نشریه علمی-پژوهشی "مهندسی معدن"
Iranian Journal of Mining Engineering
(IRJME)

دوره هفتم، شماره شانزدهم، سال ۱۳۹۱، صفحه ۱۰۱ تا ۱۱۴
Vol. 7, No. 16, 2012, pp. 101-114

بررسی تأثیر عدم قطعیت زمان و هزینه بر روند انجام مطالعات امکان‌سنجی پروژه‌های معدنی

محمد حسین بصیری*[۱]، احمد رضا صیادی[۲]، مجتبی حسین پور سجیدان[۳]، محمد حیاتی[۴]

۱ - استادیار گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس؛ mhbasiri@modares.ac.ir
۲ - استادیار گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس؛ sayadi@ modares.ac.ir
۳ - دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی معدن، دانشگاه تربیت مدرس؛ m.hosseinpour@modares.ac.ir
۴ - دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی معدن،دانشگاه تربیت مدرس؛ mohammad_hayaty@yahoo.com

(دریافت ۱۸ مهر ۱۳۸۹، پذیرش ۱۷ مهر ۱۳۹۰)

چکیده

عدم‌قطعیت جزء جدایی‌ناپذیر اکتشاف و توسعه منابع معدنی است. پروژه‌های معدنی به دلیل طبیعت متغیر کانسار، با عدم قطعیت‌های فراوانی روبرو هستند. هزینه سرمایه‌گذاری در این پروژه‌ها بالا است و به دلیل پیچیدگی در طراحی و اجرایشان به‌طور عمده در رده پروژه‌های با ریسک زیاد قرار می‌گیرند. مطالعات امکان‌سنجی در پروژه‌های معدنی به شناسایی بهتر منابع عدم‌قطعیت و نیز ارائه برنامه‌های کارآمدتر مدیریت ریسک در این پروژه‌ها کمک می‌کند، اما خود این عدم قطعیت‌ها، روند زمان‌بندی و مصرف منابع در جریان انجام مطالعات امکان‌سنجی را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهند. در تحقیق حاضر به بررسی تأثیر عدم‌قطعیت زمان و هزینه در روند طراحی و اجرای مطالعات امکان‌سنجی پروژه‌های معدنی پرداخته شد. برای تبیین نقش عدم قطعیت به کمک شبیه‌سازی مونت کارلو، اثرات آن‌ها در زمان‌بندی و برآورد هزینه مطالعات بررسی شد. یافته‌ها، ضمن تأیید اثر قابل توجه عدم قطعیت زمان و هزینه بر اجرا و تکمیل مطالعات، بیانگر آن است که برآوردهای مبتنی بر عدم قطعیت که بازه‌ای از اعداد را به عنوان نتیجه برآورد زمان و هزینه نشان می‌دهند به واقعیت نزدیک‌تر بوده و قابل قبول‌ترند. نتایج این تحقیق به درک بهتر و واقع بینانه‌تر تأثیر عدم قطعیت‌های زمان و هزینه بر روند انجام مطالعات امکان‌سنجی و در نتیجه ارائه راهکارهای کارآتر برای مدیریت خطرات ناشی از آن‌ها کمک می‌کند.

کلمات کلیدی

معدن، مطالعات امکان سنجی، عدم قطعیت، ریسک، شبیه‌سازی مونت کارلو

*نویسنده مسئول مکاتبات

۱- مقدمه

صنعت معدن به دلیل حجم بالای سرمایه‌گذاری، طبیعت تغییرپذیر کانسار، دوره عمر طولانی آماده‌سازی و تولید، تأثیرپذیری از محیط و اثرگذاری فراوان بر محیط و نیز ماهیت داده‌ها در آن که اغلب با عدم قطعیت‌های فراوانی همراه است، صنعتی پرریسک شناخته می‌شود.

در حوزه مهندسی معدن طراحی، اندازه‌گیری، طبقه‌بندی، برآورد و تفسیر با خطا همراه است. ممکن است بتوان فرایندهای مهندسی را در بسیاری از شاخه‌های آن به‌طور نسبی قطعیت‌پذیر تلقی کرد، ولی در بعضی از حوزه‌های مهندسی، مانند مهندسی معدن، وجود ناهمگنی‌های موجود در درون و همچنین در محیط کانسار موجب بروز پدیده‌های احتمال‌پذیر می‌شود که نتیجه آن به صورت عدم‌قطعیت در داده‌ها ظاهر می‌شود [۱]. این عدم قطعیت‌ها از عوامل اصلی بروز ریسک در بخش‌های مختلف پروژه‌های معدنی هستند. با این حال، عدم قطعیت‌ها همواره آثار منفی در بر نخواهند داشت و می توانند به ایجاد فرصت‌هایی نیز بیانجامند [۲]. بررسی اثرات احتمالی این فرصت‌ها در حوزه مدیریت ریسک قرار می‌گیرد. مهمترین عدم قطعیت‌ها در پروژه‌های معدنی، عدم قطعیت‌ها در کیفیت و کمیت ماده معدنی(عیار و ذخیره) هستند. خطرات مرتبط با پروژه‌های معدنی، گوناگون و پیچیده‌اند در حالی‌که منبع اصلی ریسک خود کانسار است و یک معدنکاری کارآمد، به‌طور عمده متأثر از مدیریت ریسک-های آن می‌باشد[۳] ،[۴]. از این رو هرگونه تلاشی که بتواند منابع عدم‌قطعیت و اثرات آن‌ها را که به بروز ریسک در این پروژه‌ها منجر می‌شود را پیش از اجرا شناسایی و مدیریت کند، اقدامی سودمند و ضروری خواهد بود.

مطالعات امکان‌سنجی یکی از بخش‌های اصلی در طول عمر پروژه‌ها به‌ویژه در پروژه‌های معدنی بوده و یک جزء جدانشدنی در توسعه یک پروژه تجاری است. عدم قطعیت‌ها و در نتیجه ریسک‌های گوناگونی بر روند برنامه ریزی، اجرا و گزارش‌دهی این مطالعات تأثیر خواهند گذاشت. در تحقیق حاضر، ضمن بررسی منابع عدم‌قطعیت و شناسایی آن‌ها به تعیین و بررسی تأثیرات ناشی از عدم‌قطعیت‌های زمان و هزینه بر روند زمان‌بندی و برنامه‌ریزی مطالعات امکان‌سنجی پروژه‌های معدنی پرداخته می‌شود.

۲- عدم‌قطعیت و ریسک در پروژه‌های معدنی

پروژه‌های معدن‌کاری با دیگر پروژه‌های تجاری متفاوتند چرا که دانش تولید در آن‌ها مبتنی بر برآوردهایی است که با طبیعت متنوعشان، با عدم‌قطعیت همراه است[۴] و این امر خود منجر به پرریسک شدن سرمایه‌گذاری‌ها در این بخش می‌شوند. اقدامات معدن‌کاری به‌طور گسترده‌ای با صرف هزینه‌های زیاد، زمان‌های توسعه طولانی و ریسک‌های تجاری بالا توصیف می‌شوند [۵]. اگرچه درجات و انواع گوناگونی از عدم‌قطعیت وجود دارند اما پایه و مفهوم عدم‌قطعیت بر نبود اطلاعات کافی پیرامون تمام یا بخشی از پدیده مورد بررسی مبتنی است. از سوی دیگر، ریسک به خودی خود، به‌طور مرسوم به عنوان یک رویداد غیرقطعی توصیف می‌شود[۶] به-گونه‌ای که زمینه‌ای را برای بحث پیرامون این مطلب فراهم آورده است که مدیریت ریسک پروژه باید با عنوان مدیریت عدم‌قطعیت مورد اشاره قرار گیرد [۷]، [۸]، [۹]. شناخت عدم‌قطعیت‌ها به شناخت بهتر منابع ریسک و در نتیجه مدیریت بهتر آن‌ها کمک می‌کند که می‌تواند در نهایت به افزایش موفقیت این پروژه‌ها منجر شود. در پـروژه‌های بزرگ مانند پروژه‌های معدنی، با توجه به سرمایه‌گذاری‌های هنگفتی که در آن‌ها انجام می‌شود و همچنین به دلیل ماهیت پیچیده طراحی و اجرای این دست از پروژه‌ها، بررسی عدم قطعیت‌ها در آن‌ها، از جمله شرایط ناشناخته زمین، کیفیت و کمیت متغیر ماده معدنی، وضعیت پر نوسان قیمت ماده معدنی یا محصول تولیدی و هزینه‌هایی که با زمان تغییر می‌کنند و نیز زمان اتمام کار معدن ، اهمیت ویژه‌ای دارد. بنابراین بررسی، شناسایی و ارزیابی دلایل افزایش زمان، هزینه و همچنین ارائه مدلی برای پیش‌بینی تأثیر عوامل شناخته شده در پروژه‌های آتی و محاسبه تأخیرات و یا افزایش هزینه‌ها قبل از شروع پروژه و تلاش برای حذف یا کاهش دلایل آنها، عواید قابل توجهی را برای مجریان و سرمایه‌گذاران در این پروژه‌ها به همراه خواهد داشت. برای کنترل عواقب ناشی از عدم قطعیت‌ها، ابتدا باید این عدم قطعیت‌ها شناسایی شده و سپس

