

حذف نویز متناوب در تصاویر دیجیتال با استفاده از سیستم فازی

نجمه علی بابایی^۱ و علی محمد لطیف^۲

چکیده

نویز متناوب با ایجاد الگوهای مشابه در تصویر باعث تخریب کیفیت تصویر می‌گردد. در این پژوهش یک سیستم فازی برای یافتن نویز متناوب در حوزه فرکانس و رفع آن معرفی می‌گردد. در سیستم فازی موقعیت تقریبی ضرایب نویز توسط دو ورودی به دست می‌آید. ورودی اول موقعیت ضریب فرکانسی و ورودی دوم نسبت مقدار ضریب فرکانسی به میانه پنجره همسایگی است. خروجی سیستم فازی ماسک اصلاح‌کننده در حوزه فرکانس خواهد بود که از آن برای رفع نویز استفاده خواهد شد. عملکرد روش پیشنهادی روی تعدادی تصویر محک آغشته به نویز مصنوعی و واقعی بررسی گردید. به‌منظور ارزیابی، معیارهای کیفی و کمی سنجش موردتوجه قرار گرفت. نتایج شبیه‌سازی حاکی از عملکرد قابل قبول آن در مقایسه با روش‌های مطرح در این حوزه است.

کلیدواژه‌ها

حذف نویز تصویر، سیستم فازی، نویز متناوب

۱ مقدمه

و در حوزه فرکانس به‌صورت لکه‌های نورانی^۲ ظاهر خواهد شد. منظور از لکه در حوزه فرکانس محدوده‌ای شبیه ستاره است که روشنایی مرکز آن زیاد و روشنایی اطراف آن به‌تدریج کاهش می‌یابد [۲]. شکل ۱ طیف تصویر آغشته به نویز متناوب را نشان می‌دهد.

نویز متناوب به‌وسیله القای الکتریکی یا مغناطیسی به وجود می‌آید [۳]. در بیش‌تر کاربردهای تصویری نظیر پزشکی [۴]، دریافت از راه دور [۶] و [۵]، تلویزیون [۷]، کنترل ترافیک [۸] و کاربردهای برخط اثر نویز متناوب را می‌توان مشاهده نمود. به همین دلیل کاهش نویز متناوب یکی از موضوعات مهم در حوزه پردازش تصویر است.

نویز متناوب افزودنی مطابق رابطه ۱ از طریق مجموع تعدادی تابع سینوسی با اندازه و فرکانس‌های مختلف مدل می‌شود [۹].

تصویربرداری فرایندی است که از دنیای واقعی یک تصویر رقومی به دست می‌آید. در تصویربرداری ممکن است تغییرات ناخواسته در مقادیر پیکسل‌های تصویر به‌عنوان نویز به وجود آید [۱]. نویز متناوب افزودنی^۱ یکی از انواع نویزهایی است که در آن سیگنال تکرارشونده‌ای به سیگنال اصلی افزوده می‌شود. این نویز در حوزه مکان به‌صورت الگوی تکرارشونده بر روی تصویر

این مقاله در فروردین‌ماه سال ۱۳۹۷ دریافت، در تیرماه بازنگری و در شهریورماه همان سال پذیرفته شد.

^۱ دانشجوی دکتری مهندسی کامپیوتر، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه یزد

رایانامه: N.alibabaei@stu.yazd.ac.ir

^۲ گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه یزد

رایانامه: Alatif@yazd.ac.ir

نویسنده مسئول: علی محمد لطیف

^۲ Star-like peak

^۱ Additive periodic noise

در اکثر کاربردها نیاز به انجام خودکار عملیات رفع نویز است و تنظیم پارامترها با ارزیابی پیوسته تصویر خروجی قابل قبول نیست؛ لذا چالش گام نخست خودکارسازی یافتن مکان نویز است. چالش دوم بازیابی سیگنال تصویر است؛ به گونه ای که تصویر خروجی کیفیت مناسبی داشته باشد. باید دقت نمود اطلاعات مؤلفه های فرکانسی تصویر اصلی از تغییر مصون بماند.

حذف نویز متناوب در حوزه فرکانس به صورت دستی با استفاده از فیلتر شکاف^۲ انجام می شود. پژوهش حاضر با استفاده از یک سیستم فازی این روند را خودکار می سازد. خروجی سیستم فازی یک ماسک اصلاح کننده تصویر است.

ناحیه فرکانس پایین طیف شامل اطلاعات حیاتی تصویر است. کوچک ترین تغییر در این ناحیه می تواند کیفیت تصویر نهایی را کاهش دهد. برای جلوگیری از تغییر این ناحیه، سیستم فازی پیشنهادی مانع از تغییر مقادیر در شعاع کوچکی از مرکز طیف می شود.

ساختار مقاله به صورت زیر است. در بخش دوم مروری بر روش های ارائه شده در راستای رفع نویز متناوب خواهد شد. بخش سوم به معرفی روش پیشنهادی خواهد پرداخت. سپس عملکرد روش پیشنهادی بر روی تصاویر نمونه مورد ارزیابی قرار می گیرد و نتایج آن در بخش چهارم ارائه می گردد. بخش آخر به ارائه نتیجه گیری اختصاص خواهد یافت.

۲ پیشینه تحقیق

در میان نویزهای متناوب، نوع نواری از نظر ساختاری نسبت به بقیه ساده تر است و پژوهش های زیادی در جهت رفع آن صورت گرفته است. از دیدگاه روش شناسی حذف نویز نواری در سه گروه جای می گیرد [۶].

گروه اول [۱۲] و [۱۳] روش های مبتنی بر فیلترینگ است. در این روش ها نوارها متناوب فرض می شوند و از طیف توانی برای حذف آن ها استفاده می گردد.

گروه دوم از ویژگی آماری مربوط به آشکارسازهای نرم^۳ بهره می گیرند. ایده اصلی این روش ها، تصحیح توزیع نوارها مطابق با یک توزیع مرجع است [۱۴]. باید توجه نمود که فرض وجود مشابهت قوی بین این توزیع ها همیشه معتبر نیست [۱۵].

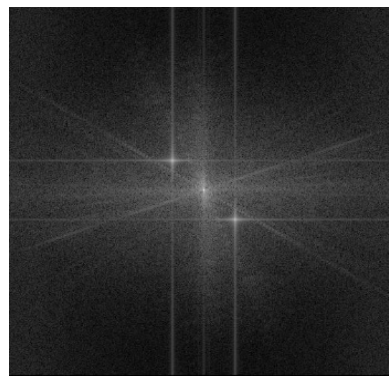
در گروه سوم، به حذف نویز نواری به مثابه یک مسئله معکوس نگریسته می شود و مورد توجه بیش تری قرار گرفته اند [۱۶]؛ با این حال این روش ها هنوز توانایی روبرویی با انواع نوارها را ندارند. بیشتر این روش ها بر ویژگی های تصویر متمرکز هستند و ویژگی های مربوط به نوارها را لحاظ نمی کنند [۱۷].

فارغ از نویز نواری، روش های مکانی، قادر به حذف نویز متناوب سراسری و محلی نیستند [۱۸]؛ زیرا این دسته از نویز

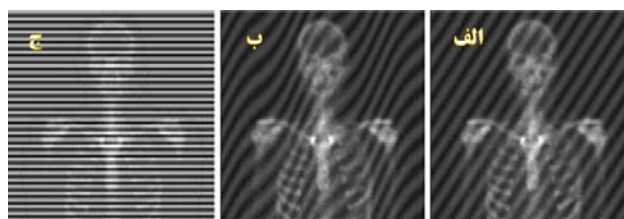
$$n(x, y) = \sum_{i=1}^S A_i \sin \left[\frac{2\pi u_{0i}(x + B_{xi})}{M} + \frac{2\pi v_{0i}(y + B_{yi})}{N} \right] \quad (1)$$

که در آن A_i دامنه، u_{0i} و v_{0i} فرکانس سینوسی i در امتداد محورهای x و y و B_{xi} و B_{yi} تغییر فاز سینوسی مربوطه با توجه به مبدأ و $S \in Z^+$ است.

این نوع نویز در تصاویر دیجیتال به سه گروه سراسری، محلی و نواری^۱ تقسیم می شود. در نویز متناوب سراسری پارامترهای نویز (دامنه، فرکانس و فاز) مستقل از مکان هستند. در نویز متناوب محلی، این پارامترها وابسته به مکان هستند [۱۰]. نویز نواری نوعی نویز متناوب است که در آن پیک نویز روی محور عمودی یا افقی قرار می گیرد. شکل ۲ سه نوع از نویز متناوب را نمایش می دهد.



شکل ۱: تبدیل فوری یک تصویر آغشته به نویز متناوب



شکل ۲: تصویربرداری ایکس-ری از اسکلت انسان و آغشته به نویز متناوب (الف) سراسری، (ب) محلی، (ج) نواری [۱۱].

تداخل الکترونیکی در تجهیزات انتقال یا دریافت داده باعث بروز نویز متناوب سراسری می شود. به وجود آمدن اشکالات الکترونیکی ناگهانی می تواند باعث بروز نویز متناوب محلی شود و حساسیت نابرابر میان آشکارسازها در دستگاه های تصویربرداری چند سنسوری باعث بروز نویز نواری می گردد [۱۰].

اقدامات اصلی در حذف نویز متناوب در حوزه فرکانس به دو گام تقسیم می شود. گام اول یافتن محل سیگنال نویز و گام دوم جداسازی مؤلفه های فرکانسی نویز و بازیابی مؤلفه های فرکانسی تصویر اصلی است.

² Notch filter

³ Fine detector

¹ Stripping

پرداخته‌اند [۲۵]. میانگین این پارامترهای آماری تشکیل مدلی برای تفکیک ضرایب نویز داده است.

