بلور

سال نوزدهم
شماره ۳۷
پاییز ۹۵

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

فراخوان مقاله

موضوعات محوری

*اکتشاف معدن: دورسنجی، زمین شناسی اقتصادی، ژئوفیزیک

*استخراج معدن: طراحی، برنامه ریزی تولید، آماده سازی، حفاری و آتشباری، خدمات فنی، ترابری، تهویه

*فرآوری: خردایش، طبقه بندی، روش های جدایش و تغلیظ مواد معدنی، کنترل و مدلسازی سیستم های فرآوری، نانومینرال ها، بازیافت

*مکانیک سنگ ژئوتکنیک: تحلیل پایداری، ابزار سنجی و رفتارسنجی، سدسازی و تونل زنی، دینامیک سنگ، حفاری مکانیزه، مهندسی تزریق، نگهداری فضاهای زیرزمینی

*نفت: اکتشاف، حفاری، مهندسی مخازن، پتروفیزیک، ژئوفیزیک نفت، ژئوشیمی نفت

*زمینه های مرتبط، مدیریت، محیط زیست، مطالعات راهبردی، اقتصاد معدنی، ایمنی و بهداشت، خسارتهای معدن

*موضوعات بنیادی و جدید: نانو تکنولوژی، بیوتکنولوژی، زلزله، بهسازی زمین، آموزش و پرورش، نانومینرال ها، آلیاژ های مکانیکی، فعالسازی مکانیکی کانی ها

www.sam.aut.ac.ir
blour@aut.ac.ir

بسم الله الرحمن الرحیم

فصلنامه علمی، تخصصی مهندسی معدن
دانشجویان دانشگاه صنعتی امیرکبیر
سال نوزدهم، شماره ۳۷، پاییز ۹۵
تیراژ ۱۰۰۰
قیمت ۵۰،۰۰۰ ریال

این نشریه در پایگاه اطاعاتی "مرجع دانش، CIVILICA " نمایه سازی می شود، نقل مطالب نشریه با ذکر ماخذ بلامانع است.

فهرست

سرمقاله ۲

مقالات پژوهشی

تخمین هزینه های بازسازی و بررسی تاثیر آن بر محدوده نهایی معادن روباز ۳
پیش‌بینی ماکزیمم نشست سطح زمین در مسیر تونل خط ۲ متروی مشهد با استفاده از نرم‌افزار PLAXIS ۹
شبیه‌سازی فرآیندهای شناورسازی کانسنگ مس سولفیدی به‌وسیله نرم‌افزار ARENA ۱۷
خوشه بندی عصبی- فازی تعداد میانگین وایازی (NFCMR) مطالعه موردی : رسوبات آبراهه ای غرب بیرجند ۲۳

مقالات گردآوری

نگاهی بر مغناطیس‌سنجی و کاربردهای آن ۲۷
کارآیی تونلسازی با چند سینه کار - بررسی عددی سه بعدی ۴۱
مرجع نویسی در متون علمی ۵۴

معرفی

معرفی کتاب زمین لغزش، شناسایی؛ پیشگیری؛ اقدام و بهسازی ۵۶
معرفی نرم افزار کامفار COMFAR ۵۷
معرفی کانی ۵۸
معرفی سایت ۶۰
معرفی چهارمین همایش بین المللی انجمن تولیدکنندگان و صادرکنندگان سنگ آهن ایران ۶۱
بررسی تغییرات و تحلیل کنکور کارشناسی ارشد مهندسی معدن ۶۳
گزارش فعالیت های یکساله انجمن علمی مهندسی معدن دانشگاه صنعتی امیرکبیر دوره یازدهم ۶۵

مصاحبه

گفتگو با مهندس مهرداد شکوهی، مدیرعامل سازمان نظام مهندسی معدن استان تهران ۶۷

صاحب امتیاز: **انجمن علمی دانشجویی دانشکده مهندسی معدن دانشگاه صنعتی امیرکبیر**
مدیر مسئول: **سیاوش ابراهیم پور**
سردبیر: **احسان آزاد**

مشاوران علمی:
دکتر اردشیر هزارخانی (عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر)، **دکتر حسین حسنی**(عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر)، **دکتر علی پرهیزکار میاندهی** (عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان)، **دکتر امیرحسین بانگیان** (عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب)، **دکتر رضا شکور شهابی** (عضو هیئت علمی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین)، **دکتر رضا روکی** (عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی بیرجند).

هیات تحریریه:
احسان آزاد، مهدی رحمانپور، مصطفی قدس، حسین حمداد فرامرزی، عادل شیرازی، عارف شیرازی، بشیر شکوه سلجوقی، سید رضا مشهدی، مهدیار درگاهی، سینا رستم‌آبادی، امیرمحمد غلامیان ابهری، میلاد رحیمی، رضا نبی زاده، محمد عنایتی نجف‌آبادی، امیرحسین بدرالدینی، سیاوش ابراهیم پور

امور مالی: امیرحسین بدرالدینی | **طراح : آرش قاسمیان** | **مسئول ارتباط با صنعت: بیژن پیک**
مسئول روابط عمومی: میلاد رحیمی | **تبلیغات: مرجان فضلی**

فعالیت دانشجویی، یک فرصت!!

احسان آزاد/سردبیر

دوران دانشجویی یک دوران طلایی در زندگی فرد بوده و تاثیر زیادی در شکل گیری شخصیت اجتماعی او در آینده می‌گذارد. این دوران با فراز و نشیب های زیادی رو به رو بوده و شاید بتوان گفت آنچه در کنار هدف اصلی ورود به دانشگاه؛ آموزش، موجب ایجاد انگیزه مضاعف در فرد می-شود، انجام فعالیت های فوق برنامه ای بوده که در سال های اخیر به دلیل مشکلات مختلف اقتصادی، اجتماعی و مانع تراشی های مختلف، در بین دانشجویان بسیار کمرنگ تر شده و به سمتی پیش می رویم که شاید در سال های آتی دیگر شاهد آن شور و اشتیاق نباشیم.

به طور کلی فعالیت های دانشجویی را می توان در قالب فعالیت تشکل های علمی، فرهنگی، سیاسی و صنفی دسته بندی کرد که هر شخص با توجه به علایق و پیشینه های خود به یکی از این گرایش‌ها کشیده می شود. هستند کسانی که همانند آنچه گفته شد خود را در هیچ یک از این دسته بندی ها قرار نمی دهند و این نشان از بی دغدغه بودن فرد داشته که موجب عدم رشد و بینش اجتماعی فرد و در نگاهی دیگر عدم مسئولیت‌پذیری فرد در جامعه می باشد که ریشه این امر را می توان در دلایل ذکر شده در بالا یافت.

و اما آنچه در این مجله موضوعیت می‌یابد فعالیت های علمی در دوران دانشجویی است که مطابق ساختاری که در دانشگاه‌ها برای آن بیان شده متولی اصلی این گونه بحث‌ها، انجمن های علمی دانشجویی در هر رشته بوده **که البته موازی کاری های متعددی در این زمینه از جانب سایر تشکل‌های غیرعلمی دیده می شود** که جای بسی تعجب دارد که به نظر نویسنده نیازمند بازنگری در قوانین و حوزه های تعریف شده برای تشکل ها از سوی معاونت فرهنگی دانشجویی دانشگاه‌ها است.

فعالیت های علمی را می توان به شکل **فرصتی برای تعامل و ارتباط هرچه بیشتر با اساتید، صنعتگران و افراد موفق** در حوزه های علمی و دانشجویان دیگر، فراتر از آنچه در واحدهای درسی به دنبال آن بودیم، قلمداد کرد. به این صورت است که شخصیت علمی و اجتماعی فرد رشد می یابد و می تواند زمینه‌ساز اولیه موقعیت های شغلی باشد. دانشجویان بسیاری در سال های گذشته به این شکل بهره برده اند و در حال حاضر در موقعیت های شغلی بسیار مناسبی قرار گرفته اند که موجب افتخار انجمن‌های علمی دانشجویی و دانشگاه شده اند.

خوشبختانه دانشگاه صنعتی امیرکبیر همواره در زمینه فعالیت های علمی دانشجویی گوی سبقت را از سایر رقیبانش ربوده و بستر لازم برای انجام تمامی آنچه **دانشجویان خلاق و کارآفرین پلی تکنیک** به دنبال آن هستند را در قالب حمایت های مادی و معنوی فراهم آورده است.

انجمن علمی دانشجویی مهندسی معدن نیز از زمان تاسیس این دانشکده تا به حال به کمک دانشجویان کوشا و دلسوز خود، همیشه در تلاش بوده تا به عنوان **الگویی قابل ستایش برای سایر دانشگاه های معدنی کشور** به حساب آید و در زمینه فعالیت های علمی در حوزه معدن، از جمله برپایی همایش‌ها و نمایشگاه‌های معدنی، دعوت از اساتید و صاحب‌نظران خبره از سراسر جهان، برپایی دوره های آموزشی نوین متناسب با نیاز روز، برپایی ایده بازارهای تخصصی در حوزه معدن و چاپ نشریه حاضر با این سابقه و کیفیت همواره در این زمینه پیشگام باشد.

ادامه این راه نیازمند حضور دانشجویان پویا و بی ادعایی است که **هر چند در این چند ساله تعداد آنها کمتر شده ولی هرگز از کیفیت آنها کاسته نشده است!**

این فصل را با من بخوان باقی فسانه است

این فصل را بسیار خواندم عاشقانه است!

بلور Journal of Mining engineering
Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic)
Scientific Association of Mining engineering
مقالات پژوهشی

تخمین هزینه های بازسازی و بررسی تاثیر آن بر محدوده نهایی معادن روباز

مهدی رحمانپور
دانش‌آموخته دکتری مهندسی معدن گرایش استخراج ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (Mrahmanpour.m@gmail.com)

چکیده

توجه به مسائل زیست محیطی ناشی از عملیات معدن‌کاری یکی از ملزومات معدن‌کاری نوین است. ارائه طرح بستن و بازسازی برای زمین‌های معدن‌کاری شده یکی از اقدامات معدن‌کاران برای کاهش اثرات منفی زیست محیطی و اجتماعی ناشی از عملیات معدن-کاری است. تعیین محدوده نهایی از اساسی‌ترین مراحل طراحی و برنامه‌ریزی بلندمدت معادن به شمار می‌رود. محدوده نهایی، میزان ذخیره قابل استخراج به روش روباز و نسبت باطله برداری کلی را بدون در نظر گرفتن نرخ تنزیل و ارزش زمانی پول تعیین می‌کند. محدوده نهایی معدن سطحی از زمین که تحت تاثیر عملیات معدن کاری تخریب خواهد شد را تعیین می‌کند. لذا هزینه بازسازی زمین‌های معدنکاری شده به طور مستقیم به محدوده نهایی معدن و میزان گستردگی آن وابسته است. در این مقاله، تاثیر هزینه‌های بازسازی بر محدوده نهایی معادن روباز مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور گزینه‌های مختلف برای بازسازی معادن روباز با استفاده از سناریوهای مختلف تعریف شده است. با توجه به سناریوهای موجود و احتمال وقوع هر یک از آنها و انجام شبیه سازی، کمترین، بیشترین، و محتمل‌ترین هزینه‌های بازسازی با توجه به درخت سناریوها تخمین زده شده است. بر این اساس، ۱۲ سناریوی مختلف برای بازسازی دامپ و پیت معدن مس سونگون معرفی شد. نتایج نشان می‌دهد که هزینه بازسازی دامپ و پیت این معدن در سطح اعتماد ۹۵٪ کمتر از ۳۶/۵ هزار دلار در هر هکتار است. ضمناً در بدترین شرایط ممکن، هزینه‌های استخراج ماده معدنی ۲/۷ درصد افزایش می‌یابد. طبق بررسی‌های انجام شده، این افزایش، تاثیری در محدوده نهایی معدن مس سونگون ندارد.

واژه های کلیدی

معدن‌کاری روباز، محدوده نهایی، تخمین هزینه‌های بازسازی

مقدمه

برنامه‌ریزی تولید یک معدن بیانگر نحوه استخراج ذخیره در طول عمر آن معدن و بر مبنای رعایت محدودیت‌های فنی و عملیاتی است به نحوی که ارزش خالص فعلی حاصل از آن بیشینه شود. برای رسیدن به چنین هدفی، برنامه‌ریزی و طراحی معادن روباز با هدف پاسخگویی به این سوالات انجام می‌شود که (۱) آیا یک بلوک استخراج خواهد شد یا خیر، (۲) در صورت استخراج بلوک زمان آن کی است، و (۳) اینکه مقصد ارسال بلوک کجاست؟ پاسخ‌گویی به این سه سوال بطور همزمان امکان‌پذیر نیست لذا طی یک فرایند تکراری به این سه سوال پاسخ داده می‌شود. بدین صورت که بعد از تهیه و ساخت مدل بلوکی زمین‌شناسی و مدل بلوکی اقتصادی ذخیره، محدوده نهایی معدن و پوش‌بک‌ها تعیین می‌شوند. سپس با انجام برنامه‌ریزی تولید، زمان استخراج هر یک از بلوک‌ها و بر اساس استراتژی عیارحد مقصد ارسال هر یک از بلوک‌های داخل محدوده معدن مشخص می‌شود. در این مرحله با مشخص شدن ارزش واقعی هر بلوک، محدوده نهایی معدن دوباره تعیین می‌شود. این فرایند تا جایی تکرار می‌شود که اختلاف بین دو تکرار متوالی قابل اغماض باشد [۵-۱].

محدوده نهایی معادن روباز میزان ذخیره قابل استخراج به روش روباز و میزان نسبت باطله برداری مورد نیاز را معین می‌کند. از این رو، تعیین محدوده نهایی اولین گام در طراحی یک معدن بوده و اقتصادی و سود دهی عملیات معدن کاری را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در مقابل، محدوده نهایی و گستردگی آن، سطح زمین‌های تخریب شده در اثر فعالیت‌های معدن‌کاری را مشخص می‌کند. به عبارتی، بخش عمده‌ای از اثرات زیست محیطی و اجتماعی معادن روباز وابسته به محدوده نهایی و مقدار باطله برداری مورد نیاز است.

امروزه توسعه پایدار و معدن‌کاری پایدار مورد توجه دولت‌ها و شرکت-های معدن‌کاری قرار گرفته است. توسعه پایدار دارای ۳ اصل محیط زیست، اقتصاد، و اجتماع است. به این ترتیب که یک فعالیت اقتصادی

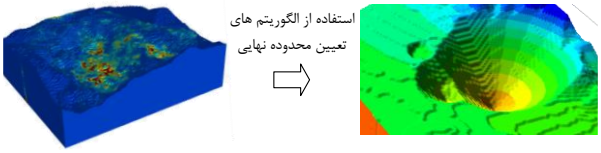
در صورتی که نیازهای جامعه بشری را مرتفع کرده و بتواند در تعامل با محیط زیست باشد آن فعالیت را یک فعالیت پایدار می‌نامند. توجه به مسائل زیست محیطی ناشی از عملیات معدن‌کاری یکی از ملزومات معدن‌کاری نوین است. ارائه طرح بستن و بازسازی برای زمین‌های معدن‌کاری شده یکی از اقدامات معدن‌کاران برای کاهش اثرات زیست محیطی و اجتماعی معدن‌کاری است. از این رو ارائه طرح بازسازی و به تناسب آن تخمین هزینه‌های بازسازی می‌تواند در برآورد اقتصادی طرح‌های معدنی موثر باشد. از این رو در این مقاله روشی برای تخمین هزینه‌های بازسازی ارائه شده است. با توجه به اینکه هزینه‌های بازسازی در پایان عمر معدن محقق می‌شود بنابراین همواره توام با عدم قطعیت است. لذا با انجام شبیه سازی، محتمل‌ترین هزینه‌های بازسازی برای معادن روباز برآورد شده است. اضافه کردن هزینه بازسازی به هزینه استخراج هر تن ماده معدنی در تعیین دقیق‌تر محدوده نهایی و ارزش گذاری پروژه معدنی موثر است.

بهینه سازی محدوده نهایی

طراحی، برنامه‌ریزی، و بهینه‌سازی معادن بر روی مدل بلوکی معدن انجام می‌گیرد. یعنی تهیه مدل بلوکی معدن اولین گام در طراحی معادن به شمار می‌رود. به مدل بلوکی حاوی اطلاعات زمین‌شناسی و عیاری ذخیره، مدل بلوکی زمین‌شناسی اطلاق می‌شود. در معدن‌کاری سطحی، گام بعدی محاسبه ذخیره قابل استخراج به روش روباز یا همان تعیین پیت نهایی معدن است. طبق تعریف، هر ذخیره معدنی که با روش روباز استخراج می‌شود از نظر اقتصادی دارای یک محدوده است که در آن محدوده استخراج با روش روباز امکان‌پذیر و خارج از آن محدوده استخراج با روش روباز میسر نیست. به این محدوده که در آن استخراج با روش روباز از توجیه فنی و اقتصادی برخوردار است محدوده نهایی معدن می‌گویند و بخشی از ذخیره که در داخل محدوده نهایی قرار گرفته است را ذخیره قابل استخراج با روش روباز می‌نامند [۶]. برای این منظور، بر مبنای یکسری اطلاعات اقتصادی پیش‌بینی شده (مانند قیمت محصول، هزینه‌های استخراج و فراوری و همچنین بازسازی و بازیابی ماده معدنی) ارزش اقتصادی هر بلوک محاسبه می‌شود. مدل بلوکی حاصله، مدل بلوکی اقتصادی نامیده می‌شود. برای تعیین ارزش اقتصادی بلوک‌ها از رابطه (۱) استفاده می‌شود.

$$BEV_b = M_b\left(P - C_s\right)r - C_m - C_p - C_{\mathrm{Rec}} \qquad (۱)$$

که در آن BEV_b ارزش اقتصادی بلوک bام (ریال بر تن کانسنگ)، M_b مقدار فلز موجود در بلوک b (تن)، P قیمت محصول (ریال بر تن فلز)، r بازیابی (درصد)، C_m، C_p، C_s، و C_{Rec} به ترتیب معرف هزینه استخراج (ریال بر تن کانسنگ)، فراوری (ریال بر تن کانسنگ)، ذوب ماده معدنی (ریال بر تن فلز)، و هزینه بازسازی (ریال بر تن کانسنگ) هستند. اگر مقدار فلز موجود در یک بلوک صفر و یا کمتری از حدی باشد که نتواند هزینه‌های مربوطه را تامین کند در این صورت ارزش اقتصادی آن بلوک طبق رابطه (۱) منفی بوده و آن بلوک را بلوک باطله می‌نامند، در غیر این صورت ارزش بلوک مثبت بوده و آن را بلوک ماده معدنی می‌نامند. طبق رابطه (۱) در محاسبه ارزش اقتصادی بلوک‌ها ارزش زمانی پول منظور نشده است زیرا ارزش زمانی پول بدون دانستن زمان استخراج بلوک مقدور نیست. برای غلبه بر این مشکل محققان تعیین محدوده نهایی را پس از انجام برنامه‌ریزی تولید بهینه پیشنهاد می‌کنند [۱، ۷ و ۸]. روش‌های متعددی برای تعیین محدوده نهایی ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به روش مخروط شناور، تئوری گراف لرچ و گروسمن، مدل برنامه ریزی پویا، مدل برنامه ریزی خطی، الگوریتم جریان شبکه‌ای، پارامتری کردن پیت، و الگوریتم ژنتیک اشاره کرد [۱۱-۹]. نرم افزارهای ارائه شده برای بهینه سازی محدوده نهایی معادن روباز نیز بر مبنای تئوری گراف لرچ و گروسمن و الگوریتم جریان شبکه‌ای طراحی شده‌اند که اساس تمام آنها بر مبنای تعریف مدل بلوکی اقتصادی است (شکل ۱).



شکل (۱) تعیین محدوده نهایی منوط به تهیه مدل بلوکی اقتصادی

پارامترهای طراحی در معدن‌کاری همواره توام با عدم قطعیت هستند. عدم قطعیت‌های معدن‌کاری به چهار دسته (۱) عدم قطعیت‌های زمین‌شناسی، (۲) عدم قطعیت‌های اقتصادی، (۳) عدم قطعیت‌های فنی، و (۴) عدم قطعیت‌های ناشی از حوادث تقسیم می‌شوند. در سال‌های اخیر تعدادی از محققان بر روی تاثیر عدم قطعیت عیار و قیمت بر برنامه‌ریزی تولید معادن و محدوده نهایی کار کرده‌اند [۱۲ و ۱۳]. ویتل و بزرگ ابراهیمی (۲۰۰۷) روش پیت‌های مرکب یا هیبرید را ارائه داده‌اند [۱۴]. آنها روش شبیه‌سازی شرطی را برای تهیه وقوع-های مختلف از ذخیره پیشنهاد داده‌اند. سپس محدوده نهایی هر یک از وقوع‌ها را با استفاده از الگوریتم لرچ و گروسمن تعیین کرده و در نهایت با استفاده از مبانی و تئوری مجموعه‌ها، پیت با قطعیت بالا یا محدوده داخلی و پیت با قطعیت پایین یا محدوده خارجی را شناسایی کردند. میگر و همکاران (۲۰۰۹) از روش جریان شبکه‌ای برای تعیین محدوده نهایی در شرایط عدم قطعیت عیار استفاده کردند [۱۵ و ۱۶]. آنها نیز روش شبیه‌سازی شرطی را برای تهیه وقوع‌های مختلف از ذخیره پیشنهاد داده‌اند. البته مدلسازی ارائه شده دارای پیچیدگی است و حجم مساله افزایش یافته است.

افزایش روز افزون توجه به مساله توسعه پایدار، معدن‌کاران علاوه بر آنکه ملزم به رعایت مبانی مهندسی و اقتصادی در طراحی و برنامه-ریزی معادن هستند، باید اثرات زیست محیطی حاصل از فعالیت‌های معدنی را کنترل کنند. به عبارتی ارائه طرح بستن و بازسازی معادن

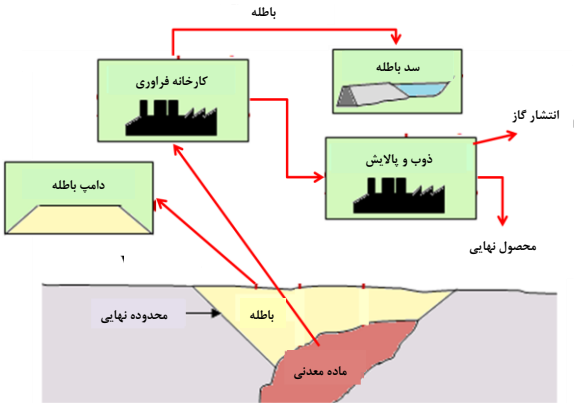
یکی از ملزومات تمامی عملیات معدن‌کاری شده است. کراینون و کارمیس (۲۰۱۱) در خصوص اهمیت توجه به هزینه‌های توسعه پایدار در طراحی و بهینه سازی محدوده نهایی معادن روباز زغالسنگ بحث کرده‌اند [۱۷]. ژو و همکاران (۲۰۱۴) نیز هزینه‌های اکولوژیکی ناشی از فعالیت‌های معدن‌کاری را در طراحی و برنامه‌ریزی معادن روباز منظور کرده‌اند [۱۸]. در این مقاله هزینه‌های مربوط به بازسازی معادن روباز محاسبه و بر اساس آن، محدوده نهایی بهینه از نظر معیارهای اقتصادی و زیست محیطی انتخاب می‌شود.

بازسازی معادن روباز

بررسی وضعیت معدن‌کاری در جهان نشان می‌دهد که امروزه معدن-کاری دارای خصیصه‌های ذیل است (۱) عیار متوسط ذخایر موجود در جهان کاهش یافته است، (۲) عمق معدن‌کاری افزایش یافته است، (۳) استخراج ذخایر جدید نیازمند سرمایه گذاری زیاد و جابجایی حجم قابل توجهی از مواد باطله است، و (۴) ظرفیت تولید معادن در حال افزایش است [۱۹]. مساله توسعه پایدار معدن‌کاران را ملزم به رعایت مبانی مهندسی و اقتصادی در طراحی و برنامه‌ریزی معادن و کنترل اثرات زیست محیطی حاصل از فعالیت‌های معدنی می‌کند. با توجه به اینکه عمر یک معدن در قیاس با عمر ذخیره معدنی بسیار ناچیز است، لذا معدن‌کاران به استفاده بهینه از منابع و توجه به اثرات زیست محیطی فعالیت‌های معدنی گرایش یافته‌اند. این کار باعث شده است که فعالیت‌های معدنی در گروه فعالیت‌های منطبق با اصول توسعه پایدار قلمداد شود.

با مقایسه عمر یک معدن و یک ذخیره معدنی مشخص می‌شود که معدن‌کاری به عنوان یک کاربری موقت برای زمین محسوب می‌شود. لذا تعریف یک کاربری جدید برای زمین‌های معدن‌کاری شده و ارائه طرح بستن و بازسازی معادن از ملزومات توسعه پایدار در بخش معدن‌کاری است. تهیه طرح بازسازی معادن نیازمند شناسایی اثرات زیست محیطی ناشی از فعالیت‌های معدن‌کاری است. برخی از اثرات اجتماعی و زیست محیطی فعالیت‌های معدن‌کاری عبارتند از تخریب زمین و آلوده کردن محیط و از بین بردن پوشش گیاهی، اسیدزایی، آلودگی صوتی، انتشار گرد و غبار و گازهای آلاینده، تولید باطله، تغییر محل سکونت افراد و تغییر شرایط اجتماعی در مناطق کم جمعیت. در شکل ۲ باطله‌های تولید شده طی فرایند معدن‌کاری نشان داده شده است. میزان باطله تولید شده در هر مرحله به نوع ماده معدنی و باطله همراه آن بستگی دارد. برای مثال در مورد مواد معدنی با ارزش مانند طلا، بیش از ۹۹/۹۹ درصد مواد استخراج شده باطله هستند که این مقدار در مورد معادن فلزات پایه به ۹۹/۹ درصد می‌رسد. تولید این حجم از باطله نیازمند مدیریت و اقدام در جهت بازسازی مناسب است.

با توجه به شکل ۲، بخش‌هایی از معادن روباز که نیازمند بازسازی هستند شامل (۱) پیت معدن، (۲) دامپ باطله، (۳) انباشتگاه‌های اسیدشویی شده، (۴) سد باطله، و (۵) سایت کارخانه و زیرساخت‌های معدن است. تخمین هزینه‌های بازسازی به وسعت و حجم کارهای معدنی وابسته است. برنامه بازسازی بر اساس اطلاعات حاصل از مرحله اکتشاف و نوع باطله‌های شناسایی شده طرح‌ریزی می‌شود. همچنین در این طرح، آیین نامه‌ها و مقررات زیست محیطی نیز رعایت می‌شوند. باید توجه کرد که باطله‌های معدن در اثر گذشت زمان هوازده شده و تغییر کیفیت می‌دهند. همچنین مقررات زیست محیطی نیز ممکن است به مرور زمان تغییر کنند. این عوامل باعث می‌شوند که تخمین هزینه‌های بازسازی در ابتدای عمر معدن توام با عدم قطعیت باشند. در ادامه نحوه تخمین هزینه‌های بازسازی در شرایط عدم قطعیت بحث شده است.



شکل (۲) فرایند عملیات معدن‌کاری و مواد تولید شده در هر مرحله

تخمین هزینه‌های بازسازی

در این بخش روشی برای تخمین هزینه‌های بازسازی ارائه شده است. اولین اقدام در تهیه طرح بستن و بازسازی یک معدن، شناسایی بخش‌ها و مواردی در معدن است که نیاز به بازسازی دارند. این بخش‌ها بر اساس چرخه تولید موجود در معادن قابل شناسایی هستند (شکل ۲). در مرحله امکان سنجی، اطلاعات اولیه و لازم برای تهیه برنامه بازسازی توام با عدم قطعیت هستند. لذا تعیین بدبینانه‌ترین و خوشبینانه‌ترین شرایط در پایان عمر معدن برای تخمین هزینه‌های بازسازی مفید خواهد بود. پس از مطالعه و شناسایی شرایط محتمل در معدن، سناریوهای مختلف و ممکن برای بازسازی زمین‌های معدن‌کاری شده تعریف می‌شود. در جدول ۱ سناریوهای مختلف بازسازی دامپ باطله و پیت یک معدن روباز را ارائه شده است. البته بسته به نظر طراح و همچنین شرایط محیطی و موقعیتی معدن امکان ارائه سناریوهای متعددی وجود دارد، و باید توجه کرد که محدودیتی در تعریف تعداد سناریوها وجود ندارد. در این جدول چند سناریو برای

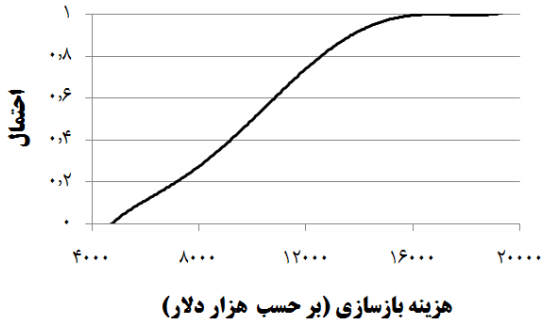
بازسازی دامپ و پیت یک معدن روباز ارائه شده است و بخش‌های دیگر معدن بررسی نشده‌اند. از ترکیب سناریوهای ارائه شده برای بازسازی دامپ و پیت معدن، به طور کلی ۱۲ سناریوی بازسازی قابل تعریف هستند (شکل ۳). در این شکل احتمال وقوع هر سناریو با توجه به جدول ۱ محاسبه شده است. فرض بر این است که هزینه‌های ارائه شده در جدول ۱ دارای توزیع پرت (PERT) یا بتا (Beta) هستند [۲۰]. تابع توزیع بتا بصورت رابطه ۲ تعریف می‌شود.

$$f(x,v,w)=\begin{cases}\dfrac{x^{v-1}(1-x)^{w-1}}{B(v,w)} & 0\le x\le 1\\ 0 & else\end{cases} \qquad (۲)$$

در این رابطه v و w پارامترهای تابع توزیع بتا هستند. تابع توزیع پرت حالت خاصی از تابع بتا است که در آن پارامترهای v و w بصورت رابطه ۳ تعریف می‌شوند.

$$\mu=\frac{x_{min}+x_{max}+4x_{mode}}{6}\rightarrow\begin{cases}v=\dfrac{(\mu-x_{min})(2x_{mode}-x_{min}-x_{max})}{(x_{mode}-\mu)(x_{max}-x_{min})}\\ w=\dfrac{v(x_{max}-\mu)}{(\mu-x_{min})}\end{cases} \qquad (۳)$$

برای تخمین هزینه بازسازی معدن از شبیه سازی مونت کارلو استفاده شده است. برای تعیین تابع توزیع هزینه بازسازی یک معدن روباز، تابع توزیع هزینه بازسازی بازای هر سناریو پس از ۲۰۰۰ بار شبیه سازی محاسبه شد. با انجام شبیه سازی مونت کارلو بازای تمامی سناریوها، تابع توزیع تجمعی هزینه بازسازی معدن بصورت شکل ۴ محاسبه شده است. طبق محاسبات انجام گرفته، هزینه بازسازی بین ۴/۶ تا ۲۲/۵ میلیون دلار متغیر است. این مقادیر بر اساس شرایط فعلی معدن و بازای ۱۲ سناریوی تعریف شده در شکل ۳ تخمین زده شده‌اند. در ادامه، تاثیر هزینه‌های بازسازی بر محدوده نهایی معدن مس سونگون بررسی شده است.



شکل (۴) تابع توزیع تجمعی هزینه‌های بازسازی

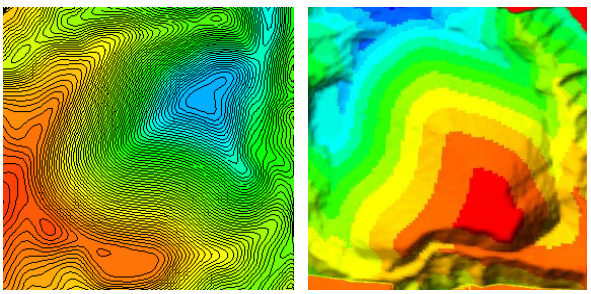
مطالعه موردی

ذخیره مس سونگون دومین ذخیره مس پورفیری ایران محسوب می‌شود و در ۲۸ کیلومتری شهر ورزقان و ۱۳۰ کیلومتری شمال شهر تبریز واقع شده است. این معدن دارای ۷۴۰ میلیون تن ذخیره با عیار متوسط ۰/۶ درصد مس و ۲۴۰ ppm مولیبدن است. ذخیره احتمالی این معدن ۱۷۰۰ میلیون تن برآورد شده است و استخراج آن از سال ۱۳۸۴ آغاز شده است.

ابتدا محدوده نهایی این معدن با توجه به پارامترهای اقتصادی ارائه شده در جدول ۲ و بدون لحاظ کردن هزینه‌های بازسازی تعیین گردید. بر اساس طرح اولیه، محدوده نهایی این معدن شامل ۴۹۳ میلیون تن ماده معدنی با نسبت باطله برداری ۲/۱۴ به یک است. بر اساس این طرح فعلی، مجموع سطوح قابل بازسازی شامل دامپ و پیت معدن مس سونگون به ترتیب ۱۵۰ و ۲۵۰ هکتار برآورد شده است. با توجه به برآورد انجام شده در شکل ۳، نتیجه می‌شود که حداقل، حداکثر و محتمل‌ترین هزینه بازسازی دامپ و پیت این معدن به ترتیب برابر با ۱۱/۵، ۲۵، و ۵۶/۲۵ هزار دلار در هر هکتار است. لازم به ذکر است که در این محاسبات ارزش زمانی پول منظور نشده است. به عبارت دیگر در بدبینانه‌ترین حالت هزینه‌های استخراج ماده معدنی ۲/۷ درصد افزایش خواهد یافت. با اضافه کردن هزینه بازسازی به هزینه استخراج ماده معدنی، مدل بلوکی اقتصادی جدید بر اساس هزینه بازسازی محاسبه می‌شود. سپس محدوده نهایی معدن با توجه به مدل بلوکی اقتصادی جدید تعیین می‌شود (شکل ۵). نتایج نشان می‌دهد که هزینه‌های بازسازی تخمین زده شده بر اساس سناریوهای شکل ۲ تاثیری در محدوده نهایی این معدن ندارند.

جدول (۲) پارامترهای اقتصادی تعیین محدوده نهایی

پارامتر	مقدار	واحد
قیمت	۳۵۰۰	دلار بر تن مس
هزینه استخراج باطله	۱/۵	دلار بر تن
هزینه استخراج ماده معدنی	۱/۶۵	دلار بر تن
هزینه فراوری	۴/۵	دلار بر تن
هزینه فروش	۴۰۰	دلار بر تن مس
بازیابی استخراج و فراوری	۸۵-۹۵	درصد



شکل (۵) محدوده نهایی معدن مس سونگون (سمت راست نمای سه بعدی- سمت چپ خطوط توپوگرافی)

نتیجه‌گیری

در این مقاله از یک روش احتمالاتی برای تخمین هزینه‌های بازسازی معدن مس سونگون استفاده شده است. برای این منظور ابتدا درخت سناریوهای ممکن برای بازسازی معدن تهیه شده است. سپس با فرض اینکه هزینه‌های بازسازی از تابع توزیع بتا تبعیت می‌کنند، هزینه بازسازی دامپ و پیت معدن شبیه سازی و محاسبه شده است. بر اساس شبیه سازی‌های انجام گرفته هزینه بازسازی بازای سناریوهای ارائه شده بین ۴/۶ تا ۲۲/۵ میلیون دلار متغیر است. بر اساس طراحی اولیه، دامپ و پیت معدن مس سونگون به ترتیب ۱۵۰ و ۲۵۰ هکتار برآورد شده است که بر اساس آن هزینه بازسازی این معدن بین ۱۱/۵ و ۵۶/۲۵ هزار دلار در هر هکتار است و در سطح اعتماد ۹۵٪ این مقدار همواره کمتر از ۳۶/۵ هزار دلار در هر هکتار است. طراحی محدوده نهایی با در نظر گرفته هزینه‌های بازسازی نشان می‌دهد که این هزینه‌ها تاثیری در محدوده نهایی این معدن ندارند.

مراجع

[1] Dagdelen, K.; “Open pit optimization — strategies for improving economics of mining projects through mine planning”, Ore body Modeling and Strategic Mine Planning, 14, 145-148, 2007

[2] Hustrulid, W. A., Kuchta, M., Martin R. K., “Open pit mine planning and design”, 3rd Ed., Taylor & Francis Group, LLC, CRC Press, 2013, Vol. 1, 1308 pages, ISBN-10: 1466575123

[3] King, B., “Modeling open pit and underground production scheduling in concert”, Dimitrakopoulos, R., (Ed.), Proceedings of orebody modeling and strategic mine planning symposium, AusIMM, Perth, WA, 24-26 Nov., 2014, 369-373

[4] Meagher, C., Dimitrakopoulos, R. Avis D., “Optimized open pit mine design, pushbacks and the gap problem—a review”, Journal of Mining Science, 2014, Vol. 50, No. 3, 508–526, ISSN 1062-7391

[5] Senécal, R., and Dimitrakopoulos, R., “Parallel implementation of a tabu search procedure for stochastic mine scheduling”, Dimitrakopoulos, R., (Ed.), Proceedings of orebody modeling and strategic mine planning symposium, AusIMM, Perth, WA, 24-26 Nov., 2014, 405-414

[۶] اصانلو، م، روش‌های استخراج معادن سطحی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، جلد اول، ص ۲۰۱-۲۰۶، ۱۳۸۹.

[7] Osanloo, M., Rahmanpour, M., Sadri, A.; “Ultimate pit limit of iron ore mines using maximum flow algorithms”. Proceedings of 19th International Symposium on Mine Planning & Equipment Selection (MPES), FREMANTLE: AusIMM, 81-87, 2010

[8] Askari-nasab, H., Awuah-Offei, K., “Open pit optimization using discounted economic block values”. Mining Technology, 118 (1), 1-12, 2009

[9] Picard, J. C., and Smith, B. T., “Parametric maximum flows and the calculation of optimal intermediate contours in open pit mine design”, INFOR, 2004, 42(2), 143-153

[10] Lerchs, H., and Grossmann, I., Optimum design of open-pit mines, Canadian Mining and Metallurgical Bulletin, 1965, 58, 17–24

[11] Hochbaum, D. S., and Chen, A., “Performance analysis and best implementations of old and new algorithms for the open-pit mining problem”, Operations Research, 2000, 48(6), 894-914

[12] Marcotte, D., Caron, J.; “Ultimate open pit stochastic optimization”, Computers & Geosciences, Vol. 51, 238-246, 2013

[13] Alonso, A.A., Carvallo, F., Escudero, L., Guignard, M., Pi, J., Puranmalka, R., Weintraub, A.; “Medium range optimization of copper extraction planning under uncertainty in future copper prices”, European J. of O.R., 233(2014), 711-726, 2014

[14] Whittle, D., Bozorgebrahimi, A.; “Hybrid pits-linking conditional simulation and Lerchs-Grossman through set theory”. Orebody Modeling and Strategic Mine Planning, Spectrum series, Vol. 14, 323-328, 2007

[15] Meagher, V., Abdel Sabour, S.A., Dimitrakopoulos, R.; “Push back design of open pit mines under geological and market uncertainties”, Proceedings of Orebody Modeling and Strategic Mine Planning, Perth, WA, 16-18 March, 297-304, 2009

[16] Asad, M.W.A., Dimitrakopoulos, R.; “Performance evaluation of a new stochastic network flow approach to optimal open pit mine design - application at a gold mine”, The journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, Vol. 112, July issue, 649-655, 2012

[17] Craynon, J., Karmis, M., and Tech, V., “Optimizing coal mine design for sustainable development at large surface coal mining operations in Appalachia”, SDIMI Proc., 2011, 75-82

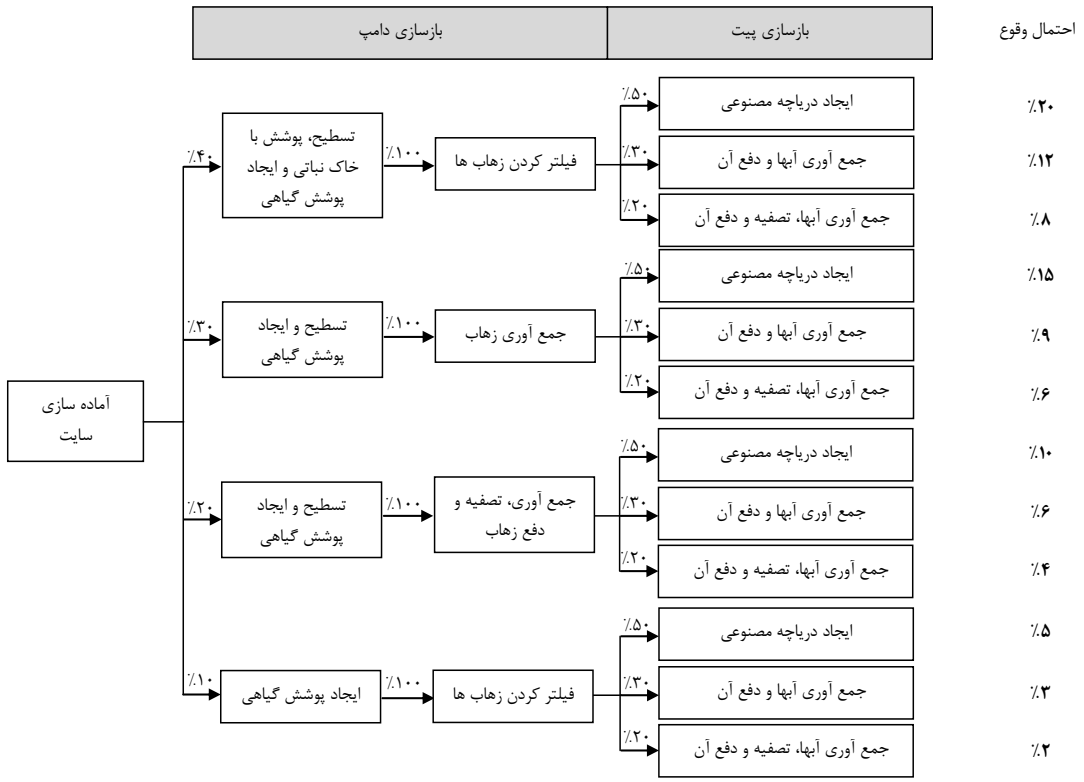
[18] Xu, X., Gu, X., Wang, Q., Liu, J., and Wang, J., Ultimate pit optimization with ecological cost for open pit metal mines, Trans. Nonferrous Met. Soc. China, 2014 1531−1537

[19] Osanloo, M.; “Future challenges in mining division, Are we ready for these challenges? Do we have solid educational program? ”, Presented in 23th meeting of the Society Of Mining Professors (SOMP), Wroclaw, Poland, 16-18 July, 2012

[20] Hutchison, I., Dettore, R.; “Statistical and probabilistic closure cost estimating”, Proceedings of Tailing and Mine Waste, Vancouver, BC, November 6-9, 2011

جدول (۱) سناریوهای مختلف بازسازی یک معدن روباز

روش‌های بازسازی	سناریوی				هزینه (هزار دلار)		
	۱	۲	۳	۴	حداقل	محتمل	حداکثر
آماده سازی سایت و مدیریت					۱۲۰۰	۱۵۰۰	۳۰۰۰
هزینه بازسازی دامپ باطله	٪۴۰	٪۳۰	٪۲۰	٪۱۰			
ایجاد پوشش گیاهی				*	۲۵۰۰	۳۰۰۰	۳۵۰۰
تسطیح و ایجاد پوشش گیاهی		*	*		۴۰۰۰	۴۵۰۰	۵۵۰۰
تسطیح، پوشش با خاک نباتی و ایجاد پوشش گیاهی	*				۵۵۰۰	۶۰۰۰	۷۰۰۰
فیلتر کردن زهاب‌ها	*			*	۲۰۰	۳۰۰	۴۰۰
جمع آوری زهاب		*			۸۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰
جمع آوری، تصفیه و دفع زهاب			*		۳۰۰۰	۴۰۰۰	۸۰۰۰
هزینه بازسازی پیت معدن	٪۵۰	٪۳۰	٪۲۰	٪۰			
ایجاد دریاچه مصنوعی	*				۳۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰
جمع آوری آب‌ها و دفع آن		*			۴۵۰	۵۵۰	۷۵۰
جمع آوری آب‌ها، تصفیه و دفع آن			*		۳۰۰۰	۴۰۰۰	۶۰۰۰



شکل (۳) سناریوهای مختلف بازسازی و احتمال وقوع هر حالت

بلور
Journal of Mining engineering
Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic)
Scientific Association of Mining engineering
مقالات پژوهشی

پیش‌بینی ماکزیمم نشست سطح زمین در مسیر تونل خط ۲ متروی مشهد با استفاده از نرم‌افزار *PLAXIS*

مصطفی قدس[۱]، علی پرهیزکار میاندهی [۲]، امیرحسین بانگیان [۳]

[۱] کارشناسی ارشد مهندسی استخراج معدن، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب (*m.ghods2@gmail.com*)

[۲] استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان

[۳] استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

چکیده

حفاری تونل موجب آزادسازی تنش‌های برجای خاک شده و تغییرشکل‌های زمین از نتایج غیر قابل اجتناب ساخت تونل است. در واقع همواره مقداری تغییرمکان در محل حفاری تونل وجود دارد و این تغییرمکان به صورت زنجیره‌ای تا سطح زمین را تحت تاثیر قرار داده و موجب نشست سطح زمین می‌شود. وجود سازه روی سطح زمین در مقایسه با زمین آزاد به میزان اندکی موجب کاهش نشست در سطح زمین شده اما به هر حال اثرات نشست بر سازه‌های فوقانی مهم باید به صورت ویژه مدنظر قرار گیرد. در این مقاله، با استفاده از روش اجزا محدود برای دو حالت با حضور و عدم حضور سازه مدلسازی صورت گرفته و با مطالعات برداشت شرایط و ارزیابی ریسک بر روی مسیر تونل خط ۲ متروی مشهد، ساختمان پانل کنترل واقع در محدوده راه آهن در کیلومتراژ ۵۷۵۸ پرداخته و نشست ناشی از حفر تونل با در نظر گرفتن شرایط مختلف هندسی، جانمایی، سازه‌ای، عملکردی محاسبه و همچنین اقدامات پیشگیرانه و حفاظتی جهت کاهش نشست در منطقه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

واژه های کلیدی

ماکزیمم نشست سطح زمین، خط۲ قطارشهری مشهد، روش اجزاء محدود، نرم افزار Plaxis2D

مقدمه

در اثر حفر تونل در نقاط کم عمق در زمین‌های سنگی یا غیرسنگی، مخصوصاً در رسوبات آبرفتی سست، جابه‌جایی‌هایی در محیط ایجاد شده و تغییر شکل‌هایی پدید می‌آید، این جابه‌جایی‌ها را می‌توان به دو مؤلفه قائم و افقی تجزیه کرد. خساراتی که از حرکات سطح زمین پدید می‌آید، قسمتی از آن ناشی از مؤلفه قائم و قسمتی از آن ناشی از مؤلفه افقی جابه‌جایی در سطح زمین می‌باشد.

