

## ارزیابی جامع مدل سازی هندسی تصاویر ماهواره‌ای Worldview-2 با روش‌های هوشمند و کلاسیک

حسین باقری\*<sup>۱</sup>، سعید صادقیان<sup>۲</sup>، اصغر میلان لک<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری فتوگرامتری - گروه مهندسی نقشه‌برداری - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران  
h.bagheri.en@gmail.com

<sup>۲</sup> استادیار آموزشکده نقشه‌برداری - سازمان نقشه‌برداری کشور  
sadeghian@ncc.org.ir

<sup>۳</sup> عضو هیئت علمی آموزشکده نقشه‌برداری - سازمان نقشه‌برداری کشور  
milanlak@yahoo.com

(تاریخ دریافت اردیبهشت ۱۳۹۲، تاریخ تصویب مهر ۱۳۹۳)

### چکیده

تعیین و بررسی مدل‌های تصحیح هندسی و زمین مرجع نمودن تصاویر ماهواره‌ای با توجه به رونق استفاده از آن‌ها در بسیاری از زمینه‌ها در ده‌های اخیر به شدت مورد توجه قرار گرفته و به عنوان یکی از موضوعات مهم در فتوگرامتری و سنجش از دور مطرح است. در این مطالعه با استفاده از روش‌های مختلف مدل‌سازی به تصحیح هندسی تصویر ماهواره‌ای Worldview-2 پرداخته و سعی گردیده است تا یک ارزیابی جامع از قابلیت روش‌های مختلف در مدل‌سازی تصویر این ماهواره در منطقه شهری مانند تهران بدست آید. همچنین اثر تعداد و توزیع نقاط کنترل در روش‌های مدل‌سازی مورد مطالعه قرار گرفته است و در نهایت تصحیح هندسی با استفاده از توابع رشنال با دقت بالایی در حدود ۰/۳۶ متر حاصل گردید. علاوه بر روش‌های معمول از روش‌های هوش مصنوعی نظیر الگوریتم ژنتیک و شبکه‌های عصبی به منظور بهینه‌سازی استفاده گردید و با استفاده از شبکه پرسپترون با ۴ نرون در لایه میانی دقت ۰/۷۱ پیکسل حاصل گردید و در نهایت مشخص شد که با استفاده از این الگوریتم‌ها می‌توان مدل‌های موجود را بهینه کرد و نتایج بهتری را نسبت به روش‌های معمول بدست آورد.

**واژگان کلیدی:** مدل‌سازی هندسی، Worldview-2، ارزیابی دقت، الگوریتم ژنتیک، شبکه عصبی

\* نویسنده رابط

## ۱- مقدمه

امروزه استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با توان تفکیک بالا به دلیل دقت بالای هندسی، محتوای مناسب اطلاعات، پوشش وسعت زیاد و عدم محدودیت‌های جغرافیایی و سیاسی، مورد توجه کشورها در حوزه‌های مختلف علوم و مهندسی، طراحی و اجرا قرار گرفته است. علاوه بر این عواملی چون سرعت، دقت و تکرار پذیری موجب افزایش استفاده از این تصاویر گذشته است. تصاویر خام بدست آمده از این ماهواره‌ها دارای اعوجاجات هندسی می باشد که عوامل و منابع متعددی دارند مانند: خطاهای ناشی از تغییرات و موقعیت سکو، خطاهای مرتبط با سنجنده، دوران، کرویت و اختلاف ارتفاع زمین و غیره [۱۹،۲۱].

تعیین و بررسی مدل‌های تصحیح هندسی و زمین مرجع نمودن تصاویر ماهواره‌ای با توجه به رونق استفاده از آن‌ها در بسیاری از زمینه‌ها در ده‌های اخیر به شدت مورد توجه قرار گرفته و به عنوان یکی از موضوعات مهم در فتوگرامتری و سنجنش از دور مطرح است. هرکدام از این خطاهای هندسی به مدل‌ها و توابع ریاضی برای انجام تصحیحات هندسی نیاز دارند. علاوه بر این، مدل‌های ریاضی، برای برقراری ارتباط بین زمین و تصاویر به کار می رود. به طور کلی این مدل‌های ریاضی در دو گروه عمده قرار می گیرند که عبارتند از: مدل‌های فیزیکی و مدل‌های تجربی [۲۱].

در مدل‌های فیزیکی، تصحیح هندسی براساس هندسه‌ی تصویربرداری در لحظه تصویربرداری و تعیین پارامترهای توجیه خارجی زوج عکس استوار است. یکی از معمول‌ترین این مدل‌ها، مدل پارامتر مداری است که توسط افراد زیادی در انواع تصاویر مورد استفاده قرار گرفته است [۲۱،۲۲،۲۳]. در مدل پارامتری مداری به داده‌های کمکی مانند بردار موقعیت و سرعت، از سکوی ماهواره در لحظه‌ی تصویر برداری نیاز است که همه‌ی آنها همیشه در دسترس نیستند. اما در مدل‌های تجربی به هندسه‌ی تصویر در لحظه‌ی تصویربرداری نیاز نیست و در صورت فقدان اطلاعات مداری ماهواره‌ها یا مدل دوربین به ویژه در ماهواره‌های با توان تفکیک بالا، دارای کاربرد بیشتری هستند. این مدل‌ها نیازی به پارامترهای توجیه داخلی و

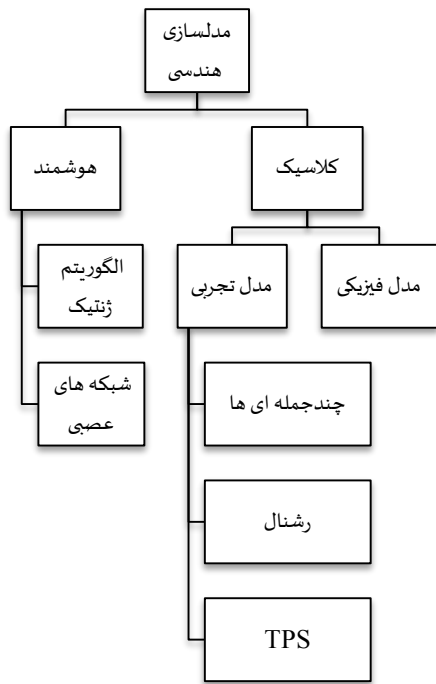
اطلاعات مداری ندارند و به وسیله‌ی نقاط کنترل زمینی<sup>۱</sup> (GCPs) با توزیع مناسب قابل استفاده می‌باشد [۱]. مدل‌های تجربی براساس توابع ریاضی مختلفی بیان شده که برخی از آن‌ها عبارتند از: توابع چندجمله‌ای دوبعدی، توابع چندجمله‌ای سه‌بعدی و تابع رشنال<sup>۲</sup> و تابع TPS. از مهم‌ترین مزایای این مدل‌ها می توان به مستقل بودن از سنجنده بدون نیاز به المان‌های توجیه داخلی و خارجی (به گونه‌ای که می تواند برای انواع سنجنده‌های مختلف Wisk broom، Push broom، Frame type و SAR به کار رود)، محرمانه ماندن اطلاعات مداری، سرعت کافی در پردازش اطلاعات و حمایت از هر نوع سیستم مختصات اشاره نمود. در دهه اخیر تحقیقات زیادی در مورد مدل‌های دوبعدی و سه بعدی و توابع رشنال صورت گرفته است.

Fraser از مفهوم بهینه‌سازی ضرایب توابع رشنال با استفاده از حذف بایاس‌های مربوط به توجیه خارجی استفاده کرد. این مدل بر روی تصاویر استریو ماهواره Quickbird و IKONOS مورد آزمون قرار گرفت. نتایج بدست آمده از اجستمنت بلوک تصاویر با استفاده از ضرایب بهینه‌سازی شده نشان داد که در هر دو دسته از تصاویر دقت زیر پیکسل بدست آمده است [۲].

علاوه بر مدل‌های تجربی از مدل‌های فیزیکی نیز در تصحیح هندسی تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده است. Deren, Shibasaki اساس مدل مرکز تصویر چندگانه را پایه‌گذاری نمودند. Gagan مدل پارامتر مداری را ارائه داد. این مدل بر روی تصاویر Spot و IRS-1c و تصاویر ژئوآیکونوس مورد آزمون قرار گرفت [۶،۷،۲۷]. یوسف‌زاده و هکاران [۲۸] روش حل جدیدی برای معادله DLT بر مبنای تبدیل تصویر آرایه خطی به تصویر فریم مجازی بوده ارائه نمودند که امکان استفاده از معادله DLT به ویژه در زمین‌های کوهستانی فراهم آورد. همچنین Aguilar و همکاران از مدل فیزیکی CCRS (مدل Toutin) و ضرایب RPC درجه ۱ و ۲ و ۳ به منظور تصحیح هندسی تصاویر GeoEye-1 استفاده کرده‌اند [۱۱]. Fraser و همکارانش نیز به تصحیح هندسی تصاویر GeoEye-1 پرداخته و دقت هندسی حاصل از آن را مورد بررسی قرار دادند [۳،۵].