معلم و بهنام پور از میانگین مقادیر دواير متحدالمرکز حول مؤلفه DC برای محافظت از ناحیه فرکانس پایین طیف استفاده نمودند [۲۶]. آن‌ها پس از آستانه‌گذاری و تعیین محدوده نویز، الگوی نویز در حوزه مکان را به دست آورده و ضریبی از آن را از تصویر نویزی کاسته و تصویر نهایی را به دست آورده‌اند.

معلم و همکارانش در پژوهشی دیگر خودکارسازی روال یافتن موقعیت نویز را مورد توجه قرار دادند [۱۱]. یافتن نویز در روش فیلتر شکاف بهینه تطبیق‌پذیر مبتنی بر روش گسترش فضا و مرحله تصحیح در آن مبتنی بر شکاف قرار داده شد. ماهیت غیر تطبیق‌پذیر فیلتر شکاف و اندازه پنجره آن در ترمیم ضرایب، کارایی این الگوریتم را محدود کرده است.

مبنای پژوهش کنسی و گنگال برای تعیین محدوده ناحیه فرکانس پایین و تعیین محدوده ضرایب آغشته به نویز روش گسترش ناحیه و استفاده از چندین پارامتر بوده است [۲۷]. آن‌ها برای تعیین پیک‌های نویز از یک مقدار آستانه استفاده نموده‌اند. پس از تعیین ضرایب نویزی طیف، فاصله مرکز پیک تا نزدیک‌ترین همسایه و دورترین همسایه برای تشکیل فیلتر پایین گذر ستاره‌ای-گوسی مورد استفاده قرار گرفته است.

پژوهش سور و گریدیاک بر مبنای روش‌های آماری استوار است [۲۸]. در این پژوهش مجموعه‌ای از وصله‌ها در نظر گرفته شده است به‌گونه‌ای آن‌ها کل تصویر را پوشش می‌دهند. میانگین طیف توانی با میانگین‌گیری از وصله‌های پوشش‌دهنده تصویر به دست آمده است. سپس یک توزیع قانون توانی بر میانگین طیف توانی به دست آمده برازش شده است. پس از آن آستانه تشخیص نویز و به تبع آن ضرایب نویزی تحت قانون 3σ به دست آمده است.

ورقس در روش مبتنی بر آستانه تطبیق‌پذیر برای تعیین موقعیت نویز از مقادیر بیشینه و میانگین محلی استفاده کرد [۳]. در مرحله تشخیص پیک نویز، به‌طور هم‌زمان روال مستثنا کردن ناحیه فرکانس پایین و تشخیص مکان نویز برآورده شده‌اند. در مرحله تصحیح، مقدار کمینه همسایگی حول ضریب نویزی جایگزین ضریب نویزی شده است.

ورقس و همکارانش در پژوهشی دیگر از تبدیل قانون توان^۶ برای تعیین آستانه نویز استفاده نموده‌اند [۲۹]. پس از تعیین ضرایب نویز، یک پنجره همسایگی حول ضریب نویز در نظر گرفته شده است. در نهایت میانگین «همسایه غیر نویزی میانه» و «همسایه غیر نویزی کمینه» برای بازسازی استفاده شده است.

اذنبرگ برای تعیین موقعیت نویز فیلترهای حوزه فرکانس با ماسک میانگین و ماسک میانه استفاده نمود. در این روش، تعیین ضرایب نویزی بر پایه میانگین محلی در پنجره لغزان انجام شد. در مرحله تصحیح مقدار موجود در موقعیت نویز بر یک ضریب

متناوب در سراسر تصویر پخش می‌گردد و تشخیص آن از طریق حوزه مکان به سادگی میسر نیست [۱۹].

ژین و همکارانش برای غلبه بر محدودیت‌های فیلترهای میانه و مورفولوژی، فیلتر مورفولوژی نرم را برای رفع نویز متناوب در حوزه مکان معرفی نمودند [۲۰]. در این روش میانگین نتایج فرسایش و گسترش نرم^۱ تصویر جایگزین مقادیر پیکسل‌ها می‌شود.

به دلیل تمرکز محلی ضرایب نویز متناوب در حوزه فرکانس، روش‌های حذف نویز در حوزه فرکانس ارجحیت یافته‌اند. یکی از روش‌های حذف نویز متناوب در حوزه فرکانس استفاده از فیلتر حذف باند است. با وجود اینکه این فیلتر قادر به ضعیف کردن باند فرکانسی است، استفاده مناسب از این فیلتر مستلزم مشخص بودن مکان تقریبی مؤلفه نویز در حوزه فرکانس است [۲۱]. به علاوه زمانی که مؤلفه‌های نویز نسبت به مرکز طیف در فواصل متفاوتی قرار داشته باشند؛ ناگزیر باید از یک فیلتر حذف باند عریض یا چند فیلتر حذف باند باریک استفاده شود؛ همین امر سبب می‌شود که تصویر بازیابی شده برخی از اطلاعات مهم تصویر اصلی را از دست بدهد.

دوتا و همکاران برای تعیین موقعیت نویز، از خوشه‌بندی استفاده نمودند [۲۲]. در این روش برای تفکیک ناحیه فرکانس پایین تصویر و محدوده‌های نویزی از عمل گسترش دادن^۲ و تحلیل مؤلفه‌های متصل^۳ بهره گرفته شده است. اگر فرکانس نویز پایین و در نزدیکی ناحیه فرکانس پایین طیف ظاهر شود، در عملیات خوشه‌بندی این دو ناحیه با یکدیگر ترکیب می‌گردند و نویز در روش تحلیل مؤلفه متصل ناحیه به عنوان جزئی از ناحیه فرکانس پایین در نظر گرفته می‌شود؛ لذا به مرحله ترمیم راه پیدا نخواهد کرد.

اونیتا به رفع الگوهای موری^۴ از تصاویر میکروسکوپی پرداخته است [۲۳]. در این روش برای تعیین شعاع ناحیه فرکانس پایین از هیستوگرام نسبت «فاصله» به «اندازه طیف» استفاده شده است. آستانه تفکیک ضریب نویزی از غیر نویز با تحلیل هیستوگرام و یک فرآیند تکراری [۲۴] محاسبه می‌گردد. اگر طیف فرکانسی دارای چند پیک نویز با دامنه‌های مختلف باشد، این آستانه در یافتن نویز با دامنه کمتر ناتوان خواهد بود.

چکراپورتی و همکاران هیستوگرام و گرادیان مقادیر نرمال شده طیف را برای تعیین آستانه نویز بکار گرفته‌اند [۹]. در این روش ناحیه فرکانس پایین توسط روش گسترش ناحیه^۵ مجزا شده است. در نهایت فیلتر سینک برای حذف نویز بکار رفته است.

چکراپورتی و همکارانش در پژوهشی دیگر، برای تعیین آستانه به محاسبه میانگین و میانه دواير متحدالمرکز حول مؤلفه DC

¹ Soft erosion and dilation

² Dilate

³ Connected component analysis

⁴ Moiré patterns

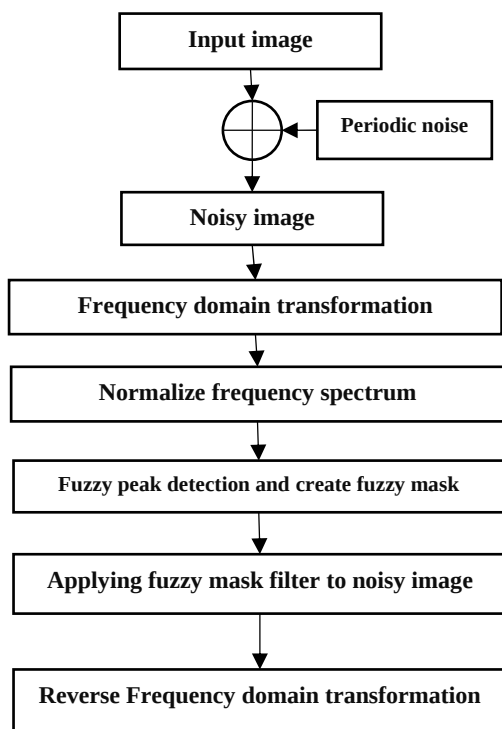
⁵ Region growing

⁶ Power law transformation

مختلف متفاوت هستند. این موارد سبب می شود که برای پردازش های بعدی در سیستم فازی از مقادیر نرمال شده استفاده شود. اگر $F(u,v)$ تبدیل فوری تصویر باشد، طیف نرمال شده به صورت زیر محاسبه می گردد.

$$F_N(u, v) = \frac{(F - \min(F))}{\max(F) - \min(F)} \quad (2)$$

که در آن $F_N(u, v)$ ضریب نرمال شده موقعیت (u, v) است.



شکل ۳ روندنمای روش پیشنهادی

در گام دوم، مقادیر میانه برای پنجره هایی با ابعاد $w_1 \times w_2$ محاسبه می شوند و مطابق رابطه ۳، نسبت ضریب موجود در مرکز به میانه این پنجره تعیین می گردند.

$$Med_{Ratio} = \frac{C_{ij}}{MED_{w_1 \times w_2}(C_{ij})} \quad (3)$$

که در آن $MED_{w_1 \times w_2}(C_{ij})$ میانه پنجره به ابعاد $w_1 \times w_2$ حول C_{ij} است. مقادیر Med_{Ratio} ، به عنوان ورودی به سیستم فازی ارائه می گردد.

