

# رویکردی نوین به تحلیل هزینه‌های کیفیت با استفاده از شبکه‌های بیزین

## هیبریدی

وحید خداکرمی<sup>۱\*</sup>، فرشاد حقی<sup>۲</sup>، سلمان آقابابایی<sup>۲</sup>، ابوالفضل فرجی<sup>۲</sup>

۱. استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی دانشگاه بوعلی سینا همدان

۲. کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی دانشگاه بوعلی سینا همدان

(تاریخ دریافت: ۹۴/۰۱/۱۶، تاریخ دریافت روایت اصلاح‌شده: ۹۶/۰۳/۱۰، تاریخ تصویب: ۹۶/۰۳/۳۰)

### چکیده

هزینه‌های کیفیت (COQ) - که عموماً شامل هزینه‌های پیشگیری از کیفیت ضعیف (هزینه انطباق) و هزینه‌های ناشی از کیفیت ضعیف (هزینه عدم انطباق) است - بخش شاخصی از سیستم مدیریت کیفیت جامع به‌شمار می‌رود. با بررسی دقیق و اصلاح این هزینه‌ها می‌توان کیفیت محصول یا خدمت را تا حد زیادی بهبود بخشید. از این‌رو، مدل پیشگیری-ارزیابی-شکست (PAF)، به‌عنوان یکی از رایج‌ترین رویکردها برای تعیین و طبقه‌بندی هزینه‌های کیفیت ارائه شده است. در این رویکرد، هزینه‌های کیفیت از پارامترهای متعددی تشکیل شده‌اند، اما شاخصی برای شناسایی و میزان اثرگذاری عدم قطعیت (ریسک) این پارامترها در نظر گرفته نشده است. علاوه‌براین، عوامل محیطی، کیفی و روابط علی میان پارامترها نادیده گرفته شده‌اند. در این پژوهش، با ترکیب هزینه‌های کیفیت با روش شبکه‌های بیزین هیبریدی، به مدلی احتمالی برای ارزیابی هزینه‌های کیفیت پرداخته می‌شود. شبکه‌های بیزین، چارچوب مناسبی برای مدل‌سازی عدم قطعیت، استفاده رسمی از دیدگاه‌های خبرگان و استنتاج احتمالات بین متغیرها ارائه می‌کند. در این رویکرد، ابتدا مدلی کیفی برای اولویت‌بندی گروه‌های سه‌گانه PAF ارائه می‌شود و پس از آن به‌عنوان نمونه در گروه با اولویت بیشتر، مدلی کمی معرفی می‌شود که به تحلیل احتمالی پارامترها و عوامل کیفی تأثیرگذار پرداخته است. روش پیشنهادی، در یک شرکت تولیدکننده مواد شیمیایی، اجرا و نتایج آن ارائه شد. رویکرد پیشنهادی، پارامترهای مهم COQ را برای محصول مورد نظر شناسایی می‌کند و با تهیه و استخراج داده‌های بیشتر، امکان تحلیل محتمل را از طریق تحلیل سناریو فراهم می‌آورد.

**واژه‌های کلیدی:** شبکه بیزین هیبریدی، مدل پیشگیری-ارزیابی-شکست، هزینه‌های کیفیت.

### مقدمه

(PAF)، رایج‌ترین رویکرد برای تعیین هزینه‌های کیفیت

است که در آن، عدم اطمینان (ریسک) پارامترهای COQ در نظر گرفته نشده است.

علاوه‌بر توجه اندک به شاخص ریسک، روش‌های فعلی، علیت موجود در متغیرهای تأثیرگذار بر هزینه کیفیت را نادیده می‌گیرند. رابطه علی و معلولی، بین عوامل سازمانی (مانند بهره‌وری) و پارامترهای COQ وجود دارد، اما به‌دلیل ماهیت غیرعینی این‌گونه از عوامل، کمی کردن آن‌ها بسیار دشوارتر از عوامل عینی (مانند میزان فروش سالانه) است. در شرایط یادشده، رویکرد جایگزین، استفاده از داده‌های ذهنی و استنتاج متغیرهای مجهول از طریق روابط علی خواهد بود.

شبکه‌های بیزین<sup>۴</sup> (BN)، رویکردی نوین برای مدل‌سازی پدیده‌های غیرقطعی و با روابط پیچیده است

هزینه‌های کیفیت<sup>۱</sup> (COQ) رویکرد شناخته‌شده‌ای است که علاوه‌بر ماهیت مستقل، مقیاسی برای عملکرد مدیریت کیفیت فراگیر (TQM) محسوب می‌شود. هزینه کیفیت معمولاً به‌صورت مجموع هزینه‌های انطباق (هزینه‌هایی برای پیشگیری از کیفیت ضعیف) و هزینه عدم انطباق (هزینه‌های ناشی از کیفیت ضعیف) مطرح می‌شود [۱]. اندازه‌گیری و تشخیص هزینه‌های کیفیت، به‌تناسب پیچیده‌شدن محصولات دشوارتر می‌شود. علاوه‌براین، بخشی از هزینه‌های کیفیت را هزینه‌های پنهان تشکیل می‌دهند [۲]. هزینه‌های پنهان، متغیرهایی مانند «اعتبار علامت تجاری»<sup>۲</sup> و «وفاداری مشتریان» هستند که به‌سادگی نمی‌توان آن‌ها را در سیستم‌های فعلی هزینه‌یابی کیفیت، مدل‌سازی کرد. مدل پیشگیری-ارزیابی-شکست<sup>۳</sup>

کیفیت ضعیف (شامل هزینه‌های تشخیص و تصحیح کارهای ناقص) تلقی می‌کنند، گروه دیگری آن را هزینه‌های دستیابی به کیفیت می‌دانند و دسته سوم، این گونه هزینه‌ها را به معنای هزینه‌های بخش کیفیت به کار می‌برند [۱]؛ بنابراین، هزینه‌های کیفیت شامل تمامی هزینه‌های مربوط به تلاش در جهت تأمین رضایت مشتری، به علاوه زیان‌های ناشی از خطا در رسیدن به اهداف تعیین شده است.

### مدل PAF

تاکنون مدل‌های متعددی برای دسته‌بندی و بررسی هزینه‌های کیفیت ارائه شده است. در این میان، مدل PAF زیربنای اصلی طبقه‌بندی را در هزینه‌های کیفیت ارائه می‌دهد [۷]. مدل PAF که توسط جوران و همکاران [۸] ارائه شد، بر اهمیت هزینه‌های پنهان تأکید کرده است. این مدل، هزینه‌های کیفیت را در سه حوزه هزینه‌های «پیشگیری»، «بازرسی» و «شکست» طبقه‌بندی می‌کند.

- هزینه‌های پیشگیری، هزینه‌هایی هستند که از طریق آن‌ها می‌توان از بروز خطا جلوگیری و عوامل اصلی خطا را شناسایی کرد، مانند هزینه آموزش‌های پیشگیری، طراحی کیفیت و تعمیرات پیشگیرانه.
- هزینه‌های بازرسی، آن دسته از هزینه‌هایی است که برای آزمایش کیفیت و حصول اطمینان از برآورده شدن خواسته‌های کیفیت صرف می‌شود. به عبارت دیگر، این هزینه‌ها هزینه تعیین وضعیت کیفی است، مانند هزینه آزمون ورودی، بازرسی کیفی حین فرایند و آزمون نهایی محصول.
- هزینه‌های شکست: هزینه‌هایی هستند که از کیفیت پایین ناشی می‌شوند. این هزینه‌ها خود به دو گروه داخلی و خارجی تقسیم می‌شوند. هزینه شکست داخلی، هزینه‌های مربوط به محصولات، قطعات و مواد یا خدماتی است که نتوانسته‌اند خواسته‌های کیفی مورد نظر را برآورده سازند. عناصر این بخش عبارت‌اند از: هزینه ضایعات و دورریزها، هزینه دوباره‌کاری‌ها و هزینه‌های توقف تولید و کاهش ارزش محصول. هزینه شکست خارجی، زمانی پیش می‌آید که محصول یا خدمت ارائه‌شده، از کیفیت مطلوب و مورد نظر

[۳]. این شبکه‌ها در جهت تلاش برای ارائه دانش تخصصی در زمینه‌های غیرقطعی، مبهم یا ناقص ایجاد شده است. شبکه‌های بیزین، ساختارهایی گرافیکی برای نمایش روابط احتمالی میان تعداد زیادی متغیر و انجام دادن استنباط احتمالی در آن متغیرها هستند. همچنین این ابزار، توانایی یکپارچه‌سازی متغیرهای کیفی با متغیرهای کمی را دارد. کاربرد هم‌زمان گره‌هایی با توزیع گسسته و پیوسته در کنار یکدیگر، قابلیت دیگر این شبکه‌ها با عنوان شبکه بیزین هیبریدی<sup>۵</sup> است [۴].

