

معرفی یک روش جدید بهبود کیفیت تصاویر زیر آب در فضای رنگی YIQ

علی حسینی^۱، محمدمین شایگان^۲ و سعید صدیقی^۳

چکیده

بیشتر وسایل نقلیه هوشمند زیر آبی و وسایل نقلیه کنترل از راه دور دریایی، برای تصویر برداری از زیر آب به دوربین‌های نوری مجهز می‌باشند. لیکن با توجه به خواص آب و ناخالصی آن، کیفیت تصاویر گرفته شده توسط این وسایل تصویر برداری، به اندازه کافی مطلوب نیستند. زیرا که آب باعث تضعیف نور شده و هر چه میزان عمق آب بیشتر شود، نور کاهش بیشتری پیدا خواهد کرد که این موضوع باعث جذب شدن رنگ‌ها توسط آب خواهد گردید. لذا عملیات پردازش تصویر برای تصاویر زیر آب از اهمیت بسیاری برخوردار هستند. در این مقاله به منظور افزایش کیفیت تصاویر زیر آب، روش جدیدی برای بهبود تباین تصاویر معرفی شده است. در روش پیشنهادی، از دو عملیات کشش و متعادل سازی بافت نگار استفاده شده است. در قسمت متعادل سازی، یک روش جدید شکستن و برش بافت‌نگار معرفی شده است. روش ارائه شده بر روی چندین تصویر مرجع آزمایش و نتایج حاصل از آن با روش‌های متداول، مورد مقایسه قرار گرفته است. تجزیه و تحلیل نتایج روش پیشنهادی، افزایش ۴۰/۱۶٪ تباین در مقایسه با روش ساتیا و همکاران، که بهترین روش در بین روش‌های مورد مقایسه می‌باشد، را در بهترین حالت نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها

بهبود تباین، پردازش تصویر، تصاویر زیر آب، فضای رنگی YIQ، متعادل سازی بافت‌نگار

همین دلایل پردازش تصاویر گرفته شده در زیر آب، در دهه اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۴].

با حرکت نور در آب، بسته به طول موج طیف رنگی، شدت نور بصورت نمایی کاهش می‌یابد [۵]. در آب‌های روشن و پاک، نور مرئی ابتدا در بلندترین طول موج جذب می‌گردد. رنگ قرمز در این زمینه بیشتر تحت تأثیر قرار گرفته و با عبور از عمق یک متری به یک سوم از شدت خود کاهش می‌یابد و بعد از عبور از عمق چهار الی پنج متر در زیر آب، بیشتر شدت خود را از دست خواهد داد. در مقایسه با طول موج‌های دیگر، نورهای آبی و بنفش در آخرین مرحله جذب می‌شوند [۵]. در عمق بیشتر، رنگ‌ها توسط آب جذب و هم زمان مقدار نور کاهش می‌یابد. همانطور که در شکل ۱ مشخص است به دلیل طول موج پایین، اولین رنگ جذب شده توسط آب، قرمز بوده که در ۵ متری جذب می‌شود. بعد از آن رنگ نارنجی در ۱۰ متری، زرد در ۲۰ متری، سبز در ۳۰ متری و نهایتاً آبی در ۶۰ متری جذب خواهد گردید. بنابراین در عمق بیش از ۳۰ متری رنگ غالب، آبی است [۶]. در شکل ۲ تغییرات رنگی

۱ مقدمه

برای پردازش تصاویر زیر آب، نیاز است تا قوانین اصلی فیزیک انتشار نور در آب مورد توجه قرار گیرند، چرا که خواص فیزیکی آب باعث از هم پاشیدگی نور می‌شود. با عبور نور از آب، شدت نور به صورت تصاعدی کاهش می‌یابد. همچنین انرژی و ارتعاشات محیط، شکل مولکولی آب را تغییر می‌دهند [۳]. به

این مقاله در آبان‌ماه ۱۳۹۶ دریافت، در مردادماه ۱۳۹۷ بازنگری و در شهریورماه همان سال پذیرفته شد.

^۱باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

رایانامه: a.hosseini@iaushiraz.ac.ir

^۲گروه مهندسی کامپیوتر، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

رایانامه: shayegan@iaushiraz.ac.ir

^۳باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

رایانامه: s.sedighi@iaushiraz.ac.ir

جهت استخراج هر چه بیشتر اطلاعات، الگوریتم‌های متعددی برای آن معرفی شده اند [۸].

به طور کلی پردازش تصاویر زیر آب را از دو جنبه می‌توان مورد بررسی قرار داد: ۱- تکنیک‌های ترمیم تصویر؛ ۲- تکنیک‌های بهبود تصویر [۹]. ترمیم تصویر روی ترمیم نمودن یک تصویر ضعیف با استفاده از یک مدل ساخت‌یافته بر روی تصویر اصلی تمرکز دارد. مع‌الوصف، این گونه روش‌ها سخت‌گیرانه بوده و به پارامترهای زیادی همچون ضرائب انتشار و تضعیف، که تیرگی آب را مشخص می‌کنند، احتیاج دارند [۹]. روش‌های بهبود تصویر از معیارهایی کیفی برای تولید تصویری با کیفیت بالا استفاده می‌کنند که به هیچ مدل فیزیکی از ساختار تصویر وابسته نمی‌باشند [۱۰]. در ادامه برخی از مفاهیم ضروری مورد استفاده در این مقاله، به اختصار معرفی می‌گردند.

۱-۱ فضای رنگی

چشم انسان در حالت طبیعی قادر است طیف محدودی از رنگهای اشیا یا فضای اطراف خود را دیده و آنها را درک کند. این محدوده ی بینایی، بین طول موج دو رنگ ماوراء بنفش و مادون قرمز قرار دارد. یک فضای رنگ، اساساً نوعی مشخصه سازی از یک سیستم مختصات و یک ریز فضا داخل آن می‌باشد که در آن، هر رنگ توسط یک نقطه از فضای رنگی نمایش داده می‌شود. هدف یک فضای رنگ این است که مشخصه دهی رنگ‌ها به طریقه استاندارد را تسهیل نماید.

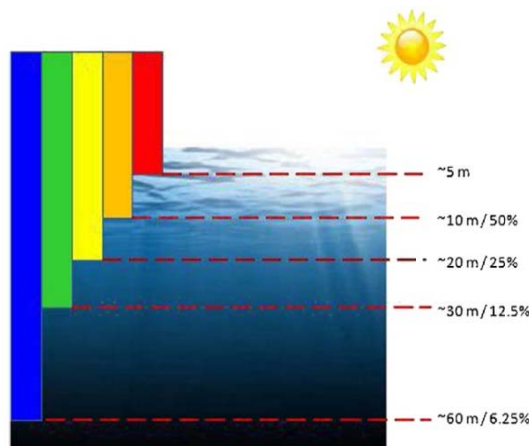
برای نمایش تصاویر بر روی صفحات نمایش و یا چاپ تصاویر رنگی روی کاغذ، مدل‌های رنگی متفاوتی تعریف شده است. فضای که امروزه بیشتر از آن استفاده می‌شود مدل RGB می‌باشد [۱۱].

۱-۱-۱ فضای رنگی RGB

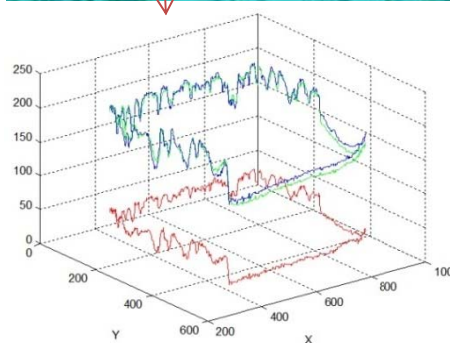
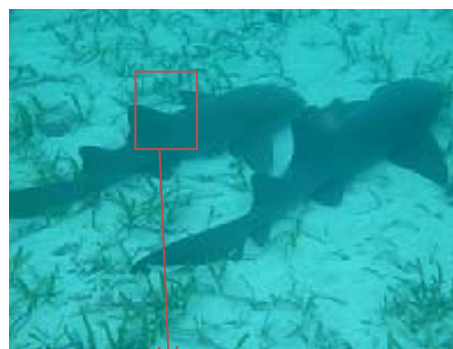
این استاندارد بر پایه تئوری سه رنگی است. مطابق این استاندارد رنگ‌های پایه RGB عبارتند از: قرمز (با طول طیف رنگ ۷۰۰ نانومتر)، سبز (با طول طیف رنگ ۵۴۶/۱ نانومتر) و آبی (با طول طیف رنگ ۴۳۵/۸ نانومتر). هر رنگ با ترکیب مقادیری از هر کدام از سه رنگ پایه ایجاد می‌شود [۱۱].

فضای رنگی RGB یکی از رایج‌ترین انتخاب‌ها برای گرافیک کامپیوتری می‌باشد. زیرا، صفحه نمایش‌های رنگی از ترکیب رنگ‌های قرمز، سبز و آبی برای ایجاد رنگ مورد نظر استفاده می‌کنند. در نتیجه، استفاده از این فضای رنگی طراحی و معماری سیستم‌ها را ساده‌تر می‌کند. همچنین با توجه به استفاده متوالی در سالیان اخیر از این فضای رنگی، سیستم‌هایی که با استفاده از فضای رنگی RGB طراحی شده‌اند، می‌توانند از تعداد زیادی روال‌های نرم‌افزاری موجود بهره‌برند. با این حال به دلیل همبستگی بین این کانال‌های رنگی، فضای رنگی RGB در مواجهه با تصاویر دنیای واقعی کارآمد نیست. چرا که با تغییر در هر کدام

فضای RGB در بخشی از یک تصویر زیر آب نشان داده شده است.



شکل ۱- ترتیب جذب شدن رنگها توسط آب [۶]



شکل ۲- تغییرات رنگی کانال RGB در تصاویر زیر آب

پدیده جذب رنگ باعث می‌شود که تصاویر تهیه شده در زیر آب، کیفیت پایینی از لحاظ تباین^۱ و رنگ داشته باشند. ضمن اینکه اطلاعات مهمی از تصویر نیز حذف می‌گردند [۷].

به طور کلی تصاویر زیر آب دارای مشکلاتی از جمله نور غیر یکنواخت، جذب نور، مات‌شدگی و پراکندگی نور، روشنایی مصنوعی و تغییر رنگ می‌باشند. از میان این مشکلات، "جذب نور"، "پراکندگی" و "نور مصنوعی" سه موضوع مهم در تصویربرداری نوری زیر آب هستند [۳]. تکنیک بهبود و افزایش تباین در پردازش تصاویر زیر آب بسیار مورد استفاده قرار گرفته و

¹ Contrast

نمونه بهبود تابین تصویر با استفاده از روش HE را نشان داده شده است.



الف
ب

شکل ۳- الف- عکس اصلی ب- بهبود تابین به روش HE

با این حال، این روش معمولاً باعث تابین بیش از حد می‌شود [۱۳]. بنابراین روش های دیگری برای متعادل سازی تصویر با حفظ روشنایی تصویر نیز ارائه شده اند.

۲-۲-۱ روش Brightness Preserving Bi-Histogram Equalization (BBHE)

این روش با استفاده از میانگین تمام شدت پیکسل های موجود در تصویر ورودی، بافت نگار تصویر را به دو زیر-بافت نگار تقسیم می‌کند. سپس بر روی هر زیر-بافت نگار به طور مستقل متعادل سازی (HE) اعمال می‌شود [۱۴].

۳-۲-۱ روش Recursive Mean-Separate Histogram Equalization (RMSHE)

در روش RMSHE، هر یک از بافت نگارهای BBHE بر اساس میانگین خود به دو زیر-بافت نگار تقسیم می‌شوند. در نتیجه به ازای $r=2$ ، بافت نگار به چهار بخش تبدیل می‌شود. در روش RMSHE جداسازی بافت نگار به صورت بازگشتی بوده و نقطه ی جداسازی بر اساس میانگین شدت روشنایی محاسبه می‌شود [۱۳].