یکی از موارد لازم برای تعریف یک متغیر فازی، تعیین کران پایین و بالای مقادیر آن است. لذا مقادیر این ورودی، به ازای تصاویر فاقد نویز و تصاویر نویزی مورد بررسی قرار می گیرد. آنالیز طیف تعدادی از تصاویر بدون نویز با در نظر گرفتن پنجره با ابعاد ۵ تا ۱۷ پیکسل مؤید این موضوع است که مقدار Med_{Ratio} ، برابر $1/0.9 - 1/0.5$ با انحراف معیار استاندارد $0.8 - 0.6$ است [۳۱]. شکل ۴ هیستوگرام مربوط به این نسبت ها را برای دو تصویر نویزی و یک تصویر فاقد نویز نشان می دهد.

نرمال کننده تقسیم شده است [۳۰]. فیلتر میانه از میانه محلی به جای میانگین بهره برده است و ناحیه فرکانس پایین به وسیله یک مربع با شعاع معلوم جدا گردید. پس از تعیین مکان ضرایب نویزی، مقدار میانه محلی جایگزین ضریب نویزی شده است [۲]. استفاده از میانه می تواند چالش تعیین آستانه را در روش آستانه گذاری، حل نماید؛ ولی تنظیم پارامترها در این روش مانعی برای خود کار سازی است.

اذنبرگ برای کاهش قدرت نویز از فیلتر شکاف گوسی پنجره ای^۱ استفاده کرد [۳۱]. در این روش یافتن پیک مبتنی بر میانه است. پس از تعیین موقعیت نویز از فیلتر شکاف گوسی برای رفع آن استفاده شده است. فیلترهای شکاف گوسی نه تنها فرکانس مرکزی مؤلفه نویز را حذف می کند بلکه مقدار همسایه های آن را نیز کاهش می دهد [۳۲].

باید توجه نمود که طیف تصویر می تواند شامل پیک های برجسته یا ضعیف باشند. چالش روش های مبتنی بر آستانه، تنظیم دقیق آستانه است که تعیین نادرست آن می تواند باعث تغییر بسیاری از ضرایب غیر نویزی شود و یا عدم تشخیص مؤلفه های نویز ضعیف تر را به دنبال داشته باشد. به علاوه در اکثر کاربردها نیاز به انجام خود کار عملیات رفع نویز است و تنظیم پارامترها با ارزیابی پیوسته تصویر خروجی قابل قبول نیست.

۳ روش پیشنهادی

در روش پیشنهادی، دو مرحله اصلی در نظر گرفته می شود. در مرحله اول تشخیص مکانی است که اطلاعات فرکانسی نویز وجود دارد. مرحله دیگر ترمیم ضرایب نویزی است.

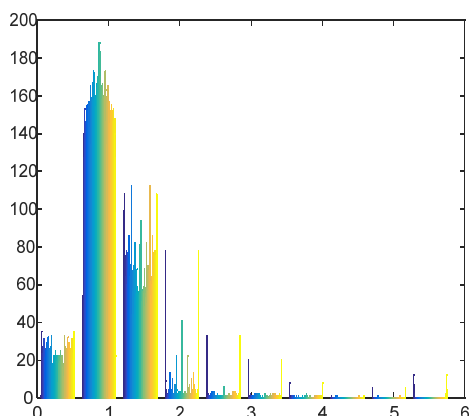
از آنجاکه مرکز نویز و ضرایب همسایگی آن دارای مقدار زیادی هستند، این محدوده می تواند با یک آستانه گذاری مناسب پیدا شود؛ البته محدوده فرکانس پایین تصویر نیز در این آستانه گذاری می تواند به عنوان کاندید نویز تعیین شود بنابراین باید دقت نمود در روش پیشنهادی مرکز طیف فرکانس از تغییرات مصون بماند.

روش پیشنهاد شده بر پایه فیلتر حوزه فرکانس با ماسک میانه

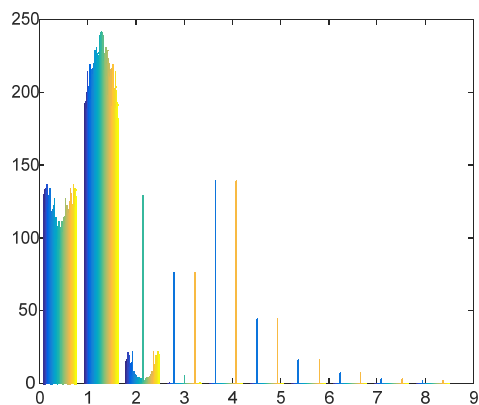
ارائه شده است. در این روش $f(x, y)$ و $\hat{f}(x, y)$ مقدار شدت روشنایی مکان (x, y) در تصویر فاقد نویز (با ابعاد $M \times N$) و در تصویر بازیابی شده معادل آن است. به علاوه $\tilde{F}(u, v)$ ضریب فرکانسی موقعیت (u, v) در تبدیل فوری تصویر بازیابی شده است. روال حذف نویز متناوب در روش پیشنهادی در روندنمای شکل ۳ نشان داده شده است و مطابق مراحل زیر انجام می گردد.

در گام نخست، تبدیل فوری $F(u, v)$ تصویر نویزی محاسبه می گردد. بررسی اندازه فرکانس تصاویر مختلف نشان می دهد که از یک طرف اختلاف بین کمینه و بیشینه مقدار موجود در طیف فرکانس زیاد است و از طرف دیگر این مقادیر برای تصاویر

¹ Windowed Gaussian notch filter

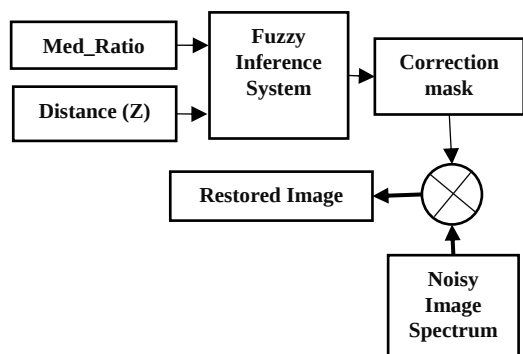


(ب) تصویر نویز دار ۱

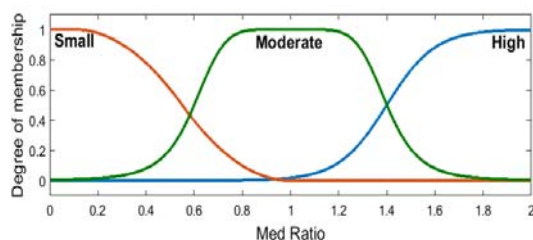


(ج) تصویر نویز دار ۲

شکل ۴: هیستوگرام نسبت ضریب به میانه در طیف تصاویر نویزی و بدون نویز



شکل ۵: ورودی و خروجی سیستم استنتاج فازی



شکل ۶: توابع عضویت ورودی اول سیستم فازی (Med_ratio)

ورودی دوم سیستم موقعیت ضریب فرکانس است. حد بالای این پارامتر می تواند بسته به ابعاد تصویر مورد پردازش، بزرگتر انتخاب شود. تابع عضویت این ورودی در شکل ۷ و تابع

مطابق هیستوگرام شکل ۴-الف، مقادیر در یک تصویر فاقد نویز در بازه [۰-۲] قرار دارند، اما زمانی که تصویر آغشته به نویز می گردد، متناسب با قدرت سیگنال نویز، حد بالای این بازه بزرگتر از ۲ خواهد شد. به عنوان مثال مقادیر این نسبت ها در تصویر نویزی شکل ۴-ب در محدوده [۰-۶] و در تصویر نویزی شکل ۴-ج در محدوده [۰-۹] قرار گرفته اند.

متغیر بودن این بازه مانع از تعریف متغیر فازی خواهد شد؛ لذا ابتدا تمامی مقادیر بزرگتر از ۱/۵ به بازه [۱/۵-۲] نگاشت خواهند شد. در واقع عناصری که مقداری بیش تر از ۲ دارند مؤلفه هایی هستند که تحت تأثیر نویز قرار گرفته اند، لذا بایستی مقادیر آن ها در گام رفع نویز کاهش یابد.

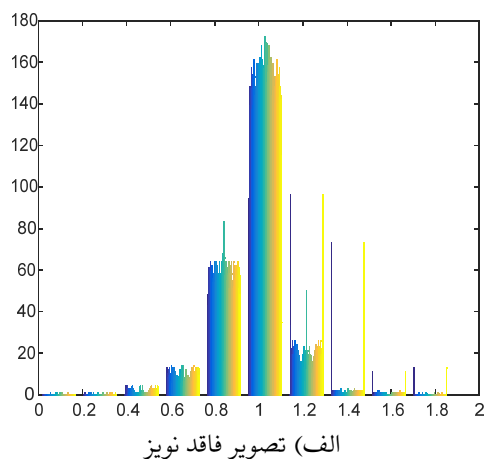
در گام سوم، برای جلوگیری از تغییر مؤلفه های ناحیه فرکانس پایین تصویر، ورودی موقعیت ضرایب فرکانس به سیستم فازی ارائه می شود و سیستم فازی باید مانع از تغییر مقادیر موجود در دایره کوچکی از مرکز طیف تصویر نویزی شود. برای این منظور از رابطه ۴ برای محاسبه فاصله اقلیدسی یک ضریب فرکانسی تا مرکز طیف استفاده می شود.

$$Z = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad (4)$$

$$X \in \{-N, \dots, N\}, Y \in \{-M, \dots, M\}$$

که در آن Z ، فاصله اقلیدسی یک ضریب فرکانسی تا مرکز طیف و X و Y به ترتیب فاصله افقی و عمودی ضریب فرکانسی تا مرکز طیف است. ورودی و خروجی های سیستم استنتاج فازی در شکل ۵ نمایش داده شده است.

در گام چهارم ورودی های تولید شده به سیستم فازی ارائه می گردند و خروجی آن، یک ماسک اصلاح کننده فرکانس تصویر است. مشخصات سیستم فازی طراحی شده به صورت زیر است. ورودی اول نسبت ضریب فرکانسی به مقدار میانه در یک پنجره ماسک و مقداری در بازه [۰-۲] دارد. تابع عضویت این ورودی در شکل ۶ نشان داده شده است. در این ورودی، مجموعه های فازی Small برای مقادیر کمتر از یک، Moderate برای مقادیر حدود یک و High برای مقادیر بیش از یک است.



