

## ارائه یک پالایه ترکیبی وینر - شرلت، مبتنی بر الگوریتم‌های فرا ابتکاری و ارزیابی فازی

رمضان عباس نژادورزی\*<sup>۱</sup>، جواد وحیدی<sup>۲</sup>، همایون موتمنی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بابل، ۲- استادیار، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۳- دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ساری (دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۲۵ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۰۲)

### چکیده

تصاویر دریافتی با توجه به عوامل محیطی دچار تداخل ناخواسته‌ای می‌شوند که به نوبت شهرت دارند. در این مقاله، به منظور حذف این تداخل‌های ناخواسته دو سیستم حذف نویز باهم ترکیب می‌شوند. به منظور ایجاد ساختارهای ترکیبی ابتدا مدل‌های مختلف با ترکیب پالایه وینر پویا و شرلت، توسط الگوریتم ژنتیک تولید می‌شوند. مدل‌ها توسط اعمال پالایه وینر پویا در بخش‌های مختلف سطوح پالایه شرلت پیاده‌سازی می‌شوند. با توجه به نیاز به ارزیابی تعداد زیاد معماری‌های مختلف و دقیق نبودن ارزیابی‌های شهودی، یک تابع استنتاج فازی به منظور ارزیابی مدل‌های مختلف پیشنهاد شده است. شبیه‌سازی و ارزیابی‌های ذکر شده در این مقاله بر سه تصویر لنا، پسر و میوه صورت می‌گیرد. در نهایت، یک مدل با کمترین هزینه برای تمامی تصاویر ذکر شده یافت می‌شود. مدل پیشنهاد شده، باید قادر به حذف نویز با کارایی مطلوب بر تمامی تصاویر و تمامی سطوح نویز اعمال شده باشد. به منظور درک بهتر کارایی این مدل، مقایسه‌ای بین مدل پیشنهادی و مدل‌های دیگر حذف نویز صورت می‌گیرد. نتایج نشان‌دهنده کارایی مناسب مدل پیشنهادی در مقایسه با دیگر مدل‌های حذف نویز است.

**واژه‌های کلیدی:** الگوریتم ژنتیک، حذف نویز، استنتاج فازی، پردازش تصویر، پالایه‌های موجک.

### ۱- مقدمه

علم پردازش تصویر یکی از علوم پرکاربرد در مهندسی است که در سال‌های اخیر پیشرفت قابل توجهی داشته است. یکی از مسائلی که در این علم وجود دارد، حذف اختلال‌های ناخواسته نظیر انواع نویزها و عوامل متعدد دیگر در تصاویر است. حذف این اختلال‌ها اغلب به‌عنوان مرحله پیش‌پردازش مورد استفاده قرار می‌گیرند. نویز یک سیگنال تصادفی است که موجب تخریب بسیاری از بخش‌های اصلی اطلاعات تصویر می‌شود. وجود نویز در تصویر یکی از مشکلات اصلی در پردازش تصویر است.

تصویر به علت انواع مختلفی از نویز مانند نویز گوسی<sup>۲</sup>، نویز پواسون<sup>۳</sup>، نویز نقطه<sup>۴</sup>، نویز فلفل نمکی<sup>۵</sup> و بسیاری دیگر انواع اساسی نویز دارای اعوجاج می‌شود. این نویز ممکن است از منابع نویز موجود در مجاورت دستگاه تصویربرداری، حافظه معیوب و یا ممکن است به علت نقص / عدم دقت در تصویر گرفتن دستگاه مانند دوربین، انحراف عدسی، فاصله کانونی ضعیف، پراکندگی و دیگر شرایط نامطلوب رخ دهد [۱-۲].

پالایه‌های غیرخطی مانند پالایه میانه در حذف انواع نویزها مؤثر عمل می‌کنند. پالایه میانه قادر است نویزهای نقطه‌ای جدا از هم و یا نویزهای خطی جدا از هم را حذف کند، به طوری که در لبه‌های تصویر تغییری ایجاد نشود. یکی از معایب پالایه میانه هنگامی است که تصویر از یک حد آستانه بالای ۶۰٪ نویز بپذیرد که این پالایه قادر نیست پیکسل‌های بدون نویز را از پیکسل‌های نویزدار تشخیص دهد.

استفاده از پالایه‌ها به‌طور ترکیبی منجر به یک همکاری هم‌افزا بین الگوریتم‌ها شده و موجب افزایش کارایی سیستم می‌شود. پالایه موجک قادر به بررسی تصویر در فرکانس‌های بالا و فرکانس‌های پایین است. پالایه دوطرفه نیز عملکرد مناسبی در فرکانس‌های بالا دارد. بنابراین، ترکیب این پالایه‌ها می‌تواند تأثیر مناسبی برای حذف نویز در تصاویر داشته باشند. از این رو، استفاده از ترکیب پالایه‌ها در حال گسترش است. از جمله می‌توان به ترکیب الگوریتم‌های حذف نویز موجک و پالایه دوطرفه تطبیقی توسط کارسی کیان<sup>۶</sup> و همکارانش [۳]، و براسو برامانین<sup>۷</sup> و همکارانش در ترکیب پالایه میانه و موجک [۴] اشاره کرد. همچنین جو زانگ برای حذف نویز از تصاویر فراصوت از الگوریتم ترکیبی پالایه‌های دوطرفه و تبدیل موجک استفاده کرده

\*رایانامه نویسنده مسئول: jvahidi@iust.ac.ir

<sup>2</sup> Gaussian noise

<sup>3</sup> Poisson noise

<sup>4</sup> Spot noise

<sup>5</sup> salt and pepper noise

<sup>6</sup> Karthikeyan

<sup>7</sup> Balasubramanian

عملکرد کیفیتی از سه معیار کیفیتی استفاده می‌کند.