مؤلفه قائم سبب پایین آمدن سطح زمین، یعنی نشست تدریجی و مؤلفه افقی سبب حالت کششی یا فشاری در سطح زمین می‌شود. این مؤلفه‌ها می‌توانند تنش‌هایی را بر سازه‌های واقع بر سطح زمین وارد کند. در صورتی که حفر تونل در مناطق شهری انجام شود (مانند مترو و تونل‌های فاضلاب شهری) و نشست سطح زمین در اثر آن‌ها قابل ملاحظه باشد، طراح باید قبل از شروع عملیات حفر تونل، این پدیده را بررسی کرده و راه حل آن را پیش‌بینی کند.

به طور کلی روش‌های برآورد میزان نشست زمین به سه گروه تجربی، تحلیلی و عددی طبقه بندی می‌شوند. اولین گزارش مستند در مورد پیش‌بینی نشست سطح زمین ناشی از حفاری تونل در زمین‌های نرم، به روش تجربی توسط پک در سال ۱۹۶۹ به کنفرانس مکانیک خاک و پی سازی در مکزیکوسیتی بر می‌گردد. از جمله روش‌های تحلیلی برای برآورد نشست سطح زمین، روش‌های ارائه شده توسط اوتئو و مایا (۱۹۷۹)، وِرویت بوکر (۱۹۹۶)، لُگاناتان - پولوس (۱۹۹۸)، گُنزالس و ساگاستا (۲۰۰۱)، بابِت (۲۰۰۱)، پارک (۲۰۰۵) می‌باشند. برای به کارگیری اکثر روش‌های فوق قبل از شروع عملیات ساخت تونل به دلیل نیاز آن‌ها به برخی پارامترها از قبیل اطلاعات رفتار سنجی شده حین ساخت تونل و ... استفاده از روش‌های مذکور

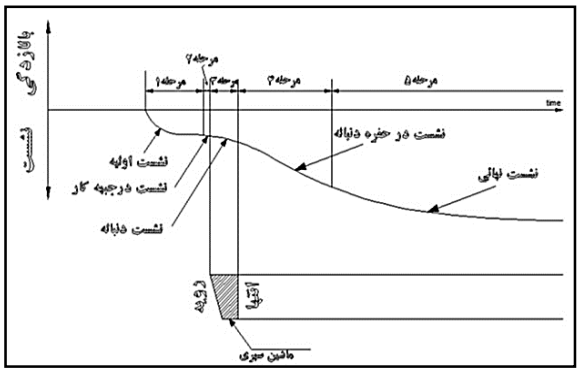
امکان پذیر نیست. لذا می‌توان با استفاده از روش عددی و نرم‌افزارهایی همچنون Plaxis2D منطقه را مدل و آنالیز کرد.

نشست سطح زمین در اثر حفر تونل

می‌توان اذعان داشت که تمامی حفاری‌های زیرزمینی موجب تغییر شکل در سطح زمین خواهد شد. این تغییرشکل‌ها عموماً از سه عامل ذیل نشأت می‌گیرند:

- نشست کوتاه مدت در اثر حفاری تونل و آزادسازی تنش‌ها.
- نشست ناشی از تغییر شکل پوشش تونل که در تونل‌سازی مکانیزه این بخش قابل اغماض است.
- نشست دراز مدت در اثر تحکیم اولیه و ثانویه.

در تونل‌سازی مکانیزه اثر عامل سوم به ویژه در خاک‌های دانه‌ای نسبت به عامل اول بسیار کمتر است و در واقع علت عمده نشست تونل عمدتاً همان نشست کوتاه مدت است که در اثر حفاری و توزیع تنش‌ها ایجاد خواهد شد. بنابراین تمرکز بررسی حاضر تنها نشست کوتاه مدت خواهد بود. در شکل (۱) نحوه نشست تحت عوامل مختلف در حین حفاری نشان داده شده است. [۳]



شکل (۱) : مراحل نشست سطح زمین در اثر حفر تونل

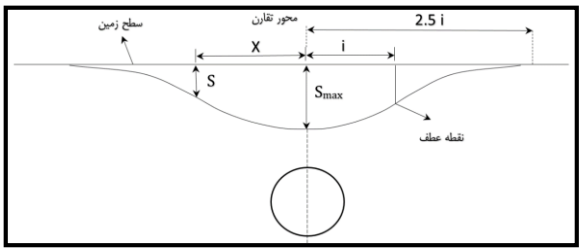
علیرغم آنکه وجود ساختمان بر روی سطح زمین در محلی که تونل ساخته می‌شود موجب تغییراتی در شکل نشست خواهد شد، معمولاً در ابتدا برآورد نشست بر مبنای شرایطی که هیچ بنای سطحی یا سازه زیرسطحی وجود ندارد انجام می‌شود و سپس تلاش می‌شود تاثیر پی ساختمان‌ها بر الگوی نشست به نحو دیگری لحاظ شود.

معادلات اولیه روش تجربی توسط Peck در سال ۱۹۶۹ بر اساس حدود ۲۰ مورد اجرایی که در اختیار وی بود ارائه شد. در این معادلات، نشست در شرایط بدون حضور سازه با یک منحنی گاوسی تقریب زده می‌شود. این روند بعدها توسط محققین دیگری مانند O'Reilly، Meir et al و دیگر محققین پیگیری شد و در عموم مطالعات در نظر گرفتن منحنی گاوسی برای نشست پذیرفته شده است. در مقطعی که به اندازه کافی دور از مقطع شروع و به میزان کافی پیش از سینه حفاری باشد، نشست به مقدار نهایی خود رسیده مطابق شکل (۲) و مقدار آن از رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$S = S_{max}.\exp(-\frac{y^2}{2i^2}) = \frac{V_L}{i.\sqrt{2\pi}}.\exp(-\frac{y^2}{2i^2}) \qquad (۴)$$

که در آن s نشست سطحی قائم در نقطه مورد نظر، y به عنوان فاصله افقی نقطه مورد نظر از محور تونل، V_l به عنوان حجم از دست رفته در هر متر پیشروی طول و در نهایت i پارامتر عرض که به‌صورت $i = KZ_0$ بیان می‌شود که K یک ثابت بی‌بعد وابسته به نوع خاک و Z_0 عمق محور تونل نسبت به سطح زمین می‌باشد.

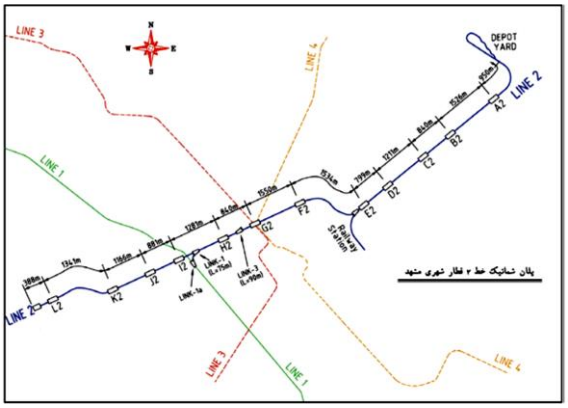
همانگونه که اشاره شد پارامترهای دخیل در فرمول تجربی، یا وابسته به نوع خاک و شرایط محلی است و یا بسته به شرایط هندسی تغییر می‌کند. از طرفی برای پارامترهای وابسته به خاک گستره‌ای در نظر گرفته می‌شود که دلیلی بر عدم قطعیت در محاسبه دقیق آن می‌باشد.



شکل (۲) : منحنی نشست سطح زمین در اثر حفر تونل

معرفی پروژه خط ۲ قطار شهری مشهد

پروژه خط ۲ قطار شهری مشهد بطول بیش از ۱۴ کیلومتر در امتداد شمال شرق به جنوب غرب مشهد طراحی شده است و از ابتدای خط تا انتهای آن از خیابان طبرسی شمالی، میدان راه آهن، میدان شهدا، میدان سعدی، میدان شریعتی، پارک کوهسنگی، میدان فضل بن شاذان و میدان جوان عبور خواهد نمود. با توجه به شرایط مسیر و مزایای حفاری با ماشین‌های پیشرفته تونلزنی TBM غالب آن بصورت تونل مکانیزه (حفاری با ماشین EPB) حفاری خواهد گردید. در شکل (۳) مسیر خط ۲ قطار شهری مشهد نشان داده شده است.



شکل (۳) : نمای مسیر خط ۲ قطار شهری مشهد

مقاله حاضر مربوط بـه سـاختمان پانـل کنتـرل در محـدوده ایسـتگاه راه‌آهن مشهد می‌باشد که این سـاختمان بـه لحـاظ اهمیـت از لحـاظ کاربری دارای اهمیت بـالا مـی‌باشـد. سـاختمان مـذکور در کیلـومتراژ ۵۷۵۸ قرار گرفته است. با توجه به موقعیت ساختمان در پلان پروفیـل مسیر و همچنین با استفاده از نرم‌افزار ARC GIS، کد سـطح زمـین در محـل سـاختمان ۹۷۳/۵۸ و آکـس تونـل نیـز در تـراز ۹۵۸/۷۴ می‌باشد. ساختمان مذکور ۵ سقف بوده و دارای یک زیرزمین به عمـق تقریبـی ۳ متـر مـی‌باشـد. در شـکل‌هـای (۴) و (۵) عکـس‌هـایی از ساختمان و موقعیت قرارگیری آن نشان داده شده است.

شکل (۴) : موقعیت ساختمان پانل کنترل نسبت به تونل

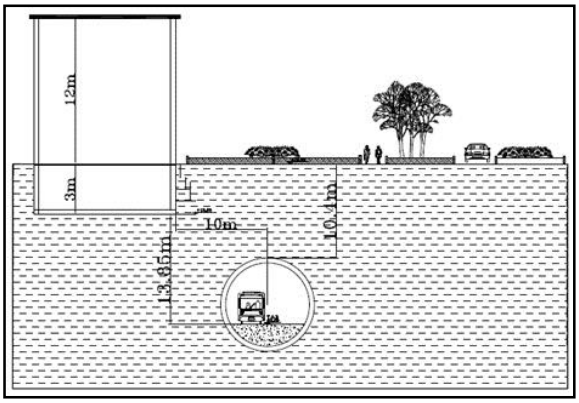
شکل (۵) : نمای ساختمان پانل کنترل

محاسبه نشست بر اساس روش اجزای محدود

جهت مدلسازی نشسـت سـاختمان پانـل کنتـرل از نـرم‌افـزار اجـزای محدود Plaxis2D استفاده شده است. با توجه بـه قابلیـت‌هـای ایـن نرم‌افزار، امکان در نظر گـرفتن مراحـل مختلـف سـاخت تونـل نظیـر؛ حفاری، فشار تزریق پشت سـگمنت و نصـب سـگمنت وجـود دارد. در شکل (۶) مقطـع مـورد اسـتفاده جهـت محاسـبه نشسـت بـه همـراه لایه‌بندی خاک در آن مقطع نشان داده شده است.

مشخصات خاک

با توجه به بررسی‌های زمین شناسی انجام شده در مسیر، در محـدوده ساختمان پانل کنترل مشخصات مکانیکی خـاک بصـورت جـدول (۱) می‌باشد. لازم به ذکر است طبق مشاهدات عینی در ایسـتگاه F2 تـراز آب زیرزمینی در تراز زیر پوشش سگمنتی می‌باشد.



شکل (۶) : مقطع مورد استفاده جهت مدلسازی در نرم‌افزار Plaxis2D

جدول (۱) : مشخصات مکانیکی لایه های خاک منطقه

عمق لایه (m)	نوع خاک	دانسیته خشک (KN/m3)	درصد رطوبت	چسبندگی Kg/cm2) (	زاویه اصطکاک (درجه)	مدول الاستیسیته (Kg/cm2)
۲۵-۰	CL-ML	۱۶/۵	۱۲	۰/۱	۲۵	۱۲۰

مشخصات سگمنت و TBM

صلبیت خمشی و محوری سگمنت و TBM مطابق با جدول (۲) در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که ضخامت سگمنت ۳۵ سانتیمتر و مشخصات TBM نیز با توجه به توصیه‌های نرم‌افزار تعیین گردیده است.

جدول (۲) : مشخصات پوشش سگمنتی تونل و TBM بکار رفته در مدل

پارامتر	سگمنت	EPB
EI (KN.m2/m)	۱/۰۷۹×۱۰۵	۸/۳۸×۱۰۴
EA (KN /m)	۱/۰۵۷×۱۰۷	۸/۲×۱۰۶
w (KN /m2)	۸/۴	۳۸/۱۵

مشخصات فونداسیون، سقف و ستون

مشخصات فونداسیون، سقف و ستون مطابق جدول (۳) در نظر گرفته شده است.

جدول (۳) : مشخصات پی، سقف و ستون ساختمان پانل کنترل

مشخصه	EA(KN/m)	EI(KN/m2/m)	W(KN/m2)
پی	۹۱۶۴۸۰۰	۱۲۱۴۳۳	۲۰
سقف	۹۱۶۴۸۰۰	۱۲۱۴۳۳	۱۲
ستون	۸۴۰۰۰۰۰	۲۸۰۰۰	۰

انتخاب مدل رفتاری

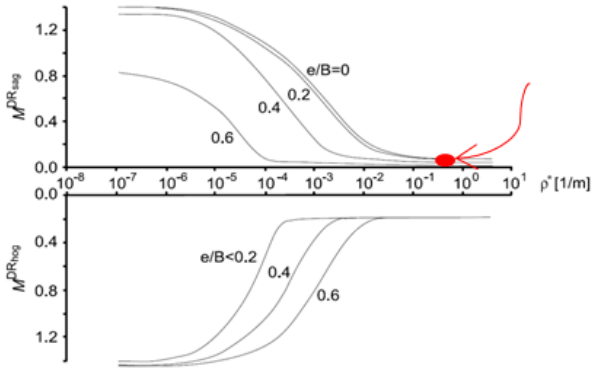
در تحلیل‌های انجام شده، از مدل رفتاری سخت شونده خاک hardening soil استفاده شده است که برای شبیه‌سازی رفتار خاک‌های نرم و سخت است. از جمله ویژگی‌های آن می‌توان به وابسته بودن سختی خاک به سطح تنش اشاره کرد که این قابلیت، موجب شبیه‌سازی دقیق‌تر رفتار خاک به ویژه در شرایط انجام باربرداری از خاک می‌شود، بدین ترتیب که در این مدل، با امکان معرفی سختی خاک در حالت باربرداری و بارگذاری مجدد، امکان مدل‌سازی عملیات ژئوتکنیکی که در آن باربرداری از جسم خاک وجود دارد، فراهم شده است.

استفاده از مفهوم سختی نسبی در ارزیابی برهمکنش

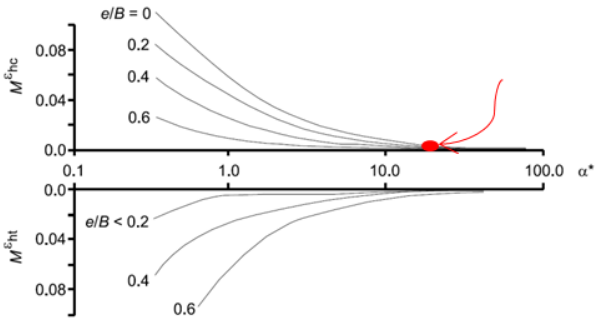
برای استفاده از این روش می‌بایست گودی نشست و کرنش افقی برای حالت بدون حضور سازه را با استفاده از روابط تجربی محاسبه کرده و به کمک ضرایب تصحیح مقادیر نسبت انحنا و کرنش افقی برای حالت وجود سازه سطحی را بدست آورد. بعد از تعیین این دو معیار، با استفاده از گراف‌های تخمین آسیب برای ساختمان‌ها، میزان شدت آسیب احتمالی برآورد می‌شود. مقادیر مورد نیاز در محاسبه سخت یهای نسبی محوری و خمشی در جدول (۴) آورده شده است. نحوه محاسبه کرنش افقی و نسبت انحنا در حالت سطح آزاد (GF) در شکل‌های (۷)، (۸) و (۹) نشان داده شده است.

جدول (۴) : مقادیر مورد نیاز برای محاسبه سخت یهای نسبی محوری و خمشی

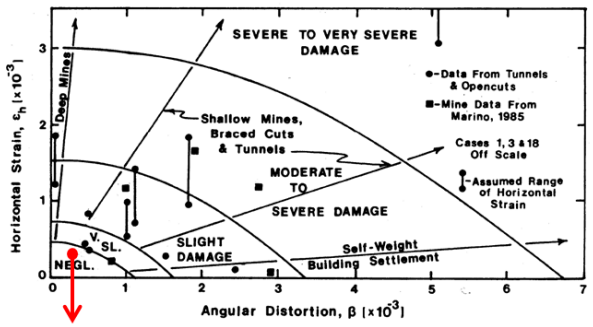
پارامتر	سختی سکانتی خاک E_s	مدول الاستیسیته پی ساختمان E	ممان دوم سطح I	مساحت سطح مقطع پی ساختمان A	پهنای ساختمان B
۱	۸۰,۰۰۰ KN/m^2	۲۳,۰۶۱ KN/m^2	۱۸۰,۳۰۵ m^4	۱,۴۵۷ m^2	۳۱ m



شکل (۷) : مقدار ضریب تصحیح برای نسبت انحنا [۳]



شکل (۸) : مقدار ضریب تصحیح برای مقدار کرنش افقی [۳]



میزان شدت آسیب احتمالی
قابل صرفه نظر است

شکل (۹) : گراف طراحی برای تخمین شدت آسیب وارده به ساختمان‌ها [۳]

با توجه به مقادیر جدول (۴) و روابط (۲) و (۳)، مقدار سختی نسبی تعیین می‌شود ($\rho^* = 0.9$ و $\alpha^* = 27.1$) حال با این مقادیر و فاصله محور تونل ها تا مرکز ساختمان ($e = 23.5$ ، $\frac{e}{B} = \frac{23.5}{31} = 0.74$) و همچنین گراف های شکل (۷) و (۸)، مقدار ضریب تصحیح تعیین می‌شود(شکل ۵). کم بودن مقادیر ضریب تصحیح حاکی از آن است که وجود ساختمان با سختی های نسبی محاسبه شده و شکل هندسی آن، رفتار صلب گونه‌ای دارد و باعث کاهش میزان نسبت انحنا و کرنش افقی و به تبع آن نشست ماکزیمم خواهد شد. دلیل این امر را می‌توان به بالا بودن مقادیر سختی محوری و خمشی ساختمان و همچنین وجود فشار جانبی زمین روی ساختمان که حکم فشار محصورکننده را ایفا می‌کند، دانست [۱]. با توجه به گراف طراحی برای تخمین شدت آسیب وارده بر سازه شکل (۹)، مشخص است که میزان شدت پتانسیل آسیب احتمالی براساس مقادیر کرنش افقی و نسبت انحنا، قابل صرفنظر کردن (Negligible) است.

$$\rho^* = EI / E_s (\frac{B}{2})^4 \qquad (۲)$$

$$\alpha^* = EA / E_s (\frac{B}{2}) \qquad (۳)$$

پیش‌بینی نشست به روش عددی المان محدود

یکی از روش‌های عددی، روش المان محدود است که نرم‌افزار Plaxis2D بر اساس این روش بنا شده و برای تحلیل تغییر شکل‌ها و پایداری‌ها در پروژه‌های ژئوتکنیک استفاده می‌شود. اولین ویرایش این نرم‌افزار به منظور آنالیز سدهای خاکی احداث شده بر روی خاک‌های نرم در قسمت‌های کم ارتفاع و پست کشور هلند و به سفارش مدیریت منابع آب آن کشور در دانشگاه صنعتی دلف در سال ۱۹۸۷ تهیه و توسعه داده شد. به طور کلی مدل‌های عددی به دلیل انعطاف‌پذیری بالا می‌توانند اطلاعات کامل‌تر و دقیق‌تری را نسبت به سایر روش‌ها (نظیر تجربی و تحلیلی) فراهم کنند، در عین حال انتخاب ناصحیح مدل، عدم دقت در کاربرد مقادیر پارامترها و فهم نادرست از پروسه ساخت می‌تواند منجر به نتایج اشتباه شود.

روش‌های عددی مختلفی تاکنون مورد استفاده قرار گرفته است که از آن میان روش‌های مبتنی بر اجزای محدود بدلیل قدرت زیاد در مدلسازی هندسه پیچیده از جایگاه خاصی برخور دارند. بر همین اساس اغلب نرم‌افزارهای تجاری معروف نیز بر اساس روش اجزای محدود بنا شده‌اند. در مسایل مربوط به خاک وضعیت اندکی بغرنج‌تر شده و انتخاب یک بسته نرم‌افزاری مناسب میتواند تا حد زیادی مشکلات مدلسازی و ساخت مرحله‌ای را مرتفع نماید. لذا در این مطالعه از نرم افزار Plaxis2D استفاده شد. از جمله مزایای نرم‌افزار یاد شده امکان ساخت چند مرحله‌ای و بهره‌گیری از مدل های رفتاری متنوع می‌باشد از طرفی اجزای سازه‌ای نیز براحتی در مدل ساخته می‌شوند. از بین مدل‌های خاک مختلف موجود در نرم‌افزار Plaxis2D در این مطالعه مدل خاک سخت شونده، مناسب‌تر تشخیص داده شده است و مورد استفاده قرار گرفته است.

رفتار مکانیکی خاک ممکن است با دقت های متفاوتی مدل شود. از میان مدل‌های موجود در بسته نرم‌افزاری Plaxis2D مدل خاک سخت شونده به دلیل گرفتن اطلاعات بیشتر از مشخصات رفتاری مصالح نسبت به دیگر مدل‌های رفتاری، توان مدلسازی بهتری دارد. از طرفی در این مدل میزان سختی خاک با افزایش عمق روندی رو به رشد دارد که با واقعیت مطابقت خوبی ایجاد می‌نماید. در مسایل مربوط به خاکبرداری میزان سختی باربرداری بسیار مهم می‌باشد که مدل یاد شده بخوبی آن را پوشش می‌دهد. مزایای دیگر مدل رفتاری خاک سخت شونده در ذیل آمده است.

- سختی وابسته به سطح تنش مطابق با قانون توانی.
- کرنش پلاستیک ناشی از بارگذاری انحرافی اولیه مطابق با سختی سکانت.

- کرنش پلاستیک ناشی از فشار اولیه.
- باربرداری و بارگذاری مجدد مطابق با Eur.
- معیارهای گسیختگی مطابق با معیار موهر-کولمب.

مدلسازی برمبنای فرضیات بالا ابتدا نشست زمین در حالت GF و سپس با اعمال مشخصات سازه در مدل، مورد بررسی قرار گرفت و مراحل محاسبات مطابق زیر اعمال شد.

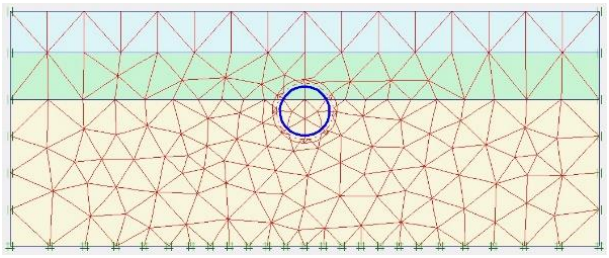
۱. ابتدا باید شرایط اولیه مدل تعریف شود. این شرایط شامل تعادل اولیه مدل، خاکبرداری تا تراز شالوده و اجرای آن و اعمال بار ناشی از ساختمان به مقدار ۳۰ KN/m^2 است.

۲. سپس حفاری توسط TBM و سپس رینگ سگمنتی نصب می‌شود.

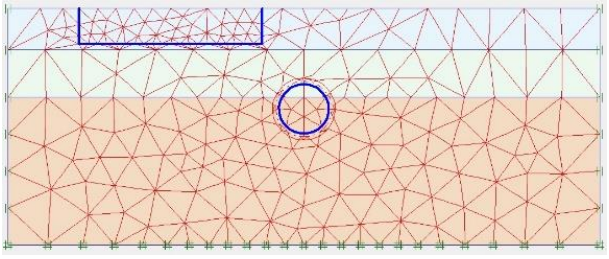
۳. اعمال ضریب Contraction به مقدار ۰/۴۵٪ با فرض پر شدن نصف فضای پشت شیلد.

مشخصات هندسی و مش‌بندی مدل

وضعیت هندسی تونل در لایه‌های زمین و نحوه مش‌بندی آن در دو حالت فضای آزاد (Green Field) و با حضور سازه، در شکل‌های (۱۰) و (۱۱) نشان داده شده است.



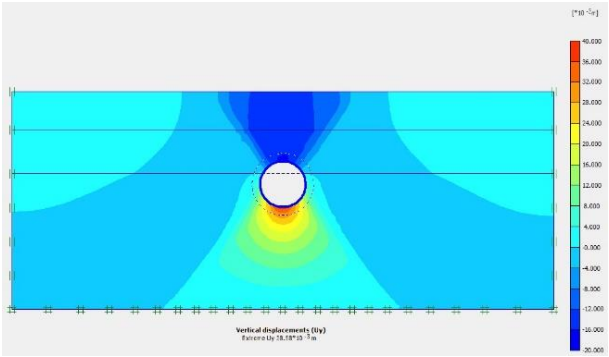
شکل (۱۰) : مدل دوبعدی در حالت GF بدون اثر ساختمان پانل کنترل



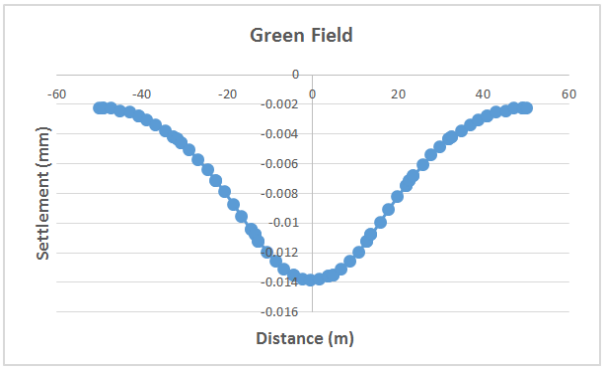
شکل (۱۱) : مدل دوبعدی در حالت وجود ساختمان پانل کنترل

خروجی‌های نرم‌افزار

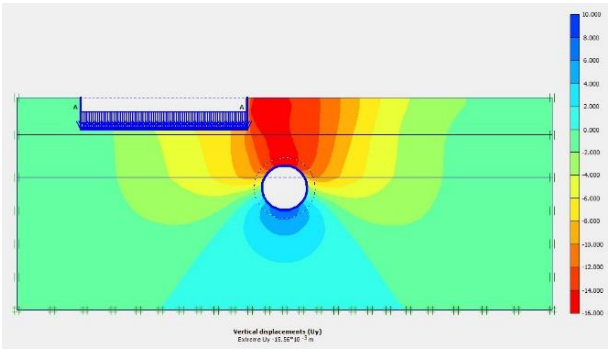
منحنی‌های نشست توده خاک، نمودار نشست سطح زمین در حالت فضای آزاد و نمودار نشست در تراز شمع ساختمان پانل کنترل در حالت فضای آزاد به ترتیب در شکل‌های (۱۲)، (۱۳)، (۱۴)، (۱۵) و (۱۶) و در شکل (۱۷) وضعیت تغییرشکل القایی به زمین و ساختمان پانل کنترل ارائه گردیده است.



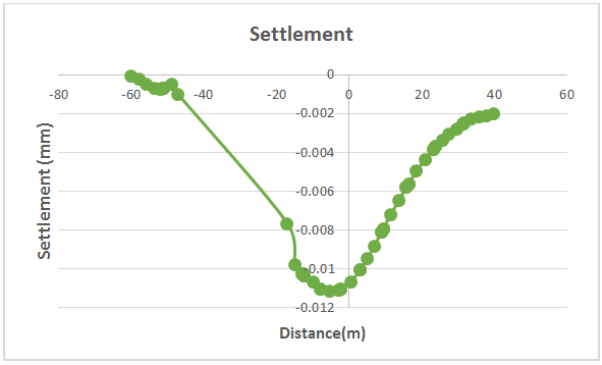
شکل (۱۲) : منحنی‌های میزان نشست توده خاک در حالت فضای آزاد



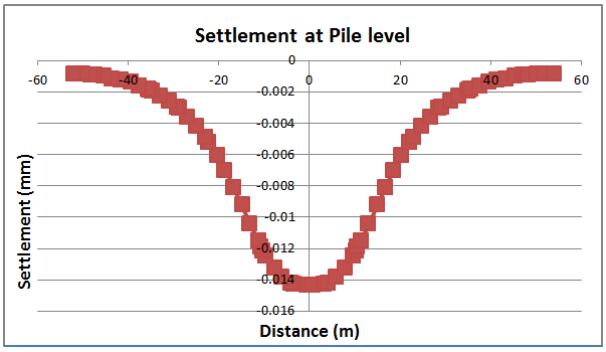
شکل (۱۳) : نمودار میزان نشست سطح زمین در حالت فضای آزاد



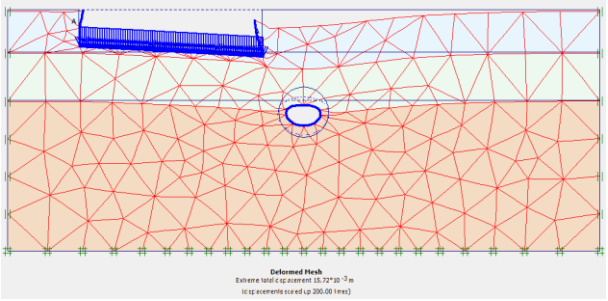
شکل (۱۴) : منحنی میزان نشست توده خاک در حالت حضور ساختمان



شکل (۱۵) : نمودار میزان نشست سطح زمین در حالت حضور ساختمان



شکل (۱۶) : نمودار میزان نشست در تراز شمع در حالت حضور ساختمان



شکل (۱۷) : وضعیت تغییرشکل القایی به زمین و ساختمان

با توجه به نتایج فوق پارامتر حدود ۱۴ میلیمتر و پارامتر در حدود ۱/۳۴۰۰ در زیر پی سازه ساختمان پانل کنترل حاصل گردیده است. مشخص است که در صورت انجام عملیات حفاری در شرایط نرمال از نظر حفظ فشار EPB و تزریق گروت، نشست ساختمان مورد بررسی در حد زیر آستانه خطر و هشدار خواهد بود.

آسیب پذیری ساختمان پانل کنترل

بررسی آسیب‌پذیری یک بنا ناشی از احداث تونل با در نظر گرفتن شرایط مختلف هندسی، جانمایی، سازه‌ای، عملکردی انجام می‌شود. بنابراین با جمع‌آوری اطلاعاتی در مورد وضعیت سازه‌ای و ظاهری تلاش می‌شود تا پارامتری به نام اندیس آسیب پذیری سازه مورد ارزیابی قرار گیرد.

اندیس آسیب‌پذیری یک مشخصه ذاتی بنا است که بیانگر فاصله بنا با وضعیت ایده‌آل است. در واقع هر چه اندیس آسیب‌پذیری بیشتر باشد، بدین معنی است که وضعیت بنا مناسب نیست و روا داری‌های آن در برابر تغییرشکل‌های اضافی کوچکتر خواهد بود. به عبارت دیگر، برای مقدار مشخص نشست، یک ساختمان با اندیس آسیب‌پذیری بالاتر متحمل آسیب‌های بیشتری نسبت به یک ساختمان با اندیس آسیب‌پذیری پایین‌تر خواهد شد.

نتیجه حاصل از تکمیل فرم های BCS برای سازه‌های ساختمان پانل کنترل، شاخص آسیب‌پذیری ۴۱ با درجه آسیب‌پذیری کم ارائه گردیده است. به طور کلی ورودی‌های فرم‌های مذکور شامل اطلاعات رفتار سازه‌ای ساختمان، موقعیت قرارگیری ساختمان‌ها، کاربری ساختمان، وضعیت رونمای ساختمان و وضعیت عمومی ساختمان می‌باشد. [۲]

بطور کلی برای زمین و سازه‌های معمولی پروژه با رده آسیب‌پذیری ناچیز و خفیف معیارهای جدول (۵) تعریف گردیده‌اند.

جدول (۵) : آستانه نشست و اعوجاج برای سطوح خطر وهشدار برای سطح زمین وسازه های معمولی (رده آسیب پذیری پایین)

مشخصات	نشست Δ (mm)		اعوجاج $\beta_{max}=(\Delta_1-\Delta_2)/L$	
	Warning	Alarming	Warning	Alarming
سطح زمین	۲۰	۴۰	–	–
سازه‌ها	۱۷	۲۵	۱/۳۰۰	۱/۲۰۰

به عبارت دیگر وضعیت عمومی ساختمان پانل کنترل به لحاظ آسیب‌پذیری در حال حاضر وضعیت مناسبی می‌باشد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج فوق پارامتر Smax حدود ۷ میلیمتر و پارامتر βmax در حدود ۱/۴۵۰۰ در زیر پی سازه کنترل پانل حاصل گردیده است. مشخص است که در صورت انجام عملیات حفاری در شرایط

نرمال از نظر حفظ فشار EPB و تزریق گروت، نشست ساختمان مورد بررسی در حد زیر آستانه خطر و هشدار خواهد بود. دو روش سختی نسبی و روش دوبعدی اجزا محدود گویای این مطلب هستند که وجود سازه در سطح، یا در نزدیکی محلی که تونل کم عمق در حال حفر است، تاثیر محسوسی در تغییر حرکت زمین می‌گذارد. براساس نوع ویژگی‌های سازه، مانند سختی، هندسه پی و موقعیت نسبی تونل-سازه می‌تواند درکاهش یا افزایش جابجایی حاصل از حفر تونل نقش داشته باشد.

در مورد مطالعه موردی این مقاله، سختی بالای سازه، هندسه خاص آن و خواص ژئوتکنیکی محیط، باعث کم شدن نشست ناشی از حفر تونل شده است. دو روش سختی نسبی و روش دوبعدی اجزا محدود گویای این مطلب بودند. بطوری که در روش مدلسازی اجزا محدود مشخص است که حضور سازه ماکزیمم نشست سطح را از مقدار ۱۴ میلی‌متر به ۱۱ میلی‌متر کاهش داده است. البته روش سختی نسبی نیز نیاز به اصلاحات دیگری از جمله در نظرگرفتن ویژگی پی سازه (مانند نوع پی، عمق پی و فشار جانبی زمین) را دارد.

مراجع

[۱] عفیفی پور، م.، "برهمکنش بین حفر تونل های دوقلو و پی های کم عمق- مطالعه موردی خط ۱ متروی شیراز". پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده معدن و متالورژی، دانشگاه امیرکبیر، ۱۳۸۸.

[۲] گزارشات نشست‌سنجی قطار شهری مشهد، مهندسین مشاورین ایمن‌سازان، ۱۳۹۲..Potts D.M, Addenbrooke T

[3] Franzius,J,N."Behaviour of buildings due to tunnel induced subsidence" department of civil and EnviromentalEngineering.Imperial Collage of Science, Technology and Medicine.london, 2003.

[4] I. "A structure influence on tunneling induced ground movement" Proceeding of the institution of Civil Engineers, paper 11048, PP 109,125, 1997.

[5] Dimmock P. S., Mair R. J., "Effect of building stiffness on tunneling-induced ground movement" Journal of Tunneling & Underground Space Technology 23, 438-450, 2008.

بلور Journal of Mining engineering
Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic)
Scientific Association of Mining engineering
مقالات پژوهشی

شبیه‌سازی فرآیندهای شناورسازی کانسنگ مس سولفیدی به‌وسیله نرم‌افزار *ARENA*

حسین حمداد فرامرزی[1]، رضا شکور شهابی[2]

[1]دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی معدن، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین (*HHFF1361@GMAIL.COM*)

[2]عضو هیئت‌علمی، گروه مهندسی معدن دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین (*REZA.SHAHABI@GMAIL.COM*)

چکیده

در کنار شبیه‌سازی‌های آزمایشگاهی متداول فرآیندهای شناورسازی به‌وسیله سلول‌های آزمایشگاهی، شبیه‌سازی به‌وسیله نرم‌افزارهای مرتبط کمک قابل‌توجهی در پیش‌بینی رفتار فرآیندهای شناورسازی نموده و باعث صرفه‌جویی اقتصادی زیادی در هزینه‌های مرتبط می‌گردد. در این مقاله اقدام به شبیه‌سازی فرآیند شناورسازی کانی سولفوره مس در یک کارخانه ۲۵۰ تنی به‌وسیله تغییر در پارامتر راندمان سلول‌ها و ثبت تأثیر این تغییرات در عملکرد کل سیستم و پارامترهای اقتصادی فرآیند گردید. این عملیات شبیه‌سازی به‌وسیله نرم‌افزار ARENA که نرم‌افزاری عمومی جهت شبیه‌سازی می‌باشد، انجام گرفته است.

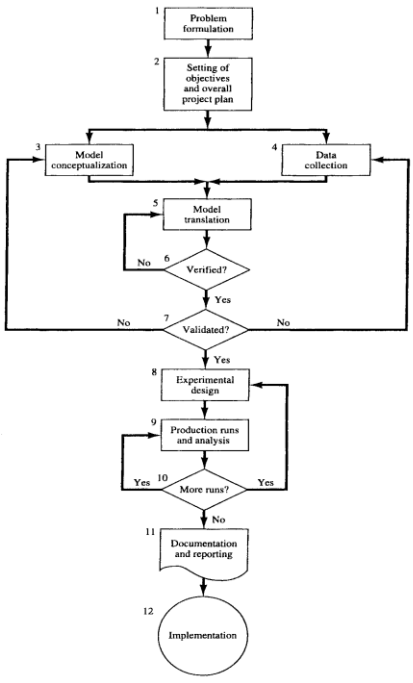
واژه های کلیدی

شبیه‌سازی، شناورسازی، کانسنگ مس سولفیدی، راندمان، پارامترهای اقتصادی

مقدمه

ایجاد مدلی ساختگی که با دقت مورد نیاز از رفتار یک سیستم پیروی می‌کند را شبیه‌سازی گویند. یک مدل را بر اساس رفتار یک سیستم می‌سازیم که باعث استخراج یک سری اطلاعات می‌شود، با تحلیل این اطلاعات، اقدام به مقایسه سیستم شبیه‌سازی‌شده و اتخاذ تصمیم می‌شود. مزیت‌های شبیه‌سازی عبارت از حذف خسارت‌های مالی و جانی، ریسک‌های متفاوت را به سیستم وارد کرده، اجرای پویانمایی فرآیند جهت نمایش نحوه انجام فرآیند و تعیین گره‌ها در نحوه کارکرد صحیح فرآیند[۲]. نحوه عملکرد یک سیستم شبیه‌سازی در شکل ۱ ارائه‌شده است.

به علت قیمت بالای نرم‌افزارهای تخصصی شبیه‌سازی کارخانه‌های شناورسازی (SIM PAC,MODSIM) ، در ایران تنها چند مجتمع بسیار بزرگ که توانایی تأمین هزینه‌های تهیه این نرم‌افزارها را دارا می‌باشند، قادر به شبیه‌سازی فرآیندهای کارخانه‌های شناورسازی باشند. در این پژوهش سعی بر تطبیق ابزارهای موجود در نرم‌افزار شبیه‌سازی ARENA با وظایف بخش‌های مختلف فرآیند شناورسازی بر اساس پارامترهای کاربردی در کارخانه شناورسازی فرآوری کانسنگ سولفیدی مس گردید و در مرحله بعد اقدام به ارائه فلوشیت شناورسازی در نرم‌افزار و بررسی تأثیرات عوامل مختلف بر فرآیند مورد بررسی گردید.



شکل (۱): عملکرد سیستم شبیه‌سازی[۱]

موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی

کارخانه تکنار در غرب استان خراسان رضوی و ۲۷ کیلومتری شمال غربی شهرستان بردسکن واقع‌شده است. راه‌های دسترسی به این محدوده از طریق جاده آسفالته بردسکن به انابد می‌باشد که پس از پیمودن مسافتی در حدود ۱۲٫۵ کیلومتر وارد جاده خاکی شمالی شهر انابد شده و پس از پیمودن حدود ۱۴٫۵ در جهت شمال و عبور از روستای کلاته جمعه به مجتمع موردنظر خواهیم رسید.

خط فرآوری کانسنگ مس

خط فرآوری کانسنگ سولفیدی مس مورد مطالعه در این پژوهش متشکل از بخش خردایش، نرمایش یا در اصطلاح آسیاکنی و بخش شناورسازی با ظرفیت ۲۵۰ تن می‌باشند که در این تحقیق بخش شناورسازی مدار اشاره شده، مورد بررسی قرار گرفت. خط شناورسازی مورد نظر شامل یک آسیای گلوله‌ای با ظرفیت ۲۵۰ تن در روز، سه عدد سایکلون‌های جدایش، یک عدد کاندیشنر، سلول‌های پرعیارسازی که به ترتیب شامل سلول اولیه، سلول اولیه شماره ۲، رمق گیر و در نهایت سلول شست‌وشو می‌باشند.

خوراک ورودی با ابعاد صفر الی ۸ میلی‌متر که دارای عیار ۱ درصد می‌باشد به‌منظور رسیدن به ابعاد زیر ۷۵ میکرون به همراه آب وارد آسیا می‌شوند. در مرحله بعد پالپ خروجی آسیا وارد سایکلون شده و ذرات دارای ابعاد مناسب که به‌وسیله سایکلون جدا شده‌اند وارد کاندیشنر شده و پس از افزوده شدن کف‌ساز (MIBC) و کلکتور (Z11) وارد سلول اولیه می‌شود، کنسانتره سلول اولیه جهت پرعیارسازی به سلول شست‌وشو هدایت‌شده و باطله آن به سلول اولیه شماره ۲ هدایت می‌گردد. کنسانتره این سلول اولیه شماره ۲ نیز وارد سلول شست‌وشو شده و باطله آن به سلول رمق گیر هدایت می‌شود. در سلول رمق گیر کنسانتره به همراه باطله سلول شست‌وشو به آسیا هدایت می‌گردد و باطله سلول رمق گیر به‌عنوان باطله نهایی و کنسانتره سلول شست‌وشو که عیاری در حدود ۲۵ درصد می‌باشد به‌عنوان کنسانتره نهایی از مدار خارج می‌گردد.

