

## مدل‌سازی سیستم کنترل موجودی در زنجیره تأمین چندسطحی، با استفاده از شبکه‌های بی‌زین

امین جیلان بروجنی\*، حنان عموزاد مهدیرجی\*\*

### چکیده

تعیین سیاست بهینه موجودی همواره یکی از چالش‌های مدیریت موجودی و تولید بوده و در این زمینه، تاکنون تلاش‌های گسترده‌ای انجام و مدل‌های مختلفی ارائه شده است. بیشتر مدل‌هایی که مطرح شده‌اند تا حد امکان سعی در ساده‌سازی واقعیت‌ها داشته و پارامترهای مدل را به‌طور قطعی در نظر گرفته‌اند. همچنین، در تعیین سیاست بهینه موجودی در زنجیره‌های تأمین چندسطحی، عدم-قطعیت‌های بسیار زیادی تأثیرگذار هستند. در این تحقیق، با استفاده از شبکه‌های بی‌زین، یک مدل یکپارچه احتمالی برای مدل‌سازی عدم‌قطعیت سیاست بهینه موجودی در زنجیره‌های تأمین چندسطحی توسعه یافته است. کاربرد اصلی شبکه‌های مذکور در وضعیت‌هایی است که نیازمند استنتاج آماری باشند. این روش یکی از ابزارهای جدید و پیشرفته هوش مصنوعی و مدل‌سازی ریسک است که مکانیسمی برای ارزیابی روابط علت و معلولی در بین مجموعه‌ای از متغیرها فراهم می‌آورد. در مدل پیشنهادی انواع متغیرهای کمی و کیفی غیرقطعی در سطوح مشتری، خرده‌فروش، تولیدکننده و تأمین‌کننده فرمول-نویسی شده‌اند. منطق مدل، تسخیر عدم‌قطعیت عوامل سازمانی و فنی برای استنتاج موجودی بهینه در سطوح مطلوب است و با استفاده از داده‌های یک مطالعه موردی در نرم‌افزار Agenarisk پیاده‌سازی شده است.

**کلیدواژه‌ها:** مدیریت موجودی؛ سیاست بهینه موجودی؛ عدم‌قطعیت؛ زنجیره تأمین چندسطحی؛ شبکه‌های بی‌زین.

---

تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۷/۷، تاریخ پذیرش مقاله: ۹۳/۹/۲۳.

\* کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کاشان.

\*\* استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کاشان (نویسنده مسئول).

## ۱. مقدمه

از ابتدای پیدایش مطالعات کلاسیک در زمینه مدیریت علمی که به دهه‌های اول و دوم قرن اخیر برمی‌گردد، مبحث کنترل موجودی‌ها و چگونگی تصمیم‌گیری در مورد آن‌ها از مشغله‌های فکری مدیران بوده است و تاکنون تلاش‌های گسترده‌ای در این زمینه انجام گرفته و مدل‌های مختلفی برای کنترل موجودی‌ها ارائه شده است [۳۵]. بیشتر مدل‌هایی که ابتدا مطرح شدند مدل‌های نسبتاً ساده‌ای بودند که تا حد امکان سعی در ساده‌سازی واقعیات داشتند و پارامترهای مدل را به‌طور قطعی در نظر می‌گرفتند؛ درحالی که یکی از مسائلی که در زمینه مدیریت و تصمیم‌گیری مشمول این ابهام و نبود قطعیت است، موضوع کنترل موجودی است که اغلب پارامترهای آن در دنیای واقعی به‌شکل مبهم و غیرقطعی است [۳۳]. اهمیت این توسعه به این دلیل است که مدل‌های سنتی کنترل موجودی، مانند مقدار سفارش اقتصادی (EOQ) و مقدار اقتصادی تولید (EPQ) برای محیط قطعی توسعه یافته‌اند؛ درحالی که عدم قطعیت محیط واقعی ما را نسبت به کارایی این‌گونه فرمول‌ها دچار تردید می‌کند. از سوی دیگر، مدیریت موجودی یکی از مباحث مهم در مدیریت زنجیره تأمین (SCM) محسوب می‌شود. زنجیره تأمین (SC) یک فرآیند تولید یکپارچه است که در آن مواد اولیه به محصولات نهایی تبدیل و سپس به مشتریان تحویل داده می‌شوند. فرآیند برنامه‌ریزی تولید و کنترل موجودی عبارت است از طراحی فرآیند کامل تولید و سیستم ذخیره‌سازی مواد در جریان ساخت و محصول نهایی. در این میان، زنجیره‌های تأمین چندسطحی، شبکه‌های تولید/ توزیع چندسطحی هستند که در آن‌ها حلقه‌های متعددی وجود دارند که وظیفه اصلی آن‌ها تأمین، تولید و توزیع محصول یا محصولات به مشتریان است [۱۴].

یکی از فرآیندهای اصلی در مدیریت ریسک و عدم قطعیت، تحلیل آن است. برای تحلیل دقیق‌تر عدم قطعیت در مسئله یادشده، نیازمند ابزارهای پیشرفته‌تری هستیم تا بتوانیم ارتباط بین متغیرهای دنیای واقعی را بهتر مدل کنیم. تاکنون بحث‌های زیادی در مورد بهترین روشی صورت گرفته است که بتواند عدم قطعیت‌ها را مدل کند. اغلب روش‌های پیشنهادی در این زمینه مبتنی بر تئوری احتمالات و منطق فازی هستند. از بین این دو روش نیز روش احتمالاتی از اساس تئوری قوی‌تری برخوردار است. یکی از جدیدترین روش‌های احتمالاتی، شبکه‌های بیز<sup>۱</sup> (BNs) هستند. شبکه‌های بیز یک نوع خاص از مدل‌های گرافیکی هستند که نماینده ساختار گرافیکی بین چندین متغیر اثرگذار بر هم به‌شمار می‌روند. شبکه‌های بیز به‌عنوان رویکردی باارزش برای مدل‌سازی ریسک و مدیریت عدم قطعیت شناخته می‌شوند [۱۶ و ۳۲]. این رویکرد در طیف وسیعی از مسائل شامل عدم قطعیت و استدلال احتمالی، یک سیستم پشتیبان تصمیم فراهم

---

1. Bayesian networks

می‌آورد. شبکه‌های بیز علاوه بر داشتن خاصیت یادگیری و عملکرد تشخیصی، روابط وابستگی بین متغیرهای احتمالی را به صورت منعطف می‌پذیرند و محدودیت‌های روش فازی را ندارند. همچنین، این تکنیک نمایش گرافیکی بهتری دارد. در این رویکرد، می‌توان از هر دو منبع اصلی اطلاعات، یعنی «نظر خبره» و «سوابق گذشته» بهره گرفت. تاکنون روش‌های متعددی برای بررسی جنبه‌های مختلف عدم قطعیت موجودی در محیط‌های زنجیره تأمین توسعه یافته است (رویکرد فازی)؛ اما چارچوبی احتمالی که روابط علی را در مدیریت موجودی، به‌ویژه زنجیره تأمین چندسطحی، مدل‌سازی کند ارائه نشده است. در این تحقیق تلاش می‌شود با استفاده از یک روش جدید مدل‌سازی ریسک تحت عنوان شبکه‌های بیزین (BNS)، چارچوبی برای ویژگی یادشده توسعه داده شود. رویکرد جدید این تحقیق نسبت به روش‌های موجود (فازی و شبیه‌سازی مونت کارلو) دارای مزایای زیر است:

- خاصیت یادگیری دارد؛
- خاصیت تشخیصی دارد؛
- چارچوبی برای استفاده از نظر خبره دارد؛
- در شرایط کمبود داده و اطلاعات ناقص کارکردی است و از طریق استنتاج، اطلاعات را به‌روزرسانی می‌کند.

#### ۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

**مدیریت زنجیره تأمین.** در دهه ۸۰ میلادی، با افزایش تنوع در الگوهای موردانتظار مشتریان، سازمان‌ها به‌طور فزاینده‌ای به افزایش انعطاف پذیرش در خطوط تولید و توسعه محصولات جدید برای ارضای نیازهای مشتریان علاقه‌مند شدند. در دهه ۹۰ میلادی، به‌همراه بهبود در فرآیندهای تولید و به‌کارگیری الگوهای مهندسی مجدد، مدیران بسیاری از صنایع دریافتند که برای ادامه حضور در بازار تنها بهبود فرآیندهای داخلی و انعطاف‌پذیری در توانایی‌های شرکت کافی نیست؛ بلکه تأمین‌کنندگان قطعات و مواد نیز باید موادی با بهترین کیفیت و کمترین هزینه تولید کنند و توزیع‌کنندگان محصولات نیز باید ارتباط نزدیکی با سیاست‌های توسعه بازار تولیدکننده داشته باشند. با چنین نگرشی، رویکردهای زنجیره تأمین و مدیریت آن پا به عرصه وجود نهاد. با توسعه سریع فناوری اطلاعات در سال‌های اخیر و کاربرد وسیع آن در مدیریت زنجیره تأمین، بسیاری از فعالیت‌های اساسی مدیریت زنجیره با روش‌های مختلفی در حال انجام است [۴۰].

