به کارگیری روش زنجیره بحرانی در مدیریت پروژه های خطی-تکراری نظیر راهسازی با در نظر گرفتن شرایط عدم قطعیت و ریسک

محمدجواد طاهری امیری
مربی گروه عمران موسسه آموزش عالی پردیسان فریدونکنار
فرشیدرضاحقیقی
استادیار دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل
احسان اله اشتهاردیان
استادیار گروه مدیریت پروژه و ساخت دانشگاه تربیت مدرس
میلاد همتیان
دانشجوی دکتری صنایع دانشگاه علوم و فنون مازندران

فصلنامه علمی تخصصی
مهندسی و مدیریت ساخت
سال دوم، شماره سوم
شماره پیاپی هفتم
پاییز ۱۳۹۶

نویسنده مسئول: محمدجواد طاهری امیری
آدرس ایمیل:
jvd.taheri@gmail.com

چکیده:
امروزه دیدگاه‌های سنتی به تنهایی قادر به پاسخگویی نیازهای مدیریت پروژه‌های عمرانی نیست. بنابراین استفاده از رویکردهای نوین مدیریتی می‌تواند تا حد زیادی راهگشا باشد. اولین گام برای رسیدن به این هدف شناخت انواع پروژه‌ها از نظر نوع خطی یا شبکه‌ای بودن، تفاوت مدیریت یک پروژه با مدیریت چند پروژه و روش‌های مدیریت و اجرای پروژه است. در این تحقیق از روش مدیریت زنجیره بحرانی به جای روش مسیر بحرانی برای ارائه برنامه زمانی عملی‌تر به کار گرفته شده است. برای غلبه بر عدم قطعیت، روش ارائه شده از اعداد فازی بر حسب زمان قطعی انجام فعالیت و دانش کارشناسان، برای مدل کردن عدم قطعیت در مدت زمان فعالیت‌ها استفاده می‌کند. روش ارائه شده، به‌جای جایگزین کردن برنامه زمان‌بندی قطعی اولیه توسط برنامه زمانی مبتنی بر مجموعه فازی، باز هم برنامه زمانی قطعی را نگه می‌دارد و به سادگی بافر پروژه را برای مقابله با عدم قطعیت می‌افزاید. اندازه بافر پروژه با استفاده از محاسبات روی اعداد فازی تعیین می‌شود. همچنین به منظور غلبه بر ریسک در مطالعه موردی این پژوهش، یک ضریب ریسک متوسط را برای پاسخگویی به ریسک‌ها برای بافر پروژه در نظر می‌گیرد. به هر حال تغییر ضریب ریسک در حالت‌های مختلف ریسک بالا، متوسط و پایین تأثیر کمی روی اندازه بافر خواهد گذاشت. همچنین در این تحقیق به منظور ارزیابی مدل ارائه شده در این تحقیق، چند پروژه خطی-تکراری راهسازی به طور همزمان مورد بررسی قرار گرفته و برنامه ریزی شده است.

واژه‌های کلیدی: مدیریت زنجیره بحرانی، زمان فازی، زمان‌بندی چند پروژه‌ای، اندازه بافر، عدم قطعیت، ریسک

Implementing the critical chain method for managing linear-repetitive projects such as road construction, taking into account the conditions of uncertainty and risk

Mohammad Javad Taheri Amiri
Pardisan university of fereydoonkenar
Farshidreza Haghighi
Assistant professor, Babol university of technology
Ehsan Eshtehardian
Assistant professor, Tarbiat modarres university
Milad Hematian
PhD student, Mazandaran university of science and technology

JECM
Journal of Engineering & Construction Management
Volume 2 , Issue 3,
Autumn 2017
Corresponding author:
M.j Taheri Amiri
Email address:
jvd.taheri@gmail.com

۱-مقدمه:

علم مدیریت پروژه با بهره‌گیری از تمامی ابزارها سعی در کنترل و استفاده بهینه از منابع دارد. به درازا کشیدن زمان اجرای پروژه‌ها نسبت به برنامه‌ریزی اولیه و عدم به کار بستن تکنیک‌های مدیریت پروژه موجب بروز خسارت‌های زیادی می‌گردد . کنترل پروژه یکی از عوامل مهم در جلوگیری از بوجود آمدن تاخیرات در پروژه می‌باشد که با استفاده از روش‌های نوین برنامه‌ریزی و کنترل موجب بهبود عملکرد پروژه می‌گردد. یکی از فاکتورهایی که در برنامه‌ریزی پروژه باید به آن توجه شود، عدم قطعیت‌های موجود در پروژه است. این عدم قطعیت‌ها موجب ایجاد تاخیرهای پیش‌بینی نشده و در نتیجه افزایش زمان اتمام پروژه می‌شود. یکی از روشهای معمول برای مواجهه با عدم قطعیت‌ها و افزایش انعطاف‌پذیری برنامه-ریزی ابتدایی پروژه که در این تحقیق نیز از آن استفاده شد، در نظر گرفتن بافر زمانی برای پروژه می‌باشد.که این امر با استفاده از روش زنجیره بحرانی قابل اجرا خواهد بود. مدیریت پروژه به روش زنجیره بحرانی (CCPM) توسعه‌ای از تئوری محدودیت‌هاست که ویژه مدیریت پروژه می‌باشد که شامل محاسبات زمانبندی پروژه براساس تخمین‌های کوتاه شده مدت فعالیت‌هاست. در بعضی از پروژه‌های عمرانی مانند راه‌سازی، بلند مرتبه‌سازی(برج‌سازی)، سدسازی و حتی ساختمان‌های مسکونی متعارف فعالیت‌های تکراری وجود دارد که جهت زمان‌بندی بهتر این پروژه‌ها نمی‌توان از روش‌های متداول مانند CPM و یا PERT به علت تکراری بودن مراحل و البته گستردگی شبکه و همچنین سختی کنترل آن استفاده نمود . آمارها نشان می‌دهد که در کشور ما ۹۵٪ پروژه‌های عمرانی با افزایش در هزینه‌ها و یا زمان تکمیل روبه‌رو هستند. بنابراین مجهز گردیدن به ابزاری مناسب در جهت مقابله با این مشکلات و رسیدن به اهداف پروژه ضروری به نظر می‌رسد. این ابزار می‌تواند از مجموعه‌ای از فن‌های محاسباتی تا یک فلسفه جدید مدیریت را در خود داشته باشد. «روش زنجیره بحرانی» CCM)) می‌تواند هدف کلی پروژه‌ها را به نحو بهتری بهینه‌سازی کند و نرخ تکمیل به موقع را افزایش دهد. هدف اصلی مدیر پروژه به هنگام انتخاب روش اندازه‌گیری بافر باید به گونه‌ای باشد که برنامه‌ای با زمان تکمیل کوتاه‌تر که به احتمال زیاد می‌تواند برآورده شود را انتخاب کند. به نظر می‌رسد که روش فازی یک انتخاب خوب برای رسیدن به این هدف است. به ویژه در محیط پروژه‌ای که عدم قطعیت بالاست. بنابراین در این تحقیق از روش زنجیره بحرانی فازی در پروژه‌های راهسازی که فعالیت-های خطی-تکراری دارد مورد بررسی قرار گرفته شده است.

