

الگوریتم فازی برای تعیین توالی عملیات مسئله خط جریان با m ماشین و n کار

عزیزاله معماریانی* و قاسم مصلحی**

بخش مهندسی صنایع دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی اصفهان

(دریافت مقاله: ۱۳۷۵/۸/۲۱ - دریافت نسخه نهایی: ۱۳۷۶/۱۰/۱۰)

چکیده - مسئله تعیین توالی عملیات خط جریان از مسائل Np-hard است. لذا روشهای متعدد ابتکاری برای حل آن به وجود آمده است. اکثر این روشها برای حالت دقیق ارائه شده اند. اما از آنجایی که زمانهای پردازش به صورت دقیق نیستند، مناسب است از رویکرد فازی برای حل آنها استفاده شود. در این مقاله با استفاده از ریاضیات فازی الگوریتمی برای کمینه کردن دامنه عملیات مسئله خط جریان با زمانهای پردازش فازی ارائه شده است. در مسیر حل مسئله به رفتار تصمیم گیرنده توجه شده و تصمیم گیرنده می تواند به صورت بدبینی تصمیم بگیرد و یا براساس آنچه محتملتر است تصمیم گیری کند. برای هر دو حالت، الگوریتم ارائه شده روابط مناسبی را ایجاد کرده و جوابهای متناسب با آن را تولید می کند.

A Fuzzy Algorithm for the m-Machine, n-Job Flow Shop Sequencing Problem

A. Memariani, G. Moslehi

Department of Industrial Engineering, School of Engineering, Tarbiat Modares University

Department of Industrial Engineering, Isfahan University of Technology

ABSTRACT-Flow shop sequencing problem is included in NP-hard problems and a number of heuristic methods have been developed to solve it. Most of these methods are offered for the crisp processing time. However fuzzy algorithm is appropriate for the problems with fuzzy processing time. This paper presents a method in which an algorithm is used to minimize make span of flow shop with fuzzy processing time by taking advantage of fuzzy mathematics. This method is based on the behavior of the decision maker who can make either pessimistic or the most likely decisions. The algorithm includes proper relations and corresponding results.

** مربی و دانشجوی دکترا دانشگاه تربیت مدرس

* استادیار

| فهرست علائم | |
|---|---|
| \bar{A} | عدد فازی A |
| $\mu_{\bar{A}}(x)$ | مقدار تابع عضویت x که \bar{A} عضو مجموعه پشتیبان \bar{A} است. |
| S | مجموعه پشتیبان \bar{A} |
| J | مجموعه کارهایی که باید پردازش شوند |
| n | تعداد کارهای در J |
| m | تعداد ماشینها |
| \bar{P}_{ij} | زمان پردازش فازی کار i روی ماشین j |
| چند عدد فازی (رمعادله ۶) $k = a, b, c, d$ | ماشین j |
| زمان بیشینه اتمام کارها C_{max} | زمان اتمام فازی کار i روی ماشین j |
| زمان بیشینه اتمام کارها در حالت فازی \bar{C}_{max} | جمع فازی |
| متوسط زمان در جریان کارها MFT | جمع n عدد فازی $(+)$ $\sum_{i=1}^n$ |
| متوسط زمان در جریان کارها در حالت فازی MFT | عدد فازی بیشینه براساس متوسط و پراکندگی $m\bar{x}$ |
| | مؤلفه‌های عدد فازی ذوزنقه‌ای a و b و c و d |
| | مقدار بیشینه روی مؤلفه k ام \max_k |

۱- مقدمه

مسئله خط جریان^۲ در زمانبندی^۳ و تعیین توالی عملیات^۴، مسئله شناخت شده‌ای است. مسئله خط جریان هنگامی مطرح می‌شود که تمام کارها باید از تمام ماشینها به طور مشابه عبور کنند. این مسئله یکی از مسائل مهم برنامه‌ریزی تولید بوده و در محیطهای صنعتی برای برنامه‌ریزی ساخت بسیاری از قطعات کاربرد دارد.

در مسئله خط جریان زمانهای پردازش^۵ به صورت دقیق^۶ در نظر گرفته می‌شوند. ولی معمولاً در عمل زمانهای پردازش به صورت دقیق نیستند. لذا به راحتی می‌توان زمانهای پردازش را در یک دامنه بیان کرد. وقتی اعداد در یک دامنه باشند می‌توان آنها را به صورت اعداد فازی^۸ بیان کرد و در محاسبات از ریاضیات فازی استفاده کرد. بنابراین در نظر گرفتن زمانهای پردازش به صورت اعداد فازی دارای نتایج واقعیت و مطلوبتر خواهد بود.

