

روشی جدید برای تشخیص لبه به روش‌های کلاسیک و فازی

حسین شعبانی محمد فرخی شهریار برادران شکوهی

دانشکده مهندسی برق - دانشگاه علم و صنعت ایران

چکیده:

در این مقاله، روشی جدید برای تشخیص لبه در تصاویر ارائه خواهد شد. از ویژگیهای این روش، مقاوم بودن در برابر نویز و عدم نیاز به فیلترکردن اولیه است، به طوری که تصاویر نویزی را بهتر و سریعتر از حتی بهترین آشکارساز یعنی آشکارساز Canny تشخیص می‌دهد. با بکارگیری منطق فازی در روش این مقاله، کیفیت تشخیص لبه‌ها به شکل چشمگیری افزایش می‌یابد. نتایج شبیه‌سازی صحت این ادعا را نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: تشخیص لبه، منطق فازی

مقدمه:

با پیشرفت روزافزون تکنولوژی، به نظر می‌رسد امروزه استفاده از سیستمهای بینایی جهت کاراترکردن سیستمهای هوشمند امری اجتنابناپذیر باشد. در راستای استفاده بهینه از بینایی ماشین، اهمیت مطالعات گسترده‌تر بر روی پردازش تصاویر که جزء مهم سیستمهای بینایی محسوب می‌شود، بیشتر شده است [1]. در این گذار، متداولترین پردازش روی تصاویر، تشخیص لبه‌ها در تصویر است. الگوریتمهای کلاسیک آشکارساز لبه، مدتها به‌عنوان تنها راهکار محققان در تشخیص لبه‌ها در تصویر بوده است. اما با ظهور نظریه فازی، بحث تشخیص لبه به روش فازی یا FEDGE (Fuzzy Edge Detection) مطرح شد به طوری که امروزه روز به روز رهیافت‌های جدیدتری برای این امر ارائه می‌شود. ضمن آن که امکان جداسازی آسانتر لبه‌های قوی از لبه‌های ضعیف با استفاده از قواعد فازی امکانپذیر است [2]-[4].

منظور از تشخیص لبه در یک تصویر، در واقع تشخیص پیکسلهایی در تصویر است که تغییرات سریع شدت روشنایی نسبت به پیکسلهای پیرامون خود دارند. این امر منجر به تشخیص پیرامون موضوعهای مختلف موجود در یک تصویر می‌شود. پیدا کردن نقاطی (پیکسلهای لبه) که در آنجا شدت روشنایی تصویر سریعاً تغییر می‌کند، بر اساس دو معیار صورت می‌گیرد. معیار اول این که در آن نقاط مشتق اول شدت روشنایی از حد آستانه‌ای بیشتر باشد و معیار دوم این که در آن نقاط مشتق دوم گذر از صفر داشته باشد.

در روش کلاسیک، آشکارسازهای لبه در واقع تخمین‌گرهای مشتق‌اند که هر کدام از آنها از یکی از معیارهای فوق استفاده می‌کند. بهبود تصویر و یا آشکارسازی لبه در آن با پیاده‌سازی الگوریتمی است که بر روی هر پیکسل با توجه به پیکسلهای همسایه‌اش صورت می‌گیرد.

استخراج لبه‌ها با استفاده از الگوریتم چهار همسایگی منجر به آشکارسازی کلی‌تری از موضوعهای واقع در تصویر می‌شود. در مقابل، بکارگیری الگوریتمهای هشت همسایگی هرچند به زمان پردازش بیشتری احتیاج دارد اما به‌طور دقیقتری به کشف لبه‌ها می‌پردازد.

در این مقاله ویژگی‌های روش کلاسیک بدست آمده و روش فازی بعنوان روشهای جدیدی که می‌توانند لبه را با حساسیت بیشتری نسبت روشهای مرسوم کلاسیک بیابند، مطرح و نتایج حاصله روی تصاویر مدل آورده می‌شود.

