

SUALTI GÖRÜNTÜLERİNDE AMPİRİK KİP AYRIŞIMI VE DALGACIK GÜRÜLTÜ GİDERİMİNE DAYALI GÖRSEL İYİLEŞTİRME

VISUAL ENHANCEMENT OF UNDERWATER IMAGES USING EMPIRICAL MODE DECOMPOSITION AND WAVELET DENOISING

Aysun Taşyapı Çelebi, Sarp Ertürk

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Kocaeli Üniversitesi
{aysun.tasyapi,sertur}@kocaeli.edu.tr

ÖZETÇE

Son zamanlarda sualtı araçlarının çoğu sualtını görüntülemek için optik kameralarla donatılmıştır. Ancak optik kameralar kullanılarak çekilen sualtı imgeleri, ışıklandırma koşullarından dolayı çoğu durumda yetersiz görsel kaliteye sahip olmaktadır. Böyle durumlarda imgelerin görsel kalitelerini arttırmak, aynı zamanda da yorumlanabilirliklerini ve görünürlüklerini iyileştirmek üzere imge iyileştirme yöntemlerini uygulamak yararlı olmaktadır. Bu çalışmada, başlangıçta sualtı görüntüsünün herbir renk kanalı Ampirik Kip Ayrışımı yöntemi ile İçkin Kip Fonksiyonlarına (İKF) ayrıştırılır. Ardından herbir renk kanalının ilk İKF'sine dalgacık gürültü giderimi uygulanır. Çünkü bu İKF yerel yüksek uzamsal frekans bileşenleri içermektedir. En son olarak da görsel kaliteyi arttırmak için iyileştirilmiş imge herbir renk kanalının İKF'leri farklı ağırlıklar ile çarpılıp toplanması ile oluşturulur. Ağırlık kestirimi işleminde İKF'lerin ağırlıkları otomatik olarak genetik algoritma kullanılarak hesaplanmaktadır. Genetik algoritma ile yeniden oluşturulmuş imgenin entropi ve ortalama değişimi toplamı optimize edilmektedir.

ABSTRACT

In recent years, most underwater vehicles are equipped with optical cameras to capture underwater images. But underwater images acquired using optic cameras have poor visual quality due to propagation of properties of light in water. So it is useful to apply image enhancement methods to increase visual quality of the images as well as enhance interpretability and visibility. In this paper, an Empirical Mode Decomposition (EMD) based underwater image enhancement algorithm is presented for this purpose. In the proposed approach, initially each color channel (R, G, B) of an underwater image is decomposed into Intrinsic Mode Functions (IMFs) using EMD. The first IMF of each component is applied to wavelet denoising. Because this IMF includes all local high spatial frequency components. Then the enhanced image is constructed by combining the IMFs of spectral channels with different weights in order to obtain an enhanced image with increased visual quality. The weight estimation process is carried out automatically using a genetic algorithm that computes the weights of IMFs so as to optimize

the sum of the entropy and average gradient of the reconstructed image.

1. GİRİŞ

Son zamanlarda sualtı robotlarına (ROV ve AUV) askeri ve sivil uygulamalarda artan bir ilgi bulunmaktadır. Günümüzde sualtı robotlarında sualtını görüntüleyebilmek için çeşitli sensörler bulunmaktadır. Özellikle kısa mesafelerde görüntü alabilmesi için optik sensörler bulunmaktadır. Ama optik sensör ile alınan görüntülerde en büyük dezavantaj sınırlı görünürlüktür. Bu görünürlük temiz sularda yirmi metre, bulanık ve kirlili sularda ise birkaç metre kadardır [1].

