برنامه‌ریزی تولید ادغامی شرکت لوله و ماشین‌سازی ایران با رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی خاکستری

سید محمدعلی خاتمی فیروزآبادی
استادیار گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه علامه طباطبائی

احمد ماکوئی
دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران

وحید پیری (نویسنده مسئول)

کارشناس ارشد مدیریت صنعتی، دانشگاه علامه طباطبائی
vahidpiri59680@yahoo.com

چکیده

در عصر حاضر، موفقیت سازمان‌ها در گرو برنامه‌ریزی است. هدف از برنامه‌ریزی میان‌مدت تولید، استفاده مطلوب از منابع‌انسانی، تجهیزات و ظرفیت به منظور تأمین تقاضا در طول یک دوره معین است. همواره در سازمان‌ها اهداف متعدد و بعضاً متعارضی در زمینه برنامه‌ریزی وجود دارد که این امر استفاده از مدل‌های انعطاف‌پذیری که بتوانند این شرایط را در نظر بگیرند را اجتناب‌ناپذیر می‌سازد. از سوی دیگر، مدل‌های برنامه‌ریزی تولید باید به گونه‌ای طراحی شوند که توانایی مواجهه با عدم‌اطمینان و کمبود اطلاعات را دارا باشند. تکنیک برنامه‌ریزی آرمانی خاکستری روشی است که هم امکان در نظر گرفتن اهداف متعدد و متعارض و هم امکان مواجهه با عدم‌اطمینان و کمبود اطلاعات را دارا می‌باشد. در این پژوهش به منظور تهیه برنامه میان‌مدت تولید در شرکت لوله و ماشین سازی ایران از مدل برنامه‌ریزی آرمانی خاکستری استفاده شده است.

کلید واژه:

برنامه‌ریزی تولید ادغامی، برنامه‌ریزی آرمانی، تئوری خاکستری، ریاضیات خاکستری، شرکت لوله و ماشین‌سازی ایران.

مقدمه

امروزه موفقیت و پیشرفت در عرصه رقابت، نیازمند برنامه‌ریزی است و چنانچه برنامه‌ریزی در سازمان صورت نگیرد، مسائل و مشکلات فراوانی گریبان‌گیر سازمان خواهد بود. هدف از برنامه‌ریزی تولید و عملیات، استفاده مطلوب از منابع‌انسانی، تجهیزات [۱] و ظرفیت به منظور ارضای تقاضا در طول یک دوره معین است [۲]. در صورتی که نرخ تقاضا ثابت باشد، برنامه‌ریزی تولید ساده خواهد بود [۲]، اما در محیط رقابتی امروز، وجود اهداف متعدد و همچنین نوسانات بسیار در تقاضای اکثر کالاها و خدمات در یک دوره معین سبب شده است برنامه‌ریزی میان‌مدت تولید (برنامه‌ریزی تولید ادغامی) از اهمیت بالایی برخوردار گردد. از سوی دیگر، شرایط عدم‌اطمینان و کمبود اطلاعات موجود در سازمان‌ها، بهره‌گیری از روش‌های مقابله با عدم‌اطمینان در برنامه‌ریزی را اجتناب‌ناپذیر می‌سازند.

۱. بیان مسئله

برنامه‌ریزی تولید ادغامی در واقع فرآیند برنامه‌ریزی و کنترل وجوه مختلف کل فعالیت‌های تولید به منظور ارضای تقاضای مشتریان کارخانه است[۱]. برنامه‌ریزی تولید ادغامی حلقه رابط میان برنامه‌های بلندمدت و کوتاه‌مدت (زمانبندی) تولید است.
برنامه‌ریزی تولید ادغامی به دنبال تعیین بهینه میزان تولید، سطح نیروی انسانی و سطح انبار و قراردادهای جانبی(جنبی) است؛ به طوری که با کمترین هزینه، پاسخگوی تقاضا در طی افق برنامه‌ریزی باشد[۱]. تاکنون روش‌های متعددی از جمله روش‌های دستی، برنامه‌ریزی خطی و مدل‌های حمل و نقل برای برنامه‌ریزی تولید ادغامی ارائه شده‌اند که این روش‌ها به دلیل ساده‌سازی بسیار زیاد، کاربرد چندانی در صنعت ندارند. البته اخیراً روش‌های نوینی همچون شبیه‌سازی نیز برای برنامه‌ریزی تولید ادغامی مطرح شده‌اند که این روش‌ها نیز علیرغم مزیت‌های فراوان به دلیل عدم ارائه یک راه‌حل بهینه، مطلوبیت چندانی ندارند[۱].
مهم‌ترین دلایل برای استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی در برنامه‌ریزی تولید ادغامی عبارتند از:

- وجود اهداف غیر قابل جمع
- نوسان در تقاضا
- عدم دسترسی به اقلام واقعی هزینه مانند: هزینه‌های تولید، منابع‌انسانی و ... [۱]

از آنجا که مبحث برنامه‌ریزی با آینده سر و کار دارد، لذا با عدم‌اطمینان و کامل نبودن اطلاعات مواجه است که این امر، ضرورت استفاده از رویکردهای نوین در مطالعه سیستم‌های دارای عدم‌اطمینان را افزایش می‌دهد[۳].

۲. پیشینه تحقیق

در سال‌های اخیر مدل‌های برنامه‌ریزی تولید ادغامی متعددی معرفی شده‌اند. نام و لُگندران مدل‌های برنامه‌ریزی تولید ادغامی را در ۱٤۰ مقاله و ۱٤ کتاب مرور کرده و مدل‌ها را به دو دسته «بهینه» و «نزدیک به بهینه» تقسیم کرده‌اند[٤]. هُلت و همکاران یکی از اولین مدل‌های برنامه‌ریزی تولید ادغامی را ارائه کردند که به نام مدل LDR شناخته می‌شود. این مدل برای ایجاد یک برنامه تولید با استفاده از تخمین‌های درجه دوم هزینه‌های عملیاتی در یک کارخانه رنگسازی به کار گرفته شد. سیلوا و همکاران مدل LDR را برای توسعه یک قاعده تصمیم‌گیری که سطح اشتغال را در طول دوره برنامه‌ریزی ثابت در نظر می‌گرفت، بسط دادند. هانسمَن و هِس یک مدل بر مبنای برنامه‌ریزی خطی با رویکرد ساختار هزینه خطی برای متغیرهای تصمیم ارائه کردند. هِهلینگ، مدل هانسمن و هِس را برای سیستم‌های تولیدی چند محصوله و چند مرحله‌ای توسعه داد[٥]. ماسود و هوانگ سه مدل MCDM برای حل مسائل برنامه‌ریزی تولید ادغامی ارائه کردند که عبارت بودند از: برنامه‌ریزی آرمانی (GP)، روش مرحله‌ای (STEM) و حل مسئله چند هدفه متوالی (SEMOPS)[٤]. جمال‌نیا و سوخاکیان به ارائه یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی چند هدفه فازی ترکیبی (شامل اهداف کیفی و کمّی) برای مسائل برنامه‌ریزی تولید ادغامی پرداخته‌اند[٦]. لیونگ و چان، مسئله برنامه‌ریزی تولید ادغامی با محدودیت‌های عملکردی مختلف شامل ظرفیت تولید، سطح نیروی‌کار، مکان کارخانه‌ها، به‌کارگیری ماشین‌آلات، فضای انبار و محدودیت‌های منابع دیگر را بررسی کرده‌اند[۷]. لیونگ و ان‌جی به حل مسأله برنامه‌ریزی تولید برای کالاهای فاسد شدنی (دارای تاریخ مصرف) با منابع محدود و رشد چشمگیر در تقاضا

