



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

Su Altı Görüntülerinin CVC Yöntemi Kullanılarak İyileştirilmesi

Arda ÜSTÜBİOĞLU¹, Beste ÜSTÜBİOĞLU^{*2}

¹ Trabzon Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, 61080, Trabzon, Türkiye

² Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon, Türkiye

Arda ÜSTÜBİOĞLU, ORCID No: 0000-0002-8656-8697, Beste ÜSTÜBİOĞLU, ORCID No: 0000-0001-7451-0634

* Sorumlu yazar e-posta: bustubioglu@ktu.edu.tr

Makale Bilgileri

Geliş: 08.02.2023
Kabul: 07.08.2023
Online Aralık 2023

DOI: [10.53433/yyufbed.1249102](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1249102)

Anahtar Kelimeler

Bağlamsal ve değişken
kontrast,
Entropi,
Kontrast sınırlı uyarlanabilir
histogram eşitleme

Öz: Su altı görüntülerinin, sudan geçen ışığın dalga boyuna bağlı olarak seçici zayıflama sonucunda kontrastı ve görünürlüğü oldukça düşük olmaktadır. Bu sebeple ilgili çalışmada sualtı görüntülerinde görüntü kontrastlarını iyileştirmek amacıyla literatürde ilk kez görüntünün parlaklık özelliklerini RGB uzayında değerlendiren Bağlamsal ve Değişken Kontrast (CVC) tabanlı bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntem kontrastı iyileştirirken aynı zamanda sualtı görüntüsü üzerinde yerel renk düzeltmesi de yapmaktadır. Literatürde bu alandaki yöntemler kanalların global histogramı üzerinde çeşitli yaklaşımlar uygularken, önerilen yöntem HSV uzayında S ve V kanalındaki görüntüleri örtüşmeyen alt bloklara bölerek histogram eşitleme uygulamaktadır. Nitel analiz sonuçlarına bakıldığında, önerilen yöntemin diğer iyileştirme yöntemlerine kıyasla kontrast, renk ve ayrıntı bakımından çok iyi görüntüler ürettiği görülmektedir. Önerilen yöntem ayrıca çıktı görüntülerindeki mavi-yeşil efektini de azaltmaktadır. Nicel analiz olarak ise önerilen yöntem 200 sualtı görüntüsü için diğer çalışmalar arasında en yüksek ortalama entropi (7.86), EME (40.90), EMEE (32.13) ve Sobel (90982) değerini üretmektedir.

Underwater Image Enhancement using CVC Method

Article Info

Received: 08.02.2023
Accepted: 07.08.2023
Online December 2023

DOI: [10.53433/yyufbed.1249102](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1249102)

Keywords

CVC,
CLAHE,
Entropy

Abstract: Contrast and visibility of underwater images become very low as a result of selective attenuation depending on the wavelength of light passing through the water. For this reason, a CVC-based method, which evaluates the brightness properties of the image in RGB space, is proposed for the first time in the literature to improve image contrasts in underwater images. While the proposed method improves the contrast, it also performs local color correction on the underwater image. While the methods in this field in the literature apply various approaches on the global histogram of the channels, the proposed method divides the images in the S and V channels into non-overlapping sub-blocks in the HSV space and applies histogram equalization to them. The qualitative analysis results show that the proposed method produces very good images in terms of contrast, color and detail compared to other enhancement methods. The proposed method also reduces the blue-green effect in the output image. As for quantitative analysis, the proposed method produces the highest mean entropy (7.86), EME (40.90), EMEE (32.13) and Sobel (90982) values among other studies for 200 underwater images.

1. Giriş

Günümüzde su altında herhangi bir insan etkileşimi gerektirmeden hareket eden otonom sualtı araçları ve uzaktan kumandalı araçlar, okyanus örnekleme, çevre izleme, afet önleme, denizaltı keşif vb. birçok amaç için kullanılmaktadır (Chiang & Chen, 2011). Birçok araştırmacı da bu araçların işlevini artırmak için araçların sensör özelliklerini geliştirmek üzere çalışmalar yapmaktadırlar (Çelebi & Ertürk, 2012). Bunun yanında su altı görüntüleri ışık zayıflaması ve saçılması, homojen olmayan aydınlatma, parlak artefaktlar, gürültü vb. gibi bazı spesifik özelliklere sahip olduğu için bu araçlar için optik görüntüleme sensörleri de geliştirilmesi gerekmektedir. Son yıllarda araştırmacıların bazıları, görüntü yakalama işlemi sırasında, sualtı görüntülerinin görsel kalitesini iyileştirmek için donanım tabanlı sistemler üzerinde çalışırken, bazıları da denizaltı görüntülerini iyileştirmek için görüntü renk düzeltme yöntemleri gibi yazılım tabanlı yöntemler önermektedir. İşlem maliyeti göz önünde bulundurulduğunda yazılım tabanlı düzeltme yöntemleri, donanım tabanlı yöntemlere göre daha cazip hale gelmiştir. Su altı görüntülerinin bir başka özelliği de derinlik ile ilgilidir. Kırmızı/sarı gibi en uzun dalga boyuna sahip renkler su altında önce emilirken, dalga boyları daha küçük olan mavi/mor ışıklar su altı renklerinin azalmasına karşı daha dayanıklıdır. Mavi renk, diğer renklere göre daha küçük dalga boyu ile daha derine inebilir. 60 m derinliğe kadar mavi renk algılanabilir ancak 5 m sonra kırmızı renk kaybolmaktadır. Bu tür bozulma, mavimsi-yeşil görünen sualtı görüntülerinde dengesiz renk yayılmasına neden olmaktadır. Tüm bu durumlar göz önünde bulundurulduğunda sualtı görüntüleri düzgün olmayan aydınlatma, sınırlı görünürlük, eksilmiş renkler, düşük karşıtlık ve bulanık görüntü etkilerine sahip olduğu görülmektedir. Literatürde, su altı görüntülerinde renk ayarı yapmak, görüntü kalitesini artırmak, karşıtlık geliştirmek, zayıflama etkilerini gidermek, gürültüyü azaltmak ve bulanıklığı telafi etmek için çeşitli görüntü iyileştirme teknikleri önerilmiştir. Sualtı görüntülerini geliştirmeye yönelik literatürde yapılan araştırmalar, görüntü iyileştirme ve görüntü restorasyon yöntemleri olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Birinci kategorideki yöntemler, sualtı görüntüsünün bozulmasını yansıtacak bir model oluşturmayı amaçlarken, ikinci kategorideki yöntemler herhangi bir fiziksel model oluşturmayı gerektirmemekte ve sadece su altı görüntülerinin görünürlüğünü artırmak için görüntü iyileştirme tekniklerini kullanmaktadır. Görüntü iyileştirme teknikleri kullanan ikinci kategorideki yöntemler, su altı görüntülerinin sis ve bulanıklık efektlerinin ortadan kaldırılması, renklerin düzeltilmesi ve kontrastın ve görüntü kalitesinin iyileştirilmesini gerçekleştirmektedirler. Bu amaçla önerdikleri yöntemler genel olarak Kontrast ve Renk düzenleme olarak iki aşamadan oluşmaktadır.

