

حذف نویز ضربه از تصاویر طبیعی دیجیتالی در محدوده وسیعی از چگالی نویز مبتنی بر فیلتر میانگین و میانه تطبیقی

صادق کلانتری^۱، دانشجوی کارشناسی ارشد؛ علی محمد فتوحی^۲، استادیار

۱- دانشکده مهندسی برق - دانشگاه تفرش - تفرش - ایران - sadeghkalantari@tafreshu.ac.ir

۲- دانشکده مهندسی برق - دانشگاه تفرش - تفرش - ایران - fotouhi@tafreshu.ac.ir

چکیده: در این مقاله الگوریتم ترکیبی جدیدی برای شناسایی و از بین بردن نویز ضربه در تصاویر دیجیتال ارائه شده است. ایده اصلی این الگوریتم، تشخیص درصد نویز تصویر و اتخاذ دو شیوه متفاوت برای حذف نویز در چگالی نویزهای پایین و بالا می باشد. تفاوت دو شیوه حذف نویز در روش انتخاب مناسب ترین اندازه پنجره است. در هر دو حالت، پس از تعیین مناسب ترین اندازه پنجره، ایده پیشنهادی، جایگزینی پیکسل مرکزی پنجره با متوسط مقدار میانه و میانگین پیکسل های غیرنویزی همسایه می باشد. در الگوریتم پیشنهادی، تنها پیکسل های نویزی تصویر پردازش می شوند و پیکسل های سالم دستخوش تغییر نمی گردند. ایده های به کاررفته در این مقاله سبب شده است که روش ارائه شده در تمامی چگالی نویزها عملکرد مطلوبی داشته باشد، ضمن آن که عدم پردازش پیکسل های غیرنویزی و به کارگیری تدبیر متناسب جهت پردازش در چگالی نویزهای پایین و بالا، هزینه محاسباتی را کاهش می دهد. نتایج آزمایش ها بر روی تصاویر تست استاندارد نشان می دهد که الگوریتم پیشنهادی از نظر کیفیت بصری و معیار کمی PSNR (درصد نسبت سیگنال به نویز)، در مقایسه با سایر روش های پیشنهادی، عملکرد بهتری دارد.

واژه های کلیدی: نویز ضربه، چگالی نویز، فیلتر میانه، فیلتر میانگین.

Impulse Noise Removal from Digital Natural Images in a Large Range of Noise Density Based on Adaptive Mean and Median Filtering

S. Kalantari¹, Msc Student; A. M. Fotouhi², Assistant Professor

1- Faculty of Electrical Engineering, Tafresh University, Tafresh, Iran, Email: sadeghkalantari@tafreshu.ac.ir

2- Faculty of Electrical Engineering, Tafresh University, Tafresh, Iran, Email: fotouhi@tafreshu.ac.ir

Abstract: In this paper, a new hybrid algorithm has been presented for identifying and eliminating impulse noise in digital images. The main idea of this algorithm is the detection of the noise percentage of the image, and selection of two different methods for removing the noise in high and low densities. The difference between the two methods of noise removal is in their idea for selecting most appropriate window size. In both cases, after determining the appropriate size, the proposed idea is to replace the window's central pixel with the average amount of median and mean of neighboring non-noisy pixels. In the proposed algorithm, only the noisy pixels of the image are processed, and the noise free pixels are not changed. The ideas applied in this paper lead to desirable performance in all densities of noise. In addition, ignoring the processing of non-noisy pixels and choosing proper processing method in high and low densities of noise reduces the computational cost. Experimental results on standard test images represent that the proposed algorithm has a better performance in terms of visual quality and PSNR (Percent of Signal to Noise Ratio) quantitative measure, compared to other proposed algorithms.

Keywords: Impulse noise, noise density, median filter, mean filter.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۵/۰۳/۱۲

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۵/۰۶/۱۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۸/۰۱

نام نویسنده مسئول: علی محمد فتوحی

نشانی نویسنده مسئول: ایران - استان مرکزی - تفرش - کیلومتر ۵ جاده تهران - دانشگاه تفرش - دانشکده مهندسی برق.

۱- مقدمه

تصاویر دیجیتال همواره با انواع زیادی از نویزها از جمله نویز ضربه تخریب می‌گردند. نویز ضربه یا نمک و فلفلی را می‌توان مؤثرترین عامل تخریب تصاویر دیجیتال به شمار آورد. نویز ضربه‌ای در تصاویر، به دلایل مختلفی همچون وجود پیکسل‌های مخرب در سنسور دوربین‌ها، محل‌های معیوب حافظه در سخت‌افزار و انتقال تصاویر در یک کانال نویزی به‌وجود می‌آید [۱]. در تصاویری که با نویز نمک و فلفلی تخریب می‌گردند، پیکسل‌های نویزی تنها مقادیر حداقل و حداکثر سطح خاکستری را می‌پذیرند و در نتیجه به‌صورت لکه‌های سیاه و سفید در تصویر دیده می‌شوند. تاکنون کارهای بسیار زیادی در زمینه بازیابی تصاویر تخریب‌شده با نویز ضربه‌ای انجام گرفته است که می‌توان به فیلتر MDF^1 [۱]، فیلتر HMF^2 [۲]، فیلتر AMF^3 [۳]، فیلتر $NAFSMF^4$ [۴]، فیلتر $FEMF^5$ [۵]، فیلتر DBA^6 [۶]، فیلتر $AWMF^7$ [۷] و روش‌های موجود در مقالات [۸-۱۷] برای حذف نویز ضربه اشاره نمود. در ادامه، برخی از روش‌های حذف نویزی که تاکنون برای نویز نمک و فلفلی پیشنهاد شده است، بررسی شده و نقاط ضعف و قوت آن‌ها بیان می‌شود.

در گذشته، فیلتر میانه MDF به سبب قدرت حذف نویز بالا و بازده محاسباتی کارآمد، فیلتر محبوبی به شمار می‌آمد [۱]. در این فیلتر، یک پنجره با سایز ثابت در کل تصویر جابه‌جا می‌شود و پیکسل مرکزی با میانه پیکسل‌های داخل پنجره جایگزین می‌شود. از مزایای این فیلتر می‌توان به سرعت بالای آن در حذف نویز و از معایب آن می‌توان به ناکارآمدی آن در سطح نویزهای بیشتر از ۵۰ درصد اشاره نمود. در این فیلتر، بسیاری از جزئیات و لبه‌ها در تصویر بازیابی‌شده از بین خواهند رفت [۱].

فیلتر HMF نوعی فیلتر میانه می‌باشد که در حالی که نویز ضربه‌ای را از بین می‌برد، لبه‌های تصویر را نیز به‌خوبی حفظ می‌نماید. عملکرد این فیلتر به این صورت است که برای هر پنجره، ابتدا میانه پیکسل‌های افقی و عمودی که از مرکز پنجره می‌گذرند محاسبه می‌شود. سپس، میانه پیکسل‌های قطری که از مرکز پنجره می‌گذرند نیز محاسبه می‌گردد. در نهایت، میانه دو عدد به‌دست‌آمده در مراحل قبل و مقدار پیکسل مرکزی در مرکز پنجره قرار داده می‌شود [۲].

فیلتر میانه تطبیقی (AMF) برای غلبه بر مشکل ثابت بودن اندازه پنجره در فیلتر میانه ارائه گردیده است [۳، ۱۸]. در این فیلتر، اندازه پنجره مناسب برای هر پیکسل، به‌صورت تطبیقی و متناسب با میزان نویز تصویر انتخاب می‌گردد. ابتدا با توجه به میزان نویز تصویر سایز پنجره اولیه‌ای در نظر گرفته می‌شود. سپس اندازه پنجره افزایش داده می‌شود تا جایی که تعداد پیکسل‌های غیرنویزی داخل پنجره به ۹ عدد برسد. بعد از انتخاب اندازه پنجره مناسب، پیکسل مرکزی پنجره با میانه پیکسل‌های غیرنویزی جایگزین می‌شود [۳]. از جمله مزایای این فیلتر می‌توان به سرعت نسبتاً زیاد و دقت بالا در چگالی نویزهای پایین

و از عیوب این نوع فیلتر به بالا بودن نرخ خطا در چگالی نویز بالا، اشاره نمود [۷].

فیلتر $NAFSMF$ از هیستوگرام تصویر تخریب‌شده با نویز، برای تشخیص پیکسل‌های نویزی و از منطق فازی برای حذف نویز استفاده می‌کند [۴]. در این فیلتر تنها پیکسل‌هایی که نویزی تشخیص داده می‌شوند رفع نویز می‌گردند و پیکسل‌های سالم تغییری نمی‌کنند. از مزایای آن می‌توان به سرعت نسبتاً بالا و از معایب آن به عملکرد ضعیف در سطح نویزهای بالاتر از ۹۰ درصد اشاره نمود.