پرداخته‌اند. تقاضا برای کالای فاسد شدنی دارای حساسیت زمانی است، چرا که تقاضا به طور چشمگیری در اواخر دوره افزایش می‌یابد؛ مانند روز کریسمس. از طرف دیگر کمبود این نوع کالا، زمانی که این نوع کالا قابل فروش است می‌تواند درآمد را کاهش دهد. تصمیم‌گیرندگان همیشه خواهان توسعه مدل‌هایی هستند که اهداف چندگانه را در نظر بگیرند؛ برای نیل به این منظور در این مقاله یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی برای برنامه‌ریزی تولید فرموله شده است[۸]. داسیلوا و دیگران (۲۰۰۶) در مقاله‌ای تحت عنوان «یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری تعاملی برای مدل برنامه‌ریزی تولید ادغامی بر مبنای برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح با معیارهای مختلط» به معرفی و کاربرد مدل برنامه‌ریزی تولید ادغامی در یک شرکت تولید مواد ساختمانی در کشور پرتغال پرداخته‌اند. این مقاله معیارهای چندگانه (ماکزیمم کردن سود، حداقل کردن سفارشات عقب افتاده، حداقل تغییر در سطح نیروی کار) را با رویکرد برنامه‌ریزی عدد صحیح خطی ترکیب کرده است[۹]. وانگ و لیانگ به برنامه‌ریزی تولید ادغامی چند محصوله با پیش‌بینی تقاضای غیردقیق، هزینه‌های عملیاتی و ظرفیت با رویکرد برنامه‌ریزی خطی احتمالی پرداخته‌اند. این رویکرد تلاش می‌کند که هزینه‌های کل را با توجه به سطح موجودی، سطح نیروی کار و ساعات اضافه کاری و قراردادهای جانبی و میزان کمبود و ظرفیت انبار و ماشین‌آلات، حداقل کند[۱۰]. پرادناس و دیگران (۲۰۰٤) یک مدل ریاضی و یک روش ابتکاری مبتنی بر الگوریتم tabu search برای مسئله برنامه‌ریزی تولید ادغامی در یک کارخانه چوب‌بری جهت تعیین ظرفیت تولیدات مختلف با استفاده از انواع تنه درخت و رویه‌های برش متفاوت، ارائه کرده‌اند[۱۱].

هر چند تاکنون مدل‌های گوناگونی برای برنامه‌ریزی تولید ادغامی مطرح شده‌اند، اما هیچ یک از آن‌ها در شرایط عدم‌اطمینان ناشی از کمبود اطلاعات، کارا نمی‌باشند. هدف اصلی این مقاله، ارائه رویکردی جدید برای مواجهه با مسئله برنامه‌ریزی تولید ادغامی که دارای عدم‌اطمینان و کمبود اطلاعات است، می‌باشد. بدین منظور، واحد شوفاژ شرکت لوله و ماشین‌سازی ایران به عنوان مطالعه موردی انتخاب شد. پس از بررسی مدل‌های ریاضی گوناگون، مدل برنامه‌ریزی آرمانی به دلیل کارایی بالاتر و انعطاف‌پذیری بیشتر و همچنین امکان اعمال نمودن اهداف متعدد و بعضاً متناقض، انتخاب گردید. سپس به منظور مواجهه با عدم‌اطمینان، ۳ روش پرکاربرد در مطالعه سیستم‌های نامعین شامل احتمالات، ریاضیات فازی و تئوری سیستم‌های خاکستری مورد بررسی قرار گرفتند. اگر چه هر کدام از این روش‌ها، نوع متفاوتی از عدم‌اطمینان را مورد مطالعه قرار می‌دهند اما وجه اشتراک آنها به قابلیت و توانایی‌شان در ایجاد یک درک و حس معنی‌دار از عدم‌اطمینان و ناکامل بودن بازمی‌گردد. تفاوت این روش‌ها در نوع عدم‌اطمینانی که مورد مطالعه قرار می‌دهند، باعث ایجاد خصوصیات ویژه‌ای برای هر یک از آن‌ها شده است[۱۲]. نقطه قوت ریاضیات فازی در مطالعه مسائلی است که دارای عدم‌اطمینان تشخیصی می‌باشند. تمام موضوعاتی که با کمک ریاضیات فازی مورد مطالعه قرارگرفته‌اند دارای این ویژگی هستند که دارای ماهیت واضح و امتداد ناواضح می‌باشند. ایده اصلی ریاضیات فازی بر اساس مفهوم توابع عضویت استوار شده است که مبتنی بر تجربیات انسانی تعریف می‌شوند. احتمالات موضوعاتی که دارای عدم‌اطمینان تصادفی هستند را با تأکید بر الگوهای موجود در داده‌های تاریخی آن موضوعات و از طریق استخراج شانس امکان وقوع هر پیامد مورد مطالعه قرار می‌دهد. تئوری سیستم‌های خاکستری به دنبال یافتن الگوهای واقعی مدل‌سازی بر مبنای اطلاعات ضعیف موجود می‌باشد. بر خلاف ریاضیات فازی، در تئوری سیستم‌های خاکستری موضوعاتی مورد بررسی قرار می‌گیرند که امتداد واضح و ماهیت ناواضح دارند[۱۳].

از آنجا که در پژوهش حاضر با عدم‌اطمینان همراه با کمبود اطلاعات مواجه بودیم هیچ یک از دو روش احتمالات و ریاضیات فازی نمی‌توانستند کارا باشند، بنابراین با توجه به شرایط موجود، بهترین روش جهت مقابله با عدم‌اطمینان و کمبود اطلاعات، استفاده از تئوری سیستم‌های خاکستری بود. بدین منظور برنامه‌ریزی آرمانی با تئوری خاکستری ترکیب شده و منجر به طراحی مدل ریاضی برنامه‌ریزی آرمانی خاکستری گردید.

