# انتخاب تأمین‌کننده‌ها در زنجیره تأمین با رویکرد تولید بر مبنای سفارش با در نظر گرفتن ارزش در معرض ریسک

**عاصفه حسنی گودرزی[1]، مسعود ربانی[2*]**

دانشگاه تهران

**تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۰۵/۰۲**

**تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۰۶/۱۵**

**چکیده**

یک موضوع مهم در مدیریت ریسک زنجیره تأمین، انتخاب و تخصیص سفارش قطعات و مواد خام به تأمین‌کنندگان است، به‌نحوی که سفارش و نیازهای مشتریان با کمترین هزینه، برآورده شده و هم‌زمان تأثیر ریسک به حداقل ممکن برسد. انتخاب مجموعه تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش به آنها در حضور ریسک تأخیر در زنجیره تأمین تحت کیفیت غیرقطعی مواد اولیه تأمین شده (نرخ معیوب)، قابلیت اطمینان تحویل به‌موقع و هزینه‌ها می‌باشد که بعضاً ممکن است این موارد با یکدیگر تناقض نیز داشته باشند. علاوه‌بر این باید به‌منظور کاهش هزینه ثابت سفارش‌دهی، تعداد تأمین‌کنندگان و تعداد کل سفارش‌ها باید کمینه شود، اگرچه در برخی مواقع برای کاهش تأثیر ریسک تأخیر، انتخاب تأمین‌کنندگان بیشتر، ریسک عدم اطمینان به تأمین‌کنندگان را کاهش می‌دهد. در این مقاله یک مدل ریاضی برای مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان در سیستم‌های تولیدی سفارش مبنا[3] با درنظر گرفتن شرایط ریسک ارائه و از ارزش در معرض ریسک[4] به‌عنوان یک شاخص اندازه‌گیری ریسک استفاده شده است.

**واژه‌های کلیدی:** زنجیره تأمین، ارزش در معرض ریسک، رویکرد تولیدی سفارش مبنا، مدل‌سازی احتمالی

## ۱- مقدمه

به‌طور معمول واژه ریسک جنبه منفی به‌همراه دارد و تعاریف زیادی برای آن وجود دارد: به‌عنوان مثال دوولینگ[5] و استیلین[6] (۱۹۹۴) ریسک را به‌شکل درک مشتری از عدم قطعیت و پیامدهای ناگوار خرید یک محصول یا سرویس بیان کردند[۱]. مارک[7] و شپیرا[8] جنبه مدیریت ریسک در زنجیره تأمین را بدین صورت تعریف کردند: «اختلاف و تفاوت در توزیع خروجی‌های ممکن زنجیره تأمین، احتمال و مقادیر تحت تأثیر آنها» [۲]. در یک حالت احتمالی، انتخاب تأمین‌کنندگان به تولیدکننده اجازه تصمیم‌گیری می‌دهد که آیا قطعات را از یک تأمین‌کننده با ریسک بالا اما هزینه کم و یا از یک تأمین‌کننده پرهزینه‌تر با قابلیت اطمینان بالا تهیه کند[۳].

براساس مقاله‌ای از کاویناتو[9] برای شناسایی ریسک‌ها و عدم اطمینان در زنجیره تأمین پنج زمینه وجود دارد: فیزیکی، مالی، اطلاعاتی، ارتباطی و نوع‌آوری[۴]. هر زنجیره تأمین ریسک‌های مالی را به موازات ریسک‌های دیگر مورد توجه قرار می‌دهد، چرا که بخش‌های دیگر نیز در نهایت به یک خروجی مالی تبدیل می‌شوند. ریسک‌های این بخش شامل اختلال در پرداخت‌ها،

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، پست‌الکترونیکی: asef.hasany@gmail.com

۲* - استاد دانشکده فنی دانشگاه تهران، نویسنده پاسخگو، پست‌الکترونیکی: mrabani@ut.ac.ir، نشانی: تهران، دانشگاه تهران، دانشکده فنی

3 - Make-to-Order (MTO)
4 - Value-at-Risk
5 - Dowling
6 - Staelin
7 - March
8 - Shapira
9 - Cavinato

سرمایه‌گذاری نامناسب و احتساب هزینه‌ها به‌صورت غیرشفاف در هزینه‌های کلی زنجیره است.

منابع ریسک در زنجیره تأمین شامل هر متغیری است که با اطمینان قابل پیش‌بینی نباشد و از طریق آن امکان اختلال متصور باشد. از دیدگاه درون سازمانی ماسون جونز[1] و تووِیل[2]، پنج دسته منبع ایجاد ریسک، را با در نظرگرفتن هم‌پوشانی بین این منابع پیشنهاد کردند: منابع تولید ریسک محیطی[3]، ریسک تقاضا[4]، ریسک تأمین[5]، ریسک فرآیند[6] و ریسک کنترل[7].

منابع ریسک محیطی شامل هر عدم قطعیتی، خارج از زنجیره تأمین است، مانند اختلالات ناشی از سیاست (مانند حمله آمریکا به عراق، بحران‌ها و جنگ در کشورهای دیگر)، اختلالات طبیعی (مانند آتش‌سوزی، وضعیت بد جوی و زلزله) و اختلالات اجتماعی (مانند حمله‌های تروریستی). در مقایسه با منابع ریسک خارجی و محیطی، منابع ریسک تقاضا و تأمین، منابع داخلی محسوب می‌شوند. عدم اطمینان ریسک تأمین‌کننده به فعالیت‌های تأمین‌کننده مربوط است و به‌طور کل به ارتباطات تأمین‌کننده‌ها از لحاظ وقوع خرابی در کالا یا خدمات ورودی مرتبط است. به‌طور مشابه در ریسک تقاضا هر ریسکی مربوط به جریان لجستیک خروجی و تقاضای محصولات می‌باشد. این ریسک توسط دلایل فصلی، تغییرات اقتصادی یا تغییر در تولید محصولات، حضور محصول جدید و دوره عمر کوتاه مدت محصول به‌وجود می‌آید. ریسک‌های محیطی نیز موجب ریسک‌های مربوط به تأمین‌کننده‌ها و تقاضا در زنجیره تأمین می‌شود که به معنی هم‌پوشانی این سه نوع منبع ریسک است. برای مثال یک آتش‌سوزی در کارخانه تأمین‌کننده منجر به ریسک تأمین برای تمام بخش‌های بعدی زنجیره تأمین خواهد شد.

