

هو

کاربرد ((شمارگر)) (COMPUTER)

در بر آوردن ساختمان با روش

CPM (Critical Path Method)

ابراهیم شیرازی

دانشیار دانشکده فنی

از فرمایشات « اعلیحضرت همایونی شاهنشاه آریامهر » «جرات و شجاعت در حل مسائل اداری و استقبال از وظیفه و مسئولیت باید بوسیله مدیران در کلیه سطوح اساس هرامری قرار گیرد. هدف - انجام وظیفه با محکمترین ایمان و با کمترین پرسنل در کوتاهترین مدت است با نازلترین قیمت اقتصادی و گرانترین ارزش معنوی تا سرحد ایثار خون !»

چکیده :

شمارگرهای الکترونی یا Computer میتواند با اطلاعاتی که از برنامه های C.P.M دریافت میدارند محاسبات مربوطه را بطور خود کار انجام داده ، نتیجه پاسخ پرسش ها را در اختیار ایشان قرار دهند. طرز عمل روی سلسله عملیات ریاضی و منطقی صورت میگیرد که قبلاً برنامه ریزی شده اند و بطور کلی بردو نوعند :

۱) شمارگرهای قیاسی Analogue Computer که به پرسش ها با استفاده از شباهت مدارهای الکترونی پاسخ میدهند. در روش C.P.M که در پروژه های ساختمانی متداول شده اند معمولاً از این دسته از کامپیوترها استفاده میشود.

۲) شمارگری رقمی Digital Computer که به پرسش ها ، بطور مستقیم و عددی پاسخ میدهند و خاصه قسمت ورودی اطلاعات و قسمت محاسب و قسمت خروجی برای هر نوع روش برنامه نویسی متوالی Iterative programming آمادگی کامل دارند. در بین این دسته از کامپیوترها IBM یکی از معروفترین دستگاهها میباشد.

## ۱- کلیات

اجرای هر پروژه ساختمانی متضمن بکار بستن مدت زمان معینی است. در این بین :

کارفرمایان ،

مهندسين مشاور Consulting Engineers و پیمانکاران (مقاطع کاران) Contractors

هر کدام به نحوی اجرای پروژه را به عهده دارند.

در سال های اخیر روش شبه برداری «CPM» (Critical Path Method) کامپیوتری کردن

برنامه های ساختمانی را میسر ساخته است.

این روش از تجارب و احساسات فطری و جبلی پیمانکاران سرچشمه گرفته و با صرفه جویی در وقت

بصرفه جویی های پولی و اقتصادی دسترسی پیدا میکند ؛ و این همان کاریست که قبلاً در قرون متمادی

با محاسبات دستی بدفعات صورت گرفته و اجرای پروژه های از هر حیت متنوع و عظیم ساختمانی را با موفقیت

تمام میسر ساخته است ، مانند :

بناهای تخت جمشید و اهرام مصر در اعصار گذشته و پل عظیم دروازه طلایی Golden Gate

با یک هزار و یکصد متر دهنه وسطی در سانفرانسیسکو و آسمان خراشهایی از قبیل امپایراستیت بیلدینگ

Empire State Building و سدهای عظیم محمدرضا شاه پهلوی و سد شهبانو فرح و غیره که در سال های

اخیر در ایران احداث گردیده اند و یا استادیوم ورزشی که هم اکنون در دست تهیه است.

در اوایل قرن نوزده ، اولین بار روش پیشرفت کار به تبعیت از زمان یعنی :

$$y=f(t)$$

بشکل نمودارهای میله ای Bar Graph بچشم میخورد. در قرن بیستم Fredric W. Taylor این

روش را در کارهای ساختمانی تعمیم داد و برای وظایف گوناگون مدیریت و نظارت عملی نموده است. نقطه

ضعف این روش در آن قرار گرفته که چون جریان آن از تاریخ تحویل گرفتن کار به عقب برمیگردد

نمیتواند پیوستگی های داخلی پیشرفت پروژه ها را آنچنانکه باید و شاید زیر نظر قراردادده مورد کنترل و بررسی

قرار دهد.

بطور مثال برنامه کارهای پیمانکاران فرعی و یا دست دوم باید بطور طبیعی تابع برنامه های اجرایی

پیمانکار اصلی دست اول بوده از آن پیروی نمایند ولی ما میدانیم که در عمل عکس این موضوع بیشتر

صادق است. و این از آنجا سرچشمه میگیرد که پیمانکاران دست دوم و فرعی مانند پیمانکار اصلی چندان

باتمام یافتن کار در سر رسیدهای پیش بینی شده علاقه مند نیستند زیرا میخواهند تاجائیکه برایشان میسر است

با نفرات کمتری و بالنتیجه با صرف مدت بیشتری کارهایی را که عهده‌دار گردیده‌اند بانجام رسانند و بعلت تأثیرزنجیری کارهای متنوع کارگاههای ساختمانی، اغلب پیمانکار اصلی هم نمیتواند در سر موعدهایی که با پیمانکاران دست دوم موافقت کرده‌اند کارگاههای مورد نیازشان را در اختیارشان بگذارند!

## ۲- برنامه ریزی کارهای ساختمانی با شمارگر Computer

طبیعی‌ترین راه حل ریاضی این موضوع میتواند از اینجا سرچشمه گیرد که ما :

(۱) اجرای کارهای متنوع ساختمانی را نسبت به ترتیب اجباری و منطقی ردیف شدن آن کارها .

(۲) مدت زمانهای اجرایی هر یک از آنکارها را به کامپیوتر بدهیم و تنظیم برنامه اجرایی را از ماشین بخواهیم .

تاکنون دو روش اصلی برای برنامه ریزی کامپیوتری در کارهای ساختمانی معمول و متداول گردیده است :

(۱) روش CPM

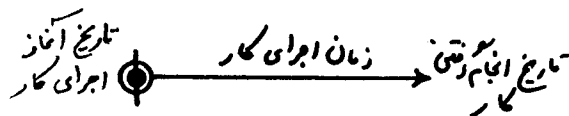
(۲) روش Pert

که اولی روشی است شبه برداری و دومی ارزشیابی برنامه هاست بمنظور تماس مداوم با کلیه مسایل اجرایی .

در این مختصر سربخش‌های کارهای متنوع اجرایی سربخش یا Milestones نامیده میشود .

## ۳- اصول CPM

اگر ما برای اجرای هر کاری ، مدت زمان لازم برای اجرای آن کار را با برداری نمایش دهیم چنین خواهیم داشت :

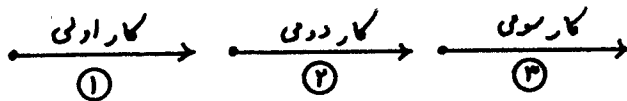


بدیهی است که در پروژه‌های ساختمانی هر کاری بانام مختص خویش نامیده میشود مانند کاهای خاکبرداری- خاک‌ریزی - شفته ریزی - بتون آرمه - کارهای فلزی - درب و پنجره سازی - گچکاری - سفید کاری - کف سازی - رنگ آمیزی - نماسازی - محوطه سازی - زیر سازی - آسفالتکاری و غیره ... در قدم بعدی ما باید جای این شبه بردارها را نسبت بیکدیگر طوری تنظیم کنیم که مدت پیش بینی شده برای اجرای پروژه دچار وقفه و تأخیر نگردد . با این منطق که هر کاری وقتی بموقع اجراء درسیاید که کارهای قبلی وابسته بان کار

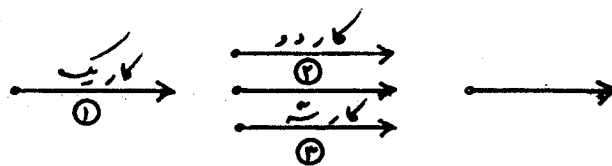
همگی خاتمه یافته باشند ما میتوانیم اطمینان داشته باشیم که پروژه مورد نظر ما در مدت پیش بینی شده بموقع اجرا گذارده خواهد شد آنهم به بهترین وجه و با در نظر گرفتن جمیع جهات مسایل اقتصادی ممکنه! مجموعه این شبه بردارها ، شبکه ای را تشکیل میدهند که منطق شبکه نامیده میشود.

### ۳-۱- منطق ردیف بودن کارها

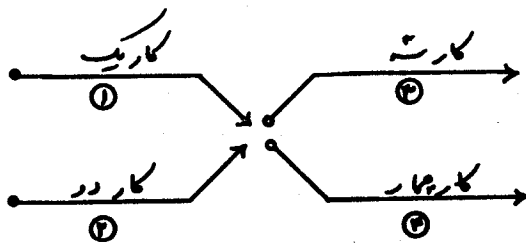
اگر کارهای پروژه را شماره گذاری کنیم برای نمایش دادن سه فقره کارهای مختلفی که باید پشت سرهم بموقع اجرا گذارده شوند خواهیم داشت :



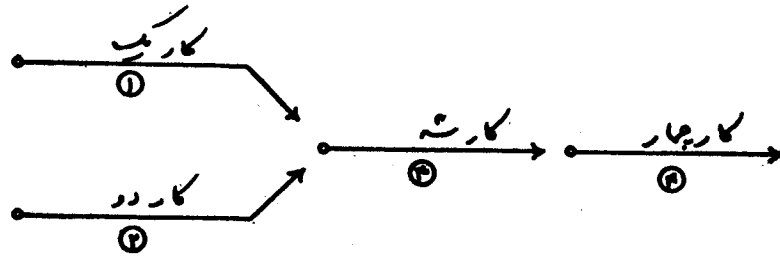
حال اگر قرار چنین باشد که پس از انجام گرفتن کار اولی کارهای دومی و سومی باید همزمان بموقع اجرا درآیند در اینصورت منطق شبکه بشکل زیر درمیآید :



چنانچه کارهای یک و دو سه و چهار باید باین ترتیب صورت گیرند که کارهای یک و دو باید باهم در یک زمان شروع گردند و کار سه پس از خاتمه پذیرفتن کار یک و همینطور کار چهار پس از انجام یافتن کار دو بموقع اجرا درآیند نمایش منطق شبکه چنین خواهد بود :

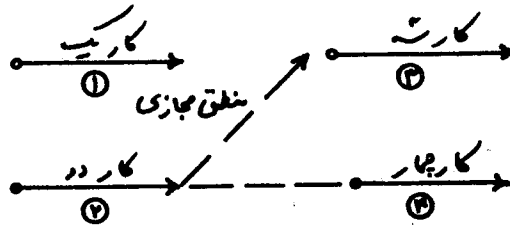


حال اگر منطق شبکه چنین اقتضا نماید که کارهای یک و دو باهم شروع شوند ولی کار سه پس از خاتمه یافتن کارهای یک و دو و کار چهار پس از اتمام یافتن کار سه بمرحله درآید منطق شبکه بشکل زیر درمیآید :

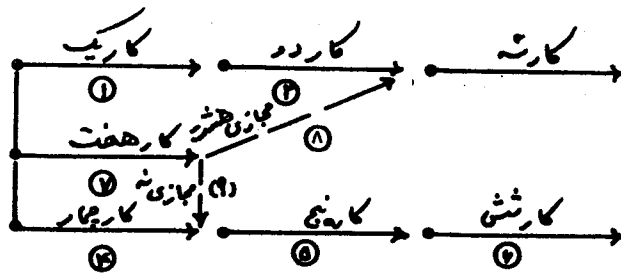


### ۳-۲ منطق مجازی Logic Spreader

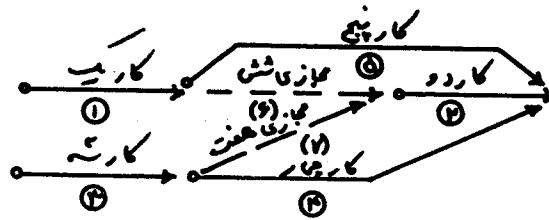
اگر قرار چنین باشد که کار سه پس از خاتمه یافتن کارهای یک و دو و کار چهار پس از کار دو صورت گیرد برای نشان دادن این موضوع از یک پیکان خط چین استفاده کرده آن را منطق مجازی می‌نامیم:



اگر دو ردیف کار داشته باشیم یکی کارهای یک و دو و سه و دیگری کارهای چهار و پنج و شش که باید هر دو ردیف هم زمان شروع شده و خاتمه پیدا کنند و ضمناً کار هفتمی هم در بین باشد که باید همزمان با کارهای یک و چهار شروع شده ولی قبل از کارهای سه و پنج خاتمه یابد برای نمایش منطق شبکه از دو منطق مجازی هشت و نه استفاده میشود و برای متمایز ساختن آن‌ها از منطق‌های حقیقی آن‌ها را با ( ) پرانتز مشخص می‌سازیم بدین‌قرار:



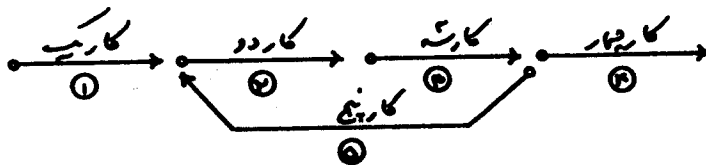
اگر کارهای یک و سه باید همزمان شروع گردند و قبل از آغاز کار دو و خاتمه پیدا کنند و کار چهار پس از کار پنج سه و کار پنج بطور مستقل پس از کار یک شروع شود ولی با خاتمه یافتن کارهای دیگر خاتمه پیدا کند چنین خواهیم داشت:



با کمی دقت می بینیم که جهت شبه بردارها یکسان و در جهت گردش عقربه های ساعتند.

### ۳-۳- دور بسته

اگر کارهای یک و دو و سه و چهار ردیف باشند ولی کار پنچ پس از سه و قبل از دو باشد منطق شبکه بقرار زیر خواهد بود :



بطوریکه دیده میشود کارهای دو و سه و پنج باهم تشکیل یک حلقه یا دور بسته Logic Loop را داده اند !

### ۳-۴- افکندها

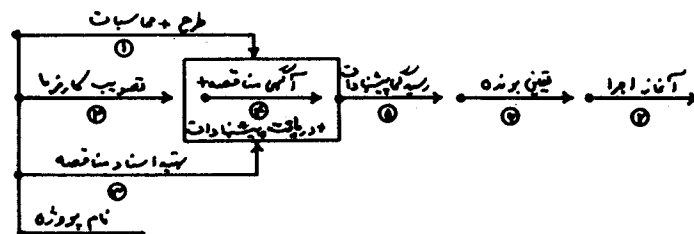
از تلاقی  $n \div 2$  بردار با بعدهای  $t=0$  یک افکنه پدید می آید. جریان منطقی هرافکنه طوری است که تمام کارهایی که باین افکنه ها منتهی میشوند باید پیش از کارهایی که پس از این افکنه باید بموقع اجراء در آیند بصورت تمام و کمال انجام یافته باشند. افکنه های هر پروژه سربخش یا Milestones نامیده میشوند.

مثال :

برای اجرای هر پروژه ساختمانی باید بترتیب کارهای زیر صورت گیرند :

- ۱) طرح پروژه با محاسبات مربوطه آن توسط مهندسین مشاور Consulting Engineers
- ۲) تصویب طرح و محاسبات تهیه شده توسط کارفرما.
- ۳) تهیه دفترچه مشخصات کارهای پروژه (Specifications for take-off)
- ۴) آگهی دادن مناقصه در روزنامه های کشور و دریافت پیشنهادات پیمانکاران.

- ۵) بررسی پیشنهادات بوسیله مهندسین مشاور.  
 ۶) مشخص ساختن پیمانکار برنده مناقصه.  
 ۷) آغاز کار اجرای پروژه پس از تنظیم صورت مجلس تحویل کارگاه.

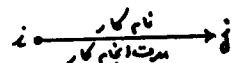


همانطوریکه گفته شد از تلاقی  $2 \div n$  بردار یک افکنه بوجود میآید مانند افکنه شماره ۱ مربوط به انتشار آگهی مناقصه که پس از انجام کارهای نامبرده در شماره های ۱ + ۲ + ۳ قابل اجراء میگردد.

در روش CPM هر کاری با دو شماره نمایش داده میشود :

۱) شماره آغاز کار که با حرف i نمایش داده میشود.

۲) شماره انجام کار که با حرف j مشخص میگردد بقرار زیر :



و باین ترتیب هر کاری با دو شماره j-i نامگذاری میشود.

پایاده کردن این امر در پروژه های ساختمانی به نحو زیر صورت میگیرد :

معمولاً ساختمان های نو بنیاد و راهسازی ها و سیادین و فرودگاهها و غیره ... روی زمین های بایر ساخته میشوند.

بنابراین اولین قدمی که در چنین کارگاهها برداشته میشود پاک و تمیز کردن زمین زیر بناست.

فرض میکنیم که  $t_1$  برابر مدت زمان لازم برای اجرای این کار باشد. باین ترتیب برای نمایش این کار در سیستم CPM باید چنین نوشته شود :

$$\text{شماره } j - i = 0 - 1$$

$$\text{مدت انجام کار} = t_1$$

شرح کار: تمیز کردن و آماده ساختن زمین زیر بنا.

پس از آنکه زمین زیر بنا از علفها و خاکهای زراعتی پاک شد میتوان بکار پیاده کردن نقشه

باریختن رنگ و پیکه گزاری و امثال آن پرداخت. چنانچه زمان لازم برای انجام پیاده کردن نقشه برابر

$t_2$  باشد، خواهیم داشت :

شماره  $i - j = 1 - 2$

مدت انجام کار  $t_p$

شرح کار = پیاده کردن نقشه

بطور معمول پس از پیاده شدن نقشه در محل کارگاه عملیات خاکریزی و خاکبرداری جهت

تسطیح زمین بموقع اجراء گذارده میشوند. و در صورتیکه زمان لازم برای اجرای این کارها برابر  $t_p$  باشد، خواهیم داشت:

شماره  $i - j = 2 - 3$

مدت انجام کار  $t_p$

شرح کار = تسطیح

و باین ترتیب میتوان کلیه کارهای ساختمان را مشخص ساخته شماره گذاری کرد و ساده ترین راه

استفاده از جدولی است بشکل زیر:

شماره کار	مدت اجرا کار	شرح کار
۰-۱	$t_1$	تیز کردن رآ ماده بوضع زمین
۱-۲	$t_2$	پیاده کردن نقشه
۲-۳	$t_3$	تسطیح
...	...	...

باین ترتیب می بینیم که در CPM هر یک از کارهای ساختمانی دارای یک شماره  $i - j$  مخصوص بخود آن کار میباشد.

گفته شد که از تلاقی  $2 \div n$  شبه بردار یک افکنه پدید می آید. اینک باید اضافه نمائیم که بین  $2$  افکنه اغلب چندین کار باهم انجام میگیرند و بمرحله اجراء گذارده میشوند. بطور مثال بین دو افکنه میتوانند این کارها باهم بموقع اجراء گذارده شوند:

(۱) گچ و خاک بعنوان اندود داخلی اطاقها

(۲) سفید کاری اطاقها

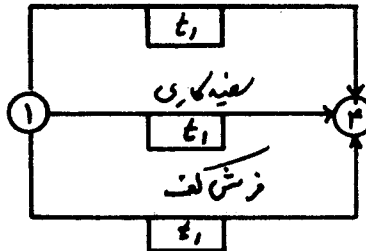
(۳) فرش کف اطاقها

چنانچه مدت زمان لازم برای اجرای کارهای سه گانه بالا بطور یکسان برابر  $t_1$  باشد برای منطبق

شبکه بین دو افکنه آغاز و انجام چنین خواهیم داشت:

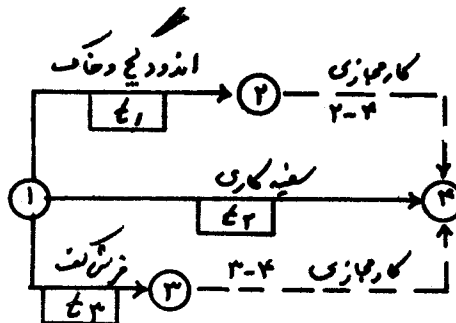


شرح کار	$t$	$i-j$
اندود کچ و خاک	$t_1$	1-4
سغیه کاری	$t_1$	1-4
فرش کن اطاق	$t_1$	1-4
اندود کچ و خاک		



با یک شبکه  
شبه بردار  
بشکل مقابل

این سه کار با این فرض صورت گرفتند که مدت اجرایشان در هر سه مورد یکسان باشد ولی در عمل ، مدت زمان لازم برای اجرای این سه کار یکسان نیست . و در زمان های  $t_1 \neq t_2 \neq t_3$  بموقع اجراء گذارده میشوند لذا ناگزیریم برای دادن شبه برداری منطق شبکه از شبه بردارهای مجازی کمک بگیریم بشکل زیر :



باین ترتیب شبه بردارهای 2-1 و 3-2 و 3-1 کارهای مجازی یا Dummy Activities نامیده میشوند و جدول منطق شبکه چنین خواهد بود :

شرح کار	$t$	$i-j$
اندود کچ و خاک	$t_1$	1-2
فرش کن	$t_3$	1-3
سغیه کاری	$t_2$	1-3
کار مجازی وابسته به اندود کچ و خاک	$t_2 - t_1$	2-3
کار مجازی وابسته به فرش کن	$t_3 - t_2$	3-2

در شماره گذاری  $i-j$  باید سعی نمود که حتی الامکان :

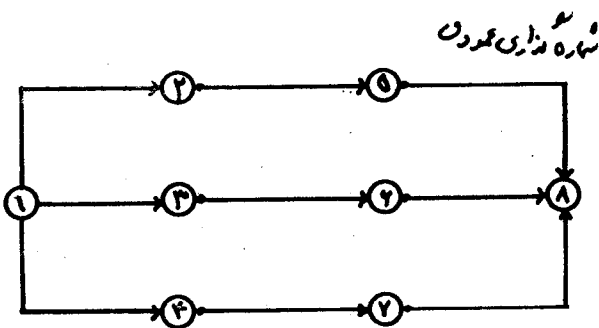
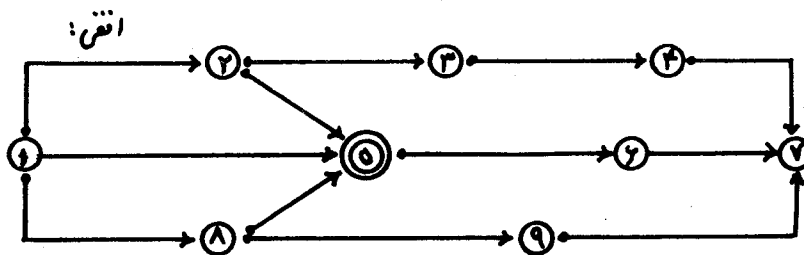
$$i < j$$

باشد ولی با احتیاجات فراوان وجود باجوری کارهای ساختمانی عکس این موضوع یعنی مواردی که  $i > j$  است نیز اتفاق میافتد و شماره گذاری بصورت درهم درمیآید خاصه در مواردیکه لزوم کارهای اضافی و پیش بینی نشده پیش میآیند که در این صورت بدون تعویض سایر شماره ها شماره این کار اضافی برای خودش در نظر گرفته میشود. در اینگونه موارد روش شماره گذاری شماره گذاری درهم یا Random Numbering نامیده میشوند.

تعداد واقعه های شبکه های CPM در پاره ای موارد از هزار هم بالاترند ولی در حال توصیه میشود که در شماره گذاری پیوسته از روش  $i < j$  پیروی بعمل آید چه در اینصورت جایگزین ساختن افکنه ها در نمودارهای شبه برداری آسانتر و در نتیجه منطق حلقه های شبکه از نظر دور نمی مانند. برای شماره گذاری منظم واقعه ها بطور معمول از دو روش استفاده میشود :

(۱) روش افقی

(۲) روش عمودی



قدرت تصمیم گیری برنامه بستگی بان انتخاب روش دارد و به درك بیشتر پروژه کمک مؤثر میکند.

#### ۴- تنظیم شبکه

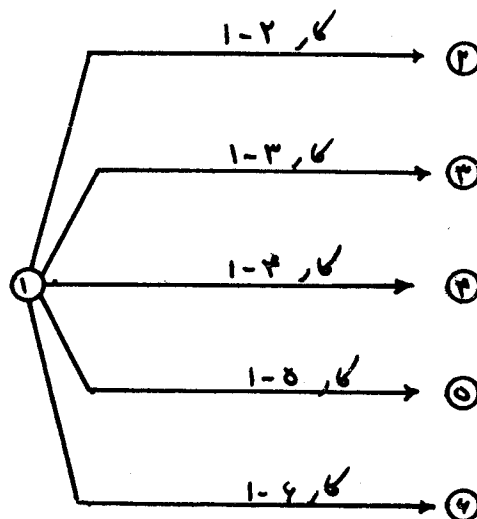
شبکه ها را باید روی کاغذ کالک ترسیم نمود تا قابل عکس برداری یا اوسالید باشند ویدیهی است

که قبل از رسم شبکه نهایی بشکل قطعی؛ طرح‌های آزمایشی تهیه میشوند. و شایسته آنست که تمام کارهای مربوط به یک بخش اجرائی مانند: خاکبرداری - خاکریزی - گودکنی - پی‌کنی و... روی یک صفحه ترسیم گردند چون CPM روشی است منطقی برای برنامه ریزی متشکل و منطق چنین حکم میکند که کارهای اجرائی هر بخش روشی یک نقشه گردآوری شده باشند و قطع نقشه باید در محلی صورت گیرد که تعداد کمی شبه بردار وجود دارند. باین ترتیب برای یک ساختمان مرتفع با استخوان بندی فلزی بطور مثال باید تمام کارهایی که قبل از آغاز برپاداشتن تیر پایه‌ها بایستی صورت گرفته باشند از قبیل یکایک پی‌ستون‌ها روی یک صفحه آورده شوند.

اندازه نقشه‌ها اندازه‌های معمولی DIN A<sub>۴</sub> است. توضیحات کاری بطور افقی نوشته میشوند. و کارهای مهم با همه استخوان بندی نقشه را تشکیل میدهند. و ضمناً باید سعی شود از روی یکدیگر رد شدن شبه بردارها کمتر پیش آیند.

فاصله شبه بردارها از یکدیگر نباید کمتر از پنج سانتی‌متر باشد تا تصحیح‌های لازم و تجدیدنظر در کارها باسانی میسر باشند.

طول شبه بردارها نیز بطور معمول پنج سانتی‌متر گرفته میشود و باید از کشیدن شبه بردارها در جهت عکس پیکان‌ها خودداری شود و قبل از تکمیل شدن شبکه نباید شماره گذاری افکنه‌ها صورت گرفته باشند. بطور معمول هنگام شروع بکارهای اجرائی پروژه‌های ساختمانی کارهای متعددی وجود دارند که که میتوانند هم زمان یکدیگر شروع شده بموازات هم بموقع اجراء در آیند بشکل زیر:



#### ۴-۱- نیازهای شبکه

برای تهیه برنامه ریزی باید بدو کلیه نقشه‌های اجرائی پروژه تمام و کمال بدون عیب و نقص در

دسترس قرار گیرند البته بدیهی است که کلیه نقشه ها باید بتصویب کارفرمای پروژه رسیده باشند. بطور معمول مدارك مورد نیاز بقرار زیرند:

نقشه وضعیت Pl. de Situation Layout Lageplan پلان های یکایک بلوک ها با برش های (Schnitte , Coaps Section) عرضی و طولی - نماهای لازم و در پاره ای موارد ماکت های پروژه. نقشه های تأسیسات:

تأسیسات بهداشتی

تأسیسات آبرسانی

تأسیسات فاضلاب (گنداب) اگو

تأسیسات انکتریکی

تأسیسات گرمای مرکزی - شوفاژ سانترال یا تهویه مطبوع Air Conditioning

تأسیسات خیابان سازی و محوطه سازی

با کلیه جزئیات Details و نقشه های تفصیلی

کلیه محاسبات مقاومت مصالح یا ایستائی

دفترچه مشخصات

## ۲-۴- منطق شبکه

در طرح ابتدائی نمودار شبه بردارها باید کلیه مختصات پروژه شرایط اوضاع و احوال محلی - خواسته های اختصاصی کارفرما بطور دقیق مد نظر قرار گیرند. بطور مثال در مورد احداث کارخانه ها اغلب کارفرمایان خواستار بجلو انداختن بخش تولیدی کارخانه میباشند و برای محوطه سازی ها و کافه تریاها و امثال آن اهمیت کمتری در نظر میگیرند.

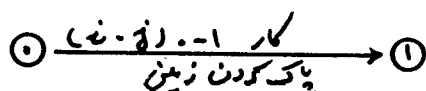
بجز این نکات که همه باید مراعات شوند موضوع دیگری که در پروژه های وسیع ساختمانی حائز اهمیت فراوان است تفکیک کار پیمانکاران اصلی و دست اول از پیمانکاران فرعی و دست دوم میباشد. بعلاوه باید پیوسته این موضوع را از نظر دور نداشت که منطق شبکه CPM براساس نظریه  $i < j$  جز در موارد استثنائی استوار گردیده است!

تا اینجا ما چنین وانمود کرده ایم که اجرای پروژه های ساختمانی منحصر است به احداث ابنیه و کارخانجات و کانال سازی و سد سازی و ... که از بیخ و بن تازگی دارند و حال آنکه به هیچ وجه نمیتوان عملیات تخریبی ساختمان های کهنه و قدیمی و تعمیرات و تحولات نوین شهر سازی که در جریان آن بسیاری از خانه ها و دکا کین که در مسیر خیابان های نوین قرار گرفته اند تخریب گردیده از میان برداشته میشوند

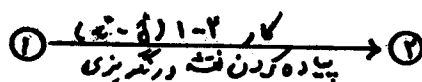
و یاساختمان‌هایی که درجریان توسعه معابر با تخریب روبرو میشوند آنها را مستثنی نمود. پر بدیهی‌است که کاربرد CPM شامل این عملیات نیز میگردد.

حال پس از این مقدمات فرض میکنیم که کارفرمایی بخواهد روی زمین بیاضی یک کارخانه تولیدی احداث نماید.

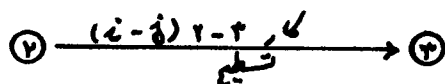
بدین‌قرار میتوان این فرضیه را بعنوان افکنه آغاز محسوب و منظور نمود. و این همان مرحله ایست که با شماره صفر شماره گذاری میشود. بدیهی است که اصالت سند مالکیت عرصه کارخانه از نقطه نظر تطبیق سند با زمین و تبعیت از اسناد مجاور حایز کمال اهمیت است. و محدوده سند مالکیت باید قبلاً بطور مشخص در محل پیاده شده و پیکه‌گذاری شده باشد و مجاورین ملک اعتراضی نداشته باشند. اولین کاری که در شروع اجرای پروژه منطقی بنظر میرسد پاک و تمیز کردن زمین سوات کارگاه است از خسن و خاشاک و قشر زمین زراعتی بدین‌قرار:



پس از این مرحله باید با عملیات نقشه برداری نقاط اصلی را روی زمین پیاده کرده محیط بنا را با رنگریزی مشخص ساخت. یعنی:



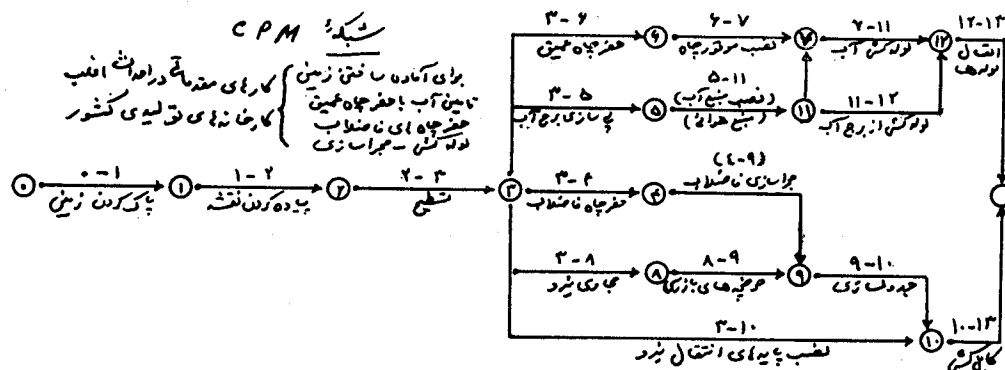
پس از این کار میتوان با خاکریزی و خاکبرداری عملیات تسطیح زمین کارگاه را بمرحله اجرای درآورد یعنی:



حال فرض میکنیم که برای تأمین آب مورد نیاز کارخانه ناگزیر شویم که چاه عمیقی حفر کنیم و اگر بنا باشد که تأمین فشار آب مورد نیاز در لوله‌های آب رسانی با برج آب انجام گیرد باید شالوده خرابای فلزی برج آب نیز تهیه شود، هم‌چنین برای فاضلاب یا گندآب باید چاههای مورد نیاز حفر کردند و مجاری لازمه احداث گردیده لوله‌کشی‌های لازمه معمول کردند.

به همین ترتیب برای رسانیدن برق و تأمین نیروی مورد نیاز کارخانه باید پایه‌های خطوط انتقال نیرو نصب کردند.

بطوریکه می‌بینیم پس از افکنده ۳ کارهای نامبرده در بالا می‌توانند با هم بموقع اجراء گذارده شوند و از اینرو نمودار شبکه برداری منطق شبکه را می‌توان بقرار زیر ترسیم کرد :



این است شبکه CPM برای آماده ساختن زمین کارگاه.

تأمین آب با حفز چاه عمیق .

حفز چاههای فاضلاب (گنداب) .

مجرا سازی .

لوله کشی آب رسانی .

کابل کشی نیرو که برای بسیاری از پروژههای صنعتی و احداث کارخانههای تولیدی در «ایران»

به کرات و دفعات بمرحله اجراء گذارده میشود . و بطوریکه سلاخه میشود در منطق شبکه از قانون  $i < j$  پیروی شده است .

## ۵- عامل زمان در CPM

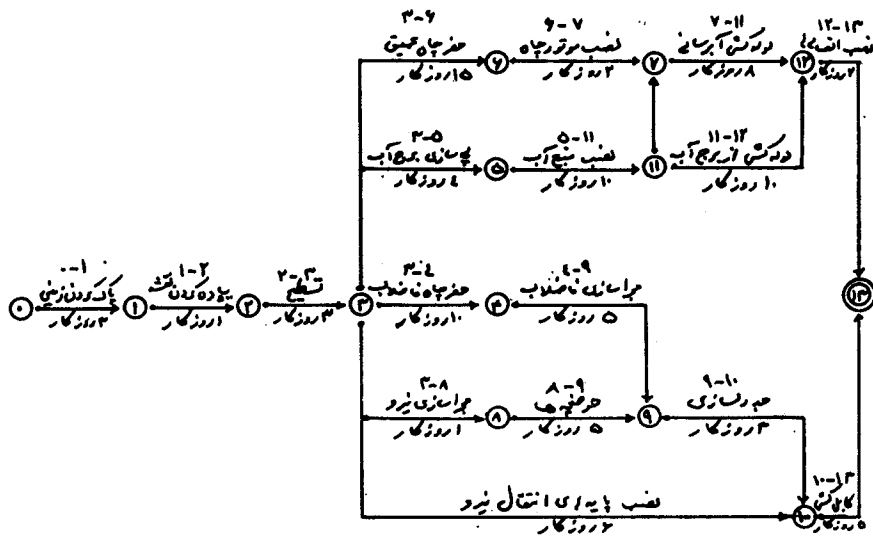
زمان در CPM براساس کار تمام وقت با واحد روز کار نه روزگاری ولی در روزگار محسوب و منظور میگردد وچنانچه علاوه بر روز کارهای تمام وقت ساعاتی چند نیز برای پایان رسانیدن کاری بمصرف رسیده باشند آن چند ساعت کار نیز بعنوان یک روز کار محسوب و منظور میگردد . در اینصورت باید ابتداء تمام کارگر ساعت های مورد نیاز برای انجام هر کاری (Man hour) محاسبه نموده بر تعداد ساعت کارهای یک روز کار تقسیم کرد عدد روز کارهای مورد نیاز برای انجام آن کار را بدست آورده این عدد با قراری که گذاشته شد عددیست صحیح بدون جدول کسرا عشاری پر بدیهی است که برای انجام این محاسبات آزمودگی پختگی و خبرگی برآورد کننده حائز کمال اهمیت است .

عدد روز کار برآورد شده برای هر کار زیر شبکه بردار مربوط بان کار نوشته میشود :

② ← پیاده کردن نقشه → ①  
ارزکار

نویسنده در رشته Cybernetic محاسباتی را در فضای زیراتم برای بدست آوردن حدگسترش فنی Optimum دنبال میکند. بطور مثال اگر شخصی احساس تشنگی میکند برای رفع تشنه گی خود مقداری آب می نوشد در صورتیکه بدنش به یک مقدار کاملاً معینی آب نیاز دارد مقدار آبی که شخص تشنه مینوشد میتواند بالا و یا پائین آن مقدار معین مورد نیاز بدنش باشد با این ترتیب آن نقطه عطف لیتراژ معین آب عدد Optimum است. این موضوع در مورد مدت زمان Optimum برای انجام کلیه کارهای هر پروژه فنی کاملاً صدق میکند هر چند در شبه بردار  $z=1-i$  برای پیاده کردن نقشه در دستگاه  $y=f(t)$  باید با واحد زمانی روز کار توأم باشد و نی چون این موضوع متضمن صرف وقتی است که میتوان از آن صرف نظر نمود بنابراین طول های شبه بردار منطق شبکه ها بدون مقیاس زمان کشیده میشوند.

بطوریکه در مثال مربوط به انجام کارهای مقدماتی برای احداث اغلب کارخانه های تولیدی پس از به عقب گذاشتن کارهای ۱۲ ایستگاه رسیدیم به ایستگاه ۱۳. اینک با محاسبه روز کارهای لازم برای انجام این کارها برای یک پروژه مفروض خاصی روی زمین پکت محدودی ثبتی کاملاً مشخص چنین خواهیم داشت :



البته بدیهی است که در این برآورد زمانی برای کارهای متنوع دستمزد انجام این کارها یگسان نیستند ولی در هر صورت میزان دستمزد بستگی کامل به میزان باز دهی و آزموردگی و تخصص های فنی دارد که مبلغ های ریالی آن به سهولت قابل تشخیص است و خاصه در آنالیز یا تجزیه بها های دفترچه مشخصات دقیقاً محاسبه و منظور گردیده است.

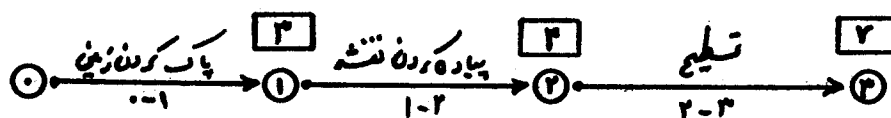
با کمی دقت دیده میشود که پس از سپری گشتن سه روز کار از تاریخ آغاز کارهای اجرایی پروژه میتوان انتظار داشت که کارهای پاک کردن زمین از قشر زراعتی و خس و خاشاک بموقع اجراء گذاشته شده است. بعبارت دیگر کمترین مدت و یازودترین زمانی که پس از آغاز کارهای اجرایی (ایستگاه 0 با  $t=0$ ) میتوان به واقفۀ یا ایستگاه 1 رسید:

$$T_{E_1} = 3 \text{ روز کار}$$

است و بهمین ترتیب در ایستگاه 2 کوتاهترین مدت با جمع مدت 1-2 با 0-1 بدست مییابد یعنی:

$$T_{E_2} = 3 + 1 = 4 \text{ روز کار}$$

بوجود آوردن این چنین تقویم کارایی برای شبکه های GPM حائز کمال اهمیت است و به همین دلیل ارقام روزکارها در بالای شماره هر ایستگاه در داخل چهارگوشی نوشته میشود:



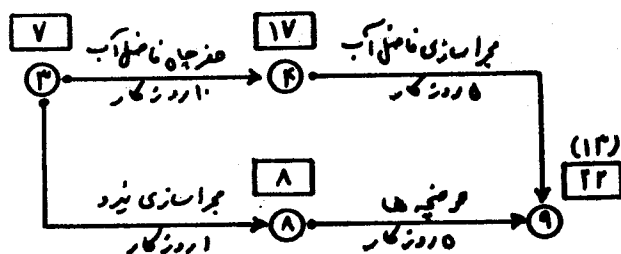
ایستگاه 1      3 = 0 - 1      روزکار

»      4 = 1 + 3 = 0 - 2      روزکار

»      7 = 4 + 3 = 0 - 3      روزکار

از اینرو می بینیم که برای یک پروژه مشخص مورد نظر باتیم استاد کاران و تجهیزات کاری که در اختیارشان قرار گرفته زودترین فرصتی که در سر رسید آن میتوان پس از انجام کارهایی که در ایستگاههای قبلی پیش بینی شده است با آخرین ایستگاه شماره 3 رسید طبق محاسباتی که در بالا نشان داده شده است 7 روز است یعنی:

$$T_{E_3} = \int_{t=0}^{t=7} T_E = 7 \text{ روز کار}$$





با ادامه مطالعات دیده میشود که ایستگاه ۹ در انتهای ۲ مسیر متفاوت قرار گرفته است و عبارت دیگر با پیمایش ۲ راه جداگانه میتوان بایستگاه ۱ رسید :

(۱) راه ایستگاههای ۳-۴-۹ با صرف ۲۲ روزکار

(۲) راه ایستگاههای ۳-۸-۹ با صرف ۱۳ »

یعنی :

$$T_{E_9} = \int_{t=0}^{t=22} T_{E=22} \text{ روزکار}$$

و :

$$T_{E_9} = \int_{t=0}^{t=13} T_{E=13} \text{ روزکار}$$

بدیهی است که برای ایستگاه ۱ بزرگترین رقم یعنی ۲۲ روز قطعیت دارد که انتخاب میشود . بنابراین مسیر پاسخ GPM همان مسیر طولانی تر ۰-۱-۲-۳-۴-۹ برابر ۲۲ روزکار خواهد بود . ولی همانطوریکه دیده شد به جز این مسیر طولانی مسیر کوتاه مدت تری هم وجود دارد که ایستگاههای ۵ و ۹ را بیکدیگر متصل میسازد و آن مسیر ۰-۱-۲-۳-۸-۹ است که در مدتی برابر ۱۳ روزکار قابل اجراء است .

اختلاف زمانی بین این دو مسیر برابر

روزکار  $22 - 13 = 9$  است و این فرصتی است که کارهای اجرایی مسیر دوم بدست آورده اند تا

چنانچه بعللی تأخیرهای کاری روی دهد و چنانچه میزان این تأخیرات حداکثر برابر ۹ روز باشد تأخیری در مجموع اجرای برنامه شبکه GPM روی نخواهد داد . ما این ۹ روزکار را فرجه یا فرصت یا مهلت اضافی برای اجرای کارهای مسیر دوم مینامیم .

باین ترتیب برای اجرای پاره‌ای از کارهای یک پروژه دو رقم دیرترین و زودترین مدت اجراء

وجود دارند بدینقرار :

روزکار  $T_E$  برای زودترین مدت اجراء ،

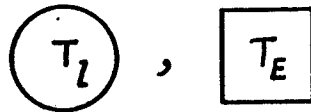
روزکار  $T_1$  برای دیرترین مدت اجراء که همان فرجه و فرصت دیرکرد سر رسید کار خواهد

بود .

برای انجام محاسبات دیرترین زمان اجرایی باید از داخل شبکه به عقب برگشت . بطور مثال

از ایستگاه ۱ با مدت ۲۲ روزکار بسوی ایستگاه ۸ برمیگردیم فاصله  $9 - 8 = 1 - z$  مربوط به احداث

حوضچه ها با ۰ روز کار یعنی روز کار ۱۷ = ۰ - ۲۲ دیرترین زمان شروع کار از ایستگاه ۸ را بدست میدهد. برای متمایز ساختن  $T_L$  و  $T_E$  از یکدیگر ارقام مربوط به  $T_E$  در یک چهارگوشی و  $T_L$  در یک دایره روی شبکه CPM نوشته میشوند. بدینقرار:



ضمناً در مواردیکه چند شبه بردار در یک ایستگاه بهم میرسند باید فقط یک عدد انتخاب شود.

از نقشه برنامه ریزی CPM میتوان جدول زیر را استخراج کرد:

البته نیازی به تذکر ندارد که در ایستگاههای ۰ - ۱ = ۲ - ۲ = ۳ - ۲  $T_E$  و  $T_L$  در همه یکسان

و برابرند با:

$$T_{E_0} = T_{L_0} = 0 \quad \equiv 0 \text{ ایستگاه}$$

$$T_{E_1} = T_{L_1} = 2 \quad \equiv 1 \text{ روك}$$

$$T_{E_2} = T_{L_2} = 4 \quad \equiv 2 \text{ روك}$$

$$T_{L_3} = T_{L_3} = 7 \quad \equiv 3 \text{ روك}$$

$T_L$ برای $i$	ردزکار	$T_L$ برای $j$	$i-j$
۷ روك	۱۵ روك	۲۲ روك	۳-۲
۸ روك	۴ روك	۱۲ روك	۳-۵
۱۱ روك	۱۰ روك	۲۱ روك	۳-۴
۲۰ روك	۱ روك	۲۱ روك	۳-۸
۲۳ روك	۶ روك	۲۹ روك	۳-۱۰

بطوریکه مشاهده میشود دیرترین موعد سر رسید هر ایستگاهی مانند ایستگاه ۳ برای سایر کارهایی که

از ایستگاه براه افتاده اند همیشه زودترین سر رسید است.



## ۵-۱- رابطه‌های زمان‌های اجرایی

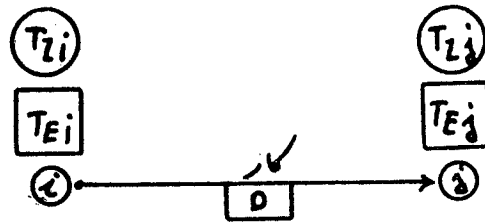
بطوریکه میدانیم هرکاری در شبکه CPM با دو شماره ایستگاهی محدود شده است :

(۱) هنگام آغاز کار با رقم  $i$

(۲) هنگام خاتمه پذیرفتن کار با رقم  $j$

بعلاوه زودترین تاریخ شروع  $T_E$

و دیرترین تاریخ  $T_L$  بدینقرار :



بین این ارقام همیشه رابطه زیر صدق میکند :

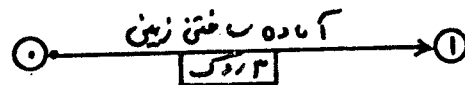
$$\text{رابطه ۱: } T_{E_j} = T_{E_i} + D$$

$$\left( \begin{array}{c} \text{زودترین زمان انجام} \\ \text{پذیرفتن یک کار} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{زودترین تاریخ مجاز برای} \\ \text{آغاز اجرا} \end{array} \right) + \left( \begin{array}{c} \text{مدت زمان لازم برای} \\ \text{اجرای آن کار} \end{array} \right)$$

$$\text{رابطه ۲: } T_{L_i} = T_{L_j} - D$$

$$\left( \begin{array}{c} \text{دیرترین تاریخ آغاز یک} \\ \text{کار اجرایی} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{دیرترین تاریخ انجام} \\ \text{یافتن آن کار} \end{array} \right) - \left( \begin{array}{c} \text{مدت زمان مورد نیاز برای} \\ \text{اجرای آن کار} \end{array} \right)$$

در پروژه مورد بحث ، مدت زمان مورد نیاز برای آماده ساختن زمین کارگاه برابر ۳ روز کار است ، یعنی :



و این همان زودترین زمانی است که پس از شروع شدن کار میتوان فاصله بین دو ایستگاه  $i - j = 0 - 1$

را پیمود ، یعنی :

$$T_{E_j} = 3 \text{ روز}$$

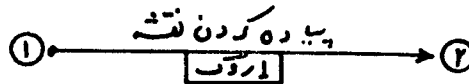
و چون مدت زمان مورد نیاز نیز همان :

$$D=۳ \text{ روك}$$

است و فرمول ❶ باین صورت درمیآید :

$$۳=۰+۳$$

کار بعدی پروژه یعنی  $i-j \equiv ۱-۲$  پیاده کردن نقشه است که برای انجام آن یک روز کار در نظر گرفته شده است یعنی :

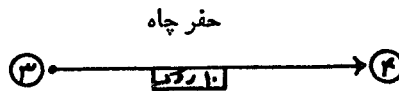


$$T_{E_j} = ۳ + ۱ = ۴ \text{ روك}$$

و :

$$T_{L_i} = T_{L_j} - D = ۴ - ۱ = ۳ \text{ روك}$$

به همین ترتیب ادامه سیدهیم تا ایستگاههای ۳-۴ :



$$T_{E_j} = ۱۷ - ۱۰ = ۷ \text{ روك}$$

$$T_{L_i} = ۲۱ - ۱۰ = ۱۱ \text{ روك}$$

زودترین تاریخی که این کار نمیتواند شروع شود که برابر دیرترین تاریخ ایستگاه ۳ که تقویم اجرایی هفتمین روز کار را پس از آغاز کارهای اجرایی پروژه نشان میدهد.

زودترین مدتی که میتوان از ایستگاه ❶ به ایستگاه ❷ رسید :

$$T_{E_j} = T_{E_i} + D = ۷ + ۱۰ = ۱۷ \text{ روك}$$

یعنی هفدهمین روز کار پس از آغاز کارهای اجرایی پروژه. ولی منطق شبکه CPM خبر میدهد که اگر تا ۲۱ روز کار پس از آغاز کارهای پروژه هم کار  $i-j \equiv ۳-۴$  خاتمه یابد باز هم تأخیری در انجام سایر کارهای پروژه رخ نمیدهد و از این رو تفاوت بین دیرترین و زودترین تاریخ خاتمه پذیرفتن کار ۳-۴ :

$$T_{L_j} - T_{E_j} = ۲۱ - ۱۷ = ۴ \text{ روك}$$

این مدت در شبکه GPM ، فرجه یا فرصت و یا دیرکرد روا و یا Total Float نامیده میشود. باید در نظر داشت که در مسیر شاهراه زنجیری پروژه از ایستگاه آغاز تا آخرین ایستگاه هیچگونه تأخیر مجاز یا دیرکرد روایی وجود ندارد. البته باید در نظر داشت که مسیر بحرانی یا شاهراه زنجیری پروژه از یک رشته پیوسته و غیر منقطع کارها بوجود آمده است. و همیشه بین اولین و آخرین ایستگاه پروژه بطور می نیموم یک شاهراه زنجیری وجود دارد. نمودار مربوط به اطلاعات پروژه را میتوان براساس روز کار بشکل تقویم کار تنظیم کرد (تقویم کار در صفحه ۶۴).

در این تقویم زمان های اجرایی کارهای پروژه با دیرترین و زودترین زمان شروع هر کار و فرصت و فرجه و یا دیرکرد های روای مربوطه بچشم میخورند. در این تقویم جمعه ها و سایر روزهای تعطیل را نمیتوان بعنوان روز کار منظور داشت.

وجود روزهای جمعه و تعطیلات باعث میشوند که به تاریخ اتمام کار بتعداد آن روزها افزوده شود.

ضمناً شرکت های ساختمانی میتوانند کارهای پروژه های مشابه جور با جور را با بک تقویم کار انجام دهند و بعبارت دیگر یک تقویم را بارها مورد استفاده قرار دهند.

بطوریکه در تقویم اجرایی پروژه دیده میشود ستون ① مربوط است به شماره های ایستگاههای j-i ستون ② مربوط است به مدت اجرای کار و ستون ③ نوع کار و ستون ④ مربوط است به زودترین تاریخ شروع کار و ستون ⑤ زودترین تاریخ انجام گرفتن و ستون ⑥ دیرترین زمان شروع و ستون ⑦ دیرترین زمان یا تاریخ خاتمه پذیرفتن کار و بالاخره ستون ⑧ مربوط است به دیرکرد روای هر کار بدون آنکه در مجموع کارهای پروژه خللی رخ دهد.

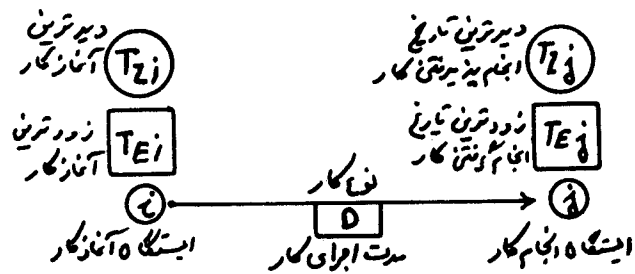


## تعمیراتی پروژہ

ذمہ داری	T <sub>Z</sub> j	T <sub>Z</sub> z	T <sub>E</sub> j	T <sub>E</sub> z	منوعہ	D روزگار	ق-ن
①	⑦	④	⑤	④	③	②	①
-	۱۳۵۱-۳-۳	۱۳۵۱-۳-۱	۱۳۵۱-۳-۳	۱۳۵۱-۳-۱	پاک کمرنگ زمین کا لگاؤ	۳	-۱
-	۵۱-۳-۳	۵۱-۳-۴	۵۱-۳-۴	۵۱-۳-۴	پینا ڈھیروں لکڑی	۱	۱-۳
-	۵۱-۳-۸	۵۱-۳-۶	۵۱-۳-۸	۵۱-۳-۶	نسطیج	۳	۲-۴
۴	۵۱-۳-۲۴	۵۱-۳-۱۳	۵۱-۳-۲۰	۵۱-۳-۹	حصہ دارانہ منصوبہ	۱۰	۳-۴
۱	۵۱-۳-۱۴	۵۱-۳-۱۰	۵۱-۳-۱۳	۵۱-۳-۹	پچ سازی برقع آراب	۴	۳-۵
-	۵۱-۳-۲۵	۵۱-۳-۹	۵۱-۳-۲۵	۵۱-۳-۹	منوعہ زمین	۱۵	۳-۶
۱۳	۵۱-۳-۲۴	۵۱-۳-۹	۵۱-۳-۹	۵۱-۳-۹	پچ سازی کا لگاؤ	۱	۳-۸
۴	۵۱-۳-۳۰	۵۱-۳-۲۵	۵۱-۳-۲۵	۵۱-۳-۲۱	پچ سازی کا منصوبہ	۵	۴-۹
۱	۵۱-۳-۳۷	۵۱-۳-۱۶	۵۱-۳-۲۵	۵۱-۳-۱۵	نصف منوعہ آب	۱۰	۵-۱۱
-	۵۱-۳-۲۸	۵۱-۳-۲۷	۵۱-۳-۲۸	۵۱-۳-۲۷	نصف منوعہ زمین	۲	۶-۲
۵	۵۱-۳-۲۰	۵۱-۳-۲۵	۵۱-۳-۱۵	۵۱-۳-۱۰	منوعہ زمین	۵	۸-۹
-	۵۱-۳-۶	۵۱-۳-۲۹	۵۱-۳-۶	۵۱-۳-۲۹	لگاؤ منوعہ زمین	۸	۷-۱۲



تقویم ادراپی پروژه از نقطه نظر سهولت درك اطلاعات بی اندازه مفید است! اینک برای دریافتن رقوم مندرجه در تقویم یکبار دیگر اصول محاسبات بکار رفته تکرار میشود:



زودترین تاریخ خاتمه پذیرفتن کار:

$$T_{Ej} = T_{Ei} + D$$

دیرترین تاریخ خاتمه یافتن کار:

$$T_{Lj} = T_{Lj} + D$$

دیرترین تاریخ شروع کار اجرایی:

$$T_{Lj} = T_{Lj} - D$$

فرجه یا فرصت یا دیرکرد روی کار اجرایی برابر است با:

$$F = T_{Lj} - T_{Ei} - D$$

با در نظر گرفتن مقدار  $T_{Lj}$  از فرمول ۱ نتیجه میشود:

$$F = T_{Lj} - T_{Ei}$$

نکات ضعف منطق شبکه‌های CPM:

۱) پیشرفت سریع ساختمان‌های فابریکی (پیش ساخته Prestructured Constructions) در صنعت ساختمان که بروسعت و کاربرد آن روز بروز بنحو شگفت‌انگیزی افزوده میشود متضمن واریانت‌های متنوعی در فاکتور زمان است که خود بخود دگرگونی مدیریت کارگاهی را بوجود آورد. که در CPM بعلت بوجود آمدن منطق شبکه روی اوضاع قدیمی مد نظر قرار نمیگیرد.

۲) حد گسترش Optimum که متضمن بدست آوردن بهترین ارقام مصرف زمانی و مصالح ساختمانی است به هیچ وجه نمیتواند در CPM مورد توجه قرار گیرد.

## منابع

- (۱) برنامه ریزی و مدیریت ساختمان از جیمس ج اویراین نگارس آقای دکتر رضا رازانی از انتشارات دانشگاه پهلوی (۳۳)
- CPM in Construction Management Scheduling by the Critical Path Method  
by James J. O'Brien New York Mc Graw-Hill 1965
- (۲) Computer Methods and Numerical Analysis by Ralph H. Pennington the  
Macmillan Company Collier-Macmillan Limited London  
Earlier Edition (e) Copyright 1965
- V. Ilyin (۳)  
Remote Control Systems Mir Publishers 1973
- (۴) Computer شماره ۲۳ در قالب یک معمار مجله مرزهای نو شماره ۴ چهارم دوره شانزدهم فروردین ماه ۱۳۵۱  
(آوریل ۱۹۷۲)
- (۵) کمپیوتر مغز جدید بشر نگارش بهروز پرهامی ترجمه سالم پرهامی دانشگاه کالیفرنیا (UCLA)  
The Computer Man's New Brain by Behrooz Parhami Assistant Professor and  
Research Consulting in UCLA USA
- (۶) General Information Manual FORTRAN IBM  
Minor Revision December 1961  
Programming Systems Publications, IBM Corporation P.O. Box 390  
Poughkeepsie N.Y. USA
- (۷) نشریه دانشکده فنی شماره ۲۳ دوره دوم مهر ماه ۱۳۵۱: محاسبه های ماتریسی ساختمانها بکمک Computer  
محاسبه حجم عملیات خاکی بکمک Computer

**Computerverwendung für die Bauprojekte durch:**

C. P. M.

(Critical Path Methode)

Die Durchführung jedes Bauprojektes, kann nur im bestimmten Zeitabschnitt verwirklicht werden; zudem die Bauherren, Konsultingsingenieure und die Bauunternehmer beteiligt sind. In letzten Jahren hat sich C M P—Methode als Fahrplan für die organisierten Baustellen mehr und mehr durchgesetzt.

Selbstverständlich ist diese Methode, wie alle anderen Anschaulichkeiten der Industrie und Wissenschaftlichen Abhandlungen, nicht auf einmal Zustande

gekommen; und die Wurzeln stammen aus weitliegenden Vergangenheiten ! mit ihren Speziellen Geschichtlichkeiten. Mit anderen Worten: was Heute Steht, Stand gestern nicht in dieser Form und die heutige Formbildung untersteht die unbedingten Formveränderungen der Zukunft. Schon im neunzehnten Jahrhundert, Wurde der Zeitfortschritt der Arbeit als eine Funktion der Zeit in Form:

$$y=f(t)$$

betrachtet und die Fahrpläne in Stabformigen Diagramme dargestellt. Im Zwanzigsten Jahrhundert, hat Friedrich W. Taylor, diese Methode in den Bauprojekten verallgemeinert; in der Hauptsache für die Bauführung und die Bauüberwachung. Obwohl diese Methode, alle anderen Methoden ihre Vor- und Nachteilen besitzt; Wie Z. B.

Pert-Methode usw. Die Grundlage dieser Methode besteht darin, daß die einzelnen Arbeitseinheiten vektorisch dargestellt worden sind mit den Daten der Beginnung der Arbeit, die Dauer und das Beendigungsdatum, welche selbst auf irgendwelcher Art und Weise vorher festzustellen sind. Die Anordnung der einzelnen Arbeiten werden auf ihre Voraussichtlichkeiten zu einander vorgenommen. Hierauf beruht die Weisung des Netzes und die Programmierung des Computers.

Was aber bei C P M als Schwäche zu betrachten ist, liegt darin, daß für die Durchführung irgendwelche, Arbeit, abgesehen von den Charakter verschiedenheiten der aufgewandten Materialien, wie Metallstoffen oder polymerisierten Stoffe aus Petroleum die natürlich viel leichter und schneller zur Verwendung kommen, für jede Menschense Zeugnisse nur ein optimaler Material- und Energieverbrauch besteht und nicht mehr, deren Beachtung bei dieser Methode, durchaus unberücksichtigt bleibt.

Der Verfasser hat beider mathematischen Beweisung des Gottesdaseins in Cybernetic in Wahrscheinlichkeits theory einiges über die industriellen Optimumstreung zusammengestellt (siehe Utherapy – Arbeit von E. Shirazi Techn. Hochschule der Universität zu Teheran, in Iran und Engli. Fassung).