۱ Ground Control Points

۲ Rational Function



شکل ۱- نمودار الگوریتم‌های مورد استفاده در این تحقیق

## ۲- ماهواره Worldview-2

ماهواره Worldview-2 از سری ماهواره‌های با توان تفکیک بالا، ساخت شرکت Digital Globe است که در هشتم اکتبر سال ۲۰۰۹ به فضا پرتاب گردید. این ماهواره در ارتفاع ۷۷۰ کیلومتری از سطح زمین و در یک مدار خورشید آهنگ در حال چرخش می‌باشد و در ساعت ۰۳:۱۰ از نقطه گرهی نزولی مدار خود عبور می‌کند. پریود گردش ماهواره در مدار ۱۰۰ دقیقه و مدت زمان بازبینی مجدد ماهواره ۱/۱ روز می‌باشد. هندسه سنجنده این ماهواره از نوع پوش‌بروم و شامل یک لنز با فاصله کانونی ۱۳/۳ متر است. هر خط تصویربرداری دارای بیش از ۳۵۰۰۰ دیتکتور با ابعاد ۸ میکرون در حالت پانکروماتیک می‌باشد و می‌تواند تصویر را در دو حالت مونو و استرئو به روش flexible با امکان دوران  $\pm 45^\circ$  از نادیر تهیه‌کند و پهنای تصویربرداری در نادیر ۱۶/۴ کیلومتر است. سنجنده ماهواره دارای ابعاد پیکسل زمینی کمتر از ۰/۵ متر (حدود ۰/۴۶ متر در نادیر) برای تصاویر پانکروماتیک و ابعاد پیکسل زمینی ۱/۸۴ متر برای تصاویر چندطیفی است [۱۴]. ویژگی مهم سنجنده این ماهواره قابلیت تصویربرداری در ۸ باند طیفی می‌باشد. بنابراین علاوه بر داشتن توان تفکیک مکانی بالا، دارای توان تفکیک طیفی مناسب نیز بوده و یک سنجنده با توان تفکیک بالای مکانی و طیفی به حساب می‌آید.

در تحقیقی دیگر با استفاده از یک مدل جدید ریگروس که بر اساس معادله شرط هم‌خطی برای دوربین-های پوش‌بروم طراحی شده بود، مدلسازی هندسی تصاویر Worldview-2 صورت گرفت و نتایج قابل قبولی به دست آمد [۲۴].

در مدلسازی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از الگوریتم ژنتیک، صمدزادگان و همکاران [۲۵] با بهینه‌سازی توابع رشنال با استفاده از کد الگوریتم باینری به تعیین ضرایب مناسب توابع رشنال پرداختند و نتایج با دقت بالاتری را نسبت به روش‌های معمول کسب کردند اما توانایی الگوریتم در بهینه‌سازی سایر توابع - چندجمله‌ای دوبعدی و سه‌بعدی مورد بررسی قرار نگرفت. در این تحقیق از یک تصویر ماهواره‌ای ژئو آیکونوس به منظور بهینه‌سازی استفاده گردید که دارای تصحیح هندسی از قبل توسط شرکت ارئه کننده تصویر می‌باشد و قابلیت و انعطاف الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی تصاویر خام ماهواره‌ای نظیر Worldview-2 که هیچ‌گونه تصحیحی بر روی آن‌ها از قبل صورت نگرفته و دارای اعوجاجات بیشتری نیز می‌باشد مورد آزمون قرار نگرفت.

ساعتی و همکاران نیز به مدلسازی تصویر ماهواره‌ای آیکونوس با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی پرسپترون با الگوریتم پس انتشار خطا و روش آموزش گرادیان نزولی پرداختند اما نتوانستند به دقت زیر پیکسل سائز دست پیدا کنند و در بهترین حالت به دقت ۲/۵۹ در ابعاد پیکسل در نقاط چک توسط شبکه پرسپترون با ۵ نرون در یک لایه میانی دست یافتند [۹].

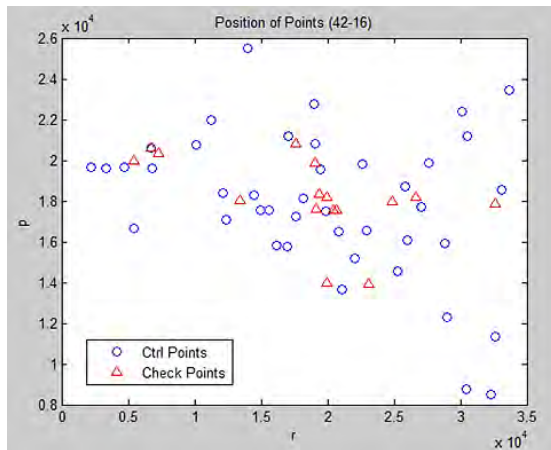
در این مطالعه با استفاده از روش‌های مختلف مدلسازی به تصحیح هندسی تصویر ماهواره‌ای Worldview-2 پرداخته و سعی گردیده است تا یک ارزیابی جامع از قابلیت روش‌های مختلف در مدلسازی تصاویر این ماهواره در منطقه شهری مانند تهران بدست آید. همچنین اثر تعداد و توزیع نقاط کنترل در روش-های مدلسازی مورد مطالعه قرار گرفته است. بنابر این در ابتدا لازم است تا مروری بر مشخصات سنجنده ماهواره Worldview-2 و همچنین انواع مدل‌های هندسی تصاویر ماهواره‌ای داشته باشیم. در شکل ۱ نمودار الگوریتم‌های مورد استفاده در این تحقیق به منظور مدلسازی تصویر ماهواره‌ای Worldview-2 نشان داده شده است.

### ۳- مشخصات تصویر و ناحیه مورد مطالعه

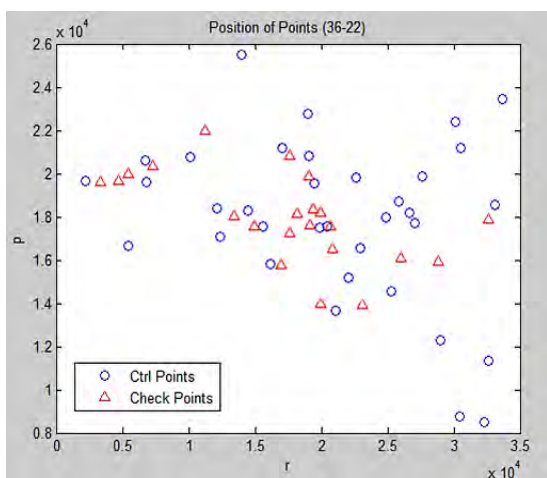
در این مطالعه از یک تصویر Worldview-2 پانکروماتیک با وسعت پوشش  $17\text{KM} \times 14\text{KM}$  در محدوده شهر تهران استفاده شده است. این تصویر در ۹ سپتامبر ۲۰۱۰ با زاویه‌ی انحراف از نادیر  $16/6$  درجه به دست آمده است. تغییرات ارتفاع ناحیه‌ی مورد مطالعه بین  $1200$  تا  $2100$  متر می‌باشد. نقاط کنترل زمینی و نقاط چک از نقشه‌ی رقومی با مقیاس  $1:2000$  که توسط سازمان نقشه‌برداری کشور (NCC) در سال ۱۳۸۱ تهیه شده، استخراج شده است. محدوده‌ی از تصویر در شکل ۲ نمایش داده شده است. همچنین برای بررسی اثر توزیع و تعداد نقاط کنترل در فرایند مدلسازی، ۵ سری نقاط با ترکیب‌های متفاوت مطابق جدول ۱ در نظر گرفته شده است.

جدول ۱- ترکیبات مختلف نقاط کنترل و چک

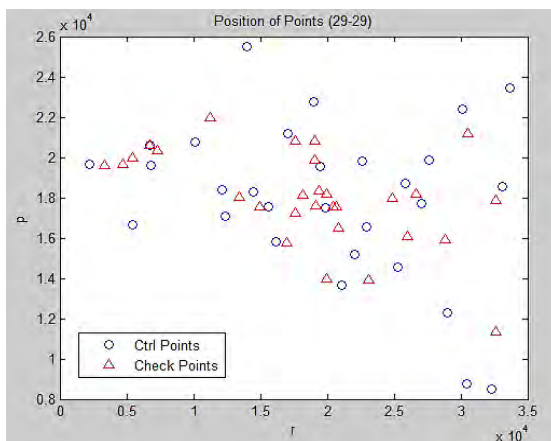
سری	تعداد نقاط کنترل	تعداد نقاط چک
۱	۴۲	۱۶
۲	۳۶	۲۲
۳	۲۹	۲۹
۴	۲۲	۳۶
۵	۱۶	۴۲



شکل ۱-۳- نحوه توزیع هندسی نقاط در سری نقاط ۱



شکل ۲-۳- نحوه توزیع هندسی نقاط در سری نقاط ۲



شکل ۳-۳- نحوه توزیع هندسی نقاط در سری نقاط ۳



شکل ۲- محدوده‌ی از ناحیه مورد مطالعه در تصویر Worldview-2

در اشکال (۱-۳) تا (۵-۳) نحوه توزیع سری نقاط جدول ۱ نشان داده شده است.

