

بررسی آماری دقت نقاط کنترل به منظور بهبود دقت تصحیح هندسی در تصاویر ماهواره ای

علیرضا عرب سعیدی¹، سعید صادقیان²

1. دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور - دانشکده عمران - دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
alireza.saeedi@srttu.edu

2. استادیار مرکز سنجش از دور و GIS دانشگاه شهید بهشتی
s-sadeghian@sbu.ac.ir

چکیده

با در نظر گرفتن اهمیت بهبود دقت تصحیح هندسی تصاویر ماهواره ای توسط مدل های ریاضی، یکی از گام های مهم در تولید اطلاعات مکانی دقیق از تصاویر بهبود دقت تصحیح هندسی خواهد بود. در این مطالعه با بررسی های آماری دقیق بر روی انتخاب نقاط کنترل جهت بهبود دقت تصحیح هندسی دقیق تصاویر ماهواره ای و نظارت بر انتخاب نقاط کنترل مناسب در فرآیند تصحیح توسط روش های آماری و تحلیل نتایج حاصل، از بهینه سازی پارامترهای موثر در مدل چند جمله ای سه بعدی استفاده شده است. این آزمون آماری بر روی تصاویر ماهواره آیکونوس و نیز تصویر سنجنده OLI ماهواره لندست 8، صورت گرفت. سپس با معرفی و بررسی دو عامل توپوگرافی و فاصله از مرکز تصویر، به عنوان عوامل موثر بر دقت نقاط کنترل و مطالعه رفتاری و کنش آنها بر روی دقت نقاط، حدآستانه ای بر مبنای کنش دو عامل ذکر شده جهت تصحیح هندسی، به عنوان ماکزیمم خطا برای نقاط کنترل معرفی شد که با حذف نقاط دارای خطای بیشتر از حد مجاز، از روند محاسبات، بهبود دقت نهایی تصحیح هندسی را به همراه دارد. سرانجام با مقایسه ای که صورت گرفت، دقت بدست آمده از روش پیشنهادی مشابه و یا حتی بهتر نسبت به دقت های حاصل از توابع رشنال با ضرایب بالا بوده است. بنابراین با تعیین حدآستانه 16 در واحد متر، برای تصویر سنجنده OLI ماهواره لندست 8، منطقه مورد مطالعه دقت نهایی تصحیح هندسی از 18.76 به عدد 15.88 برای نقاط کنترل تقلیل پیدا کرد. دستیابی به دقت های مطلوب بسته به شرایط پروژه های تصحیح هندسی در مناطق مختلف به عوامل مختلف وابسته می باشد لذا می توان با حذف نقاط دارای خطا از روند محاسبات بر اساس شرط کمترین مربعات بهبود دقت نتایج را شاهد بود.

واژگان کلیدی: تصحیح هندسی تصاویر ماهواره ای، تحلیل های ریاضی و آماری، چندجمله ای سه بعدی، تعیین حدآستانه.

1-مقدمه

با توجه به هندسه پویای تصاویر ماهواره ای و پیشرفت های صورت گرفته در خصوص اخذ تصاویر، مدلسازی ریاضی با هدف تصحیح هندسی، نخستین ضرورت در فرایند استخراج اطلاعات مکانی از تصاویر ماهواره ای به شمار می آید. به دلیل پیچیدگی های مربوط به اخذ تصاویر، مدل های مختلفی جهت مدلسازی هندسی، توسعه یافته شده است که هر کدام قابلیت ها و دقت های خاص خود را دارا می باشند. همچنین هر یک از خطاهای هندسی نیازمند مدل ها و توابع ریاضی خاصی جهت انجام تصحیحات می باشند. در مطالعات اخیر کاربرد الگوریتم های مبتنی بر هوش مصنوعی جهت شناسایی ساختار بهینه به امری متداول تبدیل شده است. از جمله این روش ها می توان به

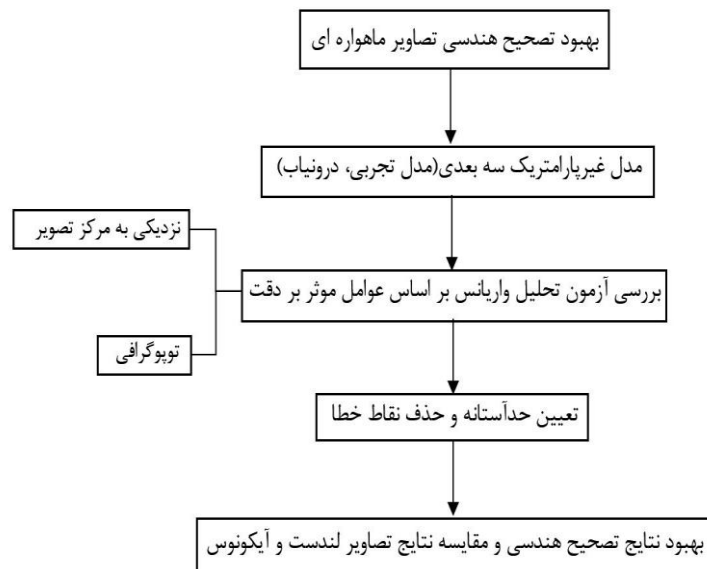
استفاده از الگوریتم ژنتیک، جهت یافتن ترم های بهینه برای مدل های چندجمله ای اشاره کرد. مقاله ای در این راستا تحت عنوان ارزیابی جامع مدل سازی هندسی تصاویر ماهواره ای با روش های هوشمند و کلاسیک توسط حسین باقری و همکاران با استفاده از الگوریتم ژنتیک و شبکه های عصبی و بهینه سازی مدل های ریاضی منجر به بهبود دقت تصحیح هندسی نسبت به روش های معمول انجام شده است [1]. با استفاده از این الگوریتم ها می توان مدل های (دو بعدی) را نیز بهینه و نتایج را برای تصاویر بزرگ مقیاس نیز بهبود بخشید [2]. ولی بر اساس تحقیقات صورت گرفته آنچه مسلم است ارائه مدل جامع جهت تصحیح هندسی تصاویر برای شرایط مختلف تصویر برداری نیازمند تحلیل و بررسی های پیچیده و همچنین صرف هزینه جهت ایجاد منطقه تست، تهیه تصاویر در حالات مختلف تصویر برداری و بررسی مدل ها می باشد [3].

