کاهش اثر نوفهٔ تناوبی در تصاویر دیجیتال به کمک فیلتر میانهٔ تطبیقی در حوزهٔ فرکانس

پیمان معلم[1]، مجید بهنام پور[2] و امیرحسن منجمی[3]
[1] گروه مهندسی برق، دانشکدهٔ فنی و مهندسی، دانشگاه اصفهان
[2] صنایع هواپیما سازی ایران، شاهین شهر اصفهان
[3] گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکدهٔ فنی و مهندسی، دانشگاه اصفهان

چکیده

نوفهٔ تناوبی، الگو یا الگوهایی ناخواستهٔ تکرار شونده در سراسر تصویر است که منجر به کاهش کیفیت تصویر و ایجاد ساختارهایی متناوب، شبیه هاشورخوردگی روی تصویر خواهد شد. در این مقاله ضمن بررسی و مقایسهٔ روش‌های موجود برای کاهش اثر این نوفه، یک فیلتر میانهٔ تطبیقی در حوزهٔ فرکانس با بار محاسباتی قابل قبول پیشنهاد می‌شود. در روش پیشنهادی، فرکانس‌های متناظر با نوفه‌ها و پهنای هر یک به‌صورت تطبیقی و با توجّه به محتوای تصویر تخریب شده در حوزهٔ فرکانس، مشخّص می‌شود. سپس فقط برای فرکانس‌های تخریب شده، فیلتر میانه در حوزهٔ فرکانس که از روش‌های مؤثّر در کاهش اثر نوفهٔ تناوبی است، اعمال شده و تصویر تصحیح شده، به‌دست می‌آید. روش پیشنهادی و روش‌های مورد مقایسه در محیط MATLAB پیاده شده و از لحاظ بهبود کیفیت در شرایط مختلف مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. سپس به‌منظور مقایسهٔ پیچیدگی محاسباتی و زمان اجرای الگوریتم‌ها، روش‌های مورد مقایسه توسط کتابخانهٔ OpenCV و زبان برنامه‌نویسی C پیاده‌سازی می‌شوند. مقایسهٔ نتایج در شرایط مختلف نشان می‌دهدکه بهبود حاصل شده توسط روش پیشنهادی از سایر روش‌های مورد مقایسه، بیشتر بوده و در عین حال، بار محاسباتی کم‌تری نیز دارد.

واژگان کلیدی: نوفهٔ تناوبی، فیلتر در حوزهٔ فرکانس، فیلتر میانه تطبیقی.

۱- مقدّمه

نوفهٔ تصویری[1]، تغییرات تصادفی در اطّلاعات روشنایی یا رنگ در تصاویر دیجیتال است که توسط حس‌گر تصویر برداری، مدارات اسکنر و یا توسط دوربین‌های دیجیتال ایجاد می‌شود. در بعضی از موارد، نوفهٔ تصویری محصول جانبی تبدیل تصویر به‌صورت دیجیتال[2] است. از آن‌جایی‌که نوفهٔ تصویری می‌تواند به‌طورمؤثّری کیفیت تصویر را کاهش دهد، امروزه توجّه زیادی به الگوریتم‌های کاهش نوفه در تصاویر دیجیتال می‌شود *(Smolka, 2004)*.

در انتخاب الگوریتم‌های کاهش نوفهٔ تصویری، عواملی مانند قدرت محاسباتی رایانه در دسترس، بیشینهٔ زمان مجاز برای اجرای محاسبات و مصالحهٔ بین حذف نوفه و حذف جزییات واقعی ناشی از اجرای الگوریتم، لازم است در نظر گرفته شود. علاوه‌براین، وجود یک دانش اوّلیه از ماهیت نوفه و مدل آن در تصویر، کمک مؤثری به افزایش بهره‌وری الگوریتم‌های کاهش نوفه تصویری، خواهد کرد. از مدل‌های ریاضی مرسوم نوفه در سیگنال‌ها، نوفه جمع شونده[3] است که به‌طور معمول در تصاویر دیجیتال نیز از همین مدل استفاده می‌شود *(Gonzalez and Woods, 2007)*.

هنگامی‌که نوفهٔ تصویری جمع شونده در حوزهٔ مکان، از یک توزیع خاص آماری (مانند گوسی که در اکثر موارد نیز چنین فرض می‌شود) تبعیت می‌کند، استفاده از فیلترهای خطّی (مانند فیلتر گوسی) که قابل پیاده‌سازی در حوزهٔ مکان و یا فرکانس است، در کاهش اثر نوفه به‌طور کامل مؤثّر است *(Szeliski, 2010)*. گونهٔ دیگری از نوفه تحت عنوان نوفهٔ فلفل نمکی[4]، که به معنای تغییرات ناگهانی بعضی از پیکسل‌ها به‌طور کامل سفید و یا سیاه تعبیر می‌شود، به کمک انواع فیلترهای غیرخطّی مرتب شدهٔ آماری مانند فیلتر میانهٔ[5] در حوزهٔ مکان، قابل کاهش است *(Smolka, 2004)*.

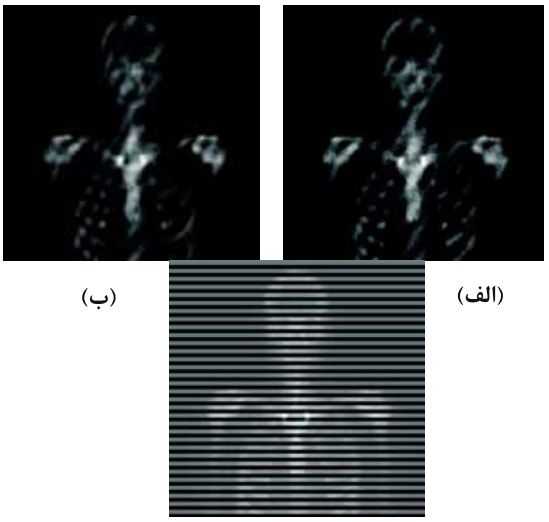
[1] image noise
[2] image capture
[3] additive noise
[4] salt and pepper
[5] median filter

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-09]

از انواع دیگر نوفهٔ تصویری، نوفهٔ تناوبی[1] است. این نوفه، سیگنال‌های ناخواسته‌ای است که به دلایلی مختلف در تصاویر باعث ایجاد ساختارهای متناوب و تکرار شونده شده و باعث تخریب تصویر می‌گردد و اغلب به‌صورت هاشورزدگی‌هایی در تصویر ظاهر می‌شود. نوفهٔ تناوبی به سه گروه نوفهٔ تناوبی سراسری[2]، محلی[3] و هاشورخوردگی خط‌به‌خط[4] طبقه بندی شده است (*Drigger, et al., 1999*؛ *Castelli and Bergman 2002*؛ *Schowengerdat, 1997*).

نوفهٔ تناوبی سراسری یک نمونهٔ تکرارشونده و مزاحم روی تصویر است که سراسر تصویر را فرا می‌گیرد. یک منبع ایجاد آن تداخلات الکترونیکی از تجهیزات گیرنده و فرستندهٔ اطّلاعات می‌باشد. منبع دیگر آن اختلاف در تنظیمات بین آشکارسازها و اسکنرها می‌باشد. هم‌چنین این دسته از نوفه در تصاویر تلویزیونی ضعیف به‌خاطر مکان قرارگیری دستگاه‌های تصویر برداری و لرزش‌های مکانیکی حاصله، به‌طور مثال در فضاپیماها یا کشتی‌ها ایجاد می‌شود. ناپایداری و بی‌ثباتی حرارتی عناصر اپتیکی و بهرهٔ مدارات الکترونیکی در سنسورهای نوری و مرورگرهای الکترواپتیکی و نیز وجود تداخل سیگنال‌ها نیز، از عوامل مؤثّر در بروز این دسته از نوفه است (*Drigger, et al. 1999*). دستهٔ دیگری از آن نوفه، محلی است که تکرارشونده و متناوب بوده، امّا دامنه، فاز یا فرکانس نوفه، تابعی از مکان در تصویر می‌باشد (*Schowengerdat, 1997*). حساسیت نابرابر آشکارسازها و فاکتورهای الکترونیکی مدارات مربوطه، باعث ایجاد نوع سوم یعنی نوفهٔ خط‌به‌خط در تصویر بردارهای چندحس‌گری، می‌شود. تعداد آشکارسازهای موجود در اسکنرهای یک تصویر بردار فضایی، دورهٔ تناوب این هاشورخوردگی را تعیین می‌کند (*Castelli and Bergman, 2002*). در (شکل ۱) نمونه‌هایی از سه نمونه نوفهٔ تناوبی دیده می‌شود.

با توجّه به مشخّص بودن موقعیت مکانی حس‌گر در یک سیستم چند حس‌گری، موقعیت مکانی نوارهای نوفهٔ خط‌به‌خط، در تصویر از قبل مشخّص بوده و با روش‌های سادهٔ مکانی مانند: همانندکردن متوسّط و واریانس توزیع سطوح خاکستری در نوارهای مختلف، این نوفه به‌طور مؤثّری قابل کاهش است (*Castelli and Bergman, 2002*). برخلاف این نوع نوفه، از روش‌های سادهٔ مکانی نمی‌توان برای کاهش اثر نوفهٔ تناوبی سراسری و محلّی استفاده کرد.



(شکل ۱): تصویر برداری پرتو X از اسکلت انسان، آلوده شده با نوفه‌های تناوبی الف) سراسری ب) محلی و ج) خط‌به‌خط

نوفه‌های تناوبی سراسری و محلّی، به‌صورت مجموع توابع سینوسی در حوزهٔ مکان، مدل می‌شوند که در حوزهٔ فرکانس به‌صورت ستاره‌گونه‌هایی با دامنهٔ فرکانسی بالا نمایان می‌شوند. هاشورزدگی‌های نوفه در حوزهٔ مکان سرتاسر تصویر را فرا گرفته و قابل آشکارسازی و تفکیک از پس‌زمینهٔ خود نبوده و این عمل در حوزهٔ فرکانس راحت‌تر انجام می‌گیرد. چون نوفهٔ تناوبی سراسر تصویر را فرا گرفته، برای حذف این نوفه در حوزهٔ مکان، درصورت موجود نبودن الگوی نوفه، باید از فیلترهای مکانی مانند فیلتر میانه یا میانگین با اندازهٔ پنجره‌های بزرگ استفاده کرد، که جزییات زیادی از تصویر را از بین می‌برد و یا از فیلترهای مبتنی بر مورفولوژی نرم[5] استفاده کرد که از روش‌های مورفولوژی استاندارد، عملکرد بهتری دارد (*Ji, et al., 2008, Ji, et al., 2007*).