(الف) تصویر فاقد نویز

- 2.If (Med_ratio is High) and (coordinate is outer) then (output is Decrease)
- 3.If (Med_ratio is Small) and (coordinate is outer) then (output is nochange)
- 4.If (Med_ratio is Moderate) then (output is nochange)

با توجه به توضیحات بالا مشاهده می‌گردد که ضرایب فرکانسی، متناسب با میزان تعلق آن‌ها به مجموعه High تحت تأثیر نویز قرار گرفته‌اند. آنالیز طیف تعدادی از تصاویر فاقد نویز تأیید می‌کند که این نرخ برابر ۱/۰۵ تا ۱/۰۹ و با انحراف معیار ۰/۸-۰/۶ است؛ بر همین اساس ضرایب فرکانسی متعلق به مجموعه‌های Moderate و Small نباید تغییر یابند.

سیستم فازی به‌گونه‌ای تنظیم شده است که شعاع کوچکی از مرکز طیف را بدون تغییر نگه دارد، لذا ضرایب فرکانسی متناسب با میزان تعلقشان به مجموعه center بایستی از عمل تغییر محافظت گردند. بر اساس قواعد تعریف شده، ضرایبی که در مرکز طیف هستند نباید مورد بازیابی قرار گیرند. ضرایبی که خارج از مرکز هستند و مقادیر آن‌ها در حدود یک باشد نباید مورد بازیابی قرار گیرند. ضرایبی که خارج از مرکز هستند و مقدار بزرگ‌تر از یک دارند باید کاهش یابند.

در گام پنجم خروجی به‌دست‌آمده از سیستم فازی مطابق رابطه ۸، به‌عنوان ماسک بازیابی کننده بر ضرایب فرکانس تصویر نویزی اعمال می‌گردد.

$$F_R(u, v) = F(u, v) \times \text{Fuzzy}_{\text{mask}}(u, v) \quad (۸)$$

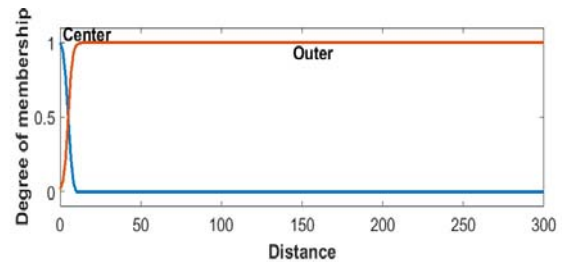
که در آن $F_R(u, v)$ فرکانس بازیابی شده تصویر نویزی است. در نهایت تبدیل فوریه معکوس تصویر محاسبه و تصویر به حوزه مکان برگردانده می‌شود.

۴ پیاده‌سازی و نتایج آزمایش‌ها

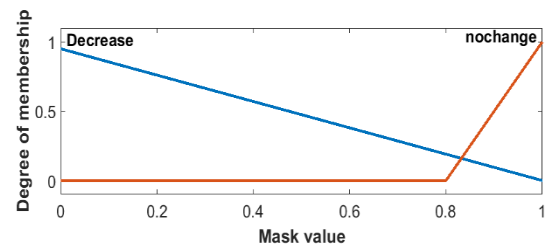
روش پیشنهادی در محیط نرم‌افزاری MATLAB پیاده‌سازی گردید. کارایی این روش برای چند تصویر آغشته به نویز متناوب مصنوعی و چند تصویر نویز دار شده در شرایط واقعی مورد ارزیابی قرار گرفت. به‌علاوه اینکه ارزیابی کیفی و کمی عملکرد این روش در مقایسه با روش‌های مطرح در این مسئله مورد توجه قرار گرفت.

برای ارزیابی کمی از معیارهای خطای مطلق میانگین^۱ و اوج نسبت سیگنال به نویز^۲، شاخص میانگین شباهت ساختاری^۳ و مدت‌زمان محاسبه استفاده می‌شود. اگر f و $\hat{f}$ به ترتیب تصاویر

عضویت خروجی سیستم در شکل ۸ نشان داده شده است. در رابطه با این ورودی، مجموعه center برای موقعیت مقادیر مرکز طیف و مجموعه outer، برای سایر موقعیت‌ها تعریف شده‌اند.



شکل ۷: توابع عضویت ورودی دوم سیستم فازی (Distance)



شکل ۸: توابع عضویت خروجی سیستم فازی

سیستم فازی در روش پیشنهادی از موتور استنتاج فازی کمینه با فازی ساز تکین مطابق رابطه ۵، عملگر برداشت کمینه ممدانی، عملگر اشتراک کمینه، عملگر اجتماع بیشینه تشکیل شده است. در این حالت با داشتن مجموعه فازی معلوم A' در U ، موتور استنتاج کمینه مجموعه فازی نتیجه B' در V را بر اساس رابطه ۶ ارائه می‌دهد. روش فازی زدایی میانگین مقادیر بیشینه مطابق رابطه ۷ در نظر گرفته شده است [۳۳].

$$\mu_{A'}(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x = x^* \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (۵)$$

$$\mu_{B'}(y) = \max_{l=1}^M [\sup_{x \in U} \min(\mu_{A'}(x), \mu_{A_l'}(x_1), \dots, \mu_{A_n'}(x_n), \mu_{B_l'}(y))] \quad (۶)$$

$$y^* = \frac{\int_{hgt(B')} y dy}{\int_{hgt(B')} dy} \quad (۷)$$

$$hgt(B') = \{y \in V | \mu_{B'}(y) = \sup_{y \in V} \mu_{B'}(y)\}$$

مجموعه قواعد سیستم فازی به فرم زیر در نظر گرفته می‌شود.

- 1.If (coordinate is center) then (output is nochange)

¹ Mean absolute error

² Peak signal to noise ratio

³ Mean structural similarity index measure

$$N_1(x, y) = a \times 255(\sin(1.8x + 1.8y) + \sin(x + y) + \sin(2.2x + 2.2y) + \sin(1.8x - 1.8y) + \sin(x - y) + \sin(20.2x - 20.2y)) \quad (13)$$

$$N_2(x, y) = a \times 255(\sin(1.1x + 10.1y) + \sin(1.5x) + \sin(1.5y) + \sin(1.1x - 1.1y)) \quad (14)$$

$$N_3(x, y) = N_1(x, y) + N_2(x, y) \quad (15)$$

معیارهای تعیین شده برای تصویر نمونه لنا (۵۱۲×۵۱۲)، (به همراه نویز $N1$ و $N2$ و $N3$) در جدول ۱ نشان داده شده است. از آنجاکه سیستم فازی بر پایه نسبت ضریب فرکانسی به میانه محلی عمل می کند، معیارهای محاسبه شده تا حدودی به مقادیر مربوط به این روش ها نزدیک هستند. هرچند مدت زمان روش پیشنهادی نسبت به روش های دیگر بالاتر است، رویکرد فازی نسبت به اصلاح مؤلفه های مخدوش شده سبب بهبود نتایج شده است. برای کاهش این زمان می توان از خاصیت تقارن طیف تصویر استفاده کرد و عمل بررسی ضرایب را به نیمی از طیف محدود ساخت.

برای ارزیابی وسیع تر روش پیشنهادی تصاویر مورد آزمون را به نویز مصنوعی رابطه ۱ آغشته نمودیم. معیارهای تعیین شده برای تصویر نمونه کشتی (۲۵۶×۲۵۶) به ازای شدت متفاوت نویز محاسبه و در جدول ۲ نشان داده شده است. به علاوه معیارهای ارزیابی برای چندین تصویر آغشته به نویز متناوب مصنوعی مطابق رابطه ۱ و پارامترهای تصادفی در جدول ۳ نشان داده شده است. هر یک از اعداد در این جداول از میانگین ۲۰ آزمون با پارامترهای تصادفی بر روی تصاویر به دست آمده اند. مجموعه تصاویر این آزمون باربارا، لنا، زن، میمون و برکه با ابعاد ۲۵۶×۲۵۶ هستند. حالت فاقد نویز این تصاویر در شکل ۱۰ نشان داده شده اند. در رابطه با مزایای این روش چند نکته را می توان بیان نمود. اول اینکه سایر روش های آزمون شده دارای پارامترهایی هستند که باید از طریق آزمون و خطا به دست آیند، ولی روش پیشنهادی بدون نیاز به تنظیم پارامتر می تواند برای تصاویر نویزی مختلف نتیجه قابل قبولی ارائه دهد.

برای بیان واضح تر مزیت روش پیشنهادی می توان بیان کرد که تعدادی از پژوهش ها [۱۹] و [۳۲]، استفاده از ماسک گوسی را به عنوان یک گام مؤثر در مرحله رفع نویز معرفی نموده اند؛ به عنوان مثال، یک الگوی نویزی در شکل ۹-الف نمایش داده شده است. ماسک گوسی (شکل ۹-ب) فارغ از میزان آسیب نویز، کاهش یکنواختی برای ضرایب بکار می برد؛ بر همین اساس این ماسک سبب می شود که ضرایبی نظیر ۱ و ۲ نیز تحت عمل

فاقد نویز و تصویر بازیابی شده باشند، معیارهای فوق از روابط زیر به دست می آیند:

$$MAE = \frac{\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} |f(x, y) - \hat{f}(x, y)|}{M \times N} \quad (9)$$

$$MSE = \frac{\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} (f(x, y) - \hat{f}(x, y))^2}{M \times N} \quad (10)$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{(255)^2}{MSE} \right) (dB) \quad (11)$$

$$SSIM = \frac{(2\mu_x \mu_y + C_1) \times (2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1) \times (\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)} \quad (12)$$

در رابطه ۱۲ μ_x و σ_x میانگین و انحراف معیار شدت روشنایی پیکسل ها در تصویر فاقد نویز و μ_y و σ_y میانگین و انحراف معیار شدت روشنایی پیکسل ها در تصویر بازیابی شده است. C_1 و C_2 برای جلوگیری از ناپایداری اضافه شده اند (زمانی که $\mu_x^2 + \mu_y^2$ یا $\sigma_x^2 + \sigma_y^2$ بسیار نزدیک به صفر باشد). یک الگوریتم خوب در رفع نویز مقدار PSNR و SSIM بالا و MAE و زمان اجرای (CT) کمتر خواهد داشت.