پیامدها و همچنین احتمال بروز آن‌ها سنجیده شود. بررسی نتایج احتمالی بروز عدم قطعیت‌ها و بررسی اثرات ناشی از بروز آن‌ها بر روی پروژه‌ها، دربخش مدیریت ریسک‌های پروژه مورد بررسی و ارزیابی قرارمی‌گیرد. از این رو، رابطه بسیار تنگاتنگی میان مباحث کنترل عدم قطعیت‌ها و مدیریت ریسک در پروژه‌ها وجود دارد. به‌طور اصولی هر جا که احتمال بروز یک عدم قطعیت وجود داشته باشد، موضوع مدیریت ریسک مطرح می‌شود. در مجموع می‌توان منابع عدم‌قطعیت و بروز ریسک در پروژه‌های معدنی را به دو دسته کلی داخلی و خارجی تقسیم کرد [۱۰]: ریسک‌های داخلی[1]: این ریسک‌ها بیشتر به ماهیت خود پروژه مربوط می‌شوند و در پروژه‌های معدنی اغلب به ماهیت کانسار وابسته‌اند [۱۱]. منابع داخلی ریسک‌ها در پروژه‌های معدنی اغلب به توزیع عیاری، شرایط زمین، نیروی کار، تیم مدیریت و اجرا، تجهیزات و زیرساخت‌ها مرتبط است[۱۲]، [۱۳]. ریسک‌های خارجی[2]: ریسک‌های خارجی اغلب به شرایط پیرامونی محیط انجام سرمایه‌گذاری و اجرای پروژه مرتبط‌اند و توسط عوامل بیرون از پروژه تعیین و کنترل می‌شوند. منابع خارجی ریسک در پروژه‌های معدنی مشتمل بر قیمت‌های مواد معدنی در بازار، قوانین و محدودیت‌های زیست‌محیطی، ریسک سیاسی/ کشور، ارتباطات عمومی ، ارتباطات صنعتی، مباحث سهامداران، سیاست‌ها و قوانین دولتی است[۱۳]، [۱۴]. از دیگر منابع ریسک‌های خارجی در پروژه‌های معدنی می‌توان به ریسک-های ناشی از تغییرات وضعیت اقتصاد کلان مانند نرخ بهره، حذف حمایت‌های دولتی، وقوع ناآرامی‌ها و اعتصابات کارگری، افزایش هزینه‌های تولید/دستمزد، ریسک تغییرات تکنولوژیک وغیره اشاره کرد[۱۱]. علاوه بر تمام موارد ذکر شده برای منابع عدم‌قطعیت و بروز ریسک در پروژه‌های معدنی، از جمله ریسک‌هایی که همواره پروژه‌ها با آن‌ها در جریان طراحی و اجرا روبرو می‌باشند، ریسک‌های ناشی از عدم‌قطعیت‌های زمان و هزینه می‌باشند. این عدم‌قطعیت‌ها به ویژه در پروژه‌های معدنی بسیار مهم‌ترند؛ چرا که از یک سو در این پروژه‌ها میزان زمان صرف شده از هنگام آماده‌سازی تا پایان عمر معدن زمانی طولانی است و از سوی دیگر، هزینه‌های سرمایه‌گذاری و اجرا در این پروژه‌ها که همواره در مقایسه با پروژه‌های معمول در صنعت رقمی قابل توجه است، بسیار زیاد و متغیر است. نتیجه بررسی مطالعات و پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که تا کنون تلاش قابل توجهی برای بررسی عدم‌قطعیت‌های زمان و هزینه در این پروژه‌ها به ویژه در بخش مطالعات امکان‌سنجی صورت نگرفته است.

در ادامه ضمن بررسی مفهوم مطالعات امکان‌سنجی پروژه‌های معدنی به بررسی نقش عدم‌قطعیت‌های زمان و هزینه در انجام این مطالعات و جنبه‌های منفی ریسک‌های ناشی از آنها پرداخته می‌شود.

۳- مطالعات امکان‌سنجی

مطالعات امکان‌سنجی، اقدامی سازمان‌یافته و هدفمند برای ارزیابی یک موضوع از جنبه‌های گوناگون فنی، اقتصادی، مالی، سیاسی، اجتماعی، زیست‌محیطی، حقوقی و غیره می‌باشند. با این حال، در بیشتر موارد، هدف نهایی یک مطالعه امکان‌سنجی، ارائه یک ارزیابی اقتصادی و مالی از موضوع مورد بحث به منظور تصمیم‌گیری برای سرمایه‌گذاری و ارائه به تأمین‌کنندگان مالی است[۱۴]. مطالعه امکان‌سنجی، مهمترین بخش ارزیابی یک کانسار است که در آن قابلیت معدن‌کاری یک کانسار، با تأکید بر ارزیابی درست و دقیق هزینه‌ها و فرصت‌های ناشی از آن مورد بررسی کامل قرار می‌گیرد. مطالعات امکان‌سنجی پروژه‌های معدنی از بخش‌های گوناگونی تشکیل می‌یابند و به همین منظور در عمل متخصصین متعددی از رشته‌های گوناگون، درگیر جریان انجام این مطالعات می‌باشند. این مطالعات، اغلب مطالعاتی زمان‌بر و هزینه‌بردار برای مدیریت و تیم اجرا می‌باشند و از این رو کوشیده می‌شود تا اجرای این مطالعات در حد امکان با کم‌ترین میزان زمان و هزینه انجام گیرد. مسئله مهم‌تر آن است که همیشه نتیجه این مطالعات حکم به پیشبرد پروژه و یا توجیه سرمایه‌گذاری مورد نظر را نمی‌کند و این به معنای از دست رفتن مقادیر قابل توجهی از منابع اعم از زمان، هزینه و نیروی انسانی است. در عمل، شرکت‌های معدنی انجام این مطالعات را به شرکت‌های مشاور خارج از پروژه واگذار می‌کنند. از این رو هر یک از این بخش‌ها می‌توانند به‌طور مستقل مورد بررسی قرار گیرند اما در برآورد نهایی زمان و هزینه، کل جریان مطالعات مورد توجه قرار خواهد گرفت. کل یک پروژه معدنی از مرحله مطالعات هدف تا تکمیل مطالعات امکان‌سنجی نهایی، شامل طرح‌های مطالعات میانی برای یک فعالیت معدن‌کاری در ابعاد جهانی، ممکن است تا ۱۰ سال به طول بیانجامد که این زمان، عملیات اکتشافی را نیز در برمی‌گیرد. اگر نیازهای تجاری چارچوب زمانی کوتاه‌تری نسبت به آن‌چه که برای بهینه‌بودن مورد نیاز است را پیشنهاد کند، آنگاه لازم است که افزایش متناظر در ریسک، شناسایی و گزارش شود [۱۵]. این مسئله به طور مشابه برای تعیین هزینه انجام مطالعات امکان‌سنجی نیز صادق است و هزینه

این مطالعات بسته به اندازه و طبیعت پروژه، نوع مطالعه‌ای که انجام می‌شود، تعداد گزینه‌هایی که بررسی می‌شوند و عوامل متعدد دیگر بسیار متغیر است [۱۶]. این بدان معناست که زمان‌بندی و برآورد هزینه مطالعات باید بر اساس واقعیت‌های موجود صورت گیرد و هر گونه عاملی که برنامه زمان‌بندی و هزینه‌سازی را دچار تغییرات ناخواسته کند به افزایش ریسک عدم دسترسی به نتایج پیش‌بینی شده خواهد انجامید. به گونه‌ای که برخی از محققان معتقدند که دقت بدست آمده در مطالعات به دو عامل وابسته است؛ نخست زمان و هزینه‌های گنجانده‌شده در مطالعات و سپس مهارت و تجربه برآورد-کنندگان [۱۷]. با این حال، عقاید و نظرات گوناگونی برای اینکه چه سطحی از اطمینان باید برای یک مطالعه امکان-سنجی در نظر گرفته شود، وجود دارد و در برخی موارد توسط مدیریت/ مالک پروژه تعیین می‌گردد [۱۸]. در جدول ۱، خلاصه‌ای از زمان و هزینه لازم تقریبی برای انجام برآوردهای هزینه در خلال انجام مطالعات امکان‌سنجی که از سوی انجمن مهندسی هزینه ایالت متحده پیشنهاد شده، آورده شده است.

