پیش‌بینی نشست در معدن زغال سنگ مزینو طبس با استفاده از الگوریتم ژنتیک (GA)

محمدرضا احمدی1\*، محسن آل بویه2، مجید نوریان بیدگلی3

1. دانشجوی دکتری مهندسی معدن، دانشگاه کاشان، m.r\_ahmadi@grad.kashanu.ac.ir
2. دانشجوی دکتری مهندسی معدن، دانشگاه کاشان، [mohsenalebouyeh@grad.kashanu.ac.ir](mailto:mohsenalebouyeh@grad.kashanu.ac.ir)
3. استادیار، دانشگاه کاشان، noriyan@kashanu.ac.ir

|  |  |
| --- | --- |
| **چکیده** | **کلمات کلیدی** |
| پدیده نشست زمین شامل فروریزش یا نشست رو به پائین سطح زمین است که می تواند دارای مقدار اندك جابجایی افقی باشد و این حرکت از نظرشدت، وسعت و میزان مناطق درگیر محدود نمی باشد. نشست سطح زمین یکی از مشکلات ناخواسته معدنکاری زیرزمینی به خصوص در روشهای استخراج تخریبی است. نشست یک تغییر شکل وابسته به زمان توپوگرافی سطح زمین است که بر اثر حرکت روباره موجود بر روی فضا های خالی مانند فضاهای ایجاد شده بر اثر معدنکاری زیرزمینی بوجود می آید. پروفیل نهایی نشست سطح زمین در روش جبهه کار طولانی در لایه های زغال سنگ شیبدار تفاوت مهمی با لایه های افقی دارد و از این رو، روشهای پیش بینی نشست مخصوصی را می طلبد. پیش بینی این پدیده به خصوص هنگامیکه یک سازه در منطقه تاثیر نشست واقع شده باشد از اهمیت بسزایی برخوردار است. از آنجا که استخراج یک فرآیند پویا است، حرکت و تغییر شکل پویای سطح زمین می تواند ساختمان ها و سازه ها را به میزان قابل توجهی تحت تأثیر قرار دهد. تاکنون روشهای تجربی بسیاری برای پیش بینی نشست ارائه شده است، اما این روش ها برای شرایط معدنکاری و زمین شناسی مختلف انعطاف ناپذیرند. برای پیش بینی میزان نشست، با توجه به فراوانی پارامترهای موثر در بروز این پدیده و همچنین غیر خطی و پیچیده بودن روابط میان آنها، می توان از روشهای هوشمند مثل شبکه های عصبی مصنوعی، الگوریتم های فراابتکاری، منطق فازی و غیره استفاده کرد. در این مطالعه به منظور بررسی تأثیر پارامترهای طبقات بالایی لایه زغال شامل مدول الاستیسیته، مقاومت کششی، عمق، نسبت پواسون، میزان چسبندگی و مقاومت فشاری تك محوره توده سنگ بر میزان نشست سطح زمین در معدن جبهه کار طولانی زغال سنگ مزینو طبس، دو مدل پیش بینی با استفاده از الگوریتم ژنتیک (GA) و تحلیل رگرسیون خطی ارائه شده است. نتایج حاصل از اعتبارسنجی نشان می دهد که مدل الگوریتم ژنتیک (GA) نسبت به رگرسیون خطی برای پیش بینی نشست سطحی، محافظت از ساختمان ها و سازه های زیرزمینی ضمن ارتقاء توسعه پایدار مناطق معدنی، از دقت بیشتری برخوردار است. نتایج تحقیق ، رویکرد جدیدی را برای بررسی پویایی حرکات سطحی ارائه می دهد. | نشست سطح زمین تخریب  روش معدنکاری جبهه کار طولانی  الگوریتم ژنتیک (GA) |

1. **مقدمه**

در روش های تخریبی بر اثر تخريب، تغيير شکل هاي بزرگ بر روي سطح زمين رخ مي دهد و باعث نشست سطح مي شود، که تاثير زيادي بر روي زيرساخت ها و راه هاي دسترسي معدن دارد]1[. نشست سطح زمین در معادن بسته به روش استخراج مورد استفاده متفاوت بوده و پدیده ای غیر قابل اجتناب و درعین حال قابل پیش بینی است. در استخراج کامل ذخایر لایه ای، رها کردن سقف بدون سیستم نگهداری موجب تخریب و ریزش آن می شود. هزینه های ناشی از پیامد های اینگونه تخریب ها اغلب بیش از درآمدهای حاصل از استخراج کامل مواد معدنی می باشد]2[. روش استخراج جبهه کار طولانی به دلایل مختلف نظیر پیوستگی دوره استخراج، بازیابی بیشتر، عدم نیاز به تقویت سقف و سهولت کنترل سیستم تهویه و به ویژه قابلیت پیش بینی نشست سطح زمین، گزینه مناسب تری نسبت به روش اتاق و پایه است. شناخت و ارزیابی تاثیر پارامترهای مختلف در پیش بینی نشست حائز اهمیت است]3[. روش هاي پيشگيري و محافظت از نشست به روش پيش بيني نشست بستگي دارد لذا در مرحله پيش بيني نشست بايد بيشترين دقت به کار برده شود تا عمليات پيشگيري و محافظت از دقت بيشتري برخوردار باشد]4[. در سالهای اخیر روشهای مختلفی برای تخمین نشست سطح زمین در اثر استخراج لایه های افقی و شیب دار ارائه شده است، که از آن جمله می توان به روش های تجربی،تحلیلی وعددی اشاره کرد.

