مجله علمی پژوهشی «علوم و فناوری‌های پدافند نوین»
سال هشتم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۶؛ ص ۱۱۱-۹۷

طراحی الگوهای استتار مرئی برای ابنیه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

صفا خزایی[۱*]، ابوالفضل کهده نارویی[۲]
۱- استادیار، ۲- کارشناسی ارشد، دانشگاه جامع امام حسین (ع)
(دریافت: ۹۴/۱۰/۱۵، پذیرش: ۹۵/۰۲/۲۱)

چکیده

استفاده از الگوهای استتار مناسب برای ابنیه، یکی از چالش‌های موجود در حوزه پدافند غیرعامل است. در این تحقیق با هدف طراحی الگوهای استتار مرئی، یک روش خودکار بر مبنای پردازش تصاویر ماهواره‌ای با توان تفکیک مکانی بالا ارائه شده است. در این روش، ابتدا محدوده ساختمان مورد نظر بر روی تصویر ماهواره‌ای مشخص و از تصویر حذف می‌گردد. سپس به کمک روش تولید بافت، تصویر آن محدوده با استفاده از محدوده‌های پیرامونی ساختمان بازسازی می‌شود. در مرحله بعد، از تصویر بازسازی شده محدوده ساختمان، رنگ‌های اصلی به کمک الگوریتم خوشه‌بندی K-means استخراج شده و سپس الگوی استتاری با تخصیص رنگ مرکز هر خوشه به همه پیکسل‌های تصویری آن خوشه ایجاد می‌شود. الگوی استتاری به‌دست آمده بر روی دو مجموعه داده متفاوت به دو صورت ارزیابی بصری و محاسبه میزان برجستگی ارزیابی شده است. موفقیت الگوی طراحی شده در ارزیابی بصری و همچنین کاهش ۲۷ درصدی میزان برجستگی در مجموعه داده دوم، توانایی بالای روش پیشنهادی در استتار ابنیه را نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: طراحی الگو، استتار مرئی، بافت، تصاویر ماهواره‌ای، خوشه‌بندی

Designing Visible Camouflage Patterns for Buildings Using Satellite Images

S. Khazaei[*], A. Kahdeh Narouei
Imam Hossein University
(Received: 05/01/2016; Accepted: 10/05/2016)

Abstract

Designing a suitable camouflage pattern for a building is one of the fundamental challenges in the field of passive defence. In this study, to design visible camouflage patterns, an automatic method based on high resolution satellite images processing is proposed. In the proposed method, the area around the target building on the image is first removed. Then, using the surrounding of the removed part, an artificial image is reconstructed by a texture extraction method. In the next step, the main colors of the image are extracted from reproduced image using K-means clustering algorithm, and then, the camouflage pattern is created by assigning the color of center of each cluster to all pixels of that cluster. The obtained camouflage pattern is evaluated on two different dataset in both visual assessment and computation the saliency value. Successful visual assessment and the 27 percent decrease in obtained saliency value using the second dataset indicate the high ability of the proposed method to camouflage buildings.

Keywords: Pattern Design, Visible Camouflage, Texture, Satellite Images, Clustering

[*]Corresponding Author E-mail: skhazai@ihu.ac.ir

۱. مقدمه

استتار یکی از ابزارهای مؤثر و رایج در حل مشکل شناسایی در مباحث نظامی است که به کمک آن می‌توان تجهیزات نظامی را در صحنه طبیعی پنهان کرد. روش‌های مختلفی برای ارائه الگوی استتار تاکنون طراحی و پیاده‌سازی شده است.

باسیس و دنتیس [۱] یک روش تولید الگوی استتار مرئی رایانه‌ای برای ساختمان‌های امنیتی بر اساس محیط و شرایط اطراف ساختمان ارائه نمودند. ارزیابی طرح ارائه شده نیز بر اساس احتمال شناسایی طرح توسط ناظر انجام شده است. هاجرویست و همکارانش [۲] نیز برای لباس نظامیان کشورهای مختلف برای مناطق شهری با توجه به رنگ و بافت محیط، طرح‌های مختلف ارائه کرده‌اند. شفیعی و همکاران [۳] نرم‌افزاری جهت مصارف استتاری معرفی نموده‌اند که با استفاده از آن می‌توان الگوهای استتار مختلف را مورد بررسی قرار داد. در مقاله دیگری اقدامات استتار درون ساخته که در حین طراحی و ساختن هدف به‌کار می‌رود، مورد بررسی قرار گرفته است [۴].

بختیاری [۵] در پایان‌نامه خود مدلی بومی برای طراحی الگوهای رنگی استتاری ارائه کرده است. روش ارائه شده ابتدا تصویری از منطقه‌ای که قرار است الگوی استتاری برای آن تهیه شود، گرفته می‌شود. پس از آن پردازش‌های اولیه صورت گرفته و سپس روش خوشه‌بندی فازی C-means اجرا می‌گردد. هدف از خوشه‌بندی، به‌دست آوردن یک طرح اولیه از الگوی مورد نظر است. پس از خوشه‌بندی مراکز خوشه‌ها نیز به عنوان رنگ‌های اصلی در نظر گرفته می‌شود. همچنین، یک الگوی چند مقیاسه برای استتار لباس سربازان در محیط‌های شهری ارائه شده که در آن از دو معیار برای ارزیابی الگوی ارائه شده استفاده شده است [۶].

معیار اول زمان مورد نیاز برای تشخیص هدف استتارشده توسط تعدادی ناظر و در معیار دوم میزان برجستگی تصویر در محل هدف است. همچنین، نشان داده شد که این دو معیار کاملاً همبسته می‌باشند. در یک کار جدیدتر، طرح استتار دیجیتال با بهره‌گیری از شباهت رنگ‌ها انجام شده است [۷]. در این طرح، ابتدا رنگ‌های اصلی زمینه استخراج شده و سپس رنگ پیکسل‌های هدف با رنگ‌های استخراج شده‌ای که دارای بیشترین شباهت است جایگزین می‌شود. ارزیابی روش به کمک استخراج مرز نیز توانایی روش در استتار اهداف مختلف را نشان داد. درنهایت روشی برای تولید الگوی رقومی استتار ارائه شده است که در آن به کنتراست و بافت تصویر توجه ویژه‌ای شده است [۸]. در این روش نیز ابتدا رنگ‌های اصلی توسط الگوریتم خوشه‌بندی از تصویر استخراج شده است و سپس در الگوی استتار از این رنگ‌ها استفاده شده است. توجه به کنتراست در این روش باعث شده است که الگوی ارائه شده کاملاً هماهنگ با هدف بوده و در نتیجه احتمال کشف آن هدف را کاهش دهد.

روش‌های بیان شده توانایی بالایی در طراحی الگوهای بومی برای البسه و تجهیزات نظامی دارند ولی در ایجاد الگوی مناسب برای مواردی مانند ابنیه نظامی ناتوان است. دلیل آن نیز این است که برای طراحی الگو با استفاده از این روش‌ها باید از تصویر محل استفاده شود در حالی که در طراحی الگو برای ابنیه به دلیل وجود بناها این تصویر اولیه وجود ندارد. از طرف دیگر از آنجایی که بین رنگ‌های مختلف در الگوی ایجاد شده مرز مشخص وجود دارد، طرح تولید شده دارای تفاوت آشکار با محیط اطراف آن خواهد بود و در نتیجه قدرت کافی در استتار بصری نخواهد داشت و احتمال شناسایی توسط نیروهای دشمن را افزایش می‌دهد. همچنین، تعدادی از این روش‌ها دارای محاسبات پیچیده و زمان‌بر بوده که عملاً برای استفاده در تصاویر ماهواره‌ای مناسب نمی‌باشند. بنابراین الگوی مناسب برای استتار ابنیه نظامی با کمک تصاویر ماهواره‌ای باید شرایط زیر را داشته باشد:

- قیود رنگی: رنگ‌های اصلی به‌کار گرفته شده باید با پس‌زمینه کاملاً هماهنگ باشد به طوری که توسط چشم یا وسایل اپتیکی دشمن قابل شناسایی نباشد. به عبارت دیگر بین رنگ‌های استخراج شده و رنگ‌های پس‌زمینه نباید تفاوت شدت و روشنایی وجود داشته باشد. البته در صورتی که شدت رنگ‌های اصلی از رنگ‌ها پس‌زمینه اندکی کمتر باشد نتیجه کار بهتر نیز خواهد بود.
- قیود بافتی: بافت طراحی شده برای ابنیه باید کاملاً شبیه به محیط اطراف آن بنا (پس‌زمینه) باشد. به ویژه اینکه مرز بنا به هیچ وجه نباید مشخص باشد. وجود مرز باعث شناسایی بنا توسط الگوریتم‌های استخراج مرز به‌کار گرفته شده توسط دشمن می‌شود. همچنین، الگوی طراحی شده باید کاملاً طبیعی به نظر برسد و همچنین باعث قطع و ایجاد گسستگی در بین الگوی طبیعی منطقه نشود. به عنوان مثال اگر منطقه دارای طرح نوار است، الگوی طراحی شده نباید باعث قطع نوارها شود.
- قیود محاسباتی: طرح ارائه شده در تمام مراحل باید ساده بوده و در کمترین زمان ممکن الگوی مورد نظر را ارائه کند. این امر در استفاده از تصاویر ماهواره‌ای دارای اهمیت بالایی است.

از آنجایی که این سه شرط در این تحقیق در طراحی الگوی استتار مد نظر قرار گرفته است، انتظار می‌رود که الگوی طراحی شده دارای توانایی بالا در استتار ابنیه نظامی باشد.

به طور کلی می‌توان شیوه‌های استتار را به دو نوع استتار طبیعی و مصنوعی طبقه‌بندی نمود. استتار طبیعی به طور طبیعی به وجود آمده و انسان در ایجاد آن نقشی ندارد در حالی که در استتار مصنوعی از تجهیزاتی مانند تور یا پارچه استفاده می‌شود. در استتار مصنوعی شناخت محیط و رنگ طبیعی آن از اهمیت خاصی برخوردار است و باید به طور مناسب مورد توجه قرار گیرد [۱]. به منظور استتار ابنیه روش‌های متفاوتی وجود دارد که تشخیص استفاده از آن به عواملی مانند محل، شکل محیط و ابعاد منطقه بستگی دارد. مخفی نمودن، همگون‌سازی و شبیه‌سازی روش‌های مرسوم استتار می‌باشند که برای ابنیه نظامی با توجه به ارتفاع و وسعت بنا و همچنین محلی که بنا قرار گرفته است، می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند.

در این تحقیق، به منظور تولید الگوی استتار، ابتدا با استفاده از یک الگوریتم تولید بافت از تصویر، بافت مناسب برای محل مورد نظر برای استتار مرئی تولید می‌شود. تولید بافت به‌گونه‌ای باید انجام شود که هنگامی که توسط ناظر انسانی مشاهده می‌گردد کاملاً طبیعی به نظر برسد. در راستای تحقق این هدف دو مسئله اصلی وجود دارد: ۱- مدل‌سازی: چگونه یک فرآیند تصادفی از بافت داده شده برآورد شود؟ ۲- نمونه‌برداری: فرآیند نمونه‌برداری موفق برای تولید بافت جدید از بافت اولیه چیست؟ هر دو مسئله مدل‌سازی و نمونه‌برداری برای موفقیت در طرح تولید شده نهایی دارای اهمیت بالایی می‌باشند. درستی بافت تولید شده از لحاظ دیداری اساساً به‌دقت مدل‌سازی بستگی دارد در حالی که اثر نمونه‌برداری مناسب در پیچیدگی محاسبات نقش مؤثری دارد.

