Integration of uncertainty (risk) in overhaul project planning

Massoud Rumani[1] *
Master's student of industrial engineering at Malik Ashtar University of Technology
Saeed Ramezani[2]
PhD in Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology

Abstract
One of the main issues of overhaul project managers is to achieve a suitable planning baseline that meets all the constraints of the overhaul project. The literature on this topic mainly focuses on methods to obtain schedules that satisfy resource constraints as well as financial constraints. These methods provide different timelines for an overhaul project, and the solutions with the shortest duration are considered the best-known timelines for that overhaul project. However, currently no tool selects which program performs best in terms of overall project risk. To fill this gap, this paper aims to present a method to select the schedule of the overhaul project with the highest probability of meeting the schedule of several alternative programs with the same duration. To do this, we propose the integration of probabilistic uncertainty in overhaul project scheduling by quantifying the risk of several execution options for an overhaul project. The proposed method, which is a bank/repository known for benchmarking the tested schedule, can be applied to any type of project to help managers choose overall project schedules from several options with similar duration, but lowest risk.
Keywords: total project risk, possible uncertainty, schedule risk value (SRV), schedule risk baseline (SRB), project risk management

[1] Rom_mass@yahoo.com – 09126753216, ORCID Code: 0009-0006-2170-5888
[2] Ramezani.sr@gmail.com

ادغام عدم قطعیت (ریسک) در برنامه ریزی پروژه های اورهال

مسعود رومانی[*1]
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی مالک اشتر
سعید رمضانی[2]
دکترای مهندسی صنایع دانشگاه علم و صنعت ایران

چکیده
یکی از مسائل اصلی مدیران پروژه اورهال، دستیابی به یک خط مبنا برنامه‌ریزی مناسب، که تمام محدودیت‌های پروژه اورهال را برآورده کند، می‌باشد. ادبیات مربوط به این موضوع عمدتاً بر روش‌هایی برای به دست آوردن برنامه‌ریزی‌هایی متمرکز است که محدودیت‌های منابع و همچنین محدودیت‌های مالی را برآورده می‌کنند. این روش‌ها، زمان‌بندی‌های متفاوتی را برای یک پروژه اورهال ارائه می‌کنند و راه‌حل‌هایی با کوتاه‌ترین مدت زمان، شناخته‌شده‌ترین زمان‌بندی برای آن پروژه اورهال در نظر گرفته می‌شوند. با این حال، در حال حاضر هیچ ابزاری انتخاب نمی کند که کدام برنامه از نظر ریسک پروژه اورهال بهترین عملکرد را دارد. برای پر کردن این شکاف، این مقاله با هدف ارائه روشی برای انتخاب زمانبندی پروژه اورهال با بیشترین احتمال برآورده شدن زمانبندی چندین برنامه جایگزین با مدت زمان یکسان است. برای انجام این کار، ما ادغام عدم قطعیت احتمالی را در زمانبندی پروژه اورهال با کمی کردن خطر چندین گزینه اجرایی برای یک پروژه اورهال پیشنهاد می‌کنیم. روش پیشنهادی، که با یک بانک / مخزن؛ شناخته شده برای محک زدن برنامه آزمایش شده است، می تواند برای هر نوع پروژه ای اعمال شود تا به مدیران کمک کند تا برنامه های پروژه اورهال را از چندین گزینه با مدت زمان مشابه، اما کمترین ریسک انتخاب کنند.

کلید واژه ها: ریسک کل پروژه[3]، عدم قطعیت احتمالی[4]، ارزش ریسک برنامه زمانبندی [5](SRV)، خط مبنا ریسک برنامه زمانبندی (SRB)[6] ، مدیریت ریسک پروژه[7]

۱-مقدمه
به دست آوردن برنامه زمانبندی پروژه اورهال فرآیند پیچیده ای است که خروجی آن مشروط به تصمیمات بسیاری است که توسط مدیران پروژه گرفته می شود. برنامه ریزی پروژه اورهال آخرین مرحله از چرخه برنامه ریزی اولیه پروژه اورهال در نظر گرفته می شود (پرلین و پریر[8]، ۲۰۱۹). با پیروی از راهنمای (PMBOK مؤسسه مدیریت پروژه، ۲۰۱۷)، مبنای به دست آوردن یک برنامه زمان بندی پروژه اورهال، لیست فعالیت های پروژه است که از بسته های کاری شرح داده شده در ساختار شکست کار (WBS) مشتق شده است که شامل تمام کارهای تعریف شده برای تکمیل پروژه اورهال است. بر اساس این فهرست فعالیت، و به دنبال یک سری محدودیت‌ها (مدت زمان و روابط تقدم)، مدیران پروژه ممکن است با پیروی از تکنیک‌های زمان‌بندی کلاسیک مانند روش مسیر بحرانی (CPM) یک برنامه زمان‌بندی پروژه به دست آورند، یا تکنیک ارزیابی و بازبینی برنامه (PERT) که برنامه ای را ارائه می دهد که در آن هر فعالیت پروژه قرار است در اولین زمان شروع خود شروع شود (یعنی فعالیت ها برنامه ریزی شده است که به زودی شروع شوند. تا حد امکان بر اساس روابط تقدم). این برنامه اغلب به عنوان "مسیر بحرانی" نامیده می شود و زمان بندی کوتاه ترین مدت ممکن پروژه

1. Rom_mass@yahoo.com – 09126753216- ORCID Code: 0009-0006-2170-5888
2. Ramezani.sr@gmail.com
3. Total project risk
4. Aleatory uncertainty
5. Schedule risk value
6. Schedule risk baseline
7. Project risk management
8 Pellerin & Perrier

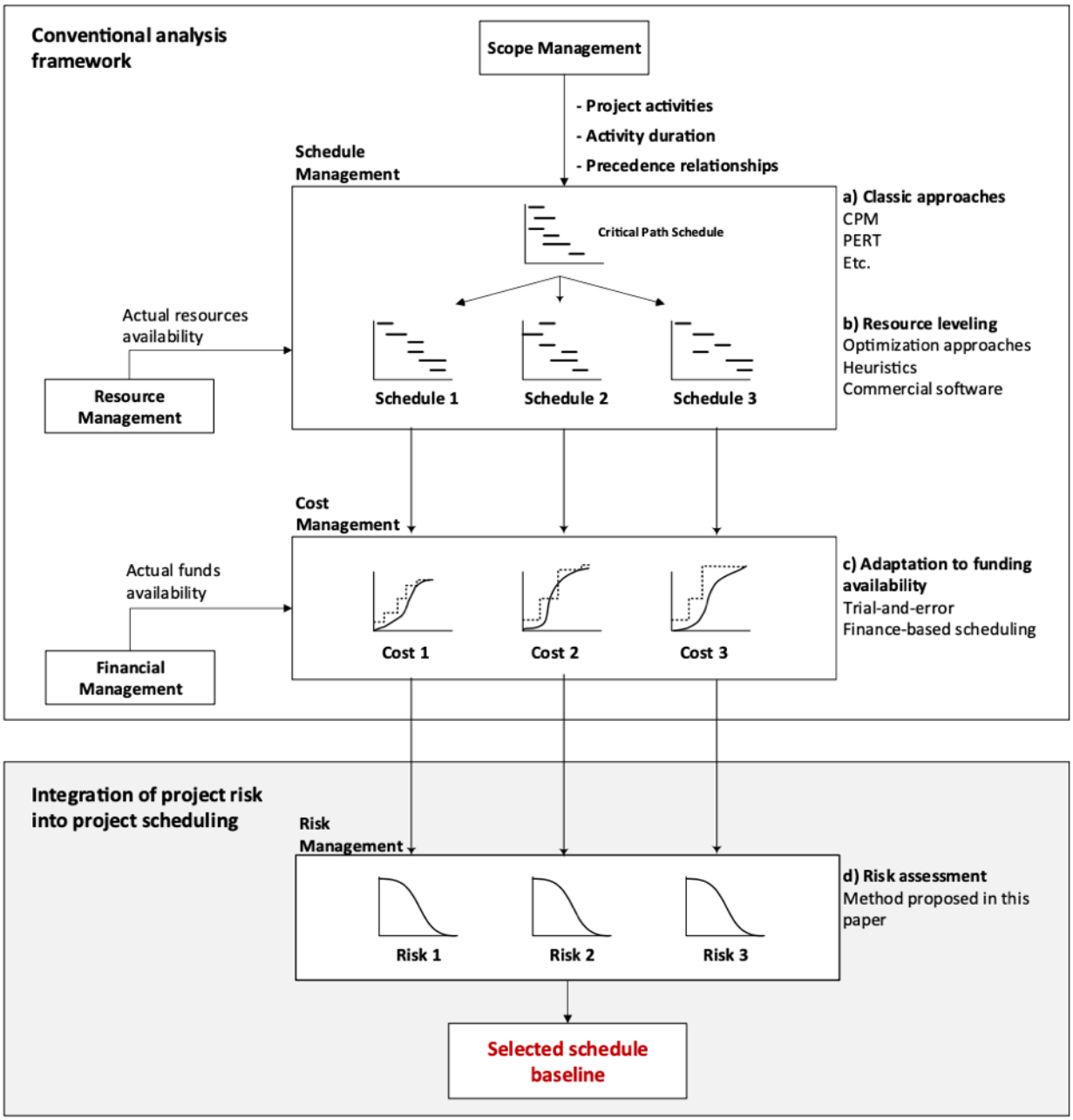
اورهال را ارائه می دهد (شکل a۱). برای اینکه این زمانبندی مقدماتی؛ به خط پایه زمانبندی تبدیل شود (یعنی مرجع اجرای پروژه)، مدیران پروژه باید اطمینان حاصل کنند که سایر محدودیت‌های ناشی از برنامه‌ریزی پروژه اورهال (یعنی نه تنها محدودیت‌های مهلت، بلکه اهداف قراردادی هزینه‌ها، کیفیت، و رضایت ذینفعان) نیز مرتفع خواهد شد. اگرچه PMBOK سناریویی از فرآیندها را در هر حوزه دانش پیشنهاد می کند، با توجه به وابستگی متقابل و پیچیده بین فرآیندها (لطفاً به رویز-مارتین و پوزا (۲۰۱۵) مراجعه کنید تا یک رویه دقیق که انسجام بین حوزه های دانش را تضمین می کند؛ به دست آوردن خط مبنا برنامه یک هدف پیچیده است (در راهنمای مدیریت پروژه) تا آنجا که به زمانبندی پروژه اورهال مربوط می‌شود، دستیابی به یک برنامه زمانبندی عملی مستلزم در نظر گرفتن عمدتاً در دسترس بودن منابع و بودجه است. وقتی صحبت از محدودیت های منابع می شود، ادبیات به طور سنتی بر سطح بندی منابع (یعنی به دست آوردن برنامه ای که از تعداد منابع موجود در واحد زمانی تجاوز نمی کند) متمرکز شده است.