مسئله خط جریان را می‌توان به صورت زیر فرمولبندی کرد [۱ و ۲]: ترتیبی از n کار (J_1 و J_2 ... و J_n) روی m ماشین با توجه به رابطه پیشینازی در نظر گرفته می‌شود. به طوری که تمام کارها با ترتیب مشابه از روی ماشینها عبور می‌کنند. فرض شده است زمان آمادگی برای تمام^۹ کارها یکسان بوده و زمان تحویل^{۱۰} در نظر گرفته نشده است. از هر ماشین فقط یکی در دسترس است و انقطاع^{۱۱} عملیات مجاز نیست. تابع هزینه، کمینه کردن دامنه عملیات^{۱۲} و به عبارت دیگر کمینه کردن بیشینه زمانهای اتمام کارها^{۱۳} است. بنابراین هدف یافتن ترتیب جایگشتی^{۱۴} از کارها روی ماشینهاست که مقدار C_{max}

را کمینه کند. هدف دیگری که معمولاً در نظر گرفته می‌شود، کمینه کردن متوسط زمان در جریان^{۱۵} قطعات است که با MFT نمایش داده می‌شود.

حل مسئله تعیین توالی عملیات خط جریان از نوع مسائل Np-hard [۳ و ۴] بوده و به دست آوردن جواب بهینه در مدت زمان قابل قبول امکانپذیر نیست. لذا روشهای ابتکاری^{۱۶} مختلفی توسعه داده شده‌اند تا بتوانند در زمان قابل قبول جوابهای مناسب تولید کنند. یکی از روشهای ابتکاری، روشی است که توسط کمپیل و همکارانش [۵] ارائه شده است. این روش به CDS مشهور است. در این روش اگر تعداد ماشینها برابر m باشد، m-۱ مقایسه، بر اساس دو ماشین صورت می‌گیرد. در این مقایسه از روش جانسون [۶] استفاده می‌شود. مک‌کاهن و لی [۷] الگوریتم CDS را که برای حالت دقیق است، به صورت فازی بیان کرده و آن را در مثالی نشان داده‌اند. نواز و همکارانش [۸] روشی براساس پیدا کردن موقعیت نسبی هر کار ارائه داده‌اند. می‌توان گفت روش نواز و همکارانش در میان روشهای ارائه شده بیشترین کارایی را دارد [۹] و به الگوریتم NEH مشهور است. در این مقاله روش NEH که روش مناسبی برای مسئله خط جریان و حالت دقیق است به صورت فازی ارائه شده است.

در قسمت دوم مقاله نمود فازی ذکر شده است. بیان مسئله خط جریان و محاسبات موردنیاز برای رویکرد فازی در قسمت بعدی آمده است. قسمت چهارم مقاله به بیان الگوریتم NEH برای خط جریان و الگوریتم فازی آن

لی [۱۱] استفاده شده است.

در روش لی برای عدد فازی، مقدار متوسط به دست آمده ۲۰ و به آن GMV گفته می شود. معادله GMV به صورت زیر است.

$$GMV(\bar{A}) = \frac{\int_s x \mu_{\bar{A}}(x) dx}{\int_s \mu_{\bar{A}}(x) dx} \quad (1)$$

عدد فازی با GMV بیشتر دارای رتبه‌ای بزرگتر از عدد فازی با GMV کمتر خواهد بود. در صورتی که دو عدد فازی دارای GMV یکسان باشند. پراکندگی عدد فازی بر اساس معادله زیر محاسبه می شود و آن عدد که دارای پراکندگی کمتر است، بزرگتر است.

$$S(\bar{A}) = \left\{ \frac{\int_s x^2 \mu_{\bar{A}}(x) dx}{\int_s \mu_{\bar{A}}(x) dx} - [GMV(\bar{A})]^2 \right\}^{1/2} \quad (2)$$

۳- مسئله خط جریان و محاسبات فازی ارائه شده

برای مسئله خط جریان، هدفهای مختلفی را می توان در نظر گرفت. دو نوع از این اهداف کمینه کردن C_{max} و کمینه کردن MFT است. این مقادیر در حالت فازی به صورت زیر به دست می آیند. اگر مجموعه کارها با ترتیب (J_1, J_2, \dots, J_n) برای قطعات، از روی ماشینها عبور کنند زمان ختم کارهای ماشین ۱ و کار ۱ به صورت زیر است.

