

# 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

فرشیدر ضاحیقی

استادیار دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

احسان اله اشتهااردیان

استادیار گروه مدیریت پروژه و ساخت دانشگاه تربیت مدرس

میلاذ همتیان

دانشجوی دکتری صنایع دانشگاه علوم و فنون مازندران

فصلنامه علمی تخصصی

مهندسی و مدیریت ساخت

سال دوم، شماره 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، به جای 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



V. 02 No. 07 - autumn 2017

**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

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 برنامه‌ریزی 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 فعالیت‌های 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 چندحالتی 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 "هانگ ژاک" (۲۰۱۳) به بررسی برنامه‌ریزی چندحالتی منابع محدود با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان پرداختند. در این روش، برای حل برنامه‌ریزی پروژه‌ها با منابع محدود چند حالتی، از منابع تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر استفاده شده است. در این تحقیق، برای بروز رسانی فرامون از استراتژی نخبه‌گرا استفاده شده است. نتایج به دست آمده از الگوریتم ACO با الگوریتم‌های GA و SA و PSO و روش CPSO مورد مقایسه قرار گرفته است. در نهایت نتایج نشان می‌دهد 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 پروژه زنجیره بحرانی در شرایطی که محدودیت‌های متعدد منابع جهت دستیابی به دو هدف 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 حالتی پرداخته‌اند. در این مقاله، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط و برنامه‌نویسی الگوریتم برای برنامه‌ریزی پروژه‌ها با محدودیت منابع چند حالتی، با قابلیت محدودیت زمان و با هدف به حداقل رساندن هزینه در دسترس 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، پرداخته اند. در این مقاله دو مدل زمان گسسته برای مقابله با دو سناریو اختلال های مختلف برای منابع محدود چند حالتی تدوین و فرموله شده است. برای تست روش پیشنهادی ارائه شده در این تحقیق، مجموعه ای از ده و بیست و سی فعالیت چند حالتی از موارد آزمون از پروژه زمان-بندی گلخانه ای (PSLIB) پس از معرفی وقایع اختلال که به طور تصادفی تولید شده، استفاده شده است. «بانگ و همکاران» (۲۰۱۷) یک روش موثر با تجزیه زیر ساختار زمان فعالیت ها برای مقابله با مشکل زمان بندی پروژه با منابع محدود مطرح کرده اند. در این روش یک فعالیت برای تجزیه انتخاب می شود و به عنوان بخشی از فضای عملی از مشکل اصلی در زیر فضاها تقسیم می شود، 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 می دهد که رویکرد مبتنی بر تجزیه موثر و رقابتی است.

### ۳- روش اندازه گیری بافر در مدیریت زنجیره بحرانی: روش فازی

#### ۳-۱- استراتژی برای مقابله با عدم قطعیت

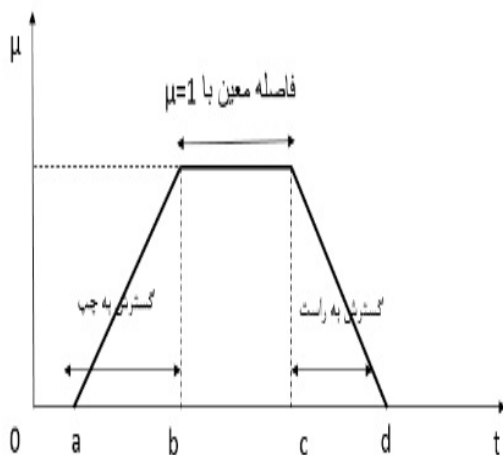
روش ارائه شده از اعداد فازی ذوزنقه ای (a,b,c,d) برای تخمین عدم قطعیت در مدت زمان انجام فعالیت ها استفاده می کند. تابع عضویت  $\mu$  در معادله (۱) مقادیری در بازه [۰,۱] دارد و آن برای بیان مقدار متغیر زمان  $t$  متعلق به یک مجموعه فازی استفاده می شود. تابع عضویت  $\mu$  به قضاوت کارشناسان در مورد میزان دسترسی به کارگران، مصالح، تخصص و غیره وابسته است. با توجه به این برآورد، هر متغیر زمان  $t$  کوچک تر از  $a$  و بزرگ تر از  $d$  ممکن نیست رخ دهد، در حالی که همه متغیرهای  $t$  مابین  $b$  و  $c$  بالاترین امکان وقوع (مثل ۱) را دارند. حالتی از عدد فازی که  $\mu=1$  است، در عدد فازی ذوزنقه ای یک بازه معین  $[b,c]$  با  $\mu=1$  وجود دارد، در حالی که در مورد عدد ذوزنقه ای که  $b=c$  باشد یک حالت منحصر به فرد داریم.

