بهینه‌سازی تخصیص منابع به فعالیت‌های پروژه با استفاده از مدل دیاگرام منابع بحرانی

عباس نادرپور[۱،*]، مسعود مفید[۲]

اطلاعات مقاله

دریافت مقاله: خرداد ۱۳۸۸
پذیرش مقاله: دی ۱۳۸۸

واژگان کلیدی:
کنترل پروژه
تخصیص منابع
سطوح پروژه
منابع محدود
سطوح دسترسی منابع

چکیده

در فرایند برنامه‌ریزی و کنترل بهینه و موثر جهت مدیریت و رهبری یک پروژه همواره باید دقت نمود که به تمامی ابعاد پروژه توجه کافی مبذول گردد. شیوه‌های مرسوم برنامه‌ریزی و کنترل پروژه مانند CPM، PERT و سایر تکنیک‌هایی از این قبیل، معمولا روش‌هایی هستند که بر مبنای نامحدود بودن منابع در پروژه به کنترل زمان انجام فعالیت‌های پروژه پرداخته و شبکه‌های ایجاد شده بر مبنای تئوری حاصل از این روش‌ها، غالبا به بهینه سازی زمان انجام این فعالیت‌ها می‌پردازند. بنابراین در این نوع روش‌ها، این احتمال وجود دارد که در طول اجرای پروژه در مقاطعی از زمان، سطح نیاز به یک منبع یا یکسری از منابع بطور قابل توجهی از سطح دسترسی آن بالاتر و یا پایین‌تر بوده و پروژه دارای نوسانات زیادی در امر تخصیص منابع به فعالیت‌ها باشد و چنین چالشی با توجه محدود بودن منابع در پروژه به موازنه منفی زمان و هزینه پرداخته و آن را به پروژه‌ای غیر اقتصادی و یا توام با تاخیرات چشمگیر و غیر قابل جبران تبدیل می‌نماید. این مقاله بیانگر مدلی جهت کنترل و بهینه سازی تخصیص منابع به فعالیت‌های پروژه می‌باشد. این مدل، که در واقع تعمیمی از تکنیک‌های CPM وPERT با رویکرد تخصیص بهینه منابع در راستای کنترل زمان‌بندی استفاده از منابع محدود پروژه است، موجب توزیع موثر و متناسب منابع به فعالیت‌ها در سطوح مختلف پروژه گردیده و با ممانعت از همزمانی غیر ضروری استفاده چند فعالیت از یک منبع به کاهش نوسانات تخصیص منابع و ایجاد سطح دسترسی متعادل فعالیت‌ها به منابع در طول اجرای پروژه می‌پردازد.

۱- مقدمه

مهمترین اصل در بهینه‌سازی فرایند برنامه‌ریزی و کنترل پروژه کاهش تاثیر محدودیت‌های حاکم بر پروژه در طول زمان اجرای آن است. بطورکلی پروژه‌ها دارای سه محدودیت عمده در مسیر دستیابی به اهداف خود می‌باشند، این محدودیت‌ها عبارتند از: محدودیت‌های مربوط به زمان انجام فعالیت‌ها و به تبع آن زمان نهایی انجام پروژه، محدودیت‌های مربوط به استفاده فعالیت‌ها از منابع پروژه و نیز محدودیت‌های مربوط به اجرای فعالیت‌های خاص [۷]. از آنجا که برآیند تاثیر هم زمان محدودیت‌ها می‌تواند باعث ایجاد انحرافات چشمگیری در دستیابی به اهداف پروژه گردد، باید در صورت امکان به وسیله موازنه این محدودیت‌ها با یکدیگر به بهینه‌سازی

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: naderpour@nigc.ir
۱. کارشناس ارشد مهندسی عمران- مدیریت ساخت، شرکت ملی گاز ایران
۲. استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

زمان، هزینه و کیفیت انجام فعالیت‌های پروژه اهتمام ورزید.

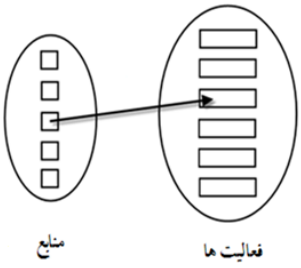
روش‌های مرسوم برنامه‌ریزی و کنترل پروژه مانند CPM، PERT و سایر روش‌های مشابه، معمولاً بر مبنای نامحدودبودن منابع در پروژه به کنترل زمانی فعالیت‌ها پرداخته و شبکه ایجاد شده بر مبنای تئوری حاصل از این روش‌ها اغلب به بهینه‌سازی زمان انجام فعالیت‌ها می‌پردازند. با گذشت زمان، پیشرفت صنایع مختلف و احتیاج به اجرای انواع پروژه‌های پیچیده، استخدام نیروی انسانی متخصص بکارگیری تجهیزات گران و استفاده از مواد و مصالحی با خصوصیات فنی متناسب با خواسته‌های پروژه الزامی بوده و غیر قابل اجتناب می‌باشد. بنابراین با توجه به محدود بودن منابع قابل دسترسی و تعدد پروژه‌ها، این احتمال وجود دارد که در طول اجرای پروژه در مقاطعی از زمان، سطح نیاز به یک منبع و یا یکسری از منابع از حد قابل دسترسی آن بالاتر باشد. همچنین ممکن است سطح نیاز به منابع در طول زمان اجرای پروژه دارای نوسانات زیادی باشد، که این امر با توجه به نوع منابع می‌تواند، در نهایت با موازنه‌ی منفی زمان و هزینه، توجیه اقتصادی انجام پروژه را با چالش مواجه نماید. جهت رفع این معضل در ادامه پس از آشنایی با برنامه‌ریزی منابع، مدلی جهت تخصیص بهینه منابع بیان می‌گردد. دیاگرام منابع بحرانی (Critical Resource Diagram) با آنالیز راه‌حل‌های موجود جهت تخصیص منابع به فعالیت‌های پروژه به این امر می‌پردازد.

