

آشکارسازی نواحی سایه در تصاویر هوایی شهری با استفاده از نقشه نسبت بهینه

جواد عباسی آقاملکی^۱، استادیار؛ سید علیرضا میراسماعیلی^۲، کارشناسی ارشد

۱- دانشکده فنی مهندسی - دانشگاه دامغان - دامغان - ایران - j.a.ghamaleki@du.ac.ir

۲- دانشکده فنی مهندسی - دانشگاه شاهد - تهران - ایران - samiresmaili@gmail.com

چکیده: در پردازش تصویر الگوریتم‌های زیادی به خاطر وجود سایه دچار اختلال می‌شوند. در صورتی که محل سایه‌ها مشخص باشد می‌توان از بروز خطا در این الگوریتم‌ها جلوگیری کرد. در این مقاله روشی بهینه برای آشکارسازی سایه در تصاویر هوایی ارائه شده است. در این پژوهش دو فضای رنگی RGB و YCbCr با هم ترکیب شده و نقشه نسبتی مناسب‌تر از نقشه نسبت‌های مشابه به وجود آمده است. علاوه بر این در اقدامی جدید، تأثیر رنگ آبی آسمان در هنگام ایجاد سایه در نقشه نسبت ارائه شده، در نظر گرفته شده است که این امر خود باعث افزایش میزان تفکیک‌پذیری نقشه نسبت شده است. در روش پیشنهادی از الگوریتم آستانه گذاری آتسو جهت تفکیک به دو ناحیه سایه و غیر سایه استفاده شده است. استفاده از این روش منجر به آستانه گذاری کلی شده و نیازی به بررسی محلی و ناحیه به ناحیه تصویر وجود ندارد. این امر باعث کاهش چشمگیر بار محاسباتی و امکان استفاده در کاربردهای بلادرنگ شده است. نتایج تجربی نشان می‌دهد روش ارائه شده نسبت به روش‌های مشابه کارایی بالاتری در آشکارسازی سایه و هزینه محاسباتی دارد.

واژه‌های کلیدی: آشکارسازی سایه، تصاویر هوایی رنگی، نقشه نسبت ترکیبی، فضای رنگی RGB، فضای رنگی YCbCr، رابطه میرایی رنگ.

Shadow Detection in Aerial Image Using Optimized Ratio Map

J. Abbasi Aghamaleki¹, Assistant Professor; S. A. Miresmaili², MSc

1- Faculty of Engineering, University of Damghan, Damghan, Iran, Email: j.a.ghamaleki@du.ac.ir

2- Faculty of Engineering, Shahed University, Tehran, Iran, Email: samiresmaili@gmail.com

Abstract: In image processing many algorithms get disturbed because of shadow. These problems can be avoided if the location of shadows is clear. This article presents a new optimized algorithm for extracting shadows from a single color aerial image. Most of similar works do this by using a suite color space. In this work two RGB and YCbCr color spaces are combined and a powerful ratio map has been created. Furthermore, in a new method, effect of sky blue color is determined that improves the ratio map. Candidate shadow and non-shadow regions are separated by applying Otsu's thresholding method. Because of ratio map performance it is not necessary to analyze region by region and leads to decrease computation cost. So it can be used in online application. The experimental results demonstrate the advantage of the proposed algorithm.

Keywords: Shadow Detection, Color aerial image, Combined ratio map, RGB color space, YCbCr color space, Color attenuation relationship.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۶/۱۱/۱۷

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۷/۰۳/۲۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۶/۱۳

نام نویسنده مسئول: جواد عباسی آقاملکی

نشانی نویسنده مسئول: ایران - دامغان - میدان دانشگاه - دانشگاه دامغان - دانشکده فنی مهندسی - گروه برق.

۱- مقدمه

گروه اول برای استخراج سایه‌هایی مانند سایه‌های موجود در صحنه‌های ترافیکی یا امنیتی کاربرد دارند؛ اما از آنجا که تصاویر هوایی دارای سایه‌هایی ثابت هستند در گروه دوم قرار می‌گیرند. روش‌های آشکارسازی سایه در این گروه، خود به سه دسته تقسیم می‌شوند [۱۱].

- روش‌های مبتنی بر مدل
- روش‌های مبتنی بر آموزش با سرپرست
- روش‌های مبتنی بر ویژگی

روش‌های مبتنی بر مدل به اطلاعات خاصی درباره صحنه نیاز دارند. اطلاعاتی مانند ارتفاع خورشید، ابعاد جسم، شکل جسم و غیره. لذا این روش‌ها کاربردهای خاصی دارند؛ چرا که استحصال این موارد همواره کار راحتی نیست. کارهای Makarau و همکارانش [۱۲] و Tian و همکارانش [۱۳] برای آشکارسازی سایه در این گروه قرار دارند. آن‌ها به اطلاعات دقیقی درباره دمای رنگ یا طول موج هر رنگ نیاز دارند. Finlayson و همکارانش در [۱۴-۱۷] نیز برای آشکارسازی سایه در تصاویر رنگی یک مدل معرفی می‌کنند. البته از آنجا که شرایط ایشان مانند استفاده از دوربین‌های باند باریک معمولاً در تصاویر هوایی محقق نمی‌شود، مدل ایشان برای تصاویر هوایی جواب خوبی نمی‌دهد [۱۸]. در گروه دیگر روش‌هایی قرار دارند که برای آشکارسازی سایه از طبقه‌بند استفاده می‌کنند. در این میان Gue و همکارانش از طبقه‌بند آموزش‌دیده SVM خود با هسته RBF استفاده می‌کنند [۱۹]. Tatar و همکارانش برای آشکارسازی سایه همراه با تشخیص مناطق دارای آب علاوه بر استفاده از ویژگی‌های سایه از طبقه‌بند آموزش‌دیده SVM و KNN استفاده نموده است [۲۰].

در گروه دیگر روش‌هایی قرار دارند که با استخراج ویژگی، سایه را آشکار می‌کنند. این روش در بسیاری از زمینه‌های پردازش تصویر استفاده می‌شود [۲۱]. روش‌هایی که برای آشکارسازی سایه از ویژگی‌ها استفاده می‌کنند؛ با اطلاعات شدت روشنایی، اطلاعات رنگ و غیره سروکار دارند. برای مثال در یک تصویر سطح خاکستری (غیر رنگی)، اگر شدت روشنایی یک ناحیه از شدت روشنایی اطراف آن کمتر باشد احتمالاً آن ناحیه سایه است. الگوریتم‌های منابع [۲۲-۲۴] برای این نوع از تصاویر ارائه شده‌اند. در این روش برخی نواحی غیر سایه که دارای رنگ تیره هستند؛ به اشتباه به عنوان سایه شناخته می‌شوند. لذا در تصاویر رنگی علاوه بر اطلاعات شدت روشنایی باید از اطلاعات رنگی نیز بهره برد. در اکثر الگوریتم‌ها با استفاده از فضای رنگی مختلف، شرایطی را به وجود می‌آورند که آشکارسازی سایه در آن راحت‌تر باشد. فضاهای رنگی HSV، HSI، YCbCr قابلیت خوبی برای این کار دارند [۲۵]. از این موارد می‌توان به روش ارائه‌شده توسط Murali و Govindon [۲۶] اشاره کرد. برخی نیز با تعریف ویژگی‌های مختلف مانند اختلاف شدت روشنایی در دو طرف یک مرز به آشکارسازی مرز سایه می‌پردازند. الگوریتم Lalonde و همکارانش [۲۷] در این دسته از روش‌هاست. همچنین Tian و همکارانش با تعریف چند

با توسعه سریع فناوری‌های مربوط به مشاهده زمین، حجم بسیار زیادی از داده‌های سنسور از راه دور که دارای وضوح بالایی نیز هستند، در دسترس است و تفسیر و پردازش این تصاویر روندی رو به رشد داشته و در حوزه‌های مختلف از جمله حوزه‌های نظامی نیز پرکاربرد است [۱].

با این حال، از آنجا که افزایش وضوح، جزئیات و پیچیدگی‌های بیشتری را از زمین نشان می‌دهد، اثرگذاری سایه در نتایج پردازش‌ها بیشتر شده است. این اثرگذاری هم دارای جوانب مثبت و هم دارای جوانب منفی است. اما معمولاً باعث می‌شود تصاویر به سختی به طور خودکار تفسیر شوند [۲].

از فواید حضور سایه می‌توان به دربرداشتن اطلاعاتی درباره محل قرارگیری جسم، شکل و هندسه آن، تعداد و نوع منابع نوری و محل قرارگیری آن‌ها اشاره کرد. لذا برخی، از سایه برای کالیبراسیون دوربین [۳] و برخی نیز برای بازسازی سه‌بعدی صحنه‌ها [۴] و تخمین ارتفاع ساختمان‌ها [۵ و ۶] بهره برده‌اند؛ از مضرات سایه نیز می‌توان به اعوجاج شکل، یکی دیده شدن چند جسم، ایجاد خطا در انتخاب جسم، ایجاد خطا در تقسیم‌بندی تصویر، ایجاد خطا در تعیین میزان روشنایی و رنگ نواحی تحت سایه تصویر، ایجاد خطا در تعیین شکل دقیق اجسام و به‌طور کلی ایجاد اختلال در الگوریتم‌هایی مانند ناحیه‌بندی، آشکارسازی^۱ جسم، آنالیز صحنه، بینایی استریو^۲، ردیابی^۳ و ... اشاره نمود [۷-۱۰].

مسئله‌ای که این عیب‌ها را پررنگ‌تر می‌کند این است که سایه همه‌جا هست. هر کجا که منبعی از نور باشد و جسمی در معرض آن قرار گیرد، حتماً در آنجا سایه حضور دارد. با توجه به این مسائل، تشخیص صحیح سایه به‌عنوان یک امر پیش‌پردازشی، ضروری است. از این‌رو همواره محققان و دانشمندان به دنبال ارائه راهکارهای بهینه و کارآمد برای آشکارسازی سایه و حذف آن بوده‌اند؛ اما با توجه به پیچیدگی موضوع، معمولاً روش‌های ارائه شده فقط در شرایط خاصی کاربرد دارد. برای نمونه بعضی از روش‌ها فقط از تصاویر هوایی گرفته‌شده از زمین، سایه را حذف می‌کنند. برخی دیگر در تصاویر ترافیکی کاربرد دارند. برخی برای زمینه‌هایی با بافت یکنواخت جواب می‌دهند و برخی دیگر فقط سایه‌های متصل به جسم را پیدا می‌کنند. در این مقاله آشکارسازی بهینه سایه در تصاویر هوایی شهری بدون ابر مورد پژوهش قرار گرفته است.

