Arshive of SID

مدیریت تولید و عملیات، دوره هفتم، شماره (۱)، پیاپی(۱۲)، بهار و تابستان ۱۳۹۵
دریافت: ۹۱/۸/۳ پذیرش: ۹۲/۷/۲۳
صص: ۱۷۸- ۱۵۵

ارایه مدلی ترکیبی برای تسطیح منابع چندگانه با استفاده از الگوریتم چند معیاره تکاملی تفاضلی در شرایط عدم قطعیت

میثم نصرالهی[۱]، حسن مینا[۲]، رضا قدسی [۳*]، حسین ایرانمنش[٤]

۱- دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی ۲ دانشگاه تهران ، تهران ، ایران
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌ها، دانشکده مهندسی صنایع ، پردیس دانشکده‌های فنی۲ دانشگاه تهران ، ایران
۳- استادیار مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع ، پردیس دانشکده‌های فنی ۲ دانشگاه تهران ، تهران ، ایران
٤- استادیار مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع ، پردیس دانشکده‌های فنی ۲ دانشگاه تهران ، تهران ، ایران

چکیده

حین اجرای پروژه‌ها، کاهش نوسان در الگوی استفاده از منابع، به‌ویژه در مواردی که حتی تغییرات بسیار کم در سطح استفاده از منبع می‌تواند منجر به بار مالی و یا ریسک‌های بالا گردد از اهمیت به سزایی برخوردار است. روش‌های سنتی تسطیح منابع، در حل مسایل چندهدفه مقید کارآیی چندانی ندارند. در این مقاله تلاش شده است تا با ارایه‌ی روشی برمبنای توسعه‌ای از الگوریتم تکاملی ـ تفاضلی مبتنی بر فرایند الکتر، مشکلات روش-های سنتی رفع شود. روش پیشنهادی علاوه بر رفع چالش‌های متداول ناشی از نرمال سازی و وزن‌دهی توابع هدف، با استفاده از شبه‌معیار به جای معیار امکان در نظرگرفتن ابهام و یا عدم قطعیت در مصرف منابع را فراهم می‌آورد. ساختار مدل پیشنهادی متناسب با شرایط واقعی پروژه‌ها طراحی شده است. نتایج حاصل از مثال عددی مبین عملکرد بهتر مدل پیشنهادی نسبت به روش‌های سنتی، در حل مسایل تسطیح تک‌هدفه و تسطیح چندهدفه است.

واژه‌های کلیدی: تسطیح منابع، روش مسیر بحرانی، تصمیم گیری چند معیاره، الگوریتم تفاضلی تکاملی

*نویسنده مسئوول: rghodsi@ut.ac.ir

www.SID.ir

Arshive of SID

۱- مقدمه

پروژه یک تلاش موقتی و منحصر به فرد است که برای اجرا، به چندین فعالیت مختلف که نیازمند زمان و منابع تجدید پذیر از قبیل ماشین آلات، تجهیزات و یا نیروی انسانی است، تقسیم بندی می‌شود. پروژه‌ها، معمولاً دارای محدودیت‌های زمانی هستند که این محدودیت‌ها، از محدودیت‌های تکنولوژیکی و یا سازمانی ناشی می‌شوند (جزفو واسکا[۱] و وگلارز[۲]، ۲۰۰۶).

برای زمانبندی پروژه‌ها عمدتاً از روش مسیر بحرانی استفاده می‌شود. این روش به مجریان پروژه در مدیریت زمان اجرا و میزان بودجه‌ی مورد نیاز برای پروژه‌ها کمک می‌کند. روش مسیر بحرانی، اطلاعات مفیدی از قبیل تعیین مسیر(های) بحرانی، زمان شناوری برای فعالیت‌های غیر بحرانی و کل جریان را که برای برنامه‌ریزی در پروژه‌ها ضروری هستند، آماده می‌کند (باورز[۳]، ۱۹۹۵). اگر چه در این روش فرض بر این است که برای انجام فعالیت‌ها، منابع نامحدود در دسترس است، اما در پروژه‌های واقعی، منابع نامحدود نیستند، بنابراین زمانبندی پروژه بدون درنظر گرفتن محدودیت منابع، یک زمانبندی غیر قابل اعتماد و غیر کاربردی خواهد بود (کاستور[۴] و سیراکولیس[۵]، ۲۰۰۹).

نیاز به تسطیح منابع، زمانی به وجود می‌آید که هدف، کاهش نوسانات در الگوی استفاده از منابع در طول زمان باشد. علاوه بر این، مطلوبیت در این مسایل، ثابت نگه داشتن زمان از پیش تعیین شده برای تکمیل پروژه است. مخصوصاً در مواردی که حتی تغییرات اندکی در نیازهای منابع، منجر به بار مالی و یا ریسک بالایی از حوادث هستند، یک رویکرد تسطیح منابع از طریق تلطیف منابع استفاده شده تا حد ممکن، به مجریان در زمانبندی فعالیت-های پروژه در کل افق برنامه ریزی کمک می‌کند (پنز- تیندا[۶] و دیگران، ۲۰۱۳).

در مسایل تسطیح منابع تلاش می‌شود تا میزان نوسان در سطح مصرف منابع در طی زمان کمینه شود. نوسان سطح استفاده از منابع در مدت زمان اجرای پروژه، موجب اضافه شدن هزینه‌های ناشی از آزاد سازی و دوباره به کارگیری منابع خواهد شد. بنابراین کمینه سازی نوسان مصرف منابع، نقش عمده‌ای در کاهش هزینه‌های اضافی ناشی از تخصیص مکرر منابع ایفا می‌کند. برای تسطیح منابع زمان شروع واقعی برای هر فعالیت غیر بحرانی و میزان مصرف هریک از منابع در کل ساختار شبکه تعیین می‌گردد. (ژئوفو[۷] و جییانگ[۸]، ۲۰۱۱).

هدف این پژوهش ارایه مدل مناسبی برای کاهش نوسان سطح مصرف منابع در یک پروژه و یافتن روش حل مناسب برای مدل پیشنهادی است. در ادبیات موضوع، مطالعات گسترده‌ای توسط پژوهشگران متعدد در این حوزه صورت گرفته است. مطالعات انجام شده در زمینه‌ی تسطیح منابع، را می‌توان در سه دسته گروه‌بندی نمود: روش‌های تحلیلی، الگوریتم‌های ابتکاری و الگوریتم‌های فراابتکاری. استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. از میان الگوریتم‌های فراابتکاری، الگوریتم ژنتیک[۹] و الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات[۱۰] بیش از سایر الگوریتم‌ها مورد استفاده قرار گرفته است (هاشمی دولابی و دیگران، ۲۰۱۱).

به دلیل عدم انعطاف و ناکارآمدی روش‌های تحلیلی و ابتکاری در مسایل تسطیح منابع، لئو[۱۱] و همکاران (۲۰۰۰)، یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری

www.SID.ir

Arshive of SID

برای ساختار تسطیح منابع مبنی بر الگوریتم ژنتیک ارایه کرده‌اند. الگوریتم ارایه شده توسط آن‌ها می‌تواند ترکیب بهینه و یا نزدیک به بهینه را در ساختار هموار سازی منابع به دست آورد. الرایس[۱۲] و دیگران (۲۰۰۹) برای حداقل کردن نوسان مصرف منابع، دو معیار جدید معرفی کردند. آن‌ها برای بهینه‌سازی روشی ارایه کردند که در آن الگوریتم ژنتیک به عنوان یک ماژول جستجو به‌کار گرفته شده است و هدف آن حداقل کردن تاثیرات منفی نوسانات منابع روی هزینه و بهره‌وری ساخت و ساز است. کولیناس[۱۳] و آناگنوستپلوس[۱٤] (۲۰۱۳)، یک الگوریتم جستجوی ممنوعه[۱۵] مبتنی بر الگوریتم فوق فراابتکاری[۱٦] برای مساله تسطیح منابع ارایه نموده‌اند. الگوریتم ارایه شده توسط آن‌ها، در سه پروژه به کار گرفته شده است و نتایج حاصله نشان‌دهنده‌ی توانایی بالای الگوریتم در بهینه‌سازی تسطیح منابع است.

در مقاله‌ی ارایه شده توسط کیریکلیدیس[۱۷] و دیگران (۲۰۱٤)، از یک روش ترکیبی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها[۱۸] برای تسطیح منابع چندگانه استفاده گردیده است. سپس روش پیشنهادی براساس سری داده‌های استاندارد با برخی از روش‌های سنتی تسطیح منابع مقاسیه شده است. مسعودی[۱۹] و هیت[۲۰] (۲۰۱۳)، یک مدل فازی و یک روش حل دقیق برای مساله زمانبندی و تسطیح منابع ارایه داده‌اند. حل دقیق ارایه شده توسط آن‌ها به طور قابل ملاحظه‌ای زمان حل را کاهش داده است.

ژئوفو و جیبانگ (۲۰۱۱) بر اساس یک مدل پایه، مدلی برای تسطیح منابع ارایه کردند و با ترکیب اصول پایه‌ای الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه و مدل ارایه شده، یک الگوریتم برای هموارسازی منابع طراحی کردند. عسگری[۲۱] و همکاران (۲۰۱۳) یک رویکرد مبتنی بر نظریه بازی‌ها برای حل مساله تسطیح منابع در صنعت ساخت و ساز توسعه داده‌اند. نتایج حاصل از مدل آن‌ها، نشان‌دهنده‌ی کارآیی و اثربخشی روش ارایه شده است. یک مدل تسطیح منابع چندگانه و بهینه‌سازی آن با استفاده از الگوریتم ژنتیک توسط قدوسی[۲۲] و دیگران(۲۰۱۳) توسعه داده شده است. آن‌ها از روش وزن‌دهی و نرمال‌سازی برای یکپارچه‌سازی تابع هدف استفاده نموده‌اند. در مقاله‌ای که توسط تانگ[۲۳] و دیگران (۲۰۱۳) ارایه شده است، به کاربرد تسطیح منابع در زمانبندی پروژه‌های ساخت راه‌آهن پرداخته شده است. آن‌ها از یک روش زمانبندی خطی برای حل مساله تسطیح منابع استفاده نموده‌اند. یک الگوریتم ژنتیک تطبیقی برای تسطیح منابع چندگانه توسط پنز تیندا و دیگران (۲۰۱۳) ارایه گردیده است. الگوریتم آن‌ها با استفاده از زبان برنامه‌نویسی ویژوال بیسیک در نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۰ پیاده‌سازی گردیده و به عنوان یک سیستم پشتیبان تصمیم منعطف ارایه شده است.

هو[۲٤] و فلود[۲۵] (۲۰۱۳) نیز از جمله افرادی هستند که به بهینه‌سازی در زمینه تسطیح منابع چندگانه پرداخته‌اند. آن‌ها از رویکرد تکاملی پارتو برای دست‌یابی به جواب بهینه استفاده کرده‌اند. ریک[۲٦] و دیگران (۲۰۱۲)، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای تسطیح منابع توسعه داده‌اند. مدل ارایه شده توسط آن‌ها تک‌هدفه و با استفاده از سری داده‌های استاندارد ارزیابی گردیده است. در مقاله‌ای که توسط سبفالبی[۲۷] و زندروی[۲۸] (۲۰۱۲) ارایه شده است، یک روش ترکیبی مبتنی بر الگوریتم ابتکاری و فراابتکاری توسعه داده شده است. نقطه قوت الگوریتم آن‌ها، یافتن جواب بهینه در کمترین زمان

www.SID.ir

Arshive of SID

نسبت به سایر الگوریتم‌های مورد مقایسه بوده است. همچنین جیو[۲۹] و دیگران (۲۰۱۲) نیز یک الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات برای تسطیح منابع چندگانه توسعه داده‌اند.

