

برنامه ریزی و کنترل پروژه

جزوه شماره ۱ - برنامه ریزی پروژه

منابع

- **Advanced Project Management**

Harrison- 1982- Gower Press Aldershot

- **System Analysis & Project Management**

Cieland & king-1983- Mc Graw Hill

- **مدیریت و کنترل پروژه**

علي حاج شیر محمدي – جهاد دانشگاهي دانشگاه صنعتي اصفهان

- **برنامه ریزی و کنترل پروژه**

محمود نادري پور- سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور

- **برنامه ریزی و کنترل پروژه**

مجتبي گلشنی – نشر زمان

- **کنترل پروژه**

مجید سبزه پرور – انتشارات ترمه

تعریف پروژه

- مجموعه تلاش های موقتی برای تحقق یک تعهد در ایجاد یک محصول یا ارائه خدمات منحصر به فرد میباشد.
- مجموعه ای از فعالیتهای برای دستیابی به منظور خاص یا هدف خاص انجام میگردد.
- مجموعه اقدامات و عملیات خاص که دارای روابط منطقی با یکدیگر است بوده و برای نیل به هدف یا اهداف معینی انجام میشود.

انواع پروژه

۱- پروژه های عمرانی:

همانند احداث پالایشگاه، احداث سد ، احداث ساختمان و ...

۲- پروژه های فرهنگی: مثل ساخت یک فیلم سینمایی، رگزاری یک کنفرانس

۳- پروژه های فناوری اطلاعات: مثل کارت هوشمند سوخت، ایجاد مرکز داده

۲- پروژه مطالعاتی و تحقیقاتی:

همانند مطالعه توجیه اقتصادی یک پروژه، مطالعات اجتماعی و فردی یک منطقه یا شهر و ...

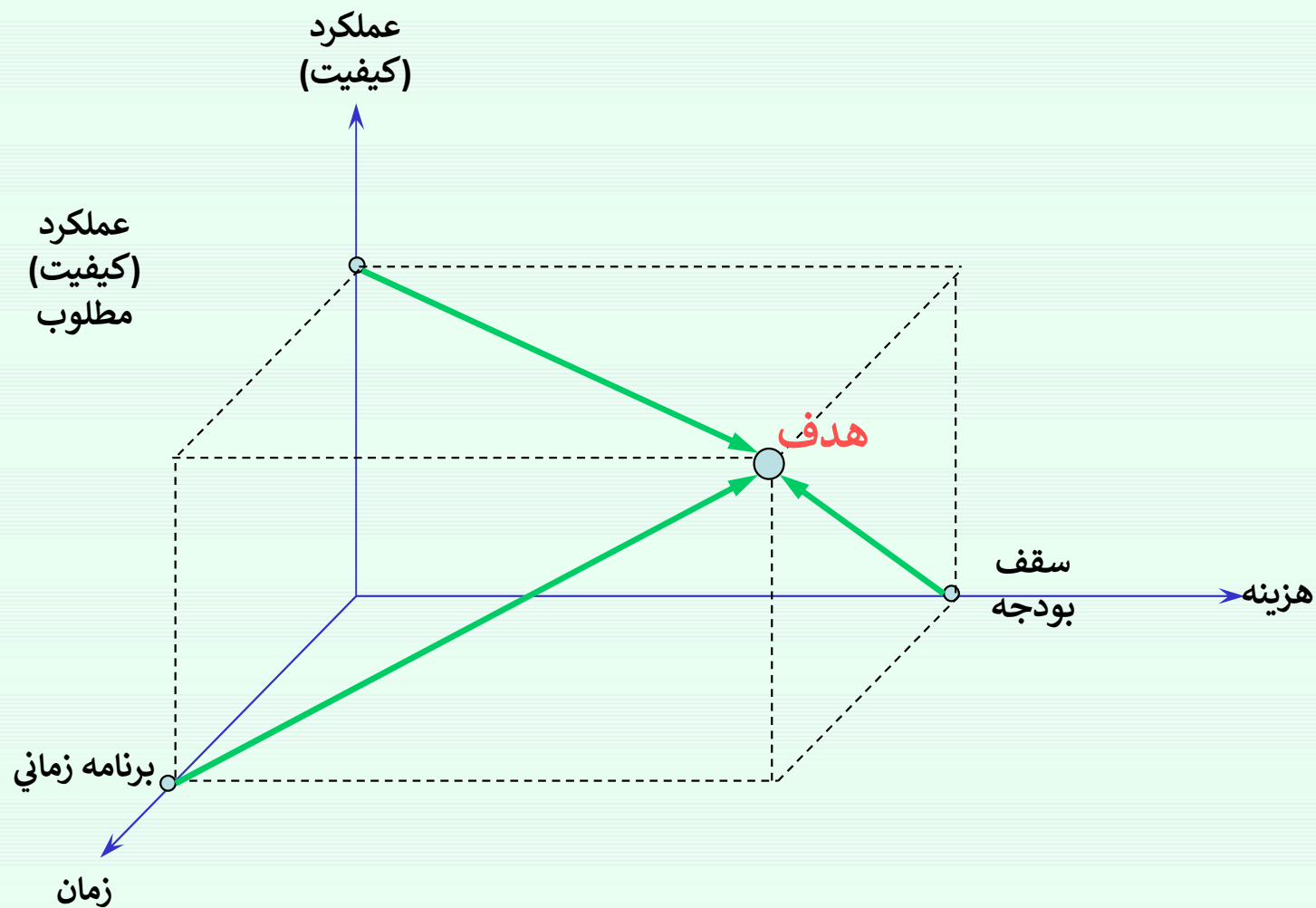
۳- پروژه خدماتی :

همانند زیبا سازی شهر، بهبود ترافیک ، دفع زباله و ...

ویژگی های پروژه

- موقتی بودن
- دارای هدف یا اهداف تعیین شده می باشد.
- همواره محدودیتهایی به پروژه اعمال می شوند.
- دارای چرخه حیات می باشد.
- هر پروژه پدیده ای یکتا است.
- همواره با عدم قطعیت همراه است.

محدودیت‌های پروژه



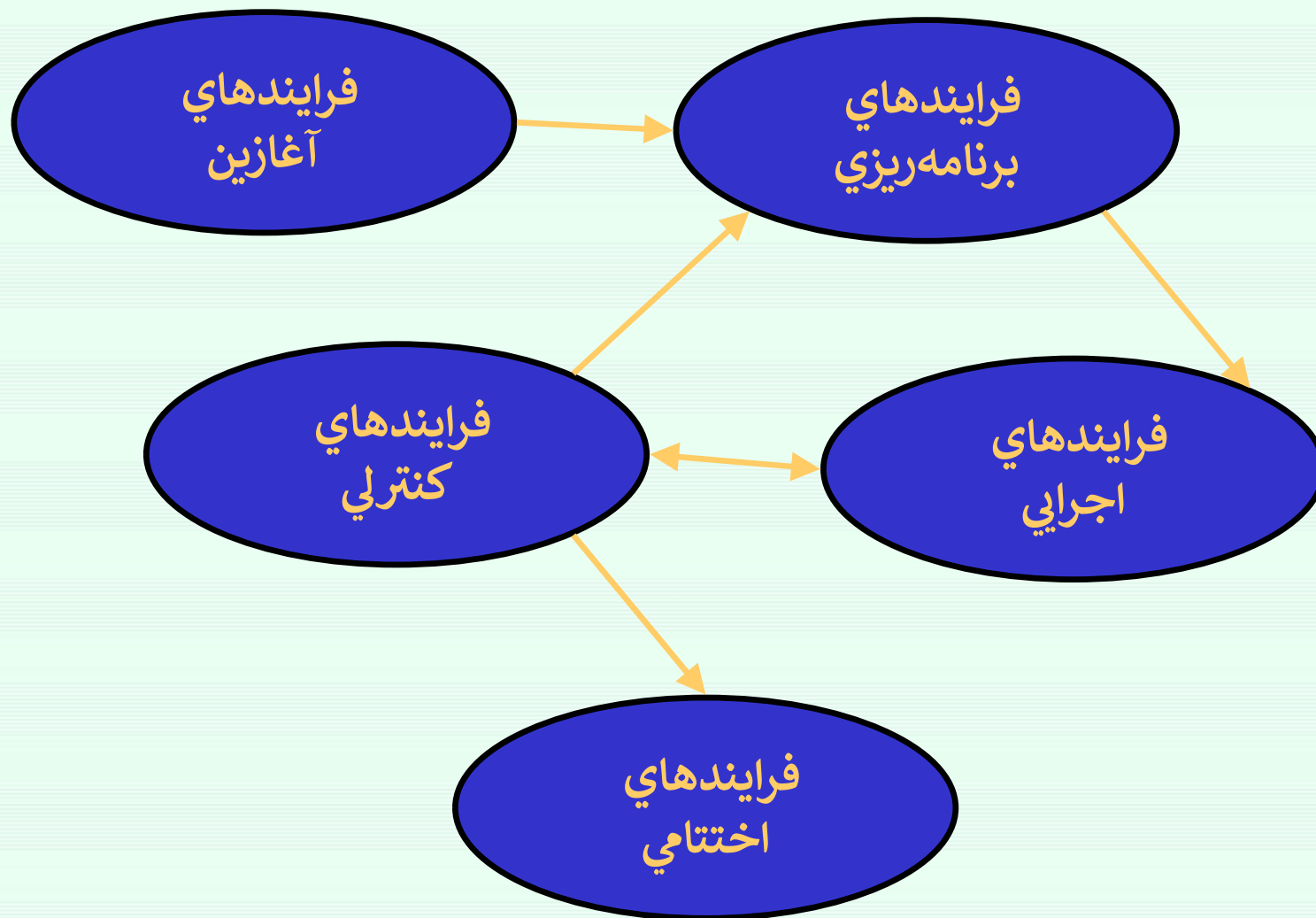
کارکرد مدیریت پروژه در چیست ؟

- همان گونه که در گامهای پیشین بیان کردیم ، مدیریت پروژه مجموعه ابزارهایی برای برنامه ریزی و هدایت پروژه به سوی اهداف مورد نظر است ؛ این اهداف بر پایه رضایت مندی مشتری و توجه به سه عامل زمان ، کیفیت و هزینه استوارند .
- در نگاه اول ممکن است ابزارها و روش های مورد استفاده در مدیریت پروژه زاید ، زمان بر و هزینه زا باشند ، اما باید توجه داشت که مدیریت پروژه تنها راهی است که می تواند شما را از انجام به موقع پروژه مطمئن سازد . مدیریت پروژه راهیست برای استفاده مناسب از انسان ، ماشین و پول در راستای اجرای درست و به هنگام يك کار نو ، کاری که باید در همان اولین اجرا درست انجام شود .
- مدیریت پروژه یا مدیریت بر مبنای پروژه ، روش کارایی در مدیریت ، برای برخورد با کارهای نو و ایجاد توازن در توجه به محدوده پروژه ، هزینه و کیفیت در قالب زمان و در محیطی مملوء از ريسک است . هدف از آموزش مدیران پروژه توانمندسازی آنان در برابر مشکلات پروژه و آماده سازی آنها برای ورود به فضای جدید و ناشناخته پروژه است

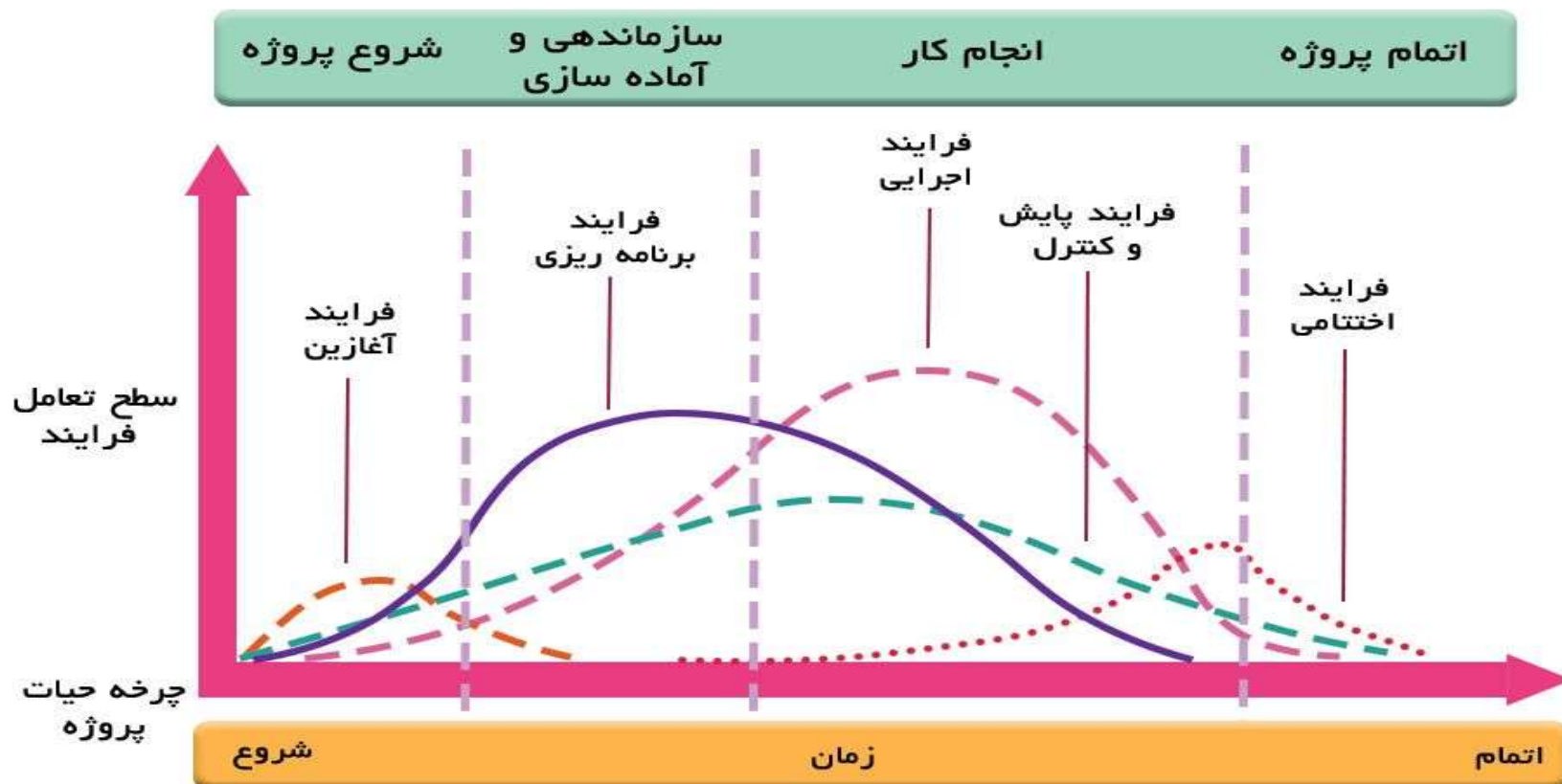
کارکرد مدیریت پروژه در چیست؟-ادامه

- فنون مدیریت پروژه سوالات زیر را پاسخ می گویند :
 - چگونه می توان کارهای لازم برای اتمام موفقیت آمیز پروژه را تعریف کرد ؟
 - مدت زمان اجرای پروژه چقدر خواهد بود و چه هزینه ای در بر خواهد داشت ؟
 - چگونه می توان گروه مناسب کاری برای اجرای پروژه ایجاد نمود ؟
 - چه مقدار کار و وظایف را بر عهده یک نفر می توان گذاشت و چگونه می توان از اجرای آن اطمینان یافت ؟
 - چگونه می توان انگیزه کاری را در بین افراد یک گروه زنده نگه داشت ؟
 - چگونه باید با افزایش هزینه ها برخورد کرد ؟
 - آیا بودجه و هزینه تحت کنترل است ؟
 - در چه مواقعی و کجا ، پروژه در معرض شکست قرار می گیرد ؟
 - برای اطمینان از انجام به موقع کارها چه باید نمود ؟
 - آیا می توان تشخیص داد که پروژه واقعا بر روی برنامه حرکت می کند یا خیر ؟

فرآیندهای مدیریت پروژه



چرخه حیات پروژه در استاندارد PMBOK-V6



حوزه های دانش ۱۰ گانه

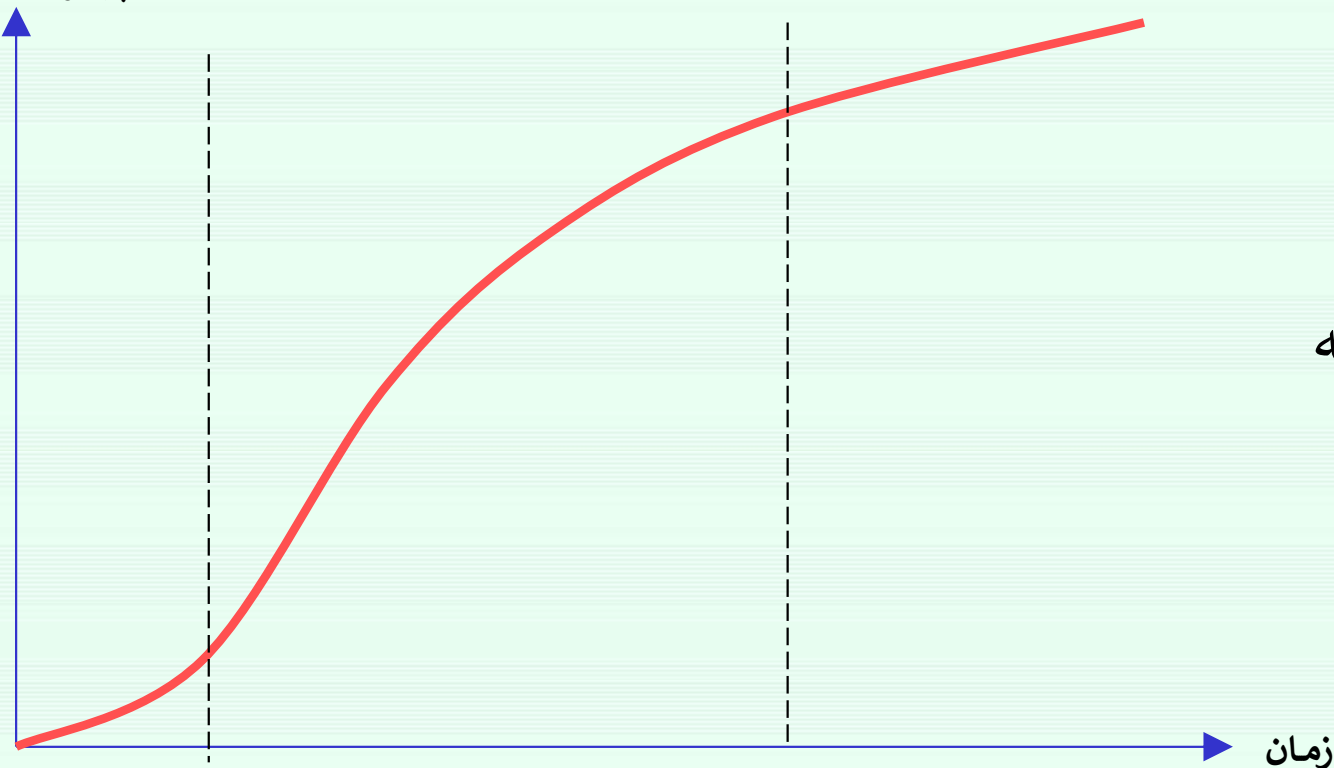


چرخه حیات پروژه

میزان کوشش (منابع)

هزینه

پیشرفت



شروع آهسته

رشد

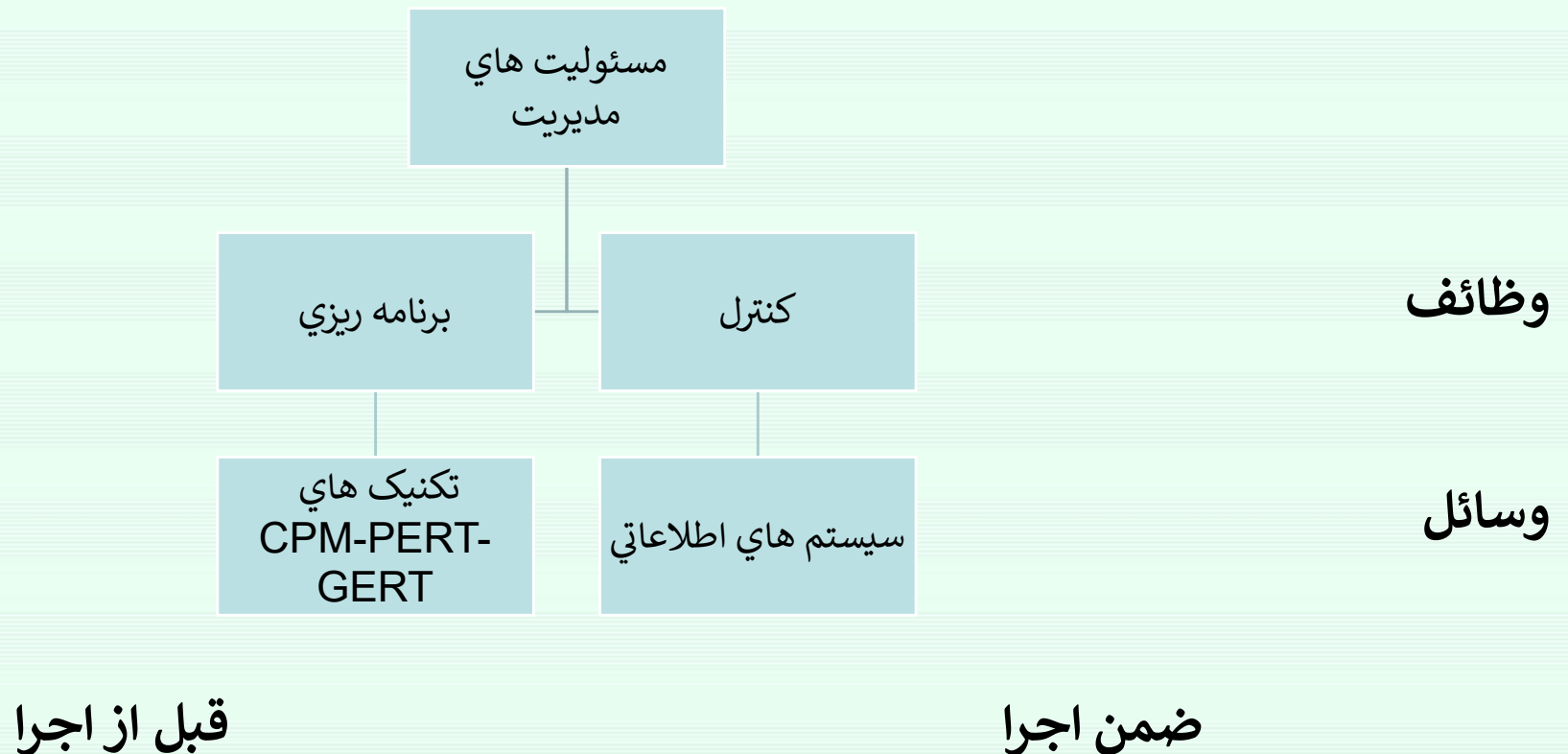
اوج

آغاز زوال - نزدیک به اتمام

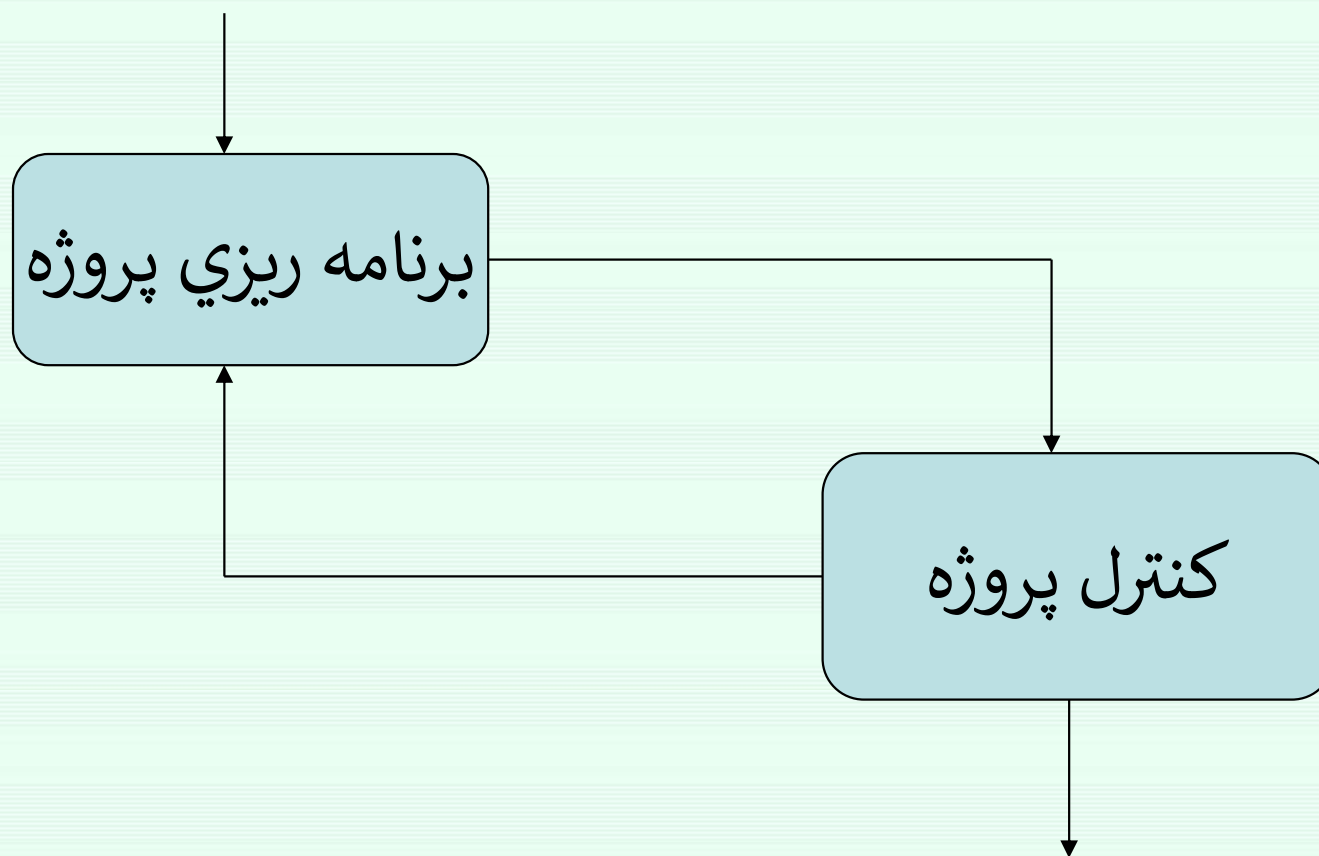
اختتام و پایان کار

وظایف مدیر پروژه

ایجاد هماهنگی لازم در اجرای فعالیتها برای کاربرد مناسب منابع و امکانات، به منظور رسیدن به هدف نهایی پروژه، وظیفه اصلی مدیر پروژه است.



فرایند برنامه ریزی و کنترل پروژه



برنامه ریزی پروژه – کنترل پروژه

- برنامه ریزی، بر روی تعیین اهداف و جهت ها متمرکز است و کنترل، کارها را به سمت آن هدف و جهت ها هدایت میکند.
- برنامه ریزی، منابع را به فعالیتهای تخصیص میدهد و کنترل، برای استفاده مؤثر و مناسب از منابع کوشش میکند.
- برنامه ریزی، عواملی مثل نوع فعالیت، حجم و اندازه فعالیت، مدت زمان اجرا، منابع مصرفی و... را برای فعالیتهای پیش بینی میکند و کنترل پروژه در عمل آنها را تدقیق میکند.
- برنامه ریزی، انگیزه لازم را به منظور دستیابی به اهداف تعیین شده در کارکنان ایجاد میکند و کنترل، در صورت نیل به اهداف، برای تشویق آنها مورد استفاده قرار میگیرد.

گام هاي برنامه ريزي و کنترل پروژه

۱- تعريف پروژه و تعيين مشخصات آن

۲- طراحي ساختار اجزاي WBS

۳- تعيين پارامتر هاي برنامه ريزي پروژه

۴- تهيه اطلاعات فعاليتها و شبکه پروژه

۵- تهيه برنامه زمان بندي اوليه پروژه

۶- قابل قبول بودن برنامه

۷- قابل اصلاح بودن برنامه

۸- تخصیص منابع

۹- تصميم گيري مدير پروژه

۱۰- اقدام براي ايجاد اصلاحات

۱۱- تعيين دوره کنترل

۱۲- تعيين درصد پيشرفت پروژه

۱۳- بودجه ريزي پروژه

۱۴- جمع آوري اطلاعات واقعي

۱۵- مرحله زماني انجام پروژه

۱۶- تهيه گزارش نهايي

۱۷- تطابق با برنامه

۱۸- تهيه گزارش دوره اي

۱۹- تعيين علل مغايرتها

۲۰- وجود يا نبود اشكال در برنامه

۲۱- اقدام جهت ايجاد اصلاحات

۲۲- تهيه گزارش دوره اي

۲۳- تصميم گيري مدير پروژه

نمودار فرایند برنامه ریزی و کنترل پروژه

شروع

۱- تعریف و تعیین مشخصات پروژه

۳- تعیین پارامترهای برنامه ریزی پروژه

۲- طراحی WBS و تعیین فعالیتهای پروژه

۴- تعیین سازمان و روش اجرا، پارامترهای برنامه ریزی فعالیتهای و رسم شبکه

۵- تهیه برنامه زمانبندی اولیه پروژه

۸- تخصیص منابع

۱۰- ایجاد اصلاحات در صورت لزوم

۹ و ۲۳- تصمیم گیری مدیر پروژه

۷- آیا برنامه زمانبندی قابل اصلاح است؟

۶- آیا برنامه زمانبندی قابل قبول است؟

۲۲- تهیه گزارش دوره ای پیشرفت پروژه و علل مغایرتها

۱۱- تعیین دوره کنترل

۱۲- تعیین روند پیشرفت برنامه ای پروژه در طول اجرا

۱۳- بودجه ریزی پروژه

۱۴- جمع آوری اطلاعات واقعی اجرای فعالیتهای در انتهای هر دوره کنترل

۲۰- آیا مغایرتها موجود ناشی از اشکال در برنامه است؟

۱۵- آیا پروژه به اتمام رسیده است؟

۱۹- تعیین علل مغایرتها

۱۸- تهیه گزارش دوره ای پیشرفت

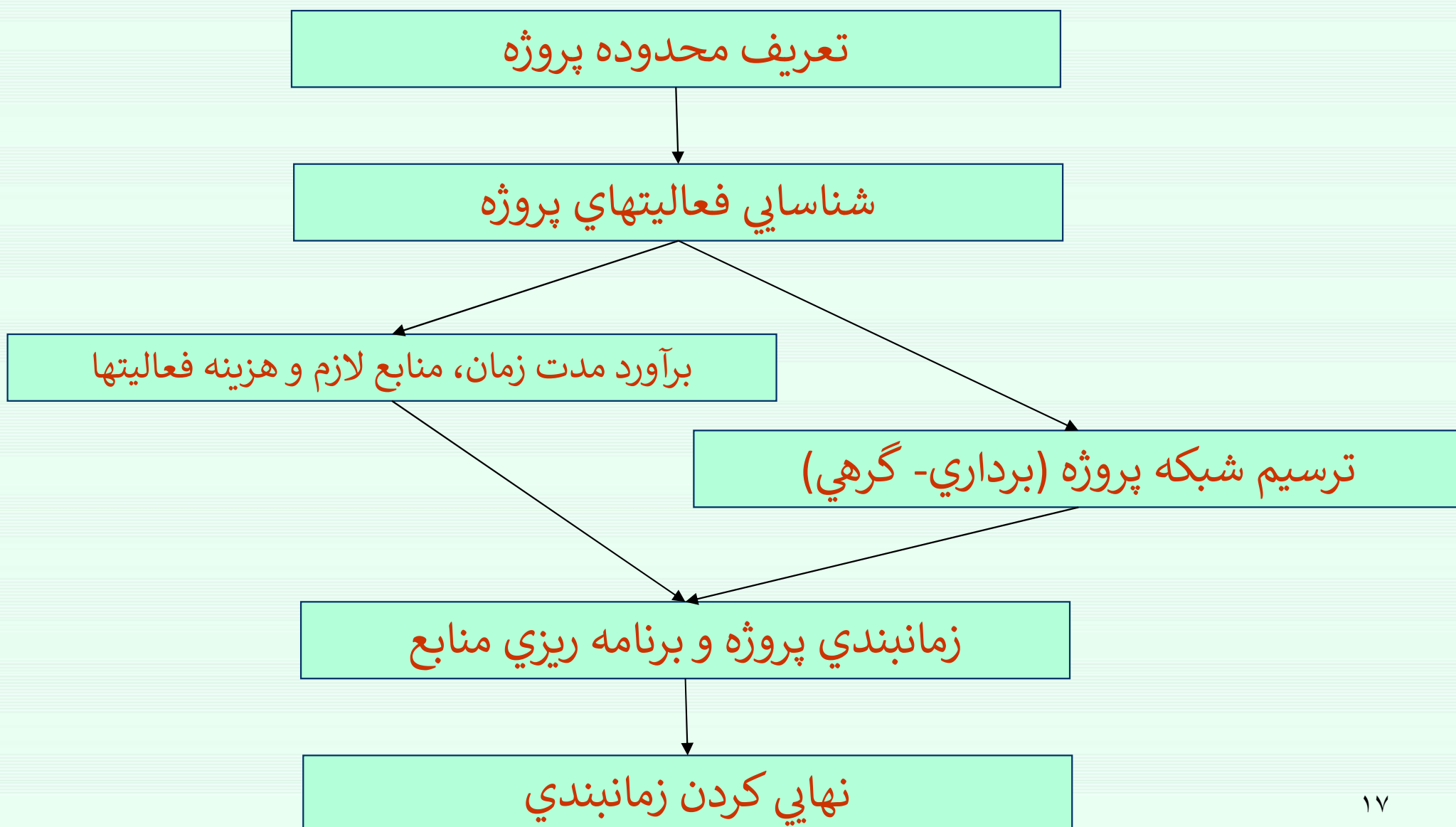
۱۷- آیا وضعیت واقعی با برنامه تطابق دارد؟

۱۶- تهیه گزارش نهائی جامعی از اجرای کل پروژه

پایان

۲۱- اقدام جهت ایجاد اصلاحات در برنامه و تهیه گزارش دوره ای پیشرفت پروژه به همراه اصلاحات ایجاد شده

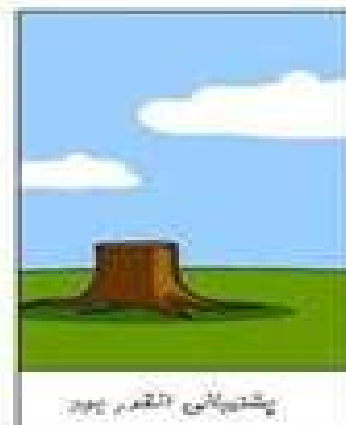
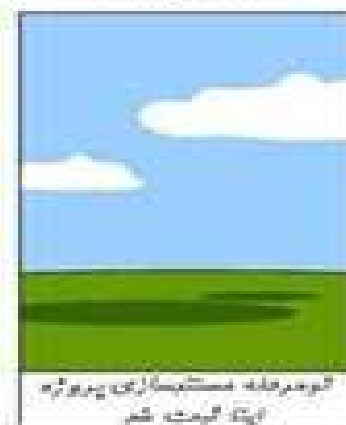
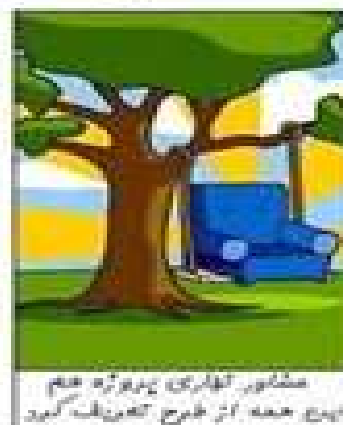
فرآیند برنامه‌ریزی در يك نگاه



نمایش محدوده پروژه



ولی ...