۲- منابع پروژه و نحوه تخصیص آن‌ها

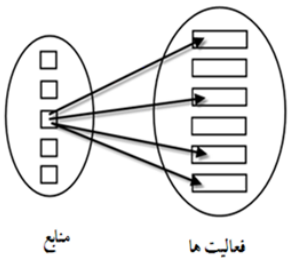
نیروی انسانی، تجهیزات، ماشین‌آلات، بودجه، مصالح، فضای قابل دسترس و بسیاری عوامل و امکانات مشابه که در امر اجرای یک پروژه مورد استفاده قرار می‌گیرند منبع نامیده می‌شوند. هزینه های پروژه بطور عمده مربوط به اقلامی هستند که از بکارگیری منابع بوجود می‌آیند. حتی در صورت نامحدود بودن منابع، که معمولاً امری غیر معمول در اجرای پروژه‌ها می‌باشد، تخصیص بهینه منابع توام با زمان‌بندی استفاده از آنها به اقتصادی نمودن انجام پروژه یعنی کاهش هزینه‌ها و زمان انجام فعالیت‌ها می‌پردازد.

شکل ۱ نحوه تخصیص منابع به فعالیت‌های پروژه را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل قابل مشاهده است، در پروژه گاهی یک منبع فقط به یک فعالیت اختصاص می‌یابد (حالت الف)، گاهی چند فعالیت از یک منبع بهره می‌گیرند (حالت ب) و نیز گاهی در طول زمان اجرای پروژه، یک فعالیت منابع مختلفی را مورد استفاده قرار می‌دهد (حالت ج) [۲].

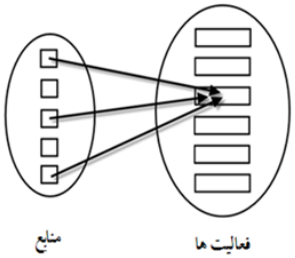
با پیچیده‌تر شدن پروژه‌ها و روابط بین فعالیت‌های آنها، مدیریت منابع پروژه نیز از اهمیت بیشتری برخوردار گردیده و لزوم مطالعات و پژوهش‌های علمی پیرامون نحوه تخصیص‌منابع در پروژه بیش ازپیش آشکار می‌گردد.



حالت الف – اختصاص یک منبع به یک فعالیت



حالت ب – اختصاص یک منبع به چند فعالیت

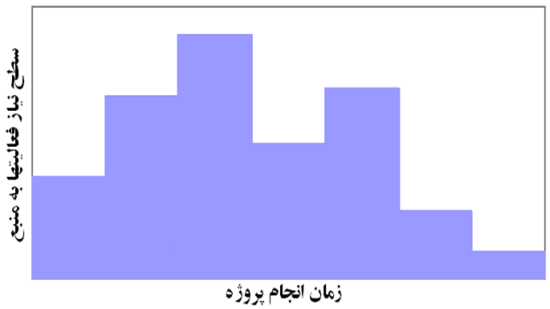


حالت ج- اختصاص چند منبع به یک فعالیت

شکل ۱- حالت‌های مختلف اختصاص منابع به فعالیت‌ها

۳- نمودارهای منابع

نمودارهای منابع در واقع یک تصویر گرافیکی از وضعیت منابع، میزان موجودی منابع و همچنین تخصیص و تسطیح منابع به فعالیت‌ها ارائه می‌نمایند. نمودارهای مربوط به سطح نیاز فعالیت‌ها به منابع در طول زمان اجرای پروژه (نمودار منابع)، نمودار عدم تخصیص منابع در طول زمان اجرای پروژه (نمودار بیکاری منابع) و نمودارهای مربوط به وضعیت منابع بحرانی، از ابزارهای مهمی هستند که در فرایند برنامه‌ریزی و زمان‌بندی جهت استفاده از بهینه‌ترین سطح بهره‌وری و کارآیی منابع در پروژه مورد استفاده قرار می‌گیرند. نمودار یک منبع در واقع نشان‌دهنده میزان سطح نیاز فعالیت‌ها به آن منبع در طول زمان اجرای پروژه می‌باشد. نمونه‌ای از یک نمودار منبع در شکل ۲ به نمایش در آمده است [۴].

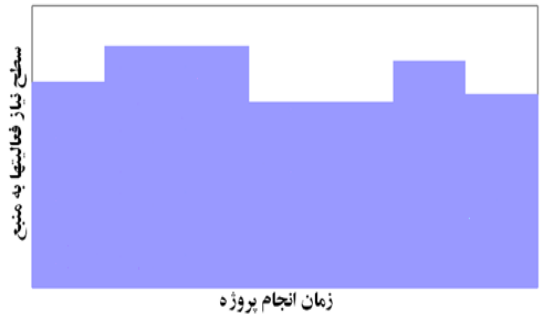


شکل ۲- نمودار سطح نیاز فعالیت‌های پروژه به منابع

نمودار منابع مورد نیاز برای اجرای فعالیت‌های پروژه، جهت برنامه‌ریزی منابع و بودجه‌بندی پروژه بسیار ضروری هستند به علاوه با استفاده از این نمودار و تفاوت میزان نیاز فعالیت‌ها به منابع و مقایسه میزان منابع مورد نیاز با منابع موجود می‌توان به تراز کردن و یا تسطیح منابع پرداخت. نمونه‌ای از اطلاعات سطح نیاز به منابع، که بر مبنای آن نمودار منابع مورد نیاز برای اجرای فعالیت‌ها ترسیم می‌گردد؛ در جدول ۱ به نمایش در آمده است. این اطلاعات شامل توصیف منبع، مهارت، توانایی و زمان در دسترس بودن منبع و نیز میزان منبع موجود در سطح پروژه می‌پردازد. یکی از شیوه‌های کاهش نوسانات استفاده از منابع در طول اجرای پروژه، تراز کردن یا تسطیح منابع است. به‌علت وجود محدودیت‌های زیاد در امر اجرای پروژه، برنامه‌ریزی پروژه به نحوی که میزان احتیاجات به هر منبع در طول اجرای پروژه دقیقا ثابت و یکنواخت باشد، ممکن نمی‌باشد. در تسطیح یا موازنه منابع سعی بر این است که نوسانات در سطح نیاز فعالیت‌ها به منابع به حداقل برسد. جهت تسطیح منابع باید در جهت کاهش نوسانات نیاز فعالیت‌ها به تمامی منابع حداکثر تلاش و کوشش صورت گیرد، بدین معنی که با استفاده از شناوری‌های موجود در زمان انجام فعالیت‌ها، آنها را به گونه‌ای از لحاظ زمان انجام آنها جابجا نمود که سطح نیاز فعالیت‌ها به منابع در برهه‌های بحرانی از زمان انجام پروژه کاهش پیدا کند. نمونه‌ای از نمودار تسطیح منابع در شکل ۳ به نمایش درآمده است [۴].