۳-۱ ارزیابی کیفیت تصویر^۲ (IQA)

ارزیابی کیفیت یک تصویر، مشکی اساسی و چالش برانگیز در زمینه پردازش تصویر است. از آنجا که سیستم بینایی انسان، گیرنده

از کانال ها بصورت جدا گانه، رنگ کانالهای دیگر نیز ناخواسته تغییر کرده و بنابراین نتیجه نهایی، رنگ اصلی تصویر نمی‌باشد. برای مثال به منظور اصلاح شدت روشنایی و یا رنگ یک پیکسل در مکعب رنگ RGB، نیاز است هر کدام از سه مولفه RGB با پهنای باند (دامنه تغییرات شدت مولفه) مساوی در یک قاب بافر که دارای همان رزولوشن مکانی و رزولوشن شدت روشنایی صفحه نمایش است، ذخیره شود. سپس سه مقدار RGB باید از بافر خوانده، شدت روشنایی و یا رنگ محاسبه، تغییرات و اصلاحات مورد نظر انجام و مقادیر جدید RGB محاسبه و مجدداً در بافر ذخیره شوند [۱۲]. همچنین از آنجا که قدرت تفکیک رنگ در چشم انسان تقریباً نصف تفکیک روشنایی است، بسیاری از استانداردهای ویدئویی، از درخشندگی و دو سیگنال متفاوت رنگ استفاده می‌کنند. شایع ترین فضاهای رنگ از این گروه YUV و YIQ می‌باشند. اگر چه این دو فضای رنگی به هم نزدیک هستند، ولی تفاوت هایی در آنها نیز وجود دارد [۱۲].

۲-۱-۱ فضای رنگی YIQ

YIQ یک استاندارد پخش تلویزیون رنگی است. در این مدل، Y متناظر با لومیناتوس است. I و Q دو مؤلفه رنگ هستند که به ترتیب هم فاز و متعامد خوانده می‌شوند. مؤلفه Y در سامانه YIQ، تمام اطلاعات ویدئویی مورد نیاز تلویزیون تک رنگ می‌باشد. مزیت اصلی مدل رنگ YIQ در پردازش تصویر، ناشی از این خاصیت است که اطلاعات لومیناتوس (Y) و اطلاعات رنگی I و Q ناهمبسته هستند [۱].

۲-۱ تابین

تابین رنگ، معیاری برای تشخیص تفاوت موجود میان روشنترین سفیدی و تیره‌ترین سیاهی که در یک لحظه از جلوی چشمان انسان می‌گذرد، است. هر چقدر تابین بالاتر باشد، صفحه نمایش توانایی نمایش تصاویر واضح تری را دارد. وظیفه اصلی تابین، ایجاد شفافیت و وضوح تصویر است. هر چه تقابل میان رنگها (تابین) بیشتر باشد، تفکیک بین اجسام مختلف موجود در یک محیط، با کیفیت بالاتری امکان پذیر خواهد بود. افزایش تابین یکی از مهمترین مسائل در پردازش تصاویر است و متعادل سازی بافت نگار^۱ (HE) یکی از روشهای معمول مورد استفاده برای افزایش تابین در تصاویر دیجیتال محسوب می‌شود [۱۳].

۱-۲-۱ روش HE

متعادل سازی بافت نگار (HE) یکی از روش های معمول، ساده و موثر برای بهبود تابین در تصاویر دیجیتال است. شکل ۳ یک

² Image Quality Assessment (IQA)

¹ Histogram Equalization

۱-۳-۲ معیار ارزیابی Measure of

Enhancement(EME)

EME متریک دیگری برای مقایسه کیفیت تصاویر است که به صورت محلی، تباین تصویر را اندازه گیری می کند. این معیار ارزیابی، از دسته NR-IQA می باشد [۲۲]. در این معیار، در مرحله اول، تصویر به چند پنجره تقسیم و در هر پنجره، بزرگترین و کوچکترین مقدار پیکسل ها یافته می شود. در مرحله دوم برای هر پنجره رابطه ۳ محاسبه می شود:

$$20 \log_{10} \left(\frac{I_{\max}}{I_{\min}} \right) \quad (3)$$

در رابطه ۳، I_{\max} بزرگترین و I_{\min} کوچکترین مقدار پیکسل در پنجره مورد نظر می باشند.

فرمول نهایی، حاصل جمع مقادیر حاصل از رابطه ۳، برای تمام پنجره های یک تصویر می باشد (رابطه ۴).

$$\frac{1}{k_1 k_2} \sum_1^{k_2} \sum_1^{k_1} 20 \log_{10} \left(\frac{I_{\max}}{I_{\min}} \right) \quad (4)$$

در این رابطه k_1 و k_2 ، ابعاد پنجره های ایجاد شده بر اساس سایز تصویر هستند.

۱-۳-۳ معیار ارزیابی خرابی تباین بر اساس داده های

آماري تصاویر طبیعی

در معیار ارزیابی^۶ (NRCD)، تمرکز عمده فقط روی تباین تحریف شده است. این روش بر ویژگی هایی که به احتمال زیاد توسط تباین، تحریف شده و تحت تاثیر قرار می گیرند تمرکز دارد. در این معیار ارزیابی، مدلی بر اساس داده های آماری تصاویر طبیعی ایجاد و سپس این مدل با تصویر ورودی مقایسه و انحراف آن محاسبه می شود. ویژگی های استخراج شده از مدل ها، کمیت های آماری تصاویر طبیعی شامل میانگین، انحراف معیار، چولگی و کشیدگی شدت روشنایی تصویر می باشند [۲۳].

۱-۳-۴ معیار ارزیابی PCQI^۷

معیار ارزیابی PCQI یک معیار FR-IQA بوده که با محاسبه و ارزیابی میانگین شدت روشنایی، قدرت سیگنال و ساختار سیگنال^۸ بدست آمده از تکه های محلی تصویر، تباین تصویر را اندازه گیری می کند. فرمول کلی PCQI در معادله ۵ تعریف شده است [۲۴].

$$PCQI(X, Y) = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M PCQI(x_j, y_j) \quad (5)$$

که در آن X تصویر ورودی و Y تصویر بهبود یافته می باشند.

نهایی و مفسر محتوای بصری است، لذا یک ابزار قابل اطمینان برای ارزیابی کیفیت است. ولی با توجه به وقت گیر بودن و پرهزینه بودن آن، برای کاربردهای عملی، به ندرت استفاده می شود [۱۵]. برای غلبه بر این محدودیت ها، در طول دهه گذشته، معیارهای IQA مبتنی بر تصویر متعددی، برای پیش بینی درک انسان از کیفیت تصویر، پیشنهاد شده است. معیارهای IQA مبتنی بر تصویر، از نظر تکرار و مقیاس پذیری در مقایسه با ارزیابی مبتنی بر فرد، سودمندتر هستند [۱۶].

معیارهای IQA موجود، براساس در دسترس بودن تصاویر مرجع، که بدون تحریف و با کیفیت مناسب هستند، به سه دسته تقسیم می شوند: ۱- دسترسی کامل به تصاویر مرجع^۱ (FR) [۱۷، ۱۸]؛ ۲- دسترسی به برخی اطلاعات تصاویر مرجع^۲ (RR) [۱۹]؛ ۳- عدم دسترسی به تصاویر مرجع^۳ (NR) [۲۰، ۲۱]. در بسیاری از کاربردهای عملی، اطلاعات مربوط به مرجع در دسترس نبوده و در نتیجه معیارهای NR مطلوب می باشند. تحقیقات اندکی در مورد NR-IQA برای بررسی اعوجاج تباین^۴ صورت گرفته است که اغلب، عامل تعیین کننده، درک انسان از کیفیت تصویر بوده است. قابل ذکر است که اعوجاج تباین، اغلب در طول فرآیند بهبود تصویر ایجاد می شود. لازم به ذکر است محدودیت استفاده از دستگاه ها و شرایط نور کم، منجر به کاهش تباین و جزئیات قابل مشاهده در تصاویر می شود [۲۲].

۱-۳-۱ معیار ارزیابی حداکثر توان سیگنال به نویز^۵

(PSNR)

PSNR، یک متریک متداول برای مقایسه کیفیت تصاویر و از نوع FR-IQA می باشد. PSNR نشان دهنده نسبت حداکثر توان سیگنال (داده) به توان نویز موجود در تصویر است که توسط معادلات ۱ و ۲ تعریف شده اند [۷]. در این روابط، M و N ابعاد تصویر، i و j موقعیت مکانی هر پیکسل، X تصویر ورودی و Y تصویر خروجی می باشند.

$$RMSE = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [X(i, j) - Y(i, j)]^2}{M * N} \quad (1)$$

$$PSNR = 20 \log_{10} \left(\frac{\max(Y(i, j))}{RMSE} \right) \quad (2)$$

¹ Full-Reference (FR)

² Reduced-Reference (RR)

³ No-Reference (NR)

⁴ Contrast Distortion

⁵ Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR)

⁶ No-Reference Contrast-Distorted

⁷ Patch-Based Contrast Quality Index(PCQI)

⁸ Signal Structure

بزرگتر است. در مجموع، مقدار تفکیک رنگ UICM بصورت معادله ۱۰ تعریف می‌گردد.

$$UICM = -0.0268\sqrt{\mu_{\alpha, RG}^2 + \mu_{\alpha, YB}^2} + 0.1586\sqrt{\sigma_{\alpha, RG}^2 + \sigma_{\alpha, YB}^2} \quad (10)$$

۱-۳-۵-۲ اندازه‌گیری تیزی تصاویر زیر آب^۵ (UISM)

تیزی تصویر، خصوصیتی مرتبط با حفظ اطلاعات و لبه‌های تصویر می‌باشد. تیزی تصاویر گرفته شده در زیر آب، به دلایل مشکلاتی همچون شکست نور و مات شدگی، همواره دچار تضعیف است.

برای اندازه‌گیری تیزی تصاویر زیر آب، ابتدا برای تشخیص لبه‌های تصویر، از الگوریتم لبه‌یاب سابل بر روی هر کدام از مولفه‌های RGB استفاده می‌شود [۲۵]. سپس نقشه بدست آمده در تصویر اصلی ضرب شده تا نقشه خاکستری لبه‌ها به دست آید و تنها پیکسل‌های تصویر اصلی مربوط به این لبه‌ها باقی بمانند [۲۵]. سپس تیزی تصویر با استفاده از معادله ۱۱ محاسبه می‌شود.

$$UISM = \sum_{c \in \{R, G, B\}} \lambda_c EME(\text{grayscale edge}_c) \quad (11)$$

در این رابطه مقادیر $\lambda_R = 0.299$ ، $\lambda_G = 0.587$ و $\lambda_B = 0.114$ بر اساس واکنش بصری هر کدام از مولفه‌ها انتخاب شده‌اند.

۱-۳-۵-۳ اندازه‌گیری تباين تصوير^۶ (UIConM)

در تصاویر زیر آب، کاهش تباين حاصل پس پراکنندگی^۷ نور می‌باشد. در این معیار، تباين تصوير توسط اعمال تابع $\log AMEE$ بر روی شدت روشنایی تصویر محاسبه می‌گردد (معادلات ۱۲ و ۱۳).

$$UIConM = \log AMME(\text{Intensity}) \quad (12)$$

$$\log AMEE = \frac{1}{K_1 K_2} \otimes \sum_{l=1}^{k_1} \sum_{k=1}^{k_2} \frac{I_{\max, k, l} \ominus I_{\min, k, l}}{I_{\max, k, l} \oplus I_{\min, k, l}} * \log \left(\frac{I_{\max, k, l} \ominus I_{\min, k, l}}{I_{\max, k, l} \oplus I_{\min, k, l}} \right) \quad (13)$$

که در آن تصویر به $K_1 K_2$ بلاک تقسیم می‌گردد. \ominus ، \otimes و \oplus به ترتیب اپراتورهای پارامترهای لگاریتمی پردازش تصویر^۸ (PLIP) [۲۶] می‌باشند. در نهایت، معیار کلی UIQM به

۱-۳-۵-۴ معیار ارزیابی کیفیت تصاویر زیر آب^۱ (UIQM)

تصاویر زیر آب به دلیل جذب و شکست نور، از مات شدگی، کاهش تباين و جذب رنگها رنج می‌برند [۲۵]. معیار ارزیابی UIQM یک معیار ارزیابی NR-IQA بوده که با تمرکز بر خصوصیات تصاویر زیر آب، سه خاصیت "تفکیک رنگ"، "تیزی" و "تباين" تصاویر را اندازه‌گیری و آنها را به صورت خطی با هم ترکیب می‌کند. در ادامه نحوه بدست آوردن این سه معیار تشریح شده است.