۲-ادبیات موضوع:

- "قدوسی " و همکاران (۲۰۱۲) به بهینه‌سازی همزمان زمان و هزینه در زمانبندی پروژه با محدودیت منابع چندحالته با استفاده از الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب پرداخته‌اند. از آنجاییکه هدف به حداقل رساندن هزینه و زمان پروژه در محیط رقابتی است، بنابراین باید میان هزینه و زمان پروژه موازنه برقرار باشد. هر فعالیت با توجه به رابطه پیش‌نیازی و در دسترس بودن منابع در نقاط زمانی مختلف شروع می‌شود. همچنین در این تحقیق به موازنه هزینه و مدت زمان فعالیت‌ها در حالت تخصیص و تسطیح همزمان منابع پرداخته شده است.

-"هانگ لی" و "هانک ژاک"(۲۰۱۳) به بررسی برنامه‌ریزی چندحالته منابع محدود با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان پرداختند. در این روش، برای حل برنامه‌ریزی پروژه‌ها با منابع محدود چند حالته، از منابع تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر استفاده شده است. در این تحقیق، برای بروز رسانی فرومون از استراتژی نخبه‌گرا استفاده شده است. نتایج به دست آمده از الگوریتم ACO با الگوریتم‌های GAو SA و PSO و روش CPSO مورد مقایسه قرار گرفته است. در نهایت نتایج نشان می-دهد که روش ارائه شده به جز روش CPSO از بقیه روشها جواب بهتری داده است.

-"یعقوب زاده " و "روغنیان " (۲۰۱۳)، به دلیل اشکال اصلی روش CCM در برآورد طول مدت فعالیت‌های پروژه و تعیین اندازه بافرهای پروژه و بافرهای تغذیه، سعی نمودند تا با به کارگیری روش زنجیره بحرانی فازی (FCCM) پیشنهادی که ترکیبی از هر دو روش CCM و منطق فازی (FL) است، به حذف ابهامات بپردازند. با بر طرف نمودن این مشکلات، زمان ایمنی تکمیل پروژه و تاریخ ایمنی تحویل فراهم می‌شود. در نهایت، با مقایسه نتایج برنامه‌ریزی بدست آمده از پروژه‌های عملی با استفاده از روش‌های CCM، FCCM و روش مسیر بحرانی (CPM)، به این نتیجه رسیدند که طول مدت زمان طرح‌ریزی شده از برنامه‌ریزی پروژه توسط FCCM، کوتاه‌تر از دو مورد دیگر می‌باشد.

-"تولاسی " و "رائو " (۲۰۱۴)، به تعیین برنامه زمان‌بندی پروژه برای شبکه با استفاده از کاربرد روش مدیریت پروژه‌ی زنجیره بحرانی در شرایطی که محدودیت‌های متعدد منابع جهت دست‌یابی به دو هدفِ به حداقل رساندن زمان و هزینه وجود دارد، پرداختند. در این مقاله به منظور حل مسئله، از روش برنامه‌ریزی عدد صحیح استفاده شده است. مشاهده شده است که به کار بردن این رویکرد برای شبکه‌های کوچک بسیار مناسب به شمار می‌آید. به کار بردن این روش برای شبکه‌های بزرگ ممکن است با الگوریتم برنامه‌ریزی عدد صحیح، شفاف و مشخص نباشد، چرا که کار نوشتن محدودیت‌ها به خودی خود، کاری بسیار سخت و دشوار است.

- "کوغلان " و همکاران(۲۰۱۵) به بررسی الگوریتم شاخه و برش هزینه برای تسطیح منابع چند حالته پرداخته‌اند. در این مقاله، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط و برنامه‌نویسی الگوریتم برای برنامه‌ریزی پروژه‌ها با محدودیت منابع چند حالته، با قابلیت محدودیت زمان و با هدف به حداقل رساندن هزینه در دسترسی به منابع پیشنهاد شده است. جواب‌های بهینه صحیح، از طریق الگوریتم شاخه و برش هزینه بدست آمده است. همچنین در این تحقیق، با فرمول‌بندی مجدد مدل‌های برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط که قابلیت حل تا ۳۰ فعالیت را داشتند، مدل اصلاحی توانست تا ۵۰ فعالیت را حل نماید -"چاکرابورتی " و همکاران (۲۰۱۶) به توسعه یک برنامه

بهبود اختلال زمان واقعی برای حالتی که منابع محدود متعدد در پروژه وجود دارد، پرداخته‌اند. در این مقاله دو مدل زمان گسسته برای مقابله با دو سناریو اختلال‌های مختلف برای منابع محدود چند حالته تدوین و فرموله شده است. برای تست روش پیشنهادی ارائه شده در این تحقیق، مجموعه‌ای از ده و بیست و سی فعالیت چند حالته از موارد آزمون از پروژه زمان-بندی گلخانه‌ای (PSLIB) پس از معرفی وقایع اختلال که به طور تصادفی تولید شده، استفاده شده است. «یانگ و همکاران» (۲۰۱۷) یک روش موثر با تجزیه زیر ساختار زمان فعالیت‌ها برای مقابله با مشکل زمانبندی پروژه با منابع محدود مطرح کرده‌اند. در این روش یک فعالیت برای تجزیه انتخاب می‌شود و به عنوان بخشی از فضای عملی از مشکل اصلی در زیر فضاها تقسیم می‌شود، که با استفاده از ۲ پروژه ساخت و ساز واقعی به اعتبارسنجی اثر از OPDA برای RCPSP پرداخته شده است. که نتایج این آزمایش نشان می‌دهد که رویکرد مبتنی بر تجزیه موثر و رقابتی است.