برای آشکارسازی سایه روش‌ها و پارامترهای مختلفی وجود دارد که باعث شده دسته‌بندی‌های متفاوتی برای این منظور ارائه شود. با مرور مقالات این حوزه در یک دسته‌بندی، این روش‌ها را می‌توان به صورت زیر تقسیم نمود:

- روش‌هایی که بر تصاویر ویدئویی اعمال می‌شوند و از اطلاعات فریم‌های مختلف نیز استفاده می‌نمایند.
- روش‌هایی که فقط از ویژگی‌های خود تصویر کمک می‌گیرند و بر یک فریم اعمال می‌شوند.

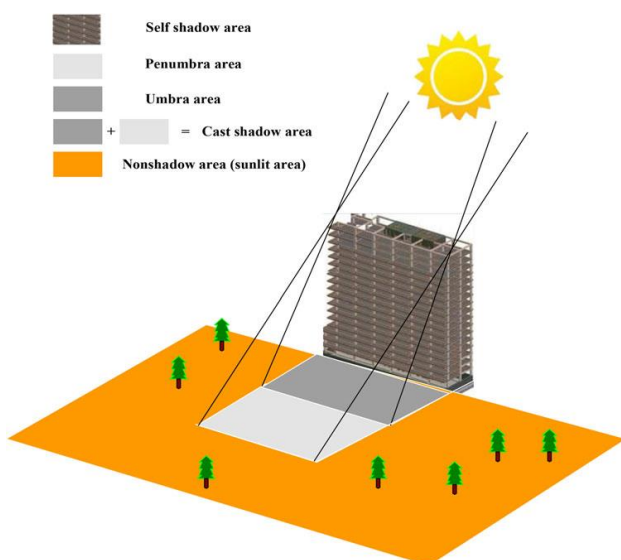
می‌کنند در منابع [۱۰، ۳۲-۳۰] آورده شده‌اند. در این پژوهش، تمرکز صرفاً بر روی آشکارسازی سایه است.

ساختار مقاله به این صورت است که در بخش دوم مفاهیم اولیه سایه و الگوریتم آشکارسازی آن ارائه می‌شود. در بخش سوم الگوریتم پیشنهادی برای ساخت نقشه نسبت و ضرایب بهبود دهنده آن ارائه می‌شود. در بخش چهارم نتایج تجربی عملکرد روش پیشنهادی و مقایسه آن با روش‌های موجود ارائه می‌شود و در انتها مقاله با بخش نتیجه‌گیری پایان می‌پذیرد.

۲- مفاهیم اولیه سایه و روش‌های آشکارسازی آن

برای آشکارسازی مؤثر سایه ابتدا باید سایه و انواع آن را به خوبی شناخت. در ادامه توضیحاتی درباره اصطلاحات متداول در این زمینه ارائه می‌شود:

یک سایه زمانی رخ می‌دهد که قسمتی از یک شیء یا کل شیء در مسیر مستقیم یک منبع نور قرار بگیرد. سایه به دو بخش تقسیم می‌شود: بخشی از زمینه که نور مستقیم منبع در رسیدن به آن به طور کامل مسدود می‌شود را سایه و بخش بیرونی آن را نیم سایه می‌نامند. به طور کلی هم سایه و هم نیم سایه شدت روشنایی و رنگ را در تصویر تغییر می‌دهند ولی در شرایطی خاص، از قبیل این که نور منبع کاملاً سفید باشد، محیط سایه و غیر سایه از نظر رنگ برابر هستند و فقط شدت روشنایی بین آن‌ها تغییر می‌کند. در دسته‌بندی دیگری، به سایه‌ای که روی خود شیء ایجاد می‌شود سایه ضمیمه‌ای یا خود سایه^۵ و به قسمتی از زمینه که توسط سایه و نیم سایه پوشانده شده است، تصویر سایه^۶ گفته می‌شود. در شکل ۱ انواع سایه نشان داده شده است.



شکل ۱: نمایش انواع سایه [۳۳].

به سایه‌هایی که ناشی از اجسام ثابت تصویر باشند، سایه ثابت^۷ و به سایه‌هایی که بر اثر اجسام متحرک رخ داده‌اند؛ سایه متغیر^۸ اطلاق می‌شود. به عنوان نمونه سایه ساختمان‌ها، درخت‌ها، خودروهای پارک

ویژگی جدید و با استفاده از برخی ویژگی‌های طیفی نور خورشید مرزهای سایه را در تصویر با سرعت خوبی استخراج می‌کنند [۲۸]. در بین کاربردهای مختلف [۲۵] Tsai، Huang و همکارانش [۲۹]، Chung و همکارانش [۸] و Shi و همکارانش [۱۸] به طور ویژه بر روی تصاویر هوایی کار کرده‌اند.

Tsai برای آشکارسازی سایه الگوریتمی ارائه می‌دهد که مبنای کاری آن انتقال تصویر به فضای رنگی متفاوت است. تسای تصویر را از فضای رنگی RGB به فضاهای رنگی HSI، HSV، YCbCr، HCV، و YIQ می‌برد و در آنجا با محاسبه نسبت ته رنگ^۹ بر روی شدت روشنایی یک نقشه نسبت می‌سازد و به کمک آستانه‌گیری بر روی آن، سایه را آشکار سازی کرده و ناحیه‌بندی می‌کند [۲۵]؛ اما روش او برای برخی تصاویر که نواحی سایه و نواحی تیره اختلاف کمی دارند نتیجه مناسبی نمی‌دهد.

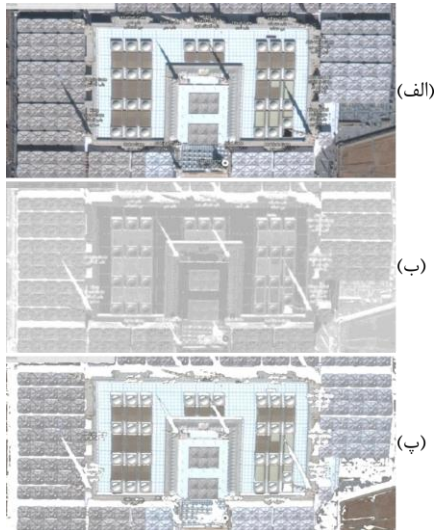
Chung و همکارانش برای حل مشکلات روش Tsai برای تمایز بیشتر نقشه نسبت او را با انتقال به فضای نمایی کمی بهبود می‌دهند و به جای استفاده از آستانه عمومی به صورت محلی نواحی را بررسی می‌کنند [۸]. اما روش Chung و همکارانش برای پیکسل‌هایی که دارای شدت روشنایی برابر در کانال‌های قرمز، سبز و آبی هستند جواب خوبی نمی‌دهد [۱۸].

Shi و همکارانش برای رفع مشکل روش Chung و همکارانش ابتدا پیکسل‌هایی که روش آن‌ها جوابی برای آن‌ها نداشت کنار می‌گذارد و برای ارتقای نتایج از دو نقشه نسبت استفاده می‌کنند و سایه بودن هر ناحیه را به کمک چند ویژگی به دقت بررسی می‌کنند. همچنین از یک مدل در ویژگی‌هایشان استفاده می‌کنند. مدلی که بیان می‌کند ایجاد سایه در فضای باز، بیش از این که باعث افت میزان رنگ آبی شود رنگ قرمز را کاهش می‌دهد. در نهایت پیکسل‌های کنار گذاشته شده در روش آن‌ها به کمک همسایه‌هایشان برچسب می‌خورند.

این مقاله برای ارائه روشی قدرتمند از مقالات Tsai، Chung و همکارانش و Shi و همکارانش بهره برده است. در این مقاله اثبات می‌شود یکی از نقشه نسبت‌هایی که Shi و همکارانش برای ارتقای نتایج Chung و همکارانش استفاده می‌کنند؛ دارای یک ایراد منطقی بزرگ است که باعث می‌شود نواحی زیادی که مستعد سایه بودن هستند به عنوان نواحی غیر سایه معرفی شوند. لذا آن نقشه نسبت را در مرحله اول اصلاح می‌کند. همچنین با بهره‌گیری از مدل ارائه شده Tian و همکارانش و بررسی تغییراتی که سایه در لایه‌های مختلف فضای رنگی ایجاد می‌کند؛ ضرایبی استخراج شده است که می‌تواند نقشه نسبت اصلاح شده را بهبود دهد. از آنجا که این نقشه نسبت توانایی بالایی در تشخیص سایه‌های تصاویر هوایی دارد برای افزایش سرعت و امکان استفاده در کاربردهای بلادرنگ از بررسی برخی ویژگی‌های نواحی به صورت تک تک صرف نظر می‌کند.

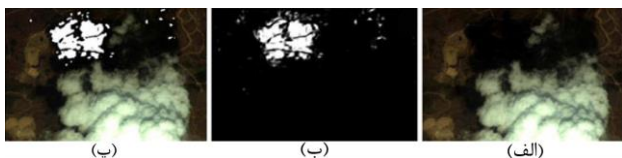
معمولاً پس از آشکارسازی سایه، الگوریتم‌های حذف آن مورد استفاده قرار می‌گیرند. روش‌هایی که از یک تصویر، سایه‌ها را حذف

بیشتری داشته باشد. لذا برای حل این مشکل نواحی کاندید شده مورد آنالیز اجزای متصل قرار می‌گیرند و تکه‌های کوچک که بر اثر نویز وارد این گروه شده‌اند حذف می‌شوند. به این ترتیب طی فرآیند تعیین دقیق محل سایه بخش‌های کاندید شده به دو دسته سایه‌های قطعی و غیر سایه‌ها تقسیم می‌شوند. نتیجه پیاده‌سازی این الگوریتم بر یک تصویر هوایی نمونه در شکل ۲ قابل ملاحظه است.