هدف اصلی این تحقیق، ترکیب رویکرد PAF با روش شبکه‌های بیزین (BN) و ارائه مدلی احتمالی برای ارزیابی هزینه‌های کیفیت است. در رویکرد پیشنهادی، ابتدا به وسیله مدلی کیفی، گروه‌های سه‌گانه PAF اولویت‌بندی می‌شوند و گروهی که بیشترین تأثیرگذاری را بر محصول یا خدمت دارد، برای بررسی بیشتر انتخاب می‌شود. سپس مدلی کمی برای تحلیل عددی پارامترها و عوامل کیفی تأثیرگذار در گروه منتخب، با استفاده از شبکه بیزین هیبریدی ارائه می‌شود. با این روش، به پارامترهای مهم COQ با بیشترین اثربخشی دست می‌یابیم. علاوه بر این، خروجی‌های مدل جدید، عدم قطعیت (مقادیر محتمل) هزینه‌های کیفیت را نشان می‌دهد و امکان تحلیل آینده محتمل را از طریق تحلیل سناریو فراهم می‌سازد. مدل ارائه‌شده، با داده‌ها و اطلاعاتی که از یک شرکت تولیدکننده مواد شیمیایی جمع‌آوری شده است، به‌عنوان مطالعه موردی تحلیل شده است.

### هزینه‌های کیفیت

مفاهیم اولیه هزینه کیفیت در اوایل دهه ۱۹۵۰، از سوی بزرگان مباحث مدیریت کیفیت مانند پروفیسور جوران با انتشار کتاب *راهنمای کیفیت* مطرح شد [۵]. در اواسط این دهه، فینگن بام [۶] مقاله‌ای منتشر کرد که در آن، هزینه‌ها در سه گروه پیشگیری، بازرسی و شکست طبقه‌بندی شده بودند.

دیدگاه‌های مختلفی درباره مفهوم هزینه کیفیت وجود دارد. در میان تعاریف متعدد این مفهوم، بعضی به ماهیت مطلب پرداخته‌اند و برخی دیگر به نحوه تقسیم‌بندی هزینه‌ها اشاره کرده‌اند. گروهی آن را معادل هزینه‌های

شبکه‌های بیزین، در دامنه‌ای وسیع از کاربردهای واقعی سیستم‌ها به کار رفته‌اند. در مدل‌سازی برخی از این کاربردها، وجود ترکیبی از گره‌های پیوسته و گسسته در کنار یکدیگر اجتناب‌ناپذیر است. مدلی را که چنین خصوصیتی داشته باشد، شبکه بیزین هیبریدی می‌نامند [۴]. نرم‌افزارهای متعددی برای ساخت و تحلیل شبکه‌های بیزین وجود دارد. در این تحقیق، از نرم‌افزار AgenaRisk استفاده شده است.

### مدل پیشنهادی

در این پژوهش، مدل‌سازی هزینه‌های کیفیت را به دو صورت کیفی و کمی (عددی) انجام می‌دهیم. براین اساس، مدل کیفی را به منظور رتبه‌بندی و شناسایی مهم‌ترین گروه هزینه‌ای، و مدل کمی را برای تحلیل دقیق ریسک هزینه‌ها در گروه منتخب طراحی می‌کنیم.

### مدل کیفی

در این پژوهش، سه گام زیر را برای ساخت مدل کیفی در نظر می‌گیریم:

۱. شناسایی پارامترهای تأثیرگذار بر هر یک از بخش‌های هزینه کیفیت در مدل PAF: هزینه‌های پیشگیری  $P_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ )، ارزیابی  $A_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) و شکست  $F_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ )؛ این کار با بررسی متون موجود و استفاده از نظر کارشناسی افراد در صنعت مورد نظر انجام می‌گیرد.
۲. تعیین نوع متغیرهای احتمالی، احتمالات اولیه (برای متغیرهای بدون والد) و احتمالات شرطی (برای گره‌های فرزند)؛ در این مطالعه، برای هر یک از پارامترهای شناسایی شده، یک متغیر احتمالی رتبه‌ای با مقیاس لیکرت پنج‌تایی (به صورت بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد) در نظر گرفته شده است. رویه تخمین احتمالات براساس روش مقایسات زوجی - که در ادامه توضیح داده می‌شود - قابل استخراج است.
۳. ورود اطلاعات به نرم افزار، اجرای مدل و دریافت نتایج؛ به ازای هر یک از بخش‌های پیشگیری، ارزیابی و شکست، یک گره از نوع رتبه‌ای در شبکه ایجاد

مشتري بهره‌مند نباشد. عناصر این بخش عبارت‌اند از: هزینه شکایات مشتری، هزینه محصولات برگشتی، هزینه گارانتی و تعویض محصول. مدرس و انصاری [۹]، مدل PAF را به منظور ملاحظه ابعاد مختلف هزینه‌های ناشی از تخصیص ضعیف منابع و طراحی کیفیت گسترش دادند. کار [۱۰] کاربرد موفق هزینه‌های فرصت را در برنامه کیفیت گزارش کرد. سایر محققان به بررسی هزینه مشتریان از دست‌رفته ناشی از شکست محصولات پرداختند [۱۱، ۱۲]. در این مطالعه، با نگاهت مدل PAF در شبکه‌های احتمالی بیزین، به تحلیل عدم قطعیت هزینه‌های کیفیت در شرایط دنیای واقعی می‌پردازیم.

### شبکه‌های بیزین

شبکه‌های بیزین، ساختارهایی نموداری برای نمایش روابط احتمالی میان تعداد زیادی متغیر و انجام دادن استنباط احتمالی با آن متغیرها هستند [۳]. شبکه‌های بیز، گراف‌های غیرسیکلی مستقیم هستند که گره‌های آن‌ها ممکن است مقادیر قابل مشاهده، متغیرهای پنهان، پارامتر یا فرض‌های نامعلوم باشند. یال‌های این شبکه، بیانگر وابستگی‌های شرطی است. هر گره دارای یک تابع احتمال است که شامل احتمال اولیه (برای گره‌های بدون والدین) یا احتمالات شرطی مربوط به حالت‌های مختلف گره‌های والدین است [۱۳].

یکی از مهم‌ترین مزیت‌های BN، استفاده از قاعده زنجیره در محاسبه توزیع احتمال توأم است. با دسترسی به توزیع احتمال توأم می‌توان توزیع احتمال حاشیه‌ای و همچنین توزیع احتمال شرطی آن‌ها را برای همه متغیرها محاسبه کرد. این قابلیت پیش‌بینی BN، به درک ما از استنتاج از معلول به علت و برعکس کمک می‌کند [۱۴].

به‌طور کلی، شبکه بیز یکی از روش‌های داده‌کاوی به‌شمار می‌رود که دانشمندان درباره مزایای به‌کارگیری آن، روی سه دلیل توافق بیشتری دارند [۱۵، ۱۶]. نخست اینکه شبکه‌های بیز به‌خوبی از عهده داده‌های ناقص برمی‌آیند. دوم آنکه امکان آگاهی از روابط علی را فراهم می‌سازند و سوم اینکه در همراهی با روش‌های آماری، ترکیب دانش زمینه‌ای و داده‌ها را تسهیل می‌کنند.

می دهند). مونتی و کارنینی [۲۴] به منظور تعیین احتمالات شرطی، و برای کاهش تعصبات و تضمین سازگاری قضاوت کارشناسان، از مقایسات زوجی استفاده کردند. آن‌ها این ایده را تنها به منظور تولید احتمالات شرطی، برای گره‌هایی که تنها یک والد دارند، به کار گرفتند.