۳. مبانی نظری

برنامه‌ریزی تولید ادغامی؛ یک برنامه میان‌مدت که بر اساس یک پیش‌بینی سالانه ولی ماه به ماه تقاضا و منابع موجود تولید (کارگر، موجودی، هزینه‌های جاری تولید، عرضه کنندگان و قراردادهای جانبی) تهیه می‌شود[۲].

برنامه‌ریزی آرمانی؛ برنامه‌ریزی آرمانی یکی از مهم‌ترین مدل‌های برنامه‌ریزی چند هدفه است. برنامه‌ریزی آرمانی رویکردی است که به کمک آن می‌توان بر دو مشکل یک هدفه بودن و محدودیت‌های خشک فائق آمد[۱٤].

تئوری خاکستری؛ تئوری سیستم خاکستری که برای اولین بار در سال ۱۹۸۲ توسط دانگ ارائه شد، روش بسیار مؤثری برای حل مسائل نامعلوم با اطلاعات ناقص و داده‌های گسسته است. در دنیای واقعی سیستم‌های گوناگون و فراوانی وجود دارند که هر یک از آن‌ها، اجزا و زیرسیستم‌های خاص خود را دارند و برای شناخت آن‌ها باید علاوه بر شناخت این اجزا، روابط بین آن‌ها و همچنین ساختار سیستم نیز مشخص شود. اگر اطلاعات واضح و شفاف یک سیستم را با رنگ سفید و اطلاعات کاملاً ناشناخته یک سیستم با رنگ سیاه تجسم شود، در این صورت اطلاعات مربوط به بیشتر سیستم‌های موجود در طبیعت، اطلاعات سفید (کاملا شناخته شده) و یا سیاه (کاملاً ناشناخته) نیستند، بلکه مخلوطی از آن دو، یعنی به رنگ خاکستری هستند. این گونه سیستم‌ها را سیستم‌های خاکستری می‌نامند که اصلی‌ترین مشخصه آن‌ها، کامل نبودن اطلاعات مربوط به آن‌ها است[۱۵].

عدد خاکستری؛ عدد خاکستری را می‌توان به عنوان یک عدد با اطلاعات نامطمئن تعریف کرد. یک عدد خاکستری عددی است با حد بالا و پایین مشخص که موقعیتش در درون حدود مشخص نیست[۱٦]. عدد خاکستری به طور عمومی به صورت

$$\otimes a\ (\otimes a = a|\underline{\bar{a}})$$

نوشته می‌شود [۳] و برای سیستم به صورت زیر بیان می‌شود:

$$a^{\pm} = [a^{-}, a^{+}] = \{t | a^{-} \leq t \leq a^{+}\} \qquad (1)$$

زمانی که $a^{\pm}$ یک عدد خاکستری باشد، t اطلاعات است و a^{+} و a^{-} حدود بالا و پایین اطلاعات هستند[۱۷].

عملیات ریاضی خاکستری؛ عملیات ریاضی عدد خاکستری بیشتر عملیات تعریف شده روی مجموعه‌های بازه‌ای است تا اعداد حقیقی، که به صورت زیر تعریف می‌شوند:[۳]

ضرب:

$$\otimes a_1 \times \otimes a_2 = [\mathrm{Min}(\underline{a_1}\underline{a_2}, \underline{a_1}\overline{a_2}, \overline{a_1}\underline{a_2}, \overline{a_1}\overline{a_2}), \mathrm{Max}(\underline{a_1}\underline{a_2}, \underline{a_1}\overline{a_2}, \overline{a_1}\underline{a_2}, \overline{a_1}\overline{a_2})] \qquad (2)$$

تقسیم:

$$\otimes a_1 \div \otimes a_2 = [\underline{a_1}, \overline{a_1}] \times \left[\frac{1}{\overline{a_2}}, \frac{1}{\underline{a_2}}\right] \qquad (3)$$

تفریق:

$$\otimes a_1 - \otimes a_2 = [\underline{a_1} - \overline{a_2}, \overline{a_1} - \underline{a_2}] \qquad (4)$$

جمع:

$$\otimes a_1 + \otimes a_2 = [\underline{a_1} + \underline{a_2}, \overline{a_1} + \overline{a_2}] \qquad (5)$$

مقایسه اعداد خاکستری؛ برای دو عدد خاکستری $\otimes G_1[\underline{G_1}, \overline{G_1}]$ و $\otimes G_2[\underline{G_2}, \overline{G_2}]$ درجه امکان[1] $\otimes G_1 \leq \otimes G_2$ به صورت زیر بیان می‌شود:

$$p\{\otimes G_1 \lesssim \otimes G_2\} = \frac{\max\{0,\ L^* - \max(0, \overline{G_1} - \underline{G_2})\}}{L^*} \qquad (6)$$

که:

$$L^* = L(\otimes G_1) + L(\otimes G_2) \qquad (7)$$

طبق فرمول فوق، برای رابطه میان $\otimes G_1$ و $\otimes G_2$ ، چهار حالت ممکن وجود دارد:

- اگر $\underline{G_1} = \underline{G_2}$ و $\overline{G_1} = \overline{G_2}$ باشد، می‌گوییم که $\otimes G_1$ و $\otimes G_2$ برابرند $(\otimes G_1 = \otimes G_2)$. که در این صورت داریم: $p\{\otimes G_1 \lesssim \otimes G_2\} = 0.5$
- اگر $\underline{G_2} > \overline{G_1}$ ، می‌گوییم که $\otimes G_2$ بزرگتر از $\otimes G_1$ است $(\otimes G_2 > \otimes G_1)$. که در اینصورت داریم: $p\{\otimes G_1 \lesssim \otimes G_2\} = 1$
- اگر $\overline{G_2} < \underline{G_1}$ ، می‌گوییم که $\otimes G_2$ کوچکتر از $\otimes G_1$ است $(\otimes G_2 < \otimes G_1)$. که در اینصورت داریم: $p\{\otimes G_1 \lesssim \otimes G_2\} = 0$
- اگر تداخلی بین $\otimes G_1$ و $\otimes G_2$ وجود داشته باشد. وقتی $p\{\otimes G_1 \lesssim \otimes G_2\} > 0.5$ باشد، می‌گوییم $\otimes G_2$ بزرگتر از $\otimes G_1$ است $(\otimes G_2 > \otimes G_1)$. و وقتی $p\{\otimes G_1 \lesssim \otimes G_2\} < 0.5$ باشد، می‌گوییم $\otimes G_2$ کوچکتر از $\otimes G_1$ است $(\otimes G_2 < \otimes G_1)$ [۳].

