دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
بوم‌شناسی جنگل‌های ایران

شبیه‌سازی زمان و هزینه ساخت جاده‌های جنگلی با استفاده از آنالیز مونت‌کارلو

ایمان پژوهان[۱]، امید فتحی‌زاده[۲]، ابوالقاسم کامکار روحانی[۳]، جواد وحیدی[۴] و اکبر نجفی[۵]

۱- استادیار دانشکده منابع طبیعی و محیطزیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران
۲- استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر، دانشگاه تبریز، اهر، ایران
۳- دانشیار دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران
۴- استادیار دانشکده ریاضیات، دانشگاه علم و صنعت، ایران
۵- دانشیار دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران، (نویسنده مسوول: a.najafi@modares.ac.ir)
تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۰۳
صفحه: ۱۲۸ تا ۱۳۵

چکیده

برآورد زمان و هزینه پروژه، از موضوعات و چالش‌های پیش‌روی کارفرمایان و پیمانکاران به‌ویژه در بخش جنگل می‌باشد. یکی از کارآمدترین ابزارهایی که در پیش‌بینی‌های احتمالی و آنالیز ریسک از آن استفاده می‌شود، آنالیز مونت‌کارلو است که بر اساس تولید اعداد تصادفی مقدار تک‌تک اجزاء یک مجموعه را محاسبه و تأثیر آن‌ها را بر کل مجموعه تعیین می‌کند. در نگرش سنتی به کنترل پروژه که در اکثر پروژه‌های ملی همچنان حاکم است، برآورد زمان احتمالی و بودجه احتمالی پروژه هنوز برای مدیران و کارشناسان تا حدودی ناشناخته است. در این پژوهش تلاش شد با یک مطالعه موردی و با استفاده از قابلیت‌های نرم‌افزاری (Primavera Pertmaster)، الگویی برای در نظر گرفتن احتمال و ریسک در برآورد زمان معین و هزینه تکمیل پروژه به‌صورت کاربردی در مناطق جنگلی ارائه شود. نتایج توزیع احتمال هزینه نشان داد که احتمال دستیابی به بودجه پیش‌بینی شده با توجه به شبیه‌سازی مونت‌کارلو در حدود ۱۳ درصد بوده است. این در حالی است که اختلاف بین مقدار بیشینه و کمینه از ۳۹ تا ۶۵ میلیون تومان متغیر بوده است؛ که این نتیجه بیانگر ریسک بالای پروژه عملیات خاکی می‌باشد. ۵۷ میلیون تومان هزینه واقعی در منطقه مورد مطالعه در نمودار توزیع هزینه، دارای احتمال برآورد ۹۰ درصد بوده است؛ که این نتیجه نیز تأییدی بر ریسک‌زا بودن پروژه ساخت جاده دارد. درنهایت روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو با پیش‌بینی موفق ریسک انجام پروژه عملیات خاکی نشان داد که راهکار مطمئنی پیش روی پیمانکاران و طراحان جاده‌های جنگلی به‌منظور مقابله با طبعات منفی پروژه وجود دارد. نتایج به‌دست آمده از این تحقیق می‌تواند به‌عنوان راهنمایی در مدیریت بهینه مناطق جنگلی بخصوص جاده‌های جنگلی در عملیات آینده استفاده گردد.

واژه‌های کلیدی: شبیه‌سازی، PERT، ریسک، عملیات خاکی، توزیع احتمالی

مقدمه

ساخت جاده‌های جنگلی به علت هزینه‌های سنگین داری حساسیت زیادی از نظر اقتصادی و از طرف دیگر به دلیل اثرات منفی بر محیطزیست و حیات‌وحش، از دیدگاه زیست‌محیطی و افکار عمومی بسیار مورد توجه هستند (۱۶).

زمان، هزینه و کیفیت به عنوان سه معیار اصلی اجرای هر پروژه می‌باشند (۴). دستیابی به روشی جهت پیش‌بینی صحیح زمان و هزینه واقعی، به متصدیان و مدیران پروژه کمک خواهد نمود تا برنامه‌ریزی مناسبی را برای انواع منابع در نظر بگیرند و از صرف هزینه‌های هنگفت ناشی از عدم برنامه‌ریزی رهایی یابند. ساخت جاده‌های جنگلی اغلب مواقع با شرایط پیش‌بینی نشده‌ای مواجه می‌شود که درنهایت منجر به افزایش زمان تخمینی و هزینه پروژه می‌گردد، دلیل این امر را می‌توان به وجود پارامترهای متعدد ناشناخته در چنین پروژه‌هایی و نیز طبیعت غیرقابل پیش‌بینی مناطق جنگلی دانست. بنابراین عدم برنامه‌ریزی زمانی دقیق نه تنها باعث افزایش هزینه‌ها می‌گردد بلکه عملیات بخش‌های دیگر که وابسته به زمان هستند (خروج چوب‌الات از پارسل‌های قطع) را نیز تحت شعاع قرار داده و مشکلاتی را برای مدیران جنگلی به‌بار می‌آورد. به دلیل رابطه مستقیم زمان و هزینه، با طولانی شدن اجرای پروژه هزینه‌ها افزایش می‌یابد (۱۱). تاخیر در اجرای پروژه‌ها، افزایش هزینه‌ها، کاهش اثربخشی، پایین آمدن کیفیت کار و متعاقباً صرف بودجه، پرداخت تعدیل‌ها، مابه‌التفاوت‌ها جهت جبران خسارات ناشی از این تاخیر را به دنبال خواهد داشت. از آنجا که جهت پیش‌بینی هزینه و زمان ساخت جاده امکان ارزیابی هم‌زمان مجموعه‌ای از متغیرها به‌طور دستی وجود ندارد، طراحان جاده می‌بایست تکنیک‌های شبیه‌سازی را برای پیش‌بینی و مدیریت هزینه و زمان شبکه جاده پیدا کنند (۹). روش‌های برآورد هزینه در پروژه‌های ساخت و ساز را می‌توان در دو طبقه تکنیک‌های کمی و کیفی طبقه‌بندی نمود (۱۵)؛ که در تکنیک‌های کیفی برآورد هزینه از تجربیات گذشته و روش‌های مهندسی برای تخمین نسبی هزینه‌های پروژه استفاده می‌شود (۱۷). از طرفی دیگر بسیاری از پژوهش‌ها و تجزیه و تحلیل‌های فرآیندهای مهندسی به روش‌های تصادفی به‌ویژه روش مونت‌کارلو ارائه و انجام شده است. روش مونت‌کارلو درواقع جنبه کاربردی شبیه‌سازی تصادفی با توجه به گسترش و رشد و پیشرفت رایانه‌هاست. این روش‌ها با انجام تکرار بسیار زیاد الگوریتم‌ها و محاسبات رایانه‌ای همراه‌اند، جایی‌که انجام آزمایش‌ها و محاسبات نظری بسیار پیچیده یا پرهزینه است. یافته‌های زیادی در ارتباط با مدیریت ریسک پروژه وجود دارد، لی و همکاران (۱۳) روش ارزیابی ریسک پروژه با استفاده از شبکه فازی را طرح نمودند که این روش انعکاس بهتری را از شرایط پروژه را ارائه داد. اروگا و همکاران (۲) از قابلیت الگوریتم مونت‌کارلو در برآورد حجم عملیات

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.15.13.6]
[DOI: 10.52547/ifej.8.15.128]

خاکی در فواصل مختلف بین مقاطع عرضی استفاده نمودند. لیو و وانگ (۱۴) الگوریتم جابجایی ریسک زمان‌های مدیریتی برای محاسبه مقدار کل ریسک زمان مدیریت پروژه‌های ادغامی ارائه دادند که به‌طور کافی سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری را فراهم نمود. ژائو و همکاران (۲۳) مدلی را با ترکیب شبکه عصبی از نوع انتشار برگشتی، الگوریتم ژنتیک، آنالیز مؤلفه‌های اصلی را به‌منظور پیش‌بینی زمان ریسک پروژه ایجاد کردند. همان‌طور که مشخص است این مطالعات بر اساس روش‌های ریاضی موجود مانند تصمیم فازی، آنالیز مولفه‌های اصلی، شبکه عصبی انتشار برگشتی و غیره استفاده شده است، ولی بر طبق نظر اکثر محققین این روش‌ها علی‌رغم موفق بودن پیچیدگی‌های زیادی در طراحی دارند. بی و همکاران (۳) یک روش جدید برای برآورد ریسک بر اساس روش‌های قبلی و شبیه‌سازی مونت‌کارلو ارائه دادند. یافته‌های آنان که حاصل از اجرای این روش بر روی یک پروژه بود حاکی از موفقیت این روش است. در مطالعه‌ای دیگر نیز که در داخل کشور انجام گرفته است؛ شهبازنیا و طالقانی (۲۰) زمان و هزینه پروژه ساخت بزرگراه را از طریق روش مونت‌کارلو جهت کاهش ریسک بررسی کردند. الاشول و چئو (۱) استفاده از روش‌های شبیه سازی برای مدیریت هزینه و اجرای پروژهای ساخت در مالزی را مورد بررسی قرار دادند. اسا (۵) از شبیه‌سازی مونت کارلو در جهت برآورد حجم عملیات خاکی در چیدمان‌های مختلف عمودی و افقی جاده استفاده کرد. همان‌طور که مشهود است تاکنون مطالعه‌ای در ارتباط با مدیریت ریسک ساخت جاده‌های جنگلی انجام نگرفته‌است و این تحقیق از اولین تلاش‌ها در این ارتباط می‌باشد.