تسطیح منابع مستلزم تاخیر در انجام وظایف تا زمانی است که منابع در دسترس قرار گیرند. این مسئله به طور گسترده در زمینه تحقیقات عملیاتی مورد مطالعه قرار گرفته است و به نام مسئله زمانبندی پروژه با محدودیت منابع (RCPSP) نامگذاری شده است. با این حال، به دست آوردن چنین برنامه زمانی مستلزم یک مسئله ترکیبی پیچیده است که هیچ راه حل بهینه ای برای آن وجود ندارد. به همین دلیل، پیشنهاداتی برای حل RCPSP در ادبیات فراوان است که ممکن است بر اساس روش های بهینه سازی یا اکتشافی باشد. (برای این منظور، نرم افزارهای مدیریت پروژه، مانند Microsoft Project یاOracle Primavera ، به طور گسترده توسط متخصصان استفاده می شود ,با این حال، از آنجایی که راه حل بهینه ناشناخته است، استفاده از هر یک از این تکنیک ها، زمانبندی های مختلفی را برای یک پروژه فراهم می کند (شکل b۱). این بدان معناست که اگرچه این زمانبندی‌ها با محدودیت‌های منابع مطابقت دارند (یعنی تخصیص بیش از حد منابع وجود ندارد)، هیچ تضمینی وجود ندارد که زمانبندی به‌دست‌آمده با راه‌حل بهینه مطابقت داشته باشد (و تابع معیارهای مدیران پروژه است).

اگرچه زمانبندی‌های به‌دست‌آمده با روش‌های فوق تا آنجایی که در دسترس بودن منابع تضمین شده است امکان‌پذیر است، اما این برنامه‌ها در دسترس بودن بودجه برای اجرای فعالیت‌های پروژه اورهال را تضمین نمی‌کنند. یک برنامه زمانی، همراه با برآورد هزینه فعالیت، به دستیابی به یک خط مبنا هزینه پروژه اورهال(یعنی هزینه تخمینی تجمعی در طول چرخه عمر آن) می انجامد. همانطور که در بالا ذکر شد، ممکن است زمان‌بندی‌های عملی زیادی برای اجرای همان محدوده پروژه اورهال وجود داشته باشد. بنابراین، مدیران پروژه به ابزارهایی نیاز دارند تا برنامه زمانی را انتخاب کنند که به بهترین وجه با نیازهای شرکت مطابقت داشته باشد. به طور سنتی، خط مبنا محدوده، خط مبنا برنامه زمانبندی و خط پایه هزینه بصورت سه گانه برای اتخاذ این تصمیمات در نظر گرفته می شدند (تیلور[1]، ۲۰۰۸).

در این مقاله، خط مبنای ریسک را به عنوان یک ابزار تصمیم گیری اضافی برای مدیران پروژه معرفی می کنیم. روش پیشنهادی در نظر دارد برای کمک به مدیران پروژه در انتخاب بهترین زمانبندی امکان پذیر برای پروژه اورهال با در نظر گرفتن تغییرپذیری (به شکل عدم قطعیت احتمالی) در مدت زمان هر برنامه پیشنهادی که هم با تخصیص منابع و هم با بودجه موجود مطابقت داشته را بصورت بهینه یشنهاد بدهد. در همه این زمانبندی‌ها، ریسک کل کمی‌سازی می‌شود (شکل d۱) به طوری که مدیران پروژه می‌توانند یک خط پایه زمان‌بندی را نه تنها بر اساس مدت زمان در دسترس یا شرایط تامین مالی، بلکه بر اساس کل ریسک مرتبط با هر برنامه زمانی انتخاب کنند.

[1] Taylor



شکل (۱). یک طرح ساده از مراحل به دست آوردن یک برنامه زمانبندی عملی برای یک پروژه اورهال.

۲- بررسی پیشینه

در ابتدا، نویسندگان تنها مفاهیم منفی را به معنای ریسک نسبت دادند تا جایی که یک ریسک همیشه منجر به نتایج نامطلوب برای پروژه می شد. با این حال، مفهوم ریسک تکامل یافت تا جنبه‌های مثبت (یعنی به اصطلاح فرصت‌ها) را نیز شامل شود. این بسط مفهوم ریسک توسط پزشکان و دانشگاهیان (هیلسون، ۲۰۰۲b) و همچنین استانداردهای اصلی مدیریت ریسک (انجمن مدیریت پروژه (۲۰۰۴)، ۲۰۰۴؛ کمیسیون، ۲۰۱۸؛ سازمان استاندارد بین المللی (۲۰۱۸) گنجانده شد. OGC؛۲۰۱۸ ، ۲۰۰۹؛ موسسه مدیریت پروژه، ۲۰۱۷، ۲۰۰۹). هیلسون (۲۰۰۹) ریسک را اینگونه تعریف می کند: «عدم قطعیتی که در صورت وقوع، می تواند یک یا چند هدف را تحت تأثیر قرار دهد». نویسنده معتقد است که عدم قطعیت های زیادی وجود دارد، اما تنها مواردی که می توانند پروژه را تحت تاثیر قرار دهند، ریسک در نظر گرفته شوند. به عبارت دیگر طبق این تعریف، ریسک به عنوان «عدم اطمینانی که اهمیت دارد» درک می شود.

بر اساس این دیدگاه، مفهوم «ریسک» با مفهوم «عدم قطعیت» مرتبط است. مشابه آنچه که در مورد مفهوم "ریسک" مشاهده شد، نویسندگان مختلف نیز از اصطلاح "عدم قطعیت" برای اشاره به مفاهیم مختلف استفاده می کنند (ویراوانا و گارنیوا[1]، ۲۰۱۸). عدم قطعیت را اینگونه تعریف می کنند: «رویداد یا موقعیتی که انتظار نمی رفت اتفاق بیفتد، صرف نظر از این که آیا می شد از قبل آن را در نظر گرفت یا خیر». آلمن و همکاران (۲۰۱۸) آن را به عنوان "حالت یا شرایطی که شامل کمبود اطلاعات است و منجر به دانش یا درک ناکافی یا ناقص می شود" تعریف می کند. در حالی که برخی از نویسندگان اصطلاح عدم قطعیت را به معنای کلی به کار می برند (یعنی اشاره به عدم اطمینان).

با بازگشت به مفهوم ریسک در مدیریت پروژه، بین «ریسک‌های فردی» و «ریسک کلی پروژه» تمایز قائل می‌شوند. ریسک‌های فردی یک یا چند فعالیت را در یک پروژه تحت تأثیر قرار می‌دهند، در حالی که ریسک کلی پروژه به عنوان «اثر عدم قطعیت بر کل پروژه» تعریف می‌شود (هیلسون، b۲۰۱۴، c۲۰۱۴). ریسک کلی پروژه "بیشتر از مجموع ریسک های فردی در یک پروژه است، زیرا تمام منابع عدم قطعیت پروژه را شامل می شود".

بررسی ادبیات نشان می دهد که در مورد مفاهیم ریسک و عدم قطعیت اتفاق نظر وجود ندارد. در این زمینه، ما در اینجا از مفهوم ریسک هیلسون (۲۰۰۹) استفاده می کنیم. علاوه بر این، از چهار نوع عدم قطعیت پیشنهاد شده توسط هیلسون (c۲۰۱۴)، ما بر عدم قطعیت آشکار تمرکز می کنیم. با این حال، ریسک پروژه اورهال را در کل نمی توان تنها به عنوان مجموع ریسک های فردی شناسایی شده درک کرد (از این پس ریسک پروژه اورهال یعنی ریسک کلی پروژه اورهال). تکنیک های کمی، مانند شبیه سازی مونت کارلو، به طور گسترده برای برآورد ریسک پروژه به کار گرفته شده است. شبیه‌سازی مونت کارلو برای این تحلیل کمی کافی است زیرا طیفی از نتایج ممکن و همچنین احتمال دستیابی به این نتایج را ارائه می‌دهد (آسبس و همکاران[2]، ۲۰۱۵).

