



## یک روش ترکیبی برای واضح سازی تصاویر (مدل پخش گاز + اتوماتای سلولی فازی)

محمد رضا میبدی  
آزمایشگاه محاسبات نرم  
دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات  
دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
تهران ایران  
[meybodi@aut.ac.ir](mailto:meybodi@aut.ac.ir)

فریبا مهدوی فرد  
آزمایشگاه محاسبات نرم  
دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات  
دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
تهران ایران  
[mahdavifard@aut.ac.ir](mailto:mahdavifard@aut.ac.ir)

تصویر، خصوصا لبه ها است؛ از این رو از واضح سازی معمولاً به عنوان ابزاری برای شناسایی لبه ها بهره می جویند. روشهای بسیاری از

جمله واضح سازی با استفاده از مشتق گیری، واضح سازی با استفاده از گرادیان گیری، واضح سازی با استفاده از لاپلاسین گیری، واضح سازی با استفاده از مدل پخش گاز و واضح سازی با استفاده از فیلتر Butherworth تا کنون برای انجام عمل واضح سازی تصویر معرفی شده اند که هر کدام معایب و مزایای خاص خود را دارند.

یکی از روشهای واضح سازی، مبتنی بر مدل پخش گاز می باشد که در این روش، فرآیند تار شدن تصویر به صورت فرآیند پخش گاز مدل می شود. یکی از مشکلات این روش تعیین مقدار مناسب پارامتر  $a$  برای هر پیکسل می باشد. معمولاً مقدار پارامتر  $a$  برای کلیه پیکسلهای تصویر اعم از لبه و غیر لبه یکسان در نظر گرفته می شود و به همین دلیل تمام قسمتهای تصویر بطور یکسان واضح سازی می شود. اگر بتوان مقادیر  $a$  را به صورت محلی برای هر پیکسل تعیین نمود، کارایی روش بالاتر خواهد بود؛ به صورتیکه در نقاطی با تغییرات بالای فرکانس (لبه ها) از مقادیر بالا و در سایر نقاط از مقادیر پایین برای پارامتر  $a$  استفاده شود.

در این مقاله یک روش واضح سازی که از ترکیب روش پخش گاز و اتوماتای سلولی فازی<sup>۱</sup> حاصل شده است پیشنهاد می گردد. در این روش ترکیبی، اتوماتای سلولی فازی عهده دار تعیین مقدار مناسب پارامتر  $a$  برای پیکسلهای تصویر می باشد. هر سلول اتوماتای سلولی فازی، پارامتر  $a$  پیکسل متناظر با آن سلول را بر اساس یکسری قوانین فازی تعیین می کند. توزیعی بودن روش پیشنهادی و اینکه متکی بر عملیات محلی در همسایگی هر پیکسل می باشد، باعث ساده تر شدن پیاده سازی آن به صورت نرم افزاری و سخت افزاری می شود. نتایج حاصل از پیاده سازی روش پیشنهادی، نشان دهنده کارایی بالای آن در مقایسه با سایر روشهای واضح سازی است.

**چکیده:** واضح سازی یکی از عملیات مهم در پردازش تصویر می باشد و یکی از روشهای واضح سازی، روشی است مبتنی بر مدل پخش گاز که در آن، فرآیند تار شدن تصویر به صورت فرآیند پخش گاز مدل می شود. در این روش معمولاً مقدار پارامتر  $a$  برای کلیه پیکسلهای تصویر اعم از لبه و یا غیر لبه یکسان در نظر گرفته می شود و به همین دلیل تمام قسمتهای تصویر بطور یکسان واضح سازی می شود. اگر بتوان مقادیر  $a$  را به صورت محلی برای هر پیکسل تعیین نمود، کارایی روش بالاتر خواهد بود؛ به صورتیکه در نقاطی با تغییرات بالای فرکانس (لبه ها) از مقادیر بالا و در سایر نقاط از مقادیر پایین برای پارامتر  $a$  استفاده شود. در این مقاله روشی برای واضح سازی پیشنهاد می گردد که از ترکیب روش واضح سازی مبتنی بر پخش گاز و اتوماتای سلولی فازی حاصل شده است. در این روش ترکیبی، اتوماتای سلولی فازی، از طریق یکسری قوانین فازی، عهده دار تعیین مقادیر مناسب پارامتر  $a$  برای پیکسلهای تصویر می باشد. روش پیشنهادی متکی بر عملیات محلی در همسایگی هر پیکسل می باشد که این امر پیاده سازی آن را ساده تر می سازد. نتایج حاصل از پیاده سازی روش پیشنهادی، نشان دهنده کارایی بالای آن در مقایسه با سایر روشهای واضح سازی است.

