

به نام خدا



دانشگاه تهران  
پردیس دانشکده‌های فنی  
دانشکده برق و کامپیوتر



# Digital Image Processing (DIP)

گزارش پروژه نهایی

شهریار ابراهیمی - محسن کشت‌کار

۸۱۰۱۹۶۰۹۳ - ۸۱۰۱۹۶۲۹۱

خردادماه ۱۳۹۷

## فهرست

چکیده.....	۲
۱- مقدمه .....	۳
۲- فنون و دانش پیشین .....	۳
۱-۲- انتشار نور زیر آب.....	۳
۲-۲- کارهای مرتبط .....	۴
۳- تعدیل رنگ و سفیدسازی .....	۴
۴- الحاق چند مقیاسی .....	۵
۱-۴- ورودی‌های فرآیند الحاق .....	۶
۲-۴- وزندهای فرآیند الحاق .....	۶
۳-۴- فرآیند الحاق Naive .....	۷
۴-۴- فرآیند الحاق چندمقیاسی .....	۷
۵- توضیحات .....	۸
۶- تشریح کد متلب .....	۸
۱-۶- تشریح توابع اصلی .....	۸
۲-۶- تشریح مثال .....	۹
۷- نتایج .....	۱۰
۸- نتیجه‌گیری .....	۱۰

# تعدیل رنگ و الحاق جهت بهبود کیفیت تصاویر زیر آب

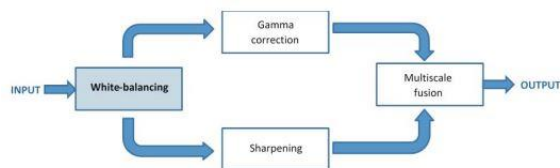
شهریار ابراهیمی<sup>۱</sup>، محسن کشتکار<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی، گروه بیوالکتریک، دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه تهران، تهران

## چکیده

در این پروژه هدف پیاده‌سازی و شبیه‌سازی یک فن کارآمد جهت بهبود تصاویری است که زیر آب گرفته شده است. این تصاویر به دلیل پراکندگی و جذب متوسط نور تخریب شده‌اند. این فن و روش نیاز به سخت‌افزار یا دانشی در مورد شرایط زیر آب و ساختار صحنه ندارد. در این روش نیازی به چند تصویر ورودی نیست و تنها یک تصویر از صحنه موردنظر برای پیاده‌سازی الگوریتم روی آن کافی است. این روش تصویر بهبودیافته را بر اساس ترکیب دو تصویر که مستقیماً از نسخه تعدیل‌یافته و جبران شده تصویر تخریب‌شده به دست آمده‌اند، می‌سازد. دو تصویر مذکور با توجه به نقشه وزن‌های مربوطه، جهت افزایش ارتقاء کنتراست رنگ به یکدیگر الحاق شده‌اند. برای جلوگیری از ایجاد آرتیفکت توسط ماتریس تیز کننده لبه در اجزا تصویر بازسازی‌شده که دارای فرکانس پایین هستند از استراتژی الحاق چندمقیاسی استفاده شده است. نتایج نشان داده است که مناطق تاریک، در تصاویر بهبودیافته بهتر در معرض نور قرار گرفته‌اند و جلوه بهتری دارند. همچنین کنتراست کلی تصویر و تیزی لبه‌ها بهبود پیدا کرده است. ارزیابی روش اثبات کرده است که در این روش نیازی به اطلاعات در مورد تنظیمات دوربین نیست.

## ۱- مقدمه



شکل ۱- نگاه کلی: دو تصویر استخراج شده از مرحله تعدیل رنگ و سفیدسازی با روش الحاق چندمقیاسی با یکدیگر ترکیب می-شوند و خروجی حاصل می-شود.

به صورت اختصاصی برای تصاویر زیر آب طراحی شده است. در قسمت ۴ شیوه بهبود تصویر مبتنی بر الحاق تشریح شده است که شامل تعریف ورودی‌ها و نقشه وزن‌های مربوط به آن‌ها است.

## ۲- فنون و دانش پیشین

در این قسمت قواعد و اصول کلی انتشار نور زیر آب و مرور چند دستاورد در راستای بهبود کیفیت تصاویر زیر آب آورده شده است.

### ۲-۱- انتشار نور زیر آب

برای یک محیط انتقال (transmission medium) ایده آل، نور دریافتی تحت تأثیر مشخصات جسم هدف و عدسی دوربین است. میزان نور قابل دسترس در زیر آب وابسته به چندین عامل است. تعامل بین نور خورشید و سطح دریا (زاویه برخورد نور به سطح آب) تحت تأثیر این است که تصویربرداری در چه زمانی از روز باشد. عامل دیگر، خروشان یا آرام بودن آب دریا است. ذراتی که نور در آب از آن‌ها عبور می‌کند نسبت به هوا ۱۰۰ برابر چگال‌تر هستند که این مهم روی انتشار نور تأثیر ویژه‌ای دارد. عامل اخیر و شاخص انکساری آب موجب سخت شدن تشخیص و قضاوت فاصله، زیر آب می‌شود که به دلیل است که زیر آب اجسام ۲۵ درصد بزرگ‌تر از چیزی که هستند به نظر می‌رسند. مطالعات مربوطه نشان داده است که تابع درخشندگی کل وابسته به ۳