برخی از آثار با ترکیب عدم قطعیت تصادفی همراه با عدم قطعیت احتمالی، تحلیل‌های کمی ریسک را انجام می‌دهند. به عنوان مثال، لئوپولوس، کریتوپولوس و مالاندراکیس (۲۰۰۶) ریسک پروژه اورهال را با اضافه کردن همه ریسک‌های شناسایی‌شده برای ترسیم یک برنامه زمانبندی کارآمد و تهیه مؤثر بودجه محاسبه می‌کنند. سایر کارهای اخیر نیز به شبیه سازی مونت کارلو برای محاسبه ریسک کل پروژه برای تعیین موارد احتمالی زمان و هزینه متوسل شده اند.

صرف نظر از روش شناسی، این کارها فقط عدم قطعیت در ابتدای پروژه (یعنی قبل از شروع پروژه) را در نظر می گیرند. اما عدم قطعیت پروژه اورهال در حین انجام تغییر می کند. مراحل اول پروژه اورهال حاکی از بالاترین سطح عدم اطمینان است زیرا اکثر فعالیت ها (با عدم قطعیت ذاتی آنها) هنوز انجام نشده اند. با این حال، با پیشرفت اجرای پروژه، سطح عدم قطعیت کاهش می‌یابد (زیرا فعالیت‌ها پس از اتمام، عدم قطعیت خود را از دست می‌دهند). بر این اساس، پاجارس و لوپز-پاردس (۲۰۱۱) مفهوم خط پایه ریسک زمانبندی (SRB) را برای نظارت بر تکامل عدم قطعیت احتمالی پروژه در حالی که بر اساس شبیه‌سازی مونت کارلو در حال انجام است، معرفی کردند. سایر کارهای مربوط به مدیریت ریسک نیز از مفهوم SRB استفاده می کنند. از مفهوم SRB برای تعیین تاریخ شروع بهینه پروژه در صورت عدم قطعیت فصلی استفاده می کنند. اخیراً، Acebes، Pajares، Gonza'lez-Varonaو Lo'pez-Paredes (2020) شاخص هایی را بر اساس SRB برای اولویت بندی فعالیت ها با در نظر گرفتن عدم قطعیت آنها تعریف می کنند.

در این کار، ما رویکردی را پیشنهاد می‌کنیم که به مدیران پروژه اجازه می‌دهد تا برنامه‌ای با کمترین ریسک کلی پروژه اورهال از چندین برنامه با مدت زمان یکسان انتخاب کنند. برای انجام این کار، ریسک کلی پروژه اورهال مرتبط با عدم قطعیت احتمالی فعالیت های آن را محاسبه کردیم. یعنی، ما تجزیه و تحلیل کردیم که چگونه این عدم قطعیت احتمالی (که صرفاً به دلیل ماهیت تصادفی مدت زمان فعالیت است) بر ریسک کل پروژه اورهال تأثیر می گذارد. بر اساس تحقیقات قبلی، ما از مفهوم SRB برای نظارت بر تکامل عدم قطعیت در حالی که پروژه اورهال در حال انجام است استفاده کردیم. همانطور که نشان می‌دهیم، زمان‌بندی‌های مختلف برای یک پروژه یک سطح ریسک پروژه متفاوتی را به دنبال دارد. در رویکرد ما، استفاده از یک شاخص (ارزش ریسک برنامه، SRV) برای اندازه‌گیری ریسک پروژه مربوط به زمان‌بندی‌های مختلف یک پروژه (همه با مدت زمان یکسان) را پیشنهاد می‌کنیم. هدف از مشارکت ما، ارائه ابزاری است که به مدیران پروژه امکان مقایسه ریسک پروژه در زمان‌بندی‌های مختلف (با مدت زمان یکسان) برای یک پروژه را می‌دهد تا مدیران پروژه برنامه‌ای با کمترین ریسک پروژه اورهال(یعنی کمترین SRV) انتخاب کنند.

[1] Wirawan and Garniwa
[2] Acebes

۳-روش شناسی تحقیق

۳-۱-ادغام عدم قطعیت احتمالی در برنامه ریزی پروژه

رویه کلی برای دستیابی به برنامه زمانی که نیازهای برنامه ریزی، منابع، تامین مالی و ریسک را برآورده می کند در نمودار نشان داده شده در شکل ۱ خلاصه شده است.

هنگامی که مدت زمان هر فعالیت تخمین زده شد و روابط تقدم آنها تجزیه و تحلیل شد، معمولاً با استفاده از روش مسیر بحرانی که یک برنامه زمانبندی پروژه را با کوتاه ترین مدت ممکن ارائه می دهد، می توان اولین برنامه زمانبندی پروژه اورهال را به دست آورد.

این برنامه زمانی اولیه تنها زمانی قابل اجرا است که تمام منابع مورد نیاز برای انجام فعالیت ها در تاریخ های برنامه ریزی شده در دسترس باشد. با این حال، منابع معمولاً کمیاب هستند و انجام همه فعالیت ها طبق برنامه اولیه (یعنی برنامه زمانی با کوتاه ترین مدت) ممکن نیست. محدودیت‌های منابع شامل درجه بالایی از پیچیدگی است بهمین منظور زمانبندی بهینه پروژه اورهال ناشناخته است. در نتیجه، روش‌های متفاوتی که برای سطح‌بندی منابع موجود در ادبیات به کار می‌روند، معمولاً زمانبندی‌های مختلفی را برای یک پروژه اورهال ارائه می‌کنند، که در آن راه‌حل‌هایی با کوتاه‌ترین مدت زمان معمولاً شناخته‌شده‌ترین زمانبندی برای یک پروژه اورهال در نظر گرفته می‌شوند. اگرچه روابط تقدم حفظ می شود، هر برنامه جایگزین دارای توزیع متفاوتی از فعالیت ها در طول زمان است.

پس از به دست آوردن چندین برنامه جایگزین که محدودیت منابع را برآورده می کنند، مدیران پروژه باید بررسی کنند که آیا این زمانبندی ها بودجه واقعی برای اجرای پروژه را در دسترس دارند یا خیر (ویلافانز و همکاران[1]، ۲۰۲۰). برای هر زمانبندی، باید بررسی کنیم که آیا بودجه پروژه در هر دوره برای پوشش هزینه های انجام شده در پروژه کافی است یا خیر. فقط برنامه‌هایی که محدودیت بودجه را برآورده می‌کنند، از نظر مالی قابل دوام خواهند بود. برای این منظور، یکی از گزینه ها، جستجوی جایگزین های بودجه جدید است که نیازهای پروژه اورهال را برآورده می کند. گزینه دیگر این است که انجام برخی از فعالیت های پروژه اورهال را تا زمانی که بودجه کافی برای اجرای آنها در دسترس قرار گیرد به تعویق بیندازید که در نتیجه مستلزم تعیین یک برنامه جدید پروژه است.

در این مقاله، ما مراحل اضافی را در فرآیند تصمیم‌گیری پیشنهاد می‌کنیم که مستلزم انتخاب یک خط مبنا برنامه‌ریزی پروژه اورهال است. این مراحل با بلوک "مدیریت ریسک" آغاز می شود (شکل ۱). نقطه شروع ما برنامه های مختلف برای یک پروژه است (با مدت زمان، هزینه و منابع یکسان) که محدودیت های محدوده، منابع و بودجه را برآورده می کند. در این مرحله، هدف ما انتخاب برنامه‌ای با کمترین ریسک کل مرتبط با عدم قطعیت احتمالی در طول مدت فعالیت‌ها است. از میان چهار نوع عدم قطعیت (تکلیفی، تصادفی، معرفتی، هستی‌شناختی، (هیلسون، ۲۰۱۴ الف))، در این مقاله فقط با عدم قطعیت آشکار سروکار داریم، که نوعی عدم قطعیت است که عملاً در هر فعالیت تعبیه شده است (مثلاً محدوده فعالیت‌ها). ما تجزیه و تحلیل می کنیم که چگونه عدم قطعیت در طول مدت فعالیت ها (به دلیل ماهیت تصادفی مدت زمان فعالیت) بر ریسک کل پروژه اورهال تأثیر می گذارد. برای انجام این کار، ابتدا عدم قطعیت احتمالی را به مدت زمان فعالیت های پروژه اورهال اضافه می کنیم. سپس برای انتخاب یک برنامه زمانبندی مناسب‌تر، کل ریسک مرتبط با همه برنامه‌های جایگزین موجود را محاسبه می‌کنیم.

از آنجایی که فعالیت‌ها در هر برنامه زمانبندی شروع و پایان متفاوتی دارند، عدم قطعیت معرفی‌شده توسط هر فعالیت، بسته به تاریخ‌های برنامه‌ریزی شده، تأثیر متفاوتی بر محاسبه ریسک کل پروژه اورهال خواهد داشت. در نتیجه، زمانبندی‌های مختلف منجر به سطح ریسک پروژه متفاوتی می‌شود. برای ارزیابی کل ریسک مرتبط با هر برنامه، خط پایه ریسک برنامه زمانی، SRB، را برای همه برنامه های جایگزین ایجاد کردیم (بخش ۳.۱). هنگامی که ریسک پروژه برای چندین گزینه اجرایی (یعنی مقادیر SRB برای زمان‌بندی‌های مختلف) ارزیابی می‌شود، ما مقدار ریسک زمانبندی، SRV را محاسبه می‌کنیم تا خطر در آن برنامه ها (بخش ۳.۲) با مقدار SRV کمتر یا احتمال انحراف از مدت زمان نهایی خود را مشخص نماییم. در نتیجه، برنامه‌هایی با مقدار SRV پایین‌تر به احتمال زیاد به موعد مقرر می‌رسند.