ریسک فرآیند می‌تواند تأثیر ریسک‌ها را در زنجیره تأمین هم تقویت و هم کم‌رنگ نماید. این ریسک اشاره به طراحی و اجرای فرآیندها درون و بین بخش‌های زنجیره دارد. فرآیندهای سترگ برپایه شناسایی متغیرهای تولیدی و پیش‌بینی گلوگاه‌های زنجیره تأمین استوار است و ممکن است به فرآیندهای برنامه‌ریزی شده مازاد یا افزایش ظرفیت نیاز باشد. برای مثال تأثیر یک تأمین‌کننده به‌عنوان ریسک تأمین، همراه با افزایش ظرفیت می‌تواند هم کاهش‌دهنده ریسک و هم تقویت کننده آن باشد. به‌صورت مشابه مکانیزم‌های کنترلی مانند نقش تصمیم‌گیری و سیاست‌های تولیدی با توجه به میزان سفارش، اندازه دسته‌ها و سطح موجودی اطمینان می‌تواند تأثیر ریسک را کاهش و یا افزایش دهد [۲].

افزایش فاصله نیز موجب ایجاد عدم اطمینان در فرآیند تأمین، از طریق افزایش زمان تکمیل و اختلالات احتمالی در حمل و نقل مواد می‌گردد. محدودیت ظرفیت تأمین‌کننده موجب ناتوانی در تأمین حجم تقاضای خریداران می‌شود. ریسک‌های دیگر ظرفیت شامل: نوسانات ترکیب و حجم محصولات مورد نیاز، قابلیت پیش‌بینی تقاضا و تغییرات مربوط به تکنولوژی فرآیند را کاهش می‌دهد[۵]. ریسک‌های دیگری نیز مانند اعتصابات کارگری و خرابی ماشین‌آلات در محدوده زنجیره تأمین قرار می‌گیرد[۶]. از مهم‌ترین منابع ایجاد ریسک که شرکت‌ها با آن مواجه‌اند، عدم قطعیت در تقاضا و تحویل به مشتریان است. عدم قطعیت در تحویل، با توانایی در مدیریت هزینه‌ها، زمان و کیفیت و نیز مسئولیت حفظ اطلاعات محرمانه در ارتباط است[۷].

در تحویل سلسله مراتبی کالاها، هر شرکت مسئول تحویل کالا به مشتری بعدی خواهد بود. بنابراین هر شرکت نه تنها مسئول کنترل وظایف عملیاتی خود است، بلکه باید تأمین‌کننده‌های فرودستی خود را نیز کنترل کند[۷]. بنابراین بسته به اینکه شرکت در چه موقیتی از زنجیره تأمین قرار دارد، شدت و ضعف ریسک سرمایه‌گذاری و تأمین متفاوت است [۸].

در سیستم‌های تولیدی با رویکرد MTO هر محصول دارای قطعات و مجموعه‌هایی است که امکان تهیه آنها از تأمین‌کننده‌های مختلف با ظرفیت‌های تأمین متفاوت وجود دارد. در این نوع سیستم نگهداری موجودی مجاز نیست و در عین حال قابلیت پاسخگویی به سفارشات مختلف از الزامات این رویکرد تولیدی است. یک موضوع مهم و حیاتی، چگونگی تخصیص سفارش قطعات به تأمین‌کننده‌های مختلف می‌باشد، به‌گونه‌ای که تمام نیازهای مشتریان برآورده شده و به سطح مطلوبی از سرویس‌دهی

1 - Mason-Jones
2 - Towill
3- Environmental Risk sources
4 - Demand Risk
5 - Supply Risk
6 - Process Risk
7 - Control Risk

به مشتری با هزینه کم و با کاهش سطح ریسک زنجیره تأمین می‌رسد. یکی از جنبه‌های مهم ریسک در زنجیره تأمین از دیدگاه تولیدکننده، چگونگی تخصیص سفارش برای ساخت قطعات به تأمین‌کننده‌ها به‌منظور برآوردن نیاز مشتریان با کمترین قیمت و ریسک است. علاوه بر این باید جهت کاهش هزینه ثابت سفارش، تعداد تأمین‌کننده‌ها و تعداد کل سفارش کمینه شود. در هنگام انتخاب تأمین‌کننده‌ها و تخصیص سفارش به‌منظور تشکیل پورتفولیوی تأمین، تولیدکننده با هزینه‌های غیرقطعی مواجه است و باید سفارش را به مجموعه‌ای از تأمین‌کننده‌ها با کیفیت و قابلیت اطمینان مختلف و نیز ظرفیت تولیدی محدود تخصیص دهد. ریسک نرخ معیوب و تحویل بعد از موعد تأمین‌کنندگان با استفاده از مشاهدات گذشته قابل بررسی است.

در این مقاله مدل ریاضی ارائه شده، مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان را در محیط‌های سفارش مبنا (MTO) در زنجیره تأمین با فرض در نظر گرفتن شرایط ریسک بررسی کرده و از ارزش در معرض ریسک[1] به‌عنوان یک شاخص اندازه‌گیری ریسک استفاده می‌کند. این سنجه که VaR نامیده می‌شود، بیشترین زیانی است که می‌توان در یک سطح اطمینان داده شده، در طول یک افق زمانی انتظار داشت.

