

KENAR GEÇİŞLERİ KULLANILARAK GÖRÜNTÜDEKİ BULANIKLIĞIN GİDERİLMESİ

Halime Boztoprak*

Geliş Tarihi/ Received: 11.02.2016, Kabul tarihi/Accepted: 26.08.2016

Özet

Görüntü işleme alanında en büyük problemlerinden biri olan bulanıklığının giderilmesi için bir yöntem önerilmiştir. Bulanıklık kenarların net olmaması, renk geçişlerinin çok yumuşak olması olarak ifade edilebilir. Bu çalışmada, odak bulanıklığı (out-of-focus) için kenar geçişleri kullanılarak bir filtreleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bulanık görüntüden yola çıkarak görüntüdeki bulanık geçişlerden daha keskin bir geçiş elde edebilmek için satır, sütun ve çapraz piksel değerleri kullanılmıştır. Görüntü üzerindeki piksel değerleri satır, sütun, çapraz piksellerin farkları kullanılarak yeniden hesaplanmıştır. Görüntünün orijinalliğini bozmadan daha keskin geçişler elde edilmeye çalışılmıştır. Önerilen yöntemin başarısını karşılaştırmak için ortalama, ortanca, wiener ve keskinleştirme filtreleri kullanılmıştır. Karşılaştırma parametreleri olarak görüntü kalitesini ölçen metotlar kullanılmıştır. Bu karşılaştırmalara göre en iyi sonucu önerilen metot vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Görüntü İşleme, Bulanıklık, Pillbox Filtresi, Görüntü Kalite Ölçümü

IMAGE DE-BLURRING BASED ON EDGE TRANSITIONS

Abstract

In this study, a method is proposed to eliminate blurring which one of the biggest problems in image processing. The blurring can be expressed as being very soft color transitions and the lack of clear edge. In this study, a filtering process was performed using the edge transitions for out-of-focus. The row, column and cross-pixel values were used in order to obtain a sharper transition from blur transition in the image based on the blur image. The pixel values on image were re-calculated using the difference of rows, columns, cross-pixels. Sharper transitions are trying to achieve without distorting the originality of the image. The method is compared with mean, median, wiener, sharpening filters which are widely used in image processing research. Image quality metrics were used to as comparison parameters. The proposed method gave the best results according to these comparisons.

Key Words: Image Processing, Blurring, Pillbox Filter, Image Quality Metrics

* Alanya Alaattin Keykubat Üniversitesi, Akseki MYO
E-posta: halimeboz@yahoo.com

1. Giriş

Görüntüler genellikle gürültü içerirler. Görüntülerdeki gürültülerin ayıklanması ve bunun sonucunda yüksek görüntü kalitesi elde edilmesi görüntü işlemenin önemli konularındandır (Gonzalez ve Woods, 2007). Görüntü iyileştirme başlı başına ayrı bir araştırma konusu olmakla birlikte, literatürde yaygın olarak görüntü işlemeye dayalı geliştirilen algoritmalarda öncül işlem olarak da kullanılmaktadır. Buradaki temel amaç, görüntünün istenilen işleme alınmadan önce kalitesinin artırılması ve daha başarılı sonuçlar elde etmektir (Durana ve ark., 2013).

Gürültü temizleme işlemlerinde genel olarak karşılaşılan problemlerden biri, görüntünün işlem sonrası bulanıklaşmasıdır. Bu noktada görüntünün bulanıklaşmasına sebep olmadan gürültünün temizlenmesi önem teşkil etmektedir. Görüntü iyileştirme görüntünün daha iyi anlaşılması, görüntü içerisindeki gürültünün azaltılması, kenarların belirginleştirilmesi, kontrastın artırılması, insan gözünün fark edemediği ancak görüntünün içinde bulunan bilgilerin göz ile fark edilebilir şekle dönüştürülmesi vb. için kullanılan tekniklerdir. Genelde kontrast modifikasyonu (contrast enhancement, contrast stretching), histogram modifikasyonu (histogram equalization, histogram stretching), gürültü azaltma (filtering), görüntü keskinleştirme (edge enhancement), sahte renklendirme (false color) ve değişiklikleri büyütme gibi teknikler kullanılmaktadır. İşlenecek görüntünün özelliklerine ve amaca uygun görüntü işleme tekniklerinin belirlenmesi bir zorunluluktur (İnce, 2012).

