

تهیه نقشه اراضی خاکبرداری شده شرق اصفهان با استفاده از تصاویر ماهواره Cartosat-1

زهرا خسروانی*^۱، سیدجمال الدین خواجه الدین^۱، محمود محبی^۲،

علیرضا سفیانیان^۳ و امیرحسین پارسامهر^۴

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۹/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۲/۱۶)

چکیده

منطقه سگزی که در شرق شهر اصفهان واقع شده است، یکی از کانون‌های مهم بحران بیابان‌زایی در استان اصفهان محسوب می‌شود. خاکبرداری‌های بیش از حد، تغییر شکل زمین و ظهور توپوگرافی‌های مصنوعی در دشت مسطح، منظره‌ای بسیار ناخوشایند را در این منطقه ایجاد کرده است. در این تحقیق، از تصاویر ماهواره Cartosat-1، که به صورت زوج تصویر استریوسکوپي برداشت شده، برای تهیه نقشه زمین‌های تخریب شده منطقه مذکور استفاده گردید. بدین منظور ابتدا با استفاده از DGPS، ۹ نقطه با پراکنش مناسب در سطح منطقه مربوط به تقاطع جاده‌ها برداشت شد. این نقاط بعد از انجام توجیه داخلی و خارجی، به عنوان نقاط کنترل بر روی جفت تصویر Cartosat-1 تعیین گردید. جهت بهبود تطابق، فرایند بسط نقاط و تولید ۳۱ نقطه گرهی انجام شد. این نقاط طی فرآیند مثلث بندی مختصات دار و به عنوان نقاط چک معرفی گردید. RMSE مطلوب، حدود ۰/۳ پیکسل حاصل شد. سپس مدل رقومی ارتفاعی براساس ۴۰ نقطه مذکور با اندازه پیکسل ۱۵×۱۵ متر، ایجاد شد. این مدل رقومی ارتفاعی در محیط GIS، با روش Natural Break، به ۹ کلاس ارتفاعی، طبقه‌بندی شد. با تبدیل فایل رستری مدل رقومی ارتفاعی طبقه‌بندی شده به فایل برداری، برآمدگی‌ها و فرورفتگی‌ها به صورت پلیگون‌هایی ظاهر شدند که با کد گذاری آنها، نقشه خاکریزی و خاکبرداری منطقه مورد مطالعه، با ضریب کاپا ۰/۹۵ و صحت کلی ۰/۹۷ به دست آمد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که تصاویر ماهواره‌ای Cartosat-1 توانایی کافی برای بررسی اراضی تخریب شده و برداشت توپوگرافی‌های عظیم انسان ساز را دارند. این تغییرات توپوگرافی موجب از بین رفتن پوشش گیاهی طبیعی شده و بیابانزایی را در منطقه توسعه داده است.

واژه‌های کلیدی: تصاویر Cartosat-1، نقاط کنترل زمینی، تخریب اراضی، اصفهان

۱. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. بخش برنامه و بودجه سازمان جغرافیایی ملی

۳. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۴. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فسا

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: z.khosravani@gmail.com

مقدمه

افزایش جمعیت در سال‌های اخیر سبب شده است بشر برای تأمین نیازهای خود اقدام به استفاده بیشتر از توان اکولوژیک طبیعت نماید که همین امر اختلالاتی را در نظام اکوسیستم‌های طبیعی به وجود آورده است. روند توسعه بیابان و تخریب اراضی در اکوسیستم‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل شرایط خاص جغرافیایی، نسبت به دیگر اکوسیستم‌ها سریعتر است (۵). عوامل انسانی در پدیدار شدن پدیده بیابان‌زایی نقش اساسی و کلیدی دارند و موجب تسریع و افزایش سرعت بیابان‌زایی می‌شوند. زیرا علاوه بر نقش مستقیم خود در آسیب محیط، در نقش محرکی عمل می‌کنند که موجبات تحریک و تقویت عوامل محیطی را فراهم می‌کنند (۴). نتایج پژوهش‌های گسترده در این زمینه نشان می‌دهد که از مهم‌ترین عوامل بیابانی شدن اراضی، اشتباه در تغییر کاربری اراضی و یا به عبارتی عدم برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح اراضی است (۹، ۱۱ و ۱۹). بر هم زدن توپوگرافی منطقه علاوه بر دست‌خوردگی خاک طبیعی و کاهش پایداری آن، با از بین بردن پوشش گیاهی منطقه سبب تشدید فرسایش خاک می‌شود (۲). در بسیاری از مناطق، فعالیت‌های بشری در طول زمان، تغییرات بنیادی در توپوگرافی ایجاد کرده است. این موارد سبب تغییرات غیرقابل برگشت در توپوگرافی محلی و منطقه‌ای گردیده است. خاک و اراضی را به زمین‌های غیرقابل استفاده بیولوژیک و مولد تبدیل می‌کنند که به نوعی تخریب سرزمین و بیابانی شدن محسوب می‌شود (۱). زایلایا و آنتونی (۲۶) و یانگ و همکاران (۲۷) در بررسی بیابان‌زایی در چین مشاهده کردند که پوشش سطح زمین و اراضی با انجام فعالیت‌های غیرمنطقی اقتصادی، تخریب شده که این امر سبب فرسایش خاک و مشکلات زیست‌محیطی شده است. در منطقه شرق اصفهان نیز احداث کوره‌های آجر پزی و برداشت بی‌رویه از معادن گچ، موجب نابود شدن سنگ‌فرش حافظ خاک و ایجاد بی‌نظمی‌های وسیع و گودال‌های بسیار در سطح اراضی شده که منظره‌ای بسیار ناخوشایند را به وجود آورده است (۸). برای مدیریت جامع و برنامه‌ریزی صحیح

