

کاهش اثر نوفه تناوبی در تصاویر دیجیتال

به کمک فیلتر میانه تطبیقی در حوزه فرکانس

پیمان معلم^۱، مجید بهنام پور^۲ و امیرحسن منجمی^۳

^۱ گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اصفهان

^۲ صنایع هواپیما سازی ایران، شاهین شهر اصفهان

^۳ گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اصفهان

چکیده

نوفه تناوبی، الگو یا الگوهایی ناخواسته تکرار شونده در سراسر تصویر است که منجر به کاهش کیفیت تصویر و ایجاد ساختارهایی متناوب، شبیه هاشور خوردگی روی تصویر خواهد شد. در این مقاله ضمن بررسی و مقایسه روش‌های موجود برای کاهش اثر این نوفه، یک فیلتر میانه تطبیقی در حوزه فرکانس با بار محاسباتی قابل قبول پیشنهاد می‌شود. در روش پیشنهادی، فرکانس‌های متناظر با نوفه‌ها و پهنای هر یک به صورت تطبیقی و با توجه به محتوای تصویر تخریب شده در حوزه فرکانس، مشخص می‌شود. سپس فقط برای فرکانس‌های تخریب شده، فیلتر میانه در حوزه فرکانس که از روش‌های مؤثر در کاهش اثر نوفه تناوبی است، اعمال شده و تصویر تصحیح شده، به دست 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 به منظور مقایسه پیچیدگی محاسباتی و زمان اجرای الگوریتم‌ها، روش‌های مورد مقایسه توسط کتابخانه OpenCV و زبان برنامه‌نویسی C پیاده‌سازی می‌شوند. مقایسه نتایج در شرایط مختلف نشان می‌دهد که بهبود حاصل شده توسط روش پیشنهادی از سایر روش‌های مورد مقایسه، بیشتر بوده و در عین حال، بار محاسباتی کم‌تری نیز دارد.

واژگان کلیدی: نوفه تناوبی، فیلتر در حوزه فرکانس، فیلتر میانه تطبیقی.

۱- مقدمه

نوفه تصویری^۱، تغییرات تصادفی در اطلاعات 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، نوفه تصویری محصول جانبی تبدیل تصویر به صورت دیجیتال^۲ است. از آنجایی که نوفه تصویری می‌تواند به طور مؤثری کیفیت تصویر را کاهش دهد، امروزه توجه زیادی به الگوریتم‌های کاهش نوفه در تصاویر دیجیتال می‌شود (Smolka, 2004).

در انتخاب الگوریتم‌های کاهش نوفه تصویری، عواملی مانند قدرت محاسباتی رایانه در دسترس، بیشینه زمان مجاز برای اجرای محاسبات و مصالحه بین حذف نوفه و حذف جزئیات واقعی ناشی از اجرای الگوریتم، لازم است در نظر گرفته شود. علاوه بر این، وجود یک دانش اولیه 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^۳ است که به طور معمول در تصاویر دیجیتال نیز از همین مدل استفاده می‌شود (Gonzalez and Woods, 2007).

هنگامی که نوفه تصویری جمع شونده در حوزه مکان، از یک توزیع خاص آماری (مانند گوسی که در اکثر موارد نیز چنین فرض می‌شود) تبعیت می‌کند، استفاده از فیلترهای خطی (مانند فیلتر گوسی) که قابل پیاده‌سازی در حوزه مکان و یا فرکانس است، در کاهش اثر نوفه به طور کامل مؤثر است (Szeliski, 2010). گونه دیگری از نوفه تحت عنوان نوفه لفل نمکی^۴، که به معنای تغییرات ناگهانی بعضی از پیکسل‌ها به طور کامل سفید و یا سیاه تعبیر می‌شود، به کمک انواع فیلترهای غیرخطی مرتب شده آماری مانند فیلتر میانه^۵ در حوزه مکان، قابل کاهش است (Smolka, 2004).

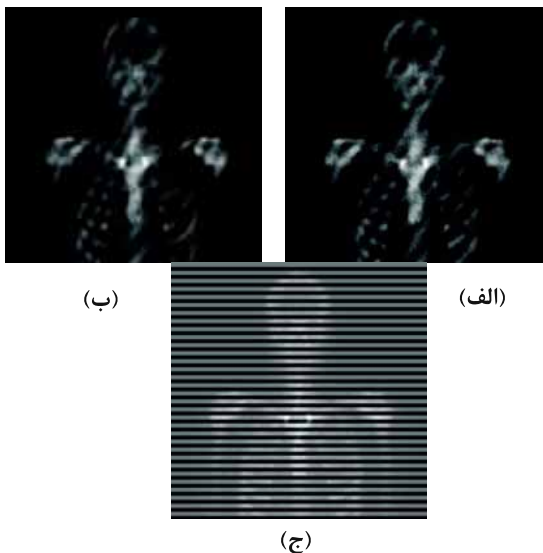
^۳ additive noise

^۴ salt and pepper

^۵ median filter

^۱ image noise

^۲ image capture



(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 محلی، به‌صورت مجموع توابع سینوسی در حوزه مکان، مدل می‌شوند که در حوزه فرکانس به‌صورت ستاره‌گونه‌هایی با دامنه فرکانسی بالا نمایان می‌شوند. هاشورزدگی‌های نوفه در حوزه مکان سرتاسر تصویر را فرا گرفته و قابل آشکارسازی و تفکیک از پس‌زمینه خود نبوده و این عمل در حوزه فرکانس راحت‌تر انجام می‌گیرد. چون نوفه تناوبی سراسر تصویر را فرا گرفته، برای حذف این نوفه در حوزه مکان، در صورت موجود نبودن الگوی نوفه، باید از فیلترهای مکانی مانند فیلتر میانه یا میانگین با اندازه پنجره‌های بزرگ استفاده کرد، که جزییات زیادی از تصویر را از بین می‌برد و یا از فیلترهای مبتنی بر مورفولوژی نرم^۵ استفاده کرد که از روش‌های مورفولوژی استاندارد، عملکرد بهتری دارد (Ji, et al., 2008, Ji, et al., 2007).

در فیلترهای مبتنی بر حوزه فرکانس که برای کاهش اثر این نوفه به‌کار می‌روند، پیاده‌سازی آن یا به‌طور کامل در حوزه فرکانس انجام می‌شوند، (مانند فیلتر برشی^۶، فیلتر میان‌گذر^۷ و فیلتر میانگین در حوزه فرکانس و فیلتر میانه در حوزه فرکانس) و یا مانند فیلتر برشی بهینه، از اطلاعات حوزه فرکانس تصویر تخریب شده، استفاده می‌شود. بنابراین استفاده از تحلیل فرکانسی تصویر و اعمال فیلتر در حوزه فرکانس، بخش مهمی از عملکرد فیلترهای به‌کار رفته برای این منظور می‌باشد.

از انواع دیگر نوفه تصویری، نوفه تناوبی^۱ 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. نوفه تناوبی به سه گروه نوفه تناوبی سراسری^۲، محلی^۳ و هاشورخوردگی خطبه‌خط^۴ طبقه بندی شده است (Drigger, et al., 1999; Castelli and Bergman 2002; Schowengerdat, 1997).

