

توسعه روشی شیء گرا بر مبنای شاخص جدید برای آشکارسازی سایه ها در تصاویر ماهواره ای با توان تفکیک بالا از مناطق شهری

نوراله تتر^{۱*}، محمد سعادت سرشت^۲، حسین عارفی^۲، احمد هداوند^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد فتوگرامتری - دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران
n.tatar@ut.ac.ir

^۲ استادیار دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران
{msaadat, hossein.arefi}@ut.ac.ir

^۳ دانشجوی دکتری فتوگرامتری - دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران
ahadavand@ut.ac.ir

(تاریخ دریافت تیر ۱۳۹۴، تاریخ تصویب آذر ۱۳۹۴)

چکیده

وجود عوارض با اختلاف ارتفاع مختلف به خصوص در نواحی شهری باعث ایجاد سایه در تصاویر ماهواره ای با توان تفکیک مکانی بالا می شوند. سایه ها با ایجاد تمایز طیفی بالا نسبت به سایر نواحی، در عمده پردازش های تصاویر مانند طبقه بندی، آشکارسازی تغییرات و تناظریابی تصاویر استرئو تاثیر زیادی می گذارند، لذا شناسایی صحیح و کامل آن ها از اهمیت بالایی برخوردار است. در این مقاله، شاخصی جدید برای استخراج سایه ها در نواحی شهری براساس باندهای طیفی تصویر پیشنهاد شده است. پس از شناسایی سایه ها با شاخص پیشنهادی، برای افزایش دقت و بهبود کیفیت از اشیاء تصویری استفاده شده است. همچنین به منظور خودکارسازی فرآیند تصمیم گیری براساس مقادیر شاخص، از الگوریتم Otsu استفاده شده است. نتایج بدست آمده بر روی تصاویر سنجنده ی GeoEye1 از منطقه شهری قم نشان می دهند، روش پیشنهادی توانسته است، نواحی سایه را با معیارهای صحت ۹۳٪ و تمامیت ۹۲٪ استخراج کند.

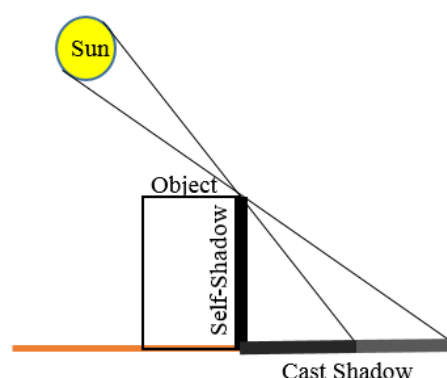
واژگان کلیدی: سایه، شناسایی سایه، قطعه بندی FNEA، طبقه بندی شیء گرا، تصاویر ماهواره ای با توان تفکیک بالا

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

از سال ۱۹۹۹ با پرتاب سنجنده‌ی IKONOS و روی کار آمدن سنجنده‌های با توان تفکیک بالا، زمینه‌های تحقیقاتی جدیدی مانند؛ استخراج مدل رقومی سطح^۱ در مناطق شهری، طبقه‌بندی‌های با دقت بالا، شناسایی و پایش تغییرات در حوزه‌ی سنجش از دور و فتوگرامتری بوجود آمده است. توان تفکیک بالای این سنجنده‌ها، امکان مطالعه‌ی عوارض کوچک مانند ساختمان‌ها، درختان و خودروها را فراهم کرده است. با این وجود، اختلاف ارتفاع بین عوارض مختلف به خصوص در نواحی شهری باعث ایجاد سایه در این تصاویر می‌شود. وجود سایه در پردازش‌های تصاویر ماهواره‌ای مانند شناسایی تغییرات^۲، طبقه‌بندی، استخراج اطلاعات صحیح از تصاویر ماهواره‌ای و تناظریابی متراکم تصاویر استرئو^۳ ایجاد مشکل می‌کند [۱، ۲]. اما از طرف دیگر، از سایه در بازسازی مدل سه‌بعدی و ارتفاع ساختمان‌ها و یا استخراج ساختمان‌های فروریخته پس از زلزله استفاده شده است [۳، ۴].

از نظر تعریف، سایه‌ها نواحی تاریکی هستند که از قرار گرفتن یک جسم در برابر منبع نور بوجود می‌آیند. با توجه به شکل ۱، سایه دارای دو قسمت اصلی است؛ سایه‌ی روی جسم^۴ و سایه‌ی روی زمین^۵ (شکل ۱). در این مقاله تمرکز و هدف اصلی، استخراج سایه‌های روی زمین در تصاویر ماهواره‌ای با توان تفکیک بالا می‌باشد.



شکل ۱- قسمت‌های یک سایه

میزان بازتابش در نواحی سایه و غیرسایه، در طول موج‌های مختلف، دارای تغییراتی غیرخطی است. از این رو می‌توان از نسبت باندهای آبی و مادون قرمز نزدیک و یا باندهای آبی، سبز و قرمز، شاخص‌ها و نسبت‌هایی بدست آورد که با آستانه‌گذاری بر روی آن‌ها، سایه‌ها استخراج شوند [۲، ۵]. اما این شاخص‌ها، عوارضی مانند مناطق آبی، ابرها و راه‌های آسفالتی را نمی‌توانند از سایه‌ها تفکیک کنند. برای حل مشکل ابرها، آستانه‌گذاری بر روی باند مادون قرمز نزدیک و برای تفکیک مناطق آبی از سایه‌ها، یک شاخص براساس باندهای مرئی پیشنهاد شده است [۱]. همچنین براساس پارامترهای فیزیکی بازتابش جسم سیاه، می‌توان شاخصی سازگارتر و بهتر از شاخص‌های قبلی، تعریف کرد. اما این روش نیازمند داده‌های آموزشی، فرا داده^۶ از تصویر اخذ شده و آستانه‌گذاری است [۶]. یکی از ضعف‌های آستانه‌گذاری، عدم استفاده از اطلاعات مکانی و روابط همسایگی بین پیکسل‌هاست. از طرفی در تصاویر با توان تفکیک بالا، سایه‌ها می‌توانند یک قطعه‌ی تصویری به حساب آیند. از این رو علاوه بر آستانه‌گذاری، از استخراج لبه و قطعه‌بندی تصویر استفاده شده است [۷-۱۰]. اما روش‌های قطعه‌بندی به کار برده شده؛ مانند الگوریتم رشدناحیه^۷ دارای مشکلاتی است که برای رفع آن‌ها، استفاده از اپراتورهای مورفولوژیکال، الگوریتم Gap Filling و اصلاحات لبه‌مبنا پیشنهاد شده است [۱۰، ۱۱].