Su altından elde edilen görüntülerin kalitesi su içinde ışığın yayılım özellikleri nedeniyle zayıf olmaktadır, bu nedenle bu görüntülere görüntü iyileştirme yapmak gerekmektedir. Sualtı görüntülerindeki bozulmanın en önemli nedeni emme (ışık kaybolur) ve saçılma (ışık yön değiştirir) etkileridir. Başka bir sorun ise derinlik ile ilgilidir. Sualtı optik yapısı nedeniyle, kırmızı renk yaklaşık 3m'de, turuncu renk biraz daha derinlikte, sarı renk yaklaşık 10m derinlikte ve yeşil renk biraz daha fazla derinliklerde kaybolur en son olarak 25m derinlikte sadece mavi renk kalır. Böylece görüntü tipik olarak mavimsi olur [2]. Üçüncü sorun ise derin sularda asılı duran kar tanelerine benzeyen deniz karıdır. Deniz karı görüntüde parlak etkiler yaratır.

Sonuç olarak, sualtı görüntüleri sınırlı görünürlük, düzgün olmayan aydınlatma, düşük kontrastlık, eksilmiş renkler ve bulanık görüntü etkilerine sahiptir. Bu etkilerin bazıları dış aydınlatma kullanıldığında bile görülmektedir. Görüntü kalitesini arttırmak, zayıflama etkilerini telafi etmek, kontrastlık geliştirmek, renk ayarı yapmak, gürültü ve bulanıklığı bastırmak için literatürde sualtı görüntülerine iyileştirme teknikleri uygulamak önerilmiştir.

Literatürde, en yaygın olarak kullanılan iyileştirme teknikleri histogram eşitleme [3] ve kontrastlık yayma [4] yaklaşımlarıdır. Ayrıca adaptif yumuşatma teknikleri ve anisotropik filtreleme, homomorfik filtreleme ve dalgacık gürültü giderimi gibi bazı filtreleme yöntemleri [5] de önerilmektedir.

Bu çalışmada su altı görüntülerinin iyileştirilmesi için iki boyutlu Ampirik Kip Ayrışımı (AKA) ve dalgacık gürültü giderimi yöntemine dayalı bir iyileştirme algoritması gerçekleştirilmiştir. AKA [6] uyarlamalı ve doğrusal olmayan bir sinyal ayrışım yöntemidir. AKA özellikle durağan olmayan ve doğrusal olmayan zaman serilerinde Fourier ve Dalgacık dönüşümlerinden daha başarılı olduğu için tercih edilen bir yöntemdir. İşaret AKA ile İçkin Kip Fonksiyonlarına (İKF) (Intrinsic Mode Functions) ve bir artıklık işaretine (residue)

ayrıştırılmaktadır. Bu çalışmada [7]'dekine benzer bir yöntem geliştirilmiştir. [7]'de sualtı görüntülerini iyileştirmek için imgelerin renk kanalları İKF'lerine ayrıştırılır ve bu İKF'ler için genetik algoritmaya dayalı olarak optimizasyon yapılarak otomatik olarak ağırlık elde edilir ve imge İKF'lerin bu ağırlıklar ile çarpılıp toplanması sonucu geri oluşturulur. Bu çalışmada ise iyileştirilmiş imgenin gürültüsüz elde edilmesi için AKA ile tümleşik dalgacık gürültü giderimi olarak uygulanılmaktadır.

2. ÖNERİLEN YÖNTEM

2.1. Ampirik Kip Ayrışımı

Ampirik Kip Ayrışımı (AKA) (Empirical Mode Decomposition) Huang tarafından önerilmiştir ve işareti İçkin Kip Fonksiyonlarına (İKF) (Intrinsic Mode Functions) ve kalan işareti ayrıştırılmaktadır. İki boyutlu AKA için İKF'lerin ayrıştırma işlemi, verinin $(I(i, j))$ kendisinden başlar .

$$giris_{lk}(i, j) = I(i, j) \quad (1)$$

Burada, ilk indis $(l = 1, 2, \dots, L)$ İKF sayısını, ikinci indis $(k = 1, 2, \dots, K)$ ise yineleme sayısını göstermektedir. Ayrıştırma işlemi aşağıdaki başlıklar halinde özetlenebilir.