Buades ve arkadaşları yerel-olmayan ortalamalar yöntemi kullanarak gürültü ayıklaması yapmıştır (Buades ve ark., 2010). Taşdizen yerel-olmayan ortalamalar yöntemi ile başlıca komşular yaklaşımını harmanlayıp görüntü iyileştirmesine uygulamıştır (Tasdizen, 2009). Nasri ve arkadaşları ise dalgacık alanında yeni bir eşik işlevi tanımlayarak geliştirdikleri algoritmayı Gauss ve benek gürültüsü içeren görüntülere uygulamışlar ve etkili sonuçlar elde etmişlerdir (Nasri ve Nezamabadi, 2009). Durana ve arkadaşları gürültülü görüntülerin iyileştirilmesi için bulanık c-ortalama yöntemini popülasyon denge modeli yönteminin birlikte kullanılmasını önermişlerdir (Durana ve ark., 2013).

Görüntü kalitesi her ne kadar öznel (bakan kişiye göre değişebilen) bir olgu ise de; sinyalin gürültüye oranı hesaplanarak nesnel (bakan kişiye göre değişmeyen) bir değer hesaplanabilir (Durana ve ark., 2013). Bu amaçla birçok görüntü netliğini ölçen parametreler geliştirilmiştir (Wang ve Bovik, 2002; Wang ve ark., 2004).

Keskin görüntülerde kenarlar, aynı görüntünün bulanık haline göre daha belirgindir. Bundan dolayı, görüntünün keskinliği görüntü içerisinde bulunan kenar bilgileri kullanılarak ölçülebilir. Özkan ve Seke, çalışmasında, kenarlılık olarak isimlendirilen bir görüntü kalite ölçütü olarak kullanılmış ve kenarlılığı en-büyüklemeye çalışan özyineli bir algoritma önerilmiştir. Yapılan deneysel çalışmaların da kenarlılığı en büyüklemek sinyal gürültü oranı artırmakta ve uygulanan algoritma sonucunda elde edilen görüntülerin daha keskin olduğu belirtilmiştir (Özkan ve Seke, 2010).

Görüntü algılayıcılarla elde edilen görüntülerin mümkün olandan daha bulanık ve gürültülü olması oldukça normal ve neredeyse kaçınılmazdır. Bulanıklık istenilen resmin tam olarak görülebilmesi ya da anlaşılabilmesi olarak ifade edilebilir. Kenarların net olmaması, renk

geçişlerinin çok yumuşak olması bulanıklık olarak ifade edilebilir. Çünkü bulanık bir görüntüde kenarların keskinliği az, çizgiler ve ayrıntılar tam olarak belirgin değil yani nesnelerin seçimi zordur (İpek, 2012). Bulanık ve gürültülü görüntülerin onarımı ve geliştirilmesi birçok temel görüntüleme uygulamalarında önemlidir (Özkan ve Seke, 2010).

Literatürde genellikle benek, tuz biber, dürtü ve gauss gürültüleri giderilmeye veya azaltılmaya çalışılmıştır. Bu çalışmada ise odak bulanıklığını simüle etmek için kullanılan dairesel ortalama filtre (pillbox filtresi) gürültüsü giderilmeye çalışılmıştır. Bu yöntemde, kenar geçişleri kullanılarak maskeler oluşturulmuştur. Bu maskeler kullanılarak görüntüdeki piksellerin değerleri değiştirilmiştir. Önerilen yöntem görüntü işleme araştırmalarında yaygın olarak kullanılan ortalama, ortanca, wiener, keskinleştirme filtreleriyle karşılaştırılmıştır. Başarım kriteri olarak, görüntü kalitesini ölçen MSE, MAE, PSNR, SSIM, RMSE, QI, IEF parametreleri kullanılmıştır.

