نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی نقشه برداری

سال سوم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۴
Vol.3, No.2, Summer 2015
۶۱-۷۳

کاربرد الگوریتم ژنتیک در مدل‌سازی محلی میدان ثقل زمین با استفاده از توابع پایه شعاعی کروی

عبدالرضا صفری[۱] ، هانی محبوبی[۲]، آناهیتا شهبازی [۳]

۱- دانشیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد ژئودزی دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد ژئودزی دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۰۵/۲۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱۰/۱۳

چکیده

توابع پایه شعاعی کروی همواره به صورت گسترده‌ای برای مدل‌سازی محلی میدان ثقل زمین استفاده شده‌اند. تعیین بهینه توابع پایه شعاعی کروی از نظر شکل و موقعیت‌آن‌ها، یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در انجام مدل‌سازی بر مبنای این توابع پایه است. در این تحقیق یک روش بهینه سازی برای مدل‌سازی محلی میدان ثقل زمین با استفاده از توابع پایه شعاعی کروی پیشنهاد شده است. بدین منظور، ابتدا آنومالی پتانسیل ثقل زمین به صورت ترکیبی خطی از توابع پایه شعاعی نوشته شده و سپس سیستم معادلات مشاهداتی بر حسب تابعک‌های آنومالی جاذبه تشکیل می‌شوند. روش بهینه‌سازی پارامترهای مجهول مدل‌سازی شامل دو مرحله است: ۱. تعیین موقعیت سه‌بعدی توابع پایه شعاعی که تحت عنوان مرکز و عمق این توابع شناخته می‌شوند با استفاده از الگوریتم ژنتیک، ۲. تعیین ضرایب مقیاس بسط توابع پایه شعاعی با استفاده از الگوریتم پایدارسازی تیخونوف. روش حل مسئله بدین صورت است که ابتدا جمعیتی از کروموزوم‌ها که همان مختصات سه‌بعدی کرنل‌ها در منطقه مورد مطالعه هستند، ساخته و جواب‌هایی با شایستگی بیشتر انتخاب می‌شوند و کروموزوم‌های جدید نیز با فرآیندهای تولیدمثل، جهش و مهاجرت تولید می‌شوند. بدین ترتیب، به ازای هر کروموزوم با موقعیت کرنل معلوم، مسئله غیرخطی به یک مسئله خطی تبدیل شده و ضرایب بسط هر یک از این کروموزوم‌ها با استفاده از الگوریتم پایدارسازی خطی تیخونوف محاسبه می‌شود. ارزیابی عملکرد روش ارائه‌شده در این تحقیق بر مبنای داده‌های شبیه‌سازی‌شده با استفاده از مدل ژئوپتانسیل EGM2008تا درجه و مرتبه ۲۱۶۰ صورت گرفته است که به دقت *1.08* میلی‌گال در مشاهدات آنومالی جاذبه و *0.78*مترمربع بر مجذور ثانیه در مشاهدات آنومالی پتانسیل ختم می‌شود. نتایج عددی نشان می‌دهد که الگوریتم بهینه سازی پیشنهاد شده منجر به یافتن توزیع مناسبی برای توابع پایه شعاعی کروی شده و دقت مدل‌های گراویمتری را بهبود می‌بخشد.

کلیدواژه‌ها: مدل‌سازی محلی میدان ثقل، توابع پایه شعاعی کروی، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم تیخونوف.

---

* نویسنده مکاتبه کننده تهران، دانشکده فنی دانشگاه تهران، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، گروه ژئودزی.،
تلفن : ۰۹۱۲۳۲۲۷۱۸۴

Email: **hanymahbuby@ut.ac.ir**

۱- مقدمه

سالیان متمادی است که از توابع پایه شعاعی کروی(*SRBF*)[1] به‌عنوان جایگزینی مناسب برای هارمونیک‌های کروی در مدل‌سازی محلی میدان ثقل زمین استفاده می‌شود. مشخصات جهانی هارمونیک‌های کروی، این توابع را به توابعی مناسب برای کاربردهای جهانی تبدیل می‌کند. درواقع، هارمونیک‌های کروی از نوع توابع پایه با محمل جهانی هستند. علاوه بر این، این توابع نسبت به تغییرات محلی سیگنال حساس هستند و تغییری کوچک در مشاهدات منجر به تغییر تمام ضرایب هارمونیک‌های کروی می‌شود. در مقابل، توابع پایه شعاعی دارای محمل شبه محلی هستند که با فاصله گرفتن از مرکز به‌سرعت متحد با صفر می‌شوند.بنابراین این توابع، توابعی مناسب برای مدل‌سازی‌های محلی میدان ثقل هستند[۱].

از جمله مطالعات انجام‌شده در زمینه کاربرد توابع پایه شعاعی کروی درمدل‌سازی میدان ثقل زمین می‌توان به کارهای بیرهامر(۱۹۷۶)، سانکل(۱۹۸۱)، ورمیر(۱۹۸۲، ۱۹۸۳، ۱۹۸۴، ۱۹۹۵)، فریدن و رویتر(۱۹۸۳)، شرنینگ(۱۹۸۶)، بالهسا و همکاران(۱۹۸۶)، فریدن و همکاران(۱۹۹۷)، مارچنکو(۱۹۹۸)، فریدن و همکاران(۱۹۹۸)، مارچنکو و همکاران(۲۰۰۱)، هولشنایدر و همکاران(۲۰۰۳)، ایکر و همکاران(۲۰۰۴)، اشمیت و همکاران(۲۰۰۴، ۲۰۰۵، ۲۰۰۷)، چمبودوت و همکاران(۲۰۰۵)، کلیس و ویتور(۲۰۰۷) اشاره کرد [۲].

پارامترهای مؤثر بر دقت مدل‌سازی در مدل‌سازی میدان ثقل زمین با استفاده از توابع پایه شعاعی کروی عبارت‌اند از: ۱. نوع توابع پایه، ۲. نحوه توزیع مسطحاتی توابع پایه، ۳. عمق نفوذ توابع پایه در کره بیرهامر (یا پهنای باند) ۴. ضرایب مقیاس توابع پایه، ۵. تعداد توابع پایه. اگرچه توانایی بالای توابع پایه شعاعی کروی در مدل‌سازی ریاضی کمیت‌های فیزیکی، ساختار ریاضی ساده و وجود انواع مختلف آن‌ها، این توابع را به توابعی پرکاربرد در زمینه‌مدل‌سازی میدان ثقل زمین تبدیل کرده است، اما هم‌چنان انتخاب بهینه پارامترهای توابع پایه شعاعی کروی نیازمند بررسی و مطالعات بیشتر است.