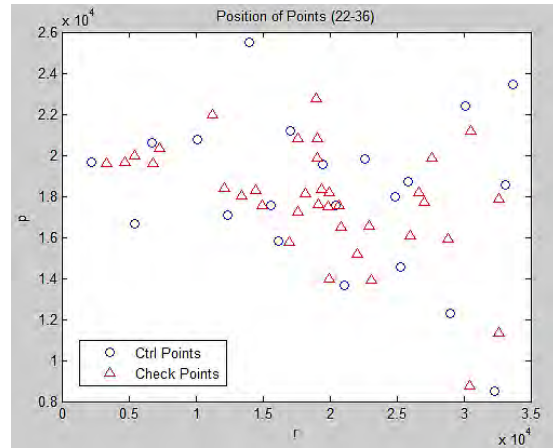
مداری بر پایه استفاده از شرط هم خطی هستند. با این حال هر محقق روش متفاوتی را انتخاب نموده و پارامترهای متفاوتی نیز در فرمول بندی به کار گرفته است. در این مقاله از مدل پارامتر مداری موجود در نرم افزار PCI (مدل پارامتر مداری Toutin) به عنوان یک مدل فیزیکی جهت مدلسازی هندسه‌ی تصاویر Worldview-2 استفاده شده است.

#### ۲-۴- مدل های تجربی یا درونیاب

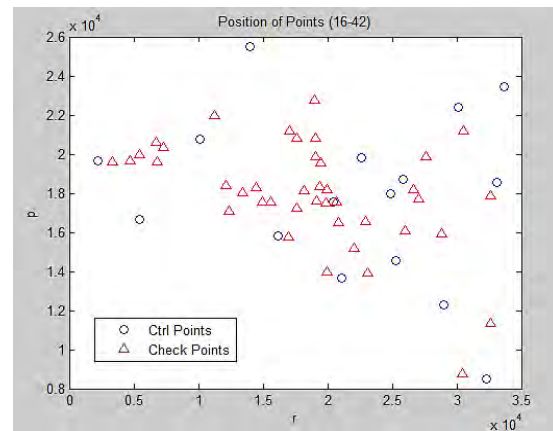
مدل های تجربی زمانی به کار می روند که پارامترها و هندسه سیستم تصویربرداری در دسترس نمی باشد. به عبارت دیگر جهت مدلسازی اعوجاجات موجود در سطح تصویر، نیاز به اطلاعات موقعیت و وضعیت سنجنده در لحظه تصویربرداری نداشته و تنها با استفاده از نقاط کنترل زمینی ارتباط بین فضای تصویر و زمین برقرار می شود [۲۱]. اینگونه مدل ها می توانند برای هرگونه سکو و سنجنده به کار روند. نیاز به نقاط کنترل فراوان و حساسیت زیاد به دقت آنها، وابستگی نتایج به توزیع نقاط کنترل، غیر قابل تفسیر بودن پارامترهای موجود در این مدل ها، عدم تأمین دقت سراسری در صحنه های بزرگ تصویربرداری و پیچیدگی های مربوط به شناسایی ساختار بهینه نقاط کنترل از جمله معایب این مدل ها می باشد [۳، ۱۰، ۲۰].

مدل های تجربی بر اساس توابع ریاضی مختلفی شکل گرفته اند که عبارتند از [۱]: توابع چند جمله ای دوبعدی، توابع چند جمله ای سه بعدی و توابع رشنال و تابع TPS.

توابع رشنال به یکی از دو حالت زیر می تواند مورد استفاده قرار گیرد: استفاده از توابع رشنال برای تخمین یک مدل فیزیکی سه بعدی به صورت ضرایب RPC (مدل مستقل از زمین) [۱۶] و استفاده از توابع رشنال برای محاسبه مجهولات چند جمله ای با نقاط کنترل زمینی (مدل وابسته به زمین) [۱۲]. چند جمله ای های دوبعدی از دهه ۷۰ توسط Wang (1975) برای مدلسازی ریاضی تصاویر ماهواره ای مطرح شده اند [۲۶]. تبدیل چند جمله ای سه بعدی نیز برای انتقال مختصات از یک سیستم مختصات به سیستم دیگر (مثلا از سیستم تصویر به سیستم مختصات زمینی) به کار می رود. روش RBF بر مبنای ترکیب خطی توابع پایه است و تعداد زیادی از این توابع شناخته شده اند. معروفترین آنها توابع Thin Plate Spline (TPS) و توابع مالتی کوادریک می باشند [۴].



شکل ۳-۴- نحوه توزیع هندسی نقاط در سری نقاط ۴



شکل ۳-۵- نحوه توزیع هندسی نقاط در سری نقاط ۵

#### ۴- روش های کلاسیک در مدلسازی هندسی تصاویر ماهواره ای

همانگونه که در مقدمه بیان گردید در حالت معمول دو نوع مدل جهت تصحیح هندسی و مدلسازی ریاضی تصاویر ماهواره ای وجود دارد که عبارتند از مدل های فیزیکی و مدل های تجربی که در ادامه مروری بر این مدل ها خواهیم داشت.

#### ۴-۱- مدل های فیزیکی

مدل های فیزیکی شرایط فیزیکی حاکم بر هندسه تصویربرداری را بازسازی می کنند. تصحیح هندسی با این مدل ها بر اساس هندسه تصویربرداری در لحظه تصویربرداری و تعیین پارامترهای توجیه خارجی زوج عکس استوار است. یکی از معمول ترین این مدل ها، مدل پارامتر مداری است که توسط افراد زیادی در انواع تصاویر مورد استفاده قرار گرفته است. [۲۱، ۲۲، ۲۳] تمام مدل های ریاضی به همراه داده های

## ۵- روش‌های هوشمند در مدل‌سازی هندسی تصاویر ماهواره‌ای

در روش‌های هوشمند از الگوریتم‌های هوش مصنوعی نظیر الگوریتم ژنتیک و شبکه‌های عصبی برای بهینه‌سازی و مدل‌سازی به کار گرفته می‌شوند. در این مقاله از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای یافتن مدل بهینه ارتباط‌دهنده فضای تصویر و زمین و از الگوریتم ژنتیک به منظور بهینه کردن روش‌های مدل‌سازی کلاسیک نظیر توابع رشنال و چندجمله‌ای دوبعدی و سه‌بعدی استفاده گردیده است.

### ۵-۱- استفاده از الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی چندجمله‌ای‌های دو بعدی و سه بعدی و توابع رشنال

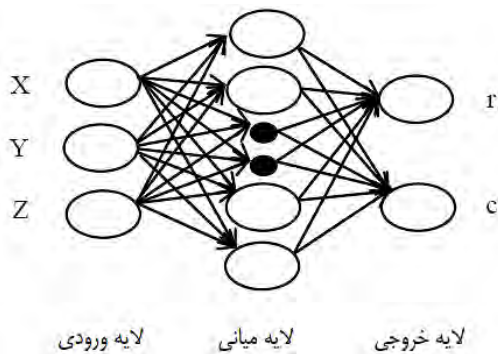
مبنای الگوریتم ژنتیک که برگرفته از طبیعت است، استفاده از جست و جوی تصادفی برای بهینه‌سازی مسائل و فرآیندهای یادگیری است [۱۷]. در طبیعت از ترکیب کروموزوم‌های مناسب نسل‌های بهتری پدید می‌آید. در این بین گاهی جهش‌هایی نیز در کروموزوم‌ها رخ می‌دهد که ممکن است باعث بهتر شدن نسل بعدی شود. الگوریتم ژنتیک با استفاده از این ایده اقدام به حل مسائل می‌کند [۱۸]. به طور کلی عملگرهای این الگوریتم عبارتند از: برازش، انتخاب، تلفیق و جهش [۱۵]. اولین گام در استفاده از توابع ریاضی نظیر چند جمله‌ای‌های دو بعدی، سه بعدی و رشنال مشخص شدن شکل بهینه و ترم‌های موثر از این توابع برای ارتباط بین تصویر و زمین است. شکل بهینه از چندجمله‌ای‌ها وابسته به هندسه تصویربرداری، توپوگرافی منطقه مورد پوشش، تعداد و توزیع نقاط کنترل می‌باشد. از الگوریتم ژنتیک برای بررسی تاثیر وجود یا عدم وجود ترم‌های مختلف در چندجمله‌ای‌های این توابع و یافتن موثرترین آن‌ها استفاده می‌گردد. برای این منظور از یک کروموزوم باینری که به شکل رشته‌ای از صفر و یک‌هاست استفاده می‌شود، به گونه‌ای که عدد صفر بیانگر عدم دخالت ترم مورد نظر و عدد یک به معنای وجود آن ترم می‌باشد. در فرآیند الگوریتم ژنتیک کروموزوم بهینه که نشان دهنده‌ی ترم‌های چندجمله‌ای است، به دست می‌آید [۲۵]. طی این فرآیند مقدار ضرایب ترم‌ها نیز به روش کمترین مربعات تعیین می‌گردد.