$$\bar{C}_{J_1,1} = \bar{P}_{J_1,1} \quad (3)$$

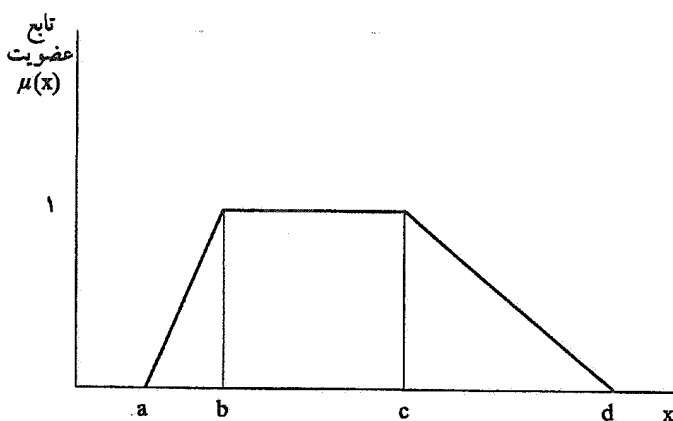
$$\bar{C}_{J_i,1} = \bar{C}_{J_{i-1},1} \oplus \bar{P}_{J_i,1} \quad i=2,3,\dots,n \quad (4)$$

$$\bar{C}_{J_1,j} = \bar{C}_{J_1,j-1} \oplus \bar{P}_{J_1,j} \quad j=2,3,\dots,m \quad (5)$$

زمان ختم سایر کارها بر اساس حالت بدبینانه^{۲۱} از معادله (۶) به دست می آید.

$$\bar{C}_{J_{ij}} = [\max_a(\bar{C}_{J_{i-1},j}, \bar{C}_{J_{ij-1}}), \max_b(\bar{C}_{J_{i-1},j}, \bar{C}_{J_{ij-1}}), \max_c(\bar{C}_{J_{i-1},j}, \bar{C}_{J_{ij-1}})] \quad (6)$$

$$\max_c(\bar{C}_{J_{i-1},j}, \bar{C}_{J_{ij-1}})$$



شکل ۱- عدد فازی ذوزنقه‌ای

می پردازد و نتیجه کاربرد الگوریتم ارائه شده در قالب یک مثال در قسمت پنجم آمده است. نهایتاً در انتهای مقاله، خلاصه و نتیجه گیری ذکر شده است.

۲- نمود فازی

در این مقاله از اعداد فازی ذوزنقه‌ای نرمال برای زمانهای پردازش استفاده شده است. یک عدد فازی ذوزنقه‌ای به صورت نقاط c و d و a و b مشخص می شود (شکل ۱). برآورد زمانهای پردازش با امکان^{۱۷} بیشتری در فاصله بین b و c قرار می گیرد که مقدار تابع عضویت^{۱۸} در این محدوده برابر با ۱ در نظر گرفته می شود. ممکن است مقدار زمان پردازش به دلیل سرعت زیاد ماشین و کیفیت مطلوب قطعه، پایین بیاید. این مقدار در فاصله a و b قرار می گیرد که مقدار تابع عضویت در این محدوده بین صفر و یک است و یا به دلیل مشابهی ممکن است زمان پردازش بیشتر از حالت معمولی شود و در فاصله c تا d قرار گیرد. در این حالت هم مقدار تابع عضویت بین یک و صفر خواهد شد. البته در برخی مواقع از اعداد فازی مثلثی استفاده می شود. باید توجه کرد که این اعداد حالت خاصی از اعداد فازی ذوزنقه‌ای هستند که در آن b مساوی با c است. برای مطالعه بیشتر در مورد اعداد فازی و محاسبات فازی به [۱۰] رجوع شود.

در الگوریتم فازی ارائه شده در قسمت چهارم برای تعیین ترتیب کارها باید بین اعداد فازی مقایسه صورت گیرد و مشخص شود که کدام عدد فازی بزرگتر است. برای رتبه بندی^{۱۹} اعداد فازی روشهای مختلفی وجود دارد. در این مقاله برای رتبه بندی اعداد فازی از روش

به سایر روشهای ابتکاری از توانایی بیشتری برخوردار است. لذا مدل فازی این الگوریتم در این قسمت ارائه می‌شود. الگوریتم NEH به صورت زیر است.

گام ۱- برای هر کار i مقدار $T_i = \sum_{j=1}^m p_{ij}$ را محاسبه کنید.
 گام ۲- لیستی از کارها به ترتیب نزولی مقدار T_i تهیه کنید.
 گام ۳- دو کار اول و دوم را از لیست گام ۲ انتخاب کرده و بهترین برنامه را برای این دو کار پیدا کنید. موقعیت نسبی این دو کار در طول الگوریتم ثابت باقی می‌ماند. مقدار i را برابر با ۳ قرار دهید.