در جدول(۱) پژوهش‌های اخیر مقایسه شده اند. علی‌رغم انجام پژوهش‌های گسترده در این حوزه، وجود ابهام و عدم قطعیت در مصرف منابع تاحدی مغفول مانده است. باید توجه داشت که در بسیاری از موارد با توجه به عدم قطعیت‌های موجود در اجرای پروژه، در خصوص سطح مصرف منابع ابهام و یا عدم قطعیت وجود دارد. علاوه بر آن، همان‌گونه که در جدول(۱) نشان داده شده است، مسایل تسطیح چند منبعه دارای چند تابع هدف با مقیاس‌های متفاوت هستند. نظر به تفاوت ماهیت اهداف مختلف، مساله تسطیح چند منبعه نیازمند نرمال سازی و وزن دهی به اهداف داری تضاد است. فرآیند وزن‌دهی و نرمال سازی اهداف، دارای پیچیدگی‌های محاسباتی زیادی است که در مقالات متعدد به آن پرداخته شده است (عابدی و دیگران ۲۰۱۲).

نکته شایان توجه دیگر این است که در پروژه‌های بزرگ مقیاس میزان محاسبات لازم برای تسطیح منابع چندگانه به قدری زیاد می‌شود که عملا حل دقیق مدل‌های تحلیلی امکان‌پذیر نخواهد بود. برای رفع این مشکلات در این پژوهش الگوریتم تکاملی تفاضلی برای تسطیح منابع چندگانه بر پایه‌ی روش الکتر[۳۰] مناسب سازی شده است. در این روش با توجه به استفاده از شبه معیار امکان در نظر گرفتن ابهام و عدم قطعیت در تعریف توابع هدف وجود دارد. همچنین، با استفاده از این روش، مشکل متداول محاسبه‌ی وزن‌ها و نرمال سازی اهداف دارای مقیاس مختلف و بعضاً غیرمتجانس که در روش‌های معمول تصمیم‌گیری چند معیاره با آن مواجه هستیم، برطرف گردیده است. با توجه به کاهش بسیار زیاد پیچیدگی‌های محاسباتی در روش‌های فرا ابتکاری، روش ارایه شده برای حل مسایل مقیاس بزرگ نیز مناسب خواهد بود.

.

جدول ۱- مقایسه پژوهش‌های اخیر

نویسنده (سال)	روش حل دقیق	روش حل ابتکاری	روش حل فرا ابتکاری	روش حل ترکیبی	چند هدفه	نیازمند وزن دهی و نرمال سازی	در نظر گرفتن عدم قطعیت	مطالعه موردی	مثال عددی
کیریکلیدیس و دیگران (۲۰۱٤)			*	*		—			*
مسعودی و هیت (۲۰۱۳)	*		*			—	*		*
عسگری وهمکاران (۲۰۱۳)	*					—	*		*
قدوسی و دیگران(۲۰۱۳)			*		*	*			*
هو و فلود (۲۰۱۳)			*		*	*	*	*	
ریک و دیگران (۲۰۱۲)	*					—			*
سبفالبی و زندروی (۲۰۱۲)		*	*	*	*	*			*
جیو و دیگران (۲۰۱۲)			*		*	*			*

www.SID.ir

Arshive of SID

در ادامه، روش پژوهش در بخش دوم معرفی شده است. سپس الگوریتم تفاضلی تکاملی و روش الکتر در بخش‌های سوم و چهارم معرفی شده‌اند. مساله مورد بررسی در بخش پنجم تشریح شده و مدل پیشنهادی ارایه گردیده است. بخش ششم به ارایه‌ی روش پیشنهادی برای حل مساله اختصاص یافته و در ادامه چندین مثال عددی با استفاده از سری داده‌های استاندارد در بخش هفتم آمده است. در نهایت، در بخش هشتم کارآیی روش پیشنهادی به بحث گذاشته شده است.

۲- روش پژوهش

برای انجام یک تحقیق همواره نیاز به یک چارچوب نظری است. این چارچوب نظری بستگی به ماهیت تحقیق، نوع داده‌ها، روش تحلیل مورد استفاده، اهداف تحقیق و انگیزه‌های انتخاب موضوع دارد.

این پژوهش از نظر هدف کاربردی و از نظر ماهیت و روش تحلیلی است. طرح و برنامه‌ی این پژوهش در راستای ارایه‌ی مدلی ترکیبی برای تسطیح منابع چندگانه، تدوین شده است. در ابتدا اطلاعات مربوط به مفاهیم و تئوری‌های مرتبط با تسطیح منابع با استفاده از روش کتابخانه‌ای جمع آوری می‌گردد. در ادامه برای پرهیز از هرگونه دوباره‌کاری و همچنین بهره‌گیری از نتایج پژوهش‌های مشابه پیشینه پژوهش بررسی خواهد شد. در گام بعدی چارچوب مفهومی مساله تسطیح منابع طراحی شده و بر اساس آن مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای بهینه سازی مساله تدوین می‌گردد. برای ارزیابی مدل با استفاده از سری داده‌های استاندارد طراحی آزمایش انجام می‌شود. در نتیجه ابزار گردآوری اطلاعات نیز مطالعه کتابخانه‌ای است. در نهایت نتایج حاصله با سایر روش‌های ارایه شده مقایسه شده و خلاصه نتایج به همراه بحث و نتیجه‌گیری تدوین می‌گردد.

۳- الگوریتم تفاضلی تکاملی[۳۱]

در سال‌های اخیر، توسعه‌ی الگوریتم‌های تکاملی، پیشرفت قابل ملاحضه‌ای داشته است. الگوریتم تفاضلی تکاملی نمونه‌ای از این الگوریتم‌هاست. در ابتدا، چنین تصور می‌شد که الگوریتم تفاضلی تکاملی برای مسایل بهینه سازی پیوسته و بدون محدودیت کاربرد دارد. اما با توسعه این الگوریتم می‌توان از آن برای مسایلی با متغیرهای مختلط و محدودیت‌های غیرخطی نیز بهره جست. این الگوریتم به عنوان یک روش فرا ابتکاری، کاربرد گسترده‌ای در حل مسایل نظری و عملی دارد. عملیات ثبت نام، بهینه سازی فرآیندهای شیمیایی، تصمیم‌گیری چند معیاره، آموزش شبکه‌های عصبی، برازش توابع فازی و غیره از جمله زمینه‌های کاربردی این الگوریتم در سالیان اخیر بوده است.الگوریتم تفاضلی تکاملی از ترکیب الگوریتم ژنتیک و استراتژی‌های تکاملی با تکنیک‌های جستجوی هندسی حاصل شده است. در الگوریتم ژنتیک تغییر ساختار بردار جواب با استفاده از عملگر ترکیب و عملگر جهش انجام می‌شود، در حالی که در استراتژی تکاملی، انطباق از طریق دستکاری هندسی بردار جواب حاصل می‌گردد. الگوریتم تفاضلی تکاملی بر اساس ایده‌ی ساده اما قدرتمند: «جهش برداری»، که در سال ۱۹۹۵ توسط استورن[۳۲] و پرایس[۳۳] ارایه شد، بنا گردید و به سرعت مورد توجه پژوهشگران قرار گرفت. ایده‌ی اصلی در

www.SID.ir

Arshive of SID

شکل گیری این الگوریتم، تولید بردارهای پارامتری آزمایشی است. جهش و جابجایی برای تولید بردارهای جدید استفاده می‌شوند و در مرحله‌ی انتخاب، بردارهای ایجاد کننده‌ی نسل بعد تعیین می-گردند. در الگوریتم تفاضلی تکاملی مجموعه‌ای از پارامترهای بهینه سازی D یک بردار جواب نامیده شده و به وسیله‌ی بردارهای پارامتری D بُعدی نمایش داده می‌شوند (فابریس[۳۴] و کرهلینگ[۳۵]، ۲۰۱۲؛ گوش[۳۶] و دیگران، ۲۰۱۲؛ سان[۳۷] و دیگران، ۲۰۱۲).

٤- روش الکتر

الکتر، یک روش تصمیم گیری چند معیاره است که تعدادی متغیر را با توجه به چند معیار که مبین میزان ترجیح تصمیم گیرنده هستند رتبه بندی می‌کند (آیلو[۳۸] و دیگران، ۲۰۰٦). ارتباط میان متغیرها و معیارها به وسیله‌ی توابع هدف توصیف می‌شود. مهم‌ترین تفاوت الکتر با سایر روش‌ها، جبران کننده نبودن آن است، به این معنی که در این روش امتیاز بسیار بد در یک تابع هدف با امتیاز بسیار خوب در تابع هدف دیگر جبران نمی‌شود. به بیان دیگر، تصمیم‌گیرنده متغیری که در یکی از معیارها بسیار بدتر از متغیرهای دیگر باشد را انتخاب نمی‌کند. ویژگی دیگر این روش استفاده از شبه معیار است. این روش با به‌کارگیری شبه‌معیارها، امکان درنظر گرفتن ابهام‌ها و عدم قطعیت در معیارها (توابع هدف) را فراهم می‌نماید. (نصرالهی، ۱۳۸۷)

الکتر بر اساس اصل برتری عمل می‌نماید؛ متغیر a از متغیر b برتر است اگر دلیل موجهی وجود داشته باشد که a به همان خوبی b است و دلیلی بر رد این مدعا وجود نداشته باشد. بنابراین، برتری بر اساس خصوصیات ترجیح و عدم ترجیح مشخص می‌شود.

برای هر معیار j، سه حد زیر در نظر گرفته می‌شود:

q_j: حد بی تفاوتی

p_j: حد ترجیح

v_j: حد رد

که در آن: $q_j \le p_j \le v_j$

با استفاده از این حدود، شش نوع ارتباط میان متغیر a و متغیر b با توجه به مقادیر معیار j ام ـ $g_j(a)$ و $g_j(b)$ ـ تعریف می‌شود:

$(a\ I\ b)_j$:متغیر aبا توجه به معیار j نسبت به متغیر b بی‌تفاوت است اگر: $|g_j(a)-g_j(b)| \le q_j$

$(a\ WP\ b)_j$: متغیر aبا توجه به معیار j از متغیر b کمی برتر است اگر: $q_j < g_j(a)-g_j(b) \le p_j$

$(a\ SP\ b)_j$:متغیر a با توجه به معیار j از متغیر b خیلی برتر است اگر: $g_j(a)-g_j(b) > p_j$

$(a\ NR\ b)_j$: ادعای «متغیر aبرتر از متغیر b است» با توجه به معیار j رد نمی‌شود اگر: $g_j(b)-g_j(a) \le p_j$

$(a\ WR\ b)_j$: ادعای «متغیر a برتر از متغیر b است» با توجه به معیار j به صورت ضعیف رد می‌شود اگر: $p_j < g_j(b)-g_j(a) \le v_j$

$(a\ SR\ b)_j$: ادعای «متغیر a برتر از متغیر b است» با توجه معیار j به شدت رد می‌شود اگر: $g_j(b)-g_j(a) > v_j$

حدود q_j، p_j و v_j، می‌توانند برای هر معیار مقادیری ثابت یا تابعی از عملکرد به صورت رابطه‌ی (۱) باشند.

www.SID.ir

Arshive of SID

ارتباطات نوع اول تا سوم، ارتباطات ترجیح نامیده می‌شوند و برای ارزیابی دلایلی که اثبات می‌کنند «متغیر a با توجه به معیار j برتر از متغیر b است» به کار می‌روند؛ ارتباطات نوع چهارم تا ششم، ارتباطات عدم ترجیح نامیده می‌شوند و برای اندازه‌گیری قدرت دلایلی که باعث رد ادعای این‌که «متغیر a با توجه به معیار j برتر از متغیر b است» استفاده می‌شوند. (عابدی[۳۹] و دیگران، ۲۰۱۲)

۵- تعریف مساله

یکی از کلیدی‌ترین فعالیت‌های برنامه‌ریزی پروژه، تسطیح منابع است. این فرآیند شروع فعالیت‌های غیر بحرانی را تا زمان مناسبی که منابع در دست باشند به تعویق می‌اندازد. تسطیح منابع سبب رفع مشکلات ناشی از تغییر سطح مصرف منابع می‌گردد. برای این‌که تغییرات سطح استفاده از منابع در طی زمان اجرای یک پروژه کاهش یابد، لازم است که چیدمان فعالیت‌ها در برنامه‌ی زمانبندی به نحو متناسبی اصلاح شود.

