یک الگوریتم شبیه سازی تبرید برای حل همزمان مسئله زمان بندی تک ماشین و تعیین اندازه دسته تولید چند دوره ای با هزینه های زودکرد و دیرکرد

محمد زیاری[۱]- رضا کیا[۲]

۱- کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، واحد فیروزکوه ،دانشگاه آزاد اسلامی،فیروزکوه، ایران،(نویسنده مسئول)
پست الکترونیکی:ziarimohammad@yahoo.com
۲- استادیارگروه صنایع، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران
پست الکترونیکی: rezakia.ie@gmail.com

چکیده:

تعیین اندازه‌ی انباشته و زمان‌بندی متعلق به دو سطح تصمیم‌گیری مختلف در برنامه‌ریزی تولید می‌باشند، به طوری که تعیین اندازه انباشته در سطح میان مدت و زمانبندی در سطح کوتاه مدت می‌باشد.این دو مسأله دارای ارتباط نزدیکی می‌باشند زیرا نتایج مسأله تعیین اندازه‌ی انباشته که مقادیر تولید در هر دوره را تعیین می کند به عنوان ورودی مسأله زمان‌بندی می‌باشد. زمان‌بندی درسطح عملیاتی کارگاه با مشخص شدن میزان مورد نیاز هر محصول قابل اجرا خواهد بود. هدف در مسأله تعیین اندازه‌ی انباشته و زمان‌بندی همزمان، تعیین مقادیر تولید و سطوح موجودی برای هر محصول در هر دوره می باشد. بنابراین برای دستیابی به جواب‌های بهینه کلی می‌بایست وابستگی درونی بین این دو مسأله در نظر گرفته شود و تصمیمات مرتبط، می‌بایست به طور همزمان صورت پذیرد. هدف این تحقیق ارائه مدل ریاضی با درنظرگرفتن درآمد فروش و هزینه‌های ناشی از تولید، راه‌اندازی، نگهداری، دیرکرد و زودکرد جهت تعیین همزمان اندازه دسته تولید و زمانبندی است. برای اعتبار سنجی مدل ریاضی یک مثال عددی حل می شود. با توجه به اینکه مسأله مورد نظر جزء مسائل NP-hard می‌باشد، یک الگوریتم شبیه سازی تبرید برای تولید جواب در اندازه‌های بزرگ برای مسأله زمان‌بندی و تعیین اندازه‌ی دسته تولید به طور همزمان طراحی می شود. نتایج محاسباتی حاکی از آن است که الگوریتم فراابتکاری پیشنهادی کارآیی و سرعت حل مناسبی دارد.

واژه‌های کلیدی: زمان‌بندی، تعیین اندازه‌ی دسته تولید، الگوریتم شبیه سازی تبرید، مدل سازی ریاضی

۱- مقدمه:

اندازه دسته تولید و زمان بندی جزء مهمترین مسائل در حوزه برنامه ریزی تولید هستند. بیشتر زمان ها تصمیم گیری در مورد دو مسأله تشکیل شده به صورت سلسله مراتبی می باشد. در بیشتر مدل ها برای برنامه ریزی تولید به خصوص مسائل زمان بندی و اندازه دسته تولید، تابع هدف حداقل کردن هزینه ها می باشد.

در این مدل ها فرض بر آن است تقاضای همهٔ مشتری ها باید برآورده شود. این مقاله بر اساس تحقیق (سرشتی و بیجاری[۱]،۲۰۱۳) تحت عنوان ماکزیمم کردن سود برای مسأله زمان بندی و تعیین اندازه دسته تولید به طور همزمان انجام می شود. در این مقاله ماکزیمم کردن سود برای مسأله زمان بندی و تعیین اندازه دسته تولید با انتخاب تقاضای تغییر پذیر به طور همزمان مورد مطالعه قرار گرفته است. پذیرش تقاضا در دو دوره می تواند بین حدهای بالا و پایین متفاوت باشد. بر اساس مفروضات در مقاله تابع هدف مسأله ماکزیمم کردن سود، محاسبه نگهداری موجودی و هزینه راه اندازی می باشد. در نتایج این مدل مقدار پذیرش تقاضا برای تولید در هر دوره و اندازه دسته تولید مشخص می شوند. همچنین زمان راه اندازی و هزینه ها به طور همزمان برای مسأله زمان بندی و اندازه دسته تولید در نظر گرفته می شوند.در مقاله حاضر تعیین اندازه دسته تولید چند دوره ای و همچنین هزینه های دیرکرد و زودکرد در تابع هدف در نظر گرفته شده است.محدودیت های توالی محصولات هم در مدل پیشنهادی در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه مسأله مورد نظر جزء مسائل NP-hard می باشد، یک الگوریتم شبیه سازی تبرید برای تولید جواب در اندازه های بزرگ برای مسأله زمانبندی و تعیین اندازه ی دسته تولید به طور همزمان طراحی می شود.

تابع هدف مدل پیشنهادی شامل ۶ قسمت می باشد:درآمد فروش و هزینه های ناشی از تولید، راه‌اندازی، نگهداری، دیر کرد و زودکرد.در مدل پیشنهادی زمان تحویل برای هر محصول در هر دوره متفاوت می باشد و همچنین کران بالای مقدار تولید برای هر محصول در هر دوره متفاوت می باشد. مدل پیشنهادی برای مسأله زمان بندی تک ماشینه با هدف محاسبه درآمد فروش، هزینه تولید، هزینه راه اندازی، هزینه نگهداری و هزینه دیرکرد وزودکرد می باشد. از اختلاف درآمد فروش و هزینه تولید مقدار سود حاصل می شود. زمان شروع محصول در هر دوره، زمان تکمیل هر محصول در هر دوره، زمان دیرکرد و زودکرد در مدل به صورت قطعی می باشند. مقدار تولید، پذیرش تقاضا و سطح موجودی به صورت عدد صحیح می باشند. نگهداری موجودی بین دوره ها وجود دارد و می توان از موجودی یک دوره برای تقاضای دورهٔ بعد استفاده کرد. در این مدل فرض بر این است که ظرفیت زمانی یک ماشین در هر دوره مشخص می باشد. تعیین اندازه انباشته دسته تولید و زمان بندی آن دسته در هر دوره به طور همزمان تعیین می شود و برنامه ریزی در یک سیستم چند دوره ای صورت می گیرد. چون پذیرش تقاضا متغیر تصمیم می باشد و بر اساس پیش بینی بازار این مدل است که تعیین می کند که تقاضا چه مقداری بگیرد تا بیشترین سود عاید شود.

۲- ادبیات تحقیق:

به‌طور سنتی، مسائل زمان بندی به صورت مسائل بهینه سازی محدودیت دار به ویژه مسائل مربوط به تخصیص منابع و توالی عملیات مورد بررسی قرار گرفته است. در پاره‌ای از موارد مسائل زمان بندی تنها مربوط به تخصیص منابع است و در این حالات مدل های برنامه ریزی ریاضی معمولاً می تواند برای تعیین تصمیمات در زمینه تخصیص منابع بهینه مورد استفاده قرار گیرد.

میر[۲] (۲۰۰۰) مسأله زمان بندی و اندازه دسته تولید را در توزیع کردن توالی وابسته به زمان های راه اندازی به طورهمزمان توسعه داد.

۱.Sereshti and Bijari

۲.Meyr

پاتلوچ و همکاران[۱] (۲۰۰۱) یک الگوریتم ابتکاری برای مسأله زمان بندی و اندازه دسته تولید در صنعت توتون ارائه کردند.

توکلی مقدم و میرشکاری[۲] (۲۰۰۵) مسأله زمان بندی تک ماشینه با معیار چندگانه برای افزایش رضایت مشتری با الگوریتم ابتکاری را ارائه کردند. تابع هدف ارائه شدهحداقل سازی کارهای دارای تأخیر می باشد. مسأله توسط یک الگوریتم ابتکاری جدید به نام (three blocks) ۳B حل شده که جواب بهینه در زمان منطقی ایجاد کرده است.

گوپتا و مگنوسون[۳] (۲۰۰۵) در مقاله ای مسأله زمان بندی و اندازه دسته تولید با توالی وابسته به هزینه های راه اندازی و زمان های راه اندازی را ارائه کردند که مدل ریاضی برای حل همزمان مسأله زمان بندی و اندازه دسته تولید استفاده شده بود.

جولای و همکاران[۴] (۲۰۰۷) از الگوریتم ژنتیک برای مسأله زمان بندی تک ماشینه برای حداقل کردن بیشینه زودکرد و تعداد کارهای با تأخیر استفاده کردند. در این تحقیق از سیستم JIT برای مسأله زمان بندی استفاده شد. زمان بیکاری در مسأله مورد نظر مجاز نبوده و مسأله NP-Hard شناخته شده که برای توسعه آن از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. جمعیت اولیه به صورت یک الگوریتم ابتکاری محاسبه شده است که نتایج مدل نشان از عملکرد خوب الگوریتم ژنتیک می باشد.

کمال آبادی و همکاان[۵] (۲۰۰۷) امکان روش برنامه ریزی خطی برای حل فازی مسأله زمان بندی تک ماشینه را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق یک مدل ریاضی ارائه شده که در آن زمان پردازش، زمان تحویل و جریمه زودکرد و دیرکرد برای هر کار در نظر گرفته شده است. تابع هدف مدل حداقل کردن جریمه زودکرد و دیرکرد می باشد. در انتها مسأله با رویکرد فازی حل شده است.

هاجن و همکاران[۶] (۲۰۰۷) مدل ریاضی با هدف ماکزیمم سود برای مسأله زمان بندی و اندازه دسته تولید ارائه کردند. در این مدل تقاضا تابعی از قیمت می باشد.

آلمادالوبو و همکاران[۷] (۲۰۰۷) مدلی کارآمدتر در مقایسه با مدل میر برای مسأله زمان بندی تک ماشینه ارائه کردند.

کولاماس و کیپاریسیس[۸] (۲۰۰۸) مسأله زمان بندی تک ماشینه با توالی وابسته و زمان های راه اندازی را ارائه دادند. تابع هدف مسأله ماکزیمم زمان تکمیل را محاسبه می کند که به صورت خطی فرمول بندی شده است.

کولاماس و کیپاریسیس[۹] (۲۰۰۸) مسأله زمان بندی تک ماشینه با زمان انتظار وابسته به زمان تحویل را ارائه کردند.

در این تحقیق زمان تحویل برای هر کار به صورت تابعی خطی در نظر گرفته شده و مقدار بهینه زمان تحویل طی مثال عددی بدست آمده است.

والنت و گونکالوز[۱۰] (۲۰۰۹) روش الگوریتم ژنتیک برای مسأله زمان بندی تک ماشینه با جریمه زودکرد خطی و دیرکرد درجه دوم را ارائه دادند. در این تحقیق زمان بیکاری برای ماشین وجود ندارد. نتایج نشان می دهند که عملکرد الگوریتم ژنتیک باعث بهبودی در حل مسأله شده است.

چَنگ و همکاران[۱۱] (۲۰۰۹) ترکیب الگوریتم ژنتیک با خاصیت چیرگی برای زمان بندی تک ماشینه با جریمه

۱.Pattloch et al
۲.Tavakolimoghadam & Mirshekari
۳.Gupta & Magnusson
۴.Jolai et al
۵.Kamalabadi et al
۶.Haugen et al
۷.Almada-lobo et al
۸.Koulamas and kyparisis
۹ .Koulamas and kyparisis
۱۰.Valente & Goncalves
۱۱.Chang & et al

وابسته را تحلیل کردند که تابع هدف مینیمم کردن هزینه های دیرکرد و زودکرد بود. در نتایج این تحقیق نشان داده شد که ترکیب الگوریتم ژنتیک با خاصیت چیرگی عملکرد خوبی را برای مسأله ایجاد کرده است.

لای و لی[۱] (۲۰۱۰) مسأله زمان بندی تک ماشینه با تابع غیرخطی را ارائه دادند. در این مسأله خرابی برای کارها مجاز می باشد. در این تحقیق یک مدل جدید برای زمان بندی تک ماشینه با تابع غیرخطی ارائه شده که در این مدل زمان پردازش کارها محاسبه گردیده است.

باهالکی و همکاران[۲] (۲۰۱۰) در تحقیقی الگوریتم های ژنتیک و جست جوی ممنوع را برای مسأله زمان بندی تک ماشیه با زمان راه اندازی به صورت توالی وابسته و خرابی کارها را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق تأثیر خرابی کار در توالی زمان راه اندازی در مسأله زمان بندی تک ماشینه در نظر گرفته شده است. برای پیدا کردن جواب بهینه موضعی از الگوریتم ژنتیک و جست و جوی ممنوع برای توسعه مسأله استفاده شده است. نتایج مقاله نشان می دهد که کران پایین انتخاب شده در خرابی کارها تأثیر گذار می باشد.

یوو ونگ [۳](۲۰۱۲) یک الگوریتم بهینه پیوسته برای مسأله زمان بندی تک ماشینه با هدف مینیمم کردن زمان تکمیل را

ارائه کردند. که این الگوریتم برای حداقل کردن زمان تکمیل مسأله زمان بندی با تعداد کارها باعث کاهش زمان

در حل شد.

وان و یان[٤] (۲۰۱۳) مسأله زمان بندی تک ماشینه برای مینیمم کردن هزینه زودکرد و دیرکرد کل را مورد بررسی قرار دادند.

سرشتی و بیجاری[۵] (۲۰۱۳) مدل ریاضی برای ماکزیمم کردن سود برای حل همزمان مسأله زمان بندی و تعیین اندازه دسته

تولید ارائه کردند. در تابع هدف مدل مقدار سود، هزینه راه اندازی و هزینه نگهداری محاسبه شده است. در این

مدل تولید موقعی صورت می گیرد که ماشین برای محصول راه اندازی شود.

۳- مدل ریاضی:

در این بخش یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح مخلوط برای مسأله زمان بندی تک ماشینه ارائه شده است.

زمانی که تولید صورت گیرد در تابع هدف هزینه تولید در نظر گرفته می شود. به طور حتم اگر ماشین برای محصول راه اندازی شود در تابع هدف هزینه راه اندازی لحاظ می شود. زمانی که موجودی وجود داشته باشد هزینه نگهداری در نظر گرفته می شود. اگر محصول دارای زمان دیرکرد باشد، هزینه دیرکرد و اگر محصول دارای زمان زودکرد باشد، هزینه زودکرد در مدل لحاظ می شود.

۳-۱ مفروضات مدل:

۱- کمبود مجاز نیست.
۲- نگهداری موجودی بین دوره ها وجود دارد و می توان از موجودی یک دوره برای تقاضای دورهٔ بعد استفاده کرد.
۳- ظرفیت زمانی یک ماشین در هر دوره مشخص است.

۱.Li & Lee
۲.Bahalke et al
۳.Yu and wong
۴.Wan & Yuan
۵.Sereshti and Bijari

۴- هنگامی که ماشین برای محصول راه اندازی شود، تولید صورت می گیرد و هزینه راه اندازی به وجود می آورد.

۵-توالی محصولات در مدل در نظر گرفته شده است.

۶-در این مسأله تعیین اندازه انباشته دسته تولید و زمان بندی آن دسته در هر دوره به طور همزمان تعیین می شود.

۷-برنامه ریزی در یک سیستم چند دوره ای صورت می گیرد.

۸-پذیرش تقاضا بین حد بالا و پایین می باشد.

۹-هزینه دیرکرد و زودکرد مجاز می باشد.

۳-۲ اندیس ها و مجموعه ها:

p: مجموعه تمام محصولات

T: مجموعه تمام دوره ها

k, j: اندیس محصول

t: اندیس دوره

۳.۳.پارامترهای ورودی:

c_t : ظرفیت موجود در هر دوره

ld_{jt}: حد پایین تقاضا برای محصول j در دوره t

ud_{jt}: حد بالا تقاضا برای محصول j در دوره t

h_j هزینه نگهداری برای یک واحد محصول j

r_{jt}: درآمد فروش برای یک واحد محصول j در دوره t

cp_j: هزینه تولید برای یک واحد محصول j

s_j: هزینه راه اندازی برای یک واحد محصول j

dd_{jt}:زمان تحویل محصول j در دوره t

tc_j:هزینه دیرکرد محصول j

ec_j : هزینه زودکرد محصول j

tp_j : زمان تولید محصول j

M : عدد بسیار بزرگ

M_{jt}:کران بالای مقدار تولید محصول j دردوره t

۴.۳.متغیرهای تصمیم:

Q_{jt}: مقدار تولید از محصول j در دوره t

D_{jt}: پذیرش تقاضا از محصول j در دوره t

f_{jt}: سطح موجودی محصول j در دوره t

y_{jkt}: اگر محصول j قبل ازk در دوره t تولید شود ۱ و در غیراین صورت ۰.

A_{jt} هنگامی که ماشین برای محصول j در شروع دوره t راه اندازی شود ۱ ودرغیر این صورت ۰.

st_{jt}: زمان شروع محصول j در دوره t

ct_{jt}: زمان تکمیل محصول j در دوره t

ear_{jt}: زمان زودکرد محصول j در دوره t

tar_{jt}: زمان دیرکرد محصول j در دوره t

$$\max \sum_{j=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} r_{jt} D_{jt} - \sum_{j=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} CP_{j} Q_{jt} - \sum_{j=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} S_{j} A_{jt} - \sum_{j=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} h_{j} f_{jt} - \sum_{j=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} tar_{jt}.tc_{j} - \sum_{j=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} ear_{jt} ec_{j} \quad (۱)$$

Subject to:

$$f_{jt} = f_{j(t-1)} + Q_{jt} - D_{jt} \quad j=1,\ldots,P,\ t\neq 1 \quad (۲)$$

$$f_{j1} = Q_{j1} - D_{j1} \quad j=1,\ldots,P \quad (۳)$$

$$ld_{jt} \le D_{jt} \le ud_{jt} \quad j=1,\ldots,P,\ t=1,\ldots,T \quad (۴)$$

$$\sum_{j=1}^{P} tp_{j} Q_{jt} \le c_{t} \quad t=1,\ldots,T \quad (۵)$$

$$Q_{jt} \le M_{jt} A_{jt} \quad j=1,\ldots,P,\ t=1,\ldots,T \quad (۶)$$

$$st_{jt} + Q_{jt} tp_{j} \le st_{kt} + My_{jkt} \quad j=1,\ldots,P,\ k=1,\ldots,P,\ t=1,\ldots,T,\ j \neq k \quad (۷)$$

$$st_{kt} + Q_{kt} tp_{k} \le st_{jt} + M(1 - y_{jkt}) \quad j=1,\ldots,P,\ k=1,\ldots,P,\ t=1,\ldots,T,\ j \neq k \quad (۸)$$

$$st_{jt} + Q_{jt} tp_{j} = ct_{jt} \quad j=1,\ldots,P,\ t=1,\ldots,T \quad (۹)$$

$$tar_{jt} \ge ct_{jt} - dd_{jt} \quad j=1,\ldots,P,\ t=1,\ldots,T \quad (۱۰)$$

$$ear_{jt} \geq dd_{jt} - ct_{jt} \qquad j=۱,\ldots,P,\ t=۱,\ldots,T \qquad (۱۱)$$

$$y_{jkt}, A_{jt} \in \{0,1\} \qquad j=۱,\ldots,P,\ t=۱,\ldots,T \qquad (۱۲)$$

$$Q_{jt}, D_{jt}, f_{jt} \geq 0, integer \qquad j=۱,\ldots,P\ ,t=۱,\ldots,T \qquad (۱۳)$$

$$st_{jt}, ct_{jt}, tar_{jt}, ear_{jt} \geq 0 \qquad j=۱,\ldots,P\ ,t=۱,\ldots,T \qquad (۱۴)$$

معادله شماره (۳) تعادل موجودی در دوره ی اول را تضمین می کند.

نامعادله شماره (۴) حد بالا و پایین تقاضا را مشخص می کند. چون D_{jt} متغیر تصمیم می باشد و بر اساس پیش بینی بازار این مدل است که تعیین می کند که تقاضا چه مقداری را اختیار کند تا بیشترین سود عاید شود.

نامعادله شماره (۵) مربوط به ظرفیت می باشد.

نامعادله شماره (۶) مربوط به راه اندازی ماشین می باشد.

نامعادله های شماره (۷) و (۸) توالی محصولات را نشان می دهند.

معادله شماره (۹) زمان تکمیل محصولات را نشان می دهد.

نامعادله های شماره (۱۰) و (۱۱) به ترتیب زمان دیرکرد و زودکرد را محاسبه می کنند.

محدودیت های شماره (۱۲) ، (۱۳) و (۱۴) نوع متغیرها در مدل را مشخص می کند.

۴- روش حل الگوریتم شبیه‌سازی تبرید

۴-۱ نمایش ساختار جواب

ساختار جواب بیانگر یک نقطه از فضای شدنی مساله است، بطوری‌که نحوه نمایش آن درهر رویکرد فراابتکاری حایز اهمیت می باشد. ساختار جواب در الگوریتم پیشنهادی برای مدل ارائه شده از پنج بخش تشکیل شده است که به ترتیب به صورت زیر می‌باشد:

$$\{(\text{Demand})_{jst} \quad (\text{Quantity})_{jst} \mid (\text{Inventory})_{jst} \mid (\text{St_time})_{jst} \quad (\text{Co_time})_{jst}\}$$

در این نمایش j مجموعه اندیس انواع محصولات و t اندیس مربوط به هر دوره می‌باشد. که در ادامه هر یک از این ماتریس‌هاتوضیح داده شده است:

۱- بخش اول یا ماتریس تقاضا میزان تقاضای هر محصول در هر دوره را نشان می‌دهد. باید توجه کرد که تقاضای مورد نیاز برای هر محصول به صورتی انتخاب شود که حد بالا و پایین تقاضای هر محصول در هر دوره رعایت شده (محدودیت ۴) و همچنین قابلیت برآورده‌سازی آن وجود داشته باشد. نمای کلی این ماتریس به صورت زیر است:

$$\text{Demand} = \begin{pmatrix} x_{11} x_{12} & \cdots & x_{1t} \\ x_{21} x_{22} & \cdots & x_{2t} \\ \vdots & & \\ x_{j1} x_{j2} & \cdots & x_{jt} \end{pmatrix}$$

۲- بخش دوم میزان تولید هر محصول در هر دوره را معین نموده و بر مبنای تقاضای درخواستی در بخش اول و میزان موجودی انبار در دوره‌های پیشین تعیین می‌گردد و محدودیت‌های (۵) و (۶) را برآورده می‌نماید. میزان تولید باید به صورتی در نظر گرفته شود که اولا از حداکثر میزان تولید در دوره فعلی بیشتر نبوده و ثانیا مجموع زمان تولید محصولات در هر دوره از کل ظرفیت زمانی در دسترس بیشتر نباشد.این بخش به صورت زیر نمایش داده می‌شود:

$$\text{Quantity} = \begin{pmatrix} x_{11} x_{12} & \cdots & x_{1t} \\ x_{21} x_{22} & \cdots & x_{2t} \\ \vdots & & \\ x_{j1} x_{j2} & \cdots & x_{jt} \end{pmatrix}$$

۳- بخش سوم میزان موجودی انبار را نشان می‌دهد که بر مبنای میزان تولید محصول در هر دوره و تقاضای مورد نیاز آن دوره مشخص می‌شود. به بیان دیگر موجودی انبار در دوره فعلی برابر با مجموع انبار دوره قبل و تولید دوره فعلی منهای میزان تقاضای دوره فعلی می‌باشد. این

بخش معادل با محدودیت‌های (۲) و (۳) بوده و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\text{Inventory} = \begin{pmatrix} x_{11}x_{12} & \cdots & x_{1t} \\ x_{21}x_{22} & \cdots & x_{2t} \\ \vdots & & \\ x_{j1}x_{j2} & \cdots & x_{jt} \end{pmatrix}$$

۴- بخش‌های چهارم و پنجم که زمان شروع و زمان پایان فرایند تولید برای هر محصول در هر دوره را نشان می‌دهند. درایه‌های این ماتریس‌ها ترتیب پردازش برای محصولات در هر دوره را معین نموده و باید به صورتی تعیین شوند که فرآیند تولید محصولات با یکدیگر همپوشانی نداشته باشند. محدودیت‌های (۷)، (۸)، (۹)، (۱۰) و (۱۱) هم‌ارز با این بخش از ساختار جواب هستند. نمای کلی این دو ماتریس همانند بخش‌های پیشین می‌باشد.

۴-۲ .انتخاب جواب اولیه

در این مسئله با چند محدودیت عمده روبرو هستیم. نخستین مشکل این است که چون میزان تولید در هر دوره محدود است در صورتی که تقاضا بالاتر از حد بالای تولید باشد مجبوریم تقاضای مورد نظر را از دوره‌های پیشین تامین نماییم. حتی اگر محدودیت تولید هر محصول مشکل ایجاد نکند با توجه به محدودیت زمانی هر دوره باز هم ممکن است نیاز به تولید محصول در یک یا چند دوره و مصرف در دوره‌های بعد داشته باشیم. از آنجا که برآورده شدن همه این شرایط به صورت تصادفی خصوصا در مسائل بزرگ بسیار مشکل و حتی غیرممکن است و زمان دستیابی به جواب اولیه را بسیار طولانی می‌کند برای پیدا کردن یک جواب شدنی اولیه از کمترین تقاضا برای هر محصول در هر دوره استفاده می‌کنیم. این کار باعث می‌شود تا از یک سو نیاز به انبارداری تا حد ممکن کاهش یافته و از سوی دیگرسرعت دستیابی به جواب شدنی بسیار بالا باشد. مراحل تشکیل پاسخ اولیه به صورت زیر می‌باشند:

۱- در مرحله اول حداقل تقاضا برای هر محصول در هر دوره در نظر گرفته می‌شود.

۲- در مرحله دوم از دوره آخر شروع نموده و تلاش می‌کنیم که تقاضای این دوره را تا حد ممکن با تولید آن تامین نماییم. اگر این کار امکانپذیر نباشد لازم است که میزان انبار دوره قبل را برابر با تفاضل تقاضا و تولید قرار دهیم. میزان تولید دوره ماقبل آخر نیز باید بتواند جوابگوی میزان تقاضا و انبار باشد وگرنه لازم است که آن را دوباره از دوره قبلی تامین نماییم. با ادامه این فرآیند تا دوره اول حداقل میزان تولید و تقاضای هر محصول برای هر دوره به دست می‌آید. شایان ذکر است که مجموع مقادیر به دست آمده برای هر محصول در هر دوره نباید از ظرفیت زمانی آن دوره تجاوز نماید. با انجام این کار برای همه محصولات، ماتریس تولید و انبارداری همزمان با هم تشکیل می‌شوند.

۳- در مرحله سوم با توجه به میزان تولید و زمان لازم برای تولید هر محصول لازم است که زمان شروع تولید هر محصول را تعیین نماییم و ماتریس مربوط به زمان پایان به صورت خودکار تشکیل خواهد شد. تعیین زمان شروع تولید هر محصول با توجه به زمان در دسترس و به صورت تصادفی انجام خواهد شد.

۴-۳ مکانیزم ایجاد جواب همسایه

برای جستجو در فضای شدنی، نیاز به تولید پاسخ شدنی دیگری با تغییر پاسخ فعلی وجود دارد، که به آن جواب همسایه اطلاق می‌شود.بعد از آن باید شدنی بودن پاسخ مورد بررسی قرار گیرد.اگر پاسخ بدست آمده شدنی نباشد، می‌توان آن را اصلاح یا حذف نمود. نحوه تولید یک جواب شدنی جدید با استفاده از جواب فعلی به صورت زیر است :

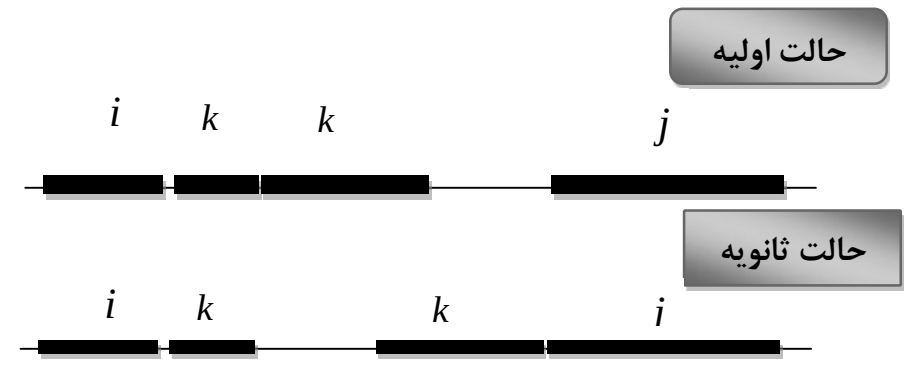
۱-افزایش تولید و تقاضا: این تغییر که در بخش‌های اول و دوم ساختار جواب صورت می‌گیرد به صورت زیر انجام می‌گیرد: پس از تعیین میزان افزایش مورد نظر جهت برقراری تعادل، میزان تولید را به همان اندازه افزایش داده و ماتریس‌های زمان شروع و زمان

پایان را نیز اصلاح می‌کنیم. این جهش تنها بر دوره فعلی اثرگذار است.روش به کار رفته در این جهش روش اصلاحی است یعنی در صورتی که جواب به دست آمده شدنی نباشد تلاش می‌کنیم تا آن را به یک جواب شدنی تبدیل نماییم.

۲-کاهش تولید و تقاضا: این جهش مشابه قسمت قبل است با این تفاوت که تابع دو عامل حداقل تقاضای هر دوره و میزان تولید آن دوره می‌باشد و جواب حاصل از آن نیز همواره شدنی خواهد بود.

۳- تغییر ترتیب پردازش: برای این کار پس از انتخاب یک دوره، دو محصول را انتخاب نموده و تلاش می‌کنیم توالی تولید آنها را با هم عوض کنیم. ممکن است در طی این کار مجبور به تغییر زمان شروع و پایان محصولاتی شویم که بین این دو محصول قرار گرفته‌اند. جواب حاصل از این جهش همواره شدنی خواهد بود.

شکل ۱- عملگر جهش ترتیب پردازش



شکل۲- عملگر جهش زمان شروع و پایان

۴- تغییر زمان شروع و پایان: اگر محصولی قابلیت تحرک داشته باشد یعنی قبل یا بعد از آن زمان بیکاروجود داشته باشد این جهش می‌تواند انجام گیرد. میزان تغییر با توجه به زمان بیکاری قبل یا بعد از آن و به صورت تصادفی تعیین شده و جواب به دست آمده شدنی خواهد بود.

کاهش موجودی انبار: این تغییر تابع چهار عامل موجودی انبار، میزان تولید دوره فعلی، توان تولید دوره بعدی و زمان در دسترس برای دوره بعدی می‌باشد. برای ایجاد تعادل پس از تعیین میزان کاهش موجودی (در صورت مثبت بودن)، تولید و موجودی دوره فعلی را کاهش داده و به همان میزان به تولید دوره بعدی اضافه می‌کنیم. برای حفظ درستی جواب، زمان‌های شروع و پایان در دوره‌های مورد نظر اصلاح می‌شوند. با در نظر گرفتن تمام عوامل ذکر شده در بالا پاسخ به دست آمده از این جهش حتما شدنی خواهد بود.

۵- افزایشموجودی انبار: این جهش تابع سه عامل توان تولید دوره فعلی، زمان در دسترس دوره فعلی و تقاضای دوره‌های بعدی خواهد بود و همانند بخش قبل نیاز به تنظیم زمان شروع و پایان در دوره‌های مورد نظر دارد.

سایر اجزای الگوریتم همان شبیه سازی تبرید کلاسیک می باشد.

۵- نتایج محاسباتی:

۵-۱ یک مثال عددی روشن گر

در این مقاله ۱۲ مثال در نظر گرفته شده است و مقدار تابع هدف و زمان از حل دقیق و الگوریتم شبیه سازی تبرید با هم مقایسه شده است و دمای اولیه و دمای نهایی و طول زنجیره مارکوف که پارامترهای ورودی الگوریتم شبیه سازی تبرید می باشند مشخص شده است و خطای مورد نظر به ۶ درصد رسیده است که در جدول ۳ آمده است.در ابتدا یک مثال در سایز کوچک در نظر گرفته می شود که جواب متغیرها به جزY_{jkt} در جدول۱ آمده و مقدار متغیر Y_{jkt} در جدول ۲ مشخص شده‌است.

جدول۱:جواب متغیرها از حل مدل

Tar	Ear	Ct	St	A	f	D	Q	دوره	محصول
۱۰۲	۰	۲۰۲	۱۷۲	۱	۰	۱۵	۱۵	۱	۱
۲۶	۰	۲۲۶	۲۰۰	۱	۰	۱۳	۱۳	۲	۱
۱۱۵	۰	۲۳۰	۱۹۸	۱	۰	۱۶	۱۶	۳	۱
۶۲	۰	۱۷۲	۱۱۵	۱	۰	۱۹	۱۹	۱	۲
۰	۵۰	۸۰	۲۰	۱	۰	۲۰	۲۰	۲	۲
۸۴	۰	۱۹۸	۱۲۰	۱	۰	۲۶	۲۶	۳	۲
۰	۱	۱۱۵	۰	۱	۰	۲۳	۲۳	۱	۳
۰	۰	۲۰۰	۸۰	۱	۶	۱۸	۲۴	۲	۳
۰	۰	۱۲۰	۰	۱	۰	۳۰	۲۴	۳	۳

به عنوان مثال محصول ۳ در دوره ۲را در نظر بگیرید. مقدار تولید۲۴،مقدار تقاضا ۱۸،سطح موجودی۶ که این یعنی نگهداری موجودی بین دوره ها وجود دارد و می توان از موجودی یک دوره برای تقاضای دوره بعد استفاده کرد.مقدار متغیرA_{jt}،یک شده که نشان می دهد ماشین برای محصول راه اندازی شده است.زمان شروع ۸۰،زمان تکمیل ۲۰۰و زمان دیرکرد و زودکرد در این دوره وجود ندارد. مقدار تولید بصورت عدد صحیح در مدل در نظر گرفته شده است. به عنوان مثال مقدار تولید محصول ۱ در دوره ی اول ۱۵ می باشد و این نشان دهنده ی این است که ماشین برای محصول ۱ در دوره ی اول راه اندازی شده

است و اگر تولید صورت نگیرد، ماشین راه اندازی نمی شود. پذیرش تقاضا بصورت عدد صحیح در مدل در نظر گرفته شده است. به عنوان مثال تقاضا برای محصول ۳ در دوره ی اول ۲۳ می باشد که طبق پارامترهای ورودی مسأله از کران بالا به دست آمده است. چون تقاضا متغیر تصمیم می باشد، بر اساس پیش بینی بازار این مدل است که تعیین می کند تقاضا چه مقداری اختیار کند تا بیشترین سود عاید شود. زمان تکمیل محصول ۱ در دوره دوم، ۲۲۶ می باشد که طبق معادله شماره (۹) در مدل به دست آمده است. در دوره دوم ابتدا محصول ۲، سپس محصول ۳ و بعد محصول ۱ تکمیل می شوند. زمان تکمیل محصول ۳ در دوره اول ۱۱۵ می باشد که زمان شروع آن صفر بوده که در دوره ی اول ابتدا محصول ۳، سپس محصول ۲ و بعد محصول ۱ تکمیل می شوند که این یعنی زمان بندی محصولات در مدل در نظر گرفته شده است. سطح موجودی بصورت عدد صحیح در مدل در نظر گرفته شده است. به عنوان مثال سطح موجودی محصول ۳ در دوره دوم ۶ می باشد. چون برای محصول ۳ در دوره ی دوم مقدار تولید و تقاضا دو مقدار مختلف بدست آمده است و طبق معادله شماره (۲) سطح موجودی محاسبه شده است. این یعنی نگهداری موجودی بین دوره ها وجود دارد و می توان از موجودی یک دوره برای تقاضای دوره بعد استفاده کرد. زمان دیرکرد محصول ۱ در دوره سوم ۱۱۵ می باشد، چون زمان تکمیل آن ۲۳۰ و زمان تحویل آن طبق پارامترهای ورودی مسأله ۱۱۵ می باشد طبق رابطه ی شماره (۱۰)، زمان دیرکرد بدست می آید . چون زمان دیرکرد در دوره سوم برای محصول ۱ وجود داشت دیگر زمان زودکرد در این دوره در نظر گرفته نمی شود. زمان زودکرد محصول ۲ در دوره دوم ۵۰ می باشد، چون زمان تحویل آن طبق پارمترهای ورودی مسأله ۱۳۰ و زمان تکمیل آن ۸۰ می باشد طبق رابطه ی شماره (۱۱)، زمان زودکرد بدست می آید. چون زمان زودکرد در دوره ی دوم برای محصول ۲ وجود داشت دیگر زمان دیرکرد در این دوره وجود ندارد.

جدول۲:جواب متغیر y_{jkt}

دوره / محصول	۱	۲	۳
۲-۱	۱	۱	۱
۳-۱	۱	۱	۱
۱-۲	۰	۰	۰
۳-۲	۱	۰	۱
۱-۳	۰	۰	۰
۲-۳	۰	۱	۰

به عنوان مثال در دوره۱،محصول ۲ قبل از محصول۱ شروع می شود بنابراین مقدار متغیر،یک می شود و در این دوره دیگر محصول ۱ قبل از محصول ۲ تولید نمی شود. در دوره ی اول ابتدا محصول ۲ و سپس محصول ۱ شروع می شوند و محصول ۳ اصلاً شروع نمی شود. در دوره ی دوم ابتدا محصول ۲ سپس محصول ۳ و بعد محصول ۱ شروع می شوند، که این یعنی زمان بندی محصولات در مدل در نظر گرفته شده است.

۵-۲ تحلیل کارایی محاسباتی

الگوریتم شبیه‌سازی تبرید یک الگوریتم جست و جوی محلی است که از یک‌طرف قابلیت خوبی برای فرار از نقاط بهینهٔ موضعی دارد و از طرف دیگر، اجرای این الگوریتم نسبت به‌سایر الگوریتم ها راحت‌تر است و به همین دلیل در سال های اخیرمورد توجه بسیاری از محققان بوده است. الگوریتم شبیه سازی تبرید در مسائل بهینه سازی

گسسته با ابعاد کوچک و مسائل بهینه سازی پیوسته، قابلیت خوبی برای حل مسئله دارد.

نرم افزار بهینه سازی بر روی یک کامپیوتر شخصی با مشخصات ۲ گیگا بایت حافظه رم و۱/۴۰ گیگا هرتز سی پی یوی Celeron اجرا شده است و نرم افزار الگوریتم برنامه نویسی شده بر روی یک کامپیوتر شخصی با مشخصات ۱ گیگا بایت حافظه رم و ۲/۲۰ گیگا هرتز سی پی یوی سه هسته‌ای اجرا شده است. وقتی سایز مسئله بزرگ می شود زمان حل توسط نرم افزار GAMS افزایش می یابد تا جایی که در مثال ۱۲ نرم افزار پیغام Out of memory را نشان می دهد ولی الگوریتم شبیه سازی تبرید اجرا شده و مقدار تابع هدف را محاسبه می کند، که این خود کارایی الگوریتم شبیه سازی تبرید و سرعت حل آن را نشان می دهد.

۶- نتیجه گیری و تحقیقات آینده:

مسأله زمانبندی، در واقع تنظیم یک جدول زمانی برای انجام فرآیند روی اقلام تکی یا دسته ای توسط ماشین ها و یا ایستگاه های کاری است؛ به نحوی که معیار معینی از عملکرد به مقدار بهینه خود برسد.عملکرد یا به عبارتی همان اهداف از یک تولید کننده به تولید کننده ی دیگر و گاهی از یک روز تا روز دیگر در حال تغییر می باشند، به طور کلی بسیار متعدد، پیچیده و غالباً با یکدیگر ناسازگار هستند.

الگوریتم های فرا ابتکاری که الهام گرفته از رفتار واقعی موجودات در طبیعت هستند، در سال های اخیر گسترش چشمگیری یافته اند و امروزه نیز کاربردهای بسیار زیادی در شاخه های مختلف علوم دارند. در این روش ها، بر خلاف روش های دقیق بهینه سازی، حل های نزدیک به بهینه با یک هزینه ی محاسباتی قابل قبول جست و جو و نظر تصمیم گیرنده نیز تا سطح قابل قبولی برآورده می شود. دراین مقاله یک مدل ریاضی برای مسئله زمانبندی و تعیین اندازه دسته تولید ارائه شده که در تابع هدف هزینه های دیرکرد وزودکرد لحاظ شده است. با توجه به اینکه مسأله مورد نظر جزء مسائل NP-hard می‌باشد، یک الگوریتم شبیه سازی تبرید برای تولید جواب در اندازه‌های بزرگ برای مسأله زمان‌بندی و تعیین اندازه‌ی دسته تولید به طور همزمان طراحی می شود. نتایج محاسباتی حاکی از آن است که الگوریتم فراابتکاری پیشنهادی کارآیی و سرعت حل مناسبی دارد

جدول۳: مقایسه بین نتایج حاصل از حل دقیق و الگوریتم شبیه سازی تبرید

Problem number	Problem size		GAMS		SA					GAP
	P	T	OFV	Time	OFV	Time	Tzero	Tfinal	Mcl	(٪)
۱	۳	۳	۱۷۵۱۱	۰:۰۰:۰۰/۷	۱۷۱۷۷	۰:۰۷:۲۲	۱۰۰۰	۱	۱۲۰۰	۱/۹۱
۲	۵	۵	۴۸۱۴۱	۰:۰۱:۱۷	۴۴۸۰۷	۰:۰۵:۵۸	۱۰۰۰	۱	۱۲۰۰	۶/۹۲
۳	۷	۷	۸۵۶۰۸	۰:۱۶:۳۰	۷۹۹۶۲	۰:۰۲:۵۹	۱۰۰۰۰	۱	۵۰۰	۶/۵۹
۴	۱۰	۷	۱۲۲۱۶۹	۰:۱۰:۴۰	۱۱۴۱۴۳	۰:۰۳:۹۷	۱۲۰۰	۱	۱۴۰۰	۶/۵۶
۵	۱۲	۷	۱۶۰۱۰۴	۰:۱۶:۴۰	۱۵۶۷۷۲	۰:۰۳:۳۸	۱۰۰۰	۱	۱۲۰۰	۲/۰۸
۶	۱۵	۱۰	۳۵۰۱۶۶	۰:۱۱:۴۰	۳۲۷۶۰۸	۰:۰۷:۰۲	۱۰۰۰	۱	۲۵۰۰	۶/۴۴
۷	۱۸	۱۲	۵۱۰۹۹۷	۰:۱۶:۴۱	۴۷۸۶۳۵	۰:۰۳:۸۵	۱۰۰۰	۱	۱۲۰۰	۶/۳۳
۸	۲۰	۱۵	۶۳۰۸۳۹	۱:۰۰:۰۰	۵۸۸۶۵۰	۰:۱۰:۳۷	۱۰۰۰	۱	۳۰۰۰	۶/۶۸
۹	۲۳	۲۰	۹۳۸۲۸۵	۴:۵۹:۰۴	۸۷۵۲۰۶	۰:۱۱:۸۷	۱۰۰۰	۱	۲۵۰۰	۶/۷۲
۱۰	۲۶	۲۰	۱۰۴۸۳۶۳	۲:۴۵:۲۴	۹۸۴۷۰۸	۰:۰۶:۴۰	۱۰۰۰	۱	۱۲۰۰	۶/۰۷
۱۱	۳۰	۲۶	۱۳۹۳۱۵۹	۴:۵۴:۴۲	۱۲۹۶۰۴۳	۰:۰۳:۳۸	۵۰۰۰۰۰	۱	۵۰۰	۶/۹۷
۱۲	۳۵	۲۶	—	۵:۱۰:۰۴	۱۶۷۵۹۵۴	۰:۰۸:۸۴	۱۰۰۰	۱	۱۲۰۰	—

در تحقیقات آینده می توان به بررسی حل همزمان مسأله زمان بندی و تعیین اندازه دسته تولید در شرایطی که ماشین ها موازی باشندوهمچنین بررسی مسأله زمانبندی و تعیین اندازه دسته تولید در شرایطی که پارامترهای ورودی قطعی نباشد پرداخت.همچنین می-توان مساله مورد نظررابا الگوریتم های فراابتکاری دیگر برای یافتن نتایج بهتراستفاده کرد.

منابع:

۱. Meyr,H,"Simultaneous lot sizing and scheduling by combining local search with dual reoptimization",Eur.j.oper.res,۲۰۰۰,۱۲۰,۳۱۱-۳۲۶.

۲. attloch,M,Schmidt,G,Kovalyov,M.Y,"Heuristic algorithms for lot size scheduling with application in the tobacco industry", Comput.i nd.eng,۲۰۰۱,۳۹,۲۳۵-۲۵۳.

۳. Tavakoli moghadam,R,Mirshekari,A," A multi-criteria single machine scheduling problem increasing customer satisfaction by a heuristic algorithm", International journal of industrial engineering &production management, ۲۰۰۵,۱۶,۳۳-۴۰.

۴. Gupta,D,Magnusson,T,"The capacitated lot-sizing and scheduling problem with sequence-dependent setup costs and setup times" , comput. oper.res,۲۰۰۵,۳۲,۷۲۷-۷۴۷.

۵. Jolai, F ,Rabbani ,M, Amalnick, S, Dabaghi, A, Dehghan, M, Yazadnparast, M, "Genetic algorithm for bi-criteria single machine scheduling problem of minimizing maximum earliness and number of tardy jobs ",Applied Mathematics and computation",۲۰۰۷,۱۹۴,۵۵۲-۵۶۰.

۶. Kamalabadi.I.N,Mirzaei.A.H,Javadi.B, ۲۰۰۷,A possibility linear programming approach to solve a fuzzy single machine scheduling problem. Journal of industrial & systems engineering, ۱,۱۱۶-۱۲۹.

۷. Haugen.K.K,Olstad.A,Pettersen.B.I, ۲۰۰۷,The profit maximizing capacitated lot-size problem.Eur.j.oper.res,۱۷۶,۱۶۵-۱۷۶.

۸. Almada-lobo, B, Klabjan, D, Carravilla, M.A, Oliveira, J.F, "Single machine multi-product capacitated lot sizing with sequence-dependent setups", Int.j.prod.res, ۲۰۰۷, ۴۵, ۴۸۷۳-۴۸۹۳.

۹. Koulamas.C,Kyparisis.G, ۲۰۰۸,Single-machine scheduling problems with past-sequence-dependent setup times.Eur.j.oper.res ,۱۸۷,۱۰۴۵-۱۰۴۹.

۱۰.Koulamas.C,Kyparisis.G, ۲۰۰۸,Single-machine scheduling with waiting-time-dependent due dates.Eur.j.oper.res, ۱۹۱,۵۷۷-۵۸۱.

۱۱.Valente,JorgeM.S,Goncalves,JoseFernando,"A genetic algorithm approach for the single machine scheduling problem with linear earliness and quadratic tardiness penalties", Computers & operations research,۲۰۰۹,۳۶,۲۷۰۷-۲۷۱۵.

۱۲.Chang,Peichann,Chen,Shihhsin,Mani,V,"A hybrid genetic algorithm with dominance properties for single machine scheduling with dependent penalties", Applied Mathematical Modeling, ۲۰۰۹,۳۳,۵۷۹-۵۹۶.

۱۳.Lai,Peng-jen,Lee,Wen-Chiung,"Single machine scheduling with a nonlinear deterioration function", Information processing letters,۲۰۱۰,۱۱۰,۴۵۵-۴۵۹.

۱۴.Bahalke,U,Yolmeh,M.A,Hajizade,A.N,Bahalke, A,"Genetic and tabusearch algorithms for the single machine scheduling problem with sequence dependent setup times and deteriorating jobs", International journal of engineering, ۲۰۱۰,۲۳,۲۲۷-۲۳۳.

۱۵.Yu,S.,Wong,P., ۲۰۱۲,A note on an optimal online algorithm for single machine scheduling to minimize total general completion time. Information processing letters, ۱۱۲,۵۵-۵۸.

۱۶.Wan,Long,Yuan,JIn JIang," Single-machine scheduling to minimize the total earliness and tardiness is strongly NP-hard", Operations research letters,۲۰۱۳,۴۱,۳۶۳-۳۶۵.

۱۷.Sereshti. N, Bijari. M, , ۲۰۱۳, Profit maximization in simultaneous lot-sizing and

scheduling problem. Applied mathematical modeling, ۳۷, ۹۵۱۶-۹۵۲۳.

۱۸.An Annealing Simulation Algorithm for Simultaneously Solving the Problem of Scheduling Single-machine and Scheduling Multi-period Production by Earliness and Tardiness Costs

۱۹.Audhesh K. Paswan, Charles Blankson, Francisco Guzman, (۲۰۱۱),"Relationalism in marketing