

## بررسی و مقایسه روش‌های افزایش وضوح تصاویر زیر آب

■ علی حسینی/ باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران/ a.hosseini@iaushiraz.ac.ir  
 ■ محمدامین شایگان/ گروه مهندسی کامپیوتر، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران/ shayegan@iaushiraz.ac.ir  
 ■ سعید صدیقی/ باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران/ s.sedighi@iaushiraz.ac.ir

### چکیده

تصویربرداری در زیر آب، برای اکتشافات دریایی همچون ارزیابی محیط زیست، کشف مواد معدنی و تجزیه و تحلیل موجودات زنده زیر آب، یکی از زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه پژوهشگران می‌باشد. برای این تحقیقات، دریافت تصاویر واضح و با کیفیت از اشیا زیر آب ضروری است. ولی تصاویر زیر آب به دلیل نبود یکنواخت و کنتراست کم، همواره دچار ضعف بصری، مات شدگی و یا درخشندگی بیش از اندازه بوده که این موارد به نوبه خود منجر به از بین رفتن جزئیات در تصاویر زیر آب می‌شوند. از طرفی هر چه عمق آب بیشتر شود، شدت نور کاهش بیشتری پیدا خواهد کرد که این موضوع باعث جذب یک سری رنگ‌ها توسط آب خواهد شد. در این مقاله به بررسی، دسته‌بندی و مقایسه روش‌های بهبود تصاویر زیر آب پرداخته شده است. نتایج این تحقیقات نشان می‌دهند که روش‌های مبتنی بر اصلاح رنگ، بهترین عملکرد را در میان روش‌های بهبود تصاویر زیر آب از خود نشان می‌دهند.

**کلمات کلیدی:** بهبود تصاویر، تصاویر زیر آب، مدل شکل‌گیری تصویر، مقایسه روش‌های بهبود زیر آب

## Comparative analysis of underwater images quality enhancement methods

■ Ali Hosseini/ Young Researchers Club, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran/ A.hosseini@iaushiraz.ac.ir  
 ■ Mohammad Amin Shayegan/ Departement of Computer, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran/ Shayegan@iaushiraz.ac.ir  
 ■ Saeed Sedighi/ Young Researchers Club, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran/ s.sedighi@iaushiraz.ac.ir

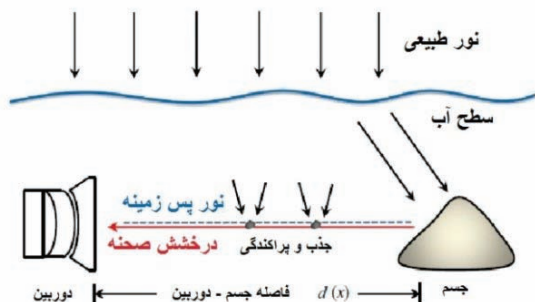
### Abstract:

Underwater imagery is one of the research areas of interest for marine exploration, such as environmental assessment, mineral detection and underwater living organisms analysis. For this research, clear, high-quality images of underwater objects are necessary. Underwater images, however, have always had visual, opaque, or excessive glare due to the lack of uniform and low light, which in turn results in the loss of detail in underwater images. On the other hand, the greater the depth of water, the more intense the light will diminish, which will result in the absorption of a series of wavelength by the water. This paper reviews, categorizes and compares the methods for enhancing underwater images. The results of this research show that color correction methods show better performance among other methods.

**Keywords:** image enhancement, underwater images, image formation model, Comparative analysis

## ۱- مقدمه

نور پس زمینه، مولفه تضعیف مستقیم و مولفه پراکندگی رو به جلو هستند. اندیس  $\lambda$  نشان دهنده طول موج نور یا کانال‌های رنگی RGB است. ژافه، روی شکل‌گیری تصاویر زیر آب با نور مصنوعی بر اساس تئوری McGlamery مطالعه کرده است [۱۰]. با این وجود، مطالعه و بررسی وضعیت تصویربرداری زیر آب با نور طبیعی نیز ضروری است. شکل (۱) نحوه شکل‌گیری تصاویر زیر آب تحت نور طبیعی را مدل کرده و رابطه بین نور پس زمینه و خواص ذاتی نور را نشان می‌دهد.



شکل ۱: تصویربرداری از یک شی در زیر آب. نور منعکس شده از سطح جسم، از پراکندگی و جذب ناشی از مولکول‌های آب و ذرات معلق رنج می‌برد. درخشش دریافت شده توسط دوربین شامل مجموع تابش تضعیف شده و درخشش پراکنده صفحه و نور پس زمینه است.