۱- آشکارسازی لبه به روش کلاسیک

همان‌طور که می‌دانیم برای یک تصویر پیوسته $F(x, y)$ مشتق آن یک ماکزیمم محلی را در جهت لبه بدست می‌دهد. براساس این مفاهیم دو نوع از اپراتورهای تشخیص لبه بنام اپراتورهای گرادیان (Gradient Operators) و اپراتورهای جهت‌یاب (Compass Operators) تعریف می‌شود، که به این اپراتورها در تصاویر دیجیتال ماسک گفته می‌شود [۱].

ماسکها تقریب تفاضل محدود یا گرادیان‌های عمودی F_x و F_y یا گرادیان جهتی F_r را نمایش می‌دهند. H به‌عنوان یک ماسک $p \times p$ و محدود تعریف می‌شود که برای تصویر دلخواه U ، ضرب داخلی U, H در موقعیت (m, n) به‌عنوان همبستگی مطرح می‌شود و برابر است با

$$\langle U, H \rangle_{m,n} = \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 H(i, j) \cdot U(m+i, n+j) = U(m, n) * H(-m, -n) \quad (1)$$

مقدار بدست آمده از رابطه همبستگی به‌عنوان مبنای این‌که این پیکسل می‌تواند لبه باشد یا خیر، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. مبنای ارزیابی، مقداری به‌عنوان آستانه است. در نتیجه، مشخص کردن حد یا آستانه برای تعریف تغییرات سریع نیز یکی از موارد مهم بکارگیری چنین الگوریتمهایی است که در آنها از آستانه برای یافتن لبه‌ها استفاده می‌شود.

تضعیف یا تقویت روشنایی هرپیکسل جهت واضحت‌ر نمایاندن لبه‌های تصویر به مقدار این آستانه برمی‌گردد که مقدار آن با توجه به نوع کاربرد و نوع آشکارساز متفاوت است. بهترین تعریف برای آستانه می‌تواند از روی منحنی‌های هیستوگرام بدست آید و در بهترین حالتی که منحنی‌های هیستوگرام پیکسل‌های لبه و بقیه پیکسلها کمترین همپوشانی را دارند، اولین نقطه همپوشانی به‌عنوان این حد تعریف می‌شود. در نتیجه، تعریف مقدار آستانه به‌صورت سعی و خطا و با مشاهده نتایج و مقایسه آن با تصویر مورد نظر که لبه‌های تصویر را آشکار می‌کند، صورت می‌گیرد. در این راستا الگوریتمهای تطبیقی می‌تواند راهکاری مناسب برای استخراج مقدار آستانه بهینه باشد.

از جمله آشکارسازهای لبه در روش کلاسیک می‌توان آشکارسازهای Laplacian, Gradient, Canny, Sobel, Prewitt و Zero Crossing را نام برد. بررسی این آشکارسازها نشان می‌دهد که در همه آنها با پیاده‌سازی منطقی، به هرپیکسل مقداری نسبت داده می‌شود که در مرحله بعد با تعریف سطح مقایسه (حد آستانه) به کلاسه‌بندی پیکسلهای لبه از بقیه پیکسلهای تصویر پرداخته می‌شود.

در میان این آشکارسازها، آشکارساز Canny قویترین آشکارساز لبه محسوب می‌شود و نکته جالب توجه در مورد تمام این آشکارسازها این است که حساسیت آنها به نویز بسیار زیاد است. اما، از آنجایی‌که در عمل تصاویر همراه با نویز است، باید به‌دنبال راهکاری برای حذف اثر نویز بود، تا بوسیله این راهکار اثر نویز بر روی آشکارساز لبه به مینیمم برسد.

