مهندسی عمران شریف، (زمستان ۱۳۹۶)
دوره‌ی ۲ - ۳۳، شماره‌ی ۴/۱، ص. ۳-۱۲

Original Article

ترکیب بهینه‌ی ماشین‌آلات عمرانی با استفاده از آنالیز و مدیریت برنامه‌یی ریسک پیشرفته

مهران زینلیان * **(استادیار)**
دانشکده‌ی فنی و مهندسی، دانشگاه اصفهان
ایمان کلانتری دهقی (کارشناس ارشد)
دانشکده‌ی فنی و مهندسی، دانشگاه علوم و تحقیقات

پروژه‌های عمرانی در طول عمر مفید خود برای رسیدن به اهداف از پیش تعیین شده، همواره با ریسک‌های متعددی مواجه هستند. بنابراین مدیران ساخت و ساز برای کنترل و مدیریت بهتر پروژه‌ها، نیازمند داشتن ابزاری مناسب و کارا به‌منظور شناسایی، آنالیز و کاهش ریسک‌های مذکور هستند. همچنین با توجه به اهمیت ماشین‌آلات عمرانی در پروژه‌های زیربنایی کشور، بهره‌گیری از روش‌های انتخاب بهینه‌ی ماشین‌آلات ضروری است. در نوشتار حاضر، آنالیز و مدیریت برنامه‌یی ریسک پیشرفته برای ترکیب بهینه‌ی ماشین‌آلات توسعه یافته و علاوه بر ریسک‌های هزینه و زمان (مدیریتی)، مسائل زیست‌محیطی را نیز در نظر گرفته است. سپس ۳ ترکیب ممکن از ماشین‌آلات حفاری که معمولاً در پروژه‌های قطار شهری استفاده می‌شوند، بررسی شده‌اند. پس از برآورد هزینه‌های مربوط به ماشین‌آلات موردنظر، با استفاده از روش دلفی، ریسک‌های مدیریتی و زیست‌محیطی شناسایی شده است. سپس نمودارهای حاصل از بهینه‌سازی ریسک‌های موجود، جهت ترکیب بهینه‌ی ماشین‌آلات پروژه‌ی موردنظر ارائه شده است.

واژگان کلیدی: آنالیز و مدیریت برنامه‌یی ریسک پیشرفته، ترکیب بهینه‌ی ماشین‌آلات عمرانی، قطار شهری، محیط‌زیست.

m.zeynalian@eng.ui.ac.ir
kalantari.iman@srbiau.ac.ir

۱. مقدمه

ماشین‌آلات عمرانی نقش مهمی در نحوه‌ی اجرا، میزان هزینه‌ها و زمان تکمیل پروژه‌های عمرانی ایفا می‌کنند. بنابراین انتخاب بهینه‌ی ماشین‌آلات یکی از مسائلی است که اهمیت زیادی دارد. ماشین‌آلات عمرانی همواره ریسک‌های متعددی دارند و استفاده از روش‌های آنالیز ریسک، جهت انتخاب بهینه‌ی آنها ضروری است. مدیریت ریسک به‌عنوان یکی از زیرشاخه‌های اصلی «دانش مدیریت پروژه» است و عبارت است از فرایند مستندسازی تصمیمات نهایی اتخاذ شده و شناسایی و به کارگیری معیارهایی که از آنها می‌توان جهت کاهش ریسک تا سطح قابل قبول استفاده کرد.[۱]

موفقیت صاحبان پروژه‌های عمرانی، تکمیل به موقع پروژه در زمان موردنظر با بودجه‌ی تعیین شده است. پروژه‌های عمرانی مانند دیگر صنایع، ریسک‌های مختلف دارند.[۲و۳] به منظور تکمیل به موقع پروژه در محدوده‌ی مشخص هزینه و منطبق با نیازهای فنی، مدیران ساخت باید به ابزارهای پشتیبانی تصمیم‌گیری مجهز شوند که با توجه به هزینه، زمان، کیفیت و در عین حال کمینه‌سازی ریسک‌های موجود در پروژه به‌طور هم‌زمان در انتخاب ترکیب بهینه‌ی ماشین‌آلات کمک کند. چندین روش آنالیز ریسک برای ارزیابی ریسک‌های موجود در صنعت ساخت و ساز وجود دارند که بیشتر آنها فقط مربوط به هزینه، زمان، کیفیت و یا نهایتاً ترکیبی از زمان و هزینه هستند. بنابراین داشتن یک شیوه‌ی مناسب که بتواند به ترکیب ریسک‌های مختلف در ساخت و ساز رسیدگی کند، ضروری است.[۴] آنالیز و مدیریت برنامه‌یی ریسک پیشرفته[۱]، یک روش تصمیم‌گیری در چارچوب ریسک‌های موجود در پروژه‌هاست.[۵و۶]

شایان ذکر است که روش مذکور می‌تواند در راستای اجرای قوانین و مقررات موجود در پروژه‌های عمرانی، به‌خصوص مسائل زیست‌محیطی، مورد استفاده‌ی کارفرمایان، پیمانکاران، مدیران پروژه و مهندسان ماشین‌آلات قرارگیرد. باتوجه به افزایش اهمیت مدیریت ریسک و مسائل زیست‌محیطی در پروژه‌های زیربنایی کشور، روش آنالیز و مدیریت برنامه‌یی ریسک پیشرفته برای ترکیب بهینه‌ی ماشین‌آلات عمرانی ارائه شده است و امید است گامی نو در راستای انتخاب ماشین‌آلات برداشته شود.

۲. ریسک‌های موجود در ماشین‌آلات عمرانی

با توجه به مطالب بیان‌شده در بخش ۱، در پژوهش حاضر علاوه بر ریسک‌های مرتبط با هزینه، زمان و کیفیت که قبلاً در روش آنالیز و مدیریت برنامه‌یی ریسک پیشرفته به آن توجه شده است،[۴] به ریسک‌های زیست‌محیطی نیز توجه شده است. این موضوع به‌ویژه در خصوص ماشین‌آلات عمرانی که می‌توانند در پروژه‌های

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۴/۱/۲۴، اصلاحیه ۱۳۹۴/۶/۸، پذیرش ۱۳۹۵/۲/۷.

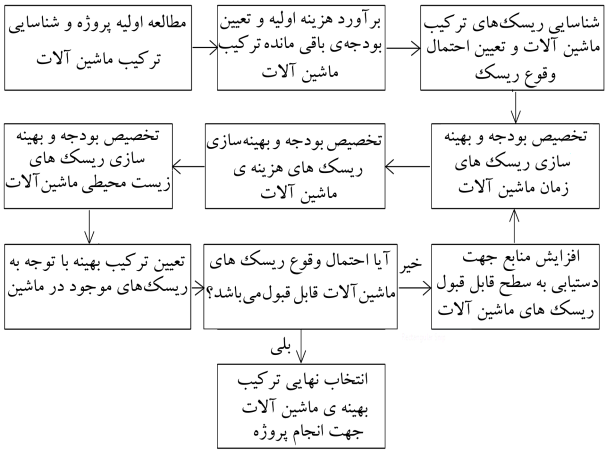
بزرگ شهری نقش مؤثری ایفا کنند، اهمیت خاصی دارد. لذا ریسک‌های ماشین‌آلات عمرانی را می‌توان به ۴ دسته‌ی اصلی تقسیم کرد: نوع اول ریسک‌ها، مربوط به هزینه است که در واقع هزینه‌های تمام شده، بیشتر از بودجه‌ی اختصاص داده شده به ماشین‌آلات است. از دلایل اصلی ریسک‌های مربوط به هزینه، برنامه‌ریزی ضعیف، ارائه‌ی قیمت‌های نادرست و عدم هماهنگی بین برنامه‌ریزی و اجراست.[۷] نوع دوم ریسک مربوط به زمان است، که به‌طورکلی عدم توانایی برای انجام کار ارجاع داده شده به ماشین‌آلات در یک مدت زمان مشخص است. تغییرات بیش از اندازه، ارتباطات ضعیف بین بخش‌های مختلف، برنامه‌ریزی و مدیریت ضعیف، از برخی علل ریسک دوم است.[۸] ریسک‌های مربوط به زمان و هزینه را می‌توان به‌عنوان ریسک‌های مدیریتی نیز نام برد. سومین نوع ریسک مربوط به طراحی و ویژگی‌های فنی ماشین‌آلات است. کنترل کیفیت و ایمنی باید در اولویت همه‌ی مدیران ساخت و ساز باشد که به‌دلایلی مانند نقص یا خرابی تجهیزات می‌تواند باعث ایجاد هزینه‌های بسیار زیاد و حتی صدمات جانی شود. در هر پروژه‌ی ساخت و ساز، ویژگی‌های فنی می‌تواند متفاوت باشد، که به نوع ساخت و ساز، زمان اجرا، و محل پروژه بستگی دارد.[۹] چهارمین نوع ریسک، ریسک‌های مربوط به آلایندگی‌های زیست‌محیطی ناشی از ماشین‌آلات است که با توجه به اهمیت مسائل زیست‌محیطی در دنیای صنعتی امروز باید بررسی شود. این ریسک‌ها منجر به تحمیل خسارت‌هایی بر سلامت انسان‌ها، اکوسیستم، مواد، محصولات کشاورزی می‌شود که در قالب هزینه‌های خارجی[۲] بیان می‌شود.

