یک چارچوب وطرح طبقه‌بندی برای مدلسازی سیستم‌های تولیدی

محمد تقی فاطمی قمی - دانشگاه صنعتی امیرکبیر
مصطفی زندیه - دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده:
زمانبندی حوزه وسیعی از مسائل اکثر سیستم‌های صنعتی را پوشش می‌دهد. مسائل زمانبندی دارای ویژگی‌های گوناگون وفراوانی می‌باشند، به همین دلیل مدلسازی این‌گونه مسائل بسیار مشکل است. مضافاً اینکه طراحی ابزارهای حل ونیز کیفیت آنها اغلب وابسته به مدل می‌باشد. ازطرفی بکارگیری ابزارهای حل موجود نیز با توجه به مقایسه مدل طراحی شده ومدلی که ابزار حل برای آن طراحی شده ساده نیست.
دراین مقاله بعضی از اصول مدلسازی مورد بحث قرارگرفته ویک طرح طبقه‌بندی برای حوزه وسیعی از مسائل زمانبندی پیشنهاد می‌شود. در ابتدا یک مدل عمومی برای سیستم‌های تولید تعریف می‌شود. این مدل بصورت جریان کارگاهی ترکیبی(HFS) می‌باشد زیرا مدل جریان کارگاهی ترکیبی بما این امکان را می‌دهد که اکثر سیستم‌های تولیدی را با آن نشان دهیم. درمرحله دوم یک طرح طبقه‌بندی پیشنهادمی‌شود که منشاء آن برای اولین بار درمطالعات Miller ، Conway وMaxwell مشاهده شده است. سپس بعضی از اصول که مشخصات ویژه صنایع را در نظر می‌گیرند، موردبحث قرار می‌گیرند(مشخصاتی از قبیل مسیرهای تولید، سیاهه مواد، زمانهای آماده‌سازی، زمانهای انتظار، زمانهای حمل ونقل، موجودیهای میانی و.....). در پایان یک رویکرد برای مدلسازی سیستم‌های تولیدی وتعیین ابزارهای حل موجود کار ارائه شده است.
کلمات کلیدی: مدلسازی، جریان کارگاهی ترکیبی، طبقه‌بندی

۱-مقدمه

روش زمانبندی فعالیتها به میزان زیادی بستگی به حجم خروجی سیستم دارد. سیستم‌هایی که حجم خروجی آنها بالا است می‌توانند با مشخصاتی ازقبیل تجهیزات وفعالیتهای استاندارد شده شناخته شوند. در این سیستم‌ها ، تجهیزات وفعالیتها بصورت کاملا یکسان ویا خیلی مشابه روی محصولاتی که ازسیستم می‌گذرند، عمل می‌نمایند. بنابراین هدف اینگونه سیستم‌ها عبارت است از رسیدن به یک نرخ هموار جریان محصولات بگونه‌ای که بیشترین بهره‌برداری از تجهیزات ونیروی انسانی بعمل آید. اغلب به چنین سیستم‌هایی با عنوان سیستم‌های کارگاه گردش‌کاری[1] اشاره می‌شود وزمانبندی دراین سیستم‌ها زمانبندی کارگاه گردش‌کاری یا زمانبندی جریان کارگاهی ترکیبی[2] نامیده می‌شود (بسته به اینکه برای انجام هرکار در هر مرحله چندماشین در دسترس است).
درسیستم‌های با حجم خروجی پایین ، محصولات سفارشی هستند وسفارشات معمولاً تفاوتهای قابل ملاحظه‌ای از نظر نیازمندیهای فرآیندی، مواد اولیه، زمان انجام فرآیند، توالی انجام و آماده‌سازیهای مختلف دارند. اغلب به چنین سیستم‌هایی با عنوان سیستم‌های کار کارگاهی[3] اشاره می‌شود و زمانبندی دراین سیستم‌ها زمانبندی کار کارگاهی نامیده می‌شود.
اساساً رویکرد مورد نیاز برای برخورد با مسائل مربوط به سیستم‌های تولید با حجم بالا ،متفاوت از رویکرد برخورد با سیستم‌های تولید با حجم پایین است. همانگونه که Botta وGuinet نشان داده‌اند،مسائل زمانبندی کار کارگاهی را می‌توان به مسائل زمانبندی جریان کارگاهی با محدویتهای پیش‌نیازی تبدیل نمود[۸] به همین دلیل ما دراینجا مطالعات خودرا برروی مسائل زمانبندی جریان کارگاهی متمرکز می‌کنیم.