بافت تصویر به ما اطلاعاتی از نحوه آرایش مکانی شدت‌ها در تصویر را ارائه می‌کند. بافت از عناصر اولیه که عناصر بافت نامیده می‌شوند، تشکیل شده است. بافت می‌تواند ریز، خشن، دانه‌دانه، منظم و ... باشد. هدف از آنالیز بافت فراهم نمودن اطلاعات توزیع مکانی تغییرات شدت در تصویر است. مدل‌سازی ریاضی بافت تصویر با استفاده از روش‌های گوناگون صورت می‌گیرد که هر کدام از آن‌ها بر اساس تعاریف مختلف ارائه شده از بافت است. آنالیز بافت در این تعدادی از روش‌ها بر اساس مدل‌سازی تصویر با استفاده از الگوریتم‌های مختلف اجرا می‌شود. از مهم‌ترین روش‌های مدل‌سازی بافت می‌توان به مدل میدان تصادفی مارکوف (MRF)[1] اشاره نمود. از آنجایی که هدف اصلی بازسازی تصویر تولید مجدد قسمتی از دنیای واقعی است، استفاده از بافت در این بازسازی ضروری به نظر می‌رسد. تولید بافت روش بسیار مناسبی در بازسازی تصویر است، چرا که قابل اجرا بر روی هر تصویر با ابعاد و نوع بافت دلخواه را دارد. استفاده از آن نیز در کاربردهای مختلفی مانند حذف نویز از تصویر، حذف خطای نوارنوارشدگی و فشرده‌سازی تصویر رواج دارد.

در این تحقیق، از یک الگوریتم بسیار ساده استفاده شده است که با استفاده از آن می‌توان انواع بافت‌های دارای ویژگی‌های مختلف تولید نمود. ورودی این الگوریتم فقط یک قطعه از تصویر است که برای تولید بافت از الگوی بافت آن قطعه استفاده شود. به منظور اینکه بافت تولید شده برای ابنیه نظامی شبیه مناطق اطراف ابنیه باشد، بهتر است که بافت ورودی اطراف آن بنا انتخاب گردد. روش ارائه شده بسیار انعطاف‌پذیر بوده و استفاده از آن هم بسیار ساده است. بافت جدید تولید شده کاملاً متناسب با بافت ورودی بوده و در یک زمان به نسبت کوتاه تولید می‌شود. مزیت کلیدی این روش سرعت و کیفیت آن است. کیفیت این روش برتر یا معادل با دیگر روش‌های موجود است [۹] در حالی که اجرای آن سریع‌تر است. همین مسئله باعث می‌شود که این روش قابلیت اجرا بر روی تصاویر ماهواره‌ای نیز داشته باشد. در زمینه تولید بافت نیز مشابه با تولید الگوی استتار، کارهای زیادی انجام شده است که در این بخش به آن پرداخته می‌شود.

شبیه‌سازی فیزیکی: با شبیه‌سازی فرآیند فیزیکی ایجاد یک سطح مشخص می‌توان بافت و تصویر ایجادشده از آن سطح را نیز تولید نمود. برای مثال الگوهای بیوفیزیکی مانند خز، پولک و پوست می‌تواند توسط روش‌های انعکاس بخش[2] [۱۰] و یا بافت‌گذاری سلولی[3] [۱۱] تولید شود. همچنین، بافت‌های پدیده‌های معدنی می‌تواند توسط شبیه‌سازی با جزئیات بیشتر [۱۲] باز تولید شود. در این روش‌ها، بافت به طور مستقیم از سطح سه‌بعدی تولید می‌شود که در نتیجه بافت تولیدی دارای کمترین مقدار اشکال است. با این حال، بافت تولیدی برای سطوح مختلف توسط مدل‌های فیزیکی متفاوت تولید می‌شود و بنابراین، برای هر کلاس از بافت باید مدل فیزیکی مخصوصی ارائه شود که این مسئله استفاده از این روش‌ها را بسیار پیچیده و محدود می‌کند.

میدان‌های تصادفی مارکوف: این دسته از روش‌ها بافت موجود را به کمک MRF مدل نموده و سپس با نمونه‌برداری احتمالی بافت جدید را تولید می‌کند [۱۶-۱۳]. همان‌طور که توانایی MRF در مدل‌سازی طیف گسترده‌ای از بافت‌ها اثبات شده است، نتایج این روش‌ها مناسب بوده است. عیب اصلی این روش‌ها محاسبات زمان‌بر آن است، به طوری که بعضی از روش‌های ارائه شده به ساعت‌ها زمان برای اجرا نیاز دارد [۹].

[1] Markov Random Field

[2] Reaction Diffusion

[3] Cellular Texturing

روش‌های تطابق ویژگی: تعدادی از الگوریتم‌ها، بافت را به کمک مجموعه‌ای از ویژگی‌های استخراج شده از تصویر موسوم به ویژگی‌های بافت مدل می‌کنند. سپس تصویر جدید را با استفاده از تطابق ویژگی در تصویر نمونه تولید می‌کنند [۹، ۱۷ و ۱۸]. این دسته از الگوریتم‌ها از دسته قبل مؤثرتر می‌باشند [۹]. هیگر و همکاران [۱۷] با استفاده از تطابق هیستوگرام‌های حاشیه‌ای از هرم‌های تصویر، تولید بافت انجام شده است. این روش در تولید بافت‌های بسیار تصادفی بسیار موفق بود اما در تولید بافت‌های دارای ساختار منظم‌تر ناموفق بود. بُنِت [۱۸] تصویر جدید با تصادفی‌سازی نمونه بافت و با حفظ وابستگی در مقیاس تولید شده است. هر چند این روش نسبت به روش ارائه شده توسط هیگر و همکارانش [۱۷] در تولید بافت‌های دارای ساختار موفق‌تر است اما در نواحی مرزی تصویر دچار اشکالاتی است.

سایمون سِلی و پُرتلی [۹] بافت جدید با تطابق آماره‌های هرم‌های تصویر تولید شده است. این روش نیز در دریافت مشخصات سراسری[1] بافت کارآمد است اما در حفظ مشخصات محلی[2] ناتوان است.

هدف ما در این تحقیق توسعه الگوریتم تولید بافتی است که اولاً از مزایای روش‌های قبلی استفاده کند و تا جایی که امکان دارد معایب آن‌ها را نیز نداشته باشد و ثانیاً قابلیت تولید انواع بافت‌های مختلف را بدون توجه به نوع آن داشته باشد و ثالثاً در تصاویر ماهواره‌ای نیز قابل اجرا باشد. بنابراین از مدل MRF استفاده خواهد شد چراکه توانایی آن در مدل‌سازی انواع مختلف بافت اثبات شده است. برای جلوگیری از محاسبات پیچیده و کاهش زمان اجرا نیز از محاسبه احتمال در این مدل صرف‌نظر نموده و به جای آن مانند روش‌های تطابق ویژگی عمل خواهد شد. پس از تولید بافت، نوبت به استخراج رنگ‌های اصلی و درنهایت تولید الگوی استتار نهایی می‌رسد.

بنابراین، در الگوی طراحی شده در این تحقیق ابتدا قسمتی از تصویر که محل قرارگیری ابنیه نظامی است از تصویر حذف می‌شود. سپس یک ناحیه اطراف قسمت حذف شده به عنوان ناحیه جست‌وجو در نظر گرفته شده و به کمک آن و با استفاده از الگوریتم تولید بافت ارائه شده در این تحقیق، قسمتی از تصویر که حذف شده است مشابه با ناحیه جست‌وجو بازیابی می‌گردد. پس از آن از یک روش خوشه‌بندی به منظور استخراج رنگ‌های اصلی استفاده می‌شود. رنگ‌های اصلی در کاربردهای نظامی به طور معمول چهار یا پنج رنگ اصلی در نظر گرفته می‌شود [۵]. بدین ترتیب، این مقاله از ۵ بخش تشکیل شده است. بخش ۲ الگوریتم‌ها و داده‌های مورد استفاده را توضیح می‌دهد. در بخش ۳ الگوریتم روش پیشنهادی توضیح داده می‌شود. بخش ۴ به ارائه نتایج اجرای الگوریتم پیشنهادی می‌پردازد و درنهایت نیز نتیجه‌گیری در بخش ۵ ارائه شده است.

۲. روش تحقیق

۲-۱. الگوریتم تولید بافت

در این روش ابتدا ناحیه‌ای که قرار است برای آن بافت تولید شود مشخص شده و سپس یک همسایگی مناسب انتخاب می‌گردد. ابعاد همسایگی انتخابی در کیفیت بافت تولید شده و همچنین سرعت تولید بافت کاملاً مؤثر است. هر چه ابعاد همسایگی بزرگ‌تر باشد، کیفیت بافت تولیدی بیشتر است در حالی که باعث بزرگ‌تر شدن فضای جست‌وجو شده و در نتیجه زمان محاسبات افزایش می‌یابد. بنابراین لازم است بین کیفیت بافت و زمان اجرا یک تعادل برقرار گردد.

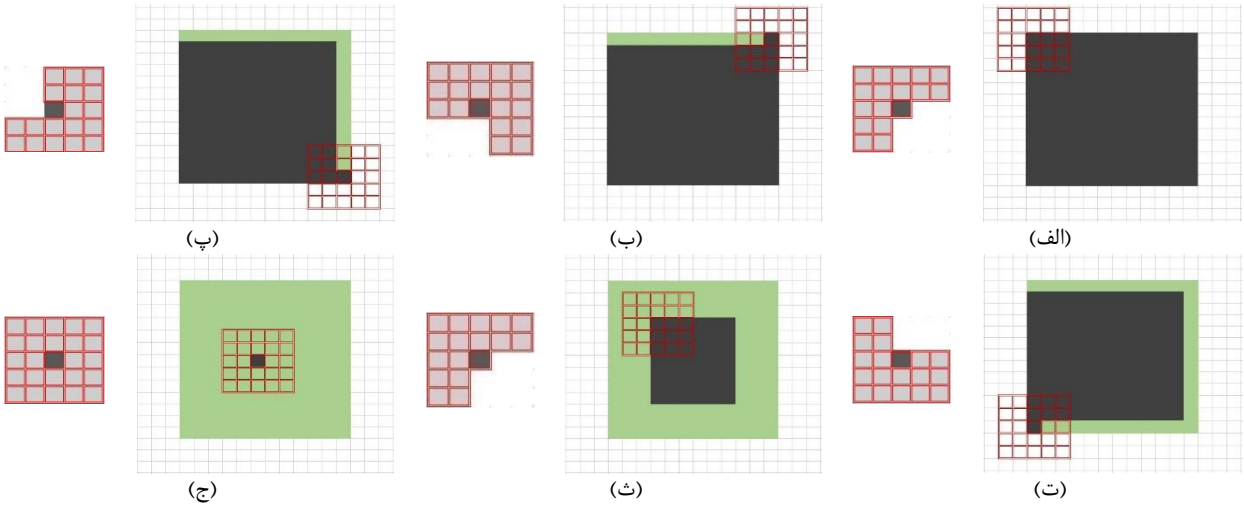
پس از انتخاب ناحیه جست‌وجو، می‌توان بافت مورد نظر را تولید نمود. بدین منظور بر روی قسمتی که قرار است تولید بافت برای آن انجام شود (ناحیه بازیابی)، یک کرنل با ابعاد دلخواه حرکت کرده و هر بار مقدار پیکسل مرکزی کرنل مشخص می‌شود. نحوه مشخص‌سازی پیکسل مرکزی نیز بدین صورت است که مقادیر همسایگی پیکسل قرار گرفته در کرنل با تمام همسایگی‌های موجود در ناحیه جست‌وجو مقایسه می‌شود و مقدار پیکسلی که بیشترین شباهت را دارد به عنوان مقدار پیکسل مرکزی در ناحیه بازیابی انتخاب می‌گردد. برای محاسبه میزان شباهت نیز از نرم L2 استفاده می‌شود. در نتیجه این الگوریتم شباهت محلی در ناحیه بازیابی و ناحیه جست‌وجو حفظ می‌گردد. همین کار برای تمام پیکسل‌های ناحیه بازیابی تکرار می‌شود تا جایی که بافت کل ناحیه تولید شود.

