

JPEG Algoritmasının Performansını İyileştirmek İçin Bir Yöntem

Fırat ARTUĞER^{1*}, Fatih ÖZKAYNAK²

¹ Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Munzur Üniversitesi, Tunceli, Türkiye

² Yazılım Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

*¹ firartugur@munzur.edu.tr, ² ozkaynak@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 01/06/2021;

Kabul/Accepted: 11/02/2022)

Öz: JPEG, görüntü sıkıştırma için en yaygın kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir. JPEG görüntü sıkıştırma yönteminde kuantalama adımında kullanılan kuantalama tablosu önemli bir rol oynamaktadır. Kuantalama tablosu görüntünün kalitesini ve sıkıştırma miktarını önemli ölçüde belirler. Bu nedenle kuantalama tablosunun oluşturulması bir optimizasyon problemi olarak görülmektedir. Bu makalede daha etkili kuantalama tabloları oluşturulabilmesi için oran-bozulma yaklaşımı, insan görsel sistemi yaklaşımı ve meta sezgisel yaklaşımlar açıklanmıştır. Daha sonra JPEG kuantalama tablosundaki her bir değer yerine, o değer komşuları ortalaması alınarak yeni bir tablo elde edilmiştir. Farklı kalite faktörleri kullanılarak 5 farklı görüntü üzerinden sonuçlar test edilmiştir. Önerilen tablonun, standart JPEG tablosuna göre görüntülerin kalitesinden neredeyse ödün vermeden sıkıştırma oranını %3,52 artırdığı tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Görüntü Sıkıştırma, JPEG, Kuantalama Tablosu.

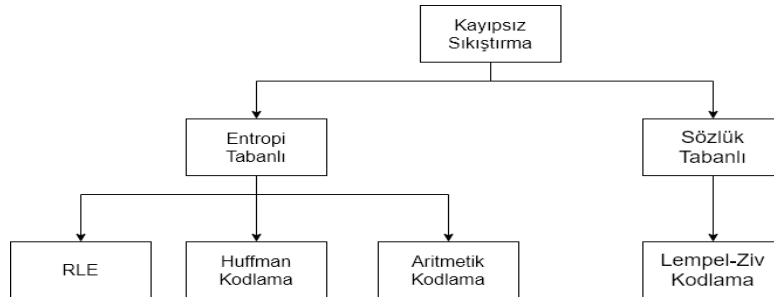
A Method to Improve the Performance of JPEG Algorithm

Abstract: JPEG is one of the most widely used methods for image compression. In the JPEG image compression method, the quantization table used in the quantization step plays an important role. The quantization table significantly determines the quality of the image and the amount of compression. Therefore, the creation of the quantization table is seen as an optimization problem. In this article, rate-distortion approach, human visual system approach and meta-heuristic approaches have been explained in order to create more effective quantization tables. Then, a new table was obtained by taking the average of the neighbors of that value instead of each value in the JPEG quantization table. The results were tested on 5 different images using different quality factors. It has been found that the proposed table increases the compression ratio by 3.52% compared to the standard JPEG table, almost without sacrificing the quality of the images.

Key words: Image Compression, JPEG, Quantization Table.

1. Giriş

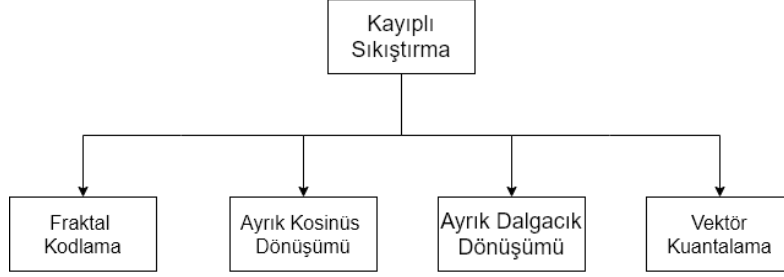
Görüntü Sıkıştırma, bir görüntüyü temsil etmek için gereken veri miktarını azaltma işlemidir. Görüntü sıkıştırma tekniği, gereksiz bitlerin daha az bit ile değiştirildiği veri sıkıştırma işlemidir. Görüntü sıkıştırmanın asıl amacı, görüntünün ağda etkin biçimde iletilmesi için fazlalığı ortadan kaldırarak görüntü dosyasının boyutunu azaltmaktır. Görüntü sıkıştırma teknikleri genel olarak Kayıpsız ve Kayıplı sıkıştırma olarak sınıflandırılır. Kayıpsız sıkıştırma yönteminde sıkıştırma oranı düşüktür, ancak hiçbir veri kaybolmaz. Kayıpsız sıkıştırma tekniği Şekil 1'de gösterildiği gibi sınıflandırılabilir.