1 - Flow Shop
2 - Hybrid Flow Shop
3 - Job Shop

در این مطالعه، مساله زمانبندی برای سیستم‌های تولید با حجم بالا مورد توجه قرار گرفته است. صنایع فرآیندی، صنایعی هستند که از طریق عملیاتهایی شبیه: مخلوط کردن، جداسازی، شکل‌دهی ویا واکنش‌های شیمیایی بر روی مواد اولیه ارزش افزوده ایجاد می‌نمایند. این فرآیندها ممکن است پیوسته ویا دسته‌ای باشند و معمولاً به سرمایه‌گذاری بالا و اعمال کنترل‌های جدی نیاز دارند. صنایع فرآیندی محدوده وسیعی از کارخانجاتی از قبیل: کارخانجات شیمیایی، داروسازی، غذایی، نساجی، کاغذسازی و صنایع فلزی را شامل می‌شوند. در اینگونه صنایع فرآیندی ، سیستم‌های تولید بسیار متنوع اند و لذا برنامه‌ریزی وکنترل تولید و بخصوص زمانبندی‌های جزیی مشکل‌تر می‌شود، به همین دلیل اغلب اینگونه مسائل، تحت عنوان مسائل پیچیده مطرح می‌شوند.

با توجه به اینکه مسائل زمانبندی دارای ویژگی‌های زیاد ومتنوع هستند، لذا مدلسازی آنها کار مشکلی است. مضافاً اینکه طراحی ابزارهای حل وکیفیت آنها ،اغلب وابسته به مدل می‌باشد. دربخش بعد یک طرح برای طبقه‌بندی مسائل زمانبندی پیشنهاد می‌شود.

۲- یک طبقه‌بندی برای مسائل زمانبندی

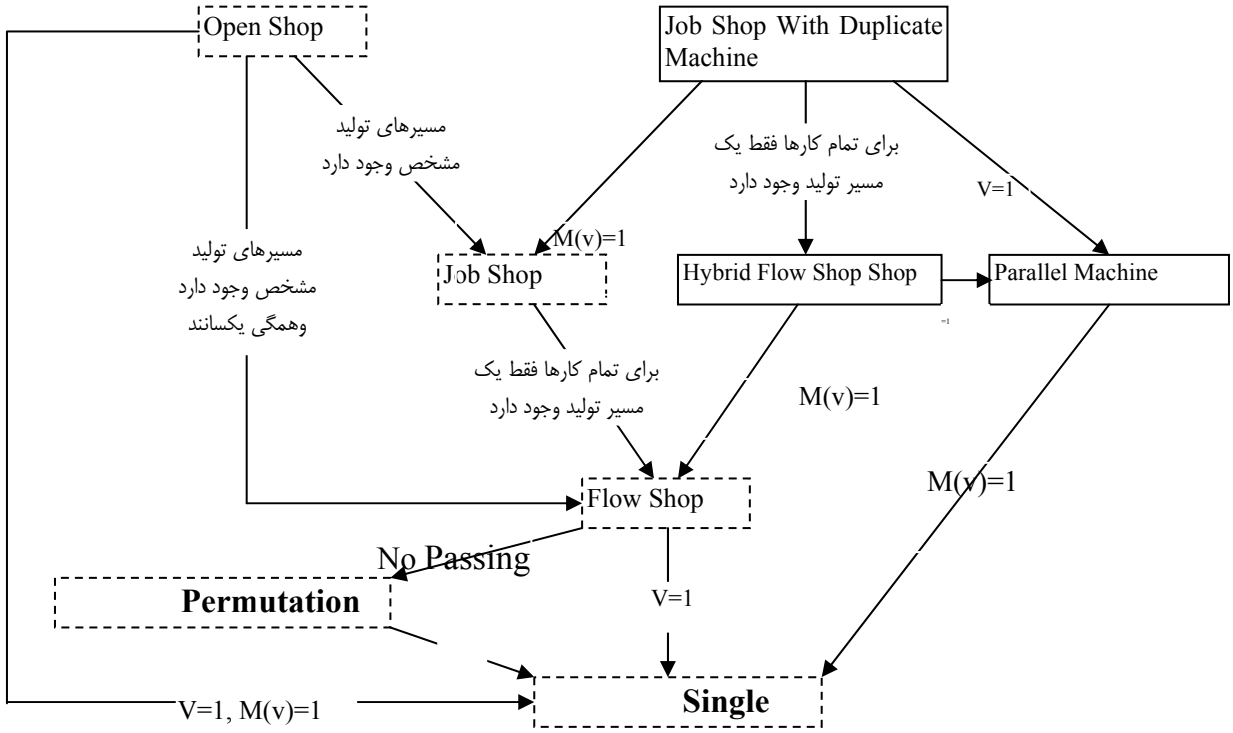
۲-۱- محیط منابع

بسته به تعداد عملیاتهای مورد نیاز برای انجام یک کار ونیز تعداد ماشین‌های در دسترس برای انجام هر عملیات ، الگوهای جریان گوناگونی می‌توان برشمرد. وقتی که یک کار فقط به یک عملیات برای تکمیل شدن نیاز دارد، آنرا با عبارت « تک عملیاتی»[۴] توصیف می‌کنیم، درغیر اینصورت با عبارت «چند عملیاتی »[۵] توصیف می‌شود. درحالت دوم ممکن است مفاهیم مسیر تولید[۶] مطرح شود. دراین ارتباط هفت نوع مسیر تولید می‌توان مطرح کرد:

- کارگاه تک ماشین[۷] : فقط یک ماشین در دسترس بوده وهر کار فقط به یک عملیات نیاز دارد.
- کارگاه گردش کاری (F) یا کارگاه گردش کاری مرتب(P)[۸] : هرکار به چند عملیات نیاز دارد. جمعاً بتعداد V ماشین **متوالی** وجود دارد و هرکارمی‌بایست روی هر ماشین با همان توالی (**یک مسیر** تولید)برود. درکارگاه گردش کاری مرتب نمی‌توان یک عملیات را انجام نداد.
- کار کارگاهی (G) : هرکار به چند عملیات نیاز دارد. جمعاً بتعدادV ماشین **متوالی** وجود دارد، اما هر کار مسیر تولید **خاص** خود را دارد. این حالت عمومی‌ترین موارد را تعریف می‌کند.
- کارگاه عمومی (O)[۹] : هرکار به چند عملیات نیاز دارد. جمعاً بتعدادV ماشین وجود دارد، اما الگوی جریان معین نمی‌باشد. بعبارت دیگر در انجام یک کار ممکن است از یک ماشین چند بار استفاده شود.
- زمانی که بجای تمرکز روی ماشین‌ها ، بر روی مراحل فرآیند تمرکز شود، تعاریف ذیل مفید خواهند بود:
- ماشین‌های موازی : هر کارتک عملیاتی است ودر هرمرحله چندین ماشین برای انجام فرآیند در دسترس است. ماشین‌ها می‌توانند یکسان(I)، یکنواخت(U)، یا نامرتبط (R) باشند.
- کارگاه گردش کاری ترکیبی(مختلط) : این حالت تعمیم‌یافته محیط کارگاه گردش‌کاری و ماشین‌های موازی می‌باشد. دراینجا V کارگاه متوالی وجود دارد که درمرحله v به تعداد(M(v ماشین بطورموازی کارمی‌کنند.درهرکارگاه، یک کارحداکثرروی یک ماشین می‌تواند برود.
- کار کارگاهی با ماشین‌های دوتایی(یا کارگاهی منعطف)[۱۰]: این حالت تعمیم‌یافته محیط کار کارگاهی و ماشین‌های موازی می‌باشد. دراینجا V کارگاه وجود دارد که M(v) ماشین موازی در کارگاه v کار می‌کنند. درهرکارگاه ، یک کار حداکثر روی یک ماشین می‌تواند برود.

نمودار شکل ۱، رابطه بین محیط‌های مختلف نشان داده شده است. در این نمودار هر کمان از P1 به P2 ، بدین معنی است که P2 حالت خاصی از P1 است ویا بعبارت دیگر P1 شکل تعمیم‌یافته P2 است.

4 - Single Operation
5 - Multi Operation
6 - Routing
7 - Single Machine Shop
8 - Permutation
9 - Open Shop
10 - Job Shop With Duplicatw Machines/Flexible Job Shop



شکل ۱) تیپولوژی محیط منابع

۲-۲-معیار عملکرد یک برنامه زمانبندی

زمانبندی در هرکدام از محیطهای مطرح شده، ممکن است با اهداف گوناگونی انجام شود. معیارهای زمانبندی می‌توانند مبتنی بر زمانهای تکمیل، موعدهای تحویل، هزینه‌های موجودی ویا ترکیبی از این پارامترها باشند. اگر C(i) زمان تکمیل کار i ام، r(i) زمان آماده بودن کار i ام، d(i) موعد تحویل کار i ام و P(i , $K_{i,v}$, V) زمان انجام کار i ، باشند،آنگاه معیارهای زیر قابل تعریف‌اند:

F(i)=C(i)-r(i)= زمان شناوری

W(i)=C(i)-r(i) = زمان انتظار

L(i)=C(i)-d(i) = تاخیر

T(i)=Max(0 , L(i)) = دیرکرد (عقب افتادگی)

E(i)= Max(0 , -L(i)) = زودکرد (جلوافتادگی)

دربحث زمانبندی، چهارطبقه از اهداف تصمیم‌گیری متداولترندکه معیارهای ارزیابی عملکردمرتبط با آنها به شرح زیرند:

۱. کارایی بهره‌برداری از منابع: زمان تکمیل کل کارها یا فاصله زمانی ساخت(C_{max})
۲. سرعت پاسخ به تقاضا یا کمینه‌سازی کار درجریان ساخت: میانگین زمان تکمیل کارها ($\overline{C}$) ، میانگین زمان شناوری کارها ($\overline{F}$) و میانگین زمان انتظارکارها ($\overline{W}$)
۳. تطبیق بیشتر با موعدهای تحویل ازقبل تعیین‌شده: میانگین دیرکرد($\overline{T}$) ، ماکزیمم دیرکرد(T_{max}) و تعدادکارهای با تاخیر(Nt)
۴. مدیریت مبتنی بر بموقع بودن: ماکزیمم زودکرد(E_{max}) ، میانگین زودکرد($\overline{E}$) ، ماکزیمم قدرمطلق تاخیر(ET_{max}) ، میانگین قدر مطلق تاخیر($\overline{ET}$) و تعداد کارهای دارای زودکرد(N_e)

علاوه بر معیارهای فوق ، می‌توان معیارهای وزنی ترکیبی نیز تعریف نمود.

