

Effective Visual Saliency Detection Method Using Reduced Color and Texture Features**Masoud Khazae Fadafen¹, Assistant Professor, Nasser Mehrshad², Associate Professor, Seyyed Mohammad Razavi², Associate Professor**¹Department of Electrical Engineering- Technical and Vocational University, Tehran, Iran²Department of Electrical and Computer Engineering- Birjand University, Birjand, Iran
mkhazaie@tvu.ac.ir, nmehrshad@birjand.ac.ir, smrazavi@birjand.ac.ir**Abstract**

In this study, an effective and efficient algorithm for detection a saliency map is presented based on the modeling of the rapid response of the human visual system to changes in the intensity, texture and color. Some cases such as inspiration from performance of human visual system, requiring no training, reduce number of image colors, reduce color channels and Proper use of the least texture information in this algorithm have increased its efficiency. In the proposed method in the first step , Due to sensitivity of the human visual system to higher contrast signals, only higher contrast channel has been used to extract the color saliency map, Then the intensity saliency map as well as the texture saliency map are extracted using the intensity component in lab color space using Simple cell computational model of the visual cortex and finally, with the perfect combination of the saliency maps of the color, the intensity, and the texture, object saliency map is obtained. The proposed method and existing methods have been tested on MSRA10K and ECSSD databases. The results of the implementations show that the proposed hybrid algorithm for the detection saliency map using the dominant color and texture features, On the ECSSD database, the mean absolute error, F-measure score and the area under the ROC curve are 0.173, 0.789 and 0.891, respectively, and on the MSRA10K database are 0.178, 0.790 and 0.919, respectively, compared to other models, it indicates better performance of the proposed method than other methods.

Keywords: computational model of simple cell, feature extraction, human visual system, saliency map**Received:** 28 November 2021**Revised:** 11 February 2022**Accepted:** 16 March 2022**Corresponding Author:** Dr. Masoud Khazae Fadafen

استخراج مؤثر نقشه برجستگی تصویر با استفاده از تقویت تباین رنگ و بافت غالب

مسعود خزاعی فدافن^۱، استادیار، ناصر مهرشاد^۲، دانشیار، سید محمد رضوی^۲، دانشیار

۱- گروه مهندسی برق- دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران

۲- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
mkhazaie@tvu.ac.ir, nmehrshad@birjand.ac.ir, smrazavi@birjand.ac.ir

چکیده: در این مطالعه، الگوریتمی مؤثر و کارآمد برای تشخیص نقشه برجستگی تصویر بر اساس مدل‌سازی پاسخ سریع سیستم بینایی انسان به تغییرات شدت روشنایی، بافت و رنگ ارائه شده است. برخی موارد مانند الهام گرفتن از عملکرد سیستم بینایی انسان، عدم نیاز به آموزش، کاهش تعداد رنگ، کاهش کانال‌های رنگی و استفاده صحیح از حداقل اطلاعات بافت در الگوریتم باعث افزایش کارایی آن شده است. در روش پیشنهادی در مرحله اول، با توجه به حساسیت سیستم بینایی انسان به سیگنال‌های با کنتراست بالاتر، فقط کانال با کنتراست بالاتر برای استخراج نقشه برجستگی رنگ استفاده و سپس با استفاده از مولفه شدت روشنایی در فضای رنگ Lab و با استفاده از مدل محاسباتی سلول ساده کورتکس بینایی نقشه برجستگی شدت روشنایی و نقشه برجستگی بافت استخراج می‌شوند. در نهایت، با ترکیب نقشه‌های برجستگی رنگ، شدت روشنایی و بافت، نقشه برجستگی به دست می‌آید. روش پیشنهادی و روش‌های موجود بر روی پایگاه داده‌های MSRA10K و ECSSD آزمایش شده است. نتایج پیاده‌سازی‌ها نشان می‌دهد که الگوریتم ترکیبی پیشنهادی برای تشخیص نقشه برجستگی با استفاده از ویژگی‌های رنگ و بافت غالب، در پایگاه داده ECSSD به ترتیب دارای میانگین خطای مطلق، امتیاز معیار F و سطح زیر منحنی ROC، ۰/۱۷۳، ۰/۷۸۹ و ۰/۸۹۱ و در پایگاه داده MSRA10K به ترتیب ۰/۱۷۸، ۰/۷۹۰ و ۰/۹۱۹ است که در مقایسه با سایر مدل‌ها بیانگر عملکرد بهتر روش پیشنهادی نسبت به سایر روش‌ها است.

کلمات کلیدی: استخراج ویژگی، سیستم بینایی انسان، مدل محاسباتی سلول ساده، نقشه برجستگی

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۰/۹/۷

تاریخ بازنگری مقاله: ۱۴۰۰/۱۱/۲۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۲/۲۵

نام نویسنده‌ی مسئول: دکتر مسعود خزاعی فدافن

نشانی نویسنده‌ی مسئول: خراسان رضوی-سبزوار- توحیدشهر- دانشکده فنی امام خمینی (ره)-گروه مهندسی برق و کامپیوتر

۱- مقدمه

درک و پیش‌بینی مکانیسمی که از طریق آن ناحیه خاصی از یک تصویر توسط مغز انسان انتخاب می‌شود، کاملاً شناخته شده نیست. این ناحیه توسط سیستم بینایی انسان ارزیابی می‌شود [۱، ۲]. الگوریتم‌های مختلف بینایی کامپیوتر اغلب به گونه‌ای توسعه می‌یابند که در یک حالت ایده‌آل قادر باشند جنبه‌های عملکردی متناظر از سیستم بینایی انسان را شبیه‌سازی نمایند. در این راستا الگوریتم‌های مختلف پردازش تصویر، تحلیل تصویر و بینایی کامپیوتر با الهام از عملکرد و یا ساختار سیستم بینایی انسان ارائه شده‌اند [۳-۷]. شواهد زیادی نشان می‌دهند که در نگاه کردن به یک منظره یا تصویر، انسان به اشیاء یا نواحی مشخصی از آن جذب شده و بررسی جزئیات آن را به سیستم بینایی تحمیل می‌کند [۸]. این نواحی یا اشیاء به‌عنوان برجستگی‌های تصویر شناخته می‌شوند [۹-۱۱]. فرآیند جلب توجه اتفاقی سیستم بینایی انسان به یک ناحیه یا ساختار موجود در تصویر بدون بررسی جزئیات آن (فرآیند استخراج نقشه برجستگی) به‌طور کامل شناخته نشده است [۱۲]. با وجود این شواهد روان‌بینایی و نروفیزیولوژیکی زیادی وجود دارند که نشان می‌دهند کورتکس اولیه بینایی به کنتراست شدت روشنایی، رنگ و بافت پاسخ می‌دهد. همچنین به نواحی دارای شدت روشنایی، رنگ و بافت مشخص و متفاوت از اطراف پاسخ می‌دهد. شیء برجسته حداقل در یکی از موارد روشنایی، رنگ و یا بافت تفاوت قابل ملاحظه‌ای با محیط اطراف خود و یا کل محیط صحنه دارد. در برخی از الگوریتم‌ها از رویکرد مبتنی بر جزئی‌نگری و در برخی دیگر از رویکرد مبتنی بر کلی‌نگری برای استخراج نقشه برجستگی استفاده شده است [۹، ۱۳-۱۸]. رویکرد مبتنی بر برجستگی محلی و رویکرد مبتنی بر برجستگی ساختاری و سراسری در کل تصویر نیز در برخی منابع مطرح شده است [۱۹]. در تمامی این رویکردها، اصلی‌ترین قسمت الگوریتم همان مرحله استخراج ویژگی است [۲۰، ۲۱]. آشکارسازی برجستگی‌های تصویر در بخش‌بندی، تشخیص شیء، بازشناسی الگو، فشرده‌سازی تصویر، بازیابی تصویر، تشخیص لبه و منحنی پیرامونی کاربرد دارد.