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

#### ۳-۲- شناسایی زنجیره بحرانی و بافر پروژه

یک زنجیره دنباله ای از فعالیت ها تحت اولویت و وابستگی فعالیت هاست. در روش ارائه شده، زنجیره بحرانی بلندترین

زنجیره است و مدت زمان پروژه را تعیین خواهد کرد. اگر تعداد زیادی زنجیره بحرانی وجود داشته باشد، زنجیره بحرانی با بزرگ ترین عدم قطعیت انتخاب خواهد شد. روش ارائه شده با اضافه کردن یک بافر پروژه در انتهای زنجیره بحرانی انتخاب شده با عدم قطعیت مقابله می کند. بافرهای تغذیه، که به عنوان جنبه های بحث برانگیز CCPM سنتی در نظر گرفته شدند. در روش ارائه شده استفاده نمی شوند. دلیل این است که درگیری های منابع اغلب در حین انتقال اطلاعات واقعی از فعالیت های روی زنجیره تا پایان زنجیره اتفاق می افتد.



تصویر ۱- نمایش عدد فازی ذوزنقه ای

#### ۳-۳- مدت زمان با سازگاری بیشتر ( $\square t$ )

##### ۳-۳-۱- شاخص سازگاری

شاخص سازگاری  $AI(A,B)$  در معادله ۲ برای اندازه گیری امکان بین دو رویداد فازی با اندازه گیری شرایط دو رویداد فازی مورد استفاده قرار می گیرد.  $AI$  در ابتدا توسط کافمن و گوپتا معرفی شد.  $AI$  در روش های مدیریت دیگر نیز استفاده می شود. برای مثال برنامه ریزی پروژه توسط لوتر پانگ و همکاران، مسئله کوله پشتی توسط شینکو

$$AI(A,B) = \frac{Area(A \cap B)}{Area(A)} \quad (2)$$

$$Area(A) = \int \mu_A(t) dt \quad \text{که در آن}$$

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

شاخص سازگاری  $AI$  نشان می دهد چند درصد از رویداد فازی  $A$  در داخل مرزهای رویداد فازی  $B$  است. همچنین نشان دهنده سطح رضایت فعالیت فازی ( $A$ ) زمانی که فعالیت فازی ( $A$ ) با فعالیت فازی دیگر ( $B$ ) مقایسه می شود، است.  $AI$  همواره کمتر از ۱ (۱۰۰٪) است و فعالیت  $A$  «کامل» سازگار با فعالیت  $B$  است، زمانی که  $AI(A,B)=1$  است. از نقطه نظر عملی، شاخص شرایط یک شاخص بسیار خوبی است زیرا به اندازه کافی شکل رویدادهای فازی را در نظر گرفته است. به هر حال، این عملگرها خاصیت جابجایی ندارد