۱-۳-۵-۱ اندازه‌گیری میزان تفکیک رنگی تصویر^۲ (UICM)

تحقیقات بر روی تصاویر طبیعی نشان داده که جا به جایی رنگی را می‌توان با یک تابع آماری نشان داد [۲۵]. برای ارزیابی تفکیک رنگ، از دو مولفه رنگی RG و YB (معادلات ۶ و ۷) استفاده شده است [۲۵].

$$RG = R - G \quad (6)$$

$$YB = \frac{R+G}{2} - B \quad (7)$$

تصاویر زیر آب معمولاً دارای نویز بسیار زیادی می‌باشند. به همین دلیل در معیار UICM به جای استفاده از مقادیر آماری مرسوم، از الفای نامتقارن پیراسته شده^۳ (AAT) برای اندازه‌گیری تفکیک رنگی استفاده گردیده است.

برای یک تصویر با ابعاد $M * N$ ، تعداد کل پیکسل‌های تصویر برابر با $K = M * N$ می‌باشد. برای تمامی پیکسل‌های تصویر به صورت مرتب شده $(x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_k)$ ، $T_{\alpha L}$ نزدیک ترین و $T_{\alpha R}$ دورترین نقطه به منظور پیراستگی^۴ می‌باشند. برای به دست آوردن میانگین (AAT) از معادله ۸ استفاده شده است.

$$\mu_{\alpha, RG} = \frac{1}{K - T_{\alpha L} - T_{\alpha R}} \sum_{i=T_{\alpha L}+1}^{K-T_{\alpha R}} Intensity_{RG, i} \quad (8)$$

ATT برای تصاویر مختلف زیر آب با تغییر دو پارامتر α_L و α_R قابل محاسبه می‌باشد. پارامتر دوم مورد استفاده در معیار UICM، مقدار واریانس σ^2 می‌باشد که بصورت زیر تعریف می‌گردد.

$$\sigma_{\alpha, RG}^2 = \frac{1}{N} \sum_{p=1}^N (Intensity_{RG, p} - \mu_{\alpha, RG})^2 \quad (9)$$

$\sigma_{\alpha, RG}^2$ نشان دهنده فعالیت پیکسل در هر مولفه می‌باشد. هر چه مقدار واریانس بزرگتر شود، نشان دهنده گستره داینامیکی

⁵ Underwater Image Sharpness Measure (UISM)

⁶ Underwater Image Contrast Measure (UIConM)

⁷ Backward Scattering

⁸ Parameterized Logarithmic Image Processing (PLIP)

¹ Underwater Image Quality Measures (UIQM)

² Underwater Image Colorfulness Measure (UICM)

³ Asymmetric Alpha-Trimmed (AAT)

⁴ Trimmed

روش پیشنهادی، تصویر به فضای رنگی HSI منتقل می‌شود. در این فضای رنگی، بر روی مؤلفه های S و I بهبود تباین از طریق کشیدگی بافت نگار اعمال می‌گردد. بعد از عملیات کشیدگی بافت نگار، تصویر از فضای رنگی HSI مجدداً به فضای رنگی RGB، جهت تولید یک تصویر خروجی بهبود یافته، بازگردانده می‌شود. نتایج به دست آمده بیانگر بهبود تباین بوده ولی در عین حال تغییر رنگ نسبت به تصویر ورودی دیده می‌شود.

در تحقیق دیگر، اکبال و همکاران برای کاهش پخش شدن رنگ تصاویر زیر آب، دو کانال رنگی سبز و قرمز را اصلاح نمودند [۲۹]. در روش آنها، اصلاح تباین در مدل رنگی RGB اعمال می‌شود. بافت نگارهای تصویر از یک و یا از دو سمت، بر اساس کمترین و بیشترین مقادیر بافت نگار هر کانال، بسط داده می‌شوند. تباین کلی تصاویر خروجی در این روش افزایش می‌یابد، ولی با این وجود، تفاوت زیادی در تصویر خروجی نسبت به تصویر ورودی ایجاد می‌شود.

پربهیکار و کومار با توجه به مشکلات مرتبط با تصاویر زیر آب، که از جمله آن می‌توان به نور غیر یکنواخت، تباین کم و از بین رفتن جزئیات تصویر اشاره نمود، یک روش بهبود برای تصاویر زیر آب پیشنهاد کردند [۸]. در روش پیشنهادی، از چهار فیلتر هم‌ریختگی، حذف نویز موجک، فیلتر دو جانبه و برابری تباین استفاده شده است که به ترتیب بر روی تصویر مورد نظر اعمال می‌شوند. در آخر، برای ارزیابی، از معیار PSNR استفاده شده است. روش پیشنهادی بهبود خوبی از نظر تباین بر روی تصاویر زیر آب را نشان می‌دهد.

پدموسای و همکاران، کارایی سه فیلتر *homomorphic*، *wavelet denoising by average* و *anisotropic diffusion* را مورد ارزیابی و مقایسه قرار دادند [۳۰]. تمامی این فیلترها در پیش پردازش تصاویر زیر آب بسیار مؤثر و قدرتمند می‌باشند. این فیلترها کیفیت تصویر را بهبود و نویز را کاهش داده و همچنین لبه‌های موجود در تصویر را حفظ می‌کنند. در میان این سه فیلتر، در نهایت فیلتر *wavelet denoising by average* با توجه به معیارهای ارزیابی *Mean-Square Error (MSE)* و *PSNR* بهترین عملکرد را نشان داده است.

سینگ و همکاران روش‌های مختلفی را برای بهبود تباین تصاویر زیر آب تحلیل نمودند [۳۱]. در آن تحقیق، تفاوت کارایی بین روش‌های متعادل‌سازی بافت نگار تطبیقی محدود شده^۲ (CLAHE)، بسط تباین و HE مورد مقایسه قرار گرفته است. معیارهای مورد استفاده جهت مقایسه کارایی این روش‌ها، مقادیر *MSE* و *(SNR)*^۳ می‌باشند. روش‌های مورد بررسی بر روی انواع مختلف تصاویر زیر آب آزمایش و طبق نتایج به دست آمده، روش CLAHE بهترین کارایی و بهبود را نشان داده است.

صورت رابطه خطی معادله ۱۴ تعریف می‌شود. در این رابطه c_1 ، c_2 و c_3 ضرایب ثابتی هستند که با توجه به نوع کاربرد در مسائل مختلف انتخاب می‌شوند. در مقاله حاضر این ضرایب بر اساس محاسبات پنتا و همکاران [۲۵] به ترتیب برابر با $0/282$ ، $0/2953$ و $3/5753$ در نظر گرفته شده‌اند.

$$UIQM = c_1 * UICM + c_2 * UISM + c_3 * UICoM \quad (14)$$

بخش‌های آتی این مقاله بصورت زیر هستند. بخش دوم مروری بر کارهای انجام شده در حوزه بهبود کیفیت تصاویر را مختصراً معرفی می‌کند. در بخش سوم، روش پیشنهادی بهبود تباین و روشنایی تصاویر زیر آب، معرفی می‌گردد. نتایج حاصل از اعمال روش پیشنهادی فوق در بخش چهارم معرفی و نهایتاً بخش پنجم به جمع بندی و نتیجه گیری می‌پردازد.

۲ مروری بر کارهای گذشته

صدیقی و همکاران با هدف افزایش تباین تصاویر زیر آب، روش شبیه کردن بافت نگار اولیه به بافت نگار ایده آل را پیشنهاد کردند [۲]. در روش پیشنهادی آنها، برش دادن بافت نگار به کمک یک نقاب سهمی گون درجه دو انجام می‌گیرد که در آن، مختصات x ماکزیمم سهمی برابر با میانگین شدت روشنایی و مختصات y ماکزیمم سهمی برابر با میانگین فراوانی نقاط تصویر می‌باشد. نتایج بدست آمده توسط روش پیشنهادی آنها، نشان دهنده افزایش تباین تصویر است. لیکن این روش، با توجه به برش بیش از اندازه در نواحی تیره و روشن بافت نگار، در تصاویری که فراوانی شدت روشنایی‌ها در قسمتهای تیره و روشن بافت نگار زیاد باشند، متعادل سازی خوبی انجام نمی‌دهد. همچنین در این روش، بافت نگار فقط به دو قسمت تقسیم شده و لذا نقاطی از تصویر که شدت روشنایی‌های نزدیک به هم دارند، بیش از اندازه لازم متعادل شده که این امر منجر به حذف برخی از جزئیات تصویر می‌شود.

ونوگپال و همکاران یک الگوریتم ترکیبی بهبود تصویر و تشخیص لبه برای تصاویر زیر آب ارائه کرده‌اند [۲۷]. در روش پیشنهادی، قبل از تشخیص لبه، بهبود تصویر با استفاده از دو مرحله انجام می‌شود. ابتدا یک فیلتر *Homomorphic* برای به حداقل رساندن روشنایی غیر یکنواخت در تصویر استفاده می‌شود و در مرحله بعد، یک فیلتر حذف نویز درخت دوگانه موجک^۱ به منظور بهبود تصاویر به کار می‌رود و بعد از آن، لبه‌های تصویر تشخیص داده می‌شود. الگوریتم پیشنهادی کیفیت تصاویر را افزایش و از ایجاد نویز در تصاویر زیر آب جلوگیری می‌کند. اکبال و همکاران در روش خود برای بهبود تباین تصاویر زیر آب، یک رویکرد بر مبنای *slide stretching* ارائه نمودند [۲۸]. در

² Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CALHE)

³ Singal to Noise Ratio (SNR)

¹ Dual Tree Wavelet Based Denoising

دهد که تصاویر زیر آب، بهبود قابل توجهی از نظر تابین پیدا کرده و همچنین نور مصنوعی آنها از بین می‌رود.

هیتم و همکاران از روش CLAHE برای بهبود تابین تصاویر زیر آب در فضای رنگی استفاده کردند [۷]. این تحقیق، روش CLAHE را روی دو فضای رنگی RGB و HSV اعمال و برای ترکیب هر دو نتیجه، از مقیاس اقلیدسی استفاده می‌نماید. نتایج روش ترکیبی نشان می‌دهد MSE کاهش یافته و PSNR بهتری نسبت به سایر روش‌های مورد مقایسه بدست می‌آید. این روش به خصوص برای دسته بندی تپه های مرجانی بسیار مناسب می‌باشد. سریکاوا و لو روش جدیدی برای بهبود تصاویر زیر آب با استفاده از حذف مه پیشنهاد کرده اند [۳۵]. روش پیشنهادی، یک مدل جدید برای جبران ضعف روشی در طول انتشار نور در تصاویر زیر آب بوده و از یک الگوریتم فیلتر حذف مه استفاده می‌کند. از مزایای این روش، بهبود تابین تصاویر با استفاده از کاهش سطح نویز می‌باشد. نتایج بدست آمده، نشان دهنده افزایش تابین کل تصویر و بهبود جزئیات و لبه ها در تصاویر زیر آب می‌باشد. همچنین آزمایش‌ها نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی سریع تر از سایر الگوریتم‌ها مورد مقایسه بوده و برای پردازش‌های آنلاین مناسبتر است.

غنی و ایسا در تحقیق خود، روشی را برای بالا بردن کیفیت تصاویر زیر آب پیشنهاد کردند که شامل دو مرحله است [۶]. در مرحله اول، اصلاح تابین 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 تابین، جزئیات و کاهش نویز بوده است.

ساتیا و همکاران برای حذف قسمت‌های مه آلود از تصاویر زیر آب از Dark channel prior استفاده کردند [۳۶]. در روش پیشنهادی، با استفاده از مدل تصویر سازی تصاویر مه آلود رنگی، ضخامت مه تخمین زده شده و با استفاده از الگوریتم حذف مه، تعادل رنگ در تصویر بازگردانی می‌شود. در نتیجه مه در فرآیند متعادل سازی بافت نگار حذف و تصویری بدون مه با کیفیت بالا بازسازی می‌شود. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که تصاویر بدست آمده از این روش در مقایسه با روش برابر سازی بافت نگار، کیفیت بهتری دارند.