2. MATERYAL ve METOT

2.1 İki Boyutlu Konvolüsyon

Konvolüsyon, piksellerin komşuluğundan faydalanarak, bir filtre çekirdeğinin ilgili resim üzerinde gezdirilmesi ile gerçekleşir. Yaygın olarak yumuşatma, kenar belirleme, bulanıklık giderme gibi uygulamalarda kullanılmakta ve tüm bu uygulamalarda filtre çekirdeği, genelde kendisinden daha büyük olan görüntü matrisiyle çarpılarak konvolüsyon sonucuna ulaşılır (Illig, D.; Liu, 2013). Matematiksel ifadesi Eşitlik (1)'de verilmiştir (Bagbaba ve ark., 2014).

$$\sum_{i=0}^{w-1} \sum_{j=0}^{h-1} k(i,j) \cdot f(x-i, y-j) = k * f \quad (1)$$

Burada, w ve h görüntü boyutları, k konvolüsyon çekirdeği, f ise görüntüdür.

Konvolüsyon işleminde bir pikselin yeni değeri kendisinin ve çevresindeki piksellerin ağırlıklı ortalamaları bulunarak yapılır. Konvolüsyon çekirdeği uygulamaya göre farklı boyutlarda olsa da birçok uygulamada 3x3'lük matrisler kullanılmaktadır (Bagbaba ve ark., 2014). konvolüsyon çekirdeği kullanılarak yapılan birçok görüntü filtreleme yöntemi mevcuttur.

2.2 Görüntü kalite ölçüm metotları

Hangi metodun daha iyi olduğu bazen görsel olarak ayırt edilebilmektedir. Ancak, görsel yanılma olabileceği gibi, ileri görüntü işleme adımlarında daha kötü sonuçlar alınabilir. Bu nedenle iyileştirilmiş görüntülerin kalite analizlerinin nicel olarak yapılmasına ihtiyaç vardır. Bu çalışmada kullanılan istatistiksel kriterler aşağıda sıralanmıştır.

Ortalama Karesel Hatanın (Mean Squared Error, MSE): MSE'nin sayısal değeri ne kadar az ise benzerlik o kadar fazladır.

$$MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_i \sum_j [A(i,j) - W(i,j)]^2 \quad (2)$$

Burada, M ve N sırasıyla görüntünün satır ve sütunlarındaki piksel sayısını ifade etmektedir.

Ortalama Karesel Hatanın Karekökü (Root Mean Squared Error, RMSE): MSE'nin karekökü ile elde edilir. Ölçüm değerleri ile model tahminleri arasındaki hata oranını belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Değerinin sıfıra yaklaşması modelin tahmin kabiliyetinin artması anlamına gelmektedir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{XY} \sum_{i=0}^X \sum_{j=1}^Y [I(i,j) - I_c(i,j)]^2} \quad (3)$$

Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error, MAE): Ölçüm değerleri ile model tahminleri arasındaki mutlak hatayı belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. MAE değeri sıfıra ne kadar yakın olursa modelin tahmin yeteneği o kadar iyi demektir. MAE Eşitlik (4) kullanılarak hesaplanmaktadır (Kaveh ve ark., 2008).

$$MAE(r, e) = \frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} |r(i,j)| \quad (4)$$

Pik Sinyal Gürültü Oranı (Peak Signal to Noise Ratio, PSNR): Bilinen görüntüler üzerinde objektif görüntü kalitesi ölçümü için pik sinyal gürültü oranı (PSNR) kullanılmaktadır (Hore ve Ziou, 2010). Orijinal görüntüler kontrollü şekilde bozulur, daha sonra orijinal ve bozulmuş görüntülerin sinyal gürültü oranları mukayese edilmektedir. Karşılaştırmak için kullanılan PSNR kriteri 8 bitlik görüntüler için Eşitlik (5)'deki gibi tanımlanmaktadır. N×M büyüklüğündeki orijinal ve gürültülü görüntüler sırasıyla C ve ST ile gösterilmektedir (Ulutaş, 2012).