منابع طبیعی در این مناطق، داشتن اطلاعات و پایش تغییرات آن ضروری است. با توجه به سطح فعلی دانش و تکنولوژی بشر، دستیابی به یک بانک اطلاعاتی عظیم در این زمینه، بدون صرف هزینه‌های گزاف، تنها با بهره‌گیری از علم و فن سنجش از دور (Remote Sensing)، امکان‌پذیر خواهد بود. روش‌های سنتی نقشه‌برداری زمینی عموماً وقت‌گیر و بسیار پرهزینه بوده و به مهارت‌های خاص نیاز دارد (۶).

توان تفکیک مکانی داده‌های تصویری به عنوان یکی از مهم‌ترین عامل تکنیکی در سنجش از دور، در نظر گرفته می‌شود (۷). Cartosat-1 یا IRS-P5 از جدیدترین و پیشرفته‌ترین ماهواره‌های سنجش از دور با قدرت تفکیک مکانی بالا می‌باشد که توسط سازمان تحقیقات فضایی هند طراحی و ساخته شده است. این ماهواره در ۵ می سال ۲۰۰۵ میلادی به فضا پرتاب شد و اساساً کاربرد کارتوگرافی دارد. دو دوربین پانکروماتیک pan-after و pan-forward توسط این ماهواره حمل می‌شود که پوشش سه‌بعدی از زمین را در یک نسبت $B/H = 0/68$ فراهم می‌کند (۲۵). نسبت B/H یک روش رایج برای بیان هندسه تصاویر سه‌بعدی است. B فاصله بین دو نقطه مشترک در دو تصویر و H مربوط به ارتفاع پرواز است. نسبت B/H به زاویه تقاطع بازتاب نقاط دو تصویر مرتبط می‌گردد (۲۳). تصاویر ماهواره مذکور با قدرت تفکیک مکانی $2/5 - 2$ متر، در یک عرض تقریبی ۳۰ کیلومتر، جمع‌آوری می‌شود و برای تولید مدل ارتفاعی رقومی (Digital Elevation Model) با کیفیت بالا، کارایی دارد (۲۵).

داده‌های سه‌بعدی این ماهواره را با استفاده از ضرایب چند جمله‌ای منطقی (Rational Polynomial Coefficient) RPC پردازش می‌کنند. فایل RPC شامل ضرایب چندجمله‌ای درجه ۳ است که با لحاظ هندسه تصویر برداری سنجنده، به تصویر مربوط می‌شود و از زمین مستقل است. دقت ارتفاعی و مکانی تولیدات داده‌های کارتوست با RPC بین ۱۰۰ تا ۲۵۰ متر است و این میزان دقت، موجب خطا در محاسبات منطقه تصویر می‌شود. بنابراین ضروری است داده‌ها علاوه بر RPC با استفاده

اظهار داشتند، داده‌های سه بعدی کارتوست امکان تولید مدل رقومی ارتفاعی‌های دقیق با خطای میانگین کمتر از ۵ متر برای بررسی ناهمواری‌های سطح زمین را فراهم می‌سازد. جاکوبسن (۱۶)، از داده‌های کارتوست ژانویه و فوریه ۲۰۰۶ منطقه موسان و داده‌های فوریه ۲۰۰۶ منطقه وارسو استفاده کرد. بعد از تعیین نقاط کنترل زمینی، ثبت براساس RPCs و نقاط کنترل زمینی انجام شد. براساس حداقل مجذور میانگین مربعات خطا (Root Mean Square Error)، مدل‌های ارتفاعی رقومی تولید و آنالیز گردید. انطباق مسطحاتی مدل رقومی ارتفاعی‌های تولید شده با یکسری مدل رقومی ارتفاعی‌های مرجع، مقایسه گردید. وی در نهایت بیان کرد دقت تولید مدل ارتفاعی رقومی با حداقل مجذور میانگین مربعات خطا بررسی می‌شود که باید کمتر از یک پیکسل باشد.

کوکامان و همکاران (۲۰)، تحقیقاتی را در منطقه کاتالونیا و ساکوراچما در هند انجام دادند. آنها تعداد و توزیع نقاط برای ثبت و بهبود RPCs را با نرم‌افزار SAT-PP بررسی کردند. بهترین نتایج به RMSe حدود ۵/۰ پیکسل زمینی منتهی شد. برای توجیه سنجنده و تصحیح آن، ۶ نقطه کنترل زمینی با ۲ توزیع متفاوت روی تصویر after منطقه اعمال شد، دقت RPC با توزیع ضعیف GCP کاهش یافت. آنها برای تصحیح RPC، استفاده از حداقل ۶ نقطه کنترل زمینی را ضروری دانستند. راو و همکاران (۲۲) از تصاویر کارتوست بخشی از گوا در هند استفاده کردند. آنها برای تولید مدل رقومی ارتفاعی و Ortho با تصاویر Cartosat-1 از نرم‌افزار ERDAS 9.1، استفاده نمودند و از ترکیب جاده‌ها، مناطق مسکونی، کشتزارها و زهکشی تصویر اورتو برای به‌روزر کردن نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ همان منطقه، بهره برده و جاده‌ها و مناطق مسکونی تازه به وجود آمده را نشان دادند.