- 1- Giriş işaretinin $(giris_{lk})$ yerel minimum ve yerel maksimum noktaları bulunur.
- 2- Yerel maksimumun eğri ara değerlendirilmesiyle üst zarf $e_{max}(i, j)$ yerel minimumun eğri ara değerlendirilmesiyle de alt zarf $e_{min}(i, j)$ oluşturulur.
- 3- Alt ve üst zarfların ortalamaları hesaplanır $ort_{lk}(i, j) = (e_{max}(i, j) + e_{min}(i, j)) / 2$.
- 4- Giriş işaretinden ortalama zarf işareti çıkarılır. $h_{lk}(i, j) = giris_{lk}(i, j) - ort_{lk}(i, j)$.
- 5- Ortalama zarf işaretinin sonlandırma şartını sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir. Kullanılan sonlandırma ölçütü aşağıdaki gibidir.

$$eps = \frac{\sum_{i=1}^H \sum_{j=1}^W |ort_{lk}(i, j)|}{H \times W}$$

Burada H ve W işaretin piksel boyutlarıdır ve eps eşik değeridir. İKF için sonlandırma ölçütü, ortalama işaret sıfıra yaklaştığı zaman elde edilmektedir. Eğer bu şart sağlanmıyorsa, 4. Adım sonrasında oluşturulan işaret giriş işareti $giris_{l(k+1)}(i, j) = h_{lk}(i, j)$ olarak alınır ve süreç 1. adımdan yinelenir. Eğer durdurma şartı $k=K$ adımı sağlanıyorsa, o anki yinelemenin İKF'si 4. adımın son sonuçlarındaki gibi tanımlanır $\dot{IKF}_l(i, j) = h_{lk}(i, j)$.

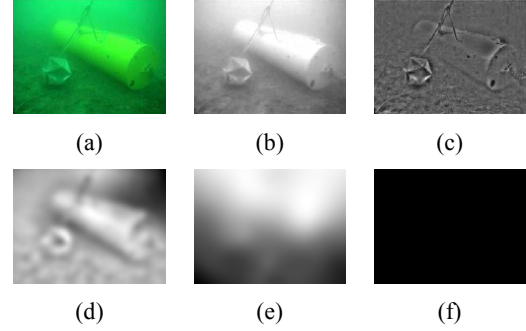
- 6- İKF bulunduktan sonra, kalan işaret $R_l(i, j)$ giriş işareti ile İKF işaretinin farkından elde edilmektedir.

$$R_l(m, n) = giris_{l1}(m, n) - \dot{IKF}_l(m, n)$$

Bu eleme işlemi, kalan işaretin uç noktaları kalmadığı zaman tamamlanmaktadır. Bir sonraki

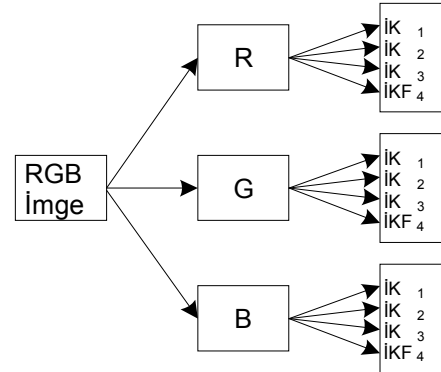
İKF 1. adımdan başlayarak, artık işaretinin $R_l(i, j)$ giriş işareti olarak kullanılmasıyla bulunmaktadır.

Şekil 1'de bir sualtı görüntüsünün yeşil renk kanalına AKA uygulanması sonucu elde edilen İKF'ler ve kalan işaret gösterilmektedir. Birinci İKF en yüksek frekans bileşenlerini içermektedir ve her bir İKF farklı uzamsal konumlarda olmak üzere alçak frekans ve yüksek frekans bileşenlerini içermektedir.