۱- دلایل اجرای پروژه

۲- شرح محصول یا مقصد (Goal)

مشخصه‌های (کمی و کیفی) محصولات یا خدماتی که پروژه در ایجاد آنها متعهد گردیده است.

در ابتدای پروژه به اختصار تهیه شده، اما بمرور و متناسب با پیشرفت پروژه به تفصیل بیشتر تکمیل و مدون می‌شود.

Scope of Project

محدوده پروژه

۱- دلایل اجرای پروژه

۲- شرح محصول یا مقصد (Goal)

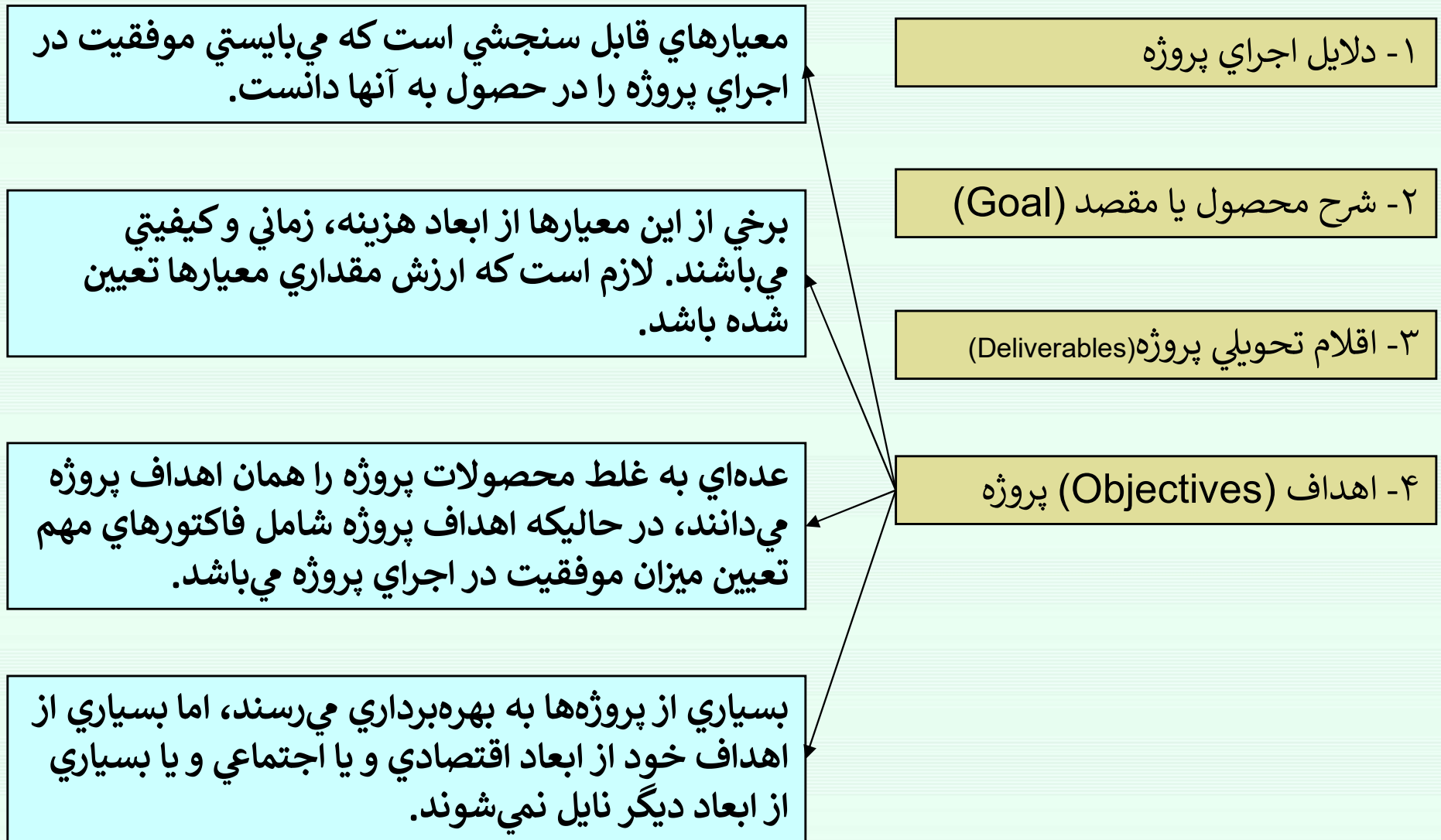
۳- اقلام تحویلی پروژه (Deliverables)

عنوان و مشخصات اصلی اقلام قابل تحویل پروژه، که حصول کامل به آنها، نشانه اختتام پروژه می باشد، می بایستی طی لیست کوتاه و مختصری تهیه گردد.

مثلاً یک پروژه نرم افزاری دارای اقلام تحویلی بشرح زیر است:
کدهای برنامه نویسی، راهنمای کاربران و آموزش نرم افزار

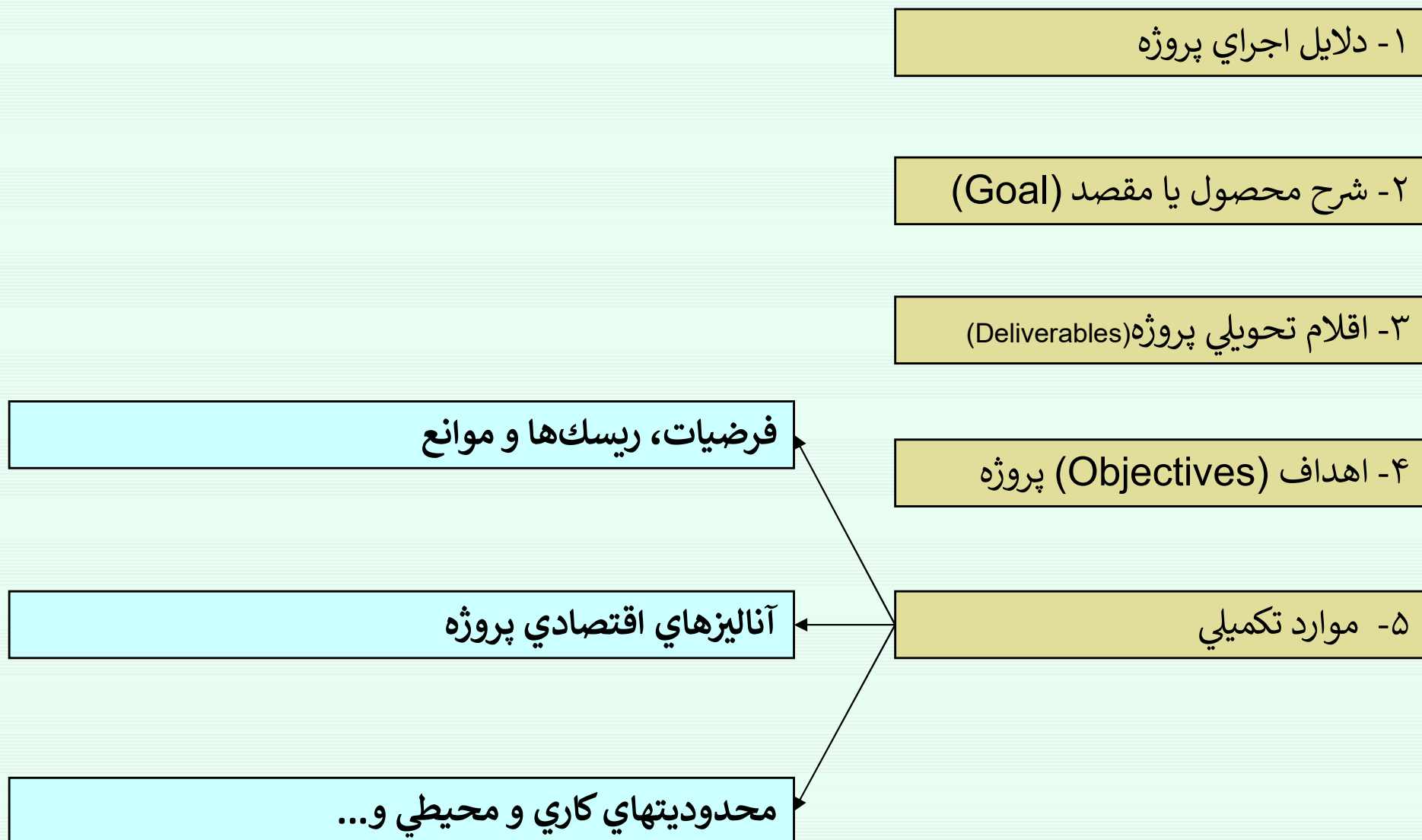
Scope of Project

محدوده پروژه



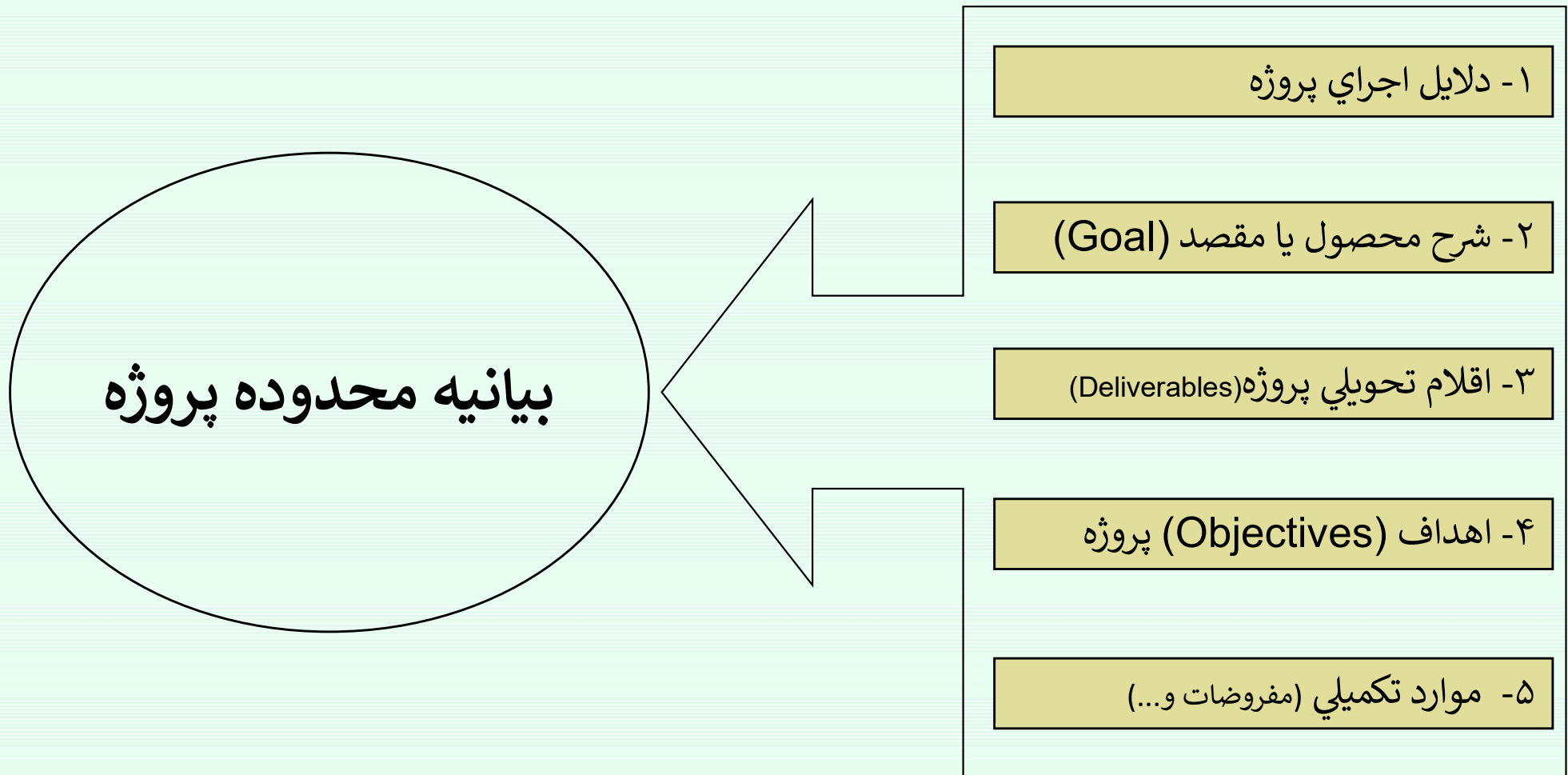
Scope of Project

محدوده پروژه



Scope of Project

محدوده پروژه



ذینفعان پروژه:

- کارفرما
- مهندسین مشاور
- پیمانکاران
- بهره برداران
- سرمایه گذاران، شرکا و سهامداران
- شرکت های بیمه
- شرکت های تامین کننده ماشین آلات

تعاريف فعاليت و منابع

- **فعاليت :** كوچكترين جزء عملياتي تشكيل دهنده يك پروژه را گویند. مثلاً جوش كاري، اجراي آسفالت، اجراي فونداسيون ، ... در يك پروژه سازه
- **مدت فعاليت :** مدت زمان انجام يك فعاليت در پروژه را مدت فعاليت گویند. اين زمان ميتواند كم يا زياد باشد اما صفر يا بي نهايت ممكن نيست.
- **منابع:** به كليۀ امكانات و وسايلي گفته ميشود كه براي انجام آن فعاليت مورد نياز است. كه به سه دسته عمده تقسيم ميشوند:
 - ۱- منابع انساني
 - ۲- ماشين آلات و تجهيزات
 - ۳- مواد و مصالح

برخي از دلايل نياز به تجزيه و تفكيك پروژه به اجزاي آن بشرح زير است:

۱- اين امر راهكار اصولي برنامه ريزي، اجرا و كنترل يك پروژه در جهت نيل به اهداف آن است.

۲- دقت بالاتري در برآوردهاي زمان، هزينه و منابع را بوجود مي آورند.

۳- باعث تسهيل در واگذاري اختيارات و اعطاي مسنوليتها مي شود.

۴- مبناي مناسب براي كنترل و ارزيابي عملکرد مي گردد.

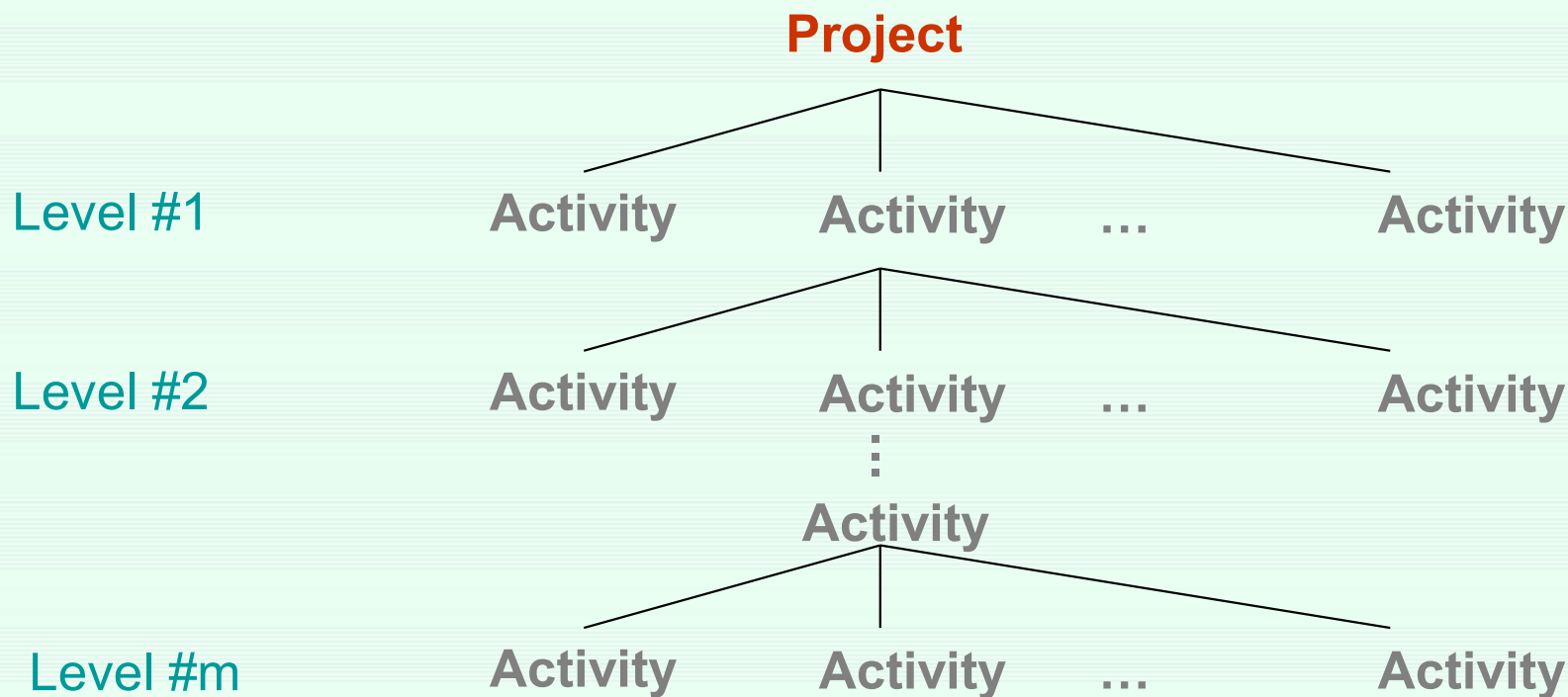
۵- شناسايي فعاليتهايي كه اقلام تحويلي پروژه را تضمين مي كنند.

- ابزار مورد استفاده در برنامه‌ریزی پروژه، جهت شناسايي فعاليتها “**ساختار شکست کار**” نام دارد.

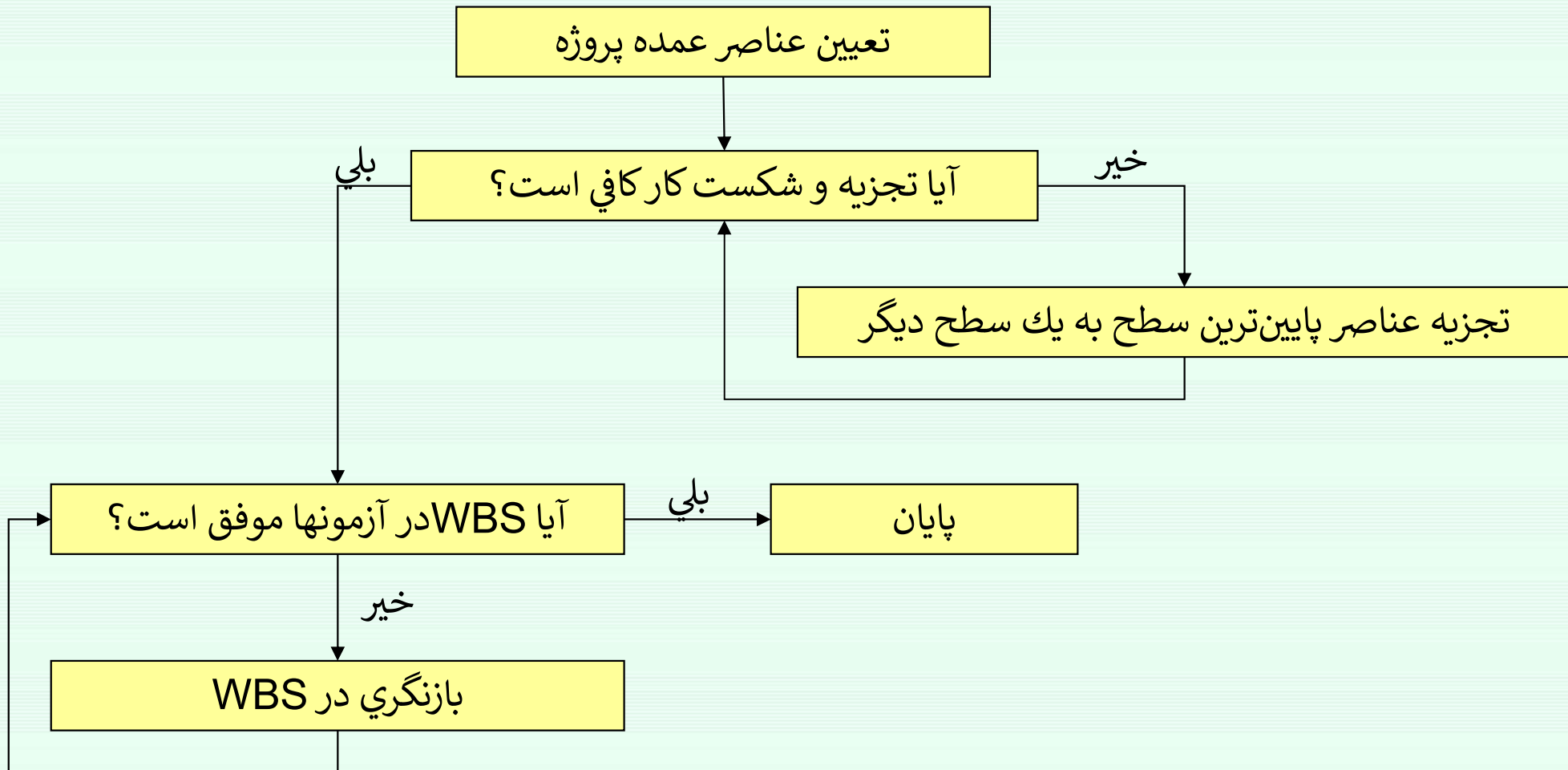
Work Breakdown Structure (WBS)

ساختار شکست کار

- **WBS** يك توصيف سلسله مراتبي از کارهايي است که مي‌بايست انجام شوند تا اقلام قابل تحويل پروژه حاصل شده و پروژه به اتمام برسد.



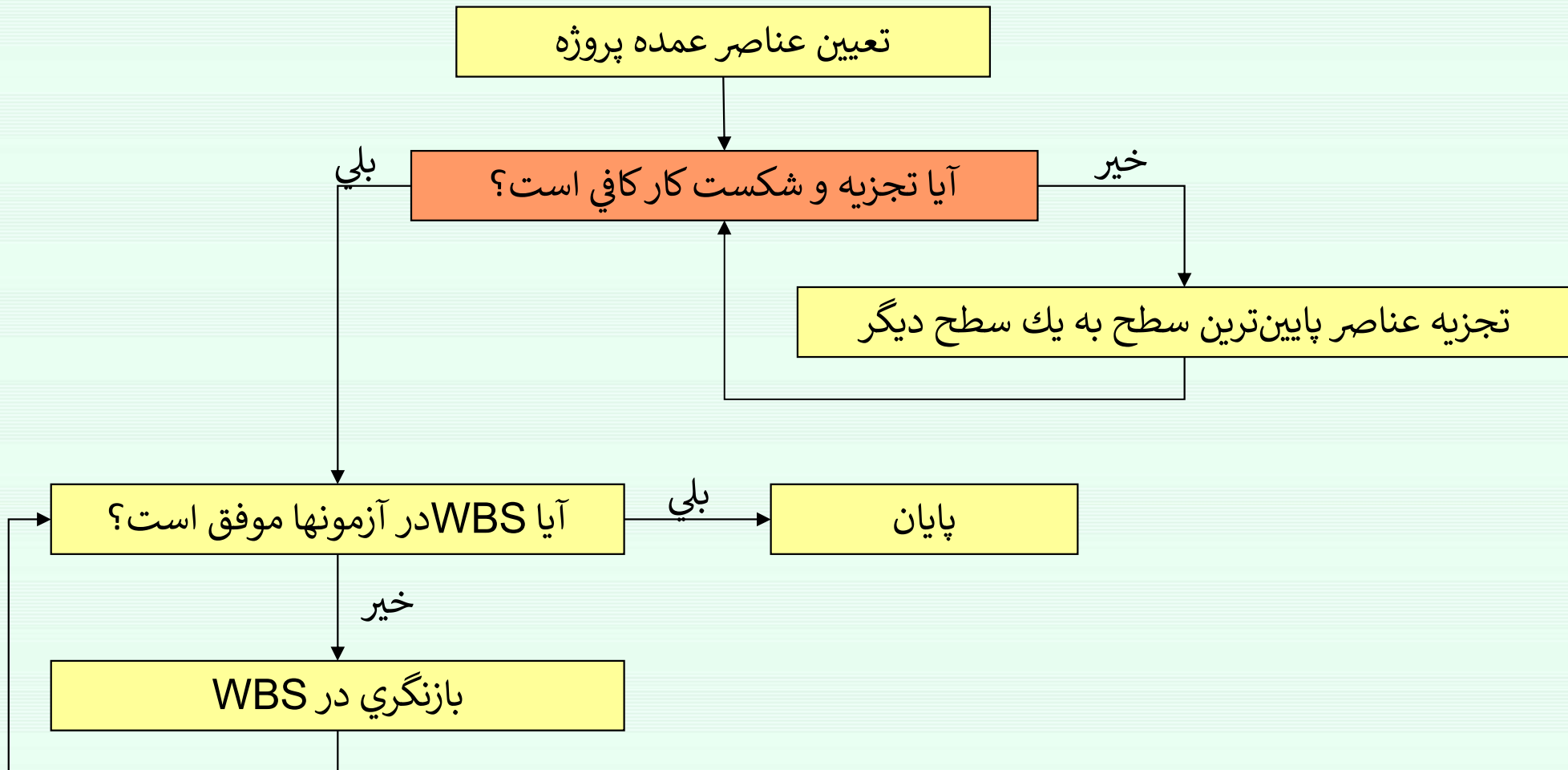
مراحل توسعه ساختار شکست کار



تعيين عناصر عمده پروژه

- تجزيه پروژه به چند عنصر يا گروه (تعيين سطح اول WBS)
- مي تواند براساس **مراحل چرخه حيات پروژه** باشد.
- Phase Orientation Approach
- مي تواند برمبناي **چارت سازماني پروژه** باشد.
- Organization Orientation Approach
- مي تواند برمبناي **جغرافيا و مكان اجراي پروژه** باشد.
- Geographical Approach
- مي تواند برمبناي **محصول و اجزاي آن** باشد.
- Product Orientation Approach
- مي تواند برمبناي **زير پروژهها** باشد.
- Project Orientation Approach

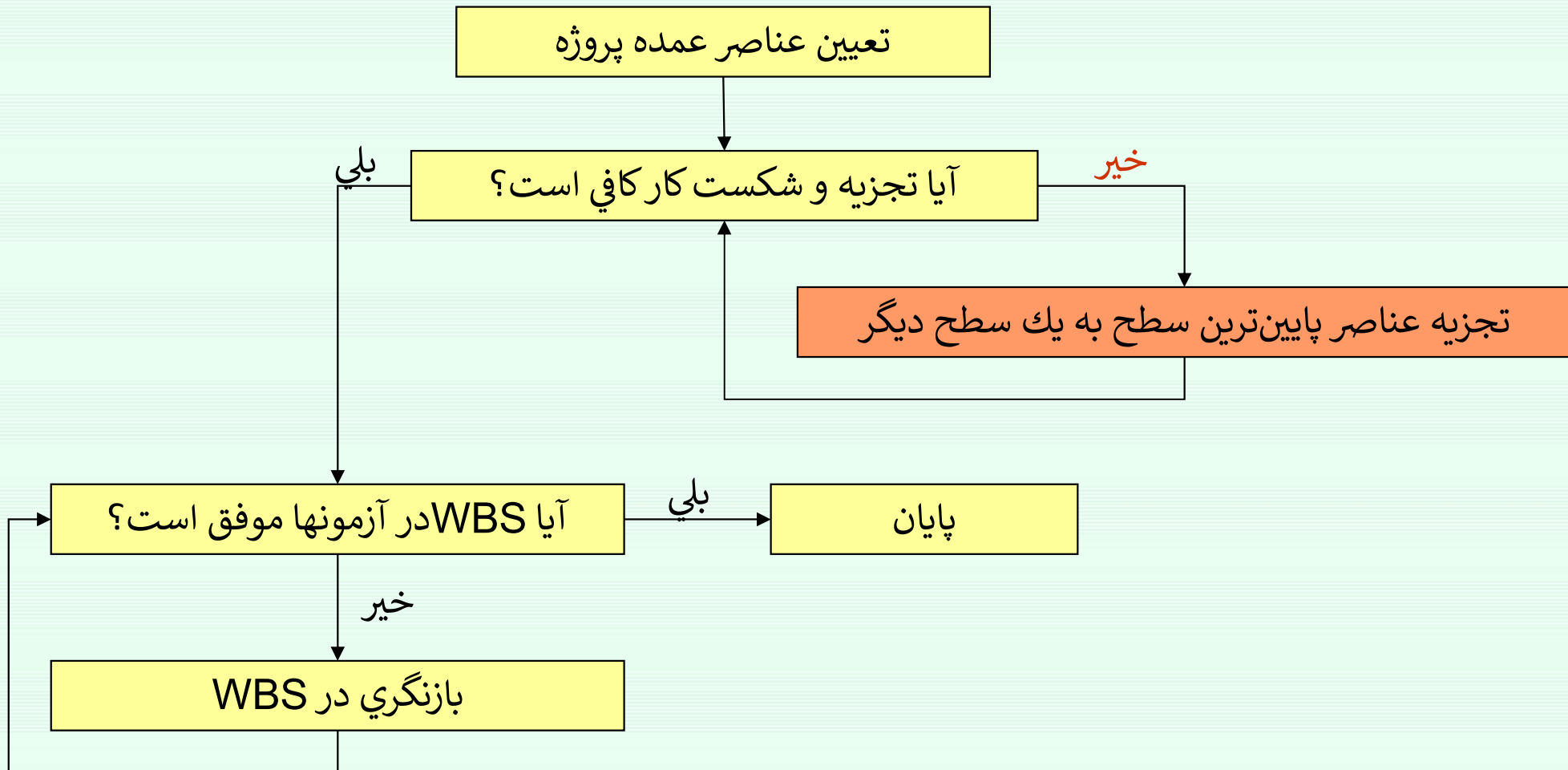
مراحل توسعه ساختار شکست کار



آيا تجزيه و شکست کار کافي است؟

- کل نگري باعث مي شود که به فوايد تجزيه کار بدرستي دست نيافت.
- تجزيه عناصر به جزييات نیز در ابتدای پروژه شاید مقدور نباشد.
- آیا سطح شکست کار، برنامه ريزي دقيقی را ايجاد مي کند؟
- آیا امکان کنترل مناسب بر روي اجرای پروژه وجود خواهد داشت؟
- جزييات بیش از حد، باعث بالا رفتن هزینه هاي برنامه ريزي و کنترل پروژه مي شود.
- بطورکلي سطح شکست کار به عواملی چون اندازه پروژه و هدف برآورد و کنترل بستگی دارد.
- به فعاليتهاي پايين ترين سطح، اصطلاحاً “ بسته کاري Work Package ” اطلاق مي شود.