هاشمی و جعفری (۱۵) برای زمین مرجع کردن تصاویر ماهواره‌ای کارتوست منطقه کرج، از نقاط کنترل زمینی که توسط سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح برداشت شده بود، استفاده کردند. آنها برای ارزیابی دقت افقی و عمودی، ۹ توزیع

از نقاط کنترل زمینی (Ground Control Point) نیز ثبت داده شوند. GCPs وضعیت پلانیمتریک را از ۱۰۰ تا ۲۵۰ متر به ۵ تا ۷ متر ارتقاء می‌دهد. این دقت برای به‌روزر کردن نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ مناسب می‌باشد (۲۴).

به دلیل قدرت تفکیک زمینی بالای تصاویر Cartosat-1 و اهمیت تعیین نقاط کنترل زمینی در دقت مدل رقومی ارتفاعی که با این تصاویر تولید می‌شود، از جی‌پی‌اس دیفرانسیلی (Differential Global Positioning System)، برای برداشت نقاط کنترل زمینی استفاده می‌گردد. بدین ترتیب با توجه به وسعت و موقعیت منطقه مورد مطالعه، اقدام به برداشت تعداد محدودی نقطه کنترل زمینی با توزیع مناسب در محدوده منطقه مربوط به تقاطع خیابان‌ها، گوشه کرت‌های کشاورزی و... می‌شود. واردسازی نقاط کنترل زمینی بر روی جفت تصویر سه بعدی Cartosat-1، پس از انجام توجیه داخلی و توجیه خارجی صورت می‌گیرد. توجیه داخلی، هندسه درونی سنجنده را همان‌گونه که در زمان اخذ تصویر وجود دارد تعریف می‌کند و توجیه خارجی، موقعیت و جهت زاویه‌ای (angular orientation) سنجنده را تعریف می‌کند که به‌طور اتوماتیک توسط عملگر LPS (Leica Photogrammetry Suite) نرم‌افزار ERDAS Imagine 9.1 اعمال می‌گردد (۲۲). سپس جهت بهبود تطابق بین دو تصویر، تعداد بیشتری نقاط گرهی (Tie Points) به‌طور اتوماتیک، توسط نرم‌افزار مذکور تولید می‌شود. نقاط گرهی، نقاطی هستند که مختصات زمینی آنها نامعین است و می‌تواند در مناطقی که بین تصاویر مشترک است تعریف شود. مختصات زمینی نقاط گرهی در طول فرآیند مثلث‌بندی (Triangulation)، مشخص می‌شود. مثلث‌بندی فرآیند ایجاد یک رابطه ریاضی بین تصاویر، مدل سنجنده و زمین است (۱۸).

گایلا و همکاران (۱۲)، با استفاده از تصاویر کارتوست ۲۴ اکتبر و ۴ نوامبر ۲۰۰۵ منطقه یوتا، صحت مدل رقومی ارتفاعی تولید شده از داده‌های کارتوست را برآورد و دقت عمومی آن را با دقیق‌ترین مدل رقومی ارتفاعی‌های مرجع مقایسه کردند. آنها

شرق اصفهان با استفاده از زوج تصاویر ماهواره Cartosat-1 می‌باشد. این اراضی در اثر خاکبرداری و خاکریزی‌های غیر اصولی کوره‌های آجرپزی ایجاد شده است و به‌صورت عوارض توپوگرافی مصنوعی (توپوگرافی‌های غیرعادی) در منطقه ظاهر شده و بیابانزایی را شدت بخشیده است. از مجموع ۱۶ کانون بحرانی اراضی بیابانی در استان اصفهان، منطقه مذکور به‌عنوان اولویت اول و در شمار بحرانی‌ترین کانون فرسایش بادی در استان تلقی می‌شود (۳).

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، دشت سگری است که در ۳۰ کیلومتری شرق شهر تاریخی اصفهان واقع شده است. محدوده مورد بررسی در این تحقیق دارای مساحتی حدود ۲۳۰۰۰ هکتار و محدود به ۳۶۰۴۵۳۹-۳۶۲۱۸۱۹ m و ۵۷۸۸۹۲-۵۹۶۹۴۲ m در سیستم مختصات UTM می‌باشد. شیب عمومی منطقه کمتر از یک درصد است و توپوگرافی طبیعی آن صاف و عارضه طبیعی قابل ملاحظه‌ای در آن مشاهده نمی‌شود (شکل ۱). برداشت بی رویه از شنزارهای منطقه و معادن گچ، تردد کامیون‌های حامل گچ و وجود کوره‌های گچ‌پزی موجب نابود شدن سنگ فرش حافظ خاک و ایجاد بی‌نظمی‌های وسیع و گودال‌های عظیم در سطح منطقه شده که منظره‌ای بسیار ناخوشایند را به وجود آورده است (۸). عمق این گودال‌ها در برخی نقاط حتی به ۳۰ متر هم می‌رسد (شکل ۲).