در مرجع‌های [۲۲] و [۲۳] با استفاده از عملکرد مرکز- اطراف سیستم بینایی انسان روی ویژگی‌های شدت روشنایی، رنگ و جهت در مقیاس‌های مختلف و سپس ترکیب آنها با یکدیگر نقشه‌های برجستگی به‌دست آمده است. این کار از عمده‌ترین کارهای مبتنی بر جزئی‌نگری و مبتنی بر برجستگی محلی است. این روش فقط می‌تواند موقعیت برجستگی را مشخص کند و نمی‌تواند مرز ناحیه برجسته را مشخص نماید. در مرجع [۲۴] نشان داده شده که تشخیص نقشه برجستگی وابسته به تمام باندهای فرکانسی است و علاوه بر این نقشه برجستگی می‌تواند به‌وسیله یک محاسبه ساده از کنتراست رنگ بین پیکسل‌های تصویر و میانگین رنگ صحنه محاسبه شود. این روش یکی از روش‌های تخمین سریع برجستگی بر اساس تحلیل محتوای تصویر است ولی محدود به تصاویری است که میانگین رنگ صحنه به اندازه کافی متفاوت از رنگ شیء برجسته باشد و در تصاویر با پس زمینه دارای چندین رنگ مناسب نیست. در مرجع [۲۵] روش استخراج نقشه برجستگی مبتنی بر استخراج ویژگی‌های بافت و رنگ پیشنهاد شده است که در این روش پس از محاسبه نقشه‌های برجستگی رنگ و بافت بر مبنای کنتراست محلی، این نقشه‌ها با استفاده از وزن‌های انطباقی با یکدیگر ترکیب می‌شوند. مزیت این روش این است که در محاسبه وزن‌های انطباقی مربوط به نقشه‌های برجستگی رنگ و بافت از پارامتر درجه پراکندگی استفاده می‌شود. از آنجا که نواحی برجسته کوچک ولی عموماً چگال هستند، این پارامتر، واریانس مکانی فاصله‌های بین مرکز نقشه برجستگی و تمامی زیر ناحیه‌ها را مشخص می‌کند. این روش بار محاسباتی بالایی داشته و در دیتاست‌های با پیچیدگی بالا دارای بازدهی مناسبی نیست. در مرجع [۱۶] مکانیزمی ذاتی از مدل‌های برجستگی بر مبنای فرکانس و ایجاد پل بین مدل‌های بر مبنای مکان و مدل‌های بر مبنای فرکانس بر اساس تحلیل فیلترهای مکانی و مدولاسیون طیفی استخراج شده‌اند. بر اساس این تحلیل نویسندگان مدلی را پیشنهاد نموده‌اند که از مدل‌های بر مبنای مکان و به‌کارگیری ساختاری با چند کانال و چند مقیاس نشأت گرفته است. در روش پیشنهادی فیلترهای گابور دو بعدی برای استخراج ویژگی‌ها و انتقال آنها به حوزه فرکانس برای پیاده‌سازی مدولاسیون طیفی استفاده شد. این روش به دلیل استفاده از چندین کانال در چندین مقیاس دارای بار محاسباتی بالایی است. در مرجع [۲۶] روشی ساده و مؤثر برای محاسبه نقشه برجستگی پیشنهاد شده که در این روش با این حدس که سیستم بینایی انسان توجه متفاوتی را به کانال‌های مختلف رنگ دارد، یکی از کانال‌های رنگ را که دارای کنتراست قوی‌تری است انتخاب و نقشه برجستگی آن استخراج شده است، در این روش

در صورتی که ناحیه برجسته از نظر کنتراست متمایز از پس زمینه نباشد دارای نقص خواهد بود. در مرجع [۲۷] بر روی واریانس محلی و کنتراست رنگ مجموعه‌ای از پیکسل‌ها در یک منطقه تمرکز شده که البته این روش در تصاویر با ساختار پیچیده بازدهی خود را از دست می‌دهد. استراتژی‌های ترکیبی برای محاسبه نقشه برجستگی در مرجع [۲۸] ارائه شده که روش ترکیب خطی وزن‌های متفاوت ویژگی‌ها است و این روش نتایج رضایت‌بخشی ندارد. روش ترکیب خطی با وزن‌های آموزشی، که این روش نسبت به روش قبل نتایج بهتری دارد ولی نیاز به دانش قبلی در خصوص ناحیه برجسته دارد. روش نرمالیزاسیون غیرخطی سراسری نیز از یک استراتژی رقابت محلی در محاسبه نقشه برجستگی استفاده می‌کند. اما در نهایت این روش‌ها تحلیلی از اثرات ویژگی‌های متفاوت را نداشته و فقط جمع ویژگی‌ها را با یکدیگر انجام می‌دادند. در مرجع [۲۹] روش مانده طیفی برای آشکارسازی برجستگی بصری پیشنهاد شده است. روش ارائه شده ساده و در عین حال بازدهی نسبتاً خوبی نسبت به روش‌های موجود داشت، تنها مشکل این روش این بود که فقط از ویژگی‌های شدت روشنایی استفاده می‌کرد در صورتی که این ویژگی‌ها مفید نبودند و نتایج قابل قبولی حاصل نمی‌شد. در مرجع [۳۰] با تکیه بر افزایش سرعت و دقت در آشکارسازی شیء برجسته این روش پیشنهاد شده که در ابتدا برای افزایش بازدهی محاسباتی از کوانتیزه نمودن تصویر به منظور کاهش تعداد رنگ تصویر استفاده نموده و سپس به منظور تخمین موقعیت و سایز شیء برجسته، واریانس و مرکز مکانی رنگ‌های کوانتیزه شده محاسبه شده و این مقادیر در مدل شیء برای محاسبه احتمال برجستگی قرار داده می‌شدند، در نهایت احتمالات برجستگی رنگ‌ها و مقادیر کنتراست سراسری به منظور ایجاد نقشه برجستگی ترکیب می‌شدند. در این روش محدودیت‌هایی در صحنه‌های با چند شیء برجسته و اشیاء برجسته با چند رنگ وجود دارد زیرا امکان تداخل رنگ‌ها با یکدیگر در طی تخمین برجستگی وجود خواهد داشت. در مرجع [۳۱] روشی را بر مبنای بررسی ویژگی‌های متمایز رنگ و کنتراست از دیدگاه کلی ارائه نموده‌اند. برجستگی بر مبنای کنتراست را بر این اساس که در طیف دامنه، دامنه‌های با وزن بالا نشان دهنده ویژگی‌های نواحی غیربرجسته و دامنه‌های با وزن کوچک‌تر بیانگر ویژگی‌های برجستگی هستند، با بهبود دامنه‌های با وزن کمتر، نقشه برجستگی کنتراست را محاسبه نمودند. از طرفی با این تفسیر که در نواحی برجسته مقدار رنگ، متفاوت از میانگین کل تصویر است توزیع مکانی رنگ نیز مشخص و در نهایت با ترکیب این ویژگی‌ها، نقشه برجستگی نهایی را آشکار نمودند.

در چند سال اخیر، استفاده از شبکه عصبی عمیق در تشخیص نقشه برجسته به‌طور چشم‌گیری رشد کرده است. برای عملکرد بهتر این شبکه‌ها، نیاز به تعداد زیادی نمونه یادگیری وجود دارد [۳۲]. در مرجع [۳۳] یک ساختار ساده از شبکه عصبی عمیق را پیشنهاد نمودند. هدف آنها استخراج ویژگی‌های محلی و کلی برای دستیابی به نقشه برجسته شیء بود. شبکه عصبی پیشنهادی دارای ساختار شبکه ای ۵*۴، شامل پنج ستون و چهار ردیف بود. وظیفه هر ستون استخراج ویژگی‌ها و هر ردیف نیز وظیفه ادغام را برعهده دارد. برای دستیابی به نقشه برجستگی نهایی، در آخرین لایه تماماً متصل از یک لایه خطی softmax استفاده شد. نقشه برجستگی نهایی دارای ابعاد 176×176 بود. روش پیشنهادی در مرجع [۳۴] ساختار مشخصی در مرحله پیش آموزش داشت. بیشتر روش‌های یادگیری عمیق از یک شبکه پیش‌آموزشی مانند ImageNet استفاده می‌کنند. در این نوع پیش آموزش، کل تصویر در نظر گرفته می‌شود. نویسندگان در این تحقیق استفاده از جعبه محدود کننده را بر روی شیء برجسته پیشنهاد کردند. به این ترتیب قبل از مرحله پیش آموزش، ابتدا شیء شناسایی شده و سپس استخراج ویژگی انجام می‌شود. منطقه استخراج شده به معماری شبکه عصبی داده می‌شود تا نقشه برجستگی استخراج شود.