تفاوت بین تصویرهای معمولی و تصاویری که در زیر آب اخذ می‌شوند ناشی از دید ضعیف به دلیل کاهش نور منتشر شده است و به صورت اساسی به دلیل اثرات جذب و پراکندگی است. جذب در واقع انرژی نور را کاهش می‌دهد در حالی که پراکندگی ریشه در تغییرات در جهت انتشار نور دارد. جذب و پراکندگی به دلیل مه‌آلود کردن و تخریب ظاهر و کنتراست تصویر موجب مبهم و تار شدن اجسامی می‌شوند که در فواصل دور از دوربین قرار دارند. در تصاویر رایجی که از زیر آب گرفته می‌شوند معمولاً زمانی که عمق جسم بیشتر از ۱۰ متر باشد، جسم کم‌رنگ به نظر رسیده و به خوبی دیده نمی‌شود که این امر به خاطر کوتاه شدن رشته طول موج‌های نور بر اساس عمق آب است. جهت بازسازی و بهبود تصاویر زیر آب تلاش‌هایی صورت گرفته است. روش‌های سنتی مانند تصحیح گاما، یکنواخت سازی هیستوگرام در چنین مواردی دارای محدودیت به نظر می‌رسند. در مطالعات و کارهای گذشته برای بهبود تصاویر از روش‌هایی استفاده شده است که نیاز به چند تصویر ورودی از یک صحنه است. هم‌چنین در این روش‌ها نیاز به دانستن اطلاعاتی بوده است که قابلیت عملیاتی آن‌ها را کاهش می‌دهد. در این پروژه روشی نوین که برای بهبود تصاویر زیر آب توسط Ancuti و همکارانش در سال ۲۰۱۸ ارائه شده، پیاده‌سازی شده است. این روش علی‌رغم روش‌های گذشته مبتنی بر یک تصویر ورودی از صحنه موردنظر است. در شکل (۱) مشاهده می‌شود که این روش بر اساس الحاق چند ورودی است که این ورودی‌ها از تصحیح کنتراست و تیز شدن تصویر سفید و تعدیل رنگ شده تصویر اصلی به دست آمده است. هدف از مرحله سفیدسازی و تعدیل رنگ حذف اثرات مخرب پراکندگی روی رنگ تصویر و ساخت ظاهری طبیعی برای تصاویر زیر آب است. دلیل پیاده‌سازی الحاق چندمقیاسی این است که این روش ترکیب کردن تصاویر، خالی از ایجاد آرتیفکت است. در قسمت بعد خلاصه‌ای از خصوصیات و مشخصات نور زیر آب آورده شده است. در قسمت ۳ روش سفیدسازی و تعدیل رنگ شرح داده شده که

جزء است : جزء مستقیم، پراکندگی روبه جلو و پشت-پراکندگی. جزء مستقیم، جزئی است که به صورت مستقیم از روی جسم به سمت صفحه تصویر بازتاب می شود. در هر مختصات  $x$  از تصویر، جزء مستقیم با توجه به رابطه (۱) توصیف می شود که در آن  $J(x)$  تابندگی جسم،  $d(x)$  فاصله بین جسم و ناظر و  $\eta$  ضریب تضعیف است.

$$E_D(x) = J(x)e^{-\eta d(x)} \quad (۱)$$

جزء پشت پراکندگی به صورت رابطه (۲) تعریف می شود که  $B_\infty(x)$  به عنوان یک بردار رنگ از نور پشت پراکنده شده شناخته شده است.

$$E_{BS}(x) = B_\infty(x)(1 - e^{-\eta d(x)}) \quad (۲)$$

با صرف نظر کردن از جزء پراکندگی روبه جلو، مدل کلی نور زیر آب به صورت رابطه (۳) تعریف می شود.

$$I(x) = J(x)e^{-\eta d(x)} + B_\infty(x)(1 - e^{-\eta d(x)}) \quad (۳)$$

## ۲-۲- کارهای مرتبط

اخیراً الگوریتم هایی مبتنی بر کانال تاریک پیشین (DCP)<sup>۱</sup> که به صورت ویژه تصاویر زیر آب را بازسازی می کنند معرفی شده اند. DCP ذاتاً برای رفع تار شدگی و مه آلودگی تصاویر مربوط به صحنه های صحرایی در نظر گرفته شده است. این روش فرض می کند که تابندگی یک جسم در یک صحنه طبیعی حداقل در یکی از اجزاء رنگ کوچک است و به دنبال آن، مناطقی را که دارای انتقال کوچک هستند را به عنوان مناطقی که حداقل مقدار رنگ را دارند، معرفی می کند. در رابطه با تصویربرداری زیر آب روشی مبتنی بر DCP معرفی شده است که مناطق مربوط به پیش زمینه و پس زمینه را بخش بندی می کند و از این اطلاعات در جهت حذف تاری و تغییرات رنگ تصویر مبتنی بر جبران رنگ استفاده می کند. روش هایی که تا به حال معرفی شده اند با توجه به این که تا حد

خوبی توانسته اند تصاویر زیر آب را بهبود بخشند، اما هنوز روشی ارائه نشده است که بتواند ساختار جزئیات و لبه های نويز را از تصویر حذف کند و در کنار آن نیز کنتراست رنگ تصویر را تقویت کند. دستاورد روشی که در این پروژه شبیه سازی و پیاده سازی شده است این بوده است که با استفاده از الحاق نتایج حاصل از تصحیح گاما و تیز کردن روی تصویر تعدیل رنگ و سفیدسازی شده تصویر ورودی توانسته است تصویری با رنگ تقویت شده و رفع تار شدگی به عنوان خروجی ارائه دهد.

## ۳- تعدیل رنگ و سفیدسازی

فن ارائه شده در این روش ۲ استراتژی عمده را دنبال می کند که ابتدا مرحله سفیدسازی صورت می گیرد و سپس مرحله ترکیب (fusion) انجام خواهد گرفت. مرحله سفیدسازی عمدتاً برای جبران پراکندگی رنگ ها در اعماق دریاها و مرحله ترکیب نیز عمدتاً برای بهبود لبه ها و افزایش اطلاعات تصویر به کار می روند. همان طور که اشاره شد، درک رنگ های مختلف زیر آب به عوامل بسیاری از جمله عمق آب بستگی دارد. عمدتاً نیز تصاویر ثبت شده مایل به آبی و سبز هستند. طول موج نور وارد شده به آب، به صورت انتخابی دچار تضعیف می شود؛ بنابراین شدت نور بازتابی از اجسام و رنگ آن ها در داخل آب تحت تأثیر قرار می گیرند. طبقه گفته مقاله، روش های بسیاری برای اعمال سفیدسازی، بررسی شده اند. از جمله این روش ها می توان به Gray World Algorithm، Max RGB، Shades of Grey و Grey Edge اشاره کرد. از میان این روش ها، روش Gray World Algorithm نتایج بهتری را برای تصویر تخریب شده زیر آب ارائه می دهد. این ادعا طبق شکل ۹ و جدول ۱ موجود در مقاله اثبات می شود. در حقیقت این الگوریتم بهترین روشی است که رنگ آبی تصاویر را تعدیل می کند. اما اشکال بزرگ این روش نیز وجود آرتیفک های قرمز رنگ شدیدی است که در تصاویر خروجی