٤. مدل برنامه‌ریزی آرمانی قطعی

٤.١. مشخصه‌ها، متغیرها و پارامترهای مدل

جدول (۱). مشخصه‌های به کار رفته در مدل

نام	مشخصه	دامنه
محصولات (پرده‌ها)	i	$i= 1, \dots, M$
آرمان‌ها	j	$j= 1, \dots, N$
دوره‌های زمانی	t	$t= 1, \dots, T$

جدول (۲). متغیرهای تصمیم مدل قطعی

متغیر تصمیم	شرح	متغیر تصمیم	شرح
H_t^{reg}	میزان ساعات کار در زمان عادی در دوره t	$P_{i,t}$	میزان تولید محصول i در دوره t
H_t^{over}	میزان ساعات کار در زمان اضافه کاری در دوره t	d_j^-	میزان انحراف منفی از آرمان j
$B_{i,t}^{late}$	میزان سفارش به تعویق افتاده محصول i در دوره t	d_j^+	میزان انحراف مثبت از آرمان j
$B_{i,t}^{sto}$	میزان موجودی انبار محصول i در دوره t		

جدول (۳). پارامترهای مدل قطعی

پارامتر	شرح	پارامتر	شرح
h_t^{r-max}	حداکثر ساعات کار عادی یک کارگر در دوره t	C_i^p	هزینه تولید محصول i
h_t^{o-max}	حداکثر ساعات اضافه کاری برای یک کارگر در دوره t	h_i	نفر- ساعت مورد نیاز برای تولید محصول i
$Capacity_t$	حداکثر کل تولید در دوره t (بر حسب درجه)	S_i	حداقل موجودی انبار محصول i
B_i^{spare}	فضای مورد نیاز برای انبارش محصول i	$B_{i,t}^{max}$	حداکثر میزان تولید محصول i در دوره t
$B_i^{late-initial}$	سفارشات معوق محصول i در ابتدای افق برنامه‌ریزی	$D_{i,t}$	میزان تقاضای محصول i در دوره t
$B_i^{sto-initial}$	موجودی انبار محصول i در ابتدای افق برنامه‌ریزی	G_j	میزان مطلوب آرمان j
V_i	قیمت فروش محصول i	W_j	وزن آرمان j
C_i^{inv}	هزینه انبارداری محصول i	$Storage^{capacity}$	حداکثر ظرفیت انبار
C_i^{lat}	هزینه دیرکرد در تحویل محصول i به مشتری		

۲.۵. پیش فرض‌های مدل

۱. مدل برنامه‌ریزی آرمانی شرکت لوله و ماشین‌سازی ایران، به صورت خطی است. یعنی هم آرمان‌ها و هم محدودیت‌ها به صورت خطی در نظر گرفته شده‌اند.

۲. برخی از متغیرهای تصمیم باید به صورت عدد صحیح بیان شوند و می‌دانیم که برنامه‌ریزی خطی در حالت کلی قادر به یافتن جواب متغیرها به صورت عدد صحیح نمی‌باشد، لذا به نظر می‌رسد که می‌بایست از مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح استفاده شود. ولی به دلیل اینکه اثر گرد کردن اعداد، زمانی که مقدار متغیرهای تصمیم اعداد بزرگی باشند، اندک است[۱۸]، بنابراین از مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح اجتناب شده است.

۳. بنابر سیاست‌های شرکت لوله و ماشین‌سازی ایران، استفاده از قراردادهای جنبی به منظور تأمین تقاضای شوفاژ، مجاز نمی‌باشد.

٤. بنابر سیاست‌های سازمان و روابط موجود بین ایستگاه‌های کاری، امکان تغییر سطح نیروی کار در افق برنامه‌ریزی سه ماهه وجود ندارد.

۳.۵. آرمان‌های مدل

بر اساس مصاحبه‌های صورت گرفته با تصمیم‌گیرندگان سازمان، جهت برنامه‌ریزی واحد شوفاژ سه آرمان به قرار زیر شناسایی شد:

- حداکثرسازی درآمد ناشی از تولید
- حداقل‌سازی هزینه تولید
- تأمین به موقع سفارشات

به طور کلی آرمان‌های مدل به صورت زیر نمایش داده می‌شوند:

$$\text{Max(Min)} = \sum_{j=1}^{n} C_{i,j} x_j \qquad i = 1, \dots, m \qquad (8)$$

که پس از تبدیل به محدودیت آرمانی به شکل زیر تبدیل می‌شوند:

$$\sum_{j=1}^{n} C_{i,j} x_j + d_i^- - d_i^+ = G_i \qquad i = 1, \dots, m \qquad (9)$$

۱. حداکثر سازی درآمد ناشی از تولید

یکی از آرمان‌های تصمیم‌گیرندگان سازمان، حداکثرسازی درآمد است. برای تأمین این مقصود، آرمانی به قرار زیر در مدل تعریف شده است که درآمد حاصل از تولید را حداکثر می‌کند:

$$\sum_{i=1}^{M} V_i \left(D_{i,1} - P_{i,1}^{\text{plate}} + P_i^{\text{plate-initial}}\right) + \sum_{i=1}^{M} \sum_{t=2}^{T} V_i \left(D_{i,t} - P_{i,t}^{\text{plate}} + P_{i,t-1}^{\text{plate}}\right) + d_2^- - d_2^+ = G_2 \quad (10)$$

۲. حداقل سازی هزینه تولید

یکی دیگر از آرمان‌های تصمیم‌گیرندگان سازمان، حداقل‌سازی هزینه‌های تولید می‌باشد، که بدین منظور آرمانی به صورت زیر در مدل تعریف شده است:

$$\sum_{i=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} C_i^{inv} I_{i,t}^{sto} + \sum_{t=1}^{T} C^{over} H^{over} + \sum_{t=1}^{T} C^{sal} W_t + \sum_{i=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} C_i^{P} P_{i,t} + d_3^- - d_3^+ = G_3 \quad (11)$$

۳. *تأمین به موقع سفارشات*

مدل باید به گونه‌ای طراحی شود تا انحراف از تأمین سفارشات حداقل شود و سفارشات تا حد امکان در زمان معین به مشتریان تحویل داده شوند. بدین منظور، آرمانی به صورت زیر در مدل تعریف شده است:

$$\sum_{i=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} C_i^{late} I_{i,t}^{late} + d_3^- - d_3^+ = G_3 \quad (12)$$

۴.۴. تابع هدف

با توجه به آرمان‌های مدل، تابع هدف مدل به صورت زیر خواهد بود:

$$\text{Minimize} = W_1 d_1^- + W_2 d_2^+ + W_3 d_3^+ \quad (13)$$

۵.۴. محدودیت‌ها

۱. *محدودیت ساعات کار قانونی*

یکی از محدودیت‌های موجود در برنامه‌ریزی تولید ادغامی، محدود بودن ساعات قانونی کار است. باید در نظر داشت که بخشی از این ساعات قانونی کار، صرف آموزش کارگران می‌شود.

$$H_t^{reg} \le \left(h_t^{p-max} - h^{learn}\right) W_t \qquad t = 1, \dots, T \quad (14)$$

۲. *محدودیت ساعات اضافه کاری*

در صورتی که ساعات قانونی کار، پاسخگوی تأمین تقاضای مشتریان نباشد، سازمان می‌تواند از اضافه‌کاری استفاده کند. البته میزان اضافه کاری نیز محدود می‌باشد.

$$H_t^{over} \le h_t^{p-max} W_t \qquad t = 1, \dots, T \quad (15)$$

۳. *محدودیت تعادل تولید*

یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های مدل برنامه‌ریزی تولید، تعادل تولید است. مدل باید به گونه‌ای طراحی شود که تقاضای مشتریان از طریق یکی از راهکارهای تأمین از انبار، تولید، اضافه کاری و یا تعویق پاسخ داده شود.