در زمینه انتخاب بهینه مراکز توابع پایه شعاعی کروی می‌توان به کارهای بارتلمس (۱۹۸۹)، مارچنکو (۱۹۹۸)، مارچنکو و همکاران(۲۰۰۱)،کلیس و ویتور (۲۰۰۷)، آنتونی و کلر (۲۰۰۸) اشاره کرد. در مطالعه انجام‌شده توسط بارتلمس (۱۹۸۹) از یک روش بهینه‌سازی تکراری استفاده شده است. او ابتداشبکه‌ای از توابع پایه تشکیل داده و اختلاف آنومالی‌های جاذبه بازسازی‌شده را با مقادیر مشاهداتی متناظرشان برآورد کرد و در موقعیتبزرگ‌ترین باقی‌مانده، یک تابع پایه جدید اضافه کرد. سپس، موقعیت و مقادیر توابع پایه به صورت تکراری بهبود داده شدند. در این حالت، مسئله غیرخطی از روش نیوتن-کانترویچ [2]به مسئله-خطی تبدیل شده و پارامترهای مجهول توابع پایه با انجام سرشکنی کمترین مربعات محاسبه شدند[۳]. مارچنکو(۱۹۹۸)و مارچنکو و همکاران(۲۰۰۱) موقعیت مسطحاتی شبکه توابع چندقطبی شعاعی را به روش چندقطبی دنباله‌ای[3] بهبود بخشیدند. آن‌ها دراین روش پارامترهای درجه و عمق نفوذ توابع پایه چندقطبی شعاعی را به گونه‌ای تعیین کردند که شکل توابع پایه بهترین انطباق را با شکل تابع کواریانس داشته باشد [۴و۵] کلیس و ویتور(۲۰۰۷) برای تعیین بهینه مراکز و پهنای باند توابع پایه شعاعی کروی ابتدا یک شبکه اولیه منظم از توابع پایه در نظر گرفته و پس از یک مرحله سرشکنی، منطقه مورد مطالعه‌شان را به نواحی کوچک‌تر تقسیم کردند و برای هر کدام از این

[1]Spherical Radial Basis Functions

[2]Newton-Kantrovych

[3]Sequential Multi-pole Algorithm

نواحی، توابع جدیدی در محل‌هایی که باقی‌مانده‌ها از یک حد آستانه بزرگ‌تربودند، اضافه کردندو این کار را تا زمان دست‌یابی به دقت مطلوب ادامه دادند. لازم به ذکر است که آن‌ها پهنای باند توابع پایه شعاعی را در هر مرحله با استفاده از روش تعیین پارامتر GCV[1] انتخاب کردند[۶]. آنتونی و همکاران(۲۰۰۸) روش دیگری را برای برآورد پارامترهای مجهول توابع پایه ارائه دادند. آن‌ها در این روش پارامترهای توابع پایه را به نحوی انتخاب کردند که به بهترین شکل ممکن بر داده‌های مشاهداتی منطبق شوند و بدین منظور از الگوریتم لونبرگ‌مارکوادت[2] در یک روند تکراری استفاده کردند[۷].

در این تحقیق از الگوریتم‌های ژنتیک[3] برای بهینه‌سازی پارامترهای مجهول توابع پایه شعاعی کروی در مدل‌سازی میدان ثقل زمین استفاده شده است.الگوریتم ژنتیک نخستین بار توسط هالند (۱۹۷۵) بر مبنای اصل بقای بهترین‌ها در نظریه تکامل داروین ارائه شد[۸]. گلباباپی و صفدری (۲۰۱۱) نیز الگوریتم ژنتیک را برای محاسبه پهنای باند توابع پایه شعاعی گوسی در یک مثال ریاضی شبیه‌سازی‌شده با استفاده از شبکه عصبی به کار بردند[۹]. روش بهینه‌سازی ارائه‌شده در این تحقیق بدین‌صورت است که ابتدا الگوریتم ژنتیک طی یک روند تکراری به بهینه‌سازی موقعیت سه‌بعدی توابع پایه شعاعی می‌پردازد و سپس، بزرگی این توابع که با استفاده از ضرایب مقیاس مشخص می‌شود، توسط الگوریتم پایدارسازی تیخونوف[4] محاسبه می‌شود. الگوریتم ژنتیک مختصات سه‌بعدی مجهول توابع پایه‌شعاعی را به گونه‌ای بهینه‌سازی می‌کند که آنومالی‌های جاذبه تقریب زده‌شده با استفاده از این توابع به بهترین نحو ممکن بر آنومالی‌های جاذبه مشاهده شده در منطقه مورد مطالعه منطبق شوند. شایان ذکر است که تابعک‌های آنومالی جاذبه مورد استفاده در این تحقیق با استفاده ازمدل ژئوپتانسیل جهانی $EGM2008$ تا درجه و مرتبه ۲۱۶۰ شبیه‌سازی و با حذف اثر جهانی میدان ثقل تا درجه و مرتبه ۳۶۰ برای مدل‌سازی محلی آماده شده‌اند.

این مقاله در پنج بخش تنظیم شده است. در بخش ۲، توابع پایه شعاعی کروی به‌منظور مدل‌سازی میدان ثقل زمین بررسی شده‌اند. در بخش ۳، روشی برای بهینه‌سازی پارامترهای مجهول توابع پایه شعاعی مورد نیاز در مدل‌سازی میدان ثقل زمین با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک و تیخونوف ارائه شده است. در بخش ۴، عملکرد روش بهینه‌سازی پیشنهاد شده در منطقه‌ای از ایران شامل تابعک‌های آنومالی شتاب جاذبه شبیه‌سازی‌شده با استفاده از مدل $EGM2008$ تا درجه و مرتبه ۲۱۶۰ بررسی شده است. درنهایت، بحث و نتیجه‌گیری در بخش ۵ آورده شده است.

۲- مدل‌سازی میدان ثقل زمین بر حسب توابع پایه شعاعی کروی

آنومالی پتانسیل ثقل زمین یک تابع هارمونیک استکه در فضای خارج زمین در معادله لاپلاس صدق می‌کند[۱۰]. بر اساس قضیه رونگه-کراراپ[5] هر تابع هارمونیک ومنظم در فضای خارج سطح زمین می‌تواند توسط ترکیبی خطی از توابع پایه غیرمتعامد تقریب زده شود[۱۱]. توابع پایه شعاعی کروی از جمله توابع پایه غیرمتعامد و هارمونیک هستندکه می‌توانند برای تقریب میدان ثقل زمین به کار روند[۱۲]. بسط آنومالی پتانسیل ثقل $T(x)$به توابع پایه شعاعی کروی دارای نمایشی به صورت زیر است[۱۱] :

رابطه

[1]Generalized Cross Validation
[2]Levenberg-Marquardt Algorithm
[3]Genetic Algorithm
[4]Tikhonov Regularization Method
[5]Runge-*Krarup Theorem*

$$T(x)=\sum_{i=1}^{n} C_i\Phi_i(x,y_i)$$
رابطه (۱)

در رابطه ۱، $\Phi_i(x,y_i)$ کرنل توابع پایه شعاعی کروی، $\mathbf{y_i}$ موقعیت سه‌بعدی توابع پایه شعاعی کروی، $\mathbf{x}$ موقعیت سه‌بعدی نقطه ارزیابی، و C_i ضرایب بسط سری توابع پایع شعاعی کروی هستند.

اگر شعاع کره بیرهامر (کره‌ای که کاملاً در داخل جرم توپوگرافی زمین قرار می‌گیرد) با R نشان داده شود، در این صورت عمق نفوذ کرنل‌ها برابر خواهد بود با [۱۲و۱۳] :

$$d=R-|y|$$
رابطه (۲)

در رابطه فوق، d معرف عمق نفوذ توابع پایه شعاعی کروی در کره بیرهامر و $|y|$ معرف پهنای باند این توابع است.

