جمهورية مصر العربية

معهد التخطيط القومى

مذكرة داخلية رقم (٩١٠)

محاضرات فى
أساليب تخطيط ومتابعة تنفيذ المشروعات
بأستخدام بريمافيرا
NETWORK ANALYSIS TECHNIQUES & PRIMAVERA

(الجزء الأول)

إعداد

أ٠د٠ عبد الله الدعوشى

مركز الأساليب التخطيطية

ديسمبر ١٩٩٥

إعادة طبع فبراير ١٩٩٦

القاهرة

طريق صلاح سالم مدينة نصر

NETWORK ANALYSIS TECHNIQUES & PRIMAVERA

أساليب تخطيط ومتابعة تنفيذ المشروعات باستخدام بريمافيرا

*مجالات التطبيق ودواعي الاستخدام

1. التجارة .
2. الصناعة .
3. مقتضيات الدفاع وتنفيذ المشروعات العسكرية .
4. تخطيط مشروعات مصانع التكرير وبرامج العمرات الشاملة لمصانع الكيماويات .
5. إقامة المشروعات الكهربية الكبيرة .
6. تصنيع الطائرات وبناء السفن ومشاريع إنتاج الصواريخ .
7. تنفيذ مشروعات البناء وتخطيط وتشييد الطرق .
8. تخطيط تنفيذ العمليات الجراحية .

*وتتميز هذه الأساليب بما يلي :

1. توضح الترابط القائم بين جميع أنشطة المشروع ومراحله المختلفة .

2. مساعدة الإدارة في التعرف على ما يجب عمله لتحقيق أهداف المشروع وتنفيذ الأنشطة المختلفة في أوقاتها المحددة وعلى ضوء الموارد المتاحة ، أو بمعنى آخر وضع خطة شاملة لتنفيذ المشروع في ضوء موارده المتاحة مع توضيح المسئوليات لأقسام ومراحل التنفيذ المختلفة للمشروع .

3. توضح للإدارة ما هي الأنشطة أو العمليات أو الأعمال الجزئية الخاصة بالمشروع والتي لا تحتمل أي تأخير في تنفيذها ، وبالتالي يجب التركيز عليها بصفة خاصة مع الإعداد المسبق لها والاهتمام بها ، وبمعنى آخر تقييم الخطة قبل تنفيذها واتخاذ الإجراءات اللازمة للتغلب على مواطن الضعف فيها .

④ تتيح إعادة التخطيط وتيسر عملية المتابعة لما تم من أنشطة وإعادة توزيع الموارد أثناء التنفيذ طبقاً للحاجة **Updating** .

⑤ تساعد هذه الأساليب في تقدير احتياجات المشروع من الموارد الإنتاجية المتاحة (العمالة ، الآلات والمعدات ، رأس المال ، ... الخ) ، أوقات الاحتياج لكل منها **Resource Leveling and Smoothing** .

✵ المشروع *PROJECT*

يتكون المشروع عادة من مجموعة من الأعمال أو الأنشطة **Activities** التي قد يعتمد أو لا يعتمد بعضها على البعض الآخر .

✵ **أمثلة :**

- في الحياة اليومية : مشروع الذهاب إلى العمل

- إستيقاظ
- إغتسال
- إفطار
- لبس
- شرب شاي
- أخذ مواصلة لمكان العمل

- في المشاريع البترولية : استكشاف الموقع البترولي

- إذن بالحفر
- نقل المعدات للموقع
- تركيب المعدات
- نقل البترول الخام

- في النواحي الإدارية : مشروع لعقد اجتماع مجلس الإدارة

- اتصالات للاتفاق على موعد
- تبليغ الموعد لأعضاء مجلس الإدارة
- تحضير الموضوعات والمشاكل لكل إدارة
- تحضير قاعة الاجتماع
- عقد الاجتماع

- في مجال التشييد والبناء : مشروع إنشاء وحدة سكنية

- تمهيد الأرض
- حفر الأساس
- إقامة الجدران
- تشييد السقف
- تركيب الأبواب والشبابيك
- تركيب مواسير المياه والإنارة
- أعمال البياض الداخلى للحوائط والأسقف
- تشطيب

•

•

•

وهكذا ...

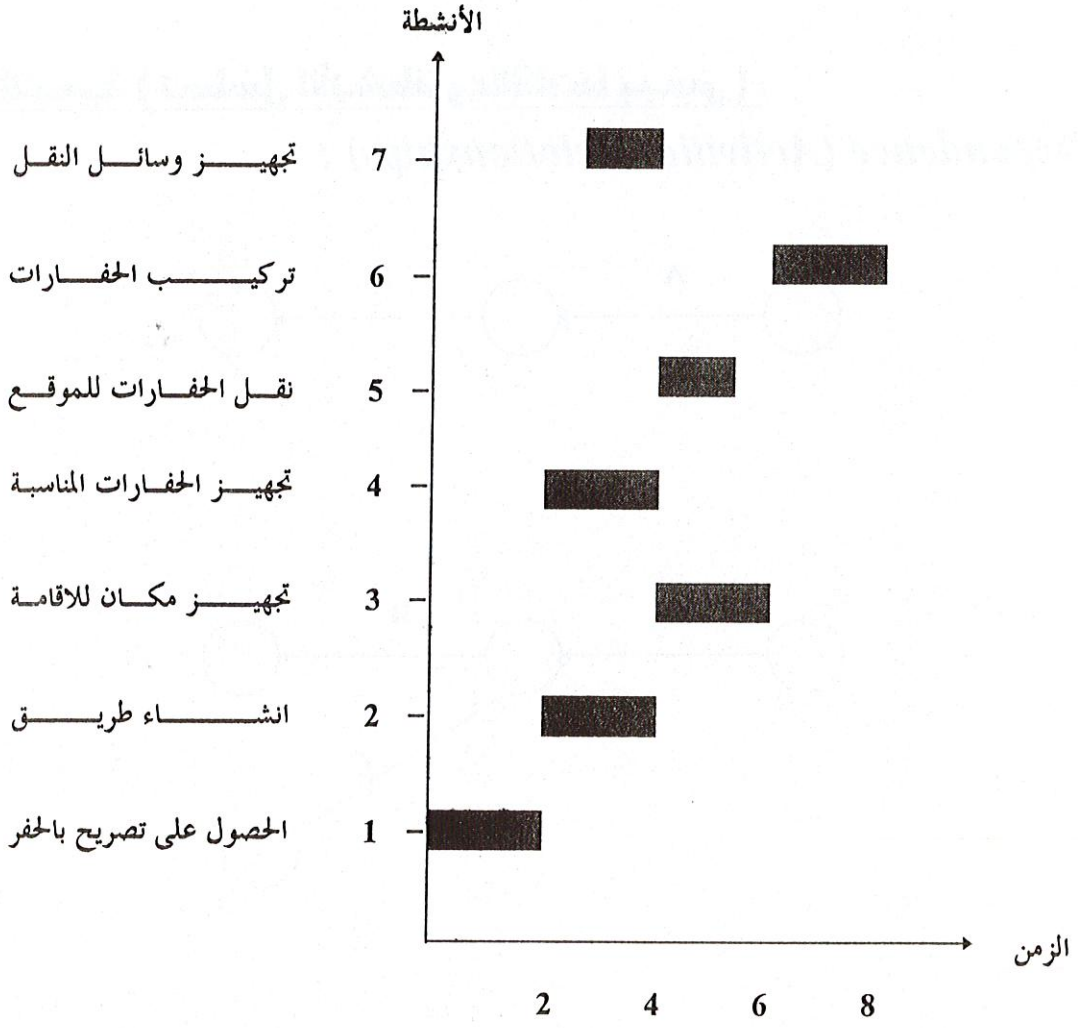
* أي أن :

المشروع عبارة عن :	*PROJECT*
♦ نشاط 1	♦ *Activity 1*
♦ نشاط 2	♦ *Activity 2*
♦ نشاط 3	♦ *Activity 3*
♦	♦
♦	♦
♦	♦

* خرائط جانت لتنفيذ المشروع (عام 1900)

GANTT-CHARTS

مثال : مشروع إستخراج بترول

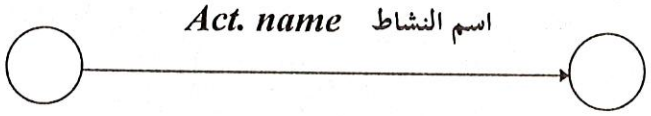


* الأساليب العلمية الحديثة لتخطيط وتنفيذ المشروعات

النشاط Activity

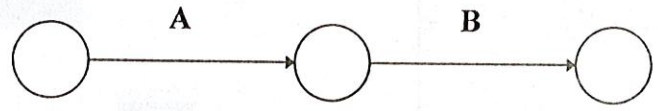
حدث البداية *Start event*

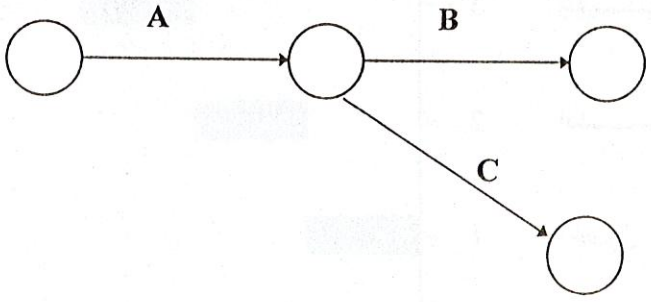
حدث النهاية *End event*

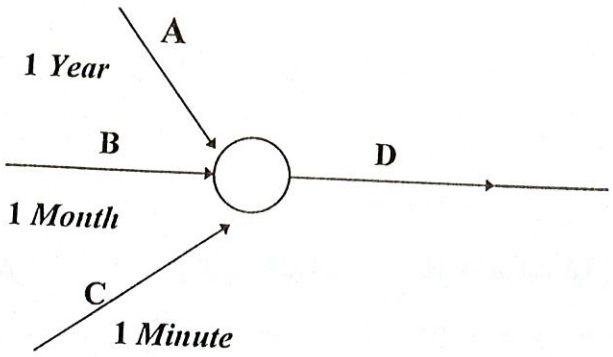


التبعية (تسلسل الأنشطة وعلاقاتها ببعض) :

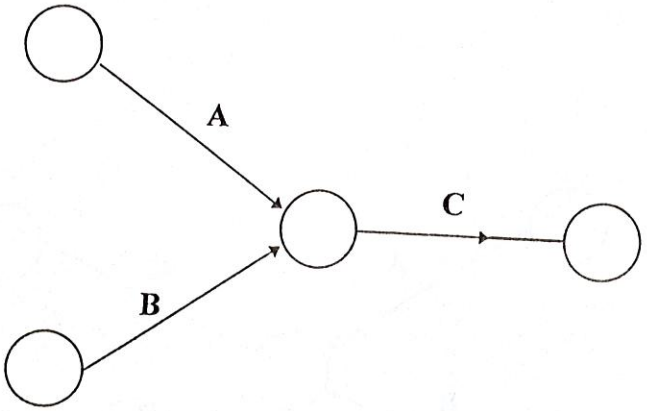
Dependence (Activities Relationships) :

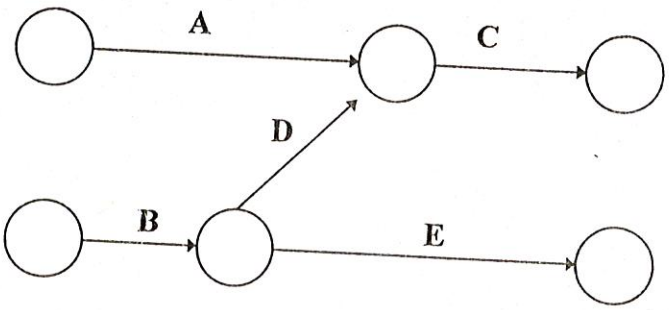


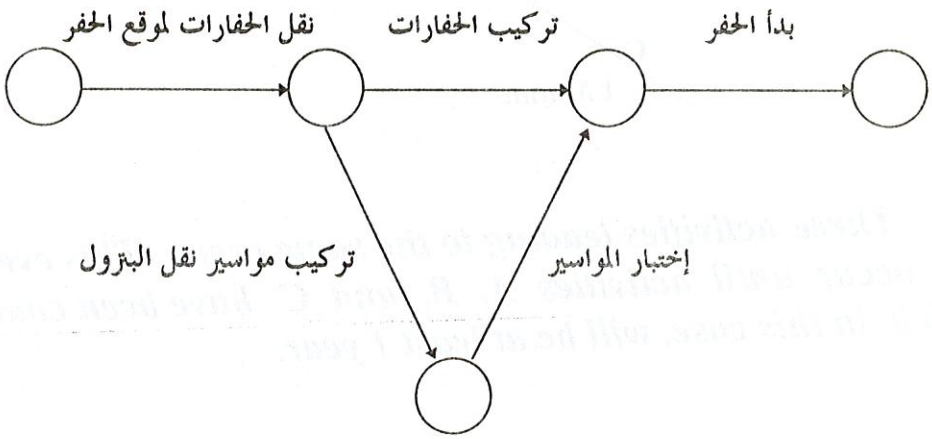


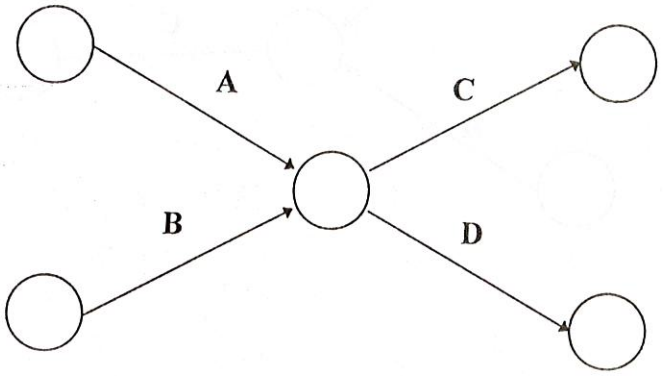


Three activities leading to the same event. This event will not occur until activities A, B, and C have been completed which, in this case, will be at least 1 year.

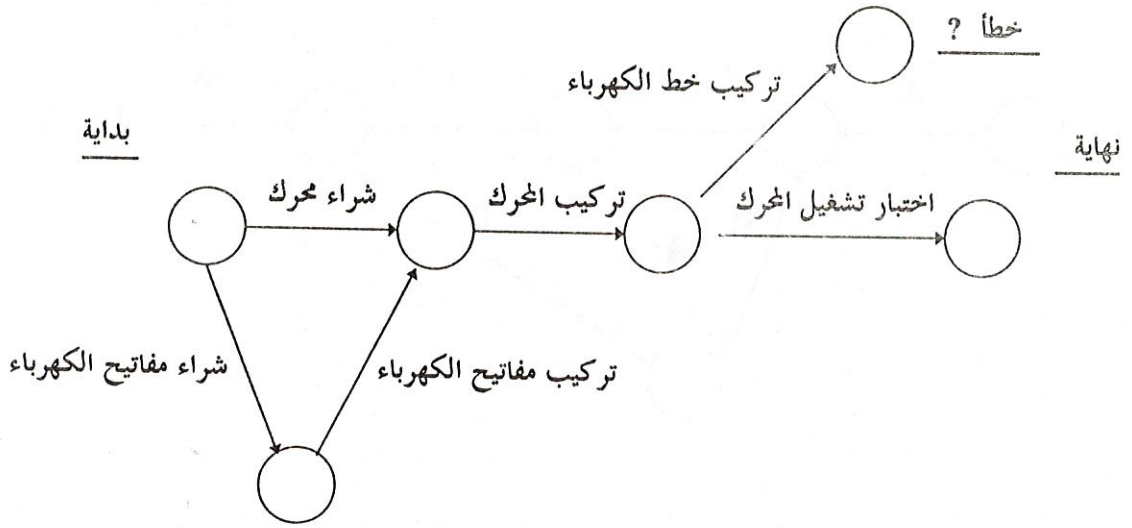




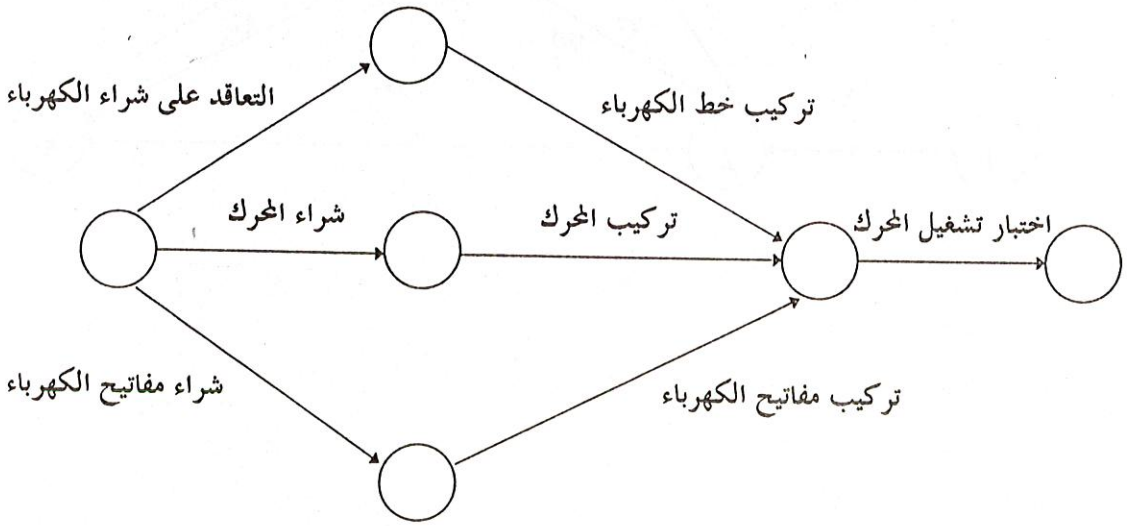

نقل الحفارات لموقع الحفر
تركيب الحفارات
بدأ الحفر
تركيب مواسير نقل البترول
إختبار المواسير


A
B
C
D

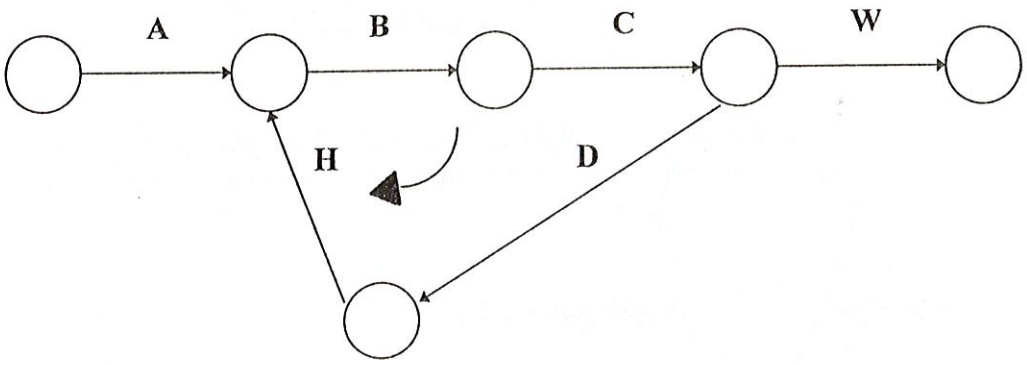
الشبكة Network



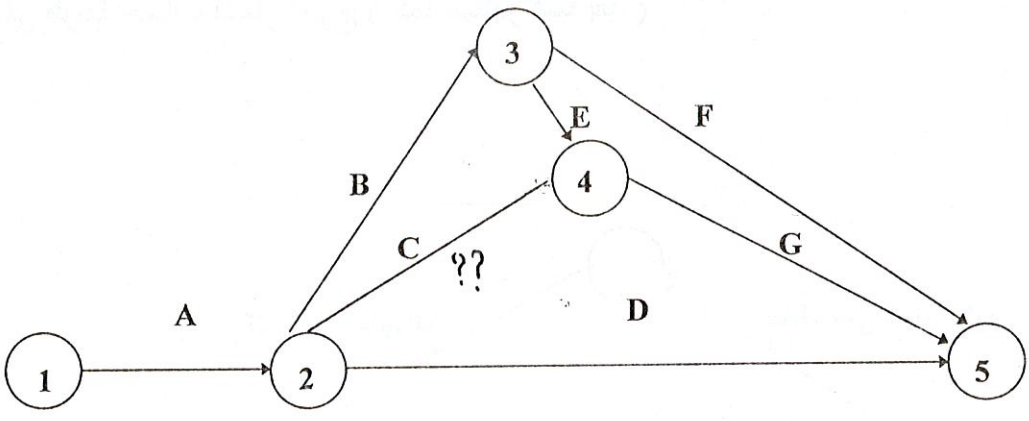
يجب أن يتصل كل نشاط ببداية المشروع ونهايته أما مباشرة وأما من خلال تتابعات أخرى للأنشطة وإلا فسوف يظهر انقطاع (أى عدم استمرارية فى المشروع) وهذا يعد خطأ منطقى فى طريقة حساب المسار الحرج (كما سيظهر فيما بعد) .