مطالعات انجام شده قبلی فرضیه‌های محدودکننده‌ای دارند که کاربرد مؤثر آنها را روی طیف وسیعی از تصاویر با تردید همراه می‌کند. اکثر مطالعات انجام شده از روش‌های جزئی‌نگری در استخراج ویژگی‌ها در سوپرپیکسل‌ها استفاده کرده‌اند، و این باعث می‌شود که این روش‌ها به برخی کاربردهای خاص محدود شوند. علاوه بر این، روش‌هایی که از الگوریتم‌های چند بعدی استفاده می‌کنند، زمان محاسبات را افزایش می‌دهند. در این مطالعه، با توجه به حساسیت بالاتر سیستم بینایی انسان به سیگنال‌های با کنتراست بالاتر، فقط کانال با کنتراست بالاتر برای استخراج نقشه برجستگی رنگ استفاده شده است. نقشه برجستگی شدت روشنایی و همچنین نقشه برجستگی بافت با استفاده از مؤلفه شدت روشنایی در فضای رنگ Lab استخراج می‌شوند. در نهایت، با ترکیب کاملی از نقشه‌های برجستگی رنگ، شدت روشنایی و بافت، نقشه برجستگی شیء محاسبه می‌شود. در الگوریتم ترکیبی پیشنهادی دقت داده‌ها در حد مورد نیاز الگوریتم کاهش داده شده و از ورود داده‌های اضافی به الگوریتم جلوگیری شده

است، همچنین کاهش تعداد رنگ تصویر، کاهش کانال‌های رنگ از سه به دو، استفاده مناسب از کمترین اطلاعات بافت در روش ترکیبی پیشنهادی باعث شده است که خطاهای موجود در استخراج ویژگی‌های بافت کمترین اثر مخرب در تصاویر عاری از بافت را داشته باشد. پیکربندی مقاله به این صورت است که در بخش دوم به ارائه روش پیشنهادی و جزئیات مربوط به آن خواهیم پرداخت و در بخش سوم پیاده‌سازی روش پیشنهادی و ارزیابی نتایج بیان شده است. در قسمت چهارم نتیجه‌گیری بیان شده است.

۲- روش پیشنهادی

مراحل کلی روش پیشنهادی در شکل (۱) نشان داده شده است. روش پیشنهادی بر اساس مدل‌سازی پاسخ سریع سیستم بینایی انسان به تغییرات شدید شدت روشنایی، بافت و رنگ ارائه شده است. برای سیستم بینایی انسان هیچ چالش جدی در تشخیص یک شیء برجسته حتی در سطح نسبتاً پایینی از شدت روشنایی که اطلاعات کمی از رنگ صحنه دریافت می‌کند، وجود ندارد. در بسیاری از موارد یک شخص در نگاه به تصاویر خاکستری، شیء برجسته را به راحتی تشخیص می‌دهد. این بدان معنی است که الگوریتم ارائه شده برای مدل‌سازی عملکرد سیستم بینایی باید مبتنی بر بستر اطلاعاتی شدت روشنایی و بافت توسعه یابد. چنانچه اطلاعات رنگ به اطلاعات شدت روشنایی و بافت اضافه شود، تشخیص شیء برجسته با راحتی و دقت بیشتری توسط سیستم بینایی انسان انجام می‌شود. اطلاعات رنگ بیشتر در نور روز و یا به عبارتی در مقادیر شدت روشنایی بالا وجود دارد. بنابراین در نبود اطلاعات بافت و در مقادیر شدت روشنایی بالا، اطلاعات رنگ برای سیستم بینایی انسان از اهمیت بالایی برخوردار می‌شود.

با فرض اینکه شیء برجسته از نظر رنگ و بافت تغییرات قابل ملاحظه‌ای با محیط اطراف خود دارد، دو مرحله پیش‌پردازشی اساسی کاهش رنگ و سپس هموارسازی، با حذف تغییرات جزئی در رنگ شیء برجسته باعث بهبود قابل ملاحظه نتایج خواهد شد. نقشه برجستگی شدت روشنایی و همچنین نقشه برجستگی بافت با استفاده از مؤلفه شدت روشنایی در فضای رنگ Lab استخراج می‌شوند. نقشه برجستگی رنگ با استفاده از اطلاعات رنگ‌های متضاد موجود در دو کانال A و B فضای رنگ Lab استخراج می‌شود. با توجه به حساسیت بالاتر سیستم بینایی انسان به سیگنال‌های دارای تباين بیشتر، تنها از اطلاعات کانال رنگ دارای تباين بیشتر برای استخراج نقشه برجستگی رنگ استفاده خواهد شد. با توجه به فرض تباين رنگ، شدت روشنایی و یا بافت شیء برجسته با نواحی اطراف، این تباين رنگ در هر یک از کانال‌های رنگ خود را نشان خواهد داد و بنابراین عدم استفاده از اطلاعات کانال رنگ دارای تباين کمتر الگوریتم را با چالشی مواجه نمی‌کند. ضمن اینکه حذف داده‌هایی که حاوی اطلاعات کمی هستند می‌تواند به بهبود نتایج منجر شود.

در این روش، کاهش رنگ در دو مرحله انجام شده است. در مرحله اول تعداد رنگ‌های تصویر به شانزده رنگ محدود شده و در مرحله دوم از سه کانال رنگ، کانال شدت روشنایی و کانال غالب از بین دو کانال رنگ دیگر انتخاب شده است. این امر به دو صورت می‌تواند باعث بهبود نتایج شود. با محدود شدن تعداد رنگ تصویر، تفاوت‌های جزئی در رنگ نواحی مختلف شیء برجسته حذف شده و احتمال برجسته شدن شیء به صورت یک تکه بیشتر می‌شود. همچنین با این کار محتوای رنگ مربوط به شیء برجسته (که به احتمال زیاد در فرآیند کاهش رنگ به یک رنگ کاهش یافته) در یکی از دو کانال رنگ به طور متمایزتری خود را نشان می‌دهد. بنابراین حذف داده‌های کانال دیگر ضمن اینکه صدمه‌ای به نتایج نمی‌زند، در بسیاری از موارد باعث جلوگیری از انباشت خطا و غرق شدن اطلاعات در داده‌ها می‌شود. ضمن اینکه حذف یک کانال رنگ، محاسبات مورد نیاز الگوریتم را کم می‌کند. بر این اساس، انتخاب یک کانال رنگی با کنتراست بیشتر منجر به کارایی بیشتر محاسبات می‌شود. کنتراست کانال با پارامتر واریانس σ_k مربوط به شدت پیکسل‌های $I_k(i,j)$ مربوط به کانال k با معادله (۱) تعریف می‌شود:

$$\sigma_k^2 = \frac{1}{W \times H} \sum_i \sum_j (I_k(i,j) - \bar{I}_k)^2 \quad (1)$$

\bar{I}_k میانگین تمام پیکسل‌های تصویر کانال k و H و W به ترتیب عرض و ارتفاع تصویر است. در نهایت کانال با واریانس بالاتر به عنوان کانال برتر انتخاب شده و محاسبات مربوط به نقشه برجستگی با توجه به این کانال محاسبه می‌شود. دلیل اینکه شدت

روشنایی به عنوان یکی از کانال‌های رنگ در این فرآیند مقایسه‌ای شرکت نکرده و به عنوان کانال حاوی اطلاعات انتخاب شده، این است که سیستم بینایی انسان چه در نور کم که حاوی اطلاعات رنگی کمی است (دید شب) و چه در نور زیاد، قادر است در یک تصویر سطح خاکستری به راحتی شیء برجسته را تشخیص دهد. در جاهایی که محتوای بافت بالا داریم (چه متوسط روشنایی بالا باشد و چه نباشد، چه اطلاعات رنگ موجود باشد و چه نباشد) احتمال وجود شیء برجسته بالا است [۳۵]. نقشه برجستگی شدت روشنایی بر اساس معادله (۲) با استفاده از مولفه شدت روشنایی در فضای رنگ Lab استخراج شده است.