روش کار

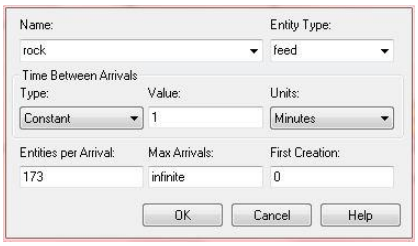
در ابتدا اقدام به پیاده‌سازی فلوشیت فرآیند در نرم‌افزار و تعیین نقش ماژول‌های مختلف به‌منظور شبیه‌سازی دستگاه‌ها و خدمتی که در طول فرآیند صورت می‌دهند، گردید. در مرحله بعد با توجه به نقش هر بخش از فرآیند ماژول‌های ورودی، فرآیند و تصمیم‌گیری تعریف گردید. پس از تعیین پارامترهای هر ماژول اقدام به اجرای فرآیند در ۲ گردش ۱۸۰ دقیقه‌ای با ۱۰ دقیقه زمان خلأ به‌عنوان زمان پایدار شدن سیستم یا در اصطلاح زمان گرم شدن گردید و نتایج جهت انجام محاسبات ثبت گردید. نکته حائز اهمیت، این مطلب می‌باشد که فرآیندهای شناورسازی فرآیندهایی پیوسته می‌باشند، این در حالی است که نرم‌افزار Arena نرم‌افزار شبیه‌سازی فرآیندهای گسسته می‌باشد. به‌منظور جلوگیری از ایجاد خطا و به حداقل رساندن خطا اقدام به انتخاب بازه‌های زمانی کوچک بدین منظور گردید[۴]. درنتیجه بازه‌های زمانی به دقیقه و اوزان خوراک و مواد شیمیائی به ترتیب برحسب کیلوگرم و گرم لحاظ گردید و به همین ترتیب مبالغ هزینه‌ای هر بخش‌بر حسب واحد مورداستفاده تعدیل گردید.

تخصیص ماژول و تعیین مقادیر

تعریف هر یک از این ماژول‌ها بر اساس نقش دستگاه‌های مرتبط با فرآیند استوار شده است. نهاده عبارت است از خوراک ورودی یا همان کانسنگ مس، آب که در دو بخش مجزا به فرآیند اضافه خواهد شد، مواد شیمیایی که به ترتیب کلکتور (Z11)و کف‌ساز (MIBC) می‌باشند به‌عنوان Resource می‌باشند که وظیفه انجام فرآیند جدایش مس از باطله را دار می‌باشند تعریف گردیدند که در ماژول Process تعریف شدند. همچنین دیگر ماژول‌های مورداستفاده شامل ماژول Decide جهت تعیین میزان باطله و کنسانتره خروجی هر سلول یا به‌عبارت‌دیگر راندمان خروجی سلول، ماژول Record جهت ثبت مقادیر کنسانتره و باطله خروجی از سیستم و ماژولDispose جهت خاتمه فرآیند می‌باشند.

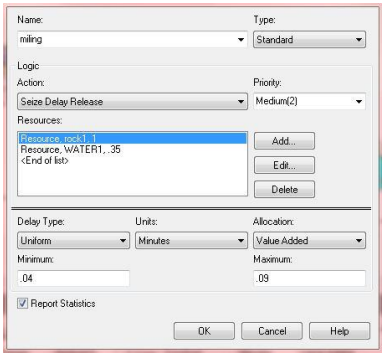
شرح عملیات

در ابتدا به‌وسیلهCreate ورودی سیستم، نوع ورودی، واحد زمان و مقادیر آن را تعیین می‌کنیم. در زیر به مقادیر تعیین‌شده اشاره‌شده است:



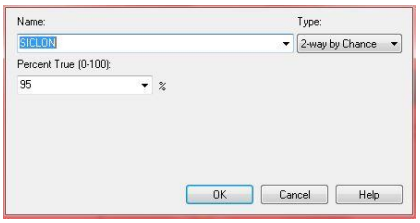
شکل (۱) ماژول ورودی سیستم

پس از تعیین ورود خوراک به‌منظور انجام عملیات آسیاکنی از ماژول Process استفاده می‌شود که در آن باید از گزینه Seize Delay Release که نشان‌دهنده اشغال منبع، ایجاد تأخیر جهت انجام فعالیت و درنهایت ترخیص منبع استفاده نمود. به علت اینکه فرآیند آسیاب کنی فرآیند دارای ارزش‌افزوده می‌باشد گزینه ارزش‌افزوده را انتخاب و بازه زمانی بر روی دقیقه و درنهایت نوع تأخیر در این فرآیند را به‌صورت Uniform انتخاب می‌کنیم[۳].



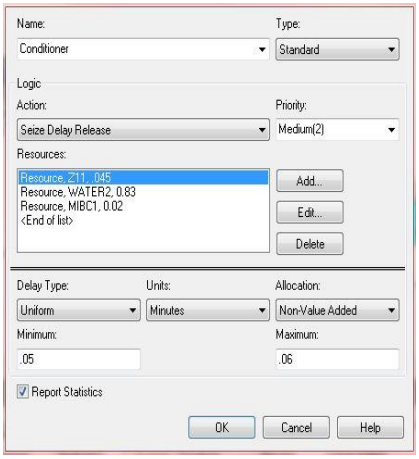
شکل (۲) ماژول Process سیستم

پس از تعیین نقش آسیا نیاز به یک ماژول Decide می‌باشد که مقادیر Over flow که از بخش سایکلون باز می‌گردد را به آسیا هدایت نماید. در این بخش درصد عبوری بر روی ۹۵ درصد و نوع عبور را بر اساس 2Way by chance تعیین شد.



شکل (۳) ماژولDecide سیستم

جریان عبوری از سایکلون به کاندیشنر وارد می‌شود که بار دیگر باید از گزینه Seize Delay Release استفاده نمود. این بار از گزینه بدون ارزش‌افزوده استفاده می‌نماییم و بازه زمانی بر روی دقیقه و درنهایت نوع تأخیر در این فرآیند را به‌صورت Uniform انتخاب می‌کنیم.



شکل (۴) ماژول شبیه سازی سایکلون

پس از خروج جریان از این بخش و ورود آن به داخل سلول‌ها با توجه به عیار کنسانتره و باطله خروجی هر سلول بار دیگر به‌وسیله ماژول Decide راندمان هر سلول را تعیین می‌کنیم که به ترتیب برای سلول اولیه پرعیارسازی ۱۲,۲ درصد، سلول اولیه پرعیارسازی شماره دو ۳,۲ درصد، رمق گیر ۱,۶ درصد و درنهایت سلول شست‌وشو ۲۱ درصد می‌باشند و برای تمامی سلول‌ها از نوع 2Way by chance استفاده می‌کنیم.

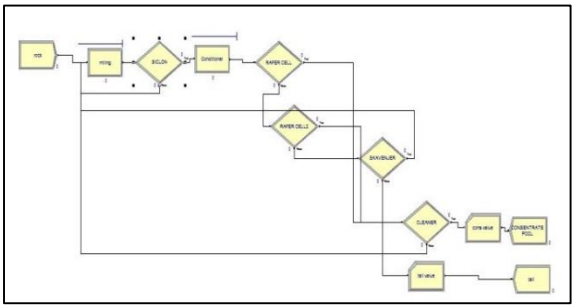
	Name	Type	Percent True
1	SICLON	2-way by Chance	95
2	RAFER CELL	2-way by Chance	12.2
3	SKAVENJER	2-way by Chance	1.6
4	CLEANER	2-way by Chance	21
5	RAFER CELL2	2-way by Chance	3.2

شکل (۵) ماژول Decide

درنهایت از ماژول Counter به‌منظور شمارش کنسانتره و باطله خروجی سیستم استفاده می‌کنیم که در آن نوع شمارش را بر روی تعداد قرار می‌دهیم.

شکل (۶) ماژول شمارنده

فلوشیت شبیه‌سازی شده فرآیند بر اساس فلوشیت سیستم شناورسازی اشاره‌شده در ابتدای مقاله به شکل زیر می‌باشد:



شکل (۷) شبیه سازی مدار شناورسازی

پس از این مرحله جهت تعیین رفتار سلول‌ها و تأثیر آن در بازیابی کلی سیستم، به ترتیب اقدام به تغییر ۲۰ درصدی در بازیابی هرکدام از سلول‌ها گردید و رفتار فرآیند ثبت گردید.

جدول(۱) تغییر راندمان سلول‌ها

	سلول اولیه	سلول اولیه ۲	سلول رمق گیر	سلول شست‌وشو
حالت استاندارد	۱۲/۲	۳/۲	۱/۶	۲۱
حالت اول	۹/۷۶	۳/۲	۱/۶	۲۱
حالت دوم	۱۲/۲	۲/۵۶	۱/۶	۲۱
حالت سوم	۱۲/۲	۳/۲	۱/۲۸	۲۱
حالت چهارم	۱۲/۲	۳/۲	۱/۶	۱۶/۸

نتایج حاصل از شبیه‌سازی

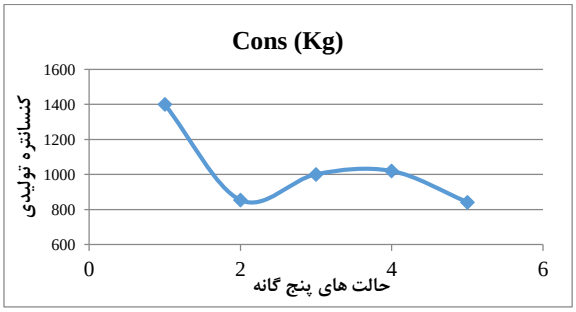
نتایج خروجی نرم‌افزار در حالت استاندارد و پس از اعمال تغییرات چهارگانه در زیر آورده شده است:

	حالت استاندارد	حالت اول	حالت دوم	حالت سوم	حالت چهارم
Non-Value Added Cost	55346	58694.76	59560.83	59871.70	60336.64
Value Added Cost	628084	665522.55	675525.19	678673.63	685087.83
Total Cost	683430	724217.32	735086.02	738545.33	745424.48
Usage Cost	683430	724217.32	735086.02	738545.33	745424.48
Number Out	28545	28545	28545	28545	28545
VA Time(Feed)	0.073	0.077	0.078	0.079	0.079
NVA TIME(Feed)	0.058	0.062	0.063	0.063	0.064
Total Time(Feed)	0.131	0.139	0.141	0.142	0.143
VA Cost(Feed)	21.8848	23.20	23.55	23.66	23.88
Total Cost(Feed)	15995	15997.25	15997.63	15997.75	15998.00
Number In(Feed)	28718	28718	28718	28718	28718
WIP(Feed)	22.70	24.06	24.43	24.55	24.77
VA Time Per Entity(Milling)	0.06498	0.06497	0.06502	0.06500	0.06504
VA Time Per Entity(Conditioner)	0.05501	0.05499	0.05499	0.05499	0.05499
Accum VA Time(Milling)	2075.84	2199.76	2234.84	2244.64	2267.40
Accum NVA Time(Conditioner)	1669.71	1770.15	1796.48	1805.57	1819.74
Accum VA Cost(Milling)	624700.4475	662139.4523	672142.0905	675290.526	681704.73
Accum NVA Cost(Conditioner)	55346.270	58694.762	59560.829	59871.702	60336.644
Number In(Milling)	32118	34032.5	34544	34705	35033
Number In(Conditioner)	30355	32191.5	32666.5	32837	33092
Number Out(Milling)	31945	33859.5	34371	34532	34860
Number Out(Conditioner)	30355	32191.5	32666.5	32837	33092
Instantaneous Utilization	MIBC1	0.040	0.043	0.044	0.044	0.044
	rock1	0.073	0.077	0.078	0.079	0.079
	WATER1	0.031	0.033	0.034	0.034	0.034
	WATER2	0.040	0.043	0.043	0.043	0.044
	Z11	0.046	0.048	0.049	0.049	0.050
Number Busy	MIBC1	0.202	0.215	0.218	0.219	0.221
	rock1	12.581	13.332	13.544	13.604	13.742
	WATER1	4.403	4.666	4.741	4.761	4.810
	WATER2	8.399	8.904	9.037	9.083	9.154
	Z11	0.455	0.483	0.490	0.492	0.496
Number Scheduled	MIBC1	5	5	5	5	5
	rock1	173	173	173	173	173

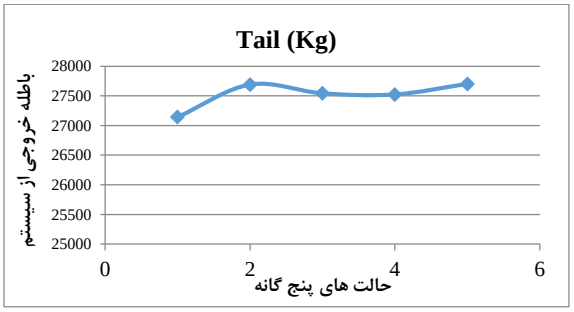
	WATER1	140	140	140	140	140
	WATER2	209	209	209	209	209
	Z11	10	10	10	10	10
	MIBC1	0.0405	0.0429	0.0436	0.0438	0.0441
	rock1	0.0727	0.0771	0.0783	0.0786	0.0794
Scheduled Utilization	WATER1	0.0315	0.0333	0.0339	0.0340	0.0344
	WATER2	0.0402	0.0426	0.0432	0.0435	0.0438
	Z11	0.0455	0.0483	0.0490	0.0492	0.0496
	MIBC1	607.1	643.83	653.33	656.74	661.84
	rock1	32118	34032.5	34544	34705	35033
Total Number Seized	WATER1	11241.3	11911.375	12090.4	12146.75	12261.55
	WATER2	25194.65	26718.945	27113.195	27254.71	27466.36
	Z11	1365.975	1448.6175	1469.9925	1477.665	1489.14
	MIBC1	14521.832	15400.4136	15627.6536	15709.2208	15831.2128
	rock1	624373.92	661591.8	671535.36	674665.2	681041.52
Usage Cost	WATER1	3709.629	3930.75375	3989.832	4008.4275	4046.3115
	WATER2	8314.2345	8817.25185	8947.35435	8994.0543	9063.8988
	Z1	32510.2	34477.096	34985.821	3516	3544

1	05	5	5	8.427	1.532	

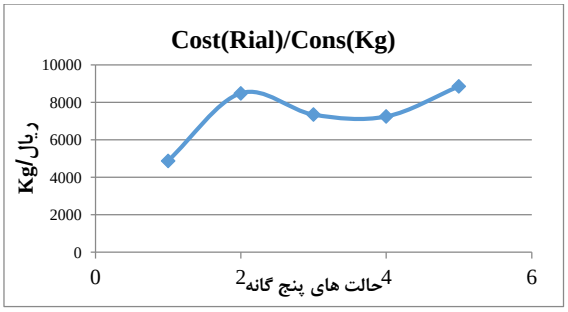
با استفاده از پارامترهای هزینه‌ای و عملیاتی ارائه‌شده در بالا اقدام به ترسیم نمودارهای زیر گردید:



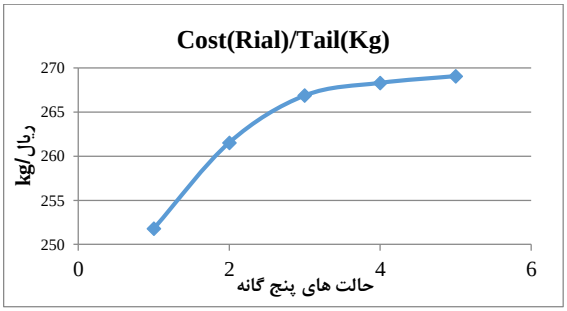
شکل (۸) مقادیر کنسانتره در حالت‌های تعیین‌شده



شکل (۹) مقادیر باطله در حالت‌های تعیین‌شده



شکل (۱۰) نسبت هزینه به مقدار کنسانتره در حالات تعیین‌شده



شکل (۱۱) نسبت هزینه به مقدار باطله در حالات تعیین‌شده

نتیجه‌گیری

همان‌گونه که از نمودارهای بالا مشخص است بیشترین تأثیر بر روی کاهش بازیابی سیستم فرآوری، به ترتیب ناشی از سلول شست‌وشو، سلول اولیه، رمق‌گیر و سلول اولیه شماره دو می‌باشد. همچنین با کاهش راندمان سیستم ضریب هزینه‌ای سیستم نیز روندی افزایشی از خود نشان می‌دهد. علاوه بر این، زمان کلی ماند خوراک درون کاندیشنر برابر ۱۹ دقیقه می‌باشد. بار در گردش کاندیشنر برابر ۳۶۱۳ کیلوگرم و بار در گردش درون آسیا برابر ۹۳۰۲ کیلوگرم، بار ورودی به سلول‌ها برابر ۲۵۳۸۰ کیلوگرم بوده است.

مراجع

[۱] شبیه‌سازی سیستم‌های گسسته پیشامد، جری بنکس - جان کارسون، ترجمه هاشم محلوجی، انتشارات دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۹۲

[۲] علم و هنر شبیه‌سازی، شاون – رابرت، ترجمه علی اکبر عرب مازار، مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۹۰

[۳] آموزش شبیه‌سازی عملیات با Arena، شهروز انتظامی و عبدالوحید خراسانی، انتشارات ناقوس، ۱۳۸۵

[4] Woolfson and Pert, An Introduction to Computer Simulation 1998, Oxford University Press

بلور
Journal of Mining engineering
Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic)
Scientific Association of Mining engineering
مقالات پژوهشی

خوشه بندی عصبی – فازی تعداد میانگین وایازی (*NFCMR*)

مطالعه موردی : رسوبات آبراهه ای غرب بیرجند

عادل شیرازی[۱]، عارف شیرازی[۲]، بشیر شکوه سلجوقی[۳] ، رضا روکی[۴]، اردشیر هزارخانی[۵]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی اکتشاف معدن، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (*Adel.Shirazy@Gmail.com*)

[۲] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی اکتشاف معدن، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (*Aref.Shirazi@aut.ac.ir*)

[۳] دانشجوی دکتری مهندسی معدن دانشگاه صنعتی امیرکبیر (*B.shokouh@aut.ac.ir*)

[۴] استادیار، دانشگاه صنعتی بیرجند ، گروه مهندسی معدن (*Rooki@birjandut.ac.ir*)

[۵] استاد دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (*Ardehez@aut.ac.ir*)

چکیده

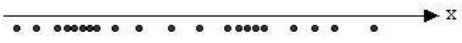
روش ابداعی خوشه بندی عصبی - فازی تعداد میانگین وایازی این مقاله ، روشی برای پیش‌بینی خوشه (آنومالی / زمینه) هر نمونه جدید با معیار احتمال حضور آن نمونه در خوشه دو خوشه است . این روش که تلفیقی از روش خوشه بندی فازی سی میانگین و شبکه عصبی مصنوعی رگرسیونی تعمیم یافته است میکوشد تا ابتدا نمونه های موجود در منطقه را با روش فازی با احتمال موجودیت در هر خوشه به دو خوشه آنومالی و زمینه تقسیم کرده و سپس با نتایج این عمل، شبکه عصبی مصنوعی رگرسونی تعمیم یافته آموزش ببیند و بتوان داده های جدید وارد شده در منطقه را با درصد احتمالی دو خوشه ها تحلیل کرد . به طور واضح تر میتوان گفت پس از اکتشاف کامل نیز می‌توان نمونه برداشته شده را با درصد احتمالی معین به آنومالی نسبت داد . برای آزمایش دقت این خوشه بندی به شکل صرفاً تئوری، مطالعه موردی بر روی نتایج آنالیز داده های رسوبات آبرفتی منطقه ای در بیرجند انجام گرفت که نتایج قابل قبولی را منتج شد .

واژه های کلیدی

خوشه بندی عصبی–فازی سی میانگین وایازی، FCM، GRNN، NFCMR ، جدایش آنومالی از زمینه، بیرجند، مس.

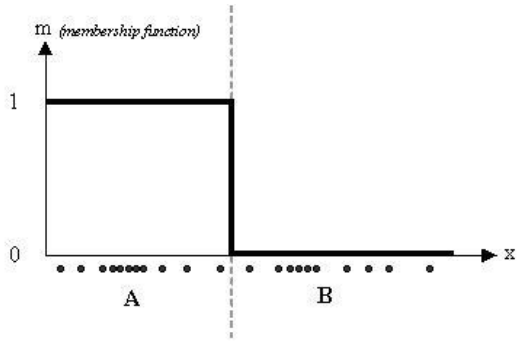
مقدمه

یکی از مهمترین و پرکاربردترین الگوریتم های خوشه بندی، الگوریتم سی میانگین می باشد. [۱] در این الگوریتم نمونه ها به عدد خوشه تقسیم می شوند و تعداد از قبل مشخص شده است . در نسخه فازی این الگوریتم نیز تعداد خوشه ها از قبل مشخص شده است (در این بررسی و روش معرفی شده نیازمند ۲ خوشه آنومالی و زمینه هستیم پس پارامتر سی ، دو خوشه را معرفی می‌نماید). برای مشاهده عملکرد خوشه بندی فازی به مثال زیر توجه کنید. در شکل (۱)، توزیعی تک بعدی از نمونه های ورودی آورده شده است.



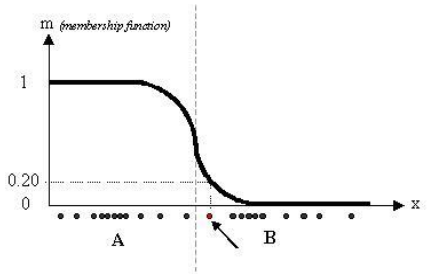
شکل(۱) توزیع یک بعدی نمونه ها

اگر از الگوریتم cمیانگین کلاسیک استفاده کنیم داده های فوق به دو خوشه مجزا تقسیم خواهند شد و هر نمونه تنها متعلق به یکی از خوشه ها خواهد بود. بعبارت دیگر تابع تعلق هر نمونه مقدار ۰ یا ۱ خواهد داشت. نتیجه خوشه بندی کلاسیک مطابق شکل (۲) است. [۴]



شکل (۲) خوشه بندی کلاسیک نمونه های ورودی

شکل ۲ تابع تعلق مربط به خوشه A را نشان می دهد. تابع تعلق خوشه B متمم تابع تعلق A می باشد. همانطور که مشاهده می کنید نمونه های ورودی تنها به یکی از خوشه ها تعلق دارند و بعبارت دیگر ماتریس U بصورت باینری می باشد. حال اگر از خوشه بندی فازی استفاده کنیم خواهیم داشت:



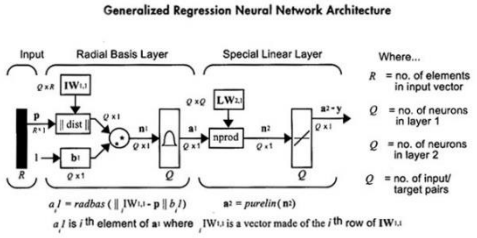
شکل(۳) خوشه بندی فازی نمونه ها

مشاهده می کنید که در این حالت منحنی تابع تعلق هموارتر است و مرز بین خوشه ها بطور قطع و یقین مشخص نشده است. بعنوان مثال نمونه ای که با رنگ قرمز مشخص شده است با درجه تعلق ۰,۲ به خوشه A و با درجه تعلق ۰,۸ به خوشه B نسبت داده شده است. [۵]

نقاط قوت الگوریتم c میانگین فازی:

- همیشه همگرا می شود.
- بدون نظارت بودن الگوریتم. [۶]

شبکه های عصبی مصنوعی با الهام از سیستم مغز و سلولهای عصبی (نرون) جانوران به وجود آمده اند. شبکه های عصبی مصنوعی، نسبت به شبکه های عصبی بیولوژیکی محدوده بسیار کوچکتری را پوشش می دهند و توانائی و قابلیت بسیار کمتری نسبت به شبکه های عصبی بیولوژیکی دارند. آنچه عملاً مورد توجه است توانائی محاسباتی شبکه در انجام یک فعالیت خاص، همانند تقریب زدن یک تابع می باشد[۲] شبکه‌های عصبی مصنوعی رگرسیونی تعمیم یافته اغلب برای تقریب توابع استفاده می شود و ساختار آن شبیه به شبکه شعاعی می باشد ، اما در دومین لایه تفاوت کوچکی با شبکه شعاعی دارد . تفاوت را می‌توان در شکل ۴ در جعبه nprod دید . در جعبه nprod ، درایه های S^2 در بردار n^2 را تولید می کند. هر درایه بوسیله یک سطر $LW^{2,1}$ و بردار ورودی a^1 از لایه اول ، تولید شده است و تمام آنها بوسیله جمع با درایه های a^1 نرمالیزه می شوند.

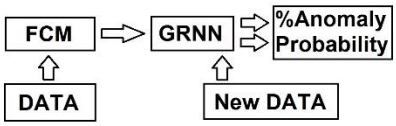


شکل (۴) معماری شبکه GRNN [۹]

از معیار های رسیدن به پیش‌بینی مطلوب انتخاب شعاع مناسب برای شبکه است . طوری که هم برای داده های آموزش هم آزمایش میزان دقت بالایی را فراهم کند[۷] [۸] .

الگوریتم

الگوریتم کار به صورت شکل ۵ انجام می‌گیرد به طوری که ابتدا داده‌های منطقه به روش فازی سی (عدد) میانگین به دو دسته آنومالی و زمینه تقسیم شده و درصد احتمال آنومالی بودن هر نمونه مشخص میگردد سپس داده ها و درصد احتمال هر داده به شبکه عصبی مصنوعی وایازی تعمیم یافته ، داده شده سپس با دادن نمونه جدید به این سیستم میزان احتمال تعلق آن نمونه به آنومالی مشخص میگردد .

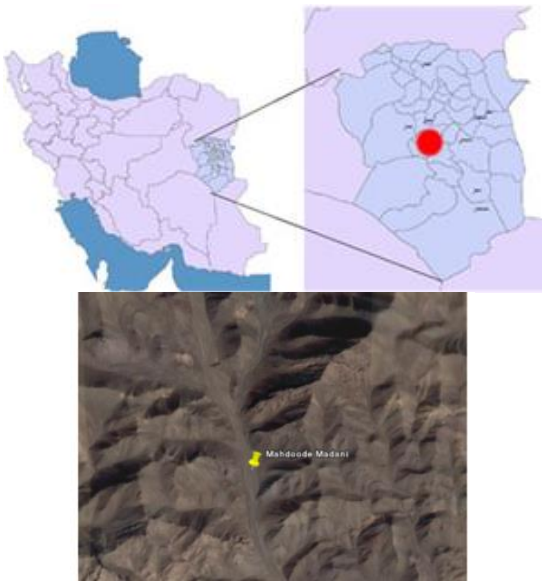


شکل (۵) الگوریتم شماتیک NFCMR

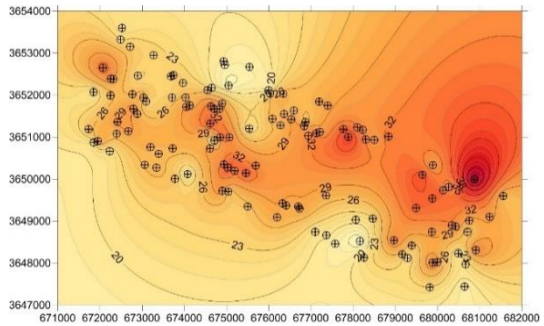
این روش در نرم افزار متلب کد نویسی گردیده و با ذکر توضیحات قابل ارائه به علاقه مندان جهت بهبود است.

موقعیت و زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی

محدوده پلی متال مورد مطالعه در عرض های جغرافیایی"۲۳ '۵۸ °۳۲ شمالی و "۷ '۵۶ °۵۸ شرقی و در ۳۰ کیلومتری شمال غربی شهرستان بیرجند در خراسان جنوبی قرار گرفته است. شکل (۶ و ۷)



شکل (۶) منطقه مورد بررسی



شکل (۷) محل نمونه های برداشت شده و تخمین سایر نقاط به وسیله کریجینگ

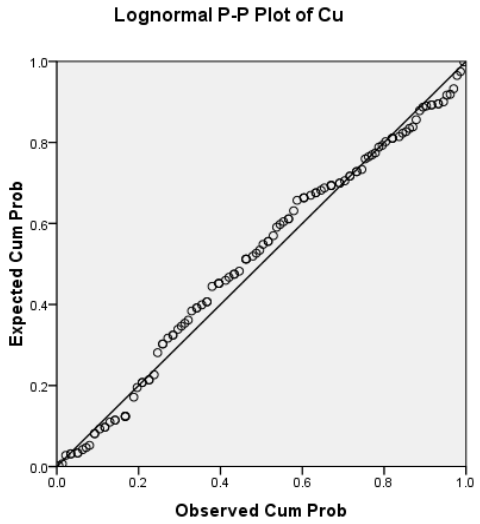
این ناحیه از نظر تقسیم بندی ایالت های ساختاری پوسته ایران در خاور خرد قاره ایران مرکزی در حاشیه شمال باختری پهنه لوت قرار گرفته است. سامانه گسلی نهبندان که تمامی ایالات ساختاری سیستان را در بر می گیرد، در بخش شمالی با تغییر جهت به طرف باختر به صورت تداخلی وارد پهنه لوت می شود. منطقه چشمه خوری نیز در باختری ترین محل شمالی (Splay) این تغییر روند ساختاری واقع شده که تحت تأثیر سرشاخه های سامانه گسلی مزبور قرار گرفته است. سیمای منطقه را عموماً سنگ های آتشفشانی و حدواسط سنوزوییک به صورت توده های آندزیتی، آندزیت بازالت، داسیت و ریوداسیت نفوذی تشکیل داده اند که در برخی موارد موجبات ایجاد دگرسانی و کانه زایی را فرآهم آورده اند. آذرآواری ها نظیر توف های اسیدی دگرسان شده و برش ها با قطعات سنگی آندزیت نیز در منطقه وجود داشته و واحدهای غیرآتشفشانی نظیر کنگلومرا، ماسه سنگ، پلایاهای نمکی و آبرفت های جوان در منطقه یافت می شوند. [۳]

بررسی های آماری

نمونه ها طی بررسی های آماری انجام شده منتج به جدول ۱ و همچنین نرمال بودن داده ها به صورت لوگاریتمی طی شکل (۸) نشان داده شده است .

جدول(۱) نتایج آماری اولیه

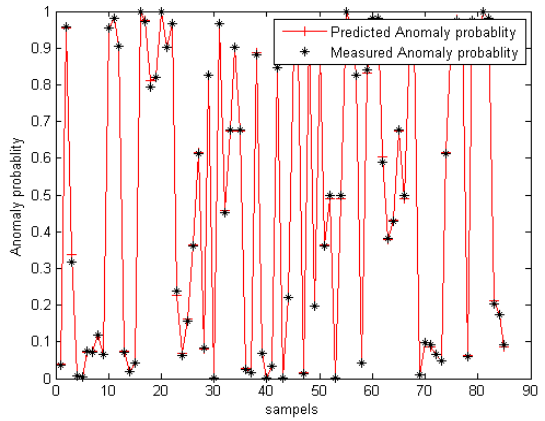
	تعداد	بازه	کمینه	بیشینه	مجموع
Cu	120	34.60	15.00	49.60	3272.10
میانگین	انحراف استاندارد		واریانس	چولگی	تیزی
27.2675	5.39130		29.066	0.450	1.490



شکل (۸) نمودار P-P به صورت لاگ نرمال

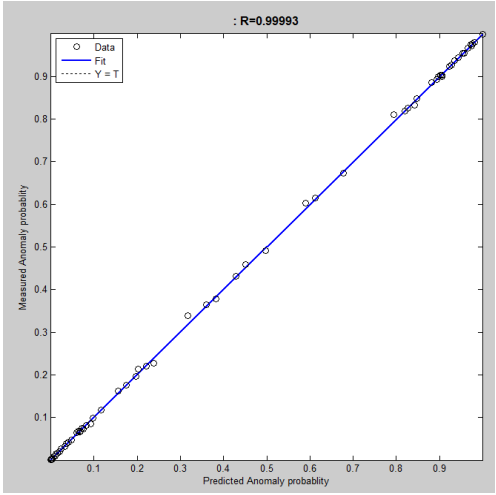
آزمایش روش NFCMR

داده های مذکور با جدایش ۳۰٪ به عنوان داده آزمایش و ۷۰٪ به عنوان داده آموزش وارد روش پیشنهادی گردیدند و نتایج به صورت اشکال (۹ الی ۱۲) نشان داده شدند .

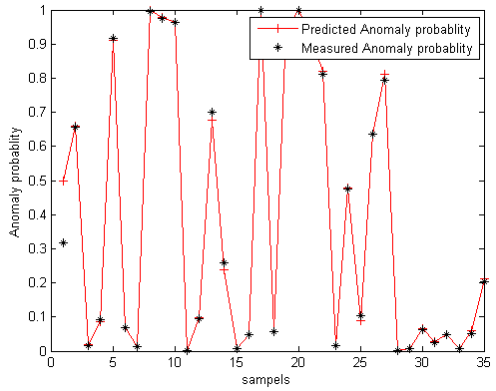


شکل(۹) خط پیشبینی و نقاط واقعی (داده های آموزش)

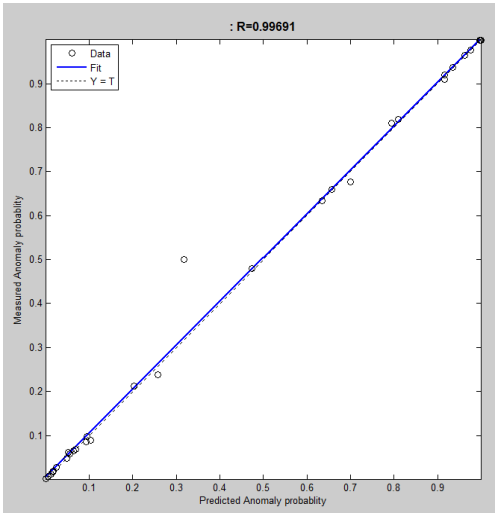
همانطور که در شکل های ۱۰ الی ۱۲ مشاهده می‌کنید شبکه برای داده های آموزشی ۹۹,۹۹٪ دقت عملکرد داشته و برای داده های آزمایش که اهمیت آن بسیار بالاتر از داده های آموزشی است دقت ۹۹,۶۹٪ را ارائه کرده که نشان از دقت بالای عملکرد این روش در تخمین احتمال آنومالی/زمینه نمونه جدید است.



شکل (۱۰) داده های پیشبینی و واقعی (داده های آموزش)



شکل (۱۱) خط پیشبینی و نقاط واقعی (داده های آزمایش)



شکل (۱۲) داده های پیشبینی و واقعی (داده های آزمایش)

نتیجه

روش ابداعی خوشه بندی عصبی - فازی تعداد میانگین وایازی در این مقاله ، روشی برای پیش‌بینی خوشه (آنومالی / زمینه) هر نمونه جدید با معیار احتمال حضور آن نمونه در خوشه دو خوشه است . این روش که تلفیقی از روش خوشه بندی فازی سی میانگین و شبکه عصبی مصنوعی رگرسیونی تعمیم یافته است می‌کوشد تا ابتدا نمونه های موجود در منطقه را با روش فازی با احتمال موجودیت در هر خوشه به دو خوشه آنومالی و زمینه تقسیم کرده و سپس با نتایج این عمل، شبکه عصبی مصنوعی رگرسونی تعمیم یافته آموزش ببیند و بتوان داده های جدید وارد شده در منطقه را با درصد احتمالی دو خوشه ها تحلیل کرد . به طور واضح تر میتوان گفت پس از اکتشاف کامل نیز می‌توان نمونه برداشته شده را با درصد احتمالی معین به آنومالی نسبت داد . این روش زمانی کارایی خود را بهتر نشان میدهد که بتوان منطقه اکتشافی را به مناطق دیگر تعمیم داد . این روش برای هر منظوری قابل استفاده بوده و میتوان با مطالعات بیشتر برای علوم دیگر مورد نقد و استفاده قرار بگیرد . برای آزمایش دقت این خوشه بندی به شکل صرفاً تئوری، مطالعه موردی بر روی نتایج آنالیز داده های رسوبات آبرفتی منطقه ای در بیرجند انجام گرفت که دقت آن برای داده های آموزش ۹۹,۹۹٪ و داده های آزمایش ۹۹,۶۹٪ برآورد شد که نتایجی با دقت بالا را نشان می‌دهد .

مراجع

[۱] خاتمی، ح.، **مبانی مدل‌سازی فازی: جبر فازی**، ویرایش اول، کرمان، نشر دانشگاه شهید باهنر، ۱۳۸۷.

[۲] فاست، لوران ، **مبانی شبکه های عصبی**، مترجمان ویسی،ه. ، مفاخری، ک. ، باقری شکری ، س. ، جلد یک ، تهران، انتشارات نص، ۱۳۹۲.

[۳] آقانباتی، ع.، **زمین‌شناسی ایران**، وزارت صنایع و معادن، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات مواد معدنی کشور، ۱۳۸۳.

[4] Timothy J. Ross , “Fuzzy Logic with Engineering Applications” Wiley Publication , Third Edition , (2010)

[5] Kasabov, Nikola K. “*Foundations of neural networks, fuzzy systems, and knowledge engineering*.” Marcel Alencar, 1996.

[6] Bezdek, James C., Robert Ehrlich, and William Full. "FCM: The fuzzy c-means clustering algorithm." *Computers & Geosciences* 10.2-3 (1984): 191-203.

[7] Specht, Donald F. "A general regression neural network." *IEEE transactions on neural networks* 2.6 (1991): 568-576.

[8] Demuth, Howard, Mark Beale, and Martin Hagan. "*Neural network toolbox™ 6*." User Guide, COPYRIGHT 2008 (1992).

[9] Wikipedia. *Types of artificial neural networks* Oct 2016, https://en.wikipedia.org/wiki/Types_of_artificial_neural_networks .

بلور
Journal of Mining engineering
Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic)
General office of Scientific Association and Olympiad Affairs
مقالات گردآوری

نگاهی بر مغناطیس سنجی و کاربردهای آن

سید رضا مشهدی
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی معدن گرایش اکتشاف، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(*Reza.mashhadi93@yahoo.com*)

چکیده

هدف از مغناطیس‌سنجی، شناخت عوارض زیرسطحی به کمک اندازه گرفتن میدان مغناطیسی است. مغناطیس‌سنجی از جمله روش‌های ژئوفیزیکی است که کاربردهای متعدد در زمینه‌های گوناگون دارد. قابلیت برداشت هوایی و دریایی علاوه بر برداشت‌های زمینی، ارزان‌تر بودن نسبت به بسیاری از روش‌های دیگر ژئوفیزیکی، وجود نرم‌افزارهای نسبتا جامع جهت پردازش و تفسیر داده‌ها و... این روش را به یکی از پرکاربردترین و ارزان‌ترین روش‌های ژئوفیزیکی مبدل ساخته است. قدمت نسبتا زیاد این روش نسبت به روش‌های دیگر، باعث شده تا ابزارهای دقیق‌تری برای این روش ساخته شوند و متخصصان بیشتری این روش را به کار گیرند و در نتیجه، بسیاری از مشکلات در زمینه پردازش و تفسیر داده‌ها رفع شوند. هدف از گردآوری این مقاله، آشنایی مختصری با مبانی روش مغناطیس و نگاهی بر کاربردهای متعدد آن است. این روش در زمینه‌هایی چون اکتشاف کانسارهای معدنی، اکتشاف نفت، شناسایی حفره‌ها و کارست‌ها، زمین‌شناسی، مطالعات زیست محیطی، باستان‌شناسی، شناسایی اشیای مدفون فلزی و... کاربرد دارد.

واژه‌های کلیدی:

فن‌آوری‌های جدید، اتوماسیون، کنترل از راه دور، سیستم‌های حمل خودکار

مقدمه

هدف از مغناطیس‌سنجی، مطالعه و بررسی زیرسطحی زمین بر اساس آنومالی‌های میدان مغناطیسی زمین است که این آنومالی‌ها ناشی از خصوصیات مغناطیسی سنگ‌های واقع شده در درون زمین می‌باشند. اگرچه بیشتر کانی‌های سنگ‌ساز به طور مؤثر فاقد خاصیت مغناطیسی هستند اما انواع مشخصی از آن‌ها محتوی درصد کافی از کانی‌های مغناطیسی هستند تا بتوانند یک آنومالی چشمگیر مغناطیسی را به وجود آورند. در نتیجه، مغناطیس‌سنجی دارای کاربردهای وسیع و فراوان است. این مطالعات در مقیاس کوچک مثل مطالعات مهندسی و باستان‌شناسی جهت شناسایی اشیای فلزی مدفون، تا سنجش‌های مغناطیسی در مقیاس بزرگ جهت مطالعه ساختارهای زمین‌شناسی ناحیه‌ای به کار برده می‌شود. سنجش‌های مغناطیسی قابلیت برداشت زمینی، دریایی و هوابردی داشته در نتیجه، این تکنیک به طور گسترده به کار گرفته شده و سرعت برداشت هوابردی، این روش را در شناسایی منابع معدنی حاوی کانی‌های مغناطیسی بسیار جذاب و کارآمد ساخته است.

مفاهیم اصلی [۱]

در اطراف یک آهنربای میله‌ای یک فلوی مغناطیسی وجود دارد که از یک سر آهنربا به سر دیگر آن جهت‌گیری دارد. این فلوی مغناطیسی را می‌توان با جهت فرضی یک سوزن مغناطیسی که در فضا معلق است، بر روی کاغذ تصویر کرد. نقاطی را که فلوی مغناطیسی به سمت آن همگرایی دارند را «قطب مغناطیسی آهنربا» می‌نامند. اگر یک آهنربای میله‌ای به طور معلق آزاد نگه داشته شود، با میدان مغناطیسی زمین در آن نقطه همراستا می‌شود. آن قطب آهنربا که به سمت شمال زمین قرار می‌گیرد را قطب مثبت یا قطب شمال (N) آهنربا می‌نامند. این قطب در تعادل با قطب دیگریست که همان شدت را داراست اما در سوی دیگر آهنربا به سمت جنوب زمین قرار گرفته است که آن را قطب منفی یا قطب جنوب (S) آهنربا می‌گویند.

نیروی F میان دو قطب از دو آهنربا با شدت‌های m1 و m2 که در فاصله r از یکدیگر قرار گرفته‌اند برابر است با:

$$F = \frac{\mu_0 m_1 m_2}{4\pi\mu_R r^2} \qquad (۱)$$

که در آن μ_0 و μ_R ثابت‌های متناظر با تراوایی مغناطیسی خلأ و تراوایی مغناطیسی نسبی می‌باشند. این نیرو در صورت هم نوع بودن قطب‌ها از نوع دافعه است و اگر قطب‌ها غیر هم نوع باشند این نیرو از نوع جاذبه خواهد بود.

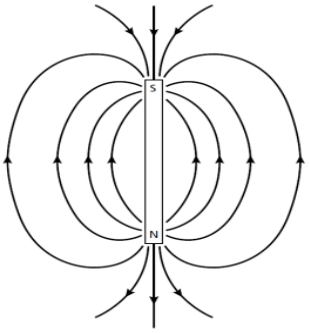
میدان مغناطیسی B ناشی از قطب آهنربایی با شدت m در فاصله r از آن به صورت نیروی وارده بر یک قطب مثبت با شدت واحد در آن نقطه تعریف شده است:

$$B = \frac{\mu_0 m}{4\pi\mu_R r^2} \qquad (۲)$$

میدان مغناطیسی می‌تواند با اصطلاح پتانسیل مغناطیسی مشابه روش به کار رفته برای میدان گرانی تعریف شود. پتانسیل مغناطیسی V ، برای یک تک قطب با شدت m در فاصله r از آن قطب برابر است با:

$$V = \frac{\mu_0 m}{4\pi\mu_R r} \qquad (۳)$$

مؤلفه‌ی میدان مغناطیسی در هر جهت برابر است با مشتق جزئی پتانسیل مغناطیسی در همان جهت.



شکل (۱۲) فلوی مغناطیسی در اطراف آهنربای میله‌ای [۱].

