شهرنگار
دوماهنامه شهرنگار - شماره ۵۶ و ۵۷
Shahrnegar - No.56 & 57
۱۲۰-۱۲۸

استخراج بعد سوم از تصاویر استریوی ماهواره WorldView2

فرانک فرازدل*
راضیه انعامی**

چکیده

چندی است که استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا به عنوان ابزاری برای توانمندسازی مدیران شهری و کارشناسان در رفع کمبودهای اطلاعاتی به‌شمار می‌رود. در حال حاضر ماهواره‌های تصویربرداری مختلفی با کاربردهای متنوع در حال مانیتورینگ سطح زمین و مطالعه تغییرات آن می‌باشند. این مقاله با تمرکز بر ماهواره WorldView2 به بررسی مشخصات فنی و قابلیت‌های آن در زمینه‌های مختلف می‌پردازد و در آن از تصویر استریو سال ۸۹ شهر تهران برای تهیه مدل رقومی ارتفاعی زمین و استخراج عناصر مربوط به بعد سوم، همچنین ارزیابی‌ها و تجزیه و تحلیل‌های لازم استفاده شده است. این ماهواره با تصاویری دارای هشت باند طیفی متفاوت در طول موج‌های مرئی تا مادون قرمز نزدیک، امکان کشف تغییرات بزرگ و کوچک مقیاس سطح زمین را در فاصله زمانی کوتاه برای کاربران فراهم می‌کند.

کلید واژگان:

تصاویر ماهواره‌ای، تصاویر استریو، WorldView2، مدل سطحی رقومی

۱. مقدمه

از اواخر سال ۲۰۰۰ میلادی که تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا (از جمله ایکونوس با قدرت تفکیک کمتر از یک متر) در اختیار عموم کاربران قرارگرفت، تا به حال تغییر و تحولات شگرفی در علم و فناوری تصویربرداری ماهواره‌ای صورت پذیرفته است. یکی از این ماهواره‌های مدرن و مجهز به فناوری‌های روز ماهواره WorldView2 (تصویر۱) می‌باشد که در سال ۲۰۰۹ شرکت DigitalGlobe برای تصویربرداری از سطح زمین به فضا پرتاب کرد. این ماهواره قادر به برداشت تصاویر به صورت مونو و استریو است. ارتفاع آن از سطح زمین ۷۷۰ کیلومتر است و سنجنده‌های موجود در آن قادر به برداشت تصاویر پانکروماتیک با قدرت تفکیک مکانی ۴۶ سانتیمتر و چند طیفی با توان تفکیک مکانی ۱/۸۴ متر در هشت باند متمایز می‌باشند و تصویری با قدرت تفکیک رادیومتریک یازده بیت از سطح زمین را برای کاربر به نمایش می‌گذارند.

این ماهواره دارای قابلیت زمین مرجع کردن تصاویر بدون استفاده از نقاط کنترل و عملیات پس پردازش می‌باشد و این کار در آن به کمک تجهیزات نصب شده از جمله ژیرسکوپ و آنتن موقعیت یاب

* کارشناس ارشد زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه خوارزمی(تربیت معلم تهران)، تهران farazdel@yahoo.com
** کارشناس ارشد سنجش از دور، دانشکده عمران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران

تصویر ۱: ماهواره WorldView۲

منبع: http://www.satimagingcorp.com

جهانی انجام می‌شود که موجب تسریع در هدف‌گذاری منطقه تصویربرداری می‌گردد. از این‌رو تصویربرداری محدوده‌ای به وسعت ۹۷۵ هزار کیلومترمربع در هر گردش به دور زمین برای این ماهواره در فاصله زمانی ۱/۱ روز مقدور می‌باشد که در مقایسه با سایر ماهواره‌های با قدرت تفکیک بالا دارای اهمیت است. سایر مشخصات فنی ماهواره مورد نظر در جدول شماره یک آورده شده است.