مدل های ریاضی مربوط به تصحیح هندسی تصاویر ماهواره ای طیف وسیعی از مدل ها را به خود اختصاص می دهند. در یک دسته بندی کلی مدل های ریاضی در حوزه تصحیح هندسی را می توان شامل مدل های فیزیکی (پارامتریک) و درون یاب (غیر پارامتریک) در نظر گرفت. انتخاب مدل ریاضی بهینه وابسته به کاربرد، دقت مورد نیاز، تعداد و توزیع نقاط کنترل، هندسه تصویر برداری، پوشش زمین و تغییرات ارتفاعی منطقه می باشد [4,5]. مدل های فیزیکی (پارامتریک)، به دلیل فرم غیر خطی معادلات و نیاز به فرآیند تکرار در حل دستگاه معادلات و در نهایت وابستگی به مقادیر اولیه در همگرایی آنها، کمتر مورد استفاده قرار می گیرند. مدل های غیر پارامتریک نیز به دلیل عدم تعبیرپذیر بودن پارامترهای مدل از نقطه نظر هندسی و فیزیکی، شناسایی ساختار بهینه به لحاظ ترم های شرکت کننده در مدل عمدتاً مشکل بوده و روش متقنی جهت شناسایی آن وجود ندارد. به دلیل انطباق بالای مدل توابع کسری با مدل های هندسی می توان آن را به عنوان بهترین مدل در بین مدل های غیر پارامتریک سه بعدی دانست. تحقیقات متنوعی بر روی مدل توابع کسری از نقطه نظرات گوناگون صورت پذیرفته است که بهینه سازی ساختار توابع کسری و تکنیک های پالایش، نمونه هایی از آنها محسوب می شوند. همچنین می توان به مقاله Fraser و همکارانش در خصوص دقت تصحیح هندسی تصاویر GeoEye-1 اشاره کرد [6]. با این وجود در تمامی بررسی های صورت گرفته به منظور اخذ نقاط بررسی صورت نگرفته است. و روش های پیشنهادی در محدوده خاص جوابگوی دقت خواهند بود.

2- راهکار پیشنهادی جهت بررسی اخذ نقاط کنترل دقیق

در این مطالعه، عوامل موثر بر نتایج، تحت شرایط نظارت شده، بر روی داده ها مورد بررسی قرار گرفته و با توجه به خروجی در خصوص اثر عوامل بر نتایج تصمیم گیری می شود. در این مقاله نیز هدف تعیین میزان تأثیر عوامل مختلف بر روی دقت نقاط کنترل می باشد. بنابراین طی یک فرآیند آماری آزمون بر روی دقت نقاط کنترل صورت می پذیرد. در این مطالعه از نتایج دقت های حاصل از مدل های غیر پارامتریک جهت بررسی آزمون استفاده شد.

شکل 1- فلوچارت روش پیشنهادی



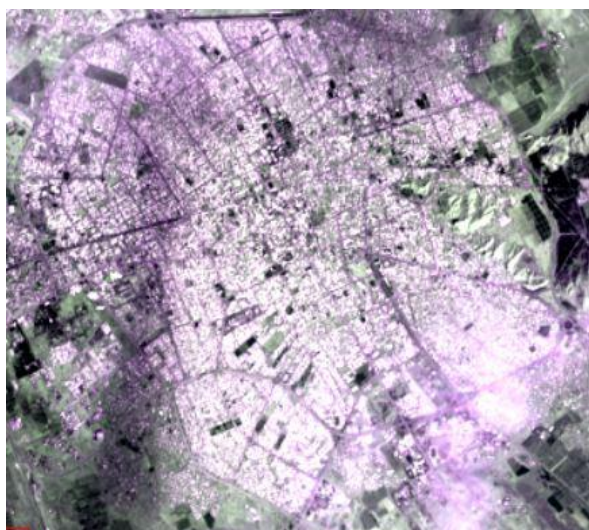
2-1 داده های مورد استفاده

در این بررسی از باند 8 سنجنده OLI از ماهواره لندست 8، با توان تفکیک مکانی 15 متر و همچنین تصویر ماهواره ای با توان تفکیک بالا ماهواره Ikonos-2 با توان تفکیک مکانی 0.82 سانتی متر به منظور ارزیابی و صحت بررسی ها استفاده شده است.

2-1-1 منطقه مورد مطالعه

تصویر اخذ شده از سنجنده OLI ماهواره لندست 8 بوده است که منظور بررسی دقت از باند 8 این سنجنده استفاده شده است، با توجه به داده های برداری منطقه مورد مطالعه، تصویر سنجنده OLI لندست 8، از شهر کرمان واقع در طول جغرافیایی 5/57 تا عرض 17/30 تا و در ارتفاع 1755 متری از سطح دریا اخذ گردید. فایل برداری عوارض شهری شامل؛ ساختمان و خیابان ها و راه ها تهیه شد. منطقه مورد مطالعه در زون 40 و ردیف R در سیستم UTM قرار دارد. به منظور دقت ارتفاعی DEM منطقه از مدل رقومی ارتفاعی SRTM استفاده شده است. با توجه به نتایج دقت های حاصل از درون یابی برای ارتفاع نقاط انتخاب شده به دلیل حل مشکل توپوگرافی نقاط به مراتب بهتر می باشد.