اطلاعات و داده‌های مورد استفاده

در این مطالعه از یک پنجره کامل تصویر ماهواره Cartosat-1 با قدرت تفکیک مکانی ۲/۵ متر، اخذ شده در ۲۴ فوریه ۲۰۰۷ و نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ جهت شناسایی مقدماتی منطقه استفاده گردید. برای برداشت نقاط کنترل زمینی از دستگاه GPS و DGPS و اطلاعات نقطه ژئودزی ماهواره‌ای (نقطه مرجع) "ایستگاه شهرک صنعتی جی" بهره گرفته شد. نرم‌افزارهای

خوب GCP روی جفت تصویر، اعمال کردند. این نقاط کنترل زمینی با استفاده از DGPS برداشت شدند. نتایج نشان داد که برای تولید نقشه در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ به‌ویژه در مرز کشورها و در مناطقی که عملیات پرواز ممکن نیست، استفاده از یک جفت تصویر استریو P5، با ۵ نقطه کنترل زمینی که خوب توزیع شده باشد، دقت لازم را فراهم می‌کند.

گیربایو و همکاران (۱۳) از تصاویر ماهواره Cartosat-1 برای تولید مدل ارتفاعی رقومی ارتفاعات هیمالیا استفاده کردند آنها نقاط کنترل زمینی را با استفاده از دستگاه DGPS برداشت و مدل ارتفاعی رقومی با RMSe حدود ۰/۵ پیکسل تولید نمودند. مدل رقومی ارتفاعی ایجاد شده با استفاده از تصاویر مذکور به ویرایش گسترده‌ای نیاز داشت. آنها استفاده از ترکیب تصاویر مانند سه‌بعدی‌های سه تایی (دوربین near nadir و دوربین‌های Aft و Fore که نسبت B/H آنها نزدیک به یک باشد) و یا سه‌بعدی‌های چهارتایی (دوربین‌های Aft و nadir near به اضافه دوربین‌های Fore و near nadir) را برای تولید مدل ارتفاعی رقومی با کیفیت بهتر برای منطقه هیمالیا که دارای پستی و بلندی زیادی است، پیشنهاد کردند. کاربرد ترکیب تصاویر پس پردازش مدل ارتفاعی رقومی را کاهش می‌دهد.

کومار و همکاران (۲۱) در آشکارسازی تغییرات شهر پروانو در هند، از داده‌های ماهواره Cartosat-1، برای تهیه نقشه پایه و مدل ارتفاعی رقومی، بهره بردند. آنها از نرم‌افزار LPS جهت ایجاد مدل ارتفاعی رقومی استفاده کردند. آنان و همکاران (۱۰) نیز در تحقیقی مشابه، تصاویر Cartosat-1 را در آشکارسازی تغییرات بخشی از قات غربی در هند به‌کار بردند.

گوبینات و همکاران (۱۴) در مطالعه خود در حوزه رودخانه کوتیاردی با مساحت ۶۷۶ کیلومتر مربع و اقلیم حاره‌ای مرطوب، از تصاویر Cartosat-1 و مدل ارتفاعی رقومی برای مطالعه کمی هیپسومتری ۶ زیر حوزه استفاده کردند. آنها از نرم‌افزار LPS و Arc GIS استفاده نمودند.

هدف از این تحقیق، استخراج نقشه اراضی تخریب شده



شکل ۲. بی‌نظمی‌های وسیع در سطح منطقه مورد مطالعه

بدین ترتیب لایه رستری طبقات ارتفاعی از مدل ارتفاعی رقومی ایجاد شد. در مرحله بعد این لایه رستری به لایه وکتوری تبدیل گردید و هریک از عارضه‌های خاک‌برداری و خاکریزی به‌صورت یک پلیگون، ظاهرگشت. درنهایت با کدگذاری هر یک از این پلیگون‌ها، لایه خاک‌برداری‌ها و خاکریزی‌ها (یعنی اراضی تخریب شده) تولید شد.

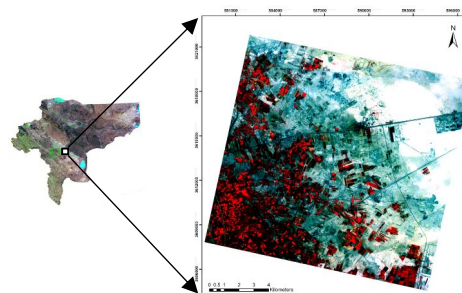
ارزیابی صحت نقشه‌های تولید شده

در آخرین مرحله، صحت نقشه تولیدی با روش ماتریس خطا برآورد گردید. بدین‌منظور به‌صورت تصادفی با استفاده از دستگاه GPS، تعداد پیکسل‌های زیادی کنترل زمینی شد. نمونه‌برداری از هر طبقه به گونه‌ای بود که حداقل ۴ درصد مساحت طبقه را شامل شود.

نتایج

نقاط کنترل زمینی و چک بر روی تصاویر Cartosat-1، مشخص شد و RMSE کل برای نقاط کنترل و چک، در حدود ۰/۳ پیکسل به‌دست آمد.