جدول ۱: مشخصات فنی ماهواره *WorldView2*

۲۰۰۹	زمان پرتاب
۷۷۰	فاصله مدار از زمین (KM)
۱۰:۳۰ صبح	زمان عبور از استوا
۹۷/۲	زاویه مدار ماهواره
۱/۱ روز	دوره بازدید مجدد
۱۶/۴	عرض برداشتی (KM)
۱۱بیتی	قدرت تفکیک رادیومتریک
پانکرماتیک:۴۶ سانتیمتر رنگی: ۱/۸۴ متر	قدرت تفکیک مکانی
هشت باند	قدرت تفکیک طیفی

منبع: *(/http://www.digitalglobe.com)*

همانطور که در تصویر ۲ نمایش داده شد، سنجنده‌های این ماهواره قادر به برداشت اطلاعات به تفکیک در هشت باند (دو باند آبی، سبز، زرد، دو باند قرمز و دوباند مادون قرمز نزدیک) است و این ماهواره، تنها ماهواره‌ای است که قادر به برداشت تصاویری با قدرت تفکیک مکانی ۵۰ سانتیمتر است که شش باند طیفی در طول موج‌های مرئی به همراه دو باند مادون قرمز نزدیک دارد.

۲. قابلیت‌های ویژه تصاویر ماهواره‌ای WorldView2

قدرت تفکیک طیفی بالای این ماهواره باعث ارتقای توان تفکیک و طبقه‌بندی پوشش‌های آبی، گیاهی و شهری نسبت به سایر تصاویر ماهواره‌ای می‌شود. از قابلیت‌های ویژه این تصاویر می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. ۲. عمق‌سنجی

وجود هشت باند طیفی در اینگونه تصاویر، موجب بهبود عمق‌سنجی نسبت به تصاویر چهار باندی شده است، به طوری که دو باند آبی و همچنین باند سبز، بررسی مناطق عمیق آب‌ها را نسبت به تصاویر چهار باندی بهبود بخشیده است. باند زرد، باند قرمز و باند مادون قرمز نزدیک ۱، در بررسی آبهای کم‌عمقی که با گیاهان آبزی یا مرجان‌ها پوشیده شده باشند، بسیار مفید هستند. دقت عمق‌سنجی برای نمایش زون‌های ساحلی، مخصوصاً سواحلی با تغییرات زیاد (سواحلی که دائماً متحمل بلایای طبیعی مانند زلزله، سونامی و طوفان هستند) اهمیت بالایی دارد (/http://www.digitalglobe.com).

۲. ۲. تجزیه‌وتحلیل گیاهان

باند زرد و باند جدید قرمز اضافه شده به محدوده باندها، دو

تصویر ۲: نحوه تفکیک طول موج باندها در *World View2*

منبع: *(/http://www.digitalglobe.com)*

باند مهم برای آشکارسازی پدیده‌های گیاهی هستند. طول موج باند قرمز جدید، مابین باند قرمز و مادون قرمز نزدیک ۱ است. گیاهان نور مرئی را جذب و نور مادون قرمز را منعکس می‌کنند. میزان جذب و انعکاس بستگی به نوع، سن، درجه سلامت و نرخ رشد گیاهان دارد. باند زرد، میزان کلروفیل گیاهان و تغییرات آن را مشخص می‌کند. تجزیه‌وتحلیل گیاهان و آشکارسازی تغییرات آنها می‌تواند نشان‌دهنده میزان آلودگی محیط، تغییرات آب و هوا، افزایش یا کاهش فضای سبز در مناطق شهری و میزان قطع درختان جنگل و متعاقب آن احیای مجدد جنگل‌ها باشد (http://www.digitalglobe.com/).

