

## مطالعات امکان‌سنجی و انتخاب روش بهینه استخراج (با نگرشی به کانسار سرب نیگنان بشرویه)

محمد امین زارعی درمیان<sup>۱</sup>؛ محمد رضا بصیرنژاد<sup>۲</sup>؛ محمد جوانشیرگیو<sup>۳</sup>

۱- کارشناس ارشد مهندسی معدن دانشگاه بیرجند، [Aminz4811@yahoo.com](mailto:Aminz4811@yahoo.com)

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی معدن دانشگاه بیرجند، [Mohammadreza.Basirnezhad62@gmail.com](mailto:Mohammadreza.Basirnezhad62@gmail.com)

۳- استادیار گروه مهندسی معدن دانشگاه بیرجند، [mjavanshir@birjand.ac.ir](mailto:mjavanshir@birjand.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۱/۲۰

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۱۶

### چکیده

مواد معدنی زیربنای اقتصاد و صنعت هر جامعه را تشکیل می‌دهند. انسان از همان آغاز آفرینش خود در طول تاریخ، برحسب نیازمندیها و شناخت، از مواد معدنی استفاده می‌کرده است. اکنون نیز از تمامی مواد معدنی به حالت‌ها و شیوه‌های گوناگون بهره‌برداری می‌نماید. به سخن دیگر، همین مواد معدنی هستند که پایه و اساس تمدن را تشکیل می‌دهند. در این مطالعه، به منظور مدل‌سازی کانسار سرب نیگنان و با استفاده از اطلاعات اکتشافی موجود، محدوده کانسار توسط نرم‌افزار Surpac 6.2 در هر مقطع تعیین گردیده و سپس با در نظر گرفتن موقعیت و رفتار گسل‌ها، اتصال این مقاطع به یکدیگر صورت گرفته و پوسته توخالی واحد سرب و نقره ایجاد شده است. به منظور پیش‌بینی انتخاب بهترین روش استخراج برای معدن زیرزمینی، با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، ابتدا پارامترهای مؤثر بر انتخاب نوع روش به منظور ساختار شبکه انتخاب و سپس به شبیه‌سازی برای دستیابی به شبکه بهینه پرداخته می‌شود. با توجه به محاسبات انجام شده، بهترین روش، روش استخراج انباره‌ای برای استخراج معدن خواهد بود. برنامه پروژه که شامل اجرا، ظرفیت یا وسعت، محدوده کار، منابع لازم و فناوری مناسب، روش‌های انجام کار، بودجه و زمان‌بندی پروژه، محصول نتایج مطالعات امکان‌سنجی است. مطالعات امکان‌سنجی، بسته به تناسب بزرگی و پیچیدگی و موقعیت هر پروژه، توسط یک گروه کارشناسی انجام می‌گردد.

**کلمات کلیدی:** "مدل‌سازی"، "امکان‌سنجی"، "شبکه عصبی"، "سرب نیگنان".

### ۱- مقدمه

سرمایه‌گذاری و جذب فن‌آوری‌های پیشرفته میسر نیست. شواهد و آثار فراوانی وجود دارد که پیشینه معدنکاری از جمله استحصال سرب در ایران را بیش از ده قرن پیش نشان می‌دهد. حال صرفنظر از دلایل رکود معدنکاری (فلزی) در طی قرن اخیر در کشورمان، عواملی نظیر رونق فعالیت‌های معدنکاری و اکتشافی در چند سال اخیر، نیاز مبرم کشور به مواد معدنی به عنوان زیربنای صنعت کشور، اشتغال‌زایی و ... نوید آن را می‌دهند که می‌توانیم دوباره یک دوران شکوفایی در امر معدنکاری در کشور را شاهد باشیم.

بخش معدن در برگیرنده طیف بسیار گسترده‌ای از مزیت‌های اقتصادی و اجتماعی است که هم از نظر تأمین نیازهای ارزی کشور مطرح است و هم از حیث پشتیبانی طرحها و برنامه‌های توسعه کشور حائز اهمیت می‌باشد. ایران بیش از ۲۴ میلیارد تن ذخایر شناخته شده معدنی دارد که نوعاً در مناطق محروم و دورافتاده کشور قرار دارند. به همین سبب باید انتظار داشت که با اکتشاف و بهره‌برداری از هر معدن، منطقه‌ای محروم و دورافتاده به رشد اقتصادی و آبادانی برسد. تحقق این مهم، جز به کمک

مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ قرار دارد. در شکل ۱ موقعیت ماهواره‌ای محدوده نمایش داده شده است.

منطقه مورد مطالعه، در استان خراسان جنوبی و در فاصله ۵۵ کیلومتری شمال شهرستان بشرویه و ۱۰ کیلومتری شمال روستای نیگنان واقع شده است و از لحاظ تقسیمات کشوری تابع شهرستان بشرویه می‌باشد. این محدوده در غرب نقشه توپوگرافی فردوس با



شکل ۱- موقعیت ماهواره‌ای محدوده مورد مطالعه

## ۲- روش انجام تحقیق

S55E و امتداد دستگاه S35W حفر شده است. با توجه به مطالعات گمانه، لیتولوژی غالب، بیشتر شامل شیلهای آهکی به رنگ نخودی تا قهوه‌ای که در برخی نقاط هوازده شده‌اند، می‌باشد و در عمق، گاهی رگه‌های کلسیتی و سیلیسی دیده می‌شود. شکل ۲ نمایی از رگه اصلی (گالن) در گمانه شماره ۲ را نشان می‌دهد (گزارش پایانی اکتشاف، ۱۳۹۲).

در این محدوده، ۱۶ گمانه اکتشافی حفر گردیده و شرح کامل و تفصیلی نمونه‌های برداشته شده از حفاریات سطحی، در گزارش اکتشاف مرحله نیمه تفصیلی محدوده آورده شده است و لذا در این مرحله به منظور نتیجه‌گیری و تعبیر و تفسیر نهایی، از تمام داده‌ها استفاده و به توضیح تعدادی از این نمونه‌ها اکتفا می‌نماییم. گمانه شماره ۲ بر روی امتداد گسل اصلی محدوده حفر شده است. موقعیت جغرافیایی دهانه گمانه ۵۲۹۲۴۷، ۳۸۰۲۹۱۳ می‌باشد. این گمانه به عمق ۵۸/۹ متر، زاویه ۱۰ درجه و امتداد حفاری



شکل ۲- نمایی از رگه اصلی (گالن) در گمانه شماره ۲

نتایج آنالیز این نمونه‌ها به همراه عمق، در جدول شماره ۱ ذکر شده است.