<sup>۱</sup> Dark Channel Prior

الگوریتم مشاهده می‌شود. علت این امر نیز واضح است؛ زیرا که کانال قرمز تصویر RGB مقادیر بسیار پایینی دارد که باعث می‌شود جبران این رنگ توسط الگوریتم Gray World بیش از حد مجاز صورت گیرد. برای حل این مشکل فن سفیدسازی ارائه شده در این مقاله ابتدا تا حدی کانال قرمز رنگ را جبران کرده و سپس از الگوریتم Gray World استفاده خواهد کرد.

جهت جبران کانال قرمز رنگ از اصولی که در ادامه آمده، استفاده شده است (۱) کانال سبز نسبت به کانال قرمز و حتی آبی دچار تخریب کمتری می‌شود. (۲) کانال سبز کانالی است که مخالف کانال قرمز است و به همین علت از اهمیت فراوانی در جبران تضعیف صورت گرفته در کانال قرمز برخوردار است. بنابراین برای جبران قرمز کسری از کانال سبز را به آن اضافه خواهیم کرد. (۳) جبران رنگی که صورت می‌گیرد باید با اختلاف بین میانگین رنگ سبز و میانگین رنگ قرمز تناسب داشته باشد؛ زیرا که الگوریتم Gray World فرض می‌کند که میانگین رنگ‌ها در تصاویر، قبل از تخریب آن‌ها یکسان است. (۴) برای جلوگیری از اشباع رنگ قرمز در Gray World که بعد از این مرحله اعمال خواهد شد، جبران‌سازی صورت گرفته در این مرحله، باید متوجه پیکسل‌هایی باشد که کانال قرمز آن‌ها مقادیر کمی دارند.

برای اعمال هر ۴ حالت اشاره شده به فرم ریاضی، رابطه ۴ پیشنهاد شده است :

$$I_{rc} = I_r(x) + \alpha(\bar{I}_g - \bar{I}_r).(1 - I_r(x)).I_g(x) \quad (4)$$

در این رابطه،  $I_{rc}$  رنگ کانال قرمز جبران شده است.  $I_r$  و  $I_g$  کانال‌های قرمز و سبز تصویر تخریب شده  $I$  هستند. رنگ تمامی کانال‌های ورودی باید در بازه  $[0, 1]$  باشد.  $\bar{I}_r$  و  $\bar{I}_g$  نیز به ترتیب میانگین رنگ‌های قرمز و سبز در کانال‌های  $I_r$  و  $I_g$  هستند.  $\alpha$  نیز ضریب ثابتی است که مقدار ۱ برای آن در همه موارد در نظر گرفته شده است. زیرا که برای اکثر تصاویر پاسخ مناسبی را استخراج می‌کند.

لازم به ذکر است که در آب‌های گل‌آلود و یا آب‌هایی که تعداد پلانکتون‌های آن‌ها بالاست، این کانال آبی است که می‌تواند دچار تخریب شود. برای حل این مشکل نیز باید جبران‌سازی بجای کانال قرمز برای کانال آبی صورت گیرد. رابطه (۵) از روی رابطه (۴) برای جبران کانال آبی، بازنویسی شده است :

$$I_{bc} = I_b(x) + \alpha(\bar{I}_g - \bar{I}_b).(1 - I_b(x)).I_g(x) \quad (5)$$

در این رابطه،  $I_{bc}$  رنگ کانال آبی جبران شده است.  $I_b$  و  $I_g$  کانال‌های آبی و سبز تصویر تخریب شده  $I$  هستند.  $\alpha$  نیز همچنان ۱ در نظر گرفته شده است.

بعد از اعمال مرحله جبران‌سازی کانال مربوطه (قرمز یا آبی) کانال جبران شده را به ۲ کانال دیگر تصویر تخریب شده اضافه کرده تا تصویر رنگی جبران شده به دست آید؛ سپس الگوریتم Gray World روی تصویر جبران شده اعمال خواهد شد. فن ارائه شده در این مقاله برای سفیدسازی، نتایج بسیار بهتری را به دست آورده است. این ادعا طبق شکل ۲ مقاله اثبات می‌شود.

#### ۴- الحاق چند مقیاسی

در پروژه انجام گرفته از اصول الحاق چندمقیاسی برای از بین بردن حالت کدر و مات تصویر استفاده شده است. برای رسیدن به این مهم، به دو ورودی نیاز داریم. یکی از این ورودی‌ها در جهت افزایش کنتراست و دیگری در جهت بهبود لبه‌ها در تصویر به کار خواهند رفت. هر دوی این تصاویر از تصویر سفید شده در مرحله قبلی به دست خواهند آمد. علاوه بر این‌ها تصاویر وزنی را نیز باید به دست آوریم تا مشخص شود چه وزنی از این دو تصویر ورودی در خروجی نقش خواهند داشت؛ بنابراین فنی که برای از بین بردن کدری تصاویر زیر آب استفاده خواهیم کرد شامل ۳ مرحله است: ۲ تصویر ورودی حاصل از تصویر سفید شده، به دست آوردن تصاویر وزنی، الحاق چندمقیاسی دو تصویر ورودی با تصاویر وزنی.