گالدرن و همکاران در روش پیشنهادی خود، یک فرآیند جدید برای اصلاح کانال قرمز در تصاویر زیر آب ارائه نمودند که رنگ‌های مربوط به طول موج‌های کوتاه را بازیابی می‌نمود [۳۷]. هدف از این کار، بازیابی تابین از دست رفته تصاویر زیر آب بوده است. در روش پیشنهادی، از روش کانال قرمز به عنوان یک متغیر برای روش Dark Channel در بهبود تصاویر دارای مه استفاده می‌شود. نتایج تجربی نشان داد که روش پیشنهادی می‌تواند باعث از

لی و همکاران روشی برای حذف مصنوعات فشرده سازی، که طی پروسه بهبود تابین تقویت شده‌اند، پیشنهاد کردند [۳۲]. در روش پیشنهادی، ورودی به دو لایه ساختار و بافت تقسیم می‌شود. لایه ساختار شامل اشیا بزرگ اصلی تصویر و لایه بافت شامل جزئیات تصویر می‌باشد. در این تحقیق، لایه ساختار توسط روش پیشنهاد شده بهبود می‌یابد و لایه بافت طی ترکیب Image matting و deblocking برای حذف مصنوعات فشرده سازی پردازش می‌شود. در نهایت دو لایه با هم ترکیب و خروجی بهبود یافته را می‌سازند. با توجه به اینکه لایه بافت شامل جزئیات صحنه و مصنوعات فشرده سازی شده است نیاز به پردازش بیشتری برای نگهداری جزئیات و حذف مصنوعات دارد. برای این کار یک ماسک طراحی شده است که نواحی که بیشتر جزئیات تصویر در آن قرار دارد را از دیگر نواحی جدا می‌نماید. روش پیشنهاد شده امکان تجزیه تصویر به دو لایه ساختار و بافت و پردازش هر کدام را به طور جداگانه فراهم می‌نماید. مزیت مهم در این روش یکپارچه، امکان پردازش دو عمل، که کاملاً خلاف یکدیگر هستند، می‌باشد. از یک طرف عملیاتی برای حذف نویز از تصویر انجام و از طرف دیگر بر روی همان تصویر عملیاتی جهت بهبود تابین اعمال می‌شود. اگر این دو عملیات پشت سر هم به عنوان پیش پردازش یا پس پردازش انجام شوند، نتایج بهینه نخواهند بود. عمل حذف مصنوعات اگر به عنوان پیش پردازش انجام شود محتوای تصویر با تابین پایین را از بین می‌برد و اگر به عنوان پس پردازش انجام شود تحت تاثیر مصنوعات افزایش یافته، قرار می‌گیرد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که هم از نظر کمی و هم کیفی چارچوب ارائه شده نسبت به روش‌های موجود بهتر عمل می‌کند.

ژائو و همکاران روشی برای استخراج ویژگی‌های ذاتی نور پس زمینه، برای تصاویر زیر آب پیشنهاد کرده اند [۳۳]. آنها به این نتیجه رسیدند که بین نور پس زمینه و ویژگی‌های ذاتی تصویر زیر آب، رابطه وجود دارد. الگوریتم پیشنهادی می‌تواند به منظور بهبود تخریب‌های تصاویر زیر آب، بر اساس مدل تشکیل تصویر در زیر آب و خواص ذاتی نور، مورد استفاده قرار گیرد. در این روش، کانال تیره^۱ قبل از انتقال کانال رنگ قرمز اصلاح شده و فراوانی آن کاهش می‌یابد. نتایج تجربی نشان می‌دهد که روش ارائه شده با تصحیح رنگ و حذف مه در تصاویر زیر آب، تابین را افزایش می‌دهد.

چینگ و چن با توجه به این مسئله که تصاویر زیر آب عموماً از تابین کم و از بین رفتن جزئیات تصویر رنج می‌برند، یک روش جدید و مؤثر بر پایه الگوریتم حذف مه^۲ ارائه نمودند [۳۴]. این الگوریتم در جهت رفع تضعیف نور و بدست آوردن منبع نور مصنوعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد

¹ Dark Channel

² Dehazing

اطلاعات نور تصویر است و به منظور افزایش تباین استفاده می‌شود. در ادامه برای افزایش وضوح تصویر، تکنیک‌های درون‌یابی برای دو تصویر اصلی ورودی و متعادل شده، اعمال می‌شود. روش تجزیه مقادیر منفرد، روی زیر باند فرکانس بالا اعمال می‌شود. در پایان، مقادیر ایجاد شده توسط روش‌های درون‌یابی‌ها و تجزیه مقادیر منفرد تولید شده از زیر باندها، با استفاده از تبدیل معکوس ویولت گسسته ترکیب می‌شوند. در نتیجه این عملیات، وضوح و تباین تصویر خروجی افزایش می‌یابد. همچنین روش پیشنهادی با کمترین زمان پردازش، بهبود را انجام می‌دهد.

بیوانو و همکاران با هدف بازگرداندن رنگ واقعی تصاویر زیر آب، الگوریتم خود را ارائه کردند [۴۲]. در روش پیشنهادی، تصویر ورودی از فضای رنگی RGB به lab منتقل می‌شود. سپس با استفاده از دو کانال a و b، رنگ از دست رفته تصویر بازگردانی می‌شود. در مرحله بعد، به منظور افزایش تباین، بر روی بافت نگار کانال 1، روش کشش و برش بافت نگار انجام می‌گیرد. در مرحله آخر تصویر دوباره به فضای RGB برای به دست آوردن تصویر خروجی منتقل می‌شود. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد تباین تصاویر بهبود داشته است. همچنین این روش توانسته است تا حدودی رنگ‌های غالب سبز و آبی را در تصاویر ورودی کاهش دهد.

برمن و آیندان با هدف حذف مات شدگی و بازگرداندن اطلاعات اصلی تصویر، الگوریتم خود را ارائه کردند [۴۳]. در این روش فرض شده که تغییرات رنگی به وجود آمده در تصویر مات شده، نسبت به تصویر بدون مات، بر روی یک پاره خط در فضای رنگی RGB است. روش پیشنهادی، شامل چهار مرحله پیدا کردن پاره خط تغییر رنگ، تخمین نقشه انتقال اولیه، تنظیم و بهینه سازی نقشه انتقال و در انتها حذف مات شدگی می‌باشد. نتایج بدست آمده نشان دهنده کاهش مات شدگی در تصاویر می‌باشد.

با مرور ادبیات تحقیق، مشخص می‌گردد که مشکلات مهم روش‌های بهبود کیفیت تصاویر زیر آب عبارتند از:

- تغییر رنگ تصاویر زیر آب، بعد از اعمال روش‌های بهبود تباین [۶].

- افزایش بیش از اندازه تباین و از بین رفتن قسمتی از جزئیات تصویر [۸، ۴۰].

- کافی نبودن افزایش تباین [۸].

روش‌های پیشنهاد شده توسط تحقیقات گذشته، غالباً خود را درگیر اصلاح پیکسل‌های تصویر می‌کنند که به تغییر رنگ تصویر منجر خواهند شد. لذا در این مقاله، روش جدیدی جهت بهبود تصاویر زیر آب با هدف افزایش تباین معرفی شده است که به پارامتر و یا خصوصیات اولیه از تصویر اصلی احتیاج نداشته و مبتنی بر اصلاح بافت نگار تصویر اصلی می‌باشد.

بین رفتن نور مصنوعی، رسیدن به تصحیح رنگ طبیعی و بهبود جزئیات تصویر گردد.

جی و وانگ روش جدیدی برای بهبود تصویر زیر آب بر اساس تجزیه ساختاری تصویر پیشنهاد کرده‌اند [۳۸]. در این روش، با معرفی یک فاکتور انحنا در الگوریتم تجزیه Mumford_Shah_G، جزئیات تصویر و اجزای ساختار آن، بهتر حفظ می‌شوند. این روش از تکنیک متعادل‌سازی بافت نگار و الگوریتم Retinex [۳۹] برای بهبود سراسری تصویر استفاده می‌کند. همچنین، اصلاح روشنایی غیر یکنواخت، برای تصاویر خاکستری و رنگی مورد استفاده قرار گرفته است. در نهایت، ساختار تصویر بهبود یافته و همچنین مولفه جزئیات حفظ شده، به منظور تولید خروجی، دوباره ترکیب می‌شوند. نتایج بدست آمده افزایش تباین، روشنایی و رنگ تصویر را تایید می‌کنند.

لو و همکاران یک تکنیک جدید بهبود تصویر برای بازسازی تصاویر زیر آب و همچنین روشی برای حذف سایه روشن (برای از بین بردن اثرات نامطلوب در تصاویر زیر آب) ارائه کردند [۳]. روش پیشنهادی، مه موجود در تصویر زیر آب را از بین می‌برد و از فیلتر Weighted Guided Trigonometric برای حفظ لبه، حذف نویز و کاهش زمان محاسبات استفاده می‌کند. نویز تصاویر توسط یک فیلتر حذف نویز کاهش یافته و بهبود تباین در جزئیات تصویر و لبه‌ها به طور قابل توجهی افزایش و لبه‌ها حفظ می‌شوند. این روش برای جبران اختلاف طول مسیر انتشار و بهبود منظره در زیر آب موثر است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که با معیار ارزیابی SNR، حداقل ۱ دسی بل بهبود در تصاویر بوجود آمده است.

باهارال، تکنیک‌های بهبود تصویر در زیر آب را با هدف کشف نواقص روش‌های قبل، مورد بررسی و مطالعه قرار داد [۴۰]. نتایج بدست آمده از این تحقیق شامل موارد زیر بودند: ۱- استراتژی‌های ارائه شده در روش‌های مورد مقایسه، کاهش نویز در تصاویر زیر آب را نادیده گرفته اند؛ ۲- تلاش‌های کافی بر روی فضای رنگی $L * A * B$ با استفاده از تقویت CLAHE نشده است؛ ۳- مسئله نور ناهموار (روشنایی نامتعادل) نیز توسط اکثریت محققان نادیده گرفته شده است.

سینگادکار، به منظور بهبود کیفیت تصاویر زیر آب، از روش‌های تبدیل ویولت گسسته و روش تجزیه مقادیر منفرد استفاده کرد [۴۱]. تجزیه مقادیر منفرد، یک تکنیک فشرده سازی تصویر است که ویژگی‌های مفید تصویر را ذخیره می‌کند. روش پیشنهادی، تباین تصویر ورودی را با استفاده از روش متعادل‌سازی بافت نگار بهبود داده است. تصویر اصلی و تصویر ورودی متعادل‌سازی شده، با استفاده از تبدیل ویولت گسسته تبدیل می‌شوند. سپس تصویر ورودی به کمک تابع ویولت وسیع تجزیه می‌شود. بعد از تجزیه تصویر ورودی، زیر باندهای فرکانس پایین و فرکانس بالا مشخص می‌شوند. زیرباند فرکانس بالا، نشان دهنده جزئیات ضرائب ویولت بوده که شامل اطلاعات لبه است و به منظور افزایش وضوح استفاده می‌شود. زیر باند فرکانس پایین نشان دهنده

۳ روش پیشنهادی بهبود تباین و روشنایی تصاویر زیر آب

لذا برای کشش تباین در کل محدوده $[0, L-1]$ ، ابتدا کوچکترین و بزرگترین مقدار شدت روشنایی پیکسل های موجود در تصویر را یافته و آنها را به ترتیب c و d می نامیم. سپس مقدار جدید شدت روشنایی هر پیکسل (P_{new}) را از مقدار قدیمی شدت روشنایی همان پیکسل (P_{old}) بدست می آوریم.

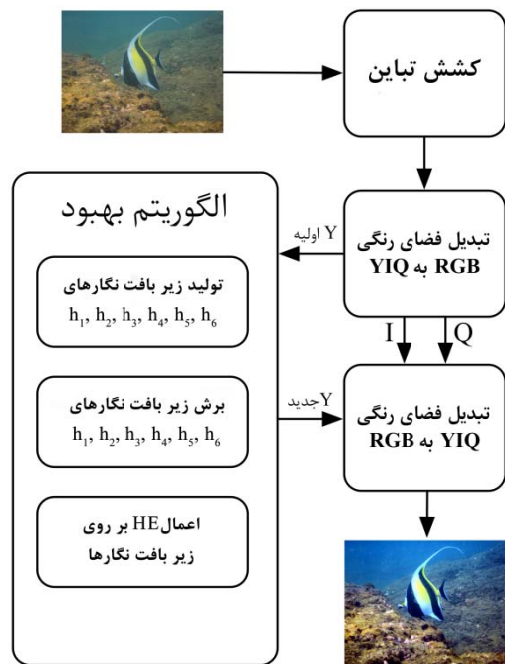
$$P_{new} = (p_{old} - c) \left(\frac{b-a}{d-c} \right) + a \quad (15)$$



شکل ۵- مجموعه تصاویر پیشنهادی [۴۴]

در این مقاله، از دو روش مرسوم پردازش تصویر یعنی "متعادل سازی بافت نگار" و "کشش تباین" به منظور بهبود کیفیت تصاویر زیر آب استفاده شده است. در بخش متعادل سازی بافت نگار و به منظور کنترل نویز، از یک روش شکستن بافت نگار و برش^۱ جدید نیز استفاده شده است.