جدول ۱- نتایج آنالیز و عمق مربوط به نمونه‌های گمانه شماره ۲ (گزارش پایانی اکتشاف، ۱۳۹۲)

عناصر		عمق (متر)	شماره نمونه	ردیف
Ag (ppm)	Pb (%)			
۰,۲۱	۰,۰۶	۴۹,۹-۵۰,۹	1A	۱
۰,۴۱	۰,۱۸	۵۰,۹-۵۳,۱۰	2A	۲
۸۰,۱	۲۵,۷۱	۵۳,۱۰-۵۳,۷	3A	۳
۵	۱,۵۶	۵۳,۷۰-۵۵,۵۰	4A	۴
۲,۴	۰,۲۸	۵۵,۵۰-۵۷	5A	۵
۱,۲	۰,۲۶	۵۷,۳۰-۵۸,۹۰	6A	۶

## ۱-۲- مدل‌سازی اندیس سرب نیگنان

### الف- ساخت پوسته ماده معدنی

در ابتدا، به منظور مدل‌سازی کانسار و با استفاده از اطلاعات اکتشافی موجود، محدوده کانسار توسط نرم‌افزار Surpac 6.2 در هر مقطع تعیین گردیده و سپس با در نظر گرفتن موقعیت و رفتار گسل‌ها، اتصال این مقاطع به یکدیگر صورت گرفته و پوسته توخالی واحد سرب و نقره ایجاد شده است. به منظور محاسبه امتداد و شیب لایه، مرکز بخش کانی‌سازی در هر گمانه تعیین و با استفاده از روش کمترین مربعات صفحه‌ای، این نقاط برازش شده‌اند. در این برازش،  $R=0.96$  و مشخصات صفحه به صورت N40E/75NW به دست آمد که به عنوان میانگین امتداد و شیب لایه در نظر گرفته شده است. حال بر همین اساس، نمایی از مدل سه‌بعدی کانسار در شکل‌های ۳ و ۴ مشاهده می‌شود.

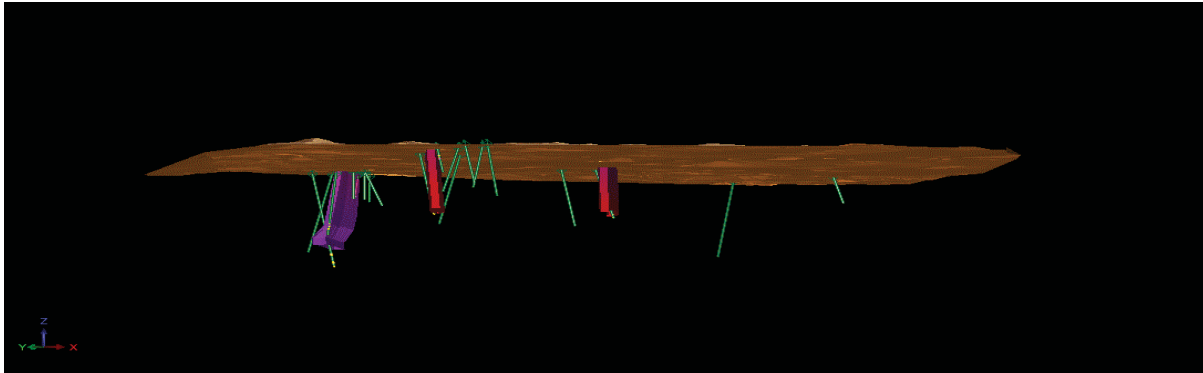
### ب- تحلیل آماری داده‌ها

در این محدوده، عملیات کامپوزیت کردن داده‌ها بر اساس حفريات اجرا شده (شامل ۱۶ گمانه اکتشافی، به همراه ۲۵ ترانسه اکتشافی) صورت گرفته است که بر این اساس، مجموعاً تعداد ۱۵ کامپوزیت ساخته شده است و برای هر یک از آنها عیار Pb و Ag (به عنوان ماده معدنی) تعیین شده است.

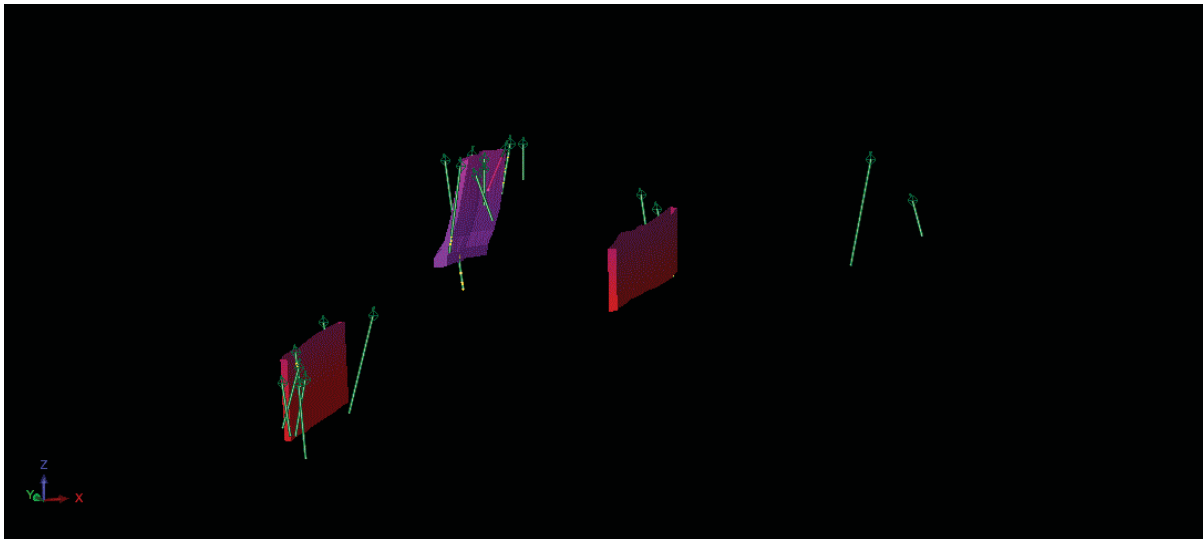
### پ- تحلیل ساختاری

در این مرحله که مهمترین مرحله تخمین ذخیره است، ساختار فضایی کمیّت مورد تخمین، باید مشخص شود. در روش‌های تخمین زمین‌آماري، همبستگی داده‌ها را در نظر می‌گیرند.