جدول ۱- مقدار مورد نیاز از منبع برای انجام فعالیت‌های پروژه

شماره منبع	منبع شماره۱	منبع شماره۲	منبع شماره۳		منبع شماره n-1	منبع شماره n
توصیف منبع	تکنسین	مدیر	مهندس	. . .	اپراتور	حسابدار
مهارت منبع	مکانیک	مدیریت	طراحی		فنی	حسابدار
شروع استفاده	۸۸/۷/۲۵	۸۸/۷/۱	۸۸/۸/۱		۸۸/۷/۱	۸۸/۱۰/۱
مدت زمان استفاده	۲ ماه	نامحدود	۵ سال		نامحدود	۶ ماه
تعداد منبع	۱۵	۲	۲۷		۱۰	۱



شکل ۳- نمودار منابع تسطیح شده جهت انجام فعالیت‌های پروژه

نمودار شکل ۳ در واقع وضعیت تسطیح شده نمودار منابع به نمایش درآمده در شکل ۲ می‌باشد. هرچقدر این نمودار به شکل مستطیل نزدیکتر بوده و سطح نیاز فعالیت‌ها به منبع از نوسان کمتری برخوردار باشد تخصیص انجام گرفته مناسب‌تر است. نمودار عدم تخصیص یا بیکاری منابع، مشابه نمودار منابع مورد نیاز برای اجرای فعالیت‌ها می‌باشد، با این تفاوت که در این نمودار میزان عدم تخصیص یا بلااستفاده بودن منابع در طول زمان اجرای پروژه به نمایش در می‌آید. مساحت محصور بین منحنی بیکاری منابع و محور زمان معیار مناسبی برای تعیین میزان کارآیی تخصیص منابع در پروژه است. به عبارتی دیگر، در صورتی که گزینه‌های متفاوتی جهت تخصیص منابع داشته باشیم، هر تخصیص منبعی که نمودار آن دارای کمترین مساحت نمودار بیکاری باشد، تخصیص بهینه منابع به فعالیت‌های پروژه را نشان می‌دهد.

۴-محدودیت‌های موجود در مدیریت منابع

نظر به اینکه منابع عامل انجام فعالیت‌های پروژه بوده و فعالیت‌ها نیز شریان‌های اصلی حیات پروژه هستند و انجام صحیح و به موقع آنها تضمین سلامت و بقای حیات پروژه و اهداف آن می‌باشند می‌توان به نقش فعالیت‌های پروژه پی برد. لذا در تخصیص بهینه منابع به فعالیت‌ها باید نگرش ویژه‌ای به محدودیت‌های موجود در مدیریت منابع و چاره اندیشی جهت مرتفع نمودن آنها صورت پذیرد. مدیریت منابع در پروژه امر پیچیده‌ای است که با محدودیت‌های زیادی از جمله محدودیت‌های ذیل سر و کار دارد:

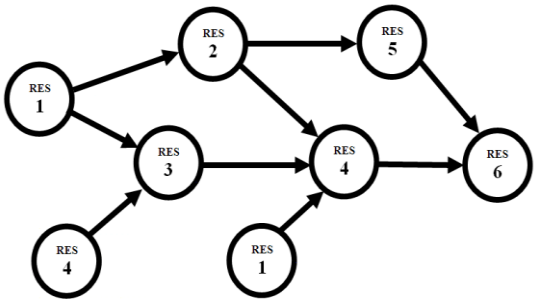
۱- روابط پیشنیازی بین فعالیت‌ها که مربوط به سیستم برنامه‌ریزی و کنترل زمان‌بندی فعالیت‌ها می‌باشد.
۲- تعیین اولویت استفاده از منابع برای فعالیت‌های دارای همزمانی استفاده از منابع یکسان.
۳- محدودیت‌هایی که به ویژگی‌های منحصر به فرد برخی از منابع مربوط می‌شود.
۴- محدودیت‌های مربوط به جابجایی زمان و مکان استفاده از منابع جهت بهینه سازی منابع که این محدودیت بیشتر زمانی تاثیر خود را نشان می‌دهد که مدیرپروژه مشغول رهبری یک پروژه چندگانه باشد. پروژه چندگانه پروژه‌ای است که در آن اعضای سطح دوم پروژه هر یک به تنهایی، یک پروژه هستند.
۵- محدودیت‌های مربوط به سطوح مختلف دسترسی فعالیت‌ها به منابع پروژه. یعنی با توجه به سطوح تعریف شده برای پروژه، هر فعالیت مجاز است فقط از منابعی که در سطح تعیین شده‌ی مربوط به آن وجود دارد استفاده نماید در غیر اینصورت موجب ایجاد اختلال در مصرف بهینه منابع می‌گردد.
۶- محدودیت‌های مربوط به دوره زمانی خاص در اختیار بودن (موجود بودن) برخی از منابع.