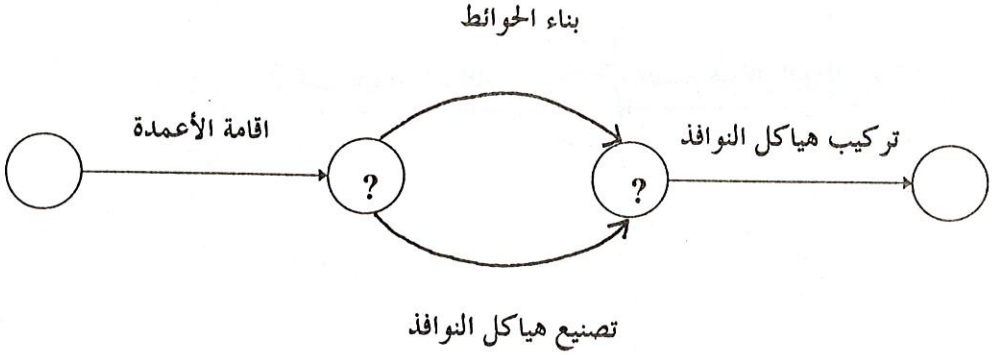
* الدوائر المغلقة *Activity Loops*

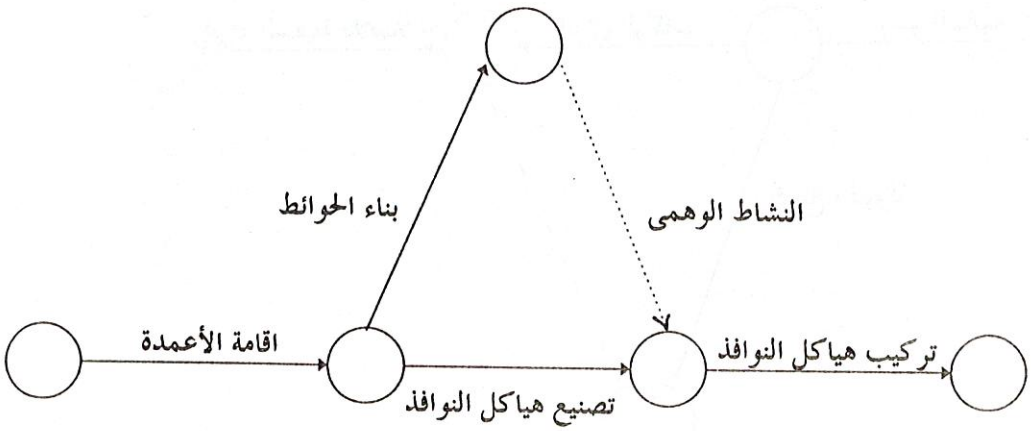


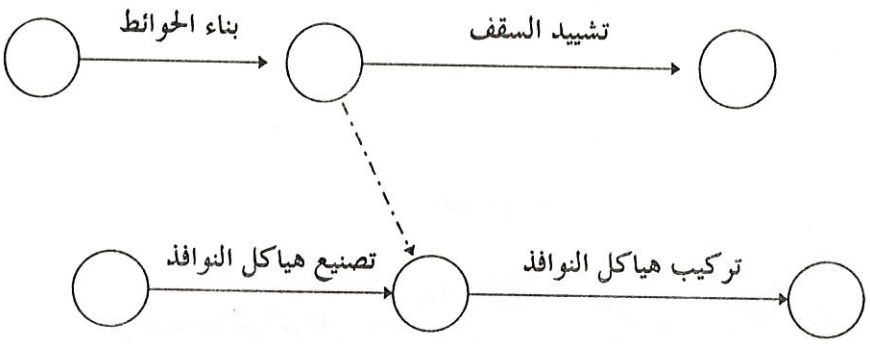
الدوائر المغلقة تمثل حركة عكسيه للزمن (الرجوع للماضى) وهذا أمر مستحيل بالطبع .

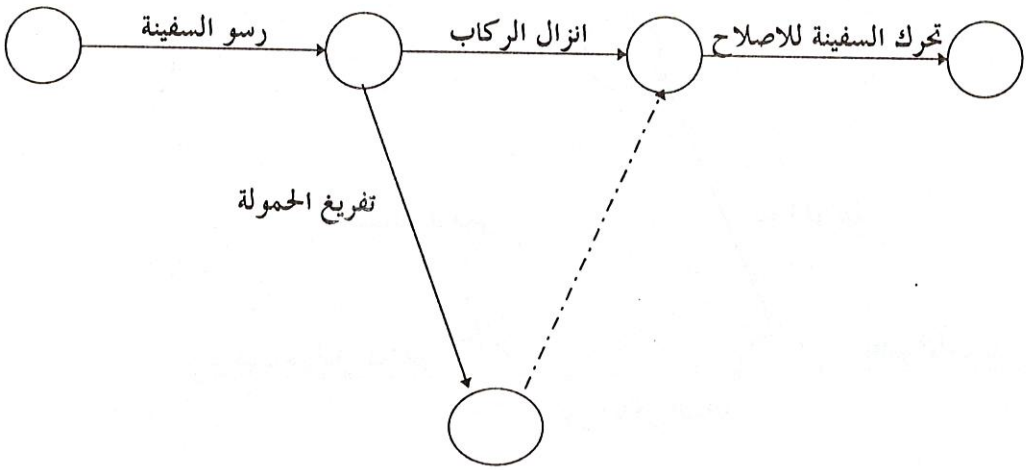


* إستخدام الأنشطة الوهمية *Dummy Activities*

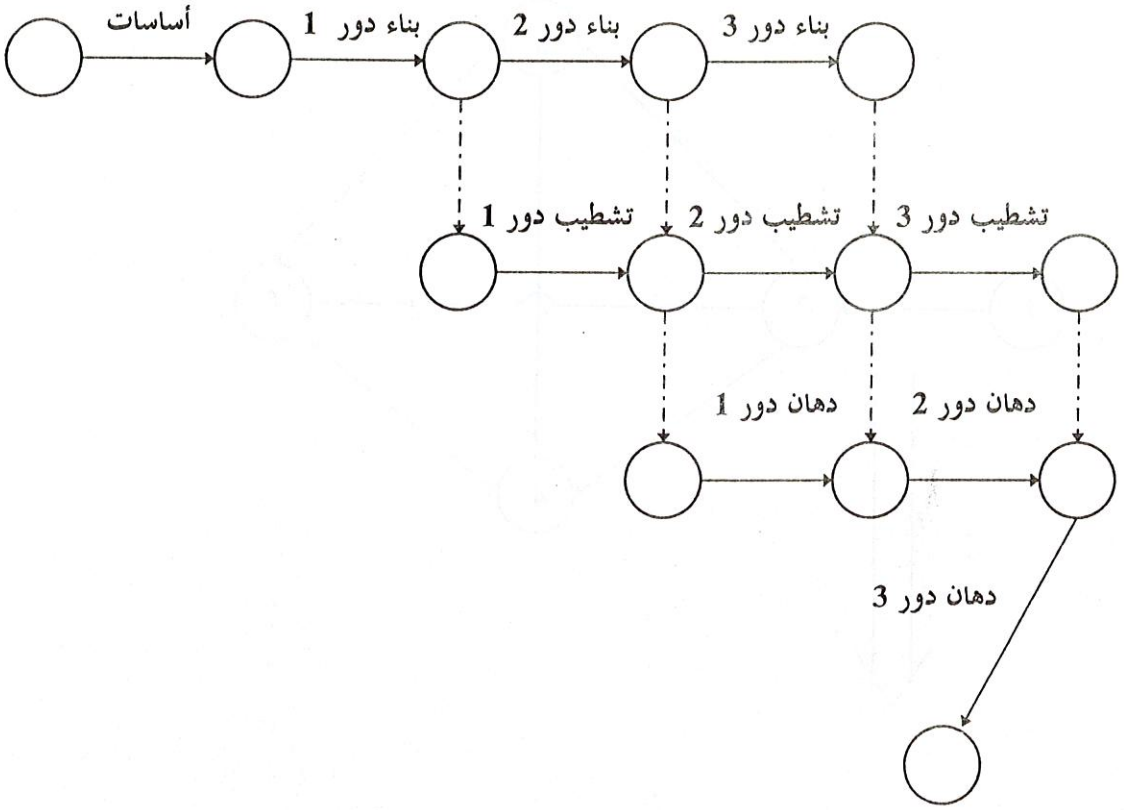


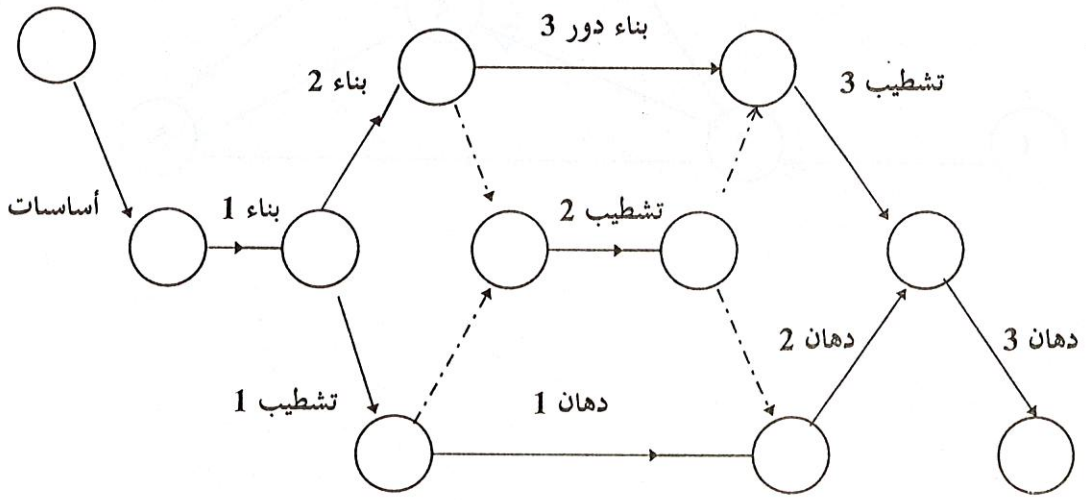



بناء الحوائط
تشييد السقف
تصنيع هياكل النوافذ
تركيب هياكل النوافذ

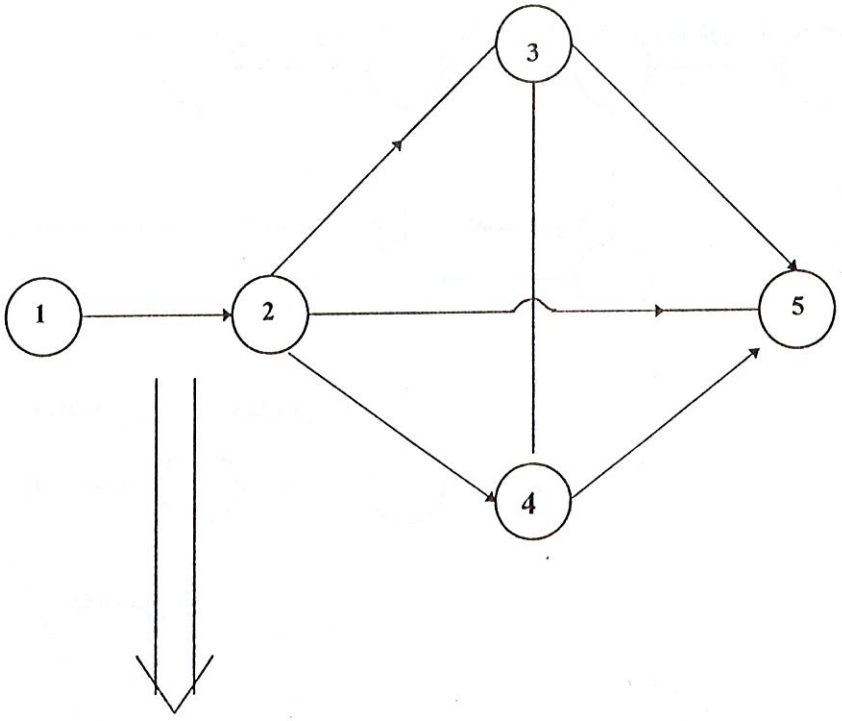

رسو السفينة
انزال الركاب
تحرك السفينة للاصلاح
تفريغ الحمولة

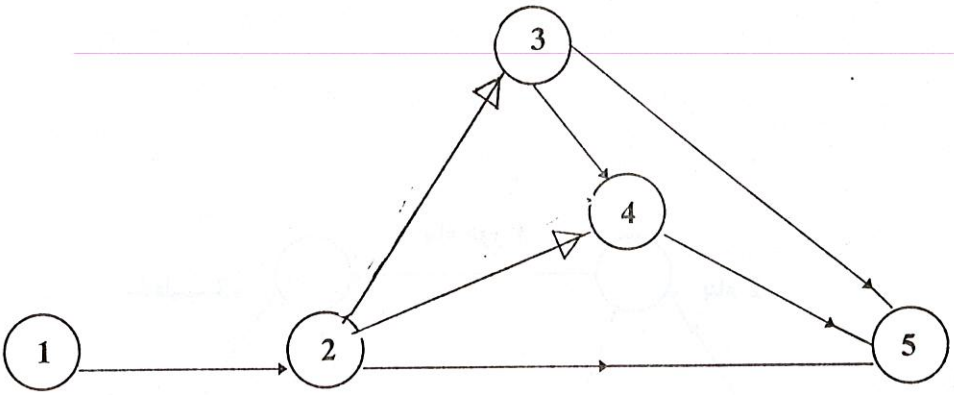
مثال : مشروع مبنى مكون من ثلاثة أدوار

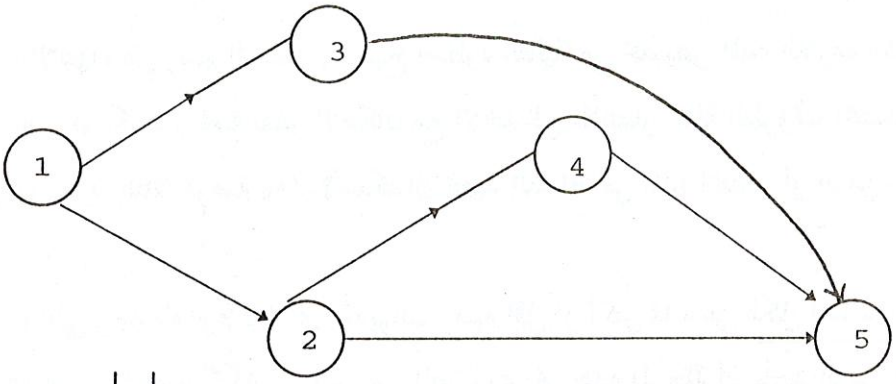


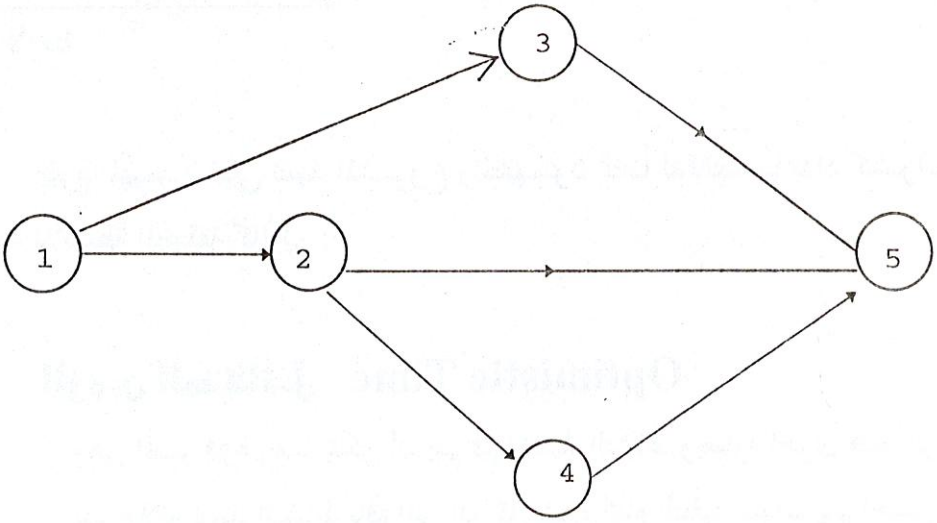


يفضل مراعاة ما يلي :






3
1
4
2
5


3
1
2
5
4

تحليل عنصر الزمن Time Analysis

بالإنتهاء من رسم الشبكة ، تصبح الخطوة التالية هى تخصيص المدة اللازمة لكل نشاط ، وهذه ينبغى أن تكون واقعية بقدر الامكان مع الآخذ فى الاعتبار كافة الظروف المحتملة والمتوقعة وينبغى أن يكون هناك فرصة 50٪ لأستكمال تنفيذ النشاط فى المدة المحددة أو الزمن المتوقع .

وعلى وجه العموم فإن أى تقديرات زمنية أقل أو أكثر مما ينبغى لكل نشاط بمفرده سوف يعم أثرها على المشروع ككل ، وليس من الضرورى فى هذه المرحلة أن نأخذ الزمن اللازم لاتمام المشروع كله فى الحسبان .

وفى الحقيقه ينبغى أن توجه عناية خاصة لتجنب تقديرات تخضع لتأثير وقت محدد لانهاء المشروع ، إذ يمكن أن ينشأ عن ذلك تخصيص مدد تنفيذ غير واقعية لأنشطة المشروع .

إن الأزمنه اللازمة لنهو تنفيذ الأنشطة المختلفة سوف تؤخذ على أساس أنها محسوبة بمعرفة المسئولين عن تنفيذ المشروع ولكن يستحسن هنا أن نوضح أحد الطرق المستخدمة لحساب هذه الأزمنة .

يقوم المهيمنون على تنفيذ المشروع والمتفهمون تماماً لدقائقه بإعداد كشوف بالأزمنة اللازمة للأنشطة المختلفة كالآتى :-

1- الزمن المتفائل Optimistic Time

وهى أقصر فترة زمنية يمكن أن يتم فيها تنفيذ النشاط وبعبارة أخرى هو الزمن الذى يتم خلاله تنفيذ النشاط بإفتراض أن كل شىء أثناء التنفيذ سوف يتم أحسن مما يتوقع عادة .

2- الزمن الأكثر احتمالا Most Likely Time

وهو أحسن تقدير للفترة الزمنية اللازمة لنهو النشاط آخذين فى الاعتبار الاحتمالات المتوقعة أثناء التنفيذ .

3- الزمن المتشائم Pessimistic Time

وهو أطول فترة زمنية يمكن أن يتم فيها تنفيذ النشاط وبعبارة أخرى هو الزمن الذى يتم خلاله تنفيذ النشاط بإفتراض أن التنفيذ سوف يعترضه كل العقبات الممكنة (فيما عدا الكوارث) .

فإذا رمزنا لهذه الأزمنة الثلاثة بالرموز A , B , C على التوالى بإفتراض أنها تمثل وحدات زمنية معينة (يوم ، أسبوع ، شهر ... الخ) فإنه يمكن حساب الزمن المتوسط اللازم لتنفيذ أى نشاط من المعادلة الآتية :-

$$t = \frac{A + 4B + C}{6}$$

حيث :

t تمثل الزمن المتوسط اللازم لتنفيذ أى نشاط

وهذا هو الزمن الذى يؤخذ به فى حساب الشبكات إذا ما استخدمت هذه الطريقة فى الحساب ، ويمكن تعريف هذا الزمن بأنه الزمن المتوسط الذى يتطلبه تنفيذ نشاط ما إذا ما كرر تنفيذه مرات كثيرة .

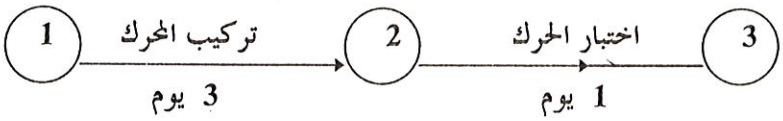
ملاحظة :

$$\text{Duration} = \frac{\text{Volume of Work}}{\text{No. of Resources} * \text{Average Productivity of each Resource}} \pm \text{Uncertainty Factor}$$

عنصر الزمن وتحديد المسار الحرج *Critical Path*

تحليل الزمن :

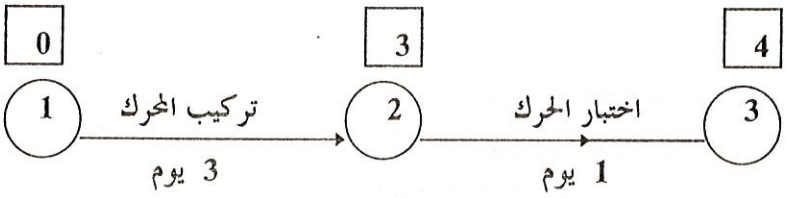
الآزمنه الأكثر تبكيراً لتنفيذ الاحداث ***Earliest Time For Events***



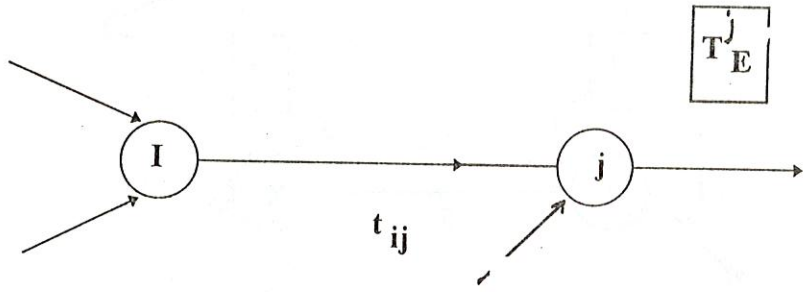
بعد تحديد الأزمنة الواقعية للأنشطة ، يمكن حساب الأزمنة الأكثر تبكيراً لحدوث الاحداث .

الزمن الأكثر تبكيراً لحدوث الحدث هو ، كما يتضح من التسميه ، الزمن أو التاريخ المبكر الذى يمكن أن يحدث عنده الحدث ، وهو يتوقف على طول الفترة الزمنية اللازمة لتنفيذ سلسلة من الأنشطة التى تؤدى إلى هذا الحدث .