واریوگرام، مهم‌ترین ابزار نمایش همبستگی‌های فضایی بین داده‌هاست. به منظور بررسی وجود ناهمسانگردی در کانسار مورد



شکل ۳- مدل سه‌بعدی کانسار (توپوگرافی، رگه‌های معدنی و گمانه‌های حفاری شده) دید به سمت شمال



شکل ۴- نمایی از مدل سه‌بعدی رگه‌های کانی‌سازی (دید به شمال)

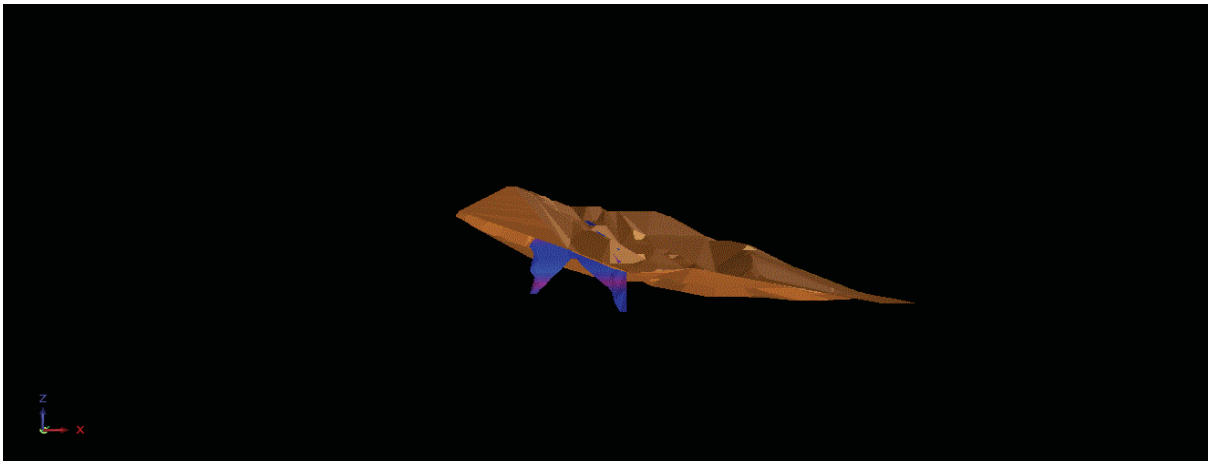
در جدول شماره ۲ نتایج محاسبه ذخیره اندیس سرب نیگنان به روش کریجینگ ارایه شده است.

مطالعه، پس از چرخش محورهای مختصات در جهت گسترش لایه، واریوگرام‌هایی در جهات ۳۰، ۴۰، ۹۰ و امتداد گمانه‌ها ترسیم شد. با توجه به واریوگرام‌های ترسیم شده، ناهمسانگردی هندسی مشاهده گردید، به طوری که شعاع تأثیر در جهت گسترش لایه (امتداد لایه)، به مراتب بیشتر از شعاع تأثیر در عرض لایه می‌باشد.

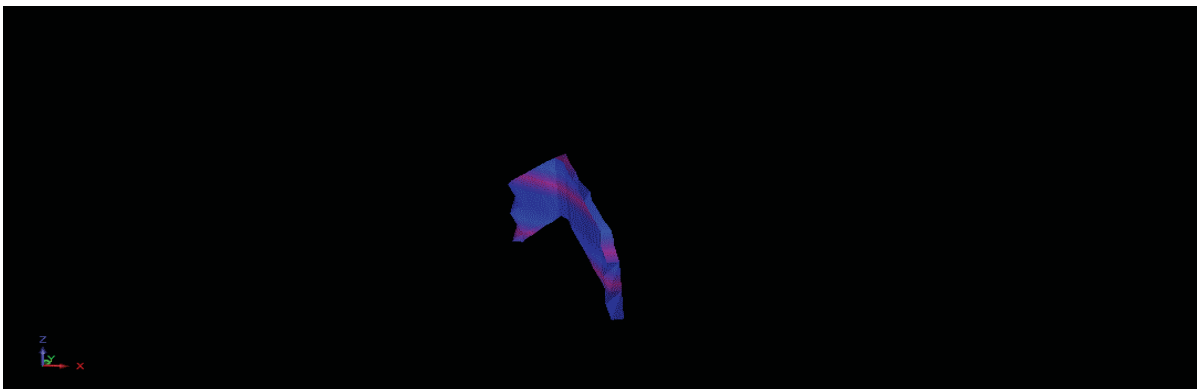
جدول ۲- محاسبه ذخیره اندیس سرب نیگنان به روش کریجینگ

سرب	حجم (تن)
۲-۰,۴	۲۷۵۱۲,۲۱۴
۲-۰,۴	۲۴۳۱۵,۵۲۲
۳۹-۵	۱۶۹۶,۸۴
جمع	۵۳۵۲۴,۵۱۷

نمایی از مدل سه‌بعدی کانسار، در شکل‌های شماره ۵ و ۶ مشاهده می‌شود.



شکل ۵- مدل سه‌بعدی کانسار (توپوگرافی، رگه معدنی) دید به سمت شمال



شکل ۶- نمائی از مدل سه‌بعدی رگه (دید به سمت شمال)

## ۲-۲- بازکردن معدن و انتخاب روش استخراج مناسب

معدن‌کاری یعنی خردکردن، شکستن و استخراج کردن کانه‌ها. البته انجام این کار بدون برنامه‌ریزی و طرح قبلی صورت نمی‌گیرد. ماده معدنی بلافاصله در محلی که اکتشاف شده، معدن‌کاری و استخراج نمی‌شود، بلکه همه کارها در یک ترتیب معین صورت می‌گیرند. این که تعداد محدودی از معدن‌چیان در یک مکان امکان کار دارند، کاملاً مشخص است و این تعداد محدود از معدن‌چیان امکان تولید مقدار محدودی از ماده معدنی را دارند. اگر تولید بیشتر مورد نظر باشد، بایستی تعداد گروه‌های معدن‌چینی را که هم‌زمان مشغول تولید هستند را افزایش داد، بدون اینکه این گروه‌ها در کار هم دیگر تداخل ایجاد کنند. از طریق هر راهرو حمل و نقل خاص، می‌توان ظرفیت معینی از ماده معدنی استخراج شده و مواد مورد نیاز در معدن‌کاری و همچنین حجم هوای مشخصی را منتقل کرد. استخراج ماده معدنی، بیشتر نیاز به راهروهای بیشتری دارد که ساختن آن نیاز به پیروی از یک طرح دقیق دارد. نه شکل حفاری و نه اندازه آن دلخواه نیست، در غیر این صورت، سقف آنها ریزش می‌کند و ادامه کار دیگر امکان‌پذیر نخواهد بود. مکانی که معدن‌کاری در حال جریان است، بایستی به آسانی قابل دسترسی باشد.

علاوه بر این، بایستی شرایط ایمنی برای معدن‌کاران، تهویه مناسب، زهکشی آب و به طور ویژه انتقال کانه‌های استخراجی فراهم شود. در انتهای مرحله اکتشاف، ذخیره معدنی باید به شکل

وسعی باز شود، به این معنی که این مرحله ذخیره را قابل دسترسی ساخته و به طور هم‌زمان آن را به بخش‌های مناسب تقسیم می‌کنند که در ادامه می‌تواند بر اساس یک طرح مناسب یکی پس از دیگری استخراج شوند. هدف اصلی این تقسیم‌بندی آن است که بخش‌هایی کاملاً مجزا از هم ساخته شود، به طوریکه:

- ۱- هر کدام به صورت کاملاً مجزا استخراج شوند.
- ۲- از هر کدام به طور جداگانه حمل و نقل انجام خواهد شد.
- ۳- تعداد معینی از معدن‌کاران در هر کدام از آنها به کار گرفته خواهد شد.
- ۴- ماده معدنی استخراج شده، به راحتی قابل جابجایی و حمل خواهد بود.
- ۵- بایستی به راحتی قابل دسترسی باشند.
- ۶- به طور کاملاً جداگانه تهویه شوند.
- ۷- تمامی تجهیزات و مواد مورد نیاز از جمله چوب، مصالح، ابزار، ماشین‌ها و غیره به آسانی به آنها قابل حمل باشند.
- ۸- همچنین در صورتی که کارگاه نیاز به پرکردن داشته باشد، مواد پرکننده مورد نیاز به آسانی قابل انتقال باشد.