روش مرسوم می‌تواند برای حذف اثر نویز برای آشکارسازی لبه بکار برد، این است که ابتدا توسط فیلتری مناسب (فیلتر حذف نویز)، نویز تصویر را تا حد ممکن حذف و سپس الگوریتم آشکارساز مورد نظر را جهت آشکارسازی لبه اعمال کرد. در واقع با این راهکار باید تمام پیکسلهای تصویر در دو مرحله پردازش شوند. ضمن آن‌که میزان کارآلودن فیلتر آشکارساز لبه به کارآیی فیلتر اول (فیلتر حذف نویز) بستگی دارد و این‌که این

فیلتر تا چه حد می‌تواند نویز را حذف کند. در مقابل این روش، یافتن روشی که در آن بدون احتیاج به فیلتر کردن اولیه برای حذف نویز، نویز بر روی آشکارساز لبه کمترین تاثیر را داشته باشد، بسیار مطلوب است چرا که حجم پردازش و زمان کمتری را می‌طلبد.

تحقیقات گسترده جهت دستیابی به چنین راهکاری منجر به استخراج رابطه‌ای جهت آشکارسازی لبه شده است و می‌توان ادعا کرد که حساسیت آن نسبت به نویز تقریباً به سمت صفر میل می‌کند [6]-[3]. در این رابطه، با در نظر گرفتن الگوریتم هشت همسایگی، قدرمطلق تفاضل هر پیکسل همسایه از پیکسل مورد بررسی در معادله‌نمایی کاهش‌ی قرار می‌گیرد که به‌عنوان معیاری از تاثیر این پیکسل همسایه در لبه شدن پیکسل مورد بررسی محسوب می‌شود. با اعمال این منطق بر روی تمامی پیکسل‌های تصویر، پیکسل‌های لبه، ویژگی خاصی کسب می‌کنند که موجب تمایز آنها از بقیه پیکسل‌های تصویر خواهد شد.

$$\mu_{\text{edge}}(m, n) = \frac{1}{1 + \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 \exp(-|U(m, n) - U(m+i, n+j)|)} \quad (2)$$

با توجه به رابطه (۲) ملاحظه می‌شود که هرچه شدت روشنایی دو پیکسل همسایه، به هم نزدیکتر باشد، ارزش وزنی که برای میزان شباهت آن دو در نظر گرفته می‌شود، بیشتر خواهد بود و در نتیجه اگر این دو پیکسل کاملاً شبیه هم باشند، دارای ارزش تشابه همسایگی ماکزیمم (برابر واحد) خواهند بود. مطابق این رابطه چنانچه تمام پیکسل‌های همسایه شبیه پیکسل مورد بررسی باشند، ارزش نهایی که برای این پیکسل در نظر گرفته می‌شود، مقدار مینیمم را خواهد داشت. در نتیجه بدیهی است که هر چه مقدار نسبت داده شده به پیکسل به واحد نزدیکتر باشد، بیانگر آن است که این پیکسل، با پیکسل‌های همسایه‌اش تفاوت بیشتری دارد و می‌تواند یک پیکسل لبه باشد. ضمن آن که کلاسه‌بندی پیکسل‌های لبه واقعی و پیکسل‌های لبه غیر واقعی (ناشی از اثر نویز) و بقیه پیکسل‌های تصویر، به دلیل فرم خاص این رابطه در نسبت دادن مقدار به هر پیکسل، بسیار آسان است.

برای نشان دادن عدم حساسیت این الگوریتم به نویز، الگوریتم فوق بر روی تصویر شکل ۱ و تصویر نویزی آن با نویز Salt & Pepper (شکل ۲) اعمال شده است. شکل‌های ۳ و ۵ نتایج حاصل از اعمال این الگوریتم و الگوریتم Canny بر روی تصویر اصلی و شکل‌های ۴ و ۶ نتایج بکارگیری آنها را بر روی تصویر نویزی نشان می‌دهد. با توجه به نتایج مشاهده شده از الگوریتم فوق (شکل‌های ۳ و ۴) می‌توان ادعا کرد که این الگوریتم این قابلیت مهم را (که حتی آشکارساز Canny این قابلیت را ندارد) دارا می‌باشد که بدون احتیاج به فیلتر کردن اولیه جهت حذف نویز، اثر نویز بر روی آن تقریباً قابل صرف نظر است.