از لحاظ هندسی، با استفاده از داده‌های لیزر اسکنر هوایی، موقعیت خورشید و موقعیت سنجنده در زمان اخذ تصویر، می‌توان موقعیت سایه‌ها را در تصویر اخذ شده، شبیه سازی کرد [۱۲، ۱۳]. با اینکه این روش از دقت بالایی برخوردارست ولی نیازمند اطلاعات بیرونی زیادی است که در مقایسه با سایر روش‌ها، این روش به صرفه نیست.

سایه به دلیل اختلاف رادیومتریکی‌ای که با محیط اطرافش دارد، می‌تواند در طبقه‌بندی به عنوان یک کلاس طبقاتی وارد شود. بر همین اساس، برای طبقه‌بندی سایه به عنوان یک کلاس طبقاتی، به کمک ماشین بردار پشتیبان^۸، شبکه‌های مصنوعی عصبی^۹ و انتخاب داده‌های

^۶ Meta Data

^۷ Region Growing

^۸ Support Vector Machine (SVM)

^۹ Artificial Neural Network (ANN)

^۱ Digital Surface Model (DSM)

^۲ Change Detection

^۳ Dense Stereo matching

^۴ Self shadow

^۵ Cast shadow

۲-۱- شاخص های استخراج سایه

از شاخص هایی که در استخراج سایه استفاده شده می توان به ضریب C_3 و شاخص نسبت باندهای آبی و مادون قرمز نزدیک اشاره کرد؛ که در ادامه به معرفی آنها پرداخته می شود.

۲-۱-۱- ضرایب فضای رنگی $C_1C_2C_3$

این ضرایب از باندهای مرئی آبی، سبز و قرمز به صورت زیر تعریف می شوند [۱۸].

$$C_1 = \tan^{-1}\left(\frac{R}{\max(G, B)}\right) \quad (1)$$

$$C_2 = \tan^{-1}\left(\frac{G}{\max(R, B)}\right) \quad (2)$$

$$C_3 = \tan^{-1}\left(\frac{B}{\max(R, G)}\right) \quad (3)$$

با توجه به تحقیقات انجام گرفته، با ضریب (شاخص) C_3 می توان نواحی سایه ها را استخراج کرد [۲].

۲-۱-۲- نسبت باندهای آبی و مادون قرمز نزدیک

طبق رابطه ی جذب ریلی^۲ (رابطه ۴)، امواج با توجه به طول موجی که دارند، توسط محیط جذب می شوند.

$$I(\lambda)_{Scattering} \propto \frac{I(\lambda)_{Incident}}{\lambda^4} \quad (4)$$

در رابطه ی (۴)، $I(\lambda)_{Scattering}$ درجه خاکستری پس از جذب؛ $I(\lambda)_{Incident}$ درجه خاکستری قبل از جذب و λ طول موج، موج بازتابش شده است. این رابطه نشان می دهد که امواج با طول موج پایین (مثل امواج باند آبی) نسبت به امواج با طول موج بلندتر (مثل امواج باند مادون قرمز نزدیک) بیشتر جذب می شوند. از طرفی بازتابش امواج در محیط های سایه، دارای انرژی و مقدار درجه خاکستری کمتری نسبت به محیط های غیرسایه است. بنابراین تغییرات درجات خاکستری از سایه به غیرسایه در باند آبی بیشتر از باند مادون قرمز نزدیک است، لذا از اختلاف نسبت باندهای آبی و مادون قرمز شاخصی به دست می آید که می تواند سایه را از غیرسایه تفکیک کند.

$$Ratio_{B_NIR} = \frac{B - NIR}{B + NIR} \quad (5)$$

آموزشی و ویژگی های طیفی سازگار، روش هایی ارائه شده است [۱۴، ۱۵]. اما باتوجه به مزیت های طبقه بندی شی گرا^۱ نسبت به روش های پیکسل مبنا؛ برخی تحقیقات با استفاده از این رویکرد سایه ها را استخراج کرده اند [۱۶، ۱۷]. ولی این روش ها از آستانه گذاری بر روی شاخص هایی استفاده کرده اند، که هنوز توانایی تفکیک سایه از غیرسایه را ندارند، لذا با آستانه گذاری مجدد بر روی باندهای رنگی، محل های به اشتباه استخراج شده را حذف کردند [۱۷].

در روش پیشنهادی برخلاف روش های قبلی ابتدا تصاویر طیفی با تصویر پانکروماتیک ادغام می شوند. زیرا در بعضی پردازش های تصویر مانند تناظرایی متراکم تصاویر استرئو، مجموعه عملیات بر روی پیکسل های تصویر پانکروماتیک انجام می گیرد، لذا ضروری است تا حدتفکیک تصاویر طیفی با حدتفکیک تصویر پانکروماتیک برابر شود.

در این مقاله به منظور استخراج دقیق تر سایه ها از تصاویر ماهواره ای با توان تفکیک مکانی بالا، شاخصی جدید ارائه می شود. در روش پیشنهادی به منظور بهبود تفکیک پذیری مکانی باندهای طیفی و به تبع آن، افزایش دقت مکانی شناسایی سایه ها، باندهای طیفی و باند پانکروماتیک تلفیق می شوند. پس از شناسایی سایه ها با شاخص ارائه شده، برای دستیابی به دقت بالاتر از اشیای تصویری استفاده می شود. در ادامه این مقاله ابتدا اصول و مبانی تئوریک روش های پردازشی مورد استفاده تشریح شده، سپس در بخش سوم جزئیات مربوط به روش پیشنهادی ارائه می شوند. در بخش چهارم بعد از معرفی مجموعه تصاویر مورد استفاده، نتایج حاصل از آزمایشات انجام شده ارائه می شود و در نهایت در بخش پنجم بحث و نتیجه گیری پیرامون نتایج حاصله و مقایسه آن با روش های رایج ارائه می شود.

۲- اصول و مبانی تئوری

در این بخش اصول و مبانی تئوری مورد استفاده در پردازش های روش پیشنهادی به تفصیل بیان می شود. این پردازش ها شامل روابط محاسبه ی شاخص های استخراج سایه، تئوری روش قطعه بندی FNEA و روش های ارزیابی دقت می باشند.