در روش پیشنهادی، از روش جابه‌جایی برای فرآیند تسطیح منابع بهره گرفته شده است. در روش جابجایی، با توجه به شناوری فعالیت‌ها (در صورت وجود)، زمان اجرای فعالیت برای کاهش یا افزایش سطح منابع مورد نیاز در یک بازه‌ی زمانی معین تغییر داده می‌شود. همچنین، در مدل ارایه شده، امکان تقسیم فعالیت وجود ندارد. به بیان دیگر انجام درصدی از یک فعالیت و به تعویق انداختن اجرای ادامه آن تا زمانی در آینده امکانپذیر نیست. همچنین، امکان افزایش بازه زمانی اجرای پروژه ممکن نیست و پروژه باید در موعد مقرر به اتمام برسد.

۵-۱- مدل پیشنهادی

با توجه به توضیحات ارایه شده مدل پیشنهادی به صورت زیر تعریف می‌شود:

مفروضات:

فعالیت پس از شروع تا زمان پایان امکان توقف نداشته و امکان شکستن فعالیت‌ها وجود ندارد.

امکان افزایش زمان پروژه طی فرآیند تسطیح منابع وجود ندارد.

پارامترها:

r_{ijk}: میزان مصرف منبع نوع jام در kامین روز از فعالیت iام

B_i: مدت زمان اجرای فعالیت iام

m: تعداد فعالیت‌ها

$$s_j(a) = \alpha_j g_j(a) + \beta_j \qquad (۱)$$

n: تعداد منابع

T: تعداد دوره‌های زمانی در افق انجام پروژه

Es_i: زودترین زمان آغاز فعالیت iام

Ls_i: دیرترین زمان آغاز فعالیت iام

Rh_{jt}: حداکثر میزان در دسترس از منبع نوع jام در دوره‌ی tام

متغیرهای تصمیم:

$$y_{it} = \begin{cases} 1 & \text{اگر فعالیت نوع } i\text{ام در دوره‌ی } t\text{ام درحال اجرا باشد} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

x_i: زمان شروع فعالیت iام

رابطه (۲) نشان دهنده تابع هدف است. در این مدل هدف کمینه سازی مجموع مربعات سطح مصرف روزانه هر منبع درنظر گرفته شده است. بدیهی است با کمینه سازی این مجموع مربعات، میزان نوسان کلی مصرف منبع در طی دوره زمانی

www.SID.ir

Arshive of SID

اجرای پروژه کمینه خواهد شد.

رابطه (۳) تضمین کننده شروع فعالیت در بازه شناوری آن است که باعث می‌شود فرآیند تسطیح سبب افزایش زمان کل اجرای پروژه نگردد. رابطه‌ی (٤) ضامن عدم تجاوز میزان مصرف یک منبع در هر روز از سطح در دسترس منبع در آن روز است. روابط (٥) و (٦) برای عدم شکست فعالیت‌ها تعریف شده‌اند. روابط (۸) و (۹) نیز به ترتیب مبین محدودیت صفر و یک و عدد صحیح هستند.

۵-۲ روش حل

روش‌های ابتکاری و فرا ابتکاری زیادی برای حل مساله جابه‌جایی فعالیت‌ها ارایه شده‌اند. در این پژوهش، راهکاری بر مبنای توسعه‌ای از یک الگوریتم ترکیبی تفاضلی تکاملی ـ چند معیاره، برای تسطیح منابع چندگانه در شرایط واقعی طراحی شده است.

الگوریتم تفاضلی تکاملی، به عنوان یکی از قوی‌ترین الگوریتم‌های فراابتکاری شناخته می‌شود. کم بودن پارامترهای کنترلی این الگوریتم، باعث آسانی استفاده از آن شده است. این امر سبب شده است که این الگوریتم در مدت کوتاهی محبوبیت زیادی درمیان پژوهشگران بدست آورد. با توجه به کاربرد گسترده الگوریتم تفاضلی تکاملی در مسایل دنیای واقعی، پژوهشگران بسیاری توسعه‌هایی از این الگوریتم ارایه نموده‌اند (ژئوسانگ[٤٠] و دیگران، ۲۰۰۸).

مساله مورد بررسی یک مدل در فضای بسته‌ی پیوسته است. بنابراین الگوریتمی برای حل باید انتخاب شود که با چنین فضایی متناسب باشد. الگوریتم تفاضلی تکاملی به صورت متداول برای مسایل بهینه سازی پیوسته استفاده می‌شود. فضای جستجو در چنین مسایلی یک فضای پیوسته‌ی بسته یا مجموعه‌ای متناهی از فضاهای پیوسته‌ی بسته است (ژانگ بو[٤١] و دیگران، ۲۰۱٤). بنابراین، این الگوریتم با مساله مورد بررسی سازگار است.

$$\text{Min } Z_j = \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{m}\left(y_{it} \times r_{ijk}\right)^2 \qquad (۲)$$
$$\forall j = 1,2,\dots,n$$

St:

$$Es_i \le x_i \le Ls_i \qquad (۳)$$

$$\sum_{i=1}^{m}\left(y_{it} \times r_{ijk}\right) \le Rh_{jt} \qquad (٤)$$
$$\forall t = 1,2,\dots,T$$
$$\forall j = 1,2,\dots,n$$

$$y_{it} \le \frac{t}{x_i} \qquad (٥)$$

$$y_{it} < \frac{x_i + B_i}{t} \qquad (٦)$$

$$\sum_{t=1}^{T} y_{it} = B_i \qquad (۷)$$
$$\forall i = 1,2,\dots,m$$

$$y_{it} \in \{0,1\} \qquad (۸)$$

$$x_i \in N \qquad (۹)$$

روش پیشنهادی برای انتخاب جواب‌ها در هر نسل از توسعه‌ای از روش الکتر استفاده می‌کند. با توجه به پیچیدگی‌های محاسباتی این الگوریتم قدری زمان‌بر است. برای رفع این مشکل می‌بایست از یک الگوریتم فراابتکاری با پیچیدگی محاسباتی پایین و سرعت عمل بالا استفاده نمود. برخلاف بسیاری از الگوریتم‌های فراابتکاری که با احتمال کمی ممکن است بهترین جواب‌ها را حذف کنند، عملگر انتخاب الگوریتم تفاضلی تکاملی همواره بهترین جواب‌ها را در جامعه‌ی جواب نگه می‌دارد. این امر سبب بالاتر

www.SID.ir

Arshive of SID

بودن میانگین برازش جامعه‌ی جواب‌ها و همچنین سرعت بالاتر الگوریتم در دست‌یابی به جواب بهینه می‌شود. علاوه بر این سادگی استفاده از این الگوریتم و همچنین محاسبات کم باعث سرعت دست‌یابی الگوریتم به جواب مناسب می‌شود (پیتروسکی[۴۲]، ۲۰۱۴). در نتیجه این الگوریتم می‌تواند مشکل زمان‌بر بودن محاسبات روش الکتر را پوشش دهد و بهترین گزینه برای استفاده در روش پیشنهادی است.

مشکل عمده در مواجهه با مسایل تسطیح منابع این است که در بسیاری از موارد با توجه به عدم قطعیت‌های موجود در اجرای پروژه، در خصوص سطح مصرف منابع ابهام و یا عدم قطعیت وجود دارد. اما بسیاری از روش‌های تحلیلی برای یافتن جواب بهینه به اطلاعات دقیق نیاز دارند و امکان درنظر گرفتن این ابهامات و عدم قطعیت‌ها در آن‌ها وجود ندارد.

در پژوهش حاضر با ارایه‌ی روشی مبتنی بر فرآیند الکتر برای ارزیابی جواب‌ها این مشکل حل شده است. برای مواجهه با ابهامات موجود در میزان مصرف منابع، بجای استفاده از اهداف تحلیلی از شبه معیار استفاده شده است. با استفاده از این روش می‌توان با توجه به نوع مصرف منابع، چندین شبه معیار (کمی، کیفی و فازی) متفاوت تعریف نمود.

مشکل دیگر پیچیدگی‌های مرتبط با مسایل چند هدفه است. نظر به تفاوت ماهیت اهداف مختلف، روش‌های متداول مساله تسطیح چند منبعه نیازمند نرمال سازی و وزن دهی به اهداف داری تضاد است. مشکل نرمال سازی و محاسبه وزن‌ها، باعث ضعف کاربردی این روش‌ها شده است. در روش پیشنهادی با توسعه الگوریتم تفاضلی تکاملی، مشکل وزن دهی و نرمال سازی اهداف نیز رفع شده است.

علاوه بر این، مساله‌ی تسطیح منابع چندگانه دارای محدودیت‌های بسیاری است. زمانی که از الگوریتم‌های جستجوی تصادفی برای حل مسایل به شدت مقید استفاده می‌کنیم، تضمین انجام جستجو در فضای شدنی مساله از اهمیت به سزایی برخوردار است. عدم هدایت کارآی الگوریتم به جستجو در فضای شدنی مساله باعث می‌شود که بسیاری از جواب‌ها از فضای غیرقابل قبول مساله انتخاب شوند و در نتیجه کارآیی جستجو به شدت کاهش و زمان حل مساله نیز به میزان قابل توجهی افزایش خواهد یافت. انتخاب استراتژی‌های مناسب برای مواجهه با قیود این مشکلات را می‌توان رفع نمود.

برای اعمال محدودیت‌ها، از استراتژی جستجوی محلی و جستجوی عمومی و تعمیر جواب‌های غیر قابل قبول استفاده شده است. همچنین از یک مکانیزم جریمه درجه بندی شده برای سوق دادن جستجو به سمت فضاهای شدنی مساله استفاده شده است.

ساختار روش ارایه شده متناسب با تنوع مقیاسی توابع هدف و محدودیت‌های ویژه‌ی این مساله طراحی شده است. مراحل الگوریتم روش ارایه شده به شرح زیر است:

گام یک: جمعیت جواب اولیه را تولید کنید.