به‌طورکلی ریسک‌های مربوط به ماشین‌آلات می‌توانند در دست‌یابی به اهداف پروژه تأثیرگذار باشند و در روند پروژه اختلال ایجاد کنند،[۱۰] و همچنین سبب ایجاد هزینه‌های مازاد بر بودجه‌ی تعیین شده و بازده‌ی پایین در سرمایه‌گذاری شوند.[۱۱] در یک گروه‌بندی دیگر، ریسک‌های مذکور را می‌توان در دو بخش کلی و جزئی تقسیم کرد: ۱. ریسک‌های کلی (TF)،[۳] ریسک‌هایی هستند که اگر در ماشین‌آلات رخ دهند، موجب متوقف شدن کار می‌شوند؛ ۲. ریسک‌هایی جزئی (PF)،[۴] آن دسته از ریسک‌هایی هستند که اگر رخ دهند، فعالیت ماشین‌آلات متوقف نمی‌شود.

۳. آنالیز و مدیریت برنامه‌یی ریسک پیشرفته

آنالیز و مدیریت برنامه‌یی ریسک پیشرفته، یکی از روش‌های توسعه‌یافته‌ی اخیر است که می‌تواند جهت آنالیز ریسک پروژه، با توجه به ریسک‌های زمان، هزینه و کیفیت به‌طور هم‌زمان استفاده شود. این روش برای اولین بار، در صنعت هوا و فضا و مأموریت‌های فضایی بدون سرنشین NASA با عنوان (سریع، بهتر، ارزان) استفاده شده است.[۶] از آنجایی که در پروژه‌های ذکر شده، منابع بسیار محدود است، با استفاده از روش آنالیز و مدیریت برنامه‌یی ریسک پیشرفته از کمینه‌ی منابع، بیشترین میزان کارایی به‌دست می‌آید.[۱۲] روش مذکور، تخصیص بودجه‌ی باقی‌مانده را با بهینه‌سازی ریسک‌های فنی و مدیریتی انجام می‌دهد و آستانه‌ی شکست پروژه را مشخص می‌کند.[۵]

برخی پژوهشگران (۲۰۰۹) اظهار داشته‌اند که از روش آنالیز و مدیریت برنامه‌یی ریسک پیشرفته می‌توان در صنعت ساخت و ساز استفاده کرد و با شناسایی و بهینه‌سازی ریسک‌های موجود، روش‌های مختلف ساخت و ساز را با هم مقایسه کرد. آنالیز و مدیریت برنامه‌یی ریسک پیشرفته جهت مقایسه‌ی سازه‌های CCS [۵] و LSF [۶] استفاده شده است.[۴] با توجه به اینکه آنالیز و مدیریت برنامه‌یی ریسک پیشرفته، ریسک‌های موجود را فقط در فاز طراحی و ساخت بررسی می‌کند، این



شکل ۱. ساختار آنالیز و مدیریت برنامه‌یی ریسک پیشرفته.

شکل ۲. چرخه‌ی استفاده از ماشین‌آلات عمرانی.

روش اصلاح می‌شود و ریسک‌های پروژه را در همه‌ی مراحل چرخه‌ی پروژه (طراحی ـ ساخت ـ بهره‌برداری ـ تعمیرات و نگهداری) در نظر گرفته می‌شود،[۱۳] و سازه‌های CCS و LSF با هم مقایسه می‌شود.

روش آنالیز و مدیریت برنامه‌یی ریسک پیشرفته شامل ۳ گام اصلی است: گام اول، شناسایی ترکیب ماشین‌آلات قابل استفاده در یک پروژه‌ی عمرانی با توجه به الزامات و شرایط پروژه است. پس از شناسایی گزینه‌ها، کمینه‌ی هزینه برای هر یک از آنها در نظر گرفته و بودجه‌ی باقی‌مانده تعیین می‌شود (مابه تفاوت بودجه‌ی کل و کمینه‌ی هزینه‌ی ترکیب ماشین‌آلات). در گام دوم، تمام ریسک‌های موجود در ماشین‌آلات پروژه‌ی موردنظر، شناسایی می‌شود. این ریسک‌ها می‌توانند در زمینه‌ی زمان، هزینه، کیفیت، و مسائل زیست‌محیطی باشند. سپس هزینه‌ی هر ریسک برآورد و میزان کاهش احتمال هرکدام از ریسک‌ها مشخص می‌شود. هرگزینه ممکن است نیازمند بخش متفاوتی از بودجه‌ی باقی‌مانده از طریق موازنه‌ی ریسک‌های فنی و مدیریتی بر مبنای اولویت تصمیم‌گیرنده باشد؛ بنابراین در گام بعد، با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌یابی، بودجه‌ی باقیمانده به نحوی به گزینه‌ها تخصیص داده می‌شود که کمترین هزینه‌ی شکست پروژه حاصل شود و در نهایت به‌عنوان گزینه‌یی که بالاترین ارزش را با توجه به احتمالات شکست پروژه و هزینه‌ی مربوط به ریسک‌ها دارد، انتخاب می‌شود. ساختار آنالیز و مدیریت برنامه‌یی ریسک پیشرفته به صورت شکل ۱ است. چرخه‌ی استفاده از ماشین‌آلات عمرانی در یک پروژه به شکل ۲ است.

۴. مشخصات پروژه

در نوشتار حاضر، آنالیز و مدیریت برنامه‌یی ریسک پیشرفته برای ترکیب بهینه‌ی ماشین‌آلات در پروژه‌های عمرانی ارائه شده است. هم‌زمان با ارائه‌ی روش و به منظور انجام یک مطالعه‌ی موردی که برای ارائه‌ی نتایج پژوهش حاضر ضروری به نظر می‌رسد، ۳ ترکیب ماشین‌آلات پروژه‌ی حفاری و خاک‌برداری یکی از ایستگاه‌های قطار شهری اصفهان[۷]، به میزان ۱۲۰۰۰ مترمکعب و ارتفاع ۳۰ متر بررسی شده است.

۵. بودجه‌ی کلی پروژه

قبل از آغاز پروژه‌های عمرانی، کارفرما یا سازمان مربوط، بودجه‌ی انجام پروژه را تعیین می‌کند. یکی از بخش‌های مهم پروژه‌های عمرانی که سهم به‌سزایی در تعیین بودجه دارد، ماشین‌آلات و تجهیزات است. بودجه‌ی پروژه‌ی حفاری و خاک‌برداری دسترسی ایستگاه قطار شهری، با استناد بر گزارش‌های سازمان قطار شهری اصفهان،[۱۴] در جدول ۱ شرح داده شده است.

۶. پیاده‌سازی روش آنالیز و مدیریت برنامه‌یی ریسک پیشرفته

۱.۶. شناسایی ترکیب مختلف ماشین‌آلات

اولین مرحله در روش آنالیز و مدیریت برنامه‌یی ریسک پیشرفته، برگزیدن تمامی ترکیب‌های ماشین‌آلاتی است که از نظر فنی با پروژه‌ی موردنظر متناسب باشند. هر کدام از ماشین‌آلات جهت عملیات ویژه‌یی طراحی شده‌اند و باید متناسب با پروژه انتخاب شوند. عدم هماهنگی ماشین با عملیات موردنظر، کارایی مناسبی نخواهد داشت و علاوه بر ایجاد هزینه‌های زیاد، بر ماشین‌آلات نیز صدماتی وارد خواهد کرد. بنابراین با توجه به محدودیت‌ها و الزامات پروژه، مانند: نوع عملیات، بودجه‌ی اولیه‌ی پروژه، برنامه‌ی زمان‌بندی پروژه، موقعیت مکانی پروژه، و غیره، چند ترکیب مختلف

جدول ۱. بودجه‌ی پروژه‌ی حفاری و خاک‌برداری ایستگاه قطار شهری.