شکل 2- تصویر Pansharp شده منطقه مورد مطالعه، تصویر سنجنده OLI ماهواره لندست 8



2-3-1 توزیع متقارن داده ها¹

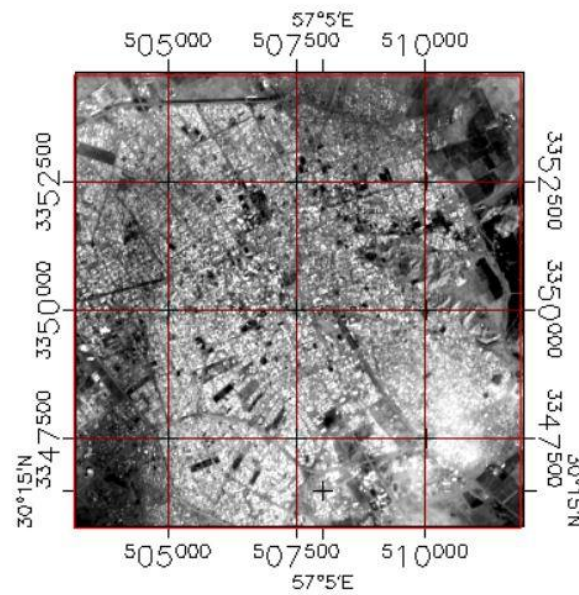
درآزمون های پارامتری جامعه مورد مطالعه از توزیع نرمال و یا نزدیک به نرمال تبعیت می کنند. مفروضه اول آن است که توزیع نقاط در رابطه متغیر وابسته برای نقاط بهنجار باشد. دراین مطالعه نیز با افزایش تعداد نقاط و بالا بردن سطح اطمینان توزیع داده ها نزدیک به نرمال در نظر گرفته می شود. بدین منظور نقاط مسطح و مرتفع در گروه هایی جداگانه مورد بررسی قرار داده می شود (جدول 3). بنابراین متغیرهایی که بر روی دقت نقاط و نتایج اثر گذار هستند را مشخص و نقاطی که دارای این شرایط می باشند شناسایی می شوند. بنابراین در این مطالعه تعدادی از نقاط توسط دو متغیر توپوگرافی و همچنین نزدیکی به مرکز تصویر به عنوان عوامل موثر در دقت نقاط مورد بررسی و آزمون قرار گرفت. مسلماً عوامل تأثیر گذار دیگر بر روی نقاط همچون بافت تصویر و منطقه تصویر برداری نیز می تواند مورد بررسی و آزمون قرار گیرد.

2-3-2 ناحیه بندی تصویر و انتخاب نقاط کنترل

به منظور تعیین نقاط کنترل به صورت متعادل، تصویر را به 16 ناحیه تقریباً مساوی تقسیم بندی نموده و نقاط را بر اساس نوع عوارض انتخاب می کنیم. لازم به ذکر است که در انتخاب نقاط کنترل نیز شرایطی در نظر گرفته می شود.

¹ Normalization

شکل 3- ناحیه بندی تصویر بانده 8، جهت انتخاب نقاط کنترل



1-2 مدل های غیرپارامتریک سه بعدی

مدل های غیرپارامتریک سه بعدی به دلیل در نظر گرفتن بعد سوم فضای زمین در فرآیند مدلسازی، شرایط هندسی اخذ تصویر را به نحو بهتری مدلسازی می کنند. مدل های غیرپارامتریک سه بعدی از جمله مدل توابع کسری^۲، با توجه به عدم نیاز به دانستن شرایط فیزیکی حاکم بر لحظه تصویر برداری قابلیت تأمین دقت های مطلوب برای انواع تصاویر ماهواره ای را به صورت محلی دارند. با توجه به افزایش سطح پوشش منطقه، امکان دقت های سراسری توسط آنها ممکن نمی باشد و دقت حاصل شده در این مدل ها کاملاً وابسته به تعداد توزیع نقاط کنترل خواهد بود. این توابع رشنال از تقسیم دو چند جمله ای سه بعدی مورد استفاده قرار میگیرند مدل طبق رابطه (2) ارتباط بین فضای سه بعدی زمین و فضای تصویر را برای هر نوع عکس و تصویر، مستقل از هندسه آن برقرار می نماید.[7]

$$r = \frac{P3(X,Y,Z)}{P4(X,Y,Z)} \quad c = \frac{P3(X,Y,Z)}{P4(X,Y,Z)}$$

$$r = \frac{\sum_{i=0}^{m1} \sum_{j=0}^{m2} \sum_{k=0}^{m3} a_{ijk} X^i Y^j Z^k}{\sum_{i=0}^{n1} \sum_{j=0}^{n2} \sum_{k=0}^{n3} b_{ijk} X^i Y^j Z^k} \quad (2)$$

$$c = \frac{\sum_{i=0}^{m1} \sum_{j=0}^{m2} \sum_{k=0}^{m3} c_{ijk} X^i Y^j Z^k}{\sum_{i=0}^{n1} \sum_{j=0}^{n2} \sum_{k=0}^{n3} d_{ijk} X^i Y^j Z^k}$$

از معایب مدل های چند جمله ای سه بعدی احتمال وقوع خطاهای بزرگتر از میانگین وجود داشته و ممکن است توزیع یکنواختی برای بردارهای خطا حاصل نشود. در این مطالعه با بررسی تحلیل رفتاری بر روی دقت نقاط کنترل و

بررسی عوامل ایجادکننده خطا بر روی نقاط با تأکید بر تعداد و توزیع مناسب نقاط، به منظور بالا بردن سطح اطمینان و اعتماد پذیری، توسط روش آماری تحلیل واریانس در فضای ریاضی و آماری به تعیین یک حدآستانه که نشانگر کنش عوامل تحت بررسی می باشد، منجر شد. با در نظر گرفتن این حدآستانه و حذف نقاطی که دقتشان تحت تأثیر این عوامل، کاهش یافته است از روند محاسبه دقت نهایی، دقت های مطلوبی برابر دقت های تابع رشنال با ترم های بالا حاصل شد. مطالعات نشان داده است که دقت های حاصل از مدل های سه بعدی چندجمله ای با مرتبه پایین برای تصحیح هندسی تصاویر بزرگ مقیاس در مناطق مرتفع در حد دقت مشابه مدل های دقیق (فیزیکی) است [8,9,10]. دقت باقیمانده های نقاط برای بررسی های بعدی حائز اهمیت می باشد. به دلیل اینکه نقاط از نظر عوامل یاد شده بر اساس تعداد، توزیع و دقت از تعادل نسبی برخوردار می باشند.