نوفه تناوبی سراسری یک نمونه تکرار شونده و مزاحم روی تصویر است که سراسر تصویر را فرا می‌گیرد. یک منبع ایجاد آن تداخلات الکترونیکی از تجهیزات گیرنده و فرستنده اطلاعات 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 بهره مدارات الکترونیکی در سنسورهای نوری و مرورگرهای الکترواپتیکی و نیز وجود تداخل سیگنال‌ها نیز، از عوامل مؤثر در بروز این دسته از نوفه است (Drigger, et al. 1999). دسته دیگری از آن نوفه، محلی است که تکرار شونده و متناوب بوده، اما 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 نوفه خطبه‌خط در تصویر بردارهای چندحس‌گری، می‌شود. تعداد آشکارسازهای موجود در اسکنرهای یک تصویر بردار فضایی، دوره تناوب این هاشورخوردگی را تعیین می‌کند (Castelli and Bergman, 2002). در (شکل ۱) نمونه‌هایی از سه نمونه نوفه تناوبی دیده می‌شود.

با توجه به مشخص بودن موقعیت مکانی حس‌گر در یک سیستم چند حس‌گری، موقعیت مکانی نوارهای نوفه خطبه‌خط، در تصویر از قبل مشخص بوده و با روش‌های ساده مکانی مانند: همانند کردن متوسط و واریانس توزیع سطوح خاکستری در نوارهای مختلف، این نوفه به‌طور مؤثری قابل کاهش است (Castelli and Bergman, 2002). برخلاف این نوع نوفه، از روش‌های ساده مکانی نمی‌توان برای کاهش اثر نوفه تناوبی سراسری و محلی استفاده کرد.

¹ periodic noise

² global periodic noise

³ local periodic noise

⁴ striping

⁵ soft morphology

⁶ notch filter

⁷ band reject filter

موجود در متن به صورت نوفه شبه تناوبی دیده می شود، مناسب نبوده و حذف نوفه این گونه تصاویری که حاوی نوفه شبه تناوبی باشد، به دلیل سختی تشخیص جزییات اصلی تصویر کار مشکلی است. در این مقاله و روش پیشنهادی، فرض کرده ایم که اصل تصویر خود حاوی ساختاری شبه تناوبی نمی باشد. از طرفی روش پیشنهادی، و روش های مورد مقایسه، برای نوفه تناوبی خط به خط که مؤلفه های فرکانس نوفه تناوبی در آن، تا مؤلفه های اصلی تصویر گسترش می یابند، نیز مناسب نمی باشند و همان طور که در قبل نیز گفته شد، روش های مکانی برای نوفه های تناوبی خط به خط، مؤثرتر خواهند بود.

۲- مروری بر روش های حوزه فرکانس

۲-۱- فیلتر میان گذر

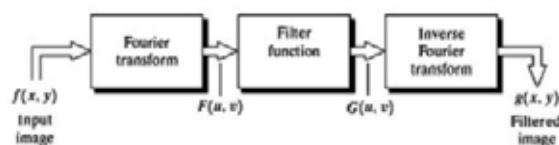
استفاده از فیلترهای میان گذر در حوزه فرکانس به عنوان راه حلی برای کاهش اثر نوفه های تناوبی که شکل ساده ای دارند و فقط حاوی یک سینوسی مزاحم و در نتیجه فقط دو مؤلفه متقارن حول مرکز فرکانس می باشد، بیان گردیده است (Gonzalez and Woods, 2007)، که با صفر کردن دامنه فرکانسی پیکسل هایی که در حوزه فرکانس بین دو حلقه باند فیلتر قرار گیرند، باعث حذف مؤلفه های نوفه می شوند. اما این فیلتر باعث حذف جزییاتی از تصویر اصلی می گردد و بنابراین در عمل که تصویر، آلوده به چندین نوفه با فرکانس ها و پهنای باندهای مختلف است، مشکلاتی ایجاد خواهد کرد.

۲-۲- فیلتر برشی

فیلترهای برشی برای حذف قسمت آلوده به نوفه و صفر کردن مؤلفه های فرکانسی در همسایگی از مرکز فرکانسی نوفه، با شکلی مناسب که به طور کامل ستاره گونه، نوفه را بپوشاند، به کار می رود (Aizenberg and Butakoff, 2008). در تصاویر آلوده شده به چندین نوفه تناوبی با فرکانس های مختلف باید از فیلتر برشی با پهنای باندها یا اندازه های مختلف استفاده کرد که تعیین خودکار تعداد فیلترهای برشی، فرکانس های هر یک و پهنای باند آن ها، می تواند مشکلاتی را ایجاد کند. (شکل ۳) مراحل پیاده سازی یک فیلتر برشی را برای کاهش اثر نوفه تناوبی که شامل دو مؤلفه سینوسی در حوزه مکان است نشان می دهد. انتخاب فرکانس های متناظر با نوفه تناوبی و محدوده هر یک، به صورت دستی انجام شده است.

در فیلترهایی که پیاده سازی آن ها فقط در حوزه فرکانس است، پس از گسسته سازی تصویر، تبدیل فوریه گسسته تصویر محاسبه شده و اعمال فیلتر در حوزه فرکانس انجام می شود. سپس با محاسبه تبدیل فوریه گسسته معکوس، تصویر فیلتر شده در حوزه مکان به دست خواهد آمد.

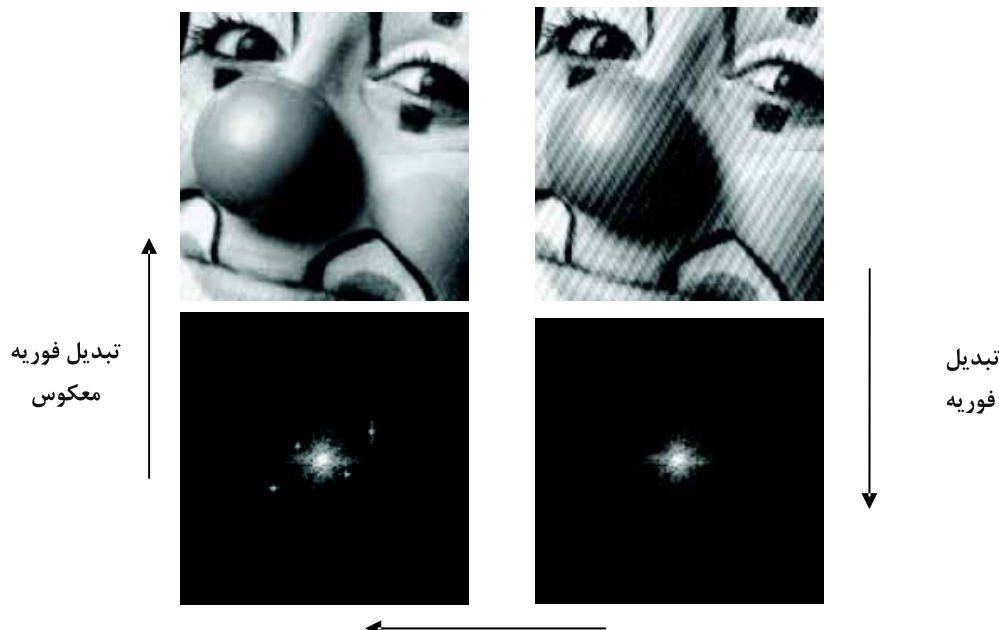
تبدیل فوریه گسسته، روشی مناسب برای نمایش فرکانسی یک تابع گسسته می باشد. به علت حجم محاسبات تبدیل فوریه گسسته، برای تسریع به طور معمول از تبدیل فوریه سریع استفاده می شود. تحقق بعضی عملیات در فضای فوریه راحت تر و سریع تر انجام می شود. تبدیل کانولوشن در فضای مکان، که به صورت اعمال پاسخ ضربه فیلتر روی تک تک نقاط (به شکل ضرب و جمع) پیاده می شود، در فضای فوریه با ضرب پاسخ فرکانسی فیلتر در تبدیل فوریه تصویر و محاسبه تبدیل معکوس نتیجه، به راحتی قابل انجام است. اساس عملکرد فیلتر در حوزه فرکانس، در (شکل ۲) آمده است (Gonzalez and Woods, 2007).