جدول ۱. زمان و هزینه لازم تقریبی برای انجام برآوردهای هزینه در خلال انجام مطالعات امکان‌سنجی

نوع برآورد	دقت برآورد (٪)	زمان لازم برای انجام برآورد	پیش‌بینی نشده(٪)	درصد پیشرفت کار پیش از تولید(٪)	درصد سرمایه هزینه شده پیش از تولید در زمان برآورد(٪)
سرانگشتی	۳۰- تا ۵۰+	۱ تا ۷ روز	۳۰- ۲۰	۵	<۰,۵
مقدماتی	۱۵- تا ۳۰+	۱ هفته تا ۲ ماه	۲۵- ۱۵	۲۵- ۱۵	۵-۲
نهایی	۵- تا ۱۵+	۳ تا ۱۲ ماه	۱۵- ۵	۶۰- ۵۰	۲۰- ۱۰
تفصیلی	۲- تا ۱۰+	۲ تا ۹ ماه	۸- ۴	۱۰۰- ۹۰	۶۰- ۵۰

بطور معمول برای ارزیابی قابلیت معدنکاری کانسارها، سه نوع مطالعه که هریک نسبت به مرحله پیشین از تفصیل و دقت بیشتری برخوردار است، انجام می‌گیرند که به ترتیب مطالعات تصوری[۳]، مطالعات پیش امکان‌سنجی[۴] و مطالعه امکان‌سنجی[۵] نام می‌گیرند. در تحقیق حاضر، اثرات عدم‌قطعیت های زمان و هزینه در مطالعات امکان‌سنجی که در برخی از دسته بندی‌ها معادل مطالعات امکان‌سنجی نهایی[۶] می‌باشند، مورد بررسی قرار گرفته اند. در تحقیقی دانشگاهی پیرامون مطالعات امکان‌سنجی در پروژه‌های معدنی، مدلی جامع برای روند اجرای این مطالعات پیشنهاد شده است [۱۵]. ساختار کلی مدل ارائه شده و روند تصمیم‌گیری بر مبنای آن، در

شکل ۱ آورده شده است. در تحقیق حاضر، از چارچوب این مدل که بر مبنای ساختار شکست کار مطالعات امکان‌سنجی است، برای انجام تحلیل‌ها کمک گرفته شده است. به دلیل تعداد زیاد فعالیت‌های پیش‌بینی شده برای پیشبرد این مطالعات در مدل یاد شده و حجم و گستردگی بالای اطلاعات و داده‌های مورد نیاز و زمان‌بری بسیار زیاد گردآوری آن‌ها و همچنین زمان محدود کارشناسان و خبرگان امر برای پاسخ‌دهی، تحلیل و بررسی عدم قطعیت مربوط به زمان و هزینه فعالیت‌های سایر بخش‌های ۱۶ گانه در یک زمان کوتاه و ارائه نتایج همه آن‌ها در یک تحقیق در عمل نا ممکن به نظر می‌رسید، از این رو، در این مقاله با ارائه ساختار شکست کار[۷] بخش مطالعات ژئوتکنیک از بخش‌های ۱۶گانه مدل مذکور برای انجام مطالعات امکان‌سنجی پروژه‌های معدنی، به بررسی اثرات عدم‌قطعیت‌های زمان و هزینه بر روند اجرا، زمان بندی و تخصیص هزینه در این مطالعات پرداخته شده است به دلیل تشابه روند انجام مطالعات در این بخش‌ها، رویکرد و روندی که در این تحقیق ارائه شده است، برای سایر بخش‌ها نیز معتبر خواهد بود.

۴- روش کار و تحلیل

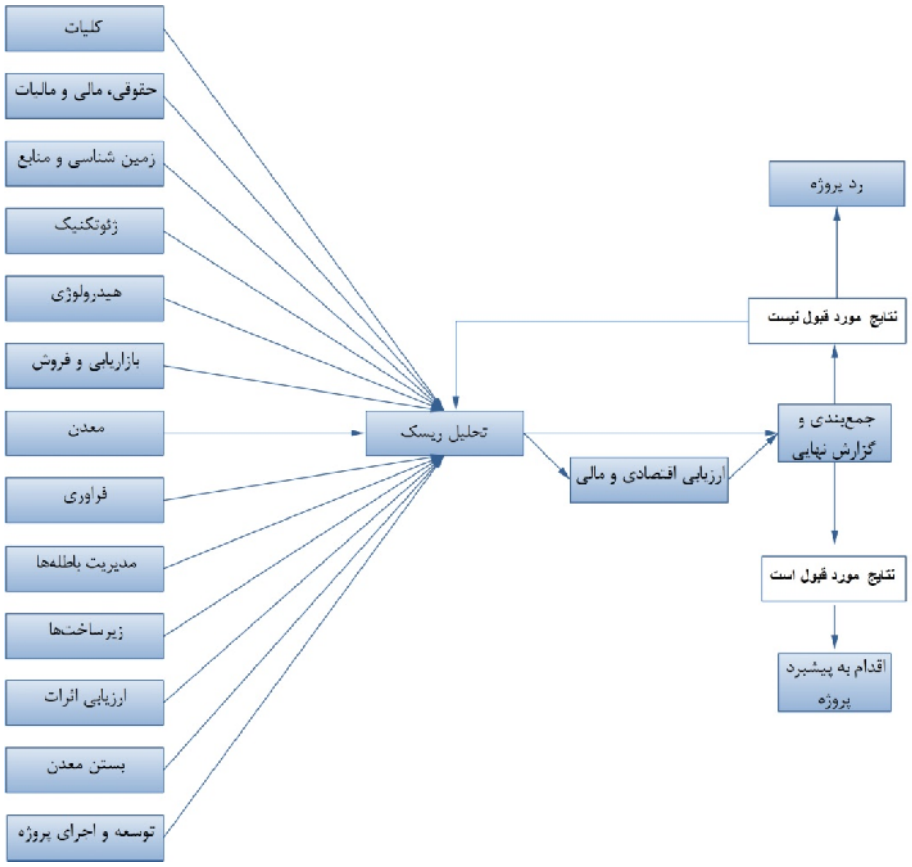
با گسترش رایانه‌ها و انجام محاسبات سریع‌تر و دقیق‌تر، استفاده از روش‌های زمانبری که پیش از این کاربرد آن‌ها دشوار می‌کند، امکان پذیر شده است. از جمله این روش‌ها، روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو[۸] است که به کمک آن می‌توان با در نظر گرفتن توزیع‌های احتمال مناسب برای متغیرها، عدم‌قطعیت‌های پارامترها را در محاسبات وارد کرد[۱۹]. مونت کارلو تکنیکی برای شبیه‌سازی حالات مختلف و ممکن الوقوع برای یک پارامتر در یک مسئله خاص بوده که علاوه بر تحلیل احتمالاتی و ارزیابی ریسک، می‌توان از آن برای تحلیل حساسیت نیز استفاده کرد. اساس روش شبیه‌سازی مونت کارلو، نمایش ترکیب‌های تصادفی حالات ممکن از عدم‌قطعیت‌هایی است که در یک پروژه رخ می‌دهند. در این

روش از قدرت و سرعت رایانه برای نمایش حالات مختلفی که برای عدم قطعیت‌ها رخ می‌دهند، استفاده می‌شود. مهم‌ترین محدودیت در توسعه و اجرای آن، محاسبات طولانی است که کامپیوترهای پرسرعت امروزی این محدودیت را برطرف کرده‌اند و نرم افزار Pertmaster نیز از همین روش شبیه‌سازی استفاده می‌کند. به دلیل امکان بروز رخدادهای پیش‌بینی نشده که در فعالیت‌های لازم برای انجام مطالعات امکان‌سنجی پروژه‌های معدنی همواره محتمل است، داشتن یک برآورد قطعی از زمان و هزینه‌های آتی در روند انجام این دست از مطالعات غیر ممکن است و به ناچار می‌باید از توزیع‌های احتمالی برای بیان مقادیر زمان و هزینه استفاده کرد. یکی از روش‌های تخمین زمان و هزینه انجام فعالیت‌ها، استفاده از نظرات خبـرگان و مشاورین و افراد با تجربه در پروژه‌های مشابه و نیز استفاده از گزارش‌ها و دستورالعمل‌های موجود است که به ویژه برای برآورد هزینه‌های پروژه مفید می‌باشند.

دراین تحقیق به منظور تهیه برنامه زمان‌بندی و هزینه احتمالی با مطالعه گزارش‌های مهندسین مشاور و بررسی مطالعات انجام شده امکان‌سنجی در پروژه‌های معدنی و نیز در نظر گرفتن دلایل تأخیر و ریسک‌های موجود، زمان‌ها و هزینه‌های خوشبینانه و بدبینانه و محتمل محاسبه شده و بر اساس آنها تأثیر در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های زمانی و هزینه در برآورد مدت زمان و هزینه انجام مطالعه امکان‌سنجی بررسی گردیده است. در این راستا، نخست تابع توزیـع احتمالی برای زمـان و هزینه انجام تمام فعالیت‌هایی که برای انجام مطالعه امکان‌سنجی شناسایی شده‌اند، تعیین می‌شود. سپس تعداد شبیه‌سازی‌ها تعیین می‌شود که این امر به پیچیدگی و ابعاد پروژه و اهمیت فعالیت‌های مورد بررسی، میزان دسترسی و اطمینان به اطلاعات مربوط به فعالیت‌ها بستگی دارد.

در هر اجرای روش مونت کارلو، برای هر یک از فعالیت‌ها، یک زمان و هزینه احتمالی بین حد پایین و بالای زمان و هزینه انجام فعالیت مربوطه تولید می‌شود که مقدار آن، از تابع توزیع احتمالات زمان و هزینه آن فعالیت پیروی می‌کند. در هر اجرا، یک مجموعه جواب که در تناظر یک به یک با زمان و هزینه انجام فعالیت‌ها است، تولید می‌شود که بیانگر یکی از حالات ممکن انجام فعالیت است. از جمله مزایای روش مونت کارلو، این است که میزان بحرانی بودن فعالیت‌ها در آن محاسبه می‌شود.