هزینه پروژه جاده‌سازی عاملی مهم و تعیین‌کننده در ارزیابی گزینه‌ای شبکه جاده به‌حساب می‌آید (۲۲). پیش‌بینی هزینه‌های ساخت جاده به‌دلیل تنوع عوارض زمینی، خاک، برون‌زدگی‌های سنگی، ماشین‌آلات مورد استفاده، ویژگی‌های خاص طراحی و عوامل دیگر، مشکل و پیچیده است (۱۲،۱۰). لذا نیاز به‌روش‌های برآورد هزینه است که می‌تواند در ارتباط با دیگر مدل‌های طراحی در سطوح مختلف جنگلی استفاده شود. در حالت ایده‌ال، مدل‌های هزینه جاده باید به‌گونه‌ای توسعه یابند که بتوان آن‌ها را به‌منظور برآورد هزینه‌ها و همچنین ترکیب با دیگر الگوریتم‌ها به‌عنوان یک فناوری مدیریت جنگل به‌کار برد. بدین‌منظور از روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو با پیش‌بینی موفق ریسک انجام پروژه عملیات خاکی برای اولین بار در جنگل‌های هیرکانی استفاده می‌گردد تا بتوان راهکار مطمئنی پیش‌روی پیمانکاران و طراحان جاده‌های جنگلی به‌منظور مقابله با تبعات منفی پروژه قرار داد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در جاده‌ای پیش‌بینی‌شده به طول ۱ کیلومتر در جنگل‌های سری چهار باباکوه سیاهکل در استان گیلان اجرا و پیاده‌سازی شد (شکل ۱). جاده مورد بررسی از لحاظ مشخصات هندسی و فنی از نوع جاده‌های درجه‌دو جنگلی و پیش‌بینی شده برای ساخت بوده است. با توجه به خصوصیات زمین‌شناسی، شیب‌دار بودن منطقه و برون‌زدگی‌های سنگی پیش‌بینی شد که سهم صخره سنگ در خاک زیرسطحی بسیار بالا می‌باشد (۶). دامنه ارتفاعی منطقه بین ۴۵۰ تا ۷۰۰ متر و شیب متوسط منطقه در بخش‌های مختلف بین ۸ تا ۶۰ درصد هست. تمامی درختان موجود در عرض جاده قطع و پس از تبدیل از منطقه خارج شده بودند ولی با این وجود تعداد معدودی از تنه‌ها در منطقه باقی‌مانده بودند که توسط ماشین‌آلات مورد استفاده جهت خاک‌برداری در حین ساخت جابجا شدند. عرض متوسط جاده ۵ متر بوده است. طبق داده‌های به‌دست آمده از ایستگاه‌های هواشناسی اقلیم منطقه مرطوب می‌باشد. عملیات ساخت جاده در تابستان ۱۳۹۴ آغاز شد و در مهرماه ۱۳۹۴ به اتمام رسید، کل حجم عملیات خاکی ۱۷۴۰۰ مترمکعب (۳۵ درصد حجم صخره سنگ) برآورد شد به‌این منظور از ماشین‌های بیل مکانیکی (DX230solar برند Doosan) و بولدوزر (کوماتسو D65) استفاده شد.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.15.13.6]
[DOI: 10.52547/ifej.8.15.128]

خاکی در فواصل مختلف بین مقاطع عرضی استفاده نمودند. لیو و وانگ (۱۴) الگوریتم جابجایی ریسک زمان‌های مدیریتی برای محاسبه مقدار کل ریسک زمان مدیریت پروژه‌های ادغامی ارائه دادند که به‌طور کافی سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری را فراهم نمود. ژائو و همکاران (۲۳) مدلی را با ترکیب شبکه عصبی از نوع انتشار برگشتی، الگوریتم ژنتیک، آنالیز مؤلفه‌های اصلی را به‌منظور پیش‌بینی زمان ریسک پروژه ایجاد کردند. همان‌طور که مشخص است این مطالعات بر اساس روش‌های ریاضی موجود مانند تصمیم فازی، آنالیز مولفه‌های اصلی، شبکه عصبی انتشار برگشتی و غیره استفاده شده است، ولی بر طبق نظر اکثر محققین این روش‌ها علی‌رغم موفق بودن پیچیدگی‌های زیادی در طراحی دارند. بی و همکاران (۳) یک روش جدید برای برآورد ریسک بر اساس روش‌های قبلی و شبیه‌سازی مونت‌کارلو ارائه دادند. یافته‌های آنان که حاصل از اجرای این روش بر روی یک پروژه بود حاکی از موفقیت این روش است. در مطالعه‌ای دیگر نیز که در داخل کشور انجام گرفته است؛ شهبازنیا و طالقانی (۲۰) زمان و هزینه پروژه ساخت بزرگراه را از طریق روش مونت‌کارلو جهت کاهش ریسک بررسی کردند. الاشول و چئو (۱) استفاده از روش‌های شبیه سازی برای مدیریت هزینه و اجرای پروژهای ساخت در مالزی را مورد بررسی قرار دادند. اسا (۵) از شبیه‌سازی مونت کارلو در جهت برآورد حجم عملیات خاکی در چیدمان‌های مختلف عمودی و افقی جاده استفاده کرد. همان‌طور که مشهود است تاکنون مطالعه‌ای در ارتباط با مدیریت ریسک ساخت جاده‌های جنگلی انجام نگرفته‌است و این تحقیق از اولین تلاش‌ها در این ارتباط می‌باشد.

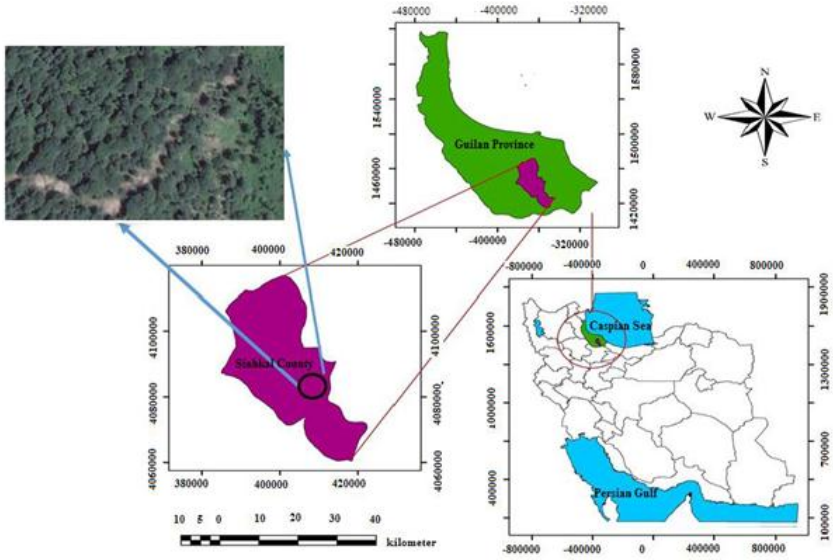
هزینه پروژه جاده‌سازی عاملی مهم و تعیین‌کننده در ارزیابی گزینه‌ای شبکه جاده به‌حساب می‌آید (۲۲). پیش‌بینی هزینه‌های ساخت جاده به‌دلیل تنوع عوارض زمینی، خاک، برون‌زدگی‌های سنگی، ماشین‌آلات مورد استفاده، ویژگی‌های خاص طراحی و عوامل دیگر، مشکل و پیچیده است (۱۲،۱۰). لذا نیاز به‌روش‌های برآورد هزینه است که می‌تواند در ارتباط با دیگر مدل‌های طراحی در سطوح مختلف جنگلی استفاده شود. در حالت ایده‌ال، مدل‌های هزینه جاده باید به‌گونه‌ای توسعه یابند که بتوان آن‌ها را به‌منظور برآورد هزینه‌ها و همچنین ترکیب با دیگر الگوریتم‌ها به‌عنوان یک فناوری مدیریت جنگل به‌کار برد. بدین‌منظور از روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو با پیش‌بینی موفق ریسک انجام پروژه عملیات خاکی برای اولین بار در جنگل‌های هیرکانی استفاده می‌گردد تا بتوان راهکار مطمئنی پیش‌روی پیمانکاران و طراحان جاده‌های جنگلی به‌منظور مقابله با تبعات منفی پروژه قرار داد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در جاده‌ای پیش‌بینی‌شده به طول ۱ کیلومتر در جنگل‌های سری چهار باباکوه سیاهکل در استان گیلان اجرا و پیاده‌سازی شد (شکل ۱). جاده مورد بررسی از لحاظ مشخصات هندسی و فنی از نوع جاده‌های درجه‌دو جنگلی و پیش‌بینی شده برای ساخت بوده است. با توجه به خصوصیات زمین‌شناسی، شیب‌دار بودن منطقه و برون‌زدگی‌های سنگی پیش‌بینی شد که سهم صخره سنگ در خاک زیرسطحی بسیار بالا می‌باشد (۶). دامنه ارتفاعی منطقه بین ۴۵۰ تا ۷۰۰ متر و شیب متوسط منطقه در بخش‌های مختلف بین ۸ تا ۶۰ درصد هست. تمامی درختان موجود در عرض جاده قطع و پس از تبدیل از منطقه خارج شده بودند ولی با این وجود تعداد معدودی از تنه‌ها در منطقه باقی‌مانده بودند که توسط ماشین‌آلات مورد استفاده جهت خاک‌برداری در حین ساخت جابجا شدند. عرض متوسط جاده ۵ متر بوده است. طبق داده‌های به‌دست آمده از ایستگاه‌های هواشناسی اقلیم منطقه مرطوب می‌باشد. عملیات ساخت جاده در تابستان ۱۳۹۴ آغاز شد و در مهرماه ۱۳۹۴ به اتمام رسید، کل حجم عملیات خاکی ۱۷۴۰۰ مترمکعب (۳۵ درصد حجم صخره سنگ) برآورد شد به‌این منظور از ماشین‌های بیل مکانیکی (DX230solar برند Doosan) و بولدوزر (کوماتسو D65) استفاده شد.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.15.13.6]
[DOI: 10.52547/ifej.8.15.128]



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه در جنگل‌های باباکوه شهرستان سیاهکل استان گیلان
Figure 1. Location of the studied area in Babakoh forest, Siahkal city, Gilan province.

شبیه‌سازی زمان و هزینه از طریق روش شبیه سازی مونت‌کارلو

در مبحث کنترل پروژه یافتن مسیر بحرانی برای مدیریت پروژه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است زیرا مجموع زمان فعالیت‌های مربوط به این مسیر، کوتاه‌ترین زمان انجام پروژه را نشان می‌دهد و با تغییر زمان این فعالیت‌ها زمان انجام پروژه نیز تغییر می‌کند. در مسائل سنتی زمان انجام فعالیت‌ها قطعی در نظر گرفته شده است. با توجه به عدم قطعیتی که در زمان انجام فعالیت‌ها وجود دارد نمی‌توان از روش‌های سنتی برای تعیین زمان تکمیل پروژه استفاده کرد. در واقعیت زمان انجام فعالیت دارای عدم قطعیت می‌باشد. امروزه با کاربرد روش‌هایی مانند PERT و CPM، علاوه بر محاسبات زمانی، مسائلی، نظیر تخصیص و تسطیح منابعی مانند هزینه نیروی انسانی و تجهیزات و موازنه هزینه و زمان، قابل‌حل هستند. برای پروژه‌های فاقد فعالیت‌ها و زمان‌های احتمالی، روش CPM مناسب است. همچنین برای پروژه‌های فاقد فعالیت‌های احتمالی، ولی دارای زمان‌های احتمالی، روش PERT مناسب است. برای پروژه‌های دارای فعالیت‌های احتمالی کاربرد GERT مناسب‌تر است (۱۸). دو روش PERTو CPM دارای اختلافات عمده با همدیگر نیستند، بلکه فقط روش محاسبه مدت زمان انجام فعالیت‌ها در این دو متفاوت است. در برآورد مدت‌زمان فعالیت‌ها در روش PERT از متوسط زمان مورد انتظار و در CPM از محتمل‌ترین زمان ممکن استفاده می‌شود. هر شبکه حداقل یک راه (از اولین واقعه شبکه شروع و تا آخرین واقعه پروژه) وجود دارد؛ که شامل طولانی‌ترین زمان است. به این مسیر یا راه، مسیر بحرانی گفته می‌شود.