مدیریت بهینه تخصیص‌منابع، یعنی درک و شناخت صحیح این موانع و محدودیت‌ها و ارائه راهکارهای موثر و قابل اجرا گام بردارد. در ادامه به مدل دیاگرام منابع بحرانی یا CRD که موثرترین روش بهینه سازی مهم تخصیص موثر، متناسب و به هنگام منابع به تخصیص منابع پروژه به فعالیت‌ها به اعتقاد نگارندگان مقاله است پرداخته می‌شود.

۵-تخصیص منابع با استفاده از مدل CRD

در یک پروژه با توجه به اهمیت نقش فعالیت‌های بحرانی و به تبعیت از نقش آن‌ها در مسیر اجرای پروژه، برخی منابع ماهیت بحرانی پیدا می کنند. برخی از منابع نیز به خودی خود بحرانی نیستند ولیکن شرایطی دارند که باید تحت مراقبت ویژه از لحاظ در دسترس بودن بر مبنای زمان برنامه‌ریزی شده قرار گیرند که به آن‌ها منابع بحرانی

می‌گویند. با توجه به وجود منابع بحرانی، ایجاد سطوح مختلف جهت دسترسی به منابع امری منطقی به نظر می‌رسد و اولویت استفاده فعالیت‌ها از منابع پروژه امری طبیعی می‌باشد. به عنوان مثال برخی از منابع ممکن است فوق العاده گران باشند و یا برخی منابع تخصصی ممکن است ارائه کننده خدمات نادری باشند که دسترسی به آنها همیشه امکان پذیر نباشد، همچنین ممکن است با توجه به شرایط سیاسی، جغرافیایی و نظایر آن، تهیه و فراهم آوردن برخی منابع بسیار مشکل باشد. بنابراین باید در استفاده از این منابع اولویت به فعالیت‌هایی داده شود که بحرانی هستند و عدم انجام آن‌ها در موعد مقرر موجب تاخیر در انجام پروژه می‌گردد. دیاگرام منابع بحرانی، سعی دارد با مطالعه وضعیت منابع و ایجاد شبکه‌های منطقی از نحوه استفاده فعالیت‌ها ازمنابع و انجام آنالیزهای منطقی بر مبنای این اطلاعات، به شناسایی منابع بحرانی پروژه پرداخته و به تعیین اولویت استفاده منابع از فعالیت‌ها و ارائه راهکارهایی جهت افزایش بهره‌وری و کارآیی منابع در پروژه بپردازد [۱]. برای پیاده کردن این روش ابتدا شبکه‌های CRD ترسیم می‌شوند. یک نمونه از این شبکه‌ها در شکل ۴ به نمایش در آمده است. این شبکه مربوط به پروژه‌ای است که برای انجام فعالیت‌های خود از ۶ منبع استفاده می‌نماید. هر کدام از گره های شبکه مشخص کننده یک منبع هستند. به عنوان مثال منبع شماره J در شبکه که برای انجام فعالیتی مانند فعالیت شماره‌ی J از آن استفاده می‌گردد. روابط پیشنیازی بین منابع توسط یکسری پیکان به نمایش در آمده است.

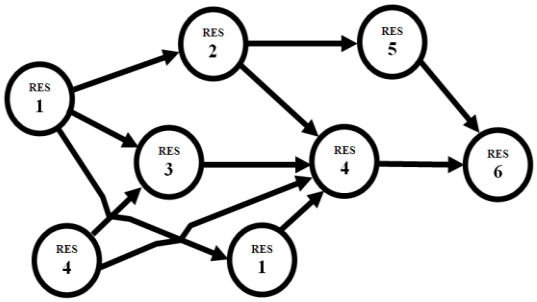


شکل ۴- نمونه‌ای از ترسیم یک شبکه‌ی CRD

به عنوان مثال پیشنیاز استفاده از منبع شماره ۲، منبع شماره ۱ می‌باشد. این نکته به این مفهوم است که ابتدا باید فعالیتی که به منبع شماره ۱ نیاز دارد، انجام پذیرد و سپس فعالیتی که به منبع شماره ۲ وابسته است انجام پذیرد. بدین ترتیب روابط پیشنیازی مربوط به منابع که با توجه به زمان‌بندی فعالیت‌ها بدست می‌آید، جهت ترسیم شبکه CRD مورد استفاده قرار می‌گیرد.

بر خلاف شبکه‌های CPM در شبکه‌های CRD یک منبع می‌تواند در بیش از یک گره در شبکه ظاهرگردد که البته با توجه به ماهیت منابع موجب اختلال در شبکه نمی‌شود و این امر به این دلیل است که فعالیت تکراری در زمان‌بندی فعالیت‌های پروژه مفهومی ندارد ولیکن تکرار استفاده از منابع در زمان‌بندی استفاده از منابع پروژه با رعایت میزان محدودیت‌های آن‌ها، دارای مفهوم می‌باشد.

وجود منبع در بیش از یک گره در شبکه نشان‌دهنده این است که بیش از یک فعالیت به منبع مورد نظر نیاز دارد. همچنین به علت عدم امکان استفاده همزمان فعالیت‌ها از منابع یکسان (با فرض محدود بودن منابع)، بین منابع یکسان که در نقاط مختلف شبکه قرار می‌گیرند روابط پیشنیازی برقرار می‌گردد.