## ۲- تعریف مسئله

در این مقاله مدل ریاضی ارائه شده توسط عبادیان و همکاران با درنظر گرفتن ریسک، توسعه داده شده است[۹]. این مدل برای انتخاب مجموعه‌ای از تأمین‌کنندگان و پیمان‌کاران (شرکت‌هایی که برای برون‌سپاری کار با آنها قرارداد بسته می‌شود) به‌کار می‌رود که قادرند مواد خام، قطعات و بارکاری مورد نیاز برای سفارشات پذیرفته شده تأمین کنند. این مدل در آخرین مرحله از یک رویکرد سلسله مراتبی اجرا می‌شود و فرض بر این است که گام‌هایی از قبل انجام شده است، مانند تعیین سفارش با اولویت بالا، هزینه و موعد تحویل بهینه برای سفارش و گزارش این خروجی‌ها به مشتریان. سیستم‌هایی با رویکرد MTO، نیازمند تأمین مواد خام، قطعات و بارکاری با توجه به سفارش رسیده هستند، بنابراین مدل مورد بررسی یک مدل از نوع تخصیص است.

به‌صورت کلاسیک، شرکت‌ها برای کاهش اثر ریسک تقاضا، موجودی اطمینان در نظر می‌گیرند، اما محیطی که مورد مطالعه این پژوهش است، سفارش مبنا است، بنابراین نمی‌توان از اهرم نگهداری موجودی در برابر ریسک نوسانات تقاضا استفاده کرد. این موجودی عملکرد عملیاتی را محدود می‌کند و اثر منفی روی مزایای رقابتی دارد.

### ۲-۱- فرضیات مسئله

در مدل اصلی نویسندگان فرض کرداند که اجرای مدل پس از قبول یک سفارش خاص، توسط مشتری آن انجام می‌شود، اما به‌دلیل اینکه هزینه مواد خام و قطعات محصول نیز در محاسبه قیمت نهایی ارائه شده به مشتری سهیم هستند، در مدل پیشنهادی فرض شده است که قبل از گزارش قیمت و موعد تحویل به مشتری، هزینه مواد خام، قطعات و بارکاری (برون‌سپاری) را باید تعیین کرد، بنابراین در این مدل یک ضریب به‌عنوان احتمال قبول شرایط توسط مشتری، درنظر گرفته شده است. دیگر فرضیات این مسئله شامل موارد زیر است:

- هر واحد ماده خام، قطعه محصول و بارکاری برای سفارشات پذیرش شده تنها توسط یک تأمین‌کننده قابل تهیه است (امکان تخصیص سفارش یک قطعه یا ماده خام خاص به چند تأمین‌کننده وجود ندارد).
- ظرفیت پیمان‌کاران و تأمین‌کنندگان محدود است.
- سفارشات به دو دسته معمولی و با اولویت بالا تقسیم می‌شوند. امکان دیرکرد سفارشات با اولویت بالا وجود ندارد.
- در صورت نبود ظرفیت تولیدی کافی در زمان عادی می‌توان از برون‌سپاری استفاده کرد.

### ۲-۲- اندیس‌ها

$s = \{1, \ldots, S\}$ : اندیس پیمانکاران.

$l = \{1, \ldots, L\}$ : اندیس تأمین‌کنندگان.

$k$ : اندیس مواد خام و قطعات.

$r$ : اندیس منابع (مانند ایستگاه‌های کاری).

1 - Value at Risk

**۲-۳- پارامترها**

$LT_i$: مقدار دیرکرد برای سفارش $i$.

$MAD_i$: موعد تحویل واقعی سفارش $i$.

$p_{irs}$: قیمت پیشنهادی پیمانکار $s$ برای بارکاری سفارش $i$ درون منبع (ایستگاه) $r$.

$p_{kl}$: قیمت پیشنهادی تأمین‌کننده $l$ برای قطعه یا مواد خام $k$.

$S_{irst}$: مقدار منبع $r$ که به سفارش $i$ در دوره زمانی $t$ توسط پیمان‌کار $s$ اختصاص می‌یابد.

$SO_{ilt}$: مقدار مواد خام و قطعات مربوط به سفارش $i$ که توسط تأمین‌کننده $l$ در دوره زمانی $t$ تأمین می‌شود.

$dd_i$: موعد تحویل سفارش $i$ که توسط مشتری مقرر شده است.

$LP_i$: جریمه یک واحد دیرکرد سفارش $i$ (به ازای واحد زمان).

$EP_i$: جریمه یک واحد زودکرد سفارش $i$ (به ازای واحد زمان).

$L(k_i)$: مجموعه تأمین‌کنندگان که توان تأمین قطعه $k$ برای سفارش $i$ را دارند.

$L'(k_i)$: مجموعه تأمین‌کنندگان که قطعه $k$ در سفارش $i$ را پیش از موعد تحویل تولید می‌کنند.

$S(r_i)$: مجموعه پیمانکاران که توان تأمین بارکاری مورد نظر برروی منبع $r$ را دارند.

$iw_{irt}$: بارکاری ورودی مربوط به سفارش $i$ بر روی منبع $r$ در دوره $t$.

$ow_{irt}$: بارکاری خروجی مربوط به سفارش $i$ بر روی منبع $r$ در پریود $t$.

$CR_{rt}$: بیشترین ظرفیت در دسترس منبع $r$ در زمان عادی در دوره $t$.

$CS_{rst}$: بیشترین ظرفیت برون سپاری منبع $r$ در دوره $t$ توسط پیمانکار $s$.

$CO_{lt}$: بیشترین ظرفیت تأمین‌کننده $l$ در دوره $t$.

$OS(i)$: مجموعه سفارشاتی که باید به‌موقع تحویل داده شوند.

$pr_i$: احتمال قبول سفارش $i$ توسط مشتری.

$q_l$ : نرخ معیوب مورد انتظار برای تأمین‌کننده $l$.

$\beta_{rt}$: درصدی از ظرفیت منبع $r$ که در دوره $t$ برای سفارشات آتی با اولویت بالا در نظر گرفته می‌شود.

$\alpha$: سطح اطمینان

**۲-۴- متغیرهای تصمیم‌گیری**

$Y_{irt}$: مقدار منبع $r$ که به سفارش $i$ در دوره زمانی $t$ تخصیص می‌یابد (شامل زمان عادی و برون سپاری).

