دومین سمینار ملی کنترل و بهینه سازی
۲۵-۲۴ آبان ۱۳۹۷
The 2nd National Seminar on Control and Optimization
15-16 November 2018

رهیافت فرابتکاری در بهینهسازی چندهدفه ماشین-های موازی نامرتبط با محدودیت پیش نیازی کارها و دسترسی محدود به کارها و اثرات همزمان یادگیری و زوال پذیری

ارسلان ایرجی راد[آ]، حسن ندایی[ب]، محمد سلمیانی ورکی [1،پ]
[آ] عضو هیات علمی گروه مدیریت، موسسه آموزش عالی غیر انتفاعی سمنگان،آمل
[ب] کارشناس ارشد مدیریت، موسسه آموزش عالی غیر انتفاعی سمنگان،آمل
[پ] عضو هیات علمی گروه ریاضی دانشگاه آزاد اسلامی واحد آیت ا... آملی، آمل

چکیده

در این مقاله مساله زمانبندی ماشینهای موازی نامرتبط با فرض وجود محدودیتهای زمان آماده-سازی وابسته به توالی کارها، پیشنیازی کارها و دسترسی محدود به ماشینها و اثرات همزمان زوالپذیری و یادگیری بهمنظور بهینهسازی همزمان دو تابع هدف میانگین وزنی زمان در جریان و زمان تکمیل کل کارها در نظر گرفته شده است. برای این مساله یک مدل برنامهریزی عدد صحیح مختلط جدید و دو الگوریتم فراابتکاری به نامهای الگوریتم ژنتیک برمبنای مرتبسازی نامغلوب NSGA-II و الگوریتم شبیهسازی تبرید چندهدفه MOSA ارائه شده است. به منظور ارزیابی الگوریتمهای فراابتکاری تعدادی مسائل آزمایشی در ابعاد مختلف پیشنهاد شده است. تحلیل نتایج محاسباتی نشان از برتری نسبی الگوریتم MOSA نسبت به الگوریتم NSGA-II دارد.

کلمات کلیدی: زمانبندی ماشینهای موازی نامرتبط، اثرات زوالپذیری و یادگیری، زمان آماده سازی وابسته به توالی کارها، محدودیت پیشنیازی، دسترسی محدود به ماشینها

1-مقدمه

بهطور کلی زمانبندی، عمل تعیین توالی یا ترتیب فعالیتها برای ارضای نیازمندیها و نیل به اهداف مشخص با توجه به محدودیتهای موجود است یا بهصورت دقیقتر آن را میتوان تخصیص منابع در طول زمان برای اجرای مجموعهای از وظایف تعریف کرد. این تعریف نسبتاً کلی دو مفهوم مختلف را در پی دارد. اول این که زمانبندی نوعی تصمیمگیری است که در جریان آن برنامه زمانی را تعیین میکنند که پیامدهای آنرا میتوان در تصمیمگیریهای دیگر نیز استفاده کرد. و دوم، زمانبندی مبحثی نظری است که مجموعهای از اصول، مدل-ها، روشها و نتایج منطقی را در بر میگیرد [1]. منابع و فعالیتها در یک سازمان میتوانند اشکال مختلفی داشته باشند؛ منابع ممکن است، ماشینها در یک کارگاه، خطوط هوایی در یک فرودگاه، کارگران در یک پروژهی ساختوساز، واحدهای پردازش در یک محیط محاسباتی و غیره باشند. فعالیتها ممکن است عملیات در فرآیند تولید، فرودها و پروازها در فرودگاه، مراحل در پروژه ساخت، اجرای برنامههای کامپیوتری و غیره باشند. اهداف نیز میتوانند با توجه به خط مشیهای مختلف هر سازمان اشکال مختلفی داشته باشند؛ به-طوریکه یک هدف میتواند کمینه سازی زمان تکمیل آخرین فعالیت و یا میتواند کمینه سازی تعداد کارهایی که پس از زمان تحویل تکمیل شدهاند، باشد. امروزه با افزایش روزافزون نیاز به محصولات و خدمات متنوع و بهدنبال آن توسعه و شکوفایی صنایع تولیدی و خدماتی