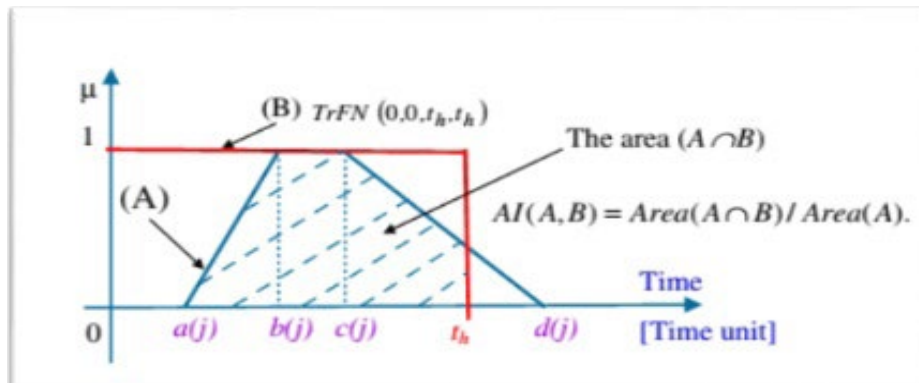
### ۳-۳-۲- مدت زمان با سازگاری بیشتر

مفهوم "زمان با سازگاری بیشتر" به مفهوم شاخص سازگاری که در این روش معرفی شده است، مرتبط است. این مفهوم برای جایگزین کردن مدت زمان فازی به جای مدت زمان قطعی استفاده می شود. برای اینکه مطمئن شویم که فعالیت با مدت زمان فازی به موقع به پایان خواهد رسید، روش ارائه شده فرض می کند که برنامه ریز  $(AI=0,9)$  با شاخص سازگاری بیشتر  $t_h$  مدت زمان

$$AI(A, B) = \frac{(c(j) - b(j) + d(j) - a(j))/2 - (d(j) - th)(d(j) - th)/(2 \times (d(j) - c(j)))}{(c(j) - b(j) + d(j) - a(j))/2}$$

$$AI(A, B) = 0,9$$

$$\Leftrightarrow = \frac{(c(j) - b(j) + d(j) - a(j))/2 - (d(j) - th)(d(j) - th)/(2 \times (d(j) - c(j)))}{(c(j) - b(j) + d(j) - a(j))/2} = 0,9$$



تصویر ۲- مدت زمان فعالیت  $(t_h)$  با شاخص سازگاری بیشتر  $(AI = 0,9)$

اولین قدم مهم در فرآیند برنامه ریزی، تهیه ساختار شکست (WBS) می باشد

#### - طراحی WBS

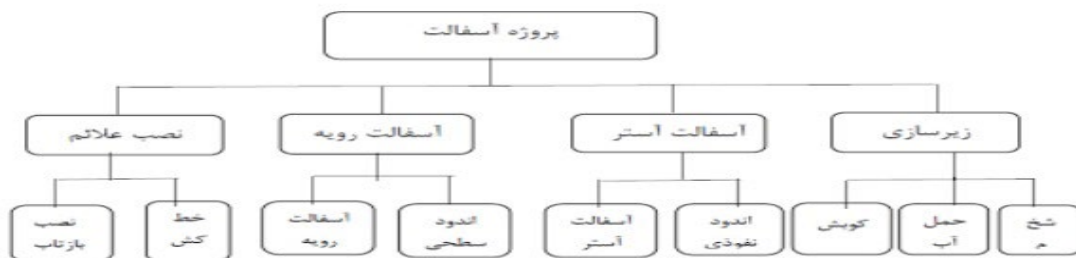
ساختار شکست کار به سازمان دهی و برنامه ریزی کلیه مراحل پروژه کمک می کند. مدیریت پروژه و کلیه افرادی که در اجرای عملیات و مدیریت و کنترل هستند، در مراحل مختلف اجرای کار به اطلاعات دقیق و مفید نیاز دارند. یک ساختار شکست کار خوب طراحی شده، مبنایی برای تنظیم مناسب سیستم اطلاعاتی برای کنترل پروژه در اجرای عملیات را فراهم می کند.

در زنجیره بحرانی (K) برای هر فعالیت بحرانی محاسبه  $AI$  را در اهرم های مختلف  $t$  می توان PB و کرد. سپس، برآورد ایمن برای هر فعالیت بافر پروژه را به صورت زیر می توان محاسبه کرد:

$$\Delta t = t_{h0,9} - t_{h0,5} \quad (4)$$

$$PB = \beta \sqrt{\sum_{k \in P} (\Delta t)^2} \quad (5)$$

#### ۴- برنامه ریزی با استفاده از رویکرد زنجیره بحرانی



تصویر ۳- طراحی WBS

#### ۴-۲- منابع مربوط به هر فعالیت

تخصیص داده می‌شود. در این تحقیق برنامه‌ریزی بر روی منابع تجدید پذیر مدنظر می‌باشد. به بیان دیگر فرض می‌کنیم دسترسی به منابع تجدید ناپذیر (مصرفی) نامحدود است.