۳-۲- محاسبه ریسک پروژه مرتبط با برنامه جایگزین

خط مبنا، مجموعه داده ای است که به عنوان مرجعی برای مقایسه های متوالی انجام شده از موقعیت های واقعی و اولیه هر رویداد عمل می کند. خط پایه ریسک بیانگر تکامل ارزش ریسک پروژه در طول چرخه عمر آن است. در این کار، ما از مفهوم خط پایه ریسک جدول

[1] Villaf´an˜ez

زمانی (SRB) که توسط PajaresandLo'pez-Paredes (2011) معرفی شد برای محاسبه ریسک مرتبط با زمانبندی‌های مختلف یک پروژه استفاده می‌کنیم. در روش به دست آوردن SRB فرض بر این است که مدت زمان فعالیت های پروژه اورهال از یک تابع توزیع احتمال پیروی می کند. با شبیه سازی مونت کارلو، واریانس پروژه نه تنها در ابتدا، بلکه در نقاط کنترلی مختلف به همراه برنامه زمانبندی پروژه اورهال محاسبه می شود. همچنین در ریسک کل پروژه اورهال، ریسک فعالیت هایی که در زمان گذشته تکمیل شده اند صفر است.

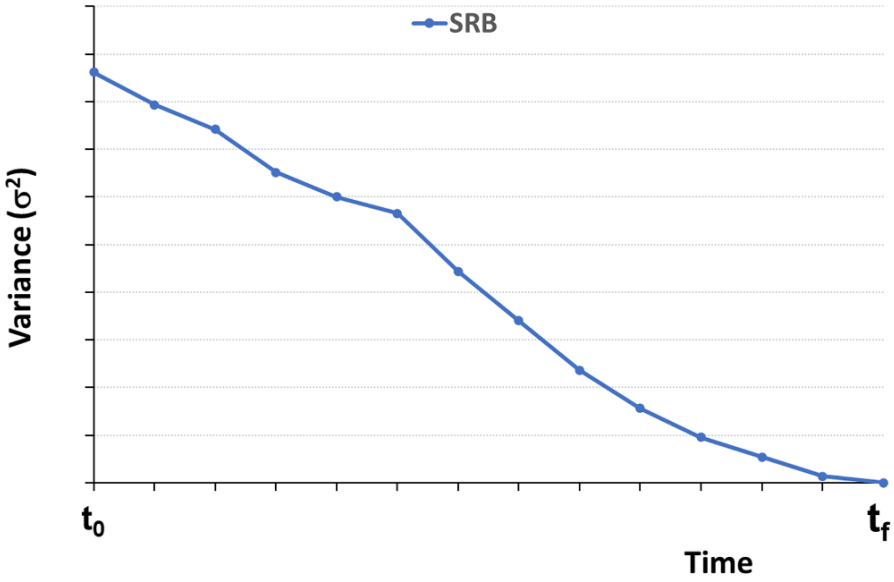
بر اساس مفهوم پایه ریسک، این مقاله در نظر می‌گیرد که فعالیت‌های پروژه اورهال مستلزم برخی عدم قطعیت در مدت زمان آنها می باشد. یعنی عدم قطعیت احتمالی یکی از زمانبندی‌های پروژه اورهال را می‌گیریم و سپس شبیه‌سازی مونت کارلو را برای هر دوره اجرا، از نقطه زمانی اولیه، زمانی که پروژه هنوز شروع نشده است تا نقطه زمانی نهایی، زمانی که تمام فعالیت‌ها انجام شده‌اند، اعمال می‌کنیم. ریسک پروژه اورهال در هر لحظه با توجه به اینکه پروژه طبق برنامه ریزی اولیه اجرا می شود، با واریانس تابع توزیع کل مدت زمان مطابقت دارد. در مقطع زمانی اولیه، پروژه هنوز شروع نشده و مدت زمان و عدم قطعیت تمامی فعالیت ها همچنان باقی است. ریسک پروژه اورهال در این مرحله حداکثر است. در هر زمان کنترل میانی، برخی از فعالیت ها (به طور کامل یا جزئی) به پایان خواهند رسید. این فعالیت‌ها عدم قطعیت مربوطه را از بین می‌برند و با انجام یک شبیه‌سازی مونت کارلو جدید، مقدار جدیدی برای ریسک مربوط به عدم قطعیت فعالیت‌هایی که هنوز در آن زمان کنترل به پایان نرسیده‌اند (یعنی فعالیت‌های در حال انجام و شروع نشده) به دست می‌آوریم. این مقدار به عنوان واریانس تابع توزیع حاصل در این وضعیت جدید محاسبه می شود. اگر این عملیات را در هر نقطه زمانی کنترل تکرار کنیم، از ابتدای پروژه تا پایان آن مقدار ریسک پروژه (واریانس) را در طول هر دوره بدست می آوریم.

با به هم پیوستن نقاط متوالی، خط پایه ریسک برنامه، SRBرا به دست می آوریم (شکل ۲). وقتی پروژه به پایان می رسد، عدم قطعیت از بین می رود زیرا دیگر فعالیتی برای انجام وجود ندارد. در نتیجه، مقدار واریانس در پایان پروژه همیشه صفر خواهد بود (دوره کنترل t = tfدر شکل ۲). ما استفاده از این روش را برای به دست آوردن یک منحنی SRB برای هر برنامه زمان‌بندی امکان‌پذیر (یعنی آن برنامه‌های جایگزین با مدت زمان، هزینه و منابع یکسان) به عنوان اولین گام برای محاسبه ریسک، برنامه‌های زمانی متمایز منجر به منحنی‌های SRB متفاوت می‌شوند. به عنوان مثال، اگر فعالیت هایی که بیشترین عدم قطعیت را ایجاد می کنند در طول دوره های اولیه پروژه برنامه ریزی شوند، عدم قطعیت مرتبط با آنها به زودی حذف می شود، که باعث می شود نمودار SRB به سرعت کاهش یابد. با این حال، اگر این فعالیت‌ها در مرحله بعدی پروژه برنامه‌ریزی شوند، عدم اطمینان ایجاد شده توسط این فعالیت‌ها تا زمانی که پروژه در حال انجام است، باقی می‌ماند تا زمانی که فعالیت در نهایت به پایان برسد و عدم قطعیت مرتبط از بین برود. در نتیجه، منحنی SRB به نمایش مقادیر بالا تا پایان این فعالیت ادامه می‌دهد.

۳-۳-مقایسه ریسک مرتبط با برنامه های جایگزین مختلف

همانطور که در بالا توضیح داده شد، منحنی SRB نشان دهنده ریسک پروژه اورهال برای هر زمان اجرا مربوط به یک برنامه زمانی خاص برای همان پروژه است. ما از این اطلاعات برای محاسبه ریسک پروژه اورهال مرتبط با زمانبندی های مختلف امکان پذیر برای یک پروژه استفاده می کنیم. برای این منظور، مفهوم ارزش ریسک زمانبندی (SRV) معرفی شده توسط Acebes و همکاران را اعمال می کنیم. (۲۰۲۰)، که به عنوان منطقه زیر منحنی خط پایه ریسک برنامه زمانی (SRB) از ابتدای پروژه (t = 0) تا انتهای آن (t = tf) تعریف می شود. این مساحت را می توان با معادله محاسبه کرد. (۱): شکل ۳ نشان دهنده کل ریسک پروژه (منطقه چین دار) قبل از شروع اجرای پروژه است.(t = t0)

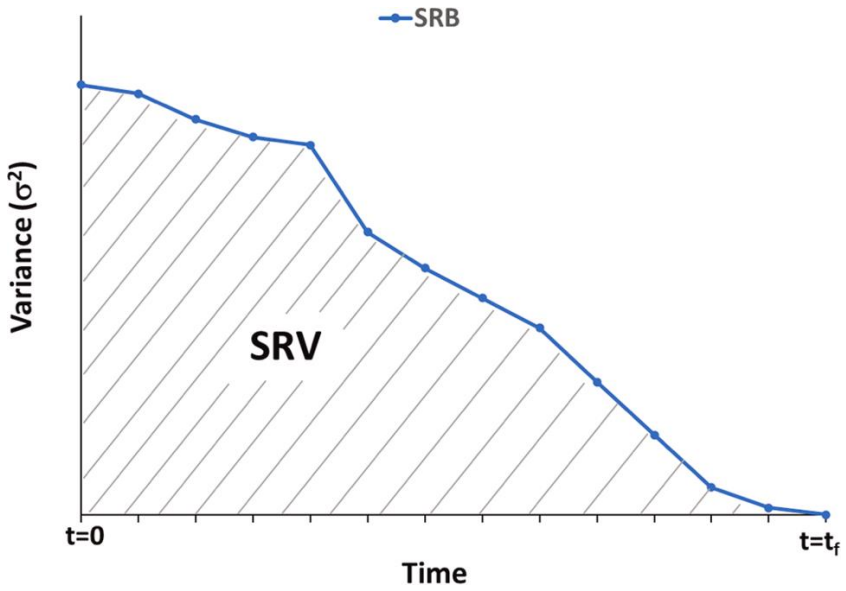
دو زمان‌بندی مختلف برای یک پروژه می‌توانند سطح ریسک یکسانی در ابتدای پروژه داشته باشند (یعنی مقدار اولیه واریانس منحنی SRB: SRB1t=0 = SRB2t=0).با این حال، تکامل ریسک آنها در حالی که پروژه اورهال در حال انجام است می تواند متفاوت باشد. همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است، منحنی های SRB مختلف برای برنامه های پروژه مجزا ایجاد می شود. این واقعیت که مساحت زیر منحنی SRB برای جدول ۱ بزرگتر از مساحت زیر منحنی SRB برای جدول ۲ است به این معنی است که ریسک کل جدول ۲ بیشتر از ریسک جدول ۱ است. زیرا مقدار SRV به واریانس طول مدت فعالیت های پروژه، الف.