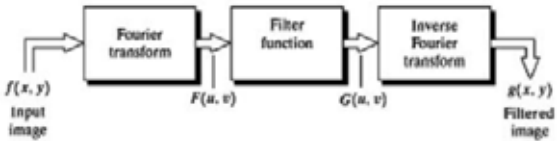
در فیلترهای مبتنی بر حوزهٔ فرکانس که برای کاهش اثر این نوفه به‌کار می‌روند، پیاده‌سازی آن یا به‌طور کامل در حوزهٔ فرکانس انجام می‌شوند، (مانند فیلتر برشی[6]، فیلتر میان نگذر[7] و فیلتر میانگین در حوزهٔ فرکانس و فیلتر میانه در حوزهٔ فرکانس) و یا مانند فیلتر برشی بهینه، از اطّلاعات حوزهٔ فرکانس تصویر تخریب شده، استفاده می‌شود. بنابراین استفاده از تحلیل فرکانسی تصویر و اعمال فیلتر در حوزهٔ فرکانس، بخش مهمی از عملکرد فیلترهای به‌کار رفته برای این منظور می‌باشد.

[1] periodic noise
[2] global periodic noise
[3] local periodic noise
[4] striping
[5] soft morphology
[6] notch filter
[7] band reject filter

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-09]

در فیلترهایی که پیاده سازی آن‌ها فقط در حوزهٔ فرکانس است، پس از گسسته‌سازی تصویر، تبدیل فوریهٔ گسسته تصویر محاسبه شده و اعمال فیلتر در حوزهٔ فرکانس انجام می‌شود. سپس با محاسبه تبدیل فوریه گسسته معکوس، تصویر فیلتر شده در در حوزهٔ مکان به‌دست خواهد آمد.

تبدیل فوریهٔ گسسته، روشی مناسب برای نمایش فرکانسی یک تابع گسسته می‌باشد. به‌علّت حجم محاسبات تبدیل فوریهٔ گسسته، برای تسریع به‌طور معمول از تبدیل فوریهٔ سریع استفاده می‌شود. تحقق بعضی عملیات در فضای فوریه راحت‌تر و سریع‌تر انجام می‌شود. تبدیل کانولوشن در فضای مکان، که به‌صورت اعمال پاسخ ضربهٔ فیلتر روی تک‌تک نقاط (به شکل ضرب و جمع) پیاده می‌شود، در فضای فوریه با ضرب پاسخ فرکانسی فیلتر در تبدیل فوریهٔ تصویر و محاسبهٔ تبدیل معکوس نتیجه، به‌راحتی قابل انجام است. اساس عملکرد فیلتر در حوزهٔ فرکانس، در (شکل ۲) آمده است *(Gonzalez and Woods, 2007)*.



(شکل ۲): مراحل اجرای فیلتر در حوزهٔ فرکانس

در قسمت بعدی ابتدا مروری بر روش‌های موجود برای کاهش نوفهٔ تناوبی در حوزهٔ فرکانس، انجام شده و سپس این روش‌ها مورد نقد قرار می‌گیرند. سپس به‌منظور کاهش اثر نوفهٔ تناوبی، فیلتری به نام فیلتر میانهٔ تطبیقی در فضای فرکانس پیشنهاد خواهد شد که از لحاظ کارآیی با دو دیدگاه بهبود کیفیت ایجاد شده (از لحاظ چشمی و هم‌چنین توسط پارامترهای آماری) و پیچیدگی محاسباتی با فیلتر میانه در حوزهٔ فرکانس و میانگین در حوزهٔ فرکانس، مقایسه می‌گردد. در ادامه فیلتر پیشنهادی و فیلترهای مورد مقایسه، به کمک کتابخانهٔ **OpenCV** که شامل توابعی برای پیاده‌سازی الگوریتم‌های مختلف بینایی ماشین و پردازش تصویر می‌باشد، به زبان **C** و در محیط **Visual C ++** پیاده شده و نتایج آن‌ها از لحاظ زمان اجرا، مورد مقایسه قرار می‌گیرند.

مصالحهٔ بین حذف نوفه و حذف جزییات واقعی در انتخاب الگوریتم، نکته‌ای حائز اهمّیت است. فیلترهای موجود و فیلتر پیشنهادی برای مواقعی که اصل تصویر، خود حاوی نوفهٔ شبه‌تناوبی است؛ مثل متون چاپی، که تناوب موجود در متن به‌صورت نوفهٔ شبه‌تناوبی دیده می‌شود، مناسب نبوده و حذف نوفه این گونه تصاویری که حاوی نوفهٔ شبه‌تناوبی باشد، به‌دلیل سختی تشخیص جزییات اصلی تصویر کار مشکلی است. در این مقاله و روش پیشنهادی، فرض کرده‌ایم که اصل تصویر خود حاوی ساختاری شبه-تناوبی نمی‌باشد. از طرفی روش پیشنهادی، و روش‌های مورد مقایسه، برای نوفهٔ تناوبی خط‌به‌خط که مؤلّفه‌های فرکانس نوفهٔ تناوبی در آن، تا مؤلّفه‌های اصلی تصویر گسترش می-یابند، نیز مناسب نمی‌باشند و همان‌طور که درقبل نیز گفته شد، روش‌های مکانی برای نوفه‌های تناوبی خط‌به‌خط، مؤثّرتر خواهند بود.

۲- مروری بر روش‌های حوزهٔ فرکانس

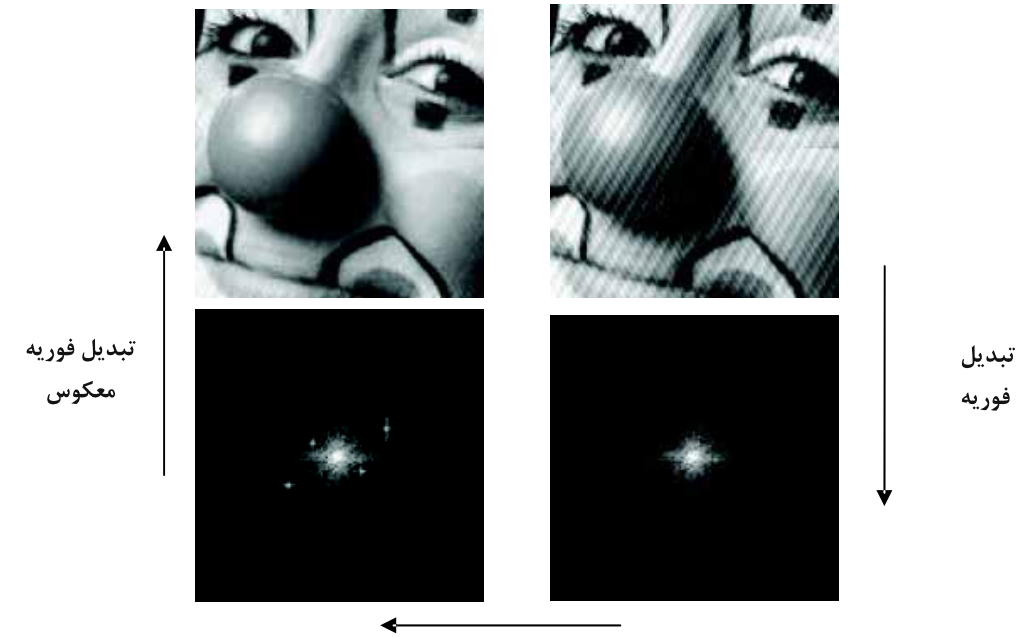
۲-۱- فیلتر میان‌نگذر

استفاده از فیلترهای میان‌نگذر در حوزهٔ فرکانس به‌عنوان راه حلّی برای کاهش اثر نوفه‌های تناوبی که شکل ساده‌ای دارند و فقط حاوی یک سینوسی مزاحم و درنتیجه فقط دو مؤلّفهٔ متقارن حول مرکز فرکانس می‌باشد، بیان گردیده است *(Gonzalez and Woods, 2007)*، که با صفر کردن دامنهٔ فرکانسی پیکسل‌هایی که در حوزهٔ فرکانس بین دو حلقهٔ باند فیلتر قرار گیرند، باعث حذف مؤلّفه‌های نوفه می‌شوند. امّا این فیلتر باعث حذف جزییاتی از تصویر اصلی می‌گردد و بنابراین در عمل که تصویر، آلوده به چندین نوفه با فرکانس‌ها و پهنای باندهای مختلف است، مشکلاتی ایجاد خواهد کرد.

۲-۲- فیلتر برشی

فیلترهای برشی برای حذف قسمت آلوده به نوفه و صفر کردن مؤلّفه‌های فرکانسی در همسایگی از مرکز فرکانسی نوفه، با شکلی مناسب که به‌طور کامل ستاره‌گونه، نوفه را بپوشاند، به‌کار می‌رود *(Aizenberg and Butakoff, 2008)*. در تصاویر آلوده شده به چندین نوفهٔ تناوبی با فرکانس‌های مختلف باید از فیلتر برشی با پهنای باندها یا اندازه‌های مختلف استفاده کرد که تعیین خودکار تعداد فیلترهای برشی، فرکانس‌های هر یک و پهنای باند آن‌ها، می‌تواند مشکلاتی را ایجاد کند. (شکل ۳) مراحل پیاده‌سازی یک فیلتر برشی را برای کاهش اثر نوفهٔ تناوبی که شامل دو مؤلّفه سینوسی در حوزهٔ مکان است نشان می‌دهد. انتخاب فرکانس‌های متناظر با نوفهٔ تناوبی و محدودهٔ هر یک، به‌صورت دستی انجام شده است.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-09]



حذف ستاره گونه‌های نوفه در حوزهٔ فرکانس

(شکل۳): شکل دلقک آلوده به نوفهٔ تناوبی با چهار قله فرکانسی (دو سینوسی در حوزهٔ مکان) و مراحل حذف آن توسط فیلتر برشی در حوزهٔ فرکانس

۲-۳- فیلتر برشی بهینه

روشی نیز برای بهینه‌کردن فیلتر برشی وجود دارد، که به‌عنوان فیلتر برشی بهینه معرّفی گردیده است (*Gonzalez and Woods, 2007*) و از طریقهٔ کمینه‌کردن واریانس محلی تصویر فیلتر شده عمل می‌کند. این کار ابتدا شامل جداکردن شکل نوفه و سپس کسر کردن نسبتی از شکل نوفه از تصویر آلوده شده، می‌باشد.

