طراحی مدلی برای ارزیابی اقتصادی و بهینه‌سازی سرمایه‌گذاری در خرید تجهیزات پلیسی با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان انسان

(مطالعه موردی دستگاه تشخیصی طیف‌سنجی جرمی)

مهدی کرباسیان[1] و رقیه رمضانی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۱۱
تاریخ اصلاح: ۱۳۹۳/۰۲/۱۲
تاریخ‌پذیرش: ۱۳۹۳/۰۳/۰۹

چکیده

هدف و زمینه: با وجود افزایش کاربرد اتوماسیون در صنایع، حذف کامل تأثیر عوامل انسانی در عملیات نگهداری و تعمیر سامانه‌ها غیر ممکن است. به همین دلیل برای پیشگیری و محدود کردن پیامدهای ناشی از خطاهای انسانی و از طرفی کاهش هزینه‌های خطا، شناسایی آنها لازم است و دسته‌بندی خطاها و تحلیل علت‌ها، می‌تواند منجر به شناخت سازوکار بروز خطا شده و به کاهش تعداد بروز خطا منتهی شود.

روش: در این مقاله با دسته‌بندی خطاهای انسانی به صورت مدلی توسعه داده شده از عوامل محیطی، فردی و تیمی، تخمین مقدار قابلیت اطمینان انسان به صورت فازی انجام گرفته است. مقدار عدم قابلیت انسانی در گذشت زمان با توجه به مفهوم منحنی یادگیری به صورت نمایی کاهش یافته و فرض شده که مقدار نرخ افزایش سالانه قابلیت اطمینان انسان(λ) به میزان سرمایه‌گذاری اولیه تجهیز ارتباط دارد. در مرحله نهایی، مدل براساس محاسبه ارزش خالص اولیه پروژه، مقدار بهینه سرمایه‌گذاری برای انتخاب و خرید تجهیزات گران قیمت به‌دست آمده است.

یافته‌ها: مدل ارائه شده بر روی یک دستگاه کروماتوگرافی گازی یا طیف‌سنجی جرمی که در آزمایشگاه‌های جنایی و تشخیصی کاربرد دارد، اعتبارسنجی شده است. با معلوم بودن هزینه انسانی، سرمایه و همچنین قابلیت اطمینان سال اول که با روش FTA محاسبه شد، به محاسبه ارزش خالص فعلی پرداختیم و سپس با استفاده از گزینه Goal Seek، مقدار بهینه سرمایه‌گذاری محاسبه می‌شود.

نتیجه‌گیری: با بررسی خطاهای انسانی و یافتن قابلیت اطمینان انسان و همچنین توجه به هزینه‌های قابلیت اطمینان انسان و دیگر هزینه‌ها، می‌توان در هر پروژه به خالص درآمد بالاتر و در نتیجه، ارزش خالص فعلی مثبت‌تری رسید. در پایان، قابلیت اطمینان در تعامل با سرمایه‌گذاری در بستر زمان بهره‌برداری از تجهیز، میزان بهینه سرمایه‌گذاری برای انتخاب و خرید بهترین و مناسب‌ترین نوع دستگاه جدید را به ما می‌دهد. در این حالت با قابلیت اطمینان بالاتر و هزینه‌های کمتر می‌توان سرمایه‌گذاری با خطر کمتر انجام داد و در نتیجه به سودآوری بالاتر رسید.

واژه‌های کلیدی: قابلیت اطمینان انسان، تجزیه و تحلیل درخت خطا، ارزش خالص فعلی، سرمایه‌گذاری، ارزیابی اقتصادی سرمایه‌گذاری

❑ استناد: کرباسیان، مهدی؛ رمضانی، رقیه (پاییز ۱۳۹۳). طراحی مدلی برای ارزیابی اقتصادی و بهینه‌سازی سرمایه‌گذاری در خرید تجهیزات پلیسی با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان انسان (مطالعه موردی دستگاه تشخیصی طیف‌سنجی جرمی). *فصلنامه مطالعات مدیریت انتظامی*، ۹ (۳)، ۳۴۵-۳۷۰.

۱. دانشیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، اصفهان(نویسنده مسئول) mkarbasi@mut-es.ac.ir
۲. کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، گروه مدیریت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد، اصفهان: Roghayeh.ramezani95@yahoo.com

مقدمه

امروزه در بسیاری از صنایع از قبیل؛ صنایع هسته‌ای، شیمیایی، نظامی و پزشکی، سامانه‌های حساس با فناوری‌های پیشرفته به کار گرفته می‌شود. از آن جایی که این سامانه‌ها همواره در تعامل متقابل با انسان‌ها هستند، ظرفیت وقوع خطرات ناشی از خطاهای انسانی در این فرایندها بالا است. خطای انسانی شامل انحراف عملکرد انسان از قوانین و وظایف مشخص شده است که از حد قابل قبول سامانه فراتر رود و بر کارایی سامانه، اثر نامطلوب داشته باشد (هلناگل، ۱۹۹۸؛ لیو[1] و همکاران، ۲۰۰۴). امروزه حتی روش‌هایی وجود دارند که به صورت کمّی و کیفی، میزان احتمال وقوع و تأثیر خطاهای انسانی در قابلیت اطمینان و ایمنی سامانه را تحلیل می‌کنند که به آن‌ها قابلیت اطمینان افراد گفته می‌شود (فاضل، ۱۳۸۸). توانایی انسان در انجام موفقیت‌آمیز یک سری وظایف شغلی معین در یک محدوده‌ی زمانی معین را قابلیت اطمینان انسان گویند (شعبانی و نجفی مجد، ۱۳۹۰: ۱۰۵).

پیش‌بینی قابلیت اطمینان سامانه از اهمیت زیادی برخوردار است. در اغلب موارد، خطاهای انسانی به عنوان عامل ایجاد مشکلات و نقص در سامانه‌ها شناخته می‌شوند، اما اغلب پس از بررسی ریشه‌ی به‌وجود آمدن این خرابی‌ها، علت مشکل، فقدان تناسب بین واسط سامانه و پردازش اطلاعات انسانی معرفی شده است. بنابراین شناخت حالات خطای انسانی، ریشه‌یابی آنها و نیز عوامل عملکردی مؤثر بر روی احتمال و شدت خطا، منجر به طراحی سامانه با قابلیت اطمینان بیشتری می‌شود (خشنود قویم و نصرت اللهی، ۱۳۸۸). در ایران و به‌خصوص در زمینه ارزیابی خطر و پارامترهای ایمنی در صنایع، ارزیابی خطای انسانی کم رنگ است. با این حال مطالعاتی در زمینه خطای انسانی در بعضی صنایع صورت گرفته که می‌توان به مطالعات شناسایی خطای انسانی در واحد آیزوماکس به روش PHEA[2] و ارزیابی قابلیت اطمینان در اتاق کنترل مرکزی پتروشیمی امام خمینی ماهشهر به روش HEART[3] اشاره کرد (قلعه نوی[4] و همکاران، ۲۰۰۹: ۸۹).

---

1. Liu
2. Predictive Human Error Analysis
3. Human error assessment and reduction Technique
4. Ghalenoi

در بررسی امکانات و قابلیت های یک سامانه، باید احتمال کارکرد موفقیت آمیز و بدون اشکال آن را ارزیابی نمود، روشن است که احتمال کارکرد سالم یک سامانه، علاوه بر وابستگی به طرح اولیه، به شرایط محیط بر سامانه نیز وابستگی دارد. سامانه معمولاً تحت تأثیر عوامل انسانی قراردارد و خطاهای انسان می تواند تأثیر زیادی بر عملکرد آن داشته باشد. از دیدگاه دیگر در بررسی اقتصادی یک پروژه باید به رابطه‌ی انسان و هزینه‌های مرتبط با خطاهای انسانی توجه کرد، زیرا خطاهای انسانی در تولید یا نگهداری و تعمیرات مشمول هزینه‌هایی است. ارزیابی مالی-اقتصادی سرمایه‌گذاری از مهمترین رکن‌های تصمیم‌گیری در مورد مطلوبیت و یا عدم مطلوبیت انجام سرمایه‌گذاری و یا معیاری برای مقایسه دو یا چند مورد با یکدیگر است. فرمول‌ها و روش‌های معمول در اقتصاد مهندسی از جمله روش‌های ریاضی برای ساده کردن مقایسه اقتصادی پروژه‌ها است که مدیران از آن در تصـمیم‌گیری برای انتخاب پروژه‌های مناسب استفاده می‌کنند .یکی از این روش‌ها ارزش خالص فعلی است که عبارت از تبدیل ارزش‌های آینده و همچنین دریافت‌ها و پرداخت‌های یکنواخت به ارزش فعلی در زمان حال است (اسکونژاد، ۱۳۸۱). همچنین در هر پروژه، هدف مطلوب، کاهش هزینه‌ها از جمله هزینه قابلیت اطمینان انسان و رسیدن به میزان سرمایه‌گذاری بهینه است. بنابراین یافتن علت خطاها و ریشه‌یابی آن بر قابلیت اطمینان تأثیرگذار است. با کاهش خطا، می‌توان هزینه‌های موجود را نیز کاهش داد و به سودآوری مطلوب رسید.

با توجه به موارد فوق، هدف این تحقیق، انتخاب و خرید تجهیز مناسب از لحاظ کلاس یا مدل به سبب ایجاد هزینه‌های عملیاتی متفاوت از جمله هزینه‌های مربوط به خطای انسانی در حوزه‌های بهره‌برداری و نگهداری و تعمیرات است. در این مسیر از روش‌های ارزیابی اقتصادی طرح‌ها در بستر زمان و قابلیت اطمینان بهره برده شده است. همچنین برای اولین بار نقش هزینه‌هایی که خطای انسانی در این قالب ایجاد می‌کند با استفاده از متغیرهای ریاضی مدل‌سازی انجام شده است.

پیشینه تحقیق

اولیور استراتر[1] در سال ۲۰۰۴ مقاله‌ای با عنوان توجه به عناصر کمّی‌سازی قابلیت اطمینان انسان

1. Strater

ارائه کرد. او در این مقاله تا حدودی به این مسئله پرداخته است که چگونه می‌توان دید کیفی را به دید کمّی تبدیل و بیان کرده است که اصطلاح داده‌ی کمی و کیفی تفاوتی با یکدیگر ندارند. اما در گستره کامل مهارت‌ها در فرآیند HRA[1] تفاوت این دو مؤثر است. او در این مقاله یک راه علمی برای تعیین داده‌های بهتر برای ارزیابی قابلیت اطمینان انسان پیشنهاد کرده است (استراتر، ۲۰۰۴: ۱۱۴).