^۲ Rayleigh Scattering

^۱ Object-based Classification

۲-۲- روش قطعه‌بندی چند مقیاسه

در روش‌های سنتی پردازش تصویر و استخراج اطلاعات از تصاویر رقومی، از پیکسل‌ها به عنوان واحد پایه پردازشی استفاده می‌شود. روش‌های پردازش تصاویر هوایی و ماهواره‌ای با توان تفکیک بالا، از سال ۱۹۹۹ میلادی با ارائه‌ی روش قطعه‌بندی FNEA^۱ [۱۹] و نرم-افزار eCognition به سمت شی گزایی متمایل شدند. در این روش پردازشی نوین، از اشیای تصویری تولید شده توسط الگوریتم‌های قطعه‌بندی به عنوان واحد پایه پردازشی استفاده می‌شود. اشیای تصویری با در یک گروه قرار گرفتن پیکسل‌های همسایه دارای مشخصات طیفی یکسان تولید می‌شوند. در روش‌های مختلف قطعه‌بندی، از دیدگاه‌های مختلفی به این منظور استفاده می‌شود. روش-های قطعه‌بندی را می‌توان در سه گروه روش‌های رشد ناحیه، تفکیک ناحیه و لبه-مبنا [۲۰] جای داد.

همان‌طور که اشاره شد الگوریتم قطعه‌بندی FNEA به عنوان یکی از روش‌های پیشرو و با عملکرد مناسب در حوزه پردازش تصاویر هوایی و ماهواره‌ای شناخته می‌شود [۲۱]. این الگوریتم یک روش مبتنی بر رشد ناحیه است که توسط چندین پارامتر امکان تولید اشیای تصویری با شکل و ابعاد مختلف را فراهم می‌کند. پارامتر مقیاس تاثیرگذارترین پارامتر این الگوریتم است. بعد از انتخاب نقاط بذر مناسب در سطح تصویر توسط الگوریتم، پارامتر مقیاس تلفیق پیکسل‌های مجاور را کنترل می‌کند و به عنوان حدآستانه، میزان تغییرات ناهمگنی را در صورت تلفیق یک پیکسل با یک پیکسل بذر کنترل می‌کند. فرآیند قطعه‌بندی در این الگوریتم به صورت یک مساله بهینه‌سازی در نظر گرفته می‌شود و بعد از تولید اشیای تصویری اولیه، مجدداً هر شی یا قطعه تصویری با قطعات مجاور مقایسه می‌شود و با کنترل میزان تغییرات ناهمگنی که توسط پارامتر مقیاس از پیش تعریف شده، در مورد تلفیق یا عدم تلفیق اشیای تصویری همسایه تصمیم‌گیری انجام می‌شود.

برای تعریف میزان عدم همگنی اشیا از ترکیب وزن‌دار ناهمگنی طیفی و ناهمگنی شکل استفاده می‌شود. پارامتر بعدی مورد نیاز الگوریتم مقدار وزن یا اهمیت ناهمگنی

طیفی را در مقابل ناهمگنی شکل تعریف می‌کند. سومین پارامتر نیز میزان اهمیت نرمی و یا فشردگی شکل را در تعریف مقدار ناهمگنی شکل تعیین می‌کند. به این ترتیب در الگوریتم FNEA ابعاد اشیای تصویری تولیدی توسط پارامتر مقیاس تنظیم می‌شود و می‌توان میزان اهمیت تغییرات طیفی و یا شکلی را توسط پارامترهای وزن کنترل کرد و بسته به نیاز، اشیای تصویری کشیده یا فشرده و دارای تعداد اضلاع کم یا زیاد را تولید کرد.

۳-۲- روش ارزیابی نتایج

ارزیابی نتایج با تشکیل ماتریس خطا^۲ برای تعداد قطعات استخراج شده صحیح و غیر صحیح، انجام می‌گیرد. در این ارزیابی، ماتریس خطا دارای دو کلاس سایه و غیر سایه بوده و مقادیر این ماتریس براساس تعداد قطعات نوشته می‌شوند. مطابق جدول ۱، در این ماتریس TP، FP، FT و FN به ترتیب برابرند با؛ تعداد قطعات سایه‌ای که سایه؛ تعداد قطعات سایه‌ای که غیرسایه؛ تعداد قطعات غیرسایه‌ای که غیرسایه و تعداد قطعات غیرسایه‌ای که سایه تشخیص داده شده‌اند.

جدول ۱- ماتریس خطا

	سایه	غیرسایه
سایه	TP	FP
غیرسایه	FN	TN

از روی این ماتریس، معیارهای تمامیت^۳، صحت^۴ و اندازه‌ی F به صورت زیر نوشته می‌شوند.

$$Completeness = 100 \times \frac{TP}{TP + FN} \quad (۶)$$

$$Correctness = 100 \times \frac{TP}{TP + FP} \quad (۷)$$

$$F - measure = 100 \times \frac{2 \times TP}{2 \times TP + FN + FP} \quad (۸)$$

^۲ Confusion Matrix

^۳ Completeness

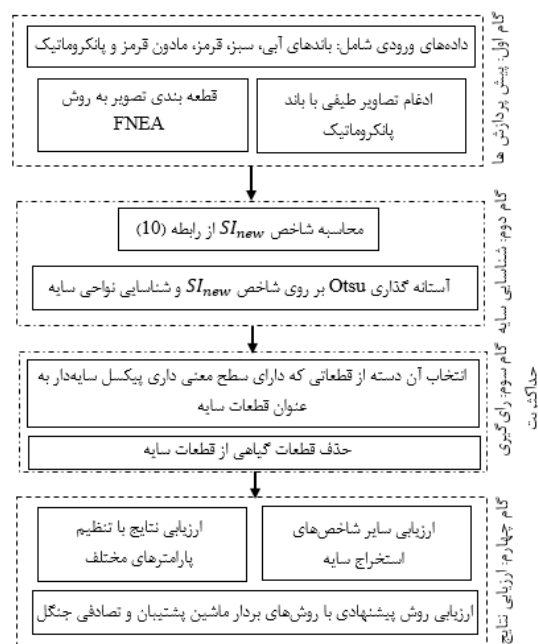
^۴ Correctness

^۱ Fractal Net Evolution Approach

۳- روش پیشنهادی

مراحل روش پیشنهادی در شکل ۲ نشان شده است. در گام اول پیش پردازشها شامل ادغام تصاویر طیفی و قطعه‌بندی تصویر انجام می‌شود. در گام دوم پس از معرفی شاخص‌های جدید و آستانه‌گذاری، شناسایی نواحی مظنون به سایه انجام می‌گیرد. در گام سوم با استفاده از تصویر قطعه‌بندی شده و روش رای گیری حداکثریت، آن دسته از قطعاتی که دارای حد معنی‌داری پیکسل سایه‌دار هستند، به عنوان قطعات سایه انتخاب می‌شوند. سپس قطعات مربوط به درختان که به اشتباه سایه تشخیص داده شده‌اند از نتایج نهایی حذف می‌شوند.