شکل ۲: اعمال الگوریتم Chung و همکارانش بر روی تصویری از مسجدالنبی و نتیجه آن. (الف) تصویر ورودی، (ب) نقشه نسبت Chung و همکارانش. (پ) نتیجه

Shi و همکارانش در مرجع [۱۸] ادعا می‌کنند روش مرجع [۸] برای برخی تصاویر که دارای بافت سبز تیره هستند جواب نمی‌دهد. علت آن این است که اگر در تصویری R، G و B دارای مقدار برابر باشند یا مجموع آن‌ها به صفر نزدیک باشد؛ طبق رابطه (۱) مقدار V_1 برابر یا نزدیک به صفر شده و بر اساس رابطه (۳) باعث بروز تغییرات شدید در H می‌شود. حال آن‌که برابر بودن R، G و B در محیط‌های سایه اتفاق نادری نیست. به عبارت دیگر این نقطه ضعف باعث نویز پذیری شدید نقشه نسبت و غیرقابل اتکا بودن آن می‌شود. آن‌ها برای اثبات ادعای خود تصویری را مثال می‌زنند که در شکل ۳ آمده است. در تصویر نتیجه این شکل سایه‌های بالا سمت راست آشکار سازی نشده‌اند چراکه مقادیر R، G و B برابر داشته‌اند.



شکل ۳: نتیجه آشکارسازی نامطلوب الگوریتم Chung و همکارانش. (الف) تصویر ورودی، (ب) نقشه نسبت Chung و همکارانش. (پ) نتیجه آشکارسازی [۱۸].

Shi و همکارانش در اصلاح و تکمیل الگوریتم مرجع [۸] برای انتقال تصویر از فضای RGB به فضای HSI از رابطه متداول Gonzalez

شده و ... نمونه‌هایی از سایه ثابت و سایه ماشین‌ها و انسان‌های در حال حرکت نمونه‌هایی از سایه متغیر به حساب می‌آیند. در روش‌هایی که با استخراج عناصر متحرک تصویر، آشکار سازی سایه صورت می‌گیرد، سایه ثابت جزئی از تصویر پس‌زمینه به حساب می‌آید و سایه‌ای که مخرب است و نیاز به آشکار سازی و حذف دارد؛ سایه متغیر است. همچنین سایه‌ها ممکن است به جسم چسبیده باشند یا از آن جدا باشند [۳۴]. در تصاویر هوایی سایه‌هایی که تولید می‌شوند سایه‌هایی چسبیده به جسم و ثابت هستند.

۲-۱- روش‌های آشکار سازی سایه

از نظر فضای رنگی HSI مناسب‌ترین فضا برای آشکار سازی سایه است [۲۵]. لذا مرجع [۸] برای آشکار سازی سایه در تصاویر هوایی، تصاویر را از فضای رنگی RGB به این فضا می‌برد و روابط (۱) تا (۳) را ارائه می‌دهد:

$$\begin{bmatrix} I \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ -\frac{\sqrt{6}}{6} & -\frac{\sqrt{6}}{6} & \frac{\sqrt{6}}{3} \\ \frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{2}{\sqrt{6}} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$S = \sqrt{V_1^2 + V_2^2} \quad (2)$$

$$H = (\operatorname{tg}^{-1}(\frac{V_1}{V_2}) + \pi) \times \frac{255}{2\pi} \quad (3)$$

در این روابط بازه I و H در محدوده [۰-۲۵۵] خواهد بود. سپس نقشه نسبت به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$RM_{(x,y)} = \operatorname{round}\left(\frac{H_{(x,y)}}{I_{(x,y)} + 1}\right) \quad (4)$$

در این رابطه برای اجتناب از ایجاد مقدار صفر در مخرج، عدد ۱ به آن اضافه شده است. سپس برای افزایش فاصله بین نواحی سایه و غیر سایه، نقشه نسبت در رابطه (۵) قرار داده می‌شود.

$$RM'_{(x,y)} = \begin{cases} e^{\frac{(RM_{(x,y)} - T_s)^2}{4\sigma^2}} \times 255, & RM_{(x,y)} < T_s \\ 255, & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

در پیاده‌سازی‌های مرجع [۸]، T_s شرایطی است که در آن $\sum_{i=1}^{T_s} P(i) = P_s$ شود، به طوری که $P(i)$ به احتمال مقدار i در RM اختصاص دارد و P_s به صورت تجربی ۰/۹۵ در نظر گرفته شده است. همچنین سیگما (σ) از رابطه $\sqrt{\sum_{i=1}^{T_s-1} P(i)P(i-T_s)^2}$ به دست می‌آید. سپس برای نقشه نسبت آماده شده توسط الگوریتم آتسو، یک آستانه عمومی پیدا می‌شود که باعث می‌شود برخی نواحی برای سایه کاندید شوند. اما آستانه‌گیری عمومی بر روی این نقشه نسبت نتیجه کاملی در بر ندارد. چرا که ممکن است بخشی از تصویر سایه باشد و در عین حال دارای نسبت به بخش دیگر تصویر که سایه نیست، مقدار

از اشتراک این دو تصویر باینری پیکسل‌های کاندید برای سایه استخراج می‌شود. با آنالیز پیکسل‌های کاندید شده، نواحی کاندید شده به دست می‌آیند. سپس برای هر ناحیه کاندید شده چند قاعده در نظر گرفته می‌شود و هر ناحیه که دارای قواعد در نظر گرفته شده باشد به‌عنوان سایه برچسب می‌خورد.

قواعد مرجع [۱۸] به‌طور خلاصه موارد زیر هستند:

۱. یک ناحیه سایه معمولاً نسبت به همسایه‌های خود دارای شدت رو شنایی کمتری است. این اختلاف حداقل برابر ۴۰ است.
۲. ته رنگ یک ناحیه سایه و همسایه‌های آن معمولاً برابر است و حداکثر اختلاف آن‌ها برابر ۱۲ است.
۳. انحراف استاندارد ته رنگ یک ناحیه سایه، کمتر از همسایه‌هایش است و این مقدار حداکثر برابر ۸ است.
۴. نسبت اختلاف رنگ قرمز یک ناحیه سایه و همسایه‌اش به اختلاف رنگ آبی‌شان حدود ۱/۷ است.

اگر در یک ناحیه شرایط فوق محقق شد آن ناحیه سایه است. اگر محقق نشد انحراف استاندارد مقادیر پیکسل‌های ناحیه، محاسبه می‌شود. اگر مقدار آن کمتر از ۵ بود آن ناحیه غیر سایه است. در غیر این صورت آن ناحیه دوباره به نواحی کوچک‌تری شکسته می‌شود و قواعد فوق برای تمامی زیر نواحی آن بررسی می‌شود. این چرخه آن‌قدر ادامه می‌یابد تا به تمامی پیکسل‌های تصویر، برچسب سایه یا غیر سایه زده شود. در نهایت پیکسل‌هایی که در اولین گام استخراج شده بودند طبق برچسب غالب همسایگی‌شان برچسب شده می‌شوند.

۲-۲- مشکل نقشه نسبت Shi و همکارانش

در نقشه نسبت Shi و همکارانش S بر روی I قرار گرفته است. اساس این تصمیم‌گیری از آنجا ناشی شده است که در فرآیند تشکیل سایه، شدت روشنایی کمتر و اشباع بیشتر می‌شود [۳۶]. پس مقدار این کسر در نواحی سایه عدد بزرگی می‌شود. تعریف S در رابطه (۸) آمده است. طبق برر سی‌های انجام شده، این معادله برای پیکسل‌های تصویر که دارای انحراف استاندارد زیاد بین مقادیر لایه‌های RGB خود هستند مقدار زیادی را برای نقشه نسبت فراهم می‌کند، اما برای آن‌هایی که دارای انحراف استاندارد کم هستند مقدار بسیار کمی را ایجاد می‌کند. در جدول ۱ دو رنگ مختلف با مجموع RGB برابر و انحراف استاندارد متفاوت بررسی شده است.

همان‌طور که در جدول ۱ دیده می‌شود با این‌که به صورت بصری توقع داریم رنگ خاک‌ستری احتمال بیشتری برای سایه بودن داشته باشد رنگ قرمز خالص احتمال بسیار بیشتری دارد. این مسئله به‌طور جامع‌تری با تصویر ورودی شکل ۴ ارزیابی شده است. در این شکل سعی شده طیف وسیعی از رنگ‌های مختلف وجود داشته باشد. لذا با افزایش سطرها از بالا به پایین رنگ قرمز از صفر تا ۲۵۵ افزایش می‌یابد و با افزایش ستون‌ها از چپ به راست رنگ سبز از صفر تا ۲۵۵ افزایش

[۳۵] استفاده می‌کند. چگونگی این انتقال در روابط (۶) تا (۹) آمده است.

$$\theta = \arccos \left(\frac{\frac{1}{2}[(R-G) + (R-B)]}{\sqrt{(R-G)^2 + (R-G)(G-B)}} \right) \quad (6)$$

$$H = \begin{cases} \theta, & B \leq G \\ 360 - \theta, & B > G \end{cases} \quad (7)$$

$$S = 1 - \frac{3}{R+G+B} [\min(R, G, B)] \quad (8)$$

$$I = \frac{1}{3}(R+G+B) \quad (9)$$

مرجع [۱۸] ابتدا پیکسل‌هایی را که در آن‌ها $R = G = B$ یا $R + G + B < T_{sum}$ است، استخراج می‌کند تا آن‌ها را در انتها به کمک همسایه‌هایشان برچسب‌زنی کند (T_{sum} به‌طور تجربی برابر ۳ است). سپس S و H را به بازه [۰-۲۵۵] مقیاس می‌کند. طبق مرجع [۳۶] در نواحی سایه اشباع رنگ بیشتر از نواحی غیر سایه است. لذا در مرجع [۱۸] دو نقشه نسبت (۱۰) و (۱۱) برای آشکارسازی سایه ارائه شده است.