۳- روش اندازه‌گیری بافر در مدیریت زنجیره بحرانی : روش فازی

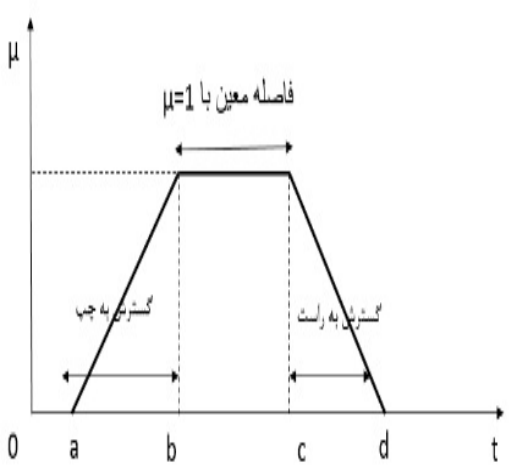
۳-۱- استراتژی برای مقابله با عدم قطعیت

روش ارائه شده از اعداد فازی ذوزنقه‌ای (a,b,c,d) برای تخمین عدم قطعیت در مدت زمان انجام فعالیت‌ها استفاده می‌کند. تابع عضویت μ در معادله (۱) مقادیری در بازه [۰,۱] دارد و آن برای بیان مقدار متغیر زمان t متعلق به یک مجموعه فازی استفاده می‌شود. تابع عضویت μ به قضاوت کارشناسان در مورد میزان دسترسی به کارگران، مصالح، تخصص و غیره وابسته است. با توجه به این برآورد، هر متغیر زمان t کوچک‌تر از a و بزرگ‌تر از d ممکن نیست رخ دهد، درحالی‌که همه متغیرهای t مابین b و c بالاترین امکان وقوع (مثل ۱) را دارند. حالتی از عدد فازی که μ=۱ است، در عدد فازی ذوزنقه‌ای یک بازه معین [b,c] با μ=۱ وجود دارد، درحالی‌که در مورد عدد ذوزنقه‌ای که b=c باشد یک حالت منحصربه‌فرد داریم.

$$\mu(t)=\begin{cases}(t-a)/(b-a)\ for\ t\epsilon[a,b]\\ 1 \qquad for\ t\epsilon[b,c]\\ (d-t)/(d-c)\ for\ t\epsilon[c,d]\\ 0 \qquad for\ t\notin[a,d]\end{cases}$$

۳-۲- شناسایی زنجیره بحرانی و بافر پروژه

یک زنجیره دنباله‌ای از فعالیت‌ها تحت اولویت و وابستگی فعالیت‌هاست. در روش ارائه شده، زنجیره بحرانی بلندترین زنجیره است و مدت‌زمان پروژه را تعیین خواهد کرد. اگر تعداد زیادی زنجیره بحرانی وجود داشته باشد، زنجیره بحرانی با بزرگ‌ترین عدم قطعیت انتخاب خواهد شد. روش ارائه شده با اضافه کردن یک بافر پروژه در انتهای زنجیره بحرانی انتخاب شده با عدم قطعیت مقابله می‌کند. بافرهای تغذیه،که به عنوان جنبه‌های بحث‌برانگیز CCPM سنتی در نظر گرفته شدند.در روش ارائه شده استفاده نمی‌شوند. دلیل این است که درگیری‌های منابع اغلب در حین انتقال اطلاعات واقعی از فعالیت‌های روی زنجیره تا پایان زنجیره اتفاق می‌افتند.



تصویر ۱- نمایش عدد فازی ذوزنقه‌ای

۳-۳- مدت زمان با سازگاری بیشتر(t□)

۳-۳-۱- شاخص سازگاری

شاخص سازگاری AI(A,B) در معادله ۲ برای اندازه‌گیری امکان بین دو رویداد فازی با اندازه‌گیری شرایط دو رویداد فازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. AI در ابتدا توسط کافمن و گوپتا معرفی شد. AI درروش‌های مدیریت دیگر نیز استفاده می‌شود. برای مثال برنامه‌ریزی پروژه توسط لوتر پانگ و همکاران، مسئله کوله‌پشتی توسط شینکو

AI(A.B)=(Area(A∩B))/(Area (۲)

که در آن

$$Area(A)=\int \mu_A(t)d_t$$

$$Area(A\cap B)=\int \mu_{A\cap B}\cdot dt$$

شاخص سازگاری AI نشان می‌دهد چند درصد از رویداد فازی A در داخل مرزهای رویداد فازی B است. همچنین نشان‌دهنده سطح رضایت فعالیت فازی (A) زمانی که فعالیت فازی(A) با فعالیت فازی دیگر (B) مقایسه می‌شود، است. AI همواره کمتر از ۱ (۱۰۰٪) است و فعالیت A کاملا» سازگار با فعالیت B است، زمانی که(AI(A,B=۱ است. از نقطه‌نظر عملی، شاخص شرایط یک شاخص بسیار خوبی است زیرا به اندازه کافی شکل رویدادهای فازی را در نظر گرفته است. به‌هرحال، این عملگرها خاصیت جابجایی ندارد

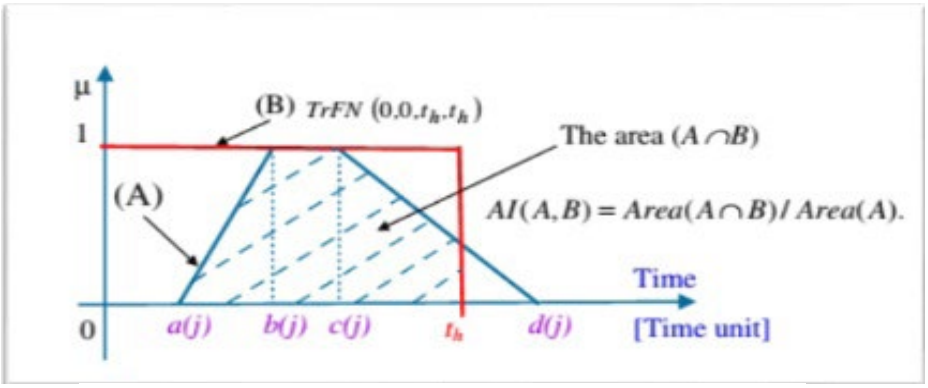
۳-۳-۲- مدت‌زمان با سازگاری بیشتر

مفهوم "زمان با سازگاری بیشتر" به مفهوم شاخص سازگاری که در این روش معرفی شده است، مرتبط است. این مفهوم برای جایگزین کردن مدت‌زمان فازی به جای مدت‌زمان قطعی استفاده می‌شود. برای اینکه مطمئن شویم که فعالیت با مدت‌زمان فازی به موقع به پایان خواهد رسید، روش ارائه شده فرض می‌کند که برنامه‌ریز (AI=۰,۹) با شاخص سازگاری بیشتر t مدت‌زمان برای برآورد مدت‌زمان فعالیت را استفاده خواهد کرد. در معادله (۳) تعیین شده است، همان‌طور t مقدار که در شکل ۲ نشان داده شده است، که در آن رویداد (a(j), b(j),c(j),d(j)) توسط چهارتایی A محاسبه شده توسط چهارتایی B نشان داده شده است و فعالیت مورد انتظار نشان داده می‌شود، به عنوان مثال، اگر مدت زمان th,th,۰,۰ فعالیت با چهارتایی (۴,۶,۸,۱۲) نشان داده شود، بنابراین برنامه‌ریز را ۱۰ روز تعیین خواهد کرد. برای th مدت زمان دست بالا AI=است۰,۹ اطمینان از اینکه فعالیت در ۱۰ روز به پایان برسد