Şekil 1. Kayıpsız veri sıkıştırma sınıflandırması

* Sorumlu yazar: firartugur@munzur.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-4096-0458, ² 0000-0003-1292-8490

Kayıplı sıkıştırma yönteminde bir miktar veri kaybedilir ve sıkıştırılmış görüntü orijinal görüntüye yakındır. Kayıpsız sıkıştırma tekniği ile karşılaştırıldığında kayıplı sıkıştırma tekniği kullanılarak daha yüksek sıkıştırma oranı elde edilir. Kayıplı sıkıştırma tekniği Şekil 2'de gösterildiği gibi sınıflandırılabilir[1].



Şekil 2. Kayıplı Veri Sıkıştırma Sınıflandırması

JPEG yaygın olarak kullanılan kayıplı sıkıştırma tekniğidir. Kuantalama işlemi, JPEG görüntü sıkıştırma algoritmasında yer alan adımlar arasında önemli bir rol oynar. Kuantalama işleminde kullanılan kuantalama tablosu, kodlanan görüntünün kalitesini belirler ve ayrıca görüntünün sıkıştırılması gereken miktarı da kontrol eder.

Etkili kuantalama tabloları geliştirmek için son yıllarda yapılan bazı çalışmalar şunlardır: Ayrık kosinüs dönüşümü tabanlı gri tonlamalı görüntüler üzerinde psiko-görsel bir hata eşiği araştırılmıştır. Yeni kuantalama tablosu, belirli eşiğin psiko-görsel hataya göre ayarlanmasıyla oluşturulmuştur[2]. Kuantalama tablosunu optimize etmek için algısal görüntü kalitesi değerlendirme yöntemi kullanıldı. Bu yöntem kullanılarak oluşturulan ölçüm tablosu, standart ölçüm tablosu kullanılarak oluşturulan görüntüden daha iyi kalitede sıkıştırılmış görüntü üretmiştir[3]. Tıbbi görüntülerde daha yüksek sıkıştırma performansı elde etmek için genetik algoritma (GA) kullanıldı. JPEG temel algoritması kullanılarak üretilen ölçüm tablosuna kıyasla daha iyi kodlanmış bir görüntü elde edilmiştir[4]. Farklı kuantalama tabloları oluşturmak için iki amaçlı bir evrimsel algoritma geliştirildi[5]. Farklı görüntüler için kuantalama tabloları elde etmek için kültürel temelli çok amaçlı parçacık sürü optimizasyonu modeli önerildi. Bu çalışmanın temel amacı, en iyi görüntü sıkıştırma ve kalite değişimini sağlayan tabloyu oluşturmaktır[6]. Farklı görüntülerle en uygun kuantalama tablosunu belirlemek için ateş böceği algoritması kullanıldı[7]. Optimal kuantalama tablosunu bulmak için Diferansiyel Evrim Algoritması önerildi. Genetik algoritma ve Diferansiyel Evrim Algoritması arasında kapsamlı bir performans analizi gerçekleştirildi[8]. Genetik algoritmada(GA) kullanılan uygunluk değerini yaklaşık olarak belirlemek için bir problem yaklaşımı vekil modeli önerildi. Önerilen yaklaşım, GA 'nın hesaplama süresini, performansında herhangi bir kayıp olmadan azaltmıştır[9]. Tüm frekans bantları için oran bozulma maliyetlerini optimize ederek JPEG için uygun bir fark bazlı kuantalama tablosu üretme yöntemi önerilmiştir[10]. Tek bir görüntüyü veya bir temsili görüntü koleksiyonunu optimize etmek yerine, benzetilmiş tavlama tekniği, her doku kategorisi için optimal bir niceleme tablosu aramak için doku mozaik görüntülerine uygulanır. Bu doku özelliklerini öğrenmek ve yeni görüntünün doku dağılımını tahmin etmek için önceden eğitilmiş VGG-16 CNN modelini kullanılmıştır. Daha sonra görüntüye özgü optimum niceleme tablosu oluşturmak için optimum doku tabloları birleştirilmiştir[11]. Standartlara uygun bir şekilde görüntüye uyarlanabilir bir kuantalama tablosu oluşturmak için bir Evrimsel Sinir Ağı modeli kullanılmıştır[12]. Standart JPEG kodlayıcı ve kod çözücüyle tam uyumlu, görüntüye özgü en iyi kuantalama tabloları için derin bir sinir ağı önerilmiştir[13].

