فصلنامه علمی – پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی – سال یازدهم، شماره ۳۱، زمستان ۹۲
صفحات ۵۳ – ۳۵

رویکرد تعاملی فازی برای حل مسئله برنامه‌ریزی تولید چند محصولی چند دوره‌ای

سید حسین رضوی حاجی‌آقا* – هادی اکرمی** – شیده سادات هاشمی***

(تاریخ دریافت : ۸/۲۷/ ۹۲ - تاریخ پذیرش : ۱۰/۲۳/ ۹۲)

چکیده

برنامه اصلی تولید یک برنامه میان مدت در فرآیند برنامه‌ریزی تولید است که برنامه بلند مدت تولید ادغامی را به برنامه‌ای تبدیل می‌کند که میزان و زمان تولید محصولات مختلف را معین می‌سازد. تصمیم‌گیری در این خصوص به اطلاعات زیادی درباره پارامترهای مختلف از قبیل تقاضا، نیازمندی‌های منابع تولیدی و هزینه‌ها نیاز دارد. یکی از ویژگی‌های ذاتی این پارامترهای مختلف عدم قطعیت آنها است. در این مقاله، مدلی برای حل مساله برنامه‌ریزی اصلی تولید در شرایط عدم قطعیت پیشنهاد شده که در آن اطلاعات تحلیل‌گر درباره پارامترهای مسئله به صورت فازی مشخص می‌باشند. همچنین، یک رویکرد ترکیبی برای حل مدل توسعه یافته پیشنهاد شده است. کاربرد مدل پیشنهادی در دو مثال عددی مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس نتایج این مدل، مقادیر تولید محصولات در افق برنامه‌ریزی همراه با میزان منابع مورد نیاز برای تولید این محصولات مشخص می‌گردد. این نتایج از کاربردهای بالقوه زیادی در خصوص تصمیمات عملیاتی در حوزه برنامه‌ریزی تولید برخوردارند.

واژگان کلیدی: برنامه‌ریزی اصلی تولید، تقاضای فازی، نظریه مجموعه‌های فازی، رویکرد تعاملی.

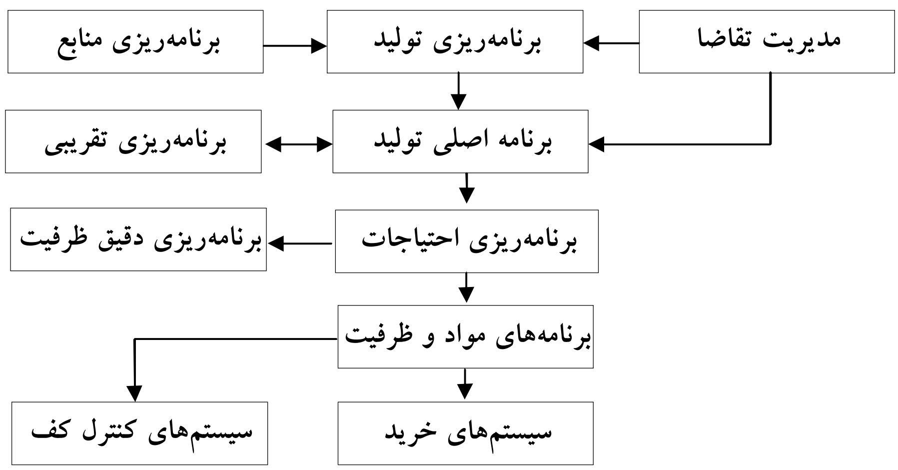
---

* استادیار گروه مدیریت موسسه آموزش عالی خاتم (نویسنده مسئول) s.hossin.r@gmail.com
** گروه مطالعات و پژوهشهای سیستم و بهره‌وری، عضو هیئت علمی موسسه مطالعات و پژوهشهای بازرگانی
*** کارشناس ارشد مدیریت صنعتی، گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه علامه طباطبائی

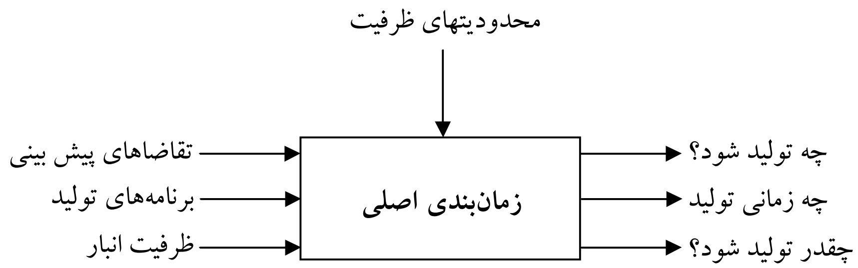
مقدمه

برنامه اصلی تولید (MPS) یکی از مهمترین مراحل در برنامه‌ریزی و کنترل تولید است (Wang and Wu, 2003: 297 ؛Higgins and Browne, 1992: 2). این برنامه تقاضای بازار را با منابع داخلی شرکت هماهنگ می‌سازد (Vasant, 2003: 229). هدف عمده از تهیه برنامه اصلی تولید، افزایش بهره‌وری منابع تولیدی و بهبود معیارهای رقابتی شرکت است.

برنامه اصلی تولید، برنامه‌های استراتژیک تعیین شده در برنامه ادغامی تولید را به برنامه‌های عملیاتی تبدیل می‌کند. انجمن کنترل تولید و موجودی امریکا (APICS) برنامه اصلی تولید را بیان کننده انتظار شرکت از تنوع، مقدار و زمان تولید می‌داند (Cox and Blackstone, 2001). شکل ۱ ارتباط میان MPS و سایر فعالیتهای مهم مدیریت تولید را نشان می‌دهد. بر این اساس MPS مجموعه‌ای از تصمیمات مدیریتی است که باید با لحاظ موضوعات مهمی نظیر تقاضاهای پیش بینی شده، سفارشات در راه، دسترسی به مواد، ظرفیت در دسترس، سیاست‌های و اهداف مدیریتی اتخاذ گردد. شکل ۲ ورودی‌ها، خروجی‌ها و جنبه‌های مهم و حائز اهمیت در فرایند MPS را نشان می‌دهد. رویکردهای بهینه‌سازی از جمله پر کاربردترین روشهای مورد استفاده برای حل مسائل MPS هستند. مدل‌سازی مساله در قالب یک مدل بهینه‌سازی و سپس حل آن، گامهای اصلی در این رویکرد می‌باشند. در مدل‌سازی مساله MPS اهداف بسیاری، نظیر کمینه‌سازی هزینه‌های تولید و موجودی یا بیشینه‌سازی سود، را می‌توان در نظر گرفت که ممکن است با یکدیگر در تضاد باشند. از سوی دیگر، محدودیتهای فراوانی نظیر محدودیت‌های تقاضا و منابع را نیز باید برای مدل‌سازی و حل مساله MPS در نظر داشت.



شکل ۱. ارتباط میان فعالیتهای مدیریت تولید



شکل ۲. ورودی‌ها و خروجی‌های MPS

یکی از چالش‌های اصلی مدل‌سازی مسائل واقعی به منظور استفاده از رویکردهای بهینه‌سازی، تعریف پارامترها است. عدم قطعیت یکی از ویژگی‌های ذاتی اطلاعات در مسائل کاربردی است. عدم قطعیت معمولاً ریشه در اطلاعات (۱) جزئی یا (۲) تقریبی دارد (Traub and Werschulz, 1998: 5). راه حل محققان و پژوهشگران در برخورد با چالش اطلاعات نادقیق، استفاده از منطق فازی، اعداد خاکستری و برنامه‌ریزی تصادفی بوده است. هر شکلی از عدم قطعیت ویژگی‌های خاص خود را داشته و برای موقعیت خاصی مناسب است. در شرایطی که داده‌های احتمالی با وقوع پیشامدهای معین سر و کار دارند، مجموعه‌های فازی ریشه در نسبیت مفاهیم و نعریف حدود آنها دارند. در چارچوب برنامه‌ریزی تولید می‌توان هر ترکیبی از انواع عدم قطعیت را ملاحظه نمود. این امر به ویژه در مطالعات پیشین مورد توجه محققان قرار گرفته است. ماهیت متغیر و نادقیق تقاضای محصولات در دوره‌های آتی به وضوح قابل استنباط است. در خصوص پارامترهای هزینه نیز عواملی نظیر تورم، نوسانات ارزی، افزایش سالانه دستمزد و نرخهای بیمه و مالیات، دشواری در تامین برخی کالاهای خاص و ... امکان پیش‌بینی دقیق هزینه‌های موجودی، شامل هزینه‌های خرید، نگهداری و کمبود را دشوار می‌سازد. این امر به ویژه در رابطه با هزینه‌های کمبود که برآورد دقیق آن مستلزم برآورد هزینه‌های فرصت از دست رفته می‌باشد، قابل پذیرش است.

ایده اصلی این مقاله توجه همزمان به عدم قطعیت کلیه پارامترهای مدل، شامل پارامترهای هزینه و تقاضا، در چارچوب منطق فازی بوده است. پس از توسعه مدل، یک روش تعاملی جهت حل مدل پیشنهادی ارائه شده است. این مقاله به شرح زیر سازماندهی شده است. در بخش دوم مروری بر مطالعات پیشین در این زمینه انجام شده است. مبانی منطق فازی در حد مورد نیاز این مقاله در بخش سوم ارائه می‌شود. سپس، مدل پیشنهادی مساله در بخش ۴ مطرح می‌گردد. بخش ۵ به معرفی رویکرد حل مساله پرداخته و در بخش ۶ دو مثال عددی از کاربرد روش پیشنهادی ارائه می‌شود. در نهایت بخش ۷ به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری اختصاص خواهد داشت.

مروری بر مطالعات پیشین

در این بخش ابتدا مروری بر مطالعات پیشین در زمینه برنامه‌ریزی تولید با بهره‌گیری از رویکردهای بهینه‌سازی و پس از آن حل مسئله در شرایط عدم قطعیت انجام شده است. برنامه‌ریزی ریاضی یکی از رویکردهای شناخته شده و مورد قبول در مسائل MPS است. مهرگان و همکاران (۱۳۸۵) یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی را در مسئله برنامه‌ریزی تولید کابل‌های مخابراتی مسی توسعه داده‌اند. Houghton and Portugal (2001) یک چارچوب تحلیلی را برای برنامه‌ریزی تولید بهینه ارائه نمودند. Vieira et al. (2003) کاربرد شبیه‌سازی تبرید و الگوریتم ژنتیک در مسئله MPS را مقایسه نمودند. Vasant (2003) روشی مبتنی بر برنامه‌ریزی خطی فازی را پیشنهاد و آن را در یک مساله برنامه‌ریزی تولید صنعتی واقعی به‌کار برد. Wang and Wu (2003) چارچوبی برای حل مساله MPS چند دوره‌ای، چند محصولی و چند منبعی را ارائه دادند. Vieira and Ribas (2003) یک مدل چند هدفه و الگوریتم حل آن بر اساس شبیه‌سازی تبرید را مطرح ساختند. Sawik (2007) یک مدل زمان‌بندی تولید چند هدفه را در محیط ساخت برای سفارش مطرح و از رویکرد لکسیکوگرافیک برای حل آن استفاده نمود. Soares and Vieira (2009) کاربرد الگوریتم ژنتیک در حل مسئله ریاضی MPS را مطرح و توسعه دادند. Kelbel and Hanzalek (2011) کاربرد برنامه‌ریزی مقید در برنامه‌ریزی تولید همراه با جریمه‌های تعجیل و تاخیر را توسعه دادند. Ballestin et al. (2012) مساله برنامه‌ریزی تولید را به صورت یک مساله زمان‌بندی پروژه مدل کردند.

عدم قطعیت تقاضا و پارامترهای برنامه‌ریزی نیز در برخی مطالعات گذشته پیرامون MPS مورد توجه قرار است. آذر و همکاران (۱۳۸۷) مسئله برنامه‌ریزی تولید پالایشگاهی را با دو رویکرد قطعی و فازی مدل‌سازی نمودند. رویکرد مورد استفاده آنها در مدل‌سازی فازی، در نظر گرفتن حد انحراف مجازی برای تقاضای محصولات است. عباسی و همکاران (۱۳۸۸) برنامه‌ریزی تولید در صنایع پردازشی با تقاضای غیر قطعی را مورد بررسی قرار داده‌اند. عدم قطعیت تقاضا در این تحقیق به صورت تصادفی بوده و مدل پیشنهادی سعی در بیشینه‌سازی تطابق تولید با تقاضای غیر قطعی دارد. مدل پیشنهادی برای حل این مسئله روشی ابتکاری است که در دو مرحله به حل مسئله می‌پردازد. در مرحله نخست، سطح موجودی هر یک از محصولات به منظور کمینه‌سازی هزینه‌های کمبود و نگهداری کمینه شده و در مرحله دوم، این مقادیر به عنوان آرمان در نظر گرفته شده‌اند. ربانی و همکاران (۱۳۹۲) یک رویکرد مبتنی بر برنامه‌ریزی استوار را برای حل مسئله برنامه‌ریزی تولید چند دوره‌ای، چند محصولی، چند تسهیلاتی پیشنهاد داده‌اند. در این مدل، مقدار تقاضا و هزینه‌های نیروی انسانی تحت شرایط عدم قطعیت در نظر گرفته شده و از طریق رویکرد استوار

تحلیل شده است. Tang and Grubbstrom (2002) یک مدل MPS با تقاضای غیر قطعی را ارائه کرده‌اند. Fleten and Kristoffersen (2008) کاربرد برنامه‌ریزی تصادفی در حل مسئله برنامه‌ریزی تولید راپیشنهاد داده‌اند. آنها از یک رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای برای حل مسئله برنامه‌ریزی تولید استفاده نمودند. Feng et al. (2011) به بررسی مساله MPS برای یک محصول نهایی با تقاضای متغیر نسبت به زمان و محدودیت تامین پرداخته‌اند. آنها یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی را برای مسئله مورد نظر توسعه داده و از یک رویکرد بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی برای حل آن استفاده نمودند. Liang (2008) یک مدل خطی چند هدفه فازی را برای حل مسائل تولید – توزیع چند محصولی و چند دوره‌ای توسعه داده است. Supriyanto and Noche (2011) یک متدولوژی برای حل مسائل MPS ارائه دادند که عدم قطعیت اطلاعات به صورت فازی لحاظ شده است. Mula et al. (2006) مروری جامع بر مطالعات انجام شده در زمینه برنامه‌ریزی تولید تحت شرایط عدم قطعیت را ارائه داده‌اند.

تفاوت اصلی مدل پیشنهادی مقاله حاضر در مطالعات پیشین را می‌توان (۱) در نظر گرفتن همزمان عدم قطعیت برای پارامترهای هزینه و تقاضا، و (۲) نحوه مدل‌سازی به مسئله به گونه‌ای عنوان نمود که مقادیر مورد نیاز منابع تولیدی در دوره‌های برنامه‌ریزی را مشخص نماید.

مروری بر نظریه مجموعه های فازی

نظریه مجموعه‌های فازی توسط Zadeh (1965) ارائه شده است. مجموعه فازی $\widetilde{A}$ در مرجع X توسط تابع عضویت $\mu_{\widetilde{A}} : X \rightarrow [۰,۱]$ توصیف می‌شود که $\mu_{\widetilde{A}}(x), x \in X$ درجه عضویت عنصر x به مجموعه $\widetilde{A}$ را نشان می‌دهد. یک عدد فازی، مجموعه‌ای فازی مانند $\widetilde{a}$ بر روی محور اعداد حقیقی R است که تابع عضویت آن، یعنی $\mu_{\widetilde{a}}$، تابعی محدب و پیوسته از راست است. یک دسته از پرکاربردترین اعداد فازی در مسائل برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری اعداد فازی ذوزنقه‌ای هستند. یک عدد فازی ذوزنقه‌ای با $\widetilde{a} = (a_۱, a_۲, a_۳, a_۴)$ نشان داده شده و تابع عضویت آن به صورت زیر است (Kaufmann and Gupta, 1991: 75):

$$\mu_{\widetilde{a}}(x) = \begin{cases} (x-a_۱)/(a_۲-a_۱), & if\, a_۱ \le x \le a_۲ \\ ۱, & if\, a_۲ \le x \le a_۳ \\ (x-a_۴)/(a_۳-a_۴), & \text{if}\, a_۳ \le x \le a_۴ \\ ۰ & \text{otherwise} \end{cases} \qquad (۱)$$

فاصله مورد انتظار (EI) و ارزش انتظاری (EV) عدد فازی ذوزنقه‌ای $\widetilde{a}$ به صورت زیر قابل محاسبه است (Heilpern, 1992: 82-83):

$$EI(\widetilde{a})=\left[E_1^a,E_2^a\right]=\left[\frac{1}{2}(a_1+a_2),\frac{1}{2}(a_3+a_4)\right] \qquad (۲)$$

و

$$EV(\widetilde{a})=\frac{۱}{۴}(a_۱+a_۲+a_۳+a_۴) \qquad (۳)$$

Jimenez (1996) درجه بزرگی عدد فازی $\widetilde{a}$ بر $\widetilde{b}$ را به صورت زیر تعریف کرده است:

$$\mu_M(\widetilde{a},\widetilde{b})=\begin{cases} ۰ & \text{if } E_۲^a-E_۱^b \prec ۰ \\ \dfrac{E_۲^a-E_۱^b}{E_۲^a-E_۱^a+E_۲^b-E_۱^b} & \text{if } ۰\in\left[E_۱^a-E_۲^b,E_۲^a-E_۱^b\right] \\ ۱ & \text{if } E_۲^a-E_۱^b \prec ۰ \end{cases} \qquad (۴)$$

وقتی $\mu_M(\widetilde{a},\widetilde{b})\geq\alpha$، آنگاه $\widetilde{a}$ حداقل در سطح α بزرگتر یا مساوی $\widetilde{b}$ خواهد بود که این رابطه با $\widetilde{a}\geq_\alpha\widetilde{b}$ بیان می‌شود.

طراحی مدل

در این مقاله، مساله MPS به صورت یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی فرموله شده که هدف آن کمینه‌سازی هزینه کل تولید با توجه به محدودیت‌های مختلف می‌باشد. Vieira et al. (2003) و Soares and Vieira (2009) در مدل‌سازی مساله MPS چهار جنبه را مد نظر داشته‌اند: (۱) کمینه‌سازی سطح موجودی، (۲) کمینه‌سازی تقاضاهای برآورد نشده، (۳) کمینه‌سازی موجودی کمتر از سطح ذخیره احتیاطی، (۴) کمینه‌سازی مازاد منابع مورد نیاز. در مدل پیشنهادی این مقاله، دو جنبه دیگر شامل (۵) کمینه‌سازی هزینه تولید و (۶) کمینه‌سازی هزینه تامین منابعنیز مورد توجه واقع شده است.

پارامترها، متغیرها و نمادها

در توسعه مدل پیشنهادی از نمادهای زیر به عنوان پارامترها و متغیرهای مسئله استفاده شده که در آن"~"نشانه فازی بودن نمادها است.

K: تنوع محصولات؛ T: تعداد دوره‌های برنامه‌ریزی؛ R: تعداد منابع تولیدی فعال؛ TH_t: طول زمانی هر دوره $t = ۱,۲,\ldots,T$؛ TH: کل افق برنامه‌ریزی؛ POH_k: موجودی در دست محصول k در اولین دوره؛ $c_{r.}$: ظرفیت موجود منبع r در اولین دوره؛ a_{rk}: ظرفیت مورد استفاده منبع r جهت تولید یک واحد محصول k؛ SS_{kt}: سطح ذخیره احتیاطی محصول k در دوره t؛ $\widetilde{d}_{kt}$: نیازمندی ناخالص محصول k دردوره t به صورت فازی؛ $\widetilde{c}_k^p$: هزینه تولید یک واحد محصول k به صورت فازی؛ $\widetilde{c}_k^h$: هزینه نگهداری یک واحد محصول k به صورت فازی؛ $\widetilde{c}_k^b$: جریمه تامین نشدن هر واحد تقاضای محصول k به صورت فازی؛ $\widetilde{u}_{rt}^o$: هزینه تامین یک واحد از منبع r در دوره t به صورت فازی؛ $\widetilde{c}_{bsskt}$: جریمه پایین‌تر از سطح ذخیره احتیاطی بودن هر واحد از محصول k در دوره t که به صورت فازی مشخص می‌شود؛ $\widetilde{h}_{rt}$: هزینه نگهداری هر واحد منبع r در دوره t به صورت فازی.

همچنین، متغیرهای تصمیم عبارتند از:

x_{kt}: مقدار کل محصول k که باید در دوره t تولید شود؛ i_{kt}: سطح موجودی اولیه محصول k در دوره t؛ f_{kt}: سطح موجودی نهایی محصول k در دوره t؛ c_{rt}: مقدار منبع r که باید در دوره t برای تولید محصولات تامین گردد؛ s_{rt}: واحدهای اضافی منبع r که در دوره t بلااستفاده مانده است؛ AIL_{kt}: متوسط سطح موجودی محصول k در دوره t؛ BSS_{kt}: متوسط مقدار کمتر از ذخیره احتیاطی محصول k در دوره t؛ r_{kt}: تقاضاهای برآورد نشده محصول k در دوره t.

تابع هدف

تابع هدف مساله به صورت زیر فرموله می‌شود:

$$Minimize\ \widetilde{Z} = \sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T}\left(\widetilde{c}_k^p x_{kt} + \widetilde{c}_k^h AIL_{kt} + \widetilde{c}_k^b r_{kt}\right) + \sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T}\widetilde{u}_{rt}^o c_{rt} + \sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T}\widetilde{h}_{rt} s_{rt} + \sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T}\widetilde{c}_{bsskt} BSS_{kt} \qquad (۵)$$

محدودیتهای مدل

محدودیتهای مرتبط با موجودی:

$$i_{k1} = POH_k, \qquad k = 1,2,\ldots,K \qquad (۶)$$

که

$$i_{kt} = f_{kt-1} \tag{۷}$$

بنابراین، متوسط سطح موجودی برای محصول k در دوره t به صورت زیر می‌باشد:

$$AIL_{kt} = \frac{f_{kt-1} + f_{kt}}{2} \tag{۸}$$

محدودیتهای مرتبط با تقاضا:

$$x_{k1} + POH_k - f_{k1} - r_{k1} = \tilde{d}_{k1} \tag{۹}$$

برای ماه‌های بعدی نیز می‌توان رابطه (۹) را به صورت زیر نوشت:

$$x_{kt} + f_{kt-1} - f_{kt} - r_{kt} = \tilde{d}_{kt} \qquad k = 1,2,\ldots,K \tag{۱۰}$$

اگر رابطه (۱۱) برقرار باشد، سطح موجودی هر یک از محصولات کمتر از سطح ذخیره احتیاطی قرار می‌گیرد.

$$BSS_{kt} = \max\left[0, SS_{kt} - f_{kt}\right] \qquad k = 1,2,\ldots,K \tag{۱۱}$$

محدودیتهای مرتبط با بکارگیری منابع در قالب رابطه (۱۲) تعریف می‌شود:

$$\sum_{k=1}^{K} a_{rk} x_{kt} - s_{rt} = c_{rt} - s_{r(t-1)} \qquad k = 1,2,\ldots,K \tag{۱۲}$$

به این ترتیب، مدل MPS فازی به صورت زیر خواهد بود:

$$\begin{aligned}
&Minimize\,\tilde{C} = \sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T}\left(\tilde{c}_k^p x_{kt} + \tilde{c}_k^h AIL_{kt} + \tilde{c}_k^b r_{kt}\right) + \sum_{r=1}^{R}\sum_{t=1}^{T}\tilde{u}_{rt}^o c_{rt} + \\
&\sum_{r=1}^{R}\sum_{t=1}^{T}\tilde{h}_{rt} s_{rt} + \sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T}\tilde{c}_{bsskt} BSS_{kt} \\
&Subject\ to \\
&(i)\, i_{k1} = POH_k,\ i_{kt} = f_{kt-1},\ t \neq 1 \\
&(ii)\, x_{k1} + POH_k - f_{k1} - r_{k1} = \tilde{d}_{k1} \\
&(iii)\, x_{kt} + f_{kt-1} - f_{kt} - r_{kt} = \tilde{d}_{kt},\ t = 2,3,\ldots,T \\
&(iv)\, BSS_{kt} \geq SS_{kt} - f_{kt}, \\
&(v)\sum_{k=1}^{K} a_{rk} x_{kt} - s_{rt} = c_{rt} - s_{r(t-1)}, \\
&x_{kt}, i_{kt}, f_{kt}, r_{kt}, BSS_{kt}, c_{rt}, s_{rt} \geq 0,\ k = 1,2,\ldots,K;\ t = 1,2,\ldots,T
\end{aligned} \tag{۱۳}$$

رویکرد حل

مدل بهینه‌سازی پیشنهادی برای مساله MPS، رابطه (۱۳)، یک مدل برنامه‌ریزی خطی فازی است. روشهای مختلفی برای حل مسائل برنامه‌ریزی خطی فازی مطرح شده است. در این قسمت، رویکرد برنامه‌ریزی تعاملی Jimenez et al. (2007) برای حل مدل MPS فازی اتخاذ گردیده است. دلیل استفاده از این رویکرد ماهیت تعاملی آن در کنار سادگی و منطق قابل قبول آن است.

فرض کنید تصمیم‌گیرنده سطح رضایت α را در نظر بگیرد. با استفاده از روش Jimenez et al. (2007)، تابع هدف فازی و مجموعه محدودیتهای فازی قابل تحلیل خواهند بود. شکل کلی مدل بهینه سازی را به صورت ذیل در نظر بگیرید:

$$\begin{aligned} &\min && \tilde{c}^t x \\ &\text{Subject to} && \tilde{a}_i x \ge (\le) \tilde{b}_i \quad i = ۱,۲,\ldots,m \\ & && x \ge ۰ \end{aligned} \tag{۱۴}$$

روش آنها مبتنی بر مفهوم فاصله مورد انتظار (رابطه ۲) و ارزش انتظاری (رابطه ۳) است. اگر مجموعه محدودیتها به صورت $\tilde{a}_i x (\le,=,\ge) \tilde{b}_i, i = ۱,۲,\ldots,m$ نمایش داده شود، آنگاه جواب $x \in R^n$ راه حلی موجه با درجه α است اگر:

$$\min_{i=۱,۲,\ldots,m} \left\{ \mu_M \left(\tilde{a}_i x, \tilde{b}_i \right) \right\} = \alpha \tag{۱۵}$$

که $\tilde{a}_i = \left(\tilde{a}_{i۱}, \tilde{a}_{i۲}, \ldots, \tilde{a}_{in} \right)$. به عبارت دیگر:

$$\tilde{a}_i x \left(\ge_\alpha, =_\alpha, \ge_\alpha \right) \tilde{b}_i \tag{۱۶}$$

اگر $\tilde{a}_i = \left(a^i_۱, a^i_۲, a^i_۳, a^i_۴ \right)$ و $\tilde{b}_i = \left(b_۱, b_۲, b_۳, b_۴ \right)$ اعداد فازی ذوزنقه‌ای باشند، رابطه (۱۵) به صورت رابطه (۱۷) تبدیل می‌شود:

$$\alpha \left(a^i_۱ + a^i_۲ \right) + (۱-\alpha) \left(a^i_۳ + a^i_۴ \right) \big) x (\le,=,\ge) \alpha \left(b_۳ + b_۴ \right) + (۱-\alpha) \left(b_۱ + b_۲ \right) \tag{۱۷}$$

اگر $N(A,b)$ به صورت مجموعه بردارهای تصمیم موجه در سطح α و تابع هدف فازی به صورت $\tilde{c}^t x$ تعریف شود، بردار $x^{۰} \in N(A,b)$ به عنوان راه حل بهینه قابل قبول مدل تلقی می‌شود اگر:

$$\tilde{c}^t x^{۰} \le_{۱/۲} \tilde{c}^t x^{۰} \tag{۱۸}$$

با استفاده از رابطه (۳)، رابطه (۱۸) معادل با رابطه زیر است:

$$EV\left(\widetilde{c}^{t}x^{\cdot}\right)\leq_{1/2} EV\left(\widetilde{c}^{t}x^{\cdot}\right) \qquad (19)$$

با استفاده از روابط (۱۴) – (۱۹)، مدل MPS فازی رابطه (۱۳) به یک مدل برنامه‌ریزی خطی در سطح رضایت $\alpha \in [0,1]$ تبدیل می‌شود.

نکته قابل توجه آن است که با افزایش مقادیر α، مقدار تابع هدف می‌تواند بهبود یابد. از سوی دیگر احتمال نقض محدودیت‌ها نیز بیشتر می‌شود. بنابراین، تصمیم‌گیرنده با دو هدف متناقض مواجه خواهد بود. Jimenez et al. (2007: 1604) یک مقیاس یازده نقطه‌ای شامل اعداد ۰، ۰,۱، ۰,۲، ...، ۱,۰ رابرای تمایزکافی بین سطوح رضایت به کار گرفتند.

در این مقاله روشی برای مقایسه جوابهای بهینه معرفی شده است. ابتدا، مدل برنامه‌ریزی خطی برای هر یک از سطوح $\alpha_k = \alpha_0 + 0.1k, k = 0,1,\ldots,(1-\alpha_0)/0.1$ حل می‌شود. با حل این مدل مجموعه‌ای از مقادیر فازی بهینه $\widetilde{C}_{\alpha}^{*}$ به دست می‌آید. برای مقایسه این مقادیر بهینه، فرض کنید α_1، α_2 و α_3 مجموعه‌ای از سطوح رضایت متوالی هستند که $\alpha_1 \prec \alpha_2 \prec \alpha_3$ و $\widetilde{C}_{\alpha_1}^{*}$، $\widetilde{C}_{\alpha_2}^{*}$ و $\widetilde{C}_{\alpha_3}^{*}$ مقادیر بهینه تابع هدف متناظر آنها می‌باشد. برای مقایسه این مقادیر، ابتدا با توجه به رابطه (۴)، $\mu_M\left(\widetilde{C}_{\alpha_1}^{*},\widetilde{C}_{\alpha_2}^{*}\right)$ محاسبه می‌گردد. این مقدار درجه برتری $\widetilde{C}_{\alpha_2}^{*}$ بر $\widetilde{C}_{\alpha_1}^{*}$را نشان می‌دهد. سپس، نرخ ترجیح راه حل α_2 نسبت به راه حل α_1 به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$PR(\alpha_2,\alpha_1)=\alpha_2\cdot\mu_M\left(\widetilde{C}_{\alpha_1}^{*},\widetilde{C}_{\alpha_2}^{*}\right) \qquad (20)$$

اگر $PR(\alpha_2,\alpha_1)\geq PR(\alpha_1,\alpha_2)$، آنگاه $\widetilde{C}_{\alpha_2}^{*}$ به $\widetilde{C}_{\alpha_1}^{*}$ ترجیح داده می‌شود، و برعکس. راه حل ترجیح داده شده بین $\widetilde{C}_{\alpha_1}^{*}$ و $\widetilde{C}_{\alpha_2}^{*}$ سپس با $\widetilde{C}_{\alpha_3}^{*}$ مقایسه می‌شود. این فرایند مقایسه برای تمامی مقادیر α ادامه می‌یابد. در نهایت، راه حل بیشتر ترجیح داده شده انتخاب می‌شود.

مثال عددی

در این قسمت دو مثال عددی با کاربرد روش پیشنهادی تحلیل شده است.

مثال اول. برنامه‌ریزی تولید برای سه محصول در یک افق زمانی سه ماهه را در نظر بگیرید. در تولید این محصولات از دو منبع استفاده می‌شود. اطلاعات مسئله در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. اطلاعات زمان‌بندی تولید

نوع محصول / هزینه و نیازمندی مواد	A	B	C
$\tilde{c}_k^p$	(۱، ۳، ۴، ۶)	(۲، ۳، ۳، ۵)	(۲، ۴، ۶، ۷)
$\tilde{c}_k^h$	(۲، ۳، ۴، ۵)	(۰,۵، ۱,۵، ۲,۵، ۴)	(۱، ۲، ۳,۵، ۵)
$\tilde{c}_k^b$	(۱۵، ۲۰، ۳۰)	(۱۰، ۱۵، ۲۰)	(۱۵، ۲۰، ۲۵)
$a_{۱k}$	۱	۲	۲
$a_{۲k}$	۲	۲	۳

هزینه‌های خرید مواد نیز به صورت $\tilde{u}_{1t} = (3,4,5)$، $\tilde{u}_{۲t} = (۲.۵,۳,۴)$ برآورده شده است. هزینه نگهداری هر واحد اضافی از مواد اولیه نیز در هر دوره برابر ۲ واحد تعریف شده است.اطلاعات تقاضای محصولات در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲. اطلاعات تقاضای محصولات

ماه	A	B	C
۱	(۳۵، ۴۰، ۵۰)	(۶۰، ۷۰، ۸۵)	(۹۰، ۱۰۰، ۱۱۵)
۲	(۴۰، ۴۵، ۵۰)	(۶۰، ۷۰، ۸۵)	(۱۰۰، ۱۲۰، ۱۳۵)
۳	(۵۰، ۶۰، ۷۰)	(۷۰، ۷۵، ۸۵)	(۱۰۵، ۱۲۰، ۱۳۵)

با جایگذاری مقادیر داده‌های فوق در رابطه (۱۳)، مدل MPS مسئله فرموله می‌شود. محدودیت‌های فازی طبق رابطه (۱۷) تجزیه و تحلیل می‌شوند. به عنوان مثال، محدودیت تقاضا (محدودیت *iii*) برای محصول A در اولین دوره به صورت زیر است:

$$x_{۱۱} + POH_{۱} - f_{۱۱} - r_{۱۱} = (۳۵,۴۰,۵۰) \qquad (۲۲)$$

با اعمال رابطه (۱۷) بر روی محدودیت فوق در سطح رضایت α، رابطه زیر حاصل می‌گردد.

$$x_{۱۱} - f_{۱۱} + r_{۱۱} = ۹۰\alpha + (۱-\alpha)۷۵ \qquad (۲۳)$$

با تشکیل مدل، نسبت به حل آن در چهار سطح α (از ۰,۳ الی ۰,۷) اقدام می‌گردد. جدول ۳، مقادیر بهینه تابع هدف و مقادیر فازی متناظر با هر سطح از α را نشان می‌دهد. سطح ذخیره احتیاطی محصولات نیز صفر در نظر گرفته شده است.

جدول ۳. مقادیر بهینه هدف در سطوح مختلف رضایت

A	$\tilde{C}^*_\alpha$	$\tilde{T}C^*_\alpha$
۰,۳	۲۶۱۲۸,۵۰	(۱۸۹۱۵,۷۵، ۲۵۹۰۳,۵ ، ۲۷۵۲۵، ۳۵۵۰۳,۵)
۰,۴	۲۶۴۸۱,۱۲	(۱۹۱۷۱، ۲۶۲۵۳، ۲۷۸۹۵، ۳۵۹۸۳)
۰,۵	۲۶۸۳۳,۷۵	(۱۹۴۲۶,۲۵، ۲۶۶۰۲,۵، ۲۸۲۶۵، ۳۶۴۶۲,۵)
۰,۶	۲۷۱۸۶,۳۸	(۱۹۶۸۱,۵، ۲۶۹۵۲، ۲۸۶۳۵، ۳۶۹۴۲)
۰,۷	۲۷۵۳۹	(۱۹۹۳۶,۷۵، ۲۷۳۰۱,۵، ۲۹۰۰۵، ۳۷۴۲۱,۵)

برای تعیین راه‌حل بیشتر ترجیح داده شده، مقایسه‌ها با $\tilde{C}^*_{۰.۳}$ و $\tilde{C}^*_{۰.۴}$ آغاز می‌شود. طبق روابط (۲) و (۴)، $\mu_M\left(\tilde{C}^*_{۰.۳},\tilde{C}^*_{۰.۴}\right)=۰.۴۸$ و $\mu_M\left(\tilde{C}^*_{۰.۴},\tilde{C}^*_{۰.۳}\right)=۰.۵۲$. سپس با توجه به رابطه (۲۰)، $PR(۰.۳,۰.۴)=۰.۳\times۰.۴۸=۰.۱۴$ و $PR(۰.۴,۰.۳)=۰.۴\times۰.۵۲=۰.۲۱$. بنابراین، $\tilde{C}^*_{۰.۱}$ نسبت به $\tilde{C}^*_{.}$ ترجیح داده می‌شود. حال، $\tilde{C}^*_{۰.۴}$ با $\tilde{C}^*_{۰.۳}$ مقایسه می‌شود. جدول ۴ مابقی محاسبات را نشان می‌دهد.

جدول ۴. مقادیر بهینه هدف در سطوح مختلف رضایت

$\alpha_1-\alpha_2$	$\mu_M\left(\tilde{C}^*_{\alpha_1},\tilde{C}^*_{\alpha_2}\right)$	$\mu_M\left(\tilde{C}^*_{\alpha_2},\tilde{C}^*_{\alpha_1}\right)$	$PR(\alpha_1,\alpha_2)$	$PR(\alpha_2,\alpha_1)$	جواب برتر
۰,۴ - ۰,۳	۰,۴۸	۰,۵۲	۰,۱۴	۰,۲۱	۰,۴
۰,۵ - ۰,۴	۰,۴۸	۰,۵۲	۰,۱۹	۰,۲۶	۰,۵
۰,۶ - ۰,۵	۰,۴۸	۰,۵۲	۰,۲۴	۰,۳۱	۰,۶
۰,۷ - ۰,۶	۰,۴۸	۰,۵۲	۰,۲۹	۰,۳۶	۰,۷

با توجه به جدول ۴، راه حل بیشتر ترجیح داده شده در سطح رضایت ۰,۷ به دست می‌آید. مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم در این سطح رضایت در جدول ۵ آمده است، در حالی که سایر متغیرها صفر هستند.

جدول ۵. مقادیر بهینه هدف در سطح رضایت ۰,۷

محصولات	ماه	x_{kt}	مواد اولیه	ماه	c_{rt}
A	۱	۸۵,۵	۱	۱	۱۹۸۸,۷۵
	۲	۹۲		۲	۲۲۰۵
	۳	۱۲۴		۳	۲۳۱۷,۵
B	۱	۱۴۷,۵	۲	۱	۳۲۶۵,۵

	۲	۱۴۷,۵		۲	۳۶۶۴,۵
	۳	۱۵۵,۵		۳	۳۸۹۱
C	۱	۲۰۷,۵			
	۲	۲۴۷,۵			
	۳	۲۴۶			

مثال دوم. این مثال بر روی پنج محصول تولیدی یک شرکت تولیدی لوله و اتصالات (شرکت SP) انجام شده است. این پنج محصول عبارتند از لوله گاز ۹۰ میلی‌متر (Gp۹۰)، لوله گاز ۱۱۰ میلی‌متر (Gp۱۱۰)، لوله گاز ۱۲۵ میلی‌متر (Gp۱۲۵)، لوله گاز ۱۶۰ میلی‌متر (Gp۱۶۰) و لوله گاز ۲۰۰ میلی‌متر (Gp۲۰۰). چهار نوع از مواد اصلی که برای تولید این محصولات استفاده می‌شود عبارتنداز: PE۱۰۰، PE۸۰، گاز SDR۱۱ و گاز SDR۱۳,۶.

شرکت SP به دنبال زمان‌بندی تولید محصولات خود در ۶ ماه آینده است. با توجه به سابقه تقاضای محصولات، بخش بازاریابی سه برآورد بدبینانه، محتمل و خوش‌بینانه را برای تقاضای هر کالا به صورت یک عدد فازی مثلثی ارائه داده است. با توجه به تجزیه و تحلیل بخش مالی، هزینه‌های خرید مواد بر اساس اعداد فازی مثلثی به صورت $\widetilde{u}_{۱t}=(۳,۴,۵)$، $\widetilde{u}_{۲t}=(۲.۵,۳,۴)$، $\widetilde{u}_{۳t}=(۴,۴.۷۵,۵.۲۵)$، $\widetilde{u}_{۴t}=(۱.۵,۲,۲.۷۵)$ برآورد می‌گردد. جدول ۶ اطلاعات مربوط به محصولات مختلف، احتیاجات مواد و پارامترهای هزینه را نشان می‌دهد. دپارتمان کنترل موجودی اعلام کرده که به طور متوسط ۵ واحد هزینه نگهداری برای هر یک از منابع اضافی در هر دوره لازم است. موجودی اولیه در دست برای تمامی محصولات نیز برابر صفر در نظر گرفته شده است، یعنی $POH_k=۰, k=۱,۲,\ldots,۶$. جدول ۷ اطلاعات مربوط به تقاضای محصولات مختلف را نشان می‌دهد که به صورت اعداد فازی مثلثی ارائه شده‌اند.

جدول ۶. اطلاعات زمان‌بندی تولید

نوع محصول / هزینه و نیازمندی مواد	Gp۹۰	Gp۱۱۰	Gp۱۲۵	Gp۱۶۰	Gp۲۰۰
$\widetilde{c}_k^{\,p}$	(۳، ۴، ۵، ۶)	(۴، ۵، ۶، ۷)	(۳، ۴، ۵، ۶)	(۴,۵، ۵,۵، ۶,۵، ۷,۵)	(۵، ۶، ۷، ۸)
$\widetilde{c}_k^{\,h}$	(۱، ۲، ۳، ۴)	(۱,۵، ۲,۵، ۳,۵، ۴,۵)	(۲، ۳، ۴، ۵)	(۲، ۳، ۴، ۵)	(۱,۵، ۲,۵، ۳,۵، ۴,۵)
$\widetilde{c}_k^{\,b}$	(۵۵، ۵۵، ۶۰)	(۷۰، ۷۵، ۸۰)	(۵۰، ۵۵، ۶۰)	(۶۰، ۶۵، ۷۰)	(۶۰، ۶۵، ۷۰)

$a_{۱k}$	۰,۵	۱	۰,۷۵	۲	۱,۲۵
$a_{۲k}$	۲	۴	۳,۵	۴	۵
$a_{۳k}$	۵	۲	۳	۲,۵	۱,۵
$a_{۴k}$	۲,۵	۳	۲,۵	۴	۵

جدول ۷. اطلاعات تقاضای محصولات

ماه	Gp۹۰	Gp۱۱۰	Gp۱۲۵	Gp۱۶۰	Gp۲۰۰
۱	(۱۳۹، ۱۴۴، ۱۴۸)	(۱۷۰، ۱۷۷، ۱۸۲)	(۲۱۱، ۲۱۹، ۲۳۰)	(۱۷۰، ۱۷۳، ۱۷۹)	(۲۰۴، ۲۰۸، ۲۱۰)
۲	(۱۳۹، ۱۴۴، ۱۴۸)	(۱۸۰، ۱۸۴، ۱۸۹)	(۲۱۵، ۲۲۱، ۲۲۶)	(۱۷۲، ۱۷۷، ۱۸۰)	(۲۰۶، ۲۱۰، ۲۱۵)
۳	(۱۵۰، ۱۵۲، ۱۵۵)	(۱۶۹، ۱۷۴، ۱۸۰)	(۲۰۵، ۲۱۰، ۲۱۵)	(۱۷۷، ۱۸۰، ۱۸۵)	(۱۹۲، ۱۹۸، ۲۰۳)
۴	(۱۶۲، ۱۷۱، ۱۸۷)	(۱۹۲، ۲۰۰، ۲۱۴)	(۲۲۳، ۲۳۱، ۲۴۲)	(۱۷۸، ۱۸۲، ۱۸۷)	(۲۰۶، ۲۰۹، ۲۱۵)
۵	(۱۷۰، ۱۸۰، ۱۸۸)	(۱۹۹، ۲۰۷، ۲۱۵)	(۲۳۴، ۲۴۵، ۲۵۶)	(۱۸۷، ۱۹۳، ۲۰۲)	(۲۰۰، ۲۰۵، ۲۱۱)
۶	(۱۷۴، ۱۸۲، ۱۸۶)	(۲۰۰، ۲۰۵، ۲۱۰)	(۲۲۹، ۲۳۴، ۲۳۹)	(۱۸۹، ۱۹۴، ۲۰۰)	(۲۰۷، ۲۱۱، ۲۱۵)

شرکت سطح ذخیره احتیاطی محصولات خود را به صورت $SS_{Gp۹۰t} = ۴۵, SS_{Gp۱۱۰t} = ۶۸, SS_{Gp۱۲۵t} = ۶۰, SS_{Gp۱۶۰t} = ۴۲$ و $SS_{Gp۲۰۰t} = ۶۰$ واحد برای محصولات مختلف در هر دوره در نظر گرفته است. ضمن آن که هزینه موجودی کمتر از ذخیره احتیاطی تنها برای محصولات Gp۱۱۰، Gp۱۲۵، و Gp۲۰۰ به ترتیب معادل (۹، ۷، ۳، ۱)، (۱۶، ۱۴، ۶، ۴) و (۱۶، ۱۴، ۶، ۴) واحد در نظر گرفته شده است. با تشکیل مدل، نسبت به حل آن در شش سطح α (از ۰,۳ الی ۰,۸) اقدام شده که راه‌حل بیشتر ترجیح داده شده در سطح رضایت ۰,۷ به دست می‌آید. مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم در این سطح رضایت در جدول ۸ آمده است، در حالی که سایر متغیرها صفر هستند.

جدول ۸ مقادیر بهینه هدف درسطح رضایت ۰,۷

محصولات	ماه	x_{kt}	BSS_{kt}	f_{kt}	مواد اولیه	ماه	c_{rt}
Gp۹۰	۱	۲۷۶,۷	۴۵	۰	۱	۱	۲۱۴۱,۸۷۵
	۲	۲۷۶,۷	۴۵	۰		۲	۲۰۱۶,۲
	۳	۲۹۸,۵	۴۵	۰		۳	۱۹۷۱,۲۲۵
	۴	۳۵۱,۵	۴۵	۰		۴	۲۰۸۳,۱۵
	۵	۳۳۷,۴	۴۵	۰		۵	۲۰۹۰,۵۷۵
	۶	۳۴۷,۶	۴۵	۰		۶	۱۵۵۱,۴

Gp۱۱۰	۱	۴۰۶,۶	۰	۶۸	۲	۱	۷۴۵۹,۰۵
	۲	۳۵۷,۷	۰	۶۸		۲	۶۹۰۵,۳۵
	۳	۳۳۵,۳	۰	۶۸		۳	۶۶۸۳,۳
	۴	۳۷۶,۶	۰	۶۸		۴	۷۱۳۸,۱۵
	۵	۳۹۴,۸	۰	۶۸		۵	۷۱۱۶,۱
	۶	۳۳۰	۶۸	۰		۶	۴۹۰۲,۲۵
Gp۱۲۵	۱	۴۷۶,۷	۰	۶۰	۳	۱	۵۱۴۷,۷۵
	۲	۴۲۸,۳	۰	۶۰		۲	۴۸۵۶,۸۵
	۳	۴۰۸	۰	۶۰		۳	۴۸۳۹,۰۵
	۴	۴۴۰,۷	۰	۶۰		۴	۵۱۵۰,۱
	۵	۴۶۳,۶	۰	۶۰		۵	۵۳۱۹,۶
	۶	۳۹۶	۶۰	۰		۶	۴۵۲۴,۲۵
Gp۱۶۰	۱	۳۳۶,۷	۴۲	۰	۴	۱	۶۷۱۴,۱
	۲	۳۴۳,۴	۴۲	۰		۲	۶۲۵۷,۷
	۳	۳۵۱,۴	۴۲	۰		۳	۶۰۸۹,۲۵
	۴	۳۵۳,۷	۴۲	۰		۴	۶۴۷۸,۶
	۵	۳۶۹,۵	۴۲	۰		۵	۶۴۲۶,۴

جدول ۵. مقادیر بهینه هدفدرسطحرضایت ۰,۷

محصولات	ماه	x_{kt}	BSS_{kt}	f_{kt}	مواد اولیه	ماه	c_{rt}
Gp۱۶۰	۶	۳۷۵,۳	۴۲	۰		۶	۴۳۵۰,۲
Gp۲۰۰	۱	۴۵۲,۸	۰	۴۵			
	۲	۴۰۹,۷	۰	۴۵			
	۳	۳۸۲,۳	۰	۴۵			
	۴	۴۰۸,۷	۰	۴۵			
	۵	۳۵۲,۳	۴۵	۰			
	۶	۴۵۷,۴	۰	۴۵			

با توجه به نتایج جدول ۵، مقادیر تولید هر یک از محصولات در شش ماه به همراه موجودی پایان دوره هر محصول در هر دوره، مقادیر کمتر از سطح ذخیر احتیاطی هر محصول به همراه میزان نیازمندی خالص منابع مختلف در دوره‌های برنامه‌ریزی مشخص می‌گردد. این برنامه می‌تواند مبنایی برای مدیریت تولید و برنامه‌ریزی احتیاجات مواد را فراهم آورد.

نتیجه‌گیری

برنامه اصلی تولید (MPS) نقشه راهی در دست مدیران تولید جهت برنامه‌ریزی عملیات و تدارک مواد و منابع مورد نیاز است. پارامترها و متغیرهای مختلفی نظیر تقاضای محصولات، پارامترهای هزینه، پارامترهای احتیاجات مواد و غیره در MPS لحاظ می‌شوند. این پارامترها معمولاً با عدم قطعیت مواجه بوده و به طور دقیق مشخص نمی‌شوند. در این مقاله مدلی برای حالتی پیشنهاد شده که در آن تقاضای محصولات، پارامترهای هزینه و ضرایب بهره‌برداری از منابع همزمان به صورت اعداد فازی در نظر گرفته شده‌اند. مدل مساله تحت این شرایط توسعه یافته و رویکرد حل آن براساس یک روش تعاملی پیشنهاد شده که مساله MPS را در سطوح رضایت مختلف حل و در نهایت، راه حل برتر با توجه به اولویت‌های تصمیم‌گیرندگان انتخاب می‌شود. نتایج حاصل از روش پیشنهادی، زمان‌بندی و مقدار تولید محصولات مختلف تولید کننده را در هر دوره تعیین می‌کند. همچنین، یکی از نتایج مدل می‌تواند به عنوان ورودی برنامه‌ریزی احتیاجات مواد به‌کار گرفته شود. کاربرد مدل ارائه شده در دو مثال نمونه نشان داده شده است. علاوه بر زمان‌بندی تولید، مدل پیشنهادی نیازمندی‌های منابع جهت تامین احتیاجات تولید برنامه‌ریزی شده را نیز تعیین می‌کند. روش ارائه شده انطباق خوبی با شرایط واقعی دارد که در آن تقاضای محصولات و پارامترهای هزینه دقیقاً قابل تشخیص نیستند. یکی دیگر از مزایای بکارگیری مدلپ یشنهادی،امکان پذیرفتن محدودیتهای جدید، مانند فضای انبار، برونسپاری و غیره است. از این مدل می‌توان در شرکتهای تولیدی که محصولات مختلفی را تولید می‌کنند و برنامه‌ریزی و زمان‌بندی تولید این محصولات و تدارک منابع مورد نیاز از مسائل مهم آنها به شمار می‌رود، استفاده نمود. به عنوان پیشنهادی برای مطالعات آتی می‌توان توسعه مدل MPS با داده‌های فاصله‌ای و نیز مدل‌سازی مسئله با الگوهای مختلف و غیر خطی تقاضا را پیشنهاد نمود. ضمن آن که مدل‌سازی مسئله با توجه به یادگیری کارکنان می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

منابع

آذر، عادل، فرهی بیلویی، رضا و رجب‌زاده، علی. (۱۳۸۷)، مقایسه تطبیقی مدلهای ریاضی قطعی و فازی در برنامه‌ریزی تولی: "مورد: شرکت پالایش نفت شیراز". *فصلنامه علمی و پژوهشی مدرس علوم انسانی*، سال ۱۲، شماره ۱، پیاپی ۵۶، ۳۳-۵۴.

ربانی، مسعود، سادات حسینی، نیلوفر و معنوی‌زاده، ندا. (۱۳۹۲)، رویکرد بهینه سازی استوار در مسئله برنامه ریزی تولید با در نظر گرفتن دوباره کاری، کمبود و خرابی ناگهانی ماشین ها با شرایط نبود قطعیت: استفاده از یک روش تکاملی. *نشریه مهندسی صنایع*، سال ۴۷، شماره ۱، ۲۵-۳۷.

عباسی، مرتضی، هوشمند، محمود و اخوان نیاکی، سید تقی. (۱۳۸۸)، برنامه‌ریزی تولید در سیستم تولید پیوسته با تقاضای غیر قطعی با هدف بیشینه‌سازی تطابق تولید با تقاضا. *مجله شریف*، شماره ۴۹، ۳-۱۴.

مهرگان، محمدرضا، کاظمی، عالیه و کامیاب مقدس، امین. (۱۳۸۵)، طراحی مدل آرمانی برنامه‌ریزی تولید برای شرکت کابل‌های مخابراتی شهید قندی یزد. *دانش مدیریت*، سال ۱۹، شماره ۷۴، ۱۳۳-۱۴۷.

Ballestin, F., Mallor, F. & Mateo, P.M. (2012). Production scheduling in a market-driven foundry: a mathematical programming approach versus a project scheduling metaheuristic algorithm. Engineering and Optimization, Vol. 13, Issue 4, pp. 663-687.

Cox, J.F. & Blackstone, J.H. (2001). APICS Dictionary. Virginia: APICS, 2001.

Feng, K., Rao, U.S. & Raturi, A. (2011). Setting planned orders in master production scheduling under demand uncertainty. *International Journal of Production Research*, Vol. 49, No. 13, pp. 4007-4025.

Fleten S.E. & Kristoffersen T.K. (2008). Short-term hydropower production planning by stochastic programming. Computers & Operations Research, Vol. 35, Issue 8, pp. 2656-2671.

Heilpern, S. (1992). The expected valued of a fuzzy number. Fuzzy Sets and Systems,Vol. 47, Issue 1, pp. 81-86.

Higgins, P. & Browne, J. (1992). Master production scheduling: a concurrent planning approach. Production Planning & Control, Vol. 3, Issue 1, pp. 2–18.

Houghton, E. & Portugal, V. (2001). Optimum production planning: an analytic framework. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 21, Issue 9,pp. 1205-1221.

Jimenez, M. (1996). Ranking fuzzy numbers through the comparison of its expected intervals. International Journal of Uncertainty Fuzziness and Knowledge-Based Systems, Vol. 4, Issue 4, pp. 379-388.

Jimenez, M., Arenas, M., Bilbao, A. & Rodriguez, M.V. (2007). Linear programming with fuzzy parameters: an interactive method resolution. European Journal of Operational Research, Vol. 177, Issue 3, pp. 1599-1609.

Kaufmann, A. & Gupta, M.M. (1991).Introduction to Fuzzy Arithmetic: Theory and Applications. New York: Van Nostrand Reinhold.

Kelbel, J. & Hanzalek, Z. (2011). Solving production scheduling with earliness/ tardiness penalties by constraint programming. Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 22, Issue 4, pp. 553-562.

Linag, T.F. (2008). Fuzzy multi-objective production/ distribution planning decisions with multi-product and multi-time period in supply chain. Computers & Industrial Engineering, Vol. 55, Issue 3, pp. 676-694.

Mula, J., Poler, R., Garcia-Sabater, J.P. & Lario, F.C. (2006). Models for production planning under uncertainty: a review. International Journal of Production Economics, Vol. 103, Issue 1,pp. 271-285.

Sawik, T. (2007). Multi-objective master production scheduling in make-to-order manufacturing. *International Journal of Production Research*, Vol. 45, Issue 12, pp. 2629-2653.

Soares, M.M. & Vieira, G.E. (2009). A new multi-objective optimization method for master production scheduling problems based on genetic algorithm. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 41, Issue 5-6,pp. 549-567.

Supriyanto, I. & Noche, B. (2011). Fuzzy Multi-Objective Linear Programming and Simulation Approach to the Development of Valid and Realistic Master Production Schedule. Logistics Journal: Proceeding, Vol. 7, pp. 1-14.

Tang, O. &Grubbstrom, R.W. (2002). Planning and replanning the master production schedule under demand uncertainty. International Journal of Production Economics, Vol. 78, Issue3, pp. 323-334.

Traub, J.F. & Werschulz, A.G. (1998). Complexity and Information. Roma: AcademiaNazionale Dei Lincei.

Vasant, P.M. (2003). Application of fuzzy linear programming in production planning. Fuzzy Optimization and Decision Making, Vol. 2, Issue 3, pp. 229-241.

Vieira, G.E. & Ribas, P.C. (2003). A new multi-objective optimization method for master production scheduling problems using simulated annealing. *International Journal of Production Research*, Vol. 42, Issue 21, pp. 4609-4622.

Vieira G.E., Favaretto, F. & Ribas, P.C. (2003). Comparing genetic algorithms and simulated annealing in master production scheduling problems. In 17th International Conference on Production Research proceedings, Blacksburg, Virginia, USA.

Wang, H.F. & Wu, K.Y. (2003). Modeling and analysis for multi-period, multi-product and multi-resource production scheduling. Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 14, Issue 3-4,pp. 297-309.

Zadeh, L. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, Vol. 8, Issue 3, pp. 338–353.