جدول ۱: مقایسه اندازه نقشه نسبت Shi و همکارانش برای دو رنگ

مختلف		
رنگ ۲	رنگ ۱	
۸۴	۲۵۵	R
۸۵	۰	G
۸۶	۰	B
۱	۱۴۷/۲۲	انحراف استاندارد
۸۵	۸۵	I
۰/۳۳	۰/۳۳	Ie
۰/۰۱	۱	S
۳	۲۵۵	Se
۲/۲۵	۱۹۱/۲۵	RM _s
%/۸۸	%/۷۵	احتمال سایه بودن

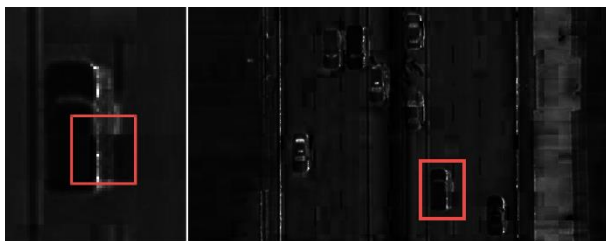
$$RM_H(x, y) = \text{round} \left(\frac{H_e(x, y)}{I_e(x, y) + 1} \right) \quad (10)$$

$$RM_S(x, y) = \text{round} \left(\frac{S_e(x, y)}{I_e(x, y) + 1} \right) \quad (11)$$

تمایز هر کدام از نقشه نسبت‌های $RM_H(x, y)$ و $RM_S(x, y)$ به کمک معادله (۵) زیاد می‌شود و نقشه نسبت‌های $RM'_H(x, y)$ و $RM'_S(x, y)$ تولید می‌شوند. سپس هر کدام از نقشه نسبت‌ها به کمک روش آتسو آستانه گذاری شده و به دو تصویر باینری تبدیل می‌شوند.

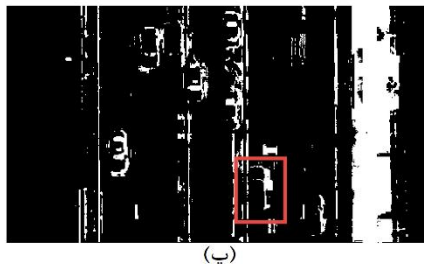
حالت آنکه هزاران پیکسل در اطراف این نواحی، در این نقشه نسبت دچار خطا شده‌اند. نمونه واقعی این خطا با ورودی دیگری که در شکل ۵ نشان داده شده است؛ بررسی می‌شود.

در شکل ۵ - الف ناحیه‌ای مشخص شده است که در آن، یک ماشین سایه‌دار قرار دارد. در این ناحیه دو پیکسل با مختصات [۲۲۳،۲۹۱] و [۲۲۴،۲۹۱] که در کنار هم و هر دو در ناحیه سایه ماشین قرار دارند، در نظر گرفته شده است. مقادیر RGB این دو پیکسل به ترتیب برابر [۲،۵،۴] و [۰،۴،۳] است که نشان‌دهنده اختلاف بسیار کمی است؛ اما نقشه نسبت مرجع [۱۸] برای احتمال سایه بودن این دو پیکسل به ترتیب مقادیر ۱۱۴/۶۸ و ۲۵۳/۳۱ یعنی ۴۵٪ و ۹۹٪ را در نظر می‌گیرد. این اختلاف زیاد باعث ایجاد خطا در آشکارسازی می‌شود. همین موضوع در بسیاری از پیکسل‌ها اتفاق می‌افتد. نتیجه اعمال این نقشه نسبت برای کل تصویر در شکل ۶ آمده است



(ب)

(الف)



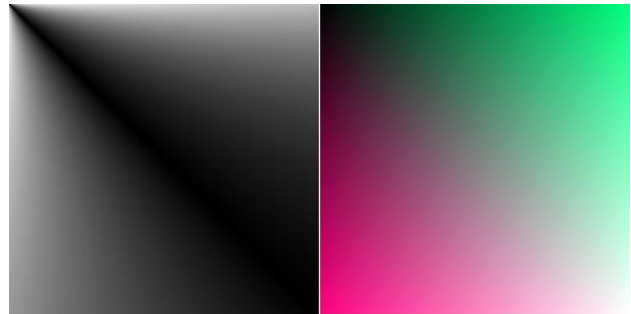
(ب)

شکل ۶: نتیجه اعمال نقشه نسبت مرجع [۱۸] بر شکل ۵ - الف. (الف) نقشه نسبت مرجع [۱۸] برای تصویر ورودی. (ب) اختلاف زیاد در نقشه نسبت در ناحیه سایه. (پ) خروجی نهایی نقشه نسبت مرجع [۱۸] که نواحی سایه را به رنگ سفید نشان می‌دهد.

همان‌طور که دیده می‌شود برخی نواحی سایه‌ها در شکل ۶ - ب، دارای احتمال کمی برای سایه بودن هستند که منجر می‌شود در نتیجه نهایی نقشه نسبت، خطا ایجاد شود.

برای حل این مشکل سعی شده صورت کسر رابطه (۸)، از حالت غیرخطی خارج شود و درعین حال مقداری باشد که با ایجاد سایه، کم شود. در این صورت مقدار S در نواحی سایه، مقدار بزرگی می‌شود. با توجه به اینکه فضای رنگی YCbCr در آشکارسازی سایه دارای مزایای زیادی است [۳۷]، در مرحله اول برای بهبود صورت کسر از این فضای رنگی کمک گرفته می‌شود. همچنین برای بهبود مخرج آن از ضرایب ویژه به دست آمده برای سایه که در ادامه توضیح داده می‌شود؛ استفاده شده است.

دارد. رنگ آبی نیز همواره برابر میانگین رنگ قرمز و سبز است. لذا قطر این تصویر دارای مقادیر برابر برای لایه‌های RGB است که از گوشه بالا سمت چپ تا گوشه پایین سمت راست به ترتیب از [۰،۰،۰] تا [۲۵۵،۲۵۵،۲۵۵] افزایش می‌یابد.



(ب)

(الف)

شکل ۴: تشکیل نقشه نسبت Shi و همکارانش برای یک تصویر نمونه. (الف) تصویر ورودی با طیف رنگی گسترده. افزایش قرمز از بالا به پایین و افزایش سبز از چپ به راست و آبی میانگین قرمز و سبز (ب) احتمال سایه بودن پیکسل‌های (الف) در نقشه نسبت ارائه شده توسط Shi و همکارانش

رابطه (۱۱) برای هر نقطه از شکل ۴ - الف محاسبه شده و نتیجه آن شکل ۴ - ب را تشکیل داده است. همان‌طور که در شکل ۴ - ب دیده می‌شود گوشه پایین سمت راست، مقادیر کمی دارد و سیاه است و با فاصله گرفتن از رنگ سفید در دو گوشه مجاور آن، احتمال سایه بودن بیشتر می‌شود و این از نظر منطقی مورد انتظار است. چرا که هرچه شدت روشنایی بیشتر می‌شود باید احتمال سایه بودن نیز کمتر شود؛ اما احتمال سایه بودن پیکسل‌هایی که مقادیر RGB کم یا مقادیر لایه‌های RGB به هم نزدیک دارند، کم است (گوشه بالا سمت چپ و اطراف قطر اصلی). این نکته نشان می‌دهد این نقشه نسبت قابل اعتماد نیست. چرا که احتمال سایه بودن وابستگی شدیدی به انحراف استاندارد مقادیر پیکسل‌ها دارد. البته Shi و همکارانش در الگوریتم خود پیکسل‌هایی را که در آن‌ها $R = G = B$ یا $R + G + B < 3$ باشد را استخراج می‌کند تا در انتها به کمک همسایه‌هایشان برچسب‌زنی کند. اما این استخراج صرفاً قطر اصلی و چند پیکسل خاص (مجموعاً ۲۶۵ پیکسل از شکل ۴ - الف) را شامل می‌شود.



(ب)

(الف)

شکل ۵: (الف) تصویر ورودی و انتخاب یک ناحیه از آن، جهت بررسی. (ب) بخش مورد بررسی از تصویر ورودی

۲-۳- ضرایب ویژه میرایی رنگ در ناحیه سایه

درباره سایه دو نکته مطرح است. نکته اول این است که شدت روشنایی در نواحی سایه کمتر از نواحی غیر سایه است. نکته دیگر اینکه رنگ ناحیه سایه و ناحیه غیر سایه به هم نزدیک است. با این وجود اتکا به همین دو ویژگی برای آشکار سازی سایه کافی نیست و ممکن است باعث خطا در طبقه‌بندی شود.