و در گام چهارم، ارزیابی نتایج استفاده از شاخص جدید با شاخص‌های قبلی؛ ارزیابی با تنظیم پارامترهای مختلف و ارزیابی نتایج این روش با نتایج روش‌های ماشین بردار پشتیبان و جنگل تصادفی^۱ انجام می‌گیرد.



شکل ۲- فلوچارت روش پیشنهادی جهت استخراج سایه‌ها در تصاویر ماهواره‌ای با توان تفکیک بالا

۳-۱- پیش پردازشها

از آنجا که در این تحقیق کیفیت مکانی نتایج، از اهمیت بالایی برخوردارست، طبق تحقیقات انجام گرفته،

از الگوریتم‌های IHS، به دلیل کیفیت مکانی بهتر، استفاده می‌شود [۲۲].

یکی دیگر از پیش پردازشها قطعه‌بندی تصویر است. با توجه به توانایی بالای نرم افزار eCognition در قطعه‌بندی، برای قطعه‌بندی تصویر به روش FNEA، از این نرم افزار استفاده می‌شود.

۳-۲- شناسایی نواحی مظنون به سایه

استخراج سایه با استفاده از شاخص‌های C_3 و $Ratio_{B_NIR}$ دارای یکسری مشکلاتی است که استفاده از این شاخص‌ها را به چالش کشانده است. گیاهان و راه‌ها در شاخص C_3 شباهت زیادی با سایه‌ها دارند (شکل ۵). این باعث اشتباه در استخراج غیرسایه به عنوان سایه شده است. در این مقاله برای رفع مشکل راه‌ها با سایه‌ها، شاخص C_3 بهبودیافته ارائه می‌شود. از طرف دیگر شاخص $Ratio_{B_NIR}$ نیز در استخراج مناطق آبی و راه‌ها به عنوان سایه دارای خطاست؛ برای رفع این مشکلات، استفاده از ترکیب خطی از شاخص‌های $Ratio_{B_NIR}$ و C_3 به بهبود یافته، پیشنهاد می‌شود.

۳-۲-۱- شاخص C_3 بهبود یافته

فرضیه اصلی این شاخص بر این استوار است که، مقدار درجات خاکستری باند پانکروماتیک، مربوط به طول موج‌هایی است که بیشترین انرژی را داشته باشند. بنابراین با توجه به اینکه باند پانکروماتیک، محدوده ی طول موج باندهای سبز و قرمز را پوشش می‌دهد؛ در رابطه‌ی (۳) به جای مقدار $\max(R, G)$ می‌توان مقدار درجات خاکستری PAN را قرار داد (رابطه ۹). مشاهدات نشان می‌دهد این شاخص، بهتر از شاخص C_3 راه‌ها را از سایه‌ها تفکیک می‌کند (شکل ۵). بنابراین شاخص C_3 بهبود یافته برابر است با:

$$C_{3new} = \tan^{-1}\left(\frac{B}{PAN}\right) \quad (9)$$

پس از نرمالیزه کردن شاخص بین ۰ و ۱، سایه‌ها دارای مقادیری نزدیک به ۱ هستند (شکل ۵).

^۱ Random Forest

۴-۱- داده های ورودی

در این تحقیق از یک تصویر ماهواره ای GeoEye1 با زاویه دید تقریباً قائم، مربوط به منطقه ای از شهر قم استفاده شده است. تصاویر GeoEye1 دارای ۴ باند طیفی (آبی، سبز، قرمز و مادون قرمز نزدیک) و یک باند پانکروماتیک، به ترتیب با پیکسل سایز زمینی ۲ متر و ۰.۵ متر هستند (مشخصات این تصاویر در جدول ۲ نشان داده شده است).

جدول ۲- مشخصات داده های ورودی

سنجنده	موقعیت	سال اخذ	ابعاد تصویر
GeoEye1	شهر قم	۲۰۱۴	(پیکسل) ۲۴۰۰*۲۲۰۰

۴-۲- پیش پردازش ها

همانطور که پیشتر توضیح داده شد، برای اینکه حدتفکیک باندهای طیفی با باند پانکروماتیک برابر شود، ادغام تصاویر طیفی با پانکروماتیک انجام می گیرد. نتیجه ای ادغام باندهای طیفی با باند پانکروماتیک به روش IHS در شکل ۳ نمایش داده شده است.

در این تحقیق برای قطعه بندی، از نرم افزار eCognition استفاده شده است. تصویر پانکروماتیک می تواند جداگانه و یا به همراه چهار باند طیفی دیگر با روش FNEA قطعه بندی شود. در قطعه بندی به روش FNEA بایستی پارامترهای مقیاس، شکل و فشردگی تنظیم شوند. در میان این پارامترها، چنانچه پارامتر فشردگی به سمت ۰.۱ میل کند، عوارض گیاهی بهتر و عوارض ساختمانی ضعیف تر استخراج می شوند و وقتی به سمت ۰.۹ میل پیدا کند، حالتی برعکس اتفاق می افتد. برای ارزیابی هرچه بیشتر، قطعه بندی با سه حالت مختلف انجام گرفت. در این سه حالت، پارامترهای مقیاس و شکل به ترتیب ۱۰۰، ۰.۱ و ۰.۹ و پارامترهای فشردگی نیز در سه حالت ۰.۱، ۰.۵ و ۰.۹ تنظیم شده اند (شکل ۴). نتایج حاصل از این سه حالت در جدول های ۳ تا ۵ قابل مشاهده است.

۳-۲-۳- ترکیب خطی شاخص C_{3new} و $Ratio_{B_NIR}$

همانطور که پیشتر اشاره شد، شاخص های $Ratio_{B_NIR}$ و C_3 به تنهایی برای استخراج سایه ها کافی نیستند، از این رو شاخص C_{3new} ارائه شد. اما شاخص C_{3new} نیز برای کلاس گیاهان مقدار درجه خاکستری ای شبیه سایه ها ارائه می دهد. در مقابل شاخص $Ratio_{B_NIR}$ برای راهها و سایه ها مقدار درجه خاکستری ای نزدیک به هم، ولی برای گیاهان و سایه ها تفاوت نسبتاً چشمگیری قائل است. بنابراین پس از نرمالیزه کردن شاخص های $Ratio_{B_NIR}$ و C_{3new} بین ۰ و ۱، ترکیب خطی از این شاخص ها ارائه می شود. پس از نرمالیزه کردن این شاخص بین بازه ۰ و ۱، با نزدیک شدن درجات خاکستری به سمت ۱، محل سایه ها آشکار شده و دیگر اثری از گیاهان و راهها دیده نمی شود.

