

## تشخیص لبه در تصاویر با استفاده از اتوماتای یادگیر سلولی

محمد رضا میبیدی

دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

تهران، ایران

mmeybodi@aut.ac.ir

سید میثم حسینی سدهی

دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

تهران، ایران

sehrestan@Hotmail.com

می‌باشد. دریافت پاداش و یا جریمه موجب بروز درآمدن ساختار اتوماتای یادگیر سلولی بمنظور نیل به یک هدف خاص می‌گردد. برورزرسانی ساختار هر اتوماتای یادگیر موجود در هر سلول بر اساس الگوریتم یادگیری متناظر با آن سلول صورت می‌پذیرد.

اولین مرحله در بینایی ماشین، یافتن مرزهای اشیاء موجود در صحنه است. مرز اشیاء در یک صحنه توسط لبه‌ها مشخص می‌شود. بیشتر الگوریتم‌های تشخیص لبه دارای تعدادی پارامتر هستند که معمولاً بایستی آنها را برای هر تصویر و یا برای هر حوزه کاریبه صورت مجزا بدست آورد. لبه‌یابی با استفاده از اتوماتای یادگیر سلولی در [12] و [13] گزارش شده است. در روش لبه‌یابی معرفی شده توسط خوارزمی و میبیدی در [12]، برای لبه‌یابی از اتوماتای یادگیر سلولی ساختار ثابت کرایلوف با عمق حافظه دو استفاده شده است. در این روش برای پیدا کردن لبه‌های اولیه از مفهوم تعداد سلول با شدت روشنایی متفاوت در همسایگی، استفاده شده است. در [13] روش لبه‌یابی توسط مارچینی و میبیدی بر اساس اتوماتای یادگیر سلولی ساختار متغیر معرفی شده است. در این روش بر اساس قانون محلی حاکم، برای هر سلول احتمال تعلق و یا عدم تعلق به لبه بررسی می‌شود.

در این مقاله روشی مبتنی بر اتوماتای یادگیر سلولی برای لبه‌یابی در تصاویر پیشنهاد شده است. در روش پیشنهادی از یک اتوماتای یادگیر سلولی ساختار ثابت با عمق حافظه  $N$  استفاده شده است. هر یک از این  $N$  عمق، متناظر با یک بازه شدت روشنایی می‌باشد. هر پیکسل متناظر با یک اتوماتای یادگیر بوده که از طریق تعامل با همسایگان و بر اساس عمل انتخابی‌شان سعی در تشخیص لبه‌های تصویر دارند. در روش پیشنهادی ابتدا لبه‌های با شدت روشنایی کمتر و سپس لبه‌های با شدت روشنایی بیشتر تشخیص داده می‌شوند. لبه‌های بدست آمده از روش پیشنهادی، باریک می‌باشند و همچنین در این روش لبه‌های اضافی ایجاد نمی‌شوند. در روش پیشنهادی علاوه بر لبه‌یابی امکان کاهش نویز نمک فلفلی وجود دارد. این روش متکی بر عملیات محلی در همسایگی هر پیکسل می‌باشد که موجب توزیعی و موازی بودن پردازش می‌شود. از روش لبه‌یابی سوپل و روش لبه‌یابی کنی برای مقایسه عملکرد روش پیشنهادی استفاده شده است.

**چکیده:** اتوماتای یادگیر سلولی در زمینه‌های متعددی از پردازش تصاویر مانند حذف نویز، بهسازی، هموار سازی، بازیابی، تقطیع و استخراج ویژگی‌های تصویر مورد استفاده قرار گرفته است. در این مقاله ابتدا روش‌های لبه‌یابی گزارش شده مبتنی بر اتوماتای یادگیر سلولی و مشکلات آنها بررسی و سپس روش لبه‌یابی جدیدی مبتنی بر اتوماتای یادگیر سلولی پیشنهاد می‌شود. به منظور ارزیابی، روش پیشنهادی با دو روش کنی و سوپل مقایسه گردیده است. نتایج آزمایش‌ها نشان داده که روش مبتنی بر اتوماتای یادگیر سلولی در مقایسه با روش‌های موجود از کارایی مطلوبی در تشخیص لبه‌های تصویر برخوردار است.

**واژه‌های کلیدی:** اتوماتاهای یادگیر، اتوماتای یادگیر سلولی، پردازش تصاویر، لبه‌یابی، اپراتورهای لبه‌یابی

### ۱- مقدمه

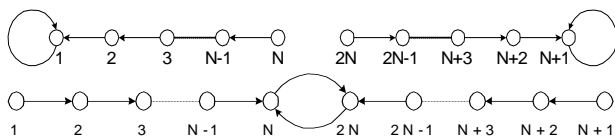
گستره وسیع پردازش تصاویر در کاربردهای نظامی، پزشکی، سینمایی و علوم مهندسی موجب گسترش تکنیک‌های استخراج ویژگی تصویر شده است. استخراج ویژگی‌های تصویر، نمایش و تحلیل صحنه‌های تصویری را آسان‌تر می‌سازد. یکی از این ویژگی‌ها که بسیار مورد توجه می‌باشد، تشخیص لبه‌های تصویر می‌باشد. در بینایی ماشین و پردازش تصویر راهکارهای مختلفی برای استخراج لبه تصویر مورد استفاده قرار گرفته که از آن جمله می‌توان به اپراتورهای گرادیان، لاپلاسیان، لبه‌یابی بر اساس تقطیع، روش‌های ترکیبی لبه‌یابی [1,18]، لبه‌یابی بر اساس ریخت‌شناسی و فیزیک الگویی [2,3]، اتوماتای سلولی [4-8] و اتوماتای یادگیر سلولی اشاره نمود [12, 13].

