زمانبندی پروژه با محدودیت منابع چندحالته با در نظر گرفتن آلایندگی و قابلیت تقسیم‌پذیری فعالیت‌ها

حامد کوچک‌پور[۱]، سیدمیثم موسوی[۲]، احمد مینائی[۳]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد؛ hamedkoochakpour@gmail.com

[۲] دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد؛ sm.mousavi@shahed.ac.ir

[۳]دانشجوی دکترا، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد؛ ahmad.minaei@shahed.ac.ir

نویسنده مسئول: حامد کوچک‌پور

چکیده

در این مقاله رویکرد جدیدی برای مسئله زمانبندی پروژه با محدودیت منابع چند حالته با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی و با تمرکز بر کاهش میزان آلایندگی در حین اجرای پروژه ارائه می‌شود. مدل ریاضی پیشنهادی در قالب دو تابع هدف به کمینه‌سازی هزینه و آلودگی تولیدشده در اجرای پروژه‌های ساخت می‌پردازد. برای حل مدل از روش برنامه‌ریزی آرمانی استفاده می‌شود. مدل پیشنهادی این پژوهش بر روی یک مثال از ادبیات موضوع پیاده‌سازی شده و با تحلیل حساسیت‌های صورت گرفته به بررسی شیوه‌های برنامه‌ریزی و زمانبندی پرداخته می‌شود. با توجه به نتایج حاصل شده، تقسیم شدن فعالیت‌ها به چند فعالیت کوچکتر و اجرای آن‌ها در زمان‌های مجاز دیگر، به بهبود روند زمانبندی پروژه در خصوص کاهش میزان آلودگی و همچنین کاهش هزینه‌های حین اجرای پروژه کمک می‌کند.

واژگان کلیدی: زمانبندی پروژه سبز، محدودیت منابع چند حالته، کاهش آلایندگی، فعالیت تقسیم شده.

۱- مقدمه

مسئله برنامه‌ریزی پروژه با محدودیت منابع چند حالته[1] برای چندین دهه مورد بحث بوده است. در نتیجه طیف گسترده‌ای از روش‌های بهینه‌سازی که در توابع هدف، فرض فعالیت، محدودیت منابع و موارد دیگر با یکدیگر تفاوت دارند؛ وجود دارد. تمرکز اصلی روی به حداقل رساندن طول عمر پروژه هست که منجر به توسعه روش‌های مختلف اکتشافی دقیق و ابتکاری برای برنامه‌ریزی پروژه‌هایی با محدودیت‌های منابع تجدید پذیر و ناپذیر است که در آن مسئله MRCPSP، به وضوح بیان‌شده است. این نوع مسئله با هدف به حداقل رساندن مدت زمان کل یا طول مدت یک پروژه با در نظر گرفتن روابط اولویت بین فعالیت‌ها و دسترسی به منابع قابل تجدید محدود، شناخته شده است که از جنس مسائل NP-hard است (کوئلیو و وانهوک،۲۰۱۱).

همچنین در سال‌های اخیر، مشکلات برنامه‌ریزی حمل و نقل با در نظر گرفتن مسائل مربوط به محیط زیست و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل سبز، با هدف به حداقل رساندن میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در حمل‌ونقل بین‌المللی توجه محققان را به خود جلب کرده‌است (گو، ۲۰۱۶).

در نظر گرفتن برخی از اهداف به‌صورت هم‌زمان می‌تواند نتیجه مطلوب‌تری را برای تصمیم‌گیرنده به همراه داشته باشد. عمل تقسیم یک فعالیت خاص به بخش‌ها و سپس تخصیص منابع به این بخش‌ها یک مفهوم رایج در مدیریت پروژه است. به این ترتیب گاهی اوقات منابعی آزاد می‌شوند که می‌توانند به فعالیت‌های دیگر اختصاص یابند و گاهی هم قسمتی از فعالیتی که

[1] Multi-mode Resource-Constrained Project Scheduling Problem (MRCPSP)

آغاز شده به علت کمبود منبع یا کاهش آلایندگی، باید به‌صورت مقطعی پایان یابد و ادامه آن در زمان دیگری بعد از تأمین منابع مورد نیاز یا مساعد شدن شرایط از نظر آلودگی، انجام شود.