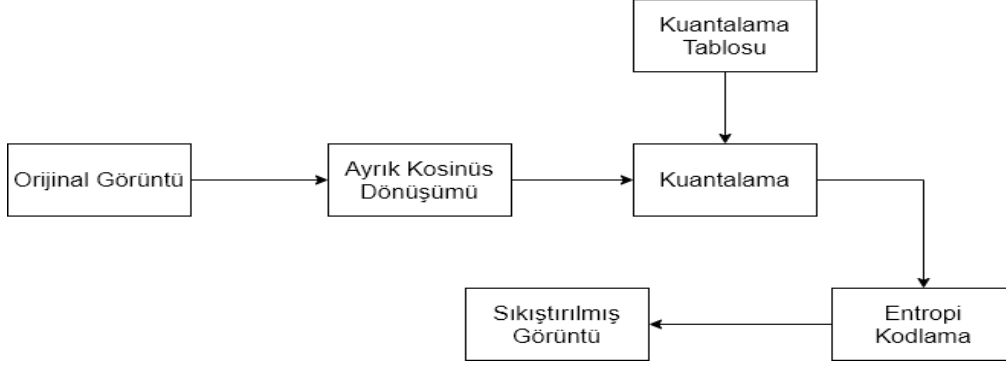
Çalışmanın 2. bölümünde JPEG görüntü sıkıştırma algoritması, 3. bölümünde farklı kuantalama tablolarının oluşturulma yöntemleri, 4. bölümünde önerilen yöntem açıklanmıştır. 5. bölümde analiz sonuçları ve 6. bölümde ise sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

2. JPEG Algoritması

JPEG standardı[14], Birleşmiş Fotoğraf Uzmanları Grubu anlamına gelir ve aynı zamanda JPEG olarak da adlandırılan iyi bilinen dijital görüntü sıkıştırma standardının geliştirilmesinden sorumlu olan, ISO / IEC Ortak Teknik Komitesinin iki alt grubundan biridir. JPEG kodlama, hareketsiz görüntülerin gösterimi için en yaygın standarttır. JPEG, günümüzde yaygın olarak kullanılan ve çok esnek bir dijital fotoğraf sıkıştırma standardıdır. Bu çalışmada kayıplı sıkıştırma yöntemlerinden JPEG kodlama ele alınmıştır. Esasen kayıplı bir yöntem olduğu kadar kayıpsız sıkıştırma yapan versiyonları da bulunmaktadır[15]. Kayıplı sıkıştırma da kalite faktörüne bağlı olarak

görüntünün sıkıştırma oranı ve bozulma miktarı istenilen seviyede ayarlanabilmektedir. JPEG sıkıştırma yöntemi, Şekil 3'de gösterildiği gibi aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

1. Öncelikle bir görüntü YCbCr renk uzayına dönüştürülür ve 8x8'lik bloklara ayrılır.
2. Her bloğa Ayırık Kosinüs Dönüşümü(AKD) uygulanır.
3. AKD katsayıları bazı kuantalama kurallarına göre kuantize edilir.
4. Entropi kodlama yöntemi gerçekleştirilir.