$X_{irs}$: ۱؛ اگر پیمان‌کار $s$ بارکاری مورد نیاز سفارش $i$ بروی منبع $r$ را تأمین کند و ۰؛ در غیر این‌صورت.

$X_{ikl}$: ۱؛ اگر تأمین‌کننده $l$ مواد خام و قطعه $k$ مورد نیاز سفارش $i$ را تأمین کند و ۰؛ در غیر این‌صورت.

**۲-۵- شرح انواع ریسک در مدل مورد بررسی**

به‌طور کلی ریسک‌هایی که در قسمت زنجیره تأمین بیان شد، در مسئله مورد بررسی نیز وجود دارند. این قسمت به‌طور خاص به ریسک‌های موجود در حوزه مدل می‌پردازد. مدل ارائه شده به‌منظور تصمیم‌گیری در آخرین سطح، در مورد رد یا پذیرش سفارش با یک رویکرد سلسله مراتبی است. در سطوح قبلی هزینه و موعد تحویل سفارش، تعیین شده و به مشتری اعلام می‌شود. این مدل ترکیب بهینه از تأمین‌کننده‌ها (مواد و قطعات اولیه) و پیمانکاران (برون‌سپاری) را با توجه به کمینه کردن هزینه‌ها ارائه می‌دهد. پس از انجام بررسی و استفاده از مدل، هزینه نهایی تولید کالا معلوم می‌شود و بعد از گزارش به مشتری، وی تصمیم می‌گیرد که تمایل به سفارش قطعی دارد یا خیر. بعد از اعلام قیمت، ممکن است میزان تقاضای مشتری یا احتمال پذیرش تغییر یابد. این تغییر بیشتر از همه چیز به قیمت و موعد تحویلی وابسته است که به مشتری گزارش می‌شود و ممکن است برای او مطلوب نباشد. بنابراین براساس اطلاعاتی که از بازار و وضعیت مشتری در دست است، تولیدکننده احتمالی را برای پذیرش سفارش توسط مشتری ترغیب می‌کند. این فعالیت ریسکی را به‌همراه دارد، چراکه به‌طور یقین نمی‌توان گفت که در واقعیت چند درصد ظرفیت کارخانه را به انجام سفارش مذکور تخصیص می‌دهد، چون میزان تقاضای بازار در دنیای واقعی یک عامل احتمالی است، برنامه‌ریزی ظرفیت نیز که برپایه میزان تقاضا انجام می‌گیرد، تحت تأثیر ریسک خواهد بود. از طرفی ممکن

است این سفارش جزو سفارش با اولویت بالا دسته‌بندی شود، اما در نهایت توسط مشتری رد شده و ظرفیت بالایی که بالقوه به آن تخصیص می‌یابد روی هزینه برآورد شده برای سفارش‌های دیگر تأثیر شدید بگذارد. با توجه به موارد ذکر شده، هم احتمال پذیرش سفارش توسط مشتری و هم اولویت‌بندی سفارشات- به دو دسته با اولویت بالا و اولویت پایین - مسئله را از حالت قطعی خارج ساخته و موجبات حضور ریسک در مدل را فراهم می‌آورد.

در این ساختار تصمیم‌گیری، تصمیم‌گیرنده در جایگاه مصرف‌کننده و دریافت‌کننده سرویس از زنجیره تأمین قرار دارد. معمولاً در ادبیات موضوع ریسک‌های موجود در زنجیره تأمین، از دیدگاه ارائه‌کننده سرویس و مواد نه از دید دریافت‌کننده مطرح شده‌اند[۴و۱]. اگرچه با توجه به ماهیت زنجیره تأمین به‌طور معمول در هر سطحی تولیدکننده و تأمین‌کننده وجود خواهد داشت.

در این مدل، هزینه‌هایی که شرکت برای دیرکرد و زودکرد می‌پردازد به ازای هر سفارش، متفاوت و به نوع سفارش وابسته است. این هزینه از حاصل‌ضرب میزان دیرکرد (زودکرد) و هزینه یک واحد دیرکرد (زودکرد) برای یک سفارش خاص به‌دست می‌آید. هزینه یک واحد دیرکرد (زودکرد) بسته به اولویتی‌که برای یک سفارش خاص منظور می‌گردد، می‌تواند متغیر باشد. بنابراین هزینه‌های زودکرد و دیرکرد، علاوه بر ریسک مالی، تحت تأثیر ریسک اولویت‌بندی سفارش است. تولیدکننده برای مجموعه‌ای از سفارشات، نیاز به تصمیم گیری دارد که از کدام تأمین‌کننده برای هر سفارش، کالا خریداری کند تا هزینه‌ها کاهش یابد و اثر ریسک تا حد امکان حذف شود. انتخاب تأمین‌کننده‌ها و تخصیص سفارش به آنها برپایه قیمت، کیفیت قطعات خریداری شده و قابلیت اطمینان در تحویل به موقع است. نرخ خرابی متوسط پورتفولیو، نباید از میزان از پیش تعیین شده‌ای تجاوز کند. علاوه‌بر این تولیدکننده با پرداخت هزینه دیرکرد به مشتری خود، جریمه می‌شود. تأخیرات تأمین‌کننده‌ها منجر به کمبود قطعات مورد نیاز و تبعاً جریمه دیرکرد برای تولیدکننده می‌شود. واضح است که تولیدکننده هزینه‌ای برای قطعات معیوب نمی‌پردازد و برای قطعاتی که دیرتر از قرارداد تحویل داده می‌شوند، هزینه کمتری می‌پردازد[۳]. به‌دلیل اینکه تأمین‌کننده‌های مختلف می‌توانند سفارش را در زمان‌های مختلف و با تأخیرات مختلف نسبت به زمان مورد انتظار تحویل دهند، ریسک عملیاتی مختلفی برای هر تأمین‌کننده مطرح می‌شود.