در انتها، مدل با کمترین هزینه حذف نویز در تمامی تصاویر به دست می‌آید. عبارت فرا معماری به معماری‌هایی اشاره دارد که هر یک می‌توانند بالقوه معماری مناسب مدل برای حذف نویز در فرکانس‌های مختلف باشند [۸]. مدل به‌دست‌آمده باید مناسب‌ترین عملکرد را در شرایط زیر داشته باشد.

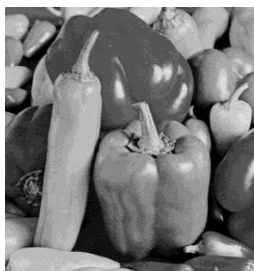
- مناسب‌ترین عملکرد در نویزهای مختلف.
- پایین‌ترین هزینه تجمعی حذف نویز به‌ازای تمامی پارامترهای بهینه و غیر بهینه.
- مناسب‌ترین مدل در تمامی تصاویر مورد آزمایش.

در انتها، مدل پیشنهادی با تعدادی از مدل‌های مفید و کارای دیگر مقایسه می‌شود. همان‌طور که در شکل‌های (۲-۱) مشخص شده است، تصاویر مورد استفاده و روش پیشنهادی نشان داده شده‌اند.

در ادامه مقاله در بخش‌های ۲ تا ۴ الگوریتم ژنتیک و پالایه‌های حذف نویز شرح داده می‌شود. سپس در بخش‌های ۵، ۶ و ۷ روش پیشنهادی، شبیه‌سازی و نتیجه‌گیری بیان می‌شوند.



الف



ب



ج

شکل (۱): سه تصویر مورد بررسی.

است [۵]. جو زانگ<sup>۱</sup> از پالایه دوطرفه به‌منظور حذف نویز در فرکانس پایین موجک و از آستانه دهی برای حذف نویز فرکانس بالا در تصویر موجک استفاده کرده است. در [۶] از ساختار مشابهی برای حذف نویز در تصاویر توموگرافی کامپیوتری<sup>۲</sup> استفاده شده است. در مقالات ذکر شده، به کمک پالایه موجک، تصویر به مؤلفه‌های جزئیات و تقریبی تجزیه می‌شود. با توجه به تعداد سطوح استفاده‌شده از پالایه موجک تعداد مؤلفه جزئیات افزایش می‌یابد اما، تعداد مؤلفه تقریبی همواره یک است. بنابراین، تشخیص اینکه در کدام بخش از این مؤلفه جزئیات از پالایه دوطرفه استفاده شود، دشوار است. لذا، در این مقالات، مؤلفه جزئیات توسط آستانه‌دهی موجک و مؤلفه تقریبی آن توسط پالایه دوطرفه تطبیقی حذف نویز می‌شوند. از آنجایی که پالایه موجک در برخورد با سیگنال‌های چندبعدی و دارای گسستگی چون لبه‌ها عملکرد مطلوبی ندارد، توسط احسانیان و همکارانش [۷] یک روش حذف نویز کارا بر پالایه شرت و توانایی بالا در زمینه توزیع محلی اختلالات به‌منظور غلبه بر محدودیت‌های موجک پیشنهاد شده است. این روش پیشنهادی دو بخش اصلی دارد:

الف. پالایه موجک به شکلی طراحی شده است که زیر باندهای جهتی را برای به‌دست آوردن اطلاعات مهم در مورد تصویر به‌دست بیاورد.

ب. ضرایب به شکلی قرار می‌گیرند که تصویر به دو بخش فرکانس پایین و فرکانس بالا تجزیه شود. در ادامه فرکانس پایین توسط پالایه وینر و فرکانس بالا توسط مدل نایت شریک<sup>۳</sup> حذف نویز می‌شود.

در این مقاله تأثیر پالایه وینر بر مؤلفه‌های پالایه شرت در سه سطح مورد بررسی قرار می‌گیرد.

به‌منظور ترکیب دو پالایه از الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک باینری که در ساختارهای گسسته عملکرد مناسبی دارد، استفاده می‌شود. مدل‌های مناسب‌تر دارای قابلیت حذف نویز بهتر و هزینه حذف نویز کمتر می‌باشند. بنابراین، در نسل‌های بعدی الگوریتم ژنتیک باقی می‌مانند.

به علت تعداد زیاد مدل‌های مورد بررسی، نیاز به ارزیابی خودکار مدل‌ها است. لذا، یک تابع ارزیاب فازی به‌منظور ارزیابی مدل‌های مختلف پیشنهاد شده است.