**کلمات کلیدی:** اتوماتای سلولی، اتوماتای سلولی فازی، پردازش تصویر، واضح سازی تصویر، مدل پخش گاز

### ۱- مقدمه

یکی از عملیاتی که همواره در پردازش تصویر مورد توجه بوده است عمل واضح سازی تصویر می باشد. عمل واضح سازی برخلاف هموار سازی تصویر که سعی در تضعیف فرکانسهای بالا دارد، فرکانسهای بالا را تقویت می کند. در واقع هدف از واضح سازی تصویر، مشخص کردن جزئیات

حالت توسط تابع انتقال محلی اتوماتای سلولی فازی انجام می‌گیرد. تابع انتقال محلی برای کلیه سلولها یکسان و یک تابع فازی است. این تابع به این صورت عمل می‌کند که در هر مرحله مقدار عضویت همسایگی سلول را گرفته و مقدار عضویت آن را در مرحله بعد محاسبه می‌کند. برای نمایش روند تکامل FCA، از مقادیر عضویت متغیرهای زبانی سلول در هر لحظه بهره می‌گیریم و متغیر برای نمایش خروجی یک سلول در هر مرحله بکار می‌رود. همسایگی برای تمام سلولها یکسان می‌باشد و در طی زمان بدون تغییر باقی می‌ماند.

اتوماتای سلولی فازی را میتوان به صورت چهارتابی  $(Z, S, r, f)$  نمایش داد که  $Z$  یک توری منظم  $n$  بعدی از سلولها،  $S$  مجموعه حالات هر سلول می‌باشد که هر سلول در هر مرحله می‌تواند یکی از آنها را اختیار کند و مقادیر عضویت این مجموعه در بازه  $[0, 1]$  قرار دارند،  $r \in N$  شعاع همسایگی است و  $s \rightarrow s^{r+1}$ ،  $f$ : تابع انتقال فازی است.

**کاربرد مدل‌های مبتنی بر CA در پردازش تصویر:** از آنجا که در پردازش تصاویر زمان واقعی<sup>۶</sup>، سرعت عملیات از اهمیت زیادی برخوردار است، نیاز به الگوریتمهای موازی در پردازش تصویر بسیار بیشتر از الگوریتمهای ترتیبی است. در [5] از اتوماتای سلولی به عنوان یک مدل محاسباتی که ذاتا موازی است، به منظور طراحی الگوریتم موازی در تشخیص لبه تصاویر استفاده شده است و در [6] نیز از مدل CA که به صورت ژنتیکی کنترل می‌شود برای حل مسائل موجود در پردازش تصویر استفاده شده است و کارایی این مدل برای تشخیص لبه در تصاویر نشان داده شده است. [7] نیز اتوماتاهای سلولی مختلف را به عنوان الگوریتمهایی به منظور بهسازی مقدماتی تصویر مورد مطالعه قرار داده است. در این مقاله کاربرد الگوریتمهای اتوماتای سلولی مختلف برای واضح سازی و هموار سازی نشان داده شده است. از CLA نیز تا کنون چندین کاربرد در زمینه پردازش تصویر ارائه شده است. برای مثال در [12] از مدل CLA برای واضح سازی، در [8] برای حذف نویز و در [9] برای قطعه بندی تصویر استفاده شده است. در [16] از اتوماتای یادگیر سلولی ناهمگام باز برای تشخیص لبه در تصاویر استفاده شده و در [21, 20] نیز CLA برای حذف نویز، قسمت بندی و استخراج ویژگیهای در شرایطی که تصویر نویزی است، بررسی شده است. در [11] از CLA برای دسته بندی تصاویر ماهواره ای استفاده شده. و [21] نیز رساله کارشناسی ارشدی است که در آن به کاربردهای CLA در پردازش تصویر پرداخته شده است. اگر چه تا کنون کاربردهای زیادی از مدل CA و CLA در زمینه پردازش تصویر ارائه شده، اما تاکنون از مدل FCA در این زمینه استفاده نشده است. با توجه به قابلیت‌های منطق فازی و کاربرد فراوان اتوماتای سلولی در زمینه پردازش تصویر، به نظر می‌رسد که این مدل در پردازش تصویر نیز کاربردهای مناسبی خواهد داشت. در این مقاله با ترکیب مدل اتوماتای سلولی فازی و مدل پخش گاز، روشی برای واضح سازی تصویر ارائه گردیده است.

ادامه مقاله به شرح زیر سازماندهی شده است. در بخش 2 به کارهایی که تا کنون در راستای این کار پژوهشی صورت گرفته است، خواهیم پرداخت. در این بخش توضیحات مختصری در مورد اتوماتای سلولی<sup>۲</sup>، اتوماتای سلولی یادگیر<sup>۳</sup> و اتوماتای سلولی فازی ارائه می‌گردد و به کاربرد مدل‌های مبتنی بر اتوماتای سلولی در پردازش تصویر خواهیم پرداخت. در بخش 3 نیز الگوریتم ترکیبی پیشنهادی شرح داده خواهد شد. در این بخش در رابطه با روش واضح سازی مبتنی بر مدل پخش گاز نیز توضیحاتی داده خواهد شد. بخش 4 مقاله نتیجه گیری می‌باشد.