ایده‌ای که از آن جهت افزودن این قابلیت به آشکارساز استفاده شده است، در آخرین قسمت پیاده‌سازی الگوریتم آشکارسازی لبه یعنی اعمال حد آستانه است که در واقع برای این منظور از دو حد آستانه استفاده شده است که بوسیله آنها تشخیص داده می‌شود که اگر این لبه ناشی از اثر نویز باشد، در ماتریس خروجی آشکارساز، به‌عنوان لبه در نظر گرفته نشود. تشخیص این امر در رابطه فوق، به‌خاطر فرم خاص آن امری آسان است چرا که رابطه فوق به پیکسل‌های لبه ناشی از اثر نویز مقدار خاصی که در یک بازه مشخص قرار می‌گیرند، نسبت می‌دهد. در نتیجه، این پیکسل‌ها پس از تشخیص در خروجی نمایش داده نمی‌شوند. این امر بیانگر آن است که در این الگوریتم، همانند دیگر آشکارسازها، انتخاب حدود آستانه بسیار حائز اهمیت است.

۲- آشکارسازی لبه به روش فازی

پس از ظهور نظریه فازی استفاده از قواعد آن چه در مواردی که الگوریتمهای کلاسیک به خوبی جواب می‌دادند و چه در مواردی که الگوریتمهای کلاسیک ناکارآمد بودند، شیوع پیدا کرد. تا جاییکه امروزه بسیاری از محققان در راستای مقایسه این روشها، حتی در بعضی موارد به پیاده سازی همان روشهای کلاسیک با توجه به قواعد فا



شکل (۲): تصویر حاصل از اعمال نویز Salt & Pepper

شکل ۱: تصویر اصلی



شکل ۴: اعمال الگوریتم معرفی شده بر روی شکل ۲

شکل ۳: اعمال الگوریتم معرفی شده بر روی شکل ۱



شکل ۶: اعمال الگوریتم Canny بر روی شکل ۲

شکل ۵: اعمال الگوریتم Canny بر روی شکل ۱

یکی از قابلیت‌های مهم آشکارساز لبه، توانایی آن در جداسازی لبه‌های قوی از لبه‌های ضعیف است (پیکسل‌هایی که مرز بین دو ناحیه خیلی متفاوت را مشخص می‌کنند لبه قوی و پیکسل‌هایی که مرز بین دو ناحیه کمی متفاوت را مشخص می‌کنند، لبه ضعیف نامیده می‌شوند). چرا که این قابلیت این امکان را به کاربر می‌دهد که درک بهتری از تصویر بدست آورد و با توجه به نیاز به فیلتر کردن بپردازد. منطق فازی راهکار مناسبی برای نیل به این منظور است.