همچنین، با توجه به اینکه مقایسه مدل‌های به‌طور شهودی دارای دقت پایین است، استفاده از ارزیابی فازی منجر به ارزیابی یکپارچه مدل‌ها می‌شود. تابع ارزیاب فازی، به‌منظور ارزیابی

<sup>1</sup> Ju Zhang

<sup>2</sup> computed tomography (CT))

<sup>3</sup> NeighShrink model

از کاربردهای موفق شرلت مربوط به مسائل حذف نویز است. همچنین این تبدیل برای سایر مسائل پردازش تصویر شامل بهبود تصویر، جدایی تصویر، تشخیص لبه، و برآورد ویژگی‌های هندسی از یکشی بسیار مفید است. شرلت باهدف نمایش بسیار کارآمد از تصاویر با لبه معرفی شدند. در حقیقت نمایش‌های شرلت از یک مجموعه خوش واقع<sup>۵</sup> موج گونه‌ها، محدوده موقعیت‌ها، مقیاس‌ها و جهات مختلف و با اشکال بسیار ناهمسانگردی هستند. این ساختار نمایش شرلت را در نمایش لبه‌ها و دیگر اشیاء ناهمسانگرد که از ویژگی‌های غالب در تصاویر معمولی اقتباس شده است، خوش تطبیق<sup>۶</sup> می‌سازد [۹-۱۰].

#### ۴- پالایه وینر

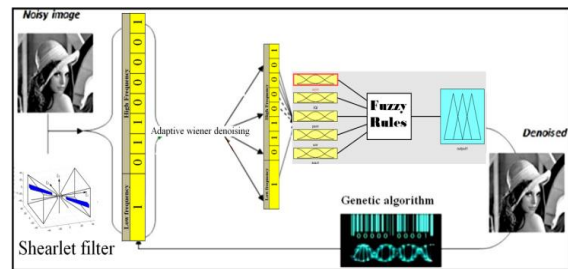
از جمله معرف‌ترین این پالایه‌ها، پالایه وینر هست. پالایه وینر نگاه آماری به پردازش دارد. در این پالایه فرض بر این است که تصویر و نویز دارای توزیع گوسی با متوسط صفر می‌باشند. پالایه وینر باهدف کاهش متوسط مربعات خطا  $|\epsilon|^2$  بین تصویر اصلی ( $I_{original}$ ) و تصویر تقریب زده شده از تصویر نویزی ( $I_{denoised}$ ) عمل می‌کند. [۱۱]

$$|\epsilon|^2 = ||I_{original} - I_{denoised}|| \quad (1)$$

پالایه وینر توانایی بالایی در حذف نویزهای گوسی دارد اما همان‌طور که گفته شد این پالایه باهدف حداقل‌سازی مجموع مربعات خطا برای کل تصویر عمل می‌کند و در نتیجه برای نواحی مختلف از تصویر یکسان عمل می‌کند. از آنجایی که امکان رؤیت نویز توسط انسان در تمام نواحی تصویر یکسان نیست، باید فرآیند بازسازی در مناطق با روشنایی یکنواخت و یا در نواحی با روشنایی بالا بیشتر از نواحی با گرادیان بالا یا نواحی تاریک صورت گیرد. همچنین اگر تخریب در نواحی مختلف تصویر به شکل‌های مختلف به وجود آمده باشد امکان بازسازی توسط پالایه وینر فراهم نخواهد بود.

#### ۵- روش پیشنهادی

روش پیشنهادی به کمک پالایه شرلت تصویر را به فرکانس‌ها و جهات مختلف تجزیه و به مناسب‌ترین فرکانس، پالایه دوطرفه را اعمال می‌کند.



شکل (۲): روش پیشنهادی.

## ۲- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک در سال ۱۹۷۰ در ایالات متحده توسعه یافت و به‌طور معمول برای بهینه‌سازی گسسته مورد استفاده قرار می‌گیرد. از ویژگی‌های این الگوریتم می‌توان به کندی و سلسله مراتبی بودن آن اشاره کرد که در سامانه‌هایی که نیاز به نوعی خلاقیت و هوش باشد، عملکرد مناسبی دارد. عملکرد الگوریتم ژنتیک به شکلی است که با ترکیب و جهش ژنتیکی والدین، نسل جدیدی تولید می‌شود. اصطلاح‌های مهم به کاررفته در این الگوریتم در زیر بیان شده است.

- کروموزوم: رشته‌ای از بیت‌ها را کروموزوم می‌نامند.
  - ژن: هر یک از بیت‌های درون کروموزوم را ژن می‌نامند.
  - عملکرد ترکیب: ترکیب کروموزوم دو یا چند والد برای تولید فرزندان.
  - جهش: جهش یک ژن در یک کروموزوم.
- همچنین الگوریتم ژنتیک از تعدادی پارامتر برای تولید نسل جدید استفاده می‌کند. این پارامترها به ترتیب تابع ارزیاب برای ارزیابی فرضیات، آستانه توقف تولید نسل، تعداد فرضیات که جمعیت موردبررسی را تشکیل می‌دهند، نرخ ترکیب و نرخ جهش است.

## ۳- موجک و حذف نویز

از آنجایی که شرلت‌ها برای ارائه تصاویر رفتار بهینه‌ای نشان داده‌اند، بسیاری از سامانه‌های پردازش تصویر از این تبدیل بهره برده‌اند. به‌طور خاص، خطاهای مربوط به تخمین داده‌ها از نویز بسیار وابسته به پراکندگی ارائه تصاویر هستند. بنابراین، بسیاری

<sup>1</sup> Chromosome

<sup>2</sup> Gene

<sup>3</sup> Operator of crossover

<sup>4</sup> Mutation

<sup>5</sup> well-localized

<sup>6</sup> well adapted

## ۵-۱- ارزیابی فازی مدل‌ها

همچنین پارامترهای آن در زیر مشخص شده است.

