۶-۴ نشانه گذاری

اندیس ها

P : محصول

m : ماده اولیه

f : کارخانه / یا/ خط تولید

s : تامین کننده

d : مرکز توزیع

c : مشتری

t : دوره زمانی

پارامترها

d_{pct} : میزان تقاضا

π_p : قیمت فروش محصول

h_f : ظرفیت کارخانه

γ_p : ظرفیت مورد نیاز محصول

δ_{pm} : میزان ماده اولیه برای هر واحد محصول

ρ_{ms} : اگر $\rho_{ms} = 1$ تامین کننده ماده اولیه m را عرضه نموده، در غیر این صورت $\rho_{ms} = 0$

ω_{ms} : قیمت ماده اولیه

λ_{pf} : هزینه تولید یک واحد محصول

β_{pd} : هزینه ذخیره موجودی در مرکز توزیع بیش از افق برنامه ریزی شده

r_{pd} : هزینه رسیدگی در مرکز توزیع به ازای یک واحد محصول

c_{1msf} : هزینه انتقال ماده اولیه از تامین کننده به کارخانه

c_{2pdf} : هزینه انتقال محصول از کارخانه به مرکز توزیع

c_{3pdc} : هزینه انتقال محصول از مرکز توزیع به مشتری

f_{1f} : هزینه ثابت کارخانه

f_{2d} : هزینه ثابت مرکز توزیع

e_p : انرژی مصرفی و اثرات مخرب زیست محیطی حمل و نقل یک واحد محصول در واحد زمان

e_{pf} : انرژی مصرفی و اثرات مخرب زیست محیطی تولید یک واحد محصول در واحد زمان

e_m : انرژی مصرفی و اثرات مخرب زیست محیطی تامین یک واحد ماده اولیه در واحد زمان

t_{1msf} : زمان حمل و نقل یک واحد ماده اولیه از تامین کننده به کارخانه

t_{2pf} : زمان لازم برای تولید یک واحد محصول

t_{3pfd} : زمان حمل و نقل یک واحد محصول از کارخانه به مرکز توزیع

t_{4pdc} : زمان حمل و نقل یک واحد محصول از مرکز توزیع به مشتری

C : عدد ثابت

α : سطح اطمینان

Ω : بردار تصادفی

P_{se} : احتمال وقوع هر سناریو

θ_{pfdt} : پارامتر توزیع نمایی نشان دهنده اجرای کامل سفارش محصول p مشتری c توسط مرکز توزیع d در دوره t

متغیرهای تصمیم

X_{pdct} : مقدار محصول فروخته شده از مرکز توزیع به مشتری

Q_{pft} : مقدار محصول تولید شده

Y_{pfdt} : مقدار محصول ارسال شده از کارخانه به مرکز توزیع

B_{pdt} : موجودی مرکز توزیع

V_{msft} : مقدار ماده اولیه خریداری شده و ارسال شده به کارخانه

W_f : شاخص باز بودن کارخانه، اگر مساوی ۱ باشد کارخانه باز است.

U_d : شاخص باز بودن مرکز توزیع، اگر مساوی ۱ باشد مرکز توزیع باز است.

$\bar{P}$: متوسط حساب دریافتنی سالانه

$\bar{R}$: متوسط حساب پرداختنی سالانه

u : ارزش در معرض ریسک

در ادامه توابع هدف مورد نظر با استفاده از نشانه های معرفی شده مدل سازی شده است.

تابع هدف هزینه

مشخصه هزینه مدل اسکور شامل همه هزینه های زنجیره تامین در لایه های مختلف است. هزینه های عملیاتی کردن فرآیندهای زنجیره تامین شامل هزینه های نیروی کار، هزینه های مواد و هزینه های مدیریت و حمل و نقل است. یک معیار نوعی سنجش هزینه، هزینه کالاهای فروخته شده است.

تابع هدف هزینه، در صنعت مورد مطالعه به شرح زیر پیشنهاد میگردد.