امروزه مدیریت تولید، توزیع و موجودی تحت عنوان سیستم مدیریت زنجیره تأمین جایگزین سیستم‌های مدیریت موجودی سنتی شده است که متکی بر تصمیم تجربی مدیر بودند. در

نیم‌قرن اخیر، ابزارهای ریاضی متعددی در مدل‌سازی و کنترل مسئله مدیریت زنجیره تأمین به کار رفته‌اند. مزیت‌های کنترل پیش‌بین مبتنی بر مدل<sup>۱</sup> (MPC) در رویارویی با کنترل سیستم‌های چندمتغیره و ساختار برخط آن، این روش را برای استفاده با سیستم‌های مدیریت موجودی کارآمد می‌سازد [۴۱].

**مدیریت ریسک و تحلیل عدم قطعیت در زنجیره تأمین.** عدم قطعیت‌های موجود در زنجیره که عموماً ریسک نامیده می‌شوند، می‌توانند با پیامدهای خوب یا بد بر زنجیره تأثیر بگذارند. ریسک در زنجیره تأمین به گونه‌ای است که عدم قطعیت هر عامل می‌تواند بر ریسک‌های دیگر تأثیر بگذارد. در پاسخ به نیاز مدیران برای مدیریت ریسک، کارشناسان مسائل رقابتی و صنایع، روش‌ها و ابزارهایی را ایجاد کرده‌اند تا بتوانند از پدید آمدن عوامل ریسک جلوگیری و از سازمان در مقابل آن‌ها حمایت کنند [۲۹ و ۳۰]. مدیران زنجیره تأمین با تشخیص، شناسایی و پیش‌بینی عدم قطعیت‌ها می‌توانند، چالش‌های احتمالی را مدیریت و از اثرات مخرب آن جلوگیری کنند. رشد عمومی مدیریت ریسک زنجیره تأمین ناشی از وقوع حوادث تروریستی سال ۲۰۰۱ در آمریکا، طوفان کاترینا در سال ۲۰۰۵ و شیوع سارس در آسیای شرقی در سال ۲۰۰۳ بود [۴۰]. اولین قدم در مدیریت ریسک، شناسایی عدم قطعیت‌ها و ریسک‌هایی است که زنجیره تأمین با آن‌ها روبه‌رو است. در این مرحله، مدیریت با استفاده از پیشینه کاری خود و یا الگوبرداری از کارکرد سازمان‌های دیگر، ریسک‌های موجود در سازمان را شناسایی می‌کند. ابزارها و روش‌های زیادی برای شناسایی ریسک وجود دارد. مرسوم‌ترین و پرکاربردترین روش تجزیه و تحلیل آثار شکست<sup>۲</sup> (FMEA) است. این روش در سال ۱۹۶۳، توسط ناسا (NASA) برای شناسایی ریسک توسعه یافت [۳۶].

**انواع ریسک در زنجیره تأمین.** تجربیات نشان می‌دهد که پروژه‌ها حاوی عناصر استراتژیکی، تکنیکی، اقتصادی و ملی هستند و در دستیابی به اهداف از پیش تعیین شده با تهدیدها و فرصت‌هایی در رابطه با عناصر کلیدی مانند زمان، هزینه و کیفیت مواجه هستند. ریشه این تهدیدها و فرصت‌ها را می‌توان در مجموعه‌ای از شرایط غیرقطعی یا عدم اطمینان‌ها جست‌وجو کرد که منشاءهای مختلفی مانند مسائل تکنیکی، مدیریتی، بازرگانی و مسائل داخلی و خارجی دارند. امروزه، سازمان‌ها و شرکت‌ها از مدیریت ریسک به عنوان ابزاری اساسی در جهت مقابله با تهدیدات درونی و بیرونی استفاده می‌کنند. در جدول، تقسیم‌بندی ریسک در زنجیره تأمین ارائه

---

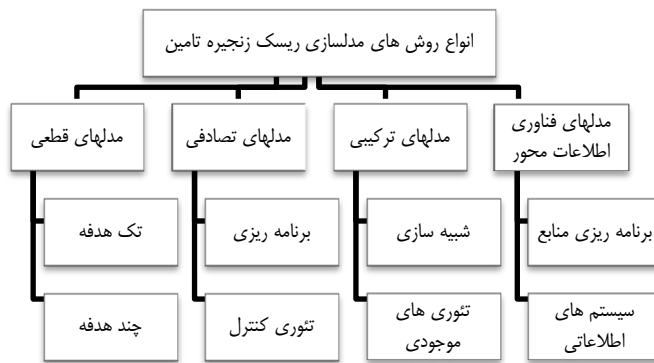
1. Model Predictive Control  
2. Failure Method and Event Analysis

شده است. برای نمونه، ترکمن و مک کورماک (۲۰۰۹) ریسک‌های زنجیره تأمین را دسته‌بندی کردند و به‌طور خاص به ریسک‌های عرضه پرداختند. آن‌ها با ارائه مدلی برای ارزیابی و دسته‌بندی تأمین‌کنندگان و با توجه به عملکرد و شرایط محیطی زنجیره تأمین، روش کیفی جدیدی ابداع کردند. ریسک داخلی و خارجی، ریسک پیوسته (نرخ ارز، قیمت محصولات، تولید ناخالص) و گسسته (اعتصابات، تروریسم)، ریسک آشفتگی بازار (محصولات جدید، حساسیت قیمت، رقابت، تغییرات تقاضا) و ریسک آشفتگی تکنولوژیکی از جمله موارد موجود در تقسیم‌بندی آنان بودند [۱، ۱۲، ۱۵، ۱۹، ۲۳، ۲۶، ۳۴، ۳۶، ۴۰، ۴۴].

جدول ۱. ریسک‌های زنجیره تأمین

ردیف	ریسک	ردیف	ریسک	ردیف	ریسک
۱	انبار، ظرفیت و توزیع	۱۱	استراتژیک، تاکتیکی، عملیاتی	۲۱	عرضه و تقاضای محیطی
۲	عدم قطعیت‌های حمل‌ونقل	۱۲	دارایی‌های معنوی	۲۲	هماهنگی و اخلال در عرضه
۳	رقابت	۱۳	اعتصابات کارگری	۲۳	عدم قطعیت درونی و بیرونی
۴	انتقال ذخایر	۱۴	پیش‌بینی	۲۴	جریان مواد، اطلاعات و مالی
۵	ریسک اخلاقی	۱۵	تغییرات قیمتی مصرف‌کننده	۲۵	تحریم بنادر
۶	تفاوت فرهنگی	۱۶	تلاطم بازار	۲۶	نرخ تورم
۷	سیستم اطلاعات	۱۷	تلاطم تکنولوژیکی	۲۷	معضلات کیفیتی
۸	انتقال تجهیزات	۱۸	بلایای طبیعی	۲۸	تغییرات نرخ ارز
۹	بحران‌های اقتصادی	۱۹	کمبود مواد	۲۹	قانون‌گذاری
۱۰	ریسک‌های مالی	۲۰	قطع برق	۳۰	ریسک‌های اجتماعی

**مدل‌سازی ریسک.** طبق نظر پتیت و همکارانش (۲۰۱۰)، بهترین حالت مدل‌سازی موقعی به‌دست می‌آید که بین توانایی‌ها و نقاط ضعف مدل توازن پیش بیاید. این مطلب در گستره مدل‌سازی ریسک صادق است. برای مشخص کردن این توازن، مدیران زنجیره تأمین باید درباره محل سایت، انتخاب محصول، خطوط بسته‌بندی و توزیع و سیاست‌های کاهش یا افزایش ظرفیت تصمیم‌گیری کنند. جاتر و همکارانش (۲۰۰۳) تصمیمات بالا را به‌شکل تصمیمات مبادله‌ای در زنجیره تأمین در نظر گرفتند؛ یعنی فرآیند تکرارپذیری درمقابل غیرقابل پیش‌بینی، همکاری کردن درمقابل تنهایی و مخفیانه کار کردن، پایین‌ترین پیشنهاد در برابر تأمین‌کننده شناخته‌شده، متمرکزسازی در برابر پراکنده‌سازی، زائد و غیرضروری بودن در برابر کارایی و مدیریت ریسک در برابر ارزش تحویل. شکل انواع الگوهای مدل‌سازی را نشان می‌دهد.



شکل ۱. روش‌های مدل‌سازی ریسک زنجیره تأمین

روش‌های دیگری نیز در مدیریت ریسک زنجیره تأمین استفاده شده‌اند. ارزیابی آنتروپی اطلاعات [۲۶]، تحلیل پارتو [۱۵]، تجزیه و تحلیل شکست و آثار آن [۳۷] و مدل‌های بیزین [۲۵] از جمله این روش‌ها هستند.