از نقاط کنترل زمینی و مختصات تصویری آن‌ها برای برقراری ارتباط بین تصویر و زمین استفاده می‌گردد. در فرآیند بهینه‌سازی با الگوریتم ابتدا یک جمعیت اولیه از کروموزوم‌ها تشکیل و مقدار ضرایب به وسیله‌ی نقاط کنترل و به روش کمترین مربعات محاسبه می‌گردد و با استفاده از نقاط چک مقدار باقیمانده به دست می‌آید. بنابراین با به‌کارگیری نقاط کنترل و چک و تابع هدف، کروموزوم بهینه شکل می‌گیرد. در پایان پس از اتمام فرآیند بهینه‌سازی، توسط مجموعه نقاط چک دیگری که در فرآیند بهینه‌سازی دخالت نداشته‌اند، کروموزوم به دست آمده مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر در فرآیند تعیین ضرایب مناسب چندجمله‌ای‌ها و توابع رشنال با الگوریتم ژنتیک علاوه بر نقاط کنترل، دو دسته نقطه چک به‌کار می‌رود که یک دسته در فرآیند بهینه‌سازی به همراه نقاط کنترل برای یافتن کروموزوم بهینه به‌کاررفته‌است و در اصطلاح به آن نقاط چک الگوریتم ژنتیک<sup>۱</sup> می‌گویند (GACPs) و دسته دوم، نقاط چک مستقلی است که در پایان برای ارزیابی کروموزوم نهایی مورد استفاده قرار می‌گیرد و به آن نقاط چک مستقل<sup>۲</sup> می‌گویند (ICPs).

برای بهینه‌سازی توابع از یک الگوریتم ژنتیک باینری استفاده شده که برای هر متغیر (ژنوم) یک بیت در نظر گرفته شده است که شامل اعداد ۰ و ۱ به معنای وجود یا عدم وجود ترم مورد نظر می‌باشد و از روش تلفیق تک نقطه‌ای برای تلفیق کروموزوم‌ها استفاده شده است. نرخ جهش برابر با ۰/۱۵ و تعداد نسل‌ها برابر ۷۰۰ نسل می‌باشد که هر نسل شامل ۲۰ کروموزوم است. تعداد ۳۰ نقطه‌ی کنترل زمینی (GCPs) و ۱۲ نقطه چک در فرآیند الگوریتم ژنتیک (GACPs) به منظور یافتن بهینه‌ترین شکل توابع و برآورد مقدار ضرایب مورد استفاده قرار گرفته‌است و در پایان از ۱۶ نقطه‌ی چک مستقل از فرآیند بهینه‌سازی (ICPs) برای ارزیابی کروموزوم نهایی بدست آمده استفاده شده است. در پایان میزان باقیمانده در حالت معمول مدل‌ها بر روی دو دسته نقطه چک (GACPs) و (ICPs) تحت عنوان نقاط چک ۱ (ChC-1) و نقاط چک ۲ (ChC-2) در جدول ۱۱ نمایش داده شده است.

<sup>۱</sup> GA Check Points

<sup>۲</sup> Independent Check Points



شکل ۴- شبکه عصبی پرسپترون مورد استفاده در مدل‌سازی هندسی تصویر Worldview-2

## ۵-۲- استفاده از شبکه‌های عصبی در مدل‌سازی هندسی تصاویر ماهواره‌ای

شبکه‌های عصبی مصنوعی<sup>۱</sup> روش‌هایی هستند که بر اساس ساختمان مغز انسان سازمان یافته‌اند و رفتارهایی از خود نشان می‌دهند که مشابه آن در کارکرد مغز انسان وجود دارد و یا آنکه قابل تفسیر به یکی از رفتارهای آدمی است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که این شبکه‌ها قابلیت یادگیری، یادآوری، فراموش کردن، استنتاج، شناخت الگو، طبقه‌بندی اطلاعات و بسیاری دیگر از مهارت‌های مغز انسان را دارند [۸، ۱۳]. به منظور مدل‌سازی هندسی تصویر با شبکه‌های عصبی مصنوعی از یک شبکه پرسپترون سه لایه با الگوریتم پس انتشار خطا و آموزش به روش Marquart-Levenberg استفاده شده است. همانگونه که در شکل ۴ نشان داده شده است، این شبکه شامل یک لایه ورودی، یک لایه میانی و یک لایه خروجی است و لایه ورودی شامل سه نرون متناظر با داده‌های سه بعدی زمینی X، Y و Z و لایه خروجی متناظر با مختصات تصویر r, c و لایه میانی با تعداد نرون‌های مختلف در نظر گرفته می‌شوند [۹]. به منظور آموزش شبکه ۵۵٪ نقاط (۳۱ نقطه) با عنوان نقاط آموزش<sup>۲</sup> همانند نقاط کنترل و ۲۰٪ از نقاط (۱۲ نقطه) به عنوان نقاط اعتبارسنجی<sup>۳</sup> همانند نقاط چک به کار رفته است و در نهایت ۲۵٪ از نقاط نیز به عنوان نقاط چک مستقل که در فرآیند آموزش استفاده نشده‌اند برای تست<sup>۴</sup> و آزمون شبکه به کار گرفته شده است. دیگر تنظیمات به کار رفته در فرآیند آموزش عبارتند از:

تعداد اپک‌های آموزش: ۱۰۰۰

حد بالای گرادینان: ۱،۰۰

حد پایین گرادینان:  $10^{-10}$  e-1,۰۰

محدوده تغییرات  $\mu$  بین ۰،۰۰۱ تا  $10^{+10}$  e+1,۰۰ در نظر گرفته شده است. سیگنال خطا نیز بر مبنای میزان باقیمانده تشکیل گشته است و اصلاح وزن‌ها برای رسیدن به مقدار می‌نیمم باقیمانده صورت می‌گیرد.

## ۶- ارزیابی نتایج

در این مطالعه انواع روشهای مدل‌سازی تجربی و فیزیکی نظیر توابع چندجمله‌ای دو بعدی و سه بعدی، توابع رشنال، روش TPS، روش مدل پارامتر مداری و نیز استفاده از ضرایب RPC، با هدف ارزیابی دقت آن‌ها در تصویر به کار رفته است.

توابع رشنال به شدت وابسته به توزیع و تعداد نقاط کنترل زمینی هستند بنابراین ترکیبات مختلف نقاط کنترل و چک برای به دست آوردن ضرایب این توابع و مدل‌سازی در نظر گرفته شده است. از نقاط کنترل به منظور تخمین ضرایب و از نقاط چک به منظور ارزیابی مدل ایجاد شده و ضرایب بدست آمده استفاده گردیده و باقیمانده‌ها در نقاط چک و نقاط کنترل که نشان دهنده دقت هندسی مدل‌سازی می‌باشد، بیان شده است. با تغییر تعداد ترم‌ها و همچنین تغییر در ترکیب نقاط مطابق جدول ۲ و ۳ میزان باقیمانده‌ها در نقاط کنترل و چک تغییر می‌یابد. بهترین نتایج بدست آمده در هر ترکیب که دارای کمترین باقیمانده می‌باشند، در جدول ۳ نشان داده شده است و ترمی را که در آن ترم، تابع رشنال به بهترین شکل ممکن (دارای حداقل باقیمانده‌ها) به مدل‌سازی پرداخته است نیز بیان گردیده است. مقدار باقیمانده در نقاط چک در ترکیب ۲، با ۳۶ نقطه کنترل و ۲۲ نقطه چک، کمترین میزان است. تعداد مناسب نقاط چک و کاهش تعداد نقاط کنترل آن در این ترکیب نسبت به ترکیب شماره ۱، نتیجه قابل اعتمادتری را رقم می‌زند. در جدول ۲ جزئیات نتایج حاصل از تصحیح هندسی با توابع رشنال و ترکیب نقاط ۲۲-۳۶ نشان داده شده است.