در این بخش منابع مربوط به هر فعالیت به فعالیت موردنظر

جدول ۱- منابع مورد استفاده در فعالیت‌های پروژه

شماره فعالیت	نام فعالیت	منابع مورد نیاز
۱	شخم زدن	گریدر، بولدوزر، مباشر عملیات خاکی، کارگر ساده و سرکارگر
۲	حمل آب	تانکر آب‌پاش
۳	کوبیدن بستر	گلنک استاتیکی، گلنک 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، گلنک استاتیکی، گلنک 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، گلنک استاتیکی، گلنک 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- زمان بندی

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 به صورت 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 به دست آمده با توجه به معادله (۵) مقدار بافر پروژه تعیین می‌شود.

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 ذکر شده در گام قبل، با علائم اختصاری در نظر گرفته شده‌اند). بعد از تعیین مقادیر پیش‌بینی شده برای هر یک از

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

فعالیت	منبع مورد نیاز	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]

بنابراین داریم؛

$$th = [0 \cdot th \quad th]$$

فعالیت ۱ دارای مقدار فازی به صورت  $[0 \cdot 1 \quad 1 \quad 5/0]$  می باشد، برای تبدیل به شکل قطعی آن، به کمک معادله (۳) یک بار میزان سازگاری را  $0/9$  و بار دیگر آن را  $0/5$  در نظر گرفته و به ترتیب  $0,9 \square t$  و  $0,5 \square t$  حاصل می شوند.

$$A = [0 \quad 1 \quad 1,5 \quad 2 \quad 5]$$

$$B = [0 \quad 0 \quad th \quad th]$$

$$AI(A \square B) = \frac{(c(j) - b(j) + d(j) - a(j))/2 - (d(j) - th)(d(j) - th)/(2, (d(j) - c(j)))}{(c(j) - b(j) + d(j) - a(j))/2}$$

$$AI(A, B) = 0.9 \rightarrow$$

$$0,9 = \frac{2 - 1,5 + 2 - 0,5 - \frac{(2 - th) * (2 - th)}{2}}{2 - 1,5 + 2 - 0,5} / 2 * (2 - 1,5)$$

$$0,9 = 1 - (2 - th)^2$$

که از حل معادله بالا دو مقدار  $2/707$  و  $1/29$  برای  $0,5 \square t$  به دست می آید، که مقدار  $1/29$  قابل قبول است. برای سایر فعالیت ها نیز بدین ترتیب مقادیر  $0,9 \square t$  و  $0,5 \square t$  محاسبه شده که نتایج به صورت جدول زیر گردآوری شده است.

### \* تذکر: تبدیل عدد قطعی به فازی دوزنقه ای

هر عدد قطعی در مبنای ده را می توان به صورت زیر به عدد فازی تبدیل کرد. برای مثال عدد ۲ به صورت زیر به شکل فازی دوزنقه ای قابل بیان می باشد:

$$2 = [0 \cdot 0 \quad 2 \quad 2]$$

از حل معادله به دست آمده دو مقدار  $2/316$  و  $1/68$  به دست می آید که مقدار  $1/68$  در بازه قرار دارد و مورد قبول می باشد. سپس با قرار دادن  $AI=0,5$  معادله زیر حاصل می شود:

$$0,5 = 1 - (2 - th)^2$$

جدول ۳- اندازه گیری بافر پروژه به روش ابداعی لانگ و اهاتسو

فعالیت بحرانی	t70.9(day)	t70.5(day)	Δt(day)
۱	1/68	1/29	0/39
۲	2/19	1/79	0/4
۳	1/68	1/29	0/39
۴	6/37	5/59	0/78
۵	6/37	5/59	0/78
۶	2/37	2/59	0/78
۷	7/74	6/17	1/57
۸	1/68	1/29	0/39
۹	1/68	1/29	0/39
PB(day)			2/25

### ۴-۵- تحلیل نتایج

به منظور مقایسه رویکردهای مختلف در تعیین اندازه بافر، نتایج به دست آمده از به کارگیری هر یک از آنان در جدول زیر گردآوری شده است. قابل ذکر است که در روش ابداعی لانگ و اهاتسو ضریب  $\beta=0,5$  برای محیطی با ریسک متوسط مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج به دست آمده از روش های مختلف در جدول ۳ گزارش شده است. اگر از روش CPM گلدرات ارزیابی صورت گیرد، زمان