مختلف منابع در دسترس از قبیل نیروی انسانی، ماشین آلات، مواد اولیه و غیره بهعنوان منابع بحرانی در تولید و فعالیتهای خدماتی در نظرگرفته میشوند که زمانبندی و تخصیص بهموقع و مناسب این منابع منجر به ارتقا کارایی، بهرهوری و در نهایت سودآوری بیشتر میگردد [2-1]. مسائل زمانبندی به صورت مسائل بهینهسازی محدودیتدار بیان میشوند که در آنها به بررسی تصمیمات مربوط به تخصیص ماشینها و توالی پردازش کارها پرداخته میشود. درحالتیکه تنها یک ماشین موجود است، تعیین توالی پردازش کارها یک برنامه زمانی کامل را تشکیل میدهد. مسائل تک ماشینه با وجود سادگی ذاتی، سنگ بنای درک فراگیر مفاهیم زمانبندی را تشکیل میدهند. در مقابل زمانبندی مسائل چند ماشینه شامل سیستمهای موازی، سیستمهای متوالی و سیستمهای ترکیبی میباشند. در سیستمهای موازی، هر یک از کارها با انجام یک عملیات همانند مسائل تک ماشینه بر روی یکی از ماشینهای موازی موجود پردازش میشوند و به دنبال آن تخصیص ماشینها به کارها موضوعیت پیدا میکند. این در حالی است که در سیستمهای متوالی و ترکیبی کارها با انجام چند عملیات بر روی ماشینها پردازش میشوند و مسائل مربوطه ساختار به نسبت پیچیدهتری را تجربه میکنند.

2-زمانبندی و توالی عملیات

در این بخش توضیح مختصری در رابطه با علم زمانبندی و توالی عملیات ارائه و به کلیاتی در رابطه با مسئله مورد بررسی در این تحقیق اشاره می شود. یک مجموعه از n کار متمایز، $N=\{1,2,\ldots,n\}$، بر روی مجموعهای از m ماشین $M=\{1,2,\ldots,m\}$ که بهصورت موازی کنار هم قرار گرفتهاند، پردازش میشوند؛ بهطوریکه هر کار تنها بر روی یک ماشین پردازش میشود و هر ماشین در هر لحظه قادر به پردازش تنها یک کار میباشد. پردازش هر کار بر روی تمامی ماشینها امکانپذیر نمیباشد در نتیجه محدودیت مجموعههای پردازشی یا همان محدودیت دسترسی به ماشینها وجود دارد. بر روی هر کار در طول یک دوره زمانی معین یک بار پردازش صورت میپذیرد که به این دوره زمانی زمان پردازش اطلاق میشود. زمان پردازش کارها بر روی ماشینها نه تنها به نوع کار بلکه به نوع ماشین هم بستگی دارد و بین زمانهای پردازش کارها بر روی ماشینهای مختلف رابطه مشخصی وجود ندارد. از طرفی بین کارها یک رابطه پیشنیازی وجود دارد بهطوریکه برخی از کارها میبایستی سریعتر از برخی دیگر مورد پردازش قرار گیرند. ضمناً تمام کارها در ابتدای افق زمانبندی در دسترس نیستند و زمان دسترسی به کارها متفاوت میباشد، به اصطلاح کارها دارای زمانهای آماده بکار یا آزادسازی متفاوتی میباشند. از طرفی دیگر اثرات همزمان زوالپذیری و یادگیری روی زمان پردازش در نظر گرفته شده است. برای این منظور یک مدل کلی با زوالپذیری کارها و اثرات یادگیری پیشنهاد میشود که در آن زمان پردازش واقعی یک کار، یک تابع کلی از زمان شروع پردازش کار موردنظر (اثر زوالپذیری) و موقعیت زمانبندی آن در توالی (اثر یادگیری) است. مدل کلی استفاده شده به صورت $P_{i[r]}=P_i r^b+a(St-Rt)$ میباشد؛ جایی که $a\geq 0$و $b\leq 0$ به ترتیب نرخ زوالپذیری و نرخ یادگیری میباشند. St زمان شروع کار iام و Rtزمان آماده بکار کار iام و r هم موقعیت زمانبندی کار iام در توالی و P_i هم زمان پردازش اولیه میباشد. قبل از آغاز پردازش هر کار روی هر ماشین، به منظور آمادهسازی آن ماشین برای پردازش آن کار عملیاتی انجام میگیرد که از آن بهعنوان عملیات نصب روی ماشین یاد میشود و به دوره زمانی که در آن عملیات نصب انجام میشود، زمان نصب ماشین اطلاق میشود. این زمان به نوع کاری که در حال حاضر بر روی ماشین پردازش میشود و به نوع کار قبلی پردازش شده روی ماشین بستگی دارد. ضمناً برای کارهایی که در موقعیت اول روی هر ماشین قرار میگیرند

نیز زمان آمادهسازی در نظر گرفته شده است. هر کار بـا در نظـر گـرفتن مـوقعیت آن در توالی پردازش کارها بـر روی ماشـین مربوطـه پس از سـپری شـدن زمـان نصـب و زمـان پردازش تکمیل میشود. معیار کمینهسازی میانگین زمان تکمیل کارها بهعنوان تابع هدف در نظر گرفته شده است. این تابع هدف موجب کاهش میانگین هزینههـای ناشـی از نگهـداری موجودی کارهای در حال پردازش و اختلالات ناشی از کارهای نیمه تمام در کارگاه میشـود. در این مساله مفروضاتی وجود دارند که برای جزییات بیشتر به [2] مراجعه شود.