فیلتر $FEMF$ از اطلاعات پیشین برای رسیدن به پیکسل‌های طبیعی در بازیابی تصویر استفاده می‌نماید [۵]. در این روش، بدون هیچ تکراری نویزهای ضربه‌ای شناسایی می‌شوند و سایر پیکسل‌های سالم تصویر بدون تغییر باقی می‌مانند. با توجه به سرعت بالا و توانایی بازیابی مناسب حتی در چگالی نویزهای بالا، این فیلتر برای کاربردهای زمان‌واقعی مناسب می‌باشد.

فیلتر DBA از یک الگوریتم مبتنی بر تصمیم برای حذف نویز با چگالی بالا در یک تصویر استفاده می‌نماید [۶]. این فیلتر از آخرین پیکسل‌های پردازش‌شده برای جایگزینی پیکسل جاری استفاده می‌کند و به سبب استفاده از یک اندازه پنجره ثابت، نسبت به الگوریتم‌های مشابه سرعت بیشتری دارد.

فیلتر $AWMF$ از یک روش مبتنی بر AMF برای تشخیص پیکسل‌های نویزی در تصویر استفاده می‌نماید [۷]. اما پس از تشخیص پیکسل نویزی، مقدار آن را با میانگین وزن‌داری از پیکسل‌های سالم داخل پنجره، جایگزین می‌کند.

Zhang و همکارانش مسئله رفع نویز تصویر را به‌صورت یک مسئله بهینه‌سازی در نظر گرفته‌اند. در این الگوریتم، مبتنی بر یک روش آماری و با استفاده از داده‌های غیرنویزی، مقدار پیکسل‌های نویزی تصویر تخمین زده می‌شود [۱۵]. با توجه به این که تعداد مجهول‌ها (پیکسل‌های نویزی تصویر) از تعداد معلوم‌ها (پیکسل‌های سالم) بیشتر می‌باشد، این مسئله، به یک مسئله معکوس زیرمعین^۸ تبدیل می‌شود. این گونه مسائل در حالت عادی بی‌شمار جواب دارند. در حل این گونه مسائل، برای محدود نمودن فضای جواب‌ها و رسیدن به یک جواب بهینه، از یک مدل استفاده می‌شود. در این روش، از یک مدل آماری توأم^۹ استفاده شده است. این روش برای حذف نویز یک تصویر، نیازمند حل یک مسئله کمینه‌سازی تکراری می‌باشد و به‌همین دلیل سرعت اجرای الگوریتم در مقایسه با روش‌های قبلی بسیار کمتر می‌باشد.

تبدیل کرولت برای رفع مشکلات اساسی تبدیل‌های موجک و گابور در تشخیص لبه‌ها و منحنی‌ها پیشنهاد شده است. تبدیل کرولت سریع بر مبنای پیچش، با در نظر گرفتن آستانه وفقی، برای حذف نویز ضربه از تصاویر به کار رفته است [۱۶].

Jiang و همکارانش مسئله رفع نویز تصویر را با استفاده از مدل نمایش تنک حل می‌کنند. در این روش تکه‌های تصویر در فضای

$$y_{i,j} = \begin{cases} g_{\min} & \text{with probability } p \\ g_{\max} & \text{with probability } q \\ x_{i,j} & \text{with probability } r \end{cases} \quad (1)$$

برای تخمین مقدار نویز تصویر، ابتدا α طبق رابطه (۲) محاسبه می‌شود [۳]. در رابطه (۲)، عدد ۱ به پیکسل‌های نویزی و صفر به پیکسل‌های سالم در تصویر اشاره می‌کند.

$$\alpha_{i,j} = \begin{cases} 1 & : y_{i,j} = g_{\min} \\ 1 & : y_{i,j} = g_{\max} \\ 0 & : \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

با معیار رابطه (۲)، کلیه پیکسل‌های نویزی به‌درستی تشخیص داده می‌شوند، زیرا نویز نمک و فلفلی مقادیر پیکسل‌های تصویر را به $g_{\min}$ یا $g_{\max}$ تغییر می‌دهد. از طرفی در تصاویر طبیعی که با دوربین بدون اشباع تصویربرداری شده باشند، پیکسل‌های با مقادیر روشنایی $g_{\min}$ یا $g_{\max}$ به‌ندرت ظاهر می‌شوند. لذا در عمل به‌ندرت یک پیکسل غیرنویزی به‌اشتباه به‌عنوان یک پیکسل نویزی تشخیص داده می‌شود. با استفاده از رابطه (۳) تعداد کل پیکسل‌های نویزی تصویر محاسبه می‌شود.

$$num = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \alpha_{i,j} \quad (3)$$

با استفاده از رابطه (۴) نسبت پیکسل‌های نویزی به کل پیکسل‌های تصویر محاسبه می‌گردد.

$$\eta = num / (NM) \quad (4)$$

η ، که تخمینی از چگالی نویز تصویر می‌باشد، در بازه $[0, 1]$ قرار دارد.

۲-۲- انتخاب اندازه پنجره مناسب

پس از محاسبه درصد نویز تصویر، مرحله حذف نویز با انتخاب روش متناسب با تصویر نویزی، اجرا می‌شود. در الگوریتم پیشنهادی، در مرحله حذف نویز، چنانچه η از آستانه T کم‌تر باشد، از روش حذف نویز با چگالی پایین و اگر η بیشتر از آستانه T باشد، از روش حذف نویز با چگالی بالا استفاده خواهد شد. تفاوت دو حالت در انتخاب اندازه پنجره مناسب است که در این بخش توضیح داده می‌شود. متغیرهای به‌کاربرده‌شده، به‌صورت زیر تعریف می‌گردند:

W : اندازه هر بعد پنجره مورد استفاده

$W_{\max}$: بزرگ‌ترین اندازه پنجره‌ی مجاز مورد استفاده

$\sigma_{i,j}^{\min}(W)$: کوچک‌ترین مقدار روشنایی در پنجره با اندازه $W \times W$ به مرکزیت (i, j)

$\sigma_{i,j}^{\max}(W)$: بزرگ‌ترین مقدار روشنایی در پنجره با اندازه $W \times W$ به مرکزیت (i, j)

با توجه به این‌که برای درصد نویزهای بالا و پایین از روش‌های جداگانه‌ای برای انتخاب اندازه پنجره مناسب استفاده می‌شود، در ادامه

واژه‌نامه PCA^{۱۰} دارای نمایش تنکی می‌باشند و هر تکه از تصویر با ترکیب خطی تعداد کمی از عناصر واژه‌نامه بازسازی می‌شود [۱۷]. با توجه به این‌که در این روش مسئله رفع نویز تصویر به یک مسئله بهینه‌سازی تبدیل می‌شود، زمان اجرای الگوریتم بالا می‌باشد.

در این مقاله، ایده پیشنهادی اولیه تخمین میزان نویز تصویر و اتخاذ تدبیر مناسب جهت تعیین اندازه پنجره مناسب، متناسب با دو حالت چگالی نویز پایین و بالا می‌باشد. به این ترتیب انتظار می‌رود الگوریتم پیشنهادی در گستره وسیعی از چگالی نویز از ۰/۱ تا ۹۹ درصد عملکرد مطلوب و پایداری داشته باشد. پیشنهاد دیگر روش ارائه‌شده جایگزینی پیکسل مرکزی پنجره با متوسط مقادیر میانگین و میانه پیکسل‌های غیرنویزی پنجره می‌باشد. عدم پردازش پیکسل‌های غیرنویزی و اتخاذ تدبیر مناسب برای چگالی نویزهای پایین و بالا، هزینه محاسباتی الگوریتم پیشنهادی را نیز کاهش می‌دهد.

در بخش دوم این مقاله، الگوریتم پیشنهادی بررسی می‌گردد. در بخش سوم، نتایج تجربی و مقایسه روش‌ها ارائه خواهد شد. بخش چهارم به نتیجه‌گیری و جمع‌بندی مطالب اختصاص یافته است.

۲- الگوریتم پیشنهادی

الگوریتم پیشنهادی این مقاله از دو مرحله کلی تشکیل شده است. در مرحله اول، میزان نویز تصویر مشابه روش ارائه‌شده توسط Ibrahim و همکارانش تخمین زده می‌شود [۳]. در مرحله دوم، با توجه به میزان نویز تخمین‌زده‌شده تصویر از الگوریتم متناسبی برای حذف نویز استفاده می‌شود. اگر نسبت تعداد پیکسل‌های نویزی تصویر به کل پیکسل‌های تصویر که با η نشان داده می‌شود، از یک مقدار آستانه کم‌تر باشد از روش حذف نویز با چگالی پایین و اگر η از آن آستانه بیشتر باشد، از روش حذف نویز با چگالی بالا برای حذف نویز استفاده می‌شود. لازم به ذکر است که در هر دو روش تنها پیکسل‌هایی که نویزی تشخیص داده می‌شوند، حذف نویز می‌گردند و سایر پیکسل‌ها بدون تغییر باقی می‌مانند. در ادامه مراحل مختلف الگوریتم پیشنهادی بررسی می‌شود.