در این روش ابتدا الگوی نوفهٔ تناوبی از حوزهٔ فرکانس مشخّص شده و سپس وزنی از الگوی تناوبی از تصویر اصلی کاسته شده و تصویر بدون نوفه بازسازی می‌شود. مرحلهٔ اوّل، یعنی به‌دست آوردن شکل صحیحی از نوفه در حوزهٔ فرکانس و با جداکردن مؤلّفه‌های فرکانسی اصلی شکل نوفه از تصویر آلوده شده، انجام می‌گیرد. این کار را می‌توان با قرار دادن یک فیلتر برشی عبوری[1] در مکان هر قلّهٔ نوفه انجام داد و سپس با تبدیل فوریه معکوس، شکل الگوی تناوبی در حوزهٔ مکان مشخص می‌شود. در مرحلهٔ دوم ضریبی از نوفهٔ تناوبی به‌دست آمده از تصویر کم شده و تصویر نهایی به‌دست می‌آید. ضریب کاسته شده که در یک پنجره، ثابت در نظر گرفته می‌شود، به گونه‌ای محاسبه می‌شود که واریانس تصویر خروجی، کمینه گردد *(معلم و بهنام پور، ۱۳۸۶)*.

[1] notch pass

۲-۴- فیلتر میانه در حوزهٔ فرکانس

فیلتر میانه در حوزهٔ فرکانس با لغزاندن پنجره‌ای روی طیف تصویر، مقدار میانه را برای هر پنجره یافته و از مقایسهٔ نسبت مقدار دامنهٔ فرکانس مرکزی پنجره به مقدار میانهٔ محاسبه شده در آن پنجره با یک مقدار آستانه پی به آلوده بودن پیکسل می‌برد. *(Aizenberg and Butakoff, 2002)* اگر این نسبت از آستانه بزرگ‌تر باشد، آن‌گاه پیکسل مورد بررسی، آلوده به نوفه محسوب شده و مقدار میانه جایگزین آن می‌گردد و در غیر این صورت بدون تغییر باقی می‌ماند. رابطهٔ (۱) تحقق این فیلتر را نشان می‌دهد.

$$Y_{ij} = \begin{cases} MED(X_{ij}) & if \quad \dfrac{X_{ij}}{MED(X_{ij})} \geq \theta \text{ and } (i,j) \neq (0,0) \\ X_{ij} & \text{otherwise} \end{cases} \qquad (۱)$$

در این رابطه $\mathbf{X_{ij}}$، مقدار دامنهٔ متناظر با فرکانس مکانی $\mathbf{(i,j)}$ و $\mathbf{Y_{ij}}$ مقدار دامنهٔ فرکانسی حاصله پس از اعمال فیلتر می‌باشد. $\mathbf{MED(X_{ij})}$ مقدار میانه در پنجرهٔ محلی فیلتر و $\boldsymbol{\theta}$ مقدار آستانه است. همان‌طور که در رابطه (۱) مشخّص شده است، روی ضریب طیفی $\mathbf{X_{00}}$ فیلتر اعمال انجام نمی‌شود، زیرا این فرکانس بیان‌گر میانگین روشنایی تصویر بوده و تنها قلّه‌ای است که باید بدون تغییر باقی بماند.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-09]

اندازهٔ پنجره‌های مناسب فیلتر میانهٔ فرکانسی ۵×۵، ۷×۷، ۹×۹ و ۱۱×۱۱ پیشنهاد شده، که وابسته به اندازهٔ پهنای باند اشغالی نوفه و به‌طور کامل تجربی، انتخاب می‌گردد. مقدار آستانه نیز برای اندازهٔ فیلتر ۵×۵ و ۷×۷ عدد ۳ و برای اندازه‌های بزرگ‌تر مقدار ۶ پیشنهاد شده است *(Aizenberg and Butakoff, 2002)*. از معایب این فیلتر انتخاب تجربی اوّلیه پارامترهای آستانه و اندازهٔ پنجرهٔ فیلتر می‌باشد. از آن‌جایی‌که مقدار میانه برای همهٔ فرکانس‌های تصویر باید محاسبه شود (رابطهٔ ۱)، پیچیدگی محاسباتی تحقق این فیلتر بالا بوده و با توان دوم ابعاد پنجرهٔ میانه، افزایش می‌یابد.

۲-۵- فیلتر میانگین در حوزهٔ فرکانس

فیلتر میانگین ماسک شده *(Aizenberg, et al., 2002)* یک ایدهٔ دیگر برای کاهش اثر نوفهٔ تناوبی و با تحلیل دامنهٔ طیف فرکانسی تصویر با استفاده از پنجرهٔ لغزنده با اندازهٔ **N×N** انجام می‌گیرد. برای این‌که مشخّص شود کدام یک از المان‌های واقع در پنجره برای انجام محاسبه انتخاب می‌شود، ماسکی از قبل تعریف می‌شود. این ماسک، یک ماتریس باینری و ابعاد **N×N** می‌باشد. پنجره‌های محلی باید با ماسک مورد نظر پوشانیده شده و اگر المانی از ماسک متناظر با مقدار دامنهٔ طیف فرکانسی در پنجرهٔ محلی برابر با یک بود، آن‌گاه مقدار دامنهٔ طیفی این پیکسل در محاسبهٔ میانگین محلّی در نظر گرفته می‌شود. المان مرکزی پنجرهٔ محلّی باید در محاسبهٔ میانگین محلّی در نظر گرفته نشود، زیرا ممکن است به علّت نوفهٔ تناوبی آلوده باشد. بنابراین المان مربوطه به آن را در ماسک برابر صفر قرار می دهیم. رابطهٔ (۲)، ماتریس ماسک **M** را نشان می‌دهد.

$$M=\begin{bmatrix} m_{00} & \cdots & m_{0,N-1} \\ \vdots & 0 & \vdots \\ m_{N-1,0} & \cdots & m_{N-1,N-1} \end{bmatrix} \qquad (۲)$$

$$m_{i,j}=\begin{cases} 0 & i=j=\dfrac{N-1}{2} \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

برای دامنهٔ طیف $\mathbf{X_{k,l}}$، مقدار میانگین $\mathbf{S_{k,l}}$ توسط رابطهٔ (۳) محاسبه می‌شود که **M** ماتریس ماسک (رابطهٔ ۶) و **T** تعداد المان‌های غیر صفر در **M** می‌باشد.

$$s_{kl}=\frac{\sum_{i=-N/2}^{N/2}\sum_{j=-N/2}^{N/2} m_{ij}\left|X_{k+i,l+j}\right|}{T} \qquad (۳)$$

معیار تعیین مؤلّفهٔ نوفه‌ای با رابطهٔ (۴) مشخّص می‌شود که در این‌جا θ مقدار آستانه است که با تحلیل طیف انتخاب می‌شود. درواقع این مقدار با توجّه به میزان آلوده بودن تصویر و قدرت حذف نوفهٔ فیلتر، تعیین می‌شود.

$$\frac{X_{kl}}{S_{kl}}>\theta \qquad (۴)$$

بنابراین هر مؤلّفهٔ فرکانسی **(k,l)** با مقدار $\mathbf{X_{k,l}}$ که در رابطهٔ (۴) صدق کند، به‌عنوان یک قله نوفه شناخته شده و دامنهٔ آن باید محدود شود. تحقق فیلتر میانگین در حوزهٔ فرکانس توسط رابطهٔ (۵) بیان می‌شود.

$$Y_{ij}=\begin{cases} \dfrac{X_{ij}}{\delta} & if \quad \dfrac{X_{kl}}{S_{kl}}>\theta \quad \text{and } (i,j)\neq(0,0) \\ X_{ij} & \text{otherwise} \end{cases} \qquad (۵)$$

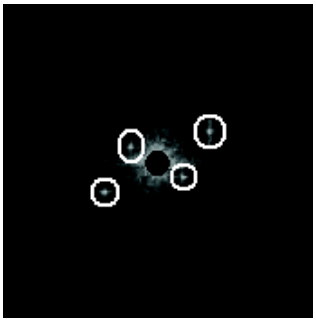
که در این رابطه $\boldsymbol{\delta}$ برای کاهش اثر نوفهٔ تناوبی اعمال شده که انتخاب آن وابسته به نسبت میزانی است که لازم است، قله نوفه محدود شود. این فیلتر در حذف نوفهٔ تناوبی وقتی در حوزهٔ فرکانس بسیار تیز بوده، خوب عمل کرده ولی وقتی نوفه در حوزهٔ فرکانس پهن باشد، اثر آن کاهش یافته و قسمت‌هایی از نوفه باقی می‌ماند. یک تخمین مناسب برای اندازهٔ پنجره متوسط‌گیری، ۳×۳ و برای آستانهٔ θ =۴ است *(Aizenberg, et al., 2002)*.

۳- نقد روش‌های موجود و ارایهٔ راه‌کاری مناسب

در فیلتر میان نگذر و برشی، فرض بر آن است که فرکانس‌های متناظر با نوفهٔ تناوبی و محدودهٔ آن از قبل مشخّص است. فرض مشخّص بودن فرکانس‌های نوفهٔ تناوبی، عامل محدود کننده در این فیلترها بوده و درعمل به این دلیل از آن‌ها کم‌تر استفاده می‌شود. در مورد فیلترهای میانه و میانگین در حوزهٔ فرکانس، مشکل یافتن فرکانس‌های متناظر با نوفهٔ تناوبی تا حدّی حل شده است، ولی تعدادی پارامتر در الگوریتم وارد شده که انتخاب نادرست آن‌ها، منجر به کاهش شدید کیفیت تصویر خروجی خواهد شد. بنابراین، به نظر می‌رسد مشکل عمدهٔ روش‌های موجود در انتخاب فرکانس‌های متناظر با نوفهٔ تناوبی است. در این مقاله راه‌کاری مناسب برای حلّ این مشکل با تحلیل طیف تصویر آلوده شده به نوفهٔ تناوبی ارائه می‌شود. در این راه‌کار، طیف تصویر آلوده شده، همانند یک تصویر سطح خاکستری

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-09]

فرض شده و از روش‌های بینایی ماشینی مانند تقطیع[1] به روش آستانه‌گذاری[2]، برچسب‌گذاری اجزا[3] و رشد ناحیه[4] برای مشخّص کردن فرکانس‌های متناظر با نوفهٔ تناوبی استفاده می‌شود. اگر به شکل طیف تصویر آلوده به نوفهٔ تناوبی در (شکل ۳) دقّت شود، این تصویر همانند تصاویر طیف مادون قرمز از اهداف دور است، که اهداف در آن با نقاطی روشن، مشخّص شده‌اند؛ منتهی لازم است که محدودهٔ مرکز تصویر که متناظر با فرکانس‌های پایین در تصویر است، به‌نوعی حذف شود. (شکل ۴) تصویر طیف (شکل ۳) را نشان می‌دهد که قسمت مؤلّفه‌های فرکانس پایین آن حذف (سیاه) شده و فرکانس‌های متناظر با نوفهٔ تناوبی، هم‌چون اهداف گرم در تصاویر مادون قرمز، مشخّص شده‌اند. پس از تقطیع تصویر و مشخّص کردن فرکانس‌های متناظر با نوفهٔ تناوبی، از روش‌های رشد ناحیه می‌توان برای مشخّص کردن محدودهٔ تأثیر فرکانس نوفهٔ تناوبی، استفاده کرد که در روش پیشنهادی نیز از آن استفاده شده است.