۳-۲- یک طرح طبقه‌بندی برای مسائل زمانبندی

اغلب اوقات ابزارهای زمانبندی باتوجه به طبقه‌بندی مسائل زمانبندی ماشین[11] تعریف می‌شود. منطقی بنظر می‌آید که ابتدا پیچیدگی مساله مورد بررسی قرارگرفته وسپس بدنبال یافتن ابزار حل موجود باشیم. از ادبیات موضوع ، این‌چنین برمی‌آید که اکثر نویسندگان از علائم خاص خود استفاده می‌کنند.

اولین طرح طبقه‌بندی توسط Maxwell , Conway و Miller پیشنهاد شد[۴] که توسط Lenstra توسعه داده شد[۱۲]. این طرح طبقه‌بندی شامل پنج پارامتر A/B/C , D/E می‌باشد که درآن علائم ، E,D,C,B,A بترتیب نشاندهنده تعداد کارها، تعداد منابع، نوع سازمان منابع(شامل یکی از حالتهای O,G,P,F,R,U,I)، فرضیات ممکن یا محدودیتهای سازمان و معیار بهینه‌سازی است. این علائم مدت زیادی مورد استفاده قرار گرفته است وبرای محققین تازگی ندارد. دراین طبقه‌بندی یک منبع بیانگر یک ماشین است ولذا برای مسائل هیبرید زمانبندی قابل استفاده نمی‌باشد.

طبقه‌بندی دیگر توسط Graham & al. [۷] پیشنهاد شد که Lawler & al. [۱۱] آنرا توسعه داده‌اند. این طرح طبقه‌بندی شامل سه پارامترα/β/γ است وعلائم γ,β,α بترتیب نمایانگرمحیط ماشین($\alpha=\alpha_1.\ \alpha_2$) که α_1 محیط و α_2 تعدادماشین‌ها را نشان می‌دهد) ، محدودیتهای ممکن و معیار بهینه‌سازی می‌باشد. α_1 می‌تواند به یکی از اشکال زیر باشد:

$\alpha_{1=0}$: تک ماشین
$\alpha_{1=P}$: ماشین‌های موازی یکسان
$\alpha_{1=Q}$: ماشین‌های موازی یکنواخت
$\alpha_{1=R}$: ماشین‌های موازی مختلف
$\alpha_{1=F}$: ماشین‌های کارگاه گردش کاری
$\alpha_{1=J}$: ماشین‌های کار کارگاهی
$\alpha_{1=O}$: ماشین‌های کارگاه عمومی

مطابق آنچه که درمورد طرح قبل مطرح شد، این طبقه‌بندی نیز برای سازمانهای هیبرید مناسب نیست. طبقه‌بندی دیگر توسط Sriskandarajah & Sethi [۱۶] پیشنهاد شد. این طرح توسعه‌یافته طرحGraham & Lawler می‌باشدوبا تغییرات جزیی در پارامترهای β,α حاصل شده است. بدین ترتیب که از علامت α=Fk برای محیط کارگاه گردش کاری با k مرکز ماشین وازعلامت {β={m1,m2,...,mk برای تعدادماشین‌های هرمرکزاستفاده می‌شود. دراین طبقه‌بندی محدودیت‌های اضافی در نظرگرفته نشده است.

Vignier & al. [۱۷] با الهام از علائم Lawler که قبلاً توسط Bhzewiczs & al. [۲] توسعه داده شده بود، اطلاعات اضافه دیگری را در اولین پارامتر[$\alpha_{3\ ,\ I=1}$]{($\alpha_3\alpha_4^{(I)}$)}, $\alpha=[\alpha_1\alpha_2]$ گنجاندند، با این فرض که دوپارامتر دیگر همان معانی پیشین را داشته باشند. پارامترهای فوق بصورت زیر تعریف می‌شوند:

$\alpha_{1=FH}$: جریان کارگاهی ترکیبی(HFS)
α_2 : تعداد کارگاه‌ها
α_3(مساوی یکی از علائمP,Q,R,O) : تک ماشین
α_4 : تعدادماشین‌های کارگاه I

علامتگذاری فوق از یک شاخص سه بخشی استفاده می‌نماید، شاخص I برای کارگاهها و دوشاخص j,i بترتیب برای کارها وماشین‌ها بکار می‌رود.ازآنجایی که این شاخص‌ها برای دوپارامتر β وα بکارمی‌روند لذا خواندن وفهم این علامتگذاری کمی دشوار است.