هدف مسئله حداقل سازی میزان هزینه است.

$$Z_1 = \sum_{m=1}^{M}\sum_{s=1}^{S}\sum_{f=1}^{F}\sum_{t=1}^{T}(\omega_{ms} + c_{1msf})V_{msft} + \sum_{p=1}^{P}\sum_{f=1}^{F}\sum_{t=1}^{T}\lambda_{pf}Q_{pft} + \sum_{f=1}^{F} f_{1f}w_f + \sum_{p=1}^{P}\sum_{f=1}^{F}\sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T} c_{2pdf}Y_{pfdt} + \sum_{p=1}^{P}\sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}\beta_{pd}B_{pdt} + \sum_{d=1}^{D} f_{2d}U_d + \sum_{p=1}^{P}\sum_{d=1}^{D}\sum_{c=1}^{C}\sum_{t=1}^{T}(r_{pd} + c_{3pdc})X_{pdct}$$

تابع هدف کارایی مدیریت سرمایه

مشخصه کارایی مدیریت سرمایه مدل اسکور شامل بازده سرمایه ثابت، بازده سرمایه در گردش و چرخه تبدیل وجه نقد است. در این تحقیق تابع هدف مدیریت سرمایه بر اساس چرخه تبدیل وجه نقد تشکیل می شود. چرخه تبدیل وجه نقد بیانگر مدت زمانی است که بین پرداخت هزینه مواد اولیه تا بازگشت سرمایه به عنوان سود می گذرد. هدف تحقیق حداقل سازی چرخه تبدیل وجه نقد است

$$Z_2 = \frac{\sum_{m=1}^{M}\sum_{s=1}^{S}\sum_{f=1}^{F}\sum_{t=1}^{T}\rho_{ms}V_{msft} - \sum_{p=1}^{P}\sum_{m=1}^{M}\sum_{f=1}^{F}\sum_{t=1}^{T}\delta_{pm}Q_{pft}}{\sum_{p=1}^{P}\sum_{m=1}^{M}\sum_{s=1}^{S}\sum_{f=1}^{F}\sum_{t=1}^{T}\omega_{ms}\delta_{pm}Q_{pft} + \sum_{p=1}^{P}\sum_{f=1}^{F}\sum_{t=1}^{T}\lambda_{pf}Q_{pft}} + \frac{365\bar{R}}{\sum_{p=1}^{P}\sum_{d=1}^{D}\sum_{c=1}^{C}\sum_{t=1}^{T}\pi_p X_{pdct}} - \frac{365\bar{P}}{\sum_{p=1}^{P}\sum_{d=1}^{D}\sum_{c=1}^{C}\sum_{t=1}^{T}\pi_p X_{pdct}}$$

تابع هدف قابلیت اطمینان

قابلیت اطمینان بیانگر توانایی انجام وظیفه در سطح مورد نیاز است. بر اساس مدل اسکور قابلیت اطمینان با سنجه سفارشاتی که کامل تحویل داده شده اند نمایش داده می شوند. یعنی سفارشاتی که با کیفیت درست، کمیت درست در زمان درست و با مستندات دقیق ارسال شده باشند.

هدف تحقیق حداکثرسازی قابلیت اطمینان است.

$$\boldsymbol{Z_3 = \sum_{p=1}^{P}\sum_{d=1}^{D}\sum_{c=1}^{C}\sum_{t=1}^{T} e^{-\theta_{pfdt}} X_{pdct}}$$

تابع هدف پاسخگویی

پاسخگویی نشان دهنده سرعتی است که در آن وظایف انجام می شوند. تابع هدف پاسخگویی به دنبال کاهش چرخه تکمیل سفارش و از نوع حداقل سازی است.

$$Z_4 = \sum_{m=1}^{M}\sum_{s=1}^{S}\sum_{f=1}^{F}\sum_{t=1}^{T} t_{1msf} V_{msft} + \sum_{p=1}^{P}\sum_{f=1}^{F}\sum_{t=1}^{T} t_{2pf} Q_{pft} + \sum_{p=1}^{P}\sum_{f=1}^{F}\sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T} t_{3pfd} Y_{pfdt} + \sum_{p=1}^{P}\sum_{d=1}^{D}\sum_{c=1}^{C}\sum_{t=1}^{T} t_{4pdc} X_{pdct}$$