**شبکه‌های بیزین.** شبکه‌های بیز (شبکه‌های باور بیز، شبکه‌های احتمالی علی، نمودارهای تأثیر احتمالی)<sup>۱</sup>، ساختارهایی نموداری برای نمایش روابط احتمالی میان تعداد زیادی متغیر و انجام استنباط احتمالی با آن متغیرها هستند. شبکه‌های بیز گراف‌های غیرسیکلی مستقیم (DAG)<sup>۲</sup> هستند که گره‌های آن‌ها در مفهوم قاعده بیز نشان‌دهنده متغیرها هستند. این گره‌ها می‌توانند مقادیر قابل مشاهده، متغیرهای پنهان، پارامتر یا فرض‌های نامعلوم باشند. یال‌های این شبکه بیانگر وابستگی‌های شرطی هستند. هر گره دارای یک تابع احتمال است که شامل احتمال اولیه<sup>۳</sup> (برای گره‌های بدون والدین) و یا احتمالات شرطی مربوط به حالات مختلف گره‌های والدین است. اولین بار پیرل (۱۹۸۳) واژه «شبکه‌های بیز» را برای تأکید بر سه جنبه زیر به کار برد:

۱. طبیعت ذهنی<sup>۴</sup> اطلاعات ورودی؛

۲. اتکا به روابط شرطی بیز به‌عنوان مبنا برای به‌روزرسانی اطلاعات؛

۳. تفاوت بین حالت‌های علی<sup>۵</sup> و مشاهده‌ای<sup>۶</sup> استنتاج با تأکید بر قاعده معروف توماس بیز.

پژوهشگران از دهه هشتاد میلادی به بعد، روش‌هایی برای یادگیری شبکه‌های بیز یا در واقع

1. Bayesian Networks (Bayesian Belief Networks, Causal Probabilistic Networks, Probabilistic Influence Diagrams)
2. Directed Acyclic Graph
3. Prior Probability
4. Subjective
5. Causal
6. Evidential

الگوهای روابط احتمالی بین متغیرهای یک پدیده از داده‌های گردآوری شده درباره آن پدیده را توسعه داده‌اند. با اینکه این روش‌های توسعه‌یافته جدید و هنوز در حال تکامل هستند، نشان داده‌اند که در حل برخی مشکلات موجود در مدل‌سازی داده‌ها به‌طور چشمگیری اثربخش بوده‌اند [۱۶].

**قانون زنجیره<sup>۱</sup>**. اگر  $V = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$  مجموعه‌ای از متغیرها باشند، قانون زنجیره به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$P(A_1, A_2, \dots, A_n) \\ = P(A_n | A_1, \dots, A_{n-1}) P(A_{n-1} | A_1, \dots, A_{n-2}) \dots P(A_2 | A_1) P(A_1)$$

و یا به عبارتی:

$$P(A_1, A_2, \dots, A_n) = \prod_{i=1}^n P(A_i | Pa(A_i))$$

این به این معنی است که وقتی فرض استقلال در یک شبکه بیز در نظر گرفته می‌شود، تعداد احتمالات شرطی مورد ارزیابی می‌تواند به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یابد. ساخت یک شبکه بیز نیازمند انجام سه مرحله به شرح ذیل است:

۱. شناسایی متغیرهای مهم و حالات ممکن آن‌ها؛

۲. شناسایی ارتباط بین متغیرها و بیان آن در یک ساختار گرافیکی؛

۳. ارزیابی احتمالات اولیه و شرطی.

گفتنی است که ساخت شبکه بیز یک فرآیند خلاقانه است و این فرآیند تا رسیدن به شبکه مطلوب در مراحل بالا تکرار می‌شود [۱۶].

**تعیین کمیت‌های شبکه<sup>۲</sup>**. کمی‌سازی شبکه به معنی تخمین توزیع احتمالات برای هر گره در شبکه است. برای تخمین احتمالات، اگر داده‌های عینی گذشته در دسترس باشد، می‌توانیم از آن‌ها استفاده کنیم. همچنین، می‌توانیم احتمالات را از کارشناسان آن حوزه استخراج کنیم. هر دو نوع داده می‌توانند به‌صورت مجزا یا ترکیب با یکدیگر استفاده شوند. داده‌های عینی اغلب برای استفاده در بیشتر شبکه‌های بیز در دسترس نیستند. اگرچه مقداری از این اطلاعات ممکن است از داده‌های تاریخی<sup>۳</sup> به‌دست آیند، برای تحلیل کافی نیستند و یا به‌شکلی نیستند که بتوان به‌آسانی در یک شبکه بیز استفاده شوند [۲].

---

1. Chain rule  
2. Quantifying the network  
3. Historical data

**استخراج احتمالات.** قضاوت کارشناسی می‌تواند برای تخمین وقایع جدید، نادر و پیچیده و یا پیش‌بینی وقایع آینده استفاده شود. فرآیند جمع‌آوری قضاوت یا دانش کارشناسان برای تعیین احتمالات، با روش‌های مختلفی صورت می‌گیرد که ممکن است به صورت برقراری ارتباطات شفاهی و یا کتبی باشد. در ساختن یک شبکه بیز، مشکل‌ترین جنبه کل فرآیند استخراج احتمالات است. با این حال، بعضی از روش‌ها ساده‌تر هستند. یکی از این روش‌ها، ایجاد تغییراتی در ساختار شبکه است. این روش بر مبنای معرفی متغیرهای میانجی یا حذف گمان‌هایی است که وابستگی ضعیفی بین متغیرها دارند [۳۹]. روش دیگر بر مبنای استفاده از توزیع‌های احتمال پارامتریک است که حجم محاسبه احتمالات را به صورت مستقیم کاهش می‌دهد [۱۷]. در این حالت، به جای تخمین احتمالات نقطه‌ای، توزیع احتمالات حالات گره‌ها از کارشناسان استخراج می‌شود. روش دیگر در استخراج احتمالات بر اساس تحلیل حساسیت است که رویکردی در جهت کاهش زمان تخمین احتمالات توسط کارشناسان است [۳۸]. چین و همکاران (۲۰۰۹) روشی برای تعیین احتمالات در گره‌های بدون والد، گره‌هایی با یک والد و گره‌هایی با چند والد را پیشنهاد دادند. برای گره‌های بدون والد، احتمالات پیشین آن‌ها تخمین زده شده است؛ در حالی که برای گره‌های یک‌والده و چندوالده، احتمالات شرطی حالاتشان بر حالات والدین تخمین زده شده است.

**الگوریتم‌هایی برای استنتاج در شبکه‌های بیزین.** می‌دانیم که تئوری بیز تنها می‌تواند برای استنباط از یک شبکه بیز دوگره‌ی به کار رود؛ اما در عمل، بسیاری از مسائل شامل تعداد زیادی متغیر هستند که می‌خواهیم استنباط بیز را روی آن‌ها انجام دهیم. مسئله کلی تعیین احتمالات شرطی یا همان استنباط احتمالی از شبکه‌های بیز مسئله‌ای NP-hard (یک روش ریاضی که نشان دهد این محاسبه در زمانی معقول غیرممکن است) است؛ بنابراین، در بدترین حالات، تعیین احتمالات شرطی شبکه‌های بیز بزرگ عملی نیست. این وضع زمانی اتفاق می‌افتد که گره‌های شبکه‌ای بزرگ با هم ارتباطات متعدد و پیچیده‌ای داشته باشند [۱۱].

**پیشینه تحقیق.** وو و همکاران (۲۰۰۹) ریسک داخلی زنجیره تأمین را تحلیل کردند. از آنجا که مدیران زمان و منابع قابل توجهی را صرف مدیریت زنجیره تأمین می‌کنند، مدیریت ریسک داخلی اهمیت بسیاری دارد. زنگ و فرازیر (۲۰۱۰) در مقاله خود، با استفاده از DEA چندلایه، مدیریت ریسک و کارایی زنجیره تأمین را به طور هم‌زمان ارزیابی کردند و مدلی برای محاسبه کارایی زنجیره تأمین ارائه نمودند. در این مدل، مدل کارایی عملکرد زنجیره تأمین کوک توسعه یافت و ارزیابی ریسک در زنجیره تأمین به آن اضافه شد. باگ و همکاران (۲۰۰۹) یک مدل



EPQ با تقاضای فازی تصادفی و با د نظر گرفتن قابلیت اطمینان و انعطاف‌پذیری سیستم را ارزیابی کردند. در این مدل، موجودی ذخیره، پس افت و فروش ازدست‌رفته وجود ندارد (کمبود موجودی مجاز نیست) و از زمان‌های آماده‌سازی چشم‌پوشی شده است [۵]. بورک (۲۰۱۲) به مطالعه یک شرکت در تصمیم‌گیری اندازه بسیاری از دسته‌های تولیدی با نبود قطعیت در دوره‌های زمانی پرداخت. این محقق قطعیت را با اعداد فازی مثلثی تعریف و با یک جواب تحلیلی مسئله را بهینه‌سازی کرد. با در نظر گرفتن عدم قطعیت در کاهش تقاضا، ونگ و پارلر (۲۰۰۵) حجم بهینه سفارش و مقدار نرخ تخفیف را مشخص کردند. تأخیر در تحویل تقاضا استراتژی بود که برای این مسائل در نظر گرفته شد؛ بدین صورت که تخفیف قیمتی را برای مشتریانی در نظر گرفتند که محصول خود را دیرتر دریافت می‌کردند [۴۳].