مرادی و همکاران (۲۰۱۹)، در مدل برنامه‌ریزی ریاضی پیشنهادی، ریسک پروژه را هنگامی ارزیابی می‌کنند که پیمانکاران فرعی با اشتراک منابع محدود خود با یکدیگر، همکاری می‌کنند. سپس، برخی از روش‌های تئوری بازی برای تخصیص عادلانه ارزش فعلی خالص، حاصل از همکاری، استفاده می‌شود و درنهایت جنبه‌های پایداری (اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی) در ارزیابی ریسک برای هر ائتلاف احتمالی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این مقاله مدلی تهیه می‌شود که هم هزینه‌ها و هم خطرات پروژه را کاهش می‌دهد. سپس مفهوم پایداری و هم افزایی پیمانکاران فرعی در یک مطالعه موردی در شهرداری تهران اندازه‌گیری می‌شود.

مقصودلو و همکاران (۲۰۲۰)، مقاله‌ای را با در نظر گرفتن قابلیت شکستن فعالیت‌ها و همچنین در نظر گرفتن هزینه برای ادامه فعالیت‌های شکسته شده تدوین کردند. انگیزه اصلی این مقاله گسترش مسئله برنامه‌ریزی پروژه‌های چند مهارته با در نظر گرفتن هزینه برای ادامه فعالیت‌های تجزیه‌پذیر و تعرفه برای زمان مصرف انرژی است. یک مدل ریاضی عدد صحیح برای این مسئله تدوین شده‌است تا هزینه کل مصرف انرژی لازم را به حداقل برساند و همچنین اختصاص بهینه نیروی کار به فعالیت‌ها با توجه به مهارت‌های لازم برای انجام آن فعالیت تا بهترین برنامه‌ریزی برای فعالیت‌ها نیز انجام شود. یک الگوریتم جستجوی محلی جدید در این مقاله برای از بین بردن شکستن‌های غیر مفید استفاده شده است. این امر می‌تواند مقایسه‌ای بین انجام فعالیت‌ها در دوره‌های پرانرژی و هزینه مجدد استارت فعالیت‌های ریز شده باشد.

در تحقیق المتروشی و همکاران (۲۰۲۰)، یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط ابداع شده است که از تقسیم فعالیت‌های غیربحرانی به عنوان وسیله‌ای برای تسطیح منابع تجدیدپذیر استفاده می‌کند. مدل توسعه یافته هزینه‌های تسطیح منابع تجدیدپذیر را به همراه هزینه‌های مربوط به منابع مصرفی به حداقل می‌رساند و با استفاده از بسته بهینه‌سازی IBM ILOG CPLEX حل می‌شود. یک روش فرا ابتکاری ترکیبی نیز برای حل کارآمد مدل برای پروژه‌های بزرگ‌تر با ساختار شبکه‌های پیچیده ارائه‌شده است. یافته‌ها، نتایج اهمیت رویکرد یکپارچه را به عنوان هر دو مورد تأیید کردند.

در مطالعه ونگ و همکاران (۲۰۱۹)، مسئله بهینه‌سازی یک بندر از نظر تولید آلودگی و مصرف انرژی به عنوان یک برنامه عدد صحیح غیرخطی چند هدفه فرموله شده است. این مقاله به یک مسئله برنامه‌ریزی برای ذخیره انرژی و کاهش انتشار گاز در بنادر می‌پردازد. دستگاه‌های نصب شده در پروژه‌های مختلف صرفه‌جویی در مصرف انرژی و کاهش انتشار، مستقل هستند؛ یعنی دستگاه پس از نصب شروع به‌کار می‌کند. پروژه‌ها به پروژه‌های جداگانه و پروژه‌های جدا نشدنی طبقه‌بندی می‌شوند.