شده با استفاده از نیروی وزن آن امکان‌پذیر خواهد بود. سپس ماده معدنی از طریق طبقه و میانبرها به سمت چاه حمل می‌شود. در یک بخش از پانل، مناسب نیست که ماده معدنی استخراج شده به سمت بالا حمل شود، چون همواره این کار بسیار مشکل خواهد بود و بندرت امکان آسانتر بودن حمل ماده معدنی در جهت بالا وجود دارد. ولی ما مجبور خواهیم بود در صورتی که بخشی از ذخیره به طبقه پایین‌تر دسترسی نداشته باشد، ماده معدنی را به سمت بالا حمل کنیم. دلیل این امر ممکن است بر اثر وجود گسل یا چین خوردگی یا رسیدن به محدوده معدن باشد یا این که حفر تونل طبقه پایین، بسیار گران‌تر از ایجاد طبقات فرعی در فضاهای کوچک باشد.

قانون چهارم: استخراج در بخش‌های مختلف به صورت افقی از سمت مرزها به سمت چاه انجام شود (پسرو)، اگر چه در برخی موارد، هم‌چنین ممکن است استخراج از چاه به سمت مرزها انجام شود (پیشرو). بهتر است معدن‌کاری از مرزهای معدن شروع شود. اولاً به منظور این که چاه و تجهیزات سطحی آن بتوانند تا آنجا که ممکن است در بالای منطقه تخریب نشده قرار گرفته و بنابراین تحت تأثیر منفی استخراج لایه‌های مجاور قرار نگیرند. تونل اصلی حمل و نقل که به کارگاه‌ها منتهی می‌شوند بتوانند در زمین تخریب نشده بمانند. وقتی از مرزها به سمت چاه معدن‌کاری می‌شود، به تونل‌ها در بخش‌های معدن‌کاری شده دیگر نیاز نیست و اجازه داده می‌شود تا تخریب شوند. اما اگر در خلاف جهت و از سمت چاه به سمت مرزها استخراج انجام شود، حمل و نقل از کارگاه‌هایی که استخراج نشده است بایستی توسط همین تونل‌ها که در بخش‌های استخراج شده قرار دارند انجام شود. بنابراین تونل‌ها بایستی در این مناطق تخریب شده باز نگهداشته شوند.

قانون پنجم: وقتی که لایه به سمت پایین شیب‌دار است، معدن‌کاران از طبقه بالا وارد کارگاه می‌شوند و آنها کارگاه را از طبقه پایینی ترک می‌کنند. وقتی که لایه افقی است کارگران از طریق طبقه پایینی و تونل شیب‌دار وارد می‌شوند، زیرا که این راحت‌ترین راه رسیدن به کارگاه استخراج است. طبقه پایینی معمولاً بهتر تجهیز شده است.

هر بخش، یک تولید معین دارند و همه بخش‌ها با هم تولید نهایی را تشکیل خواهند داد. برای تولید بیشتر، نیاز به تعداد بیشتری از بخش‌ها است که بایستی باز و برای معدن‌کاری آماده‌سازی شود. کار در یک بخش، نباید در بخش دیگر اختلال ایجاد کند. روش معدن‌کاری انتخاب شده، هم‌چنین روش بازکردن، روش تقسیم ذخیره و هم‌چنین آماده‌سازی‌های مورد نیاز برای کار را تعیین می‌کند. همه این فعالیت‌ها آماده‌سازی نامیده می‌شود. در اینجا چندین قاعده کاربردی اصلی که امروزه به طور کلی مراعات می‌شوند، ارائه می‌شود.

### الف- قوانین کاربردی

قانون اول: ذخیره به بخش‌های مجزا در جهت عمودی تقسیم‌بندی می‌شود، طبقات یا افق‌ها به وسیله ساختن میانبر از چاه و تونل‌های افقی از میانبرهای داخل ذخیره آماده‌سازی می‌شود و یک بخش پس از بخش دیگر معمولاً از بالا به پایین استخراج می‌شوند. حفر چاه بسیار گران تمام می‌شود و از این‌رو ابتدا بخش‌های موجود در عمق کم استخراج می‌شود و به تدریج و زمانی که استخراج از این افق در حال اتمام است به اعماق پیشروی می‌شود. به علاوه، در اعماق بیشتر، جمع‌آوری و پمپ کردن آب سخت‌تر و گران‌تر است. معمولاً استخراج از سطح شروع نمی‌شود، بلکه یک لنگه محافظتی برای جلوگیری از ورود آب به داخل معدن گذاشته می‌شود. اصولاً ماده معدنی در اکثر اوقات در سطح به دلیل هوازگی کم عیار است.

قانون دوم: ذخیره به وسیله تونل‌های افقی به بخش‌های مجزا (در ذخیره‌های جدولی، به صورت پانل‌های افقی که البته یکی زیر دیگری قرار دارد) تقسیم می‌شود یا در عرض آن و یا در جهت شیب معدن‌کاری انجام می‌گیرد، اما همواره پروسه معدن‌کاری به صورت افقی پیشروی می‌کند.

قانون سوم: ماده معدنی استخراج شده در پانل‌های مختلف، تا حد ممکن تا پایین‌ترین طبقه پانل که در مرز پایینی پانل است منتقل می‌شود. به وسیله شیب بیشتر ذخیره، انتقال ماده معدنی استخراج

## ب- ملزومات سطحی

۲- تا حد ممکن به راه‌آهن، جاده و خطوط نیرو نزدیک باشد.  
 ۳- مکان‌های مناسب، مطمئن و نزدیک برای دفع باطله‌های معدن و کارخانه وجود داشته باشد.

از ضروریات احداث یک فعالیت معدنی، تأمین مواد اولیه و دیگر منابع نظیر انرژی الکتریسته، آب، مجوزها، نیروی کار و بازار فروش است.

۴- منابع تأمین آب کافی وجود داشته باشد، یا سایتی برای احداث سد در نظر گرفته شود.

معیارهای اساسی مشابهی برای صنعت معدن‌کاری به کار گرفته می‌شود با یک تفاوت که: معدن مواد خام را خودش تهیه می‌کند، بنابراین معدن باید در نزدیکی کانسار ایجاد و هر چیز دیگری به پای معدن آورده شود. هر چند فاکتورها ارتباط نزدیکی با همدیگر دارند، لیکن باید به طور هم‌زمان مد نظر قرار گرفته باشند.