## 2- کارهای گذشته

در این بخش ابتدا توضیحات مختصری در مورد اتوماتای سلولی، اتوماتای سلولی یادگیر و اتوماتای سلولی فازی ارائه شده و سپس در مورد کاربرد مدل‌های مبتنی بر اتوماتای سلولی در زمینه پردازش تصویر توضیحات مختصری ارائه می‌شود.

**اتوماتای سلولی:** اتوماتای سلولی، CA، در حقیقت سیستم‌های دینامیکی گسسته‌ای هستند که رفتارشان کاملاً بر اساس ارتباط محلی استوار است. در اتوماتای سلولی، فضا بصورت یک شبکه تعریف می‌گردد که به هر خانه آن یک سلول گفته می‌شود. زمان بصورت گسسته پیش می‌رود و قوانین آن بصورت سرتاسری است که از طریق آن در هر مرحله هر سلول، وضعیت جدید خود را با در نظر گرفتن همسایه‌های مجاور خود بدست می‌آورد. قوانین اتوماتای سلولی، نحوه تاثیر پذیرفتن سلول از سلولهای همسایه را مشخص می‌کند [4]. اتوماتای یادگیر سلولی: اتوماتای یادگیر سلولی، CLA، یک مدل ریاضی برای سیستمهایی با اجرای ساده ای است به طوریکه رفتار هر جزء بر اساس رفتار همسایگانش و نیز تجربیات گذشته اش تعیین و اصلاح می‌شود. هر اتوماتای یادگیر سلولی، از یک اتوماتای سلولی تشکیل شده است که هر سلول آن به یک یا چند اتوماتای یادگیر مجهز می‌باشد که حالت این سلول را مشخص می‌سازد. مانند اتوماتای سلولی، قانون محلی در محیط حاکم است و این قانون تعیین می‌کند که آیا عمل انتخاب شده توسط یک اتوماتا در سلول باید پاداش داده شود ویا جریمه شود. دادن پاداش ویا جریمه باعث بروز درآورده شدن ساختار اتوماتای یادگیر سلولی به منظور نیل به یک هدف مشخص می‌گردد [17-19][13].

**اتوماتای سلولی فازی:** با توجه به توانایی منطق فازی در پردازش داده های غیر قطعی، ساختاری از CA معرفی شده است که در آن به جای استفاده از مقادیر قطعی در سلولها و توابع انتقالشان از مقادیر غیر قطعی و فازی استفاده می‌شود. تعاریف متفاوتی از اتوماتای سلولی فازی ارائه شده است [2, 3]، آخرین تعریف در [14, 15] توسط میبیدی و انوری نژاد ارائه شد که در ادامه به توصیف دقیق تر آن خواهیم پرداخت؛ در این مقاله نیز از آن استفاده می‌کنیم. در اتوماتای سلولی فازی مجموعه حالات یک سلول و تابع انتقال محلی<sup>۴</sup> یا همان قوانین، فازی هستند. مجموعه حالات یک سلول متغیرهای زبانی<sup>۵</sup> هستند. این متغیرهای زبانی با توجه به دانش ما از مساله مورد نظر تعیین می‌شود. حالت هر سلول در مرحله بعد بستگی به حالت فعلی سلول و حالات فعلی همسایه هایش دارد. این تغییر

### 3- روش پیشنهادی

در این بخش از مقاله ابتدا روش واضح سازی مبتنی بر مدل پخش گاز شرح داده میشود و سپس یک روش ترکیبی که از ترکیب اتوماتای سلولی فازی و روش واضح سازی مبتنی بر مدل پخش گاز حاصل شده است برای واضح سازی تصاویر پیشنهاد میگردد.

#### 3-1- واضح سازی با استفاده از مدل پخش گاز:

فرض کنید که  $(x, y)$  تصویر اصلی و  $f(x, y)$  تصویر تار شده باشد. فرآیند تار شدن یک تصویر را می توان توسط فرآیند پخش شدن گاز مدل کرد. فرض کنید  $f(x, y, t)$  تصویر تار شده در زمان  $t$  باشد. از لحظه  $t=0$  تار تصویر (پخش گاز) آغاز می شود و در زمان  $t=t$  تصویر تار شده،  $f(x, y)$  را خواهیم داشت و در این صورت

$$f(x, y, t) = f(x, y) \quad (1)$$

$$f(x, y, 0) = g(x, y) \quad (2)$$

همچنین داریم

$$\partial f / \partial t = K \nabla^2 f \quad K > 0 \quad (3)$$

تابع  $f(x, y, t)$  را با استفاده از

بسط تیلور، حول نقطه  $t=t$  بسط می دهیم و با صرف نظر کردن از جملات با درجه بالاتر از 1، به عبارت زیر خواهیم رسید.