اتوماتای یادگیر سلولی<sup>۱</sup> ترکیبی از اتوماتای یادگیر<sup>۲</sup> و اتوماتای سلولی<sup>۳</sup> بوده که در کاربردهای مختلفی از پردازش تصاویر مورد استفاده قرار گرفته است [9-13]. هر اتوماتای یادگیر سلولی، از یک اتوماتای سلولی تشکیل شده که هر سلول آن به یک یا چند اتوماتای یادگیر که وضعیت سلول‌ها را مشخص می‌سازند، مجهز می‌باشد [16,17]. مانند اتوماتای سلولی [14]، قانون محلی در محیط حاکم بوده و این قانون بر اساس محتوای همسایگی که شامل اعمال انتخابی همسایگان می‌باشد، تعیین کننده جریمه و یا پاداش عمل انتخابی سلول‌ها

افزایش (کاهش) یافته و سایر احتمالاتها کاهش (افزایش) می‌یابند. تغییرات بنحوی صورت می‌گیرد که حاصل جمع  $p_i(n)$  ها همواره ثابت و مساوی یک باقی بماند.

**اتوماتای یادگیر با ساختار ثابت:** اتوماتای یادگیر با ساختار ثابت توسط پنج‌تایی  $\{\alpha, \beta, F, G, \phi\}$  نشان داده می‌شود که در آن  $\alpha \equiv \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r\}$  مجموعه اعممال اتوماتا،  $\beta \equiv \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\}$  مجموعه ورودی‌های اتوماتا،  $\phi \equiv \{\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_s\}$  مجموعه وضعیت‌های داخلی اتوماتا،  $F: \phi \times \beta \rightarrow \phi$  تابع تولید وضعیت جدید اتوماتا و  $G: \phi \rightarrow \alpha$  تابع خروجی می‌باشد که وضعیت کنونی اتوماتا را به خروجی بعدی می‌نگارد. دو نمونه از اتوماتاهای یادگیر با ساختار ثابت، اتوماتای  $L_{2N,2}$  و اتوماتای کرایلف می‌باشند.

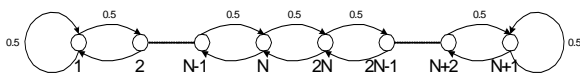
- اتوماتای یادگیر  $L_{2N,2}$ : در این اتوماتای دو عملة، تعداد جرایم و پاداش دریافتی برای هر عمل در یک حافظه با عمق  $N$  نگهداری می‌شود. زمانی که تعداد جریمه‌ها از تعداد پاداش بیشتر شود و یا برعکس عمل اتوماتای یادگیر تغییر می‌نماید. شکل (۲) نحوه تغییر وضعیت در این اتوماتا را نشان می‌دهد.



شکل (۲): بالا-پاداش در اتوماتای دو عملة  $L_{2N,2}$ . پائین-جریمه در

اتوماتای دو عملة  $L_{2N,2}$  [12].

- اتوماتای یادگیر کرایلف: وضعیت پاداش در این اتوماتای دو عملة همانند پاداش در اتوماتای  $L_{2N,2}$  بوده ولی هنگام جریمه هر وضعیت  $\phi_i (i \neq 1, N, N+1, 2N)$  با احتمال  $0.5$  به وضعیت  $\phi_{i+1}$  و با احتمال  $0.5$  به وضعیت  $\phi_{i-1}$  مطابق شکل (۳) منتقل می‌شود.



شکل (۳): پاداش و جریمه در اتوماتای دو عملة کرایلف [12].

## ۲-۲- اتوماتای یادگیر سلولی

اتوماتای یادگیر سلولی (CLA)، مجموعه‌ای از اجزای ساده بوده که رفتار هر جزء بر اساس رفتار همسایگانش و تجربیات گذشته‌اش تعیین و اصلاح می‌شود [16,17]. هر اتوماتای یادگیر سلولی، از یک اتوماتای سلولی تشکیل شده که هر سلول آن به یک یا چند اتوماتای یادگیر مجهز می‌باشد. همانند اتوماتای سلولی یک قانون محلی در محیط

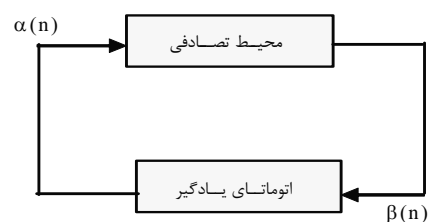
ادامه مقاله بدین صورت سازماندهی شده است. در بخش ۲ اتوماتای یادگیر و اتوماتای یادگیر سلولی و در بخش ۳ دو روش تشخیص لبه بر اساس اتوماتای یادگیر سلولی و روش‌های تشخیص لبه سوئل و کنی به اختصار شرح داده می‌شود. در بخش ۴ روش پیشنهادی لبه‌یابی مبتنی بر اتوماتای یادگیر سلولی معرفی می‌شود. بخش ۵ نتایج آزمایش‌ها و بخش ۶ نتیجه‌گیری می‌باشد.

## ۲- اتوماتاهای یادگیر و اتوماتای یادگیر سلولی

در این بخش اتوماتاهای یادگیر و اتوماتای یادگیر سلولی به اختصار بررسی می‌شوند.