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2 \times N \times M}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (C_{ij} - ST_{ij})^2} \quad (5)$$

Yüksek bir PSNR değeri daha yüksek görüntü kalitesini demektir. Düşük PSNR değeri ise görüntüler arasında yüksek sayısal farkı ifade eder.

İyileştirme Ölçüm Faktörü (Measure of Enhancement Factor, EMF): İyileştirme ölçüm hatası (Enhancement Measurement Error, EME) ve iyileştirme ölçüm faktörü sırasıyla Eşitlik (6) ve (7)'de tanımlanmıştır (Lal ve Kumar, 2013).

$$EME(e) = \frac{1}{k_1 k_2} \sum_{m=1}^{k_1} \sum_{l=1}^{k_2} 20 \ln \left(\frac{I_{max}^{l,m}}{I_{min}^{l,m}} \right) \quad (6)$$

EME her bir bloktaki maksimum ve minimum yoğunluk değerlerini ölçer. I_{max} ve I_{min} , $k_1 \times k_2$ görüntünün $m \times l$ alt bloklarının maksimum ve minimum değerleridir. Giriş ve çıkış görüntüler

$$EMF = \frac{EME_{çıkış}}{EME_{giriş}} \quad (7)$$

arasındaki EMF değeri Eşitlik (7)'de verilmiştir.

Evrensel Resim Kalite İndeksi (Universal Image Quality Index, UIQI): Kalite indeksi Q, korelasyon kaybı, parlaklık ve kontrast bozukluklarının kombinasyonundan modellenmiş bir distorsiyon ifadesidir (Wang ve Bovik, 2002).

$$UIQ = \frac{\sigma_{AB}}{\sigma_A \sigma_B} \frac{2\mu_A \mu_B}{\mu_A^2 + \mu_B^2} \frac{\sigma_A \sigma_B}{\sigma_A^2 + \sigma_B^2} \quad (8)$$

Yapısal Benzerlik İndeksi Ölçütü (Structural Similarity Index Measurement, SSIM): Bu yöntem, iki görüntüye ait parlaklık, kontrast ve yapı denilen 3 özneliliğin karşılaştırılmasına dayanmaktadır (Wang ve ark., 2004). x ve y birer görüntü olmak üzere SSIM ölçütü aşağıdaki Eşitlik (9) ile elde edilmektedir.

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x \mu_y + c_1)(2\sigma_{xy} + c_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2)} \quad (9)$$

Burada x , y karşılaştırılan görüntüler $\mu_x, \mu_y, \sigma_x, \sigma_y$ ve σ_{xy} tahmin edilen görüntüye ait piksel yoğunluk ortalaması, standart sapmasını ve ortak varyansı belirtmektedir.

3. YÖNTEM

Görüntüler üzerinde meydana gelen bozulmaların çok çeşitli nedenleri olabilmekte ve bu bozulma etkilerinin onarılması için çok farklı filtreler tasarlanabilmektedir. Eğer orijinal görüntü bir bulanıklaştırma tabii tutulursa kenarların yumuşayacağı açıktır. Bulanıklaştırma işleminin boyutu büyüdükçe kenarlılık oranı azalmaktadır. Bir başka değişle bulanıklaştırma etkisi ile kenarlılık oranı arasında ters orantı vardır (Özkan ve Seke, 2010). Keskin görüntülerdeki kenarlar, aynı görüntünün bulanık haline göre daha belirgindir. Bundan dolayı, görüntünün keskinliği görüntü içerisinde bulunan kenar bilgileri kullanılarak ölçülebilir.