مدل رقومی ارتفاعی منطقه با اندازه پیکسل ۱۵ متر تولید شد و در ۹ لایه ارتفاعی با روش NaturalBreaks طبقه‌بندی گردید. که طبقات مناسبی را تولید کرد (شکل ۳). به‌این ترتیب طبقات ارتفاعی پایین‌تر که در طبقات بالاتری قرار گرفته‌اند به‌دلیل داشتن ارتفاع کمتر، نشان دهنده گودال یا خاک‌برداری است و طبقات ارتفاعی بالاتر که در طبقات پایین‌تری قرار گرفته‌اند، به‌دلیل اینکه نسبت به ناحیه محیطی خود مرتفع‌تر



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان اصفهان

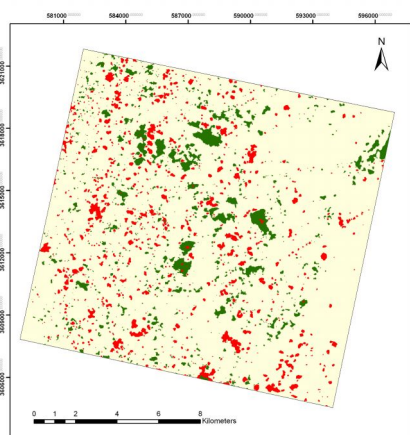
مورد استفاده جهت تفسیر و پردازش داده‌های ماهواره‌ای شامل ERDAS Imagine 9.1، Arc GIS 9.2 می‌باشد.

تهیه لایه خاکبرداری‌ها و خاکریزی‌ها

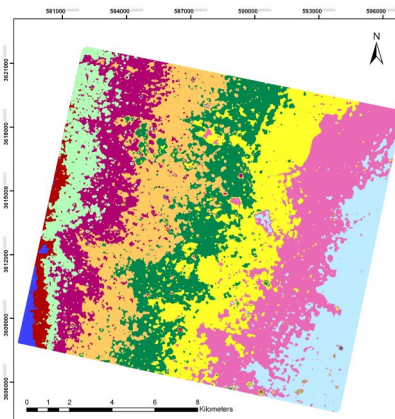
ابتدا برای برداشت نقاط کنترل زمینی، مکان ۹ نقطه، با پراکنش مناسب در سطح تصویر، در تقاطع جاده‌ها بر روی نقشه مشخص شد. سپس این نقاط با استفاده از دستگاه DGPS و نقطه مرجع شهرک صنعتی جی با روش ایستا و دقت مکانی در حد سانتی‌متر، برداشت گردید. سیستم این نقاط، UTM و سطح مرجع آن WGS84 می‌باشد.

عملیات توجیه داخلی و خارجی بر روی جفت تصویر Cartosat-1، با استفاده از عملگر LPS نرم افزار ERDAS انجام شد. سپس ۹ نقطه کنترل زمینی با x، y و z مشخص که با جی پی اس دیفرانسیلی برداشت شده بود، به‌صورت متناظر در هر دو تصویر after و forward تعیین و به‌عنوان نقاط کنترل معرفی گردید. بدین ترتیب RPC تعریف شد. جهت بهبود تطابق‌یابی بین دو تصویر، تعداد نقاط به‌طور اتوماتیک توسط نرم‌افزار مذکور، بسط داده شد و ۳۱ نقطه گرهی تولید گردید. فرآیند مثلث‌بندی برای همه نقاط گرهی انجام شد و ۳۱ نقطه گرهی، مختصات‌دار شده و به‌عنوان نقاط چک، تعیین گردید. بعد از به‌دست آوردن دقت مناسب با کنترل حداقل مجذور میانگین مربعات خطا، مدل ارتفاعی رقومی منطقه براساس نقاط کنترل با اندازه پیکسل ۱۵×۱۵ متر تولید شد.

مدل ارتفاعی رقومی تولید شده در محیط GIS با روش Natural Breaks، به ۹ کلاس ارتفاعی، طبقه‌بندی گردید و



شکل ۴. نقشه خاکبرداری (گودال) و خاکریزی (بلندی)



شکل ۳. طبقه بندی مدل رقومی ارتفاعی در ۹ لایه ارتفاعی با روش NaturalBreaks بر حسب متر

جدول ۱. نتیجه کنترل صحرایی نقشه خاکبرداری و خاکریزی و خطاهای آن (واحد اعداد پیکسل است)

خطای کمیسیون	جمع	بدون تغییر	خاکریزی	خاکبرداری	
۰/۰۲۱	۲۹۲۰۲	۲۶۳	۳۶۱	۲۸۵۷۸	خاکبرداری
۰/۰۶۶	۱۴۲۵۲	۳۸۷	۱۳۳۱۰	۵۵۵	خاکریزی
۰/۰۲۴	۴۲۲۸۵	۴۱۲۳۵	۴۱۲	۶۳۸	بدون تغییر
	۸۵۷۳۹	۴۱۸۸۵	۱۴۰۸۳	۲۹۷۷۱	جمع
		۰/۰۱۵	۰/۰۵۴	۰/۰۴۰	خطای امیسیون

ضریب کاپا: ۰/۹۵ صحت کلی: ۰/۹۷

براساس این ماتریس، دقت کلی که میانگینی از دقت نقشه خاکبرداری تولید شده است، ۹۷ درصد به دست آمد. ضریب کاپا برابر ۹۵ درصد می باشد که بیان می کند پیکسل ها ۹۵ درصد بهتر از موقعی که به طور تصادفی طبقه بندی شوند، به دو عارضه خاکبرداری و خاکریزی تفکیک شده اند. خطای امیسیون برای طبقه خاکبرداری ۴ درصد است و نشان می دهد که ۴ درصد از پیکسل های مربوط به خاکبرداری، به اشتباه جزء کلاس های دیگر طبقه بندی شده است. خطای کمیسیون ۲ درصد است و معادل آن درصد از پیکسل هایی است که در واقع متعلق به خاکبرداری نبوده ولی به اشتباه جزء آن در نظر گرفته