۲-۱- تخمین میزان نویز

در ادامه، تصویر اصلی بدون نویز با x ، تصویر نویزی با y و تصویر خروجی و بازیابی شده توسط الگوریتم حذف نویز با f نمایش داده می‌شود. اندازه هر دو تصویر ورودی و خروجی $M \times N$ می‌باشد. $x_{i,j}$ به مقدار سطح خاکستری یک پیکسل در مکان (i, j) از تصویر x اشاره می‌کند و $\{i, j\} \in A \equiv \{1, \dots, M\} \times \{1, \dots, N\}$ می‌باشد. کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار سطح خاکستری تصویر x با $g_{\min}$ و $g_{\max}$ نشان داده می‌شود. هنگامی که تصویر x با نویز نمک و فلفلی تخریب می‌گردد، پیکسل‌های خراب، مقادیر $g_{\min}$ یا $g_{\max}$ را می‌پذیرند. پیکسل $y_{i,j}$ در تصویر نویزی y به‌صورت رابطه (۱) خواهد بود که در آن $r = 1 - p - q$ می‌باشد.

برای هر پیکسل در مکان (i, j) در تصویر y اگر $a_{i,j} = 1$ می‌باشد، مراحل ۱ تا ۴ را انجام بده:

۱- $W = 3$ و $W_{\max} = 41$ را مقداردهی اولیه کن.

۲- مقادیر $a_{i,j}^{\min}(W)$ ، $a_{i,j}^{\max}(W)$ ، $a_{i,j}^{\min}(W+2)$ و $a_{i,j}^{\max}(W+2)$ را محاسبه کن.

۳- تا زمانی که $a_{i,j}^{\min}(W) \neq a_{i,j}^{\min}(W+2)$ و $a_{i,j}^{\max}(W) \neq a_{i,j}^{\max}(W+2)$ باشد، $W < W_{\max}$ ، اندازه پنجره را بزرگ کن ($W = W + 2$).

۴- مقادیر $a_{i,j}^{\text{mean}}(W)$ و $a_{i,j}^{\text{med}}(W)$ را محاسبه کن.

۵- $f_{i,j} = (a_{i,j}^{\text{med}}(W) + a_{i,j}^{\text{mean}}(W)) / 2$ قرار بده.

شکل ۲: حذف نویز چگالی بالا

انتخاب معیار وجود ۵ پیکسل سالم در پنجره به‌منظور متوقف شدن فرآیند بزرگ کردن اندازه پنجره سبب می‌شود در اکثر پیکسل‌ها اندازه پنجره به همان اندازه اولیه 3×3 محدود شود. پرهیز از پنجره‌های بزرگ سبب می‌شود پیکسل‌های دورتر که احتمالاً متعلق به اشیاء دیگر صحنه هستند در حذف نویز اثری نداشته باشند. این ایده توسط Ibrahim و همکارانش برای تعیین اندازه پنجره با رسیدن به حداقل ۸ پیکسل غیرنویزی، در حالی که تفکیکی برای تصاویر با چگالی نویز بالا و پایین قائل نشده است، پیشنهاد شده است [۳].

ایده استفاده از ۵ پیکسل غیرنویزی در پنجره برای چگالی نویزهای بالا چندان مناسب نیست، زیرا می‌تواند منجر به بزرگ شدن زیاد اندازه پنجره شود که خود سبب می‌شود روشنایی‌های نواحی دور که احتمالاً متعلق به اشیاء دیگر تصویر هستند در حذف نویز مشارکت کنند، که این خود سبب افزایش خطا می‌شود. ممکن است به نظر رسد در این حالت می‌توان آستانه ۵ را کوچک‌تر کرد که در این صورت نیز به دلیل مشارکت تعداد پیکسل‌های کم در حذف نویز نمی‌توان انتظار نتایج قابل قبولی داشت.

برای تصاویری که چگالی نویز آن‌ها بالاست، (بیشتر از آستانه T)، مطابق با شبه کد شکل (۲)، از ایده ارائه‌شده توسط Li و Zhang برای تعیین اندازه پنجره مناسب، یعنی بزرگ کردن اندازه پنجره تا زمانی که مقادیر حداقل و حداکثر روشنایی در دو پنجره متوالی با یکدیگر برابر شوند، استفاده می‌شود [۷]. این ایده در مقابل ایده فیلتر میانه تطبیقی استاندارد، به این دلیل که خطای حذف نویز را کاهش می‌دهد، پیشنهاد شده است و استفاده از آن در روش پیشنهادی این مقاله نیز منجر به نتایج مطلوبی می‌شود. ضمن این‌که در این مقاله، برخلاف [۷]، اندازه پنجره تنها برای پیکسل‌های نویزی که نیاز به پردازش دارند تعیین می‌شود، که این خود می‌تواند منجر به کاهش قابل توجه هزینه محاسباتی شود.

برخی از پارامترهای به‌کاررفته در هر حالت ارائه می‌شود. برای حالت نویز چگالی پایین:

$a_{i,j}^{\text{mean}}(W)$: میانگین پیکسل‌هایی در پنجره با اندازه $W \times W$ به مرکزیت (i, j) که روشنایی آن‌ها برابر با کم‌ترین مقدار روشنایی در کل تصویر ($g_{\min}$) و برابر با بیش‌ترین مقدار روشنایی تصویر ($g_{\max}$)، نمی‌باشد.

$a_{i,j}^{\text{med}}(W)$: میانه پیکسل‌هایی در پنجره با اندازه $W \times W$ به مرکزیت (i, j) که روشنایی آن‌ها برابر با $g_{\min}$ و $g_{\max}$ نمی‌باشد.

برای حالت نویز چگالی بالا:

$a_{i,j}^{\text{mean}}(W)$: میانگین پیکسل‌هایی در پنجره با اندازه $W \times W$ به مرکزیت (i, j) که روشنایی آن‌ها مساوی با کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار روشنایی در آن پنجره نمی‌باشد.

$a_{i,j}^{\text{med}}(W)$: میانه پیکسل‌هایی در پنجره با اندازه $W \times W$ به مرکزیت (i, j) که روشنایی آن‌ها مساوی با کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار روشنایی در آن پنجره نمی‌باشند.

شبه کد پیشنهادی برای درصد نویز پایین و بالا به‌ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است.

برای هر پیکسل در مکان (i, j) در تصویر y اگر $a_{i,j} = 1$ می‌باشد، مراحل ۱ تا ۴ را انجام بده:

۱- $W = 3$ و $W_{\max} = 41$ را مقداردهی اولیه کن.

۲- تعداد پیکسل‌های سالم (پیکسل‌هایی که مقدارشان برابر با $g_{\min}$ و $g_{\max}$ نمی‌باشد) داخل پنجره $W \times W$ را محاسبه کن.

۳- تا زمانی که تعداد پیکسل‌های سالم (پیکسل‌هایی که مقدار آن‌ها بین $g_{\min}$ و $g_{\max}$ قرار دارد) داخل پنجره کمتر از ۵ می‌باشد و $W < W_{\max}$ ، اندازه پنجره را بزرگ کن ($W = W + 2$).

۴- مقادیر $a_{i,j}^{\text{mean}}(W)$ و $a_{i,j}^{\text{med}}(W)$ را محاسبه کن.

۵- $f_{i,j} = (a_{i,j}^{\text{med}}(W) + a_{i,j}^{\text{mean}}(W)) / 2$ قرار بده.

شکل ۱: حذف نویز چگالی پایین

مطابق با شبه کد شکل (۱) برای تصاویری که درصد نویز آن‌ها کم (کم‌تر از آستانه T) می‌باشد، با انتخاب یک آستانه مناسب برای تعداد پیکسل‌های غیرنویزی داخل پنجره (در اینجا ۵)، تا زمانی که تعداد پیکسل‌های غیرنویزی داخل پنجره به این تعداد نرسیده است، بزرگ کردن اندازه پنجره ادامه می‌یابد.

