

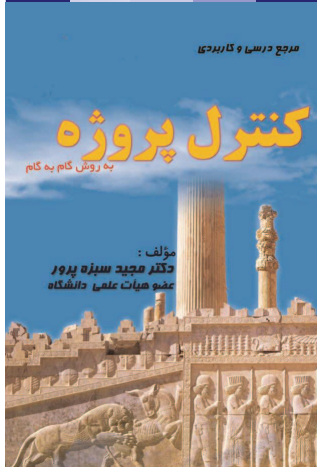
■ روابط با حداقل تاخیر زمانی بین دو فعالیت (Minimum Time lag)

- Finish to Start
- Finish to Finish
- Start to Finish
- Start to Start

■ روابط با حداکثر تاخیر زمانی بین دو فعالیت (Maximum Time lag)

- Finish to Start
- Finish to Finish
- Start to Finish
- Start to Start

## کنترل پروژه فصل پنجم: شبکه های PN



## روابط وابستگی از نوع مینیمم در شبکه های PN

شرح رابطه	نحوه نمایش در نمودار گانت	نماد	نوع وابستگی
پایان به شروع (Finish to Start) : فعالیت B حداقل L واحد زمانی بعد از پایان فعالیت A می تواند شروع شود.		$F_A S_B + L$	$S_B - F_A \geq L$
شروع به شروع (Start to Start) فعالیت B حداقل L واحد زمانی بعد از شروع فعالیت A می تواند شروع شود.		$S_A S_B + L$	$S_B - S_A \geq L$
پایان به پایان (Finish to Finish) (Finish to Finish) فعالیت B حداقل L واحد زمانی بعد از پایان فعالیت A می تواند پایان یابد.		$F_A F_B + L$	$F_B - F_A \geq L$
شروع به پایان (Start to Finish) فعالیت B حداقل L واحد زمانی بعد از شروع فعالیت A می تواند پایان یابد.		$S_A F_B + L$	$F_B - S_A \geq L$

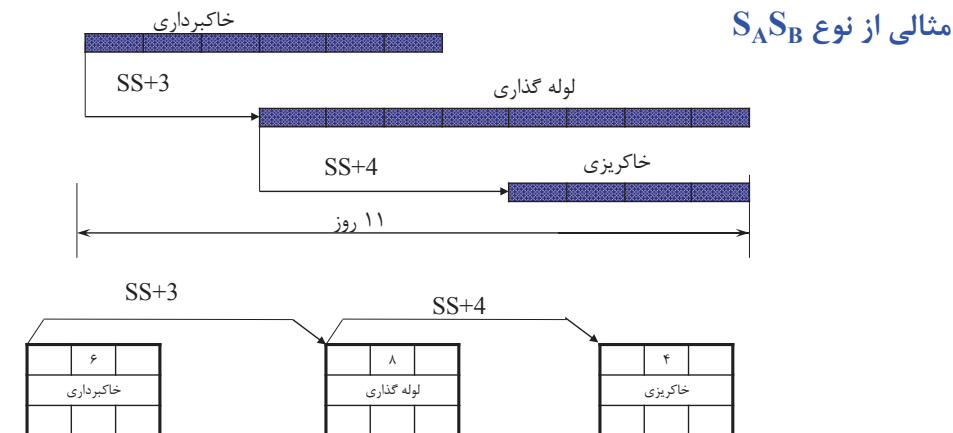
## $F_A S_B + L$

- تنها رابطه وابستگی در شبکه های برداری  $F_A S_B$  است. یعنی شروع فعالیت B منوط به پایان فعالیت A بوده و بلافاصله بعد از پایان فعالیت A می تواند رخ دهد.
- در حالتیکه L مقدار بزرگتر از صفر داشته باشد باید حداقل L واحد زمانی وقفه بین پایان A و شروع B وجود داشته باشد که این مورد در شبکه های برداری تنها در صورتی امکان پذیر است که یک فعالیت مازاد با زمان L بین دو فعالیت مذکور اضافه گردد.
- مقدار تاخیر زمانی L مستقل از مقدار فرجه فعالیت B است. یعنی چه فعالیت B فرجه داشته باشد و چه نداشته باشد باید حداقل L واحد زمانی وقفه بین پایان A و شروع B رخ دهد.
- در سه نوع وابستگی دیگر نیز مقدار L مستقل از مقدار فرجه فعالیت های A و B است.