2-2 بررسی آزمون تحلیل واریانس بر روی نقاط کنترل

آزمایشی که در آن حداقل دو عامل و هریک از عوامل در دو سطح و به صورت همزمان مورد بررسی و مقایسه قرار گیرند آزمایش چندعاملی خوانده می شود. در این پژوهش ها، تأثیر دو متغیرآزمایشی به طور همزمان مورد مطالعه قرار می گیرند. شرط لازم جهت بررسی آزمون تحلیل واریانس دوراهه آن است که متغیرهای مورد مطالعه، هر کدام حداقل در دو سطح وجود داشته باشد و نیز بین سطح های هر یک از متغیرها تفاوت کمی یا کیفی وجود داشته باشد. روابط مربوط به روش تحلیل واریانس در جدول 1 آمده است.

جدول 1- روابط مجموع مجذورات در تحلیل واریانس

| F | میانگین توان های دوم | مجموع توان های دوم | منبع تغییر پذیری (SV) |
|---------------------|---------------------------------|--------------------|-----------------------|
| $F = \frac{MS}{MS}$ | $MS_A = \frac{SS_A}{a-1}$ | SS_A | اثر عامل A |
| $F = \frac{MS}{MS}$ | $MS_B = \frac{SS_B}{a-1}$ | SS_B | اثر عامل B |
| $F = \frac{MS}{MS}$ | $MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{a-1}$ | SS_{AB} | اثر متقابل AB |

2-3 مفروضه های تحلیل بر روی نقاط

پدیده های رفتاری پیچیده هستند موضوع مورد بررسی در پژوهش های رفتاری واکنش مورد پژوهش به شرایط و موقعیت می باشد. در این مورد مطالعه می توان گفت نقاط تصویر با توجه به شرایط و ویژگی های تصویر، منطقه و همچنین شرایط تصویر برداری دقت و رفتار یکسانی نخواهند داشت. با این فرض برای بررسی چنین مسأله ای لازم است آزمون هایی جهت بررسی میزان تأثیر متغیرها و عوامل موثر بر دقت نقاط به صورت همزمان مورد بررسی قرار گیرند. جهت دستیابی به ارزیابی دقت با قابلیت اعتماد پذیری بالا، در روش های مختلف تصحیح هندسی نیاز به رعایت اصول و قواعدی هستیم تا بتوان در مورد نتایج به تصمیم گیری با قابلیت اعتماد بیشتری دست یافت. با رعایت اصول مشخص امکان ارزیابی و تحلیل نتایج با قابلیت اطمینان بیشتری صورت می پذیرد. ابتدا مدل چندجمله ای سه بعدی را به طور سراسری با استفاده از نقاط کنترل به یک تصویر (با هر هندسه تصویربرداری) برازش می دهیم. دقت برازش این مدل ها وابسته به رعایت اصول و چارچوبی مشخص می باشد:

✓ تعداد نقاط کنترل و نحوه توزیع آنها در سطح تصویر

- ✓ بررسی مدل بهینه برای درونیابی ارتفاع نقاط
- ✓ نوع چندجمله ای به لحاظ تعداد ترم ها
- ✓ نوع منطقه تصویر برداری شده

3-3-2 آزمایش و نتایج

در این مطالعه با بررسی دقت RMSE نقاط بر اساس حساسیت به دو عامل توپوگرافی و نزدیکی به مرکز تصویر و همچنین اثر همبستگی دو عامل ذکر شده، در دقت نهایی تصحیح هندسی مورد آزمون و بررسی قرار میگیرد. در این مطالعه متغیر نزدیکی به مرکز تصویر به عنوان پارامتر ستونی (B) و متغیر ارتفاع به عنوان پارامتر سطری (A)، دارای دو سطح طبقه بندی، جهت تحلیل در نظر گرفته شد. تحلیل واریانس دو راهه یا عاملی روش آماری است که اثرهای مستقل و تعاملی دو یا چند متغیر مستقل را برحسب یک متغیر وابسته مورد تجزیه و تحلیل قرار می دهد. در تحلیل واریانس دو راهه، نمایش وجود یا عدم وجود کنش متقابل در نمودار 1 نشان داده شده است. در این روش مقادیر ضرایب مجموع مضروبات برای دو عامل ذکر شده محاسبه می شود و مشاهده می شود که کنش این دو عامل تفاوت معناداری نسبت به جدول توزیع فیشر خواهد داشت. لذا پس از محاسبه میزان تأثیر عوامل، محل تلاقی نمودار که کنش دو عامل ذکر شده می باشد، به عنوان حدآستانه در نظر گرفته می شود. برای این منظور نقاطی که در مقدار بردار باقیمانده X و Y بالاتر از حد مجاز است و در هر دو مشترک هستند، به عنوان نقاط دارای خطا شناخته شده و برای جلوگیری از تحت تأثیر قرار دادن نتایج در مرحله تعیین ضرایب از روند محاسبات حذف می شوند. جهت بررسی این روش تابع چندجمله ای سه بعدی درجه 1 و همچنین بهبود نتایج حاصل تحلیل و بررسی هایی بر روی نقاط کنترل در این مدل صورت پذیرفت. نتایج جدول حاکی از تأثیر این استراتژی برافزایش دقت نتیجه برازش مدل های سه بعدی می باشد. در این مرحله پس از محاسبه میزان تأثیر عوامل مورد بررسی همانطور از نتایج مشخص است عامل ارتفاع نسبت به نزدیک بودن به مرکز ثقل از تأثیر بیشتری روی مقدار باقیمانده برخوردار است ضمن اینکه محل تلاقی در نمودار در حقیقت کنش میان دو متغیر می باشد. که مقدار باقیمانده در محل تلاقی می تواند به عنوان حدآستانه برای حذف نقاط اشتباه معرفی کرد. بدین منظور مقدار باقیمانده برای X و Y نقاط مطابق با متغیرهای مورد بررسی استخراج شد و در نهایت مقدار RMSE آنها محاسبه شد و در فرآیند تحلیل قرار گرفتند. تعیین نوع، هدف و روش تحلیل داده های مسأله: در اینجا می خواهیم میانگین جامعه مورد مطالعه را از طریق یک متغیر مشترک پیوسته نرمال با یکدیگر مقایسه کنیم. در این مقاله روش های مختلف تصحیح هندسی به کمک مدل های ریاضی غیرپارامتریک مورد ارزیابی قرار گرفتند و سپس یکی از مدل های ریاضی سه بعدی را جهت بهبود نتایج مورد بررسی قرار دادیم. بنابراین ارزیابی میان روش ها مطابق نمودار (2) انجام پذیرفت و مطابق جداول ارزیابی دقتی بر روی آنها انجام شد. پس از بررسی ضریب تأثیر دو عامل توپوگرافی نقاط و نیز فاصله از مرکز تصویر نقاط و نیز مطالعه کنش این دو عامل طی فرآیند تحلیلی با توجه به نمودار (1) می توان کنش و محل تلاقی دو عامل بررسی شده را به عنوان حدآستانه ای بهینه جهت حذف کمتر این مقدار برای دیگر باقیمانده ها در نظر گرفت. آنچه در نتایج بدست آمده توسط روش پیشنهادی با استفاده از چندجمله ای سه بعدی درجه 1 ملاحظه شد دقت های مشابه و یا حتی بهتر نسبت به مدل رشنال با ضرایب بالا بوده است. بنابراین مقایسه ای میان دقت های توابع رشنال