برای ایجاد جمعیت اولیه، بردار C_i^g را به صورت تصادفی تولید می‌شود. جمعیت هر نسل با نماد P_c نشان داده شده و از روابط (۱۰) و (۱۱) محاسبه می‌گردد.

$$P_{c,i}^g = \left(C_i^g\right) \quad i = 0,1,\dots,N_p - 1 \qquad (۱۰)$$

$$C_i^g = \left(C_{j,i}^g\right), j = 0,1,\dots,D-1 \qquad (۱۱)$$

در این روابط اندیس‌های g و i به ترتیب نشان‌دهنده نسل و جمعیت هستند که به یک بردار

www.SID.ir

Arshive of SID

تعلق دارند. N_p اندازه جمعیت را نشان می‌دهد. همچنین j نشان دهنده‌ی شمارنده‌ی هر عنصر در بردار جوابی است که شامل D عنصر است.

گام دو: با استفاده از عملگر جابه‌جایی جمعیت جواب آزمایشی را از جمعیت جواب اولیه تولید کنید.

در عملگر جابه‌جایی عناصری از یک بردار جهش یا چند بردار جواب اولیه با یک بردار از نسل فعلی مطابق رابطه‌ی (۱۲) جابه‌جا می‌شود و بردار جواب آزمایشی را به وجود می‌آورد.

$$T_{j,i}^{g}=\begin{cases}M_{j,i}^{g} & \text{if } (r_{j,i}^{g}\le c_r \text{ or } j=j_r)\\ C_{j,i}^{g} & \text{Otherwise}\end{cases} \qquad (۱۲)$$

در رابطه (۱۲) c_r فاکتور جابجایی است که با توجه به شرایط مساله مقداری بین صفر و یک به آن اختصاص داده می‌شود. این فاکتور با خروجی یک عدد تصادفی از تابع توزیع یکنواخت ($r_{j,i}^{g}$) مقایسه می‌شود، اگر عدد تصادفی کوچکتر یا مساوی c_r باشد در این صورت عنصر جواب آزمایشی از بردار جهش ($M_{j,i}^{g}$) انتخاب می‌شود در غیر این‌صورت از بردار نسل فعلی انتخاب می‌گردد.

گام سه: با استفاده از عملگر جهش جمعیت جواب فرزند را از جمعیت جواب اولیه و جمعیت جواب آزمایشی به صورت زیر تولید کنید:

در عملگر جهش از سه والد C_0^g، C_1^g و C_2^g برای ایجاد فرزند (M_i^g) مطابق رابطه‌ی (۱۳) استفاده می‌شود.

$$M_{j,i}^{g}=C_{j,0}^{g}+\mathrm{A}\times \mathrm{rand}_{\mathrm{j,i}}^{g}\left(C_{j,1}^{g}-C_{j,2}^{g}\right) \qquad (۱۳)$$

در این رابطه A نشان دهنده‌ی فاکتور جهش و عددی مثبت است که میزان نرخ تکامل جمعیت را کنترل می‌کند. اگر چه برای فاکتور جهش حد بالا وجود ندارد اما اگر این فاکتور بزرگتر از یک انتخاب شود به ندرت موثر واقع خواهد شد.

گام چهار: با استفاده از عملگر انتخاب جواب‌های بهتر را برای شرکت در نسل بعد گزینش کرده و سایر جواب‌ها را حذف کنید.

در این گام، دو بردار T_i^g و C_i^g بر اساس توابع هدفشان با یکدیگر مقایسه می‌شوند و جواب $\mathrm{C}_{\mathrm{i+1}}^{g}=$

$$\begin{cases}M_i^g & \text{if } \begin{pmatrix}\mathrm{B}(M_i^g,C_i^g)=1\\ \mathrm{B}(C_i^g,M_i^g)=0\end{pmatrix}\\ C_i^g & \text{if } \begin{pmatrix}\mathrm{B}(M_i^g,C_i^g)=0\\ \mathrm{B}(C_i^g,M_i^g)=1\end{pmatrix}\\ \propto M_i^g+(1-\propto)C_i^g & \text{O.W.}\end{cases} \qquad (۱٤)$$

مناسب‌تر مطابق رابطه (۱٤) در نسل بعدی قرار می‌گیرد.

اگر برتری هیچ‌یک از دو جواب قابل تایید نبود، یک جواب از ترکیب خطی دو جواب تولید می‌گردد. روش محاسبه برتری جواب M_i^g بر C_i^g ($\mathrm{B}(M_i^g,C_i^g)$) به شرح زیر است:

- فرض کنید:

ZX_{ij}: مقدار تابع هدف j ام به ازای جواب i ام ($i=1,2,\ldots,\mu$)

$c_j(M_i^g,C_i^g)$: ترجیح جواب M_i^g بر جواب C_i^g با توجه به تابع هدف j ام

$d_j(M_i^g,C_i^g)$: عدم ترجیح جواب M_i^g بر جواب C_i^g با توجه به تابع هدف j ام

$C(M_i^g,C_i^g)$: ماتریس ترجیح جواب M_i^g بر جواب C_i^g با توجه به کلیه‌ی توابع هدف

$S(M_i^g,C_i^g)$: اعتبار ترجیح جواب M_i^g بر جواب C_i^g با توجه به کلیه‌ی توابع هدف

λ: بزرگ‌ترین اعتبار ترجیح جواب M_i^g بر جواب C_i^g به ازای کلیه‌ی جواب‌ها ($\lambda=Max\,S(M_i^g,C_i^g)\ \forall M_i^g,C_i^g$)

www.SID.ir

Arshive of SID

q_j: حد بی تفاوتی، p_j: حد ترجیح و v_j: حد رد

- اگر $ZM_{j,i}^g - ZC_{j,i}^g \le q_j$ است، $c_j(M_i^g, C_i^g)$ را برابر با یک قرار دهید؛ اگر $ZM_{j,i}^g - ZC_{j,i}^g > p_j$ است، $c_j(M_i^g, C_i^g)$ را برابر صفر قرار دهید و در صورتی که $q_j < ZM_{j,i}^g - ZC_{j,i}^g \le p_j$ باشد از رابطه‌ی (۱۵) برای محاسبه‌ی $c_j(M_i^g, C_i^g)$ استفاده کنید.

$$c_j(M_i^g, C_i^g) = \frac{\mathrm{p_j} + ZM_{j,i}^g - ZC_{j,i}^g}{\mathrm{p_j} - \mathrm{q_j}} \qquad (۱۵)$$

- اگر $ZC_{j,i}^g - ZM_{j,i}^g \le p_j$ باشد، $d_j(SM_i^g, SC_i^g)$ را برابر با صفر قرار دهید، اگر $ZC_{j,i}^g - ZM_{j,i}^g > v_j$ باشد، $d_j(SM_i^g, SC_i^g)$ را برابر با یک قرار دهید و در صورتی که: $p_j < ZC_{j,i}^g - ZM_{j,i}^g \le v_j$ باشد از رابطه‌ی (۱۶) برای محاسبه‌ی $\mathrm{d_j(SM_i^g, SC_i^g)}$ استفاده کنید.

$$d_j(M_i^g, C_i^g) = \frac{ZC_{j,i}^g - ZM_{j,i}^g - p_j}{v_j - p_j} \qquad (۱۶)$$

- برای هر زوج جواب $\mathrm{M_i^g}$ و $\mathrm{C_i^g}$ مجموع مقدار ترجیح‌های $c_j(M_i^g, C_i^g)$ را با در نظر گرفتن وزن k_j برای هر تابع هدف j در ماتریس ترجیح بنویسید. درایه‌های ماتریس ترجیح با استفاده از رابطه‌ی (۱۷) محاسبه می‌شوند.

$$C(M_i^g, C_i^g) = \sum_j k_j \times c_j(M_i^g, C_i^g) \qquad (۱۷)$$

- اعتبار ترجیح جواب $\mathrm{M_i^g}$ بر جواب $\mathrm{C_i^g}$ را با استفاده از رابطه (۱۸) ارزیابی کنید.

$$S(M_i^g, C_i^g) = \begin{cases} C(M_i^g, C_i^g) \ if \ \ d_j(M_i^g, C_i^g) \le C(M_i^g, C_i^g) \\ C(M_i^g, C_i^g) \cdot \prod_{\forall j | d_j(M_i^g, C_i^g) > C(M_i^g, C_i^g)} \frac{1 - d_j(M_i^g, C_i^g)}{1 - C(M_i^g, C_i^g)} \\ O.W \end{cases} \qquad (۱۸)$$

و اعتبار ترجیح جواب C_i^g بر جواب M_i^g را با استفاده از رابطه‌ی (۱۹) ارزیابی کنید.

$$S(C_i^g, M_i^g) = \begin{cases} C(C_i^g, M_i^g) \ \text{if} \ \ d_j(C_i^g, M_i^g) \le C(C_i^g, M_i^g) \\ C(C_i^g, M_i^g) \cdot \prod_{\forall j | d_j(C_i^g, M_i^g) > C(C_i^g, M_i^g)} \frac{1 - d_j(C_i^g, M_i^g)}{1 - C(C_i^g, M_i^g)} \\ O.W \end{cases} \qquad (۱۹)$$

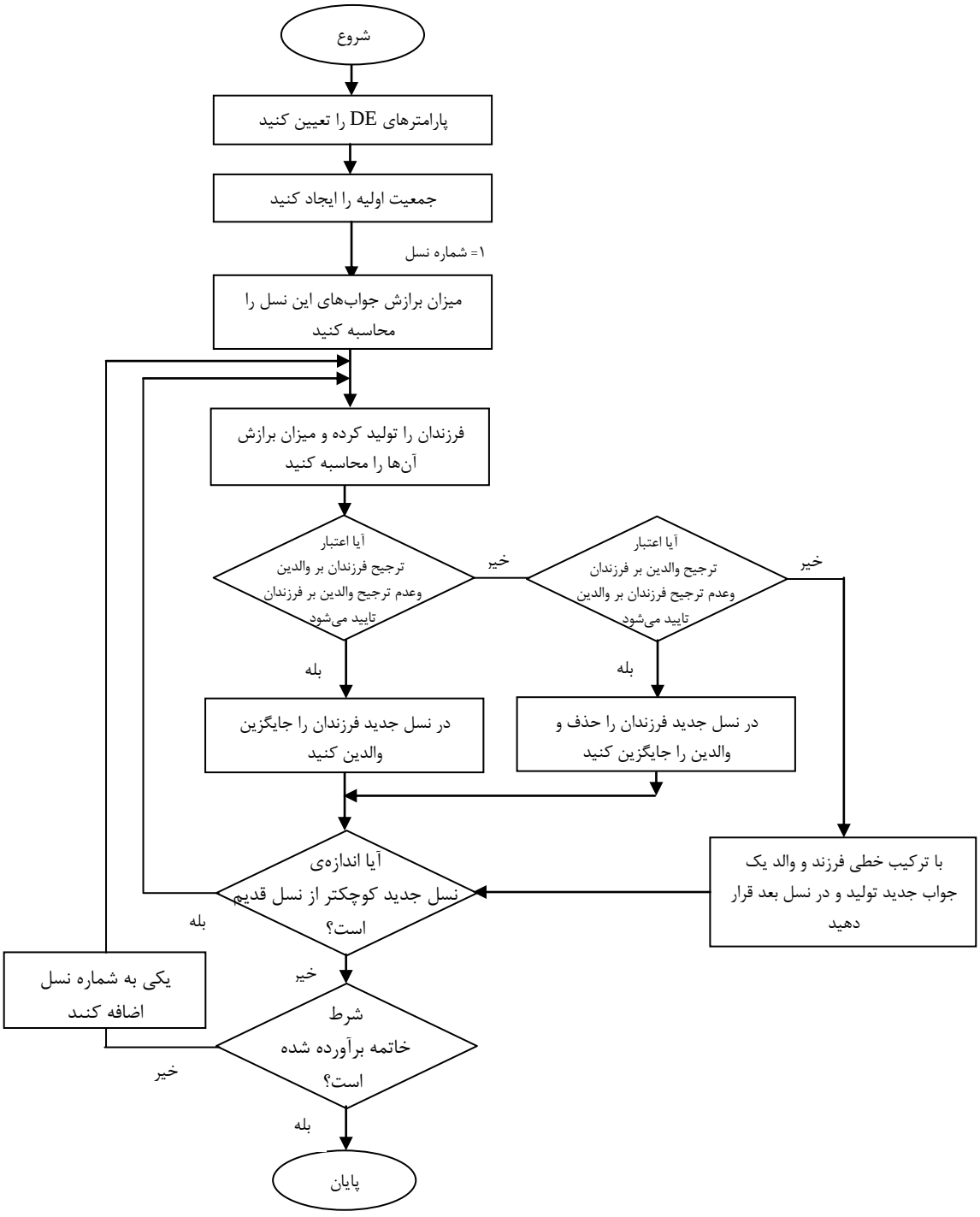
- حد ترجیح λ' که کمتر ولی نزدیک به λ است به گونه‌ای در نظر بگیرید که $(\lambda - \lambda')$ آنقدر ناچیز باشد که نتوان میان ترجیح‌ها تفاوتی قایل شد. سپس یک ماتریس باینری با استفاده از رابطه (۲۰) و (۲۱) تعریف کنید.