نحوه حرکت کرنل در بسیاری از تحقیقات گذشته به صورت حرکت از سمت چپ به راست و بالا به پایین است. این مسئله باعث می‌شود که سطرهای بالایی در بازیابی شبیه به نواحی همسایگی باشد اما هر چه به سمت پایین در ناحیه بازیابی حرکت کنید اختلاف آن با همسایگی بیشتر می‌شود، به طوری که در پایان مرز بین ناحیه یازیابی و پیکسل‌های همسایه کاملاً مشخص است. برای برطرف کردن این مشکل در تحقیقات مختلف الگوریتم‌های زیادی برای حذف اثر مرز با استفاده از نرم‌سازی و دیگر روش‌ها ارائه شده است. این الگوریتم‌ها خود زمان‌بر بوده و باعث افزایش زمان اجرای الگوریتم و در نتیجه افت کارایی روش می‌گردد. در این تحقیق، به منظور جلوگیری از این مسئله نحوه حرکت کرنل به گونه‌ای متفاوت طراحی شده است. همان‌طور که در شکل (۱- الف) نشان داده شده است، کرنل ابتدا بر روی پیکسل اول از ناحیه بازیابی قرار می‌گیرد. سپس تا آخرین پیکسل

[1] Global
[2] Local

ردیف اول به سمت راست حرکت می‌کند (شکل (۱- ب)). پس از آن به سمت پایین حرکت کرده تا به ردیف آخر در همان ستون برسد (شکل (۱- پ)) و از آنجا این بار به سمت چپ حرکت می‌کند تا به اولین ستون در ردیف آخر برسد (شکل (۱- ت)). حال به سمت بالا حرکت می‌کند تا به اولین پیکسل سمت چپ ردیف دوم برسد. از این پیکسل تا آخرین پیکسل نحوه حرکت کرنل به همین صورت ادامه خواهد داشت. شکل (۱- ث) حرکت در یک پیکسل میانی و شکل (۱- ج) قرارگیری کرنل بر روی آخرین پیکسل را نشان می‌دهد. این نحوه حرکت باعث می‌شود که اختلاف پیکسل‌های بازیابی شده و پیکسل‌های همسایه آن در ناحیه بازیابی کمترین مقدار باشد.

توجه شود که در هر بار قرارگیری کرنل در مکان‌های مختلف، مقدار پیکسل مرکزی تعیین می‌شود. شکل (۱) نحوه قرارگیری یک کرنل دارای ابعاد ۵×۵ در موقعیت‌های متفاوت در ناحیه بازیابی (مشخص شده با رنگ مشکی) را نشان می‌دهد. در شکل (۱- الف) کرنل بر روی اولین پیکسل از ناحیه قرار گرفته است. در این همسایگی به گونه‌ای در نظر گرفته می‌شود که پیکسل‌های بدون مقدار در آن قرار نگیرد. به عبارت دیگر کرنل برای هر پیکسل‌های مختلف دارای ساختارهای متفاوت است. برای همسایگی در ناحیه جست‌وجو نیز از همان ساختار کرنل استفاده می‌شود.



شکل ۱. ساختار کرنل و نحوه حرکت کرنل بر روی تصویر از اولین پیکسل (الف) تا آخرین پیکسل (ج)

۲-۲. استخراج رنگ‌های اصلی

یکی از رایج‌ترین روش‌های استخراج رنگ‌های اصلی از تصویر استفاده از روش خوشه‌بندی تصویر است [۱۷]. به دلیل سادگی و سرعت بالای الگوریتم خوشه‌بندی K-means، در این تحقیق به منظور استخراج رنگ‌های اصلی از این روش استفاده شده است. در این الگوریتم، اگر داده‌های ورودی به خوبی خوشه‌بندی شوند، خوشه‌بندی در این روش با تعیین تعداد خوشه‌ها توسط کاربر انجام می‌شود. در این تحقیق پس از تعیین تعداد خوشه‌های بهینه و خوشه‌بندی، مراکز خوشه‌ها که برابر با تعداد خوشه‌ها است، به عنوان رنگ‌های اصلی در نظر گرفته می‌شود. در واقع پس از انجام خوشه‌بندی، رنگ مرکز هر خوشه به تمام پیکسل‌های آن خوشه نسبت داده شده و تصویر به‌دست آمده به عنوان خروجی نهایی در نظر گرفته می‌شود.

۲-۳. الگوریتم خوشه‌بندی K-means

روش K-means یکی از روش‌های خوشه‌بندی داده‌ها در داده‌کاوی است. این روش علی‌رغم سادگی آن یک روش پایه برای بسیاری از روش‌های خوشه‌بندی دیگر محسوب می‌شود. این روش روشی انحصاری و مسطح محسوب می‌شود. برای این الگوریتم شکل‌های مختلفی بیان شده است، ولی همه آن‌ها دارای روالی تکراری هستند که برای تعدادی ثابت از خوشه‌ها سعی در تخمین موارد زیر دارند:

- به‌دست آوردن نقاطی به عنوان مراکز خوشه‌ها این نقاط در واقع همان میانگین نقاط متعلق به هر خوشه هستند.
- نسبت دادن هر نمونه داده به یک خوشه که آن داده کمترین فاصله تا مرکز آن خوشه را دارا باشد.

در نوع ساده‌ای از این روش ابتدا به تعداد خوشه‌های مورد نیاز نقاطی به صورت تصادفی انتخاب می‌شود. سپس در داده‌ها با توجه با میزان نزدیکی (شباهت) به یکی از این خوشه‌ها نسبت داده می‌شوند و بدین ترتیب خوشه‌های جدیدی حاصل می‌شود. با تکرار همین روال می‌توان در هر تکرار با میانگین‌گیری از داده‌ها مراکز جدیدی برای آن‌ها محاسبه کرد و دوباره داده‌ها را به خوشه‌های جدید نسبت داد. این روند تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که دیگر تغییری در داده‌ها حاصل نشود. تابع زیر به عنوان تابع هدف مطرح است:

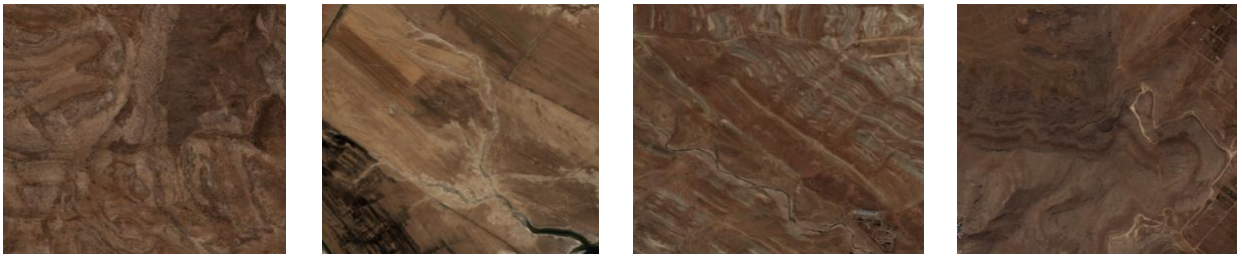
$$J = \sum_{j=1}^{k} \sum_{i=1}^{n} \left\| x_i^{(j)} - c_j \right\|^2 \qquad (۱)$$

که در آن، $\|\ \|$ معیار فاصله بین نقاط و c_j مرکز خوشه j ام است. الگوریتم پایه برای این روش بدین ترتیب است:

۱. در ابتدا k نقطه به عنوان به نقاط مراکز خوشه‌ها انتخاب می‌شوند.
۲. هر نمونه داده به خوشه‌ای که مرکز آن خوشه کمترین فاصله تا آن داده را داراست، نسبت داده می‌شود.
۳. پس از تعلق تمام داده‌ها به یکی از خوشه‌ها، برای هر خوشه یک نقطه جدید به عنوان مرکز محاسبه می‌شود (میانگین نقاط متعلق به هر خوشه).
۴. مراحل ۲ و ۳ تکرار می‌شوند تا زمانی که دیگر هیچ تغییری در مراکز خوشه‌ها حاصل نشود.

۲-۴. داده‌های مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل تصویر چند طیفی ماهواره ایکونوس شهر شیراز شامل چهار باند چند طیفی با قدرت تفکیک مکانی چهار متر و یک باند سیاه و سفید با قدرت تفکیک مکانی یک متر، تهیه شده در سال ۱۳۸۹ است. از تصویر IKONOS مورد استفاده در این تحقیق چهار محدوده با ابعاد ۴۰۰×۴۰۰ پیکسل در محل‌های اطراف شهر و در جایی که هیچگونه عارضه‌ای وجود ندارد از داده‌ها انتخاب شده و مورد استفاده قرار گرفت. محدوده‌های انتخابی در شکل (۲) نشان داده شده است. این محدوده‌ها هر کدام دارای بافت متفاوتی است و قصد داریم بررسی کنیم که آیا استفاده از الگوریتم پیشنهادی قادر به تهیه الگوی مناسب برای تمام بافت‌ها است یا خیر. در این محدوده‌های انتخابی هیچ عارضه‌ای وجود ندارد و محل یک بنای فرضی برای تولید الگو در نظر گرفته می‌شود. بنابراین می‌توان الگوی تولیدشده با استفاده از این روش را با تصویر اصلی در محدوده در نظر گرفته شده برای بنا مقایسه نمود.



شکل ۲. محدوده‌های انتخاب شده از تصویر IKONOS

همچنین، برای بررسی عملکرد روش پیشنهادی در شرایط واقعی‌تر، تصویری از منطقه شمال شرق تهران با استفاده از نرم‌افزار Google Earth تهیه شده است (شکل (۳)).

شکل ۳. تصویر انتخاب شده از Google Earth

۳. روش پیشنهادی

شکل (۴)، الگوریتم روش پیشنهادی را در حالتی که از تصاویر ماهواره‌ای به منظور تولید الگوی استتار ابنیه نظامی استفاده شود را نشان می‌دهد. در ادامه توضیحات مربوط به هر مرحله ارائه شده است.