این عدد از تعداد دفعات قرارگیری یک فعالیت در مسیر بحرانی پروژه در محاسبات مختلف به‌دست می‌آید. مدت زمان و نیز هزینه لازم برای انجام یک فعالیت، یک متغیر تصادفی است و عوامل متعددی می‌توانند بر آنها مؤثر باشند به‌طوری‌که در شرایط مختلف، مقادیر برآوردی متفاوتی برای آنها نتیجه می‌شود. بعد از وارد کردن اعداد مربوط به سه مقدار برای زمان و هزینه (مقادیر خوش‌بینانه، بدبینانه و محتمل زمان و هزینه)، با استفاده از نرم افزار Pertmaster که بر اساس شبیه سازی مونت کارلو عمل می‌کند، احتمالات مربوط به کل مدت زمان و هزینه لازم برای انجام فعالیت‌های لازم در انجام مطالعه امکان‌سنجی پروژه نمایش داده می‌شود. با توجه به تعدد فعالیت‌ها در کار مطالعات امکان‌سنجی پروژه‌های معدنی و پیچیدگی موجود در برنامه‌ریزی و کنترل پروژه کل یک پروژه معدنکاری، تنها فعالیت‌های بخش مطالعات ژئوتکنیک جهت بررسی برنامه زمان‌بندی و برآورد هزینه برای بررسی اثر عدم‌قطعیت‌ها بر روند انجام مطالعات و مدیریت ریسک در نظر گرفته شده‌اند. در عمل بخش‌های مطالعات امکان‌سنجی پروژه‌های معدنی به لحاظ زمان، هزینه و تخصص‌های لازم بسیار متنوع و متفاوتند؛ از این‌رو هر یک از این بخش‌ها، در عمل به شرکت‌های پیمانکاری و مشاور جدا واگذار می‌شوند.

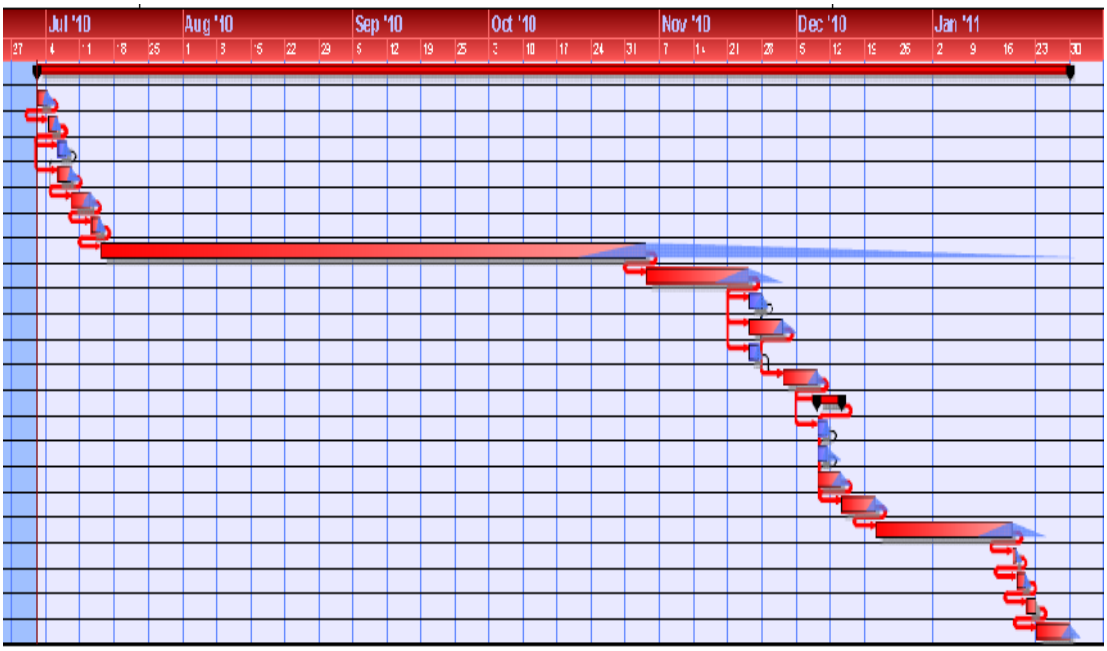


شکل ۱. ساختار کلی مدل مطالعات امکان‌سنجی و روند تصمیم‌گیری بر مبنای آن

۴-۱ بررسی اثرات عدم قطعیت‌های زمان و هزینه در بخش مطالعات ژئوتکنیک

همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد، مطالعات امکان‌سنجی در پروژه‌های معدنی از بخش‌های گوناگونی تشکیل می‌شوند که به لحاظ نوع مطالعات و روش اجرا اغلب متفاوتند. در این تحقیق، برای بررسی اثر عدم قطعیت‌های زمانی و هزینه‌ای بر فرایند مطالعات امکان‌سنجی ، بخش ژئوتکنیک از بخش‌های ۱۶ گانه این مطالعات بر مبنای مدلی که نشان داده شد، مورد بررسی قرار گرفته است. اعتقاد بر این است که این روند در تمام بخش‌های دیگر مشابه و قابل تعمیم و از این‌رو، نتایج این تحلیل برای آنها معتبر و قابل استفاده خواهد بود.

برای بررسی اثر عدم قطعیت‌ها، ابتدا ساختار شکست کار فعالیت‌های هر یک از بخش‌ها به طور جداگانه تهیه شد و سپس زمان و هزینه‌های احتمالی هر یک از فعالیت‌ها تعیین و در نرم‌افزار وارد گردید. در شکل ۲ نمودار گانت فعالیت‌های بخش ژئوتکنیک نشان داده شده است. با بررسی مطالعات پیشین و نظرات کارشناسی، زمان‌ها و هزینه‌های احتمالی فعالیت‌های پیش‌بینی شده در طول مطالعات بخش ژئوتکنیک در نظر گرفته شد. برای آماده کردن برنامه زمان‌بندی و هزینه‌سازی ابتدا زمان و هزینه اجرای کار بر اساس مقادیر سه‌گانه به بازه‌های کوچک‌تر تقسیم می‌شود. پس از وارد کردن زمان‌ها و هزینه‌های خوشبینانه و بدبینانه و محتمل در نرم افزار ، مدت زمان و هزینه مورد نیاز برای اتمام فعالیت‌ها بر اساس بر اساس مقادیر احتمالی قابل محاسبه است که در جدول ۲ آورده شده است. نرم افزار Pertmaster، هنگام تحلیل، مدت زمان و هزینه فعالیت‌ها را به صورت احتمالی در نظر گرفته و آن‌ها را برابر با یکی از مقادیر مابین زمان خوشبینانه و بدبینانه وارد شده در نظر می‌گیرد. با توجه به این‌که در این تحلیل‌ها از توزیع مثلثی استفاده شده است، مقدار تخصیص داده شده به‌عنوان مقدار محتمل بیش از سایر مقادیر توسط نرم افزار انتخاب می‌شود. آنچه نرم‌افزار انجام می‌دهد شبیه‌سازی پیاپی پروژه و مشاهده نحوه تغییر زمان و هزینه انجام فعالیت‌ها است. نخستین استفاده‌ای که از تحلیل‌ها می‌توان کرد، مشاهده احتمال انجام یافتن کار در یک زمان و یا با یک هزینه مشخص است.