$$SI(x, y) = L(x, y) * (G_3(x, y) - G_{1.5}(x, y)) \quad (2)$$

$$G_\sigma(x, y) = e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

نقشه برجستگی رنگ نیز بر اساس معادله (۲) با استفاده از کانال رنگ انتخاب شده در فضای رنگ Lab استخراج می‌شود. برای محاسبه نقشه برجستگی بافت، محتوای بافت در ابتدا با اساس معادله‌های (۳) و (۴) با استفاده از مولفه شدت روشنایی در فضای رنگ Lab و با استفاده از مدل محاسباتی سلول ساده کورتکس بینایی استخراج می‌شود [۳۶].

$$\left[\begin{aligned} h_{\lambda, \sigma, \theta, f}(x, y) &= \cos\left(\frac{2\pi\tilde{x}}{\lambda} + f\right) e^{-\frac{\tilde{x}^2 + \tilde{y}^2}{2\sigma^2}} \\ \tilde{x} &= x\cos(\theta) + y\sin(\theta), \tilde{y} = -x\sin(\theta) + y\cos(\theta) \end{aligned} \right] \quad (3)$$

$$S_{\lambda, \sigma, \theta, f}(x, y) = L(x, y) \times h_{\lambda, \sigma, \theta, f}(x, y) = \iint_{\Omega} i(x', y') h_{\lambda, \sigma, \theta, f}(x-x', y-y') dx' dy' \quad (4)$$

پارامترهای معادله‌های (۳) و (۴) به صورت جدول (۱) هستند. در این مطالعه، با استفاده از معادله‌های (۳) و (۴) فیلترهای گابور مربوطه با توجه به پارامترهای تعریف شده در جدول (۲) برای استخراج بافت به تصویر اعمال می‌شوند و محتوای بافت با استفاده از معادله (۵) استخراج می‌شوند.

$$TC(x, y) = \text{Max}_{\theta=0, \frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{4}} \left\{ \sqrt{\left(S_{\frac{6}{0.56}, 6, 0, 0}(x, y) \right)^2 + \left(S_{\frac{6}{0.56}, 6, 0, \frac{\pi}{2}}(x, y) \right)^2} \right\} \quad (5)$$

با کمک معادله (۲) برای محتوای بافت، نقشه برجستگی بافت با استفاده از معادله (۶) محاسبه می‌شود.

$$ST(x, y) = TC(x, y) \times (G_3(x, y) - G_{1.5}(x, y)) \quad (6)$$

در نهایت، با ترکیب کاملی از نقشه‌های برجستگی رنگ، شدت روشنایی و بافت، نقشه برجستگی شیء با استفاده از معادله (۷) محاسبه می‌شود.

Table (1): Introduction of parameters of equations (3) and (4)

جدول (۱): معرفی پارامترهای معادله‌های (۳) و (۴)

نماد	پارامتر	شرح
γ	نسبت جلوه مکانی	مشخص نمودن میزان بیضوی بودن میدان دریافت
σ	انحراف معیار	مشخص نمودن ضریب گوسی اندازه میدان دریافت
λ	طول موج	معکوس آن فرکانس مکانی ضریب کسینوسی است
σ/λ	نسبت انحراف معیار به طول موج	مشخص نمودن عرض باند فرکانس مکانی
θ	زاویه $(\theta \in [0, \pi])$	مشخص نمودن جهت ترجیحی
φ	جبران فاز $(\phi \in (-\pi, \pi])$	مشخص نمودن تقارن $S_{\lambda, \sigma, \theta, \phi}(x, y)$ نسبت به مبدا

Table (2): Gabor filter parameters for texture extraction

جدول (۲): پارامترهای فیلتر گابور جهت استخراج بافت

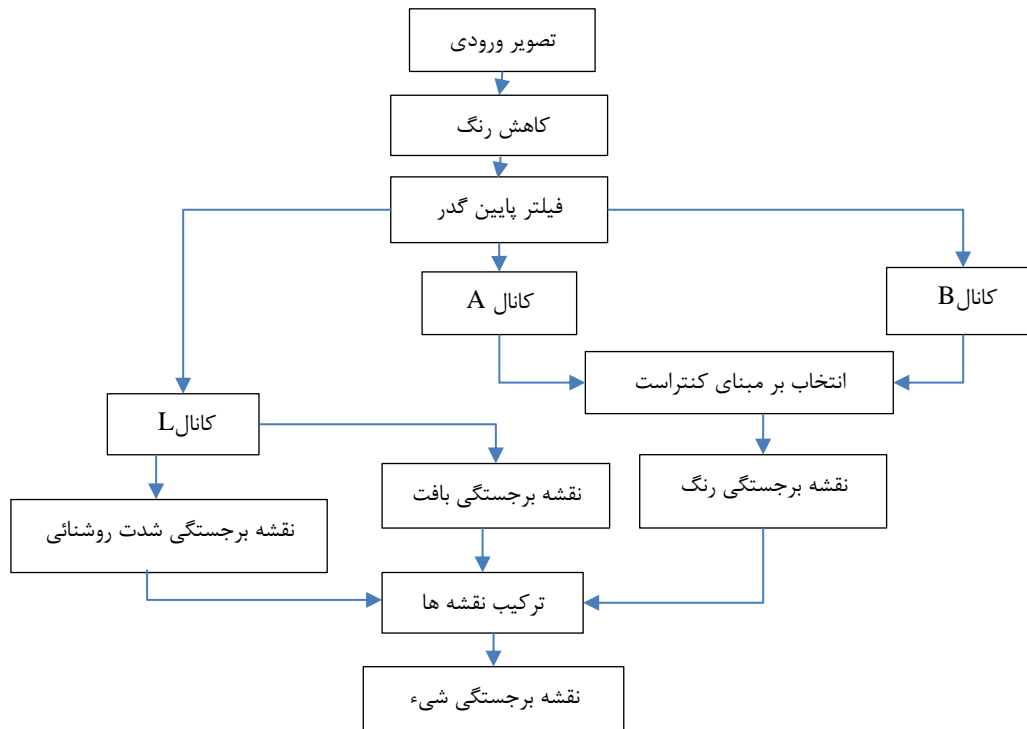
مقدار	پارامتر
1	γ
$(\theta = 0, \pi/4, \pi/2, 3\pi/4)$	θ
6	σ

$\lambda = \sigma / 0.56$	λ
---------------------------	-----------

Table (3): Introduction of Equation Parameters (7)

جدول (۳): معرفی پارامترهای معادله (۷)

پارامتر	نماد
واریانس نقشه‌های برجستگی شدت روشنایی	σ_{SI}^2
واریانس نقشه‌های برجستگی رنگ	σ_{SC}^2
واریانس نقشه‌های برجستگی بافت	σ_{ST}^2



شکل (۱): الگوریتم روش پیشنهادی

Figure (1): Proposed method algorithm

$$S = \frac{\sigma_{SI}^2}{\max(\sigma_{SC}^2, \sigma_{ST}^2)} \times SI + \frac{\sigma_{SC}^2}{\max(\sigma_{SI}^2, \sigma_{ST}^2)} \times SC + \frac{\sigma_{ST}^2}{\max(\sigma_{SI}^2, \sigma_{SC}^2)} \times ST \quad (7)$$

پارامترهای جدول (۳) با استفاده از معادله (۱) بر روی نقشه برجستگی مربوط به آنها به دست می‌آیند.