$$AI(A,B)=\frac{(c(j)-b(j)+d(j)-a(j))/۲-(d(j)-th)(d(j)-th)/(۲\times(d(j)-c(j))}{(c(j)-b(j)+d(j)-a(j))/۲}$$

$$AI(A,B)=۰,۹$$

$$\leftrightarrow=\frac{(c(j)-b(j)+d(j)-a(j))/۲-(d(j)-th)(d(j)-th)/(۲\times(d(j)-c(j))}{(c(j)-b(j)+d(j)-a(j))/۲}=۰,۹$$



تصویر۲- مدت‌زمان فعالیت (tη) با شاخص سازگاری بیشتر (AI - ۰,۹)

در زنجیره بحرانی (k)برای هر فعالیت بحرانی محاسبه AI را در اهرم‌های مختلف t می‌توان PB وt کرد. سپس، برآورد ایمن برای هر فعالیت بافر پروژه را به صورت زیر می‌توان محاسبه کرد:

$$\Delta t = t_{h۰,۹} - t_{h۰,۵} \quad (۴)$$

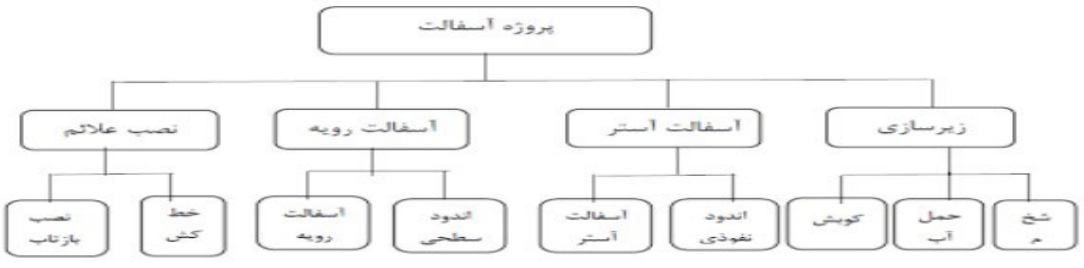
$$PB = \beta\sqrt{\sum_{kep}(\Delta t)^{۲}} \quad (۵)$$

۴- برنامه‌ریزی با استفاده از رویکرد زنجیره بحرانی

اولین قدم مهم در فرآیند برنامه‌ریزی، تهیه ساختار شکست (WBS) می‌باشد

- طراحی WBS

ساختار شکست کار به سازمان‌دهی و برنامه‌ریزی کلیه مراحل پروژه کمک می‌کند. مدیریت پروژه و کلیه افرادی که در اجرای عملیات و مدیریت و کنترل هستند، در مراحل مختلف اجرای کار به اطلاعات دقیق و مفید نیاز دارند. یک ساختار شکست کار خوب طراحی‌شده، مبنایی برای تنظیم مناسب سیستم اطلاعاتی برای کنترل پروژه در اجرای عملیات را فراهم می‌کند.



تصویر ۳- طراحی WBS

۴-۲- منابع مربوط به هر فعالیت

در این بخش منابع مربوط به هر فعالیت به فعالیت موردنظر تخصیص داده می‌شود. در این تحقیق برنامه‌ریزی بر روی منابع تجدید پذیر مدنظر می‌باشد. به بیان‌دیگر فرض می‌کنیم دسترسی به منابع تجدید ناپذیر (مصرفی) نامحدود است.

جدول ۱- منابع مورداستفاده در فعالیت‌های پروژه

شماره فعالیت	نام فعالیت	منابع موردنیاز
۱	شخم زدن	گریدر، بولدوزر، مباشر عملیات خاکی، کارگر ساده و سرکارگر
۲	حمل آب	تانکر آب‌پاش
۳	کوبیدن بستر	غلتک استاتیکی، غلتک ویبره، تانکر آب‌پاش
۴	اندود نفوذی	نقشه‌بردار، کارگر نقشه‌برداری، کارگر ساده، کارگر آسفالت، قیر پاش،تانکر حمل قیر
۵	آسفالت آستر	متصدی کارخانه آسفالت، کارگر ساده، ماله کش آسفالت، کارگر آسفالت، فینیشر، کامیون کمپرسی، لودر، غلتک استاتیکی، غلتک چرخ لاستیکی
۶	اندود سطحی	نقشه‌بردار، کارگر نقشه‌برداری، کارگر ساده، کارگر آسفالت، قیر پاش،تانکر حمل قیر
۷	آسفالت رویه	متصدی کارخانه آسفالت، کارگر ساده، ماله کش آسفالت، کارگر آسفالت، فینیشر، کامیون کمپرسی، لودر، غلتک استاتیکی، غلتک چرخ لاستیکی
۸	خط‌کشی	راننده ماشین خط‌کشی آسفالت، نقاش خط‌کشی، مکانسین خط‌کشی، کارگر پیاده کننده مسیر خط‌کشی، ماشین خط‌کشی آسفالت
۹	نصب بازتاب	یک نفر سرپرست گروه، یک نفر راننده، یک دستگاه وسیله نقلیه مناسب(وانت)، کارگر

۴-۳-زمان‌بندی

با توجه به شکل نقشه اجرایی و برحسب دانش کارشناسان مدت‌زمان قطعی انجام فعالیت مشخص می‌شود و برای غلبه بر عدم قطعیت از اعداد فازی استفاده می‌شود (در این بخش منابع ذکرشده در گام قبل، با علائم اختصاری در نظر گرفته شده‌اند) . بعد از تعیین مقادیر پیش‌بینی‌شده برای هر یک از فعالیت‌ها، در این قسمت با در نظر گرفتن میزان سازگاری ۰/۹ و ۰/۵ مقادیر th مدت‌زمان با سازگاری بیشتر برای هر یک از فعالیت‌ها به‌صورت زیر محاسبه می‌شود. محاسبات مربوط به فعالیت ۱ در ادامه آمده است، که برای تمامی فعالیت‌ها به همین صورت انجام می‌شود. در نهایت براساس زمان‌های به‌دست‌آمده با توجه به معادله (۵) مقدار بافر پروژه تعیین می‌شود.