تصویر ماهواره‌ای: ابتدا تصویر از منطقه مورد نظر دریافت شده و پیش پردازش‌های مورد نیاز با توجه به سنجنده برداشت کننده تصویر انجام می‌شود. تصویر استفاده شده از هر سنجنده و با هر قدرت تفکیکی می‌تواند باشد. پس از آماده‌سازی تصویر، سه باند قرمز، سبز و آبی برای مراحل بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

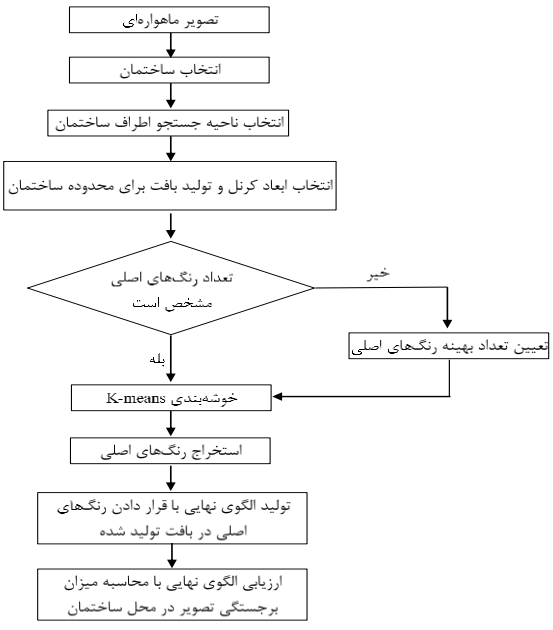
انتخاب ساختمان: در این مرحله محدوده ساختمان یا محوطه‌ای که قرار است طرح استتار برای آن طراحی شود بر روی تصویر مشخص می‌گردد. ابعاد بنای انتخابی هر مقدار بزرگ یا کوچک می‌تواند باشد. همچنین، محل قرارگیری آن در تصویر نیز در هر جایی می‌تواند باشد ولی به منظور اطمینان بیشتر بهتر است در گوشه‌های تصویر نباشد تا بتوان در اطراف آن ناحیه جست‌وجوی مناسب انتخاب کرد.

انتخاب ناحیه جست‌وجوی اطراف ساختمان: همان‌طور که قبلاً بیان شد، الگوریتم تولید بافت نیاز به یک ناحیه در اطراف بنا دارد تا با استفاده از بافت آن ناحیه، بافت مناسب را تولید کند. از آنجایی که هدف نهایی تولید الگوی استتاری است، بهتر است که

ناحیه جست‌وجو دور تا دور بنا انتخاب گردد تا در حاشیه بافت تولید شده برای بنا مرزها مشخص نباشد و شناسایی بنا توسط چشم و یا امکانات دیداری دشمن نظیر ماهواره‌ها ممکن نباشد.

تولید بافت: پس از اینکه ناحیه بازیابی (محدوده انتخاب شده برای بنا) و ناحیه جست‌وجو (اطراف بنا) انتخاب شد، نوبت به اجرای الگوریتم معرفی شده در بخش ۲-۱ است. اجرای این الگوریتم باعث می‌شود که تصویری به‌دست‌آمده فاقد بنا یا محوطه مورد نظر برای استتار باشد.

تعیین تعداد بهینه رنگ‌های اصلی: خروجی مرحله قبل تصویری است که در آن برای محدوده بنا یک تصویر فرضی تولید شده است. حال باید دید که چگونه می‌توان تصویر به‌دست‌آمده را بر روی بنا اعمال نمود. برای این کار نیاز به استخراج تعداد محدودی رنگ است. در تصویر تولید شده تعداد بیشماری رنگ مختلف موجود است که رنگ‌آمیزی بنا و یا ساخت بنا با استفاده از مصالح دارای این تعداد رنگ عملاً غیر ممکن است. بنابراین، نیاز است که تعدادی رنگ غالب از محدوده تصویر مشخص شود. اما مسئله مهم، مشخص نمودن تعداد رنگ‌های بهینه است. ممکن است توسط کاربر تعداد رنگ‌های اصلی برابر با چهار یا پنج رنگ مشخص شود. اما در صورتی که بخواهید تعداد رنگ‌های بهینه را مشخص کنید، از این طریق اقدام می‌شود.



شکل ۴. الگوریتم روش پیشنهادی

ابتدا تعداد رنگ‌های اصلی را برابر با ۱ در نظر گرفته، خوشه‌بندی با تعداد یک خوشه انجام می‌شود که در این صورت کل بنا یک رنگ خواهد داشت. حال تصویر خروجی از این الگوریتم را به‌دست آورده و میزان برجستگی را در محدوده بنا در این تصویر مشخص می‌شود. سپس تعداد رنگ‌های اصلی و در نتیجه تعداد خوشه‌ها را به دوتا نه رنگ افزایش دهید و هر بار میزان برجستگی را محاسبه می‌شود. به طور معمول هر چه تعداد رنگ افزایش یابد میزان برجستگی کاهش و در نتیجه دقت کارایی استتاری الگوی طراحی شده بیشتر است. از طرف دیگر افزایش تعداد رنگ محدودیت‌هایی در اجرای الگو به وجود می‌آورد. بنابراین با استفاده از این روش سعی می‌شود تعداد رنگ بهینه را در جایی که با افزایش تعداد رنگ میزان برجستگی کاهش زیادی نداشته باشد انتخاب کنید.

خوشه‌بندی K-means: در این مرحله ابتدا تصویر بازیابی شده را در محل بنا در تصویر اولیه قرار دهید. حال با در اختیار داشتن تعداد رنگ‌های اصلی، تصویر اولیه در محدوده‌ای شامل محل بنا و ناحیه جست‌وجوی انتخاب شده را به تعداد رنگ‌های اصلی به کمک اگوریتم K-means که در بخش قبل توضیح داده شده است، خوشه‌بندی می‌شود.

استخراج رنگ‌های اصلی: همان‌طور که در بخش ۲-۲ بیان شد، پس از خوشه‌بندی توسط الگوریتم K-means رنگ مراکز خوشه را به عنوان رنگ اصلی در نظر گرفته می‌شود.

تولید الگوی نهایی: حال به تمام پیکسل‌های تصویر، رنگ مرکز خوشه‌ای که در آن قرار گرفته است را می‌دهیم. در این صورت محدوده تصویر در محل هدف (ساختمان یا محوطه مورد نظر برای استتار) برابر است با الگوی نهایی که در این تحقیق طراحی شده است.

ارزیابی: روش ارزیابی الگوی طراحی شده در این تحقیق بر مبنای مقایسه دیداری و محاسبه میزان برجستگی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. بر این اساس از روش تحقیقات [۲۲-۱۹] برای تولید نقشه برجستگی استفاده می‌شود که در ادامه توضیح داده خواهد شد. درنهایت نیز میزان برجستگی میانگین در محل بنا به عنوان معیار مقایسه روش قرار می‌گیرد.

۴. نتایج و بحث

۴-۱. نتایج بر روی تصاویر IKONOS

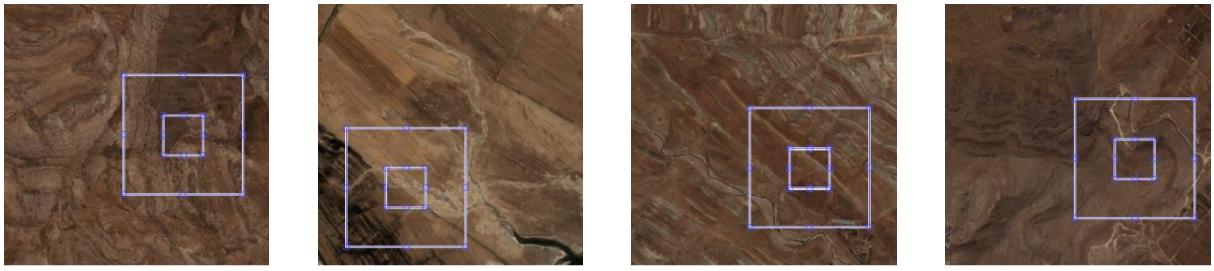
همان‌طور که قبلاً بیان شد، از تصویر IKONOS چهار محدوده دارای بافت‌های مختلف و در سه باند قرمز، سبز و آبی تهیه شده است. بر روی هر محدوده یک منطقه به عنوان بنای نظامی فرضی در نظر گرفته می‌شود. سپس این قسمت از تصویر حذف شده و جای آن از طریق الگوریتم تولید بافت بازیابی صورت می‌گیرد. پس از بازیابی نیز رنگ‌های اصلی استخراج شده و همان‌طور که در بخش قبل توضیح داده شد، الگوی بافت نهایی استخراج می‌شود.

در شکل (۵)، چهار محدوده انتخاب شده به همراه تصویر ساختمان فرضی انتخاب شده بر روی هر یک (مربع آبی رنگ کوچک‌تر) و ناحیه جست‌وجوی انتخاب شده در اطراف آن (مربع

آبی رنگ بزرگ‌تر) نشان داده شده است. همان‌طور که قبل از این بیان شد، این تصاویر در منطقه‌ای بدون وجود هر گونه عارضه انتخاب شده است تا بتوان الگوی طراحی شده را با تصویر اصلی مقایسه نمود. ابتدا ناحیه ساختمان فرضی از تصویر اصلی حذف می‌شود و سپس با استفاده از الگوریتم تولید بافت تصویر در قسمت حذف‌شده بازسازی می‌گردد.

۴-۱-۱. نتایج الگوریتم تولید بافت

همان‌طور که در بخش قبل بیان شد، هر چه ابعاد همسایگی بزرگ‌تر باشد، کیفیت تصویر بازسازی شده بالاتر خواهد بود و از طرف دیگر حجم محاسبات و زمان اجرای الگوریتم افزایش می‌یابد. بنابراین باید بین زمان محاسبات و کیفیت بافت تعادل برقرار گردد. در این تحقیق و به منظور تعیین ابعاد پنجره بهینه، از سمی‌واریوگرام استفاده شد. این نمودار توصیف کننده ویژگی‌های مکانی در فواصل مختلف است [۲۳]. با استفاده از این نمودار، برای هر دو تصویر استفاده شده در این تحقیق، پنجره با ابعاد ۹×۹ به عنوان پنجره بهینه تعیین شد. درنهایت شکل (۶) تصویر اصلی، تصویر پس از حذف ساختمان و تصویر بازسازی شده را نشان می‌دهد.