Şekil 3. JPEG Algoritmasının Adımları

2.1. JPEG Kodlamada Kuantalama

Kuantalama adımı ile verideki fazlalıklar atılır kayıplar burada meydana gelir. Dönüştürülmüş görüntü AKD matrisini kullanan kuantalama matrisine bölünerek kuantalamayı elde eder. Ortaya çıkan matrisin değerleri daha sonra yuvarlanır. Kuantalama katsayıları denklem 1 ile, ters dönüşüm işlemi ise denklem 2 ile elde edilebilir.

$$F(u, v)_{kuantalama} = \text{round} \left(\frac{F(u, v)}{Q(u, v)} \right) \quad (1)$$

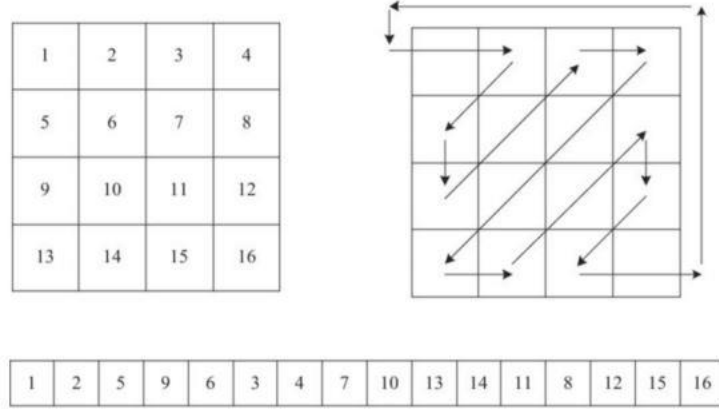
$$F(u, v)_{Ters\ kuantalama} = F(u, v)_{kuantalama} * Q(u, v) \quad (2)$$

Kuantalama, daha az önemli olan yüksek frekanslı AKD katsayılarının çoğunu sıfıra indirmeyi amaçlamaktadır[16]. Sıfırların sayısı ne kadar fazla olursa görüntünün sıkıştırma oranı o kadar yüksek olacaktır. JPEG algoritmasında kullanılan kuantalama tablosu Tablo 1 'de verilmiştir.

Tablo 1. JPEG Kuantalama tablosu

16	11	10	16	24	40	51	61
12	12	14	19	26	58	60	55
14	13	16	24	40	57	69	56
14	17	22	29	51	87	80	62
18	22	37	56	68	109	103	77
24	35	55	64	81	104	113	92
49	64	78	87	103	121	120	101
72	92	95	98	112	100	103	99

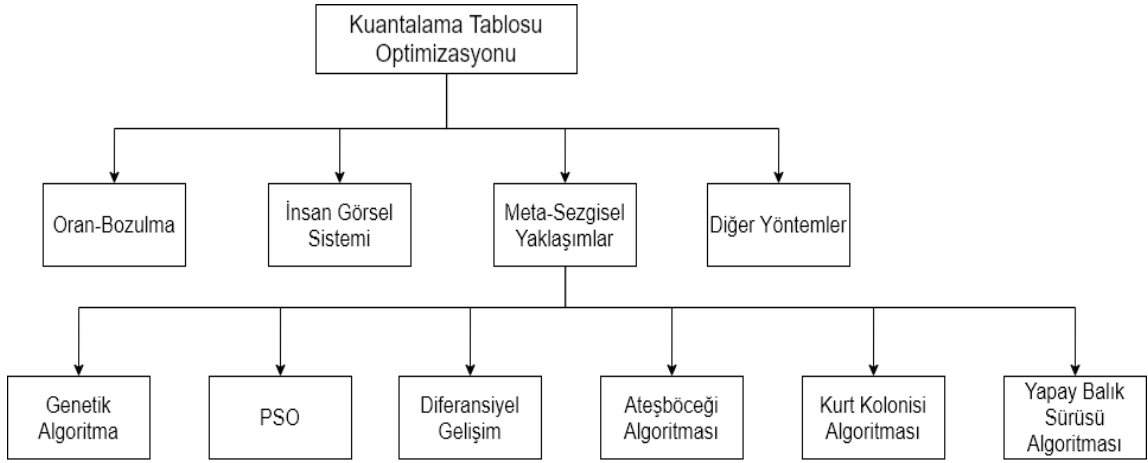
Kuantalama adımından sonra, Şekil 4' de gösterildiği gibi Zikzak tarama yöntemi kullanılarak değerler bir diziye dönüştürülür. Zikzak dizisinde, önce düşük frekanslı (genellikle daha yüksek değerler) değerler, daha sonra yüksek frekanslı değerler(genel olarak sıfır veya sıfıra yakın değerler) kodlanır. Zikzak taramadan sonra entropi kodlama adımıyla bitler kodlanır ve görüntü sıkıştırma işlemi tamamlanmış olur.