$$\bar{f} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M f_i \quad (5)$$

$$\bar{g} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M g_i \quad (6)$$

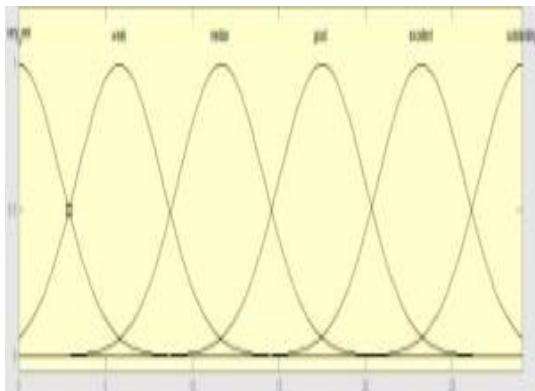
$$\sigma_{fg} = \frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^m (f_i - \bar{f})(g_i - \bar{g}) \quad (7)$$

$$\sigma_f^2 = \frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^m (f_i - \bar{f})^2 \quad (8)$$

$$\sigma_g^2 = \frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^m (g_i - \bar{g})^2 \quad (9)$$

جزء اول معادله (۴) مشخص کننده ضریب همبستگی بین f و g است، که اندازه‌گیری درجه همبستگی خطی بین f و g و محدوده دینامیکی آن در بازه [۰، ۱] است. جزء دوم معادله که مقدار شباهت شدت روشنایی بین f، g است با عددی بین [۰، ۱] مشخص می‌شود. همچنین سومین جزء معادله میزان شباهت وضوح تصاویر را با عددی بین [۰، ۱] مشخص می‌کند. معادله (۵) در دامنه مقادیر بین [۰، ۱] در حال تغییر است و تنها زمانی یک می‌شود که  $g_i = f_i$  باشد. کمترین مقدار زمانی رخ می‌دهد که  $g_i = 2f - f_i$  باشد.

بعد از ارزیابی معیارهای کیفیتی، نتایج به سیستم استنتاج فازی ارسال می‌شوند. عمل فازی سازی برای هر ورودی صورت می‌گیرد. به‌طور مثال، برای نسبت اوج سیگنال به نویز مقدار ورودی عددی بین ۰-۳۰ است و این مقدار مطابق شکل (۵- الف) فازی می‌شود.



الف

هزینه بهینه‌سازی پالایه‌ها و هزینه مدل بهینه ترکیب پالایه‌ها توسط الگوریتم ژنتیک به دست می‌آید. این مدل‌ها می‌تواند به شکل ساختار ژن‌های یک کروموزوم کد شوند. شکل (۴) کد شدن ترکیب پالایه موجک سطح سوم و پالایه دوطرفه به یک کروموزوم با ۹ ژن را نشان می‌دهد. هر کروموزوم توسط ژن‌ها به دو ارزش علامت‌گذاری می‌شوند. این ارزش‌ها برابر ۰، ۱ می‌باشند. عدد ۱ در هر ژن نشان‌دهنده اعمال پالایه وینر در آن ژن است. از ۹ ژن، ژن اول اعمال یا عدم اعمال پالایه وینر بر فرکانس پایین تصویر را نشان می‌دهد. همچنین ژن‌های ۲ تا ۹ اعمال یا عدم اعمال پالایه وینر بر فرکانس‌های بالای تصویر با جهات مختلف می‌باشند.

Low frequency	High Frequency							
1	0	1	1	0	0	0	0	1

شکل (۴): کد شدن یک مدل از پالایه‌های وینر و شرلت.

سپس، تصویر نهایی تولیدشده از مدل با تصویر بدون نویز مقایسه می‌شود. عمل مقایسه با توجه به ملاک‌هایی صورت می‌گیرد. این ملاک‌ها عبارت‌اند از نسبت اوج سیگنال به نویز، نسبت سیگنال به نویز و شاخص کیفیت تصویر. در معیارهای ذکرشده مقدار مناسب برای نسبت اوج سیگنال به نویز نشان‌دهنده این نیست که از دیدگاه بصری تصویر خوب به نظر می‌آید. بنابراین، از مشخصه کیفیت تصویر به‌عنوان پارامتر دیگری برای تشخیص میزان کاهش نویز استفاده شده است [۷]. همان‌گونه که در رابطه (۲-۳) ملاحظه می‌شود، فرمول میانگین مربعات خطا (میانگین<sup>۱</sup>) نسبت اوج سیگنال به نویز<sup>۲</sup> مشخص شده‌اند.

$$MSE = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (g_i - f_i)^2 \quad (2)$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \left( \frac{(2^n - 1)^2}{MSE} \right) \quad (3)$$

در معادله ۲، M نشان‌دهنده تعداد عناصر تصویر و n نشان‌دهنده تعداد بیت‌های هر علامت هستند. مشخصه کیفیت تصویر توسط سه عامل که در معادله ۵ مشخص شده‌اند، تولید می‌شوند.

$$Q = \frac{\sigma_{fg}}{\sigma_f \sigma_g} \cdot \frac{2\bar{f}\bar{g}}{f^2 + g^2} \cdot \frac{2\sigma_f \sigma_g}{\sigma_f^2 \sigma_g^2} \quad (4)$$

<sup>۱</sup> MSE

<sup>۲</sup> PSNR

۲. یافتن مناسب‌ترین مدل برای تمامی تصاویر و تمامی سطوح نویز.