فمثلاً الزمن الأكثر تبكيراً لحدوث الحدث (2) هو 3 أيام ، ولحدوث الحدث (3) هو 4 أيام (3 + 1) :



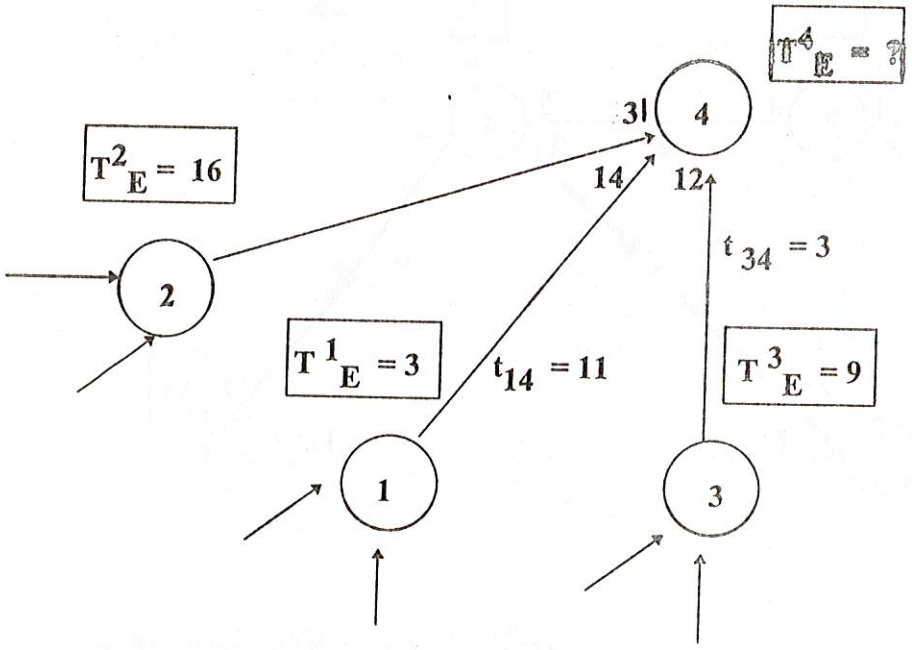
بصفة عامة :



بإفتراض أن أكثر الأوقات تبكيراً لحدوث الحدث j هو T^J_E وأن هناك أكثر من نشاط ينتهى عند هذا الحدث فإن :

$$T^j_E = \max (T^i_E + t_{ij}) \quad \forall\, i$$

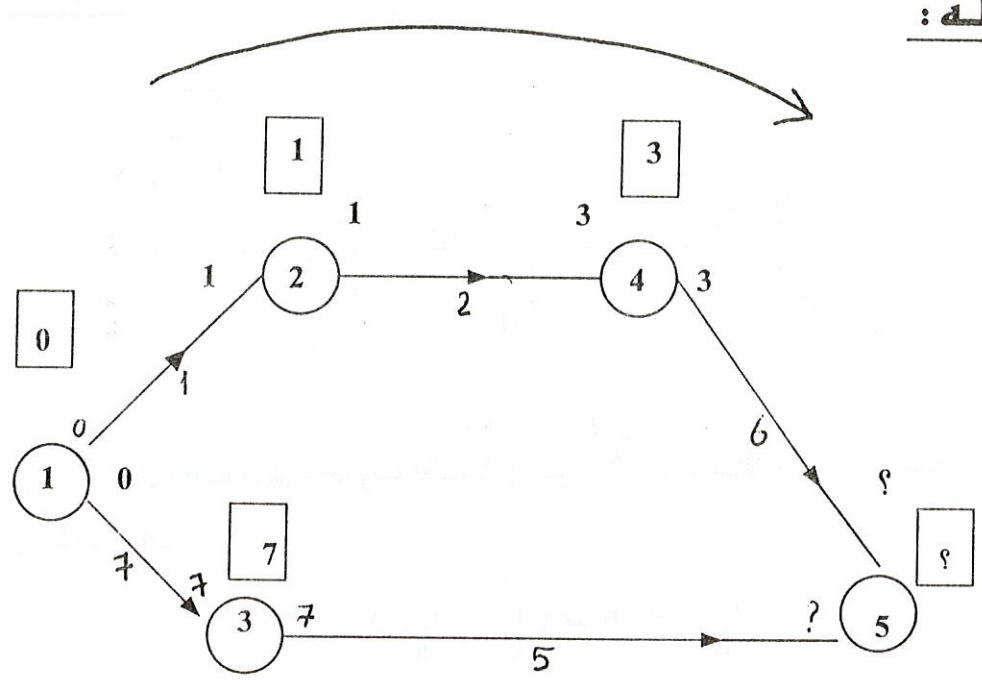
مثال :

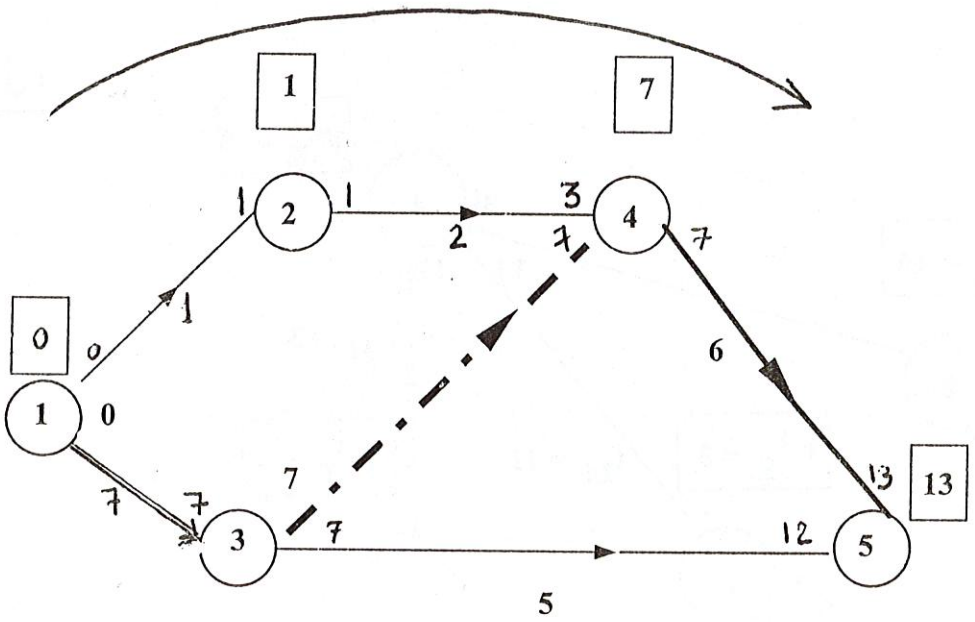


$$T^4_E = \text{Max} \begin{cases} 3 + 11 = 14 \\ 16 + 15 = 31 \leftarrow \\ 0 + 3 = 12 \end{cases}$$

تحديد المسار الحرج : الخطوة الأولى *FORWARD PASS* :

أمثلة :





فى هذه الشبكة ثلاثة مسارات (سلاسل) :

(1) 1 - 2 - 4 - 5 ⇒ *Total time* = 9

(2) 1 - 3 - 4 - 5 ⇒ = 13 ←

(3) 1 - 3 - 5 ⇒ = 12

المسار (2) هو أطول المسارات زمنياً .

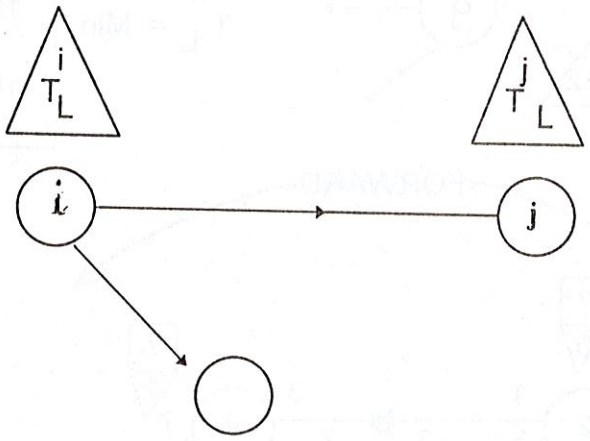
تحديد المسار الحرج : الخطوة الثانية *BACKWARD PASS*

الأزمنة الأكثر تأخيراً لتنفيذ الإحداث *Latest Time for Events*

الزمن الأكثر تأخيراً لتنفيذ الحدث هو أكثر زمن متأخر يمكن أن يحدث فيه الحدث بشرط ألا يتجاوز الزمن الأكثر تبكيراً لاتمام المشروع ككل .

والأجراء المتبع لحساب هذه الأزمنة هو البدء بحدث نهاية المشروع والاتجاه للخلف *BACKWORD* إلى أن نصل إلى حدث البداية .

ولتحديد هذه الأزمنه ، نتبع الآتى :-

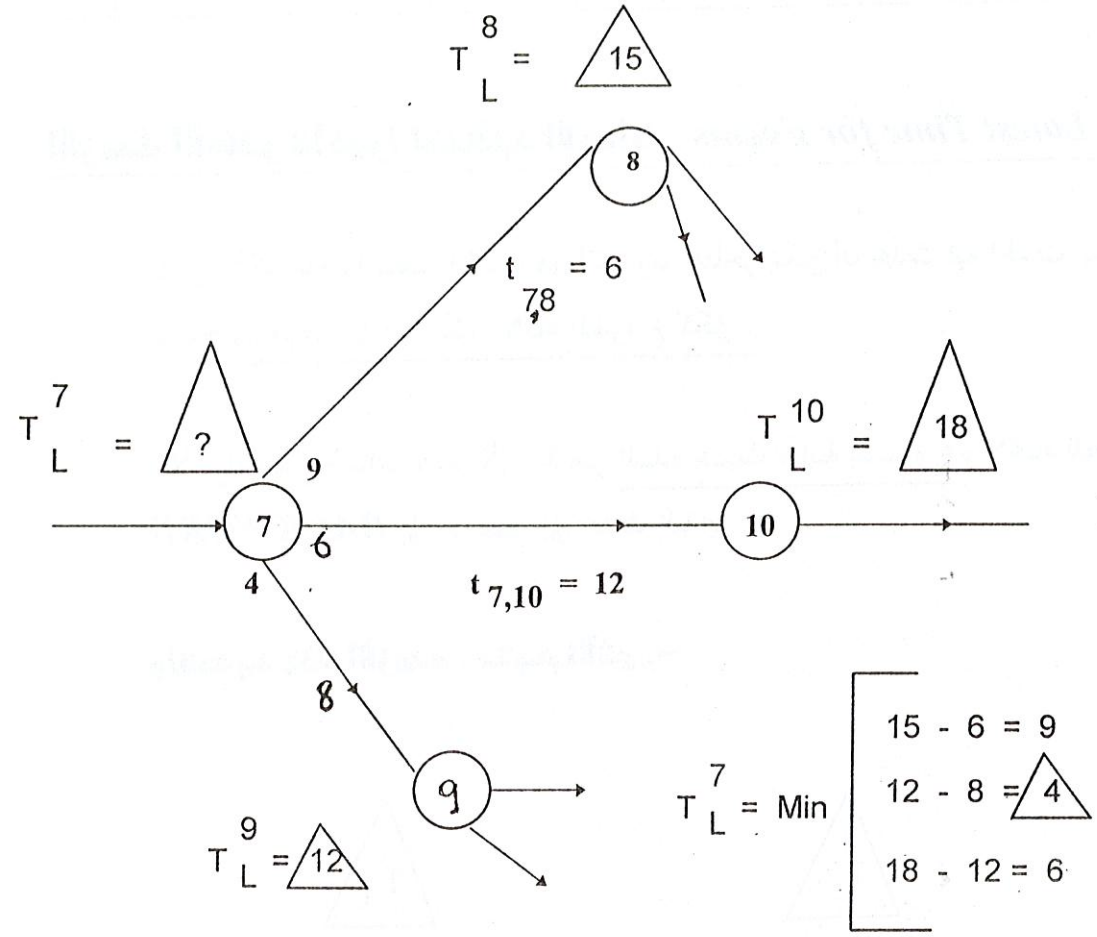


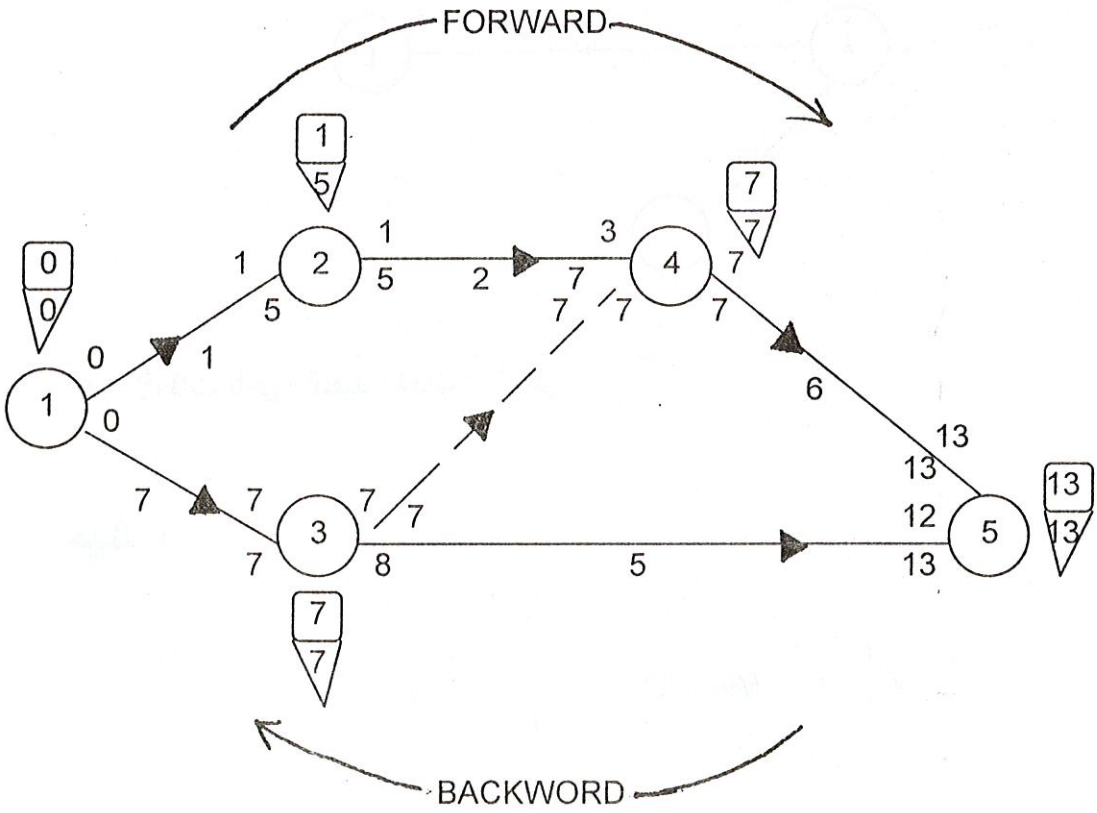
أكثر الأوقات تأخيراً لتنفيذ الحدث i هو T_L^i

حيث :

$$T_L^i = \text{Min.} \left(T_L^j - t_{ij} \right) \quad \forall\ j$$

ولتوضيح ذلك نأخذ المثال التالى :





- **النشاط الحرج** *Critical Activity*
- **النشاط غير الحرج** *Non Critical Activity*
- **وقت السماح (الفائض) الكلى** *Total Float (Slack)*

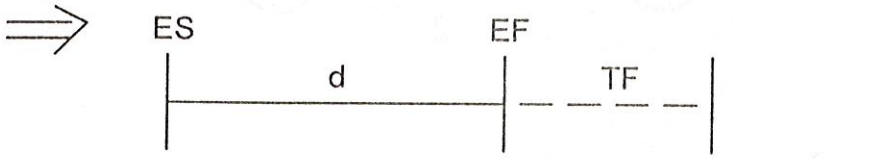
يختلف EF لتنفيذ بعض الأنشطة عن LF لهذه الأنشطة ، وعلى ذلك يكون هناك وقت فائض (سماح) *Float* .

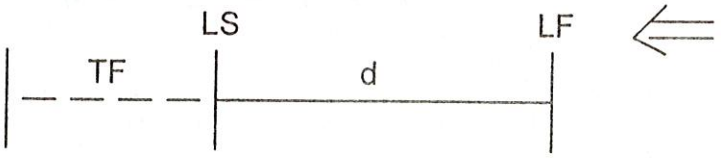
$$TF_{act} = LF - EF \qquad \text{for non-critical activities}$$
$$= LF - (ES + d)$$
$$= (LF - ES) - d$$

أقصى وقت مسموح به لتنفيذ النشاط

أى أن :

السماح الكلى للنشاط = أقصى وقت مسموح به لتنفيذ النشاط – وقت النشاط

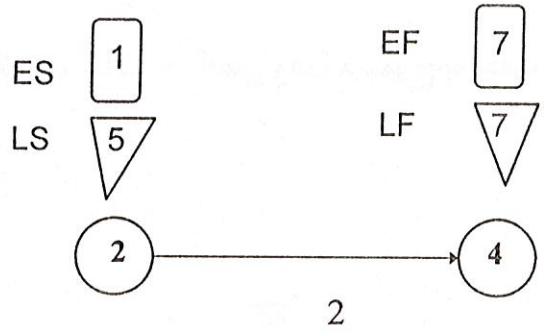




ومن البديهى أن الأنشطة التى يتساوى لها ***E.time*** مع ***L.time*** عند كل من حدثى البداية والنهاية (أى الأنشطة التى لها فائض كلى = صفر) هـى أنشـطة لا تحتمـل أى تأخـير فـى تنفيذها حتى لا يحـدث أى تأخـير فـى وقـت تنفيـذ المشـروع ككـل ، يطلـق علـى هـذه الأنشـطة بالانشطة الحرجة ***Critical Activities*** ، كما يطلق على المسار الذى يتضمن هذه الأنشطة الحرجة بالمسار الحرج ***Critical Path*** .

والمسار الحرج هو أطول مسار من بداية الشبكة إلى نهايتها والسماح الكلى لكل نشاط يقع عليه = صفراً .

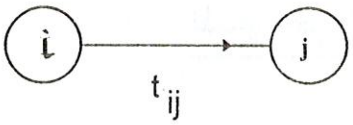
مثال لنشاط غير حرج :



$$TF_{2,4} = LF - ES - dur.$$

$$= 7 - 1 - 2 = 4$$

إرسم شبكة المشروع بأحداثها ومُبيناً على كل نشاط



t_{ij} يبدأ بالحدث i وينتهى بالحدث j الزمن المحدد أو المتوقع لتنفيذه

⇓

احسب لكل حدث فى الشبكة :

أقصى وقت مبكر من بداية تنفيذ المشروع ، يمكن أن يبدأ فيه تنفيذ النشاط الذى يمثل هذا الحدث بدايته .