مسئله احتمالات در برنامه‌ریزی زمان پروژه ابتدا در روش پرت مطرح شد و پس از آن ایده به‌کارگیری شبیه‌سازی مونت‌کارلو در محاسبات پروژه بخصوص زمان پروژه مطرح شد. به طوری که با ساخت مدل ریاضی در هر دور شبیه‌سازی به تعداد فعالیت‌های پروژه عدد تصادفی تولید شده و بر اساس آن‌ها زمان‌های تصادفی فعالیت‌ها به‌دست می‌آید و محاسبه زمان کل پروژه به روش معمول شبکه‌های CPM انجام گرفته و تاریخ تکمیل پروژه در هر دور تعیین می‌شود. در روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو با توجه به اینکه زمان اختصاص داده شده به‌هر فعالیت در دورهای مختلف محاسبات با یکدیگر متفاوت است، بنابراین مسیرهای بحرانی نیز که در دورهای مختلف محاسبات تعیین می‌شوند ممکن است با یکدیگر متفاوت باشند؛ بنابراین یکی از مزایای این روش آن است که به جای مشخص نمودن یک مسیر بحرانی برای یک شبکه، سطح احتمال اینکه هر یک از فعالیت‌های پروژه بحرانی شوند را مشخص می‌نماید (۲۰). برای انجام شبیه سازی مونت‌کارلو در ابتدا فعالیت‌های پروژه مربوط به عملیات خاکی و زمان مربوط به آن‌ها مشخص شد. بدین منظور حجم عملیات خاکی مقدار خاک‌برداری و خاک‌ریزی در هر منطقه در روز، مقاطع عرضی در مسیرهای مستقیم ۲۰ متر و در مسیرهای منحنی شکل ۱۰ متر در نظر گرفته شد و مقاطع عرضی بعد از انجام عملیات رسم شد. هزینه عملیات خاکی بر اساس فهرست بهای واحد پایه رشته راه، راه‌آهن و باند فرودگاه سال ۱۳۹۴ انجام گرفت. جهت تعیین حجم منطقه خاک‌برداری محل شروع خاک‌برداری و خاک‌ریزی ریزی دقیقا ثبت شد و با متر لیزری اندازه‌گیری شد، در هر مرحله برای استخراج حجم عملیات خاکی در هر دو قسمت خاک‌برداری و خاک‌ریزی از روش میانگین مقاطع استفاده شد (۳). جهت طبقه بندی مواد زیر سطحی از نظر حفرپذیری از درجه بندی استانداردی که قبلا ارائه شده بود استفاده شد. به طوری که براساس سختی کار و حفرپذیری مواد خاک زیر سطحی انان در سه طبقه آسان (خاکی)، حدواسط و سخت (سنگی پیوسته) قرار داده شدند و حجم و زمان هر طبقه با

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.15.13.6]
[DOI: 10.52547/ifej.8.15.128]

استفاده از روش زمان سنجی پیوسته ثبت شد. جهت تعیین اینکه هر مقطع در چه طبقه‌ای از نظر نوع مواد خاک سطحی قرار می‌گیرد از برآورد کارشناسی و همچنین طبقه‌بندی براساس عملکرد ماشین در طبیعت استفاده شد.

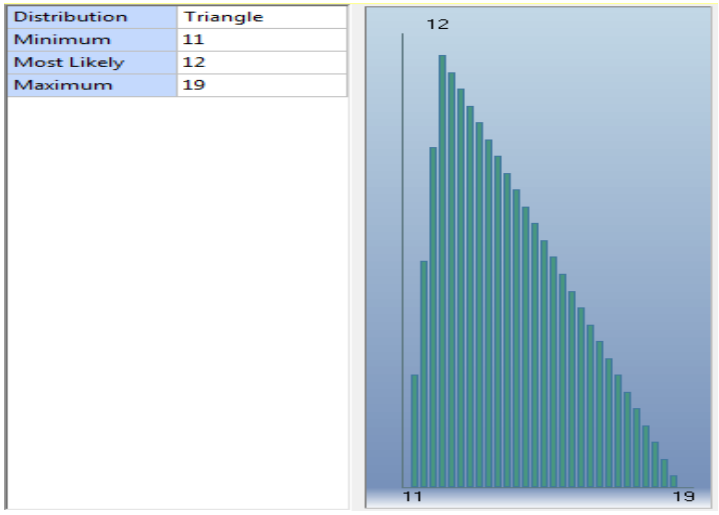
مراحل شبیه‌سازی زمان و هزینه پروژه در قالب چند گام بر روی شبکه زمان‌بندی پروژه انجام گرفت. بدین منظور از نرم‌افزارPert Master که می‌توان آن را کاربردی‌ترین نرم‌افزار در این زمینه نامید استفاده شد. پروژه عملیات ساخت جاده که در مدت زمان ۱۵ روز انجام گرفت. تمامی مراحل انجام عملیات خاکی در قالب ۱۵ فعالیت تقسیم‌بندی شد. فعالیت‌ها همراه با زمان انجام آن و روابط پیش‌نیازی و وابستگی ابتدا در نرم‌افزار بر اساس هزینه به آن فعالیت محاسبه می‌گردند، هزینه کل پروژه هم از مجموع هزینه فعالیت‌ها محاسبه شد. پس از وارد کردن فعالیت‌ها و مشخصات آن‌ها در نرم‌افزار مربوطه آنالیز ریسک و شبیه‌سازی انجام گرفت. به‌منظور شبیه‌سازی زمان، از Duration Quick Risk که از منوی Risk قابل‌دسترسی است استفاده شد. در این بخش به‌جای برآورد زمان به‌صورت معین یک برآورد سه نقطه‌ای شامل زمان Minimum Duration (خوش‌بینانه)، Likely Duration (زمان محتمل) و Maximum Duration (زمانه بدبینانه) تعیین می‌گردد. معمولاً زمان محتمل همان برآورد زمان فعالیت در CPM است، زمان خوش‌بینانه ۷۵٪ زمان محتمل و زمانه بدبینانه ۱۲۵٪ زمان محتمل در نظر گرفته می‌شود. توزیع احتمالی نیز یکی دیگر از مواردی است که بررسی می‌گردد و هدف تشریح این مطلب است که زمان فعالیت در این بازه چگونه تشریح می‌گردد. Pert Master چند نوع توزیع برای زمان پروژه پیش‌بینی می‌کند مانند توزیع یکنواخت (مستطیلی)، توزیع مثلثی و توزیع نرمال اصلاح شده. در این مطالعه از توزیع مثلثی که معمول‌ترین توزیع در زمان‌های عادی است استفاده شد (۸).

جهت معرفی هزینه و توزیع احتمالی آن نیز از منوی Plan گزینه Resources را انتخاب می‌کنیم. توزیع‌های مختلفی مانند توزیع‌های مختلف مثلثی، نرمال، لوگ نرمال، بتا پرت و ... وجود دارد. همچنین نحوه توزیع هزینه منبع نیز از گزینه Spread قابل ارائه است. پس از آماده‌سازی ریسک زمان و هزینه به صورت توزیع‌های احتمالی و معرفی آن به نرم‌افزار و انجام آنالیز مونت‌کارلو قابل انجام است. برای اجرای شبیه‌سازی مونت‌کارلو از منوی ریسک گزینه Run Risk Analysis را انتخاب و تعداد دور شبیه‌سازی را ۱۰۰۰ دور برآورد می‌گردد؛ که پس انتخاب مراحل شبیه‌سازی نتایج در قالب نمودار قابل ارائه است (۱۹).

نتایج و بحث

موفقیت در هر پروژه مستلزم در نظرگیری دو فاکتور هم است، اولین مورد شناسایی فعالیت‌هایی که در پروژه‌های قبلی انجام شده است و استفاده از تجربیات آموخته شده از پروژه‌های پیشین به عنوان چراغ راه پروژه‌های آینده و ممانعت از بروز برخی از مشکلات است و دومین مورد برنامه‌ریزی صحیح پروژه است. این امر باعث می‌شود تا قبل از اجرای پروژه، مشکلات پیش روی پروژه تا حدود زیادی شناسایی‌شده و راهکارهای لازم برای مقابله با آن اتخاذ گردد (۸). هدف اصلی روش PERT، استفاده از داده‌های تفصیلی ریسک و پیش‌بینی نتایج ممکن پروژه است. به‌منظور تجزیه و تحلیل زمان‌بندی، سه تخمین از زمان فعالیت‌های مختلف پروژه ارائه شد (۸). تخمین "مقدار محتمل" که بیشترین احتمال برای رخداد آن وجود دارد، بعلاوه دو تخمین دیگر که بازه اطراف مقدار محتمل را تعیین می‌کند. یکی از آن‌ها "مقدار بدبینانه" و دیگری "مقدار خوش‌بینانه" است. در اصل تجزیه و تحلیل Pert، توزیع‌های خروجی را با استفاده از توزیع beta و با بهره‌گیری از این سه پارامتر تعیین می‌کند.

شکل (۲) زمان فعالیت خاکبرداری عملیات ساخت جاده را با توزیع مثلثی نمایش داده شده است. زمان اولیه فعالیت ۱۲ روز است و همچنین زمان خوش‌بینانه و بدبینانه به ترتیب برابر ۱۱ و ۱۹ روز به دست آمده است (شکل ۲).

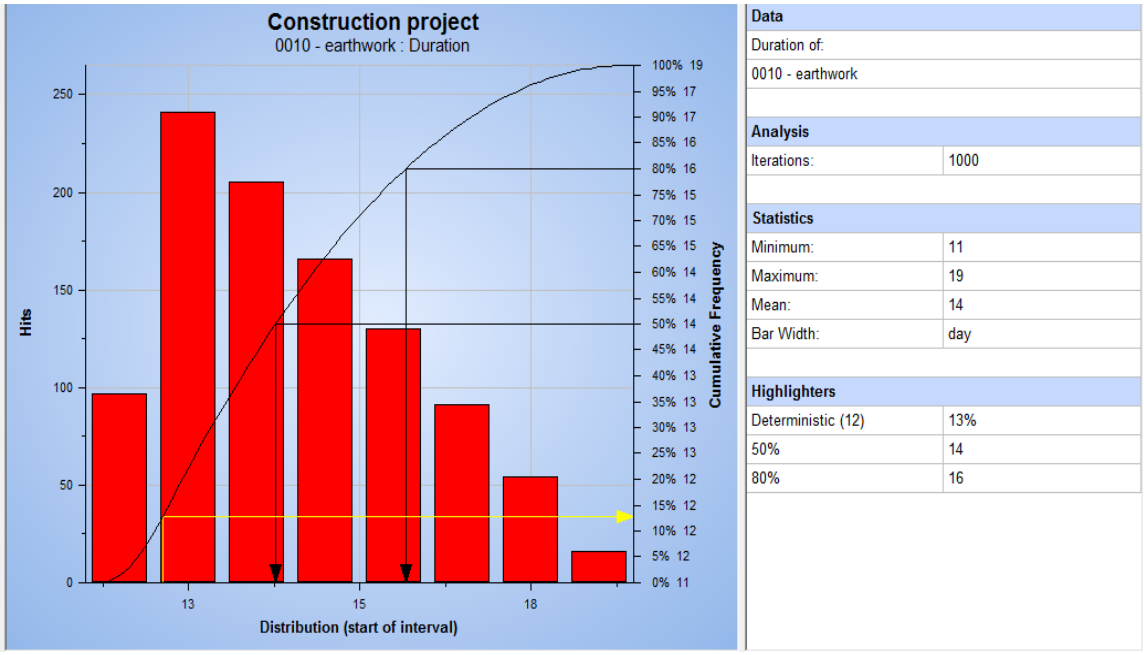


شکل ۲- توزیع مثلثاتی زمان انجام عملیات خاکی
Figure 2. Triangular distributions of earthwork time

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.15.13.6]
[DOI: 10.52547/ifej.8.15.128]

زمان خوش‌بینانه زمانی است که معمولا توسط توافقی که بین طراحان جاده‌های جنگلی و پیمانکاران جهت تکمیل یک عملیات خاص و در یک بخش خاص در نظر گرفته می‌شود. لذا با توجه به استعلام از کارشناسان و پیمانکاران مربوطه زمان محتمل برای تکمیل عملیات در یک بخش یک کیلومتری از جاده در ۱۲ نظر گرفته شد و طبق اطلاعاتی که نرم‌افزار وارد شد زمان عدم قطعیت بین ۱۱ تا ۱۹ روز پیش‌بینی شد.