(شکل ۲): مراحل اجرای فیلتر در حوزه فرکانس

در قسمت بعدی ابتدا مروری بر روش های موجود برای کاهش نوفه تناوبی در حوزه فرکانس، انجام شده و سپس این روش ها مورد نقد قرار می گیرند. سپس به منظور کاهش اثر نوفه تناوبی، فیلتری به نام فیلتر میانه تطبیقی در فضای فرکانس پیشنهاد خواهد شد که از لحاظ کارایی با دو دیدگاه بهبود کیفیت ایجاد شده (از لحاظ چشمی و همچنین توسط پارامترهای آماری) و پیچیدگی محاسباتی با فیلتر میانه در حوزه فرکانس و میانگین در حوزه فرکانس، مقایسه می گردد. در ادامه فیلتر پیشنهادی و فیلترهای مورد مقایسه، به کمک کتابخانه OpenCV که شامل توابعی برای پیاده سازی الگوریتم های مختلف بینایی ماشین و پردازش تصویر می باشد، به زبان C و در محیط Visual C++ پیاده شده و نتایج آن ها از لحاظ زمان اجرا، مورد مقایسه قرار می گیرند.

مصالحه بین حذف نوفه و حذف جزییات واقعی در انتخاب الگوریتم، نکته ای حائز اهمیت است. فیلترهای موجود و فیلتر پیشنهادی برای مواقعی که اصل تصویر، خود حاوی نوفه شبه تناوبی است؛ مثل متون چاپی، که تناوب



حذف ستاره گونه‌های نوفه در حوزه فرکانس
(شکل ۳): شکل دلک آلوده به نوفه تناوبی با چهار قله فرکانسی (دو سینوسی در حوزه مکان)
و مراحل حذف آن توسط فیلتر برشی در حوزه فرکانس

۳-۲- فیلتر برشی بهینه

روشی نیز برای بهینه کردن فیلتر برشی وجود دارد، که به عنوان فیلتر برشی بهینه معرفی گردیده است (Gonzalez and Woods, 2007) و از طریقه کمینه کردن واریانس محلی تصویر فیلتر شده عمل می کند. این کار ابتدا شامل جدا کردن شکل نوفه و سپس کسر کردن نسبتی از شکل نوفه از تصویر آلوده شده، می باشد.

در این روش ابتدا الگوی نوفه تناوبی از حوزه فرکانس مشخص شده و سپس وزنی از الگوی تناوبی از تصویر اصلی کاسته شده و تصویر بدون نوفه بازسازی می شود. مرحله اول، یعنی به دست آوردن شکل صحیحی از نوفه در حوزه فرکانس و با جدا کردن مؤلفه های فرکانسی اصلی شکل نوفه از تصویر آلوده شده، انجام می گیرد. این کار را می توان با قرار دادن یک فیلتر برشی عبوری^۱ در مکان هر قله نوفه انجام داد و سپس با تبدیل فوریه معکوس، شکل الگوی تناوبی در حوزه مکان مشخص می شود. در مرحله دوم ضربی از نوفه تناوبی به دست آمده از تصویر کم شده و تصویر نهایی به دست می آید. ضریب کاسته شده که در یک پنجره، ثابت در نظر گرفته می شود، به گونه ای محاسبه می شود که واریانس تصویر خروجی، کمینه گردد (معلم و بهنام پور، ۱۳۸۶).

۴-۲- فیلتر میانه در حوزه فرکانس

فیلتر میانه در حوزه فرکانس با لغزاندن پنجره ای روی طیف تصویر، مقدار میانه را برای هر پنجره یافته و از مقایسه نسبت مقدار دامنه فرکانس مرکزی پنجره به مقدار میانه محاسبه شده در آن پنجره با یک مقدار آستانه پی به آلوده بودن پیکسل می برد. (Aizenberg and Butakoff, 2002) اگر این نسبت از آستانه بزرگتر باشد، آن گاه پیکسل مورد بررسی، آلوده به نوفه محسوب شده و مقدار میانه جایگزین آن می گردد و در غیر این صورت بدون تغییر باقی می ماند. رابطه (۱) تحقق این فیلتر را نشان می دهد.

$$Y_{ij} = \begin{cases} MED(X_{ij}) & \text{if } \frac{X_{ij}}{MED(X_{ij})} \geq \theta \text{ and } (i, j) \neq (0, 0) \\ X_{ij} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

در این رابطه X_{ij} مقدار دامنه متناظر با فرکانس مکانی (i, j) و Y_{ij} مقدار دامنه فرکانسی حاصله پس از اعمال فیلتر می باشد. $MED(X_{ij})$ مقدار میانه در پنجره محلی فیلتر و θ مقدار آستانه است. همان طور که در رابطه (۱) مشخص شده است، روی ضریب طیفی X_{00} فیلتر اعمال انجام نمی شود، زیرا این فرکانس بیان گر میانگین روشنایی تصویر بوده و تنها قله ای است که باید بدون تغییر باقی بماند.

^۱ notch pass

$$s_{kl} = \frac{\sum_{i=-N/2}^{N/2} \sum_{j=-N/2}^{N/2} m_{ij} |X_{k+i, l+j}|}{T} \quad (3)$$

معیار تعیین مؤلفه نوفه‌ای با رابطه (۴) مشخص می‌شود که در این جا θ مقدار آستانه است که با تحلیل طیف انتخاب می‌شود. درواقع این مقدار با توجه به میزان آلوده بودن تصویر و قدرت حذف نوفه فیلتر، تعیین می‌شود.

$$\frac{X_{kl}}{S_{kl}} > \theta \quad (4)$$

بنابراین هر مؤلفه فرکانسی (k, l) با مقدار $X_{k,l}$ که در رابطه (۴) صدق کند، به عنوان یک قله نوفه شناخته شده و دامنه آن باید محدود شود. تحقق فیلتر میانگین در حوزه فرکانس توسط رابطه (۵) بیان می‌شود.

$$Y_{ij} = \begin{cases} \frac{X_{ij}}{\delta} & \text{if } \frac{X_{kl}}{S_{kl}} > \theta \text{ and } (i, j) \neq (0, 0) \\ X_{ij} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

که در این رابطه δ برای کاهش اثر نوفه تناوبی اعمال شده که انتخاب آن وابسته به نسبت میزانی است که لازم است، قله نوفه محدود شود. این فیلتر در حذف نوفه تناوبی وقتی در حوزه فرکانس بسیار تیز بوده، خوب عمل کرده ولی وقتی نوفه در حوزه فرکانس پهن باشد، اثر آن کاهش یافته و قسمتهایی از نوفه باقی می‌ماند. یک تخمین مناسب برای اندازه پنجره متوسط‌گیری، 3×3 و برای آستانه $\theta = 4$ است (Aizenberg, et al., 2002).