برای مدل‌سازی محلی میدان ثقل زمین از انواع متعددی از توابع پایه شعاعی کروی می‌توان استفاده کرد که در جدول ۱ به تعدادی از آن‌ها اشاره شده است [۱و۱۲و۱۳].

جدول۱: انواع مختلف توابع پایه شعاعی کروی مورد استفاده در مدل‌سازی محلی میدان ثقل[۱و ۱۲و ۱۳]

نوع کرنل تابع پایه شعاعی کروی	رابطه تحلیلی کرنل
کرنل جرم نقطه‌ای	$\Phi(x,y_i)=\frac{1}{\|x-y_i\|}$
چندقطبی شعاعی مرتبه m	$\Phi(x,y_i)=\frac{1}{m!}\left(\frac{\partial}{\partial\|y_i\|}\right)^m\frac{1}{\|x-y_i\|}$
ویولت پواسون مرتبه m	$\Phi(x,y_i)=\frac{1}{4\pi R^2}(2\chi_{m+1}+\chi_m)$ $\chi_m=\left(\|y_i\|\frac{\partial}{\partial\|y_i\|}\right)^m\frac{1}{\|x-y_i\|}$
کرنل پواسون	$\Phi(x,y_i)=\frac{1}{4\pi R}\frac{\|x\|^2-\|y_i\|^2}{\|x-y_i\|^3}$

بنابر رابطه بنیادی ژئودزی فیزیکی، آنومالی جاذبه را روی سطح زمین می‌توان به‌صورت زیر برحسب آنومالی پتانسیل ثقل نوشت[۱۲و۱۳] :

$$\Delta g(x)=-\frac{\partial T(x)}{\partial |x|}-\frac{2}{|x|}T(x)$$
رابطه (۳)

با جایگزین کردن رابطه ۱ در رابطه۳،مشاهده می‌کنیم آنومالی جاذبه را هم می‌توان به صورت یکسری با همان ضرایب رابطه ۱ نوشت و از مشاهدات آنومالی جاذبه برای تعیین ضرایب استفاده کرد.

$$\Delta g(x)=\sum_{i=1}^{n} C_i\Psi_i(x,y_i)$$
رابطه (۴)

رابطه (۵)
$$\Psi_i(x,y_i)=-\frac{\partial\Phi_i(x,y_i)}{\partial|x|}-\frac{2}{|x|}\Phi_i(x,y_i)$$

۳. استراتژی حل مسئله

مدل‌سازی محلی میدان ثقل زمین با استفاده از مشاهدات شتاب جاذبه به‌عنوان یک مسئله بدوضع[1] در

[1]Ill-posed Problem

ژئودزی شناخته می‌شود. از طرفی، در تقریب میدان ثقل با استفاده از توابع پایه شعاعی، ابتدا می‌بایست موقعیت مراکز و عمق توابع پایه را با استفاده از یک الگوریتم بهینه‌سازی غیرخطی تعیین کرد و سپس ضرایب مقیاس این توابع را با به‌کارگیری یک روش پایدارسازی خطی محاسبه کرد. بدین منظور، الگوریتم ژنتیک به‌عنوان روش بهینه‌سازی غیرخطی و الگوریتم تیخونوف به‌عنوان روشبهینه‌سازی خطی اتخاذ می‌شوند. استراتژی حل مسئله بدین صورت است که ابتدا تعدادی تابع پایه شعاعی کروی به الگوریتم ژنتیک معرفی می‌شوند. این الگوریتم جمعیتی از کروموزوم‌ها به تعداد توابع پایه موجود می‌سازد. هر کروموزوم شامل مجهولات طول و عرض کرنل‌ها در سیستم مختصات کروی و عمق نفوذ آن‌ها در کره بیرهامر است. فضای جست‌وجوی مجهولات مدل‌سازی برای الگوریتم ژنتیک به گونه‌ای تعریف می‌شود که موقعیت مسطحاتی مراکز توابع پایه بین کمترین تا بیشترین طول و عرض نقاط مشاهداتی در سیستم مختصات کروی و عمق نفوذ آن‌ها بین صفر تا چندین کیلومتر زیر کره بیرهامر محدود شود. در مرحله بعد، مقادیر بهینه ضرایب مقیاس با استفاده از روش سرشکنی کمترین مربعات خطی تیخونوف تعیین می‌شوند. با تعیین پارامتر پایدارسازی در الگوریتم تیخونوف و ضرایب مقیاس هر یک از کروموزوم‌ها، مقدار تابع شایستگی در الگوریتم ژنتیک بررسی می‌شود و بر اساس فرآیندهای مقیاس‌بندی، انتخاب، تولیدمثل (یا ترکیب) و جهش، الگوریتم اقدام به تولید کروموزوم‌های شایسته‌تر و جمعیت تکامل یافته‌تر می‌کند، تا زمانی که شایسته‌ترین کروموزوم جمعیت نهایی به‌عنوان جواب مسئله بهینه‌سازی و ضرایب نظیر آن کروموزوم به‌عنوان ضرایب مدل در نظر گرفته می‌شوند.

۳-۱- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یک روش جست‌وجوی عددی با ماهیت تصادفی است که بر اساس نظریه چارلز داروین یعنی اصل بقای بهترین‌ها پایه‌ریزی شده است. این الگوریتم به صورت تصادفی جمعیتی از جواب‌های اولیه می‌سازد وسپس، این جواب‌ها به حالت باینری (زنجیره‌های ۰ و ۱) تبدیل می‌شوند که به آن کروموزوم می‌گویند. کروموزوم‌های با شایستگی بیشتر به‌عنوان والدین انتخاب می‌شوند و در تولیدمثل شرکت می‌کنند و بدین ترتیب، روند تکامل تا رسیدن به بهینه سراسری یا شایسته‌ترین کروموزوم در تکامل‌یافته‌ترین جمعیت ادامه می‌یابد[۱۴]. پارامترهای متعددی بر عملکرد الگوریتم ژنتیک مؤثر هستند که به اختصار به بیان آن‌ها پرداخته می‌شود[۱۴-۱۶] :

تابع هزینه[1]: همان تابع هدف است که به دنبال یافتن مینیمم مطلق برای آن هستیم. به این تابع، تابع شایستگی نیز گفته می‌شود و به مقدار این تابع برای یک کروموزوم شایستگی آن کروموزوم گویند.

شایستگی کروموزوم: به مقدار تابع شایستگی برای یک کروموزوم، شایستگی آن کروموزوم گفته می‌شود.

جمعیت[2]: به مجموعه‌ای از کروموزوم‌ها یا جواب‌های موجود در یک نسل یک جمعیت گفته می‌شود. تعداد کروموزوم‌های موجود در هر جمعیت از جمله عوامل مهم و اساسی در تعیین جهت هم‌گرایی به جواب بهینه است.

انتخاب[3]: در فرآیند انتخاب کروموزوم‌های شایسته‌تر با یک روند تصادفی در یک جمعیت برگزیده شده تا با هم ترکیب شوند و کروموزوم‌ها یا جواب‌های جدیدتر تولید کنند.