تابع هدف چابکی (مخاطره پذیری)

مشخصه چابکی بیانگر توانایی پاسخ به تاثیرات خارجی و توانایی و سرعت انجام تغییر است. تاثیرات خارجی شامل افزایش یا کاهش غیر قابل پیش بینی تقاضا، خارج شدن تامین کنندگان یا شرکا از کسب و کار، بلایای طبیعی، تروریسم و مسائل مربوط به نیروی کار است. تابع هدف چابکی بر اساس شاخص ارزش در معرض ریسک (VaR)[1] بیان می شود. ارزش در معرض ریسک بیشترین مقدار زیان مورد انتظار را در یک افق زمانی مشخص در سطح اطمینانی معین اندازه گیری می نماید و با زیان بالقوه و احتمال رخداد زیان در یک بازه زمانی مشخص اندازه گیری می شود. برای مثال، یک شرکت سرمایه گذاری ممکن است اعلام کند ارزش در معرض ریسک روزانه خرید و فروش پرتفوی شرکت در سطح اطمینان ۹۵٪ ، ۱۰۰ میلیون تومان است. به عبارت دیگر، تنها در ۵ مورد از ۱۰۰ معامله روزانه ممکن است ضرر و زیانی بیش از ۱۰۰ میلیون تومان رخ دهد. بنابراین این معیار نشان دهنده ریسک حاصل از بازار به صورت نقدی شده است. تابع ارزش در معرض ریسک به این صورت نوشته می شود:

$$VaR_\alpha = min\{u | P\{y | f(x,y) \le u\} \ge \alpha\}$$

در این رابطه u بیانگر میزان ارزش در معرض ریسک و $f(x,y)$ بیانگر تابع زیان با توزیع نرمال است. تابع VaR بیانگر حداقل میزان زیان در نقطه ای است که احتمال زیان در آن کمتر یا مساوی α باشد. اما این تابع زیان در واقعیت با توزیع نرمال انطباق ندارد و ممکن است به شکل های دیگری خود را نشان دهد. تفاوت بین توزیع تخمین زده شده و مشاهدات واقعی سبب می شود که تابع VaR دارای همبستگی نباشد. هم چنین اندازه گیری ارزش در معرض ریسک به روش های مختلف می تواند منجر به نتایج متفاوتی شود که سبب پایین آمدن قابلیت اعتماد آن می شود. علاوه بر این موارد، تابع VaR یک تابع غیر محدب و غیر هموار است که دارای نقاط بهینه محلی چندگانه ای است. موارد مذکور باعث می شود بهینه سازی تابع VaR کار بسیار مشکلی شود. به همین خاطر ارزش در معرض ریسک شرطی به عنوان جایگزینی برای تابع VaR معرفی شده است. تابع به شکل زیر تعریف می شود:

$$CVaR_\alpha = min\left\{u + \frac{1}{1-\alpha} E[f(x,y) - u]^+\right\}$$

به گونه ای که $[f(x,y) - u]^+ := max\{0, f(x,y) - u\}$

[1] Value at Risk

برای حل مشکل تابع $[f(x,y)-u]^+$ در مسئله بهینه سازی $CVaR$ می توان از متغیرهای کمکی استفاده نمود و با خطی سازی تابع هدف مسئله را حل نمود. اما این شیوه منجر به افزایش ابعاد مسئله و پیچیدگی بیشتر آن می شود. در این تحقیق جهت رفع این مشکل از تخمین میانگین نمونه استفاده می کنیم.
تابع هدف ارزش در معرض خطر شرطی به صورت زیر تشکیل می شود و از نوع حداقل سازی است.

$$Z_5 = CVaR_\alpha = u + \frac{1}{(1-\alpha)}\sum_{s=1}^{3} P_{se}\left[\sqrt{(u-f(X,\Omega))^2+\mu^2}+f(\mathrm{X},\Omega)-u\right]$$

تابع $f(X, \Omega)$ تابع زیان مسئله است که به صورت تفاضل هزینه ها و درامد فروش نوشته می شود.