فرض کنید احتمال اینکه از سناریوی تحویل $b$ برای انتخاب تأمین‌کنندگان استفاده شود برابر $P_b$ باشد، به‌گونه‌ای که هر $b \in B$ یک ترکیب یکتا از $m$ تحویل معوقه (با تأخیر) است که هر یک از آنها مطابق با یک تأمین‌کننده و $B$ اندیسی برای مجموعه سناریوها است. $\delta_{lb} \geq 0$ به مقدار تصادفی تأخیر در تحویل (برای مثال تعداد روزها بعد از موعد تحویل) برای تأمین‌کننده $l$ در سناریو $b$ اشاره دارد، با این فرض که $\delta_{lb} = 0$ نشان‌دهنده تحویل به موقع است. در واقع $\delta_{lb}$ در این مدل همان تفاوت موعد تحویل واقعی سفارش و موعد تحویل پیشنهاد شده توسط مشتری و یک متغیر تصادفی است.

علاوه بر این $q_l$ نرخ معیوب مورد انتظار برای تأمین‌کننده $l$ و $\overline{q}$ بیشترین نرخ متوسط معیوب قابل قبول برای قطعات سفارش داده شده است. معادله $\sum_{s \in S}^{I} \lambda_b \delta_{lb} = LD_l$; مقدار دیرکرد مورد انتظار (امید ریاضی تأخیر) برای تأمین‌کننده $l$ و $\overline{D}$ بیشترین مقدار میانگین تأخیر (حداکثر تأخیر قابل قبول) در تأمین را نشان می‌دهد. تصمیم‌گیرنده باید تعیین کند که از کدام تأمین‌کننده (ها) قطعات محصول را برای هر مشتری خریداری نماید، به‌گونه‌ای که به کمترین هزینه متوسط به ازای هر قطعه سفارش داده شده، هزینه خرید و جریمه تأخیر دست یابد و در عین حال اثر ریسک تأمین‌کنندگان غیرقابل اطمینان را از طریق مینیمم کردن بدترین هزینه بالقوه به ازای هر قطعه کاهش دهد[۳].

### ۲-۶- مدل ریاضی پیشنهادی

در مدل پیشنهادی برای کاهش ریسک عدم قطعیت در صحت و یا درصد معیوب قطعات رسیده از سوی تأمین‌کنندگان، حداکثر نرخ متوسط قطعات معیوب محاسبه شده است. حضور این عامل در محدودیت حداکثر ظرفیت تأمین‌کنندگان نیز تأثیرگذار است. همچنین زمان تحویل تأمین‌کنندگان مختلف و قابلیت اطمینان آنها از مواردی است که در این مدل، مسئله‌ی ریسک را پررنگ‌تر می‌کند. از این جهت نیز یک محدودیت در مدل، لحاظ شده است. به‌دلیل ماهیت مسئله و

فرض MTO بودن سیستم تولیدی، ریسک عدم قطعیت در زمان سفارش و مراجعه مشتریان، امکان رسیدن سفارش (به‌خصوص با اولویت بالا) در آینده، احتمال رد یا پذیرش شرایط (قیمت نهایی محصول و موعد تحویل) توسط مشتری و عدم قطعیت در رسیدن محموله‌های مورد نیاز تولیدی و موعد تحویل محصول نهایی، در این مدل در نظر گرفته شده‌اند. برای برخی موارد خاص تولیدی که زودکرد تکمیل سفارش هزینه‌بر است، جریمه هزینه زودکرد نیز در مدل گنجانده شده است. این مسئله برای شرایطی که مشتری تا موعد قرارداد به تحویل سفارش خود مبادرت نکرده و سیستم تولیدی مجبور به نگهداری سفارش تا رسیدن مشتری آن است، صدق می‌کند. تابع هدف به‌صورت مینیمم‌سازی میانگین کل هزینه‌های تولیدی، خرید و جریمه‌های زودکرد/ دیرکرد ارائه شده است. دراین مدل فرض شده است که حد قابل قبولی برای متوسط تعداد قطعات معیوب و تأخیر تأمین‌کنندگان وجود دارد.

مجموعه تأمین‌کنندگان با کمینه کردن هزینه مورد انتظار برای تولید قطعات بهینه خواهد شد:

$$E(Z) = \sum_{i=1}^{I}\sum_{r=1}^{R}\sum_{s\in S(r_i)} \lambda_s P_{irs} X_{irs} + \sum_{i=1}^{I}\sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{L} \lambda_l P_{kl} X_{ikl} + \sum_{i=1}^{I}\sum_{k=1}^{K}\sum_{l\in L'(k_i)} \lambda_l X_{ikl} EP_i\,(dd_i - MAD_i)/K$$

$$+ \sum_{i=1}^{I}\sum_{k=1}^{K}\sum_{l\notin L'(k_i)} \lambda_l X_{ikl} LP_i\,(MAD_i - dd_i)/K + \sum_{i=1}^{I}\sum_{r=1}^{R}\sum_{t=1}^{T}\left[(Y_{irt} - \sum_{s\in S(r_i)}(S_{irst} X_{irs}))\right]$$

s.t.

$$\sum_{i=1}^{I} Y_{irt} - \sum_{s\in S(r_i)}(S_{irst} X_{irt}) \le CR_{rt}(1-\beta_{rt}); \forall r,t \quad (۱)$$

$$\sum_{i=1}^{I} S_{irst} \le CS_{rst};\ \forall r,t,s \quad (۲)$$

$$\sum_{i=1}^{I} SO_{ilt}(1+q_s) \le CO_{lt};\ \forall r,t,s \quad (۳)$$

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} iw_{irt} \times Pr_i \le \sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} Y_{irt};\ \forall r \quad (۴)$$

$$\sum_{i\in OS(i)}^{I}\sum_{k=1}^{T} Ow_{irk} \times Pr_i = \sum_{i=1}^{I}\sum_{k=1}^{t} Y_{irk};\ \forall r,t \quad (۵)$$