دوره اول:

$$I_{i,t} = D_{i,t} + I_i^{late-initial} - I_i^{sto-initial} + I_{i,t}^{sto} - I_{i,t}^{late} \qquad i = 1, \dots, M \quad t = 1 \quad (16)$$

دوره‌های بعد:

$$I_{i,t} = D_{i,t} + I_{i,t-1}^{late} - I_{i,t-1}^{sto} + I_{i,t}^{sto} - I_{i,t}^{late} \qquad i = 1, \dots, M \quad t = 1, \dots, T \quad (17)$$

۴. *محدودیت حد فوقانی ظرفیت تولید کل*

میزان تولید شرکت در یک دوره محدود است، بطوریکه شرکت می‌تواند در هر روز ۱۰۰ درجه، پره شوفاژ تولید کند. بنابراین تولید یک دوره شرکت برابر خواهد بود با:

حداکثر تولید کل در یک دوره = حداکثر تولید در یک روز × تعداد روزهای کاری دوره

تعداد پره‌ای که می‌توان با هر درجه تولید کرد برای مدل‌های مختلف متفاوت است. جدول (٤) این تعداد را برای هر مدل نشان می‌دهد.

$$\sum_{l=1}^{6}\frac{1}{3}R_{l,t}+\sum_{l=7}^{15}R_{l,t}+\sum_{l=16}^{18}\frac{1}{6}R_{l,t}\le \text{Capacity}_t \qquad t=1,\dots,T \qquad (18)$$

جدول (۴). تعداد پره قابل تولید بر روی هر درجه

مدل	تعداد پره قابل تولید بر روی هر درجه	مدل	تعداد پره قابل تولید بر روی هر درجه
S	۳	M90	۱
S90	۳	L	۱
M	۱	پکیج	۶

۵. محدودیت حد فوقانی ظرفیت تولید هر محصول

میزان تولید شرکت از هر نوع پره در هر دوره، محدود است. بطوریکه شرکت می‌تواند در یک روز، تعداد مشخصی از هر پره تولید کند. بنابراین:

حداکثر تولید هر محصول در هر دوره = حداکثر تولید آن محصول در هر روز × تعداد روزهای کاری دوره

$$R_{l,t}\le R_l^{\max} \qquad l=1,\dots,M \quad t=1,\dots,T \qquad (19)$$

۶. محدودیت تولید از لحاظ نیروی کار

برای تولید هر محصول، زمان مشخصی لازم است و کل زمان در دسترس در هر دوره محدود می‌باشد.

$$\sum_{l=1}^{M}h_l R_{l,t}=H_t^{reg}+H_t^{over} \qquad t=1,\dots,T \qquad (20)$$

۷. محدودیت حد فوقانی ظرفیت انبار

ظرفیت محدود انبار محصولات، میزان تولید را محدود می‌کند. شایان ذکر است، محصولاتی که در همان دوره تولید به مشتری تحویل داده می‌شوند، از ظرفیت خالی انبار استفاده نمی‌کنند و تنها موجودی‌های پایان دوره، در انبار جای داده می‌شوند.

$$\sum_{l=1}^{m}v_l^{space}I_{l,t}^{sto}\le \text{Storage}^{capacity} \qquad t=1,\dots,T \qquad (21)$$

۸. محدودیت موجودی پایان دوره

طبق سیاست‌های سازمان، می‌بایست در پایان هر دوره، برای هر محصول، موجودی مطلوبی در انبار موجود باشد.

$$I_{l,t}^{sto}\ge S_l \qquad l=1,\dots,M \qquad t=1,\dots,T \qquad (22)$$

۹. محدودیت‌های غیر منفی

آخرین دسته از محدودیت‌ها به محدودیت‌های غیر منفی اختصاص دارد. در مدلسازی برنامه‌ریزی تولید، کلیه متغیرهای تصمیم باید غیر منفی باشند، زیرا هر کدام از متغیرهای تصمیم که نشان‌دهنده میزان تولید، اضافه‌کاری، موجودی انبار و ... هستند باید مقداری برابر با صفر یا مثبت داشته باشند. برای مثال میزان تولید با مقدار منفی، نامفهوم است.

$$H_t^{reg},H_t^{over},R_{l,t}^{late},I_{l,t}^{sto},R_{l,t},d_j^-,d_j^+\ge 0 \qquad l=1,\dots,M \quad j=1,\dots,N \quad t=1,\dots,T \qquad (23)$$

۵. مدل برنامه‌ریزی آرمانی خاکستری

به منظور سازگار شدن با عدم‌اطمینان ناشی از کمبود اطلاعات، مدل بهینه‌سازی خاکستری بر اساس بسط همتای قطعی‌اش ساخته می‌شود. این مدل خاکستری شامل دو زیر مدل می‌شود که می‌توانند به صورت جداگانه و یا بطور مشترک فرموله

شوند. اگر این دو زیر مدل بصورت مستقل فرموله شوند، یک زیر مدل در جستجوی جواب بهینه با در نظر گرفتن حدود بالا خواهد بود و زیر مدل دیگر جواب بهینه را با در نظر گرفتن حدود پایین دنبال خواهد کرد. اما با ترکیب هر دو زیر مدل در یک چهارچوب واحد، بدون اینکه مجبور به ترکیب حدود بالا و پایین در انتها شویم، مستقیماً به بازه‌ای از ارزش‌های بهینه خواهیم رسید[۱۹].

پیش از ارائه مدل، ضروری است که متغیرها و پارامترهای خاکستری و قطعی معرفی شوند. در جداول (۵) و (٦) نوع متغیرها و پارامترها مشخص شده است.