$$f(x, y, 0) \approx f(x, y, t) - t \frac{\partial f(x, y, t)}{\partial t} \quad (4)$$

با استفاده از روابط (1)، (2)، (3) و (4) خواهیم داشت:

$$g(x, y) = f(x, y) - Kt \nabla^2 f(x, y) \quad (5)$$

از طرفی  $\nabla^2 f$  را می توان به صورت زیر محاسبه کرد.

$$\nabla^2 f(x, y) = f(x+1, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1) + f(x-1, y) - 4f(x, y) \quad (6)$$

معادله (5) را می توان با استفاده از تعریف لاپلاسیان در تصویر به فرم (6) به صورت زیر برای از بین بردن تار تصویر استفاده کرد.

$$g(x, y) = (1+4a)f(x, y) - a(f(x+1, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1) + f(x-1, y)) \quad (7)$$

که  $a = Kt$  می باشد.

بنابراین در نهایت باید کلیشه<sup>7</sup> شکل 1 را به تصویر اعمال کنیم.

-a	-a	-a
-a	1+4a	-a
-a	-a	-a

شکل 1: کلیشه مورد استفاده برای واضح سازی در مدل پخش گاز

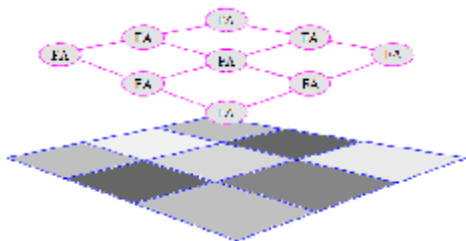
یکی از مشکلات این روش این است که برای کلیه پیکسلهای تصویر اعم از لبه و غیر لبه و پیکسلهای با تغییرات هموار و غیر هموار پارامتر  $a$

یکسان در نظر گرفته می شود و به همین دلیل همه قسمتهای تصویر به یک نحو واضح سازی می شود.

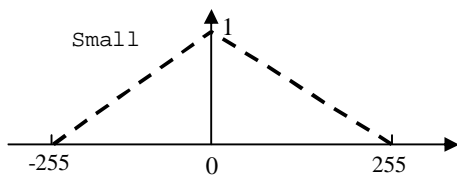
#### 3-2- الگوریتم ترکیبی پیشنهادی برای واضح سازی:

در روش ترکیبی، از اتوماتای سلولی فازی به منظور تعیین مقادیر مناسب پارامتر  $a$  برای پیکسلهای تصویر استفاده می شود. قوانین فازی در هر سلول اتوماتای سلولی فازی عهده دار تعیین مقدار مناسب پارامتر  $a$  برای پیکسل متناظر با آن سلول می باشد. در واقع اتوماتای سلولی فازی تعیین می کند که برای کدام پیکسل مقدار پارامتر  $a$  بایستی پایین و برای کدام پیکسل مقدار پارامتر  $a$  بایستی بالا در نظر گرفته شود. برای این منظور در موقعیتهایی که تغییرات ناگهانی فرکانس وجود دارد باید از مقادیر بالا برای پارامتر  $a$  استفاده کرد و در مقابل در موقعیتهایی که تغییرات ناگهانی فرکانس وجود ندارد از مقادیر پایین برای پارامتر  $a$  استفاده نمود. به این منظور از مشتق در تصویر استفاده می کنیم و بر اساس مقادیر مشتق در هر پیکسل از طریق قوانین فازی، مشتق فازی در هر پیکسل و در هر جهت محاسبه می شود. در حقیقت ما سعی می کنیم با به کار بردن قوانین فازی و استفاده از مشتق، لبه های تصویر را پیدا کنیم و در نقاط لبه، مقادیر  $a$  بزرگتری انتخاب کنیم.

برای واضح سازی یک تصویر  $R \times C$  از یک اتوماتای دو بعدی با  $R$  سطر و  $C$  ستون استفاده می شود. هر پیکسل تصویر به یکی از سلولهای اتوماتای سلولی فازی نگاشت می شود. به طور مثال پیکسل در سطر  $r$  و ستون  $c$  به سلول در سطر  $r$  و ستون  $c$  اتوماتای سلولی فازی نگاشت می شود (شکل 2).



شکل 2- هر پیکسل تصویر متناظر با یکی از سلولهای FCA است مشتق در تصویر: همانطور که می دانیم مشتق ساده در نقطه  $(x, y)$  و در جهت  $D$ ، تفاضل بین پیکسل  $(x, y)$  و همسایه آن در جهت  $D$  است که با  $\nabla_N(x, y)$  نشان داده می شود. همسایه های هر پیکسل در هشت جهت مختلف در شکل 3 نشان داده شده است.