$$\sum_{k=1}^{t} iw_{irk} \times Pr_i \le \sum_{k=1}^{t} Y_{irk};\ \forall r, i\in OS(i), t\in(1,...,dd_i) \quad (۶)$$

$$\sum_{k=1}^{t} ow_{irk} \times Pr_i = \sum_{k=1}^{t+(T-dd_i)} Y_{irk};\ \forall r, i\notin OS(i), t\in(1,...,dd_i) \quad (۷)$$

$$\sum_{l=1}^{L}\sum_{i=1}^{I}\sum_{k=1}^{K} X_{ikl} q_l \le \bar{q}; \quad (۸)$$

$$\sum_{l=1}^{L}\sum_{i=1}^{I}\sum_{k=1}^{K} X_{ikl} LD_l \le \bar{D}; \quad (۹)$$

$$\sum_{l\in L(k_i)}^{L} X_{ikl} = 1;\ \forall k,i \quad (۱۰)$$

$$\sum_{s\in S(r_i)} X_{irs} = 1;\ \forall r,i \qquad (۱۱)$$

$$Y_{irt}, \geq 0;\ X_{irs};\ \forall r,i,t,s \in S(r_i),\ X_{ikl} \in \{0,1\};\ \forall k,i,l \in L(k_i) \qquad (۱۲)$$

تابع هدف این مدل هزینه عملیاتی، هزینه‌های خرید قطعات، مواد خام و بارکاری و هزینه‌های زودکرد و دیرکرد را کمینه می‌کند. در تابع هدف برای جلوگیری از محاسبه مجدد هزینه دیرکرد و زودکرد این مقدار را بر تعداد قطعات محصول نهایی تقسیم کنند، زیرا هربار که یک برون سپاری صورت می‌گیرد یک هزینه دیرکرد به ازای هر قطعه محاسبه شده و برای جلوگیری از اشتباه مقدار به‌دست آمده را بر تعداد دفعات این عمل تقسیم می‌کنند.

محدودیت (۱) محدودیت ظرفیت در زمان عادی (بدون برون‌سپاری) است. در این رابطه، درصدی از ظرفیت تولید به سفارشات با اولویت بالا که در آینده امکان رسیدن آنها وجود دارد، تخصیص می‌یابد. این درصد با ضریب $\beta$ لحاظ شده است و اثر ریسک اولویت‌بندی سفارش و عدم قطعیت در نوع سفارش آینده را کاهش می‌دهد. محدودیت (۲) و (۳) حد بالای ظرفیت را برای برون‌سپاری و تأمین قطعات از تأمین‌کنندگان نشان می‌دهند. در محدودیت (۳) درصد قطعات معیوب برای هر تأمین‌کننده نیز لحاظ شده است. در محدودیت‌های (۴-۷) احتمال پذیرش سفارش توسط مشتری در نظرگرفته شده است. محدودیت (۴) تضمین می‌کند که کل بارکاری سفارش درون سیستم در طول افق کاری T باید تولید شود. سمت چپ این محدودیت کل بارکاری است که سیستم در طول افق برنامه‌ریزی باید انجام دهد. به‌منظور برآوردن تمام سفارش درون بازه زمانی T مجموع مقدار واقعی بارکاری که توسط منبع کاری $r$ در T انجام می‌شود، باید بزرگ‌تر یا مساوی کل کار درون سیستم باشد. این محدودیت تنها یک تست ساده برروی ظرفیت ایجاد می‌کند و تضمین نمی‌کند که سفارش در موعد تحویل آنها آماده شوند. برای اطمینان از اینکه محصولات بر اساس موعد تحویل آنها تولید شوند، از محدودیت (۵) و (۶) استفاده می‌شود. این محدودیت‌ها تنها برای تحویل به‌موقع سفارشات، برقرار هستند. سمت چپ محدودیت (۵) کل خروجی مورد نیاز را که باید از دوره ۱ تا $t$ تکمیل شود و سمت راست این رابطه، کل بارکاری واقعی را که بر روی منبع $r$ در طول دوره زمانی۱ تا $t$ انجام می‌شود، نشان می‌دهد. با اعمال این محدودیت، باید تمام خروجی‌های سیستم تا موعد مقرر تکمیل شوند. این معادله نشان می‌دهد که ظرفیت خط تولید که به سفارش جاری تخصیص یافته، برابر با مقدار مورد نیاز است. به بیان دیگر نگهداری موجودی در سیستم مجاز نیست. اگر چه محدودیت (۵) امکان برآوردن به‌موقع سفارش را افزایش می‌دهد، اما تضمین نمی‌کند که سفارش به‌طور حتم در موعد تحویل تکمیل شوند. به‌منظور تحمیل محدودیت تکمیل سفارش به‌موقع (سفارش‌هایی که باید در موعد قرارداد به مشتری تحویل داده شوند) به مدل، از محدودیت (۶) استفاده شده است.

محدودیت (۷) مشابه محدودیت (۵) است. بارکاری مورد نیاز برای سفارش به تعویق افتاده در هر دوره زمانی، باید با تأخیر در بازه ($T$-$dd_i$) فراهم شود. این مقدار حد بالای دیرکرد برای سفارش $i$ ام است. محدودیت (۸) نشان می‌دهد که متوسط نرخ معیوب برای کل مجموعه نمی‌تواند از $\overline{q}$ بیشتر شود و به‌طور مشابه محدودیت (۹) تضمین می‌کند که متوسط تأخیر در تحویل برای مجموعه تأمین‌کنندگان انتخاب شده، از $\overline{D}$ بیشتر نشود. محدودیت (۱۰) و (۱۱) تضمین می‌کند که برای هر قطعه و بارکاری (هر واحد برون‌سپاری) از یک تأمین‌کننده و پیمان‌کار استفاده شود. محدودیت (۱۲) نیز به نامنفی و عدد صحیح بودن متغیرها اشاره دارد.