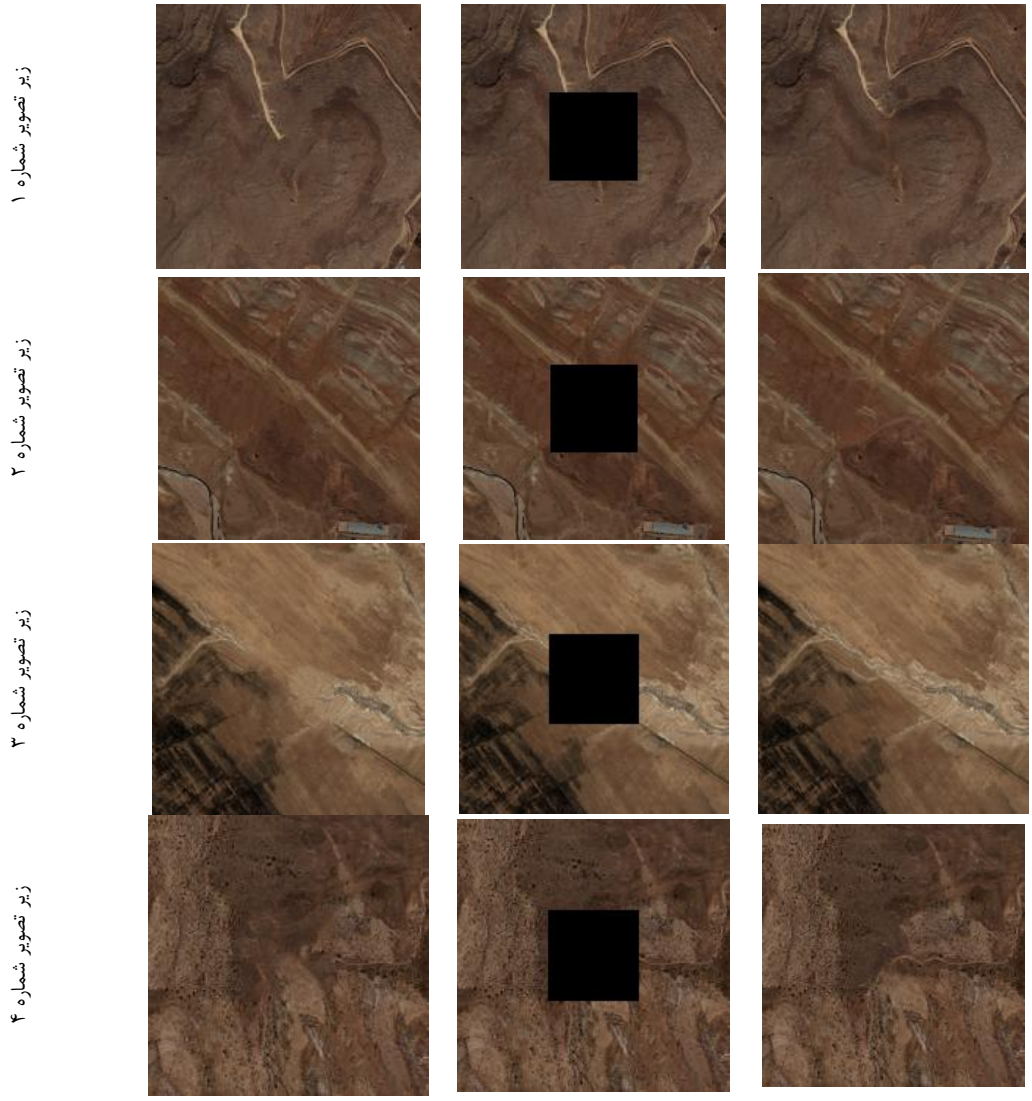
شکل ۵. نواحی انتخاب شده و محل ساختمان و ناحیه جست‌وجوی انتخاب شده بر روی آن‌ها

بررسی تصویر بازسازی شده در شکل (۶) نشان می‌دهد که اولاً این تصاویر کاملاً طبیعی به نظر می‌رسد. ثانیاً در مرزهای نواحی بازسازی شده به هیچ عنوان تفکیک بین منطقه بازسازی شده و بقیه مناطق ممکن نیست. به عبارت دیگر تصویر بازسازی شده به صورت موفقیت‌آمیزی بدون نیاز به اعمال الگوریتم‌های پیچیده برای حذف اثر لبه توانسته است با محیط اطراف هماهنگ باشد. برای مثال رگه با رنگ روشن در محدوده ۱ تا حدودی امتداد یافته است. همچنین، در محدوده ۲ نیز رگه‌ای که از سمت راست قطع شده بود کاملاً بازسازی شده تا در سمت بالا دوباره امتداد یابد این مسئله به طبیعی به نظر رسیدن تصویر کمک قابل توجهی می‌کند. ثالثاً مقایسه تصویر بازسازی شده با تصویر اصلی در ناحیه بازسازی نشان می‌دهد که این دو تصویر مشابهت بالایی از نظر بافت با یک‌دیگر دارند. در مجموع می‌توان گفت که ارزیابی بصری تصویر کارایی الگوریتم تولید بافت را در بازسازی تصویر نشان می‌دهد و از آنجایی که در بسیاری از کاربردهای نظامی از عامل انسانی نیز برای شناسایی استفاده می‌شود، این ارزیابی دارای اهمیت بالایی است.

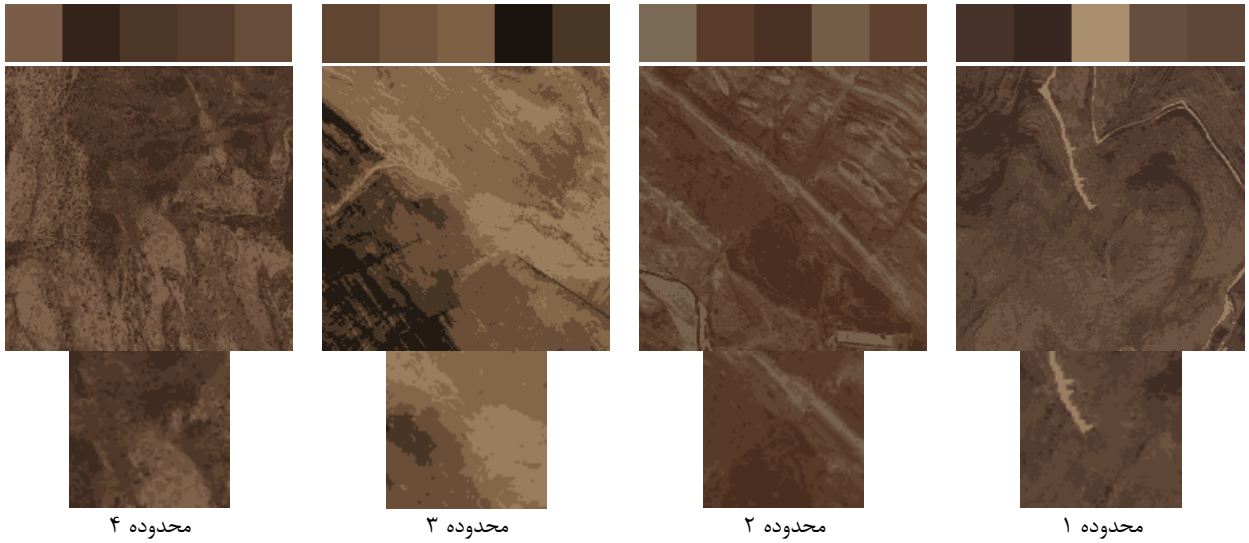
۴-۱-۲. نتایج استخراج رنگ‌های اصلی

پس از بازیابی تصویر نوبت به استخراج رنگ‌های اصلی می‌رسد. بدین منظور ابتدا فرض می‌شود که تعداد رنگ‌های اصلی مورد نیاز در الگوی ارائه شده نهایی مشخص است. برای مثال فرض می‌شود که طراحی الگو دارای پنج رنگ اصلی توصیه شده است. بنابراین در این مرحله توسط الگوریتم K-means تصویر بازسازی شده در پنج خوشه (برابر با تعداد رنگ‌های اصلی) خوشه‌بندی می‌گردد. حال رنگ مراکز خوشه‌ها به عنوان رنگ‌های اصلی در نظر گرفته می‌شود و از آنجایی که تصویر به پنج خوشه تقسیم‌بندی شده است، پنج رنگ از تصویر بازسازی شده به‌عنوان رنگ‌های اصلی خواهید داشت. پس از این‌که رنگ‌های اصلی به‌دست آمد، هر پیکسل از تصویر بازسازی شده با رنگ مرکز خوشه‌ای که در آن قرار گرفته است نمایش داده می‌شود. شکل (۷) در سطر اول پنج رنگ اصلی استخراج شده و در سطر دوم تصویر مذکور را نشان می‌دهد. با بریدن قسمتی از تصویر که مربوط ساختمان فرضی در نظر گرفته شده، الگوی نهایی مورد نظر دارای پنج رنگ اصلی حاصل شده است. این الگوی نهایی نیز در سطر سوم شکل (۷) نشان داده شده است.

ابتدا تعداد رنگ‌های اصلی را برابر با ۱ در نظر گرفته، خوشه‌بندی با تعداد یک خوشه انجام می‌شود که در این صورت کل بنا یک رنگ خواهد داشت. حال تصویر خروجی از این الگوریتم را به‌دست آورده و میزان برجستگی را در محدوده بنا در این تصویر مشخص می‌شود. سپس تعداد رنگ‌های اصلی و در نتیجه تعداد خوشه‌ها را به دوتا نه رنگ افزایش دهید و هر بار میزان برجستگی را محاسبه می‌شود. به طور معمول هر چه تعداد رنگ افزایش یابد میزان برجستگی کاهش و در نتیجه دقت کارایی استتاری الگوی طراحی شده بیشتر است. از طرف دیگر افزایش تعداد رنگ محدودیت‌هایی در اجرای الگو به وجود می‌آورد. بنابراین، با استفاده از این روش سعی می‌شود تعداد رنگ بهینه را در جایی که با افزایش تعداد رنگ میزان برجستگی کاهش زیادی نداشته باشد انتخاب شود.



شکل ۶. بازسازی تصویر با استفاده از الگوریتم تولید بافت



شکل ۷. (سطر اول) رنگ اصلی استخراج شده، (سطر دوم) تصویر خوشه‌بندی نمایش‌داده شده با رنگ‌های اصلی و (سطر سوم) الگوی نهایی برای ساختمان

محاسبه میزان برجستگی: یکی از روش‌های سریع برای محاسبه برجستگی استفاده از روش پایین به بالا است که در آن برجستگی به عنوان ویژگی محلی، چند مقیاسه و رنگی کنتراست شناخته می‌شود. فرض اصلی در این روش اینست که درک انسان از برجستگی به صورت کنتراست بین هر پیکسل و پیکسل‌های اطراف آن قابل بیان است.