### ۱-۲-۱- نور پس زمینه

بر خلاف تضعیف مستقیم و مولفه‌های پراکندگی نور رو به جلو، نور پس زمینه از جسم سرچشمه نمی‌گیرد. در عوض، با یک توزیع زاویه‌ای گسترده از پراکندگی نور محیط توسط ذرات معلق در آب ایجاد می‌شود [۱۱].

در مدل McGlamery و ژافه، یک مخروط سه بعدی در امتداد خط دید دوربین، به سطوح ضخیم بی‌نهایت کوچک قطعه قطعه می‌شود. سهم و مشارکت هر سطح در فاصله  $L$  و جهت  $\varphi$  برای نور پس زمینه، می‌تواند با استفاده از معادله (۲) محاسبه شود:

$$dB_{\lambda}(l, \varphi) = \beta_{\lambda}(\varphi) E_{\lambda}(l, \varphi) \exp(-c_{\lambda} l) \times \frac{\pi}{4F_{\lambda}^2} T_{\lambda} \left[ 1 - \frac{F_{\lambda}}{l} \right]^2 dl \quad (2)$$

$\beta_{\lambda}(\varphi)$  تابع پراکندگی ذرات می‌باشد و  $\varphi$  نشان‌دهنده زاویه نسبی بین جهت نور تابشی و خط دید دوربین  $E_{\lambda}(l, \varphi)$ ، نشان‌دهنده نور محیط و  $c_{\lambda}$  ضریب تضعیف می‌باشند. تضعیف و پراکندگی رو به جلو در مدل McGlamery و ژافه، برای نور پراکنده شده حاصل هر کدام از ذرات، در نظر گرفته شده است. با این حال، در بسیاری از مطالعات، تضعیف نور به تنهایی برای ساده‌سازی در نظر گرفته می‌شود [۱۲ و ۱۳]. در شرایط نور طبیعی (بدون نیاز به منابع نور مصنوعی)، مناسب‌تر است که فرض شود نور محیط زیر آب به‌طور تقریبی یکنواخت می‌باشد، زیرا شدت نور، در چند متری سطح آب تغییرات کمی دارد [۱۴]. بنابراین برای ساده‌سازی، شدت روشنایی نور محیط یک ثابت  $E_a$  تعریف می‌شود و سیستم تصویربرداری توسط سه پارامتر  $F_n$  (تعداد دوربین‌ها)،  $T_l$  (مقدار عبور نور از لنز) و  $F_l$  (فاصله کانونی) توصیف می‌شود.

$F_l$  در مقایسه با فاصله جسم تا دوربین،  $l$  بسیار کوچک است ( $F_l \ll l$ ) این امر منجر به  $1 - (F_l/l) \approx 1$  می‌شود [۱۲]. بنابراین می‌توان معادله (۲) را به صورت معادله (۳) ساده‌سازی کرد.

$$dB_{\lambda}(l, \varphi) = \beta_{\lambda}(\varphi) E_a \exp(-c_{\lambda} l) k_l dl \quad (3)$$

به دلیل خواص فیزیکی آب و محیط آن، پردازش تصاویر گرفته شده در زیر آب، در دهه اخیر، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. فعالیت‌های زیر آب در زمینه کشف و شناسایی اشیاء، چالش‌های جدیدی را در پی داشته و در نتیجه این فعالیت‌ها، مسایل زیادی به دلیل تاثیرات جذب و انتشار نور بوجود آمده است [۱]. زمانی که نور خورشید به سطح آب می‌تابد، مقداری از آن منعکس می‌شود. علاوه بر این، مقداری از انرژی نور وارد شده به آب نیز جذب آب شده و این امر باعث می‌شود اشیاء زیر آب در فاصله بیش از ۱۰ متر، تقریباً غیرقابل تشخیص شوند [۲]. تصاویر زیر آب همواره از دید ضعیف، مات‌شدگی، درخشندگی بیش از اندازه، روشنایی مصنوعی و تغییر رنگ رنج می‌برند [۳]. این اثرات بر روی تصاویر زیر آب، تنها به دلیل طبیعت آب نیست، بلکه به دلیل وجود موجودات زنده و مواد موجود در آب نیز می‌باشد [۴].

با حرکت نور در آب، بسته به طول موج طیف رنگی، شدت نور به صورت نمایی کاهش می‌یابد. در آب‌های روشن و پاک، نور مرئی ابتدا در بلندترین طول موج جذب می‌گردد. رنگ قرمز در این زمینه بیشتر تحت تاثیر قرار گرفته که در ۵ متری جذب می‌شود و بعد از آن نارنجی در ۱۰ متری، زرد در ۲۰ متری، سبز در ۳۰ متری و در نهایت آبی در ۶۰ متری جذب خواهد گردید. بنابراین در عمق بیش از ۳۰ متری رنگ غالب، آبی است. پدیده جذب رنگ باعث می‌شود که تصاویر تهیه شده در زیر آب، کیفیت پایینی از لحاظ کانتراست و رنگ داشته باشند. ضمن اینکه اطلاعات مهمی از تصویر نیز حذف می‌گردند [۵].