مقیاس‌بندی[4]: فرآیندی است که قبل از انتخاب والدین صورت می‌گیرد. در این فرآیند، تابع شایستگی امتیازهایی را به کروموزوم‌های جمعیت می‌دهد و این

[1]Fitness Function
[2]Population Size
[3]Selection
[4]Scaling

امتیازهای خام توسط تابع مقیاس‌بندی به مقادیری در یک محدوده مناسب برای تابع انتخاب تبدیل می‌شوند. تابع انتخاب از مقادیر مقیاس‌شده برای انتخاب والدین نسل بعدی استفاده می‌کند. به‌منظور مقیاس‌بندی از تابع رتبه‌بندی[1] استفاده می‌شود که امتیازهای خام را بر اساس رتبه کروموزوم‌ها مقیاس می‌کند. رتبه مربوط به هر کروموزوم جایگاهی است که هر کروموزوم بر اساس مرتب‌سازی امتیازها در جمعیت به دست می‌آورد. بدین معنی که رتبه مربوط به بهترین امتیاز ۱ و پس از آن ۲ خواهد بود و این روند به همین صورت ادامه خواهد داشت. تابع انتخاب والدین را برای تولید نسل بعدی بر اساس مقادیر تعیین‌شده توسط تابع مقیاس‌بندی انتخاب می‌کند. در این تحقیق، تابع یکنواخت آماری[2] به‌عنوان تابع انتخاب در نظر گرفته می‌شود. این تابع والدین را روی یک خط پخش می‌کند و بر اساس مقادیر مقیاس‌شده روی این خط با گام‌های مساوی جلو می‌رود و والدین را انتخاب می‌کند [۱۶-۱۸]

ترکیب[3]: نسل قدیمی کروموزوم‌ها با تعویض ژن‌ها با هم ترکیب می‌شوند و کروموزوم‌های جدیدتری می‌سازند که در صورت برخورداریاز شایستگی بیشتر نسبت به والدین، در جمعیت جدید قرار می‌گیرند. در ترکیب (تولیدمثل) ژن‌های والدین با هم مبادله می‌شوند و فرزندان جدید و شایسته‌تری برای نسل‌های بعد به وجود می‌آورند. شکل ۱فرآیند ترکیب یک نقطه‌ای را در کروموزوم‌های والدین و تشکیل فرزندان جدید نشان می‌دهد. در ترکیب یک نقطه‌ای، در یک نقطه خاص از رشته کروموزوم تعویض ژن‌های والدین صورت می‌پذیرد[۱۹]. در این تحقیق، تابع تولید مثل پراکنده[4] به‌عنوان تابع ترکیب برای انجام تولیدمثل به کار گرفته می‌شود. این تابع یک بردار باینری تصادفی ایجاد می‌کند که در آن هر عنصر با مقدار ۱، ژن متناظر را از والد اول و هر عنصر با مقدار صفر ژن متناظر را از والد دوم برای ترکیب در قالب ژن‌های فرزند به کار می‌برد[۱۶-۱۸].

احتمال ترکیب[5]: این پارامتر نشان می‌دهد که چه نسبتی از جمعیت جدید توسط فرآیند ترکیب روی نسل قدیمی ساخته شده است.

جهش[6]: جهش با ایجاد تغییرات تصادفی در ژن‌ها سبب می‌شود که کروموزوم‌ها دچار تفاوت و پراکندگی ژنتیکی شوند و محدوده وسیع‌تری از فضای جست‌وجو برای یک جمعیت به منظور یافتن کروموزوم‌های شایسته‌تر مورد بررسی قرار گیرد. در فرآیند جهش، تغییر ژنتیکی کوچکی در ژن‌های یکی از کروموزوم‌های جمعیت ایجاد می‌شود (به‌عنوان مثال تبدیل شدن ۰ به ۱ یا به‌عکس). این تغییر موجب فراهم شدن محدوده‌های بیشتری از فضای جست‌وجو می‌شود و از هم‌گرا شدن جواب مسئله به سمت مینیمم نسبی جلوگیری می‌کند.

مهاجرت[7]: در این فرآیند، کروموزوم‌های شایسته‌تر از یک نسل قدیمی جایگزین کروموزوم‌های نامناسب در جمعیت‌های جدیدتر می‌شوند.

احتمال مهاجرت[8]: این پارامتر نشان‌دهنده درصدی از کروموزوم‌های نسل قدیمی است که جایگزین نسل جدید شده‌اند.

در الگوریتم ژنتیک اگر تابع هزینه را با $F(x)$ نشان دهیم، در این صورت به دنبال یافتن مینیمم این تابع هستیم به قسمی که[۲۰] :

$$F(x): S \subseteq R^m \to R^+ \quad \text{(۶) رابطه}$$

[1]Rank
[2]Stochastic Uniform Function
[3]Crossover
[4]Crossover Scattered
[5]Crossover Fraction
[6]Mutation
[7]Migration
[8]Fraction of Migration

01100|100...11
00011|101....10

01100|101....10
00011|100....11

شکل ۱:نحوه ترکیب یک نقطه‌ای کروموزوم‌های والدین و تشکیل فرزندان

اگر جواب مسئله بهینه‌سازی به صورت زیر در نظر گرفته شود [۲۰]:

رابطه (۷)
$$x^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$$

در این صورت [۲۰]:

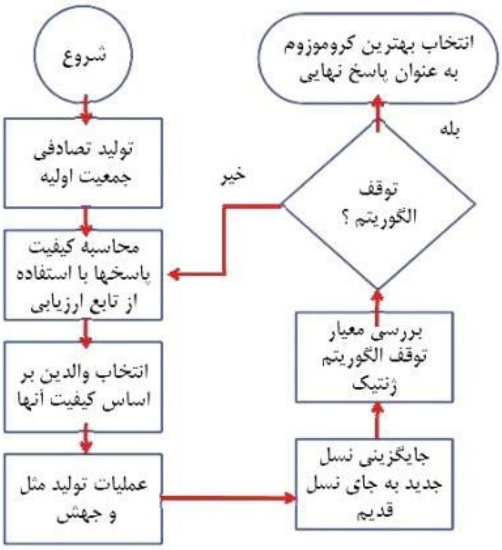
رابطه (۸)
$$F(x^*) = min_{x \in S}^{F(x)}$$

بنابراین، هدف از حل مسئله یافتن جواب x^*است، به گونه‌ای که تابع هزینه $F(x)$را که الزاماً یک تابع پیوسته و مشتق‌پذیر نیست، مینیمم کند. تابع هزینه در مسئله‌مدل‌سازی میدان ثقل زمین با استفاده از توابع پایه شعاعی کروی به‌صورت مجموع مربعات باقی‌مانده‌ها (اختلاف بردارهای آنومالی جاذبه مشاهده‌شده و مدل‌سازی‌شده با استفاده از توابع پایه شعاعی کروی) در نظر گرفته می‌شود[۹] :

رابطه (۹)
$$F(x) = \sqrt{\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\left(\Delta g_i^{observed} - \Delta g_i^{model}\right)^2}$$

در رابطه۹، $F(x)$ تابع هزینه، x بردار کروموزوم‌های مجهول، $\Delta g_i^{observed}$ آنومالی جاذبه مشاهده شده، Δg_i^{model} آنومالی جاذبه‌مدل‌سازی شده با استفاده از توابع پایه شعاعی کروی و m تعداد مشاهدات است. طول بردار مجهولات xبه تعداد توابع پایه به‌کاررفته در مسئله بستگی دارد. بنابراین، در مدل‌سازی میدان ثقل با استفاده از nتابع پایه شعاعی کروی، کروموزوم‌های مسئله دارای $3n$متغیر مجهول هستند که این مجهولات شامل موقعیت مسطحاتی کرنل‌ها و عمق نفوذ آن‌ها در کره بیرهامر است.