### ۲-۱- اتوماتاهای یادگیر

یک اتوماتای یادگیر (LA) یک ماشین با حالات محدود بوده که می‌تواند تعداد محدودی عمل را انجام دهد. هر عمل انتخاب شده توسط محیطی احتمالی ارزیابی شده و پاسخی به اتوماتای یادگیر داده می‌شود. اتوماتای یادگیر از این پاسخ برای بروزرسانی وضعیت داخلی خود و انتخاب عمل بعدی استفاده می‌نماید [15]. در طی این فرایند، اتوماتای یادگیر، نحوه انتخاب بهترین عمل از بین اعمال مجاز خود را یاد می‌گیرد. شکل (۱) ارتباط بین اتوماتای یادگیر و محیط را نشان می‌دهد.  $\alpha = \{\alpha_1, \dots, \alpha_r\}$  مجموعه ورودی‌ها و  $\beta = \{\beta_1, \dots, \beta_m\}$  مجموعه خروجی‌های محیط می‌باشد. اگر  $\beta$  مجموعه دو عضوی باشد محیط از نوع  $P$  نامیده می‌شود. در چنین محیطی  $\beta_1 = 1$  جریمه و  $\beta_2 = 0$  پاداش تعریف شده است. اتوماتاهای یادگیر به دو گروه اتوماتای یادگیر با ساختار ثابت و اتوماتای یادگیر با ساختار متغیر تقسیم می‌شوند.



شکل (۱): ارتباط بین اتوماتای یادگیر و محیط [12].

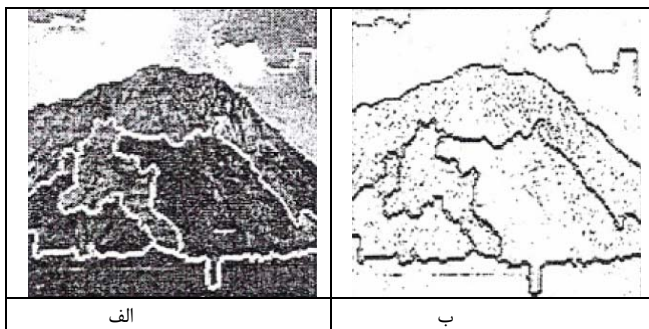
**اتوماتای یادگیر با ساختار متغیر:** اتوماتای یادگیر با ساختار متغیر توسط چهارتایی  $\{\alpha, \beta, p, T\}$  نشان داده می‌شود که  $\alpha = \{\alpha_1, \dots, \alpha_r\}$  مجموعه عمل‌های اتوماتا،  $\beta = \{\beta_1, \dots, \beta_m\}$  مجموعه ورودی‌های اتوماتا، بردار احتمال انتخاب  $p = \{p_1, \dots, p_r\}$  و  $p_{n+1} = T[\alpha_n, \beta_n, p_n]$  الگوریتم یادگیری می‌باشد. در این نوع از اتوماتا، اگر عمل  $\alpha_i$  در مرحله  $n$ -ام انتخاب و پاسخ مطلوب (نامطلوب) از محیط دریافت نماید، احتمال  $p_i(n)$

ساختار همسایگی می‌باشند [4-8]. در این بخش دو روش موجود تشخیص لبه مبتنی بر اتوماتای یادگیر سلولی و چند روش تشخیص لبه دیگر به اختصار شرح داده می‌شود.

**روش خوارزمی و میبیدی:** در روش خوارزمی و میبیدی که در [12] معرفی شده، از اتوماتای یادگیر سلولی برای تشخیص لبه تصویر استفاده شده است. اتوماتای یادگیر بکار رفته در این اتوماتای یادگیر سلولی از نوع اتوماتای یادگیر با ساختار ثابت می‌باشد.

اتوماتای یادگیر با ساختار ثابت در روش خوارزمی و میبیدی از نوع کرایلف دو عمده با عمق حافظه دو می‌باشد. عمل اول تعلق پیکسل به لبه و عمل دوم، عدم تعلق پیکسل به لبه در نظر گرفته شده است. در ابتدا هر یک از اتوماتاها یکی از اعمال خود را به صورت تصادفی انتخاب می‌کنند. قانون محلی حاکم برای جریمه و پاداش اعمال انتخابی به صورت زیر می‌باشد. اگر یک سلول در اتوماتای یادگیر سلولی عمل اول خود را انتخاب نماید (لبه) و تعداد همسایگان هشت‌تایی این سلول که عمل اول خود را انتخاب نموده باشند بین ۲ تا ۴ باشد، سلول مذکور پاداش دریافت نموده و در غیر این صورت جریمه می‌شود. و اگر سلولی عمل دوم (غیر لبه) خود را انتخاب نموده باشد و در همسایگی هشت‌تایی آن ۱ یا بیش از ۴ سلول عمل دوم خود را انتخاب نموده باشند، سلول مذکور پاداش و در غیر این صورت جریمه دریافت می‌نماید. عملیات فوق تا پایداری سیستم ادامه می‌یابد.