در سیستم SI ، پارامترهای مغناطیسی توسط جریان الکتریکی تعریف می‌شوند. اگر جریانی از یک سیم‌پیچ شامل چندین دور از یک سیم عبور کند، یک فلوی مغناطیسی درون فضای آنالوس (فضای داخلی سیم‌پیچ) و در بیرون از آن به وجود می‌آید که ناشی از یک نیرویی به نام نیروی مغناطیس‌کننده[۱] است که آن را با H نمایش می‌دهند. اندازه‌ی نیروی H با تعداد دورهای سیم‌پیچ و شدت جریان الکتریکی رابطه‌ی مستقیم و با طول سیم حامل جریان نسبت معکوس دارد. پس واحد نیروی H به صورت Am-1 بیان می‌شود. چگالی فلوی مغناطیسی که در یک سطح عمود بر جریان اندازه‌گیری می‌شود به نام القای مغناطیسی یا میدان مغناطیسی سیم‌پیچ B خوانده می‌شود. B با H و ثابت تناسب μ که تراوایی مغناطیسی نام دارد، متناسب است. قانون القایی لنز نرخ تغییر فلوی مغناطیسی در یک مدار را به ولتاژ به وجود آمده در آن مرتبط می‌کند، پس واحد B به صورت Vsm-2 یا (Wb)m-2 بیان می‌شود (Wb همان وبر معادل Vs می‌باشد). واحد Wbm-2 را به نام تسلا (Tesla) نام‌گذاری کرده و با T نمایش می‌دهند. واحد تراوایی نیز WbA-1m-1 یا Hm-1 است (نماد H همان Henry معادل WbA-1 می‌باشد). در سیستم c.g.s واحد میدان مغناطیسی G یا گووس می‌باشد که برابر است با 10-4T.

تسلا یک واحد بسیار بزرگ است و به همین خاطر برای بیان آنومالی‌های کوچک مغناطیسی ناشی از سنگ‌ها، از واحد نانو تسلا (10-9T) استفاده می‌شود. در سیستم c.g.s از واحدی به نام گاما γ استفاده می‌شود که یک گاما برابر است با 10-5G (به عبارت دیگر 1γ=1nT خواهد بود).

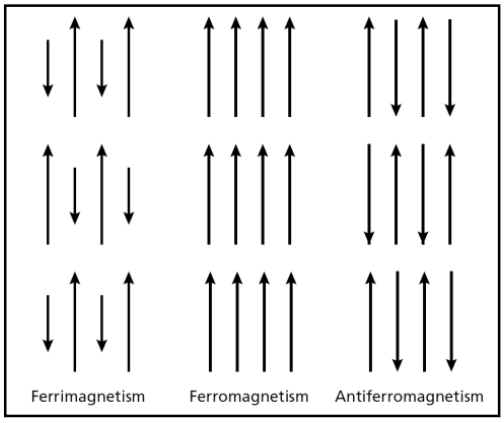
تمام مواد در مقیاس اتمی مغناطیسی هستند. هر اتم به خاطر دو عامل اسپین الکترون‌ها و مسیر اوربیتالی آن‌ها در اطراف هسته از نظر مغناطیسی همانند یک دوقطبی عمل می‌کند. تئوری کوانتوم بیان می‌کند که فقط ۲ الکترون با اسپین‌های مخالف یکدیگر می‌توانند در یک لایه الکترونی جای بگیرند. این دو الکترون را «جفت الکترون» می‌گویند که با داشتن اسپین‌های مخالف، ممان یا گشتاور مغناطیسی یکدیگر را خنثی می‌کنند. در مواد دیامغناطیس، تمام لایه‌های الکترونی پر است و هیچ الکترونی به صورت جفت نشده وجود ندارد. این مواد هنگامی که در درون یک میدان مغناطیسی قرار می‌گیرند، مسیر اوربیتالی الکترون‌هایشان می‌چرخد تا یک میدان در جهت مخالف میدان مغناطیسی خارجی به وجود آید. در نتیجه، خودپذیری مغناطیسی مواد دیامغناطیس ضعیف و منفی است. در مواد پارامغناطیس لایه‌های الکترونی کامل و پر نیستند، پس یک میدان مغناطیسی از اسپین الکترون‌های جفت نشده ایجاد می‌شود. این مواد زمانی که در یک میدان مغناطیسی خارجی قرار می‌گیرند، اسپین الکترون‌های جفت نشده آن‌ها (مشابه دوقطبی‌ها) می‌چرخند تا میدان مغناطیسی آن‌ها همراستا و هم‌جهت با میدان خارجی شود. پس خودپذیری مغناطیسی آن‌ها مثبت است اما اثر این قابلیت، ضعیف به شمار می‌رود.

در ذرات ریز بعضی از مواد خاص پارامغناطیسی که اتم‌های آن‌ها تعدادی الکترون جفت نشده دارند، دوقطبی‌هایی با اسپین این الکترون‌ها یکپارچه و همسو شده و در میان اتم‌های مجاور به طور مغناطیسی جفت می‌شوند. دوقطبی‌های این چنینی یک حوزه مغناطیسی را تشکیل می‌دهند. بسته به درجه‌ی هم‌پوشی مسیرهای گردش الکترون‌ها، این جفت‌شدگی می‌تواند موازی و هم‌جهت (Parallel) باشد یا اینکه موازی اما غیر هم‌جهت (Antiparallel) باشد. در مواد فرومغناطیس دوقطبی‌ها موازی و هم‌جهت (Parallel) هستند که مغناطیدگی را شدت می‌بخشند به طوری که حتی گاهی در غیاب میدان مغناطیسی خارجی، مغناطیسی هستند. پس این مواد از خودپذیری مغناطیسی بالایی برخوردارند. مواد فرومغناطیس عبارت‌اند از آهن، کبالت و نیکل، که به ندرت به طور طبیعی در پوسته زمین یافت می‌شوند. در مواد آنتی‌فرومغناطیس مثل هماتیت، دوقطبی‌های جفت شده در میان اتم‌ها، موازی و غیر هم‌جهت (Antiparallel) با تعداد مساوی از دوقطبی‌ها در هر جهت می‌باشند. در نتیجه، میدان‌های مغناطیسی دوقطبی‌ها به خودی خود (به علت غیر هم‌جهت بودن دوقطبی‌های موازی) خنثی می‌شوند. با این حال، نقص ساختاری شبکه‌ی بلوری یک ماده آنتی‌فرومغناطیس ممکن است

[۱] Magnetizing Force

باعث افزایش اندک خاصیت مغناطیسی در این حالت ویژه شود که به آنتی‌فرومغناطیسی پاراسیتیک معروف است.

در مواد فری‌مغناطیس مثل مگنتیت، دوقطبی‌های جفت شده به صورت موازی و غیر هم‌جهت هستند اما با این تفاوت که طول دوقطبی‌ها با جهت‌گیری‌های مختلف، متفاوت است. پس مشخص است که مواد فری‌مغناطیس می‌توانند مغناطیدگی خود به خودی قوی به وجود آورند و خودپذیری مغناطیسی بالایی داشته باشند. در نتیجه، تقریباً تمام کانی‌های مؤثر در خاصیت مغناطیسی سنگ‌های معمول[1] در این گروه جای می‌گیرند.



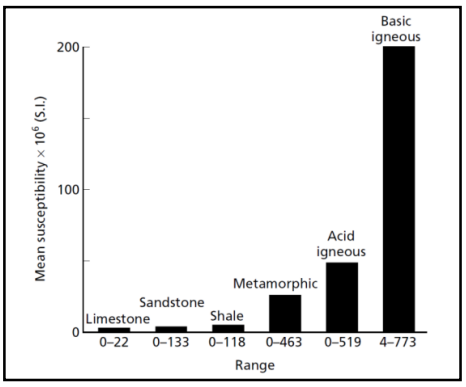
شکل (۲) شکل شماتیک نشان دهنده شدت و جهت‌گیری دوقطبی‌ها در مواد فرومغناطیس، آنتی فرومغناطیس و فری مغناطیس [۱]

خاصیت مغناطیسی سنگ‌ها[۱]

اکثر کانی‌های سنگ‌ساز خودپذیری مغناطیسی ضعیفی از خود نشان می‌دهند و خاصیت مغناطیسی خود را از بخش کوچک کانی‌های مغناطیسی در ترکیب خود می‌گیرند. تنها ۲ گروه از گروه‌های ژئوشیمیایی این دسته کانی‌ها را در خود دارند. گروه اکسیدهای آهن - تیتانیوم، که دارای کانی‌های مغناطیسی سری محلول‌های جامد از مگنتیت (Fe_3O_4) تا اُلوُو-اسپینل (Fe_2TiO_4) می‌باشند. اکسید معمول دیگر آهن یعنی هماتیت (Fe_2O_3) یک آنتی‌فرومغناطیس است و در نتیجه باعث تشکیل آنومالی‌های مغناطیسی نمی‌شود مگر اینکه یک مغناطیدگی پاراسیتیک در آن به وجود آید. گروه دیگر، گروه سولفیدهای آهن شامل کانی پیروتیت با ترکیب متغیر $(FeS_{(1+x)}\ ,\ 0<x<0.15)$ است که خودپذیری مغناطیسی آن به ترکیب شیمیایی آن بستگی دارد.

معمول‌ترین کانی مغناطیسی، مگنتیت است که دمای کوری آن 578ºC می‌باشد. اگرچه اندازه، شکل و پراکندگی (انتشار) دانه‌های مگنتیت در داخل سنگ بر روی خاصیت مغناطیسی سنگ مؤثرند، اما منطقی است تا خاصیت مغناطیسی سنگ‌ها را بر اساس درصد کل مگنتیت آن‌ها طبقه‌بندی کنیم. یک نمودار مطابق با شکل شماره ۳ ، مقایسه‌ای از خودپذیری مغناطیسی سنگ‌ها نشان می‌دهد.

سنگ‌های آذرین بازی معمولا به خاطر نسبت بالای مگنتیت خود به شدت مغناطیسی هستند. پراکندگی و انتشار مگنتیت در سنگ‌های آذرین عمدتا با افزایش خصلت اسیدی تمایل به کاهش دارد، پس سنگ‌های بازی خودپذیری مغناطیسی بیشتری نسبت به سنگ‌های اسیدی دارند، اگرچه رفتار و درصد مگنتیت در این سنگ‌ها متفاوت است. سنگ‌های دگرگونی نیز در زمینه رفتار و درصد مگنتیت متغیرند. اگر فشار جزئی اکسیژن کم باشد، مگنتیت دوباره جذب می‌شود و آهن و اکسیژن به هم در فازهای دیگر کانی می‌پیوندند همان‌طور که درجه دگرگونی افزایش می‌یابد. فشار جزئی نسبتا بالای اکسیژن می‌تواند منجر به تشکیل مگنتیت به عنوان کانی فرئی در فرآیندهای دگرگونی شود.



شکل (۱۳) میانگین و دامنه تغییرات خودپذیری مغناطیسی سنگ‌های مختلف [۱].

معمولا محتوای مگنتیتی سنگ‌ها یا به عبارت دیگر خودپذیری مغناطیسی آن‌ها به شدت متغیر است و هم‌پوشانی قابل‌توجهی بین لیتولوژی‌های مختلف می‌تواند وجود داشته باشد. معمولا شناسایی کردن قطعی لیتولوژی مسبب هر آنومالی، تنها با اطلاعات مغناطیسی آن امکان‌پذیر نیست. سنگ‌های رسوبی غیر مغناطیسی هستند مگر اینکه محتوی مقدار قابل‌توجهی از مگنتیت در بخش کانی‌های سنگین خود باشند. مکان‌هایی که آنومالی‌های مغناطیسی بر روی رسوبات پوشش دهنده مناطق دیده شده است، آنومالی عمدتا به علت یک پی‌سنگ (سنگ کف) آذرین یا دگرگونی بوده یا اینکه گاه به خاطر نفوذهایی [از ماگما] در سنگ رسوبی بوده است.

علت‌های معمول آنومالی‌های مغناطیسی عبارت‌اند از: دایک‌ها، گسل‌خوردگی‌ها، چین‌خوردگی‌ها، سیل‌ها یا لاواهای بریده شده و چین خورده، توده‌های نفوذی بازی، پی‌سنگ‌های دگرگونی و توده‌های کانساری مگنتیتی. گستره‌ی تغییرات آنومالی‌های مغناطیسی، از ده‌ها نانو تسلا در روی پی‌سنگ‌های عمیق دگرگونی تا چند صد نانو تسلا

[1] سنگ‌هایی که در پوسته زمین کمیاب هستند مثل شهاب‌سنگ‌ها، سنگ‌هایی با منشأ گوشته و...

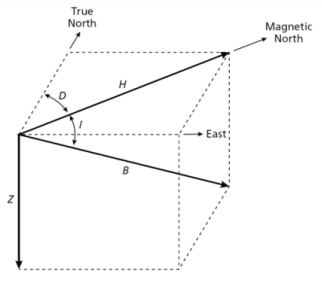
روی نفوذهای بازی می‌باشد و ممکن است تغییرات آن‌ها روی کانسنگ‌های مگنتیتی به چند هزار نانو تسلا برسد.

توجه به این نکته ضروری است که تقریباً تمام کانی‌های مغناطیسی، خاصیت مغناطیسی خود را در دمایی حدود 600 ºC از دست می‌دهند (دمای کوری[1]) و این دما در نزدیکی پی‌سنگ پوسته قاره‌ای محقق می‌شود. این نکته بیانگر این است که تمام تغییرات موجود در نقشه-های مغناطیسی، دارای منشأ پوسته قاره‌ای هستند.

میدان ژئومغناطیسی [۱]

آنومالی‌های مغناطیسی که به سبب سنگ‌ها هستند در حقیقت اثرات محلی اضافه شده بر میدان مغناطیسی طبیعی زمین یا میدان ژئومغناطیسی می‌باشند. در نتیجه، شناخت و دانش در مورد رفتار میدان مغناطیسی زمین برای تبدیل داده‌های اولیه مغناطیسی به داده‌های مناسب و نیز برای تفسیر آنومالی‌های به دست آمده لازم و ضروری است. میدان ژئومغناطیس از نظر هندسی پیچیده‌تر از میدان گرانی زمین است و تفاوت‌های غیرعادی در هر دو پارامتر جهت و اندازه بر حسب طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و زمان ایجاد می-کند.

در هر نقطه روی سطح زمین یک سوزن مغناطیسی معلق و آزاد، یک موقعیت فضایی در جهت میدان ژئومغناطیسی مشخص می‌کند. این جهت فرضی به طور معمول یک زاویه نسبت به شمال جغرافیایی و خط افق خواهد داشت. در جهت تشریح بردار میدان مغناطیسی، از معرف‌هایی مشهور به عناصر ژئومغناطیسی استفاده می‌شود. بردار میدان کل (بردار میدان ژئومغناطیس کل) یک مؤلفه قائم به نام Z و یک مؤلفه افقی به نام H در جهت شمال مغناطیسی دارد. شیب B، همان Inclination یا زاویه‌ی میل میدان می‌باشد و زاویه افقی بین شمال جغرافیایی و شمال مغناطیسی Declination یا زاویه‌ی انحراف میدان می‌باشد. اندازه‌ی B از حدود 25000nT در مناطق استوایی تا حدود 70000nT در قطب‌های مغناطیسی متغیر است.



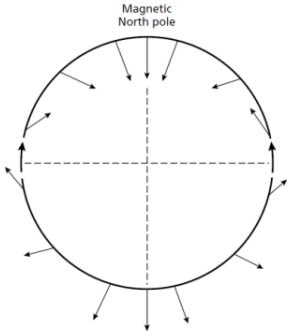
شکل (۱۴) عناصر ژئومغناطیسی [۱].

در نیمکره‌ی شمالی، شیب میدان مغناطیسی طبیعتاً به سمت پایین و رو به شمال است و در قطب مغناطیسی شمال به حالت عمود می‌رسد

[1] Curie Temperature

در حالی که در نیمکره‌ی جنوبی، شیب میدان به طور طبیعی به سمت بالا و رو به شمال است. خط صفر زاویه‌ی Inclination که تقریباً همان استوای جغرافیایی است، به نام استوای مغناطیسی مشهور است.

تقریباً 90% میدان مغناطیسی زمین را می‌توان از نظر تئوری، با میدان مغناطیسی یک دوقطبی فرضی در مرکز زمین با زاویه میل حدودی 11.5 درجه از محور چرخشی زمین نشان داد. ممان (گشتاور) مغناطیسی این دوقطبی مرکزی غیر واقعی را می‌توان از میدان حقیقی محاسبه کرد. اگر میدان مغناطیسی این دوقطبی از میدان حقیقی تفریق شود، میدان باقیمانده می‌تواند با یک دوقطبی دیگر کوچک‌تر تقریب زده شود. این فرآیند می‌تواند با فیت کردن دوقطبی-ها ادامه پیدا کند تا اینکه ممان کاهش یافته و در نهایت میدان ژئومغناطیسی حقیقی تا هر درجه دقت که نیاز است، شبیه‌سازی شود. اثرات هر دوقطبی فرضی منجر به یک تابع می‌شود که به هارمونیک معروف است و تکنیک تقریب‌زنی‌های پی در پی برای میدان حقیقی، آنالیز فوریه در مختصات قطبی کروی نامیده می‌شود. این روش، برای محاسبه فرمول میدان مرجع ژئومغناطیسی بین-المللی۲ یا به اختصار IGRF استفاده شده است که در هر نقطه روی سطح زمین، میدان مغناطیسی مختل نشده و تئوری را مشخص می-کند. در مغناطیس‌سنجی، برای اینکه تفاوت‌های نسبی از میدان تئوری حذف شوند از IGRF استفاده می‌شود. این فرمول به مقدار قابل‌توجهی از فرمول هم ارز خود در گرانی، که برای تصحیح عرض جغرافیایی استفاده می‌شود پیچیده‌تر است؛ زیرا که هارمونیک‌های بسیار زیادی به کار گرفته شده است.



شکل(۱۵) راستا و جهت میدان ژئومغناطیسی زمین در نقاط مختلف [۱].

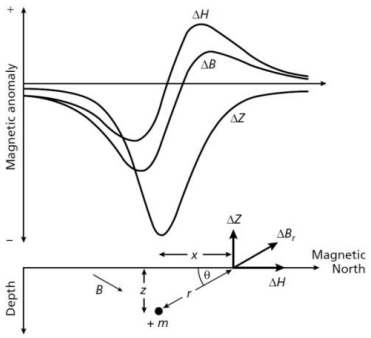
میدان ژئومغناطیسی در حقیقت نمی‌تواند نتیجه مغناطیس دائمی در داخل اعماق زمین باشد. ممان مغناطیسی دوقطبی لازم، خیلی بزرگ‌تر از آن است که تحقق بخشی آن در نظر گرفته شود و دگاهی بالای متداول درون زمین بسیار بیشتر از دمای کوری تمام مواد مغناطیسی شناخته شده است. علت میدان ژئومغناطیسی به یک

[2] International Geomagnetic Reference Field

فعالیت دینامیکی توسط گردش ذرات باردار در جفت سلول‌های همرفتی در داخل هسته‌ی خارجی مایع زمین نسبت داده می‌شود. اعتقاد بر این است که تغییر تسلط بین سلول‌ها در این جفت سلول-های همرفتی، تغییراتی در قطبیت میدان ژئومغناطیسی ایجاد می‌کند که این امر با مطالعات پالئومغناطیسی آشکار شده است. الگوی گردش در هسته ثابت نیست و با زمان به آهستگی تغییر می‌کند. بازتاب این امر به صورت یک تغییر آهسته، پیش‌رونده و موقتی در تمام عناصر ژئومغناطیسی است که «تغییرات دوره‌ای» خوانده می‌شود. این تغییرات قابل پیش‌بینی بوده و یک مثال کاملاً شناخته شده از چرخش آهسته شمال مغناطیسی به دور شمال جغرافیایی است.

اثرات مغناطیسی با منشأ خارجی باعث می‌شود تا میدان مغناطیسی به صورت روزانه تغییر کند و «تغییرات روزانه» را به وجود آورد. تحت شرایط نرمال (روزهای آرام[1] یا Q) تغییرات روزانه ملایم و معمولی است و دامنه‌ی تغییرات آن 20-80nT است، که ماکزیمم این تغییرات در نواحی قطبی می‌باشد. این تغییرات نتیجه میدان مغناطیسی القایی توسط حرکت ذرات باردار در داخل یونوسفر در نزدیکی قطب‌های مغناطیسی است؛ چون الگوی گردش و تغییرات روزانه همراه با اثرات جزر و مدی خورشید و ماه تغییر می‌کنند.

بعضی از روزها (روزهای آشفته[2] یا D) با تغییرات روزانه‌ی غیر معمول همراه است و شامل اختلالات کوتاه مدت در میدان ژئومغناطیسی با اندازه زیاد، گاه به اندازه بیش از 1000nT می‌باشد که آن را طوفان مغناطیسی می‌نامند. این روزهای آشفته معمولا با شدت یافتن فعالیت‌های خورشید همراه‌اند و از رسیدن ذرات باردار خورشیدی ایجاد می‌شوند. در طی این طوفان‌ها مغناطیس‌سنجی باید متوقف گردد؛ زیرا امکان تصحیح داده‌های جمع‌آوری شده با وجود تغییرات سریع و شدید در میدان مغناطیسی وجود ندارد.



شکل (۱۶) آنومالی‌های افقی، قائم و کل ناشی از دوقطبی مغناطیسی [۱].

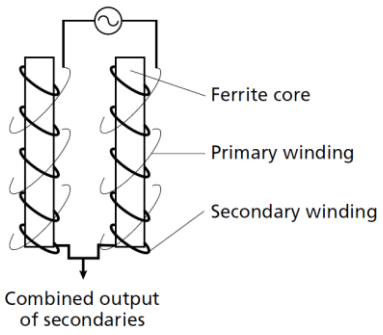
ابزارهای مغناطیس سنجی [۱]

از دهه ۱۹۰۰ تاکنون، ابزارهای سنجش متنوعی طراحی شده‌اند که قادر به اندازه‌گیری عناصر ژئومغناطیسی Z ، B و H می‌باشند، اما مدرن‌ترین ابزارهای اندازه‌گیری فقط برای سنجیدن B طراحی شده-اند. دقت مورد نیاز معمولا ±1nT است که حدوداً 1 قسمت از 5×106 قسمت میدان زمینه است که این دقت، به طور قابل‌توجهی کمتر از آن دقتی است که برای سنجش‌های گرانی لازم است.

در مغناطیس‌سنجی‌هایی که اوایل انجام می‌شد، عناصر ژئومغناطیس با استفاده از واریومترهای مغناطیسی اندازه‌گیری می‌شد. انواع مختلفی از آن‌ها وجود داشت شامل مغناطیس‌سنج سرپیچشی و تراز عمودی اشمیت، اما همگی شامل آهنرباهای میله‌ای خاصی بودند که در میدان مغناطیسی معلق و آویزان می‌شدند. وسایل این چنینی نیازمند ترازیابی دقیق و سطح قابل اتکا برای اندازه‌گیری بودند، در نتیجه قرائت‌ها زمان‌بر بود و همچنین استفاده از آن‌ها در صحرا محدودیت مکانی داشت.

مگنتومتر فلاکس‌گیت

از دهه ۱۹۴۰ تاکنون، یک نسل جدید از ابزارها ساخته شدند که تقریباً قرائت‌های سریع را فراهم کردند و فقط به جهت‌یابی فراوان نیاز داشتند تا اندازه‌گیری‌های مغناطیسی بر روی خشکی، دریا و هوا انجام شود.



شکل (۱۷) ساختمان مگنتومتر فلاکس گیت [۱].

اولین نوع این دستگاه، مگنتومتر فلاکس‌گیت بود که کاربرد اولیه آن شناسایی زیردریایی‌ها در طی جنگ جهانی دوم بود. در این وسیله دو هسته فرومغناطیسی مشابه با تراوایی بالا به کار رفته است که میدان ژئومغناطیسی بتواند یک مغناطیدگی القایی در آن به وجود آورد که این مغناطیدگی نسبت زیادی به درجه اشباع آن‌ها دارد. سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه مشابه‌اند اما در جهت مخالف یکدیگر به دور هسته فرومغناطیسی پیچیده شده‌اند (شکل شماره ۷).

یک جریان متغیر سینوسی (جریان AC) با فرکانس 50-1000Hz از سیم‌پیچ اولیه می‌گذرد و یک میدان مغناطیسی متغیر ایجاد می‌کند

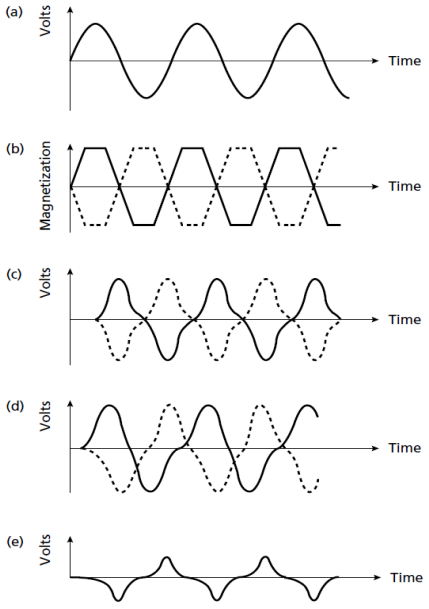
[1] Quiet Days
[2] Disturbed Days

(نمودار a شکل شماره ۸). در غیاب هرگونه میدان مغناطیسی خارجی، هسته‌های فرومغناطیس در اطراف پیک‌های جریان تقریباً به اشباع کامل می‌رسند (نمودار b شکل شماره ۸). میدان مغناطیسی متغیر هسته‌های فرومغناطیس، یک ولتاژ متغیر در سیم‌پیچ ثانویه به وجود می‌آورد. در زمانی که نرخ تغییرات میدان بیشینه است، این ولتاژ به ماکزیمم خود می‌رسد (نمودار c شکل شماره ۸). به دلیل اینکه سیم‌پیچ‌ها در جهات مخالف یکدیگر پیچیده شده‌اند، ولتاژ سیم-پیچ‌ها با هم برابر است اما در جهات مخالف یعنی ولتاژ در قسمت خروجی ترکیبی برابر صفر خواهد بود. در صورت وجود یک میدان مغناطیسی خارجی مثل میدان زمین که یک مؤلفه هم‌راستا با محور هسته‌های فرومغناطیس دارد، برای میدان اولیه اشباع زودتر اتفاق می‌افتد یا در صورت مخالفت میدان‌ها اشباع دیرتر رخ می‌دهد. ولتاژهای القایی در حال حاضر غیر هم‌فاز خواهند بود چون هسته‌های فرومغناطیسی در زمان‌های متفاوتی به اشباع می‌رسند (نمودار d شکل شماره ۸).

در نتیجه، خروجی مجموع سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه دیگر صفر نیست و شامل یک سری پالس‌های ولتاژ می‌باشد (نمودار e شکل شماره ۸) و اندازه‌ای که نشان داده می‌شود متناسب است با دامنه مؤلفه میدان مغناطیسی خارجی.

این وسیله را برای اندازه‌گیری Z یا H به وسیله هم‌راستا کردن هسته-های فرومغناطیس در جهات مد نظر می‌توان استفاده کرد و دقت لازم برای جهت‌یابی در حدود یازده ثانیه‌ی زاویه‌ای است تا دقت مطالعه به ±1nT برسد. رسیدن به این دقت بر روی زمین دشوار و به علت متحرک بودن دستگاه تقریباً غیرممکن است. میدان مغناطیسی کل را می‌توان به دقت ±1nT با جهت‌یابی با دقت اندک اندازه گرفت چون جهت میدان مغناطیسی کل بسیار آهسته تغییر می‌کند. این وسیله در روش‌های هوابردی یک مکانیزم جهت‌یابی با انواع مختلف را به کار می‌گیرد تا محور دستگاه را هم‌جهت با میدان ژئومغناطیسی نگه دارد. این کار با استفاده از سیگنال‌های بازخورد تولید شده توسط سنسورهای اضافه شده به دستگاه حاصل می‌شود؛ یعنی هرگاه دستگاه از جهت‌یابی مد نظر خارج می‌شود، موتورفرمان‌یارها هسته دستگاه را با جهت دلخواه همسو و هم‌راستا می‌کنند.

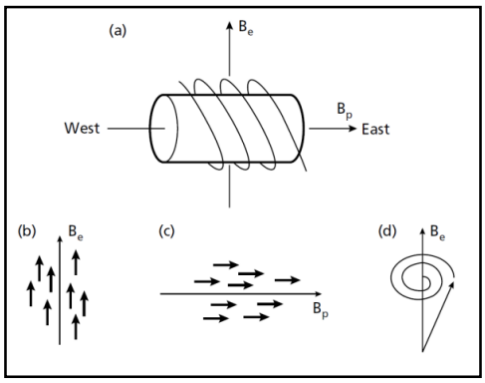
مگنتومتر فلاکس‌گیت یک وسیله با قرائت‌های پیوسته است پس نسبتا به گرادیان‌های مغناطیسی در طول هسته‌های فرومغناطیسی حساس نمی‌باشد. این وسیله ممکن است به دما حساس باشد و لذا به تصحیح در این مورد نیاز داشته باشد.



شکل (۱۸) خطوط کامل و خط‌چین‌ها، به ترتیب نشان دهنده پاسخ سیم‌پیچ-های اولیه و ثانویه می‌باشند [۱].

مگنتومتر پروتون

معمول‌ترین مگنتومتری که برای کارهای صحرایی و آزمایشگاهی در حال حاضر استفاده می‌شود، مگنتومتر پروتون است. سنسور دستگاه مغناطیس‌سنج پروتون، یک ظرف پر شده از مایعی با اتم‌های هیدروژن فراوان مثل پارافین یا آب می‌باشد که با یک سیم‌پیچ احاطه شده است (قسمت a شکل شماره ۹). یون هیدروژن یا پروتون مثل یک دوقطبی کوچک رفتار می‌کند و به طور معمول با میدان ژئومغناطیسی محیط هم‌راستا می‌شود (قسمت b شکل شماره ۹). یک جریان از سیم‌پیچ می‌گذرد تا یک میدان مغناطیسی حدوداً ۵۰ تا ۱۰۰ برابر بزرگ‌تر از میدان ژئومغناطیس در جهت مخالف آن تولید کند که موجب می‌شود پروتون‌ها در این جهت جدید، جهت‌گیری کنند (قسمت c شکل شماره ۹).



شکل (۹) شکل شماتیک درباره نحوه کارکرد مگنتومتر پروتون [۱].

سپس جریان سیم‌پیچ قطع می‌شود تا میدان القایی به سرعت از بین برود. پروتون‌ها با چرخیدن و دوران حول جهت میدان ژئومغناطیسی به طور هم‌فاز، به جهت اولیه‌شان یا جهت میدان ژئومغناطیسی Be باز می‌گردند (قسمت c شکل شماره ۹) که با داشتن دوره زمانی حدود 0.5ms ، تقریباً 1-3s طول می‌کشد تا این اتفاق رخ دهد. فرکانس این حرکت فرفره‌ای پروتون از فرمول زیر به دست می‌آید:

$$f = \frac{\gamma_p B_e}{2\pi} \qquad (۴)$$

که γp نسبت ژیرومغناطیسی پروتون است. در نتیجه اندازه f اگر حدود 2kHz باشد، اندازه‌گیری میدان مغناطیسی بسیار دقیق خواهد بود. f از طریق اندازه‌گیری ولتاژ متغیر دارای فرکانس القایی مشابه با جریان عبوری از سیم‌پیچ تعیین می‌شود، که این ولتاژ به وسیله حرکت فرفره مانند پروتون‌ها حاصل می‌شود.

ابزارهای صحرایی، قرائت‌های میدان مغناطیسی کل را تا دقت ±1nT فراهم می‌کند، اگرچه می‌توان در صورت لزوم به دقت‌های بیشتر دست پیدا کرد. سنسور به جهت‌گیری دقیق نیاز ندارد اما به طور ایده‌آل می‌بایست در زاویه‌ی محسوسی نسبت به میدان کل قرار گیرد. در نتیجه، قرائت‌ها ممکن است با اتصال سنسور به انتهای کشتی یا هواپیما، بدون ضرورت وجود سیستم کنترل جهت انجام شوند. مغناطیس‌سنجی هوابردی با مگنتومتر پروتون احتمالاً تنها یک اشکال کوچک دارد که آن قرائت میدان به صورت گسسته است که این به دلیل زمان تناوب محدود آن می‌باشد. آنومالی‌های کوچک مغناطیسی ممکن است پنهان و مخفی بمانند به خاطر اینکه هواپیما مسافت قابل‌توجهی را در بین قرائت‌های متوالی طی می‌کند و ممکن است این آنومالی‌های کوچک در این فاصله چند ثانیه‌ای بین قرائت‌ها قرار داشته باشند. این مشکل به طور گسترده در دستگاه‌های مدرن با بازگرداندن دوره‌ها به مرتبه یک ثانیه رفع شده است. مگنتومتر پروتون به گرادیان‌های شدید مغناطیسی حساس است که باعث می‌شود تا پروتون‌ها در مکان‌های مختلف سنسور، با سرعت‌های متفاوتی دوران کنند (حرکت فرفره‌ای) که نتیجه بخشی معکوس، بر روی شدت سیگنال دوران دارد.

بسیاری از مگنتومترهای مدرن از اثر اوورهاوسر[۱] استفاده می‌کنند. یک محلول حاوی مقداری الکترون آزاد که در مسیرهای دوران (به دور هسته اتم) به صورت جفت نشده هستند، به مایع سنسورها اضافه می‌کنند. سپس پروتون‌ها به طور غیر مستقیم توسط انرژی امواج رادیویی با انرژی حدود 60MHz پلاریزه می‌شوند. مصرف انرژی این دستگاه‌ها ۲۵ درصد از دستگاه‌های مگنتومتری کلاسیک کمتر است و به همین دلیل دستگاه سبک‌تر و فشرده‌تر است. سیگنال تولید شده توسط مایع در این حالت حدوداً ۱۰۰ برابر قوی‌تر است پس نویز بسیار کمتری وجود خواهد داشت. سازگاری و تحمل گرادیان‌های مغناطیسی نیز تقریباً ۳ برابر بهتر بوده و سرعت اندازه‌گیری دستگاه نیز بیشتر است.

مگنتومتر پمپ شده نوری

مگنتومتر پمپ شده نوری یا بخار آلکالی، دقت بسیار بالاتری نسبت به انواع دیگر مگنتومترها دارد. آن‌ها یک سلول شیشه‌ای دارند که بخار فلزات آلکالی مثل پتاسیم، کلسیم و روبیدیم است که توسط تاباندن یک نور با طول موج مشخص انرژی می‌گیرند. در این اتم‌های فلزات آلکالی، الکترون‌هایی والانس در سطوح (تراز) انرژی ۱ و ۲ وجود دارند. طول موج انرژی دهنده طوری انتخاب می‌شود که الکترون‌ها را برای رفتن از سطح ۲ به سطح ۳ (یعنی تراز انرژی بالاتر) برانگیخته کند که این فرآیند پلاریزاسیون خوانده می‌شود. الکترون‌ها در تراز انرژی ۳ ناپایدارند و به طور خود به خود به سطوح انرژی ۱ و ۲ تنزل می‌کنند. همان‌طور که این کار تکرار می‌شود، تراز اول انرژی بسیار پر تعداد از الکترون می‌شود به قیمت اینکه تراز دوم بسیار کم تعداد می‌گردد. این فرآیند به نام «پمپ شدگی نوری» معروف است و به حالتی می‌انجامد که در سلول جذب نور متوقف می‌شود و سلول از حالت غیرشفاف (اوپاک) به حالت شفاف یا روشن تبدیل می‌شود. تفاوت انرژی بین سطوح انرژی ۱ و ۲ متناسب است با شدت میدان مغناطیسی محیط پیرامون. دپلاریزاسیون به وسیله اعمال نیرو با فرکانس رادیویی اتفاق می‌افتد. طول موج متناظر با تفاوت انرژی بین سطوح ۱ و ۲، سلول را دپلاریزه می‌کند و این طول موج یک اندازه‌گیری شدت میدان مغناطیسی است. یک فتودیتکتور برای متعادل نگه داشتن سلول در بین حالت‌های اوپاک و شفاف استفاده می‌شود. پدیده دپلاریزاسیون بسیار سریع است پس قرائت‌ها به سرعت انجام می‌شوند. حساسیت مگنتومترهای بخار آلکالی، تا حدود ±0.01nT می‌تواند باشد. این اندازه از دقت در سنجش‌هایی شامل سنجش میدان کل اصلاً نیاز نیست چون که در مقدار زمینه، اندازه نویزها از مرتبه 1nT است. معمولا از این‌ها در گرادیومترهای مغناطیسی استفاده می‌شود که در آن‌ها اندازه‌گیری به تفاوت کوچک سیگنال‌های سنسورهایی وابسته است که در فاصله بسیار اندکی از یکدیگر قرار گرفته‌اند.

گرادیومترهای مغناطیسی

اجزای مگنتومترهای فلاکس‌گیت، پروتون و بخار آلکالی می‌توانند به صورت جفتی برای سنجش گرادیان مؤلفه‌های افقی و عمودی میدان مغناطیسی استفاده شوند. گرادیومترهای مغناطیسی، مگنتومترهای تفاضلی هستند که در آن‌ها، فاصله سنسورها ثابت و کوچک و متناسب با فاصله از پیکره مسببی است که گرادیان مغناطیسی‌اش اندازه‌گیری می‌شود. گرادیان‌های مغناطیسی را می‌توان (با اندکی زحمت بیشتر) توسط یک مگنتومتر با دو اندازه‌گیری پی در پی با فاصله کوچک افقی یا عمودی ثبت کرد. گرادیومترهای مغناطیسی در سنجش خواص مغناطیسی در عمق کم به کار گرفته می‌شوند چون آنومالی‌های گرادیان مغناطیسی به برطرف کردن آنومالی‌های پیچیده

[۱] Overhouser effect

و ترکیبی به آنومالی‌های مجزا و منفرد (تفکیک شده)، جهت تشخیص مکان، شکل و عمق پیکره‌های مسبب آنومالی کمک می‌کنند. مهم‌ترین مزیت روش گرادیومتری این است که تغییرات ناحیه‌ای و موقتی در میدان ژئومغناطیسی به طور خودکار حذف می‌شوند. روش‌های هوابردی و دریایی مگنتومترها و گرادیومترها به ترتیب توسط ولد و کوپر (۱۹۸۹) و هوک و تسکی (۱۹۸۹) مفصلاً توضیح داده شده‌اند. امروزه از تعیین مستقیم گرادیان (گرادیومتری) برای اکتشاف کیمبرلیت‌ها استفاده می‌شود [۲].

سنجش‌های مغناطیسی زمینی [۱]

سنجش‌های مغناطیسی زمینی معمولا در نواحی کوچک بر روی یک هدف از قبل تعیین شده انجام می‌شوند. در نتیجه، فاصله ایستگاه‌ها (نقاط اندازه‌گیری) از مرتبه 10-100m می‌باشد، اگرچه فاصله‌های کمتر نیز در مناطقی که گرادیان مغناطیسی شدید باشد ممکن است به کار گرفته شود. قرائت‌ها نباید در همسایگی و نزدیکی اشیای فلزی مثل خطوط آهن، ماشین‌ها، جاده‌ها، فنس‌ها، ساختمان‌ها و... که امکان دارد میدان محلی مغناطیسی را آشفته کند، انجام شود. به دلایل مشابه، اپراتورهای مگنتومترها نباید اشیای فلزی به همراه داشته باشند.

قرائت کردن در ایستگاه مبنا، برای ثبت دریفت دستگاهی لازم نیست چون مگنتومترهای فلاکس‌گیت و پروتون دریفت ندارند، اما این کار برای ثبت تغییرات روزانه اهمیت دارد.

چون مغناطیس‌سنج‌های پیشرفته به ترازیابی دقیق احتیاج ندارند، پس یک عملیات مغناطیس سنجی زمینی همیشه بسیار سریع‌تر از گرانی‌سنجی پیش می‌رود.

مغناطیس‌سنجی دریابرد و هوابرد [۱]

اکثریت سنجش‌های مغناطیسی از طریق هوایی انجام می‌شوند. مغناطیس‌سنجی هوابردی نه تنها پرکاربردترین عملیات ژئوفیزیکی هوابردی است بلکه به علت وزن کم و سادگی دستگاه‌ها، ارزان‌ترین روش نیز هست. دستگاه استاندارد برای مغناطیس‌سنجی هوابردی، دستگاه بخار سزیم است که قرائت‌ها را در زمانی حدود 0.1s انجام می‌دهد. این سنجش‌ها، با استفاده از سنسوری که در داخل محفظه‌ای به دنبال هواپیما کشیده می‌شود و به Bird معروف است انجام می‌شود، تا اثرات مغناطیسی ناشی از هواپیما حذف شود، یا اینکه در روشی دیگر سنسور در داخل Stinger (یک محفظه غیرمغناطیسی است) در انتهای هواپیما ثابت می‌شود و به وسیله سیم‌پیچ‌های متصل شده، میدان مغناطیسی ناشی از هواپیما جبران می‌شود.

مغناطیس‌سنجی هوابرد سریع و کم‌هزینه بوده به طوری که معمولا هر خط کیلومتر آن ۴۰ درصد هزینه کمتری نسبت به سنجش زمینی دارد. مناطق وسیعی را می‌توان از نظر مغناطیسی به سرعت سنجید بدون آنکه هزینه‌ای برای فرستادن اکیپ صحرایی به منطقه برداشت شده پرداخت و همچنین داده‌های مربوط به مناطق غیر قابل دسترسی برای سنجش زمینی را می‌توان از برداشت هوابردی به دست آورد.

بزرگ‌ترین مشکل در سنجش‌های هوابردی حفظ خط پرواز مستقیم و خارج نشدن از آن بوده است. امروزه دسترسی به GPS، مشکلات مکان‌یابی و جای‌گیری درست در خط پروازی را حل کرده است.

همان‌طور که گفته شد، چون مگنتیت یک بخش بسیار ناچیز در رسوبات می‌باشد، نقشه‌های مغناطیسی نحوه توزیع مواد مغناطیسی در پی‌سنگ‌های بلورین زیر رسوبات را ثبت می‌کنند. حتی رسوباتی که حاوی مگنتیت هستند بر روی سنسورهای هوایی اثر کمی دارند که این تا حدودی به علت جهت‌گیری نامنظم و رندوم دانه‌های مگنتیت است و دیگر آنکه ریزشدگی و ورقه‌شدگی دانه‌های بزرگ‌تر مگنتیت باعث می‌شود با افزایش ارتفاع، میدان مغناطیسی ناشی از آن‌ها به شدت کاهش یابد. قطعات آهن در تمام مناطق پر جمعیت وجود دارند و بر روی مگنتومترهای زمینی اثر می‌گذارند و از طرفی سرعت سنجش زمینی کم است پس اکثر عملیات‌های اکتشافی مغناطیسی به صورت هوابردی انجام می‌شوند. فاصله خطوط پروازی با گذشت زمان به شدت کاهش یافته و امروزه به 100m هم رسیده است.

تکنیک مغناطیس‌سنجی دریابرد مشابه با مغناطیس‌سنجی هوابرد است. سنسور در داخل Fish به دنبال کشتی کشیده می‌شود و برای حذف اثرات مغناطیسی ناشی از کشتی، باید حداقل فاصله Fish با کشتی، به اندازه ۲ برابر طول کشتی باشد. سنجش دریایی به وضوح بسیار آهسته‌تر از سنجش هوایی است، اما عمدتا در ارتباط و همراهی با روش‌های دیگر ژئوفیزیکی مثل گرانی‌سنجی و پروفیل‌زنی پیوسته لرزه‌ای انجام می‌شود که این کارها را نمی‌توان در عملیات هوابرد انجام داد.

تبدیل‌های مربوط به داده‌های مغناطیسی [۱]

تبدیل‌های داده‌های مغناطیسی برای حذف تمام مسبب‌های تغییر میدان مغناطیسی است که از اثرات مغناطیسی زیرسطحی به وجود نمی‌آیند.