عملیات	هزینه (هزار ریال)	توضیحات
هزینه‌های مستقیم ماشین‌آلات	۶۰۰۰۰۰۰	شامل اجاره، سوخت و ...
هزینه‌های نگهداری و تعمیرات	۱۰۰۰۰۰۰	-
دیگر هزینه‌های پروژه و ماشین‌آلات	۱۰۰۰۰۰۰	شامل ایجاد رمپ، مجوزها و ...
جمع کل هزینه‌ها	۸۰۰۰۰۰۰	

جهت بررسی و انتخاب یک ترکیب از بین آنها شناسایی می‌شود. در پژوهش حاضر، با توجه به شرایط پروژه‌ی موردنظر و گزارش‌های سازمان قطار شهری اصفهان،[۱۴] سه ترکیب اولیه‌ی عملیات حفاری و خاک‌برداری دسترسی قطار شهری، توسط کارشناسان و مهندسان که در روش دلفی نیز شرکت داشته‌اند، شناسایی شده است.

در حالت اول، عملیات حفاری به‌وسیله‌ی ۲ بیل مکانیکی (بارگیری و پیکور) صورت می‌گیرد و با لودر در کامیون‌ها بارگیری می‌شود و تا محل موردنظر انتقال می‌یابد. در این روش، نیاز به ایجاد رمپ است که ابتدا عملیات حفاری و پایدارسازی انجام می‌شود و سپس خاکریزی و یا بلوکاژ صورت می‌گیرد. در حالت دوم، بدون ایجاد رمپ، پس از عملیات حفاری، انتقال خاک توسط تاورکرین[۸] انجام می‌شود و پس از تخلیه، مجدداً به‌وسیله‌ی لودر در کامیون بارگیری و به محل موردنظر انتقال می‌یابد. در حالت سوم، عملیات حفاری و جابه‌جایی خاک به‌وسیله‌ی بیل مکانیکی و مینی لودر باب کت[۹] انجام می‌شود. در این حالت نیز نیاز به ایجاد رمپ نیست و انتقال خاک در ۲ مرحله به‌وسیله‌ی جرثقیل دروازه‌یی، لودر و کامیون صورت می‌گیرد. جدول ۲، مشخصات ماشین‌آلات در ۳ حالت را نشان می‌دهد.

۲.۶. برآورد هزینه‌های اولیه و بودجه‌ی باقی‌مانده

پس از تعیین ترکیب ماشین‌آلات، هزینه‌ی اولیه‌ی هرکدام توسط کارشناسان ماشین‌آلات سازمان قطار شهری برآورد می‌شود و با توجه به بودجه‌ی کلی پروژه که در جدول ۳ نمایش داده شده است، بودجه‌ی باقی‌مانده‌ی (RB)[۱۰] سه ترکیب تعیین می‌شود. بودجه‌ی باقی‌مانده عبارت است از مابه تفاوت بودجه‌ی کلی پروژه (TB)[۱۱] و هزینه‌ی اولیه‌ی هر ترکیب (DEV cost)[۱۲].

۳.۶. شناسایی ریسک‌های موجود در ترکیب ماشین‌آلات

جهت ارزیابی، بهینه‌سازی و انتخاب ترکیب بهینه‌ی ماشین‌آلات، کلیه‌ی ریسک‌های موجود با استفاده از روش دلفی شناسایی می‌شوند. روش دلفی یک شیوه‌ی تصمیم‌گیری برای جمع‌آوری و طبقه‌بندی دانش موجود در نزد گروهی از کارشناسان

جدول ۲. مشخصات ماشین‌آلات مورد استفاده در ۳ حالت ممکن.

حالات	نام ماشین‌آلات	تعداد	مدل	توضیحات
حالت اول	بیل مکانیکی (پیکور)	۱	۲۲۰ کوماتسو خط ۷	چرخ زنجیری
	بیل مکانیکی (بارگیری)	۱	۲۲۰ کوماتسو خط ۷	چرخ زنجیری
	کامیون	۶	بنز ـ ۶ چرخ	با حجم ۵ مترمکعب
	لودر	۱	ولوو ـ ال ۹۰ اف	-
حالت دوم	بیل مکانیکی (پیکور)	۱	۲۲۰ کوماتسو خط ۷	چرخ زنجیری
	بیل مکانیکی (بارگیری)	۱	۲۲۰ کوماتسو خط ۷	چرخ زنجیری
	کامیون	۶	بنز ـ ۶ چرخ	با حجم ۵ مترمکعب
	لودر	۱	ولوو ـ ال ۹۰ اف	-
	تاورکرین	۱	پتن ـ ۶ـ ۴۶	۸ تن ـ حجم جام ۲
حالت سوم	بیل مکانیکی (پیکور)	۱	۲۲۰ کوماتسو خط ۷	چرخ زنجیری
	مینی لودر باب کت	۱	اس ـ ۲۵۰ اچ	-
	کامیون	۶	بنز ـ ۶ چرخ	با حجم ۵ مترمکعب
	لودر	۱	ولوو ـ ال ۹۰ اف	-
	جرثقیل	۱	-	جایگزین: تسمه‌ی نقاله

جدول ۳. هزینه‌های اولیه و بودجه‌ی باقی‌مانده (هزار ریال).

حالات	هزینه			جمع هزینه‌ها (DEV cost)	بودجه‌ی کلی پروژه (TB)	بودجه باقی‌مانده (RB)
	اجاره	سوخت	دیگر هزینه *			
حالت اول	۴۵۹۴۲۵۰	۵۴۹۲۷۰	۲۲۳۴۱۹۰	۷۳۷۷۷۱۰	۸۰۰۰۰۰۰	۶۲۲۲۹۰
حالت دوم	۶۱۸۸۶۸۰	۷۸۹۲۷۰	۲۰۰۰۰۰	۷۱۷۷۹۵۰	۸۰۰۰۰۰۰	۸۲۲۰۵۰
حالت سوم	۶۲۲۹۱۸۰	۷۳۵۸۷۰	۲۰۰۰۰۰	۷۱۶۵۰۵۰	۸۰۰۰۰۰۰	۸۳۴۹۵۰

جدول ۴. ریسک‌های مدیریتی و احتمال وقوع (درصد).

نام ریسک (حالت اول)	احتمال	نام ریسک (حالت دوم)	احتمال	نام ریسک (حالت سوم)	احتمال
ریسک‌های مربوط به ایجاد رمپ	۱۰/۸۴	انتقال چندین مرحله‌یی خاک	۱۳/۰۰	انتقال چندین مرحله‌یی خاک	۱۳/۰۰
توقف فعالیت ماشین‌آلات	۱۰/۴۲	مشکلات جابه‌جایی ماشین‌آلات	۱۹/۵۰	مشکلات جابه‌جایی ماشین‌آلات	۱۹/۵۰
مشکلات دریافت مجوزها	۱۸/۰۰	توقف فعالیت ماشین‌آلات	۱۷/۷۰	توقف فعالیت ماشین آلات	۱۷/۷۰
تغییر ناگهانی نقشه‌ها و مسیرها	۷/۵۰	مشکلات دریافت مجوزها	۱۱/۷۰	مشکلات دریافت مجوزها	۱۱/۷۰
تغییرات ناگهانی قیمت‌ها	۲۹/۳۰	تغییر ناگهانی نقشه‌ها و مسیرها	۷/۵۰	تغییر ناگهانی نقشه‌ها و مسیرها	۷/۵۰
		تغییرات ناگهانی قیمت‌ها	۲۹/۳۰	تغییرات ناگهانی قیمت‌ها	۲۹/۳۰

جدول ۵. ریسک‌های زیست‌محیطی و احتمال وقوع (درصد).

حالت اول	احتمال	حالت دوم	احتمال	حالت سوم	احتمال
بیل مکانیکی (پیکور)	۱۰/۸۳	بیل مکانیکی (پیکور)	۱۰/۸۳	بیل مکانیکی (پیکور)	۱۰/۸۳
بیل مکانیکی (بارگیری)	۱۰/۰۰	بیل مکانیکی (بارگیری)	۱۰/۰۰	کامیون	۲۶/۲۵
کامیون	۲۶/۲۵	کامیون	۲۶/۲۵	مینی لودر باب کت	۹/۰۰
لودر	۸/۲۰	لودر	۸/۲۰	لودر	۸/۲۰

و خبرگان است که از طریق توزیع پرسشنامه‌هایی در بین این افراد و بازخورد کنترل شده‌ی پاسخ‌ها و نظرات دریافتی و نظرسنجی مجدد در چند مرحله صورت می‌گیرد.[۱۵] در نوشتار حاضر، روش دلفی با شرکت ۱۲ نفر از متخصصان، شامل: مدیران پروژه‌ی قطار شهری اصفهان، کارشناسان ماشین‌آلات و مهندسان دفتر فنی قطار شهری اصفهان انجام شده است. شایان ذکر است که ریسک‌های موجود در زمینه‌ی مدیریتی (هزینه و زمان) و مسائل زیست‌محیطی در فازهای طراحی، اجرا، تعمیرات و نگهداری شناسایی و میزان احتمال وقوع آنها نیز با استفاده از روش دلفی برآورد و در جدول‌های ۴ و ۵ نمایش داده شده‌است.