3-مدل سازی برنامه ریزی

پیش از ارائه مدل در ابتدا اندیسها و پارامترهای ورودی، متغیرهای تصمیمگیری، توابع هدف و محدودیتها بهصورت جداگانه تشریح میشوند وو سپس مدل ریاضی پیشنهادی برای مسئله یاد شده ارائه میگردد[3].

- M : تعداد ماشینها ، N : تعداد کارها و P_{ij} : زمان نرمال پردازش کار i ام روی ماشین j ام.
- S_{ih} : زمان نصب مورد نیاز برای شروع کار نوع h هنگامیکه بلافاصله پس از کار نوع i پردازش میشود.
- SS_i : زمان نصب مورد نیاز برای کار نوع i هنگامی که در موقعیت اول روی یک ماشین پردازش شود.
- Rt_i : زمان آزادسازی کار نوع i و W_i : اهمیت وزنی کار نوع i.
- E_{ij} : اگر امکان پردازش کار نوع i روی ماشین نوع j وجود داشته باشد 1، در غیر این صورت مقدار صفر را اتخاذ میکند.
- A : مجموعهای از زوج مرتبهای کارهایی که دارای رابطه پیش نیازی میباشند. به-طوریکه اگر کار نوع i پیشنیاز کار نوع h باشد آنگاه $((i,h)\in A)$.
- a : نرخ زوال پذیری، b : نرخ یادگیری و L : یک عدد حقیقی مثبت بزرگ.
- X_{irj} : اگر کار نوع i در موقعیت r روی ماشین نوع j تخصیص یابد یک و در غیر اینصورت صفر.
- C_i : زمان تکمیل کار نوع i ، $Cmax$: زمان تکمیل کل کارها و St_i : زمان شروع پردازش کار نوع i .
- PA_{ir} : زمان پردازش واقعی کار i ام که در موقعیت r ام روی یک ماشین پردازش میشود.

$$Min\,Z_1=\frac{\sum_{i=1}^{N} W_i*(C_i-Rt_i)}{\quad}$$

$$Min\,Z_2=Cmax \qquad (2\text{-}2)$$

:S.to

$$\sum_{j=1}^{M}\sum_{r=1}^{N} X_{irj}=1\, i=1,\ldots,N \qquad (2\text{-}3)$$

$$\sum_{i=1}^{N} X_{irj}\le 1\, j=1,\ldots,M, r=1,\ldots,N \qquad (2\text{-}4)$$

$$\sum_{i=1}^{N} X_{irj}-\sum_{h=1}^{N} X_{h,r-1,j}\le 0\, j=1,\ldots,M, r=2,\ldots,N \qquad (2\text{-}5)$$

$$\sum_{r=1}^{N} X_{irj}\le E_{ij}\, j=1,\ldots,M, i=1,\ldots,N \qquad (2\text{-}6)$$

$$ST_h-C_i+L\left(2-X_{hrj}-X_{i,r-1,j}\right)\ge S_{ih}\, j=1,\ldots,M \qquad (2\text{-}7)$$

$$r=2,\ldots,N, i=1,\ldots,N, h\neq i=1,\ldots,N$$

$$PA_{ir}=\sum_{i=1}^{M} P_{ij}*X_{irj}*r^{b}+a*\left(St_i-Rt_i\right) i,r=1,\ldots,N \qquad (2\text{-}8)$$

$$ST_i\geq SS_i ¿ X_{i1j}+Rt_i\ j=1,\ldots,M, i=1,\ldots,N \qquad (2\text{-}9)$$

$$ST_h\geq R_h+\sum_{r=2}^{N}\left(S_{ih}*X_{i,r-1,j}\right)*X_{h,r,j}\ j=1,\ldots,M \qquad (2\text{-}10)$$

$$i=1,\ldots,N, h\neq i=1,\ldots,N$$

$$C_i\geq St_i+PA_{ir} i=1,\ldots,N, r=1,..,N \qquad (2\text{-}11)$$

$$Cmax\geq C_i i=1,\ldots,N \qquad (2\text{-}12)$$

$$C_h-C_i\geq\sum_{i=1}^{M}\sum_{r=1}^{N} PA_{ir}*X_{hrj}\forall\left(i,h\right)\in A \qquad (2\text{-}13)$$

4-الگوریتم پیشنهادی

الگوریتم شبیهسازی تبرید چندهدفه مطابق شبه برنامه زیر اجرا میشود و فرض می شود که $F=\left\{f_1,\ldots,f_i,\ldots,f_{Nf}\right\}$ مجموعه توابع هدف باشد[4].