۳- پیاده‌سازی روش پیشنهادی و ارزیابی نتایج

۳-۱- پایگاه داده

روش پیشنهادی بر روی پایگاه داده‌های (MSRA10K (THUS10000) [۳۷] و همچنین پایگاه داده ECSSD [۳۸] آزمایش شده است. پایگاه داده MSRA10K (THUS10000) شامل ۱۰۰۰۰ تصویر رنگی با نقشه واقعیت زمینی با استفاده از ماسک‌های باینری برای نشان دادن مناطق برجسته است. هر تصویر حاوی بیش از یک شیء برجسته با رنگ، شکل و اندازه متفاوت است. پایگاه داده ECSSD نیز یک مجموعه داده پرکاربرد شامل ۱۰۰۰ تصویر با الگوهای پیچیده و متنوع در پیش‌زمینه و پس‌زمینه است که از مجموعه داده‌های برکلی BSD300، مجموعه داده‌های چالشی PASCAL VOC و همچنین اینترنت جمع‌آوری شده‌اند. در بررسی عملکرد روش پیشنهادی از تمام تصاویر مجموعه داده ECSSD و پایگاه داده MSRA10K (THUS10000) استفاده شده است.

۳-۲- معیارهای ارزیابی

در این مطالعه جهت مقایسه نتایج روش پیشنهادی با سایر روش‌ها از چند معیار ارزیابی استفاده می‌شود که عبارتند از: امتیاز معیار $^1 F$ (FC)، منحنی مشخصه عملکرد دریافت 2 (ROC)، سطح زیر منحنی 3 (AUC)، میانگین خطای مطلق 4 (MAE). معیار F با استفاده از معادله (۸) محاسبه می‌گردد:

$$FC = \frac{(1 + \beta^2) \times \text{precision} \times \text{recall}}{\beta^2 \times \text{precision} + \text{recall}}$$

$$\text{precision} = \frac{T_p}{T_p + F_p} \quad (8)$$

$$\text{recall} = \frac{T_p}{T_p + F_N}$$

که در آن مقدار β برابر 0.3 است. مثبت واقعی 5 (TP) برابر است با تعداد پیکسل‌هایی که به درستی به عنوان پیکسل‌های برجسته آشکار شده‌اند. مثبت کاذب 6 (FP) برابر است با تعداد پیکسل‌های پس زمینه که اشتباها به عنوان پیکسل‌های برجسته آشکار شده‌اند. منفی کاذب (FN) برابر است با تعداد پیکسل‌های برجسته‌ای که اشتباها غیربرجسته تشخیص داده شده‌اند. منحنی ROC یک نمودار گرافیکی از حساسیت بر حسب ویژگی یا نرخ تشخیص درست بر حسب تشخیص نادرست است. AUC نیز سطح زیر منحنی ROC را محاسبه و به صورت یک عدد نمایش می‌دهد. MAE نیز مقدار کمی اختلاف بین نقشه برجستگی و واقعیت زمینی 8 (GT) را محاسبه می‌نماید و به صورت معادله (۹) تعریف می‌شود:

$$MAE = \text{mean}(|S - G|) \quad (9)$$

که در آن S نقشه برجستگی و G نقشه واقعیت زمینی (GT) است.

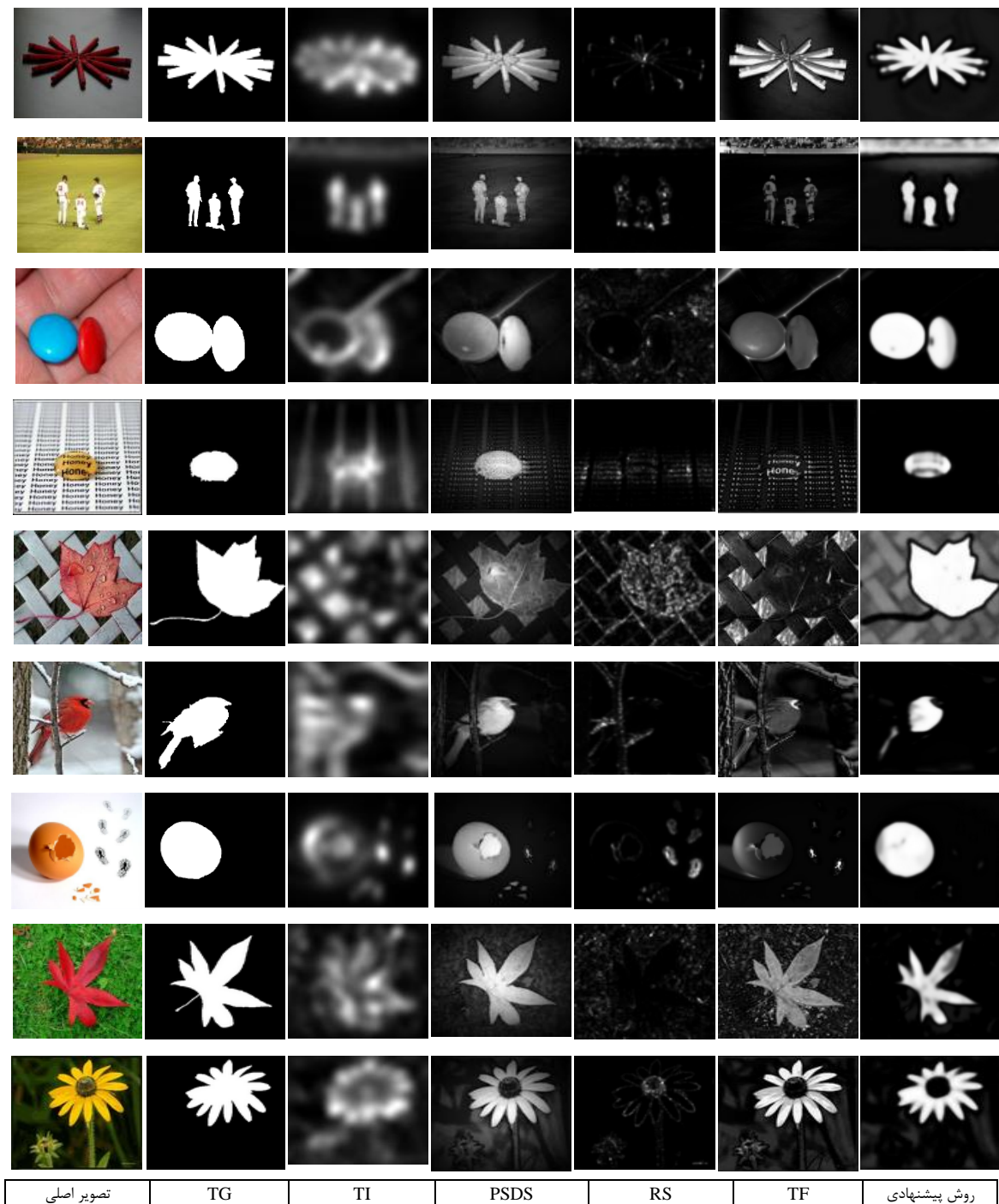
۳-۳- ارزیابی نتایج

روش پیشنهادی ما با پنج مدل از روش‌های معروف موجود در تشخیص شیء برجسته شامل: مدل IT [۲۲]، مدل تنظیم فرکانس 9 (FT) [۲۴]، مدل باقی‌مانده طیفی 10 (SR) [۲۹]، مدل تشخیص برجستگی با ترکیب سوابق ساده قبلی 11 (SDSP) [۳۹] و روش یادگیری پراکنده 12 (SL) [۱] مقایسه شده است. عملکرد این مدل‌های آشکارسازی شیء برجسته بر روی پایگاه داده MSRA10K در شکل (۲) و بر روی پایگاه داده ECSSD در شکل (۳) نشان داده شده است. جدول (۴) معیارهای ارزیابی MAE، FC و AUC را برای مدل‌های مختلف بر روی پایگاه داده ECSSD نشان می‌دهد. جدول (۴) نشان می‌دهد که مقادیر MAE، FC و AUC روش پیشنهادی به ترتیب 0.173 ، 0.789 و 0.891 است که بیانگر عملکرد بهتر روش پیشنهادی در مقایسه با سایر روش‌ها است. و همچنین جدول (۵) که مقایسه نتایج روش‌های مختلف بر روی پایگاه داده MSRA10K را نشان می‌دهد. مقادیر MAE، FC و AUC روش پیشنهادی به ترتیب 0.178 ، 0.790 و 0.919 است که بیانگر عملکرد بهتر روش پیشنهادی در مقایسه با سایر روش‌ها بر روی این پایگاه داده نیز است.