شکل ۲ مراحل اجرای الگوریتم ژنتیک ساده را نمایش می‌دهد[۱۴]:



شکل۲: مراحل اجرای الگوریتم ژنتیک ساده[۱۴]

۳-۲- روش پایدارسازی تیخونوف

در مدل‌سازی میدان ثقل زمین، پس از تعیین موقعیت مراکز و عمق توابع پایه شعاعی کروی با استفاده از الگوریتم ژنتیک لازم است که به ازای هر کروموزوم، ضرایب بسط آنومالی جاذبه در رابطه ۴ محاسبه شده و مقدار تابع هزینه جهت تعیین شایستگی این کروموزوم‌ها و رتبه‌بندی آن‌ها مشخص شود. بنابراین با فرض معلوم بودن مختصات سه‌بعدی توابع پایه شعاعی کروی که از الگوریتم ژنتیک به‌دست آمده‌اند، رابطه ۳ به یک دستگاه معادلات خطی تبدیل می‌شود که برای حل آن به یک روش پایدارسازی خطی نیاز است.

روش پایدارسازی تیخونوف یکی از متداول‌ترین روش‌های پایدارسازی برای حل مسائل خطی

بــد وضــع اسـت. بنـابر نظریـه هـدامارد[1] نگاشـت خطـی $A: X \to Y$ کـه در آن X فضـای مجهولات و Y فضای مشاهدات است، خوش‌وضع است اگر دارای شرایط ذیل باشد[۲۱]:

برای هر $y \in Y$ یک جواب $x \in X$ موجود باشد به قسمی که $Ax = y$ جواب یکتا باشد؛ بدین معنی که اگر $Ax_1 = Ax_2$ آن‌گاه $x_1 = x_2$ جواب پایدار باشد؛ بدین معنی که A^{-1} پیوسته باشد.

در صورتی که حداقل یکی از شرایط فوق برقرار نباشد، مسئله بدوضع است.

بـه‌منظـور محاسـبه جـواب مسـئله بدوضـع خطـی $Ax = y$ بـر اساس روش پایدارسـازی خطـی تیخونـوفلازم اسـت کهمسـئلهمینـیمم‌سـازی زیـر حل شود[۲۲]:

$$x_\alpha = min_{x \in X}^{\left(|Ax-y|_Y^2+\alpha|x|_X^2\right)} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

جـواب مسـئله مینـیمم‌سـازی ۱۰ بـه صـورت زیـر به‌دست می‌آید[۲۲]:

$$x_\alpha = (A^T A + \alpha I)^{-1} A^T y \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

در رابطـه۱۱، α پـارامتر پایدارسـازی اسـت. پـارامتر پایدارسـازی در روش تیخونـوف را مـی‌تـوان بـا اسـتفاده از روش GCV بـرای هـر کرومـوزوم انتخاب کـرد. روشGCVبـر اساس روش حـذف-یـک-عنصـر[2] اسـت. در ایـن روش در دسـتگاه خطـی $Ax = y$ هر بار یکـی از مشـاهدات از بـردار y کنـار گذاشته شده و بردار مجهول $\hat{x}^{(k)}(\alpha)$ بـدون حضـور این مشاهده تعیین می‌شود. سپس از بـردار $\hat{x}^{(k)}(\alpha)$ بـرای بـرآورد عنصـر حـذف‌شـده از بـردار مشـاهدات استفاده می‌شود. بدیهی اسـت کـه بـا انتخـاب مناسـب پـارامتر پایدارسـازی α میـزان اخـتلاف بـین مشـاهده حذف‌شده و مقدار برآوردشده آن کوچک‌تر باشـد[۲۳]. بـدین ترتیـب، پـارامتر پایدارسـازی در روش GCVبـه گونـه‌ای انتخـاب مـی‌شـود کـه تـابع زیـر مینیمم شود[۲۲]:

$$G = \frac{\left|Ax_{reg} - y\right|^2}{\left(trace(I - AA^I)\right)^2} \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

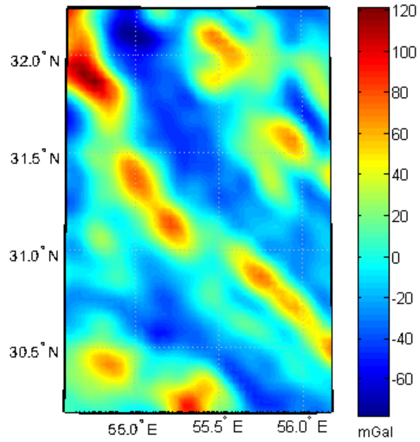
در رابطه ۱۲، A^I ماتریسی است کـه اگـر در y ضـرب شود، جواب پایدار x_{reg} را تولید می‌کند.

۴- آزمون عددی: مدل‌سازی محلی میـدان ثقـل زمین با استفاده از توابع پایه شعاعی کروی

به منظور بررسی کارایی روش بهینه‌سازی ارائه‌شـده در این تحقیق در مدل‌سازی محلی میـدان ثقـل زمـین بـا اسـتفاده از توابـع پایـه شـعاعی کـروی، منطقـه‌ای در محـــدوده $54.58 < \lambda < 56.16$ و $30.16 < \varphi < 32.24$ درجـــه در نظر گرفته شد. در این منطقه، تابعک‌هـای آنومـالی جاذبه در ۱۹۰۰ نقطه با اسـتفاده از مـدل ژئوپتانسـیل جهـانی EGM2008 تـا درجـه و مرتبـه ۲۱۶۰ شبیه‌سازی شده و نویز سفید بـا مقـدار میـانگین ۰.۲۶ میلی گال اضافه شد. به منظور آمـاده‌سـازی مشـاهدات آنومالی جاذبه برای مدل‌سازی محلی میدان ثقل زمین، اثـر جهـانی میـدان بـا اسـتفاده از مـدل ژئوپتانسـیل EGM2008 تا درجـه و مرتبـه ۳۶۰ از روی مشـاهدات حذف شد و مشاهدات آنومالی جاذبه باقی‌مانده به‌عنوان داده‌های ورودی برای انجام محاسبات به کـار رفـت. در شکل ۳ تغییرات آنومالی جاذبـه بـاقی‌مانـده در منطقـه مورد مطالعه نشان داده شده است. علاوه بـر مشـاهدات آنومالی جاذبه، آنومالی پتانسیل ثقل به‌عنوان داده‌هـای کنترلـی در ۶۳ نقطـه مسـتقل بـا اسـتفاده از مـدل EGM2008 تا درجه و مرتبه ۲۱۶۰ شـبیه‌سـازی شـد. سپس با حذف اثر جهانی میدان تا درجه و مرتبـه ۳۶۰

[1] Hadamard
[2] Leave-one-out

از روی مشاهدات آنومالی پتانسیل ثقل، آنومالی پتانسیل ثقل باقی‌مانده تولید شد.