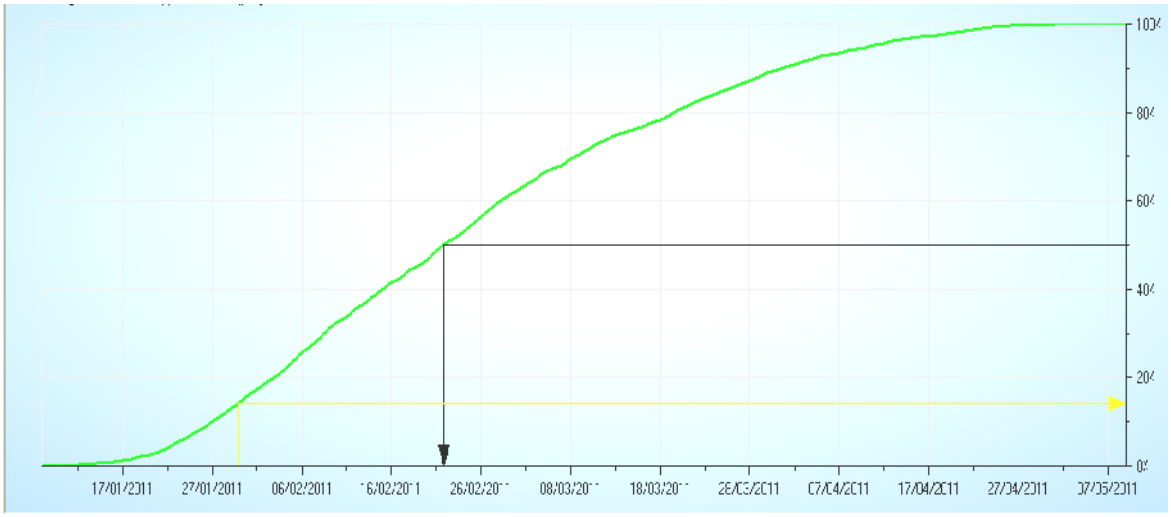


شکل ۲. نمودار گانت فعالیت‌های بخش ژئوتکنیک

Description	Remaining Cost	Minimum Duration	Most Likely	Maximum Duration
ژئوتکنیک	**ریال ۱۰،۰۰۷،۰۰۰،۰۰۰**			
اخذ گزارش مقدماتي	ریال ۵،۰۰۰،۰۰۰	1	2	4
تعیین مناطق مورد بررسي	ریال ۲،۰۰۰،۰۰۰	1	2	3
تهیه نقشه هاي مناطق هدف	ریال ۲،۰۰۰،۰۰۰	1	2	3
بررسي پیشینه نمونه برداري و مطالعات	ریال ۳،۰۰۰،۰۰۰	2	3	5
تهیه برنامه مطالعات ژئوتکنیکي	ریال ۴،۰۰۰،۰۰۰	2	4	6
تعیین روش نمونه برداري	ریال ۲،۰۰۰،۰۰۰	1	2	3
انجام نمونه برداریهاي ژئوتکنیکي	ریال ۹۰۰،۰۰۰،۰۰۰	98	112	200
انجام آزمایشات ژئوتکنیکي	ریال ۱۴،۰۰۰،۰۰۰	14	21	28
جمع آوري داده هاي ژئوتکنیکي	ریال ۳،۰۰۰،۰۰۰	1	3	4
مطالعات درزه و شکاف در سنگها	ریال ۷،۰۰۰،۰۰۰	5	7	10
تعیین وضعیت تنش در منطقه	ریال ۲،۰۰۰،۰۰۰	1	2	3
پردازش داده هاي ژئوتکنیکي	ریال ۷،۰۰۰،۰۰۰	5	7	9
ارزیابي ژئوتکنیکي	**ریال ۹،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰**			
ارزیابي و پیش بیني نشست زمین	ریال ۲،۰۰۰،۰۰۰	1	2	3
تعیین خواص ژئومکانیکي سنگها	ریال ۲،۰۰۰،۰۰۰	1	2	5
مطالعات ارزیابي پایداري	ریال ۵،۰۰۰،۰۰۰	3	5	7
طراحي مقدماتي فضاهاي معدني	ریال ۷،۰۰۰،۰۰۰	5	7	10
طراحي فضاهاي معدني	ریال ۲۸،۰۰۰،۰۰۰	21	28	35
براورد پرسنل مورد نیاز	ریال ۱،۰۰۰،۰۰۰	1	1	2
براورد هزینه هاي بخش ژئوتکنیک	ریال ۲،۰۰۰،۰۰۰	1	2	3
شناسایي ریسکهاي بخش ژئوتکنیک	ریال ۲،۰۰۰،۰۰۰	2	2	3
گزارش ژئوتکنیک	ریال ۷،۰۰۰،۰۰۰	5	7	9

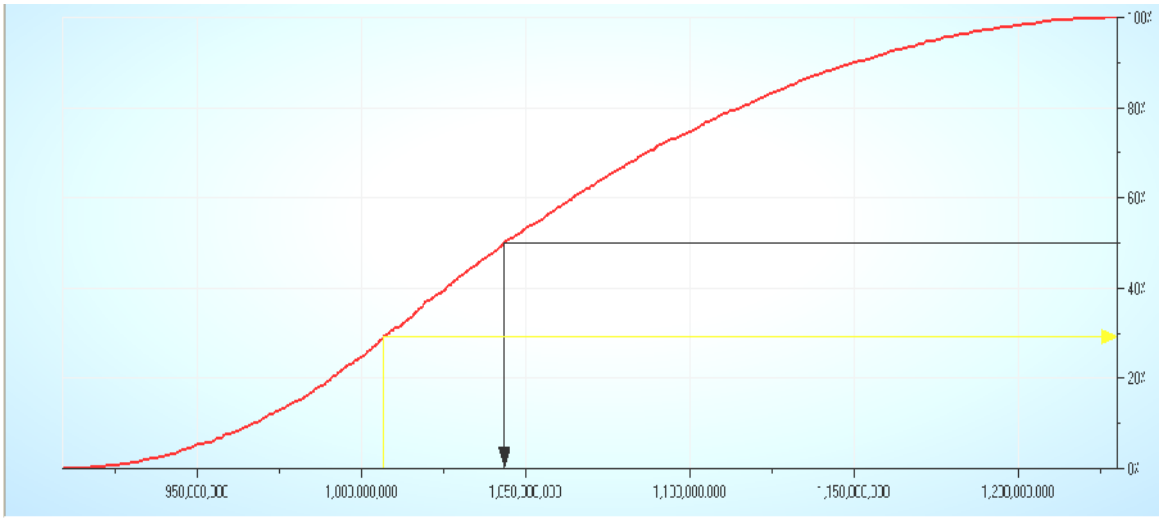
جدول ۲. مقادیر در نظر گرفته شده احتمالی زمان و هزینه فعالیت‌ها

در این تحقیق هدف، برآورد زمان و هزینه احتمالی پروژه با در نظر گرفتن عدم‌قطعیت است. نتیجه خروجی شبیه‌سازی مونت کارلو برای تخمین مدت زمان و هزینه انجام کار در شکل ۳ و شکل ۴ نشان داده شده است. شکل ۳ نشان دهنده نمودار انباشتی(تجمعی) زمان پروژه است و بیانگر میزان احتمال اتمام پروژه در زمان‌های مشخص است. بدون در نظر گرفتن عدم‌قطعیت زمانی، برآورد کل زمان اتمام پروژه حدود ۲۱۲ روز خواهد بود، در حالی‌که با در نظر گرفتن عدم‌قطعیت زمانی در برآورد، زمان اتمام پروژه با احتمال ۹۵ درصد ۲۹۱ روز خواهد بود. این بدان معناست که درنظر گرفتن عدم قطعیت، زمان نهایی اتمام پروژه را ۷۹ روز بیشتر برآورد می‌کند.

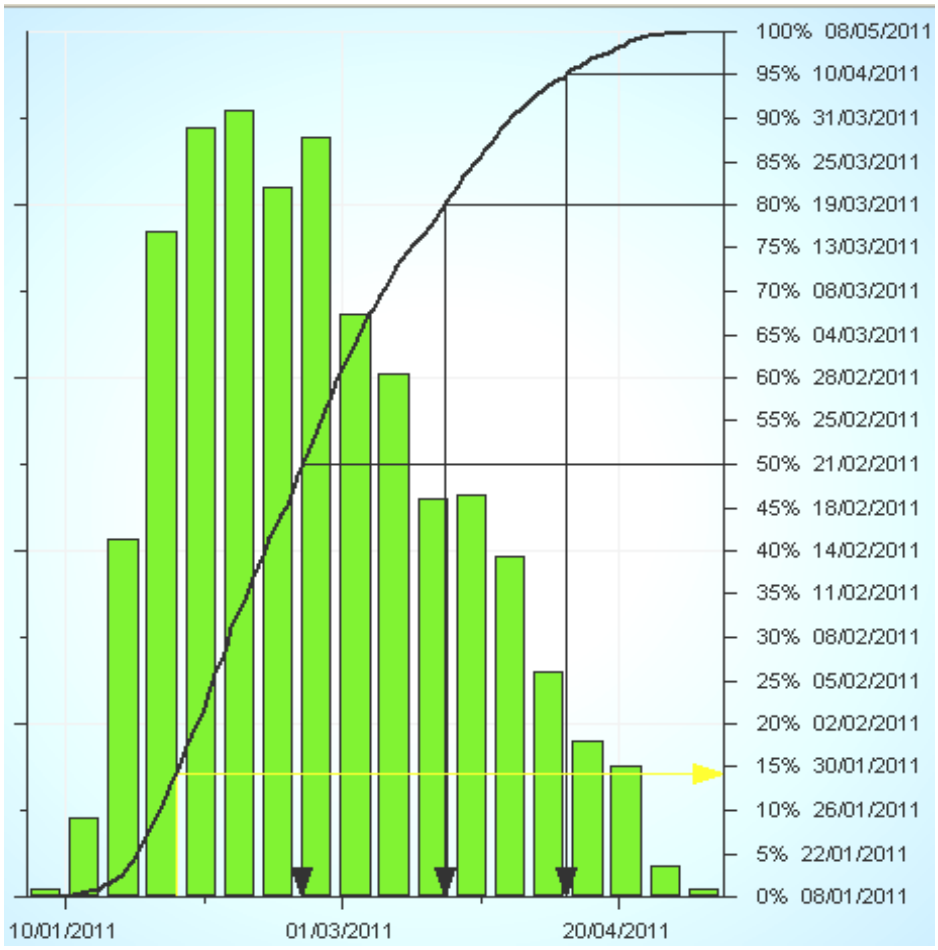


شکل ۳. نمودار زمان انباشتی فعالیت‌های بخش مطالعه ژئوتکنیک (محور عمودی: احتمال تجمعی. محور افقی: تاریخ (زمان))

شکل ۴ نشان‌دهنده نمودار انباشتی هزینه‌های فعالیت‌های لازم در بخش مطالعات ژئوتکنیک از بخش‌های مطالعه امکان‌سنجی پروژه‌های معدنی است. به عنوان مثال با توجه به عدم‌قطعیت لحاظ شده احتمال رسیدن به هزینه‌های قطعی پروژه (برآورد اولیه، ۱۰۰۷ میلیون ریال) حدود ۳۰ درصد خواهد بود از این نمودار فهمیده می‌شود که هزینه پروژه با ریسک ۵ درصد، حدود ۱۲۰۸ میلیون ریال خواهد بود، در حالی‌که میزان هزینه بدون در نظر گرفتن عدم‌قطعیت، حدود ۱۰۰۷میلیون ریال می‌باشد. با این توصیف، با لحاظ عدم‌قطعیت هزینه‌ای، میزان برآورد هزینه کل پروژه با ریسک ۵ درصد حدود ۲۰۰ میلیون ریال بیش از مقدار قطعی خواهد شد. برای محاسبات از ۲۰۰۰ بار تکرار برای شبیه سازی در نرم‌افزار استفاده شده است. نتیجه‌ی تحلیل نرم افزار به صورت مدت زمان و هزینه احتمالی مورد نیاز برای اتمام فعالیت‌ها برای سطوح اعتماد ۱۰۰، ۸۰ و ۵۰ درصد در شکل ۵ و شکل ۶ آورده شده است.



