

مدل زمانبندی پروژه به منظور تخصیص و تسطیح منابع محدود در شرایط عدم قطعیت با رویکرد الگوریتم‌های فراابتکاری

نیما دانشگری^۱، دین محمد ایمانی^۲، سیامک نوری^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت.

^۲ هیات علمی دانشگاه علم و صنعت، گروه مدیریت بهره‌وری و پروژه. (نویسنده مسئول)

^۳ هیات علمی دانشگاه علم و صنعت، گروه مدیریت بهره‌وری و پروژه.

چکیده

زمان سهم بسزایی در پیشبرد و موفقیت پروژه دارد. این موضوع همواره یکی از مسائل مورد توجه محققان علوم مدیریت و تحقیق در عملیات بوده است. مسئله زمان‌بندی پروژه یکی از مسائل مهم در امر مدیریت پروژه است که تاثیر بالایی در برنامه ریزی و اجرای پروژه ایفا می‌کند. در این پژوهش به طراحی و ارائه یک مدل ریاضی دو مرحله‌ای چند هدفه به منظور زمان‌بندی فعالیت‌های همزمان چندین پروژه با در نظر داشتن محدودیت در منابع موجود در شبکه‌های احتمالی جهت تخصیص و تسطیح همزمان پرداخته شده است. از طرفی با توجه به اینکه منابع اغلب در هنگام جابجایی از فعالیت بر فعالیت دیگر زمان انتقال یا راه‌اندازی مجدد دارند که مقدار آن تاثیر مستقیم در زمان کل پروژه ایفا می‌کند ازین رو مدلسازی در این پژوهش با در نظر داشتن این زمان انجام شده است. همچنین در این پروژه برای تخمین مقادیر زمان فعالیت در شرایط احتمالی از روش شبکه عصبی استفاده شده است. برای حل مدل از سه روش فراابتکاری الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی ازدحام ذرات و تبرید شبیه‌سازی شده در کنار روش دقیق سیپلکس استفاده شد که نتایج مقایسه نتایج با روش دقیق حاکی از دقت بیشتر الگوریتم ژنتیک به نسبت سایر روش‌ها می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: زمانبندی پروژه، تخصیص منابع، تسطیح منابع، عدم قطعیت، فراابتکاری

۱. مقدمه

در سال‌های اخیر، رویکرد پروژه محوری به‌عنوان یک دیدگاه اصلی، در بسیاری از سازمان‌ها اتخاذ شده است به‌طوری‌که فعالیت‌ها و اقدامات سازمان‌ها بر اساس پروژه‌هایشان انجام می‌شوند. در چنین شرایطی، سازمان‌ها اغلب با یک سیستم چند پروژه روبرو هستند که برای بهره‌برداری هر چه بهتر از امکانات و منابع، آن‌ها را در بین تمامی پروژه‌های سازمان به اشتراک می‌گذارند. در این‌گونه سازمان‌ها، به سبب اجرای هم‌زمان چندین پروژه، مسئله برنامه‌ریزی چند پروژه‌ای مطرح شده که عموماً به وسیله اضافه نمودن فعالیت‌های مجازی ابتدایی و انتهایی و در نظر گرفتن هر پروژه به‌عنوان یک زیر پروژه و ایجاد یک پروژه بزرگ و یا با در نظر گرفتن پروژه‌ها به‌عنوان اجزاء مستقل و به کار بردن یک یا چندین تابع هدف که شامل همه آن‌ها باشد، مورد مطالعه قرار می‌گیرد. از اولین مطالعات انجام‌شده در زمینه مسئله برنامه‌ریزی و زمان‌بندی چند پروژه‌ای می‌توان کوتولوس و همکاران (۱۹۸۵) اشاره کرد. لازم به ذکر است که مدل‌های چندهدفه (چن، ۱۹۹۴)، چندمعیاره (لووا و همکاران، ۲۰۰۰) و همچنین روش‌های فرا ابتکاری و ابتکاری (اکبری و همکاران، ۲۰۱۳) توسط محققان در تحلیل مسئله مذکور مورد استفاده واقع شده است.

زمان بندی پروژه‌های سازمان از حیث جلوگیری از اتلاف منابع و سرمایه و همچنین برنامه ریزی جهت رسیدن به تارگت ها و اهداف از پیش تعیین شده از اهمیت نسبتاً مناسبی برخوردار است. از طرف دیگر وقتی سازمان‌ها به سمت چند پروژه‌ای شدن و مدیریت همزمان آنها پیش می‌روند دیگر فضا و مدل مسئله مانند حالت تک پروژه‌ای نیست. یکی از موارد مهم در این حالت استفاده از منابع سازمان در بیش از یک پروژه می‌باشد که چالش ها و ویژگی‌های منحصر بفردی را ایجاد می کند. در این پژوهش با توجه به اهمیت بالای فرایند زمان بندی پروژه اقدام به انجام کار وقتی که سازمان با چندین پروژه مواجه است ، می شود. در واقع تعیین و تخصیص منابع مورد نیاز فعالیت و تخصیص به موقع آنها طی یک برنامه زمانی به منظور انجام و اتمام فعالیت های پروژه در مدت زمان در نظر گرفته شده و بدون بروز تاخیر یکی از مهمترین اهداف و مسائلی است که این پژوهش به دنبال پاسخگویی به آن هستیم. یکی از مسائل مهم دیگر در زمینه تخصیص منابع انسانی به پروژه در حالت چند پروژه‌ای در نظر داشتن مواردی همچون زمان‌های جابجایی منابع برای استفاده در فعالیت ها، عدم قطعیت حاکم بر زمان و در دسترس بودن منابع برای انجام فعالیت‌ها، فعالیت‌های احتمالی یا دارای عدم قطعیت و در نظر داشتن شبکه فعالیت‌های به صورت غیر قطعی از دیگر مواردی هستند که در دنیای واقعی چالش به شمار می روند و در این پژوهش به آنها پرداخته می‌شود.

در این مقاله زمان بندی چندپروژه ای برای تخصیص و تسطیح منابع به صورت دو مرحله‌ای انجام می‌شود و مدل ریاضی هر مرحله توسعه داده می‌شود. در این پژوهش نه تنها زمان انجام فعالیت‌ها به صورت احتمالی و توامان با عدم قطعیت در نظر گرفته می‌شود بلکه در دسترس بودن منابع نیز دارای عدم قطعیت می‌باشد. مدل ریاضی این پژوهش با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری منتخب در ابعاد مختلف حل شده و نتایج مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. از طرف دیگر به منظور نزدیک شدن مساله به دنیای واقعی زمان‌های جابجایی منابع مابین فعالیت‌ها با در نظر گرفتن رابطه پیش نیازی مابین فعالیت‌ها مدلسازی خواهد شد. به بیان دیگر تعیین زمان شروع فعالیت ها، تخصیص منابع در بازه های زمانی مشخص برای هر فعالیت، کمینه سازی زمان اتمام پروژه، تصمیم گیری برای جابجایی منابع جهت جلوگیری از دیرکرد و تسطیح به بهترین شکل، تصمیم گیری در رابطه با زمانبندی در شرایط عدم قطعیت زمان اجرای فعالیت ها، تبادل هزینه - زمان میان تاخیر و هزینه های اجرایی فشرده سازی و ... از جمله تصمیمات اصلی این تحقیق به شمار می روند. پارامترهای اصلی مدل ریاضی چند هدفه این پژوهش شامل زمان انجام فعالیت ها، منابع مورد نیاز هر فعالیت، روابط پیشنیازی مابین فعالیت ها، زمان راه اندازی و انتقال منابع، هزینه استفاده از منابع و غیره می باشد و متغیرهای تصمیم اصلی مسئله زمان بندی اجرای فعالیت ها، متغیر تخصیص فعالیت به منابع یا برعکس در طول زمان، زمان اتمام پروژه، انحراف از تخصیص بهینه را شامل می شوند.

۲. زمان‌بندی پروژه در محدودیت منابع

مسئله زمان‌بندی پروژه یا همان PSP به‌نوعی یک مسئله با تعدادی فعالیت است که این فعالیت‌ها با توجه به رعایت روابط بینشان (روابط تقدم و تأخر) باید در یک‌زمان مشخص و با یک هزینه مشخص انجام گیرند. اگر علاوه بر زمان و هزینه