Pert-Master مدیریت هزینه و آنالیز ریسک مربوطه را از طریق منابع انجام می‌دهد. این مطلب به این معناست که نرم‌افزار توزیع احتمالی را برای هزینه منبع در نظر می‌گیرد و نه هزینه فعالیت که از نظر علمی نیز منطقی‌تر به‌نظر می‌رسد. در شکل زیر نتیجه شبیه‌سازی مونت‌کارلو به‌صورت نموداری مشاهده می‌گردد که درصد احتمال پروژه عملیات خاکی را در یک‌زمان مشخص و بالعکس را نشان می‌دهد یعنی می‌توان با انتخاب میزان احتمال یا ریسک زمان تکمیل پروژه را شناسایی کرد. همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌گردد محور افقی زمان کل پروژه و در محور قائم درصد احتمال تحقق این زمان را نشان می‌دهد. از این نمودار می‌توان یافت که فقط ۱۳ درصد احتمال دارد که پروژه در زمان ۱۲ روز که با روش CPM برآورد شده بود تکمیل گردد. همچنین با اعتماد ۸۰ درصد می‌توان گفت که پروژه در زمان ۱۶ روز به پایان می‌رسد و به احتمال ۵۰ درصد پروژه در طی ۱۴ روز تکمیل خواهد شد. در تحقیق حاضر زمان انجام پروژه عملیات خاکی در طول یک کیلومتر جاده برابر با ۱۵ روز شد، که با مشاهده نمودار شبیه‌سازی‌شده توسط روش مونت‌کارلو درصد احتمال برای این مدت برابر با ۵۶ درصد شد. لذا می‌توان گفت که پیمانکاران و طراحان با استفاده از این روش قادر به در نظر گرفتن تمامی احتمالات و ریسک‌های پروژه جهت آمادگی با شرایط غیرقابل‌پیش‌بینی حاصل از تأخیر در انجام پروژه می‌باشند (شکل ۳). زمان و هزینه اجرای عملیات خاکبرداری به فاکتورهای متنوعی بستگی دارد که از جمله آن‌ها می‌توان به مشخصه‌های زمین‌شناسی، شرایط هیدرولوژیکی، میزان تنوع و تغییرپذیری در شرایط اکولوژیکی و هیدرولوژیکی، ویژگی مقاطع‌عرضی، خصوصیات مورفولوژی، سیستم‌ها و ماشین‌آلات مورد استفاده، کیفیت طراحی و همچنین نوع مدیریت و... اشاره کرد. به‌طوری‌که برآورد تاثیر این فاکتورها بر روی زمان و هزینه پروژه قبل از ساخت جاده معمولا غیرقابل‌پیش‌بینی است و باعث ایجاد بحث عدم قطعیت در مسائل مربوط به زمان و هزینه پروژه می‌گردد (۲۱). این مطلب در نتایج این تحقیق که با مقایسه نتایج واقعی عملیات ساخت و مقدار برآوردی به روش سنتی به دست آمد کاملا مشهود است. به‌طوری‌که در ارتباط با زمان اختلاف به ۱۴ درصد و در ارتباط با هزینه برابر با ۲۸ درصد شد.



شکل ۳- توزیع احتمالی زمان تکمیل عملیات خاکی

Figure 3. Probability distribution for time of earthwork completion

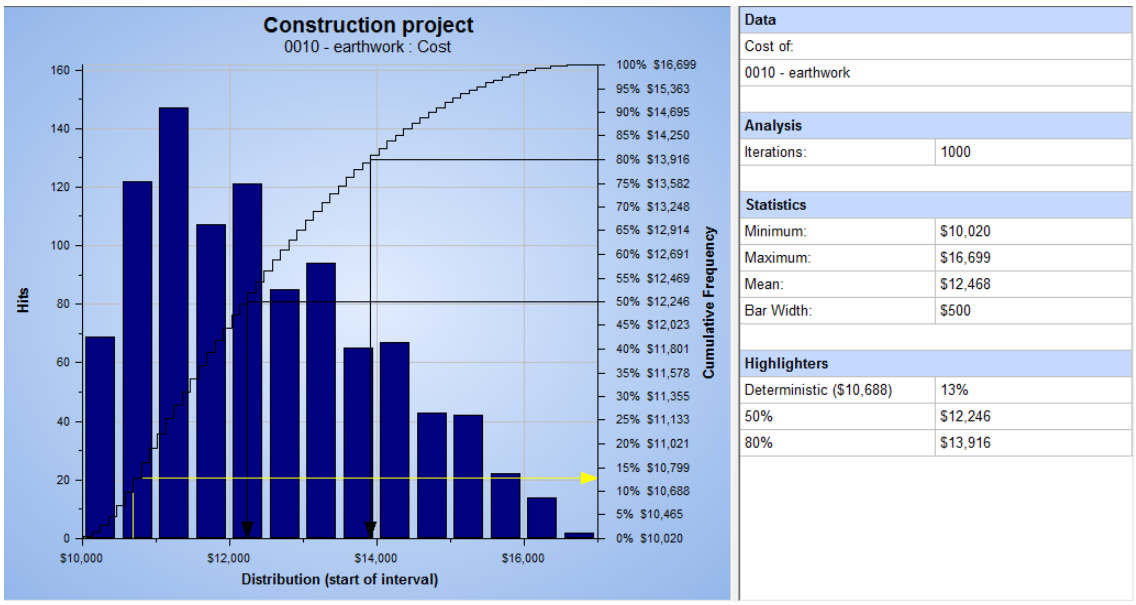
مهم‌ترین دلیل این اختلاف طبق مشاهدات و مستندات استخراج شده در حین عملیات ساخت مربوط به مواجه شدن با صخره سنگ بسیار سخت و ایجاد وقفه در عملیات ساخت بوده است که در مرحله طراحی جاده پیش‌بینی نشده بود. از دیگر دلایل اختلاف بین زمان‌های پیش‌بینی شده و واقعی که حاکی از ریسک بالا در عملیات خاکی جاده است می‌توان به وابسته بودن بسیاری از عملیات ساخت به نزولات جوی و شرایط آب و هوایی مرتبط دانست. می‌توان گفت با توجه به اینکه ساخت جاده‌های جنگلی اغلب مواقع با شرایط پیش‌بینی نشده‌ای همراه است که منجر به ایجاد عدم قطعیت و در نتیجه افزایش یا کاهش زمان تخمینی و هزینه پروژه می‌گردد و ریسک را بالا می‌برد. طبق منابع در ارتباط با پروژه‌های

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.15.13.6]
[DOI: 10.52547/ifej.8.15.128]

ساخت دو نوع عدم قطعیت قابل تعریف است (۷): یکسری از این عدم قطعیت‌ها مربوط به تغییرات متداول در روند اجرای پروژه است و بقیه مربوط به مواردی است که منجر به تاخیرات معنی‌دار و از دست رفتن منابع است؛ که معمولا نوع دوم غیر قابل پیش‌بینی است ولی راهکارهای مختلف جهت مقابله با آن در اختیار پیمانکاران و مدیران وجود دارد. به‌منظور مشاهده توزیع احتمال هزینه گزینه Distribution Graph بخش COST انتخاب شد. در این قسمت نیز شبیه زمان نمودار احتمالاتی هزینه تکمیل پروژه ترسیم شده است.

طبق استعلامات به عمل آمده از طرحان بخش فنی اداره کل مربوطه هزینه انجام پروژه عملیات خاکی در سال ۹۴ برای یک کیلومتر از جاده حدود ۴۵ میلیون تومان برآورد شده است. چنانچه در شکل ۴ مشاهده می‌گردد، فقط ۱۳ درصد احتمال وجود دارد که پروژه عملیات خاکی با برآورد اولیه ۴۵۰۰۰۰۰۰ تومان به پایان رسد. همچنین می‌توان دریافت که با اعتماد ۸۰ درصد هزینه نهایی پروژه را ۵۴۰۰۰۰۰۰ تومان معرفی کرد. این مبلغ از برآورد اولیه پروژه ۲۸ درصد بیشتر است. طبق نتایج آماری به‌دست آمده می‌توان گفت که به‌طور میانگین هزینه اتمام یک کیلومتر از جاده برابر با ۴۸۵۰۰۰۰۰ تومان می‌گردد. همچنین از نتایج شبیه‌سازی مونت‌کارلو با تعداد تکرار ۱۰۰۰ دور می‌توان دریافت که هزینه ساخت جاده در شرایط عدم اطمینان و با در نظر گرفتن ریسک پروژه بین ۳۹ تا ۶۵ میلیون متغیر خواهد بود (شکل ۴). در واقع می‌توان گفت که نتایج واقعی هزینه و زمان عملیات خاکی با آنچه در روش سنتی توسط کارشناسان برآورد شده بود دارای تفاوتی بیش از ۵ درصد بوده است.