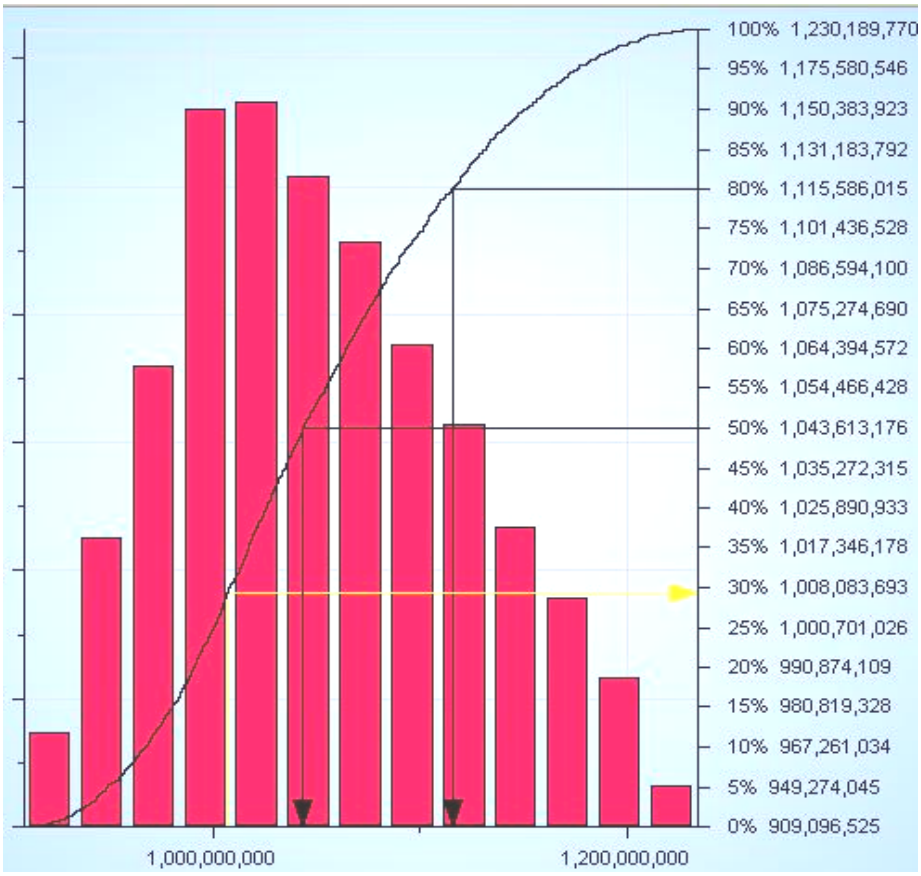
شکل ۴. نمودار هزینه انباشتی انجام فعالیت‌های بخش مطالعات ژئوتکنیک (محور عمودی: احتمال تجمعی. محور افقی: هزینه (ریال))



شکل ۵. تحلیل احتمالی زمان انجام فعالیت‌ها (محور عمودی: فراوانی تجمعی. محور افقی: تاریخ (زمان))

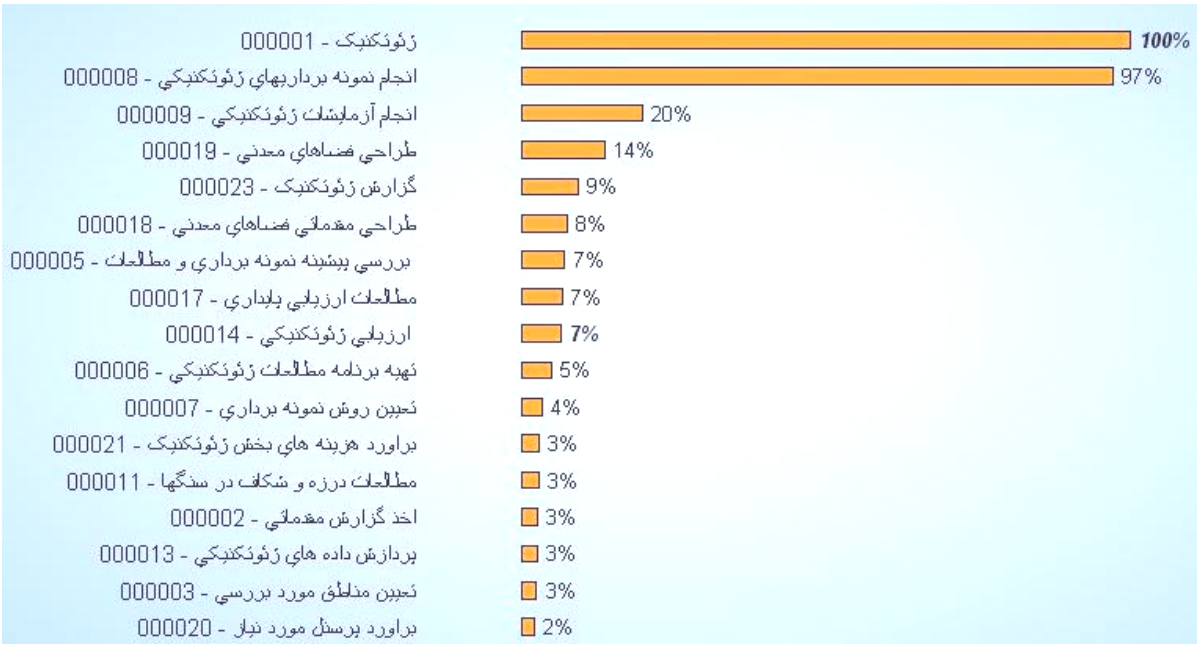
خروجی شبیه سازی مونت کارلو بیانگر فراوانی مقادیر مختلف در اثر رخداد حالات گوناگون عدم قطعیت‌هاست. در اجرای مختلف شبیه‌سازی، بیشترین فراوانی در محدوده‌ای مشخص از مقادیر مطلوبیت واقع می‌شود. آنچه در شکل ۵ مشاهده می‌شود، بیانگر آن است که به عنوان مثال به احتمال ۸۰ درصد کل کار بخش مطالعات ژئوتکنیک در ۲۶۲ روز یا کمتر تکمیل می‌شود و احتمال اینکه در ۲۱۲ روز (تخمین اولیه) تکمیل شود کمتر از ۱۵ درصد می‌باشد. محور قائم سمت راست نشان‌دهنده احتمال پایان کار در یک مدت زمان مشخص است که این مدت در کنار درصد احتمال پایان پروژه درج شده است. در

شکل ۶ همین نتایج برای تحلیل احتمالاتی هزینه‌های انجام مطالعه آورده شده است.