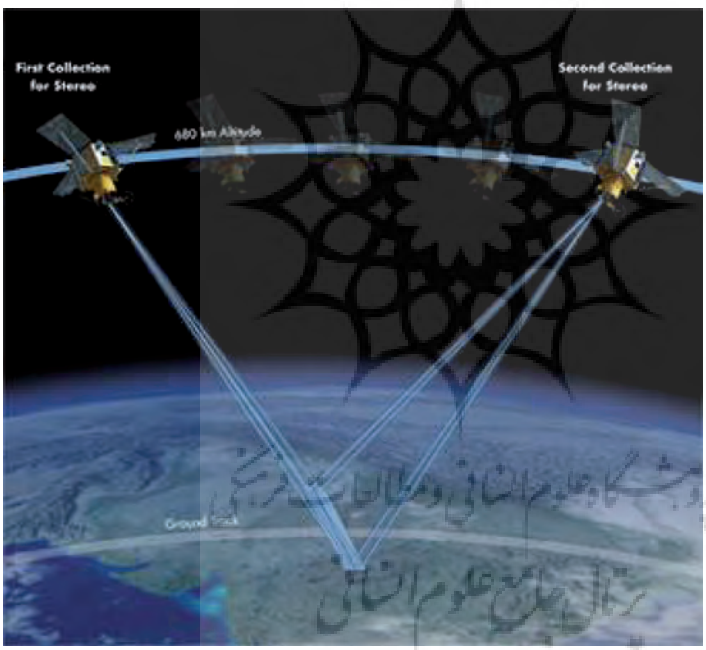
۳. ۲. استخراج عوارض

ترکیبی از پوشش باندی مناسب و قدرت تفکیک مکانی بالا، عواملی هستند که استخراج عوارض را با جزئیات بالاتری نسبت به سایر تصاویر ماهواره‌ای، امکان‌پذیر می‌سازند و کارایی اینگونه تصاویر را در علوم مختلف مانند زمین شناسی، جغرافیا، محیط‌زیست، کشاورزی، شهرسازی و ... بیشتر می‌کند.

۳. برداشت تصاویر استریو

یکی از امکاناتی که این ماهواره در اختیار کاربران قرار می‌دهد، برداشت تصاویر به صورت استریو است، تصاویر استریو شامل یک زوج تصویر می‌باشد که ماهواره از یک یا

تصویر۳: نحوه برداشت داده‌های تصاویر استریو به‌وسیله ماهواره



منبع: *(http://www.satimagingcorp.com)*

تصویر۴: نمونه‌ای از یک زوج تصویر ماهواره‌ای استریو *(WorldView2,Tehran,1389)*

منبع: معاونت اطلاعات مکانی سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرداری تهران

دو مـدار، با دو دید متفاوت، از یک منطقه بر روی زمین، در فاصله زمانی کوتاه برداشت می‌کند (تصویر ۳).

سـنجنده‌های این ماهواره از یک مدار، تصاویر اسـتریو را برداشت می‌کنند. این تصاویر امکان دید سه بعدی را برای کاربـر فراهم کـرده و به کمک این تصاویـر می‌توان مدل سـطحی رقومی[۲] را تهیه کرد. نمونه‌ای از یک زوج تصویر استریو WorldView2 در تصویر۴ نشان داده شده است.

۴. ساخت مدل سطحی رقومی (DSM)

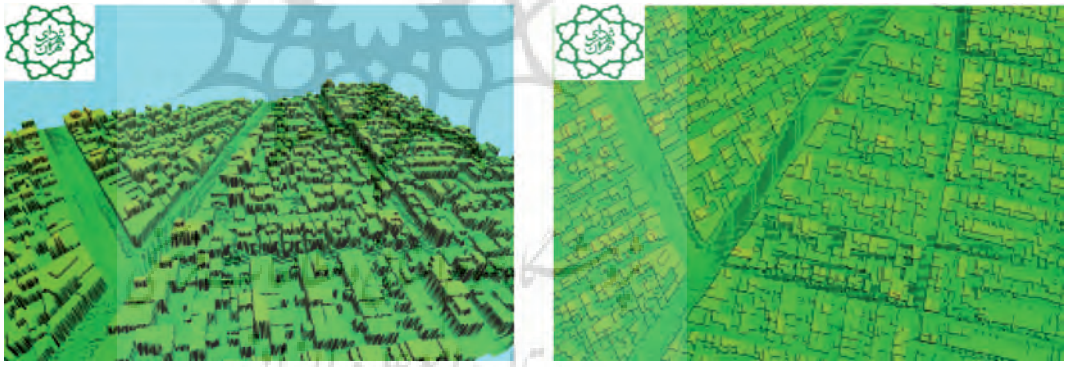
یکی از قابلیت‌های تصاویر اسـتریو، سـاخت مدل سطحی رقومی اسـت. این مدل، یک نوع داده رسـتری اسـت که مقدار هر پیکسل آن بازگو کننده ارتفاع منطقه هم‌ارز آن در روی زمین است (تصویر۵ و ۶). در صورتی که مدل سطحی رقومی از تصاویر اسـتریو استخراج شـود، در آن ساختمان، جاده، پل، درخت، رودخانه و سـایر عوارض ارتفاعی موجود در سـطح زمین مشـخص خواهـد بـود (Moeller,2006; Baltsavias et al,2005). از کاربردهـای مـدل سـطحی رقومی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. استخراج عوارض سطح زمین
۲. مدل‌سازی جریان آب بر روی زمین
۳. تولید نقشه شیب
۴. تصحیح هندسـی تصاویر ماهـواره‌ای یا عکس‌های هوایی
۵. تجزیه و تحلیل‌های زمین‌شناسی و جغرافیایی

۵. نمونه موردی (شهر تهران)