۱ Artificial Neural Network

۲ Training Points

۳ Validation Point

۴ Testing Point

جدول ۲- نتایج حاصل از تصحیح هندسی تصویر Worldview-2 با استفاده از تابع رشنال و ترکیب نقاط ۲۲-۳۶

ضریب	باقیمانده در نقاط کنترل			باقیمانده در نقاط چک		
	بر حسب پیکسل			بر حسب پیکسل		
	x RMS	y RMS	RMS	x RMS	y RMS	RMS
۳ (Projective)	۰/۱۶۶	۱۰/۲۱	۱۰/۲۳	۰/۱۵۲	۱۱/۲۲	۱۱/۲۳
۴ (DLT)	۰/۱۵۷	۳/۳۲	۳/۳۶	۰/۳۹	۱/۹۱	۱/۹۴
۵	۰/۱۵۳	۲/۱۸	۲/۲۴	۰/۳۶	۱/۸۸	۱/۹۱
۶	۰/۱۵۸	۲/۵۹	۲/۶۵	۰/۴۱	۲/۴۷	۲/۵
۷	۰/۱۴۷	۲/۵۴	۲/۵۸	۰/۳۵	۲/۴۲	۲/۴۴
۸	۰/۱۴۸	۰/۸۵	۰/۹۷	۰/۳۶	۰/۶۹	۰/۷۷
۹	۰/۱۴۷	۰/۸۴	۰/۹۶	۰/۳۲	۰/۶۷	۰/۷۴
۱۰	۰/۱۴۷	۰/۸۴	۰/۹۲	۰/۳۳	۰/۶۶	۰/۷۳
۱۱	۰/۱۴۷	۰/۸۴	۰/۹۲	۰/۳۴	۰/۶۵	۰/۷۳
۱۲	۰/۱۴۶	۰/۸۲	۰/۸۸	۰/۳۱	۰/۶۸	۰/۷۴
۱۳	۰/۱۴۶	۰/۸۳	۰/۹	۰/۳۱	۱/۶۴	۰/۷۱
۱۴	۰/۱۴۶	۰/۸۰	۰/۸۵	۰/۳۰	۰/۶۳	۰/۶۹
۱۵	۰/۱۴۶	۰/۷۹	۰/۹۱	۰/۳۰	۰/۷۷	۰/۸۲
۱۶	۰/۱۳۹	۰/۷۸	۰/۸۷	۰/۵۵	۰/۸۹	۱/۰۴
۱۷	۰/۱۴۱	۰/۷۷	۰/۸۷	۰/۴۲	۰/۸۵	۰/۹۴
۱۸	۰/۱۴	۰/۷۸	۰/۸۷	۰/۵۰	۰/۸۰	۰/۹۴

جدول ۴- نتایج حاصل از مدلسازی با توابع چند جمله‌ای دوبعدی

سری نقاط	نوع مدل: چند جمله‌ای دو بعدی		
	باقیمانده بر حسب پیکسل		
	نقاط کنترل	نقاط چک	درجه
۱	۱/۰۸	۰/۹۴	۴
۲	۱/۱۱	۰/۹۴	۳
۳	۱/۱۲	۱/۰۵	۳
۴	۱/۰۲	۱/۱۹	۳
۵	۱/۰۷	۱/۱۴	۲

جدول ۳- نتایج حاصل از مدلسازی با توابع رشنال

سری نقاط	نوع مدل: تابع رشنال		
	باقیمانده بر حسب پیکسل		
	نقاط کنترل	نقاط چک	ضریب
۱	۰/۹	۰/۸۴	۹
۲	۰/۹۱	۰/۶۹	۱۴
۳	۰/۹۴	۰/۹۶	۹
۴	۰/۶۸	۱/۵۱	۸
۵	۰/۸۹	۱/۵۰	۸

جدول ۵- نتایج حاصل از مدلسازی با توابع چند جمله‌ای سه‌بعدی

سری نقاط	نوع مدل: چند جمله‌ای سه بعدی	
	باقیمانده بر حسب پیکسل	
	نقاط چک	درجه
۱	۰/۸	۲
۲	۰/۸	۲
۳	۰/۹۱	۲
۴	۱/۱۵	۲
۵	۲/۴۳	۲

با مراجعه به جدول ۲ مشخص است که با وجود اعمال تصحیح پروژکتیو بر روی تصویر به علت وجود نوعی خطا در مقدار y تصویر، میزان باقیمانده در مولفه x مناسب اما در مولفه y بسیار بالا است و با اعمال تابع رشنال تا ترم ۴، مقدار این خطا به شدت کاهش یافته و در ترم ۸ به مقدار کمتر از یک پیکسل می‌رسد و در ترم ۱۴ کمترین میزان باقیمانده برای نقاط چک وجود دارد. همانگونه مشخص است اثر اضافه شدن این ترم‌ها در مولفه x ناچیز بوده و بیشتر باعث کاهش خطا در مولفه y گردیده است.



دوران مربوط به سنجنده  $(\omega, \phi, k)_t$  و  $(\omega, \phi, k)_{t+\Delta t}$  توسط ردیاب‌های ستاره‌ای و IMU اندازه‌گیری می‌گردد. این داده‌ها در ماهواره Worldview-2 در قالب دو فایل افمیرید<sup>۱</sup> و وضعیت<sup>۲</sup> می‌باشند (.eph, .att). و از این دو فایل برای مدلسازی مداری استفاده می‌گردد. جدول ۷ نتایج حاصل از این روش را بر روی نقاط کنترل و چک در ترکیبات مختلف نقاط نشان می‌دهد. همانگونه که در جدول ۷ نشان داده شده، با کاهش نقاط کنترل در این مدل دقت مسطحاتی کاهش می‌یابد که به دلیل عدم دسترسی به مقادیر دقیق پارامترهای مداری و تقریبی بودن این مقادیر می‌باشد، در نتیجه هر چند که بصورت تئوری این روش باید با تعداد کمی نقطه کنترل نیز به دقت برسد اما تقریبی بودن پارامترهای ارائه شده در فایل‌های همراه تصویر سبب افزایش نقاط کنترل مورد نیاز و کاهش دقت گشته است. به همین دلیل از نقاط کنترل اضافی برای جبران تقریبی بودن پارامترها استفاده می‌گردد. بهترین نتیجه در این نوع مدلسازی با استفاده از نقاط ترکیب دوم بدست آمده است.

همانگونه که در قسمت (۴-۲) بیان گردید یک حالت استفاده از توابع رشنال به صورت زمین مستقل می‌باشد. در حالت زمین مستقل، مسئله ترفیع برای محاسبه ضرایب توابع رشنال، با استفاده از پارامترهای فیزیکی سنجنده بدون نیاز به نقاط کنترل زمینی حل می‌شود و سپس ضرایب محاسبه شده (ضرایب RPC)<sup>۳</sup> به صورت فایل همراه با تصویر برای کاربران ارسال می‌شود. بنابراین از این روش زمانی استفاده می‌شود که نقطه کنترلی از منطقه نداریم یا تعداد آن بسیار کم می‌باشد. جدول ۸ و ۹ و ۱۰ نتایج حاصل از استفاده از ضرایب RPC را نشان می‌دهد.

همچنین نتایج بدست آمده از این روش، با روش پارامتر مداری و مدلسازی توابع رشنال به روش زمین وابسته (وابسته به نقاط کنترل) مقایسه گردیده است. نتایج موجود در جداول بر حسب متر بیان گشته‌اند. همانگونه که در جداول ۸ و ۹ و ۱۰ مشخص شده است در صورتی که تعداد نقاط کنترل کم باشد یا نقطه کنترلی موجود نباشد استفاده از ضرایب RPC نسبت به روش‌های

جدول ۶- نتایج حاصل از مدلسازی با تابع TPS

سری نقاط	نوع مدل: روش TPS	
	نقاط کنترل	نقاط چک
۱	۰	۱/۵۴
۲	۰	۱/۷
۳	۰	۱/۴۲
۴	۰	۱/۹۵
۵	۰	۲/۰۰

جدول ۷- نتایج حاصل از مدلسازی به روش پارامتر مداری

سری نقاط	نوع مدل: روش مدل پارامتر مداری	
	نقاط کنترل	نقاط چک
۱	۲/۶۱	۲/۸۹
۲	۳/۰۸	۱/۸۱
۳	۲/۹۷	۲/۴۸
۴	۲/۴۵	۳/۰۴
۵	۱/۷۳	۳/۰۵

نتایج حاصل از تصحیح هندسی تصویر و مدلسازی استفاده از چندجمله‌ای دو بعدی و سه بعدی در جدول ۴ و ۵ بیان شده است. در این مدل‌ها، بهترین نتیجه با سری نقاط ۱ و ۲ حاصل گشته است. همچنین تصحیحات با درجات مختلف صورت گرفته است. در چندجمله‌ای دو بعدی در اکثر ترکیبات بهترین نتیجه در درجه سوم و در چندجمله‌ای سه بعدی نیز در تمامی ترکیبات بهترین نتیجه در درجه دوم حاصل گشته است.

در تصحیح هندسی با استفاده از مدل TPS به عنوان یکی از معروفترین مدل‌های توابع پایه‌ای به دلیل عدم استفاده از روش کمترین مربعات و حل دستگاه بدون درجه آزادی، هیچ‌گونه باقیمانده‌ای برای نقاط کنترل وجود ندارد، لذا باقیمانده‌ها فقط برای نقاط چک قابل بیان است. جدول ۶ باقیمانده در نقاط چک را در تصحیح هندسی به روش TPS نشان می‌دهد. در این روش کمترین باقیمانده در ترکیب ۳ حاصل شده است که مقدار آن برابر ۱/۴۲ پیکسل می‌باشد.