۳- نقد روش‌های موجود و ارائه راه‌کاری مناسب

در فیلتر میان نگذر و برشی، فرض بر آن است که فرکانس‌های متناظر با نوفه تناوبی و محدوده آن از قبل مشخص است. فرض مشخص بودن فرکانس‌های نوفه تناوبی، عامل محدود کننده در این فیلترها بوده و درعمل به این دلیل از آن‌ها کمتر استفاده می‌شود. در مورد فیلترهای میانگین و میانگین در حوزه فرکانس، مشکل یافتن فرکانس‌های متناظر با نوفه تناوبی تا حدی 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 عمده روش‌های موجود در انتخاب فرکانس‌های متناظر با نوفه تناوبی است. در این مقاله راه‌کاری مناسب برای حل این مشکل با تحلیل طیف تصویر آلوده شده به نوفه تناوبی ارائه می‌شود. در این راه‌کار، طیف تصویر آلوده شده، همانند یک تصویر سطح خاکستری

اندازه پنجره‌های مناسب فیلتر میانگین فرکانسی $5 \times 5, 7 \times 7, 9 \times 9$ و 11×11 پیشنهاد شده، که وابسته به اندازه پهنای باند اشغالی نوفه و به طور کامل تجربی، انتخاب می‌گردد. مقدار آستانه نیز برای اندازه فیلتر 5×5 و 7×7 عدد ۳ و برای اندازه‌های بزرگ‌تر مقدار ۶ پیشنهاد شده است (Aizenberg and Butakoff, 2002). از معایب این فیلتر انتخاب تجربی اولیه پارامترهای آستانه و اندازه پنجره فیلتر می‌باشد. از آنجایی که مقدار میانگین برای همه فرکانس‌های تصویر باید محاسبه شود (رابطه ۱)، پیچیدگی محاسباتی تحقق این فیلتر بالا بوده و با توان دوم ابعاد پنجره میانگین، افزایش می‌یابد.

۲-۵- فیلتر میانگین در حوزه فرکانس

فیلتر میانگین ماسک شده (Aizenberg, et al., 2002) یک ایده دیگر برای کاهش اثر نوفه تناوبی و با تحلیل دامنه طیف فرکانسی تصویر با استفاده از پنجره لغزنده با اندازه $N \times N$ انجام می‌گیرد. برای این که مشخص 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 $N \times N$ می‌باشد. پنجره‌های محلی باید با ماسک مورد نظر پوشانیده شده و اگر المانی از ماسک متناظر با مقدار دامنه طیف فرکانسی در پنجره محلی برابر با یک بود، آن‌گاه مقدار دامنه طیفی این پیکسل در محاسبه میانگین محلی در نظر گرفته می‌شود. المان مرکزی پنجره محلی باید در محاسبه میانگین محلی در نظر گرفته نشود، زیرا ممکن است به علت نوفه تناوبی آلوده باشد. بنابراین المان مربوطه به آن را در ماسک برابر صفر قرار می‌دهیم. رابطه (۲)، ماتریس ماسک M را نشان می‌دهد.

$$M = \begin{bmatrix} m_{00} & . & . & . & m_{0,N-1} \\ . & . & . & . & . \\ . & 0 & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ m_{N-1,0} & . & . & . & m_{N-1,N-1} \end{bmatrix} \quad (2)$$

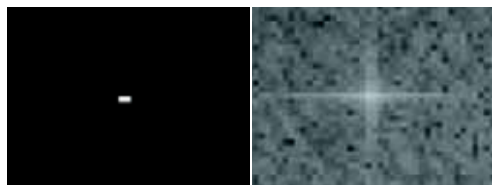
$$m_{i,j} = \begin{cases} 0 & i = j = \frac{N-1}{2} \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

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

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 حوزه فرکانس که توضیح داده خواهد شد، برای پیدا کردن کلیه مؤلفه‌های مربوط به نوفه اطراف این پیک فرکانسی استفاده می‌شود. بعد از یافتن کلیه فرکانس‌های متناظر با نوفه تناوبی، از فیلتر میانه در حوزه فرکانس به‌عنوان یکی از بهترین فیلترها از لحاظ اثرگذاری در کاهش نوفه تناوبی که در قسمت قبلی توضیح داده شد، برای کاهش نوفه تناوبی استفاده می‌شود. در قسمت بعدی، جزییات الگوریتم پیشنهادی در مشخص کردن فرکانس‌های متناظر با نوفه تناوبی، تشریح می‌گردد.

۴- یافتن مکان و پهنای فرکانسی معادل با نوفه تناوبی

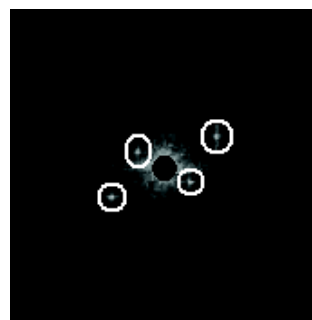
نوفه تناوبی در حوزه فرکانس از جفت قله‌های فرکانسی متقارن از مرکز تشکیل شده است که تک‌فرکانسی نبوده و شبیه ستاره‌گونه‌ها یا قله‌هایی رفیع نمایان می‌شوند. در حوزه مکان، نوفه که به‌صورت هاشورهای دیده می‌شود از پس‌زمینه خود قابل آشکارسازی و استخراج نمی‌باشد. در این قسمت ما با کمک یک آستانه پیشنهادی فقط مکان فرکانس مرکزی هر ستاره‌گونه نوفه را در حوزه فرکانس می‌یابیم. (شکل ۵) بزرگ‌نمایی نمونه‌ای از محل ستاره گونه نوفه و مکان یافته شده توسط آستانه‌گذاری را نشان می‌دهد.



(شکل ۵): بزرگ‌نمایی در محل ستاره‌گونه (شکل راست) و پیکسل‌های مرکزی یافته شده (شکل چپ)

الگوریتم محاسبه آستانه پیشنهادی به‌صورت جداگانه در بخش بعد آمده است. ممکن است در حوزه فرکانسی، مؤلفه‌های 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 R_{LF} نمایش می‌دهیم محاسبه کرده و فیلتر را در این قسمت اعمال نکنیم. روش محاسبه شعاع این قسمت نیز در قسمت محاسبه آستانه، تشریح خواهد شد.

فرض شده و از روش‌های بینایی ماشینی مانند تقطیع^۱ به روش آستانه‌گذاری^۲، برچسب‌گذاری اجزا^۳ و رشد ناحیه^۴ برای مشخص کردن فرکانس‌های متناظر با نوفه تناوبی استفاده می‌شود. اگر به شکل طیف تصویر آلوده به نوفه تناوبی در (شکل ۳) دقت شود، این تصویر همانند تصاویر طیف مادون قرمز از اهداف دور است، که اهداف در آن با نقاطی روشن، مشخص شده‌اند؛ منتهی لازم است که محدوده مرکز تصویر که متناظر با فرکانس‌های پایین در تصویر است، به‌نوعی حذف شود. (شکل ۴) تصویر طیف (شکل ۳) را نشان می‌دهد که قسمت مؤلفه‌های فرکانس پایین آن حذف (سیاه) شده و فرکانس‌های متناظر با نوفه تناوبی، هم‌چون اهداف گرم در تصاویر مادون قرمز، مشخص شده‌اند. پس از تقطیع تصویر و مشخص کردن فرکانس‌های متناظر با نوفه تناوبی، از روش‌های رشد ناحیه می‌توان برای مشخص کردن محدوده تأثیر فرکانس نوفه تناوبی، استفاده کرد که در روش پیشنهادی نیز از آن استفاده شده است.



(شکل ۴): تصویر طیف تصویر آلوده به نوفه تناوبی مانند یک تصویر مادون قرمز حاوی اهدافی کوچک و گرم

در روش پیشنهادی، پس از مشخص شدن فرکانس‌های متناظر با نوفه تناوبی و محدوده آن، از روش فیلتر میانه در حوزه فرکانس برای کاهش اثر این نوفه استفاده خواهد شد، از آنجایی که انتخاب فرکانس‌های متناظر با نوفه تناوبی با توجه به محتوی طیف انجام می‌شود، نام فیلتر میانه تطبیقی در حوزه فرکانس، برای آن انتخاب شده است.

خلاصه روش پیشنهادی به این صورت است که ابتدا آستانه‌ای تطبیقی در حوزه فرکانس جهت تشخیص مرکز ستاره‌گونه‌های متناظر با نوفه تناوبی، که از قله بالاتری برخوردار است، پیشنهاد شده و به کمک آن و با مرور تمامی فرکانس‌ها در حوزه فرکانس، به‌جز محدوده متناظر با مرکز که متعلق به محتوای فرکانسی پایین در تصویر و نواحی نسبتاً یکنواخت است، که در (شکل ۴) با دایره سیاه در مرکز مشخص شده، مکان مؤلفه اصلی و مرکزی ستاره‌گونه‌ها

¹ segmentation

² thresholding

³ component labeling

⁴ region growing

۴-۱- محاسبه آستانه در روش پیشنهادی

محاسبه مقدار آستانه جهت یافتن فرکانس‌های متناظر با نوفه تناوبی که لازم است به صورت تطبیقی و با توجه 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 به منظور ردیابی اهداف است (معلم و شائمی، ۱۳۸۶). روش پیشنهادی برای محاسبه آستانه، بر مبنای روشی است که در تقطیع هدف در تصاویر مادون قرمز استفاده می‌شود (Venkateswarlu, et al., 1992). در تصاویر مادون قرمز، به علت بالا بودن دمای هدف نسبت به پس‌زمینه، هدف در تصویر، روشن‌تر از پس‌زمینه دیده می‌شود. دقت کنید که در تصاویر آلوده به نوفه تناوبی نیز نقاط نوفه تناوبی، بسیار روشن‌تر از سایر نقاط بوده و مشابه هدف در تصاویر مادون قرمز خواهد بود. در روش پیشنهادی لازم است بیشینه دامنه در حوزه فرکانس (A_{max}) و متوسط دامنه در حوزه فرکانس (A_{mean}) محاسبه و مقدار آستانه (A_{Thr}) از رابطه (۶) محاسبه گردد.

$$A_{Thr} = (A_{max} + A_{mean}) / 2 \quad (6)$$

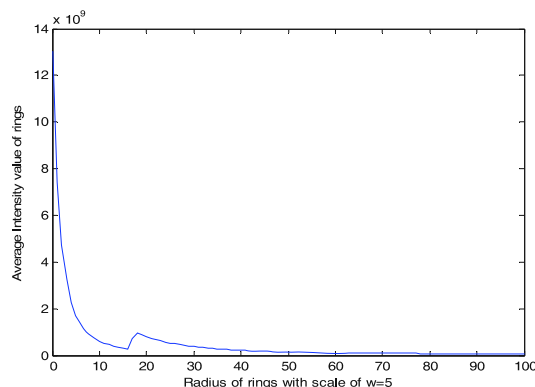
به علت وجود مؤلفه فرکانس پایین در تصاویر عادی که ناشی از نواحی به طور تقریبی یکنواخت در حوزه مکان است، لازم است مقدار بیشینه (A_{max}) از کل تصویر به جز دایره‌ای در مرکز که آن را R_{LF} می‌نامیم و شامل مؤلفه‌های فرکانس پایین است، محاسبه گردد. در روش پیشنهادی فرض شده که نوفه تناوبی دارای مؤلفه‌های بالاتری از مؤلفه‌های فرکانس پایین است که به طور عمده ناشی از اطلاعات تصویر اصلی است و بنابراین نوفه تناوبی در داخل دایره مرکزی با شعاع R_{LF} ، مؤلفه ندارد. این فرض بدان معنا است که لازم است نوفه تناوبی، فرکانس پایین نباشد.

۴-۲- محاسبه R_{LF}

روش پیشنهادی جهت محاسبه R_{LF} به این صورت است که از مرکز حوزه فرکانسی به طرف خارج، حلقه‌هایی به شعاع انتخابی (w) ۳ یا ۵ یا ۷ انتخاب کرده و میانگین مجموع اندازه مؤلفه‌های فرکانسی هر حلقه محاسبه می‌شود. نمونه‌ای از این رشته برای یک تصویر آغشته به نوفه تناوبی برحسب فاصله از مرکز با شعاع انتخابی $w = 5$ در نمودار (شکل ۶) رسم شده است. شدت میانگین فرکانسی بالای اولیه یعنی در شعاع نزدیک به مرکز، بیان‌گر فرکانس‌های پایین تصویر که حاصل از قسمت‌های یکنواخت تصویر اصلی در حوزه

مکان است، خواهد بود. در ادامه یک قله فرکانسی دیده می‌شود که به خاطر وجود نوفه تناوبی و مؤلفه فرکانسی مزاحم مربوط به وجود آمده است. در انتخاب شعاع دایره میانی برای حذف مؤلفه‌های فرکانس پایین در محاسبه آستانه، می‌توان از این نمودار استفاده کرد. به این منظور باید مکان دره بین این دو قله را یافت. بدین منظور با افزایش شعاع حلقه‌ها از مرکز حوزه فرکانس، مقدار هر میانگین اندازه مؤلفه‌های فرکانسی به دست 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، به عنوان شعاع دایره میانی در محاسبه آستانه در نظر می‌گیریم. برای اطمینان می‌توان مقادیر فرکانس‌های مجاور دو فرکانس قبلی و بعدی را نیز در مقایسه، در نظر بگیریم. شعاع به دست آمده از این روش، همان R_{LF} می‌باشد.

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



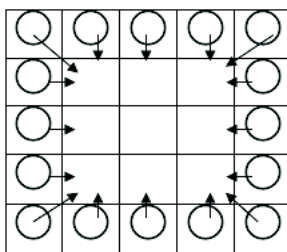
(شکل ۶): میانگین دامنه فرکانسی حلقه‌هایی با عرض $w=5$ بر حسب شعاع از مرکز با مقیاس $w=5$

۴-۳- محاسبه A_{mean}

به منظور حذف اثر مؤلفه‌های فرکانس پایین در محاسبه مقدار متوسط، A_{mean} در محدوده فرکانس‌های بالا محاسبه می‌شود. از طرفی لازم است A_{mean} در ناحیه‌ای محاسبه گردد که مؤلفه نوفه تناوبی در آن وجود نداشته باشد، برای این منظور چهار ربع دایره در نواحی فرکانس‌های بالایی چهار گوشه حوزه فرکانس به شعاع کمانی، برابر با نصف فاصله از گوشه تا وسط ضلع کوچک‌تر در نظر گرفته شده و مقدار میانگین دامنه (A_{mean}) در آن‌ها محاسبه می‌شود. انتخاب میزان این شعاع در نتایج بسیار حساس نیست ولی مقدار در نظر گرفته شده در روش پیشنهادی به گونه‌ای است

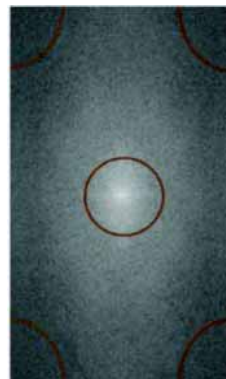
سال ۱۳۸۹ شماره ۲ پایانی ۱۴

اطراف فرکانس مرکزی نوفه انتخاب می‌کنیم. هم‌چنین مربعی با یک اندازه بزرگ‌تر یعنی 5×5 نیز انتخاب کرده و سپس شدت 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 اولیه صفر و هم‌چنین تصویر ماسک به اندازه تصویر اصلی و با مقدار اولیه '1' برای مربع 3×3 و مقدار '0' برای مابقی نقاط انتخاب می‌کنیم. هرگاه شدت پیکسل مربع بزرگ‌تر از شدت 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، همان‌طور که در (شکل ۸) دیده می‌شود، باید هر سه پیکسل گوشه‌ای از مربع بزرگ‌تر را با تنها پیکسل گوشه‌ای مربع کوچک‌تر مقایسه کرد.



(شکل ۸): 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 مقایسه 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 مرحله مقایسه پیکسل‌های مجاور هر دو مربع مجاور، متغیر z ، تعداد پیکسل‌های محیطی مربع بزرگ‌تر را که از شدت بیش‌تری در مقایسه با شدت پیکسل‌های مجاور خود در مربع کوچک‌تر برخوردار بودند، نشان می‌دهد یا با دید بهتری می‌توان گفت، تعداد پیکسل‌های محیطی آلوده به نوفه مربع بزرگ‌تر را نشان می‌دهد. هر زمان در پایان مقایسه هر دو مربع مجاور، متغیر z کم‌تر از نیمی از تعداد کل پیکسل‌های محیطی مربع بزرگ‌تر باشد، حلقه تکرار پایان یافته و نقاطی از تصویر ماسک که مقدار '1' را گرفته‌اند، بیان‌گر مؤلفه‌های فرکانسی نوفه تناوبی می‌باشند. (شکل ۹) بزرگ‌نمایی شده نمونه‌ای از تصویر ماسکی را که روی فرکانس نوفه تناوبی قرار گرفته نشان می‌دهد.

که با توجه به ابعاد تصویر، به‌راحتی قابل محاسبه باشد. البته به‌خاطر تقارن فرکانسی می‌توان تنها دو کمان از گوشه‌های بالایی یا پایینی تصویر را برای محاسبه 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 (R_{LF}) را برای یک تصویر نمونه نشان می‌دهد.

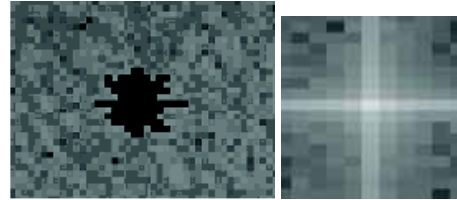


(شکل ۷): نمایش شعاع کمانی از گوشه‌های تصویر و شعاع مرکزی (R_{LF}) برای یک تصویر نمونه

هنگامی که نوفه تناوبی شامل مؤلفه‌های فرکانس پایینی باشد که به مرکز حوزه فرکانس و مؤلفه‌های 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 حوزه مکان، تصویر تیره شده و از شدت متوسط پیکسل‌ها بسیار کاسته می‌شود.

۴-۴- یافتن تصویر ماسک

شکل نوفه تناوبی در حوزه فرکانس شبیه یک قله رفیع یا یک ستاره است. دامنه مؤلفه‌های فرکانسی نوفه در طیف توان از بقیه نقاط بیش‌تر است. بنابراین شدت سطح خاکستری آن‌ها بالاتر و مؤلفه‌های مربوط به نوفه، سفید رنگ دیده می‌شوند. شدت روشنایی پیکسل‌های مرکزی در شکل نوفه از نقاط همسایگی‌اش بیش‌تر است و این شدت 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 مؤلفه‌های مربوط به نوفه را نشان دهد، الگوریتمی بر مبنای رشد ناحیه (Szeliski, 2010) است. فرض شده که توزیع نوفه تناوبی در فضای فرکانس دارای یک مؤلفه اصلی است که به‌تدریج کاهش می‌یابد. هدف از این الگوریتم، یافتن ماسکی در اطراف فرکانس نوفه تناوبی است که کلیه فرکانس‌های نوفه تناوبی را با '1' و فرکانس‌های غیر نوفه‌ای را با '0' نشان دهد. به علت وجود پخش‌شدگی اطراف مؤلفه اصلی در روش پیشنهادی، ابتدا کوچک‌ترین مربع، یعنی یک مربع 3×3



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

۵- فیلتر میانه تطبیقی پیشنهادی

هنگام استفاده از فیلتر میانه فرکانسی مرسوم، تعیین اندازه پنجره فیلتر و هم‌چنین مقدار آستانه (θ در رابطه ۱) به‌طور کامل تجربی بوده و وابسته به شدت نوفه یا پهنای باند اشغالی در فضای فرکانسی باید انتخاب گردد؛ اما اگر تصویر ورودی آلوده به چندین نوفه تناوبی (به‌عنوان مثال شامل چندین سینوسی) و در نتیجه مؤلفه‌های زیاد و متفاوت از نظر پهنای باند در حوزه فرکانس باشد، انتخاب اندازه پنجره فیلتر مناسب و مقدار آستانه یکسان برای همه فرکانس‌ها، کاری دشوار بوده و در عمل این فیلتر، پاسخ خوبی در حذف نوفه تناوبی نمی‌دهد. مشکل دیگر فیلتر میانه زمان اجرای بسیار بالای آن است. محاسبه میانه برای پیکسل‌های درون پنجره فیلتر برای تمامی فرکانس‌های طیف، بار محاسباتی بالایی دارد. این محاسبات با افزایش اندازه پنجره، بسیار بالا می‌رود. زمان اجرای فیلتر وابسته به اندازه پنجره بوده و با مقدار پهنای باند آلوده به نوفه وابستگی ندارد.

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

۶- پیاده‌سازی و مقایسه نتایج

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

برای مقایسه بهبود کیفیت ایجاد شده به‌صورت چشمی، به علت نزدیکی تصاویر فیلتر شده از لحاظ کاهش اثر نوفه تناوبی و برای مقایسه بهتر نتایج، مناسب است که تصویر فیلتر شده، همسان‌سازی هیستوگرام شود. برای مقایسه کمی سه فیلتر مورد مقایسه، از روش آماری میانگین خطای مطلق (MAE) 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 $g_e(x,y)$ به ترتیب تصویر بدون نوفه تناوبی و تصویر فیلتر شده در نقطه (x,y) باشد، MAE از رابطه (۷) محاسبه می‌شود.

$$h(x,y) = f_e(x,y) - g_e(x,y) \quad (7)$$

$$MAE = \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^M |h(x,y)|$$

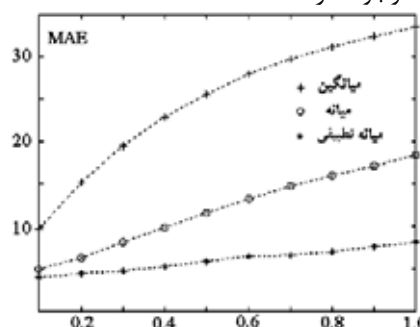
نوفه اعمال شده، به‌صورت مجموع دو مؤلفه سینوسی با دامنه یکسان در حوزه مکان، در نظر گرفته شده‌است. برای الگوریتم‌های مورد مقایسه، آستانه و اندازه در نظر گرفته شده برای فیلتر میانگین، به ترتیب ۱۵ و 3×3 و برای فیلتر میانه، ۶ و 9×9 بوده که با سعی و خطا بهینه شده‌اند. الگوریتم پیشنهادی برای تصاویر متعدد و در شرایط گوناگونی آزمایش شده است (به‌نام پور، ۱۳۸۶) که در (شکل ۱۰)، نمونه‌ای از تصویر آلوده شده به نوفه تناوبی سینوسی و بازسازی آن با سه روش مورد مقایسه آمده است. جهت مقایسه بهتر دیداری نتایج، تصاویر خروجی فیلترها، همسان‌سازی هیستوگرام شده‌اند تا اختلافات آن‌ها با تصویر اصلی بدون نوفه، بارزتر شود.



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

¹ Mean Absolute Error
سال ۱۳۸۹ شماره ۲ پیاپی ۱۴

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



(شکل ۱۱): نمودار مقادیر MAE بر حسب دامنه سیگنال‌های سینوسی‌های مختلف در تصویر (شکل ۹) و برای فیلترهای میانگین، میانه و میانه تطبیقی پیشنهادی

در (شکل ۱۲) مراحل بهبود تصویر آلوده به نوبه تناوبی با فیلتر میانه تطبیقی پیشنهادی در حوزه فرکانس برای یک تصویر آلوده به چند نوبه تناوبی با فرکانس‌ها و شدت‌های مختلف (Gonzalez and Woods, 2007) به نمایش درآمده است. (شکل ۱۳) نیز مراحل حذف نوبه تناوبی از روی تصویر گرفته شده از پخش آنالوگ شبکه سه سیما که به خاطر اختلالات فرکانسی ناشی از ضعیف بودن سیگنال آنتن، دچار چندین نوبه تناوبی شده را توسط فیلتر میانه تطبیقی پیشنهادی نشان می‌دهد.

برای نمایش کارایی الگوریتم پیشنهادی در حالت‌های مختلف نوبه تناوبی 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 نوبه شبه تناوبی مختلف در رابطه (۸) آمده است، آلوده گردیده است. تصاویر نوبه‌ای و اصلاح شده پس از اعمال روش پیشنهادی در (شکل ۱۴) آمده است.

$$\begin{aligned} N1 &= 1 + 0.2 \times \sin(2x + 2y) + 0.2 \times \sin(0.5x + 0.5y) \\ N2 &= 1 + 0.2 \sin(1.1x + 1.1y) + 0.2 \sin(1.5x) \\ &\quad + 0.2 \sin(1.5y) + 0.2 \sin(1.1x - 1.1y) \\ N3 &= 1 + 0.2 \times \sin(1.9x + 1.9y) + 0.2 \times \sin(x + y) \\ &\quad + 0.2 \times \sin(2.2x + 2.2y) + 0.2 \times \sin(1.5x + 1.5y) \\ &\quad + 0.2 \times \sin(0.4x + 0.4y) \end{aligned} \quad (8)$$

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 نوبه ذکر شده در

رابطه (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 کارایی روش پیشنهادی در شرایط مختلف نوبه 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 تصاویر آلوده (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 نوبه تناوبی قطری غیر سینوسی آمده است که نوبه تناوبی مشابه پالس متناوب در حوزه مکان بوده و مؤلفه‌های مختلفی را در حوزه فرکانس آلوده کرده است.

از معیارهای مهم دیگر در مقایسه روش‌های کاهش نوبه، مقایسه پیچیدگی محاسباتی و زمان اجرای الگوریتم‌هاست. از آنجایی که استفاده از نرم‌افزار MATLAB جهت مقایسه 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 حتی سرعت بهتری از روش میانگین در فضای فرکانس دارد که علت آن تشخیص صحیح فرکانس‌های نوبه تناوبی و گستره آن و اعمال فیلتر میانه در حوزه فرکانس فقط برای آن فرکانس‌های می‌باشد. لازم به ذکر است زمان سنجی انجام شده شامل پیاده‌سازی تبدیل فوریه سریع^۱ (FFT) دوبعدی و معکوس آن نیز می‌باشد.

(جدول ۲): مقایسه بار محاسباتی نسبی فیلترهای میانه و میانه تطبیقی پیشنهادی نسبت به مرجع زمانی فیلتر میانگین، اجرا شده توسط OpenCV.

فیلتر میانه	فیلتر میانگین	فیلتر میانه تطبیقی	فیلتر مورد مقایسه
۱/۵/۵۶	۱/۰	۰/۵۷	زمان نسبی اجرا

^۱ Fast Fourier Transform

۷- نتیجه گیری

در این مقاله یک فیلتر میانه تطبیقی جهت کاهش اثر نوفه تناوبی در تصاویر دیجیتال مطرح گردید. به کمک الگوریتم پیشنهادی، تمام مؤلفه‌های فرکانسی آلوده به نوفه در حوزه فرکانسی تشخیص داده شده و به کمک روش پیشنهادی رشد ناحیه، تقطیع می‌گردد. در ادامه، فقط برای فرکانس‌های نوفه تناوبی که در قسمت قبلی آشکار و تقطیع شده‌اند، یک فیلتر میانه به علاوه شکل، با اندازه سه برابر اندازه ناحیه نوفه تناوبی، در حوزه فرکانس اعمال شده و طیف تصویر فیلتر شده در حوزه فرکانس محاسبه می‌شود. در نهایت با محاسبه معکوس تبدیل فوریه، تصویر فیلتر شده در حوزه مکان بازیابی می‌شود.

فیلتر میانه تطبیقی پیشنهادی، با فیلتر میانه و میانگین در حوزه فرکانس، به صورت کمی و کیفی مورد مقایسه قرار گرفت که بیان گر نتایج بهتر فیلتر میانه تطبیقی بود. مقایسه نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی، جزئیات کم‌تری را از تصویر اصلی حذف کرده و در عین حال، نوفه تناوبی را نیز بیش‌تر تضعیف می‌کند. به خصوص در تصاویری که نوفه چند قسمتی با فرکانس‌ها و پهنای باندهای آلوده مختلفی وجود داشته باشد، فیلتر پیشنهادی به صورت وفقی، مؤلفه‌های آلوده را تشخیص می‌دهد. هم‌چنین از نظر زمان اجرایی این فیلتر بسیار سریع‌تر از فیلتر میانه در حوزه فرکانس و حتی سریع‌تر از فیلتر میانگین در حوزه فرکانس بوده و کیفیت عملکرد آن نیز از هر دو فیلتر مورد مقایسه، حتی فیلتر میانه در حوزه فرکانس، بهتر می‌باشد.

در انتها ذکر این نکته ضروری است که روش پیشنهادی برای حذف نوفه تناوبی تصاویری که حاوی الگوهای شبه تناوبی بوده، مانند تصاویر متون چاپی، کارایی 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 نوفه تناوبی از تصاویر دیجیتال و مقایسه نتایج، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته الکترواپتیک، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، زمستان ۱۳۸۶.

معلم پ.، بهنام‌پور م.، طراحی فیلتر برشی بهینه هوشمند به منظور کاهش اثر نوفه تناوبی، سومین کنفرانس فن‌آوری اطلاعات و دانش، دانشگاه فردوسی مشهد، آذر ۱۳۸۶.

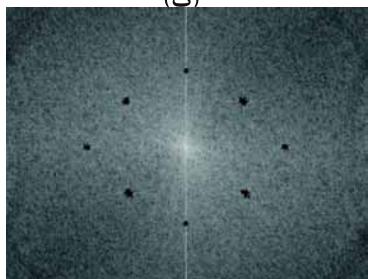
معلم پ.، شائمی ع.، پیاده سازی بلادرنگ و کم هزینه الگوریتم مرکز شدت برای ردیابی موقعیت هدف در ویدیو، فصلنامه علمی تخصصی مهندسی برق مجلسی، شماره اول، صفحات ۴۳ الی ۵۲، تابستان ۱۳۸۶.



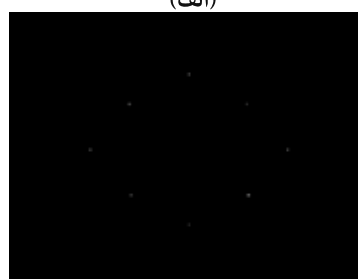
(ب)



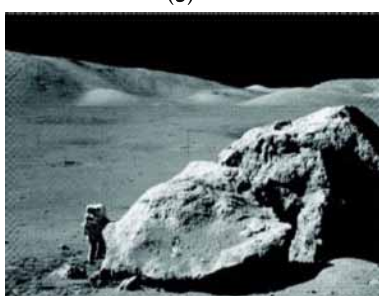
(الف)



(د)



(ج)

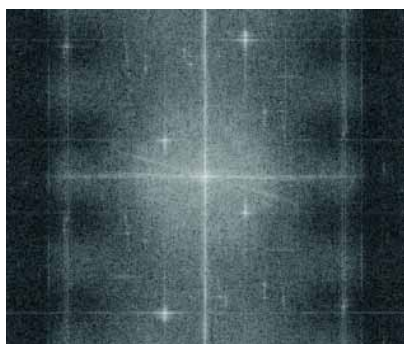


(و)



(ه)

(شکل ۱۲): اصلاح نوفه تناوبی با کمک با فیلتر میانه تطبیقی پیشنهادی در حوزه فرکانس. (الف) تصویر آلوده شده با یک نوفه تناوبی چند فرکانسی (ب) طیف فرکانسی تصویر آلوده. (ج) فرکانس مؤلفه‌های اصلی نوفه‌های تناوبی (نقاط سفید) (د) تصویر ماسک یافته شده برای فرکانس‌های مختلف نوفه تناوبی (نواحی سیاه) (ه) طیف فرکانسی تصویر اصلاح شده (و) تصویر اصلاح شده نهایی.



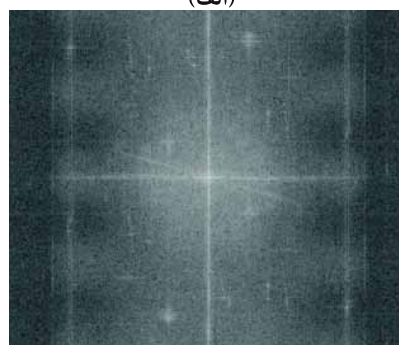
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

(شکل ۱۳): اصلاح نوفه تناوبی به کمک فیلتر میانه تطبیقی پیشنهادی در حوزه فرکانس، برای یک نمونه تصویر واقعی آغشته به نوفه تناوبی ناشی از ضعیف بودن سیگنال تلویزیونی (الف) تصویر تلویزیونی آلوده به نوفه تناوبی واقعی. (ب) نمایش حوزه فرکانس تصویر آلوده به نوفه. (ج) اعمال فیلتر میانه تطبیقی در حوزه فرکانس. (د) تصویر اصلاح شده نهایی.

سال ۱۳۸۹ شماره ۲ پیاپی ۱۴



(الف) نتایج اعمال الگوریتم پیشنهادی برای نوفه N1 در رابطه (۸) بر روی تصاویر مختلف

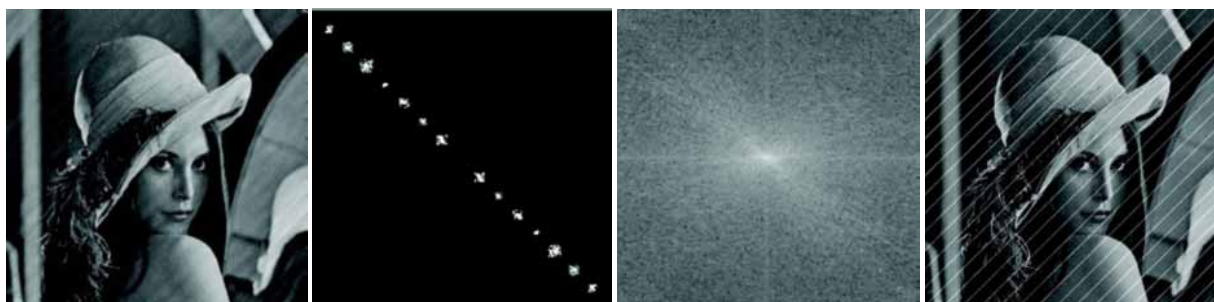


(ب) نتایج اعمال الگوریتم پیشنهادی برای نوفه N2 در رابطه (۸) بر روی تصاویر مختلف



(ج) نتایج اعمال الگوریتم پیشنهادی برای نوفه N3 در رابطه (۸) بر روی تصاویر مختلف

(شکل ۱۴): نتایج اعمال فیلتر میانه تطبیقی پیشنهادی به سه تصویر camera man, jena و people که از لحاظ توزیع فرکانسی، تصاویری متفاوت می باشند و تحت تأثیر سه نوفه شبه تناوبی مختلف قرار گرفته اند. تصاویر الف، ب و ج، به ترتیب نتایج اعمال نوفه های N1، N2 و N3 در رابطه (۸) بوده که در آنها، سطر اول شکل ها، تصویر نوفه ای و سطر دوم تصویر بازسازی شده بعد از اعمال فیلتر میانه تطبیقی پیشنهادی است.



(د)

(ج)

(ب)

(الف)

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

صنعتی مالک اشتر در سال ۱۳۸۵ اخذ نمود. زمینه‌های تحقیقاتی ایشان، پردازش تصویر و ویدیو، سیستم‌های الکترواپتیک و لیزر با کاربرد هوایی می‌باشد. نشانی رایانامک ایشان عبارت است از:

Majidbehnam20@gmail.com



سیدامیرحسین منجمی، کارشناسی مهندسی برق / کامپیوتر خود را از دانشگاه صنعتی اصفهان در سال ۱۳۶۹ اخذ نمود، سپس در سال ۱۳۷۳ در رشته مهندسی کامپیوتر، هوش ماشین

و رباتیک، موفق به اخذ مدرک فوق لیسانس از دانشگاه شیراز گردید. ایشان دکتری مهندسی کامپیوتر، پردازش تصاویر و تشخیص الگوی خود را نیز از دانشگاه بریستول انگلستان در سال ۱۳۸۳ اخذ نموده است. نام‌برده اکنون به‌عنوان دانش‌یار گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده مهندسی، دانشگاه اصفهان مشغول به کار است. سرفصل‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان، پردازش تصاویر و بینایی ماشین، شبکه‌های عصبی، و امحای فیزیکی ویروس‌ها می‌باشد.

نشانی رایانامک ایشان عبارت است از:

monadjemi@eng.ui.ac.ir



پیمان معلم متولد ۱۳۴۹ در تهران، دانش آموخته کارشناسی و کارشناسی ارشد مهندسی الکترونیک، به‌ترتیب در سال ۱۳۷۰ و ۱۳۷۴ از دانشگاه صنعتی اصفهان و دانشگاه صنعتی امیرکبیر، می‌باشد. نام‌برده در سال ۱۳۸۲ موفق به

اخذ درجه دکترا در مهندسی برق از دانشگاه صنعتی امیرکبیر گردید. دکتر معلم از سال ۱۳۸۲ به‌عنوان عضو هیأت علمی در دانشگاه اصفهان، مشغول خدمت گردید و هم‌اکنون دانش‌یار گروه مهندسی برق دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه اصفهان می‌باشد. زمینه‌های علمی مورد علاقه ایشان شامل موضوعاتی مانند پردازش تصاویر، توسعه شبکه‌های عصبی و پردازش هوشمند سیگنال‌ها می‌باشد. اجرای بیش از ۲۰ پروژه کاربردی، تألیف بیش از ۱۷۰ عنوان مقاله در مجلات و کنفرانس‌های معتبر بین‌المللی و ملی و نیز تألیف دو عنوان کتاب در فعالیت‌های پژوهشی ایشان دیده می‌شود. ایشان در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۹۰ به‌عنوان پژوهش‌گر برتر استان اصفهان در حوزه مهندسی انتخاب شده‌اند.

نشانی رایانامک ایشان عبارت است از:

p_moallem@eng.ui.ac.ir



مجید بهنام پور تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی در رشته مهندسی برق- الکترونیک در سال ۱۳۸۲ در دانشگاه آزاد اسلامی نجف آباد به پایان رساند. وی مدرک کارشناسی ارشد خود را در رشته مهندسی الکترواپتیک و لیزر از دانشگاه