می باشند، عارضه خاکریزی را ظاهر می سازد. با تبدیل فایل رستری مدل رقومی ارتفاعی طبقه بندی شده به برداری، برآمدگی ها و فرورفتگی ها به صورت پلیگون هایی ظاهر شدند که با کد گذاری آنها، لایه خاکریزی و خاکبرداری در منطقه مورد مطالعه حاصل گردید. و بدین ترتیب نقشه دو عارضه خاکبرداری و خاکریزی، با دو رنگ گوناگون به صورت کاملاً تفکیک شده، تولید شد (شکل ۴). مساحت اراضی تخریب شده در نقشه ذیل حدود ۲۵۰۰ هکتار می باشد که ۱۱ درصد مساحت منطقه مورد مطالعه را تشکیل داده است. نتیجه ارزیابی صحت این نقشه به روش ماتریس خطا، در جدول ۱ آمده است.

در تصاویر بسیاری از سنجنده‌های ماهواره‌ای با دقت مکانی بالا مانند IKONOS اهمیت چندانی ندارد، اما برای کارتوست، مخصوصاً در پلانیمتری، بسیار مهم می‌باشد. بنابراین توزیع مناسب نقاط کنترل زمینی و قرار گرفتن آنها در موقعیت بهینه توصیه می‌شود. آنها برای رسیدن به دقت مطلوب، استفاده از حداقل شش نقطه کنترل زمینی را پیشنهاد می‌کند.

هاشمی و جعفری (۱۵) در مطالعات خود، برای زمین مرجع کردن یک جفت تصویر استریو Cartosat-1، تعداد ۵ نقطه کنترل زمینی که توزیع مناسبی داشته باشد را برای دقت خوب تولیدات (مدل رقومی ارتفاعی و Ortho)، کافی می‌دانند. آنها استفاده از تعداد نقاط کنترل بیشتر را نه تنها راهی برای افزایش دقت نمی‌دانند، بلکه این عمل را فقط اتلاف وقت و هزینه بیان می‌کنند.

بدین ترتیب در این مطالعه، مدل رقومی ارتفاعی براساس نقاط کنترل، با اندازه پیکسل 15×15 متر، تولید گردید. مدل رقومی ارتفاعی یک لایه رقومی است که حاوی ارتفاع تمام نقاط تحت پوشش خود است و می‌توان به صورت نقشه آن را ارائه نمود که نشان دهنده ارتفاع هر پیکسل از سطح دریاست. با توجه به خطاهای موجود در تولیدمدل رقومی ارتفاعی، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای کارتوست، روش نوینی است که می‌تواند مدل رقومی ارتفاع را با دقت بالا ایجاد کند. جاکوبسن و همکاران (۱۷) بیان می‌کنند دقت تولید مدل رقومی ارتفاعی با RMSE بررسی می‌شود و باید مقدار آن کمتر از یک پیکسل باشد. در این تحقیق RMSE مطلوب در تولید مدل رقومی ارتفاعی، حدود $0/3$ پیکسل به دست آمد.

راو و همکاران (۲۲) در مطالعه خود با استفاده از تصاویر Cartosat-1 برای تولید مدل رقومی ارتفاعی، بعد از انجام مراحل توجیه داخلی و توجیه خارجی، تولید ۲۷ نقطه گرهی و مثلث‌بندی، RPCs را با اعمال نقاط کنترل زمینی که با DGPS برداشت شده بود، تعریف کردند. آنها ۱۰ نقطه کنترل زمینی را روی تصویر کارتوست ۱- اعمال کردند. ۴ نقطه به صورت کنترل زمینی و ۶ نقطه به صورت چک. RMSE کل تصویر را

شده است. همچنین با توجه به این‌که داده‌های واقعی در ستون‌ها و نتایج طبقه‌بندی در سطرها قرار دارند می‌توان جدول را تفسیر کرد. به عنوان مثال از مجموع ۲۹۷۷۱ پیکسل که در واقعیت مربوط به خاکبرداری بود، ۲۸۵۷۸ پیکسل به درستی خاکبرداری تشخیص داده شد. تعداد ۵۵۵ و ۶۳۸ پیکسل نیز به ترتیب به اشتباه به عنوان خاکریزی و بدون تغییر معرفی گردیده، در حالی که در واقعیت مربوط به خاکبرداری بوده است. در ستون‌های خاکریزی و بدون تغییر نیز مشابه همین تفسیر را می‌توان بیان کرد.

بحث و نتیجه‌گیری

ماهواره کارتوست با فراهم کردن تصویربرداری با دقت مکانی بالا، قابلیت تصویربرداری همزمان سه بعدی و تولید مدل رقومی ارتفاعی، عامل تحولی در سنجش از دور است (۱۷). با پرتاب این ماهواره، گام جدیدی در کاربردهای کارتوگرافی مانند نقشه‌برداری مناطق شهری و به‌روزر کردن نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس بزرگ $1:100000$ یا $1:250000$ برداشته شد. دقت ارتفاعی و مکانی تولیدات داده‌های کارتوست فقط با استفاده از RPC و بدون نقاط کنترل بین ۱۰۰ تا ۲۵۰ متر است و تعیین موقعیت بدون نقاط کنترل با یک انحراف معیار ۷۰ متری مشخص است. برای افزایش دقت اطلاعات استخراجی از این داده‌ها، اقدام به استفاده از نقاط کنترل زمینی شد (۲۴). در این مطالعه، ۹ نقطه کنترل زمینی با پراکنش مناسب و با استفاده از DGPS، جهت بهبود دقت نتایج، برداشت گردید که این روش و تعداد با توجه به نظر راو و همکاران (۲۲) و کوکامان و همکاران (۲۰) برای افزایش دقت این تصویر مناسب و کافی است. همچنین RMSE حاصله و مقایسه آن با نتایج تحقیقات نامبردگان که برای افزایش دقت مدل رقومی ارتفاعی صورت گرفته، بسیار خوب ارزیابی می‌شود. همچنین کوکامان و همکاران (۲۰)، در مطالعات خود چنین بیان می‌کنند که میزان دقت برای RPC با توزیع ضعیف نقاط کنترل زمینی کاهش می‌یابد. آنها اظهار داشتند که توزیع نقاط کنترل زمینی اگر چه