روش پیشنهادی شامل شش گام اساسی ورود تصویر، کشش تباین، تبدیل تصویر از فضای رنگ RGB به YIQ، بهبود تصاویر، بازگشت به فضای رنگ RGB و نهایتاً نمایش تصویر حاصل بوده که در شکل ۴ نشان داده شده اند.



شکل ۴ - روند کلی روش پیشنهادی

۳-۱ مشخص کردن تصویر ورودی

در گام اول روش پیشنهادی، یعنی مشخص کردن تصویر ورودی، از پانزده تصویر مرجع زیر آب استفاده شده است [۴۴]. تباین تصاویر بسیار کم و برخی اشیاء در تصاویر مشخص نیستند. بنابراین تمایز اشیاء و پس زمینه دشوار می باشد. شکل ۵ مجموعه تصاویر مرجع مورد استفاده در این مقاله را نشان می دهد.

۳-۳ تبدیل فضای رنگی RGB به YIQ

در گام سوم، به منظور انجام عملیات تصحیح تباین روی منحصرأ مولفه لومیناتوس Y ، تصویر مورد نظر از فضای رنگی RGB به فضای رنگی YIQ انتقال می یابد. تبدیل فضای رنگی RGB به YIQ به کمک ماتریس زیر انجام می گیرد [۱۲]:

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.274 & -0.322 \\ 0.211 & -0.523 & 0.312 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

۳-۴ افزایش تباین روی کانال Y

متعادل سازی بافت نگار بصورت کلی، با توجه به مشکلاتی همچون افزایش بیش از حد تباین و عدم حفظ میانگین شدت روشنایی تصویر، روش مناسبی برای بهبود تباین تصاویر زیر آب نمی باشد. به همین جهت در گام چهارم مدل پیشنهادی، روش

۳-۲ اعمال روش کشش تباین

در گام دوم روش پیشنهادی، با اعمال معادله ۱۵ بر روی تصویر ورودی (کانال های RGB) کشش تباین و نرمال سازی انجام می گیرد. با توجه به آنکه ممکن است یک تصویر ورودی تمامی L مقدار روشنایی محدوده تباین از ۰ (کمترین مقدار ممکن: a) تا $L-1$ (بیشترین مقدار ممکن: b) را شامل نباشد،

^۱ Clipp

در معادلات ۲۱ الی ۳۰، شروط رابطه ۲۰ برای مقدار دهی کرانه های پایین و بالای هر زیر بافت نگار برقرار می باشد.

$$h_k = \{h(x) \mid x_{D_k} \leq x \leq x_{U_k}, \forall h(x) \in h\} \quad (21)$$

بدیهی است که اجتماع زیر بافت نگارهای h_1 تا h_6 بافت نگار کانال Y را تشکیل می دهد.

۳-۴-۲ برش زیر بافت نگارها

متعادل سازی بافت نگار، در تصاویری که قسمتی از آن دارای فراوانی شدت روشنایی زیادی نسبت به کل تصویر باشد، باعث بهبود زیاد از حد تصویر شده و مقداری از جزئیات تصویر نیز از بین خواهد رفت. به منظور کاهش این اثر نامطلوب، عموماً بافت نگارها، بریده شده تا مقداری از شدت روشنایی ها کاسته شود [۴۵]. به عبارت دیگر، متعادل سازی بافت نگار بریده شده، سعی در بر طرف کردن این مشکلات، با محدود کردن میزان بهبود تصویر دارد.

در این مقاله با توجه به وجود شرایط مشابه برای تصاویر زیر آب، در مرحله دوم از گام چهارم (شکل ۸)، روش جدیدی برای برش بافت نگار تصویر ورودی معرفی شده است. در ادامه نحوه برش فوق تشریح می گردد. در ابتدا، میانگین فراوانی هر زیر بافت نگار توسط رابطه ۲۲ محاسبه می شود.

$$\mu_{h_k} = \frac{1}{U_k - (D_k + 1)} \sum_{T=D_k}^{U_k} h_k(T) \quad (22)$$

سپس، با توجه به میانگین هر شش زیر بافت نگار، انحراف معیار در هر زیر بافت نگار با توجه به معادله ۲۳ بدست می آید:

$$\sigma_{h_k} = \sqrt{\frac{1}{U_k - (D_k + 1)} \sum_{T=D_k}^{U_k} (h_k(T) - \mu_{h_k})^2} \quad (23)$$

با توجه به مقادیر میانگین و انحراف معیار زیر بافت نگارها، نقطه برش هر شش زیر بافت نگار توسط رابطه ۲۴ محاسبه می گردد.

$$T_{h_k} = \mu_{h_k} + \sigma_{h_k} \quad (24)$$

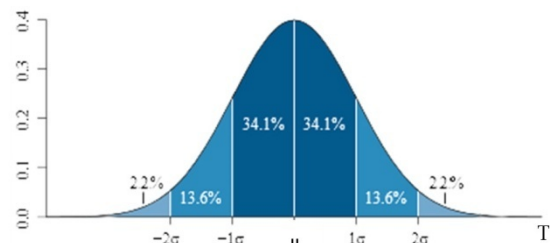
در نتیجه، بافت نگار جدید $(h'_k(T))$ هر کدام از ۶ زیر بافت نگار، با استفاده از معادله ۲۵ و با توجه به مقدار آستانه ای T_{h_k} حاصل می گردد.

$$h'_k(T) = \begin{cases} h_k(T) & \text{if } h_k(T) < T_{h_k} \\ T_{h_k} & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (25)$$

جدیدی برای متعادل سازی بافت نگار پیشنهاد شده است. گام چهارم شامل سه مرحله اساسی شکستن بافت نگار تصویر اولیه به شش زیر بافت نگار، برش هر زیر بافت نگار و متعادل سازی هر زیر بافت نگار برش یافته می باشد که در ادامه تشریح خواهند شد.

۳-۴-۱ شکستن بافت نگار اولیه

در مرحله اول، به منظور حفظ روشنایی و بهبود تباین و با توجه به مقادیر شدت روشنایی، بافت نگار کانال Y تصویر ورودی $(h(T))$ به چند زیر بافت نگار شکسته می شود. هدف از این تقسیم آن است که روشنایی هر گروه از پیکسل ها با یک محدوده شدت روشنایی، با توجه به مقادیر شدت روشنایی در آن گروه خاص و مستقل از سایر گروه ها، متعادل شوند. برای این منظور با استفاده از میانگین (μ) ، رابطه ۱۶ و واریانس (σ) ، رابطه ۱۷ اول و دوم مثبت و منفی، شدت روشنایی (شکل ۶) کانال Y تصویر ورودی، از طریق معادلات ۱۸ الی ۲۱ به شش زیر بافت نگار h_1 الی h_6 شکسته می شود. در این روابط، $h(T)$ بافت نگار تصویر ورودی می باشد. شکل ۷ روند کلی این روش را نشان می دهد.



شکل ۶- شکستن بافت نگار به شش زیر- بافت نگار

$$\mu = \frac{1}{\sum_{T=0}^{L-1} h(T)} \sum_{T=0}^{L-1} h(T) * T \quad (16)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{\sum_{T=0}^{L-1} h(T)} \sum_{T=0}^{L-1} (T - \mu)^2 * h(T)} \quad (17)$$

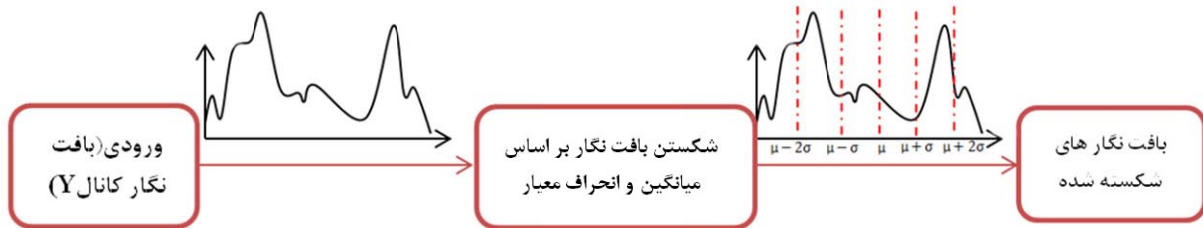
به منظور ساده تر بیان شدن روابط مورد نیاز، مقادیر کرانه ای پایین و بالای ۶ زیر بافت نگار پیشنهادی، به ترتیب توسط دو مجموعه D و U ، به صورت زیر تعریف می شوند:

$$D = \{0, \mu - 2\sigma, \mu - \sigma, \mu, \mu + \sigma, \mu + 2\sigma\} \quad (18)$$

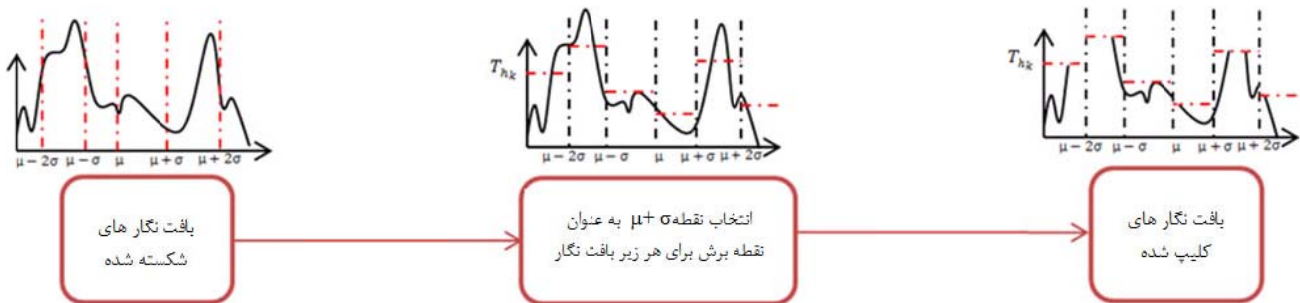
$$U = \{\mu - 2\sigma, \mu - \sigma, \mu, \mu + \sigma, \mu + 2\sigma, L - 1\} \quad (19)$$

هر کدام از زیر بافت نگارها نیز بصورت رابطه ۲۰ تعریف می شود:

$$\begin{cases} \text{if } k=1 & \text{Then } D_k \leq T \leq U_k \\ \text{if } k=2,3,4,5,6 & \text{Then } D_k + 1 < T \leq U_k \end{cases} \quad (20)$$



شکل ۷- شکستن بافت نگار



شکل ۸- روند کلی برش زیر بافت نگارها

نهایتاً، با استفاده از معادله ۳۰، مقادیر جدید شدت روشنایی-های هر زیر تصویر محاسبه می‌گردد.

$$f(T) = (D_k) + [(U_k - D_k) * C_k(T)] \quad (30)$$

۳-۵ تبدیل فضای YIQ به RGB و بدست آوردن تصویر خروجی

در گام پنجم و بعد از اعمال روش پیشنهادی بر روی کانال Y، هر سه کانال دوباره با هم ترکیب و تصویر از فضای رنگی YIQ به فضای رنگی RGB منتقل می‌شود. تبدیل فضای رنگی YIQ به RGB از طریق ماتریس زیر انجام می‌گیرد [۱۲]:

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0.956 & 0.621 \\ 1 & -0.272 & -0.647 \\ 1 & -1.106 & 1.703 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix}$$

در گام ششم و پایانی، تصویر خروجی بهبود یافته نمایش داده خواهد شد.

۴ نتایج حاصل از روش پیشنهادی

۴-۱ آزمایش های انجام شده

برای نمایش این موضوع که نقطه $\mu + \sigma$ نقطه مناسب برش بر روی تصاویر زیر آب می‌باشد، نتیجه برش دو تصویر از تصاویر مرجع، از نقطه میانگین تا آخرین نقطه فراوانی، در شکل های ۹ و ۱۰ نشان داده شده است. نقطه $\mu + \sigma$ ، نقطه ۱۰ نمودارها می‌باشد. در شکل ۹-ج، در نقطه ۱۰ (نقطه برش پیشنهادی) میزان تباین ۰/۷۴۶۸ بوده که بالاترین نقطه از میانگین تا نقطه مورد نظر می‌باشد. بعد از این نقطه، مقادیر تباین یا ثابت هستند یا با کاهش

۳-۴-۳ متعادل سازی زیر بافت نگارها

در مرحله سوم، با بدست آمدن بافت نگار شکسته شده از مرحله اول و برش یافته از مرحله دوم، بر روی هر کدام از زیر بافت نگارها، عملیات متعادل سازی بافت نگار صورت می‌گیرد. این عملیات در ادامه تشریح می‌شوند.