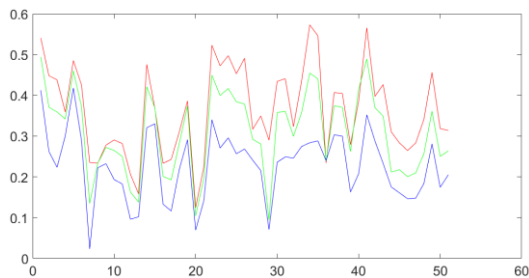
در این کار میرایی رنگ‌های R، G و B هنگامی که یک ناحیه تحت سایه قرار می‌گیرد بررسی شده است. زمانی که نور خورشید وارد اتمسفر می‌شود در فرآیند جذب قرار می‌گیرد و در هوا پخش می‌شود؛ اما با توجه به طول موج کمتر رنگ آبی، میزان پخش آن بیشتر از رنگ‌های دیگر است و همین امر باعث می‌شود آسمان آبی دیده شود [۱۳]. پس در طول روز، یک منبع متمرکز نور سفید و یک منبع غیرمتمرکز نور آبی در آسمان وجود دارد. در حالت عادی به یک ناحیه از تصویر، هم نور سفید خورشید و هم نور آبی آسمان می‌تابد؛ اما تأثیر نور آبی آسمان در روشن کردن آن ناحیه، بسیار کمتر از نور خورشید و قابل چشم‌پوشی است. زمانی که جسمی از رسیدن نور خورشید به یک ناحیه ممانعت می‌کند در آن ناحیه سایه شکل می‌گیرد و اثر نور خورشید در روشن کردن آن ناحیه بسیار کم می‌شود. لذا مقادیر RGB آن ناحیه کم می‌شود. در این حالت سهم نور آبی آسمان در شدت روشنایی آن ناحیه بیشتر است و آن ناحیه از نظر رنگی، کمی آبی‌تر می‌شود. لذا در مجموع می‌توان این‌گونه بیان کرد که با ایجاد سایه در یک ناحیه، شدت رنگ قرمز نسبت به رنگ آبی افت بیشتری دارد. طی یک بررسی بر روی ۵۱ جفت تصویر از پایگاه داده‌ای که برای بررسی موضوع سایه در اختیار عموم قرار گرفته است؛ این نتیجه حاصل شد که افت رنگ قرمز بیشتر از رنگ سبز و افت رنگ سبز بیشتر از رنگ آبی است. در شکل ۷- الف یک جفت از تصاویر این پایگاه داده به‌عنوان نمونه نمایش داده شده است. در شکل ۷- ب اختلاف رنگ مجموع پیکسل‌های سایه و پیکسل‌های متناظر آن‌ها در شرایط بدون سایه در تمامی ۵۱ جفت تصویر نمایش داده شده است. همان‌طور که انتظار می‌رود تغییرات رنگ آبی ناشی از ایجاد سایه کمتر از دو رنگ دیگر است. در شکل ۷- پ نسبت افت رنگ قرمز و افت رنگ سبز به افت رنگ آبی نمایش داده شده است. ملاحظه می‌شود، غالباً افت قرمز در ناحیه سایه بیشتر از افت سبز است. ملاحظه می‌شود نسبت افت رنگ قرمز به آبی بیشتر از نسبت افت رنگ سبز به آبی است. به‌طور میانگین برای تمامی تصاویر پایگاه داده، این نسبت برای افت قرمز بر آبی برابر ۱/۵۸ و برای افت سبز بر آبی برابر ۱/۳۴ است. در شکل ۷- ت میانگین انحراف استاندارد مقادیر R، G و B در مجموع پیکسل‌های ناحیه‌ای که روی آن سایه می‌افتد؛ بررسی شده است. این مقدار هم برای تصویر بی‌سایه و هم برای تصویر سایه‌دار اندازه‌گیری شده است. شکل ۷- ت نشان می‌دهد انحراف استاندارد سه مقدار R، G و B در مجموع پیکسل‌های یک ناحیه سایه کمتر از حالتی است که در آن ناحیه سایه نباشد. میانگین این مقدار برای تصاویر بدون سایه برابر

۰/۰۹ و برای تصاویر سایه‌دار برابر ۰/۰۳ است که نشان از کاهش حدوداً ۶۶ درصدی دارد.

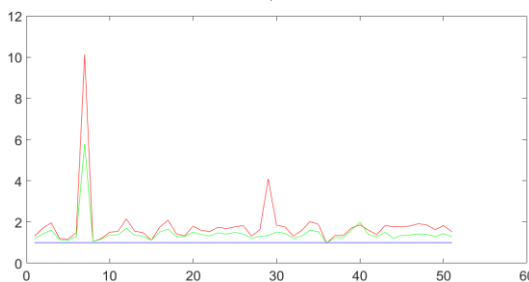
با توجه به این نتیجه که ایجاد سایه در یک ناحیه از تصویر باعث کاهش انحراف استاندارد مقادیر RGB آن ناحیه از تصویر می‌شود می‌توان با تخصیص ضرایبی به مقادیر R، G و B در مخرج کسر نقشه نسبت رابطه (۸)، شرایطی را ایجاد کرد که باعث شود نقشه نسبت برای پیکسل‌های سایه مقدار بیشتری بدهد. این ضرایب همان مقادیر افت سه رنگ RGB هستند که نرمالیزه شده و مجموع آن‌ها برابر یک است.



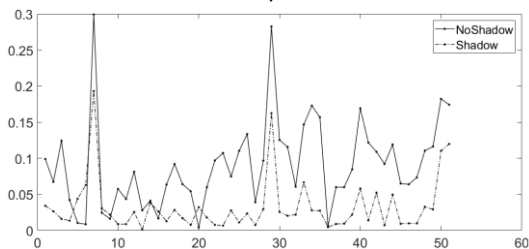
(الف)



(ب)



(پ)



(ت)

شکل ۷: بررسی میزان افت هر کانال رنگی در ناحیه سایه برای تمامی ۵۱ جفت تصویر پایگاه داده. (الف) یک جفت از تصاویر مورد بررسی. (ب) میزان افت هر کانال رنگی ناشی از ایجاد سایه برای هر جفت از تصاویر پایگاه داده. (پ) نسبت افت رنگ قرمز و سبز به افت رنگ آبی ناشی از ایجاد سایه برای هر جفت از تصاویر پایگاه داده. (ت) انحراف استاندارد لایه‌های RGB نواحی سایه در دو حالت بدون سایه و سایه‌دار برای هر جفت از تصاویر پایگاه داده.

۳- الگوریتم پیشنهادی

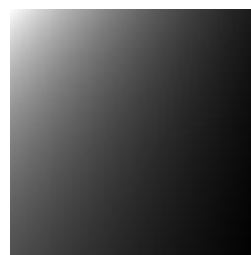
همان‌طور که ذکر شد Shi و همکارانش برای تولید دو نقشه نسبت خود از معادله‌های (۶) تا (۱۱) استفاده می‌کنند و شروع کار خود را با اشتراک‌گیری از نتایج این دو نقشه نسبت قرار می‌دهد. در بخش گذشته به بررسی عملکرد نقشه نسبت مبتنی بر اشباع که در رابطه (۱۱) آمده است؛ پرداخته و برخی معایب آن مطرح شد. در این بخش نقشه نسبتی مبتنی بر دو فضای رنگی RGB و YCbCr تولید می‌شود که معایب نقشه نسبت Shi و همکارانش را ندارد. همچنین با توجه به رابطه میرایی رنگ‌ها در هنگام ایجاد سایه که از قانون پلانک نشأت گرفته و نتیجه آن نسبت میرایی رنگ‌ها است [۲۸] در دومین مرحله از ساخت نقشه نسبت، از این رابطه بهره گرفته می‌شود.

۳-۱- نقشه نسبت پیشنهادی

در این کار نقشه نسبت جدیدی با دو اصلاح در صورت و مخرج روش ارائه شده در مرجع [۱۸] پیشنهاد شده است. در این نقشه نسبت ایرادات منطقی نقشه نسبت Shi و همکارانش برطرف شده و به صورت زیر تغییر کرده است.

$$S = 1 - \frac{2Y}{0.26R + 0.3G + 0.4B + 1} \quad (12)$$

در رابطه (۱۲) برای اجتناب از صفر شدن، مخرج با یک جمع می‌شود. همچنین با توجه به این که ضرایب نرمالیزه شده‌اند و مجموع آن‌ها برابر یک است، حداکثر مقدار مخرج برابر ۲ خواهد شد. پس ضریب صورت هم از ۳ به ۲ کاهش یافته است؛ بنابراین S در بازه [۰-۱] خواهد بود. در شکل ۴ تصاویری از مجموعه رنگ‌ها و احتمال سایه بودن آن‌ها در نقشه نسبت مرجع [۱۸] به نمایش درآمده است. محاسبه نقشه نسبت پیشنهادی برای شکل ۴ - الف، منجر به تولید شکل ۸ می‌شود.

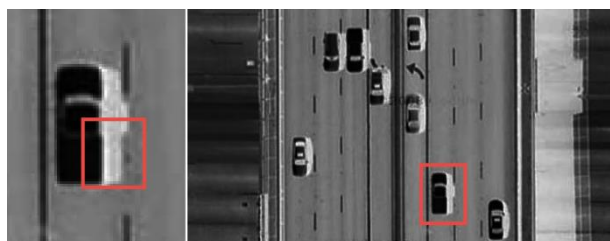


شکل ۸: نتیجه اعمال نقشه نسبت ارائه شده بر تصویر شکل ۴ - الف.

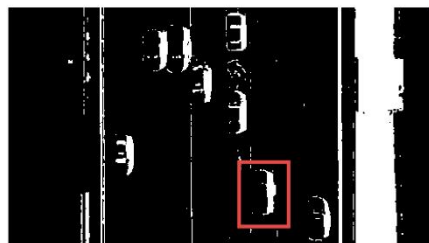
همان‌طور که ملاحظه می‌شود برخلاف شکل ۴ - ب، انحراف استاندارد کم بین مقادیر RGB (اطراف قطر اصلی) عاملی برای کاهش احتمال سایه بودن نیست؛ یعنی آنچه روشن‌تر است بدون هیچ قیدی برای سایه بودن احتمال کمتری دارد و بالعکس. همچنین برخلاف نتیجه جدول ۱، رنگ‌های خالص نیز برای سایه بودن احتمال کمتری نسبت به رنگ‌های تیره نزدیک به خاکستری دارند.

نتیجه اعمال نقشه نسبت پیشنهادی به شکل ۵ - الف، در شکل ۹ نمایش داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود برخلاف شکل ۶ - ب در نواحی سایه، یکنواختی نقشه نسبت کاملاً به چشم می‌خورد. این امر موجب افزایش دقت می‌شود. با مقایسه شکل ۶ - پ و شکل ۹ - پ افزایش دقت قابل مشاهده است. در مرحله بعد برای افزایش فاصله نواحی سایه از نواحی غیر سایه از رابطه (۵) کمک گرفته می‌شود. سپس نقشه نسبت حاصل شده تحت فیلتر ناهمسانگرد و فرآیندهای ریخت‌شناسی قرار می‌گیرد تا نویزهای احتمالی آن برطرف شود. سپس آستانه گذار آتسو نقشه نسبت حاصله را به دو دسته سایه و غیر سایه تقسیم می‌کند و از مجموع این مقادیر نقشه سایه نهایی به دست می‌آید.

با توجه به افزایش کیفیت عملکرد نقشه نسبت و نتایج قابل قبول آن، می‌توان از بررسی محلی نواحی صرف‌نظر کرد. در این صورت بار محاسباتی بسیار کمتر و سرعت الگوریتم بسیار زیاد می‌شود. لذا می‌توان برای کاربردهای بلادرنگ از آن استفاده کرد.