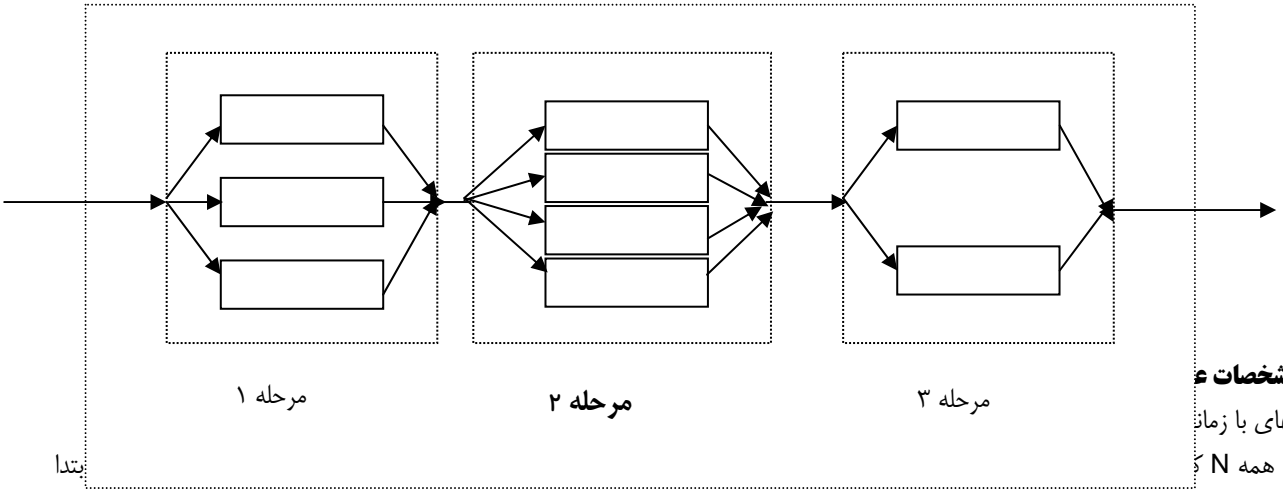
بنظر می‌رسد بکارگیری یک روش علامتگذاری کاراتر که اجازه ایجاد یک تیپولوژی برای مسائل مطالعه شده را بدهد از اهمیت خاصی برخورداراباشد. دراین قسمت یکی دیگر ازروشهای طبقه‌بندی توسعه‌داده‌شده توسط Conway & al. ، مورد مداقه قرار می‌گیرد. در این روش بعد ترکیبی ونیز پیچیدگی کنترل تولید از طریق اضافه شدن پارامتری دیگر بصورت A/B,B'/C,D/E مشخص می‌شود. پارامترهای C, B' ,B بترتیب نماینده تعداد کارگاهها، نحوه استقرار ماشین‌آلات درکارگاهها و نوع استقرار کارگاهها می‌باشد. دیگر پارامترهای موجود دراین طرح شبیه همان مواردی است که در طبقه‌بندی Conway & al. ذکر شد.

۳-مدلسازی جریان کارگاهی ترکیبی HFS

در ادبیات موضوع ، خاستگاه مساله جریان کارگاهی ترکیبی به اواخر دهه ۷۰ میلادی برمی‌گردد [۱]. یک سیستم جریان کارگاهی ترکیبی مشتمل بر یکسری مراحل یا کارگاههای تولید است که در هر کدام از آنها چند ماشین (منبع) وجود دارد[۵]. بعضی از مراحل ممکن است فقط یک ماشین داشته

11 - Machine Scheduling

باشند، اما برای اینکه به چنین سیستمی جریان کارگاهی ترکیبی گفته شود، می‌بایست حداقل یک مرحله با چندین ماشین موازی وجود داشته باشد. جریان محصولات در کارخانه یکسان (تک جهت) است. هر محصول در هر مرحله ،فقط روی یک ماشین می‌رود وهمچنین قبل از خروج می‌بایست حداقل در یک یا چند مرحله تحت پروسس قرار گیرد. درشکل ۲ یک سیستم جریان کارگاهی ترکیبی با سه ماشین در مرحله اول، چهار ماشین در مرحله دوم و دو ماشین در مرحله سوم نشان داده شده است.



۲-۳- مشخصات ع

در سازمانهای با زمان

۱. همه N ک بتدا درکارگاه ۱، سپس در کارگاه ۲ و.... الی آخر تحت پروسس قرار گیرد.

شکل ۲) جریان فرآیند دریک سازمان جریان کارگاهی ترکیبی (HFS)

۲. کارگاه v دارای M(v) ماشین موازی است (بافرض M(v) ≥1). درهرکارگاه ،کارها می‌توانند روی هرکدام ازماشین‌ها انجام شوند، اما زمان انجام یک کار توسط ماشین‌های مختلف می‌تواند متفاوت باشد. ماشین‌های هرکارگاه می‌توانندیکی از سه حالت یکسان[۱۲] ، یکنواخت[۱۳] و مختلف[۱۴] راداشته باشند.