### ۱-۱- تصاویر زیر آب

زمین سیاره‌ای است که ۷۰٪ از سطح آن را آب اشغال کرده است. امروزه، تصویربرداری در زیر آب، برای اکتشافات دریایی، یکی از زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه پژوهشگران است. برای این تحقیقات، دریافت تصاویر واضح و با کیفیت از اشیاء زیر آب ضروری می‌باشد [۶]. اکتشافات زیر آب به دلایل مختلف علمی مانند ارزیابی محیط زیست، کشف مواد معدنی و تجزیه و تحلیل موجودات زنده زیر آب انجام می‌شود. این اکتشافات از سال ۱۸۵۶ آغاز و نخستین تصاویر معروف ثبت شده از زیر آب در سال ۱۸۹۳ توسط لوئیز بوتان گرفته شده است [۷].

### ۱-۲- مدل شکل‌گیری تصاویر زیر آب

تصویری که در هوای صاف توسط یک دوربین گرفته می‌شود، شامل درخشش بخشی از نور منعکس شده از سطح جسم به دوربین می‌باشد. با این حال، شرایط تصویربرداری در زیر آب نسبت به هوای آزاد پیچیده‌تر است. جذب و پراکندگی نور، محتوای طیفی تصاویر زیر آب را تغییر می‌دهد. بنابراین، برای تفسیر رنگ تصاویر باید اثر تغییرات طیفی نور در نظر گرفته شود [۸]. بخشی از نور محیط به سمت دوربین عکاسی، توسط ذرات معلق و مولکول‌های آب پخش می‌شود که این امر نور پس زمینه را ایجاد می‌کند. همچنین این نور پخش شده منجر به ایجاد یک لایه از مه در تصاویر زیر آب می‌شود. در مدل McGlamery [۹] مولفه‌های تابش، که روی سطح دوربین ظاهر می‌شوند، شامل سه بخش هستند: ۱- نور محیط ۲- تضعیف مستقیم ۳- پراکندگی رو به جلو (پیش‌سو) که ناشی از درخشش نور پراکنده شده از جسم می‌باشد. معادله (۱) درخشندگی تصویر را تعریف می‌کند.

$$I_{\lambda} = B_{\lambda} + D_{\lambda} + F_{\lambda} \quad (1)$$

$I_{\lambda}$  و  $D_{\lambda}$  و  $B_{\lambda}$  به ترتیب، کل درخشندگی دریافت شده توسط دوربین،

$K_1$  یک مقدار ثابت بوده و نشان دهنده خواص سیستمی دوربین لام است. کل نور پس زمینه، در طول مسیر  $d$  از جسم تا دوربین، را می‌توان با انتگرال گیری از جمله سمت راست معادله (۴) از  $l=0$  تا  $l=d$  به دست آورد.

$$B_{\lambda}(d) = \frac{\int_0^d \int_{\theta} \beta_{\lambda}(\varphi) E_a \exp(-c_{\lambda} l) K_1 dl d\varphi}{B_{\lambda, \infty} (1 - \exp(-c_{\lambda} d))} \quad (4)$$

$\theta$  نشان دهنده همه زوایای ممکن برای توده معینی از پراکندگی می‌باشد و نور کلی پس‌زمینه با استفاده از معادله (۵) بدست می‌آید [۹].

$$B_{\lambda, \infty} = \frac{K_1 E_a}{C_{\lambda}} \int_{\theta} \beta_{\lambda}(\varphi) d\varphi \quad (5)$$

بخش‌های بعدی این مقاله به‌صورت زیر می‌باشند. بخش دوم کارهای انجام شده در این حوزه را به‌طور مختصر مرور می‌کند. در بخش سوم، به دسته‌بندی و مقایسه روش‌های بهبود تصاویر زیر آب پرداخته شده است. در پایان بخش چهارم به مرور، جمع‌بندی و نتیجه‌گیری می‌پردازد.