۳-۲- حذف نویز

می‌شود. پیاده‌سازی تمامی الگوریتم‌ها با یک پردازنده Intel Core i7 با حافظه 6GB RAM و با نرم‌افزار متلب تحت سیستم عامل ویندوز 8.1 انجام شده است. ابعاد تمامی تصاویر، 512×512 می‌باشد و از تصاویر استاندارد LENA، PEPPERS، MANDRILL و BOATS استفاده شده است. در بین این تصاویر، LENA و BOATS دارای جزئیات ریز و نواحی منظمی می‌باشند. تصویر PEPPERS اغلب دارای نواحی منظمی می‌باشد که توسط مرزهای تیزی از یکدیگر جدا شده‌اند و تصویر MANDRILL نیز، جزئیات بسیار ریزی دارد. با توجه به این‌که هر کدام از این تصاویر دارای ویژگی منحصر به فردی هستند، کارایی الگوریتم‌های مختلف، به‌خوبی نشان داده خواهد شد. برای سنجش میزان کارایی الگوریتم پیشنهادی در چگالی نویزهای مختلف، مقادیر PSNR برای هر کدام از تصاویر فوق، طبق روابط (۵) و (۶) در چگالی نویز بین ۰/۱ تا ۹۹ درصد محاسبه شده و در جداول ۱ و ۲ گزارش شده است. میانگین مقادیر PSNR به‌دست‌آمده برای هر کدام از تصاویر، در سطح نویزهای مختلف نیز، در جدول ۳ گزارش شده است.

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{255^2}{MSE} \right) \quad (5)$$

$$MSE = \frac{1}{NM} \sum_{i,j} (x_{i,j} - f_{i,j})^2 \quad (6)$$

طبق نتایج ارائه‌شده در جداول ۱ و ۲، الگوریتم پیشنهادی در بخش عمده‌ای از سطح نویزها، از نظر مقدار PSNR، از روش‌های دیگر برتر می‌باشد. همچنین، طبق جدول ۳، میانگین PSNR در سطح نویزهای مختلف در روش ارائه‌شده برای تصاویر مختلف نسبت به روش‌های دیگر اختلاف قابل ملاحظه‌ای دارد که نشان‌دهنده برتری قابل توجه الگوریتم پیشنهادی می‌باشد.

به‌منظور فراهم نمودن امکان مقایسه نتایج به‌صورت بصری، علاوه بر نتایج کمی ارائه‌شده در جداول ۱ تا ۳، تصاویر خروجی الگوریتم‌های مورد مقایسه و روش پیشنهادی برای تصویر LENA با سطح نویز ۷۰ درصد در شکل ۳ و برای تصویر BOATS با سطح نویز ۹۴ درصد در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل‌های ۳ و ۴ مشاهده می‌شود، الگوریتم MDF در تمامی سطح نویزها نسبت به سایر الگوریتم‌ها، عملکرد ضعیف‌تری دارد. مشاهده تصاویر موجود در شکل ۳ نشان می‌دهد، سایر الگوریتم‌ها، در سطح نویز حدود ۷۰ درصد عملکرد نسبتاً خوبی دارند. در سطح نویز ۹۴ درصد همان‌طور که در تصاویر شکل ۴ نشان داده شده است، تصویر خروجی الگوریتم NAFSMF دارای نقطه‌های نویزی ریزی می‌باشد که کیفیت بصری آن را تحت تأثیر قرار داده است.

در این چگالی نویز، الگوریتم DBA مشکل الگوریتم NAFSMF را ندارد، اما لبه‌های تصویر بازبایی شده مخدوش گردیده و جزئیات تصویر از بین رفته است. تصاویر خروجی الگوریتم‌های AMF، [۱۵] و [۱۷] مشکلات دو الگوریتم DBA و NAFSMF را ندارند، ولی در تصویر خروجی

در پژوهش‌های مرتبط قبلی پس از تعیین اندازه پنجره مناسب برای مقداردهی پیکسل مرکزی در نهایت تنها از مقدار میانه [۳] یا مقدار میانگین [۷] پنجره استفاده می‌شود. در روش پیشنهادی این مقاله نیز از پارامترهای میانگین و میانه پیکسل‌های سالم تصویر در حذف نویز استفاده می‌شود. با توجه به این‌که قرار دادن مقدار میانه یا میانگین یک پنجره به‌تنهایی نمی‌تواند نماینده خوبی برای پیکسل‌های همسایه باشد، در این مقاله، همان‌طور که در شبه‌کدهای شکل (۱) و (۲) نشان داده شده است، استفاده از متوسط مقدار میانه و میانگین پیکسل‌های سالم موجود در پنجره برای مقداردهی پیکسل مرکزی پیشنهاد می‌شود. برای مثال، فرض کنید که پیکسل مرکزی پنجره‌ای نویزی است و دارای مقادیر پیکسل‌های غیرنویزی به‌صورت $\{1, 10, 60, 65, 68, 180, 240, 254, 255\}$ می‌باشد. پیکسل مرکزی این پنجره باید با یک مقدار غیرنویزی جایگزین شود. مقدار میانگین این پیکسل‌ها برابر ۱۲۰ و مقدار میانه آن‌ها برابر با ۶۸ می‌باشد. در این مثال، اختلاف این دو عدد از یکدیگر حدود ۵۲ می‌باشد. چنانچه تنها به مقادیر میانه یا میانگین بسنده شود، مسلماً همیشه نتیجه قابل‌قبولی حاصل نمی‌شود، چراکه با توجه به وضعیت تصویر در این پنجره، شاید میانگین پیکسل‌های غیرنویزی و شاید هم میانه نماینده خوبی باشد. بنابراین، راه حل منطقی‌تر انتخاب متوسط میانه و میانگین برای پیکسل مرکزی پنجره است، تا حداقل خطا ایجاد شود. به‌عبارت دیگر از اطلاعات توأمی که میانه و میانگین در اختیار قرار می‌دهند، استفاده می‌شود. ممکن است ترکیب‌های دیگری بین میانگین و میانه، همچون میانگین وزن‌دار آن‌ها، به نتایج بهتری منجر شود، لکن برای جلوگیری از پیچیدگی محاسباتی، ساده‌ترین گزینه، یعنی میانگین دو پارامتر انتخاب شده است. چرا که برای دو پارامتر آماری، میانگین آن دو پارامتر، ساده‌ترین نماینده مناسب برای آن دو پارامتر می‌باشد.

۳- نتایج تجربی و مقایسه با سایر روش‌ها

در این بخش، نتایج تجربی روش پیشنهادی به همراه هفت روش AMF، MDF، NAFSMF، DBA، AWMF، [۱۵] و [۱۷] گزارش شده است و با یکدیگر مقایسه می‌شوند. روش‌های AMF، AWMF، NAFSMF و DBA مطابق مقاله‌های اصلی آن‌ها پیاده‌سازی شده‌اند و برای MDF از تابع فیلتر میانه پیش‌فرض نرم‌افزار متلب استفاده شده است. برای روش‌های [۱۵] و [۱۷] از نرم‌افزارهای ارائه‌شده توسط نویسندگان مقاله‌ها، به‌ترتیب در مراجع [۱۹] و [۲۰]، استفاده شده است. در این آزمایش‌ها، در روش NAFSMF طبق [۴] از پارامترهای $T_1=10$ ، $T_2=30$ و $W_{\max}=39$ استفاده شده است. در الگوریتم AMF و AWMF، $W_{\max}=39$ و در روش [۱۵] نیز تعداد تکرارها برابر ۲ در نظر گرفته شده است. در روش پیشنهادی از مقدار آستانه نویز $T=30\%$ برای سوئیچ کردن بین دو روش حذف نویز استفاده