تصحیح تغییرات روزانه

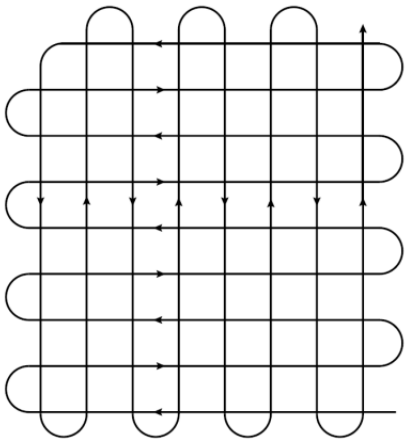
تأثیر تغییرات روزانه از طریق چند راه مختلف قابل حذف است. بر روی زمین یک روش مشابه دریفت مطالعات گراویمتری ممکن است به کار گرفته شود و مگنتومتری ثابت در ایستگاه مبنا به طور دوره‌ای در طول روز قرائت‌هایی را انجام دهد. سپس تغییرات مشاهده شده در قرائت‌های مبنا، در میان قرائت‌های ایستگاه‌های برداشت شده در طی روز بر اساس زمان قرائت‌ها توزیع می‌شوند. باید به خاطر داشت که قرائت‌های مبنای انجام شده در طی یک گرانی‌سنجی به جهت تصحیح کردن دریفت گراویمتر و اثرات جزر و مدی است اما

مگنتومترها دریفت ندارد و قرائت‌های مبنا در مغناطیس‌سنجی تنها برای تصحیح کردن تغییرات موقتی در میدان اندازه‌گیری شده است. این پروسه ناکارآمد است چون دستگاه باید به طور متناوب به ایستگاه مبنا برگردانده شود و این کار در سنجش‌های هوابرد و دریابرد عملی نیست. با استفاده از یک مگنتومتر Base یعنی یک وسیله با قرائت پیوسته که تغییرات میدان مغناطیسی را در یک نقطه ثابت در نزدیکی یا داخل محدوده مطالعاتی ثبت می‌کند، می‌توان بر این مشکل غلبه کرد. این متد بر روی زمین ارجحیت دارد زیرا برداشت سریع‌تر پیش می‌رود و تغییرات روزانه دقیق و به طور کامل رسم می‌گردد. زمانی که بررسی در مقیاس ناحیه‌ای باشد نتایج یک رصدخانه مغناطیسی[1] ممکن است استفاده شود. این رصدخانه‌ها تغییرات همه‌ی عناصر مغناطیسی را به طور پیوسته ثبت می‌کنند. تغییرات روزانه تقریباً به طور قابل ملاحظه‌ای از نقطه‌ای به نقطه دیگر متفاوت‌اند پس رصدخانه‌های مورد استفاده نباید بیشتر از 100km از منطقه مورد مطالعه فاصله داشته باشند.

تغییرات روزانه طی یک سنجش مغناطیسی هوابرد، ممکن است به طور متفاوتی توسط آرایش نقاط تقاطع متعدد در طرح سنجش هوابردی (شکل شماره ۱۰) مورد ارزیابی قرار گیرند. آنالیز و بررسی تفاوت‌های میدان هر نقطه تقاطع، نماینده و نشانگر تغییرات میدان در طی دوره‌های زمانی مختلف است، که به ما اجازه می‌دهد تا تغییرات روزانه تمام داده‌های مغناطیسی برداشت شده در عملیات هوابرد را با فرآیند جابه‌جایی شبکه، بدون ضرورت استفاده از دستگاه Base تصحیح کنیم.

البته استفاده از خطوط پروازی متقاطع برای تصحیح روزانه مشکلات خاص خود را دارد. امکان دارد که حفظ خط پروازی با دقت بالا انجام نشود و اندکی جابه‌جایی به خصوص در مناطقی که گرادیان بالایی دارند می‌تواند صحت داده‌های تصحیح روزانه شده را تحت تأثیر قرار دهد. این مشکلات به جابه‌جایی و خارج شدن از خط پروازی یا عدم حفظ ارتفاع مربوط می‌شوند. برای مثال امکان دارد در حین پرواز، ارتفاع به طور ناخواسته تغییر کند یا عوارض توپوگرافی شدید حفظ خط پروازی را با مشکل رو به رو کنند. پس باید گفت که ایستگاه مبنای زمینی ثابت برای برداشت‌های هوابردی، گاه بسیار بهتر است. ضمناً نباید اهمیت صحت تصحیح روزانه برای نقشه‌های آیرومغناطیس را فراموش کرد؛ زیرا فاصله خطوط کنتوری این نقشه‌ها عمدتا 5nT یا در برخی موارد حتی کمتر از آن است.

همان‌طور که گفتیم، در روزهای آرام، بازه‌ی تغییرات روزانه در حالت ماکزیمم 20-80nT است. تغییرات در شب اندک است اما در حوالی زمان طلوع خورشید افزایش می‌یابد و حدوداً در ساعت ۱۰ صبح به بیشینه خود می‌رسد. سپس کاهش یافته و حدود ساعت ۴ بعد از ظهر به مقدار کمینه خود می‌رسد. از آن به بعد، روند افزایشی بسیار آرامی دارد. تغییرات روزانه در تمام روزها این نظم نسبی را دارد اما میزان دقیق تغییرات به هیچ وجه قابل پیش‌بینی نیست پس برای انجام تصحیحات لازم، میدان مغناطیسی باید به دقت ثبت شود. تغییرات روزانه اگرچه به آسانی ثبت می‌شوند اما به بررسی بسیار دقیق نیاز دارند. اگر تغییرات بزرگ و فرکانس بالا مشهود باشند، تغییرات نتیجه‌ی یک طوفان مغناطیسی است و باید نتایج سنجش مغناطیسی را رد کرد.



شکل (۱۰) یک طرح پروازی معمول برای مغناطیس سنجی هوابردی [۱].

تصحیح ژئومغناطیسی

هم‌ارز تصحیح عرض جغرافیایی در گرانی‌سنجی، تصحیح ژئومغناطیسی است که اثرات میدان مرجع ژئومغناطیسی را از داده‌های مغناطیسی حذف می‌کند. دقیق‌ترین روش برای تصحیح ژئومغناطیسی استفاده از IGRF می‌باشد که میدان ژئومغناطیسی مختل نشده را به کمک هارمونیک‌های متعدد نشان می‌دهد و دوره‌های موقتی را شامل می‌شود تا تغییرات دوره‌ای را تصحیح کند. پیچیدگی IGRF به محاسبات کامپیوتری جهت تصحیح نیاز دارد. باید بدانیم که IGRF ناقص است؛ زیرا که هارمونیک‌های به کار رفته در آن بر اساس مشاهدات اندک و پراکنده میدان ژئومغناطیسی حقیقی است. همچنین IGRF پیش‌گویانه است زیرا در آن، هارمونیک‌های کروی از نتیجه‌ی داده‌های حقیقی و سایر قرائن دیگر پیش‌بینی و استقرا می‌شود. در نتیجه، IGRF در مناطق دور از رصدخانه‌های مغناطیسی می‌تواند به مقدار قابل‌توجهی خطا داشته باشد.

در یک محدوده‌ی مغناطیس‌سنجی، میدان مرجع ژئومغناطیسی را می‌توان توسط گرادیان یکنواخت (یکسان) که به وسیله مؤلفه‌های گرادیان مغناطیسی طولی و عرضی جغرافیایی تعریف می‌شود، تخمین زد. برای مثال، میدان ژئومغناطیسی در سرتاسر جزایر بریتانی با مؤلفه‌های گرادیان 2.13nT km-1 N و 0.26nT km-1 W تخمین زده شده است که البته این‌ها با زمان تغییر می‌کنند. برای هر ناحیه‌ی مغناطیس‌سنجی، مقادیر گرادیان مربوط به آن، از طریق نقشه‌های

[1] Magnetic Observatory

مغناطیسی که میزان پوشش آن‌ها از محدوده مد نظر بیشتر باشد قابل تعیین است.

گرادیان ناحیه‌ای مناسب ممکن است با در نظر گرفتن یک دوقطبی فرضی از میدان زمین و استفاده از معادلات معروف به میدان مغناطیسی دوقطبی، به دست آید:

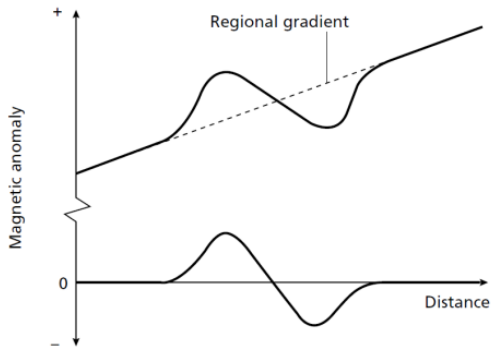
$$Z = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2M}{R^3}\cos\theta \quad (۵)$$

$$H = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{M}{R^3}\sin\theta \quad (۶)$$

$$\frac{\partial Z}{\partial\theta} = -2H \ , \ \frac{\partial H}{\partial\theta} = \frac{Z}{2} \quad (۷)$$

که Z و H مؤلفه‌های قائم و افقی میدان، θ متمم عرض جغرافیایی بر حسب رادیان، R شعاع زمین، M ممان مغناطیسی زمین و $\partial Z/\partial\theta$ و $\partial H/\partial\theta$ به ترتیب نرخ تغییرات Z و H با θ می‌باشند.

یک روش دیگر برای حذف گرادیان ناحیه‌ای در محدوده مورد مطالعه کوچک آن است که از آنالیز روند استفاده شود. یک روند خطی (برای داده‌های یک پروفیل) یا روند سطحی (برای داده‌های سطحی یا ناحیه‌ای) با استفاده از کمترین مقدار مربعات، بر مشاهدات فیت می‌شود و سپس از داده‌های مشاهده شده (واقعی) کم می‌شود تا آنومالی‌های محلی را به صورت پس‌ماند مثبت یا منفی باقی بگذارد (شکل شماره ۱۷).



شکل (۱۱) حذف اثر گرادیان مغناطیسی ناحیه‌ای به روش آنالیز روند. میدان مغناطیسی زمینه به صورت یک خط شیب‌دار (خط‌چین در شکل) می‌باشد [۱]

تصحیح ارتفاع و توپوگرافی

گرادیان قائم میدان ژئومغناطیسی فقط حدود0.03nT km-1 در قطب‌ها و -0.015nT km-1 در استوا می‌باشد پس تصحیح ارتفاع معمولا انجام نمی‌شود. اثر توپوگرافی در مغناطیس‌سنجی زمینی می‌تواند بسیار بزرگ و مهم باشد اما دقیقاً قابل پیش‌بینی نیست چون به خواص مغناطیسی عوارض توپوگرافی زمین بستگی دارد؛ پس در مغناطیس‌سنجی زمینی به ندرت تصحیح توپوگرافی انجام می‌شود.

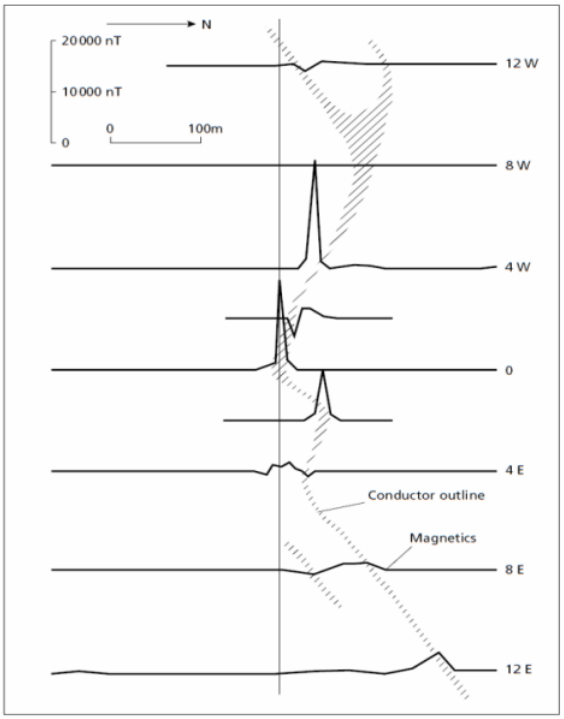
پس از اعمال تصحیحات روزانه و ژئومغناطیسی، تمام تغییرات میدان مغناطیسی باقیمانده باید فقط به علت تغییرات فضایی (سه‌بعدی) در خواص مغناطیسی زیر سطح زمین باشد و به عنوان آنومالی‌های مغناطیسی به آن‌ها اشاره می‌شود.

کاربردهای مغناطیس‌سنجی

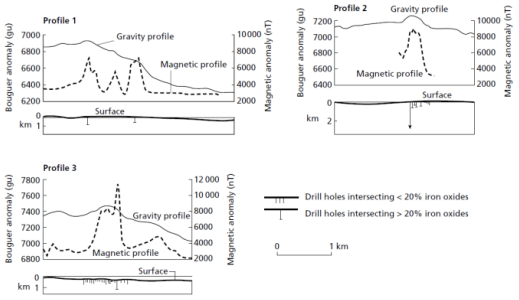
اکتشاف معادن [۱]

مغناطیس‌سنجی تکنیکی نسبتا کم‌هزینه، سریع و یکی از روش‌های پرکاربرد ژئوفیزیکی است. این روش به طور گسترده‌ای در جستجوی نهشته‌های فلزی که همراه با آهن هستند استفاده می‌شود که این کار با سرعت بالا و به طور اقتصادی توسط روش‌های هوابردی صورت می‌گیرد. مغناطیس‌سنجی در مکان‌یابی نهشته‌های ماسیوسولفیدی توانمندی بالایی دارد به خصوص اگر به صورت ترکیبی و همراه با روش‌های الکترومغناطیس انجام شود (شکل شماره ۱۲). اما هدف اصلی و اساسی مغناطیس‌سنجی، یافتن کانسارهای آهن است. نسبت مگنتیت به هماتیت باید بالا باشد تا آنومالی مغناطیسی بزرگی ایجاد شود زیرا که هماتیت عمدتا فاقد خاصیت مغناطیسی است. شکل شماره ۱۳ آنومالی مغناطیسی میدان کل در North Middleback Range واقع در جنوب استرالیا را نشان می‌دهد و در آن دیده می‌شود که توده‌های کانسنگی هماتیتی با آنومالی بزرگ مشخصی همراه نیستند. شکل شماره ۱۴ نتایج برداشت مغناطیس هوابردی در قسمتی از Eyre Peninsula در جنوب استرالیا را نشان می‌دهد که یک آنومالی بزرگ با کشیدگی در جهت غربی شرقی است. پیمایش‌های زمینی بعدی بر روی این آنومالی با هر دو روش مغناطیس و گرانی انجام شد (شکل شماره ۱۵) و مشاهده شد که پروفیل‌های گرانی و مغناطیس دارای پیک‌های مطبق بر هم هستند. در قدم بعدی در نقاط همین پیک‌ها، حفاری انجام شد و حضور پیکره کانسنگ حاوی مگنتیت، در عمق کم و تقریباً محتوی ۳۰ درصد آهن آشکار شد.

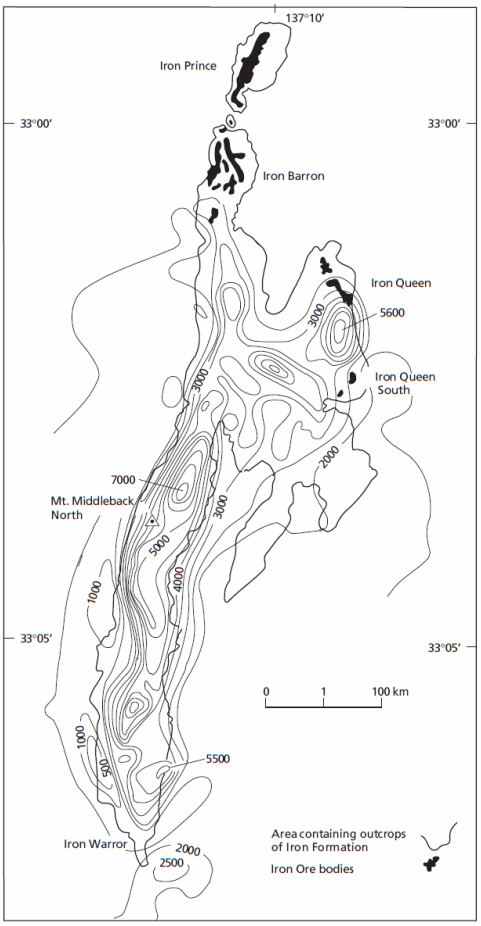
گان در سال ۱۹۹۸ در مورد مناطق امیدبخش ذخایر هیدروکربوری در استرالیا بر طبق سنجش‌های مغناطیس هوابردی گزارش‌هایی را آورده است اما این کار تنها در مناطقی خاص و ویژه کاربرد دارد.



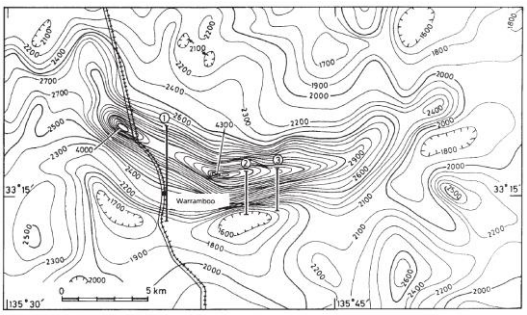
شکل (۱۲) پروفیل‌های مؤلفه قائم میدان مغناطیسی و آنومالی‌های آن بر روی یک نهشته ماسیوسولفیدی در کبک کانادا. مناطقی که هاشور زده شده‌اند مکان نهشته طبق بررسی‌های الکترومغناطیسی را نشان می‌دهند [۱].



شکل (۱۳) پروفیل‌های مغناطیسی و گرانی برداشت شده بر روی زمین در منطقه Eyre Peninsula در استرالیا در مکان‌های نشان داده شده در شکل شماره ۱۲ و نتایج حفاری‌های انجام شده بر اساس نتایج پروفیل‌ها [۱].



شکل (۱۴) نقشه آیرومغناطیس منطقه Northern Middleback Range واقع در جنوب استرالیا. آنومالی در کانسارها دیده نمی‌شود چون ترکیب این کانسارهای آهن، عمدتا از نوع هماتیتی است [۱].

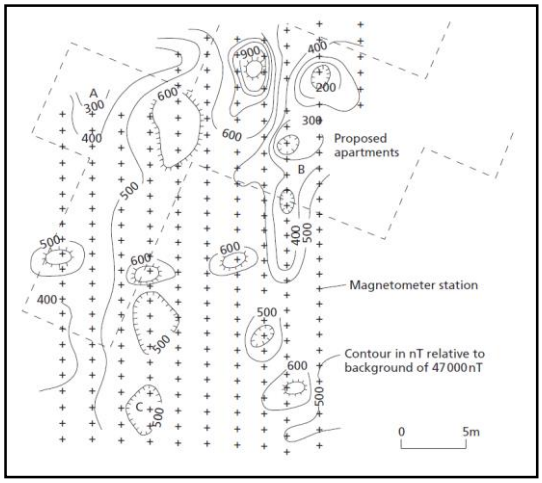


شکل (۱۵) آنومالی بزرگ مغناطیسی در نقشه آیرومغناطیس منطقه Eyre Peninsula در استرالیا [۱].

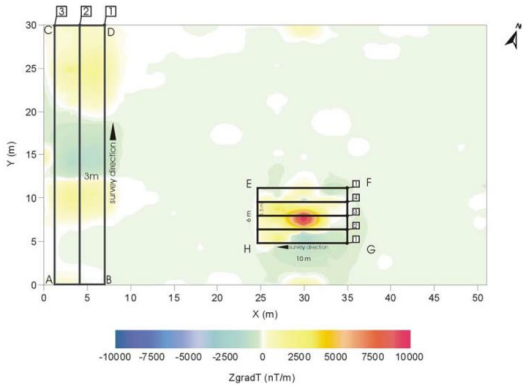
۹-۲- شناسایی حفره‌ها و کارست‌ها

در شناسایی حفره‌ها، کارست‌ها، غارها، و... علاوه بر روش گرانی می‌توان از روش مغناطیس نیز استفاده کرد. شناسایی تونل‌ها و غارها در مجموعه‌های تاریخی، این روش را در باستان‌شناسی نیز بسیار کارآمد ساخته است. در اینجا مثالی از یافتن محل احتمالی کارگاه‌های

استخراج یک معدن قدیمی زغال‌سنگ در انگلستان آورده شده است. شکل ۱۶ نقشه کنتوری میدان مغناطیسی کل را در یک منطقه پیشنهادی برای ساخت یک بلوک آپارتمانی در Bristol انگلستان نشان می‌دهد [1]. این منطقه به خاطر استخراج زغال‌سنگ در گذشته از نظر پایداری مشکل داشته که این مشکل به دلیل شفت‌ها، تونل‌ها و کارگاه‌های استخراج مدفون شده می‌باشد. شفت‌های خطی با قطری در حدود ۲ متر در زیر آنومالی‌های A و D مشاهده شده است در حالی که آنومالی‌های منفرد مثل B و C هم دیده می‌شوند که انتظار می‌رود به خاطر اشیای فلزی مدفون در زمین باشند. همچنین در شکل شماره ۱۷ یک آنومالی مغناطیسی مربوط به یک سری حفره در Ferrandina واقع در جنوب ایتالیا را نشان می‌دهد. این آنومالی توسط بررسی‌های رادار نفوذی زمین یا GPR تأیید شده است[3].



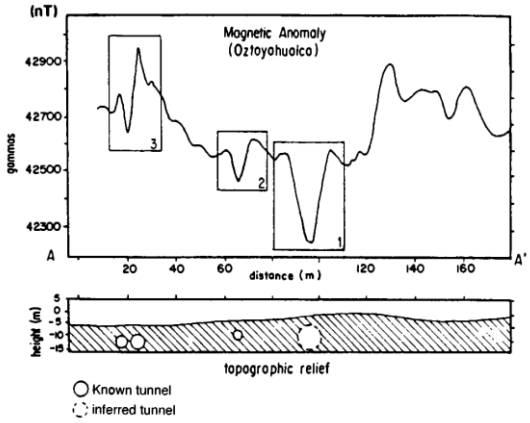
شکل (۱۶) نقشه کنتوری آنومالی مغناطیسی در منطقه Bristol انگلستان. ناحیه مشخص شده با خط‌چین محل پیشنهادی احداث بلوک آپارتمانی پیش از بررسی‌های ژئوفیزیکی را نشان می‌دهد [1].



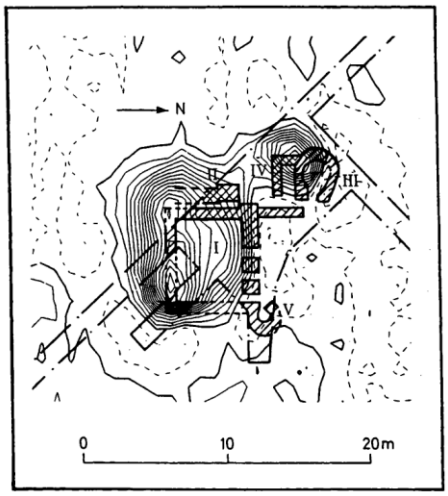
شکل (۱۷) نقشه گرادیان قائم مغناطیسی در Ferrandina ایتالیا. در درون چهارضلعی EFGH برداشت‌های GPR انجام شده است [3].

باستان‌شناسی [۴]

مطالعات مغناطیس‌سنجی در باستان‌شناسی، عمدتا برای تعیین محدوده‌ی یک بنای تاریخی مدفون یا شناسایی اجسام فلزی مدفون که در عمق کم واقع شده‌اند، به کار گرفته می‌شود. هدف از این سنجش‌ها، طراحی حفاری‌ها در مراحل بعدی می‌باشد. شکل شماره ۱۸، پروفیل مغناطیس‌سنجی برداشت شده در یک مجموعه تاریخی در مکزیک را نشان می‌دهد. آنومالی‌های شماره ۲ و ۳ مربوط به تونل-های شناخته شده هستند و آنومالی شماره ۱ مربوط به تونلی است که ناشناخته بوده و پس از حفاری وجود آن تأیید شده است. شکل شماره ۱۹، نقشه مغناطیس‌سنجی در یک منطقه باستانی قرون وسطایی واقع در مجارستان را نشان می‌دهد. پس از کاوش‌های انجام شده، مشخص شد که آنومالی مغناطیسی مربوط به یک کوره‌ی ذوب فلز بوده است.



شکل (۱۸) پروفیل میدان مغناطیسی بر روی یک ناحیه‌ی باستانی[۴].

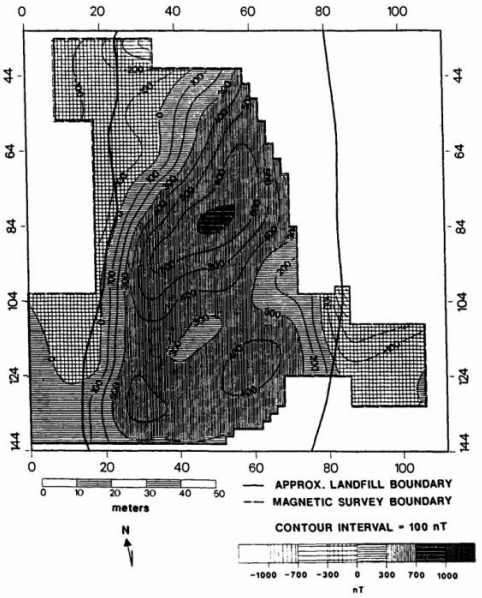


شکل (۱۹) آنومالی مغناطیسی و طرح مراحل حفاری که با اعداد یونانی مشخص شده‌اند [۴].

شناسایی اشیای مدفون فلزی [۴]

هدف اولیه این مطالعات شناسایی اشیای مدفون فلزی مثل لوله‌ها، لوله‌های جداری چاه‌های آب یا نفت که رها شده‌اند، محل دفن زباله-های شهری و... می‌باشد. این اشیای مدفون گاه از نظر مسائل زیست محیطی بسیار اهمیت دارند؛ برای مثال گاهی زباله‌های مدفون دارای مواد سمی و خطرناک هستند. به طور عمده، عمق مطالعه در این روش بسیار کم است.

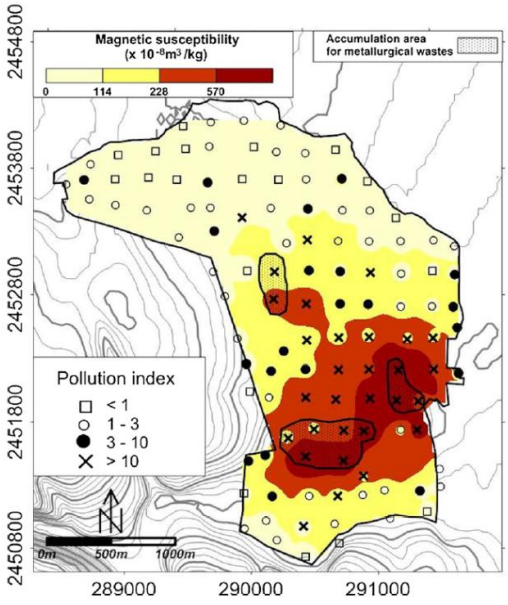
شکل شماره ۲۰ نتایج مغناطیس‌سنجی بر روی محل دفن زباله‌ها در West Lafayette آمریکا را نشان می‌دهد. مغناطیس‌سنجی در این ناحیه، به خوبی محدوده‌ی دفن زباله‌ها را مشخص کرده است.



شکل (۲۰) نقشه مغناطیس‌سنجی بر روی محل دفن زباله‌های شهری در West Lafayette آمریکا (پس از اعمال فیلتر گسترش به بالا، به ارتفاع ۶ متری) [۴].

محیط زیست

مطالعات ژئوفیزیکی متفاوتی در بررسی‌های زیست محیطی به کار می‌روند که یکی از آن‌ها مغناطیس‌سنجی است. معمولا هدف اصلی از انجام این مطالعات، تعیین گستردگی آلودگی و جلوگیری از گسترش بیشتر آن است. شکل شماره ۲۱، نتایج مغناطیس‌سنجی جهت مشخص کردن آلودگی ناشی از پساب یک واحد متالورژیکی در مکزیک را نشان می‌دهد. در این پروژه، علاوه بر روش‌های ژئوفیزیکی، نمونه‌برداری از خاک کل ناحیه مورد مطالعه صورت گرفته و آلودگی خاک از عناصر آرسنیک، سرب و کادمیم بررسی شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، این نقشه اکثر مناطق با آلودگی بالا را مشخص کرده است [۵].



شکل (۲۱) نقشه خودپذیری مغناطیسی منطقه‌ای در مکزیک [۵].

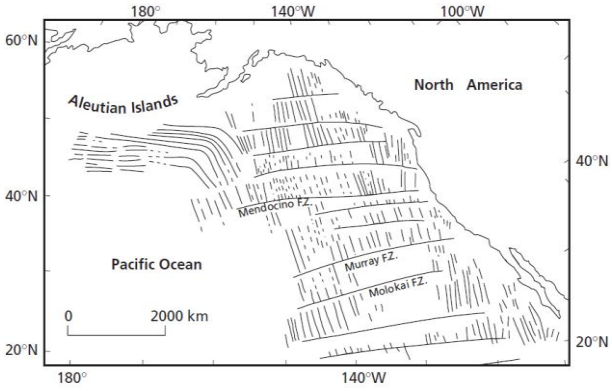
زمین‌شناسی [۱]

در مطالعات آکادمیک، مغناطیس‌سنجی برای تشخیص ویژگی‌های بزرگ مقیاس پوسته قاره‌ای در یک ناحیه وسیع استفاده می‌شود، اگرچه منبع آنومالی‌های مغناطیسی بزرگ و اصلی به سنگ‌هایی با ترکیب بازی یا فوق‌بازی مربوط می‌شود. علاوه بر این، سنجش‌های مغناطیسی در مطالعه اعماق بیشتر از پوسته قاره‌ای محدودیت دارد زیرا که ایزوترم کوری برای کانی‌های فرومغناطیسی معمول در عمقی حدود 20km قرار می‌گیرد و در نتیجه منشأ آنومالی‌ها به بخش فوقانی پوسته قاره‌ای محدود می‌شود.

اگرچه کمک سنجش‌های مغناطیسی به دانش زمین‌شناسی پوسته قاره‌ای نسبتا کم بوده است، اما این سنجش‌ها در مناطق اقیانوسی اثری شگرف در پیدایش تئوری صفحات تکتونیکی و نحوه تشکیل لیتوسفر داشته‌اند. سنجش‌های مغناطیسی اولیه انجام شده در دریاها نشان داد که پوسته اقیانوسی توسط الگویی از آنومالی مغناطیسی خطی منسوب به نوارهای مغناطیسی (باریکه‌های مغناطیسی) مشخص می‌شود (شکل شماره ۲۰) که مغناطیدگی آن‌ها در جهت-های نرمال (هم‌جهت با میدان ژئومغناطیسی) و معکوس آن می‌باشند. تقارن این آنومالی‌های مغناطیسی خطی در طرفین بازشدگی پوسته اقیانوسی و حاشیه‌ی آن، مستقیماً به تئوری گسترش بستر اقیانوس و نیز تعیین شدن یک مقیاس زمانی برای تغییر قطبیت میدان ژئومغناطیسی منجر شد. در نتیجه، می‌توان بر اساس الگوی تغییر قطبیت مغناطیسی که در پوسته اقیانوسی وجود دارد، زمان (تاریخ) تشکیل آن را مشخص کرد. گسل‌های امتدادلغز الگوی آنومالی‌های مغناطیسی خطی را بر هم می‌زنند و پراکندگی آن‌ها می‌تواند با روش مغناطیسی در نقشه آشکار شود. این گسل‌ها در زمان جابه‌جایی، در

امتداد کمان‌های کوچک دایروی نسبت به قطب چرخشی رایج زمین قرار می‌گیرند، پس رژیم‌های منفرد گسترش بستر اقیانوس در طی تحول و تکامل یک حوضه‌ی اقیانوسی را، می‌توان به وسیله‌ی سنجش‌های دقیق مغناطیسی شناسایی کرد.

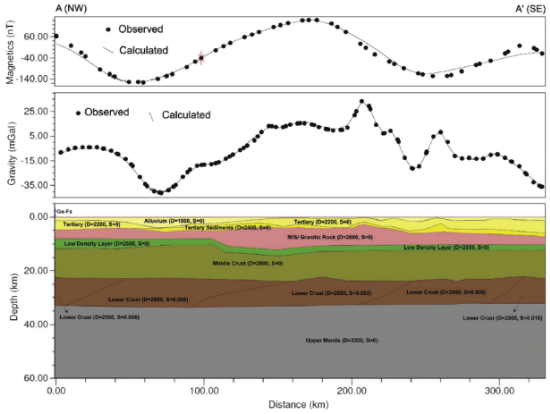
این مطالعات در همه‌ی اقیانوس‌های بزرگ زمین انجام شده است و نشان داده که تکامل یک حوضه‌ی اقیانوسی، یک فرآیند پیچیده حاصل درگیری فازهای مجزای گسترش بوده است.



شکل (۲۲) الگوهای خطی آنومالی‌های مغناطیسی و زون‌های شکستگی و گسله در شمال اقیانوس آرام [۱].

مغناطیس‌سنجی یک کمک مؤثر برای تهیه نقشه زمین‌شناسی است. در نواحی وسیع با پوششی ضخیم از رسوبات، اگر افق‌های مغناطیسی همانند شیل‌ها یا ماسه‌سنگ‌های آهن‌دار، توف‌ها و جریان‌های گدازه-ای (لاوا) در افق رسوبی موجود باشند، می‌توان خصوصیات ساختاری زمین را آشکار کرد. در غیاب رسوبات مغناطیسی، سنجش‌های مغناطیسی اطلاعاتی در مورد شکل پی‌سنگ بلورین فراهم می‌کنند. هر دو مورد فوق قابلیت استفاده در اکتشاف نفت را دارند. آن‌ها موقعیت ساختارهای تله‌های نفتی در درون رسوبات یا خصوصیات توپوگرافی سنگ بستر که ممکن است افق‌های رسوبی زیرین را تحت تأثیر قرار دهند، مشخص می‌کنند.

شکل شماره ۲۳ یک مقطع زمین‌شناسی مربوط به پوسته قاره‌ای هند را نشان می‌دهد. این مقطع به کمک نتایج سنجش‌های مغناطیسی و گرانی رسم شده است[۶].



شکل (۲۳) مقطع زمین‌شناسی بخشی از پوسته هند بر اساس آنومالی‌های مغناطیسی و گرانی [۶].

مراجع

[1] Philip Kearey, Michael Brooks & Ian Hill. An introduction to geophysical exploration. Blackwell science Ltd; (2002). 155-180.

[2] Edited by Charles J. Moon, Michael K.G. Whateley & Anthony M. Evans. Introduction to mineral exploration. Blackwell Publishing Ltd; (2006). 130-133.

[3] D. Chianese, M. D'Emilio, M. Bavusi, V. Lapenna, M. Macchiato. Magnetic and ground probing radar measurements for soil pollution mapping in the industrial area of Val Basento (Basilicata Region, Southern Italy): a case study. Environ Geol (2006) 49: 389–404.

[4] Prem V.Sharma. Environmental and engineering geophysics. Cambridge university press; (1997). 94-108.

[5] Isabel Pe´rez , Francisco Martı´n Romero, Olivia Zamora • Margarita Eugenia Gutie´rrez-Ruiz. Magnetic susceptibility and electrical conductivity as a proxy for evaluating soil contaminated with arsenic, cadmium and lead in a metallurgical area in the San Luis Potosi State, Mexico. Environ Earth Sci (2014) 72:1521–1531.

[6] Suman Kilaru, Bandaru Karunakar Goud, Vijay Kumar Rao. Crustal structure of the western Indian shield: Model based on regional gravity and magnetic data. Geoscience Frontiers 4 (2013): 717-728.

بلور Journal of Mining engineering
Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic)
General office of Scientific Association and Olympiad Affairs
مقالات گردآوری

کارآیی تونلسازی با چند سینه کار – بررسی عددی سه بعدی

مهدیار درگاهی[1]، سینا رستم‌آبادی[2]

[1] کارشناس ارشد مهندسی استخراج معدن، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب (*mah.dargahi@gmail.com*)
[2] دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، تهران، ایران (*sina.rostamabadi@gmail.com*)

متن حاضر ترجمه مقاله زیر می‌باشد:
Chungsik Yoo, (2009), *Performance of multi-faced tunnelling – A 3D numerical investigation*,

چکیده

مقاله حاضر، نتایج بدست آمده از بررسی عددی سه بعدی به منظور بررسی کارآیی روش جدید تونلسازی اتریشی با چند سینه کار در زمین نرم را، ارائه می‌کند. مجموعه‌ای از تحلیل‌های المان محدود سه بعدی برای تعدادی از موارد تونلسازی با توالی‌های پیشروی مختلف از جمله روش‌های برش حلقوی و گالری جانبی انجام شده است. متغیرهای در نظر گرفته شده در تحلیل‌ها عبارتند از: طول پله، حجم هسته و فاصله بین سینه کارها. نتایج حاصل از تحلیل‌ها نشان می‌دهد که روش حفاری گالری جانبی مؤثرترین روش در محدود کردن نشست سطحی زمین و تغییر شکل دیواره تونل می‌باشد. کاهش فاصله بین گالری‌های راست و چپ در روش گالری جانبی باعث تغییر شکل بیشتر دیواره تونل و افزایش نشست سطحی می‌شود. همچنین بهترین کارآیی تونلسازی را زمانی که فاصله بین سینه کارها بیشتر از یک قطر تونل باشد، می‌توان به دست آورد. در روش برش حلقوی، طول پله یا زمان بسته شدن حلقه، اثر بیشتری بر روی نشست در بالای تاج تونل و نشست سطحی نسبت به حجم هسته در سینه کار دارد. در این مقاله نتایج عملی بدست آمده از این یافته‌ها مورد بحث قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی:

تونلسازی، روش المان محدود، روش برش حلقوی، روش گالری جانبی، نشست در بالای تاج تونل، نشست سطحی، تنش در پوشش شاتکریت.

مقدمه

به منظور پاسخ‌گویی به رشد سریع شهرها، ساخت تونل‌های جدید برای سیستم‌های حمل و نقل و تأسیسات زیرزمینی امری ضروری است. با وجود این که محیط‌های ساخت و ساز برای شرایط تونلسازی شهری وجود دارد، رشد فزاینده نامطلوب و در نتیجه کنترل نشست زمین و دیگر اثرات زیست محیطی معمولاً به یک مسئله کلیدی در برنامه‌ریزی و طراحی یک پروژه تونلسازی تبدیل شده‌اند. با وجود این که اصول روش جدید تونلسازی اتریشی (NATM)، ایجاد شده توسط رابسویچ (۱۹۶۴) و مولر (۱۹۷۸)، برای تونلسازی در شرایط نسبتاً مناسب زمین می‌باشد، در سال‌های اخیر، استفاده از روش NATM برای تونلسازی شهری در شرایط نامساعد زمین رو به افزایش است. در هنگام تونلسازی اتریشی در زمین نرم، سینه کار تونل بصورت افقی یا عمودی به گالری‌های موقت به منظور افزایش ثبات سینه کار و کاهش نشست تقسیم می‌شود. اندازه گالری‌ها باید طوری طراحی شود که امکان حفاری، نصب پوشش و قدرت مانور برای تجهیزات مورد استفاده وجود داشته باشد. با این حال تقسیم سینه کار از طریق مرحله‌ای کردن حفاری به طور معمول منجر به کاهش نرخ پیشروی، افزایش مراحل نصب نگهداری موقت، زیر بنای اضافی و تأخیر در بسته شدن پوشش تونل می‌شود (لیکا و نیو، ۲۰۰۶).

از دیدگاه اقتصادی برای ساخت تونل به روش NATM، شناخت صحیح از اثر توالی پیشروی سینه کار در کارآیی تونلسازی ضروری است. برای مثال در کشور کره، روش‌های حفاری برش حلقوی (RC) و گالری جانبی (SD) معمولاً در تونلسازی شهری با شرایط نامساعد زمین به کار گرفته می‌شوند. نتایج نظر سنجی انجام شده به عنوان بخشی از این مطالعه، در ۵۲ مورد در طراحی فاز ۲ مترو سئول نشان داد که هر دو روش RC یا SD زمانی که زمین دربرگیرنده تونل در

طبقه بندی RMR کلاس IV یا پایین‌تر باشد، انتخاب شده‌اند (کیم، ۲۰۰۵). روش RC با وجود این که هیچ مزیت قطعی‌ای در میزان کارآیی آن شناخته نشده است، بیش از روش SD به عنوان یک استاندارد محلی ترجیح داده می‌شود.

با کمال تعجب، مطالعات کمی در مورد اثرات روش‌های مختلف پیشروی سینه کار بر کارآیی تونلسازی انجام شده است. باورز (۱۹۹۷) نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های میدانی در تونل‌های هیترو اکسپرس با سه توالی حفاری مختلف را گزارش کرده است؛ یک توالی حفاری گالری دو طرفه (TS1)، یک توالی گالری یک طرفه (TS2) و پله (TS3). آنها گزارش کردند که حفاری با گالری یک طرفه کارآیی بهتری نسبت به TS1 و TS3 بر روی نشست زمین دارد. کاراکوس و فاول (۲۰۰۳) بعدها اثرات روش‌های مختلف پیشروی سینه کار بر روی نشست در تونل دسترسی هیترو را با استفاده از مدل سازی المان محدود در حالت کرنش صفحه‌ای بررسی کردند. مطالعه آنها بر روی اثرات سه بعدی پیشروی تونل با استفاده از یک مدل دو بعدی متمرکز شده بود. فاریاس و همکاران (۲۰۰۴) اثر توالی حفاری بر نشست زمین را با استفاده از یک تونل حفاری شده به روش NATM بر اساس نتایج حاصل از تحلیل‌های سه بعدی المان محدود، بررسی کردند. آنها الگوهای‌های مختلف توالی حفاری و نگهداری را در نظر گرفته و عوامل مؤثر بر نشست نهایی را شناسایی کردند. در تحقیقات جدیدتر، کاراکوس و فاول (۲۰۰۶) مطالعه‌ای بر روی مدلسازی دو بعدی الگوی حفاری گالری یک طرفه تونل دسترسی هیترو انجام داده‌اند.

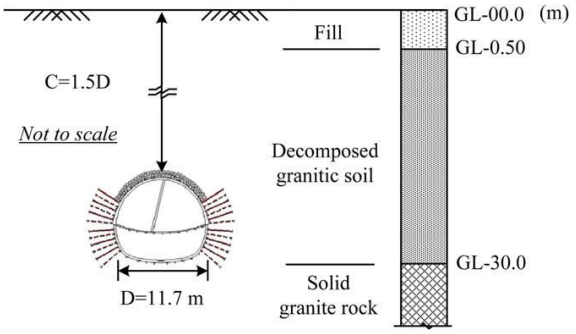
اگرچه مطالعات فوق، اطلاعات با ارزشی را در مورد موضوع مطالعه حاضر فراهم کردند، ولی محدود به مطالعه نشست در موارد خاص تونلسازی بودند. در واقع، تحقیقات بسیار کمی با در نظر گرفتن اثرات کامل سه بعدی روش‌های مختلف پیشروی سینه کارها بر کارآیی تونلسازی انجام شده است. همانطور که استفاده از NATM و اهمیت کنترل نشست در تونلسازی شهری در حال افزایش است، نیاز قطعی برای مطالعات کامل‌تر در مورد کارآیی روش‌های مختلف پیشروی سینه کارها وجود دارد.

در تحقیق پیش‌رو، تحلیل‌های سه بعدی المان محدود به منظور بررسی کارآیی تونلسازی با توالی‌های مختلف پیشروی سینه کارها با تأکید بر روش‌های برش حلقوی و حفاری گالری جانبی انجام شده است. بخش‌هایی از فاز ۲ مترو سئول برای تحلیل به منظور منعکس کردن واقعیت تونلسازی در قالب هندسه تونل و شرایط زمین انتخاب شده‌اند. مجموعه‌ای از تحلیل‌ها در تعدادی از موارد حفر تونل به طوری که عوامل مؤثر بر کارآیی روش حفاری را بتوان شناسایی کرد، انجام شده است. یک مقایسه مستقیم بین روش‌های مختلف حفاری در مدت ساخت تونل نیز انجام شده است. این مقاله به توصیف شرایط تونلسازی، مدل المان محدود سه بعدی و نتایج حاصل از مطالعه پارامتری می‌پردازد.

شرایط تونل مورد بررسی

در این تحقیق، مقطع تونل از فاز ۲ مترو سئول در نظر گرفته شد. این تونل به ترتیب دارای حداکثر ارتفاع و عرض (D) ۸/۴ متر و ۱۱/۷ متر و سطح مقطع حدود ۸۷ متر مربع می‌باشد (شکل ۱). نسبت عمق روباره تونل (C) به قطر تونل (D) ۱/۵، به عنوان یک تونل کم عمق در محیط شهری در نظر گرفته شد.