(ب) (الف)



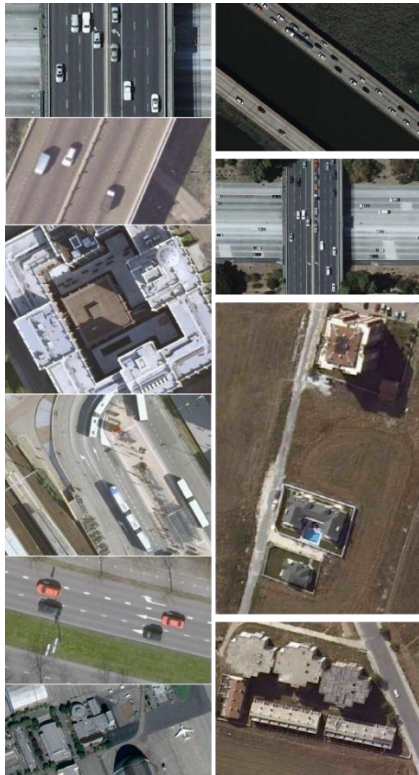
(پ)

شکل ۹: نتیجه اعمال نقشه نسبت ارائه شده بر شکل ۵ - الف. (الف) نقشه نسبت ارائه شده برای تصویر ورودی. (ب) یکنواختی در نقشه نسبت در ناحیه سایه. (پ) خروجی نهایی نقشه نسبت ارائه شده.

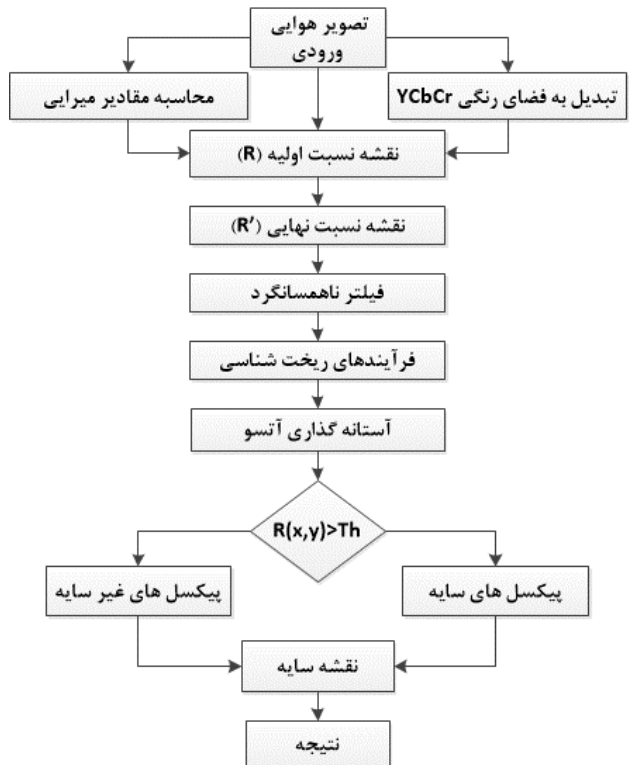
۴- نتایج تجربی و مقایسه با سایر روش‌ها

در این بخش نتایج الگوریتم پیشنهادی ارائه می‌شود. در شکل ۱۱ تصاویر مورد استفاده در این آزمایش‌ها نشان داده شده است. از آنجا که در این زمینه پایگاه داده مناسبی به‌عنوان مرجع وجود ندارد، محققان از تصاویر مختلفی برای ارزیابی روش خود استفاده می‌کنند و روش دیگران را با تصاویر خود می‌سنجند. در این مقاله سعی شده هم از تصاویر موجود در مقالات قبلی و هم از تصاویر جدید استفاده شود. همچنین برای مقایسه عملکرد روش ارائه شده از نقشه نسبت‌های موجود در مراجع [۸]، [۱۸] و [۳۸] استفاده شده است.

که در آن TP برابر با تعداد پیکسل‌های سایه است که درست تشخیص شده‌اند. FN معادل تعداد پیکسل‌های سایه‌ای است که به‌غلط غیر سایه تشخیص داده شده‌اند. همچنین FP برابر با تعداد پیکسل‌های غیر سایه است که به‌غلط سایه تشخیص داده شده‌اند و TN برابر با تعداد پیکسل‌های غیر سایه‌ای است که به‌درستی غیر سایه تشخیص داده شده‌اند. TPR نسبت پیکسل‌های سایه درست تشخیص داده شده بر روی کل پیکسل‌های سایه و TNR نسبت پیکسل‌های غیر سایه درست تشخیص داده شده بر روی کل پیکسل‌های غیر سایه است.



شکل ۱۱: تصاویر استفاده شده برای ارزیابی



شکل ۱۰: فلوچارت روش پیشنهادی

در این مقاله برای ارزیابی روش ارائه شده از معیار صحت سازنده که دارای دو پارامتر TPR و TNR است استفاده می‌شود. این دو پارامتر در رابطه‌های (۱۳) و (۱۴) معرفی شده‌اند.

$$TPR = \frac{TP}{TP + FN} \quad (13)$$

$$TNR = \frac{TN}{FP + TN} \quad (14)$$

جدول ۲: مقایسه نتایج نقشه نسبت ارائه شده با نقشه نسبت دیگر روش‌ها برای تصاویر پایگاه داده موجود

تصویر	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	مجموع	
نقشه نسبت مرجع [۸]	TPR	۷۸/۶۹	۲۱/۴۶	۳۰/۸۲	۴۷/۶۹	۶۴/۹۸	۱۶/۷۰	۲۷/۵۱	۳۷/۵۷	۲۴/۸۷	۳۹/۴۶	۸۳/۹۷
	TNR	۹۵/۹۵	۸۹/۴۸	۷۱/۹۲	۸۶/۰۵	۹۲/۰۲	۶۰/۷۹	۷۲/۵۷	۶۸/۰۷	۹۹/۰۰	۹۸/۱۵	۳۸/۴۰
	Average	۸۷/۳۲	۵۵/۴۷	۵۱/۳۷	۶۶/۸۷	۷۸/۵۰	۳۸/۷۴	۵۰/۰۴	۵۲/۸۲	۵۲/۹۳	۶۸/۸۰	۶۱/۱۹
	Accuracy	۹۲/۷۰	۷۶/۰۰	۵۰/۹۰	۸۰/۸۲	۹۸/۰۲	۶۱/۱۱	۶۷/۹۷	۶۵/۲۲	۹۱/۲۸	۸۶/۰۱	۷۷/۰۳
نقشه نسبت مرجع [۱۸]	TPR	۷۸/۹۹	۵۸/۶۴	۳۲/۹۲	۲۸/۴۷	۱۷/۱۹	۵۷/۵۰	۵۲/۶۳	۸۸/۱۱	۴۲/۱۸	۴۶/۷۱	۵۰/۳۳
	TNR	۹۶/۰۲	۹۰/۷۳	۸۷/۲۲	۸۳/۴۴	۷۳/۵۰	۹۴/۶۲	۸۲/۶۹	۹۳/۲۴	۷۶/۵۵	۸۶/۴۶	۸۶/۴۵
	Average	۸۷/۵۱	۷۴/۶۸	۶۰/۰۷	۵۵/۹۵	۴۵/۳۴	۷۶/۰۶	۶۷/۶۶	۹۰/۶۸	۵۹/۳۷	۶۶/۵۸	۶۸/۳۹
	Accuracy	۹۴/۷۷	۸۲/۴۶	۵۶/۶۱	۷۰/۳۱	۷۲/۰۱	۹۱/۶۰	۸۲/۰۲	۹۲/۶۶	۸۸/۱۲	۸۲/۶۸	۸۱/۳۱
نقشه نسبت مرجع [۳۸]	TPR	۷۱/۹۹	۵۰/۵۷	۶۴/۷۵	۵۶/۰۴	۷۹/۱۶	۳۵/۹۵	۷۴/۷۱	۸۹/۳۳	۶۹/۱۴	۵۳/۴۴	۶۴/۵۱
	TNR	۹۹/۶۶	۹۹/۹۹	۹۹/۱۷	۹۹/۲۹	۹۴/۴۰	۹۹/۷۲	۹۸/۰۶	۹۶/۰۸	۹۹/۵۳	۹۹/۷۰	۹۸/۵۶
	Average	۸۵/۸۲	۷۵/۲۸	۸۱/۹۶	۷۷/۶۶	۸۶/۷۸	۶۷/۸۴	۸۶/۳۹	۹۲/۷۰	۸۴/۳۴	۷۶/۵۷	۸۱/۵۳
	Accuracy	۸۷/۰۷	۷۴/۷۰	۵۸/۳۹	۷۸/۳۵	۹۷/۷۸	۸۹/۲۵	۹۰/۴۵	۹۷/۷۸	۹۳/۲۱	۸۵/۰۱	۸۵/۲۰

جدول ۳: نتایج تأثیر بهبود مخرج نقشه نسبت، صورت آن و ترکیب هر دو آن‌ها بر معیارهای TPR، TNR، میانگین آن‌ها و Accuracy