T^j_E

EARLIEST EXPECTED TIME

$$T^j_E = \max \left(T^i_E + t_{ij} \right) \quad \forall\, i$$

⇓

الزمن اللازم لتنفيذ المشروع = الزمن T^j_E المقابل لآخر حدث فى المشروع =

مجموع الأزمنة t_{ij} للأنشطة الحرجة على المسار الحرج

⇓

احسب لكل حدث فى الشبكة :

أقصى وقت مسموح به من نهاية تنفيذ المشروع ، يمكن للحدث أن يتأخر عنه دون أن يتأثر الموعد الكلى المحدد لتنفيذ المشروع

LATEST COMPLETION TIME T^i_L

$$T^i_L = \min \left(T^j_L - t_{ij} \right) \quad \forall\, j$$

⇓

لكل نشاط (i - j) فى المشروع ، هل :

? $T^i_E = T^i_E$

? $T^j_E - T^i_E = t_{ij}$

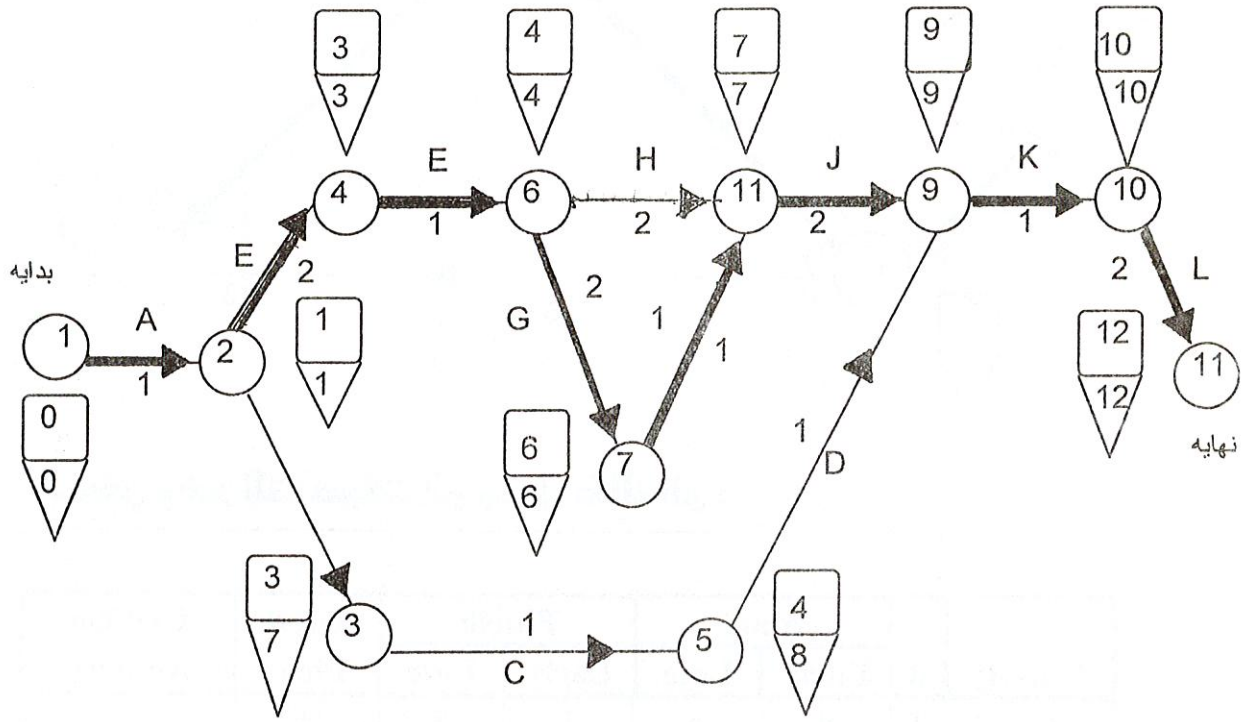
نعم ← النشاط (i - j) يقع على المسار الحرج (نشاط حرج)

لا ← النشاط (i - j) لا يقع على المسار الحرج (نشاط غير حرج)

مثال (1) : والمثال التالى يمثل كيفية حساب الأزمنة المختلفة للاحداث وبالتالى تحديد المسار الحرج :

مشروع لحفر بئر بترول فى موقع ما ، والعمليات المختلفة التى سيتم بها هذا المشروع

النشاط	توصيف النشاط	زمن النشاط (وحدة زمن)	نشاط/أنشطة سابقة
A	الحصول على تصريح بالحفر	1	-
B	انشاء طريق بين الطريق الرئيسى وموقع الحفر	2	A
C	تجهيز مكان للاقامة بجوار الموقع (نصب خيام ... الخ)	1	B
D	نقل معدات وأجهزة مساعدة إلى الموقع	1	C
E	تجهيز الحفارات المناسبة	2	A
F	نقل الحفارات إلى الموقع	1	E
G	اختبار الأجهزة الخاصة بالبحث عن أنسب مكان الحفر	2	F
H	تركيب الحفارات	2	F
I	الكشف عن أنسب مكان للحفر	1	G
J	تركيب مواسير لنقل البترول المستخرج إلى وسائل النقل	2	H,I
K	القيام بالحفر فى الموقع المناسب	1	D,J
L	نقل البترول إلى معامل التكرير	2	K



أزمنة الأنشطة :

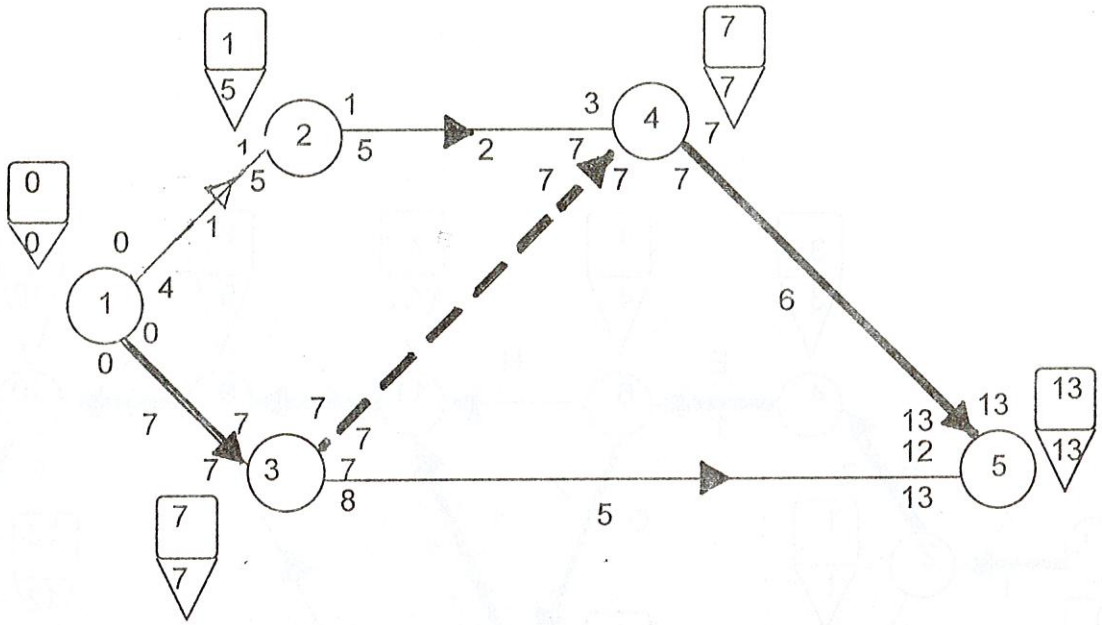
لكل نشاط يوجد

ES, EF, LS, LF

&

TF = LS - ES for non-critical activities
= LF - EF
= (LF - ES) - d

مثال (2) : بإعتبار الشبكة التالية :



يمكن وضع التفصيلات في جدول كالتالي :

Activity	d	Start		Finish		Total Fleat	Critical Activity
		Early	Late	Early	Late		
1 , 2	1	0	4	1	5	4	
1 , 3	7	0	0	7	7	0	*
2 .4	2	1	5	3	7	4	
3 , 4	0	7	7	7	7	0	*
3 , 5	5	7	8	12	13	1	
4 , 5	6	7	7	13	13	0	*

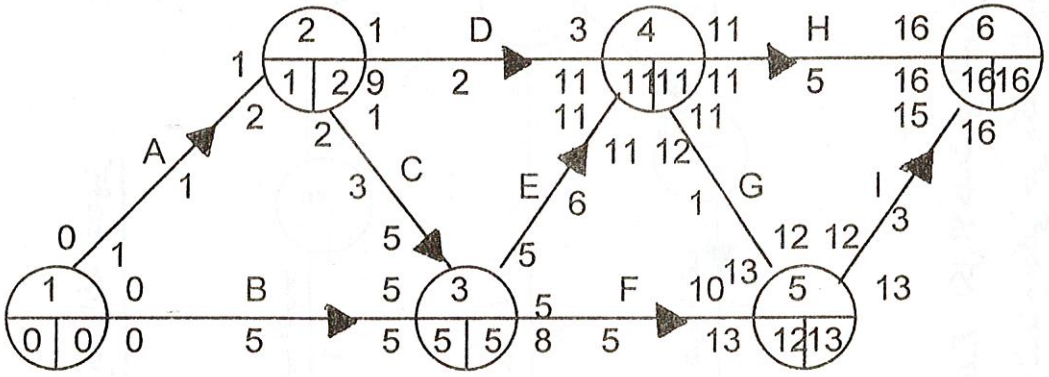
ويمكن تحويل هذا الجدول ـــــ شرط معرفة تاريخ البدء الفعلي للمشروع ـــــ إلى جدول زمني له قيمته في رقابة وتخطيط العمليات المختلفة للمشروع .

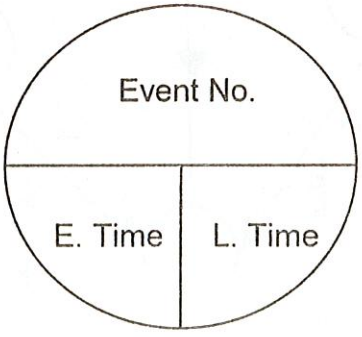
(ومع ذلك سيتم معالجة هذه المشكلة بشكل أكثر تفصيلاً ووضوحاً عند التعرض للـ *PRIMAVERA*) .

مثال (3): يتكون مشروع من الأنشطة التالية :

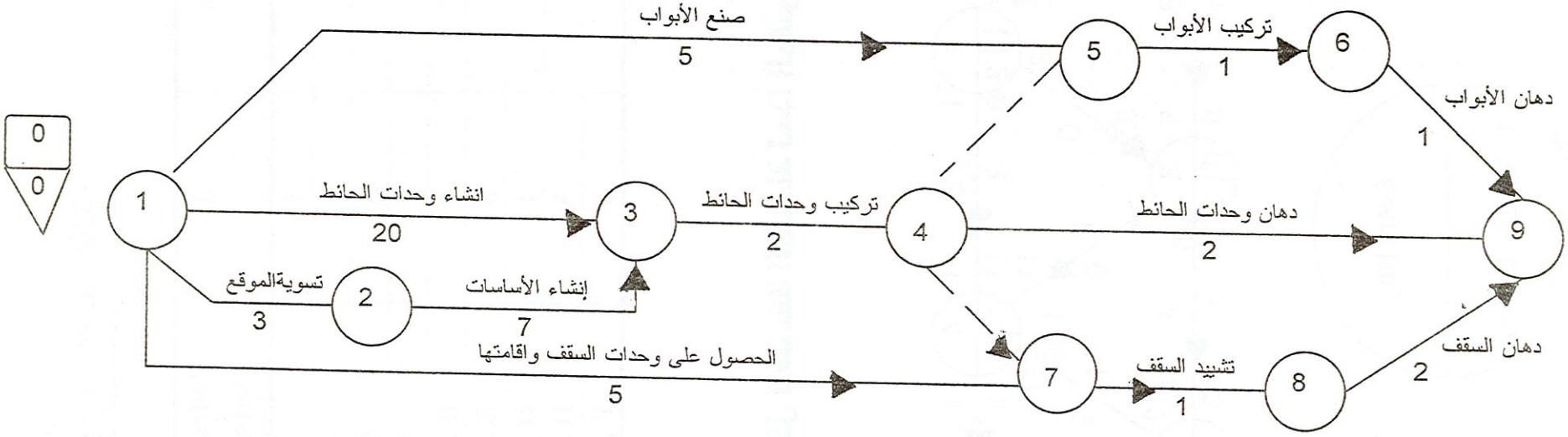
Act.	d	Padecessar Activities
A	1	-
B	2	-
C	3	A
D	2	A
E	6	B , C
F	5	B , C
G	1	D , E
H	5	D , E
I	3	F , G

والشكل التالى يمثل الشبكة المقابلة لهذا المشروع :





مثال 4 : اقامة جراج من أجزاء سابقة التجهيز



المطلوب ؟

* تحديد *E.time, L.time* لكل الاحداث فى المشروع ومن ثم
* تحديد المسار الحرج والسماح الكلى حتى يمكنك الحصول على الجدول التالى .

Activity	d	Start		Finish		Total Float	Critical Activity
		Early	Late	Early	Late		
(1 , 2)	3	0	10	2	13	10	
(1 , 3)	20	0	0	20	20	0	*
(1 , 5)	5	0	18	5	23	18	
(1 , 7)	5	0	17	5	22	17	
(2 , 3)	7	3	13	10	20	10	
(3 , 4)	2	20	20	22	22	0	*
(4 , 5)	0	22	23	22	23	1	
(4 , 7)	0	22	22	22	22	0	*
(4 , 9)	2	22	23	24	15	1	
(5 , 6)	1	22	23	23	24	1	
(6 , 9)	1	23	24	24	25	1	
(7 , 8)	1	22	22	23	23	0	*
(8 , 9)	2	23	23	25	25	0	*

ملحوظة(*) :

استخدم الـ *STORM* لاعادة حلول الأمثله السابقة .

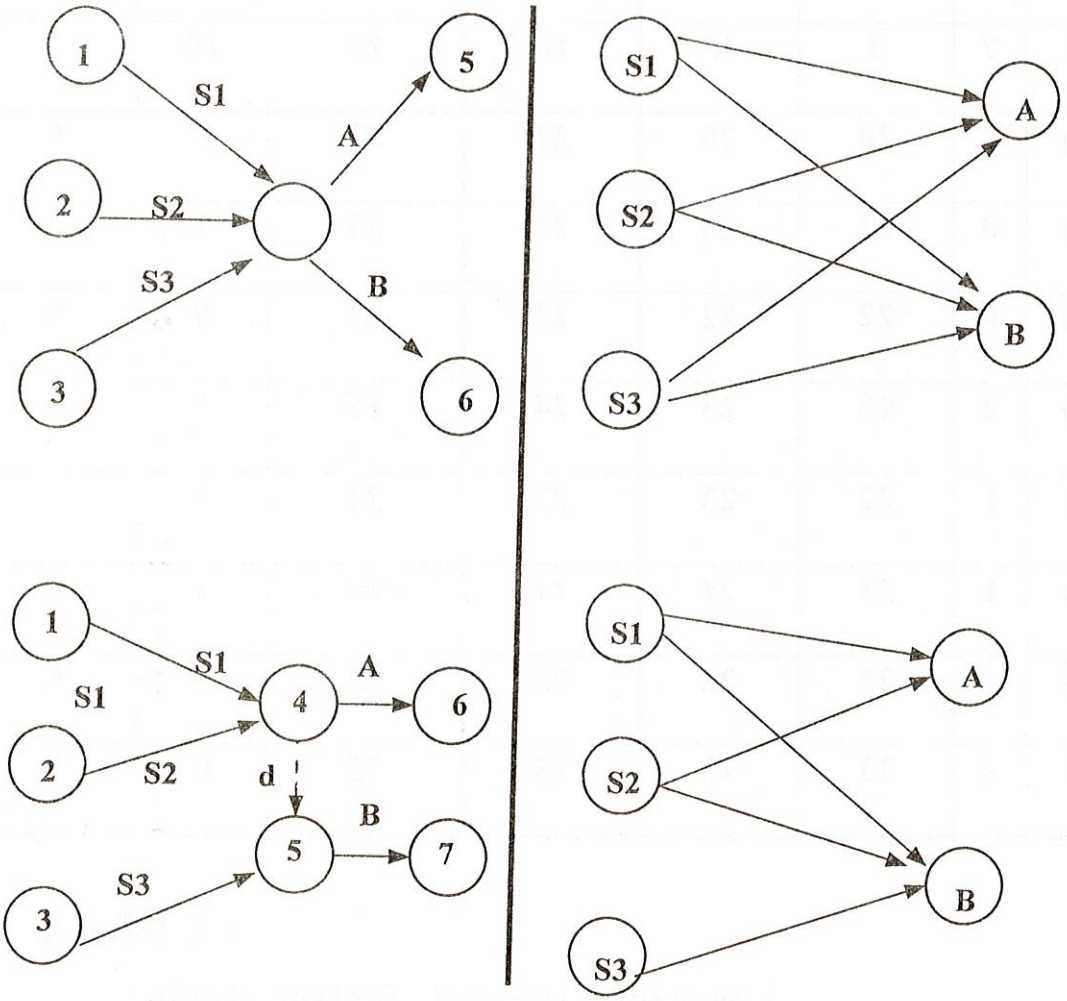
(*) الـ *STORM* هو برنامج حاسب جاهز لحل المشاكل من هذا النوع .

NETWORKING (Continued)

The precedence relationships between the project-activities were specified by using one of two approaches named:

1. **ACTIVITY - ON - ARROW representation (ARROW NETWORK), and**
2. **ACTIVITY - ON - NODE representation (NODE NETWORK).**

The following figures illustrate the ARROW NETWORKING versus the NODE NETWORKING



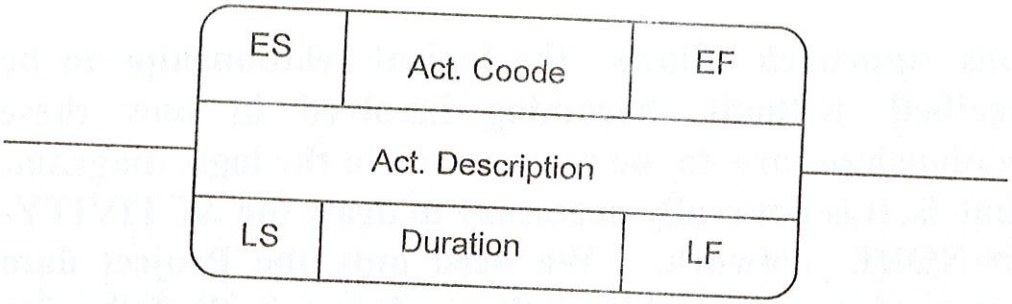
NOTE

The ARROW NETWORK now has a dummy activity "d", while the NODE NETWORK became simpler.

NOTE

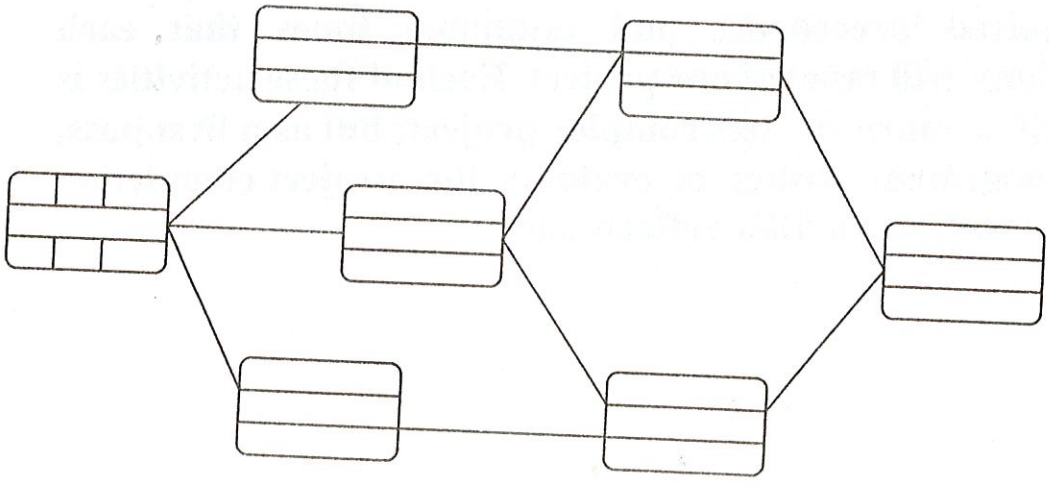
Using PRIMAVERA, the Activity-on-Node representation (Node Network) usually called Precedence Diagram or PDM, while the Activity-on-Arrow representation (Arrow Network) usually called Arrow Diagram or ADM.

Now, for PDM, the activity ID and considerable amount of other information pertaining to it are entered into its rectangular box, as shown:



The Precedence Diagram (PDM):

It is standard practice that precedence diagrams start with a single opening activity and conclude with a single closing one as shown :



PDM (Precedence Diagram)

THE ACTIVITY-ON-NODE APPROACH

If this approach is to be used, there is no need to draw a network representation for the project before using the algorithm. You must simply list all the immediate predecessors (or successors) of each activity.

NOTE

1. **This approach allows the logical relationships to be specified without becoming involved in how these relationships are to be represented in the logic diagram; That is, it is not really necessary to draw the ACTIVITY-ON-NODE network. We need only the Project data represented in a table such as shown in the following example. Thus avoiding any confusion which might arise.**

EXAMPLE

The following table represents the activities (with their required precedence and estimated times that each activity will take) of one project. Each of these activities is itself a more or less complex project; but as a first pass, management wishes to evaluate the project completion time without further refinement.