Bu çalışmada, bulanık görüntüden yola çıkarak görüntüdeki bulanık geçişlerden daha keskin bir geçiş elde edebilmek için satır, sütun ve çapraz piksel değerleri kullanılmıştır. Görüntü üzerindeki piksel değerleri satır, sütun, çapraz piksellerin farkları kullanılarak yeniden hesaplanmıştır. Bunun için 1. ve 3. satırların farkı 2. satıra yazılmıştır. Bu şekilde tüm satırlar için bu işlemler uygulanmıştır. Aynı zamanda aynı işlemler sütun ve çaprazlar için ayrı ayrı uygulanmıştır. Bu işlemler sonucunda 4 ayrı görüntü elde edilmiştir. Bu işlemleri yapabilmek için Şekil 1'deki kerneller kullanılmıştır.

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

Şekil 1. Kullanılan kernel matrisleri

Şekil 1'deki matrisler ile elde edilen dört görüntü toplanmış ve ikili seviyeye dönüştürülmüştür. Oluşturulan bu görüntüden birden fazla maske oluşturulmuştur. Bu maskeler sırayla bozulmuş görüntü ile 3x3 lük matrislerle karşılaştırılmıştır. Her pikselin değeri, maskenin sıfır kısımları dikkate alınarak ve görüntüden alınan değerler kullanılarak değiştirilmiştir. Döngü, her maskedeki tüm sıfırlar bitesiyeye kadar devam etmektedir. Böylece görüntünün orijinalliğini bozmadan daha keskin geçişler elde edilmeye çalışılmıştır.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLAR

Çalışmanın sonuçlarını karşılaştırmak için orijinal görüntü kontrollü bir şekilde bozulmuştur. Bu çalışmada, odak bulanıklığı giderilmeye çalışıldığı için görüntü pillbox filtresi ile bozulmuştur. Pillbox filtresi Eşitlik (10)'da tanımlanmıştır. Buradaki R bulanıklıklığın yarıçapını göstermektedir (R değeri 5 seçilmiştir).

$$h(x, y) = \begin{cases} 0, & \sqrt{x^2 + y^2} > R \\ 1/(\pi R^2), & \sqrt{x^2 + y^2} \leq R \end{cases} \quad (10)$$

Metodun performansını karşılaştırmak için görüntü işleme araştırmalarında yaygın olarak kullanılan ortalama, ortanca, wiener ve keskinleştirme filtreleri kullanılmıştır.

Ortalama filtresi, uzamsal bölgede çalışan doğrusal bir filtredir. Bu yöntem aslında çoğunlukla 3x3' lük bir filtre maskesinin görüntü üzerinde katlanmasıyla ibarettir. Kaydır-çarp-topla prensibine göre uygulanır.

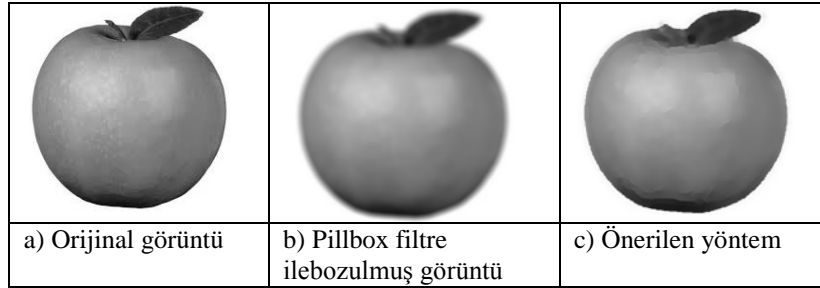
Ortanca filtresi, ortalama filtresinin aksine doğrusal olmayan bir filtre olmakla beraber çalışma prensibi ortalama filtresine benzerdir. Hareket eden pencere prensibiyle süzme işlemini gerçekleştirir.