انجام شد که برای تصاویر لندست 8 و آیکونوس در جداول (5 و 2) نشان داده شده است. با بررسی ضریب تأثیر این متغیرها می توان با تعیین یک حدآستانه که براساس دقت حاصل از پایدارسازی داده ها صورت گرفت. نقاطی که در بردارنده ی محدودیت هستند را از روند شرط کمترین مربعات حذف نمود. همانطور که نتایج جداول توابع رشنال و نرم افزار PCI Geomatica نمایش می دهند می توان با تعیین حدآستانه ای ایده آل به دقت هایی مشابه روش های فوق رسید. همانطور که در نمودار (1) مشاهده می کنیم محل تلاقی دو خط کنش دو عامل مورد بررسی می باشد. بنابراین مقدار 16.03 متر را به عنوان یک حدآستانه در نظر میگیریم. و نقاطی را که میزان خطای آنها بیشتر از این مقدار باشد به عنوان نقاطی که تحت تأثیر این دو عامل قرار گرفته اند از روند محاسباتی حذف می کنیم. به دلیل اینکه در تعیین میزان خطا و در فرآیند تصحیح هندسی می بایست نقاطی برگزیده شوند که کاملاً مستقل بوده و تحت تأثیر کنش عواملی مانند توپوگرافی و یا فاصله از مرکز که در دقت نهایی موثر هستند نباشند. همانطور که در نمودار (2) مشخص است. ارزیابی و مقایسه ای میان روش های مختلف تصحیح هندسی شامل روش های نرم افزاری، چندجمله ای دو بعدی و سه بعدی صورت پذیرفته که طی آن مدل توابع رشنال و همچنین چندجمله ای سه بعدی با نظارت بر نقاط کنترل بهترین دقت ها را نشان می دهند. در این مقاله توانستیم طی یک فرآیند آماری و تحلیلی بر روی نقاط کنترل و محاسبه ضریب تأثیر هر یک از عوامل مورد بررسی و همچنین با انتخاب نقاط بهینه دقت نهایی تصحیح هندسی توابع چند جمله ای سه بعدی را به دقت هایی مشابه دقت های توابع رشنال با ضرایب بالا برسانیم. در تفسیر نتایج تحلیل واریانس دو راهه، معمولاً ابتدا اثر تعاملی بین متغیرها و سپس اثرهای هر یک از عامل ها مورد بررسی قرار می گیرد.

جدول 2- نتایج حاصل از تابع رشنال برای تصویر لندست 8 برای ضریب 15 تابع رشنال ، تعداد نقاط کنترل و چک : 70

| ضریب | باقیمانده نقاط چک بر حسب متر | | | باقیمانده نقاط کنترل بر حسب متر | | |
|------|------------------------------|-------|-------|---------------------------------|-------|-------|
| | RMS | Y RMS | X RMS | RMS | Y RMS | X RMS |
| 3 | 18.19 | 18.71 | 19.44 | 12.67 | 13.71 | 18.67 |
| 4 | 18.05 | 13.58 | 18.68 | 12.65 | 13.58 | 18.56 |
| 5 | 17.91 | 13.54 | 18.53 | 12.65 | 13.54 | 18.53 |
| 6 | 17.25 | 13.24 | 18.08 | 12.31 | 13.24 | 18.08 |
| 7 | 16.10 | 13.23 | 18.01 | 12.22 | 13.23 | 18.01 |
| 8 | 11.28 | 12.70 | 17.62 | 12.22 | 12.70 | 17.62 |
| 9 | 16.07 | 12.54 | 17.08 | 11.59 | 12.54 | 17.08 |
| 10 | 16.07 | 12.54 | 17.37 | 11.59 | 12.54 | 17.08 |
| 11 | 15.87 | 11.32 | 17.59 | 12.53 | 11.32 | 17.89 |
| 12 | 15.05 | 12.71 | 17.47 | 11.40 | 11.76 | 16.24 |
| 13 | 15.24 | 11.24 | 16.21 | 11.67 | 11.24 | 16.21 |
| 14 | 15.24 | 11.24 | 16.21 | 10.67 | 11.44 | 16.21 |
| 15 | 15.26 | 11.22 | 16.22 | 10.71 | 10.22 | 15.22 |