Activity code	Time	Predecessors				
		Pred-1	Pred-2	Pred-3	Pred-4	.....
A1	6					
A2	3					
A3	5	A2				
A4	3	A1	A3			
A5	3	A1				
A6	5	A5				
A7	3	A1	A2			
A8	4	A7				
A9	3	A4	A6	A8		
A10	2	A7				

2. **Activities can be scheduled and entered to the computer program in any convenient order (other advantage of Activity-On-Node Approach).**

3. **The algorithm used allows to have any number of initial activities (activities with no predecessors) and any number of terminal activities (those activities with no successors).**

DIAGRAMMING OVERLAPPING ACTIVITIES :

- **There are many cases where there may be a delay time between, for example, the completition (Finish) of one activity and the start of another following one; or there is a need to show that one activity will overlap another in some fashion.**

- **You can diagram overlapping activities using ADM or PDM. For example, the following figure shows that A2 can start 5 days after the start of A1:**

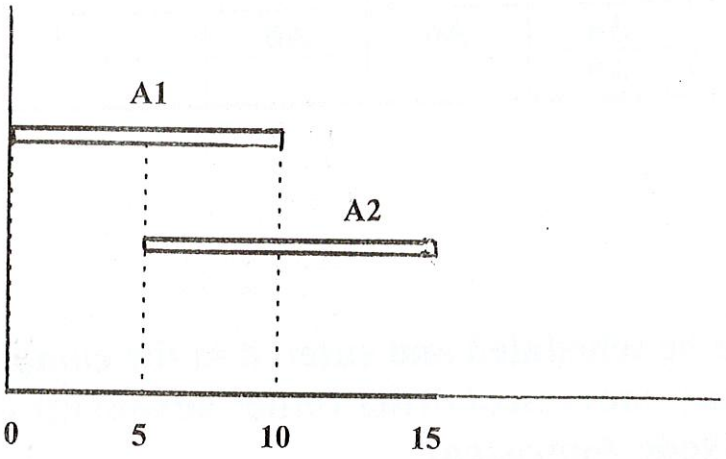


Fig 1

- **Using ADM, you can <u>split</u> an activity (for ex, A1 tic Ann and A12; A2 tic A21, A22) to create an overlap as follows:**

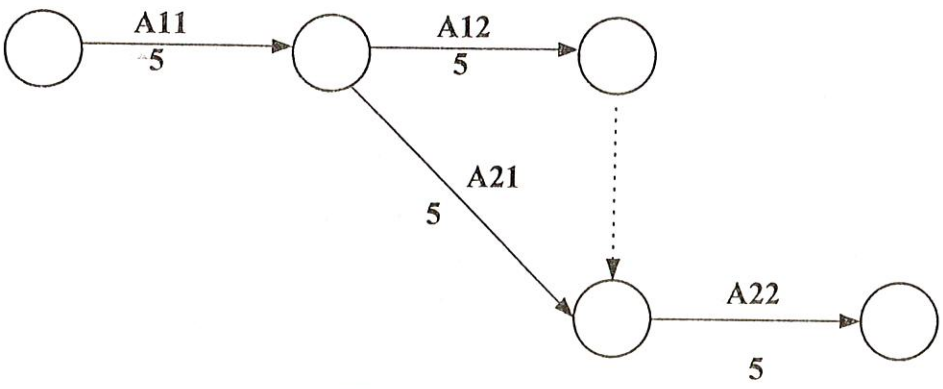
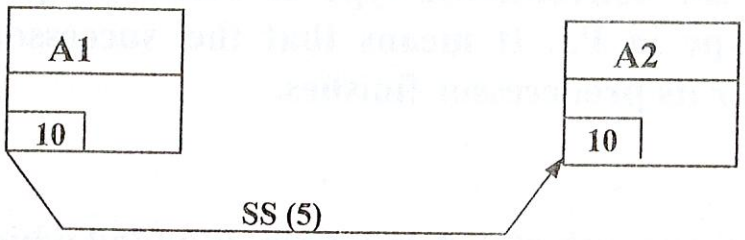


Fig 2

- **The two activities in Fig 1 are split to show that A2 can start 5 days after A1 starts.**

– **Using PDM, you can assign value to the arrow to establish an overlay of activities, In the following figure the Start-to-Start relationship { SS(5) } indicates that activity A2 can start 5 days after the start of activity A1.**



TYPES OF PDM RELATIONSHIPS:

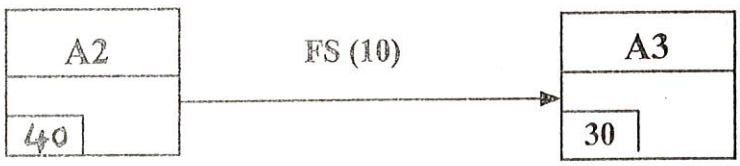
- **PDM diagrams are more flexible than ADM diagrams because they can show several types of relationships. These relationships are listed as follows:**

* ***Finish-to-Start (FS)*** **:**

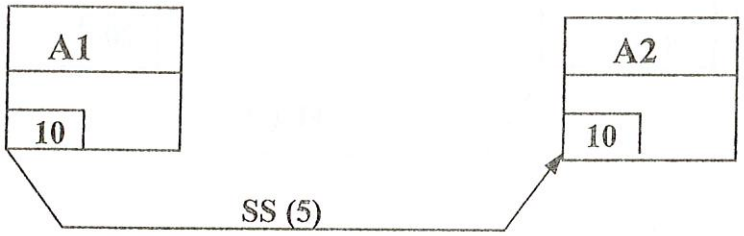
- **This is the conventional type of relationships and the default type in P3. It means that the successor activity starts after its predecessor finishes.**

- **In some cases, a lag(or delay) time is added which means that the successor activity can start after a certain period of times has elapsed (passed) since the finish date of its predecessor.**

- **The following figure shows that activity A3 can start 10 days after activity A2 finishes:**

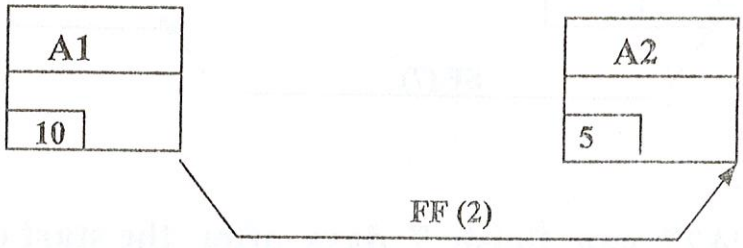


* ***Start-to-Start (SS) :***



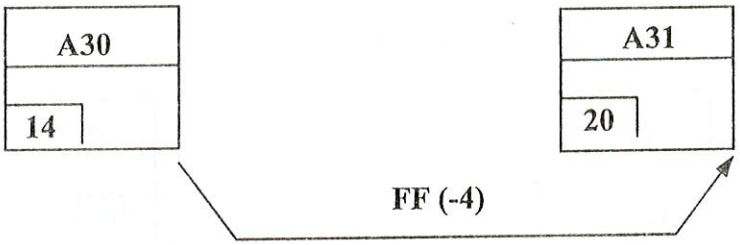
– **Activity A2 can start 5 days after the start of A1.**

* ***Finish-to-Finish (FF)*** **:**



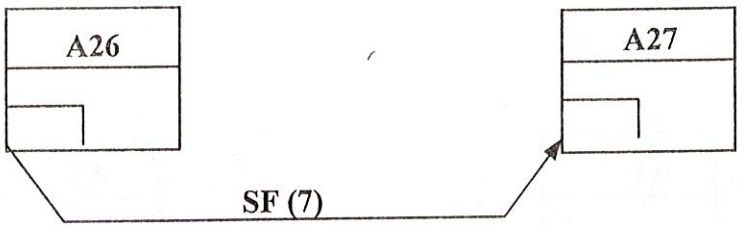
– **In the figure, activity A2 can finish 2 days after activity A1 finishes.**

– A - ve lag can also be used in a relationship.



– The figure shows that A31 can finish no earlier than 4 days before A30 finishes.

* ***Start-to-Finish (SF)*** :

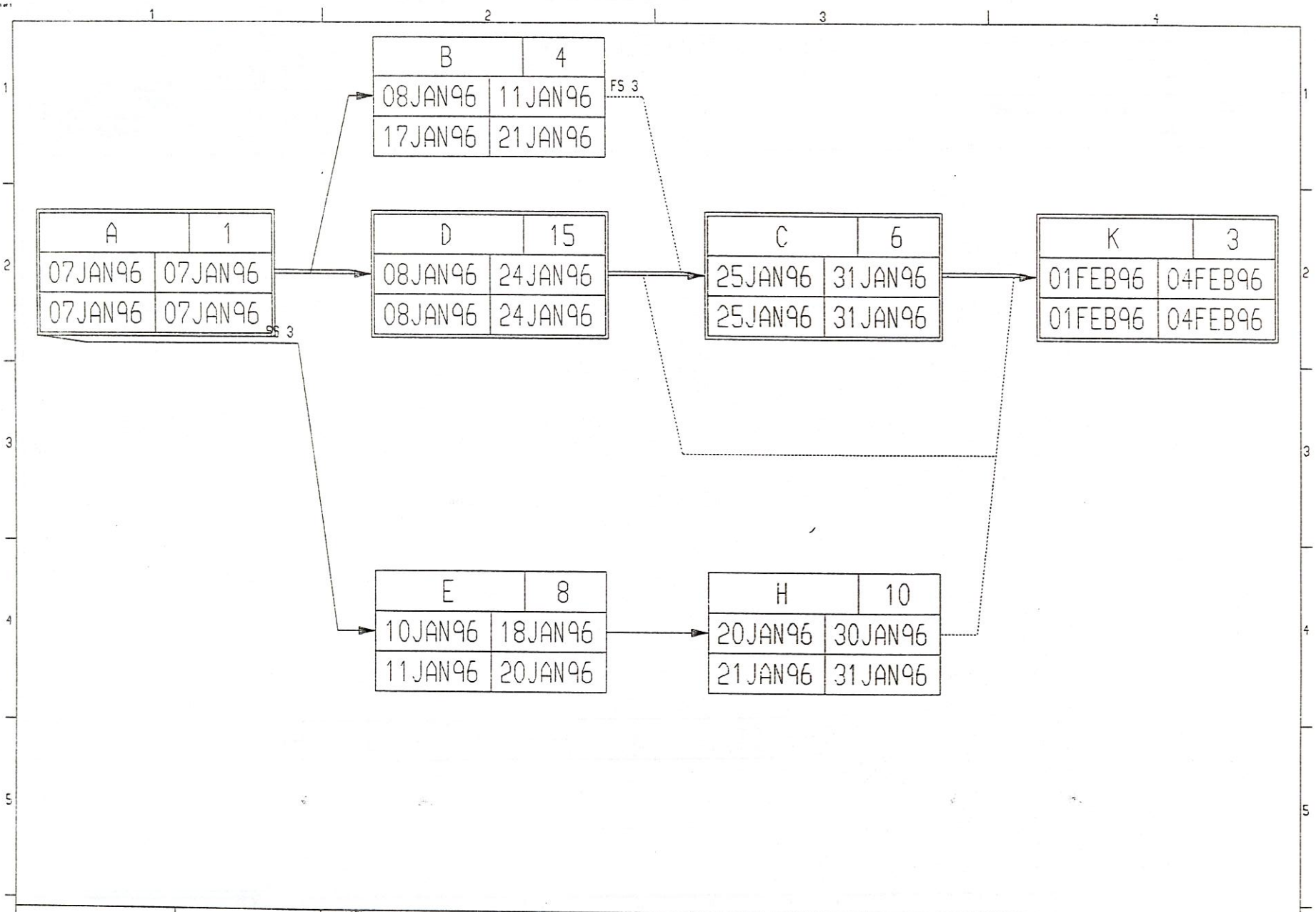


– Activity A27 can finish 7 days after the start of activity A26.

ملحوظة :

– من مزايا الـ *PRIMAVERA* أنه يسمح بتحديد مثل هذه العلاقات بين آيه نشاط والأنشطة اللاحقة له *Successors* أو السابقة له مباشرة *Predecessors* .

– أنظر المثال التالي :



Plot Date: 09JAN96
Data Date: 07JAN96
Project Start : 07JAN96
Project Finish: 04FEB96

(c) Primavera Systems, Inc

LEGEND

ACT ID	OD
E Start	E Finish
L Start	L Finish

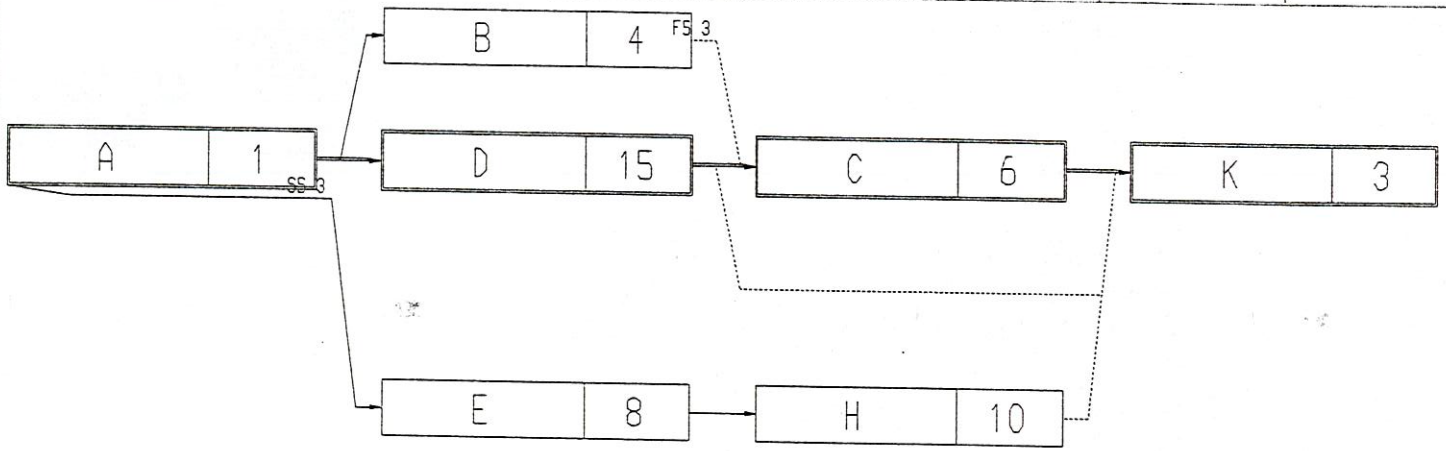
In progress
Complete
Connector

ACTD

SAMPLE PURE LOGIC DIAGRAM

-----PROJECT SCHEDULE-----

Date	Revision	Checked	Approved



Plot Date: 09JAN96
Data Date: 07JAN96
Project Start : 07JAN96
Project Finish: 04FEB96

(c) Primavera Systems, Inc.

LEGEND

ACT ID	OD

In progress
Complete
Connector

ACTD

SAMPLE PURE LOGIC DIAGRAM

-----PROJECT SCHEDULE-----

Date	Revision	Checked	Approved

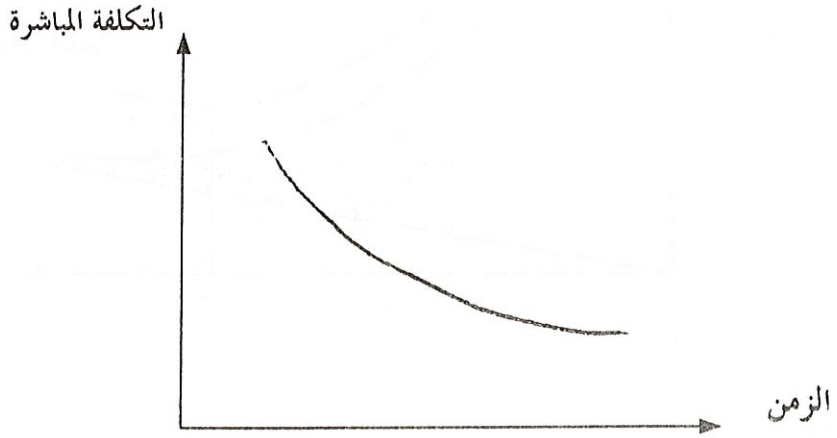
حساب التكلفة للمشروع :

CPM (Critical Path Method) – CRASHING ANALYSIS:

تنقسم التكلفة الكلية لأى مشروع إلى :-

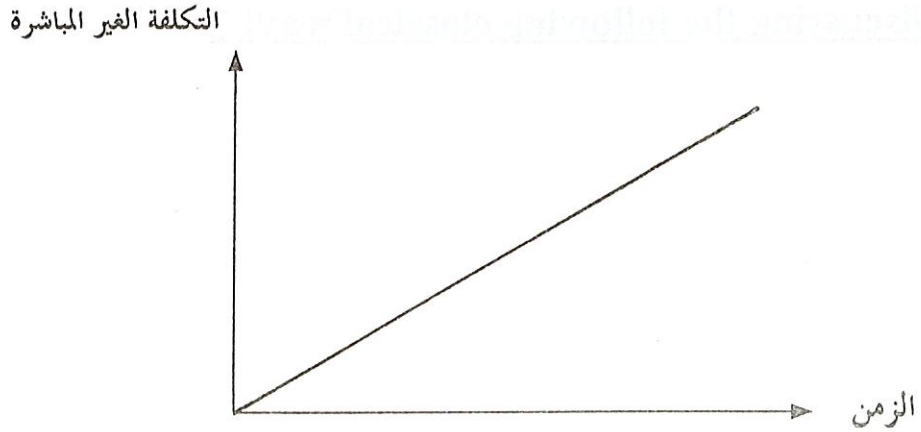
1- تكاليف مباشرة *Direct Costs*

مثل أجور العمال والمرتبات واستئجار الآلات ... الخ

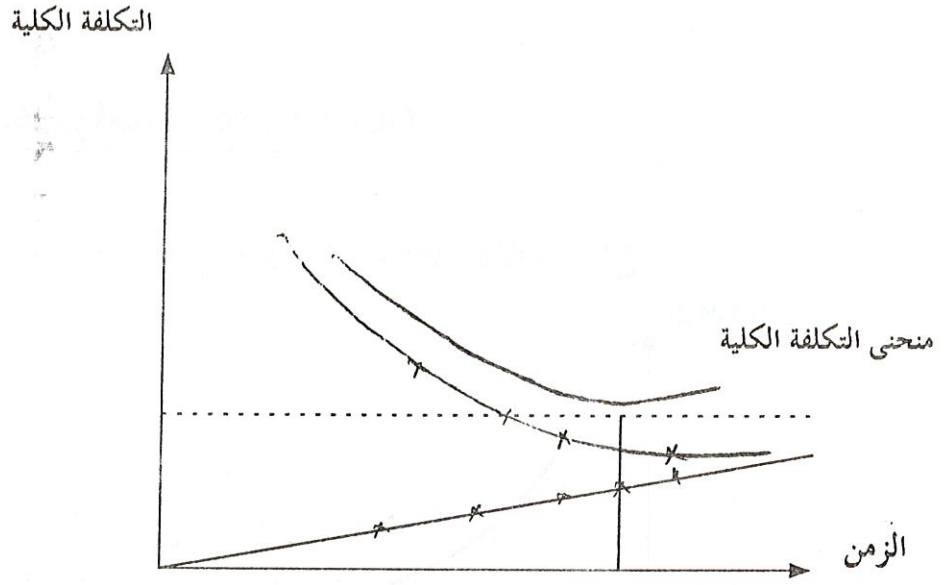


2- تكاليف غير مباشرة *Indirect costs*

مثل التكلفة الناتجة عن الاهلاك الواقع على الآلات – خسائر أرباح السوق – غرامات التأخير .



حساب الزمن المقابل لأقل تكلفة كلية ممكنه للمشروع :



The basic objective of *CPM* is to determine just which *TIME-COST TRADEOFF* should be used for each activity to meet the scheduled project completion time at a *MINIMUM COST*. (One way of doing this is by LP {will be discussed after discussing the following classical way}).

حساب بدائل الزمن والتكلفة لمشروع :

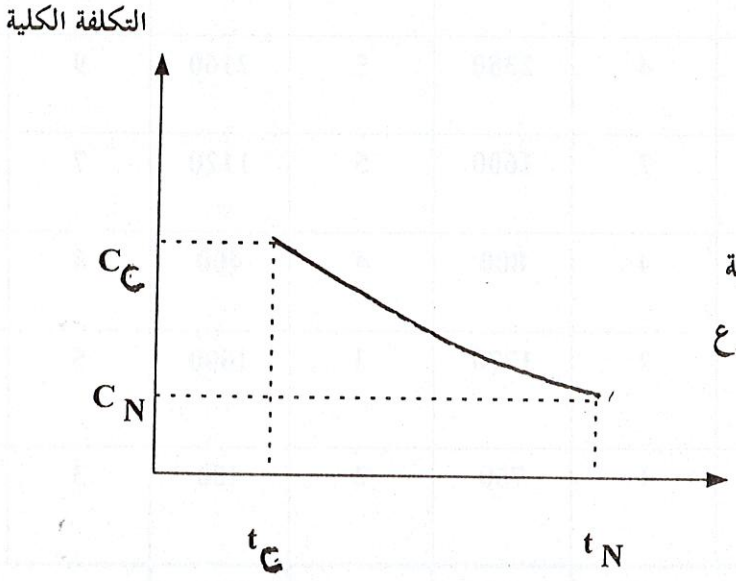
كل نشاط فى المشروع يمكن تنفيذه خلال زمنين مختلفين (قد يكون الزمنان متساويان) :

1- زمن طبيعى t_N *(NORMAL TIME)*

بتكلفة طبيعية مباشرة C_N *(NORMAL COST)*

2- زمن متسرع t_C *(CRASH TIME)*

بتكلفة متسرعة مباشرة C_C *(CRASH COST)*



منحنى التكلفة الكلية لنشاط ما فى المشروع

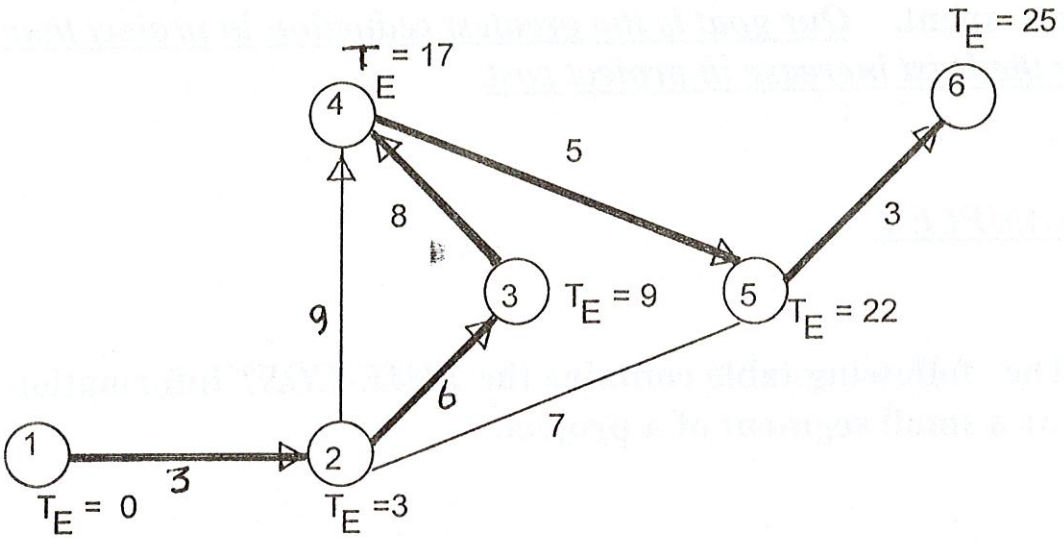
$$\text{Cost slope} = \text{ميل التكلفة} = \left| \frac{C_C - C_N}{t_C - t_N} \right|$$

مثال :