$$B(M_i^g, C_i^g) = \begin{cases} 1 & \forall M_i^g, C_i^g | S(M_i^g, C_i^g) > \lambda' \\ o & O.W \end{cases} \qquad (۲۰)$$

$$B(C_i^g, M_i^g) = \begin{cases} 1 & \forall M_i^g, C_i^g | S(C_i^g, M_i^g) > \lambda' \\ o & O.W \end{cases} \qquad (۲۱)$$

www.SID.ir

Arshive of SID



شکل ۱- نمودار روش پیشنهادی

گام پنج: در صورت برآورده شدن شرط خاتمه الگوریتم پایان یافته است، در غیر این صورت به گام

www.SID.ir

Arshive of SID

دوم برگردید. شرط خاتمه می‌تواند رسیدن به تعداد مشخصی تکرار، رسیدن به حد معینی از جواب، عدم تغییر جواب در چند تکرار و غیره باشد. مراحل این الگوریتم در شکل (۱) نمایش داده شده است.

٦- مثال عددی

برای بررسی کارآیی مدل ارایه شده از دو سری داده از ادبیات موضوع (هریس[43]، ۱۹۹۰؛ کولیناس و آنجنستوپلوس ۲۰۱۳) استفاده شده است. سری داده اول شامل ۱۱ فعالیت و یک نوع منبع است. شکل (۲) نمودار تقدم و تأخر و زمان اجرای این فعالیت‌ها را نشان می‌دهد.

کریستودولو[44] و دیگران، (۲۰۱۰) سری داده اول را بررسی کرده و دو روش بهتر برای تسطیح منابع ارایه نموده‌اند. در این پژوهش، با توجه به این‌که روش پیشنهادی قادر به تسطیح چند منبع است، علاوه بر سری داده‌ی اولیه، دو سری داده‌ی دیگر نیز ارایه شده‌اند (جدول ۲). شکل (۳)- الف) نشان دهنده وضعیت مصرف منبع ۱ قبل از تسطیح، شکل (۳)- ب) وضعیت مصرف سری منبع ۱ بعد از تسطیح به روش اول ارایه شده توسط کریستودولو و دیگران، شکل (۳)- ج) روش دوم ارایه شده توسط کریستودولو و دیگران و شکل (۳)- د) روش پیشنهادی است و به همین صورت، شکل‌های (٤) و (٥) به ترتیب برای منابع (۲) و (۳) ارایه شده‌اند.مقدار تابع هدف برای منبع ۱ در حالت قبل از تسطیح ۱۱٦۱، در حالت تسطیح به روش اول ۸٥٦، در حالت تسطیح به روش دوم ۸٤۱ و در حالت تسطیح به روش پیشنهادی ۸۳۳ است.

مقدار تابع هدف برای منبع ۲ در حالت قبل از تسطیح ٤٥۹٤، در حالت تسطیح به روش اول ۳٥۰٤، در حالت تسطیح به روش دوم ۳٤۸٦ و در حالت تسطیح به روش پیشنهادی ۳۲۸۲ است.

مقدار تابع هدف برای منبع ۳ در حالت قبل از تسطیح ۲٦۲۰، در حالت تسطیح به روش اول ۱۹۹۰، در حالت تسطیح به روش دوم ۱۹۸۰ و در حالت تسطیح به روش پیشنهادی ۱۸۸٦ است.

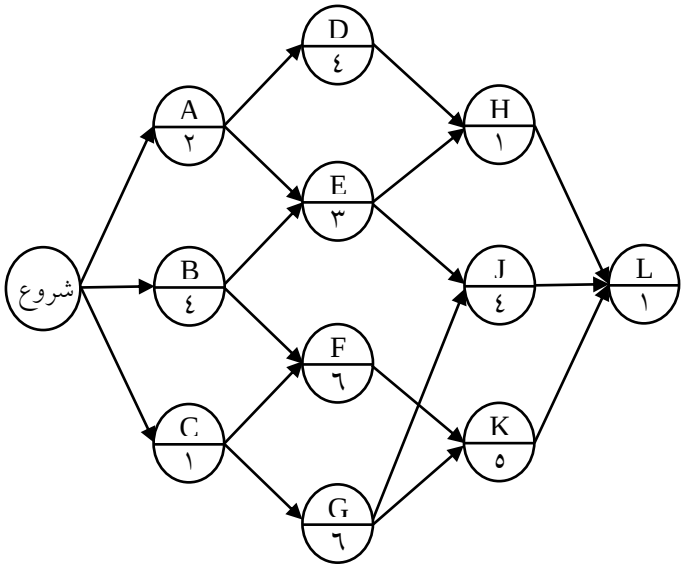
شکل (٦) نشان دهنده‌ی تسطیح هر سه منبع به صورت هم‌زمان، با استفاده از روش پیشنهادی است. مقدار تابع هدف به ازای منبع ۱ برابر با ۸٥۱، به ازای منبع ۲ برابر با ۳۳۱۲ و به ازای منبع ۳ برابر با ۱۸۹۸ است.

برای بررسی بهتر مدل پیشنهادی و همچنین مقایسه روش ارایه شده با یک الگوریتم فراابتکاری دیگر، از سری داده ارایه شده توسط کولیناس و آنجنستوپلوس (۲۰۱۳) استفاده شده است.

شکل (۷)- الف) نشان دهنده‌ی وضعیت مصرف منبع قبل از تسطیح، شکل (۷)- ب) وضعیت مصرف منبع بعد از تسطیح به روش ارایه شده توسط کولیناس و آنجنستوپلوس و شکل (۷)- ج) وضعیت مصرف منبع بعد از تسطیح به روش پیشنهادی را نشان می‌دهد. مقدار تابع هدف در حالت قبل از تسطیح ۲۳۸٦، در حالت تسطیح به روش کولیناس و آنجنستوپلوس ۱٦٥٤ و در حالت تسطیح به روش پیشنهادی ۱٦٥۲ است.

www.SID.ir

Arshive of SID



شکل ۲-. نمودار تقدم و تاخر مثال عددی (هریس، ۱۹۹۰)

جدول ۲- میزان منابع مورد نیاز هر فعالیت

فعالیت	زمان اجرای فعالیت	میزان نیاز روزانه			فعالیت	زمان اجرای فعالیت	میزان نیاز روزانه		
		منبع ۱	منبع ۲	منبع ۳			منبع ۱	منبع ۲	منبع ۳
A	۲	۲	٤	۳	G	٦	٤	۱۰	۹
B	٤	۱	۲	۱	H	۱	۰	۲	۱
C	۱	٤	۷	٥	J	٤	۲	۲	۲
D	٤	٤	۹	۷	K	٥	۱	۲	۱
E	۳	۲	٤	۳	L	۱	۲	۱	٤
F	٦	٦	۱۱	۷					

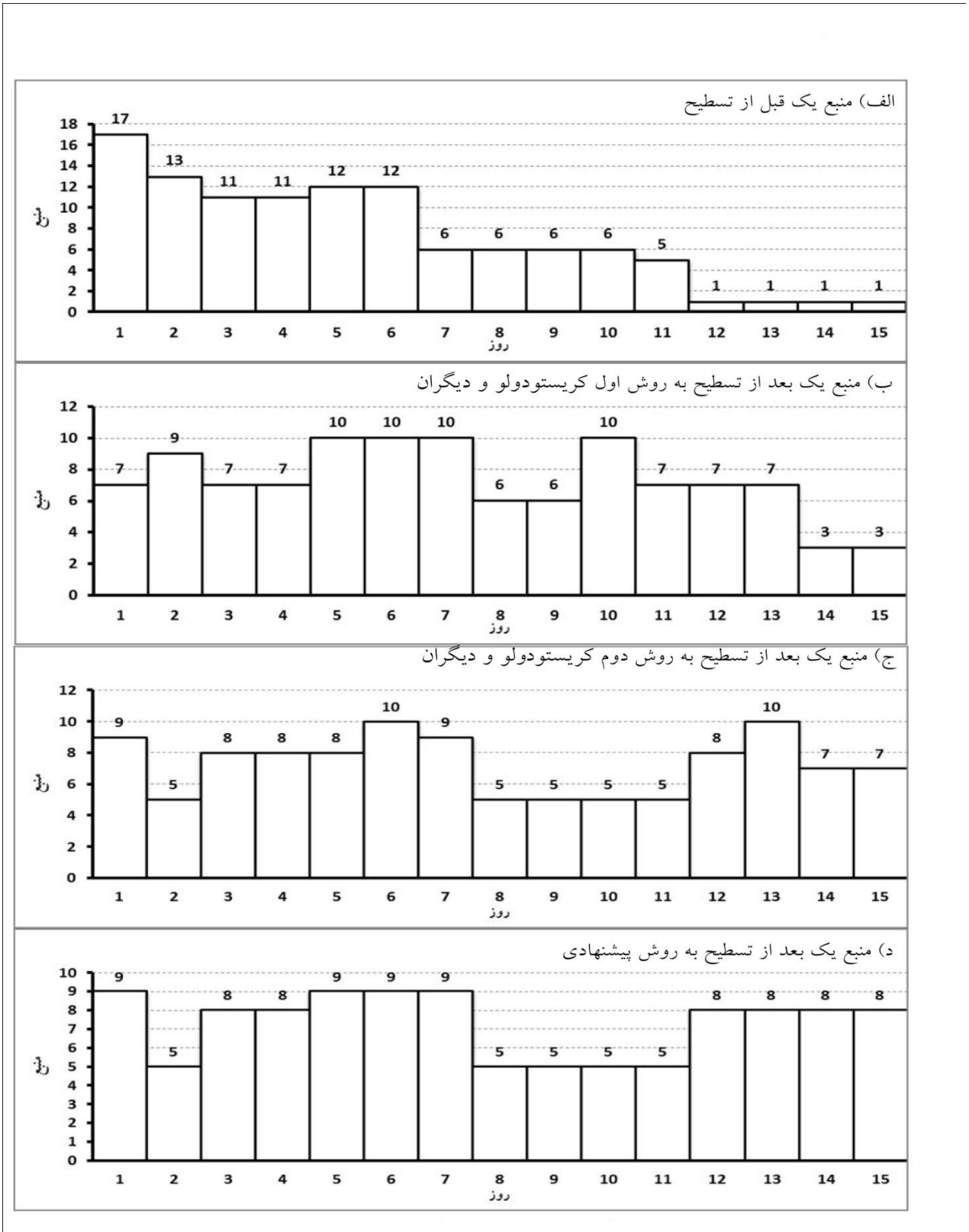
۷- بحث

در این پژوهش برای حل مدل ارایه شده از الگوریتم تفاضلی تکاملی استفاده شد. اما قبل از استفاده از الگوریتم‌های تکاملی، تحلیل نظری پارامترهای الگوریتم برای درک نحوه‌ی جستجوی فضای حل بسیار با اهمیت است (ژئوسانگ و دیگران، ۲۰۰۸). عدم تنظیم مناسب پارامترهای الگوریتم می‌تواند باعث ناکارآمدی الگوریتم برای یافتن جواب مناسب شود (یانگ[٤٥]، ۲۰۱٤). با توجه تعداد کم پارامترهای قابل تنظیم در الگوریتم تفاضلی تکاملی، تنظیم پارامترها برای یافتن جواب مناسب چندان مشکل نیست.