۳. زمان انجام کار i روی ماشین k درکارگاه v شناخته شده(P(i,k,v))، ثابت ومستقل ازترتیبی است که کارها تحت پروسس قرارمی‌گیرند. وقتی که ماشین‌ها یکسان هستند، زمان‌انجام کارها فقط به کاروکارگاه بستگی دارد(P(i,k)).

4. تمام کارها وماشین‌آلات بطور همزمان در ابتدای دوره برنامه‌ریزی دردسترس‌اند.

۵. هرکارمی‌تواند موعد تحویل خاص خود را داشته باشد(d(i)). درضمن تکمیل یک کار بعداز موعد تحویل مجاز بوده ولی به آن جریمه تعلق می‌گیرد.

۶. بریدگی وتقسیم یک کار خاص مجازنمی‌باشد، بعبارت دیگر وقتی کاری روی یک ماشین درحال انجام است، تا زمان تکمیل کار از روی ماشین برداشته نمی‌شود.

۷. کارها مجازند که بین دو کارگاه منتظر بمانند. درضمن ظرفیت انبارهای مابین دو کارگاه متوالی نامحدود فرض می‌شود.

8. هرگز ماشین‌آلات خراب نمی‌شوند، مضافاً اینکه زمان های آماده‌سازی وحمل‌ونقل ناچیز بوده ویا در زمان انجام کار لحاظ شده‌اند.

باتوجه به معیار C_{max} ،در حالتی که v=1 و M(v)>1 ،این مساله NP-Complete است [۶]. بنابراین برای حالتی که v>1 و M(v)>1 این مساله NP-hard می‌شود[۹]. درضمن برای معیار L_{max} در حالتی که v=2 و M(v)=1 ،این مساله NP-Complete است [۱۴]. بنابراین برای حالتی که v>1 و M(v)>1 این مساله دست کم NP-Complete می‌شود.

12 - Identical
13 - Uniform
14 - Unrelated

۳-۳- مشخصات تکمیلی

برای فرضیات فوق ، در صنایع فرآیندی، محدودیتهای زیادی را می‌توان برشمرد. موردکاویهای صنعتی خصوصا" در صنایع نساجی وشیمیایی ، کمک قابل توجهی در تعیین این محدودیتها ارائه می‌نمایند.

۱. زمانی که کارها باتوجه به تاریخ رسیدشان مورد توجه قرار گیرند، ممکن است محدودیتهای فراهم(در دسترس) بودن، مطرح شود. فرض کنید r(i) تاریخ دریافت کارi باشد.

۲. ممکن است زمان انجام یک کار شامل یک مینیمم تاخیر زمانی بین دوعملیات متوالی باشد. (مثل زمان حمل ، خنک شدن، خشک شدن و...). فرض کنید که a(i,v) ، مینیمم زمان تاخیر بین پایان کار i در کارگاه v وشروع عملیات آن در کارگاه (v+1) باشد.

۳. ممکن است زمان انجام یک کار شامل یک ماکزیمم تاخیر زمانی بین دوعملیات متوالی باشد. فرض کنید که A(i,v) ، ماکزیمم زمان تاخیر بین پایان کار i در کارگاه v وشروع عملیات آن در کارگاه (v+1) باشد.

۴. ممکن است انجام کار i در کارگاه v نیاز به یک زمان آماده‌سازی وابسته(sd) یا مستقل(nsd) از کارقبلی j که روی ماشین انجام شده ، داشته باشد. ممکن است یک زمان آماده‌سازی تجمعی[15] فقط برای ماشین$S_{nsd}(i,k,v)$ ، یا $S_{sd}(i,j,k,v)$ ، یا فقط کار$S1_{sd}(i,j,k,v)$ و یا هر دو$S2_{sd}(i,j,k,v)$ وجود داشته باشد. ممکن است ،انجام کار i روی ماشین k در کارگاه v به یک زمان برداشت نیاز داشته باشد که این زمان مستقل ازکاری است که قبلا" روی این ماشین انجام شده است. زمان برداشت فوق را با $R_{nsd}(i,k,v)$ نشان می‌دهیم. زمانی که ماشین‌ها یکسانند، شاخص k در این پارامتر می‌تواند حذف شود.

۵. ممکن است بین دوکارگاه متوالی ، یک ظرفیت محدود بافر بوجود آید. این مشخصه ممکن است ناشی از فضای محدود بین کارگاهها یا تصمیمات استراتژیک باشد. فرض کنید(b(v,v+1 ، تعداد کارهایی باشند که می‌توانند بین کارگاههایv و(v+1) ذخیره شوند.(با توجه به این موضوع که هرکار در بافر فضای خاصی را لازم دارد).