**روشهای تجربی:** این روشها بر اساس تعداد بسیار زیادی از داده های اندازه گیری شده در نقاط مختلف تبیین شده است و به دو روش تابع پروفیل و تابع تاثیر طبقه بندی می شود. از ویژگی این روش ها می توان به سادگی و تعداد محدود پارامتر های دخیل در آن و دقت کم آن اشاره کرد. از سوی دیگر دامنه کاربرد و اعتبار این روش ها بیشتر به مورد مطالعاتی و داده های برگرفته از آن محدود می شود]5[.

**مدلسازی فیزیکی:** مدلسازی فیزیکی روشی است که در آن تمام خواص به صورت فیزیکی بر مبنای جرم، بعد و یا زمان ساخته می شوند]5[.

**روش های تحلیلی:** این روش ها به دو دسته فرم بسته و تصادفی تقسیم بندی می شود و به این ترتیب قابلیت تحلیل شرایط الاستیک، پلاستیک و ویسکو الاستیک را دارا می باشد. در این روش فرض بر آن است که بر اساس جابجایی های ناشی از درزه ها و شکست ها می توان نشست سطح زمین را پیش بینی کرد]5[.

**روش های عددی:** در این روش ها اساسا یکسری معادلات دیفرانسیل با شرایط مرزی اولیه حل می شود، به طوری که جواب این معادلات همان تنش ها، کرنش ها و جابجایی ها می باشند. از آنجا که روش های عددی در واقع یکسری عملیات ریاضی تکراری می باشند، استفاده از آنها در سال های اخیر توسعه یافته و روش های رایانه ای مختلفی ارائه شده است. به کمک این روشها می توان وضعیت تنش و جابه جایی ها را در حالت های مختلف مشخص کرد]6[.

1. **زغال سنگ مزینو طبس**

شهرستان طبس با وسعتی معادل 55460 کیلو متر مربع در شمال شرقی استان یزد و حد فاصل استان کرمان، یزد و خراسان جنوبی است (شکل1). در محدوده عرض جغرافیایی'50 °32 تا '05 °33 و طول جغرافیایی' 45 °56 تا '15 °57 قرار گرفته است. سه ناحیه زغالی مجزا در حوضه طبس وجود دارد: پروده، نایبند و مزینو که لایه های زغالی نواحی پروده و نایبند از نوع کک شو و لا یه زغالی نواحی مزینو از نوع آنتراسیت و حرارتی است. معدن مزينو در شمال استان يزد و جنوب استان خراسان و در فاصله ٨٥ كيلومتري غرب طبس، در مسير جاده آسفالته طبس- يزد و در رسوبات زغال دار ايران مرکزي قرار دارد. منطقه مزينو درتقسيمات زمين شناسي ايران در محدوده ايران مركزي و به طور خاص در ورقه زمين شناسي ١:٢٥٠,٠٠٠ طبس قرار گرفته است. اين منطقه در سمت غرب شديدًا تحت تأثير گسل بزرگ و قديمي كلمرد قرار گرفته و به واسطه عملكرد اين گسل رسوبات قديمي با سن پركامبرين در بلوك غربي آن نمايان شده است. در شرق اين گسل يك حوضه وسيع با ساختمان ژئوسنگينال از رسوبات ترياس- ژوراسيك قرار گرفته كه در اصطلاح رايج مطالعات زمين شناسي به آن حوضه زغال دار مزينو گفته مي شود (شکل2). حد تحتاني و فوقاني سازند زغال دار مزينو محدود به دو لايه آهكي سازند با دامو در كف با سن توارسين- باژوسين پيشين و سازند آهك پروده(طبس) با سن باتونين پسين در بالا مي باشد. سن رسوبات سازند زغال دار با توجه به فسيل هاي يافت شده در آن ژوراسيك مياني(با سن توارسين- باژوسين مياني) است كه به آن سازند هجدك (سازند مزينو) گفته ميشود. زغال سنگ هاي منطقه از بقاياي بافت هاي ليگنين و سلولزهاي گياهان تشكيل شده اند]9-7[. به طور كلي در منطقه مزينو حدود٦٥٠ ميليون تن زغال سنگ حرارتي شناخته شده است که حدود ٤٠٠ ميليون تن آن قابل استخراج به نظر مي رسد. زغال سنگ هاي بخش مزينو اغلب از نوع آنتراسيت با مواد فرار كم و ميزان خاكستر آن به طور متوسط 30 درصد است]11-10[. روش جبهه کار طولانی در کانسارهای پتاس، زغال سنگ و کانسارهایی که منشاء رسوبی دارند، کاربرد دارد. در این روش طول جبهه کار در مقایسه با سایر روش های استخراج خیلی زیاد است و از نظر پیشروی کارگاه به صورت امتدادی و از نظر کنترل سقف به صورت تخریب می باشد. طول متوسط کارگاه بین 300 - 100 متر می باشد. نشست سطح زمین از مسایل بارز روش فوق بوده که در ارتباط مستقیم با طول کارگاه است. افزایش طول کارگاه باعث افزایش محدوده گودی نشست شده که در این صورت خطر زیست محیطی را تشدید می کند. به همین دلیل، پیش بینی وکنترل نشست امری لازم و ضروری می باشد]13-12[.