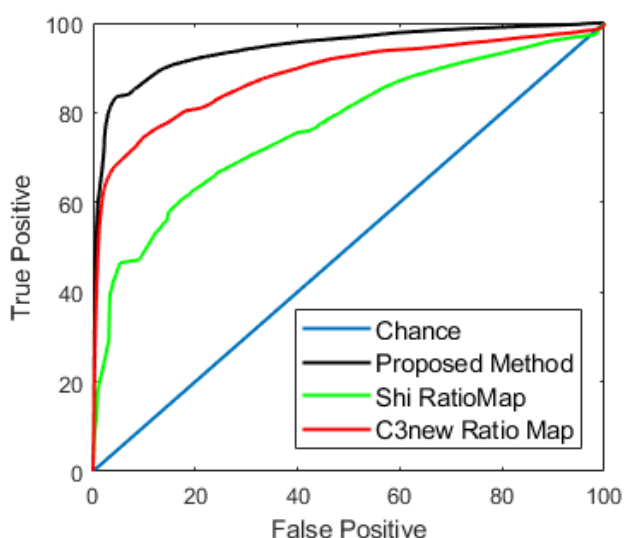
تصویر	اصلاح ضرایب مخرج نقشه نسبت				اصلاح صورت نقشه نسبت				نقشه نسبت ارائه شده			
	Accuracy	Average	TNR	TPR	Accuracy	Average	TNR	TPR	Accuracy	Average	TNR	TPR
۱	۹۲/۷۲	۹۲/۶۰	۹۲/۴۸	۹۲/۵۰	۹۲/۶۰	۹۲/۸۹	۹۲/۱۷	۹۲/۶۰	۹۲/۴۴	۹۲/۸۱	۹۲/۹۶	۹۲/۶۵
۲	۸۳/۳۱	۹۰/۶۸	۹۸/۰۵	۹۲/۸۶	۹۲/۰۱	۹۱/۱۰	۹۸/۵۴	۸۲/۶۵	۹۳/۳۳	۹۱/۲۰	۹۸/۳۴	۸۴/۰۵
۳	۶۶/۰۸	۸۱/۵۴	۹۷/۰۱	۷۳/۱۸	۷۳/۸۹	۸۳/۱۶	۹۸/۱۶	۶۸/۶۱	۷۴/۶۵	۸۳/۱۷	۹۸/۰۹	۸۹/۲۶
۴	۷۱/۲۲	۷۸/۴۹	۸۵/۷۶	۸۱/۹۷	۸۶/۲۱	۸۱/۲۸	۸۷/۸۴	۷۴/۷۱	۸۵/۹۵	۸۱/۱۵	۸۷/۷۱	۷۴/۵۹
۵	۷۷/۱۹	۷۵/۰۱	۷۲/۸۳	۸۰/۷۷	۹۷/۶۳	۸۶/۷۸	۸۹/۸۷	۸۲/۶۹	۹۷/۳۹	۸۴/۳۷	۸۵/۲۵	۸۳/۴۸
۶	۶۲/۰۹	۷۹/۱۹	۷۹/۱۹	۹۴/۲۱	۹۳/۲۳	۷۳/۸۸	۷۹/۰۲	۹۸/۷۳	۹۴/۶۲	۷۹/۴۰	۹۷/۸۷	۶۰/۹۲
۷	۹۶/۵۹	۸۹/۶۷	۸۲/۷۵	۸۹/۲۶	۹۰/۹۳	۹۰/۱۱	۸۳/۶۰	۹۶/۶۱	۹۰/۲۳	۸۹/۶۶	۸۲/۵۲	۹۶/۸۰
۸	۹۷/۸۱	۹۰/۹۴	۸۴/۰۸	۹۰/۰۰	۹۰/۹۹	۹۱/۶۴	۸۵/۴۷	۹۷/۸۱	۹۰/۳۳	۹۱/۳۶	۸۴/۷۲	۹۸/۰۰
۹	۸۹/۰۳	۹۴/۶۲	۹۴/۶۲	۹۵/۷۷	۹۷/۳۸	۹۳/۷۸	۹۵/۴۷	۹۲/۱۰	۹۷/۳۷	۹۳/۶۵	۹۵/۰۴	۹۲/۲۶
۱۰	۹۱/۳۵	۹۱/۶۴	۹۱/۶۴	۹۶/۰۲	۹۶/۵۰	۹۳/۶۷	۹۴/۹۰	۹۲/۴۳	۹۶/۵۱	۹۳/۴۲	۹۳/۷۴	۹۳/۱۰
مجموع	۸۲/۷۷	۸۹/۶۴	۸۹/۶۴	۸۹/۱۵	۹۱/۷۳	۸۷/۸۳	۹۰/۶۱	۸۵/۰۵	۹۱/۷۸	۸۸/۰۲	۹۱/۶۳	۸۴/۴۱

جدول ۴: مقایسه روش ارائه شده و روش ارائه شده در مرجع [۱۸] از نظر مدت زمان پردازش یک فریم بر حسب ثانیه.

شماره تصویر	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	میانگین
روش مرجع [۱۸]	۲۱/۳۲	۱۸/۶۹	۵۸/۰۵	۱۴/۵۰	۲/۲۶	۵۲/۰۲	۲۳/۴۴	۱۲/۳۰	۱۶/۵۸	۲۲/۷۰	۲۴/۱۹
روش ارائه شده	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۴	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۱۱

صورت نقشه نسبت این مقدار به ۹۱/۷۳ می‌رسد. این مقدار برای نقشه نسبت ارائه شده به ۹۱/۷۸ رسیده است.

در جدول ۴ مقایسه‌ای بین زمان ارائه نتیجه نهایی در روش مرجع [۱۸] و روش ارائه شده در این مقاله آمده است. این جدول بر اساس اجرای کدها در رایانه‌ای با سی پی یو Intel Core i7-2670QM و رم با ظرفیت ۸ گیگابایت در نرم‌افزار متلب نسخه 2017b تهیه شده است.



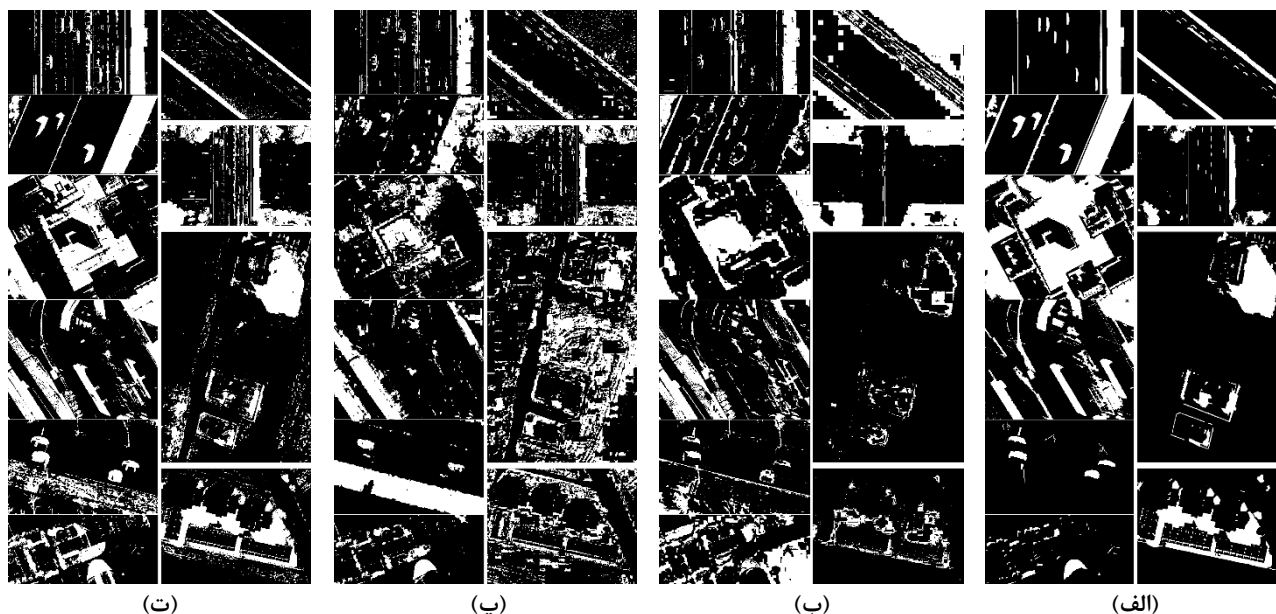
شکل ۱۲: تصاویر استفاده شده برای ارزیابی

ترکیب این دو معیار صحت کل را تشکیل می‌دهد که با Accuracy نمایش داده می‌شود و طبق رابطه (۱۵) تعریف می‌شود.

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (15)$$

در جدول ۲ مقایسه‌ای بین نتایج نقشه نسبت‌های ارائه شده در روش مراجع [۸]، [۱۸] و [۳۸] از نظر معیارهای مختلف آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود میانگین دو معیار TNR و TPR برای نقشه نسبت مرجع [۸] برابر ۶۱/۱۹ است. این مقدار برای نقشه نسبت مرجع [۱۸] به ۶۸/۳۹ و برای نقشه نسبت مرجع [۳۸] به ۸۱/۵۳ رسیده است.

با توجه به این که نقشه نسبت ارائه شده در دو مرحله بهبود یافته است، میزان تأثیر هر مرحله از بهبود، در آزمایش‌ها اندازه‌گیری شده و در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، با اصلاح ضرایب مخرج نقشه نسبت، این مقدار به ۸۶/۲۰ و با اصلاح صورت نقشه نسبت این مقدار به ۸۷/۸۳ می‌رسد. این مقدار برای نقشه نسبت ارائه شده که ترکیبی از این دو اصلاح است به ۸۸/۰۲ رسیده است. همچنین طبق جدول ۲ معیار Accuracy برای نقشه نسبت مرجع [۸] برابر ۱۷۷/۰۳ است. این مقدار برای نقشه نسبت مرجع [۱۸] به ۸۱/۳۱ و برای نقشه نسبت مرجع [۳۸] به ۸۵/۲۰ می‌رسد. طبق نتایج جدول ۳، با اصلاح ضرایب مخرج نقشه نسبت این مقدار به ۸۹/۱۵ و با اصلاح



شکل ۱۳: نتیجه اعمال نقشه نسبت‌های مختلف بر تصاویر شکل ۱۱. (الف) تصویر حقیقت مبنا^۱ (ب) نتیجه نقشه نسبت مرجع [۸]. (پ) نتیجه نقشه نسبت مرجع [۱۸]. (ت) نتیجه نقشه نسبت ارائه شده.

الگوریتم جدید جهت آشکار سازی سایه به صورت ترکیبی از فضاهای رنگی YCbCr و RGB در کنار ضرایب ویژه میرایی رنگ در ناحیه سایه استفاده کرده است. نتایج پیاده سازی الگوریتم بر روی تصاویر آزمون نشان می‌دهد روش پیشنهادی از نظر بصری و از نظر معیارهای TPR، Accuracy و TNR در مقایسه با دیگر الگوریتم‌های پیشنهادی، عملکرد بهتری دارد. روش پیشنهادی برای پایگاه داده فراهم شده نواحی سایه را با دقت ۹۱/۷۸٪ آشکارسازی نموده است که نسبت به روش‌های موجود افزایش قابل توجهی داشته است. برای ادامه پژوهش در این زمینه، بهبود تشخیص در نواحی کوچک و شلوغ به همراه ترکیب با روشی برای حذف نواحی سایه مورد توجه قرار گرفته است.