Table (4): Comparison of evaluation criteria of the proposed method with other methods on the ECSSD database

جدول (۴): مقایسه معیارهای ارزیابی روش پیشنهادی با سایر روشها بر روی پایگاه داده ECSSD

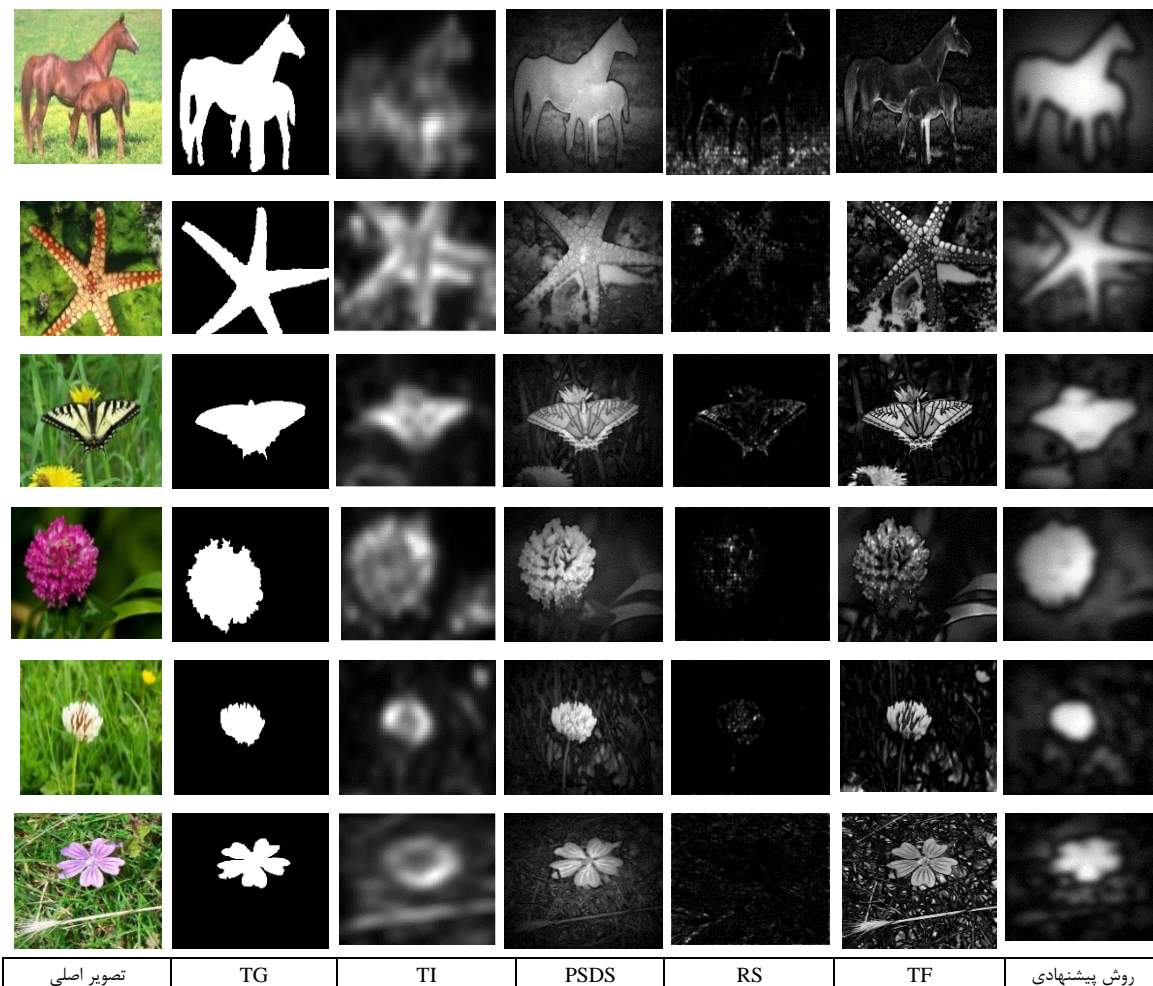
مدل \ معیار	سطح زیر منحنی	امتیاز معیار F	میانگین خطای مطلق
IT	۰/۵۴۱	۰/۵۳۱	۰/۳۲۹
SR	۰/۵۶۱	۰/۳۳۹	۰/۱۸۵
FT	۰/۶۸۱	۰/۵۹۹	۰/۱۸۰
SDSP	۰/۸۵۲	۰/۷۸۲	۰/۱۷۶
SL	۰/۷۸۸	۰/۴۳۰	۰/۲۵۵
روش پیشنهادی	۰/۸۹۱	۰/۷۸۹	۰/۱۷۳



شکل (۲): مقایسه نقشه برجستگی روش پیشنهادی با چهارمدل IT,SDSP,SR,FT بر روی پایگاه داده MSRA10K
 Figure (2): Comparison of saliency map of the proposed method with four models of IT, SDSP, SR, FT on MSRA10K database

شکل (۴) نتایج مقایسه مدل‌ها با منحنی ROC را بر روی پایگاه داده MSRA10K نشان می‌دهد. با توجه به این که روش پیشنهادی عملکردی بهتر و در عین حال نزدیک به روش SDSP را از خود نشان می‌دهد، به جهت مقایسه عملکرد این دوروش بر روی تصاویر حاوی بافت، در مرحله بعدی روش پیشنهادی با روش SDSP بر روی برخی از تصاویر انتخاب شده حاوی بافت در مجموعه داده MSRA10K مقایسه می‌شوند. مقایسه تصویری نتایج روش پیشنهادی با روش SDSP بر روی تصاویر حاوی

بافت در شکل (۵) نشان داده شده است. شکل (۶) نتایج مقایسه منحنی ROC روش پیشنهادی با SDSP و جدول (۴) مقادیر AUC محاسبه شده را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل‌های (۵) و (۶) و جدول (۶) مشاهده می‌شود، نتایج کارایی بسیار مناسب‌تر روش ارائه شده در تصاویر عاری از اطلاعات رنگ، تصاویر تاریک و تصاویر حاوی بافت را نشان می‌دهند.



شکل (۳): مقایسه نقشه برجستگی روش پیشنهادی با چهار مدل FT، SR، SDS و IT بر روی پایگاه داده ECSSD

Figure (3): Comparison of saliency map of the proposed method with four models of IT, SDSP, SR, FT on ECSSD database

Table (5): Comparison of evaluation criteria of the proposed method with other methods on the MSRA10K database

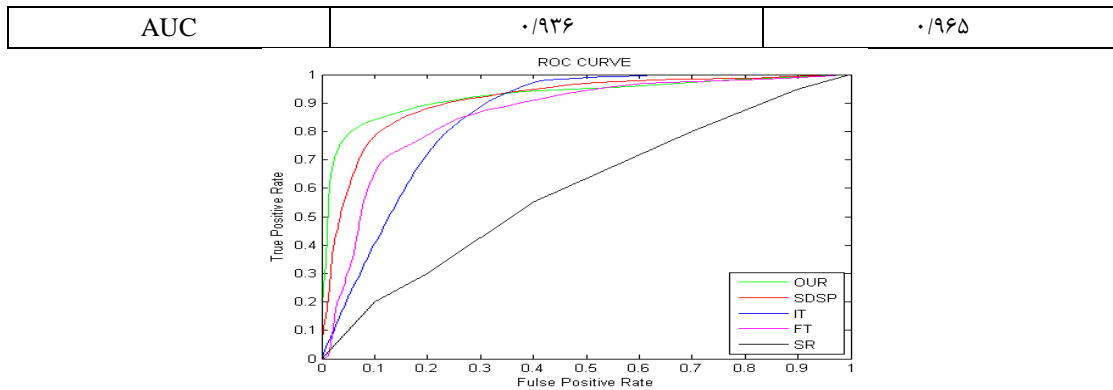
جدول (۵): مقایسه معیارهای ارزیابی روش پیشنهادی با سایر روشها بر روی پایگاه داده MSRA10K