1. تعیین مقادیر پارامترهای ورودی
2. تولید جواب اولیه تصادفی X_0 و تعیین مقدار تابع هدف آن F_0
3. تولید جواب همسایگی X_{n+1} از حل موجود X_n
4. محاسبه F_{n+1}
5. محاسبه تابع $G_{n+1}(X)=\sum_{j=1}^{Nf}\ln f_j(X_{n+1})$ و $P=\exp\left(\frac{-\Delta G}{T_k}\right)$
6. X_{n+1} پذیرفته میشود، اگر عدد تصادفی r در بازه $(0,1)$ U و $r\leq p$
7. اگر X_{n+1} پذیرفته شود، بهروزرسانی مجموعه آرشیو مطابق با استراتژی آرشیو و اصل غلبه
7. انتخاب یک حل به تصادف از مجموعه آرشیو $X_n=X_{rand}$
8. کاهش دما $T_k=\alpha\left(T_{k-1}\right)$ و گام آخر درصورت عدم همگرایی، انتقال به مرحله 2

جدول 1: مقادیر پارامترهای کنترلی الگوریتم NSGA-II

Algorithm	Parameters	Optimum value
NSGA-II	$MaxIt$	350
	N_{pop}	50
	P_c	80/0
	P_m	20/0

جدول 2: مقادیر پارامترهای کنترلی الگوریتم MOSA

Problem size	Parameters	Optimum value
MOSA	$MaxIt$	400
	T_0	100
	α	98/0
	$Nmax$	50

بحث و نتیجه‌گیري

این پژوهش در زمینه زمانبندی ماشینهای موازی نامرتبط صورت گرفته است که اثرات همزمان زوالپذیری و یادگیری را با سایر محدودیتهای عملیاتی از قبیل زمان آمادهسازی وابسته به توالی کارها، دسترسی محدود به ماشینها، پیشنیازی کارها و زمانهای متفاوت آماده بکار کارها را در نظر گرفته است. اکثر پژوهشهای صورت گرفته در این زمینه فقط به بررسی اثرات زوالپذیری و یادگیری در محیطهای تک ماشینه و ماشینهای موازی پرداختهاند که این موضوع کاربرد آنها را در محیطهای تولیدی و خدماتی واقعی محدود می-سازد. البته تعدادی از این پژوهشها به بررسی زمان آمادهسازی وابسته به توالی گذشته پرداختهاند ولی این نوع زمان آمادهسازی به ندرت در محیطهای واقعی دیده میشود. به همین دلایل محققین در این مقاله سعی کردهاند تا با در نظر گرفتن محدودیتهای عملیاتی مختلف این شکاف موجود در بین تئوری و عملیاتی بودن این گونه تحقیقها را کاهش دهند. از طرفی بیشتر پژوهشها هیچ گونه مدل ریاضی را برای مسئله مورد بررسی خود ارائه نکردند و تنها به بررسی یک هدف از مسئله اتکا کردند. در این مقاله ضمن در نظر گرفتن تمامی محدودیتهای این پژوهش، برای هر چه نزدیکتر شدن مسئله زمانبندی فوق به فضای عملیاتی، مدل تحقیق مقاله پایه را با اعمال اثرات همزمان یادگیری و زوالپذیری کارها توسعه داده شده است. برای این منظور یک مدل برنامهریزی عدد صحیح مختلط جدید برای مسئله فوق با در نظر گرفتن اثر یادگیری وابسته به موقعیت و اثر زوالپذیری توسعه داده شد. همچنین از الگوریتمهای فراابتکاری شامل الگوریتم ژنتیک بر مبنای مرتبسازی نامغلوب برمبنای مقاله پایه و الگوریتم شبیهسازی تبرید چندهدفه به منظور حل مدل در مقیاسهای کاربردی توسعه داده شده است. نتایج محاسباتی مطابق جدول 1و2، نشان-دهنده برتری نسبی الگوریتم شبیهسازی تبرید چندهدفه نسبت به الگوریتم ژنتیک برمبنای مرتبسازی نامغلوب دارد.

مراجع

[1]- توکلی مقدم، رضا، جولاي فريبرز, قندي بيدگلي سميه ، حل مساله زمان بندي ماشينهاي موازي نامرتبط با اهداف كل زودكرد وزني و كل ديركرد وزني با استفاده از الگوريتم جستجوي پراكنده چند هدفه، دوره42، شماره7، 1387.

.Baker .K. R., *Introduction to sequencing and scheduling, J*ohn Wiley& sons., 1974 *[2]*

[3] Afzalirad, M., & Rezaeian, J. (2017). *A realistic variant of bi-objective unrelated parallel machine scheduling problem: NSGA-II and MOACO approaches.* Applied Soft Computing, 50, 109-123.

[4] Afzalirad, M., & Shafipour, M. (2018). *Design of an efficient genetic algorithm for resource-constrained unrelated parallel machine scheduling problem with machine eligibility restrictions*. Journal of Intelligent Manufacturing, 29(2), 423-437.