۵- ترجیحاً حوضچه‌های طبیعی برای ذخیره آب مورد نیاز پروسه فرآوری و تصفیه فاضلاب در سایت وجود داشته باشد.

۶- تأمین نیروی کار ترجیحاً دارای مسکن. در یک معدن و در اراضی به ابعاد ۸ در ۸ کیلومتر، آزادی عمل قابل توجهی برای جانمایی تأسیسات سطحی در کنار یک آبادی موجود وجود دارد.

## پ- انتخاب روش

۷- پیش‌بینی لازم جهت امکان توسعه آبی برای احداث کارخانه‌های تصفیه ثانویه (ذوب و پالایش) که نیازمند راه‌های حمل و نقل است.

انتخاب روش بازکننده در اغلب اوقات به صنعت وابسته است. در جایی که قسمتی از یک ذخیره لایه‌ای شکل، چه افقی و چه شیب‌دار در عمق کمتر از ۳۰۰ متر از سطح زمین مشاهده شود، به احتمال زیاد با دو تونل شیب‌دار باز می‌شود؛ یکی از آنها برای حمل ماده معدنی با نوارنقاله و دیگری برای جابجایی ریلی افراد و تجهیزات. از هر دو دریافت ممکن است برای تهیه استفاده شود و یا یک چاه کمکی رو به پایین یا بالا حفر شود تا از دریافت دوم برای آسانتر شدن عبور افراد و انتقال مواد استفاده بیشتری نمود. با گسترش معدن، چاه‌های بیشتری با ابعاد کوچک حفر و برای کاهش زمان جابجایی افراد با بالابر تجهیز می‌گردد.

## ث- انتخاب‌های مثبت

۱- تأسیساتی که نیاز به جای‌گذاری لنگه‌های حفاظتی دارند، بهتر است در مناطق دارای شرایط بد زمین‌شناسی جایابی شود. مانند گسل‌ها، لایه‌های نازک زغال، دایک‌ها و غیره.

۲- با در نظر گرفتن تناقضات حمل و نقل زیرزمینی و پرهیز از آن، لنگ‌ها در کم عمق‌ترین قسمت لایه‌های معدنی قرار داده شود، زیرا در این حالت لنگه‌ها کوچک‌ترین ابعاد را داشته و چاه قائم و رمپ کوتاه‌ترین طول را خواهد داشت.

## ت- جایابی سطحی

خلاصه‌ای از ملزومات عبارت است از:

۳- تأسیسات سطحی خارج از محدوده رخنمون یا بر روی کمر پایین ماده معدنی و خارج از محدوده نشست جایابی گردد.

۴- از احداث هر گونه تأسیسات سطحی در نزدیکی معدن خودداری گردد، اگر مواد معدنی به وسیله نوارنقاله یا کامیون به تأسیسات مرکزی به خارج از محدوده معدن حمل گردد، هزینه‌های کل مجتمع می‌تواند کمتر شود. نوارنقاله نباید تحت تأثیر نشست

۱- برای ایجاد تأسیسات معدن، بایستی به اندازه کافی زمین مسطح و مناسب و یا ناهمواری که با پرکردن به آسانی هموار گردد، وجود داشته باشد. مقدار واقعی این اراضی بعد از طراحی معدن محاسبه می‌شود، ولی بدون در نظر گرفتن خانه‌ها در حدود ۱۰ تا ۱۰۰ هکتار است. در طرح باید جایابی برای محل انباشتگاه‌ها و خطوط راه‌آهن و ایستگاهها لحاظ شود. طرح نهایی می‌تواند چهارگوش، نواری یا مستطیل باشد.



قرارگیرد. چاه باید نقاط تقویتی و جک گذاری در زیر دکل‌ها داشته و ساختمان‌ها باید انعطاف پذیرتر باشند. بین ۴۰ تا

۱۰۰ درصد کانه در زیر ساختمان‌های سطحی مانند رختکن قابل استخراج خواهد بود.

مواردی که باید از آنها اجتناب نمود:

۱- عملیات حفر چاه در مناطقی که فاقد زمین‌شناسی مطلوب باشد، مشکل است.

۲- مناطق کم ارتفاع که مستعد هجوم سیلاب‌های فصلی هستند.

در بسیاری از موارد پیشنهاد شده که چاه قائم در مرکز ثقل ماده معدنی یا محدوده بهره‌برداری احداث شود. اما قبل از پذیرش این پیشنهاد، بایستی موضوع به طور دقیق مورد مطالعه و بررسی قرار بگیرد. مسأله اصلی در جایابی، کمینه کردن هزینه حمل و نقل سنگ و ماده معدنی است. به طور ریاضی چنین بیان می‌شود:

$$\frac{dH}{dX} = 0 \quad (1)$$

X دسته‌ای از فاکتورها و شامل فاصله حمل، روش حمل و نقل، شیب، تأثیرات زیست محیطی، تعداد نقاط تخلیه و بارگیری و H هزینه‌های حمل و نقل می‌باشد.

اگر طول جبهه کار L، تعداد پانل‌های موازی مجاور N، شیب لایه  $\alpha$  باشد، در این صورت فاصله طبقات مطابق فرمول (۲)  $L.N.Sina$  خواهد بود. فاصله افق‌ها می‌تواند از ۲۰۰ تا ۵۰۰ متر متغیر باشد.

فاصله بین طبقات به عوامل زیر بستگی دارد:

۱- زمین‌شناسی و اندازه ذخیره

۲- مقاومت دیواره‌ها و سقف

۳- روش‌های استخراج

۴- عمر دویل‌های کانه‌ریز (تخلیه)

۵- سرمایه در دسترس برای هر طبقه و ارتباط بین آنها

۶- راه دسترسی نیروی انسانی به معدن

۷- تکنولوژی موجود

۸- سهولت نقشه‌برداری و کنترل (شهریار، ۱۳۹۲).

### ج- روش‌های بدون نگهداری

روش‌های بدون نگهداری که بیشترین کاربرد را در معادن زیرزمینی دارند، به روش‌هایی اطلاق می‌شوند که ضرورتاً خودنگهدار هستند و نیازی به سیستم‌های نگهداری مصنوعی ندارند. در عمل، روش‌های بدون نگهداری به طور عمومی قابل کاربرد نیستند و در کانسارهای با کیفیت خوب و مقاوم مورد استفاده قرار می‌گیرند. روش‌های اتاق و پایه، کارگاه و پایه، انبارهای، استخراج از طبقات فرعی و VCR نمونه‌هایی از این دسته روش‌ها می‌باشند که روش اتاق و پایه و کارگاه و پایه برای کانسارهای کم شیب و روش انبارهای، استخراج از طبقات فرعی و VCR برای کانسارهای پرشیب به کار برده می‌شوند.