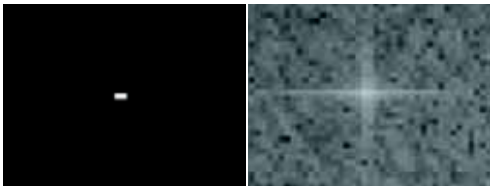
(شکل۴): تصور طیف تصویر آلوده به نوفهٔ تناوبی مانند یک تصویر مادون قرمز حاوی اهدافی کوچک و گرم

در روش پیشنهادی، پس از مشخّص‌شدن فرکانس‌های متناظر با نوفهٔ تناوبی و محدودهٔ آن، از روش فیلتر میانه در حوزهٔ فرکانس برای کاهش اثر این نوفه استفاده خواهد شد، از آن‌جایی‌که انتخاب فرکانس‌های متناظر با نوفهٔ تناوبی با توجّه به محتوی طیف انجام می‌شود، نام فیلتر میانهٔ تطبیقی در حوزهٔ فرکانس، برای آن انتخاب شده است.

خلاصهٔ روش پیشنهادی به این صورت است که ابتدا آستانه‌ای تطبیقی در حوزهٔ فرکانس جهت تشخیص مرکز ستاره‌گونه‌های متناظر با نوفهٔ تناوبی، که از قلّهٔ بالاتری برخوردار است، پیشنهاد شده و به کمک آن و با مرور تمامی فرکانس‌ها در حوزهٔ فرکانس، به‌جز محدودهٔ متناظر با مرکز که متعلّق به محتوای فرکانسی پایین در تصویر و نواحی نسبتاً یکنواخت است،که در (شکل ۴) با دایرهٔ سیاه در مرکز مشخص شده، مکان مؤلّفهٔ اصلی و مرکزی ستاره‌گونه‌ها تشخیص داده شده و از تصویر طیف، تقطیع می‌شوند. بعد از آن با کمک الگوریتم برچسب‌گذاری اجزا، هر قسمت از سایر بخش‌ها جدا شده و سپس از یک الگوریتم رشد ناحیه در حوزهٔ فرکانس که توضیح داده خواهد شد، برای پیدا کردن کلیهٔ مؤلّفه‌های مربوط به نوفه اطراف این پیک فرکانسی استفاده می‌شود. بعد از یافتن کلیه فرکانس‌های متناظر با نوفهٔ تناوبی، از فیلتر میانه در حوزهٔ فرکانس به‌عنوان یکی از بهترین فیلترها از لحاظ اثرگذاری در کاهش نوفهٔ تناوبی که در قسمت قبلی توضیح داده شد، برای کاهش نوفهٔ تناوبی استفاده می‌شود. در قسمت بعدی، جزییات الگوریتم پیشنهادی در مشخّص‌کردن فرکانس‌های متناظر با نوفهٔ تناوبی، تشریح می‌گردد.

۴- یافتن مکان و پهنای فرکانسی معادل با نوفهٔ تناوبی

نوفهٔ تناوبی در حوزهٔ فرکانس از جفت قله‌های فرکانسی متقارن از مرکز تشکیل شده است که تک‌فرکانسی نبوده و شبیه ستاره‌گونه‌ها یا قلّه‌هایی رفیع نمایان می‌شوند. در حوزهٔ مکان، نوفه که به‌صورت هاشورهایی دیده می‌شود از پس‌زمینهٔ خود قابل آشکارسازی و استخراج نمی‌باشد. در این قسمت ما با کمک یک آستانهٔ پیشنهادی فقط مکان فرکانس مرکزی هر ستاره‌گونه نوفه را در حوزهٔ فرکانس می‌یابیم. (شکل ۵) بزرگ‌نمایی نمونه‌ای از محل ستاره گونهٔ نوفه و مکان‌یافته شده توسط آستانه‌گذاری را نشان می‌دهد.



(شکل۵): بزرگ‌نمایی در محل ستاره‌گونه (شکل راست) و پیکسل‌های مرکزی یافته شده (شکل چپ)

الگوریتم محاسبهٔ آستانهٔ پیشنهادی به‌صورت جداگانه در بخش بعد آمده است. ممکن است در حوزهٔ فرکانسی، مؤلّفه‌های فرکانسی مربوط به پس‌زمینه و قسمت‌های آرام تصویر که به طیف **DC** تصویر معروف است، با ستاره‌گونه‌های نوفه اشتباه گردد. بنابراین باید قسمتی از مرکز طیف فرکانسی را که با $\mathbf{R_{LF}}$ نمایش می‌دهیم محاسبه کرده و فیلتر را در این قسمت اعمال نکنیم. روش محاسبهٔ شعاع این قسمت نیز در قسمت محاسبهٔ آستانه، تشریح خواهد شد.

[1] segmentation
[2] thresholding
[3] component labeling
[4] region growing

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-09]

۴-۱- محاسبهٔ آستانه در روش پیشنهادی

محاسبهٔ مقدار آستانه جهت یافتن فرکانس‌های متناظر با نوفهٔ تناوبی که لازم است به‌صورت تطبیقی و با توجّه به محتوای فرکانسی تصویر انجام شود، از مهم‌ترین مراحل الگوریتم پیشنهادی است. آستانه‌گذاری در بحث پردازش تصاویر دیجیتال و بینایی ماشین *(Snyder, 2002)* کاربردهای متعددی دارد که یکی از موارد آن، جداسازی هدف از پس‌زمینه به‌منظور ردیابی اهداف است *(معلم و شائمی، ۱۳۸۶)*. روش پیشنهادی برای محاسبهٔ آستانه، بر مبنای روشی است که در تقطیع هدف در تصاویر مادون قرمز استفاده می‌شود *(Venkateswarlu, et al., 1992)*. در تصاویر مادون قرمز، به علّت بالا بودن دمای هدف نسبت به پس‌زمینه، هدف در تصویر، روشن‌تر از پس‌زمینه دیده می‌شود. دقّت کنید که در تصاویر آلوده به نوفهٔ تناوبی نیز نقاط نوفهٔ تناوبی، بسیار روشن‌تر از سایر نقاط بوده و مشابه هدف در تصاویر مادون قرمز خواهد بود. در روش پیشنهادی لازم است بیشینهٔ دامنه در حوزهٔ فرکانس ($\mathbf{A_{max}}$) و متوسط دامنه در حوزهٔ فرکانس ($\mathbf{A_{mean}}$) محاسبه و مقدار آستانه ($\mathbf{A_{Thr}}$) از رابطهٔ (۶) محاسبه گردد.

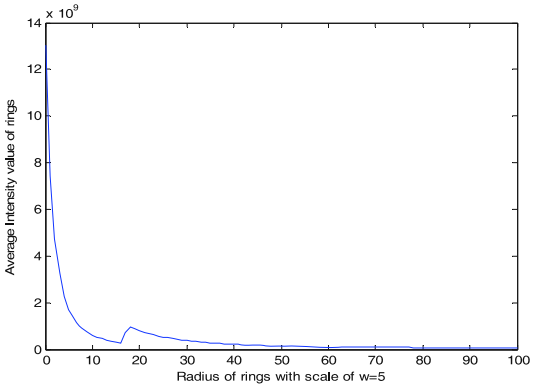
$$A_{Thr} = (A_{\max} + A_{mean})/2 \qquad (۶)$$

به علّت وجود مؤلّفهٔ فرکانس پایین در تصاویر عادی که ناشی از نواحی به‌طور تقریبی یکنواخت در حوزهٔ مکان است، لازم است مقدار بیشینهٔ ($\mathbf{A_{max}}$) از کل تصویر به‌جز دایره‌ای در مرکز که آن‌را $\mathbf{R_{LF}}$ می‌نامیم و شامل مؤلّفه‌های فرکانس پایین است، محاسبه گردد. در روش پیشنهادی فرض شده که نوفهٔ تناوبی دارای مؤلّفه‌های بالاتری از مؤلّفه‌های فرکانس پایین است که به‌طور عمده ناشی از اطّلاعات تصویر اصلی است و بنابراین نوفهٔ تناوبی در داخل دایرهٔ مرکزی با شعاع $\mathbf{R_{LF}}$، مؤلّفه ندارد. این فرض بدان معنا است که لازم است نوفهٔ تناوبی، فرکانس پایین نباشد.

۴-۲- محاسبهٔ $\mathbf{R_{LF}}$

روش پیشنهادی جهت محاسبهٔ $\mathbf{R_{LF}}$ به این صورت است که از مرکز حوزهٔ فرکانسی به طرف خارج، حلقه‌هایی به شعاع انتخابی (w) ۳ یا ۵ یا ۷ انتخاب کرده و میانگین مجموع اندازهٔ مؤلّفه‌های فرکانسی هر حلقه محاسبه می‌شود. نمونه‌ای از این رشته برای یک تصویر آغشته به نوفهٔ تناوبی برحسب فاصله از مرکز با شعاع انتخابی w = ۵ در نمودار (شکل ۶) رسم شده است. شدّت میانگین فرکانسی بالای اوّلیه یعنی در شعاع نزدیک به مرکز، بیان‌گر فرکانس‌های پایین تصویر که حاصل از قسمت‌های یکنواخت تصویر اصلی در حوزهٔ مکان است، خواهد بود. در ادامه یک قلّهٔ فرکانسی دیده می‌شود که به‌خاطر وجود نوفهٔ تناوبی و مؤلّفهٔ فرکانسی مزاحم مربوطه به‌وجود آمده است. در انتخاب شعاع دایره میانی برای حذف مؤلّفه‌های فرکانس پایین در محاسبهٔ آستانه، می‌توان از این نمودار استفاده کرد. به این منظور باید مکان درّهٔ بین این دو قلّه را یافت. بدین منظور با افزایش شعاع حلقه‌ها از مرکز حوزهٔ فرکانس، مقدار هر میانگین اندازهٔ مؤلّفه‌های فرکانسی به‌دست آمده را که در رشته‌ای ذخیره نموده‌ایم با دو مقدار قبل و دو مقدار بعد از خود مقایسه کرده و اگر از این مقادیر کم‌تر بود، به‌عنوان شعاع دایرهٔ میانی در محاسبهٔ آستانه در نظر می‌گیریم. برای اطمینان می‌توان مقادیر فرکانس‌های مجاور دو فرکانس قبلی و بعدی را نیز در مقایسه، در نظر بگیریم. شعاع به‌دست آمده از این روش ، همان $\mathbf{R_{LF}}$ می‌باشد.