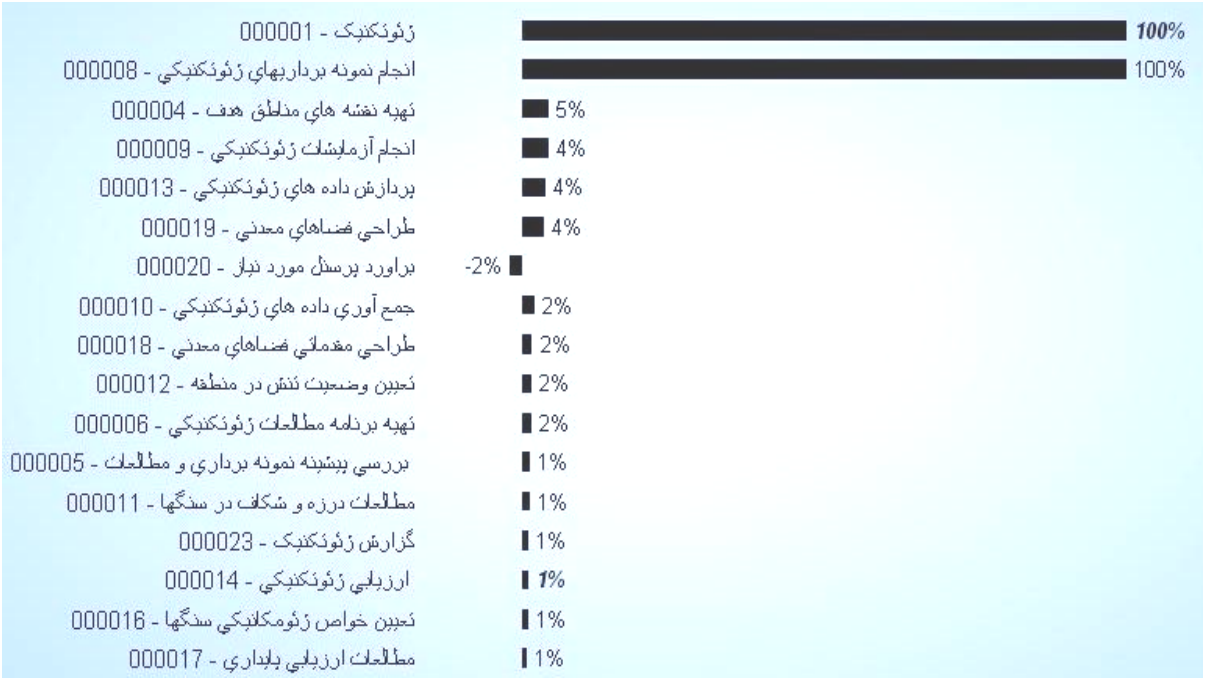


شکل ۶. تحلیل احتمالی هزینه انجام فعالیت‌ها (محور عمودی: فراوانی تجمعی. محور افقی: هزینه (ریال))

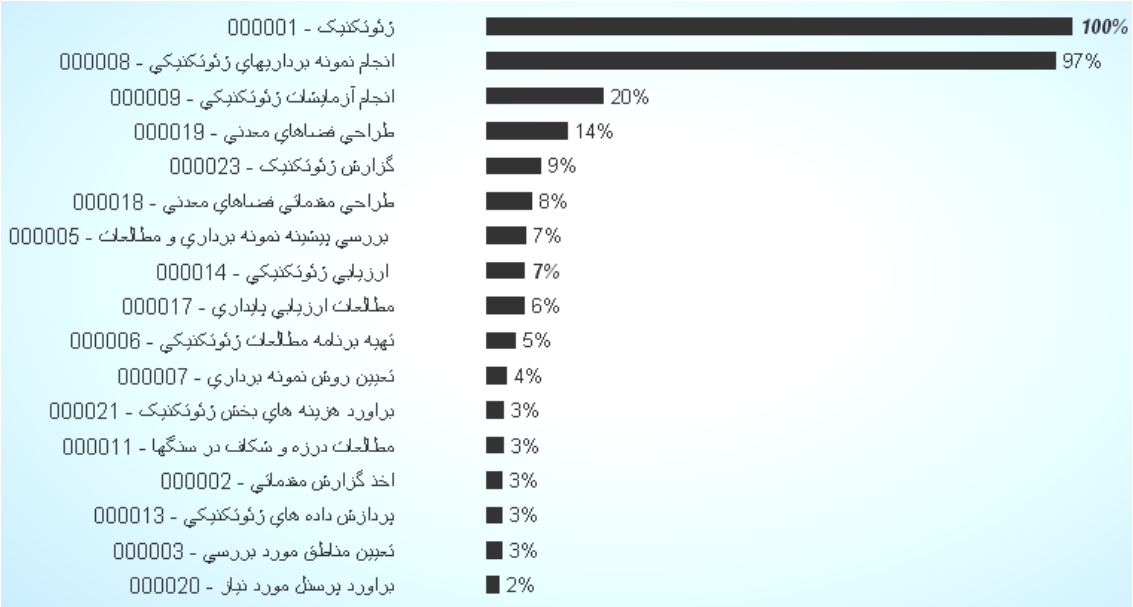
از دیگر نماگرهایی که در تحلیل اثرات عدم‌قطعیت‌ها مورد بررسی قرار گرفتند، نمودارهای تحلیل حساسیت زمان و هزینه می‌باشند. شکل ۷ نمودار تحلیل حساسیت زمان انجام مطالعات ژئوتکنیک است که نشان‌دهنده همبستگی بین زمان انجام هر فعالیت با زمان انجام کل پروژه است. از این نمودار فهمیده می‌شود که بیشترین میزان همبستگی بین زمان انجام پروژه با زمان انجام نمونه برداری‌های ژئوتکنیکی می‌باشد. از این رو هر گونه تغییر در زمان این فعالیت، می‌تواند تغییرات قابل توجهی در زمان برآوردی کل پروژه داشته باشد و این به معنای بیشترین حساسیت زمان پروژه به بروز عدم‌قطعیت زمانی در زمان برآوردی این فعالیت می‌باشد. شکل ۸ نمودار تحلیل حساسیت هزینه انجام مطالعات ژئوتکنیک است که نشان‌دهنده همبستگی بین هزینه انجام هر فعالیت با هزینه انجام کل پروژه است. این نمودار بیانگر تحلیل حساسیت بر حسب درصد است که همانگونه که دیده می‌شود، همبستگی بین هزینه انجام نمونه‌برداری‌های ژئوتکنیکی با هزینه اتمام پروژه ۱۰۰ درصد است. یعنی تغییرات هزینه اتمام پروژه با هزینه انجام نمونه‌برداری‌ها، همبستگی کامل دارد. از این‌رو، ریسک ناشی از بروز عدم‌قطعیت در هزینه برآوردی این فعالیت بسیار بالا ارزیابی می‌گردد و بنابراین مستلزم بیشترین توجه و ارزیابی‌های دقیق‌تر است. از جمله نماگرهایی که به تحلیل ما کمک خواهد کرد، نماگر تعیین‌کنندگی یا وخامت زمانی(Duration Cruciality) می‌باشد. این عدد، از حاصل ضرب حساسیت زمانی (Duration Sensitivity) در نماگر بحرانی بودن (Criticality Index) به دست می‌آید و بیانگر میزان شدت تأثیر هر فعالیت بر کل زمان پروژه می‌باشد. مقادیر این نماگر در شکل ۹ نشان داده شده است. نماگر دیگری که در این جا مورد بررسی قرار گرفته است، نماگر حساسیت زمان‌بندی (Schedule Sensitivity Index) فعالیت‌ها می‌باشد که برابر حاصلضرب نماگر بحرانی بودن یک فعالیت در تغییرپذیری (Variance) آن فعالیت به کل پروژه، می‌باشد. این نماگر بیانگر میزان تأثیر عدم‌قطعیت زمانی هر فعالیت بر زمان‌بندی(Schedule) پروژه می‌باشد. از این جهت انجام نمونه‌برداری ژئوتکنیکی با بیشترین میزان عدم‌قطعیت زمانی و بالاترین نماگر بحرانی بودن، بیشترین تأثیر را بر زمان‌بندی پروژه (با بیشترین نماگر حساسیت زمان‌بندی) خواهد داشت. مقدار این نماگر در شکل ۱۰ آورده شده است.



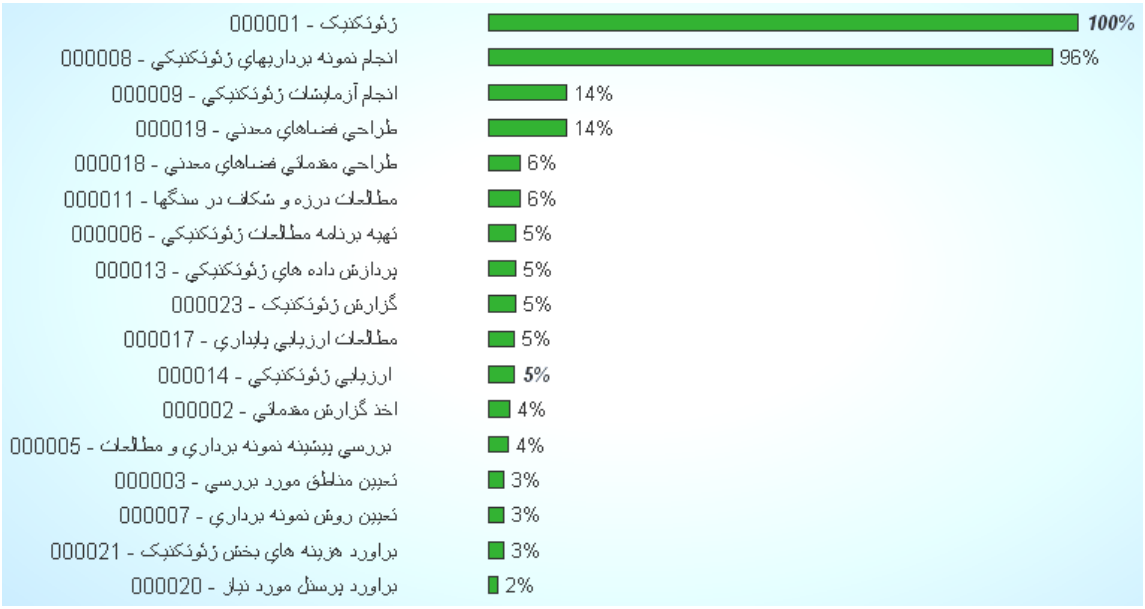
شکل ۷. نمودار تحلیل حساسیت زمان انجام مطالعات ژئوتکنیک



شکل ۸. نمودار تحلیل حساسیت هزینه انجام مطالعات ژئوتکنیک



شکل ۹. نماگر تعیین کنندگی یا وخامت زمانی هر فعالیت



شکل ۱۰. نماگر حساسیت زمان‌بندی فعالیت‌ها

با توجه به تحلیل‌های صورت گرفته و بررسی اثرات عدم‌قطعیت‌های زمان و هزینه در جریان مطالعات امکان‌سنجی چنین بر می‌آید که عدم لحاظ این عدم‌قطعیت‌ها به براوردهایی غیر منطقی منجر خواهد شد که ممکن است روند انجام این مطالعات را با مشکلات جدی مواجه سازد؛ از این‌رو بررسی منابع و اثرات عدم قطعیت‌های زمان و هزینه در روند طراحی و اجرای این مطالعات ضروری است.