النشاط	في الحالة الطبيعية		في الحالة المتسرعة		ميل التكلفة		
	الزمن (اسبوع)	التكاليف الكلية	الزمن (اسبوع)	التكاليف الكلية	فرق الزمن	فرق التكلفة	ميل التكلفة
1,2	3	360	2	400	1	40	40
2,3	6	1440	4	1620	2	180	90
2,4	9	2160	5	2380	4	220	55
2,5	7	1120	5	1600	2	480	240
3,4	8	400	4	800	4	400	100
4,5	5	1600	3	1770	2	170	85
5,6	3	480	2	760	1	280	280
		7560		9330			

رسم الشبكة :

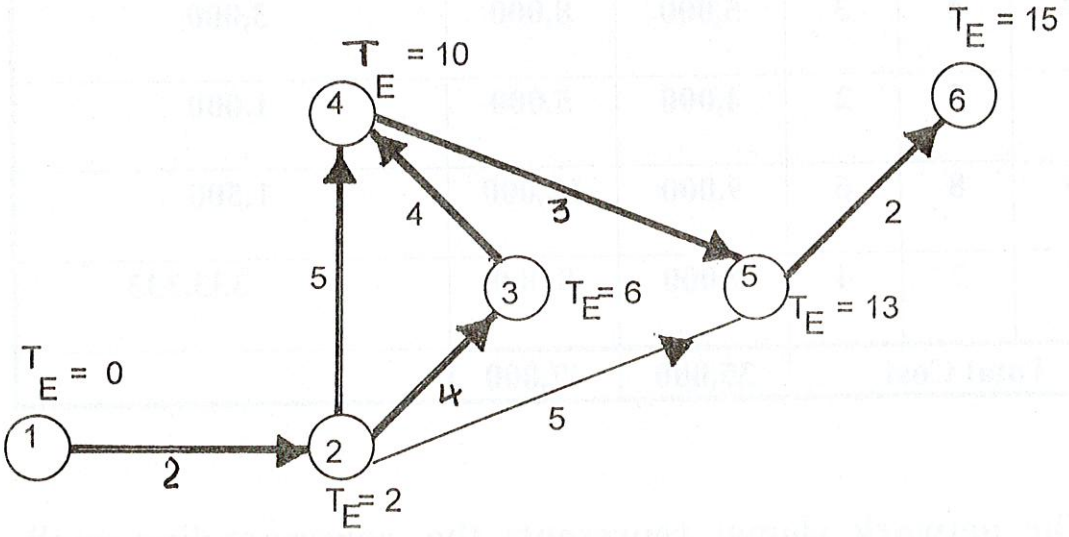
الحالـة العاديـة :



الزمن = 25 أسبوعاً

التكلفة الكلية = 7560

الحالـة المتسرعـة :



الزمن = 15 أسبوعاً

التكلفة الكلية = 9330

CRASHING A PROJECT (CLASSICAL APPROACH):

Our goal here is to find those activities on the critical path where time can be reduced (cut) with *minimum* extra costs spent. *Our goal is the greatest reduction in project time for the least increase in project cost.*

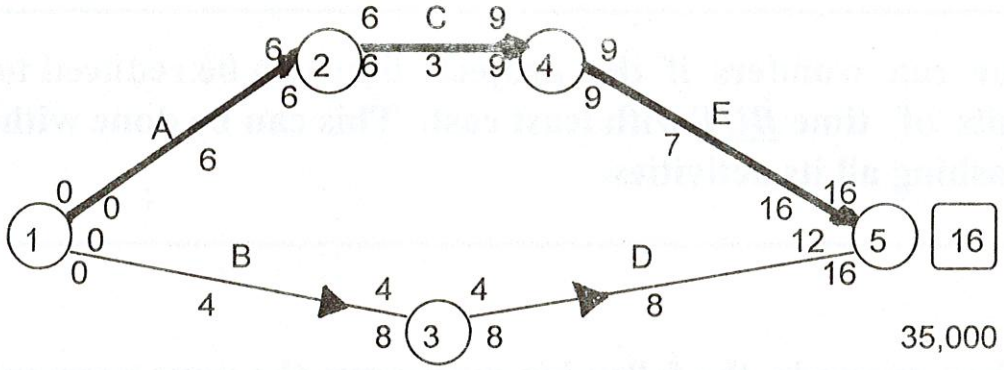
EXAMPLE 1

– The following table contains the *TIME-COST* information for a small segment of a project.

(Table 1)

Act.	Time		Cost		Excess Cost/ U.of time (Cost slope)
	N	C	N	C	
A	6	4	10,000	14,000	2,000
B	4	3	5,000	8,000	3,000
C	3	2	4,000	5,000	1,000
D	8	6	9,000	12,000	1,500
E	7	4	7,000	8,000	333.333
Total Cost			35,000	47,000	

– The network shown represents the corresponding small part of the project. All times are normal times.

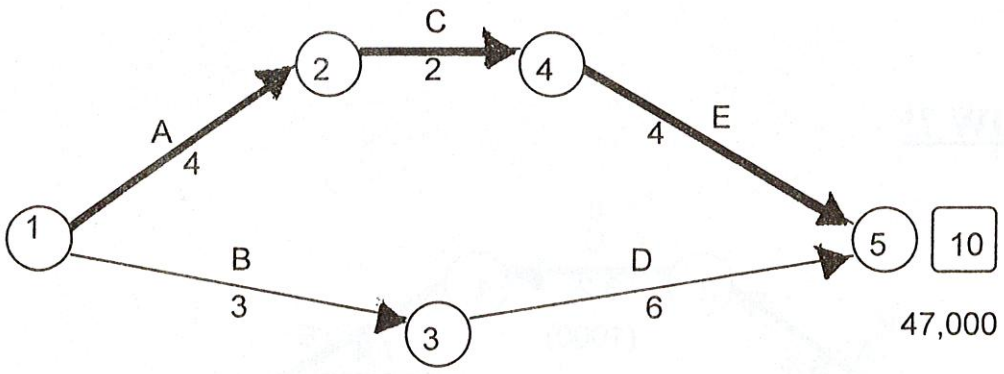


(Fig 1)

NOTICE THAT

- **In the network above, the critical path is A-C-E. The completion time of this project is 16 units of time. The total normal cost under these normal times is 35,000 units of cost.**

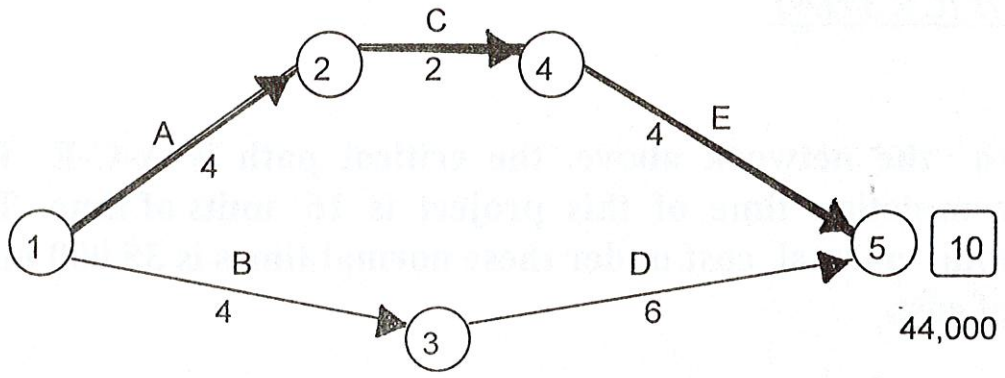
- **The following network represents the same segment of the project where *all crash times* are considered.**



The EF time here is 10 units of time and the cost is 47,000 units of cost.

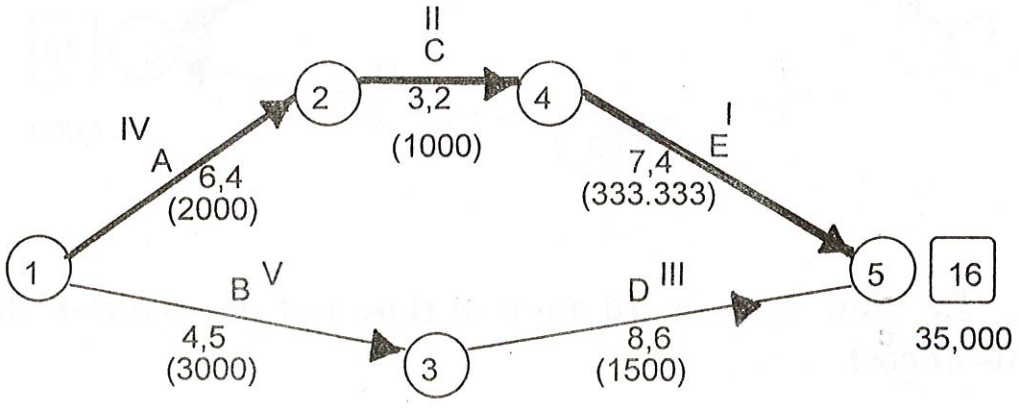
One can wonders if the project time can be reduced to 10 units of time *BUT* with least cost. This can be done without crashing all its activities.

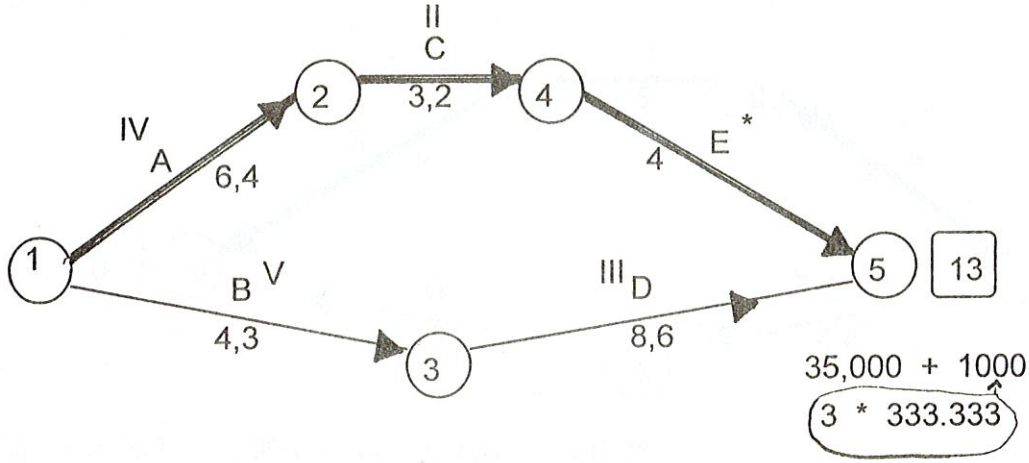
– **For example, the following represents the same segment of the project:**



– **Activities *E,C,D,* and A are crashed. Activity B is the only activity *NOT* crashed**

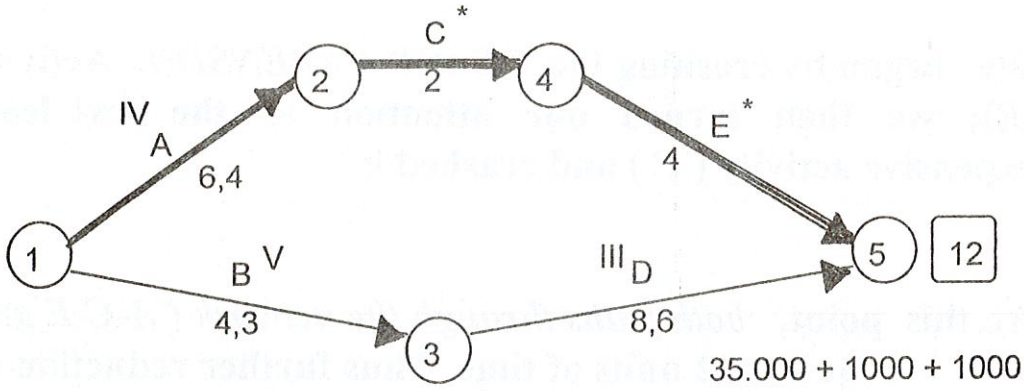
HOW ?!



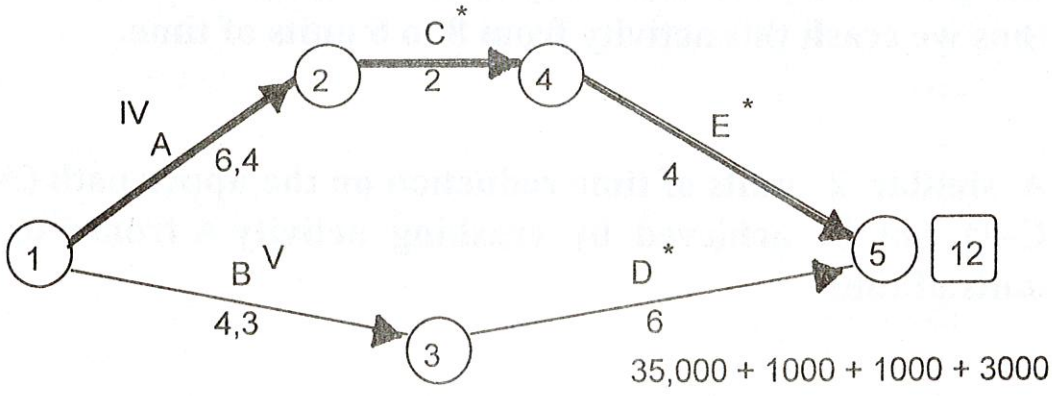


35,000 + 1000

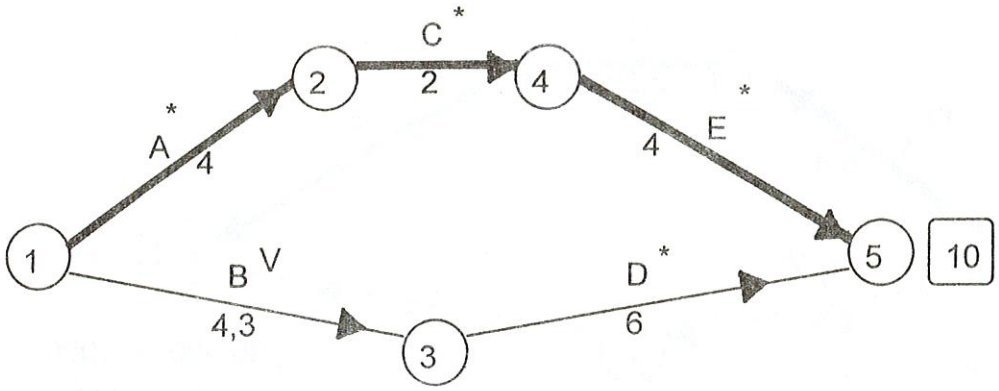
3 * 333.333



35.000 + 1000 + 1000



35,000 + 1000 + 1000 + 3000



35,000 + 1000 + 1000 + 3000 + 4,000 = 44,000

NOTICE THAT:

We began by crashing the *LEAST EXPENSIVE* Activity (E); we then turned our attention to the next least expensive activity (C) and crashed it.

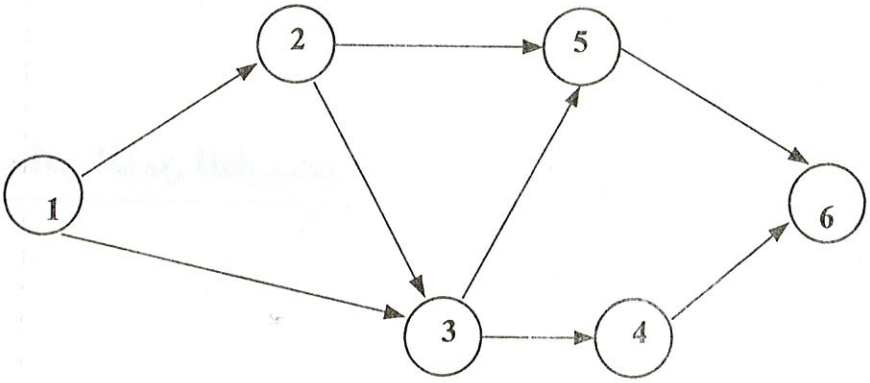
At this point, *both paths through the network (A-C-E and B-D)* requires 12 units of time. Thus further reduction of project time will require reducing activities on both paths.

On path B-D, the least expensive activity to crash is D; thus we crash this activity from 8 to 6 units of time.

A similar 2 units of time reduction on the upper path (A-C-E) can be achieved by crashing activity A from 6 to 4 units of time.

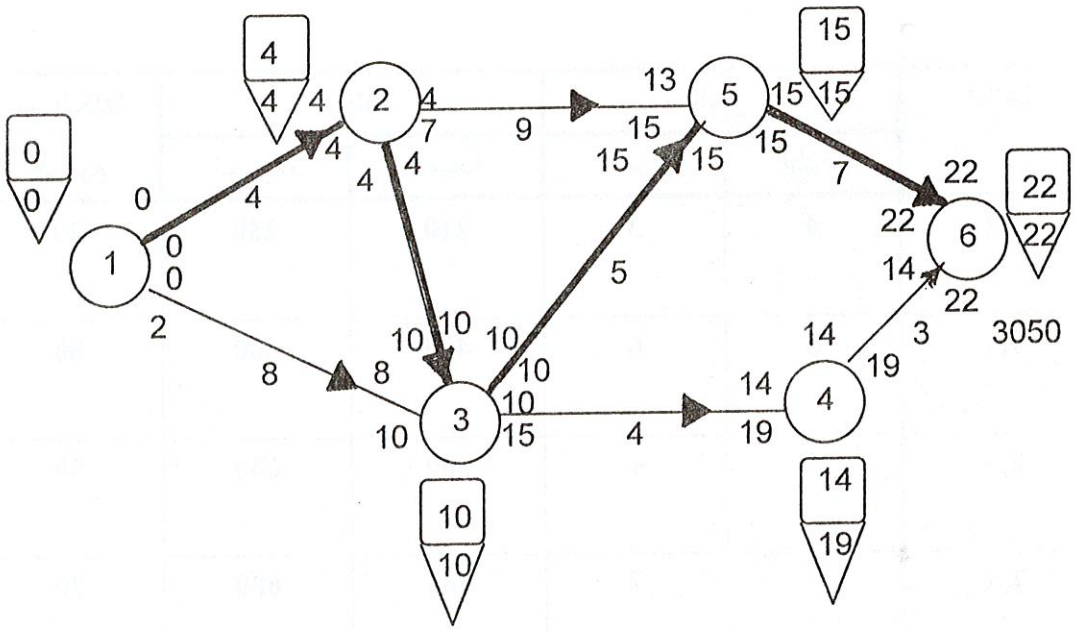
At this point, all activities on path (A-C-E) have been crashed to their minimum and we note any further crashing on the lower path (B-D) will not reduce any further benefit.

مثال 2 :



النشاط	الزمن		التكلفة		ميل التكلفة
	الطبيعى	المتسرع	الطبيعية	المتسرعة	جم/يوم
1,2	4	3	210	280	70
1,3	8	6	400	560	80
2,3	6	4	500	600	50
2,5	9	7	540	600	30
3,4	4	1	500	1100	200
3,5	5	4	150	240	90
4,6	3	3	150	150	–
5,6	7	6	600	750	150
المجموع			3050	4280	

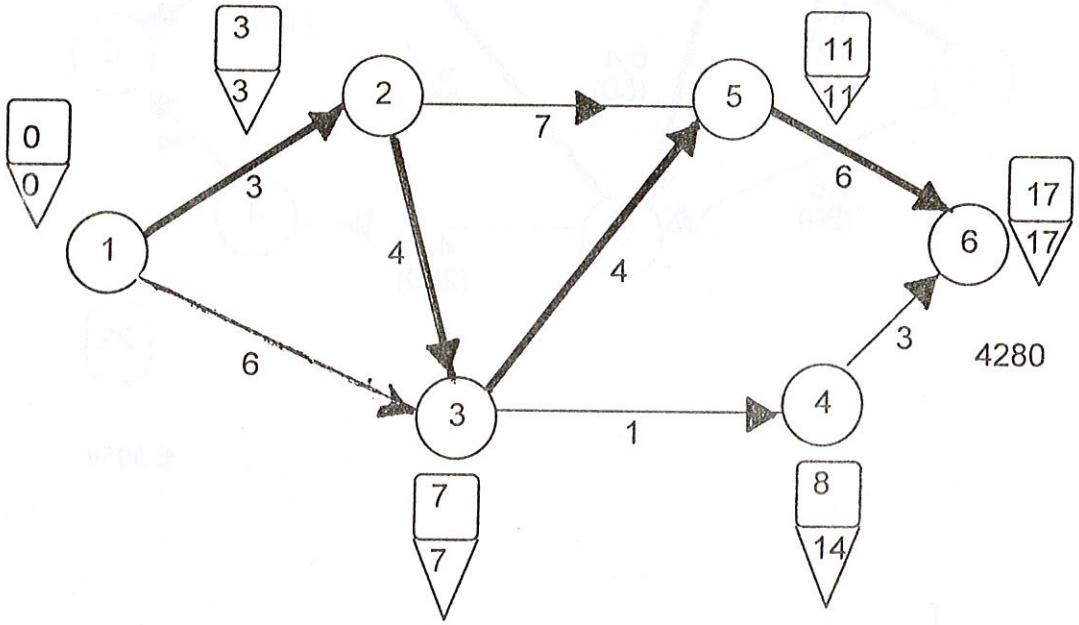
الحل على أساس الزمن الطبيعى :



الشكل يبين أن الزمن الكلى اللازم لتنفيذ المشروع فى هذه الحالة هو 22 يوم .