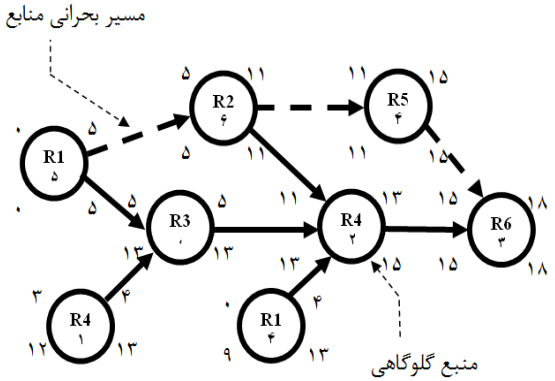


شکل ۵- ایجاد روابط پیشنیازی بین منابع یکسان در شبکه

۵-۱ محاسبات زمان در شبکه‌های CRD

برای انجام محاسبات مربوط به زمان استفاده از منابع مانند شبکه‌های مسیر بحرانی فعالیت‌ها CPM، از دو حرکت پیشروی و بازگشتی جهت محاسبه زمان استفاده

از منابع استفاده می‌گردد [۳]. در حرکت پیشروی زودترین تاریخ‌های ممکن جهت شروع استفاده از منابع مورد استفاده قرار می‌گیرد و در حرکت بازگشتی، دیرترین تاریخ‌های ممکن جهت شروع استفاده از منابع مورد استفاده قرار می‌گیرد. در شبکه نشان داده شده در شکل ۶ زمان استفاده فعالیت‌ها از هر کدام از منابع ذیل شماره منبع در گره‌ها به نمایش در آمده است. همانطور که مشاهده می‌شود، منابع ۱، ۲، ۵ و ۶ مسیر بحرانی استفاده از منابع را تشکیل می‌دهند.

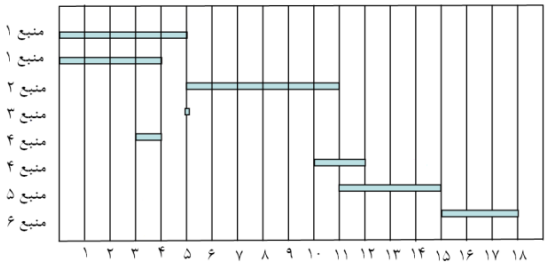


شکل ۶- نمونه‌ای از محاسبات زمان در شبکه‌های CRD

زمان ۱۸ بدست آمده زودترین زمانی است که از تمامی منابع موجود در پروژه استفاده به عمل می‌آید. باید توجه نمود که فقط یکی از فعالیت‌هایی که از منبع شماره ۱ استفاده می‌نمایند، در مسیر بحرانی منابع قرار می‌گیرد و فعالیت دیگری که از منبع شماره ۱ استفاده می‌کند دارای شناوری زمانی می‌باشد، همچنین هیچکدام ازفعالیت‌هایی که از منبع شماره ۴ استفاده می نمایند در مسیر بحرانی منابع قرار ندارند. منبع شماره ۳، منبعی است که در برهه از زمان انجام پروژه مورد استفاده قرار می‌گیرد و زمان استفاده این منبع صفر واحد زمانی می‌باشد، بنابراین فعالیتی که از این منبع استفاده می‌کند یک فعالیت برهه‌ای یا مجازی است و مثلاً می‌تواند یک مایلستون باشد.

نمونه‌ای از نمودار زمان‌بندی منابع برمبنای نتایج حاصل از شبکه‌های CRD در شکل ۷ به نمایش در آمده است.

میله‌های افقی نمایانگر استفاده از هر کدام از منابع در مسیر اجرای پروژه هستند.



شکل ۷- نمودار زمان‌بندی منابع برمبنای شبکه‌های CRD

تفاوت نمودار میله‌ای منابع با نمودار میله‌ای مرسوم گانت که مربوط به زمان‌بندی فعالیت‌ها می‌باشد، این است که برای منابع شناوری مفهوم مناسبی نمی‌باشد و در طول پروژه باید سعی شود همیشه برنامه‌ریزی به‌گونه‌ای باشد که به محض اینکه استفاده از یک منبع در مورد یک فعالیت خاتمه یابد، آن منبع به سرعت به فعالیت‌های دیگری که به آن نیاز دارند اختصاص یابد تا پروژه در زودترین زمان ممکن انجام پذیرد.

چنانچه برنامه‌ریزی منابع به گونه‌ای باشد که در طول اجرای پروژه منابع به علت عدم تخصیص صحیح بیکار بمانند، این امر بستری برای ایجاد تاخیر دریک یا چند فعالیت از پروژه است. همانگونه که در شکل ۷ مشاهده می‌گردد، دو فعالیت که از منبع شماره ۱ استفاده می‌نمایند دارای همپوشانی زمانی چهار روزه هستند. با مقایسه دو فعالیتی که از منبع شماره ۴ استفاده می نمایند، مشاهده می شود که استفاده از این منبع دارای عدم پیوستگی زمانی به مدت ۶ روز می‌باشد. برای اینکه منبع شماره ۴ در خلال این فاصله زمانی بیکار نباشد، باید به صورت موقت به فعالیت دیگری اختصاص یابد. در تخصیص منابع به فعالیت‌ها باید حتی‌المقدور سعی گردد که یک منبع خاص در زمان واحد به دو فعالیت اختصاص نیابد، چون این امر موجب ایجاد تاخیر در انجام آن فعالیت‌ها می‌شود. چنانچه منبعی داشته باشیم که تعداد زیادی از فعالیت‌ها در یک زمان به آن اختصاص یابند،

باید در تخصیص این منبع به فعالیت‌ها بازنگری به عمل آید تا اختصاص این منبع با دقت ویژه‌ای صورت گیرد [۶].

۲-۵ مفهوم نرخ انجام‌کار در آنالیز شبکه‌های CRD

هنگامی که منابع به صورت همزمان با نرخ‌های متفاوت کار می‌کنند مقدار کاری که توسط هر کدام از این منابع انجام می‌شود متفاوت است. با فرض اینکه میزان کار انجام شده از لحاظ کمیت و کیفیت انجام کار در مدت زمان انجام آنالیز منابع ثابت بماند دیاگرام بحرانی منابع و نمودار زمان‌بندی منابع، اطلاعاتی به منظور تعیین اینکه در چه زمانی و در کجا و کدامیک از منابع به صورت همزمان کار می‌کنند را با توجه به روابط پیشنیازی بین فعالیت‌ها استخراج می‌نماید که به کمک آن می‌توان به محاسبه نرخ انجام کار توسط هر منبع پرداخت. نرخ کار فاکتور مهمی است که از آن برای پیش‌بینی نیاز فعالیت‌ها به منابع در تاریخ مورد نظر استفاده می‌گردد. بر مبنای نتایج حاصل از محاسبات نرخ انجام کار، می‌توان به تصمیم‌گیری در مورد تخصیص بهینه منابع و تسطیح منابع اختصاص یافته در طول زمان انجام پروژه پرداخت.