**شکل1: مناطق زغال در ایران و موقعیت قرارگیری حوضه زغالخیز طبس]14[**

****

**شکل2: نقشه زمين شناسي معدن زغال سنگ مزينو در منطقه طبس** ]9[

1. **مدل الگوریتم ژنتیک**

**3-1- الگوریتم ژنتیک**

الگوریتم ژنتیک یک الگوریتم ریاضی است که در آن‌یک مجموعه از اشیا ریاضی که غالباً به‌صورت رشته‌ هایی از کاراکترها با طول ثابت هستند. که این رشته ‌ها را کروموزوم می‌نامند. بر پایه نظریه تکامل داروین بقای نسل برتر با توجه به عامل سازگاری اولین بار در سال 1852 توسط داروین عنوان شد و با استفاده از اعمال مختلف ژنتیکی، نسل جدید را ایجاد می‌کنند. در میان روش ‌های بهینه ‌سازی الهام گرفته از طبیعت جاندار، الگوریتم ژنتیک از تکامل یافتن آن‌ها به شمار می‌رود. این الگوریتم جز کلاس الگوریتم ‌های بهینه‌ سازی تصادفی قرار دارد. این الگوریتم به‌ خصوص برای بهینه ‌سازی مسائل پیچیده با فضای جستجوی ناشناخته مناسب است. الگوریتم ‌های ژنتیک برای روش ‌های کلاسیک بهینه ‌سازی در حل مسائل خطی، محدب و برخی مشکلات مشابه بسیار موفق بوده‌اند ولی الگوریتم‌ های ژنتیک برای حل مسائل گسسته و غیرخطی بسیار کاراتر می‌باشند. الگوریتم ژنتیک (GA)، برای به دست آوردن یک موتور جستجوی قوی و بهینه ‌سازی، منجر به تکامل طبیعی با گسترش تکثیر ژنتیکی از ویژگی‌ های است که اصل "بقای مناسب ‌ترین" را اجرا می‌کند. ویژگی مهم الگوریتم ژنتیک (GA) این است که آن را به‌طور هم ‌زمان چندین پاسخ احتمالی را مشخص می‌کند و زمینه ‌های مختلفی را در فضایی مورد نظر محقق انتخاب می‌کند]16-15[.GA یک پاسخ ساده به ژنتیک در سیستم ‌های بیولوژیک می‌گیرد و انتخاب طبیعی داروین به روش ‌های کلاسیک قوی‌تر است. ایده اصلی الگوریتم ژنتیک از نظریه تکامل داروین (1859) گرفته‌شده است. آن دسته از صفات طبیعی که با قوانین طبیعی سازگاری بیشتری دارند از شانس بقا بیشتری برخورد دارند. نظریه تکاملی داروین هیچ اثبات تحلیلی و قطعی ندارد. اما ازنظر تجربی و آماری تأییدشده است. به‌ عبارت ‌دیگر افراد یک جامعه انسانی، حیوانی، گیاهی از طریق جفت‌گیری (زاد و ولد) نسل جدیدی ایجاد می‌کنند. شانس بقا یک فرد در نسل جدید به ترکیب خاص کروموزومی آن فرد در نسل جدید وابسته است. معمولاً افراد نسل جدید سازگاری بیشتری با طبیعت دارند. در موارد نادر ممکن است موجودی با خصوصیات بسیار عالی و سازگاری بالا تولید شود. به‌ طور خلاصه در هر نسل به گونه ‌های بهتر فرصت تولیدمثل داده ‌شده و گونه ‌های دارای خصوصیات نامطلوب به ‌تدریج از بین می ‌روند. درنتیجه با گذشت زمان افراد نسل ‌های مختلف تکامل می‌یابند]18-17[. در طبیعت از ترکیب کروموزوم ‌های بهتر، نسل ‌های بهتر پدید می ‌آیند. در این‌ بین گاهی اوقات جهش‌ هایی نیز در کروموزوم ‌ها روی می‌دهد که ممکن است باعث بهتر شدن نسل بعدی شوند. الگوریتم ژنتیک (GA) می‌تواند بهترین نتیجه را پس از یک سری محاسبات حلقه به دست آورد، بر طبق نظریه داروین "بقای مطلوب". اپراتور مصنوعی، متقاطع و جهش، روش جستجوی را در بالا تشکیل می‌دهد. الگوریتم ژنتیک نیز با استفاده از این ایده اقدام به حل مسئله می‌کند. برای به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک ابتدا پارامتر های مسئله به‌صورت رشته ‌های باینری کد می‌شوند. هر جواب با یک برازندگی متناظر است که کیفیت جواب را نسبت به سایر اعضای جمعیت مشخص می‌ نماید. هر چه برازندگی جواب بیشتر باشد شانس آن برای بقا و تولید مثل بیشتر و در نسل‌ های بعدی بیشتر ظاهر می‌شود. یک الگوریتم ساده از سه عملگر انتخاب، جابجایی و جهش تشکیل ‌شده است. هر رشته از صفر یک ‌ها، صورتی کد شده از جواب مسئله بهینه‌سازی را تشکیل می‌دهد. الگوریتم ژنتیک با استفاده از عملگر های جابجایی و جهش، نسل بعدی را از نسل حاضر پدید می ‌آورد. این چرخه تا جایی که شرط توقف برآورده شود، ادامه می‌یابد]15[.