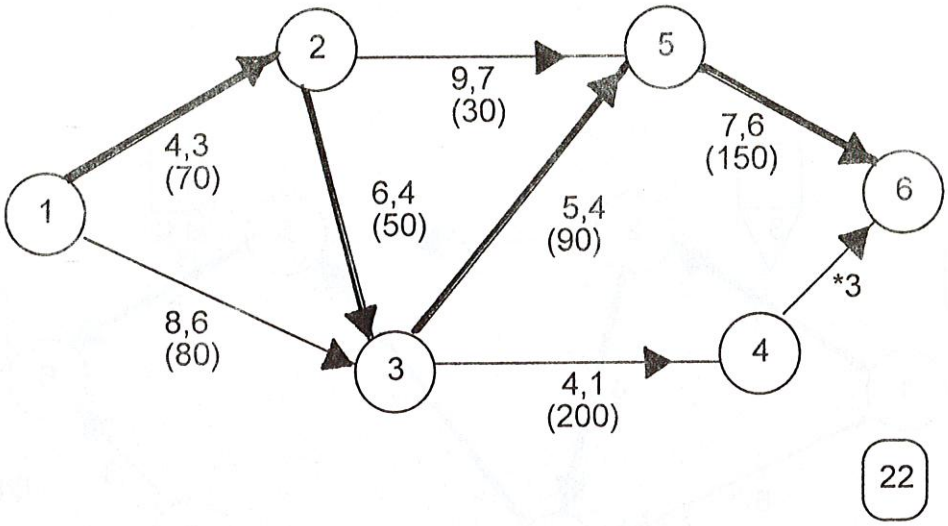
وهذه الفترة الزمنية يقابلها تكاليف اجمالية = 3050 جم .

الحل على أساس الزمن المتسرع لكل الأنشطة :



الشكل يبين أن هذا الحل سوف يمكن من انهاء المشروع فى 17 يوم فقط بزيادة فى التكاليف المباشرة قدرها 1230جم عن الحل السابق وبذلك تصبح التكاليف فى هذه الحالة 4280 جم .

من الحل على أساس الزمن الطبيعى لكل الأنشطة يمكن رصد البيانات الأساسية على الشبكة كالآتى : :



£ 3050

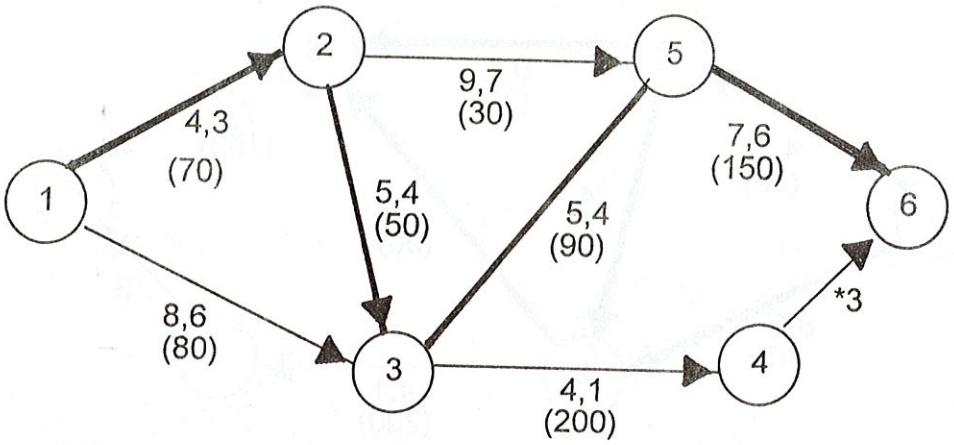
والجدول التالى يمثل ميل التكلفة للأنشطة الحرجة :

النشاط	ميل التكلفة
1,2	70
2,3	50
3,5	90
5,6	150

← أقل ميل تكلفة

البديل الأول : بضغط النشاط (2,3) وحدة زمنية واحده

بزيادة فى التكاليف قدرها 50 جم ينتج :



21

£ 3050 + 50 = £ 3100

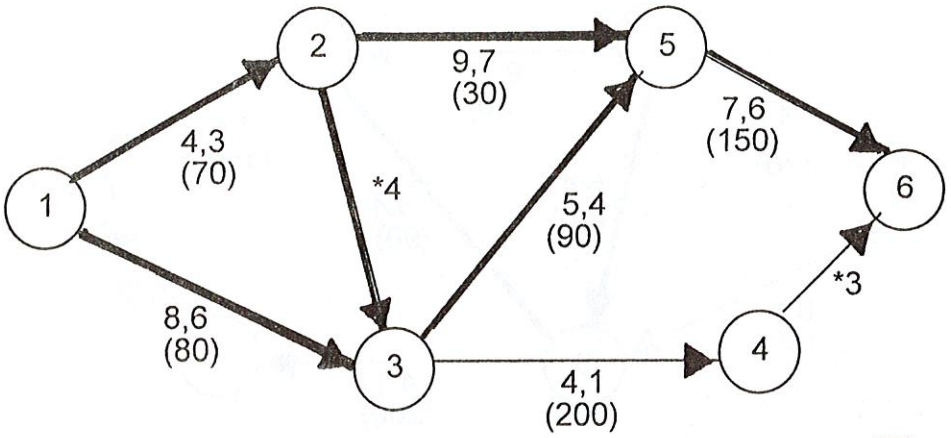
والجدول التالى يمثل ميل التكلفة للأنشطة الحرجة :

النشاط	ميل التكلفة
1,2	70
2,3	50
3,5	90
5,6	150

← أقل ميل تكلفة

البديل الثانى : بضغط النشاط (2,3) وحدة زمنية واحده

بزيادة فى التكاليف قدرها 50 جم ينتج :



20

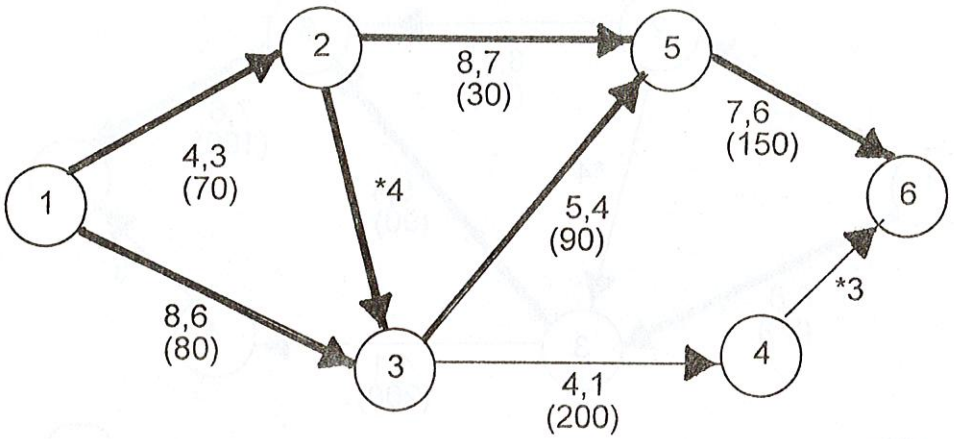
£ 3100 + 50 = £ 3150

والجدول التالى يمثل ميل التكلفة للأنشطة الحرجة :

النشاط	ميل التكلفة	
1,2	70	
1,3	80	
2,3	–	
2,5	30	← أقل ميل تكلفة
3,5	90	
5,6	150	

البديل الثالث : بضغط النشاط (2,5) وحدة زمنية واحده

بزيادة فى التكلفه قدرها 30 جم ينتـــج :



20

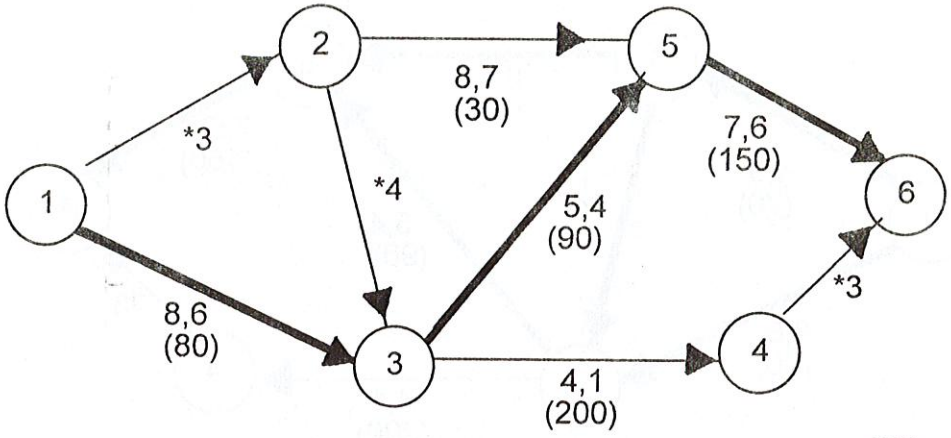
£ 3150 + 30 = £ 3180

والجدول التالى يمثل ميل التكلفة للأنشطة الحرجة :

النشاط	ميل التكلفة	
1,2	70	← أقل ميل تكلفة
1,3	80	
2,3	–	
3,5	90	
5,6	150	
5,6	150	

البديل الرابع : بضغط النشاط (1,2) وحدة زمنية واحده

بزيادة فى التكلفه قدرها 70 جم ينتـــج :



20

£ 3180 + 70 = £ 3250

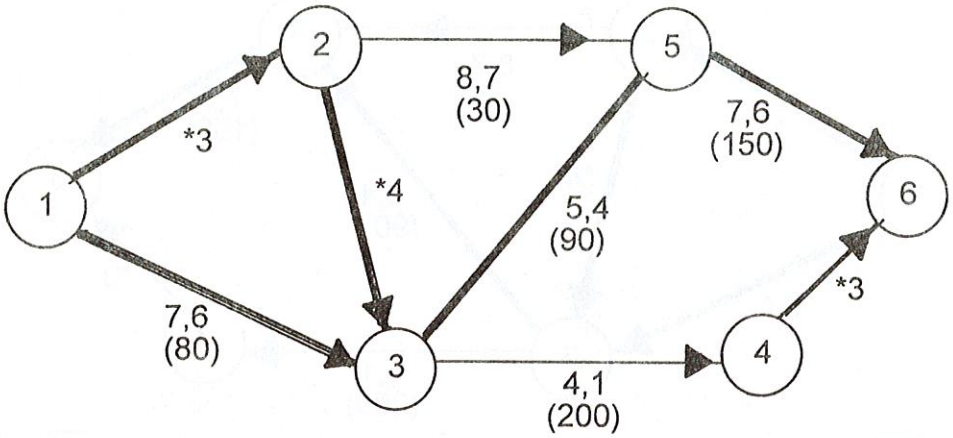
والجدول التالى يمثل ميل التكلفة للأنشطة الحرجة :

النشاط	ميل التكلفة
1,3	80
3,5	90
5,6	150

← أقل ميل تكلفة

البديل الخامس : بضغط النشاط (1,3) وحدة زمنية واحده

بزيادة في التكلفه قدرها 80 جم ينتـــج :



19

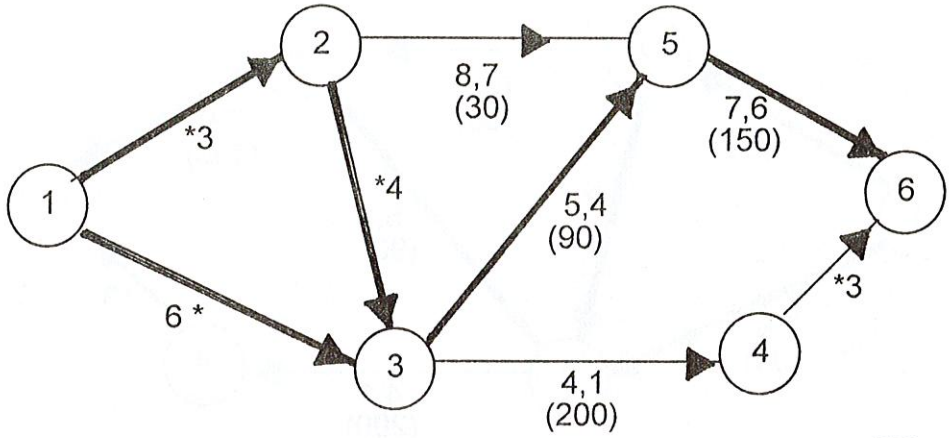
£ 3250 + 80 = £ 3330

والجدول التالي يمثل ميل التكلفة للأنشطة الحرجة :

النشاط	ميل التكلفة	
1,2	–	
1,3	80	← أقل ميل تكلفة
2,3	–	
3,5	90	
5,6	150	

البديل السادس : بضغط النشاط (1,3) وحدة زمنية واحده

بزيادة في التكلفه قدرها 80 جم ينتـــج :



19

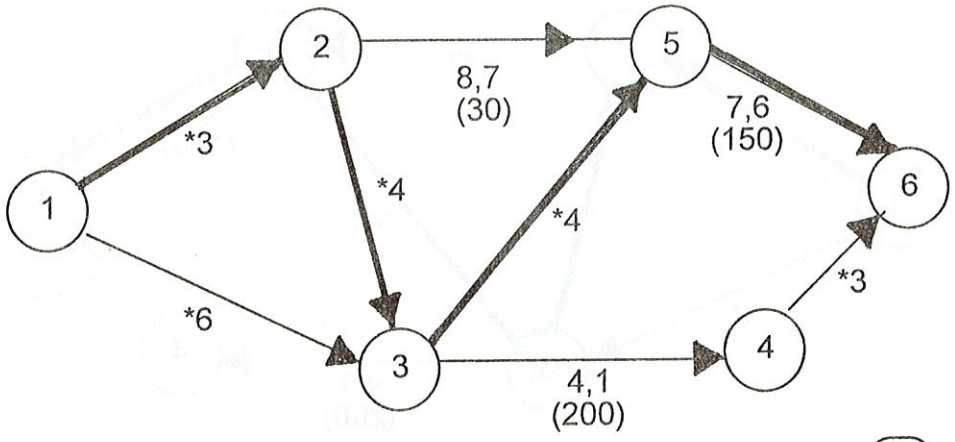
£ 3330 + 80 = £ 3410

والجدول التالي يمثل ميل التكلفة للأنشطة الحرجة :

النشاط	ميل التكلفة	
1,2	–	
2,3	–	
3,5	90	← أقل ميل تكلفة
5,6	150	

البديل السابع : بضغط النشاط (3,5) وحدة زمنية واحده

بزيادة في التكلفه قدرها 90 جم ينتـــج :



18

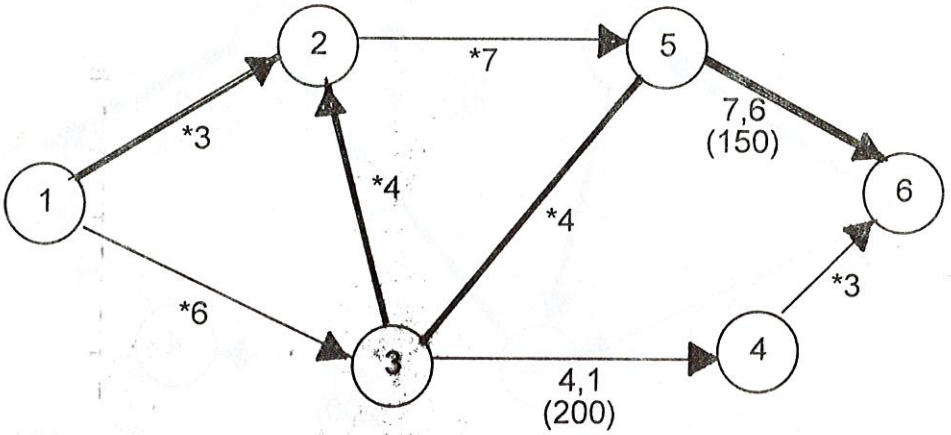
£ 3410 + 90 = £ 3500

والجدول التالي يمثل ميل التكلفة للأنشطة الحرجة :

النشاط	ميل التكلفة	
1,2	–	
2,3	–	
2,5	30	← أقل ميل تكلفة
3,5	–	
5,6	150	

البديل الثامن : بضغط النشاط (2,5) وحدة زمنية واحده

بزيادة في أل تكلفه قدرها 30 جم ينتسج :



18

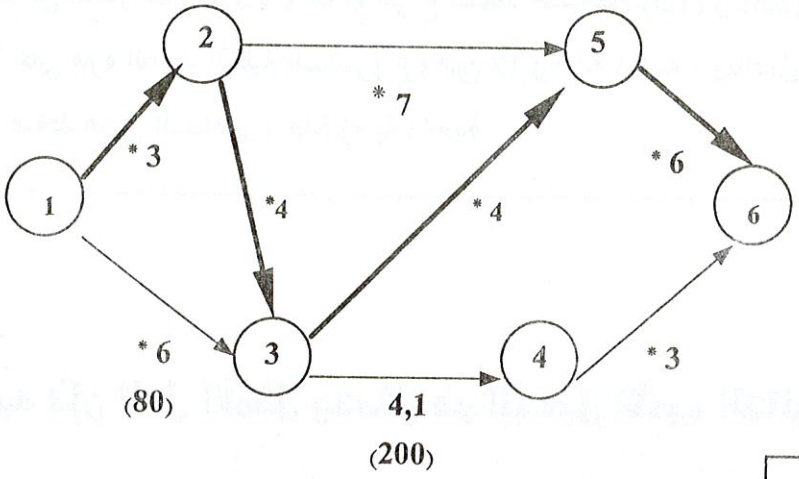
£ 3500 + 30 = £ 3530

والجدول التالى يمثل ميل التكلفة للأنشطة الحرجة :

النشاط	ميل التكلفة
1,2	–
2,3	–
3,5	–
5,6	150 ←

البديل الناسع : بضغط النشاط (5,6) وحدة زمنية أتحده

بزيادة فى التكلفه قدرها 150 جم ينتج :



17

£ 3530 + 150 = £ 3680

ويلاحظ من هذه الشبكة أن جميع أنشطة المسار الحرج قد وصلت إلى أزمنتها الحرجة ، أي لا يمكن ضغط فترة تنفيذ أى منها بعد هذه المرحلة .

وعليه فإن هذا البديل يمثل ضغط فترة تنفيذ المشروع إلى 17 وحدة زمنية بتكلفة اجمالية قدرها 3680 جم .

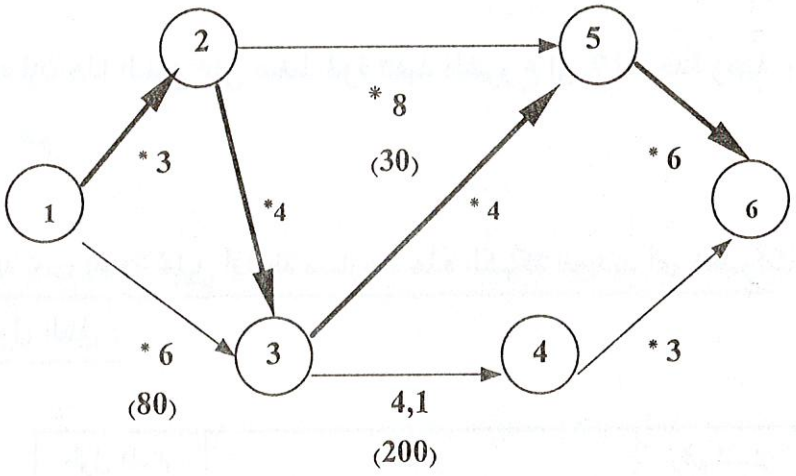
إلا أنه يجب إعادة تحليل أنشطة مسارات هذه الشبكة لتحديد أى خطوات أخرى ممكنه كما فى الجدول التالى :

رقم المسار	المسار	طول المسار زمنيا
1	1 - 2 - 5 - 6	(16)
2	1 - 2 - 3 - 5 - 6	17
3	1 - 2 - 3 - 4 - 6	14
4	1 - 3 - 5 - 6	16
5	1 - 3 - 5 - 6	(13)

يلاحظ من المسارات رقم 5 ، 1 أن الاسراع بضغط النشاطين (1,3) و (2,5) بفترة زمنية واحدة يؤثر لا على فترة التنفيذ الكلية للمشروع وهى 17 وحدة زمنية ، وبالتالى يجب إعادة النظر فى عدم ضغط هذين النشاطين وحدة زمنية واحدة .