Wiener filtresi, frekans bölgesinde çalışan, doğrusal ve adaptif bir yöntemdir. İdeal görüntü ve ideal görüntü kestirimi arasındaki ortalama karesel hatayı (MSE) minimize etmeyi amaçlar (Erdem ve ark., 2013).

Keskinleştirme filtreleri görüntüdeki küçük detayların (yüksek frekanslı bileşenler), köşelerin daha belirgin hale getirilebilmesi işleminde kullanılır.

İyileştirilmiş görüntülerin kalite analizlerinin nicel olarak yapılmasına ihtiyaç vardır. Ortalama, ortanca filtresi, wiener, keskinleştirme ve önerilen yöntemin görüntüler üzerinde oluşturduğu etkiler, hem görsel olarak (Şekil 2) hem de görüntü kalitesini ölçen parametreler kullanılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'deki

görüntü kalitesi ölçen parametrelerden PSNR ile SSIM ve IEF metotları literatürde son zamanlarda çok kullanılmaktadır.



Şekil 2. Görüntünün netleştirilmesi

Orijinal ile filtrelenmiş/onarılmış görüntülerin ne kadar benzer olduğunu bulmak için Tablo 1’de gösterilen görüntü kalitesini ifade eden sayısal parametreler kullanılmıştır.

Tablo 1. Önerilen metodun görüntü kalitesini ölçen parametrelerle karşılaştırılması

	MSE	MAE	PSNR	SSIM	RMSE	QI	IEF
Ortanca	255.6824	6.0029	24.0878	0.8505	15.9901	0.6643	0.9790
Ortalama	33258	169.3563	2.9458	0.0063	182.3689	0.009	0.6490
Wiener	256.2334	6.1747	24.0784	0.8486	16.0073	0.6509	0.9769
Keskinleştirme	236.0444	5.8326	24.4349	0.8436	15.3637	0.6313	1.0605
Önerilen Metot	54.0499	2.7385	30.8369	0.9224	7.3519	0.7115	3.6872

Hesaplanan (MSE, MAE, RMSE) hata değerleri içinde en küçük değeri, büyük bir farkla, önerilen metod vermiştir.

Görüntü işleme araştırmalarında çok yaygın olarak kullanılan görüntü kalite ölçen parametrelerden biri olan PSNR en yüksek değeri vermiştir.

QI ve IEF yüksek olması, önerilen yöntemin görüntü kalitesinin iyi olduğunu gösterir. SSIM, bir görüntünün algılanan görsel kalitesine ne kadar yaklaştığını gösterir. SSIM indeksi [0,1] değerleri alır ve kalite arttıkça artar (Wang ve ark. 2004).

MSE, MAE, RMSE hata hesaplarının küçük olması, PSNR, IEF, QI, SSIM değerlerinin büyük olması istenir. Bu çalışmada Tablo 1’de görüldüğü gibi orijinal görüntüye en yakın sonucu önerilen metod vermiştir.

5. SONUÇ

Bulanık bir görüntüde kenarlar belirsiz, çizgiler ve ayrıntılar tam olarak belirgin değildir. Uygulanan yöntemle görüntüdeki bulanık geçişlerden daha keskin bir geçişler elde edilmiştir. Öncelikle kenar geçişleri kullanılarak maskeler oluşturulmuştur. Bu maskeler kullanılarak görüntüdeki piksellerin değerleri değiştirilmiştir. Önerilen yöntemin başarısını karşılaştırmak için literatürde bilinen ortalama, ortanca, wiener ve keskinleştirme filtreleri kullanılmıştır. Bazı gürültüleri yok etmekte oldukça başarılı olan ortalama, ortanca, wiener, keskinleştirme filtreleri odak gürültüsü için başarısız olmuştur. Odak gürültüsü için yapılan filtreleme işlemi oldukça iyi sonuçlar vermiştir. Başarım kriteri olarak, görüntü kalitesini ölçen MSE, MAE, PSNR, SSIM, RMSE, QI, IEF parametreleri kullanılmıştır. Sonraki çalışmalarda çeşitli görüntüler için metodun başarısı tekrar değerlendirilebilir. Bulanıklaştırma işlecinin boyutu değiştirilerek yöntem başarısı yeniden hesaplanabilir. Aynı zamanda önerilen metodun diğer gürültü tipleri için başarısının ne olacağı tartışılabilir.