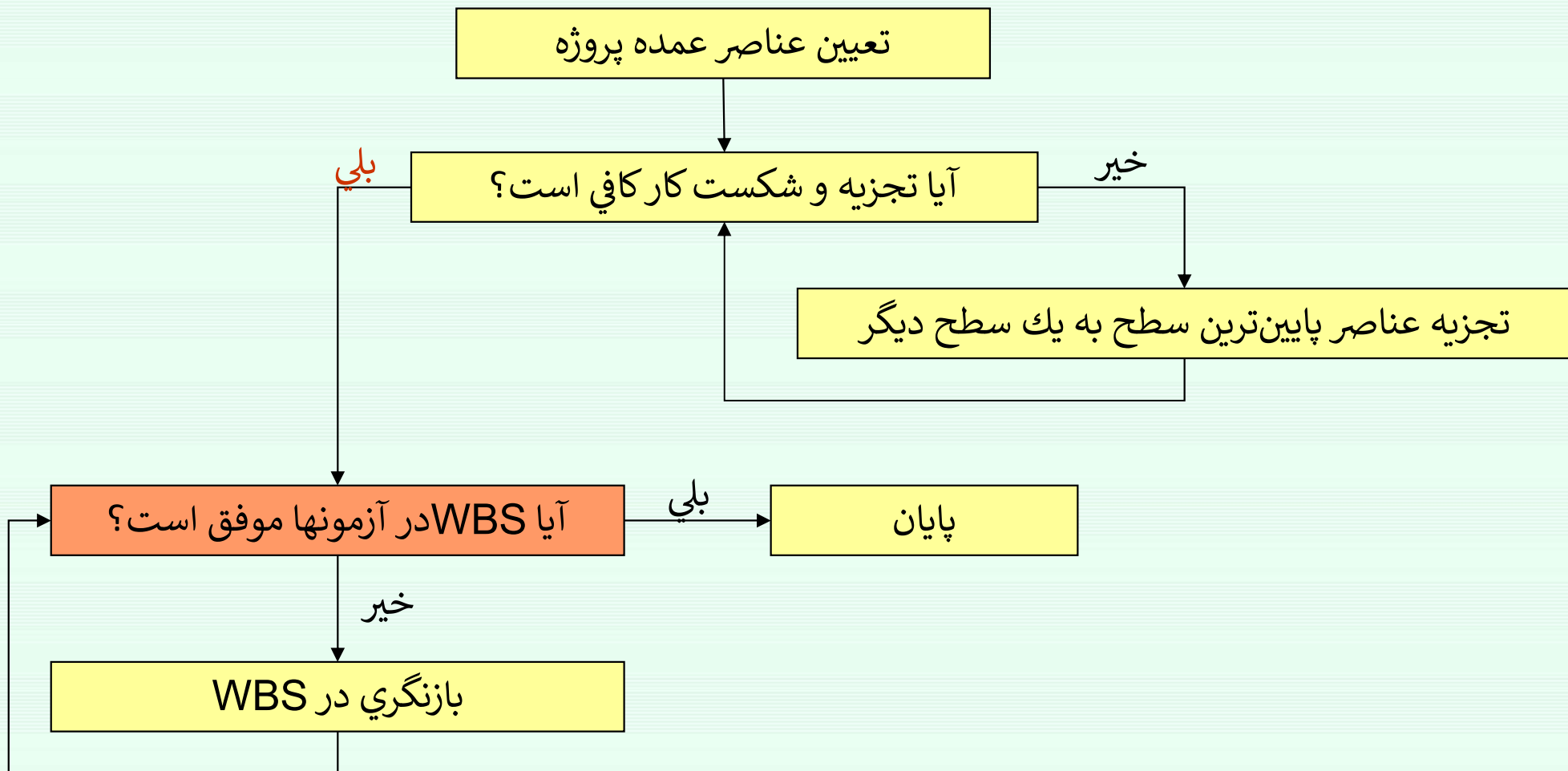
مراحل توسعه ساختار شکست کار



تجزیه عناصر پایین ترین سطح به یک سطح دیگر

- تجزیه فعاليتهاي آخرین سطح (سطح n) به فعاليتهاي ریزتر (تعیین سطح $n+1$)
- مي تواند براساس **موضوعات و کارها** باشد.
- Function Orientation Approach
- مي تواند برمبناي **چارت سازماني پروژه** باشد.
- Organization Orientation Approach
- مي تواند برمبناي **جغرافيا و مکان اجراي پروژه** باشد.
- Geographical Approach
- مي تواند برمبناي **محصول و اجزاي آن** باشد.
- Product Orientation Approach
- مي تواند برمبناي **زیر پروژهها** باشد.
- Project Orientation Approach

مراحل توسعه ساختار شکست کار



آيا WBS در آزمونها موفق است؟

- آيا فعاليتهاي ريزتر، فعاليت سطح بالاتر را پوشش كامل مي دهند؟ (جمع پذيري)
- آيا هريك از بسته هاي كاري مي توانند زمانبندي و بودجه بندي شوند؟
- آيا بسته هاي كاري قابل واگذاري به واحد سازماني مشخص هستند؟
- آيا خروجي بسته هاي كاري، اقلام تحويلي پروژه را پوشش مي دهند؟
- آيا قادر به تعريف توالي و منطق بين فعاليتها هستيم؟

آيا WBS در آزمونها موفق است؟

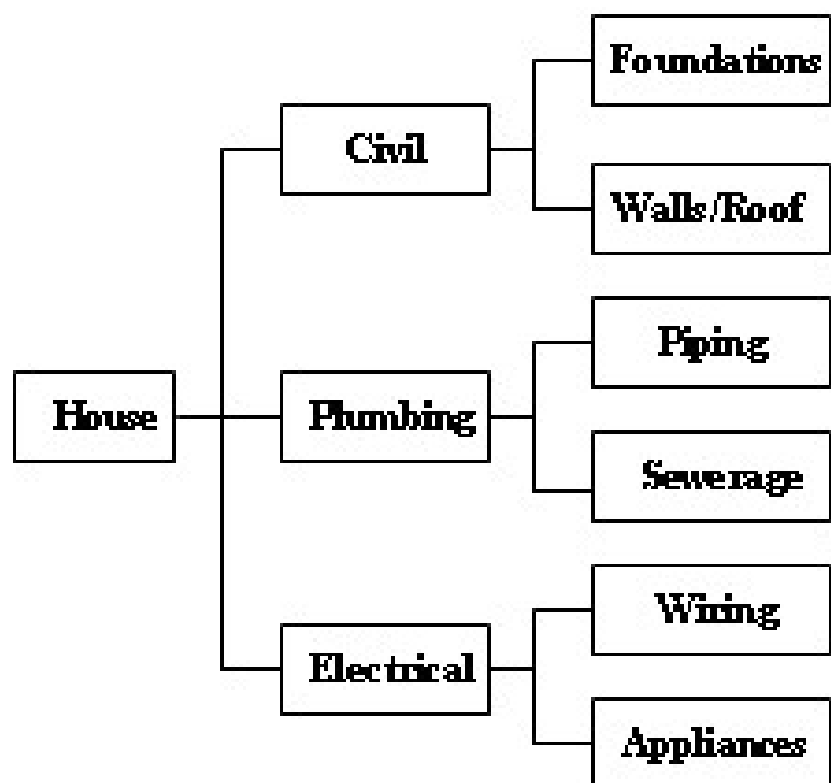
- آيا وضعيت / تكميل بسته هاي كاري قابل اندازه گيري است؟
- آيا شروع و پايان بسته هاي كاري بطور واضح قابل تعريف باشد؟
- بسته هاي كاري بايد داراي خروجي باشند؟ (دستورالعمل، نقشه، نرم افزار، محصول و...)
- نبايد هيچ آيتي در WBS تكرار شود!
- مدت زمان اجراي فعاليتها در يك محدوده قابل قبول باشد؟

Identify Project Activities

شناسایی فعالیت‌های پروژه

کد گذاری WBS

Graphical



Text Indent

1.0.0 House Project

1.1.0 Civil

1.1.1. Foundations

1.1.2. Walls & Roof

1.2.0 Plumbing

1.2.1. Piping

1.2.2. Sewerage

1.3.0 Electrical

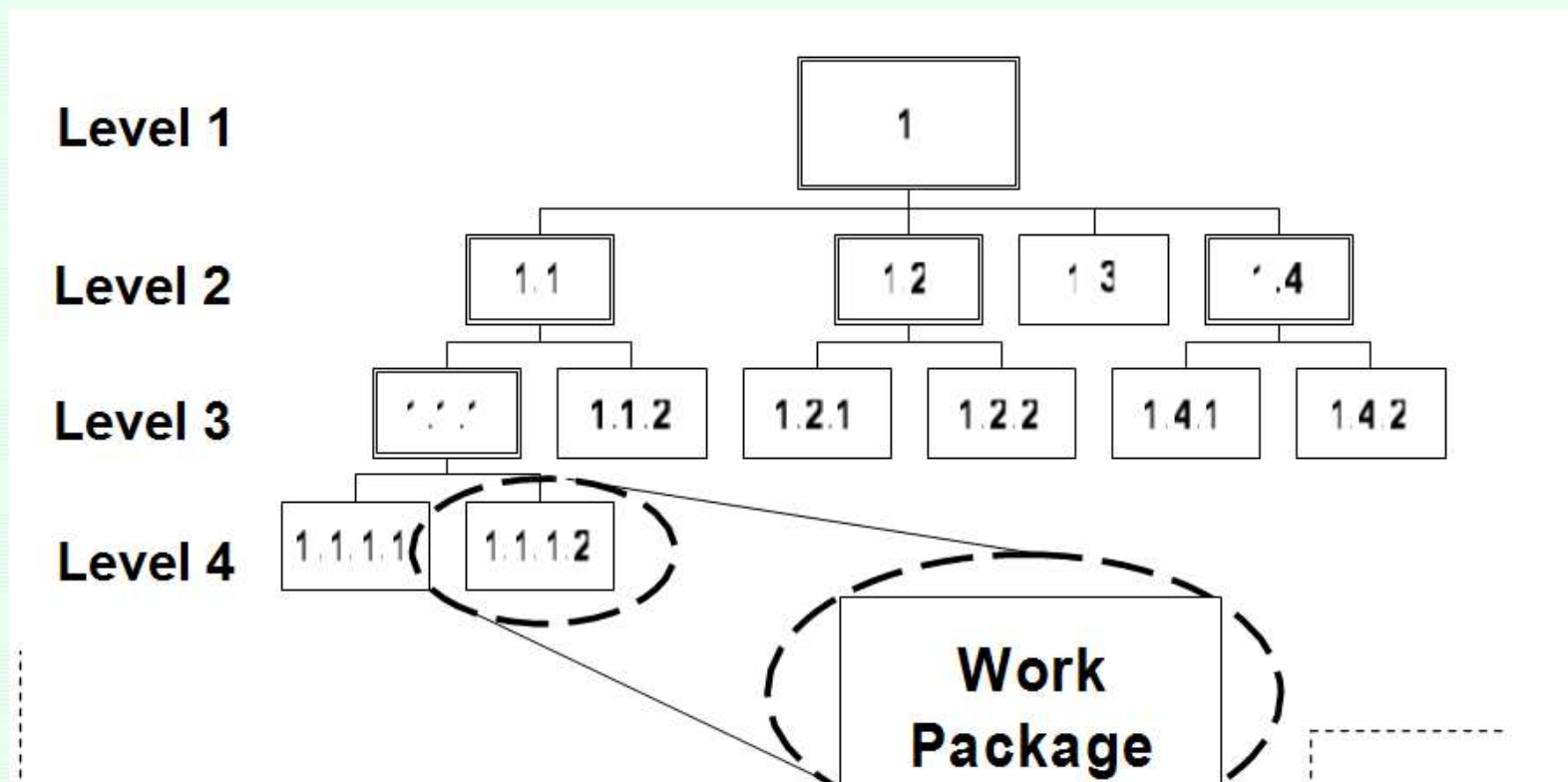
1.3.1. Wiring

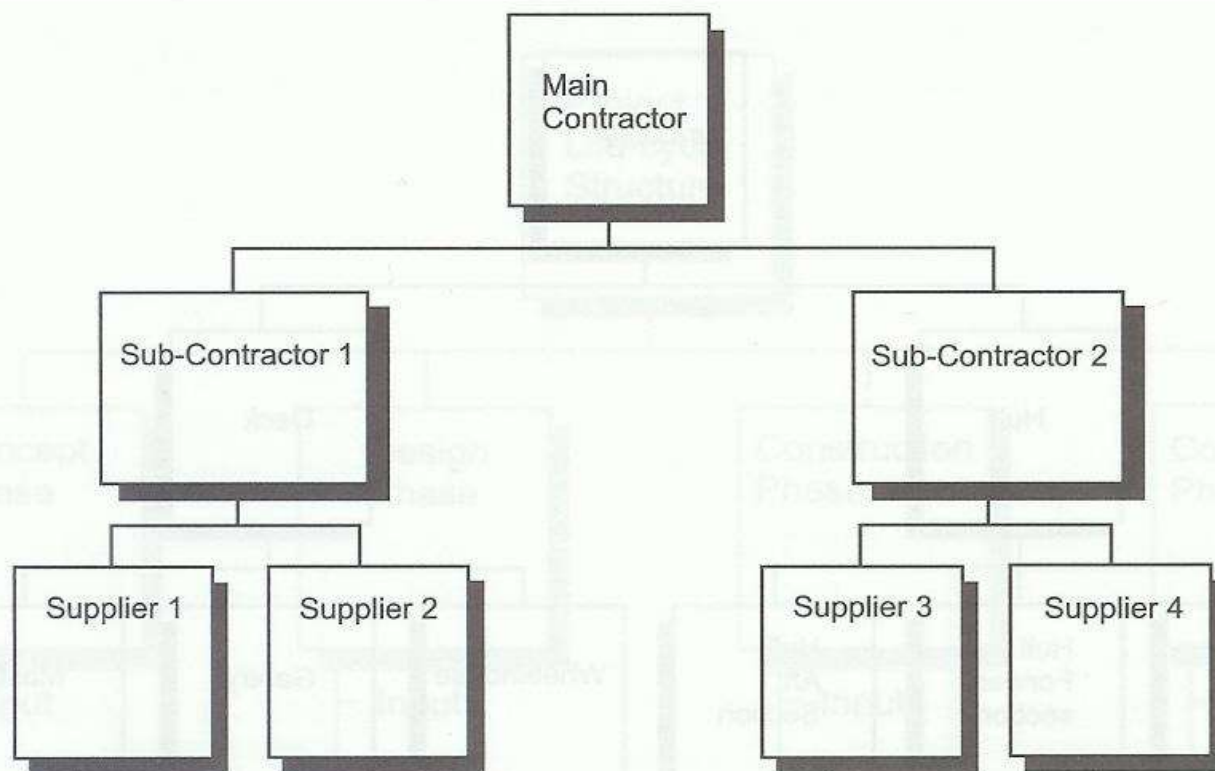
1.3.2. Appliances

جمع بندي شناسايي فعاليتها

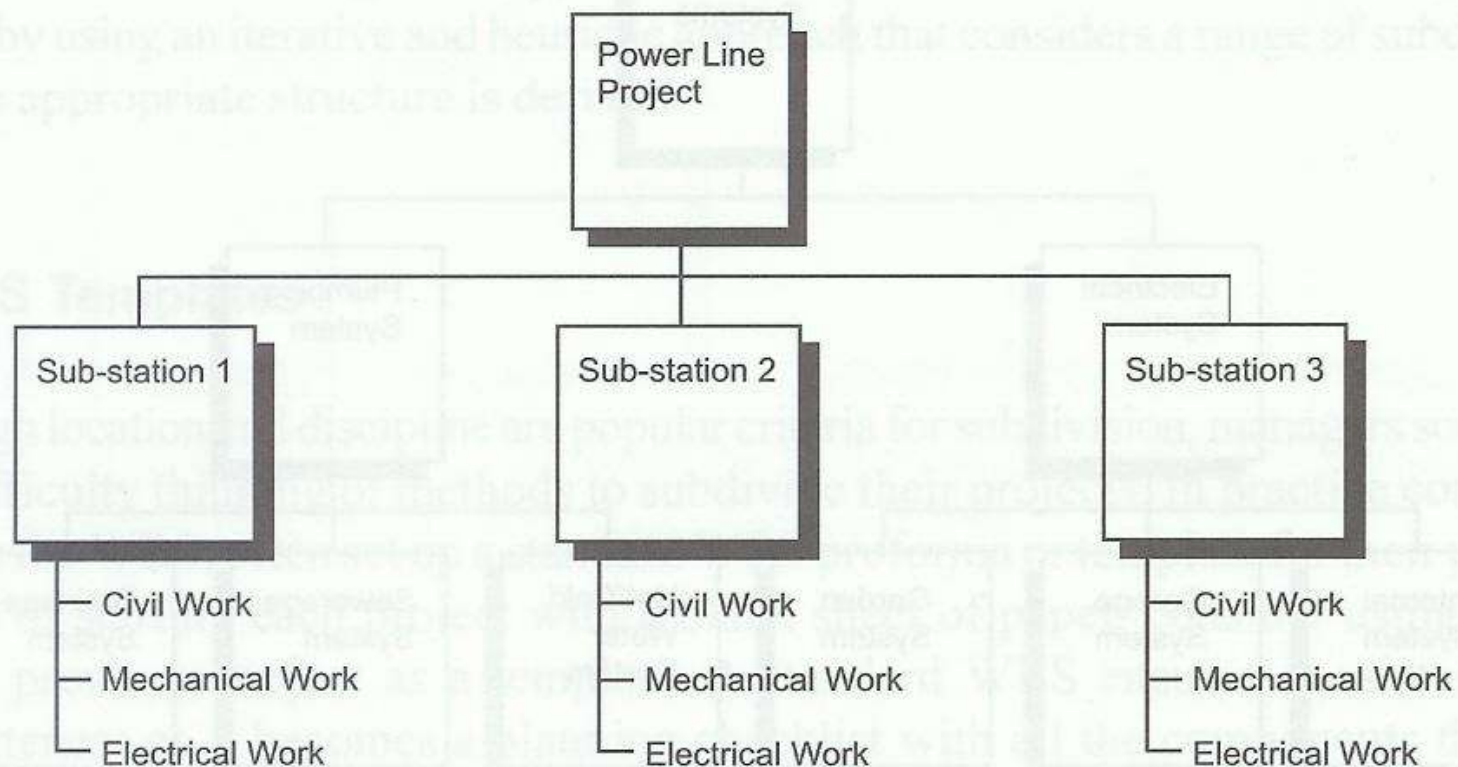
- ليست فعاليتهاي پروژه
- الگوسازي WBS در سازمانهاي که پروژه هاي يکسان دارند.
- دیکشنري WBS

بسته های کاری

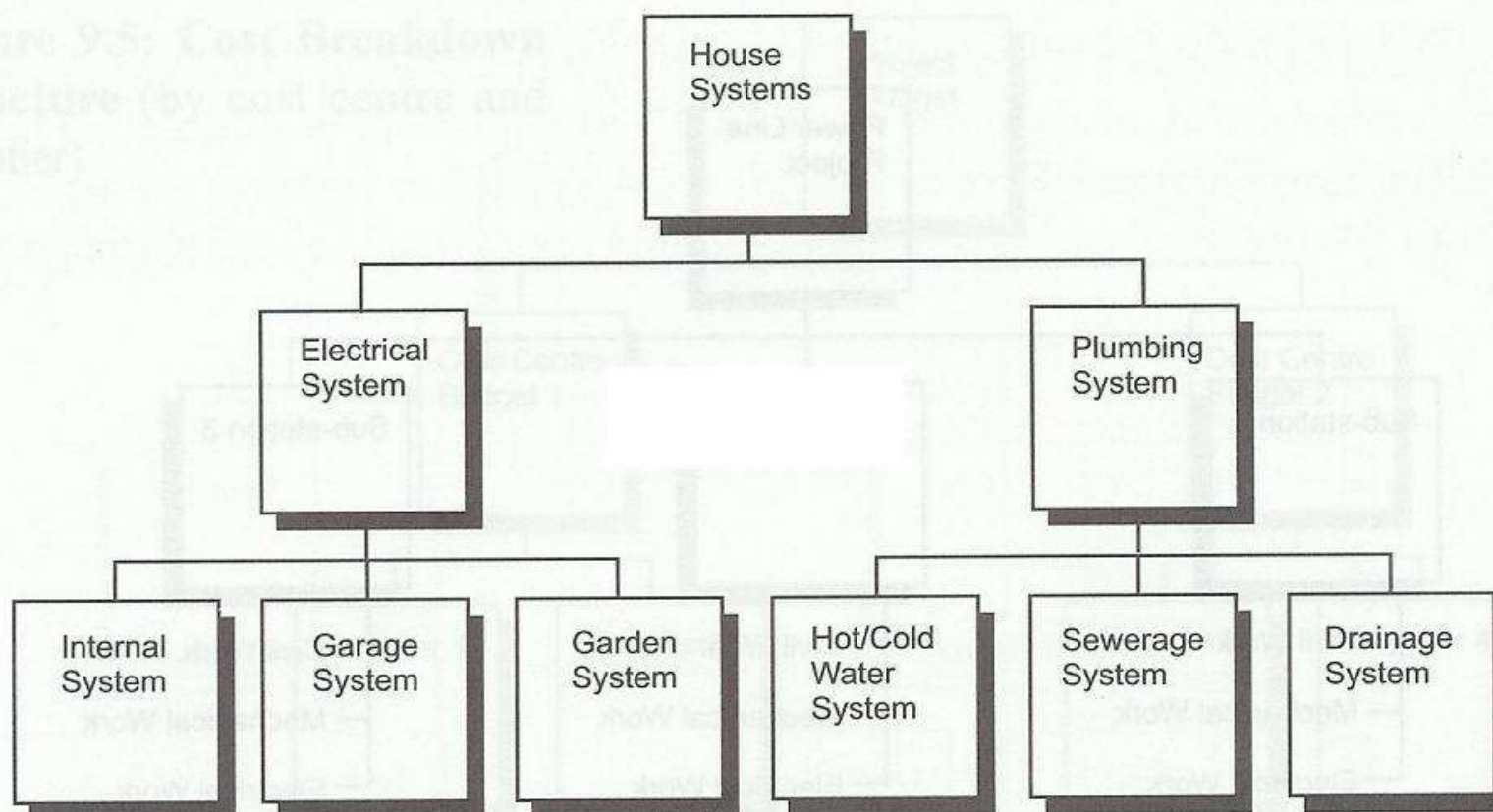




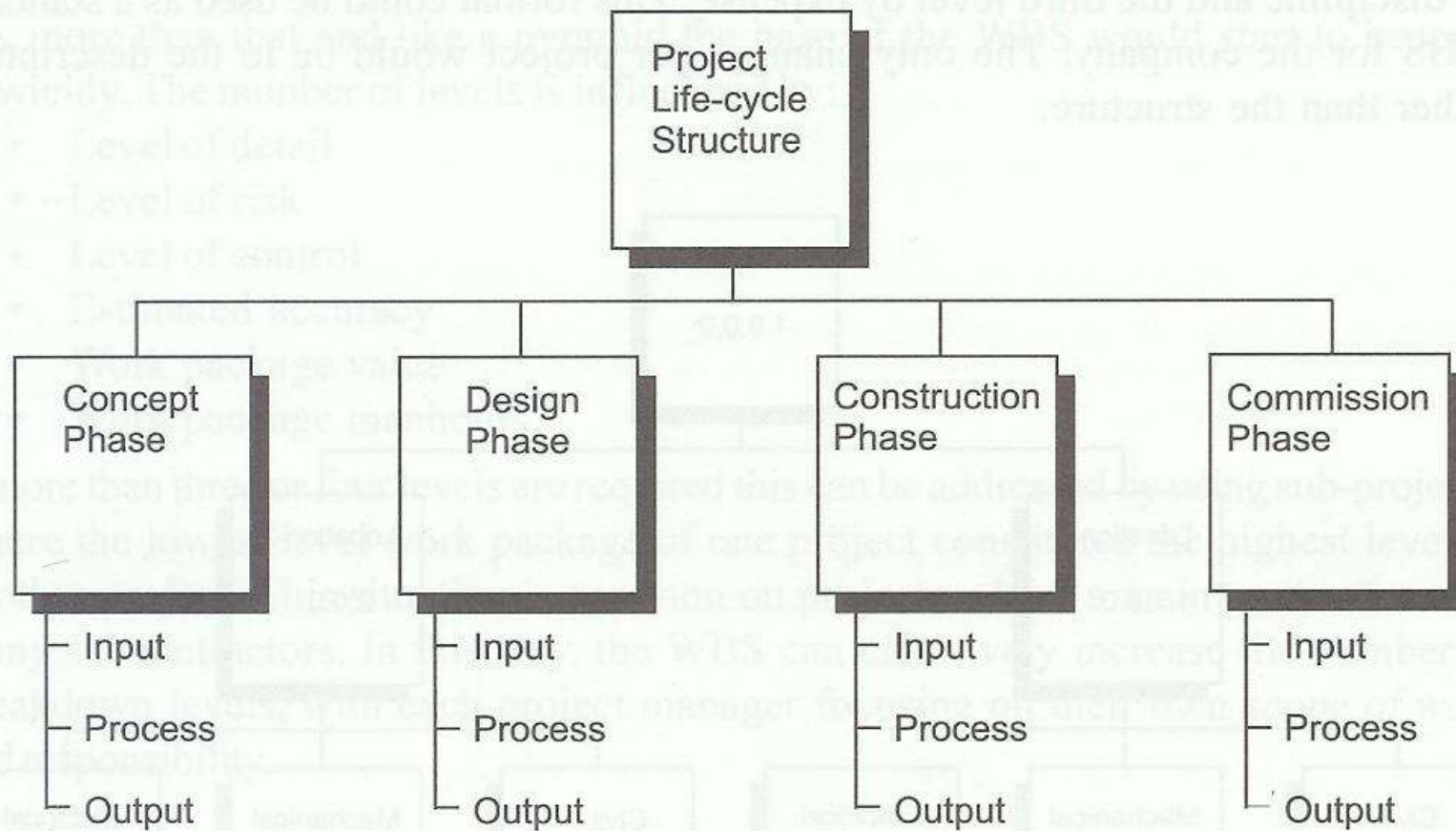
Contract Breakdown Structure (by sub-contractor and supplier)



Location Breakdown Structure (power line project)



System Breakdown Structure (House project)



Project Life-Cycle Structure







ایجاد شبکه پروژه

مراحل ایجاد شبکه پروژه

تعیین توالی فعالیتها (بسته‌های کاری)



ترسیم شبکه پروژه

توضیح:

در مباحث برنامه‌ریزی و کنترل پروژه، منظور از شبکه پروژه عبارتست از نموداری شبکه‌ای شکل که در آن ضمن بیان فعالیت‌های پروژه، تقدم و تاخر آنها نسبت به یکدیگر نشان داده شده است.

تعیین توالی فعالیتها (بسته‌های کاری)

تعیین توالی فعالیتها، فرآیند شناسایی و تدوین ارتباط و وابستگی فعالیتها از لحاظ تقدم و تاخر با یکدیگر می‌باشد.

<p>۱- وابستگی‌های الزامی (وابستگی سخت یا منطقی)</p> <p>برخی از فعالیتها با یکدیگر دارای روابط ذاتی و فیزیکی هستند لذا انجام آنها منوط به رعایت این وابستگی است.</p>	<p>انواع وابستگی</p> <p>و ارتباط</p> <p>بین فعالیتها</p>
<p>۲- وابستگی‌های ترجیحی (وابستگی نرم)</p> <p>برخی از وابستگی‌های بین فعالیتها توسط گروه اجرایی ایجاد می‌شوند (می‌بایست بدقت و با مستندات کافی تبیین شود)</p>	
<p>۳- وابستگی‌های خارجی</p> <p>وابستگی‌های بین فعالیتهای اجرایی و محیط خارج از پروژه موردنظر است.</p>	

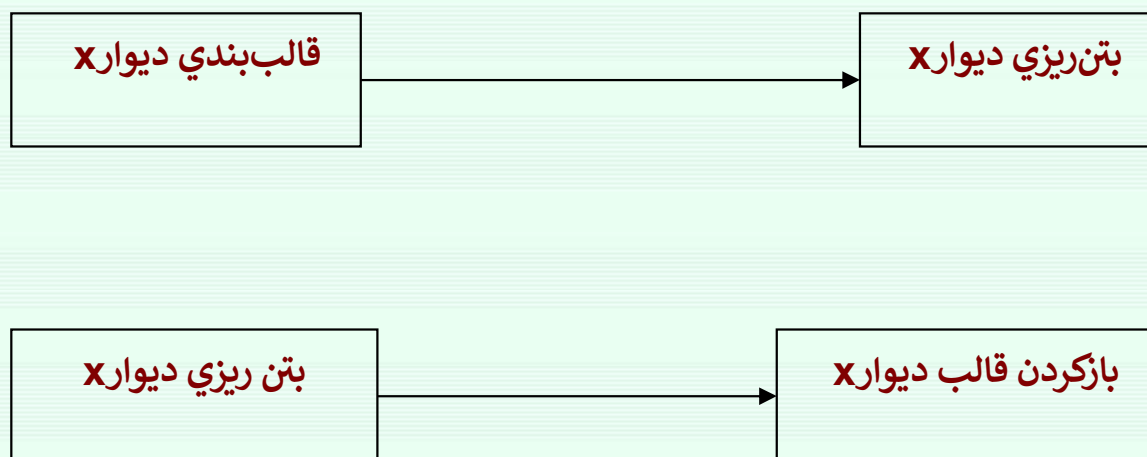
تعیین توالی فعالیتها (بسته های کاری)

تعریف : به فعالیت Y پیش نیاز (Predecessor) فعالیت X گفته می شود اگر انجام فعالیت X به انجام فعالیت Y وابسته باشد.



• در این صورت به فعالیت X نیز پی آمد (Successor) فعالیت Y اطلاق می شود.

چند مثال



مستندسازی توالی فعالیتها

جدول تعیین پیشنهاد فعالیتها				
پیشنیازها			عنوان فعالیت	کد فعالیت
خارجی	ترجیحی	الزامی		

ترسیم شبکه پروژه

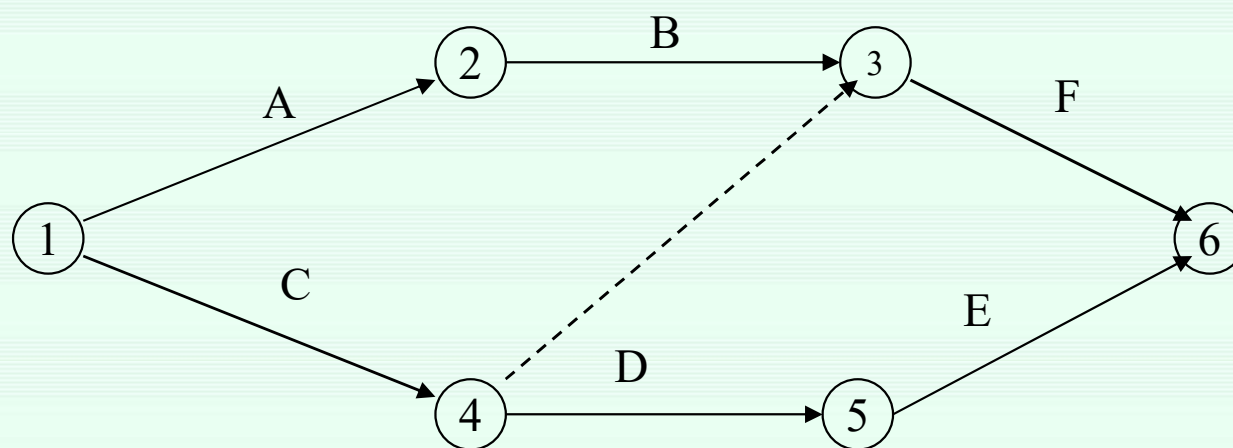
انواع شبکه پروژه

شبکه برداري Activity On Arrow (AOA)

شبکه گرهی Activity On Node (AON)

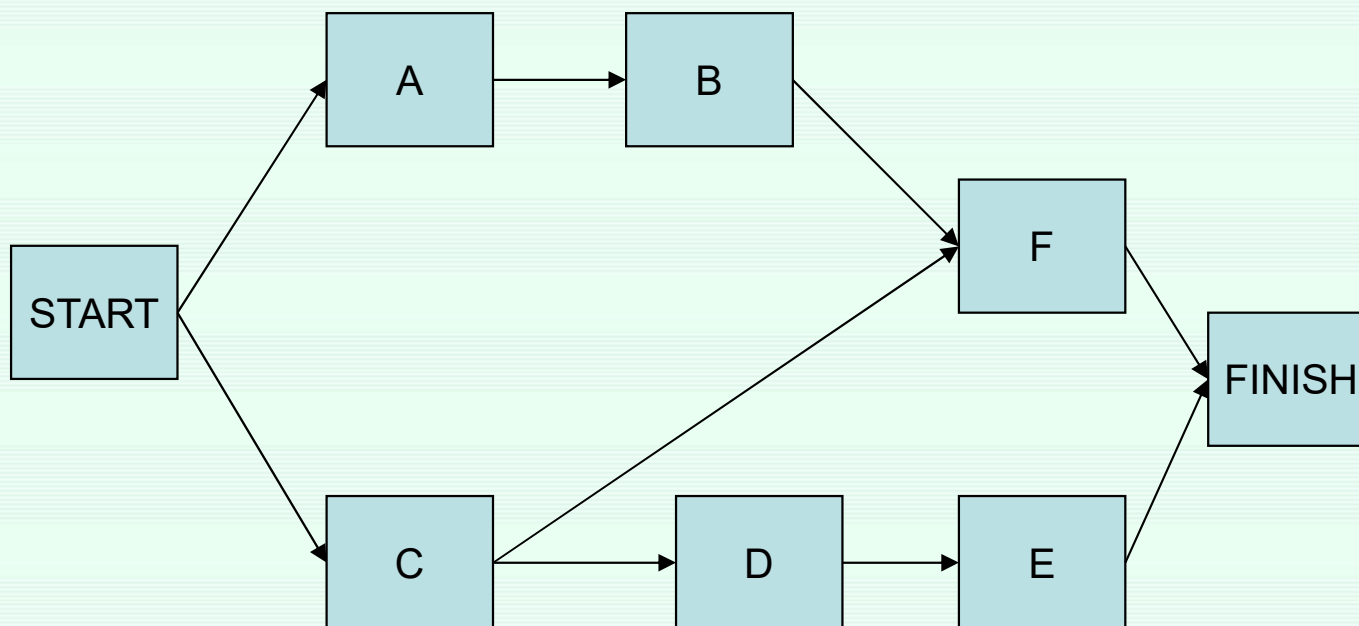
شبکه برداري

پیشنیاز	کد فعالیت
-	A
A	B
-	C
C	D
D	E
B;C	F



شبکه گرهی

پیشنیاز	کد فعالیت
-	A
A	B
-	C
C	D
D	E
B;C	F



شرح نمادها:

فعالیت



بردار بیانگر روابط بین فعالیتها



شبکه گرهی (AON) Activity On Node

ما ابتدا شبکه‌های گره‌ای را مورد توجه قرار می‌دهیم.

مثال: پروژه ي ساختماني

ردیف	نام فعالیت	پیش نیازها
۱	طراحی سازه	--
۲	ساخت سازه	۱
۳	طراحی ساختمان	۱
۴	اجرای فاز ۱ ساختمان	۳و۲
۵	اجرای فاز ۲ ساختمان	۴
۶	طراحی تاسیسات مکانیکی	۳
۷	خرید تجهیزات مکانیکی	۶
۸	نصب و اجرای تجهیزات مکانیکی	۷و۵
۹	طراحی تاسیسات برقی	۳
۱۰	خرید تجهیزات برقی	۹
۱۱	نصب و اجرای تجهیزات برقی	۱۰و۵
۱۲	طراحی معماری داخلی	۹و۶
۱۳	خرید اقلام مورد نیاز معماری داخلی	۱۲
۱۴	نصب و اجرای معماری داخلی	۱۳و۱۱و۸

چند نکته در ترسیم شبکه گره ای

(۱) فعالیتها توسط گره‌ها و روابط پیشنهادی توسط بردارها نمایش پیدا می‌کنند.