Şekil 1: Örnek bir su altı görüntüsüne 2B-AKA uygulaması (a) orijinal imge, (b) Yeşil renk kanalı (c) 1. İKF, (d) 2. İKF, (e) 3. İKF, (f) Kalan işareti.

Önerilen yöntemde sualtı görüntüsünün üç renk kanalına ayrı ayrı AKA uygulanarak her bir renk kanalı için İKF'ler elde edilmektedir. Şekil 2'de renkli bir su altı görüntüsünün her bir renk kanalına ayrı ayrı AKA uygulanıp İKF'lerine ayrıştırılma işlemi gösterilmektedir



Şekil 2: R, G, B kanallarına ayrı ayrı AKA uygulaması.

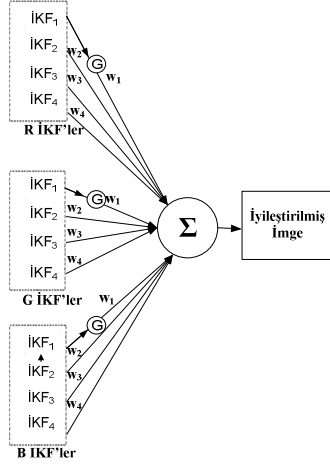
İyileştirilmiş bir görüntü elde etmek amacıyla, İKF'ler farklı ağırlıklar kullanarak geri toplanmaktadır. İyileştirme yaklaşımı aşağıdaki denklemle ifade edilebilmektedir.

$$F(x, y) = \sum_{t=1}^T [w_t \times \dot{IKF}_t^R + w_t \times \dot{IKF}_t^G + w_t \times \dot{IKF}_t^B] \quad (2)$$

Burada $F(i, j)$ iyileştirme sonucundaki imgeyi, t İKF indisini, w_t ise t . İKF'nin ağırlığını göstermektedir. \dot{IKF}_t^R , \dot{IKF}_t^G ve \dot{IKF}_t^B sırasıyla t . kırmızı renk kanalını, t . yeşil renk kanalını ve t . mavi renk kanalını göstermektedir.

2.2. Dalgacık Gürültü Giderimi

Öncelikle AKA sualtı görüntülerinde her bir renk kanalına uygulanmakta ve her bir renk kanalı için İKF'ler elde edilmektedir. Ardından her bir renk kanalının birinci İKF'sine [8-9]'da gösterilen dalgacık gürültü giderimi uygulanmaktadır. Sadece 1.İKF'ye gürültü giderimi uygulamak yeterlidir. Çünkü ilk İKF yüksek uzamsal frekans bileşenlerini ve gürültüyü içerir. Sualtın görüntülerinin her bir renk kanalının 1.İKF'sine gürültü giderimi uygulanması sualtı görüntüsündeki gürültünün yok edilmesini sağlar. Bundan sonraki adımlarda da 1.İKF'nin gürültü giderilmiş versiyonu kullanılmakta ve diğer İKF'ler olduğu gibi kalmaktadır. Bu işlem Şekil 3'de gösterilmektedir. Şekilde G ile gösterilen blok gürültü giderimini temsil etmektedir.



Şekil 3: Önerilen sualtı görüntülerinin iyileştirilmesi yöntemi.