برای محاسبه نرخ انجام کار یک منبع، کافی است کار انجام شده توسط آن منبع را برابر واحد قرار دهیم و سپس به محاسبه نرخ انجام کار بپردازیم [۵].

$$W = rt \quad (۱)$$

$$1 = \left(\frac{1}{x}\right) t \quad (۲)$$

چنانچه کار مورد نظر از مجموعه‌ای از منابع بهره گیرد محاسبات مربوطه به صورت ذیل بسط پیدا می‌نماید.

$$W = \sum r_i t_i \quad (۳)$$

در این محاسبات فرض می‌کنیم میزان کار انجام شده از لحاظ کمیت و کیفیت در مدت زمان انجام آنالیز منابع و محاسبه نرخ انجام کار، تا انتهای مدت زمان آنالیز ثابت باقی بماند. نمودار زمان‌بندی منابع و دیاگرام بحرانی منابع، اطلاعاتی به منظور تعیین اینکه در چه زمانی و در کجا و کدامیک از منابع به صورت همزمان کار می‌کنند، را با توجه به روابط پیشنیازی بین فعالیت‌ها، استخراج می‌نماید که به کمک آن می‌توان به محاسبه نرخ انجام کار توسط هر منبع پرداخت. نرخ کار فاکتور مهمی است که از آن برای پیش‌بینی نیاز فعالیت‌ها به منابع در تاریخ مورد نظر استفاده می‌گردد. بر مبنای نتایج حاصل از محاسبات نرخ انجام کار، می‌توان به تصمیم گیری در مورد تخصیص بهینه منابع و تسطیح منابع اختصاص یافته در طول زمان انجام پروژه پرداخت. به عنوان مثال اگر در یک پروژه منبع شماره ۱ کاری را در مدت زمان ۳۰ روز انجام دهد یعنی نرخ انجام کار توسط این منبع $\left(\frac{1}{30}\right)$ باشد و منبع شماره ۲ آن کار را در مدت ۲۲ روز انجام دهد یعنی نرخ انجام کار توسط این منبع $\left(\frac{1}{22}\right)$ باشد و هنگامی که منبع ۱ در دوازدهمین روز انجام کار است، منبع ۲ نیز جهت کاهش زمان انجام فعالیت به آن تخصیص یابد مدت زمان نهایی انجام کار به این صورت بدست می آید که در روز دوازدهم از انجام کار توسط ماشین شماره ۱ میزان کار انجام شده برابر است با:

$$\left(\frac{1}{30}\right) 12 = \left(\frac{12}{30}\right) \quad (۴)$$

بنابراین میزان کار باقیمانده برابر است با:

$$1 - \left(\frac{12}{30}\right) = \left(\frac{18}{30}\right) \quad (۵)$$

اگر دو ماشین با هم کار کنند نرخ انجام کار برابر است با:

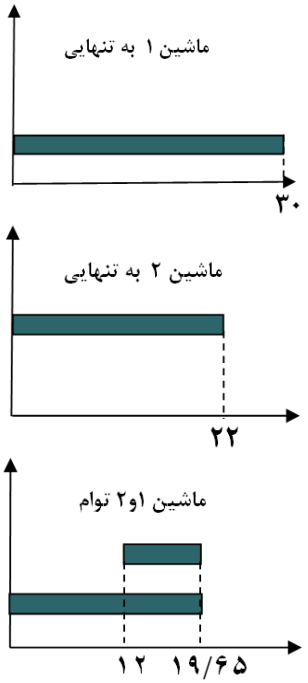
$$\left(\frac{1}{22}\right) + \left(\frac{1}{30}\right) = \left(\frac{13}{165}\right) \quad (۶)$$

بنابراین زمان کار باقیمانده توسط دو ماشین برابر است با:

$$\left(\frac{18}{30}\right) = t\left(\frac{13}{165}\right) \rightarrow t = 7.65 \quad (۷)$$

و مدت زمان کل انجام کار برابر است با:

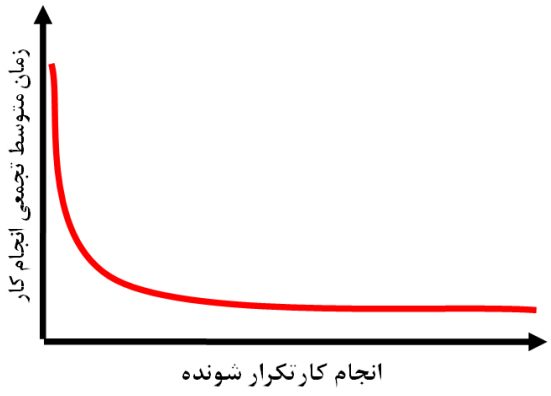
$$t = 12 + 7.65 = 19.65 \quad (۸)$$



شکل ۸- نمودارهای انجام کار منابع مثال محاسباتی

۳-۵ آنالیز شبکه‌های CRD با نرخ کار غیر ثابت

در شرایطی که میزان کار انجام شده از لحاظ کمیت و کیفیت انجام کار در مدت زمان انجام آنالیز منابع و محاسبه نرخ انجام کار، ثابت باقی نماند. محاسبات دارای پیچیدگی بیشتری خواهد شد. معمولاً در فعالیت‌هایی که توسط ماشین آلات انجام می‌پذیرد، نرخ انجام کار ثابت است. ولیکن در فعالیت‌هایی که نیروی انسانی در انجام آنها نقش دارد، به مرور زمان به علت کسب مهارت و تجربه که به اثر یادگیری (Learning) موسوم است، مدت زمان انجام اینگونه فعالیت‌ها کاهش پیدا می‌کند [۸].



شکل ۹- شماتیک منحنی

شکل منحنی یادگیری به صورت تجربی حالت نمایی دارد، یعنی به موازات افزایش انجام کار ابتدا کاهش سریعی بوجود می‌آید و بعد، از سرعت آن کاسته می‌گردد. در صورتی‌که منحنی یادگیری با مقیاس لگاریتمی کشیده شود به صورت خط مستقیمی با شیب منفی خواهد بود. نتایج مثبت حاصل از بهره‌وری که توسط منحنی یادگیری به نمایش درآمده است، بهبود در کارآیی منسوب به نیروی کار و دیگر جنبه‌های کار همچون روش ها و طرح استقرار، بکارگیری تجهیزات و اثر بخش بودن مدیریت در طراحی، هماهنگی و کنترل را بطور توام خلاصه می‌نماید. منحنی‌های یادگیری ارتباط میان زمان (هزینه) و سطح انجام فعالیت‌ها (از لحاظ تکرار آنها و کسب تجربه) را بر مبنای نتایج حاصل از تعیین شاخص یادگیری b بر قرار می‌نمایند. به عنوان مثال سطح یادگیری ۸۰ درصد نشان‌دهنده این است که در هر سطح از انجام فعالیت‌ها، زمان انجام فعالیت بعدی ۲۰ درصد کاهش پیدا می‌نماید. به طورمعمول میزان ضریب یادگیری بین ۷۰ تا ۹۵ درصد می‌باشد. به منظورمحاسبه اثر یادگیری در پروژه‌ها و تعیین شاخص یادگیری b روش های مختلفی وجود دارد که مرسوم‌ترین آنهاروش مدل خطی لگاریتمی می‌باشد. در این روش با وجود میزان بهره‌وری ثابت، یعنی شیب ثابت روی نمودار خطی- لگاریتمی میزان انجام فعالیت‌ها در هریک از سطوح کاری افزایش پیدا می‌کند. این مدل بیانگر رابطه ذیل می‌باشد.

$$A_x = C_1.x^b \qquad (۹)$$

که در این رابطه A_x هزینه (زمان) میانگین تجمعی مربوط به تکرار مرتبه x ام انجام یک کار، C_1 هزینه ثابت مربوط به اولین مرتبه انجام کار و x برابر تعداد دفعات انجام کار بوده و b بیانگر تاثیر منحنی‌های یادگیری است که در واقع این ضریب نشان‌دهنده میزان شیب در نمودار لگاریتمی می‌باشد. برای محاسبه درصد بهره‌وری منابع میزان کار انجام شده در مرتبه مورد نظر بر میزان کار انجام شده در مرتبه اول تقسیم می‌گردد. به عنوان مثال چنانچه میزان کار انجام شده در مرتبه اول برابر A_{x1} و

میزان کار انجام شده در مرتبه دوم برابر A_{x2} باشد، درصد بهره‌وری از روابط ذیل محاسبه می‌گردد.

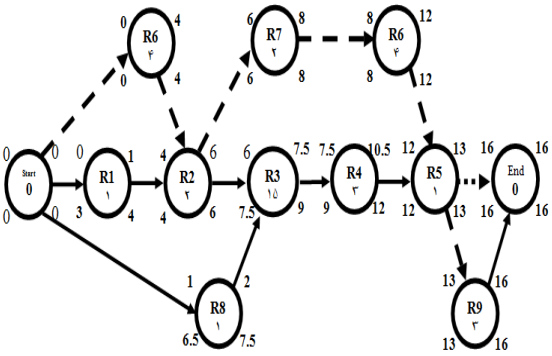
$$A_{x1} = C_1 x_1^b \quad (۱۰)$$

$$A_{x2} = C_1 (2x_1)^b \quad (۱۱)$$

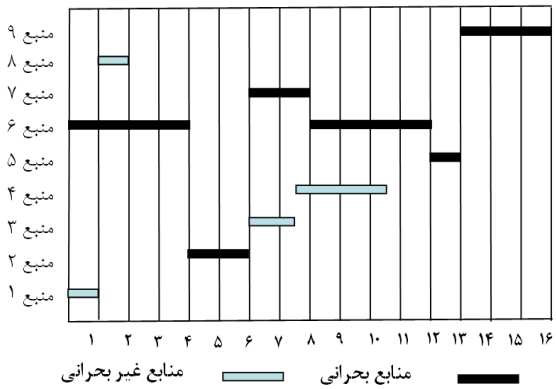
$$P = A_{x2}/A_{x1} \quad (۱۲)$$

$$P = C_1 (2x_1)^b / C_1 (x_1)^b = 2^b \quad (۱۳)$$

به عنوان مثال در شبکه نشان داده شده در شکل ۱۰ با انجام محاسبات مربوط به شبکه CRD، که شامل محاسبه زمان‌ها بر اساس حرکت پیشروی و حرکت بازگشتی می‌باشد، مشخص می‌گردد که زودترین زمانی تمامی منابع مربوط به فعالیت‌ها مورد مصرف قرار می‌گیرند ۱۶ روز می‌باشد. نمودار منابع مربوط به این پروژه در شکل ۱۰ آمده است. نرخ انجام کار در دفعات تکرار انجام کار ثابت نبوده و در صدمین بار از تکرار، با استفاده از نتایج حاصل از منحنی یادگیری زمان های نوشته شده در هر گره از شبکه CRD محاسبه گردیده و در نهایت زمان نهایی انجام کار به **۵/۲** روز کاهش می‌یابد (شکل ۱۲). اطلاعات مربوط به کاهش زمان استفاده از منابع توسط فعالیت‌ها در صدمین بار تکرار پروژه در جدول ۲ به نمایش در آمده است.



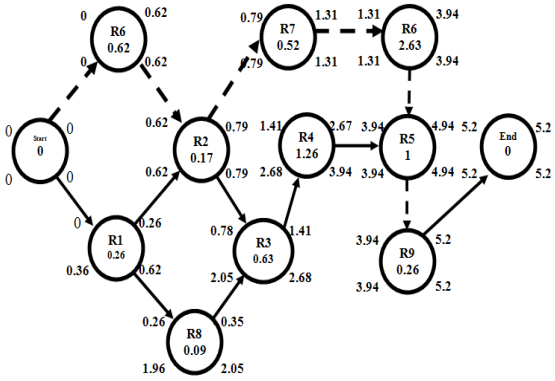
شکل ۱۰- محاسبات زمان در شبکه CRD با نرخ کار غیر ثابت



شکل ۱۱- نمودار منابع برمبنای شبکه CRD

جدول ۲- نتایج آنالیز شبکه‌های CRD با نرخ کار غیرثابت

شماره منبع	C_1	درصد (P) بهره وری	ضریب b	C_{100}
R_1	۱	٪۸۵	-۰/۲۳۴۵	۰/۲۶
R_2	۲	٪۷۵	-۰/۴۱۵	۰/۱۷
R_3	۱/۵	٪۹۰	-۰/۲۵۲	۰/۶۳
R_4	۳	٪۹۰	-۰/۱۵۲	۱/۲۶
R_5	۱	N/A	N/A	۱
R_6	۴	٪۸۰	-۰/۳۲۱۹	۰/۶۲
R_6	۴	٪۹۵	-۰/۰۷۴	۲/۶۳
R_7	۲	٪۸۵	-۰/۲۳۴۵	۰/۵۲
R_8	۱	٪۷۵	-۰/۴۱۵	۰/۰۹
R_9	۳	٪۷۵	-۰/۴۱۵	۰/۲۶



شکل۱۲- محاسبات زمان در شبکه CRD با تاثیر شاخص یادگیری

۶- نتیجه گیری

تکنیک دیاگرام بحرانی روش تعمیم یافته‌ای از تکنیک‌های کنترل پروژه مرسوم CPM و PERT در مورد بهینه سازی استفاده از منابع توسط فعالیت‌ها در پروژه و تهیه برنامه زمان‌بندی منابع می‌باشد. این تکنیک همچنین فعالیت‌های مربوط به منابع بحرانی را در روند اجرای پروژه شناسایی نموده و با پیش‌بینی تمهیداتی از جمله، اولویت‌دهی انجام این فعالیت‌ها در برنامه زمان‌بندی از تاخیرات ناشی از استفاده همزمان و یا غیر ضروری فعالیت‌ها در سطوح مختلف پروژه ممانعت می‌نماید. همچنین این تکنیک با استفاده از نتایج حاصل از نمودارهای گرافیکی از جمله نمودار تعیین سطح نیاز فعالیت‌ها به منابع، نمودار تسطیح منابع، نمودار عدم تخصیص (بیکاری) منابع در طول زمان اجرای پروژه و نتایج حاصل از محاسبات زمان‌بندی شبکه‌های دیاگرام منابع بحرانی و آنالیز نرخ انجام کار توسط منابع موجود در پروژه به بررسی نحوه تخصیص موثر جهت دستیابی به تسطیح بهینه منابع در پروژه می‌پردازد.

مرجع:

[1] Badiru, A. B. (1993). Activity-Resource Assignment Using Critical Resource Diagramming. Project management journal. PMI

[2] Li. R. K, and Willis. R. J. (1993). Resource Constrained Scheduling within fixed project durations. Journal of the operational research society. www .palgravejournals.com/jors.

[3] Bowers. J. A. (1995). Criticality in Resource-Constrained Networks. Journal of the operational research society, w w w .palgrave-j ournals. com/j ors.

[4] Raz. T. and Marshall. (1996). Effect of resource constraints on float calculations in project networks. International journal of project management.

[5] Bubshait, A. A., and Cunningham, M. J. (1998). Comparison of delay analysis methodologies. Journal of construction engineering and management, ASCE.

[6] Hegazy. T. (1999). Optimization of resource allocation and leveling using genetic algorithms. Journal of construction engineering and management, ASCE.

[۷] حاج شیر محمدی، ع. (۱۳۶۷)، *مدیریت و کنترل پروژه*، دانشگاه صنعتی اصفهان.

[۸] جعفر نژاد، ا. (۱۳۷۹)، *مدیریت تولید و عملیات*، دانشگاه تهران.

OPTIMIZING THE RESOURCE ALLOCATION OF PROJECT ACTIVITIES USING CRD METHOD

A. Naderpour[1,*], M. Mofid[2]

1. M.Sc., Iranian National Gas Company, Iran
2. Professor, Civil Engineering Department, Sharif University of Technology, Tehran, Iran

*****Corresponding Author: naderpour@nigc.ir

ARTICLE INFO

Keywords:
Project Control,
Resource Allocation,
Project Levels,
Unlimited Resources,
Levels of Resource Availability.

ABSTRACT

In the process of effective and optimized planning and control, in order to manage the project, it is necessary to consider all the project aspects. Common techniques of project scheduling and control such as CPM and PERT assume unlimited resource availability in project network analysis; Developed networks due to theory derived of this techniques are networks that deal with time optimization of the activities. Consequently in this schedule and control methods, it is possible that during the project performance in some time periods, requirement to one or more resources is higher than the availability level or include more resource fluctuations. It can finally convert the project into an uneconomical project by a negative time and cost trade off or cause considerable deliveries in project performance time. This paper presents a technical method for controlling and optimizing resource allocation to project activities; This technique as an extension to the basic CPM and PERT approach presents a simple method for controlling the project schedule of resource allocation by considering their constraints and causes the optimized and efficient distribution of tasks to project levels; Finally by avoiding the simultaneous unnecessary use of several activates of a critical resource and by generating efficient levels of resource availability, it optimizes the project approaches.