### ۳- ارزش در معرض ریسک چیست؟

امروزه که مدیریت ریسک و شاخص‌های آن موضوع رایج در مباحث مالی و اقتصاد به‌شمار می‌آیند، این مبحث اولین بار توسط مارکوویتز[1] در سال ۱۹۵۹ معرفی شد، به‌گونه‌ای که واریانس برگشت‌های تصادفی یا زیان‌ها به‌عنوان یک سنجه ریسک استفاده شد[۱۰]. یک سنجه دیگر که در اقتصاد از محبوبیت زیادی برخوردار است، VaR می‌باشد. ارزش در معرض ریسک یکی از مثال‌های شاخص‌های آماری برای

1 - Markowitz

اندازه‌گیری ریسک قیمت است. در این روش ضرر بالقوه در سبد سرمایه‌گذاری به‌دلیل تغییر در نرخ‌های بازار در طول N روز، توسط یک عدد (مقدار آن در سطوح اطمینان مشخص)، نمایش داده می‌شود. به‌طور معمول محاسبه ارزش در معرض ریسک مطابق با تابع توزیع احتمالی از سود تجارت مورد نظر نخواهد بود. حتی اگر یک سبد سرمایه ایستا در نظر گرفته شود و از معاملات یک روزه و تأثیر بازده مشتری و بازده حاشیه‌ای خالص چشم‌پوشی گردد، محاسبه ارزش در معرض ریسک محدودیت‌هایی به‌همراه خوهد داشت. یکی از ضعف‌های رایج مدل‌های VaR توانایی کم آنها در مدل‌سازی درست ریسک حوادث است [۱۱].

ارزش در معرض ریسک برپایه احتمالات بنا شده است و با قطعیت تمام مورد استناد واقع نمی‌شود، اما با سطح اطمینان مطلوبی قابل استفاده است. در واقع ارزش در معرض ریسک، حداکثر زیانی است که کاهش ارزش سبد دارایی برای دوره معینی در آینده، با ضریب اطمینان مشخص، از آن بیشتر نمی‌شود. به عبارتی دیگر، VaR بدترین زیان مورد انتظار را تحت شرایط عادی بازار و طی یک دوره زمانی مشخص و در سطح اطمینان معین (X%) اندازه می‌گیرد [۱۲].

برای کنترل ریسک در زنجیره تأمین از دو شاخص اندازه‌گیری ریسک استفاده میگردد، در این سنجه‌ها $\alpha \in (0,1)$ نشان‌دهنده سطح اطمینان برای توزیع هزینه در سناریوهای مختلف است.

ارزش در معرض ریسک (VaR) در سطح اطمینان $\alpha$٪ هزینه انتخاب مجموعه تأمین‌کنندگانی است که در $\alpha$٪ مواقع مقدار برآمد از VaR تجاوز نمی‌کند. به‌عبارت دیگر VaR یک متغیر تصمیم برپایه $\alpha$٪ هزینه‌ها است که در $(1-\alpha)$% مواقع، ممکن است از VaR بیشتر شود. VaR بیشترین هزینه متناظر با یک سطح اطمینان خاص را نشان می‌دهد (احتمال اینکه هزینه مجموعه داده شده از مقدار تعریف شده توسط VaR بیشتر نشود).

ارزش در معرض ریسک به‌صورت شرطی(CVaR)[1] در سطح سطح اطمینان $\alpha$٪ هزینه مورد انتظار مجموعه در بدترین شرایط در $(1-\alpha)$% مواقع است. به‌عبارت دیگر به ما اجازه داده می‌شود که $(1-\alpha)$% 100 از مواقع، نتایج از VaR بیشتر شود. مقدار متوسط این پیامد با CVaR نشان داده می‌شود. در واقع CVaR به دنباله توزیع هزینه‌ها توجه دارد.

VaRو CVaR قسمت‌های متفاوتی از توزیع هزینه را مورد توجه قرار می‌دهند. به‌همین علت VaR وقتی که مدل مناسب برای دنباله‌ها در دست نباشد، برای بهینه‌سازی مسئله استفاده می‌شود، در غیر این‌صورت CVaR ارجحیت دارد. در زنجیره تأمین برای کنترل ریسک زیان‌های ناشی از موارد ذکر شده، پارامتر $\alpha$ توسط تصمیم‌گیرنده از قبل معلوم و ثابت است. فرض بر این است که تصمیم‌گیرنده تنها مجموعه‌هایی را می‌پذیرد که برای آنها کل احتمال سناریوها با هزینه بیشتر از VaR بزرگتر از $\alpha$-۱ نباشد. در مدل ارائه شده تصمیم‌گیرنده ریسک گریز تلاش می‌کند که هزینه‌های بدترین شرایط را که از VaR تجاوز می‌کند، کمینه کند. وقتی که هزینه دنباله مقداری است که هزینه‌های انجام سناریوی $b$ از VaR تجاوز کند، $T_b$ را به‌عنوان هزینه دنباله[2] برای سناریوی $b$ تعریف می‌کنیم.

با محاسبه VaR و مینیمم کردن هم‌زمان CVaR پورتفولیوی مورد بررسی بهینه خواهد شد. با اندازه‌گیری CVaR، مقدار هزینه دنباله برای رسیدن به یک تخمین دقیق‌تر از ریسک‌های مدل مورد توجه قرار می‌گیرد. با استفاده از تابع کمکی زیر که توسط راکیفلار[3] و آریاسف[4] در سال ۲۰۰۰ معرفی شد مدل پیشنهادی CVaR ، محاسبه می‌شود[۱۳].

مینمم کردن متوسط هزینه مورد انتظار در بدترین حالت[5]:

$$C(Z)=VaR+(1-\alpha)^{-1}\times\sum_{b\in B}\lambda_b T_b \qquad (۱۳)$$

S.t

محدودیت‌های (۱-۱۲) مربوط به تخصیص سفارش، حداکثر ظرفیت تأمین‌کنندگان، انتخاب تأمین‌کنندگان و کل تأخیرهای مجاز و متوسط نرخ معیوب می‌باشد.