### ۲-۳- تحلیل داده‌ها با استفاده از شبکه‌های عصبی

شبکه‌های عصبی، سیستم‌ها و روش‌های محاسباتی جدید برای یادگیری ماشینی، نمایش دانش و در انتها اعمال دانش به دست آمده در جهت پیش‌بینی پاسخ‌های خروجی از سامانه‌های پیچیده هستند. ایده اصلی این گونه شبکه‌ها، تا حدودی برگرفته از شیوه کارکرد سیستم عصبی زیستی برای پردازش داده‌ها و اطلاعات به منظور یادگیری و ایجاد دانش قرار دارد. عنصر کلیدی این ایده، ایجاد ساختارهایی جدید برای سامانه پردازش اطلاعات است. این سیستم از شمار زیادی عناصر پردازشی فوق‌العاده بهم پیوسته با نام نورون تشکیل شده که برای حل یک مسئله با هم هماهنگ عمل می‌کنند و توسط سیناپس‌ها (ارتباطات

عنوان داده‌های آزمون مدل ساخته شده انتخاب می‌شود. به منظور آموزش شبکه عصبی با استفاده از نرم‌افزار MATLAB، شبکه پرسپترون چند لایه (MLP) مورد استفاده قرار می‌گیرد. فرآیند آموزش که شامل تغییر وزن‌ها بین لایه‌های مختلف در طول زمان آموزش است انجام می‌گیرد، تا جایی که تفاوت بین داده‌های واقعی و داده‌های پیش‌بینی شده به حداقل برسد.

کل داده‌های ورودی به عنوان داده‌های آموزشی و کل داده‌های خروجی به عنوان داده‌های آزمایشی قرار می‌گیرند. پس از انجام مراحل گفته شده، محیط مورد نظر شبیه‌سازی می‌شود.

شکل ۷ محیط شبیه‌سازی در شبکه عصبی متلب را نمایش می‌دهد. از مهم‌ترین عوامل تعریف شبکه‌های عصبی مصنوعی، به نحوه معماری آن‌ها می‌توان اشاره کرد. لایه ورودی شبکه‌های عصبی مصنوعی، داده‌ها را در شبکه توزیع می‌کند. لایه پنهان، که داده‌ها را پردازش می‌کند و لایه خروجی که نتایج را به ازای ورودی‌های مشخص استخراج می‌کند. به طور کلی، پیش‌پردازش متغیرهای ورودی، اثر مثبتی در عملکرد شبکه‌های عصبی داشته است (نوری و همکاران، ۱۳۸۸). شبکه‌ی عصبی برای هر ورودی، یک وزن تعیین می‌کند و سپس این وزن‌ها را با بایاس جمع کرده و از لایه‌های پنهان عبور می‌دهد. در این شبکه، تعداد ۱۰ لایه پنهان انتخاب شده است. در شکل ۸ شبکه عصبی در شش دوره آموزش لازم را دیده است و ۱ بار این داده‌ها را چک کرده است و به بهترین جواب ممکن دست پیدا کرده است.

شبکه عصبی برای کل ورودی‌ها و خروجی‌ها، یک ضریب همبستگی تعیین کرده و سپس یک ضریب همبستگی کل انتخاب می‌کند که توسط آن میزان دقت داده‌ها ثابت می‌شود. سیستم عصبی میزان همبستگی ورودی‌ها و خروجی را  $0/86183$  تخمین زده است که این میزان همبستگی به این معناست که داده‌ها دارای همبستگی خوبی هستند. شکل ۹ میزان همبستگی داده‌ها را نمایش می‌دهد.

با افزایش و کاهش تعداد نرون‌های مختلف، میزان ضریب همبستگی تغییر می‌کند. بهترین نتیجه، نتیجه‌ای است که دارای

الکترومغناطیسی)، اطلاعات را منتقل می‌کنند. در این شبکه‌ها، اگر یک سلول آسیب ببیند، بقیه سلول‌ها می‌توانند نبود آنرا جبران کرده، و نیز در بازسازی آن سهیم باشند. این شبکه‌ها قادر به یادگیری اند. یادگیری در این سیستم‌ها به صورت تطبیقی صورت می‌گیرد، یعنی با استفاده از مثال‌ها، وزن سیناپس‌ها به گونه‌ای تغییر می‌کند که در صورت دادن ورودی‌های جدید، سیستم پاسخ صحیحی تولید کند. توافق دقیقی بر تعریف شبکه عصبی در میان محققان وجود ندارد، اما اغلب آنها موافقت می‌کنند که شبکه عصبی شامل شبکه‌ای از عناصر پردازش ساده (نورونها) است، که می‌تواند رفتار پیچیده کلی تعیین شده‌ای از ارتباط بین عناصر پردازش و پارامترهای عنصر را نمایش دهد. در حالی که یک شبکه عصبی نباید به خودی خود سازگارپذیر باشد، استفاده عملی از آن به واسطه الگوریتم‌هایی امکان‌پذیر است، که جهت تغییر وزن ارتباطات در شبکه (به منظور تولید سیگنال مورد نظر)، طراحی شده باشد. در سال ۱۹۵۸ شبکه پرسپترون توسط روزنبلات معرفی گردید. این شبکه نظیر واحدهای مدل شده قبلی بود. پرسپترون دارای سه لایه می‌باشد، به همراه یک لایه وسط که به عنوان لایه پیوند شناخته شده است. این سیستم می‌تواند یاد بگیرد که به ورودی داده شده، خروجی تصادفی متناظر با آن را اعمال کند (Kasabov, 1998).

### ۳- نتایج

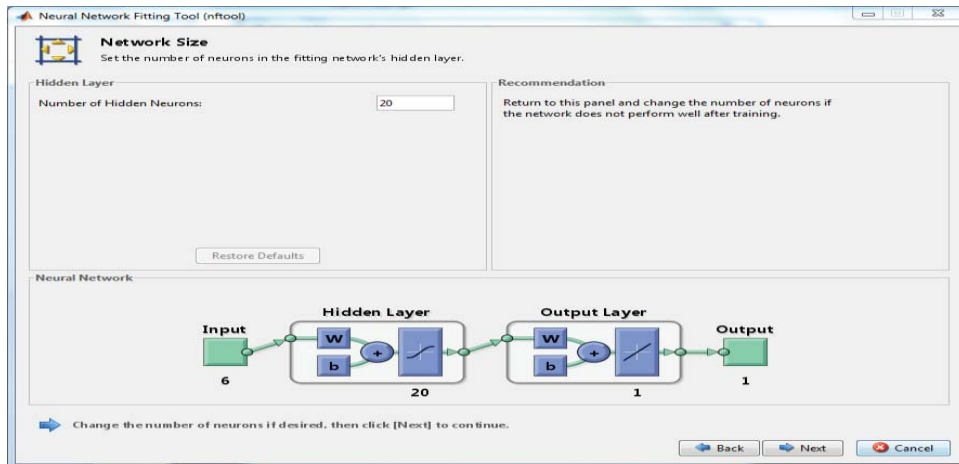
به منظور پیش‌بینی انتخاب بهترین روش استخراج برای معدن زیرزمینی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، ابتدا پارامترهای مؤثر بر انتخاب نوع روش به منظور ساختار شبکه انتخاب و سپس به شبیه‌سازی برای دستیابی به شبکه بهینه پرداخته می‌شود. در این طرح، در راستای مقایسه بهتر نتایج شبکه عصبی، شیب کانسار، هزینه تولید، مقاومت سنگ، عیار کانسار، عمق و نرخ تولید به عنوان پارامترهای ورودی و نوع روش استخراج به عنوان پارامتر خروجی شبکه در نظر گرفته شده است. ۷۵ درصد داده‌ها جهت آموزش مدل، ۱۵ درصد جهت انجام فرآیند اعتبار سنجی و ۱۰ درصد به

روش استخراج اندازه‌گیری شده، روش استخراج پیش‌بینی شده به دست خواهد آمد. به طور میانگین، روش استخراج پیش‌بینی شده توسط شبکه‌های عصبی برابر با ۱/۱۴ محاسبه گردیده است. در جدول ۴ نوع روش استخراج پیش‌بینی شده در شبکه عصبی بیان شده است.