Şekil 4. Zig-zag tarama

3. Farklı Kuantalama Tabloları Oluşturma Yöntemleri

Sıkıştırılmış görüntünün kalitesi, JPEG kuantalama adımında kullanılan kuantalama tablosuyla belirlenir. Kuantalama tablosu optimizasyonunda yer alan yaklaşımlar, Şekil 5 'de gösterildiği gibi geniş bir şekilde sınıflandırılır. Bu sınıflandırma dışında daha farklı yöntemler de kullanılabilir[17].



Şekil 5. Kuantalama tablosu üretmek için farklı yaklaşımlar

3.1. Oran-Bozulma Yaklaşımı

Oran-bozulma yaklaşımı, görüntü ve video sıkıştırma algoritmalarının optimize edilmesinde önemli bir rol oynar[18]. Düşük bit değerleri ve yüksek bozulmaya karşılık gelen bir kuantalama tablosundan başlayarak ölçüm tablosunun bir girişi güncellenir. Böylece her adımda, bozulmadaki düşüşün bit oranındaki artışa oranı yaklaşık olarak en üst düzeye çıkarılır[19].

Oran-bozulma metodunu kullanarak niceleme tablosunu oluşturmak için aşağıdaki adımlar kullanılmaktadır.

1. Yüksek bozulma ve düşük bit değerine karşılık gelen bir ölçüm tablosu alınır.
2. Her adımda bir kuantalama tablosu girişi güncellenir.
3. Böylece bit oranı artar ve bozulma azalır.
4. Adım 2 ve 3, istenen bit oranı elde edilinceye kadar tekrar edilir.

3.2. İnsan Görsel Sistemi Yaklaşımı

İnsan Görsel Sisteminde, belirli bir bit oranı için optimum görsel kalite, JPEG algoritması için kuantalama tablosunu tasarlamak bir kılavuz olarak kullanılır. Bu nedenle, kuantalama tablosunun tasarımı, çeşitli Ayrık Kosinüs Dönüşümü frekanslarında meydana gelen kuantalama hatalarına bağlıdır. İnsan görsel sistemi yüksek frekanslı değerlere daha az hassastır. Bu nedenle sıkıştırmanın daha çok bu yüksek frekanslı değerlere uygulanması amaçlanmaktadır. Bu şekilde insan gözünün algılayamayacağı şekilde daha yüksek sıkıştırma oranları elde edilebilir. Kuantalama tablosunu oluşturmak için İnsan Görsel Sisteminde, Görüntüden Bağımsız Algısal Yaklaşım ve Görüntüye Bağlı Algısal Yaklaşım olmak üzere iki yaklaşım kullanılmaktadır[20].