گام ۴- کار i ام را از لیست گام ۲ انتخاب کنید. این کار را در کلیه مکانهای مختلف در توالی جزئی i گام قبلی قرار دهید و با حفظ ترتیب جزئی، مقدار C_{max} هر یک از ترتیبا را به دست آورید. آن ترتیبی که مقدار C_{max} کمتری دارد، از این به بعد توالی جزئی است. گام ۵- اگر $n=i$ باشد، متوقف شوید. در غیر این صورت قرار دهید $i=i+1$ و به گام ۴ بروید.

برای فازی کردن الگوریتم NEH کافی است که دقتهای زیر د، الگوریتم انجام شود. در گام ۱ برای محاسبه T_i از معادله زیر استفاده شود.

$$\tilde{T}_i = \left(\sum_{j=1}^m \right) \tilde{p}_{ij} \quad (10)$$

و چون \tilde{T}_i یک عدد فازی است از GMV آن استفاده می‌شود تا بتوان لیست گام ۲ را تشکیل داد. در گام ۳ و ۴ براساس قسمت سوم مقاله، محاسبات زمان ختم کارها انجام می‌شود و برای حالت بدبینانه باید از معادله (۶) و برای حالت محتمل از معادله (۷) استفاده شود.

۵- مثال

مک‌کاهن [۷] یک مثال با ۴ کار و ۴ ماشین برای الگوریتم فازی CDS به کار برده است. در این مقاله از همان مثال استفاده شده و نشان داده شده است که نتیجه به دست آمده بهتر از روش مک‌کاهن است. اطلاعات مثال در جدول ۱ وجود دارد.
 در گام ۲، مقدار جمع زمانهای پردازش هر قطعه روی تمام ماشینها به صورت فازی به دست می‌آید و آنها براساس GMV مرتب می‌شوند. خلاصه نتایج این قسمت در جدول ۲ آمده است.
 در گام ۳، دو کار ۳ و ۲ که ترتیبهای ۱ و ۲ را دارند انتخاب می‌شوند.

$$\max_d (\bar{C}_{J_{i-1}^j}, \bar{C}_{J_{i,j-1}}) \oplus \bar{P}_{J_{i,j}} \quad i=2,3,\dots,n$$

$$j=2,3,\dots,m$$

در معادله ۶ آنچه نتیجه داخل کروشه است یک عدد فازی دوزنقه‌ای است. بنابراین در چنین حالتی تصمیم‌گیرنده مخالف مخاطره ۲۲ است. برای حالت محتمل ۲۳ محاسبه معادله بالا به صورت زیر درمی‌آید.

$$\bar{C}_{J_{i,j}} = \bar{Max}(\bar{C}_{J_{i-1}^j}, \bar{C}_{J_{i,j-1}}) \oplus \bar{P}_{J_{i,j}} \quad i=2,3,\dots,n \quad (V)$$

$$j=2,3,\dots,m$$

چون طبیعت اعداد فازی حالت دقیق ندارد بنابراین عمل پیشینه‌گرفتن روی دو عدد فازی بستگی زیادی به فرد تصمیم‌گیرنده دارد. اگر فرد تصمیم‌گیرنده حالت بدبینی داشته باشد باید از مؤلفه‌های مشابه دو عدد فازی پیشینه گرفته شده و در نهایت یک عدد فازی به دست آید. در این حالت اطمینان وجود دارد که زمان اتمام کار خارج از عدد فازی به دست آمده نیست ولی عدد فازی مقداری بزرگ شده است. اگر فرد تصمیم‌گیرنده حالت متعادل داشته باشد و براساس آنچه که بیشتر محتمل است تصمیم بگیرد. باید در پیشینه‌گرفتن دو عدد فازی، فقط به ترتیب دو عدد فازی یعنی مقدار GMV آنها توجه کند و به مؤلفه‌های عدد فازی توجه نشود. در نهایت مقادیر \bar{C}_{max} و MFT که مقادیر متناظر به دو هدف را نشان می‌دهند از معادله‌های زیر به دست می‌آیند.

$$\bar{C}_{max} = \bar{C}_{J_{n,m}} \quad (8)$$

$$\bar{MFT} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{C}_{J_{i,m}}}{n} \quad (9)$$

۴- الگوریتم فازی ارائه شده

نواز و همکارانش [۸] یک روش ابتکاری به نام NEH برای مسئله خط جریان با کمینه کردن C_{max} ارائه کرده‌اند. این الگوریتم نسبت

جدول ۱- زمان پردازش کارها

| ماشین کار | M _۱ | M _۲ | M _۳ | M _۴ |
|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | ۱ | (۴و۵و۶و۷) | (۵و۵و۶و۷) | (۱و۳و۴و۵) |
| ۲ | (۲و۳و۴و۶) | (۶و۷و۷/۵و۸) | (۱و۳و۴و۵) | (۵و۵/۵و۶و۷) |
| ۳ | (۸و۹و۱۱و۱۲) | (۴و۵و۶و۹) | (۳و۵و۶و۷) | (۲و۴و۵و۶) |
| ۴ | (۳و۴و۵و۸) | (۵و۶و۸/۵و۹) | (۳و۴و۵و۶) | (۱و۲و۳و۴) |

جدول ۲- تعیین ترتیب کارها

| کارها | \bar{T}_i | GMV(\bar{T}_i) | ترتیب |
|-------|-------------------|--------------------|-------|
| ۱ | (۱۲و۱۶و۲۱و۲۵) | ۱۸/۵ | ۴ |
| ۲ | (۱۴و۱۸/۵و۲۱/۵و۲۶) | ۲۰/۰ | ۲ |
| ۳ | (۱۷و۲۳و۲۸و۳۴) | ۲۵/۵ | ۱ |
| ۴ | (۱۲و۱۶و۲۱/۵و۲۷) | ۱۹/۲ | ۳ |

جدول ۳- انتخاب توالی جزئی دوتایی

| ترتیب | \bar{C}_{max} | GMV(\bar{C}_{max}) |
|-------|-----------------|------------------------|
| (۳و۲) | (۲۱و۲۸و۳۳/۵و۴۰) | ۳۰/۶ |
| (۲و۳) | (۱۹و۲۶و۳۲و۴۰) | ۲۹/۳ |

باید دو توالی جزئی (۳و۲) و (۲و۳) کنترل شده و آنکه \bar{C}_{max} کمتری دارد انتخاب شود. در این مثال فرض شده که تصمیم‌گیرنده بدبین بوده و از معادله (۶) برای محاسبه \bar{C}_{max} استفاده می‌شود. در جدول ۳ دو ترتیب بالا در نظر گرفته شده و مقدار \bar{C}_{max} آنها محاسبه شده است. ستون GMV نشان می‌دهد که ترتیب (۲و۳) بهتر از ترتیب (۳و۲) است. بنابراین در تمام قدمهای بعدی الگوریتم همیشه کار ۲ قبل از کار ۳ خواهد بود.

در گام ۴، براساس جدول ۲ کار ۴ انتخاب شده و برای سه ترتیب (۳و۲و۳) و (۲و۳و۴) و (۲و۳و۴و۳) مقدار \bar{C}_{max} آنها محاسبه می‌شود. نتایج در جدول ۴ وجود دارد و می‌توان دید که ترتیب (۲و۳و۴) از سایر ترتیبها بهتر است بنابراین در تمام قدمهای بعدی همیشه کار ۲ قبل از ۳ و کار ۳ قبل از ۴ قرار می‌گیرد.

مجدداً به گام ۴ رفته و در این گام باید کار ۱ را انتخاب کرده و چهار ترتیب (۱و۲و۳و۴) و (۱و۳و۴و۲) و (۲و۳و۴و۱) و (۲و۳و۴و۱و۲) را در نظر گرفت. جدول ۵ نشان می‌دهد که مقدار ترتیب (۲و۳و۴و۱و۲) دارای مقدار کمینه \bar{C}_{max} است و چون تمام کارها در

باید دو توالی جزئی (۳و۲) و (۲و۳) کنترل شده و آنکه \bar{C}_{max} کمتری دارد انتخاب شود. در این مثال فرض شده که تصمیم‌گیرنده بدبین بوده و از معادله (۶) برای محاسبه \bar{C}_{max} استفاده می‌شود. در جدول ۳ دو ترتیب بالا در نظر گرفته شده و مقدار \bar{C}_{max} آنها محاسبه شده است. ستون GMV نشان می‌دهد که ترتیب (۲و۳) بهتر از ترتیب (۳و۲) است. بنابراین در تمام قدمهای بعدی الگوریتم همیشه کار ۲ قبل از کار ۳ خواهد بود.

در گام ۴، براساس جدول ۲ کار ۴ انتخاب شده و برای سه ترتیب

جدول ۴- انتخاب توالی جزئی سه تایی

| رتیب | \bar{C}_{max} | $GMV(\bar{C}_{max})$ |
|---------|-----------------|----------------------|
| (۴و۲و۳) | (۲۳و۳۱و۳۸و۴۸) | ۳۵/۱ |
| (۲و۴و۳) | (۲۲و۳۰و۳۷و۴۸) | ۳۴/۴ |
| (۲و۳و۴) | (۲۳و۲۹و۳۷و۵و۴۶) | ۳۴/۰ |

جدول ۵- انتخاب توالی جزئی چهار تایی

| رتیب | \bar{C}_{max} | $GMV(\bar{C}_{max})$ |
|-----------|-----------------|----------------------|
| (۱و۲و۳و۴) | (۲۸و۳۸و۴۳/۵و۵۳) | ۳۹/۸ |
| (۲و۱و۳و۴) | (۲۷و۳۴و۴۳/۵و۵۳) | ۳۹/۵ |
| (۲و۳و۱و۴) | (۲۸و۳۴و۴۳/۵و۵۳) | ۳۹/۸ |
| (۲و۳و۴و۱) | (۲۷و۳۴و۴۴/۵و۵۴) | ۴۰/۰ |

است مقادیر \bar{C}_{max} و ترتیب نهایی تغییر کند. در مسائل حل شده مشاهده شده که هر چه زمان پردازش دارای دامنه بیشتری باشد نتیجه دو روش محتملتر و بدبینانه با هم اختلاف بیشتری پیدا می کنند و هر چه زمانهای پردازش نزدیک به هم و دارای دامنه های یکسان باشند نتیجه دو روش اختلاف کمتری را نشان می دهند. برای مثال ارائه شده در جدول ۱، نتایج به دست آمده از دو روش، در جدول ۸ خلاصه شده است. معمولاً مقدار \bar{C}_{max} حالت محتملتر، کمتر از حالت بدبینانه بوده و این نتیجه قابل پیش بینی است زیرا در حالت بدبینانه همیشه مؤلفه های بزرگتر عدد فازی انتخاب می شوند. لذا مقدار \bar{C}_{max} هم بزرگتر می شود. برای مثال حل شده مشاهده می شود که مقدار \bar{C}_{max} در هر دو روش برابرند ولی در حالت محتملتر، دو ترتیب به عنوان جواب به دست آمده است که برای تصمیم گیرنده امکان انتخاب بین آنها وجود دارد.

۶- خلاصه و نتیجه گیری

بیان وقایعی که در آینده اتفاق می افتد و به پارامترهای مختلفی بستگی دارد به صورت دقیق کاری مشکل و در بسیاری مواقع ناممکن است بلکه می توان آنها را در فواصلی با درجه اطمینانهای

ترتیب وارد شده اند جواب نهایی ترتیب (۲و۱و۳و۴) بوده و مقدار کمینه \bar{C}_{max} برابر عدد فازی (۲۷ و ۳۴ و ۴۳/۵ و ۵۳) است. در جدول ۶ نتایج حل مثال با دو الگوریتم فازی CDS و الگوریتم فازی NEH ارائه شده است. برای ترتیبهای نهایی مقدار MFT بر اساس معادله ۹ محاسبه شده و در جدول ۶ آمده است. از جدول ۶ مشاهده می شود که الگوریتم فازی NEH بهتر از الگوریتم فازی CDS عمل کرده و مقدار \bar{C}_{max} و MFT آن کمتر است. یعنی برتری الگوریتم NEH همچنان در حالت فازی نیز برقرار است. جدول ۷ نشان دهنده محاسبات برای تعیین C_{T_j} در ترتیب (۲و۱و۳و۴) است که از معادله های (۳) تا (۶) استفاده شده است. همان طور که از جدول ۵ و ۷ مشاهده می شود مقادیر \bar{C}_{max} و MFT به صورت اعداد فازی اند. مثلاً مقدار کمینه \bar{C}_{max} برابر (۵۳ و ۴۳/۵ و ۳۴ و ۲۷) بوده و به این معناست که اگر ترتیب (۲و۱و۳و۴) به کار گرفته شود عادیترین زمان ختم کلیه کارها بین ۳۴ و ۴۳/۵ است. به عبارت دیگر ممکن است زمان ختم از ۳۴ کمتر شده و به ۲۷ برسد و یا از ۴۳/۵ بیشتر شده و به ۵۳ برسد. اگر در محاسبه \bar{C}_{max} تصمیم گیرنده براساس آنچه محتملتر است تصمیم بگیرد باید از معادله (۷) استفاده کند. در این حالت ممکن

جدول ۶- مقایسه نتایج در الگوریتم فازی CDS و NEH

| هدف | روش NEH فازی | | | روش CDS فازی | | |
|-----------------|--------------|---------------------------------|-------|--------------|-------------------------------------|-------|
| | ترتیب | مقدار | GMV() | ترتیب | مقدار | GMV() |
| \bar{C}_{max} | (۲۰۳ و ۳۰۴) | (۲۷ و ۳۴ / ۴۳ و ۵۳) | ۳۹/۵ | (۲ و ۳ و ۴) | (۲۸ و ۳۴ / ۴۳ و ۵۲) | ۳۹/۸ |
| MFT | (۲ و ۳ و ۴) | (۲۰ و ۲۶ / ۳ و ۳۲ / ۴ و ۳۹ / ۵) | ۲۹/۶ | (۲ و ۳ و ۴) | (۲۰ / ۸ و ۲۶ / ۹ و ۳۳ / ۵ و ۴۱ / ۳) | ۳۰/۷ |

جدول ۷- محاسبه زمانها ختم کار در ترتیب (۲ و ۳ و ۴)

| پارامتر | کار | | | |
|-------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------|-------------------------|
| | ۲ | ۱ | ۳ | ۴ |
| $\bar{P}_{J_i,1}$ | (۲ و ۳ و ۴ و ۶) | (۴ و ۵ و ۶ و ۷) | (۸ و ۹ و ۱۱ و ۱۲) | (۳ و ۴ و ۵ و ۸) |
| $\bar{C}_{J_i,1}$ | (۲ و ۳ و ۴ و ۶) | (۶ و ۸ و ۱۰ و ۱۳) | (۱۴ و ۱۷ و ۲۱ و ۲۵) | (۱۷ و ۲۱ و ۲۶ و ۳۳) |
| $\bar{P}_{J_i,2}$ | (۶ و ۷ و ۷ / ۵ و ۸) | (۵ و ۵ و ۶ و ۷) | (۴ و ۵ و ۶ و ۹) | (۵ و ۶ و ۸ / ۵ و ۹) |
| $\bar{C}_{J_i,2}$ | (۸ و ۱۰ و ۱۱ / ۵ و ۱۴) | (۱۳ و ۱۵ و ۱۷ / ۵ و ۲۱) | (۱۸ و ۲۲ و ۲۷ و ۳۴) | (۲۳ و ۲۸ و ۳۵ / ۵ و ۴۳) |
| $\bar{P}_{J_i,3}$ | (۱ و ۳ و ۴ و ۵) | (۱ و ۳ و ۴ و ۵) | (۳ و ۵ و ۶ و ۷) | (۳ و ۴ و ۵ و ۶) |
| $\bar{C}_{J_i,3}$ | (۹ و ۱۳ و ۱۵ / ۵ و ۱۹) | (۱۴ و ۱۸ و ۲۱ / ۵ و ۲۶) | (۲۱ و ۲۷ و ۳۳ و ۴۱) | (۲۶ و ۳۲ و ۴۰ / ۵ و ۴۹) |
| $\bar{P}_{J_i,4}$ | (۵ و ۵ / ۵ و ۶ و ۷) | (۲ و ۳ و ۵ و ۶) | (۲ و ۴ و ۵ و ۶) | (۱ و ۲ و ۳ و ۴) |
| $\bar{C}_{J_i,4}$ | (۱۴ و ۱۸ / ۵ و ۲۱ / ۵ و ۲۶) | (۱۶ و ۲۱ / ۵ و ۲۶ / ۵ و ۳۲) | (۲۳ و ۳۱ و ۳۸ و ۴۷) | (۲۷ و ۳۴ و ۴۳ / ۵ و ۵۳) |

بیان شد که انتخاب هر یک از دو روش براساس رفتار تصمیم‌گیرنده است. الگوریتم ارائه شده با الگوریتم فازی CDS که توسط مک‌کاهن [۷] ارائه شده است مقایسه شد و برتری آن در مثال مک‌کاهن نشان داده شد. در مقایسه بین اعداد فازی که طی دفعات مختلف در الگوریتم به آن نیاز می‌شود، از روش لی [۱۱] استفاده شده است. مک‌کاهن در الگوریتم خود هر چند که معادله (۷) را معرفی و بیان

متفاوت بیان کرد. از آن جمله زمانهای پردازش قطعات روی ماشینهای مختلف‌اند که به پارامترهای مختلفی بستگی دارد و نباید از آنها به صورت دقیق و تخمین یک نقطه‌ای استفاده کرد. لذا از ریاضیات فازی برای این کار استفاده می‌شود تا نتایج واقعیت‌شوند. الگوریتم NEH، بهترین الگوریتم ابتکاری برای مسئله خط جریان است. در این مقاله این الگوریتم برای حالت فازی توسعه داده شد. برای فازی کردن مسئله دو روش محتملتر و بدبینانه در نظر گرفته و