۳۹/۳۸ روز به دست می آید که به این معنی است که مدت زمان پروژه به طور آشکار برنامه پروژه را طولانی کرده است. روش RSEM یک نتیجه نسبتاً منطقی با زمان  $28/79$  روز می دهد. استفاده از روش ارزیابی ابداعی ارائه شده برای محاسبه اندازه بافر پروژه با این فرض که پارامتر  $\beta$  برابر  $0/5$  است، که این به معنی است که بر اساس روش شناختی ریسک یک ضریب ریسک متوسط در نظر گرفته شده است، برنامه ریزی قطعی مطلوبی حاصل شده است که در آن مدت زمان پروژه  $28$  روز است. به هر حال تغییر پارامتر  $\beta$  تغییر کمی در مدت زمان پروژه ایجاد می کند.

اگر برنامه‌ها ریسک را در پی داشته باشند، مقادیر کمتر  $\beta$  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 و ۳ پروژه‌های دوم تا هشتم، به‌اندازه فرجه خود به جلو رانده شده‌اند.  
 ۴-۶-۳- از بین بردن تداخل منابع در مطالعه موردی

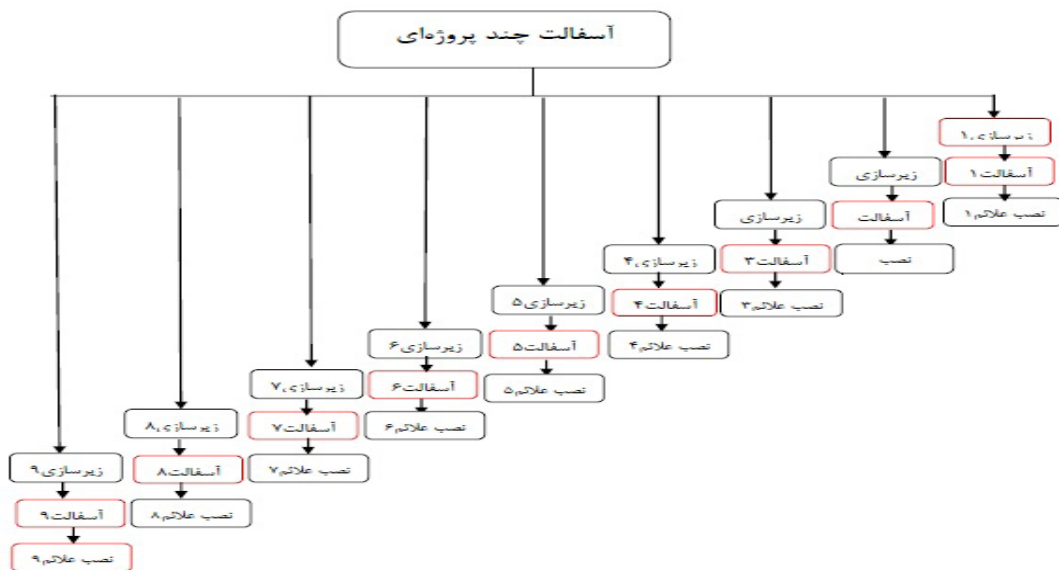
با توجه به محدودیت منابع در انجام چند پروژه این گام یکی از مهم‌ترین مراحل برای امکان‌پذیر کردن برنامه است. از آنجایی که منابع مربوط به مراحل زیرسازی و نصب علائم در مرحله آسفالت مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. در این صورت دو راه پیش رو می‌باشد:

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 این که مراحل زیرسازی به‌صورت موازی با مرحله 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 پروژه ۱ تا ۹ و 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 مشخص شده است، می‌باشد.