الف) تابع برازندگی: در حل تمامی مسائل بهینه‌سازی، تعیین یک معیار بهینگی مناسب ضروری است. تابع هدف یعنی تابعی که قرار است بهینه شود و ابزار لازم برای ارزیابی هر رشته را فراهم آورد. این تابع به هر رشته مقداری عددی را تخصیص می ‌دهد که کیفیت آن را در مقایسه با سایر رشته‌ها مشخص می‌کند. هر چه کیفیت رشته جواب بالاتر باشد، مقدار برازندگی جواب بیشتر است.

ب) انتخاب: انتخاب روندی است که در آن تک‌تک رشته ‌ها متناسب با تابع برازندگی خود کپی می‌شوند. ساده ‌ترین روش استفاده از چرخ رولت است که در آن هر رشته از جمعیت، متناسب با مقدار برازندگی خود قطاعی از چرخ را به خود اختصاص می‌دهد. با هر بار چرخش چرخ موردنظر، کاندیدایی انتخاب می‌شود.

پ) تقاطع: عمل تقاطع در دو مرحله انجام می‌شود، ابتدا اعضا به ‌صورت تصادفی برای جفت‌گیری انتخاب می‌شوند و سپس هر جفت رشته از محل تصادفی بریده ‌شده و تکه ‌های بعد از برش با یکدیگر جابجا می‌شوند.

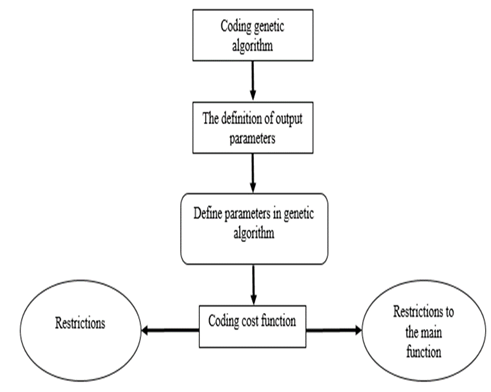
ج) جهش: پس از عملگر جابجایی، رشته ‌ها در معرض عملگر جهش قرار می‌گیرند. جهش عملگری تصادفی است یعنی محلی از رشته به ‌طور تصادف انتخاب و جهش به آن اعمال می‌گردد.

د) اعمال محدودیت ‌ها: در بسیاری از مسائل عملی باید یک یا چند محدودیت نیز مورد بررسی قرار گیرند. الگوریتم ژنتیک، رشته پارامتر هایی تولید می‌کند که با استفاده از مدل سیستم، تابع هدف و محدودیت ‌ها آزمایش می‌شوند. با داشتن مدل سیستم و ارزیابی تابع هدف، نقض قید ها بررسی می‌شوند.

ه) شرط توقف الگوریتم: شرط‌ های توقف بر دو نوع هستند، که آن‌ها شرط غیرفعال و دنباله‌ای می‌باشند. شرط غیرفعال بر اساس گذشت تعداد ثابتی از نسل ‌ها عمل می‌کند ولی شرط دنباله‌ای عبارت است از اینکه جمعیت از حد معینی یکنواخت‌تر شود. مثلاً اگر 25 درصد از ژن ‌ها مقداری برابر داشته باشند در این صورت آن ژن همگرا در نظر گرفته می‌شود]16-15[.