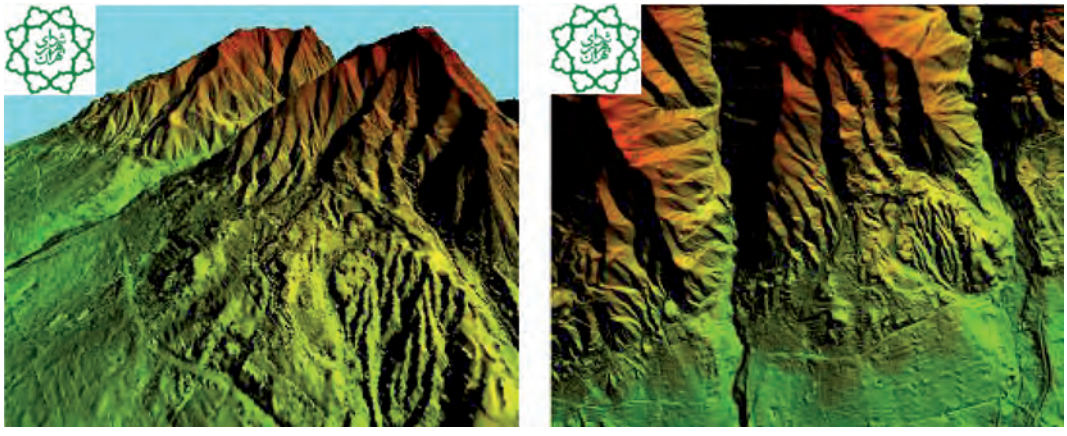
منطقـه مورد مطالعه در این مبحث (تصویر۷) شـهر تهران با مسـاحتی بالغ بـر ۷۰۰ کیلومتر مربـع و اختلاف ارتفاع تقریبـی یک‌هزار متر می‌باشـد که کلیه بافت‌هـا از قبیل مسـکونی، کوهستانی و دشت را شامل می‌شود و به عنوان بزرگ‌ترین شـهر و پایتخت کشـور ایران از اهمیت بالایی در تجزیه‌وتحلیل تغییرات ساخت‌وسـازها و پوشش گیاهی

تصویر۵: مدل سطحی رقومی قسمتی از منطقه ۱۷ تهران



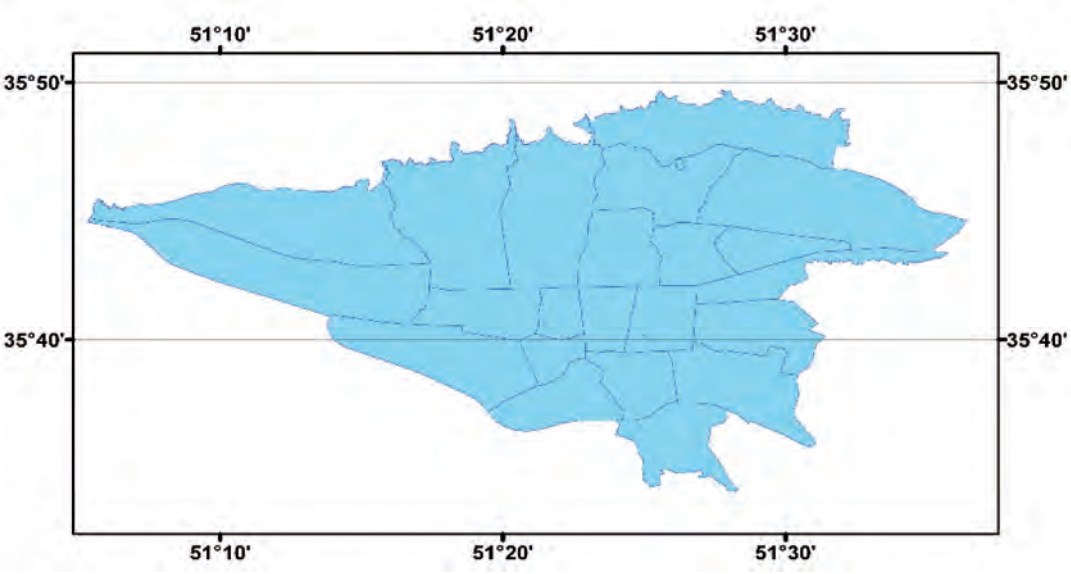
منبع: (فرازدل، ۱۳۹۰)