به منظور ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی، آن را با روش فیلتر حوزه فرکانس با ماسک میانگین (AMF1) [۳۰]، فیلتر حوزه فرکانس با ماسک میانگین (AMF2) [۲]، فیلتر حوزه فرکانس با ماسک میانگین پنجره ای (WGNF) [۳۱]، فیلتر حوزه فرکانس با ماسک میانگین [۳۰] جایگزین شده با مقدار صفر (ZAMF)، فیلتر وینر [۲۱]، مورفولوژی نرم (SMF) [۲۰]، فیلتر بازسازی سینک تطبیقی (ASRF) [۲۵]، فیلتر حوزه فرکانس مبتنی بر آستانه تطبیق پذیر (ATBF) [۳]، فیلتر شکاف بهینه تطبیقی (AONF) [۲۶]، فیلتر فرکانسی مبتنی بر لاپلاس (LFDF) [۲۹] مقایسه می گردد.

در گام نخست ارزیابی روش پیشنهادی در مواجهه با تصاویر آغشته به نویز مصنوعی را مورد توجه قرار دادیم. در این مرحله نویز متناوب با الگوهای مشخصی از توابع سینوسی تولید و به تصویر اضافه می گردد. الگوهای نویزهای مصنوعی بکار رفته در روابط ۱۳ تا ۱۵ آمده است [۳].

در گام دوم کارایی روش پیشنهادی در مواجهه با تصاویر نویزدار شده در شرایط واقعی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج بصری این روش بر روی چند تصویر با نویز متناوب واقعی و در اندازه‌های مختلف در شکل ۱۲ نمایش داده شده است. معیار ارزیابی عملکرد برای این تصاویر قابل محاسبه نیست؛ زیرا تصویر اصلی فاقد نویز در دسترس نیست. مطابق این شکل با وجود اینکه مشخصات نویز در هر تصویر متفاوت است، نتایج قابل قبولی بدون تنظیم پارامتر و به صورت خودکار حاصل شده است.

اگرچه فیلترهای میانگین و میانه برای نویز متناوب خالص عملکرد خوبی دارند، اما تطبیق‌پذیر نیستند. فیلتر ماسک میانه پنجره‌ای برای نویز شبه متناوب و نویز متناوب خالص به خوبی عمل می‌کند، اما این روش نیز تطبیق‌پذیر نیست؛ بر این اساس ممکن است برای ترکیبی از یک تصویر و نویز خاص، یک آستانه و اندازه پنجره ثابت نتایج خوبی ارائه نمایند ولی برای ترکیب دیگر چنین نباشد. فیلتر مبتنی بر آستانه تطبیق‌پذیر اگرچه نیاز به تنظیم دستی پارامتر ندارد ولی بخشی از طیف تصاویر با طول و عرض مختلف را بررسی نخواهد کرد.

روش‌های رفع نویز متناوب به راحتی می‌توانند از تصاویر سطوح خاکستری به تصاویر رنگی تعمیم یابند. برای این منظور کانال‌های تصویر رنگی از یکدیگر مجزا می‌گردند. سپس روش رفع نویز متناوب بر روی هر یک از کانال‌های رنگی اعمال می‌شود و تصویر رنگی نهایی از ترکیب این نتایج به دست می‌آید. شکل ۱۳ عملکرد روش پیشنهادی را بر روی یک تصویر رنگی نشان می‌دهد.

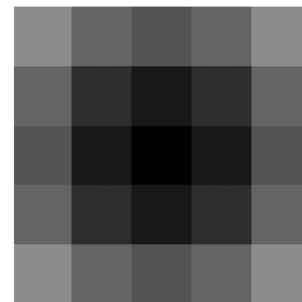
۵ نتیجه‌گیری

در این پژوهش یک سیستم فازی برای حذف نویز متناوب پیشنهاد گردید. با توجه به اینکه مؤلفه متوسط تصویر و ضرایب موجود در همسایگی آن پیکسی مشابه پیک نویز را تشکیل می‌دهند، روش پیشنهادی می‌تواند مؤلفه میانگین تصویر را از تغییر محافظت نموده و علاوه بر آن یک ماسک اصلاح‌کننده ارائه نماید. نگاه فازی به مسائل دارای عدم قطعیت، می‌تواند در تنظیم پارامترها انعطاف‌پذیری بالاتری را فراهم کند و نتایج به دست آمده را بهبود بخشد. هرچند نسبت ضرایب فرکانسی به میانه می‌تواند تا حد قابل قبولی سیستم را در یافتن مکان پیک نویز یاری دهد.

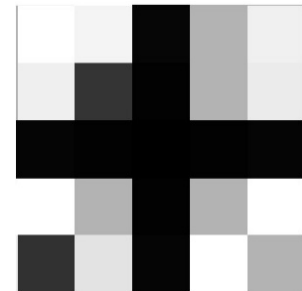
بازیابی تغییر کنند، با توجه به شکل ۹- ج روش پیشنهادی این ماسک را تنها برای مؤلفه‌های آسیب‌دیده و متناسب با مقدار نویز بکار می‌برد.

1	2	3	4	5
6	7	8	9	10
11	12	13	14	15
16	17	18	19	20
21	22	23	24	25

الف) یک ناحیه آغشته به نویز



ب) ماسک گوسی برای ترمیم



ج) ماسک فازی برای ترمیم

شکل ۹: موقعیت شناسایی شده نویز و ماسک‌های ترمیم‌کننده

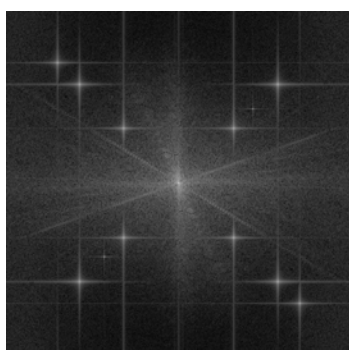
زمانی که یک تصویر با یک نویز متناوب تک فرکانسی آغشته شده باشد، به طور معمول همه الگوریتم‌های بازیابی عملکرد مناسبی خواهند داشت، اما رفع نویز متناوب چند فرکانسی مسئله‌ای چالشی خواهد بود؛ ارزیابی کیفی روش پیشنهادی نسبت به چند روش دیگر برای تصویر کشتی (۵۱۲×۵۱۲) در شکل ۱۱ نمایش داده شده است.



شکل ۱۰: تصاویر فاقد نویز مورد آزمون

جدول ۱: معیارهای ارزیابی برای الگوریتم‌ها (تصویر لنا آغشته به نویز N1 و N2 و N3 و $a=0.9$)

	N1 Noise				N2 Noise				N3 Noise			
	MAE	PSNR	SSIM	CT	MAE	PSNR	SSIM	CT	MAE	PSNR	SSIM	CT
AMF1 [30]	۲۱/۲۵	۱۹/۸۶	۰/۶۹۲	۰/۰۴	۲۰/۷۲	۲۰/۰۹	۰/۷۱۲	۰/۰۴	۱۶/۳۳	۲۲/۱۷	۰/۷۸۵	۰/۰۴
ATBF[3]	۲۱/۲۳	۱۹/۸۷	۰/۶۹۲	۲/۵۷	۲۱/۰۰	۱۹/۹۷	۰/۷۰۵	۲/۵۳	۱۶/۸۹	۲۱/۸۳	۰/۷۷۹	۲/۴۶
WGNF[31]	۲۲/۰۱	۱۹/۵۳	۰/۶۸۹	۰/۱۹	۲۰/۱۵	۲۰/۳۶	۰/۷۷۲	۰/۵۳	۱۶/۳۶	۲۲/۱۴	۰/۷۸۵	۰/۲۹
AMF2[2]	۲۰/۸۳	۲۰/۰۵	۰/۷۱۲	۰/۶۱	۲۰/۲۴	۲۰/۳۲	۰/۷۶۸	۰/۳۲	۱۶/۱۵	۲۲/۲۷	۰/۷۹۹	۰/۳۳
ZAMF[30]	۲۰/۸۱	۲۰/۰۶	۰/۷۱۲	۰/۷۲	۲۰/۲۳	۲۰/۳۲	۰/۷۶۸	۰/۳۴	۱۶/۱۵	۲۲/۲۸	۰/۷۹۹	۰/۵۴
Proposed	۲۰/۳۲	۲۰/۲۷	۰/۷۵۷	۱/۹۶	۲۰/۱۳	۲۰/۳۶	۰/۷۷۲	۱/۸۷	۱۶/۰۰	۲۲/۳۵	۰/۸۱۰	۱/۹۸



ب: تبدیل فوری تصویر نویزی



الف: تصویر نویزی



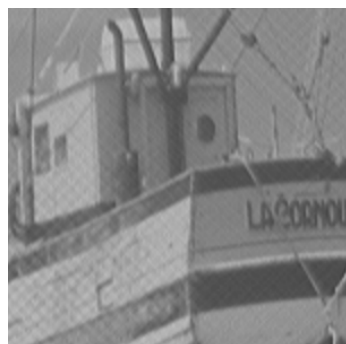
ZAMF: ه



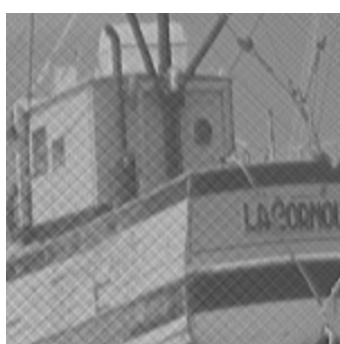
ATBF: د



WGNF: ج



AMF2: و



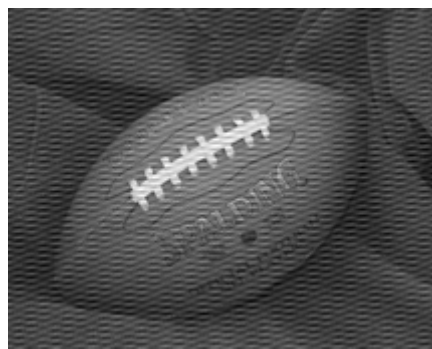
AMF1: ز

ح: روش پیشنهادی

شکل ۱۱: خروجی الگوریتم‌های مختلف برای تصویر کشتی آغشته به نویز N1 و $a=0.9$.