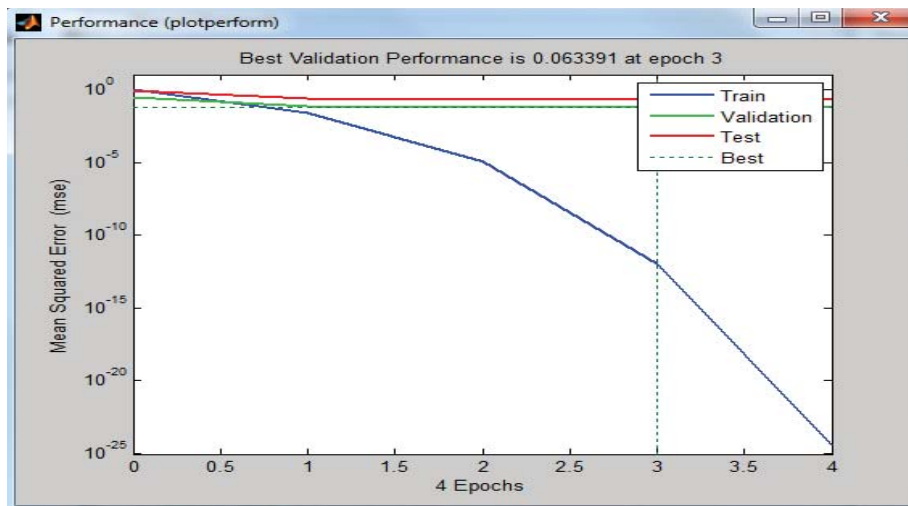
$$E = 0.82 \times W1 + 0.33 \quad (2)$$

بیشترین ضریب همبستگی باشد. در جدول ۳ ضرایب همبستگی قابل مشاهده است.

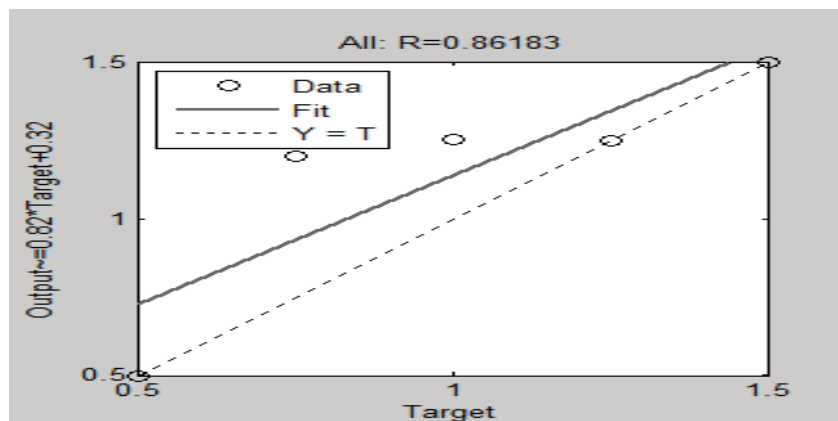
اکنون می‌توان پارامترهای ورودی را به شبکه داده و نوع روش استخراج را تخمین زد. در شرایط مشابه، نوع روش استخراج پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی با تعداد ۱۰ نرون برابر با رابطه ۱ می‌باشد. جدول ۴ نوع روش استخراج پیش‌بینی در شبکه عصبی را نمایش می‌دهد. در این رابطه E نوع روش استخراج پیش‌بینی شده و W1 نوع روش استخراج اندازه‌گیری شده می‌باشد. با جای‌گذاری مقدار



شکل ۷- محیط شبیه‌سازی در شبکه عصبی توسط نرم‌افزار متلب



شکل ۸- نتایج آموزش در محیط عصبی نرم افزار متلب



شکل ۹- میزان همبستگی داده‌ها

جدول ۳- مقایسه‌ی نرون‌های مختلف در شبکه عصبی

ردیف	تعداد نرون	ضریب آموزش	ضریب اعتبارسنجی	ضریب آزمایش	ضریب مجموع
۱	۱۰	۱	۰/۸۳۴۱۲	۰/۹۱۵۶۲	۰/۸۰۹۴۷
۲	۱۵	۱	۰/۸۴۴۷۶	۰/۸۱۲۴۱	۰/۹۳۹۰۶
۳	۱۷	۱	۰/۷۹۸۷۱	۰/۸۹۶۰۲	۰/۹۷۸۱۷

۰/۳۹۰۵	۰/۸۸۴۳۲	۰/۹۱۲۱۹	۱	۱۴	۴
--------	---------	---------	---	----	---

جدول ۴- نوع روش استخراج پیش‌بینی شده در شبکه عصبی

مقدار پیش‌بینی شده	مقدار در نظر گرفته شده	نوع روش	ردیف
۰/۷۳	۰/۵	اتاق و پایه	۱
۰/۹۳۵	۰/۷۵	کارگاه و پایه	۲
۱/۱۴	۱	استخراج از طبقات فرعی	۳
۱/۳۴۵	۱/۲۵	VCR	۴
۱/۵۵	۱/۵	انباره‌ای*	۵

(۱۳۹۱). دستورالعمل طراحی و اجرای سیستم‌های نگهداری تونل - های معدنی، ۱۳۸۹، راهنمای انتخاب روش استخراج ذخایر معدنی، ۱۳۹۴، زارعی درمیان، ۱۳۹۴، شهریار، ۱۳۹۲، طرح طبقه‌بندی وضعیت ایمنی، ۱۳۸۸، عطائی، ۱۳۸۴، کرمی‌فرگ و همکاران، ۱۳۹۵، مقررات و آئین‌نامه ایمنی در معادن، ۱۳۹۰، یآوری، ۱۳۸۶، (Popov, 1971). در جدول ۵ برنامه پیشنهادی زمان‌بندی اجرای طرح معدن زیرزمینی سرب نیگنان بیان شده است.

با توجه به محاسبات انجام شده، بهترین روش، روش استخراج انباره‌ای برای استخراج معدن خواهد بود.