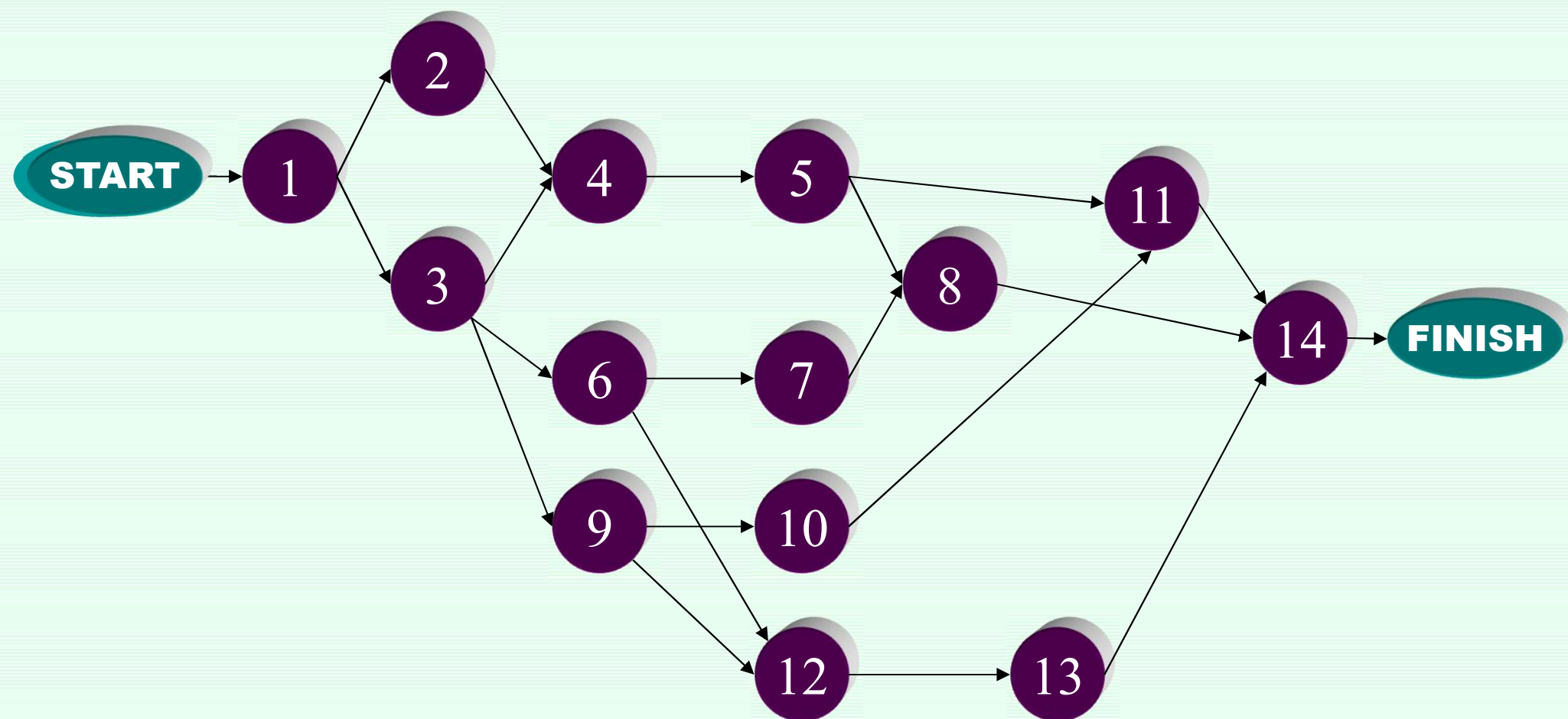
(۲) شبکه گره‌ای حتماً "با گره شروع آغاز می‌شود و سپس تمام فعالیت‌های بدون پیش نیاز به گره شروع متصل می‌شود.

(۳) شبکه گره‌ای حتماً "با گره پایان به اتمام می‌رسد لذا فعالیت‌هایی که پس نیاز ندارند به گره پایان متصل می‌شوند.

(۴) در ترسیم شبکه حلقه (Loop) نداریم اگر چنین باشد در تعریف منطق فعالیت‌ها دچار اشتباه شده ایم.

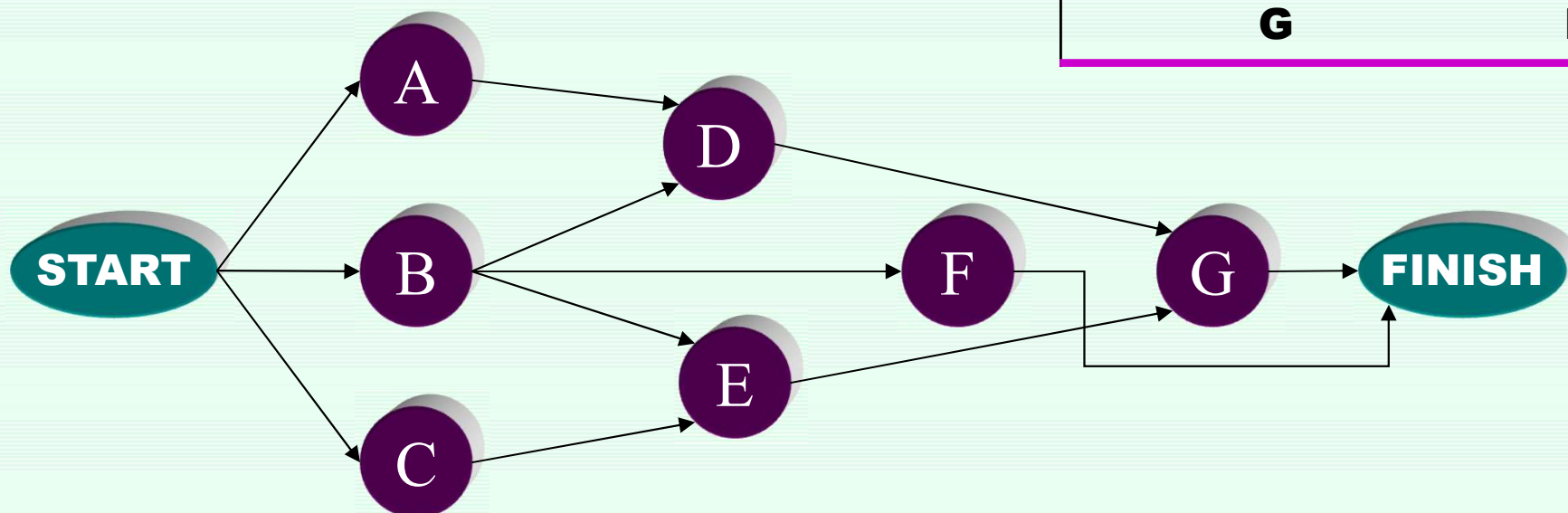
(۵) برای هر فعالیت فقط و فقط یک گره در شبکه وجود دارد.

مثال: پروژه ي ساختماني



مثال شبکه پیش نیازی با فعالیت های زیر را رسم کنید

پیش نیاز	فعالیت
--	A
--	B
--	C
A,B	D
B,C	E
B	F
D,E	G

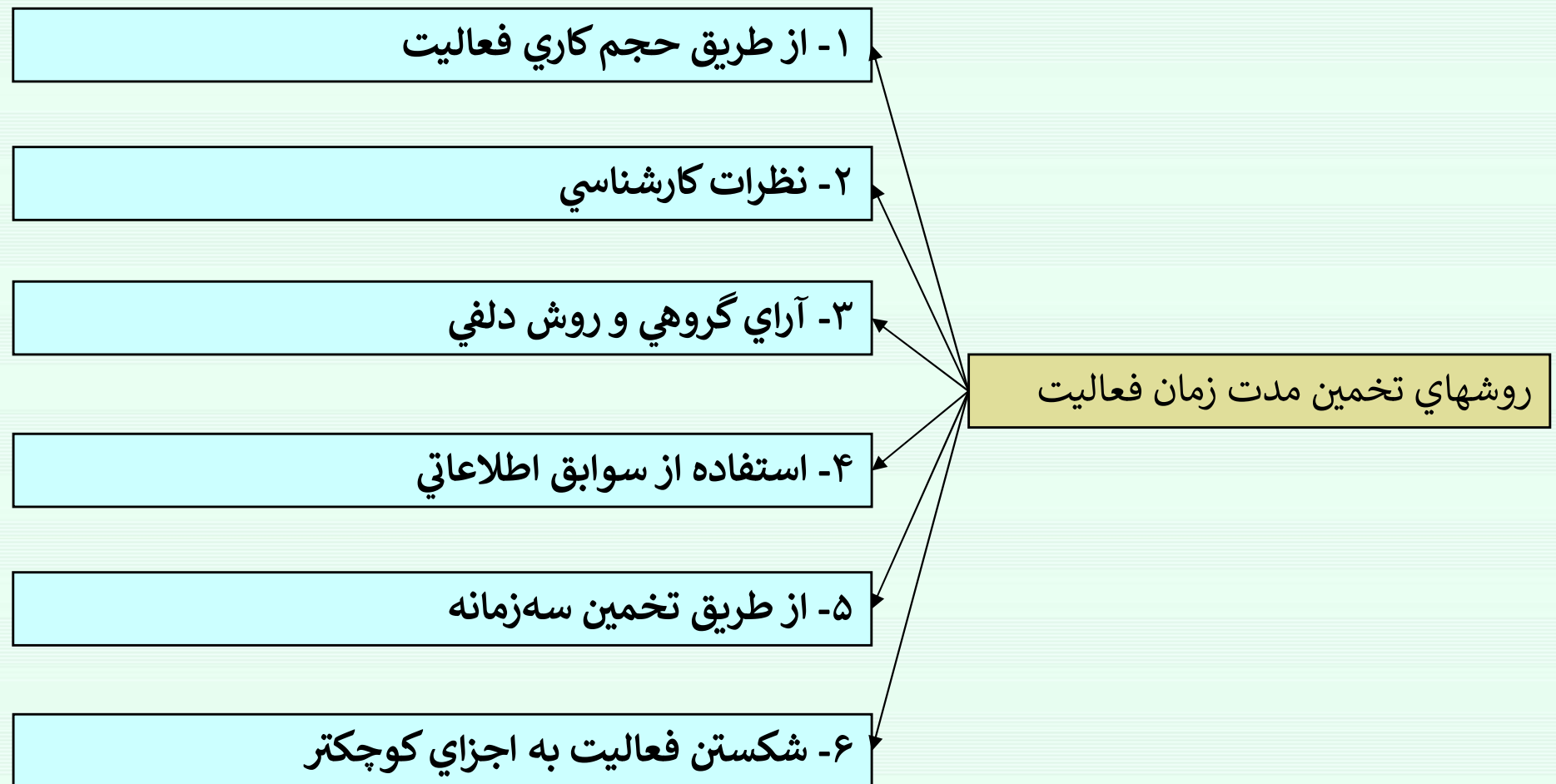


برآورد مدت زمان فعالیتها

برآورد مدت زمان فعالیت، فرآیند تخمین تعداد دوره زمانی لازم برای تکمیل آن و جهت استفاده در زمانبندی پروژه می باشد.

نکات مهم

- ۱- مدت زمان فعالیت به روش اجرا و منابع در اختیار آن وابسته است.
- ۲- واحد زمانی فعالیتها بصورت یکسان و استاندارد باشد. بطورمثال: روز
- ۳- در تخمین مدت زمان فعالیتها، روزهای کاری (Working Days) موردنظر هستند و نه ایام تقویمی. لازم است که تقویم کاری (روزهای کاری و تعطیل) هر فعالیت مشخص شود.
- ۴- مدت زمان فعالیتها بطور مستقل از یکدیگر برآورد شوند.
- ۵- در برآورد مدت زمان فعالیتها شرایط معمول درنظر گرفته می شوند و اتفاقات غیر مترقبه مانند سیل و زلزله در صورتیکه غیرقابل پیش بینی هستند لحاظ نمی گردند.

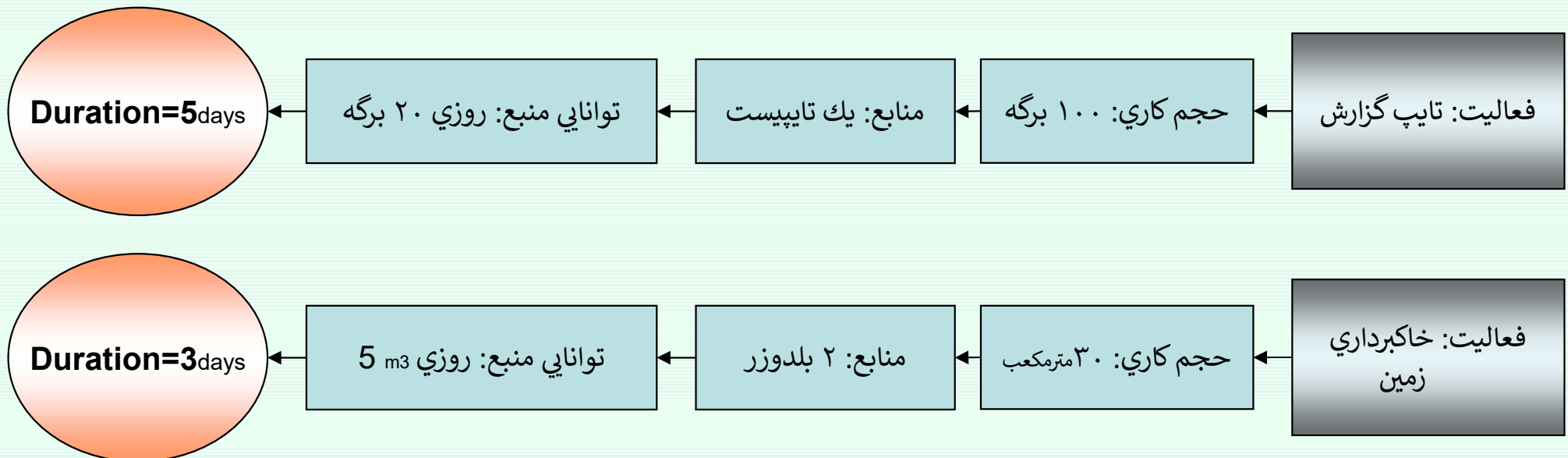


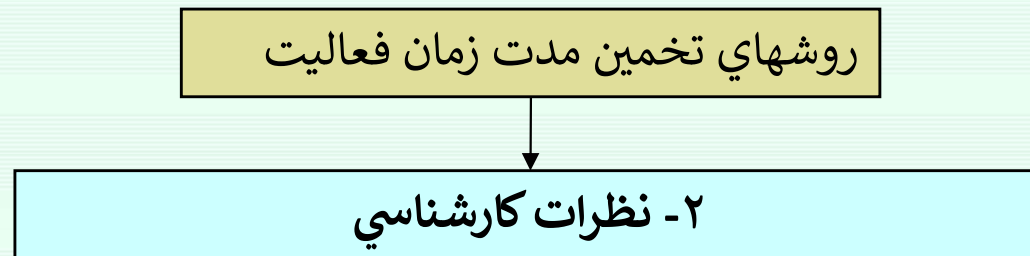
روشهاي تخمين مدت زمان فعاليت

۱- از طريق حجم کاري فعاليت

در اين روش ابتدا حجم کاري فعاليت اندازه گيري شده و براساس منابع در دسترس و توانايي کاري منابع، مدت زمان فعاليت برآورد مي شود.

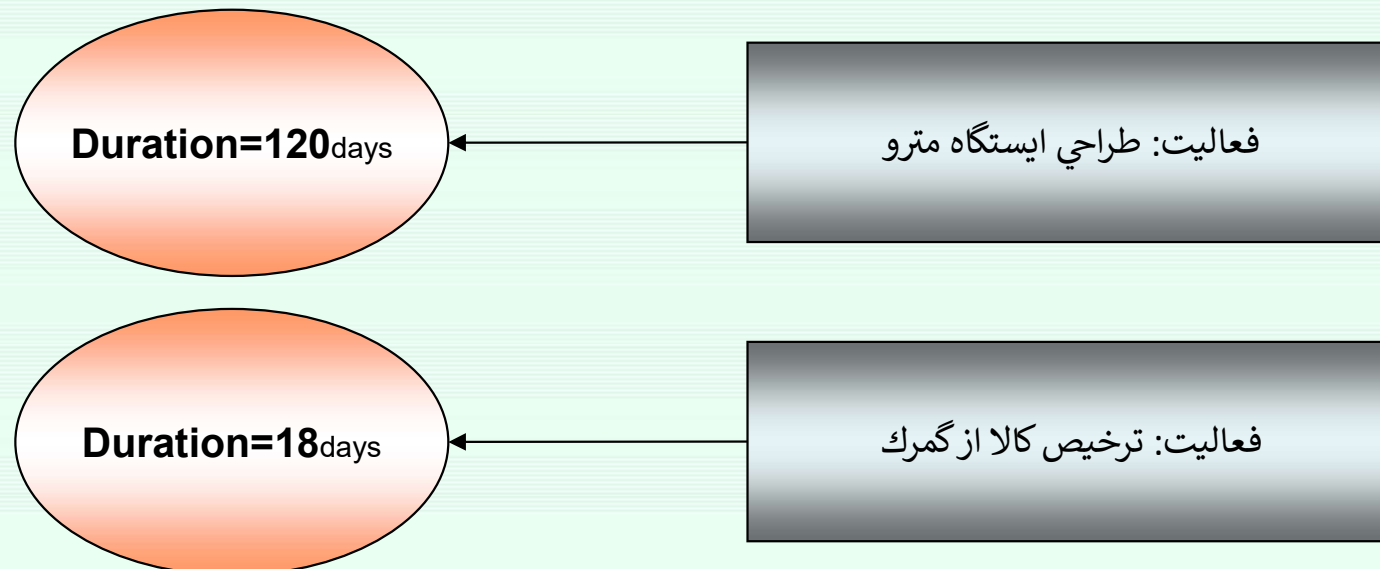
مثال:





در اين روش به يك فرد متخصص و باتجربه در زمينه آن فعاليت رجوع مي شود.

مثال:

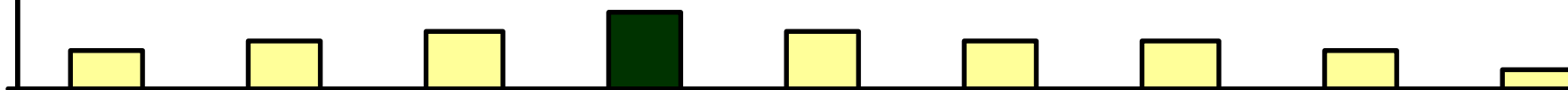


روشهای تخمین مدت زمان فعالیت



۳- آرای گروهی و روش دلفی

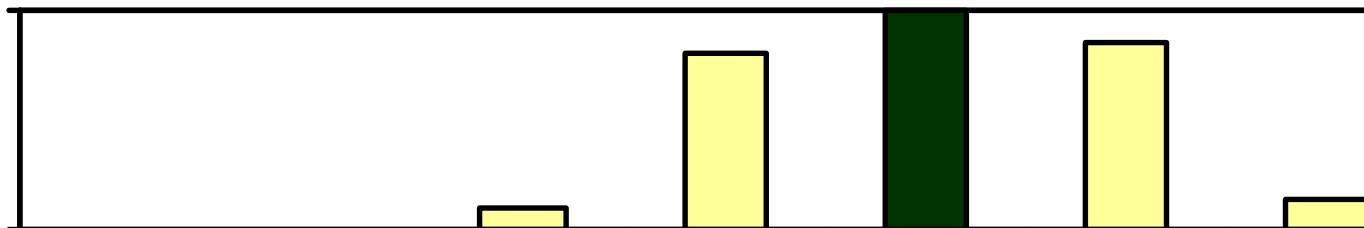
تخمین اول



تخمین دوم



تخمین سوم



روشهاي تخمين مدت زمان فعاليت

۴- استفاده از سوابق اطلاعاتي

در صورتي كه تاريخچه پروژههاي قبلي مستند و تاريخ شروع و پايان فعاليتهاي همانند ثبت شده باشد، مي توان از سوابق آنها در تخمين مدت فعاليت استفاده نمود.

سوابق تاريخي گشايش اعتبار

ردیف	تاريخ شروع	تاريخ اتمام	مدت (روز)
۱	۰۱/۰۹/۸۱	۱۰/۱۰/۸۱	۴۰
۲	۱۰/۰۲/۸۲	۰۱/۰۴/۸۲	۵۲
۳	۰۵/۰۴/۸۲	۲۳/۰۵/۸۲	۴۸

برآورد مدت زمان فعاليت = ۴۶ روز

روشهای تخمین مدت زمان فعالیت

۴- از طریق تخمین سه زمانه

برای هر فعالیت، سه برآورد مدت زمان (خوش بینانه، محتمل و بدبینانه) ارائه شده و براساس آنها مدت زمان فعالیت پیش بینی می شود.

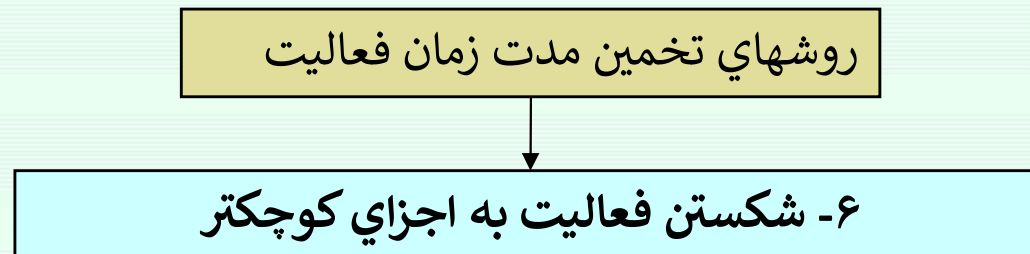
O: Optimistic خوش بینانه

P: Pessimistic بدبینانه

M: Most likely محتمل



$$\text{Duration} = (O + 4M + P) / 6$$

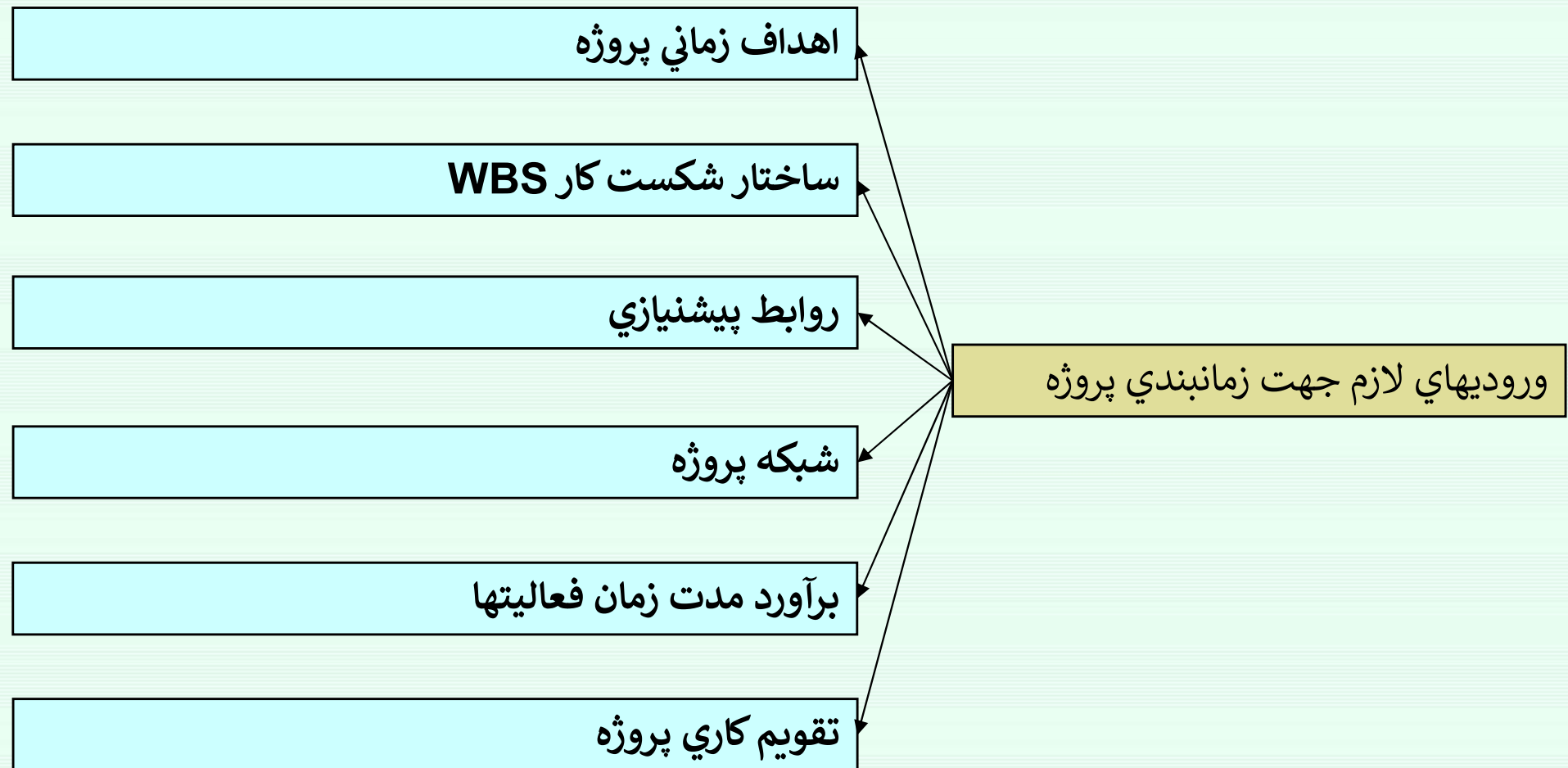


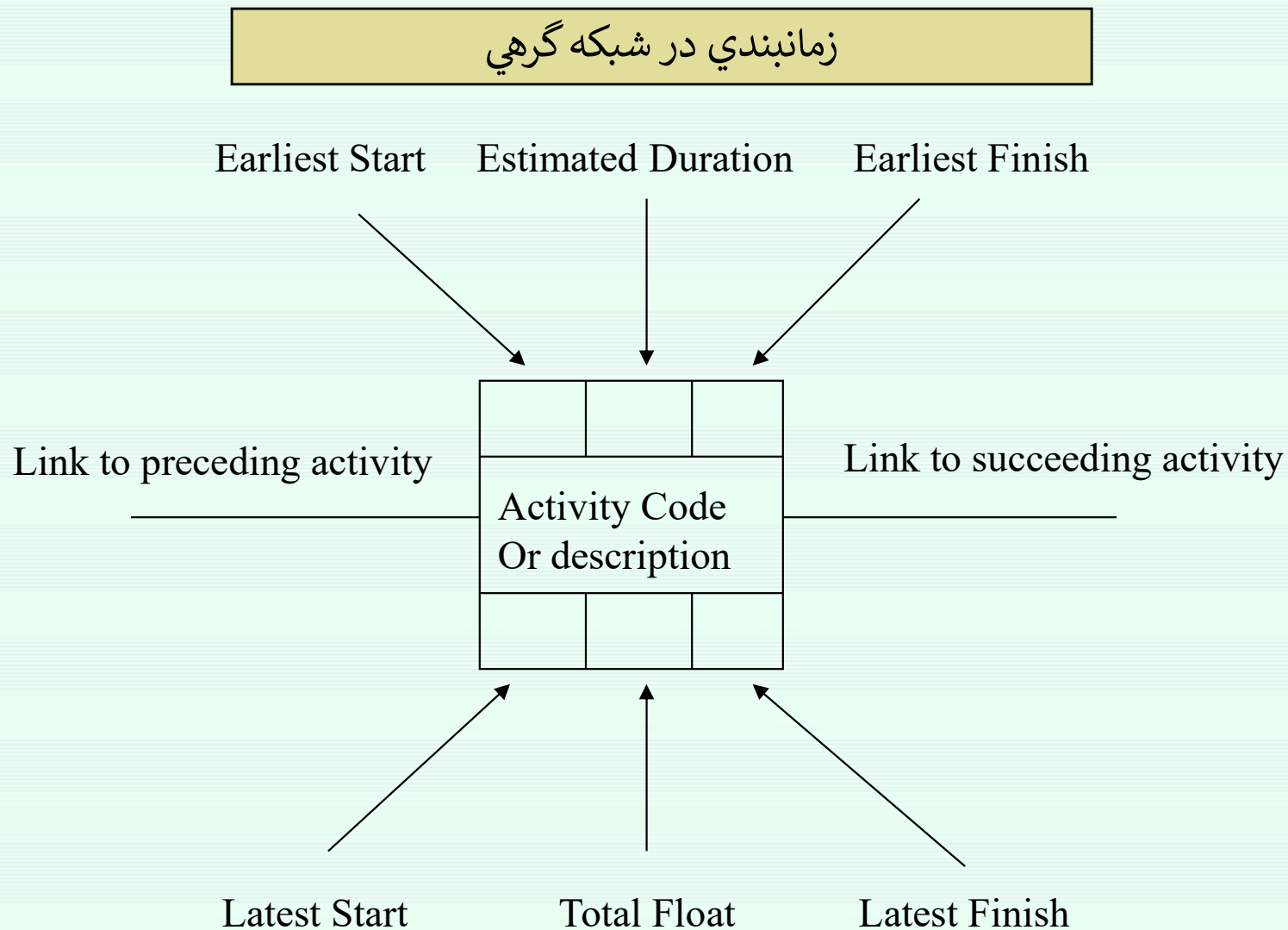
می توان فعالیت را به اجزای کوچکتر تقسیم نمود و سپس با یکی از روشهای ذکر شده مدت هر یک را تخمین و با سرجمع کردن آنها مدت زمان فعالیت اصلی را برآورد نمود.

بیشترین کاربرد این روش در مواقعی است که **WBS** در سطوح بالا متوقف شده و بصورت کلان به برنامه ریزی نگاه می شود.

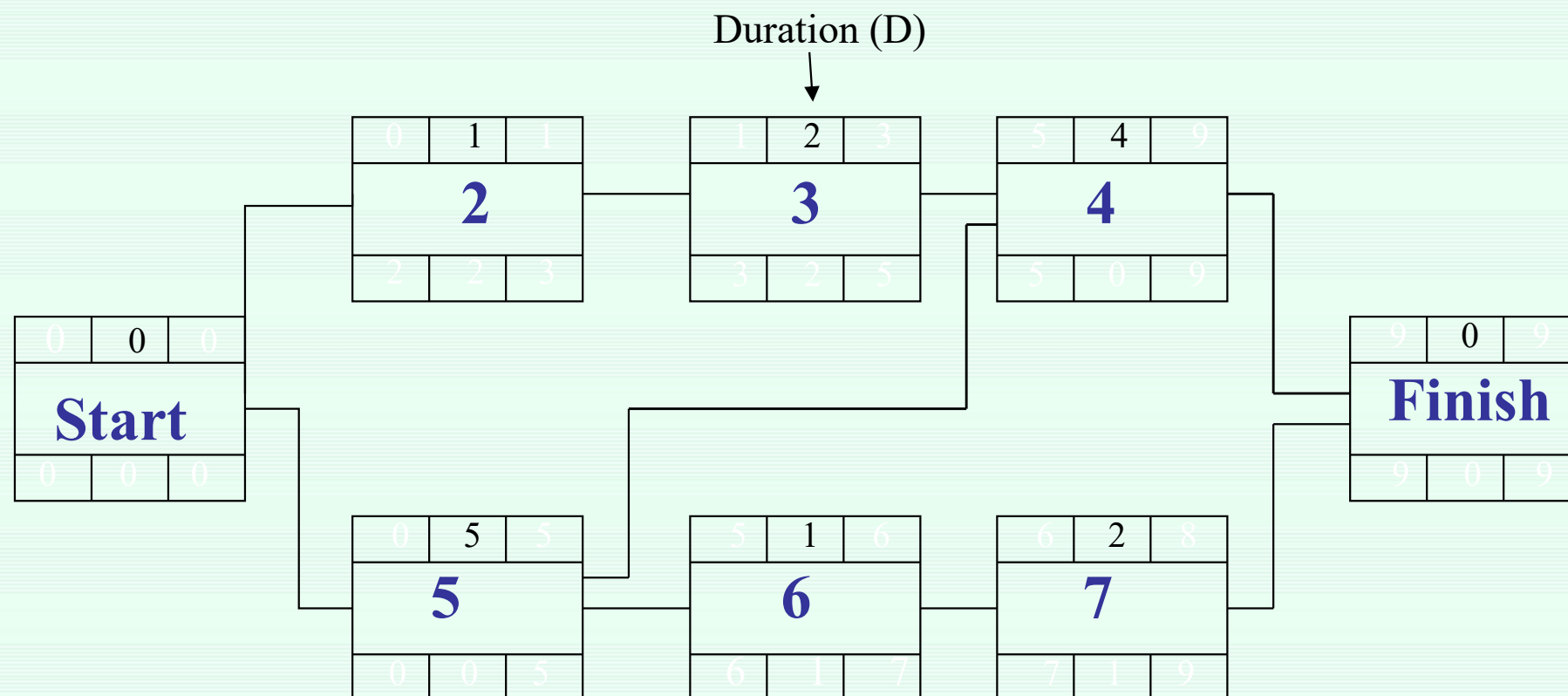
زمانبندی پروژه

تهیه زمانبندی پروژه، فرآیند تعیین زمانهای شروع و پایان فعالیتهای پروژه است.