در این روش برای مقاردهی اولیه اتوماتاهای یادگیر موجود در اتوماتای یادگیر سلولی از نوعی آستانه‌گیری استفاده شده که در نهایت موجب باینری شدن تصویر و از بین رفتن جزئیات تصویر می‌شود. قانون استفاده شده در این روش جزء قوانین کلی بوده که در آن جایگاه اعمال انتخابی در همسایگی فاقد اهمیت می‌باشد و تنها تعداد اعمال مشابه در همسایگی اهمیت دارد. قوانین کلی از توزیع اعمال استفاده می‌نمایند که در این صورت امکان تشخیص لبه‌های اضافی و یا حذف برخی از لبه‌ها بدلیل عدم آگاهی از جایگاه همسایگان وجود دارد. لبه‌های یافت شده توسط این روش، لبه‌هایی پهن و متخلخل می‌باشند. نمونه‌ای از تشخیص لبه روش خوارزمی و میبیدی در شکل (۵) نشان داده شده است.



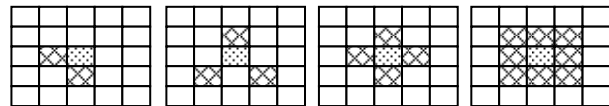
شکل (۵): الف- تصویر اصلی. ب- تشخیص لبه روش خوارزمی و

میبیدی [12].

حاکم بوده که تعیین کنند دریافت پاداش و یا جریمه اعمال انتخابی اتوماتاهای یادگیر موجود در یک سلول می‌شود.

اتوماتای یادگیر سلولی یک پنج‌تایی  $CLA = (Z^d, \phi, A, N, F)$  است که در آن  $Z^d$  یک شبکه از  $d$ -تایی‌های مرتب از اعداد صحیح،  $\phi$  مجموعه متناهی از حالت‌ها،  $A$  مجموعه‌ای از اتوماتاهای یادگیر منتسب به سلول‌ها،  $N = \{\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_m\}$  بردار همسایگی از سلول‌ها،  $F: \phi^m \rightarrow \beta$  قانون محلی اتوماتای یادگیر سلولی که در آن  $\beta$  مجموعه مقادیر سیگنال تقویتی می‌باشد.

در اتوماتای یادگیر سلولی می‌توان از ساختارهای مختلفی برای همسایگی استفاده نمود. در حالت کلی هر مجموعه مرتب از سلول‌ها را می‌توان به عنوان همسایه در نظر گرفت. همسایگی از نوع ون نیومن، مور، اسمیت و کول دو بعدی در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل (۴): از راست به چپ همسایگی مور، ون نیومن، کول و اسمیت.

قوانین در اتوماتای یادگیر سلولی به سه دسته عمومی، کلی<sup>۴</sup> و کلی بیرونی<sup>۵</sup> تقسیم می‌گردند. در قوانین عمومی مقدار یک سلول در مرحله بعدی به مقادیر همسایه‌های آن سلول بستگی دارد. در قوانین کلی مقدار یک سلول تنها به مجموع همسایه‌های آن سلول بستگی داشته و در قوانین کلی بیرونی مقدار یک سلول در مرحله بعدی هم به مقادیر همسایه‌های آن سلول و هم به خود سلول بستگی دارد.

در هر لحظه هر اتوماتای یادگیر در اتوماتای یادگیر سلولی یک عمل از مجموعه اعمال خود را انتخاب می‌کند. عمل انتخاب شده با توجه به اعمال انتخاب شده سلول‌های همسایه و قانون حاکم بر اتوماتای یادگیر سلولی، پاداش و یا جریمه داده می‌شود. با توجه به پاداش و یا جریمه دریافتی، اتوماتای یادگیر رفتار خود را تصحیح کرده و از این طریق ساختار داخلی خود را بهنگام می‌کند. فرایند انتخاب عمل و دادن پاداش و یا جریمه تا زمانیکه سیستم به حالت پایدار برسد و یا یک معیار از قبل تعریف شده‌ای برقرار شود ادامه می‌یابد. عمل بهنگام سازی ساختار اتوماتاهای موجود در اتوماتای یادگیر سلولی توسط الگوریتم یادگیری انجام می‌شود [16,17].

### ۳- روش‌های تشخیص لبه

روش‌های مختلفی برای تشخیص لبه معرفی شده‌اند. برخی از روش‌ها وابسته به کلیشه‌های گرادیان و یا لاپلاسین بوده و برخی دیگر از ساختار همسایگی و اتوماتای سلولی استفاده می‌نمایند. در روش‌های اتوماتای سلولی محتوای همسایگی در تعیین وضعیت بعدی سلول تأثیر گذار می‌باشند. این روش‌ها عموماً ترکیبی از کلیشه‌های گرادیان و

**روش سوئل:** تشخیص لبه به روش سوئل جزء روش‌های مبتنی بر کلیشه می‌باشد. در روش‌های برپایه کلیشه، از مفهوم گرادیان، لاپلاسن و یا ترکیب این دو برای تشخیص اولیه لبه‌های تصویر استفاده می‌شود. از آنجایی که لبه، یک تغییر ناگهانی در شدت روشنایی تصویر است، برای بدست آوردن احتمال لبه بودن یک نقطه می‌توان از بزرگی گرادیان تصویر استفاده نمود [1,18].

در روش سوئل نتایج حاصل از بزرگی گرادیان تصویر آستانه‌سازی می‌شود. بدین ترتیب که یک مقدار آستانه‌ای تعیین شده و سپس تمام احتمال‌هایی که بیشتر از آن مقدار آستانه‌ای باشند بعنوان لبه انتخاب می‌شوند. لبه‌های بدست آمده از اپراتور سوئل ضخامت‌ی بیش از یک نقطه دارند که مطلوب نمی‌باشند. همچنین این اپراتور به نویز حساس می‌باشد.