در تصحیح هندسی با مدل فیزیکی نیز از مدل پارامتر مداری موجود در نرم افزار PCI (مدل Toutin) استفاده شده است. در ماهواره Worldview-2 موقعیت‌های سنجنده در زمان  $t$ ،  $(X_0, Y_0, Z_0)_t$  و زمان  $t+\Delta t$ ،  $(X_0, Y_0, Z_0)_{t+\Delta t}$  توسط DGPS، با دقت بالا در سیستم مختصات WGS 84 اندازه‌گیری می‌شوند. زوایای

۱ ephemeris

۲ attitude

۳ Rational Polynomial Coefficient

دیگر به نتایج بهتری می‌انجامد به طوری که با یک یا دو نقطه کنترل می‌توان به دقت بسیار بالایی دست یافت در حالی که در دو روش مدل پارامتر مداری و تابع رشنال به ترتیب به حداقل ۴ و ۵ نقطه کنترل مورد نیاز می‌باشد. علاوه بر این در حالت بدون نقطه کنترل، مقدار RMSE در ۵۸ نقطه چک (که تعداد نقاط چک زیاد می‌باشد و قابلیت اعتماد به نتایج نیز بالاتر است) مقدار بسیار مطلوبی برابر ۲/۹۵ متر گشته است یعنی دقت تصویر ارائه شده به صورت خام و بدون استفاده از هیچ نقطه کنترلی، برابر ۲/۹۵ متر است که نتیجه به دست آمده با ادعای شرکت سازنده ماهواره مطابقت دارد زیرا بر اساس ادعای شرکت سازنده، دقت تعیین موقعیت تصاویر ماهواره‌ای Worldview-2 تنها با استفاده از اطلاعات ناوبری نظیر داده‌های GPS و ژيروسکوپ و غیره کمتر از سه متر می‌باشد که در این مطالعه نیز در حالت بدون نقطه کنترل و تنها با استفاده از ضرایب RPC به دست آمده از داده‌های

ناوبری و مدل‌های فیزیکی کمتر از سه متر شده است. این نتیجه همچنین نشان‌دهنده دقت بالای داده‌های ناوبری ارائه شده در این ماهواره نسبت به ماهواره‌های دیگر مانند آیکنوس است. از روش RPC در مناطقی که نقشه‌ای از مناطق تاکنون تهیه نشده و نقطه کنترل به تعداد کافی و دقت مناسب موجود نمی‌باشد استفاده می‌گردد. با افزودن یک نقطه کنترل، دقت به مقدار قابل ملاحظه‌ای بهبود یافته، برابر ۱/۵۶ متر می‌گردد. روش پارامتر مداری نیز وابستگی به تعداد و توزیع نقاط کنترل ندارد و در صورت داشتن تعداد کم نقاط کنترل، دقت این روش بیشتر از روش‌های تجربی مانند تابع رشنال است. اما همانطور که بیان شد پارامترهای موجود در فایل‌های همراه تصویر تقریبی بوده و در نتیجه در این مطالعه ترکیبات مختلف نقاط کنترل در روش پارامتر مداری، نتایج متفاوتی را بدست داده است.

جدول ۸- نتایج حاصل از مدل‌سازی به روش RPC

تعداد کنترل	تعداد چک	باقیمانده در نقاط کنترل بر حسب متر			باقیمانده در نقاط چک بر حسب متر		
		x RMS	y RMS	xy RMS	x RMS	y RMS	xy RMS
۰	۵۸	-----	-----	-----	۲/۴۵	۱/۶۶	۲/۹۵
۱	۵۷	۰/۴۹	۰/۱۷	۰/۵۲	۰/۵	۱/۴۸	۱/۵۶
۲	۵۶	۰/۴۴	۰/۲۴	۰/۵	۰/۳	۱/۵	۱/۵۳
۳	۵۵	۰/۲۹	۰/۴	۰/۴۹	۰/۳	۱/۵	۱/۵۳
۴	۵۴	۰/۴۳	۰/۴	۰/۵۸	۰/۲۹	۱/۵۹	۱/۶۱
۵	۵۳	۰/۴۱	۰/۴	۰/۵۷	۰/۳۱	۱/۵۳	۱/۵۶
۶	۵۲	۰/۳۶	۰/۴۴	۰/۵۷	۰/۳	۱/۵۴	۱/۵۷

جدول ۹- نتایج حاصل از مدل‌سازی به روش پارامتر مداری

تعداد کنترل	تعداد چک	باقیمانده در نقاط کنترل بر حسب متر			باقیمانده در نقاط چک بر حسب متر		
		x RMS	y RMS	xy RMS	x RMS	y RMS	xy RMS
۴	۵۴	۰	۰	۰	۲۲/۶۳	۶/۵	۲۳/۵۴
۵	۵۳	۰/۴۱	۰/۱۹	۰/۴۵	۴/۱۳	۴/۸۷	۶/۳۸
۶	۵۲	۰	۰	۰	۰/۸۵	۳/۵۵	۳/۶۵

جدول ۱۰- نتایج حاصل از مدل‌سازی با تابع رشنال

تعداد کنترل	تعداد چک	باقیمانده در نقاط کنترل بر حسب متر			باقیمانده در نقاط چک بر حسب متر		
		x RMS	y RMS	xy RMS	x RMS	y RMS	xy RMS
۵	۵۳	۰	۰	۰	۰/۸۴	۷۰/۶۵	۷۰/۶۵
۶	۵۲	۰/۰۸	۱/۹۵	۱/۹۵	۰/۷۴	۱۶	۱۶/۰۲

بعدی و تابع رشنال می‌باشد که در هر تابع درجات مختلف از چندجمله‌ای‌ها بهینه‌سازی شده‌اند و نتایج حاصل از بهینه‌سازی توابع و روش معمول (با در نظر گرفتن تمامی

نتایج حاصل از بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک در جدول ۱۱ تنظیم گردیده است که شامل نتایج به دست آمده بر حسب پیکسل برای چندجمله‌ای‌های دوبعدی، سه

جمعیت اولیه استفاده می‌کند و به تدریج آن را بهبود می‌بخشد در هر بار اجرا مقادیر باقیمانده متفاوت می‌باشد. بنابر این در جدول ۱۱ کمترین مقادیر باقیمانده که از ۱۰ بار اجرای الگوریتم به دست آمده است در نظر گرفته شده است..

ترم‌ها) بیان شده است. با افزایش درجات تعداد متغیرها افزایش می‌یابد و باید تعداد بیت‌های بیشتری را برای هر کروموزوم در نظر گرفت و این موجب می‌شود الگوریتم زمان بیشتری را برای به دست آوردن نتایج صرف کند. از آنجایی که الگوریتم ژنتیک از یک فرآیند تصادفی در ایجاد

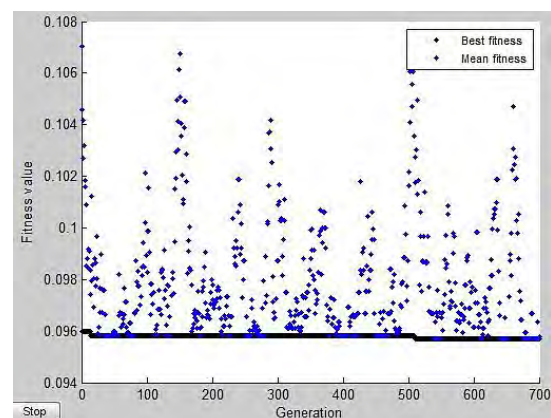
جدول ۱۱- نتایج بدست آمده از بهینه‌سازی مدل‌های تجربی با الگوریتم ژنتیک در ۳۰ نقطه کنترل، ۱۲ نقطه چک الگوریتم ژنتیک، ۱۶ نقطه چک مستقل

نوع مدل	تعداد متغیر	میزان باقیمانده حاصل از بهینه سازی مدل با الگوریتم ژنتیک بر حسب پیکسل		میزان باقیمانده به روش معمول (بدون استفاده از الگوریتم ژنتیک) بر حسب پیکسل	
		RMS in GACP (ChC-1)	RMS in ICP (ChC-2)	RMS in ChC-1	RMS in ChC-2
		چندجمله‌ای دو بعدی درجه دو	۱۲	۵	۳/۵۹
چندجمله‌ای دو بعدی درجه سه	۲۰	۱/۲۵	۱/۰۳	۱/۳۱	۱/۱۲
چندجمله‌ای دو بعدی درجه چهار	۳۰	۱/۱۸	۱/۰۰	۱/۸۲	۱/۰۳
چندجمله‌ای سه بعدی درجه دو	۲۰	۱/۰۲	۱/۹۶	۱/۲۷	۱/۰۰
چندجمله‌ای سه بعدی درجه سه	۴۰	۰/۹۸	۰/۹۵	۶/۰۰	۱/۹۵
چندجمله‌ای سه بعدی درجه چهار	۷۰	۱/۰۹	۰/۹۸	۶۸۶۵	۲۵۵۸
تابع رشنال درجه دو	۲۹	۱/۰۲	۰/۹۳	۶/۳۸	۱/۷
تابع رشنال درجه سه	۵۹	۰/۹۶	۰/۹۵	۳۴	۷۸

مستقل (ICPs) با استفاده از الگوریتم ژنتیک نسبت به روش‌های معمول کاهش می‌یابد. در چند جمله‌ای‌های دو بعدی درجه ۲ به دلیل کم بودن تعداد متغیرها در فرآیند بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک نتیجه مناسبی حاصل نشده است. با افزایش درجه و تعداد ترم‌ها و با به کارگیری الگوریتم ژنتیک مقادیر باقیمانده کاهش یافته و در درجه چهارم به کمترین مقدار خود می‌رسد که به مقدار ۱/۰۰ در واحد پیکسل می‌رسد.