جدول (۵). پارامترهای مدل خاکستری

پارامتر	قطعی	خاکستری	پارامتر	قطعی	خاکستری	پارامتر	قطعی	خاکستری
h_t^{r-max}	•		V_i		•	$P_{i,t}^{max}$	•	
h_t^{o-max}	•		C_i^{inv}		•	$D_{i,t}$		•
$Capacity_t$	•		C_i^{late}		•	G_j		•
p_i^{spare}	•		C_i^{P}		•	W_j	•	
$P_i^{late-initial}$	•		h_i	•		$Storage^{capacity}$	•	
$P_i^{sto-initial}$	•		S_i	•				

جدول (۶). متغیرهای تصمیم مدل خاکستری

متغیر تصمیم	قطعی	خاکستری	متغیر تصمیم	قطعی	خاکستری	متغیر تصمیم	قطعی	خاکستری
H_t^{reg}		•	$P_{i,t}^{sto}$		•	d_j^+		•
H_t^{over}		•	$P_{i,t}$		•			
$P_{i,t}^{late}$		•	d_j^-		•			

۱.۵. تابع هدف

$$Minimize = \overline{Z} + \underline{Z} \quad (24)$$

$$\overline{Z} = W_1\,\overline{d_1^-} + W_2\,\overline{d_2^+} + W_3\,\overline{d_3^+} \quad (25)$$

$$\underline{Z} = W_1\,\underline{d_1^-} + W_2\,\underline{d_2^+} + W_3\,\underline{d_3^+} \quad (26)$$

۲.۵. آرمان‌ها (محدودیت‌های آرمانی)

۱. *حداکثر سازی درآمد ناشی از تولید*

$$\sum_{i=1}^{M} \underline{V_i}\left(\overline{D_{i,1}} - \underline{P_{i,1}^{late}} + P_i^{late-initial}\right) + \sum_{i=1}^{M}\sum_{t=2}^{T} \underline{V_i}\left(\overline{D_{i,t}} - \underline{P_{i,t}^{late}} + \overline{P_{i,t-1}^{late}}\right) + \overline{d_1^-} - \underline{d_1^+} = \overline{G_1} \quad (27)$$

$$\sum_{i=1}^{M} \overline{V_i}\left(\underline{D_{i,1}} - \overline{P_{i,1}^{late}} + P_i^{late-initial}\right) + \sum_{i=1}^{M}\sum_{t=2}^{T} \overline{V_i}\left(\underline{D_{i,t}} - \overline{P_{i,t}^{late}} + \underline{P_{i,t-1}^{late}}\right) + \underline{d_1^-} - \overline{d_1^+} = \underline{G_1} \quad (28)$$

۲. *حداقل سازی هزینه تولید*

$$\sum_{i=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} c_i^{inv}\overline{R_{i,t}^{sto}} + \sum_{t=1}^{T} c^{over}\overline{H^{over}} + \sum_{t=1}^{T} c^{sal} W_t + \sum_{i=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} c_i^{p}\overline{R_{i,t}} + \overline{d_g^-} - \overline{d_g^+} = \overline{G_g} \quad (29)$$

$$\sum_{i=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} c_i^{inv}\underline{R_{i,t}^{sto}} + \sum_{t=1}^{T} c^{over}\underline{H^{over}} + \sum_{t=1}^{T} c^{sal} W_t + \sum_{i=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} c_i^{p}\underline{R_{i,t}} + \underline{d_g^-} - \underline{d_g^+} = \underline{G_g} \quad (30)$$

۳. تأمین به موقع سفارشات

$$\sum_{i=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} c_i^{late}\overline{R_{i,t}^{late}} + \overline{d_g^-} - \overline{d_g^+} = \overline{G_g} \quad (31)$$

$$\sum_{i=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} c_i^{late}\underline{R_{i,t}^{late}} + \underline{d_g^-} - \overline{d_g^+} = \underline{G_g} \quad (32)$$

۳.۵. محدودیت‌ها

۱. محدودیت ساعات کار قانونی

$$-\left(\overline{H_t^{reg}}\right) \geq -\left(h_t^{p-max} - h^{learn}\right) W_t \qquad t = 1,\dots,T \quad (33)$$

$$-\left(\underline{H_t^{reg}}\right) \geq -\left(h_t^{p-max} - h^{learn}\right) W_t \qquad t = 1,\dots,T \quad (34)$$

۲. محدودیت ساعات اضافه کاری

$$-\left(\overline{H_t^{over}}\right) \geq -\left(h_t^{o-max} W_t\right) \qquad t = 1,\dots,T \quad (35)$$

$$-\left(\underline{H_t^{over}}\right) \geq -\left(h_t^{o-max} W_t\right) \qquad t = 1,\dots,T \quad (36)$$

۳. محدودیت تعادل تولید

$$\overline{R_{i,t}} + R_i^{sto-initial} + \overline{R_{i,t}^{late}} = \overline{D_{i,t}} + R_i^{late-initial} + \overline{R_{i,t}^{sto}} \qquad i = 1,\dots,M \;\; t = 1 \quad (37)$$

$$\overline{R_{i,t}} + \overline{R_{i,t-1}^{sto}} + \overline{R_{i,t}^{late}} = \overline{D_{i,t}} + \overline{R_{i,t-1}^{late}} + \overline{R_{i,t}^{sto}} \qquad i = 1,\dots,M \;\; t = 1,\dots,T \quad (38)$$

$$\underline{R_{i,t}} + R_i^{sto-initial} + \underline{R_{i,t}^{late}} = \underline{D_{i,t}} + R_i^{late-initial} + \underline{R_{i,t}^{sto}} \qquad i = 1,\dots,M \;\; t = 1 \quad (39)$$

$$\underline{R_{i,t}} + \underline{R_{i,t-1}^{sto}} + \underline{R_{i,t}^{late}} = \underline{D_{i,t}} + \underline{R_{i,t-1}^{late}} + \underline{R_{i,t}^{sto}} \qquad i = 1,\dots,M \;\; t = 1,\dots,T \quad (40)$$

۴. محدودیت حد فوقانی ظرفیت تولید کل

$$-\left(\sum_{i=1}^{6}\frac{1}{3}\overline{R_{i,t}} + \sum_{i=7}^{15}\overline{R_{i,t}} + \sum_{i=16}^{18}\frac{1}{6}\overline{R_{i,t}}\right) \geq -\left(Capacity_t\right) \qquad t = 1,\dots,T \quad (41)$$

$$-\left(\sum_{i=1}^{6}\frac{1}{3}\underline{R_{i,t}} + \sum_{i=7}^{15}\underline{R_{i,t}} + \sum_{i=16}^{18}\frac{1}{6}\underline{R_{i,t}}\right) \geq -\left(Capacity_t\right) \qquad t = 1,\dots,T \quad (42)$$

۵. محدودیت حد فوقانی ظرفیت تولید هر محصول

$$-\left(\overline{R_{i,t}}\right) \geq -\left(R_{i,t}^{max}\right) \qquad i = 1,\dots,M \quad t = 1,\dots,T \quad (43)$$

$$-\left(\underline{R_{i,t}}\right) \geq -\left(R_{i,t}^{max}\right) \qquad i = 1,\dots,M \quad t = 1,\dots,T \quad (44)$$

۶. محدودیت تولید از لحاظ نیروی کار

$$\sum_{i=1}^{M} h_i \overline{R_{i,t}} = \overline{H_t^{reg}} + \overline{H_t^{over}} \qquad t = 1,\dots,T \quad (45)$$

$$\sum_{i=1}^{M} h_i \underline{R_{i,t}} = \underline{H_t^{reg}} + \underline{H_t^{over}} \qquad t = 1,\dots,T \quad (46)$$

۷. محدودیت حد فوقانی ظرفیت انبار

$$-\left(\sum_{i=1}^{M} p_i^{space}\, \overline{R_{i,t}^{sto}}\right) \geq -\left(Storage^{capacity}\right) \qquad t=1,\ldots,T \qquad (47)$$

$$-\left(\sum_{i=1}^{M} p_i^{space}\, \underline{R_{i,t}^{sto}}\right) \geq -\left(Storage^{capacity}\right) \qquad t=1,\ldots,T \qquad (48)$$

۸. *محدودیت موجودی پایان دوره*

$$\overline{R_{i,t}^{sto}} \geq S_i \qquad i=1,\ldots,M \qquad t=1,\ldots,T \qquad (49)$$

$$\underline{R_{i,t}^{sto}} \geq S_i \qquad i=1,\ldots,M \qquad t=1,\ldots,T \qquad (50)$$

۹. *محدودیت‌های غیر منفی*

$$\overline{H_t^{reg}}, \overline{H_t^{over}}, \overline{R_{i,t}^{late}}, \overline{R_{i,t}^{sto}}, \overline{P_{i,t}}, \overline{d_j^-}, \overline{d_j^+} \geq 0 \qquad i=1,\ldots,M \quad j=1,\ldots,N \quad t=1,\ldots,T \quad (51)$$

$$\underline{H_t^{reg}}, \underline{H_t^{over}}, \underline{R_{i,t}^{late}}, \underline{R_{i,t}^{sto}}, \underline{P_{i,t}}, \underline{d_j^-}, \underline{d_j^+} \geq 0 \qquad i=1,\ldots,M \quad j=1,\ldots,N \quad t=1,\ldots,T \quad (52)$$

۶. داده‌ها و روش تحقیق

این تحقیق را بر اساس اهداف تحقیق می‌توان از نوع کاربردی دانست. این نوع تحقیق، تلاشی برای پاسخ دادن به یک معضل و مشکل علمی است که در دنیای واقعی وجود دارد. اما از نظر روش تحقیق، این تحقیق را می‌توان از نوع توصیفی-کیفی دانست. هدف از این گونه تحقیق، پاسخگویی به پرسش‌هایی از جمله «چقدر؟»، «چه کسی؟» و «چه اتفاقی دارد می‌افتد؟» است. در این پژوهش از اطلاعات تابستان سال ۱۳۹۱ برای آزمودن مدل طراحی شده، استفاده شده است. البته افق برنامه‌ریزی در مدل قابل تغییر می‌باشد و می‌تواند طبق تعریف برنامه‌ریزی تولید ادغامی، ۳ الی ۱۸ ماهه باشد.

۷. تحلیل داده‌ها

به منظور حل مدل آرمانی خاکستری طراحی شده، از نرم‌افزار LINGO، نگارش ۸ استفاده شده و پس از حل مدل، ابتدا به مقادیر آرمان‌ها و تابع هدف (که نشان‌دهنده میزان مطلوبیت کلی تصمیم‌گیرندگان از مجموع آرمان‌ها است) سپس به میزان بهینه تولید محصولات می‌پردازیم. میزان مطلوب هر آرمان و انحراف مثبت یا منفی نسبت به میزان مطلوب، به تفکیک در جدول (۷)، مقادیر حد پایین و حد بالای تابع هدف مدل خاکستری که نشان‌دهنده میزان مطلوبیت کلی تصمیم‌گیرندگان از مجموع آرمان‌ها است، در جدول (۸) و بازه میزان تولید بهینه برای هر یک از محصولات در هر یک از دوره‌های برنامه ریزی در جدول (۹) نمایش داده شده‌اند.

جدول (۷). میزان مطلوب آرمان‌ها و انحرافات (بر حسب ده میلیون ریال)

آرمان‌ها	میزان مطلوب		انحراف مثبت		انحراف منفی	
	حد بالا	حد پایین	حد بالا	حد پایین	حد بالا	حد پایین
حداکثر سازی درآمد ناشی از تولید	۲۹۵۰	۲۹۰۰	۳	۰	۴۲۷	۰
حداقل سازی هزینه	۱۶۸۰	۱۶۰۰	۰	۰	۴۶۳	۰
تامین به موقع سفارشات	۰	۰	۱۴	۳	۰	۰

جدول (۸). مقادیر تابع هدف (بر حسب ده میلیون ریال)

حد بالا	حد پایین
۲۶۲	۰,۳

جدول (۹): میزان تولید هر پره در دوره‌های برنامه‌ریزی

مدل	پره	میزان تولید					
		تیر		مرداد		شهریور	
		حد پایین	حد بالا	حد پایین	حد بالا	حد پایین	حد بالا
S	جلو	۹۷	۱۲۶	۱۳۹	۲۵۸	۰	۱۴۴۰
	وسط	۴۹۲	۶۸۹	۱۷۴۵	۱۸۳۷	۰	۰
	عقب	۰	۰	۱۳۷	۱۷۹	۰	۰
S90	جلو	۴۷	۵۰	۴۳	۴۶	۰	۰
	وسط	۳۴۰	۳۵۵	۱۹۳	۲۰۳	۰	۰
	عقب	۱۶	۱۹	۴۶	۸۷	۰	۲۳۵
M	جلو	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	وسط	۹۱۶	۱۰۶۷	۸۹۸	۱۱۶۵	۰	۹۶۰
	عقب	۰	۰	۴۱	۱۷۷	۰	۱۰۶
M90	جلو	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	وسط	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	عقب	۰	۰	۰	۰	۰	۰
L	جلو	۲۴	۲۹	۳۲	۳۴	۰	۰
	وسط	۴۸۸	۵۴۱	۸۴	۱۳۸	۱۴۰	۱۸۱
	عقب	۴۴	۴۹	۲۹	۳۳	۰	۰
P	جلو	۱۰۰	۱۰۵	۱۱۵	۱۱۵	۶۰	۶۰
	وسط	۴۹۹	۵۲۵	۵۷۵	۵۷۵	۳۰۰	۳۰۰
	عقب	۱۰۰	۱۰۵	۱۱۵	۱۱۵	۵۱	۶۰