اولین پارامتر قابل تنظیم در این الگوریتم اندازه‌ی جمعیت (N_p) است. باید توجه داشت که جستجوی مناسب و کارآمد فضای شدنی مساله، در الگوریتم‌های تکاملی بسیار پر اهمیت است.

www.SID.ir

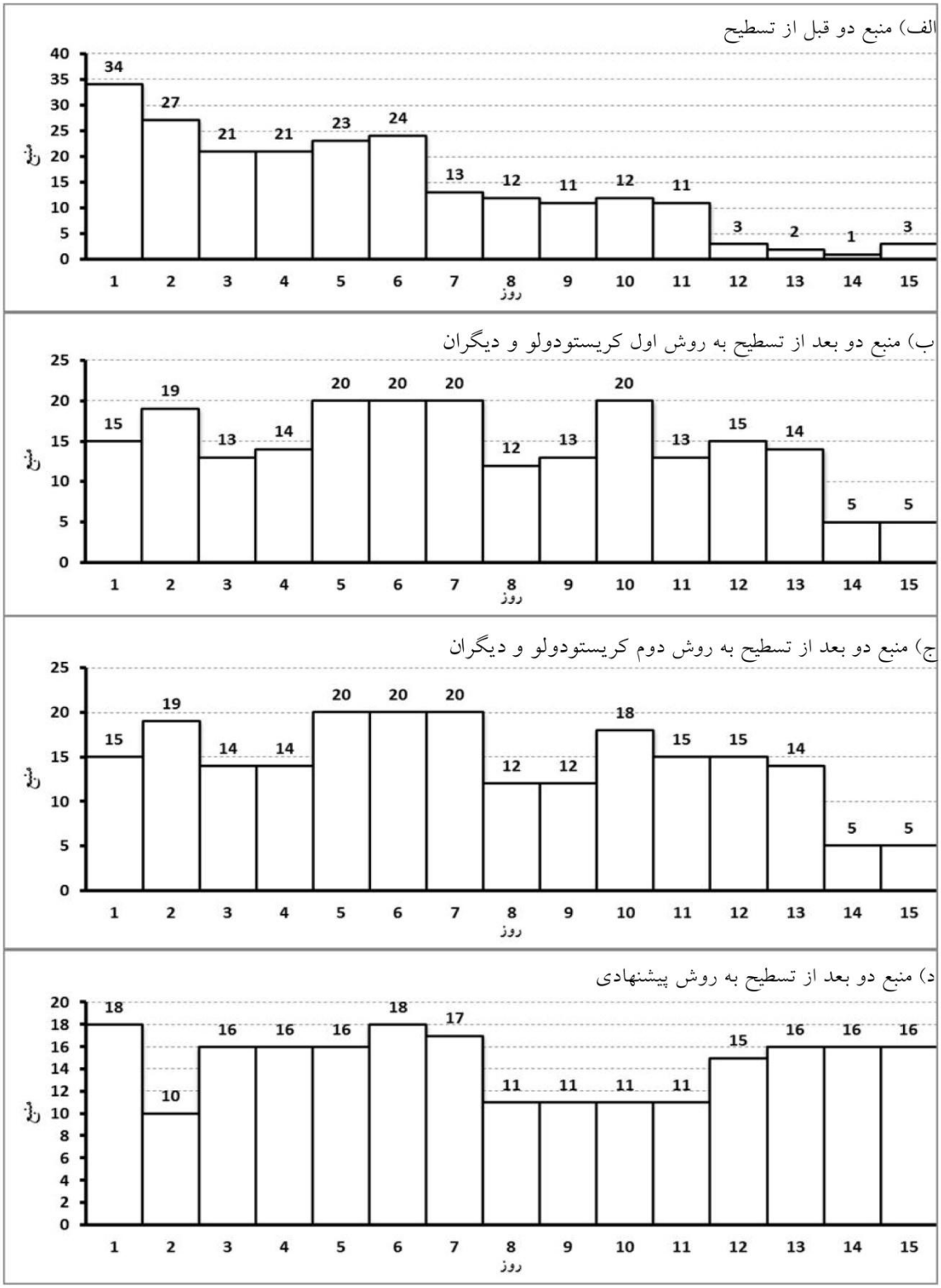
Arshive of SID



شکل ۳- تسطیح منبع یک سری داده اول

www.SID.ir

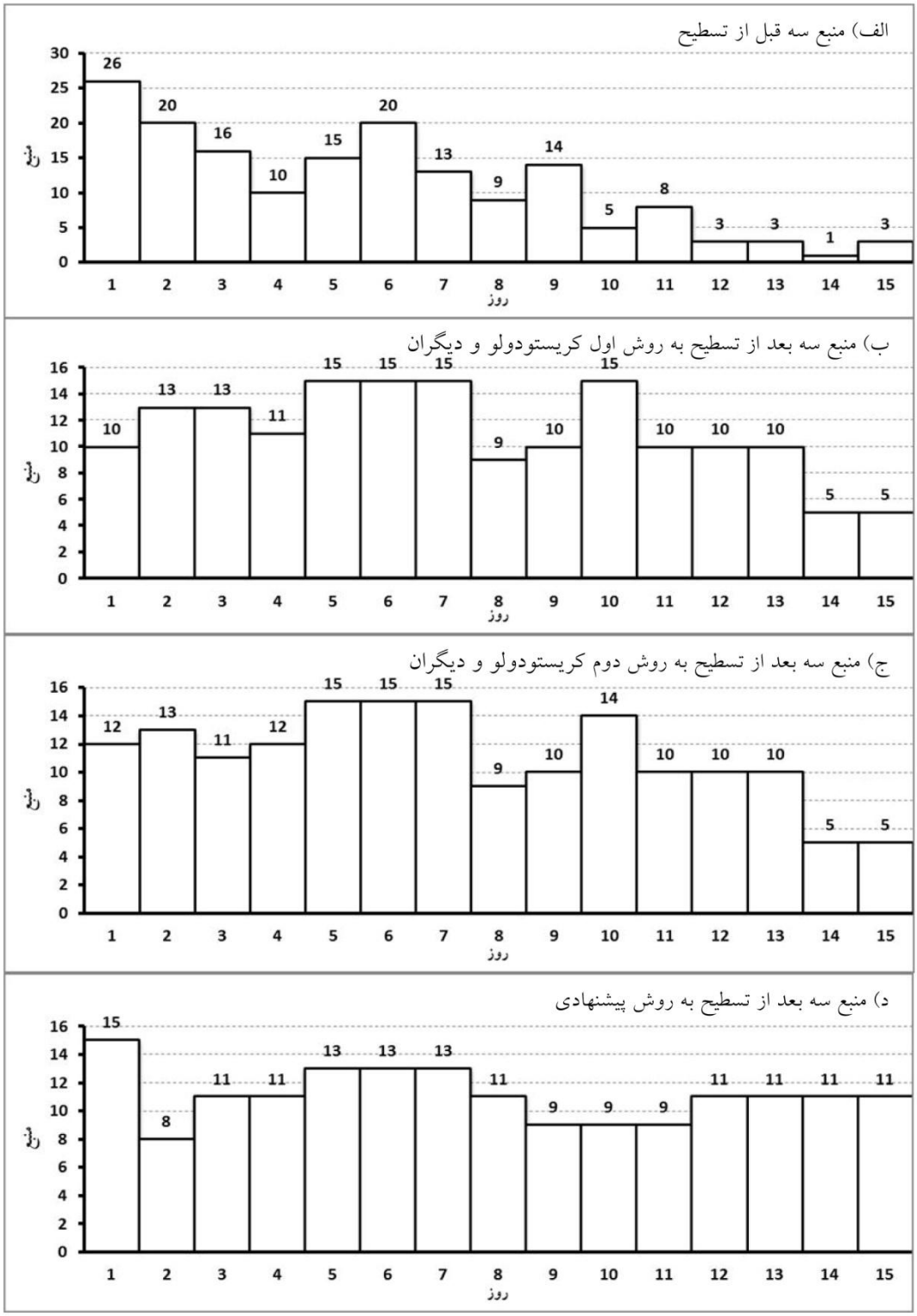
Arshive of SID



شکل٤- تسطیح منبع دو سری داده اول

www.SID.ir

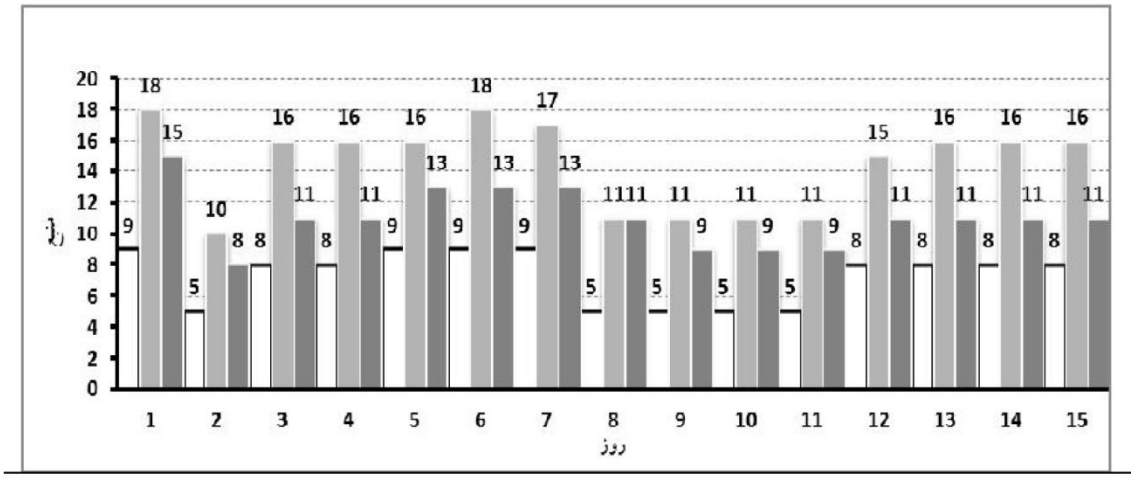
Arshive of SID



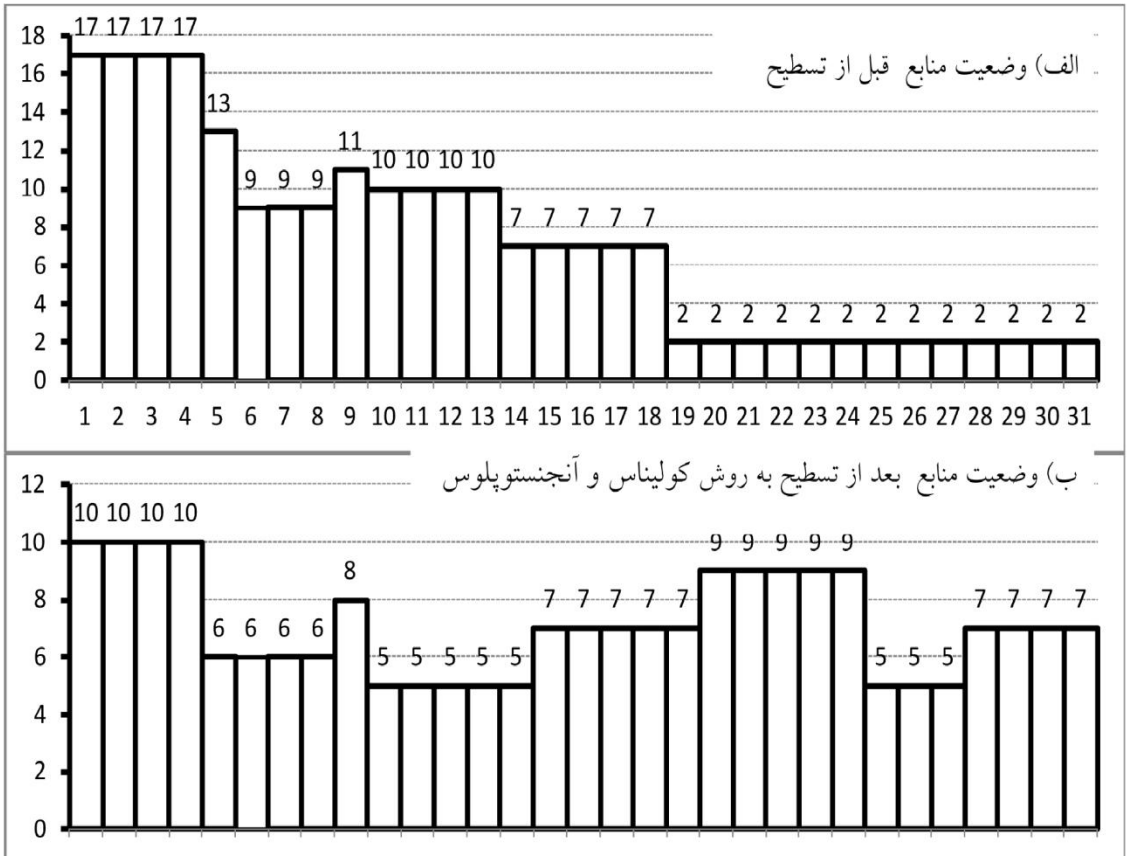
شکل ۵- تسطیح منبع سه سری داده اول

www.SID.ir

Arshive of SID



شکل ٦- تسطیح هم‌زمان منابع سری داده اول



شکل ٦ - تسطیح منابع سری داده دوم

این مهم با انتخاب هوشمند و مناسب اندازه جمعیت تضمین می‌شود. اگر اندازه جمعیت کوچک انتخاب شود الگوریتم در زمان کمتری جواب زیر ـ بهینه (نزدیک به بهینه) را می‌یابد ولی ممکن است جواب یافته شده، زیر ـ بهینه محلی باشد. اما اگر اندازه جمعیت بزرگ انتخاب شود، الگوریتم، به زمان بیشتری برای جستجو در فضای شدنی و یافتن جواب نیاز دارد. در این حالت امکان یافتن جواب

www.SID.ir

Arshive of SID

بهینه مساله نسبت به حالتی اندازه‌ی جمعیت کوچک انتخاب شده، بیشتر است. درنتیجه انتخاب جمعیت جواب باید براساس دو فاکتور زمان و دقت مورد نیاز تعیین گردد. در این پژوهش با توجه به حجم داده‌ها و نوع مدل پیشنهادی، اندازه جمعیت ۱۰۰ تعیین گردید. با این اندازه جمعیت الگوریتم قادر است در زمان قابل قبولی جواب مناسب را ارایه نماید. زمان حل هر یک از مسایل مورد بررسی در جدول (۳) آمده است.

پارامتر بعدی فاکتور جابجایی (c_r) است که با توجه به شرایط مساله مقداری بین صفر و یک به آن اختصاص داده می‌شود. هرچه فاکتور جابجایی بزرگتر باشد احتمال انتخاب عنصر جواب آزمایشی از بردار جهش ($M_{j,i}^{g}$) بیشتر می‌شود. در نتیجه افزایش مقدار فاکتور جابه‌جایی باعث جستجوی واگراتر می‌گردد. اگر جستجو بیش از حد همگرا باشد، ممکن است ناحیه جستجو در بهینه محلی به دام بیافتد. از طرفی جستجوی واگرا نیز سبب افزایش زمان حل مساله می‌شود و علاوه بر آن احتمال تولید جواب‌های غیرقابل قبول را افزایش می‌دهد.

در مسایل به شدت مقید مانند مساله مورد بررسی، تولید جواب‌های غیر قابل قبول زمان حل را به شدت افزایش می‌دهند. استراتژی مواجهه با محدودیت نیز در انتخاب مقدار فاکتور جابه‌جایی موثر است. اگر استراتژی مواجهه با محدودیت جواب غیر قابل قبول را حذف نکند یا آنها را تعمیر نماید، می‌توان از فاکتور جابجایی بالاتری استفاده نمود. در این مساله با توجه به نوع قیود (به شدت مقید) و استراتژی‌های مواجهه با محدودیت (جریمه درجه‌بندی شده) که جواب‌های غیرقابل قبول را حذف نمی‌نماید، استفاده از فاکتور جابه‌جایی متوسط مناسب به نظر می‌رسد.

پارامتر بعدی فاکتور جهش است. فاکتور جهش عددی مثبت است که میزان نرخ تکامل جمعیت را کنترل می‌کند. انتخاب فاکتور جهش بالاتر سبب واگرایی بیشتر الگوریتم می‌شود. اگر چه برای فاکتور جهش حد بالا وجود ندارد اما اگر این فاکتور بزرگتر از یک انتخاب شود به ندرت موثر واقع خواهد شد (ژئوسانگ و دیگران، ۲۰۰۸).