**3-2- استراتژی الگوریتم ژنتیک**

اولین قدم در کد نویسی این پژوهش، کد نویسی الگوریتم ژنتیک و قدم دوم کد نویسی تابع هدف است. برای اجرای تابع هدف و بهینه‌ سازی، باید تنظیماتی در الگوریتم ژنتیک کد شده، مطابق با تابع هزینه انجام گیرد. در بخش کد نویسی الگوریتم ژنتیک باید پنجره بازشده در نرم‌افزار متلب را به پنج بخش تقسیم کرد، که عبارت‌اند از: تعریف مسئله، تنظیمات پارامتر ها، مقداردهی اولیه، حلقه اصلی و خروجی‌ها. در بخش تعریف مسئله برای اجرای الگوریتم ژنتیک، تابع هدف فراخوانی شده و تعداد متغیر های مسئله و اندازه ماتریس متغیر ها مشخص می‌شود. در بخش تنظیم پارامترها به ترتیب حدود بالا و پایین متغیر ها، تعداد جمعیت، حداکثر تکرار ها، درصد تقاطع و تعداد تقاطع، درصد جهش و تعداد جهش ‌ها و ماتریس حدود بالا و پایین متغیر ها نوشته می‌شود. برای شروع، الگوریتم ژنتیک نیاز به یک مقدار اولیه و به تعداد جمعیت موردنظر دارد، که این مقدار را می‌توان به ‌صورت تصادفی و با سعی و خطا پدید آورد. در بخش حلقه اصلی، برای بهترین جواب در هر تکرار، یک ماتریس صفر سطری از مرتبه حداکثر تولید نسل و یک تعریف می‌گردد و به تعداد نسل ‌ها (از یک تا حداکثر تعداد تولید نسل) عملگر های تقاطع و جهش اعمال می‌شود تا جمعیت از راه‌حل ‌ها به دست آید. برای اعمال هر یک از عملگر های جهش و تقاطع، به‌طور جداگانه یک تابع تعریف می‌شود که برای اجرای آن‌ها، پارامتر های موردنیاز به ‌عنوان داده ‌های ورودی به تابع ارجاع داده می‌شود،که برای اجرای تابع تقاطع عبارت‌اند از: تعداد تقاطع ‌ها، جمعیت اصلی و تعداد آن و فضای تولیدشده جهت ذخیره‌سازی نسل ‌های تولیدشده از تقاطع، و همچنین برای عملگر جهش، شامل جمعیت اصلی و تعداد آن‌ها، تعداد جهش‌ ها، تعداد متغیر ها و حدود بالا و پایین آن‌ها و فضای ایجادشده برای ذخیره‌سازی نسل ‌های تولید شده از عملگر جهش است. حال جمعیت کل شامل جمعیت اصلی، جمعیت تولید شده حاصل از عملگر تقاطع و جمعیت تولیدشده حاصل از عملگر جهش است و این جمعیت با توجه به ارزش آن‌ها که با تابع هدف مقدارشان به ‌دست ‌آمده است مرتب می‌شود و به ‌اندازه جمعیت اصلی از آن جدا می‌شود و به‌عنوان جمعیت بهتر محسوب می‌گردد. آخرین عضو جمعیت جدید، بهترین عضو جمعیت است، زیرا هدف حداقل سازی تابع هدف است. اولین قدم در پیاده ‌سازی الگوریتم ژنتیک و تابع هدف و بهینه ‌سازی RMSE، آن است که تمامی ورودی ‌های مسئله، متغیر ها و پارامتر ها به شکل ماتریس تعریف شوند. در این الگوریتم تعداد متغیر ها (nvar) برابر مجموع تعداد مدول الاستیسیته، مقاومت کششی، نسبت پواسون، ارتفاع روباره و مقاومت فشاری تک محوره است. تعیین تعداد جمعیت مسئله یکی از پارامتر هایی است که تنظیم درست آن در رسیدن به جواب بهینه در زمان مناسب مهم است. برای تولید نسل جدیدی از جواب ‌ها، پارامتر های نرخ پیوند و نرخ جهش باید تعیین شود تا بر روی تعداد مشخصی از والدین عمل پیوند و بر روی تعداد مشخصی عمل جهش اعمال گردد،که عددی بین صفر و یک هستند. در این پژوهش شرط اتمام اجرای برنامه در الگوریتم ژنتیک، بر اساس حداکثر تعداد تکرار تعیین‌شده است. حال به پیاده‌ سازی تابع هدف در نرم ‌افزار متلب پرداخته می ‌شود به ‌نوعی که با الگوریتم ژنتیک سازگار باشد و نتیجه صحیحی از آن در این مرحله حاصل شود. پس از اجرای برنامه مقدار بهترین جواب نسبت به هر تکرار و سایر پارامترهایی که لازم است، نمایش داده می‌شود و مقدار نهایی بهترین پاسخ مشخص می ‌شود. در شکل 3 مراحل پیاده ‌سازی الگوریتم ژنتیک نشان داده ‌شده است.



**شکل3- مراحل پیاده‌سازی الگوریتم ژنتیک**

1. **پیش بینی نشست با استفاده از الگوریتم ژنتیک (GA)**

در این بخش مراحل ساخت مدل الگوریتم GA ارائه شده است. در جمع آوری داده ها نکته ای که بایستی مورد توجه قرار گیرد انتخاب پارامترهای ورودی مدل می باشد. در صورتی که پارامترهای ورودی مدل به درستی انتخاب شوند، با در اختیار داشتن داده های لازم برای مدل و استفاده از الگوریتم مناسب قادر خواهد بود روابط پیچیده بین ورودی ها و خروجی را به خوبی فرا گیرد. این در حالی است که ارائه نتایج بوسیله این مدل به سرعت انجام می گیرد. پارامترهای ورودی شامل پارامترهای توده سنگ طبقات بالای لایه شامل مدول الاستیسیته، مقاومت کششی، نسبت پواسون، ارتفاع روباره و مقاومت فشاری تک محوره می باشد. پارامتر خروجی نشست سطح زمین است. در جدول (1) پارامترهای ورودی و خروجی برای ساخت مدل GA نشان داده شده است.

**جدول1: پارامترهای ورودی و خروجی پیش بینی نشست**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **نوع پارامتر** | **پارامتر** | **نماد** | **تغییرات** |
| ورودی | مقاومت فشاری تک محوره (MPa) | UCS | 67-33 |
| مقاومت کششی(MPa) |  | 9/5 – 1/2 |
| چسبندگی(MPa) | C | 5/1 – 16/0 |
| ارتفاع روباره (m) | H | 200 – 0 |
| مدول الاستیسیته(MPa) | E | 3712 – 738 |
| نسبت پواسون |  | 34/0 – 23/0 |
| خروجی | نشست(cm) | S | 47 - 1 |

* 1. **مدل‌های الگوریتم GA توسعه‌یافته**

در این بخش، دو مدل الگوریتم GA با شش پارامتر ورودی و یک پارامتر خروجی برای پیش‌بینی‌شده معرفی‌شده است. معادله (1) برای نرمال کردن پارامترها در دامنه [0،1] اعمال شد. در این معادله، Xn مقدار نرمال شده است، Xr ارزش نرمال شده است (مقدار واقعی)، Xmin حداقل مقدار است، و Xmax حداکثر مقدار برای متغیر وابسته است.