در مطالعه دو و همکاران (۲۰۲۱)، نوع جدیدی از مسئله برنامه‌ریزی پروژه محدود به منابع (RCPSP) ارائه شده است. این پژوهش به عنوان مسئله برنامه‌ریزی پروژه با محدودیت منابع و انرژی به همراه تقسیم فعالیت و ترکیب مجدد آن‌ها (eRCPSP-AS & R) برای سیستم‌های تولیدی پیچیده، نامگذاری شده است. در مدل پیشنهادی، با در نظر گرفتن مصرف انرژی، از یک استراتژی تقسیم فعالیت و ترکیب مجدد فعالیت پویا استفاده می‌شود. همچنین یک مدل ریاضی دو هدفه جهت کمینه کردن تأخیر پروژه و هزینه مصرف انرژی ایجاد شده است.

۲- بیان مسئله و مدلسازی

در این بخش ابتدا به بیان مسئله مورد مطالعه پرداخته می‌شود؛ سپس با تعریف مولفه‌های مدلسازی، مدل ریاضی در حالت قطعی دو هدفه ارائه می‌شود. پس از آن مدل با استفاده از روش برنامه‌ریزی آرمانی حل شده و در نهایت نتایج حاصل از پیاده‌سازی مدل بر یک مثال عددی ارائه می‌شود.

۲-۱- بیان مسئله

در این بخش یک مثال عددی برگرفته از ادبیات موضوع (کوئلیو و وانهوک، ۲۰۱۱) در ابعاد کوچک مورد بررسی قرار گرفته است. لازم به ذکر است که در مدل پیشنهادی، پارامترهایی وجود دارند که در این مثال عددی درنظر گرفته نشده‌اند. لذا بایستی

این مجموعه داده به این مثال اضافه و پارامترهای موردنظر تطبیق داده شود. این مثال عددی از ۷ فعالیت تشکیل شده است که فعالیت آغازین و پایانی (فعالیت ۱ و ۷) از نوع موهومی بوده و در نتیجه مدت زمان و منبع مصرفی برای آن‌ها لحاظ نمی‌شود. از طرفی تنوع در حالت‌های اجرایی فعالیت‌ها دیده شده و برخی صرفا در یک حالت و برخی دیگر در ۲ حالت قابلیت اجرا دارند. بر طبق قاعده، در حالت اجرایی که منبع کمتری مصرف می‌شود، مدت زمان بیشتری درنظر گرفته شده است.

۲-۲- مدلسازی ریاضی

نمادهای استفاده شده

$i = 1,2,\ldots I$	فعالیت‌های پروژه
$m = 1,2,\ldots,M$	حالت‌های مختلف اجرایی برای فعالیت‌ها
$t = 1,2,\ldots,T$	بازه‌های زمانی روزانه
$n = 1,2,\ldots, N$	منابع تجدید ناپذیر
$k = 1,2,\ldots,K$	منابع تجدید پذیر

پارامترهای مدل پیشنهادی

ak_k	میزان منابع تجدید پذیر موجود
an_n	میزان منابع تجدید ناپذیر موجود
ck_k	هزینه هر منبع تجدید پذیر
cn_n	هزینه هر منبع تجدید ناپذیر
U_k	مصرف سوخت هر منبع تجدید پذیر
DD	مدت زمان مقرر برای پایان پروژه
BM	عدد بزرگ
W	میزان آلودگی مجاز در هر روز
B	میزان جریمه تأخیر به ازای هر روز
$d_{i,m}$	مدت زمان هر فعالیت در هر حالت
$rk_{i,m,k}$	میزان منبع تجدید پذیر مورد نیاز هر فعالیت در هر حالت
$rn_{i,m,n}$	میزان منبع تجدید ناپذیر مورد نیاز هر فعالیت در هر حالت