در این مطالعه وضعیت معمول زمین در منطقه شهری سئول در نظر گرفته شده است. زمین شامل ضخامت ۵ متر خاک مختلف از جمله شن، ماسه و خاک رس سیلتی می‌باشد. در زیر کف بند تونل لایه‌ای به ضخامت ۲۵ متر از نهشته آبرفتی گسترش یافته است. نهشته آبرفتی همراه یک لایه گرانیت سخت درجه دو می‌باشد که دارای ارزش RMR در محدوده ۶۰-۴۰ در طبقه بندی مهندسی سنگ (والتهام، ۱۹۹۴) می‌باشد. سطح ایستابی با توجه به تراز معمول ۵ تا ۱۰ متری آب زیرزمینی در منطقه شهری سئول، ۵ متر در نظر گرفته شده است.



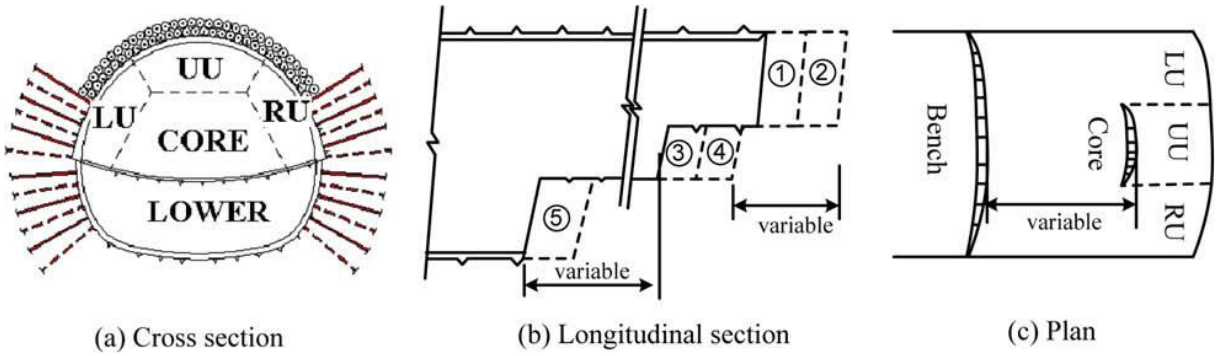
شکل (۱) مقطع عرضی تونل و نیم‌رخ زمین

در این مطالعه از روش‌های برش حلقوی (RC) و گالری جانبی (SD) که پرکاربردترین روش‌های حفاری در هنگام مواجهه با شرایط نسبتاً سخت و دشوار زمین هستند، استفاده شد. روش برش پله (BC) نیز به عنوان روش مرجع در نظر گرفته شده است. شکل‌های ۲ و ۳ به ترتیب مقاطع عرضی روش‌های RC و SD را با توالی حفاری مورد استفاده، نشان می‌دهد. توجه داشته باشید که روش حفاری RC به روش BC در هنگام انتخاب حفاری همزمان UU، LU، RU و هسته در سینه کار منتهی می‌شود. در نظر گرفتن یک لایه شاتکریت با ضخامت ۲۵۰ میلیمتر به عنوان نگهداری اولیه برای تمامی روش‌ها، اجازه یک مقایسه مستقیم بین روش‌های مختلف حفاری را می‌دهد. با وجود این که راک بولت همراه با سایر روش‌های کمکی مانند میخ‌کوبی و تزریق و لوله گذاری در سقف معمولاً در این شرایط استفاده می‌شود، در این مطالعه برای سادگی کار در نظر گرفته نشده‌اند.

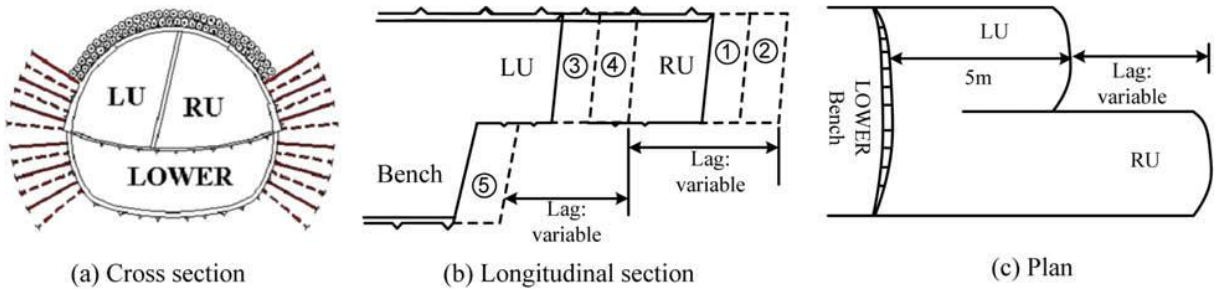
تحلیل المان محدود

برای انجام این تحلیل از نرم‌افزار آباکوس (کمپانی ABAQUS، ۲۰۰۷) استفاده شد. به منظور به تصویر کشیدن اثرات سه بعدی

واقعی پیشروی در روش‌های مختلف حفاری از مدل‌های سه بعدی المان محدود استفاده شده است.



شکل (۲) مقطع عرضی و توالی حفاری در روش برش حلقوی

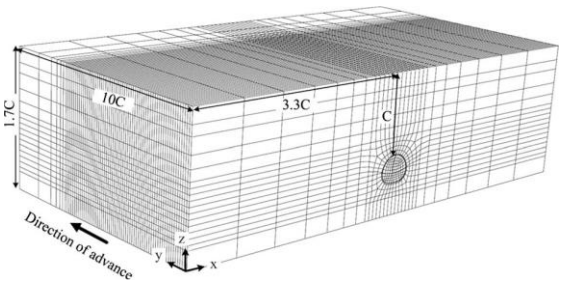


شکل (۳) مقطع عرضی و توالی حفاری در روش گالری جانبی

مدل المان محدود

شکل ۴ نمونه‌ای از مدل المان محدود استفاده شده که حدود ۲۸۰۰۰ المان سه بعدی صلب ایزوپارامتریک هشت گره‌ای با بیش از ۳۰۰۰۰ گره را شامل می‌شود، را نشان می‌دهد. با توجه به عدم تقارن توالی حفاری در روش‌های RC و SD، مسئله به صورت کامل مدلسازی شده است. همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده، مرزهای عمودی و افقی مدل برای از بین بردن اثرات مرزی احتمالی با توجه به عمق روباره به ترتیب به فاصله ۳/۳C و ۱/۷C ثابت شدند. مدل در جهت موازی با محور تونل، به فاصله ۱۰C گسترش پیدا می‌کند. در شرایط جابجایی مرزی، مرزهای غلتکی عمود بر مش قرار داده شد، به عنوان مثال، UX = 0 یا UY = 0، در حالی که یک شرط مرزی ثابت در مرز پایین با توجه به لایه سنگ سخت در نظر گرفته شده است (شکل ۴).

زمین و پوشش شاتکریت با استفاده از المان‌های جابجایی سه خط هشت گره‌ای با پیوستگی کاهش یافته (C3D8R) مدل شد. مدل رفتاری لایه‌های خاک و سنگ مطابق با معیار شکست موهر-کولمب همراه با قانون عدم وجود جریان پیشنهاد شده توسط دیویس (۱۹۶۸) با رفتار الاستوپلاستیک در نظر گرفته شد. در حالی که برای پوشش شاتکریت رفتار الاستیک خطی در نظر گرفته شده است. رفتار وابسته به زمان مقاومت و سختی پس از نصب پوشش شاتکریت در تحلیل مدل نشد، بلکه یک مقدار متوسط از مدول یانگ معادل ۱۰GPa، به نمایندگی از شرایط شاتکریت سالم و سخت که در گزارش‌ها آمده است (کوییرز و همکاران، ۲۰۰۶)، استفاده شد. جدول ۱ خلاصه خواص ژئوتکنیکی مواد موجود در تحلیل‌ها را نشان می‌دهد. توجه داشته باشید که این مقادیر از گزارش طراحی (مترو سئول، ۲۰۰۲) گرفته شده است.



شکل (۴) مدل المان محدود

جدول (۱) خواص لایه‌های سنگ و خاک

جنس زمین	وزن مخصوص کل (KN/m3)	چسبندگی (KPa)	زاویه اصطکاک داخلی (درجه)	مدول تغییر شکل (MPa)	ضریب فشار زمین	نسب پواسون
خاک دستی	۱۸	۱۰	۳۵	۲۰	۰/۵	۰/۳
خاک گرانیتی تجزیه شده	۲۱	۵۰	۳۵	۶۰	۰/۶	۰/۳
سنگ گرانیت	۲۵	۲۰۰	۴۰	۹۰۰	۱	۰/۲۶

توالی واقعی حفاری تونل که در شکل‌های ۲ و ۳ توضیح داده شد، در تحلیل با استفاده از اضافه و کم کردن عناصر مربوطه در مراحل طراحی شبیه سازی شدند. پس از ایجاد شرایط تنش اولیه با شرایط مرزی مناسب، فرایند تونلسازی به صورت گام به گام مطابق جدول ۲، با گام پیشروی یک متر مدل شد. افت نامحسوس ارتفاع آبهای زیرزمینی در حین تونلسازی قبل از تزریق بعنوان شرایط معمول تونلسازی شهری در این مطالعه در نظر گرفته شده است. تحلیل تنش به تنهایی، به عنوان مثال تحلیل تنش کل در این بررسی انجام شده است. نتایج این مقاله در تونلسازی با افت قابل توجه آبهای زیرزمینی و نشست پیوسته زمین قابل استفاده نخواهد بود.

اعتبار سنجی

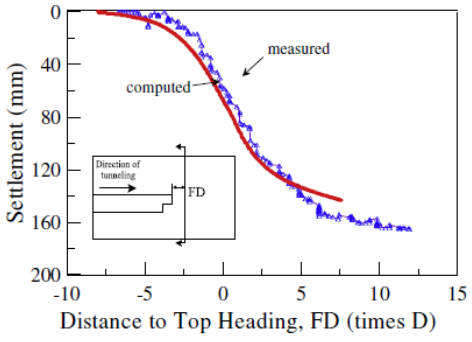
مدلسازی المان محدود سه بعدی شرح داده شده در بخش قبلی با داده‌های اندازه‌گیری شده نشست سطحی برای تونلسازی در منطقه شهر سئول (یو و همکارانش، ۲۰۰۸) مورد تایید قرار گرفت. تونل به ترتیب دارای حداکثر ارتفاع و عرض (D) ۸/۷ متر و ۱۰/۵ متر، با متوسط عمق روباره (C) ۳۰ متر می‌باشد. شرایط زمین مشابه جدول ۱ بوده، همراه با تجزیه لایه‌های گرانیتی خاک که تا تونل Springline گسترش یافته است. با توجه به نزدیکی به رودخانه هان سطح آبهای زیرزمینی ۶-۴ متر در زیر سطح زمین می‌باشد.

تونل با استفاده از روش برش حلقوی با توالی حفاری که در جدول ۲ شرح داده شده، حفاری شده است. جزئیات شرایط تونلسازی را می‌توان در مقاله یو و همکارانش پیدا کرد. نکته قابل توجه در این شرایط تونلسازی، کاهش قابل توجه آبهای زیرزمینی و نشست پیوسته، به علت تزریق نامناسب در مرحله پیش نگهداری می‌باشد، که در نتیجه باعث افزایش تنش-فشار در منافذ شده (آباکوس، ۲۰۰۷) که اثرات تنش- فشار در منافذ بر کارآیی ساخت تونل محاسبه شده است.

شکل ۵ نشست سطحی اندازه‌گیری شده را با مقادیر محاسبه شده، مقایسه می‌کند. همانطور که مشخص است مقادیر نشست محاسبه شده به خوبی با روند داده‌های اندازه‌گیری شده مطابق است. اگر چه حداکثر نشست محاسبه شده حدود ۱۰٪ کوچکتر از مقدار اندازه‌گیری شده می‌باشد، ولی تطابق بین این دو مجموعه از داده‌ها به علت عدم قطعیت در تونلسازی واقعی بسیار خوب به نظر می‌رسد.

جدول (۱) مراحل شبیه سازی حفاری

روش حفاری	فرآیند شبیه سازی
برش حلقوی	(۱) حفر UU، LU و RU با پیشروی یک متر؛ (۲) اعمال پوشش شاتکریت در سطح؛ (۳) تکرار مراحل (۱) و (۲) برای ۲ متر؛ (۴) حفر هسته؛ (۵) نصب موقت پوشش کف بند؛ (۶) حفر پله با پیشروی یک متر تا پشت سینه کار حلقه بالایی؛ (۷) اعمال پوشش شاتکریت در بخش پله؛ (۸) تکرار این مراحل تا پیشروی کامل تونل
گالری جانبی	(۱) حفر LD با پیشروی یک متر؛ اعمال پوشش شاتکریت در سطح؛ (۳) حفر RD به پیشروی یک متر به صورت هم‌زمان با حفاری LD با فاصله‌ای عقب‌تر از سینه کار LD و مراحل (۱) و (۲)؛ (۴) اعمال پوشش موقت کف بند؛ (۵) حفر پله با پیشروی یک متر تا پشت سینه کار RD؛ (۶) اعمال پوشش شاتکریت در بخش پله؛ (۷) تکرار این مراحل تا پیشروی کامل تونل



شکل (۵) مقادیر اندازه‌گیری شده در برابر مقادیر محاسبه شده

مطالعه پارامتری

پنج دسته از مطالعات پارامتریک یعنی دسته A، دسته B-1 و B-2، دسته C-1 و C-2 به طور خلاصه در جدول ۳ قرار داده شده است. دسته A برای بررسی تونلسازی با روش‌های مختلف حفاری در نظر گرفته شده است. در دسته B-1، طول هسته یا حجم هسته در سینه کار (CL)، در صورت استفاده از روش برش حلقوی به عنوان متغیر اصلی به منظور مطالعه اثر CL، و دسته B-2 و C-2 به منظور بررسی اثر فاصله طاق و پله (BD) به ترتیب در روش‌های RC و SD، در نظر گرفته شده‌اند. در نهایت، دسته C-1 به منظور بررسی اثر فاصله تأخیر (LD) بین حفاری گالری راست و چپ در روش SD طراحی شده است.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از مطالعه پارامتری در مورد تاج تونل، نشست سطحی زمین و همچنین تنش در پوشش شاتکریت مورد تحلیل قرار گرفت، تا بتوان متغیرهای موثر بر کارآیی تونلسازی در روش‌های حفاری را شناسایی کرد.

روش برش حلقوی

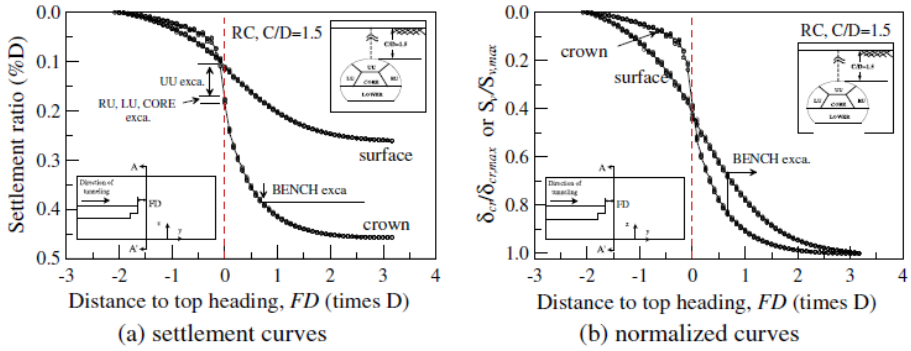
ویژگی‌های عمومی

شکل ۶ نشست تدریجی در بالای تاج تونل و نشست سطحی در نقاط رفتارنگاری بالای محور تونل برای شرایط پایه BD= 0.7D و CL= 0.2D را نشان می‌دهد. همچنین در این شکل، منحنی نرمال نشست در مقابل فاصله طاق تا بخش رفتارنگاری رسم شده است (FD). همانطور که در شکل ۶a دیده می‌شود، نشست تاج تونل δ_{cr} هنگامی شروع می‌شود که طاق با بخش رفتارنگاری به اندازه 0.2D فاصله داشته باشد. به محض ورود طاق به بخش رفتارنگاری، δ_{cr} به ۴۰٪ از ارزش نهایی آن $(\delta_{cr})_{max}$ می‌رسد، که بر این اساس نشست اولیه با مقدار $0.4(\delta_{cr})_{max}$ تعریف شده است. تکنیک‌های همگرایی-همجواری با استفاده از پین‌های رفتارنگاری یا تارگت‌ها در بهترین حالت تنها می توانند $0.6(\delta_{cr})_{max}$ را اندازه‌گیری کنند. نشست اولیه در واقع مفهوم بزرگی در هنگام ارزیابی داده‌های رفتارنگاری برای به دست آوردن اطلاعات قابل اعتماد در مورد رفتار زمین می‌باشد (سلنر، ۲۰۰۰). پیشروی بیشتر طاق هنگامی که تقریباً به فاصله 0.2D پشت نقطه رفتارنگاری می‌رسد، به تدریج باعث افزایش δ_{cr} می‌شود.

جدول(۱)- خلاصه مطاله پارامتری

دسته	روش حفاری	BD[۱]	CL[۲] (روش برش حلقوی)	LD[۳] (روش گالری جانبی)
A	BC, RC, SD	۰/۷	۰/۲	۰/۵
B-1	RC	۰/۵	۰/۱ ،۰/۲ ،۰/۳	–
B-2	RC	۰/۳ ،۰/۷ ،۱ ،۱/۳	۰/۲	–
C-1	SD	۱/۵	–	۰/۲ ،۰/۵ ،۱
C-2	SD	۰/۷ ،۱ ،۱/۵	–	۰/۵

۱. فاصله بین طاق و پله.
۲. طول هسته.
۳. فاصله بین طاق گالری راست و چپ، دسته **A** نشان دهنده شرایط پایه برای هر یک از روش‌های حفاری است.



شکل (۶) توسعه تدریجی نشست در بالای تاج تونل و نشست سطح زمین (روش برش حلقوی)

بررسی بیشتر شکل ۶a نشان می‌دهد که در طول یک حلقه پیشرفت، شامل حفاری UU، LU و RU، بیش از ۸۰٪ نشست بالای تاج δ_{cr}، در اثر حفاری UU رخ می‌دهد و ۲۰٪ باقیمانده هنگام حفاری LU و RU ایجاد می‌شود. بر همین اساس هر گونه اقدامی برای کنترل نشست در بالای تاج، باید در جهت کاهش نشست در طول حفاری UU باشد. روند مشابهی را می‌توان در منحنی‌های نشست سطحی اما با شیب کمتر و تثبیت کندتر نشست مشاهده کرد.

در شکل ۶b، درصد نشست سطحی نسبت به مقدار نهایی آن نشان داده شده است. به عنوان مثال، $S_v/S_{v,max}$، بلافاصله بعد از حفر طاق در حدود ۴۵٪ است. ۵۵٪ باقیمانده از نشست نهایی، پس از عبور از بخش طاق رخ می‌دهد، که می‌تواند توسط بسته شدن زود هنگام حلقه در پشت طاق کنترل شود. علاوه بر این، دیده می‌شود که به ترتیب حدود ۲۰٪ و ۳۳٪ از نشست، به ترتیب برای تاج و نشست سطح زمین، بعد از حفاری پله رخ داده است.

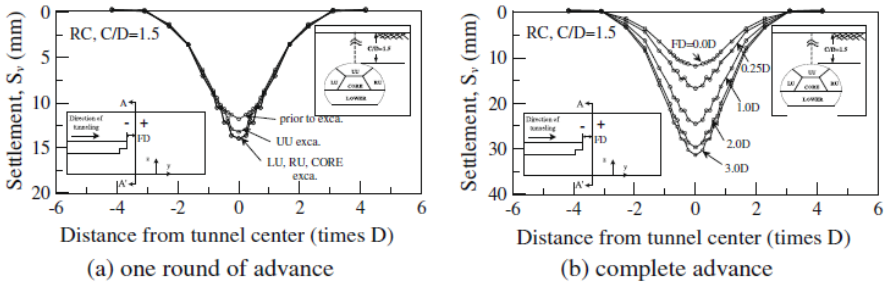
شکل ۷ منحنی تدریجی نشست عرضی را برای مراحل مختلف تونلسازی نشان می‌دهد. شکل ۷a نشست عرضی را، هنگامی که پیشروی طاق قبل از رسیدن و در بخش رفتارنگاری باشد، برای بررسی اثر هر مرحله حفاری بر تاج تونل و نشست سطحی نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل دیده می‌شود، حدود ۸۰٪ از نشست ناشی از پیشرفت حلقه بالا توسط حفاری UU و ۲۰٪ باقیمانده

به وسیله حفر LU، RU و حفاری هسته رخ داده است. همانطور که قبلاً بحث شد، چنین روندی نشان می‌دهد که بیشتر نشست تاج δ_{cr} در اثر حفر UU اتفاق می‌افتد. بنابراین دلیل اصلی نشست سطح زمین در روش حفاری RC، حفاری مرحله UU است.

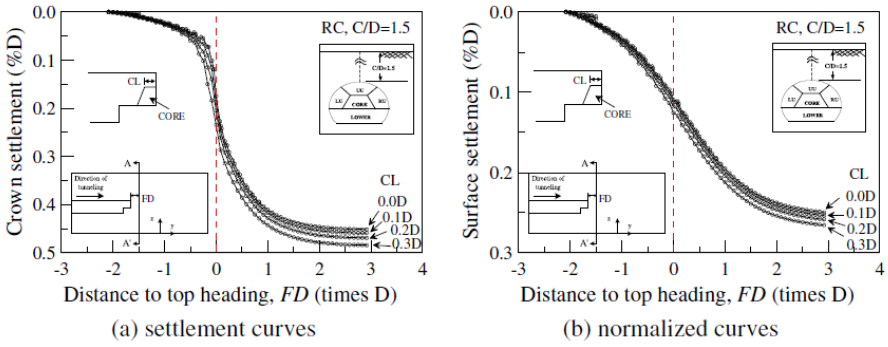
شکل ۷b نشست تدریجی سطحی را در اثر پیشروی طاق نشان می‌دهد. نتایج ارائه شده در شکل ۷b نشان می‌دهد که نشست حاصل از پیشروی به اندازه ۱D بعد از بخش رفتارنگاری تقریباً دو برابر حجم نشست در FD = 0.0D می‌باشد. به عنوان مثال، مرحله حفاری بحرانی در کنترل نشست زمین با دوره پیشروی ۱D پس از حفاری و عبور از بخش رفتارنگاری می‌باشد.

اثر حجم هسته

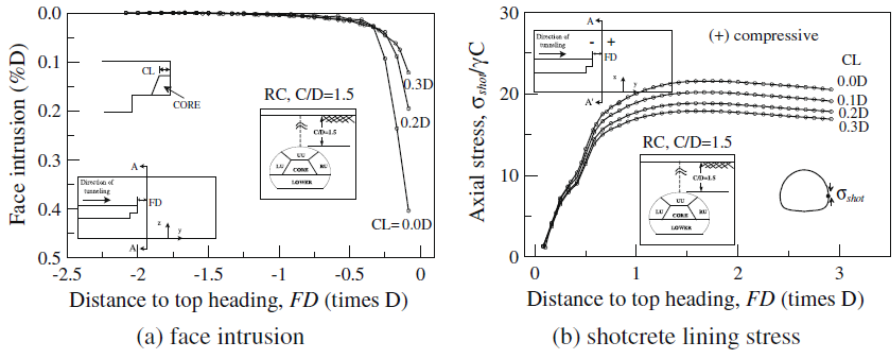
هنگام حفاری به روش برش حلقوی، حجم هسته در سینه کار باید طوری انتخاب شود که پایداری سینه کار به صورت منطقی بدون دخالت در روند ساخت تونل حفظ شود. در شکل‌های ۸a و ۸b به ترتیب توسعه تدریجی تاج تونل و نشست سطحی در نقاط رفتارنگاری در طول پیشروی سینه کار، با استفاده از نتایج به دست آمده از تحلیل B-1 رسم شده است. در شکل روند کلی کاهش نشست با افزایش حجم هسته (طول) قابل مشاهده است. این کاهش قابل توجهی نیست، با این حال نشان می‌دهد که افزایش طول هسته از ۰ به ۳ متر تنها باعث کاهش نشست بالای تاج تونل به اندازه ۰/۰۵D٪ یا ۶ میلیمتر و کمتر از ۰/۰۳D٪ نشست سطحی را کاهش می‌دهد.



شکل (۷) نشست عرضی تدریجی سطح زمین (روش برش حلقوی)



شکل (۸) اثر طول هسته بر منحنی نشست در بالای تاج تونل و نشست سطح زمین (روش برش حلقوی)



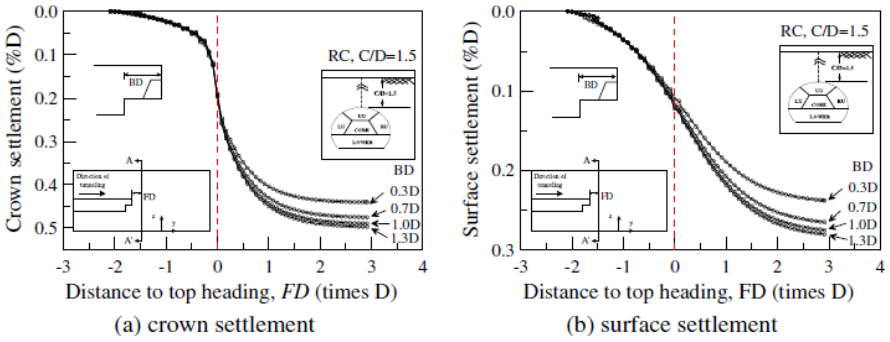
شکل (۹) اثر طول هسته بر نفوذ سینه کار و تنش در پوشش شاتکریت (روش برش حلقوی)

همانطور که در شکل ۹a نشان داده شده، اثر حجم هسته در $\delta_{h,face}$ اهمیت دارد. توجه شود که در شکل ۹a توسعه تدریجی $\delta_{h,face}$ در مرکز تونل نشان داده شده است. همانطور که دیده می‌شود، افزایش CL از ۰ تا ۳ متر باعث کاهش بیش از ٪۷۰ $\delta_{h,face}$ می‌شود. توجه شود که $\sigma_{shot,SL}$ متوسط تنش فشاری در سطح مقطع پوشش شاتکریت، منطبق با روباره تونل (γC) را نشان می‌دهد. همانطور که دیده می‌شود، ٪۳۰ افزایش در $\sigma_{shot,SL}$ در اثر افزایش طول هسته از ۰ به ۳ متر مشهود است. چنین روندی نشان دهنده این واقعیت است که وجود هسته آزاد شدن تنش در پیشروی سینه کار را محدود می‌کند. زمانی که حجم هسته بزرگتر است، قسمت اعظم نیروی به تعادل نرسیده توسط پوشش شاتکریت تحمل می‌شود. بنابراین انتظار می‌رود که افزایش تنش در پوشش شاتکریت باید زمانی که حجم هسته بزرگتر است، رخ دهد.

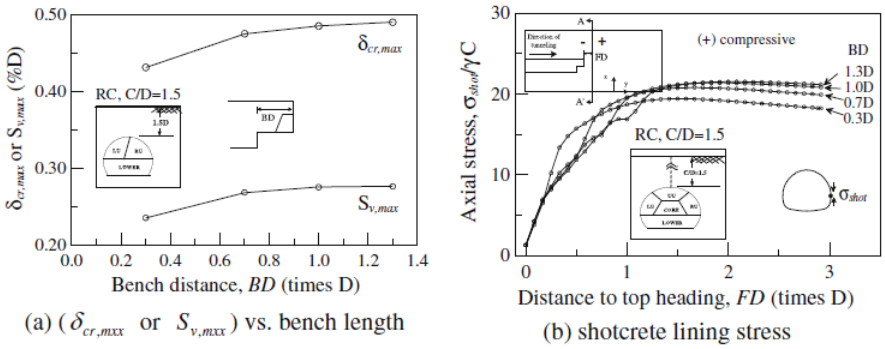
اثر طول پله

هنگامی که تونل در شرایط دشوار زمین ساخته می‌شود، بسته شدن حلقه نگهداری در پشت سینه کار باید با بیشترین سرعت ممکن انجام شود. در نتیجه نیاز به طول پله کوتاه‌تری به منظور به حداقل رساندن تغییر شکل در تونل و نشست زمین می‌باشد. اثر طول پله بر تاج تونل و همچنین نشست سطحی در شکل ۱۰ نشان داده شده است. همانطور که می‌توان انتظار داشت، کوتاه‌تر شدن طول پله باعث کاهش نشست در بالای تاج تونل و نشست سطحی با توجه بسته شدن سریع حلقه زمانی که BD کوچکتر است، می‌شود.

بزرگتر بودن تغییرات تاج تونل و نشست سطحی با طول پله از تغییرات با حجم هسته که قبلاً نشان داده شده، نشان می‌دهد که طول پله یا زمان بسته شدن حلقه تأثیر بیشتری بر روی تاج تونل و نشست سطحی نسبت به حجم هسته دارد. برای مثال همانطور که در شکل ۱۱a نشان داده شده است، افزایش مقدار BD از ۰/۳D تا ۱/۵D باعث کاهش ٪۰/۰۱D و ٪۰/۰۶D به ترتیب برای $(\delta_{cr})_{max}$ و $S_{v,max}$ می‌شود. در حالی که کاهش تنها نیمی از این مقادیر زمانی که افزایش طول هسته از ۰ تا ۳ متر است، رخ می‌دهد. در شکل ۱۱b اثر مثبت بسته شدن سریع حلقه با کوچک نگه داشتن BD نشان داده شده است. تنش در پوشش شاتکریت در اثر کاهش BD به اندازه ٪۲۰ کاهش می‌یابد. بر اساس این شکل که افزایش بیشتر BD بیش از مقدار ۰/۷D تنها باعث بهبود در نشست بالای تاج تونل و نشست سطحی می‌شود، طول پله بحرانی $BD_{cr} = 0.7D$ وجود دارد که بیشتر از این مقدار هیچ کاهش قابل توجهی در δ_{cr} و S_v رخ نمی‌دهد. نتایج این شکل در واقع تأیید می‌کنند که بسته شدن سریع حلقه نگهداری، مهم‌ترین عامل در کنترل تغییر شکل تونل و نشست در ساخت تونل کم عمق در زمین نرم می‌باشد که باعث تثبیت کافی سینه کار تونل می‌شود.



شکل (۱۰) اثر طول پله بر نشست در بالای تاج تونل و نشست سطح زمین (روش برش حلقوی)



شکل (۱۱) اثر طول پله بر نشست و تنش در پوشش شاتکریت (روش برش حلقوی)

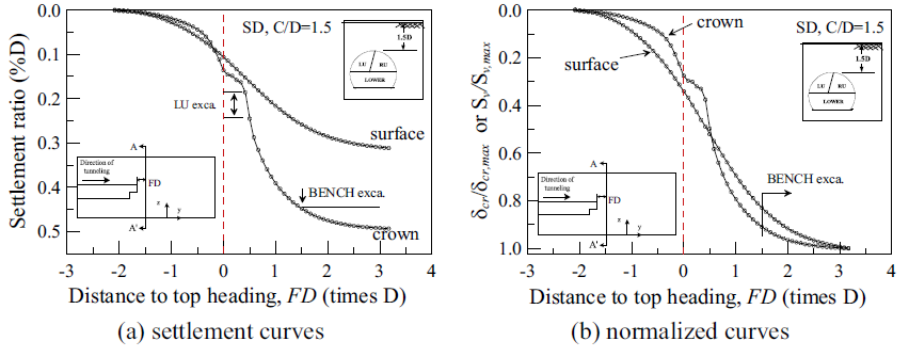
روش گالری جانبی

ویژگی‌های عمومی

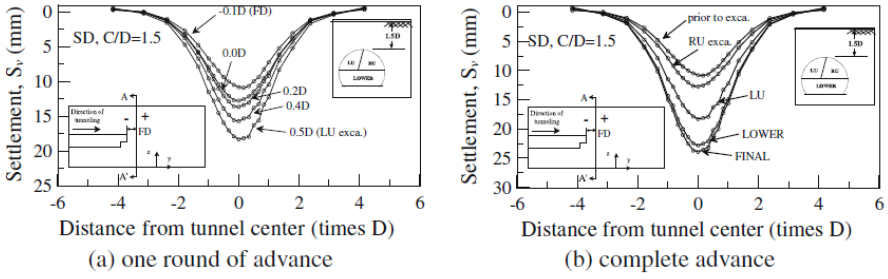
توسعه تدریجی تاج تونل و نشست سطحی در نقاط رفتارنگاری برای روش SD با فاصله تأخیر ۰/۵D بین گالری چپ و راست در شکل ۱۲ نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشخص است، منحنی نشست در بالای تونل تاج به علت تأخیر آن برجسته شده است. به عنوان مثال، δ_{cr} به تدریج با پیشرفت تونل افزایش می‌یابد و حدود ۲۸٪ از $\delta_{cr,max}$ هنگام رسیدن RU ثبت می‌شود. یعنی، در FD = 0 نرخ δ_{cr} افزایش و سپس بلافاصله پس از عبور RU کاهش می‌یابد، اما دوباره با رسیدن LU به علت حذف موقت نگهداری موقت شتاب می‌گیرد، تا زمانی که LU به اندازه 1D از نقطه رفتارنگاری فاصله گیرد. شکل منحنی نشست سطحی با این حال به نظر نمی‌رسد تحت تاثیر تأخیر قرار گرفته باشد و مشابه شکل منحنی روش RC می‌باشد.

یکی دیگر از قسمت‌های قابل توجه در این شکل‌ها این است که به نظر می‌رسد حفاری LU به علت ایجاد نشست بیشتر در بالای تاج، تأثیر بیشتری از حفاری RU بر کارآیی تونلسازی دارد. برای مثال، یک دور حفاری RU در بخش رفتارنگاری تنها باعث حدود ۰/۰۴D٪ از $\delta_{cr,max}$ و حفاری LU باعث ۰/۰۷D٪ از $\delta_{cr,max}$ می‌شود.

اثر حفاری LU بر نشست سطحی نیز به خوبی در شکل ۱۳ نشان داده شده است. که در آن نشست عرضی تدریجی سطح زمین در بخش رفتارنگاری آورده شده است. همانطور که در شکل ۱۳a نشان داده شده است، افزایش نشست منطقه در طول پیشروی LU حدود ۵۰٪ بزرگتر از پیشروی RU است. اگر چه منطقه حفاری LU، ۲۰٪ کوچکتر از RU است. باز هم دلیل این امر در درجه اول حذف نگهداری موقت مرکزی است و اهمیت وجود نگهداری موقت مرکزی با ظرفیت کافی تحمل بار در کنترل نشست سطحی را نشان می‌دهد.



شکل (۱۲) توسعه تدریجی نشست در بالای تاج تونل و نشست سطح زمین (روش گالری جانبی)



شکل (۱۳) نشست عرضی تدریجی سطح زمین (روش گالری جانبی)

اثر فاصله تأخیر

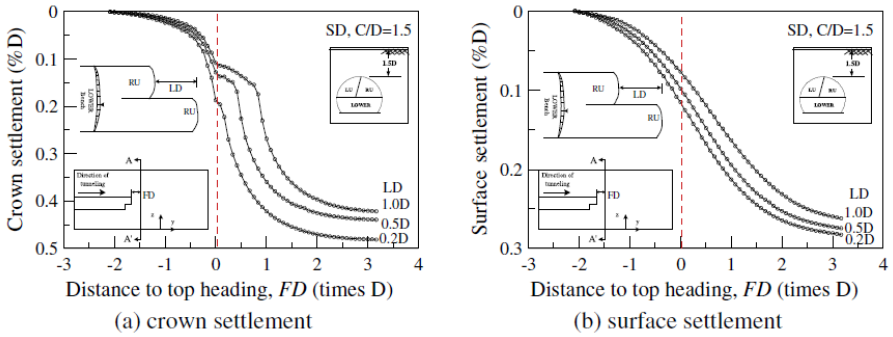
زمانی که تونل با استفاده از روش گالری جانبی حفر می‌شود، فاصله تأخیر (LD) بین گالری چپ و راست یک پارامتر مهم در طراحی است که علاوه بر سرعت حفاری بر کارآیی تونلسازی هم تأثیر می‌گذارد. اثر فاصله تأخیر بر روی کارآیی تونلسازی با استفاده از نتایج حاصل از تحلیل دسته C-2 مورد بررسی قرار گرفته است. شکل ۱۴ منحنی نشست در بالای تاج و نشست سطح زمین را برای موارد مختلف LD نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۱۴a دیده می‌شود، تغییرات منحنی نشست بالای تاج با LD، منعکس کننده اثر فاصله تأخیر است.

در حالیکه منحنی نشست سطحی یکسان باقی می‌ماند. همچنین نشست بالای تاج و همچنین نشست سطحی با افزایش LD کاهش می‌یابد. برای مثال، افزایش LD از 1D تا ۰/۲D باعث کاهش $(\delta_{cr})_{max}$ و $S_{v,max}$ به ترتیب به اندازه ۲۵٪ و ۱۵٪ می‌شود. همچنین

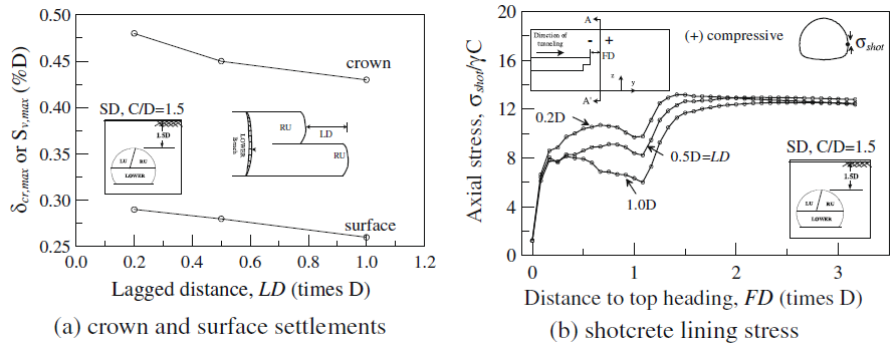
از شکل ۱۴b مشخص است که نسبت‌های نشست بالای تاج و نشست سطحی بلافاصله بالاتر از پیشروی RU بزرگتر از پیشروی LD است. دلیل این امر ممکن است به دلیل کاهش درجه بر هم کنش بین RU و LU در زمان استفاده از LD بزرگتر باشد.

اثر LD بر نشست در بالای تاج تونل و نشست سطحی به وضوح در شکل ۱۵ نشان داده شده است، که در آن تغییرات $(\delta_{cr})_{max}$ و $S_{v,max}$ بر اساس LD نمایش داده شده است. اگرچه $S_{v,max}$ تمایل به افزایش خطی با LD دارد، میزان افزایش $(\delta_{cr})_{max}$ با LD در جایی که LD ≥ 0.5D تا حدودی کاهش می‌یابد. بنابراین هیچ مزیت قابل توجهی در کارآیی تونلسازی با افزایش LD بیش از ۰/۵D بدست نمی‌آید. هر چند تحقیقات بیشتری در مورد هرگونه نتیجه‌گیری کلی در مورد مقدار بحرانی LD نیاز است، به نظر می‌رسد که یک مقدار برای LD_{cr} وجود دارد که بیش از آن هیچ مزیت قابل توجهی در کاهش $(\delta_{cr})_{max}$ یا $S_{v,max}$ وجود ندارد. برای موارد مشابه تونل در نظر گرفته شده در این مطالعه، فاصله تأخیر بین گالری‌ها باید در LD = 0.5D یا بزرگتر حفظ شود تا نشست بالای تاج و نشست سطحی به حداقل برسد.

در شکل ۱۵b توسعه تدریجی تنش فشاری محوری در پوشش شاتکریت در سطح خط Springline برای LDهای مختلف ارائه شده است. بر خلاف نشست، به نظر می‌رسد که مقدار نهایی $\sigma_{shot,SL}$ حساس به فاصله تأخیر LD نیست. اگرچه مقدار متوسط $\sigma_{shot,SL}$ با کاهش LD، $\sigma_{shot,SL}$ بزرگتر می‌شود. زمانی که $\sigma_{shot,SL}$ به اندازه یک قطر تونل پیشروی می‌کند و به طور موقت به مقدار ماکزیمم می‌رسد، تمایل به کاهش نشان می‌دهد که این کاهش معنی ندارد. سپس $\sigma_{shot,SL}$ دوباره افزایش پیدا می‌کند تا این که بلافاصله بعد از کامل شدن حلقه به مقدار ماکزیمم می‌رسد. بعد از این که دوباره افزایش پیدا کند، پیشروی به اندازه 1D انجام می‌شود، تا این که به مقدار ماکزیمم می‌رسد و تنش‌های بزرگتری روی پوشش شاتکریت در زمانی که LD کوتاهتری اتخاذ شود، بخصوص قبل از کامل شدن حلقه باید انتظار داشت. این روند نشان می‌دهد که پایداری پوشش شاتکریت نیاز به توجه دقیق‌تر در زمان اجرای LD کوتاه‌تر دارد. بخصوص بلافاصله پس از پاشیدن شاتکریت بر روی سطح حفاری RU تا زمانی که RU به اندازه ۰/۵D پیشروی کند، که در این شرایط شاتکریت معمولاً به مقاومت نهایی خود نرسیده است.



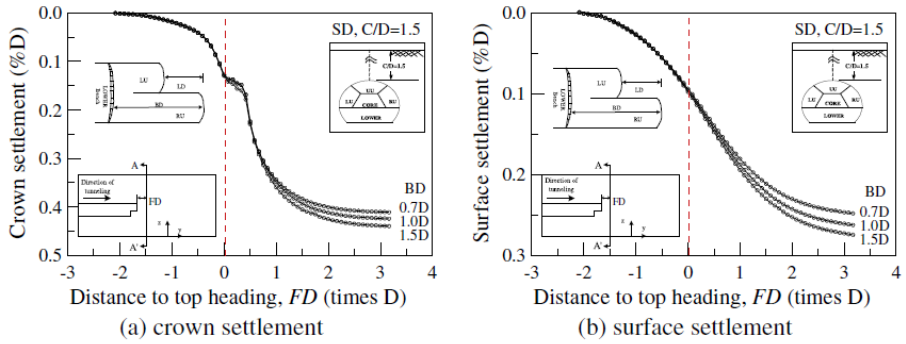
شکل (۱۴) اثر فاصله تأخیر بر نشست در بالای تاج تونل و نشست سطح زمین (روش گالری جانبی)



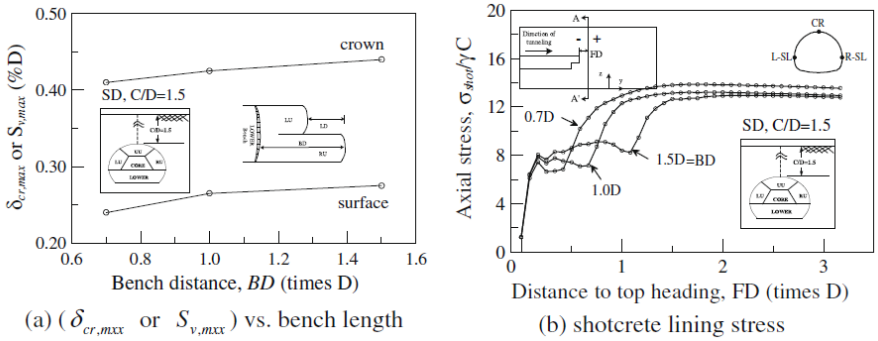
شکل (۱۵) اثر فاصله تأخیر بر کارآیی تونلسازی (روش گالری جانبی)

اثر طول پله

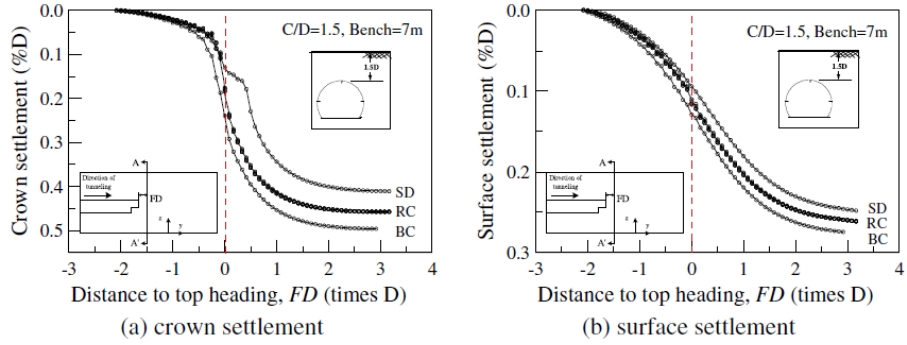
در شکل‌های ۱۶ و ۱۷ اثر طول پله بر کارآیی تونلسازی بر حسب نشست در بالای تاج تونل و نشست سطح زمین، تنش در پوشش شاتکریت برای مواردی با C/D = 1.5 و L/D = 0.5 برای روش SD نشان داده شده است. همانطور که دیده می‌شود، با در نظر گرفتن BD کوتاه‌تر، نشست بالای تاج و نشست سطحی مشابه به نتایج به دست آمده در روش RC کوچکتر می‌شوند. کاهش کمتر از ۰/۰۵D٪ در اثر کاهش BD از ۱/۵D به ۰/۷D به نوبه خود نشان می‌دهد که طول پله در روش SD به اهمیت روش RC نیست و حساسیت کمتری در اثر تغییر آن وجود دارد. هر چند میزان افزایش نشست تاج تونل و نشست سطحی با کاهش BD زمانی که BD = 1.0D می‌باشد، آشکار نیست. این امر نشان می‌دهد که طول بحرانی پله 1.0D می‌باشد. همانطور که در شکل ۱۷b مشاهده می‌شود، بر خلاف روش RC هیچ تغییر قابل توجهی در $\sigma_{shot,SL}$ در اثر تغییر BD مشهود نیست.