#### ۴-۱ - ورودی‌های فرآیند الحاق

برای به دست آوردن یکی از ورودی‌های مورد نیاز، عملیات Gamma-Correction روی تصویر سفیدشده اعمال می‌شود. این عملیات منجر به افزایش کنتراست کلی تصویر می‌شود. در حقیقت تصاویر سفید شده، روشنایی زیادی دارند که انجام این عملیات بر روی آن منجر به ایجاد تعادل میان نقاط روشن و تاریک تصویر می‌شود اما در عوض، باعث کاهش اطلاعات ریز تصویر از جمله لبه‌ها می‌شود.

برای جبران این موضوع ورودی دوم دیگری نیز تعریف می‌شود که مربوط به نسخه تیز شده تصویر سفیدشده اولیه است. برای تیز کردن تصویر حاصل از مرحله سفیدسازی باید نسخه مات شده آن را با خودش جمع کرد. فرمول رایج برای unsharp masking، تصویر تیز شده  $S$  را به صورت رابطه (۶) تعریف می‌کند.

$$S = I + \beta(I - G * I) \quad (6)$$

در این رابطه  $I$  تصویری است که قرار بر آن هست که تیز شود (در اینجا نسخه سفید شده تصویر اصلی)،  $G * I$  نسخه از تصویر را تعریف می‌کند که روی آن فیلتر گوسی اعمال شده است و  $\beta$  نیز پارامتر است.  $\beta$  کوچک نمی‌تواند در عمل تیز کردن به خوبی عمل کند درحالی که  $\beta$  خیلی بزرگ نیز موجب فوق اشباع‌شدگی در مناطقی با سایه‌های تاریک‌تر و روشنایی‌های درخشان‌تر می‌شود. برای غلبه کردن به این مشکل تصویر تیز شده  $S$  به صورت رابطه (۷) تعریف شده است.

$$S = (I + N \{I - G * I\}) / 2 \quad (7)$$

$N$  به عنوان عملگر خطی نرمال‌کننده در نظر گرفته شده است، هم‌چنین از آن به عنوان متسع‌کننده هیستوگرام یاد شده است. این عملگر شدت روشنایی تمام پیکسل‌ها را به یک اندازه جابجا و مقیاس‌دهی می‌کند، به صورتی که شدت روشنایی پیکسل‌ها تمام بازه دینامیکی شدت روشنایی را پوشش دهند.

این ورودی دوم، اصولاً به کاهش میزان تخریب در اثر پراکندگی کمک می‌کند. از آنجایی که اختلاف نسخه سفید شده و نسخه فیلتر شده آن یک سیگنال فرکانس بالا است که برخلاف لاپلاسین تقریب می‌زند، این عملگر در حالاتی که نویز فرکانس بالا وجود دارد نامناسب است چون موجب بزرگ‌نمایی نویز می‌شود بنابراین باعث ایجاد آرتیفکت‌های ناخواسته در ورودی دوم می‌شود. استراتژی الحاق چند-مقیاسی که در قسمت بعد توصیف شده است، جهت کاهش انتقال آرتیفکت‌ها مذکور به تصویر نهایی الحاقی بکار گرفته شده است.

#### ۴-۲ - وزن‌های فرآیند الحاق

نقشه‌های وزنی که در طول فرآیند الحاق استفاده شده‌اند به صورتی بکار گرفته می‌شوند که در تصویر نهایی پیکسل‌هایی که وزن بیشتری داشته‌اند خود را بیشتر نشان می‌دهند. هم-چنین نقشه‌های وزنی مذکور بر اساس معیارهای برجستگی (saliency) تعریف می‌شوند.

**وزن کنتراست لاپلاسین ( $W_L$ )** با استفاده از محاسبه مقدار مطلق یک فیلتر لاپلاسین اعمال شده به هر کانال روشنایی ورودی، کنتراست کلی تصویر را تخمین می‌زند. این عمل مقادیر بزرگ محاسبه شده را به لبه‌ها و الگوها نسبت می‌دهد. برای رفع تارشدگی و مه‌آلودگی تصاویر زیر آب تنها این وزن برای ترمیم کنتراست کافی نیست؛ زیرا این وزن اساس نمی‌تواند نواحی شیب و مسطح را از یکدیگر تمیز دهد. برای رفع این مشکل وزن مکمل و اضافه دیگری در راستای معیارهای مربوط به کنتراست تعریف می‌شود.

**وزن برجستگی ( $W_S$ )** با هدف تأکید بر اجسام برجسته که برجستگی خود را در منظره زیر آب از دست داده‌اند تعریف شده است. اگرچه، نقشه برجستگی به نواحی پررنگ تمایل بیشتری نشان می‌دهد (ناحیه‌هایی که دارای مقدار شدت روشنایی بالایی هستند). برای فائق آمدن به این محدودیت، نقشه وزن دیگری بر اساس اینکه مشاهدات نشان داده‌اند که

در مناطق موردنظر میزان اشباع کاهش پیدا می‌کند، تعریف شده است.

**وزن اشباع** ( $W_{Sat}$ ) موجب می‌شود که الگوریتم الحاق خود را با بهره گرفتن از مناطقی که اشباع‌شدگی بالایی دارند، با اطلاعات مربوط به رنگ سازگار کند. این نقشه وزنی به‌سادگی (برای هر کانال ورودی  $I_k$ ) به‌عنوان اختلاف (برای هر پیکسل) بین کانال‌های رنگ  $R_k$ ،  $G_k$  و  $B_k$  و شدت روشنایی  $L_k$  ورودی K آ‌م قابل‌محاسبه است. فرمول محاسبه وزن اشباع در رابطه (۸) آورده شده است.

$$W_{Sat} = \sqrt{1/3[(R_k - L_k)^2 + (G_k - L_k)^2 + (B_k - L_k)^2]} \quad (۸)$$

در عمل، برای هر ورودی، ۳ تصویر وزنی محاسبه‌شده به یک تصویر وزنی تبدیل خواهند شد. دو تصویر حاصله، تصاویر وزنی نرمالیزه نامیده می‌شوند. برای به دست آوردن این تصاویر در هر ورودی، ابتدا ۳ تصویر وزنی ابتدایی با یکدیگر جمع می‌شوند. سپس عملیات نرمالیزاسیون به همراه ضریب رگولاریزاسیون انجام خواهد گرفت. ضریب رگولاریزاسیون  $\delta$  تضمین می‌کند که تمام ورودی‌ها به خروجی خواهند رفت. رابطه (۹) نحوه انجام نرمالیزاسیون را نشان می‌دهد:

$$\bar{W}_k = (W_k + \delta) / (\sum_{k=1}^K W_k + K \cdot \delta) \quad (۹)$$

در این رابطه،  $k$  نشان‌دهنده ورودی  $k$ ام و  $K$  نشان‌دهنده تعداد کل ورودی‌هاست. در حقیقت  $K$  برابر ۲ خواهد بود. ضریب  $\delta$  نیز در تمام حالات برابر ۰٫۱ در نظر گرفته شده است.