$$SI_{new} = C_{3new} + Ratio_{B_NIR} \quad (10)$$

۳-۳- شناسایی سایه به روش رای گیری

حداکثریت

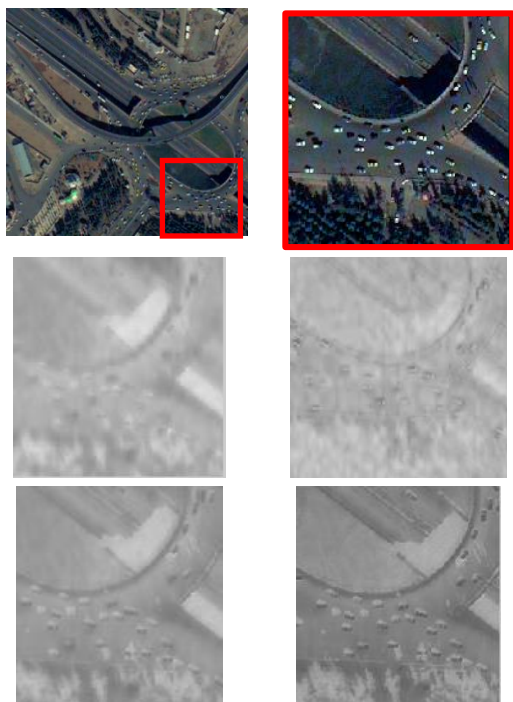
الگوریتم Otsu، حدآستانه ای بین پیش زمینه و پس زمینه را به صورت خودکار محاسبه می کند. رفتار سایه ها در شاخص SI_{new} به گونه ای است که می توان آن ها را پیش زمینه در نظر گرفت (شکل ۵). پس از آستانه گذاری به روش Otsu بر روی شاخص SI_{new} ، نواحی مظنون به سایه شناسایی می شوند. سپس با استفاده از تصویر قطعه بندی شده، آن دسته از قطعاتی که دارای سطح معنی داری پیکسل سایه دار هستند (بطور مثال حدآستانه بیش از ۵۰ درصد)، به عنوان قطعات سایه دار انتخاب می شوند. در مرحله ی قطعه بندی بعضی از درختان و سایه هایشان یک قطعه در نظر گرفته می شوند، لذا با آستانه گذاری بر روی شاخص NDVI آن دسته از قطعاتی که بیش از ۵۰ درصد دارای پیکسل درخت هستند از سایه ها حذف می شوند.

۴- نتایج آزمایشات

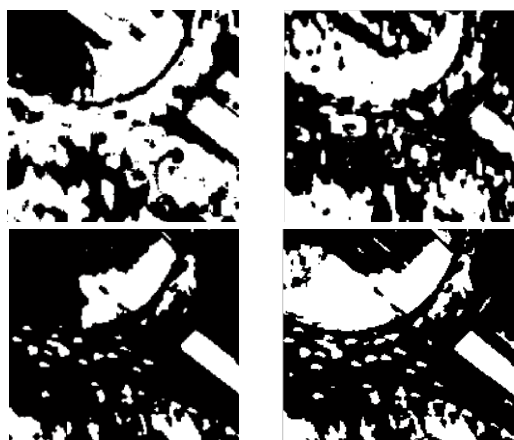
در این بخش پس از معرفی مجموعه داده ی مورد استفاده، نتایج حاصل از اجرای روش پیشنهادی، ارائه خواهد شد.

۳-۴- استخراج نواحی مظنون به سایه

پس از ادغام باندهای طیفی، و محاسبه‌ی شاخص SI_{new} از رابطه‌ی (۱۰)، تصویری به دست می‌آید که با آستانه‌گذاری بر روی آن به روش Otsu، می‌توان نواحی مظنون به سایه را استخراج کرد (شکل ۶). همچنین سایر شاخص‌های $Ratio_{B_NIR}$ ، C_3 و C_{3new} در شکل‌های ۵ و ۶ به نمایش درآمده‌اند. در این شاخص‌ها، نواحی روشن‌تر نشان دهنده‌ی محل سایه‌ها هستند.



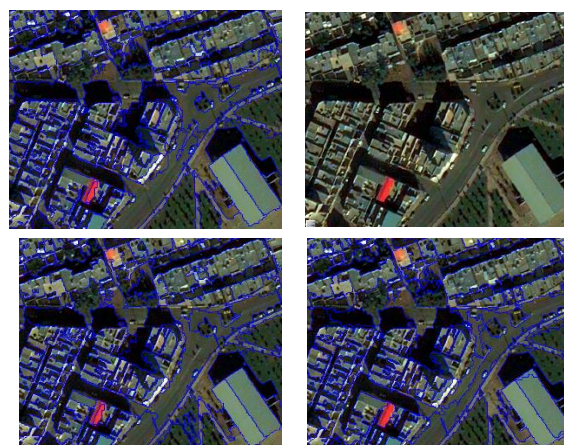
شکل ۵- قسمتی از تصویر ماهواره‌ای GeoEye1 از منطقه‌ی شهری قم (بالا-چپ و راست) و شاخص‌های C_3 (وسط-راست)، $Ratio_{B_NIR}$ (وسط-چپ)، C_{3new} (پایین-راست) و SI_{new} (پایین-چپ) اعمال شده بر روی این تصویر



شکل ۶- استخراج نواحی مظنون به سایه با استفاده از شاخص‌های مختلف (تصویر مربوط به شکل ۵)؛ نتیجه الگوریتم Otsu بر روی شاخص‌های C_3 (بالا-راست)، $Ratio_{B_NIR}$ (بالا-چپ)، C_{3new} (پایین-راست) و SI_{new} (پایین-چپ).