2.3. Optimum Ağırlık Seti İçin Genetik Algoritma

Bu çalışmada İKF'lerin ağırlıklarının optimum bir şekilde otomatik olarak bulunması için genetik algoritması (GA) [10] uygulanmaktadır. Genetik algoritma doğal seleksiyona dayalı optimizasyon problemlerini çözmek için en iyi yollardan biri olarak bilindiği için burada tercih edilmiştir. Genetik algoritma ile ağırlık setini bulmak için geri çatılan yani iyileştirilmiş imgenin entropisinin (4) ve ortalama değişiminin (gradient) (3) toplamını maksimum yapacak optimum ağırlık seti elde edilmektedir. Entropi bir görüntünün zenginliğini, ortalama değişim ise görüntünün kontrastını ölçtüğü ve nihai görüntünün netliğini yansıttığı için bu yaklaşım seçilmiştir. İyileştirilmiş imge genetik algoritma ile bulunan optimum ağırlıkların İKF'ler ile çarpılıp toplanması ile oluşturulmaktadır. $W \times H$ boyutlarındaki bir imgenin ortalama değişimi aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$grad_avg = \frac{1}{W \times H} \sum_{i=1}^W \sum_{j=1}^H \sqrt{\left(\frac{\partial I(i, j)}{\partial i}\right)^2 + \left(\frac{\partial I(i, j)}{\partial j}\right)^2} \quad (3)$$

Burada $I(i, j)$, (i, j) pozisyonundaki piksel değerini gösterir.

Bir imgenin entropisinde aşağıdaki denklem ile bulunmaktadır.

$$H = -\sum_{l=0}^{L-1} P_l \log_2 P_l \quad (4)$$

L mümkün olan piksel değerlerinin sayısını göstermektedir.

2.4. Renk Düzeltme Yöntemi

En son aşamada ise renk kanalları arasında dengeyi sağlamak ve baskın olan yeşil ve mavi rengi bastırmak amacıyla bir renk doğrulama algoritması [5] uygulanmaktadır. Bu algoritma istenilen bir ortalama değer ile (en yüksek piksel değeri olabilir) R, G, B kanallarının ayrı ayrı ortalaması arasındaki farkı her bir piksele aşağıdaki eşitlikte gösterildiği gibi eklemektedir.

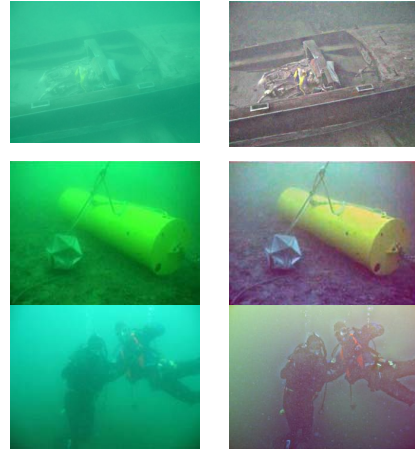
$$R_{CC}(i, j) = R(i, j) + \mu_d - \mu \quad (5)$$

$R(i, j)$, kırmızı renk kanalındaki (i, j) pozisyonundaki piksel değeridir. $R_{CC}(i, j)$ renk doğrulama sonucu elde edilen kırmızı renk kanalıdır. μ_d renk kanalı için istenilen ortalama değerdir μ ise renk kanalı için ortalama değerdir. Bu işlem tüm renk kanalları için ayrı ayrı yapılmaktadır.

3. DENEYSEL SONUÇLAR

Önerilen yöntem birçok su altı görüntüsüne iyileştirme yapmak amacı ile uygulanmıştır. Öncelikle her renk kanalı AKA ile İKF'lerine ayrıştırılmış ve 1.İKF'lere dalgacık gürültü giderimi yapılarak gürültü yok edilmiştir. Ardından R, G ve B kanallarının İKF'leri GA ile elde edilen optimum ağırlık seti ile çarpılıp toplanarak iyileştirilme yapılmış imgeler elde edilmiştir. İlk İKF en yüksek yerel uzamsal frekans detaylarını, ikinci İKF bir sonraki uzamsal frekans detaylarını içermekte ve bu şekilde devam etmektedir. Bu sebepten düşük dereceli İKF'lerin GA ile elde edilen ağırlıklarının yüksek dereceli İKF'lere göre daha büyük olduğu gözlenmektedir. Çünkü düşük dereceli İKF'ler hızlı uzamsal salınım kiplerini ve yüksek frekans karakteristiğini içermekte, yüksek dereceli İKF'ler ise düşük frekans karakteristiklerini içermektedir. En son adım olarak da bu geri çatma işlemi sonucunda elde edilen imgeye renk doğrulama algoritması uygulanmıştır.