در این تحقیق، با هدف ارائه یک رویکرد به بررسی اثرات این عدم‌قطعیت‌ها در یکی از بخش‌های مطالعات امکان‌سنجی پرداخته‌ایم و با توجه به اینکه این روند در دیگر بخش‌ها نیز عمومیت دارد، نیز می‌توان با رویکردی مشابه سایر بخش‌ها را تحلیل و بررسی کرد. این تحلیل در آنجا اهمیت می‌یابد که بدانیم که عدم اجرای درست و به موقع این مطالعات به معنای از دست رفتن فرصت‌های سرمایه‌گذاری در پروژه‌های مورد نظر خواهد بود و هرگونه برآورد نادرست در هزینه و به ویژه زمان انجام این مطالعات تأثیری مستقیم بر کل پروژه معدنکاری مورد بررسی خواهد داشت. آنچه از نتایج تحلیل مشخص می‌شود آن است که در نظر گرفتن عدم‌قطعیت‌ها، هم در برآورد زمان و هم در برآورد هزینه‌های انجام مطالعات امکان‌سنجی نتایج متفاوتی از آنچه که بدون لحاظ این عدم

قطعیت‌ها به دست می‌داد، حاصل خواهد شد. در نتیجه بررسی و تحلیل اثرات عدم‌قطعیت‌های زمان و هزینه در روند اجرای این مطالعات، ضمن ارائه نتایج واقع‌بینانه‌تر، امکان تحلیل و مدیریت ریسک‌های ناشی از این عدم‌قطعیت‌ها را نیز فراهم خواهد کرد.

۵- نتیجه گیری

عدم قطعیت‌ها از جمله مسائلی هستند که در تمام مراحل عمر پروژه‌های معدنی با آن‌ها همراه می‌باشند. مطالعات امکان‌سنجی به عنوان یکی از بخش‌های کلیدی در طول عمر این پروژه‌ها، ضمن آنکه فرایندی زمان‌بر و هزینه‌بر می‌باشند، همواره تحت تأثیر عدم قطعیت‌های فراوانی از جمله عدم قطعیت‌های زمانی و هزینه‌ای قرار دارند. این مطالعات خود از بخش‌های گوناگونی تشکیل می‌شوند، که به‌طور مشابهی از این عدم قطعیت‌ها متأثر خواهند بود. برای زمان‌بندی و برآورد هزینه پروژه‌هایی که دارای عدم‌قطعیت می‌باشند، روش‌های احتمالی، به دلیل تخصیص بازه ای از اعداد به زمان و هزینه‌های انجام فعالیت‌ها، به جای این‌که نتیجه را به‌صورت یک عدد قطعی گزارش کنند، به‌صورت بازه‌ای از اعداد گزارش می‌نمایند و در نتیجه، برآوردها و تحلیل‌های بهتری نسبت روش‌های قطعی به‌دست می‌دهند. به همین منظور، شبیه‌سازی مونت کارلو به‌عنوان ابزاری توانمند و قابل قبول جهت در نظر گرفتن مقادیر احتمالی برای پارامترها، مورد استفاده قرار می‌گیرد که در بررسی عدم قطعیت‌ها و تحلیل ریسک‌های پروژه از اهمیت فراوانی برخوردار است. در تحقیق حاضر، اثرات عدم قطعیت‌های زمان و هزینه در طول اجرای مطالعات امکان‌سنجی در پروژه‌های معدنی و تحلیل ریسک‌های ناشی از این عدم‌قطعیت‌ها مورد بررسی قرار گرفت. برای تبیین نقش این عدم قطعیت‌ها به کمک شبیه‌سازی مونت کارلو به بررسی اثرات آنها در زمان‌بندی و برآورد هزینه مطالعات امکان‌سنجی پروژه‌های معدنی پرداخته شد و در این راه از نرم افزار Pertmaster کمک گرفته شد. نتایج تحقیق، ضمن تأیید اثر قابل توجه عدم قطعیت‌های زمان و هزینه بر اجرا و تکمیل مطالعات، بیانگر آن است که مقادیر به دست آمده از روش احتمالاتی که بازه‌ای از اعداد را به عنوان نتیجه براورد زمان و هزینه نشان می‌دهد به واقعیت نزدیک‌تر می‌باشند.

منابع

[۱]. حسنی پاک، ع.ا.، خالصی م.ر؛ (۱۳۸۲)؛ **مدیریت خطا و ریسک در اکتشاف**؛ تهران: موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه تهران.

[2]. Perminova O.; Gustafsson M.; Wikstrom K.; 2008; *Defining uncertainty in projects – a new perspective*; International Journal of Project Management 26 ;pp. 73–79

[3]. Snowden, D.V., Glacken I and Noppé, M A.; 2002; *Dealing with Demands of Technical Variability and Uncertainty along the Mine Value Chain*; In Proceedings, Value Tracking Symposium. Australasian Institute of Mining and Metallurgy; pp. 93-100.

[4] Dominy S C, Noppé M A And Annels A E.; 2002; *Errors And Uncertainty In Mineral Resource And Ore Reserve Estimation: The Importance Of Getting It Right*, Explor. Mining Geol.,; Vol. 11, Nos. 1-4, pp. 77–98.

[5] Kennedy B A.; 1990; *Surface Mining*, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Edition: 2; Published by SME; pp.1194.

[6] Project Management Institute. A Guide to the Project Management Book of Knowledge (PMBOK); 2004; 3rd ed. Newtown Square, PA: Project Management Institute.

[7] Chapman C, Ward S.; 2003; *transforming project risk management into project uncertainty management*. Int J Project Manag;vol. 21; no.2; pp.97–105.

[8] Green SD.; 2001; *Towards an integrated script for risk and value management*. Project Manag; vol.1no.7; pp.52–80.

[9] Jaafari A.; 2001; *Management of risks, uncertainties and opportunities on projects: time for a fundamental shift*; Int J Project Manag.; vol. 19; no.2; pp.89–101.

[۱۰] . بصیری م. ح.، صیادی ا. ر.، حسین پور سجیدان، م. و حیاتی م.؛ (۱۳۸۸)؛ **بررسی جایگاه و چگونگی فرایند مدیریت ریسک در مطالعات امکان‌سنجی پروژه‌های معدنی**؛ سومین کنفرانس مهندسی معدن ایران.

[11] Kazakidis V.N., Scoble M.; 2002; *Planning for flexibility in underground mine production systems*, Technical paper, SME Publications.

[12] Dunbar, W.S., Dessureault, S., and Scoble, M.; 1998; *Modeling of flexible mining systems*; 100th Annual General Meeting, Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, Montreal, Quebec; 8 pp.

[13] Smith, L.D.; 1995; *Discount rates and risk assessment in mineral project evaluation*; Canadian Institute of Mining and Metallurgy Bulletin; vol.88, No. 989, pp. 34-43.

[۱۴]. حسین پور سجیدان، م. ؛ ۱۳۸۹؛ **" ارائه مدلی جهت انجام مطالعات امکان‌سنجی پروژه‌های معدنی"**، پایان نامه کارشناسی ارشد؛ دانشگاه تربیت مدرس.

[15]. Noort D. J.; Adams C.; 2006; *Effective mining project management system*, International Mine Management Conference, Melbourne, pp.16 - 18.
[16] Lee, T.D.; 1984; *Planning and Mine Feasibility Studies-An Owners Perspective*, In: Proceedings of the 1984 NWMA short course" mine feasibility-concept to completion, Spokane, WA.
[17] Ballard Ja.; 1983; *Feasibility Studies in the Development of Mining Projects*, the Aus.I.M.M. Sydney Branch, Project Development Symposium.
[18] Vallée, M.; 2000; *Mineral resource + engineering, economic and legal feasibility = ore reserve*; CIM Bulletin, No.1038, pp.53-61.
[۱۹]. صیادی ا. ر. ، بصیری م. ح.، حسین پور سجیدان، م. و حیاتی م؛ ۱۳۸۸؛ **تحلیل حساسیت و ارزیابی ریسک پروژه‌های معدنی با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو**؛ بیست و هفتمین گردهمایی علوم زمین؛ تهران.

زیرنویس‌ها

[1] Internal Risks
[2] External Risks
[3] Conceptual Study
[4] Pre Feasibility Study
[5] Feasibility Study
[6] Final Feasibility Study
[7] Work Breakdown Structure (WBS)
[8] Monte Carlo Simulation