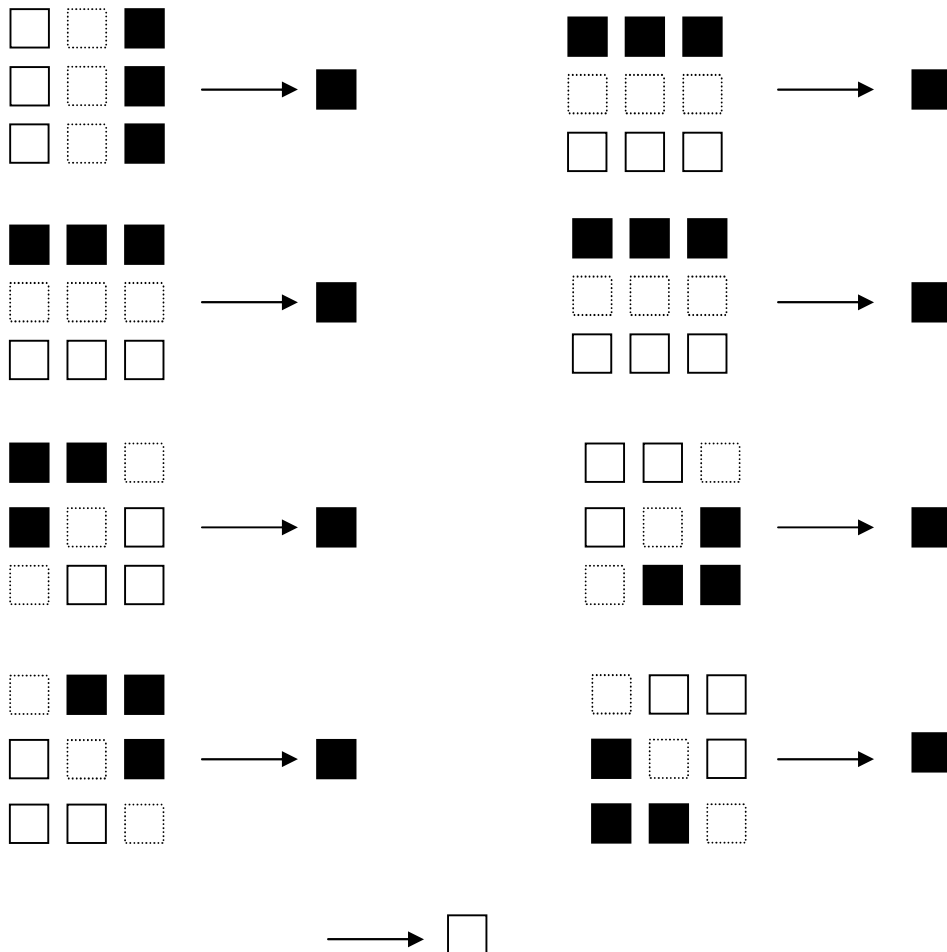
در بحث آشکارسازی فازی لبه، موارد زیر باید در نظر گرفته شوند [۲]:

(۱) تعریف توابع عضویت مناسب

(۲) تشخیص لبه با توجه به یکسری قواعد فازی

(۳) استفاده از مفاهیم فازی و تکنیک‌های کلاسه‌بندی

برای آشکار کردن لبه‌های قوی و ضعیف با استفاده از قواعد فازی، از مجموعه‌ای از قواعد فازی که در آنها تمام حالات ممکن که یک پیکسل لبه می‌تواند وجود داشته باشد، (عمودی، افقی و مورب) استفاده شده است. این قواعد را می‌توان به شکل ۷ و روابط متناظر با آنها را به صورت رابطه ۳ در نظر گرفت.