۶- شبیه‌سازی

ابتدا نویز مطابق معادله (۱۱) به تصویر اضافه می‌شود.

$$\text{Sigma}=\text{K}; \tag{10}$$

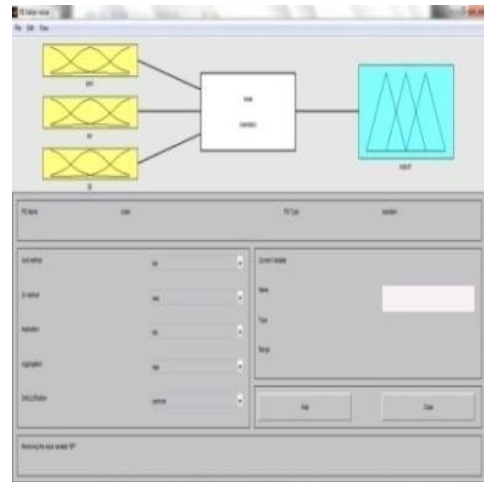
$$x_{\text{noisy}}=\text{original image} + \text{sigma}.* \text{randn}(\text{L},\text{L});$$

به طوری که L سایز تصویر اصلی است. در ادامه روش پیشنهادی به تصویر اعمال می‌شود. به منظور ساخت روش پیشنهادی، الگوریتم ژنتیک ترکیبی از پالایه وینر و شرلت را بهینه می‌کند. در این مقاله پالایه شرلت در یک سطح تجزیه می‌شود، سپس پالایه وینر پویا به زیر باندهای شرلت اعمال می‌شود. جدول (۲) هزینه و مدل بهینه پالایه ترکیبی را نشان می‌دهد. این جدول به نام جدول بهینه تصویر پسر انتخاب می‌شود.

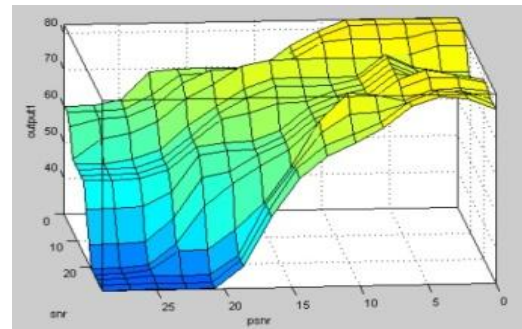
جدول (۲): تعیین مدل‌های بهینه با ترکیب پالایه وینر و پالایه شرلت در تصویر پسر.

Sigma	Models	Hybrid model	Shearlet	A-winner filter	Median
1	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	79.19070249	79.0349	335.0586446	363.1119
2	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	157.4855868	157.3169	336.9578512	367.1704
3	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	227.3382389	227.9414	340.112782	372.5161
4	0 1 1 1 1 1 0 0 0 0	264.7659651	267.9253	344.6210244	379.0646
5	0 1 1 1 1 1 0 0 0 0	288.8122128	294.6968	349.4528259	385.5917
6	0 1 1 1 1 1 0 1 1 1	305.1849282	314.2196	355.5276467	393.1238
7	0 1 1 1 1 1 0 1 1 1	323.0749291	331.9166	362.5081892	402.3397
8	0 1 1 1 1 1 1 1 1 1	337.2496032	346.9879	368.379164	406.7416
9	0 1 1 1 1 1 1 1 1 1	351.3661284	361.4767	375.2798585	411.4925
10	0 1 1 1 1 1 1 1 1 1	365.9958356	376.3447	384.2143155	418.0912
11	0 1 1 1 1 1 1 1 1 1	379.4337339	386.9073	389.5760801	422.9465
12	0 0 0 0 0 1 1 1 1 1	391.8752848	397.57	395.9827709	427.8776
13	0 0 0 0 0 1 1 1 1 1	400.1413988	406.953	401.7986506	433.3991
14	0 0 0 0 0 1 1 1 1 1	412.0110304	415.8669	409.0736441	438.0035
15	0 0 0 0 0 1 1 1 1 1	420.7433616	423.4903	415.1983334	442.1054
16	0 0 0 0 0 1 1 1 1 1	428.2018994	431.2862	422.0416403	446.6232
17	0 0 0 0 0 1 1 1 1 1	435.277006	437.6229	428.0726979	450.0894
18	0 0 0 0 0 1 1 1 1 1	442.232608	443.9456	434.0623832	452.9669
19	0 0 0 0 0 1 1 1 1 1	447.2526576	448.9106	439.2114982	455.8958
20	1 1 0 0 0 0 0 1 1 0	449.1641458	451.8141	443.5214287	458.8625
21	1 1 0 0 0 0 0 1 1 0	451.2867417	456.724	449.3653384	465.8897
22	1 1 0 0 0 0 0 1 1 0	452.2343028	461.5865	452.6388277	471.8859
23	1 1 0 0 0 0 0 1 1 0	454.0187752	466.8695	455.7811176	481.0583
24	1 1 0 0 0 0 0 1 1 0	456.5496215	474.9967	460.769706	490.8291
25	1 1 0 0 0 0 0 1 1 0	458.3626345	485.5695	466.438075	498.5419
26	1 1 0 0 0 0 0 1 1 0	460.5636078	494.0269	475.4322496	506.1798
27	1 1 0 0 0 0 0 1 1 0	463.9407948	502.3116	484.8569862	514.7272
28	1 1 0 0 0 0 0 1 1 0	464.3544427	509.5637	493.367696	519.6015
29	1 1 0 0 0 0 0 1 1 0	469.8816263	517.8912	501.7356063	527.8305
30	1 1 0 0 0 0 0 1 1 0	472.4081926	524.9437	509.4074191	532.1985
31	1 1 0 0 0 0 0 1 1 0	473.9916846	531.1911	516.477407	537.5937
32	1 1 0 0 0 0 0 1 1 0	478.6694753	538.2862	525.7774484	543.5469
33	1 1 0 0 0 0 0 1 1 0	483.1327006	544.1234	532.4988515	547.6599
34	1 1 0 0 0 0 0 1 1 0	483.294586	548.7121	537.6668301	551.7546
35	1 1 0 0 0 0 0 1 1 0	486.8134741	553.6379	543.1419511	556.5225
36	1 1 0 0 0 0 0 1 1 0	490.7651125	557.7893	548.0799269	558.9184
37	1 1 0 0 0 0 0 1 1 0	490.2119626	562.7611	552.7453967	562.9848
38	1 1 0 0 0 0 0 1 1 0	498.6524704	567.2785	557.0918119	567.1086
39	1 1 0 0 0 0 0 1 1 0	501.8274703	572.1493	561.7844236	572.1436
40	1 1 0 0 0 0 0 1 1 0	502.4379526	577.2495	567.5463089	576.8178
41	1 1 0 0 0 0 0 1 1 0	506.7380489	581.178	571.0904209	580.5319
42	1 1 0 0 0 0 0 1 1 0	508.7615006	584.7388	574.6500226	582.9586
43	1 1 0 0 0 0 0 1 1 0	512.4505998	586.4334	577.8172686	585.7497
44	1 1 0 0 0 0 0 1 1 0	517.6334727	592.2579	582.8535056	590.1198
45	1 1 0 0 0 0 0 1 1 0	513.898754	595.0163	585.0286453	591.3403
46	1 1 0 0 0 0 0 1 1 0	520.9316303	599.371	589.3888136	596.4153
47	1 1 0 0 0 0 0 1 1 0	523.0691778	602.8028	592.6274371	599.3967
48	1 1 0 0 0 0 0 1 1 0	526.5468872	606.4056	597.0410721	602.525
49	1 1 0 0 0 0 0 1 1 0	530.33865	609.3383	600.1194676	604.6914
50	1 1 0 0 0 0 0 1 1 0	532.4699499	613.0219	603.4421319	608.8401