## ۲- کارهای گذشته

بیوانسو و همکاران با هدف بازگرداندن رنگ واقعی تصاویر زیر آب، الگوریتم خود را ارائه کردند [۵, ۱۵]. در روش پیشنهادی آنها، تصویر ورودی از فضای رنگی RGB به lab منتقل می‌شود. سپس با استفاده از دو پارامتر  $a$  و  $b$ ، رنگ از دست رفته تصویر بازگردانی می‌شود. در مرحله بعد به منظور افزایش تباين، بر روی هیستوگرام کانال  $a$ ، روش کشش و برش هیستوگرام انجام می‌گیرد. در مرحله آخر تصویر دوباره به فضای RGB برای بدست آوردن تصویر خروجی منتقل می‌شود. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد تباين تصاویر بهبود داشته است. همچنین این روش توانسته است تا حدودی رنگ‌های غالب سبز و آبی را در تصاویر ورودی کاهش دهد.

قانی و همکاران، با هدف بهبود تاریکی و روشنایی کانال‌های سبز-آبی در پس‌زمینه تصاویر زیر آب، متد جدیدی ارائه کردند [۱۶]. متد پیشنهادی برای بهبود تصاویر زیر آب از اصلاح هیستوگرام تطبیق بازگشتی استفاده می‌کند. متد پیشنهادی به چهار مرحله تقسیم می‌شود. در ابتدا کانال‌های RGB جداسازی شده و تصویر به ناحیه‌های کوچک‌تر تقسیم می‌شود. در مرحله دوم بر روی هیستوگرام تصویر عملیات کشش و برش انجام می‌گردد. در مرحله سوم نگاشت سطح خاکستری به وسیله تابع تبدیل و درون‌یابی خطی انجام می‌شود و سپس در مرحله آخر تصویر از فضای رنگی RGB به HSV منتقل و تقسیم و کشش در اواسط نقاط  $S$  و  $V$  انجام گردیده است. نتایج بدست آمده نشان دهنده بالاتر بودن میانگین آنتروپی و معیار ارزیابی (EME) measure of enhancement نسبت به متدهای حال حاضر می‌باشد.

چینگ و چن با توجه به این مساله که تصاویر زیر آب به‌طور عموم از کنتراست کم و از بین رفتن جزئیات تصویر رنج می‌برند یک روش جدید و موثر بر پایه الگوریتم Dehazing با هدف بهبود تصاویر زیر آب ارائه نمودند [۵, ۱۷]. این الگوریتم در جهت رفع تضعیف نور و بدست آوردن منبع نور مصنوعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که این الگوریتم بهبود قابل توجهی از نظر کنتراست بر روی تصاویر زیر آب ایجاد کرده و همچنین باعث از بین

رفتن نور مصنوعی در تصاویر زیر آب می‌شود. بلاک و همکاران، با هدف تشخیص رنگ اصلی آب در مجموعه‌ای از تصاویر، مدل اتوماتیک بهبود تصاویر زیر آب با استفاده از بهبود کانال تاریک را ارائه کردند [۱۸]. متد پیشنهادی، رنگ اصلی را به‌صورت سطح خاکستری متوسط نمایش می‌دهد و از آن به‌عنوان یک محور جدید در فضای رنگی CIELab استفاده می‌کند، سپس یک واریانس رنگی گسترده و هیستوگرام برابری به‌طور هم‌زمان به تصویر اعمال می‌شود. نتایج این متد در نرم‌افزار JEnhancer پیاده‌سازی و تست شده است که به‌صورت رایگان قابل دسترس قرار گرفته است.

ساتیا و همکاران برای حذف قسمت‌های مه‌آلود تصاویر زیر آب، از Dark Channel Prior استفاده کردند [۵, ۱۹]. در روش پیشنهادی، با استفاده از مدل تصویرسازی تصاویر مه‌آلود رنگی، ضخامت مه تخمین زده شده و با استفاده از الگوریتم حذف مه، بالانس رنگ در تصویر بازگردانی می‌شود و مه در فرآیند متعادل‌سازی هیستوگرام حذف می‌شود. در نتیجه تصویری بدون مه با کیفیت بالا بازسازی می‌گردد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که تصاویر بدست آمده از این روش در مقایسه با روش برابری هیستوگرام، کیفیت بهتری دارند. ما و همکاران با هدف بهبود کنتراست و بازسازی رنگ تصاویر زیر آب با حفظ جزئیات تصویر، الگوریتم ترکیبی برای فضاهای رنگی مختلف بر اساس Contrast Limited Adaptive Histogram (CLAHE) Equalization ارائه کردند [۲۰]. روش پیشنهادی در گام نخست از فضای رنگی RGB به دو فضای رنگی YIQ و HSI منتقل می‌گردد و بعد از اعمال متد CLAHE دوباره به فضای رنگی RGB منتقل می‌شود. در مرحله بعد با استفاده از فیلتر لبه‌یاب سابل تصویر نهایی ایجاد می‌شود. نتایج بدست آمده نشان دهنده افزایش جزئیات و بازسازی رنگ نسبت به متدهای حال حاضر می‌باشد. همچنین متد پیشنهادی به‌طور قابل توجهی باعث کاهش نویز و افزایش کیفیت تصاویر زیر آب می‌شود.