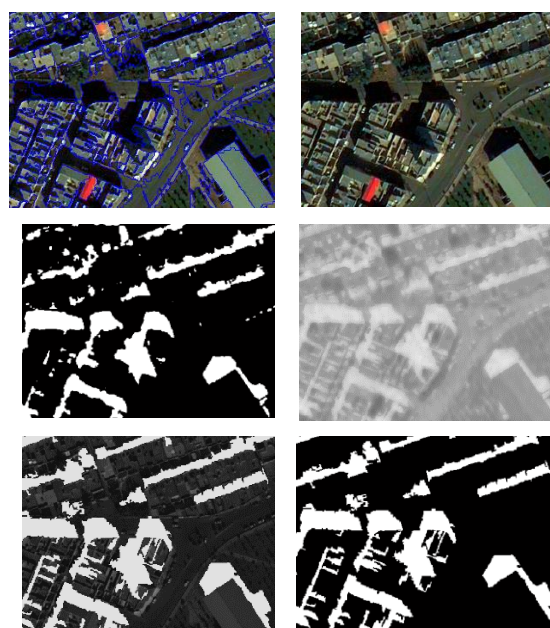
شکل ۳- ادغام تصاویر طیفی با باند پانکروماتیک به روش IHS؛ (بالا) تصویر پانکروماتیک؛ (وسط) تصاویر طیفی؛ (پایین) تصاویر ادغام شده



شکل ۴- قطعه‌بندی تصویر به روش FNEA با پارامترهای مقیاس و شکل به ترتیب برابر با ۱۰۰ و ۰.۱ و فشردگی‌های مختلف؛ (بالا-راست) قسمتی از تصویر ادغام شده؛ (بالا-چپ) قطعه‌بندی با فشردگی ۰.۱؛ (پایین-راست) قطعه‌بندی با فشردگی ۰.۵؛ (پایین-چپ) قطعه‌بندی با فشردگی ۰.۹

شکل های ۵ و ۶ مربوط به یک تقاطع غیر همسطح (قسمتی از یک بزرگراه) بوده، که دارای عوارض گیاهی، راه، سایه و خودروهاست. این قسمت از تصویر به این دلیل انتخاب شده است، که همزمان تاثیر شاخص های ارائه شده بر روی عوارض مختلف دیده شود. در این شکل نواحی سفید رنگ، نشان دهنده ی محل سایه ها است.

۴-۴- انتخاب قطعات سایه با روش رای گیری حداکثریت



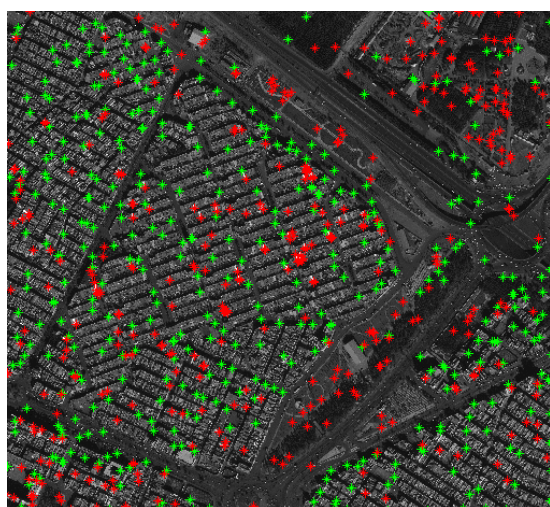
شکل ۷- مراحل استخراج سایه در این تحقیق، بالا-راست) تصویر ادغام شده؛ بالا-چپ) قطعه بندی تصویر با روش FNEA ؛ وسط-راست) اعمال شاخص I_{new} ؛ وسط-چپ) آستانه گذاری Otsu بر روی شاخص I_{new} ؛ پایین-راست) انتخاب قطعات سایه به عنوان محل نهایی سایه ها با حد آستانه ۳۰٪؛ پایین-چپ) محل سایه های استخراج شده بر روی تصویر پانکروماتیک

پس از این مراحل برای رسیدن به دقت بالاتر و حذف خطاهای طبقه بندی، نتیجه شناسایی سایه ها به روش پیکسلی با نتیجه قطعه بندی تلفیق می شود. در این مرحله با استفاده از روش رای گیری حداکثریت، آن دسته از قطعاتی که دارای سطح معنی داری، پیکسل سایه دار هستند؛ به عنوان قطعات سایه دار انتخاب می شوند. به این نحو که؛ در هر قطعه ای که بیش از حد آستانه، پیکسل سایه دار وجود دارد، آن قطعه، یک قطعه ی سایه دار محسوب شده و به کل آن قطعه برچسب سایه زده می شود. در این تحقیق برای ارزیابی هر چه بیشتر، از حد

آستانه های ۲۰٪، ۳۰٪، ۴۰٪، ۵۰٪، ۶۰٪ و ۷۰٪ استفاده شده است (جدول های ۳ تا ۵). خروجی این مرحله با حد آستانه ۳۰٪ را می توان در شکل ۷ مشاهده کرد. لازم به ذکر است در تمامی این حالت ها، قطعات دارای بیش از ۵۰ درصد پیکسل گیاه، از سایه بودن معاف می شوند.

۴-۵- آزمون ها و نتایج عددی

از آنجا که قطعه بندی نیازمند تنظیم پارامترها و رای گیری حداکثریت به حد آستانه ی بهینه ای نیازمندست، ضروری ست تا ارزیابی نتایج در حالت های مختلف انجام بگیرد. در ارزیابی نتایج از ۴۲۱ قطعه با کلاس سایه و ۴۰۷ قطعه با کلاس غیرسایه استفاده شده است (شکل ۸). برای ارزیابی نتایج در حالت های مختلف، ابتدا ماتریس خطا تشکیل شده، سپس برای هر حالت معیارهای تمامیت، صحت و اندازه ی F محاسبه شده اند. حالت های در نظر گرفته شده عبارتند از: سه دسته پارامتر در مرحله ی قطعه بندی و شش حد آستانه ی مختلف در مرحله ی رای گیری حداکثری (جدول ۳ تا ۵).

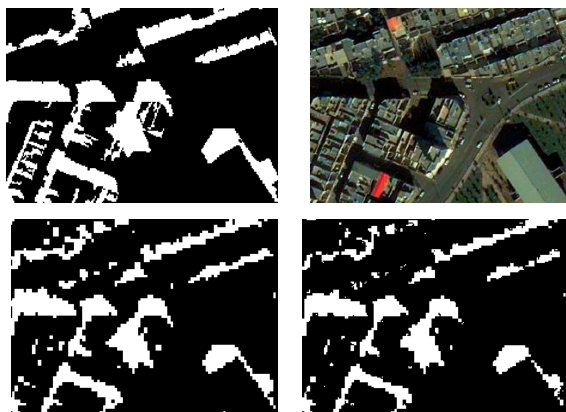


شکل ۸- محل نقاط انتخابی از قطعات سایه و غیرسایه برای ارزیابی نتایج

نقاط سبز رنگ نشان داده شده در شکل ۸ بیانگر محل قطعات سایه و نقاط قرمز رنگ نشان دهنده محل قطعات غیر سایه هستند. همچنین لازم به ذکر است که در هر قطعه فقط یک نقطه وجود دارد.