3.3. Meta-Sezgisel Yaklaşımlar

JPEG temel algoritması için kuantalama tablosunun oluşturulması optimizasyon problemi olarak görülmektedir. Optimizasyon problemlerinin çoğu son yıllarda meta-sezgisel yaklaşımlar uygulanarak çözülmüştür. Meta-sezgisel yaklaşımlar, optimizasyon problemine en uygun çözümü sağlamak için doğayı taklit eder. Bu optimizasyon tekniklerini kuantalama tablosu üretme problemine kullanabilmek için, algoritmaları iyi analiz edip, gerekli parametreleri bu doğrultuda ayarlamak ve algoritmaları bu probleme göre uyarlamak gerekmektedir[7-8].

4. Önerilen Yöntem

JPEG algoritmasında kullanılan kuantalama tablosunun her bir değeri o değer komşularının ortalaması alınarak yeni bir tablo elde edilmiştir. Ortalamanın sonucu tam sayı çıkmadığında bir önceki veya bir sonraki değere yuvarlanmıştır. Örneğin standart JPEG tablosunda ilk değer komşuları 11 ve 12 değerleridir. Bu iki değer ortalaması 11.5 değeri 12 değerine yuvarlanır ve önerilen tablonun ilk değerine yazılır. Bu işlem tüm elemanlara uygulanarak tablo elde edilir. Elde edilen tablo Tablo 2 'de gösterilmektedir.

Tablo 2. Önerilen Tablo

12	13	14	18	27	44	54	53
14	13	14	20	35	46	58	59
13	15	18	26	40	64	63	62
16	18	25	38	56	74	80	71
20	27	39	50	74	91	95	86
34	41	54	70	85	106	105	97
53	64	75	86	100	107	110	104
71	77	89	98	100	112	106	102

5. Analiz Sonuçları

JPEG algoritmasında sıkıştırma ve bozulma oranı kalite faktörüne(Q) göre ayarlanabilmektedir[21]. Şekil 6 'da verilen görüntüler için 10, 20, 60 ve 100 kalite faktörleri kullanılarak sonuçlar test edilmiştir. Burada seçilen kalite faktörleri örnek olması açısından rastgele seçilmiştir. Ayrıca kalite faktörü 1 ile 100 arasında seçilebilmektedir. Kalite faktörü 100 dahi seçilse kayıplı sıkıştırma meydana gelmektedir.

Bu makalede görüntü sıkıştırma yönteminin başarısını değerlendirmek için iki temel ölçüt kullanılmıştır. Bunlardan ilki görüntünün sıkıştırma oranıdır. Sıkıştırma oranı aşağıdaki formül ile hesaplanabilir.

$$\text{Sıkıştırma oranı(SO)} = \text{Orijinal görüntünün boyutu} / \text{Sıkıştırılmış görüntünün boyutu}$$

Diğer başarı ölçütü ise sıkıştırılmış görüntünün ne kadar bozulduğunu test etmektir. Bunun için en çok kullanılan yöntemlerden biri olan Tepe sinyal-gürültü oranı(Peak signal-to-noise ratio-PSNR) yöntemi kullanılmıştır. PSNR değerini hesaplamak için denklem 3 kullanılabilir.

$$PSNR = e_{ms}^2 = (1 - NM) \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M E(u_{i,j} - u_{i,j}^*)^2 \quad (3)$$



Şekil 6. Orijinal Test Görüntüleri ve boyutları

4 farklı kalite faktörü için hem standart JPEG tablosu hem de önerilen tablo ile sıkıştırılmış Lena görüntüleri Şekil 7 'de verilmiştir. Analiz sonuçları ise Tablo 3 'de gösterilmektedir. Tablo 3'e bakıldığında kalite faktörü yükseldikçe sıkıştırma miktarının azalır, görüntünün kalitesinin yani PSNR değerinin arttığı görülmektedir. Aynı şekilde kalite faktörü küçüldükçe sıkıştırma oranı artar ve PSNR değeri düşer. JPEG yöntemi ile bir görüntü sıkıştırıldığında, sıkıştırma oranı ve görüntü kalitesi arasındaki dengenin iyi sağlanması gerekmektedir. Buna kullanıcılar karar verebilmektedir. JPEG yönteminin en büyük avantajlarından birisi budur. Şekil 6'da verilen görüntülerin sıkıştırma sonuçlarının ortalamaları alındığında, önerilen tablonun PSNR değerinde %0,05 gibi ihmal edilebilecek bir düşüş ile sıkıştırma oranını %3,52 arttırdığı tespit edilmiştir.