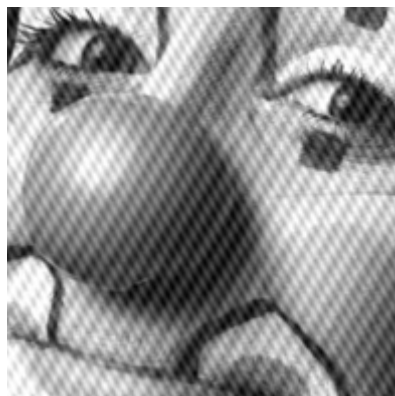
ب: تصویر توپ راگی بازیابی شده



الف: تصویر توپ راگی نویزی



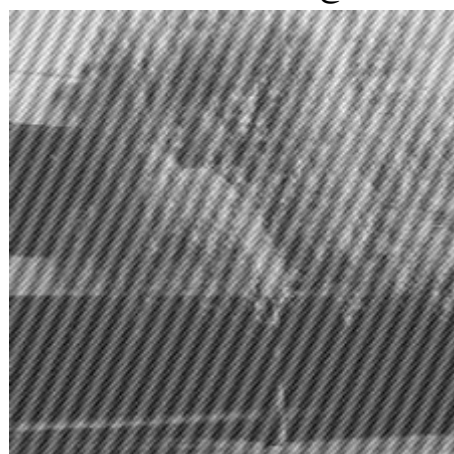
د: تصویر دلقک بازیابی شده



ج: تصویر دلقک نویزی



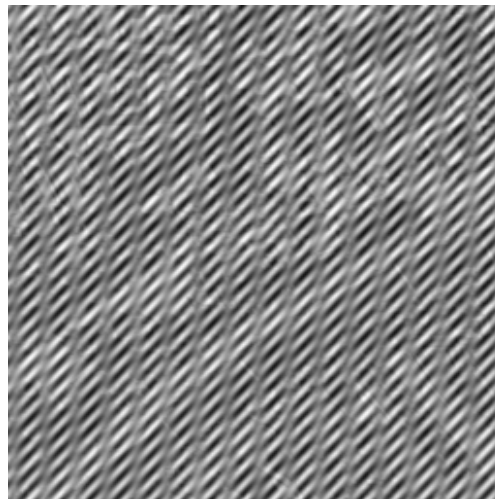
و: تصویر درخت بازیابی شده



ه: تصویر درخت نویزی



ح: تصویر ماهواره‌ای بازیابی شده



ز: تصویر ماهواره‌ای نویزی

شکل ۱۲: خروجی روش پیشنهادی بر روی تصاویر با نویز واقعی.

جدول ۲: معیارهای ارزیابی برای الگوریتم‌ها (تصویر کشتی آغشته به نویز مصنوعی رابطه ۱ به ازای شدت نویز مختلف)

		AMF2 [2]	AMF1 [30]	WGNF [31]	ZAMF [30]	Wiener [21]	SMF [20]	ASRF [25]	ATBF [3]	AONF [26]	LFDF [29]	Proposed
$\alpha = 0.1$	MAE	۷/۹۹	۲/۷۹	۳/۳۹	۲/۲۸	۳/۴۰	۵/۴۸	۲/۷۷	۳/۰۹	۵/۲۷	۳/۷۰	۲/۱۵
	PSNR	۲۲/۰۹	۳۳/۴۴	۳۰/۰۹	۳۶/۳۶	۲۹/۹۹	۲۱/۶۰	۳۲/۴۸	۳۲/۳۷	۲۶/۲۸	۲۹/۴۷	۳۷/۳۷
	SSIM	۰/۸۹۳۴	۰/۸۹۸۵	۰/۹۷۱۲	۰/۹۵۲۸	۰/۸۳۵۹	۰/۵۵۸۹	۰/۹۴۲۶	۰/۸۶۷۱	۰/۷۱۹۴	۰/۸۴۱۱	۰/۹۶۸۵
$\alpha = 0.2$	MAE	۸/۰۱	۳/۹۴	۳/۸۷	۲/۹۱	۴/۳۹	۵/۷۷	۳/۰۸	۳/۹۶	۸/۱۵	۴/۹۲	۲/۷۶
	PSNR	۲۱/۷۳	۲۸/۷۸	۲۸/۰۵	۳۱/۷۴	۲۷/۰۹	۲۱/۵۶	۳۱/۰۰	۲۸/۸۴	۲۲/۱۹	۲۶/۵۲	۳۲/۲۷
	SSIM	۰/۸۶۴۲	۰/۸۱۰۵	۰/۹۵۵۹	۰/۹۳۳۱	۰/۷۵۹۴	۰/۵۵۳۸	۰/۹۳۷۰	۰/۸۰۶۶	۰/۵۰۸۵	۰/۷۳۵۸	۰/۹۵۰۷
$\alpha = 0.3$	MAE	۷/۹۶	۵/۵۱	۴/۱۰	۳/۴۸	۴/۸۷	۵/۶۷	۳/۲۰	۵/۲۸	۱۱/۰۳	۶/۸۱	۳/۲۳
	PSNR	۲۱/۰۵	۲۴/۶۴	۲۶/۲۰	۲۸/۱۶	۲۵/۰۲	۲۱/۴۷	۲۸/۶۲	۲۴/۸۵	۱۹/۰۰	۲۲/۷۲	۲۸/۷۲
	SSIM	۰/۷۸۷۷	۰/۶۵۳۸	۰/۹۳۱۹	۰/۸۸۲۸	۰/۶۸۳۰	۰/۵۶۴۵	۰/۹۳۳۰	۰/۶۷۱۱	۰/۳۶۱۱	۰/۵۵۰۰	۰/۹۱۵۷
$\alpha = 0.4$	MAE	۸/۱۷	۶/۲۱	۴/۸۳	۴/۲۶	۵/۹۹	۶/۲۷	۴/۰۱	۵/۷۰	۱۱/۰۱	۸/۱۲	۴/۰۴
	PSNR	۲۰/۷۴	۲۳/۳۲	۲۴/۷۴	۲۶/۲۷	۲۳/۳۲	۲۱/۰۹	۲۶/۵۶	۲۴/۰۱	۱۸/۳۹	۲۱/۲۷	۲۶/۶۶
	SSIM	۰/۷۹۳۵	۰/۶۳۷۲	۰/۹۱۱۹	۰/۸۷۰۲	۰/۶۲۸۸	۰/۵۴۶۳	۰/۹۱۵۹	۰/۶۸۲۳	۰/۳۰۹۷	۰/۵۰۴۸	۰/۹۰۹۶
$\alpha = 0.5$	MAE	۸/۵۱	۷/۱۹	۵/۵۶	۵/۰۷	۶/۹۳	۶/۹۱	۴/۹۸	۶/۵۱	۱۲/۷۹	۱۰/۶۳	۵/۰۲
	PSNR	۲۰/۴۰	۲۲/۰۲	۲۳/۶۶	۲۴/۸۷	۲۲/۲۲	۲۰/۷۱	۲۴/۹۹	۲۲/۹۶	۱۷/۱۲	۱۹/۰۴	۲۵/۰۱
	SSIM	۰/۷۹۱۴	۰/۶۰۰۹	۰/۸۹۵۲	۰/۸۵۸۸	۰/۵۹۲۶	۰/۵۴۳۵	۰/۸۹۷۱	۰/۶۷۹۰	۰/۲۶۰۸	۰/۴۰۰۲	۰/۸۸۰۸
$\alpha = 0.6$	MAE	۸/۶۸	۷/۸۷	۵/۹۸	۵/۵۴	۷/۲۵	۷/۳۶	۵/۷۴	۷/۱۸	۱۴/۲۲	۱۱/۵۴	۵/۳۸
	PSNR	۱۹/۹۷	۲۱/۰۰	۲۲/۷۶	۲۲/۷۵	۲۱/۵۴	۲۰/۲۷	۲۳/۶۳	۲۱/۸۲	۱۶/۰۵	۱۸/۱۳	۲۳/۹۴
	SSIM	۰/۷۵۵۶	۰/۵۵۶۵	۰/۸۷۶۸	۰/۸۳۳۵	۰/۵۷۹۱	۰/۵۲۰۹	۰/۸۵۴۸	۰/۶۲۲۵	۰/۲۱۵۶	۰/۳۵۶۹	۰/۸۵۹۲
$\alpha = 0.7$	MAE	۹/۴۴	۹/۲۴	۶/۵۳	۶/۳۳	۸/۰۶	۷/۶۲	۶/۱۷	۸/۱۲	۱۶/۲۰	۱۱/۹۵	۶/۰۱
	PSNR	۱۹/۲۲	۱۹/۶۷	۲۱/۹۸	۲۲/۵۶	۲۰/۶۲	۲۰/۰۳	۲۲/۸۰	۲۰/۷۳	۱۵/۰۰	۱۷/۶۹	۲۲/۹۲
	SSIM	۰/۶۷۰۰	۰/۴۸۷۲	۰/۸۵۰۱	۰/۷۷۸۹	۰/۵۲۶۲	۰/۵۱۹۳	۰/۸۳۹۴	۰/۵۷۲۸	۰/۱۷۸۳	۰/۳۵۰۵	۰/۸۲۳۳
$\alpha = 0.8$	MAE	۹/۷۳	۱۰/۱۵	۷/۲۹	۷/۲۱	۹/۲۴	۸/۵۵	۷/۲۷	۸/۸۵	۱۷/۲۷	۱۲/۸۵	۷/۱۰
	PSNR	۱۸/۹۰	۱۸/۷۸	۲۱/۱۲	۲۱/۵۳	۱۹/۵۷	۱۹/۳۳	۲۱/۶۲	۱۹/۹۳	۱۴/۳۲	۱۷/۱۳	۲۱/۷۴
	SSIM	۰/۶۶۷۳	۰/۴۵۸۸	۰/۸۲۳۶	۰/۷۵۵۱	۰/۵۰۰۳	۰/۴۹۲۴	۰/۸۰۹۱	۰/۵۴۹۵	۰/۱۷۳۸	۰/۳۶۴۵	۰/۷۹۵۲
$\alpha = 0.9$	MAE	۱۰/۲۶	۱۰/۸۳	۷/۳۹	۷/۳۵	۸/۸۷	۸/۱۳	۷/۰۸	۹/۳۷	۱۷/۵۷	۱۴/۱۸	۶/۹۶
	PSNR	۱۸/۴۰	۱۸/۰۹	۲۰/۸۲	۲۱/۱۲	۱۹/۶۲	۱۹/۵۱	۲۱/۴۴	۱۹/۳۲	۱۴/۱۲	۱۶/۱۰	۲۱/۵۱
	SSIM	۰/۵۷۹۹	۰/۳۹۵۵	۰/۸۰۴۳	۰/۷۱۲۵	۰/۴۹۹۴	۰/۵۰۶۵	۰/۷۹۹۵	۰/۴۹۱۴	۰/۱۳۹۹	۰/۲۷۳۸	۰/۷۷۱۰
$\alpha = 1.0$	MAE	۱۰/۰۱	۱۱/۱۵	۷/۵۶	۷/۴۶	۹/۷۰	۸/۵۱	۷/۳۸	۹/۶۴	۱۹/۲۵	۱۵/۵۹	۷/۱۸
	PSNR	۱۸/۳۸	۱۷/۷۱	۲۰/۴۱	۲۰/۷۳	۱۸/۸۳	۱۹/۰۷	۲۰/۸۷	۱۸/۹۰	۱۳/۳۳	۱۵/۱۵	۲۱/۰۰
	SSIM	۰/۶۳۱۴	۰/۳۸۸۲	۰/۷۹۴۰	۰/۷۲۳۷	۰/۴۴۵۵	۰/۴۸۱۰	۰/۷۸۰۲	۰/۴۸۷۱	۰/۱۲۵۱	۰/۲۳۰۴	۰/۷۶۴۵
$\alpha = 1.1$	MAE	۱۰/۰۷	۱۱/۰۶	۷/۸۶	۷/۷۲	۹/۱۶	۸/۶۹	۷/۸۰	۹/۶۱	۱۹/۲۱	۱۶/۲۴	۷/۵۴
	PSNR	۱۸/۲۹	۱۷/۶۷	۲۰/۱۰	۲۰/۴۶	۱۹/۰۹	۱۸/۹۵	۲۰/۴۵	۱۸/۸۸	۱۳/۲۳	۱۴/۸۶	۲۰/۶۱
	SSIM	۰/۶۱۰۱	۰/۳۹۳۹	۰/۷۶۵۹	۰/۷۱۷۳	۰/۴۹۰۹	۰/۴۹۲۲	۰/۷۵۷۲	۰/۴۸۹۵	۰/۱۱۵۷	۰/۲۱۵۸	۰/۷۵۷۸
$\alpha = 1.2$	MAE	۱۱/۲۴	۱۲/۹۸	۸/۲۸	۸/۴۶	۹/۰۲	۸/۶۵	۸/۵۵	۱۱/۰۱	۲۰/۱۸	۱۶/۴۸	۸/۰۶
	PSNR	۱۷/۴۲	۱۶/۴۲	۱۹/۶۶	۱۹/۷۰	۱۹/۰۴	۱۸/۹۲	۱۹/۲۵	۱۷/۷۴	۱۲/۸۱	۱۴/۵۶	۲۰/۰۴
	SSIM	۰/۴۸۸۹	۰/۳۰۲۳	۰/۷۵۲۶	۰/۶۴۰۴	۰/۴۹۵۷	۰/۵۰۷۲	۰/۷۳۰۳	۰/۴۰۴۳	۰/۱۰۱۸	۰/۲۰۶۳	۰/۶۹۷۵