شکل 5: تابع عضویت مجموعه فازی small

بنابراین مشتق فازی در پیکسل  $(x,y)$  و در جهت NW یعنی  $\nabla_{NW}^F(x,y)$  بر اساس قانون فازی زیر محاسبه می‌شود:

If  $(\nabla_{NW}(x,y)$  is small and  $\nabla_{NW}(x-1,y+1)$  is small)  
or  $(\nabla_{NW}(x,y)$  is small and  $\nabla_{NW}(x+1,y-1)$  is small)  
or  $(\nabla_{NW}(x-1,y+1)$  is small and  $\nabla_{NW}(x+1,y-1)$  is small) then  $\nabla_{NW}^F(x,y)$  is small

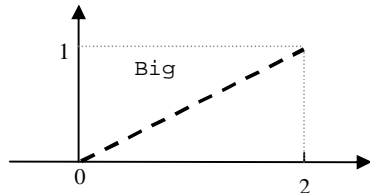
در هر پیکسل تصویر باید مشتق فازی را در هشت جهت مختلف حساب کنیم، بنابراین اتوماتای سلولی فازی در هر سلول هشت قانون فازی مشابه با قانون بالا خواهد داشت که هر یک درجه عضویت مشتق فازی را در هر جهت به مجموعه Small محاسبه می‌کنند.

$$\nabla_D^F(x,y), D \in dir$$

در این مرحله نیازی به غیر فازی سازی نیست، زیرا در مرحله بعد، مستقیماً از درجات عضویت به مجموعه small، به عنوان ورودی استفاده می‌شود.

**تعیین مقدار پارامتر a:** در این مرحله در هر سلول FCA باز هم از یک قانون فازی استفاده می‌کنیم که ایده اصلی این قوانین این است که اگر در یک جهت خاص لبه ای وجود دارد (مقدار مشتق فازی در آن پیکسل و حداقل در یکی از 8 جهت بزرگ است) مقدار پارامتر  $a$  باید در آن پیکسل بزرگ در نظر گرفته شود که البته "بزرگی" پارامتر  $a$  نیز خود یک متغیر زبانی خواهد بود. برای تعیین میزان بزرگی آلفا، از مجموعه فازی Big استفاده می‌شود که در شکل 6 نشان داده شده است. قانون فازی در هر سلول FCA به صورت زیر خواهد بود:

If not(  $(\nabla_N^F(x,y)$  is small) and  $(\nabla_{NE}^F(x,y)$  is small)  
and  $(\nabla_{NW}^F(x,y)$  is small) and  $(\nabla_W^F(x,y)$  is small)  
and  $(\nabla_{SW}^F(x,y)$  is small) and  $(\nabla_S^F(x,y)$  is small)  
and  $(\nabla_{SE}^F(x,y)$  is small) and  $(\nabla_E^F(x,y)$  is small))  
then  $a$  is big



شکل 6: تابع عضویت مجموعه فازی Big

NW	N	NE
W	$(x,y)$	E
SW	S	SE

شکل 3: هشت همسایه پیکسل  $(x,y)$

$$\nabla_N(x,y), (D \in dir = \{NW, W, SW, S, SE, E, NE, N\})$$

برای مثال مشتق در جهت شمال و شمال غربی به صورت زیر حساب می‌شود.

$$\nabla_N(x,y) = I(x,y-1) - I(x,y)$$

$$\nabla_{NW}(x,y) = I(x-1,y-1) - I(x,y)$$

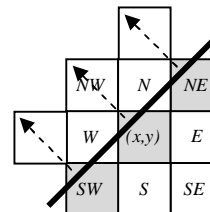
در بخش بعد به تعریفی که برای مشتق فازی ارائه شده است می‌پردازیم.

**مشتق فازی:** ایده مشتق فازی در [1] ارائه شده است، در [1] از مشتق فازی برای فیلتر کردن تصاویر حاوی نویز گوسی استفاده شده است. در اینجا ما از این مفهوم به منظور واضح سازی تصویر از طریق اتوماتای سلولی فازی بهره می‌گیریم.

تعریف مشتق فازی بر این اساس است که اگر لبه ای در همسایگی نقطه  $(x,y)$  و در جهت SW-NE وجود داشته باشد (خط تیره در شکل 4)، مقدار مشتق در نقطه  $(x,y)$  و در جهت NW یعنی  $\nabla_{NW}(x,y)$  و مقدار مشتق در نقطه  $(x-1,y+1)$  و در جهت NW یعنی  $\nabla_{NW}(x-1,y+1)$  و همچنین مقدار مشتق در نقطه  $(x+1,y-1)$  و در جهت NW یعنی  $\nabla_{NW}(x+1,y-1)$  بزرگ خواهد بود (خطوط چهارگانه در شکل 4). پس برای محاسبه مشتق فازی در جهت NW، باید ابتدا مقادیر مشتق زیر را حساب کنیم:

$$\nabla_{NW}(x,y), \nabla_{NW}(x-1,y+1), \nabla_{NW}(x+1,y-1)$$

ایده اصلی مشتق فازی این است که اگر دو تا از این سه مشتق کوچک باشد، لبه ای در آن جهت وجود ندارد. برای تعیین میزان کوچک بودن مشتق فازی در یک جهت خاص، از مجموعه فازی small استفاده می‌شود که در شکل 5 نشان داده شده است.