متغیرهای تصمیم مسئله

متغیرهای پیوسته مثبت

S_i	زمان شروع فعالیت i-ام
F_i	زمان پایان فعالیت i ام
TC	مجموع هزینه حاصل از تأخیر

متغیرهای باینری

$x_{i,m,t}$	اگر فعالیت i در حالت m در زمان t اجرا شود ۱، در غیر این صورت صفر خواهد بود.
$y_{i,m}$	اگر فعالیت i در حالت m اجرا شود، ۱ و در غیر این صورت صفر خواهد بود.

مدل ریاضی

$$\min Z_1 = T_{cost} + \sum_{i=1}^{I}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} x_{imt}\left(\sum_{n} cn_n rn_{imn} + \sum_{k} ck_k rk_{imk}\right) \quad (1)$$

$$\min Z_2 = \sum_{i=1}^{I}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} x_{imt}\sum_{k} rk_{imk}U_k \quad (2)$$

Subject to

$$\sum_{M=1}^{M} y_{im} = 1 \qquad ;\forall i \quad (3)$$

$$x_{imt}t + BM(1 - x_{imt}) \geq S_i \qquad ;\forall i,m,t \quad (4)$$

$$F_i \leq S_j - 1 \qquad ;\forall (i,j \in P) \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{m=1}^{M}\left(rk_{imk}\sum_{t=1}^{T} x_{imt}\right) \leq ak_k \qquad ;\forall k \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{m=1}^{M}\left(rn_{imn}\sum_{t=1}^{T} x_{imt}\right) \leq an_n \qquad ;\forall n \quad (7)$$

$$\sum_{t=1}^{T} x_{imt} = d_{im}y_{im} \qquad ;\forall i,m \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{m=1}^{M}\sum_{k}^{K} rk_{imk}x_{imt}U_k \leq W \qquad ;\forall t \quad (9)$$

$$B(F_{n+1} - DD) \leq T_{cost} \quad (10)$$

$$x_{imt}, y_{im} \in \{0,1\}; i = 1,2,...,I; m = 1,2,...,M; t = 1,2,...,T$$
$$T_{cost} \geq 0 \quad (11)$$

توابع هدف مدل ریاضی پیشنهادی در روابط (۱) و (۲) نمایش داده شده است که به ترتیب به دنبال کمینه کردن هزینه‌های ناشی از اجرای پروژه و کاهش مصرف سوخت و میزان آلایندگی تولید شده است. تابع هدف اول از دو قسمت تشکیل شده که در بخش اول میزان جریمه حاصل از تأخیر پروژه را کمینه می‌کند و در بخش دوم کمینه کردن هزینه‌های ناشی از بکارگیری منابع را مدنظر قرار می‌دهد. محدودیت (۳) تنها انتخاب یک حالت اجرا برای هر فعالیت را مجاز می‌کند. در محدودیت (۴) زمان شروع هر فعالیت مشخص شده است. محدودیت (۵) به رعایت روابط پیش‌نیازی در فعالیت‌ها اشاره دارد. محدودیت‌های (۶) و (۷) تضمین می‌کند که میزان منابع تجدید پذیر و تجدید ناپذیر مورد استفاده برای اجرای فعالیت‌های پروژه از میزان در دسترس تخطی ننماید. محدودیت (۸) تضمین می‌نماید مجموع زمان‌های زیرفعالیت‌های یک فعالیت که تقسیم شده، با کل زمان آن فعالیت برابر باشد. محدودیت (۹) تضمین می‌کند میزان آلودگی تولید شده توسط منابع تجدید پذیر در هر روز، از حد مجاز

آلودگی بیشتر نشود. در محدودیت (۱۰)، جریمه حاصل از تأخیر در اتمام پروژه محاسبه می‌شود. در آخر متغیرهای باینری و پیوسته مدل ریاضی پیشنهادی در رابطه (۱۱) نمایش داده شده است.