Literatürdeki kontrast düzenleme teknikleri iki alt sınıfa ayrılabilir: Global ve Lokal yöntemler. Birinci sınıftaki yöntemlerde, girdi yoğunluklarını çıktı yoğunluklarına eşlemek için bütün görüntüye tek bir dönüştürme işlevi uygulanmakta ve görüntüdeki tüm pikseller için aynı global işlev kullanılmaktadır. Histogram belirtimi (Histogram specification-HS), global yöntemlere bir örnektir. Girdi yoğunluklarını çıktı yoğunluk değerlerine eşlemek için bir fonksiyonun kümülatif dağılımını kullanır. Kontrast geliştirme için kullanılan fonksiyon düzgün bir dağılım ise, HS histogram eşitleme (Histogram Equalization-HE) olarak adlandırılabilir (Garg ve ark., 2018). Global yöntemlerin kontrast artırımı için görüntülerin global histogramını kullanması hesaplama verimliliği getirirken, yöntemde pikseller arasındaki uzamsal bilginin dikkate alınmaması yöntem için dezavantaj oluşturmaktadır. Lokal yöntemlere örnek olarak ise Uyarlamalı histogram eşitleme yöntemi (Adaptive Histogram Equalization-AHE) verilebilir. Bu yöntemde her piksel, kendisini çevreleyen bölgedeki piksellere göre düzenlenmektedir. Ancak geleneksel uyarlanabilir histogram eşitleme (AHE) yöntemleri, görüntüde yer alan pürüzsüz bölgelerdeki kontrastı aşırı derecede yükseltmektedir. Bunun sonucunda bu bölgelerde gürültü artefaktları oluşabilmektedir. Bu artefaktların ortadan kaldırılabilmesi için Kontrast sınırlı AHE (CLAHE) önerilmiştir. Yöntemde, giriş görüntüsü örtüşmeyen alt bloklara ayrıştırılmakta ve elde edilen blokların yoğunluk histogramları hesaplanmaktadır. Yöntemde, alt histogramların kırılması için klip limiti parametresi kullanılmaktadır. Her histogram, bir dönüştürme işlevi kullanılarak değiştirilmektedir. Aynı zamanda her alt histogram yüksekliğinin de klip sınırını aşmaması gerekmektedir. Son aşama olarak ise yeni gri tonlama değerlerinin belirlenmesinde kullanılan değiştirilmiş bir histogram elde etmek için komşu bloklar enterpolasyonla birleştirilmektedir.

Literatürde sualtı görüntülerinin iyileştirilmesinde renk düzeltme tabanlı, kontrast düzeltme tabanlı ve hibrit yaklaşımlar mevcuttur. Eustice ve ark. (2002) optik görüntü işleme ve mozaikleme algoritması için MATLAB' in görüntü işleme araç kutusuna bir uzantı eklemiştir. Uzantı, su altı

görüntülerinin tekdüze olmayan renk dağılımı için önerilmiş Kontrast Sınırlı Uyarlanabilir Histogram Spesifikasyonunu (CLAHS) yöntemini içermektedir. CLAHS yönteminde görüntü birbiri ile örtüşmeyen bloklara ayrıştırılmakta ve her bir bloğa histogram belirtimi uygulanmaktadır. [Iqbal ve ark. \(2007\)](#) renk artefaktlarını azaltmak için kırmızı ve yeşil olmak üzere iki renk kanalını değiştirmek için Von Kries hipotezini kullanmıştır. Renk Modeli (ICM) olarak adlandırılan yöntem, S ve I kanallarında histogram germe işlemi uygulamıştır. Bir başka çalışmada [Iqbal ve ark. \(2010\)](#) su altı görüntüsünün tüm yoğunluk seviyesini genişleterek RGB görüntüsünü HSI renk modeline dönüştürmüştür. Denetimsiz Renk Düzeltme Yöntemi (UCM) olarak adlandırılan yöntem, iki farklı renk modeli üzerinde histogram germe işlemi kullanmıştır. [Hitam ve ark. \(2013\)](#) su altı görüntülerinin kalitesini artırmak için Karışım Kontrast Sınırlı Uyarlanabilir Histogram Eşitleme adlı bir yöntem önerdi. Yöntemde, RGB ve HSV renk uzaylarında CLAHE yöntemi kullanılmıştır. [Ghani & Isa \(2015a\)](#) su altı görüntü kalitesini artırmak için global ve yerel kontrast düzeltme yöntemlerini birleştirmişlerdir. Çalışmada yerel kontrast düzeltmesi için CLAHS kullanılırken, genel kontrast düzeltmesi için ise giriş görüntüsünün histogram özelliklerinden yararlanılmıştır. [Ghani & Isa \(2015b\)](#) bir diğer çalışmada histogram genişletme uygularken RGB ve HSV renk uzaylarını kullanmışlardır. Yöntem kırmızı ve mavi kanallar için tek taraflı kontrast düzeltmesi uygularken, yeşil kanalda çift taraflı düzeltme gerçekleştirilmiştir. Histogram genişletme, RGB' den HSV' ye dönüşümden sonra HSV renk modeline uygulanmıştır. [Ghani & Isa \(2017\)](#), sualtı görüntülerinin görsel kalitesini iyileştirmek için özyinelemeli uyarlamalı histogram modifikasyonu (RAHIM) adı verilen bir yöntem önermiştir. Görüntü histogramları sütun bazlı alınıp Rayleigh Distribution kullanılarak değiştirilmiştir. HSV renk modelinin S ve V bileşenleri alınmıştır. [Li ve ark. \(2017a\)](#), iki farklı yaklaşımı birleştiren hibrit bir yaklaşım önerdi: renk düzeltme ve görüntüdeki bulanıklığı giderme. Etkili bir renk düzeltme algoritması kullanılarak sualtı görüntülerinin rengi iyileştirilmiş ve ardından sualtı görüntüsünün görsel kalitesini iyileştirmek için görüntüdeki bulanıklık giderme yaklaşımı kullanılmıştır. Yine tarafımızdan 2021'de yapılan çalışmada ise sualtı görüntülerinde kontrastı iyileştirmek için global ve yerel kontrast geliştirme teknikleri birlikte kullanılmıştır ([Ulutas & Ustübioğlu, 2021](#)). Global teknik olarak LDR yöntemi görüntünün genel olarak iyileştirilmesini sağlamış, yerel teknik CLAHE görüntünün yerel parlaklık özelliklerini RGB renk uzayında değerlendirmiştir. Aynı zamanda yöntemde sualtı görüntüsü üzerinde yerel renk düzeltmesi de yapılmıştır.