با توجه به قیود زیاد مساله و احتمال بالای خروج جواب از ناحیه شدنی، در مساله مورد بررسی نمی‌توان فاکتور جهش بالا را انتخاب نمود.

بعد از تنظیم پارامترهای الگوریتم، لازم است تا برای ارزیابی روش ارایه شده، کارآیی آن با دیگر روش‌ها مقایسه شود. برای این‌کار از سری داده‌های استاندارد بهره گرفته شده است. روش پیشنهادی قادر به حل مسایل تسطیح تک منبعه و چند منبعه است. بنابراین، این روش در هر دو صورت مورد ارزیابی قرار گرفته است.

با حل مثال عددی از سری داده ارایه شده توسط هریس (۱۹۹۰) می‌بینیم که در حالت تسطیح یک منبع، برای منابع یک، دو و سه به ترتیب ۳/۶۹، ٦/۳٦ و ۵/۲۳ درصد نسبت به روش اول ارایه شده توسط کریستودولو و دیگران (۲۰۱۰) و ۰/۹۵، ۵/۸۵ و ٤/۷۵ درصد نسبت به روش دوم کریستودولو و دیگران (۲۰۱۰)، در تابع هدف بهبود ایجاد شده است. این امر مبین کارایی روش پیشنهادی در حل مسایل تسطیح دارای یک منبع است. خلاصه نتایج حاصله در جدول (۳) نشان داده شده است.

www.SID.ir

Arshive of SID

جدول ۳- مسایل حل شده برای ارزیابی کارآیی روش پیشنهادی

ردیف	مساله مورد بررسی	روش مورد مقایسه	میزان بهبود	زمان حل (ثانیه)
۱	سری داده ارایه شده توسط هریس (۱۹۹۰) برای منبع یک	روش اول ارایه شده توسط کریستودولو و دیگران (۲۰۱۰)	٪ ۳/٦۹	۷٤۳
۲	سری داده ارایه شده توسط هریس (۱۹۹۰) برای منبع یک	روش دوم ارایه شده توسط کریستودولو و دیگران (۲۰۱۰)	٪ ۰/۹۵	۷٤۳
۳	سری داده طراحی شده برمبنای هریس (۱۹۹۰) برای منبع دو	روش اول ارایه شده توسط کریستودولو و دیگران (۲۰۱۰)	٪ ٦/۳٦	۷۵۱
٤	سری داده طراحی شده برمبنای هریس (۱۹۹۰) برای منبع دو	روش دوم ارایه شده توسط کریستودولو و دیگران (۲۰۱۰)	٪ ۵/۸۵	۷٤۳
۵	سری داده طراحی شده برمبنای هریس (۱۹۹۰) برای منبع سه	روش اول ارایه شده توسط کریستودولو و دیگران (۲۰۱۰)	٪ ۵/۲۳	۷٤٦
٦	سری داده طراحی شده برمبنای هریس (۱۹۹۰) برای منبع سه	روش دوم ارایه شده توسط کریستودولو و دیگران (۲۰۱۰)	٪ ٤/۷۵	۷٤۳
۷	سه منبع به صورت همزمان از سری داده طراحی شده برمبنای هریس (۱۹۹۰)	شکاف بهینگی	۲/۱۱ ٪- برای منبع یک ۰/۹۱ ٪- برای منبع دو ۰/٦۳ ٪- برای منبع سه	۱۸۹٤
۸	سری داده ارایه شده توسط کولیناس و آنجنستوپلوس (۲۰۱۳)	روش فوق فراابتکاری بر مبنای جستجوی ممنوعه ارایه شده توسط کولیناس و آنجنستوپلوس (۲۰۱۳)	٪ ۰/۱۲	۸٦۱

در حالت تسطیح هر سه منبع به صورت هم‌زمان، ملاحضه می‌شود که مقدار تابع هدف، در مقایسه با حالت تسطیح یک منبعه برای منابع یک، دو و سه به ترتیب تنها ۲/۱۱، ۰/۹۱ و ۰/٦۳ درصد تفاوت دارد که این شکاف بهینگی ناچیز بیانگر توانمندی مدل پیشنهادی، در یافتن جواب مناسب برای مسایل چندهدفه است.

برای ارزیابی بهتر روش پیشنهادی و همچنین مقایسه آن با سایر روش‌های فرا ابتکاری، از یک سری داده استاندارد دیگر نیز استفاده شده است. روش پیشنهادی با یک روش فوق فراابتکاری بر مبنای جستجوی ممنوعه ارایه شده توسط کولیناس و آنجنستوپلوس (۲۰۱۳) مقایسه گردید. نتایج نشان می‌دهد روش پیشنهادی به همان خوبی (با اندکی بهبود) روش فوق فرا ابتکاری عمل می‌نماید.