۶. ممکن است انجام کارها در طی یک یا چند عملیات متوالی به منابع کمکی نیاز داشته باشد. مثالهایی ازاین منابع شامل پالت وظروف می‌باشد. فرض کنید(B(v,v+β ، تعداد منابع کمکی در دسترس بین ورودی کارگاه v وخروجی کارگاه v+β باشد. (با توجه به این موضوع که هرکار در طول (β+1) عملیات ، فقط به یک منبع کمکی نیاز دارد.)

۷. محدودیت دیگری که می‌تواند وجود داشته باشد، محدودیت پیش‌نیازی بین کارها است. این موضوع اولین بار توسط Rinnooy Kan [۱۵] تعریف شدکه به آن محدودیتهای j-prec گفته می‌شود. زمانی که گفته می‌شود کارi پیش‌نیاز کارj است(i<<j) ، منظور این است که آخرین عملیات کارi قبل از اولین عملیاتj کار پایان یافته است.

وقتی بعدازهرکارحداکثر یک کار متعاقب وجود داشته باشد، این حالت را محدودیت پیش‌نیازی In-tree می‌نامند. این حالت ممکن است برای مدلسازی عملیاتهای مونتاژی بکار رود.

وقتی هرکار حداکثر یک پیش‌نیاز فوری دارد ، به آن محدودیت پیش‌نیازی Out-tree گفته می‌شود. این حالت برای مدلسازی مراحل مختلف انجام کار در فرآیندگردش کاری(بعنوان یک آلترناتیو برای شکست کار[16]) یا تبدیل کار کارگاهی به کارگاه گردش‌کاری بکار رود[۸]. پیش‌نیازکار i را با prec(i) نمایش می‌دهیم.

۴-۳- مدلسازی مساله

فرض کنید که$c(i,k,v)$ ، زمان تکمیل کارi روی ماشینk در کارگاه v باشد. ازاینجا به بعدفرض شده که ماشین‌ها یکسانندوشاخص‌هایi,j برای کارها وشاخص‌هایv,k بترتیب برای ماشین‌ها وکارگاهها بکارگرفته می‌شود.

- اهداف

$$i,k,v \quad C_{max} \geq c(i,k,v) \ \forall \qquad (۱)$$

$$i,k,v \quad L_{max} \geq c(i,k,v) - d(i) \ \forall \qquad (۲)$$

[15] - Immobilize
[16] - Job-Splitting

- محدودیت‌های ترتیب وجریان

اگر i کاری باشد که دقیقا" قبل از j روی ماشین k در کارگاه v انجام شود:

$$c(j,k,v)=MAX(c(j,k,v-1) , c(j,k,v)) + p(j,v)$$.۱

- تاریخ سررسید

اگر i کاری باشد که دقیقا" قبل از j روی ماشین k در کارگاه 1 انجام شود:

$$c(j,k,1)=MAX(r(j) , c(i,k,1)) + p(j,1)$$.۲

- محدودیت‌های پیش‌نیازی

$$c(j,k,1)=MAX(c(i,k,1) , c(prec(j),k,v)) + p(j,1)$$.۳

۴. مینیمم زمان تاخیر

$$c(j,k,v)=MAX(c(i,k,v) , c(j,k,v-1)+a(j,v-1)) + p(j,v)$$.۵

- ماکزیمم زمان تاخیر

اگر l آخرین (earliest) کارتکمیل شده درکارگاه v+1 که انجام کار j را مجاز می‌نماید بگونه‌ای که $c(l,v+1) = c(j, v+1)- p(j, v+1)$ آنگاه:

- $c(j,k,v)=MAX(c(i,k,v) , c(j,k,v-1) , c(l,k,v+1) - A(j,v) - p(j,v)) + p(j,v)$

- زمانهای برداشت و آماده‌سازی که مستقل از توالی ماشین هستند(nsd)

$$(j,k,v)=MAX(c(i,k,v)+R_{nsd}(i,v), c(j,k,v-1)) +S_{nsd}(j,v)+ p(j,v)$$.۶

- زمان آماده‌سازی وابسته به توالی کار

$$c(j,k,v)=MAX(c(i,k,v), c(j,k,v-1) +S1_{sd}(i,j,v)) + p(j,v)$$.۷

- زمان‌های آماده‌سازی وابسته به توالی ماشین

$$c(j,k,v)=MAX(c(i,k,v)+S_{sd}(i,j,v), c(j,k,v-1)) + p(j,v)$$.۸

- زمان‌های آماده‌سازی وابسته به توالی کار و ماشین

$$c(j,k,v)=MAX(c(i,k,v), c(j,k,v-1)) + S2_{sd}(i,j,v)+ p(j,v)$$.۹

- انبار(بافر) میانی محدود

اگر l کار$b(v,v+1)$ ام باشد و ماکارها را بترتیب نزولی زمان شروعشان در کارگاه بعدی مرتب کنیم آنگاه:

$$(j,k,v)=MAX(c(i,k,v) , c(j,k,v-1) , c(l,k,v+1) - p(l,v+1) - p(j,v)) + p(j,v)$$.۱۰