#### ۳-۴- فرایند الحاق Naive

با در اختیار داشتن تصاویر وزنی نرمالیزه، تصویر بازسازی‌شده را می‌توان از طریق الحاق ورودی‌ها و تصاویر وزنی طبق رابطه (۱۰) به دست آورد:

$$\Re(x) = \sum_{k=1}^K \bar{W}_k(x) I_k(x) \quad (۱۰)$$

در این رابطه  $I_k$  بیانگر ورودی‌ها است. در عمل، بازسازی تصویر با این روش منجر به ایجاد هاله‌هایی در تصویر خروجی می‌شوند که مناسب نیستند. جهت رفع این مشکل از بازسازی به روش الحاقی چندمقیاسی استفاده خواهد شد.

#### ۴-۴- فرایند الحاق چندمقیاسی

پایه و اساس این روش بر اساس هرم لاپلاسین بنا نهاده شده است. هرم لاپلاسین تصویر را به مجموعه‌ای از تصاویر میان‌گذر تجزیه می‌کند. در عمل، هر سطحی از هرم، تصویر ورودی را با استفاده از کرنل پایین‌گذر گوسی  $G$  فیلتر کرده و در هر جهت ابعاد آن را با ضریب ۲ کاهش می‌دهد؛ سپس نسخه افزایش نمونه داده شده‌ی تصویر فیلترشده را از تصویر ورودی کم می‌کند؛ در ادامه تصویر فیلترشده را به‌عنوان مرجع گرفته و همین روند را برای آن تکرار می‌کند. فرم ریاضی این روش در رابطه (۱۱) آمده است:

(۱۱)

$$\begin{aligned} I(x) &= I(x) - G_1\{I(x)\} + G_1\{I(x)\} \triangleq L_1\{I(x)\} + G_1\{I(x)\} \\ &= L_1\{I(x)\} + G_1\{I(x)\} - G_2\{I(x)\} + G_2\{I(x)\} \\ &= L_1\{I(x)\} + L_2\{I(x)\} + G_2\{I(x)\} \\ &= \dots \\ &= \sum_{l=1}^N L_l\{I(x)\} \end{aligned}$$

در این رابطه  $L_l$  و  $G_l$  به ترتیب نشان‌دهنده  $l$ امین سطح از هرم لاپلاسین و گوسی می‌باشند.

در روشی که مقاله ارائه کرده است، با استفاده از همین روند، هر ورودی  $I_k$  را به هرم لاپلاسین و هر تصویر وزنی نرمالیزه  $\bar{W}_k$  را به هرم گوسی تجزیه می‌کند. تجزیه تصاویر فوق با تعداد سطوح یکسان صورت می‌گیرد. پس از این مرحله، سطح  $l$ ام تصویر بازسازی‌شده را می‌توان طبق رابطه (۱۲) به دست آورد. در حقیقت در این رابطه، عملیات الحاق به‌طور جداگانه در سطوح مختلف صورت می‌گیرد که وقوع آرتیفکت‌ها را تا حدودی کاهش می‌دهد. علاوه بر آن این روش برای چشم



انسان نیز که به تصاویر تیز حساسیت بالایی دارد، از جذابیت بیشتری برخوردار است.

$$\mathcal{R}_l(x) = \sum_{k=1}^K G_l \{ \bar{W}_k(x) \} L_l \{ I_k(x) \} \quad (12)$$

در این رابطه،  $l$  نشان‌دهنده سطح هرم و  $k$  نشان‌دهنده عدد ورودی است. همان‌طور که در رابطه (۱۱) مشاهده شد  $l$  نیز بین ۱ تا  $N$  متغیر است. در عمل، مقدار  $N$  به اندازه تصویر بسیار وابسته است و تأثیر بسزایی در کیفیت و وضوح تصویر خروجی دارد.

پس‌ازاینکه سطوح مختلف هرم تصویر بازسازی‌شده به دست آمد، تصویر بازسازی‌شده از عکس عملیات تجزیه لاپلاسین حاصل خواهد شد.

## ۵- توضیحات

**توجه:** متلب‌های نسخه پایین‌قادر به اجرای برخی توابع ارسال شده نیستند. علاوه بر آن از نسخه رنگی linear-rgb پشتیبانی نمی‌کنند. کد نوشته شده در نسخه ۲۰۱۸a متلب نوشته شده است. اکیداً توصیه می‌شود برای اجرای کد از این نسخه استفاده شود. کد نوشته‌شده در نسخه‌های پایین‌متلب تست شد که قادر به اجرای آن نبودند.

## ۶- تشریح کد متلب

در این قسمت به تشریح کد نوشته‌شده برای پیاده‌سازی این مقاله پرداخته شده است. در فایل rar ارائه شده ۱۰ کد متلب به همراه ۸ تصویر ورودی قرار دارند. علاوه بر آن پوشه‌ای به نام results هم که حاوی نتایج ارائه‌شده پس از اجرای کد بر روی تصاویر تست است، به همراه فایل‌های قبلی ارسال شده است.