احتمال وقوع ریسک‌های (مدیریتی و زیست‌محیطی) هر یک از حالات، از رابطه‌ی ۱ به‌دست می‌آید:[۱۶]

$$p(T) = \sum_{i=0}^{n} p(F_i) - \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=i+1}^{n} p(F_i F_j) + \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=i+1}^{n} \sum_{k=j+1}^{n} p(F_i F_j F_k) - \dots \quad (1)$$

درگام بعد، احتمال وقوع ریسک‌های موجود با صرف $\propto$ درصد از بودجه‌ی باقی‌مانده مشخص می‌شود که این روند به‌صورت کاهشی است.[۱۷] در پژوهش حاضر، از روابط پیشنهادی ایمبا[۱۳] برای محاسبه‌ی احتمال وقوع ریسک‌های مدیریتی و زیست‌محیطی استفاده شده است (روابط ۲ و۳):

$$p(F_i|Mgmt_{rein}) = p_0(F_i|Mgmt_{rein}) \times Exp[-K_s \propto] \quad (2)$$

$$p(F_i|Enmt_{rein}) = p_0(F_i|Enmt_{rein}) \times Exp[-K_s \propto] \quad (3)$$

که در آن‌ها، $\propto$ بخشی از بودجه‌ی باقی‌مانده است که می‌تواند جهت کاهش احتمال وقوع ریسک (F_i) استفاده شود و بین ۰ و ۱ بوده و K_s عدد ثابت است.

جهت تخصیص بودجه‌ی باقی‌مانده به ریسک‌های موجود، از روابط ۴ و ۵ استفاده می‌شود. تخصیص بودجه در ۲ دسته‌ی ریسک‌های مدیریتی و زیست‌محیطی صورت می‌گیرد:

$$Enmt_{rein} = \propto RB \quad (4)$$

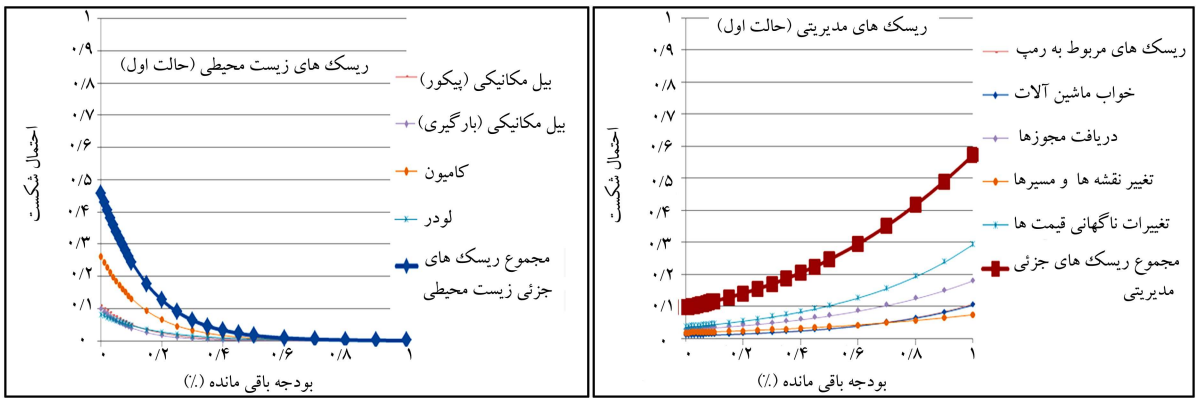
$$Mgmt_{rein} = (1 - \propto) RB \quad (5)$$

با استفاده از روابط مذکور، به منظور کاهش احتمال وقوع ریسک‌ها، با صرف $\propto$ درصد از بودجه‌ی باقی‌مانده، جدول‌های ۶ الی ۱۱ و شکل‌های ۳ الی ۵ ارائه شده است. توابع نمایی[۱۴] ریسک‌ها با استفاده از نرم‌افزار اکسل[۱۵] به‌دست آمده است. پس از وارد کردن ۲ یا ۳ مورد ازکاهش احتمال وقوع ریسک‌ها، با صرف $\propto$ درصد از بودجه‌ی باقی‌مانده که توسط مهندسان و کارشناسان قطار شهری اصفهان تعیین شده است، دیگر احتمالات با رسم توابع نمایی به‌دست می‌آید.

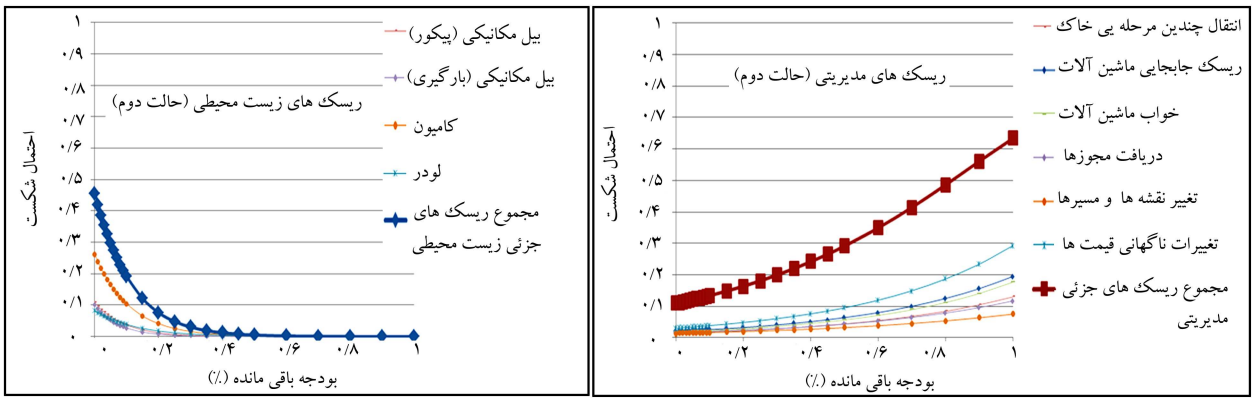
۳.۷. برآورد هزینه‌ی ریسک‌های ماشین‌آلات عمرانی

۱.۳.۷. برآورد هزینه‌ی ریسک‌های مدیریتی

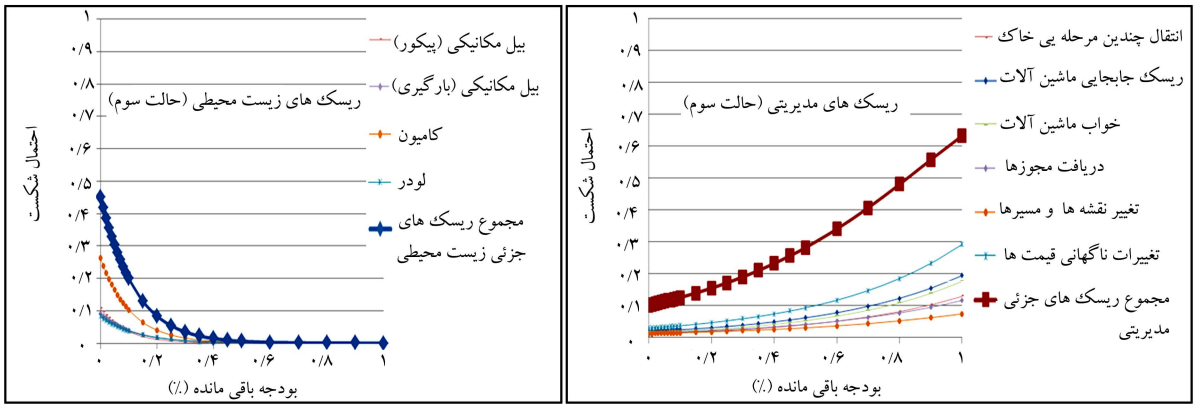
در بخش کنونی، هزینه‌ی ریسک‌های مدیریتی موجود در ۳ حالت با استفاده از پرسش‌نامه، توسط مهندسان و کارشناسان ماشین‌آلات پروژه برآورد و در جدول ۱۲ ارائه شده است.



شکل ۳. نمودارهای ریسک‌های پروژه (حالت اول).



شکل ۴. نمودارهای ریسک‌های پروژه (حالت دوم).



شکل ۵. نمودارهای ریسک‌های پروژه (حالت سوم).

جدول ۶. اثر بودجه‌ی باقی‌مانده بر روی ریسک‌های مدیریتی (حالت اول).