## $S_A S_B + L$

■ **مثال:** سه فعالیت خاکبرداری، لوله گذاری و خاکریزی باید انجام شوند اما وقتی ۵۰٪ یا نصف فعالیتهای اول و دوم انجام می شد فعالیتهای دوم و سوم می توانند شروع شوند. شبکه برداری این مثال قبلاً نشان داده شده است که در آن مجبور شدیم هر فعالیت را به دو قسمت تقسیم کرده و بجای سه فعالیت ۶ فعالیت قرار دهیم در حالیکه در شبکه PN به راحتی با قرار دادن همان سه فعالیت و تعریف وابستگی های از نوع SS به نحو بهتری می توان شبکه آن پروژه را مدلسازی نمود.

■ برای اینکار فرض کنید زمان فعالیت اول ۶ روز ، دوم ۸ روز و سوم ۴ روز باشد. در نتیجه نمودار گانت و شبکه PN آن که به شکل AON رسم می شود.



وقتی رابطه SS بکار می بریم، پایان A می تواند به یکی از حالات زیر باشد:



شروع فعالیت B می تواند بعد ، همزمان و حتی قبل از A باشد

**نکته:** وقتی رابطه SS بکار می بریم فقط در مورد شروع فعالیت B محدودیت در نظر گرفته ایم ولی در مورد پایان آن محدودیتی قرار نداده ایم، یعنی پایان B می تواند حتی قبل از پایان A باشد.

## $F_A F_B + L$

■ این نوع وابستگی برای شروع فعالیت B محدودیتی را ایجاد نمی کند ولی زمان پایان فعالیت B را ملزم می سازد که حداقل L واحد زمانی بعد از پایان فعالیت A باشد.

■ برای مثال در چسبانیدن موکت کف یک خانه فرض کنید فعالیت A چسبانیدن موکت و فعالیت B تمیز کاری نهایی باشد. در اینصورت انجام بخشی از B قبل و یا همزمان با نصب موکت امکان پذیر است ولی اگر جمع کردن برشها و ضایعات نصب موکت نیز جزئی از فعالیت B محسوب شود، در اینصورت لازم است محدودیت وابستگی به گونه ای باشد که B قبل از اتمام A نتواند به اتمام برسد.

**نکته:** وقتی رابطه FF بکار می بریم فقط در مورد پایان فعالیت B محدودیت در نظر گرفته ایم، ولی در مورد شروع آن محدودیتی قرار نداده ایم. یعنی شروع B می تواند حتی همزمان یا قبل از شروع A باشد.

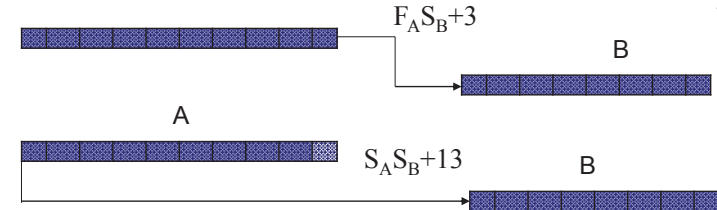
## $S_A F_B + L$

کاربرد این مورد نسبت به موارد دیگر کمتر است.

فرض کنید فعالیت A طراحی و تولید محصول جدید و فعالیت B تبلیغات محصول قبلی باشد، در اینصورت مفهوم  $S_A F_B \pm L$  این است که تبلیغات محصول قبلی نمی تواند پایان پذیرد مگر آنکه حداقل  $\pm L$  روز از شروع طراحی و تولید محصول جدید گذشته باشد.

## شکل استاندارد شبکه با تبدیل روابط وابستگی به SS

انواع روابط وابستگی FF, FS و SF را با فرض ثابت بودن زمان فعالیتها، به راحتی می توان به SS تبدیل نمود. فرض کنید زمان فعالیت A ۱۰ روز و زمان فعالیت B ۸ روز، و  $F_A S_B + 3$  باشد. در اینصورت تبدیل رابطه SS به شرح نمودار گانت زیر خواهد شد.



تبدیل رابطه FS به SS

همانگونه که مشاهده کردید فقط مقدار Lag بین دو فعالیت برابر  $SS+13$  شده است. مقدار ۱۳ از جمع  $D_A + SS$  ایجاد شده است.

سایر روابط FF و SF را نیز با رسم نمودار گانت می توان از لحاظ مفهومی تحلیل نموده و فرمولی برای تبدیل به رابطه SS استخراج نمود. این فرمولها یا قوانین به شرح جدول زیر است.