### ۶-۱- تشریح توابع اصلی

از میان ۱۰ کد ارسال‌شده، تابع underwater\_colorbalance تابع اصلی است و تمام فن به کار گرفته‌شده در مقاله در این تابع پیاده‌سازی شده است. کد Example نیز به‌عنوان دمو

استفاده شده و نحوه استفاده از تابع underwater\_colorbalance در آن به نمایش گذاشته شده که توضیحات مربوط به آن در ادامه آمده است. ۸ کد دیگر نیز توابعی هستند که در underwater\_colorbalance به کار رفته‌اند و به‌عنوان کدهای کمکی ارسال شده‌اند.

کد underwater\_colorbalance سه ورودی به نام‌های im، type و Level می‌گیرد که im تصویر نامناسب گرفته‌شده در زیر آب است. type نیز مشخص می‌کند کدام کانال رنگی برای تصویر اصلاح شود. اگر تصاویر گرفته‌شده بیشتر آبی‌رنگ یا سبزرنگ باشند، واضح است که باید کانال قرمز اصلاح شود؛ بنابراین 'red' در type قرار می‌گیرد؛ اما در صورتی که تصاویر بیشتر قرمزی داشته باشند (آب‌های گل‌آلود یا پر از پلانکتون)، باید کانال آبی اصلاح شود که در نتیجه 'blue' در type قرار می‌گیرد. همچنین این تابع ۱۵ تصویر خروجی را به خروجی می‌برد. در بردار خروجی این تابع به ترتیب از چپ به راست تصاویر زیر قرار می‌گیرند:

(۱) تصویر ورودی اولیه مستقیماً به خروجی می‌رود. (۲) تصویر جبران شده اولیه که پس از اعمال رابطه (۴) یا (۵) روی تصویر اصلی به دست می‌آید. انتخاب اینکه کدام یک از رابطه‌ها اعمال شوند بستگی به type دارد. (۳) تصویر سفید شده که در اثر اعمال الگوریتم Gray World روی تصویر جبران شده به دست آمده است. (۴) تصویر Gamma Corrected که پس از اعمال تصحیح گاما روی تصویر سفید شده به دست آمده است. (۵) تصویر تیز شده که در اثر اعمال unsharp masking روی تصویر سفیدشده به دست آمده است. (۶) تصویر وزنی laplacian برای ورودی Gamma Corrected. (۷) تصویر وزنی saliency برای ورودی Gamma Corrected. (۸) تصویر وزنی saturation برای ورودی Gamma Corrected. (۹) تصویر وزنی نرمالیزه برای ورودی Gamma Corrected. (۱۰) تصویر وزنی laplacian برای ورودی تیزشده. (۱۱) تصویر وزنی saliency برای ورودی تیزشده. (۱۲) تصویر وزنی saturation برای ورودی تیزشده. (۱۳) تصویر وزنی نرمالیزه برای ورودی

تیز شده. (۱۴) تصویر بازسازی شده به کمک الحاق Naive. (۱۵) تصویر بازسازی شده به کمک الحاق چندمقیاسی.

**توجه:** در صورتی که مایل به درک بهتر تابع `underwater_colorbalance` هستید، توضیحات زیر را دنبال کنید :

تابع `underwater_colorbalance` پس از دریافت ورودی‌های مورد نظر خود، در قسمت `checking` ورودی‌های دریافت شده را بررسی می‌کند تا اگر خارج از محدوده عملکرد کد باشند، اخطار لازم را متوجه مخاطب نماید.

در قسمت `Loading` کلاس تصویر به `double` تبدیل می‌شود تا بتوان عملگرهای ریاضی را بر آن اعمال کرد. همچنین اندازه ابعاد تصویر ذخیره می‌شود.

قسمت `Image Whitening` شامل دو قسمت اصلی است. در قسمت اول که `Image Compensation` نام دارد، تصویر ورودی توسط روابط (۴) یا (۵) جبران می‌شود. اما در قسمت دوم که `Gray World Algorithm` نام دارد این الگوریتم به تصویر حاصل از مرحله قبل اعمال می‌شود. قبل از اعمال این الگوریتم مجدداً لازم است که گاما تصویر اصلاح شود و حالت خطی میان رنگ‌های تصویر وجود داشته باشد. برای این منظور از تابع `rgb2lin` استفاده شده است. سپس توسط توابع `illumgray` و `chrom` الگوریتم اجرا شده و مجدداً تصویر توسط تابع `lin2rgb` به رنگ‌های اصلی خود بازگردانده می‌شود.

قسمت بعدی، `Processing Inputs` نام دارد که دو ورودی را برای ادامه پردازش آماده می‌کند. ورودی اول همان تصویری است که گاما آن اصلاح شده؛ مجدداً برای این قسمت تابع `rgb2lin` به کار رفته است. ورودی دوم، تصویر تیز شده است که این کار از طریق الگوریتم معروف به `unsharp masking` و توسط رابطه (۷) صورت می‌گیرد.

در قسمت بعدی که `Weight Processing` نام دارد، در دو `channel type` مجزا، هر سه تصویر وزنی اشاره شده توسط الگوریتم‌ها و فرمول‌های مختص خود محاسبه شده‌اند.

بلافاصله پس از محاسبه هر سه وزن برای هر دو ورودی، تصویر وزنی نرمالیزه نیز برای هر دو ورودی، توسط رابطه (۹) محاسبه شده است.