جدول 3- نتایج باقیمانده برای تصویر لندست 8، براساس نقاط مسطح

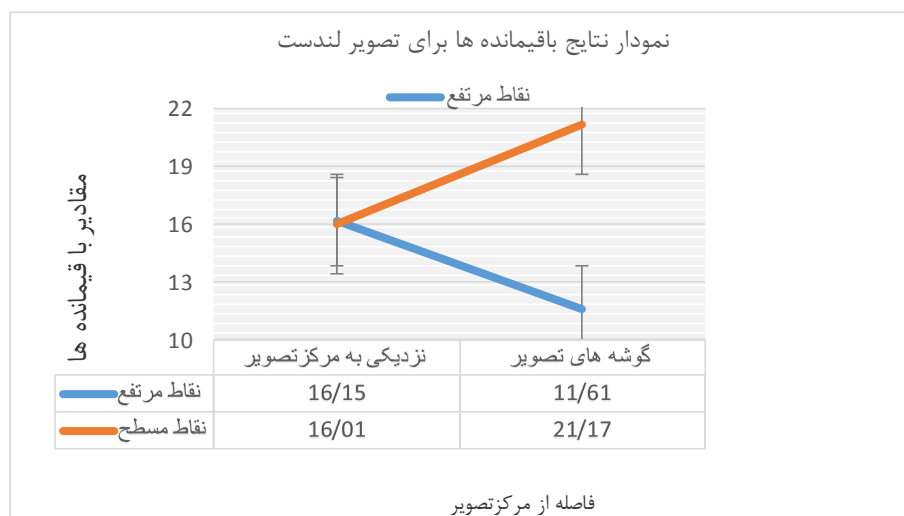
| عامل دوری یا نزدیکی مرکز تصویر | | | | | |
|--------------------------------|-------|-------|----------------|-------|--------|
| نزدیک به مرکز تصویر | | | گوشه های تصویر | | |
| RMS | Y RMS | X RMS | RMS | Y RMS | X RMS |
| 11.07 | 24.85 | 27.20 | 3.12 | 27.07 | 27.24 |
| 1.22 | 8.78 | 8.86 | 18.901 | 16.82 | 25.301 |

| | | | | | |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 22.97 | 22.94 | 1.28 | 22.53 | 7.29 | 21.32 |
| 13.86 | 12.75 | 5.46 | 21.43 | 7.59 | 20.05 |
| 21.402 | 6.72 | 20.32 | 20.42 | 20.41 | 0.90 |
| 28.07 | 19.42 | 20.28 | 20.82 | 7.55 | 19.41 |
| 12.05 | 12.03 | 0.83 | 14.52 | 7.79 | 12.26 |
| 18.405 | 12.65 | 13.37 | 4.38 | 1.13 | 4.24 |

جدول 4- نتایج باقیمانده برای تصویر لندست 8، سنجنده OLI، نقاط مرتفع

| عامل دوری یا نزدیکی مرکز تصویر | | | | | |
|--------------------------------|-------|-------|---------------------|-------|-------|
| گوشه های تصویر | | | نزدیک به مرکز تصویر | | |
| RMS | Y RMS | X RMS | RMS | Y RMS | X RMS |
| 17.53 | 10.95 | 13.69 | 27.28 | 24.75 | 11.48 |
| 0.87 | 0.84 | 0.23 | 21.85 | 16.61 | 14.20 |
| 12.31 | 9.42 | 7.94 | 13.18 | 8.98 | 9.65 |
| 19.20 | 17.42 | 8.08 | 6.83 | 1.26 | 6.72 |
| 2.79 | 2.49 | 1.26 | 2.46 | 0.46 | 2.42 |
| 16.9 | 16.47 | 3.79 | 2.67 | 1.13 | 2.42 |
| 17.73 | 13.47 | 11.53 | 12.21 | 0.76 | 12.19 |
| 5.52 | 5.46 | 0.85 | 6.35 | 6.22 | 1.32 |

نمودار 1- تعیین اثر تعامل (کنش) دو عامل مورد مطالعه در دقت نهایی RMSE برای تصویر لندست 8



جدول 5- نتایج حاصل از تابع رشنال برای تصویر آیکونوس برای 15 ضریب

| باقیمانده نقاط کنترل بر حسب متر | | | باقیمانده نقاط چک بر حسب متر | | | ضریب |
|---------------------------------|-------|-------|------------------------------|-------|-------|------|
| RMS | Y RMS | X RMS | RMS | Y RMS | X RMS | |
| 1.35 | 0.8 | 1.09 | 1.37 | 0.99 | 0.95 | 3 |
| 0.95 | 0.65 | 0.7 | 1.1 | 0.9 | 0.75 | 4 |
| 1.01 | 0.71 | 0.74 | 1.06 | 0.79 | 0.71 | 5 |
| 0.98 | 0.69 | 0.7 | 0.98 | 0.7 | 0.7 | 6 |
| 0.92 | 0.60 | 0.71 | 0.95 | 0.7 | 0.65 | 7 |
| 0.88 | 0.65 | 0.68 | 0.94 | 0.69 | 0.65 | 8 |
| 0.87 | 0.57 | 0.67 | 0.9 | 0.67 | 0.61 | 9 |

| | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|----|
| 0.87 | 0.57 | 0.66 | 0.87 | 0.59 | 0.65 | 10 |
| 0.72 | 0.50 | 0.52 | 0.84 | 0.57 | 0.57 | 11 |
| 0.75 | 0.45 | 0.61 | 0.63 | 0.45 | 0.45 | 12 |
| 0.69 | 0.44 | 0.54 | 0.62 | 0.44 | 0.44 | 13 |
| 0.68 | 0.42 | 0.54 | 0.54 | 0.39 | 0.38 | 14 |
| 0.58 | 0.36 | 0.46 | 0.52 | 0.36 | 0.38 | 15 |