تصویر ۴- طراحی WBS چند پروژه‌ای

#### ۴-۶-۵- ارائه زمان بندی چند پروژه ای

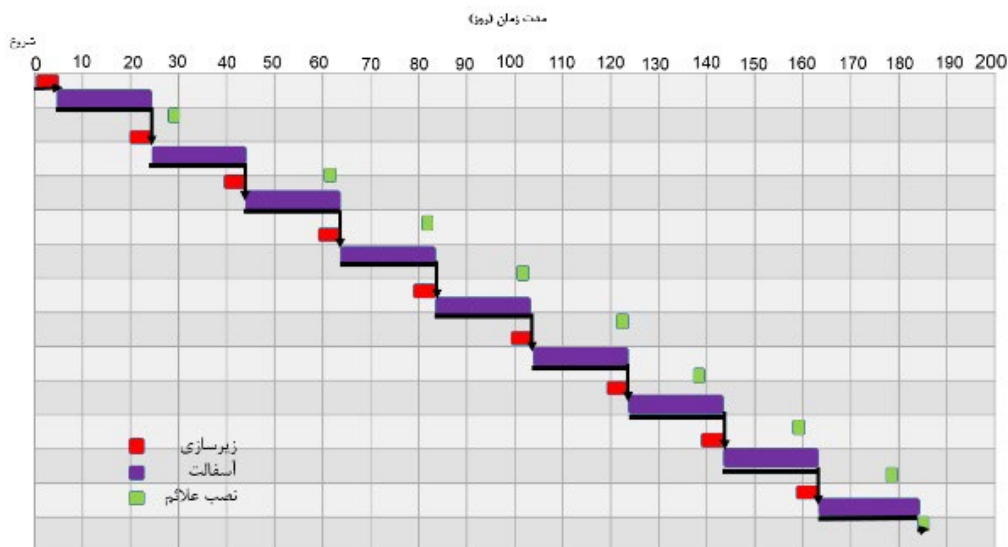
از داده های زمان بندی به دست آمده WBS با توجه به طراحی برنامه زمانی قطعی ۹ پروژه به شرح زیر ارائه شده است.

جدول ۵- نتایج محاسبه شده ی ۹ پروژه

شماره فعالیت بحرانی	فعالیت موجود در زنجیره بحرانی	زمان میانگین درروش ابداعی لانگ و اهاتسو ( $\beta-0,5$ )	پیش نیاز
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 زمان بندی چند پروژه ای

مدل زمان بندی چند پروژه ای و زنجیره بحرانی در شکل زیر به صورت شماتیک نشان داده شده است



تصویر ۶- ترسیم مدل پس از شروع فعالیت ها در دیرترین زمان ممکن

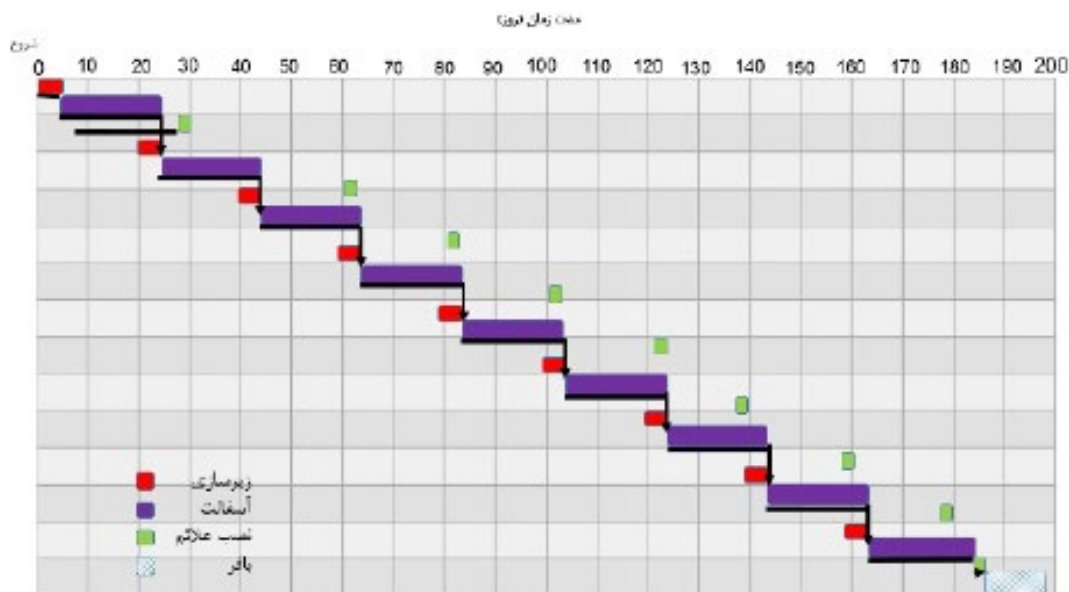


روز می باشد که در شکل فوق نیز نشان داده شده است.