شکل (۱۶) اثر طول پله بر نشست بالای تاج تونل و نشست سطح زمین (روش گالری جانبی)



شکل (۱۷) اثر طول پله بر کارآیی تونلسازی (روش گالری جانبی)

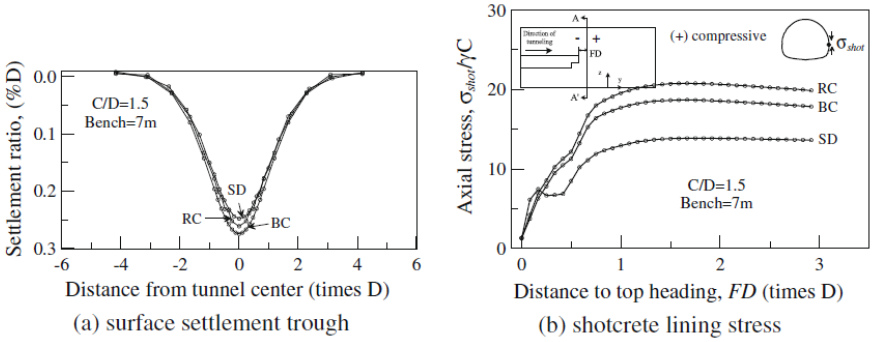


شکل (۱۸) اثر روش حفاری بر نشست در بالای تاج تونل و نشست سطح زمین

روش برش حلقوی در مقایسه با روش گالری جانبی

در شکل‌های ۱۸ و ۱۹ یک مقایسه مستقیم بین روش RC و روش SD در موارد پایه انجام شده است. همچنین در این شکل‌ها نتایج برای روش برش پله (BC) به عنوان مرجع نشان داده شده است. همانطور که در این شکل‌ها دیده می‌شود، روش SD در همه جنبه‌های تونلسازی بهتر از روش‌های دیگر عمل کرده است. برای مثال همانطور که در شکل ۱۸a دیده می‌شود، حداکثر نشست در بالای تاج تونل $(\delta_{cr})_{max}$ با مقدار ۰/۳٪D در روش SD کمترین در بین روش‌های مختلف است، و پس از آن روش RC با مقدار ۰/۴۵٪D روش BC با ۰/۵٪D می‌باشند. همچنین روند مشاهده شده در شکل‌های ۱۸a و ۱۷b نشان می‌دهد که نسبت نشست بالای تاج تونل و نشست سطحی به مقدار حداکثر خود زمانی که FD = 0.0D باشد، کوچکترین مقدار در روش SD می‌باشد. بنابراین کم‌ترین درجه آزادی تنش برای پیشروی طاق در روش SD است.

همانطور که در شکل ۱۹a نشان داده شده است، شکل نشست سطحی عرضی به نظر نمی‌رسد که تحت تأثیر نوع روش حفاری قرار گرفته باشد. شاید چشمگیرترین تفاوت بین روش‌های حفاری مختلف می‌تواند تنش در پوشش شاتکریت در شکل ۱۹b باشد که $\sigma_{shot,SL}$ برای روش SD، به ترتیب تنها ۶۰ و ۷۰ درصد از مقدار روش RC و روش BC است. دلیل چنین روندی اساساً اثر نگهداری موقت مرکزی در تحمل بار در روش حفاری SD است.



شکل (۱۹) اثر روش حفاری بر نشست و تنش در پوشش شاتکریت

منحنی نشست نرمال

روش برش حلقوی

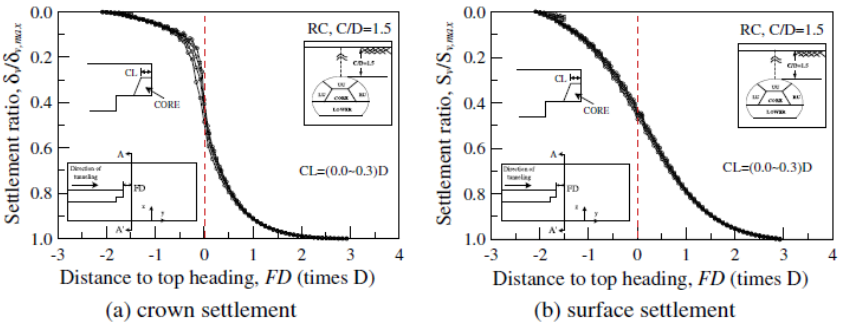
منحنی‌های نشست نرمال با حداکثر ارزش خود برای تحلیل‌ها در شکل‌های ۲۰ و ۲۱ نشان داده شده است. همانطور که در این شکل‌ها دیده می‌شود، منحنی‌های نشست نرمال تاج و نشست سطحی تمایل به همگرایی به یک منحنی را دارند. این امر نشان می دهد که حجم هسته و طول پله اثر قابل توجهی بر پارامترهای نشست تاج تونل و نشست سطحی ندارد. علاوه بر این، نسبت‌های نشست بلافاصله بالاتر از پیشروی طاق، به عنوان مثال در FD = 0.0D، صرف نظر از حجم هسته و طول پله در همان حد قبلی در محدوده ۰/۵ تا ۰/۴ باقی می‌ماند.

روش گالری جانبی

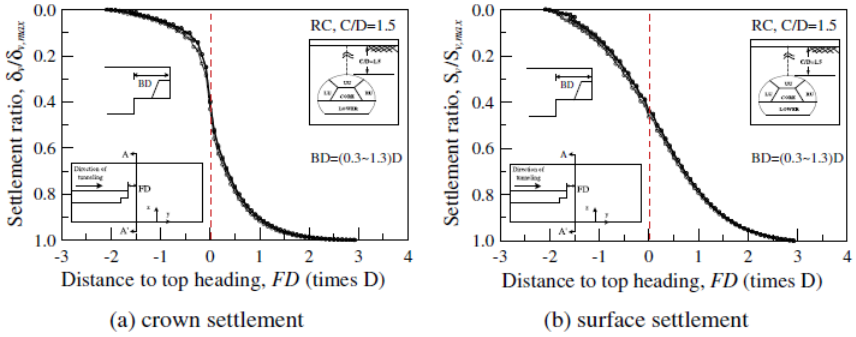
منحنی‌های نشست نرمال در بالای تاج تونل و نشست سطح زمین برای روش گالری جانبی در شکل‌های ۲۰ و ۲۱ نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۲۲ نشان داده شده است، منحنی‌های نرمال برای فواصل تأخیر مختلف تمایل به انحراف از یکدیگر دارند. این امر نشان می‌دهد که فاصله تأخیر بین گالری راست و چپ اثر قابل توجهی بر پارامترهای نشست بالای تاج تونل و نشست سطحی دارد. به طور کلی اثر فاصله تأخیر افزایش درصد نشست اولیه به نهایی و تأخیر در تثبیت نشست است. برای فاصله تأخیر فرضی LD = 0.5D، همانطور که در شکل ۲۳ نشان داده شده است، طول پله هیچ تأثیر قابل توجی بر پارامتر نشست LD ندارد.

روش‌های مختلف حفاری

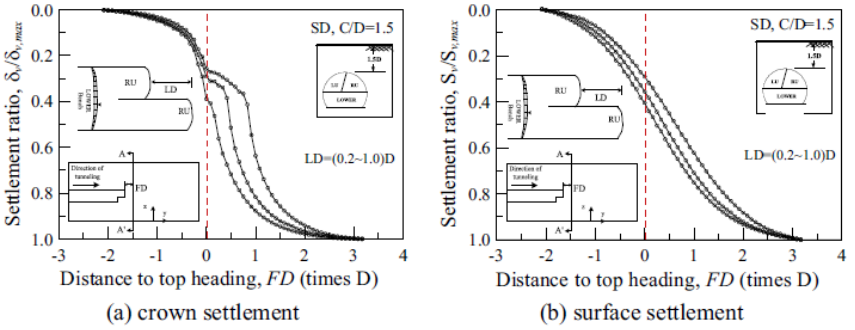
شکل‌های ۲۴a و ۲۴b به ترتیب منحنی نشست نرمال در بالای تاج تونل و نشست سطح زمین را برای روش‌های مختلف حفاری نشان می‌دهند. همانطور که انتظار می‌رود، منحنی نشست نرمال تاج تمایل به همگرایی به یک منحنی را دارد. به جز برای روش SD که به طور قابل توجهی انحراف از بقیه منحنی‌ها با توجه به فاصله تأخیر دارد. با توجه به منحنی نشست سطحی نرمال که در شکل ۲۴b نشان داده شده است، اگرچه تقریباً منحنی‌ها به یک منحنی همگرا می‌شوند، ولی می‌توان تنها یک منحنی نرمال را برای نشان دادن منحنی‌های نشست سطحی موارد در نظر گرفته شده در این مطالعه مورد استفاده قرار داد.



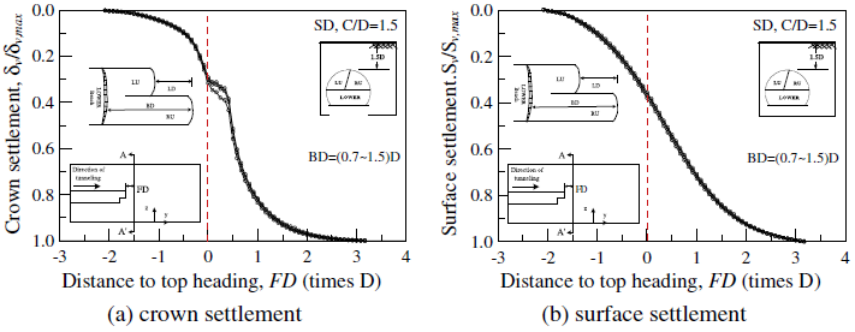
شکل (۲۰) منحنی نشست نرمال برای حجم هسته‌های مختلف (روش برش حلقوی)



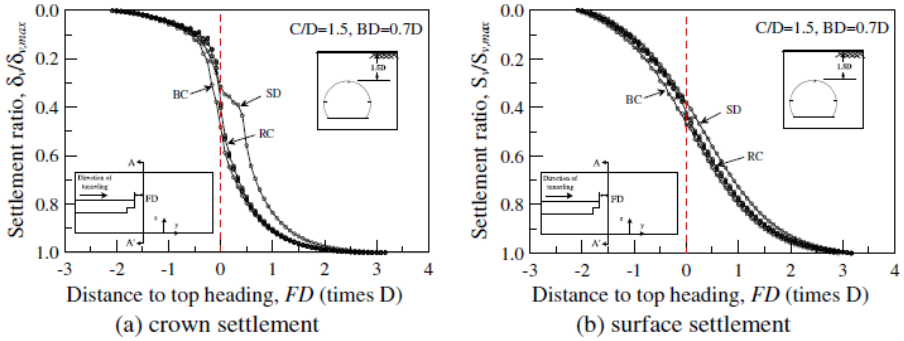
شکل (۲۱) منحنی نشست نرمال برای طول پله‌های مختلف (روش برش حلقوی)



شکل (۲۲) منحنی نشست نرمال برای فواصل مختلف تأخیر (روش گالری جانبی)



شکل (۲۳) منحنی نشست نرمال برای طول پله‌های مختلف (روش گالری جانبی)



شکل (۲۴) منحنی نرمال نشست برای روش‌های مختلف حفاری

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از تحلیل المان محدود سه بعدی در تونلسازی به روش NATM با چند سینه کار در این مطالعه با تأکید بر روش‌های حفاری گالری جانبی و برش حلقوی بیان شدند. تونل فاز ۲ مترو سئول برای تحلیل انتخاب شده است. بر اساس نتایج، عوامل مؤثر بر کارآیی تونلسازی برای روش‌های حفاری مختلف شناسایی شده و یک مقایسه مستقیم بین روش‌های مختلف حفاری انجام شد. نتایج زیر را می‌توان برای شرایط تونل در نظر گرفته شده در این مطالعه بیان کرد.

۱- هنگامی که از روش برش حلقوی استفاده می‌شود، روی دادن حدود ۸۰٪ از کل نشست ناشی از پیشروی یک حلقه حفاری UU، نشان می‌دهد که علت اصلی نشست سطحی زمین، حفاری مرحله UU است. بسته شدن سریع حلقه با اتخاذ یک پله کوتاه، مؤثرتر از اتخاذ حجم هسته بزرگتر در محدود کردن نشست بالای تاج تونل و نشست سطحی در تونلسازی در زمین نرم و در عمق کم است که پایداری سینه کار را به اندازه کافی فراهم می‌کند. حجم هسته اثر بیشتری در نفوذ سینه کار نسبت به نشست زمین دارد، اما با افزایش تنش در پوشش شاتکریت همراه است.

۲- در روش گالری جانبی، شکل منحنی نشست در بالای تاج تونل تحت تأثیر فاصله تأخیر بین گالری راست و چپ می‌باشد. اما فاصله تأخیر هیچ تأثیری بر روی منحنی نشست سطحی ندارد. حفاری گالری LU با حذف نگهداری مرکزی موقت، نشست تاج بزرگتری نسبت به حفاری گالری RU دارد. کارآیی بهتر تونلسازی را می‌توان با فاصله تأخیر بیشتر بین گالری راست و چپ بدست آورد. برای شرایط تونل در نظر گرفته شده در این مطالعه، یک فاصله تأخیر بحرانی در محدوده ۰/۵D وجود دارد، که بیشتر از آن هیچ مزیت قابل توجهی بدست نمی‌آید. در روش گالری جانبی تنش در پوشش شاتکریت تحت تأثیر فاصله تأخیر به مقدار زیاد قرار نمی‌گیرد، و اثر طول پله بر کارآیی تونلسازی به اندازه روش برش حلقوی قابل توجه نیست.

۳- روش حفاری گالری جانبی به نسبت روش برش حلقوی و همچنین روش برش پله دارای کارآیی بیشتری در تمامی جنبه‌های تونلسازی می‌باشد. در روش حفاری گالری جانبی ۷۰-۶۰ درصد تنش در پوشش شاتکریت به نسبت دو روش دیگر بوجود می‌آید. افزایش فاصله تأخیر، باعث افزایش نسبت نشست اولیه نسبت به نشست نهایی بلافاصله بالای پیشروی طاق و تأخیر در تثبیت نشست می‌شود.

۴- منحنی نشست در بالای تاج تونل و نشست سطح زمین در روش برش حلقوی زمانی که با حداکثر مقدار خود نرمال می‌شوند، می‌توانند هر یک توسط یک منحنی بدون در نظر گرفتن حجم هسته و طول پله نشان داده شوند. برای روش‌های حفاری مختلف، می‌توان منحنی‌های نشست نرمال تاج را با یک منحنی به جز برای روش گالری جانبی نشان داد. منحنی‌های نشست نرمال برای همه روش‌های حفاری در نظر گرفته شده با اینکه تمایل به همگرایی به یک منحنی را دارند، ویژگی‌های نشست مشابه را نشان می‌دهند.

مرجع نویسی در متون علمی

احسان آزاد

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی معدن، گرایش مکانیک سنگ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (*ehsazad@aut.ac.ir*)

یکی از مواردی که در نگارش انواع آثار علمی مکتوب و غیرمکتوب باید به آن توجه کرد رعایت امانتداری و حفظ حقوق مولف اثر است. این نکته ای است که در تمامی مراکز معتبر علمی سراسر جهان همواره بر آن تاکید زیادی شده و در صورت عدم رعایت آن در کشورهای مختلف از جمله ایران، مجازات های مختلفی در نظر گرفته شده است. سرقت یا دستبرد علمی طبق تعریف کمیته اخلاقی نشر در دنیا (COPE)[۱] عبارت است از "استفاده غیرعمدی[۲] یا دانسته[۳] و یا بی‌ملاحظه[۴] از کلمات، ایده‌ها، عبارات، ادعا و یا استنادات دیگران بدون قدردانی و توضیح و استناد مناسب به اثر، صاحب اثر یا سخنران ایده". معادل این واژه در زبان عربی انتحال و معادل انگلیسی آن Plagiarism بوده که به اقدامی غیر اخلاقی و نوعی تخلف در حوزه پژوهش و نگارش اشاره دارند. با توجه به موارد گفته شده همواره باید سی نمود که با رجوع به منابع معتبر در طول تحقیق، با ذکر مشخصات دقیق آن‌ها در داخل متن و انتهای تحقیق، علاوه بر رعایت حقوق مولف بر اعتبار نوشته خود نیز بیافزاییم. در ادامه به بررسی انواع روش‌های ارجاع دهی و راهکارهای موجود در جهت سهولت این امر پرداخته می شود.

ارجاع به طور کلی به دو صورت بیان می شود، نقل مستقیم و غیر-مستقیم. نقل و قول مستقیم در واقع بازنویسی دقیق کلام شفاهی یا کتبی دیگران است، وقتی نویسنده عین کلام کسی را در نوشته خود نقل می کند باید آن را بین دو گیومه (« ») آورده و بلافاصله منبع را بعد از آن ذکر کند که البته در استانداردهای مختلف نشانه گذاری های متفاوتی استفاده می‌شود. در حالت دوم، در صورتی که نویسنده اطلاعات و مطالب منبعی را در نوشته خود ترکیب می کند و آن را با کلام خودش می‌نویسد، نقل و قول، غیر مستقیم است. به بیان دیگر بازنویسی یا بازگویی یک قطعه کوچک از یک متن است که طی آن معنای اصلی به صورت دیگری بیان می شود. خلاصه یا نقل قول غیرمستقیم باید به قلم نویسنده باشد و از کلمات و جمله های خود برای بیان مطالب دیگران استفاده کند. نکته قابل توجه در اینجا این است که فقط تغییر دادن یک یا دو کلمه نقل و قول غیرمستقیم نیست؛ بلکه باید مطالب خوانده شده را خوب درک کرد و سپس آن را با استفاده از کلمات و عبارات خود بیان نمود، در این مورد نیز باید در داخل متن به مرجع اصلی اشاره نمود. در مواردی نیز که مرجع مورد نظر محقق، خود از مرجع دیگری در متن اقتباس کرده باید به منبع جدیدتر ارجاع داد.

تا به امروز سبک‌های مختلفی برای مرجع دهی توسط موسسات معتبر ارائه شده است که تمامی آن‌ها سی در ساده‌سازی و سهولت این امر با استفاده از معیارهای واحد و قابل فهم به صورت بین المللی را دارند. در این سبک‌ها، الگوهای مشخصی برای مقالات، کتاب‌ها، گزارش‌ها، ارائه های شفاهی و بسیاری از موارد دیگر تبیین شده است. به طور کلی همه این دسته‌بندی‌ها دارای متغیرهایی از جمله نام نویسندگان، سال انتشار، عنوان اثر، محل انتشار یا ارائه، نام ناشر یا کنفرانس هستند که البته علاوه بر این متغیرها، موارد دیگری نیز وجود دارند که از اهمیت کمتری برخوردارند. در ادامه مهم‌ترین سبک های نگارش مورد استفاده در علوم مهندسی آورده شده است.

سبک APA

سبک APA[۵] ، پرکاربردترین روش در پایان‌نامه علوم اجتماعی مانند پایان‌نامه روانشناسی، پایان نامه جامعه شناسی، پایان نامه علوم تربیتی و پزشکی است. این روش در سال ۱۹۲۸ توسط انجمن روانشناسان آمریکا تدوین شده است و آخرین ویرایش آن در سال ۲۰۰۹ بوده است. این سبک اگر چه بیشتر توسط ژورنال های خارجی

[۱] Committee on Publication Ethics

[۲] Intentional

[۳] Knowing

[۴] Reckless

[۵] American Psychological Association

استفاده می شود ولی در ایران بسیاری از دانشگاه ها نیز این روش را به دانشجویان و محققین خود پیشنهاد می کنند. در این روش نام-خانوادگی نویسنده و سال چاپ اثر و در صورت نیاز شماره صفحه داخل پرانتز قرار گرفته و در متن استفاده می شوند. اگر متن استفاده شده ۲ نویسنده داشت نام هر دو را در پرانتز قید می‌کنیم و اگر بیش از ۲ نویسنده داشته باشد، به نوشتن نام اولین نویسنده «و همکاران»، در داخل متن اکتفا می‌کنیم. مابقی جزئیات مربوط به منبع در انتها و در فهرست منابع ذکر می شود.

سبک IEEE

استانداردی برای تمامی ژورنال‌ها و مجلات انجمن IEEE می‌باشد. این سبک رفرنس نویسی اکثر مواقع برای مقالات در زمینه‌ی مهندسی و علوم کامپیوتر، استفاده می‌شود. در این روش مرجع دهی از شماره دهی به منابع استفاده می شود. مرجع دهی از فصل اول و شماره ۱ آغاز شده و صفحات قبلی مرجع نمی گیرند.شماره مراجع بعد از فاصله داخل کروشه ([...]) قرار میگیرد. اگر در انتهای جمله بود بدون فاصله بعد از آن نقطه قرار می گیرد و اگر در وسط جمله بود بلافاصله بعد از کروشه باید فاصله گذاشته شود.

سبک Chicago

شیوه نامه شیکاگو در داشنگاه شیکاگوی امریکا تدوین شده است. این روش بیشتر در پایان نامه ادبیات فارسی، پایان نامه تاریخ و در کل در پایان نامه علوم انسانی مورد استفاده قرار میگیرد. در انتهای هر نقل قول، متن یا نوشته‌ی اقتباس شده از دیگر نویسندگان، از یک شماره استفاده می‌شود. در این روش استناد به دو صورت درون متنی و برون متنی کاربرد دارد. در حالت برون متنی از یادداشت های ارجاعی استفاده می شود. به این ترتیب که از اطلاعات مربوط به منابع یادداشت برداری می شود. یادداشت های ارجاعی به دو صورت در اثر استفاده می‌شوند: ۱- پانویس یا پانوشت: اگر یادداشت های ارجاعی در انتهای هر صفحه ذکر شوند. ۲- پی نویس یا پی نوشت: اگر یادداشت های ارجاعی در انتهای هر فصل یا انتهای اثر ذکر شوند. در صورت استفاده از یادداشت های ارجاعی، ارائه فهرست منابع دیگر امری اختیاری خواهد بود به خصوص اگر در حالت پی نوشت استفاده شوند.

سبک Vancouver

این روش از رایج ترین روش های رفنس دهی در ژورنال های آکادمیک و به خصوص علوم پزشکی و بهداشت است. این روش توسط کمیته بین المللی سردبیران مجلات پزشکی یا همان گروه ونکوور (نام جدید این گروه ICMJE) تدوین شده است. توجه داشته باشید که اگر برای ارائه اثر خود از شما خواسته شد که از روش Uniform استفاده کنید منظور همان روش ونکوور است. در این روش برای ترتیب نوشتن منابع، به ترتیب استفاده یا ظهور آنها در متن و با استفاده از اعداد در داخل پرانتز مشخص می شود

راهکارهایی جهت سهولت نوشتن مراجع

مرتب کردن مراجع استفاده شده در تحقیق بر اساس استانداردهای مورد نظر مجلات و کنفرانس ها و نوشتن آن‌ها در قسمت مراجع نرم-افزارهای ویرایشگر متن از جمله "Microsoft Word" تا حدودی امری دشوار و خارج از حوصله بوده که به کمک ابزارهایی می‌توان مراجع را مدیریت و در زمان صرفه جویی کرد. یکی از پرکاربردترین راهکارها، استفاده از سرویس Google Scholar[۱] است. به راحتی با پیدا کردن مرجع مورد نظر و کلیک بر روی گزینه Citation می‌توان به از الگوی نوشته شده در هر سبکی استفاده نمود. راهکار دوم و مطمئن تر استفاده از نرم افزارهای مدیریت مراجع است که خود دارای پایگاه های داده گسترده و کاملی بوده و با جستجو در آن‌ها می توان مرجع مورد نظر را یافته و سبک مرجع‌دهی را مشخص نمود که این نرم‌افزارها به طور خودکار می تواند فهرستی از مراجع مورد استفاده را به نرم‌افزارهای ویرایشگر متن انتقال دهند. از جمله مهم ترین این نرم‌افزارها می‌توان به *Mendeley*[۲] ، *Zotero*[۳] *EndNote*[۴] اشاره کرد.

این نرم افزار یکی از بهترین و دقیق ترین نرم‌افزارهایی مرجع دهی است که در سال های اخیر به علت رایگان بودن تمامی امکانات، یکی از بهترین گزینه های موجود در نظر گرفته می‌شود. با استفاده از این نرم‌افزار می توان به ۱۶۰۰ نوع مختلف مرجع دهی کنید. همچنین سازگار بودن این نرم افزار با سیستم عامل های ویندوز، مک، اندروید و آی او اس بر محبوبیت آن افزوده است.

این نرم افزار نیز همانند مندلی یک نرم افزار رایگان برای رفرنس دهی مقالات و اسناد علمی می باشد. این نرم افزار قابلیت رفرنس دهی به فایل های صوتی و تصویری و هر چیز دیگری که قابل مرجع دهی داشته باشد را دارد

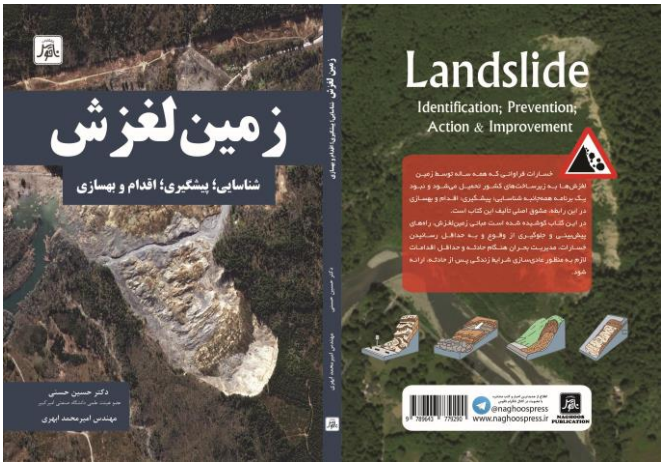
معروف ترین نرم افزاری که اغلب دانشجویان با اسم آن آشنا هستند نرم افزار اندنوت است. این نرم افزار از قدیمی ترین نرم‌افزارهای موجود مرجع‌دهی بوده و شهرت خود را مدیون سابقه طولانی خود می داند. این نرم افزار رایگان نیست. با توجه به قدمت این نرم افزار و جامع بودن آن، سایت های معروفی همانند گوگل اسکالر این نرم افزار را مورد استفاده قرار می دهند.

[۱] https://scholar.google.com
[۲] https://www.mendeley.com
[۳] https://www.zotero.org
[۴] http://endnote.com

معرفی کتاب

زمین لغزش شناسایی؛ پیشگیری؛ اقدام و بهسازی

امیرمحمد غلامیان ابهری ، دانشجو کارشناسی ارشد اکتشاف معدن ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(Aref.Shirazi@aut.ac.ir)



این کتاب توسط دکتر حسین حسنی دانشیار دانشکده مهندسی معدن و متالورژی دانشگاه صنعتی امیرکبیر و مهندس امیر محمد غلامیان ابهری تالیف شده و توسط انتشارات ناقوس نیز به چاپ رسیده است. در این کتاب در قالب ۲۰ فصل با رویکردهای گوناگون اما منسجم و به هم مرتبط در اختیار شما قرار گرفته است کوشیده شده است تا ابتدا به بررسی مفاهیم زمین‌لغزش؛ انواع و سازوکارهای وقوع آن پرداخته شود و سپس راه‌کارهایی به منظور جلوگیری از وقوع زمین‌لغزش ارائه شود. این راه‌کارها طیف وسیعی از اقدامات ابتدایی تا عملیات‌های پیچیده مهندسی و سازماندهی شده را در بر می‌گیرند. سپس به ارائه مفاهیم بحران؛ سطوح آن و اقدامات و راه‌کارهای مهندسی و اجتماعی به منظور کاهش خسارات و مدیریت حادثه‌ی وقوع یافته پرداخته شده است.

بلایای طبیعی هر سال خسارات زیادی به منابع مالی و انسانی در سراسر دنیا وارد می‌سازند. یکی از دغدغه‌های بشر از بدو خلقت چگونگی مقابله با این حوادث بوده است. به تدریج و با پیشرفت علوم گوناگون رویکردی که تنها به چگونگی جان سالم به‌دربردن از حوادث معطوف بود؛ به چگونگی پیشگیری و به حداقل رساندن خسارات و نحوه از سرگیری زندگی عادی پس از یک حادثه تغییر یافت. سال‌هاست جوامع بشری در حوزه‌های گوناگون اقدام به تعریف روابط و مناسباتی برای این امور پرداخته‌اند. در این بین سهم موفقیت جوامع مختلف در حوادث گوناگون، متغیر است؛ اما آنچه واضح است هر جامعه‌ای بسته به مخاطرات تهدیدکننده بومی خود در مقام پاسخ و مقابله به آن حادثه پرداخته است.

یکی از حوادثی که همه ساله به سبب شرایط گوناگون زمین‌شناسی و اقلیمی در کشور خود با آن مواجه هستیم؛ زمین‌لغزش است. زمین‌لغزش‌ها که عمدتاً رویکرد منفی داشته و برای جوامع تهدید محسوب می‌شوند نیاز به مدیریت صحیح در مراحل پیش؛ حین و پس از وقوع دارند. متأسفانه علی‌رغم خساراتی که همه‌ساله در این زمینه به زیرساخت‌ها؛ مراتع و نیروی انسانی کشور وارد می‌شود، منابع نوشتاری و چندرسانه‌ای در زمینه آموزش‌های عمومی و اختصاصی در این زمینه بسیار کم بوده به‌نحوی که هر از چندگاهی، تنها همایش‌هایی برگزار شده و آن‌ها نیز به گزارش خسارات و یا نحوه مدیریت بحران‌های موردی و منطقه‌ای اکتفا می‌کنند و معدود منابع موجود نیز هر کدام به صورت جزیره‌ای مستقل عمل کرده و تنها در حیطه تخصصی خود اندکی از مسائل را بازگو نموده و راه‌کارهای موردی را ارائه داده‌اند و تاکنون اقدام جامعی برای تدوین یک فرآیند «شناسایی؛ پیشگیری؛ اقدام و بهسازی» در این زمینه صورت نگرفته است.

امید است که این نوشتار نقطه عطفی در زمینه مقابله با حوادث و بلایای ناشی از زمین‌لغزش بوده و با توکل به خدای متعال و با به کارگیری علوم و فنون روز و با بهره‌گیری از تجارب موفق و ناموفق ملل گوناگون در مقابله با بلایای طبیعی از جمله زمین‌لغزش؛ اقدامات موثری در ایمن‌سازی و اعتلای میهن اسلامی‌مان انجام داده و شاهد کاهش قابل‌توجهی در زمینه خسارات مالی و انسانی در این حوزه باشیم.

بلور
Journal of Mining engineering
Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic)
General office of Scientific Association and Olympiad Affairs
معرفی

معرفی نرم افزار کامفار *COMFAR*

میلاد رحیمی
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی فرآوری مواد معدنی ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (*rahimi.milad@aut.ac.ir*)

کامفار نرم افزاری است که توسط UNIDO برای تهیه و ارزیابی طرح های اقتصادی و برای کشورهای در حال توسعه ارائه شده است. اسم کامفار برگرفته از Computer Model for Feasibility Analysis & Reporting به معنای "مدل کامپیوتری برای آنالیز امکان سنجی و گزارش گیری" می باشد. این برنامه توسط واحد ارزیابی اقتصادی بخش عملیات صنایع UNIDO در سال ۱۹۷۹ در نیویورک تهیه و تدوین شده است. مدل اصلی این برنامه با استفاده از زبان های برنامه نویسی پاسکال و C که قریب به ۵۰۰۰۰ خط می شود که توسط یک تیم ۷ نفره در مدت یک سال و نیم طراحی شده است. در تهیه این برنامه کامپیوتری از تجربیات بیش از ۳۰ کمیته ارزیابی کشورهای مختلف بهره گرفته شده است و پس از طی ۳ سال دوران آزمایشی و رفع اشکالات برای اولین بار در سال ۱۹۸۳ به بازار عرضه گردیده است.

کامفار برای طرح خاصی تهیه نشده بلکه نرم افزار انعطاف پذیری است که می‌توان با استفاده از آن طرح‌های جدید یا توسعه، طرح های صنعتی، معدن و موارد مشابه را تهیه و تجزیه و تحلیل نمود. همچنین این برنامه محدود به آنالیز و پیش‌بینی مالی برای ارزیابی اقتصادی نمی‌شود، بلکه استفاده از منابع داخلی را با منابع خارجی مورد مقایسه قرار داده و برای منابع هزینه‌های دوران ساخت و تولید برنامه مجزایی ارائه می‌دهد و نقطه سر به سر برای محصول یا محصولات از نقطه نظر تعداد تولید و هزینه تولید در مقایسه با زمان، هزینه، سرمایه، منابع مالی و همچنین IRR و NPV ، آنالیز هزینه–فایده، تعیین نقاط تصمیم‌ساز را محاسبه کرده و به صورت جداول و نمودارهای مختلف ارائه می‌نماید. ورودی کامفار اطلاعات حاصل از بررسی‌های بازاریابی و مطالعات امکان‌سنجی و فنی است که قبلا توسط کارشناسان انجام گرفته است.

استفاده از نرم افزار کامفار به علت انعطاف پذیری زیاد در برابر انواع پروژه‌ها و قابلیت‌های بالای این برنامه در انجام محاسبات و اجرای آنالیزهای حساسیت رو به گسترش است. لازم به ذکر است که استفاده از این نرم افزار نیاز به آشنایی اولیه با روش‌های تهیه طرح توجیهی، ارزیابی پروژه ها و نیز آشنایی با شاخص‌های اقتصاد مهندسی نظیر ارزش زمانی پول، ارزش فعلی، نرخ تنزیل، زمان برگشت سرمایه را دارد.

طرح تجاری و پیش بینی درآمد و برآورد هزینه پروژه های صنعتی، معدنی، کشاورزی، زیربنایی، دریانوردی و موارد مشابه با استفاده از نرم افزار کامفار انجام می پذیرد. نرم افزار تخصصی کامفار یک برنامه کامپیوتری است که از طرح تحقیقات قبل از بهره برداری حمایت می کند و با استفاده از آن سازماندهی و محاسبه گزارشات مالی و اقتصادی را آسان می‌سازد.

این نرم افزار بر اساس مطالعات امکان سنجی و یا به عبارتی توجیه-پذیری و یا قابل اجرا بودن و یا نبودن طرح و مطالعات فرصت یابی برای هر طرح صنعتی و معدنی طراحی گردیده است. نتایج این نرم افزار بیانگر جذابیت اقتصادی طرح بر اساس محدود و یا نامحدود بودن بودجه اقتصادی سازمان مجری می باشد.

اهداف برنامه

زمانی که ایده‌های متفاوت جهت سرمایه‌گذاری و انتخاب مطرح گردید؛ سرمایه گذاران به دنبال راه حل‌های مختلفی بودند تا بتوانند بهترین تصمیم را بگیرند. اما وجود پارامترهای فراوان (بیش از ۴۰۰۰ متغیر) محاسبات را گاهاً آنقدر پیچیده می‌کرد که تصمیم گیرندگان از نتایج آنها اطمینان لازم را نداشتند. از طرف دیگر نگرش‌های متفاوت به یک موضوع خاص؛ باعث می‌شد تا نتایج یکسان حاصل نشود. به عبارت دیگر در مورد یک طرح؛ برخی از محاسبات طرح را اقتصادی جلوه می‌داد و بعضی دیگر کلاً آن را رد می‌کرد. این موضوع سبب شد تا دست‌اندرکاران به فکر استاندارد نمودن تعاریف و محاسبات افتادند. اما مشکل اصلی یعنی پیچیدگی عملیات محاسباتی هنوز باقیمانده بود. برای حل این مشکل؛ کمیته‌ای در UNIDO برای استاندارد و کامپیوتری کردن همزمان ارزیابی اقتصادی طرح‌ها تشکیل شد و نهایتاً برنامه COMFAR تهیه و به بازار عرضه گردید.

این نرم افزار دارای ۱۳ پارامتر ورودی بوده و ۱۰ پارامتر خروجی را برای تحلیل ها و بررسی های افنی اقتصادی در اختیار کاربر قرار می-دهد که از مهم ترین بررسی های اقتصادی برآورد شده توسط آن می توان به تعیین جریان خالص نقدی کل سرمایه‌گذاری، تحلیل جریان نقدینگی تنزیل شده DCF، نرخ بازده داخلی IRR، تعیین ارزش فعلی خالص (NPV) ، تعیین نرخ و دورهٔ بازگشت داخلی (PBP) کل سرمایه، تعیین نرخ و دورهٔ بازگشت داخلی برای آورده سهامداران، تعیین دوره بازگشت سرمایه، تحلیل نقطه سربسر، شاخص سود آوری PI ، تحلیل حساسیت طرح به هزینههای پیشبینی نشده، انجام آنالیز حساسیت پروژه و تحلیل ریسک، تحلیل نسبت‌های مالی، تحلیل اثرات متقابل طرح ها (آنالیز تلفیقی) و تهیهٔ صورت حساب‌های مالی اشاره کرد.

بلور معرفی
فصلنامه علمی، تخصصی مهندسی معدن
سال نوزدهم | شماره ۳۷ | پاییز ۹۵

معرفی کانی مالاکیت

علیرضا هاشمی
دانشجوی کارشناسی مهندسی معدن ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (*Alireza.hashemi7840@gmail.com*)

مالاکیت چیست؟

از واژه یونانی مالاخه به معنای پنیرک که رنگ آن سبز است گرفته-شده است. زمانی که صحبت از مالاکیت میشود در ذهن همه کانی خوشرنگ با رنگ سبز روشن تداعی میشود.

با فرمول شیمیایی $Cu2[(OH)2 - CO3]$

$H2O$:٪8.15 $CO2$:٪19.9 CuO: ٪۷۱,۹۵

نام این کانی از کلمه یونانی گل ختمی گرفته شده است البته شاید وجه تشابهی بین برگ های گل ختمی با کانی مالاکیت باشد. برخی معتقدند که مالاکیت جذابیت و عشق را بالا می‌برد و برای صاحبش موفقیت می آورد.این کانی از کربنات مس که دارای رنگ سبز پررنگ زیبایی است تشکیل میشود.در مناطقی که اکسید مس به همراه کانی های آذوریت وکلیست وجود داشته باشد می توان کانی مالاکیت را یافت. این کانی در طبیعت به صورت توده های متراکم کروی شکل یا خوشه ای شکل و یا به صورت اشکال مخروط مانند در بین سنگ های دیگر شکل میگیرند.

چگونگی تشکیل:

مالاکیت کانی ای است که در اعماق کم زمین و در زون های اکسیداسیون بالای نهشته های مس شکل می گیرد. در اینجا این کانی در شکستگی ها، غارها، و فضاهای بین دانه ای سنگ های متخلخل، از محلول رسوب می نماید. برخی از اولین نهشته های استخراج شده مالاکیت که بیش از ۴۰۰۰ سال قبل استخراج و جهت تولید مس بکارگرفته شدند. مواد حاصل از این نهشته ها نیز برای تولید گوهر، تندیس ها و رنگ دانه ها مورد استفاده قرار می گرفتند. کانسارهای عظیم متعددی در کوهستان اورال روسیه بی ملاحظه استخراج می شدند، گوهرهای فراوان و مواد مورد نیاز جهت تندیس گری را در دهه ۱۸۰۰ میلادی تامین می نمودند. مالاکیت به ندرت به شکل بلور یافت می گردد اما اگر یافت گردد، بلورها معمولاً به شکل سوزنی (acicular) تا تیغه ای (tabular) و به رنگ سبز روشن، نیمه شفاف، با جلایی الماسی تا شیشه ای هستند. نمونه های غیر بلورین (Noncrystalline) اپاک و معمولاً با جلایی مات تا خاکی می باشند.

کشور های تولید کننده:

بیشتر مالاکیت های قدیمی در جواهرات استفاده می شوند آنها در معادن مس در کوه های اورال روسیه پیدا می شوند.مالاکیت های مناسب برای تراش داده شدن در جنوب استرالیا جایی که آزوریتها یافت می شوند ،وجود دارند. از دیگر مناطقی که منبع مالاکتنید عبارتند از ،آفریقا ،زئیر، زامبیا، وزیمباوه. از بزرگترین تولید کنندگان مالاکیت میتوان به کشور های روسیه، استرالیا، آمریکا، شیلی، آفریقای جنوبی و فلسطین اشاره کرد. تولید امروزه این کانسارها بسیار اندک است و عمده مالاکیت های وارد شده به صنعت گوهرتراشی از کانسارها درجمهوری دموکراتیک کنگو بدست می آید. مقادیر اندکی نیز در استرالیا، فرانسه و ایالات آریزونای ایالات متحده تولید می گردند.

کاربردها:

سبزخوش رنگ، جلای صیقلی براق، لایه ها و چشم های مالاکیت آن را مبدل به گوهری بسیار محبوب می گرداند. این ماده را جهت تولید مهره ها، به فرم کوژ تراش و برای تولید مواد مرصع کاری به صورت تیغه ای برش می زنند. همچنین به فرم اشیاء تزئینی، پیکرتراشی شده و نیز جهت تولید سنگ های نیمه قیمتی بکار گرفته می شود. جعبه های کوچکی که از تیغه های مالاکیت ساخته می شوند جذاب و محبوبند. برخی از تماشایی ترین گوهرهای مالاکیت دربرگیرنده همرشدی، ادخال ها و مخلوط هایی از کانی های مالاکیت می باشند. خصوصیات مالاکیت در بکارگیری آن به عنوان گوهر و اشیاء تزئینی محدودیت ایجاد می نماید. مالاکیت رخی کامل و سختی موس ۳,۵ تا ۴ دارد و همین امر بکارگیری مالاکیت در اشیائی که تاب تحمل سائیدگی و ضربه را ندارند، با مشکل روبرو می گرداند. این کانی همچنین به حرارت حساس بوده در مقابل اسیدهای ضعیف، واکنش نشان می دهد. این ویژگی ها کاربرد آن را محدود تر کرده و نیاز به توجه و مراقبت هنگام تمیز نمودن، تعمیر و نگهداری را افزایش می دهند.

خصوصیات:

مالاکیت در برابر اسید ها حرارت آب گرم وآمونیاک ناپایدار است و کانی های بروکایتیت؛ کریزوپراز و سنگ های جواهر سبز رنگ کدر در

برخی موارد با کانی مالاکیت اشتباه گرفته میشود. البته قطعات یکرنگ و بزرگ آن بسیار نایاب است. در صورتی که این کانی برش داده شود دارای ساختاری از نوار های کم رنگ و پررنگ به صورت دایره وار یا لایه لایه در کانی ظاهر میشود.

بارزترین خصوصیت فیزیکی مالاکیت، رنگ سبز آن است. تمامی نمونه های این کانی سبزند که رنگ سبز آنها از سبز کم رنگ تا یک سبز براق تا سبز بسیارتیره که تقریباً سیاه است، متغییر می باشد. این کانی معمولاً در استالاکتیت ها و پوشش های خوشه انگورسان سطح حفرات زیرسطحی (مشابه کانسارهای یافت شده در غارها) یافت می گردد. اغلب هنگامیکه این مواد به فرم پلاک ها (slabs) و قطعاتی برش می خورند، سطوح برش خورده لایه بندی و چشم هایی مشابه عقیق را از خود نشان می دهند.