جدول ۳: معیارهای ارزیابی برای الگوریتم‌ها برای تصاویر متفاوت (الگوی نویز مصنوعی مطابق رابطه ۱ در نظر گرفته شده است)

Image		AMF2 [2]	AMF1 [30]	WGNF [31]	ZAMF [30]	Wiener [21]	SMF [20]	ASRF [25]	ATBF [3]	AONF [26]	LFDF [29]	Proposed
Barbara	MAE	۱۱/۴۰	۱۰/۴۵	۸/۱۲	۹/۶۸	۸/۹۰	۸/۴۷	۷/۳۴	۸/۸۸	۱۶/۰۱	۱۱/۹۳	۷/۱۹
	PSNR	۱۸/۲۰	۱۹/۵۷	۲۱/۵۲	۲۰/۸۲	۲۰/۹۵	۲۰/۱۳	۲۳/۰۱	۲۰/۹۲	۱۵/۵۷	۱۸/۴۰	۲۳/۲۸
	SSIM	۰/۶۸۲۶	۰/۴۷۵۹	۰/۸۱۹۴	۰/۵۶۶۲	۰/۵۶۹۴	۰/۵۹۴۵	۰/۸۰۵۴	۰/۵۸۹۵	۰/۲۱۹۲	۰/۴۲۴۸	۰/۸۱۰۱
Lake	MAE	۱۷/۸۱	۱۰/۶۶	۹/۸۸	۱۰/۲۵	۱۰/۴۲	۱۱/۰۷	۹/۹۲	۱۰/۰۹	۱۵/۹۴	۱۲/۵۱	۹/۰۰
	PSNR	۱۴/۴۴	۱۹/۳۹	۲۰/۴۲	۲۰/۱۸	۱۹/۷۵	۱۸/۳۴	۲۰/۰۰	۱۹/۹۱	۱۵/۳۸	۱۸/۱۱	۲۱/۷۴
	SSIM	۰/۶۶۵۳	۰/۵۴۱۸	۰/۸۰۰۳	۰/۶۴۳۷	۰/۶۰۵۴	۰/۵۶۶۱	۰/۸۰۵۹	۰/۶۰۳۴	۰/۲۶۱۱	۰/۴۶۱۵	۰/۸۱۸۶
Woman	MAE	۹/۹۵	۸/۰۵	۶/۸۱	۷/۶۰	۷/۱۴	۶/۴۹	۶/۲۳	۷/۳۱	۱۳/۶۴	۱۱/۵۵	۶/۰۰
	PSNR	۱۶/۹۰	۱۸/۲۶	۱۹/۳۳	۱۸/۹۶	۱۹/۳۸	۱۸/۸۲	۲۰/۲۴	۱۸/۹۷	۱۴/۴۵	۱۶/۲۳	۲۰/۴۴
	SSIM	۰/۶۲۹۱	۰/۳۹۹۹	۰/۸۱۶۴	۰/۵۱۹۵	۰/۶۰۶۲	۰/۷۲۴۶	۰/۸۱۰۵	۰/۴۹۸۴	۰/۱۲۱۶	۰/۲۴۷۸	۰/۸۳۲۶
Baboon	MAE	۱۰/۸۰	۱۲/۹۷	۱۰/۲۰	۱۱/۱۵	۱۲/۴۱	۱۱/۲۶	۹/۹۵	۱۱/۵۹	۲۲/۴۸	۲۰/۶۲	۹/۹۱
	PSNR	۲۰/۹۴	۱۹/۷۵	۲۳/۲۲	۲۲/۱۴	۲۰/۶۲	۲۰/۹۶	۲۳/۷۳	۲۱/۳۰	۱۳/۷۸	۱۵/۱۲	۲۳/۷۸
	SSIM	۰/۷۹۲۸	۰/۵۵۱۰	۰/۸۷۵۳	۰/۷۲۴۶	۰/۴۷۹۶	۰/۴۲۱۱	۰/۸۷۷۱	۰/۶۶۹۸	۰/۱۷۴۴	۰/۲۵۱۱	۰/۸۸۰۰
Lena	MAE	۲/۴۴	۴/۵۵	۲/۷۰	۲/۱۰	۳/۴۳	۳/۰۵	۲/۱۵	۳/۷۷	۱۲/۱۴	۸/۳۷	۲/۰۰
	PSNR	۲۳/۲۵	۲۰/۵۰	۲۲/۷۱	۲۳/۸۰	۲۲/۰۵	۲۱/۲۳	۲۳/۹۲	۲۱/۴۹	۱۵/۱۸	۱۸/۱۰	۲۴/۰۲
	SSIM	۰/۷۵۴۴	۰/۵۰۵۸	۰/۸۶۸۹	۰/۸۳۳۱	۰/۶۲۲۰	۰/۶۸۳۶	۰/۸۶۵۲	۰/۵۸۶۰	۰/۱۹۱۵	۰/۳۶۸۳	۰/۸۷۲۷
Avg.	MAE	۱۰/۴۸	۹/۳۴	۷/۵۴	۸/۱۵	۸/۴۶	۸/۰۷	۷/۱۲	۸/۳۳	۱۶/۰۴	۱۳/۰۰	۶/۸۲
	PSNR	۱۸/۷۵	۱۹/۴۹	۲۱/۴۴	۲۱/۱۸	۲۰/۵۵	۱۹/۹۰	۲۲/۲۱	۲۰/۵۲	۱۴/۸۷	۱۷/۱۹	۲۲/۶۵
	SSIM	۰/۷۰۴۹	۰/۴۹۴۹	۰/۸۳۶۰	۰/۶۵۷۴	۰/۵۷۶۵	۰/۵۹۸۰	۰/۸۳۲۸	۰/۵۸۹۴	۰/۱۹۳۵	۰/۳۵۰۷	۰/۸۴۲۸