مدل‌های بهینه جدول (۲) نشان‌دهنده هزینه کمتر و کارایی بیشتر نسبت به پالایه شرلت و پالایه وینر پویا هستند. شکل (۷) نتیجه اعمال پالایه وینر، شرلت و مدل [۱۰۰۰۰۰۰۰] بر تصویر



ب



ج

شکل (۵): الف. فازی‌سازی مقدار ورودی PSNR، ب. ترکیب

مقادیر فازی شده توسط قوانین فازی، ج. خروجی تابع هزینه با مقدار ثابت IQI و متغیر SNR و PSNR.

سپس مقادیر فازی‌سازی شده توسط قوانین استنتاج فازی ترکیب می‌شود (ب). ترکیب این مقادیر پاد فازی می‌شود و مقدار هزینه هر مدل را تولید می‌کند. شکل (۵-ج) نشان‌دهنده خروجی تابع هزینه با مقدار ثابت شاخص کیفیت تصویر، نسبت سیگنال به نویز و نسبت اوج سیگنال به نویز است.

۵-۱- یافتن پایدارترین و کم‌هزینه‌ترین مدل

بر طبق هزینه هر مدل، الگوریتم ژنتیک شروع به بهینه‌سازی می‌کند. سپس مدل‌های بهینه در جدول مدل بهینه قرار می‌گیرند. در ادامه به جستجوی مدلی می‌پردازیم که کمترین هزینه حذف نویز را در تمامی تصاویر و در تمامی شدت‌های نویز داشته باشد. برای یافتن این مدل دو گام زیر را به ترتیب انجام می‌دهیم.

۱. برای هر تصویری در هر سطح از نویز مدل بهینه را ثبت می‌کنیم (جدول مدل‌های بهینه).

لنا نشان می‌دهد.

در مرحله اول، ما بهترین مدل برای هر جدول بهینه را تعیین می‌کنیم. برای این منظور، هر مدل از جداول بهینه را انتخاب می‌کنیم. مدل انتخابی جایگزین سایر مدل‌های بهینه در همان ستون است. بعد، پالایه‌های شرت و وینر پویا با استفاده از مدل جایگزین ترکیب می‌شوند.

۵۰ مدل برای هر تصویر با ۵۰ سطح مختلف نویز وجود دارد. تعدادی از مدل‌ها برای شدت‌های مختلف نویز تکرار می‌شوند. در مجموع، ۲۲ مدل متمایز در این سه تصویر با ۵۰ سطح نویز وجود دارد. مجموع هزینه هر مدل توسط مجموع هزینه جایگزینی با سایر مدل‌ها تعیین می‌شود (جدول ۳).

**جدول (۳):** هزینه کل هر مدل در جدول بهینه. الف. تصویر میوه.

ب تصویر لنا. ج. تصویر پسر.