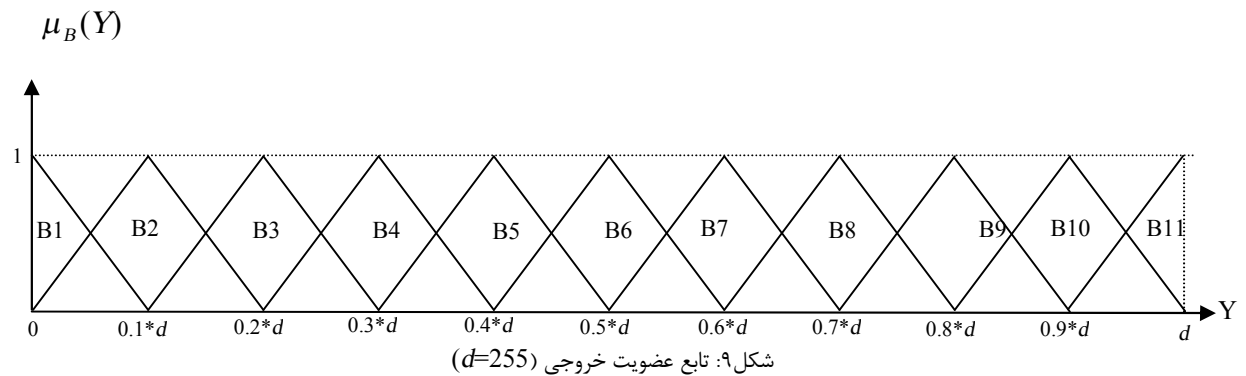
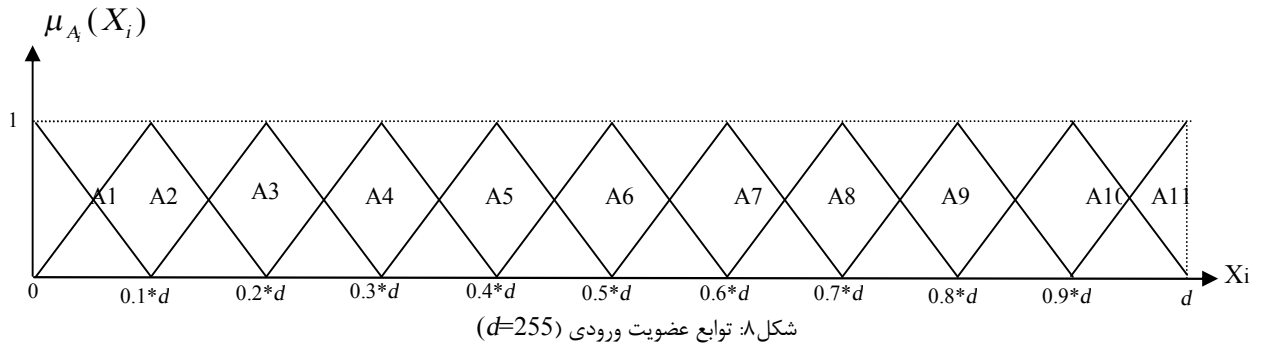
ELSE

شکل ۷: قواعد فازی بکارگرفته شده جهت آشکارسازی لبه

IF (X1 is A11 and X3 is A1 and X4 is A11 and X6 is A1 and X7 is A11 X9 is A1) THEN Y is B1
 IF (X1 is A1 and X3 is A11 and X4 is A1 and X6 is A11 and X7 is A1 X9 is A11) THEN Y is B1
 IF (X1 is A1 and X2 is A1 and X3 is A1 and X7 is A11 and X8 is A11 X9 is A11) THEN Y is B1
 IF (X1 is A11 and X2 is A11 and X3 is A11 and X7 is A1 and X8 is A1 X9 is A1) THEN Y is B1 (۳)
 IF (X1 is A1 and X2 is A1 and X4 is A1 and X6 is A11 and X8 is A11 X9 is A11) THEN Y is B1
 IF (X1 is A11 and X2 is A11 and X4 is A11 and X6 is A1 and X8 is A1 X9 is A1) THEN Y is B1
 IF (X2 is A1 and X3 is A1 and X4 is A11 and X6 is A1 and X7 is A11 X8 is A11) THEN Y is B1
 IF (X2 is A11 and X3 is A11 and X4 is A1 and X6 is A11 and X7 is A1 X8 is A1) THEN Y is B1
 Else Y is B11

برای پیاده‌سازی این قواعد، توابع عضویت مثلثی برای ورودیها و خروجی، فازی‌گر تکین، فازی‌زدای میانگین مرکز و موتور استنتاج حداقل در نظر گرفته شده است. با توجه به این‌که مقدار شدت روشنایی پیکسل‌های تصویر در بازه [۰ و ۲۵۵] قرار می‌گیرد، برای تعریف توابع عضویت ورودی و خروجی، این بازه را با توجه به تعاریف رابطه ۴ به یازده مجموعه فازی تقسیم می‌کنیم:

$$\begin{aligned}
 A_1 &= \text{Very Dark} & B_1 &= \text{Strong Edge (Very Dark)} \\
 A_i &= \text{Not Important}; (i=2, \dots, 10) & B_i &= \text{Weak Edge (Less Dark)}; (i=2, \dots, 10) \\
 A_{11} &= \text{Very White} & B_{11} &= \text{Not Edge (Very White)}
 \end{aligned}
 \quad (۴)$$