6. KAYNAKLAR

- Bagbaba, A. C., Ors, B., & Erozan, A. T. (2014). Image Filtering Processor and Its Applications. In Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 2011-2014.
- Buades, A., Coll, B., & Morel, J. M. (2010). Image Denoising Methods. A new nonlocal principle. SIAM review, 52(1), 113-147.
- Duran, N., Catak, M., & Ozbek, M. E. (2013). Image Enhancement using Fuzzy C-Means Clustering Based on Local Population Balance Modeling. In Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 1-4.
- Erdem, M. C., Telatar, Z., & Dogan, M. (2013). Image Restoration by Adaptive Wavelet Thresholding Method. Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU).
- Gonzalez, R. C. and Woods, R. E. (2007). Digital Image Processing. Prentice Hall, 3rd edition.
- Illig, D. W., & Liu, C. (2013). Two-Dimensional Convolution on the SCC. Many-Core Architecture Research Community Symposium.
- İpek, İ. (2012). Bulanık Görüntülerin Yapay Sinir Ağları İle Onarılması, Yüksek Lisans Tezi, Elektronik Ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Jawas, N., & Suciati, N. (2013). Image Inpainting using Erosion and Dilation Operation. International Journal of Advanced Science and Technology, 51, 127-134.
- Kaveh, N. S., Ashrafizadeh, S.N., Mohammadi, F. (2008). Development of an Artificial Neural Network Model for Prediction of Cell Voltage and Current Efficiency in A

- Chlor-Alkali Membrane Celll. *Chemical Engineering Research and Design*, 86(5), 461 - 472.
- İnce, K.(2012).Dalgacık Dönüşümü Kullanılarak Uydu Ve Hava Görüntülerinin Gürültüden Arındırılması Üzerine Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, Hava Harp Okulu Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü.
- Lal, S., & Kumar, R. (2013). Enhancement of Hyperspectral Real World Images using Hybrid Domain Approach. *International Journal of Image, Graphics and Signal Processing*, 5(5), 29.
- Nabiyev, V. V., Taşçi, A., & Ulutas, M. (2011). Removing Unwanted Objects froman Image. In *Signal Processing and Communications Applications (SIU), IEEE 19th Conference*, 9-12.
- Nasri, M., & Nezamabadi-pour, H. (2009). Image Denoising in The Wavelet Domain using A New Adaptive Thresholding Function. *Neurocomputing*, 72(4), 1012-1025.
- Özkan, K., & Seke, E. (2010). Image Deblurring Based on Maximization of Edginess. In *Electrical, Electronics and Computer Engineering (ELECO) National Conference*, 634-637.
- Tasdizen, T. (2009). Principal Neighborhood Dictionaries for Nonlocal Means Image Denoising. *Image Processing, IEEE Transactions on*, 18(12), 2649-2660.
- Wang, J., Lu, K., Pan, D., He, N., & Bao, B. K. (2014). Robust Object Removal with an Exemplar-Based Image Inpainting Approach. *Neurocomputing*, 123, 150-155.
- Wang, Z., & Bovik, A. C. (2002). A Universal Image Quality Index. *Signal Processing Letters, IEEE*, 9(3), 81-84.
- Wang, Z., Bovik, A. C., Sheikh, H. R., & Simoncelli, E. P. (2004). Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity. *Image Processing, IEEE Transactions on*, 13(4), 600-612.