Xn = (Xr-Xmin)/(Xmax-Xmin) (1)

در این مطالعه، به‌منظور مدل‌سازی الگوریتم GA برای پیش‌بینی نشست سطح زمین، دو فرم معادلات خطی و غیرخطی به‌کاربرده شد. معادله 2 یک رابطه خطی بین پارامترهای ورودی و پارامتر خروجی را نشان می‌دهد و به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

SPSO-linear = α1UCSn + α2 + α3Cn + α4Hn + α5En + α6 𝒗n + α7 (2)

علاوه بر این، معادله 3 یک رابطه غیرخطی بین پارامترهای ورودی و نشست سطح زمین (S) را نشان می‌هد و به ‌صورت زیر نوشته می‌شود:

SPSO-nonlinear = α1UCSn +α2+α3Cn+α4Hn+α5En+α6 𝒗n+α7UCSn 2+α82+α9Cn 2+α10Hn 2+α11En 2 +α12𝒗n2+α13(3)

که در آن، αi فاکتور وزن مربوطه است و n نماد ارزش نرمال شده است. در مرحله بعد، مقادیر بهینه فاکتورهای وزن با استفاده از الگوریتم GA و داده‌های واقعی برای برآورد نشست سطح زمین تعیین می‌شود. در حقیقت، الگوریتم GA فاکتورهای مهم وزن مناسب را با حداقل رساندن خطای بین مقادیر پیش‌بینی‌شده نشست سطح زمین (S) و مقادیر واقعی جستجو می‌کند. مدل‌های الگوریتم GA در محیط نرم‌افزار MATLAB اجرا شد. بنابراین، مهم‌ترین پارامترهای مشخص‌شده توسط کاربر برای پیاده‌سازی مدل‌های الگوریتم، تعداد ذرات، حداکثر تعداد تکرار، ضریب یادگیری شناختی و ضریب یادگیری اجتماعی و وزن اینرسی است. در این مطالعه، این پارامترها با استفاده از روش آزمون ‌و خطا تعیین گردید و وقتی‌که تابع هدف حداقل مقدار را تعیین می‌کند، ارزش بهینه تعیین‌شده است(جدول2).

**جدول2: پارامترهای الگوریتم GA**

|  |  |
| --- | --- |
| ***پارامتر*** | ***مقدار*** |
| *تعداد جمعیت (m)* | *300* |
| *حداکثر تعداد تکرار(it)* | *750* |
| *احتمال عملگر تقاطع(Pc)* | *85/0* |
| *احتمال عملگر جهش(Pm)* | *05/0* |
| *احتمال عملگر هماوری(Pr)* | *10/0* |

مدل‌های پیشنهادی الگوریتم GA بر اساس پارامترهای موجود در جدول 2 ارائه‌شده و بهترین نتایج در نظر گرفته‌شده است. فاکتورهای وزن برای رابطه خطی در معادله 4 نشان داده‌شده است:

S PSO-linear = 0.3317UCSn + 0.1028+ 0.7705Cn + 0.0396Hn+ 0.2206En + 0.3536𝒗n+ 0.1512 (4)

علاوه بر این، معادله 5 نشان‌دهنده عوامل وزن برای فرم غیر خطی است:

S PSO-nonlinear = 0.2863UCSn + 0.1774+ 0.8845Cn + 0.7539Hn + 0.4556En + 0.3872𝒗n + 0.4736UCSn2 + 0.3624 2 + 0.1542Cn2 + 0.2561Hn2+ 0.1734En2 + 0.3559𝒗n2 + 0.3471 (5)

پارامترها نرمال شده‌اند و خروجی معادلات (4) و (5) در فرم ‌های نرمال قرار دارند.

**5-2- اعتبارسنجی مدل‌های الگوریتم GA**

برای ارزیابی کارایی مدل‌های الگوریتم GA، مقادیر پیش‌بینی این مدل‌ها با سایر مدل‌های پیش‌بینی‌شده مبتنی بر پایگاه داده مقایسه می‌شود. معادلاتی با استفاده از تحلیل رگرسيون چند متغيره خطی (LMR)، تحليل رگرسيون چند متغيره غيرخطی (NLMR) (به ترتیب معادلات 6 و 7) توسعه داده شد.

S LMR = 0.2327 UCSn + 0.1378+ 0.6629Cn + 0.0554Hn+ 0.2463En + 0.3981𝒗n+ 0.1978 (6)

S NLMR = 0.4416UCSn + 0.2212+ 0.604Cn + 0.4437Hn + 0.5193En + 0.8837𝒗n + 0.6534UCSn2 + 0.3659 2 + 0.2062Cn2 + 0.2416Hn2+ 0.2709En2+ 0.4781𝒗n2 + 0.5692 (7)

یکی از ابزارهای مهم برای ارزیابی دقت هر مدل، ضریب تعیین (R2) بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی‌شده است. R2 به ‌عنوان یک مقدار بین صفر و یک محاسبه می‌شود. شکل 4 رابطه بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی‌شده به‌دست‌آمده از همه مدل‌های پیش‌بینی‌شده را نشان می‌دهد. علاوه بر این در این مطالعه، برای ارزیابی دقت مدل‌های ذکرشده، از معیاری استفاده می‌شود: میانگین نسبی مربعات خطا RMSE . (RMSE) با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود.