جدول ۲- زمان، روابط پیش‌نیازی و منابع مورداستفاده در فعالیت‌های پروژه

فعالیت	منبع موردنیاز	مدت‌زمان فازی(روز)
۱	A_1,A_2 , A_3 , A_4 , A_5	[۰,۵ ۱ ۱,۵ ۲]
۲	B	[۱ ۱,۵ ۲ ۲,۵]
۳	C_2,C_3,C_4,C_5	[۰,۵ ۱ ۱,۵ ۲]
۴	D_1,D_2,D_3,D_4,D_7,D_8	[۴ ۵ ۶ ۷]
۵	$E_1,E_2,E_3,E_4,E_5,E_6,E_7,E_8,E_9$	[۴ ۵ ۶ ۷]
۶	D_1,D_2,D_3,D_4,D_7,D_8	[۱ ۲ ۳ ۴]
۷	$E_1,E_2,E_3,E_4,E_5,E_6,E_7,E_8,E_9$	[۳ ۵ ۷ ۹]
۸	H_1,H_2,H_3,H_4,H_5	[۰,۵ ۱ ۱,۵ ۲]
۹	I_1, I_2, I_3, I_4	[۰,۵ ۱ ۱,۵ ۲]

***تذکر: تبدیل عدد قطعی به فازی ذوزنقه‌ای**

هر عدد قطعی در مبنای ده را می‌توان به‌صورت زیر به عدد فازی تبدیل کرد. برای مثال عدد ۲ به‌صورت زیر به شکل فازی ذوزنقه‌ای قابل‌بیان می‌باشد:

۲=[۰ ۰ ۲ ۲]

بنابراین داریم؛

th=[۰ ۰ th th]

فعالیت ۱ دارای مقدار فازی به‌صورت[۵/۰ ۱ ۵/۱ ۲] می‌باشد، برای تبدیل به شکل قطعی آن، به کمک معادله (۳) یک‌بار میزان سازگاری را ۰/۹ و بار دیگر آن را ۰/۵ در نظر گرفته و به ترتیب t□۰,۹ و t□۰,۵ حاصل می‌شوند.

$$A=[۰ \quad ۱ \quad ۱,۵ \quad ۲ \quad ۵.]$$
$$B=[۰ \quad ۰ \quad th \quad th]$$
$$AI(A \square B)=\frac{(c(j)-b(j)+d(j)-a(j))/۲)-(d(j)-th)(d(j)-th)/(۲,(d(j)-c(j)))}{(c(j)-b(j)+d(j)-a(j))/۲}$$
$$\mathbf{AI}(A,B)=0.9 \rightarrow$$
$$۰,۹=\frac{\frac{۲-۱,۵+۲-۰,۵}{۲}-\frac{(۲-th)*(۲-th)}{۲}/۲*(۲-۱,۵)}{\frac{۲-۱,۵+۲-۰,۵}{۲}}$$
$$۰,۹=۱-(۲-th)^{۲}$$

از حل معادله به‌دست‌آمده دو مقدار ۲/۳۱۶ و ۱/۶۸ به دست می‌آید که مقدار ۱/۶۸ در بازه قرار دارد و مورد قبول می‌باشد. سپس با قرار دادن AI=۰,۵ معادله زیرحاصل می‌شود:

$$۰,۵=۱-(۲-th)^{۲}$$

که از حل معادله بالا دو مقدار ۲/۷۰۷ و ۱/۲۹ برای t□۰,۵ به دست می‌آید، که مقدار ۱/۲۹ قابل‌قبول است. برای سایر فعالیت‌ها نیز بدین ترتیب مقادیر t□۰,۹ و t□۰,۵ محاسبه شده که نتایج به صورت جدول زیر گردآوردی شده است.

جدول ۳- اندازه‌گیری بافر پروژه به روش ابداعی لانگ و اهاتسو

فعالیت بحرانی	$t_{\eta 0.9}$(day)	$t_{\eta 0.5}$ (day)	Δt(day)
۱	۱/۶۸	۱/۲۹	۰/۳۹
۲	۲/۱۹	۱/۷۹	۰/۴
۳	۱/۶۸	۱/۲۹	۰/۳۹
۴	۶/۳۷	۵/۵۹	۰/۷۸
۵	۶/۳۷	۵/۵۹	۰/۷۸
۶	۳/۳۷	۲/۵۹	۰/۷۸
۷	۷/۷۴	۶/۱۷	۱/۵۷
۸	۱/۶۸	۱/۲۹	۰/۳۹
۹	۱/۶۸	۱/۲۹	۰/۳۹
PB(day)			۲/۲۵

۴-۵- تحلیل نتایج

به‌منظور مقایسه رویکردهای مختلف در تعیین اندازه بافر، نتایج به‌دست‌آمده از به‌کارگیری هر یک از آنان در جدول زیر گردآوری شده است. قابل‌ذکر است که در روش ابداعی لانگ و اوهاتسو ضریب β=۰,۵ برای محیطی با ریسک متوسط مورداستفاده قرارگرفته است. نتایج به‌دست‌آمده از روش‌های مختلف در جدول ۳ گزارش‌شده است. اگر از روش CPM گلدرات ارزیابی صورت گیرد، زمان ۳۹/۳۸روز به دست می‌آید که به این معنی است که مدت‌زمان پروژه به‌طور آشکار برنامه پروژه را طولانی کرده است. روش RSEM یک نتیجه نسبتا" منطقی بازمان ۲۸/۷۹ روز می‌دهد. استفاده از روش ارزیابی ابداعی ارائه‌شده برای محاسبه اندازه بافر پروژه با این فرض که پارامتر β برابر ۰/۵ است، که این به معنی است که بر اساس روش‌شناختی ریسک یک ضریب ریسک متوسط در نظر گرفته‌شده است، برنامه‌ریزی قطعی مطلوبی حاصل‌شده است که در آن مدت‌زمان پروژه ۲۸ روز است. به‌هرحال تغییر پارامتر β تغییر کمی در مدت‌زمان پروژه ایجاد می‌کند.

اگر برنامه‌ها ریسک را در پی داشته باشند، مقادیر کمتر β را خواهند گرفت، و بالعکس.
نتایج حاصل از روش بریدن و چسباندن و ریشه مربعات خطا مستقل از ریسک محیط بوده و برای تمام حالات یک مقدار را محاسبه می‌کند.