**روش کنی:** روش تشخیص لبه کنی دارای سه مرحله است: ۱- هموارسازی برای از بین بردن نویزها، ۲- آستانه‌ای نمودن پسماندی برای تشخیص بهتر لبه‌ها، ۳- نازک سازی لبه‌ها برای تولید لبه‌های با ضخامت یک نقطه. در این روش برای هموار سازی تصویر از توزیع گاوسین استفاده می‌شود [19].

در قسمت زدودن نقاط غیربیشینه برای نازک کردن لبه‌ها یک نقطه با نقاط همسایه آن مقایسه می‌شود. با توجه به جهت بیشترین تغییرات در هر نقطه که توسط کلیشه‌های گرادیان مشخص می‌شود، نقاط با گرادیان بیشینه باقی می‌مانند و بقیه نقاط حذف می‌شوند. در آستانه‌ای نمودن پسماندی دو آستانه به نام‌های آستانه بالا و آستانه پایین انتخاب می‌شوند. تمامی نقاط که بیشتر از آستانه بالا و یا بین این دو آستانه باشند و در همسایگی آنها یک لبه وجود داشته باشد نیز بعنوان لبه انتخاب می‌شوند. بدین ترتیب نقاط با بزرگی گرادیان کم که متصل به نقاط با بزرگی گرادیان زیاد باشند نیز بعنوان لبه انتخاب می‌شوند. در روش کنی لبه‌های با ضخامت یک نقطه تولید شده و حساسیت به نویز نسبت به روش سوئل کمتر می‌باشد. در روش کنی امکان ایجاد لبه‌های اضافی وجود دارد.

#### ۴- روش پیشنهادی

در این بخش روش جدیدی مبتنی بر اتوماتای یادگیر سلولی برای تشخیص لبه تصاویر سطح خاکستری پیشنهاد می‌شود. اتوماتای یادگیر استفاده شده در اتوماتای یادگیر سلولی این روش از نوع اتوماتای یادگیر با ساختار ثابت می‌باشد.

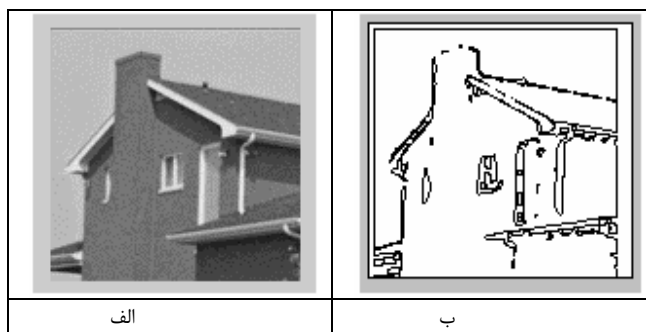
برای یافتن لبه در یک تصویر با ابعاد CxR از یک اتوماتای یادگیر سلولی دو بعدی با R سطر و C ستون استفاده شده که هر سلول آن به یک پیکسل تصویر نگاشت می‌شود. در هر سلول اتوماتای یادگیر سلولی، یک اتوماتای یادگیر با ساختار ثابت از نوع  $L_{2N,2}$  قرار داشته که شامل دو عمل تعلق پیکسل به لبه و عدم تعلق پیکسل به لبه می‌باشد. عمق حافظه مورد استفاده بر اساس تفاوت سطح خاکستری مورد نیاز در

**روش مارچینی و میبیدی:** روش مارچینی و میبیدی که در [13] معرفی شده، از اتوماتای یادگیر سلولی شامل اتوماتاهای یادگیر با ساختار متغییر برای تشخیص لبه استفاده نموده است.

در این روش به ازای هر پیکسل یک اتوماتای دو عمل در نظر گرفته شده که اقدام اول، تعلق پیکسل به لبه و اقدام دوم عدم تعلق پیکسل به پیکسل‌های لبه تعریف شده‌اند. در ابتدا برای هر پیکسل با توجه به نوعی آستانه‌گیری نسبت به پیکسل‌های همسایه احتمال تعلق داشتن و یا تعلق نداشتن به لبه اندازه‌گیری می‌شود. آستانه طی آزمایش‌های مختلف تعیین می‌گردد (پیکسلی متعلق به لبه است که از حداقل ۳ همسایه‌اش مقدار سطح خاکستری بالاتر از آستانه داشته باشد). به هر یک از دو عمل هر پیکسل متناظر با آستانه‌گیری، احتمالی متناظر می‌شود. در هر مرحله از تکرار، هر اتوماتا در اتوماتای یادگیر سلولی یک عمل از مجموعه دو عمل ممکن خود را بر اساس بردار احتمال اعمال به طور تصادفی انتخاب کرده و با توجه به اقدام همسایگان خود و قانون محلی در نظر گرفته شده جریمه و یا پاداش می‌دهد.

قانون محلی استفاده شده به این صورت بوده که اگر پیکسل به عنوان لبه در نظر گرفته شود و تمامی همسایه‌های آن پیکسل عمل لبه بودن را انتخاب نموده باشند، احتمال لبه بودن پیکسل مرکزی کاهش پیدا می‌کند در غیر این صورت احتمال لبه یا غیر لبه بودن پیکسل مرکزی تغییری داده نمی‌شود.