Son zamanlarda ise literatürde, sualtı görüntülerinin iyileştirilmesinde derin öğrenme yöntemlerinden de oldukça fazla yararlanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda bir ağ modeli tasarlanmakta ve bu ağ modeli su altı görüntülerinin özellikleri etkili bir şekilde öğrenebilmektedir. [Li ve ark. \(2020\)](#) CNN'ye dayanan UWCNN modelini önermiştir. Bir başka çalışmada [Li ve ark. \(2017b\)](#) GAN tabanlı bir su altı görüntü geliştirme modeli WaterGAN önerdi. [Guo ve ark. \(2020\)](#) ise, su altı görüntülerinde çok ölçekli bilgileri kullanabilen DenseGAN ağını önermiştir. Üretici optimize etmek ve GAN tarafından üretilen görüntülerde gürültü ve artefaktı gidermek için Sun ve ark. (2023) geri besleme mekanizması ve bir gürültü azaltma ağı UMGAN'ı önermişlerdir ([Sun ve ark., 2023](#)). Bir başka çalışmada ise [Zhang ve ark. \(2023\)](#) fiziksel model ve derin öğrenme yöntemlerini birleştirmiş ve hem uzay hem de kanal bazında su altı görüntülerinin özelliklerini kullanarak WaterFormer ağını önermişlerdir. Derin öğrenme tabanlı yöntemler, fiziksel faktörleri nadiren değerlendirmekte ve çoğunlukla tek aşamalı ağlardan oluşmaktadır. Önerilen ağların birçoğunun da genelleme yeteneği olmadığı için çeşitli su altı görüntülerinde bu ağlar yüksek performans gösterememektedirler.

Bu çalışmada sualtı görüntülerinde görüntü kontrastlarını iyileştirmek amacıyla literatürde ilk kez görüntünün parlaklık özelliklerini RGB uzayında değerlendiren CVC tabanlı bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntem kontrastı iyileştirirken aynı zamanda sualtı görüntüsü üzerinde yerel renk düzeltmesi de yapmaktadır. Literatürde bu alandaki yöntemler kanalların global histogramı üzerinde çeşitli yaklaşımlar uygularken, önerilen yöntem HSV uzayında S ve V kanalındaki görüntüleri örtüşmeyen alt bloklara bölerek bunlara histogram eşitleme uygulamaktadır. Elde edilen nitel ve nicel analiz sonuçlarına bakıldığında önerilen yöntemin diğer iyileştirme yöntemlerine kıyasla sualtı görüntülerinde kontrast, renk ve ayrıntı bakımından çok iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

Bu bölümde kullanılan veri seti tanıtılmış, ardından önerilen yöntem ve kullanılan metrikler açıklanmıştır.

2.1. Veri seti

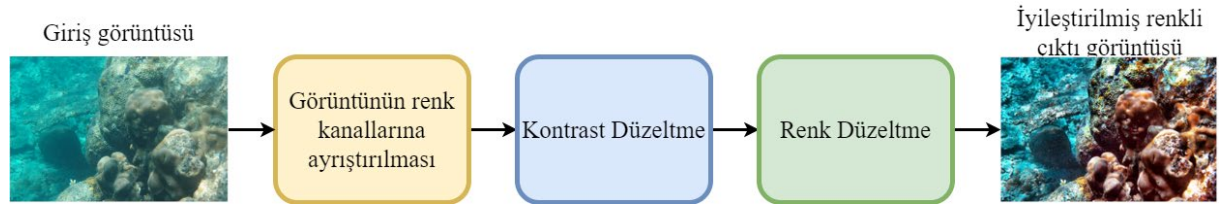
Önerilen yöntem 200 adet sualtı görüntüsü üzerinde test edilmiştir. Görüntüler Ghani veri setinden alınmıştır (Ghani & Isa, 2017). Bu veri seti, önerilen yöntemi alanda gelenekselleşen ve yeni olan histogram tabanlı yöntemlerle kıyaslamak ve üstünlüğünü göstermek için kullanılmıştır.

2.2. Görüntü kalitesi metrikleri

Önerilen yöntem diğer yöntemlerle entropi (Ye, 2009), EME (Agaian ve ark., 2000), EMEE (Agaian ve ark., 2000) ve Sobel kenar tespiti (Wu ve ark., 2005) metriklerinden faydalanılarak karşılaştırılmıştır. Görüntü kalitesinin değerlendirilmesinde kullanılan entropi, görüntü bilgisinin miktarını temsil eder. Entropi yüksekse, görüntü daha fazla bilgi ve ayrıntı içerir. Diğer bir kalite ölçütü olan EME ve EMEE, su altı görüntülerinin genel kalitesini entropi değerine göre ölçmektedir. Yüksek EME ve EMEE değerleri, görüntülerdeki iyileştirme derecesini gösterir. Ayrıca görüntüdeki toplam parlak piksel sayısını değerlendiren Sobel kenar algılama yöntemi, görüntü analizinde yaygın olarak kullanılan bir görüntü kalitesi metriğidir. Sobel kenarları ne kadar çoksa, görüntü de o kadar çok bilgi ve ayrıntı var demektir.

2.3. Önerilen yöntem

Önerilen yöntemde sualtı görüntülerinin görsel kalitesinin iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Yöntem, Şekil 1'de gösterildiği gibi Kontrast düzeltme ve Renk Düzeltme modülleri olmak üzere iki alt modülden oluşmaktadır.

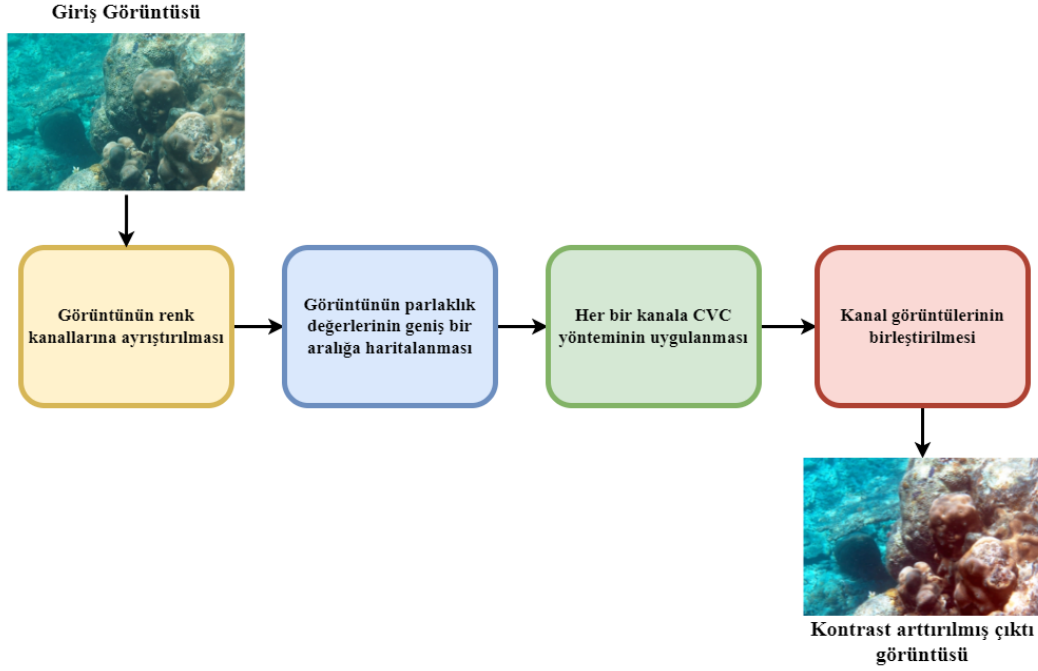


Şekil 1. Önerilen yöntemin akış diyagramı.