جدول ۶- نتایج شناسایی سایه و غیرسایه با الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان، جنگل تصادفی و روش این مقاله

روش	تمامیت	صحت	اندازه‌ی F
جنگل تصادفی	۹۸٪	۸۵٪	۹۰٪
ماشین بردار پشتیبان	۹۱٪	۸۹٪	۹۰٪
این مقاله	۹۲٪	۹۳٪	۹۲٪



شکل ۹- نتایج شناسایی سایه و غیرسایه با الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان، جنگل تصادفی و روش این مقاله: بالا-راست) تصویر اولیه؛ بالا-چپ) نتیجه‌ی روش این مقاله؛ پایین-راست) نتیجه‌ی جنگل تصادفی؛ پایین-چپ) نتیجه‌ی ماشین بردار پشتیبان

همچنین برای اثبات توانایی بالای شاخص SI_{new} در استخراج سایه‌ها، نسبت به شاخص‌های $Ratio_{B_NIR}$ و C_3 ، یک ارزیابی صورت گرفته است. در این ارزیابی پارامترهای مقیاس، شکل و فشردگی مرحله‌ی قطعه‌بندی به ترتیب ۱۰۰، ۰٫۱ و ۰٫۹ تنظیم شده و در مرحله‌ی رای‌گیری حدآستانه ۳۰٪ انتخاب شده است. برای هر کدام از این شاخص‌ها معیارهای تمامیت، صحت و اندازه‌ی F در جدول ۷ ارائه شده‌اند. در این جدول شاخص‌های $Ratio_{B_NIR}^*$ ، SI_{new}^* و C_3^* همان شاخص‌های $Ratio_{B_NIR}$ ، SI_{new} و C_3 هستند با این تفاوت که پس از قطعه‌بندی، آن دسته از قطعاتی که گیاه تشخیص داده شده‌اند از کلاس سایه‌ها حذف می‌شوند. تشخیص گیاه با شاخص NDVI و حد آستانه‌ی بیش از ۵۰٪ انجام می‌گیرد.

جدول ۳- نتایج حاصل از استخراج سایه با حد آستانه‌های مختلف در مرحله‌ی رای‌گیری حداکثری و قطعه‌بندی با پارامترهای مقیاس، شکل و فشردگی به ترتیب برابر با: ۱۰۰، ۰٫۱ و ۰٫۹

اندازه‌ی F	صحت	تمامیت	حدآستانه‌ی رای‌گیری
۹۳٪	۹۷٪	۸۹٪	۲۰٪
۹۲٪	۹۳٪	۹۱٪	۳۰٪
۸۹٪	۸۶٪	۹۲٪	۴۰٪
۸۶٪	۷۹٪	۹۴٪	۵۰٪
۷۹٪	۶۸٪	۹۵٪	۶۰٪
۷۳٪	۵۸٪	۹۸٪	۷۰٪

جدول ۴- نتایج حاصل از استخراج سایه با حد آستانه‌های مختلف در مرحله‌ی رای‌گیری حداکثری و قطعه‌بندی با پارامترهای مقیاس، شکل و فشردگی به ترتیب برابر با: ۱۰۰، ۰٫۱ و ۰٫۵

اندازه‌ی F	صحت	تمامیت	حدآستانه‌ی رای‌گیری
۹۳٪	۹۷٪	۹۰٪	۲۰٪
۹۲٪	۹۳٪	۹۲٪	۳۰٪
۸۹٪	۸۶٪	۹۳٪	۴۰٪
۸۶٪	۷۹٪	۹۴٪	۵۰٪
۸۱٪	۷۱٪	۹۶٪	۶۰٪
۷۴٪	۶۰٪	۹۷٪	۷۰٪

جدول ۵- نتایج حاصل از استخراج سایه با حد آستانه‌های مختلف در مرحله‌ی رای‌گیری حداکثری و قطعه‌بندی با پارامترهای مقیاس، شکل و فشردگی به ترتیب برابر با: ۱۰۰، ۰٫۱ و ۰٫۹

اندازه‌ی F	صحت	تمامیت	حدآستانه‌ی رای‌گیری
۹۳٪	۹۷٪	۸۹٪	۲۰٪
۹۲٪	۹۳٪	۹۲٪	۳۰٪
۹۱٪	۸۸٪	۹۵٪	۴۰٪
۸۸٪	۸۲٪	۹۵٪	۵۰٪
۸۲٪	۷۲٪	۹۶٪	۶۰٪
۷۴٪	۵۹٪	۹۷٪	۷۰٪

از طرف دیگر برای ارزیابی استخراج سایه‌ها به صورت شی‌گرا با روش‌های پیکسلی، نتایج حاصل از روش پیشنهادی با نتایج روش‌های دیگر مورد ارزیابی قرار گرفته است. از این رو مقایسه‌ای بین نتایج استخراج سایه از این روش با نتایج الگوریتم‌های طبقه‌بندی کننده‌ی ماشین بردار پشتیبان و جنگل تصادفی انجام شده است (شکل ۹ و جدول ۶).

جدول ۷- نتایج شناسایی سایه و غیرسایه با شاخص های مختلف استخراج سایه (قطعه بندی با پارامترهای مقیاس، شکل و فشردگی به ترتیب برابر با: ۱۰۰، ۰.۱ و ۰.۹ و در مرحله ی رای گیری با حد آستانه ی ۳۰٪)

اندازه ی F	صحت	تمامیت	شاخص
۹۰٪	۹۹٪	۸۳٪	$Ratio_{B_NIR}$
۹۲٪	۹۹٪	۸۷٪	$Ratio_{B_NIR}^*$
۸۳٪	۹۵٪	۷۴٪	C_3
۸۸٪	۹۴٪	۸۲٪	C_3^*
۹۲٪	۹۳٪	۹۲٪	SI_{new}
۹۳٪	۹۰٪	۸۷٪	SI_{new}^*

۵- بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق، پس از ارائه یک روش شایه گرا جهت استخراج سایه در تصاویر ماهواره ای، نتایج ارائه شده در جدول ۶ نشان داد، روش پیشنهادی با معیارهای تمامیت، صحت و اندازه ی F به ترتیب برابر با: ۹۲٪، ۹۳٪ و ۹۲٪ توانسته نواحی سایه ها را استخراج کند. که این روش در مقایسه با روش های طبقه بندی کننده ی پیکسلی مانند ماشین بردار پشتیبان و جنگل تصادفی نتایج بهتری به همراه داشت. علاوه بر این، شکل ۹ مزیت استفاده از طبقه بندی شایه گرا نسبت به طبقه بندی پیکسلی را به خوبی نشان داده است.

شکل ۵ ادعای مطرح شده درباره ی شاخص C_3 مبنی بر شباهت درجات خاکستری عوارض جاده ای و گیاهی با سایه ها را تأیید می کند. در این شاخص برای قطعات کوچک، حتی با چشم هم نمی توان این عوارض را از هم تفکیک کرد. از طرف دیگر شاخص $Ratio_{B_NIR}$ عوارض گیاهی را از سایه ها به درستی تفکیک کرده، ولی هنوز در جاده ها دارای مشکلاتی است (شکل ۵).