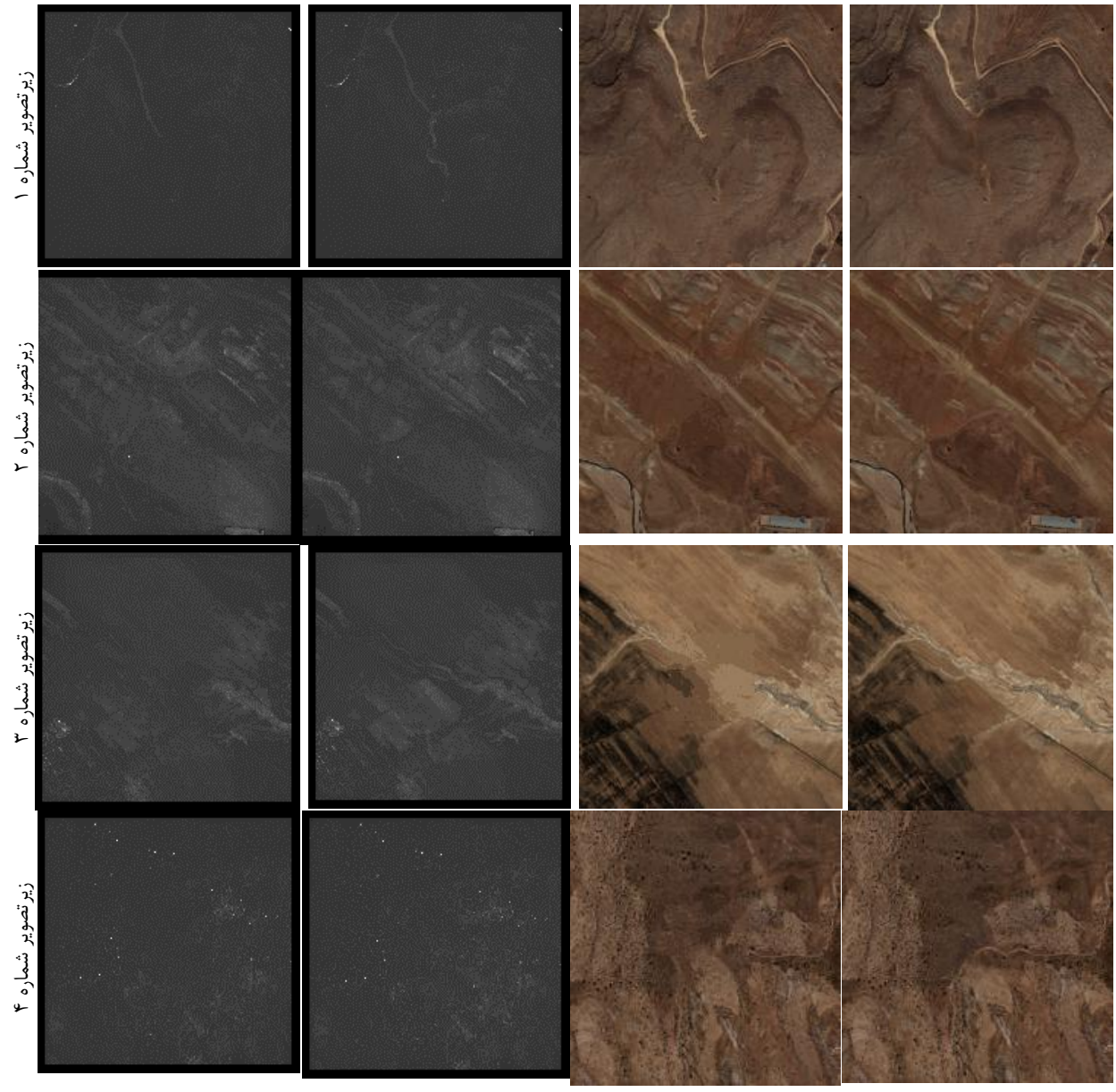
برجستگی هر پیکسل دارای مختصات (x, y) با استفاده از رابطه (۲) به‌دست می‌آید [۲۲].

$$S(x,y) = \|I_\mu - I_\omega\| \qquad (۲)$$

در این رابطه، I_μ بردار ویژگی میانگی حسابی تصویر و I_ω نسخه تار شده از تصویر اصلی به روش گوسین و با استفاده از کرنل ۵×۵ دوجمله‌ای می‌باشند. همچنین، نماد $\|\ \|$ معرف نرم L_2 و یا همان فاصله اقلیدسی است [۲۲].

۴-۱-۳. ارزیابی الگوی طراحی شده

پس از به‌دست آمدن الگوی نهایی برای ساختمان فرضی نوبت به ارزیابی آن می‌رسد. همان‌طور که بیان شد، ارزیابی بصری با مقایسه الگوی نهایی قرار گرفته بر روی ساختمان و تصویر اصلی صورت می‌گیرد. شکل (۸) الگوی قرار گرفته در تصویر و تصویر اصلی را نشان می‌دهد.



شکل ۸. تصویر اصلی، تصویر نهایی (حاصل از قرارگیری الگوی نهایی در تصویر اصلی)، تصویر برجستگی حاصل از تصویر اصلی و تصویر برجستگی حاصل از تصویر نهایی برای زیرتصاویر شماره ۱ تا ۴.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، الگوی طراحی شده کاملاً هماهنگ با محیط اطراف بوده و تشخیص وجود ساختمان در صورتی که الگو به خوبی پیاده‌سازی شود، بسیار بعید به نظر می‌رسد. علاوه‌بر ارزیابی بصری انجام شده، تصویر برجستگی نیز می‌تواند بیانگر کیفیت الگوی تولیدی باشد. بنابراین تصویر برجستگی برای تصویر اصلی و تصویر نهایی (حاصل از قرارگیری الگوی طراحی شده در تصویر اصلی) محاسبه می‌شود. تصویر برجستگی برای هر تصویر با محاسبه میزان برجستگی هر پیکسل در تصویر با توجه به پیکسل‌های همسایه محاسبه می‌گردد. شکل (۸) تصاویر برجستگی مربوطه را نیز نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، تصاویر برجستگی به‌دست آمده تفاوت آشکاری با یک‌دیگر ندارند.

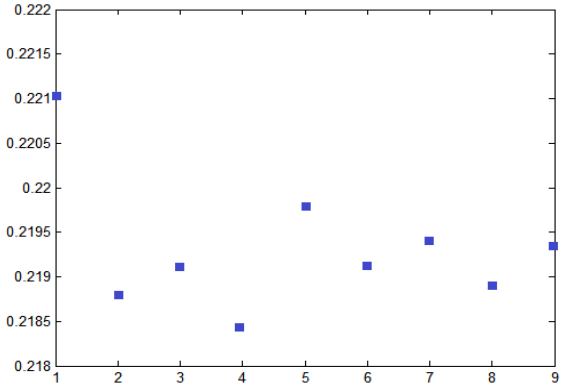
به منظور مقایسه کمی، میانگین میزان برجستگی پیکسل‌ها در محدوده بازسازی شده (ساختمان فرضی) در جدول (۱) ارائه شده است. طبق این جدول در همه موارد میزان برجستگی تصویر بازسازی شده از تصویر اصلی کمتر است که این مسئله به دلیل حذف تعدادی از عوارض موجود در تصویر اصلی در بازسازی آن بوده است. میزان برجستگی در تصویر حاصل از قرارگیری الگوی نهایی در تصویر اصلی نیز در بیشتر موارد تقریباً برابر با تصویر بازسازی شده و کمتر از تصویر اصلی است. بنابراین می‌توان گفت که الگوی نهایی با توجه موفقیت آن در مقایسه بصری و همچنین کمتر بودن میزان برجستگی آن از تصویر اصلی، دارای توانایی بالا در پنهان کردن عوارض مختلف از دید تصاویر سنجش از دور است.

جدول ۱. میانگین برجستگی در محدوده ساختمان برای تصاویر مختلف

نوع تصویر	میانگین برجستگی در محدوده ساختمان فرضی			
	محدوده ۱	محدوده ۲	محدوده ۳	محدوده ۴
تصویر اصلی	۰/۲۲۷	۰/۲۴۶	۰/۲۳۲	۰/۲۵۰
تصویر بازسازی شده	۰/۲۱۷	۰/۲۴۱	۰/۲۲۵	۰/۲۴۱
الگوی نهایی	۰/۲۱۹	۰/۲۳۷	۰/۲۳۳	۰/۲۳۶

۴-۱-۴. محاسبه تعداد خوشه‌های بهینه

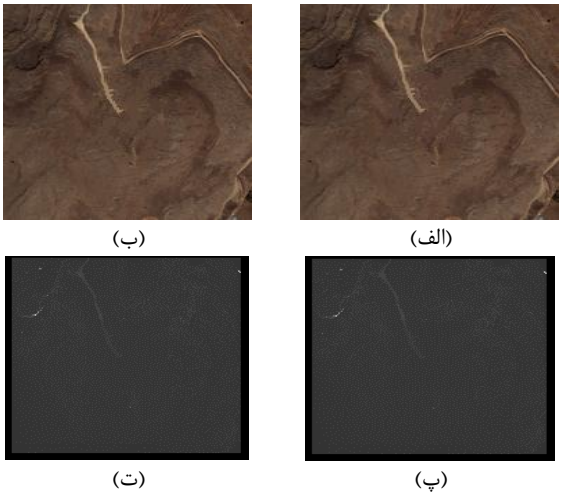
همان‌طور که بیان شد، در تصویر بازسازی شده تعداد بیشماری رنگ مختلف موجود است که رنگ‌آمیزی بنا و یا ساخت بنا با استفاده از مصالح دارای این تعداد رنگ عملاً غیر ممکن است. بنابراین تعداد رنگ تصویر به تعداد محدودی کاهش دهید. در صورتی که بخواهید تعداد رنگ‌های بهینه را مشخص کنید، ابتدا تعداد رنگ‌های اصلی را برابر با ۱ در نظر گرفته و در این صورت کل بنا یک‌رنگ خواهد داشت. حال تصویر خروجی از این الگوریتم را به‌دست آورده و میزان برجستگی را در محدوده بنا در این تصویر مشخص کنید. سپس تعداد رنگ‌های اصلی را به ۲ تا ۹ رنگ افزایش دهید و هر بار میزان برجستگی را محاسبه می‌شود. نمودار شکل (۹) میزان برجستگی تصویر نهایی در محل ساختمان به ازای تعداد خوشه‌های مختلف برای محدوده ۱ را نشان می‌دهد.



شکل ۹. تغییر میزان برجستگی تصویر نهایی در محل ساختمان به ازای تعداد خوشه‌های مختلف

بر طبق این نمودار می‌توان تعیین نمود که تعداد خوشه بهینه چه تعداد است. هر چه تعداد خوشه بیشتر باشد هزینه اجرای الگوی نهایی بالاتر است و از طرف دیگر شباهت الگو به محیط اطراف بیشتر می‌شود و در نتیجه استتار موفقیت بیشتری خواهد داشت. بنابراین لازم است که بین این دو تعادل برقرار گردد. این برقراری تعادل بر عهده کاربر است که با استفاده از نمودار شکل (۹) تشخیص دهد که تعداد خوشه بهینه با توجه به تأثیر آن در برجستگی تصویر کدام است. برای مثال در شکل (۶) تعداد خوشه برابر با ۴ یا ۶ می‌تواند به عنوان مقادیر مناسب در نظر گرفته شود. از طرف تعداد ۶ خوشه ممکن است هزینه بسیار بالاتری داشته باشد که این مسئله به روش مورد استفاده در استتار بستگی دارد. بنابراین کاربر در این حالت تشخیص می‌دهد که از ۴ خوشه و به عبارت دیگر ۴ رنگ اصلی استفاده کند.