۲-۳- روش حل مدل خطی قطعی چندهدفه

در فرمول‌بندی و حل مسائل برنامه‌ریزی خطی، فرآیند مدلسازی بر اهداف همچون بیشینه‌سازی سود یا کمینه‌سازی هزینه متمرکز می‌شود، اما بسیاری از موقعیت‌های تصمیم‌گیری درجهان واقعی، محدود کردن اهداف سازمان به یک هدف، کارعملی و مطلوبی به شمار نمی‌رود. باید توجه داشت که اکثر در اکثر پروژه‌ها علاوه بر بیشینه‌سازی سود یا کمینه‌سازی هزینه، اهداف متعدد دیگری همچون کاهش آلایندگی و ... مدنظر است.

از آنجا که مدل ریاضی ارائه شده در این پژوهش دارای دو هدف می‌باشد، از رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی وزنی[2] که در ادبیات موضوع (ایگنیزیو، ۱۹۷۶) برای این دسته از مدل‌ها ارائه شده؛ استفاده می‌شود.

$$\begin{aligned} &\min \sum_{i=1}^{m} (\alpha_i d_i^{+} + \beta_i d_i^{-}) \\ &S.t. \quad f_i(x) - d_i^{+} + d_i^{-} = g_i, \quad i = 1,2,...,m \\ &d_i^{+}, d_i^{-} \geq 0, \quad i = 1,2,...,m \\ &x \in F \end{aligned} \qquad (1)$$

در رابطه ۱۲، α_i و β_i بیانگر وزن جریمه برای انحرافات مثبت و منفی d_i از هدف ایده‌آل g_i می‌باشد.

۲-۴- نتایج حل مثال عددی

در جدول ۱، برخی از پارامترهای مسئله نمایش داده شده است.

جدول ۱- برخی پارامترهای مثال عددی

فعالیت‌ها i	پیش‌نیاز	حالت ۱ x_{i1t}			حالت ۲ x_{i2t}		
		d_i	rk_i	rn_i	d_i	rk_i	rn_i
۱	–	-	-	-	-	-	-
۲	۱	٤	۲	۳	٦	۱	۱
۳	۱	۲	۱	0	-	-	-
٤	۱	۳	۳	٤	٥	۱	۲

[2] Weighted Goal Programing

۵	2	۲	1	0	-	-	-
٦	3,4	۲	۲	۳	٤	۱	۲
۷	6,5	-	-	-	-	-	-

در ادامه مقادیر دیگری که در مدل پیشنهادی مدنظر است اما در مثال عددی ادبیات موضوع دیده نشده؛ بیان شده است.

- U(k): میزان آلایندگی حاصل از مصرف سوخت برای هر منبع تجدیدپذیر (ماشین‌آلات)؛ در این مثال فرض می‌شود تنها یک نوع منبع تجدیدپذیر به تعداد مورد نیاز هر فعالیت استفاده می‌شود و در هر روز، هر کدام از ماشین‌ها ۵ واحد آلودگی تولید می‌کنند.
- W: حد مجاز آلایندگی در هر روز؛ در حل اولیه این مثال تنها ۵۰ واحد آلایندگی در روز مجاز است.
- DD: مدت زمان مجاز برای اتمام پروژه؛ فرض می‌شود در ۵ روز باید پروژه به پایان برسد. در صورت عدم رعایت این مدت زمان، هزینه جریمه تأخیر به پروژه اضافه خواهد شد.
- B: هزینه هر روز تأخیر در اتمام پروژه؛ به ازای هر روز تأخیر، ۱۰ واحد پولی جریمه لحاظ خواهد شد.

در ادامه خروجی‌های حاصل از حل مدل ریاضی با میزان منابع در دسترس در حالت‌های مختلف نمایش داده‌شده است.