در این تحقیق برای مدل‌سازی محدوده‌ای که یک متغیر نظیر مدت‌زمان یا هزینه می‌تواند به خود بگیرد از توزیع مثلثی استفاده شد که دلیل آن را می‌توان در ارتباط با پارامترهای ساده این توزیع دانست که استفاده آن را برای دنیای واقعی آسان‌تر می‌کند و همچنین تخمین مقادیر کمینه و محتمل بسیار ساده بوده ولی مقدار بیشینه آن‌ها بسیار بیشتر از مقدار محتمل می‌گردد. معمولا برای مدل‌سازی ریسک پروژه از توزیع مثلثی با چولگی به سمت راست استفاده می‌شود. این بدان دلیل است که اغلب فعالیت‌ها را نمی‌توان از زمان خاصی زودتر به انجام رسانید ولی همه فعالیت‌ها را می‌توان به دلایل مختلف به تعویق انداخت (۱۹). این امر باعث می‌شود که مدت زمان کمینه بیشتر از مدت زمان بیشینه به زمان محتمل نزدیک‌تر باشد. به عنوان مثال شبیه‌سازی زمان عملیات خاکی نشان داد که فاصله بین مقدار محتمل (۱۲ روز) و کمینه (۱۱ روز) بسیار کم می‌باشد در حالی که اختلاف بین زمان محتمل و بیشینه (۸) بسیار بالا است. همین امر باعث شده است که نمودار توزیع مثلثی چولگی بالایی به سمت راست داشته باشد.



شکل ۴- توزیع احتمالی هزینه تکمیل پروژه عملیات خاکی
Figure 4. Probability distribution for cost of earthwork completion

نتایج توزیع احتمال هزینه نشان داد که احتمال دستیابی به بودجه پیش‌بینی شده با توجه به شبیه‌سازی مونت‌کارلو در حدود ۱۳ درصد بوده است. این در حالی است که اختلاف بین مقدار بیشینه و کمینه از ۳۹ تا ۶۵ میلیون تومان متغیر بوده است؛ که این نتیجه به‌تنهایی می‌تواند بیانگر ریسک بالای پروژه عملیات خاکی باشد. ۵۷ میلیون تومان هزینه واقعی در منطقه مورد مطالعه در نمودار توزیع هزینه دارای احتمال برآورد ۹۰ درصد بوده است؛ که این نتیجه نیز تأییدی بر ریسک‌زا بودن پروژه ساخت جاده دارد. الاشول و چئو (۱) در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که تنها ۵۷ درصد پروژه‌های ساخت مانند جاده در کشور مالزی توانسته‌اند طبق هزینه برآوردی به اتمام برسند، درحالی‌که ۲۶/۵ درصد با هزینه بیش از مقدار پیش‌بینی به اتمام رسیده‌اند و تنها در ۶ درصد پروژه‌ها هزینه اتمام پروژه کمتر از مقدار پیش‌بینی‌شده

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.15.13.6]
[DOI: 10.52547/ifej.8.15.128]

بوده است. به‌طورکلی نتایج این تحقیق حاکی از ریسک زا بودن پروژه ساخت جاده‌های جنگلی است. همچنین یافته‌های تحقیق نشان داد که روش مونت‌کارلو ابزاری مناسب در جهت مدیریت پروژه و می‌تواند گامی موثر در جهت کاهش تبعات منفی عدم قطعیت در پروژه‌ها باشد.

منابع

1. Alashwal, A.M. and M.Y. Chew. 2017. Simulation techniques for cost management and performance in construction projects in Malaysia. Built Environment Project and Asset Management, 7(5): 534-545.
2. Aruga, K., J. Sessions and A.E. Akay. 2005. Application of an airborne laser scanner to forest road design with accurate earthwork volumes. Journal of Forest Research, 10(2): 113-123.
3. Aruga, K., J. Sessions and A.E. Akay. 2005. Heuristic planning techniques applied to forest road profiles, Journal of Forest Research, 10: 83-92.
4. Bi, X., Z. Chen and L. Li. 2015. A New Algorithm for the Risk of Project Time Based on Monte Carlo Simulation. In Proceedings of the 21st International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management 2014. Atlantis Pres, 463-466.
5. Easa, S. 2003. Estimating Earthwork Volumes of Curved Roadways-Simulation Model. Journal of Surveying Engineering, 129(1): 19-27.
6. Ghajar, I., A. Najafi, A.M. Karimimajd, K. Boston and S. AliTorabi. 2013. A program for cost estimation of forest road construction using engineer's method. Forest Science and Technology, 9(3): 111-117.
7. Isaksson, T. and H. Stille. 2005. Model for estimation of time and cost for tunnel projects based on risk evaluation. Rock Mechanics and Rock Engineering, 38(5): 373-398.
8. Jada, k.h. and S. Rozbehi. 2015. Project Risk Management Using Pert Master, Kian University Press, Tehran, Iran, 640 pp (In Persian).
9. Ji, Y., A. Borrmann, E. Rank, J. Wimmer and W. Günthner. 2009. An Integrated 3D Simulation Framework for Earthwork Processes, In: Proc. of the 24th CIB-W78 Conference on Managing IT in Construction, Istanbul, Turkey. 29-36.
10. Kochenderfer, J.N., G.W. Wendel and H.C. Smith. 1984. Cost of and soil loss on" minimum-standard" forest truck roads constructed in the central Appalachians. Res. Pap. NE-544. Broomall, PA: US Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, 8 pp.
11. Kwak, Y.H and L. Ingall. 2007. Exploring Monte Carlo simulation applications for project management. Risk Management, 9(1): 44-57.
12. Layton, D.A. 1990. Forest road construction cost equations for the central Appalachians. PhD Thesis, West Virginia University, Virginia, USA, 180 pp.
13. Li, J.Y., S.J. Zhou and Y.C. Li. 2005. Real estate portfolio mode based on information entropy. Journal of Hebei Institute of Architectural Science and Technology, 22(2): 76-80.
14. Liu, X and Y. Wang. 2004. Evaluation and control of the lead -time risk of the system integration project with risk transfer algorithm. Operations research and management science, 1: 38-43.
15. Niazi, A., J.S. Dai, S. Balabani and L. Seneviratne. 2006. Product cost estimation: Technique classification and methodology review. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 128(2): 563-575.
16. Pazhouhan, I., A. Najafi, A.K. Rouhani and J. Vahidi. 2017. Effect of Subsurface Materials on Earthwork Operation Costs of Forest Road. European Journal of Forest Engineering, 3(2): 44-51.
17. PMI. 2004. A guide to the project management body of knowledge (3rd edition). Newtown Square, PA: Project Management Institute, 216 pp.
18. PMI. 2008. A guide to the Project Management Body of Knowledge (4rd edition). Newtown Square, PA: Project Management Institute, 460 pp.
19. Shahbaznia, M. and S.A. Taleghani. 2010. Simulate the time and cost of the project with Monte Carlo, 06th National Congress on Civil Engineering, Semnan university, Semnan, Iran.
20. Shirmohammadi, H. 2015. Project control and management, Arkan pres, Tehran, Iran, 41 pp (In Persian).
21. Špačková, O., J. Šejnoha and D. Straub. 2013. Tunnel construction time and cost estimates: from, Prague, Czech Republic, 8(8).
22. Tan, J. 1992. Planning of forest road networks by a spatial data handling-network routing system. Acta Forestalica Fennica, 227: 1-85.
23. Zhou, F.M., M.Y. Zhang and Y.B. Yuan. 2011. Risk of Project Time Based on PCA-GA-BP. Journal of Engineering Management, 5: 14-18.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.15.13.6]
[DOI: 10.52547/ifej.8.15.128]

Time and Cost Simulation of Forest Roads Construction Using Monte Carlo Analysis

Iman Pazhouhan[1], Omid Fathizadeh[2], Abolghasem Kamkar Rouhani[3], Javad Vahidi[4] and Akbar Najafi[5]

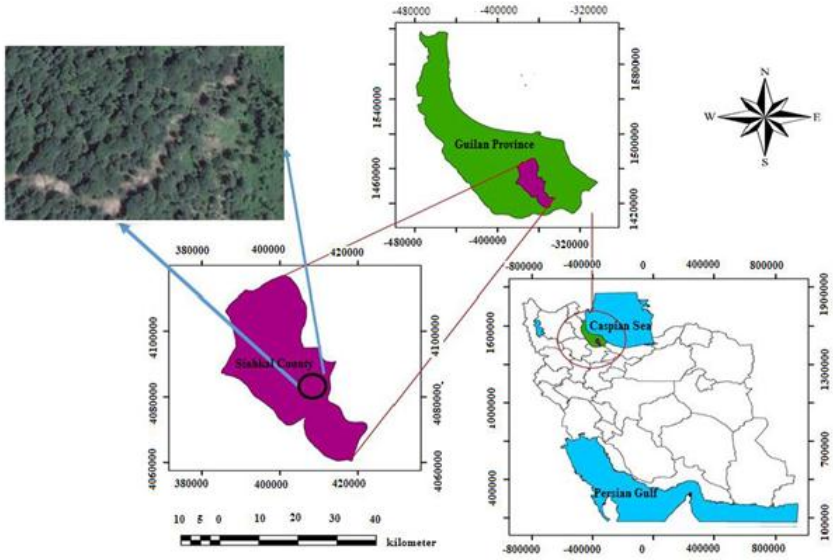
1- Assistant Professor, Natural Resource and Environment Faculty, Malayer University, Malayer, Iran
2- Assistant Professor, Ahar Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tabriz, Ahar, Iran
3- Associate Professor, Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics, Shahrood, Shahrood University of Technology, Iran
4- Assistant Professor, Department of Mathematics, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran
5- Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran
(Corresponding author: a.najafi@modares.ac.ir)
Received: January 30, 2019 Accepted: April 23, 2019

Abstract

Project time and cost are one of the issues and challenges that employers and contractors are facing whit them especially in the forest area. One of the most effective tools that used in prediction and risk analysis is Monte Carlo analysis that Based on the production of random numbers, the number of single components of a set is computed and find out their effect on the whole set. In the traditional approach to project control that still dominates in most national projects, estimating the probable time and budget of the project is still unpredictable to managers and experts. In this work, we tried to present a model for considering the probability and risk in estimating the probability of completion of the project by given time and cost of project termination in a forest area using a case study and software capabilities (Primavera Pertmaster). The results of the probability distribution revealed that the probability of reaching the predicted budget was approximately 13% according to the Monte Carlo simulation. However, the difference between the maximum and minimum values varies from 39 to 650 million IRR, which results in a high risk of the operation of the land operations, which indicates the high risk of the earthwork operation. The real cost of earthwork (570 million IRR) in the study area at the cost allocation chart is estimated at 90%, which also confirms the riskiness of the road earthwork project. Finally, the Monte Carlo simulation method, with the successful prediction of the risk of earthwork operation project, showed that there is an acceptable way for contractors and forest road designers to deal with the negative aspects of the project. The results of this research can be used as a guide to better management of forest for future operations.

Keywords: Simulation, PERT, Risk, Earthwork Operation, Probability Distribution

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.15.13.6]
[DOI: 10.52547/ifej.8.15.128]



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه در جنگل‌های باباکوه شهرستان سیاهکل استان گیلان
Figure 1. Location of the studied area in Babakoh forest, Siahkal city, Gilan province.