بردار احتمال اولیه از باینری سازی تصویر بر اساس روش آستانه‌گیری بدست می‌آید که به موجب آن لبه‌های باریک از بین می‌روند. بر اساس قانون تعریف شده در روش فوق، تنها یک حالت همسایگی جریمه دریافت نموده و حالت‌های مختلف همسایگی دیگر تأثیری در جریمه یا پاداش عمل انتخابی ندارند. در این روش تنها همسایگی‌هایی که تماماً لبه باشند، جریمه دریافت می‌نمایند. بر اساس این قانون لبه‌های بدست آمده پهن می‌باشند چرا که لبه‌های با ضخامت دو پیکسل جریمه‌ای دریافت نمی‌نمایند. نمونه‌ای از تشخیص لبه روش خوارزمی و میبیدی در شکل (۶) نشان داده شده است.



شکل (۶): الف- تصویر اصلی. ب- تشخیص لبه روش مارچینی و

میبیدی [13].

ثابت از نوع  $L_{2N,2}$  دو عمقه و با عمق حافظه  $2 * \lceil 256 / d \rceil$ .

۳. مقدار اولیه هر سلول را برابر  $\lceil i / d \rceil$  قرار داده که  $i$  مقدار شدت روشنایی پیکسل متناظر با سلول می‌باشد. این مقدار متناظر با عمق حافظه عمل اول (متعلق بودن پیکسل به لبه) در نظر گرفته می‌شود.

۴. برای تمامی سلول‌ها به صورت موازی، مراحل زیر تا رسیدن به شرط خاتمه تکرار می‌شود:

ا. الگوهای همسایگی که متناظر با شکل (۷)

می‌باشند، جریمه دریافت می‌نمایند.

ب. الگوهای دیگر همسایگی پاداش دریافت

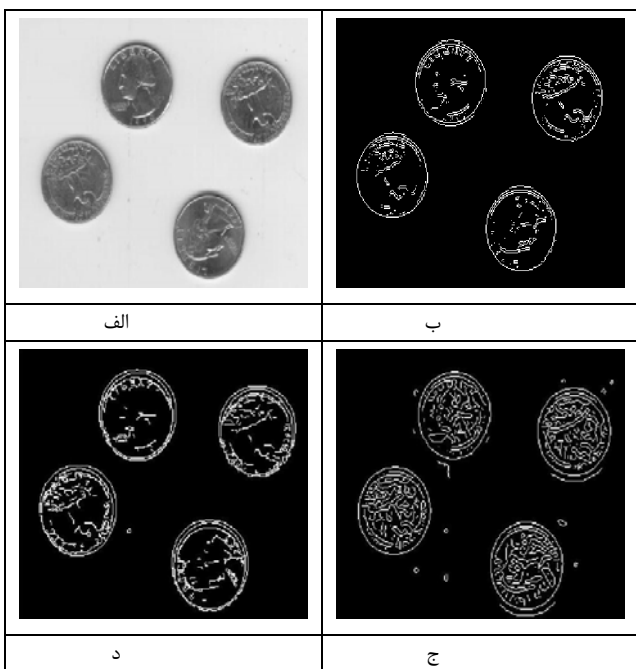
می‌نمایند.

## ۵- نتایج آزمایشها

به منظور ارزیابی روش پیشنهادی آزمایش‌هایی انجام و نتایج بدست آمده با نتایج بدست آمده از روش کنی و روش سوبل مقایسه شده‌اند. در اشکال (۸) و (۹) لبه‌های بدست آمده با استفاده از روش پیشنهادی نشان داده شده است. چنانچه در اشکال (۸) و (۹) دیده می‌شود، لبه‌های بدست آمده از روش پیشنهادی باریک و در عین حال از دقت مطلوبی برخوردار می‌باشند. در شکل (۱۰) تصویر آغشته شده به نویز نمک فلفلی با توزیع  $0.02$  و لبه‌های بدست آمده از روش پیشنهادی نشان داده شده است.

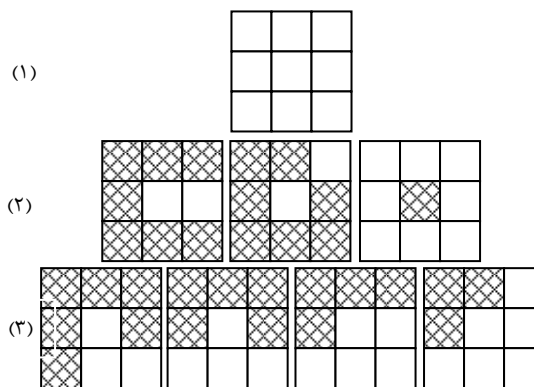
لبه‌یابی تعیین می‌شود. اگر تغییرات شدت روشنایی تصویر در رنج تغییرات  $[0-255]$  باشد و لبه‌هایی با تفاوت شدت روشنای  $d$  مورد نظر باشند، از حافظه ای به عمق  $2 * \lceil 256 / d \rceil$  استفاده می‌نماییم. مقدار اولیه هر سلول را برابر  $\lceil i / d \rceil$  قرار داده که  $i$  مقدار شدت روشنایی پیکسل متناظر با سلول می‌باشد.