شکل۳: تغییرات آنومالی جاذبه باقی‌مانده مشاهده‌شده در منطقه مورد مطالعه

در روش بهینه‌سازی ارائه‌شده در این تحقیق برای حل مسئله‌مدل‌سازی محلی میدان ثقل با استفاده از توابع پایه شعاعی کروی، ابتدا مختصات سه‌بعدی توابع پایه با استفاده از الگوریتم ژنتیک محاسبه شده و پس از آن، ضرایب مقیاس این توابع با استفاده از روش پایدارسازی تیخونوف برآورد شدند. لازم به ذکر است که به منظور افزایش سرعت محاسبات از الگوریتم ژنتیک موازی[1] استفاده شد. در این روش با تقسیم جمعیت به چندین زیرجمعیت و پردازش کامل توسط پردازش‌گرهای چندهسته‌ای، مسئله با کارایی بهتر و سرعت بیشتر حل می‌شود[۲۴]. حداکثر تعداد نسل‌ها جهت توقف الگوریتم ژنتیک موازی نیز برابر ۲۰۰۰ نسل قرار داده شد.

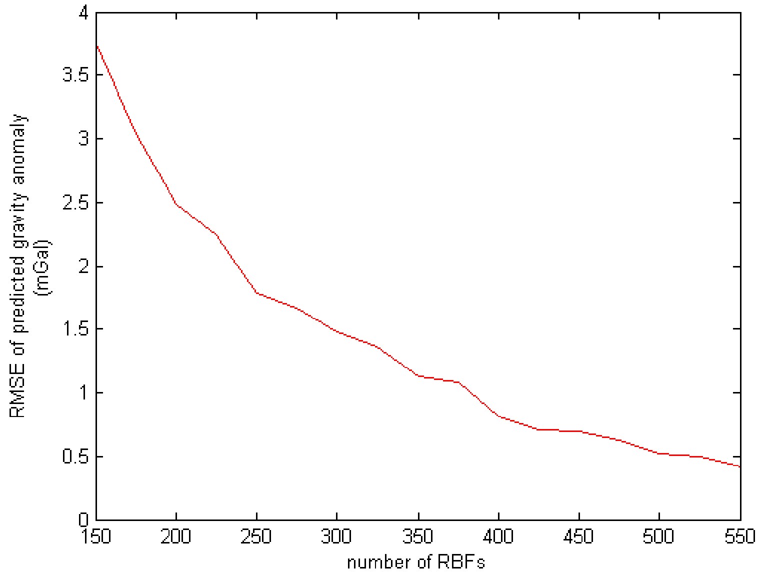
برایمدل‌سازی محلی میدان ثقل زمین، کرنل جرم نقطه‌ایبه‌عنوان تابع پایه شعاعی کروی در نظر گرفته شد. بدین ترتیب، سیستم معادلات مشاهداتی بر حسب کرنل‌های جرم نقطه‌ای و مشاهدات آنومالی جاذبه باقی‌مانده تشکیل شد. در مدل‌سازی محلی میدان ثقل با استفاده از توابع پایه شعاعی کروی، بدیهی است که با افزایش تعداد توابع پایه دقت برآورد مشاهدات آنومالی جاذبه باقی‌مانده بهبود یابد. اما به دلیل بدوضع بودن این مسئله، چنین روندی در برآورد داده‌های کنترلی آنومالی پتانسیل باقی‌مانده انتظار نمی‌رود. به همین دلیل، برای تعیین تعداد بهینه توابع پایه شعاعی کروی، شبکه‌هایی با تعداد توابع مختلفدر نظر گرفته شده وپس از اجرای الگوریتم بهینه‌سازی پیشنهادشده در این تحقیق، میزان خطای آنومالی پتانسیل در نقاط کنترل محاسبه شد.محاسبات بر مبنای شبکه‌های توابع پایه شعاعی شامل ۱۵۰ تابع شروع شد و با افزایش تدریجی کرنل‌ها تا ۵۵۰ تابع پایه ادامه داده شد. در جدول ۲ نتایج عددی حاصل از انتخاب شبکه‌های مختلف توابع پایه شعاعی و دقت‌های به‌دست‌آمده برای تابعک‌های آنومالی جاذبه باقی‌مانده به‌عنوان مشاهدات و تابعک‌های آنومالی پتانسیل باقی‌مانده به‌عنوان داده‌های کنترل آورده شده است. با در نظر گرفتن تغییرات خطای آنومالی جاذبه باقی‌مانده به صورت تابعی از تعداد توابع پایه شعاعی کروی، یک روند نزولی برای این تابع مشاهده شد؛ بدین نحو که با افزایش تدریجی تعداد کرنل‌ها، دقت برآورد آنومالی جاذبه باقی‌مانده بهبود یافت (جدول ۲ و شکل ۴). با توجه به جدول ۲ و شکل ۵، اگرچه تغییرات خطای آنومالی پتانسیل ثقل باقی‌مانده بر حسب تعداد توابع پایه دارای روندی تابع‌گونه نیست، اما مقایسه این نتایج نشان می‌دهد که تعداد ۳۷۵ تابع پایه شعاعی منجر به کمترین میزان خطا در آنومالی پتانسیل باقی‌مانده شده است.بنابراین این تعداد توابع پایه شعاعی به‌عنوان تعداد بهینه در نظر گرفته می‌شود. بدین ترتیب، با به‌کارگیری ۳۷۵کرنل جرم نقطه‌ای که موقعیت بهینه آن‌ها با استفاده از الگوریتم ژنتیک و ضرایب مقیاس متناظر به هر یک از آن‌ها با استفاده از الگوریتم تیخونوف به دست آمده، دقت آنومالی جاذبه مدل‌سازی‌شده برابر ۱.۰۸ میلی گال، و دقت آنومالی پتانسیل در نقاط کنترل ۰.۷۸ مترمربع بر مجذور ثانیه برآورد شد. در

[1] Parallel Genetic Algorithm

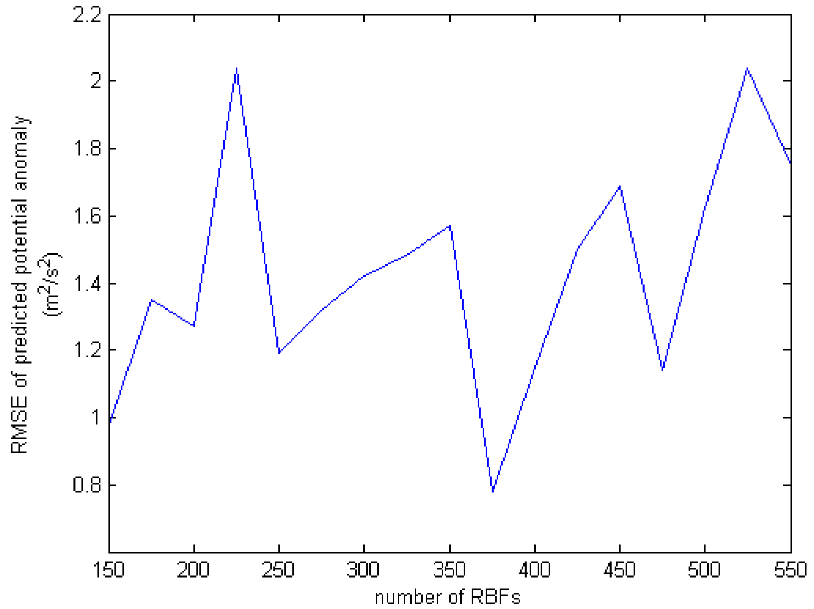
شکل ۶ تغییرات آنومالی جاذبه باقی‌مانده محاسبه‌شـده با استفاده از ۳۷۵ کرنل جرم نقطه‌ای در منطقـه مـورد مطالعه نشان داده شده است.