۴-۶- برنامه‌ریزی در محیط چند پروژه‌ای با استفاده از رویکرد زنجیره بحرانی فازی

تا اینجا به برنامه‌ریزی یک پروژه پرداخته شد. برنامه‌ریزی چند پروژه به روش مدیریت زنجیره بحرانی دارای گام‌هایی می‌باشد که در این قسمت برای یافته‌های این پژوهش به کار بسته می‌شوند.

۴-۶-۱- تعریف پروژه جدید جهت افزایش ظرفیت با توجه به محدودیت منابع

سازمان مورد بررسی بایستی همزمان ۹ پروژه آسفالت را به انجام برساند، که منابع سازمان به‌طور مشترک مورد استفاده قرار خواهند داد. در چنین شرایطی زمان‌بندی یک پروژه، بدون در نظر گرفتن سایر پروژه‌ها، کاری اشتباه خواهد بود. همان‌طور که می‌دانیم، یکی از عوامل هدر رفتن منابع، چندکاره کردن آن‌ها است. در روش پیشنهادی مدیریت پروژه به روش زنجیره بحرانی، تا حد ممکن، از چندکاره بودن منابع جلوگیری شده است. بنابراین برای افزایش ظرفیت با توجه به محدودیت منابع، تا زمانی که منبع در دسترس نباشد، دستور شروع پروژه بعدی صادر نخواهد شد.

۴-۶-۲- زمان‌بندی فعالیت‌ها در دیرترین زمان ممکن

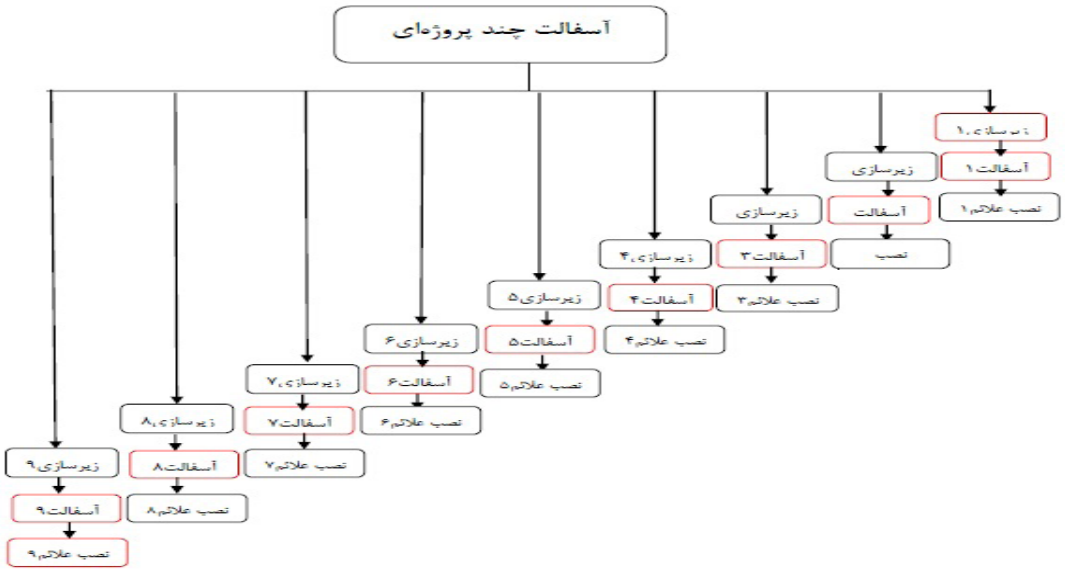
برخلاف باور رایج، شروع دیرتر یک پروژه همیشه منجر به تأخیر در خاتمه آن نخواهد شد. برای غلبه بر این مشکل کلیه فعالیت‌ها با توجه به محدودیت‌های پیش‌نیازی تا حد ممکن به سمت جلو جابه‌جا می‌شوند. برای مثال در این پروژه فعالیت ۸ و ۹ و ۱ و ۲ و۳ پروژه‌های دوم تا هشتم، به‌اندازه فرجه خود به جلو رانده شده‌اند.

۴-۶-۳- از بین بردن تداخل منابع در مطالعه موردی

با توجه به محدودیت منابع در انجام چند پروژه این گام یکی از مهم‌ترین مراحل برای امکان‌پذیر کردن برنامه است. ازآنجایی‌که منابع مربوط به مراحل زیرسازی و نصب علائم در مرحله آسفالت مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. در این صورت دو راه پیش رو می‌باشد:
۱. مرحله زیرسازی در هر پروژه در بازه زمانی شروع آسفالت پروژه قبلی تا اتمام آن به انجام برسد تا بلافاصله پس از انجام آن مرحله اجرای آسفالت آغاز شود.
۲.مرحله نصب علائم که پس از مرحله آسفالت انجام می‌شود تا زمان اتمام آسفالت پروژه بعدی می‌تواند به تعویق بیفتد.
به همین ترتیب تا پروژه نهم برنامه‌ریزی ادامه پیدا خواهد نمود. با توجه به این‌که مراحل زیرسازی به‌صورت موازی بامرحله آسفالت پروژه قبلی، و همچنین مرحله نصب علائم و تجهیزات در هر پروژه به صورت موازی با آسفالت پروژه بعدی انجام می‌پذیرند، به صورت غیر بحرانی‌اند. بنابراین زنجیره بحرانی پروژه شامل زیرسازی پروژه اول، اجرای آسفالت پروژه۱ تا ۹و نصب علائم در پروژه نهم خواهد بود که در شکل ۴ نشان داده شده است.

۴-۶-۴- طراحی WBS چند پروژه خطی

پس از انجام گام‌های برنامه‌ریزی چند پروژه‌ای، طراحی WBS آن به شکل زیر خواهد بود، که زنجیره بحرانی آن شامل فعالیت‌هایی که با رنگ قرمز مشخص‌شده است، می‌باشد.