در ابتدا تمامی سلول‌های اتوماتای یادگیر سلولی عمل اول خود که همان متعلق بودن پیکسل به لبه می‌باشد، را انتخاب می‌نمایند. در مراحل اولیه خروجی اتوماتای سلولی یک تصویر کاملاً سفید می‌باشد چراکه تمام پیکسل‌ها به عنوان لبه در نظر گرفته شده‌اند. با روند تکرار اجرایی اتوماتای یادگیر سلولی لبه‌های تصویر به مرور آشکار می‌شوند. همسایگی مورد استفاده در قوانین این اتوماتا از نوع مور با شعاع یک می‌باشد. در الگوهای شکل (۷)، همسایگی‌هایی که منجر به دریافت جریمه می‌شوند نشان داده شده است. در این الگوها سلول لبه روشن و سلول غیر لبه تیره می‌باشند. این الگوها باعث پهن شدن لبه‌ها، ایجاد نویز و یا ایجاد لبه‌های اضافی می‌نمایند. برخی الگوهای نشان داده شده در شکل (۷) به صورت نماینده الگو بوده و الگوهای مشابه الگو که از چرخش الگو بدست می‌آیند نیز جریمه دریافت می‌نمایند. الگوهای همسایگی که در شکل (۷) موجود نمی‌باشند پاداش دریافت می‌کنند. برای شرط خاتمه الگوریتم می‌توان تعداد تکرار مشخص، ثابت ماندن وضعیت حافظه یادگیر هر سلول از اتوماتای یادگیر سلولی و یا ارضاء شرایط از پیش تعیین شده مانند کمتر شدن آنتروپی از یک حد آستانه از پیش تعریف شده را در نظر گرفت.



شکل (۸): الف- تصویر اصلی. ب- روش سوبل، ج- روش کنی، د- روش

تشخیص لبه پیشنهادی با اتوماتای یادگیر سلولی



شکل (۷): الگوهای همسایگی که جریمه دریافت می‌دارند. سلول لبه روشن و سلول غیر لبه تیره نشان داده شده است. (۱) - لبه پهن. (۲) - نویز. (۳) - لبه های اضافی.

روش پیشنهادی تشخیص لبه تصاویر سطح خاکستری مبتنی بر اتوماتای یادگیر سلولی شامل مراحل زیر می‌باشد:

۱. تعیین مقدار  $d$  یا تفاوت شدت روشنایی مطلوب در تشخیص لبه.

۲. متناظر نمودن هر پیکسل تصویر به یک سلول اتوماتای یادگیری سلولی شامل یک اتوماتای یادگیر با ساختار

گرادبان، تأثیر نویز بر روی لبه‌ها کمتر می‌باشد. با استفاده از روش پیشنهادی نویز نمک فلفلی به میزان قابل ملاحظه‌ای حذف شده است.

### ۶- نتیجه

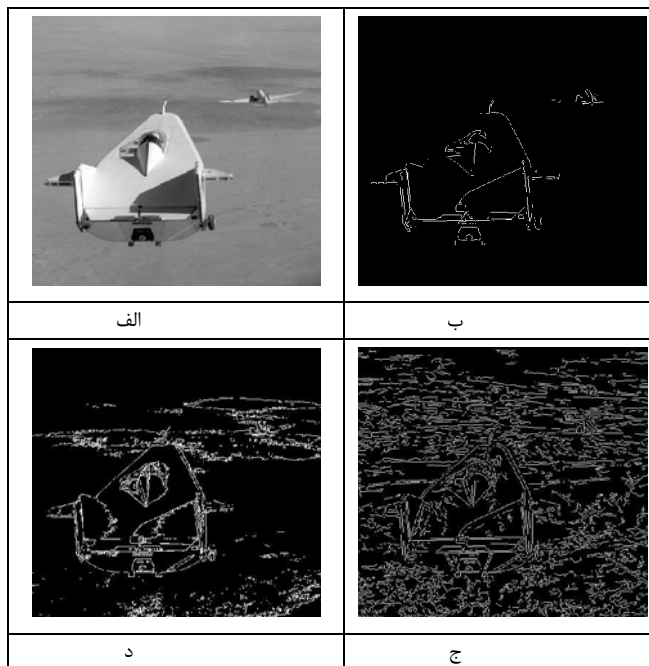
در این مقاله روشی مبتنی بر اتوماتای یادگیر سلولی برای یافتن لبه‌های تصویر پیشنهاد و با دو روش تشخیص لبه کنی و سوبل مقایسه گردید. روش پیشنهادی به نویز نمک فلفلی به دلیل استفاده از الگوهای همسایگی حساسیت کمی دارد. همچنین لبه‌هایی با پهنای یک نقطه را تشخیص و لبه‌های تولیدی باریک می‌باشند. در روش پیشنهادی، لبه‌ها با تصویر مطابقت بیشتری دارند چراکه در هر همسایگی از شدت روشنایی سلول‌های موجود در همسایگی برای تعیین لبه استفاده شده است. نتایج آزمایشها نشان داد که روش مبتنی بر اتوماتای سلولی یادگیر دارای کارایی خوبی در مقایسه با دو روش تشخیص لبه کنی و سوبل می‌باشد.