فرم عمومی تابع چگالی احتمال در معادله ۲۶ نشان داده شده است.

$$p(x) = \frac{h(x)}{N} \quad N = 0, 1, \dots, L-1 \quad (26)$$

تابع چگالی احتمال $p(x)$ برای هر زیر بافت نگار، به صورت زیر محاسبه می‌شود.

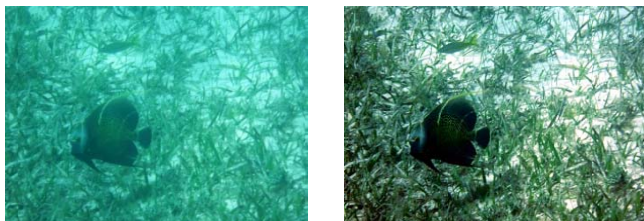
$$P_k(T) = \frac{h'_k(T)}{N_k} \quad (27)$$

در این رابطه N_k تعداد کل پیکسل ها در هر زیر بافت نگار می‌باشد (معادله ۲۸).

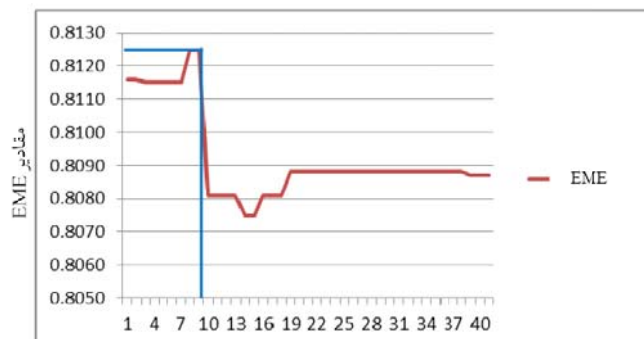
$$N_k = \sum_{T=D_k}^{U_k} h'_k(T) \quad (28)$$

با توجه به تابع چگالی احتمال $p(x)$ ، تابع چگالی احتمال تجمعی $c(x)$ برای هر زیر تصویر، در معادله ۲۹ نشان داده شده است.

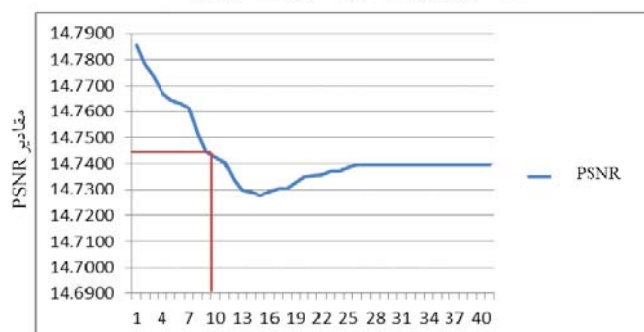
$$C_k(T) = \sum_{T=D_k}^{U_k} P_k(T) \quad (29)$$



مواجهه شده اند. در مقابل در شکل ۹- د، از نقطه شروع با کاهش مقدار PSNR مواجه هستیم که کاهش این مقدار به معنی تقویت نویزهای تصویر است. با برش در نقطه $\mu+\sigma$ ، در حالیکه می توان بهترین تباین را در تصاویر زیر آب داشت، می توان از افزایش بیش از حد نویز در تصویر نیز جلوگیری کرد.



نقطه های برش از میانگین تا آخرین نقطه فراوانی



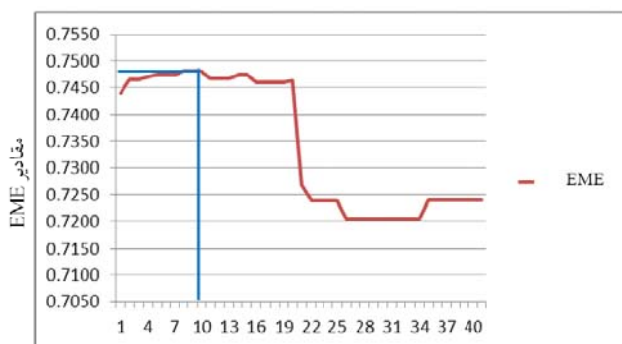
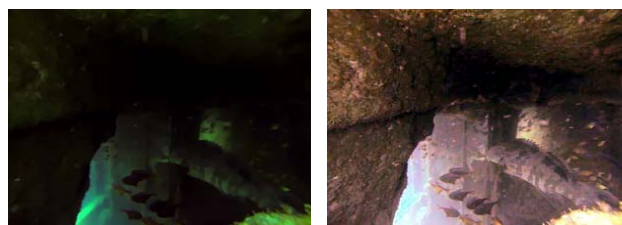
نقطه های برش از میانگین تا آخرین نقطه فراوانی

ب	الف
د	ج

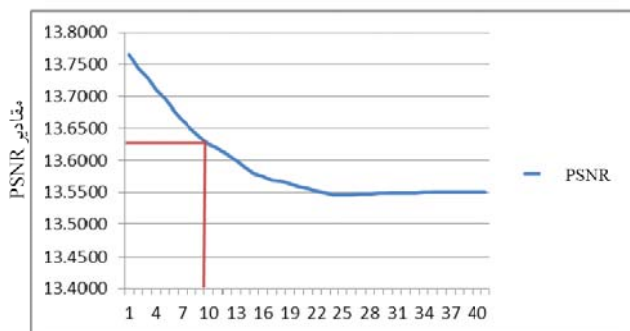
شکل ۱۰- تصویر بهبود یافته با برش از میانگین تا بزرگترین فراوانی

الف- تصویر اصلی ب- تصویر بهبود یافته

ج- مقادیر EME د- مقادیر PSNR



نقطه های برش از میانگین تا آخرین نقطه فراوانی



نقطه های برش از میانگین تا آخرین نقطه فراوانی

ب	الف
د	ج

شکل ۹- تصویر بهبود یافته با برش از میانگین تا بزرگترین فراوانی



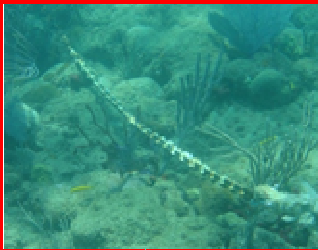

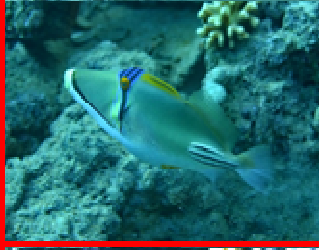



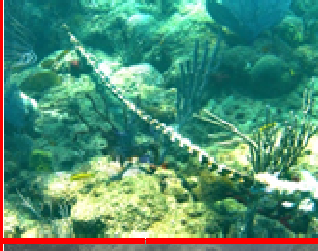




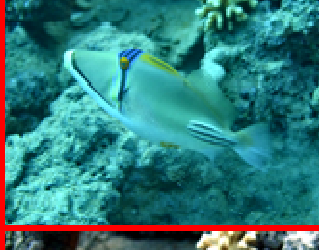
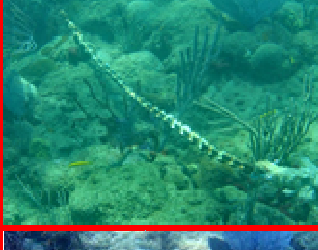
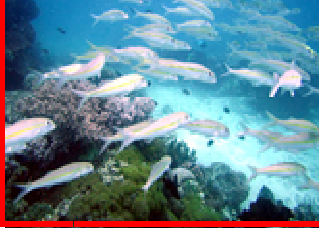
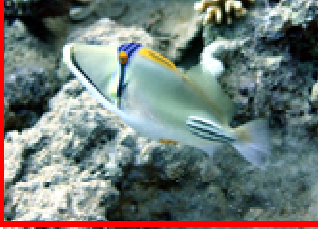

الف- تصویر اصلی ب- تصویر بهبود یافته

ج- مقادیر EME د- مقادیر PSNR

۲-۴ ارزیابی کیفی نتایج

به منظور نشان دادن کارایی روش پیشنهادی، از پانزده تصویر زیر آب مرجع استفاده گردید و روش پیشنهادی بر روی آنها اعمال و خروجی آنها با چهار روش رقیب، الگوریتم لی و همکاران [۳۲]، الگوریتم ساتیا و همکاران [۳۶]، الگوریتم بیوانو و همکاران [۴۲] و الگوریتم برمن و آیندان [۴۳] مورد مقایسه قرار گرفت. چهار روش فوق جزء آخرین کارهای انجام شده جهت بهبود تصاویر زیر آب بوده و از دو گروه مختلف بهبود تصاویر زیر آب یعنی حذف نویز و بهبود تباین می باشند. روشهای لی و همکاران و برمن و آیندان بیشتر روی کاهش نویز و کاهش مات شدگی متمرکز بوده و روشهای ساتیا و همکاران و بیوانو و همکاران، بیشترین تمرکز را روی افزایش تباین داشته اند. نتایج حاصل از اعمال روش پیشنهادی و چهار روش مورد مقایسه بر روی سه تصویر از تصاویر مرجع در شکل ۱۱ نشان داده شده است.

به طور مشابه در شکل ۱۰- ج، در نقطه ۱۰ (نقطه برش پیشنهادی) میزان تباین $0/8125$ بوده که بالاترین نقطه از میانگین تا نقطه مورد نظر می باشد. بعد از این نقطه، مقادیر تباین یا ثابت هستند یا با کاهش شدید مواجه شده اند. در مقابل در شکل ۱۰- د، از نقطه شروع با کاهش PSNR مواجه هستیم که کاهش این مقدار به معنی تقویت نویزهای تصویر است. با برش در نقطه $\mu+\sigma$ ، در حالیکه می توان بهترین تباین را در تصاویر زیر آب داشت، می توان از افزایش بیش از حد نویز در تصویر نیز جلوگیری کرد.

			تصویر اصلی
			نتیجه روش لی و همکاران ۲۰۱۴
			نتیجه روش ساتیا و همکاران ۲۰۱۵
			نتیجه روش بیوانو و همکاران ۲۰۱۵
			نتیجه روش برمن و آیندان ۲۰۱۶
			نتیجه روش پیشنهادی

شکل ۱۱- مقایسه نتایج حاصل از روش پیشنهادی با نتایج چهار روش مورد مقایسه، عکس های ۱، ۹ و ۱۴

۴-۳ ارزیابی کمی نتایج

در این مقاله، به منظور ارزیابی بهبود کیفیت تصاویر زیر آب، از معیارهای EME [۲۲]، NCFD [۲۳]، PCQI [۲۴] و معیار UIQM [۲۵] که یک معیار مخصوص ارزیابی تصاویر زیر آب می باشد، استفاده شده است. نتایج روش پیشنهادی در این مقاله با روش های لی و همکاران [۳۲]، ساتیا و همکاران [۳۶]، بیوانو و همکاران [۴۲] و برمن و آیندان [۴۳]، که از روش های بهبود تصاویر زیر آب هستند، مورد مقایسه قرار گرفته و نتایج مقایسه در جداول ۲، ۳، ۴ و ۵ نشان داده شده اند.

در معیار EME هر چه افزایش تباین بیشتر باشد، عدد بدست آمده بزرگتر خواهد بود. با توجه به جدول ۱ می توان دریافت که روش پیشنهادی در اکثر تصاویر بهبود قابل توجهی نسبت به چهار روش مورد مقایسه داشته است. البته باید در نظر داشت که افزایش تباین باید به اندازه ای باشد که جزئیات تصویر از بین نرود و نویز بیش از حد اندازه تقویت نشود.