(ب) خروجی روش پیشنهادی



الف: تصویر لیلیوم آغشته به نویز متناوب

شکل ۱۳: عملکرد روش پیشنهادی بر روی تصویر رنگی

مراجع

- Fourier filtering*", Optics Express, vol. 17, no. 10, pp. 8567–8591, 2009.
- [13] Pande-Chhetri, R., Abd-Elrahman, A., "De-stripping hyperspectral imagery using wavelet transform and adaptive frequency domain filtering", ISPRS journal Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 66, no. 5, pp. 620–636, 2011.
- [14] Rakwatin, P., Takeuchi, W., Yasuoka, Y., "Restoration of Aqua MODIS band 6 using histogram matching and local least squares fitting", IEEE Transactions Geoscience and Remote Sensing, vol. 47, no. 2, pp. 613–627, 2009.
- [15] Wegener, M., "Destripping multiple sensor imagery by improved histogram matching", international journal Remote Sensing, vol. 11, no. 5, pp. 859–875, 1990.
- [16] Chang, Y., Yan, L., Fang, H., Liu, H., "Simultaneous destripping and denoising for remote sensing images with unidirectional total variation and sparse representation", IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 11, no. 6, pp. 1051–1055, 2014.
- [17] He, W., Zhang, H., Zhang, L., Shen, H., "Total-variation-regularized low-rank matrix factorization for hyperspectral image restoration", IEEE Transactions Geoscience and Remote Sensing, vol. 54, no. 1, pp. 178–188, 2016.
- [18] Feuerstein, D., Kim, H. P., Martyn, G. B., "Practical methods for noise removal: applications to spikes, nonstationary quasi-periodic noise, and baseline drift", Analytical chemistry, vol. 81, no. 12, pp. 4987–4994, 2009.
- [19] Yadav, V. P., Singh, G., Anwar, M., Khosla, A., "Periodic noise removal using local thresholding", Proc. of the international conference on IEEE advances in signal processing. Pune, India, pp. 114 – 117, 2016.
- [20] Zhen J., Ming Z., Li Q., "Reducing periodic noise using soft morphology filter", Chin J Electron, vol. 21, pp. 159–62, 2004.
- [21] Gonzalez, R. C., Woods, R.E., Digital Image Processing, 3rd Edition, Prentice Hall, pp. 357–360, 2007.
- [22] Dutta, S., Mallick, Roy, A. S., Kumar, U., "Periodic noise recognition and elimination using RFPCM clustering", international conference on Electronics and Communication Systems, Coimbatore, pp. 1–5, 2014.
- [23] Ionita, M. G., Coanda, H. G., "Automatic periodic noise removal in microscopy images", international symposium on signals, circuits and systems, Iasi, pp. 1–4, 2017.
- [24] Ridler, T.W., Calvard, S., "Picture thresholding using an iterative selection method", IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics, vol. 8, no. 8, pp. 630–632, 1978.
- [25] Chakraborty D., Chakraborty A., Banerjee A., Bhadra Chaudhuri S. R., "Automated spectral domain approach of quasi-periodic denoising in natural images using notch
- [1] Abdel-Karim, A., Abu-Ein H., "A novel methodology for digital removal of periodic noise using 2D fast Fourier transforms", Contemporary engineering sciences, vol. 7, no. 3, pp. 103–116, 2014.
- [2] Aizenberg, I., Butakoff C., "Nonlinear frequency domain filter for quasi periodic noise removal", In Proc. of the international TICSP workshop on spectral methods and multirate signal processing, Toulouse, France, pp. 147–153, 2002.
- [3] Varghese, J., "Adaptive threshold based frequency domain filter for periodic noise reduction", AEU – international journal of electronics and communications, vol. 70, no. 12, pp. 1692–1701, 2016.
- [4] Koukou, V., Martini, N., Michail, C., Sotiropoulou, P., Fountzoula, C., Kalyvas, N., Kandarakis, I., Nikiforidis, G., Fountos, G., "Dual energy method for breast imaging: A simulation study", Computational and mathematical methods in medicine, vol. 2015, Article ID 574238, pp. 1–8, 2015.
- [5] Sura F., "An a-contrario approach to quasi-periodic noise removal", Proc. Of the international conference on IEEE Image Processing, Quebec City, Canada, pp. 3841–3845, 2015.
- [6] Chang, Y., Yan, L., Wu, T., Zhong, S., "Remote sensing image stripe noise removal: from image decomposition perspective", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 54, no. 12, pp. 7018–7031, 2016.
- [7] Smith, R. D., Digital transmission systems. 3rd Edition, Heidelberg: Springer science & business Media, pp. 502–504, 2012.
- [8] Patro, P. P., Panda, C. S., "A review on: noise model in digital image processing", international journal of engineering sciences & research technology, vol. 5, no. 1, pp. 891–897, 2016.
- [9] Chakraborty, D., Tarafder, M. K., Chakraborty, A., Banerjee, A., "A proficient method for periodic and quasi-periodic noise fading using spectral histogram thresholding with sinc restoration filter", AEU – international journal of electronics and communications, vol. 70, no. 12, pp. 1580–1592, 2016.
- [10] Schowengerdt, R., REMOTE sensing: Models and methods for image processing. 3rd Edition, Academic Press, Waltham, 2007.
- [11] Moallem P., Masoumzadeh M., Habibi M., "A novel adaptive Gaussian restoration filter for reducing periodic noises in digital image". Signal, Image and Video Processing, vol. 9, no. 5, pp. 1179–1191, 2013.
- [12] Münch, B., Trtik, P., Marone, F., Stampanoni, M., "Stripe and ring artifact removal with combined wavelet



علی محمد لطیف مدرک کارشناسی و کارشناس ارشد خود را در رشته الکترونیک به ترتیب از دانشگاه صنعتی اصفهان و دانشگاه امیرکبیر تهران در سال‌های ۱۳۷۲ و ۱۳۷۵ دریافت نمود و مدرک دکتری خود را از دانشگاه اصفهان در سال ۱۳۹۰ در رشته مهندسی کامپیوتر-هوش مصنوعی اخذ نمود. ایشان در حال حاضر دانشیار گروه مهندسی کامپیوتر دانشگاه یزد فعالیت دارد. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان پردازش تصویر، مخفی‌نگاری داده و رمزنگاری است.



نجمه علی بابایی مدرک کارشناسی خود را در رشته مهندسی کامپیوتر از جهاد دانشگاهی صنعتی اصفهان در سال ۱۳۸۷ و مدرک کارشناسی ارشد خود را در رشته علوم تصمیم و مهندسی دانش در سال ۱۳۹۱ از دانشگاه خوارزمی تهران دریافت کرد. وی در حال حاضر دانشجوی رشته مهندسی کامپیوتر- هوش مصنوعی و ریاتیک در دانشگاه یزد می‌باشد. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه وی پردازش تصویر، محاسبات نرم و روش‌های بهینه‌سازی ابتکاری است.

filtration with exact noise profile", IET Image Processing, vol. 12, no.7, pp. 1150-1163, 2018.

- [26] Moallemi P., Behnampourii M., "Adaptive optimum notch filter for periodic noise reduction in digital images", AUT Journal of Electrical Engineering, vol. 10, no.1, pp. 1-7, 2010.
- [27] Ketenci S., Gangal A., "Design of Gaussian star filter for reduction of periodic noise and quasi-periodic noise in gray level images", International symposium on innovations in intelligent systems and applications, Trabzon, pp. 1-5, 2012.
- [28] Sura F., Grédiacb M., "Automated removal of quasiperiodic noise using frequency domain statistics", Journal of electronic imaging, vol. 24, no. 1, pp. 1-19, 2015.
- [29] Varghese J., Subash S., Tairan N., Babu B., "Laplacian-based frequency domain filter for the restoration of digital images corrupted by periodic noise", Canadian journal of electrical and computer engineering, vol. 39, no. 2, pp. 82-91, 2016.
- [30] Aizenberg, I., Butakoff, C., "Frequency domain median like filter for periodic and quasi-periodic noise removal", SPIE Proceeding, vol. 4667, pp. 181-191, 2002.
- [31] Aizenberg, I., Butakoff, C., "A windowed Gaussian notch filter for quasi-periodic noise removal", Image and vision Computing, vol. 26, no.10, pp. 1347-1353, 2008.
- [32] Atul, R., "An empirical study of periodic noise filtering in Fourier domain: an introduction to novel autonomous periodic noise removal algorithms", Lap Lambert Academic Publishing; pp. 47-52, 2013.
- [33] Wang L., A course in fuzzy systems and control, International edition, Prentice Hall PTR, 1997.