(8)

که در آن Sm و Sp به ترتیب مقادیر اندازه‌گیری شده (واقعی) و پیش‌بینی‌شده نشست سطح زمین هستند، و m تعداد نقاط اندازه‌گیری شده است.

(الف)

(ب)

(ج)

(د)

**شکل4: رابطه بین نشست سطح زمین اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی‌شده با مدل‌های مختلف**

مقادیر شاخص‌های عملکرد (R2،RMSE) برای مدل‌های پیش‌بینی‌شده در جدول3 نشان داده‌شده است. همچنین، جدول3 رتبه‌بندی مدل‌های مختلف پیش‌بینی بر اساس شاخص‌های عملکرد را ارائه می‌دهد.

**جدول 3: شاخص‌های عملکرد برای مدل‌های مختلف**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ***مدل*** | ***R2*** | ***RMSE*** | ***Rank*** |
| *LMR* | *9315/0* | *09/0* | *4* |
| *GA-linear* | *9582/0* | *072/0* | *2* |
| *NLMR* | *9494/0* | *079/0* | *3* |
| *GA-nonlinear* | *9698/0* | *064/0* | *1* |

1. **نتیجه گیری**

در این مقاله با استفاده از الگوریتم GA، دو مدل برای پیش‌بینی نشست سطح زمین: به شکل خطی و غیرخطی توسعه داده شد. این مدل‌ها بر اساس یک پایگاه داده طرح معدن زغال سنگ مزینو طبس ساخته‌شده‌اند، که شامل 60 رویداد اندازه‌گیری از معدن است. پارامترهای ورودی شامل پارامترهای توده سنگ طبقات بالایی لایه شامل مدول الاستیسیته، مقاومت کششی، نسبت پواسون، ارتفاع روباره و مقاومت فشاری تک محوره و پارامتر خروجی نشست سطح زمین است. نتایج مدل‌های الگوریتم GA پیشنهاد شده ازلحاظ شاخص‌های R2 و RMSE به‌دست‌آمده است. شاخص‌های R2 و RMSE به‌صورت خطی به ترتیب 9582/0 و 072/0 و به‌صورت غیرخطی 9698/0 و 064/0 به دست آمد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مدل GA می‌تواند خطای برگشت‌پذیر را با خطای قابل‌قبول پیش‌بینی کند، اما فرم غیرخطی خطای کمتری از شکل خطی را نشان می‌دهد. این بدان معنی است که رابطه بین پارامتر خروجی و پارامترهای ورودی غیرخطی است. مقایسه مدل‌های الگوریتم GA با دیگر مدل‌های قبلاً توسعه‌ یافته ( LMR،NLMR) نشان می‌دهد که الگوریتم GA یک ابزار مفید برای پیش‌بینی نشست سطح زمین در اثر استخراج معدن زغال سنگ مزینو طبس است. ارزیابی نشست سطح زمین با مدل‌های پیشنهادی الگوریتم GA یک دیدگاه اولیه را برای مهندسان معدنی ارائه می دهد. درنهایت لازم به ذکر است که معادلات توسعه‌یافته در این مطالعه به طرح معدن زغال سنگ مزینو طبس اشاره دارند و استفاده از این معادلات در سایر معادن نیاز به اصلاحاتی بر اساس شرایط زمین شناسی و معدنکاری دارند.

**مراجع**

]1[ هادي پرمر؛ عليرضا یاراحمدي بافقی؛ مهدي نجفی؛ عليرضا جبين پور، مدلسازي نشست سطح زمين در اثر استخراج تخریب در طبقات فرعی (مطالعه موردي: آنومالی 12 معدن سه چاهون)، اولین کنفرانس ملی مدلسازی در مهندسی معدن و علوم وابسته،(1397).

[2] Waltham, A. C., (1989). *Ground Subsidence*, Chapman and Hall, New York, PP. 20

]3[ ابراهیم ابراهیمی؛ امیر اسکانلو؛ مسعود منجزی، ارائه مدلی برای پیش بینی نشست در معدن زغال سنگ پروده طبس، دومین کنگره ملی زغال سنگ ایران، (1393).

]4[ هادي پرمر؛ عليرضا یاراحمدي بافقی؛ مهدي نجفی، برآورد تجربی پارامترهاي نشست و تعيين منطقه تاثير در اثر استخراج آنومالی 12 معدن سنگ آهن سه چاهون به روش تخریب در طبقات فرعی، اولین کنفرانس ملی مدلسازی در مهندسی معدن و علوم وابسته،(1397).

[5] Peng, S.S., (1992). “ Surface Subsidence Engineering”, Society for Mining, Metallurgy and Exploration inc, Colorado.

[6] Cui, X.M., (2013). "*Prediction of surface subsidence due to underground mining based on the zenith angle",* International Journal of Rock Mechanics &Mining Sciences 60 246–252.