شکل ۵ نتایج حاصل از شاخص C_3 بهبود یافته (C_{3new}) را نشان می دهد، که در آن سایه ها به مراتب بهتر از شاخص C_3 مشخص شده اند. ولی این شاخص هنوز در عوارض گیاهی ضعیف است. البته با آستانه گذاری سلسله

مراتبی هم می توان سایه ها را استخراج کرد؛ ولی با ارائه ی شاخص جدید SI_{new} این کار راحت تر انجام می گیرد. در این شاخص (شکل ۵) با آستانه گذاری Otsu، نواحی مظنون به سایه استخراج شده و دیگر اثری از عوارض گیاهی و جاده ای دیده نمی شود (شکل ۶).

در جداول ۳ تا ۷ هرچه معیار تمامیت به سمت ۱۰۰٪ میل کند، نشان دهنده ی عدم استخراج غیرسایه به عنوان سایه است. همچنین معیار صحت هر چقدر به سمت ۱۰۰٪ نزدیک شود نشان دهنده ی استخراج صحیح سایه هاست. از این رو با توجه به جدول ۷ شاخص های $Ratio_{B_NIR}$ و C_3 محل سایه ها را با صحت بالایی استخراج می کنند ولی از طرف دیگر نواحی غیرسایه ی بیشتری هم جز سایه ها در نظر می گیرند. بنابراین نتایج ارائه شده در جدول شماره ۷، عدم توانایی شاخص های قبلی مبنی بر استخراج اتوماتیک نواحی مظنون به سایه و توانایی بالای شاخص SI_{new} را نشان می دهد. از طرف دیگر شکل های ۶، ۷ به خوبی نشان می دهند که، آستانه گذاری به تنهایی کافی نبوده و بایستی از یک تصویر طبقه بندی شده نیز استفاده کرد.

نتایج ارائه شده در جداول ۳ تا ۵ نشان دادند در مناطق شهری برای استخراج سایه ها، طبقه بندی با پارامترهای مقیاس، شکل و فشردگی به ترتیب برابر با: ۱۰۰، ۰.۱ و ۰.۹ و حد آستانه ی رای گیری ۳۰٪، نتیجه بهتری ارائه می دهد. حد آستانه ی ۳۰٪ نشان از سختگیری آستانه گذاری Otsu دارد.

در این تحقیق هدف ارائه یک روش اتوماتیک برای استخراج سایه ها از تصاویر ماهواره ای (با توان تفکیک بالا) در مناطق شهری با استفاده از شاخص های استخراج سایه و طبقه بندی شایه گرا بود، که نتایج نشان از موفقیت بالای این روش داشت. همچنین در این تحقیق دو شاخص جدید (بر مبنای باندهای طیفی)، برای استخراج نواحی سایه معرفی شد که نتایج نشان داد شاخص های تعریف شده، توانایی بالایی در استخراج محل های سایه دارند.

مراجع

- [1] A. Shahtahmassebi, N. Yang, K. Wang, N. Moore, and Z. Shen, "Review of shadow detection and de-shadowing methods in remote sensing," Chinese Geographical Science, vol. 23, pp. 403-420, 2013.
- [2] 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, p. 10, 2006.
- [3] X. Huang and L. K. Kwok, "3D building reconstruction and visualization for single high resolution satellite image," in IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2007, p. 4.

- [4] X. Tong, X. Lin, T. Feng, H. Xie, S. Liu, Z. Hong, et al., "Use of shadows for detection of earthquake-induced collapsed buildings in high-resolution satellite imagery," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 79, p. 15, 2013.
- [5] M. Song and D. L. Civco, "A knowledge-based approach for reducing cloud and shadow," in *Proceedings of the American Society of Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS-ACSM)*, Washington, 2002.
- [6] 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.
- [7] P. M. Dare, "Shadow Analysis in High-Resolution Satellite Imagery of Urban Areas," *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 71, p. 9, 2005.
- [8] P. Sarabandi, F. Yamazaki, M. Matsuoka, and A. Kiremidjian, "Shadow detection and radiometric restoration in satellite high resolution images ",in *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 2004, pp. 3744-3747.
- [9] M. I. Elbakary and K. M. Iftekharuddin, "Shadow detection of man-made buildings in high-resolution panchromatic satellite images," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 52, pp. 5374-5386, 2014.
- [10] V. Arévalo, J. González, and G. Ambrosio, "Shadow detection in colour high-resolution satellite images," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 29, pp. 1945-1963, 2008.
- [11] 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.
- [12] T. Nakajima, G. Tao, and Y. Yasuoka, "Simulated recovery of information in shadow areas on IKONOS image by combing ALS data," in *Proc. Asian Conference on Remote Sensing*, 2002.
- [13] Q. Zhan, W. Shi, and Y. Xiao, "Quantitative analysis of shadow effects in high-resolution images of urban areas," in *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2005.
- [14] J. Liu, T. Fang, and D. Li, "Shadow detection in remotely sensed images based on self-adaptive feature selection," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 49, pp. 5092-5103, 2011.
- [15] L. Lorenzi, F. Melgani, and G. Mercier, "A complete processing chain for shadow detection and reconstruction in VHR images," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 50, pp. 3440-3452, 2012.
- [16] W. Liu and F. Yamazaki, "Object-based shadow extraction and correction of high-resolution optical satellite images," *IEEE Journal of Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 5, pp. 1296-1302, 2012.
- [17] H. Zhang, K. Sun, and W. Li, "Object-Oriented Shadow Detection and Removal From Urban High-Resolution Remote Sensing Images," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 52, p. 11, 2014.
- [18] T. Gevers and A. W. M. Smeulders, "Color-based object recognition," *Pattern Recognition* ,vol. 32, pp. 453-464, 1999.
- [19] M. Baatz and A. Schäpe, "Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation," *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII*, pp. 12-23, 2000.
- [20] N. R. Pal and S .K. Pal, "A review on image segmentation techniques," *Pattern recognition*, vol. 26, pp. 1277-1294, 1993.
- [21] T. Blaschke, G. J. Hay, M. Kelly, S. Lang, P. Hofmann, E. Addink, et al., "Geographic Object-Based Image Analysis-Towards a new paradigm," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 87, pp. 180-191, 2014.
- [22] M. Strait, S. Rahmani, and D. Merkurev, "Evaluation of pan-sharpening methods," 2008.