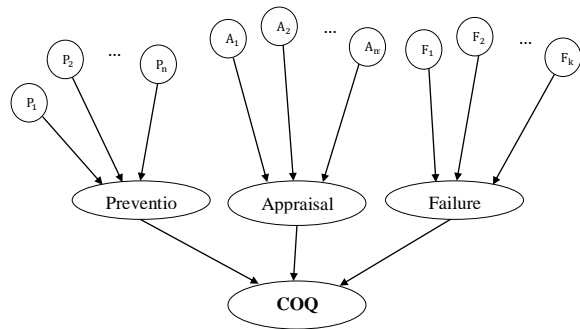
در این مطالعه، برای تعیین احتمالات اولیه گره‌های شبکه بیزین، از روش چین و همکاران [۲۵] استفاده می‌شود. آن‌ها این روش را برای تعیین احتمالات در گره‌های بدون والد، گره‌هایی با یک والد و گره‌هایی با چند والد پیشنهاد کردند. برای گره‌های بدون والد، احتمالات اولیه آن‌ها تخمین زده شد؛ درحالی‌که برای گره‌های یک‌والده و چندوالده، تخمین احتمالات شرطی حالت-هایشان بر حالت‌های والدین صورت گرفت. فرض کنید برای  $N$  گره که والدی ندارد،  $n$  حالت  $S_1, S_2, \dots, S_n$  وجود دارد و نیاز داریم که احتمال هر حالت  $S_i$ ، یعنی  $P(S_i)$  را مشخص کنیم.  $P(S_i)$  را می‌توان مستقیم به وسیله کارشناسان تعیین کرد. وقتی تعداد حالت‌ها کم است، چنین روشی ممکن است عملی باشد. با افزایش حالت‌های یک گره، برای تخمین احتمال مستقیم به همه حالت‌ها ممکن است دچار بی‌دقتی و اشتباه شویم.

روش دیگر، انجام دادن مقایسات زوجی میان حالت‌ها برای تولید احتمالشان است. از آنجاکه در مقایسات زوجی، فقط دو حالت به جای  $n$  حالت در نظر گرفته می‌شود، این کار به مراتب از تخمین مستقیم احتمالات آسان‌تر است. در این رویکرد، احتمال پیشین هر حالت گره‌ها را می‌توان با استفاده از ماتریس مقایسات زوجی تعیین کرد که در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. ماتریس مقایسات زوجی

	$S_1$	$S_2$	...	$S_n$	$\omega$
$S_1$	$a_{11}$	$a_{12}$	...	$a_{1n}$	$\omega_1$
$S_2$	$a_{21}$	$a_{22}$	...	$a_{2n}$	$\omega_2$
...	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$	...
$S_n$	$a_{n1}$	$a_{n2}$	...	$a_{nn}$	$\omega_n$
$\lambda_m =$	$CI =$		$CR =$		.

می‌شود. تمامی متغیرهای شناسایی شده مرتبط با بخش‌های یادشده، به این سه گره وارد می‌شوند. در نهایت، یک گره نتیجه با عنوان «COQ»، سه گره فوق را یکپارچه می‌کند که بیانگر وضعیت کلی هزینه‌های کیفیت خواهد بود. شکل ۱ طرح شماتیک مدل پیشنهادی را نشان می‌دهد.



شکل ۱. ساختار گرافیکی شبکه پیشنهادی برای نگاهت مدل BN به PAF

## برآورد احتمالات اولیه

در ساختن یک شبکه بیز، دشوارترین جنبه کل فرایند، استخراج احتمالات است. با این حال، بعضی از روش‌ها ساده‌ترند. یکی از آن‌ها ایجاد تغییراتی در ساختار شبکه است. مبنای این روش معرفی متغیرهای میانجی [۱۷] یا حذف کمان‌هایی است که وابستگی ضعیفی بین متغیرها دارند [۱۸]. روش دیگر برمبنای استفاده از توزیع‌های احتمال پارامتریک است که حجم محاسبه احتمالات را به صورت مستقیم کاهش می‌دهد [۱۹]. روش دیگر در استخراج احتمالات، براساس تحلیل حساسیت است که رویکردی در جهت کاهش زمان تخمین احتمالات توسط کارشناسان به شمار می‌رود [۲۰].

برای ایجاد احتمالات شرطی در شبکه‌های بیز، قدیمی‌ترین رویکرد مدل Noisy-OR است [۲۱]. اگرچه این مدل‌ها فقط در مواردی کاربرد دارند که حالت‌های گره‌ها دوتایی هستند و والدین گره‌ها مستقل از یکدیگرند. لمر و گوسینک [۲۲] و داس [۲۳] تعریف «سازگار» را پیشنهاد کردند. این تعریف مربوط به زمانی است که تعداد زیادی گره وجود دارد (برای رهایی از فرضیات استقلال و محدودیت‌های دودویی که بار محاسبات را کاهش

شهر خرم‌آباد واقع شده است. برای انجام دادن مطالعه، تیمی متشکل از ۱۰ نفر از مدیران و کارشناسان شرکت تشکیل شد. پارامترهای تشکیل دهنده هزینه‌های کیفیت برای این واحد شناسایی شدند. سپس نحوه تغییرات آن‌ها بررسی شد و کارشناسان احتمالات مربوط را با استفاده از رویکرد مقایسات زوجی استخراج کردند؛ برای نمونه، جدول ۳ اطلاعات مربوط به متغیر پیشگیری را در مقیاس پنج‌تایی لیکرت از سطح very low تا very high نمایش می‌دهد. با ایجاد گره‌های مربوط به هر یک از پارامترهای جدول ۳ و ورود اطلاعات آن‌ها به BN، به خروجی اولیه مدل در نرم‌افزار می‌رسیم (شکل ۲).

همان‌طور که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود، سطح هزینه‌های کیفیت در هر یک از بخش‌های سه‌گانه در گره‌های Failure, Appraisal, Prevention، و نیز هزینه‌های کل کیفیت در گره COQ قابل‌ارزیابی است. خروجی اولیه مدل نشان می‌دهد توزیع COQ به سمت Very high چولگی دارد. این وضعیت برای بخش‌های پیشگیری، ارزیابی و شکست نیز قابل مشاهده است.

در این مرحله به اولویت‌بندی هزینه‌ها می‌پردازیم و یکی از گروه‌های مدل PAF را که در مدل BN بیشترین اهمیت را دارد، برای تحلیل عددی دقیق انتخاب می‌کنیم. این اولویت‌بندی معادل فرایند تحلیل کیفی ریسک در روش‌های مدیریت (مانند مدیریت ریسک پروژه) است. در اینجا این کار را با استفاده از ضرایب مطلوبیت معرفی شده در جدول ۴ انجام می‌دهیم.

در ماتریس مقایسات زوجی، تعیین شود: «با مقایسه حالت  $S_i$  با  $S_j$ ، کدام یک از آن‌ها محتمل‌تر است و چقدر؟». با در نظر گرفتن مقدار  $a_{ij}$  می‌توانیم دریابیم:  $a_{ij} = 1/a_{ji}$  و  $a_{ii} = 1$ . مانند AHP، اولویت‌های نسبی  $S_i$  را می‌توان از حداکثر بردار مشخصه سازگاری ماتریس مقایسات زوجی را می‌توان به وسیله نرخ سازگاری  $CR = CI/RI$  بررسی کرد.

شاخص سازگاری است که به صورت  $CI = (\lambda_{max} - n)/(n-1)$  تعریف می‌شود. RI شاخص تصادفی است که به  $n$  وابسته است و در جدول ۲ مشاهده می‌شود. ماتریس مقایسات زوجی با  $CR$  کوچک‌تر از ۰/۰۱، قابل پذیرش در نظر گرفته می‌شود. از آنجا که مجموع همه اوزان  $\omega_i$ ، یک است و عنصر  $i$  ام، اهمیت نسبی حالت  $S_i$  را در میان همه حالت‌ها نشان می‌دهد، طبیعی است که  $\omega_i$  به عنوان احتمال پیشین حالت  $S_i$  تفسیر شود. به عبارت دیگر داریم:

$$P(S_i) = \omega_i \quad (1)$$

جدول ۲. شاخص سازگاری تصادفی

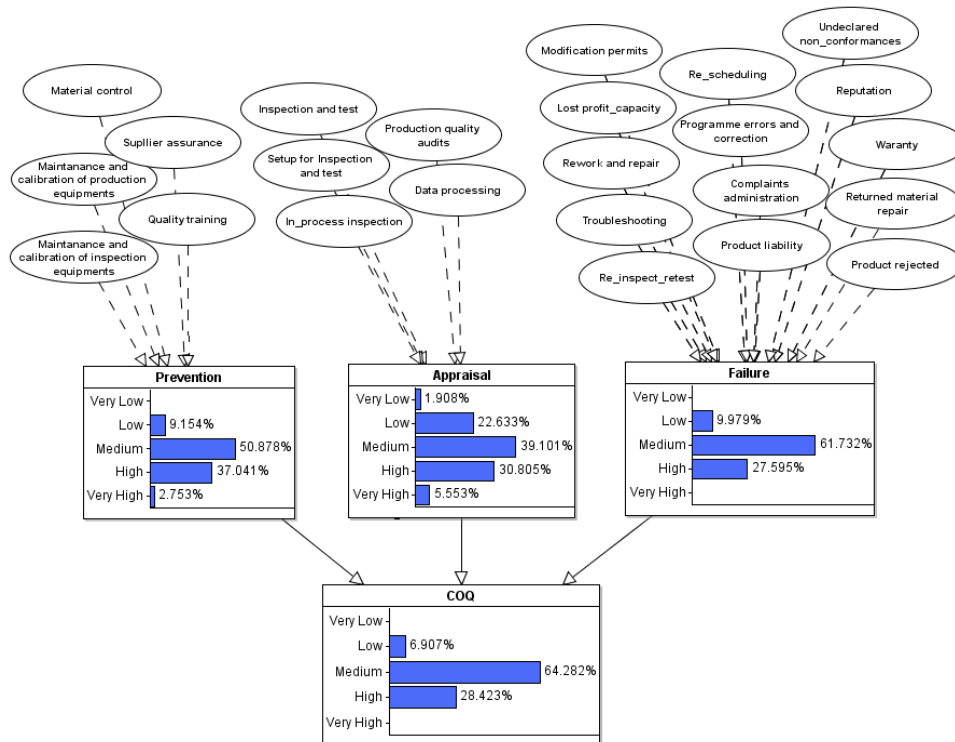
n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

## مطالعه موردی

روش پیشنهادی در یک شرکت تولیدکننده مواد شیمیایی (عمدتاً الکل)، با نام تجاری نصر اجرا شد. این شرکت با خط تولیدی نیمه اتوماتیک، ۳۰ پرسنل دارد و در استان لرستان،

جدول ۳. پارامترهای تشکیل دهنده هزینه‌های کیفیت در مطالعه موردی

زیرگروه PAF	پارامتر	P(very low→very high)
نگهداری و کالیبراسیون تجهیزات تولید	۱. نگهداری و کالیبراسیون تجهیزات تولید	(۰/۲۰، ۰/۳۵، ۰/۲۶، ۰/۱۴، ۰/۰۵)
	۲. نگهداری و کالیبراسیون تجهیزات بازرسی	(۰/۰۳، ۰/۳۸، ۰/۳۴، ۰/۱۵، ۰/۰)
پیشگیری	۳. تضمین تأمین کننده	(۰/۰۱، ۰/۲۹، ۰/۲۷، ۰/۲۲، ۰/۲۱)
	۴. آموزش کیفیت	(۰/۱۴، ۰/۳۴، ۰/۲۶، ۰/۱۸، ۰/۰)
	۵. کنترل مواد	(۰/۰۶، ۰/۳۲، ۰/۳۱، ۰/۱۹، ۰/۱۲)



شکل ۲. مدل BN برای مدل سازی هزینه های کیفیت PAF در شرکت نصر

جدول ۴. ضریب وزنی هزینه های کیفیت

Very low	Low	Medium	High	Very high
100	75	50	25	0

کلی) را برای تشریح روش ساخت، با استفاده از شبکه های بیزین هیبریدی بیان می کنیم.

### مدل پایلوت

رویکرد ما برای تحلیل کمی هزینه های این گروه به این ترتیب است: ۱. عوامل وابسته به پارامترهای این گروه را وارد مدل کنیم و ۲. هزینه هر پارامتر را در یک بازه زمانی (برای مثال، شش ماهه) برآورد کنیم؛ برای مثال، گره (پارامتر) Supplier assurance ممکن است وابسته به عاملی محرک<sup>۶</sup> مانند سطح کیفی تأمین کننده باشد. از طرف دیگر، اندازه گیری متغیرهای پیچیده ای نظیر سطح کیفی تأمین کننده، به طور مستقیم امکان پذیر نیست. برای این منظور، به متغیری اندیکاتور<sup>۷</sup> مانند «اعتبار تأمین کننده» نیاز داریم تا با آن به استنتاجی دقیق تر برای سطح کیفی تأمین کننده برسیم. شکل ۳، قسمت الف یک شبکه بیزین ساده با سه گره را نشان می دهد که پارامتر مذکور و

بنابراین، مطلوبیت گره های Prevention، Appraisal و Failure عبارتند از:

(۲)

$$U(\text{Prevention}) = (0 \times 100 + 9.154 \times 75 + 50.878 \times 50 + 37.041 \times 25 + 2.753 \times 0) = 4156.5$$

$$U(\text{Appraisal}) = (1.908 \times 100 + 22.633 \times 75 + 32.101 \times 50 + 30.805 \times 25 + 5.553 \times 0) = 4263.5$$

$$U(\text{Failure}) = (0 \times 100 + 9.979 \times 75 + 61.732 \times 50 + 27.595 \times 25 + 0 \times 0) = 4524.9$$

بدین ترتیب، گروه «پیشگیری» دارای بیشترین ریسک (کمترین مطلوبیت) است و به منظور تحلیل کمی برگزیده می شود.

### مدل کمی

پیش از ارائه مدلی جامع برای بررسی هزینه های کیفیت در گروه هزینه های پیشگیری، مدلی ساده (بخشی از مدل

$$\begin{aligned} P(S_e = Low) &= 0.286 \\ P(S_e = Medium) &= 0.524 \\ P(S_e = High) &= 0.190 \end{aligned} \quad (۴)$$

گره Supplier assurance که نشان‌دهنده هزینه این پارامتر است، توزیعی پیوسته دارد و دارای جدول احتمالی شرطی است. به این ترتیب که به ازای هر یک از حالت‌های گره والد آن، یک توزیع احتمالی با استفاده از نظر کارشناسی افراد یا اطلاعات ثبت‌شده گذشته برآورد می‌شود. در ادبیات مدیریت هزینه، این توزیع معمولاً بتا، مثلثی، لگ‌نرمال یا نرمال است. در این تحقیق، به دلیل سادگی و توانایی مدل‌سازی وضعیت‌های نامتقارن [۲۶، ۲۷] توزیع مثلثی انتخاب شده است.

ابتدا مقادیر حداقل، محتمل‌ترین و حداکثر هزینه، به شرط هر یک از حالت‌های گره والد، از کارشناسان دریافت می‌شود. سپس یک توزیع مثلثی با سه نقطه فوق‌منطبق می‌شود، اما به منظور حذف و خنثی کردن انحرافات و اریبی تخمین‌های ذهنی، فاصله بین دو نقطه کمترین و بیشترین را معادل ۹۰ درصد چگالی احتمال در نظر می‌گیریم. پژوهش‌های گذشته محققان نشان می‌دهد گاهی داده‌های دنیای واقعی متغیرها خارج از محدوده کمترین و بیشترین قرار می‌گیرد [۲۸، ۲۹].