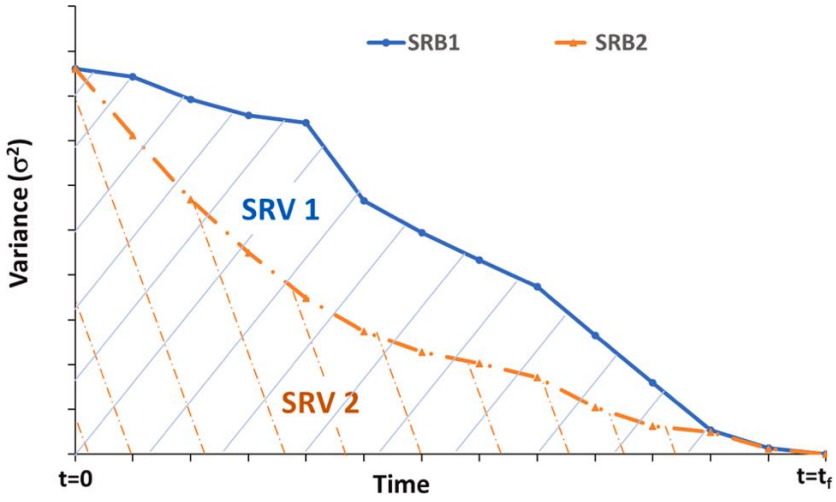
شکل (۲). خط پایه ریسک (SRB) مربوط به یکی از برنامه های پروژه امکان پذیر است.

فرمول

$$SRV = \int_{t=0}^{t=t_f} SRB_t$$



شکل (۳). زمانبندی ارزش ریسک (SRV): ناحیه زیر منحنی SRB



شکل (۴). زمانبندی ارزش ریسک (SRV) برای دو زمانبندی مختلف برای یک پروژه: SRV1 و SRV2.

اکنون همبستگی بین مقدار SRV و امکان اتمام پروژه اورهال در زمان مقرر ظاهر می شود: هر چه مقدار SRV بیشتر باشد، عدم قطعیت در زمانی که پروژه در حال انجام است بیشتر است و بنابراین، شانس کمتری برای برآورده شدن تاریخ پایان پروژه وجود دارد. مقدار SRB برای جدول (۲) (شکل ۴) در طول دوره های اجرای اولیه پروژه به سرعت کاهش می یابد؛ این بدان معناست که فعالیت‌هایی که بیشترین عدم قطعیت را در برنامه زمانبندی پروژه ایجاد می‌کنند، در طول دوره‌های اول پروژه انجام می‌شوند، در حالی که فعالیت‌های برنامه‌ریزی‌شده در دوره‌های دوم پروژه فقط عدم اطمینان نهایی را ایجاد می‌کنند. در نتیجه، احتمال نزدیک شدن مدت زمان واقعی پروژه اورهال به مدت زمان پروژه اورهال برنامه ریزی شده زیاد است.

اما عدم قطعیت برنامه ۱ (شکل ۴) به طور محسوسی کاهش نمی یابد. نمایش SRB نشان می‌دهد که عدم قطعیت ثابت می‌ماند، که به این معنی است که فعالیت‌های برنامه‌ریزی‌شده برای اولین دوره‌های پروژه، عدم قطعیت زیادی به پروژه نمی‌دهند. بنابراین در طول دوره اول پروژه، عدم اطمینان در تاریخ تخمین زده شده زیاد است. این بدان معناست که زمانبندی‌های مختلف (امکان‌پذیر) برای یک پروژه اورهال منجر به منحنی‌های SRB متمایز و بنابراین مقادیر SRV متفاوت می‌شود، و این همان شاخصی است که ما پیشنهاد می‌کنیم از آن برای مقایسه ریسک مرتبط با برنامه‌های مجزا یک پروژه اورهال استفاده کنیم. از آنجایی که نقطه شروع ما زمانبندی‌های مختلف برای یک پروژه اورهال با مدت زمان، هزینه و منابع یکسان است، محاسبه و مقایسه SRV برای همه این زمانبندی‌ها به مدیران پروژه اجازه می‌دهد تا زمانبندی با کمترین ریسک کل را انتخاب کنند. در این بخش توضیح می‌دهیم که چگونه می‌توان رویکرد پیشنهادی را برای انتخاب زمانبندی با کمترین ریسک از بین همه گزینه‌های امکان‌پذیری که مدیران پروژه دارند، اعمال کرد. ابتدا محاسبه SRV را برای گرفتن بهترین تصمیم در مورد ریسک پروژه اورهال اعمال می کنیم. نقطه شروع رویکرد ما مجموعه ای از برنامه های مختلف برای یک پروژه با مدت زمان یکسان است. روش پیشنهادی را برای کتابخانه پروژه MPSPLIb اعمال می کنیم زیرا مجموعه ای از زمان بندی های مختلف را برای یک پروژه ارائه می دهد. این کتابخانه دارای مجموعه ای از مسائل است که با آن می توان نتایج متفاوتی را که با چندین الگوریتم زمان بندی استفاده شده توسط جامعه علمی، شبیه سازی و ارائه کرد (موتر و همکاران[1]، ۲۰۱۵) .کتابخانه MPSPLIb، در واقع، یک بانک داده است که اغلب توسط محققان برای یافتن زمان‌بندی‌های مختلف امکان‌پذیر برای یک پروژه استفاده می‌شود.

MPSPLIb کتابخانه :یک کتابخانه عمومی است که شامل مجموعه ای از ۱۴۰ مسئله چند پروژه ای مصنوعی است. هر مسئله از تعداد پروژه های متفاوتی تشکیل شده است (۲، ۵، ۱۰ یا ۲۰) و همه این پروژه ها می توانند شامل تعداد متفاوتی از فعالیت ها (۳۰، ۹۰ یا ۱۲۰) باشند. هر مساله ترکیبی از چندین پروژه با تعداد فعالیت های مشابه است که در دسترس بودن منابع محدود در هر پروژه مانع از انجام فعالیت ها طبق زمان بندی اولیه می شود. محققان الگوریتم های خود را اعمال می کنند و راه حل های پیشنهادی خود را استخراج

[1] Wauters

می کنند. برای هر مشکل، تمام راه حل های استخراج شده بر اساس چندین شاخص کیفیت برنامه، رتبه بندی می شوند. این رتبه‌بندی به جامعه علمی اجازه می‌دهد تا زمان‌بندی‌های مختلف به‌دست‌آمده توسط چندین الگوریتم برای یک مسئله را مقایسه کند.
ما بر روی مساله شامل دو پروژه تمرکز می کنیم (شکل ۵). پروژه ها در هر مسئله دارای ۳۰ فعالیت با مدت زمان قطعی با محدودیت های منابع مختلف هستند (آنها با نمونه های ۶ = ID تا ۱۰ = ID مطابقت دارند). برای هر مساله انتخاب شده، MPSPLIbراه حل های مختلفی را ارایه می کند، که ما آنها را بر اساس Total Makespan (TMS) مرتب می کنیم و چندین گزینه اجرایی را برای یک مساله با همان TMS مشاهده می کنیم. یعنی برای یک مساله (همان زمان‌بندی اولیه)، زمان‌بندی‌های قابل اجرا متفاوتی را پیدا می‌کنیم که محدودیت‌های منابع را با مدت زمان یکسان (همان TMS برآورده می‌کنند (شکل ۶). همه این زمان‌بندی‌ها محدوده پروژه تعریف‌شده را اجرا می‌کنند و با محدودیت‌های منابع مطابقت دارند. اگر فرض کنیم که همه راه‌حل‌ها در شرایط در دسترس بودن بودجه قابل اجرا هستند، هر یک از این برنامه‌ها را می‌توان به‌عنوان خط پایه زمان‌بندی انتخاب کرد زیرا همگی مدت زمان یکسانی دارند(۶۵ = TMS واحد زمانی). چگونه مدیران پروژه می توانند مناسب ترین زمان بندی را از نظر ریسک پروژه انتخاب کنند؟ یعنی در بین تمام برنامه های قابل اجرا شناخته شده با مدت زمان ۶۵ واحد زمانی، کدام برنامه بیشترین احتمال را برای اتمام به موقع پروژه ارائه می دهد؟
در این مرحله از متغیر تصمیم SRV استفاده می کنیم. از بین تمام برنامه‌های زمانی ممکن که تمام فیلترهای قبلی را پشت سر گذاشته‌اند، یک تحلیل ریسک انجام می‌دهیم تا از بین همه برنامه‌های ممکن با TMS یکسان که کمترین ریسک کل را دارد (یعنی کمترین مقدار شاخص (SRV را انتخاب کنیم. اندیکاتور SRV با در نظر گرفتن عدم قطعیت هر فعالیت از زمان شروع پروژه تا پایان آن، اطلاعاتی را در مورد قطعیت تکمیل پروژه در تاریخ مشخص شده (۶۵ واحد زمانی در مثال حاضر، شناسه مساله = ۸) ارائه می دهد. در این مورد، ۱۳ زمان بندی مختلف با بهترین راه حل مطابقت دارند: ۶۵ واحد زمانی (شکل ۶). برای به دست آوردن ریسک (SRV) مربوط به هر برنامه، باید قبلاً خط پایه ریسک برنامه (SRB) توسط شبیه سازی مونت کارلو محاسبه شود. برای انجام این کار، ما باید عدم قطعیت آشکار را در طول مدت فعالیت ها بگنجانیم زیرا مقدار در نظر گرفته شده برای مدت زمان فعالیت ها در کتابخانه MPSPLIb مشخص است.
در این مقاله، ما از یک تابع توزیع لگ نرمال به دلیل توانایی آن در مدل‌سازی تغییرپذیری در طول مدت فعالیت‌ها استفاده می‌کنیم (کالین و ونهوک، ۲۰۱۶؛ تریچ، مازمانیان، گئورگیان، و بیکر، ۲۰۱۲). مقادیر تولید شده توسط این نوع تابع توزیع به اندازه کافی از مقدار توزیع متوسط فاصله دارند و مقادیر منفی برای مدت فعالیت ایجاد نمی کنند. پس از به دست آوردن داده هایی که فعالیت های هر پروژه اورهال را مشخص می کند (مدت و تنوع مورد انتظار)، ما SRB را همانطور که در بخش ۳.۱ توضیح داده شده است محاسبه می کنیم (شکل ۷). این نمودار به ما امکان می دهد مقدار مربوط به ریسک کل پروژه (SRV) را به عنوان مساحت زیر منحنی SRB محاسبه کنیم. پس از محاسبه ریسک کل (SRV) برای هر راه حل مساله (یعنی هر برنامه قابل اجرا)، برنامه ای را با کمترین مقدار شاخص SRV انتخاب می کنیم.