]7[ شريعت نيا م.ح، ويژگي هاي زمين شناسي گستره پروده از حوضه زغال دار طبس - ايران مركزي، فصلنامه علمي علوم زمين، شماره 15-16، ص 50-60، 1374.

]8[ گلزار هادي، کاني شناسي و ژئوشيمي زغال سنگ هاي منطقه مزينو طبس، پايان نامه کارشناسي ارشد، دانشکده علوم زمين، دانشگاه شهيد بهشتي، غير چاپ شده، ١٢١ ص، ١٣٨٥.

]9[ گلزار هادي، محمد يزدي و احمد خاکزاد، بررسي ماسرال ها و کاني هاي همراه زغال سنگ معدن مزينو طبس، مجموعه مقالات چهاردهمين همايش انجمن بلورشناسي و کانی شناسي ايران، دانشگاه بيرجند، ص 297-302، 1385.

[10] M., Yazdi, Geological properties of coals in the Mazino deposit, Tabas coalfield, Iran, International Earth Sciences Colloquium on the Aegean Regions, Turkey, IESCA-2005, pp.173; (2005).

[11] M., Yazdi, Geochemical properties of coals in the Mazino deposit, Tabas coalfield, Iran, 32nd International Geological Congress, Florence, Italy, Part2, pp.881; (2004).

]12[ حسین ملایمت، تخمین گازخیز ی در معدن زغال سنگ پرورده طبس با استفاد از شبکه عصبی مصنوعی ورگرسیون غیر خطی، اولین کنگره ملی زغال سنگ، دانشگاه شاهرود، .(1391)

[13] Suwansawat, S., (2002). ”Earth Pressure Balance (EPB)Shield Tunneling in Bangkok: Ground Response and Prediction of Surface Settlement Using Artificial Neural Network”. PhD thesis, MIT university.

[14] Migliazza et.al., (2009). ”Comparison of analytical method,3D FEM with experimental Subsidencs measurements resulting from the extension of the Milan underground”. journal of computers and Geotechnics, 36.

[15] Ahmadi, M. A., Zendehboudi, S., Lohi, A., Elkamel, A., & Chatzis, I. (2013). Reservoir permeability prediction by neural networks combined with hybrid genetic algorithm and particle swarm optimization. Geophysical Prospecting, 61(3), 582-598.

[16] Hassan, R., Cohanim, B., De Weck, O., & Venter, G. (2005). A comparison of particle swarm optimization and the genetic algorithm. Paper presented at the 46th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC structures, structural dynamics and materials conference.

[17] Ahmadi, M. A., & Golshadi, M. (2012). Neural network based swarm concept for prediction asphaltene precipitation due to natural depletion. Journal of Petroleum Science and Engineering, 98, 40-49.

]18[ مهدی بشیری؛ حسین کریمی، " کاربرد الگوریتم‌های ابتکاری و فرا ابتکاری در طراحی سیستم‌های صنعتی"، مرکز چاپ و انتشارات دانشگاه شاهد، (1392).

**Predict the subsidence in Tabas Parvadeh Coal Mine using Genetic Algorithm (GA)**

**Mohammadreza Ahmadi1\*, Mohsen Alebouyeh2, Majid Noorian-Bidgoli3**

1 Department of Mining Engineering, Faculty of Engineering, University of Kashan, Kashan, Iran. m.r\_ahmadi@grad.kashanu.ac.ir

2 Department of Mining Engineering, Faculty of Engineering, University of Kashan, Kashan, Iran. [mohsenalebouyeh@grad.kashanu.ac.ir](mailto:mohsenalebouyeh@grad.kashanu.ac.ir)

3 Department of Mining Engineering, Faculty of Engineering, University of Kashan, Kashan, Iran. noriyan@kashanu.ac.ir

|  |  |
| --- | --- |
| **Abstract** | **Keywords** |
| The phenomenon of land subsidence includes the collapse or subsidence of the earth's surface, which can have a small amount of horizontal displacement, and this movement is not limited in terms of intensity, extent and amount of affected areas. Ground level subsidence is one of the undesirable problems of underground mining, especially in caving extraction methods. The subsidence of a deformation is dependent on the topography time of the earth surface caused by the movement of the overburden on empty spaces , such as the spaces created by underground mining. The final profile of the ground - level subsidence in the longwall method in sloping coal layers is significantly different from the horizontal layers and hence , the prediction methods demand a special subsidence .The prediction of this phenomenon is especially importance when a structure is located in the impact area of the subsidence . So far , many empirical methods have been presented to predict the subsidence , but these methods are uncompromising for different mining and geological conditions . In order to predict the subsidence rate, due to the frequency of effective parameters in the occurrence of this phenomenon as well as non-linear and complex relationships among them, intelligent methods such as artificial neural networks, meta-heuristic algorithms, fuzzy logic, etc. can be used. In this study, to investigate the effect of upper levels parameters of coal layer including elasticity modulus, tensile strength, depth, poisson ratio, cohesion rate and uniaxial compressive strength of rock mass on the subsidence rate of ground level in Tabas Mazino coal longwall mine, two models the subsidence is presented using genetic algorithm (GA) and linear regression analysis. The results of the validation show that the model of genetic algorithm ( GA ) is more accurate than linear regression for subsidence prediction. | Ground Level Subsidence  Caving  Longwall Mining Method  Genetic Algorithm (GA) |