جدول ۱: نتایج PSNR برای فیلترهای مختلف برای تصاویر PEPPERS

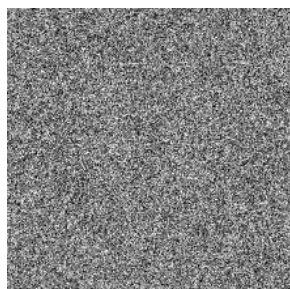
و LENA بر حسب dB		۳۰٪	۲۰٪	۱۰٪	۵٪	۱٪	۰/۱٪	روش	تصویر
PEPPERS	MDF	۳۶/۱۳	۳۷/۲۴	۳۸/۱۴	۳۸/۵۵	۳۸/۹۰	۳۸/۹۷	روش	
	AMF	۴۰/۷۶	۴۲/۶۵	۴۵/۶۳	۴۸/۷۵	۵۵/۷۹	۶۵/۹۹		
	NAFSMF	۴۰/۸۰	۴۲/۶۳	۴۵/۸۱	۴۸/۷۵	۵۵/۸۳	۶۷/۴۰		
	DBA	۴۰/۸۴	۴۲/۸۸	۴۶/۱۸	۴۹/۳۱	۵۵/۰۵	۵۸/۵۱		
	[15]	۳۹/۰۲	۳۹/۳۲	۳۹/۵۰	۳۹/۵۴	۴۰/۰۰	۴۰/۷۳		
	AWMF	۴۱/۲۴	۴۲/۹۰	۴۵/۱۱	۴۶/۵۴	۴۷/۵۱	۴۷/۵۴		
	[17]	۳۴/۶۰	۳۴/۶۴	۳۴/۶۷	۳۴/۷۲	۳۴/۸۲	۳۵/۰۰		
	روش پیشنهادی	۴۱/۲۸	۴۲/۴۵	۴۶/۸۰	۴۹/۸۹	۵۶/۶۷	۶۵/۶۷	روش پیشنهادی	
	تصویر	۳۰٪	۲۰٪	۱۰٪	۵٪	۱٪	۰/۱٪	روش	
LENA	MDF	۳۶/۲۰	۳۷/۳۲	۳۸/۱۸	۳۸/۶۴	۳۸/۹۸	۳۹/۰۰	روش	
	AMF	۴۰/۷۳	۴۲/۵۸	۴۵/۷۲	۴۸/۹۰	۵۵/۳۴	۶۵/۹۹		
	NAFSMF	۴۰/۳۱	۴۲/۱۲	۴۵/۳۳	۴۸/۴۹	۵۵/۹۳	۶۴/۸۷		
	DBA	۴۰/۸۴	۴۲/۹۵	۴۶/۵۳	۴۹/۷۷	۵۵/۹۱	۶۲/۳۱		
	[15]	۳۹/۳۹	۳۹/۷۰	۴۰/۰۰	۴۱/۲۷	۳۹/۹۷	۳۹/۹۷		
	AWMF	۴۱/۳۰	۴۲/۰۸	۴۵/۲۷	۴۶/۷۰	۴۷/۸۱	۴۷/۷۲		
	[17]	۳۵/۳۰	۳۵/۴۰	۳۵/۵۰	۳۵/۷۰	۳۵/۹۰	۳۶/۰۰		
	روش پیشنهادی	۴۱/۴۴	۴۲/۶۵	۴۷/۰۷	۵۰/۳۰	۵۷/۴۵	۶۷/۵۶	روش پیشنهادی	
	تصویر	۳۰٪	۲۰٪	۱۰٪	۵٪	۱٪	۰/۱٪	روش	
PEPPERS	MDF	۲۸/۰۴	۲۹/۲۰	۳۰/۵۷	۳۲/۰۰	۳۴/۴۲	۳۴/۹۵	روش	
	AMF	۳۳/۴۶	۳۴/۹۵	۳۶/۰۶	۳۷/۱۵	۳۸/۳۱	۳۹/۴۷		
	NAFSMF	۳۴/۱۵	۳۵/۵۴	۳۶/۵۲	۳۷/۴۶	۳۸/۴۰	۳۹/۵۰		
	DBA	۳۱/۷۱	۳۲/۶۵	۳۵/۰۶	۳۶/۳۳	۳۷/۷۲	۳۹/۲۹		
	[15]	۳۴/۵۷	۳۵/۸۹	۳۶/۷۰	۳۷/۴۱	۳۸/۰۸	۳۸/۵۷		
	AWMF	۳۴/۲۷	۳۵/۶۱	۳۶/۶۹	۳۷/۸۰	۳۸/۷۶	۴۰/۰۰		
	[17]	۳۲/۷۳	۳۳/۴۴	۳۴/۹۵	۳۴/۲۰	۳۴/۳۹	۳۴/۴۹		
	روش پیشنهادی	۳۴/۳۳	۳۵/۶۴	۳۶/۷۲	۳۷/۸۴	۳۸/۸۹	۴۰/۰۵	روش پیشنهادی	
	تصویر	۳۰٪	۲۰٪	۱۰٪	۵٪	۱٪	۰/۱٪	روش	
LENA	MDF	۲۸/۰۳	۲۹/۱۸	۳۰/۴۴	۳۱/۹۴	۳۲/۴۵	۳۴/۹۴	روش	
	AMF	۳۳/۳۳	۳۵/۰۲	۳۶/۰۸	۳۷/۲۰	۳۸/۲۴	۳۹/۳۱		
	NAFSMF	۳۴/۰۶	۳۵/۲۵	۳۶/۰۷	۳۶/۹۵	۳۷/۸۶	۳۹/۰۳		
	DBA	۳۱/۹۱	۳۲/۶۳	۳۵/۰۴	۳۶/۳۸	۳۷/۳۷	۳۹/۱۳		
	[15]	۳۴/۵۴	۳۵/۹۷	۳۶/۸۲	۳۷/۶۰	۳۸/۲۵	۳۸/۸۴		
	AWMF	۳۴/۴۴	۳۵/۷۷	۳۶/۸۰	۳۷/۹۱	۳۸/۹۵	۴۰/۱۷		
	[17]	۳۲/۱۱	۳۴/۰۰	۳۴/۵۵	۳۴/۹۱	۳۵/۰۷	۳۵/۱۵		
	روش پیشنهادی	۳۴/۳۰	۳۵/۷۹	۳۶/۸۵	۳۷/۹۸	۳۹/۰۰	۴۰/۲۹	روش پیشنهادی	
	تصویر	۳۰٪	۲۰٪	۱۰٪	۵٪	۱٪	۰/۱٪	روش	
PEPPERS	MDF	۲۷/۱۱	۲۷/۲۸	۲۷/۳۵	۲۷/۴۷	۲۷/۶۸	۲۷/۸۸	روش	
	AMF	۳۰/۳۹	۳۱/۱۸	۳۱/۹۴	۳۲/۱۰	۳۲/۰۶	۳۳/۰۶		
	NAFSMF	۲۸/۷۳	۲۹/۹۸	۳۱/۰۱	۳۱/۷۸	۳۲/۰۰	۳۳/۷۴		
	DBA	۲۸/۵۰	۲۹/۳۴	۲۹/۶۹	۳۰/۰۷	۳۰/۸۳	۳۱/۱۴		
	[15]	۳۰/۹۱	۳۲/۱۱	۳۲/۵۶	۳۳/۰۲	۳۳/۵۳	۳۴/۲۰		
	AWMF	۳۱/۴۰	۳۲/۱۸	۳۲/۵۹	۳۳/۰۴	۳۳/۵۵	۳۳/۹۵		
	[17]	۲۸/۸۹	۳۰/۰۶	۳۰/۹۵	۳۱/۳۹	۳۲/۰۹	۳۲/۳۰		
	روش پیشنهادی	۳۱/۴۳	۳۲/۲۳	۳۲/۶۲	۳۳/۰۵	۳۳/۵۸	۳۴/۰۱	روش پیشنهادی	
	تصویر	۳۰٪	۲۰٪	۱۰٪	۵٪	۱٪	۰/۱٪	روش	
LENA	MDF	۲۷/۱۱	۲۷/۲۳	۲۷/۳۲	۲۷/۴۱	۲۷/۶۲	۲۷/۷۷	روش	
	AMF	۳۰/۷۶	۳۱/۴۱	۳۱/۸۹	۳۲/۱۷	۳۲/۸۱	۳۳/۲۴		
	NAFSMF	۲۸/۷۳	۲۹/۹۷	۳۰/۹۴	۳۱/۶۳	۳۲/۵۶	۳۳/۶۷		
	DBA	۲۸/۶۹	۲۹/۲۰	۲۹/۷۹	۳۰/۳۱	۳۰/۱۱	۳۱/۴۸		
	[15]	۳۱/۴۷	۳۲/۱۷	۳۲/۶۸	۳۳/۱۰	۳۳/۷۰	۳۴/۱۴		
	AWMF	۳۱/۵۳	۳۲/۱۴	۳۲/۶۸	۳۳/۰۱	۳۳/۵۵	۳۳/۹۲		
	[17]	۲۹/۶۲	۳۰/۳۵	۳۱/۱۷	۳۱/۷۸	۳۲/۳۳	۳۲/۹۵		
	روش پیشنهادی	۳۱/۶۶	۳۲/۲۴	۳۲/۷۱	۳۳/۰۱	۳۳/۶۳	۳۴/۰۱	روش پیشنهادی	
	تصویر	۳۰٪	۲۰٪	۱۰٪	۵٪	۱٪	۰/۱٪	روش	