Şekil 7. Sıkıştırılmış Görüntüler (JPEG kuantalama tablosu a: Q=10, b:Q=20, c:Q=60, d:Q=100) (Önerilen kuantalama tablosu e: Q=10, f:Q=20, g:Q=60, h:Q=100)

Tablo 3. Analiz Sonuçları

Orijinal Test Görüntüsü	Kalite Faktörü (Q)	JPEG			Önerilen		
		Boyut(kb)	SO	PSNR	Boyut(kb)	SO	PSNR
(a)	Q=10	12,7	36,37	30,98	12,4	37,25	31,04
	Q=20	17,6	26,25	32,41	17	27,17	32,37
	Q=60	35	13,2	34,25	33,8	13,66	34,19
	Q=100	439	1,05	50,56	439	1,05	50,56
(b)	Q=10	13,9	44,74	30,68	13,5	46,07	30,74
	Q=20	19,7	31,57	31,80	19,1	32,56	31,78
	Q=60	41,1	15,13	33,25	39,6	15,70	33,22
	Q=100	482	1,29	50,65	482	1,29	50,65
(c)	Q=10	29,9	21,80	29,59	28,1	23,20	29,55
	Q=20	44,4	14,68	30,38	42,1	15,48	30,30
	Q=60	87,1	7,48	32,30	84,2	7,74	32,22
	Q=100	580	1,12	50,86	580	1,12	50,86
(d)	Q=10	18,8	27,39	30,60	17,9	28,77	30,64
	Q=20	28,5	18,07	31,90	26,9	19,14	31,83
	Q=60	59,4	8,67	34,10	57,1	9,01	33,97
	Q=100	503	1,02	50,58	503	1,02	50,58
(e)	Q=10	16,3	39,93	31,75	16	40,68	31,95
	Q=20	21,6	30,13	34,24	20,9	31,14	34,21
	Q=60	39,8	16,35	37,53	38,7	16,82	37,41
	Q=100	397	1,63	50,65	397	1,63	50,65
Ortalama		144,34	17,8935	29,543	143,415	18,525	29,528
Kazanç ve Kayıp Yüzdesi						+%3,52	-%0,05

6. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, JPEG temel algoritmasında kuantalama tablosu oluşturmak için kullanılan çeşitli yaklaşımlar hakkında bir araştırma sunulmakta olup yeni bir kuantalama tablosu önerilmiştir. JPEG oran-bozulma yaklaşımı, insan görsel sistemi yaklaşımı ve meta-sezgisel yaklaşımlar gibi çeşitli yöntemler üzerinde bir analiz yapılmıştır. Günümüzde hala optimum çözüme ulaşılamamıştır ve çalışmalar her geçen gün artmaktadır. Bu yazıda, var olan kuantalama tablosundan basit bir yöntemle yeni bir tablo elde edilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Önerilen tablonun, standart JPEG tablosuna göre görüntülerin kalitesinden neredeyse ödün vermeden sıkıştırma oranını %3,52 arttırdığı tespit edilmiştir. Buda gösteriyor ki daha iyi kuantalama tabloları elde edilebilir. Özellikle yakın zamanda ortaya çıkan birçok yeni meta sezgisel algoritma bulunmaktadır. Bu algoritmalar kullanılarak oluşturulacak farklı kuantalama tablolarının daha iyi çözümler vereceği düşünülmektedir.