انتخاب شعاع انتخابی حلقه‌ها در نتیجهٔ محاسبهٔ $\mathbf{R_{LF}}$ جابه‌جایی کمی را ایجاد کرده، ولی محاسبهٔ $\mathbf{R_{LF}}$ با این تقریب در نتیجهٔ نهایی محاسبهٔ آستانه، یعنی انتخاب شعاع دایره میانی تصویر برای محاسبه A_{max} حساسیت چندانی ایجاد نمی‌کند. محاسبهٔ A_{mean} نیز مستقل از $\mathbf{R_{LF}}$ می‌باشد.



(شکل۶): میانگین دامنهٔ فرکانسی حلقه‌هایی با عرض w=۵ بر حسب شعاع از مرکز با مقیاس w=۵

۴-۳- محاسبهٔ $\mathbf{A_{mean}}$

به‌منظور حذف اثر مؤلّفه‌های فرکانس پایین در محاسبهٔ مقدار متوسط، $\mathbf{A_{mean}}$ در محدوده فرکانس‌های بالا محاسبه می‌شود. از طرفی لازم است $\mathbf{A_{mean}}$ در ناحیه‌ای محاسبه گردد که مؤلّفهٔ نوفهٔ تناوبی در آن وجود نداشته باشد، برای این منظور چهار ربع دایره در نواحی فرکانس‌های بالایی چهار گوشهٔ حوزهٔ فرکانس به شعاع کمانی، برابر با نصف فاصله از گوشه تا وسط ضلع کوچک‌تر در نظر گرفته شده و مقدار میانگین دامنهٔ ($\mathbf{A_{mean}}$) در آن‌ها محاسبه می شود. انتخاب میزان این شعاع در نتایج بسیار حساس نیست ولی مقدار در نظر گرفته شده در روش پیشنهادی به‌گونه‌ای است

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-09]

که با توجّه به ابعاد تصویر، به‌راحتی قابل محاسبه باشد. البتّه به‌خاطر تقارن فرکانسی می‌توان تنها دو کمان از گوشه‌های بالایی یا پایینی تصویر را برای محاسبهٔ A_{mean} استفاده کرد که بار محاسباتی کم‌تری را نیاز خواهد داشت.

(شکل ۷)، نمونه‌ای از طیف یک تصویر به همراه نمایش شعاع کمانی از گوشه‌های تصویر و شعاع مرکزی ($\mathbf{R_{LF}}$) را برای یک تصویر نمونه نشان می‌دهد.



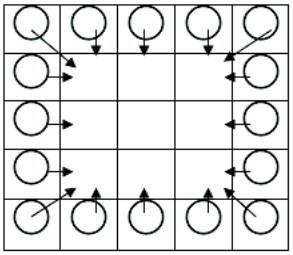
(شکل۷): نمایش شعاع کمانی از گوشه‌های تصویر و شعاع مرکزی ($\mathbf{R_{LF}}$) برای یک تصویر نمونه

هنگامی‌که نوفهٔ تناوبی شامل مؤلّفه‌های فرکانس پایینی باشد که به مرکز حوزهٔ فرکانس و مؤلّفه‌های فرکانس پایین تصویر نزدیک است، حذف نوفه بسیار مشکل خواهد بود. چون در هنگام اصلاح اثر نوفه، قسمت **DC** یا فرکانس پایین تصویر نیز حذف و در حوزهٔ مکان، تصویر تیره شده و از شدّت متوسط پیکسل‌ها بسیار کاسته می‌شود.

۴-۴- یافتن تصویر ماسک

شکل نوفهٔ تناوبی در حوزهٔ فرکانس شبیه یک قلّه رفیع یا یک ستاره است. دامنهٔ مؤلّفه‌های فرکانسی نوفه در طیف توان از بقیه نقاط بیش‌تر است. بنابراین شدّت سطح خاکستری آن‌ها بالاتر و مؤلّفه‌های مربوط به نوفه، سفید رنگ دیده می‌شوند. شدّت روشنایی پیکسل‌های مرکزی در شکل نوفه از نقاط همسایگی‌اش بیش‌تر است و این شدّت از مرکز به سمت کناره‌ها به‌صورت نزولی کاهش می‌یابد.

الگوریتم روش پیشنهادی برای پیدا کردن پهنای باند اشغالی نوفه یا تصویر ماسک که به‌طور دقیق مؤلّفه‌های مربوط به نوفه را نشان دهد، الگوریتمی بر مبنای رشد ناحیه *(Szeliski, 2010)* است. فرض شده که توزیع نوفهٔ تناوبی در فضای فرکانس دارای یک مؤلّفهٔ اصلی است که به‌تدریج کاهش می‌یابد. هدف از این الگوریتم، یافتن ماسکی در اطراف فرکانس نوفهٔ تناوبی است که کلیهٔ فرکانس‌های نوفهٔ تناوبی را با '1' و فرکانس‌های غیر نوفه‌ای را با '0' نشان دهد. به علّت وجود پخش‌شدگی اطراف مؤلّفهٔ اصلی در روش پیشنهادی، ابتدا کوچک‌ترین مربع، یعنی یک مربع ۳×۳ اطراف فرکانس مرکزی نوفه انتخاب می‌کنیم. هم‌چنین مربعی با یک اندازهٔ بزرگ‌تر یعنی ۵×۵ نیز انتخاب کرده و سپس شدّت پیکسل‌های محیطی مجاور هم‌دیگر از مربع کوچک‌تر و بزرگ‌تر را با هم‌دیگر مقایسه می‌کنیم. (شکل ۸) پیکسل‌های مجاور را نشان می‌دهد. متغیر z با مقدار اوّلیه صفر و هم‌چنین تصویر ماسک به اندازهٔ تصویر اصلی و با مقدار اوّلیهٔ '1' برای مربع ۳×۳ و مقدار '0' برای مابقی نقاط انتخاب می‌کنیم. هرگاه شدّت پیکسل مربع بزرگ‌تر از شدّت پیکسل مجاورش در مربع کوچک‌تر بیش‌تر باشد، متغیر z یک واحد افزایش یافته و پیکسل مشابه مختصات آن در تصویر ماسک مقدار '1' می‌گیرد و در غیر این صورت '0' می‌شود. در مورد پیکسل‌های گوشه‌ای مربع‌ها، همان‌طورکه در (شکل ۸) دیده می‌شود، باید هر سه پیکسل گوشه‌ای از مربع بزرگ‌تر را با تنها پیکسل گوشه‌ای مربع کوچک‌تر مقایسه کرد.

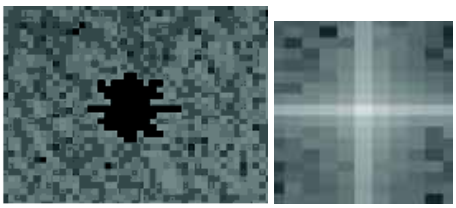


(شکل۸): پیکسل‌های محیطی مربع بزرگ‌تر و معین کردن جفت پیکسل‌هایی از مربع بزرگ‌تر با کوچک‌تر که باید مقایسه گردند.

این شیوه، به‌صورت ترتیبی برای هر دو مربع مجاور تکرار می‌شود؛ با این تفاوت که در مقایسهٔ هر دو پیکسل مجاور، ابتدا پیکسل مشابه مختصات پیکسل مربع کوچک‌تر را در تصویر ماسک کنترل کرده و اگر مقدار یک را داشته باشد، عمل مقایسه برای این دو پیکسل را ادامه می‌دهیم؛ و در غیر این صورت مقایسه این دو پیکسل را رها کرده و روش را برای مابقی پیکسل‌های مجاور ادامه می‌دهیم.

در پایان مرحلهٔ مقایسهٔ پیکسل‌های مجاور هر دو مربع مجاور، متغیر **z** ، تعداد پیکسل‌های محیطی مربع بزرگ‌تر را که از شدّت بیش‌تری در مقایسه با شدّت پیکسل‌های مجاور خود در مربع کوچک‌تر برخوردار بودند، نشان می‌دهد یا با دید بهتری می‌توان گفت، تعداد پیکسل‌های محیطی آلوده به نوفهٔ مربع بزرگ‌تر را نشان می‌دهد. هر زمان در پایان مقایسهٔ هر دو مربع مجاور، متغیر **z** کم‌تر از نیمی از تعداد کل پیکسل‌های محیطی مربع بزرگ‌تر باشد، حلقهٔ تکرار پایان یافته و نقاطی از تصویر ماسک که مقدار '1' را گرفته‌اند، بیان‌گر مؤلّفه‌های فرکانسی نوفهٔ تناوبی می‌باشند. (شکل ۹) بزرگ‌نمایی‌شدهٔ نمونه‌ای از تصویر ماسکی را که روی فرکانس نوفهٔ تناوبی قرار گرفته نشان می‌دهد.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-09]



(شکل ۹): بزرگ‌نمایی در محل ستاره‌گونه فرکانس نوفه (راست) و ماسک پوشاننده مؤلّفه‌های نوفه‌ای محاسبه شده (چپ)

۵- فیلتر میانهٔ تطبیقی پیشنهادی

هنگام استفاده از فیلتر میانهٔ فرکانسی مرسوم، تعیین اندازهٔ پنجرهٔ فیلتر و هم‌چنین مقدار آستانه (θ در رابطهٔ ۱) به‌طور کامل تجربی بوده و وابسته به شدّت نوفهٔ یا پهنای باند اشغالی در فضای فرکانسی باید انتخاب گردد؛ امّا اگر تصویر ورودی آلوده به چندین نوفهٔ تناوبی (به‌عنوان مثال شامل چندین سینوسی) و درنتیجه مؤلّفه‌های زیاد و متفاوت از نظر پهنای باند در حوزهٔ فرکانس باشد، انتخاب اندازهٔ پنجرهٔ فیلتر مناسب و مقدار آستانهٔ یکسان برای همهٔ فرکانس‌ها، کاری دشوار بوده و در عمل این فیلتر، پاسخ خوبی در حذف نوفهٔ تناوبی نمی‌دهد. مشکل دیگر فیلتر میانه زمان اجرای بسیار بالای آن است. محاسبهٔ میانه برای پیکسل‌های درون پنجرهٔ فیلتر برای تمامی فرکانس‌های طیف، بار محاسباتی بالایی دارد. این محاسبات با افزایش اندازهٔ پنجره، بسیار بالا می‌رود. زمان اجرای فیلتر وابسته به اندازهٔ پنجره بوده و با مقدار پهنای باند آلوده به نوفه وابستگی ندارد.