در نهایت قسمت بازسازی تصویر را خواهیم داشت که با نام‌های `Image Reconstruction 1-2` در کد قرار دارند. ابتدا توسط رابطه (۱۰) و در حالت الحاق `Naive` تصویر نهایی بازسازی شده است که چندان نیز نتایج مطلوبی را شامل نمی‌شود؛ پس از این قسمت که تنها در یک خط کد آن اجرا شده است، بازسازی تصویر به روش الحاق چندمقیاسی توسط رابطه (۱۲) وجود دارد. در این قسمت که به چند بخش مختلف تقسیم می‌شود ابتدا هرم لاپلاس برای دو تصویر ورودی و سپس هرم گوسی برای دو تصویر وزنی نرمالیزه، توسط تابع `pyr_gen` محاسبه می‌شود. تابع `pyr_gen` در ساختار خود از توابع `pyr_reduce` و همچنین `pyr_expand` استفاده کرده است که به ترتیب برای کاهش ابعاد تصویر و افزایش ابعاد تصویر در هرم لاپلاسی به کار می‌روند. در ادامه این قسمت از تابع `match_sample` نیز برای `upsampling` تصویر لاپلاسی در جهت هم‌اندازه کردن آن با تصویر گوسی استفاده شده است. نهایتاً، پس از فراهم شدن مقدمات مربوطه، رابطه (۱۲) اعمال شده و هرم تصویر خروجی به دست می‌آید. تصویر خروجی نیز از طریق سرهم کردن هرم آن حاصل می‌شود.

## ۶-۲- تشریح مثال

همان‌طور که اشاره شد، توابع نوشته شده تحت مثالی به اجرا درآمده‌اند. این مثال در کد `Example` قرار دارد. این کد از ۸ تصویر در جهت آزمودن توابع نوشته شده استفاده می‌کند. این ۸ تصویر در پوشه ارسال شده با نام‌های `test (1)` تا `test (8)` قرار دارند. تصاویر مورد نظر در سلولی که ۸ درایه دارد ذخیره شده است. همین‌طور با توجه به اندازه تصویرها `Level` مناسب آن نیز برای آن‌ها انتخاب شده و در آرایه‌ای به طول ۸ و به نام `Level_test` ذخیره شده است. در ابتدای اجرای این کد، برنامه از مخاطب سؤال می‌کند که کدام تصویر را به عنوان

ورودی جهت اجرای کد، روی آن، انتخاب می‌کند. عددی بین ۱ تا ۸ باید وارد شود. نهایتاً کد اجرا شده و ۷ تصویر برای مخاطب نمایش داده می‌شوند. این ۷ تصویر شامل تصویر اصلی، بازسازی شده، سفید شده، تصویری که گاما آن اصلاح شده است، تصویر تیز شده، تصویر بازسازی به کمک الحاق Naive و نهایتاً تصویر بازسازی به روش الحاق چندمقیاسی است. علاوه بر این، همه این ۷ تصویر نیز با نام‌های مختص خود در همان پوشه اصلی، توسط تابع imwrite ذخیره خواهند شد. طبیعی است در صورتی که بخواهد تصاویر موردنظر خود را اجرا کنید می‌توانید بجای این تصاویر آن‌ها را قرار دهید و یا اینکه طول سلول test را افزایش دهید. در صورتی که بخواهید طول سلول را افزایش دهید، توجه داشته باشید که در قسمت checking باید شرط  $N$  را نیز تغییر داده و بیشتر کنید. برای تصاویر جدید مقدار Level نیز طبق اندازه آن‌ها تعیین می‌شود. با کم و زیاد کردن این مقدار برای آن، مقدار بهینه را پیدا کرده و با آن مقدار کد را اجرا نمایید.

در بخش پایانی این قسمت، مجدداً تکرار می‌شود که برای اجرا کدها حتماً از نسخه ۲۰۱۸۵ نرم‌افزار متلب استفاده کنید.

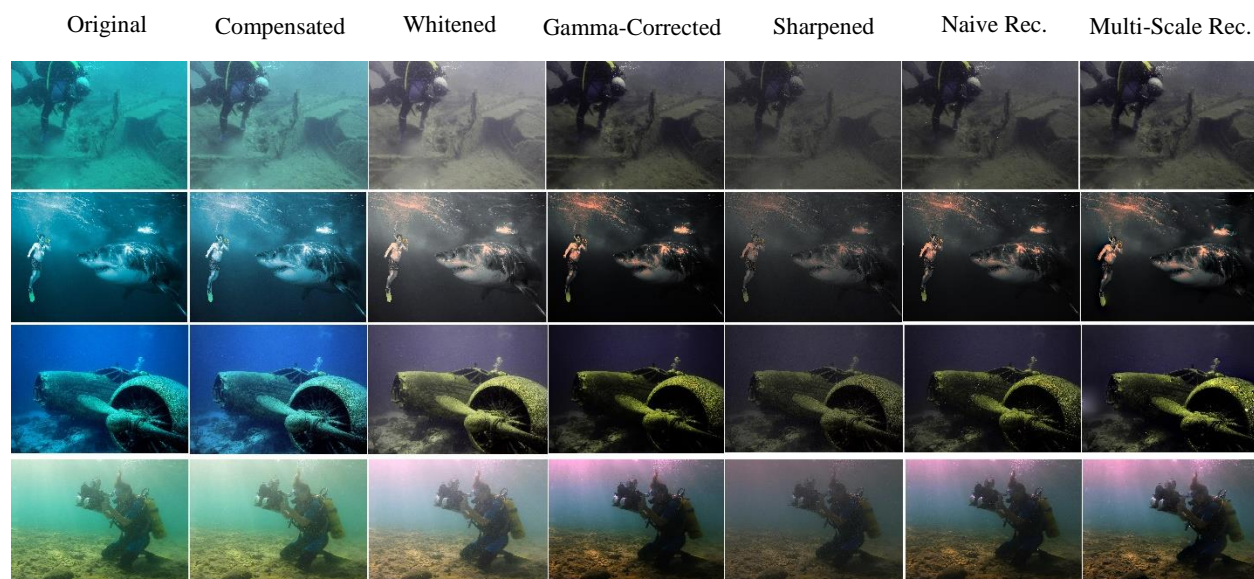
## ۷- نتایج

نتایج به دست آمده از اجرای الگوریتم ارائه شده در مقاله در شکل ۲ و ۳ نشان داده شده است. شکل‌های مذکور حاوی ۴ ردیف و ۷ ستون است؛ که هر ردیف در شکل ۲ مربوط به نتایج حاصل از اعمال الگوریتم روی ورودی‌های (1) test تا (4) test است. این ردیف‌ها برای شکل ۳ نشان‌دهنده نتایج حاصل از اعمال الگوریتم روی ورودی‌های (5) test تا (8) test است. هر کدام از ستون‌ها معرف یکی از مراحل اجرای الگوریتم هست. ستون اول تا هفتم به ترتیب مربوط به تصویر اصلی، تصویر جبران شده، تصویر سفید شده، تصویری که روی آن تصحیح گاما صورت گرفته است، تصویر تیز شده، تصویر بازسازی شده با استفاده از روش الحاق naive و تصویر بازسازی