قوانین یا فرمولهای تبدیل روابط وابستگی به SS

نوع رابطه	فرمول تبدیل به رابطه SS
$F_A S_B$	$S_A S_B = D_A + F_A S_B$
$F_A F_B$	$S_A S_B = D_A - D_B + F_A F_B$
$S_A F_B$	$S_A S_B = S_A F_B - D_B$

اگر کلیه روابط وابستگی را به SS تبدیل کنیم، شبکه حاصله را شبکه استاندارد گویند.

## امکان وجود بیش از یک رابطه وابستگی بین دو فعالیت

در مورد مثالی که در آن فعالیت A ریختن ملات کف یک اتاق است و فعالیت B موزائیک فرش کردن کف بود، ماهیت کار به گونه ای است که نه تنها رابطه  $S_A S_B + L$  برای آن وجود دارد بلکه از آنجایی که کار موزائیک کردن نمی تواند به اتمام برسد مگر آنکه کار ریختن ملات خاتمه یافته یا  $L +$  دقیقه از پایان آن گذشته باشد، رابطه  $F_A F_B + L$  نیز برای آن تعریف می گردد. بنابراین شکل آن بصورت زیر خواهد شد.



البته وجود بیش از یک رابطه وابستگی بین دو فعالیت در محاسبات دستی اشکالی ایجاد نمی کند ولی نرم افزارهای برنامه ریزی پروژه تنها یک رابطه وابستگی بین دو فعالیت را قبول می کنند.

در این حالت تمام روابط را به شکل استاندارد تبدیل کرده و فقط رابطه ای که حداقل تاخیر زمانی مربوط به آن بیشینه باشد در نظر گرفته می شود.

## مثال: بتن ریزی سه واحد مسکونی

تمرین ۱-۲: تشریحی فصل دوم را در آن ۳ واحد مسکونی مشابه ساخته می شوند یکبار دیگر در نظر بگیرید. با توجه به اطلاعات جدول ۲-۲ ( فصل دوم ) و WBS رسم شده در شکل ۲-۱۳ از همان فصل ، مجموعاً ۱۵ فعالیت خواهیم داشت. فرض کنید زمان فعالیتها به قرار جدول زیر باشد.

نام فعالیت	واحد ۱	واحد ۲	واحد ۳	زمان (ساعت)
پاک کردن محوطه و شیب بندی	1	6	11	۸
قرار دادن قالبهای بتن	2	7	12	۱۲
لوله گذاری فاضلاب	3	8	13	۱۶
نصب میلگردهای بتنی	4	9	14	۹
بتن ریزی و صافکاری	5	10	15	۴

حال باید طبق گام ۳ علایم وابستگی بین فعالیتها را بدست آورد. روابط تقدم - تأخر فعالیتها با توجه به مصاحبه ای که با پیمانکار و سرپرست کارگاه بعمل می آید بصورت شفاهی بیان می گردد که از خلال این گفته ها باید علایم وابستگی را استخراج نمود .

۱۴

## امکان وجود حلقه

■ وجود حلقه Loop در شبکه های PN نیز غیر مجاز است مگر در شرایط پنجره های زمانی ( Time Windows ) و داشتن روابط وابستگی ماکزیمم ( که جزو مباحث پیشرفته برنامه ریزی پروژه است ) .

■ هنگام تعریف علایم وابستگی برای یک پروژه باید توجه داشت علایم به گونه ای باشند که حلقه ایجاد نگردد. زیرا ممکن است شرح شفاهی یک پروژه که بسیار منطقی هم بنظر می رسد، وقتی توسط علایم وابستگی بصورت یک شبکه خلاصه شود منجر به پیدایش حلقه در شبکه گردد.

■ برای مثال فرض کنید شروع فعالیت p باید قبل از شروع فعالیت q باشد ولی q باید قبل از پایان یافتن p پایان یابد، در اینصورت روابط  $S_p S_q$  و  $F_q F_p$  بین این دو فعالیت بوجود می آید که چون جهت رابطه دوم در شکل زیر معکوس رسم شده و مقدار Lagها مثبت است، منجر به ایجاد حلقه می گردد .