پنگ و همکاران، با هدف بهبود کنتراست تصاویر، متد تعمیم یافته کانال تاریک را برای ترمیم تصویر تکی ارائه کردند [۲۱]. متد پیشنهادی ابتدا نور محیط را با استفاده از تغییر رنگ وابسته به عمق محاسبه و سپس به وسیله شدت روشنایی مشاهده شده و نور محیط (دیفرانسیل نور محیط)، نقشه انتقال محاسبه می‌شود. نتایج بدست آمده نشان دهنده بهبود عملکرد متد پیشنهادی نسبت به روش‌های مورد مقایسه نویسنده می‌باشد.

ونوگپال و همکاران یک الگوریتم ترکیبی بهبود تصویر و تشخیص لبه برای تصاویر زیر آب ارائه کردند [۵, ۱۷]. در روش پیشنهادی، قبل از تشخیص لبه، بهبود تصویر طی دو مرحله انجام می‌شود. ابتدا یک فیلتر Homomorphic برای به حداقل رساندن روشنایی غیریکنواخت در تصویر استفاده شده و در مرحله بعد یک فیلتر حذف نویز درخت دوگانه موجک، به‌منظور بهبود تصاویر به کار می‌رود و بعد از آن، لبه‌های تصویر تشخیص داده می‌شود. الگوریتم پیشنهادی کیفیت تصویر را افزایش و از ایجاد نویز در تصاویر زیر آب جلوگیری می‌کند. غنی و ایسا در تحقیق خود، روشی را برای بالا بردن کیفیت تصاویر زیر آب پیشنهاد کردند که شامل دو مرحله است [۵, ۲۲]. در مرحله نخست، اصلاح تباين تصویر و در مرحله دوم تصحیح رنگ تصویر انجام می‌شود که در آن تصویر از فضای رنگی RGB به فضای رنگی HSV برده می‌شود. با استفاده از این فضای رنگ، اطلاعات بیشتری از تصاویر مورد نظر بدست می‌آید. تجزیه و تحلیل کمی و کیفی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی بهتر از روش‌های مورد مقایسه محقق، از نظر تباين، جزئیات و کاهش نویز بوده است.

لی و همکاران، با هدف جلوگیری از تجزیه تصاویر زیر آب به دلیل نور کم و ضریب سیگنال، یک متد با ترکیب کشش هیستوگرام و بازیابی تصاویر پلاریمتری ارائه کردند [۲۳]. در متد پیشنهادی هیستوگرام تصاویر پلاریمتری متعامد کشش داده شده، در حالی که نسبت قطبی شدن بین آنها حفظ شده است، سپس با استفاده از تصاویر پلاریمتری متعامد پردازش شده تصویر بهبود یافته با کیفیت بالاتر توسط متدهای سنتی بازیابی تصاویر پلاریمتری ایجاد می شود. نتایج بدست آمده نشان دهنده کارایی موثر و بهتر متد پیشنهادی نسبت به متدهای بازیابی پلاریمتری سنتی است، همچنین متد پیشنهادی در شرایط محیطی کدر به شدت موثر عمل می کند.

گالدردن و همکاران در روش پیشنهادی خود، یک متد جدید برای اصلاح کانال قرمز در تصاویر زیر آب ارائه نمودند که رنگ‌های مربوط به طول موج‌های کوتاه را بازیابی می‌نمود [۵ و ۲۴]. هدف از این کار، بازیابی کنتراست از دست رفته تصاویر زیر آب می‌باشد. در روش پیشنهادی، از متد کانال قرمز به عنوان یک متغیر برای متد Channel Dark در بهبود تصاویر دارای مه استفاده می‌شود. نتایج تجربی نشان دهنده از بین رفتن نور مصنوعی، رسیدن به تصحیح رنگ طبیعی و بهبود جزئیات تصویر می‌باشد.