مراجع

- [۱] تقی زاده فانید، علی؛ علیرضا عندلیب و سیامک حقی پور، « تشخیص عوارض مصنوعی (انسان - ساز) در تصاویر هوایی با استفاده از ویژگی‌های فراکتال و پردازش ریخت شناسی»، مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، دوره ۴۲، شماره ۲، صفحات ۱۳-۲۴، ۱۳۹۱.
- [2] Q. Wang and L. Yan, "Anisotropic Scattering Shadow Compensation Method for Remote Sensing Image with Consideration of Terrain," International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, vol. 41, 2016.
- [3] X. Cao and H. Foroosh, "Camera calibration and light source orientation from solar shadows," Computer Vision and Image Understanding, vol. 105, pp. 60-72, 2007.
- [4] H. Kawasaki and R. Furukawa, "Shape reconstruction and camera self-calibration using cast shadows and scene geometries," International Journal of Computer Vision, vol. 83, pp. 135-148, 2009.

از آنجا که در روش مرجع [۱۸] از دو نقشه نسبت استفاده می‌شود و پس از آماده سازی نقشه نسبت ترکیبی تک تک نواحی از جهت برخی پارامترها بررسی می‌شوند برای هر فریم زمان زیادی صرف می‌شود. میانگین زمانی ۰/۱۱ ثانیه برای هر تصویر نشان می‌دهد این روش قابلیت استفاده در کاربردهای بلادرنگ را دارد. در شکل ۱۱ نمودار ROC روش ارائه شده در مقایسه با دیگر نقشه نسبت‌ها آورده شده است. این نمودار علاوه بر این که نشان از کارایی بالای این روش دارد، دید مناسبی از مزیت این روش نسبت به روش‌های دیگر می‌دهد. همان طور که می‌دانیم هرچه سطح زیر نمودار بیشتر باشد عملکرد بهتر است.

در شکل ۱۳ نتیجه اعمال نقشه نسبت‌های مختلف، بر تصاویر شکل ۱۱ آمده است. در شکل ۱۳ - الف تصویر حقیقت مبنا مشاهده می‌شود که نشان دهنده نتایج ایده‌آل است. شکل ۱۳ - ب نتیجه اعمال نقشه نسبت مرجع [۸] به تصاویر شکل ۱۱ را نشان می‌دهد. موارد خطا به وضوح در این تصویر مشخص است. شکل ۱۳ - پ مربوط به نتیجه نقشه نسبت مرجع [۱۸] است. این تصویر نشان دهنده عملکردی بهتر از تصویر ب است. اما هنوز دارای خطاهای زیادی است. شکل ۱۳ - ت مربوط به نتیجه نقشه نسبت ارائه شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، نقشه نسبت پیشنهادی نسبت به روش‌های مورد مقایسه نتیجه بهتری ارائه می‌دهد.

۵- نتیجه گیری

در این مقاله یک نقشه نسبت ترکیبی جدید برای آشکار سازی سایه در تصاویر هوایی ارائه شده است. الگوریتم پیشنهادی از ویژگی‌های مفید الگوریتم‌های موفق قبلی در کنار ایده‌های جدید بهره برده است.

- water bodies,” *Advances in Space Research*, vol. 6, pp. 2787-2800, 2018.
- [۲۱] سلیمه بامری، سعید سریزدی و حسین نظام آبادی پور، «فیلترهای چند جمله‌ای مدوله شده با دوره محدود و کاربرد آن‌ها در طبقه بندی تصویر»، *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*، دوره ۴۰، شماره ۱، صفحات ۵۶-۴۵، ۱۳۸۹.
- [22] J. Zhu, K. G. Samuel, S. Z. Masood, and M. F. Tappen, “Learning to recognize shadows in monochromatic natural images,” in *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pp. 223-230, 2010
- [23] H.-Y. Yu, J.-G. Sun, L.-N. Liu, Y.-H. Wang, and Y.-D. Wang, “MSER based shadow detection in high resolution remote sensing image,” in *International Conference on Machine Learning and Cybernetics (ICMLC)*, 2010, pp. 780-783, 2010.
- [24] C. Xing, Y. Li, and K. Zhang, “Shadow detecting using PSO and Kolmogorov test,” in *Sixth International Conference on Natural Computation (ICNC)*, pp. 572-576, 2010.
- [25] V. J. Tsai, “A comparative study on shadow compensation of color aerial images in invariant color models,” *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, vol. 44, pp. 1661-1671, 2006.
- [26] S. Murali and V. Govindan, “Shadow detection and removal from a single image using LAB color space,” *Cybernetics and information technologies*, vol. 13, pp. 95-103, 2013.
- [27] J.-F. Lalonde, A. A. Efros, and S. G. Narasimhan, “Detecting ground shadows in outdoor consumer photographs,” in *European conference on computer vision*, pp. 322-335, 2010.
- [28] J. Tian, X. Qi, L. Qu, and Y. Tang, “New spectrum ratio properties and features for shadow detection,” *Pattern Recognition*, vol. 51, pp. 85-96, 2016.
- [29] J. Huang, W. Xie, and L. Tang, “Detection of and compensation for shadows in colored urban aerial images,” in *Fifth World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA)*, pp. 3098-3100, 2004.
- [30] Q. Liu, X. Cao, C. Deng, and X. Guo, “Identifying image composites through shadow matte consistency,” *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, vol. 6, pp. 1111-1122, 2011.
- [31] R. McFeely, C. Hughes, E. Jones, and M. Glavin, “Removal of non-uniform complex and compound shadows from textured surfaces using adaptive directional smoothing and the thin plate model,” *IET image processing*, vol. 5, pp. 233-248, 2011.
- [32] E. Arbel and H. Hel-Or, “Shadow removal using intensity surfaces and texture anchor points,” *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, vol. 33, pp. 1202-1216, 2011.
- [33] N. Su, Y. Zhang, S. Tian, Y. Yan, and X. Miao, “Shadow detection and removal for occluded object information recovery in urban high-resolution panchromatic satellite images,” *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 9, pp. 2568-2582, 2016.
- [34] A. Amato, I. Huerta, M. G. Mozerov, F. X. Roca, and J. Gonzalez, “Moving cast shadows detection methods for video surveillance applications,” in *Wide Area Surveillance*, Springer, pp. 23-47, 2014.
- [35] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and S. L. Eddins, “Digital image processing using Matlab,” *Person Prentice Hall*, Lexington, 2004.
- [5] G. Liasis and S. Stavrou, “Satellite images analysis for shadow detection and building height estimation,” *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 119, pp. 437-450, 2016.
- [6] P. Raju, H. Chaudhary, and A. Jha, “Shadow analysis technique for extraction of building height using high resolution satellite single image and accuracy assessment,” *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 40, p. 1185, 2014.
- [7] D. Chaudhuri, N. Kushwaha, A. Samal, and R. Agarwal, “Automatic building detection from high-resolution satellite images based on morphology and internal gray variance,” *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 9, pp. 1767-1779, 2016.
- [8] K.-L. Chung, Y.-R. Lin, and Y.-H. Huang, “Efficient shadow detection of color aerial images based on successive thresholding scheme,” *IEEE Transactions on Geoscience and Remote sensing*, vol. 47, pp. 671-682, 2009.
- [9] H. Song, B. Huang, and K. Zhang, “Shadow detection and reconstruction in high-resolution satellite images via morphological filtering and example-based learning,” *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 52, pp. 2545-2554, 2014.
- [10] Y.-F. Su and H. H. Chen, “A three-stage approach to shadow field estimation from partial boundary information,” *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 19, pp. 2749-2760, 2010.
- [11] K. Zhou and B. Gorte, “Shadow Detection from VHR Aerial Images in Urban Area by Using 3D City Models and a Decision Fusion Approach,” *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, vol. 42, 2017.
- [12] A. Makarau, R. Richter, R. Muller, and P. Reinartz, “Adaptive shadow detection using a blackbody radiator model,” *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 49, pp. 2049-2059, 2011.
- [13] J. Tian, J. Sun, and Y. Tang, “Tricolor attenuation model for shadow detection,” *IEEE Transactions on image processing*, vol. 18, pp. 2355-236, 2009.
- [14] G. Finlayson, C. Fredembach, and M. S. Drew, “Detecting illumination in images,” *IEEE 11th International Conference on Computer Vision, ICCV 2007*, pp. 1-8, 2007.
- [15] G. D. Finlayson, M. S. Drew, and C. Lu, “Intrinsic images by entropy minimization,” in *European conference on computer vision*, pp. 582-595, 2004.
- [16] G. D. Finlayson, S. D. Hordley, and M. S. Drew, “Removing shadows from images,” in *European conference on computer vision*, pp. 823-836, 2002.
- [17] G. D. Finlayson, S. D. Hordley, C. Lu, and M. S. Drew, “On the removal of shadows from images,” *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, vol. 28, pp. 59-68, 2006.
- [18] W. Shi and J. Li, “Shadow detection in color aerial images based on HSI space and color attenuation relationship,” *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, vol. 2012, p. 141, 2012.
- [19] R. Guo, Q. Dai, and D. Hoiem, “Paired regions for shadow detection and removal,” *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, vol. 35, pp. 2956-2967, 2013.
- [20] N. Tatar, M. Saadatseresht, H. Arefi, and A. Hadavand, “A robust object-based shadow detection method for cloud-free high resolution satellite images over urban areas and

- [38] N. Tatar, M. Saadatseresht, H. Arefi, and A. Hadavand, "A new object-based framework to detect shadows in high-resolution satellite imagery over urban areas," *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 40, p. 713, 2015.
- [36] A. M. Polidorio, F. C. Flores, N. N. Imai, A. M. Tommaselli, and C. Franco, "Automatic shadow segmentation in aerial color images," in *XVI Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing (SIBGRAPI)*, pp. 270-277, 2003.
- [37] X. Zhu, R. Chen, H. Xia, and P. Zhang, "Shadow removal based on YCbCr color space," *Neurocomputing*, vol. 151, pp. 252-258, 2015.

زیر نویس ها

⁶ Cast-shadow

⁷ Static

⁸ Dynamic

⁹ http://cs.bath.ac.uk/~hg299/shadow_eval/eval.php

¹⁰ Ground Truth

¹ Detection

² Stereo Vision

³ Tracking

⁴ Hue

⁵ Self-shadow