۱۳

## استخراج علایم وابستگی از متن مصاحبه بعمل آمده از کارشناسان با توجه به گام ۲

واحد ۳	واحد ۲	واحد ۱	شرح
$F_{11}S_{12}=0$ $F_{11}S_{13}=0$	$F_6S_7=0$ $F_6S_8=0$	$F_1S_2=0$ $F_1S_3=0$	۱- باید محوطه قبل از قرار دادن قالبهای بتن یا لوله های فاضلاب پاک شود.
$F_{13}F_{12}+2$	$F_8F_7+2$	$F_3F_2+2$	۲- قالبهای بتن و لوله های فاضلاب را می توان همزمان قرارداد، ولی لوله گذاری فاضلاب باید حداقل ۲ ساعت قبل از اتمام قراردادن قالبهای بتن به پایان برسد ( تا بتوان قالبهای آخری را روی اتصالات بین ساختمان و لوله های خارجی قرار داد ) .

■ نکته : در بند اول چون قید کرده فعال ۲ را می توان (ولازم نیست حتماً) همزمان انجام داد ، لذا برای اجتناب از بوجود آمدن حلقه از نوشتن روابط آن پرهیز نموده ایم . البته اینگونه الفاظ با توجه به معنی جمله،ممکن است معنای الزام ( مانند حالت زیر ) و یا عدم الزام پیدا کنند .

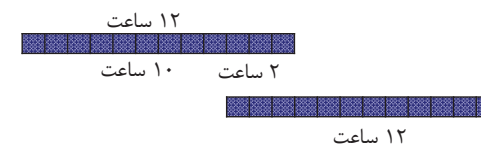
$S_{12}S_{14}+7$ $S_{13}S_{14}+7$	$S_7S_9+7$ $S_8S_9+7$	$S_2S_4+7$ $S_3S_4+7$	۳- تنها پس از گذشت ۷ ساعت از شروع قراردادن قالبهای بتن و لوله گذاری فاضلاب می توان نصب میل گرد های بتنی را شروع کرد . اینکار نمی تواند قبل از اتمام لوله گذاری فاضلاب یا تا یک ساعت بعد از اتمام قراردادن قالبهای بتن به اتمام برسد .
$F_{13}F_{14}=0$ $F_{12}F_{14}+1$	$F_8F_9=0$ $F_7F_9+1$	$F_3F_4=0$ $F_2F_4+1$	
$F_{14}F_{15}+2$	$F_9S_{10}+2$	$F_4S_5+2$	۴- قبل از شروع بتن ریزی لازم است ۲ ساعت صرف بازرسی چهار فعالیت اول شود .

■ نکته : چون لازم است ۴ فعالیت اول تمام شوند و سپس ۲ ساعت وقفه بیفتد کافی است این وقفه بین پایان نصب میل گردها ( که آخرین فعالیت در بین ۴ تای اول است ) و شروع بتن ریزی انجام شود .

۱۵

ادامه شرح	رابطه واحد ۱ و ۲	رابطه واحد ۲ و ۳
۵- کارگرانی که کارهای پاک کردن محوطه و شیب بندی را انجام می دهند باید کار خود را در یک واحد تمام کنند سپس به واحد دیگر بروند. این موضوع در مورد نصب میل گردهای بتنی نیز باید رعایت شود ، ولی قراردادن قالبهای بتن در دو واحد می تواند تا ۲ ساعت بطور همزمان ( موازی ) انجام شوند . در مورد کارهای بتن ریزی نیز تا ۲ ساعت همزمانی در دو واحد اشکال ندارد . این مقدار برای کارهای لوله گذاری فاضلاب ۶ ساعت است .	$F_1S_6=0$ $F_4S_9=0$ $\begin{cases} F_2S_7-2 \\ S_2S_7+10 \end{cases}$ $\begin{cases} F_5S_{10}-2 \\ S_5S_{10}+2 \end{cases}$ $\begin{cases} F_3S_8-6 \\ S_3S_8+10 \end{cases}$	$F_6S_{11}=0$ $F_9S_{14}=0$ $\begin{cases} F_7S_{12}-2 \\ S_7S_{12}+10 \end{cases}$ $\begin{cases} F_{10}S_{15}-2 \\ S_{10}S_{15}+2 \end{cases}$ $\begin{cases} F_8S_{13}-6 \\ S_8S_{13}+10 \end{cases}$

■ نکته : در مورد اینکه دو فعالیت قراردادن قالبهای بتن در دو واحد مسکونی تا ۲ ساعت بطور همزمان یا موازی می تواند انجام شود منظور حالت شکل زیر است.