قابلیت ارائه سه بعدی تصاویر کارتوست، دو عارضه خاکبرداری (گودال‌ها) و خاکریزی (بلندی‌ها) را به خوبی مشخص کرده است. استفاده از این تصاویر جهت جداسازی تغییرات توپوگرافی‌های چنین مناطقی که تعداد زیادی پستی و بلندی توسط انسان ایجاد شده است، بسیار رضایت بخش ارزیابی می‌شود که این تغییرات در مقیاس توپوگرافی‌های مناطق کوهستانی ناچیز می‌باشد و معمولاً بر روی نقشه‌ها نشان داده نمی‌شوند. این نقشه برای مدیریت منطقه می‌تواند بسیار مفید و با ارزش باشد.

تغییر و تحولی که در ویژگی‌های طبیعی منطقه مورد مطالعه در شرق اصفهان طی چند دهه اخیر بر اثر رشد صنایع و بهره‌برداری بیش از حد از منابع طبیعی رخ داده است، غیراصولی بودن برنامه‌های عمرانی را روشن می‌سازد. بنابراین برای برنامه‌ریزی و مدیریت آتی نیاز است تا اطلاع دقیقی از کاربری‌های مختلف و توزیع آن در دست مدیران باشد. با در نظر گرفتن پیشرفت‌های گسترده در زمینه فناوری سنجش از دور و مزایای این تکنیک نسبت به روش‌های سنتی و نیز پیشرفت‌های چشمگیر اخیر علوم فضایی و اعزام ماهواره‌های جدید با قدرت تفکیک طیفی و مکانی بالا، تسهیلات لازم جهت ایجاد نقشه‌های دقیق و به روز از منابع طبیعی میسر می‌شود.

۱/۷۸ پیکسل به دست آوردند. همچنین اندازه پیکسل مدل رقومی ارتفاعی را 25×25 متر معرفی کرده بودند.

کوکامان و همکاران (۲۰)، در بررسی‌های خود با این نوع تصاویر، RMSE را حدود ۰/۵ پیکسل زمینی یعنی ۲/۵ متر به دست آورده که در مقایسه با نتایج تحقیق حاضر از دقت کمتری برخوردار بود.

در ادامه مراحل مدل ارتفاعی رقومی به دست آمده، در محیط GIS، به ۹ کلاس ارتفاعی، براساس متداول‌ترین روش (Breaks Natural)، طبقه‌بندی گردید. بدین ترتیب نوسانات ارتفاع را می‌توان بهتر تشخیص داد و گودال‌ها را که به وسیله خاکبرداری بی‌رویه ایجاد شده است، به صورت پلی‌گون‌های مربوط به طبقات ارتفاعی پائین‌تر که در طبقات بالاتری قرار گرفته‌اند معین کرد. همین امر برای تپه‌ها یا خاکریزی به صورت عکس صادق است. در کنترل زمینی دقت این دو عارضه ایجاد شده توسط انسان، به خوبی مشخص شد که منطقه وضعیت توپوگرافی طبیعی خود را از دست داده و به صورت تپه‌ها و گودال‌های بدشکل در آمده‌اند و چون پوشش گیاهی طبیعی آنها از دست رفته است، به سادگی با وزش باد، گرد و خاک شدید به هوا برمی‌خیزد که در آلودگی منطقه تاثیر زیادی دارد.

در بررسی دقت نقشه تولیدی، نتایج حاصل مطلوب بود و خطای موجود به علت نشان ندادن برجستگی‌های درون گودال‌های بزرگ و عوارض کوچک است. نقشه حاصل، به دلیل

منابع مورد استفاده

۱. اختصاصی، م. ر. و ع. سپهر. ۱۳۹۰. روش‌ها و مدل‌های ارزیابی و تهیه نقشه بیابان‌زایی. انتشارات دانشگاه یزد، یزد.
۲. اکبری، م. ۱۳۸۳. ارزیابی و طبقه‌بندی بیابان‌زایی با استفاده از تکنیک‌های RS و GIS در شمال اصفهان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد بیابان‌زایی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۳. خنامانی، ع. ح. ر. کریم‌زاده و ر. جعفری. ۱۳۹۲. استفاده از معیار خاک جهت ارزیابی شدت بیابان‌زایی (مطالعه موردی: دشت سگزی اصفهان). مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک (۶۳): ۴۹-۵۹.
۴. زهتابیان، غ. ر. و ح. خسروی. ۱۳۹۳. مدل‌های ارزیابی بیابان‌زایی (معیارها و شاخص‌ها). انتشارات دانشگاه تهران. تهران.
۵. طباطبایی، س. م. ۱۳۷۶. جمعیت و محیط زیست در ورود به قرن ۲۱. انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
۶. علیزاده ربیعی، ح. ۱۳۷۴. سنجش از دور (اصول و کاربرد). انتشارات سمت، تهران.