شکل 4- خط تیره لبه ای است که از نقطه  $(x,y)$  می‌گذرد و بنابراین مشتق فازی در نقطه  $(x,y)$  و دو همسایه مجاورش، در جهت NW بزرگ خواهد بود

قابلیتهای زیادی در زمینه پردازش تصویر خواهد داشت که هنوز کارهای تحقیقاتی چندانی در این مورد صورت نگرفته است.

### سپاسگزاری

این کار تحقیقاتی توسط مرکز تحقیقات مخابرات ایران حمایت مالی شده است که بدین وسیله سپاسگزاری میشود.

### مراجع

- [1] Van De Ville, D., Nachtegaal, M., Van der Weken, D., Kerre, E., Philips W. And Lemahieu, I., "Noise Reduction by Fuzzy Image Filtering", IEEE Transaction on Fuzzy Systems, Vol. 11, No. 4, August 2003.
- [2] Mraz, M., Zimic, N., Lapanja, I. and Bajec, I., "Fuzzy Cellular Automata: From Theory to Application", 12th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI'00), p. 0320, 2000.
- [3] Maji, P. and Chaudhuri, P., "Fuzzy Cellular Automata for Modeling Pattern Classifier", IEICE Transactions on Information and Systems, 2005.
- [4] Wolfram, S., "Theory and Applications of Cellular Automata", Advanced Series on Complex Systems, Singapore: World Scientific Publication, 1986.
- [5] Yang, C. and Ye, H., "Cellular Automata Modeling in Edge Recognition", Proceedings of the Seventh International Symposium on Artificial Life and Robotics, pp. 128-132, 1990.
- [6] Sahota, P., Daemi, M. F. and Elliman, D. G., "Training Genetically Evolving Cellular Automata for Image Processing", International Symposium on Speech, Image Processing and Neural Networks, 13-16 April, Hong Kong, 1994.
- [7] Hernandez, G. and Herrmann, H. J., "Cellular Automata for Elementary Image Enhancement", Graphical Models and Image Processing, Vol. 58, No.1, pp. 82-89, 1996.
- [8] Kharazmi, M. R. and Meybodi, M. R., "An Algorithm Based on Cellular Learning Automata for Image Restoration", Proceedings of The First Iranian Conference on Machine Vision & Image Processing, University of Birjand, pp. 244 – 254, March 2001.
- [9] Kharazmi, M. R. and Meybodi, M. R., "Application of Cellular Learning Automata to Image Segmentation", Proceedings of Tenth Conference on Electrical Engineering (10<sup>th</sup> ICEE), University of Tabriz, Vol. 1, pp. 298-306, May 2002.
- [10] Meybodi, M. R. and Kharazmi, M. R., "Application of Cellular Learning Automata to Image Processing", Journal of Amirkabir, Vol. 14, No. 56A, pp. 1101-1126, 2004.
- [11] Mojaradi, B., Lucas, C. and Varshosaz, M., "Using Learning Cellular Automata for Post Classification Satellite Imagery".
- [12] Marchini, F., Meybodi, M. R. and Soleymani, V., "A Hybrid Method for Image Sharpening (Gas Diffusion Model + Cellular Learning Automata)", Proceedings of 11th Annual CSI Computer Conference of Iran, Fundamental Science Research Center (IPM), Computer Science Research Lab., Tehran, Iran, pp. 715-720, January 24-26, 2006.
- [13] Meybodi, M. R., Beigy, H. and Taherkhani, M., "Application of Cellular Learning Automata to Image Processing", Proceedings of First Conference in Mathematics and Communication, Telecommunication Research Center, Tehran, Iran, 20 Oct. 2000.
- [14] Anvarinejad, T. and Meybodi, M. R., "Fuzzy Dynamic Channel Assignment in Cellular Mobile Networks", Proceedings of the 5th Iranian Conference on Fuzzy

شکل تابع عضویت Big و نقاط 0 و 2 بر اساس بررسیهای تجربی انتخاب شده اند. مکانیزم استنتاج فازی استفاده شده در اینجا مکانیزم استنتاج ممدانی<sup>8</sup> می باشد و در غیر فازی سازی نیز از روش کوچکترین ماکزیمم ها<sup>9</sup> استفاده می کنیم و به این ترتیب مقدار نهایی  $a$  در هر نقطه از تصویر بدست می آید.