محدودیت ریسک: هزینه دنباله برای سناریوی $b$، به‌صورت مقداری غیرمنفی که هزینه تولید قطعات (در سناریوی $b$) توسط آن از VaR بیشتر می‌شود.

$$T_b \geq E(Z) - VaR;\ b\epsilon B \qquad (۱۴)$$

محدودیت غیرمنفی و صحیح بودن: (۱۵)

1-Conditional Value-at-Risk

2- Tail Cost
3- Rockafellar
4- Uryasev
5- Minimize Expected Worst-Case Cost

$T_b \geq 0;\quad b \epsilon B.$ (۱۵)

$T_b$ مقداری مثبت است. فرض بر این است که هر تأمین‌کننده توانایی تولید تمام قطعات مورد نظر را دارد. این مدل سعی می‌کند که VaR را کاهش دهد و از این طریق تأثیر مثبتی در تابع هدف داشته باشد.

می‌توان هر دو تابع هدف را نیز هم‌زمان به‌منظور مینمم و تعادل هزینه‌ها با وجود ریسک مورد توجه قرار دارد. فرمول زیر با استفاده از یک مجموع وزنی از امید ریاضی هزینه و VaR به‌عنوان یک سنجه‌ی ریسک بر اساس کاری از کاهارا[1] و تافه[2] ارائه می‌گردد[۳].

$\eta\, E(Z)+(1-\eta)\, C(Z)$ (۱۶)

وقتی $0 \leq \eta \leq 1$

محدودیت‌های (۱-۱۲)، (۱۴-۱۵).

## ۴- نتیجه‌گیری

تولیدکننده هنگام انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش به‌منظور ایجاد یک پورتفولیوی تأمین، با هزینه‌های غیرقطعی و مجموعه‌ای از تأمین‌کنندگان با کیفیت‌ها و قابلیت اطمینان‌های متفاوت مواجه می‌شود. انتخاب مجموعه تأمین‌کنندگان در حضور ریسک در زنجیره تأمین تحت کیفیت غیرقطعی مواد اولیه تأمین شده، قابلیت اطمینان تحویل به‌موقع، قیمت متغیر و کیفیت (نرخ معیوب) غیرقطعی است. به‌طور کلی ریسک در زنجیره تأمین و هر نوع ریسک در اطلاعات، جریان مواد و محصولات از تأمین‌کننده اصلی به مشتریان محصول نهایی در طول فرآیند تحویل را شامل می‌شود. در این پژوهش مسئله تخصیص بهینه قطعات به مجموعه‌هایی از تأمین‌کنندگان تحت حضور ریسک مربوط به شرایط غیرقطعی در زنجیره تأمین به‌عنوان یک مدل خطی عدد صحیح احتمالی مورد بررسی قرار گرفته است. مدل پیشنهادی قادر است مجموعه تأمین‌کنندگان را با محاسبه ارزش در معرض ریسک هزینه تولید قطعات و با ارائه سناریوهای مختلف بهینه کند. پورتفولیوی تأمین براساس هزینه مورد انتظار سفارش و برون‌سپاری، خرید، جریمه تأخیر و هزینه مورد انتظار در بدترین حالت انتخاب می‌شود.

مدل مطرح شده با استفاده از برنامه CPLEX و نرم‌افزارهای مشابه قابل حل است و حل آن برای مطالعات آینده پیشنهاد می‌شود. همچنین بررسی ریسک‌های ناشی از حضور نیروی انسانی در محیط تولیدی برای نزدیک‌تر کردن مدل به شرایط واقعی و نیز توجه به ریسک‌های طبیعی و یا ساخته بشر مانند زلزله، سیل، حمله‌های تروریستی و اعتصابات کارگری حائز اهمیت است.

1- Chahara
2- Taaffe

## منابع


[1] Faisal M. N., Banwet D.K., Business R. S., "***Supply chain risk mitigation: modeling the enablers***", Process Management Journal Vol. 12 No. 4, pp. 535-552, 2006.

[2] Jüttner U., "***Supply chain risk management, Understanding the business requirements from a practitioner perspective***", The International Journal of Logistics, Management, Vol. 16 No. 1, pp. 120-141, 2005.

[3] Sawik T., "***Supplier selection in make-to-order environment with risks***", Mathematical and Computer Modelling, Vol. 53, 1670–1679, 2011.

[4] Cavinato J.L., "***Supply chain logistics risks from the back room to the board room***", International Journal of Physical Distribution & LogisticsManagement, Vol. 34 No. 5, pp. 383-387, 2004.

[5] Giunipero L. C., Aly Eltantawy R., "***Securing the upstream supply chain: a risk management approach***", International Journal of Physical Distribution & Logistics Management. Vol. 34 No. 9, pp. 698-713, 2004.

[6] Jüttner U., Peck H., Christopher M., "***Supply chain risk management: outlining an agenda for future research***", International Journal of Logistics Research and Applications, Vol. 6 No. 4, 197 - 210, 2010.

[7] Haskose A., Kingsman B.G., Worthington D., "***Performance analysis of make-to-order manufacturing systems under different workload control regimes***". International Journal of Production Economics, Vol. 90 No. 2, 169–186, 2004.

[8] Ojala M. Hallikas J., "***Investment decision-making in supplier networks:Management of risk***",

Int. J. Production Economics Vol. 104, 201–213, 2006.
[9] Ebadian M., Rabbani M., Jolai F., Torabi S.A., Tavakkoli-Moghaddam R., "***A new decision-making structure for the order entry stage in make-to-order environments***", Int. J. Production Economics, Vol. 111, 351–367, 2008.
[10] Markowitz H., "***Portfolio Selection: Efficient Diversification of Investment***", John Wiley & Sons, New York, 1959.
[11] Dempster M.A.H., "***RISK MANAGEMENT: VALUE AT RISK AND BEYOND***", 2002.
[12] Choudhry M., "***An introduction to Value-at-Risk***", 2006.
[13] Rockafellar R.T., Uryasev S., "***Optimization of conditional value-at-risk***", The Journal of Risk Vol. 2 No. 3, 21–41, 2000.