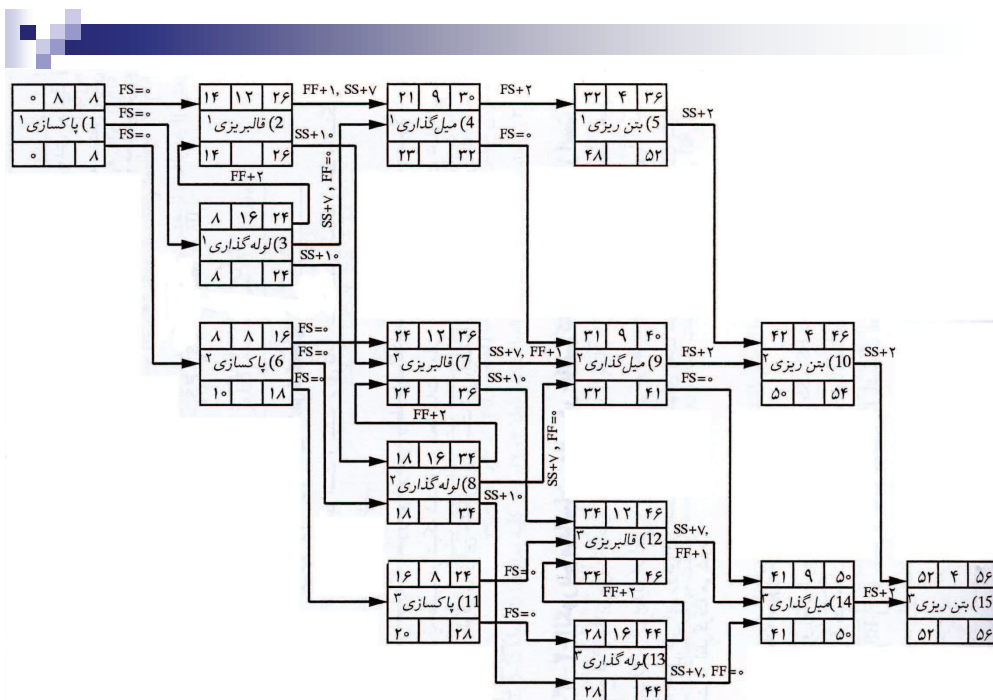
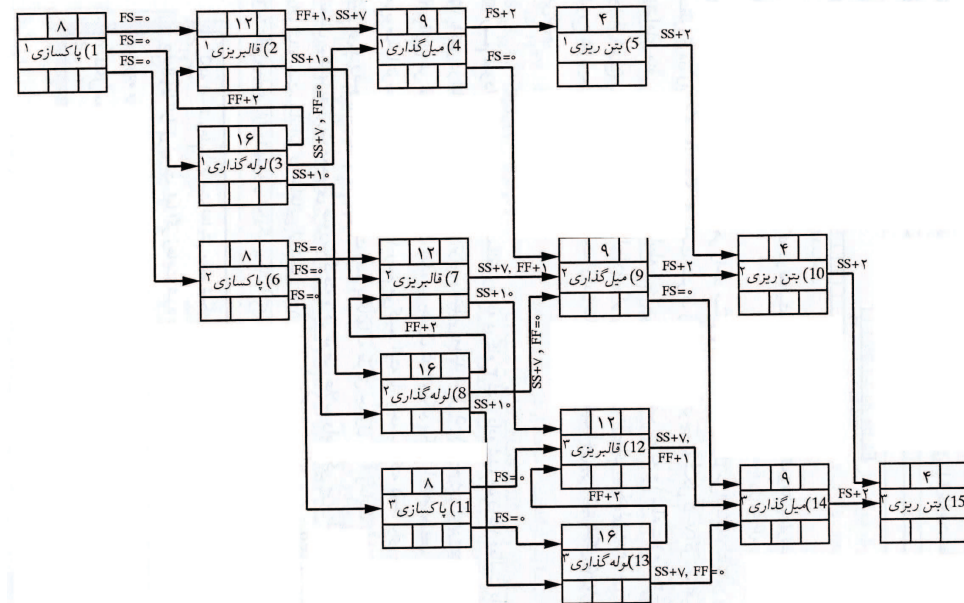


۱۶

چون زمان قراردادن قالبهای بتنی در هر واحد مسکونی ۱۲ ساعت بطول می انجامد، بنابراین برای منظور کردن وابستگی که بیانگر ۲ ساعت اشتراک زمانی باشد، اگر نخواهیم از Lag های منفی استفاده کنیم می توان رابطه را به این صورت تعریف کرد که ۱۰ ساعت (۱۲-۲=۱۰) بعد از شروع ریختن قالبهای بتن در واحد مسکونی اول، ریختن قالبهای مسکونی دوم می تواند شروع شود یعنی  $S_2S_7=10$ .

### رسم نمودار PN مثال

رعایت فرمت نمایش رسم شبکه در اتصال پیکانها به باکس فعالیتها الزامی نیست اما اگر رعایت شود در محاسبات دستی نیازی به حفظ فرمول نبوده و بسیار کمک کننده است. عموماً در نرم افزارهای کامپیوتری نیز اتصال پیکانها به شکل معمولی انجام می شود.



مثال: پروژه‌ای از فعالیت‌های زیر تشکیل شده است.

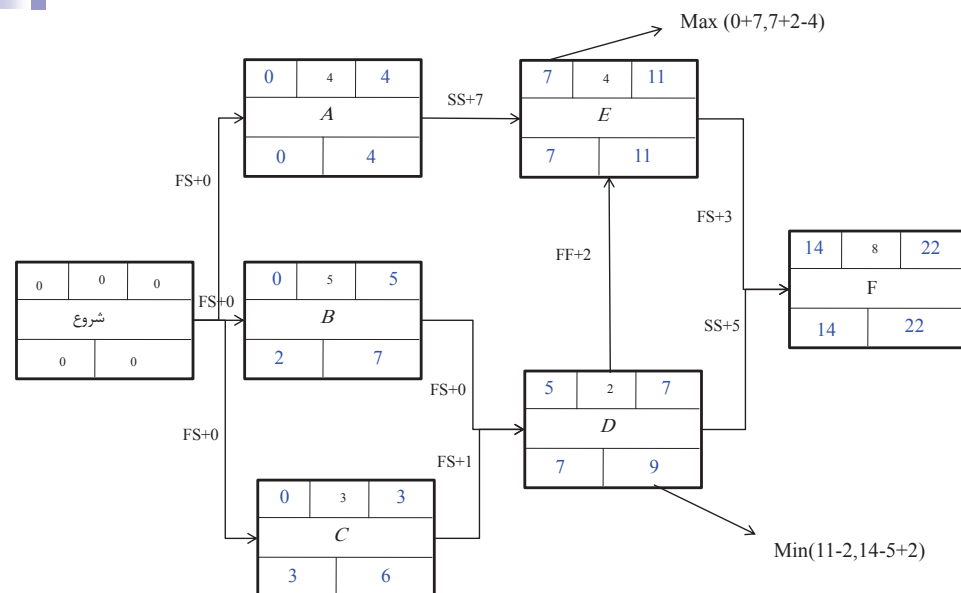
فعالیت	A	B	C	D	E	F
زمان	8	5	3	2	4	8

### روابط:

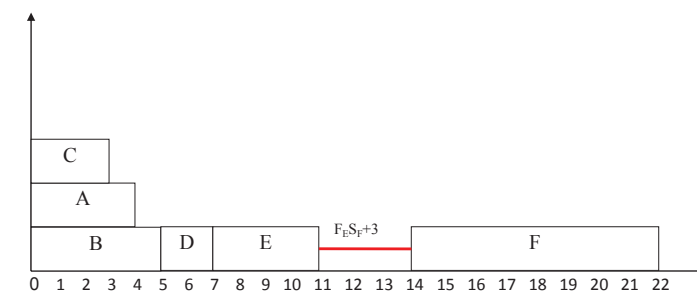
فعالیت E، حداقل هفت روز بعد از شروع فعالیت A شروع می‌شود ( $S_A S_E + 7$ ) و اتمام آن با فاصله حداقل یک روز بعد از اتمام A می‌باشد ( $F_A F_E + 1 = S_A S_E + 1$ ).

شروع فعالیت D بلافاصله بعد از اتمام فعالیت B ( $F_B S_D + 0$ ) و با فاصله حداقل یک روز بعد از اتمام فعالیت C می‌باشد ( $F_C S_D + 1$ ) ولی اتمام آن باید حداقل دو روز قبل از اتمام فعالیت E باشد ( $F_D F_E + 2$ ).

شروع فعالیت F حداقل پنج روز بعد از شروع فعالیت D ( $S_D S_F + 5$ ) و حداقل سه روز بعد از اتمام فعالیت E باشد ( $F_E S_F + 3$ ).



$$S_A S_E + 7 \quad F_B S_D + 0 \quad F_C S_D + 1 \quad F_D F_E + 2 \quad S_D S_F + 5 \quad F_E S_F + 3$$



فعالیت	A	B	C	D	E	F
شناوری آزاد	0	0	1	0	0	0

## آشنایی با روابط وابستگی از نوع ماکزیمم

مثال:

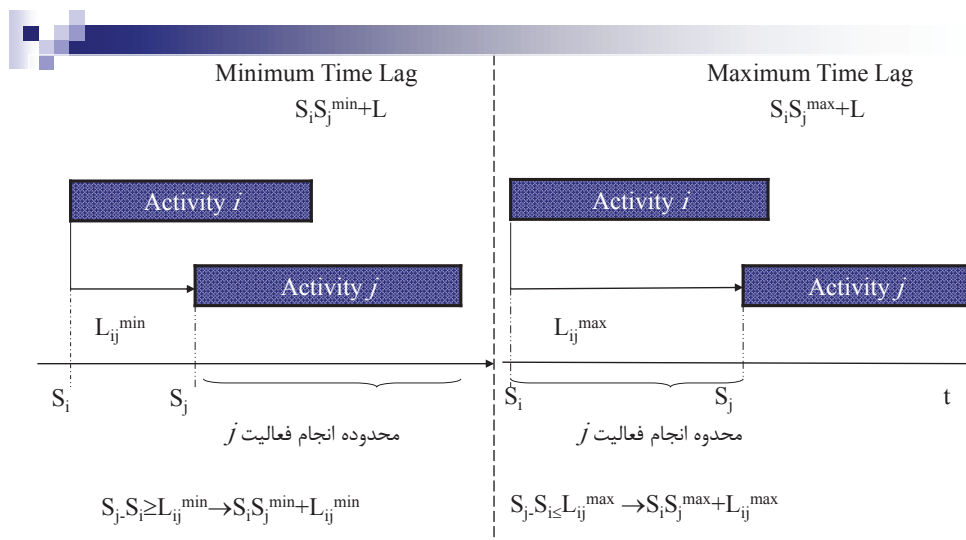
A: بتن ریزی در قالبها

B: ویبره کردن بتن قالبها

در اینصورت رابطه بین آنها از نوع ماکزیمم است. اگر مقدار این رابطه برابر  $S_A S_B^{\max} + 30$  دقیقه باشد، معنی آن این است که ویبره کردن بتن حداکثر ۳۰ دقیقه بعد از شروع بتن ریزی باید شروع شود، در غیر اینصورت بتن تقریباً خشک شده و ویبره کردن آن ارزشی ندارد. به عبارت دیگر اگر بیش از ۳۰ دقیقه از شروع فعالیت A بگذرد، مجاز به شروع فعالیت B نیستیم. سه رابطه دیگر FF، FS و SF نیز می توانند از نوع ماکزیمم باشند.

به عنوان تمرین برای ۳ رابطه دیگر در حالت ماکزیمم مثال عملی پیدا کنید.

اگر در پروژه ای هم روابط مینییم و هم ماکزیمم وجود داشته باشد، معمولاً برای تمیز دادن این روابط از همدیگر آنها را با اندیس بالای min و max مشخص می کنند. برای درک بهتر این روابط و استفاده بجا از آنها، مفهوم این روابط برای حالتی که رابطه بین دو فعالیت SS است در شکل زیر و نیز در قالب معادلات برنامه ریزی خطی آمده است.

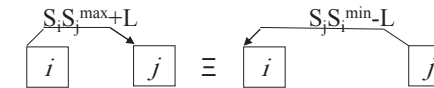


با وجودیکه در برخی مواقع کاربرد روابط ماکزیمم اجتناب ناپذیر است، اما نرم افزار های فعلی برنامه ریزی پروژه قابلیت تحلیل تمام حالات روابط ماکزیمم را ندارند. زیرا در برخی شرایط، استفاده از روابط ماکزیمم موجب ایجاد پنجره های زمانی می گردد. در ادامه توضیح خواهیم داد که محاسبات شبکه در شرایط وجود پنجره های زمانی بسیار پیچیده خواهد شد.

## نحوه تبدیل یک رابطه ماکزیمم به یک رابطه مینیمم

$$S_j \geq S_i + L_{ij}^{\min}$$

$$S_j \leq S_i + L_{ij}^{\max} \rightarrow S_i \geq S_j - L_{ij}^{\max}$$



**نکته:** برای تبدیل یک رابطه ماکزیمم (Max) به مینیمم (Min) باید جهت پیکان را عکس و مقدار  $+L_{ij}^{\max}$  را در منفی ضرب کنید.

۲۶

## روابط وابستگی از نوع ماکزیمم در شبکه های PN

نوع وابستگی	نماد	نحوه نمایش در نمودار گانت	شرح رابطه
$S_B - F_A \leq L$	$F_A S_B - L$		پایان به شروع (Finish to Start): فعالیت B حداکثر L واحد زمانی بعد از پایان فعالیت A می تواند شروع شود.
$S_B - S_A \leq L$	$S_A S_B - L$		شروع به شروع (Start to Start): فعالیت B حداکثر L واحد زمانی بعد از شروع فعالیت A می تواند شروع شود.
$F_B - F_A \leq L$	$F_A F_B - L$		پایان به پایان (Finish to Finish): فعالیت B حداکثر L واحد زمانی بعد از پایان فعالیت A می تواند پایان یابد.
$F_B - S_A \leq L$	$S_A F_B - L$		شروع به پایان (Start to Finish): فعالیت B حداکثر L واحد زمانی بعد از شروع فعالیت A می تواند پایان یابد.

۲۵ به مقادیر L وقفه یا (Lag) گویند. مقدار Lag ها می تواند مثبت یا منفی باشد.

## پنجره های زمانی (Time Windows)

در شرایطی که بین دو فعالیت هم رابطه مینیمم و هم رابطه ماکزیمم وجود داشته باشد، آنگاه پنجره زمانی ایجاد خواهد شد.

مثال قبل را یکبار دیگر در نظر بگیرید فرض کنید این بار شماره فعالیتها  $i$  و  $j$  باشد یعنی

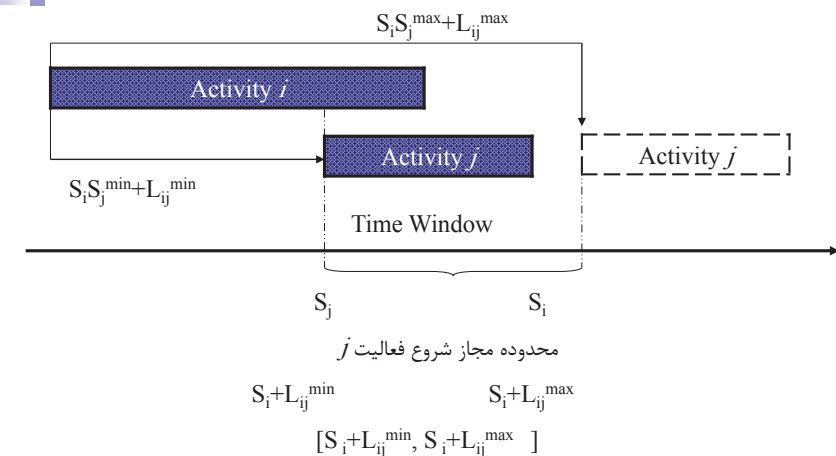
$i$ : بتن ریزی در قالبها  $j$ : ویبره کردن بتن قالبها

اگر قرار باشد ویبره کردن بتن حداقل ۱۰ دقیقه بعد از بتن ریزی در قالبها شروع شده ولی لحظه شروع آن دیرتر از ۳۰ دقیقه از زمان بتن ریزی نشود روابط آن خواهد شد:

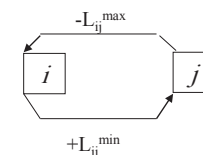
$$S_i S_j^{\min} + 10 \quad S_i S_j^{\max} + 30$$

واضح است که هر دو رابطه باید تحقق یابند. در نتیجه برای شروع فعالیت  $j$  محدودیت دو طرفه ایجاد می شود، بطوریکه در بازه زمانی بین  $\{S_i + 10, S_i + 30\}$  فرصت دارد تا شروع شود. این بازه زمانی را اصطلاحاً پنجره زمانی (Time Windows) گویند. طول این بازه زمانی در مثال فوق ۲۰ دقیقه است.

۲۷



همانطوریکه از شکل مشاهده می گردد، با تبدیل رابطه ماکزیمم به مینیمم حلقه ایجاد می گردد.



**نکته:** حلقه در شرایط پنجره های زمانی (Time Windows) مجاز است اما تحلیل شبکه در این حالت بسیار پیچیده خواهد شد بطوریکه نرم افزارهای معمول قادر به تحلیل آن نیستند.

۲۸