در روش معمول نیز با افزایش درجات کاهش مقدار باقیمانده‌ها را خواهیم داشت که در کمترین مقدار خود برابر ۱/۰۳ در واحد پیکسل است که به نتیجه به دست آمده از ژنتیک بسیار نزدیک است. با به کارگیری الگوریتم ژنتیک در توابع چندجمله‌ای سه بعدی می‌توان به دقت مناسب- زیر پیکسل- دست یافت. با استفاده از الگوریتم ژنتیک تا درجه سوم مقدار باقیمانده‌ها تقریباً برابر می‌باشد و در مقایسه با روش‌های معمول در تمامی درجات، مقدار باقیمانده حاصل از ژنتیک، بسیار کمتر است. در روش معمول، تصحیح هندسی با چندجمله‌ای‌های سه بعدی با افزایش درجه تا مرتبه سوم مقدار باقیمانده‌ها در نقاط چک مستقل کاهش نمی‌یابد و درجه سوم با یک مسئله ناپایدار روبرو می‌شویم درحالی

در نمودار ۵ فرآیند بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک در ۷۰۰ نسل نشان داده شده است. در این نمودار میزان هزینه متوسط و حداقل هزینه در فرآیند اجرای الگوریتم نشان داده شده است و سعی گردیده است گوناگونی جمعیت به گونه‌ای باشد که انعطاف الگوریتم برای بهینه‌سازی افزایش یابد.



شکل ۵- نمودار فرآیند بهینه‌سازی و یافتن جواب بهینه توسط الگوریتم ژنتیک

از مقایسه‌ی نتایج می‌توان دریافت که الگوریتم ژنتیک توانایی استخراج ترم‌های بهینه در تمامی مدل‌ها چندجمله‌ای دویعدی، سه‌بعدی خصوصاً توابع رشنال را دارد به گونه‌ای که مقدار باقیمانده برای نقاط چک

که با استفاده از الگوریتم ژنتیک جواب مناسبی حاصل شده است و دیگر مشکل پایداری مطرح نمی‌باشد. در توابع رشنال نیز، استفاده از الگوریتم ژنتیک نسبت به روش‌های معمول به نتایج بهتری منجر می‌گردد و قابل مقایسه با روش‌های معمول می‌باشد. در توابع رشنال، بهترین دقت در درجه دوم حاصل شده است. از مقایسه بهترین نتایج بدست آمده با الگوریتم ژنتیک در نقاط چک مستقل (ICPs) و روش‌های معمول در درجات مختلف توابع، می‌توان به این نتیجه دست یافت که نتایج حاصل از روش الگوریتم ژنتیک در نقاط چک مستقل دارای دقت بالاتری نسبت به روش‌های معمول هستند و بهترین

نتیجه از بهینه‌سازی تابع رشنال درجه دو با الگوریتم ژنتیک حاصل شده است. علاوه بر این با توجه به نزدیکی نتایج تابع رشنال بهینه شده با توابع چندجمله‌ای سه بعدی بهینه شده استفاده از توابع چندجمله‌ای سه بعدی مقرون به صرفه تر است زیرا توابع چندجمله‌ای سه بعدی نسبت به توابع رشنال تعداد متغیر کمتری دارند و درجه آزادی بالاتری در سرشکنی کمترین مربعات را ایجاد می‌کند. علاوه بر این معادلات ساده‌تری را تشکیل می‌دهند درحالی که توابع رشنال از تقسیم دو چندجمله‌ای به دست می‌آیند که با تعداد متغیرهای بیشتر و درجه آزادی کمتر دارای ماتریس طراحی پیچیده‌تری نیز هستند.

جدول ۱۲- نتایج بدست آمده از مدلسازی به روش شبکه‌های عصبی با ۳۱ نقطه آموزش، ۱۲ نقطه اعتبار سنجی، ۱۵ نقطه چک یا تست

تعداد نرون	میزان باقیمانده حاصل از مدلسازی با شبکه‌های عصبی پرسپترون بر حسب پیکسل		
	RMS in Training Points	RMS in Validation Points	RMS in Testing Points
۲	۱/۰۱	۱/۶۹	۰/۸۱
۳	۱/۰۰	۱/۹۷	۱/۸۱
۴	۰/۴۸	۰/۵۶	۰/۷۱
۵	۰/۵۸	۲/۳۴	۳/۳۵
۶	۰/۸۷	۱/۰۶	۲/۱۵
۷	۰/۲۵	۲/۹۵	۲/۴۳
۸	۰/۱۹	۱/۸۶	۱۲/۰۴
۹	۰/۲۱	۱/۳۶	۱/۰۵
۱۰	۰/۱۹	۱/۱۷	۳/۵

نتایج حاصل از مدلسازی هندسی تصویر به روش شبکه‌های عصبی مصنوعی با تنظیمات ذکر شده در بالا در جدول ۱۲ تنظیم گردیده است که شامل میزان باقیمانده-ها برای نقاط آموزش، نقاط اعتبارسنجی و نقاط تست می‌باشد. با تغییر تعداد نرون‌ها از یک نرون تا ۱۰ نرون میزان باقیمانده‌ها دچار تغییر می‌شود. البته در حالتی که در لایه میانی از یک نرون استفاده می‌شود نتیجه مناسبی حاصل نمی‌شود بنابراین از بیان آن در جدول صرف نظر گردیده است. مبنای ارزیابی نتایج، میزان باقیمانده در نقاط تست به عنوان نقاط چک مستقل می‌باشد. همانگونه که از جدول ۱۲ مشخص است بهترین نتیجه-دارای کمترین باقیمانده- در شبکه‌ای با تعداد ۴ نرون در لایه میانی به دست آمده است. مقدار باقیمانده در شبکه‌ای دارای ۴ نرون در لایه میانی در نقاط تست برابر ۰/۷۱ پیکسل می‌باشد که قابل مقایسه با نتایج به دست آمده از

روش‌های معمول است. نتایج نشان می‌دهد که شبکه‌های پرسپترون با یک لایه میانی و با تعداد نرون مناسب قادر به مدلسازی هندسی تصاویر ماهواره‌ای Worldview-2 هستند. با استفاده از این مدل‌ها می‌توان به دقت بسیار مناسب-زیر پیکسل- در نقاط آموزش، اعتبارسنجی و تست دست یافت.

## ۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله از روش‌های مختلف مدلسازی به منظور تصحیح هندسی تصویر ماهواره‌ای Worldview-2 استفاده گردید. همچنین اثر تعداد و توزیع نقاط کنترل و چک در میزان دقت مدلسازی مورد بررسی قرار گرفت برای این منظور ۵ ترکیب مختلف از نقاط کنترل و چک در نظر گرفته شد و هر یک از روش‌های معمول مدلسازی با در

گرفته شود. توزیع نقاط باید به گونه‌ای باشد که سراسر تصویر را پوشش دهد. البته در این مطالعه، با کاهش نقاط کنترل در مدل پارامتر مداری، دقت مسطحاتی کاهش می‌یابد که به دلیل عدم دسترسی به مقادیر دقیق پارامترهای مداری و تقریبی بودن این مقادیر می‌باشد، در نتیجه هر چند که بصورت تئوری این روش باید با تعداد کم نقطه کنترل نیز به دقت برسد اما تقریبی بودن پارامترهای ارائه شده

در فایل‌های همراه تصویر سبب افزایش نقاط کنترل مورد نیاز و کاهش دقت گشته است. به همین دلیل از نقاط کنترل اضافی برای جبران تقریبی بودن پارامترها استفاده می‌گردد.

۲- در حالتی که تعداد نقاط کنترل بسیار کم باشد، استفاده از ضرایب RPC و روش پارامتر مداری نتیجه بهتری را نسبت به مدل‌های تجربی نتیجه می‌دهد و در صورت فقدان نقطه کنترل، تنها به روش RPC می‌توان مدلسازی را انجام داد.

۳- با استفاده از الگوریتم ژنتیک می‌توان چندجمله‌ای‌های دوعدی، سه‌بعدی و توابع رشنال را بهینه نمود و ترم‌ها و ضرایب مناسب را استخراج نمود. همانگونه که در جدول ۱۱ نشان داده شده است با بهینه سازی توابع رشنال با الگوریتم ژنتیک نتایج حاصل نسبت به حالت معمول آن بهبود بسیاری یافته است به گونه‌ای که مقدار آن برابر ۰/۹۳ پیکسل گشته است در حالی که در حالت معمول برابر ۱/۷ پیکسل می‌باشد. این کاهش هم در نقاط چک مستقل و هم در نقاط چک به کار رفته در فرآیند الگوریتم، نسبت به روش‌های معمول دیده می‌شود.