جدول۲: بررسی دقت‌های آنومالی جاذبه و پتانسیل مدل‌سازی‌شده با افزایش تعداد توابع پایه شعاعی

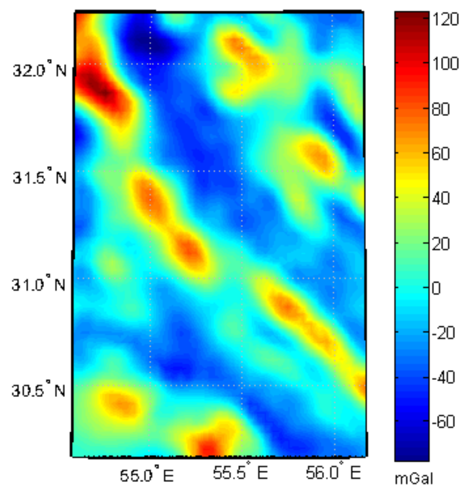
تعدادتوابع پایه	دقت آنومالی جاذبه مدل شده *(mGal)* دقت انومالی جاذبه مدل شده	دقت آنومالی پتانسیل مدل شده (m^2/s^2)
۱۵۰	۳.۷۶	۰.۹۷
۱۷۵	۳.۰۴	۱.۳۵
۲۰۰	۲.۴۸	۱.۲۷
۲۲۵	۲.۲۴	۲.۰۴
۲۵۰	۱.۷۸	۱.۱۹
۲۷۵	۱.۶۷	۱.۳۲
۳۰۰	۱.۴۸	۱.۴۲
۳۲۵	۱.۳۶	۱.۴۸
۳۵۰	۱.۱۳	۱.۵۷
۳۷۵	**۱.۰۸**	**۰.۷۸**
۴۰۰	۰.۸۱	۱.۱۵
۴۲۵	۰.۷۱	۱.۵
۴۵۰	۰.۷	۱.۶۹
۴۷۵	۰.۶۳	۱.۱۴
۵۰۰	۰.۵۲	۱.۶۲
۵۲۵	۰.۵	۲.۰۴
۵۵۰	۰.۴۲	۱.۷۵



شکل۴: تغییرات خطای مدل‌سازی آنومالی جاذبه به صورت تابعی از تعداد توابع پایه شعاعی

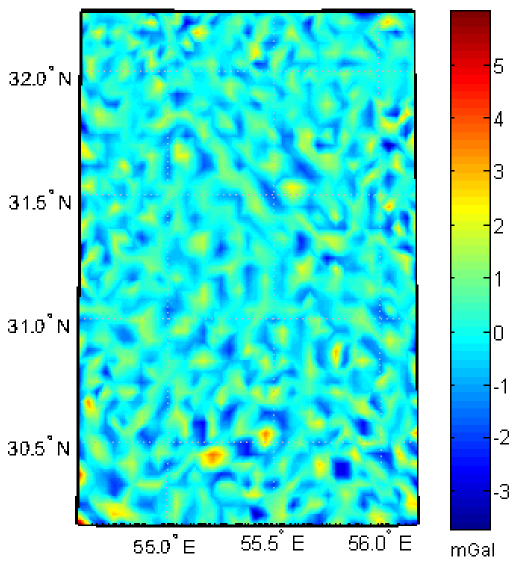


شکل۵: تغییرات خطای مدل‌سازی آنومالی پتانسیل به صورت تابعی از تعداد توابع پایه شعاعی



شکل۶: تغییرات آنومالی جاذبه باقی‌مانده مدل‌سازی‌شده با استفاده از مقادیر و تعداد بهینه توابع پایه شعاعی

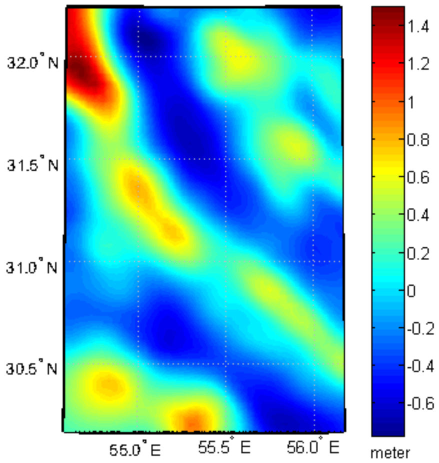
با تعریف کردن آنومالی جاذبه باقی‌مانده کمترین مربعات به صورت اختلاف بین آنومالی جاذبه باقی‌مانده مشاهداتی و آنومالی جاذبه باقی‌مانده محاسبه‌شده با استفاده از کرنل‌های جرم نقطه‌ای، در شکل ۷ تغییرات آنومالی جاذبه باقی‌مانده کمترین مربعات نشان داده شده است. با توجه به این شکل، آنومالی جاذبه باقی‌مانده کمترین مربعات در منطقه مورد مطالعه به صورت تصادفی تغییر می‌کند که این امر نشان‌دهنده بهینه بودن مقادیر و تعداد کرنل‌های به کاررفته در مسئله‌مدل‌سازی است.



شکل۷: تغییرات آنومالی جاذبه باقی‌مانده کمترین مربعات محاسبه‌شدهبا استفاده از توابع پایه شعاعی بهینه

در شکل ۸ تغییرات ارتفاعات شبه‌ژئوئید در منطقه مورد مطالعه که با استفاده از توابع پایه شعاعی بهینه محاسبه شده‌اند، نشان داده شده است. به منظور محاسبه ارتفاع شبه‌ژئوئید هر یک از نقاط، ابتدا آنومالی

پتانسیل باقی‌مانده با استفاده از توابع پایه شعاعی بهینه محاسبه شده و سپس اثر آنومالی پتانسیل جهانی تا درجه و مرتبه ۳۶۰ به آنومالی پتانسیل باقی‌مانده اضافه شد و آنومالی پتانسیل نقاط روی سطح زمین به دست آمد. درنهایت، ارتفاع شبه‌ژئوئید نقاط با جای‌گذاری کردن آنومالی پتانسیل سطحی در فرمول برونز محاسبه شد.