İlk aşamada, su altı görüntülerindeki düşük kontrastlı artefaktların giderilmesi hedeflenirken, ikinci aşamada ise eşit olmayan renk dağılımı dengelenecektir. İlk aşamada kontrastın iyileştirilmesi için histogram tabanlı Bağlamsal ve Değişken Kontrast geliştirme (Contextual and Variational Contrast enhancement – CVC) (Celik & Tjahjadi, 2011) yöntemi görüntüye uygulanmaktadır. Bunun için giriş görüntüsündeki parlaklık değerleri 0-255 aralığına haritalanır. Ardından her piksel ve komşuluğu arasındaki ilişkiye dayalı olarak giriş görüntüsünün iki boyutlu histogramı oluşturulur. Giriş histogramındaki köşegen elemanları, hedef histogramın köşegen elemanları ile eşlenerek giriş görüntüsünün kontrastı iyileştirilir. Genel kontrast düzeltmesinden sonra, ikinci aşama olarak önerilen yöntemde görüntünün renk düzeltilmesi gerçekleştirilir. Bu amaçla görüntü örtüşmeyen bloklara bölünür ve her bir bloğa ayrı ayrı renk düzeltilmesi uygulanır. Alt bölgelere histogram eşitleme uygulamak, tüm görüntünün renk dağılımını daha düzgün hale getirir. Aşağıdaki alt bölümlerde, bu aşamaların ayrıntıları verilecektir.

2.3.1. Kontrast iyileştirme

Önerilen yöntemin bu aşamasında giriş su altı görüntüsünün kontrastı iyileştirilecektir. Şekil 2'de gösterildiği gibi, giriş görüntüsü üç kanala ayrıştırılır ve bu kanallardaki her bir görüntünün parlaklık değerleri 0-255 aralığına haritalanır. Ardından her piksel ve komşuluğu arasındaki ilişkiye dayalı olarak bu görüntülerin iki boyutlu histogramı oluşturulur. Giriş histogramındaki köşegen elemanları, hedef histogramın köşegen elemanları ile eşlenerek giriş görüntülerinin kontrastı iyileştirilir. Kontrastı iyileştirilmiş kanallar daha sonra kontrastı arttırılmış görüntü elde etmek için birleştirilir. Algoritmanın detayları aşağıdaki gibi verilebilir.



Şekil 2. Önerilen kontrast düzeltme yönteminin akış diyagramı.

Giriş olarak verilen renkli su altı görüntüsü I , R , G ve B renk kanallarına ayrıştırılır. Her bir renk kanalındaki görüntülerin parlaklık değerleri 0-255 aralığına haritalanır. Tüm kanallardaki görüntülere ayrı ayrı histogram tabanlı Bağlamsal ve Değişken Kontrast geliştirme (Contextual and Variational Contrast enhancement-CVC) (Celik & Tjahjadi, 2011) yöntemi uygulanır. Bu görüntüler için histogram oluşturulur. Histogramlar bir pikselin $w \times w$ komşuluğunda hesaplanır. Hesaplanan histogramlar, iki gri seviye yoğunluğu arasındaki fark modülü ile ağırlıklandırılır ve normalize edilir. Normalize histogramların yanında bir de histogramın düzgün dağılmış formu da hesaplanır.

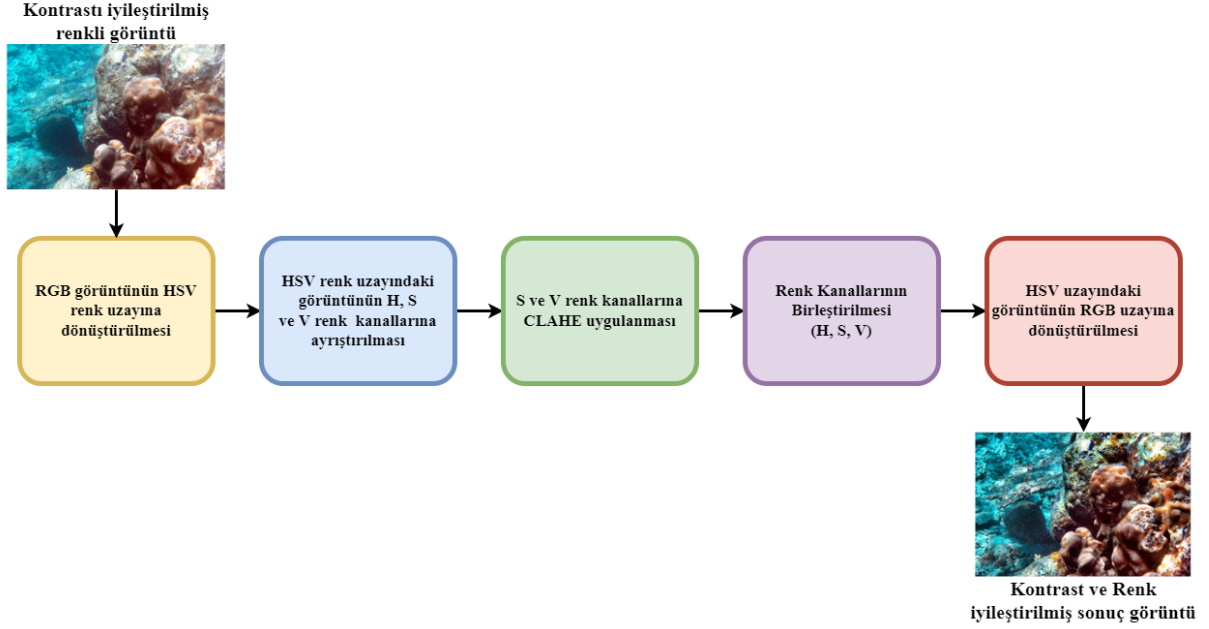
Hedef histogram ile giriş ve düzgün dağılmış histogramlar arasındaki uzaklığın minimum olması istenir. Bunun için belirlenen optimizasyon fonksiyonu ile giriş histogramı ve düzgün dağılmış histogramdan hedef histogram elde edilir. Giriş görüntüsündeki değerler hedef histograma göre haritalanarak çıktı görüntüsü oluşturulur. Her kanal için elde edilen çıktı görüntüleri birleştirilerek sonuç görüntü yani kontrastı iyileştirilmiş görüntü elde edilmiş olur.