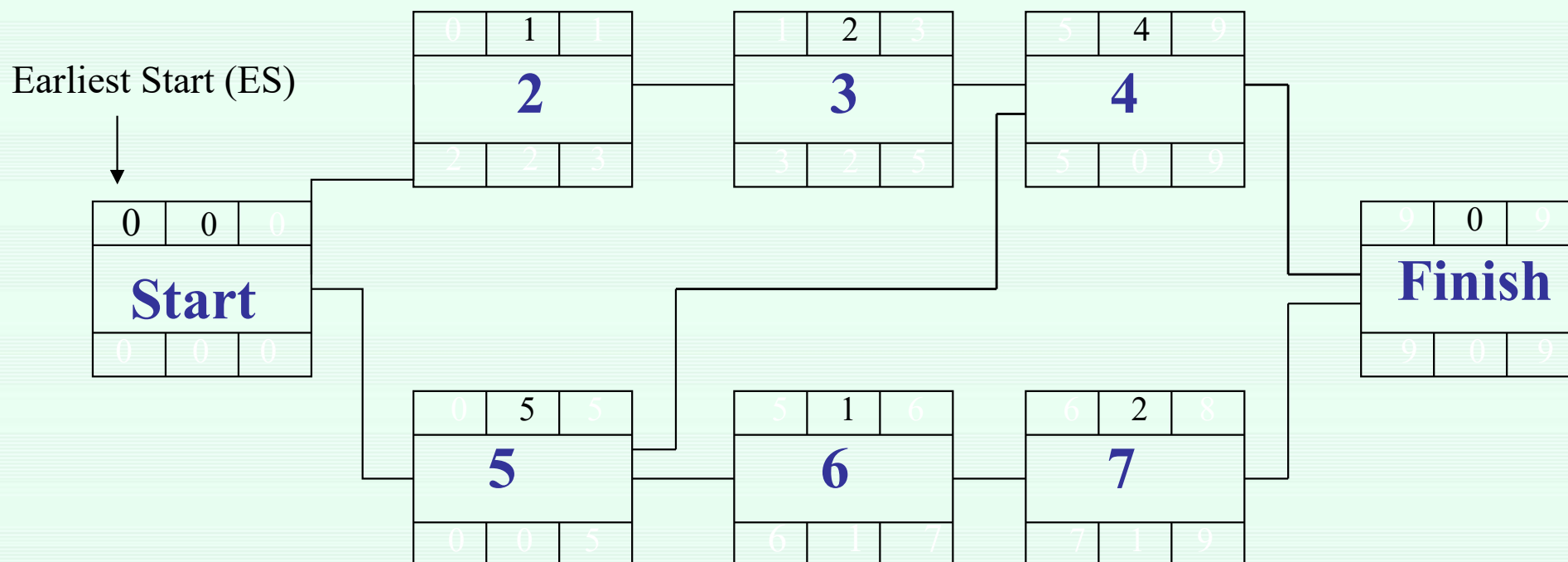




زمانبندی در شبکه گرهی



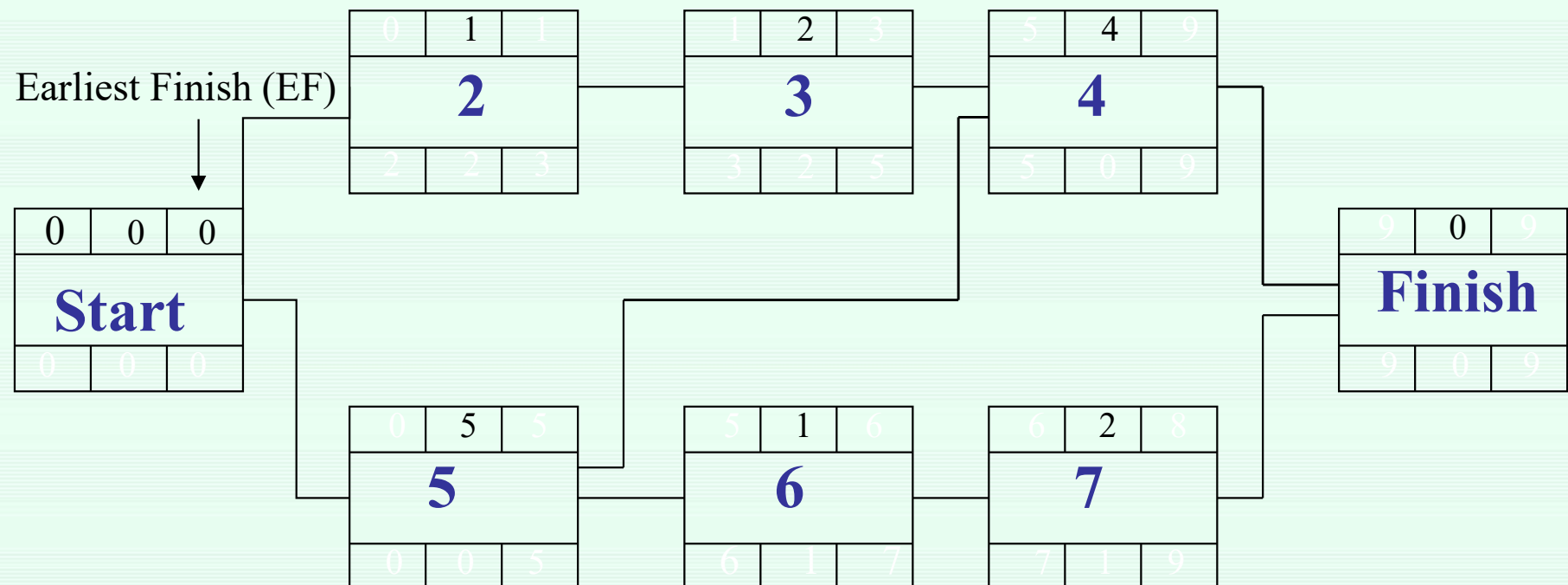
زمانبندی در شبکه گرهی



ES= 0

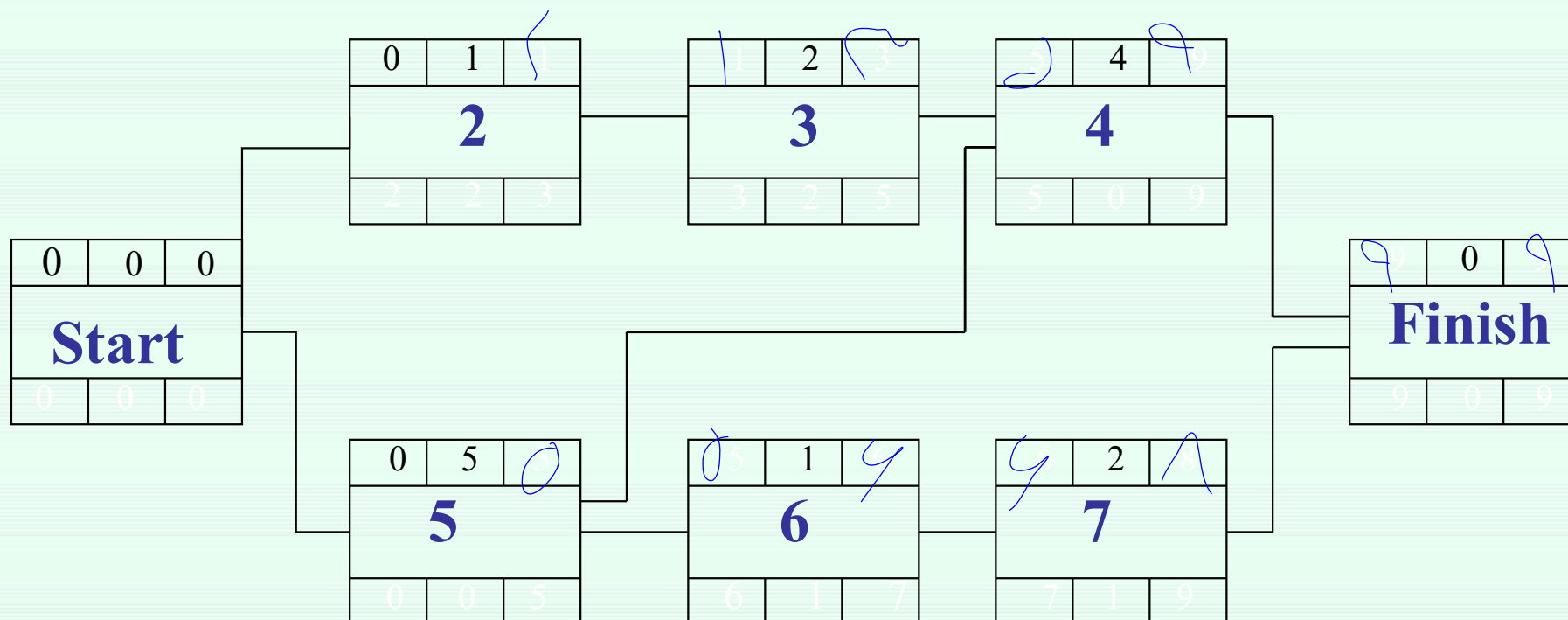
برای فعالیت شروعی داریم :

زمانبندی در شبکه گرهی



$$EF = ES + D$$

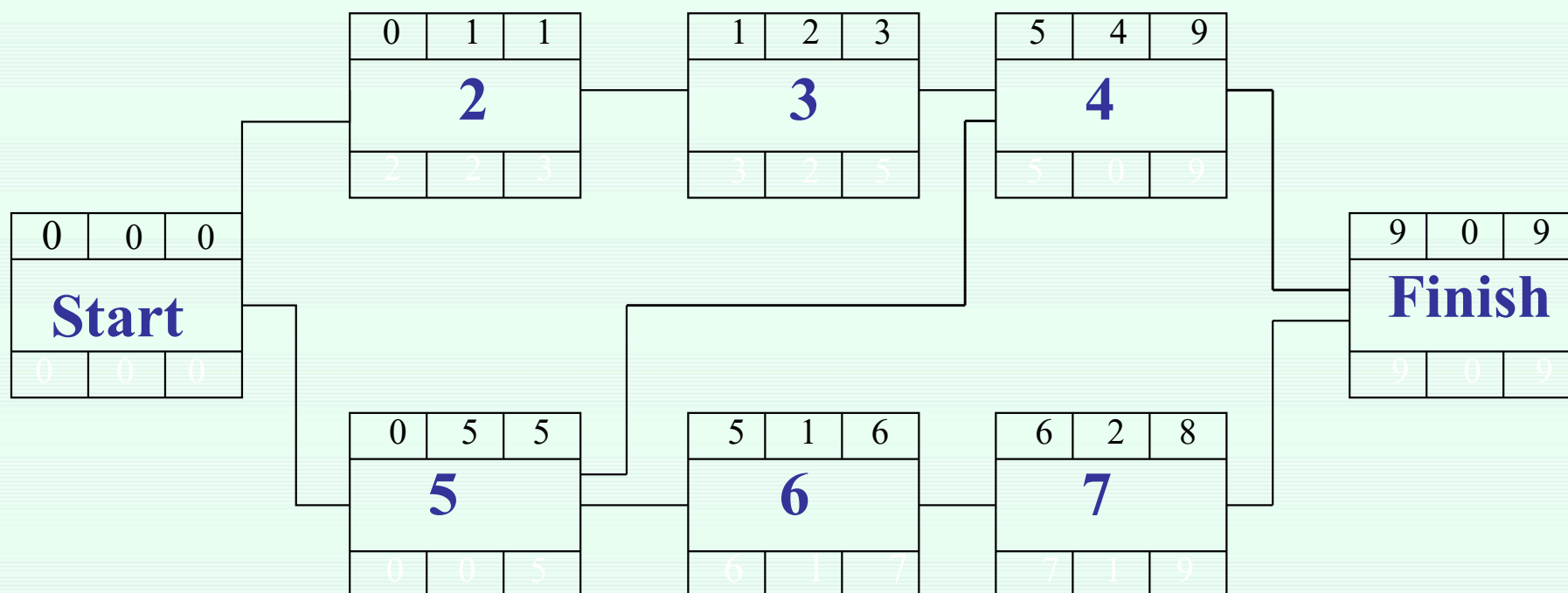
زمانبندی در شبکه گرهی



$$ES = \max\{EF\} \text{ for all Predecessor}$$

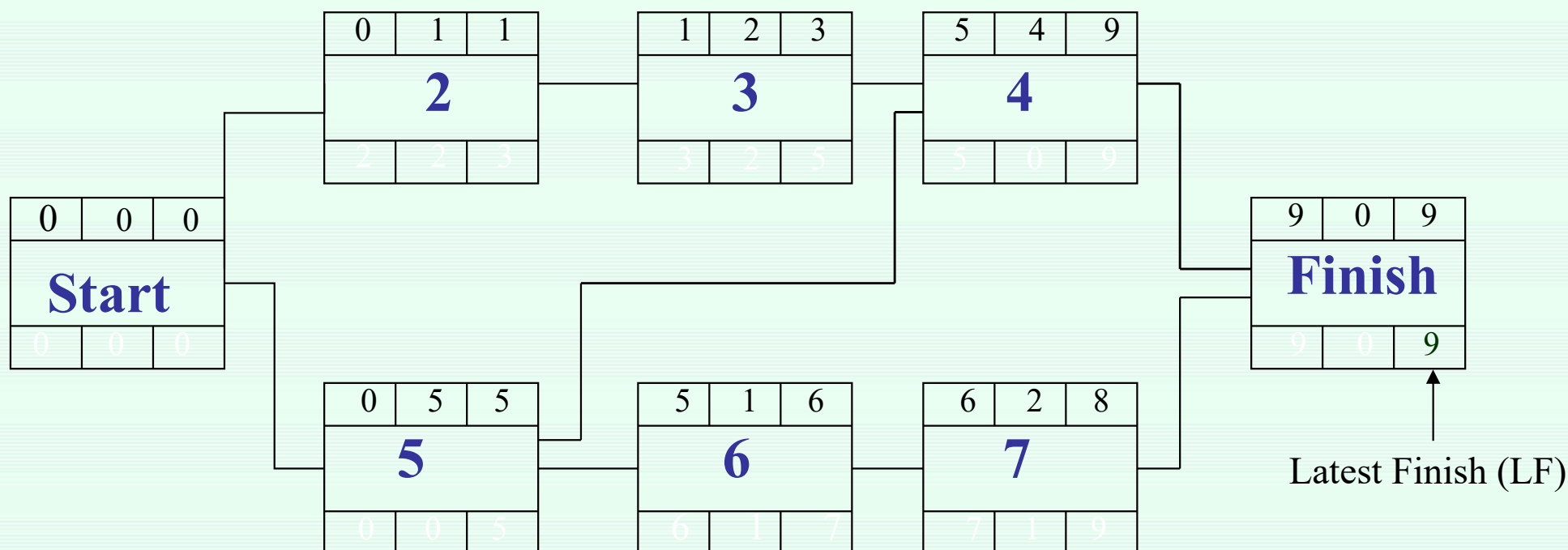
برای فعالیت‌های غیر شروعی داریم:

زمانبندی در شبکه گرهی



زودترین زمان اتمام پروژه = $EF_{(Finish)}$

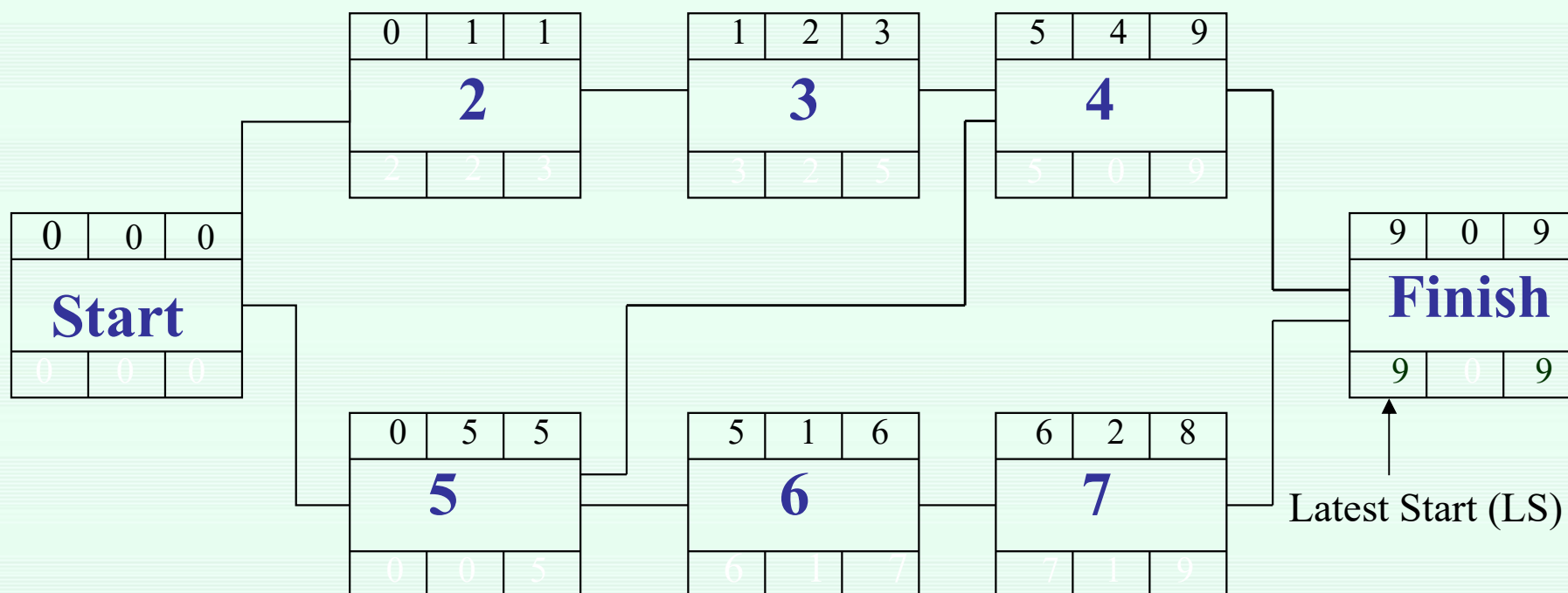
زمانبندی در شبکه گرهی



$$LF = EF_{\text{(Finish)}}$$

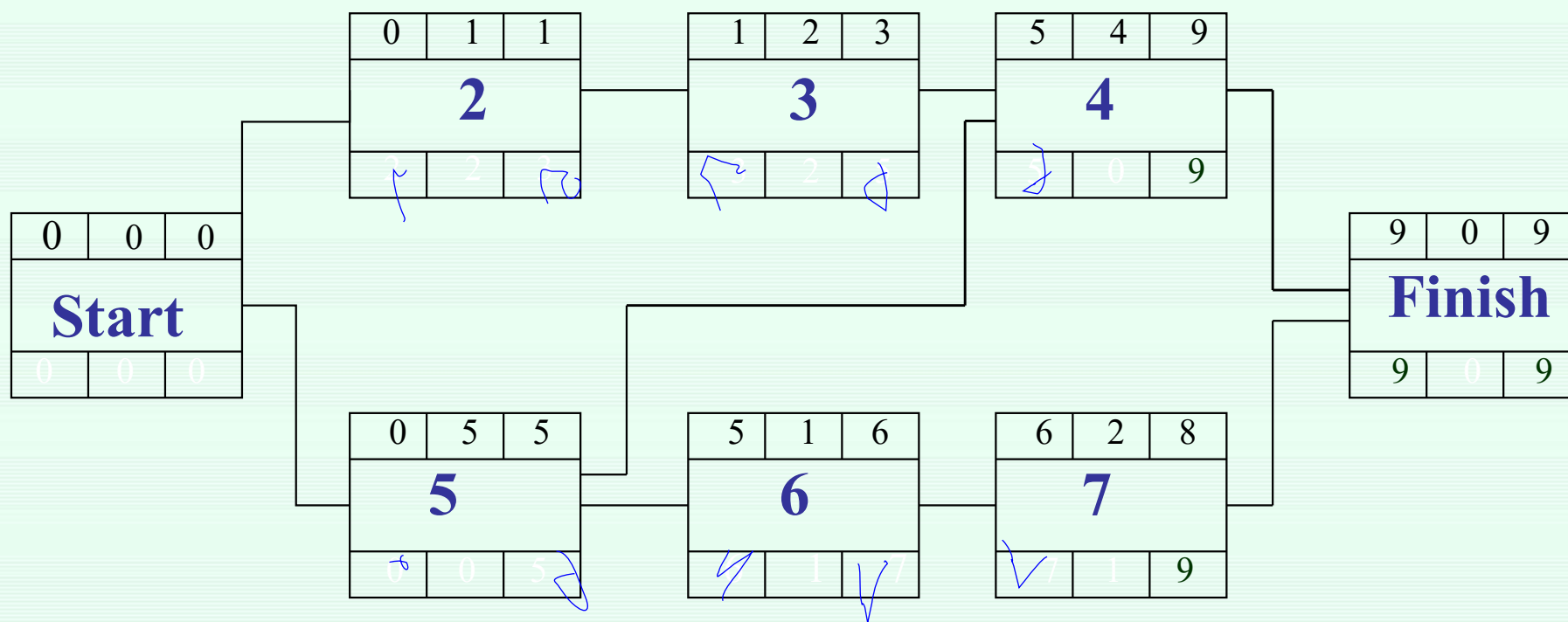
برای فعالیت پایانی داریم :

زمانبندی در شبکه گرهی



$$LS = LF - D$$

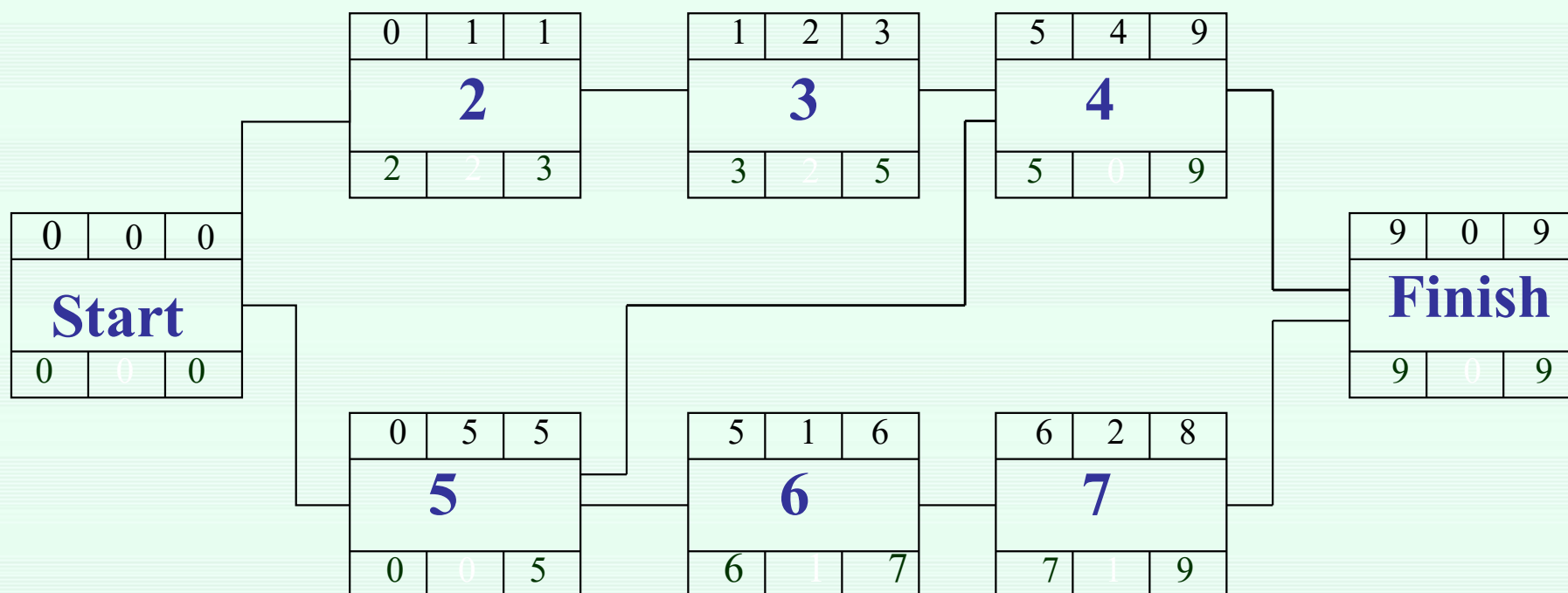
زمانبندی در شبکه گرهی



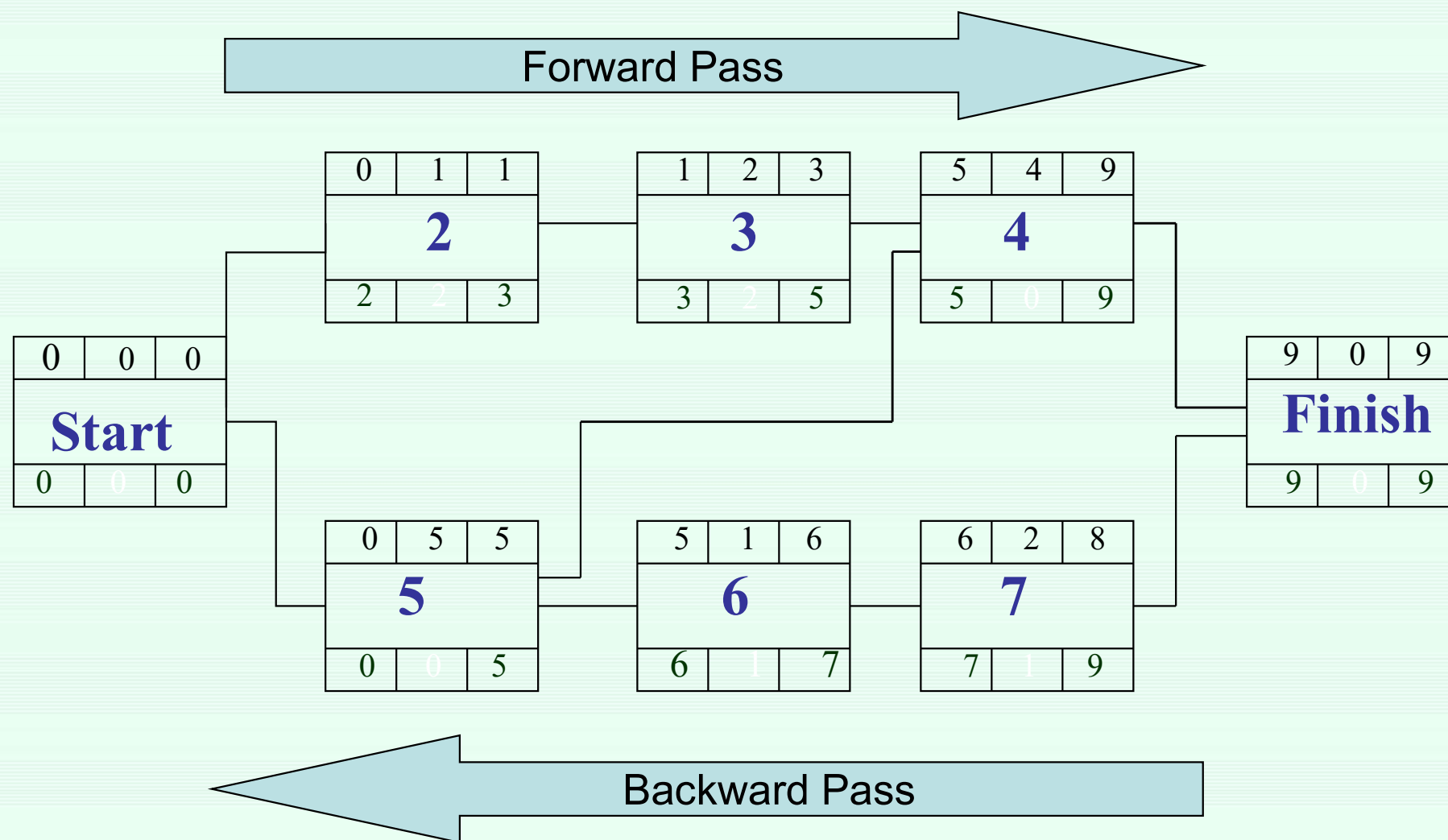
$$LF = \min\{LS\} \text{ for all Successor}$$

برای فعالیت‌های غیر پایانی داریم:

زمانبندی در شبکه گرهی



زمانبندی در شبکه گرهی



زمانبندی در شبکه گرهی

کد فعالیت	زودترین زمان شروع	زودترین زمان پایان	دیرترین زمان شروع	دیرترین زمان پایان
Start	0	0	0	0
2	0	1	2	3
3	1	3	3	5
4	5	9	5	9
5	0	5	0	5
6	5	6	6	7
7	6	8	7	9
Finish	9	9	9	9

زودترین زمان شروع فعالیت i	=	ESi	(Earliest Start)
زودترین زمان پایان فعالیت i	=	EFi	(Earliest Finish)
مدت زمان فعالیت i	=	Di	(Duration)

قواعد محاسبات رفت:

- A) $ES(\text{start}) = 0$
- B) $ESi = \text{Max}\{EFj\}$ $j = \{\text{مجموعه فعالیت‌های پیش نیاز فعالیت i}\}$
- C) $EFi = ESi + Di$

حداقل زمانی است که پروژه انجام می شود. EF(finish)

دیرترین زمان شروع فعالیت i	=	LSi	(Latest Start)
دیرترین زمان پایان فعالیت i	=	LFi	(Latest Finish)
مدت زمان فعالیت i	=	Di	(Duration)

قواعد محاسبات برگشت:

- A) $LF(\text{finish}) = EF(\text{finish})$
- B) $LFi = \min\{LS_k\} \quad k=\{\text{مجموعه فعالیت‌های پس نیاز i}\}$
- C) $LSi = LFi - Di$

(LFFinish) می تواند عددی غیر از EF(Finish) باشد (طبیعتاً" باید عددی بزرگتر از EF(Finish) باشد) در این صورت ما برای اتمام پروژه مهلتی پیش از حداقل زمان پروژه تعیین کرده.

شناوري کل فعالیت (Total Float (Total slaok):

شناوري کل يك فعالیت مدت زمانی است که يك فعالیت می تواند نسبت به زودترین زمان شروع، دیرتر شروع شود بدون آنکه زمانبندی کل پروژه به تأخیر بیافند.

$$TF = LSi - ESi$$

OR

$$TF = LFi - EFi$$

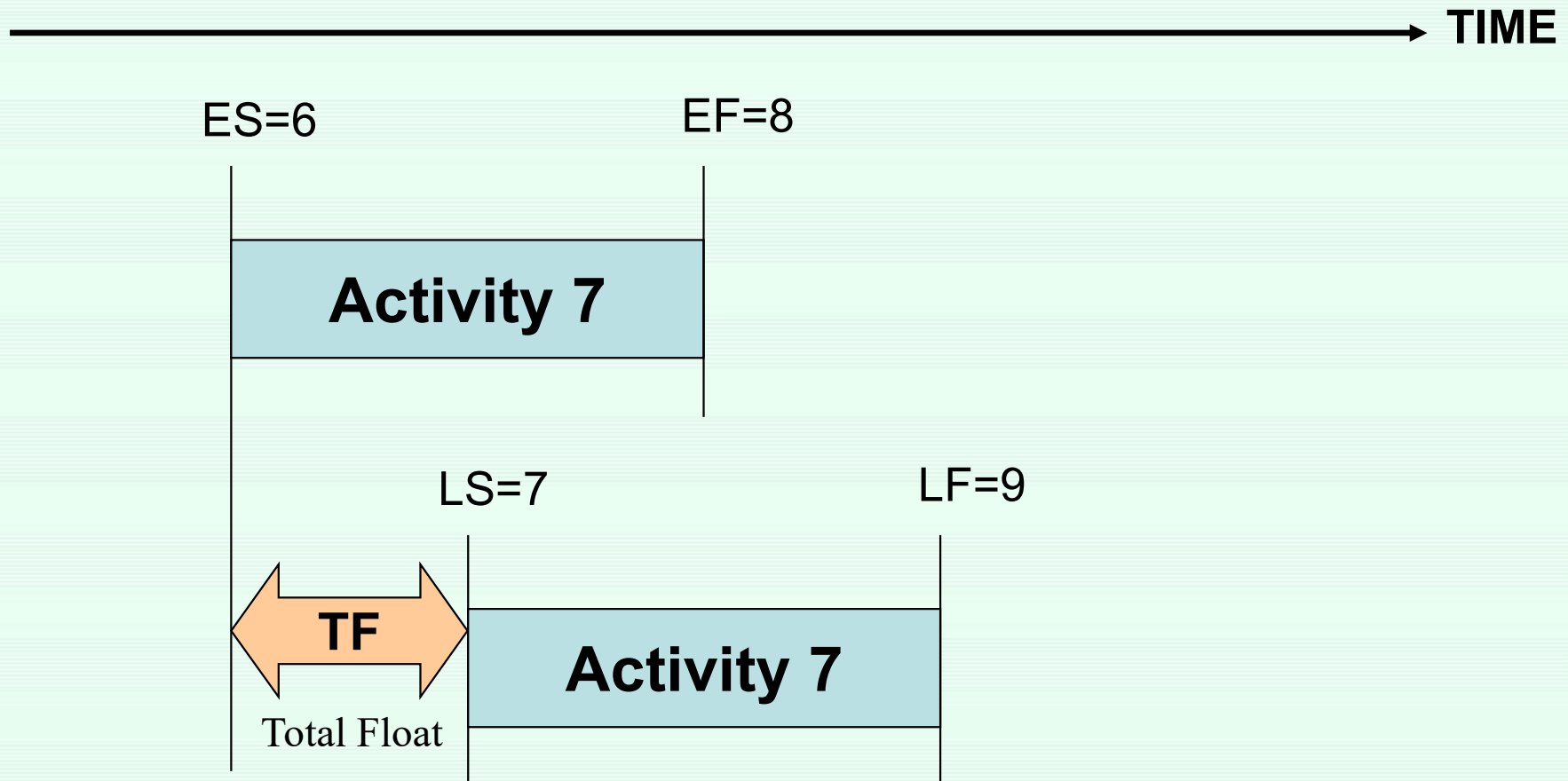
شناوري آزاد (Free Float)(FF):

مدت زمانی است که يك فعالیت می تواند نسبت به زودترین زمانبندی اش دیرتر تمام شود. بدون آنکه بر زمانبندی فعالیت های بعدی تأثیر بگذارد.

$$FF = \text{Min}\{ESj\} - EFi$$

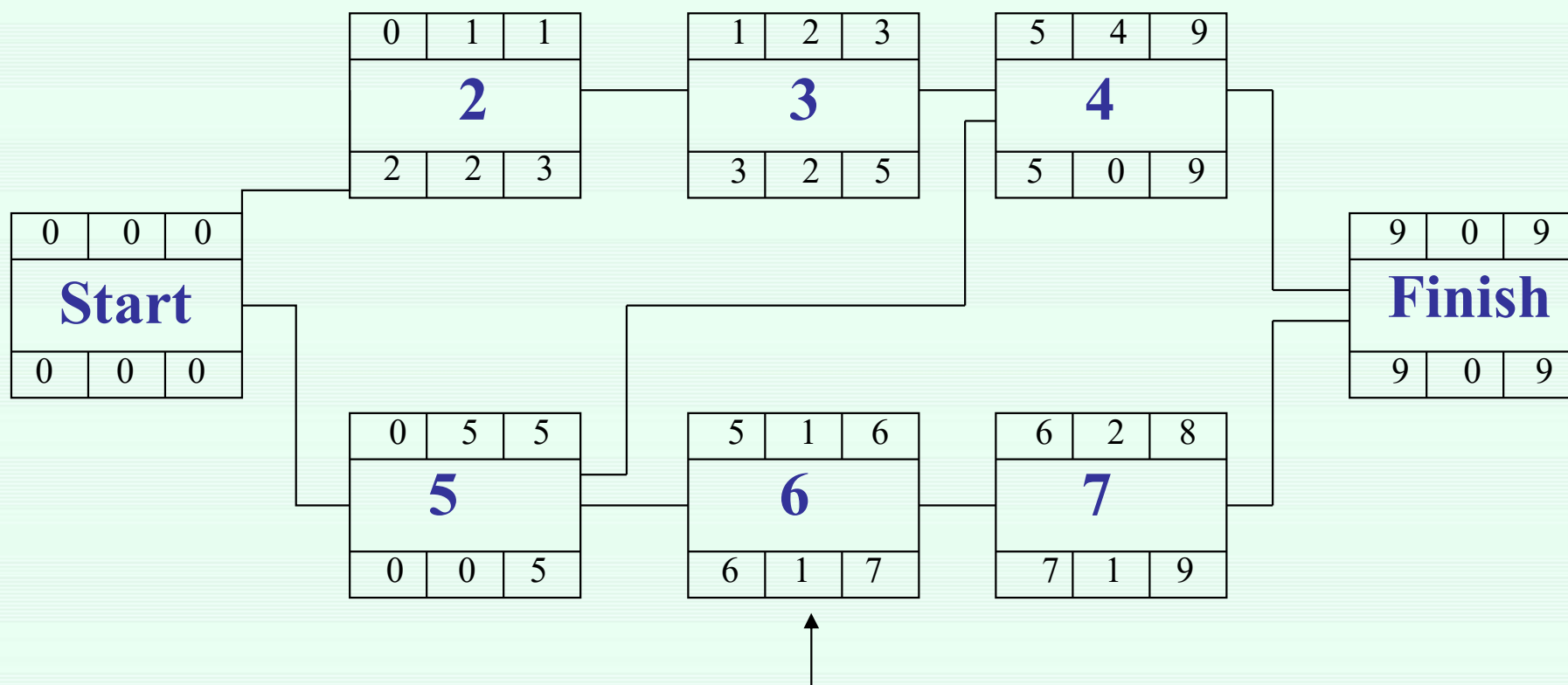
$j = \{ \text{مجموعه فعالیت های پس نیاز } i \}$