شکل۸: مدل شبه‌ژئوئید محاسبه‌شده در منطقه با استفاده از توابع پایه شعاعی بهینه

۵- بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق از توابع پایه شعاعی کروی برای مدل‌سازی محلی میدان ثقل زمین استفاده شد. کرنل جرم نقطه‌ای به‌عنوان کرنل توابع پایه شعاعی انتخاب و مقادیر بهینه پارامترهای مجهول این توابع طی دو مرحله با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک و تیخونوف تعیین شدند. از الگوریتم ژنتیک برای تعیین مراکز و عمق توابع پایه شعاعی کروی و از الگوریتم تیخونوف برای تعیین ضرایب مقیاس این توابع استفاده شد. سیستم معادلات مشاهداتی بر مبنای تابعک‌های آنومالی جاذبه شبیه‌سازی‌شده با استفاده از مدل ژئوپتانسیل *EGM2008* تا درجه و مرتبه ۲۱۶۰ تشکیل شد. تعداد بهینه توابع پایه با در نظر گرفتن آنومالی پتانسیل شبیه‌سازی‌شده به‌عنوان داده کنترلی تعیین شد؛ بدین صورت که جواب مینیمم مطلق در مسئله‌مدل‌سازیموجب مینیمم خطا در آنومالی پتانسیل مدل‌سازی‌شده با استفاده از توابع پایه شعاعی می‌شود که این خطای مینیمم به واسطه به‌کارگیری تعداد بهینه این توابع حاصل می‌شود. از جمله دستاوردهای مهم این تحقیق می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- تعیین موقعیت بهینه مراکز و عمق توابع پایه شعاعی به روش اتوماتیک با استفاده از الگوریتم ژنتیک
- بهبود سرعت و کارایی مدل‌سازی با به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک موازی برای حل مسئله
- دست‌یابی به جواب مینیمم مطلق با تعیین تعداد بهینه توابع پایه شعاعی
- افزایش سرعت پردازش‌ها با کاهش تعداد توابع پایه شعاعی به ۲۱ درصد تعداد مشاهدات
- تعیین پارامتر پایدارسازی در الگوریتم تیخونوف با استفاده از روش *GCV*.

مراجع

[1] T. Wittwer, "Regional gravity field modelling with radial basis functions," TU Delft, Delft University of Technology, 2009.
[2] I. Foroughi and A. Safari, "Local gravity field modeling using optimum Radial Basis Functions," M.Sc.Thesis,university of Tehran, 2013.
[3] F. Barthelmes, "Local gravity field approximation by point masses with optimized positions," in Proc. 6th international symposium “Geodesy and Physics of the Earth”, Potsdam, 1988.
[4] A. N. Marchenko, Parameterization of the Earth's gravity field: point and line singularities: Astronomical and Geodetic Society, 1998.

[5] A. N. Marchenko and G. Potsdam, Regional geoid determination: an application to airborne gravity data in the Skagerrak: Geoforschungszentrum, 2001.
[6] R. Klees and T. Wittwer, "Local gravity field modelling with multi-pole wavelets," in Dynamic Planet, 2007, pp. 303-308.
[7] W. K. Msrkus Antoni, "Recovery of residual GRACE-observations by radial base functions."
[8] J. H. Holland, Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence: MIT press, 1992.
[9] A. Golbabai and A. Safdari-Vaighani, "Width optimization of Gaussian function by genetic algorithm in RBF networks," World Journal of Modelling and Simulation, vol. 7, pp. 307-311, 2011.
[10] F. Barthelmes, "Definition of functionals of the geopotential and their calculation from spherical harmonic models," Helmholtz Centre Potsdam, GFZ, 2009.
[11] A. Safari, M. Sharifi, and I. Foroughi, "Local gravity field modeling using radial basis functions, case study: coastal area of the Persian Gulf," Journal of the EARTH and SPACE PHYSICS, vol. 39, pp. 33-48, 2013.
[12] R. Klees, R. Tenzer, I. Prutkin, and T. Wittwer, "A data-driven approach to local gravity field modelling using spherical radial basis functions," Journal of Geodesy, vol. 82, pp. 457-471, 2008.
[13] R. Tenzer and R. Klees, "The choice of the spherical radial basis functions in local gravity field modeling," Studia Geophysica et Geodaetica, vol. 52, pp. 287-304, 2008.
[14] M.Alireza, "Genetic algorithms and applications," Tehran,Naghus Publisher, 2014.
[15] M.S.Javi, "Solution of practical problems with genetic algorithms," Tehran,Ariapajuh Publisher, 2012.
[16] N. E. Mastorakis, "On the solution of Ill-conditioned systems of linear and non-linear equations via genetic algorithms(GAs) and nelder-mead simplex search ," WSEAS Transactions on Information Science and Applications, vol. 2, pp. 460-466, 2005.
[17] R. L. Haupt and S. E. Haupt, Practical genetic algorithms: John Wiley & Sons, 2004.
[18] S.M.Kia, "Genetic algorithms in Matlab," Tehran,Kian publisher, 2012.
[19] N. E. Mastorakis, "Solving non-linear equations via genetic algorithms," Lisbon, Portugal, June, pp. 16-18, 2005.
[20] L. Bajer and M. Holena, "RBF-based surrogate model for evolutionary optimization," in ITAT, 2012, pp. 3-8.
[21] H. W. Engl and P. Kügler, "Nonlinear inverse problems: theoretical aspects and some industrial applications," in Multidisciplinary methods for analysis optimization and control of complex systems, ed: Springer, 2005, pp. 3-47.
[22] P. C. Hansen, "Regularization tools: A Matlab package for analysis and solution of discrete ill-posed problems," Numerical algorithms, vol. 6, pp. 1-35, 1994.
[23] G. H. Golub, M. Heath, and G. Wahba, "Generalized cross-validation as a method for choosing a good ridge parameter," Technometrics, vol. 21, pp. 215-223, 1979.
[24] N. Neves, A.-T. Nguyen, and E. L. Torres, "A study of a non-linear optimization problem using a distributed genetic algorithm," in Parallel Processing, 1996. Vol. 3. Software., Proceedings of the 1996 International Conference on, 1996, pp. 29-36.

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.3, No.2, Summer 2015

Application of the Genetic Algorithm in RegionalGravity Field Modeling Using Spherical Radial Basis Functions

Abdoreza Safari[1] , Hani Mahbuby[2*] , Anahita Shahbazi[3]

1- Associate professor, School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran
2- Ms.c student of Geodesy, School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran
3- Ms.c student of Geodesy, School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran

Abstract

Spherical radial basis functions (SRBFs) have been extensively used in regional gravity field modeling. Determining the optimal of the SRBF parameters including their shape and locations is one of the most challenging tasks in SRBF approximation of the Earth's gravity field. In this paper, an optimization strategy is suggested to solve the problem of gravity field modeling using SRBFs. For this purpose, the potential gravity anomaly is expanded into a linear combination of the SRBFs, and then, the system of observation equations is set based on gravity anomaly data. The unknown modeling parameters are consisted of two steps: 1- the 3D position of SRBFs, namely SRBF centers and SRBF depths are determined utilizing the genetic algorithm, and 2- the scaling coefficients in SRBF expansion of the gravity anomaly are determined using the Tikhonov regularization algorithm. In this approach, a chromosome population which includes the 3D position of the kernels is generated and those with more competence are chosen. Furthermore, new chromosomes are produced based on crossover, mutation and migration processes. Therefore, since the kernel positions are obtained via the genetic algorithm, the non-linear problem convert into a linear problem which the coefficients of the expansion for each chromosome can be solved using the Tikhonov regularization algorithm. The performance of the proposed optimization scheme is assessed based on synthetic gravity anomalies provided by EGM2008 up to degree and order of 2160. Finally, an accuracy of 1.08 mGal in gravity anomalies and 0.78 m^2/s^2 in anomaly potentials is obtained. The numerical experiments reveal that the proposed optimization algorithm provides an appropriate SRBF distribution which improves the gravimetric models' accuracies.

Key words: Hyperspectral image, Spectral-Spatial Classification, Dimensionality reduction, Genetic algorithm.

Correspondence Address: Geodesy group, School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran. Tel: +989123227184
Email: hanymahbuby@ut.ac.ir