در روش پیشنهادی، اعمال فیلتر میانه فقط برای مؤلّفه‌های نوفه‌ای محاسبه شده انجام می‌گیرد. از طرفی آزمایش‌های انجام شده نشان داده است که در نظر گرفتن پنجرهٔ مربعی (□) برای اعمال میانه با پنجره به‌علاوه‌شکل (+) تفاوتی ندارد، ولی حجم محاسباتی پنجرهٔ به‌علاوه‌شکل بسیار کم‌تر است. بنابراین در روش پیشنهادی از پنجرهٔ به‌علاوه‌شکل استفاده شده است. مشکل دیگر روش میانه فرکانسی، اندازهٔ پنجرهٔ میانه بود که باید ثابت انتخاب شود. در روش پیشنهادی، اندازهٔ پنجرهٔ به‌علاوه‌شکل هر مؤلّفهٔ نوفه‌ای، به اندازهٔ سه برابر ابعاد نوفهٔ تناوبی متناظر که در قسمت قبلی محاسبه گردید، در نظر گرفته می‌شود.

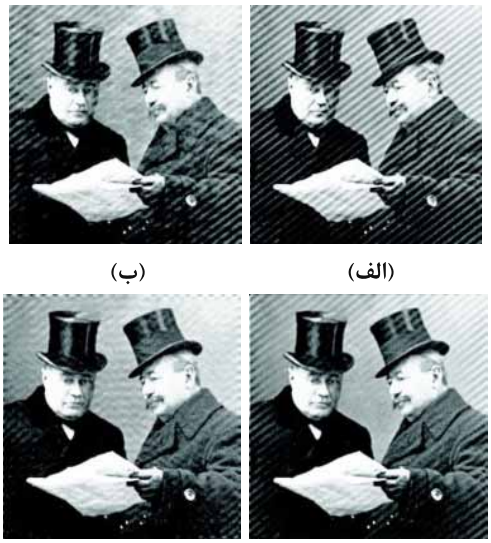
۶- پیاده‌سازی و مقایسهٔ نتایج

فیلتر میانهٔ تطبیقی پیشنهادی و فیلترهای میانگین و میانه در حوزهٔ فرکانس در محیط MATLAB پیاده‌سازی گردیده *(Gonzalez, et al., 2009)* و از لحاظ کارآیی با دیدگاه بهبود کیفیت ایجاد شده (از لحاظ چشمی و هم‌چنین توسط پارامترهای آماری) مقایسه شدند.

برای مقایسهٔ بهبود کیفیت ایجاد شده به‌صورت چشمی، به علّت نزدیکی تصاویر فیلتر شده از لحاظ کاهش اثر نوفهٔ تناوبی و برای مقایسهٔ بهتر نتایج، مناسب است که تصویر فیلتر شده، همسان‌سازی هیستوگرام شود. برای مقایسه کمّی سه فیلتر مورد مقایسه، از روش آماری میانگین خطای مطلق (**MAE**)[1] بین تصاویر اصلی و اصلاح شده و برای ضرایب مختلف دامنه نوفه در تصویر اصلی، استفاده شده است. اگر **N** و **M** ابعاد تصویر و $f_e(x,y)$ و $g_e(x,y)$ به‌ترتیب تصویر بدون نوفهٔ تناوبی و تصویر فیلتر شده در نقطهٔ (x,y) باشد، **MAE** از رابطهٔ (۷) محاسبه می‌شود.

$$h(x,y) = f_e(x,y) - g_e(x,y)$$
$$\mathrm{MAE} = \sum_{x=1}^{N}\sum_{y=1}^{M} | h(x,y) | \qquad (۷)$$

نوفهٔ اعمال شده، به‌صورت مجموع دو مؤلّفهٔ سینوسی با دامنهٔ یکسان در حوزهٔ مکان، در نظر گرفته شده‌است. برای الگوریتم‌های مورد مقایسه، آستانه و اندازه در نظر گرفته شده برای فیلتر میانگین، به‌ترتیب ۱۵ و ۳×۳ و برای فیلتر میانه، ۶ و ۹×۹ بوده که با سعی و خطا بهینه شده‌اند. الگوریتم پیشنهادی برای تصاویر متعدد و در شرایط گوناگونی آزمایش شده است *(بهنام پور، ۱۳۸۶)* که در (شکل ۱۰)، نمونه‌ای از تصویر آلوده شده به نوفهٔ تناوبی سینوسی و بازسازی آن با سه روش مورد مقایسه آمده است. جهت مقایسهٔ بهتر دیداری نتایج، تصاویر خروجی فیلترها، همسان‌سازی هیستوگرام شده‌اند تا اختلافات آن‌ها با تصویر اصلی بدون نوفه، بارزتر شود.



(الف) (ب)

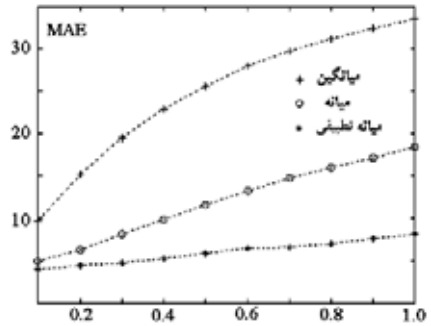
(ج) (د)

(شکل ۱۰): تصویر آلوده به نوفه (الف) و تصاویر اصلاح شده با فیلتر میانگین (ب)، فیلتر میانه (ج) و فیلتر میانهٔ تطبیقی (د).

[1] Mean Absolute Error

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-09]

در نمودار (شکل ۱۱)، برای تصویر آلوده شدهٔ (شکل ۱۰)، دامنهٔ نوفه متغیر فرض شده و مقدار **MAE** سه روش مقایسه شده‌اند. بررسی نمودار نشان می‌دهد با افزایش دامنه نوفهٔ تناوبی، فیلتر پیشنهادی، پاسخ‌های بهتری نسبت به دو فیلتر موجود دارد.



(شکل۱۱): نمودار مقادیر MAE بر حسب دامنهٔ سیگنال‌های سینوسی‌های مختلف در تصویر (شکل ۹) و برای فیلترهای میانگین، میانه و میانه تطبیقی پیشنهادی

در (شکل۱۲) مراحل بهبود تصویر آلوده به نوفهٔ تناوبی با فیلتر میانهٔ تطبیقی پیشنهادی در حوزهٔ فرکانس برای یک تصویر آلوده به چند نوفهٔ تناوبی با فرکانس‌ها و شدّت‌های مختلف (*Gonzalez and Woods, 2007*) به نمایش درآمده است. (شکل ۱۳) نیز مراحل حذف نوفهٔ تناوبی از روی تصویر گرفته شده از پخش آنالوگ شبکهٔ سه سیما که به خاطر اختلالات فرکانسی ناشی از ضعیف بودن سیگنال آنتن، دچار چندین نوفهٔ تناوبی شده را توسط فیلتر میانهٔ تطبیقی پیشنهادی نشان می‌دهد.

برای نمایش کارایی الگوریتم پیشنهادی در حالت‌های مختلف نوفهٔ متناوب و تصاویر ورودی، سه تصویر Lena، Cameraman و People (*Gonzalez and Woods, 2007*) که از لحاظ توزیع فرکانسی، متفاوت هستند، انتخاب شده و با سه نوفهٔ شبه‌تناوبی مختلف در رابطهٔ (۸) آمده است، آلوده گردیده است. تصاویر نوفه‌ای و اصلاح شده پس از اعمال روش پیشنهادی در (شکل ۱۴) آمده است.

$$
\begin{aligned}
N1&=1+0.2\times\mathrm{Sin}(2x+2y)+0.2\times\mathrm{Sin}(0.5x+0.5y)\\
N2&=1+0.2\mathrm{Sin}(1.1x+1.1y)+.2\mathrm{Sin}(1.5x)\\
&\quad +0.2\mathrm{Sin}(1.5y)+0.2\mathrm{Sin}(1.1x\text{-}1.1y)\\
N3&=1+0.2\times\mathrm{Sin}(1.9x+1.9y)+0.2\times\mathrm{Sin}(x+y)\\
&\quad +0.2\times\mathrm{Sin}(2.2x+2.2y)+0.2\times\mathrm{Sin}(1.5x+1.5y)\\
&\quad +0.2\times\mathrm{Sin}(0.4x+0.4y)
\end{aligned}
\qquad (۸)
$$

نسبت میانگین خطای مطلق (MAE) تصویر اصلاحی و تصویر اصلی به میانگین خطای مطلق تصویر آلوده و تصویر اصلی (MAE2/MAE1) و هم‌چنین نسبت انحراف استاندارد تصویر اصلاحی و تصویر اصلی به انحراف استاندارد تصویر آلوده و تصویر اصلی (STD2/STD1) برای این سه تصویر آلوده شده با هر سه نوع نوفهٔ ذکر شده در رابطهٔ (۸)، محاسبه و متوسط این مقادیر در (جدول ۱) آمده است. نتایج نشان داده شده در (شکل ۱۴) به همراه نتایج (جدول ۱) نشان دهنده کارآیی روش پیشنهادی در شرایط مختلف نوفه و تصویر می‌باشد.