Kaynaklar

- [1] B. V. Kumar, G.R. Karpagam and N. V. Rekha. Performance Analysis of Deterministic Centroid Initialization method for Partitional Algorithm in Image Block Clustering. Indian Journal of Science and Technology, Vol.8 (s7):63-73.
- [2] F. Ernawan, N. Suryana. A generic psycho visual error threshold for the quantization table generation on jpeg image compression. IEEE Signal Processing and its Applications Colloquium, pp. 39-43, 2013.
- [3] J. Yuebing. JPEG image compression using quantization table optimization based on perceptual image quality assessment, IEEE Signals, Systems and Computers Conference, New Jersey, NJ, USA, pp. 225- 229, 2011.
- [4] Y.G. Wu. GA-based dct quantization table design procedure for medical images, IEE P-Vis Image Sign, 151: 353-359, 2004.
- [5] B. Lazzerini, F. Marcelloni, M. Vecchio. A multi-objective evolutionary approach to image quality/compression ratio trade-off in jpeg baseline algorithm. Applied Soft Computing, 10:548-561, Elsevier, 2009.

- [6] H. Ma, Q. Zhang. Research on cultural-based multi objective particle swarm optimization in image compression quality assessment. *Optik* 124, 957– 961, Elsevier, 2012.
- [7] M. Tuba, N. Bacanin. JPEG Quantization Tables Selection by the Firefly Algorithm. *International conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS)*, IEEE, 2014.
- [8] B. V. Kumar, G.R. Karpagam. Differential evolution versus genetic algorithm in optimising the quantisation table for JPEG baseline algorithm. *International Journal on Advanced Intelligence Paradigms*, 7 (2), 111-135,2015.
- [9] B. Vinoth, K. and G.R. Karpagam. A problem approximation surrogate model (PASM) for fitness approximation in optimizing the quantization table for the jpeg baseline algorithm. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*,2015.
- [10] X. Zhang, S. Wang, K. Gu, W. Lin, S. Ma, W. Gao. Just-Noticeable Difference-Based Perceptual Optimization for JPEG Compression, *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 24: no. 1, 2017.
- [11] C.H. Huang, J. L. Wu. JQF: Optimal JPEG Quantization Table Fusion by Simulated Annealing on Texture Images and Predicting Textures, *Image and Video Processing*. arXiv:2008.05672, 2020.
- [12] X. Yan, Y. Fan, K. Chen, X. Yu, X. Zeng. QNet: An Adaptive Quantization Table Generator Based on Convolutional Neural Network, *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 29, 2020.
- [13] J. Choi, B. Han. Task-Aware Quantization Network for JPEG Image Compression. *ECCV 2020: Computer Vision – ECCV 2020 pp 309-324*, 2020.
- [14] Wallace, G. K. (1992). The JPEG still picture compression standard. *IEEE transactions on consumer electronics*, 38(1), xviii-xxxiv.
- [15] F. Artuğer, F. Özkaynak. JPEG Sıkıştırma Algoritmasının Dünü Bugünü ve Geleceği, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 32 (3) 2018.
- [16] F. Artuğer, F. Özkaynak. Performance Comparison for Lossy Image Compression Algorithm. *Proceedings of The IIER International Conference*, Kiev, 2018.
- [17] X. Zhang, S. Wang, K. Gu, W. Lin, S. Ma, W.Gao. Just-Noticeable Difference-Based Perceptual Optimization for JPEG Compression, *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 24, no. 1, 2017.
- [18] G. Sullivan and T. Wiegand. Rate-distortion optimization for video compression, *IEEE Signal Process. Mag.*. Vol. 15, no. 6, pp. 74–90, Nov. 1998.
- [19] K. Ramchandran and M. Vetterli. Rate-distortion optimal fast thresholding with complete JPEG/MPEG decoder compatibility. *IEEE Trans. Image Proc*, vol. 3, pp. 700-704, Sept. 1994.
- [20] A. B. Watson, (1993). DCTune: A technique for visual optimization of DCT quantization matrices for individual images. *Society for Information Display Digest of Technical PapersXXIV*, 946-949.
- [21] B. Mahdian, S. Saic, R. Nedbal. Jpeg quantization tables forensics: A statistical approach. In H. Sako, K. Y. Franke, S. Saitoh, editors, *Computational Forensics*, pages 150–159, Berlin, Heidelberg, 2011. Springer Berlin Heidelberg.