شبیه‌سازی زمان و هزینه از طریق روش شبیه سازی مونت‌کارلو

در مبحث کنترل پروژه یافتن مسیر بحرانی برای مدیریت پروژه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است زیرا مجموع زمان فعالیت‌های مربوط به این مسیر، کوتاه‌ترین زمان انجام پروژه را نشان می‌دهد و با تغییر زمان این فعالیت‌ها زمان انجام پروژه نیز تغییر می‌کند. در مسائل سنتی زمان انجام فعالیت‌ها قطعی در نظر گرفته شده است. با توجه به عدم قطعیتی که در زمان انجام فعالیت‌ها وجود دارد نمی‌توان از روش‌های سنتی برای تعیین زمان تکمیل پروژه استفاده کرد. در واقعیت زمان انجام فعالیت دارای عدم قطعیت می‌باشد. امروزه با کاربرد روش‌هایی مانند PERT و CPM، علاوه بر محاسبات زمانی، مسائلی، نظیر تخصیص و تسطیح منابعی مانند هزینه نیروی انسانی و تجهیزات و موازنه هزینه و زمان، قابل‌حل هستند. برای پروژه‌های فاقد فعالیت‌ها و زمان‌های احتمالی، روش CPM مناسب است. همچنین برای پروژه‌های فاقد فعالیت‌های احتمالی، ولی دارای زمان‌های احتمالی، روش PERT مناسب است. برای پروژه‌های دارای فعالیت‌های احتمالی کاربرد GERT مناسب‌تر است (۱۸). دو روش PERTو CPM دارای اختلافات عمده با همدیگر نیستند، بلکه فقط روش محاسبه مدت زمان انجام فعالیت‌ها در این دو متفاوت است. در برآورد مدت‌زمان فعالیت‌ها در روش PERT از متوسط زمان مورد انتظار و در CPM از محتمل‌ترین زمان ممکن استفاده می‌شود. هر شبکه حداقل یک راه (از اولین واقعه شبکه شروع و تا آخرین واقعه پروژه) وجود دارد؛ که شامل طولانی‌ترین زمان است. به این مسیر یا راه، مسیر بحرانی گفته می‌شود.

مسئله احتمالات در برنامه‌ریزی زمان پروژه ابتدا در روش پرت مطرح شد و پس از آن ایده به‌کارگیری شبیه‌سازی مونت‌کارلو در محاسبات پروژه بخصوص زمان پروژه مطرح شد. به طوری که با ساخت مدل ریاضی در هر دور شبیه‌سازی به تعداد فعالیت‌های پروژه عدد تصادفی تولید شده و بر اساس آن‌ها زمان‌های تصادفی فعالیت‌ها به‌دست می‌آید و محاسبه زمان کل پروژه به روش معمول شبکه‌های CPM انجام گرفته و تاریخ تکمیل پروژه در هر دور تعیین می‌شود. در روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو با توجه به اینکه زمان اختصاص داده شده به‌هر فعالیت در دورهای مختلف محاسبات با یکدیگر متفاوت است، بنابراین مسیرهای بحرانی نیز که در دورهای مختلف محاسبات تعیین می‌شوند ممکن است با یکدیگر متفاوت باشند؛ بنابراین یکی از مزایای این روش آن است که به جای مشخص نمودن یک مسیر بحرانی برای یک شبکه، سطح احتمال اینکه هر یک از فعالیت‌های پروژه بحرانی شوند را مشخص می‌نماید (۲۰). برای انجام شبیه سازی مونت‌کارلو در ابتدا فعالیت‌های پروژه مربوط به عملیات خاکی و زمان مربوط به آن‌ها مشخص شد. بدین منظور حجم عملیات خاکی مقدار خاک‌برداری و خاک‌ریزی در هر منطقه در روز، مقاطع عرضی در مسیرهای مستقیم ۲۰ متر و در مسیرهای منحنی شکل ۱۰ متر در نظر گرفته شد و مقاطع عرضی بعد از انجام عملیات رسم شد. هزینه عملیات خاکی بر اساس فهرست بهای واحد پایه رشته راه، راه‌آهن و باند فرودگاه سال ۱۳۹۴ انجام گرفت. جهت تعیین حجم منطقه خاک‌برداری محل شروع خاک‌برداری و خاک‌ریزی ریزی دقیقا ثبت شد و با متر لیزری اندازه‌گیری شد، در هر مرحله برای استخراج حجم عملیات خاکی در هر دو قسمت خاک‌برداری و خاک‌ریزی از روش میانگین مقاطع استفاده شد (۳). جهت طبقه بندی مواد زیر سطحی از نظر حفرپذیری از درجه بندی استانداردی که قبلا ارائه شده بود استفاده شد. به طوری که براساس سختی کار و حفرپذیری مواد خاک زیر سطحی انان در سه طبقه آسان (خاکی)، حدواسط و سخت (سنگی پیوسته) قرار داده شدند و حجم و زمان هر طبقه با

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.15.13.6]
[DOI: 10.52547/ifej.8.15.128]

استفاده از روش زمان سنجی پیوسته ثبت شد. جهت تعیین اینکه هر مقطع در چه طبقه‌ای از نظر نوع مواد خاک سطحی قرار می‌گیرد از برآورد کارشناسی و همچنین طبقه‌بندی براساس عملکرد ماشین در طبیعت استفاده شد.

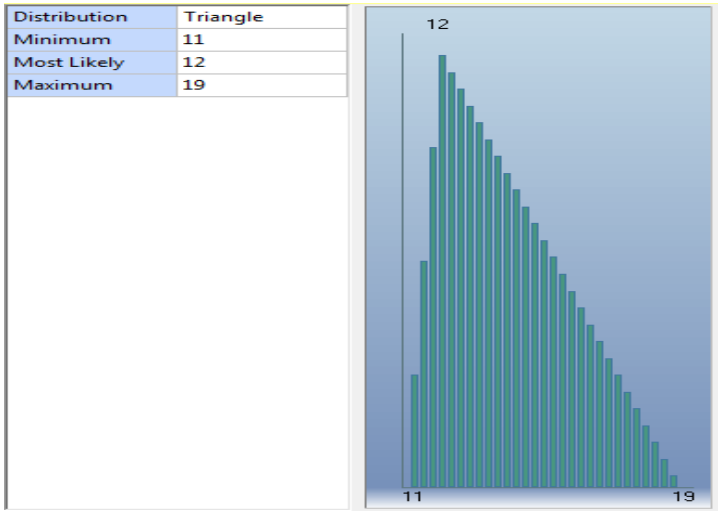
مراحل شبیه‌سازی زمان و هزینه پروژه در قالب چند گام بر روی شبکه زمان‌بندی پروژه انجام گرفت. بدین منظور از نرم‌افزارPert Master که می‌توان آن را کاربردی‌ترین نرم‌افزار در این زمینه نامید استفاده شد. پروژه عملیات ساخت جاده که در مدت زمان ۱۵ روز انجام گرفت. تمامی مراحل انجام عملیات خاکی در قالب ۱۵ فعالیت تقسیم‌بندی شد. فعالیت‌ها همراه با زمان انجام آن و روابط پیش‌نیازی و وابستگی ابتدا در نرم‌افزار بر اساس هزینه به آن فعالیت محاسبه می‌گردند، هزینه کل پروژه هم از مجموع هزینه فعالیت‌ها محاسبه شد. پس از وارد کردن فعالیت‌ها و مشخصات آن‌ها در نرم‌افزار مربوطه آنالیز ریسک و شبیه‌سازی انجام گرفت. به‌منظور شبیه‌سازی زمان، از Duration Quick Risk که از منوی Risk قابل‌دسترسی است استفاده شد. در این بخش به‌جای برآورد زمان به‌صورت معین یک برآورد سه نقطه‌ای شامل زمان Minimum Duration (خوش‌بینانه)، Likely Duration (زمان محتمل) و Maximum Duration (زمانه بدبینانه) تعیین می‌گردد. معمولاً زمان محتمل همان برآورد زمان فعالیت در CPM است، زمان خوش‌بینانه ۷۵٪ زمان محتمل و زمانه بدبینانه ۱۲۵٪ زمان محتمل در نظر گرفته می‌شود. توزیع احتمالی نیز یکی دیگر از مواردی است که بررسی می‌گردد و هدف تشریح این مطلب است که زمان فعالیت در این بازه چگونه تشریح می‌گردد. Pert Master چند نوع توزیع برای زمان پروژه پیش‌بینی می‌کند مانند توزیع یکنواخت (مستطیلی)، توزیع مثلثی و توزیع نرمال اصلاح شده. در این مطالعه از توزیع مثلثی که معمول‌ترین توزیع در زمان‌های عادی است استفاده شد (۸).

جهت معرفی هزینه و توزیع احتمالی آن نیز از منوی Plan گزینه Resources را انتخاب می‌کنیم. توزیع‌های مختلفی مانند توزیع‌های مختلف مثلثی، نرمال، لوگ نرمال، بتا پرت و ... وجود دارد. همچنین نحوه توزیع هزینه منبع نیز از گزینه Spread قابل ارائه است. پس از آماده‌سازی ریسک زمان و هزینه به صورت توزیع‌های احتمالی و معرفی آن به نرم‌افزار و انجام آنالیز مونت‌کارلو قابل انجام است. برای اجرای شبیه‌سازی مونت‌کارلو از منوی ریسک گزینه Run Risk Analysis را انتخاب و تعداد دور شبیه‌سازی را ۱۰۰۰ دور برآورد می‌گردد؛ که پس انتخاب مراحل شبیه‌سازی نتایج در قالب نمودار قابل ارائه است (۱۹).

نتایج و بحث

موفقیت در هر پروژه مستلزم در نظرگیری دو فاکتور هم است، اولین مورد شناسایی فعالیت‌هایی که در پروژه‌های قبلی انجام شده است و استفاده از تجربیات آموخته شده از پروژه‌های پیشین به عنوان چراغ راه پروژه‌های آینده و ممانعت از بروز برخی از مشکلات است و دومین مورد برنامه‌ریزی صحیح پروژه است. این امر باعث می‌شود تا قبل از اجرای پروژه، مشکلات پیش روی پروژه تا حدود زیادی شناسایی‌شده و راهکارهای لازم برای مقابله با آن اتخاذ گردد (۸). هدف اصلی روش PERT، استفاده از داده‌های تفصیلی ریسک و پیش‌بینی نتایج ممکن پروژه است. به‌منظور تجزیه و تحلیل زمان‌بندی، سه تخمین از زمان فعالیت‌های مختلف پروژه ارائه شد (۸). تخمین "مقدار محتمل" که بیشترین احتمال برای رخداد آن وجود دارد، بعلاوه دو تخمین دیگر که بازه اطراف مقدار محتمل را تعیین می‌کند. یکی از آن‌ها "مقدار بدبینانه" و دیگری "مقدار خوش‌بینانه" است. در اصل تجزیه و تحلیل Pert، توزیع‌های خروجی را با استفاده از توزیع beta و با بهره‌گیری از این سه پارامتر تعیین می‌کند.