۴- یافته ها

در این بخش نشان می‌دهیم که زمانبندی‌های مختلف برای یک پروژه (همه با مدت زمان یکسان) ممکن است مستلزم سطح ریسک متمایز باشد. نقطه شروع شبیه سازی ما هشت راه حل بهترین مساله (۸ = ID) از کتابخانه MPSPLIb است. این هشت راه‌حل با روش‌های تفکیک متفاوت ارائه شد، که باعث ایجاد هشت زمان‌بندی متفاوت برای یک پروژه شد (اما با مدت زمان یکسان؛ یعنی Total Makespan. این زمان‌بندی‌ها با مدت زمان یکسان، آنهایی هستند که مدیران پروژه می‌توانند برای ایجاد یک خط مبنا انتخاب کنند. در این مقاله، ما پیشنهاد می‌کنیم که یک قدم جلوتر رفته و از سطح ریسک مرتبط با هر برنامه زمانی که این خط پایه را ایجاد می‌کنیم، استفاده کنیم. جدول (۱) نتایج شبیه سازی مربوط به ۸ راه حل را نشان می دهد.

INSTANCES NO. OF JOBS: 30 NO OF PROJECTS 2 GLOB.RES.: all | BEST SOLUTIONS PERFORMANCE CRITERION: APD METHOD: all methods

ID	INSTANCE	NO. OF JOBS/PROJ.	NO. OF PROJ.	NO. OF GLOB.RES.	OLF	NO. OF SOLUTIONS	ORIGINATOR	DATE	APD	TMS	DPD	METHOD		EF	CT	EXP
6	mp_j30_a2_nr1	30	2	2	HIGH (1.17)	78	Gómez/Fernández	2019-08-02	4.5	61	0.707107	ACO+SMT	D	100	800	n/a
7	mp_j30_a2_nr2	30	2	1	LOW (0.85)	63	Tony Wauters	2012-06-27	15	60	11.3137	HYPER	C	100000	0	14
8	mp_j30_a2_nr3	30	2	2	LOW (0.59)	60	Trautmann/Homberger	2008-05-14	3	65	4.24264	MAS/PS	D	0	0	n/a
9	mp_j30_a2_nr4	30	2	3	LOW (0.79)	39	Dietz/Homberger	2008-05-20	10.5	54	7.77817	CMAS/ES-STV	D	0	0	n/a
10	mp_j30_a2_nr5	30	2	1	LOW (0.77)	36	Tony Wauters	2012-06-27	8.5	58	12.0208	HYPER	C	10	1	14

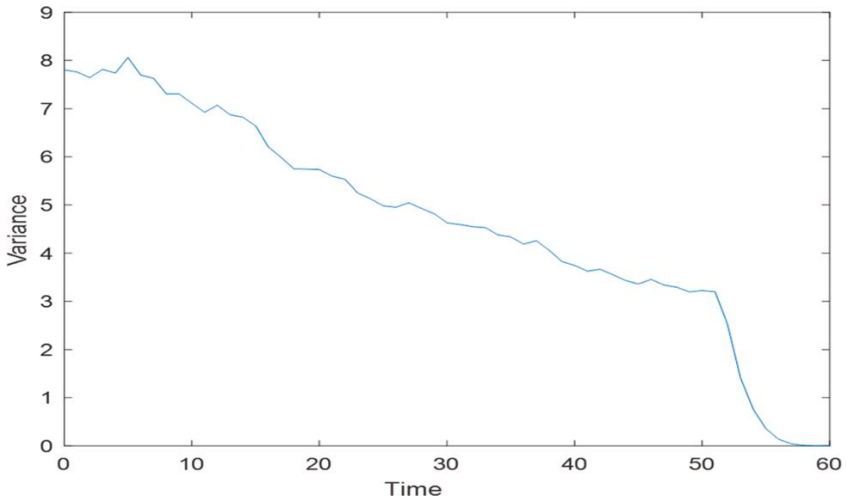
شکل (۵). نمونه های مشکل متشکل از دو پروژه با ۳۰ فعالیت (شغل) هر کدام.

ID	INSTANCE	NO. OF JOBS/PROJ.	NO. OF PROJ.	DIFFERENT INSTANCES	NO. OF DIFF. ARRIVAL DATES	AUF R1	AUF R2	AUF R3	AUF R4	OLF	DOWNLOAD PROBLEM
8	mp_j30_a2_nr3	30	2	2	2	0.21	0.59	0.21	0.21	LOW (0.59)	

SOLUTIONS SORT CRITERION: TMS METHOD: all methods

ID	ORIGINATOR	DATE	APD	TMS	DPD	METHOD		EF	CT	EXP
118	Trautmann/Homberger	2008-05-14	3	65	4.24264	MAS/PS	D	0	0	n/a
1184	Trautmann/Homberger	2008-06-15	3	65	4.24264	MAS/CI	H	0	0	n/a
1962	Birkner/Homberger	2008-07-05	3	65	4.24264	CMAS/ES-BORDA	D	500	0	n/a
1982	Birkner/Homberger	2008-07-05	3	65	4.24264	CMAS/ES-BORDA	D	500	0	12
2036	Birkner/Homberger	2008-07-07	3	65	4.24264	CMAS/ES-BORDA	D	500	0	12
2255	Trautmann/Homberger	2008-07-09	3	65	4.24264	MAS/PS	D	1	11	9
2348	Tony Wauters	2009-10-22	3	65	4.24264	GT-MAS	D	100000	0	15
3015	Lopez-Paredes/Pajares/Villafañez	2014-06-18	3	65	4.24264	PSGSMINSLK	C	0	0	n/a
3999	Túlio Toffolo	2014-07-02	3	65	4.24264	MATHEUR	H	0	0	24
4441	Túlio Toffolo	2017-10-23	3	65	4.24264	MATHEUR	H	0	0	28
4514	Technische Logistik	2017-12-21	3	65	4.24264	WPR_GA	D	0	0	n/a
4648	Gómez/Fernández	2019-08-12	3	65	4.24264	ACO+SMT	D	100	100	n/a
4717	TLA_kuehn	2020-03-24	3	65	4.24264			1000	1000	n/a

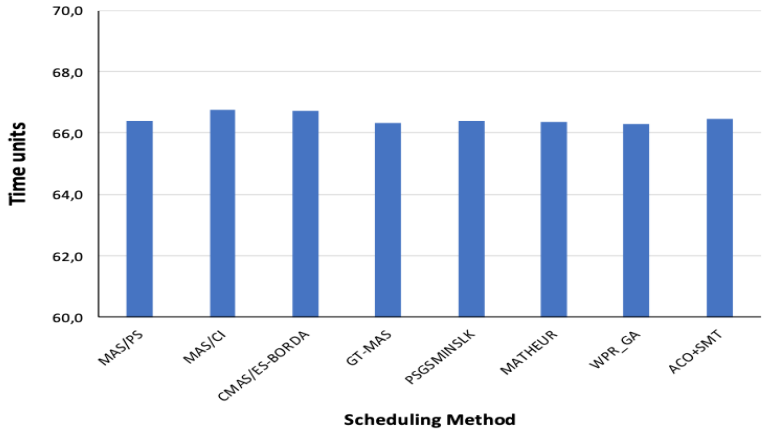
شکل (۶). راه حل های مختلف (زمان بندی) با مدت زمان (TMS=۶۵ واحد زمان برای مساله ID=۸



نمودار (۷). نمایش گرافیکی SRB برای پروژه مشکل "mp_j30_a2_nr3".

هر برنامه، مدت زمان برنامه ریزی شده بر اساس MPSPLIb را یک مدت زمان قطعی برای فعالیت ها در نظر می گیرد و میانگین مدت زمان با در نظر گرفتن عدم قطعیت فعالیت ها را ریسک کل (SRV) نشان می دهد. مدت زمان برنامه ریزی شده برای هشت برنامه ۶۵ واحد زمانی بر اساس MPSPLIb (فعالیت هایی با مدت زمان قطعی) بود. پس از وارد کردن عدم قطعیت پیش‌بینی در مدت زمان

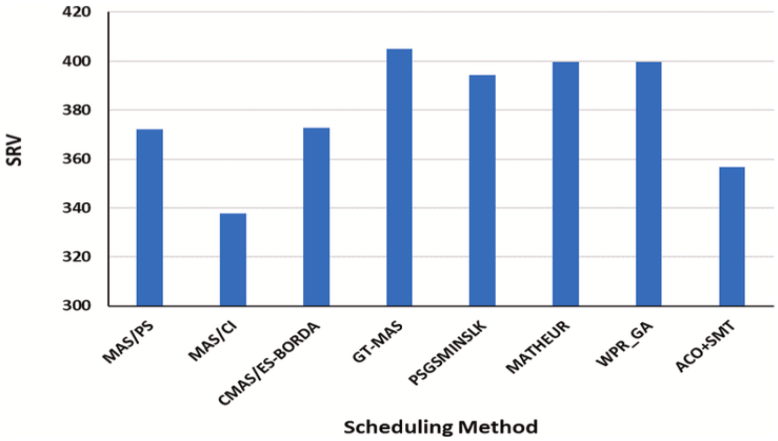
فعالیت‌ها و انجام شبیه‌سازی، مشاهده می‌کنیم که میانگین مدت زمان بین هر هشت برنامه کمی متفاوت است، از حداقل مقدار ۶۶.۳۱ واحد زمانی تا ۶۶.۷۶ واحد زمانی با الگوریتم زمانبندیMAS/CI (شکل ۸). در شکل (۹) ما ریسک (SRV) به دست آمده برای هشت برنامه را نشان می دهیم. مشاهده کنید که برنامه به دست آمده با روش MAS/CI دارای کمترین مقدار ریسک است، حتی اگر میانگین مدت آن کمی بیشتر از سایر برنامه‌ها باشد. این بدان معناست که عدم قطعیت اجرای پروژه طبق این زمان بندی کمتر از عدم قطعیت هفت برنامه دیگر برای همان پروژه است. انتخاب این زمان‌بندی نشان می‌دهد که انحراف از تاریخ پایان پروژه مورد انتظار محدودتر از سایر برنامه‌های جایگزین است. ما اکنون تجزیه و تحلیل خود را به مشکلات دیگر از کتابخانه MPSPLIb گسترش می دهیم. جدول ۲ نتایج شبیه سازی های انجام شده با زمانبندی های با کمترین TMS مربوط به مسایل شناسه های ۶ تا ۱۰ را ارائه می دهد (شکل ۵). نمودارهای این جدول میانگین مدت و مقدار نشانگر SRV مربوط به برنامه ها را نشان می دهد.



شکل (۸). مدت زمان متوسط راه حل های مربوط به هر روش زمانبندی.

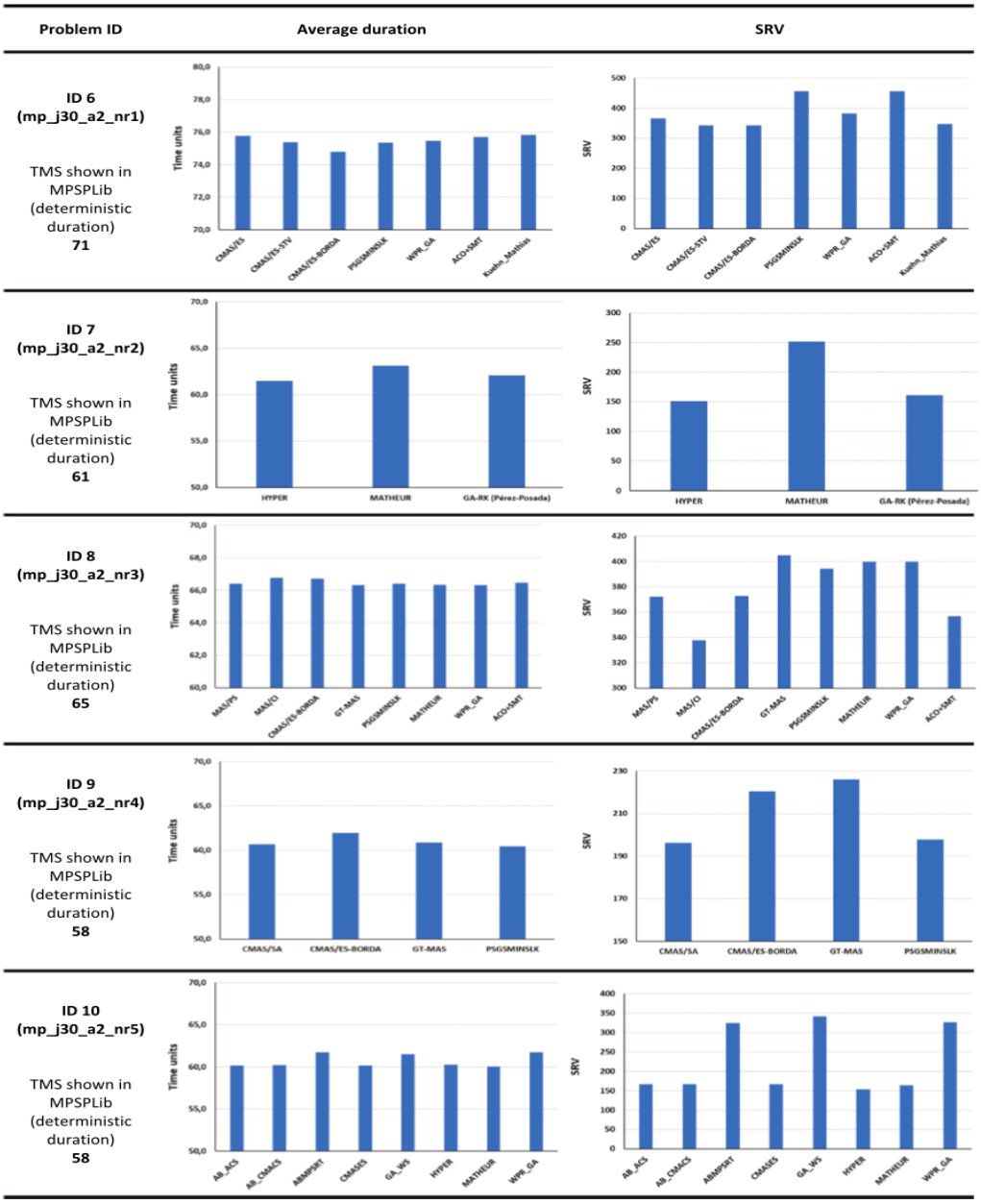
جدول (۱). نتایج پس از شبیه‌سازی هشت برنامه زمانبندی مختلف امکان‌پذیر با مدت زمان یکسان برای پروژه مشابه (مشکل mp_j30_a2_nr3 از MPSPLIb) به دست آمد.

	Schedule 1 (MAS/PS)	Schedule 2 (MAS/CI)	Schedule 3 (CMAS/ES-BORDA)	Schedule 4 (GT-MAS)	Schedule 5 (PSGSMINSLK)	Schedule 6 (MATHEUR)	Schedule 7 (WPR_GA)	Schedule 8 (ACO+SMT)
Planned Duration	65,00	65,00	65,00	65,00	65,00	65,00	65,00	65,00
Average Duration	66,40	66,76	66,72	66,32	66,40	66,35	66,31	66,46
SRV	372,07	337,77	372,68	405,01	394,46	399,57	399,66	356,85



شکل (۹). ریسک (SRV) مرتبط با هشت برنامه زمانبندی امکان‌پذیر برای یک پروژه

Table 2
Average duration and total project risk (SRV) charts for problems ID 6 to 10 in MPSPLib.



جدول (۲). نمودارهای میانگین مدت و ریسک کل پروژه (SRV) برای مسایل ID=۶ تا ۱۰ در MPSPLIb.

به‌دست‌آمده با روش‌های تفکیک که یک زمانبندی با حداقل TMS در هر مشکل به دست می‌آید. توجه داشته باشید که این راه حل ها با زمانبندی های مختلف (با مدت زمان یکسان) برای یک پروژه می باشد. ستون مربوط به اندیکاتور SRV به عنوان مبنایی برای انتخاب برنامه با کمترین ریسک کل عمل می کند. از مسئله(ID ۶) "mp_j30_a2_nr1" ، مشاهده می کنیم که میانگین مدت زمان به دست آمده برای همه زمان بندی ها مشابه است، و برنامه پیشنهادی با روش CMAS/EN-BORDER با کوتاه ترین میانگین مدت زمان است. با توجه به مقدارSRV ، این برنامه با کمترین خطر است. در نتیجه، انتخاب این زمانبندی به عنوان خط پایه پروژه احتمالاً گزینه خوبی است. برنامه زمانی به دست آمده با روش PSGSMINSLK احتمالاً از نظر عدم قطعیت مناسب نیست و علیرغم داشتن میانگین مدت زمان مشابه با سایر گزینه ها، تجزیه و تحلیل ما نشان می دهد که مستلزم ریسک بالاتری است. نتایج شبیه‌سازی زمان‌بندی‌ها

برای مسئله (ID 7) «mp_j30_a2_nr2» به وضوح نشان می‌دهد که زمان‌بندی ارائه‌شده با روش CMAS/SA انتخاب می‌شود، زیرا کمترین خطر (SRV) و همچنین کوتاه‌ترین میانگین مدت زمان همه گزینه‌ها را ارائه می‌دهد. در مسئله " (ID "mp_j30_a2_nr3 8)، ما می توانیم مزایای استفاده از نشانگر SRV را به عنوان یک ابزار تصمیم گیری ببینیم. برنامه ارائه شده با روش MAS/CI کمترین مقدار SRV را ارائه می دهد. اگر میانگین مدت زمان گزینه های دیگر را مشاهده کنیم، متوجه می شویم که همه آنها مشابه هستند.
در مسئله (ID 9) "mp_j30_a2_nr4" :
واضح به نظر می رسد زیرا دو برنامه زمانبندی SRV کمتری نسبت به دو گزینه دیگر ارائه می دهند. در این مورد، برنامه ارائه شده با روش PSGSMINSLK کوتاه ترین مدت زمان متوسط را دارد اما از راه حل های دیگر متمایز نیست.
در نهایت برای مشکل(ID 10) "mp_j30_a2_nr5" ، چندین راه حل با SRV نسبتاً پایین ظاهر می شوند، و این زمان بندی ها نیز دارای مدت زمان متوسط مشابهی هستند. در نتیجه، ما باید زمانبندی ارائه شده با کمترین خطر را انتخاب کنیم، به عنوان مثال، برنامه به دست آمده توسط روش .HYPER انتخاب می گردد. در تمام مسائل تجزیه و تحلیل شده، ما از شاخص SRV برای تعیین اینکه کدام برنامه کمترین ارزش ریسک را دارد، استفاده می کنیم. با انجام این کار، روش پیشنهادی به مدیران پروژه اجازه می‌دهد تا زمان‌بندی را با بالاترین اطمینان در تاریخ پایان از میان گزینه‌های ارائه‌شده انتخاب کنند.

۵- نتیجه

از ایده اولیه پروژه اورهال تا خط مبنا برنامه زمانی مصوب، فرآیندی برای انتخاب بسیاری از گزینه ها برای اجرای پروژه اورهال دنبال می شود. در مرحله برنامه‌ریزی، برخی از این زمانبندی‌ها در صورتی که اهداف پروژه اورهال را برآورده نکنند یا محدودیت‌های زمانبندی را برآورده نکنند، کنار گذاشته می‌شوند. ادبیات مربوط به این موضوع عمدتاً بر روش‌هایی متمرکز شده است که برنامه‌ریزی‌هایی را برای برآوردن محدودیت‌های منابع و همچنین محدودیت‌های مالی ارائه می‌دهند. این محدودیت‌ها شامل چنان سطح بالایی از پیچیدگی است که زمانبندی بهینه پروژه اورهال ناشناخته باقی می‌ماند. در نتیجه، استفاده از روش‌های موجود، زمانبندی‌های مختلفی را برای یک پروژه اورهال فراهم می‌کند و راه‌حل‌هایی با کوتاه‌ترین مدت زمان، شناخته‌شده‌ترین زمانبندی برای یک پروژه اورهال در نظر گرفته می‌شوند. اکنون کدام یک از این زمانبندی‌ها باید به خط پایه برنامه تبدیل شود؟ تا آنجا که ما می دانیم، هیچ ابزاری در حال حاضر به مدیران پروژه اجازه نمی دهد برنامه زمانی را انتخاب کنند که از نظر ریسک پروژه اورهال بهتر باشد.
این مقاله سعی دارد با ارائه روشی این شکاف را پر کند تا به مدیران پروژه اجازه دهد تا برنامه زمانبندی پروژه اورهال را با بیشترین احتمال رسیدن به زمان مدنظر از بین چندین برنامه جایگزین با مدت زمان مشابه انتخاب کنند. برای این منظور، ما ریسک پروژه اورهال را با کمی کردن ریسک مرتبط با همه گزینه‌های شناخته شده ممکن برای اجرای پروژه اورهال و مدت زمان مشابه، در برنامه‌ریزی پروژه اعمال می‌کنیم. برای این منظور، ما از مفاهیم SRB/SRV برای مقایسه سطح ریسک چندین برنامه با مدت زمان یکسان استفاده می کنیم. رویکرد ما به مدیران پروژه اجازه می‌دهد تا برنامه زمانبندی پروژه اورهال را با کمترین ریسک (یعنی کمترینSRV) و بنابراین برنامه‌ای با بیشترین احتمال برای رسیدن به زمانبندی از بین سایر گزینه‌های اجرایی با مدت زمان مشابه انتخاب کنند.
ما قابلیت استفاده از این شاخص‌ها را با اجرای یک تمرین شبیه‌سازی با پروژه‌های مختلف متعلق به کتابخانه MPSPLIb، یک پایگاه داده معروف برای محک‌گذاری برنامه، نشان می‌دهیم. نقطه شروع برنامه های مختلف (با مدت زمان یکسان) برای یک پروژه اورهال است. از آنجایی که کتابخانه MPSPLIb عدم قطعیت فعالیت‌ها را در نظر نمی‌گیرد، ما عدم قطعیت آشکاری را برای هر فعالیت در کارهای تحقیقاتی مرتبط معرفی کردیم. با گنجاندن عدم قطعیت در فعالیت‌ها، می‌توانیم ریسک کل (SRV) مرتبط با هر برنامه زمانبندی انتخاب شده را محاسبه کنیم و یکی را با کمترین ریسک کل (و همچنان همان مدت زمان) انتخاب کنیم. این مطالعه از یک تابع توزیع لگ نرمال برای مدلسازی عدم قطعیت آشکار فعالیت‌ها استفاده کرد. در یک مورد عملی، مدیران پروژه می‌توانند نوع عدم قطعیتی را که به عقیده آنها به بهترین وجه با ماهیت تصادفی فعالیت مطابقت دارد تعیین کنند. با در نظر گرفتن بهترین زمانبندی‌ها (کوتاه‌ترین زمان) برای یک پروژه اورهال، نشان می‌دهیم که روش پیشنهادی در اینجا می‌تواند به عنوان یک ابزار تصمیم‌گیری برای اجازه دادن به مدیران پروژه برای تصمیم‌گیری بهتر در مورد انتخاب زمانبندی پروژه اورهال با ریسک کمتر از بین چندین گزینه با مدت زمان مشابه استفاده شود. در میان انواع مختلف عدم قطعیت که می‌تواند بر ریسک کل پروژه اورهال تأثیر بگذارد، این مقاله فقط بر عدم قطعیت پیش‌بینی

تمرکز می‌کند. یعنی، ما تجزیه و تحلیل می کنیم که چگونه این عدم قطعیت احتمالی (به دلیل ماهیت تصادفی مدت زمان فعالیت) بر کل ریسک پروژه اورهال تأثیر می گذارد. تحقیقات آینده در مورد ادغام ریسک پروژه اورهال در زمانبندی پروژه اورهال می‌تواند با تحلیل تأثیر انواع عدم قطعیت بر ریسک کل پروژه اورهال ادامه یابد. مطالعات مشابهی در مورد ارزیابی ریسک ها در مدیریت سبد پروژه اورهال با در نظر گرفتن ریسک مرتبط با ترتیب اجرای چندین پروژه اورهال در سبد یک شرکت انجام می شود. این مطالعه بر ریسک مرتبط با چندین گزینه اجرایی با مدت زمان یکسان برای یک پروژه اورهال متمرکز است. در همین راستا، یک متریک نرمال‌شده را می‌توان برای مقایسه عدم قطعیت پروژه‌های اورهال با مدت زمان‌های مختلف به منظور کمک به فرآیند تصمیم‌گیری در مورد اینکه چه پروژه‌هایی باید در پورتفولیوی شرکت گنجانده شوند، پیشنهاد کرد. به لطف انعطاف‌پذیری روش پیشنهادی، می‌توان آن را به راحتی برای استفاده در سایر حوزه‌های کاربردی که در آن تصمیم‌گیرندگان با چندین برنامه جایگزین مواجه هستند که شامل تصمیم‌های ریسک و زمانبندی می‌شوند، تطبیق داد.

فهرست منابع

Acebes, F., Pajares, J., Gal´an, J. M., & Lo´pez-Paredes, A. (2014a). A new approach for project control under uncertainty. Going back to the basics. *International Journal of Project Management, 32*, 423–434.

Hillson, D. (2014a). How to manage the risks you didn't know you were taking. In PMI® Glob. Congr. (pp. 1–8).

Hillson, D. (2009). *Managing risk in projects*. Gower Publishing Ltd.Hillson, D. (2002a). Defining risk: A debate. *Information Technology and Management, 15*,

Pellerin, R., Perrier, N., & Berthaut, F. (2020). A survey of hybrid metaheuristics for the planning and control. *International Journal of Production Research, 57*, 2160–2178. e

Taylor, J. C. (2008). *Project scheduling and cost control: Planning, monitoring and controlling the baseline*. J. Ross Publishing.

Villaf´an˜ez, F. A., Poza, D., Lo´pez-Paredes, A., Pajares, J., & del Olmo, R. (2019).A generic heuristic for multi-project scheduling problems with global and local resource constraints (RCMPSP). *Soft Computing, 23*, 3465–3479.

Wauters, T., Verbeeck, K., De Causmaecker, P., & Vanden Berghe, G. (2015). A learning Project Management, 17, 331–336.

Wirawan, J. A. B., & Garniwa, I. (2018). Risk analysis development of solar floating risk management. *European Journal of Operational Research, 85*, 18–38.