جدول ۲: نتایج PSNR برای فیلترهای مختلف برای تصاویر

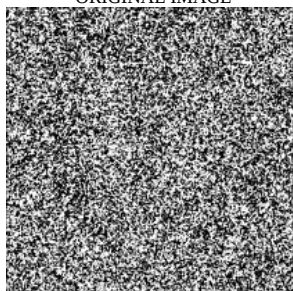
MANDRILL و BOATS بر حسب dB								
تصویر	روش	۰/۱٪	۱٪	۵٪	۱۰٪	۲۰٪	۳۰٪	
MAND RILL	MDF	۳۱/۶۸	۳۱/۶۶	۳۱/۵۷	۳۱/۴۸	۳۱/۲۷	۳۰/۹۶	
	AMF	۵۸/۶۶	۵۰/۱۹	۴۳/۲۲	۴۰/۰۳	۳۷/۰۶	۳۵/۳۶	
	NAFSMF	۵۹/۸۷	۵۰/۲۲	۴۳/۰۵	۴۰/۰۱	۳۶/۹۲	۳۵/۲۲	
	DBA	۵۱/۱۵	۴۸/۰۸	۴۲/۹۳	۴۰/۱۶	۳۷/۲۱	۳۵/۴۳	
	[15]	۳۶/۶۵	۳۵/۶۵	۳۳/۲۶	۳۴/۱۷	۳۳/۸۵	۳۳/۳۷	
	AWMF	۴۳/۲۰	۴۲/۱۰	۴۱/۵۶	۳۹/۷۲	۳۷/۲۳	۳۵/۵۵	
	[17]	۳۰/۵۵	۳۰/۳۵	۳۰/۳۴	۳۰/۳۲	۳۰/۳۰	۳۰/۲۹	
	روش پیشنهادی	۶۱/۲۰	۵۰/۷۵	۴۳/۵۱	۴۰/۵۵	۳۷/۵۳	۳۵/۵۹	
تصویر	روش	۰/۱٪	۱٪	۵٪	۱۰٪	۲۰٪	۳۰٪	
BOATS	MDF	۳۶/۴۱	۳۶/۳۶	۳۶/۰۹	۳۵/۷۲	۳۵/۰۶	۳۴/۲۸	
	AMF	۶۵/۳۱	۵۳/۳۱	۴۶/۵۲	۴۳/۵۲	۴۰/۵۲	۳۸/۵۹	
	NAFSMF	۶۲/۰۸	۵۳/۴۴	۴۶/۱۴	۴۳/۱۸	۴۰/۱۶	۳۸/۳۵	
	DBA	۵۵/۸۹	۵۲/۵۴	۴۷/۰۲	۴۳/۹۹	۴۰/۹۴	۳۸/۹۴	
	[15]	۳۹/۱۳	۳۸/۱۵	۳۷/۷۴	۳۷/۷۲	۳۷/۵۶	۳۷/۱۷	
	AWMF	۴۵/۰۴	۴۵/۱۳	۴۵/۴۰	۴۲/۸۷	۴۰/۷۹	۳۹/۱۰	
	[17]	۳۳/۴۱	۳۳/۳۰	۳۳/۲۱	۳۳/۱۸	۳۳/۱۵	۳۳/۰۹	
	روش پیشنهادی	۶۴/۵۳	۵۴/۸۲	۴۷/۷۱	۴۴/۶۴	۴۱/۲۴	۳۹/۱۳	
تصویر	روش	۴۰٪	۵۰٪	۶۰٪	۷۰٪	۸۰٪	۹۰٪	
MAND RILL	MDF	۳۰/۵۷	۳۰/۱۵	۲۹/۵۴	۲۸/۸۹	۲۸/۲۴	۲۷/۶۳	
	AMF	۳۳/۹۸	۳۳/۰۶	۳۲/۱۵	۳۱/۳۶	۳۰/۷۲	۲۹/۹۵	
	NAFSMF	۳۳/۸۹	۳۲/۹۶	۳۲/۰۷	۳۱/۳۸	۳۰/۷۵	۳۰/۰۹	
	DBA	۳۴/۰۱	۳۲/۹۶	۳۲/۰۰	۳۱/۱۶	۳۰/۳۵	۲۹/۳۷	
	[15]	۳۲/۸۲	۳۲/۲۶	۳۱/۶۷	۳۱/۱۲	۳۰/۶۳	۳۰/۰۹	
	AWMF	۳۴/۳۴	۳۳/۳۰	۳۲/۴۶	۳۱/۷۲	۳۰/۹۰	۳۰/۰۶	
	[17]	۳۰/۲۴	۳۰/۲۲	۳۰/۱۸	۳۰/۱۰	۲۹/۹۶	۲۹/۶۳	
	روش پیشنهادی	۳۴/۴۰	۳۳/۳۶	۳۲/۴۹	۳۱/۷۰	۳۰/۹۳	۳۰/۱۱	
تصویر	روش	۴۰٪	۵۰٪	۶۰٪	۷۰٪	۸۰٪	۹۰٪	
BOATS	MDF	۳۳/۴۱	۳۲/۲۸	۳۱/۱۵	۲۹/۹۹	۲۸/۸۷	۲۷/۹۲	
	AMF	۳۷/۲۲	۳۳/۰۶	۳۲/۱۶	۳۲/۰۵	۳۲/۱۶	۲۹/۹۰	
	NAFSMF	۳۷/۰۹	۳۶/۱۰	۳۵/۱۱	۳۴/۳۳	۳۳/۵۵	۳۲/۴۰	
	DBA	۳۷/۲۸	۳۵/۸۹	۳۴/۶۹	۳۳/۵۰	۳۲/۳۳	۳۰/۹۷	
	[15]	۳۶/۶۹	۳۶/۰۷	۳۵/۴۲	۳۴/۶۶	۳۳/۷۶	۳۲/۶۵	
	AWMF	۳۷/۹۱	۳۶/۷۶	۳۵/۷۴	۳۴/۷۶	۳۳/۷۴	۳۲/۵۰	
	[17]	۳۳/۰۲	۳۲/۸۹	۳۲/۷۲	۳۲/۴۳	۳۲/۱۱	۳۱/۶۹	
	روش پیشنهادی	۳۷/۹۷	۳۶/۸۰	۳۵/۷۲	۳۴/۷۸	۳۳/۷۳	۳۲/۵۱	
تصویر	روش	۹۲٪	۹۴٪	۹۶٪	۹۷٪	۹۸٪	۹۹٪	
MAND RILL	MDF	۲۷/۵۲	۲۷/۴۱	۲۷/۲۴	۲۷/۲۵	۲۷/۱۶	۲۷/۱۱	
	AMF	۲۹/۷۱	۲۹/۵۸	۲۹/۴۸	۲۹/۲۹	۲۹/۲۰	۲۸/۸۶	
	NAFSMF	۲۹/۸۴	۲۹/۶۲	۲۹/۲۷	۲۸/۸۷	۲۸/۴۸	۲۸/۰۱	
	DBA	۲۹/۲۹	۲۹/۰۸	۲۸/۹۳	۲۸/۸۴	۲۸/۴۱	۲۷/۷۷	
	[15]	۲۹/۹۰	۲۹/۷۶	۲۹/۵۰	۲۹/۳۰	۲۹/۰۴	۲۸/۸۴	
	AWMF	۲۹/۸۵	۲۹/۶۶	۲۹/۴۹	۲۹/۳۰	۲۹/۰۵	۲۸/۹۲	
	[17]	۲۹/۶۶	۲۹/۴۸	۲۹/۱۴	۲۸/۸۹	۲۸/۶۷	۲۸/۴۰	
	روش پیشنهادی	۲۹/۹۱	۲۹/۶۹	۲۹/۵۱	۲۹/۳۸	۲۹/۰۹	۲۹/۰۰	
تصویر	روش	۹۲٪	۹۴٪	۹۶٪	۹۷٪	۹۸٪	۹۹٪	
BOATS	MDF	۲۷/۷۶	۲۷/۶۰	۲۷/۳۵	۲۷/۳۸	۲۷/۲۰	۲۷/۱۵	
	AMF	۳۱/۲۹	۳۱/۵۵	۳۱/۱۲	۳۰/۹۸	۳۰/۵۴	۳۰/۰۷	
	NAFSMF	۳۲/۱۱	۳۱/۴۹	۳۰/۵۸	۲۹/۹۱	۲۹/۱۵	۲۸/۱۳	
	DBA	۳۰/۶۱	۳۰/۱۹	۳۰/۰۰	۲۹/۵۶	۲۸/۸۸	۲۸/۵۷	
	[15]	۳۲/۳۱	۳۱/۹۸	۳۱/۶۱	۳۱/۲۶	۳۰/۹۲	۳۰/۳۵	
	AWMF	۳۲/۲۰	۳۱/۹۳	۳۱/۴۷	۳۱/۱۹	۳۰/۹۸	۳۰/۴۴	
	[17]	۳۱/۳۸	۳۱/۱۰	۳۰/۶۳	۳۰/۵۱	۲۹/۶۰	۲۹/۲۰	
	روش پیشنهادی	۳۲/۲۳	۳۲/۰۸	۳۱/۵۶	۳۱/۲۸	۳۱/۰۸	۳۰/۴۸	



ORIGINAL IMAGE



NOISY IMAGE



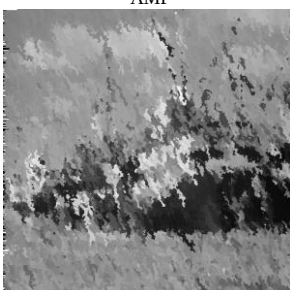
MDF



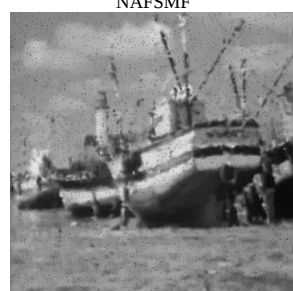
AMF



NAFSMF



DBA



[۱۵]