۷. فیض‌اله بیگی، آ. و ف. مسیبی. ۱۳۸۵. *سنجش از دور و آنالیز شهری*. انتشارات سازمان نقشه‌برداری کشور، تهران.
۸. کریم‌زاده، ح. ر. ۱۳۸۱. *تکوین و تکامل خاک در لندفرم‌های مختلف و منشایابی رسوبات فرسایش یافته بادی در منطقه شرق اصفهان*. رساله دکتری خاک‌شناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۹. مرادی، ح. ر. م. ر. فاضل‌پور، س. ح. ر. صادقی و س. ز. حسینی. ۱۳۸۷. *بررسی تغییر کاربری اراضی در بیابان‌زایی محدوده شهر اردکان با استفاده از سنجش از دور*. فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران ۱۵ (۱): ۱-۱۲.
10. Anantha Padmanabha, E., P. Shashivardhan Reddy, B. Narender, S. Muralikrishnan, and V. K. Dadhwal. 2014. Photogrammetric processing of Hexagon stereo data for change detection studies. Remote Sensing and Spatial Information Sciences, ISPRS Technical Commission VIII Symposium, 09- 12 December 2014, Hyderabad, India
11. Bo, W. and L. Ci. 2001. Landscape change and desertification development in the Mu Us sand land, Northern China, *J. Arid Environ*, 50:429-444.
12. Gayla, A. E., R. Bhaskar, G. Zheng Zhang, B. Bryan and C. Philip. 2008. An Accuracy Assessment of Cartosat-1 Stereo Image Data-Derived Digital Elevation Models, A Case Study of the Drum Mountains, Utah, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVII. Part B1. Beijing.
13. Giribabu, D., P. kumar, J. Mathew, K.P. Sharma and Y. V. N. Krishna Murthy. 2013. DEM generation using Cartosat-1 stereo data, issues and complexities in Himalayan terrain. *Eur. J. Remote Sens*, 46: 431-443.
14. Gopinath, G., T. V. Swetha and M. K. Ashitha. 2014. Elicitation of erosion signature of a tropical river basin with high resolution stereo data, *Appl. Geomatic* 6:149-157.
15. Hashemi, S. A. M. and J. Jafari. 2011. Horizontal and Vertical Accuracy assessment for a stereo pair of P5 Images with triangulation and block adjustment, *International Conference of Sensors and Models in Photogrammetry and Remote Sensing*, Tehran.
16. Jacobsen K. 2006. ISPRS-ISRO Cartosat-1 Scientific Assessment Programme (C-SAP) Technical report - test areas Mausanne and Warsaw, ISPRS Com IV, Goa 2006, IAPRS Vol. 36 Part 4, 1052-1056.
17. Jacobsen, K., M. Crespi, F. Fratarcangeli, and F. Giannone. 2008. DEM generation with Cartosat-1 stereo imagery, *EARSel Workshop Remote Sensing-New challenges of high resolution*, Bochum.
18. Kalyanaraman, K., M. Murali, and P. S. Roy. 2006. Photogram metric applications of Cartosat-1 data. *Bulletin of The National Natural Resources Management System* 31:11-18.
19. Khresat, S., A. Z. Rawajfih and M. Mohammad. 1998. Land degradation in northwestern Jordan: Causes and processes, *J. Arid Environ* 39: 623-629.
20. Kocaman, S., K. Wolff, A. Gruen and E. Baltsavias. 2008. Geometric validation of Cartosat-1 imagery, *The International Archives of photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVII, Part B1, Beijing.
21. Kumar, S., S. V. Chandel., H. Kumar and H. Gupta. 2014. RS & GIS based urban land use change and site suitability analysis for future urban expansion of Parwanoo Planning area, solan, himachal Pradesh (India). *Int. J. Development Res.* 8: 1491-1503.
22. Rao, C. V., P. Satyanarayana, D. S. Jain and A. S. Manjunath. 2007. Topographic map updating using Cartosat-1 data, *Proceedings of RSPSoc Annual Conference*, Newcastle upon Tyne, UK.
23. Schenk, T., B. Csatho, C. Van Der Veen, D. Mc Cormick. 2004. Fusion of multi-sensor surface elevation data for improved characterization of rapidly changing outlet glaciers in Greenland, *Remote Sens. Environ.* 149: 239-251
24. Sudhir, K. and D. Giribabu. 2006. Improving the accuracy of cartosat-1 stereo data using DGPS, *Bulletin of The National Natural Resources Management System* 31: 19-25.
25. Tian, J., J. Leitloff, T. Kraub and p. Reinartz. 2011. Region based forest change detection Cartosai -1 stereo imagery, In: *Proc. Of ISPRS Hanover Workshop*, 1-6.
26. Xia, L. and G. Anthony. 2004. Analyzing spatial restructuring of land use patterns in a fast growing region using remote sensing and GIS, *Landsc.Urban plan* 69: 335-354.
27. Yang, M., W. Shoaling, W., Y. Tandong, G. Xiaohua. L. Anxin and G. Xuejun. 2004. Desertification and its relationship with permafrost degradation in Qinghai-xizang (Tibet) plateau, *Cold Reg. Sci.Technol.* 39:47-53.