الگوریتم پیشنهادی در مراحل زیر خلاصه می شود:

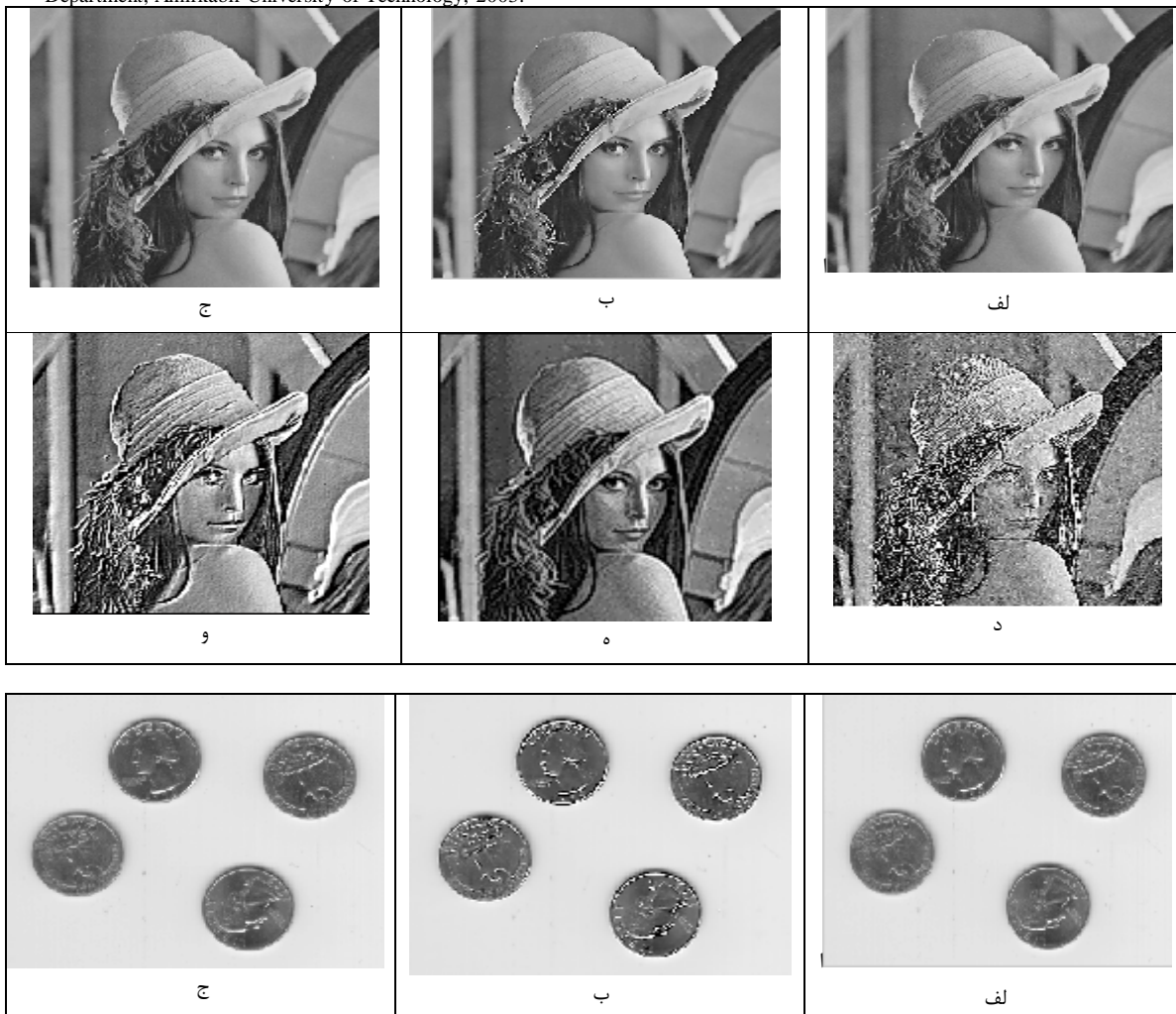
1. هر پیکسل از تصویر به یک سلول از اتوماتای سلولی فازی نسبت داده می شود.
2. مشتق در هر پیکسل و در تمامی جهتها محاسبه می شود.  
$$\nabla_D(x, y), (D \in dir = \{NW, W, SW, S, SE, E, NE, N\})$$
3. اتوماتای سلولی فازی بر اساس قوانین فازی، مشتق فازی را در هر پیکسل و در تمامی جهت ها محاسبه می کند. یعنی در حقیقت میزان کوچکی مشتق فازی بر اساس تابع عضویت small سنجیده می شود.
4. در اتوماتای سلولی فازی، در هر پیکسل تصویر بر اساس مقدار مشتق فازی در آن پیکسل و در هر هشت جهت و از طریق یک قانون فازی، بزرگی آلفا سنجیده می شود. در صورتی که مشتق فازی در نقطه  $(x, y)$  حداقل در یکی از جهت ها بزرگ باشد نتیجه می گیریم که از این نقطه لبه ای می گذرد و مقدار آلفا باید بزرگ در نظر گرفته شود.
5. بر اساس آلفای به دست آمده در هر سلول اتوماتای سلولی، کلیشه مناسب به پیکسل متناظر با آن سلول اعمال می شود.