تصویر ۴- طراحی WBS چند پروژه‌ای

۴-۶-۵- ارائه زمان‌بندی چند پروژه‌ای

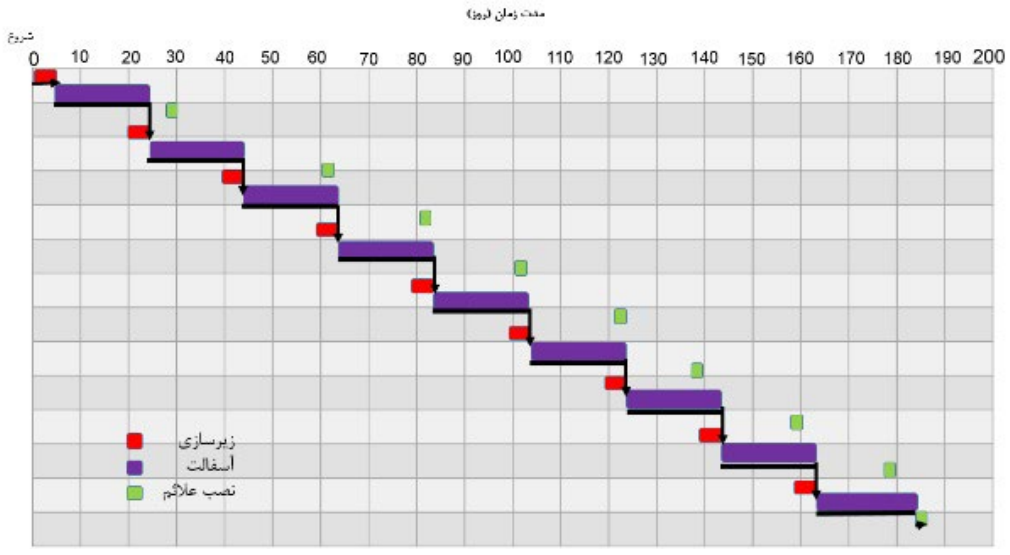
از داده‌های زمان‌بندی به دست‌آمده WBSبا توجه به طراحی برنامه زمانی قطعی ۹ پروژه به شرح زیر ارائه شده است.

جدول ۵- نتایج محاسبه شده‌ی ۹ پروژه

شماره فعالیت بحرانی	فعالیت موجود در زنجیره بحرانی	زمان میانگین درروش ابداعی لانگ و اهاتسو (β-۰,۵)	پیش‌نیاز
۱	زیرسازی پروژه اول	۴/۳۷	
۲	آسفالت پروژه اول	۱۹/۹۳	۱
۵	آسفالت پروژه دوم	۱۹/۹۳	۲و۴
۸	آسفالت پروژه سوم	۱۹/۹۳	۵و۷
۱۱	آسفالت پروژه چهارم	۱۹/۹۳	۸و۱۰
۱۴	آسفالت پروژه پنجم	۱۹/۹۳	۱۱و۱۳
۱۷	آسفالت پروژه ششم	۱۹/۹۳	۱۴و۱۶
۲۰	آسفالت پروژه هفتم	۱۹/۹۳	۱۷و۱۹
۲۳	آسفالت پروژه هشتم	۱۹/۹۳	۲۰و۲۲
۲۶	آسفالت پروژه نهم	۱۹/۹۳	۲۳و۲۵
۲۷	نصب علائم پروژه نهم	۲/۵۸	۲۶
PB		۱۰/۱۲۴	
PD		۱۹۶/۴۴	

۴-۶-۶- ترسیم مدل زمان‌بندی چند پروژه‌ای

مدل زمان‌بندی چند پروژه‌ای و زنجیره بحرانی در شکل زیر به‌صورت شماتیک نشان داده شده است

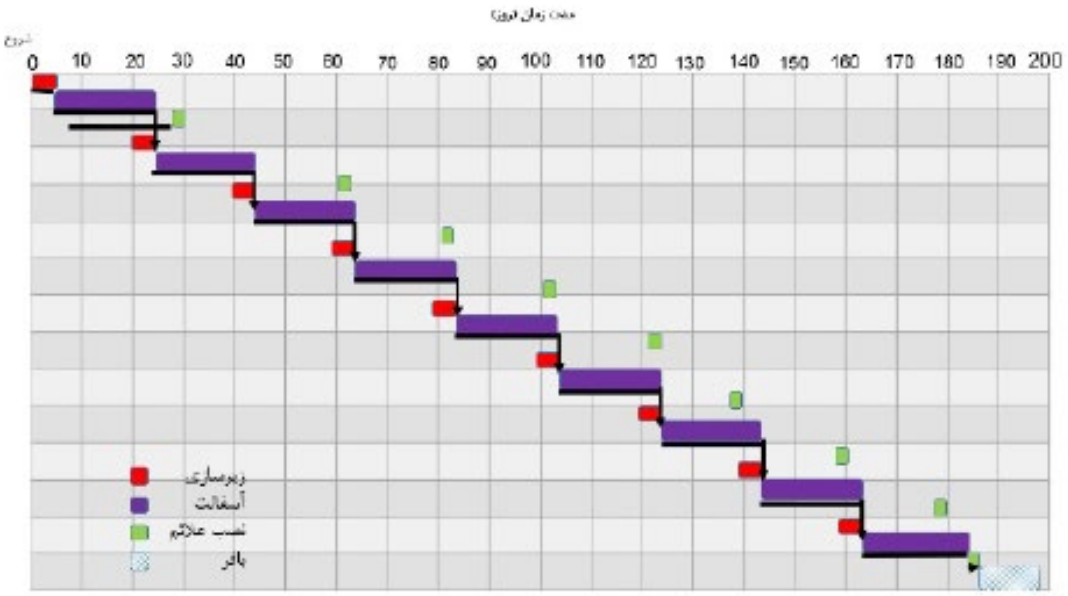


تصویر۶- ترسیم مدل پس از شروع فعالیت‌ها در دیرترین زمان ممکن

در شکل فوق هر مستطیل نمایه یک بخش و طول آن نمایه مدت‌زمان انجام آن و رنگ آن نمایه منابع مورد استفاده آن است. به ترتیب مستطیل قرمز اول، نمایه مرحله زیرسازی پروژه اول، مستطیل بنفش اول، نمایه بخش روسازی پروژه اول و مستطیل سبز اول، مربوط به مرحله نصب علائم پروژه اول است. خطوط مشکی نمایه زنجیره بحرانی است. زمان اتمام پروژه بدون در نظر گرفتن بافرها حدود ۱۸۶ روز می‌باشد که در شکل فوق نیز نشان داده شده است.

۴-۶-۷- وارد نمودن بافر پروژه

با مرتفع شدن تضاد منابع و مشخص شدن زنجیره بحرانی، اکنون نوبت قرار دادن بافرها در شبکه است.



