

مدل سازی بحران در لجستیک و تجارت فرآورده های نفتی با رویکرد FMEA

سعید غلامی^{۱*}، مجتبی انصاری نسب^۲

۱- کارشناس ارشد مهندسی پدافند غیرعامل گرایش طراحی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، Saeedgholami1995@gmail.com

۲- کارشناس ارشد مدیریت دولتی گرایش مدیریت تحول، دانشگاه آزاد فیروزکوه، Mojtaba.anasari20@yahoo.com

خلاصه

زنجیره تأمین نفت و فرآورده های آن به دلیل ماهیت استراتژیک و تنوع زیرساخت های حیاتی آن، در معرض طیف وسیعی از بحران های عمدی از نوع انسان ساخت قرار دارد که می توانند پیامدهای فنی و مالی قابل توجه و خسارت باری ایجاد کنند. هدف پژوهش حاضر، شناسایی و اولویت بندی بحران های کلیدی در بخش لجستیک نفتی با استفاده از نگرش ترکیبی مبتنی بر تحلیل حالات شکست و اثرات آن (FMEA) و دو شاخص ارزیابی، یعنی عدد اولویت ریسک (RPN) و شاخص شدت بحران (RCI)، است. شاخص RCI با افزودن ضریب هزینه بحران C_f به مدل اصلی، امکان ارزیابی همزمان ابعاد فنی و اقتصادی را فراهم می کند.

پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و از نظر روش، توصیفی و تحلیلی است. اطلاعات و داده ها از طریق مصاحبه با خبرگان، بررسی اسناد و تحلیل سوابق گذشته گردآوری شده اند. ابتدا امتیازات شدت، احتمال وقوع و قابلیت کشف برای هر سناریوی بحران محاسبه گردید و سپس با لحاظ C_f ، شاخص RCI برای هر سناریوی بحران به دست آمد.

مقایسه نتایج نشان داد که هرچند توالی اولویت ها در دو شاخص شباهت هایی دارد، اما در چند سناریوی کلیدی تفاوت رخ داده است. این یافته ها بیانگر اهمیت لحاظ کردن بعد اقتصادی در تصمیم گیری های سیاست گذارانه و مدیریتی است.

نتیجه گیری کلی این تحقیق آن است که استفاده از شاخص های توسعه یافته مانند RCI می تواند منجر به تخصیص منابع کارآمدتر و تدوین برنامه های پیشگیرانه و واکنشی واقع بینانه تر در صنعت مربوطه شود. یافته های این مطالعه می تواند مبنای طراحی مدل های پیشرفته تر ارزیابی ریسک در سایر بخش های زنجیره تأمین انرژی باشد.

کلمات کلیدی: مدیریت بحران، لجستیک نفتی، FMEA، RPN، RCI، ارزیابی ریسک، زیرساخت حیاتی، پدافند غیرعامل

۱. مقدمه

زنجیره تأمین و حمل و نقل فرآورده‌های نفتی در حوزه انرژی نه بخاطر نقش پر اهمیت آن در زیرساخت‌های حیاتی بالاخص انرژی کشورها، بلکه با توجه به اهمیت گسترده اقتصادی و تجاری، جایگاهی ویژه در توسعه و امنیت ملی کشورها دارد [۱؛ ۲]. در کشورهایی مانند ایران که دارای این زیرساخت‌ها می‌باشند، هرگونه بحران در این زنجیره توانایی باعث بروز مشکلات مهمی در تأمین، بازارهای داخلی و خارجی، و ورود زیان اقتصادی زیادی به زیرساخت‌ها، شرکت‌ها و دستگاه دولت را دارد. [۳؛ ۴]. تهدیدها و بحران‌های انسان ساخت که از نوع عمدی می‌باشد همچون خرابکاری، حملات سایبری، تروریسم و قاچاق سوخت، عمدتاً با هدف ایجاد بحران و اختلال در این جریان پایدار فرآورده‌های نفتی و اختلال و توقف منافع بازرگانی و تجاری کشورها صورت می‌گیرد [۴؛ ۵].

مرور پژوهش‌ها و منابع داخلی و بین‌المللی بیانگر این است که بیشتر مطالعات تمرکز بر بحران‌های طبیعی و فورس مازورهای قراردادی داشته و مسائل تجاری و بازرگانی مرتبط با بحران‌های عمدی کمتر به صورت تخصصی مورد بررسی قرار گرفته؛ در حالی که واکنش‌ها و عواقب بازرگانی بحران‌ها، از جمله افزایش هزینه در زنجیره، نوسانات مختلف، کاهش در سهم بازار و کم شدن اعتماد در بازار جهانی، اهمیت ویژه‌ای دارد [۵؛ ۶]. با توجه به موارد مطروحه، رویکردهایی مانند تحلیل ریسک و احتمالات شکست و اثرات آن (FMEA) می‌تواند با ترکیب شاخص‌های مالی و تجاری، ابزاری کاربردی برای شناسایی و اولویت‌بندی بحران‌های انسان ساخت در زنجیره تأمین و لجستیک نفت و سایر موارد انرژی بوجود آورد [۷؛ ۸]. هدف پژوهش نیز ارائه مدل و چارچوبی جهت تحلیل و مدیریت بحران‌های عمدی و انسان ساخت با اهمیت و تأکید بر شاخصه‌های تجاری و اقتصادی در صنعت زنجیره تأمین و لجستیک فرآورده‌های نفتی ایران است که با تکیه بر مدل FMEA و تجربیات داخلی و بین‌المللی انجام می‌شود.

۱-۱- تئوری پژوهش و سوابق

فرآورده‌های نفتی به واسطه نقش پر اهمیت در اقتصاد و تأثیر مستقیم بر بازار جهانی انرژی، همیشه با ریسک‌های مختلف، مخصوصاً ریسک‌های عمدی، مواجه بوده است [۹؛ ۱۰]. مطابق چارچوب‌ها و مدل‌های مرسوم لجستیک، این زنجیره از مراحل تولید، حمل و نقل، ذخیره‌سازی، پالایش و توزیع تشکیل شده که هر یک دارای ویژگی‌ها و آسیب‌پذیری‌های بازرگانی و عملیاتی با اهمیت و متفاوت هستند [۱۱؛ ۱۲]. بررسی بحران‌های انسان ساخت در این چرخه نیاز به بررسی و شناسایی عوامل انسانی، اقتصادی، فناورانه و سیاسی است که بر رفتار فعالین حوزه بازار و امنیت تجارت در نفت موثر هستند [۱۲].

مدل‌های متعدد برای مدیریت ریسک در زنجیره‌های تأمین معرفی شده‌اند؛ از جمله روش تحلیل حالات شکست و اثرات آن (FMEA)، مدل تاب‌آوری (Resilience-based Models)، شبیه‌سازی سناریو و همچنین چارچوب‌ها و مدل‌های تلفیقی هزینه-ریسک [۷؛ ۱۳]. در ده‌های اخیر، کارشناسان مدیریت زنجیره تأمین به اهمیت توجه به مولفه‌های مالی و بازرگانی، از قبیل هزینه توقف تولید، نوسان قیمت، و تغییر سهم بازار در ارزیابی بحران‌های انسان ساخت، تأکید نموده‌اند [۸؛ ۱۴].

در حوزه مطالعات داخلی و بین‌المللی، پژوهشگران مختلفی به بررسی و اهمیت این موضوع پرداخته‌اند.

جدول ۱- سوابق پژوهش در حوزه داخلی و بین‌المللی

منبع	یافته های کلیدی- عنوان	نویسنده - سال پژوهش
۱/۷	شناسایی نقاط آسیب‌پذیر زنجیره تأمین سوخت	کریمی و همکاران (۱۳۹۹)
3	بررسی اثر تهدیدات عمدی و راهکارهای پدافند غیرعامل	خسروجردی و رضایی (۱۴۰۰)
15	اولویت‌بندی تهدیدات با توجه به شاخص‌های بازرگانی	فرهمند و همکاران (۱۳۹۸)
16	تاکید بر نقش تهدیدات انسانی و اقتصادی بر لجستیک نفت	احمدی (۱۳۹۶)
10	بررسی جامع تهدیدات انسانی با تأکید بر بازرگانی و امنیت	گلپایگانی و افشاری (۱۳۹۷)
12	نقش فناوری و ژئوپلیتیک در تشدید تهدیدهای لجستیکی	دانش و همکاران (۱۴۰۰)
2	اهمیت مدیریت ریسک و انعطاف‌پذیری لجستیکی	Christopher (2016)
4	ارائه چهارچوب تاب‌آوری در برابر حملات عمدی	Butt (2021)
9	انواع ریسک و چارچوب عملیاتی مدیریت اختلالات عمدی	Yeo & Wang (2020)
17	تاب‌آوری سازمانی و کاهش آسیب‌پذیری تجاری	Sheffi (2005)
14	ادغام شاخص‌های مالی در مدیریت ریسک لجستیک	Zhang & Zhang (2019)
18	مطالعه نقش داده‌های مالی و هوش مصنوعی در مدیریت ریسک	Baryannis et al. (2019)

بررسی سوابق در جدول شماره ۱ نشان می‌دهد بخش زیادی از پژوهش‌ها، چه در سطح داخلی و چه در حوزه بین‌المللی، تمرکز خود را عمدتاً بر بحران‌های ناشی از عوامل طبیعی و نوسانات محیطی غیرعمدی (بحران‌های غیر انسانی ساخت) معطوف ساخته‌اند [۲:۴؛۸]. در بیشتر این پژوهش‌ها، یا به موضوع فرآورده‌های نفتی به‌طور مستقیم پرداخته نشده، یا ارزیابی‌ها صرفاً به یکی از حلقه‌های زنجیره لجستیک، نظیر حمل‌ونقل یا ذخیره‌سازی، محدود شده است. در اغلب پژوهش‌ها، رویکردهای مدیریت ریسک به صورت منفرد به کار گرفته شده و ارتباط آن‌ها با شاخص‌های اقتصادی کمتر مورد توجه قرار گرفته است [۴؛۱۳].

در حوزه بین‌المللی، استفاده از مدل‌های مبتنی بر سناریونویسی و رویکردهای تاب‌آوری رویکرد بیشتری داشته، در حالی که در پژوهش‌های داخلی، روش تحلیل حالات شکست و اثرات آن (FMEA) یا نسخه‌های بومی وار شده آن غلبه دارد. همچنین، هیچ‌یک از دو رویکرد‌های یادشده به‌طور جامع، ارزیابی ریسک فنی-عملیاتی را با شاخص‌های اقتصادی و بازرگانی در بحران‌های عمدی (انسان‌ساخت) در کل زنجیره تأمین فرآورده‌های نفتی تلفیق نکرده‌اند [۳؛۵؛۱۲].

با این تفاسیر، این پژوهش با ترکیب روش FMEA و در نظر گرفتن عامل هزینه (Cost Factor) به‌همراه شاخص‌های بازرگانی، رویکردی نو را برای شناسایی، ارزیابی و مدل‌سازی سناریوهای بحران عمدی در لجستیک و تجارت فرآورده‌های

نفتی ارائه می‌نماید. این رویکرد علاوه بر پوشش خلأهای نظری موجود، امکان تحلیل هم‌زمان پیامدهای عملیاتی و اقتصادی را با دقت و جامعیت بیشتری فراهم می‌آورد [۳؛ ۱۱؛ ۱۸؛ ۱۶].

۲. روش تحقیق

پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و در مورد ماهیت، توصیفی و تحلیلی می‌باشد. استراتژی و رویکرد انتخاب شده بر مطالعه شرایط موجود، شناسایی بحران‌های عمده در زنجیره تأمین و تجارت فرآورده‌های نفتی، و ارائه روش و راهکارهای مدیریتی مبتنی بر مدل‌سازی استوار است. ابزار اصلی در این تحقیق، روش آنالیز حالات خرابی و اثرات آن (FMEA) می‌باشد که به دلیل تلفیق شاخص‌های کمی و کیفی، انعطاف در سناریوپردازی و توانایی اولویت‌بندی ریسک‌ها انتخاب شده است.

۲-۱- مراحل انجام تحقیق

۱. شناسایی ساختار زنجیره لجستیک فرآورده‌های نفتی

با توجه به سوابق و اسناد رسمی و مدارک، مراحل اصلی لجستیک شامل استخراج، پالایش، ذخیره‌سازی، انتقال، توزیع داخلی و صادرات، عنوان گردید.

۲. تعریف بحران‌های عمده محتمل

با نگاه به سوابق داخلی و پژوهش‌های بین‌المللی، تجربیات حوادث گذشته و مصاحبه با خبرگان حوزه انرژی بالاخص نفت و حوزه پدافند غیرعامل و حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی، انواع بحران‌های عمده نظیر خرابکاری فیزیکی، حملات سایبری، آلودگی عمده محموله، و ایجاد اختلال در شبکه حمل‌ونقل شناسایی و ارزیابی گردید.

۳. تعیین شاخص‌ها و معیارهای ارزیابی

شاخص‌های کلاسیک FMEA شامل: شدت اثر (Severity)، احتمال وقوع (Occurrence) و قابلیت کشف (Detection) تعریف گردیده‌اند. نوآوری این پژوهش در افزودن زیرشاخص‌های مالی و تجاری به معیارهای شدت و احتمال وقوع است تا اثرات مالی و اقتصادی بحران‌های انسان ساخت نیز بررسی گردد.

۴. امتیازدهی و گردآوری داده‌ها

برای هر بحران، مقادیر S (شدت اثر)، O (احتمال وقوع) و D (قابلیت کشف) بر اساس مقیاس ۱ تا ۱۰، با تعاریف دقیق در سطوح مقیاس، توسط تیم کارشناسان متخصص ارزیابی شد. اطلاعات و داده‌ها از طریق پرسشنامه تخصصی و جلسات گروهی با کارشناسان گردآوری گردید.

۵. محاسبه عدد اولویت ریسک (RPN)

پس از محاسبه شاخص عدد اولویت ریسک (RPN) بر اساس سه مؤلفه یاد شده، یک ضریب تعدیل‌کننده اقتصادی با عنوان ضریب هزینه بحران C_f به محاسبات افزوده شد. هدف از این ضریب، انعکاس آثار مالی هر بحران در فرآیند اولویت‌بندی است تا تصمیم‌گیری‌ها تنها بر پایه ملاحظات و اقدامات فنی انجام نشود. مقدار C_f در بازه ۱ تا ۳ تعیین گردید، که عدد ۱ نشان‌دهنده هزینه پایین از میانگین بین بحران‌های مشابه، عدد ۲ هزینه متوسط، و عدد ۳ هزینه بالاتر از میانگین است. تعیین مقدار C_f بر اساس داده‌های مالی و عملیاتی سالهای اخیر، شامل هزینه‌های مستقیم (نظیر تعمیرات اضطراری، جایگزینی تجهیزات) و هزینه‌های غیرمستقیم (مانند توقف تولید، جریمه و خسارت اعتباری)، و همچنین بر پایه نظرات کارشناسان متخصص حوزه مربوطه انجام شد. این ضریب سپس در فرمول زیر به کار گرفته می‌شود:

$$RPN = O \times S \times D$$

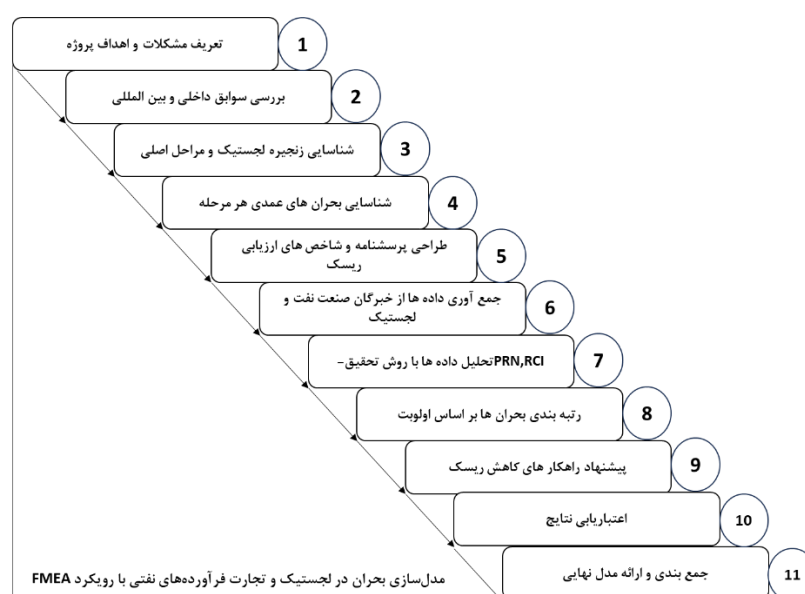
$$RCI = RPN \times C_f$$

که در آن RCI (Risk Cost Index) شاخص ترکیبی فنی-اقتصادی بحران است و مبنای اولویت‌بندی نهایی این پژوهش قرار می‌گیرد.

۶. تحلیل و پیشنهاد راهکار

بحران‌ها و ریسک‌ها بر اساس RPN دسته‌بندی شده و برای آن‌هایی که عدد ریسک بالاتری دارند، بسته‌های پیشنهادی پیشگیری یا واکنشی با در نظر گرفتن ملاحظات فنی، ایمنی و اقتصادی ارائه خواهد گردید.

شکل ۱- جدول روش انجام تحقیق



۳. نتایج و تحلیل داده‌ها

۳-۱- مرور کلی داده‌ها

در پژوهش حاضر، اطلاعات و داده‌های ۱۸ سناریوی بحران شناسایی شده در زنجیره لجستیک فرآورده‌های نفتی در سه حوزه انبارداری، حمل‌ونقل و پایانه صادراتی تحلیل و بررسی شده است. برای هر سناریو، سه مؤلفه FMEA شامل شدت، احتمال وقوع و قابلیت کشف بر اساس پرسشنامه خبرگان امتیازدهی گردید. سپس شاخص RPN محاسبه و در ادامه با ضریب هزینه بحران C_f تعدیل شد تا شاخص ترکیبی فنی-اقتصادی (RCI) به دست آید.

۳-۲- شناسایی ساختار زنجیره لجستیک و نقاط بحران

زنجیره لجستیک فرآورده‌های نفتی مورد مطالعه شامل سه حلقه‌ی اصلی است:

جدول ۲- زنجیره لجستیک

ردیف	زنجیره لجستیک	موارد
1	انبار داری و ذخیره سازی	انبار های توزیع منطقه ای
2	حمل و نقل زمینی و دریایی	خطوط لوله
3	پایانه های صادراتی و تخلیه بارگیری	مراکز توزیع بین المللی

بر اساس بازدید های انجام شده و طی جلسات کارشناسی و مرور سوابق حوادث و آنچه در سوابق پژوهش داخلی و بین المللی ذکر شده ، سناریوی های بحران بالقوه شناسایی شد که با توجه به ماهیت زنجیره به سه دسته تقسیم گردید:

جدول ۳- بحران های بالقوه حوزه مربوطه

ردیف	سناریو بحران	پیامد
1	ایمنی - زیست محیطی	آتش سوزی
2	عملیاتی-لجستیکی	توقف تجهیزات بارگیری
3	فنی-تجهیزاتی	قطع برق

۳-۳- تعریف شاخص ها و فرمول ها

مطابق روش تحقیق، سناریوها بر اساس روش FMEA ارزیابی شدند. هر بحران با سه مؤلفه ی زیر سنجیده شد:

- شدت اثر (S)،
- احتمال وقوع (O)،
- قابلیت کشف (D).

محاسبه RPN طبق رابطه: $RPN = O \times S \times D$

برای پوشش بعد اقتصادی، ضریب هزینه بحران C_f اضافه شد:

مقیاس ۱ تا ۳ (کم، متوسط، زیاد)، بر مبنای هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم حوادث مشابه سال‌های اخیر، و ارزیابی متخصصان.

فرمول شاخص ترکیبی فنی-اقتصادی (RCI) به صورت: $RCI = RPN \times C_f$

این شاخص مبنای نهایی برای اولویت‌بندی بحران‌هاست.

۴-۳- نتایج ارزیابی بحران‌ها

جدول ۴- جدول ارزیابی بحران‌ها

ردیف	سناریو بحران	S	O	D	RPN	C_F	RCI	رتبه نهایی
1	نشت گسترده مخازن	5	4	5	100	3	300	1
2	توقف خطوط لوله	5	4	4	80	3	240	2
3	آتش‌سوزی در حمل‌ونقل	5	3	4	60	3	180	3
4	آلودگی فرآورده	4	4	5	80	2	160	4
5	تأخیر در ترخیص بندری	3	5	4	60	2	120	5
6	قطع برق پایانه صادراتی	4	3	4	48	2	96	6
7	خرابی پمپ بارگیری	4	3	3	36	2	72	7
8	نشت جزئی خطوط انتقال	3	3	4	36	2	72	7
9	خرابی سیستم کنترل موجودی	3	4	3	36	1	36	9
10	کمبود ناگهانی تانکر حمل	2	4	3	24	2	48	8

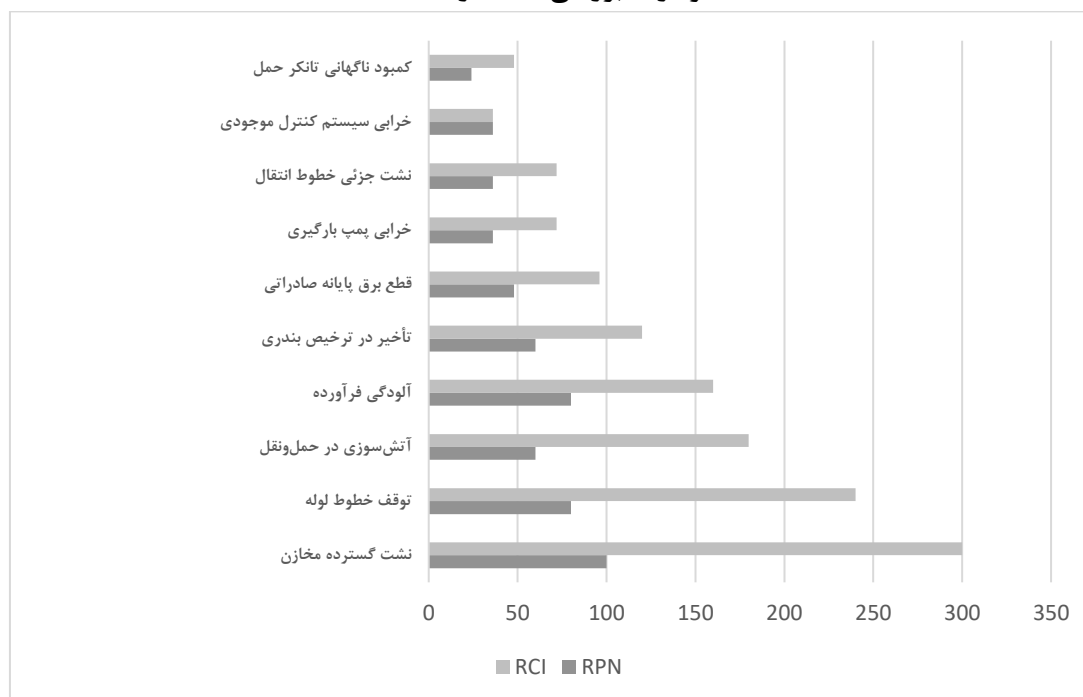
۵-۳- تحلیل فنی و اقتصادی نتایج

بررسی اعداد به‌دست‌آمده از ارزیابی بحران‌ها نشان‌دهنده آن است که مدل مرسوم FMEA، هرچند در شناسایی عوامل بحرانی قادر به ارزیابی موارد مربوط به ریسک است، اما در سناریوهایی که هزینه اقتصادی نقش تعیین‌کننده دارد، ممکن است تحلیل و تصویر کاملی ارائه ندهد. اضافه شدن ضریب هزینه بحران و محاسبه شاخص اولویت بحرانی تعدیل‌شده (RCI) موجب شد اولویت‌بندی‌ها در برخی موارد به‌طور محسوسی تغییر یابد.
به‌عنوان مثال:

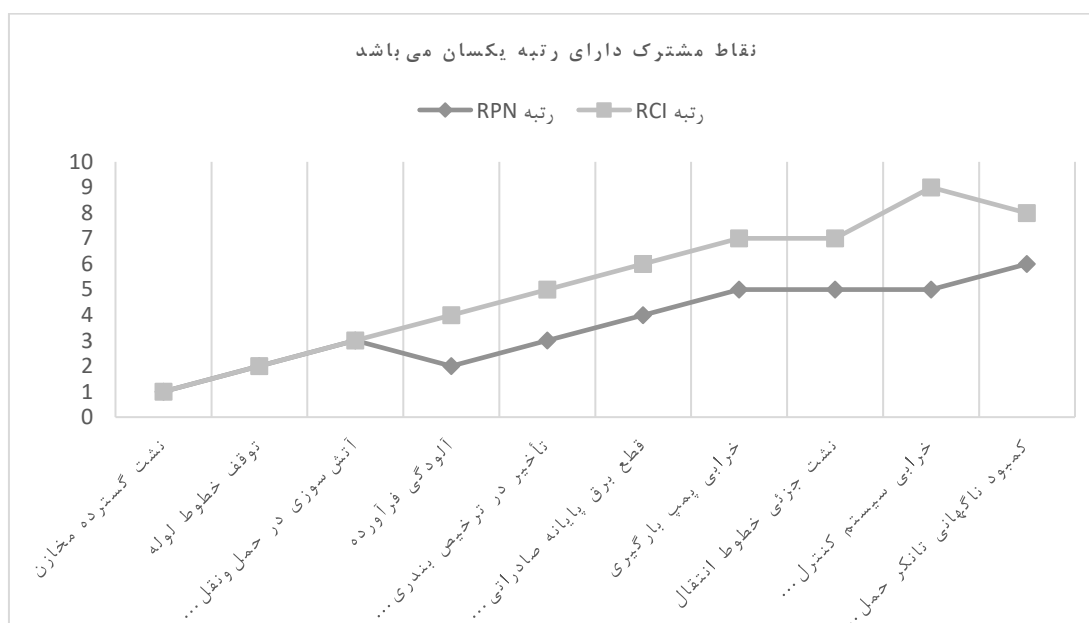
- بحران نشت گسترده مخازن با بالاترین شدت ($S=5$) و دشوارترین قابلیت کشف ($D=5$)، در هر دو شاخص RPN و RCI در رتبه ۱ باقی ماند، اما فاصله عددی آن با سایر بحران‌ها پس از اعمال ضریب بحران چشمگیر تر شد (از عدد ۱۰۰ به ۳۰۰).
- بحران آتش‌سوزی در حمل‌ونقل با وجود RPN نسبتاً متوسط (۶۰)، به دلیل هزینه‌های مالی و زیست‌محیطی زیاد دارای ضریب بحران بسیار بالایی می‌باشد که در RCI جایگاه سوم را دارد. این مورد نشان‌دهنده آن است که شاخص مربوط به FMEA به تنهایی قادر به ارزیابی بحران نمی‌باشد.
- بحران‌هایی اعم از خرابی سیستم کنترل موجودی که هزینه اجرایی و اثرات کمی دارند، در RCI به انتهای جدول منتقل شدند، حتی اگر احتمال وقوع آن‌ها نسبتاً بالا باشد.

بنابراین، مقایسه RPN و RCI نشان داد که ارزیابی بحرانی بدون لحاظ بعد اقتصادی و مالی، می‌تواند به تخصیص منابع به تهدیدها یی منجر شود که از نظر واقعیت عملیاتی، اهمیت و اولویت آن‌ها پایین‌تر است.

نمودار ۱- بررسی RCI و RPN



نمودار ۲- مقایسه رتبه RPN , RCI



3-6- پیامدهای کاربردی و مدیریتی و جمع بندی

نتایج بررسی ها و نمودارهای این پژوهش می تواند در سیاست گذاری های صنعت نفت اثرگذاری مستقیم داشته باشد:

۱. سرمایه گذاری با هدف مشخص: اختصاص بودجه متناسب پیشگیرانه به بحران هایی که در RCI رتبه بالایی دارند، اثربخشی منابع را به بالاترین میزان ممکن می رساند.
۲. بهینه سازی تعمیر و نگهداری: برنامه ریزی نگهداری پیش بینی شده باید بیشتر بر تجهیزات و بخش هایی متمرکز شود که عوامل موثر بر RPN بیشتری دارد.
۳. مدیریت بودجه اضطراری: ایجاد ذخایر مالی ویژه برای بحران های دارای رتبه ۱ تا ۳ در RCI می تواند از خسارات گسترده مالی و عملیاتی جلوگیری کند.
۴. آموزش و تمرین تیم های عملیاتی: تمرکز بر سناریوهای پرهزینه و پرتکرار، موجب ارتقای توان واکنش سریع و کاهش هزینه های جبرانی می شود.

در جمع بندی این بخش، مقایسه RPN و RCI بیانگر این است که مدل پیشنهادی با افزودن عامل هزینه، تصویر دقیق تر و کاربردی تری از اولویت بحران ها در زنجیره لجستیک فرآورده های نفتی ارائه می کند. این استراتژی و رویکرد نه تنها ارزش علمی دارد بلکه ابزار عملی مؤثری برای تصمیم گیران و مدیران در حوزه تخصیص منابع، طراحی برنامه های پایش ایمنی، و مدیریت مالی بحران ها و همچنین حفاظت از زیرساخت ها فراهم می نماید.

۴. بحث و نتیجه گیری

داده های پژوهش حاضر بیانگر این است که استفاده از روش تحلیل حالات شکست و اثرات آن (FMEA) به همراه شاخص توسعه یافته اقتصادی RCI، امکان ارزیابی چند وجهی ریسک ها و بحران ها در زنجیره تأمین فرآورده های نفتی را فراهم می آورد. شاخص RPN به طور معمول بر سه معیار شدت، احتمال وقوع و قابلیت کشف متمرکز است. اما نگرش مبتنی بر RCI با افزودن ضریب هزینه بحران موفق شد ابعاد اقتصادی و مالی را نیز وارد معادله تصمیم گیری مدیران و سیاست گذاران کند. بر اساس یافته های پژوهش، هر چند روند کلی مقایسه RPN و RCI مشابه است، تفاوت های قابل توجهی در جایگاه برخی سناریوها وجود دارد. به عنوان نمونه:

نشت گسترده مخازن: در هر دو شاخص رتبه اول را دارد که ناشی از شدت بسیار بالا، احتمال وقوع نسبتاً زیاد و قابلیت کشف محدود، همراه با هزینه خسارت بالا.

توقف خطوط لوله: رتبه دوم خود را در هر دو شاخص مربوطه حفظ کرده است. این سناریو ی بحران از نظر فنی و اقتصادی تقریباً هم تراز بحران اول نمی باشد، ولی در گروه ریسک های بحرانی قرار دارد.

آتش سوزی در حمل و نقل: در RPN رتبه دوم مشترک داشت، ولی در RCI دارای رتبه انحصاری است. این ارتقاء جایگاه بیانگر این است که هزینه خسارت اقتصادی و عملیاتی این نوع سناریو نسبت به برخی سناریو های هم امتیاز در RPN بیشتر برآورد شده است.

آلودگی فرآورده: در RPN رتبه دوم مشترک را دارد، ولی در RCI به رتبه چهارم تنزل یافته است. علت این افت جایگاه، ضریب هزینه پایین تر بحران نسبت به بحران های هم رتبه در شاخص دیگر است.

تأخیر در ترخیص بندری: از رتبه سوم مشترک در RPN به رتبه پنجم در RCI کاهش یافته است. این تغییر نشانگر آن است که علی رغم احتمال وقوع بالا شدت مالی و اقتصادی این بحران نسبت به سایر سناریوهای مشابه کمتر است.

قطع برق پایانه صادراتی: اعمال ضرایب اقتصادی بحران در آن نشان دهنده تغییر رتبه می‌باشد.

خرابی پمپ بارگیری: از رتبه پنجم مشترک در RPN به رتبه هفتم در RCI نزول کرده است. این کاهش بیانگر کم‌اثر بودن نسبی هزینه بحران نسبت به دیگر ریسک‌های هم سطح است.

نشت جزئی خطوط انتقال: به دلیل تأثیر اندک مؤلفه اقتصادی در این سناریو با اعمال ضرایب اقتصادی کاهش رتبه را شاهد بوده است.

خرابی سیستم کنترل موجودی: رتبه پنجم مشترک در RPN، ولی در RCI به نهم سقوط کرده است. این بیشترین افت رتبه در بین سناریوهاست و نشان می‌دهد که این بحران با وجود ارزیابی فنی نسبتاً بالا، هزینه خسارت کمی دارد.

کمبود ناگهانی تانکر حمل: از رتبه ششم در RPN با اعمال ضرایب اقتصادی به رتبه ۸ رسیده است.

به‌طور کلی، مشاهده می‌شود که افزودن مؤلفه اقتصادی باعث بیشترین جابه‌جایی در بحران‌های با تفاوت زیاد بین خسارات مالی و شدت فنی شده است.

۴-۱- تفسیر سیاست‌گذارانه و مدیریتی

نتایج به دست آمده چند پیامد مدیریتی روشن دارد:

اهمیت رویکرد چند وجهی در مدیریت بحران: صرفاً توجه به شدت و احتمال وقوع بحران‌ها می‌تواند منجر به غفلت از نقاطی شود که اثر اقتصادی و مالی قابل توجه می‌باشند. استفاده از ضرایب اقتصادی باعث می‌شود تا سیاست‌گذاران بتوانند منابع را به گونه‌ای تخصیص دهند که حداکثر کاهش در ریسک کلان ایجاد شود.

بررسی مجدد تخصیص منابع پیشگیرانه و واکنشی: با توجه به نتایج، برخی سناریوهای بحران که پیش‌تر در اولویت پایین‌تری قرار داشتند، پس از لحاظ بعد اقتصادی باید در اولویت برنامه‌ریزی قرار گیرند. این موضوع به‌ویژه در شرایط تحریم یا محدودیت منابع که اقتصاد ایران تجربه کرده، اهمیت مضاعف دارد.

توجه بر سرمایه‌گذاری در قابلیت کشف سریع: چون شاخص D هم در RPN و هم در RCI اثر مستقیم دارد، توجه به سامانه‌های پایش و هشدار سریع می‌تواند از جهات فنی و مالی اثربخش باشد. این سرمایه‌گذاری نه تنها باعث کاهش شدت بحران می‌شود، بلکه مدت‌زمان بازیابی را نیز کوتاه می‌کند.

۴-۲- نتیجه‌گیری کلی

پژوهش حاضر با هدف شناسایی، ارزیابی و اولویت‌بندی بحران‌ها و سناریو احتمالی در زنجیره تأمین فرآورده‌های نفتی ایران، به‌ویژه در شرایط بروز بحران‌های عمده انسان‌ساخت، انجام شد. نگرش به‌کار رفته، ترکیب روش FMEA و شاخص سنتی RPN با شاخص توسعه‌یافته RCI بود که بعد اقتصادی را نیز در قالب ضریب هزینه بحران وارد فرآیند ارزیابی می‌نماید.

تحلیل نتایج نشان داد که اگرچه اولویت‌ها تا حد زیادی بین دو شاخص مشابه است، اما درج متغیر هزینه سبب تغییر رتبه در چند سناریوی با اهمیت گردید. این تغییرات بیانگر این است که تصمیم‌گیری صرف بر اساس معیارهای فنی (شدت، وقوع، کشف) ممکن است موجب تخصیص غیر بهینه منابع شود و ضرورت دارد سیاست‌گذاران و مدیران، ابعاد اقتصادی خسارات را نیز در نظر بگیرند.

یافته کلیدی این تحقیق آن است که بحران‌هایی با خسارت مالی شدید اگر امتیاز فنی متوسط داشته باشند در شرایط واقعی می‌توانند اثرگذاری بیشتری بر زنجیره تأمین داشته باشند و باید در اولویت برنامه‌های پیشگیری و واکنش قرار گیرند. این نتیجه با مطالعات مشابه همخوانی دارد و اعتبار رویکرد RCI را در حوزه لجستیک نفتی تأیید می‌نماید.

در مجموع، این پژوهش ثابت می‌کند که ترکیب معیارهای فنی و اقتصادی در ارزیابی ریسک می‌تواند تصمیم‌گیری مدیران صنعت نفت را به نحوی واقع‌بینانه‌تر و اثربخش‌تر هدایت کند. نتایج این تحقیق می‌تواند به عنوان مبنایی برای تدوین

دستورالعمل‌های مدیریت بحران و پدافند غیرعامل در بخش لجستیک و بازرگانی نفتی کشور و همچنین پایه‌ای برای توسعه مدل‌های پیشرفته‌تر در حوزه‌های دیگر زنجیره تأمین انرژی به کار گرفته شود.

۵. مراجع

۱. کریمی، نرگس؛ سلیمانی، مهرداد؛ اکبری، رضا. (۱۳۹۹). تحلیل ریسک زنجیره تأمین سوخت کشور با رویکرد FMEA و TOPSIS. فصلنامه مدیریت بحران.
۲. Christopher, M. (2016). *Logistics & Supply Chain Management*. Pearson.
۳. خسروجردی، علی‌اکبر؛ رضایی، هادی. (۱۴۰۰). ارزیابی تهدیدات عمدی علیه زیرساخت‌های انرژی با رویکرد دفاع غیرعامل فصلنامه پدافند غیرعامل.
۴. Butt, A. S. (2021). Mitigating deliberate attacks in oil supply chains: A resilience framework. *Energy*, 215, 119150.
۵. اسلامی، الهام. (۱۳۹۸). مدل‌سازی تاب‌آوری زنجیره تأمین نفت ایران در مواجهه با بحران‌های انسانی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
۶. Laan, E., et al. (2020). Deliberate disruption and supply chain risk: Empirical insights. *Journal of Business Logistics*, 41(1), 5-19.
۷. کریمی، نرگس؛ سلیمانی، مهرداد؛ اکبری، رضا. (۱۳۹۹). تحلیل ریسک زنجیره تأمین سوخت کشور با رویکرد FMEA و TOPSIS. فصلنامه مدیریت بحران.
۸. Pires, S. R. I., et al. (2019). Supply chain risk analysis using FMEA: A case study. *Journal of Cleaner Production*, 232, 604-612.
۹. Yeo, G. T., & Wang, C. (2020). Oil supply chain disruptions: Types, risks, and management frameworks. *Energy Policy*, 146, 111786.
۱۰. گلپایگانی، محمدرضا؛ افشاری، وحید. (۱۳۹۷). تحلیل تهدیدات انسان‌ساخت در تأمین و حمل‌ونقل نفت فصلنامه پژوهش‌های امنیت انرژی.
۱۱. Rodrigue, J.-P. (2020). *The Geography of Transport Systems*. Routledge.
۱۲. دانش، سیروس؛ محمودی، علی؛ شفیع، الهام. (۱۴۰۰). نقش عوامل ژئوپلیتیکی و فناوری در بحران‌های لجستیکی نفت فصلنامه مطالعات راهبردی انرژی.
۱۳. Hosseini, S., & Barker, K. (2016). Modeling infrastructure resilience using Bayesian networks: A case study of oil supply chain. *Reliability Engineering & System Safety*, 153, 10-23.
۱۴. Zhang, D., & Zhang, Y. (2019). Integrating financial indicators into oil supply chain risk analysis. *Journal of Business Economics and Management*, 20(2), 275-297.
۱۵. فرهنگند، بهروز؛ عباسی، فاطمه؛ صارمی، حسین. (۱۳۹۸). اولویت‌بندی تهدیدات بازرگانی زنجیره تأمین نفت ایران با رویکرد FMEA و TOPSIS. فصلنامه مدیریت بازرگانی.
۱۶. احمدی، سیامک. (۱۳۹۶). ارزیابی تأثیر تهدیدات انسانی بر پایداری لجستیک صادرات نفت ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف.
۱۷. Sheffi, Y. (2005). *The Resilient Enterprise: Overcoming Vulnerability for Competitive Advantage*. MIT Press.
۱۸. Baryannis, G., Dani, S., & Antoniou, G. (2019). Supply chain risk management and artificial intelligence: State of the art and future research directions. *International Journal of Production Research*, 57(7), 2179-2202.
۱۹. Flynn, B. B., Koufteros, X., & Lu, G. (2016). On theory in supply chain uncertainty and its implications for supply chain integration. *Journal of Supply Chain Management*, 52(3), 3-27.

۲۰. Tang, C. S. (2006). Perspectives in supply chain risk management. *International Journal of Production Economics*, 103(2), 451-488.
۲۱. Pettit, T. J., Fiksel, J., & Croxton, K. L. (2010). Ensuring supply chain resilience: Development of a conceptual framework. *Journal of Business Logistics*, 31(1), 1-21.