همان‌طور که از شکل حاصل از پیاده‌سازی این الگوریتم (شکل ۱۰) دیده می‌شود، در تصویر آشکارسازی لبه، پیکسل‌های لبه قوی واضحتر از پیکسل‌های لبه ضعیف نمایش داده شده‌اند. یعنی با استفاده از روابط فازی به

پیکسل‌های تصویر ضریبی اعمال می‌شود که وزن آنها را در میزان دارابودن خاصیت لبه مشخص می‌کند. به‌منظور داشتن تصویری واضحتر می‌توان تصویر معکوس حاصله (شکل ۱۱) را مورد بررسی قرارداد.



شکل ۱۱: تصویر معکوس شکل ۹

شکل (۱۰): پیاده سازی سیستم فازی معرفی شده بر روی شکل ۱

۳- نتیجه گیری

بررسی دقیق الگوریتم کلاسیک ارائه شده در این مقاله، نشان می‌دهد که این الگوریتم مشابه تمام الگوریتمهای آشکارساز لبه، این قابلیت را دارد که متناسب با سطح موردنظر کاربر به استخراج جزئیات کمتر یا بیشتری از لبه‌های موجود در تصویر بپردازد. اما قابلیت بسیار مهم آن که آن را از بقیه آشکارسازها متمایز می‌سازد، عدم تاثیر پذیری آن از نویز است که بدون صرف زمان بیشتر جهت پردازش دوباره صورت می‌گیرد. قابل توجه این‌که این قابلیت مهم را حتی بهترین آشکارساز لبه نیز ندارد. ضمن آن‌که بکارگیری الگوریتم‌های تطبیق‌یافته در راستای انتخاب بهینه سطوح آستانه برای هر تصویر در الگوریتم کلاسیک معرفی شده راهکاری دیگر در ادامه راه محسوب می‌شود.

در مقابل الگوریتمهای کلاسیک، الگوریتم فازی معرفی شده، علی‌رغم آن‌که زمان پردازش بیشتری را می‌طلبد، اما به‌طور واضحتری به نمایش لبه‌های قوی و ضعیف موجود در تصویر می‌پردازد که توانایی مهمی را برای تجزیه و تحلیل تصویر و درک بهتر آن در اختیار کاربر قرار می‌دهد. در راستای بهینه‌تر کردن الگوریتم فازی می‌بایست، بررسی بیشتر و دقیقتری بر روی تعریف توابع عضویت ورودی و خروجی، موتور استنتاج فازی، فازی‌زدا و فازی‌گر انجام گیرد.

۴- مراجع

- [1] Anil K. Jain, *Fundamentals of Digital Image Processing*, Prentice-Hall International Editions, 1989.
- [2] Tizhoosh H. R., *Fuzzy Image Processing*, Springer Verlag, 1997.
- [3] Kuo Y., C. Lee, and C. Liu, "A new fuzzy edge detection method for image enhancement," *IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, pp.1069-1074, 1997.
- [4] Molina J. M. and M. Isasi, "A fuzzy reasoning system for boundary detection in radiological images," *IEEE World Congress on Computational Intelligence*, vol.2, pp.1524-1529, 1998.

- [5] Nachtegal M. and E. E. Kerre, "Some application of fuzzy techniques in image processing," *5th Joint Conference on Information Sciences, Association for Intelligent Machinery*, pp.100-103, 2000.
- [6] Hiroyuki W., D. Chen, and S. Konuri, "Evaluation of min/max instructions for information processing," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol.4, no.3, pp.369-374, 1996.