با توجه به نتایج بدست آمده، در تمامی دوره‌ها حد پایین و حد بالای میزان موجودی انتهای دوره از حداقل میزان مطلوب موجودی بالاتر است (یعنی در بهترین و بدترین شرایط ممکن نیز موجودی انبار حداقل برابر با میزان مطلوب موجودی از نظر سازمان خواهد بود) و این امر این امکان را به سازمان می‌دهد تا با اتکا به این موجودی‌ها توانایی پاسخگویی به سفارشات پیش بینی‌نشده را داشته باشد. همچنین، سازمان در بهترین شرایط تنها در دوره اول با کمبود ٦٩ پره M وسط و در بدترین شرایط نیز تنها در دوره اول با کمبود ٣٠٦ پره M وسط، مواجه خواهد بود که دلیل این امر این است که میزان سفارشات دوره اول از ظرفیت سازمان بیشتر می‌باشد؛ که البته سازمان می‌تواند این کمبود را از حداقل موجودی ١٦٠٠ واحدی این پره تأمین کند و عملاً هزینه تأخیر در سفارش را متحمل نشود. در سایر دوره‌های برنامه‌ریزی سازمان با کمبود و تعویق مواجه نخواهد بود.

نتیجه‌گیری

هدف اصلی این پژوهش، ارائه رویکردی جدید برای مواجهه با مسئله برنامه‌ریزی تولید ادغامی دارای عدم‌اطمینان و کمبود اطلاعات است. هر چند تا کنون مدل‌های گوناگونی برای برنامه‌ریزی تولید ادغامی مطرح شده‌اند، اما هیچ‌یک از آن‌ها در شرایط عدم‌اطمینان و کمبود اطلاعات، کارا نمی‌باشند.

مدل برنامه‌ریزی آرمانی خاکستری، با در نظر گرفتن اهداف متعدد و متناقض توأم با عدم‌اطمینان همراه با کمبود اطلاعات قادر است پاسخ‌هایی را در اختیار تصمیم‌گیرندگان قرار دهد که علاوه بر سازگاری بالا با واقعیت و شرایط عدم‌اطمینان، از

انعطاف‌پذیری بالایی برخوردارند. بر همین اساس، سازمان در برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت – که می‌بایست در راستای برنامه‌ریزی میان‌مدت باشد – می‌بایست در حدود تعیین شده در برنامه‌ریزی تولید ادغامی تصمیم‌گیری نماید. بنابراین خروجی‌ها و نتایج مدل حاضر، ورودی مدل برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت خواهند بود.

این تحقیق بر مبنای فعالیت تک شیفت (وضعیت کنونی سازمان در واحد شوفاژ) انجام گرفته است و با توجه به اینکه سازمان توانایی فعالیت دو شیفت را نیز دارا می‌باشد، توصیه می‌شود برای تحقیقات آتی، استفاده از شیفت دوم به عنوان یکی از راهکارهای تولید برای تأمین تقاضا، به صورت متغیر صفر و یک مورد بررسی قرار گیرد.

چنانچه در مدل‌سازی مسئله، تعداد متغیرها و محدودیت‌ها افزایش یافته و ابعاد مدل گسترش یابد، می‌توان از روش‌های فراابتکاری مانند الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله بهره برد.

منابع

[۱] آریانژاد میربهادرقلی (۱۳۷۰)، "برنامه‌ریزی تولید"، تهران، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد جنوب تهران.

[۲] جعفرنژاد احمد (۱۳۸۵)، "مدیریت تولید و عملیات نوین"، تهران، انتشارات دانشکده مدیریت دانشگاه تهران.

[۱٤] مومنی منصور (۱۳۸۵)، "مباحث نوین تحقیق در عملیات"، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دوم.

[۱۵] محمدی علی، مولایی نبی (۱۳۸۹)، "کاربرد تصمیم گیری چند معیاره خاکستری در ارزیابی عملکرد شرکت‌ها"، مدیریت صنعتی، دوره ۲، شماره ٤، ص ص. ۱٤۲-۱۲۵.

[۱۸] مهرگان محمد رضا(۱۳۸۲)، "مدل سازی ریاضی"، تهران، انتشارات سمت.

[3] Dong G., Yamaguchi D., Nagai M. (2007), "A grey-based decision-making approach to the supplier selection problem", Mathematical and Computer Modeling, 46, pp. 573-581

[4] Stephen C.H. Leung, Shirley S.W. Chan (2008), "A goal programming model for aggregate production planning with resource utilization constraint", Computers and Engineering.

[5] Carlos Gomes da Silva, Jose Figueira, Joao Lisboa, Samir Barman (2006), "An interactive decision support system for an aggregate production planning model based on multiple criteria mixed integer linear programming", Omega, 34, pp. 167-177.

[6] Jamalnia A., Soukhakian M.A. (2009), "A hybrid fuzzy goal programming approach with different goal priorities to aggregate production planning", Computers and Industrial Engineering, 56, pp. 1474-1486.

[7] Leung S.C.H, Chan S.S.W. (2008), "A goal programming model for aggregate production planning with resource utilization constraint", Computers and Engineering.

[8] Leung S.C.H, Ng W.L. (2007),"A goal programming model for production planning of perishable products with postponement",Computers and Industrial Engineering,53, pp. 531-541.

[9] Da Silva C.G., Figueira J., Lisboa J., Barman S. (2006), "An interactive decision support system for an aggregate production planning model based on multiple criteria mixed integer linear programming", Omega, 34, pp. 167-177

[10] Wang R.C., Liang T.F. (2005), "Applying possibilistic linear programming to aggregate production planning", Int. J. Production Economics, 98, pp. 328-341.

[11] Pradenas L., Penailillo F., Ferland J. (2004), "Aggregate production planning problem. A new algorithm", Electronic Notes in Discrete Mathematics, 18, pp. 193-199.

[12] David K., Deng J. (1995), "Contrasting grey system theory to probability and fuzzy", ACM SIGICE Bulletin, 20, pp.10-19.

[13] Liu S., Lin Y. (2006),"Grey information theory and practical applications", Springer, London.

[16] Yang Y., John R., "Grey Systems and Interval Valued Fuzzy Sets".

[17] Karmakar S., Mujumdar P.P. (2006), "Grey fuzzy optimization model for water quality management of a river system", Advances in Water Resources, 29, pp. 1088-1105.
[18] Ko A.S., Chang N. (2008), "Optimal planning of co-firing alternative fuels with coal in power plant by grey nonlinear mixed integer programming model", Journal of Environmental Management, 88, pp.11-2.

پی نوشت

[1] ***. Possibility degree***