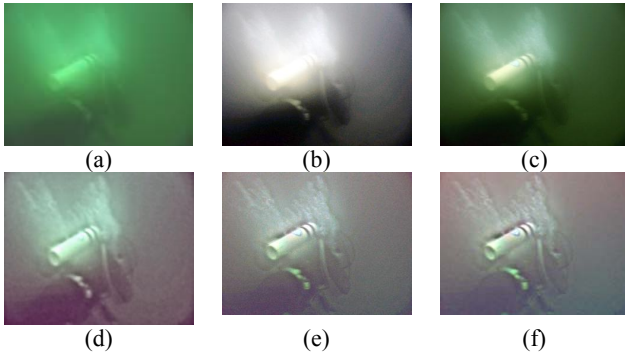
GA uygulamasında her bir nesil 50 birey içermektedir. Kullanılan çaprazlama oranı 0.8, mutasyon oranı ise 0.6 olarak belirlenmiştir. Sonlandırma kriteri olarak da nesil sayısı verilmiştir.





Şekil 4. Sol taraftakiler orijinal imgeler, sağ taraftakiler renk doğrulama uygulandıktan sonraki elde edilen imgeler.

Şekil 4’de görsel karşılaştırma sağlamak için değişik sualtı görüntülerinde önerilen yöntemin sonuçları gösterilmektedir. Açıkça görülmektedir ki önerilen yaklaşım, görüntülerin daha iyi yorumlanabilmesi ve görüntüdeki nesnelerin daha iyi görülüp algılanmasını sağlamaktadır. Geri çatılıp iyileştirilmiş imgeler daha görsel detaylar içermekte ve orijinal imgelerle karşılaştırıldığında daha iyi görüntü kalitesine sahiptir. Sualtı görüntülerinin en önemli sorun düşük kontrasttır. Sonuçlardan da görüldüğü gibi önerilen yöntem kullanılarak bu sorunun üstünden gelinmektedir. Görüntüdeki nesnelere de daha belirgin ortaya çıkmaktadır. Ayrıca bunun yanında imgede ışığın zayıflamasından dolayı oluşan mavimsi renk bastırılıp renklerin düzgün dağılımı sağlanmaktadır.



Şekil 5. (a) Orijinal su altı görüntüsü, (b) R, G ve B kanallarına ayrı ayrı histogram eşitleme sonucu elde edilen imge, (c) kontrast yayma sonucu elde edilen imge, (d) [5]’deki yöntemin uygulanması sonucu elde edilen imge, (e) [7]’deki yöntemin uygulanması sonucu elde edilen imge (f) önerilen yöntemin uygulanması sonucu elde edilen imge.

Şekil 5’ de ise R, G ve B kanallarına ayrı ayrı histogram eşitleme, kontrast yayma, [5]’deki yöntem ve [7]’daki yöntem ile önerilen yöntemin görsel performans karşılaştırılması yapılmaktadır. [5]’deki iyileştirme yöntemi homomorfik süzgeçleme, dalgacık gürültü giderimi ve anisotropik süzgeçleme gibi birçok farklı işlemin uygulanmasını istemektedir. [7]’daki yöntemde AKA temelli benzer bir yaklaşım ile iyileştirme yapılmaktadır ama bu çalışmada 1.İKF’lere gürültü giderimi yapılmamaktadır. Sonuçlardan AKA kullanılarak yani (e) ve (f)’de elde edilen sonuçların diğer yöntemlerin sonuçlarına göre görsel olarak çok başarılı olduğu görülmektedir. Ama (f)’deki sonuç 1.İKF’lere gürültü giderimi yapılarak elde edildiği için gürültü giderimi yapılmadan elde edilmiş (e)’deki sonuca göre daha başarılıdır. Sonuçlardan da görüldüğü gibi önerilen yöntem sonucu iyileştirilmiş imgede gürültü büyük ölçüde kaldırılmıştır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada su altı görüntülerinin iyileştirilmesi için AKA ile tümleşik dalgacık gürültü giderimi kullanan bir iyileştirme yöntemi önerilmektedir. Sualtı görüntüleri sınırlı ışık