شکل (۲) زمان فعالیت خاکبرداری عملیات ساخت جاده را با توزیع مثلثی نمایش داده شده است. زمان اولیه فعالیت ۱۲ روز است و همچنین زمان خوش‌بینانه و بدبینانه به ترتیب برابر ۱۱ و ۱۹ روز به دست آمده است (شکل ۲).

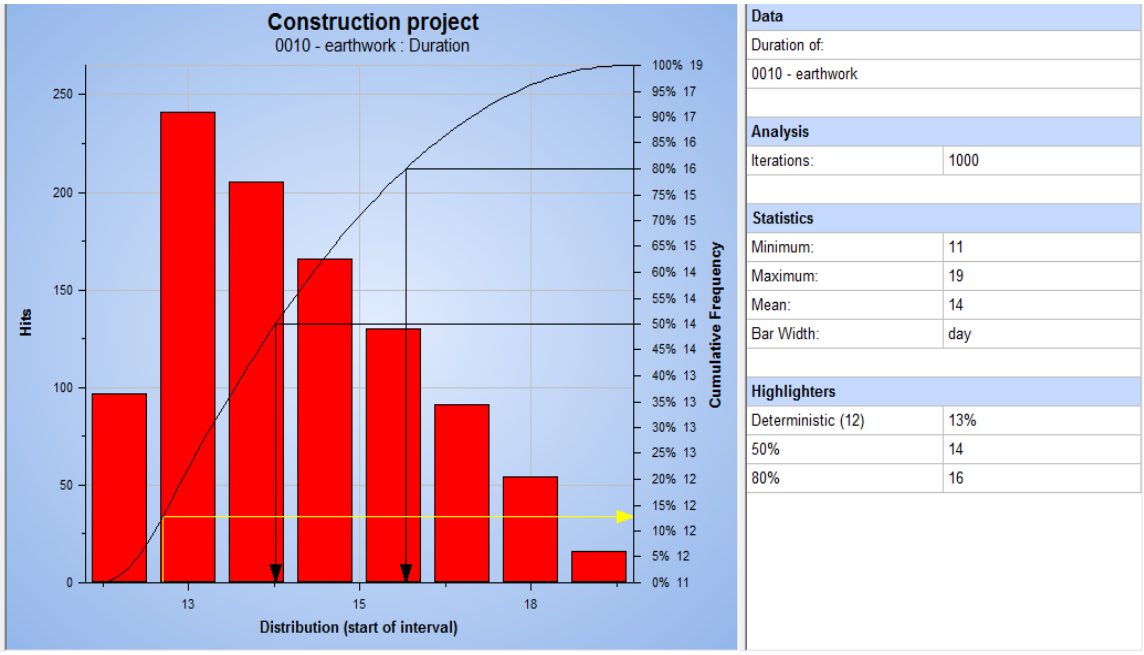


شکل ۲- توزیع مثلثاتی زمان انجام عملیات خاکی
Figure 2. Triangular distributions of earthwork time

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.15.13.6]
[DOI: 10.52547/ifej.8.15.128]

زمان خوش‌بینانه زمانی است که معمولا توسط توافقی که بین طراحان جاده‌های جنگلی و پیمانکاران جهت تکمیل یک عملیات خاص و در یک بخش خاص در نظر گرفته می‌شود. لذا با توجه به استعلام از کارشناسان و پیمانکاران مربوطه زمان محتمل برای تکمیل عملیات در یک بخش یک کیلومتری از جاده در ۱۲ نظر گرفته شد و طبق اطلاعاتی که نرم‌افزار وارد شد زمان عدم قطعیت بین ۱۱ تا ۱۹ روز پیش‌بینی شد.

Pert-Master مدیریت هزینه و آنالیز ریسک مربوطه را از طریق منابع انجام می‌دهد. این مطلب به این معناست که نرم‌افزار توزیع احتمالی را برای هزینه منبع در نظر می‌گیرد و نه هزینه فعالیت که از نظر علمی نیز منطقی‌تر به‌نظر می‌رسد. در شکل زیر نتیجه شبیه‌سازی مونت‌کارلو به‌صورت نموداری مشاهده می‌گردد که درصد احتمال پروژه عملیات خاکی را در یک‌زمان مشخص و بالعکس را نشان می‌دهد یعنی می‌توان با انتخاب میزان احتمال یا ریسک زمان تکمیل پروژه را شناسایی کرد. همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌گردد محور افقی زمان کل پروژه و در محور قائم درصد احتمال تحقق این زمان را نشان می‌دهد. از این نمودار می‌توان یافت که فقط ۱۳ درصد احتمال دارد که پروژه در زمان ۱۲ روز که با روش CPM برآورد شده بود تکمیل گردد. همچنین با اعتماد ۸۰ درصد می‌توان گفت که پروژه در زمان ۱۶ روز به پایان می‌رسد و به احتمال ۵۰ درصد پروژه در طی ۱۴ روز تکمیل خواهد شد. در تحقیق حاضر زمان انجام پروژه عملیات خاکی در طول یک کیلومتر جاده برابر با ۱۵ روز شد، که با مشاهده نمودار شبیه‌سازی‌شده توسط روش مونت‌کارلو درصد احتمال برای این مدت برابر با ۵۶ درصد شد. لذا می‌توان گفت که پیمانکاران و طراحان با استفاده از این روش قادر به در نظر گرفتن تمامی احتمالات و ریسک‌های پروژه جهت آمادگی با شرایط غیرقابل‌پیش‌بینی حاصل از تأخیر در انجام پروژه می‌باشند (شکل ۳). زمان و هزینه اجرای عملیات خاکبرداری به فاکتورهای متنوعی بستگی دارد که از جمله آن‌ها می‌توان به مشخصه‌های زمین‌شناسی، شرایط هیدرولوژیکی، میزان تنوع و تغییرپذیری در شرایط اکولوژیکی و هیدرولوژیکی، ویژگی مقاطع‌عرضی، خصوصیات مورفولوژی، سیستم‌ها و ماشین‌آلات مورد استفاده، کیفیت طراحی و همچنین نوع مدیریت و... اشاره کرد. به‌طوری‌که برآورد تاثیر این فاکتورها بر روی زمان و هزینه پروژه قبل از ساخت جاده معمولا غیرقابل‌پیش‌بینی است و باعث ایجاد بحث عدم قطعیت در مسائل مربوط به زمان و هزینه پروژه می‌گردد (۲۱). این مطلب در نتایج این تحقیق که با مقایسه نتایج واقعی عملیات ساخت و مقدار برآوردی به روش سنتی به دست آمد کاملا مشهود است. به‌طوری‌که در ارتباط با زمان اختلاف به ۱۴ درصد و در ارتباط با هزینه برابر با ۲۸ درصد شد.



شکل ۳- توزیع احتمالی زمان تکمیل عملیات خاکی

Figure 3. Probability distribution for time of earthwork completion

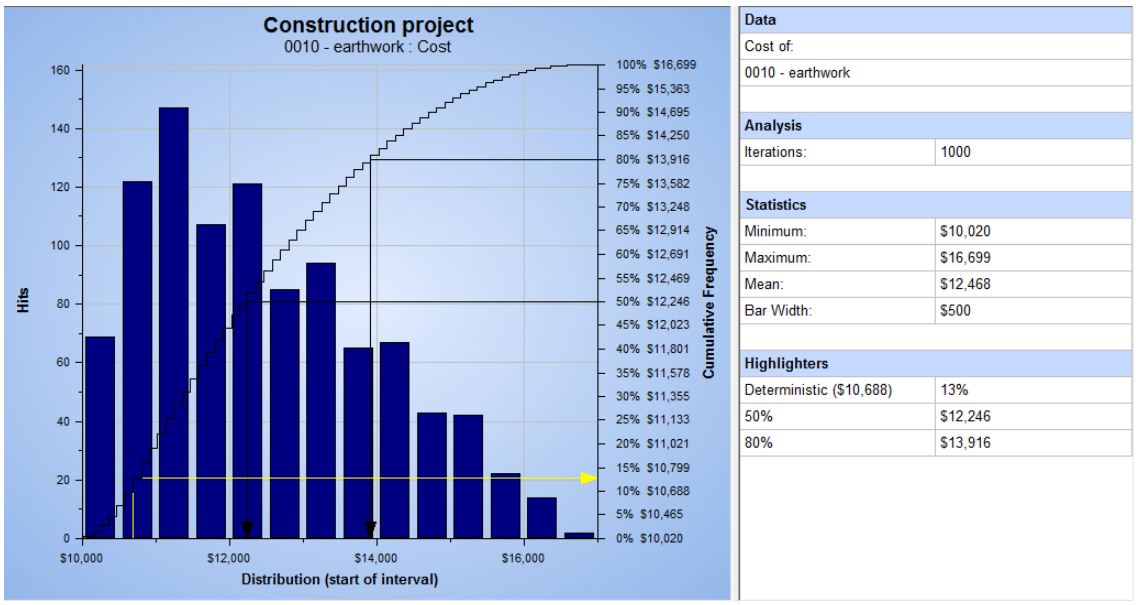
مهم‌ترین دلیل این اختلاف طبق مشاهدات و مستندات استخراج شده در حین عملیات ساخت مربوط به مواجه شدن با صخره سنگ بسیار سخت و ایجاد وقفه در عملیات ساخت بوده است که در مرحله طراحی جاده پیش‌بینی نشده بود. از دیگر دلایل اختلاف بین زمان‌های پیش‌بینی شده و واقعی که حاکی از ریسک بالا در عملیات خاکی جاده است می‌توان به وابسته بودن بسیاری از عملیات ساخت به نزولات جوی و شرایط آب و هوایی مرتبط دانست. می‌توان گفت با توجه به اینکه ساخت جاده‌های جنگلی اغلب مواقع با شرایط پیش‌بینی نشده‌ای همراه است که منجر به ایجاد عدم قطعیت و در نتیجه افزایش یا کاهش زمان تخمینی و هزینه پروژه می‌گردد و ریسک را بالا می‌برد. طبق منابع در ارتباط با پروژه‌های

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.15.13.6]
[DOI: 10.52547/ifej.8.15.128]

ساخت دو نوع عدم قطعیت قابل تعریف است (۷): یکسری از این عدم قطعیت‌ها مربوط به تغییرات متداول در روند اجرای پروژه است و بقیه مربوط به مواردی است که منجر به تاخیرات معنی‌دار و از دست رفتن منابع است؛ که معمولا نوع دوم غیر قابل پیش‌بینی است ولی راهکارهای مختلف جهت مقابله با آن در اختیار پیمانکاران و مدیران وجود دارد. به‌منظور مشاهده توزیع احتمال هزینه گزینه Distribution Graph بخش COST انتخاب شد. در این قسمت نیز شبیه زمان نمودار احتمالاتی هزینه تکمیل پروژه ترسیم شده است.