معیار / مدل	میانگین خطای مطلق	امتیاز معیار F	سطح زیر منحنی
IT	۰/۲۱۵	۰/۲۸۵	۰/۷۳۷
SR	۰/۲۴۲	۰/۳۳۵	۰/۵۹۵
FT	۰/۲۳۱	۰/۶۴۵	۰/۸۲۸
SDSP	۰/۱۸۸	۰/۷۶۰	۰/۹۰۷
SL	۰/۱۸۱	۰/۷۷۵	۰/۸۴۵
روش پیشنهادی	۰/۱۷۸	۰/۷۹۰	۰/۹۱۹

Table (6): Comparison of the proposed method AUC with the SDSP method on images containing texture in the MSRA10K database

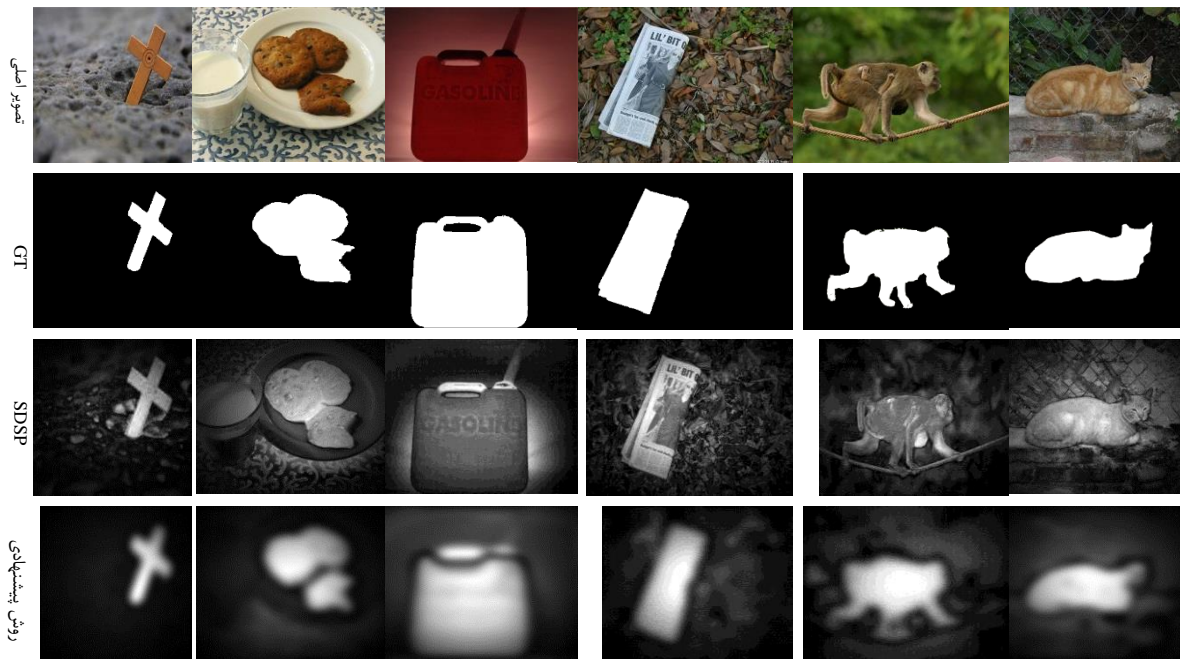
جدول (۶): مقایسه AUC روش پیشنهادی با روش SDSP بر روی تصاویر حاوی بافت در پایگاه داده MSRA10K

مدل	SDSP	روش پیشنهادی



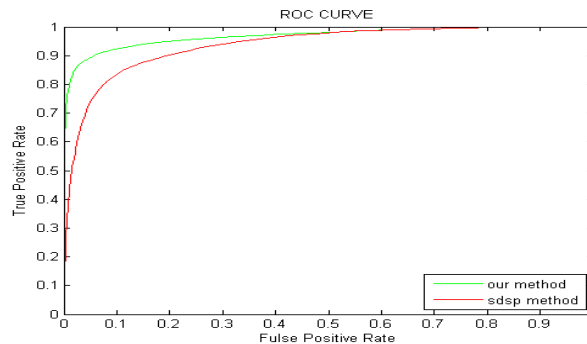
شکل (۴): مقایسه منحنی ROC مدلها بر روی پایگاه داده MSRA10K

Figure (4): Comparison of ROC curves of models on MSRA10K database



شکل (۵): مقایسه بصری نتایج روش پیشنهادی با روش SDSP بر روی تصاویر حاوی بافت

Figure (5): Visual comparison of the results of the proposed method with the SDSP method on images containing texture



شکل (۶): مقایسه منحنی ROC روش پیشنهادی با روش SDSP بر روی تصاویر حاوی بافت در پایگاه داده MSRA10K

Figure (6): Comparison of ROC curve of proposed method with SDSP method on images containing texture in MSRA10K database

۴- نتیجه گیری

نتایج پیاده‌سازی‌ها نشان می‌دهد که الگوریتم ترکیبی پیشنهادی برای تشخیص نقشه برجستگی با استفاده از داده‌های رنگ و بافت، علیرغم استفاده از داده‌های متنوع، پاسخ خوبی روی مجموعه داده دارد. دلیل توفیق این روش ترکیبی این است که دقت

داده‌ها را به حد مورد نیاز الگوریتم کاهش داده و از ورود داده‌های اضافی به الگوریتم جلوگیری شده است. کاهش تعداد رنگ تصویر، کاهش کانال‌های رنگ از سه به دو، استفاده مناسب از کمترین اطلاعات بافت در روش ترکیبی به نحوی که خطاهای موجود در استخراج ویژگی‌های بافت کمترین اثر مخرب در تصاویر عاری از بافت را داشته باشد باعث شده که عملکرد روش بر روی تمام مجموعه داده‌ها بهتر باشد.

References

مراجع

- [1] R. Nasiripour, H. Farsi, S. Mohamadzadeh, "Visual saliency object detection using sparse learning", *IET Image Processing*, vol. 13, no. 13, pp. 2436-2447, Nov, 2019 (doi: /10.1049/iet-ipr.2018.6613).
- [2] P. Etezadifar, H. Farsi, "Scalable video summarization via sparse dictionary learning and selection simultaneously", *Multimedia Tools and Applications*, vol. 76, no. 6, pp. 7947-7971, 2017 (doi: 10.1007/s11042-016-3433-z).
- [3] M. Guo, Y. Zhao, C. Zhang, Z. Chen, "Fast object detection based on selective visual attention", *Neurocomputing*, vol. 144, pp. 184-197, Nov. 2014 (doi: 10.1016/j.neucom.2014.04.054).
- [4] V. Bhateja, M. Nigam, A.S. Bhadauria, A. Arya, E.Y.D. Zhang, "Human visual system based optimized mathematical morphology approach for enhancement of brain MR images", *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, pp. 1-9, July 2019 (doi: 10.1007/s12652-019-01386-z).
- [5] Y. Ding, "Human visual system and vision modeling", *Visual Quality Assessment for Natural and Medical Image*, pp. 27-43, 2018 (doi: 10.1007/978-3-662-56497-4_3).
- [6] P. Lv, S. Sun, C. Lin, G. Liu, "A method for weak target detection based on human visual contrast mechanism", *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 16, no. 2, pp. 261-265, Feb 2018 (doi: 10.1109/LGRS.-2018.2866154).
- [7] M.H. Karimi, R. Ebrahimipour, N. Bagheri, "A human visual system based temporal model for semantic levels categorization", *IEEE Access*, vol. 9, pp. 32873-32881, 2020 (doi: 10.1109/ACCESS.2020.2966507).
- [8] P. Sharma, "Perceptual image difference metrics, saliency maps and eye tracking", *Master's Thesis*, 2008.
- [9] Z.H. Chen, Y. Liu, B. Sheng, J.N. Liang, J. Zhang, Y.B. Yuan, "Image saliency detection using gabor texture cues", *Multimedia Tools and Applications*, vol. 75, no. 24, pp. 16943-16958, 2016 (doi: 10.1007/s11042-015-2965-y).
- [10] Y. Chen, J. Tao, Q. Zhang, K. Yang, X. Chen, J. Xiong, R. Xia, J. Xie, "Saliency detection via the improved hierarchical principal component analysis method", *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2020, Article Number: 8822777, May 2020 (doi: 10.1155/2020/8822777).
- [11] K. Zolna, K.J. Geras, K. Cho, "Classifier-agnostic saliency map extraction", *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 19, Article Number: 102969, July 2020 (doi: 10.1016/j.cviu.2020.102969).
- [12] K. Duncan, S. Sarkar, "REM: Relational entropy-based measure of saliency", *Proceedings of the ICCV/GIP*, pp. 40-47, 2010 (doi: 10.1145/1924559.1924565).
- [13] O.L. Meur, P.L. Callet, D. Barba, D. Thoreau, "A coherent computational approach to model bottom-up visual attention", *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 28, no. 5, pp. 802-817, May 2006 (doi: 10.1109/TPAMI.2006.86).
- [14] Y.F. Ma, H.J. Zhang, "Contrast-based image attention analysis by using fuzzy growing", *Proceedings of ACM*, pp. 374-381, Nov. 2003 (doi: 10.1145/957013.957094).
- [15] Z. Yu, H.S. Wong, "A rule based technique for extraction of visual attention regions based on real-time clustering", *IEEE Trans. on Multimedia*, vol. 9, no. 4, pp. 766-784, June 2007 (doi: 10.1109/TMM.2007.7.893351).
- [16] D. Chen, T. Jia, C. Wu, "Visual saliency detection: from space to frequency", *Signal Processing: Image Communication*, vol. 44, pp. 57-68, May 2016 (doi: 10.1016/j.image.2016.03.003).
- [17] M. Zhang, Y. Wu, Y. Du, L. Fang, Y. Pang, "Saliency detection integrating global and local information", *Journal of Visual Communication and Image Representation*, vol. 53, pp. 215-223, May 2018 (doi: 10.1016/j.jvcir.2018.03.019).
- [18] Z. Rahman, Y.F. Pu, M. Aamir, F. Ullah, "A framework for fast automatic image cropping based on deep saliency map detection and gaussian filter", *International Journal of Computers and Applications*, vol. 41, no. 3, pp. 207-217, 2019 (doi: 10.1080/1206212X.2017.1422358).
- [19] S. Goferman, L. Zelnik-Manor, A. Tal, "Context-aware saliency detection", *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 34, no. 10, pp. 1915-1926, Oct 2012 (doi: 10.1109/TPAMI.2011.272).
- [20] M. Sadeghi, H. marvi, A. Ahmadifard, "A new and efficient feature extraction method for robust speech recognition based on fractional fourier transform and differential evolution optimizer", *Journal of Modeling in Engineering*, vol. 18, no. 61, pp. 85-96, 2020 (doi: 10.22075/JME.2020.19267.1821).

- [21] P.F. Felzenszwalb, D.P. Huttenlocher, "Efficient graph-based image segmentation", *International journal of Computer Vision*, vol. 59, no. 2, pp. 167-181, 2004 (doi: 10.1023/B:VISI.0000022288.19776.77).
- [22] L. Itti, C. Koch, E. Niebur, "A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 20, no. 11, pp. 1254-1259, Nov. 1998 (doi: 10.1109/34.73-0558).
- [23] L. Itti, C. Koch, "Computational modelling of visual attention", *Nature Reviews Neuroscience*, vol. 2, no. 3, pp. 194-203, 2001 (doi: 10.1038/35058500).
- [24] R. Achanta, S. Hemami, F. Estrada, S. Susstrunk, "Frequency-tuned salient region detection", *Proceeding of the IEEE/CVPR*, pp. 1597-1604, Miami, FL, USA, June 2009 (doi: 10.1109/CVPR.2009.5206596).
- [25] L. Zhang, L. Yang, T. Luo, "Unified saliency detection model using color and texture features", *PloS One*, vol. 11, no. 2, Article Number: e0149328, Feb. 2016 (doi: 10.1371/journal.pone.0149328).
- [26] H. Zhang, W. Wang, G. Su, L. Duan, "A simple and effective saliency detection approach", *Pattern Recognition (ICPR)*, pp. 186-189, Tsukuba, Japan, Nov. 2012.
- [27] F. Perazzi, P. Krähenbühl, Y. Pritch, A. Hornung, "Saliency filters: Contrast based filtering for salient region detection", *Proceeding of the IEEE/CVPR*, pp. 733-740, Providence, RI, USA, June 2012 (doi: 10.1109/CVPR.2012.6247743).
- [28] L. Itti, C. Koch, "Feature combination strategies for saliency-based visual attention systems", *Journal of Electronic imaging*, vol. 10, no. 1, pp. 161-169, 2001 (doi: 10.1117/1.1333677).
- [29] X. Hou, L. Zhang, "Saliency detection: A spectral residual approach", *Proceeding of the IEEE/CVPR*, pp. 1-8, Minneapolis, MN, USA, June 2007 (doi: 10.1109/CVPR.2007.383267).
- [30] G. Yildirim, S. Susstrunk, "FASA: Fast, accurate, and size-aware salient object detection", *Proceeding of the in ACCV*, pp. 514-528, Singapore, Singapore, Nov. 2014 (doi: 10.1007/978-3-319-16811-1_34).
- [30] X. Xu, N. Mu, L. Chen, X. Zhang, "Hierarchical salient object detection model using contrast-based saliency and color spatial distribution", *Multimedia Tools and Applications*, vol. 75, no. 5, pp. 2667-2679, 2016 (doi: 10.1007/s11042-015-2570-0).
- [32] L. Zhang, J. Dai, H. Lu, Y. He, G. Wang, "A bi-directional message passing model for salient object detection", *Proceeding of the IEEE/CVPR*, pp. 1741-1750, Lake City, UT, USA, June 2018 (doi: 10.1109/CVPR.2018.00187).
- [33] Z. Luo, A. Mishra, A. Achkar, J. Eichel, S. Li, P.M. Jodoin, "Non-local deep features for salient object detection", *Proceeding of the IEEE/CVPR*, pp. 6609-6617, Honolulu, HI, USA, July 2017 (doi: 10.1109/CVPR.2017.698).
- [34] S. Jia, N.D. Bruce, "Richer and deeper supervision network for salient object detection", *Computer Vision and Pattern Recognition*, Article Number: arXiv:1901.02425, Jan. 2019 (doi: 10.48550/arXiv.1901.02425).
- [35] R.C. Gonzalez, R.E. Woods, "Object recognition", *Digital Image Processing*, 3rd Edition, Pearson, pp. 861-909, 2008.
- [36] N. Chaji, H. Ghassemian, "Texture-gradient-based contour detection", *EURASIP Journal on Applied Signal Processing*, vol. 2006, pp. 1-8, 2006 (doi: 10.1155/ASP/2006/21709).
- [37] M.M. Cheng, N.J. Mitra, X. Huang, P.H. Torr, S.M. Hu, "Global contrast based salient region detection", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 37, no. 3, pp. 569-582, 2015 (doi: 10.1109/TPAMI.2014.2345401).
- [38] Q. Yan, L. Xu, J. Shi, J. Jia, "Hierarchical saliency detection", *Proceeding of the IEEE/CVPR*, pp. 1155-1162, Portland, OR, USA, June 2013 (doi: 10.1109/CVPR.2013.153).
- [39] L. Zhang, Z. Gu, H. Li, "SDSP: A novel saliency detection method by combining simple priors", *Processing of the IEEE/ICIP*, pp. 171-175, Melbourne, VIC, Australia, Sept. 2013 (doi: 10.1109/ICIP.2013.6738036).

1. F-measure score
2. Receiver operating characteristic
3. Area under curve
4. Mean absolute error
5. True positive
6. False positive
7. False negative
8. Ground truth
9. Frequency tuned method
10. Spectral residual approach
11. Saliency detection method by combining simple prior
12. Sparse learning