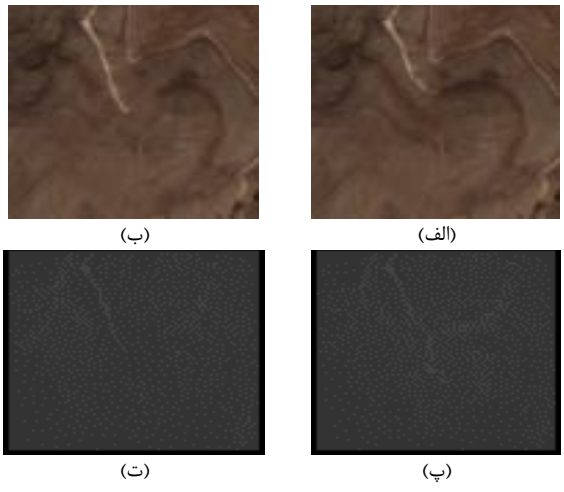
شکل (۱۰) الگوی نهایی قرار گرفته در تصویر اصلی را در دو حالت استفاده از ۴ و ۶ رنگ اصلی به همراه تصاویر برجستگی مربوطه برای محدوده ۱ را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، اگر چه تأثیر تعداد خوشه‌ها در شکل ظاهری الگوی نهایی زیاد است اما در میزان برجستگی تصویر تأثیر زیادی ندارد و این بدان معناست که هیچ‌کدام از این الگوها توسط دشمن قابل شناسایی نیست.



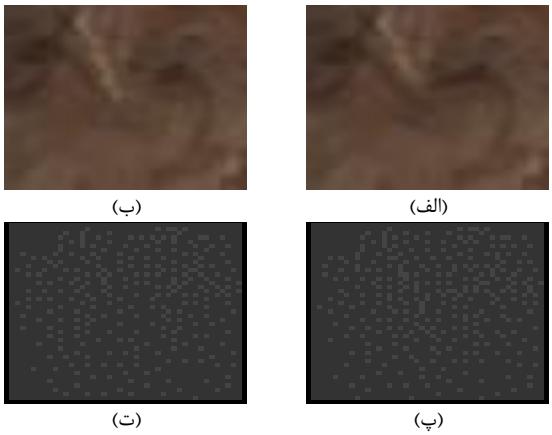
شکل ۱۰. (الف) الگوی نهایی قرار گرفته در تصویر اصلی با ۴ خوشه، (ب) الگوی نهایی قرار گرفته در تصویر اصلی با ۶ خوشه، (پ) و (ت) تصاویر برجستگی برای تصاویر سطر اول

مسئله دیگری که در کاربردهای شناسایی نظامی به آن باید توجه نمود، مسئله میزان بزرگ‌نمایی تصویر برای شناسایی اهداف و تجهیزات توسط کاربر است. در واقع در تعدادی از مراکز نظامی، ابتدا تصویر منطقه‌ای بزرگ در بزرگ‌نمایی کم به صورت کلی مورد بررسی قرار می‌گیرد و در صورتی عارضه‌ای جلب توجه کند بر روی آن قسمت از تصویر بزرگ‌نمایی صورت می‌گیرد. بنابراین نیاز است که در سطح‌های مختلف بزرگ‌نمایی نیز بررسی الگوی طراحی شده صورت گیرد. بدین منظور ابتدا با استفاده از روش گوسین [۲۴ و ۲۵] هرم‌های تصویر در سطوح مختلف از تصویر استخراج می‌شود. سطح صفر همان تصویر کامل است که بررسی بر روی آن انجام شد. سطح یک نیز تصویر در یک سطح بزرگ‌نمایی کمتر است که جزییات در آن کمتر بوده و سایز تصویر نیز در هر جهت به نسبت یک به دو کاهش یافته است. شکل (۱۱) تصویر اصلی و الگوی نهایی قرار گرفته در تصویر اصلی و تصاویر برجستگی مربوط به هر کدام برای محدوده ۱ و در سطح یک را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، الگوی طراحی شده در این سطح نیز کاملاً منطبق با همسایگی آن و شبیه به تصویر اصلی است.

علاوه‌بر ارزیابی تصویر در سطح ۱، می‌توان این ارزیابی را در سطوح بالاتر نیز انجام داد. برای مثال شکل (۱۲) تصویر اصلی، تصویر بازسازی شده، تصویر حاصل از قرارگیری الگوی نهایی در تصویر اصلی و تصاویر برجستگی مربوط به هرکدام را در سطح ۲ و برای محدوده ۱ نشان می‌دهد. همان‌طور که در این تصویر نیز مشاهده می‌شود، الگوی طراحی شده تطابق بسیار بالایی با محیط اطراف دارد. همچنین، تصاویر برجستگی مربوط به تصاویر بیان شده نیز تفاوت آشکاری با یک‌دیگر ندارند.



شکل ۱۱. (الف) تصویر اصلی و (ب) الگوی نهایی در سطح یک، (پ) و (ت) تصاویر برجستگی برای تصاویر سطر اول



شکل ۱۲. (الف) تصویر اصلی و (ب) الگوی نهایی در سطح دو، (پ) و (ت) تصاویر برجستگی برای تصاویر سطر اول

۴-۲. نتایج بر روی تصویر Google Earth

علاوه بر اجرای الگوریتم بر روی تصاویر IKONOS و به منظور بررسی دقیق‌تر، روش پیشنهادی بر روی تصویر Google Earth شرح داده شده در بخش قبل نیز اجرا می‌گردد. شکل (۱۳) تصویر Google Earth به همراه تصویر ساختمان فرضی انتخاب شده بر روی آن (مربع آبی رنگ کوچک‌تر) و همچنین ناحیه جستجوی انتخاب شده در اطراف آن (مربع آبی رنگ بزرگ‌تر) را نشان می‌دهد.

شکل ۱۳. تصویر Google Earth و محل ساختمان و ناحیه جست‌وجوی انتخاب شده بر روی آن

مشابه آنچه قبلاً نیز انجام شد، ابتدا محدوده ساختمان از تصویر حذف شده و سپس برای ناحیه حذف شده، بازسازی تصویر با استفاده از الگوریتم تولید بافت ارائه شده انجام می‌شود. شکل (۱۴) تصاویر اصلی و تصویر بازسازی شده پس از اجرای الگوریتم تولید بافت ارائه شده را نشان می‌دهد. در اینجا نیز می‌توان مشاهده نمود که اولاً این تصاویر کاملاً طبیعی به نظر می‌رسند و ثانیاً در مرزهای ناحیه بازسازی شده به هیچ عنوان تفکیک بین منطقه بازسازی شده و بقیه مناطق ممکن نیست.

تصویر اصلی تصویر بازسازی شده

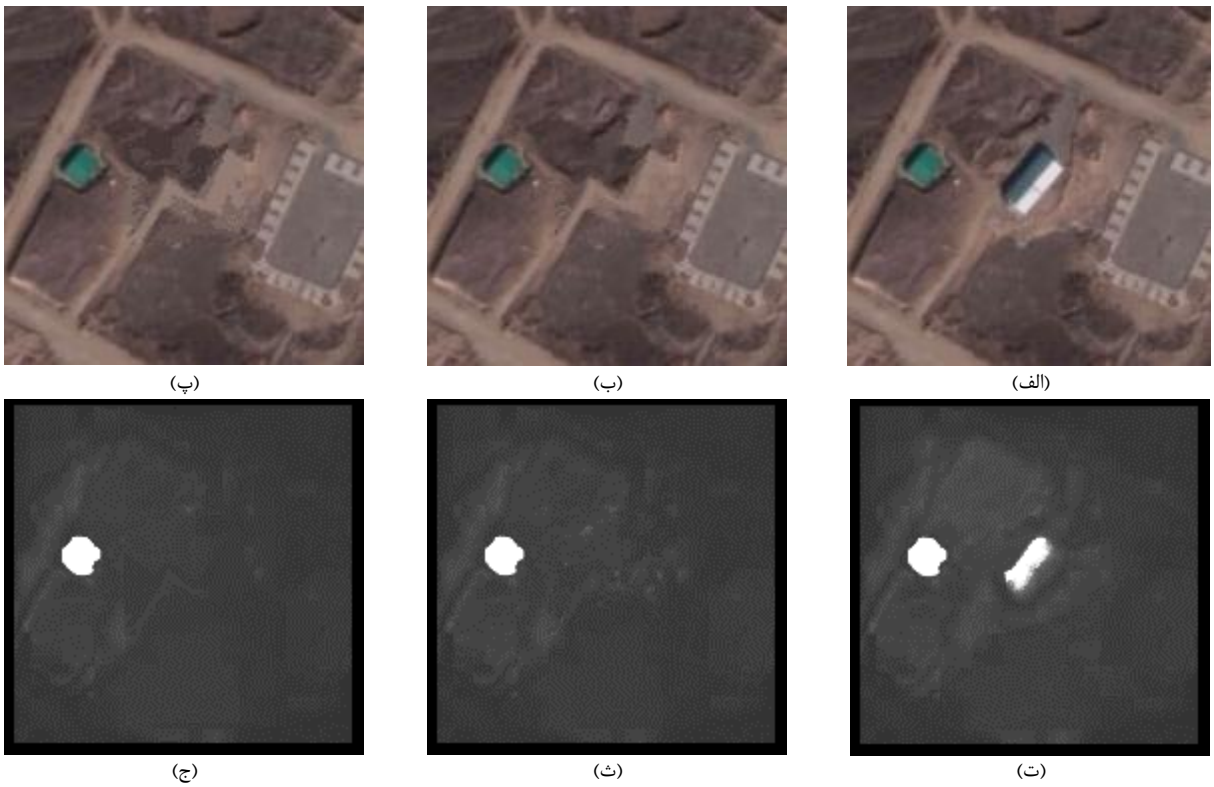
شکل ۱۴. بازسازی تصویر با استفاده از الگوریتم تولید بافت

پس از بازسازی تصویر، نوبت به استخراج رنگ‌های اصلی توسط الگوریتم K-means است. شکل (۱۵) در قسمت الف پنج رنگ اصلی استخراج شده را نشان می‌دهد. در قسمت ب تصویر خوشه‌بندی و با بریدن قسمتی از تصویر که مربوط ساختمان فرضی در نظر گرفته شده است، الگوی نهایی مورد نظر دارای پنج رنگ اصلی در قسمت پ شکل (۱۵) نشان داده شده است.

(الف) (ب) (پ)

شکل ۱۵. (الف) رنگ‌های اصلی استخراج شده، (ب) تصویر خوشه‌بندی نمایش داده شده با رنگ‌های اصلی و (پ) الگوی نهایی برای ساختمان

تصویر برجستگی برای تصویر اصلی، تصویر بازسازی شده و تصویر نهایی (حاصل از قرارگیری الگوی طراحی شده در تصویر اصلی) نیز در شکل (۱۶) نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود، تصاویر برجستگی به‌دست آمده کاملاً متفاوت می‌باشند. در تصویر اصلی محل ساختمان در تصویر برجستگی کاملاً روشن و نمایان است در حالی که در تصویر بازسازی شده و به تبع آن در تصویر حاصل از قرارگیری الگوی نهایی در تصویر اولیه میزان برجستگی در این محدوده به دلیل قرارگیری الگوی استتار طراحی شده، به‌شدت کاهش یافته است.