مشخص فقط یک سری منابع محدود برای انجام این تعداد فعالیت‌ها داشته باشیم آنگاه این مسئله تبدیل به مسئله زمان‌بندی پروژه با منابع محدود می‌شود (لی و همکاران، ۲۰۱۵). در مقاله مروری (بروکر و همکاران، ۱۹۹۹) طبقه‌بندی اولیه‌ای از مسائل زمان‌بندی پروژه با منابع محدود به همراه مدل‌ها و روش‌های حل آورده شده است. یک فرآیند بهینه در مسائل زمان‌بندی پروژه با منابع محدود در مقاله (ریک و همکاران، ۱۹۹۷) بیان شده است. در این مقاله سعی شده روش‌های موجود نظیر PERT و CPM همراه با در نظر گرفتن جریان‌های نقدی و همچنین روابط تقدم و تأخر شرح داده شود. در بسیاری از مسائل موجود در زمان‌بندی پروژه راه‌حل‌های ارائه شده برای زمان‌بندی (نظیر مدل‌های موجود PERT و CPM) تنها فعالیت‌ها بر اساس زمان اجرا و نوع وقوع (قطعی یا احتمالی) دسته‌بندی شده و فرض شده منابع نامحدود هستند. در مقاله (گلرزو و همکاران، ۲۰۱۱) علاوه بر معرفی جامع و کامل مسائل زمان‌بندی پروژه با منابع محدود مهم‌ترین مدل‌ها و روش‌های حل مسائل یک هدفه که در آن هر فعالیت می‌تواند در تعداد نامتناهی حالت، پردازش شود آورده شده و در این خصوص پیشنهادهایی جهت مطالعات آینده بیان شده است. در این مرور ارتباطات زمان-هزینه در هر دو حالت ارتباطات پیوسته و گسسته و همچنین ارتباطات زمان-منابع در هر دو حالت به‌طور کامل تشریح شده است. در برخی پروژه‌ها نظیر پروژه‌های ساخت بزرگراه و تونل و ... منابع (مانند نیروی کار و تجهیزات) به‌طور پیوسته در یک جغرافیای خطی حرکت می‌کنند. زمان‌بندی این نوع پروژه‌ها (پروژه‌هایی که به‌صورت پیوسته تکرار می‌شوند) همراه با در نظر گرفتن واحدهای تولیدی که مبتنی بر زمان فعالیت می‌کنند در مقاله (یانگ و همکاران، ۲۰۰۹) بیان شده است. راهکار یادگیری تقویتی برای حل مسائل زمان‌بندی پروژه با منابع محدود و با استفاده از ایده A-team توسط (جی و همکاران، ۲۰۱۴) بیان شده است. ایده A-TEAM به معنی این می‌باشد که سیستم‌های زمان‌بندی پروژه، سیستم‌های چند عامله (عامل‌های ناهمگام) می‌باشد. برای پیاده‌سازی این ایده خلاقانه راهکارهای استاتیک و همچنین الگوریتم‌های فرا ابتکاری متعددی نظیر جستجوی محلی، جستجوی ممنوعه، کراس^۵ اور (ترکیب) و مسیریابی ارائه شده است. در این مقاله^۸ راهکار دینامیکی تحت عنوان یادگیری تقویتی برای پیاده‌سازی این ایده بیان شده است.

راهکار RL در دسته‌بندی الگوریتم‌های یادگیری ماشین قرار می‌گیرد و به‌مانند درخت تصمیمی عمل می‌کند که در یک حالت معین با یک یا چندین عمل می‌تواند به یک یا چندین هدف برسد. عمل‌های موجود در قالب‌های عددی سیگنال‌های پاداش بیان می‌شوند.

راهکار RL مسائل بهینه‌سازی را در ۳ سطح حل می‌کند.

- ۱- سطح مستقیم
- ۲- سطح فرا ابتکاری
- ۳- سطح فوق ابتکاری

^۱ RCPS

^۲ TCTP

^۳ TRTP

^۴ Reinforcement Learning

^۵ Local search

^۶ Tabu search

^۷ Crossover

^۸ Path relinking

^۹ State

^{۱۰} Signal-reward

^{۱۱} The direct level

^{۱۲} The metaheuristic level

^{۱۳} The hyperheuristic level

با توجه به اینکه در دنیای واقعی بسیاری از پروژه‌ها دارای عدم قطعیت‌های متفاوتی هستند از این‌رو (محمودی و همکاران، ۲۰۱۳) زمان‌بندی پروژه‌های دارای عدم قطعیت را با استفاده از روش فازی مدل کرده و تکنیک‌های حل آن را نیز برشمردند. یک مدل زمان‌بندی پروژه با منابع محدود با در نظر گرفتن جریمه‌های تأخیر در پروژه (و همچنین تخفیف در زودرسی منابع) به همراه روش‌های حل در مقاله (نجفی، ۲۰۱۳) آورده شده است.

۳. پیشینه پژوهش

در پژوهشی بابایی و همکاران (۲۰۱۸) به مسئله زمان‌بندی پروژه با محدودیت منابع چند هدفه چند منظوره با برنامه ریزی پرداخت، جایی که فعالیت‌ها را می‌توان از طریق یکی از حالت‌های ممکن انجام داد و اهداف به حداکثر رساندن ارزش فعلی خالص (NPV) و به حداقل رساندن زمان اتمام همزمان است. علاوه بر این، منابع تجدیدپذیر از جمله نیروی انسانی، ماشین آلات و تجهیزات و همچنین منابع تجدیدناپذیر مانند منابع مصرفی و بودجه در نظر گرفته شده است. برای این منظور، یک مدل برنامه ریزی غیر خطی برای فرمول بندی مسئله بر اساس فرضیات پیشنهادی ارائه شده است. برای اعتبارسنجی مدل، چندین نمونه تصادفی با استفاده از روش GAMS-BARON و با محدودیت ۴- طراحی و حل شده است. برای حل مدل در ابعاد بزرگ‌تر در این پژوهش از روش‌های فراابتکاری MOSA، NSGAII و بهینه سازی ازدحام ذرات استفاده شده است که نتایج نشان دهنده این است که الگوریتم ژنتیک از دقت و عملکرد بهتری برخوردار است (بابایی و همکاران، ۲۰۱۸).

تیان و همکاران (۲۰۲۱)، با توجه به این که روش زنجیره بحرانی CCM عمدتاً در زمان‌بندی تک پروژه استفاده می‌شود، این مقاله این روش را بهبود می‌بخشد و آن را برای زمان‌بندی چند پروژه اعمال کرده است. با در نظر گرفتن جریان منبع در داخل و در میان پروژه‌های فرعی، این مطالعه روش‌هایی را پیشنهاد می‌کند که می‌تواند زنجیره بحرانی و تنظیمات بافر، براساس مفاهیم زنجیره کار، جریان منبع درام زیر پروژه و جریان منابع درام چند پروژه ای را شناسایی کند. سپس، همراه با CCM بهبود یافته و اهداف مختلف برنامه ریزی سلسله مراتبی، یک مدل زمان‌بندی چند پروژه‌ای با محدودیت منابع با یک استراتژی سلسله مراتبی به عنوان راهی برای حل برنامه‌های زمان بندی چند پروژه پیشنهاد شده است. این مقاله به بهبود CCM در زمینه زمان‌بندی چند پروژه‌ای و ساخت یک مدل CCRCMPSP-H بر اساس این CCM بهبود یافته برای حل برنامه زمان بندی چند پروژه ای پرداخته است. برای آزمایش مدل ارائه شده در این مقاله از هشت مورد آزمون نظری با مقیاس‌های مختلف و از یک مثال عملی در سطوح مختلف خطر عدم اطمینان استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که ثبات زمان‌بندی به وضوح بهبود یافته است و مدت زمان پروژه و هزینه‌های تأخیر به طور قابل توجهی کاهش یافته است، در نتیجه اثربخشی مدل اثبات می‌شود (تیان و همکاران، ۲۰۲۱).

در مقاله‌ای تائو و همکاران (۲۰۲۰) یک مسئله زمان بندی پروژه تحت محدودیت منابع با ساختارهای جایگزین پروژه را مدلسازی کرده است. که هدف آن به حداقل رساندن زمان ساخت و همچنین کل هزینه است. مدل طراحی شده در این پژوهش برنامه ریزی عدد صحیح مختلط می‌باشد. این مسئله به عنوان یک برنامه صحیح خطی دو هدفه فرموله شده است، که باعث می‌شود سرعت تولید و هزینه کل به حداقل برسد. یک رویکرد فراابتکاری ترکیبی مبتنی بر شبکه AND-OR برای حل موثر مشکل NP-hard ایجاد شده است که الگوریتم Tabu Search (لایه بیرونی) و NSGA-II (لایه داخلی) را تودرتو می‌کند.

وانگ و همکاران (۲۰۱۷)، یک الگوریتم بهینه سازی مگس میوه بهبود یافته چند هدفه دانش محور برای مسئله زمان‌بندی پروژه با محدودیت منابع چند مهارته MSRCPSP با معیارهای به حداقل رساندن زمان ساخت و هزینه کل به طور همزمان ارائه شد. در این مقاله الگوریتم چند هدفه برای حل MSRCPSP با دو معیار، یعنی هم زمان ساخت و هم هزینه کل پروژه شده است. نتایج حاصل از اجرای مدل ارائه شده در مقاله با الگوریتم‌های ژنتیک و مگس میوه نشان دهنده این است که الگوریتم توسعه یافته مگس میوه در ابعاد و پارامترهای مطالعه موردی مقاله از عملکرد بالاتری برخوردار است (وانگ و همکاران، ۲۰۱۷).

وانگ و همکاران (۲۰۱۷)، فرض شده است که مدت زمان فعالیت یک متغیر تصادفی است و دو اقدام جدید برای تجزیه و تحلیل عملکرد قوانین اولویت در یک محیط تصادفی پیشنهاد شد. یک آزمایش فاکتوریل کامل برای حل مسئله و بررسی رابطه بین ویژگی‌های پروژه و عملکرد قوانین اولویت طراحی شد. علاوه بر این، یک رابطه مبادله‌ای بین کیفیت و توانمندی مورد بررسی قرار گرفته و بهترین قوانین اولویت برای مدیران پروژه و مدیران پرتفوی توصیه شده است. بنابراین، در این مقاله، بر روی نسخه احتمالی RCMPSP تمرکز شده است و مدت فعالیت را به عنوان یک متغیر تصادفی به دنبال توزیع احتمال خاص فرض می‌شود به طور کلی، دو استراتژی اساسی برای حل RCMPSP طبقه بندی شده است. در مرحله اول، همه زیر پروژه‌ها را می‌توان در یک پروژه بزرگ با یک شروع و گره جمع کرد و به طور موثر مشکل را به RCPSPP سنتی کاهش داد.