(جدول ۱): متوسط نسبت میانگین خطای مطلق تصویر اصلاحی و تصویر اصلی به میانگین خطای مطلق تصویر آلوده و تصویر اصلی و هم‌چنین نسبت انحراف استاندارد تصویر اصلاحی و تصویر اصلی به انحراف استاندارد تصویر آلوده و تصویر اصلی از تصاویرآلوده (شکل ۱۱)

People	Cameraman	Lena	
0.245	0.263	0.222	MAE2/MAE1
0.297	0.312	0.296	STD2/STD1

در (شکل ۱۵) نیز نتایج اعمال الگوریتم پیشنهادی در کاهش اثر نوفهٔ تناوبی قطری غیر سینوسی آمده است که نوفهٔ تناوبی مشابه پالس متناوب در حوزهٔ مکان بوده و مؤلّفه‌های مختلفی را در حوزهٔ فرکانس آلوده کرده است.

از معیارهای مهم دیگر در مقایسه روش‌های کاهش نوفه، مقایسهٔ پیچیدگی محاسباتی و زمان اجرای الگوریتم‌هاست. از آن‌جایی‌که استفاده از نرم‌افزار **MATLAB** جهت مقایسهٔ زمان اجرا، نتایج قابل اعتمادی نخواهد داشت، الگوریتم‌های مورد مقایسه توسط کتابخانه **OpenCV** از شرکت **Intel** که کتابخانه‌ای با دسترسی آزاد و تهیه شده برای ماشین بینایی بلادرنگ است (*Bradski, et al., 2008*)، در محیط **Visual C++** پیاده شده و از لحاظ زمانی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

در (جدول ۲) زمان نسبی اجرای سه روش مورد مقایسه قرار گرفته است. برای این منظور زمان اجرای روش میانگین، مبنا قرار داده شده و دو روش دیگر نسبت به آن سنجیده شده‌اند. همان‌طور که قابل پیش‌بینی بود، روش پیشنهادی سرعت بسیار بهتری از روش میانه در فضای فرکانس و حتّی سرعت بهتری از روش میانگین در فضای فرکانس دارد که علّت آن تشخیص صحیح فرکانس‌های نوفهٔ تناوبی و گسترهٔ آن و اعمال فیلتر میانه در حوزهٔ فرکانس فقط برای آن فرکانس‌های می‌باشد. لازم به ذکر است زمان سنجی انجام شده شامل پیاده‌سازی تبدیل فوریه سریع[1] (**FFT**) دوبعدی و معکوس آن نیز می‌باشد.

(جدول۲): مقایسه بار محاسباتی نسبی فیلترهای میانه و میانه تطبیقی پیشنهادی نسبت به مرجع زمانی فیلتر میانگین، اجرا شده توسط OpenCV.

فیلتر میانه تطبیقی	فیلتر میانگین	فیلتر میانه	فیلتر مورد مقایسه
۰/۵۷	۱/۰	۱۵/۵۶	زمان نسبی اجرا

[1] Fast Fourier Transform

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-09]

۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک فیلتر میانهٔ تطبیقی جهت کاهش اثر نوفهٔ تناوبی در تصاویر دیجیتال مطرح گردید. به کمک الگوریتم پیشنهادی، تمام مؤلّفه‌های فرکانسی آلوده به نوفه در حوزهٔ فرکانسی تشخیص داده شده و به کمک روش پیشنهادی رشد ناحیه، تقطیع می‌گردد. در ادامه، فقط برای فرکانس‌های نوفهٔ تناوبی که در قسمت قبلی آشکار و تقطیع شده‌اند، یک فیلتر میانهٔ به‌علاوه‌شکل، با اندازهٔ سه برابر اندازهٔ ناحیهٔ نوفهٔ تناوبی، در حوزهٔ فرکانس اعمال شده و طیف تصویر فیلتر شده در حوزهٔ فرکانس محاسبه می‌شود. درنهایت با محاسبهٔ معکوس تبدیل فوریه، تصویر فیلتر شده در حوزهٔ مکان بازیابی می‌شود.

فیلتر میانهٔ تطبیقی پیشنهادی، با فیلتر میانه و میانگین در حوزهٔ فرکانس، به‌صورت کمّی و کیفی مورد مقایسه قرار گرفت که بیان‌گر نتایج بهتر فیلتر میانهٔ تطبیقی بود. مقایسهٔ نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی، جزییات کم‌تری را از تصویر اصلی حذف کرده و در عین حال، نوفهٔ تناوبی را نیز بیش‌تر تضعیف می‌کند. به‌خصوص در تصاویری که نوفه چند قسمتی با فرکانس‌ها و پهنای باندهای آلودهٔ مختلفی وجود داشته باشد، فیلتر پیشنهادی به‌صورت وفقی، مؤلّفه‌های آلوده را تشخیص می‌دهد. هم‌چنین از نظر زمان اجرایی این فیلتر بسیار سریع‌تر از فیلتر میانه در حوزهٔ فرکانس و حتّی سریع‌تر از فیلتر میانگین در حوزهٔ فرکانس بوده و کیفیت عملکرد آن نیز از هر دو فیلتر مورد مقایسه، حتّی فیلتر میانه در حوزهٔ فرکانس، بهتر می‌باشد.

در انتها ذکر این نکته ضروری است که روش پیشنهادی برای حذف نوفهٔ تناوبی تصاویری که حاوی الگوهای شبه‌تناوبی بوده، مانند تصاویر متون چاپی، کارآیی چندانی نداشته و در این موارد لازم است از روش‌های جایگزین استفاده شود.

۸- مراجع

Aizenberg, I., Butakoff, C., 2008. A windowed Gaussian notch filter for quasi-periodic noise removal, Image and Vision Computing, Vol. 26, Issue 10, pp. 1347-1353.

Aizenberg, I., Butakoff, C., Astola, J., Egiazarian, K., 2002. Nonlinear Frequency Domain Filter for the Quasi-Periodic Noise Removal, *International TICSP* Workshop on Spectral Methods and Multirate Signal Processing, pp. 147-153.

Aizenberg, I., Butakoff, C., 2002. Frequency Domain Median-like Filter for Periodic and Quasi-Periodic Noise Removal, SPIE Proceedings, Vol. 4667, pp. 181-191.

Bradski, G., Kaehler, A., Adrian, K., 2008. Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library, O'Reilly Media.

Castelli, V., Bergman, L.D., 2002. Image Databases, Search and Retrieval of Digital Imagery, John Wiley & Sons.

Drigger, R., Cox, P., Edwards, T., 1999. Introduction to Infrared & Electro-Optical System, Artech House.

Gonzalez, R.C., Woods, R.E., 2007. Digital Image Processing, 3rd Edition, Prentice Hall.

Gonzalez, R.C., Woods, R.E., Eddins S.L. 2009. Digital Image Processing using MATLAB, Gatesmark Publishing, 2nd edition.

Ji, T.Y., Li, M.S., Lu, Z., Wu, Q.H., 2008. Optimal morphological filter design using a bacterial swarming algorithm, IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC 2008), pp. 452-458.

Ji, T.Y., Lu, Z., Wu, Q.H., 2007. Optimal soft morphological filter for periodic noise removal using a particle swarm optimiser with passive congregation, Signal Processing, Vol. 87, Issue 11, pp. 2799-2809.

Schowengerdt, R.A., 1997. Remote Sensing: Models and Methods for Image processing, 2nd Edition, Academic Press.

Smolka, B., 2004. Nonlinear Techniques of Noise Reduction in Digital Color Images, Silesian University Press, Poland.

Snyder, W., Qi, H., 2002. Machine Vision, Cambridge University Press.

Szeliski, R., 2010. Computer Vision: Algorithms and Applications, Springer.

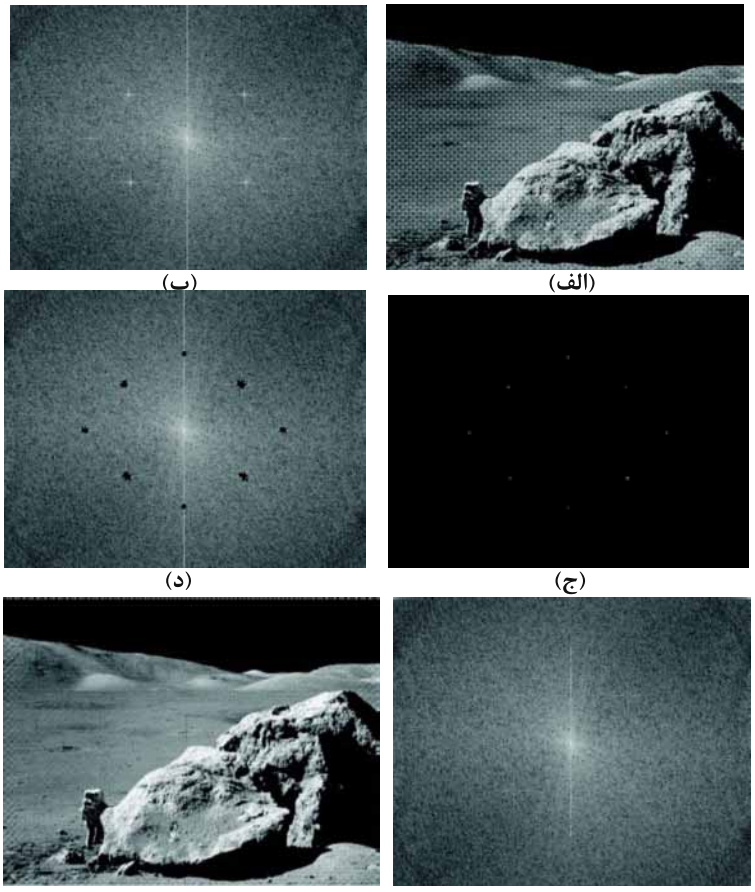
Venkateswarlu, R., Sujata, K.V., Venkateswara Rao, B., 1992. Centroid Tracker and Point Selection, SPIE Proceedings, Vol. 1697, pp. 520-529.

بهنام‌پور م.، طراحی و شبیه‌سازی پالایه‌های مختلف جهت حذف نوفهٔ تناوبی از تصاویر دیجیتال و مقایسه نتایج، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد رشتهٔ الکترواپتیک، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، زمستان ۱۳۸۶.

معلم پ.، بهنام‌پور م.، طراحی فیلتر برشی بهینه هوشمند به‌منظور کاهش اثر نوفهٔ تناوبی، سومین کنفرانس فن‌آوری اطّلاعات و دانش، دانشگاه فردوسی مشهد، آذر ۱۳۸۶.