- تعداد منابع کمکی محدود

اگر l کار$B(v,v+\beta)$ ام باشد و ماکارها را بترتیب نزولی تاریخ تکمیلشان در کارگاه $(v+\beta)$ مرتب کنیم آنگاه:

$$c(j,k,v)=MAX(c(i,k,v) , c(j,k,v-1) , c(l,k,v+\beta)) + p(j,v)$$.۱۱

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله مشخصات عمومی جریان کارگاهی ترکیبی (HFS) تعیین ومحدودیت‌های زیادی از صنایع فرآیندی تعیین ومدلسازی شده است. مطالعات ما بیشترروی آندسته ازسیستم‌های جریان کارگاهی ترکیبی، تمرکز نموده است که اغلب جنبه صنعتی دارند. جریان کارگاهی ترکیبی یک حالت تعمیم‌یافته از کارگاه گردش‌کاری ومحیط ماشین‌های موازی است. در اینجا یک طرح طبقه‌بندی برای در نظرگرفتن بعد «ترکیبی» پیشنهاد شده، که

الهام گرفته شده ازطبقه‌بندی است. بسیار مهم است که در ارتباط با مسائل جریان کارگاهی ترکیبی ابتدا" پیچیدگی مساله مورد قضاوت قرار گرفته وسپس بدنبال یک ابزار برای حل باشیم.

۵- مراجع:

1. ARTHANARY T.S. and K.G. RAMASWAMY , An extension of two machine sequencing problem , Opsearch , vol.8 , 10-22 (1971).
2. BLAZEWICZ J.K. ECKER, G. SCHMIDT and J. WEGLARZ , Scheduling in Computer and Manufacturing Systems, Springer-Verlag Eds(1994).
3. BOTTA V. and A. GUINET , Scheduling Flowshops with precedence constraints and time lags. Workshop on production planning and control, Mons(Belgique), Proceedings edited by FUCaM, (1996).
4. CONWAY R.W., W.L. MAXWELL and L.W. MILLER, Theory of scheduling , Reading , Massachusetts , Addison-Wesley Publishing Company(1967).
5. ELMAGHRABY S.E. and R.E. KARNUB, Production control in flexible flowshops: An example for textile manufacturing , OR Report No.305 OR & IE Dept. North Carolina State University. USA (1995).
6. FRENCH S., Sequencing and Scheduling: A Introduction to the Mathematics of the Job-Shop , Horwood , Chichester (1982).
7. GRAHAM R.L. , E.L. LAWLER , J.K. LENSTRA and A.H.K. RINNOOY KAN , Optimization and Approximation in Deterministic Sequencing and Scheduling:A Survey, Annals of Discrete Mathematics ,vol.5 , 287-326(1979).
8. GUINET A. et V. BOTTA, Changement de modeles et pilotage des systemes de production , Congres International de Genie Industiel de Montreal “La productivite dans un monde sans frontieres” , Montreal (Canada), Actes Editions de l Ecole Polytechnique de Montreal, 2019-2028 , (1995).
9. GUPTA J.N.D. , Two Stage Hybrid Flowshop Scheduling Problem, J.Op.Res.Soc. , vol.39, No.4,359-364(1998).
10. LANGSTON M.A., Interstage Transportation Planning in the Deterministic Flowshop Environment , Operation Research , vol.35 , No.4, 556-564(1987).
11. LAWLER E.L. , J.K. LENSTRA, A.H.G. RINNOOY KAN and D.B. SHMOYS, Sequencing and Scheduling:Algorithms and Complexity, Report BS-R8909, Center for Mathematics and Computer Science, Amsterdam, The Netherland(1989).
12. LENSTRA J.K. , Sequencing by Enumerative Methods, Mathematisch Centrum, Amsterdam(1976).
13. LEVECQ L., V. BOTTA, A. GUINET and A. ARTIBA, Object Oriented Design of Generic Simulation Models in Hybrid Flow-Shop Organizations, ICOQM, Jaipur(India), January (1997) (to appear).
14. MACCARTHY B.L., and J. LIU, Addressing the gap in Scheduling Research:A Review of Optimization and Heuristic Methods in Production Scheduling, Int.J.Prod.Res., vo;.31, No1, 59-79(1993).
15. RINNOY KAN A.H.G., Machine Scheduling Problems: Classification, Complexity and Computations, Nijhoff, The Hague(1976).
16. SRISKANDARAJAH C. and S.P. SETHI, Scheduling Algorithms for Flexible Flowshops: Worst and Average Case Performance, European Journal of Operational Research, vol.43, 143-160(1989).
17. VIGNIER A., J.-C. BILLAUT and C.PROUST, Les Problemes de ordonnancement de type flowshop hybride:Etat de l art. Journees d Etude <<Affectation et Ordonnancement>>, GR Automatique du CNRS, Tours (France), Actes 7-47, (1995).