### سپاسگزاری

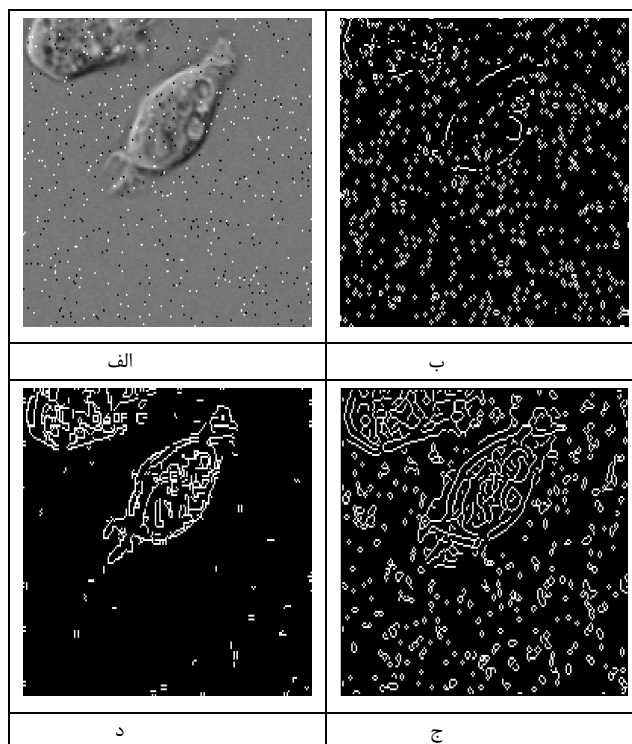
این کار تحقیقاتی توسط مرکز تحقیقات مخابرات ایران حمایت مالی شده است که بدین وسیله سپاسگزاری می‌شود.

### مراجع

- [1] Gonzales, R. C. and Woods, R. E., "Digital Image Processing", Addison Wesley, 1995.
- [2] Maragos, P. and Pessoa, L., "Morphological filtering for image enhancement and detection", Chapter for The Image and Video Processing Handbook, Acad. Press. 1, March 1999.
- [3] Elder, James H. and Sachs, Adam J., "Psychophysical receptive fields of edge detection mechanisms", Vision Research 44, pp. 795-813, Elsevier Nov. 2003.
- [4] Wongthanavas, S. and Sadananda, R., "A CA-based edge operator and its performance evaluation", J. Vis. Commun. Image R. 14, pp. 83-96, Elsevier Science 2003.
- [5] 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. 1994.
- [6] Yang, Chen, Ye, Hao and Wang, Guizeng, "Cellular automata modeling in edge recognition", Proceedings of the Seventh International Symposium on Artificial Life and Robotics, pp.128-132, Japan 2002.
- [7] Popovici, A. and Popovici, D., "Cellular automata in image processing", Proceedings of the 15<sup>th</sup> International Symposium on the Mathematical Theory of Networks and Systems, Romania 2002.
- [8] Batouche, M. Meshoul, S. and Abbassene, A., "On solving edge detection by emergence", Lecture Notes in Computer Science, No. 4031, pp. 800-808, Springer - Velag, 2006.
- [9] Kharazmi, M. R. and Meybodi, M. R., "Application of cellular learning automata to image segmentation", Proceedings of Tenth Conference on Electrical Engineering (10th ICEE), University of Tabriz, Vol. 1, pp. 298-306, May 2002.



شکل (۹): الف- تصویر اصلی. ب-روش سوبل، ج-روش کنی، د-روش تشخیص لبه پیشنهادی با اتوماتای یادگیر سلولی



شکل (۱۰): الف- تصویر با نویز نمک فلفلی ۰.۰۲. ب-روش سوبل، ج-روش کنی، د-روش تشخیص لبه پیشنهادی با اتوماتای یادگیر سلولی.

چنانچه در شکل (۱۰) مشاهده می‌شود به دلیل استفاده از ساختار همسایگی، همچنین استفاده از شدت روشنایی تصویر به جای بزرگی

- [10] Meybodi, M. R. and Kharazmi, 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.
- [11] Meybodi, M. R. and Beigy, H., Taherkhani, M., "Application of cellular learning automata to image processing", Proceedings of First Conference in Mathematics and Communication, Telecommunication Research Center, Tehran, Iran, Oct. 2000.
- [12] Meybodi, M. R. and Kharazmi, M. R., "Cellular learning automata and its application to image segmentation", Proceedings of The Second Iranian Conference on Machine Vision & Image Processing, p.p. 261-270, KNU University, Tehran Iran, 2003.
- [13] Marchini F. and Meybodi, M. R., "Application of cellular learning automata to image processing: finding skeleton", Proceedings of the Third Conference on Machine Vision. Image Processing and Applications (MVIP 2005) University of Tehran, Tehran, Iran, p.p. 271-280, Feb. 2005.
- [14] Wolfram, S., "Cellular Automata, Los Alamos Science", vol. 9, pp. 2-21, Fall 1983.
- [15] Thathachar, M. A. L. and Sastry, P. S., "Varieties of learning automata: An Overview", IEEE Transaction on Systems, Man. and Cybernetics-Part B: Cybernetics, Vol. 32, No. 6, pp. 711-722, 2002.
- [16] Meybodi, M. R. Beigy, H. and Taherkhani, M., "Cellular learning automata", Proceedings of 6th Annual International Computer Society of Iran Computer Conference CSICC2001, Isfahan, Iran, pp. 153-163, 2001.
- [17] Beigy, H. and Meybodi, M. R., "A mathematical framework for cellular learning automata", Advances in Complex Systems, Vol. 7, Nos. 3-4, pp. 295-320, September/December 2004.
- [18] McCane, B., "Edge Detection Notes", Department of Computer Science, University of Otago, Note COSC453, Feb 2001.
- [19] Canny, J., "A computational approach to edge Detection", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 8, No. 6, Nov. 1986.

## زیر نویس ها

- <sup>1</sup> Cellular Learning Automata (CLA)
- <sup>2</sup> Learning Automata (LA)
- <sup>3</sup> Cellular Automata (CA)
- <sup>4</sup> Totalistic
- <sup>5</sup> Outer Totalistic