چانگ و مصلح[2] در سال ۲۰۰۷ در مقاله خود به ارائه مدلی پرداختند که به توسعه پاسخ‌های احتمالاتی از نیروگاه هسته‌ای واپایش اتاق خدمه عامل در یک تصادف برای ارزیابی ریسک پرداخته و احتمالاتی را پیش بینی می‌کند. این مقاله به ارائه یک نمای کلی از معماریIDAC[3] و اصول اجرا به عنوان یک مدل شامل سه نوع اپراتور تصمیم گیرنده، گیرنده عمل و مشاور پرداخته است. در زمینه، خدمه هر یک از اپراتورهای فردی رفتار از طریق یک مدل‌شناختی شبیه‌سازی شده و تحت تأثیر تعدادی از عملکرد مؤثر بر عوامل مدل است.

مورسی در مقاله خود توسعه یک چارچوب و رویکرد برای کمک به تولیدکنندگان تصمیم‌گیری در مورد سرمایه‌گذاری در قابلیت اطمینان محصول جدید را پیشنهاد می‌کند. در عمل، انتساب قابلیت اطمینان به یک محصول جدید پر هزینه است، اما عواقب ناشی از قابلیت اطمینان محصول نامناسب می‌تواند گران‌تر باشد، بنابراین پیشنهاد سرمایه‌گذاری در قابلیت اطمینان محصول شامل اجرای دو وظیفه‌ی؛ تعریف قابلیت اطمینان مورد نیاز در سطح سامانه و استخراج مشخصات قابلیت اطمینان در جزء است (مورسی و همکاران،[4] ۲۰۰۹: ۱۰۵).

بسیاری حالات نشان می‌دهد که ساختار شکست ممکن است باعث خطای کلی و در نتیجه، خطای انسانی شود و این اساساً برای تحلیل خطای انسانی است. تحلیل خطای انسانی (HEA)[5]، احتمال خطای انسانی (HEP)[6] را در ساختار به روش AHP تخمین می‌زند که روش AHP-FLIM[7]

---

1. Human Reliability Analysis
2. Chong and Mosleh
3. Information,Decision,Action
4. Morthy
5. Human Error Analysis
6. Human Error Probability
7. Analytic hierarchy process-fault likelihood index method

را بیان می‌کند و تأثیر قضاوت کارشناسان در مدل شاخص درستنمایی شکست را بررسی می‌کند (ژو چانگ، ۲۰۱۰[1]).

سایمون فرنچ و همکارانش، یک مقاله انتقادی و مروری برای مدیران سازمان‌ها در زمینه تجزیه و تحلیل‌های قابلیت اطمینان انسان ارائه کردند. آنها در این مقاله روش‌های HRA را مرور و راجع به آنها بحث کردند و به مدیران توصیه کردند که قبل از توسعه و پژوهش‌های بعدی‌شان، یکسری ملاحظات را قبل از اینکه نیازمند تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان و خطرهای مدرن شوند، در نظر بگیرند و چگونه ایمنی سامانه‌های پیچیده را مدیریت کنند و همچنین پیشنهاداتی ارائه کردند که چگونه مدیران بتوانند در چنین سامانه‌های پیچیده‌ای کار خود را با توجه به ایمنی سامانه، توسعه دهند (فرنچ[2] و همکاران، ۲۰۱۱ :۴۴).

فبیو و پتریللو،[3] در مقاله‌ای با عنوان «رویکرد پیشنهادی برای انجام قابلیت اطمینان انسانی و تجزیه و تحلیل خطا در سامانه حمل و نقل راه آهن» بیان کردند، از آنجا که در حال حاضر خطای انسانی به عنوان مهم‌ترین منبع از تصادفات و یا حوادث در سامانه‌های ایمنی حساس در نظر گرفته شده، هدف از این تحقیق پیشنهاد یک رویکرد روش‌شناختی در جهت بهبود قابلیت اطمینان سامانه حمل و نقل و به طور خاص، سامانه حمل و نقل راه‌آهن است. این روش بر اساس حالت‌های شکست و تجزیه تحلیل حساسیت اثرات شکست (FMECA)[4] و تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان انسانی (HRA) ارائه شده است (فیپو پتریللو، ۲۰۱۱: ۴۵).

ژی کیوانگ[5](۲۰۱۲) در مقاله‌ای با عنوان «تخمین احتمال خطای انسانی با استفاده از روش CREAM[6]» ابتدا درجه‌ای از واپایش را به چهار روش بیان کرد که باتوجه به زمینه مورد نظر به شرایط عملکرد رایج بستگی دارد و سپس رابطه‌ی بین واپایش و بازه‌های HEP را تخمین زد و این روش را

1. Zhou Chong
2. French
3. Fabio and Petrillo
4. Failure mode, effects and criticality analysis
5. Zhiqiang and et.al.
6. cognitive reliability error analysis method

به عنوان مبنایی برای تخمین نقطه HEP اجرا کرد و سپس مشخصه‌های روش را جمع‌آوری کرد که در نهایت ملاحظه شد، نتایج حاصل با داده‌های عملکرد انسانی ثبت شده مطابقت دارد.

در مقاله‌ای با هدف پوشش دادن تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان انسان در رآکتور تحقیقاتی تهران با استفاده از یک روش مناسب برای بررسی احتمال شکست انسان و پیش‌بینی نرخ خطای انسانی بیان شده که این تحلیل براساس روش قابلیت اطمینان انسان و خطر استفاده شده است. در این مطالعه، پس از مشورت با کارشناسان و مشاوره با اپراتورهای راکتور، خطاهای انسانی شناسایی شده و عوامل شکل دادن به تولید عملکرد مناسب برای احتمال نارسایی انسان اختصاص یافته است. تجزیه و تحلیل عوامل نشان داد که اشتباهات انسانی مهم‌ترین عامل خطر برای رآکتور تحقیقاتی تهران است و برنامه‌های آموزشی برای اپراتور با هدف بهبود ایمنی راکتور در نظر گرفته شد(براتی و ستایشی،۲۰۱۲[1]).

ساندرا مورسی[2] و اسمیدتز[3] (۲۰۱۳) در مقاله خود با عنوان «مدل‌های قابلیت اطمینان انسان برای نسل بعدی سامانه‌های کد» که برگرفته از مدل قابلیت اطمینان انسان مورد نیاز برای تعیین حاشیه ایمنی خطرها در نیروگاه‌های هسته‌ای از طریق تجزیه و تحلیل خطر احتمالاتی است، مدل IDAC[4] را برای ترکیب ویژگی مورد مطالبه توسعه می‌دهد. پیشرفت‌های به دست آمده برای چهار نوع از ماژول‌های IDAC با شبکه مختصر بیزین برای عوامل شکل دادن به عملکرد ساخته شده و احتمال شرطی برای وجود هر عامل از داده‌های حمل و نقل هوایی و حوادث هسته‌ای جمع‌آوری شده است. همچنین تأثیر عوامل شکل دادن به عملکرد در انتخاب راهبرد اپراتورها نیز نشان داده شده است. مدل توسعه داده شده، لیست تحقیقاتی تغییرات مورد نیاز برای روش IDAC را برای بررسی و تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان انسانی (HRA) به نسل بعدی سامانه‌های کُد فراهم می‌کند.

ارائه‌ی مدل خطاهای انسانی برای تخمین قابلیت اطمینان انسان:

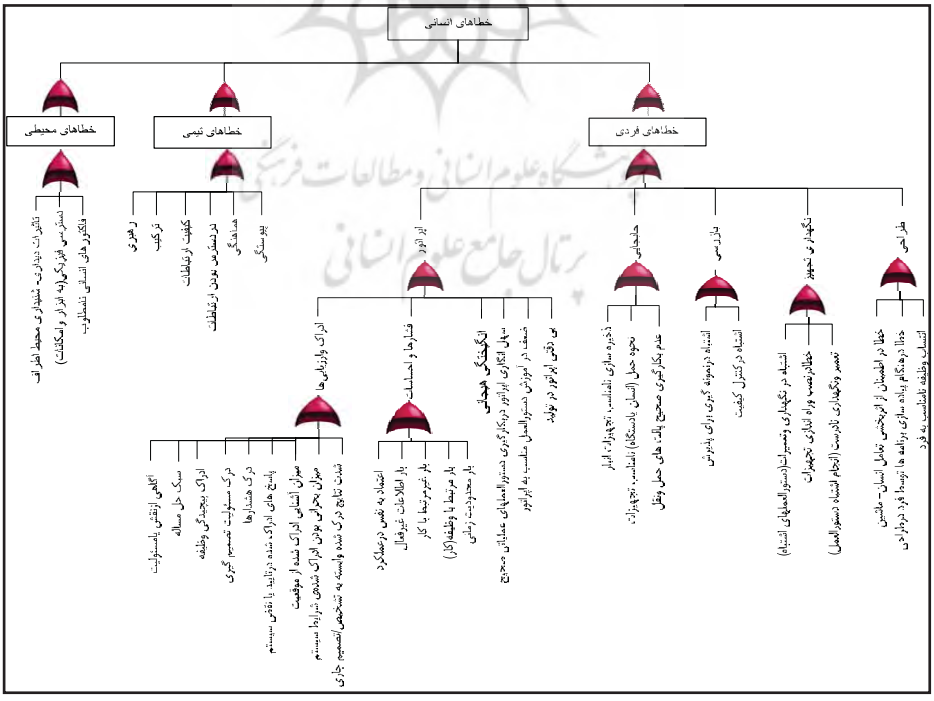
در این پژوهش به بررسی خطاهای انسانی و عوامل به‌وجود آورنده‌ی آن‌ها پرداخته شده است. با

---

1. Barati and Setayeshi
2. Sundaramurthi
3. Smidts
4. information, decision, and action in crew context

توسعه مدل بیان شده در مقاله چانگ و مصلح (۲۰۰۷) و دیهیلون (۲۰۰۷) که در مدل‌های خطاهای انسانی و در ابعاد مختلف بررسی شده و دو مدل مناسب برای خطاهای انسانی می‌باشند، مدل کلی خطاهای انسانی به‌دست آمد و اکنون می‌توان قابلیت اطمینان هر یک از عوامل را به‌دست آورد و براساس داده‌های موجود و تخمین قابلیت اطمینان، می‌توان خطاهای انسانی را شناسایی کرد. خطاهای انسانی به‌صورت کلی و با تقسیم بندی‌های فردی، تیمی و محیطی همراه با عوامل به‌وجود آورنده‌ی این خطاها بررسی شده و به‌صورت مدلی جامع در شکل شماره یک آمده است. با استفاده از این مدل و بررسی علل بروز خطا و قابلیت اطمینان آن، می‌توان قابلیت اطمینان کلی هر سامانه را محاسبه کرد. بدین صورت که می‌توان عدد قابلیت اطمینان هر مورد را با استفاده از نظرخبرگان و به‌صورت فازی اِعمال و سپس قابلیت اطمینان هر دسته از خطاهای موجود و در نهایت، قابلیت اطمینان کل سامانه را محاسبه کرد. البته متغیر وابسته در نهایت از جنس هزینه بوده که با ضرب عدم قابلیت انسان در هزینه خطاهای انسانی و پیدا کردن ارزش خالص اولیه بر اساس عمر تجهیز محاسبه شده است.

شکل ۱: مدل کلی خطاهای انسانی توسعه داده شده در این تحقیق

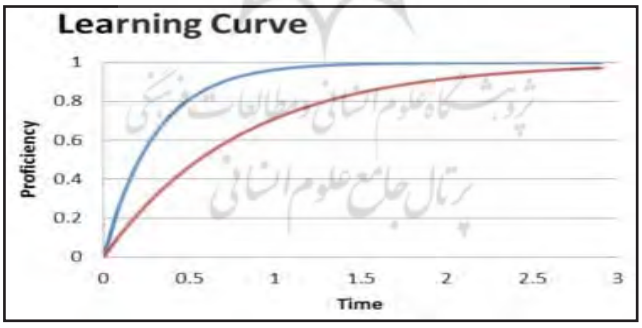


پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

توسعه مدل برای بهینه‌سازی سرمایه‌گذاری

در مدل‌های موجود در قابلیت اطمینان نرخ خرابی انسان را ثابت و برابر λ فرض می‌کردند. ولی در دوره طولانی مدت با توجه به رابطه $R = e^{-\lambda t}$، این قابلیت کاهش می‌یابد که در طول یک یا چند شیفت به‌صورت متوالی و پشت سرهم منطقی است. ولی در حالت کلی با توجه به اصل منحنی یادگیری، این قابلیت افزایش یافته و البته در دراز مدت نرخ افزایشی آن کاهش می‌یابد. منحنی یادگیری که عمدتاً در خطوط مونتاژ به‌کار می‌رود، بیان کننده این مساله است که زمان مونتاژ هر واحد در خلال مدتی که تعداد تولید نسبت به قبل دو برابر می‌شود با یک درصد ثابتی کاهش می‌یابد. وقتی یک کارگر در خطوط مونتاژ شروع به کار جدید می‌کند، زمان تولید اولین واحدها به مراتب بیشتر از واحدهای بعدی است. به‌طور کلی مقدار زمان لازم برای انجام یک کار مشخص بعد از هر بار تکرار، کمتر می‌شود و زمان آن با نسبت نقصانی کاهش می‌یابد. این کاهش زمان از الگویی تبعیت می‌کند که منحنی یادگیری نام دارد، این منحنی در شکل شماره دو نشان داده شده است.

شکل ۲: منحنی یادگیری



با توجه به این مطلب از یک سو و همچنین از طرف دیگر، مطالعه روابط پیش‌بینی و سری‌های هندسی، متوجه شدیم که استفاده از رابطه $e^{-\lambda t}$، رابطه‌ای انعطاف‌پذیر بر حسب λ به‌دست آورد. λt نیز باید در طول هر سال ضریبی افزایش داشته باشد تا با استفاده از آن در رابطه $e^{-\lambda t}$ بتوان به روند کاهشی از این ضریب دست یافت. برای رسیدن به این هدف، λ را به‌صورت معکوس سرمایه سالیانه (λ=p/۱) در نظر می‌گیریم. در این صورت، λ عددی وابسته به سرمایه و کوچکتر

از یک می‌باشد، اکنون باید به محاسبه قابلیت اطمینان انسان پرداخت.

قابلیت اطمینان انسان در سال اول با روش درخت خطا به‌دست می‌آید، بدین صورت که پس از یافتن علت‌ها و زیر علت‌های به‌وجود آورنده خطا و تشکیل درخت خطای انسانی، به مصاحبه با متخصصان و کارشناسان یکی از بخش‌های ماشین‌کاری صنایع دفاع به عنوان جامعه آماری پژوهش، پرداخته شد. در اینجا ارزیابی احتمال شکست رویداد اصلی یک درخت خطا، به‌جای روش‌های معمول قابلیت اطمینان و دستیابی به یک عدد خاص، از روش فازی با استفاده از عملیات محاسباتی فازی ارائه شده است. در این تجزیه و تحلیل، پارامترهای مربوط به ویژگی‌های زمان تا خرابی اجزای اصلی، به عنوان اعداد فازی مثلثی و این اعداد فازی مثلثی به عنوان ورودی‌های عددی در عبارات احتمالی رویداد اصلی در نظر گرفته می‌شوند. به‌دلیل رابطه سری بین هر یک از علت‌ها از قابلیت اطمینان سامانه سری با PROBIST[1] فازی استفاده شده است. عدد قابلیت اطمینان در سال‌های بعد با ضریبی افزایش می‌یابد.

با معلوم بودن هزینه انسانی(HC)، سرمایه(p) و همچنین قابلیت اطمینان انسان(HR) سال اول که با روش FTA محاسبه شد، به محاسبه هزینه قابلیت اطمینان انسان (HRC) در سال‌های بعدی پرداخته شد.

$$\text{ضریب قابلیت اطمینان} = EXP(-\lambda i\, t) \quad , \lambda = ۱/pi \qquad (۱)$$

$$C*(-۱HR)*EXP(-\lambda i\, t)=HRC \qquad (۲)$$

درآمد سال اول(W۱) معلوم و با مشخص بودن نرخ افزایش درآمد(NW)، درآمد سال‌های آتی(Wi) نیز محاسبه می‌شود. I، مدت زمان بهره‌برداری از پروژه است.

$$Wi = W۱ * (۱ + NW)^{\wedge} i \qquad (۳)$$

در هر پروژه علاوه بر هزینه انسانی(HC)، سایر هزینه‌ها(C) نیز در نظر گرفته می‌شود. سایر هزینه‌ها(C۱) در سال اول، معلوم و با مشخص بودن نرخ افزایش هزینه(NC)، هزینه سال‌های آتی(Ci) نیز محاسبه می‌شود.

$$Ci = C۱ *(۱+ NC)^{\wedge} (۱-i) \qquad (۴)$$

1. PROBability of Binary STate

بدین طریق مجموع هزینه‌ها (هزینه قابلیت اطمینان انسان+سایر هزینه‌ها) به‌دست آمده و از درآمد هرسال کسر می‌شود تا خالص درآمد(pw) به‌دست آید.

$$pw = w - (C + HC) \qquad (۵)$$

در مرحله آخر نیز ارزش خالص فعلی محاسبه می‌شود. سرمایه کلی پروژه نیز با مساوی صفر قرار دادن ارزش خالص فعلی، با استفاده از گزینه Goal Seek به‌دست می‌آید که در این صورت، پروژه اقتصادی و سودآور است و میزان بهینه سرمایه‌گذاری مشخص می‌شود.

اهداف تحقیق:

۱- ارائه‌ی یک مدل برای بهینه‌سازی سرمایه‌گذاری با استفاده از قابلیت اطمینان انسان و خطاهای انسانی

۲- ارائه‌ی مدلی برای دسته‌بندی خطاهای انسانی

۳- ارائه‌ی مدلی برای محاسبه قابلیت اطمینان انسان به صورت فازی

۴- به‌دست آوردن سرمایه‌گذاری بهینه با در نظرگرفتن هزینه‌ها و فقدان قابلیت اطمینان انسان

مدل مفهومی انجام پژوهش

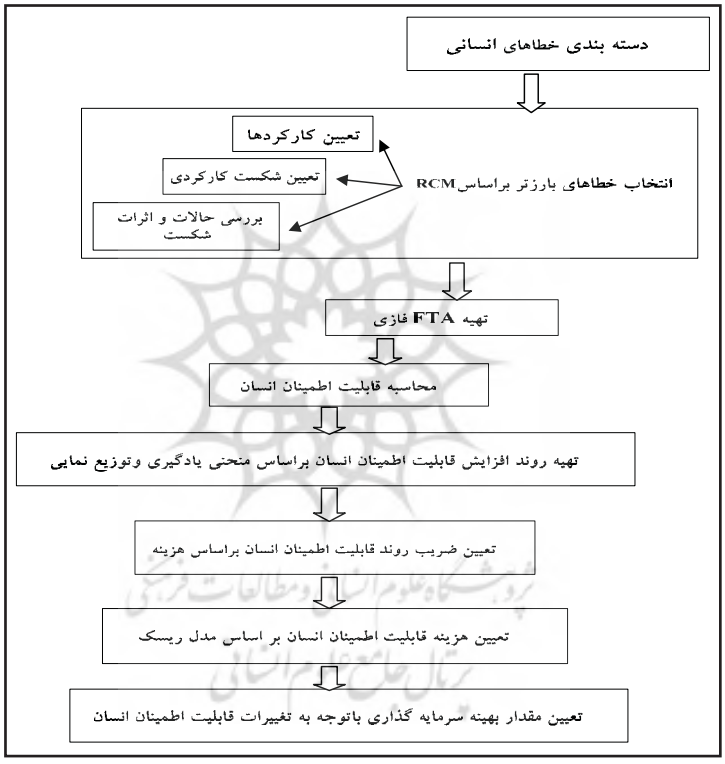
در این بخش، مراحل انجام پژوهش به صورت مرحله به مرحله و در قالب نمودار در شکل شماره سه بیان شده است. اولین مرحله، دسته‌بندی خطاهای انسانی در قالب خطاهای فردی، تیمی و محیطی است. برای پیاده‌سازی مدل خطا در نمونه مورد نظر از نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان و کار برگ RCM [1] استفاده شد که شامل تعیین کارکردهای دستگاه و شرح کارکرد، تعیین شکست کارکردی و بررسی حالات و اثرات شکست می‌باشد.

در مرحله بعد، برای تخمین قابلیت اطمینان، از نمودار تحلیل درخت خطا و به صورت فازی استفاده شد که قابلیت اطمینان انسان در سال اول به‌دست آمد. در ادامه برای افزایش قابلیت اطمینان از ضریبی نمایی استفاده شد که براساس منحنی یادگیری ضریبی افزایش داشته و در

1. Reliability Centered Maintenance

سال‌های بعد این افزایش به‌صورت کاهشی ادامه می‌یابد. سپس این ضریب به عنوان روند قابلیت اطمینان انسان و هزینه انسانی به منظور تخمین هزینه قابلیت اطمینان انسان استفاده شد و در نهایت، ارزش خالص فعلی، محاسبه و مقدار بهینه سرمایه‌گذاری با در نظر گرفتن تغییرات قابلیت اطمینان انسان تعیین شد.

شکل ۳: فرایند کلی انجام پژوهش



در ادامه با استفاده از داده‌های به‌دست آمده از نمونه مورد نظر کروماتوگرافی گازی، مدل پیشنهادی مورد ارزیابی قرار گرفته است. در ابتدا مسئله‌ی مورد بررسی، معرفی شده و سپس با توجه به مدل پیشنهادی فرموله می‌شود. مسئله‌ی ارائه شده با نرم افزار اکسل حل شد و در نهایت نیز بر روی سرمایه‌گذاری، تحلیل حساسیت صورت گرفته است.

نمونه آماری

کروماتوگرافی گازی/طیف‌سنجی جرمی(GC/MS)

چند سازنده دستگاه، کروماتوگراف‌گازی عرضه می کنند که مستقیماً می‌تواند به انواع مختلف طیف سنج‌های جرمی با پویش سریع متصل شود. سرعت جریان از ستون مویین، عموماً به اندازه‌ای کم است که خروجی از ستون را می‌توان مستقیماً به محفظه یونش طیف سنج جرمی خوراند. شمایی از یک سامانه نوعی در شکل شماره چهار، نشان داده شده است.

شکل ۴: دستگاه کروماتوگراف‌گازی

باید برای جدا کردن قسمت عمده گاز حامل از آنالیت استفاده شود. در این وسیله، گازهای خروجی از افشانی یک جدا کننده جتی تمام شیشه‌ای خارج می‌شوند که سبب افزایش اندازه حرکت مولکول‌های سنگین آنالیت می‌گردد، به طوری که ۵۰درصد یا بیشتر از آنها در یک مسیر کم و بیش مستقیم به سمت جداکننده حرکت می‌کنند. در مقابل، اتم‌های سبک هلیم توسط خلاء از مسیر مستقیم منحرف شده و بدین ترتیب به خارج پمپ هدایت می‌شوند. اکثر طیف سنج‌های جرمی با قطاع مغناطیسی و چهار قطبی با ملزوماتی ارایه می‌شوند که متصل کردن دستگاه به

کروماتوگراف گازی را ممکن می‌کند. در اواخر دهه ۱۹۷۰، چند طیف سنج جرمی منحصراً به عنوان آشکارساز کروماتوگرافی گازی طراحی و وارد بازار شده‌اند. عموماً این طیف‌سنج‌های جرمی، دستگاه‌های چهارقطبی هستند که در مقایسه با طیف‌سنج‌های جرمی ارزانتر بوده و کاربرد و نگهداری آنها ساده‌تر است.

ساده‌ترین شکل آشکارسازی جرمی برای استفاده در کروماتوگرافی گازی، آشکارساز تله‌یون(ITD) است. در این دستگاه، یون‌ها در اثر برخورد نمونه شوییده با الکترون یا یونش شیمیایی، تولید و در یک میدان با فرکانس رادیویی ذخیره می‌شوند. سپس یون‌های در تله افتاده از ناحیه ذخیره بیرون انداخته شده و به یک آشکارساز تکثیر کننده الکترون هدایت می‌شوند. بیرون اندازی به شکلی واپایش می‌شود که پویش بر اساس نسبت جرم به بار امکان‌پذیر باشد. آشکار سازه تله یون بسیار کوچک و ارزان‌تر از دستگاه‌های چهار قطبی است. آشکار سازهای طیف‌سنج جرمی معمولاً چند شیوه‌ی نمایش دارد که به دو دسته‌ی بلادرنگ و بازسازی شده کامپیوتری تقسیم می‌شوند. در داخل هر یک از این دسته‌ها، امکان انتخاب کروماتوگرام‌های جریان کل یون‌ها (یک نمودار از مجموع تمام یون‌ها به صورت تابع از زمان)، کروماتوگرام‌های جریان یون‌های گزینش شده (یک نمودار از جریان یونی برای یک یا چند یون به صورت تابعی از زمان) و طیف‌های جرمی چند پیک وجود دارد. طیف‌های جرمی بلادرنگ بر صفحه رایانه‌ای مجهز به نشانه‌زن‌های جرم ظاهر می‌شوند.

کروماتوگرام جرمی ممکن است بر صفحه رایانه یا به صورت یک نمودار بلادرنگ ظاهرشود. بعد از اینکه جداسازی کامل شد، کروماتوگرام‌های بازسازی شده رایانه‌ای را می‌توان بر روی صفحه به نمایش گذاشت یا چاپ کرد. طیف‌های جرمی بازسازی شده برای هر پیک را نیز می‌توان به نمایش گذاشت و یا چاپ کرد. بعضی دستگاه‌ها به کتابخانه طیفی برای شناسایی ترکیب نیز مجهز هستند. دستگاه‌های کروماتوگرافی گازی/طیف‌سنج جرمی برای شناسایی صدها ترکیب موجود در سامانه‌های زیست شناختی و طبیعی به کار رفته‌اند. به عنوان مثال با این روش‌ها تشخیص بو و طعم اجزای سازنده مواد غذایی، شناسایی آلاینده‌های آب، تشخیص طبی مبتنی بر اجزای بازدم و مطالعه متابولیت‌های دارویی ممکن شده است.

تحلیل مدل درخت خطا برای ارزیابی قابلیت اطمینان انسان

با استفاده از اطلاعات قبلی و داده‌های موجود، FTA معرفی شده با استفاده از داده‌های فازی استفاده گردید و عدد فازی قابلیت اطمینان پس از مصاحبه با خبرگان و براساس نظر کارشناسان و متناسب با خطاهای بررسی شده در نمونه مورد نظر (کروماتوگرافی گازی) تخمین زده شد، بدین صورت که کمترین مقدار به عنوان حد پایین (L) و بیشترین مقدار به عنوان حد بالا (R) در نظر گرفته شد و میانگین این دو یعنی (M)، مقدار قابلیت اطمینان مورد نظر را تخمین می‌زند. در ادامه نتایج زیر برای محاسبه علل و خطاهای انسانی و در نهایت، قابلیت اطمینان انسان به‌دست آمد.

در جدول شماره یک- الف، قابلیت اطمینان ادراک شامل هشت علت زیر مجموعه و فشار شامل پنج علت از علل به‌وجود آورنده خطای اپراتور که زیر مجموعه خطاهای فردی می‌باشد، محاسبه شده است. در جدول شماره یک- ب علاوه بر علل ادراک و فشار، قابلیت اطمینان سایر علل به‌وجود آورنده خطای اپراتور که عبارتند از؛ بی‌دقتی، ضعف، سهل انگاری و انگیختگی هیجانی به‌دست آمده است.

جدول(۱- الف): قابلیت اطمینان علل خطاهای ادراک و فشار

	L	M	R	
ادراک	۰/۹۸	۰/۹۸۵	۰/۹۹	نتایج درک شده از تصمیم
	۰/۹۷	۰/۹۷۵	۰/۹۸	بحرانی بودن سامانه
	۰/۹۶	۰/۹۷۵	۰/۹۹	ادراک موقعیت
	۰/۹۵	۰/۹۶۵	۰/۹۸	پاسخ تایید یا نقص سامانه
	۰/۹۶	۰/۹۶۵	۰/۹۷	درک هشدارها
	۰/۹۶	۰/۹۷۵	۰/۹۹	درک مسئولیت تصمیم گیری
	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۹	پیچیدگی وظیفه
	۰/۹۸	۰/۹۸۵	۰/۹۹	سبک حل مساله
	۰/۹۶	۰/۹۷۵	۰/۹۹	آگاهی از مسئولیت
فشار	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۹۸	بارمحدودیت زمانی
	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۹	بارمرتبط با کار
	۰/۹۷	۰/۹۷۵	۰/۹۸	بار غیرمرتبط با کار
	۰/۹۸	۰/۹۸۵	۰/۹۹	باراطلاعات غیرفعال
	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۹۸	اعتما به نفس درعملکرد

جدول (۱- ب): قابلیت اطمینان علل خطای اپراتور

	Rl	Rm	Ru
ادراک	۰/۷۵۹۵	۰/۸۲۰۶۶	۰/۸۸۵۹۳
فشار	۰/۸۴۹۷	۰/۸۸۵۵۴	۰/۹۲۲۴۶
بی دقتی	۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۹۷
ضعف	۰/۹۸	۰/۹۸۵	۰/۹۹
سهل انگاری	۰/۹۶	۰/۹۷۵	۰/۹۹
انگیختگی	۰/۹۷	۰/۹۷۵	۰/۹۸

در جدول شماره (۲- الف)، قابلیت اطمینان علل به‌وجود آورنده جابجایی شامل سه علت زیرمجموعه، بازرسی شامل دو علت، نگهداری و طراحی هر یک شامل سه علت زیر مجموعه که همه، عوامل زیر مجموعه خطاهای فردی می‌باشد، محاسبه شده و در جدول (۲- ب) علت‌های زیر مجموعه خطاهای فردی به همراه عدد قابلیت اطمینان هر یک آمده است. پس از محاسبه این عوامل، قابلیت اطمینان خطاهای فردی به‌دست می‌آید.

جدول(۲-الف): قابلیت اطمینان علل زیرمجموعه خطای فردی

		L	M	R
جابجایی	عدم به‌کارگیری پالت حمل و نقل	۰/۹۶	۰/۹۷۵	۰/۹۹
	نحوه حمل نامناسب تجهیز	۰/۹۵	۰/۹۶۵	۰/۹۸
	ذخیره‌سازی نامناسب تجهیز	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۹
بازرسی	اشتباه در واپایش کیفیت	۰/۹۵	۰/۹۶۵	۰/۹۸
	اشتباه در نمونه‌گیری پذیرش	۰/۹۸	۰/۹۸۵	۰/۹۹
نگهداری	انجام اشتباه دستورالعمل	۰/۹۵	۰/۹۶۵	۰/۹۸
	خطا در نصب و راه‌اندازی تجهیز	۰/۹۶	۰/۹۶۵	۰/۹۷
	استفاده از دستورالعمل اشتباه	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۹
طراحی	انتساب وظیفه نامناسب به فرد	۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۹۷
	خطا در پیاده‌سازی برنامه‌ها	۰/۹۴	۰/۹۵	۰/۹۶
	خطا در تعامل انسان-ماشین	۰,۹۶	۰,۹۷۵	۰,۹۹

جدول(۲- ب): قابلیت اطمینان خطاهای زیرمجموعه خطای فردی

	Rl	Rm	Ru
اپراتور	۰/۵۵۹۵۴	۰/۶۵۳۲۷	۰/۷۶۱۴۰
جابجایی	۰/۸۸۴۶۴	۰/۹۲۲۰۵	۰/۹۶۰۴۹
بازرسی	۰/۹۳۱	۰/۹۵۰۵۲	۰/۹۷۰۲
نگهداری	۰/۸۸۴۶۴	۰/۹۱۲۶۰	۰/۹۴۱۰۹
طراحی	۰/۸۵۷۲۸	۰/۸۸۹۲	۰/۹۲۱۸۸

در جدول شماره (۳- الف) قابلیت اطمینان پیوستگی و کیفیت، هر یک شامل سه علت زیرمجموعه که از علل به‌وجود آورنده‌ی خطاهای تیمی می‌باشد، محاسبه شده و این مقادیر در جدول (۳- ب) به همراه قابلیت اطمینان چهار علت دیگر که عبارتند از؛ هماهنگی تیم، ترکیب تیم، در دسترس بودن و رهبری آمده است. با محاسبه قابلیت اطمینان این عوامل، قابلیت اطمینان خطاهای تیمی محاسبه می‌شود که در جدول (۴-۸) آمده است.

جدول(۳- الف): قابلیت اطمینان علل خطاهای پیوستگی و کیفیت

	L	M	R	
پیوستگی	۰/۹۸	۰/۹۸۵	۰/۹۹	تعهد به تیم کاری
	۰/۹۶	۰/۹۷۵	۰/۹۹	جاذبه میان فردی اعضای تیم
	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۹	غرور تیم و روحیه تیمی
کیفیت	۰/۹۵	۰/۹۶۵	۰/۹۸	کیفیت ارتباطات
	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۹	عمل کردن تجهیزات ارتباطی
	۰/۹۶	۰/۹۶۵	۰/۹۷	اختلال در سیگنال

جدول (۳- ب): قابلیت اطمینان علل خطاهای تیمی

	Rl	Rm	Ru	
پیوستگی	۰/۹۱۲۵	۰/۹۴۱۱	۰/۹۷	
کیفیت	۰/۸۸۴۶	۰/۹۱۲۶	۰/۹۴۱	
هماهنگی تیم	۰/۹۸	۰/۹۸۵	۰/۹۹	
در دسترس بودن	۰/۹۶	۰/۹۷۵	۰/۹۹	
ترکیب تیم	۰/۹۵	۰/۹۶۵	۰/۹۸	
رهبری	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۹	

در جدول شماره (۴-الف)، قابلیت اطمینان سه علت به‌وجود آورنده خطاهای تیمی آمده است. با محاسبه این مقادیر، قابلیت اطمینان خطاهای تیمی به‌دست می‌آید که در جدول (۴- ب) آمده است.

جدول(۴-الف): قابلیت اطمینان علل خطاهای محیطی

	L	M	R
عامل نامطلوب	۰/۹۴	۰/۹۵۵	۰/۹۷
در دسترس بودن	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۹۸
تأثیرمحیط	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۹

جدول(۴- ب): مقادیر خطاهای فردی، تیمی و محیطی

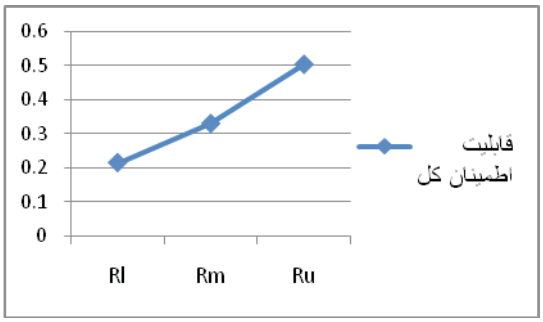
	Rl	Rm	Ru
فردی	۰/۳۴۹۴	۰/۴۶۴۶	۰/۶۱۵۵
تیمی	۰/۶۹۹۸	۰/۷۸	۰/۸۶۸۳
محیطی	۰/۸۷۵۳	۰/۹۰۷	۰/۹۴۱۰

پس از محاسبه قابلیت اطمینان خطاهای فردی، تیمی و محیطی بیان شده در جدول (۴- ب)، قابلیت اطمینان کلی خطاهای انسانی، محاسبه و در جدول شماره پنج نشان داده شده است.

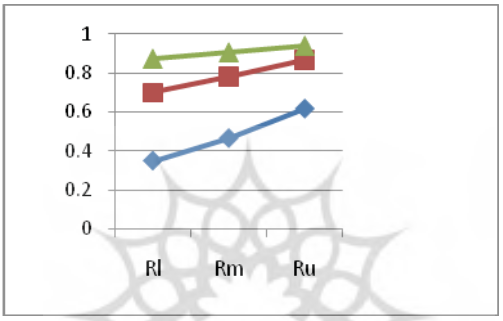
جدول (۵): مقدار کلی محاسبه شده قابلیت اطمینان

	Rl	Rm	Ru
قابلیت اطمینان کل	۰/۲۱۴۱۱۳	۰/۳۲۹۰۳۳	۰/۵۰۳۰۲۴

نمودار شماره (۴-الف)، قابلیت اطمینان فازی خطاهای موجود در جدول شماره پنج را در سه نقطه‌ی حد پایین، نقطه میانی و حد بالا نشان می‌دهد و نمودار (۴-ب)، قابلیت اطمینان کل را در این سه نقطه بیان می‌کند. براساس نمودار، مشخص شده است که قابلیت اطمینان کلی سامانه بیشتر تحت تأثیر قابلیت اطمینان خطاهای فردی است.



نمودار (۴-الف): قابلیت اطمینان خطاهای فردی، تیمی و محیطی



نمودار(۴-ب): قابلیت اطمینان خطاهای انسانی

(Rl حدپایین، Ru حدبالا و Rm میانگین مقدار قابلیت اطمینان)

حل و تجزیه و تحلیل مدل در نرم‌افزار اکسل

در بررسی مدل بر روی نمونه آماری مورد نظر برای رسیدن به مقدار مطلوب سرمایه‌گذاری، مقرر شد تا دستگاه مورد نظر از نوع دستگاهی که در بخش RCM به عنوان دستگاه بحرانی شناسایی شد، خریداری شود. حال در این بخش با توجه به مدل مفهومی تحقیق به دنبال یافتن مقدار بهینه سرمایه‌گذاری در خرید تجهیزات پلیسی هستیم. دراین راستا اطلاعات زیر به‌دست آمده است:

با معلوم بودن هزینه انسانی(HC)، سرمایه(p)، درآمد سال اول و نرخ افزایش درآمد و همچنین قابلیت اطمینان سال اول که با روش FTA محاسبه شد، به محاسبه درآمد سال‌های آتی، هزینه قابلیت اطمینان انسان، درآمد خالص و در نهایت ارزش خالص فعلی پرداخته شد. سپس با استفاده از گزینه Goal Seek، مقدار بهینه سرمایه‌گذاری محاسبه می‌شود. نتایج محاسبات برای ۲۰ سال در نرم افزار اکسل با استفاده از گزینه Goal Seek تحلیل شد. در جدول شماره شش،

مقادیر اولیه‌ی استفاده شده در محاسبات (بر حسب یکصد میلیون) آمده است و در شکل شماره پنج، قسمتی از محاسبات با استفاده از نرم‌افزار اکسل نشان داده شده است.

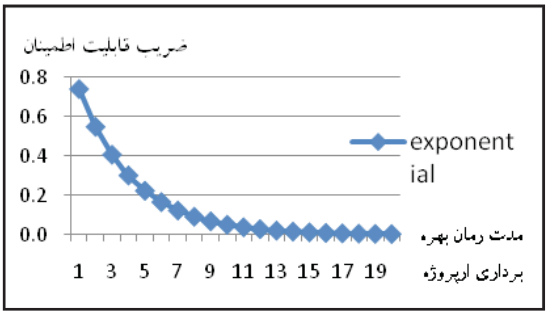
جدول ۶: مقادیر اولیه استفاده شده در محاسبات اکسل

هزینه انسانی	۱
α	۰/۳
سرمایه اولیه	۳/۳
قابلیت اطمینان سال اول	۰/۳۲۹
حداقل نرخ جذب کننده	۰/۱
نرخ افزایش درآمد	۰/۰۷
درآمد سال اول	۲
هزینه سال اول	۱
نرخ افزایش هزینه	۰/۰۸

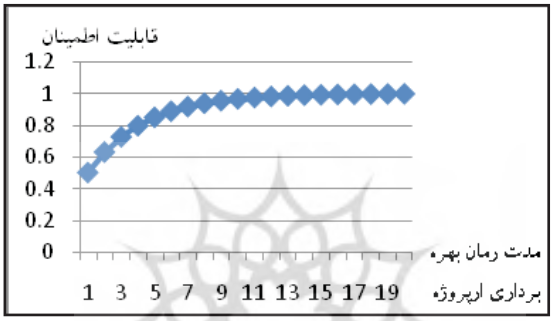
ارزش خالص فعلی(npv)	خالص	سایر هزینه ها	هزینه قابلیت اطمینان انسان	درآمد	قابلیت اطمینان انسان	عدم قابلیت اطمینان انسان	ضریب نمایی	مدت زمان
ریال ۰,۰	۰,۵	۱,۰	۰,۴۹۷۰۸۹۰۲۶۰۷۷	۲	۰,۵۰۲۹۱۰۹۷۳۹۲۲۵۶۷۰	۰,۴۹۷۰۸۹۰۲۶۰۷۷۴۳۳۰	۰,۷۴۰۸۱۸۲۲۰۶۸۱۷۱۸۰	۱
	۰,۸	۱,۰	۰,۳۶۸۲۵۲۶۰۷۸۱۹۰۹۲۰	۲,۱۴	۰,۹۳۱۷۴۷۳۹۲۱۸۰۹۰۸۰	۰,۹۳۱۷۴۷۳۹۲۱۸۰۹۰۴۰	۰,۵۴۸۸۱۱۶۳۴۰۹۴۰۲۶۰	۲
	۱,۱	۱,۱	۰,۲۷۲۸۰۸۲۴۱۶۸۶	۲,۵	۰,۷۲۷۱۹۱۷۵۸۳۱۴۰۵۸۰	۰,۲۷۲۸۰۸۲۴۱۶۸۵۹۴۲۰	۰,۴۰۶۵۶۴۶۵۹۷۴۰۵۹۹۰	۳
	۱,۵	۱,۳	۰,۲۰۲۱۰۱۳۱۶۱۹۳	۳,۰	۰,۷۹۷۸۹۸۶۸۳۸۰۶۹۱۲۰	۰,۲۰۲۱۰۱۳۱۶۱۹۳۰۸۸۰	۰,۳۰۱۱۹۴۲۱۱۹۱۲۲۰۲۰	۴
	۲,۲	۱,۶	۰,۱۴۹۷۲۰۳۳۷۴۶۰	۳,۹	۰,۸۵۰۲۷۹۶۲۵۲۰۴۰۴۰	۰,۱۴۹۷۲۰۳۳۷۴۶۵۹۶۴۰	۰,۲۲۳۱۳۰۱۶۰۱۴۸۴۳۰۰	۵
	۳,۲	۲,۲	۰,۱۱۰۹۱۵۵۵۳۹۹۷	۵,۵	۰,۸۸۹۰۸۴۶۶۰۰۳۳۱۵۰	۰,۱۱۰۹۱۵۵۵۳۹۹۶۸۵۰	۰,۱۶۵۲۹۸۸۸۸۲۲۱۵۸۷۰	۶
	۵,۰	۳,۲	۰,۰۸۲۱۶۸۲۶۳۳۵۸	۸,۳	۰,۹۱۷۸۳۱۷۳۶۶۴۲۴۹۰	۰,۰۸۲۱۶۸۲۶۳۵۷۷۵۰۹	۰,۱۲۲۴۵۶۴۲۸۲۵۲۹۸۲۰	۷
	۸,۲	۵,۰	۰,۰۶۰۸۷۱۷۴۶۶۵۷	۱۳,۳	۰,۹۳۹۱۲۸۲۵۳۳۴۲۸۰۴۰	۰,۰۶۰۸۷۱۷۴۶۶۵۷۱۹۵۸	۰,۰۹۰۷۱۷۹۵۳۲۸۹۴۱۲۵	۸
	۱۴,۲	۸,۶	۰,۰۴۵۰۹۴۸۹۹۰۴۸	۲۲,۸	۰,۹۵۴۹۰۵۱۰۰۹۵۱۶۲۸۰	۰,۰۴۵۰۹۴۸۹۹۰۴۸۳۷۲۱	۰,۰۶۷۲۰۵۵۱۲۷۳۹۷۴۹۸	۹
	۲۶,۰	۱۶,۰	۰,۰۳۳۶۰۷۱۲۲۸۷۸۷۵	۴۲,۰	۰,۹۶۶۵۹۲۸۷۷۲۵۱۶۲۰	۰,۰۳۳۶۰۷۱۲۲۸۷۴۸۳۶۷	۰,۰۴۹۷۸۷۰۶۸۳۶۷۸۹۳۹	۱۰
	۵۰,۷	۳۱,۹	۰,۰۲۴۷۴۸۶۰۵۳۲۶	۸۲,۶	۰,۹۷۵۲۵۱۳۹۴۶۷۳۷۶۸۰	۰,۰۲۴۷۴۸۶۰۵۳۲۶۲۳۲۱	۰,۰۳۶۸۸۳۱۶۷۴۰۱۲۴۰۰	۱۱
	۱۰۵,۰	۶۸,۹	۰,۰۱۸۳۳۴۲۱۷۷۶۲	۱۷۳,۹	۰,۹۸۱۶۶۵۷۸۲۲۳۷۸۶۷۰	۰,۰۱۸۳۳۴۲۱۷۷۶۲۱۳۳۳	۰,۰۲۷۲۳۷۲۲۴۶۷۲۹۲۶	۱۲
	۲۳۱,۰	۱۶۰,۷	۰,۰۱۳۵۸۳۲۲۵۸۰	۳۹۱,۷	۰,۹۸۴۲۱۶۷۷۴۱۹۸۶۵۰	۰,۰۱۳۵۸۲۳۲۵۸۰۱۳۴۷	۰,۰۲۰۲۴۱۹۱۱۴۴۵۸۰۴۴	۱۳
	۵۳۹,۳	۴۰۴,۶	۰,۰۱۰۰۶۲۰۳۲۰۴۷	۹۴۶,۰	۰,۹۸۹۳۷۹۶۷۹۵۳۴۵۹۰	۰,۰۱۰۰۶۲۰۳۲۰۴۶۵۴۰۵	۰,۰۱۴۹۹۵۵۷۶۸۲۰۴۷۷۷	۱۴
	۱۳۳۳,۶	۱۱۰۰,۴	۰,۰۰۷۴۵۴۱۳۶۶۷۱۶۰۶	۲۴۳۴,۰	۰,۹۹۲۵۴۵۸۶۳۳۲۸۳۹۰	۰,۰۰۷۴۵۴۱۳۶۶۷۷۱۶۰۶	۰,۰۱۱۱۰۸۹۹۶۵۳۸۲۴۲۳	۱۵
	۳۴۸۳,۴	۳۲۳۲,۲	۰,۰۰۵۵۲۲۱۶۰۲۶۹۸۹۲۴	۶۷۱۵,۶	۰,۹۹۴۴۷۷۸۳۹۷۳۰۱۰۸۰	۰,۰۰۵۵۲۲۱۶۰۲۷۰۰	۰,۰۰۸۲۲۹۷۴۷۰۴۹۰۲۰۰	۱۶
	۹۵۷۲,۵	۱۰۲۵۳,۰	۰,۰۰۴۰۹۰۹۱۶۹۴۵۴۶۱۰	۱۹۸۲۵,۵	۰,۹۹۵۹۰۹۰۸۳۰۵۴۵۳۹۰	۰,۰۰۴۰۹۰۹۱۶۹۴۵۴۶۱۰	۰,۰۰۰۶۹۶۷۴۶۵۴۵۵۱۵۶	۱۷
	۲۷۴۹۸,۹	۳۵۱۲۴,۲	۰,۰۰۳۰۳۰۶۲۵۸۱۲۴۹۳۱	۶۲۶۲۵,۰	۰,۹۹۶۹۶۳۷۴۱۸۷۵۰۷۰	۰,۰۰۳۰۳۰۶۲۵۸۱۲۴۹۳۲	۰,۰۰۴۵۱۶۸۰۹۲۴۶۱۲۷	۱۸
	۸۱۷۰۰,۹	۱۲۹۹۶۷,۴	۰,۰۰۲۲۴۵۱۴۲۸۲۱۹۴۳۲	۲۱۱۶۶۸,۴	۰,۹۹۷۷۵۴۵۷۱۷۸۰۳۷۰	۰,۰۰۲۲۴۵۱۴۲۸۲۱۲	۰,۰۰۳۳۶۵۹۶۵۴۵۷۴۷۱۳	۱۹
	۲۴۶۱۵۲,۱	۵۱۹۳۵۲,۵	۰,۰۰۱۶۶۳۲۴۲۷۱۱	۷۶۵۵۰۴,۵	۰,۹۹۸۳۳۶۷۵۷۲۸۹۴۵۷۰	۰,۰۰۱۶۶۳۲۴۲۷۱۰۵۴۳۱	۰,۰۰۲۴۷۸۷۵۲۱۷۶۶۶۴	۲۰

شکل (۵): قسمتی از محاسبات انجام شده با استفاده از نرم‌افزار اکسل

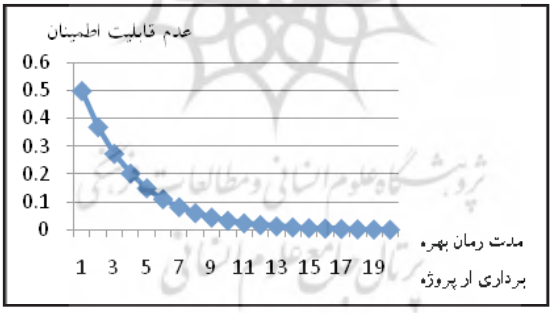
در نمودارهای ۵-الف تا ۵-د، به ترتیب روند بررسی شده ضریب قابلیت اطمینان، قابلیت اطمینان، فقدان قابلیت اطمینان و هزینه قابلیت اطمینان انسان نسبت به مدت زمان بهره‌برداری از پروژه آمده است.



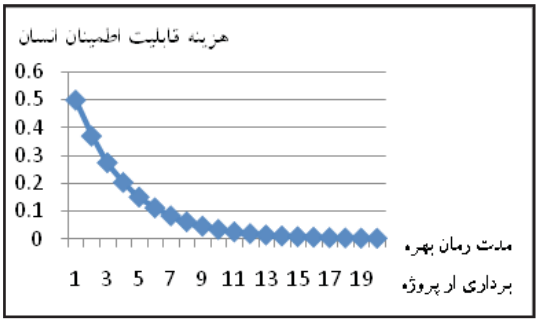
نمودار(۵- الف): تغییرات ضریب قابلیت اطمینان نسبت به زمان



نمودار(۵-ب): نمودارتغییرات قابلیت اطمینان نسبت به زمان



نمودار(۵-ج): تغییرات فقدان قابلیت اطمینان نسبت به زمان



نمودار(۵-د): تغییرات هزینه قابلیت اطمینان نسبت به زمان

در نمودار ۵-الف، مشاهده می‌شود که با افزایش زمان بهره‌برداری از پروژه، ضریب قابلیت اطمینان انسان که به‌صورت یک تابع نمایی بوده و از منحنی یادگیری تبعیت می‌کند، کاهش می‌یابد. از طرفی این ضریب با هزینه قابلیت اطمینان انسان، نسبت مستقیم داشته و باعث کاهش این هزینه و در نتیجهف افزایش قابلیت اطمینان انسان می‌شود. در نهایت بررسی این نمودار نشان دهنده آن است که با افزایش مدت زمان بهره‌برداری، خطاهای انسانی کاهش یافته و این مورد، اصل منحنی یادگیری را تأیید می‌کند.

با بررسی نمودار ۵-ب، روند افزایش قابلیت اطمینان انسان، نسبت به مدت زمان بهره برداری پروژه مشاهده می‌شود. این روند نشاندهنده‌ی کاهش خطاهای انسانی در سال‌های بعدی پروژه می‌باشد که کاهش خطاها، باعث افرایش قابلیت اطمینان خواهد شد.

نمودار ۵-ج، بر عکس نمودار ۵-ب روند کاهشی فقدان قابلیت اطمینان انسان را در سال‌های بهره‌برداری از پروژه نمایش می‌دهد. پس با افزایش مدت زمان، خطاهای انسانی و در نتیجه، فقدان قابلیت اطمینان انسان کاهش یافته و به عبارتی سودآوری پروژه افزایش خواهد داشت. در نهایت با بررسی نمودار ۵-د، سیر نزولی هزینه قابلیت اطمینان انسان در طی مدت زمان بهره‌برداری از پروژه مشاهده می‌شود. براساس نمودار۵-الف و با توجه به روند کاهشی نرخ قابلیت اطمینان که براساس منحنی یادگیری می‌باشد، با افزایش مدت زمان بهره‌برداری، هزینه قابلیت اطمینان انسان، کاهش و سودآوری پروژه افزایش خواهد یافت.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

تحلیل حساسیت

در این مرحله برای بررسی فقدان قطعیت، تحلیل حساسیت صورت گرفته است. تحقق نیافتن پیش‌بینی آینده، به طور دقیق حاکی از فقدان قطعیت حاکم بر زندگی همه‌ی افراد و سازمان‌ها است. از این‌رو، تغییر در هر یک از پارامترهای تخمینی بر نتایج ارزیابی تأثیرگذار است. معیار تجزیه و تحلیل حساسیت Tدر واقع بررسی حساسیت طرح نسبت به هر یک از عوامل مربوط است. در جدول شماره هفت، اثر افزایش یا کاهشی عوامل موجود در مدل بررسی شده است.

جدول ۷: تأثیر افزایش یا کاهش عوامل اولیه موجود در مدل اکسل بر شاخص‌های نهایی

if	Then
هزینه انسانی↑ (افزایش)	هزینه قابلیت اطمینان انسان↑ و ارزش خالص فعلی↓
آلفا ↓ (کاهش)	ضریب قابلیت اطمینان،↑ هزینه قابلیت اطمینان انسان↑، خالص درآمد،↑ ارزش خالص فعلی↓
سرمایه↑	ضریب قابلیت اطمینان انسان↓، آلفا↑
قابلیت اطمینان انسان ↑	هزینه قابلیت اطمینان انسان↓، خالص درآمد↑، ارزش خالص فعلی↑
نرخ افزایش درآمد ↑	درآمد↑، خالص درآمد↑
درآمد سال اول ↑	خالص درآمد ↓

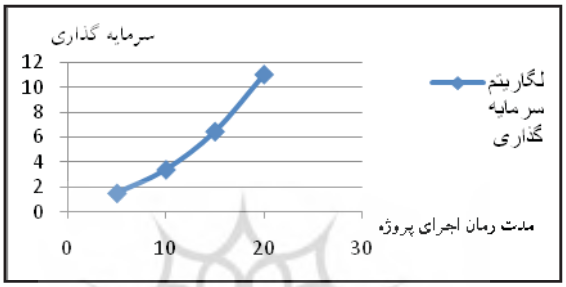
تحلیل حساسیت عبارت از تکرار محاسبات مالی با تغییر دادن پارامترهای اصلی و مقایسه‌ی نتایج به دست آمده با نتایج حاصل از اطلاعات اولیه است. اگر تغییرات ایجاد شده در بعضی از متغیرها، باعث توجیه‌ناپذیری طرح از لحاظ اقتصادی نشوند، سرمایه گذاران و کارفرمایان با اطمینان بیشتری سرمایه گذاری خواهند کرد. با تغییر عواملی مانند؛ زمان، آلفا (نرخ روند تغییرات قابلیت اطمینان)، قابلیت اطمینان و حداقل نرخ جذب کننده، تحلیل حساسیت در ارزیابی اقتصادی نمونه مورد نظر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

هر یک از منحنی‌ها با جایگزین کردن مقادیر مختلف به جای یک عامل در فرمول ارزش خالص فعلی با ثابت بودن بقیه‌ی عوامل، حاصل شده است. سپس با استفاده از گزینه Goal Seek و مساوی صفر قرار دادن ارزش خالص فعلی، میزان سرمایه‌گذاری به‌دست خواهد آمد. جداول ۸ ،۹ ، ۱۰ و ۱۱ نتیجه‌ی تحلیل حساسیت بیان شده با عوامل مورد بررسی را نشان می‌دهند. همچنین نمودارهای ۷، ۸ ، ۹ و ۱۰ روند تغییرات را نمایش می‌دهند.

لازم به ذکر است که به منظور بررسی دقیق‌تر تغییرات سرمایه‌گذاری نسبت به مدت زمان بهره‌برداری از پروژه در جدول شماره هشت از لگاریتم سرمایه‌گذاری به جای سرمایه‌گذاری استفاده کرده‌ایم و روند نمایش داده شده در نمودار هفت، نمودار تغییرات لگاریتم سرمایه‌گذاری را نمایش می‌دهد.

جدول ۸:تحلیل حساسیت سرمایه‌گذاری نسبت به تغییرات زمان

سال	سرمایه‌گذاری	لگاریتم سرمایه‌گذاری
۵	۴/۳۳۵۶۰۴۲۵۲	۱/۴۶۶۸۶۰۹۹
۱۰	۲۸/۶۱۲۷۰۵۳	۳/۳۵۳۸۵۰۸۶
۱۵	۶۰۸/۰۲۱۵۹۴۱	۶/۴۱۰۲۱۰۳۹۸
۲۰	۵۸۱۵۳/۵۷۸۳۷	۱۰/۹۷۰۸۴۲۶۹

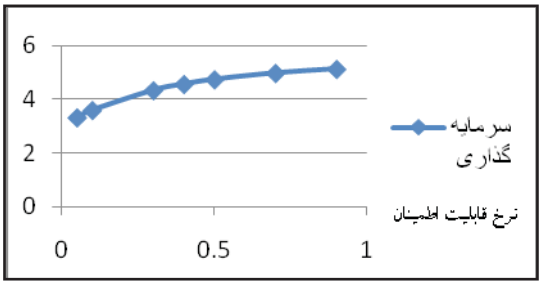


نمودار ۷: تغییرات سرمایه‌گذاری نسبت به تغییرات زمان

با تحلیل حساسیت سرمایه‌گذاری نسبت به پارامتر زمان و بررسی نمودار مربوطه، مشاهده می‌شود که رابطه‌ای صعودی بین این دو پارامتر وجود دارد و با افزایش مدت زمان بهره‌برداری از پروژه، میزان سرمایه‌گذاری نیز افزایش می‌یابد. این رابطه به معنای توانایی استفاده کارآمد از ماشین مربوطه در طی سال‌های استفاده از آن می‌باشد که خود مستلزم سرمایه‌گذاری بیشتر است و به معنای اینکه تحلیل حساسیت مورد نظر صحیح می‌باشد.

جدول ۹: تحلیل حساسیت سرمایه‌گذاری با تغییرات نرخ قابلیت اطمینان

سرمایه‌گذاری	آلفا(نرخ قابلیت اطمینان)
۵/۱۳۷۱۰۷۰۴۸	۰/۹
۴/۹۸۵۹۶۰۴۵۱	۰/۷
۴/۷۴۵۱۱۰۸۴۲	۰/۵
۴/۵۶۸۹۸۵۹۹۶	۰/۴
۴/۳۳۵۶۰۴۲۵۱	۰/۳
۳/۵۸۸۴۵۴۲۳۴	۰/۱
۳/۳۱۲۱۷۳۵۱۷	۰/۰۵

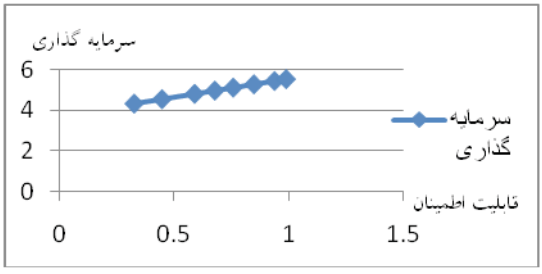


نمودار ۹: نمودار تغییرات سرمایه‌گذاری نسبت به آلفا

با تحلیل حساسیت سرمایه‌گذاری با پارامتر دیگری مانند نرخ روند قابلیت اطمینان، مشاهده می‌شود که با افزایش این نرخ، سرمایه‌گذاری نیز افزایش می‌یابد و روند افزایش آن صعودی است. به عبارتی با افزایش سرمایه اولیه و پیچیده‌تر شدن فناوری ماشین مورد نظر، نرخ روند قابلیت اطمینان افزایش یافته که افزایش این پارامترها، افزایش سرمایه‌گذاری را به دنبال خواهد داشت. پس تحلیل حساسیت این دوپارامتر به درستی انجام گرفته است.

جدول ۱۰: تحلیل حساسیت سرمایه‌گذاری باتغییرات قابلیت اطمینان

سرمایه‌گذاری	قابلیت اطمینان اولیه
۴/۳۳۵۶۰۴۲۵۲	۰/۳۲۹
۴/۵۵۰۵۹۲۴۸۱	۰/۴۵
۴/۸۰۲۸۹۲۷۱۶	۰/۵۹۲
۴/۹۵۹۲۴۷۷۹۲	۰/۶۸
۵/۱۰۱۳۸۸۷۷	۰/۷۶
۵/۲۶۱۲۹۷۳۷	۰/۸۵
۵/۴۲۱۲۰۵۹۷	۰/۹۴
۵/۵۱۰۰۴۴۰۸۱	۰/۹۹

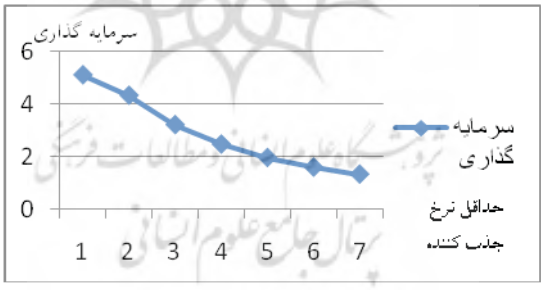


نمودار ۱۰: نمودار تغییرات سرمایه‌گذاری با تغییر قابلیت اطمینان

در اینجا با تحلیل حساسیت سرمایه‌گذاری نسبت به پارامتر مهم قابلیت اطمینان، رابطه‌ای مستقیم بین این دو پارامتر مشاهده می‌شود. از آنجا که با افزایش قابلیت اطمینان در سال‌های آتی، فقدان قابلیت اطمینان کاهش یافته و می‌توان سرمایه‌گذاری بیشتر و سودآورتری در پروژه انجام داد، این رابطه منطقی به نظر می‌رسد.

جدول ۱۱: تحلیل حساسیت سرمایه‌گذاری با تغییرات حداقل نرخ جذب کننده

MARR (حداقل نرخ جذب کننده)	سرمایه‌گذاری
۰/۰۵	۵/۱۱۵۴۶۳۷۳۳
۰/۱	۴/۳۳۵۶۰۴۲۵۲
۰/۲	۳/۲۱۵۷۳۶۱۵۱
۰/۳	۲/۴۷۳۹۳۳۵۵۷
۰/۴	۱/۹۶۲۲۶۵۸۰۵
۰/۵	۱/۵۹۶۹۳۰۱۵۳
۰/۶	۱/۳۲۸۱۹۴۵۸۱



نمودار ۱۱: تغییرات سرمایه‌گذاری نسبت به حداقل نرخ جذب کننده

در نهایت، با تحلیل حساسیت سرمایه‌گذاری نسبت به پارامتر حداقل نرخ جذب کننده و مشاهده روند تغییرات آن به رابطه‌ای نزولی می‌رسیم. هرچه این نرخ افزایش یابد، سرمایه‌گذاری کاهش یافته است. از آنجا که حداقل نرخ جذب کننده مناسب برای سرمایه‌گذاری، بیشتر یا حداقل مساوی با نرخ بهره بانک می‌باشد و معمولا سرمایه‌گذار انتظار دریافت نرخ بازگشت سرمایه‌ای بیش از نرخ بهره بانک دارد، بدیهی است که چنانچه نرخ بازگشت سرمایه یک پروژه

بیشتر یا مساوی حداقل نرخ جذب کننده باشد، آن پروژه اقتصادی است. پس با افزایش حداقل نرخ جذب کننده، سودآوری کاهش یافته و در نتیجه، سرمایه‌گذاری نیز کاهش می‌یابد.

بر اساس نتایج این نمودارها، حساسترین پارامتر، زمان بهره‌برداری از پروژه است که دارای شیب شدیدتری نسبت به سایر نمودارها است و هرچه مدت زمان بهره‌برداری افزایش یابد، مستلزم سرمایه‌گذاری بیشتر می‌باشد. پس از آن به ترتیب قابلیت اطمینان اولیه، حداقل نرخ جذب کننده و نرخ روند قابلیت اطمینان تأثیر بیشتری بر ارزش خالص فعلی و سودآوری پروژه و در نهایت بر سرمایه‌گذاری داشته است.

روش

این پژوهش از نظر هدف، توسعه‌ای- کاربردی است. داده‌ها با استفاده از نظر کارشناسان و مصاحبه با متخصصین به‌دست آمده‌اند و ماهیت داده‌ها کمّی است. این پژوهش شامل دو مرحله است که مرحله اول یک مدل کلی از خطاهای انسانی است و به خطاهای فردی، تیمی و محیطی تقسیم شده است. برای تحلیل مدل و رسیدن به مقدار قابلیت اطمینان از روش درخت خطا استفاده شده است. در مرحله‌ی دوم، با موجود بودن قابلیت اطمینان سال اول، درآمد سال اول و هزینه انسانی و همچنین استفاده از ضریبی نزولی می‌توان از تابع نمایی به هزینه قابلیت اطمینان انسان دست یافت و در نهایت خالص درآمد و ارزش خالص فعلی را به‌دست آورد که در صورت مثبت بودن به مقدار بهینه رسیده‌ایم. در نهایت نیز روی پارامترهای مؤثر بر قابلیت اطمینان انسان و سرمایه‌گذاری تحلیل حساسیت انجام گرفته است. روش تجزیه و تحلیل اطلاعات داده‌های این پژوهش با استفاده از تحلیل حساسیت پارامترهای قابلیت اطمینان انسان در مقابل میزان بهینه سرمایه‌گذاری و به کمک نرم‌افزار اکسل تحلیل شده است. برای دستیابی به داده‌ها علاوه بر استفاده از کتابچه ماشین آلات، سوابق مربوط به نت و شکست‌های هر ماشین، بایستی از تجربه و اطلاعات کارکنان درگیر در امر مدیریت نگهداری تعمیرات استفاده کرد، جدول شماره (۳-۱) بیانگر این موضوع است که اطلاعات مورد نیاز باید از چه افرادی جمع آوری شود. قابل ذکر است که این اطلاعات بر اساس استاندارد بوده است.

جدول ۱۲: روش جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات

ردیف	شرح اطلاعات مورد نیاز	مرجع اطلاعات
۱	کارکردها و استانداردهای عملکرد مربوط به تجهیز در شرایط کاری فعلی چیست؟	کارکنان نگهداری و تعمیرات و کتابچه اطلاعات ماشین
۲	تجهیز درچه شرایطی از انجام کارکردهایش بازمی ماند ؟	کارکنان تعمیرات و نگهداری و اپراتورها
۳	دلایل وقوع شکست کارکردی چیست؟	افراد سرپرست کارگاه، استادکاران و تکنسین‌ها
۴	در زمان رخداد هر شکست چه اتفاقی می‌افتد؟	
۱-۴	شواهد رخداد یک شکست	اپراتورهای تجهیز
۲-۴	مدت زمانی که یک ماشین معمولاً در زمان رخداد شکست غیرفعال است.	اپراتورها، گروه سرپرستان
۳-۴	خطرات مربوطه به هر شکست	مشاوره تخصصی
۴-۴	آن چه برای تعمیر شکست باید انجام گیرد.	استادکاران و تکنسین‌های تعمیر
۵	هر شکست از چه نظر اهمیت دارد؟	افراد تولید و عملیات
۶	پیامدهای ایمنی و محیط زیست	قربانیان احتمالی شکست، متخصص ایمنی و شکست
۷	شکست‌های پنهان	
۱-۷	شواهد شکست	کارکنان عملیات مربوطه
۲-۷	شرایط عادی	اپراتورها و سرپرستان کارگاه
۳-۷	احتمال قابل قبول برای یک شکست چندگانه	توسط گروه (قربانیان احتمالی و مدیران عملیات مربوطه)
۴-۷	زمان متوسط بین شکست برای یک کارکرد تحت حفاظت	اپراتورها
۵-۷	پیامدهای غیر عملیاتی	سرپرستان مستقیم و رده بالاتر نگهداری و تعمیرات
۸	برای پیش‌بینی یا پیش‌گیری از هر شکست چه اقدامی می‌توان انجام داد؟	قضاوت و تجربه
۹	فعالیت‌های اقتضایی	اپراتورها، استادکاران، سرپرستان و متخصصان تکنیک‌های مختلف
۱۰	بازسازی و از رده خارج کردن زمان‌بندی شده	اپراتورها، استادکاران، سرپرستان
۱۱	چه باید کرد اگر نتوان فعالیت پیش اقدام مناسبی یافت؟	توسط گروه (قربانیان احتمالی و مدیران عملیات مربوطه)
۱۲	بازطراحی	طراحان

بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش دو هدف اصلی را در بردارد؛ هدف اول کمینه کردن نرخ خرابی و خطای انسانی یا به عبارتی بیشینه کردن قابلیت اطمینان انسان است و هدف دومی که این پژوهش به آن می‌پردازد، مربوط به سرمایه‌گذاری است. همانطور که می‌دانیم، هزینه یک عامل مهم در همه‌ی سامانه‌ها است. هزینه‌ای که در این مدل به آن توجه شده شامل؛ هزینه قابلیت اطمینان انسان می‌باشد که باتوجه به مدل کلی به‌دست می‌آید.

در این پژوهش خطاهای انسانی به صورت مدلی ارائه و درخت خطای آن بررسی شد، سپس خطاهای مرتبط با نمونه آماری موردنظر با استفاده از نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان، بررسی و با توجه به مدل خطای انسانی و در نظر گرفتن خطاهای مدل، قابلیت اطمینان اولیه به صورت فازی محاسبه شد. از طرفی با بررسی خطاهای انسانی و یافتن قابلیت اطمینان انسان و همچنین توجه به هزینه‌های قابلیت اطمینان انسان و دیگر هزینه‌ها، می‌توان در هر پروژه به خالص درآمد بالاتر و در نتیجه، ارزش خالص فعلی مثبت‌تری رسید. در مرحله آخر نیز ارزش خالص فعلی محاسبه شد. برای رسیدن به هدف مطلوب، یعنی بهینه‌سازی سرمایه‌گذاری، سرمایه پروژه با مساوی صفر قرار دادن ارزش خالص فعلی با استفاده از گزینه Goal Seek به‌دست آمد. همچنین تحلیل حساسیت سرمایه‌گذاری با عوامل مختلف انجام گرفت. مشخص شد که زمان بهره‌برداری از پروژه دارای شیب بالاتر و حساس‌ترین پارامتر است. در این حالت با قابلیت اطمینان بالاتر و هزینه‌های کمتر می‌توان سرمایه‌گذاری با خطر کمتر انجام داد و در نتیجه به سودآوری بالاتر دست یافت. در این پژوهش به ارائه مدلی پرداخته شد که می‌توان عوامل بیان شده را با در نظر گرفتن مدت زمان اجرای پروژه، تحلیل کرده و با ارزیابی اقتصادی طرح برای خرید تجهیزات پلیسی با در نظر گرفتن عامل کاهش خطا و در نتیجه کاهش هزینه، مقدار مطلوب سرمایه‌گذاری را مشخص کرد.

پیشنهادها:

با توجه به محدودیت‌های موجود در واقعیت، پژوهش حاضر می‌تواند راهگشای محققین در انجام پژوهش‌های بعدی باشد. زمینه‌های پیشنهادی برای پژوهشات آتی عبارتند از:

۱ـ استفاده از توزیع‌های آماری دیگر به جای توزیع نمایی و بررسی قابلیت اطمینان انسان با این ضریب؛

۲ـ به‌کارگیری شاخص‌های اقتصادی دیگر در پروژه و بررسی روند سرمایه‌گذاری؛

۳ـ تحلیل حساسیت این مدل با پارامترهای دیگر؛

۴ـ مقایسه‌ی کارایی روش پیشنهادی در مقایسه محاسبه قابلیت اطمینان با استفاده از روش‌های دیگر تحلیل قابلیت اطمینان انسان؛

۵ـ استفاده از پرسشنامه‌های استاندارد برای استفاده از نظرات خبرگان برای جلوگیری از ایجاد ناسازگاری در داده‌ها؛

۶ـ در این تحقیق برای شاخص‌های مرتبط در تعیین ماشین بحرانی، وزن‌های مساوی در نظر گرفته شد، در پژوهش‌های آتی می‌توان وزن دهی به شاخص‌های مرتبط را انجام داد.

منابع:

خشنود فویم، ع؛ نصرت اللهی.م (۱۳۸۸). تعیین فاکتورها و بررسی قابلیت اطمینان انسانی. مجموعه مقالات اولین کنفرانس مهندسی قابلیت اطمینان سامانه‌های هوافضا.

شعبانی، هادی؛ نجفی مجد، صمد (۱۳۹۰). بررسی خطای انسانی کارکنان مدیریت طراحی سامانه با استفاده از تکنیک HEART در یک صنعت دفاعی. دومین کنفرانس مهندسی قابلیت اطمینان، پژوهشگاه هوافضا.

فاضل، صادق (۱۳۸۸). آنالیز و واپایش خطا و خطر از دیدگاه قابلیت اطمینان و ایمنی. تهران: انتشارات سرونگار.

Barati, Ramin , Setayeshi ,Saeed,(2012), "Human Reliability Analysis of TEHRAN Research Re Actor using the SPAR-H Method", Nuclear Technology & Radiation Protection, Vol. 27, No. 3, pp. 319-332.

Ferench, S., Bedford.T., Pollard , S. and Soane, E.,(2011), "Human reliability analysis: A critique and review for managers". Safety Science, Vol 49, No. 6, pp. 753-763.

Fabio De Felice , Antonella Petrillo,(2011), Methodological Approach for Performing Human Reliability and Error Analysis in Railway Transportation System, International Journal of Engineering and Technology Vol.3 (5), 341-353.

Hollnagel E.,(1998), Cognitive reliability and error analysis method: CREAM, Philadelphia: Elsevier Science Ltd .

Liu H, Hwang SL, Liu TH.,(2004), Implementation of Human Error Diagnosis (HED) System. Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers , 21(4): 82-91.

Ghalenoi M, Mahanadi HA, Mortazavi SB, Varmazyar S.,(2009), Control room operators HEART human error analysis technique in a Petrochemical Complex. Iran occupational health,VOL. 6(2), PP 38-50.

Sundaramurthi.R, C. Smidts,(2013), Human reliability modeling for the Next Generation System Code, Annals of Nuclear Energy 52 , 137–156.

Strater, Oliver, (2004), Considerations on the elements of quantifying human reliability, Reliability Engineering and System Safety, Vol. 83,pp. 255–264.

Chang Y.H.J., Mosleh. A.,(2007),"Cognitive modeling and dynamic probabilistic simulation of operating crew response to complex system accidents. Part 2: IDAC performance influencing factors model", Reliability Engineering and System Safety , vol. 92 ,pp. 1014–1040.available online at www.sciencedirect.com.

Murthy D.N.P. , Rausand M. , Virtanen S., (2009), Investment in new product reliability, Reliability Engineering and System Safety, vol. 94, pp 1593–1600. journal homepage: www.elsevier.com/locate/ress.

Zhiqiang Sun.a.n, ZhengyiLi b, Erling Gong a, Hong weiXie a, (2012), Estimating Human Error Probability using a modified CREAM , Reliability Engineering and System Safety 100 , pp 28–32.

Zhou Chong, Kou Xin-jian,(2010), Method of Estimating Human Error Probabilities in Construction for Structural Reliability Analysis Based on Analytic Hierarchy Processand Failure Likelihood Index Method, J. Shanghai Jiaotong Univ. (Sci.) ,vol. 15(3), pp. 291-296.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی