peppers	0,9987	45,34	0,9997	47,47	0,9997	48,29
Plane	0,9991	53,11	0,9995	52,59	0,9995	52,46
Ortalama	0,9990	50,03	0,9994	50,41	0,9994	50,56

Tablo 6. 64x64 damga görüntüsünün çıkartım işlemi sonuçları

Taşıyıcı Görüntü	Roberts		Sobel		Prewitt	
	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR
Mandrill	0,9990	59,61	0,9993	58,30	0,9991	57,69
Boats	0,9994	58,00	0,9993	55,09	0,9993	54,58
Couple	0,9981	53,99	0,9983	53,45	0,9983	53,51
Lake	0,9989	58,52	0,9985	54,29	0,9986	53,02
Lena	0,9985	55,95	0,9981	54,38	0,9980	54,26
Peppers	0,9990	57,54	0,9981	51,36	0,9981	50,75
Plane	0,9975	55,37	0,9977	54,21	0,9976	54,43
Ortalama	0,9986	57,00	0,9985	54,44	0,9984	54,03

Tablo 7. 128x128 damga görüntüsünün çıkartım işlemi sonuçları

Taşıyıcı Görüntü	Roberts		Sobel		Prewitt	
	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR
Mandrill	0,9999	68,91	0,9999	69,23	1,0000	69,08
Boats	0,9999	66,08	0,9998	66,99	0,9997	66,19
Couple	0,9999	69,14	0,9998	67,87	0,9997	67,57
Lake	0,9999	65,99	0,9997	63,02	0,9997	63,20
Lena	0,9999	67,01	1,0000	66,49	1,0000	66,56
Peppers	1,0000	66,49	1,0000	66,02	1,0000	66,05
Plane	0,9995	63,21	0,9984	60,04	0,9984	59,95
Ortalama	0,9999	66,69	0,9996	65,67	0,9996	65,51

Tablo 8. 256x256 damga görüntüsünün çıkartım işlemi sonuçları

Taşıyıcı Görüntü	Roberts		Sobel		Prewitt	
	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR
Mandrill	0,9999	67,31	1,0000	70,06	1,0000	69,54
Boats	0,9999	64,56	1,0000	66,24	1,0000	65,59
Couple	1,0000	68,90	1,0000	67,24	1,0000	66,32
Lake	1,0000	66,01	1,0000	70,06	1,0000	69,58
Lena	1,0000	62,86	1,0000	68,39	1,0000	68,87
Peppers	1,0000	68,18	1,0000	66,92	1,0000	66,38
Plane	1,0000	72,53	0,9999	65,08	1,0000	67,09
Ortalama	1,0000	67,19	1,0000	67,71	1,0000	67,63

4. Sonuç

Dijital damgalama (filigranlama), farklı uygulama alanlarında kullanılan önemli bir görüntü işleme alanıdır. Son yıllarda özellikle kenar tabanlı dijital damgalama çalışmalarının sayısının oldukça arttığı bilinmektedir. Kenar piksellere yerleştirilen damga görüntüsü bilgilerinin, dijital damgalama başarısını arttırdığı da literatürde yer alan pek çok çalışmada belirtilmiştir. Bu nedenle bu çalışmada, en yaygın kenar belirleme tekniklerinden olan Sobel, Roberts ve Prewitt operatörlerinin damgalama süreçlerindeki başarıları analiz edilmiştir. Elde edilen deneysel bulgular, özellikle damgalanmış görüntünün orijinal görüntüye benzerliği açısından Prewitt tekniğinin oldukça başarılı olduğunu göstermektedir. Ancak literatürde çok sayıda kenar belirleme yaklaşımı bulunmaktadır. Bu çalışmada incelenen teknikler her ne kadar çok basit ve kolay uygulanabilir olsalar da pikseller arasındaki gri seviye farklarını temel alan lineer yaklaşımlardır. Gelecekte, özellikle insan görsel sistemine benzer sonuçlar üreten ve lineer olmayan tekniklerin damgalama süreçlerine yönelik çalışmalar yapılması planlanmaktadır.

Kaynaklar

- [1] Gonzalez, R.C., & Woods, R.E. (2018). *Digital Image Processing* (4th ed.). Pearson.
- [2] Kılıçaslan, M., Tanyeri, U., & Demirci, R. (2020). Tekrarlı Ortalama Yardımıyla Renk İndirgeme ve Görüntü Erişimi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(1), 1042-1057.
- [3] Begum, M., & Uddin, M. S. (2020). Digital image watermarking techniques: a review. *Information*, 11(2), 110.
- [4] Faheem, Z. B., Ishaq, A., Rustam, F., de la Torre Díez, I., Gavilanes, D., Vergara, M. M., & Ashraf, I. (2023). Image watermarking using least significant bit and canny edge detection. *Sensors*, 23(3), 1210.
- [5] Cheng, H., Huang, Q., Chen, F., Wang, M., & Yan, W. (2022). Privacy-preserving image watermark embedding method based on edge computing. *IEEE Access*, 10, 18570-18582.
- [6] Astuti, E. Z., Sari, C. A., Rachmawanto, E. H., Astuti, Y. P., Oktaridha, H., & Isinkaye, F. O. (2023). Discrete Cosine Transform and Singular Value Decomposition Based on Canny Edge Detection for Image Watermarking. *Kinetik: Game Technology, Information System, Computer Network, Computing, Electronics, and Control*.
- [7] Faheem, Z. B., Ali, M., Raza, M. A., Arslan, F., Ali, J., Masud, M., & Shor-fuzzaman, M. (2022). Image watermarking scheme using LSB and image gradient. *Applied Sciences*, 12(9), 4202.
- [8] Kılıçaslan, M. Image interpolation with spiking neural network based pixel similarity. *SIViP* 18, 6925–6936 (2024)
- [9] Liu, Y., Xie, Z., & Liu, H. (2020). An adaptive and robust edge detection method based on edge proportion statistics. *IEEE Transactions on Image Processing*, 29, 5206-5215.
- [10] Monicka, S. G., Manimegalai, D., & Karthikeyan, M. (2022). Detection of microcracks in silicon solar cells using Otsu-Canny edge detection algorithm. *Renewable Energy Focus*, 43, 183-190.
- [11] Tanyeri, U., Kılıçaslan, M., & Demirci, R. (2019, October). Canny edge detector with half entropy. In *2019 3rd international symposium on multi-disciplinary studies and innovative technologies (ISMSIT)* (pp. 1-4). IEEE.
- [12] AS, R. A., & Gopalan, S. (2022). Comparative analysis of eight direction sobel edge detection algorithm for brain tumor MRI images. *Procedia Computer Science*, 201, 487-494.
- [13] Ranjan, R., & Avasthi, V. (2023). Edge detection using guided Sobel image filtering. *Wireless Personal Communications*, 132(1), 651-677.

- [14] Wang, G., Zhao, W., Zou, P., Wang, J., Yin, H., & Yu, Y. (2024). Quantum image edge detection based on Haar wavelet transform. *Quantum Information Processing*, 23(8), 1-21.
- [15] Faheem, Z. B., Hanif, D., Arslan, F., Ali, M., Hussain, A., Ali, J., & Baz, A. (2023). An edge inspired image watermarking approach using compass edge detector and LSB in cybersecurity. *Computers and Electrical Engineering*, 111, 108979.
- [16] Mannepalli, P. K., Richhariya, V., Gupta, S. K., Shukla, P. K., Dutta, P. K., Chowdhury, S., & Hu, Y. C. (2024). A robust blockchain-based watermarking using edge detection and wavelet transform. *Multimedia Tools and Applications*, 1-25.
- [17] Mu, X., Wang, H., Bao, R., Wang, S., & Ma, H. (2023). An improved quantum watermarking using quantum Haar wavelet transform and Qsobel edge detection. *Quantum Information Processing*, 22(5), 223.
- [18] Yasmeen, F. and M.S. Uddin, *An efficient watermarking approach based on LL and HH edges of DWT-SVD*. SN Computer Science, 2021. 2(2): p. 82.
- [19] Gong, L.-H., et al., *Robust and imperceptible watermarking scheme based on Canny edge detection and SVD in the contourlet domain*. Multimedia tools and applications, 2021. 80: p. 439-461.
- [20] Zhang, L., et al. *A novel zero-watermarking algorithm based on DWT and edge detection*. in *2011 4th International Congress on Image and Signal Processing*. 2011. IEEE.
- [21] Gurkahraman, K., R. Karakis, and H. Takci, *A Novel Color Image Watermarking Method with Adaptive Scaling Factor Using Similarity-Based Edge Region*. Computer Systems Science & Engineering, 2023. 47(1).