تصویر۷- ترسیم مدل به روش زنجیره بحرانی و وارد نمودن بافرها

همان‌طور که اشاره شد، بافرها دارای زمان کافی برای جذب تغییرات و اشکالات به وجود آمده در مدت‌زمان اجرای پروژه هستند. بنابراین از برنامه‌ریزی مجدد، که گاهی هفته‌ها به طول می‌انجامد، جلوگیری می‌کنند. حفاظت پروژه در برابر مسائل غیرقابل‌پیش‌بینی، که ممکن است برای منابع کلیدی رخ دهد، از دیگر مزایای این روش است. لذا در اینجا نیز هر پروژه بافر مخصوص به خود را دارا است که در شکل فوق با مستطیل آبی به طول ۱۰/۱۲۴ روز در پایان زنجیره بحرانی در نظر گرفته شده است.

۵-جمع‌بندی:

در محیط واقعی مدیریت پروژه، اتمام کار بعد از تاریخ مقرر باعث تحمیل خسارت می‌شود. زمان محاسبه شده پروژه با استفاده از روش زنجیره بحرانی فازی ۱۹۶/۴۴ روز، با تأخیری حدود دو هفته نسبت به زمان تعهد شده می‌باشد. این مدت زمان انجام پروژه با توجه به این‌که پروژه موردنظر با محدودیت منابع برنامه‌ریزی شد، می‌تواند زمان قابل قبولی باشد. پروژه با ضریب ریسک متوسط در نظر گرفته شد. تغییر ضریب ریسک در روش ارائه شده، تاثیر چندانی روی زمان نهایی به دست آمده نداشته است؛ کارهایی که در این پژوهش انجام شد، به صورت زیر قابل دسته بندی است:

۱-استفاده از روش زمان‌بندی فازی برای غلبه بر عدم قطعیت
۲-استفاده از بافر و در نظر گرفتن ضریب ریسک بافر برای غلبه بر ریسک‌های موجود
۳- تعیین سایز بافر با استفاده از روش ابداعی و مقایسه عددی آن با روش‌های سنتی اندازه‌گیری بافر
۴-به کارگیری مدل زنجیره بحرانی در محیط چند پروژه‌ای
۵-بررسی تفاوت مدیریت پروژه و چند پروژه

محدودیت‌های استفاده از روش زنجیره بحرانی در کشور ایران، این است که نرم‌افزارهای مورد نیاز این روش در کشور ایران موجود نیست. درس‌های مرتبط با این روش در دانشگاههای کشور تدریس نشده و عدم آشنایی افراد درگیر در پروژه با این روش می‌باشد.

مراجع:

۱- سبزه‌پرور، م.(۱۳۸۵). کنترل پروژه. انتشارات ترمه. کرج.

۲- معاونت امور فنی، دفتر نظارت و ارزیابی طرحها، گزارش نظارتی پروژه های عمرانی ملی سال ۱۳۸۵: عملکرد مالی پروژههای عمرانی تا اول. مرداد ماه سال ۱۳۸۶، تهران: ریاست جمهوری، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی، مرکز مدارک علمی، موزه ها و انتشارات، ۱۳۸۶

Leach, L, (2000). «Critical chain project 3-
.management improves project perfor-

4-Bushuyev S, Sochnev S. (1999). Entropy measurement as a project control tool. International Journal of Project Manage-
.ment ,17:343–50

Leach, L. (1999), «Critical chain project 5-
.management improves project performance», International journal of project management,30(2): 39-51

۶-شمسایی، علی و حسینعلی پور، سید مجتبی، (۱۳۸۸). مقایسه تطبیقی و پیشنهاد الگوریتمی مناسب برای روش‌های تسطیح منبع در زمان‌بندی‌های خطی، مجله مهندسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی،سال دوم، شماره یک،۵۲-۴۱.

۷-ایرانمنش، حسین و همکاران،(۱۳۹۰). راهنمای جامع پیاده‌سازی مدیریت پروژه بر مبنای مدیریت زنجیره بحرانی، موسسه مطالعات بین‌المللی انرژی.

8-Zhang Min, Chen Rongqiu, ,(2008). Buffer Sized Technique in Critical Chain Management: A Fuzzy Approach, 4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2008. WiCOM ‹08. , Dalian, China

Ghoddousi, P. Eshtehardian, E. 9-
Jooybanpour, S. Javanmardi, A. (2013)» Multi-mode resource-constrained discrete time-cost-resource optimization in project scheduling using non-dominated sorting genetic algorithm», Automation in con-
.struction, Volume 30, 216-227

10-Li, H. Zhang, H.(2013) « Ant colony optimization-based multi-mode scheduling under renewable and nonrenewable resource constraint»,Automation in con-
.struction, Volume 35, 431-438

Yaghoubzadeh, H, Roghanian, 11-
E,(2013) “ A Comparison of the Proposed FCCM with CCM and CPM Scheduling Methods (Case Study: Construction of Treatment Unit at Lorestan Petrochemical Industrial Wastewater Company, Iran)”, Technical Journal of Engineering and Applied
.Sciences, 3 (S): 3735-3746

Tulasi, CH, Rao,A.R, (2014) «Mul- 12-
ti-Objective Resource Constrained Project Scheduling Using Critical Chain Project Management Approach», International Journal of Innovative Research in Science,Engineering and Technology, Vol. 3, Issue 7, 14345-14352

13-Coughlan, E.T. Lubbecke, M.K. Schulz,J. (2015)” A branch-price-cut algorithm for multi-mode resource leveling”, European Journal of Opera-
.tional Research, Volume 245, 70-80

Chakrabortty, R. K., Sarker, R. A., 14-
andEssam, D. L.(2016), Multi-Mode Resource Constrained Project Scheduling UnderResource Disruptions, Computers and Chemical Engineering , http://dx.doi.org/10.1016/j.compchemeng.2016.01.004

15-Liu,zh,Yang,L,Deng, R,-
Tian,J,(2017), An effective approach with feasible space decomposition to solve resource-constrained project scheduling problems, Automation in Construction, Wuhan 430074, China

16-Long, Ohatso, (2008), Fuzzy critical chain method for project scheduling under resource constraints and uncertainty, International Journal of Project
.Management, pp 688-698

17-Herroelen WS, Leus R, Demeulemeester EL.(2002), Critical chain project scheduling: do not oversimplify.
.Project Manage J;33(4):48–60

18-Herroelen WS, Leus R. (2001), On the merits and pitfalls of critical chain scheduling. J Operat Man-
.age;19(5):559–77

Kaufman A,(1985), Gupta MM. In- 19-
troduction to fuzzy, theory and applica-
.tion. Van Nostrand Reinhold; 351p

Lorterapong P, Moselhi O.(1996), 20-
Project network analysis using fuzzy sets theory. J Constr Eng Manage
.ASCE;122(4):308–17

Shinkoh O, Mitsuo G.(1994), 21-
Fuzzy multiple choice knapsack prob-
.lem. Fuzzy Sets Syst;67(1):71–80