### ۳-۱- معرفی روش استخراج انباره‌ای

روش انباره‌ای یکی از روش‌های بدون نگهداری می‌باشد که برای استخراج کانسارهای طلا، نقره، سرب، مس، روی، نیکل و سنگ‌آهک مورد استفاده قرار می‌گیرند. جهت استخراج به سمت بالاست و جبهه‌کار روی سر و به بالا حرکت خواهد کرد. در روش استخراج انباره‌ای، کانسنگ در برش‌های افقی استخراج و مواد خرد شده برای نگهداری موقت دیواره‌ها و ایجاد یک سکوی کاری برای

پرسنل، در کارگاه باقی گذاشته می‌شود. این روش برای کانسارهای رگه‌ای با ضخامت ۱ تا ۳۰ متر مناسب است (حسینی و همکاران،

جدول ۵- برنامه پیشنهادی زمان‌بندی اجرای طرح معدن زیرزمینی سرب نیگنان

سال سوم	سال دوم	سال اول	شرح عملیات
		*	بررسی محل‌های مناسب جهت نصب ماشین‌آلات معدنی
		*	باطله‌برداری و آماده‌سازی محل‌های انتخاب شده
*	*	*	اقدام به تهیه و خریداری ماشین‌آلات و لوازم مورد نیاز
		*	ایجاد تأسیسات مورد نیاز
		*	نصب و راه‌اندازی ماشین‌آلات و دستگاه‌های خریداری شده
		*	شروع عملیات استخراج توسط دستگاه‌های نصب شده
*	*	*	جمع عملیات

#### ۴- نتیجه‌گیری

مطالعات امکان‌سنجی، بسته به تناسب بزرگی و پیچیدگی و موقعیت هر پروژه، توسط یک گروه کارشناسی انجام می‌گردد. به منظور بررسی امکان‌پذیری یک طرح معدنی، مطالعاتی مورد اجرا در می‌آید که در آن‌ها یک پروژه معدنی از جنبه‌های گوناگون مورد بررسی قرار می‌گیرد و در آن دورنمایی از آنچه به واقع پروژه معدنی با آن روبرو خواهد شد، به نمایش در می‌آید. تهیه چارچوبی استاندارد که بتواند ضمن بررسی جنبه‌های گوناگون این مطالعات، امکان ارائه گزارشی مستدل و قابل قبول را فراهم نماید. بر اساس مطالعات مختلف اکتشافی، زمین‌شناسی و فنی و اقتصادی انجام شده، پروژه بازگشایی معدن سرب نیگنان بشرویه از نظر اقتصادی مقرون به صرفه خواهد بود و باعث ایجاد اشتغال پایدار خواهد شد.

در این مطالعه، در راستای مقایسه بهتر نتایج شبکه عصبی، شیب کان سار، هزینه تولید، مقاومت سنگ، عیار کان سار، عمق و نرخ تولید به عنوان پارامترهای ورودی و نوع روش استخراج به عنوان پارامتر خروجی شبکه در نظر گرفته شده است. ۷۵ درصد داده‌ها جهت آموزش مدل، ۱۵ درصد جهت انجام فرآیند اعتبارسنجی و ۱۰ درصد به عنوان داده‌های آزمون مدل ساخته شده انتخاب می‌شود و در نهایت، روش استخراج انباره‌ای پیشنهاد می‌گردد. مطالعات امکان‌سنجی، غالباً با تشخیص مالک محدوده معدنی یا سرمایه‌گذار آغاز می‌گردد. برنامه پروژه که شامل اجراء، ظرفیت یا وسعت، محدوده کار، منابع لازم و فناوری مناسب، روش‌های انجام کار، بودجه و زمان‌بندی پروژه، محصول نتایج مطالعات امکان‌سنجی است.

## ۵- منابع

- حسینی، س.م، میکائیل، ر.، حسینی، س.ع.ا، عطایی، م.، ۱۳۹۱. ارائه یک اندیس جدید به منظور ارزیابی قابلیت مکانیزاسیون لایه‌های زغالی معدن زغال‌سنگ طزره، نشریه زمین‌شناسی ژئوتکنیک (زمین‌شناسی کاربردی).
- دستورالعمل طراحی و اجرای سیستم‌های نگهداری تونل‌های معدنی (برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدنی)، ۱۳۸۹. وزارت صنایع و معادن.
- راهنمای انتخاب روش استخراج ذخایر معدنی، ۱۳۹۴. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور.
- زارعی درمیان، م.ا، ۱۳۹۴. مطالعات امکان‌سنجی ذخیره شیل کوه کمر سفید، با تأکید بر نتایج تست کاربردی و آنالیزهای دستگاهی، ماهنامه توسعه معادن (ماهنامه مهندسی- پژوهشی، اقتصادی)، شماره ۵۸.
- شهریار، ک، ۱۳۹۲. معدن‌کاری زیرزمینی پیه شرقته (جزوه درسی)، فصل چهارم (آماده‌سازی و بازکردن معدن)، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- طرح طبقه‌بندی وضعیت ایمنی معادن زغال‌سنگ استان کرمان، ۱۳۸۸. وزارت کار و امور اجتماعی.
- عطایی، م.، ۱۳۸۴. معدن‌کاری زیرزمینی، جلد اول، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.
- عطایی، م.، ۱۳۸۴. معدن‌کاری زیرزمینی، جلد دوم، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.
- کرمی‌فرگ، ی.، زارعی درمیان، م.ا، جوان شیرگیو، م، جوان شیر مقدم، ع.ر، ۱۳۹۵. مطالعات امکان‌سنجی تونل شماره ۲۰ یال شرقی معدن زغال‌سنگ همکار راور (با رویکرد برنامه‌ریزی پروژه و عملکرد صحیح)، ماهنامه توسعه معادن (ماهنامه مهندسی- پژوهشی، اقتصادی)، شماره ۷۲.
- گزارش پایانی اکتشاف، ۱۳۹۲. سرب نیگنان، سازمان صنعت، معدن و تجارت خراسان جنوبی.
- مقررات و آیین‌نامه ایمنی در معادن، ۱۳۹۰. شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران.
- نوری، ا.، فرخ‌نیا، ا.، مرید، س.، ریاحی مدوار، ح.، ۱۳۸۸. تأثیر پیش‌پردازش متغیرهای ورودی به شبکه عصبی برای پیش‌بینی جریان ماهانه با آنالیز مولفه‌های اصلی و موجک، نشریه علمی-پژوهشی آب و فاضلاب، دوره ۲۰، شماره ۱.
- یآوری، م.، ۱۳۸۶. اصول مهندسی معدن، (ترجمه کتاب هوارد ال. هارتمن)، انتشارات دانشگاه صنایع و معادن ایران.

-Kasabov, N. K., 1998. Foundations of Neural Networks, Fuzzy Systems, and Knowledge Engineering, The MIT Press.

-Popov, G., 1971. The Working Of Mineral Depos