۴- شبکه‌های پرسپترون با یک لایه میانی و با تعداد نرون و همچنین روش آموزش مناسب قادر به مدلسازی هندسی تصاویر ماهواره‌ای Worldview-2 هستند. با استفاده از این مدل‌ها می‌توان به دقت بسیار مناسب-زیر پیکسل- در نقاط آموزش، اعتبارسنجی و تست دست یافت.

نظر گرفتن توزیع مختلف نقاط در مدلسازی تصویر مورد استفاده قرار گرفت. در جدول ۱۳ بهترین نتایج حاصل از مدلسازی در روش‌های مختلف نشان داده شده است. همچنین ترکیب و توزیع نقاطی که در آن بهترین نتایج حاصل از مدلسازی با روش‌های معمول به دست آمده است بیان گردیده است.

جدول ۱۳- نتایج حاصل از روش‌های مختلف مدلسازی هندسی با ترکیبات مختلف نقاط کنترل و چک در تصویر Worldview-2

روش مدلسازی	ترکیب نقاط چک-کنترل	مقدار باقیمانده در نقاط چک برحسب پیکسل	ضریب
تابع رشنال	۳۶-۲۲	۰/۶۸	۱۴
چند جمله‌ای دو بعدی	۳۶-۲۲	۰/۹۴	۳
چند جمله‌ای سه بعدی	۳۶-۲۲	۰/۸	۲
TPS	۲۹-۲۹	۱/۴۲	-----
مدل پارامتر مداری (Toutin)	۳۶-۲۲	۱/۸۱	-----

به طور کلی می‌توان نتایج زیر را جمع‌بندی نمود:

۱- از جدول ۱۳ می‌توان نتیجه گرفت که مقدار باقیمانده در صورت استفاده از تابع رشنال با ترکیب ۳۶ نقطه کنترل و ۲۲ نقطه چک به کمترین مقدار خود می‌رسد. به عبارت دیگر توابع رشنال در صورت داشتن تعداد و توزیع مناسب نقاط کنترل و چک، بهترین نتیجه را برای مدل بدست می‌دهد، بلکه پخش هندسی و توزیع نقاط بسیار مهمتر از تعداد نقاط می‌باشد و تغییر در تعداد و توزیع نقاط کنترل و چک بر دقت مدلسازی اثر می‌گذارد. در این مقاله در روش‌های مختلف مدلسازی، ترکیب نقاط بصورت ۳۶ نقطه کنترل و ۲۲ نقطه چک و همچنین ترکیب ۲۹ نقطه کنترل و ۲۹ نقطه چک بهترین ترکیب برای مدلسازی می‌باشد در حالی که در ترکیب سری نقاط ۱ با وجود تعداد نقاط کنترل بیشتر (۴۲ نقطه کنترل) لزوماً دقت بالاتری در مدلسازی به دست نمی‌دهد، بلکه اثر توزیع نقاط بسیار مهمتر از تعداد می‌باشد. به طور کلی ضمن در نظر گرفتن تعداد مناسب نقاط کنترل، توزیع نقاط نیز باید برای دستیابی به مدلسازی دقیق‌تر در نظر

- [1] Dowman, I., Dollof, J.T., (2000), An Evaluation of Rational function for Photogrammetric restitution, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 33, Part B3, pp. 254-266.
- [2] Fraser, C.S., Dial, G., Grodecki, J., (2006), Sensor orientation via RPCs, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 60, pp. 182-194.
- [3] Fraser, C.S., Ravanbakhsh, M., GEOREFENCING FROM GEO EYE-1 IMAGERY: EARLY INDICATION OF METRIC PERFORMANCE, Accessed in: [www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/1\\_4\\_7-W5/.../Fraser-207.pdf](http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/1_4_7-W5/.../Fraser-207.pdf)
- [4] Fogel, D.N., (2001), Image rectification with radial basis functions: application to RS/GIS data integration, [http://www.sbg.ac.at/geo/idrisi/gis\\_environmental\\_modeling/sf\\_papers/fogel\\_david/santafe.html](http://www.sbg.ac.at/geo/idrisi/gis_environmental_modeling/sf_papers/fogel_david/santafe.html) [accessed July, 2001].
- [5] Meguro, Y., Fraser, C.S., (2010), GEOREFERENCING ACCURACY OF GEOEYE-1 STEREO IMAGERY: EXPERIENCES IN A JAPANESE TEST FIELD, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Volume XXXVIII, Part 8, Kyoto Japan.
- [6] Sadeghian S., Valadan Zouj M.J., (2011), A comprehensive study of Mapping potential for Ikonos Geo Image, SMPR 2011, Tehran, Iran.
- [7] Sadeghian, S., Valadan Zouj, M.J., Delavar and M. R. and Abootalebi, A., (2001), Precision rectification of high resolution satellite imagery without ephemeris data, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Vol. 3, Issue 4, pp. 366-371.
- [8] Hertz, J., Krogh, A. Palmer.R.G., (1991), Introduction to the Theory of Neural Computation. Addison-Wesley Publishing Company, Redwood City, CA.
- [9] Saati, M., Amini, J., Sadeghian, S., and Hosseini, S.A., (2008), Generation of orthoimage from high resolution DEM and high resolution image, Scientia Iranica, Vol. 4, No.4, pp. 568-574.
- [10] McGlone, J.C., (2004), Manual of Photogrammetry, 5th Edition. Bethesda, American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, pp. 1151.
- [11] 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.
- [12] OGC, The Open GIS abstract specification, (1999), Volume 7: The Earth Imagery Case (99-107.doc). <http://www.opengis.org/techno/specs.htm>.
- [13] Picton, P., (2000), Neural Networks. Palgrave Macmillan.
- [14] Polia, D., Angiulia, E., Remondino, F., (2010), RADIOMERIC AND GEOMETRIC ANALYSIS OF WORLDVIEW-2 STEREO SCENES, Joint ISPRS, Commission I, WG I/4.
- [15] Ravagnani, M.A.S.S. Silva, A.P., Constantino Arroyo, P.A., (2005), Heat exchanger network synthesis and optimization using genetic algorithm, Applied Thermal Engineering Vol. 25, No. 7, pp. 1223-1217.
- [16] Samadzadegan, F., Ramzi, P., Abootalebi, A., (2006), CAPABILITY ASSESSMENT OF HIGH RESOLUTION SATELLITE IMAGERY FOR 3D RECONSTRUCTION USING RPC PARAMETERS, The International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Science, Vol. XXXVII, Part B1, Beijing.
- [17] Sheta, A., Turabieh, H., (2006), A comparison between genetic algorithms and sequential quadratic programming in solving constrained optimization problems, ICGST International Journal on Artificial Intelligence and Machine Learning (AIML), Vol. 6, No. 1, pp. 67-74.
- [18] Sivanandam, S.N., Deepa, S.N., (2008), Introduction to Genetic Algorithms, Springer. Berlin Heidelberg.
- [19] 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.
- [20] Tao, C.V., and Hu, Y., (2002), 3D construction methods based on The rational function model, Photogramm. Eng. Remote Sens, Vol. 68, No. 7, pp. 705-714.

- [21] Toutin, T., (2003), Review paper: geometric correction processing of remote sensing image: model, algorithm and methods, International Journal of Remote Sensing, vol. 24, No. 8, pp. 102-114.
- [22] Valadan Zoj, M.J., (1997), Photogrammetric Evaluation of Space Linear Array Imagery for Medium Scale Topographic Mapping, Ph.D. Thesis, University of Glasgow, vol. 1, 303 pp,
- [23] Valadan Zoj, M. J., Sadeghian, S., (2003), Orbital parameter modeling accuracy testing of Ikonos Geo image, Photogrammetric Journal of Finland, Vol. 18, No. 2, pp. 70-80.
- [24] Deltsidis, P., Ioannidis, C., ORTHORECTIFICATION OF WORLD VIEW 2 STEREO PAIRS USING NEW RIGOROUS ORIENTATION MODEL, Joint ISPRS Conference, Commission IV, WG IV/2.
- [25] Samadzadegan, F., Azizi, A., Abootalebi, A., (2005), Automatic Determination of the Optimum Generic Sensor Model Based on Genetic Algorithm, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 71, No.3, pp. 277-288.
- [26] Wang, Y., (1999), Automated triangulation of linear scanner imagery, Proc. Joint ISPRS Workshop on Sensors and Mapping from Space, Hanover, 5 pages (on CD).
- [27] Valadan Zoj, M.J., Foomani, L., (1999), Mathematical modeling and accuracy testing of IRS-1C stereo pairs, JointWorkshop of ISPRS WG I/1, I/3 and IV/4, Sensors and Mapping from Space. Hanover, September.
- [28] M., Yousefzadeh, A., Azizi, M., Saadat Seresht, (2008), IMPROVING THE ACCURACY OF THE GEOMETRIC CORRECTION OF THE LINEAR ARRAY IMAGERIES, Journal OF Faculty OF Engineering (University of Tehran), Vol. 42 , No. 3 (113), pp. 371-383.