شناوری کل در شبکه گرهی

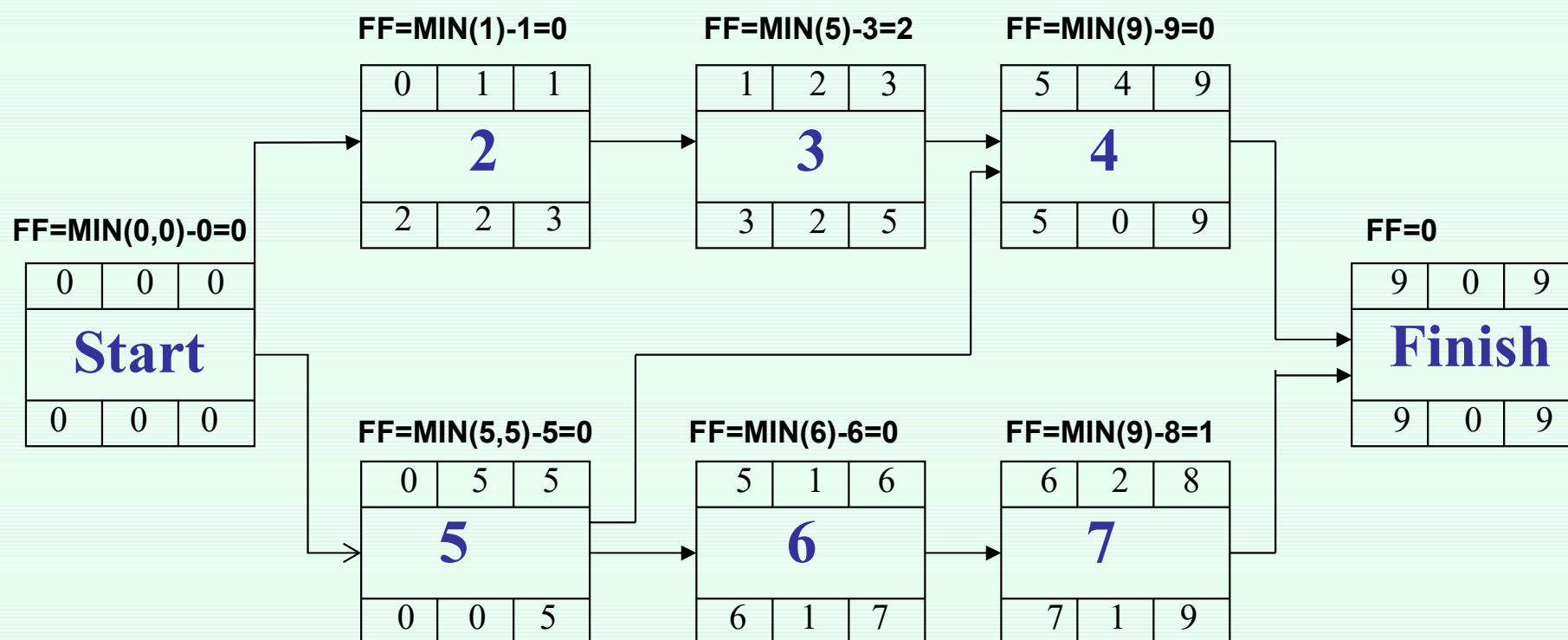


$$TF=LS-ES \quad \text{or} \quad TF=LF-EF$$

شناوری کل در شبکه گرهی



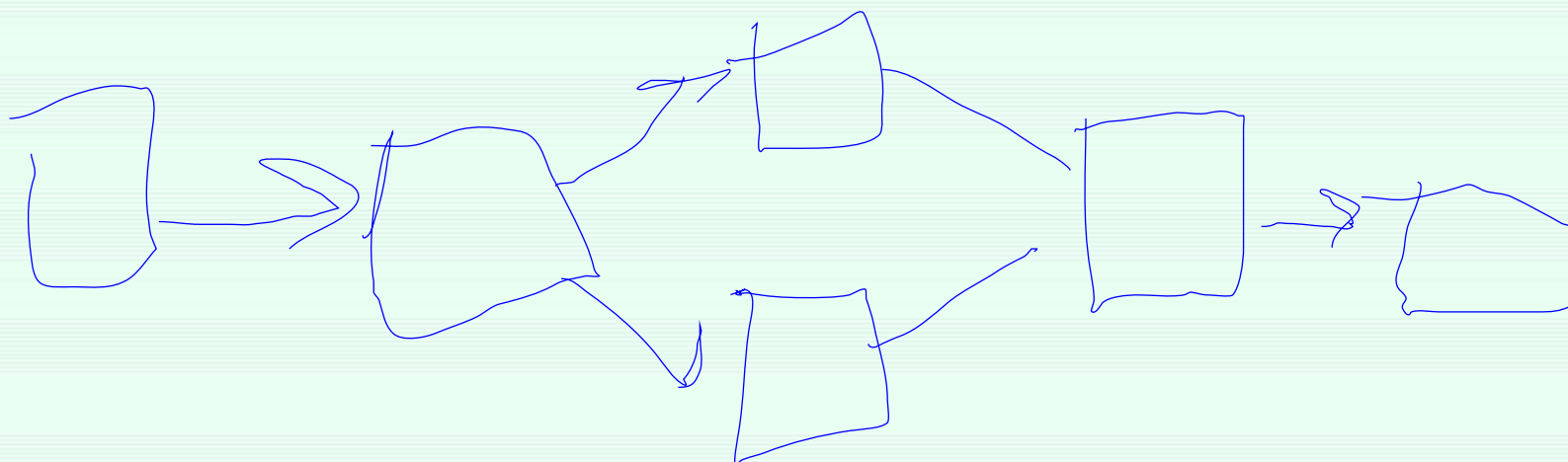
شناوری آزاد در شبکه گرهی

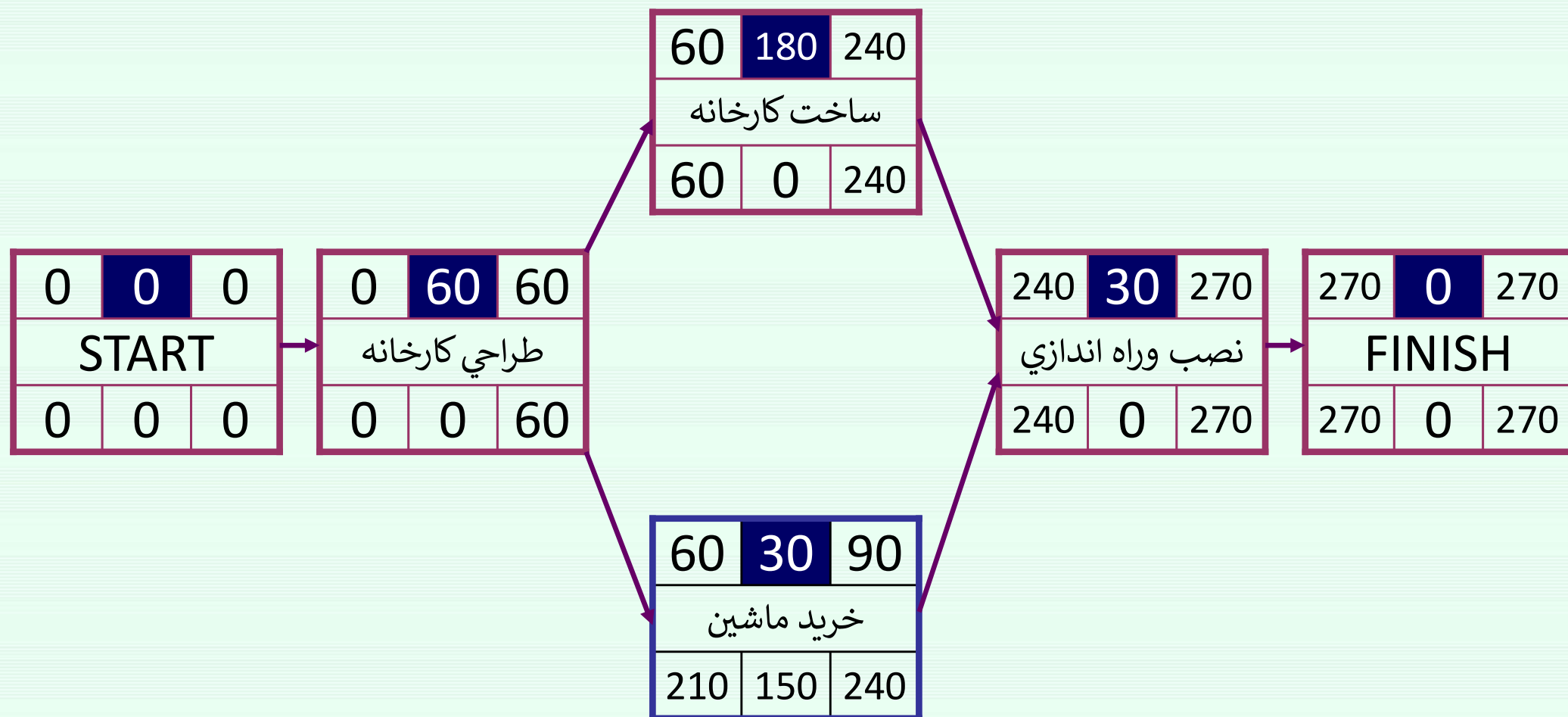


مثال : طراحي وايجاد يك كارخانه را در نظر بگيريد

مقرر شده است که کارخانه‌ای جهت تولید قطعات خودرو ایجاد شود. مطابق بررسی‌ها انجام شده ابتدا لازم است که طراحی کارخانه (که ۶۰ روز زمان می‌برد) انجام شود. پس از اتمام طراحی، دو فعالیت می‌توانند شروع شوند فعالیت ساخت کارخانه (طی ۱۸۰ روز) و فعالیت خرید ماشین‌آلات (طی ۳۰ روز). پس از اتمام فعالیت‌های ساخت کارخانه و همچنین خرید ماشین‌آلات، نصب و راه اندازی ماشین‌آلات در کارخانه طی ۳۰ روز انجام می‌شود.

زمانبندی و همچنین شناوری کل و شناوری آزاد فعالیت‌ها را بدست آورید.





چند تعریف

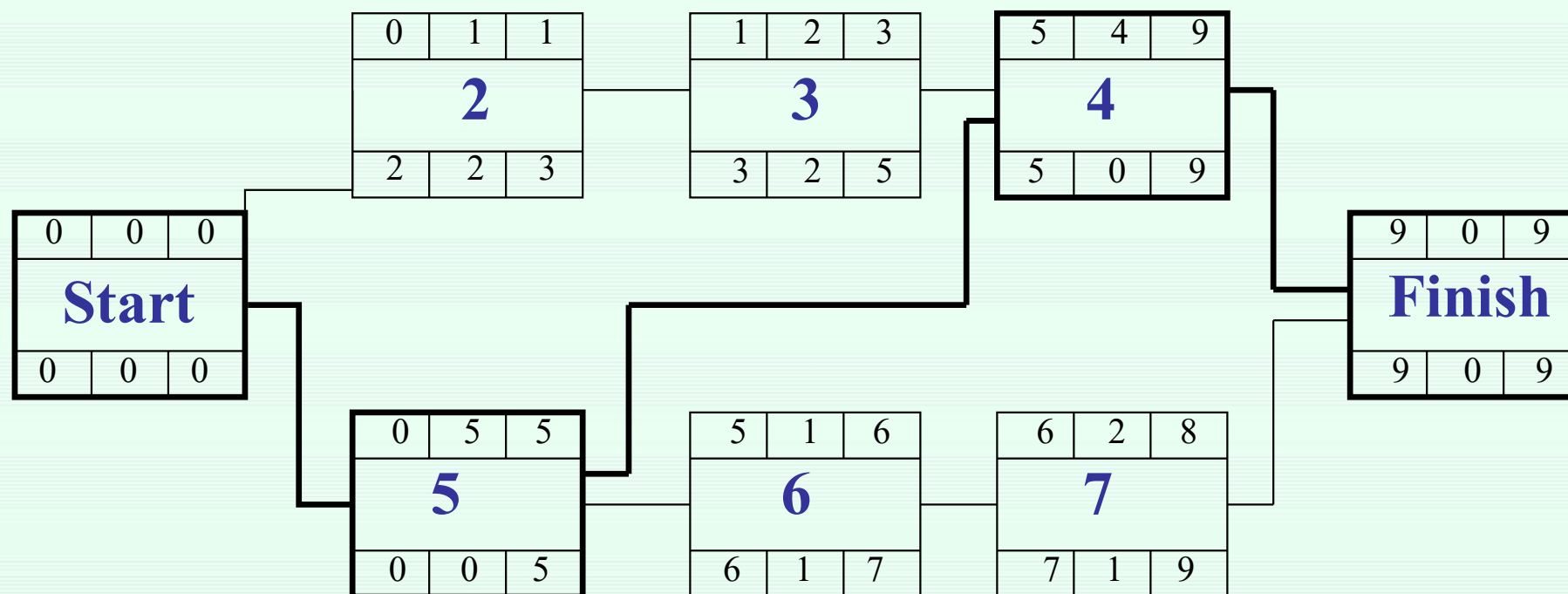
- **مسیر Path:** دنباله‌ای از فعالیتها که از گره شروعی آغاز و به گره پایانی منتهی شوند.

- **مسیر بحرانی Critical Path:** طولانی ترین مسیر شبکه (در غالب موارد مسیری که فعالیتها با شناوری کل صفر را شامل می شود).

- ممکن است در یک شبکه چند مسیر بحرانی داشته باشیم.

- در صورتیکه در حرکت بازگشتی از زمانی بیش از زودترین زمان اتمام پروژه استفاده کنیم فعالیتهایی که دارای شناور کل برابر اختلاف دو عدد فوق هستند تشکیل دهنده مسیر بحرانی خواهند بود.

زمانبندی در شبکه گرهی

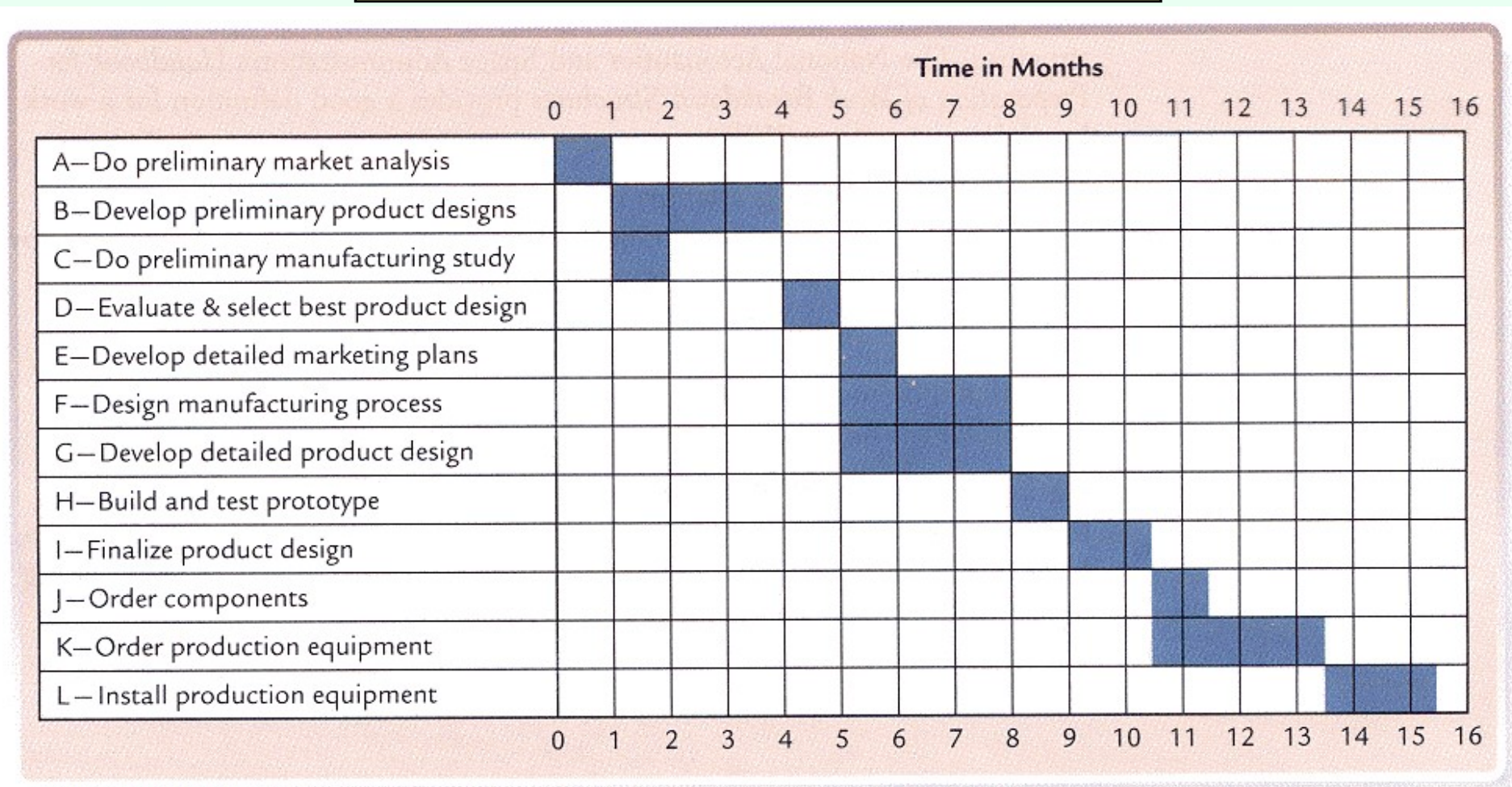


روش زمانبندی که در اسلایدهای قبل اشاره شد به روش مسیر بحرانی مشهور است.

CPM

(Critical Path Method)

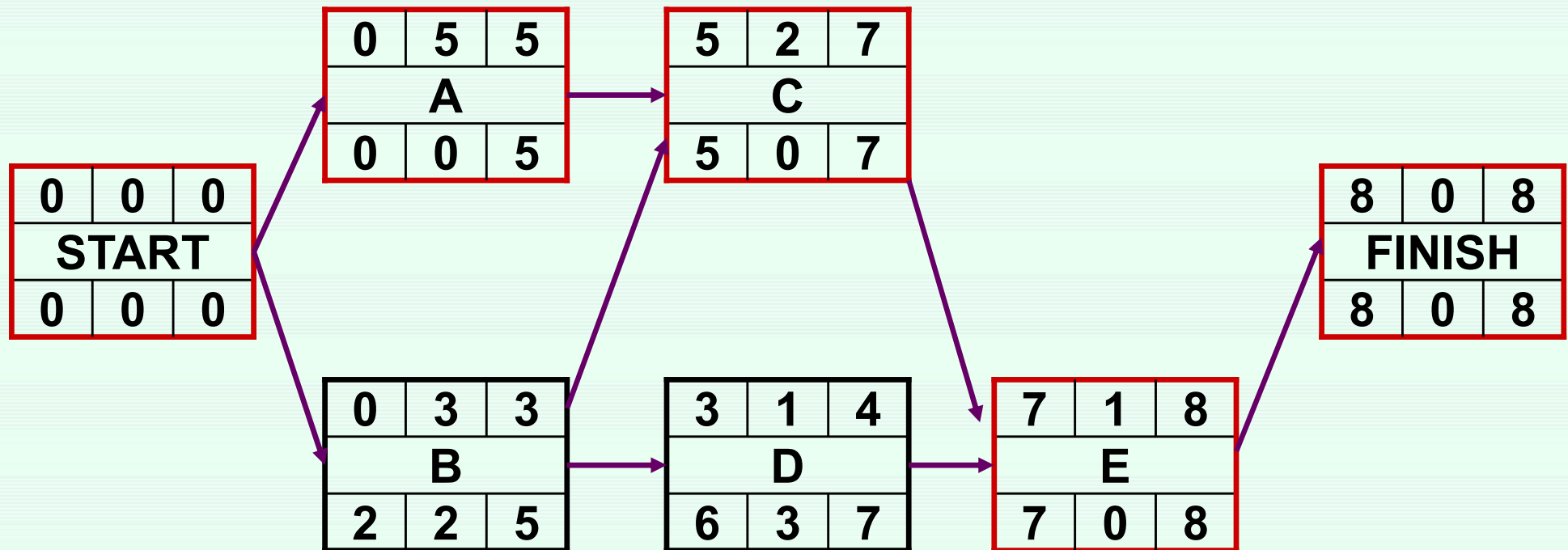
GANTT CHART نمودار گانت



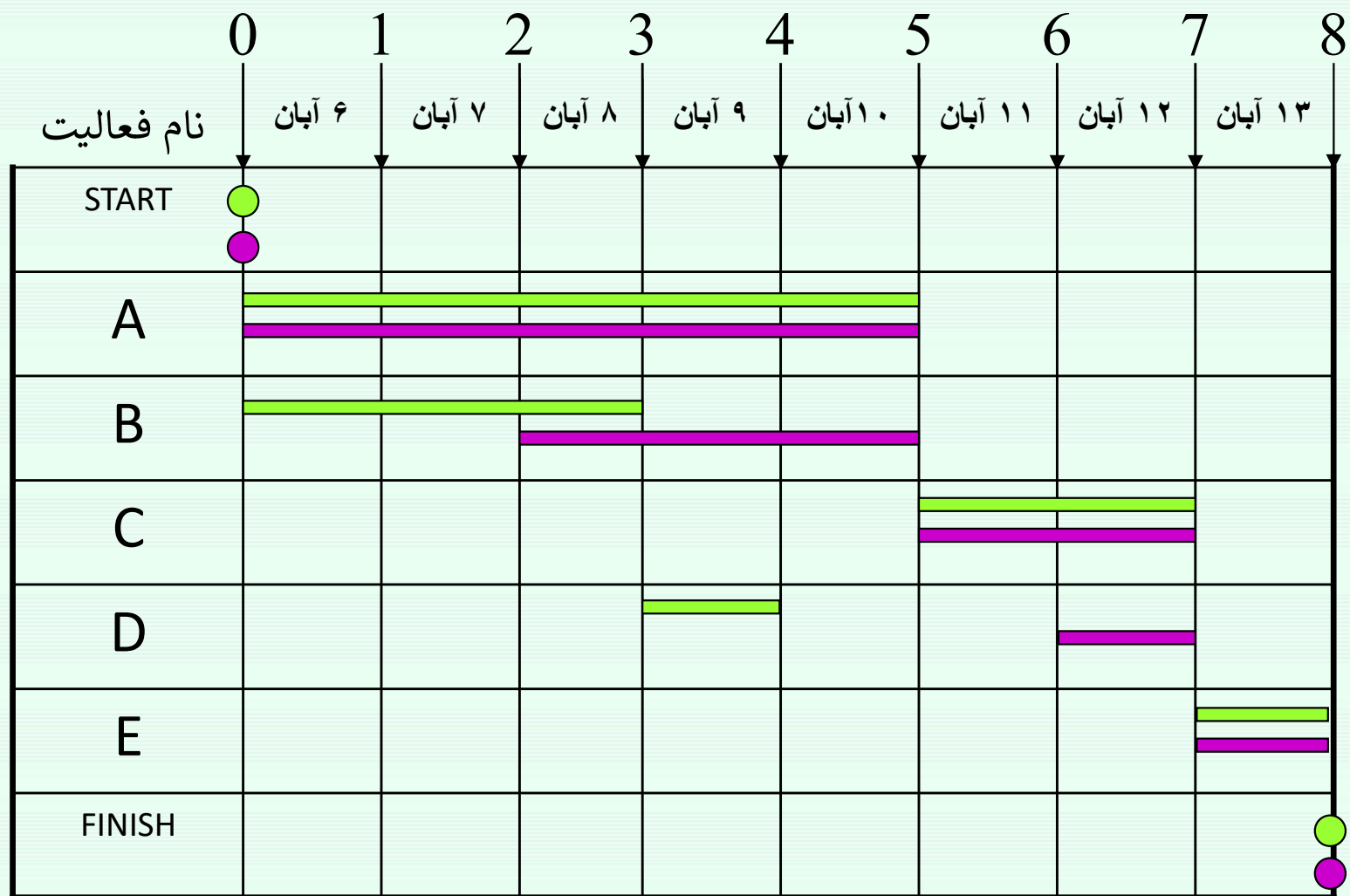
نمودار میله ای زمانبندی پروژه- گانت چارت GANTT CHART

مثال

پروژه با شبکه ی زیر را در نظر بگیرید



GANTT CHART نمودار گانت



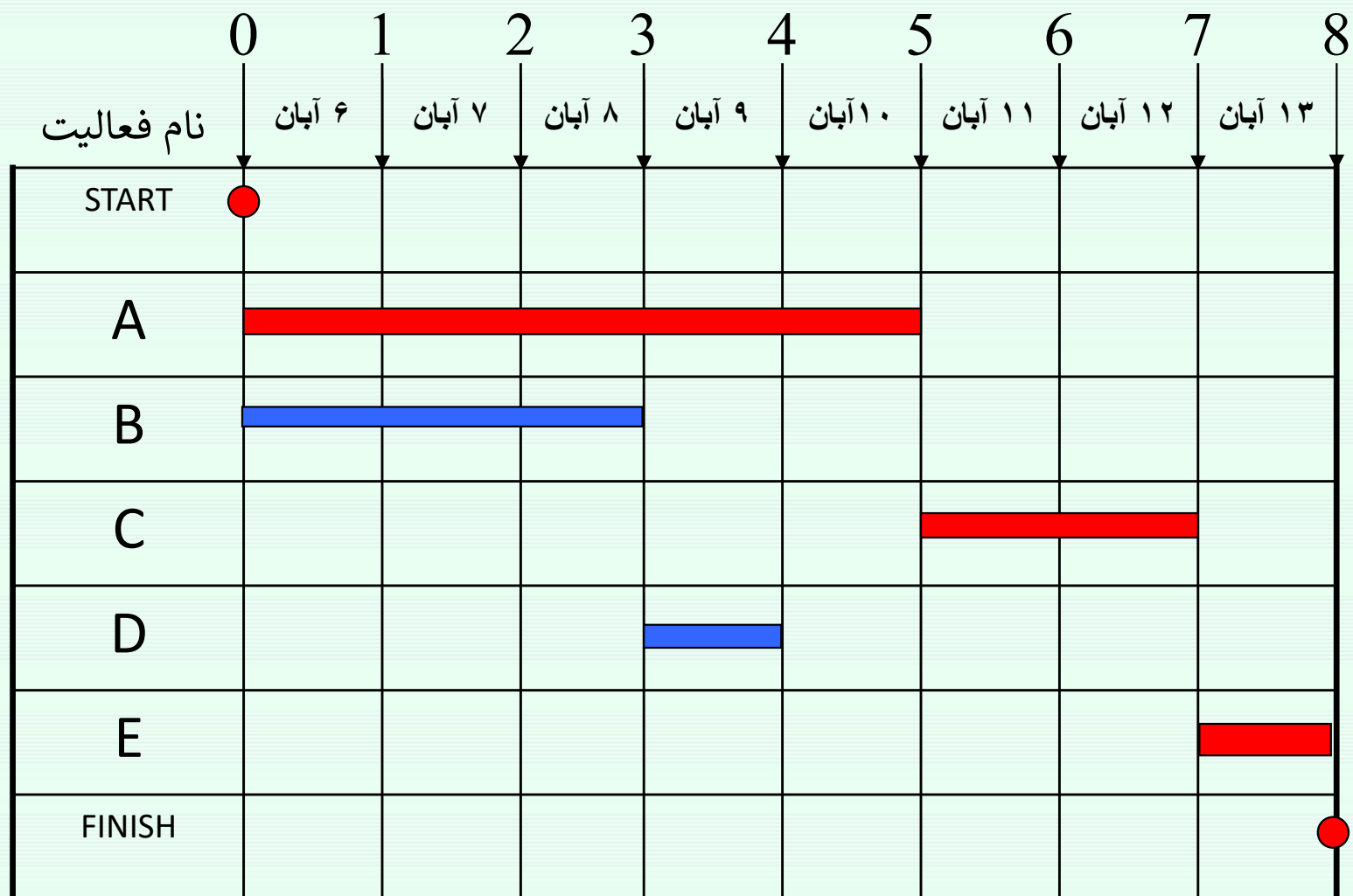
دیرترین زمان



زودترین زمان



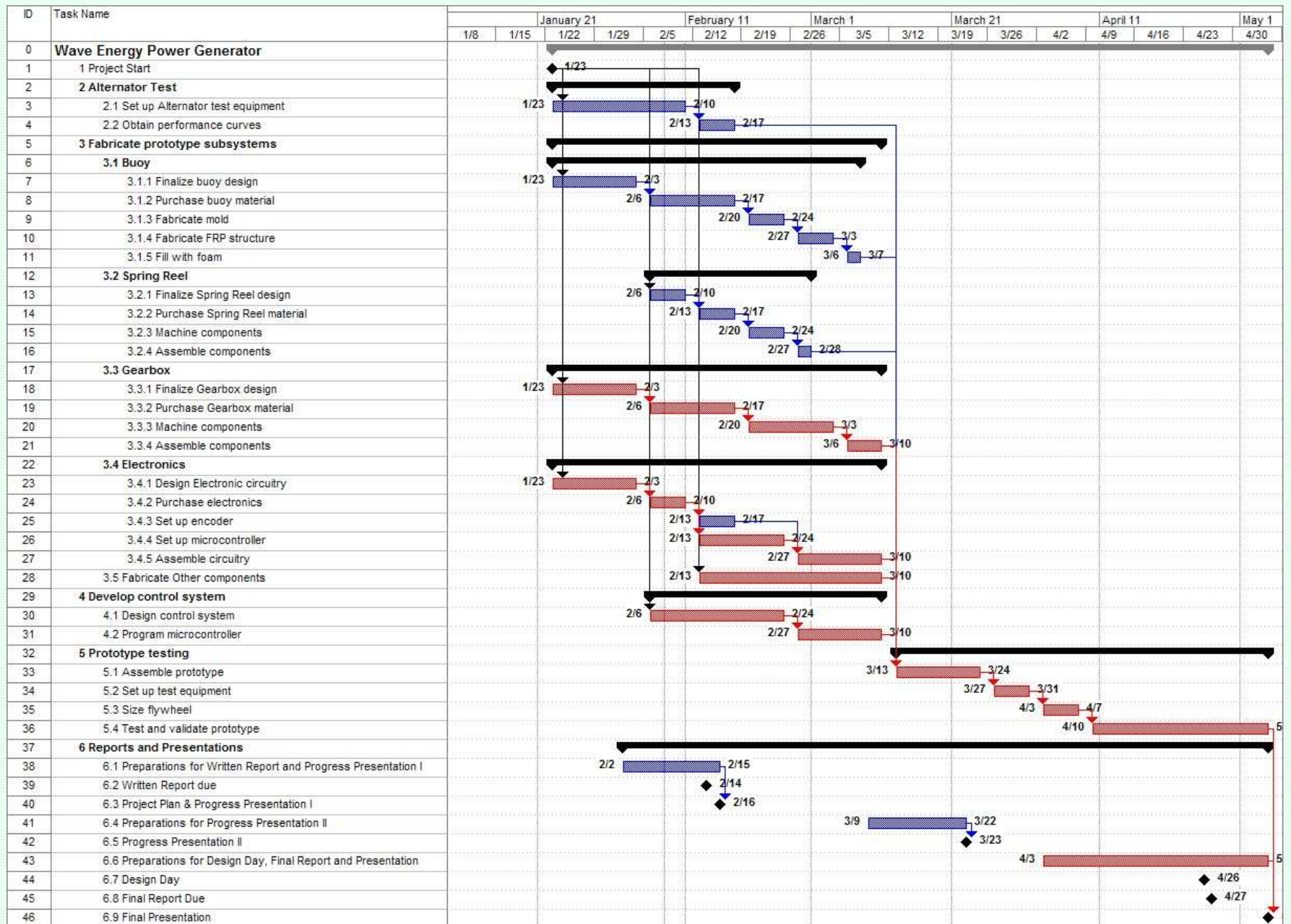
نمودار گانت با تعیین فعالیتهای بحرانی



فعالیتهای بحرانی
 فعالیتهای غیر بحرانی



يك نمونه نمودار گانت



تنظيم برنامه مبناي پروژه يا (Baseline):

در اکثر پروژه ها در پايان مرحله برنامه ريزي يك زمانبندي پروژه تحت عنوان برنامه اوليه يا Baseline ارائه مي شود كه مبناي كنترل اجراي پروژه مي شود. برنامه Baseline مي تواند زمانبندي بر اساس زودترين زمانها يا زمانبندي بر اساس ديرترين زمانها و يا حدي ما بين ايندو باشد. كه با توجه به شرايط حاكم بر پروژه مي بايست انتخاب شود.