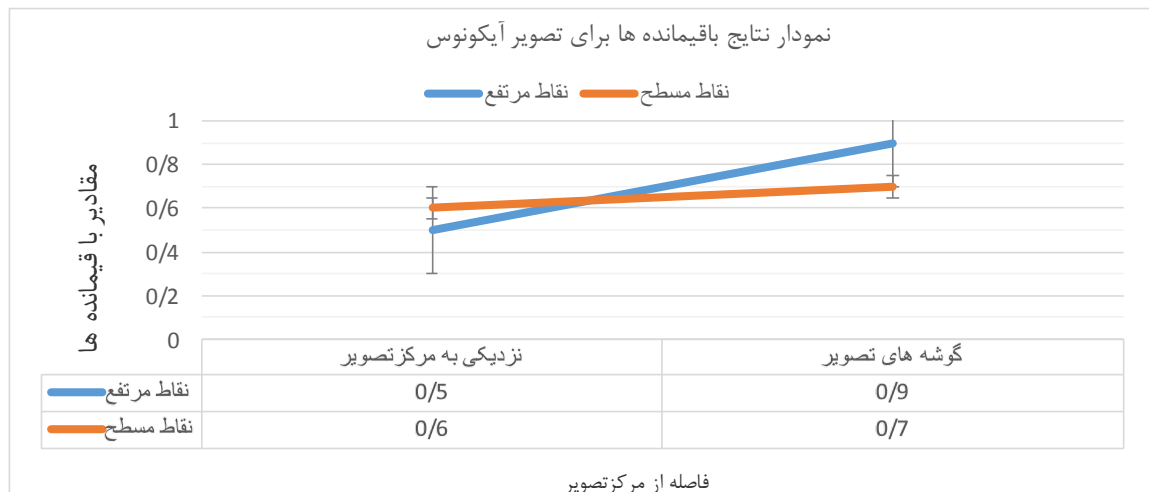
جدول 6- نتایج باقیمانده برای تصویر آیکونوس براساس نقاط مسطح

| عامل دوری یا نزدیکی مرکز تصویر | | | | | |
|--------------------------------|----------|----------|---------------------|----------|----------|
| گوشه های تصویر | | | نزدیک به مرکز تصویر | | |
| RMS | Y RMS | X RMS | RMS | Y RMS | X RMS |
| 0.45 | 0.24 | 0.39 | 1.29 | 0.33 | 1.25 |
| 1.26 | 0.47 | 1.17 | 0.86 | 0.67 | 0.53 |
| 0.54 | 0.49 | 0.2 | 0.70 | 0.51 | 0.48 |
| 0.03 | 0.06 | 0.19 | 0.15 | 0.08 | 0.13 |
| 0.23 | 0.23 | 0.02 | 0.83 | 0.79 | 0.27 |
| 1.13 | 0.06 | 1.13 | 0.48 | 0.48 | 0.04 |
| 1.09 | 0.47 | 0.98 | 1.12 | 1.11 | 0.17 |
| 0.03 | 0.15 | 0.09 | 0.40 | 0.01 | 0.40 |

جدول 7- نتایج باقیمانده ها برای تصویر آیکونوس براساس نقاط مرتفع

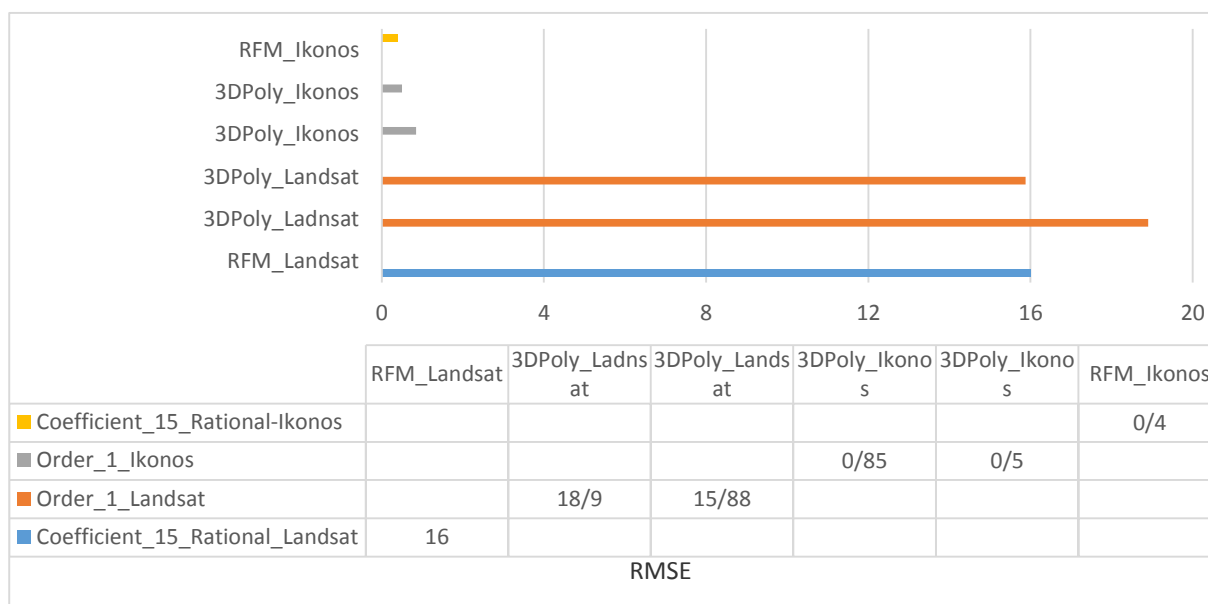
| عامل دوری یا نزدیکی مرکز تصویر | | | | | |
|--------------------------------|----------|----------|---------------------|----------|----------|
| گوشه های تصویر | | | نزدیک به مرکز تصویر | | |
| RMS | Y RMS | X RMS | RMS | Y RMS | X RMS |
| 0.54 | 0.06 | 0.54 | 0.79 | 0.65 | 0.44 |
| 0.92 | 0.67 | 0.62 | 0.46 | 0.45 | 0.11 |
| 0.81 | 0.57 | 0.55 | 0.78 | 0.78 | 0.09 |
| 1.16 | 0.42 | 1.08 | 0.63 | 0.65 | 0.44 |
| 0.45 | 0.16 | 0.41 | 0.54 | 0.20 | 0.51 |
| 0.48 | 0.39 | 0.58 | 0.46 | 0.46 | 0.03 |
| 0.73 | 0.61 | 0.42 | 1.45 | 0.51 | 1.37 |
| 0.40 | 0.03 | 0.41 | 0.75 | 0.69 | 0.28 |

نمودار 2- تعیین اثر تعامل (کنش) دو عامل مورد مطالعه در دقت RMSE برای تصویر آیکونوس



در تحلیل واریانس نمایش وجود و یا عدم وجود کنش متقابل توسط نمودار، میانگین نمره های متغیر وابسته را روی محور عمودی و سطوح مختلف را روی محور افقی مشخص می کنیم. در نمودارها، شیب هر یک از خطوط تا حدی بیانگر میزان ارتباط بین دو متغیر است. به میزانی که زوایای خطوط با محور افقی تفاوت داشته باشد (دو خط موازی نباشند) به همان میزان تعامل وجود دارد. بنابراین مطابق نمودار (3)، رفتار نقاط کنترل هنگام بررسی دو عامل توپوگرافی و فاصله از مرکز تصویر در دقت تأثیرگذار بوده و به هنگام انتخاب نقاط می بایست نقاطی که تحت تأثیر این عامل هستند را با توجه به حدآستانه تعریف شده از روند محاسبات کنار گذاشته شوند.