(الف) (ب) (پ)

(ت) (ث) (ج)

شکل ۱۶. (الف) تصویر اصلی، (ب) تصویر بازسازی شده، (پ) الگوی نهایی قرار گرفته در تصویر اصلی، (ت) ، (ث) و (ج) تصاویر برجستگی برای تصاویر سطر اول

همچنین، به منظور مقایسه کمی، میانگین میزان برجستگی پیکسل‌ها در محدوده بازسازی شده (ساختمان فرضی) در جدول (۲) ارائه شده است. طبق این جدول میزان برجستگی تصویر بازسازی شده از تصویر اصلی حدود ۲۷ درصد کمتر است که این مسئله به دلیل حذف ساختمان بوده است. میزان برجستگی در تصویر حاصل از قرارگیری الگوی نهایی در تصویر اصلی نیز تقریباً برابر با تصویر بازسازی شده و به شدت کمتر از تصویر اصلی است. بنابراین الگوی نهایی با توجه موفقیت آن در مقایسه بصری و همچنین، کمتر بودن میزان برجستگی آن از تصویر اصلی، دارای توانایی بالا در پنهان نمودن عوارض مختلف از دید ماهواره‌های سنجش از دور است.

جدول ۲. میانگین برجستگی در محدوده ساختمان برای تصاویر

نوع تصویر	میانگین برجستگی در محدوده ساختمان
تصویر اصلی	۰/۳۳۱
تصویر بازسازی شده	۰/۲۵۱
الگوی نهایی قرار گرفته در تصویر اصلی	۰/۲۴۳

۵. نتیجه‌گیری

هدف از این تحقیق ارائه الگوریتمی کارآمد جهت استتار ابنیه مختلف است. در الگوریتم ارائه شده در این تحقیق، ابتدا قسمتی از تصویر ماهواره‌ای که مربوط به ابنیه است از تصویر حذف می‌شود و سپس برای قسمت حذف شده با استفاده از الگوریتم تولید بافت به‌روش میدان‌های تصادفی مارکوف، تصویر بازسازی می‌شود. در این روش، سامانه همسایگی به صورت انطباقی (وابسته به محل قرارگیری آن) تنظیم شده است. همچنین، نحوه حرکت کرنل در این الگوریتم به صورتی تغییر داده شده است که خروجی الگوریتم در نواحی مرزی حداکثر شباهت به اطراف خود را داشته باشد و به عبارت دیگر هیچگونه اثری از مرز وجود نداشته باشد. پس از اجرای الگوریتم تولید بافت، تصویر بازسازی شده‌ای به‌دست آمد که محل ابنیه در آن با یک تصویر مصنوعی پوشانده شده است.

مقایسه تصویر بازسازی شده با محیط اطراف آن در داده‌های مختلف شباهت تصویر بازسازی شده با محیط اطراف آن را ثابت نمود. همچنین، مقایسه کمی میزان برجستگی به ویژه در مجموعه داده دوم که الگوی استتار برای یک ساختمان طراحی شد، کاهش ۲۷ درصدی میزان برجستگی در محل ساختمان نشان از قدرت الگوی طراحی شده دارد. از آنجایی که تصویر بازسازی شده برای ساختمان دارای تعداد بسیار زیادی رنگ است، امکان پیاده‌سازی آن وجود ندارد و باید تعداد رنگ‌های آن کاهش یابد. بدین منظور از روش خوشه‌بندی استفاده شد که با استفاده از این روش تصویر به تعداد مشخص خوشه تقسیم‌بندی شده و سپس برای هر خوشه یک رنگ در نظر گرفته می‌شود. در این الگوریتم به دلیل سرعت و سادگی الگوریتم خوشه‌بندی K-means از این روش استفاده شد. با استفاده از این الگوریتم تصویر بازسازی شده به سرعت به تعداد خوشه مشخصی تقسیم‌بندی شده و سپس رنگ مرکز هر خوشه به عنوان رنگ کل پیکسل‌های آن خوشه در نظر گرفته می‌شود. در این صورت الگو دارای تعداد محدودی رنگ بوده که پیاده‌سازی آن را ممکن می‌سازد. مسئله دیگری که در این تحقیق مورد توجه قرار گرفت مسئله تعیین تعداد رنگ‌های اصلی بهینه است. بدین منظور تعداد رنگ‌های اصلی را برابر با ۱ در نظر گرفته و تصویر خروجی از این الگوریتم را به‌دست آورده و سپس میزان برجستگی را در محدوده بنا محاسبه می‌شود. سپس تعداد رنگ‌های اصلی را به ۲ تا ۹ رنگ افزایش داده و هر بار میزان برجستگی محاسبه می‌شود. در این صورت میزان برجستگی به ازای تعداد رنگ متفاوت به‌دست می‌آید که با استفاده از این مقادیر تعداد رنگ مناسب که اولاً هزینه پیاده‌سازی بالایی نداشته باشد و ثانیاً میزان برجستگی آن کم باشد، تعیین می‌شود.

با توجه به اینکه در کاربردهای شناسایی میزان بزرگ‌نمایی تصویر برای شناسایی اهداف اهمیت بالایی دارد، الگوریتم در سطح‌های مختلف بزرگ‌نمایی نیز بررسی شد. بدین منظور ابتدا با استفاده از روش گوسین هرم‌های تصویر در سطوح مختلف از تصویر استخراج شد و سپس تصویر اصلی، تصویر بازسازی شده و الگوی نهایی قرارگرفته در تصویر اصلی محاسبه شد. نتایج نشان داد که الگوی طراحی شده در سطوح دیگر نیز کاملاً منطبق با همسایگی آن و شبیه به تصویر اصلی است. از جمله موارد مهم توجه به سایه ابنیه و تجهیزات نظامی در طراحی الگو است که در تحقیقات آینده می‌بایست مورد توجه قرار گیرد. دلیل آن نیز این است که حتی یک الگوی استتار بسیار ایده‌آل نیز در شرایطی که سایه ساختمان در تصویر وجود داشته باشد عملاً شکست خورده است. همچنین، تعیین نحوه صحیح پیاده‌سازی الگوی طراحی شده نیز بحث بسیار مهمی است که باید مورد توجه و در صورت امکان مورد بررسی و آزمایش قرار گیرد. بررسی الگوی طراحی شده از زوایای دید مختلف، طراحی الگوی مناسب برای دیواره‌های ابنیه نظامی به ویژه ساختمان‌های بلند، استفاده از تصاویر سنجش از دوری دارای قدرت تفکیک مکانی بالاتر و توجه به دیگر باندها از جمله باندهای حرارتی از مواردی است که پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آینده مورد بررسی قرار گیرد.

۶. مراجع

[1] Bausys, R.; Danaitis, K. S. "Camouflage Painting of Buildings"; Proc. of the 10th Int. Conf. on Modern Building Materials, Structures and Techniques, 2010, 853–859.

[2] Hogervorst, M. A.; Toet, A.; Jacobs, P. "Design and Evaluation of (Urban) Camouflage"; Proc. of SPIE Infrared Imaging Systems: Design, Analysis, Modeling, and Testing, 2010, 1-11.

[3] Gorji Kandi, S.; Amani Tehran, M.; Shafiei, S. "Providing Designing Assistant Software for Predicting Effectiveness of Camouflage Patterns"; Passive Defence Sci. & Tech. 2012, 2, 231-239 (In Persian).

[4] Ghanbari, F. "Study of Camouflage Operational Methods during Designing and Manufacture"; Passive Defense Quarterly 2012, 2, 9-17 (In Persian).

[5] Bakhtiyari, M. "Presenting Native Models to Design Camouflage Color Patterns"; M.Sc. Thesis, Malek-Ashtar University of Technology, Tehran, Iran, 2014.

[6] Hogervorst, M. A.; Toet, A. "Urban Camouflage Assessment through Visual Search and Computational Saliency"; Opt. Eng. 2013, 52, 1-8.

[7] Yang, H.; Yin, J. "A Digital Camouflage Generation Algorithm Using Color Similarity"; Int. J. Multimedia Ubiquitous Eng. 2015, 10, 159-164.

[8] Xue, F.; Xu, S.; Luo, Y.; Jia, W. "Design of Digital Camouflage by Recursive Overlapping of Pattern Templates"; Neurocomp. 2016, 172, 262–270.

[9] Simoncelli E. P.; Portilla, J. "Texture Characterization via Joint Statistics of Wavelet Coefficient Magnitudes"; Proc. of Int. Conf. on Image Processing, 1998, 62-66.

[10] Witkin, A.; Kass, M. "Reaction-Diffusion Textures"; Proc. of the 18th Annual Conf. on Computer Graphics and Interactive Techniques, 1991, 299-308.

[11] Worley, S. "A Cellular Texture Basis Function"; Proc. of the 23rd Annual Conf. on Computer Graphics and Interactive Techniques, 1996, 291-294.

[12] Dorsey, J.; Edelman, A.; Jensen, H. W.; Legakis, J.; Pedersen, H. K. "Modeling and Rendering of Weathered Stone"; ACM SIGGRAPH 2006, 1-6.

[13] Efros, A.; Leung, T. K. "Texture Synthesis by Non-Parametric Sampling"; Proc. of the Seventh IEEE Int. Conf. on Computer Vision, 1999, 1033-1038.

[14] Zhu, S. C.; Wu, Y.; Mumford, D. "Filters, Random Fields and Maximum Entropy (FRAME): Towards a Unified Theory for Texture Modeling"; Int. J. Comput. Vision, 1998, 27, 107-126.

[15] Popat, K.; Picard, R. W. "Novel Cluster-Based Probability Model for Texture Synthesis, Classification, and Compression"; Proc. of the Visual Communications and Image Processing, 1993, 756-768.

[16] Paget, R.; Longstaff, I. "Texture Synthesis via a Noncausal Nonparametric Multiscale Markov Random Field"; IEEE Trans. Image Process. 1998, 925 - 931.

[17] Heeger D. J.; Bergen, J. R. "Pyramid-Based Texture Analysis/Synthesis"; Proc. of the 22nd Annual Conf. on Computer Graphics and Interactive Techniques, 1995, 229-238.

[18] Bonet, J. S. D. "Multiresolution Sampling Procedure for Analysis and Synthesis of Texture Images"; Proc. of the 22nd Annual Conf. on Computer Graphics and Interactive Techniques, 1997, 361-368.

[19] Perazzi, F.; Krähenbühl, P.; Pritch, Y.; Hornung, A. "Saliency Filters: Contrast Based Filtering for Salient Region Detection"; IEEE Trans. Computer Vision and Pattern Recognition 2012, 733-740.

[20] Liu, T.; Yuan, Z.; Sun, J.; Wang, J.; Zheng, N.; Tang, X.; Shum, H. "Learning to Detect a Salient Object"; IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 2011, 33, 353-367.

[21] Itti, L.; Koch, C.; Niebur, E. "A Model of Saliency-Based Visual Attention for Rapid Scene Analysis"; IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 1998, 20, 1254-1259.

[22] Achanta, R.; Hemami, S.; Estrada, F.; Susstrunk, S. "Frequency-Tuned Salient Region Detection"; Proc. IEEE Int. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit. 2009, 1597–1604.

[23] Curran, P. J. "The Semivariogram in Remote Sensing: an Introduction"; Remote Sensing Environ. 1988, 24, 493-507.

[24] Burt, P. J. "Fast Filter Transform for Image Processing"; Comput. Graphics Image Proc. 1981, 16, 20-51.

[25] Burt, P. J.; Adelson, E. H. "The Laplacian Ppyramid as a Compact Image Code"; IEEE Trans. Commun. 1983, 31, 532-540.