وعليه فإن الحل الأمثل يتمثل فى البديل الأخير التالى :

البديل العاشر :



17

£ 3680 - 80 - 30 = £ 3570

```
REM  Project Evaluation And Cost Optimization System For IBM
1620
REM                E.A.Schaefer     C.J.Snyder
REM                B.F.Goodrich     I.B.M.
REM                     August,1,1961
REM
REM   Recoded to QBASIC By:
REM                Awad Mohamed / Abdalla Eldaoushy
REM                INP,Information Center,1995
REM ------------------------------------------------------------------------
    DEFINT I-N
    DIM CC(500), L1(500), L2(500), LS(500), E(500), DUR(500)
    DIM I(500), J(500), ST(500), TE(500), TL(500), CT(500)
    DIM SC(500), F(500, 2)

F1009$ = " ### ### #### #### #### #### #### ### ### #####.# *"
F1010$ = " ### ### #### #### #### #### #### ### ### #####.#"
F1011$ = "    TOTAL PROJECT COST = #######.##"
F1020$ = " ESTIMATED TOTAL PROJECT TIME = ###"

    OPEN "Pertcost.dat" FOR INPUT AS #1
    OPEN "Pertcost.res" FOR OUTPUT AS #2

    DO

  1 L = 1
    FIN = 1E+38
  2 INPUT #1, I(L), J(L), ST(L), CT(L), SC(L), CC(L)
    IF J(L) <= 0 THEN 3
  4 DUR(L) = ST(L)
    IF (ST(L) - CT(L)) > 0 THEN 501
500 CC(L) = FIN
    GOTO 502
501 CC(L) = (CC(L) - SC(L)) / (ST(L) - CT(L))
502 L = L + 1
    GOTO 2
  3 M = L - 1
    FOR K = 1 TO M
    F(K, 1) = 0
    F(K, 2) = 0
  5 NEXT
207 TE(1) = 0
```

```
      TE(2) = 0
      K2 = 2
      K3 = 1
  209 FOR N = 1 TO M
      K1 = N
      IF (J(N) - K2) <> 0 THEN 210
  250 K3 = 1
      K4 = I(K1)
      TT = TE(K4) + DUR(K1)
      IF (TE(K2) - TT) >= 0 THEN 210
  251 TE(K2) = TT
  210 NEXT
      IF (K3) = 0 THEN 220
  211 K2 = K2 + 1
      K3 = 0
      TE(K2) = 0
      GOTO 209
  220 K2 = K2 - 2
      GOTO 234
    9 IP = 0
      L1(1) = 1
      E(1) = FIN
   10 IF (IP - NUMN + 1) >= 0 THEN 22
   11 IP = IP + 1
      IF (L1(IP)) <= 0 THEN 10
   12 FOR K = 1 TO M
      IF (I(K) - IP) <> 0 THEN 20
   15 JP = J(K)
      IF (L1(JP)) > 0 THEN 20
   13 IF (ABS(CT(K) + TE(IP) - TE(JP)) - .01) > 0 THEN 20
   14 L1(JP) = IP
      L2(JP) = 2
      E(JP) = FIN
   20 NEXT
   21 GOTO 10
   22 IF (L1(NUMN)) > 0 THEN 605
   25 IP = 1
   27 IF (L1(IP)) <= 0 THEN 28
   26 IF (LS(IP)) >= 0 THEN 30
   28 IP = IP + 1
      IF (IP - NUMN) < 0 THEN 27
   29 IF L1(IP) > 0 THEN 60
```

```
    GOTO 70
30 FOR K = 1 TO M
    IF (IP - I(K)) = 0 THEN 32
31 IF (IP - J(K)) = 0 THEN 41
    GOTO 55
32 JP = J(K)
    IF (L1(JP)) > 0 THEN 55
33 IF (ABS(ST(K) - TE(JP) + TE(IP)) - .01) <= 0 THEN 35
34 IF (ABS(CT(K) - TE(JP) + TE(IP)) - .01) > 0 THEN 55
    GOTO 36
35 DIFF = CC(K) - F(K, 1)
    KT = 1
    IF (DIFF) > 0 THEN 37
    GOTO 55
36 DIFF = FIN - F(K, 2)
    KT = 2
    IF (DIFF) <= 0 THEN 55
37 IF (E(IP) - DIFF) > 0 THEN 39
38 E(JP) = E(IP)
    GOTO 40
39 E(JP) = DIFF
40 L1(JP) = IP
    L2(JP) = KT
    GOTO 55
41 JP = I(K)
    IF (L1(JP)) > 0 THEN 55
42 IF (ABS(ST(K) - TE(IP) + TE(JP)) - .01) <= 0 THEN 44
43 IF (ABS(CT(K) - TE(IP) + TE(JP)) - .01) > 0 THEN 55
    GOTO 45
44 KT = 1
    GOTO 46
45 KT = 2
46 IF (F(K, KT)) <= 0 THEN 55
47 IF (E(IP) - F(K, KT)) > 0 THEN 49
48 E(JP) = E(IP)
   GOTO 50
49 E(JP) = F(K, KT)
50 L1(JP) = IP
    L2(JP) = KT
55 LS(IP) = -1
    NEXT K
   GOTO 25
```

```
60 JP = NUMN
61 FOR K = 1 TO M
   KT = L2(JP)
   IF (JP - J(K)) <> 0 THEN 63
62 IF (L1(JP) - I(K)) = 0 THEN 66
   GOTO 68
63 IF (JP - I(K)) <> 0 THEN 68
64 IF (L1(JP) - J(K)) <> 0 THEN 68
65 F(K, KT) = F(K, KT) - E(NUMN)
   GOTO 67
66 F(K, KT) = F(K, KT) + E(NUMN)
67 JP = L1(JP)
   IF (JP - 1) > 0 THEN 61
   GOTO 85
68 NEXT K
70 DEL = FIN
   FOR K = 1 TO M
   IP = I(K)
   JP = J(K)
   IF (L1(IP)) <= 0 THEN 74
71 IF (L1(JP)) > 0 THEN 80
72 DIFF = TE(JP) - ST(K) - TE(IP)
   IF (DIFF) > 0 THEN 78
73 DIFF = TE(JP) - CT(K) - TE(IP)
   IF (DIFF) > 0 THEN 78
   GOTO 80
74 IF (L1(JP)) <= 0 THEN 80
75 DIFF = CT(K) - TE(JP) + TE(IP)
   IF (DIFF) > 0 THEN 78
76 DIFF = ST(K) - TE(JP) + TE(IP)
   IF (DIFF) <= 0 THEN 80
78 IF (DEL - DIFF) <= 0 THEN 80
79 DEL = DIFF
80 NEXT K
   FOR K = 1 TO NUMN
   IF (L1(K)) > 0 THEN 82
81 TE(K) = TE(K) - DEL
82 NEXT
   FOR K = 1 TO M
   IP = I(K)
   JP = J(K)
   IF (ST(K) - TE(JP) + TE(IP)) > 0 THEN 102
```

```
101 DUR(K) = ST(K)
    GOTO 799
102 DUR(K) = TE(JP) - TE(IP)
799 NEXT
    K2 = NUMN - 1
234 TL(K2 + 1) = TE(K2 + 1)
    NUMN = K2 + 1
    TL(K2) = TL(K2 + 1)
214 FOR N1 = 1 TO M
    K1 = N1
    IF (I(N1) - K2) <> 0 THEN 215
230 K4 = J(K1)
    TT = TL(K4) - DUR(K1)
    IF (TT - TL(K2)) >= 0 THEN 215
231 TL(K2) = TT
215 NEXT
    IF (K2 - 1) = 0 THEN 260
216 K2 = K2 - 1
    TL(K2) = TL(NUMN)
    GOTO 214
260 TCST = 0
    PRINT #2, "-------------------------------------------------"
603 PRINT #2, "  NODE       START   FINISH  FLOAT"
    PRINT #2, "  I  J  DUR.  E   L   E   L   T   F   COST"
    PRINT #2, "-------------------------------------------------"
107 FOR K = 1 TO M
    IP = I(K)
    JP = J(K)
103 PCST = SC(K) + (ST(K) - DUR(K)) * CC(K)
    TCST = PCST + TCST
    SE = TE(IP)
    SL = TL(JP) - DUR(K)
    CE = TE(IP) + DUR(K)
    CL = TL(JP)
    DURX = DUR(K)
    TF = TL(JP) - TE(IP) - DUR(K)
    IF (TF - .06) > 0 THEN 266
265 TF = 0
266 FF = TE(JP) - TE(IP) - DUR(K)
    DF = TE(JP) - TL(IP) - DUR(K)
    IF (DF) >= 0 THEN 599
261 DF = 0
```

```
599 REM
607 IF (TF) <> 0 THEN 600
601 PRINT #2, USING F1009$; I(K); J(K); DURX; SE; SL; CE; CL;
    TF; FF; PCST
    GOTO 104
600 PRINT #2, USING F1010$; I(K); J(K); DURX; SE; SL; CE; CL;
    TF; FF; PCST
104 NEXT K
    PRINT #2, "-------------------------------------------------"
602 REM PRINT #2,
    PRINT #2, USING F1020$; TE(NUMN);
    PRINT #2, USING F1011$; TCST
    PRINT #2,
    PRINT #2,
 85 FOR K = 1 TO NUMN
    L1(K) = 0
    L2(K) = 0
    E(K) = 0
    LS(K) = 0
 86 NEXT K
    GOTO 9
605 REM
    LOOP UNTIL (EOF(1))
    CLOSE #1
    CLOSE #2
    END
```

PERTCOST.DAT

```
1  2  4  3  210  280
1  3  8  6  400  560
2  3  6  4  500  600
2  5  9  7  540  600
3  4  4  1  500  1100
3  5  5  4  150  240
4  6  3  3  150  150
5  6  7  6  600  750
0  0  0  0  0    0
```

PERTCOST.RES

NODE I	J	DUR.	START E	L	FINISH E	L	FLOAT T	F	COST
1	2	4	0	0	4	4	0	0	210.0 *
1	3	8	0	2	8	10	2	2	400.0
2	3	6	4	4	10	10	0	0	500.0 *
2	5	9	4	6	13	15	2	2	540.0
3	4	4	10	15	14	19	5	0	500.0
3	5	5	10	10	15	15	0	0	150.0 *
4	6	3	14	19	17	22	5	5	150.0
5	6	7	15	15	22	22	0	0	600.0 *

ESTIMATED TOTAL PROJECT TIME = 22 TOTAL PROJECT COST = 3050.00

NODE I	J	DUR.	START E	L	FINISH E	L	FLOAT T	F	COST
1	2	4	0	0	4	4	0	0	210.0 *
1	3	8	0	0	8	8	0	0	400.0 *
2	3	4	4	4	8	8	0	0	600.0 *
2	5	9	4	4	13	13	0	0	540.0 *
3	4	4	8	13	12	17	5	0	500.0
3	5	5	8	8	13	13	0	0	150.0 *
4	6	3	12	17	15	20	5	5	150.0
5	6	7	13	13	20	20	0	0	600.0 *

ESTIMATED TOTAL PROJECT TIME = 20 TOTAL PROJECT COST = 3150.00

NODE I	J	DUR.	START E	L	FINISH E	L	FLOAT T	F	COST
1	2	3	0	0	3	3	0	0	280.0 *
1	3	8	0	0	8	8	0	0	400.0 *
2	3	5	3	3	8	8	0	0	550.0 *
2	5	9	3	3	12	12	0	0	540.0 *
3	4	4	8	12	12	16	4	0	500.0
3	5	4	8	8	12	12	0	0	240.0 *
4	6	3	12	16	15	19	4	4	150.0
5	6	7	12	12	19	19	0	0	600.0 *

ESTIMATED TOTAL PROJECT TIME = 19 TOTAL PROJECT COST = 3260.00

NODE I	J	DUR.	START E	L	FINISH E	L	FLOAT T	F	COST
1	2	3	0	0	3	3	0	0	280.0 *
1	3	8	0	0	8	8	0	0	400.0 *
2	3	5	3	3	8	8	0	0	550.0 *
2	5	9	3	3	12	12	0	0	540.0 *
3	4	4	8	11	12	15	3	0	500.0
3	5	4	8	8	12	12	0	0	240.0 *
4	6	3	12	15	15	18	3	3	150.0
5	6	6	12	12	18	18	0	0	750.0 *

ESTIMATED TOTAL PROJECT TIME = 18 TOTAL PROJECT COST = 3410.00

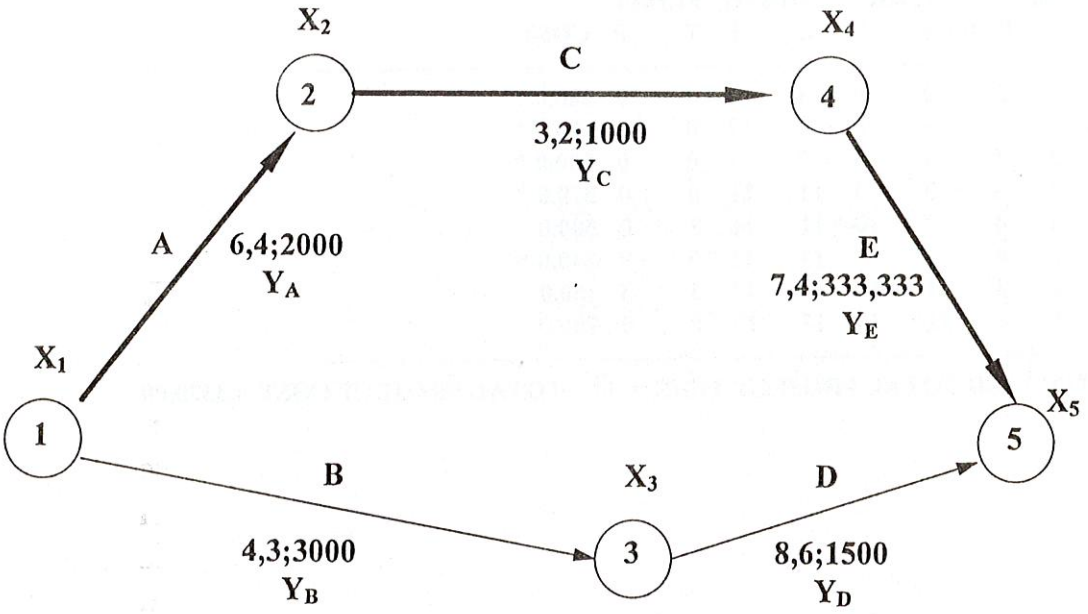
NODE I	J	DUR.	START E	L	FINISH E	L	FLOAT T	F	COST
1	2	3	0	0	3	3	0	0	280.0 *
1	3	7	0	0	7	7	0	0	480.0 *
2	3	4	3	3	7	7	0	0	600.0 *
2	5	8	3	3	11	11	0	0	570.0 *
3	4	4	7	10	11	14	3	0	500.0
3	5	4	7	7	11	11	0	0	240.0 *
4	6	3	11	14	14	17	3	3	150.0
5	6	6	11	11	17	17	0	0	750.0 *

ESTIMATED TOTAL PROJECT TIME = 17 TOTAL PROJECT COST = 3570.00

CRASHING A NETWORK BY LP:

Once again, the basic objective of CPM --- Crashing Techniques--- is to determine just which TIME-COST TRADEOFF should be used for each activity to meet the scheduled project completion time at a minimum cost. LP enables us to find the best crash schedule for the CPM network.

To illustrate, consider the same example above with the 1st network (Fig 1) and the data shown on (Table 1).



To formulate the LP model, we will need to introduce some considerable notation:

- **For the decision variables to be described, define:**

X_i = **the time at *event* i**

It is the completion time for each event and also represent the starting time for their next *events.*

Y_{act} = **the number of time units by which activity act can be reduced.**

These variables represent the possible reduction in the normal times for all the activities in the project.

C_{act} = **Cost slope for activity act.**

- **Since we want to crash the project time at a minimum cost, the *OBJECTIVE FUNCTION* would be like this:**

$$\text{Minimize } Z = \sum_{act} C_{act} \cdot Y_{act}$$

- To describe the constraints of the suggested model, we look at event number 2 in our network.

* If event 1 began at time zero, then X_2 (the time for event 2) can be described as:

Completion time for event 2 $\geq$ Normal time for activity A

- Number of time units activity A can be reduced by crashing

+ The starting time for event 1.

That is :

$$X_2 >= 6 - Y_A + 0 \qquad (1)$$

* The constraint for event 3 can be developed in the same way as:

$$X_3 >= 4 - Y_B + 0 \qquad (2)$$

* Since activity C begins with event 2 (which is not zero as was the case with the two constraints above, we write the constraint for X this way:

$$X_4 >= 3 - Y_C + X_2 \qquad (3)$$

* Since two activities lead into event 5, we need two constraints there:

$$X_5 >= 7 - Y_E + X_4 \qquad (4)$$

$X_5 >= 8 - Y_D + X_3$ (5)

* <u>Now, what about the MAXIMUM CRASHING TIME that can be done</u>?.

Of course, activity times cannot be reduced forever.

From Table1, the maximum values for the Y variables are the difference between the normal and the crash times.

So:

$Y_A <= 2$ (6)

$Y_B <= 1$ (7)

$Y_C <= 1$ (8)

$Y_D <= 2$ (9)

$Y_E <= 3$ (10)

* And of course, we want to finish this project in 10 units of time; so, we need to write one more constraint for the project completion time:

$X_5 <= 10$ (11)

This means that we have to know prior the suggested completion time.

Rewriting the overall model and add the non-negativity constraints, we get:

Min. Z =

$2000Y_A + 3000Y_B + 1000Y_C + 15000Y_D + 333.333Y_E + 0X_1 + 0X_2 + 0X_3 + 0X_4 + 0X_5$

S. to :

$Y_A + X_2 >= 6$

$Y_B - X_3 >= 4$

$Y_C - X_2 + X_4 >= 3$

$Y_D - X_3 + X_5 >= 8$

$Y_E - X_4 + X_5 >= 7$

$Y_A <= 2$

$Y_B <= 1$

$Y_C <= 1$

$Y_D <= 3$

$Y_E <= 3$

$X_5 <= 10$

&

All Y's and X's are >= 0

If we solve this model, we will get the optimum Y values. (We notice that the X values do not appear in the objective function because they merely indicate when an event occurs and do not affect the cost of the project. Only the Y variables affect the cost of the project.

The optimum answer turns out to be exactly the one we got using the classical approach which has been mentioned above.

The value of the objective function (the total crashing cost) is 9000 (44,000 - 35,000) and :

$Y_A = 2$

$Y_B = 0$

$Y_C = 1$

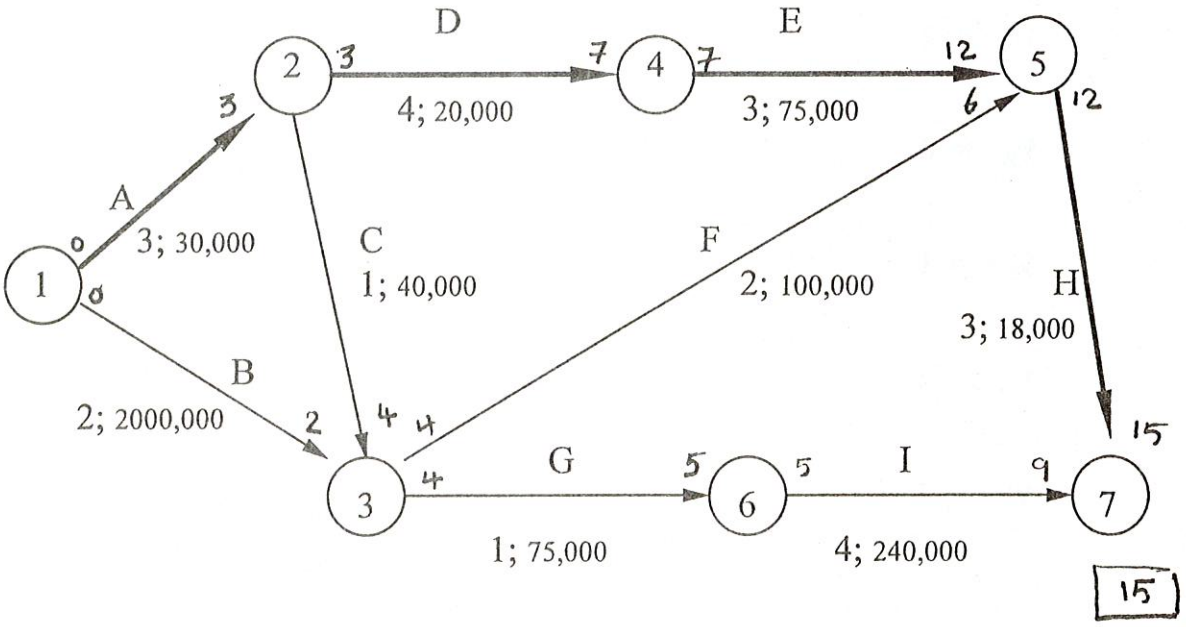
$Y_D = 2$

$Y_E = 3$

COST ANALYSIS

- Managers should know the amount of money that are to be spent for each activity over the planned duration of the project.

- Consider the the following network and its corresponding table:



Activity	Duration (months)	ES	LS	Tot. Cost for activity	Cost/month
A	3	0	0	30,000	10,000
B	2	0	8	200,000	100,000
C	1	3	9	40,000	40,000
D	4	3	3	20,000	5,000
E	5	7	7	75,000	15,000
F	2	4	10	100,000	50,000
G	1	4	10	75,000	75,000
H	3	12	12	18,000	6,000
I	4	5	11	240,000	60,000

Total cost = 798,000

PROJECT BUDGETING CHOICES:

I. From a technical point of view, The project manager has a choice concerning when he can begin each activity in his project . He could ,for example, begin each activity at its **ES time**.

The following table illustrate the funds under this alternative:

	Months														
Act.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A	10	10	10												
B	100	100	100												
C				40											
D				5	5	5	5								
E								15	15	15	15	15			
F					50	50									
G					75										
H													6	6	6
I						60	60	60	60						
Tot.	110	110	10	45	130	115	65	75	75	15	15	15	6	6	6
Acc. Tot.	110	220	230	275	405	520	585	660	735	750	765	780	786	792	798

Project cost (in 1000s) with ES {monthly and comulative totals}

II. Or he could begin each activity on its LS time. The following table shows the monthly and comulative amounts of money which could be spent during the project if every activity were to begin on a LS basis:

	Months														
Act.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A	10	10	10												
B									100	100					
C										40					
D				5	5	5	5								
E								15	15	15	15	15			
F											50	50			
G											75				
H													6	6	6
I												60	60	60	60
Tot.	10	10	10	5	5	5	5	15	115	115	140	125	66	66	66
Acc. Tot.	10	20	30	35	40	45	50	65	180	335	475	600	666	732	798

Project cost (in 1000s) with LS {monthly and comulative totals}