تصویر۶: مدل ارتفاعی رقومی قسمتی از ارتفاعات شمال تهران



منبع: (فرازدل، ۱۳۹۰)

تصویر۷: محدوده شهر تهران

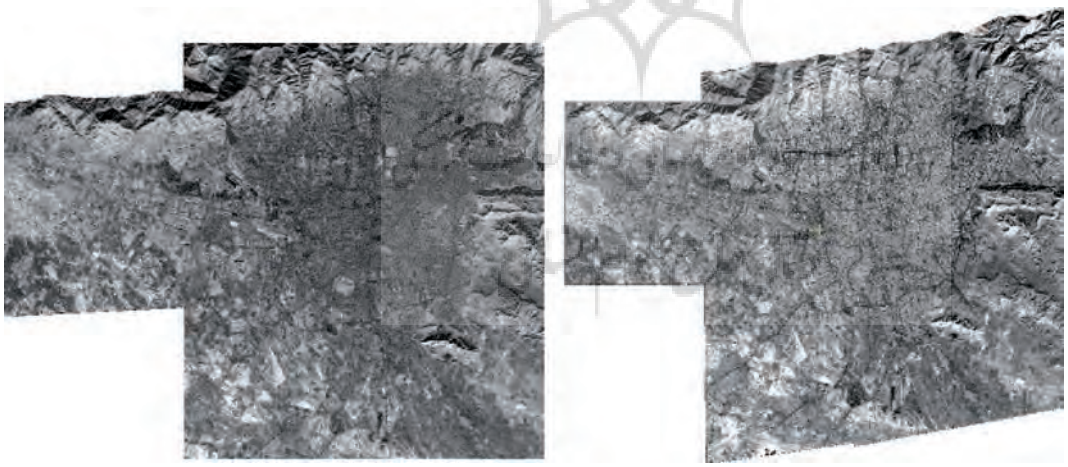


منبع: نگارندگان

برخوردار است.

تصویر مورد استفاده تصویر ماهواره worldview2 می‌باشد (پانکروماتیک به همراه چهار باند رنگی) که در سال ۸۹ از شهر تهران به صورت استریو برداشت شده است (تصویر۸). این محدوده شامل بیست قطعه تصویر استریو به همراه فایل RPC [۳] آنها، برای تسهیل در تصحیح هندسی تصاویر می‌باشد.

تصویر۸: زوج تصویر استریوی پانکروماتیک ماهواره ***WorldView2*** (شهر تهران)



تصحیح هندسی تصاویر

فرموله کردن رابطه بین مختصات تصویر و مختصات زمینی از دو طریق معادلات پارامتریک و غیرپارامتریک برای کاربران مقدور می‌باشد. برای استفاده از معادلات پارامتریک بایستی پارامترهای مداری ماهواره و مشخصات سنجنده در دسترس کاربران باشد. در صورتی که در معادلات غیرپارامتریک، تبدیل، از طریق یک سری ضرایب ناشناخته و به کمک نقاط کنترل انجام می‌شود. یکی از این مدل‌های ریاضی، معادلات رشنال می‌باشد که در آن از طریق نسبت‌گیری معادلات چند جمله‌ای ارتباط فضای

تصویر و زمین به دست می‌آید (Jacobsen et al., 2005, Grodecki et al., 2004)، درفرمول زیر نحوه مدل‌سازی این ارتباط نمایش داده شده است.

$$x = \frac{P1(X,Y,Z)}{P2(X,Y,Z)} = \frac{\sum_{i=0}^{m}\sum_{j=0}^{m}\sum_{k=0}^{m} a_{ijk} X^i Y^j Z^k}{\sum_{i=0}^{n}\sum_{j=0}^{n}\sum_{k=0}^{n} b_{ijk} X^i Y^j Z^k}$$

$$y = \frac{P3(X,Y,Z)}{P4(X,Y,Z)} = \frac{\sum_{i=0}^{p}\sum_{j=0}^{p}\sum_{k=0}^{p} c_{ijk} X^i Y^j Z^k}{\sum_{i=0}^{n}\sum_{j=0}^{n}\sum_{k=0}^{n} d_{ijk} X^i Y^j Z^k}$$

معادله ۱.

در این معادلات X,Y,Z مختصات زمینی، y,x مختصات تصویری، p,n,m,k,j,I مقادیر صحیح و مجموع p,n,m درجه معادلات چند جمله‌ای است. هر ترم از این معادلات خطای خاصی را از تصاویر حذف می‌کند و انتخاب درجه مناسب معادلات پلی نومیال از اهمیت بالایی در تصحیح هندسی تصاویر برخوردار است.