نتایج حاصل از واضح سازی با استفاده از الگوریتم پیشنهادی با نتایج حاصل از استفاده از مقادیر ثابت  $a$ ،  $a$  بزرگ و کوچک و همچنین الگوریتم ترکیبی مدل پخش گاز و اتوماتای سلولی یادگیر[12] و همچنین روش گرادیان سوبل مقایسه شده است. نتایج آزمایش برای دو تصویر lena و coins در شکل 7 نشان داده شده است. برای مشاهده نتایج بیشتر میتوان به [www.ce.aut.ac.ir/~mahdavifard](http://www.ce.aut.ac.ir/~mahdavifard) مراجعه کرد. نتایج آزمایشها برتری روش ترکیبی پیشنهادی را بر سایر روشهای واضح سازی نشان می دهد. یکی از مهمترین خصیصه های روش پیشنهادی توزیعی بودن آن است که موازی سازی آن را به سادگی امکان پذیر می سازد و در عین حال سرعت الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با الگوریتم مشابهی که به جای اتوماتای سلولی فازی از اتوماتای یادگیر سلولی برای تنظیم پارامتر  $a$  استفاده میکند بسیار بالاتر است.

### 4- نتیجه گیری

در این مقاله روشی از ترکیب روش واضح سازی مبتنی بر پخش گاز و اتوماتای سلولی فازی حاصل شده است پیشنهاد گردید. در این روش ترکیبی، اتوماتای سلولی فازی، از طریق یکسری قوانین فازی، عهده دار تعیین مقادیر مناسب پارامتر  $a$  برای پیکسلهای تصویر می باشد نتایج حاصل از پیاده سازی روش پیشنهادی، نشان دهنده کارایی بالای آن در مقایسه با سایر روشهای واضح سازی بوده است. با توجه به قابلیت های منطق فازی و توانایی اتوماتای سلولی در مدلسازی سیستمها و کاربرد آن در زمینه پردازش تصویر، به نظر می رسد که اتوماتای سلولی فازی

- [18] Beigy, H. and Meybodi, M. R., "Open Synchronous Cellular Learning Automata" Advances in Complex Systems, Vol. 10, No. 4, pp. 1-30, December 2007.
- [19] Beigy, H. and Meybodi, M. R., "Asynchronous Cellular Learning Automata", Automatica, Journal of International Federation of Automatic Control, Vol. 44, No. 5, May 2008, to appear.
- [20] Marchini, F. and Meybodi, M. R., "Application of Cellular Learning Automata to Image Processing: Finding Skeleton", Proceedings of Third Conference on Machine Vision, Image Processing and Applications (MVIP 2005), University of Tehran, Tehran, Iran, pp. 271-280, Feb. 2005.
- [21] Marchini, F., "Application of Cellular Learning Automata to Image Processing", Master Thesis, Computer Engineering Department, Amirkabir University of Technology, 2003.
- Systems, pp.75-85, Imam Hussein University, Tehran, Iran, Sept. 2004.
- [15] Anvarinejhad, T. and Meybodi, M. R., "Fuzzy Cellular Automata", Proceedings of The 5th Iranian Conference on Fuzzy Systems, pp.57-65, Imam Hussein University, Tehran, Iran, Sept. 2004.
- [16] Bohlool, M. and Meybodi, M. R., "Edge Detection Using Open and Asynchronous Cellular Learning Automata", Proceedings of 4th Iranian Conference on Machine Vision and Image Processing, Mashhad, Iran, Feb 14-15, 2007.
- [17] Beigy, H. and Meybodi, M. R., "A Mathematical Framework for Cellular Learning Automata", Advances on Complex Systems, Vol. 7, Nos. 3-4, pp. 295-320, September/December 2004.





شکل 6: الف) تصویر اولیه ب) تصویر واضح شده توسط الگوریتم پیشنهادی ج) تصویر واضح شده توسط مدل پخش شدن گاز با استفاده از مقادیر پایین آلفا د) تصویر واضح شده توسط مدل پخش شدن گاز با استفاده از مقادیر بالای آلفا ه) تصویر واضح شده توسط مدل ترکیبی CLA و مدل پخش شدن گاز و) تصویر واضح شده با استفاده از گرادینان سوپل

<sup>3</sup>Fuzzy Cellular Automata (FCA)

<sup>4</sup> Cellular Automata(CA)

<sup>5</sup> Cellular Learning Automata (CLA)

<sup>6</sup> Local Transition Function

<sup>7</sup> Linguistic Variable

<sup>8</sup> Real Time

<sup>9</sup> Template

<sup>10</sup> Mamdani Inference

<sup>11</sup> Smallest of Maximum