نام ماشین‌آلات	$p_0(F_i\|Mgmt_{rein})$
ریسک های مربوط به ایجاد رمپ	$0/108 \times EXP(-2/485\times \propto)$
توقف فعالیت ماشین آلات	$0/104 \times EXP(-2/447\times \propto)$
مشکلات دریافت مجوزها	$0/18 \times EXP(-1/861\times \propto)$
تغییر ناگهانی نقشه‌ها و مسیرها	$0/075 \times EXP(-1/373\times \propto)$
تغییرات ناگهانی قیمت‌ها	$0/293 \times EXP(-2/097\times \propto)$

جدول ۷. اثر بودجه‌ی باقی‌مانده بر روی ریسک‌های مدیریتی (حالت دوم).

نام ماشین‌آلات	$p_0(F_i\|Mgmt_{rein})$
انتقال چندمرحله‌یی خاک	$0/13 \times EXP(-2/159\times \propto)$
مشکلات جابه‌جایی ماشین‌آلات	$0/195 \times EXP(-2/228\times \propto)$
توقف فعالیت ماشین‌آلات	$0/177 \times EXP(-2/286\times \propto)$
مشکلات دریافت مجوزها	$0/117 \times EXP(-1/99\times \propto)$
تغییر ناگهانی نقشه‌ها و مسیرها	$0/075 \times EXP(-1/678\times \propto)$
تغییرات ناگهانی قیمت‌ها	$0/293 \times EXP(-2/246\times \propto)$

جدول ۸. اثر بودجه‌ی باقی‌مانده بر روی ریسک‌های مدیریتی (حالت سوم).

نام ماشین‌آلات	$p_0(F_i \mid Mgmt_{rein})$
انتقال چندمرحله‌یی خاک	$0/13 \times \text{EXP}(-2/303 \times \propto)$
مشکلات جابه‌جایی ماشین‌آلات	$0/195 \times \text{EXP}(-2/277 \times \propto)$
توقف فعالیت ماشین‌آلات	$0/177 \times \text{EXP}(-2/404 \times \propto)$
مشکلات دریافت مجوزها	$0/117 \times \text{EXP}(-2/054 \times \propto)$
تغییرات ناگهانی نقشه‌ها و مسیرها	$0/075 \times \text{EXP}(-1/753 \times \propto)$
تغییرات ناگهانی قیمت‌ها	$0/293 \times \text{EXP}(-2/279 \times \propto)$

جدول ۹. اثر بودجه‌ی باقی‌مانده بر روی ریسک‌های زیست‌محیطی (حالت اول).

نام ماشین‌آلات	$p_0(F_i \mid Enmt_{rein})$
بیل مکانیکی (پیکور)	$0/108 \times \text{EXP}(-7/701 \times \propto)$
بیل مکانیکی (بارگیری)	$0/1 \times \text{EXP}(-9/21 \times \propto)$
کامیون	$0/262 \times \text{EXP}(-6/96 \times \propto)$
لودر	$0/082 \times \text{EXP}(-5/571 \times \propto)$

جدول ۱۰. اثر بودجه‌ی باقی‌مانده بر روی ریسک‌های زیست‌محیطی (حالت دوم).

نام ماشین‌آلات	$p_0(F_i \mid Enmt_{rein})$
بیل مکانیکی (پیکور)	$0/108 \times \text{EXP}(-11 \times \propto)$
بیل مکانیکی (بارگیری)	$0/1 \times \text{EXP}(-13/16 \times \propto)$
کامیون	$0/262 \times \text{EXP}(-9/281 \times \propto)$
لودر	$0/082 \times \text{EXP}(-7/66 \times \propto)$

جدول ۱۱. اثر بودجه‌ی باقی‌مانده بر روی ریسک‌های زیست‌محیطی (حالت سوم).

نام ماشین‌آلات	$p_0(F_i \mid Enmt_{rein})$
بیل مکانیکی (پیکور)	$0/108 \times \text{EXP}(-11/25 \times \propto)$
مینی لودر (باب کت)	$0/09 \times \text{EXP}(-8/097 \times \propto)$
کامیون	$0/262 \times \text{EXP}(-9/385 \times \propto)$
لودر	$0/082 \times \text{EXP}(-7/9 \times \propto)$

جدول ۱۲. مقدار هزینه‌ی ریسک‌های مدیریتی.

موارد	هزینه ریسک‌های مدیریتی
حالت اول	۱۲۶۰۰۰۰۰۰۰
حالت دوم	۱۵۱۰۰۰۰۰۰۰
حالت سوم	۱۵۱۰۰۰۰۰۰۰

۲.۳.۷. برآورد هزینه‌های خارجی آلایندگی‌های زیست‌محیطی ماشین‌آلات عمرانی

آلایندگی‌های زیست‌محیطی به‌عنوان یک اثر خارجی بر روی اکوسیستم‌ها، منجر به ایجاد خسارت و هزینه‌های اجتماعی می‌شود. در بخش کنونی، میزان هزینه‌های خارجی آلاینده‌های PM، SO_2 [16]، NO_x [17]، CO [18] و [19] ناشی از ماشین‌آلات عمرانی، براساس مطالعه‌ی آژانس حفاظت از محیط‌زیست [20] برآورد می‌شود.[18] به‌طورکلی دو رویکرد: ۱. بالا به پایین، و ۲. پایین به بالا، جهت برآورد میزان انتشار آلایندگی‌ها وجود دارد.[19] در مطالعه‌ی حاضر، از رویکرد پایین به بالا استفاده شده و ابتدا میزان انتشار آلاینده‌های هر یک از ماشین‌آلات محاسبه و سپس مجموع میزان انتشار در محدوده‌ی موردنظر به‌دست آمده است.

- میزان انتشار عوامل آلایندگی‌های زیست‌محیطی: میزان انتشار عوامل آلایندگی‌های ماشین‌آلات دیزلی (CI) براساس روابط گزارش آژانس حفاظت از محیط زیست (روابط ۶ الی ۱۰) به‌دست می‌آید:

$$EF_{adj(co,NO_x,HC)} = EF_{ss} \times TAF \times DF \qquad (۶)$$

که در آن، EF_{adj} میزان انتشار نهایی آلایندگی‌های [21] CO، NO_x و HC بر حسب گرم بر اسب بخار ـ ساعت، EF_{ss} میزان انتشار آلایندگی‌های CO، NO_x و HC در صفر ـ ساعت [22]، TAF فعالیت ماشین‌آلات، ضریب انتشار آلایندگی‌های CO، NO_x و HC با توجه به نوع ماشین‌آلات، DF ضریب استهلاک ماشین‌آلات است.

$$EF_{adj(PM)} = EF_{ss} \times TAF \times DF - S_{PMadj} \qquad (۷)$$

که در آن، EF_{adj} میزان انتشار نهایی آلایندگی PM بر حسب گرم بر اسب بخار ساعت، EF_{ss} میزان انتشار آلایندگی PM در صفر ـ ساعت، TAF ضریب انتشار با توجه به نوع ماشین‌آلات، DF ضریب استهلاک ماشین‌آلات، S_{PMadj} میزان آلایندگی PM درگوگرد موجود در سوخت (رابطه‌ی ۸) است:

$$S_{PMadj} = BSFC \times ۴۵۳/۶ \times ۷/۰ \times soxcnv \times ۰/۰۱ \times (soxbas - soxdsl) \qquad (۸)$$

که در آن، S_{PMadj} میزان آلایندگی PM درگوگرد موجود در سوخت؛ $BSFC$ مقدار سوخت مصرف شده در واحد زمان برای تولید واحد قدرت بر حسب پوند بر اسب بخار ـ ساعت؛ ۴۵۳/۶ تبدیل lb به گرم؛ ۰/۷ میزان PM سولفات بر میزان PM (گوگرد بر حسب گرم)؛ $Soxcnv$ میزان PM گوگرد بر میزان کل PM سوخت (بر حسب گرم) که برابر ۰/۰۲۲۴۷ است؛ $Soxbas$ درصد وزنی گوگرد که برابر ۰/۳۳ است؛ $Soxdsl$ درصد وزنی گوگرد سوخت مورد استفاده که برابر ۰/۲۵ است.

$$SO_2 = (BSFC \times ۴۵۳/۲ \times (۱ - soxcnv) - HC) \times ۰/۰۱ \times soxdsl \times ۲ \qquad (۹)$$

که در آن، SO_2 مقدار آلاینده‌ی SO_2 بر حسب گرم بر اسب بخار ـ ساعت؛ $BSFC$ مقدار سوخت مصرف شده در واحد زمان برای تولید واحد قدرت بر حسب پوند بر اسب بخار ـ ساعت؛ ۴۵۳/۶ تبدیل lb به گرم؛ $Soxcnv$ میزان PM گوگرد بر میزان کل PM سوخت (بر حسب گرم) که برابر ۰/۰۲۲۴۷ است؛ HC میزان آلاینده‌ی HC [23] بر حسب گرم بر اسب بخار ـ ساعت؛ $Soxdsl$ درصد وزنی گوگرد سوخت مورد استفاده که برابر ۰/۲۵ است.

$$BSFC = EF_{BSFC} \times TAF \qquad (۱۰)$$

که در آن، $BSFC$ مقدار سوخت مصرف شده در واحد زمان برای تولید واحد قدرت بر حسب پوند بر اسب بخار ـ ساعت؛ EF_{ss} ضریب $BSFC$ در صفر ـ ساعت؛ TAF ضریب $BSFC$ با توجه به نوع ماشین‌آلات است. همچنین DF [24] هر یک از عوامل آلایندگی با استفاده از استاندارد آژانس جهانی محیط

جدول ۱۳. عناصر آلایندگی‌های ماشین‌آلات.

ماشین‌آلات	سال تولید	قدرت (اسب بخار)	عوامل آلایندگی $(g/hp-hr)$			
			PM	NO_x	CO	SO_2
بیل مکانیکی (پیکور)	۲۰۰۶	۱۶۸	۰٫۳۰۵	۳٫۹۳۰	۱٫۴۶۰	۰٫۸۱۹
بیل مکانیکی (بارگیری)	۲۰۰۶	۱۶۸	۰٫۳۰۵	۳٫۹۳۰	۱٫۴۶۰	۰٫۸۱۹
مینی لودر (باب کت)	۲۰۱۰	۷۸	۰٫۴۱۰	۳٫۱۴۵	۴٫۱۶۶	۰٫۹۱۲
کامیون	۲۰۰۰	۲۴۰	۰٫۴۳۶	۵٫۴۲۶	۱٫۲۵۹	۰٫۸۱۹
لودر	۲۰۱۰	۱۷۵	۰٫۴۹۹	۳٫۰۴۹	۲٫۲۱۱	۰٫۹۵۷

جدول ۱۴. میزان آلایندگی‌های ماشین‌آلات (حالت اول).

ماشین‌آلات	میزان مصرف سوخت مازاد (لیتر ـ ساعت)	میزان کارکرد (ساعت)	میزان آلایندگی (Ton)			
			PM	NO_x	CO	SO_2
بیل مکانیکی (پیکور)	۳	۲۴۴۳	۰٫۰۳۲	۰٫۴۰۸	۰٫۱۵۲	۰٫۰۸۵
بیل مکانیکی (بارگیری)	۳	۱۹۶۰	۰٫۰۲۵	۰٫۳۲۸	۰٫۱۲۲	۰٫۰۶۸
کامیون	۵	۱۲۰۰۰	۰٫۳۷۱	۴٫۶۱۶	۱٫۰۷۱	۰٫۶۹۷
لودر	۲	۱۷۰۰	۰٫۰۲۴	۰٫۱۴۷	۰٫۱۰۷	۰٫۰۴۶

جدول ۱۵. میزان آلایندگی‌های ماشین‌آلات (حالت دوم).

ماشین‌آلات	میزان مصرف سوخت مازاد (لیتر ـ ساعت)	میزان کارکرد (ساعت)	میزان آلایندگی (Ton)			
			PM	NO_x	CO	SO_2
بیل مکانیکی (پیکور)	۳	۲۴۴۳	۰٫۰۳۲	۰٫۴۰۸	۰٫۱۵۲	۰٫۰۸۵
بیل مکانیکی (بارگیری)	۳	۱۹۶۰	۰٫۰۲۵	۰٫۳۲۸	۰٫۱۲۲	۰٫۰۶۸
کامیون	۵	۱۲۰۰۰	۰٫۳۷۱	۴٫۶۱۶	۱٫۰۷۱	۰٫۶۹۷
لودر	۲	۱۷۰۰	۰٫۰۲۴	۰٫۱۴۷	۰٫۱۰۷	۰٫۰۴۶

جدول ۱۶. میزان آلایندگی‌های ماشین‌آلات (حالت سوم).

ماشین‌آلات	میزان مصرف سوخت مازاد (لیتر ـ ساعت)	میزان کارکرد (ساعت)	میزان آلایندگی (Ton)			
			PM	NO_x	CO	SO_2
بیل مکانیکی (پیکور)	۳	۲۴۴۳	۰٫۰۳۲	۰٫۴۰۸	۰٫۱۵۲	۰٫۰۸۵
مینی لودر (باب کت)	۱	۲۰۵۰	۰٫۰۱۲	۰٫۰۹۱	۰٫۱۲۱	۰٫۰۲۷
کامیون	۵	۱۲۰۰۰	۰٫۳۷۱	۴٫۶۱۶	۱٫۰۷۱	۰٫۶۹۷
لودر	۲	۱۷۰۰	۰٫۰۲۴	۰٫۱۴۷	۰٫۱۰۷	۰٫۰۴۶

زیست به‌دست می‌آید. با توجه به روابط مذکور، میزان انتشار عناصر آلایندگی در جدول ۱۳ ارائه شده است.

با توجه به اینکه میزان آلاینده‌های به‌دست آمده براساس واحد گرم بر اسب بخار ـ ساعت $(g/hp-hr)$ است، با استفاده از رابطه‌ی ۱۱ به واحد گرم (g) تبدیل می‌شود (جدول‌های ۱۴ الی ۱۶). شایان ذکر است که میزان مصرف سوخت مازاد ماشین‌آلات موردنظر براساس سوابق پیشین و تجربه‌ی مهندسان و کارشناسان و همچنین میزان کارکرد ماشین‌آلات براساس برنامه‌ی زمان‌بندی پروژه برآورد شده است.

$$A = \frac{۳٫۸ \times ۱۰^{۷} \times B}{۲٫۶۸ \times ۱۰^{۶}} \qquad (۱۱)$$

جدول ۱۷. هزینه‌ی خارجی عناصر آلایندگی.

نوع گاز	NO_x	SO_2	CO	PM
مقدار هزینه (هزار ریال بر تن)	۴۸۰۰	۱۴۶۰۰	۱۵۰۰	۳۴۴۰۰

که در آن، A مقدار آلاینده‌ی ناشی از یک لیتر نفت گاز (g)؛ B مقدار آلاینده‌ی به‌دست آمده $(g/hp-hr)$؛ $۳٫۸ \times ۱۰^{۷}$ انرژی حاصل از یک لیتر نفت گاز (j)؛ $۲٫۶۸ \times ۱۰^{۶}$ انرژی حاصل از یک اسب بخار (j) است.

ـ هزینه‌ی خارجی آلایندگی‌های زیست‌محیطی: هزینه‌های خارجی تخریب محیط زیست در اثر مصرف حامل‌های انرژی فسیلی در کشور براساس قیمت‌های ثابت ۱۳۸۱ و براساس مطالعات وزارت نیرو، مطابق جدول‌های ۱۷ الی ۱۹ محاسبه

جدول ۱۸. هزینه‌ی خارجی آلایندگی‌ها به تفکیک ماشین‌آلات.

	ماشین‌آلات	هزینه‌ی آلایندگی (ریال)			
		PM	NO_x	CO	SO_2
حالت اول	بیل مکانیکی (پیکور)	۱۰۹۰۱۹۱	۱۹۶۰۳۴۹	۲۲۷۵۷۹	۱۲۴۲۹۴۳
	بیل مکانیکی (بارگیری)	۸۷۴۶۵۱	۱۵۷۲۷۷۳	۱۸۲۵۸۵	۹۹۷۲۰۳
	کامیون	۱۲۷۴۷۹۹۱	۲۲۱۵۵۴۷۵	۱۶۰۶۸۷۲	۱۰۱۷۷۵۱۹
	لودر	۸۲۷۴۲۵	۷۰۵۵۹۴	۱۵۹۸۹۶	۶۷۳۶۵۹
حالت دوم	بیل مکانیکی (پیکور)	۱۰۹۰۱۹۱	۱۹۶۰۳۴۹	۲۲۷۵۷۹	۱۲۴۲۹۴۳
	بیل مکانیکی (بارگیری)	۸۷۴۶۵۱	۱۵۷۲۷۷۳	۱۸۲۵۸۵	۹۹۷۲۰۳
	کامیون	۱۲۷۴۷۹۹۱	۲۲۱۵۵۴۷۵	۱۶۰۶۸۷۲	۱۰۱۷۷۵۱۹
	لودر	۸۲۷۴۲۵	۷۰۵۵۹۴	۱۵۹۸۹۶	۶۷۳۶۵۹
حالت سوم	بیل مکانیکی (پیکور)	۱۰۹۰۱۹۱	۱۹۶۰۳۴۹	۲۲۷۵۷۹	۱۲۴۲۹۴۳
	مینی لودر (باب کت)	۴۰۹۵۰۵	۴۳۸۷۹۲	۱۸۱۶۲۸	۳۸۶۹۵۱
	کامیون	۱۲۷۴۷۹۹۱	۲۲۱۵۵۴۷۵	۱۶۰۶۸۷۲	۱۰۱۷۷۵۱۹
	لودر	۸۲۷۴۲۵	۷۰۵۵۹۴	۱۵۹۸۹۶	۶۷۳۶۵۹

شده است.[۲۰] از آنجایی که هزینه‌های خارجی محاسبه شده براساس قیمت‌های ثابت سال ۱۳۸۱ است، با استفاده از روش کاست پلاس[۲۵] با رویکرد قیمت ارز دلار (رابطه‌ی ۱۲) به هزینه‌ی خارجی اواسط سال ۱۳۹۳ تبدیل می‌شود:

$$ExCt_{۱۳۹۳} = ExCt_{۱۳۸۱} \times \frac{\$Rate_{۱۳۹۳}}{\$Rate_{۱۳۸۱}} \qquad (۱۲)$$

که در آن، $ExCt$ هزینه‌های خارجی و $\$Rate$ متوسط قیمت دلار است. براساس گزارش‌های بانک مرکزی ایران، متوسط قیمت دلار در سال ۱۳۸۱ برابر ۷۹۵۸ ریال و در ۶ ماهه‌ی اول سال ۱۳۹۳ برابر با ۳۱۳۰۰ ریال است.[۲۱] هزینه‌ی نهایی ریسک‌های زیست‌محیطی مطابق جدول ۳ محاسبه شده است.

۸. بهینه‌سازی بودجه‌ی باقی‌مانده جهت کاهش ریسک‌های مدیریتی و زیست‌محیطی

پس از تعیین بودجه‌ی باقی‌مانده و مقدار کاهش احتمال‌ها با استفاده از نمودارها، عملیات بهینه‌سازی انجام می‌گیرد. در این مرحله، عملیات بهینه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار متمتیکا[۲۶]، به‌صورت معادلات غیرخطی (رابطه‌ی ۱۳) انجام می‌شود:[۲۲]

$$E = \sum_i p_\circ(PMF_i|Mgmt_{rein}).C(PMF) + \sum_i p_\circ(PEF_i|Enmt_{rein}).C(PEF) \qquad (۱۳)$$

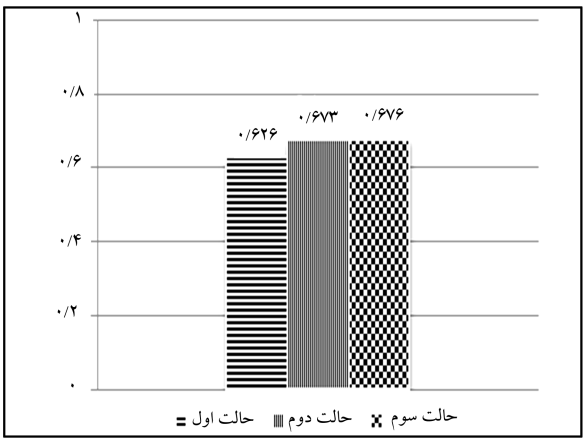
که در آن، $p_\circ(PMF_i|Mgmt_{rein})$ احتمال وقوع ریسک‌های جزئی مدیریتی، $p(PEf_i|Enmt_{rein})$ احتمال وقوع ریسک‌های جزئی زیست‌محیطی، $C(PMF)$ هزینه‌ی ریسک‌های جزئی مدیریتی و $C(PEF)$ هزینه‌ی ریسک‌های جزئی زیست‌محیطی است. در این مرحله نیز خروجی نرم‌افزار در جدول‌های ۲۱ الی ۲۳ و شکل‌های ۶ و ۷ تشریح شده است که با توجه به احتمال وقوع ریسک‌ها و هزینه‌ی کل، حالت اول برای انجام عملیات حفاری و خاک‌برداری پروژه‌ی ایستگاه قطار شهری انتخاب شده است.

جدول ۱۹. هزینه‌ی نهایی ریسک‌های زیست‌محیطی (براساس سال ۱۳۸۱).

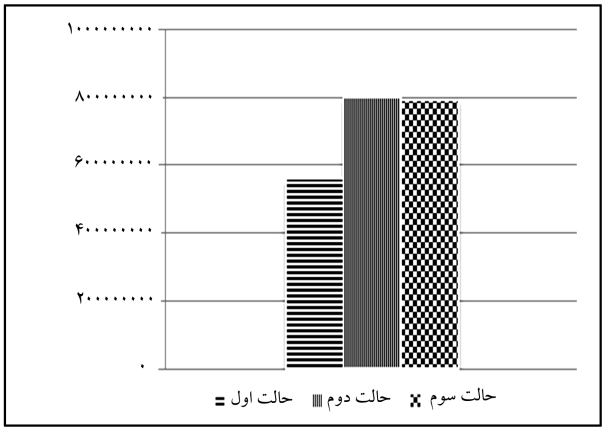
حالت	هزینه‌ی آلایندگی (ریال)
حالت اول	۵۷۱۹۰۰۰۰
حالت دوم	۵۷۱۹۰۰۰۰
حالت سوم	۵۴۹۸۰۰۰۰

جدول ۲۰. هزینه‌ی نهایی ریسک‌های زیست‌محیطی (براساس سال ۱۳۹۳).

حالت	هزینه‌ی آلایندگی (ریال)
حالت اول	۲۲۴۹۰۰۰۰۰
حالت دوم	۲۲۴۹۰۰۰۰۰
حالت سوم	۲۱۶۲۰۰۰۰۰



شکل ۶. نمودار بهینه‌ی احتمال وقوع ریسک‌های مدیریتی و زیست‌محیطی.



شکل ۷. نمودار بهینه‌ی هزینه‌ی ریسک‌های مدیریتی و زیست‌محیطی.

جدول ۲۱. هزینه‌ی ریسک‌های مدیریتی و زیست‌محیطی با صرف بودجه‌ی باقی‌مانده (حالت اول).

$\propto$	احتمال وقوع ریسک	هزینه‌ی کل ریسک‌های مدیریتی و زیست‌محیطی
	$P(PMF)\&P(PEF)$	E
٪۰	۰٫۷۶۷	۸۰۹۲۳۱۲۲۲
٪۱۰	۰٫۷۴۹	۷۶۶۸۹۳۷۷۰
٪۲۰	۰٫۷۳۴	۷۳۲۵۶۵۴۰۲
٪۳۰	۰٫۷۲۰	۷۰۴۹۳۵۰۹۸
٪۴۰	۰٫۷۰۹	۶۹۰۲۳۱۵۷۳
٪۵۰	۰٫۶۹۱	۶۶۴۵۴۹۴۵۱
٪۶۰	۰٫۶۷۳	۶۳۵۳۷۹۲۶۶
٪۷۰	۰٫۶۶۱	۶۱۵۱۴۰۲۰۳
٪۸۰	۰٫۶۴۹	۵۹۵۳۷۵۱۳۴
٪۹۰	۰٫۶۳۷	۵۷۶۳۰۲۷۸۰
٪۱۰۰	۰٫۶۲۶	۵۵۷۸۲۵۷۸۰

جدول ۲۲. هزینه‌ی ریسک‌های مدیریتی و زیست‌محیطی با صرف بودجه‌ی باقی‌مانده (حالت دوم).

$\propto$	احتمال وقوع ریسک	هزینه‌ی کل ریسک‌های مدیریتی و زیست‌محیطی
	$P(PMF)\&P(PEF)$	E
٪۰	۰٫۸۰۱	۱۰۴۵۹۲۵۳۳۸
٪۱۰	۰٫۷۸۹	۱۰۱۲۰۹۳۱۶۶
٪۲۰	۰٫۷۷۱	۹۸۳۹۴۸۱۶۸
٪۳۰	۰٫۷۵۷	۹۵۸۰۲۹۹۶۸
٪۴۰	۰٫۷۴۵	۹۳۲۹۷۳۷۲۹
٪۵۰	۰٫۷۳۳	۹۰۸۹۴۹۱۳۳
٪۶۰	۰٫۷۲۲	۸۸۵۶۶۲۰۷۵
٪۷۰	۰٫۷۱۰	۸۶۳۱۷۷۲۹۵
٪۸۰	۰٫۶۹۹	۸۴۱۲۶۶۴۴۳
٪۹۰	۰٫۶۹۰	۸۲۴۷۰۷۳۵۵
٪۱۰۰	۰٫۶۷۳	۷۹۹۶۸۹۰۰۷

جدول ۲۳. هزینه‌ی ریسک‌های مدیریتی و زیست‌محیطی با صرف بودجه‌ی باقی‌مانده (حالت سوم).

$\propto$	احتمال وقوع ریسک	هزینه‌ی کل ریسک‌های مدیریتی و زیست‌محیطی
	$P(PMF)\&P(PEF)$	E
٪۰	۰٫۷۹۸	۱۰۴۱۳۲۲۱۴۰
٪۱۰	۰٫۷۸۵	۱۰۰۷۱۲۸۴۵۲
٪۲۰	۰٫۷۶۹	۹۷۹۰۰۴۲۵۹
٪۳۰	۰٫۷۵۶	۹۵۲۷۳۰۲۸۰
٪۴۰	۰٫۷۴۳	۹۲۶۵۹۲۴۹۹
٪۵۰	۰٫۷۳۱	۹۰۲۳۰۶۶۵۷
٪۶۰	۰٫۷۱۹	۸۷۸۵۴۸۱۴۵
٪۷۰	۰٫۷۰۷	۸۵۵۴۱۲۱۰۲
٪۸۰	۰٫۶۹۶	۸۳۳۷۵۳۳۳۱
٪۹۰	۰٫۶۸۶	۸۱۲۷۶۸۸۴۱
٪۱۰۰	۰٫۶۷۶	۷۹۲۱۱۴۸۲۷

۹. نتیجه‌گیری

در پروژه‌های عمرانی و زیربنایی کشور، ماشین‌آلات به‌عنوان یکی از منابع اصلی و مهم در راستای رسیدن به اهداف از پیش تعیین شده است. ماشین‌آلات عمرانی، همواره ریسک‌های متعددی دارند. مطالعه‌ی حاضر، ریسک‌های ماشین‌آلات عمرانی را در گروه‌های زمان، هزینه و مسائل زیست‌محیطی تقسیم کرده است. به‌منظور فعالیت به موقع پروژه در محدوده‌ی مشخص هزینه و منطبق با نیازهای فنی، مدیران ساخت باید به ابزارهای پشتیبانی تصمیم‌گیری مجهز شوند که با کمینه‌سازی ریسک‌های موجود در پروژه به‌طور هم‌زمان در انتخاب ترکیب بهینه‌ی ماشین‌آلات کمک کند.

روش آنالیز و مدیریت برنامه‌یی ریسک پیشرفته روشی است که ابتدا با تعریف و شناسایی ترکیب ماشین‌آلات، کمینه‌ی هزینه‌ی هر کدام را مشخص می‌کند و با استفاده از روش دلفی، احتمال وقوع هر یک از ریسک‌ها به‌دست می‌آید. سپس با بهینه‌سازی ریسک‌های مدیریتی و زیست‌محیطی ترکیب بهینه‌ی ماشین‌آلات را انتخاب می‌کند. روش مذکور، ریسک‌های شکست پروژه در طول کل چرخه‌ی پروژه را از مرحله‌ی طراحی و ساخت تا بهره‌برداری، نگهداری و تعمیرات رسیدگی می‌کند.

در نوشتار حاضر، هم‌زمان با توسعه‌ی روش آنالیز و مدیریت برنامه‌یی ریسک پیشرفته برای درنظرگرفتن ریسک‌های زیست‌محیطی علاوه بر ریسک‌های مدیریتی، ۳ ترکیب ماشین‌آلات پروژه‌ی حفاری و خاک‌برداری قطار شهری اصفهان بررسی شده است. سپس با برآورد هزینه‌ی اولیه‌ی آنها و شناسایی ریسک‌های موجود، نمودارهای بهینه‌سازی هر یک ترسیم شده است. این نمودارها در زمینه‌ی ریسک‌های مدیریتی (هزینه و زمان) و مسائل زیست‌محیطی است و می‌توان آنها را با هم مقایسه و ترکیب بهینه را انتخاب کرد. در پژوهش حاضر، با توجه به احتمال وقوع ریسک‌ها و هزینه‌ی کل، حالت اول برای انجام عملیات حفاری و خاک‌برداری پروژه‌ی ایستگاه قطار شهری انتخاب شده است. در پروژه‌های عمرانی و زیربنایی کشور، با تحلیل نمودارهای بهینه‌سازی، تصمیمات مناسبی جهت انتخاب پیمانکاران و روش‌های اجرا گرفته می‌شود و روش آنالیز و مدیریت برنامه‌یی ریسک پیشرفته، به‌عنوان یک روش انتخاب بهینه‌ی ماشین‌آلات توصیه می‌شود.

پانوشت‌ها

1. advanced programmatic risk analysis and management model
2. external costs
3. total failure
4. partial failure
5. conventional construction system (CCS)
6. light steel frame (LSF)
7. ایستگاه کارگر، خط شمالی ـ جنوبی
8. tower crane
9. bobcat
10. residual budgets
11. total budgets
12. development costs
13. imbeah
14. exponential
15. excel
16. particulate matter
17. sulfur dioxide
18. oxides of nitrogen
19. carbon monoxide
20. environmental protection agency
21. compression ignition
22. zero-hour
23. hydrocarbon
24. deterioration factors
25. cost plus
26. Mathematica

منابع (References)

1. Mehdizadeh, R. "Dynamic and multi-perspective risk management of construction projects using tailor-made risk breakdown structures", Universite Paris-Est Marne la Valee (2012).
2. Mustafa, M.A. and Al-Bahar, J.F. "Project risk assessment using the analytic hierarchy process", *Engineering Management, IEEE Transactions On*, **38**(1), pp. 46-52 (1991).
3. Akintoye, A.S. and MacLeod, M.J. "Risk analysis and management in construction", *International Journal of Project Management*, **15**(1), pp. 31-38 (1997).
4. Imbeah, W. and Guikema, S. "Managing construction projects using the advanced programmatic risk analysis and management model", *Journal of Construction Engineering and Management*, **135**(8), pp. 772-781 (2009).
5. Dillon. R.L., Pate-Cornell, M.E. and Guikema, S.D. "Programmatic risk analysis for critical engineering systems under tight resource constraints", *Operations Research*, **51**(3), pp. 354-370 (2003).
6. Dillon, R.L. and Pate-Cornell, M.E. "APRAM: An advanced programmatic risk analysis method", *International Journal of Technology, Policy and Management*, **1**(1), pp. 47-65 (2001).
7. Rydeen, F. "Managing costs", *American School and University*, **78**(7), p. 58 (2006).
8. Mulholland, B. and Christian, J. "Risk assessment in construction schedules", *Journal of Construction Engineering and Management*, **125**(1), pp. 8-15 (1999).
9. Oztas, A. and Okmen, O. "Judgmental risk analysis process development in construction projects", *Building and Environment*, **40**(9), pp. 1244-1254 (2005).
10. Trejo, d. and Reinschmidt, k. "Justifying materials selection for reinforced concrete structures: Part I - Sensitivity analysis", *Journal of Bridge Engineering*, **12**(1), pp. 31-37 (2005).
11. Mbachu, J.I.C. and Vinasithamby, K. "Sources of risks in construction development", Queensland University of Technology Research Week, pp. 5-8 (2005).
12. Dillon, R.L. "Programmatic risk analysis: Engineering and management risk tradeoffs for interdependent projects", Stanford University (1999).
13. Zeynalian, M., Trigunarsyah, B. and Ronagh, H. "Modification of advanced programmatic risk analysis and management model for the whole project life cycle's risks", *Journal of Construction Engineering and Management*, **139**(1), pp. 51-59 (2012).
14. "IMSO, Municipal subway station excavation reports", Isfahan Municipal Subway Organization, Isfahan, Iran (2012-2014).
15. Ludwig, L. and Starr, S. "Library as place: Results of a delphi study", *Journal of the Medical Library Association*, **93**(3), pp. 315-326 (2005).
16. Pate-Cornell. M.E. "Fault trees vs. event trees in reliability analysis", *Risk Analysis*, **4**(3), pp. 177-186 (1984).
17. Guikema, S.D. and Pate-Cornell, M.E. "Component choice for managing risk in engineered systems with generalized risk/cost functions", *Reliability Engineering & System Safety*, **78**(3), pp. 227-238 (2002).
18. *EPA, Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Engine Modeling Compression-Ignition*, Environmental Protection Agency (2010).
19. Kumar, P. and et al. "Preliminary estimates of nanoparticle number emissions from road vehicles in megacity Delhi and associated health impacts", *Environmental Science & Technology*, **45**(13), pp. 5514-5521 (2011).
20. *Ministry of Energy, Balance sheet report 1390*, Department of Energy, Tehran, Iran (2011).
21. *CBI, Rate of Exchange Reports*, Central Bank of the Islamic Republic of Iran, Tehran, Iran (2013-2014).
22. Hillier, F. and Lieberman, G. *Non-linear Programming and Meta-heuristics*, Chap. 12, 13, Introduction to Operations Research, McGraw-Hill Publ (2005).