تجزیه و تحلیل‌ها و بررسی‌های انجام شده نشانگر دقت بالای این مدل نسبت به سایر معادلات غیرپارامتریک می‌باشد بنابراین این روش نه‌تنها امنیت اطلاعات مداری ماهواره و مشخصات و جزئیات سنسورهای تصویربرداری را برای شرکت‌های تصویربرداری تضمین می‌نماید بلکه در صورت در دسترس بودن ضرایب معادلات، تعداد نقاط کنترل زمینی لازم برای زمین مرجع نمودن تصاویر تاحد زیادی کاهش می‌یابد. با این توضیحات اکثر این شرکت‌ها، تصاویر ماهواره‌ای خود را به انضمام فایل‌هایی، شامل ضرایب چند جمله‌ای رشنال در اختیار کاربران قرار می‌دهند.

با توجه به توضیحات اشاره شده، تصاویر شهر تهران از طریق ضرایب رشنال، نقاط کنترلی که از نقشه‌های ۱:۲۰۰۰ موجود برداشت شده‌اند و مدل ارتفاعی رقومی، زمین مرجع شده‌اند. تصویر۹ نمایی از روند کار را در زمین مرجع نمودن تصاویر نمایش می‌دهد.

از این طریق متوسط باقیمانده خطا در نقاط کنترل و چک، ۰/۳ متر به دست آمد که با توجه به قدرت تفکیک مکانی تصاویر، دقتی ایده‌آل در تصویر زمین مرجع شده، محسوب می‌شود.

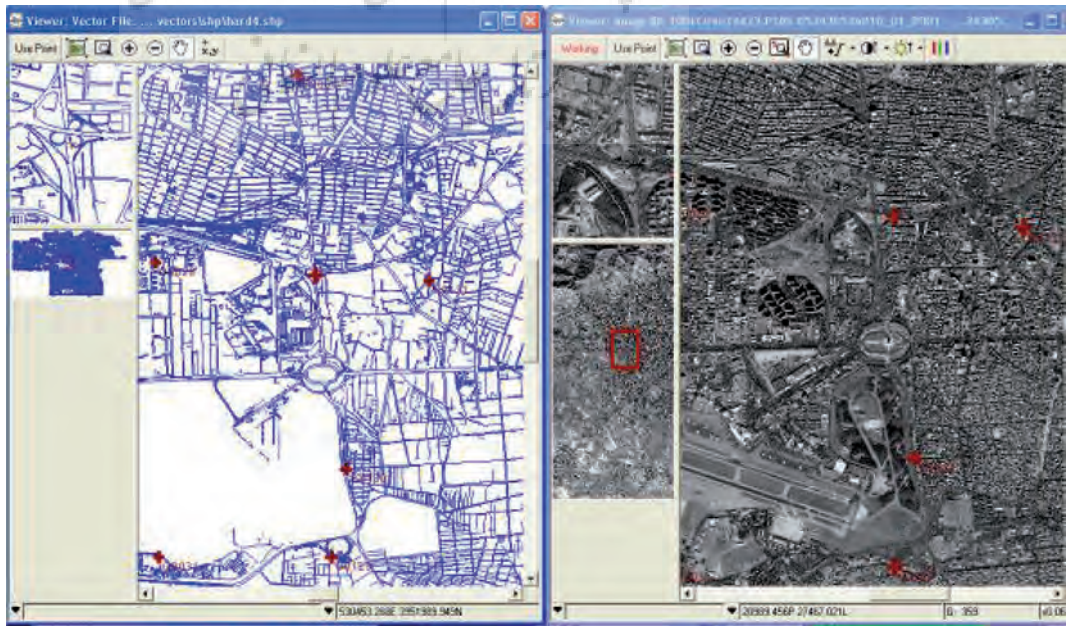
۶. استخراج مدل سطحی رقومی (شهر تهران)

برای استخراج مدل سطحی رقومی، از تصاویر استریوی پانکروماتیک ماهواره WorldView2 استفاده شد. سپس مراحل زیر به ترتیب اجرا شد:

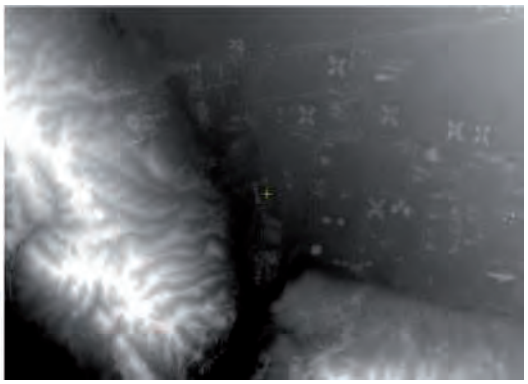
۱. انتخاب نقاط کنترل مناسب و اصلاح نقاط با توجه به متوسط باقیمانده خطا

۲. ساخت تصاویر اپیپلار و به حداقل رساندن پارالاکس تصویر

تصویر۹: زمین مرجع نمودن تصاویر



تصویر ۱۰ – الف DSM استخراج شده از تصاویر استریوی قسمتی از منطقه ۲۲ تهران



تصویر ۱۰ – ب تصویر همان قسمت

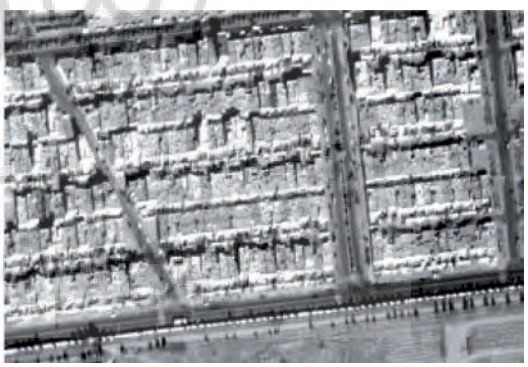
منبع: نگارندگان

۳. معرفی سیستم تصویر
۴. استخراج اتوماتیک مدل سطحی رقومی
۵. بررسی مدل به دست آمده و مشخص کردن مناطق دارای خطا
۶. اصلاح مدل سطحی رقومی

در تصویر ۱۰ قسمتی از مدل سطحی رقومی منطقه ۲۲ تهران، به همراه یکی از تصاویر استریو از همان منطقه نشان داده شده است.

مدل سطحی به دست آمده به صورت اتوماتیک حاصل شده و دارای خطا است. این خطا در مناطق مسکونی، مخصوصاً مناطقی که ساختمان‌ها متراکم‌ترند، بیشتر مشاهده می‌شود. یکی از دلایل ایجاد این خطاها، توان تفکیک مکانی پایین تصاویر، برای استخراج ارتفاع ساختمان‌هاست. دلیل دیگر، وجود سایه در برخی مناطق و یا انعکاس بیش از حد نور در مناطق دیگر است که موجب از بین رفتن جزئیات تصویر شده است. تراکم پوشش گیاهی در مناطق مسکونی نیز عامل دیگری در ایجاد خطاست. نمونه‌ای از خطای ارتفاعی در تصویر ۱۱ نشان داده شده است.