#### 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.

در شکل فوق هر مستطیل نمایه یک بخش و طول آن نمایه مدت زمان 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



تصویر ۷- ترسیم مدل به روش زنجیره بحرانی و وارد نمودن بافرها

۳- تعیین سایز بافر با استفاده از روش ابداعی و مقایسه

عددی آن با روش های سنتی اندازه گیری بافر

۴- به کارگیری مدل زنجیره بحرانی در محیط چند

پروژه های

۵- بررسی تفاوت مدیریت پروژه و چند پروژه

محدودیت های استفاده از روش زنجیره بحرانی در کشور

ایران، این است که نرم افزارهای مورد نیاز این روش در

کشور ایران موجود نیست. درس های مرتبط با این روش

در دانشگاه های کشور تدریس نشده و عدم آشنایی افراد

درگیر در پروژه با این روش می باشد.

همان طور که اشاره شد، بافرها دارای زمان کافی برای جذب تغییرات و اشکالات به وجود آمده در مدت زمان اجرای پروژه هستند. بنابراین از برنامه ریزی مجدد، که گاهی هفته ها به طول می انجامد، جلوگیری می کنند. حفاظت پروژه در برابر مسائل غیرقابل پیش بینی، 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- جمع بندی:

در محیط واقعی مدیریت پروژه، اتمام کار بعد از تاریخ مقرر باعث تحمیل خسارت می شود. زمان محاسبه شده پروژه با استفاده از روش زنجیره بحرانی فازی ۱۹۶/۴۴ روز، با تأخیری حدود دو هفته نسبت به زمان تعهد شده می باشد. این مدت زمان انجام پروژه با توجه به این که پروژه مورد نظر با محدودیت منابع برنامه ریزی شد، می تواند زمان قابل قبولی باشد. پروژه با ضریب ریسک متوسط در نظر گرفته شد. تغییر ضریب ریسک در روش ارائه شده، تأثیر 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 زمان بندی فازی برای غلبه بر عدم قطعیت

۲- استفاده از بافر و در نظر گرفتن ضریب ریسک بافر برای

غلبه بر ریسک های موجود

Company, Iran)", Technical Journal of Engineering and Applied Sciences, 3 (S): 3735-3746  
Tulasi, CH, Rao, A.R, (2014) «Multi-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 Operational Research, Volume 245, 70-80  
14-Chakraborty, R. K., Sarker, R. A., and Essam, D. L. (2016), Multi-Mode Resource Constrained Project Scheduling Under Resource 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 Manage; 19(5):559-77  
Kaufman A, (1985), Gupta MM. In- Introduction to fuzzy, theory and application. 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 problem. Fuzzy Sets Syst; 67(1):71-80

## مراجع:

- ۱- سبزه پرور، 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 پروژه های عمرانی تا اول مرداد ماه سال ۱۳۸۶، تهران: ریاست جمهوری، معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی، مرکز مدارک علمی، موزه ها و انتشارات، ۱۳۸۶
- Leach, L, (2000). «Critical chain project 3-management improves project performance», Advanced Project Institute  
4-Bushuyev S, Sochnev S. (1999). Entropy measurement as a project control tool. International Journal of Project Management, 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 روش های تسطیح منبع در زمان بندی های خطی، مجله مهندسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی، سال دوم، شماره یک، ۴۱-۵۲.
- ۷- ایرانمنش، حسین و همکاران، (۱۳۹۰). راهنمای جامع پیاده سازی مدیریت پروژه بر مبنای مدیریت زنجیره بحرانی، موسسه مطالعات بین المللی 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  
9-Ghoddousi, P. Eshtehardian, E. 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 construction, 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 construction, Volume 35, 431-438  
11-Yaghoobzadeh, H, Roghanian, 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