طبق استعلامات به عمل آمده از طرحان بخش فنی اداره کل مربوطه هزینه انجام پروژه عملیات خاکی در سال ۹۴ برای یک کیلومتر از جاده حدود ۴۵ میلیون تومان برآورد شده است. چنانچه در شکل ۴ مشاهده می‌گردد، فقط ۱۳ درصد احتمال وجود دارد که پروژه عملیات خاکی با برآورد اولیه ۴۵۰۰۰۰۰۰ تومان به پایان رسد. همچنین می‌توان دریافت که با اعتماد ۸۰ درصد هزینه نهایی پروژه را ۵۴۰۰۰۰۰۰ تومان معرفی کرد. این مبلغ از برآورد اولیه پروژه ۲۸ درصد بیشتر است. طبق نتایج آماری به‌دست آمده می‌توان گفت که به‌طور میانگین هزینه اتمام یک کیلومتر از جاده برابر با ۴۸۵۰۰۰۰۰ تومان می‌گردد. همچنین از نتایج شبیه‌سازی مونت‌کارلو با تعداد تکرار ۱۰۰۰ دور می‌توان دریافت که هزینه ساخت جاده در شرایط عدم اطمینان و با در نظر گرفتن ریسک پروژه بین ۳۹ تا ۶۵ میلیون متغیر خواهد بود (شکل ۴). در واقع می‌توان گفت که نتایج واقعی هزینه و زمان عملیات خاکی با آنچه در روش سنتی توسط کارشناسان برآورد شده بود دارای تفاوتی بیش از ۵ درصد بوده است.

در این تحقیق برای مدل‌سازی محدوده‌ای که یک متغیر نظیر مدت‌زمان یا هزینه می‌تواند به خود بگیرد از توزیع مثلثی استفاده شد که دلیل آن را می‌توان در ارتباط با پارامترهای ساده این توزیع دانست که استفاده آن را برای دنیای واقعی آسان‌تر می‌کند و همچنین تخمین مقادیر کمینه و محتمل بسیار ساده بوده ولی مقدار بیشینه آن‌ها بسیار بیشتر از مقدار محتمل می‌گردد. معمولا برای مدل‌سازی ریسک پروژه از توزیع مثلثی با چولگی به سمت راست استفاده می‌شود. این بدان دلیل است که اغلب فعالیت‌ها را نمی‌توان از زمان خاصی زودتر به انجام رسانید ولی همه فعالیت‌ها را می‌توان به دلایل مختلف به تعویق انداخت (۱۹). این امر باعث می‌شود که مدت زمان کمینه بیشتر از مدت زمان بیشینه به زمان محتمل نزدیک‌تر باشد. به عنوان مثال شبیه‌سازی زمان عملیات خاکی نشان داد که فاصله بین مقدار محتمل (۱۲ روز) و کمینه (۱۱ روز) بسیار کم می‌باشد در حالی که اختلاف بین زمان محتمل و بیشینه (۸) بسیار بالا است. همین امر باعث شده است که نمودار توزیع مثلثی چولگی بالایی به سمت راست داشته باشد.



شکل ۴- توزیع احتمالی هزینه تکمیل پروژه عملیات خاکی
Figure 4. Probability distribution for cost of earthwork completion

نتایج توزیع احتمال هزینه نشان داد که احتمال دستیابی به بودجه پیش‌بینی شده با توجه به شبیه‌سازی مونت‌کارلو در حدود ۱۳ درصد بوده است. این در حالی است که اختلاف بین مقدار بیشینه و کمینه از ۳۹ تا ۶۵ میلیون تومان متغیر بوده است؛ که این نتیجه به‌تنهایی می‌تواند بیانگر ریسک بالای پروژه عملیات خاکی باشد. ۵۷ میلیون تومان هزینه واقعی در منطقه مورد مطالعه در نمودار توزیع هزینه دارای احتمال برآورد ۹۰ درصد بوده است؛ که این نتیجه نیز تأییدی بر ریسک‌زا بودن پروژه ساخت جاده دارد. الاشول و چئو (۱) در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که تنها ۵۷ درصد پروژه‌های ساخت مانند جاده در کشور مالزی توانسته‌اند طبق هزینه برآوردی به اتمام برسند، درحالی‌که ۲۶/۵ درصد با هزینه بیش از مقدار پیش‌بینی به اتمام رسیده‌اند و تنها در ۶ درصد پروژه‌ها هزینه اتمام پروژه کمتر از مقدار پیش‌بینی‌شده

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.15.13.6]
[DOI: 10.52547/ifej.8.15.128]

بوده است. به‌طورکلی نتایج این تحقیق حاکی از ریسک زا بودن پروژه ساخت جاده‌های جنگلی است. همچنین یافته‌های تحقیق نشان داد که روش مونت‌کارلو ابزاری مناسب در جهت مدیریت پروژه و می‌تواند گامی موثر در جهت کاهش تبعات منفی عدم قطعیت در پروژه‌ها باشد.

منابع

1. Alashwal, A.M. and M.Y. Chew. 2017. Simulation techniques for cost management and performance in construction projects in Malaysia. Built Environment Project and Asset Management, 7(5): 534-545.
2. Aruga, K., J. Sessions and A.E. Akay. 2005. Application of an airborne laser scanner to forest road design with accurate earthwork volumes. Journal of Forest Research, 10(2): 113-123.
3. Aruga, K., J. Sessions and A.E. Akay. 2005. Heuristic planning techniques applied to forest road profiles, Journal of Forest Research, 10: 83-92.
4. Bi, X., Z. Chen and L. Li. 2015. A New Algorithm for the Risk of Project Time Based on Monte Carlo Simulation. In Proceedings of the 21st International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management 2014. Atlantis Pres, 463-466.
5. Easa, S. 2003. Estimating Earthwork Volumes of Curved Roadways-Simulation Model. Journal of Surveying Engineering, 129(1): 19-27.
6. Ghajar, I., A. Najafi, A.M. Karimimajd, K. Boston and S. AliTorabi. 2013. A program for cost estimation of forest road construction using engineer's method. Forest Science and Technology, 9(3): 111-117.
7. Isaksson, T. and H. Stille. 2005. Model for estimation of time and cost for tunnel projects based on risk evaluation. Rock Mechanics and Rock Engineering, 38(5): 373-398.
8. Jada, k.h. and S. Rozbehi. 2015. Project Risk Management Using Pert Master, Kian University Press, Tehran, Iran, 640 pp (In Persian).
9. Ji, Y., A. Borrmann, E. Rank, J. Wimmer and W. Günthner. 2009. An Integrated 3D Simulation Framework for Earthwork Processes, In: Proc. of the 24th CIB-W78 Conference on Managing IT in Construction, Istanbul, Turkey. 29-36.
10. Kochenderfer, J.N., G.W. Wendel and H.C. Smith. 1984. Cost of and soil loss on" minimum-standard" forest truck roads constructed in the central Appalachians. Res. Pap. NE-544. Broomall, PA: US Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, 8 pp.
11. Kwak, Y.H and L. Ingall. 2007. Exploring Monte Carlo simulation applications for project management. Risk Management, 9(1): 44-57.
12. Layton, D.A. 1990. Forest road construction cost equations for the central Appalachians. PhD Thesis, West Virginia University, Virginia, USA, 180 pp.
13. Li, J.Y., S.J. Zhou and Y.C. Li. 2005. Real estate portfolio mode based on information entropy. Journal of Hebei Institute of Architectural Science and Technology, 22(2): 76-80.
14. Liu, X and Y. Wang. 2004. Evaluation and control of the lead -time risk of the system integration project with risk transfer algorithm. Operations research and management science, 1: 38-43.
15. Niazi, A., J.S. Dai, S. Balabani and L. Seneviratne. 2006. Product cost estimation: Technique classification and methodology review. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 128(2): 563-575.
16. Pazhouhan, I., A. Najafi, A.K. Rouhani and J. Vahidi. 2017. Effect of Subsurface Materials on Earthwork Operation Costs of Forest Road. European Journal of Forest Engineering, 3(2): 44-51.
17. PMI. 2004. A guide to the project management body of knowledge (3rd edition). Newtown Square, PA: Project Management Institute, 216 pp.
18. PMI. 2008. A guide to the Project Management Body of Knowledge (4rd edition). Newtown Square, PA: Project Management Institute, 460 pp.
19. Shahbaznia, M. and S.A. Taleghani. 2010. Simulate the time and cost of the project with Monte Carlo, 06th National Congress on Civil Engineering, Semnan university, Semnan, Iran.
20. Shirmohammadi, H. 2015. Project control and management, Arkan pres, Tehran, Iran, 41 pp (In Persian).
21. Špačková, O., J. Šejnoha and D. Straub. 2013. Tunnel construction time and cost estimates: from, Prague, Czech Republic, 8(8).
22. Tan, J. 1992. Planning of forest road networks by a spatial data handling-network routing system. Acta Forestalica Fennica, 227: 1-85.
23. Zhou, F.M., M.Y. Zhang and Y.B. Yuan. 2011. Risk of Project Time Based on PCA-GA-BP. Journal of Engineering Management, 5: 14-18.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.15.13.6]
[DOI: 10.52547/ifej.8.15.128]

Time and Cost Simulation of Forest Roads Construction Using Monte Carlo Analysis

Iman Pazhouhan[1], Omid Fathizadeh[2], Abolghasem Kamkar Rouhani[3], Javad Vahidi[4] and Akbar Najafi[5]

1- Assistant Professor, Natural Resource and Environment Faculty, Malayer University, Malayer, Iran
2- Assistant Professor, Ahar Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tabriz, Ahar, Iran
3- Associate Professor, Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics, Shahrood, Shahrood University of Technology, Iran
4- Assistant Professor, Department of Mathematics, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran
5- Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran
(Corresponding author: a.najafi@modares.ac.ir)
Received: January 30, 2019 Accepted: April 23, 2019

Abstract

Project time and cost are one of the issues and challenges that employers and contractors are facing whit them especially in the forest area. One of the most effective tools that used in prediction and risk analysis is Monte Carlo analysis that Based on the production of random numbers, the number of single components of a set is computed and find out their effect on the whole set. In the traditional approach to project control that still dominates in most national projects, estimating the probable time and budget of the project is still unpredictable to managers and experts. In this work, we tried to present a model for considering the probability and risk in estimating the probability of completion of the project by given time and cost of project termination in a forest area using a case study and software capabilities (Primavera Pertmaster). The results of the probability distribution revealed that the probability of reaching the predicted budget was approximately 13% according to the Monte Carlo simulation. However, the difference between the maximum and minimum values varies from 39 to 650 million IRR, which results in a high risk of the operation of the land operations, which indicates the high risk of the earthwork operation. The real cost of earthwork (570 million IRR) in the study area at the cost allocation chart is estimated at 90%, which also confirms the riskiness of the road earthwork project. Finally, the Monte Carlo simulation method, with the successful prediction of the risk of earthwork operation project, showed that there is an acceptable way for contractors and forest road designers to deal with the negative aspects of the project. The results of this research can be used as a guide to better management of forest for future operations.

Keywords: Simulation, PERT, Risk, Earthwork Operation, Probability Distribution

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1399.8.15.13.6]
[DOI: 10.52547/ifej.8.15.128]