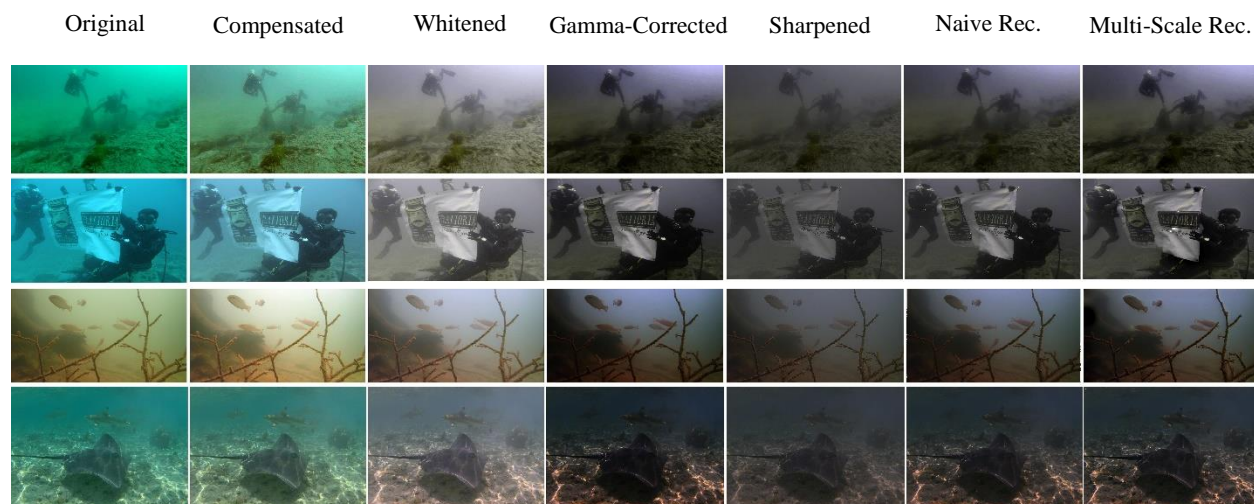
شده با استفاده از روش الحاق چندمقیاسی است. همان‌طور که مشخص است عملیات سفیدسازی به خوبی برای تصاویر ورودی صورت گرفته و کانال رنگی تخریب شده تا حد مناسبی اصلاح شده است. اگرچه، این تصویر دارای روشنایی بیش از اندازه است. برای اصلاح این موضوع تصاویر تیز شده و تصحیح گاما، استخراج شده‌اند. واضح است که تصویر مربوط به تصحیح گاما از کنتراست خوبی برخوردار است، اما لبه‌ها در آن از بین رفته‌اند. برای جبران این مهم از تصویر تیز شده موجود در ستون پنجم در روند الحاق استفاده شده است. لازم به ذکر است برای استخراج تصاویر نهایی از تصویرهای وزنی تولید شده نیز استفاده شده است. این تصویرهای وزنی در شکل ۴ برای ورودی (3) test به عنوان مثال آورده شده است. دو ستون انتهایی تصاویر بازسازی شده را نشان می‌دهد. تصاویر بازسازی شده توسط الگوریتم naive دچار آرتیفکت Halo (در برخی از نقاط تصویر، هاله‌ای از نور دیده می‌شود) هستند که این آرتیفکت برای تصاویر بازسازی شده به روش الحاق چند-مقیاسی تا حد زیادی جبران شده است.

## ۸- نتیجه‌گیری

به طور کلی روش ارائه شده برای سیستم بینایی انسان درک بهتری را فراهم می‌کند؛ بدین مفهوم که کنتراست کلی، رنگ تصاویر و اطلاعات تصویر به صورت قابل توجهی افزایش پیدا می‌کند. از محدودیت‌های روش مذکور می‌توان به مواردی که در ادامه آمده است اشاره کرد: ۱. رنگ تصاویر را نمی‌توان به طور کامل بازیابی کرد. ۲. نقاطی که دور از دوربین قرار دارند تا حدی کدر باقی می‌مانند.



شکل-۲: نتایج مربوط به اعمال الگوریتم مقاله روی تصویرهای ورودی (test(1 تا test(4. ستون اول تا هفتم به ترتیب مربوط به تصویر اصلی، تصویر جبران‌شده، تصویر سفیدشده، تصویری که روی آن تصحیح گاما صورت گرفته است، تصویر تیزشده، تصویر بازسازی شده با استفاده از روش الحاق naive و تصویر بازسازی شده با استفاده از روش الحاق چندمقیاسی است.



شکل-۳: نتایج مربوط به اعمال الگوریتم مقاله روی تصویرهای ورودی (test(5 تا test(8. ستون اول تا هفتم به ترتیب مربوط به تصویر اصلی، تصویر جبران‌شده، تصویر سفیدشده، تصویری که روی آن تصحیح گاما صورت گرفته است، تصویر تیزشده، تصویر بازسازی شده با استفاده از روش الحاق naive و تصویر بازسازی شده با استفاده از روش الحاق چندمقیاسی است.



شکل-۴: تصاویر وزنی محاسبه شده برای ورودی  $test(3)$ . ردیف اول تصاویر وزنی به دست آمده از ورودی  $gamma$ -corrected است. ردیف دوم نیز نشان دهنده همین تصاویر برای ورودی تیز شده است. ستون اول تصویر وزنی Laplacian، ستون دوم تصویر وزنی Saliency، ستون سوم تصویر وزنی Saturation و ستون آخر تصویر وزنی نرمالیزه است.