براین اساس، یکی از روش‌های حل این مشکل عبارت است از رویکرد پیرسن-توکی برای تخمین میانگین و واریانس توزیع احتمال انتخاب‌شده که در این پژوهش به کار گرفته شده است [۳۰]:

$$\mu = 0.63q_{0.05} + 0.185(q_{0.05} + q_{0.95}) \quad (۵)$$

$$\sigma^2 = 0.63(q_{0.5} - \mu)^2 + 0.185(q_{0.05} - \mu)^2 + (q_{0.95} - \mu)^2 \quad (۶)$$

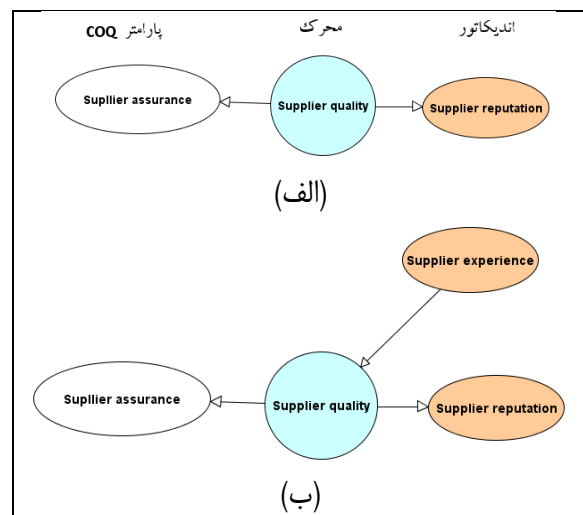
که در آن،  $q_{0.05}$ ،  $q_{0.5}$ ،  $q_{0.95}$  صدک‌های ۵، ۵۰ و ۹۵ درصد دارند. این صدک‌ها به همراه میانگین و واریانس توزیع مثلثی را می‌توان برای محاسبه پارامترهای این توزیع به کار برد. روش کار به این ترتیب است که باید

متغیرهای محرک و اندیکاتور یادشده را مدل می‌کند. این شکل نشان‌دهنده یک اتصال واگرا در BN است که استنتاج در آن، از طریق رابطه ۲ صورت می‌گیرد.

$$P(S_a, S_q, S_r) = P(S_a | S_q)P(S_r | S_q)P(S_q) \quad (۳)$$

که در آن  $S_a$ ،  $S_q$  و  $S_r$  به ترتیب نشان‌دهنده گره‌های Supplier assurance، Supplier quality و Supplier reputation هستند.

از طرف دیگر، متغیر تجربه تأمین‌کننده را می‌توان به عنوان عاملی محرک برای پیش‌بینی سطح کیفی تأمین‌کننده، وارد مدل کرد (شکل ۳، قسمت ب).



شکل ۳. مدل‌سازی وابستگی پارامتر تضمین تأمین‌کننده به محرک‌های سطح کیفی و تجربه و اندیکاتور اعتبار

در اینجا تجربه، تنها متغیر پیش‌بینی‌کننده سطح کیفی به حساب می‌آید و اعتبار نیز تنها اندیکاتور متأثر از سطح کیفی است. مرحله بعد، برآورد احتمالات و توزیع‌های مربوط است. گره‌های Supplier quality با Supplier experience و Supplier reputation سه حالت Low، Medium و High در نظر گرفته شده‌اند. توزیع Supplier experience از رتبه‌بندی تمامی تأمین‌کنندگان در سه رده باتجربه، دارای تجربه متوسط و کم‌تجربه، و نیز درصد تأمین‌کنندگانی که در هر یک از این سه رده قرار می‌گیرند، محاسبه شد:

**مدل یکپارچه و ترکیبی برای هزینه‌های پیشگیری**

در این قسمت به معرفی مدلی یکپارچه برای اندازه‌گیری و تحلیل کمی عوامل تأثیرگذار بر هزینه کیفیت می‌پردازیم. همان‌طور که در بخش مدل کیفی مطرح شد، گروه هزینه‌های «پیشگیری» دارای بیشترین ریسک در مقایسه با گروه هزینه‌های «بازرسی» و «شکست» تعیین شد. مطابق جدول ۳، هزینه‌های پیشگیری، تحت تأثیر پنج پارامتر نگهداری و کالیبراسیون تجهیزات تولید، نگهداری و کالیبراسیون تجهیزات بازرسی، تضمین تأمین‌کننده، آموزش کیفیت و کنترل مواد است. این پارامترها والدین گره Prevention در شبکه خواهند بود. هریک از این پنج والد، خود از عوامل و اندیکاتورهای دیگری تأثیر می‌پذیرند. مشابه ساختار و منطقی که در مدل پایلوت برای پارامتر «تضمین تأمین‌کننده» روابط کمی شناسایی و تعریف شد، برای چهار پارامتر دیگر، محرک‌ها و شاخص‌های متناسب تعیین شد و کارشناسان شرکت آن را تأیید کردند. متغیرهای کیفیت تأمین‌کننده (Supplier quality) و تجربه کارکنان (Experience) به‌عنوان عوامل محرک به مدل اضافه شدند و متغیرهایی نظیر انگیزه (Motivation)، اعتبار تأمین‌کننده (Supplier reputation) و خروج کارکنان (Turnover) به‌عنوان اندیکاتورهایی برای شناسایی هرچه بیشتر محرک‌ها معرفی شدند. بدین ترتیب، ساختار گرافیکی شبکه به‌صورت شکل ۵ حاصل شد. در شکل ۵، گره‌های بیضی‌شکل سفید نشانگر پارامترها، گره‌های دایره‌ای نشان‌دهنده محرک‌ها و گره‌های بیضی‌شکل رنگی نشانگر اندیکاتورها (متغیرهای قابل مشاهده) هستند.

نکته مهم در این شبکه، مشترک بودن «تجربه» به‌عنوان محرک مشترک روی چهار پارامتر است. همچنین شایان ذکر است مدل ارائه‌شده در اینجا به‌عنوان نمونه ارائه شده است. در سایر مسائل، بسته به نوع و شرایط و اطلاعات موجود می‌توان محرک‌ها و شاخص‌های تأثیرگذار متعددی را شناسایی کرد و به شبکه افزود. هرچند معرفی متغیرهای بیشتر، به پیچیدگی مدل، افزایش زمان اجرا و همچنین نیاز به اطلاعات و تخمین احتمالات منجر خواهد شد.

سیستمی شامل معادلات ۳، ۴ و یکی از معادلات انتگرالی غیرخطی زیر باشد:

$$\int_{\alpha}^{a_{0.05}} f(x, a, b, c) dx = 0.05 \quad (7)$$

$$\int_{\alpha}^{a_{0.5}} f(x, a, b, c) dx = 0.5$$

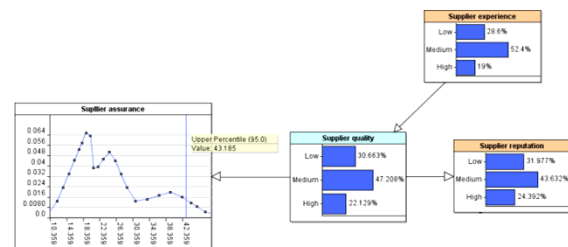
$$\int_{\alpha}^{a_{0.95}} f(x, a, b, c) dx = 0.95$$

که برای حل دستگاه معادلات یادشده، روش عددی ریشه‌یابی با عنوان الگوریتم لونیگ-مارکوارت [۳۱] استفاده شد.

**جدول ۵. توزیع‌های شرطی گره Supplier assurance برای سه مقدار Supplier quality**

Supplier quality	Supplier assurance
Low	Triangle (20.3,40,50.1)
Medium	Triangle (10.8,25,30.7)
High	Triangle (10.15,20,20.9)

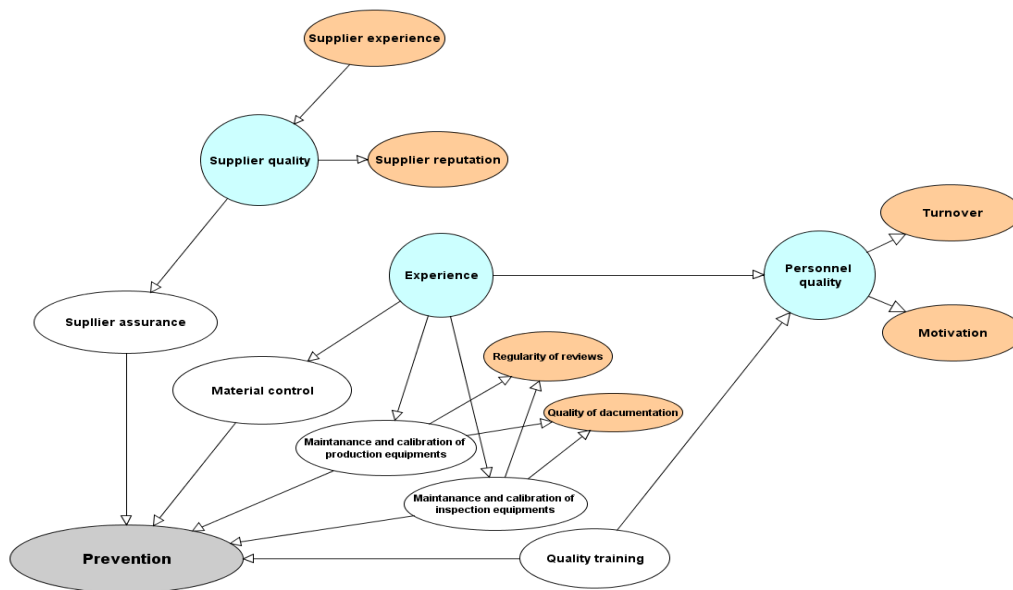
با ورود اطلاعات فوق در شبکه شکل ۳، قسمت ب، مدل تحلیل کمی به‌صورت مدل پایلوت به‌دست می‌آید. پس از اجرای این شبکه در نرم‌افزار AgenaRisk، خروجی اولیه به‌صورت شکل ۴ نمایش داده می‌شود.



**شکل ۴. مدل پایلوت تحلیل کمی ریسک هزینه کیفیت در پارامتر تضمین تأمین‌کننده**

بدون مشاهده‌ای در عوامل تجربه و اعتبار تأمین‌کننده، میانگین هزینه‌های کیفیت پارامتر مورد بررسی ۲۵/۵۱۶ واحد است. در سطح اطمینان، ۹۵ درصد هزینه مربوط، بیشتر از ۴۳/۱۸۵ واحد نخواهد بود. با استفاده از منطق به‌کاررفته در ساخت این مدل، تحلیل‌های متعددی برای بررسی هزینه‌های کیفیت امکان‌پذیر است که در مدل یکپارچه مطرح می‌شود.





شکل ۵. ساختار گرافیکی مدل‌سازی روابط علی و معلولی در پارامترهای گروه پیشگیری

توزیع برنولی و گره‌های پیوسته با توزیع مثلثی تعریف شده‌اند. توضیحات کامل گره‌ها و پیکربندی آن‌ها در جدول ۶ مشاهده می‌شود.

پس از تعیین ساختار شبکه لازم است احتمالات مربوط به هر گره تخمین زده شود. گره‌های کیفی به صورت رتبه‌ای (کم، متوسط و زیاد)، گره‌های اندیکاتور از نوع دوحالتی با

جدول ۶. توضیحات متغیرها و پیکربندی آن‌ها در مدل علی یکپارچه

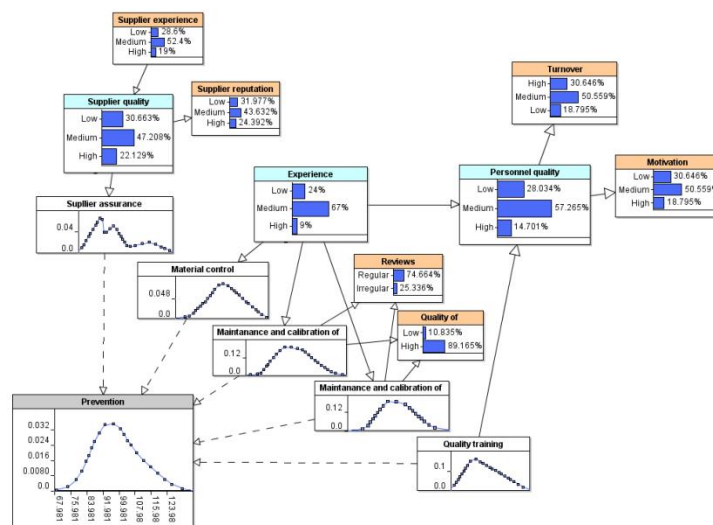
گره	شرح	نوع متغیر احتمالی و حالت‌ها	احتمالات
Experience	تجربه کارکنان، عاملی محرک برای پارامترهای کنترل مواد، نگهداری و کالیبراسیون تجهیزات تولید، نگهداری و کالیبراسیون تجهیزات بازرسی است.	رتبه‌ای با سه حالت Low, High و Medium	$P(\text{Low,Medium,High}) = (0.24,0.67,0.09)$
Personnel quality	سطح کیفی کارکنان، حاصل سطح تجربه و میزان هزینه آموزش آنان است [۱۴].	رتبه‌ای با سه حالت Low, High و Medium	شرطی و به ازای حالت‌های گره‌های والدین آن است.
Turnover	منظور، خروج افراد از سازمان است که نشانه‌ای از ضعف منابع انسانی شرکت به‌شمار می‌رود.	رتبه‌ای با سه حالت Low, High و Medium	با عدم اطمینان $(5.0E-4)$ نتایج گره والد خود را منعکس می‌کند.
Motivation	انگیزه کارکنان، اندیکاتوری برای سطح کیفی کارکنان است.	رتبه‌ای با سه حالت Low, High و Medium	با عدم اطمینان $(5.0E-4)$ نتایج گره والد خود را منعکس می‌کند.
Regulatory Reviews	اندیکاتوری برای پارامترهای نگهداری و کالیبراسیون تجهیزات تولید و بازرسی است که دو حالت منظم و نامنظم دارد؛ به طوری که تقویت پارامترهای یاد شده سبب ارتقای این متغیر به وضعیت منظم می‌شود.	برنولی با دو حالت Regular و Irregular	$P(\text{Reviews=Regular}   \text{Parents nodes} > \text{mean value}) = 1$
Quality of documentation	اندیکاتوری برای پارامترهای نگهداری و کالیبراسیون تجهیزات تولید و بازرسی است که دو حالت کم و زیاد دارد؛ به طوری که تقویت پارامترهای یاد شده موجب بهبود این متغیر به وضعیت زیاد می‌شود.	برنولی با دو حالت Low و High	$P(\text{Quality of documentation =High}   \text{Parents nodes} > \text{mean value}) = 1$
Material control	هزینه پارامتر کنترل مواد در بازه زمانی مورد بررسی که برحسب حالت‌های تجربه کارکنان تخمین زده می‌شود. روش برآورد توزیع آن مشابه روشی است که برای تخمین گره Supplier assurance استفاده شد	پیوسته-مثلثی	$\mu = 36.655$ $\sigma = 4.809$

ادامه جدول ۶. توضیحات متغیرها و پیکربندی آن‌ها در مدل علی یکپارچه

احتمالات	نوع متغیر احتمالی و حالت‌ها	شرح	گروه
$\mu = 14.244$ $\sigma = 1.148$	پیوسته-مثلی	هزینه پارامتر نگهداری و کالیبراسیون تجهیزات تولید در بازه زمانی مورد بررسی که برحسب حالت‌های تجربه کارکنان تخمین زده می‌شود. روش برآورد توزیع آن، مشابه روش تخمین گره است.	Maintenance and calibration of production equipments
$\mu = 12.272$ $\sigma = 1.94$	پیوسته-مثلی	هزینه پارامتر نگهداری و کالیبراسیون تجهیزات بازرسی که برحسب حالت‌های تجربه کارکنان تخمین زده می‌شود. روش برآورد، مشابه روش تخمین گره است.	Maintenance and calibration of inspection equipments
$\mu = 10.743$ $\sigma = 2.507$	پیوسته-مثلی	هزینه آموزش‌های کیفی در بازه زمانی مورد بررسی که خود موجب ارتقای سطح کیفی کارکنان می‌شود. روش برآورد توزیع آن، مشابه روشی است که برای تخمین گره استفاده شده.	Quality training
Sum(Quality training+ Maintenance and calibration of inspection equipments+ Maintenance and calibration of production equipments+ Material control+ Supplier assurance)	پیوسته	هزینه گروه پیشگیری را منعکس می‌کند و برابر مجموع گره‌های والد خود است.	Prevention

کالیبراسیون تجهیزات تولید و نگهداری، و کالیبراسیون تجهیزات بازرسی است - با توجه به پرسشنامه و نظر کارشناسان خبره به صورت رتبه‌ای با سه سطح کم، متوسط و زیاد در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد ۶۷ درصد کارکنان تجربه متوسط و ۹ درصد تجربه زیاد دارند. بدین ترتیب و با توجه به توضیحات بخش مدل پایلوت و شکل ۴، بقیه محرک‌ها و اندیکاتورها محاسبه می‌شوند.

داده‌های مورد نیاز با استفاده از پرسشنامه و از طریق مدیریت و شش کارشناس شرکت نصر جمع‌آوری شد؛ برای مثال، گره هزینه پیشگیری (Prevention) به‌طور منطقی از مجموع پنج هزینه زیرمجموعه خود محاسبه می‌شود که همگی از نوع توزیع مثلی با میانگین و انحراف معیار متفاوت‌اند. تجربه کارکنان (Experience) - که در شکل ۶ عامل محرک پارامترهای کنترل مواد، نگهداری و



شکل ۶. سناریو مبنای تحلیل هزینه‌های کیفیت بخش پیشگیری-مدل کمی علی و معلولی

تغییرات محتمل در هزینه کیفیت بخش پیشگیری را پیش‌بینی می‌کند. بخشی از پیش‌بینی سطح کیفی کارکنان، از طریق رابطه عامل تجربه کارکنان و استفاده از استنتاج روبه‌جلو<sup>۸</sup> یا علت به معلول<sup>۹</sup> انجام می‌شود. بخش دیگر این پیش‌بینی، از طریق رابطه عوامل انگیزه و خروج کارکنان «Turnover» و استنتاج روبه عقب<sup>۱۰</sup> یا معلول به علت<sup>۱۱</sup> انجام می‌شود.

شکل ۷ توزیع مربوط به گره Prevention را در سناریو دوم در مقایسه با سناریو مبنا نمایش می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، تغییرپذیری (واریانس) این متغیر، به میزان زیادی کاهش پیدا کرده است. این در حالی است که میانگین توزیع، تقریباً تغییری نداشته است.

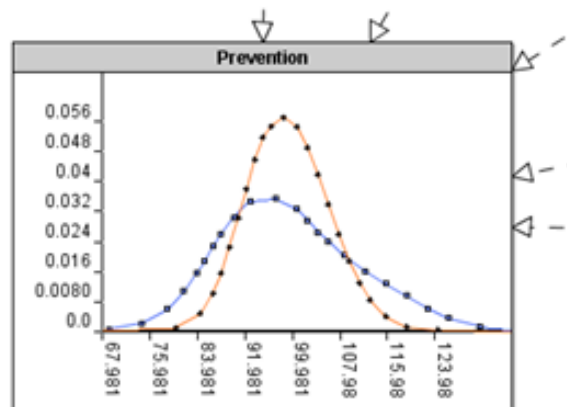
■ *Baseline scenario*  
 Mean: 99.455  
 Median: 98.392  
 SD: 11.544  
 Variance: 133.26  
 Lower Percentile: 25.0 (91.198)  
 Upper Percentile: 9999.0 (136.35)

◆ *Scenario 2*  
 Mean: 99.305  
 Median: 99.063  
 SD: 6.8396  
 Variance: 46.781  
 Lower Percentile: 25.0 (91.198)  
 Upper Percentile: 9999.0 (0.0)

پس از ورود اطلاعات برآوردشده فوق، مدل اجرا شد و سناریو مبنا به صورت شکل ۶ به دست آمد. گره Prevention نمایشی از تغییرپذیری محتمل هزینه‌های کلی بخش پیشگیری است که نشان می‌دهد این بخش از هزینه به‌طور متوسط ۹۹/۴۵۵ و انحراف معیار ۱۲/۷ میلیون ریال خواهد بود. در این بخش، برای نمونه به اجرای سناریوهایی در مدل می‌پردازیم تا قابلیت‌های تحلیلی آن را نشان دهیم. در سناریو دوم، قابلیت پیش‌بینی مدل نشان داده می‌شود. بدین ترتیب که فرض می‌کنیم:

$$\left\{ \begin{array}{l} Turnover = "high" \\ Motivation = "low" \\ Experience = "low" \\ Supplier Experience = "Med" \\ Supplier Reputation = "High" \end{array} \right. \quad (7)$$

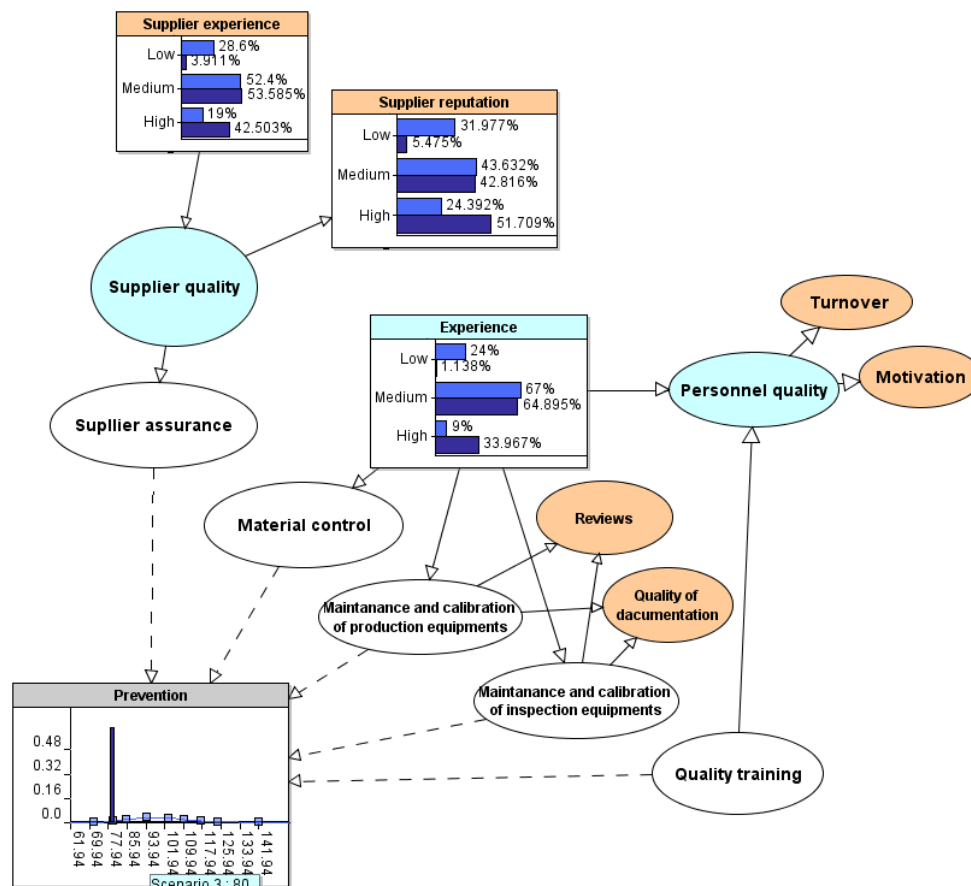
این سناریو ضمن پیش‌بینی سطح کیفی کارکنان،



شکل ۷. کاهش چولگی در هزینه پیشگیری، پس از واردکردن مشاهدات جدید در سناریو دوم

سناریو سوم، امکان موازنه هزینه کیفیت را با متغیرهای تجربه کارکنان، تجربه تأمین‌کنندگان و اعتبار تأمین‌کنندگان در رویکرد پیشنهادی نشان می‌دهد. فرض کنید مدیر بخواهد متوسط هزینه توزیع Prevention را حدود ۲۰ واحد کمتر از متوسط فعلی آن، یعنی تا میزان ۸۰ میلیون ریال کاهش دهد. در حقیقت، با روش استنتاج رو به عقب می‌خواهیم تأثیر هزینه گرهِ نهایی را بر متغیرهای ورودی مدل اندازه بگیریم (شکل ۸). با توجه به شکل، با اعمال این محدودیت در مدل، ملاحظه می‌شود که سطح تجربه کارکنان، تجربه تأمین‌کننده و اعتبار تأمین‌کننده، برای تحقق مطلوبیت مدیریت، به سمت حالت High چوله شده‌اند.

به عبارت دیگر، با اینکه مد (به‌عنوان محتمل‌ترین مقدار) در توزیع هردو سناریو تقریباً ۹۵ واحد است، در سناریو ۲ این مقدار با ارتفاع زیاد قله توزیع نسبت به سناریو مبنا، حاصل شده است. به این ترتیب که مد هزینه‌ها (حدود ۹۵ میلیون ریال) با احتمال بیشتری (۰/۰۵۶) نسبت به سناریو مبنا (۰/۰۳۲) پیش خواهد آمد. به عبارت دیگر، دامنه تغییرات (یعنی عدم قطعیت) این متغیر کمتر شده است. این موضوع نشان می‌دهد با رویکرد پیشنهادی و با استفاده از مشاهدات مختلف در عوامل گوناگون نظیر اعتبار و تجربه تأمین‌کنندگان و نیز تجربه و انگیزه کارکنان، می‌توان به پیش‌بینی دقیق‌تری از متغیرهای کلان مانند هزینه‌های کیفیت رسید.



شکل ۸. سطح مورد نیاز تجربه کارکنان، تجربه تأمین کنندگان و اعتبار تأمین کنندگان برای کاهش مورد نظر در هزینه‌های کیفیت

## نتیجه گیری

در دنیای امروز، به دلیل رقابت شدید تجاری در بازار، قیمت و کیفیت جزء مهم‌ترین پارامترها برای بقا محسوب می‌شوند. بررسی ارتباط این دو مزیت رقابتی به‌ویژه در صنایع پیشرو، در موارد بسیاری قابل بحث است. این موضوع که نبود کیفیت چه تأثیری بر هزینه و درآمد شرکت و متعاقباً قیمت محصولات خواهد داشت، بحث هزینه‌های کیفیت را جایگاهی ویژه بخشیده است.

مدل پیشگیری-ارزیابی-شکست (PAF) به‌عنوان رایج‌ترین رویکرد برای تعیین هزینه‌های کیفیت شناخته شده است، اما در آن عدم اطمینان پارامترهای COQ در نظر گرفته نشده است. علاوه بر آن، علیت موجود در متغیرهای تأثیرگذار بر هزینه کیفیت، به دلیل دشواری محاسبه و بررسی پارامترهای غیرعینی نادیده گرفته شده‌اند. از این رو، رویکرد جایگزین مطرح شده در این پژوهش، به کمک روابط علی و با استفاده از شبکه‌های بی‌زین، از داده‌های ذهنی و استنتاج متغیرهای مجهول بهره می‌گیرد.

در این تحقیق، رویکرد PAF با روش شبکه‌های بی‌زین ترکیب و مدلی احتمالی برای ارزیابی هزینه‌های کیفیت توسعه یافت. در رویکرد پیشنهادی، ابتدا به‌وسیله مدلی کیفی، گروه‌های سه‌گانه PAF اولویت‌بندی شدند و سپس مدلی کمی برای تحلیل عددی پارامترها و عوامل کیفی تأثیرگذار در گروه منتخب (گروه با اولویت بالا) ارائه شد. روش پیشنهادی، پارامترهای مهم COQ را به‌منظور اثربخشی برنامه‌های بهبود شناسایی می‌کند. علاوه بر آن، خروجی مدل جدید، عدم قطعیت (مقادیر محتمل) هزینه‌های کیفیت را نشان می‌دهد و امکان تحلیل آینده محتمل را از طریق تحلیل سناریو فراهم می‌سازد.

مدل کمی پیشنهادشده، تنها در گروه با اولویت بالا، یعنی پیشگیری ایجاد شد. باین‌حال، رویکردی مشابه در سایر گروه‌های مدل PAF قابل اجراست. افزودن پارامتر زمان به مدل و تحلیل بیشتر پویایی هزینه‌ها را نیز می‌توان راهگشای پژوهشی دیگر دانست.

## مراجع

1. Harrington, H. J. (1999). "Performance improvement: a total poor-quality cost system", *The TQM Magazine*, Vol. 11, No. 4, PP. 221–230.
2. Teeravarapug, J. (2004). Quantification of tangible and intangible quality costs. In *Proceedings of the Fifth Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference*, PP. 1–7.
3. Heckerman, D., Mamdani, A., and Wellman, M. P. (1995). "Real-world applications of Bayesian networks", *Communications of the ACM*, Vol. 38, No. 3, PP. 24–26.
4. Neil, M., Tailor, M., Marquez, D., Fenton, N., and Hearty, P. (2008). "Modelling dependable systems using hybrid Bayesian networks", *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 93, No. 7, PP. 933–939.
5. Juran, J., and Godfrey, A. B. (1999). *Quality handbook, Republished McGraw-Hill*.
6. Feigenbaum, A. V. (1956). "Total quality-control", *Harvard business review*, Vol. 34, No. 6, PP. 93–101.
7. Dale, B. G., and Plunkett, J. J. (1999). *Quality costing*, Gower Publishing, Ltd.
8. Juran, J. M., Gryna, F. M., and Bingham, R. (1975). *Quality Control Textbook. McGraw-Hill*, New York.
9. Modarress, B., and Ansari, A. (1987). "Two new dimensions in the cost of quality", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 4, No.4, PP. 9–20.
10. Carr, L. P. (2012). Applying the cost of quality to a service business, *Image*.
11. Tatikonda, L. U., and Tatikonda, R. J. (1996). "Measuring and reporting the cost of quality", *Production and Inventory Management Journal*, Vol. 37, No. 2, PP. 1–7.
12. Heagy, C. D. (1991). "Determining optimal quality costs by considering cost of lost sales", *Journal of Cost Management*, Vol. 5, No. 3, PP. 64–72.
13. Pearl, J. (1987). "Evidential reasoning using stochastic simulation of causal models", *Artificial Intelligence*, Vol. 32, No. 2, PP. 245–257.
14. Fenton, N. E., and Neil, M. (2007). Managing risk in the modern world: Bayesian networks and the applications, *London Mathematical Society, Knowledge Transfer Report*.
15. Heckerman, D. (1997). "Bayesian networks for data mining", *Data Mining and Knowledge Discovery*, Vol. 1, No. 1, PP. 79–119.
16. Nadkarni, S., and Shenoy, P. P. (2004). "A causal mapping approach to constructing Bayesian networks", *Decision Support Systems*, Vol. 38, No. 2, PP. 259–281.
17. Olson, M. S. (1997). "Bayesian procedures for discriminating among hypotheses with discrete distributions: inheritance in the tetraploid *Astilbe biternata*", *Genetics*, Vol. 147, No. 4, PP. 1933–1942.
18. Van Engelen, R. A. (1997). "Approximating Bayesian belief networks by arc removal", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 19, No. 8, PP. 916–920.
19. Heckerman, D., and Breese, J. S. (1996). "Causal independence for probability assessment and inference using Bayesian networks", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, Vol. 26, No.6, PP. 826–831.
20. Van der Gaag, L. C., Renooij, S., Witteman, C. L., Aleman, B. M., and Taal, B. G. (1999). How to elicit many probabilities, In *Proceedings of the Fifteenth conference on Uncertainty in artificial intelligence*, PP. 647–654.
21. Pearl, J. (1988). "On probability intervals", *International Journal of Approximate Reasoning*, Vol. 2, No.3, PP. 211–216.
22. Lemmer, J. F., and Gossink, D. E. (2004). "Recursive noisy OR-a rule for estimating complex probabilistic interactions", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, Vol. 34, No. 6, PP. 2252–2261.

23. Das, B. (2004). Generating conditional probabilities for Bayesian networks: Easing the knowledge acquisition problem. *arXiv preprint cs/0411034*.
24. Monti, S., and Carenini, G. (2000). "Dealing with the expert inconsistency in probability elicitation", *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, Vol. 12, No. 4, PP. 499–508.
25. Chin, K. S., Tang, D. W., Yang, J. B., Wong, S. Y., and Wang, H. (2009). "Assessing new product development project risk by Bayesian network with a systematic probability generation methodology", *Expert Systems with Applications*, Vol. 36, No. 6, PP. 9879–9890.
26. Birtles, N., Fenton, N., and Neil, M. (2016). Agenarisk software, Online at: <http://www.agenarisk.com/>.
27. Galway, L. A. (2007). *Subjective probability distribution elicitation in cost risk analysis: A review*, Vol. 410. Rand Corporation.
28. Morgan, M. G., and Henrion, M. (1990). *Uncertainty: a Guide to dealing with uncertainty in quantitative risk and policy analysis* Cambridge University Press, *New York, USA*.
29. Perry, C., and Greig, I. D. (1975). "Estimating the mean and variance of subjective distributions in PERT and decision analysis", *Management Science*, Vol. 21, No. 12, PP. 1477–1480.
30. Selvidge, J. E. (1980). "Assessing the extremes of probability distributions by the fractile method", *Decision Sciences*, Vol. 11, No. 3, PP. 493–502.
31. Keefer, D. L., and Verdini, W. A. (1993). "Better estimation of PERT activity time parameters", *Management Science*, Vol. 39, No. 9, PP. 1086–1091.

## واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1. Cost of Quality
2. Brand
3. Prevention-Appraisal-Failure
4. Bayesian Network
5. Hybrid Bayesian Networks
6. Driver
7. Indicator
8. Forward Propagation
9. Cause to Effect
10. Backward Propagation
11. Effect to Cause