کنمیر و همکارانش (۲۰۰۹) با شناسایی، آنالیز، کنترل و نمایش ریسک، مدلی جامع برای مدیریت رویدادهای خطرناک و ناگهانی ارائه کردند؛ برای نمونه، در پژوهشی یک زنجیره تأمین شامل دو تأمین‌کننده و یک خرده‌فروش همراه با به‌روزرسانی پیش‌بینی هماهنگ شد [۴۶]، اما در کار دیگری، یک روش هماهنگی حساس به ریسک مطرح شد. نشان داده شد که تخفیف‌های فروش در هماهنگی زنجیره‌های تأمین مفید هستند [۱۰]. گاهی ضروری است که از مدل‌های رخدادگسسته در ساختار کنترل پیش‌بین استفاده شود. این روش در مورد صنایع نیمه‌هادی به کار رفته است. درحقیقت، یک مدل‌سازی مقاوم و مقیاس‌پذیر ابداع و تحت یک پیاده‌سازی زمان واقعی آزمایش شد [۱۸]. در این راستا، امکان به‌کارگیری روش‌های شبیه‌سازی و مدل‌سازی رخدادگسسته در سیستم مدیریت زنجیره تأمین، براساس عملکردهای مختلف هم‌واکاو شده است [۳]. طبق بررسی‌های انجام‌شده، بیشتر مدل‌ها با رویکردی جامع و بسیار کلی عدم قطعیت‌ها را بررسی کرده‌اند. همچنین، حجم بسیار زیادی از مقالات فرضیات غیرواقعی دارند و با وجود رابطه علت و معلولی بین عوامل مختلف زنجیره تأمین، در پژوهش‌های قبلی کمتر به آن‌ها پرداخته شده است. در این مقاله، با تمرکز بر موضوع تعیین سیاست‌های بهینه مدیریت موجودی در زنجیره‌های تأمین چندسطحی، سعی می‌شود که پیچیدگی‌ها و عدم قطعیت‌های آن مطابق با شرایط دنیای واقعی مدل‌سازی شود. برای این منظور تمامی متغیرهای موجودی، شامل تقاضا، کمبود، موجودی انبار، کیفیت، قیمت، هزینه‌های کمبود و نگهداری و اندازه دسته سفارش، حالت غیرقطعی و نامعین دارند. همچنین، استفاده از ابزار مدل‌سازی شبکه بیزین با نرم‌افزار Agena Risk به‌عنوان روشی کارا در پژوهش استفاده شده است.

### ۳. روش‌شناسی پژوهش

#### مفروضات و گام‌های تحقیق

۱. متغیرهای موجودی از نوع معین نیستند و در همه سطوح زنجیره تأمین متغیرها ماهیت غیرقطعی دارند؛

۲. کمبود در سطوح خرده‌فروش و تولیدکننده مجاز است؛

۳. زنجیره تأمین مورد مطالعه شامل یک محصول است.

رویکرد پیشنهادی این تحقیق عدم قطعیت متغیرها و پارامترهای درگیر در زنجیره‌های تأمین چندسطحی را بررسی می‌کند. منطق مدل، تسخیر عدم قطعیت عوامل سازمانی و فنی برای استنتاج موجودی بهینه در سطوح مطلوب است. قطعاً سایر روش‌های کنترل موجودی‌های چندسطحی نیز از قدیم تا به امروز با روندی تکاملی در حال بررسی موضوع بالا هستند. با روش استفاده‌شده در این مقاله بیشتر با تأکید بر شبکه بیزین و نظریه گراف موضوع از منظری دیگر بررسی می‌شود. پنج گام اصلی برای تحقق اهداف تحقیق در نظر گرفته شده است که در ادامه، هریک از آن‌ها را شرح می‌دهیم.

گام ۱: نخستین گام عبارت است از شناسایی متغیرها و عدم قطعیت‌های تأثیرگذار و تأثیرپذیر در فضای زنجیره تأمین چندسطحی که شامل متغیرهایی چون تقاضا (سطح مشتری)، میزان کمبود احتمالی (سطوح خرده‌فروش و تولیدکننده)، هزینه‌های محتمل کمبود و نگهداری موجودی (سطوح خرده‌فروش و تولیدکننده)، سود حاصل از فروش محصول (سطوح خرده‌فروش و تولیدکننده)، هزینه‌های تبدیل مواد خام به محصول نهایی و قیمت فروش (سطح تولیدکننده)، کیفیت تأمین‌کننده (سطح تأمین‌کننده)، اعتبار و تجربه تأمین‌کننده (سطح تأمین‌کننده)، تورم و افزایش قیمت مواد (سطوح تأمین‌کننده و تولیدکننده) و ... می‌شود. این مرحله که اساساً یک فرآیند کیفی است، با استفاده از ادبیات موضوع و نظر خبره انجام می‌شود.

گام ۲: مرحله بعدی عبارت است از تعیین وابستگی‌های بین متغیرها و عدم قطعیت‌های سیستم زنجیره تأمین. در این مرحله که اساساً فرآیندی کیفی است، نوع متغیرها و ارتباط بین متغیرهای وابسته نیز معین می‌شود.

گام ۳: در مرحله بعد، یک گره به هزینه کل موجودی و یک گره برای سنجش میزان بهینگی سیاست موجودی اختصاص داده می‌شود.

گام ۴: مرحله چهارم عبارت است از تخمین احتمالات اولیه متغیرهای شناسایی‌شده و همچنین احتمالات شرطی ناشی از وجود وابستگی بین متغیرها. این گام شامل دو نوع برآورد احتمال یا تولید توزیع احتمالی است؛ اول، توزیع‌های احتمالی که ماهیت تصادفی<sup>۱</sup> دارند و با استفاده از

1. Random

نمونه‌گیری و به‌کارگیری احتمالات آمار کلاسیک یا عینی<sup>۱</sup> تولید می‌شوند (توزیع‌های مربوط به متغیر تقاضای مشتری در بازه زمانی مورد بررسی) و دوم، احتمالات مربوط به متغیرهایی که ماهیت غیرقطعی<sup>۲</sup> دارند و احتمالات در آن‌ها از نوع قضاوتی یا ذهنی<sup>۳</sup> است (متغیری همچون «تورم و افزایش قیمت مواد در دوره‌های آتی» که برخلاف متغیرهای تصادفی با آمار کلاسیک مدل نمی‌شوند؛ بلکه رویکرد مناسب برای برآورد و مدل‌سازی آن استفاده از آمار بیز است). مدل‌سازی این‌گونه متغیرها در مقایسه با متغیرهای تصادفی پیچیدگی بیشتری دارد [۲۱]. با این حال، در سال‌های اخیر روش‌هایی مانند استخراج نظر خبره<sup>۴</sup> برای این‌گونه پدیده‌ها پیشنهاد شده است [۳۲]. در این تحقیق، ترکیبی از چند روش مطالعه‌شده در ادبیات موضوع برای برآورد احتمالات اولیه و شرطی این متغیرها پیشنهاد شده است.

گام ۵: پس از تعیین احتمالات اولیه و شرطی، به‌ازای هر متغیر یک گره در شبکه BN ایجاد و نحوه ارتباط آن به‌وسیله تشکیل یال اعمال می‌شود. در مدل پیشنهادی، گره‌ها عوامل مؤثر در افزایش یا کاهش سیاست بهینه موجودی را نشان می‌دهند و یال‌ها بیانگر ارتباط علت و معلولی بین آن‌ها هستند. مرحله بعد از تعیین متغیرها و پیکربندی جداول احتمال‌ها، پیاده‌سازی این ساختار در نرم‌افزار (در اینجا Agenarisk)، اجرای مدل و تحلیل نتایج شبیه‌سازی است. تحلیل‌هایی که با استفاده از این روش به‌دست می‌آیند شامل نمایش عدم قطعیت هزینه‌های فعلی موجودی، سیاست بهینه موجودی در سطوح مختلف زنجیره تأمین، انواع تحلیل سناریو و اگر-آن‌گاه در عدم قطعیت‌ها و متعاقباً پیش‌بینی تغییرات هزینه‌های موجودی و ... است که به‌دلیل هوشمندی مدل توسعه‌یافته قابل استخراج هستند.

**برآورد احتمالات در متغیرهای گسسته.** چین و همکاران (۲۰۰۹) برای تعیین احتمالات در گره‌های بدون والد، گره‌هایی با یک والد و گره‌هایی با چند والد روشی را پیشنهاد دادند. برای گره‌های بدون والد احتمالات اولیه آن‌ها تخمین زده شده است؛ درحالی که برای گره‌های یک‌والده و چندوالده، احتمالات شرطی حالاتشان بر حالات والدین تخمین زده شده است. در ادامه، به حالت چندوالد با توجه به نیاز تحقیق اشاره شده است.