شبکه برداري

ترسیم شبکه برداری دارای قواعد زیر است:

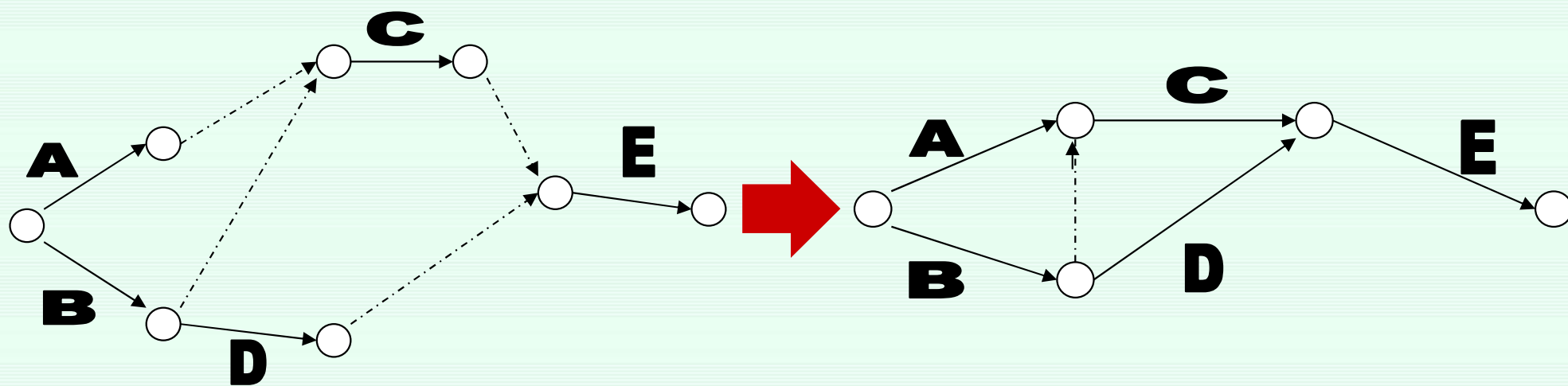
- (1) هر فعالیت بر روی یک بردار و ما بین دو گره ترسیم می شود.
- (2) بین هر دو گره فقط یک فعالیت وجود دارد.
- (3) شبکه فقط دارای یک گره پایانی و یک گره آغازین می باشد .
- (4) در شبکه حلقه یا LOOP نداریم.
- (5) برای تعریف برخی از وابستگی های بین فعالیت ها می توانیم از فعالیت موهومی Dummy Activity استفاده کنیم. فعالیت موهومی وجود خارجی ندارد، مدت زمان صفر بوده و فقط برای ترسیم شبکه کشیده می شود. در شبکه می بایست حاقل فعالیت موهومی را داشته باشیم.
- (6) گره ها می بایست شماره گذاری شود، شماره ها نباید تکراری بوده و شماره گره پایانی هر فعالیت بیش از شماره گره شروعی باشد.

تعاریف مرتبط با شبکه

- فعالیتهای مجازی یا موهوم (Dummy Activity):
فعالیهایی هستند که ضمن اجرای پروژه وجود نداشته و به منابعی مثل زمان یا سایر منابع احتیاج ندارند و تنها به منظور نشان دادن وابستگی های بین عملیات پروژه، به شبکه اضافه میشوند و به وسیله بردار خط چین نشان داده میشوند.



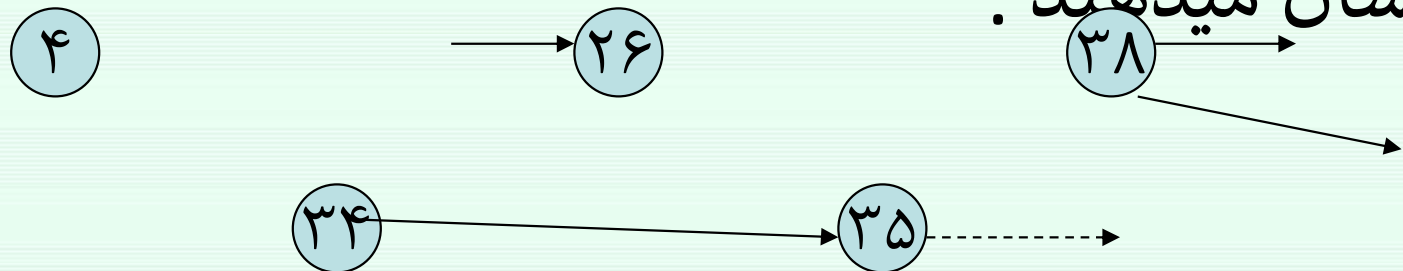
فعالیت	پیش نیاز
A	--
B	--
C	A,B
D	B
E	D,C



تعاریف مرتبط با شبکه- ادامه

- رویداد یا گره (Event/Node) : نقاط آغاز یا پایان یک فعالیت، یا دسته ای از فعالیت ها را رویداد گویند.

رویداد ها عبارت از مقطع زمانی می باشد و لذا در برگیرنده زمان نبوده بلکه نشان دهنده تاریخ ها میباشد. رویداد ها را بوسیله دایره ای که داخل آن شماره نوشته شده است، نشان میدهند.



تعاریف مرتبط با شبکه- ادامه

- گره / رویداد پایه (Tail Event/Node):

گره ای که در نقطه آغازین بردار مربوط به آن فعالیت قرار گرفته.
- گره / رویداد پایان (Head Event/ Node):

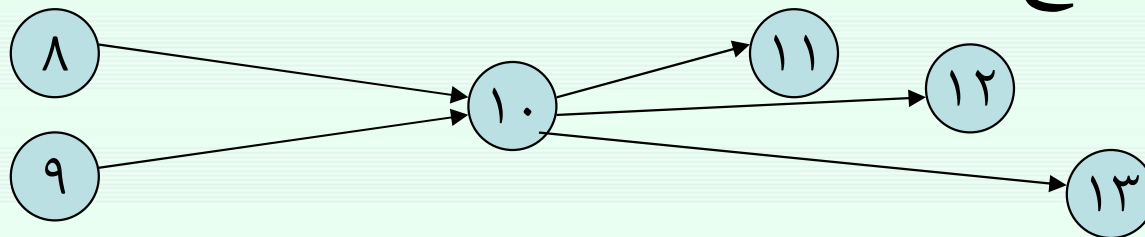
گره ای که در پایان فعالیت واقع شده است
- گره / رویداد پوششی (Merge Event/Node):

گره / رویدادی است که نقطه پایان چند فعالیت باشد.
- گره / رویداد جوششی (Burst Event/Node):

گره / رویدادی است که نقطه آغازین چند فعالیت باشد.

تعاریف مرتبط با شبکه- ادامه

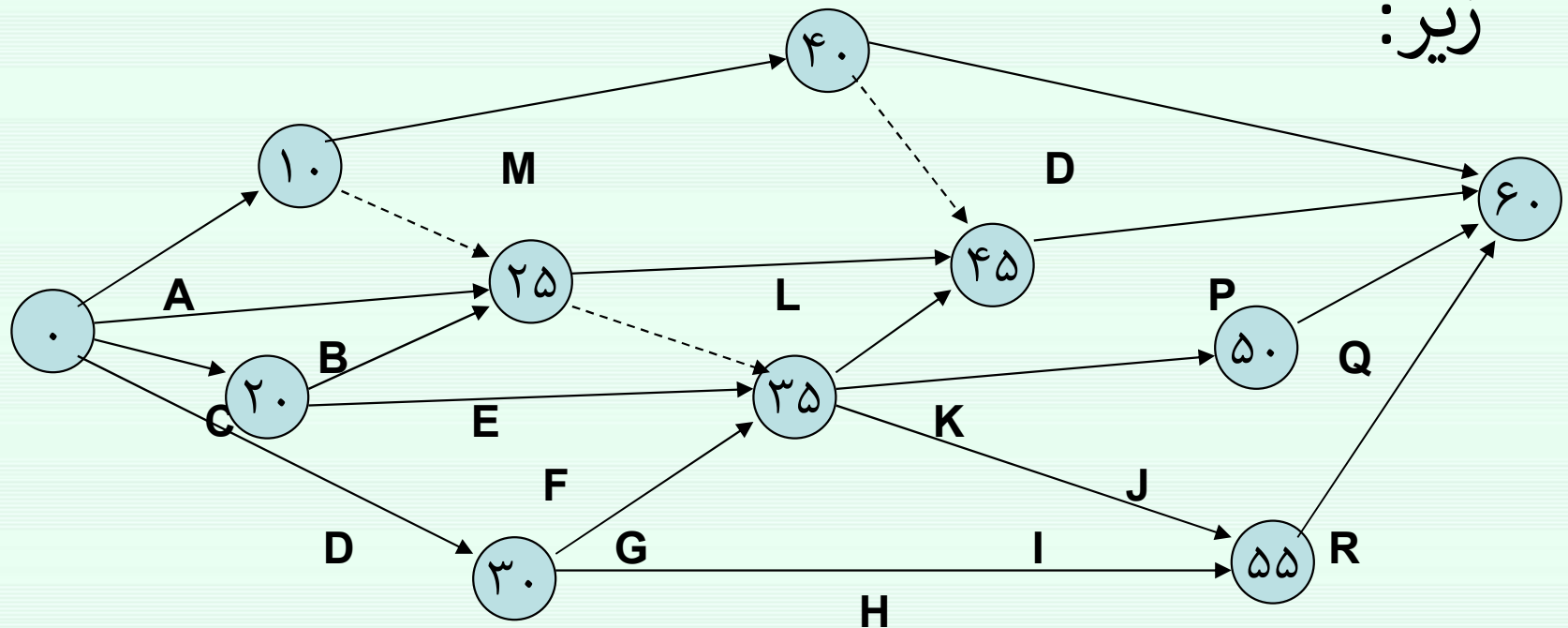
- فعالیت پیش نیاز (Precedent Activity):
فعالیت A را در صورتیکه پیش نیاز فعالیت B میگویند که بلافاصله بعد از تکمیل A فعالیت B قابل شروع شدن باشد.
- فعالیت وابسته / پی آمد (Succeeding Activity):
فعالیت B را در صورتی وابسته به فعالیت A میگویند که فعالیت B بلافاصله بعد از تکمیل A قابل شروع شدن باشد.
- گره / رویداد مرکب (Complex Node):
گره ای است که بیش از یک بردار به آن وارد و بیش از یک بردار از آن خارج شده باشد.



تعاریف مرتبط با شبکه- ادامه

• شبکه :

مجموعه ای است که نشان دهنده فعالیت های لازم از آغاز تا پایان یک پروژه و وابستگی های بین آنها است مثلاً شبکه زیر:



قوانین رسم شبکه های برداری

۱- پیش از رسم بردار مربوط به هر فعالیت، باید بردار مربوطه به کلیه فعالیتها ی ماقبل که پیش نیاز فعالیت مربوطه هستند، رسم شده باشد.

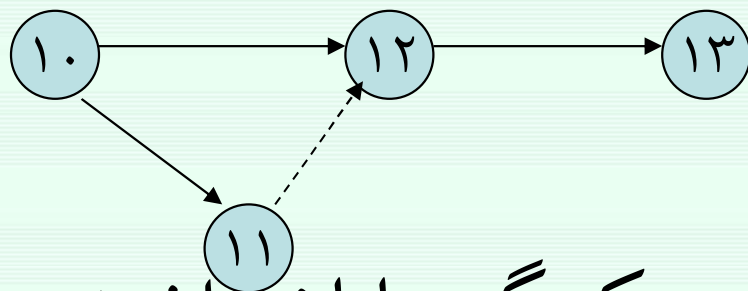
۲- یک بردار فقط و فقط نشان دهنده وضعیت تقدم وتأخر انجام فعالیتی است که با آن بردار معرفی میشود. به عبارت دیگر، شکل ظاهری بردار (طول، پهنا، زاویه و...) ارزش ومعنی خاصی ندارد.

۳- به منظور شناسایی گره ها، آنها را کد گذاری می کنند، که هیچ دو یا چند گره ای نباید شماره یکسان داشته باشد.

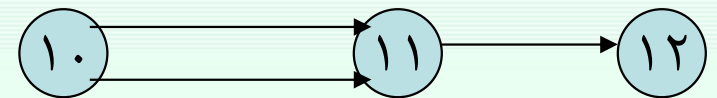
قوانین رسم شبکه های برداری

۴- هر دو گره را فقط یک بردار میتواند به هم وصل نماید

درست

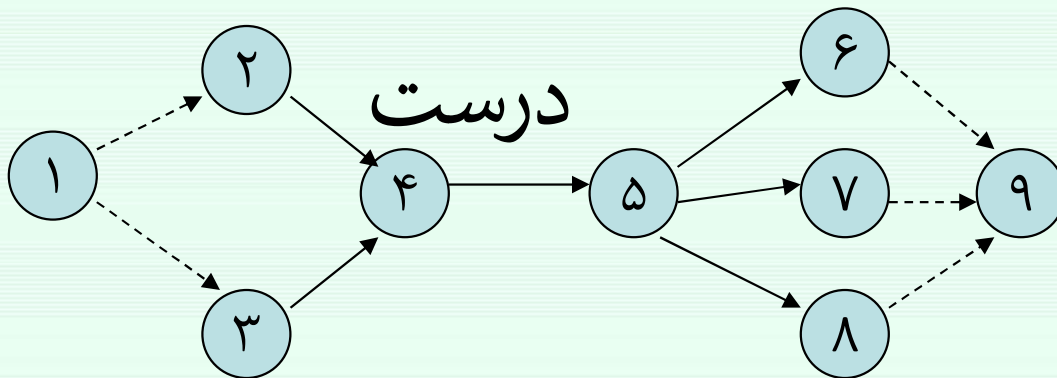


نادرست

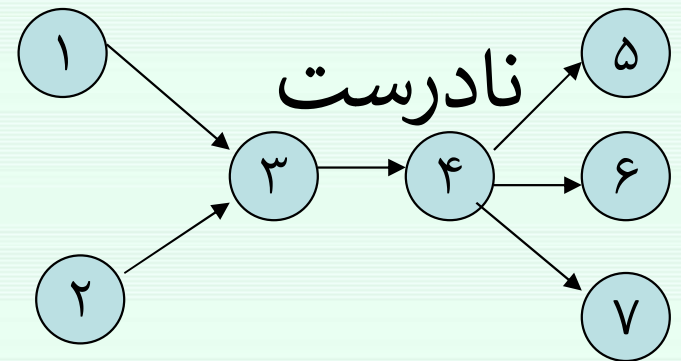


۵- شبکه فقط میتواند یک گره شروع و یک گره پایان داشته باشد.

درست



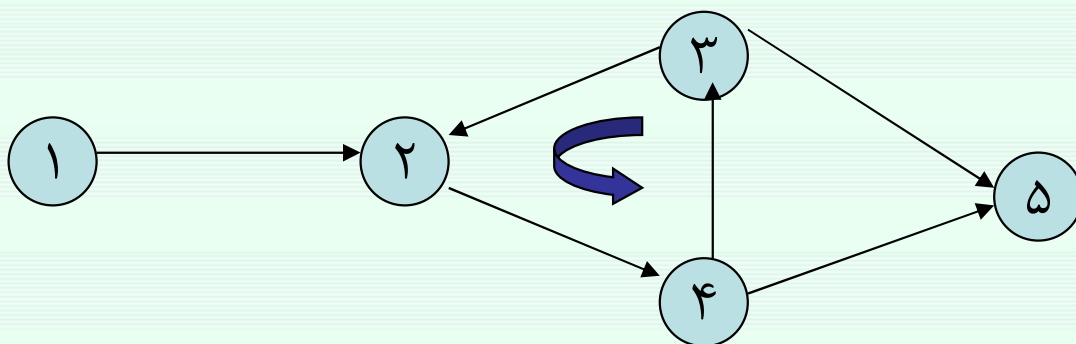
نادرست



اشتباهات عمومي در ترسيم شبکه

- ايجاد حلقه (Loop):

در صورت عدم رعايت منطق شبکه، احتمال به وجود آمدن حلقه در جريان ترسيم وجود دارد. مشهود است که چنين امري در طبيعت غير ممکن است.

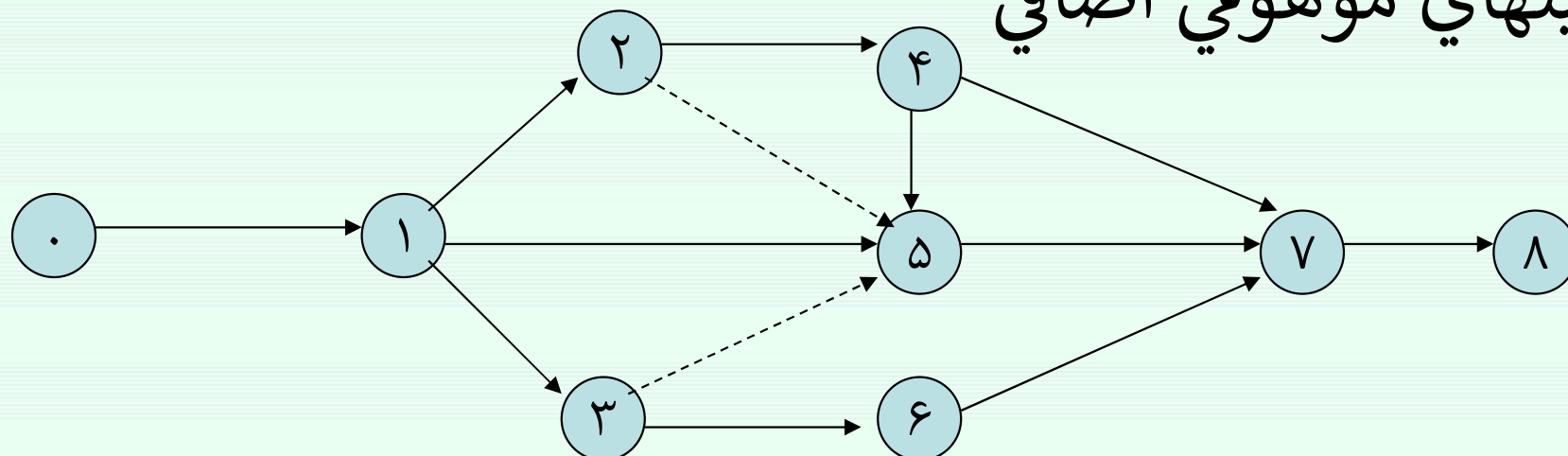


- وابستگي هاي غير ضروري

در شرايطي که چند فعاليت در يک شبکه احتياج به يک گره مشترک دارند، وابستگي غير ضروري بروز ميکند که اين مسئله با فعاليت هاي موهوم برطرف ميشود. البته اين مسئله باعث طولاني تر شدن زمان پروژه و محدوديت در نحوه کاربرد منابع ميگردد.

اشتباهات عمومي در ترسيم شبکه- ادامه

• فعاليتهاي موهومي اضافي



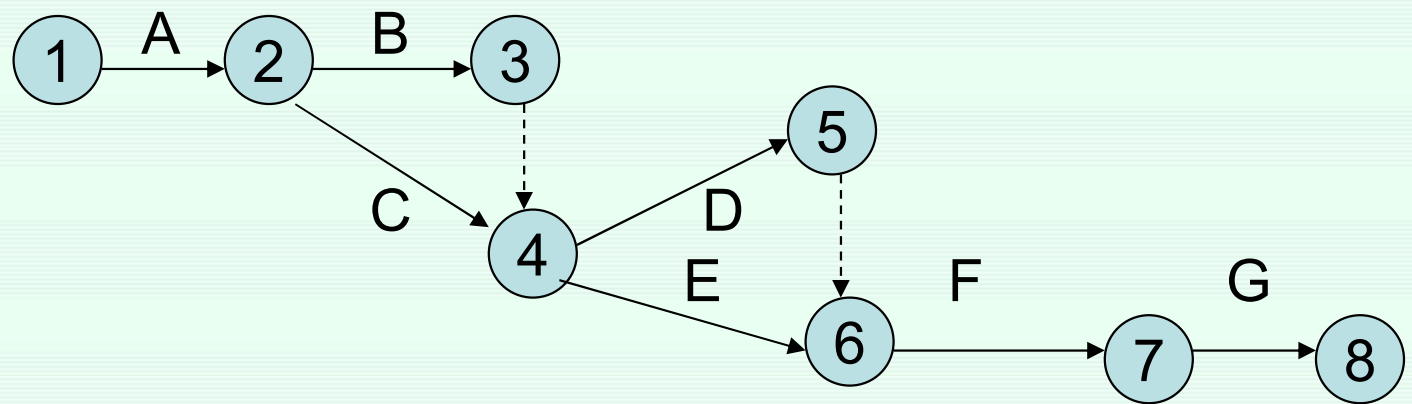
فعاليت موهومي ۳-۵ نشان ميدهد که ۵-۷ به ۱-۳ وابسته است. اگر ۳-۵ از شبکه حذف شود، اين وابستگي نيز از بين ميرود پس وجود فعاليت ۳-۵ ضروري است. ولي براي آغاز ۵-۷ لازم است ۱-۲ انجام شده باشد. که اگر ۲-۵ را حذف کنيم، باز اين وابستگي از طريق ۲-۴ و ۴-۵ حفظ شده است، پس فعاليت ۵-۲ غير لظروري است.

مثال رسم شبکه

- پروژه ای با عنوان ” ایجاد پل عابر پیاده در یکی از خیابانهای شهر “ مطرح است. برای اجرای این پروژه، فعالیتهایی که تعریف شده به همراه مدت زمان اجرا و روابط منطقی بین آنها در جدول زیر آورده شده است و از فعالیتهای جزئی تر آن چشم پوشی شده است، شبکه برداری این

ردیف	شرح فعالیت	مدت اجرا (هفته)	فعالیت پیش نیاز
۱	بررسی شرایط منطقه مطالعه اولیه	۲	-
۲	بررسی شرایط و تعیین امکانات مورد نیاز	۳	A
۳	تامین منابع مالی	۱	A
۴	ساخت قطعات فلزی و تجهیزات	۱۵	C
۵	مهیا سازی فونداسیون نصب	۸	B,C
۶	تحويل و نصب پل	۳	D,E
۷	آزمایش و کنترل پل قبل از بهره برداری	۱	F

جواب رسم شبکه



تعریف مرتبط با CPM

D_{ij} (Duration):	برآورد مدت زمان اجرا فعالیت (i-j)
E_i (Earliest Event time):	زودترین زمان وقوع واقعه i
L_i (Latest Event time):	دیرترین زمان وقوع واقعه i
ES_{ij} (Earliest Start time):	زودترین زمان شروع فعالیت (i-j)
EF_{ij} (Earliest Finished time):	زودترین زمان پایان فعالیت (i-j)
LS_{ij} (Latest Start time):	دیرترین زمان شروع فعالیت (i-j)
LF_{ij} (Latest Start time):	دیرترین زمان پایان فعالیت (i-j)

محاسبات زمانبندی پروژه در شبکه‌های برداری

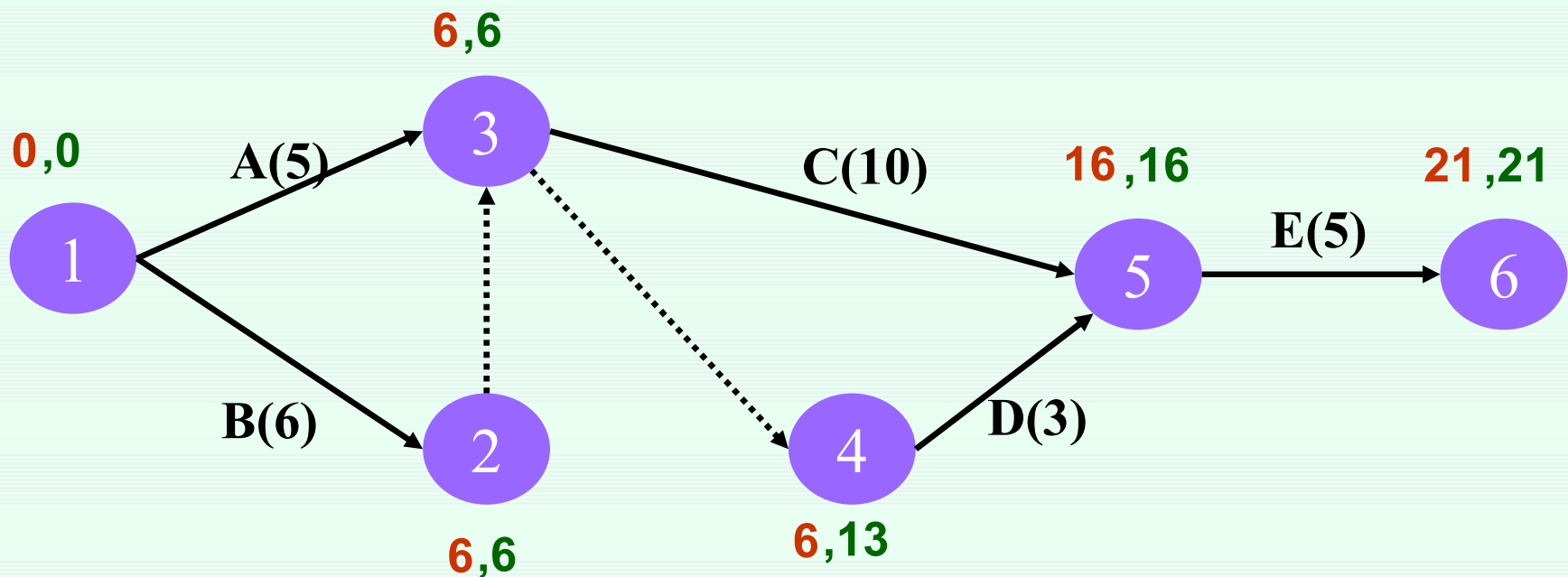
مثال

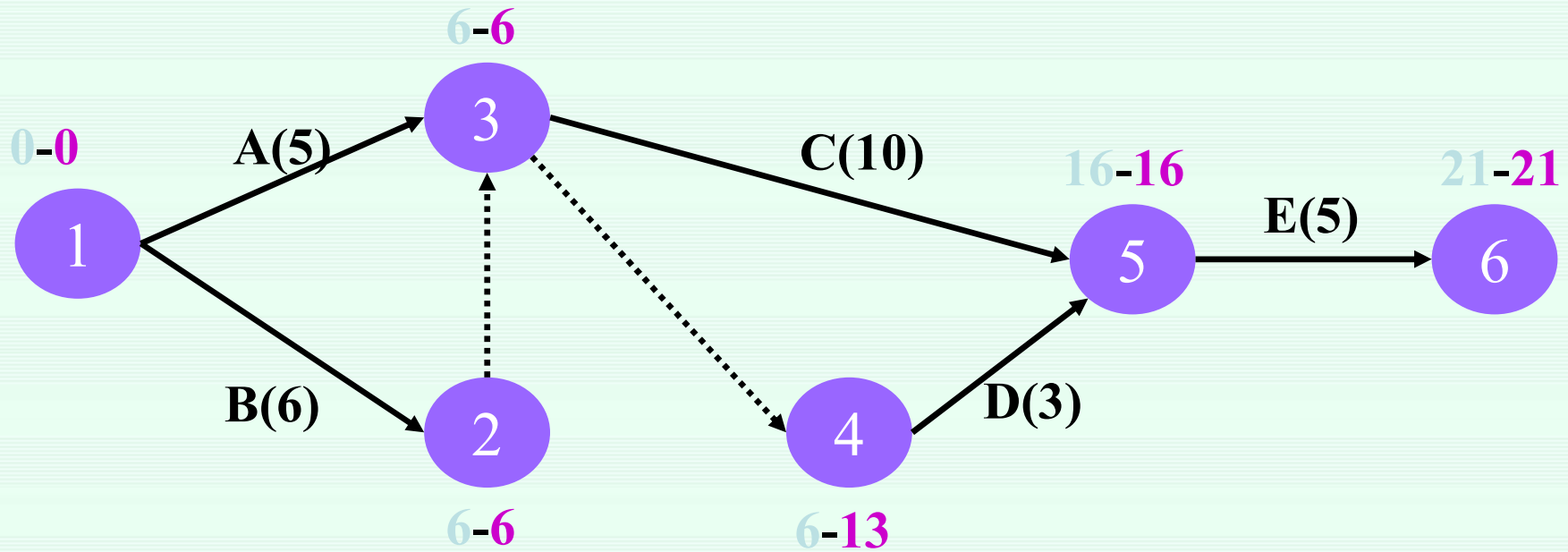
مدت زمان (روز)	فعالیت	پیش نیاز
5	A	--
6	B	--
10	C	A,B
3	D	A,B
5	E	D,C

محاسبات زمانبندی پروژه در شبکه‌های برداری

مثال

مدت زمان (روز)	فعالیت	پیش نیاز
5	A	--
6	B	--
10	C	A,B
3	D	A,B
5	E	D,C





فعاليات	ES	EF	LS	LF	TF
A	0	0+5=5	6-5=1	6	1
B	0	0+6=6	6-6=0	6	0
C	6	6+10=16	16-10=6	16	0
D	6	6+3=9	16-3=13	16	7
E	16	16+5=21	21-5=16	21	0

$0 =$ زودترین زمان وقوع گره شروعی

هر k پیش نیاز i $= \text{Max} \{E_k + D_{ki}\}$ زودترین زمان وقوع گره i (E_i)

زودترین زمان وقوع گره پایانی بیانگر حداقل زمان اتمام پروژه می باشد.

زودترین زمان وقوع گره پایانی = دیرترین زمان وقوع گره پایانی

هر j پس نیاز i $= \text{Min} \{L_j - D_{ij}\}$ دیرترین زمان وقوع گره i (L_i)

پس از محاسبه زودترین زمان و دیرترین زمان وقوع گره ها نوبت به محاسبه زودترین و دیرترین زمان شروع و پایان فعالیت ها می رسد.

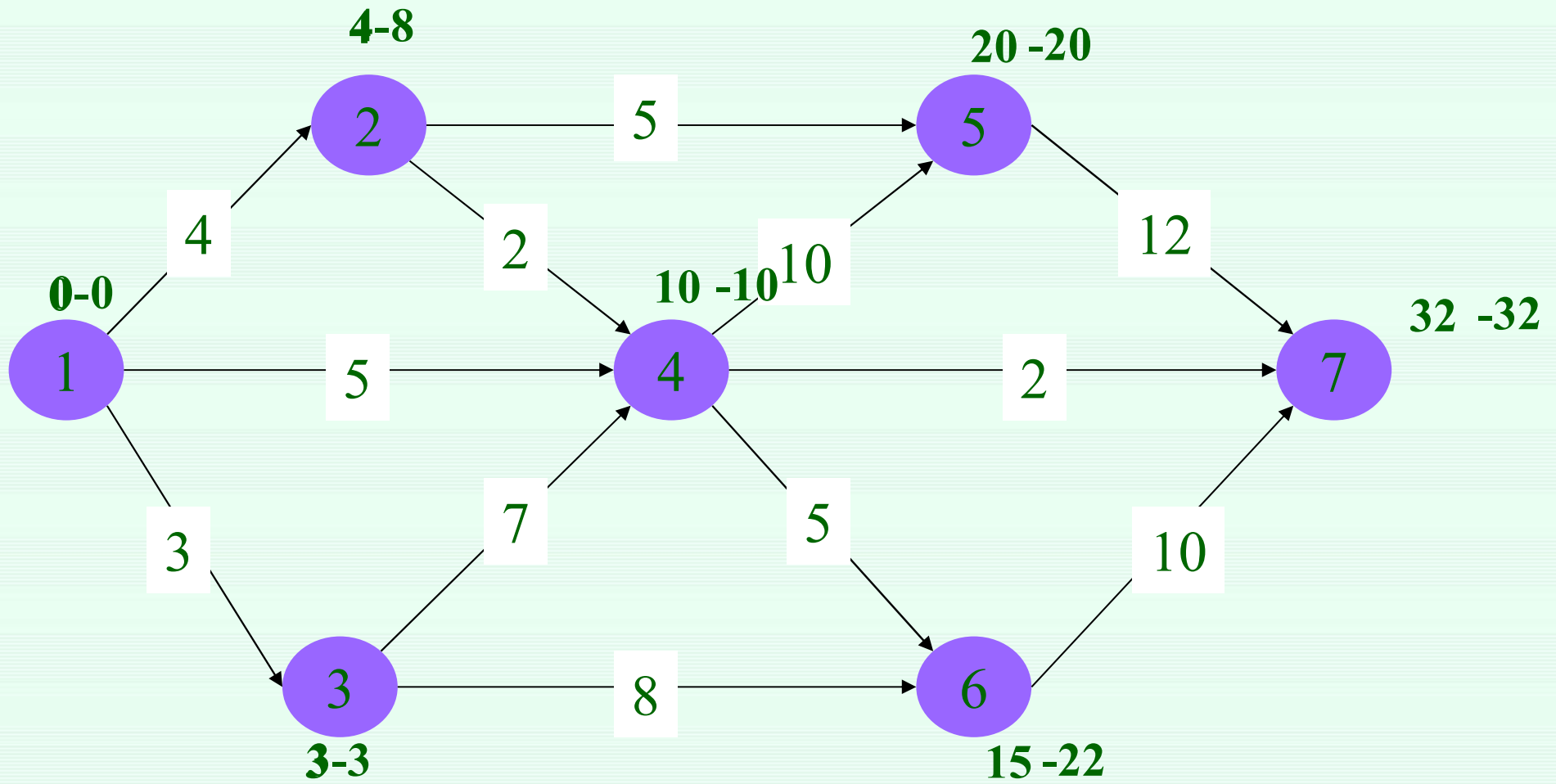


زودترین زمان وقوع گره i $ES =$ زودترین زمان شروع فعالیت $i - j$

$EF = ES + D$ زودترین زمان پایان فعالیت $i - j$

دیرترین زمان وقوع j $LF =$ دیرترین زمان پایان فعالیت $i - j$

$LS = LF - D$ دیرترین زمان شروع فعالیت $i - j$



فعالیت	ES	EF	LS	LF	TF
1-2	0	$0+4=4$	$8-4=4$	8	4
1-3	0	$0+3=3$	$3-3=0$	3	0
1-4	0	$0+5=5$	$10-5=5$	10	5
2-4	4	$4+2=6$	$10-2=8$	10	4
3-4	3	$3+7=10$	$10-7=3$	10	0
2-5	4	$4+5=9$	$20-5=15$	20	11
3-6	3	$3+8=11$	$22-8=14$	22	11
4-5	10	$10+10=20$	$20-10=10$	20	0
4-6	10	$10+5=15$	$22-5=17$	22	7
4-7	10	$10+2=12$	$32-2=30$	32	20
5-7	20	$20+12=32$	$32-12=20$	32	0
6-7	15	$15+10=25$	$32-10=22$	32	7

تعريف مرتبط با CPM-ادامه

S_{ij}	(Total Slack or Total Float):	فرجه يا شناوري كل براي فعاليت (i-j)
FS_{ij}	(Free Slack or Free Float):	فرجه يا شناوري آزاد براي فعاليت (i-j)
T_s	(Time Specified for project completion):	زمان ختم پروژه
IS_{ij}	(Independent slack or Independent Float):	فرجه يا شناوري مستقل
RS_{ij}	(Interfering Slack or Interfering Float):	فرجه يا شناوري تداخلي

محاسبات روش مسیر بحرانی

• حرکت رفت (Forward Pass):

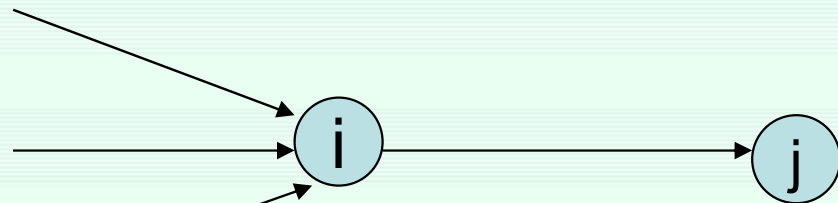
محاسباتی است که از گره شروع پروژه آغاز می شود و گره به گره و فعالیت به فعالیت به سمت گره پایان پروژه پیش می رود و در آن گره خاتمه می پذیرد. که دارای ۳ قانون است:

قانون ۱- زودترین زمان وقوع گره شروع را برابر صفر بگیرید $E_1 = 0$
مشروط بر آنکه شماره ۱ به گره شروع تخصیص یافته باشد.
البته این ضابطه برای سهولت کار است و در چگونگی انجام محاسبات تاثیری ندارد.