جدول ۸- مقایسه بین دو روش بدینانه و محتملتر

| ترتیب‌نهایی | $GMV(\bar{C}_{max})$ | \bar{C}_{max} | روش |
|-------------|----------------------|-----------------|---------|
| (۲و۳و۴) | ۳۹/۵ | (۲۷و۳۴و۴۳/۵و۵۳) | بدینانه |
| (۱و۲و۳و۴) | ۳۹/۵ | (۲۷و۳۴و۴۳/۵و۵۳) | محتملتر |
| (۲و۳و۴) | | | |

دقیق و حل آن با الگوریتمهای معمولی است. برای این کار می توان برای مسائل خط جریان با زمانهای پردازش فازی، زمانهای پردازش را قطعی کرد. برای این منظور کافی است که به جای هر زمان پردازش مقدار GMV آن را قرار داد. با این کار از زمان محاسبات بسیار کاسته خواهد شد ولی دقت آن نیز کاهش یافته و مقدار \bar{C}_{max} نهایی نیز دیگر یک عدد فازی نخواهد بود بلکه یک عدد قطعی خواهد شد.

کرده است که در الگوریتم از آن استفاده می شود ولی عملاً از این رابطه هیچ گاه استفاده نکرده بلکه از معادله (۶) استفاده کرده و اشاره ای به روش بدینانه و محتمل نکرده است. روش ارائه شده برای فازی کردن الگوریتم NEH را می توان برای سایر الگوریتمها به کار گرفت و آنها را فازی کرد. معمولاً محاسبات الگوریتمهای فازی به زمان بیشتری برای محاسبات نسبت به الگوریتمهای دقیق نیاز دارد لذا یکی از راههای کاهش زمان محاسبات تبدیل اطلاعات یک مسئله فازی به حالت

واژه نامه:

- | | | |
|--------------------|---------------------|----------------------------------|
| 1. support | 9. ready time | 17. possibility |
| 2. flow shop | 10. due date | 18. membership function |
| 3. scheduling | 11. preemption | 19. ranking |
| 4. sequencing | 12. makespan | 20. generalized mean value (GMV) |
| 5. processing time | 13. completion time | 21. pessimistic |
| 6. crisp | 14. permutation | 22. risk averse |
| 7. interval | 15. mean flow time | 23. most likely |
| 8. fuzzy numbers | 16. heuristic | 24. partial sequence |

مراجع

- Baker, K. R., *Introduction to Sequencing and Scheduling*, John Wiley, New York, 1979.
- French, S., *Sequencing and Scheduling: An Introduction to the Mathematics of the Job Shop*, Ellis Horwood Limited, England, 1986.
- Garey, M. R., Johnson, D. S., and Sethi, R., "The Complexity of Flow Shop and Job Shop Scheduling," *Mathematics of Operations Research* Vol. 1, PP. 117-129, 1976.
- Rinnooy Kan, A. H. G., *Machine Scheduling Problems: Classification, Complexity and Computations*, Martinus Nijhoff, The Hague, 1976.
- Campbell, H. G., Dudek, R. A., and Smith, M.L., "A Heuristic Algorithm for the n Job, m Machine Sequencing problem," *Management Science*, Vol. 16, PP. B630-B637, 1970.
- Johnson, S. M., "Optimal Two and Three Stage Production Schedules with Setup Times Included," *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol. 6, PP. 61-68, 1954.
- McCahnon, C. S., Lee E., "Fuzzy Job Sequencing for Flow Shop," *European Journal of Operational Research*, pp.294-301,1992.
- Nawaz, M., Emscore Jr, E. E., and Ham, I., "A

- Heuristic Algorithm for the m-Machine, n-Job Flow shop sequencing Problems." *Omega* Vol. 11, PP. 91-95, 1983.
9. Reeves, C. R., "A Genetic Algorithm for Flow Shop Sequencing," *Computers & Operational Research* Vol. 22, No. 1, PP. 5-13, 1995.
10. Zimmermann H. J., *Fuzzy Set Theory and Its Applications*, Kluwer, USA, 1991.
11. Lee, E. S., Li, R. J., "Comparison of Fuzzy Numbers Based on Probability Measure of Fuzzy Events, " *Computers and Mathematics with Applications*, Vol. 15, pp. 887-896, 1988.