تصویر ۱۱ – الف تصاویر ماهواره‌ای پانکروماتیک یک محدوده

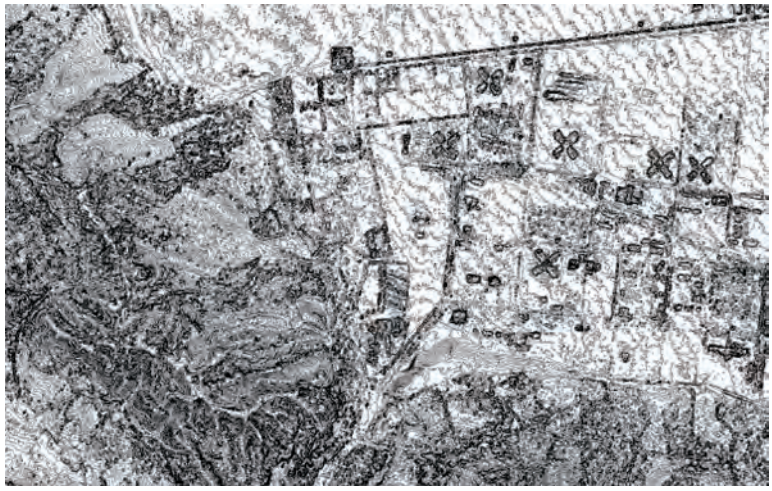


تصویر ۱۱ – ب نمونه‌ای از مدل سطحی رقومی تهیه شده از تصویر ۱۱ – الف

تصویر ۱۱ – ج تصاویر ماهواره‌ای پانکروماتیک یک محدوده

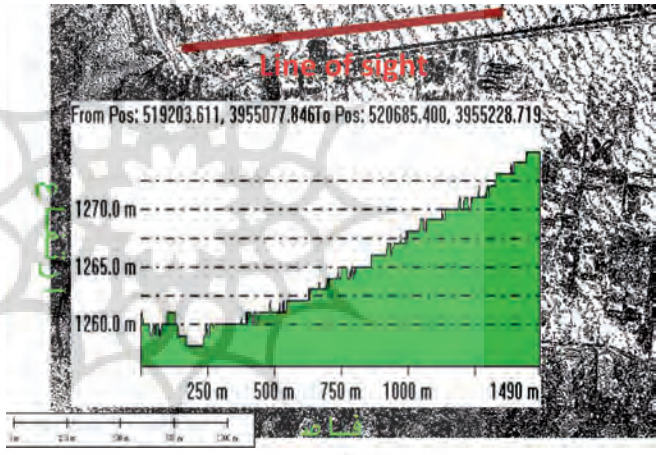
تصویر ۱۱ – د نمونه‌ای از مدل سطحی رقومی تهیه شده از شکل ۱۱ – ج

تصویر۱۲: منحنی میزان‌های به دست آمده از مدل سطحی رقومی بخشی از منطقه ۲۲ تهران



منبع: نگارندگان

تصویر۱۳: نمودار خط دید بخشی از منطقه ۲۲



منبع: نگارندگان

اینگونه خطاها تنها با ویرایش دستی قابل اصلاح است. در تصویر۱۲ منحنی میزان‌های به دست آمده از مدل ارتفاعی، برای بررسی خطا نشان داده شده است. ناهنجاری‌های شدید و نامتعارف در منحنی‌های میزان، نشان دهنده وجود خطا در مدل مزبور است.

در تصویر۱۳ نمودار خط دید[۴] بخشی از منطقه ۲۲ نشان داده شده است. قسمت مورد بررسی فاقد عوارض ساخت بشر است. در این نمودارصعودی، افزایش ارتفاع با فاصله از نقطه اولیه نشان داده شده است. برای ویرایش و حذف خطاها می‌توان برخی از عوارض را فیلتر کرده و مجدداً مدل رقومی ارتفاعی تهیه نمود.

۷. نتیجه‌گیری

در این مقاله با مروری بر مشخصات تصاویر ماهواره WorldView2، به نحوه تولید و پردازش اطلاعات مکانی پرداخته شده است. با توجه به وجود عوارض گوناگون با تراکم بالا در شهرهای بزرگی مثل تهران، تولید اتوماتیک محصولاتی مانند مدل رقومی ارتفاعی سطح زمین و نقشه شیب از تصاویر استریو با نرم‌افزارهای موجود، بدون وجود خطا امکان‌پذیر نیست و نیاز به انجام عملیات پس پردازش، امری اجتناب‌ناپذیر است. دورنمای بهبود روش‌ها و فناوری موجود، حذف مرحله پس پردازش و تمام اتوماتیک‌سازی محصول در کوتاه‌ترین زمان ممکن خواهد بود.

پی نوشت:

1- Global Positioning System (GPS)

2- Digital Surface Model (DSM)

3- Rational Polynomial Coefficient (RPC)

4- Line of Sight

منابع:

- فرازدل، فرانک (۱۳۹۰)، ساخت مدل سه بعدی شهر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با تفکیک مکانی بالا، مجله شهرنگار، شماره ۵۴، تیر ماه ۱۳۹۰، صفحات ۴۰ تا ۴۵.
- Baltsavias, E., Zhang, L., Eisenbeiss, H., (2005), DSM Generation and Interior Orientation Determination of IKONOS Images Using a Testfield in Switzerland, ISPRS Hannover Workshop2005 on “High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information”, May, Hannover, Germany.
- Grodecki, J., Dial, G. and Lutes, J., (2004): Mathematical model for 3D feature extraction from multiple satellite images described by RPCs. In: ASPRS Annual Conference Proceedings, Denver, Colorado.
- Jacobsen, K., Büyüksalih, G. and Topan, H., (2005), Geometric models for the orientation of high resolution optical satellite sensors. In: International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 36 (1/W3). ISPRS Workshop, Hannover.
- http://www.satimagingcorp.com/2011
- http://www.digitalglobe.com/2011
- http://www.digitalglobe.com/products#imagery&8-band-multispectral-imagery/2011
- www.asprs.org/publications/pers/2006journal/april/feature2.pdf

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی