

# رویکردی تلفیقی در تحلیل ریسک با استفاده از روش‌های تجزیه و تحلیل شکست و آثار آن (FMEA) و فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP)

بهروز دری<sup>۱\*</sup>، هاشم معزز<sup>۲</sup>، هادی سلامی<sup>۳</sup>

- ۱- دانشیار گروه مدیریت، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران  
۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران  
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

پذیرش: ۸۷/۱۰/۲۳

دریافت: ۸۶/۱۲/۱۳

## چکیده

مدیریت ریسک و ارتقای قابلیت اطمینان فرایندها، از جمله موارد مهمی هستند که در ادبیات مدیریت تولید و عملیات اهمیت روزافزونی پیدا کرده‌اند. تجزیه و تحلیل شکست و آثار آن (FMEA)، یکی از توانمندترین روش‌ها در این حوزه به شمار می‌آید. قابلیت اجرایی بالا و تحلیل‌پذیری مناسب، آن را در رده مهم‌ترین تکنیک‌های تحلیل مخاطره و تقویت این سیستمها قرار داده است. از سوی دیگر، گستره وسیع کاربری این روش در زمینه‌های گوناگون، نقاط ضعف و محدودیت‌هایی را آشکار ساخته و به تبع آن صاحب‌نظران بسیاری در اصلاح و تقویت آن همت گمارده‌اند. در این مقاله فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP)، به عنوان یکی از روش‌های نوین و قدرتمند در زمینه تصمیم‌گیری با هدف تعديل و تقویت روش FMEA در ترکیب با آن (ANP-FMEA) دیده شده است.

روش ANP-FMEA ارتباطات متقابل عوامل موجود خطرپذیری را در نظر گرفته و با ارائه ساختاری مدون، منظری سیستمی و منعطف را در قلمروی مدیریت ریسک به دست می‌دهد. این روش، مفهوم ساده نمره اولویت ریسک را گسترش داده و برای پارامترهای FMEA در قالب توان، اهمیت‌های متفاوتی قابل است. مقدار RPN حاصل با شرایط سیستمی که در آن به کار گرفته می‌شود، سازگاری بهتری خواهد داشت. به کارگیری این روش تحلیل صحیح‌تری از ریسک فراهم می‌کند که در تعاقب آن، اقدامات کار و اثربخش‌تر موجب دستیابی و حفظ درجه اطمینان مطلوب‌تری خواهند شد.



کلید واژه‌ها: مدیریت ریسک، قابلیت اطمینان سیستم، تجزیه و تحلیل شکست و آثار آن، فرایند تحلیل شبکه‌ای، فرایند تبدیل کاتالیستی.

## ۱- مقدمه

سیستم‌های نوین تولیدی و خدماتی، امروزه از چنان استمرار و پیوستگی برخوردارند که حفظ تداوم آنها به مسأله مهمی بدل شده است. این‌گونه سیستم‌ها باید با قابلیت بالایی از اطمینان عمل کنند و در این مسیر ریسک و مخاطره‌آمیزی معقولی بر آنها مترتب باشد. با پیشینه‌ای که به دهه ۵۰ میلادی باز می‌گردد، روش تجزیه و تحلیل شکست و آثار آن (FMEA) در جهت تحقق اهداف فوق خلق و توسعه یافته است.

مدیریت در تمامی زمینه‌ها به‌ویژه تحلیل خطرپذیری، نیازمند توجه به معیارهای بسیار و لحاظ روابط تعاملی میان آنهاست. تکنیک فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) از جمله شیوه‌های نوین در مبحث تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) به شمار می‌رود. پیشینه کاربری وسیع و نبود توجه به روابط متقابل عوامل موجود ریسک در روش مرسوم FMEA و در کنار آن کارامدی تحلیل شبکه‌ای در شناسایی و لحاظ تعاملات معیارهای تصمیم‌گیری باعث می‌شود رویکرد تلفیقی این دو روش، در تحلیل صحیح‌تر و دقیق‌تر ریسک بهتر عمل کند.

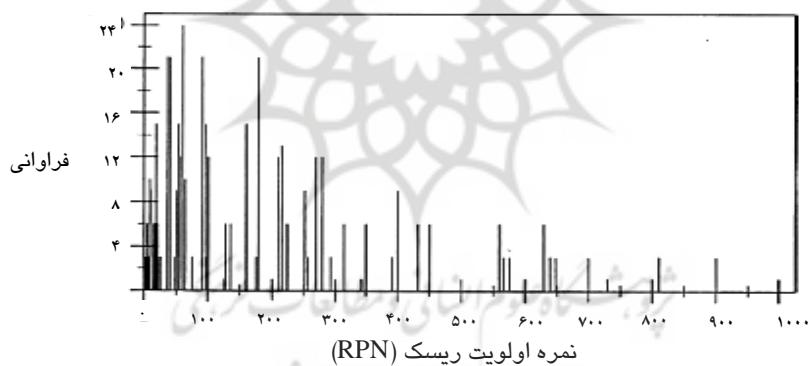
## ۲- تبیین مسأله

فلمینگ<sup>۱</sup> و همکاران بیان می‌کنند که روش نمره اولویت ریسک (RPN) ذاتاً ذهنی است؛ زیرا که رهنمودهای به کار رفته برای درجه‌بندی شدت، وقوع و شناسایی از مؤسسه‌ای به مؤسسه دیگر متفاوت می‌باشد. نمره اولویت ریسک‌های مشابه‌ای را می‌توان با استفاده از تعدادی ترکیبات مختلف از شدت، وقوع و شناسایی به دست آورد. نمره اولویت ریسک تفاوت‌های زبانی ممکن را از هم تمیز نمی‌دهد. از سوی دیگر، بولز<sup>۲</sup> چنین بیان می‌دارد که مقیاس‌های FMEA برای شدت و شناسایی صرفاً کیفی هستند. به عنوان مثال، درجه ۸ در پارامتر شدت دو برابر درجه ۴ این پارامتر نخواهد بود. وی اضافه می‌کند که به هنگام ضرب این سه پارامتر در یکدیگر جهت شکل‌دهی RPN با درجات به گونه‌ای برخورد می‌شود که

1. Fleming  
2. Bowles

گویی مقادیر کمی هستند. وی به این موضوع اشاره می‌کند که محاسبه نمره اولویت ریسک نشان می‌دهد که افزایش دو برابر در یک عامل (نظیر شدت) می‌تواند با نصف شدن عامل دیگر تهاصر شود [۱، صص ۲-۳].

انودرا<sup>۱</sup> عنوان می‌کند که می‌توان به جای نمره اولویت ریسک با حذف درجه شناسایی از فرمول محاسبه، خامت<sup>۲</sup> را مدنظر قرار داد. به اعتقاد وی نمره اولویت ریسک باید در مراحل تولید و بازرسی استفاده شود چرا که درجه شناسایی شکست عامل مهمی در فرایندهای تولید و بازرسی محسوب می‌شود. به رغم انودرا رویکرد RPN، اغلب در تحلیل فرایندهای تولیدی، عملیات و فعالیت‌های نگهداری و نیز در طراحی سیستم‌های شناسایی به کار گرفته می‌شود [۱، ص ۴]. از دیگر مسائل مطرح در نمره اولویت ریسک این است که مقادیر آن در تکرارهای زیاد، نوعی چولگی را نشان می‌دهند. شکل ۱، ۱۰۰۰ نمره اولویت ریسک را نشان می‌دهد که از تمامی ترکیبات ممکن ایجاد شده‌اند. توجه داشته باشید که تقریباً تمام مقادیر RPN غیرمنحصر به فرد هستند. برخی از آنها تا ۲۴ مرتبه بازآفرینی شده‌اند [۲، صص ۳۳-۳۵].



شکل ۱ تمام ترکیبات ممکن برای خلق ۱۰۰۰ نمره اولویت ریسک

بن-دایا و همکاران از تخصیص بیشترین وزن در فرمول نمره اولویت به عامل شدت حمایت کردند. عامل شدت به این دلیل مهم‌ترین عامل دانسته شده است که احتمال پیشرفت

1. Onodera

2. Criticality



یک خطا تا مشتریان را متأثر می‌سازد. آنها معتقد به محاسبه نمره اولویت ریسک با استفاده از مقدار وقوع با توان ۲ در دامنه ۱ تا ۵۱۲ بودند. این محققان همچنین استفاده از هزینه‌های مورد انتظار را در ارتباط با FMEA توصیه کردند [۳، صص ۲۱-۲۷].

گیلکریست استفاده از هزینه‌های مورد انتظار را در اولویت‌بندی شکست‌ها پیشنهاد کرد.

وی به این مطلب اشاره کرد که برای صدها سال، روی این مطلب توافق شده است که شیوه اظهار شدت در قالب واژگان مالی باشد. هزینه مورد انتظار شکست‌ها به افراد در تفکر راجع به هزینه‌های کیفی یاری می‌دهد [۳، ص ۳۲].

در نحوه محاسبه نمره اولویت ریسک به وسیله صاحب‌نظران مختلف تعدیلات چندی به وجود آمده است که چند مورد از آنها در زیر آورده شده‌اند:

- گیلکریست<sup>۱</sup> با در نظر گرفتن هزینه شکست و تعداد تولید، فرمول آن را به صورت زیر در نظر گرفت؛

$$\text{Expected Cost (EC)} = c n P_f P_d \quad (1)$$

که در آن

$c$ : معرف هزینه شکست،  $n$ : نشانگر میزان تولید سالیانه،  $P_f$ : احتمال شکست،  $P_d$ : احتمال شناسایی شکست. به دلیل دشواری برآوردن این احتمالات، این مدل به درست در صنایع مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳، ص ۳۵].

- بن-دایا و رائوف<sup>۲</sup> این‌گونه بیان کردند که ارزیابی نمره عامل‌های دخیل با استفاده از مقیاس ۱ تا ۱۰ و با درجه اهمیت یکسان پارامترها، چندان عملی نیست. آنها در روش تجدیدنظر شده خود برای احتمال وقوع توان ۲ را در نظر می‌گیرند [۳، ص ۳۶].

- در فرمول محاسباتی دیگری<sup>۳</sup> چهار عامل، یعنی  $S-A-G-W$  در ارزیابی نمره ریسک دخیل شناخته شدند که در آن  $S$  شاخص چهار سطحی برای شدت شکست بالقوه می‌باشد،  $A$  شاخص دو سطحی برای تناوب وقوع،  $G$  شاخص دو سطحی جهت احتمال اجتناب از شکست و  $W$  شاخص سه سطحی برای احتمال وقوع علل شکست هستند. نمره ریسک در این روش با تعیین سطوح شاخص‌ها و با استفاده از درخت تصمیم‌گیری با حدود تعیین شده انجام می‌گیرد [۴، صص ۲-۳].

1. Gilchrist, 1993

2. Ben-Daya & Raouf, 1993

3. Kema, 1996

- فرمول دیگری در کارخانه پایونیر<sup>۱</sup> مورد استفاده قرار گرفت. این شرکت ۵ عامل را در قالب فرمول زیر در تعیین نمره ریسک مطرح می‌کند؛

$$C_s = \sqrt[5]{C_1^* C_r^* C_r^* C_\varepsilon^* C_o^*} \quad (2)$$

که در آن

$C_1$ : درجه اهمیت شکست،  $C_r$ : دامنه تأثیر پذیرفته سیستم  $C_\varepsilon$ : تناوب شکست  $C_o$ : احتمال پیشگیری  $C_\varepsilon$ : حدود دشواری تغییر طراحی. عدد بدست آمده از فرمول در چهار سطح با حدود زیر قرار می‌گیرد [۴].

$$C_s = \begin{cases} \text{Risk level } \forall C_s \leq 1. \\ \text{Risk level } 1 \leq C_s < 1. \\ \text{Risk level } 2 \leq C_s < 1. \\ \text{Risk level } C_s > 2 \end{cases} \quad (2)$$

به نظر می‌رسد عمدۀ اصلاحاتی که حول این روش متصور دانسته شده‌اند، تا اندازه‌ای جزئی و به گونه‌ای بوده‌اند که آن را با زمینه به‌خصوصی که در آن به کار گرفته شده سازگار سازند؛ حال آن‌که بعيد نیست این تغییر از قابلیت کاربری آن در حوزه‌های دیگر کاسته باشد. روش ANP با استفاده از رویه مختص خود، پراکندگی و تعارضات ناشی از مبادی ذهنی و کیفی داده‌ها را تعدیل می‌کند؛ این قابلیت را فراهم می‌کند که در ترکیب با روش FMEA ضمن پوشش برخی از محدودیت‌های مطرح شده، انعطاف پیشتری در کاربرد و دستیابی به مزایای مورد انتظار در قالب روش ادغامی ANP-FMEA ارایه کند.

با بررسی منابع به‌روز و معتبر، روش FMEA با گرایشی تکمیلی در تلفیق با رویکردهای بسیاری از جمله منطق فازی<sup>۲</sup>، تئوری خاکستری<sup>۳</sup>، آمایش فعالیت کیفی (QFD)، مدل کانو<sup>۴</sup> و نظایر این‌ها مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است [۳، ص ۴۷؛ ۴، ص ۸-۵؛ ۵]. روش ANP نیز به تازگی با نگرش‌های گروهی<sup>۵</sup>، فازی و برنامه‌ریزی آرمانی مطرح شده است؛ اما

1. Pioneer, 1980

2. Fuzzy Logic

3. Grey Theory

4. Kano Model

5. GANP



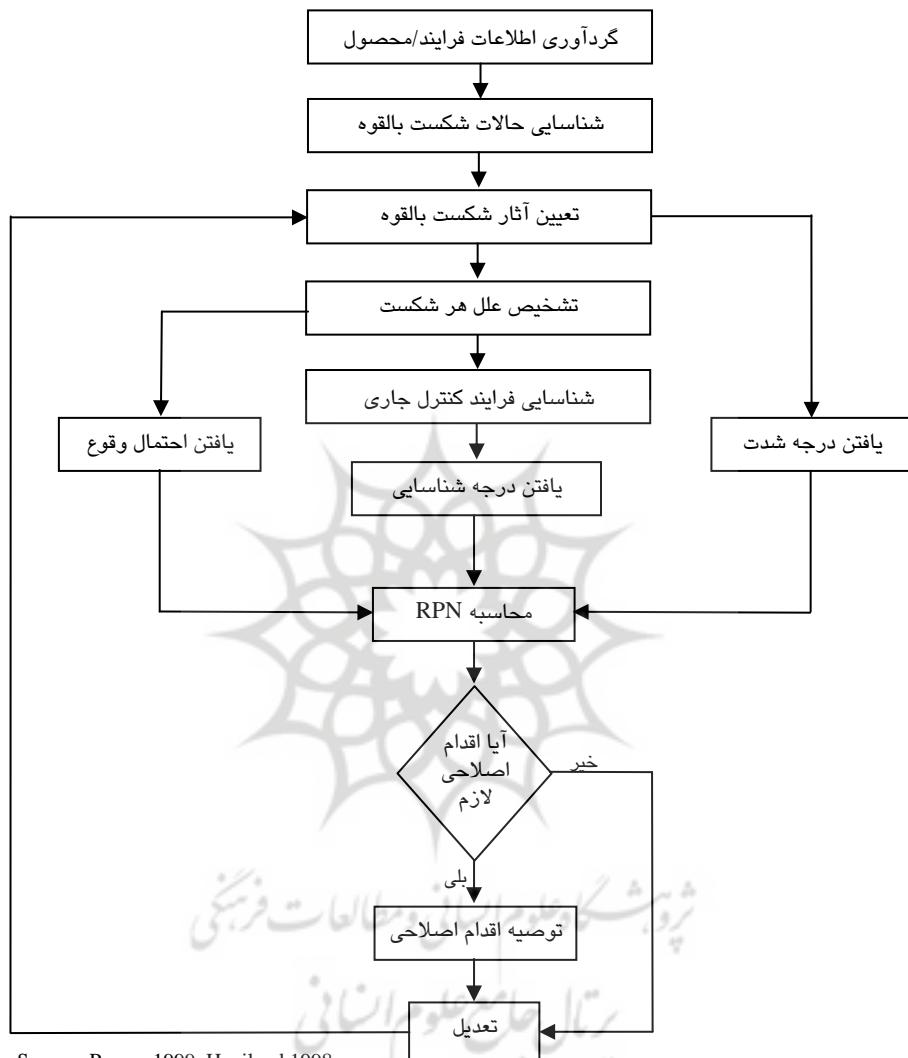
روشی که به طور توأم روش‌های FMEA و ANP را در کنار هم در نظر گرفته باشد و یا در زمینه‌ای به کار بردۀ باشد، وجود ندارد. بنابراین می‌توان مدعی شد که این اولین مقاله‌ای است که نگاهی تلفیقی و در عین حال تکمیلی را به روش‌های فوق در قالب روش-ANP-FMEA در پیش گرفته است [۶، ص ۱۲؛ ۷، ص ۱۱۲-۱۲۳؛ ۸، ص ۵۶-۶۳].

در حوزه پالایش نفت و صنایع مرتبط با آن (موردن تحقیق حاضر) هر یک از روش‌های FMEA و ANP به صورت مجزا در زمینه معینی، برای دستیابی به راه حل‌هایی در بر طرف کردن مسائل به کار گرفته شده‌اند. به عنوان مثال از روش FMEA برای ارزیابی و ارتقای اینمی و پایداری فرایندهای پیوسته-مستمر فراوری نفت و بررسی درجه ریسک‌زایی انجام پروژه‌هایی همچون حفر چاه نفت استفاده می‌شود. ارزیابی و انتخاب ترکیبات جایگزین برای مواد شیمیایی، انتخاب عناصر چرخه گسترده تأمین‌کنندگان مواد اولیه و اتخاذ تصمیم در تخصیص منابع به اجزای فرایندهای شیمیایی، از جمله حوزه‌هایی هستند که صنایع نفتی از قابلیتها روش ANP بهره می‌برند [۴، ص ۱۱؛ ۵، ص ۶-۱۳].

### ۳- تجزیه و تحلیل شکست و اجزای آن

FMEA روشی سیستماتیک و گروهی برای شناسایی و پیشگیری از وقوع مشکل در محصول و فرایند آن می‌باشد. این روش بر جلوگیری از بروز عیب و نقص، افزایش اینمی و افزایش رضایت مشتری تمرکز دارد. یکی از تفاوت‌های اساسی FMEA با سایر تکنیک‌های کیفی این است که FMEA یک اقدام کنشی است، نه واکنشی. اگر درست و به موقع اجرا شود، فرایندی زنده و همیشگی است. ایزاری پویا است که در چرخه بهبود مستمر به کار می‌رود. هدف از اجرای FMEA جستجوی تمام مواردی است که باعث شکست یک محصول یا فرایند می‌شوند [۹، ص ۹؛ ۱۰، ص ۲۲۴-۲۳۹؛ ۱۱، ص ۶۷-۷۲].

در تجزیه و تحلیل شکست و آثار آن مراحل ده گانه‌ای برای دستیابی به اهداف روش تشریح می‌شود. این مراحل در شکل ۲ عنوان شده است:



شكل ۲ فلوچارت روش FMEA

#### ۴- مدل پیشنهادی

آنچه این مدل پیشنهادی را متمایز از دیگر مدل‌ها می‌کند، در نظر گرفتن رابطه پارامترهای



دخیل در FMEA، یعنی شدت، موقع و شناسایی در قالب شبکه است.

گام‌های روش ANP-FMEA در واقع ترکیبی از مراحل رایج دو روش FMEA و ANP است. در ترکیب جدید گام‌های روش ANP پس از شناسایی عوامل موجود شکست و به هدف تعیین وزن پارامترها در نمره اولویت ریسک، افزوده شده و مراحل روش پیشنهادی را شکل می‌دهند. در مجموع، به هدف تجمعی مزايا و توانمندی‌های روش‌های فوق و اجتناب از کاستی‌ها و کمبودهای آنها، گام‌های دهگانه روش ANP-FMEA به صورت زیر تشریح می‌شوند:

#### ۱- گردآوری اطلاعات فرایнд/ محصول

در ابتدا لازم است شناخت و اشراف اولیه از فرایند، محصول یا خدمت به دست آید. اطلاعات حاصل از این مرحله پیش نیاز مراحل بعدی به شمار می‌آیند. این اطلاعات اجزای مختلف فرایند، محصول یا خدمت، نوع ارتباطات و تعاملات آنها را در بر می‌گیرند. در روش ANP-FMEA گروهی متشکل از افراد خبره و آگاه به پدیده تحت بررسی (فرایند، محصول یا خدمت) در گام نخست تشکیل می‌شود. این گروه با استفاده از نقشه‌های مهندسی محصول یا نمودارهای جریان گردش امور در محصول یا خدمت، ذهنیت اساسی اولیه را به دست می‌آورد.

#### ۲- شناسایی حالت‌های بالقوه شکست

پس از حصول شناخت صحیح از پدیده تحت بررسی، افراد گروه در مورد الگوهای شکست بالقوه‌ای که فرایند صنعتی و یا کیفیت محصول یا خدمت را تهدید می‌کنند، هماندیشی ( توفان مغزی ) می‌نمایند. الگو یا حالت شکست، ناکام ماندن جزء معینی از پدیده تحت بررسی از انجام امور مورد انتظار است.

#### ۳- تعیین آثار بالقوه شکست

با فهرست کردن الگوهای بالقوه شکست، افراد گروه با مرور مجدد، آثار بالقوه آنها را در صورت بروز، شناسایی می‌کنند. ممکن است نتیجه ناسازگار حالات شکست (اثر شکست)، برای برخی شکست‌ها به چندین مورد برسد.

#### ۴- تشخیص علت(های) هر شکست

پس از شناسایی حالت‌های بالقوه شکست و تعیین اثرات بالقوه آنها، علل رخداد هر شکست در قالب تفکر تیمی بررسی و معین می‌شوند. این‌ها لیستی از دلایل امکان‌پذیر بالقوه در هر شکست هستند.

##### ۵- تعیین درجه پارامترها برای هر علت بالقوه شکست

با بهره‌گیری از مقیاسهای استاندارد<sup>۱</sup> FMEA، اعضای نیم تجربیات خود با دامنه‌ای از درجات ممکن (از عدد یک تا ده) پارامترهای شدت، وقوع و شناسایی مطابقت داده و اعداد به‌خصوصی را به ازای هر علت بالقوه شکست به پارامترها تخصیص می‌دهند. این اعداد درجه مخاطره‌آمیزی هر علت را با لحاظ پارامتر معین مشخص می‌کنند.

جدول ۱ شاخص ارزیابی درجه شدت

درجه تأثیر	اثر	ملاحظات
۱۰	خطرناک	هر شکست باعث نارضایتی مشتری و یا کارمند می‌شود.
۹	جدی	شکست با رعایت نکردن قوانین دولتی همراه است.
۸	خیلی زیاد	شکست، باعث بدکارکردن دستگاه می‌شود و آن را غیر قابل استفاده می‌کند.
۷	زیاد	مشتریان به صورت بسیار محسوسی ناراضی خواهند شد.
۶	متوسط	شکست باعث بدکارکردن محصول و یا زیرمجموعه‌های آن می‌شود.
۵	کم	نارضایتی مشتریان تأثیر محسوسی در سیستم و یا محصولات خواهد داشت.
۴	خیلی کم	با کمی تغییر در محصول یا فرایند می‌توان بر شکست غالب شد.
۳	جزیی	شکست باعث ایجاد دردسر برای مشتری می‌شود ولی او می‌تواند بر فرایند یا محصول غالب شود.
۲	خیلی جزئی	شکست ممکن است برای مشتری محسوس نباشد.
۱	هیچ	شکست به نظر مشتری نمی‌آید، اما هیچ تأثیری بر محصول و یا فرایند ندارد.

جدول ۲ شاخص ارزیابی درجه وقوع

درجه تأثیر	اثر	ملاحظات
۱۰	خیلی زیاد: وقوع خطأ حتمی است.	بیش از یک وقوع در یک روز و یا بیش از ۳ واقعه در ۱۰ بار
۹		هر ۳ یا ۴ روز یک واقعه یا احتمال ۳ واقعه در ۱۰ بار
۸	زیاد: تعداد زیادی خطأ به وقوع می‌پیوندد.	یک واقعه در یک هفته و یا احتمال ۵ واقعه در ۱۰۰ بار

۱. نمونه این مقیاس‌ها برای تحلیل شکست فرایندی در جدول‌های ۲، ۱ و ۳ آمده است.



## ادامه جدول ۲

درجه تأثیر	اثر	ملاحظات
۷		یک واقعه در ماه و یا یک واقعه در ۱۰۰ بار
۶	متوسط: هر از چندگاهی احتمال شکست وجود دارد.	هر ۳ ماه یک بار یک واقعه یا ۳ واقعه در ۱۰۰۰ بار
۵		هر ۶ ماه تا یک سال یک واقعه یا یک واقعه در هر ۱۰۰۰۰ بار
۴		در هر سال یک واقعه و یا ۶ واقعه در ۱۰۰۰۰۰ بار
۳	کم: تعداد خطاهای بسیار کم است.	هر یک تا ۳ سال یک واقعه یا ۶ واقعه در ۱۰ میلیون بار
۲		هر ۳ تا ۵ سال یک واقعه یا ۲ واقعه در یک میلیون بار
۱	تقریباً هرگز: وقوع شکست بعيد است.	یک واقعه در بیش از ۵ سال و یا بیش از ۲ واقعه در یک میلیون بار

## جدول ۳ شاخص ارزیابی درجه شناسایی

درجه تأثیر	اثر	ملاحظات
۱۰	نامعلومی مطلق	محصول بازرگانی نشده و یا عیبی که بر اثر شکست به وجود آمده شناسایی نشده است.
۹	خیلی جزئی	محصول براساس درجه مقبولیت کیفی و نقشه‌های نمونه‌برداری، بازرگانی و آزاد شده است.
۸	جزئی	محصول، براساس این‌که هیچ عیبی در نمونه آن وجود ندارد، تأیید شده است.
۷	خیلی کم (بایین)	محصول ۱۰۰ درصد با دست (بدون دستگاه) بازرگانی شده است.
۶	کم (بایین)	محصول ۱۰۰ درصد با دست بازرگانی شده و از روش ارجاع محصول و دیگر روش‌های جلوگیری از اشتباہ در این زمینه استفاده شده است.
۵	متوسط (میانه)	از SPC دواین فرآیند استفاده شده و محصول نهایی بازرگانی شده است.
۴	متوسط بالا	از SPC استفاده شده و بالاگصله نسبت به رفع موقعیت‌های خارج از کنترل اقدام شده است.
۳	بالا	یک برنامه‌ریزی مؤثر SPC همراه با فرایندی دارای قابلیت بالا، صورت گرفته است.
۲	خیلی بالا	محصول ۱۰۰ درصد به وسیله ماشین (به صورت خودکار) بازرگانی می‌شود.
۱	تقریباً مطمئن	عیب کاملاً مشخص و بازرگانی ۱۰۰ درصد خودکار است. این دستگاهها به طور مرتب تعمیر و نگهداری می‌شوند.

## ۶- ساخت مدل

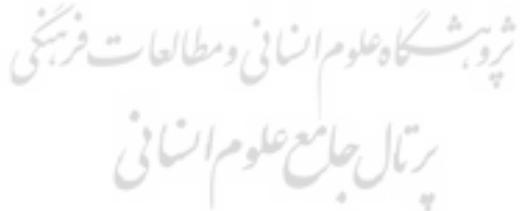
مدل ANP-FMEA در واقع شکل تجدیدنظر شده‌ای از مدل رایج ANP با یک جهتگیری تکاملی به FMEA است. در این نگرش، کاستی‌های روشن FMEA در عدم لحاظ روابط متقابل عوامل شکست و وزن‌های متقاوت برای پارامترها با استفاده از مفروضات اساسی ANP پوشش داده می‌شوند.

در روش ANP-FMEA، پارامترهای FMEA در قالب یک شبکه با هم مرتبط می‌شوند؛ چون همان‌گونه که اشاره شد، در میان علل وقوع شکست‌ها رابطه متقابلی وجود دارد. هدف این مدل، تعیین وزن و اولویت پارامترهای شدت، وقوع و شناسایی به لحاظ سطح مخاطره‌آمیزی (ریسک‌زاوی) آنهاست. مدل در سه سطح ترسیم می‌شود [۱۲؛ ص ۱۲۷، ۱۳؛ صص ۱۱-۹] (شکل ۳)؛

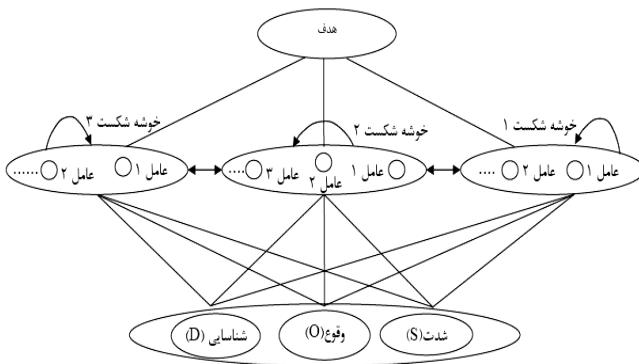
الف- سطح هدف: تعیین اولویت ریسک‌زاوی<sup>۱</sup> پارامترهای شدت، وقوع و شناسایی، هدف مدل را تبیین می‌کند:

ب- سطح معیارها: خوش‌های شکست، معیارهای مدل را تشکیل می‌دهند. هر حالت شکست بالقوه بیانگر یک خوش‌های شکست است. عناصر این خوش‌های علل امکان‌پذیر شناسایی شده می‌باشند. با این وصف در مدل ANP-FMEA به تعداد حالات بالقوه شکست، خوش‌های شکست وجود خواهد داشت و عناصر این خوش‌های علل بالقوه رخداد آن حالات شکست هستند؛

ج- سطح گزینه‌ها: سه پارامتر اصلی شدت، وقوع و شناسایی در خوش‌های با عنوان خوش‌پارامترها<sup>۲</sup> جای می‌گیرند. در واقع این سه، گزینه‌های مدل تحلیل شبکه‌ای را شکل می‌دهند.



1. Riskiness priority  
2. Failure clusters  
3. Parameters cluster



شکل ۳ ساختارکلی مدل ANP-FMEA

#### ۷- تنظیم وابستگی‌های متقابل و انجام مقایسات زوجی میان خواهه‌ها یا عناصر

آنچه تلفیق روش تحلیل شبکه‌ای و تحلیل شکست را کاملاً توجیه می‌کند، وجود تعاملات متقابل میان عوامل بالقوه شکست است. گذشته از وجود تاثیرگذاری‌های میان الگوهای بالقوه شکست، عامل‌های بالقوه شکست در الگوهای شکست خود و یا دیگر الگوهای شکست ارتباطات و وابستگی‌های متقابله را باعث می‌شوند.

هر سه نوع وابستگی تعریف شده در روش ANP، در مورد الگوهای شکست و عامل‌های بالقوه آنها مصدق دارد. در صورتی که یک عامل شکست روی عامل دیگر از همان الگوی شکست، به عنوان مثال، تأثیر عامل خستگی اپراتور روی عامل کاهش کارایی دستگاه در مورد حالت شکست بروز ضایعات در فرایند، تأثیرگذار باشد، این وابستگی درونی است. اگر عامل بالقوه شکست از یک الگوی شکست بر عامل بالقوه شکست از الگوی دیگری اثر بگذارد، به عنوان مثال، عامل خستگی اپراتور از الگوی شکست بروز ضایعات در مثال قبل روی عامل افزایش زمان پردازش از الگوی شکست تأخیر در تحويل محصول، ارتباط از نوع بیرونی بوده و بین خواهه‌های شکست این دو الگوی شکست، ارتباط بیرونی برقرار می‌شود. همین وضعیت می‌تواند در حالی رخ دهد که یک خواهه شکست، مجزای از عناصر خود به عنوان مثال، الگوی بروز ضایعات بر الگوی افت کیفیت محصول، روی خواهه شکست دیگر تأثیراتی را داشته باشد. در مواردی پیش می‌آید که ارتباط بین عوامل شکست از نوع متقابل است؛ به طور مثال

دو عامل دما و فشار در واکنش‌های شیمیایی تأثیرات متقابلی بر همدیگر دارند. برای تنظیم واپستگی‌های متقابل، یک ماتریس از خوشها (الگوها یا حالات شکست) و عناصر آنها (عامل‌های شکست) تشکیل می‌شود. در صورت وجود رابطه بین عناصر (در محل متناظر در ماتریس) مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر درج می‌شود.

پس از شناسایی روابط و واپستگی‌ها در قسمت قبل، مقایسات زوجی میان خوشها، عناصر و گزینه‌ها صورت می‌پذیرند. در بخش بعد این مقایسات در قالب مثال عملی به تفصیل تشریح خواهد شد [۱۴، صص ۹۷-۹۳].

#### ۸- تشکیل ابر ماتریس و محاسبه وزن پارامترها

ابر ماتریس در گام نخست تشکیل، ابر ماتریس غیر موزون سپس ابر ماتریس موزون و در خاتمه ابر ماتریس نهایی نامیده می‌شود. وزن گزینه‌ها از ابر ماتریس نهایی حاصل می‌شود. پس از انجام مقایسات زوجی میان خوشها، عناصر آنها و نرمالیزه کردن مقایسه‌ها با قرار دادن عناصر خوشها مدل در سطر و ستون یک ماتریس واحد و جایدهی مقادیر نرمالیزه شده به عنوان مؤلفه‌های این ماتریس، ابر ماتریس غیر موزون به دست می‌آید.

در گام بعد برای به دست آوردن ابر ماتریس موزون، بلوک‌های ابر ماتریس غیر موزون (عناصر خوشها شکست و پارامترها) در اولویت خوش مربوط به خود (حاصل از مقایسات زوجی خوشها مدل) ضرب می‌شوند. در این ماتریس جمع ستون‌ها برابر یک است. ابر ماتریس حاصل تا جایی به توان بالا رسانده می‌شود که دیگر با افزایش توان تغییر چندان محسوسی در مؤلفه‌های ماتریس دیده نشود؛ در حال حاضر به ماتریس نهایی رسیده‌ایم.

در حالت معمول، توان هر یکاز پارامترهای روش FMEA برابر یک است؛ یعنی مجموع توان پارامترها ۳ خواهد بود. در روش ANP-FMEA وزن‌ها به گونه‌ای به پارامترها تخصیص پیدا می‌کنند که صرفنظر از مقدار هر یک، دارای مجموع ۳ باشند. به این منظور از فرمول اصلاحی زیر برای نرمالیزه کردن عناصر بلوک پارامترها در ابر ماتریس نهایی و تحسیل وزن‌ها استفاده می‌شود:

$$W_i = \frac{3 \times a_i}{\sum a_i}$$



$W_i$ : وزن نرمالیزه شده پارامتر  $(\alpha, \beta, \gamma)$

(۴)  $a_i$ : وزن نرمالیزه نشده پارامتر

۱: شدت، موقع، شناسایی

#### ۹- محاسبه RPN برای هر عامل شناسایی شده

آنچه در روش معمول FMEA برای محاسبه نمره اولویت ریسک (RPN) انجام می‌شود، ضرب سه عامل شدت، موقع و شناسایی در یکدیگر با لحاظ درجه اهمیت و وزن یکسان برای هر یک از آنهاست. معادله معمول در زیر ارائه شده است.

(۵) درجه شناسایی(D) $\times$  درجه موقع(O) $\times$  درجه شدت(S)= نمره اولویت ریسک(RPN)

در روش پیشنهادی ANP-FMEA فرض وجود وزن‌های متفاوت برای هر یک از پارامترها در قالب رابطه زیر مد نظر قرار می‌گیرد. وزن پارامترهای شدت، موقع و شناسایی که در مرحله هشتم محاسبه شدند، در این قسمت برای محاسبه نمره اولویت ریسک به صورت توان هر یک از پارامترهای مربوط، وارد فرمول می‌شوند.

$$RPN = S^{\alpha} \times D^{\beta} \times O^{\gamma} \quad (6)$$

#### ۱۰- انجام اقدامات اصلاحی

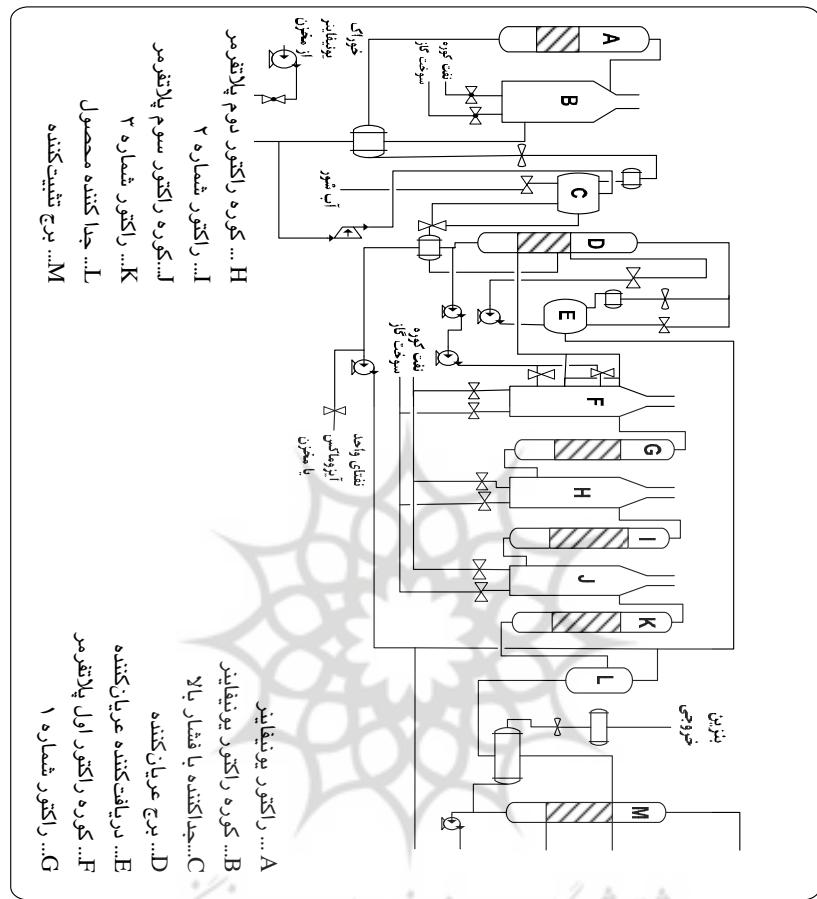
اقدام‌های اصلاحی برای حذف یا کاهش الگوهای شکست بالقوه واجد خطرپذیری بالا صورت می‌پذیرند. برای دست یافتن به این هدف از روش‌های اصولی حل مشکلات استفاده می‌شود. بهترین شیوه بهینه‌سازی، کاهش احتمال وقوع شکست می‌باشد؛ زیرا با کاهش این احتمال نیاز به روش‌های بازرگانی نیز کم خواهد شد.

### ۵- مثال عملی

پالایشگاه تهران مشتمل بر دو پالایشگاه مجازی شمالی و جنوبی است. پالایشگاه جنوبی دارای ظرفیت ۱۲۵۰۰۰ بشکه و پالایشگاه شمالی با ظرفیت ۱۰۰۰۰ بشکه در روز فعالیت می‌کند. این دو پالایشگاه به لحاظ طراحی جز در موارد اندکی، کاملاً مشابه یکدیگر هستند. گازویل (۳۳ درصد)، نفت سفید (۲۱ درصد)، نفت کوره (۱۹ درصد)، بنزین (۱۶ درصد)، آسفالت (۴ درصد)، گاز مایع (۳ درصد)، انواع روغن موتور (۲ درصد) و گوگرد و گاز سوخت (۱ درصد) سبد محصولات خروجی پالایشگاه را تشکیل می‌دهند.

از مجموعه فرایندهای مهم پالایش نفت، فرایند تبدیل کاتالیستی است. این فرایند برای بالا بردن درجه آرامسوزی بنزین خام به منظور تولید بنزین موتور به کار گرفته می‌شود. به این ترتیب که نفتای سنگین حاصل از واحدهای پیشین تحت فشار در دمای بالا بر روی سطح کاتالیست عبور داده شده و بنزین با درجه آرامسوزی بالا تولید می‌شود. واحد تبدیل کاتالیستی پالایشگاه جنوبی مجموعه پالایشگاه تهران در این تحقیق برای به‌کارگیری روش انتخاب شده است. این فرایند از مراحل متعددی شکل گرفته است که شناخت اولیه از آنها در مسیر درک بهتر روش مؤثر خواهد بود.

پیش از پرداختن به واحد تبدیل کاتالیستی یا واحد پلاتفرمر، لازم است ابتدا واحدی با عنوان یونیفاینر و وظیفه آن تشریح شود. ورودی واحد پلاتفرمر در واقع خروجی واحد یونیفاینر است که وظیفه اصلی آن سمزدایی نفت خام ورودی است. نفت خام (خوارک) در دما، فشار معین و در مجاورت هیدروژن (گاز گردشی) و کاتالیست واکنش شیمیایی می‌دهد و سومون مختلف آن جدا می‌شوند تا نفت ورودی به واحد پلاتفرمر خوارکی عاری از سومون باشد. در واحد پلاتفرمر، نفت خام ورودی پس از گذراندن چندین مرحله و با تشکیل پیوندهای شاخه‌دار و حلقوی در هیدروکربنها خود تبدیل به بنزین مرغوب می‌شود. راکتورها یا واکنش‌گاهها، مخازن یا ظروف عظیمی هستند که واکنش‌های شیمیایی در آنها صورت می‌گیرند. این مخازن مملو از کاتالیست هستند. نفت خام ورودی با حجم به‌خصوصی از واحد سطح کاتالیست در واحد زمان عبور می‌کند- سرعت حجمی- و واکنش شیمیایی در دما و فشار معین در مجاورت هیدروژن (گاز گردشی)، نسبت مشخصی از آب و کلر و کاتالیست انجام می‌شود. کاهش درجه فعالیت کاتالیست- دی‌اکتیو شدن کاتالیست- اصطلاحی است با این مضمون که کاتالیست یا به علت ورود سومون به راکتور و یا تنزل عادی فعالیت کاتالیست با گذشت زمان، دیگر توان سرعت بخشی به واکنش‌های شیمیایی را به مانند قبل ندارد. گذشته از راکتور، مخازن دیگری فعالیتهاي مهم دیگری را انجام می‌دهند. در برج عریان‌کننده، سومون حل نشده در آب و هیدروکربن‌های سبک از نفت جدا می‌شوند. در برج دیگری لازم است مخلوط گاز و مایع- مخلوط دو فازی- برای رسیدن به اهداف فرایند از هم جدا شوند- برج جداکننده- تا ورودی به راکتورهای واحد، آن چیزی باشد که برای رسیدن به بنزین مطلوب لازم است (شکل ۴).



شکل ۴ مراحل انجام فرایند تبدیل کاتالیستی (تولید بنزین)

روش پیشنهادی ANP-FMEA در فرایند تولید بنزین آنچنان که تشریح شد، به هدف افزایش قابلیت اطمینان و ایمنی سیستم تولیدی اجرا می‌شود. گام‌های روش در مورد تحت بررسی به ترتیب و با توضیح روش‌ن هر مرحله به صورت زیر طی می‌شوند:

#### ۱- گردآوری اطلاعات فرایند:

گروهی مشکل از رئیس، اپراتورها و دست‌اندرکاران واحدهای مرتبط شکل گرفته و این گروه دوباره فرایند تبدیل کاتالیستی (تولید بنزین) را با مرور نمودارهای جریان فرایند بازبینی کردند.

به این منظور که ذهنیت‌های مشترک تقویت شده و تعارضات احتمالی برطرف شوند. خوارک ورودی (نفت خام)، تلورانس‌های طراحی شده دما، فشار، جریان، شرایط فعالیت کاتالیست، بازده سیستم و عناصری از این دست در این مرحله مورد مذاقه قرار گرفتند.

#### ۲- شناسایی حالات بالقوه شکست:

فرایند تولید بنزین از جمله سیستم‌های پیچیده تولیدی است. این سیستم می‌تواند از ابعاد گوناگونی دچار نقصان شود. تکیه بر شناخت حاصل از مرحله قبل، گروه شرایطی را که در اجزای فرایندی نظری، مدل‌های حرارتی، پمپ‌ها، کوره‌ها، راکتورها، شیر کنترل‌ها و ظروف جداکننده می‌توانند باعث بروز مشکل و نقصان در تولید کارا و اثربخش بنزین شوند، شناسایی کرده و آنها را در قالب الگوها یا حالت‌های شکست فهرست کردند. در اینجا برای رعایت اختصار تنها سه مورد از مهم‌ترین آنها به صورت جدول ۴ آورده می‌شوند.

جدول ۴ فهرست الگوهای بالقوه شکست

الگوهای بالقوه شکست	ردیف
اختلال در دمای سیستم	۱
اختلال در فشار سیستم	۲
افت سطح فعالیت کاتالیست	۳

#### ۳- تعیین آثار بالقوه شکست:

در این مرحله پس از شناسایی الگوهای شکست، نتایج بالقوه و منطقی حاصل از رخداد شکست با استفاده از نظرات اعضای تیم تعیین شدند. این آثار برای الگوهای فوق به صورت جدول ۵ هستند.

جدول ۵ فهرست آثار بالقوه هر الگوی شکست

آثار بالقوه شکست	الگوی شکست
۱- نوسان در فشار راکتورها و برج‌ها ۲- تشکیل لک بر سطح کاتالیست و افت درجه فعالیت ۳- افت عدد اکتان	اختلال در دمای سیستم
۱- نوسان در دمای انجام واکنش‌ها در راکتورها ۲- اختلال در واکنش‌های هیدروکرایبنگ ۳- بیش‌فعالی یا تنزل عملکرد کاتالیست	اختلال در فشار سیستم
۱- افت عدد اکتان ۲- ضعف در واکنش‌های شکست مولکولی	افت سطح فعالیت کاتالیست

#### ۴- تشخیص علل هر شکست:

با بهره‌گیری از نظرات برگرفته از تجربیات و تخصص اعضای گروه و در مواردی رجوع به سوابق و گزارش‌های عملکرد، فهرستی از علت‌های امکان‌پذیر برای هر حالت شکست ترتیب داده شد. جدول ۶، الگوهای شکست و علل بالقوه هر یک را نشان می‌دهد.

**جدول ۶** فهرست علل بالقوه هر الگوی شکست

الگوی بالقوه شکست	علل بالقوه شکست
اختلال دمای سیستم	نوسان دمای ورودی یونیفاینر
	نوسان دمای ورودی راکتور ۱
	نوسان دمای ورودی راکتور ۲
	نوسان دمای ورودی راکتور ۳
اختلال فشار سیستم	نوسان فشار برج عریان‌کننده
	نوسان فشار برج جداکننده
افت سطح فعالیت کاتالیست	دی‌اکتیو شدن کاتالیست در حالت نرمال
	دی‌اکتیو شدن کاتالیست در اثر مسمومیت
	عدم تناسب آب و کلرور

#### ۵- تعیین درجه پارامترها برای هر علت بالقوه شکست

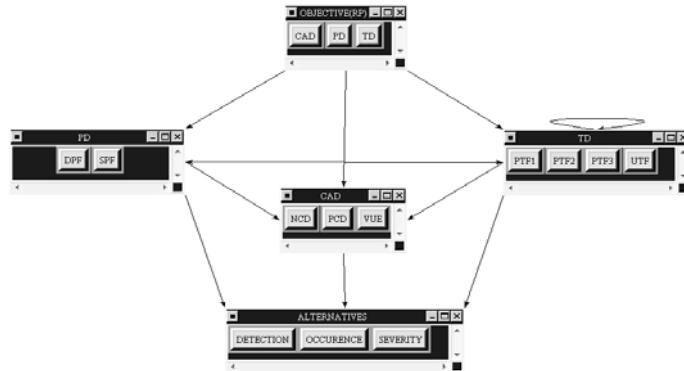
بسته به زمینه استفاده از روش FMEA (محصول، خدمت، فرایند) مقیاس‌های گوناگونی به صورت استاندارد هر یک تعریف شده‌اند. در این مرحله با استفاده از مقیاس پارامترهای شدت، موقع و شناسایی برگرفته از مؤسسه ASQ آمریکا برای تحلیل شکست فرایندی ویرایش سال ۲۰۰۶، اعضای گروه اعداد معینی را به پارامترهای هر علت اختصاص دادند. البته ذکر این نکته لازم است که درجه شدت به هر اثر از حالت بالقوه شکست تشخیص پیدا می‌کند. در جدول ۷، درجه‌های تعیین شده مشاهده می‌شوند.

### جدول ۷ درجات شدت، وقوع و شناسایی برای الگوهای شکست

ردیف	ردیف	ردیف	ردیف	ردیف	ردیف	ردیف
ردیف	ردیف	ردیف	ردیف	ردیف	ردیف	ردیف
۲	۲	نوسان دمای ورودی یونیفاير	۸	- نوسان در فشار راکتورها و برجهای	اختلال دمای	۱
۲	۶	نوسان دمای ورودی راکتور ۱	۹	- افت عدد اکتان	سیستم	
۲	۵	نوسان دمای ورودی راکتور ۲	۹	- نوسان در دمای انجام واکنش‌ها در راکتورها	اختلال فشار	۲
۲	۵	نوسان دمای ورودی راکتور ۳	۹	- اختلال در واکنش‌های هیدروکراکینگ	سیستم	
۳	۰	نوسان فشار برج عریان‌کننده	۹	- بیش‌فعالی یا تنزل عملکرد	افت سطح	
۳	۴	نوسان فشار برج جداکننده	۹	- کاتالیست	فعالیت	۳
۱	۴	دی‌اکتیو شدن کاتالیست در حالت نرمال	۹	- ضعف در واکنش‌های شکست مولکولی	کاتالیست	
۳	۶	دی‌اکتیو شدن کاتالیست در اثر سمومیت	۹			
۲	۷	عدم تناسب آب و کلرور				

### ۶- ساخت مدل

مدل ارائه شده در مقاله در سه سطح زیر تشریح می‌شود (شکل ۵). هدف مسأله تعیین وزن و اولویت ریسک‌زایی پارامترهای شدت، وقوع و شناسایی می‌باشد. سطح دوم سطح خوش‌های شکست نام دارد. از آنجا که هر حالت بالقوه شکست یک خوش شکست را تشکیل می‌دهد، در اینجا سه خوش شکست به نام‌های اختلال دمای سیستم(TD)، اختلال فشار سیستم(PD) و افت سطح فعالیت کاتالیست (CAD) خواهیم داشت. این خوش‌های همراه عناصر هر خوش در جدول ۸ تشریح شده است.



شکل ۵ ساختار مدل گزینه‌های تصمیم در مسئله واحد پلتفرم در نرم‌افزار super decision

جدول ۸ خوشه‌ها، عناصر و نمادها در مسئله واحد تبدیل کاتالیستی

نماد	عناصر	خوشه شکست
UTF	نوسان دمای ورودی یونیفاریز	اختلال دمای سیستم (TD)
PTF1	نوسان دمای ورودی راکتور ۱	
PTF2	نوسان دمای ورودی راکتور ۲	
PTF3	نوسان دمای ورودی راکتور ۳	
SPF	نوسان فشار برج عریان‌کننده	اختلال فشار سیستم (PD)
DPF	نوسان فشار برج جداکننده	
NCD	دی‌اکتیو شدن کاتالیست در حالت نرمال	افت سطح فعالیت کاتالیست (CAD)
PCD	دی‌اکتیو شدن کاتالیست در اثر مسمومیت	
VUE	عدم تناسب آب و کلور	

این سطح، سطح راهبردی می‌باشد؛ زیرا نقشی اساسی در تصمیم‌گیری ایفا می‌کند و در عین حال واسطه بین سطح اول و سوم مدل نیز می‌باشد. در سطح سوم گزینه‌های مدل بیان می‌شوند که در اینجا مشتمل بر شدت، موقع و شناسایی است. در گام بعد به بررسی انواع وابستگی‌ها و مقایسات در نمونه بررسی شده پرداخته می‌شود. شناسایی وابستگی‌ها و

انجام مقایسات زوجی به وسیله اعضای گروه صاحب‌نظر صورت گرفته است.

## ۷- تعیین وابستگی‌ها و ماتریس مقایسات زوجی:

### ۱-۷ ماتریس مقایسات زوجی برای هر یک از خوشه‌های شکست

در این قسمت برای هر خوشه با توجه به هدف مسأله (که تعیین اولویت ریسک‌زایی می‌باشد، یک ماتریس مقایسات زوجی تشکیل می‌شود. در این ماتریس عناصر هر خوشه نسبت به یکدیگر مقایسه می‌شوند. نمونه‌ای از سؤال پرسیده شده در این قسمت به این شرح می‌باشد؛ در جهت تعیین اولویت ریسک‌زایی افت سطح فعالیت کاتالیست، میزان ارجحیت نسبی دی‌اکتیو شدن کاتالیست در حالت نرمال (NCD) در مقایسه با دی‌اکتیو شدن در اثر مسمومیت (PCD) تا چه اندازه می‌باشد؟ از آنجا که سه خوشه موجود است، ۳ ماتریس مقایسات زوجی خواهیم داشت (جدول ۶). در شکل ۶ ماتریس خوشه شکست افت سطح فعالیت کاتالیست نشان داده شده است.

Comparisons wrt "CAD" node in "CAD" cluster											
	Comparisons wrt "CAD" node in "CAD" cluster PCD is moderately more important than NCD										
	Graphic Verbal Matrix Questionnaire										
1. NCD $\geq 3.5   9   8   7   6   5   4   3   2   1   2   3   4   5   6   7   8   9   \geq 3.5$ PCD											
2. NCD	$\geq 9.5   9   8   7   6   5   4   3   2   1   2   3   4   5   6   7   8   9   \geq 9.5$	No comp.	VUE								
3. PCD	$\geq 9.5   9   8   7   6   5   4   3   2   1   2   3   4   5   6   7   8   9   \geq 9.5$	No comp.	VUE								

شکل ۶ ماتریس مقایسات زوجی عناصر خوشه شکست افت فعالیت کاتالیست

جدول ۶ ماتریس مقایسات زوجی و اوزان نسبی عناصر در خوشه افت فعالیت کاتالیست

CAD	NCD	PCD	VUE	WEIGHT
<b>NCD</b>	۱	.۱۲۵	.۰۲	.۰۲۷۱۸
<b>PCD</b>	۸	۱	۳	.۰۶۶۱۲
<b>VUE</b>	۵	.۰۲۲	۱	.۰۰۶۷۰

#### ۲-۷- ماتریس مقایسات زوجی برای وابستگی‌های بیرونی

هر خوشه شامل تعدادی عنصر است. و از آنجا که در عالم واقع برخی از این عناصر با یکدیگر رابطه دارند؛ در این صورت در اینجا وابستگی‌های بیرونی برای نشان دادن رابطه بین این عناصر ملاک قرار می‌گیرند. برای نمونه سؤال پرسیده شده در اینجا برای مقایسه زوجی بین عناصر به شرح زیر است؛ در جهت کنترل نوسان دمای ورودی راکتور ۱ (PTF1)، میزان ارجحیت نسبی عدم تناسب آب و کلرور(VUE) در مقایسه با دیاکتیو شدن کاتالیست (PCD) در اثر مسمومیت تا چه اندازه می‌باشد؟ در کل با توجه به وابستگی‌های ترسیم شده در مدل ما ۱۲ ماتریس مقایسات زوجی برای نشان دادن مقایسات خواهیم داشت.

#### ۳-۷- ماتریس مقایسات زوجی بین وابستگی‌های درونی خوشه‌های شکست

با توجه به اینکه تمامی روابط در درون خوشه‌ها با عنوان وابستگی‌های درونی تشریح می‌شوند، در این مرحله یک سری مقایسات زوجی بین عناصر درون هر خوشه صورت می‌پذیرد. یک کمان حلقوی در شکل ۵ چنین وابستگی‌هایی را نشان می‌دهد. در چنین حالتی سؤال پرسیده شده برای مقایسات زوجی عوامل درون هر خوشه به این صورت است؛ در جهت کنترل دمای ورودی یونیفایر(UTF) میزان ارجحیت نسبی نوسان دمای ورودی راکتور ۱ (PTF1) در مقایسه با نوسان دمای ورودی راکتور ۲ (PTF2) تا چه اندازه می‌باشد؟ از آنجا که تنها یک خوشه در نمونه بررسی شده وابستگی‌های درونی دارد، در این صورت یک ماتریس مقایسه زوجی در این مرحله به دست می‌آید.

#### ۴-۷- ماتریس مقایسات زوجی برای گزینه‌ها

در این قسمت به بررسی گزینه‌ها پرداخته می‌شود. با توجه به اینکه تمامی عناصر در ارزیابی گزینه‌های مدل تأثیرگذارند، در این صورت به ازای تمامی عناصر برای ارزیابی گزینه‌ها ماتریس مقایسات زوجی وجود خواهد داشت؛ یعنی در این قسمت<sup>۹</sup> ماتریس مشاهده خواهد شد زوجی خواهیم بود.

### ۸- تشکیل ابر ماتریس و محاسبه وزن پارامترها

پس از انجام مقایسات زوجی میان گزاره‌های تصمیم (خوشه‌ها و عناصر) با جایگذاری

وزان نسبی گزاره‌ها در یک ماتریس واحد، ابرماتریس غیرموزنون (اویله) تشکیل می‌شود. همان‌طور که در جدول ۱۰ مشاهده می‌شود، سطر و ستون این ماتریس را خوش‌ها و عناصر مربوط به آنها تشکیل می‌دهند. مؤلفه‌های این ماتریس وزن عنصر متناظر در سطر را نزد عنصر متناظر در ستون نشان می‌دهد. به عنوان مثال، مقادیر ۰/۲۷۱۸، ۰/۶۶۱۲، ۰/۰۶۷ در سطرهای مربوط به عناصر VUE، PCD، NCD، از وزن‌های نسبی آنها را نزد عامل CAD از خوش‌هه‌ی هدف (RP) مشخص می‌کند.

جدول ۱۰ ابرماتریس غیرموزنون (اویله)

UNWEIGHED		ALTERNATIVES			RP			CAD			PD			TD		
		OCCURRENCE	DETECTION	SEVERITY	CAD	PD	TD	NCD	PCD	VUE	DPF	SPF	PTF1	PTF2	PTF3	UTF
ALTERATIVE S	OCCURRENCE	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/2109	/2109	/2321	/2583	/2089	/2420	/2222	/2222	/2221
	DETECTION	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/842	/7049	/0990	/1047	/2403	/0769	/2222	/2222	/984
	SEVERITY	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/7049	/0841	/0974	/2370	/5499	/0811	/2222	/2222	/5990
RP	CAD	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....
	PD	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....
	TD	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....
CAD	NCD	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/2256	/1794	/3445	/2222	/2222	/2222	/77
	PCD	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/775	/7878	/5469	/2222	/2222	/2222	/2718
	VUE	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/979	/1424	/1080	/2222	/2222	/2222	/6612
PD	DPF	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/20	/2222	/2222	/2222	/200
	SPF	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/80	/6627	/6627	/6627	/800
	PTF1	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/078	/078	/0701	/2053	/0701	/7082	/07082	/07082	/3222
TD	PTF2	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/014	/014	/014	/05	/094	/2222	/2222	/2222	/3222
	PTF3	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/093	/093	/093	/05	/094	/2222	/0512	/0512	/3222
	UTF	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/.....	/274	/274	/274	/0999	/7058	/2222	/0905	/0905	/0974

پس از شکل‌گیری ابرماتریس ناموزون، لازم است این ابرماتریس موزون شود. در ابرماتریس موزون جمع هر ستون برابر یک خواهد شد. برای این کار عناصر هر یک از بلوک‌ها در ابرماتریس غیرموزنون در وزن آن بلوک ضرب می‌شوند جدول ۱۱ وزن‌های نسبی بلوک‌ها را نسبت به هم نشان می‌دهد.

جدول ۱۱ ابرماتریس موزون

WEIGHT ED		ALTERNATIVES			RP			CAD			PD			TD		
		OCCUR ENCE	DETEC TION	SEVE RITY	CAD	PD	TD	NCD	PCD	VUE	DPF	SPF	PTF1	PTF2	PTF3	UTF
ALTERN ATIVES	OCCUR ENCE	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./21.9	./21.9	./2221	./.871	./.799	./.805	./.877	./.877	./.877
	DETECT ION	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./.842	./.842	./5195	./.349	./.801	./.842	./.822	./.822	./.842
SEVERI TY	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./7.49	./.841	./.974	./.2122	./.873	./.203	./.822	./.822	./.822
	RP	CAD	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....
CAD	PD	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....
	TD	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....
NCD	PCD	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....
	VUE	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....
PCD	SPF	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....
	PTF1	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....
PTF2	PTF3	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....
	UTF	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....	./....

جدول ۱۲ اوزان نسبی بلوکهای مدل

CLUSTER	ALTERNATIVES	RP	CAD	PD	TD
ALTERNATIVES	./....	./....	./....	./....	./....
RP	./....	./....	./....	./....	./....
CAD	./....	./....	./....	./....	./....
PD	./....	./....	./....	./....	./....
TD	./....	./....	./....	./....	./....

در گام نهایی، ابرماتریس موزون به دست آمده آنقدر به توانهای بالا رسانده می‌شود که اختلاف محسوسی میان مؤلفه‌های سطرهای آن دیده نشود. این ماتریس، ابرماتریس نهایی ذکر می‌شود (جدول ۱۳). در این مقاله، مرحله که مربوط به روش ANP بوده‌اند، با استفاده از نرم‌افزار SUPER DECISION انجام شده‌اند.

### جدول ۱۳ ابرماتریس نهایی

LIMITED	ALTERNATIVES	RP			CAD			PD			TD				
		OCCURRENCE	DETECTION	SEVERITY	CAD	PD	TD	NCD	PCD	VUE	DPF	SPF	PTF1	PTF2	PTF3
ALTERNATIVES	OCCURRENCE	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-
	DETECTION	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-
	SEVERITY	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-
RP	CAD	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-
	PD	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-
	TD	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-
CAD	NCD	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-
	PCD	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-
	VUE	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-
PD	DPF	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-
	SPF	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-
TD	PTF1	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-
	PTF2	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-
	PTF3	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-
	UTF	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-	-/-/-/-

مقادیر  $0/1443$ ،  $0/25$ ،  $0/1627$ ، به ترتیب در سطرهای وقوع، شناسایی و شدت از خوش گزینه‌ها، وزن‌های نرمالیزه نشده پارامترها اتلاق می‌شوند. با استفاده از فرمول اصلاحی، وزن پارامترها را به صورت زیر خواهد بود:

$$a_1 = 0/1627 \quad \text{وزن نرمالیزه نشده پارامتر شدت} \quad W_1(\alpha) = \frac{3 \times 0/1627}{0/057} = 0/876$$

$$a_2 = 0/1443 \quad \text{وزن نرمالیزه نشده پارامتر وقوع} \quad W_2(\beta) = \frac{3 \times 0/1443}{0/057} = 0/777$$

$$a_3 = 0/25 \quad \text{وزن نرمالیزه نشده پارامتر شناسایی} \quad W_3(\gamma) = \frac{3 \times 0/25}{0/057} = 1/346$$

$$\text{جمع اوزان} = 0/557 \cdot a_1 + a_2 + a_3$$

### ۹- محاسبه RPN برای هر عامل شناسایی شده

برای محاسبه نمره اولویت ریسک هر یک از عامل‌های شناسایی شده، درجه پارامترها شدت، وقوع و شناسایی با لحاظ وزن به دست آمده برای هر یک با استفاده از فرمول جدید

RPN محاسبه شده است.

جدول ۱۴ محاسبه نمره اولویت ریسک و تعیین اولویت عامل های شکست شناسایی شده

ردیف	RPN	علل بالقوه شکست	الگوی بالقوه شکست	ردیف
۷	۲۶/۹۳۵	نوسان دمای ورودی یونیفاینر	اختلال دمای سیستم	۱
۵	۷۰/۱۱	نوسان دمای ورودی راکتور ۱		
۶	۶۰/۸۴	نوسان دمای ورودی راکتور ۲		
۶	۶۰/۸۴	نوسان دمای ورودی راکتور ۳		
۲	۱۰۴/۹۹	نوسان فشار برج عربیان کنندہ	اختلال فشار سیستم	۲
۲	۸۸/۲۸	نوسان فشار برج جدا کنندہ		
۸	۲۰/۱۲	دی اکتیو شدن کاتالیست در حالت نرمال	افت سطح فعالیت کاتالیست	۳
۱	۱۲۰/۹۹	دی اکتیو شدن کاتالیست در اثر مسمومیت		
۴	۷۹/۰۳	عدم تناسب آب و کلرور		

به عنوان مثال در مورد اول، نمره اولویت ریسک ۲۶/۹۳۵ از طریق رابطه زیر حاصل شده است:

$$۸۰/۸۷۶ \times ۲۰/۷۷۷ \times ۲۱/۳۴۶ = ۲۶/۹۳۵$$

ذکر این نکته لازم است که نمره های اولویت از سقف ۱۰۰۰ مدنظر قرار می گیرند. در این مورد خاص، به دلیل اینکه جامعه تحت بررسی در زمینه شبیه ایی فعالیت دارد، به طبع باید از قابلیت اطمینان بالایی برخوردار باشد. بنابراین نمره های اولویت ریسک درصد پایینی از سقف ممکن را به خود اختصاص داده اند. در مرحله بعد سعی خواهد شد با اتخاذ تمهیداتی تا حد امکان (یک) نمره اولویت ریسک برای عامل ها کاهش پیدا کند.

## ۱۰- انجام اقدامات اصلاحی

اقدامات اصلاحی آن دسته فعالیتهایی را شامل می‌شود که برای حذف یا کاهش عامل یا عاملهای بالقوه شکست صورت می‌پذیرند. به روشنی در اتخاذ تصمیمات در مورد انجام اقدامات اصلاحی، تقدم با عاملهایی است که از اولویت ریسک‌زایی بیشتری برخوردار هستند. پس از اصلاح آنها و در گام بعد پرداختن به عاملهای مخاطره‌آمیز دارای اولویت کمتر، منطقی خواهد بود.

در مورد عامل دارای اولویت اول، یعنی دی‌اکتیو شدن کاتالیست در اثر مسمومیت با شناخت از ماهیت عمل واحد یونیفاریور و ارتباط این واحد و واحد تحت بررسی (واحد پلاتفرمر)، تقویت کنترل بر این واحد که ماهیت عمل آن سمزدایی است و یا برپایی سیستم کنترل سوموم پیش از ورود به واحد پلاتفرمر تأثیرگذار شناخته شد. عاملهای دوم و سوم از نظر اهمیت، عواملی هستند که با اختلال در فشار سیستم مرتبط هستند؛ استفاده از سیستم‌های پیشرفته تنظیم دریچه‌های تثبیت فشار، اعمال کنترل بیشتر بر دمای سیستم از جمله مواردی هستند که در کاهش مخاطره‌آمیزی اختلال در فشار ثمربخش تشخیص داده شدند. در مورد عاملهای دیگر با لحاظ سطح اولویت آنها، اقدامات مقتضی قابل پیگیری است. اما در کل آنچه بیشترین خطرپذیری را برای واحد تحت بررسی رقم می‌زند، به نوعی فاکتورهای برون واحدی هستند. تشکیل گروهی کوچک متنشکل از کارشناسان و اپراتورهای واحدهای مرتبط و آگاه‌سازی آنها نسبت به عوامل و اولویت‌های تخصیصی زمان بروز مشکل در فرایند برای حفظ استمرار و یا ارتقای عملکردی، بی‌شك تأثیر محسوسی خواهد داشت.

## ۱۱- نتیجه‌گیری

روش ANP-FMEA ابزار پیشرفته‌ای برای تحلیل ریسک است که دارای منطقی ساده و بدیع می‌باشد. این روش بر مبنای تکنیک FMEA بنا نهاده شده و برای سازگاری بیشتر با دنیای واقعی تعديل پیدا کرده است. با تلفیق صورت گرفته، روش ANP-FMEA ارزش بیشتری در فرایند مدیریت ریسک به دست می‌دهد. نبود توجه به ارتباط متقابل عوامل سبب ریسک و لحاظ وزن یکسان برای پارامترهای FMEA می‌تواند تا حد زیادی از اثربخشی اقدامات اصلاحی بکاهد؛ این نقیصه در پرتوی به کارگیری روش ANP برطرف می‌شود. ANP-FMEA مفهوم



ساده نمره اولویت ریسک را گسترش داده و برای پارامترهای FMEA در قالب توان، اهمیت‌های متفاوتی قابل است. مقدار RPN حاصل با شرایط سیستمی که در آن به کار گرفته می‌شود، سازگاری بهتری خواهد داشت.

جدول ۱۵ مقادیر RPN و اولویت عوامل بالقوه شکست را در دو روش FMEA و ANP-FMEA در قیاس با هم نشان می‌دهد.

جدول ۱۵ مقادیر RPN و اولویت عوامل‌های بالقوه شکست در دو روش FMEA و ANP-FMEA

اولویت		RPN		علل بالقوه شکست
ANP-FMEA	FMEA	ANP-FMEA	FMEA	
۷	۶	۲۶/۹۳۵	۳۶	نوسان دمای ورودی یونیفایزر
۵	۴	۷۰/۱۱	۱۰۸	نوسان دمای ورودی راکتور ۱
۶	۵	۶۰/۸۴	۹۰	نوسان دمای ورودی راکتور ۲
۶	۵	۶۰/۸۴	۹۰	نوسان دمای ورودی راکتور ۳
۲	۲	۱۰۴/۹۹	۱۳۵	نوسان فشار برج عریان‌کننده
۳	۴	۸۸/۲۸	۱۰۸	نوسان فشار برج جدآکننده
۸	۶	۲۰/۱۲	۳۶	دی‌اکتیو شدن کاتالیست در حالت نرمال
۱	۱	۱۲۰/۹۹	۱۶۲	دی‌اکتیو شدن کاتالیست در اثر مسمومیت
۴	۳	۷۹/۰۳	۱۲۶	تناسب نداشتن آب و کلرور

با ملاحظه جدول فوق، یافته‌های زیر در مورد تفاوت و انطباق روش‌های FMEA و ANP-FMEA قابل بیان خواهد بود:

۱- مقادیر RPN مربوط به ANP-FMEA از مقادیر FMEA کوچکتر هستند. این امر نشان می‌دهد که در صورت اعمال وزن‌های درست برای هر یک از پارامترها، درجه ریسک‌زایی آنها از آن‌چه که به نظر می‌رسد، کمتر خواهد بود. به این مفهوم که گاه در یک الگوی شکست، انجام اقدام اصلاحی روی یک پارامتر (آن که وزن بیشتری دارد؛ به طور مثال شناسایی) از اعمال اقدامات اصلاحی اضافی روی پارامترهای کمتر ریسک‌زای دیگر در جهت

رسیدن به سطح ریسک پایین‌تر جلوگیری می‌کند؛

۲- در اولویت‌های بالاتر (...و ۲ و ۱)، نتایج هر دو روش تقریباً یکسان هستند. با این مفهوم که ANP-FMEA برای اولویت‌های پایین‌تر درجه خطرپذیری‌زایی پایین‌تری قابل می‌شود و یا به عبارت دیگر، ANP-FMEA به دنبال عواملی می‌شود که با رفع آنها اطمینان بیشتری حاصل شود؛

۳- حساسیت ANP-FMEA در تمیز اولویت عوامل بالقوه شکست بیشتر است. در FMEA دو عامل با اولویت ۴، دو عامل با اولویت ۵ و دو عامل با اولویت ۶ وجود دارند. در حالی که در ANP-FMEA تنها دو عامل، آن هم با اولویت بالای ۶ با هم مشترک هستند؛ یعنی ANP-FMEA می‌تواند عوامل شکست را در قیاس با FMEA بهتر از هم تمیز دهد؛ از منظری دیگر، ANP-FMEA می‌تواند باعث ایجاد کلاسه‌بندی‌هایی برای RPN شود؛ یعنی بسته به زمینه‌ای که در آن به کار گرفته می‌شود می‌توان طبقات جدأگانه‌ای را برای آن در نظر گرفت. به این صورت که به فرض یک صنعت معین از دامنه به خصوصی از وزن‌ها برای پارامترهای روش بهره ببرد تا اقدامات اصلاحی متناسب با آن حوزه کاری، کاراتر و مؤثرتر واقع شوند.

و در نهایت، FMEA روشهای مبتنی بر کار گروهی است که نیازمند آشنایی، آگاهی و علاقه‌مندی جمعی از صاحب نظران و توانایی آنها در انجام فعالیت به صورت یک گروه کاراست. همین امر و هماهنگی‌های لازم در این جهت می‌تواند باعث ایجاد محدودیت در مسیر انجام روش شود.

در این مقاله سعی شده است تا دو مورد از کاستی‌های روش FMEA با بهره‌گیری از روش ANP پاسخ داده شود. همان‌گونه که در بخش ابتدایی مقاله بحث شد، موارد چندی از سوی صاحب‌نظران به عنوان محدودیت‌های روش رایج FMEA بیان شدند. نظر به گسترده وسیع استفاده از روش FMEA، هر تلاشی در جهت تکامل آن، می‌تواند ارزشمند واقع شود.

## ۱۲- منابع

- [1] Sinor M.C.; “The failure analysis matrix: A usable model for ranking solutions to failures in information systems”; Nova Southeastern University, 2000.

- [2] Seyed-Hosseini S.M., Safaei N., Asgharpour M.J.; “Reprioritization of failures in a system failure mode and effects analysis decision making trial and evaluation laboratory technique”; *University of Science and Technology*, 2005.
- [3] Stamatidis D.H.; “FMEA from theory to execution”; 2nd ed., ASQ Quality Press, 2003.
- [4] Booth P.; “Failure modes and effects analysis: perils, pitfalls, and opportunity”; *ASQ's Annual Quality Congress Proceeds*, 1999.
- [5] Shahin, A.; “Integration of FMEA and the KANO model: an exploratory examination”; University of Isfahan, 2003
- [6] Mohanty R.P., Agarwal R.; “A fuzzy ANP-based approach to R&D project selection: a case study”; *International of Production Research*, 2005
- [7] Taji K., Yousuke S.; “A group analytic network process for incomplete information”; Nagoya University, 2004.
- [8] Demirtas E.A., Ozden U.; “Analytic network process and multi-period goal programming integration in purchasing decisions”; Eskisehir Osmangazi University, 2007.
- [٩] دبیری غ، ودایع خیری ح؛ آنالیز حالات بالقوه خرابی و آثار آن؛ مفاهیم و روش پیاده‌سازی، آتنا، ۱۳۸۳
- [١٠] متقی ھ؛ مدیریت تولید و عملیات؛ آوای پاتریس، ۱۳۸۴
- [١١] جعفرنژاد، ا؛ مدیریت تولید و عملیات نوین؛ دانشکده مدیریت دانشگاه تهران، ۱۳۸۵
- [12] Saaty, T.L.; “Fundamentals of the analytic network process”; ISAHP, 1999.
- [13] Bayazit, O.; “Use of analytic network process in vendor selection decisions”; *Benchmarking: An International Journal*, 2006.
- [14] Buyukyazici M., sucu M.; “The analytic hierarchy and analytic network processes”; *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics*, 2002.
- [15] Meade L.M., Sarkis J.; “Analyzing organizational project alternatives for agile manufacturing processes: an analytic network approach”; *International Journal of Production Research*, 1999.