تابع هدف اسکور پایدار

مدل های کسب و کار پایدار و حسابداری محیط زیست، نگرانی های کسب و کار در حال رشد هستند. مدل اسکور ، که یک چارچوب اثبات شده برای تعریف دامنه زنجیره تامین و عملیات فرآیند و همچنین اندازه گیری عملکرد زنجیره تامین فراهم می کند یک پایه عالی برای حسابداری زیست محیطی در زنجیره تامین است. در این راستا ، آپیکس مجموعه ای از معیارهای زیست محیطی استراتژیک پیشنهاد کرده است که می تواند به مدل اسکور اضافه شود و به طور موثر اجازه دهد تا مدل اسکور به عنوان چارچوبی برای حسابداری محیط زیست استفاده شود.
این سنجه ها با استانداردهای GRI (پیشگام گزارشگری جهانی) به طور نزدیکی تنظیم شده اند. GRI به عنوان پیشروی استاندارد برای گزارش پایداری شرکت های بزرگ پدید آمده است. استانداردهای GRI یک زبان مشترک برای سازمان و ذینفعان ایجاد کرده است که با آن اثرات اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی از سازمان ها می تواند ابلاغ و درک شود. استانداردهای طراحی شده به منظور افزایش مقایسه جهانی و کیفیت اطلاعات در مورد این اثرات ، در نتیجه شفافیت و پاسخگویی بیشتر از سازمان ها را قادر می سازد.
تابع هدف اسکور پایدار بر اساس آن بخش از استانداردهای GRI که در شرکت مورد مطالعه موثر است تشکیل می شود و از نوع حداقل سازی است.

$$Z_6 = \sum_{m=1}^{M}\sum_{s=1}^{S}\sum_{f=1}^{F}\sum_{t=1}^{T} e_m t_{1msf} V_{msft} + \sum_{p=1}^{P}\sum_{f=1}^{F}\sum_{t=1}^{T} e_{pf} t_{2pf} Q_{pft}$$
$$+ \sum_{p=1}^{P}\sum_{f=1}^{F}\sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T} e_p t_{3pfd} Y_{pfdt} + \sum_{p=1}^{P}\sum_{d=1}^{D}\sum_{c=1}^{C}\sum_{t=1}^{T} e_p t_{4pdc} X_{pdct}$$

با مشخص شدن توابع هدف مدل برنامه ریزی ریاضی، محدودیت های مدل نیز تعیین می گردد:

محدودیت اول، وجود تعادل میان محصولات فروخته شده و تقاضا :

رابطه ۴-۱

$$\sum_{d=1}^{D} X_{pdct} \leq d_{pct}, \forall p, c, t$$

محدودیت دوم و سوم، تعادل میان جریان های ورودی و خروجی در توزیع کننده ها:

رابطه ۴-۲

$$\sum_{d=1}^{D} X_{pdct} \leq B_{pdt} + \sum_{f=1}^{F} Y_{pfdt}\,, \forall p, d, t$$

رابطه ۴-۳

$$B_{pdt} = B_{pdt-1} + \sum_{f=1}^{F} Y_{pfdt} - \sum_{c=1}^{C} X_{pdct}\,, \forall p, d, t$$

محدودیت چهارم، برقراری تعادل میان محصولات تولید شده و محصولات ارسالی به مراکز توزیع:

رابطه ۴-۴

$$\sum_{d=1}^{D} Y_{pfdt} \leq Q_{pft}, \forall p, f, t$$

محدودیت ظرفیت تولید در رابطه پنجم نشان داده شده است:

رابطه ۴-۵

$$\sum_{p=1}^{P} \gamma_p Q_{pft} \leq h_f W_f, \forall f, t$$

محدودیت ششم، دسترسی به مواد اولیه برای تولید محصول:

رابطه ۴-۶

$$\sum_{p=1}^{P} \delta_{pm} Q_{pft} \leq \sum_{s=1}^{S} \rho_{ms} V_{msft}\,, \forall m, f, t$$

محدودیت هفتم، جریان محصولات فقط از طریق مراکز توزیعی که باز باشند برقرار می شود:

رابطه ۴-۷

$$\sum_{p=1}^{P} \sum_{c=1}^{C} X_{pdct} \leq CU_d, \forall d, t$$

محدودیت هشتم و نهم، متوسط حساب دریافتنی و پرداختنی سالانه:

رابطه ۴-۸

$$\bar{P} \leq \sum_{p=1}^{P}\sum_{d=1}^{D}\sum_{c=1}^{C}\sum_{t=1}^{T}\pi_m X_{pdct}$$

رابطه ۴-۹

$$\bar{R} \leq \sum_{m=1}^{M}\sum_{s=1}^{S}\sum_{f=1}^{F}\sum_{t=1}^{T}\omega_{ms} V_{msft}$$

مقدار موجودی اولیه مطابق محدودیت دهم، برابر صفر است:

رابطه ۴-۱۰ $B_{pd0} = 0, \forall p, d$

در محدودیت یازده، متغیرهای مربوط به شاخص باز بودن کارخانه و مرکز توزیع را نشان می دهد:

رابطه ۴-۱۱ $W_f, U_d \in \{0,1\}$

به منظور نشان دادن عدم قطعیت در این تحقیق، ابتدا فرض می کنیم هزینه حمل محصول از مرکز توزیع به مشتری و همین طور قیمت فروش با توجه به سناریوهای مختلف، متفاوت است. سناریوهای احتمالی بر اساس وضعیت بازار و مقدار تقاضای مشتری، شامل وضعیت رونق، تعادل و رکود است. در این تحقیق، احتمال وقوع هر یک از این سناریوها به ترتیب ۰/۲، ۰/۶و ۰/۳ در نظر گرفته شده است. بر این اساس بردار تصادفی به این ترتیب نوشته شده است: $\Omega = (c_{3pdc}, \pi_p)$

از آنجا که مدل تشکیل شده، یک مدل بهینه سازی چند هدفه عدد صحیح مختلط و غیر خطی است و به علت وجود متغیرهای عدد صحیح و متغیرهای پیوسته و غیر خطی بودن تابع هدف، از روش NSGA II که یکی از زیرشاخه های الگوریتم ژنتیک است برای حل آن استفاده می شود.

در این پژوهش برای حل مسئله و ارزیابی عملکرد الگوی پیشنهاد شده، مسئله در دو حالت با ابعاد کوچک و بزرگ حل می شود.

مسئله با ابعاد کوچک با مدل ریاضی و با استفاده از نرم افزار گیمز و برای مقادیر اندیس ها به شرح ذیل حل می شود: $p=1, m=1, f=1, s=1, d=1, c=1, t=1$

برای حل آن باید از توابع هدف خطی استفاده نمود. با توجه به آنکه تابع هدف چابکی از نوع غیر خطی است با استفاده از متغیرهای کمکی، تابع هدف را خطی می نماییم و مسئله را در ابعاد کوچک حل می کنیم.

$$CVaR_\alpha = min\left\{u + \frac{1}{1-\alpha}E[f(x,y) - u]^+\right\}$$

فرض می کنیم $f(x, y_f) - u = z_f$

بر این اساس دو محدودیت به شرح زیر به مسئله اضافه می شود:

$$f(x, y_f) - u = z_f$$
$$Z_f \geq 0$$

تابع هدف مسئله نیز به این صورت نوشته می شود:

$$CVaR_{\alpha} = min\left\{u + \frac{1}{1-\alpha}\sum_{f=1}^{3} P_f . Z_f\right\}$$

مقدار هر یک از توابع هدف به دست آمده به شرح جدول زیر است:

جدول ۴-۲۱ میزان توابع هدف محاسبه شده مسئله در ابعاد کوچک

تابع هدف	مقدار جواب
Z_1	
Z_2	
Z_3	
Z_4	
Z_5	
Z_6	

۴-۷ طراحی الگوریتم NSGA II

به منظور حل مسئله در ابعاد بزرگتر (نسبت به روش قبل) از این روش استفاده می کنیم. مسئله با ابعاد بزرگ با مدل ریاضی و با استفاده از نرم افزار متلب و برای مقادیر اندیس ها به شرح ذیل حل می شود:

p=4, m=5, f=2, s=3, d=1, c=5, t=4