علاوه بر توانمندی مدل پیشنهادی در حل مسایل تک‌هدفه و چندهدفه، امکان در نظر گرفتن توابع کمی و کیفی دارای تضاد و مقیاس‌های مختلف، میزان مصرف مبهم منبع، عدم قطعیت در میزان مصرف منبع و فازی بودن مصرف منبع، به علت

www.SID.ir

Arshive of SID

استفاده از شبه معیار به جای معیار در مقایسه جواب‌ها در گام انتخاب الگوریتم پیشنهادی فراهم است. همچنین، نحوه تعریف مدل به گونه‌ای است که امکان لحاظ کردن تغییر میزان نیاز به منبع در روزهای مختلف و حداکثر منبع در دست طی دوره‌های زمانی معین فراهم است.

از آنجا که روش پیشنهادی برای حل مدل بر مبنای الگوریتم تفاضلی تکاملی توسعه داده شده است، در فرآیند جستجوی مستقیم فضای حل، تنها درصدی از جواب‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند. انتخاب این درصد با توجه به زمان در دست، و حداکثر فاصله‌ی قابل قبول از بهینه مطلق انجام می‌شود. بنابراین، با انتخاب حجم مناسب جامعه جواب‌ها، این الگوریتم قادر به حل مسایل بزرگ در زمان منطقی خواهد بود.

با توجه به متناسب بودن مدل ارایه شده با شرایط واقعی، این مدل می‌تواند راهگشای برنامه‌ریزان پروژه برای تسطیح منبع باشد. علی رغم مزایای ذکر شده، این پژوهش می‌تواند به عنوان زمینه اصلی در انجام تحقیقات آتی مورد استفاده قرار گیرد. بررسی عملکرد این مدل برای توابع هدف فازی، استفاده از متدلوژی حل ارایه شده برای حل سایر مسایل چندمعیاره و امکان در نظر گرفتن نقطه سربه‌سری میان تسطیح و افزایش زمان پروژه، می‌تواند برخی از این زمینه‌ها باشد.

۸- نتیجه گیری

نوسان در سطح مصرف منابع می‌تواند سبب افزایش هزینه‌های ناشی از آزاد سازی و به کارگیری مجدد منابع در حین اجرای پروژه‌ها شود. برای حل این مشکل در این پژوهش روشی برای تسطیح منابع چندگانه با استفاده از الگوریتم تفاضلی تکاملی ارایه گردید. در ابتدا با توجه به شرایط واقعی پروژه‌ها، مدلی مقید دارای چندین تابع هدف کمی و کیفی مختلف (متناسب با هر نوع منبع) طراحی شد و در ادامه روشی برای حل این مدل ارایه گردید. کارآیی مدل ارایه شده با استفاده از دو سری داده از ادبیات موضوع مورد بررسی قرار گرفت. همچنین، جواب‌های به دست آمده از روش پیشنهادی با دو روش فراابتکاری و یک روش فوق فراابتکاری مقایسه گردید. نتایج حاصله بیانگر عملکرد بهتر مدل پیشنهادی در حل مسایل تک هدفه و چند هدفه نسبت به سایر مدل‌هاست. با توجه به جبرانی نبودن روش‌پیشنهادی، در حل مسایل چند هدفه جواب‌های به دست آمده عملکرد مناسبی در کلیه منابع دارند و تسطیح کلیه منابع به صورت همزمان به خوبی انجام می‌گیرد. علاوه برآن، مدل پیشنهادی با در نظر گرفتن مواردی همچون: حداکثر میزان منبع در دست در هر روز، امکان تغییر میزان مصرف انواع منبع در طی دوره انجام یک فعالیت، رعایت زمانبندی دقیق پروژه و غیره مطابقت بیشتری با شرایط واقعی دارد. از این رو، مدل پیشنهادی می‌تواند به عنوان یک ابزار کارآ، برای تسطیح منابع چندگانه، در اختیار مدیران اجرایی و برنامه‌ریزان پروژه قرار گیرد.

تقدیر و تشکر

در پایان مولفین این مقاله، بر خود لازم می‌دانند از راهنمایی‌های ارزشمند جناب پرفوسور جعفر رزمی استاد گران‌قدر دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه تهران کمال تشکر و قدردانی را به عمل آورند.

www.SID.ir

Arshive of SID

منابع

Abedi, M., Torabi, S. A., Norouzi, G. H., & Hamzeh, M. (2012). ELECTRE III: A Knowledge-Driven Method for Integration of Geophysical Data with Geological and Geochemical Data in Mineral ProspectivityMapping. *Journal of Applied Geophysics, 87*(1), 9-18.

Aiello, G., Enea, M., & Galante, G. (2006). A Multi-Objective Approach to Facility Layout Problem by Genetic Search Algorithm and ELECTRE Method. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 22*(1), 447–455.

Asgari, S., Afshar, A., & Madani, K. (2013). Cooperative Game Theoretic Framework for Joint Resource Management in Construction. *Journal of Construction Engineering and Management, 140*(3), 1-14.

Bowers, J. A. (1995). Criticality in Resource Constrained Networks. *Journal of Operation Research Society, 46*(1), 80-91.

Brest, J., Greiner, S., Boskovic, B., & Mernik, M. (2006). Self-adapting control parameters in differential evolution: A comparative study on numerical benchmark problems. *Evolutionary Computation, IEEE Transactions on, 10*(6), 646-657.

Csébfalvi, A., & Szendrői, E. (2012). An Improved Hybrid Method for the Multi-Mode Resource-Constrained Project Scheduling Problem. *In Proceedings of the Eighth International Conference on Engineering Computational Technology* (pp. 1-13). Stirling: Civil-Comp Press.

Doulabi, S. H., Seifi, S., & Shariati, S. Y. (2011). Efficient Hybrid Genetic Algorithm for Resource Leveling via Activity Splitting. *Journal of Construction Engineering and Management, 137*(2), 137-146.

Fabris, F., & Krohling, R. A. (2012). A Co-Evolutionary Differential Evolution Algorithm for Solving Min–Max Optimization Problems Implemented on GPU using C-CUDA. *Expert Systems with Applications, 39*(12), 10324–10333.

Ghoddousi, P., Eshtehardian, E., & Jooybanpour, S. (2013). Multi-mode resource-constrained discrete time–cost-resource optimization in project scheduling using non-dominated sorting genetic algorithm. *Automation in Construction, 30*(1), 216-227.

Ghosh, S., Das, S., Roy, S., Islam, S. M., & Suganthan, P. N. (2012). A Differential Covariance Matrix Adaptation EvolutionaryAlgorithm for Real Parameter Optimization. *Information Sciences, 182*(1), 199–219.

Guo, Y., Li, N., Zhang, H., & YE, T. (2012). Elitist Vector Evaluated Particle Swarm Optimization for Multi-mode Resource Leveling Problems. *Journal of Computational Information Systems, 8*(9), 3697-3705.

Harris, R. B. (1990). Packing method for resource leveling (pack). *Journal of Construction Engineering and Management, 116*(2), 331-350.

Hu, J., & Flood, I. (2012). A Multi-objective Scheduling Model for Solving the Resource-constrained Project Scheduling and Resource Leveling Problems. *In Computing in Civil Engineering, 1*(1), 49-56.

Jozefowska, J., & Weglarz, J. (2006). *Perspectives in Modern Project Scheduling.* New York: Springer.

Kastor, A., & Sirakoulis, K. (2009). The Effectiveness of Resource Leveling Tools for Resource Constraint Project Scheduling Problem. *International Journal of Project Management, 27*(1), 493-500.

Koulinas, G. K., & Anagnostopoulos, K. P. (2013). A new tabu search-based hyper-heuristic algorithm for solving construction leveling problems with limited resource availabilities. *Automation in Construction, 31*(1), 169-175.

www.SID.ir

Arshive of SID

Construction Projects. *Journal of Construction Engineering and Management, 135*(11), 1172-1180.

Rieck, J., Zimmermann, J., & Gather, T. (2012). Mixed-integer linear programming for resource leveling problems. *European Journal of Operational Research, 221*(1), 27-37.

Storn, R., & Price, K. (1995). *Differential evolution—a simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continuous spaces.* Berkeley: ICSI.

Sun, Y., Zhang, L., & Gu, X. (2012). A Hybrid Co-Evolutionary Cultural AlgorithmBased on Particle Swarm Optimization for Solving Global Optimization Problems. *Neurocomputing, 98*(3), 76-89.

Tang, Y., Liu, R., & Sun, Q. (2013). *Study and Application on China Railway Construction Project Scheduling Model Based on Resource Leveling.* Berlin: Springer.

Yang, X.-S. (2014). *Nature-Inspired Optimization Algorithms.* Elsevier.

Yong, D. J., & Fu, W. Z. (2011). Applying Ant Colony Optimization to Multiple Resource Leveling Problem. *Energy Procedia, 13*(1), 2645-2653.

ZhongBo, H., ShengWu, X., QingHua, S., & ZhiXiang, F. (2014). Finite Markov Chain Analysis of Classical Differential Evolution Algorithm. *Journal of Computational and Applied Mathematics, 268*, 121-134.

Kyriklidis, C., Vassiliadis, V., & Kirytopoulos, K. (2014). Hybrid nature-inspired intelligence for the resource leveling problem. *Operational Research, 1*(1), 1-21.

Leu, S. S., Yang, C. H., & Huang, J. C. (2000). Resource Leveling in Construction by Genetic Algorithm Based Optimization and Its Decision Support System Application. *Automation in Construction, 10*(1), 27-41.

Masmoudi, M., & Haït, A. (2013). Project scheduling under uncertainty using fuzzy modelling and solving techniques. *Engineering Applications of Artificial Intelligence, 26*(1), 135-149.

Nasrollahi, M. (1387). *M.Sc. Thesis on Industrial Engineering: Proposing a Multi-Objective Model for Plant Layout by Genetic Algorithm, Considering the Limitation of Lengths, Width and Unassignable Locations.* Najaf Abad: Islamic Azad University of Najaf Abad.

Piotrowski, A. P. (2014). Differential Evolution Algorithms Applied to Neural Network Training Suffer From Stagnation. *Applied Soft Computing, 21*(1), 382-406.

Ponz-Tienda, J. L., Yepes, V., Pellicer, E., & Moreno-Flores, J. (2013). The Resource Leveling Problem with multiple resources using an adaptive genetic algorithm. *Automation in Construction, 29*(1), 161-172.

Rayes, K., ASCE, M., & Jun, D. H. (2009). Optimization Resource Leveling in

پی نوشت

1 Jozefowska
2 Weglarz
3 Bower
4 Kastor
5 Sirakoulis
6 Penz-Tienda
7 Zhuo-fu
8 Ji-Yong

www.SID.ir

Arshive of SID

9 Genetic Algorithm
10 Particle Swarm Optimization
11 Leu
12 El-Rayes
13 Koulinas
14 Anagnostopoulos
15 tabu search
16 hyper-heuristic
17 Kyriklidis
18 Ant colony
19 Masmoudi
20 Haït
21Asgari
22 Ghoddousi
23 Tang
24 Hu
25 Flood
26 Rieck
27 Csébfalvi
28 Szendrői
29 GUO
30 ELECTRE
31 Deferential Evolutionary Algorithm (DEA)
32 Storn
33 Price
34 Fabris
35 Krohling
36 Ghosh
37 Sun
38 Aiello
39 Abedi
40 Xue-Song
41 ZhongBo
42 Piotrowski
43 Harris
44 Christodoulou
45 Yang

www.SID.ir