اگر یک گره  $N$  با  $n$  حالت  $S_{N1}, S_{N2}, \dots, S_{Nn}$  در یک شبکه بیز که در شکل ۲ نشان داده شده است،  $K$  والد به نام‌های  $M_1, M_2, \dots, M_k$  داشته باشد و گره  $M_j$  حالات  $S_{M_j1}, S_{M_j2}, \dots, S_{M_jm_j}$  که در آن  $k = 1, 2, \dots, m$  را داشته باشد، تخمین مستقیم احتمال هر حالت  $N$  به شرط ترکیب هر حالات والدینش بسیار مشکل خواهد بود که به‌صورت زیر

1. Objective
2. Uncertain
3. Subjective
4. Expert elicitation

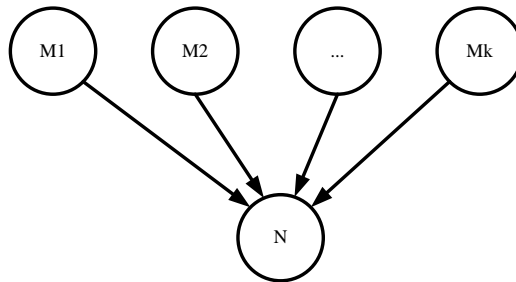
تعریف می‌شود:

$$P(N = S_{Ni} | M_1 = S_{M_1 p_1}, M_2 = S_{M_2 p_2}, \dots, M_k = S_{M_k p_k})$$

$$(i = 1, 2, \dots, n; p_j = 1, 2, \dots, m_j; j = 1, 2, \dots, k)$$

همان‌طور که کیم و پیرل (۱۹۸۳) بیان کردند، وقتی گره A در یک شبکه بیز، دو والد B و C دارد، احتمالش به شرط B و C می‌تواند با رابطه زیر تقریب زده شود:

$$P(A|B, C) = \alpha P(A|B)P(A|C)$$



شکل ۲. شبکه بیز با یک گره چندوالد

$\alpha$  یک فاکتور نرمال‌سازی است تا رابطه زیر را تضمین کند:

$$\sum_{a \in A} P(a|B, C) = 1$$

رابطه بالا می‌تواند به صورت زیر تعمیم یابد:

$$P(A|A/X_1, X_2, \dots, X_n) = \alpha P(A|X_1)P(A|X_2) \dots P(A|X_n)$$

$\alpha$  یک فاکتور نرمال‌سازی است تا رابطه زیر را تضمین کند:

$$\sum_{a \in A} P(a|X_1, X_2, \dots, X_n) = 1$$

رابطه بالا نشان می‌دهد که احتمال شرطی بر چند والد می‌تواند با حاصل احتمالات شرطی بر هر والد تنها در نظر گرفته شود؛ بنابراین، برای محاسبه احتمال بالا، ابتدا می‌توانیم احتمال  $P(N = S_{Ni} | M_j = S_{M_j p_j})$  را محاسبه و سپس با استفاده از رابطه زیر احتمال بالا را محاسبه کنیم:

$$P(N = S_{Ni} | M_1 = S_{M_1 p_1}, M_2 = S_{M_2 p_2}, \dots, M_k = S_{M_k p_k}) \\ = \alpha \prod_{j=1}^k P(N = S_{Ni} | M_j = S_{M_j p_j})$$

که  $\alpha$  فاکتور نرمال‌سازی برای تضمین رابطه زیر است:

$$\sum_{i=1}^n P(N = S_{Ni} | M_1 = S_{M_1 p_1}, M_2 = S_{M_2 p_2}, \dots, M_k = S_{M_k p_k}) = 1$$

از آنجا که تخمین  $P(N = S_{Ni} | M_j = S_{M_j p_j})$  در مقایسه با تخمین مستقیم احتمال بالا بسیار آسان‌تر است، این روش بسیار قابل اتکا خواهد بود.

**تولید توزیع‌های احتمالی متغیرهای پیوسته.** برای تعیین احتمالات متغیرهای پیوسته، رویکرد مورد استفاده ما استخراج و به‌کارگیری نظر خبره است؛ زیرا بسیاری از پدیده‌های حساس و پیچیده از منبع غنی اطلاعات گذشته برخوردار نیستند. در این مورد، تخمین سه‌نقطه‌ای که در برخی استانداردها مانند PMBOK هم مطرح شده، برای بسیاری از تخمین‌زندگان روشی آشنا است. این روش مقادیر حداقل، محتمل‌ترین و حداکثر یک متغیر احتمالی را برای متغیرهایی مانند زمان، هزینه و ... استخراج می‌کند [۱۳ و ۴۲]. توزیع احتمالی که برای برآزش این سه نقطه مناسب باشد، عبارت از توزیع مثلثی است؛ زیرا می‌تواند وضعیت‌های نامتقارن را مدل کند [۴، ۷ و ۲۷]. تابع چگالی احتمال توزیع مثلثی عبارت است از:

$$f(x, a, b, c) = \begin{cases} \frac{2(x-a)}{(b-a)(c-a)} & \text{for } a \leq x \leq c \\ \frac{2(b-x)}{(b-a)(c-a)} & \text{for } c \leq x \leq b \end{cases} \quad a \leq x \leq c, a < b < c$$

میانگین و واریانس این توزیع برابر است با:

$$\mu = \frac{a+b+c}{3} \\ \sigma^2 = \frac{a^2+b^2+c^2-ab-ac-bc}{18}$$

در معادله بالا، سه پارامتر وجود دارد: مقدار کمترین (a)، مقدار محتمل‌ترین (b) و مقدار بیشترین (c). در این مطالعه، دستورالعمل زیر برای برآورد این سه پارامتر و متعاقباً تخمین احتمالات، با ملاحظه چند منبع به‌کار رفته است [۴، ۸ و ۱۳].

- شناسایی چندین کارشناس با نظرات مستقل؛

- درخواست از کارشناسان برای ارائه مقادیر حداقل، محتمل‌ترین و حداکثر مقدار ممکن؛  
- انطباق یک توزیع مثلثی به سه نقطه یادشده بالا؛ اما به‌منظور حذف و خنثی کردن انحرافات و  
اریبی تخمین‌های ذهنی، فاصله بین دو نقطه کمترین و بیشترین را معادل ۹۰ درصد چگالی  
احتمال در نظر بگیرید. تحقیقات گذشته محققان نشان می‌دهد که گاهی داده‌های دنیای واقعی  
متغیرها خارج از محدوده کمترین و بیشترین قرار می‌گیرد. بر این اساس، یکی از روش‌های حل  
این مشکل عبارت است از رویکرد پیرسن - توکی برای تخمین میانگین و واریانس توزیع احتمال  
انتخاب‌شده که در این مقاله به‌کار رفته است [۲۰].

$$\hat{\mu} = 0.63q_{0.5} + 0.185(q_{0.05} + q_{0.95})$$

$$\hat{\sigma}^2 = 0.63(q_{0.5} - \hat{\mu})^2 + 0.185[(q_{0.05} - \hat{\mu})^2 + (q_{0.95} - \hat{\mu})^2]$$

که در آن  $q_{0.05}$ ،  $q_{0.5}$  و  $q_{0.95}$  به ترتیب عبارت‌اند از صدک‌های ۵، ۵۰ و ۹۵ درصد. این  
صدک‌ها به‌همراه میانگین و واریانس توزیع مثلثی را می‌توان برای محاسبه پارامترهای این توزیع  
به‌کار برد. روش کار به این ترتیب است که باید سیستمی شامل معادلات بالا و یکی از معادلات  
انتگرالی غیرخطی زیر باشد:

$$\int_a^{q_{0.05}} f(x, a, b, c) dx = 0.05$$

$$\int_a^{q_{0.50}} f(x, a, b, c) dx = 0.5$$

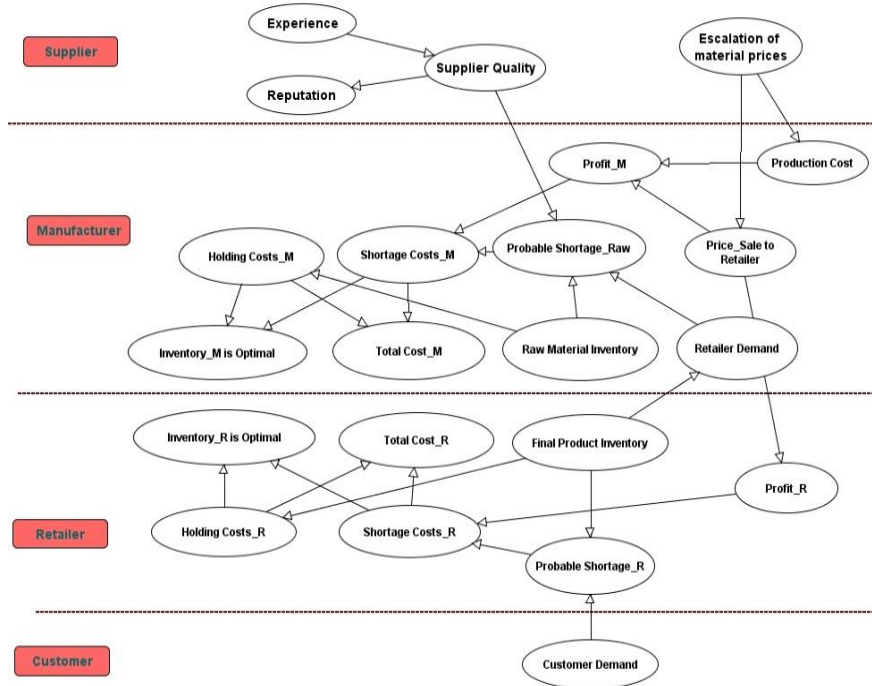
$$\int_a^{q_{0.95}} f(x, a, b, c) dx = 0.95.$$

برای حل دستگاه معادلات یادشده، یک روش عددی ریشه‌یابی با عنوان الگوریتم لونبرگ -  
مارکوارت [۲۸] استفاده شده است.

#### ۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

**نتایج و مطالعه موردی.** در این بخش، مدل پیشنهادی در یک زنجیره تأمین چهارسطحی  
به‌عنوان مطالعه موردی پیاده‌سازی می‌شود. مطالعه به یک زنجیره تأمین در تولید صنایع دستی  
مربوط است که شامل چهار سطح تأمین‌کننده، تولیدکننده، خرده‌فروش و مشتری است. اطلاعات  
مورد نیاز از طریق حداکثر خبره موجود در سطوح مختلف صنعت مورد مطالعه (۱۷ کارشناس تولید  
کیف چرمی دست‌دوز) استخراج شد. به‌دلیل نبودن امکان دسترسی به اطلاعات دقیق و تاریخی  
مرتبط با قیمت، اعتبار، کمبود، تقاضا، نگهداری و سایر متغیرهای مرتبط با حوزه موجودی در  
زنجیره تأمین مورد بررسی در مطالعه موردی صنایع دستی، همه اطلاعات مرتبط با متغیرهای  
به‌کاررفته در مدل بر مبنای نظرات خبرگان و کارشناسان حوزه مذکور گردآوری شده و در مدل  
به‌کار رفته است. با توجه به قابلیت شبکه‌های بیزین در آمار بیز، پایایی نظرات ارزیابی نمی‌شود؛

زیرا مدل بیز به‌مرور خود را به‌روز و اصلاح می‌کند. متغیرهای شناسایی شده در هر سطح و ساختار گرافیکی مدل یکپارچه در شکل ۳ و توضیحات برخی متغیرها و پیکربندی آن‌ها در جدول ۲ ارائه شده است.



شکل ۳. مدل گرافیکی شبکه بیز پیشنهادی برای مطالعه موردی

جدول ۲. توضیحات متغیرها و پیکربندی آن‌ها در مدل علی یکپارچه

گروه	شرح	نوع متغیر احتمالی و حالات	احتمالات
Supplier quality	سطح کیفی تأمین‌کنندگان که بر کیفیت مواد مؤثر بوده و خود معلولی برای «تجربه» و علتی برای «اعتبار» تأمین‌کننده است.	رتبه‌ای با سه حالت پایین، بالا و متوسط	با عدم‌اطمینان (5.0E-4) نتایج گره والد خود را منعکس می‌کند.
Experience	یکی از راه‌های استنتاج سطح کیفی تأمین‌کننده می‌تواند مدل‌سازی تجربه آن باشد.	رتبه‌ای با سه حالت پایین، بالا و متوسط	(0.24, 0.67, 0.09)
Reputation	اعتبار تأمین‌کننده معلولی از سطح کیفی آن است. بر این اساس و با مشاهده اعتبار، می‌توانیم سطح کیفی تأمین‌کننده را دقیق‌تر استنتاج کنیم؛ یعنی استنتاج روبه‌عقب معلول به علت <sup>۱</sup> . نام دیگر این نوع متغیرها «اندیکاتور» <sup>۲</sup> است.	رتبه‌ای با سه حالت پایین، بالا و متوسط	با عدم‌اطمینان (5.0E-4) نتایج گره والد خود را منعکس می‌کند.
Escalation of material prices	افزایش قیمت مواد علتی است برای متغیرهای هزینه تولید <sup>۳</sup> و قیمت فروش به خرده‌فروش <sup>۴</sup>	رتبه‌ای با سه حالت پایین، بالا و متوسط	(0.26, 0.43, 0.31)
Production cost	هزینه‌های تولید در سطح تولیدکننده (واحد پولی)	مثلثی	(33, 45, 61)
Price-Sale to Retailer	قیمت فروش محصول نهایی به خرده‌فروش	نرمال (با توجه به تورم و شرایط بازار و اقتصاد ایران)	$(\mu, \sigma^2) = (95, 25)$
Profit-M	سود تولیدکننده از یک محصول (بدون احتساب هزینه‌های ثابت)	پیوسته	(Price-Sale to Retailer) - (Production cost)
Probable Shortage_Raw	کمبود احتمالی مواد خام که معادل اختلاف موجودی مواد خام و تقاضای مربوطه از سوی خرده‌فروش است و نیز بسته به سطح کیفیت تأمین‌کننده نوسان دارد	پیوسته	Retailer Demand- Raw Material Inventory
Retailer Demand	تقاضا از سوی خرده‌فروش مضرری از موجودی محصول نهایی خرده‌فروش و تعداد تکرار قطعه (در اینجا ۲ عدد)	پیوسته	Final Product Inventory * 2

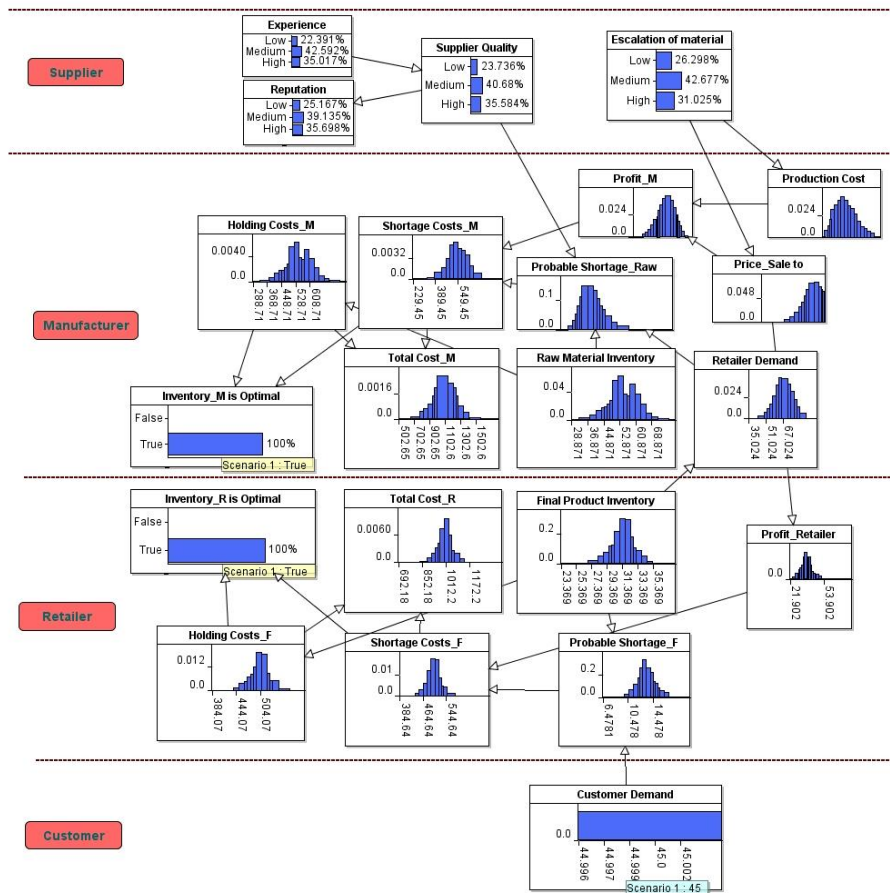
با توجه به مدل گرافیکی ارائه‌شده، برای نمونه هر اندازه سطح کیفی تأمین‌کننده پایین‌تر باشد، شانس مواجهه تولیدکننده با کمبود بیشتر خواهد بود و برعکس؛ زیرا احتمالاً تأمین‌کننده زمان تحویل مواد خام را رعایت نمی‌کند و یا به دلیل تحویل مواد بی‌کیفیت، احتمال کمبود مواد خام در آینده وجود خواهد داشت و به همین دلیل، مشخص کردن میزان کمبود احتمالی، میزان

1. Backward Propagation
1. Indicator
2. Production cost
3. Price-Sale to Retailer



کیفیت تأمین‌کننده مانند ضریبی در تفاضل بین تقاضای مشتری منهای مقدار موجودی انبار اعمال شده است.