الف

Fruit								
Model Number	Models							Costs
1	1	0	0	0	0	0	0	20749
2	1	0	0	0	0	1	0	20949.91
3	1	0	0	0	1	1	0	21142.84
4	1	0	0	0	1	1	1	21384.62
5	0	0	0	0	0	0	0	22537.1
6	0	0	0	0	0	1	0	22642.11
7	0	1	0	0	0	0	0	22635.36
8	0	0	0	0	1	1	0	22745.15
9	0	0	0	0	0	1	1	22743.01
10	0	0	0	0	1	1	1	22844.28
11	0	0	1	1	0	0	1	22841.77
12	0	0	0	0	1	1	1	22960.71
13	0	1	1	1	0	0	0	22947.71
14	0	1	0	0	1	1	0	23054.22
15	0	1	1	1	0	0	1	23045.36
16	0	1	1	1	1	0	0	23054.65
17	0	0	1	1	1	1	1	23154.05
18	0	0	0	1	1	1	1	23157.38
19	0	1	1	1	1	0	0	23147.76
20	0	1	1	1	1	0	1	23250.69
21	0	1	1	1	0	1	1	23242.73
22	0	1	1	1	1	1	1	23353.68

ب

Lena								
Model Number	Models							Costs
1	1	0	0	0	0	0	0	21786.5
2	1	0	0	0	0	1	0	21894.8
3	1	0	0	0	0	1	1	22005.6
4	1	0	0	0	0	1	1	22137.6
5	0	0	0	0	0	0	0	21638.5
6	0	0	0	0	0	1	0	21707.4
7	0	0	1	0	0	0	0	21742.7
8	0	0	0	0	0	1	1	21768.7
9	0	0	0	0	0	1	1	21756.7
10	0	0	0	0	0	1	1	21821.2
11	0	0	1	1	0	0	1	21879.7
12	0	0	0	0	1	1	1	21886.7
13	0	1	1	1	0	0	0	21978.6
14	0	1	0	0	1	1	0	21989.2
15	0	1	1	1	0	0	1	22024.3
16	0	1	1	1	1	0	0	22050.7
17	0	0	1	1	1	1	1	22062.4
18	0	0	0	1	1	1	1	22050.4
19	0	1	1	1	1	0	0	22121.1
20	0	1	1	1	1	0	1	22163.5
21	0	1	1	1	0	1	1	22157.5
22	0	1	1	1	1	1	1	22238

ج



الف



ب



ج



د

شکل (۷): الف) پالایه ترکیبی، ب) پالایه وینر پویا، ج) پالایه شرت، د) پالایه میانه.

سپس، ما به دنبال مدلی با کمترین هزینه در تمام تصاویر هستیم. برای این منظور، مراحل زیر را انجام می‌دهیم:  
۱. مرحله اول: شناسایی مناسب‌ترین مدل‌ها برای هر جدول بهینه.

۲. فاز دوم: یافتن مناسب‌ترین مدل برای همه تصاویر و همه

سطوح نویز.

جدول (۵): مقایسه مدل پیشنهادی با پالایه‌های دیگر.

نام پالایه	هزینه
تصویر نویز دار	693
Fourier Butterworth [Cutoff Frequency =200]	553
Fourier Ideal [Cutoff Frequency =200]	555
Bilateral filter	541
Wavelet filter	569
Median filter	546
Adaptive Wiener filter	536
filter Shearlet	540
Proposed model	461

Boy										
Model Number	Models									Costs
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	23156.3
2	1	0	0	0	0	0	1	0	0	23337.6
3	1	0	0	0	0	1	1	0	0	23447.9
4	1	0	0	0	0	1	1	1	0	23621.4
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23414.4
6	0	0	0	0	0	0	1	0	0	23548
7	0	0	1	0	0	0	0	0	0	23519.5
8	0	0	0	0	0	1	1	0	0	23629.4
9	0	0	0	0	0	0	1	1	0	23656
10	0	0	0	0	0	1	1	1	0	23726.8
11	0	0	1	1	0	0	1	0	0	23749.5
12	0	0	0	0	1	1	1	1	0	23831.9
13	0	1	1	1	0	0	0	0	1	23819.6
14	0	1	1	0	1	1	0	1	1	23880.8
15	0	1	1	1	0	0	1	1	0	23946.1
16	0	1	1	1	1	0	0	0	1	23925.7
17	0	0	1	1	1	1	1	1	0	24020.3
18	0	0	0	1	1	1	1	1	1	24015.8
19	0	1	1	1	1	1	0	0	1	23994.5
20	0	1	1	1	1	1	0	1	1	24074.6
21	0	1	1	1	0	1	1	1	1	24109.8
22	0	1	1	1	1	1	1	1	1	24200.2

۵

متوسط هزینه هر مدل در مجموع سه تصویر در جدول (۴) مشخص شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مدل ۵ استفاده از پالایه شرلت بدون استفاده از وینر پویا است.

جدول (۴): میانگین هزینه هر مدل در سه تصویر.