جدول ۱ - مقایسه روش پیشنهادی با استفاده از معیار EME با نتایج حاصل از روش های مورد مقایسه

نام عکس	عکس اصلی	روش لی و همکاران	روش ساتیا و همکاران	بیوانو و همکاران	برمن و آیندان	روش پیشنهادی
عکس ۱	0.4438	0.5256	0.7166	0.6949	0.4632	0.7125
عکس ۲	0.6194	0.7135	0.8678	0.6870	0.6991	0.7468
عکس ۳	0.7025	0.9036	0.9185	0.9249	0.9295	0.8161
عکس ۴	0.3204	0.5201	0.7316	0.6459	0.3386	0.7538
عکس ۵	0.3378	0.6401	0.6473	0.7508	0.6101	0.6476
عکس ۶	0.3564	0.7022	0.6304	0.3698	0.7206	0.7681
عکس ۷	0.4444	0.5145	0.5789	0.7643	0.5040	0.8081
عکس ۸	0.3709	0.8680	0.6913	0.4179	0.8734	0.8689
عکس ۹	0.5507	0.6512	0.6696	0.6957	0.6349	0.9751
عکس ۱۰	0.3379	0.9514	0.8696	0.7550	0.6809	0.9549
عکس ۱۱	0.4161	0.4612	0.4922	0.8966	0.4421	0.9017
عکس ۱۲	0.4257	0.7391	0.6008	0.5251	0.6496	0.6994
عکس ۱۳	0.5847	0.7716	0.8377	0.9445	0.4725	0.9859
عکس ۱۴	0.4946	0.5740	0.6741	0.7586	0.5275	0.9779
عکس ۱۵	0.6963	0.8739	0.6113	0.7976	0.4471	0.8771
میانگین	0.4734	0.6940	0.7025	0.7086	0.5995	0.8329

در معیارهای اندازه گیری تباین NCFD (جدول ۲) و PCQI (جدول ۳) هم مانند روش EME، هر چقدر عدد بدست آمده بزرگتر باشد نشان دهنده افزایش تباین است. همچنین در معیار UIQM، که یک معیار ارزیابی مختص به تصاویر زیر آب است (جدول ۴)، هرچه عدد به دست آمده بزرگتر باشد نشان دهنده بهبود سه پارامتر رنگ، تیزی و تباین تصویر می باشد که در این معیار هم به مانند سه معیار ارزیابی دیگر در اکثر تصاویر، الگوریتم پیشنهادی بهتر عمل کرده است.

جدول ۲ - مقایسه نتایج روش پیشنهادی با استفاده از معیار NRCD با نتایج حاصل از روش های مورد مقایسه

نام عکس	روش لی و همکاران	روش ساتیا و همکاران	بیوانو و همکاران	برمن و آیندان	روش پیشنهادی
عکس ۱	3.0470	3.2209	3.2994	2.8950	3.4315
عکس ۲	2.0673	3.4594	2.0876	2.0944	3.0006
عکس ۳	3.1362	2.3303	3.3914	2.8109	3.1765
عکس ۴	2.9214	3.4253	3.1390	3.0783	3.4623
عکس ۵	3.3453	3.4744	3.4381	3.3674	3.4321
عکس ۶	2.5814	2.0827	2.8166	3.1248	3.4258
عکس ۷	3.0234	3.0041	3.4420	3.3803	3.4277
عکس ۸	2.4655	3.4391	2.2742	2.5844	3.1438
عکس ۹	3.2689	2.8491	3.4331	3.4344	3.0911
عکس ۱۰	2.4655	2.8647	2.5745	2.3224	3.5064
عکس ۱۱	2.6408	3.3194	2.7198	2.5814	3.3354
عکس ۱۲	3.1740	3.4349	3.3129	3.4202	3.4416
عکس ۱۳	2.5243	3.0246	2.7109	2.9750	3.3495
عکس ۱۴	2.2202	3.4364	2.4799	2.5142	3.4392
عکس ۱۵	2.6408	3.3194	3.0158	3.1863	3.3354
میانگین	2.7681	3.1123	2.9423	2.9180	3.3333

جدول ۳ - مقایسه نتایج روش پیشنهادی با استفاده از معیار PCQI با نتایج حاصل از روش های مورد مقایسه

نام عکس	روش لی و همکاران	روش ساتیا و همکاران	بیوانو و همکاران	برمن و آیندان	روش پیشنهادی
عکس ۱	0.4269	0.7487	1.0384	1.0354	1.2492
عکس ۲	0.4001	1.2116	0.8799	1.0152	1.2487
عکس ۳	0.5604	0.7268	1.0022	0.9601	1.0628
عکس ۴	0.3593	1.0902	0.9977	1.0612	1.1736
عکس ۵	0.4319	0.9066	0.9766	1.0661	1.0808
عکس ۶	0.2933	0.5862	1.0548	1.1279	1.2539
عکس ۷	0.2281	1.1107	1.0536	1.0737	1.2271
عکس ۸	0.2383	1.1955	0.9709	1.0540	1.2770
عکس ۹	0.4143	0.9710	1.0438	1.0672	1.1802
عکس ۱۰	0.3352	1.0718	0.9351	1.0549	1.2086
عکس ۱۱	0.2374	1.1382	1.0589	1.0457	1.3106
عکس ۱۲	0.2674	1.1101	0.9370	1.0784	1.1708
عکس ۱۳	0.3208	1.0863	0.9631	1.1014	1.2964
عکس ۱۴	0.2570	1.2775	0.9986	1.0845	1.3701
عکس ۱۵	0.1669	0.4822	0.9536	1.1082	1.1765
میانگین	0.3292	0.9809	0.9909	1.0623	1.2191

با توجه به جداول ۲، ۳، ۴ و ۵، می توان دریافت که روش پیشنهادی در دو معیار ارزیابی EME و NRCD در ۶۰٪ مواقع (۹ تصویر از ۱۵ تصویر)، در معیار PCQI در ۱۰۰٪ مواقع و از همه مهم تر، در معیار UIQM، که یک روش ارزیابی مخصوص به تصاویر زیر آب است، در ۸۷٪ مواقع (۱۳ تصویر از ۱۵ تصویر) بهتر از روش های رقیب عمل کرده است. لیکن باید توجه داشت که همیشه افزایش تباین، باعث بهبود تصویر نخواهد

مقایسه با روش های مورد مقایسه در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۵- مقایسه زمان اجرای پردازش روش پیشنهادی با نتایج حاصل از روش های مورد مقایسه بر حسب ثانیه

نام عکس	روش لی و همکاران	روش ساتیا و همکاران	بیوانو و همکاران	برمن و آیندان	روش پیشنهادی
عکس ۱	10.600	3.9511	1.0989	0.7516	0.0216
عکس ۲	7.6065	3.9550	1.0054	0.6037	0.0247
عکس ۳	7.8580	3.8177	1.0129	0.5734	0.0689
عکس ۴	7.6558	3.9218	1.0001	0.7098	0.0240
عکس ۵	7.9910	3.9118	1.0037	0.6594	0.0323
عکس ۶	6.4677	3.6740	1.0036	0.5371	0.0213
عکس ۷	7.5758	4.0096	1.0030	0.5276	0.0218
عکس ۸	7.7106	4.0096	1.0052	0.6276	0.0218
عکس ۹	7.6367	3.8902	0.9994	0.5485	0.0244
عکس ۱۰	7.8683	3.8495	0.9996	0.5966	0.0234
عکس ۱۱	3.2371	1.7171	0.9857	0.2836	0.0167
عکس ۱۲	7.8492	3.9073	1.0026	0.6244	0.0223
عکس ۱۳	7.5339	4.0283	1.0052	0.5355	0.0206
عکس ۱۴	7.9883	3.9153	0.9960	0.5224	0.0230
عکس ۱۵	7.0428	3.6766	0.3831	0.5452	0.0240
میانگین	7.5082	3.7490	0.5765	0.9670	0.0261

جدول ۵، نشان می دهد که زمان پردازش روش پیشنهادی نسبت به روش های مورد مقایسه در تمام تصاویر بسیار کمتر بوده و لذا این روش، در پردازش های آنلاین بهتر از روش های رقیب عمل می کند. همچنین جدول ۶، میانگین پارامترهای مورد مقایسه در این مقاله، برای تمامی ۱۵ تصویر را نشان می دهد. نتایج موجود به وضوح بیانگر برتری روش پیشنهادی، در مقایسه با روش های رقیب، برای پارامترهای ارزیابی کیفیت تصاویر و زمان اجرای محاسبات است.

جدول ۶- مقایسه میانگین پارامترهای ارزیابی کیفیت تصاویر و زمان اجرای پردازش روش ها

معیار ارزیابی	روش لی و همکاران	روش ساتیا و همکاران	روش بیوانو و همکاران	روش برمن و آیندان	روش پیشنهادی	میانگین افزایش کنتراست
PCQI	0.3292	0.9809	0.9909	1.0623	1.2191	14.76%
UIQM	1.6518	1.8493	1.6733	1.7173	2.0320	9.88%
NRCD	2.7681	3.1123	2.9423	2.9180	3.3333	7.10%
EME	0.6940	0.7025	0.7086	0.5995	0.8329	17.54%
TIME	7.5082	3.7490	0.5765	0.9670	0.0261	

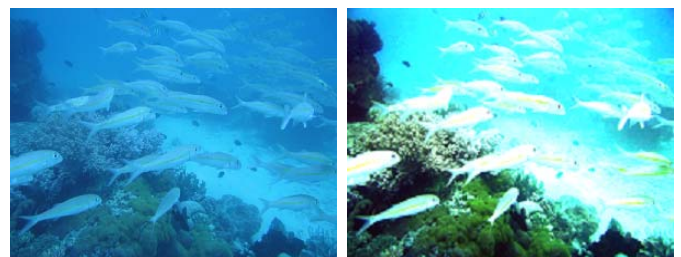
۵ نتیجه گیری

معمولا عکس هایی که با دوربین های نوری از زیر آب گرفته می شوند، به دلیل نور غیر یکنواخت محیط و تباین کم، دچار ضعف بصری، مات شدگی و یا درخشندگی بیش از اندازه می باشند. در این تصاویر رنگ ها با توجه به مقدار طول موجشان یکی یکی

شد. مثلا برای عکس ۱ از مجموعه تصاویر مرجع، روش ساتیا و همکاران منجر به تولید مقدار معیار ارزیابی EME بهتری نسبت به روش پیشنهادی شده است. لیکن با توجه به نتیجه عملیات بهبود کیفیت (شکل ۱۲) می توان دریافت که تصویر مورد نظر، بخاطر افزایش تباین بیش از حد، جزئیات واقعی خود را از دست داده و دارای جزئیات مصنوعی است. این امر از مزایای روش پیشنهادی این مقاله است که افزایش تباین را تا زمانی انجام می دهد که جزئیات تصویر حفظ شده و نویز های موجود در تصویر بیش از حد تقویت نشود.

جدول ۴- مقایسه نتایج روش پیشنهادی با استفاده از معیار UIQM با نتایج حاصل از روش های مورد مقایسه

نام عکس	روش لی و همکاران	روش ساتیا و همکاران	بیوانو و همکاران	برمن و آیندان	روش پیشنهادی
عکس ۱	1.5878	1.8033	1.7164	1.5758	1.9753
عکس ۲	1.0271	1.6444	0.9236	1.1377	1.5579
عکس ۳	1.6348	1.6094	1.6115	1.5693	1.9762
عکس ۴	1.4519	1.8299	1.4974	1.5163	1.8969
عکس ۵	1.4309	1.5801	1.3854	1.5374	1.6529
عکس ۶	1.6217	1.4397	1.7284	1.7920	1.9754
عکس ۷	1.9124	2.0325	2.1461	1.9669	2.2921
عکس ۸	1.7443	2.3527	1.6758	1.8625	2.2111
عکس ۹	1.7092	1.7602	1.7999	1.7559	1.9751
عکس ۱۰	1.7092	1.7410	1.4360	1.6265	1.9150
عکس ۱۱	1.8129	1.7671	1.9923	1.8353	2.2611
عکس ۱۲	1.9702	2.2151	1.8342	2.0550	2.2428
عکس ۱۳	1.7070	2.1691	1.7647	1.8627	2.2074
عکس ۱۴	1.6944	2.1363	1.7641	1.7139	2.3129
عکس ۱۵	1.7626	1.6593	1.8230	1.9528	2.0283
میانگین	1.6518	1.8493	1.6733	1.7173	2.0320



ب الف

شکل ۱۲- نتایج حاصل از اعمال روش ساتیا و همکاران بر روی تصویر ۱

الف- عکس اصلی ب- نتیجه روش ساتیا و همکاران که منجر به افزایش بیش از حد تباین و در نتیجه ایجاد جزئیات مصنوعی در تصویر شده است.