مالاکیت در ایران:

معدن مس سرچشمه در ۱۶۰ کیلومتری جنوب غربی کرمان و ۵۰ کیلومتری جنوب رفسنجان و در ناحیه مرکزی رشته کوه زاگرس قرار گرفته‌است این معدن یکی ازمنابع اصلی تولید مالاکیت در ایران است. به طور کلی منبع اصلی این کانی با ارزش و زیبا در معادن مس پورفیری میباشد.

شکل بلور	منشوری
رنگ	سبز تا سبز تیره
سختی	۳,۵-۴
شفافیت	نیمه‌کدر
شکستگی	صدفی
رخ	ناقص
جلا	شیشه‌ای – چرب
سیستم تبلور	مونوکلینیک و در رده‌بندی کربنات است. همچنین خاصیت مغناطیسی ندارد و منشأ تشکیل آن ثانوی است
بلورها	سوزنی ، بصورت توده ای ، رشته ای ،دانه انگوری ، قلوه ای و استالاکتیتی و بصورت توده های خاکی و الماسی یا شیشه ای ، در انواع رشته ای آن ابریشمی و در انواع دیگر خاکی است
همایند کانی‌شناسی	کریزوکول، روزازیت، پزویدومالاکیت، کویور، کوپریت، کالکوپیریت، آزوریت

منابع:

- http://adelgs.com
- http://www.javaheribina.com

معرفی سایت

رضا نبی زاده
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی معدن گرایش استخراج، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (*r.nabizadeh@aut.ac.ir*)

۱- Info Mine

اینفوماین[۱] رهبر جهان در ارائه دانش استخراج از معادن، ارائه محتوا از طریق وب‌سایت، نرم‌افزارها، کنفرانس‌ها، دوره‌ها، برنامه-های اینترنتی و غیره است. این وب‌سایت تمامی اطلاعات موردنیاز درزمینه استخراج و اکتشاف معدن را به‌صورت یکپارچه در سطح جهان ارائه می‌دهد. دانشجویان رشته مهندسی معدن در تمامی گرایش‌ها می‌توانند با مراجعه به این سایت از اطلاعات مفید سایت بهره‌مند شوند و علاوه بر این می‌توانند برای تحقیقات خود را درزمینه معدن از محتوای سایت کمک بگیرند. در سایت به مواردی برخورد می‌کنیم که می‌توان از: اخبار و گزارش رویدادها، کشورهای تحت پوشش، کتابخانه، نقشه‌ها، تکنولوژی‌های معدن، تجهیزات و امکانات به کار گرفته‌شده در معادن و معرفی مجلات تخصصی در زمینه مهندسی معدن و نیز امکان ثبت‌نام در سایت به‌عنوان خدمات این سایت نام برد.

۲- Office of Surface Mining Reclamation and Enforcement

این مرکز دفتری در وزارت ایالات‌متحده است. OSMRE[۲] مسئول ایجاد یک برنامه در سراسر کشور برای حفاظت از جامعه و محیط‌زیست، از اثرات نامطلوب استخراج معدن زغال‌سنگ سطحی، که در واقع OSMRE با حفظ تعادل، نیاز کشور برای تولید زغال‌سنگ داخلی همچنان با حفاظت از محیط‌زیست را برآورده می‌کند. این سایت بیشتر بر روی اثرات معدن بر روی محیط‌زیست و بستن معادن تمرکز دارد تا با این کار اثرات نامطلوب معدن را به حداقل برساند. برای دانشجویانی که در زمینه‌های بستن معادن، محیط‌زیست و یا توسعه پایدار و غیره مشغول تحقیق و یا مطالعه هستند مرجع بسیار خوبی است. از خدمات خوب سایت می‌توان به کتابخانه، اخبار، مطالب علمی، گرنت در زمینه تحقیقات معدنی و ایمنی و سلامت اشاره کرد.

۳- Australasian Institute of Mining and Metallurgy

این سایت[۳] متعلق به انجمن مهندسی معدن و متالورژی استرالیا هست که در سال ۱۸۹۳ تأسیس‌شده است. این سایت برای بالا بردن اطلاعات و آگاهی از موضوعات موردعلاقه مخاطبان آن در زمینه مهندسی معدن و متالورژی تشکیل‌شده است. اطلاعات مفید زیادی در زمینه معدن کاری ارائه می‌دهد و بیشتر بر روی معادن استرالیا متمرکز است. همچنین کنفرانس‌ها و انجمن‌های علمی در زمینه معدن را معرفی می‌کند و بخش‌های آموزشی متفاوتی در زمینه مهندسی معدن دارد. دانشجویانی که علاقه‌مند به کار در استرالیا در زمینه مهندسی معدن می‌باشند این سایت می‌تواند اطلاعات خوبی را در اختیار آن‌ها قرار دهد. در سایت می‌توان انتشارات موسسه، قسمت‌های اطلاعاتی، آموزش، کنفرانس‌های برگزارشده و همچنین اخبار و رویدادهای سایت را مشاهده نمود.

۴- Mining technology

سایت MINING-TECHNOLOGY [۴] از سال ۱۹۹۶ درباره مهندسی معدن و تکنولوژی‌های به کار گرفته‌شده در این صنعت به ارائه اطلاعات مشغول است. علاقه‌مندان به تکنولوژی‌های روز دنیا در زمینه معدن می‌تواند از بخش‌های مختلف این سایت بهره‌مند شوند و همچنین پروژه‌های به‌روز در زمینه مهندسی معدن را به مخاطبان خود معرفی می‌کند که برای دانشجویان مهندسی معدن مطالب ارزشمندی در زمینه تحقیق و مطالعه هستند. دانشجویان برای افزایش اطلاعات خود در زمینه تکنولوژی‌های مرتبط با معدن می-توانند از مجلات و اطلاعات موجود در سایت بهره‌مند شوند همچنین می‌توان به مطالبی چون پروژه‌های صنعتی معدن، اخبار و رویدادهای موسسه، تولیدات و خدمات ارائه‌شده و مجلات منتشرشده در این پایگاه اینترنتی دسترسی پیدا کرد.

[۱] www.infomine.com
[۲] www.osmre.gov
[۳] www.ausimm.com.au
[۴] www.mining-technology.com

بلور Journal of Mining engineering
Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic)
General office of Scientific Association and Olympiad Affairs
معرفی

چهارمین همایش بین المللی انجمن تولیدکنندگان و صادرکنندگان سنگ آهن ایران

محمد عنایتی نجف آبادی
دانشجوی کارشناسی مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (*m.enayati.n@aut.ac.ir*)

چهارمین همایش بین المللی انجمن تولیدکنندگان و صادرکنندگان سنگ آهن ایران در حالی برگزار می گردد که تجربه برگزاری سه همایش قبلی بیانگر اهمیت چنین برنامه هایی در سیاست گذاری بخش معدن است. تبیین نقشه راه نسل سوم سنگ آهن ایران و همچنین نقش اهمیت سنگ آهن در برون رفت ازرکود اقتصادی عمده مباحث مطرح شده در دروره های پیشین را به خود اختصاص داده و پیش بینی می شود وضع موجود حاکم بر واردات و صادرات سنگ آهن موضوع اصلی دوره چهارم باشد

بحث شرایط اقتصادی حاکم و به طور خاص موضوع عوارض از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است و به نظر می رسد اکثر مطالب قابل بررسی در این همایش را نیز به خود اختصاص دهد. آنچه مبین است انجمن سنگ آهن اهدافی را دنبال می کند که از مهمترین آنها می توان به یکپارچه کردن تمامی معادن کوچک و بزرگ سنگ آهن و صنایع وابسته و اتحاد میان تولید کنندگان و صادر کنندگان برای ایجاد یک حرف مشترک اشاره داشت و انتظار می رود این همایش بیانی از این حرف مشترک باشد . برای تحلیل این رویداد ابتدا ان را به دو بخش سیاست گذاری و مباحث علمی تقسیم کرده و به تبیین هریک می پردازیم. در بخش سیاست گذاری عمده مطالب به بخش های اقتصادی به ویژه بررسی عوامل و موانع پیاده سازی اقتصاد مقاومتی به عنوان سیاست کلان اختصاص دارد با توجه به فضای حاکم بر بازار سنگ آهن در جهان و همچنین شرایط داخلی که هریک به نوبه ی خود تاثیر شگرفی بر تولید و صادرات این عنصر استراتژیک در ایران دارند محور های همایش به شیوه ای پیاده شده که به صورت جامع و کلی به آن بپردازد.اوضاع امروز سنگ آهن جهان شرایط بحرانی را تجربه می کند و ایران به عنوان یکی از اجزا این نظام ،اجبار به انطباق خود با این شرایط را دارد .از این رو انجمن سنگ آهن ایران مواردی را مد نظر قرار داده که هریک می توانند در برون رفت از این بحران موثر واقع شود . ازجمله مواردی که عمده محور های همایش را به خود اختصاص داده می توان به تحلیل راهبرد های خروج از بحران تولید سنگ آهن،الزامات اقتصاد مقاومتی در حوزه ی سیاست گذاری ،راهبرد های توانمند سازی معادن کوچک و متوسط،مدل بهینه حکمرانی زنجیره ارزش سنگ آهن وآسیب شناسی نظام حکمرانی بخش معدن ایران اشاره کرد.

آنگونه که انجمن سنگ آهن ایران به عنوان نماینده مستقیم معدن داران به آن می اندیشد می توان دریافت که در سیاست گذاری های کلان معدنی حلقه ی گمشده ای وجود دارد که تاثیری در روند این تصیم گیری ها ندارد اما تاثیر پذیری فراوانی به نسبت سایر بخش ها متحمل می شود و این دلیل بر عدم انطباق صنعت با سیاست های اتخاذ شده است. در راستای محور های بیان شده برنامه های برای همایش در نظر گرفته شده که سخنرانی مسئولین عالی رتبه از جمله دکتر جعفر سرقینی، دکتر مهدی کرباسیان، دکتر پدرام سلطانی، دکتر حامد سلطانی نژاد، دکتر محمد ابکا و دکتر رضا انصاری اهم آن ها را تشکیل خواهد داد.

موضوع جالب توجه این همایش ورود سازمانی تحت عنوان شرکت بورس کالا است که نگاه انجمن سنگ به آن به عنوان راهکاری برای برون رفت از بحران می باشد

اما در بخش علمی این همایش گارگاه هایی تحت عناوین کارگاه تجربه موفق مدیریت بهروری در دوران رکود صنعت و معدن،کارگاه مدیریت و بازیابی منابع آب ،کارگاه استراتژی های جذب سرمایه گذاری و فاینانس خارجی برای تولید کنندگان سنگ آهن برگزار خواهد شد.

نکته ی ارزشمند و قابل تقدیر در این زمینه پرداختن به موضوع آب و بازیابی آن در معادن می باشد که باتوجه به بحران جدی کم آبی و خشکسالی به ویژه در مناطق معدن خیز اهمیت فوق العاده ای خواهد داشت در این بخش سخنرانی الکساندر پوتارین مهندس خوش سابقه روسی به عنوان نماینده شرکت ورسایل جلب توجه می نماید. همچنین موضوعات دیگری از جمله را هکار های مدیریتی برای افزاش بهره وری معادن و جذب سرمایه های خارجی در این بخش نیز قابل ذکر است و هریک تحت قالب کارگاهی جداگانه مور بررسی قرارمی گیرد.

اما در این میان انتقادی جدی و جود دارد و آن وجود ضلعی گمشده ی دیگری به نام دانشگاه و شرکت های دانش بنیان در این همایش است. همانگونه که از شرایط حاکم بر همایش قابل برداشت است اکثر بار علمی این همایش به عهده افرادی از خارج کشور می باشد در حالی که پژوهشگران برجسته و اساتید صاحب نظری در هریک از این موارد در کشور وجود دارد که اثری از آن ها دیده نمی شود. در صورت ورود دانشگاه به حوزه های کلان سیاست گذاری و ایجاد مثلثی متشکل از وزارت صنعت معدن و تجارت به عنوان نهاد سیاست گذاری، دانشگاه و شرکت های دانش بنیان به عنوان مرجع علمی و انجمن سنگ اهن به عنوان نهاد اجرایی می توان آینده ای خوب برای صنایع معدنی و هماهنگی میان تصمیات نهاد های سیاست گذار و معدن داران متصور شدو گامی بلند در جهت آبادانی کشور مان برداشت.

بلور
Journal of Mining engineering
Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic)
Scientific Association of Mining engineering
معرفی

بررسی تغییرات بوجود آمده در کنکور کارشناسی ارشد ۱۳۹۶

دانیال قدیانی

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی معدن، گرایش مکانیک سنگ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

همانطور که می‌دانیم کنکور کارشناسی ارشد مهندسی معدن سال ۱۳۹۶ دست خوش تغییرات گسترده‌ای در نحوه سوالات شده است که قصد داریم در این بخش به اختصار به تغییرات ایجاد شده بپردازیم. نکته قابل توجه این است که همچون سال‌های قبل کنکور کارشناسی ارشد این رشته کماکان با دو دفترچه برگزار می‌شود، با این تفاوت که در دفترچه دوم که فقط دروس مکانیک سنگ و فراوری مورد سوال قرار می‌گرفت، ولی در حال حاضر با تغییرات بوجود آمده، دفترچه دوم شامل، سوالات گرایش استخراج و اقتصاد معدنی، اکتشاف، مکانیک سنگ و تونل و فضای زیرزمینی، فراوری، معدن و محیط زیست می‌باشد. حال به صورت بخش به بخش به تغییرات بوجود آمده می‌پردازیم.

زبان:

طی سالیان قبل سوالات زبان اولین سری سوالات از دفترچه اول بوده و خواهد بود و تعداد سوالات این درس، ۳۰ سوال بود که به نظر می‌رسد این درس دچار تغییرات گسترده‌ای نگردد و همچون سابق، انتظار می‌رود با همین تعداد سوال روبرو باشید. ضریب این درس همان ضریب ۲ سابق می‌باشد.

ریاضی:

ریاضی کنکور کارشناسی ارشد مهندسی معدن شامل ۲۰ سوال بود که به نظر می‌رسد تعداد سوالات تغییر نکند ولی بزرگترین تغییر این مجموعه حذف درس آمار و احتمالات مهندسی با حدود ۵ الی ۷ سوال بوده است و جایگزین این درس ریاضی مهندسی می‌باشد. پس سوالات ریاضی شامل دروس ریاضی ۱، ریاضی ۲، معادلات دیفرانسیل و ریاضی مهندسی می‌شود. در نتیجه انتظار می‌رود با این تغییر بوجود آمده ریاضیات این مجموعه سخت‌تر به نظر می‌رسد، زیرا بسیاری از دانشجویان واحد درس ریاضی مهندسی را که شاید به عنوان درس اختیاری بوده را نگذراندند و با توجه به وقت کم تا کنکور، به نظر می‌رسد، نتوان سرمایه گذاری زیادی بر روی این درس کرد، اما هیچ چیزی غیر ممکن نیست. ضریب این درس از ۴ به ۳ کاهش یافته است.

دروس اصلی مهندسی:

این مجموعه که شامل دروس استاتیک، مقاومت مصالح و سیالات بوده کاملاً دچار تغییرات گسترده‌ای شده است، از جمله این که این مجموعه دیگر وجود ندارد. درس استاتیک به طور کل حذف شده است و دروس مقاومت مصالح و سیالات به طور جداگانه مورد سوال قرار می‌گیرد. در سالیان قبل، مجموعه مذکور شامل ۲۰ سوال بود ولی تغییرات ذکر شده باعث دگرگونی کامل آن شده است. لازم به ذکر است که مجموعه دروس اصلی مهندسی دارای ضریب ۳ بوده است که در حال حاضر مجموعه مقاومت مصالح و سیالات هر کدام به صورت جداگانه دارای ضریب ۲ شده‌اند که اهمیت هر کدام از این دروس دوچندان شده است و نیازمند سرمایه گذاری بیشتر می‌باشد.

دروس اصلی زمین شناسی:

این مجموعه شامل دروس کانی شناسی، سنگ شناسی، زمین شناسی ساختمانی و زمین شناسی اقتصادی بود که دچار تغییرات زیادی شده است. خبر خوب این است که دروس کانی شناسی و سنگ شناسی به طور کل حذف شده‌اند و دیگر نیازی به حفظ کردن این دروس نمی‌باشد اما همچنان دروس زمین شناسی ساختمانی و زمین شناسی اقتصادی کما فی سابق وجود دارند. اما خبر بد برای این مجموعه این است که در سال‌های گذشته این دروس فقط برای گرایش‌های استخراج و اکتشاف ضریب ۲ داشت و برای دیگر گرایش‌ها ضریب ۱ داشت که از اهمیت زیادی برخودار نبود ولی این مجموعه جدید به طور کل ضریب ۲ را به خود گرفته است که باعث بالا رفتن اهمیت این مجموعه می‌شود.

دروس تخصصی مشترک:

این مجموعه شامل، دروس فراوری، مکانیک سنگ و اقتصاد معدن بود که با تغییرات ایجاد شده این مجموعه دروس به طور کلی از کنکور کارشناسی ارشد مهندسی معدن حذف شده است.

دروس استخراج و اقتصاد معدنی:

این مجموعه شامل ۴۰ سوال از دروس چالزنی و آتشباری، ترابری در معادن، تهویه در معادن، روش‌های استخراج زیرزمینی، روش‌های استخراج روباز، نگهداری در معادن و حفر چاه و تونل بوده است. همانطور که مشاهده می‌کنید تعداد این دروس بسیار زیاد بود که با تغییرات انجام شده دروس ترابری در معادن، نگهداری در معادن و حفر چاه وتونل از این مجموعه حذف شده است و درس اقتصاد معدنی به این مجموعه اضافه شده است که در نتیجه مجموعه جدید شامل دروس معدنکاری سطحی و زیرزمینی، اقتصاد معدنی، چالزنی و انفجار و تهویه شده است. به نظر می‌رسد که درس ترابری حذف شده است اما امکان دارد سوالاتی از این درس به عنوان درس معدنکاری سطحی طراحی گردد، این مجموعه همچون قبل دارای ضریب ۷ می‌باشد.

دروس اکتشاف:

این مجموعه شامل ۴۰ سوال از دروس ژئوشیمی، ژئوفیزیک، ارزیابی ذخایر معدنی، چاه‌پیمایی، حفاری اکتشافی، زمین شناسی اقتصادی و اصول استخراج معدن بوده است، که ۴ درس اخیر یعنی چاه‌پیمایی، حفاری اکتشافی، زمین شناسی اقتصادی، اصول استخراج معدن حذف شده‌اند که این تغییرات کار دانشجویان این گرایش بسیار راحت شده است و می‌توانند وقت بیشتری بر روی ۳ درس ژئوشیمی، ژئوفیزیک و ارزیابی ذخایر معدنی بگذارند، لازم به ذکر است که این دروس نیز همانند گذشته دارای ضریب ۷ می‌باشند.

دروس فرآوری:

این مجموعه شامل دروس کانه‌آرائی، کانی شناسی، فلوتاسیون و شیمی فیزیک بوده است که دروس کانی شناسی و شیمی فیزیک از این مجموعه حذف شده‌اند. همچنین درس کانه آرائی در حد فصل-های خردایش، طبقه بندی و جدایش فیزیکی مورد سوال قرار می-گیرد، که از این بابت نیز مباحث این مجموعه بسیار کم شده است. ضریب این مجموعه ۷ می‌باشد.

دروس مکانیک سنگ:

این مجموعه شامل دروس مکانیک سنگ، نگهداری در معادن، حفر چاه و تونل، ژئوتکنیک و چالزنی و انفجار بوده است، که با تغییرات ایجاد شده، دروس ژئوتکنیک و چالزنی و انفجار از این مجموعه حذف شده است و درس نگهداری در معادن با عنوان کنترل زمین مورد سوال قرار می‌گیرد، این مجموعه نیز دارای ضریب ۷ می‌باشد.

دروس معدن و محیط زیست:

این مجموعه که به تازگی به کنکور کارشناسی ارشد مهندسی معدن اضافه شده است در سال‌های گذشته بدینگونه بود که دانشجویانی که به سوالات فراوری پاسخ می‌دادند می توانستند در این گرایش نیز شرکت کنند ولی در حال حاضر این مجموعه با دروس ژئوشیمی اکتشافی، آب‌های زیرزمینی و کانه‌آرائی طراحی شده است که متقاضیان این گرایش می‌توانند با پاسخ به این مجموعه به صورت جداگانه وارد این گرایش شوند، این گرایش نیز مانند دیگر دروس اختصاصی دارای ضریب ۷ می‌باشد.

سخن آخر

با موارد ذکر شده باید به این نکته توجه کرد که تعداد دروسی که برای کنکور کارشناسی ارشد مهندسی معدن طراحی می‌شدند به شدت کاهش یافته و این خبر خوبی برای داوطلبان این رشته می-باشد، البته باید توجه داشت که این کار می‌تواند به سمتی برود که سوالات سخت‌تری از مطالب جدید طرح گردد. ولی در کل با وقت باقیمانده تا زمان کنکور می‌توان گفت با یک برنامه‌ریزی مطلوب و توجه به موارد گفته شده، نتیجه مطلوب را از کنکور بدست آورد.

۱۲۶۸ – مهندسی معدن

عناوین دروس امتحانی: ۱- زبان عمومی و تخصصی (انگلیسی)، ۲- ریاضی (ریاضی عمومی ۱و۲، معادلات دیفرانسیل، ریاضی مهندسی)، ۳- مقاومت مصالح، ۴- مکانیک سیالات، ۵- زمین‌شناسی (زمین‌شناسی ساختاری و اقتصادی)، ۶- کانه‌آرائی (خردایش، طبقه‌بندی، جدایش فیزیکی) و فلوتاسیون، ۷- مکانیک سنگ (مبانی و تخصصی)، حفر چاه و فضاهای زیرزمینی، کنترل زمین و نگهداری، ۸- معدنکاری سطحی و زیرزمینی، اقتصاد معدنی، چالزنی و انفجار و تهویه، ۹- ژئوفیزیک و ژئوشیمی اکتشافی و ارزیابی ذخایرمعدنی، ۱۰- ژئوشیمی اکتشافی، آب‌های زیرزمینی و کانه‌آرائی (خردایش، طبقه‌بندی، جدایش فیزیکی).

رشته	گرایش	کد ضریب	ضرایب دروس امتحانی به ترتیب دروس (از راست به چپ) ۱ ۲ ۳ ۴ ۵ ۶ ۷ ۸ ۹ ۱۰
مهندسی معدن	۱) فرآوری مواد معدنی	۱	۲ ۳ ۲ ۲ ۲ ۷ ۰ ۰ ۰ ۰
	۲) مکانیک سنگ	۲	۲ ۳ ۲ ۲ ۲ ۰ ۷ ۰ ۰ ۰
	۳) استخراج معدن	۳	۲ ۳ ۲ ۲ ۲ ۰ ۰ ۷ ۰ ۰
	۴) اکتشاف معدن	۴	۲ ۳ ۲ ۲ ۲ ۰ ۰ ۰ ۷ ۰
	۵) تونل و فضاهای زیرزمینی	۲	۲ ۳ ۲ ۲ ۲ ۰ ۷ ۰ ۰ ۰
	۶) معدن و محیط‌زیست	۵	۲ ۳ ۲ ۲ ۲ ۰ ۰ ۰ ۰ ۷
	۷) اقتصاد و مدیریت معدنی	۳	۲ ۳ ۲ ۲ ۲ ۰ ۷ ۰ ۰ ۰

شکل (۱) عناوین دورس امتحانی کارشناسی ارشد مهندسی معدن برگرفته از سایت سازمان سنجش و آموزش کشور

بلور
Journal of Mining engineering
Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic)
Scientific Association of Mining engineering
معرفی

گزارش فعالیت های یازدهمین دوره انجمن علمی دانشجویی مهندسی معدن

امیرحسین بدرالدینی

دانشجوی کارشناسی مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (*abadraddinii@gmail.com*)

یازدهمین دوره انجمن علمی دانشجویی معدن، با توجه به انتخابات انجام شده، از بهمن ماه ۹۴ فعالیت های خود را در راستای ارتقای سطح علمی دانشکده معدن و دانشجویان آن آغاز کرد.

از مهمترین اقدامات انجام شده توسط اعضای انجمن در راستای آموزش می توان به برگزاری دوره های آموزشی زیر اشاره نمود:

۱. برگزاری دو دوره ی آموزشی نرم افزار GIS مقدماتی و پیشرفته با تدریس مهندس پارسا از دانشجویان دکترای دانشکده و با تجربه در امر تدریس، این دوره ها ۶۰ ساعت به طول انجامید.

۲. برگزاری دو دوره آموزشی نرم افزار FLAC3D مرتبط با مدلسازی و تحلیل مسایل و... ، مختص دانشجویان کارشناسی ارشد مکانیک سنگ تونل سازی، با تدریس مهندس زارعی از دانشجویان دکترای دانشکده و با تجربه در امر تدریس، این دوره ها ۵۵ ساعت به طول انجامید.

۳. برگزاری دوره های آموزشی نرم افزار 3DEC مختص دانشجویان کارشناسی ارشد مکانیک سنگ و تونل سازی، با تدریس مهندس زارعی،این دوره شامل ۱۰ ساعت آموزشی بود.

۴. برگزاری دوره آموزشی نرم افزار plaxis با تدریس مهندس تولایی فارغ التحصیل کارشناسی ارشد تونل سازی دانشکده، این دوره شامل ۱۶ ساعت آموزشی دارا بود.

۵. برگزاری دوره ی آموزشی نرم افزار MATLAB مختص کلیه رشته های فنی و مهندسی با تدریس دکتر زمانی دوست، این دوره ۶۰ ساعت آموزشی را شامل شد.

۶. برگزاری سه دوره بحث آزاد زبان انگلیسی دانشکده مهندسی معدن و متالوژی (Free discussion)

۷. برگزاری ۶ دوره آموزش زبان انگلیسی در راستای آمادگی دانشجویان برای آزمون های بین المللی TOEFLو IELTS

۸. برگزاری کارگاه مقاله نویسی ISI و آموزش نرم افزار Latex در جهت آشنایی با ساختار مقاله نویسی ISI و مراجع معتبر آن.

۹. سمینار و کارگاه بررسی فرصت های مطالعاتی در داخل و خارج از کشور با سخنرانی دانش آموخته دکترای دانشگاه کنکوردیا (مونترال کانادا) با همکاری موسسه یوبرگ

انجمن علمی مهندسی معدن در این دوره همچنین مفتخر به ایجاد شرایط و بستر آشنایی هرچه بیشتر دانشجویان با صنعت و محیط کاری، در قالب برگزاری ۹ بازدید دانشجویی بوده است که به شرح زیر میباشند:

۱. بازدید از شرکت زرآزما و زرفرآور در تاریخ ۱۳۹۵،۰۱،۳۰ ، این بازدید ویژه دانشجویان فرآوری و اکتشاف دانشکده بوده است که با حضور دانشجو برگزار شد. در این بازدید، دانشجویان ابتدا در شرکت زرآزما با دستگاه های نمونه گیری و آنالیز مواد آشنا شده و سپس در شرکت زرفرآور با مراحل انجام گرفته در فرآوری مواد معدنی و دستگاه های مختلف آن، در مقیاس کوچک آشنا شدند.

۲. بازدید از خط ۶ متروی تهران در تاریخ ۱۳۹۵،۰۱،۳۱ ، این بازدید نیز با حضور ۲۰ دانشجوی کارشناسی ارشد دختر و پسر گرایش مکانیک سنگ و تونل سازی با همراهی مهندس مسرور برگزار شد. در این بازدید، دانشجویان با پروژه های ساخت تونل مترو در قسمت رمپ واقع در میدا هفت تیر که به روش دستی انجام میگرفت، آشنا شدند. در این بازدید علاوه برساخت تونل، مراحل مختلف ساخت ایستگاه مترو، سالن ticket hall و بخش تهویه، برق و پمپاژ آب نیز تشریح شد.

۳. بازدید از پل و تونل آزادراه تهران-شمال در تاریخ ۱۳۹۵،۰۲،۰۸ ، این بازدید با هماهنگی دکترجوادی و حضور ۲۰ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران و مهندسی معدن برگزار شد. در این بازدید، دانشجویان از پروژه ملی ساخت آزادراه تهران-شمال، شامل چندین تونل، ترانشه و پل های مختلف در طول مسیر به سمت شمال بازدید کردند. همچنین با انواع تکنیکهای مختلف ساخت تونل های راه و پلهای ساخته شده در این مسیر و پایداری ترانشه ها در طول مسیر آشنا شدند.

۴. بازدید از معدن باریت لیلستان در تاریخ ۱۳۹۵،۰۲،۲۰ ، این بازدید درسی با حضور دکتر معارف وند و ۱۵ دانشجوی کارشناسی ارشد دختر و پسر، در قالب درس برداشت زمین شناسی برگزار شد. در این معدن متروکه که در جاده چالوسواقع شده و متعلق به دانشکده می باشد، دانشجویان با انواع روشهای برداشت نمونه در معدن آشنا شدند.

۵. بازدید دو روزه از معدن سرب و روی انگوران در تاریخ های ۱۳۹۵،۰۲،۲۹ و۱۳۹۵،۰۲،۳۰ ، این بازدید درسی دو روزه با حضور دکتر ملاداوودی و۷۰ نفر از دانشجویان دختر و پسر ورودی ۹۴ برگزار

شد. در این بازدید، دانشجویان از بزرگترین معدن سرب و روی خاورمیانه واقع در استان زنجان، بازدید کردند و از نزدیک با مراحل مختلف معدنکاری و استخراج و ترابری ماده معدنی آشنا شدند.

۶. بازدید از منگز ونارچ قم در تاریخ ۱۳۹۵،۰۳،۰۶ ، این بازدید درسی با حضور دکتر ملاداوودی و ۴۰ نفر از دانشجویان دختر و پسر ورودی ۹۴برگزار شد. در این بازدید دانشجویان با قسمت های مختلف معدن روباز و زیرزمینی آشنا شدند و از نزدیک با مراحل مختلف استخراج منگنز آشنا شدند.

۷. بازدید از نمایشگاه MINEX 2016 در تاریخ ۱۳۹۵،۰۷،۱۲ ، این بازدید با حضور ۲۵ نفر از دانشجویان دختر و پسر دانشکده با حضور مهندس مسیبی برگزار شد. در این بازدید دانشجویان از نزدیک با تجهیزات، ماشن آلات و شرکت های مختلف معدنی آشنا شدند.

۸. شرکت در پنل تخصصی نظام مهندسی معدن در تاریخ ۱۳۹۵،۰۸،۱۰ ، این پنل تخصصی با موضوع مدیریت ریسک در ژیو تکنیک در ساختمان نظام مهندسی معدن با حضور ۷ نفر از دانشجویان دانشکده برگزار شد. در پایان این پنل مدرک معتبر از طرف سازمان نظام مهندسی به شرکت کنندگان اعطا شد.

۹. بازدید از دوازدهمین نمایشگاه بین المللی تجهیزات و صنایع معدنی در تاریخ ۱۳۹۵،۰۸،۱۷ : این بازدید دو ساعته با حضور ۲۵ نفر از دانشجویان دانشکده برگزار شد. در این بازدید یک روزه دانشجویان با به روزترین ماشین آلات معدنی و شرکت های معتبر داخلی وخارجی در زمینه معدن آشنا شدند.

از دیگر اقدامات انجام شده توسط انجمن، برگزاری همایش انتخاب گرایش در اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۵ ویژه دانشجویان ورودی ۹۳ که در آستانه انتخاب گرایش قرار داشتند، با هدف انتخاب گرایش آگاهانه دانشجویان دانشکده بود. در این همایش، اساتید و دانشجویان برتر گرایش های مختلف به تشریح گرایش خود پرداختند.

مهمترین فعالیت انجمن در این دوره برگزاری سیزدهمین همایش علمی دانشجویی مهندسی معدن با حضور اساتید و دانشجویان و فعالان حوزه عرصه معدن در تاریخ ۱۳۹۵،۰۳،۰۳ به همت اعضای انجمن علمی بوده است. در این همایش، کارگاه های آموزشی پیرامون آشنایی با بیماری های معدنی و عمرانی، آشنایی با سنگ های قیمتی، حقوق معادن و روشهای بهسازی و تحکیم خاک با استقبال خوبی از جانب دانشجویان روبرو شد. در این همایش دکتر ابراهیم ترشیذی، استاد دانشگاه میشیگان آمریکا به سخنرانی علمی در حیطه ی شبیه سازی در معادن پرداختند. همچنین از مهندس اسماعیل توتونچی به عنوان استاد پیشکسوت دانشکده و دانشجویان برتر کارشناسی و کارشناسی ارشد هر گرایش تقدیر بعمل آمد. در حاشیه همایش دانشجویان از نمایشگاه های سنگ ها و جواهرات قیمتی، کتب و مجلات مهندسی معدن و همچنین از غرفه SME نیز بازدید کردند.

عضوگیری در انجمن بین المللی مهندسی معدن (SME) از طریق انجمن علمی مهندسی معدن از دیگر فعالیت های انجمن بوده است که منجر به ثبت نام ۲۶ نفر از دانشجویان شد.

چاپ دو شماره ۳۵ و۳۶ از سری نشریات علمی تخصصی بلور که چندین دوره نشریه برگزیده دانشجویی کشور شده است از دیگر اقدامات مهم انجمن در این دوره بود.

در پایان، جا دارد از تمامی افرادی که در این یک سال در ارایه هرچه بهتر خدمات به نخبگان معدن ایران و ارتقای سطح علمی دانشکده ما را یاری کردند، صمیمانه تشکرات لازم را به جا آوریم. در این راستا از رییس دانشکده، **جناب آقای دکتر کتیبه** و اساتید ارجمند از جمله **جناب آقایان دکتر اصانلو** و **دکتر مرعشی** و اعضای مسیولیت پذیر و متعهد دوره یازدهم انجمن علمی و تمامی دوستانی که ما را در این راه، یاری کردند نهایت تشکر را بجای آوریم و برای آنان آرزوی موفقیت روزافزون داریم.

بلور
Journal of Mining engineering
Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic)
Scientific Association of Mining engineering
مصاحبه

گفتگو با مهندس مهرداد شکوهی

مدیرعامل سازمان نظام مهندسی معدن استان تهران

سیاوش ابراهیم‌پور
دانشجوی کارشناسی مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی امیرکبیر *(siyavashebrahimpour@gmail.com)*

مهندس مهرداد شکوهی رازی متولد سال ۱۳۲۴ ، مدیرعامل سازمان نظام مهندسی معدن تهران و همچنین مدیر عامل شرکت استخراج و فرآوری مواد اولیه تولید شیشه می‌باشد. وی فارغ‌التحصیل فوق-لیسانس استخراج معدن دانشکده فنی دانشگاه تهران در سال ۱۳۴۶و دارای فوق لیسانس اکتشاف به روش ژئوشیمی دانشگاه دلفت هلند سال۱۹۷۵ است. ایشان از سال ۱۳۴۶ بعد از فارغ التحصیلی به جز دوره خدمت سربازی، همواره در زمینه معدن فعالیت داشته اند.

در ابتدا فعالیت های سازمان نظام مهندسی معدن استان تهران را به طور مختصر بیان نمایید.

در حدود ۱۵ سال پیش و قبل از آن تشخیص داده شد که فعالیت های زمین شناسی و معدنی که پیش از آن دارای قوانین مشخصی نبود و افراد پس از تحویل یک پروژه معدنی مسئولیت و تعهدی در برابر امضای خود برای کاری که انجام شده نداشتند. دولت نیز مایل بود این فعالیت های انجام شده دارای نظم و نسق مهندسی و قانونی شوند . بدین ترتیب در حدود ۱۵ سال پیش قانون نظام مهندسی معدن را به تصویب مجلس شورای اسلامی رسید . پس این NGO که یک نهاد برخاسته از قانون است، دارای **وظایفی از جمله تعیین صلاحیت افراد جهت فعالیت های معدنی، آموزش افراد و تعیین مهندسین مسئول در تمامی زمینه های فعالیت یک معدن است.** در حال حاضر در این سازمان برخی فعالیت-های دیگری هم انجام میشود. نقشه برداری معادن شن و ماسه با توافق وزارت صنعت، معدن و تجارت و اتصال به شبکه ژئودزی کشور یا در مساله دیگر فعالیت برای نظارت بر معادن و فعالیت مهندسی ناظر، پیگیری جهت پذیرش بین المللی گواهی نامه های آموزشی ارائه شده از سوی سازمان (پیمان بین المللی جورک) و تلاش برای متحد شدن اعضای حرفه، تعیین توان فنی و مالی افرادی که در مزایده های معادن شرکت می‌کنند (جلوگیری از دلالی در معادن) ، پیگیری بابت نظارت بر چاه های آب تهران (معضل آبهای زیر زمینی و فرونشست زمین) از جمله آنها هستند.

ارتباط سازمان نظام مهندسی معدن را با دانشگاه‌ها چگونه می‌بینید؟

خوشبختانه ارتباط خوب و تنگاتنگی با دانشگاه ها داریم. زیرا هر گونه فعالیت آموزشی که ما انجام می دهیم در مسیر دانشگاه است و در صورتی که دانشگاهیان به ما اعلام کنند، آماده هرگونه آموزش های بعد از فارغ التحصیلی را برای فارغ-التحصیلان آنها فراهم می‌کنیم. نکته دیگر این است که نظام مهندسی معدن هیچ وظیفه ای در ایجاد شغل ندارد، در حالی که دغدغه تمامی فارغ التحصیلان ما کار است که ترکیب چند عامل موضوع بیکاری را تشدید کرده است عامل اول تعداد بیش از حد فارغ التحصیلان (که با گسترش پذیرش دانشجو و افزایش سطح سواد جامعه) فاصله بین کارگر و مهندس را زیاد کرده است. مهندسانی که فقط علوم تئوریک را آموخته و اصطلاحا آچار بدست نیستند، دوره های عملی ندیده اند و این ایرادی است که به مدرک گرایی وارد است. باید فاصله بین کارگر و مهندس را از بین برد و باید به تولید تکنسین پرداخت. برای ایجاد این مساله هم باید وزارتخانه های مختلفی در کنار هم تلاش کنند و از عهده نظام مهندسی به تنهایی خارج است.

مشکل دیگری که هم اکنون گریبان گیر ما شده است، **افزایش دانشجویان دکترا و بدون کار است که اکثرا فقط دروس**

را به صورت تئوری آموخته اند. به عنوان مثال در دانشگاه دلفت هلند که بنده در آنجا تحصیل میکردم، دانشجویان قبل از دوره دکترا در معادن آفریقا مشغول به کار می‌شوند سپس وارد دوره دکتری می‌شوند . در مجموع شغل یابی از وظایف نظام مهندسی نیست ولی به علت درخواست زیاد و به صورت داوطلبانه پیگیر مسائل اشتغال آنها می‌شود و ما از دولت درخواست داریم که **توازنی بین فارغ التحصیلان این رشته و میزان اشتغال برقرار کند** و همچنین در جهت حل مساله رکود که در طول زمان ایجاد شده، تلاش بیشتری انجام دهد تا این ماشین از حرکت افتاده را دوباره به حرکت در بیاوریم.

تاثیر نهاد های دانشجویی از جمله انجمن های علمی را در این زمینه چگونه می بینید؟

به نظر من ارتباط با صنعت در این نهاد ها ضعیف است، به عنوان مثال در یک همایش در حوزه سیمان در یکی از دانشکده ها، فقط ۴ یا ۵ نفر از دانشجویان حضور داشتند و متاسفانه هیچ یک از اساتید حضور نداشتند و همه افراد از صنعتگران بودند. این مشکل در اکثر دانشگاه های ما وجود دارد **البته دانشگاه هایی از جمله دانشگاه امیرکبیر هستند که ما ارتباط بسیار خوب و قوی با آنها داریم.** دکتر علی نیا از دوستان قدیمی بنده هستند. بنده قبل از انقلاب فرهنگی در این دانشگاه تدریس می‌کردم و از نظر من سطح علمی اساتید و دانشجویان این دانشگاه بسیار بالاست.

توصیه شما به دانشجویان حال حاضر چیست؟

توصیه من اینست **که ارتباط خودتان با صنعت را بدون چشم داشت مادی زیاد کنید.** بزرگترین ایرادی که به فارغ التحصیلان اخیر وارد است این بوده که اصطلاحا **اهل بیابان رفتن نیستند** و همه مایلند در شهرها کاری پیدا کنند . در دوره جوانی ما زمان بسیار زیادی را در فیلد (زمین) می گذراندیم. بنده به شخصه در پروژه ای زیر نظر سازمان انرژی اتمی ایران به مدت ۲ سال در چادر زندگی می‌کردیم و من کمتر دانشجویی را دیده ام که این شرایط کاری را قبول کند. افراد باید رشته مهندسی معدن را با تمام سختی هایش قبول کنند. زیرا این رکود ماندنی نیست و در زمینه معدن ما جزو ۱۵ کشور اول دنیا هستیم و می توانیم در زمینه های مختلف کار کنیم. **خاک کشور ما یک جدول مندلیف به تمام معناست.** باید از این موهبت الهی به نحو احسنت استفاده کنیم.

سخن آخر

من یک معدنی هستم و در صنعت معدن فعالیت میکنم. ما و مردم ما به این صنعت نیاز داریم و ما صنعتی ها و شما دانشجو ها باید برای حفظ و گسترش این صنعت تلاش کنیم . دانشجوهای ما باید با استفاده از مزیت های نسبی و مواد معدنی که داریم به سراغ بهبود منافع جامعه برویم و هیچگاه منافع شخصی را در اولویت قرار ندهیم. همیشه باید برای پیشرفت جامعه تلاش کرد و نه برای منافع شخصی، این چیزی بود که در کل زندگی سرلوحه کارم قرارداده‌ام.

تابستان ۱۳۹۵

اشتراک مجله بلور

نام :..... نام خانوادگی : .....

میزان تحصیلات : ..... شغل : .....

سمت : ..... تعداد مورد تقاضا از هر شماره : .....

نشانی کامل پستی : .....

.....

تلفن : ..... فکس : .....

صندوق پستی : .....

خواهشمند است جهت اشتراک نشریه بلور به سایت انجمن علمی مهندسی معدن دانشگاه صنعتی امیرکبیر مراجعه نمایید . شما میتوانید با وارد کردن اطلاعات جدول در ایمیل خود و پرداخت هزینه مربوطه ، شماره دلخواه این مجله را دریافت کنید.

آدرس : تهران ، خیابان حافظ ، رو به روی خیابان سمیه ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی ، طبقه اول ، دفتر نشریه بلور

تلفکس : ۶۴۵۴۲۹۴۲ تلفن همراه : ۰۹۳۹۵۲۲۰۵۴۴

ایمیل : blour@aut.ac.ir وبسایت : sam.aut.ac.ir

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

انجمن علمی دانشجویی مهندسی معدن
دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
اداره انجمن های علمی دانشجویی

انجمن علمی دانشجویی مهندسی معدن

دوره یازدهم ۱۳۹۵

SME
Society for
Mining, Metallurgy
& Exploration

Amirkabir University Of Technology

Journal Of Mining Engineering

Blour

No. 37

fall 2016

آنچه در این شماره بلور می خوانید :

* تخمین هزینه های بازسازی و بررسی تاثیر آن بر محدوده نهایی معادن روباز
* پیش‌بینی ماکزیمم نشست سطح زمین در مسیر تونل خط ۲ متروی مشهد
* خوشه بندی عصبی- فازی تعداد میانگین وایازی (NFCMR)
* شبیه‌سازی فرآیندهای شناورسازی کانسنگ مس سولفیدی
* نگاهی بر مغناطیس‌سنجی و کاربردهای آن
* معرفی نرم افزار کامفار COMFAR
* مرجع نویسی در متون علمی
* کارآیی تونلسازی با چند سینه کار – بررسی عددی سه بعدی
* معرفی کتاب زمین لغزش، شناسایی؛ پیشگیری؛ اقدام و بهسازی
* بررسی تغییرات و تحلیل کنکور کارشناسی ارشد مهندسی معدن ۱۳۹۶
* معرفی چهارمین همایش بین المللی انجمن تولیدکنندگان و صادرکنندگان سنگ آهن ایران
* مصاحبه با مهندس مهرداد شکوهی مدیرعامل سازمان نظام مهندسی معدن استان تهران

مجله علمی - تخصصی مهندسی معدن

Sponsored and landexed by
CIVILICA
We Respect The Science
این ژورنال تحت حمایت سیویلیکا می باشد و مقالات هر شماره آن پس از انتشار در پایگاه سیویلیکا نمایه سازی و منتشر می شود
مقالات نمایه شده در نظام رتبه بندی دانشگاهها و پژوهشگاهها مورد تایید قرار میگیرد.

انجمن علمی دانشجویی مهندسی معدن
دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)