nedeniyle, düşük kontrast ve bulanıklıktan dolayı kalitesiz olabilir. Görüntü iyileştirme bu nedenle sualtı görüntüleri için önemli bir görevdir. Bu çalışmada, yeni bir iyileştirme algoritması geliştirilip sualtı görüntülerine uygulanmıştır. İyileştirilmiş imge genetik algoritma kullanılarak elde edilen optimum ağırlıkların R, G ve B kanallarının ayrı ayrı İFK’leri ile çarpılıp toplanmasıyla elde edilmiştir. Ama bunun yanında gürültüden de kurtulmak için renk kanallarının 1.İKF’lerin dalgacık gürültü giderimi uygulanmıştır. Önerilen yöntem sonucu elde edilen iyileştirilmiş imge karşıtlık yayma yöntemi gibi literatürdeki kullanılan geleneksel yöntemlere göre daha iyi görsel performans sağlamaktadır. İyileştirilmiş imge renk ve netlik açısından yorumlanabilirlik, görünürlük için daha iyidir. Sualtı görüntülerinde yaygın olarak karşılaşılan düşük karşıtlık sorunu ise bu yöntem ile çözülmüş ve imgenin karşıtlığı geliştirilmiştir.

5. KAYNAKÇA

- [1] Arnold-Bos, A., Malkasse, J. P. and Kervern G., “A preprocessing framework for automatic underwater images denoising,” *European Conference on Propagation and Systems*, Brest, France, March 2005.
- [2] Abril, L., Méndez T., and Dudek, G., “Color Correction of Underwater Images for Aquatic Robot Inspection,” *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 3757, pp. 60-73, 2005.
- [3] Thakur V., and Tripathi, N., “On The Way towards Efficient Enhancement of Multi-Channel Underwater Images,” *International Journal of Applied Engineering Research*, vol. 5 no. 5, pp. 895–903, 2010
- [4] Iqbal, K., Abdul Salam, R., Osman, A. and Talib, A., “Underwater Image Enhancement Using an Integrated Colour Model,” *IAENG International Journal of Computer Science*, vol. 34, pp. 2, Nov, 2007.
- [5] Bazeille, S., Quidu, I., Jaulin, L. and Malkasse, J.P., “Automatic underwater image pre-preprocessing,” in *Proceedings of the Characterisation du Milieu Marin (CMM '06)*, Brest, France, Oct. 2006.
- [6] Huang, N., Shen, Z., Long, S.R., Wu, M.C., Shih, H.H., Zheng, Q., Yen, N-C., Tung, C.C. and Liu. H.H., “The empirical mode decomposition and the hilbert Spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis,” *Proc. R. Soc. London. A.*, vol. 454, pp. 903-995, 1998.
- [7] Çelebi A.T., Ertürk S., "Visual Enhancement of Underwater Images using Empirical Mode Decomposition", *Expert System With Application*, vol 39, pp. 800-805, 2012.
- [8] Yang, Y., Dong Sun Park, ve Huang, S., “Medical Image Fusion via an Effective Wavelet based Approach,” *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, vol. 2010, Article ID 579341, 2010.
- [9] Demir, B. ve Ertürk, S., “Improved hyperspectral image classification with noise reduction pre-process”, *European Signal Processing Conference, Lausanne, Switzerland, Aug 2008*.
- [10] Mitchel, M., “An Introduction to Genetic Algorithms,” *MIT Press*, Fifth printing, 1999.