نمودار 3- بررسی نتایج میزان باقیمانده توسط روش های نرم افزاری و مدل های ریاضی



4- نتیجه گیری

جهت تصحیح هندسی تصاویر ماهواره ای با توجه تغییرات خطی و غیر خطی تصاویر ماهواره ای، همچنین هندسه تصویر برداری و نیز شرایط منطقه، انتخاب مدلی مناسب، از میان مدل های ریاضی جهت تصحیح هندسی همواره مورد بررسی قرار میگیرد. در این مطالعه با بررسی های آماری بر روی تصاویر لندست و آیکنوس بر روی مناطقی با ارتفاع نسبتاً یکسان از سطح دریا صورت گرفت و نیز با مقایسه ای که میان دقت های روش پیشنهادی و تصحیح هندسی تصاویر در نرم PCI Geomatica توسط روش های توابع رشنال، انجام گرفت، نتایج مشابهی به لحاظ دقت حاصل شد. با تعیین حدآستانه به منظور کنترل خطای انتخاب نقاط، به عدد 16.01 متر و با مدل چندجمله ای سه بعدی به دقت 15.94 متر دستیابی حاصل شد، همچنین با در نظر گرفتن این حدآستانه توسط روش ذکر شده، دقت باقیمانده خطا در تابع چند جمله ای سه بعدی از 18.9 متر به 15.88 متر تقلیل داده شد، برای تصویرسازنده OLI، ماهواره لندست 8 و برای تصویر آیکنوس نیز با تعیین حدآستانه 0.62 متر برای تصویر منطقی با تأکید بر تعداد، توزیع و دقت نقاط کنترل بر اساس حل کمترین مربعات، در خصوص عوامل موثر بر دقت نقاط یکسری پیش محاسبات و تحلیل ها به دقت 15.88 متر برای نقاط کنترل که دقتی مشابه توابع رشنال است

دسترسی حاصل شد. با توجه به نتایج پروژه و نظر به اینکه در تصاویر با توان تفکیک بالا تغییرات غیر خطی کمتر به دلیل پهنای تصویربرداری نسبت به تصاویر با توان تفکیک پایین وجود دارد، امکان بررسی مدل های ریاضی با درجات پایین تر انتظار جواب های بهتری برای این تصاویر خواهند داد. با استفاده از الگوریتم های هوش مصنوعی می توان برای بهینه سازی و مدلسازی در راستای بهبود نتایج روش استفاده کرد. همچنین مقایسه این روش توسط تصاویر مختلف بزرگ مقیاس و بررسی عوامل مختلف تأثیرگذار دیگر در روند محاسبات، در خصوص مدلسازی و تصحیح هندسی، تحلیل های جامع تری را نیز ارائه داد.

فهرست مراجع

- [1] Bagheri.H, Sadeghian.S, Sadjad.Y, (2014) "The assessment of using an intelligent algorithm for the interpolation of elevation in the DTM generation, Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation (PFG)", volume 3, pp. 197-208.
- [2] Valadan Zoj, M.J., Mansourian, A., Mojaradi, B., Sadeghian, S. (2002). "2D Geometric Correction of IKONOS Imagery using Genetic Algorithms, Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications". 9-12 July, Ottawa.
- [3] Sadeghian, S., Valadan Zoej, M. J., Delavar M. R., Abootalebi A., (2001). "Precision rectification of KFA-1000 and IKONOS images using the multiquadric and DLT model over test areas in IRAN", Photogrammetric Journal of Finland, Vol. 17, No. 2, pp. 69-77.
- [4] Yavari, S., Valadan Zoej, M.J., Sadeghian, S, (2008)," Mathematical modeling of geo-rectified dynamic space images, International Journal of Geoinformatics"- Vol 4, No. 4.
- [5] Toutin, T., (2003). "Geometric correction processing or remote sensing image model, algorithm and methods". International Journal of Remote Sensing, vol. 24, No. 8, pp. 102-114.
- [6] Meguro, Y., Fraser, C.S, (2010), Georeferencing Accuracy of geodesy-1 stereo imagery: experience in a Japanese test field International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Volume I, Part 8, Kyoto Japan.
- [7] Tao, C. V., and Hu, Y., (2001). "A comprehensive study of the rational function model for photogrammetric processing, photogram." Eng. Remote Sens., Vol. 67, No. 12, pp. 1347-1357.
- [8] Aguilar, M.A., (2011), "Geometric processing of Geo Eye-1 satellite imagery for coastal mapping applications, International conference of Innovative Methods in Products Design", Italy.
- [9] Fraser, C.S., Hanley, H.B. and Yamakawa, T., (2002). "3D Geopositioning accuracy of Ikonos imagery". Photogrammetric Record, 17(99), 465-479.
- [10] Toutin, T., (2004). "Geometric Models, Algorithms and Methods." International Journal of Remote Sensing, Vol. 25, No.10, 1893-1924
- [11] Valadan Zoej, M., Mokhtarzadeh, M., Mansourian, A., Ebadi, H. & Sadeghian, S., (2007). "Rational Function Optimization Using Genetic Algorithms". International Journal of

Applied Earth Observation and Geoinformation, Vol. 9, No. 4, 403-413.

- [12] Sadeghian, S., Valadan Zoj, M.J., Delavar, M.R, Abootalebi, A., (2001). "Precision Rectification of High Resolution Satellite Imagery Without Ephemeris Data". International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation (JAG), Vol. 4 (2), pp. 366-371.