گیجر و همکاران (۲۰۱۶)، یک رویکرد برای مسئله زمانبندی چند پروژه‌ای چند منظوره با محدودیت منابع ارائه شده است. ایده‌های اصلی این مقاله مبتنی بر مفاهیم جستجوی منطقه متغیر، همراه با جستجوی منطقه تکراری است. تمرکز ویژه این مقاله به اجرای موازی چنین تکنیک‌های راه حل جستجوی منطقه اختصاص یافته است. با استفاده از رویکرد ما به موارد مشکل زمانبندی (تک) پروژه چند حالتی با محدودیت منابع پشتیبانی می‌شود، که برای آنها چندین نمونه معیار بهبود داده شد. با این حال، برخی محدودیت‌ها بوجود آمد. به خصوص برای مجموعه داده‌های بزرگتر، جستجوی ساده منطقه متغیر قادر به شناسایی بهینه‌های منطقه‌ای در مدت زمان معقول / کوتاه نیست. بنابراین، سازگاری در چارچوب پردازش موازی پیشنهاد و اجرا شده است. این البته نشان می‌دهد که اجرای واقعی الگوریتم کاملاً از مجموعه داده‌ها مستقل نیست.

عینده و همکاران (۲۰۲۰)، یک مجموعه داده جدید برای مسئله زمانبندی چند پروژه‌ای با محدودیت منابع پیشنهاد دادند و عملکرد برنامه‌های فشاری (اضافه کار) چند پروژه از برنامه‌های تولید تک پروژه را ارزیابی نمودند. این نسخه از سه طریق به تحقیقات موجود کمک می‌کند. ابتدا، یک نمای کلی از مجموعه داده‌های بهینه کاوی شده موجود ارائه شد و ادبیات چند پروژه بر اساس نوع مجموعه داده‌هایی که در این مطالعات استفاده می‌شود، طبقه بندی شد. علاوه بر این، اثر پارامترهای مختلف بر عملکرد روش ابتکاری را تجزیه و تحلیل نمودند. در نهایت یک الگوریتم ژنتیک را که شامل اپراتورهای خاص چند پروژه‌ای است، پیاده سازی و آن را روی تمام مجموعه‌های داده به اجرا درآوردند که نتایج نشان دهنده کیفیت بالای این الگوریتم می‌باشد.

افروزی و همکاران (۲۰۱۸) به ارائه یک مدل ریاضی چند هدفه به منظور زمان بندی چند پروژه‌ای با در نظر گرفتن محدودیت منابع پرداختند. مدل ریاضی ارائه شده در این مقاله شرایط عدم قطعیت حاکم در زمان انجام فعالیت‌ها را با استفاده از توزیع های احتمالی مدل سازی نموده است. با توجه به ریسک بالای زمان بندی در این شرایط و اهمیت تولید برنامه بهینه از رویکرد برنامه ریزی گسسته پیشامد استوار برای مواجهه با عدم قطعیت استفاده شده است. این مطالعه دو فاکتور عملی را از نظر مدت احتمالی فعالیت‌های پروژه و ورود پروژه‌های جدید در انتظار الحاق با در نظر گرفتن فضای مسئله برای تشکیل یک مسئله احتمالی زمانبندی چند پروژه‌ای با محدودیت منابع با ورودهای جدید پروژه (SRCMPSP-NPA) در بر می‌گیرد. بر اساس معیار PSPLIB (کتابخانه مسئله برنامه زمانبندی پروژه)، یک مجموعه داده جدید ساخته شده و ۲۰ قانون اولویت (PR) برای حل مشکل اعمال می‌شود و عملکرد آنها تجزیه و تحلیل می‌شود. علاوه بر این، یک روش ترکیبی ابتکاری هیبرید برای حل به موقع مسئله با تقسیم کل روند برنامه زمانبندی به مسئله برنامه زمانبندی چند حالتی که توسط قوانین مربوطه جداگانه حل شده، طراحی شده است. این روش با آزمایشات تأیید شده است و عملکرد آن در اکثر شرایط بهتر از یک قانون واحد است. این مقاله به طور کافی هر دو فاکتور مدت زمان تصادفی و ورود پروژه جدید را با هم در یک مطالعه منظم در RCMPSP پویا در نظر گرفته است. مشارکت‌های پژوهشی دو بخش است. (۱) با در نظر گرفتن دو عامل پویا مدت زمان تصادفی و ورود پروژه جدید، RCMPSP گسترش یافته است تا SRCMPSP-NPA، مسئله برنامه زمانبندی چند پروژه‌ای با محدودیت منابع تصادفی با ورود پروژه جدید، و مدل ریاضی مربوطه ساخته شده تا مسئله بیشتر مطابق با شرایط واقعی همخوانی کند. بر اساس طرح زمانبندی تولید و معیار PSPLIB، عملکرد ۲۰ PR مورد استفاده برای حل SRCMPSP-NPA ارزیابی می‌شود. (۲) یک روش ترکیبی ابتکاری برای حل مسئله به طور موثر با تقسیم برنامه زمان

بندی سبدها به حالت های مختلف با توجه به شرایط تکمیل سبدها و انتخاب قوانین مربوطه در حالت های مختلف ارائه شده است. با تجزیه و تحلیل عملکرد تک PR برای SRCMPSP-NPA، ویژگی های بهبود توانایی برنامه ریزی PR استخراج شده و روش های ترکیبی مربوطه بدست می آیند. اثربخشی این روش توسط آزمایشات تأیید می شود.

فلیکس و همکاران (۲۰۱۸)، این مقاله به ارائه یک مدل نوآورانه به منظور زمان بندی در حالت چند پروژه ای در شرایط که منابع دارای محدودیت باشند پرداخته است. منابع در این مقاله به صورت مشترک و غیر مشترک برای استفاده در بین پروژه های در نظر گرفته شده اند. ازین رو مدل چند هدفه ارائه شده در این پژوهش امکان زمان برنامه ریزی استفاده از منابع در به صورت درون پروژه ای و میان پروژه ای یا کلی را دارد. از طرف دیگر از روش ژنتیک چند هدفه برای حل مدل در ابعاد دنیای واقعی به دلیل رفتار نمایی زمان اجرا روش حل استفاده شده است. به منظور ارزیابی عملکرد الگوریتم، از آن برای حل تمام ۱۴۰ مسئله زمان بندی جمع آوری شده در مخزن شناخته شده مشکلات RCMPSP استفاده شد: کتابخانه MPSPLib. در ضمن نتایج نشان می دهد الگوریتم P SGS / MIN-SLK به رغم سادگی، از بسیاری دیگر از مدل های ابتکاری منتشر شده در این کتابخانه پیشی می گیرد.

کدري و همکاران (۲۰۱۷) به مسئله زمانبندی پروژه با محدودیت زمان انتقال منابع با RCPSPTT پرداختند. فرض شده است که پیش خرید مجاز نیست و روابط اولویت از جنس روابط پایان تا شروع با تأخیر صفر هستند. همچنین مدت زمان و زمان انتقال منابع فعالیت ها مشخص و تعیین شده هستند. تمامی روش های حل این مسئله فرض می کنند که برای انتقال منابع بین سایت های اجرای پروژه های مختلف نیازی به زمان انتقال نیست. با این حال، در عمل، این اتفاق می افتد که انتقال منابع بین این سایت های اجرای پروژه ممکن است در زمان قابل توجهی طول بکشد. به عنوان مثال، تجهیزات سنگین ساختمانی ممکن است در سایت های مختلف ساختمانی درخواست شود، و انتقال آنها از یک مکان به مکان دیگر ممکن است چندین ساعت طول بکشد. در چنین مواردی، مدلسازی و حل مسئله زمان بندی پروژه بدون در نظر گرفتن زمان انتقال، می تواند برنامه های غیر قابل دستیابی را ایجاد کند.

استا و همکاران (۲۰۱۶)، در این پژوهش به ارائه و مدلسازی ریاضی مساله زمان بندی و تخصیص منابع محدود پرداخته شد. به منظور حل مدل از یک ساختار ابتکاری هیبریدی متشکل از روش مونت کارلو و هایپر ابتکاری استفاده شده است. یک تعمیم RCPSP (این است که چند حالت MRCPSP) را نیز در نظر بگیرد که در آن فعالیت ها را می توان در یکی از مجموعه حالت ها انجام داد، و هر حالت به طور بالقوه از مجموعه های مختلف منابع استفاده می کند. علاوه بر این، گزینه های بسیاری علاوه بر میزان کارایی برای تابع (های) هدف وجود دارد. یک نمونه معمول این است که یک جمع وزنی از زمان اتمام به حداقل می رسد.

۴. مدل سازی

با توجه به مسئله تحقیق و همچنین مفروضات ارائه شده در پیشنهاد این پروژه در این بخش به مدلسازی پروژه پرداخته شده است. مدل ارائه شده در این بخش به منظور زمان بندی فعالیت های پروژه با در نظر گرفتن محدودیت منابع و زمان انتقال منابع طراحی شده است. در ادامه مجموعه ها، متغیرها و پارامترهای مدل ریاضی و در نهایت مدل نهایی ارائه شده است.