معلم پ.، شائمی ع.، پیاده سازی بلادرنگ و کم هزینه الگوریتم مرکز شدت برای ردیابی موقعیت هدف در ویدیو، فصلنامه علمی تخصصی مهندسی برق مجلسی، شماره اول، صفحات ۴۳ الی ۵۲، تابستان ۱۳۸۶.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-09]

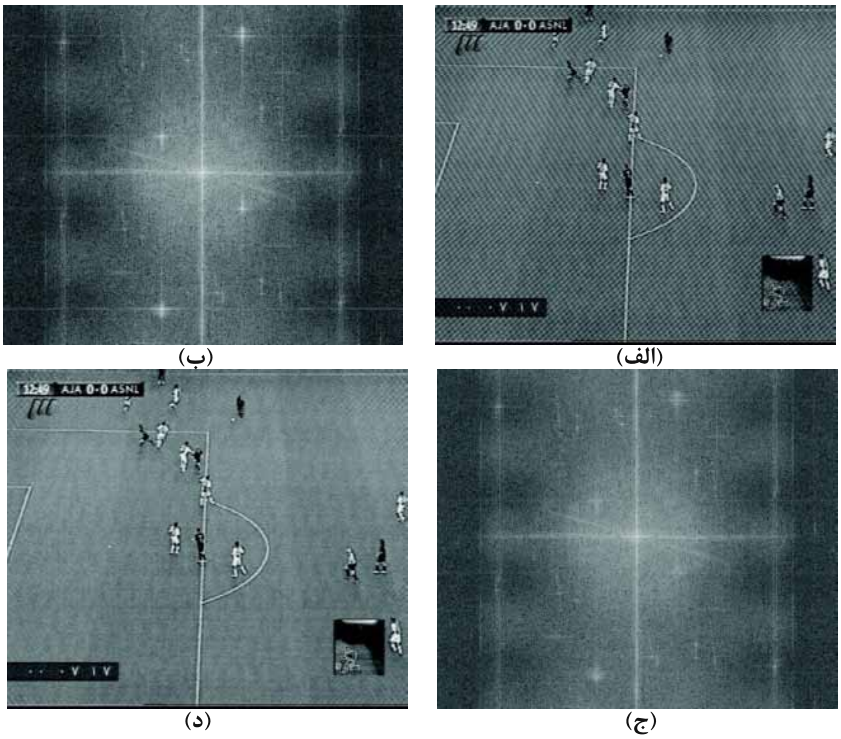


(ب) (الف)

(د) (ج)

(و) (ه)

(شکل۱۲): اصلاح نوفهٔ تناوبی با کمک با فیلتر میانهٔ تطبیقی پیشنهادی در حوزهٔ فرکانس. (الف) تصویر آلوده شده با یک نوفهٔ تناوبی چند فرکانسی (ب)طیف فرکانسی تصویر آلوده. (ج) فرکانس مؤلّفه‌های اصلی نوفه‌های تناوبی (نقاط سفید) (د) تصویر ماسک یافته شده برای فرکانس‌های مختلف نوفهٔ تناوبی (نواحی سیاه) (ه) طیف فرکانسی تصویر اصلاح شده (و) تصویر اصلاح شدهٔ نهایی.



(ب) (الف)

(د) (ج)

(شکل ۱۳): اصلاح نوفهٔ تناوبی به کمک فیلتر میانهٔ تطبیقی پیشنهادی در حوزهٔ فرکانس، برای یک نمونهٔ تصویر واقعی آغشته به نوفهٔ تناوبی ناشی از ضعیف بودن سیگنال تلوزیونی (الف) تصویر تلویزیونی آلوده به نوفهٔ تناوبی واقعی. (ب) نمایش حوزهٔ فرکانس تصویرآلوده به نوفه. (ج) اعمال فیلتر میانه تطبیقی در حوزهٔ فرکانس. (د) تصویر اصلاح شدهٔ نهایی.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-09]



(الف) نتایج اعمال الگوریتم پیشنهادی برای نوفهٔ N1 در رابطهٔ (۸) بر روی تصاویر مختلف



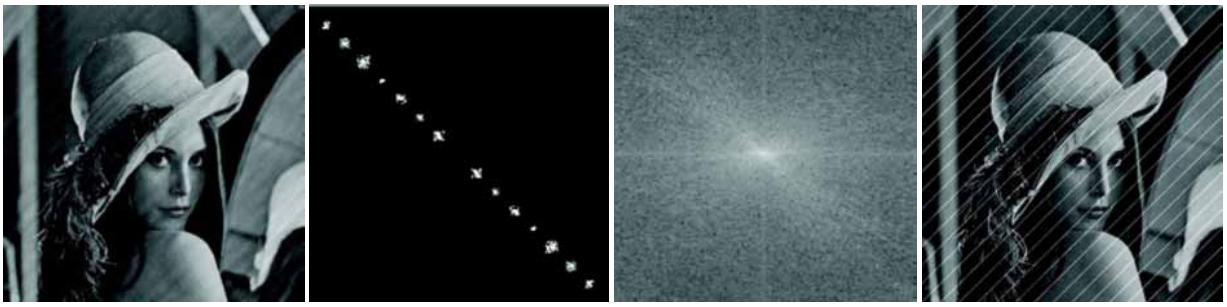
(ب) نتایج اعمال الگوریتم پیشنهادی برای نوفهٔ N2 در رابطهٔ (۸) بر روی تصاویر مختلف



(ج) نتایج اعمال الگوریتم پیشنهادی برای نوفهٔ N3 در رابطهٔ (۸) بر روی تصاویر مختلف

(شکل ۱۴): نتایج اعمال فیلتر میانه تطبیقی پیشنهادی به سه تصویر lena، cameraman و people که از لحاظ توزیع فرکانسی، تصاویری متفاوت می‌باشند و تحت تأثیر سه نوفهٔ شبه‌تناوبی مختلف قرار گرفته‌اند. تصاویر الف، ب و ج، به‌ترتیب نتایج اعمال نوفه‌های N1، N2 و N3 در رابطهٔ (۸) بوده که در آن‌ها، سطر اوّل شکل‌ها، تصویر نوفه‌ای و سطر دوم تصویر بازسازی شدهٔ بعد از اعمال فیلتر میانهٔ تطبیقی پیشنهادی است.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-09]



(الف) (ب) (ج) (د)

(شکل ۱۵): اصلاح نوفهٔ تناوبی به کمک فیلتر میانهٔ تطبیقی پیشنهادی در حوزهٔ فرکانس برای نوفهٔ متناوب قطری غیر سینوسی که به‌صورت پالس متناوب در حوزهٔ مکان بوده و مؤلّفه‌های متعددی را در حوزهٔ فرکانس آلوده کرده است. الف) تصویر اصلی آلوده شده به نوفهٔ تناوبی، ب) طیف تصویر آلوده شده، ج) فرکانس‌های نوفهٔ تناوبی آشکار شده توسط الگوریتم پیشنهادی د) تصویر اصلاح شدهٔ نهایی توسط الگوریتم پیشنهادی.



پیمان معلـم متولـد ۱۳۴۹ در تهـران، دانش آموختهٔ کارشناسـی و کارشناسـی ارشد مهندسی الکترونیک، بـه‌ترتیـب در سال ۱۳۷۰ و ۱۳۷۴ از دانشگاه صنعتی اصـفهان و دانشـگاه صـنعتی امیرکبیـر، می‌باشد. نام‌برده در سال ۱۳۸۲ موفّق به اخـذ درجـهٔ دکتـرا در مهندسـی بـرق از دانشـگاه صـنعتی امیرکبیر گردید. دکتر معلم از سـال ۱۳۸۲ بـه‌عنـوان عضـو هیأت علمی در دانشگاه اصفهان، مشـغول خـدمت گردیـد و هم اکنون دانش‌یـار گـروه مهندسـی بـرق دانشـکدهٔ فنـی و مهندسی دانشگاه اصفهان می باشد. زمینه‌های علمـی مـورد علاقهٔ ایشان شامل موضوعاتی مانند پردازش تصاویر، توسـعه شبکه‌های عصبی و پردازش هوشمند سیگنال‌هـا مـی‌باشـد. اجرای بیش از ۲۰ پروژهٔ کاربردی، تألیف بیش از ۱۷۰ عنوان مقاله در مجلات و کنفرانس‌های معتبر بـین‌المللـی و ملّـی و نیز تألیف دو عنوان کتاب در فعّالیت‌هـای پژوهشـی ایشـان دیـده مـی‌شـود. ایشـان در سـال‌هـای ۱۳۸۸ و ۱۳۹۰ به‌عنوان پژوهش‌گر برتر استان اصـفهان در حـوزهٔ مهندسـی انتخاب شده‌اند.

نشانی رایانامک ایشان عبارت است از:

p_moallem@eng.ui.ac.ir



مجید بهنام پور تحصیلات خود را در مقطع کارشناسـی در رشـتهٔ مهندسـی بـرق- الکترونیـک در سـال ۱۳۸۲ در دانشگاه آزاد اسلامی نجف آباد به پایان رسـاند. وی مـدرک کارشناسـی ارشـد خود را در رشـتهٔ مهندسـی الکترواپتیـک و لیـزر از دانشـگاه صنعتی مالک اشتر در سـال ۱۳۸۵ اخـذ نمـود. زمینـه‌هـای تحقیقـاتی ایشـان، پـردازش تصـویر و ویـدیو، سیسـتم‌هـای الکترواپتیک و لیزر با کاربرد هوایی می‌باشد.

نشانی رایانامک ایشان عبارت است از:

Majidbehnam20@gmail.com



سیدامیرحسن منجمی، کارشناسـی مهندسـی بـرق / کـامپیوتر خـود را از دانشگاه صنعتی اصفهان در سال ۱۳۶۹ اخـذ نمـود، سـپس در سـال ۱۳۷۳ در رشتهٔ مهندسی کامپیوتر، هوش ماشین و رباتیک، موفق بـه اخـذ مـدرک فـوق لیسـانس از دانشـگاه شیراز گردید. ایشـان دکتـری مهندسـی کـامپیوتر، پـردازش تصاویر و تشخیص الگوی خـود را نیـز از دانشـگاه بریسـتول انگلستان در سال ۱۳۸۳ اخذ نموده اسـت. نـام‌بـرده اکنـون بـه‌عنـوان دانـش‌یـار گـروه مهندسـی کـامپیوتر، دانشـکدهٔ مهندسی، دانشگاه اصفهان مشغول به کار است. سرفصل‌های تحقیقـاتی مـورد علاقـهٔ ایشـان، پـردازش تصـاویر و بینـایی ماشین، شـبکه‌هـای عصـبی، و امحـای فیزیکـی ویـروس‌هـا می‌باشد.

نشانی رایانامک ایشان عبارت است از:

monadjemi@eng.ui.ac.ir

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-09]