AWMF



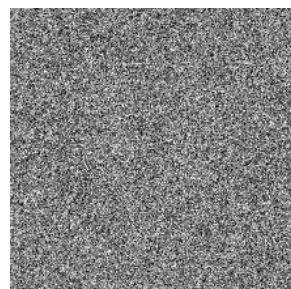
[۱۷]



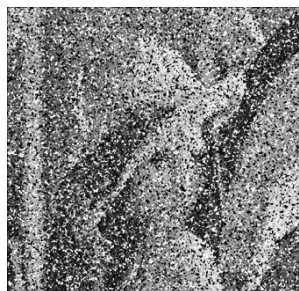
PROPOSED



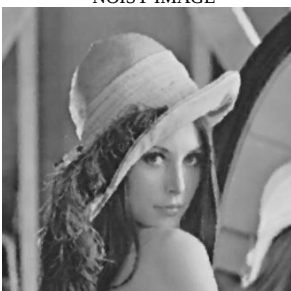
ORIGINAL IMAGE



NOISY IMAGE



MDF



AMF



NAFSMF



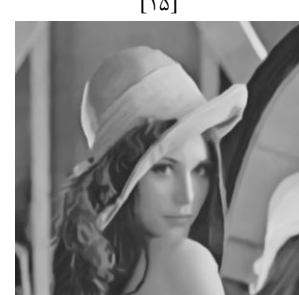
DBA



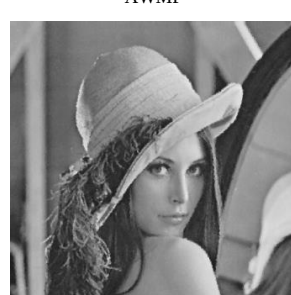
[۱۵]



AWMF



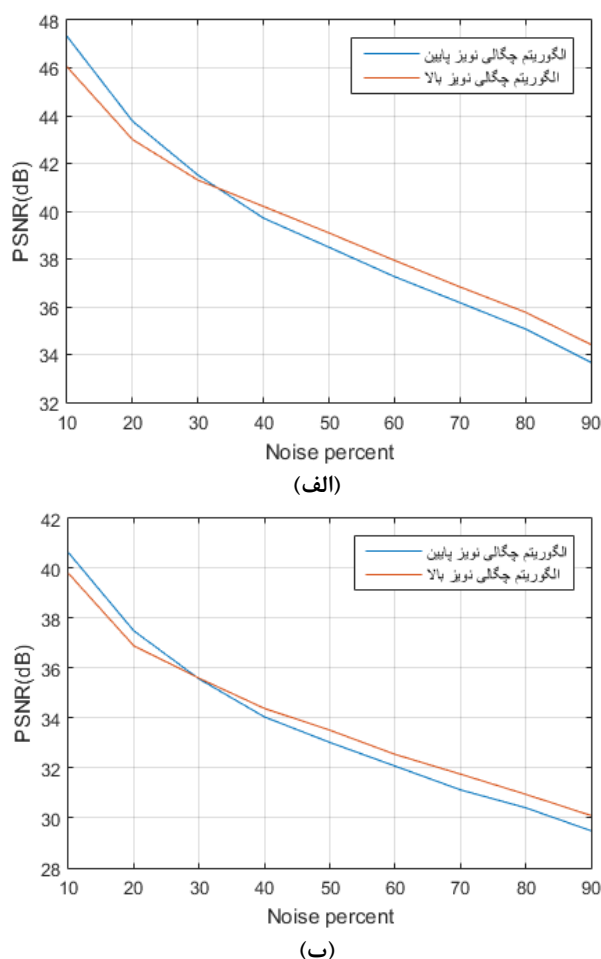
[۱۷]



PROPOSED

شکل ۳: نتایج حذف نویز با روش‌های مختلف با سطح نویز ۷۰ درصد نمک و فلفلی برای تصویر LENA.

شکل ۴: نتایج حذف نویز به روش‌های مختلف با سطح نویز ۹۴ درصد نمک و فلفلی برای تصویر BOATS.



شکل ۵. نمودار PSNR بر حسب درصد نویز تصویر برای دو الگوریتم چگالی نویز بالا و پایین. (الف) برای تصویر LENA و (ب) برای تصویر MANDRILL.

۴- نتیجه گیری

در این مقاله یک الگوریتم ترکیبی جدید برای رفع نویز نمک و فلفلی در تصاویر نویزی (۱/۰ تا ۹۹ درصد) ارائه شده است. الگوریتم پیشنهادی از ویژگی‌های مفید الگوریتم‌های موفق قبلی در کنار ایده‌های جدید، بهره برده است. الگوریتم ارائه شده جهت دستیابی به نتایج مطلوب در چگالی نویزهای مختلف، از ایده‌های پردازش پیکسل‌های غیرنویزی، یافتن اندازه پنجره مناسب برحسب درصد نویز موجود در تصویر، و استفاده از مقدار متوسط مقادیر میانه و میانگین پیکسل‌های غیرنویزی داخل پنجره استفاده کرده است. نتایج پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی بر روی تصاویر تست استاندارد، نشان می‌دهد روش پیشنهادی از نظر بصری و از نظر معیار PSNR در مقایسه با دیگر الگوریتم‌های پیشنهادی، عملکرد بهتری دارد.

این روش‌ها مات شدگی خاصی در سطح نویزهای بالا دیده می‌شود. در این مقاله با توجه به این که در چگالی نویزهای بالا از ایده AWMF استفاده شده است، تصویر خروجی روش پیشنهادی و AWMF به یکدیگر نزدیک می‌باشند. این تصاویر برخلاف روش‌های AMF، DBA، NAFSMF و [۱۵] در چگالی نویزهای بالا (بالای ۹۰ درصد)، دارای نقاط نویزی نمی‌باشند، لبه‌های تصویر به خوبی حفظ شده و مات‌شدگی در تصویر خروجی مشاهده نمی‌شود.

به منظور بررسی جداگانه تأثیر ایده‌های بکار رفته در الگوریتم پیشنهادی، شامل سوئیچ کردن بین دو الگوریتم حذف نویز چگالی بالا و پایین و استفاده از متوسط میانه و میانگین، مقدار PSNR، با حذف هر کدام از این ایده‌ها، برای تصویر MANDRILL در جدول ۴ برای چگالی نویزهای مختلف، گزارش شده است. در این جدول الگوریتم‌های ۱ و ۲، بدون سوئیچ کردن بین دو حالت چگالی نویز پایین و بالا، به ترتیب از الگوریتم‌های رفع نویز چگالی پایین و بالا به تنهایی در الگوریتم اصلی استفاده کرده‌اند. الگوریتم‌های ۳ و ۴ همان الگوریتم اصلی می‌باشند که در آن‌ها در مرحله حذف نویز به جای استفاده از میانگین مقادیر میانه و میانگین، به ترتیب از مقدار میانه و میانگین پیکسل‌های غیرنویزی داخل پنجره، به تنهایی، استفاده شده است. نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که ایده‌های سوئیچ کردن بین الگوریتم حذف نویز چگالی بالا و پایین و همچنین استفاده از متوسط میانه و میانگین پیکسل‌های غیرنویزی داخل پنجره سبب بهبود نتایج می‌گردد.

پارامتر مهم الگوریتم پیشنهادی، آستانه نویز T می‌باشد که بر اساس آن سوئیچ کردن بین دو روش مختلف حذف نویز صورت می‌گیرد. برای انتخاب این آستانه، چهار آزمایش یکسان بر روی تصاویر LENA، MANDRILL، PEPPERS و BOATS انجام شد. در این آزمایش‌ها، معیار PSNR برای درصد نویزهای بین ۱۰ تا ۹۰ درصد، برای دو الگوریتم چگالی نویز بالا و پایین محاسبه شد. نمودار مقدار PSNR بر حسب درصد نویز تصویر برای دو تصویر LENA، که نماینده تصاویر با جزئیات کم و MANDRILL، که نماینده تصاویر با جزئیات بالاست، در شکل ۵ نشان داده شده است. مشاهده شد در تصاویر تست، الگوریتم چگالی نویز پایین در چگالی نویزهای کم‌تر از محدوده ۲۸ تا ۳۳ درصد نسبت به الگوریتم چگالی نویز بالا عملکرد بهتری دارد. همچنین الگوریتم چگالی نویز بالا در محدوده چگالی نویزهای بیشتر از محدوده ۲۸ تا ۳۳ درصد، نسبت به الگوریتم چگالی نویز پایین عملکرد مطلوب‌تری دارد. لذا مقدار آستانه T برای سوئیچ کردن بین دو روش، در محدوده ۲۸ تا ۳۳ درصد، عدد ۳۰٪ در نظر گرفته شد.