متغیرهای تصمیم

نماد متغیر تصمیم	شرح متغیر تصمیم
X_{it}	مقدار ۱ وقتی فعالیت i در نوبت زمانی t اجرا و در غیر اینصورت مقدار ۰ به خود می گیرد.
$d_i^+, d_i^-, e_i^+, e_i^-$	متغیر کمکی مورد نیاز برای روش MCGP
$Goal_{i,min}$	حداقل آرمان مورد انتظار برای تابع هدف اول
$Goal_{i,max}$	حداقل آرمان مورد انتظار برای تابع هدف دوم
$Goal_{i,max}$	حداکثر آرمان مورد انتظار برای تابع هدف اول
$Goal_{i,max}$	حداکثر آرمان مورد انتظار برای تابع هدف دوم
T	زمان اتمام فعالیت‌ها

مجموعه‌ها

نماد مجموعه‌ها	شرح مجموعه‌ها
I	مجموعه فعالیت‌ها
M	مجموعه هم ارز فعالیت‌ها
K	مجموعه منابع محدود پروژه
t	مجموعه روزهای افق زمانی (تقویم) پروژه
b	مجموعه هم ارز مجموعه روزهای افق زمانی (تقویم) پروژه

پارامترها

نماد پارامتر	شرح پارامتر
B_i	مدت زمان انجام هر فعالیت (خروجی شبکه عصبی)
ST_i	زمان شروع احتمالی فعالیت
FT_i	زمان تکمیل احتمالی فعالیت
EF_i	زودترین زمان انجام هر فعالیت
LF_i	دیرترین زمان انجام هر فعالیت
P_i	مجموعه فعالیت‌های پیش‌نیازی
S_i	مجموعه فعالیت‌های پس‌نیازی
Re	تعداد منابع
R_k	تعداد منابع دسترس نوع k ام
r_{ik}	تعداد منابع مورد نیاز انجام هر فعالیت
\bar{r}	نسبت تعداد کل منابع-روزهای تخصیص داده شده به فعالیت‌ها به روی افق زمانی پروژه
TU	افق زمان بندی پروژه
C_{max}	حداکثر زمان تکمیل پروژه
β	یک عدد حقیقی در بازه ۰ و ۱
TF_i	شناوری فعالیت
TF	شناوری کل پروژه

تابع هدف و محدودیت‌ها

$$\text{Min}Z_{new} = d_1^+ + d_1^- + d_7^+ + d_7^- + e_1^+ + e_1^- + e_7^+ + e_7^- \quad (1)$$

$$z_1 + d_1^+ - d_1^- = y_1 \quad (2)$$

$$y_1 + e_1^+ - e_1^- = \text{Goal}_{1,min} \quad (3)$$

$$\text{Goal}_{1,min} \leq y_1 \leq \text{Goal}_{1,max} \quad (4)$$

$$z_7 + d_7^+ - d_7^- = y_7 \quad (5)$$

$$y_7 + e_7^+ - e_7^- = \text{Goal}_{7,min} \quad (6)$$

$$\text{Goal}_{7,min} \leq y_7 \leq \text{Goal}_{7,max} \quad (7)$$

$$z_1 = (\beta * C_{max} - (1 - \beta) * TF) \quad (8)$$

$$z_7 = (Re_{ik} - \bar{r}) \quad \forall i \in I, k \in K \quad (9)$$

S. t.

$$\sum_{EF_i}^{LF_i} X_{it} = 1 \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^m X_{it} \leq Re_{ik} \quad (11)$$

$$\sum_{b=T}^{T+B_i-1} X_{ib} \cdot \sum_{i=1}^m r_{ik} \leq R_k \quad (12)$$

$$\sum_{EF_W}^{LF_W} X_{wt} \cdot T \leq \sum_{EF_i}^{LF_i} X_{it} (T - B_i) \quad (13)$$

$$\sum_{EF_i}^{LF_i} X_{it} \cdot T = C_i \quad (14)$$

$$LS_i = LF_i - B_i \quad (15)$$

$$EF_i - B_i = \max\{ES_i\} \quad (16)$$

$$C_{max} \geq C_i \quad (17)$$

$$C_{max} \leq TU \quad (18)$$

$$TF_i = LF_i - EF_i \quad (19)$$

$$TF = \sum_{i=1}^m TF_i \quad (20)$$

$$ES_{i0} = \cdot \quad (21)$$

$$TU \leq \sum_i \max B_i \quad (22)$$

$$EF_i = LS_i + B_i \quad (23)$$

$$ES_i = \max\{EF_m\} \quad (24)$$

$$LF_m = TU \quad (25)$$

$$X_{it} = \{\cdot, 1\}, \forall j, t \quad (26)$$

$$r_{ik} = \{\cdot, 1\} \quad (27)$$

$$C_i, d_i^+, d_i^-, e_i^+, e_i^- \geq \cdot \quad (28)$$

۴.۱. تشریح محدودیت های مدل

رابطه ۱ مربوط به تابع هدف نهایی مدل ریاضی است. مدل ریاضی این پژوهش از نوع چند هدفه است که با استفاده از روش MCGP به تک هدفه تبدیل شده است. رابطه ۱ تابع هدف جدید است که مینیمم سازی متغیرهای کمکی تکنیک آرمانی را برعهده دارد. رابطه ۲-۷ مربوط به محدودیت های جایگزین در روش MCGP به ازای توابع هدف مدل چند هدفه است. این محدودیت ها سعی در سوق مدل به سمت بهینه ترین حالت ممکن برای تمام توابع هدف بدون تخصیص ضریب وزنی یا اولویت برای توابع هدف دارند. رابطه ۸ مربوط به تابع هدف زمان اتمام و شناوری کل پروژه است که مدل سعی مینیمم سازی زمان اتمام کل پروژه دارد که این زمان برابر با زمان اتمام آخرین فعالیت در شبکه پروژه است. رابطه ۹ به منظور تخصیص جریمه به تخصیص منابع صورت گرفته بدون رعایت تسطیح در نظر گرفته شده است. این رابطه سعی دارد که اختلاف مقدار تعداد منابع در روزهای پروژه با میانگین تعداد منابع در کل پروژه با روزها را حداقل ممکن برساند. رابطه ۱۰ مشخص میکند که هر فعالیت تنها یک روش اجرایی و یک زمان شروع دارد و با هر روش اجرایی که شروع شود با همان روش اجرا باید خاتمه یابد. رابطه ۱۱ مشخص می کند که منابع به فعالیت هایی در یک روز تخصیص داده شوند که آن فعالیت در روز مشخص در حال اجرا باشد. رابطه ۱۲ برای رعایت سقف منابع موجود از هر نوع در تخصیص منابع پروژه به فعالیت ها در روزهای پروژه در نظر گرفته شده است. رابطه ۱۳ برای رعایت روابط پیش نیازی فعالیت ها در محاسبات زمان شروع و پایان فعالیت ها در نظر گرفته شده است. رابطه ۱۴ برای ذخیره زمان اتمام هر فعالیت به منظور استفاده در سایر محدودیت ها و تابع هدف طراحی شده است. رابطه ۱۵ برای رعایت رابطه بین زمان زودترین شروع و پایان فعالیت ها در نظر گرفته است. این رابطه با فرض عدم امکان Split شدن فعالیت ها پایه ریزی شده است. رابطه ۱۶ برای رعایت رابطه بین زمان دیرترین شروع و پایان فعالیت ها در نظر گرفته است. این رابطه با فرض عدم امکان Split شدن فعالیت ها پایه ریزی شده است. رابطه ۱۷ برای شناسایی زمان اتمام پروژه و رابطه ۱۸ به منظور رعایت زمان اتمام پروژه از سقف تعیین شده می باشد. در صورت عدم وجود این رابطه مدل به تخصیص های غیرمنطقی برای رسیدن به تسطیح بهینه می رسد. رابطه ۱۸-۲۵ مربوط به تعیین ارتباط میان زمان های زودتری و دیرترین شروع و پایان و همپنین شروع و اتمام پروژه است. رابطه ۲۶ مربوط به نوع متغیر تصمیم مدل ریاضی است.

۵. حل دقیق و فراابتکاری مدل

در این قسمت مدل ارائه شده با استفاده از روش های دقیق و فراابتکاری با رعایت نکات مربوط به هریک با استفاده از داده های استاندارد برای مسائل در ابعاد گوناگون حل شده است. برای حل دقیق از نرم افزار GAMS و برای حل فراابتکاری از نرم افزار MATLAB استفاده شده است. هر دو روش بروی رایانه با مشخصات توضیح داده شده اجرا گردیده اند و نتایج طبق جدول زیر قابل مشاهده است. در این تحقیق ابعاد مسئله سعی شده است که دارای طی گسترده و یکنواختی از ابعاد دنیای واقعی باشد و مقادیر پارامترهای مسئله بر اساس داده های مقالات نزدیک به حوزه تحقیق و مسائل موجود در دنیای واقعی جمع آوری و الگوریتم حل بروی آنها اجرا شده است

جدول ۱- ابعاد مسائل نمونه

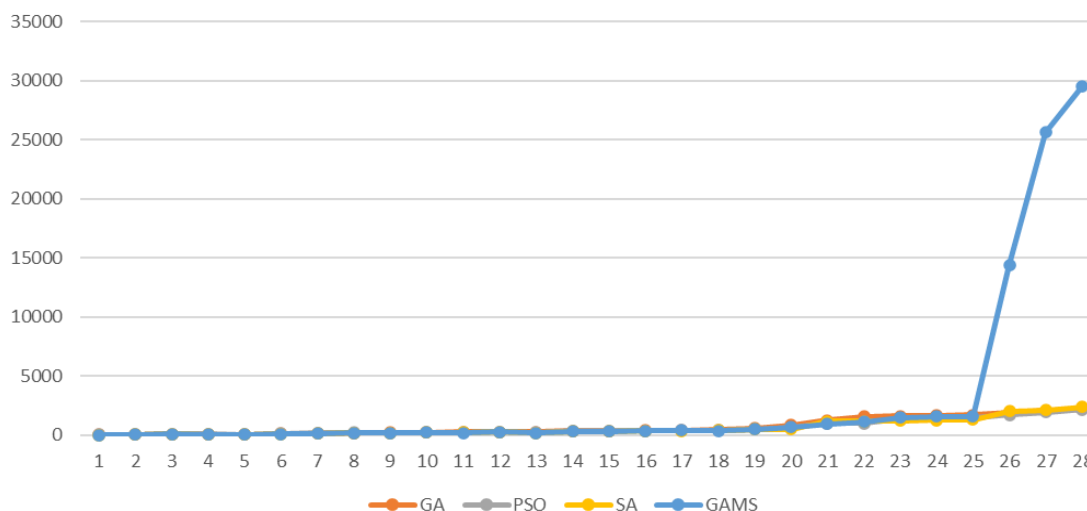
ابعاد مسائل نمونه	m	k	i
۱	۳	۳	۳
۲	۳	۳	۴
۳	۳	۳	۶
۴	۳	۳	۶
۵	۳	۳	۶
۶	۳	۶	۶
۷	۴	۶	۶
۸	۵	۶	۶
۹	۵	۸	۸
۱۰	۵	۸	۱۰
۱۱	۵	۸	۹
۱۲	۵	۸	۱۰
۱۳	۵	۸	۱۲
۱۴	۵	۹	۱۰
۱۵	۵	۹	۱۱
۱۶	۵	۹	۱۰
۱۷	۵	۱۰	۱۰
۱۸	۵	۹	۱۰
۱۹	۵	۹	۱۲
۲۰	۵	۹	۱۲
۲۱	۵	۹	۱۲
۲۲	۵	۹	۱۳
۲۳	۵	۹	۱۳
۲۴	۵	۱۰	۱۳
۲۵	۵	۱۲	۱۴
۲۶	۵	۱۵	۲۲
۲۷	۵	۱۸	۳۰
۲۸	۵	۲۰	۴۰

جدول ۲- مقایسه نتایج حاصل از الگوریتم‌های فراابتکاری با روش دقیق در ابعاد کوچک

الگوریتم	GA		PSO		SA		GAMS	
مسأله	(s)	Obj	(s)	Obj	(s)	Obj	(s)	Obj
۱	۳۶	۱,۲۵۴	۳۰	۱,۲۸۹	۲۷	۱,۴۲۸	۲۴	۱,۲۴۲
۲	۴۰	۱,۳۳۸	۵۹	۱,۳۶۴	۳۴	۱,۴۱۷	۳۲	۱,۳۰۱
۳	۸۲	۱,۴۷۰	۸۰	۱,۴۷۷	۷۷	۱,۴۵۹	۷۸	۱,۴۴۲
۴	۵۷	۱,۷۳۶	۸۰	۱,۷۲۹	۵۴	۱,۷۹۳	۵۴	۱,۵۷۴
۵	۵۵	۲,۲۵۲	۵۹	۲,۲۲۷	۳۹	۲,۲۷۰	۴۰	۲,۱۰۳
۶	۱۲۵	۲,۲۸۷	۱۳۷	۲,۲۷۸	۱۱۸	۲,۳۷۷	۱۱۴	۲,۲۶۲
۷	۱۵۷	۲,۴۷۶	۱۶۸	۲,۴۹۷	۱۴۳	۲,۶۲۰	۱۴۳	۲,۳۰۰
۸	۲۰۰	۲,۷۰۱	۲۱۵	۲,۷۲۲	۱۹۷	۲,۷۹۳	۱۹۷	۲,۶۰۲
۹	۲۱۱	۲,۸۹۳	۱۸۷	۲,۹۳۶	۱۶۶	۳,۰۲۱	۱۶۵	۲,۷۵۳
۱۰	۲۲۲	۳,۱۸۰	۲۳۹	۳,۱۵۱	۲۱۴	۳,۲۸۲	۲۱۰	۳,۰۵۱
۱۱	۲۵۹	۳,۳۹۸	۲۳۱	۳,۳۷۴	۲۱۰	۳,۴۵۸	۲۰۵	۳,۱۵۱
۱۲	۲۶۹	۳,۵۸۰	۲۶۸	۳,۵۹۰	۲۶۵	۳,۷۰۷	۲۶۶	۳,۴۰۴
۱۳	۲۵۵	۳,۸۱۹	۲۲۴	۳,۸۱۰	۲۰۰	۳,۸۴۳	۲۰۰	۳,۷۸۹
۱۴	۳۶۱	۴,۰۵۲	۳۵۲	۴,۰۱۶	۳۲۳	۴,۰۵۸	۳۲۱	۳,۹۰۲
۱۵	۳۸۶	۵,۷۱۱	۳۶۳	۵,۶۹۲	۳۳۷	۵,۷۸۱	۳۳۵	۵,۶۵۱
۱۶	۳۹۲	۸,۷۴۹	۳۸۵	۸,۷۵۰	۳۶۴	۸,۸۶۰	۳۶۰	۸,۵۶۱
۱۷	۴۲۴	۹,۲۵۳	۴۰۶	۹,۲۵۱	۳۷۰	۹,۳۱۳	۳۹۳	۹,۱۰۳
۱۸	۴۶۹	۱۱,۴۲۶	۴۲۱	۱۱,۴۱۱	۳۹۱	۱۱,۵۶۶	۳۸۸	۱۰,۹۰۲
۱۹	۵۷۱	۱۳,۱۸۷	۵۱۷	۱۳,۱۸۴	۴۹۷	۱۳,۲۹۷	۴۹۷	۱۲,۷۸۰
۲۰	۸۷۱	۱۴,۹۳۲	۶۲۲	۱۵,۲۰۸	۵۰۰	۱۵,۱۰۹	۷۰۲	۱۳,۹۹۱
۲۱	۱۲۵۵	۱۵,۴۵۲	۹۸۷	۱۶,۵۵۱	۱,۱۸۲	۱۶,۷۹۵	۹۵۸	۱۴,۵۶۳
۲۲	۱۵۶۱	۱۶,۱۰۳	۹۹۸	۱۶,۸۵۱	۱,۱۹۵	۱۷,۸۴۲	۱۱۵۲	۱۵,۶۴۲
۲۳	۱۶۱۱	۱۸,۹۹۶	۱,۳۵۲	۱۹,۸۴۸	۱,۲۰۱	۲۰,۲۶۹	۱۴۹۲	۱۷,۵۶۵
۲۴	۱۶۹۰	۲۱,۰۰۲	۱,۴۲۵	۲۱,۵۲۱	۱,۲۵۰	۲۲,۵۶۱	۱۵۶۲	۱۸,۴۵۶
۲۵	۱۷۰۲	۲۱,۵۰۲	۱,۴۶۲	۲۳,۶۸۶	۱,۳۰۰	۲۵,۶۷۵	۱۶۰۲	۱۹,۲۳۱
۲۶	۱۹۵۰	۲۳۰۶۲	۱۷۰۸.۷۶	۲۶۸۵۰	۲۰۵۰	۲۵۶۰۰	۱۴۴۰۰	۲۴۴۰۰
۲۷	۲۱۰۰	۲۶۸۵۰	۱۹۵۰	۲۹۸۵۰	۲۱۲۵	۲۸۶۵۰	۲۵۶۳۲	۲۷۴۰۰
۲۸	۲۲۲۰	۲۷۵۰۰	۲۱۵۰	۳۲۶۰۰	۲۴۰۰	۳۱۹۰۰	۲۹۵۶۰	۳۰۶۵۰

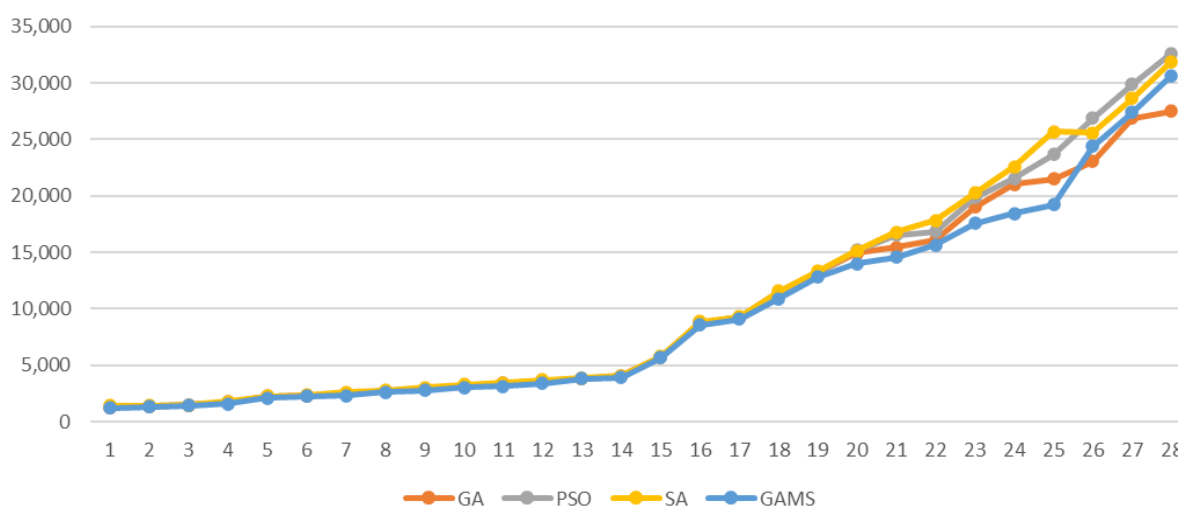
در ادامه نمودارهای مقایسه‌ای بر اساس زمان و مقادیر تابع هدف به نمایش گذاشته شده است.

نمودار زمان حل به ازای مسائل مختلف



شکل ۱- زمان حل مدل با استفاده از روش‌های مختلف در ابعاد کوچک و متوسط

نمودار توابع هدف به ازای مسائل مختلف



شکل ۲- نمودار مقایسه‌ای تابع هدف الگوریتم‌ها در ابعاد کوچک و متوسط

۶. پیش‌بینی زمان فعالیتها با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی چندلایه

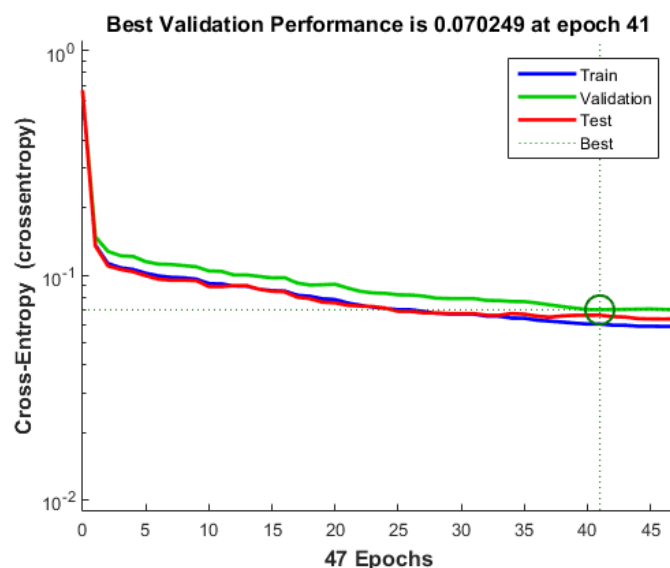
باتوجه به ماهیت احتمالی زمان انجام فعالیت های پروژه و عدم قطعیت موجود در آن در این تحقیق برای پیش‌بینی باتوجه به ابزار برنامه‌نویسی موجود در نرم‌افزار MATLAB اقدام به برآزش شبکه عصبی مصنوعی چندلایه برای پیش‌بینی زمان باتوجه به داده‌های تاریخی جمع‌آوری شده است. مزیت این کار این است که دیگر تعداد دوره‌ها محدودیت نداشته و می‌توان مدل را برای دوره‌های بیشتر و نامحدود اجرا و حل نمود. عملکرد این بخش از تحقیق به این صورت است که داده‌های آموزشی که شامل

داده‌های اولیه و نتایج حاصل از بررسی مقالات می‌باشد با استفاده از روش K-fold به‌منظور آموزش در شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این کار به این صورت انجام می‌شود که هر بار ۱۰ درصد داده‌های مربوط به فعالیت‌های به اجرا در آمده گذشته به‌عنوان داده تست کنار گذاشته شده و ۸۱ داده باقیمانده به‌منظور آموزش (۹۰٪) و ۹ داده به‌منظور اعتبارسنجی (۱۰٪) مورد استفاده قرار می‌گیرند. این کار به حدی تکرار می‌شود که تمام داده‌ها هم برای تست و هم برای آموزش و اعتبارسنجی مورد استفاده قرار بگیرند. کدنویسی این الگوریتم در محیط نرم افزار MATLAB ورژن ۲۰۱۷ صورت گرفته است که برای این کار ابتدا از کدهای استاندارد روش شبکه عصبی موجود در تولباکس استاندارد نرم افزار استفاده شده و سپس از بخش Advance Script برای بهسازی و اختصاصی سازی کدها استفاده شده است که کدهای نهایی در پیوست این تحقیق قرار گرفته است. در آموزش شبکه عصبی داده‌ها به دو بخش Input, Output تقسیم می‌شوند. در این پژوهش ورودی‌ها مقادیر پارامترهایی که بر زمان فعالیت تأثیر می‌گذارند به ازای سناریوهای مختلف و خروجی زمان انجام فعالیت‌ها توسط منابع در دسترس می‌باشد که شبکه عصبی تحقیق به دنبال برازش رابطه میان دو بعد است به طوری که با دادن یک ورودی جدید از یک فعالیت خروجی بدست آید. در واقع عملکرد شبکه عصبی شناسایی رابطه پنهان مابین معیارهای شناسایی شده و اتخاذ سیاست بهینه غربالگری و تصمیم‌گیری برای اجرای آزمایش یا عدم اجرای آن است. داده‌های بدست آمد در مراحل مختلف به‌عنوان ورودی و خروجی به شبکه عصبی مصنوعی چندلایه داده شده و نتایج حاصل از آن در ادامه به نمایش گذاشته می‌شود. طبیعتاً هرچه قدر الگوریتم بهتر تصمیم بگیرد و سیاست مناسب را انتخاب کند از دقت بیشتری برخوردار است. نکته مهم دیگر تنظیم پارامترهای تحقیق در آموزش شبکه است. تعداد نرون‌ها و لایه‌های پنهان در شبکه عصبی در دقت و راندمان آن تأثیر بالایی دارند. به‌منظور انتخاب تعداد بهینه نرون برای آموزش تعداد نرون‌ها یکی یکی افزایش پیدا می‌کند و روند کاهش میانگین مربعات خطا دنبال شده و در صورتی که از یک تعدادی به بعد بهبودی در دقت انجام نشود تعداد نرون بر اساس کمترین خطا تعیین می‌شود که در این مرحله تعداد ۵ نرون برای این کار مشخص شد. شایان ذکر است که تابع محرک در شبکه عصبی در لایه پنهان سیگموئیدی و در لایه آشکار خطی می‌باشد. در ادامه نتایج عملکرد اجرای آموزش الگوریتم شبکه عصبی برای تشخیص سناریو بهینه غربالگری ارائه شده است.



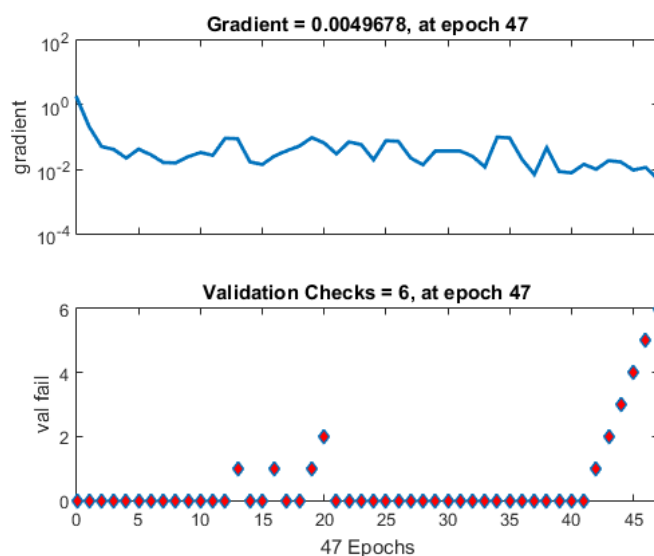
شکل ۳- هیستوگرام خطا بر اساس داده‌های تست

خطا در این مرحله بر اساس تفاوت تقاضای پیش‌بینی شده توسط الگوریتم با واقعیت در دوره‌های زمانی می‌باشد. هرچقدر این خطا کمتر باشد طبیعتاً دقت الگوریتم و الگوی مورد استفاده تحقیق کارآمدتر خواهد بود. در شکل بالا هیستوگرام خطا در آموزش، اعتبارسنجی و تست هم‌زمان نمایش داده شده است. نکته مهم این است که این نمودار نشان‌دهنده این است که خطا به‌صورت نرمال اطراف خطا یا میانگین صفر بوده و طول باز زنگوله‌ای شکل نمودار نشان از دقت بالای الگوریتم است بر اساس مابین تفاوت تصمیم الگوریتم و تصمیم درست می‌باشد.



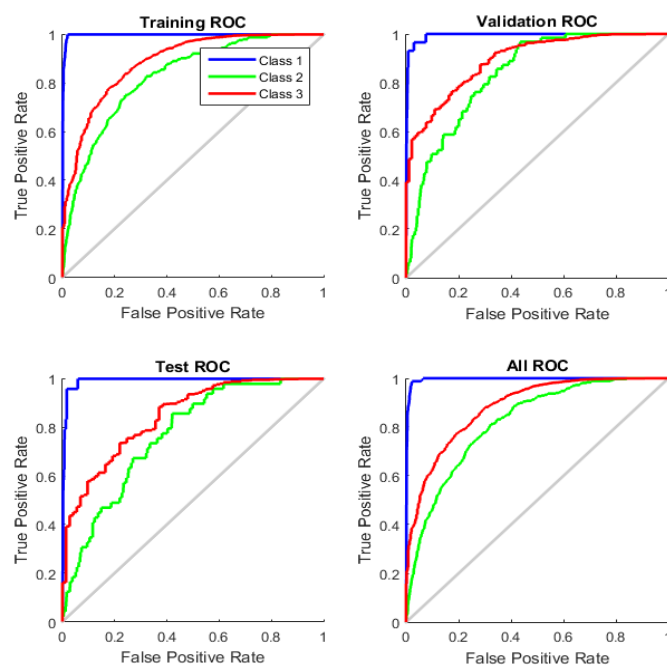
شکل ۴- عملکرد آموزش شبکه عصبی در ایپوک های متواتر اجرا

یکی دیگر از شاخص‌ها یا پارامترهای سنجش دقت الگوریتم شبکه عصبی نحوه و زمان همگرایی آن به سمت شرایط و دقت بیشتر است. طبق نمودار بالا که آنتروپی ترکیبی که یکی از شاخص‌های سنجش دقت مشابه میانگین مربعات خطا است، روند آموزش شبکه در تکرارهای متوالی به سمت دقت بیشتر است. این روند تا تکرار یا ایپوک ۴۱ ادامه داشته است تا اینکه مقادیر شاخص آنتروپی افزایش پیدا کرده و این روند در چندین تکرار دیگر هم ادامه داشته است و این به معنی آن است که بهترین دقت ممکن در ایپوک ۴۱ اتفاق افتاده و نتایج در این تکرار به‌عنوان پاسخ نهایی انتخاب می‌شوند.



شکل ۵- مقدار ویژه شکست آموزش در شبکه عصبی

همان‌طور که اشاره شد در این تحقیق از روش آموزش شبکه مصنوعی لونیبرگ استفاده شده است و در این روش شرط توقف بررسی مقادیر گرادیانت و شاخص شکست است. در این روش تا جایی که روند گرادیانت و شاخص شکست کاهشی یا بهبودی باشد آموزش ادامه پیدا می‌کند و وقتی که مقادیر بدتر از بهترین تکرار قبلی شوند، نهایتاً تا ۶ تکرار آموزش ادامه پیدا می‌کند تا شرایط بهتر حادث شود در غیر این صورت بهترین تکرار از حیث دقت به‌عنوان پاسخ نهایی ارائه می‌شود که در این نمودار نیز الگوریتم در اپوک ۴۱ متوقف شده است.



شکل ۶- ضریب تشخیص مثبت در مراحل تست، اعتبارسنجی، آموزش و حالت کلی

در نمودار بالا ضریب تشخیص مثبت و منفی که یک عدد مابین صفر و یک است در مراحل آموزش، اعتبارسنجی، تست و کل داده‌ها به نمایش گذاشته شده است که همان‌طور که مشاهده می‌شود هر چهار نمودار به سمت تشخیص مثبت یا درست انحراف دارند و این روند در تمام تکرارها ادامه دارد و این نشان‌دهنده دقت بالای این الگوریتم است.

۷. نتیجه گیری

در این پژوهش به طراحی یک مدل زمان بندی با در نظر داشتن محدودیت منابع در شبکه های OR پرداخته شد. در این پژوهش برای این منظور یک مدل چند هدفه ارائه گردید که سعی در زمان بندی به منظور کمترین زمان اتمام پروژه و تخصیص توانمان با تسطیح دارد. تسطیح منابع قدم بعد از تخصیص منابع بوده و از اهمیت بالایی برخوردار است این امر در پروژه های عمرانی و دارای عدم قطعیت نقش پررنگ تری را دارد. زیرا با توجه به هزینه های سربار به کارگیری منابع اعم از انسانی و ماشین آلات عدم استفاده بهینه از نیروها و بوجود آمدن اضافه کاری بیش از حد یا برعکس بیکاری زیاد تبعات متعددی به دنبال خواهد داشت که هزینه کل یکی از فاکتورهای آن به حساب می آید. در مدل ارائه شده در این پژوهش به دلیل عدم قطعیت موجود در مقادیر زمان انجام فعالیت ها از یک الگوی مبتنی بر هوش مصنوعی استفاده شد. این الگوریتم با در نظر داشتن رویه های فازی در کنار روابط پیچیده مابین متغیرها و زمان انجام فعالیت ، دقت بالایی (۹۶٪) به صورت میانگین در تخمین زمان انجام فعالیت ها به دنبال دارد. از طرف دیگر با توجه به اینکه مقادیر در دسترس بودن منابع و زمان انتقال آنها شبکه فعالیت ها به صورت احتمالی می باشد در این پژوهش از ساختار مدلسازی استوار برای مدلسازی مواجهه با عدم قطعیت استفاده شده است. با توجه به ساختار احتمالی زمان انجام فعالیت ها در این پژوهش از روش برنامه ریزی استوار مبتنی بر سناریو استفاده گردید که توسط مولوی و همکاران در سال ۱۹۹۵ ارائه شده است. این روش از استوارسازی در مدل های مختلفی مانند شبکه تامین خون بعد از بروز زلزله توسط جبارزاده و همکاران در سال ۲۰۱۴ مورد استفاده قرار گرفته و پتانسیل مناسبی برای ارائه پاسخ بهینه دارد. با توجه به اینکه زمان حل مدل در ابعاد دنیای واقعی و بزرگ به صورت نمایی رفتار می کند و همچنین مدل های پایه و مطرح شده در ادبیات موضوع رفتاری NP-Hard از خود نشان داده اند در این پژوهش از الگوریتم های فراابتکاری استفاده گردید. در ادبیات موضوع روش های بهینه سازی ازدحام ذرات و الگوریتم ژنتیک بیشتر مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به اینکه مدل این تحقیق از جنس چند هدفه است در این پژوهش از روش های NSGA II و بهینه سازی ازدحام ذرات تعمیم یافته (بدلیل برنامه ریزی عدد صحیح مختلط بودن مدل ریاضی مسئله) به عنوان نماینده روش های فراابتکاری مبتنی بر جمعیت و روش تبرید شبیه سازی شده به عنوان نماینده تکنیک های مبتنی بر یک جواب اولیه استفاده شد که پس اجرای الگوریتم ها برای داده های ۲۸ مسئله نمونه در ابعاد مختلف روش الگوریتم ژنتیک از دقت بیشتری نسبت به سایر روش ها برخوردار بوده است. این کار با مقایسه نتایج اجرای مدل با الگوریتم ها (متغیرهای تصمیم و تابع هدف) با تابع هدف و مقادیر متغیرهای تصمیم حاصل شده از اجرای مدل در نرم افزار گمز با الگوریتم Cplex انجام شد. شایان ذکر است برای تنظیم پارامترهای الگوریتم ها در این پژوهش از روش تاگوچی در محیط نرم افزار MATLAB استفاده شد. همچنین از تعداد ۱۲ نرون برای شبکه عصبی چندلایه استفاده شد که جهت آموزش از روش Kfold برای حداکثر بهره وری از داده ها استفاده گردید. نتایج نشان دهنده این است این مدل قابلیت بالایی در ارائه زمان بندی با محدودیت منابع به صورت نزدیک به حالت هم سطح یا تسطیح شده دارد.

۸. منابع و مراجع

- [1] Abdelmaguid, T. F., & Elrashidy, W. (2019). Halting decisions for gas pipeline construction projects using AHP: a case study. *Operational Research*, 19(1), 179-199.
- [2] Adhau, S., Mittal, M. L., & Mittal, A. (2012). A multi-agent system for distributed multi-project scheduling: An auction-based negotiation approach. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25(8), 1738-1751.
- [3] Adhau, S., Mittal, M. L., & Mittal, A. (2013). A multi-agent system for decentralized multi-project scheduling with resource transfers. *International Journal of Production Economics*, 146(2), 646-661.
- [4] Afruzi, E. N., Roghanian, E., Najafi, A. A., & Mazinani, M. (2012). A multi-mode resource-constrained discrete time-cost tradeoff problem solving using an adjusted fuzzy dominance genetic algorithm. *Scientia Iranica*, 20(3), 931-944.
- [5] Akkanabc, C. (2005). Network decomposition-based benchmark results for the discrete time-cost tradeoff problem. *European Journal of Operational Research*, 165(2), 339-358.
- [6] Aminbakhsh, S., & Sonmez, R. (2016). Discrete particle swarm optimization method for the large-scale discrete time-cost trade-off problem. *Expert Systems with Applications*, 51, 177-185.
- [7] Arauzo, J. A., Galán, J. M., Pajares, J., & López-Paredes, A. (2009). Multi-agent technology for scheduling and control projects in multi-project environments. An Auction based approach. *Inteligencia Artificial*, 13(42), 12-20.
- [8] Araújo, J. A., Pajares, J., & Lopez-Paredes, A. (2010). Simulating the dynamic scheduling of project portfolios. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 18(10), 1428-1441.
- [9] Asgari, S., Afshar, A., & Madani, K. (2014). Cooperative game theoretic framework for joint resource management in construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(3): 04013066.
- [10] Atef, A., Abdel-Baset, M., & El-henawy, I. (2015). Composite heuristic priority rules-based on tie-breakers for scheduling multiple-constrained resource projects. *Advances in Information Sciences and Service Sciences*, 7(3), 43.
- [11] Badiru, A.B. & Osisanya, S.O. (2013). *Project Management for the Oil and Gas Industry: A World System Approach*, Boca Raton, FL: CRC Press. Baker, B. M. (1997). Cost/time trade-off analysis for the critical path method: a derivation of the network flow approach. *Journal of the Operational Research Society*, 48(12), 1241-1244.
- [12] Berman, E. B. (1964). Resource allocation in a PERT network under continuous activity time-cost functions. *Management Science*, 10(4), 734-745.
- [13] Browning, T. R., & Yassine, A. A. (2010). Resource-constrained multi-project scheduling: Priority rule performance revisited. *International Journal of Production Economics*, 126(2), 212-228.
- [14] Brucker, P., Drexl, A., Möhring, R., Neumann, K., & Pesch, E. (1999). Resource-constrained project scheduling: Notation, classification, models, and methods. *European Journal of Operational Research*, 112(1), 3-41.
- [15] Can, A., & Ulusoy, G. (2014). Multi-project scheduling with two-stage decomposition. *Annals of Operations Research*, 217(1), 95-116.
- [16] Choi, B. C., & Chung, J. (2014). Complexity results for the linear time-cost tradeoff problem with multiple milestones and completely ordered jobs. *European Journal of Operational Research*, 236(1), 61-68.
- [17] Choi, B. C., & Chung, J. (2016). Some special cases of a continuous time-cost tradeoff problem with multiple milestones under a chain precedence graph. *Management Science and Financial Engineering*, 22(1), 5-12.
- [18] Choi, B. C., & Kang, C. (2019). A linear time-cost tradeoff problem with multiple milestones under a comb graph. *Journal of Combinatorial Optimization*, 38(2), 341-361.

- [19] Choi, B. C., & Park, M. J. (2015). A continuous time–cost tradeoff problem with multiple milestones and completely ordered jobs. *European Journal of Operational Research*, 244(3), 748-752.
- [20] Choi, B. C., & Park, M. J. (2019). A linear time–cost tradeoff problem with multiple interim assessments within multiple projects in parallel. *Computers & Industrial Engineering*, 128, 651-658.
- [21] Confessore, G., Giordani, S., & Rismondo, S. (2002, 2002-01-01). An auction based approach in decentralized project scheduling. Paper presented at the In: Proceedings of the 8th international workshop on project management and scheduling.
- [22] Confessore, G., Giordani, S., & Rismondo, S. (2007). A market-based multi-agent system model for decentralized multi-project scheduling. *Annals of Operations Research*, 150(1), 115-135.
- [23] De, P., Ghosh, J. B., Wells, C. E., & Dunne, E. J. (1997). Complexity of the discrete time–cost tradeoff problem for project networks. *Operations Research*, 45(2), 302-306.
- [24] Deckro, R. F., Hebert, J. E., Verdini, W. A., Grimsrud, P. H., & Venkateshwar, S. (1995). Nonlinear time/cost tradeoff models in project management. *Computers & Industrial Engineering*, 28(2), 219-229.
- [25] Sabzeparvar M. (2014) "Project management and control", 11th Edition ,Termeh Press, Tehran.
- [26] Shirmohammadi A. (2010) Management and control of project, 2nd Edition ,Esfahan, Jahad Daneshgahi Press.
- [27] Demeulemeester E. L. (2002) Project scheduling: A research handbook, Vol ۱ و ۲. Springer
- [28] Deckro R. F. Winkofsky E. P, Hebert J. E., Gagnon R. (1991) "A decomposition approach to multi-project scheduling", *Eur. J. Oper. Res.*, Vol.
- [29] Chiu H. N., Tsai D. M. (2002) "An efficient search procedure for the resource constrained multi-project scheduling problem with discounted cash flows ",*Constr. Manag. Econ.*, Vol. 20, No. 1: 55-66.
- [30] Kim K W., Gen M., Yamazaki G. (2003) "Hybrid genetic algorithm with fuzzy logic for resource-constrained project scheduling", *Appl. Soft Comput.*, Vol. 2 ,No. 3: 174–188
- [31] Kumanan S., Jose G. J., Raja K. (2006) "Multi-project scheduling using an heuristic and a genetic algorithm", *Int. J. Adv. Manuf. Technol*, Vol. 31, No. 3 , pp. 360-366.
- [32] Tseng L-Y., Chen S.-C. (2006) "A hybrid metaheuristic for the resource constrained project scheduling problem", *Eur. J. Oper. Res.*, Vol. 175, No. 2 -۱۹ ۷۰۷-۷۲۱ :Gonçaves
- [33] J. F., Mendes J. J. M., Resende M. G. C. (2008) "A genetic algorithm for the resource constrained multi-project scheduling problem", *Eur. J. Oper. Res.*, Vol. 189, No. 3: 1171-1190.
- [34] Ziarati K., Akbari R., Zeighami V. (2011) "On the performance of bee algorithms for resource constrained project scheduling problem", *Appl. Soft Comput.*, Vol. 11, No. 4: 3720-۳۷۳۳.
- [35] Wu S., Wan H.-D., Shukla S. K., Li B. (2011) "Chaos-based improved immune algorithm (CBIIA) for resource-constrained project scheduling problems", *Expert Syst. Appl.*, Vol. 38, No. 4: 3387–3395
- [36] Wang L., Fang C. (2012) "A hybrid estimation of distribution algorithm for solving the resource-constrained project scheduling problem", *Expert Syst. Appl.*, Vol. 39, No. 3: 2451-2460.
- [37] Nasiri M. M. (2013) "A pseudo particle swarm optimization for the RCPSP," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, Vol. 65, No. 5-8: 909-918.
- [38] Koulinas G., Kotsikas L., Anagnostopoulos K. (2014) "A particle swarm optimization based hyper-heuristic algorithm for the classic resource constrained project scheduling problem", *Inf. Sci. (Ny).*, Vol. 277, pp. 680 693

- [39] Fahmy A., Hassan T. M., Bassioni H. (2014) "Improving RCPSP solutions quality with Stacking Justification - Application with particle swarm optimization", Expert Syst. Appl., Vol. 41, No. 13, pp. 5870-5881.
- [40] Zhang L., Luo Y., Zhang Y. (2015) "Hybrid particle swarm and differential evolution algorithm for solving multimode resource-Constrained project scheduling problem", Journal Control Sci. and Eng., Vol. 2015.
- [41] Jafarnejad Chaghoshti A. (2012) Modern production and operation management' University of Tehran press, Tehran, Iran.
- [42] Carolin Kellenbrink1 , Stefan Helber (2015). Scheduling resource-constrained projects with a flexible project structure. European Journal of Operational Research 246 (2015) 379–391.
- [43] KADRI R., Fayez F. BOCTOR(2017). An efficient genetic algorithm to solve the resource-constrained project scheduling problem with transfer times: The single mode case. European Journal of Operational Research (2017), doi: 10.1016/j.ejor.2017.07.027.
- [44] Durbin, R., & Willshaw, D. (1987). An analogue approach to the travelling salesman problem using an elastic net method. Nature, 326(6114), 689.
- [45] Eirgash, M.A., Toğan, V., & Dede, T. (2019). A multi-objective decision making model based on TLBO for the time-cost trade-off problems. Structural Engineering and Mechanics, 71(2), 139-151.
- [46] Elmaghraby, S. E. (1977). Activity networks : project planning and control by network models: Wiley, New York.
- [47] Fink, A. (2004). Supply chain coordination by means of automated negotiations. The 37th International Conference on System Sciences, Hawaii, USA.
- [48] Fink, A., & Homberger, J. (2015). Decentralized multi-project scheduling, in Handbook on Project Management and Scheduling, Vol. 2,
- [49] C. Schwindt and J. Zimmermann, Editors. Springer: Heidelberg. Flood, M. M. (1956). The Traveling-Salesman Problem. Operations Research, 4(1), 61-75.
- [50] Fulkerson, D. R. (1961). A network flow computation for project cost curves. Management Science, 7(2), 167-178.
- [51] Gonçalves, J. F., Mendes, J. J., & Resende, M. G. (2008). A genetic algorithm for the resource constrained multiproject scheduling problem. European Journal of Operational Research, 189(3), 1171-1190.
- [52] Goncalves, J., Mendes, J. & Resende, M. G. (2015). The basic multi-project scheduling problem, in Handbook on Project Management and Scheduling, Vol. 2,
- [53] C. Schwindt and J. Zimmermann, Editors. Springer: Heidelberg. Hartmann, S., & Briskorn, D. (2010). A survey of variants and extensions of the resource-constrained project scheduling problem. European Journal of operational research, 207(1), 1-14.
- [54] He, Z., He, H., Liu, R., & Wang, N. (2017). Variable neighborhood search and tabu search for a discrete time/cost trade-off problem to minimize the maximal cash flow gap. Computers & Operations Research, 78, 564-577.
- [55] Hochbaum, D. S. (2016). A polynomial time repeated cuts algorithm for the time cost tradeoff problem: The linear and convex crashing cost deadline problem. Computers & Industrial Engineering, 95, 64-71.
- [56] Hoeksma, R., & Uetz, M. (2019). The price of anarchy for utilitarian scheduling games on related machines. Discrete Optimization, 31, 29-39.
- [57] Homberger, J. (2007). A multi-agent system for the decentralized resource-constrained multi-project scheduling problem. International Transactions in Operational Research, 14(6), 565-589.
- [58] Homberger, J. (2012). A (μ, λ) -coordination mechanism for agent-based multi-project scheduling. OR spectrum, 34(1), 107-132.