2.3.2. Renk düzeltme

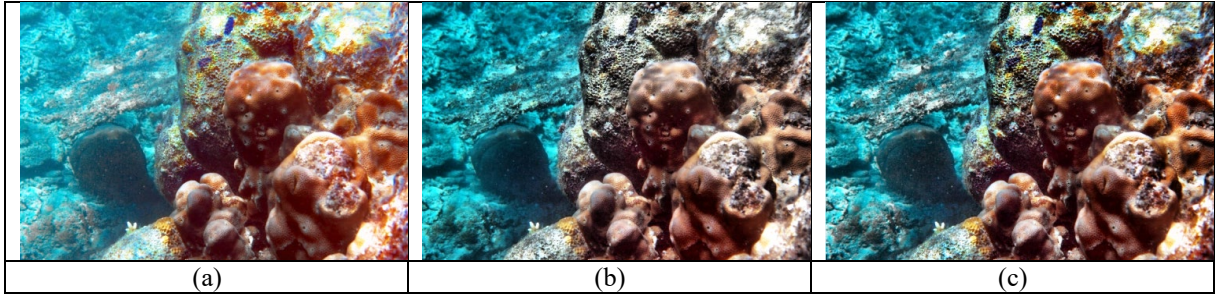
Sualtı görüntüsünde kontrast iyileştirme yapıldıktan sonra görüntüde azalan genel parlaklık ve doygunluk değerlerini iyileştirmek için bu aşamada renk düzeltmesi yapılacaktır. Bu amaçla RGB uzayındaki kontrastı artırılmış görüntü ilk olarak Şekil 3'te görüldüğü gibi HSV renk uzayına dönüştürülmektedir.

Daha sonra görüntünün S , V bileşenlerine CLAHE uygulanır. Görüntünün doygunluğunu ve parlaklığını temsil eden bu iki bileşen, görüntünün netliğini ve görünürlüğünü artırmak için kullanılır. Görüntünün renk parametresi olan hue bileşeni değiştirilirse, görüntüde anormal renk değişiklikleri oluşur (Iqbal ve ark., 2007). Şekil 4' te bu durum örneklenmiştir. Şekil 4(a)' da örnek su altı görüntüsünün sadece S kanalına 4(b)' de sadece V kanalına ve 4(c)' de ise S ve V kanalına birlikte renk düzeltme işlemi uygulanmıştır. Şekilden görüldüğü üzere 4(c) deki yani S ve V renk kanallarına uygulanan renk düzeltimi sonucunda elde edilen görüntünün kontrastı 4(a) ve 4(b) ye göre oldukça fazladır. Yine 4(c) deki görüntüde ön plan ve arka plan alanlarındaki nesnelere çok nettir. Bununla birlikte, görüntü renkleri oldukça iyileştirilmiştir. Ayrıca S ve V kanallarına uygulanan renk düzeltimi ile elde edilen görüntülerde hiçbir alanın çok karanlık veya çok parlak olmadığı görülmektedir. Bu nedenle S , V görüntüleri örtüşmeyen alt bloklara bölünür ve bu bloklara histogram eşitleme uygulanır. Literatürdeki diğer yöntemler görüntünün tamamında renk düzeltmesi yaparken, önerilen yöntem de

blok bazında renk düzeltilmesi yapılarak görüntünün renk değerleri iyileştirilmiştir. Bunun için (S, V) kanallarında lokal renk düzeltilmesi yapıldıktan sonra H kanalı ile (S, V) kanalı birleştirilerek HSV uzayındaki görüntü tekrar RGB uzayına dönüştürülmektedir. Elde edilen RGB çıktı görüntüsü kontrast ve renk açısından zenginleştirilmiş bir görüntü olacaktır.



Şekil 3. Önerilen renk düzeltme yönteminin akış diyagramı.



Şekil 4. (a) S kanalına (b) V kanalına (c) S ve V kanalına renk düzeltimi uygulanmış görüntüler.

3. Bulgular ve Tartışma

Önerilen yöntemin performansı nitel ve nicel sonuçlar olarak verilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmanın üstün performansını göstermek için önerilen yöntem, histogram eşitleme (HE), ICM (Iqbal ve ark., 2007), UCM (Iqbal ve ark., 2010), CLAHS, CLAHE-Mix (Hitam ve ark., 2013), Percentile (Garg ve ark., 2018), ICM-RD (Ghani & Isa, 2015b), (Ulutas & Ustubioglu, 2021), UWCNN (Li ve ark., 2020), WaterGAN (Li ve ark., 2017a), UMGAN (Sun ve ark., 2023) ve WaterFormer (Zhang ve ark., 2023) önerdiği çalışmaları gibi geleneksel ve popüler olan çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Bu yöntemler su altı görüntülerinin iyileştirilmesinde önerilen histogram ve derin öğrenme tabanlı yöntemlerdir. Nitel sonuçlar, önerilen yöntemle elde edilen görüntülerin görsel iyileşmesini, nicel sonuçlar ise görüntü kalite metrikleri kullanılarak elde edilen çıktıları göstermektedir.

3.1. Nitel sonuçlar

Bu bölümde önerilen yöntemle elde edilen sonuç görüntüler, diğer yöntemlerle kontrast ve renk, görünürlük, mavi-yeşil aydınlatmanın etkisi ve az ve çok iyileştirilmiş alanların üretimi açısından