- حالت یک: میزان منبع تجدیدپذیر در دسترس: ۳ عدد
  میزان مصرف سوخت هر منبع تجدیدپذیر: ۵ واحد
  میزان منبع تجدید ناپذیر در دسترس: ۲ واحد

- حالت دو: میزان منبع تجدیدپذیر در دسترس: ۵ عدد
  میزان مصرف سوخت هر منبع تجدیدپذیر: ۱۰ واحد
  میزان منبع تجدید ناپذیر در دسترس: ۵ واحد

- حالت سه: میزان منبع تجدیدپذیر در دسترس: ۱۰ عدد
  میزان مصرف سوخت هر منبع تجدیدپذیر: ۱۵ واحد
  میزان منبع تجدید ناپذیر در دسترس: ۱۰ واحد

جدول ۲- نتایج حل مدل ریاضی در حالت یک

نتایج حل با در نظر گرفتن قابلیت تقسیم‌پذیری فعالیت				نتایج حل با در نظر گرفتن عدم قابلیت تقسیم‌پذیری فعالیت			
تابع هدف Z_1	تابع هدف Z_2	فعالیت تقسیم‌شده	زمان پروژه	تابع هدف Z_1	تابع هدف Z_2	فعالیت تقسیم شده	زمان پروژه
۱۰۰۰ واحد پولی	۷۵ واحد آلایندگی	شماره ۳	۸ روز	-	-	-	-

جدول ۳- نتایج حل مدل ریاضی در حالت دو

نتایج حل با در نظر گرفتن قابلیت تقسیم‌پذیری فعالیت				نتایج حل با در نظر گرفتن عدم قابلیت تقسیم‌پذیری فعالیت			
تابع هدف Z_1	تابع هدف Z_2	فعالیت تقسیم شده	زمان پروژه	تابع هدف Z_1	تابع هدف Z_2	فعالیت تقسیم شده	زمان پروژه
۱۰۰۰ واحد پولی	۱۵۰ واحد آلایندگی	شماره ۶	۸ روز	۱۰۶۰ واحد پولی	۲۳۰ واحد آلایندگی	-	۸ روز

جدول ۴- نتایج حل مدل ریاضی در حالت سه

نتایج حل با در نظر گرفتن قابلیت تقسیم‌پذیری فعالیت				نتایج حل با در نظر گرفتن عدم قابلیت تقسیم‌پذیری فعالیت			
تابع هدف Z_1	تابع هدف Z_2	فعالیت تقسیم شده	زمان پروژه	تابع هدف Z_1	تابع هدف Z_2	فعالیت تقسیم شده	زمان پروژه
۱۰۰۰ واحد پولی	۲۲۵ واحد آلایندگی	شماره ۶	۸ روز	۱۰۶۰ واحد پولی	۳۱۰ واحد آلایندگی	-	۸ روز

3- نتیجه و جمع‌بندی

در این پژوهش یک مدل ریا ضی خطی برای م سئله زمانبندی پروژه با محدودیت منابع چندحالته تو سعه داده شد. در این تحقیق، مفروضـــاتی نظیر وقفه زمانی میان برخی از فعالیت‌ها و انجام مجدد کار برای بهبود در کیفیت پروژه از نظر میزان آلایندگی و محدودیت منابع در د سترس در نظر گرفته شد. اهداف مدل ریا ضی پی شنهادی شامل کمینه نمودن هزینه اجرای پروژه و همچنین کمینه کردن میزان آلایندگی حا صل از پروژه ا ست. سپس با ا ستفاده از یکی از روش‌های م شهور و پایه‌ای برای بهینه‌سازی چندهدفه، حل این مدل قطعی صورت گرفته است.