محاسبات روش مسیر بحرانی-ادامه

ادامه محاسبه حرکت رفت :

قانون ۲- زودترین زمان وقوع گره (i) یا شروع فعالیت (i-j) به طوري که گره j بعد از گره i باشد، برابر حداکثر مقدار مربوط به زودترین زمان پایان کلیه فعالیتهاي پیش نیاز آن است، يعني:



$$E_i, \quad ES_{ij} = \text{Max}(EF_{ki} \quad \forall k)$$

بنابراین ، در گره هاي ساده مانند گره i در شکل زیر میتوان نوشت:



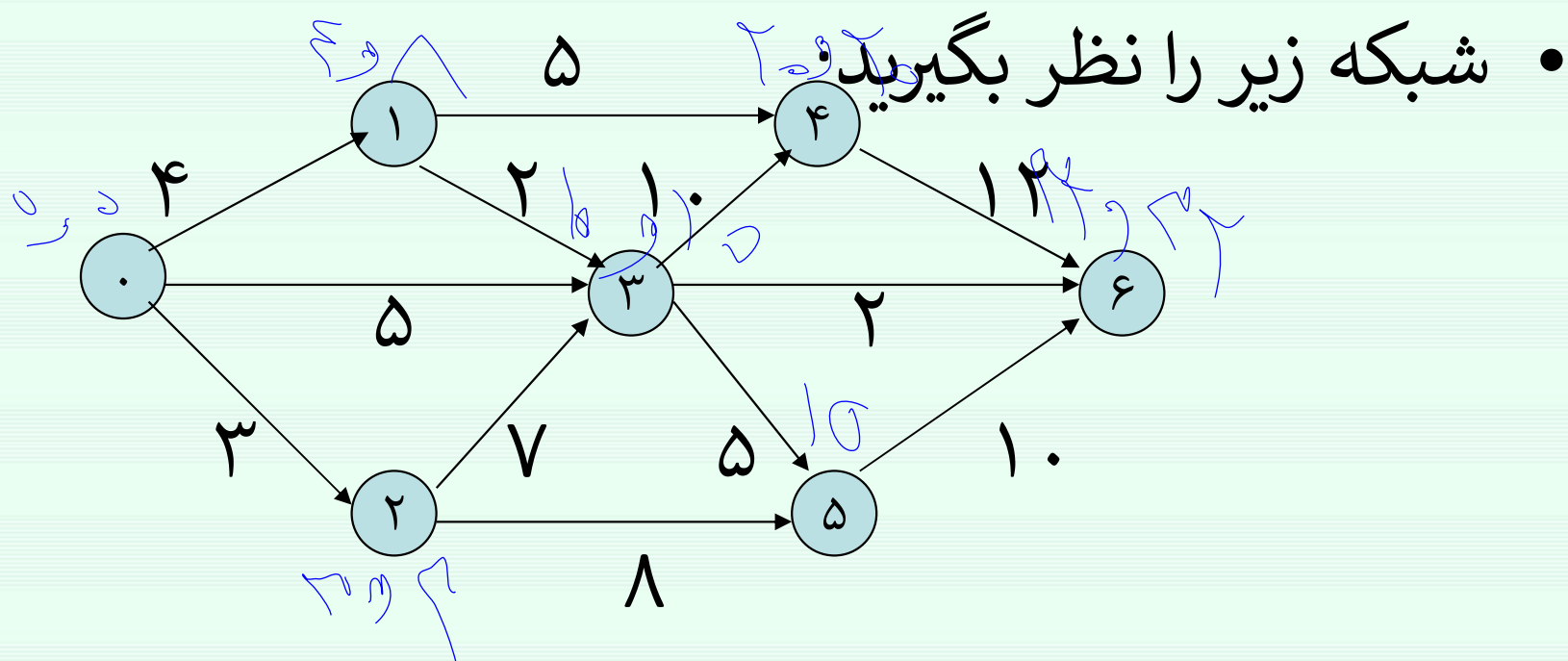
محاسبات روش مسیر بحرانی-ادامه

ادامه محاسبه حرکت رفت :

قانون ۳- زودترین زمان ختم فعالیت (i-j) برابر است با زودترین زمان شروع فعالیت، بعلاوه زمان انجام آن فعالیت.

$$EF_{ij} = ES_{ij} + D_{ij}$$

مثال



زمان هر فعالیت روی کمان مربوطه نوشته شده است. واحد زمان در این شکل "روز" است. برای شروع محاسبه یک تاریخ برای رویداد آغازین شبکه تعیین می شود.

حل مثال

اگر تاریخ وقوع رویداد آغازین شبکه صفر باشد، زودترین تاریخ وقوع رویداد ۱، برابر با ۴ خواهد بود.

همین طور، زودترین تاریخ وقوع رویداد ۲، برابر با ۳ می باشد.
برای رسیدن به رویداد ۳، سه راه وجود دارد این سه راه عبارتند از:

الف) ۳ — ۰ (از رویداد صفر به رویداد ۳)

ب) ۳ → ۲ → ۰ (از رویداد صفر به رویداد ۲ و از ۲ به رویداد ۳)

ج) ۳ → ۱ → ۰ (از رویداد صفر به رویداد ۱ و از ۱ به رویداد ۳)

زمانهای لازم برای عبور از این سه راه :

الف) ۵ ب) ۱۰ ج) ۶
 $3+7=10$ $4+2=6$

پس برای اینکه رویداد ۳ محقق شود، زودترین تاریخ وقتی است که هر سه فعالیت که به این رویداد میرسند، انجام شده باشند. که این زودترین

تاریخ برابر با عدد ۱۰ خواهد بود پس داریم: $E_3 = 10$

حل مثال-ادامه

رویداد ۴ از دو راه قابل دسترسی است:

الف) از ۱ به ۴ - زمان لازم عبارتست از: $E_1 + D_{1-4} = 4 + 5 = 9$

ب) از ۳ به ۴ - زمان لازم عبارتست از: $E_3 + D_{3-4} = 10 + 10 = 20$

زودترین تاریخ رویداد ۴، برابر با بزرگترین عدد بدست آمده است، یعنی $E_4 = 20$

به همین ترتیب زودترین تاریخ برای وقوع رویداد ۵، عبارتست از:

$$E_2 + D_{2-5} = 3 + 8 = 11$$

$$E_3 + D_{3-5} = 10 + 5 = 15$$

$$E_5 = 15$$

زودترین تاریخ وقوع رویداد ۶ $E_5 + D_{5-6} = 15 + 10 = 25$

(زودترین تاریخ تکمیل پروژه) عبارتست از: $E_4 + D_{4-6} = 20 + 12 = 32$

$$E_3 + D_{3-6} = 10 + 2 = 12$$

$$E_6 = 32$$

نتایج محاسبات حرکت رفت

ردیف	فعاليتها	D	ES	EF
1	0-1	4	0	4
2	0-2	3	0	3
3	0-3	5	0	5
4	1-3	2	4	6
5	1-4	5	4	9
6	2-3	7	3	10
7	2-5	8	3	11
8	3-4	10	10	20
9	3-5	5	10	15
10	3-6	2	10	12
11	4-6	12	20	32
12	5-6	10	15	25

محاسبات روش مسیر بحرانی-ادامه

- محاسبه حرکت برگشت:

محاسبات حرکت برگشت ، به منظور تعیین دیرترین زمان وقوع هر گره و دیرترین زمانهای شروع و پایان هر یک از فعالیت‌های شبکه انجام میشود و دارای سه قانون میباشد:

قانون ۱- دیرترین زمان مجاز برای وقوع گره پایانی را برابر با مقدار مورد نظر (از پیش تعیین شده) یا برابر زودترین زمان وقوع آن گره در نظر بگیرید.

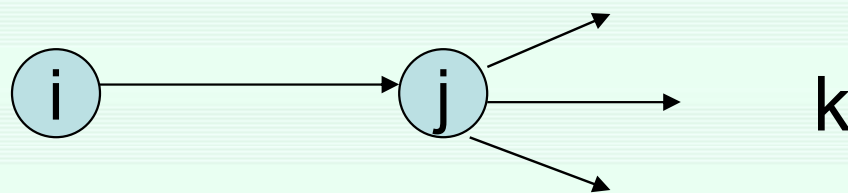
$$L_n = T_s \text{ or } E_n$$

یعنی در مرحله تعیین پارامترهای برنامه ریزی پروژه اگر تاریخ پایان پروژه معلوم باشد، در محاسبات حرکت برگشت، دیرترین زمان تحقق گره پایانی پروژه ، معادل با آن قرار داده میشود در غیر اینصورت دیرترین زمان تحقق گره پایان پروژه، برابر با زودترین زمان وقوع آن در نظر گرفته میشود.

محاسبات روش مسیر بحرانی-ادامه

ادامه محاسبه حرکت برگشت:

قانون ۲- دیرترین زمان وقوع گره j یا ختم فعالیت $(i-j)$ را برابر با کوچکترین مقدار دیرترین زمانهای شروع فعالیت‌های بعد از فعالیت $(i-j)$ بگیرید، یعنی:



$$L_j, LF_{ij} = \text{Min}(LS_{jk} \quad \forall k)$$

طبق این قانون، دیرترین زمان پایان کلیه فعالیت‌هایی که به یک گره وارد میشوند، برابر با دیرترین زمان وقوع آن گره است. همچنین چنانچه فقط یک فعالیت از یک گره خارج شود، دیرترین زمان تحقق آن گره، برابر با دیرترین زمان شروع فعالیت مزبور خواهد بود.

محاسبات روش مسیر بحرانی-ادامه

ادامه محاسبه حرکت برگشت:

قانون ۳- دیرترین زمان شروع فعالیت (i-j) برابر با دیرترین زمان ختم فعالیت منهای مدت زمان اجرای آن است، یعنی:

$$LS_{ij} = LF_{ij} - D_{ij}$$

حل مثال

محاسبات حرکت برگشت را برای شبکه مثال قبل انجام می‌دهیم:
چون زمان خاصی برای T مطرح نشده است، دیرترین زمان وقوع گره پایانی، برابر با زودترین زمان وقوع آن قرار می‌گیرد.

$$T_6 = E_6 = L_6 = 32$$

حال به دیرترین تاریخ‌های ممکن برای سایر رویدادهای شبکه توجه می‌کنیم.
برای رویداد ۴ دیرترین تاریخ ممکن عبارت است از دیرترین تاریخ رویداد ۶ منهای زمان فعالیت ۴-۶ می‌باشد.

به عبارت دیگر در صورتیکه لازم باشد رویداد ۶ حداکثر تا تاریخ ۳۲ به وقوع بپیوندد، الزاماً باید رویداد ۴ حداکثر تا تاریخ $32 - 12 = 20$ اتفاق افتاده باشد، در غیر اینصورت تاریخ وقوع رویداد ۶ از ۳۲ تجاوز خواهد نمود.

$$L_4 = L_6 - D_{4-6} = 32 - 12 = 20$$

به همین ترتیب:

$$L_5 = L_6 - D_{5-6} = 32 - 10 = 22$$

ادامه حل مثال

در حرکت بازگشتی از رویداد پایانی به سوی رویداد آغازین و برای رسیدن به رویداد ۳، سه راه وجود دارد:

الف) از ۶ به ۳

$$L_6 - D_{3-6} = 32 - 2 = 30$$

ب) از ۴ به ۳

$$L_4 - D_{3-4} = 20 - 10 = 10$$

ج) از ۵ به ۳

$$L_5 - D_{3-5} = 22 - 5 = 17$$

دیرترین تاریخ ممکن برای وقوع رویداد ۳ عبارت از کوچکترین عددی که بدین طریق محاسبه شده، یعنی عدد ۱۰ خواهد بود. (زیرا در صورتیکه رویداد ۳ در هر تاریخی دیرتر از ۱۰ به وقوع بپیوندد فعالیت ۳-۴ دیرتر از تاریخ ۲۰ تکمیل شده و در نتیجه تاریخ وقوع رویداد ۴ از عدد L که قبلاً محاسبه شده تجاوز خواهد کرد) پس داریم:

$$L_3 = 10$$

ادامه حل مثال

به همین ترتیب برای هر رویداد کوچکترین عدد بدست آمده بعنوان دیرترین تاریخ انتخاب می شود:

$$L_4 - D_{1-4} = 20 - 5 = 15$$

$$L_3 - D_{1-3} = 10 - 2 = 8$$

$$L_1 = 8$$

برای رویداد ۱:

$$L_3 - D_{2-3} = 10 - 7 = 3$$

$$L_5 - D_{2-5} = 22 - 8 = 14$$

$$L_2 = 3$$

برای رویداد ۲:

$$L_1 - D_{0-1} = 8 - 4 = 4$$

$$L_3 - D_{0-3} = 10 - 5 = 5$$

$$L_2 - D_{0-2} = 3 - 3 = 0$$

$$L_0 = 0$$

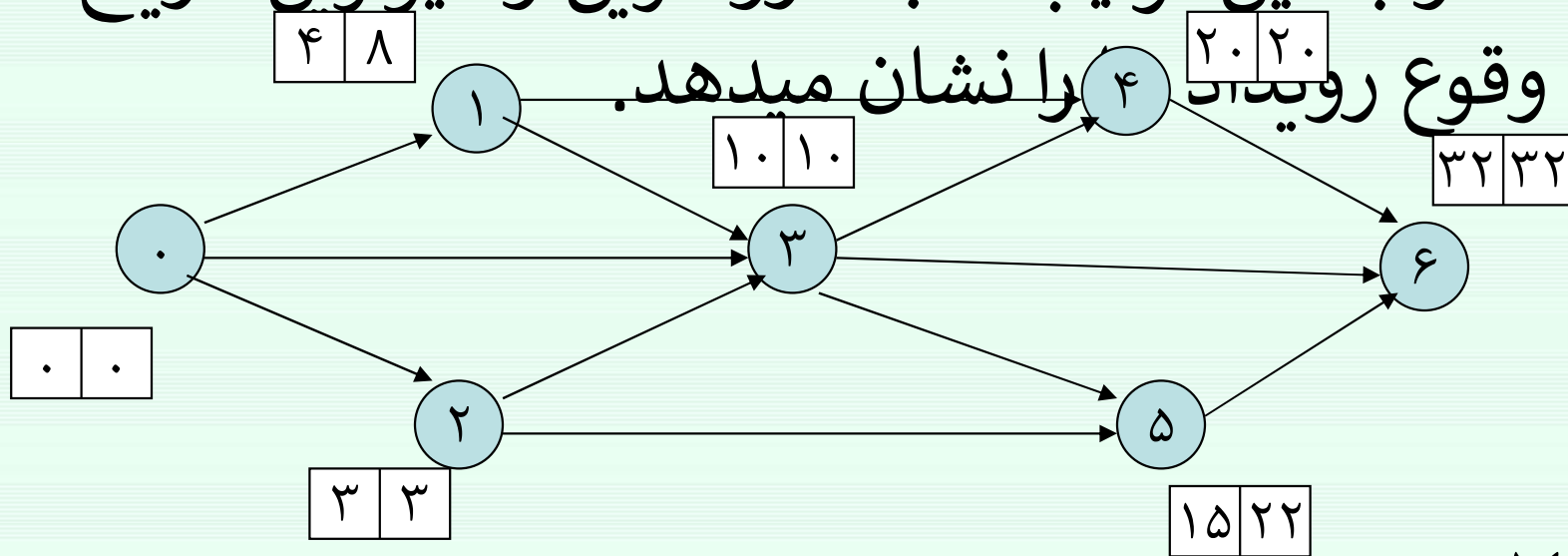
و برای رویداد صفر:

نتایج محاسبات حرکت برگشت

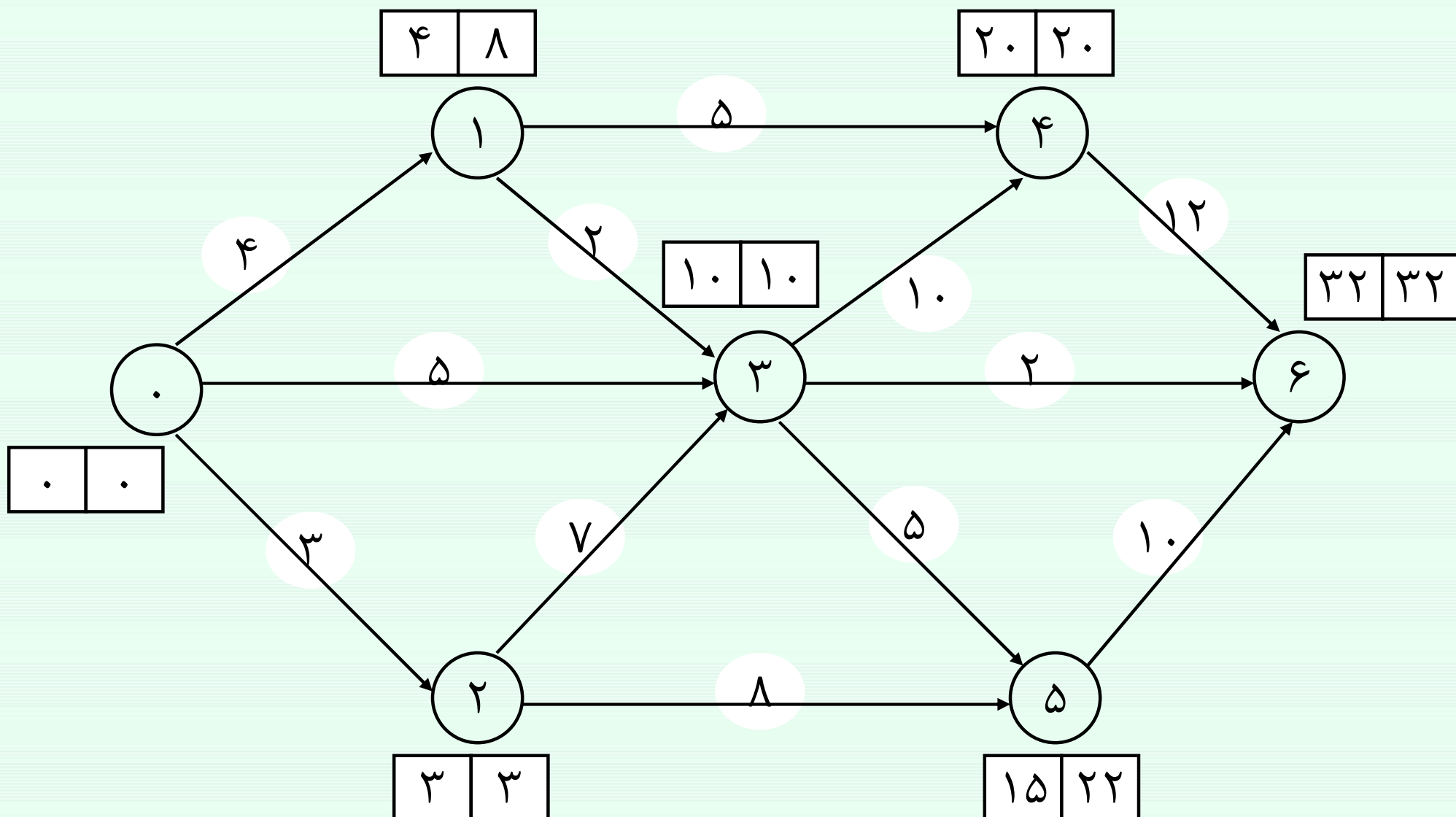
ردیف	فعاليتها	D	LS	LF
1	0-1	4	4	8
2	0-2	3	0	3
3	0-3	5	5	10
4	1-3	2	8	10
5	1-4	5	15	20
6	2-3	7	3	10
7	2-5	8	14	22
8	3-4	10	10	20
9	3-5	5	17	22
10	3-6	2	30	32
11	4-6	12	20	32
12	5-6	10	22	32

ادامه محاسبات رفت و برگشت

- برای سهولت در انجام محاسبات رفت و برگشت، در روی شبکه میتوان در کنار هر رویداد (گره) مستطیلی که از دو مربع تشکیل شده قرار داده و به ترتیب که اعداد E و L برای گره ها محاسبه می شوند، آنها را در داخل این مربع ها قرار داد و به این ترتیب شبکه زودترین و دیرترین تاریخ های وقوع رویداد را نشان میدهد.



شبکه با دیرترین و زودترین تاریخ وقوع



شناوري در تاريخ هاي وقوع رویدادها

- با مراجعه به شکل قبل مشاهده میشود که به عنوان مثال گره ۱ میتواند در هر تاریخي بین روزهاي ۴ تا ۸ اتفاق بیفتد . در اینجا گفته میشود که رویداد (گره) ۱ دارای شناوري است و مقدار این شناوري عبارتست از:

$$8 - 4 = 4$$

تعریف: مقدار شناوري رویداد عبارتست از تفاضل بین زودترین تاریخ و دیرترین تاریخ وقوع:

$$F_i = L_i - E_i$$

شناوري در تاريخ هاي وقوع رویدادها- ادامه

- براي مثال قبل ميتوان جهت نشان دادن مقدار شناوريهاي رویداد جدول زير را تشكيل داد:

شناوري	ديرتين تاريخ وقوع L	زودتريين تاريخ وقوع E	رویداد
0	0	0	0
4	8	4	1
0	3	3	2
0	10	10	3
0	20	20	4
7	22	15	5
0	32	32	6

ادامه تعاریف مسیر بحرانی

- **رویداد بحرانی:** در یک شبکه رویداد هائی هستند که دارای شناوری صفر (0) می باشند. زودترین و دیرترین تاریخ های وقوع این رویدادها همواره مساوی بوده و هر تغییری در این تاریخ ها باعث خواهد شد که زمان لازم برای تکمیل پروژه را تغییر دهد.
- **راههای (مسیرهای) شبکه:** یک سری از فعالیتها که از رویداد آغازین شبکه شروع، و به رویداد پایانی شبکه ختم میشوند را راه یا مسیر مینامند. (Network Paths).
- **مقدار شناوری یک راه:** عبارت از اختلاف بین کل زمان لازم برای تکمیل پروژه، و جمع زمانهای فعالیتهاي تشکیل دهنده آن راه میباشد. پس برای یک راه که شامل فعالیتهاي $1, 2, \dots, m$ باشد داریم:

$$\text{شناوري راه} = E_c - E_s - (D_1 + D_2 + \dots + D_m)$$

ادامه تعاریف مسیر بحرانی

- که در آن E_c, E_s به ترتیب زودترین تاریخ وقوع رویداد آغازین شبکه و تاریخ وقوع رویداد پایانی بوده و D عبارت است از زمان لازم برای اجرای فعالیت i .

لذا در مثال مربوط به شبکه، شناوری راه ۰-۱-۴-۶ داریم:

$$E_6 - E_0 - (D_{0-1} + D_{1-4} + D_{4-6}) = 32 - 0 - (4 + 5 + 12) = 11$$

- **مسیر (راه) بحرانی (Critical path):**
در هر شبکه حداقل یک راه وجود دارد که شامل طولانی ترین زمان میباشد.
این راه را مسیر بحرانی می نامند.
مقدار شناوری مسیر بحرانی همواره برابر صفر است. مسیر بحرانی از رویداد آغازین تا پایانی، همواره از رویدادهای بحرانی عبور می نماید.

ادامه تعاریف مسیر بحرانی

- **فعالیت‌های بحرانی:** فعالیت‌های تشکیل دهنده یک مسیر بحرانی، فعالیت‌های بحرانی نامیده میشوند. در روی مسیر که بحرانی باشد، همه فعالیت‌ها بحرانی خواهند بود و رویدادهای پایه و پایان فعالیت‌های بحرانی، همواره بحرانی خواهند هستند (ولی این شرط برای بحرانی بودن فعالیت‌ها کافی نمی باشد)

قبل از توضیح در مورد تشخیص فعالیت‌های بحرانی و در نتیجه مسیر بحرانی، لازم است تاریخ ها و شناوری های فعالیت ها مورد بحث قرار گیرند.

ادامه تعاریف مسیر بحرانی

- تاریخ های فعالیت: علاوه بر تاریخ رویدادها، لازم است زودترین و دیرترین تاریخ های ممکن برای شروع و پایان فعالیتها نیز برای مدیران و دست اندرکاران اجرا پروژه معلوم باشد .
 - بطور مثال در شکل بعد ، زودترین و دیرترین تاریخ های وقوع رویدادهای پایه و پایان فعالیت i-j ، همراه با زمان این فعالیت نشان داده شده و این تاریخ ها و زمانها بر روی یک محور زمان نیز به نمایش درآمده اند.
- پس ۱) زودترین تاریخ شروع فعالیت (i-j) = زودترین تاریخ وقوع رویداد ۱

$$ES_{ij} = E_i$$

ادامه تعاریف مسیر بحرانی

(۲) زودترین تاریخ پایان (i-j) = زودترین تاریخ شروع (i-j) + زمان (i-j)

$$EF_{ij} = ES_{ij} + D_{ij} \Rightarrow EF_{ij} = E_i + D_{ij}$$

(۳) دیرترین تاریخی که فعالیت (i-j) میتواند کامل شود، باید تاریخی باشد که باعث به تاخیر افتادن تاریخ وقوع رویداد j نشده و در نتیجه زمان تکمیل پروژه را به تاخیر نیندازد، پس :

دیرترین تاریخ پایان (i-j) = دیرترین تاریخ وقوع رویداد j

$$LF_{ij} = L_j$$

(۴) برای اینکه (i-j) بتواند حداکثر تا تاریخ LF_{ij} کامل شود، دیرترین تاریخ شروع آن عبارت خواهد بود از:

دیرترین تاریخ شروع (i-j) = دیرترین تاریخ پایان (i-j) - زمان فعالیت (i-j)

$$LS_{ij} = LF_{ij} - D_{ij} \Rightarrow LS_{ij} = L_j - D_{ij}$$



شناوري فعاليت ها

- با مراجعه به **شکل قبل** ميتوان نتيجه گرفت که فعاليت i-z را ميتوان در تاريخ ۳ شروع کرد، ولي حتي اگر شروع اين فعاليت تا تاريخ ۱۵ نیز به تعويق بيفتد، به شرط آنکه بتوان فعاليت را در زمان معمولي خود يعني یک روزه انجام داد، فعاليت در تاريخ ۱۶ که ديرترين تاريخ ممکن براي وقوع رویداد ز است تکميل شده و بنا بر اين در زمان تکميل پروژه اثري نخواهد گذاشت.

- در یک شبکه ممکن است تعداد زيادي از فعاليت ها از همين خاصيت انعطاف پذيري در تاريخ هاي شروع يا پايان برخوردار باشند. در اصطلاح برنامه ريزي، فعاليتهايي را که داراي چنين خاصيتي هستند، فعاليتهاي داراي شناوري يا فرجه ميگویند

انواع شناوري

ما سه نوع شناوري داريم:

۱- **شناوري کل:** مقدار زماني که یک فعالیت میتواند به تعويق بيافتد، يا به زمان اجراي آن افزوده شود، بدون آنکه در کل زمان اجراي پروژه تاثيري بگذارد، شناوري جمعي (Total Slack (Float) آن فعالیت ناميده مي شود.

براي یک فعالیت i-j داريم:

$LF_{ij} - ES_{ij} = L_j - E_i$ حداکثر زمان قابل دسترس براي فعالیت "i-j" و
بنابراين مقدار شناوري جمعي اين فعالیت عبارتست از:

$$TF_{ij} = L_j - E_i - D_{ij}$$

انواع شناوري- شناوري کل

• ولي داريم:

$$L_j = LF_{ij}, E_i + D_{ij} = EF_{ij}$$

پس:

$$TF_{ij} = LF_{ij} - EF_{ij}$$

همينطور داريم:

$$E_i = ES_{ij}, L_j - D_{ij} = LS_{ij}$$

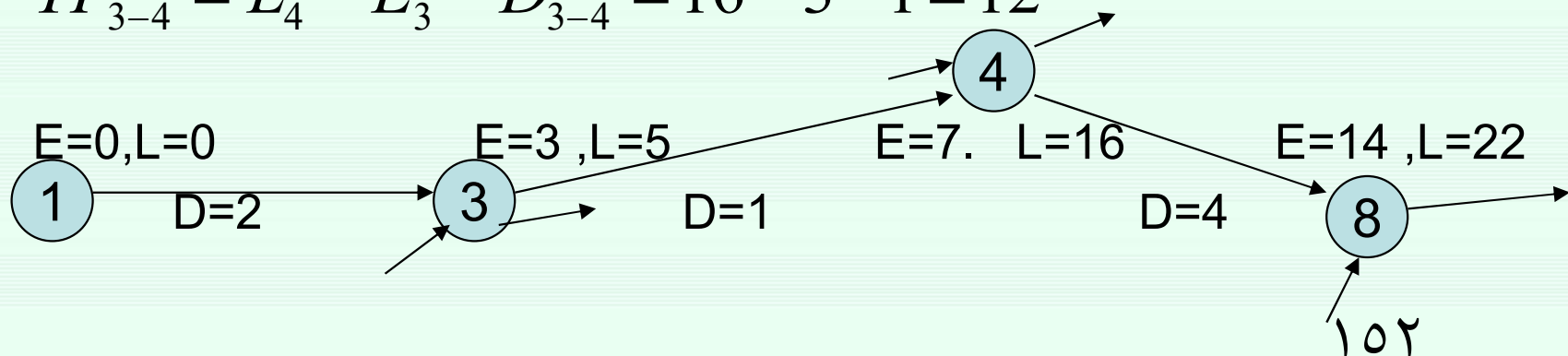
پس:

$$TF_{ij} = LS_{ij} - ES_{ij}$$

مثال : شکل زیر را که بخشی از یک شبکه است، مقدار شناوري کل فعالیت (۳-۴)

عبارتست از:

$$TF_{3-4} = L_4 - E_3 - D_{3-4} = 16 - 3 - 1 = 12$$



انواع شناوري- شناوري کل

- فعالیت (۳-۴) را میتوان حداکثر به مقدار شناوري جمعي آن (۱۲ واحد زمان) به تأخير انداخت و به جاي تاريخ ۳ آن را در تاريخ ۱۵ شروع نمود.
- همینطور این فعالیت میتواند در تاريخ ۳ شروع شده، ولي به جاي آنکه یک روزه اجرا شود، حداکثر به مقدار ۱۲ روز به زمان اجراي آن افزوده شده و ۱۳ روزه تکميل گردد. در هر یک از این شرایط، تاريخ رویداد ۴ از ۱۶ تجاوز ننموده و در نتیجه تأثيري بر زمان تکميل پروژه نخواهد داشت.

انواع شناوري- شناوري آزاد

- در شکل مثال قبل، اگر فعالیت (۳-۴) از کل زمان شناوري خود استفاده نماید، الزاماً رویداد ۳ و ۴ به ترتیب در زودترین و دیرترین تاریخهای ممکن به وقوع می پیوندند. چنین حالتی باعث خواهد شد که مثلاً فعالیت (۸-۴) نتواند در زودترین تاریخ ممکن، یعنی در تاریخ ۷، شروع شود چون هنوز فعالیت (۳-۴) کامل نشده و بنابراین رویداد ۴ به وقوع نپیوسته است.
- مقدار زمانی که یک فعالیت میتواند به تعویق بیفتد، یا به زمان اجرای آن افزوده شود، بدون آنکه بر مقدار شناوري فعالیتهاي بعد خود تأثیری بگذارد، شناوري آزاد (Free Float) آن فعالیت نامیده میشود. یعنی:

$$FF_{ij} = E_j - E_i - D_{ij}$$

انواع شناوري- شناوري آزاد-ادامه

• ولي :

$$E_i + D_{ij} = EF_{ij}$$

پس داريم :

$$FF_{ij} = E_j - EF_{ij}$$

در مثال شکل قبل داريم: $FF_{3-4} = E_4 - E_3 - D_{3-4} = 7 - 3 - 1 = 3$

انواع شناوري- شناوري مستقل

- در شکل قبل، در صورتی که فعالیت (۳-۴) از زمان شناوري آزاد خود استفاده نماید، گو اینکه بر فعالیت بعدی خود اثری نمیگذارد ولی رویداد پایه این فعالیت یعنی رویداد ۳ باید الزاماً در زودترین تاریخ ممکن اتفاق بیافتد. چنین امری ایجاب میکند که فعالیتهایی که به رویداد ۳ ختم میشوند نتوانند از حداکثر زمان شناوري خود استفاده نمایند. در شرایطی که لازم باشد آن مقدار شناوري برای یک فعالیت مورد استفاده قرار میگیرد که علاوه بر عدم تاثیر بر فعالیتهای بعد از خود بر فعالیتهای پیش از خود (پیش نیازهای خود) نیز اثری نداشته باشد، مناسب است مقدار شناوري مستقل (Independent Float) فعالیت محاسبه گردد، بنا به تعریف:
- مقدار زمانی که یک فعالیت میتواند به تعویق بیفتد، یا به زمان اجرای آن افزوده شود بدون آنکه بر شناوري فعالیتهای قبل و بعد از خود تاثیری بگذارد، شناوري مستقل آن فعالیت نامیده میشود

انواع شناوري- شناوري مستقل-ادامه

• پس مقدار شناوري مستقل فعاليت (i-j) عبارتست از:

$$IF_{ij} = E_j - L_i - D_{ij}$$

در مثال قبل ، مقدار شناوري مستقل فعاليت (۳-۴) عبارتست از:

$$IF_{3-4} = E_4 - L_3 - D_{3-4} = 7 - 5 - 1 = 1$$

لازم به يادآوري است که مقدار شناوري مستقل فعاليتها ميتواند کوچکتر از صفر(منفي) باشد. چنين شرايطي در يک فعاليت اين معني را ميرساند که فعاليت مربوطه داراي شناوري مستقل نبوده و حتي در شرايطي که اين فعاليت در زمان معمولي خود اجرا ميشود، بر شناوري فعاليتهاي پيش نياز و پي آمد خود تأثير خواهد گذاشت. در شرايطي که مقدار شناوري يک فعاليت منفي باشد، در محاسبات برنامه ريزي، شناوري آن را برابر با صفر (۰) منظور مي نمايند.

انواع شناوري-به صورت شماتیک