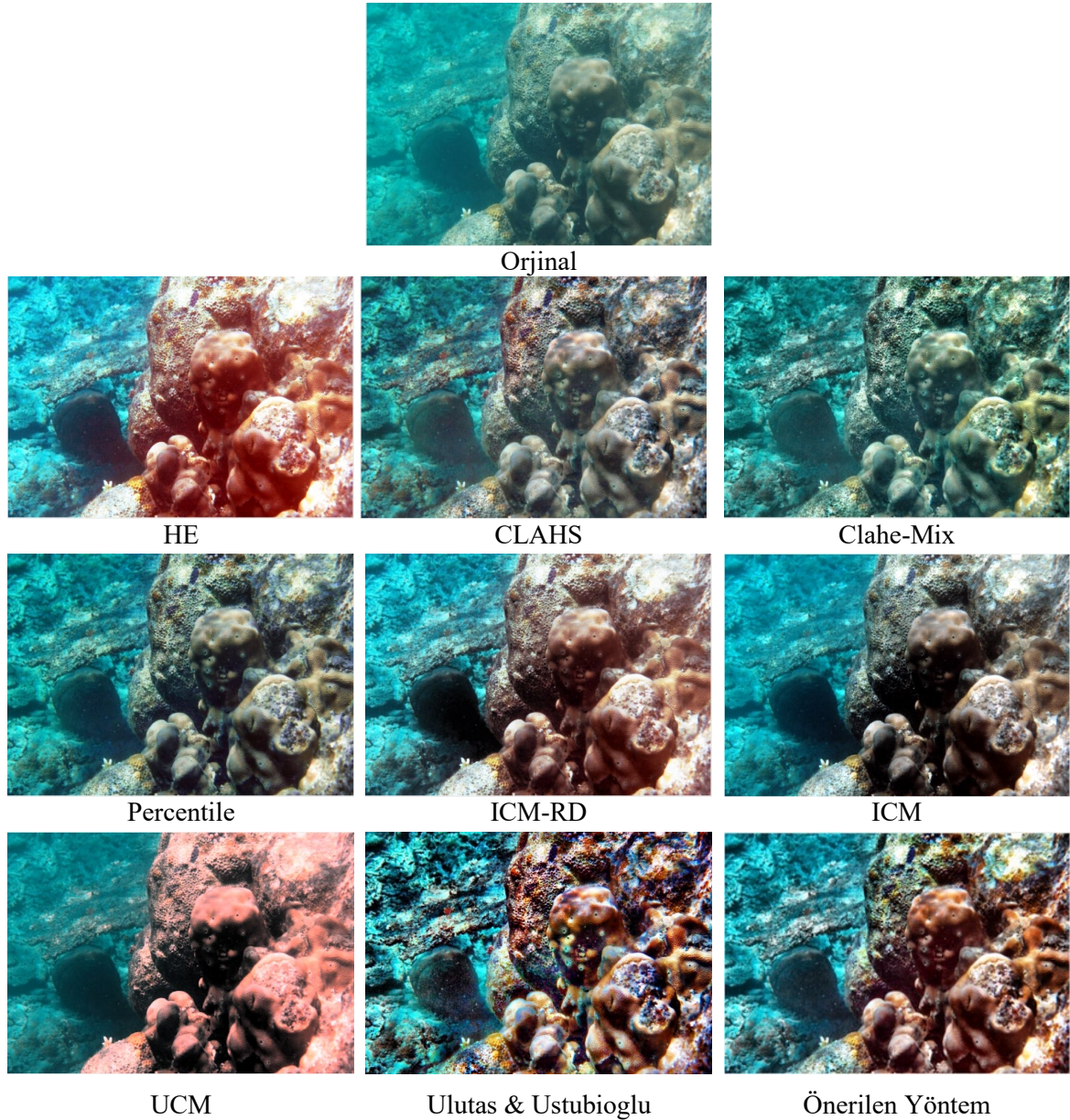
karşılaştırılmıştır. Önerilen yöntemin görsel sonuçlarını göstermek üzere veri setinden iki test görüntüsü seçilmiş ve elde edilen görüntüler Şekil 5 ve 6' da gösterilmiştir.

Şekil 5 ve 6' da seçilen orijinal görüntüler verilmiştir. Kırmızı renk kanalının su altı görüntülerine etkisi diğer iki renk kanalına göre daha düşük olduğu için bu görüntülerden Şekil 5' teki mavimsi, 6' daki ise yeşilimsi görünmektedir. Bu görüntülere dikkat edilirse nesnelere arka plandan ayırt edilememekte ve bazı alanlar siyah olarak görünmektedir.

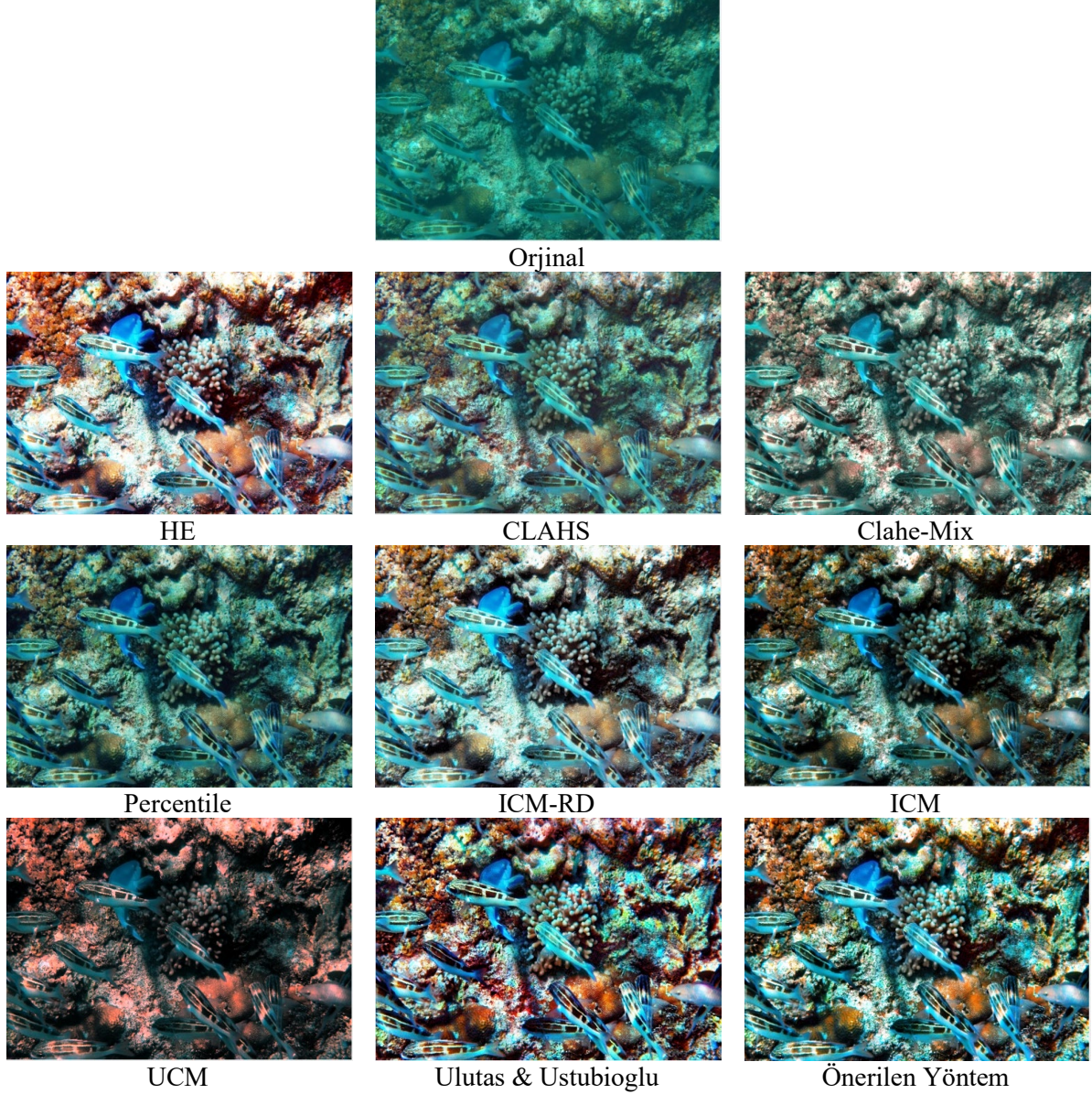
HE yöntemi ile bu görüntüler iyileştirildiğinde şekillerden görüldüğü gibi, görüntülerin ön ve arka planlarında karanlık alanlar oluşmaktadır. Aynı zamanda HE yöntemi uygulandıktan sonra Şekil 5' teki HE çıktı görüntüsü kırmızımsı hale gelir ve bu yöntem aşırı doygun alanlar oluşturur. Yine dikkat edilirse görüntülerde çok parlak ve aşırı doygun alanlar oluşmuştur.

CLAHS yöntemiyle üretilen tüm çıktı görüntülerinde mavi-yeşil aydınlatmanın etkisi azaltılmıştır. Ancak, görüntülerin arka planlarında nesnelere çok ayırt edilememektedir.

CLAHE-Mix ile elde edilen çıktı görüntülerine bakıldığında görüntüler yeşilimsi görünmektedir. Ancak tüm nesnelere hem ön planda hem de arka planda kolayca ayırt edilebilmektedir. Bu görüntülerden hareketle CLAHE-Mix yöntemi su altı görüntülerinde kontrastı arttırmış fakat mavi-yeşil aydınlatmanın etkisini azaltmamıştır.



Şekil 5. Önerilen yöntem ve diğer çalışmalardan elde edilen görsel sonuçlar.



Şekil 6. Önerilen yöntem ve diğer çalışmalardan elde edilen görsel sonuçlar.

Percentiles yöntemi ile üretilen çıktı görüntülerinde hem ön plan hem de arka plan nesnelere kolayca ayırt edilebildiğinden, kontrast büyük ölçüde artırıldığı görülmektedir. Ancak Şekil 5'teki görüntüde, arka plan alanının çok net olmadığı yani yetersiz kontrast artırımı yapıldığı görülmektedir.

ICM-RD yöntemi ile iyileştirme yapıldığında görüldüğü üzere görüntülerde özellikle ön planda aşırı doygun alanlar oluşmuştur. Aynı zamanda, Şekil 5'teki çıktı görüntüsünde arka plan alanlarının çok net olmadığı gözükmemektedir.

ICM ve UCM yöntemlerinin çıktı görüntüleri şekillerden görüldüğü gibi nesnelere kolayca görülebildiği HE yöntemiyle karşılaştırıldığında daha iyi kontrasta sahiptirler. UCM yöntemi ile kahverengimsi ve kırmızımsı görüntüler üretilmiştir. ICM tarafından üretilen çıktı görüntülerinde ise, koyu arka plan alanlar ve şekillerden de görüldüğü gibi aşırı doygun ön plan alanları mevcuttur.

Ulutas & Ustubioglu (2021) tarafından önerilen LDR tabanlı yöntem sonuçlarına bakıldığında ise gerek renk gerekse de kontrast bakımından diğer yöntemlere göre oldukça başarılı görüntüler elde edilmiştir. Ancak ön planın kontrastı arka plana göre daha fazla arttığından, görüldüğü gibi arka planda karanlık alanlar oluşmakta ve özellikle ön planda farklı renkler oluşmaktadır.



Önerilen yöntem ile elde edilen çıktı görüntüleri tüm bu yöntemlerle elde edilen görüntüler ile kıyaslandığında şekillerden de görüldüğü gibi görüntü kontrastını büyük ölçüde artırılmıştır. Ön plan ve arka plan alanlarındaki nesnelere çok nettir. Bununla birlikte, görüntü renkleri oldukça iyileştirilmiştir.

Yine görüntülerdeki mavi-yeşil aydınlatmanın etkisini de yeterince azaltmıştır. Ayrıca önerilen yöntem ile elde edilen görüntülerde hiçbir alanın çok karanlık veya çok parlak olmadığı görülmektedir.

3.2. Nicel sonuçlar

Nicel sonuç olarak öncelikle Şekil 5 ve 6'da verilen orijinal sualtı görüntüleri için önerilen yöntem ve diğer yöntemler sonucunda elde edilen görüntülerde Entropi, EME, EMEE, Ortalama Gradient ve Sobel sayım değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler Çizelge 1'de verilmiş ve elde edilen en iyi sonuçlar koyu renkli değerlerle gösterilmiştir. Çizelgede görüldüğü gibi önerilen yöntem ile ilk görüntünün EME değeri dışında iki görüntü için de en yüksek entropi, EME, EMEE ve Sobel sayısı değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 1. Önerilen yöntem ve diğer çalışmaların görüntüler için elde ettiği nicel sonuçlar

Görüntü	Yöntem	Nicel Sonuçlar			
		Entropy	EME	EMEE	Sobel
	Önerilen Yöntem	7.87	29.38	15.70	35878
	HE	5.98	19.34	2.55	25505
	CLAHS	7.57	21.81	2.58	29596
	CLAHE-Mix	7.68	34.87	8.22	30594
	Percentile	7.76	40.45	19.73	27935
	ICM-RD	7.87	35.09	12.72	27644
	ICM	7.65	21.07	6.63	23659
	UCM	7.53	23.14	8.35	20235
	Önerilen Yöntem	7.89	48.56	51.75	41914
	HE	5.96	45.33	25.25	39764
	CLAHS	7.59	28.46	4.64	36678
	CLAHE-Mix	7.70	72.33	1.11	39467
	Percentile	7.59	57.08	51.48	35988
	ICM-RD	7.89	44.23	26.18	39546
	ICM	7.57	28.85	12.72	36192
	UCM	7.25	35.37	31.65	33752

Çizelge 2' de ise 200 sualtı görüntüsü için önerilen yöntem ve karşılaştırılan yöntemler için kalite metrikleri açısından elde edilen ortalama değerler verilmektedir. Çizelgede kalın olarak gösterilen değerler, karşılaştırma sonucundaki en yüksek değerleri temsil etmektedir. Çizelge 2'den de görüldüğü üzere sonuçlardan, önerilen yöntemin en yüksek entropi (7.86), EMEE (32.13), EME (40.90) ve Sobel sayısı (90982) değerlerini üretmiştir. Bu da önerilen yöntemin sualtı görüntülerini iyileştirmede diğer yöntemlere kıyasla oldukça yüksek performans verdiğini göstermektedir.

Çizelge 2. Önerilen yöntem ve diğer çalışmaların tüm veri seti üzerindeki ortalama nicel sonuçları

Yöntem	Nicel Sonuçlar			
	Entropy	EME	EMEE	Sobel
Orjinal	7	11.96	1.98	13596
HE	5.88	19.94	4.54	63311
ICM	7.53	20.06	5.42	35782
UCM	7.19	20.11	6.66	24664
CLAHS	7.01	15.28	1.84	32796
CLAHE-Mix	7.30	31.82	1.27	41106

Çizelge 2. Önerilen yöntem ve diğer çalışmaların tüm veri seti üzerindeki ortalama nicel sonuçları (devamı)

Yöntem	Nicel Sonuçlar			
	Entropy	EME	EMEE	Sobel
Percentile	7.35	22.26	7.35	32059
ICM-RD	7.75	23.57	11.13	43807
Ulutas & Ustubioglu	7.83	40.97	32.06	15255
UWCNN	7.28	35.12	30.10	80850
WaterNet	7.70	37.34	30.89	83780
UWGAN	7.83	38.99	31.20	90010
WaterFormer	7.84	39.60	31.10	90000
Önerilen Yöntem	7.86	40.90	32.13	90982

4. Sonuç

Su altı görüntülerini iyileştirmek için önerilen yöntem iki modülden oluşmaktadır: kontrast ve renk düzeltme. Kontrast düzeltme modülünde, RGB uzayında test görüntüsünde CVC ile lokal ve global kontrast düzeltilmesi yapılmış ve görüntü kontrastı oldukça artırılmıştır. Renk performansını iyileştirmek için önerilen renk düzeltme modülünde ise kontrastı artırılmış görüntü HSV uzayına dönüştürülür ve görüntünün S, V bileşenlerinin renk değerleri CLAHE ile iyileştirilir. Hem nitel hem de nicel sonuçlardan da görülebileceği gibi, önerilen yöntem diğer yöntemlere göre kontrast, renk ve detay açısından çok iyi sonuçlar vermektedir. Önerilen yöntem aynı zamanda çıktı görüntüsündeki yetersiz ve aşırı geliştirilmiş alanların etkisini de azaltmaktadır. Aynı zamanda önerilen renk düzeltmesi yöntemi ile görüntüdeki hem mavi-yeşil etkisi azaltılmış hem de görüntüdeki nesnelere görünürlüğü artırılmıştır.

Kaynakça

- Agaian, S. S., Panetta, K., & Grigoryan, A. M. (2000, January). *A new measure of image enhancement*. IASTED International Conference on Signal Processing & Communication, Rhodes, Greece.
- Celik, T., & Tjahjadi, T. (2011). Contextual and variational contrast enhancement. *IEEE Transactions on Image Processing*, 20(12), 3431-3441. doi:10.1109/TIP.2011.2157513
- Chiang, J. Y., & Chen, Y. C. (2011). Underwater image enhancement by wavelength compensation and dehazing. *IEEE Transactions on Image Processing*, 21(4), 1756-1769. doi:10.1109/TIP.2011.2179666
- Çelebi, A. T., & Ertürk, S. (2012). Visual enhancement of underwater images using empirical mode decomposition. *Expert Systems with Applications*, 39(1), 800-805. doi:10.1016/j.eswa.2011.07.077
- Eustice, R., Pizarro, O., Singh, H., & Howland, J. (2002, Nisan). *UWIT: Underwater image toolbox for optical image processing and mosaicking in MATLAB*. In Proceedings of the 2002 International Symposium on Underwater Technology (Cat. No. 02EX556), Tokyo, Japonya. doi:10.1109/UT.2002.1002415
- Garg, D., Garg, N. K., & Kumar, M. (2018). Underwater image enhancement using blending of CLAHE and percentile methodologies. *Multimedia Tools and Applications*, 77, 26545-26561. doi:10.1007/s11042-018-5878-8
- Ghani, A. S. A., & Isa, N. A. M. (2015a). Enhancement of low quality underwater image through integrated global and local contrast correction. *Applied Soft Computing*, 37, 332-344. doi:10.1016/j.asoc.2015.08.033
- Ghani, A. S. A., & Isa, N. A. M. (2015b). Underwater image quality enhancement through integrated color model with Rayleigh distribution. *Applied Soft Computing*, 27, 219-230. doi:10.1016/j.asoc.2014.11.020
- Ghani, A. S. A., & Isa, N. A. M. (2017). Automatic system for improving underwater image contrast and color through recursive adaptive histogram modification. *Computers and Electronics in Agriculture*, 141, 181-195. doi:10.1016/j.compag.2017.07.021

- Guo, Y., Li, H., & Zhuang, P. (2020). Underwater image enhancement using a multiscale dense generative adversarial network. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 45, 862-870. doi:10.1109/JOE.2019.2911447
- Hitam, M. S., Awalludin, E. A., Yussof, W. N. J. H. W., & Bachok, Z. (2013, Ocak). *Mixture contrast limited adaptive histogram equalization for underwater image enhancement*. International Conference on Computer Applications Technology (ICCAT). Sousse, Tunus. doi:10.1109/ICCAT.2013.6522017
- Iqbal, K., Salam, R. A., Osman, A., & Talib, A. Z. (2007). Underwater image enhancement using an integrated colour model. *IAENG International Journal of Computer Science*, 34(2).
- Iqbal, K., Odetayo, M., James, A., Salam, R. A., & Talib, A. Z. H. (2010, Ekim). *Enhancing the low quality images using unsupervised colour correction method*. IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, İstanbul.
- Li, C., Guo, J., Guo, C., Cong, R., & Gong, J. (2017a). A hybrid method for underwater image correction. *Pattern Recognition Letters*, 94, 62-67. doi:10.1016/j.patrec.2017.05.023
- Li, J., Skinner, K., Eustice, R., & Johnson-Roberson, M. (2017b). WaterGAN: Unsupervised generative network to enable real-time color correction of monocular underwater images. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 3, 387-394. doi:10.1109/LRA.2017.2730363
- Li, C., Anwar, S., & Porikli, F. (2020). Underwater scene prior inspired deep underwater image and video enhancement. *Pattern Recognition*, 98, 107038. doi:10.1016/j.patcog.2019.107038
- Ulutas, G., & Ustubioglu, B. (2021). Underwater image enhancement using contrast limited adaptive histogram equalization and layered difference representation. *Multimedia Tools and Applications*, 80, 15067-15091. doi:10.1007/s11042-020-10426-2
- Sun, B., Mei, Y., Yan, N., & Chen, Y. (2023). UMGAN: Underwater image enhancement network for unpaired image-to-image translation. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(2), 447. doi:10.3390/jmse11020447
- Wu, J., Huang, H., Qiu, Y., Wu, H., Tian, J., & Liu, J. (2005, July). *Remote sensing image fusion based on average gradient of wavelet transform*. IEEE International Conference Mechatronics and Automation, Niagara Falls, Kanada.
- Ye, Z. (2009). Objective assessment of nonlinear segmentation approaches to gray level underwater images. *International Journal on Graphics, Vision, and Image Processing (GVIP)*, 9(2), 39-46.
- Zhang, Y., Chen, D., Zhang, Y., Shen, M., & Zhao, W. (2023). A two-stage network based on transformer and physical model for single underwater image enhancement. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(4), 787. doi:10.3390/jmse11040787