در ادامه برای بدست آوردن زمان پردازش الگوریتم پیشنهادی و مقایسه آن با الگوریتم های مورد مقایسه، از نرم افزار متلب نسخه ۲۰۱۷ با سیستمی دارای پردازنده Corei7 با RAM: 16GB استفاده شد. نتایج حاصل از زمان اجرای الگوریتم پیشنهادی در

- [4] Baharudin, B.B., Kushairi, M., & Rajuddin, M. (2012, June). Significance level of image enhancement techniques for underwater images. In *Computer & Information Science (ICCIS)*, 2012 International Conference on (Vol. 1, pp. 490-494). IEEE.
- [5] Schettini, R., & Corchs, S. (2010). Underwater image processing: state of the art of restoration and image enhancement methods. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2010(1), 1-14.
- [6] Ghani, A.S.A., & Isa, N.A.M. (2014). Underwater image quality enhancement through composition of dual-intensity images and Rayleigh-stretching. *SpringerPlus*, 3(1), 757.
- [7] Hitam, M.S., Yusof, W.N.J.H.W., Awalludin, E.A., & Bachok, Z. (2013, January). Mixture contrast limited adaptive histogram equalization for underwater image enhancement. In *Computer Applications Technology (ICCAT)*, 2013 International Conference on (pp. 1-5). IEEE.
- [8] Prabhakar, C.J., & Kumar, P.U. (2012). An image based technique for enhancement of underwater images. *arXiv preprint arXiv:1212.0291*.
- [9] Dubreuil, M., Delrot, P., Leonard, I., Alfalou, A., Brosseau, C., & Dogariu, A. (2013). Exploring underwater target detection by imaging polarimetry and correlation techniques. *Applied optics*, 52(5), 997-1005.
- [10] Arici, T., Dikbas, S., & Altunbasak, Y. (2009). A histogram modification framework and its application for image contrast enhancement. *IEEE Transactions on image processing*, 18(9), 1921-1935
- [11] Gonzalez, R.C., & Woods, R.E. (2008). *Digital image processing*. Prentice Hall.
- [12] Dahlman, E., Oestges, C., Bovik, A.C., Fette, B.A., Jack, K., Dowla, F., ... & Olexa, R. (2009). *Communications engineering desk reference*. Academic Press.
- [13] Chen, S.D., & Ramli, A.R. (2004). Preserving brightness in histogram equalization based contrast enhancement techniques. *Digital Signal Processing*, 14(5), 413-428.
- [14] Kim, Y.T. (1997). Contrast enhancement using brightness preserving bi-histogram equalization. *Consumer Electronics, IEEE Transactions on*, 43(1), 1-8.
- [15] Lin, W., & Kuo, C.C.J. (2011). Perceptual visual quality metrics: A survey. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 22(4), 297-312
- [16] Wang, Z., & Bovik, A.C. (2006). *Modern image quality assessment (synthesis lectures on image, video, and multimedia processing)*. San Rafael, CA: Morgan Claypool.
- [17] Wang, Z., Bovik, A.C., Sheikh, H.R., & Simoncelli, E.P. (2004). Image quality assessment: from error

حذف می‌گردند. همچنین لبه های تصاویر زیر آب به دلیل مات شدگی، تضعیف می‌شوند. این موارد باعث می‌شوند که تصاویر زیر آب دارای تباين کمی باشند. دو چالش مهم در بهبود تصاویر زیر آب وجود دارد: ۱- تغییر رنگ تصویر. ۲- افزایش نویز با افزایش تباين. لذا در این تحقیق و بر اساس مشکلات مهم موجود در بهبود تصاویر، روش جدیدی برای بهبود تصاویر زیر آب پیشنهاد گردید.

در این روش ابتدا کشیدگی تباين انجام و بعد از آن تصویر از فضای رنگی RGB به فضای رنگی YIQ انتقال یافت. در این فضای رنگی کانال‌ها از هم جدا شده و افزایش تباين با بهره‌گیری از یک روش شکستن و برش جدید بافت نگار، روی کانال Y انجام گرفت. روش پیشنهادی منجر به بهبود تباين، افزایش جزئیات تصاویر و جلوگیری از تغییر رنگ تصاویر زیر آب شد که با توجه به تجزیه و تحلیل کیفی و کمی برتری روش پیشنهادی از نظر بهبود تباين و وضوح تصویر در مقایسه با روشهای رایج دیگر، مشهود است. با توجه به جداول ۱ الی ۴، روش پیشنهادی در دو معیار ارزیابی EME و NRCD در ۶۰٪ مواقع، در معیار PCQI در ۱۰۰٪ مواقع و از همه مهم تر در معیار UIQM، که یک روش ارزیابی مخصوص به تصاویر زیر آب است، در ۸۷٪ مواقع بهتر از روش های رقیب عمل کرده است. این روش بهبود تصویر، از هیچ مدل فیزیکی خاصی استفاده نکرده که از مزایای دیگر این روش محسوب می‌شود. از معایب روش پیشنهادی می‌توان به تقویت نویز در تصاویر زیر آب اشاره نمود، چرا که طبقاً در به دلیل افزایش کنتراست، نویزهای موجود در تصویر تا حدودی تقویت می‌شوند. البته باید در نظر داشت در روش پیشنهادی تقویت نویز تا حدی انجام می‌شود که تصویر نیاز به افزایش کنتراست نداشته باشد و از تقویت نویز بیش از اندازه در تصویر جلوگیری می‌کند. همچنین این روش، سریعترین زمان اجرا در بین روش های مورد مقایسه را داشته که این مورد برتری مطلق این روش نسبت به روشهای مورد مقایسه می‌باشد.

مراجع

- [۱] وفادوست م. رضایی م. ۱۳۹۲ بهینه سازی تبدیل فضای رنگی به منظور افزایش کیفیت فشرده سازی. یازدهمین کنفرانس مهندسی پزشکی ایران، بهمن ۱۳۹۲.
- [۲] صدیقی س. شایگان م. ا. حسینی ع. ۱۳۹۵ ارائه یک روش جدید کلیپ کردن هیستوگرام برای بهبود تصاویر زیر آب در فضای رنگی YIQ. دومین کنفرانس ملی رویکردهای نو در مهندسی برق و کامپیوتر، اسفند ۱۳۹۵.
- [3] 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.

- [30] Padmavathi, G., Subashini, P., Kumar, M.M., & Thakur, S.K. (2010). Comparison of filters used for underwater image pre-processing. *IJCSNS*, 10(1), 58-65.
- [31] Singh, B., Mishra, R.S., & Gour, P. (2011). Analysis of contrast enhancement techniques for underwater image. *International Journal of Computer Technology and Electronics Engineering*, 1(2), 190-194.
- [32] Li, Y., Guo, F., Tan, R.T., & Brown, M.S. (2014, September). A contrast enhancement framework with JPEG artifacts suppression. In *European Conference on Computer Vision* (pp. 174-188). Springer International Publishing.
- [33] Zhao, X., Jin, T., & Qu, S. (2015). Deriving inherent optical properties from background color and underwater image enhancement. *Ocean Engineering*, 94, 163-172.
- [34] Chiang, J.Y., & Chen, Y.C. (2012). Underwater image enhancement by wavelength compensation and dehazing. *Image Processing, IEEE Transactions on*, 21(4), 1756-1769.
- [35] Serikawa, S., & Lu, H. (2014). Underwater image dehazing using joint trilateral filter. *Computers & Electrical Engineering*, 40(1), 41-50.
- [36] Sathya, R., Bharathi, M., & Dhivyasri, G. (2015, February). Underwater image enhancement by dark channel prior. In *Electronics and Communication Systems (ICECS), 2015 2nd International Conference on* (pp. 1119-1123). IEEE.
- [37] Galdran, A., Pardo, D., Picón, A., & Alvarez-Gila, A. (2015). Automatic Red-Channel underwater image restoration. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 26, 132-145.
- [38] Ji, T., & Wang, G. (2015). An approach to underwater image enhancement based on image structural decomposition. *Journal of Ocean University of China*, 14(2), 255-260.
- [39] Morel, J.M., Petro, A.B., & Sbert, C. (2010). A PDE formalization of retinex theory. *IEEE Transactions on Image Processing*, 19(11), 2825-2837.
- [40] 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).
- [41] Singadkar, G.S. (2016). Underwater Image Enhancement Using Discrete Wavelet Transform & Singular Value Decomposition.
- [42] Bianco, G., Muzzupappa, M., Bruno, F., Garcia, R., & Neumann, L. (2015). A new color correction method for underwater imaging. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40(5), 25.
- visibility to structural similarity. *IEEE transactions on image processing*, 13(4), 600-612.
- [18] Sheikh, H.R., & Bovik, A.C. (2006). Image information and visual quality. *IEEE Transactions on Image Processing*, 15(2), 430-444.
- [19] Wu, J., Lin, W., Shi, G., & Liu, A. (2013). Reduced-reference image quality assessment with visual information fidelity. *IEEE Transactions on Multimedia*, 15(7), 1700-1705.
- [20] Zhai, G., Zhang, W., Yang, X., Lin, W., & Xu, Y. (2008). No-reference noticeable blockiness estimation in images. *Signal Processing: Image Communication*, 23(6), 417-432.
- [21] Hassen, R., Wang, Z., & Salama, M. (2010, March). No-reference image sharpness assessment based on local phase coherence measurement. In *2010 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing* (pp. 2434-2437). IEEE.
- [22] Agaian, S.S., Panetta, K., & Grigoryan, A.M. (2000, September). A new measure of image enhancement. In *IASTED International Conference on Signal Processing & Communication* (pp. 19-22).
- [23] Fang, Y., Ma, K., Wang, Z., Lin, W., Fang, Z., & Zhai, G. (2015). No-reference quality assessment of contrast-distorted images based on natural scene statistics. *IEEE Signal Processing Letters*, 22(7), 838-842.
- [24] Wang, S., Ma, K., Yeganeh, H., Wang, Z., & Lin, W. (2015). A patch-structure representation method for quality assessment of contrast changed images. *IEEE Signal Processing Letters*, 22(12), 2387-2390.
- [25] Panetta, K., Gao, C., & Agaian, S. (2016). Human-visual-system-inspired underwater image quality measures. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 41(3), 541-551.
- [26] Panetta, K., Agaian, S., Zhou, Y., & Wharton, E. J. (2011). Parameterized logarithmic framework for image enhancement. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 41(2), 460-473.
- [27] Venugopal, N., Jothilingam, A., Sudhakar, M.S., Ramesh, R., & Karthikeyan, P. (2015, July). Underwater Image Enhancement and Edge Detection. In *National Conference on "Mechatronics-Technologies and Future Challenges"*.
- [28] Iqbal, K., Abdul Salam, R., Osman, M., & Talib, A.Z. (2007). Underwater Image Enhancement Using An Integrated Colour Model. *IAENG International Journal of Computer Science*, 32(2), 239-244.
- [29] Iqbal, K., Odetayo, M., James, A., Salam, R.A., & Talib, A.Z.H. (2010, October). Enhancing the low quality images using Unsupervised Colour Correction Method. In *Systems Man and Cybernetics (SMC), 2010 IEEE International Conference on* (pp. 1703-1709). IEEE.

- [43] Berman, D., & Avidan, S. (2016). Non-local image dehazing. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (pp. 1674-1682).
- [44] <https://www.tripadvisor.com>
- [45] Ooi, C. H., Kong, N.S.P., & Ibrahim, H. (2009). Bi-histogram equalization with a plateau limit for digital image enhancement. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 55(4), 2072-2080.



علی حسینی در سال ۱۳۹۵ مدرک کارشناسی ارشد خود را در رشته مهندسی کامپیوتر از دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز اخذ نمود. نامبرده در حال حاضر به عنوان عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان دانشگاه آزاد اسلامی به فعالیت پژوهشی خود ادامه می‌دهد. وی در سال ۱۳۹۶ با چاپ ۱۸ مقاله به عنوان پژوهشگر برتر دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز انتخاب گردید. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان، پردازش تصویر و بینایی ماشین است.



محمدامین شایگان، استادیار گروه مهندسی کامپیوتر دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، در سال ۱۳۹۴ دکترای مهندسی کامپیوتر خود را از دانشگاه UM کشور مالزی دریافت نموده است. وی از سال ۱۳۷۴ تا به حال به عنوان عضو هیئت علمی گروه مهندسی کامپیوتر مشغول به فعالیت‌های آموزشی و پژوهشی بوده و در حال حاضر ریاست دانشکده فنی و مهندسی این واحد دانشگاهی را بر عهده دارد. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه وی، هوش مصنوعی، بازشناسی الگو، پردازش تصویر و بینایی ماشین است.



سعید صدیقی دانشجوی مقطع کارشناسی ارشد رشته مهندسی کامپیوتر دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز است. نامبرده به عنوان عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان دانشگاه آزاد اسلامی، با چاپ ۱۹ مقاله به عنوان پژوهشگر برتر دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز در سال ۱۳۹۶ انتخاب گردید. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان، پردازش تصویر و بینایی ماشین است.