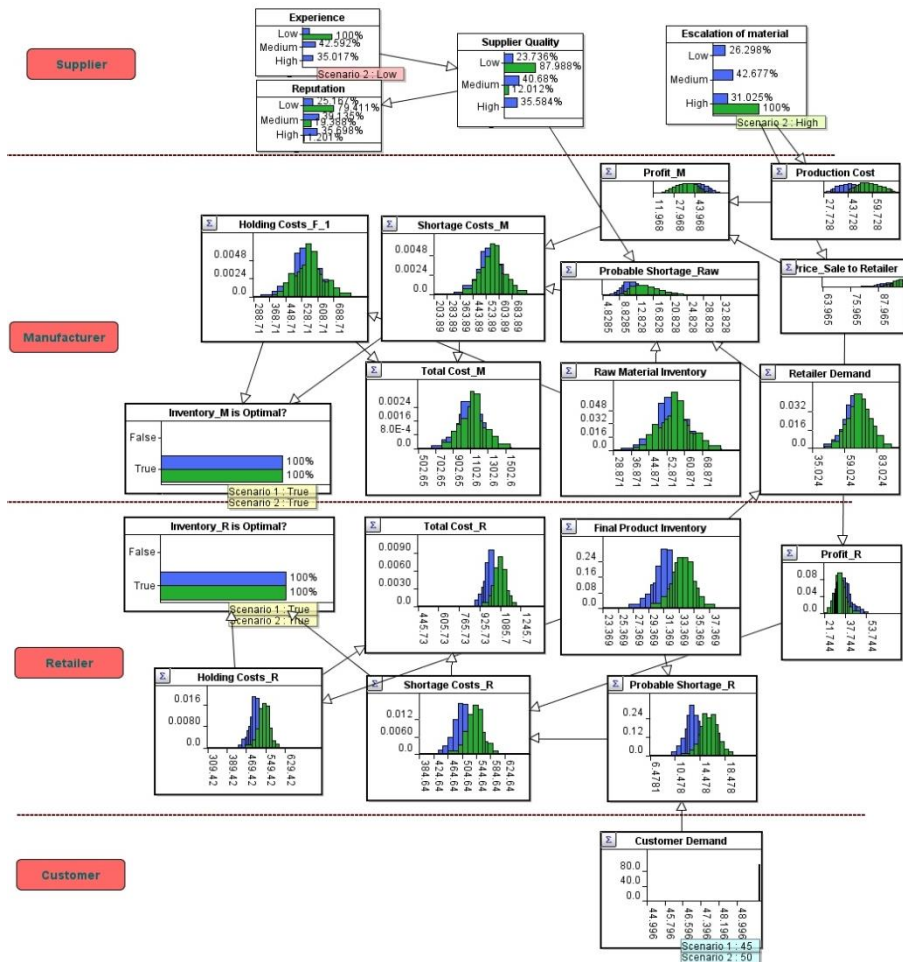
پس از مدل‌سازی در نرم‌افزار و ورود اطلاعات هر گره، برنامه اجرا شد و نتیجه اولیه به‌دست‌آمده در شکل ۴ نمایش داده شده است. این خروجی نشان می‌دهد که اگر بخواهیم موجودی مواد خام تولیدکننده بهینه باشد یا هزینه‌های نگهداری و کمبود آن برابر باشد، میزان موجودی مواد خام آن باید حدود ۵۴ واحد باشد (گره Raw Material Inventory). همچنین، خروجی نرم‌افزار نشان می‌دهد که تعداد بهینه محصول نهایی در انبار خرده‌فروش حدود ۳۱ عدد است (گره Final Product Inventory). با توجه به شرایط بازار، متغیر تقاضای مشتری می‌تواند به‌صورت توزیع احتمالی یا یک مقدار ثابت در نظر گرفته شود و با توجه به قابلیت‌های شبکه بیزینس، مانند استنتاج روبه‌عقب، قابلیت تشخیص، قابلیت به‌روزرسانی و ...، می‌تواند هر عددی (در اینجا ۴۵) در نظر گرفته شود.



شکل ۴. نتایج اولیه مدل اجراشده

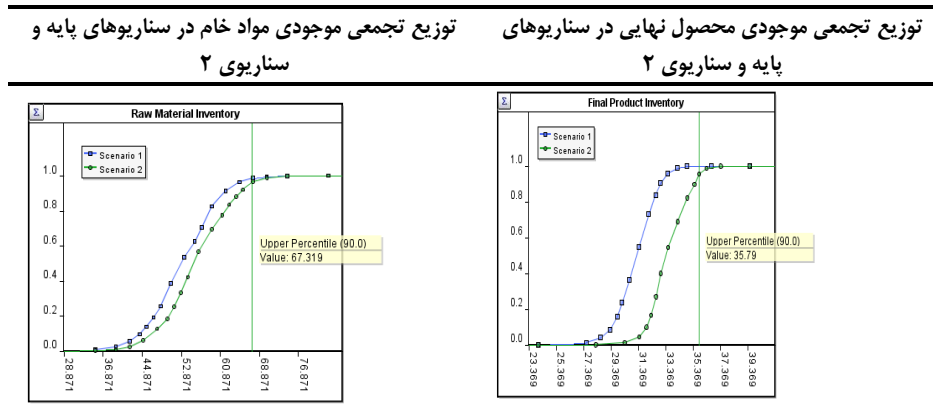
تحلیل سناریو. علاوه بر سناریوی مبنا (سناریوی ۱) که در شکل ۴ نمایش داده شد، این امکان وجود دارد که از طریق در نظر گرفتن سناریو، تحلیل‌های متنوعی از موازنه و «اگر - آنگاه» انجام شود که می‌تواند نتایج مدیریتی مفیدی برای مدیریت داشته باشد. یکی از مزیت‌های شبکه‌های بیزینس به‌روزآوری احتمالات متغیرهای مطلوب براساس مشاهدات سایر متغیرها است. سناریوی ۲ را به صورت «تجربه تأمین‌کنندگان مواد اولیه در سطح پایین است، افزایش قیمت مواد در وضعیت بالا قرار دارد و تقاضای مشتری ۵ واحد افزایش داشته است» در نظر بگیرید. با اعمال این سناریو، خروجی مدل به صورت شکل ۵ به دست می‌آید. همان‌طور که مشاهده می‌شود، توزیع متغیرهای «Raw material inventory» و «Final product inventory» مقداری به سمت راست کشیده می‌شوند که نشان می‌دهد موجودی مواد خام و محصول نهایی هر یک به‌طور متوسط ۳ واحد افزایش می‌یابد. با نگاهی دقیق‌تر به توزیع احتمالی این دو گره، مشاهده می‌شود که به‌ازای

ضرایب اطمینان مختلف، نتیجه با آنچه در بالا ذکر شد، متفاوت خواهد بود. توزیع تجمعی گره‌ها ابزار مناسب‌تری است که به ترتیب در شکل‌های جدول ۳ نمایش داده شده‌اند. با توجه به جدول ۳، برای ۹۰ درصد اطمینان مقدار گره «Raw material inventory» برابر ۶۷ خواهد بود. عدد متناظر این مقدار در گره «Final product inventory» برابر با ۳۶ واحد است.



شکل ۵. خروجی اجرای مدل با اعمال سناریوی ۱

## جدول ۳. اطلاعات سناریوهای پایه و سناریوی ۲



## ۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این تحقیق، با استفاده از شبکه‌های بیزین<sup>۱</sup>، یک مدل یکپارچه احتمالی برای مدل‌سازی عدم قطعیت سیاست بهینه موجودی در زنجیره‌های تأمین چندسطحی توسعه یافت. شبکه‌های بیزین مدل‌هایی گرافیکی هستند که می‌توانند ارتباط بین متغیرهای احتمالی را مدل‌سازی کنند. کاربرد اصلی شبکه‌های بیزین در وضعیت‌هایی است که نیازمند استنتاج آماری باشند. این روش یکی از ابزارهای جدید و پیشرفته هوش مصنوعی و مدل‌سازی ریسک است که مکانیسمی برای ارزیابی روابط علت و معلولی در بین مجموعه‌ای از متغیرها فراهم می‌آورد.

در مدل پیشنهادی، انواع متغیرهای کمی و کیفی غیرقطعی در سطوح مشتری، خرده‌فروش، تولیدکننده و تأمین‌کننده، مدل و فرمول‌نویسی شد. منطق مدل، تسخیر عدم قطعیت عوامل سازمانی و فنی برای استنتاج موجودی بهینه در سطوح مطلوب بود. مدل با استفاده از داده‌های یک مطالعه موردی در نرم‌افزار Agenarisk پیاده‌سازی شد. نتایج نشان داد که مدل قابلیت‌های جدید متعدد زیر را دارد:

- ترکیب اطلاعات کیفی و کمی در اندازه‌گیری موجودی بهینه؛
  - مدل‌سازی عدم قطعیت‌های بیرون سازمان (وضعیت عملکرد تأمین‌کنندگان) که بر سیاست موجودی تأثیر می‌گذارند؛
  - تحلیل سناریو برای پیش‌بینی موجودی بهینه در وضعیت‌های مختلف (خاصیت پیش‌بینی)؛
  - یادگیری از اطلاعات و مشاهدات جدید برای به‌روز کردن و اصلاح احتمالات و تخمین‌ها.
- مدل‌سازی این مقاله که با متدولوژی سیستم‌های نرم شکل گرفته است، در یک مثال ساده پیاده‌سازی شد. این امر تکرار و توسعه روش را تسهیل داده و امکانی برای تبادل اطلاعات ذهنی

1. BNs

افراد و توسعه مدل است. مدل پیشنهادی این مقاله ضعف‌هایی هم دارد؛ برای نمونه، سرعت محاسبات شبکه‌های بیزین در مقایسه با روش‌هایی مانند شبیه‌سازی کمتر است. زمان انجام محاسبات در شبکه‌های بزرگ به صورت نمایی افزایش می‌یابد. البته توسعه الگوریتم‌ها و ابزارهای کامپیوتری در این زمینه در حال انجام است. یک روش برای مدل‌سازی شبکه‌های مقیاس بزرگ، شبکه‌های بیزین شی‌گرا است. استفاده از این رویکرد در پروفایل‌های بسیار پیچیده‌تر با شبکه‌های عظیم و همچنین ملاحظه ریسک‌های از نوع وقایع<sup>۱</sup> که می‌تواند به منظور تدقیق نتایج تحلیل شود، از جمله موضوعات قابل بررسی برای تحقیقات آتی هستند.

## منابع

1. Adhitya, A., R. Srinivasan and I.A. Karimi. 2009. Supply Chain Risk Identification Using a HAZOP-Based Approach. *AIChE Journal*, Vol. 55:1447-1463.
2. Adusei-Poku, K. (2005), Operational Risk management: Implementing a Bayesian Network for Foreign Exchange and Money Market Settlement. PhD thesis, University of Gaottingen.
3. Antuela, A., Robinson, S. "The Application of Discrete Event Simulation and System Dynamics in the Logistics and Supply Chain Context," *Decision Support Systems*, Vol. 52, pp. 802-815, 2012.
4. Arena, M.V., Younossi, O., Galway, L.A., Fox, B., Graser, J.C., Sollinger, J.M., Wu, F., Wong, C. (2006). Impossible certainty: cost risk analysis for Air Force systems. RAND Corporation, UG633.2.I6.
5. Bag, S., Chakraborty, D. and Roy, A. R. (2009). "A production inventory model with fuzzy random demand and with flexibility and reliability considerations." *Comput Ind Eng.*, Vol. 56, No. 1, PP. 411-416.
6. Bjork, K. M. (2012). A multi-item fuzzy economic production quantity problem with a finite production rate. *Int j prods econ.*, Vol. 135, No. 2, PP. 702-707.
7. Book, Stephen A. (2001). Estimating Probable System Cost," *Crosslink [Aerospace Corporation]*, 2, 12-21.
8. Chapman, C., Ward, S. (2011). How to manage project opportunity and risk: Why uncertainty management can be a much better approach than risk management. New York: Wiley.
9. 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*, 36:6, 9879-9890.
10. Chiu, C., Choi, T., Li, X. "Supply Chain Coordination with Risk Sensitive Retailer under Target Sales Rebate," *Automatica*, Vol. 47, pp. 1617-1625, 2011.
11. Dagum, P. and Luby, M. (1993), Approximating probabilistic inference in bayesian belief networks is np hard. *Artificial Intelligence*, 60:1, 141-153.
12. Foroughi, A., M. Albin and M. Kocakulah. 2006. Perspectives on Global Supply Chain Supply-Side Risk Management. PICMET Conference on Technology Management for the Global Future. Istanbul, Turkey. 8-13 July 2006, 2732-2740.
13. Goodpasture, J.C. (2003). *Quantitative Methods in Project Management*, J Ross Publishing, Boca Raton, Florida.
14. Gumus AT and Guneri AF. (2009). A multi echelon inventory management framework for stochastic and fuzzy supply chains. *Expert Systems with Applications*. 36, 5565-5575.
15. Gunasekaran, A., C. Patel and E. Tirtiroglu. 2001. Performance measures and metrics in a supply chain environment. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 21: 71-87.
16. Heckerman, D. (1997), *Bayesian Networks for Data Mining*. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 1, 79-119.
17. Heckerman, D. and Breese, J.S. (1996), Causal Independence for Probability Assessment and Inference Using Bayesian Networks. *IEEE Transaction*

on System, Man and Cybernetics Part A: System and Humans, 26:6, 826-831.

18. Huang, D., Sarjoughian, H., Wang, W. "Simulation of Semiconductor Manufacturing Supply-Chain Systems with DEVS, MPC, and KIB," IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, vol. 22, No. 1, 2011.

19. Juttner, U., H. Peck and M. Christopher. 2003. Supply Chain Risk Management: Outlining an Agenda for Future Research. International Journal of Logistics: Research & Applications, Vol. 6: 197-210.

20. Keefer, K., Verdini, W. (1993). Better estimation of PERT activity time parameters, Manage. Sci. 39 (9) 1086–1091.

21. Khodakarami V., Fenton N. and Neil M. (2007), Project Scheduling: Improved approach to incorporate uncertainty using Bayesian Networks. Project Management Journal, 38, 30-49.

22. Kim, J.H. and Pearl, J. (1983), a computational model for combined causal and diagnostic reasoning in inference systems. In Proceedings of the eighth international joint conference on artificial intelligence, Karlsruhe, 380–385.

23. Kleindorfer, P.R. and L.K. Wassenhove. 2004. Managing risk in global supply chains. The INSEAD-Wharton Alliance on Globalizing. Cambridge University Press, 288-305.

24. Knemeyer, A.M., Zinn, W. and Eroglu, C. 2009. Proactive planning for catastrophic events in supply chains, Journal of Operations Management, Vol. 27:141–153.

25. Li, X. and C. Chandra. 2007. A knowledge integration framework for complex network Management, Industrial Management & Data Systems, Vol. 107(8): 1089-109.

26. Li, Z. and D'Ambrosio, B. (2010), Efficient inference in bayes networks as a combinatorial optimization problem. International Journal of Approximate Reasoning, 11, 55- 81.

27. Morgan, M., Granger, and Henrion, M. (1990). Uncertainty: A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis, New York: Cambridge University Press, 1990.

28. Nocedal, J., Wright, S.J. (2000). Numerical Optimization, 2nd edition, Springer, New York, 2000, pp. 264–266.

29. Norrman, A., Jansson, U., 2004. Ericsson's proactive supply chain risk management approach after a serious sub-supplier accident. International Journal of Physical Distribution and Logistics Management. Vol.34: 434-456.

30. Peck, H., Abley, J., Christopher, M., Haywood, M., Saw, R., Rutherford, C., and Strathern, M., 2003. Creating Resilient Supply Chains: A Practical Guide. Cranfield University, Cranfield School of Management, UK.

31. Pettit, T.J., J. Fiksel and K.L. Croxton. 2010. Ensuring Supply Chain Resilience: Development of a Conceptual Framework, Journal of Business Logistics, Vol. 31:44-56

32. Pitchforth, J., Mengersen, K., 2013. A proposed validation framework for expert elicited Bayesian Networks. Expert Systems with Applications 40 (1), 162–167.

33. Sarkar, A., & Mohapatra, P. K. J. (2009). Determining the optimal size of supply base with the consideration of risks of supply disruptions. International Journal of Production Economics, 119 (1), 122–135.

34. Schmitt, A.J. and M. Singh. 2012. A quantitative analysis of disruption risk

- in a multi-echelon supply chain. *Int. J. Production Economics*, Vol. 139: 22-32
35. Song, D.P., Dong, J.X., Xu, J. (2014). Production, Manufacturing and Logistics: Integrated inventory management and supplier base reduction in a supply chain with multiple uncertainties. *European Journal of Operational Research* 232, 522-536.
36. Trkman, P. and K. McCormack. 2009. Supply chain risk in turbulent environments, a conceptual model for managing supply chain network risk. *International Journal of Production Economics*, Vol. 119: 247-258.
37. Tuncel, G. and G. Alpan. 2010. Risk assessment and management for supply chain networks: A case study, *Computers in Industry*, Vol. 61: 250-259.
38. Van der Gaag., LC. Renooij, S. Witteman., C.M. Aleman, B.P. and Tall, B.G. (1999), How to elicit many probabilities. In *Proceedings of the Fifteenth Annual Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence*.
39. Van Engelen., R.A. (1997), Approximating bayesian networks by arc removal. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 19:8, 916-920.
40. Wagner, S. and Bode, C. 2008. An empirical examination of supply chain performance along several dimensions of risk, *Journal of Business Logistics*, Vol.29: 307-325.
41. Wagner, S. M., & Neshat, N. (2010). Assessing the vulnerability of supply chains using graph theory. *Production Economics* 126, 121-129.
42. Wang, W.C. (2002). SIM-UTILITY: Model for project ceiling price determination, *J. Constr. Eng. Manage. ASCE* 128 (1) (2002) 76-84.
43. Weng, K., Parlar, M., 2005. Managing build-to-order short lifecycle products: Benefits of pre-season price incentives with standardization. *Journal of Operations Management*, Vol. 23: 482-495.
44. Wu, D. and D.L. Olson. 2008. Supply chain risk, simulation, and vendor selection, *International Journal of Production Economics*, Vol. 114:646-655.
45. Wu, T., Blackhurst, J., Chidambaram, V., 2009. A model for inbound supply risk analysis. *Computers in Industry*, Vol. 57, 350-365
46. Yang, D., Choi, T., Xiao, T., Cheng, X. "Coordinating A Two-supplier and One-retailer Supply Chain with Forecast Updating," *Automatica*, Vol. 47, pp. 1317-1329, 2011.
47. Zeng, G., & Frazier, G. (2010). Assessing Supply Chain Risk and Performance Simultaneously via Multiple Tiers DEA Efficiency. Southwest Decision Sciences Institute conference, Dallas.