لی و همکاران در تحقیق خود، روشی را برای بالا بردن کیفیت تصاویر زیر آب پیشنهاد کردند که شامل دو مرحله می‌باشد [۲۵]. در مرحله نخست، یک روش موثر مه‌زدایی تصاویر زیر آب برای بازیابی رنگ، وضوح و ظاهر طبیعی تصویر اعمال می‌شود. در مرحله دوم، روشی ساده و موثر بر اساس فرضیه توزیع هیستوگرام برای بهبود کانتراست و روشنایی تصویر اعمال می‌شود. روش پیشنهادی دارای دو خروجی می‌باشد، یکی دارای رنگ و ظاهر طبیعی برای نشان دادن در صفحه نمایش و دیگری دارای روشنایی و کانتراست بالا مناسب استخراج اطلاعات، تجزیه و تحلیل کمی و کیفی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی کیفیت بصری تصاویر زیر آب را بالا برده و اطلاعات با ارزش تر و رنگ دقیق تری را نسبت به سایر روش‌ها بازیابی می‌کند. یو و شانگ، با هدف حذف مه از تصاویر زیر آب، متد اصلاح شده برای تصاویر بر اساس کانال تیره DCP را ارائه کردند [۲۶]. متد پیشنهادی ابتدا نور محیط را با توجه به تفاوت کانال قرمز و آبی محاسبه و سپس ضعف‌های سه کانال به‌طور جداگانه بدست آورده می‌شود و در نهایت از یک مجموعه رنگ برای جبران اختلال رنگ‌های باقی مانده استفاده شده است. نتایج بدست آمده نشان دهنده بهبود عملکرد موثر روش پیشنهادی را نشان می‌دهد.

فان و همکاران با هدف افزایش کیفیت تصاویر زیر آب روش خود را ارائه کردند [۲۷]. در روش پیشنهادی به منظور بهبود هیستوگرام تصویر ورودی، عملیات متعادل سازی هیستوگرام به ترتیب بر روی کانال‌های فضای رنگی RGB اعمال می‌گردد. آزمایش انجام شده نشان دهنده اثربخشی روش بالا می‌باشد، ولی با توجه به عملیات متعادل سازی هیستوگرام بر روی کانال‌های RGB تفاوت بسیاری از نظر رنگ بین تصویر ورودی و خروجی مشاهده می‌شود.

### ۳- بررسی روش‌های بهبود تصاویر زیر آب

با مرور کارهای انجام شده در این حوزه، می‌توان روش‌های بهبود تصاویر زیر آب را در سه دسته، روش‌های مبتنی بر هیستوگرام (کشش و متعادل سازی هیستوگرام)، روش‌های حذف مه (Dark Channel) و روش‌های مبتنی بر اصلاح رنگ (اصلاح کانال قرمز) طبقه‌بندی نمود.

### ۳-۱- کشش و متعادل سازی هیستوگرام

کشش هیستوگرام، یک روش ساده برای بهبود تصویر می‌باشد که

برای افزایش کنتراست تصویر، از فرآیند کشش مجموعه مقادیر شدت روشنایی استفاده می‌کند [۱۴]. همچنین متعادل سازی هیستوگرام یک روش برای تغییر و اصلاح شدت روشنایی تصویر با استفاده از هیستوگرام تصویر ورودی است. متعادل سازی هیستوگرام در تصاویری که زمینه و نواحی آن، روشن و یا کم نور باشند، مفید خواهد بود [۲۸].

### ۳-۲- حذف مه با روش Dark Channel

روش Dark Channel، یک روش آماری برای حذف مه از تصاویر دارای مه می‌باشد. Dark Channel یک روش ساده، اما موثر در تخمین ضخامت و حذف مه است [۱۹، ۲۹].

در تصاویر رنگی دارای مه، به‌طور معمول شدت نور در پیکسل‌ها بر اثر وجود مه، خیلی کمتر از حد طبیعی است (هر پیکسل دارای ۳ رنگ می‌باشد که یک رنگ بر اثر مه، شدتی کمتر از حد طبیعی دارد). در روش Dark Channel ضخامت مه با استفاده از معادله (۶) تخمین زده می‌شود [۲۹].

$$J^{dark}(x) = \min(\min_{y \in \pi(x)} J^c(y)) \quad (6)$$

که در این رابطه،  $J^c$  کانال رنگ پیکسل  $x$  و  $\pi(x)$  یک محدوده  $\pi \times \pi$  از پیکسل‌ها با مرکز  $x$  می‌باشد.

### ۳-۳- اصلاح رنگ (اصلاح کانال قرمز)

در این روش، رنگ‌هایی که وابسته به طول موج‌های کوتاه هستند بازیابی شده و همان‌طور که انتظار می‌رود این روش برای تصاویر زیر آب منجر به بهبود کنتراست از دست رفته می‌شود [۲۴]. در این روش، ابتدا رنگ غالب آب، تخمین زده می‌شود و در مرحله بعد، نقشه انتقال اولیه تخمین زده شده و با استفاده از آن، تصحیح رنگ انجام می‌گیرد.

### ۴- مقایسه روش‌های بهبود تصاویر زیر آب

به منظور مقایسه سه دسته بالا، از سه روش بیوانو و همکاران [۱۵] (از روش‌های مبتنی بر هیستوگرام)، روش ساتیا و همکاران [۱۹] (از گروه روش‌های حذف مه با متد (Dark channel) و گالدردن و همکاران [۲۴] (از گروه روش‌های اصلاح رنگ) استفاده شده است.

به منظور ارزیابی روش‌های مورد مقایسه، از چهار تصویر استاندارد مرجع تصاویر زیر آب [۲۴] استفاده شده است (ستون اول از شکل ۲). سه الگوریتم افزایش وضوح تصاویر زیر آب بیوانو و همکاران، ساتیا و همکاران و گالدردن و همکاران بر روی چهار تصویر اعمال و نتایج حاصل در شکل (۲) نشان داده شده است.

به منظور ارزیابی کنتراست تصاویر حاصل از روش‌های بالا، از دو معیار ارزیابی EME (measure of enhancement) [۳۰] و معیار ارزیابی خرابی کنتراست بر اساس داده‌های آماری تصاویر طبیعی [۳۱] استفاده شده است.

EME متریک مورد استفاده برای مقایسه کیفیت تصاویر بوده که به صورت محلی، کنتراست تصویر را اندازه‌گیری می‌کند. در معیار ارزیابی EME، هر چه عدد حاصل، بیشتر باشد نشان دهنده افزایش کنتراست بالاتر است. نتایج حاصل از روش‌های مورد مقایسه توسط این معیار ارزیابی، در جدول (۱) نشان داده شده است.

با توجه به جدول (۱)، روش گالدردن و همکاران بهترین عملکرد را در بین روش‌های مورد مقایسه نشان می‌دهد.

در معیار ارزیابی خرابی کنتراست بر اساس داده‌های آماری تصاویر طبیعی، تمرکز عمده فقط بر روی کنتراست تحریف شده می‌باشد. این معیار، امتیازی بین ۱ تا ۵ به تصویر می‌دهد و هر چقدر این

جدول ۱: ارزیابی روش‌های بهبود کنتراست تصاویر زیر آب با استفاده از معیار EME

نام تصویر	روش بیوانو و همکاران	روش ساتیا و همکاران	روش گالدردن و همکاران
تصویر ۱	۰.۵۵۷۱	۰.۱۴۲۸	۰.۶۹۵۲
تصویر ۲	۰.۵۰۹۴	۰.۳۷۱۲	۰.۳۷۰۳
تصویر ۳	۰.۵۶۳۶	۰.۲۹۵۸	۰.۷۱۰۸
تصویر ۴	۰.۵۸۱۳	۰.۲۲۴۵	۰.۹۲۶۹

جدول ۲: ارزیابی روش‌های بهبود کنتراست تصاویر زیر آب بر اساس داده‌های آماری تصاویر طبیعی

نام تصویر	روش بیوانو و همکاران	روش ساتیا و همکاران	روش گالدردن و همکاران
تصویر ۱	۳.۰۴۰۶	۳.۴۸۵۵	۲.۸۲۵۲
تصویر ۲	۳.۰۰۷۱	۲.۲۰۷۰	۲.۶۱۲۸
تصویر ۳	۳.۱۰۸۳	۲.۴۴۰۵	۳.۴۴۰۳
تصویر ۴	۲.۵۶۸۹	۳.۱۹۹۹	۳.۴۳۳۶

امتیاز بیشتر باشد، نشان‌دهنده کنتراست بهتر تصویر می‌باشد. نتایج حاصل از روش‌های مورد مقایسه توسط این معیار ارزیابی، در جدول (۲) نشان داده شده است. با توجه به جدول ۲، باز هم روش گالدردن و همکاران نسبت به دو روش دیگر، بهتر عمل کرده است.

کانال رنگی تقسیم و از هر کدام از سه دسته، یک روش به منظور مقایسه انتخاب گردید. با توجه به نتایج بدست آمده از معیارهای ارزیابی، می‌توان نتیجه گرفت که روش‌های مبتنی بر اصلاح کانال رنگی، نسبت به دو دسته دیگر، به نسبت، بهتر عمل کرده و منجر به افزایش دید و وضوح در تصاویر زیر آب شده است.

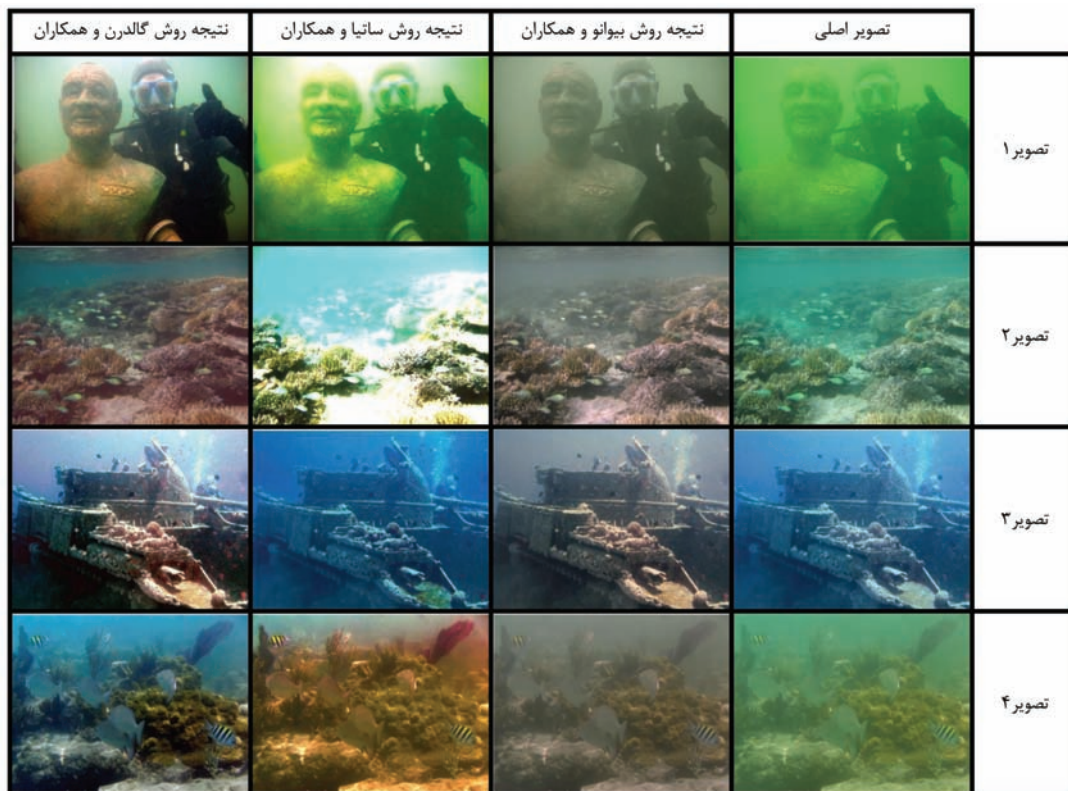
#### مراجع

- [1] Baharudin, B. B., Kushairi, M., & Rajuddin, M. (2012, June). Significance level of image enhancement techniques for underwater images. In Computer & Information Science (ICICIS), 2012 International Conference on (Vol. 1, pp. 490-494). IEEE.
- [2] Lu, H., Li, Y., Xu, X., Li, J., Liu, Z., Li, X., ... & Serikawa, S. (2016). Underwater image enhancement method using weighted guided trigonometric filtering and artificial light correction. Journal of Visual Communication and Image Representation, 38, 504-516.
- [3] Prabhakar, C. J., & Kumar, P. U. "An image based technique for enhancement of underwater images". arXiv preprint arXiv:1212.0291, 2012
- [4] Bharal, S., & Amritsar, G. N. D. U. (2015). A Survey On Various Underwater Image Enhancement Techniques. International Journal of Computer Application (2250-1797), 5(4).
- [۵] حسینی، علی، شایگان، محمدامین، صدیقی، سعید، (۱۳۹۷). معرفی یک روش جدید برای بهبود کیفیت تصاویر زیر آب در فضای رنگی YIQ. مجله ماشین بینایی و پردازش تصویر.
- [6] Singadkar, G. S. (2016). Underwater Image Enhancement Using Discrete Wavelet Transform & Singular Value Decomposition.
- [7] Venugopal, N., Jothilingam, A., Sudhakar, M. S., Ramesh, R., &

#### ۴- نتیجه‌گیری

وضوح و کیفیت تصاویر زیر آب، به دلیل خواص فیزیکی آب و محدودیت‌های سنسورهای تصویربرداری، همواره کم است. همچنین کنتراست در این تصاویر، به شدت پایین و نویز در آن بسیار زیاد می‌باشد که این موضوع باعث از بین رفتن جزئیات تصویر می‌شود. بنابراین افزایش کنتراست برای تجسم و تفسیر مناسب‌تر این تصاویر، بسیار ضروری است.

در این مقاله، تکنیک‌های مختلف بهبود تصاویر زیر آب مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. روش‌های بررسی شده تا حد به نسبت زیادی تصاویر زیرآب را بهبود می‌دهند. با بررسی کارهای انجام شده، روش‌های بهبود تصویر به سه دسته، روش‌های مبتنی بر متعادل‌سازی هیستوگرام، روش‌های حذف مه و روش‌های اصلاح



شکل ۲: خروجی روش‌های مورد مقایسه

« ادامه در صفحه ۲۲ »