Model Number	Models									Average Costs
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	21897.27
2	1	0	0	0	0	0	1	0	0	22060.77
3	1	0	0	0	0	1	1	0	0	22198.78
4	1	0	0	0	0	1	1	1	0	22381.19
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22530.01
6	0	0	0	0	0	0	1	0	0	22632.5
7	0	0	1	0	0	0	0	0	0	22632.53
8	0	0	0	0	0	1	1	0	0	22714.44
9	0	0	0	0	0	0	1	1	0	22718.55
10	0	0	0	0	0	1	1	1	0	22797.41
11	0	0	1	1	0	0	1	0	0	22823.67
12	0	0	0	0	1	1	1	1	0	22893
13	0	1	1	1	0	0	0	0	1	22915.31
14	0	1	0	0	1	1	0	1	1	22974.76
15	0	1	1	1	0	0	0	1	1	23005.23
16	0	1	1	1	1	0	0	0	1	23010.33
17	0	0	1	1	1	1	1	1	0	23078
18	0	0	0	1	1	1	1	1	1	23078
19	0	1	1	1	1	1	0	0	1	23087.8
20	0	1	1	1	1	1	0	0	1	23162.95
21	0	1	1	1	0	1	1	1	1	23170.04
22	0	1	1	1	1	1	1	1	1	23263.97

بنابراین، ساختار [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0] مناسب‌ترین مدل برای همه تصاویر است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در هر چهار مدل اول، پالایه وینر پویا به پایین‌ترین فرکانس تصویر اعمال می‌شود. با این وجود، برای ارزیابی مناسب‌تری از مدل پیشنهادی، مدل پیشنهادی را با موجک، شرلت، پالایه دوطرفه، سریع دوطرفه، باترورث، میانه، وینر پویا و پالایه ایده‌آل مورد مقایسه قرار می‌دهیم. به‌طور مثال، یک تصویر نویزدار نمونه را انتخاب می‌کنیم. سپس مدل پیشنهادی و پالایه‌های حذف نویز به تصویر نویز دار اعمال می‌شود. جدول (۵) نتیجه اعمال این پالایه‌ها را نشان می‌دهد.

نتایج حذف نویز جدول (۵) در شکل (۸) نشان داده شده است.



الف



ب



ج



م

شکل (۸): نتایج به دست آمده از حذف نویز، الف) پالایه ترکیبی پیشنهاد شده، ب) پالایه شرلت، ج) پالایه وینر پویا، د) پالایه میانه، ه) پالایه موجک، ی) پالایه دوطرفه، م) پالایه ایده آل فوری، ن) پالایه باترورث و) تصویر نویزدار

### ۷- نتیجه گیری

این مقاله طیف وسیعی از مدل‌های حذف نویز را مطالعه می‌کند. استفاده از سیستم استنتاج فازی منجر به یک هزینه برای هر مدل می‌شود. این روش منجر به ارزیابی مناسب‌تر، خودکار و راحت‌تر در مقایسه با ارزیابی بصری می‌شود. علاوه بر این، مدل حذف نویز پیشنهادی دارای کارایی بهتری از دو پالایه سازنده خود است. همچنین، در مقایسه با سایر روش‌ها، روش پیشنهادی دارای عملکرد بهتر نسبت به روش موجک، وینر پویا، باترورث، میانه و ایده آل با پارامترهای بهینه است.

### ۸- مراجع

- [1] Ajay Kumar Boyat<sup>1</sup> and Brijendra Kumar Joshi, "A Review Paper: Noise Models in Digital Image Processing," Signal & Image Processing: An International Journal (SIPIJ), vol. 6, no. 2, pp. 1-18, April 2015.
- [2] M. Alaei and R. Amiri, "Noise Cancellation of RADAR Reflected Signal Using the Chirplet Transform," vol. 3, no. 1, pp. 33-42, 2010. (In Persian)
- [3] P. Karthikeyan and S. Vasuki, "Multiresolution joint bilateral filtering with modified adaptive shrinkage for image denoising," An International Journal Multimedia Tools and Applications, pp. 297-302, 2015.
- [4] G. Balasubramanian, A. Chilambuchelvan, S. Vijayan, and G. Gowrisan, "Performance Improvement of Average Based Spatial Filters through Multilevel Preprocessing using Wavelets," IEEE Signal Processing Letters, vol. 22, no. 10, pp. 1698-1702, October 2015.
- [5] J. Zhang, G. Lin, L. Wu, C. Wang, and Y. Cheng, "Wavelet and fast bilateral filter based de-speckling method for medical ultrasound images," Biomed. Signal Proc. and Control, vol. 18, pp. 1-10, 2015.
- [6] E. Ehsaeyan, "A new shearlet hybrid method for image denoising," Iranian Journal of Electrical and Electronic Engineering, ISSN : 17352827, vol. 12, pp. 97-97, 2016.
- [7] N. Chandrakar and Mr. D. Bhonsle, "A New Hybrid Image Denoising Method," Journal of Engineering,



د



ه



ی



و



ن



Computers & Applied Sciences (JEC&AS), vol. 2, no.1, January 2013.

- [8] VVSH Prasad, N. Ananth, D. Mahesh, MDA Miyan, R. Banjare, and VV Nath, "Design Optimization Using Genetic Algorithm and Validation in ANSYS," Paripex Indian Journal of Research, vol.3, no. 4, pp. 262 - 264, 2014. DOI: 10.15373/22501991/April (2014).
- [9] S. Roy, N. Sinha, and A. K. Sen, "An Efficient Denoising Model based on Wavelet and Bilateral Filters," International Journal of Computer Applications (0975-8887), vol. 53, no. 10, Sept. 2012.
- [10] B. Ergen, "Signal and Image Denoising Using Wavelet Transform," Advances in Wavelet Theory and Their Applications in Engineering, Physics and Technology, Dr. Dumitru Baleanu (Ed.), ISBN: 978-953-51-0494-0, In Tech., 2012.
- [11] A. Bouhali and D. Berkani, "Combination of Spatial Filtering and Adaptive Wavelet Thresholding for Image Denoising," I. J. Image, Graphics and Signal Processing, vol. 5, pp. 9-19, 2017.