به منظور مقایسه زمان اجرای الگوریتم پیشنهادی و روش‌های دیگر، در جدول ۵ زمان اجرا برای تصویر LENA برای چگالی نویزهای مختلف ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود الگوریتم پیشنهادی از نظر زمان اجرا نیز در بین روش‌های مورد مقایسه عملکرد قابل قبولی دارد.

- [6] Srinivasan, K. S., and David Ebenezer, "A new fast and efficient decision-based algorithm for removal of high-density impulse noises," *Signal Processing Letters*, vol. 14, no. 3, pp. 189-192, 2007.
- [7] Zhang, Peixuan, and Fang Li, "A new adaptive weighted mean filter for removing salt-and-pepper noise," *Signal Processing Letters*, vol. 21, no. 10, pp. 1280-1283, 2014.
- [8] Chen, Pei-Yin, and Chih-Yuan Lien, "An efficient edge-preserving algorithm for removal of salt-and-pepper noise," *Signal Processing Letters*, vol. 15, pp. 33-836, 2008.
- [9] Jayaraj, V., D. Ebenezer, and K. Aiswarya, "High density salt and pepper noise removal in images using improved adaptive statistics estimation filter," *International Journal of Computer Science and Network Security*, vol. 9, no. 11, pp. 170-175, 2009.
- [10] Lu, Ching-Ta, and Tzu-Chun Chou, "Denoising of salt-and-pepper noise corrupted image using modified directional-weighted-median filter," *Pattern Recognition Letters*, vol. 33, no. 10, pp. 1287-1295, 2012.
- [11] Junni, Zhou and et al., "A Salt & Pepper Noise Optimal Iterative Filtering Algorithm Based on Potential Function," *Computer & Telecommunication*, vol. 3, pp. 019, 2015.
- [12] Li, Zuoyong and et al., "A salt & pepper noise filter based on local and global image information," *Neurocomputing*, vol. 159, pp. 172-185, 2015.
- [13] Vasanth, K., and V. Jawahar Senthil Kumar, "Decision-based neighborhood-referred unsymmetrical trimmed variants filter for the removal of high-density salt-and-pepper noise in images and videos," *Signal Image and Video Processing*, vol. 9, no. 8, pp. 1833-1841, 2015.
- [14] Vijaykumar, V and et al., "Fast switching based median-mean filter for high density salt and pepper noise removal," *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, vol. 68, no. 12, pp. 145-1155, 2014.
- [15] Zhang, Jian, and et al., "Image restoration using joint statistical modeling in a space-transform domain," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 24, no. 6, pp. 915-928, 2014.

[۱۶] منیره کوشش و غلامرضا اکبری زاده، «الگوریتم حذف Speckle با قابلیت حفظ لبه برای تصاویر سنجنش از دور رادار روزنه ترکیبی با استفاده از تبدیل چندمقیاسه Curvelet آستانه گذاری وفقی»، *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*، جلد ۴۵، شماره ۴، ۱۳۹۴.

[17] Jiang, Jielin, Lei Zhang, and Jian Yang. "Mixed noise removal by weighted encoding with sparse nonlocal regularization." *IEEE transactions on image processing*, vol. 23, no. 6, pp. 2651-2662, 2014.

[۱۸] محمد مؤمنی و همکاران، «ارائه یک فیلتر جدید برای حذف نویزهای ضربه‌ای و ترکیب فیلتر پیشنهادی با الگوریتم PSO به منظور کشف و دفاع در برابر حملات سیل‌آسای SYN»، *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*، جلد ۴۶، شماره ۱، ۱۳۹۵.

[19] [online]. Available: <http://idm.pku.edu.cn/staff/zhangjian/IRJSM/>.

[20] [online]. Available: <http://www4.comp.polyu.edu.hk/~cslzhang/papers.htm>.

جدول ۳: میانگین PSNR در چگالی نویزهای مختلف، برای روش‌های مختلف برای تصاویر آزمایش‌شده بر حسب dB.

روش	LENA	PEEPERS	MANDRILL	BOATS
MDF	۳۲/۲۶	۳۲/۲۷	۲۷/۷۸	۳۱/۲۷
AMF	۳۹/۵۰	۳۹/۴۵	۳۵/۰۶	۳۷/۳۸
NAFSMF	۳۹/۰۸	۳۹/۵۰	۳۵/۰۲	۳۷/۴۰
DBA	۳۸/۴۵	۳۸/۱۱	۳۴/۲۷	۳۶/۷۳
[15]	۳۶/۶۸	۳۶/۵۴	۳۱/۸۲	۳۴/۷۷
AWMF	۳۸/۵۰	۳۸/۳۷	۳۳/۸۰	۳۶/۵۵
[17]	۳۳/۸۲	۳۳/۱۹	۳۱/۸۴	۲۹/۸۱
روش پیشنهادی	۴۰/۴۹	۴۰/۱۹	۳۵/۴۷	۳۸/۴۶

جدول ۴: مقدار PSNR روش پیشنهادی با قیدهای مختلف برای تصویر MANDRILL بر حسب dB.

الگوریتم	٪۱	٪۱۰	٪۳۰	٪۵۰	٪۷۰	٪۹۰
الگوریتم ۱	۵۰/۳۰	۴۰/۴۰	۳۵/۲۵	۳۳/۱۰	۳۱/۴۰	۳۰/۰۰
الگوریتم ۲	۴۹/۷۳	۴۰/۲۰	۳۵/۱۵	۳۳/۱۹	۳۱/۵۰	۳۰/۰۲
الگوریتم ۳	۵۰/۵۰	۴۰/۴۵	۳۵/۳۰	۳۳/۲۰	۳۱/۵۵	۲۹/۹۸
الگوریتم ۴	۵۰/۲۰	۴۰/۳۸	۳۵/۲۸	۳۳/۱۷	۳۱/۵۴	۳۰/۰۱
الگوریتم اصلی	۵۰/۷۵	۴۰/۵۵	۳۵/۵۹	۳۳/۳۶	۳۱/۷۰	۳۰/۱۱

جدول ۵: زمان اجرای روش پیشنهادی و روش‌های مورد مقایسه در این مقاله برای تصویر LENA بر حسب ثانیه.

روش	٪۱۰	٪۳۰	٪۵۰	٪۷۰	٪۹۰	میانگین
MDF	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷
AMF	۲/۲۸	۵/۷۹	۸/۶۱	۱۳/۱۲	۲۳/۰۲	۱۰/۶۲
NAFSMF	۲/۰۰	۴/۶۷	۷/۳۸	۱۰/۰۶	۱۲/۸۴	۷/۳۹
DBA	۲/۳۷	۲/۴۰	۲/۳۹	۲/۴۰	۲/۴۰	۲/۳۹
[15]	۱۰۰/۷	۱۰۱/۱	۱۰۲	۱۰۲	۱۰۲/۱۳	۱۰۱/۶۰
AWMF	۱۸۵	۱۷۰	۱۳۹	۹۴/۷۴	۴۶/۹۰	۱۲۷/۱
[17]	۷۱/۱۸	۷۱/۲۲	۷۱/۳۰	۷۱/۲۴	۷۱/۰۳	۷۱/۱۹
روش پیشنهادی	۲/۲	۵/۰۵	۱۷/۱۵	۲۳/۰۲	۳۱/۹۷	۱۵/۸۷

مراجع

- [1] Bovik, Alan C. *Handbook of image and video processing*. Academic press, 2010.
- [2] Heinonen, Pekka, and Yrjö Neuvo, "FIR-median hybrid filters with predictive FIR substructures," *IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing*, vol. 36, no. 6, pp. 892-899, 1988.
- [3] Ibrahim, H and et al., "Simple adaptive median filter for the removal of impulse noise from highly corrupted images," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 54, no. 4, pp. 1920-1927, 2008.
- [4] Toh, Kenny Kal Vin, Nor Ashidi Mat Isa, and Nor Ashidi, "Noise adaptive fuzzy switching median filter for salt-and-pepper noise reduction," *Signal Processing Letters*, vol. 17, no. 3, pp. 281-284, 2010.
- [5] Hsieh, Mu-Hsien and et al., "Fast and efficient median filter for removing 1-99% levels of salt-and-pepper noise in images," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 26, no. 4, pp. 133-1338, 2013.

زیرنویس‌ها

- ¹ Median Filter
- ² Hybride Median Filter
- ³ Adaptive Median Filter
- ⁴ Noise Adaptive Fuzzy Switching Median Filter
- ⁵ Fast and Efficient Median Filter
- ⁶ Decision Based Algorithm
- ⁷ Adaptive Weighted Mean Filter
- ⁸ Underdetermined Inverse Problem
- ⁹ Joint Statistical Modeling
- ¹⁰ Principal Component Analysis