با توجه به اهمیت مسئله زمانبندی پروژه‌های سبز، در این پژوهش به این مسئله با برخی ملاحظات جدید که در ادبیات مو ضوع مورد توجه نبوده ا ست؛ پرداخته شد. در این مطالعه تأثیر تق سیم فعالیت‌ها بر میزان آلایندگی و هزینه پروژه برر سی شد. در خ صوص کنترل آلایندگی در مدل ارائه شده، به کمینه کردن آن با دو رویکرد ا شاره شده ا ست. در تابع هدف میزان آلایندگی پروژه در تمام مدت زمان اجرا کمینه می شود و در محدودیت‌ها نیز به کنترل آلایندگی در هر روز توجه شده ا ست. در ادامه با اجرای این مدل بر روی مثال عددی از ادبیات مو ضوع نتایج به د ست آمده تحلیل شد. بر این ا ساس در مواقع پیک آلودگی و یا کمبود میزان منابع در دســـترس، فعالیت‌ها با تقســـیم شـــدن می‌توانند به بهبود هزینه و زمان پروژه کمک کنند. به‌منظور پیشنهادی برای مطالعات آتی، می‌توان محورهای زیر موردتوجه است:

- در نظر گرفتن عدم قطعیت در برخی پارامترهای مورد نیاز؛ در اجرا همواره عدم قطعیت در ارتباط با برخی موارد مانند میزان منابع مورد نیاز یا مدت زمان اجرای فعالیت وجود دارد.
- در نظر گرفتن برخی فعالیت‌های مشخص برای تقسیم شدن؛ در اجرای فعالیت‌های پروژه، معمولاً تمام فعالیت‌ها نمی‌توانند در چند بازه زمانی انجام شوند و به پیوستگی و یکپارچگی برای حصول نتیجه مناسب نیاز دارند.

- افزایش انواع منابع تجدید پذیر با ویژگی‌های منحصر به فرد؛ در خصوص میزان مصرف سوخت برای هر منبع، هزینه به‌کارگیری و میزان آلایندگی تولید شده در شرایط کار عادی و تحت فشار می‌توان پژوهش‌های دقیقی انجام داد.

مراجع

[1] Almatroushi, H., Hariga, M., As' ad, R., & Al-Bar, A. (2020). The multi resource leveling and materials procurement problem: an integrated approach. Engineering, Construction and Architectural Management.

[2] Balouka, N., & Cohen, I. (2019). A robust optimization approach for the multi-mode resource-constrained project scheduling problem. European Journal of Operational Research.

[3] Buddhakulsomsiri, S. K. (2005). Properties of multi-mode resource-constrained project scheduling problems with resource vacations and activity splitting. European Journal of Operational Research, 175, 279–295.

[4] Coelho, J. M. V. (2011). Multi-mode resource-constrained project scheduling using RCPSP and SAT solvers. European Journal of Operational Research, 213, 73-82.

[5] Du, B., Tan, T., Guo, J., Li, Y., & Guo, S. (2021). Energy-cost-aware resource-constrained project scheduling for complex product system with activity splitting and recombining. Expert Systems with Applications, 173, 114754.

[6] Ignizio, J. P. (1976). Goal programming and extensions. Lexington Books.

[7] Ghasemi, M., Mousavi, S. M., & Aramesh, S. (2020). A new combination of multi-mode resource-constrained project scheduling and group decision-making process with interval-fuzzy information. Journal of Industrial and Systems Engineering, 13(1), 216-239.

[8] Guo, Z. D. Z. (2016). Green transportation scheduling with pickup time and transport mode selections using a novel multi-objective memetic optimization approach. Transportation Research Part D, 60, 137-152.

[9] Maghsoudlou, H. B. A.-N. (2020). A framework for preemptive multi-skilled project scheduling problem with time-of-use energy tariffs. Energy Systems, 11, 1868-3975

[10] Moradi, M. A. H. (2018). Sustainability in fuzzy resource constraint project scheduling in a cooperative environment under uncertainty: Iran’s Chitgar lake case study. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 35(6), 6255-6267.

[11] Wang, W. L. H. (2019). Green port project scheduling with comprehensive efficiency consideration. Maritime Policy & Management, 46, 1-15.