

الفصل العاشر

تخطيط المشروعات

يعتبر تخطيط المشروعات من العناصر المهمة في تنفيذ المشاريع بأقل تكلفت ممكنة وإن من أولي الطرق لتخطيط المشروعات طريقة (Gantt bar chart). ومع الوقت أفاض اهتمام الإدارة الهندسية بتخطيط المشروعات واختيار الطرق الدقيقة لتخطيط المشروعات وكيفية التحكم، مثل طريقة مخطط التحكمي (المسار الحرج) (C P M) (Critical path method).

تخطيط المشروعات Project Planning

10.1 مقدمة:

يعرف المشروع بمجموع النشاطات التي لها علاقة ببعضها بحيث يتم تنفيذها في تسلسل معروف قبل اكتمال المشروع. وهذه النشاطات لها علاقة ببعضها في تسلسل منطقي بحيث لا يمكن أن يبدأ أي نشاط إلا بعد اكتمال النشاط الذي يعتمد عليه.

كما يعرف النشاط في المشروع بأنه العمل اللازم لوقت ومواد خام لتكاملته.

ويعتبر تخطيط المشروعات من العناصر المهمة في تنفيذ المشاريع بأقل تكلفة ممكنة وإن من أولي الطرق لتخطيط المشروعات طريقة (Gantt bar chart) وتهتم بتحديد بداية ونهاية زمن أي نشاط في خطوط أفقية بمقياس رسم ومع الوقت الحاضر اهتمت الإدارة الهندسية بتخطيط المشروعات واختيار الطرق الدقيقة لتخطيط المشروعات وكيفية التحكم، مثل طريقة ممر الخط التحكمي (المسار الحرج) (Critical path method) (C P M).

وطريقة معايرة ومراجعة المشاريع (Project Evaluation + Review technique) وهذه الطرق بدأ العمل بها في الفترة (1956-1958) حيث طورت (C P M) بواسطة الباحث E. I du Pont تحت دعم شركة (Mauchly ass) مما أدى إلى تخفيض وقت الأعطال اللازمة لعمل برنامج الصيانة من 78 ساعة إلى 25 ساعة ثم بواسطة تطبيقات على الأعمال الإنشائية بواسطة الباحث (Maushly Associations) إلى طريقة بيرت

(PERT) بالتعاون مع البحرية الأمريكية (إحدى المؤسسات الاستشارية) في تخطيط برامج الصواريخ العابرة للقارات المسمى (بولويس) وقد أدى استخدام هذا الأسلوب إلى تقليل المدة اللازمة لأعمال المشروع بنجاح بمدة عامين.

إن (PERT) و (CPM) طرق تهتم بحساب زمن المشاريع وهما متشابهتان إلى حد كبير في العمليات الرياضية، وتختلف هاتان الطريقتان في حساب الزمن حيث أن الزمن محدد في طريقة (CPM) بينما يعتمد على العمليات الإحصائية في طريقة (PERT).

إن تخطيط المشروعات بطريقة (PERT) و (CPM) يتضمن ثلاث مراحل أساسية هي:

التخطيط والجدولة والتحكم.

حيث أن مرحلة التخطيط تهتم بتجزئة المشروع إلى عدة نشاطات. ويعبر عن تقدير الزمن لهذه الأنشطة بواسطة أسهم مترابطة تكوّن شبكات تعبر عن التسلسل المنطقي لتنفيذ المشروع.

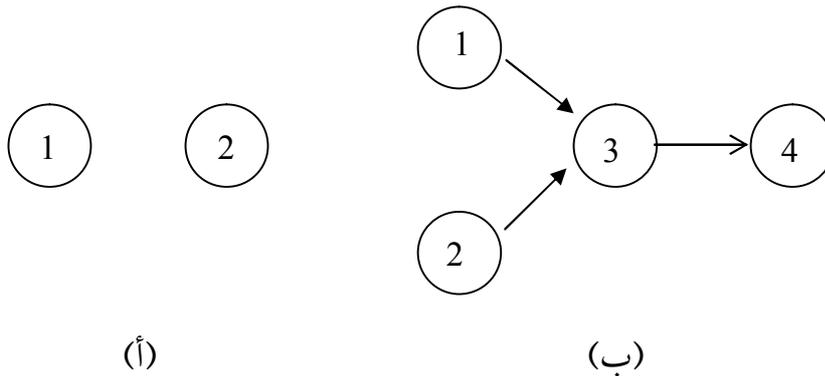
أما هدف الجدولة ونهايته. بالإضافة إلى أن التعبير عن هذه النشاطات يجب أن يوضح عليه الخط التحكمي للأنشطة التي لا تتحمل التأخير في المشروع.

أما المرحلة الثالثة وهي مرحلة التحكم والتي يعبر عنها باستخدام شبكة الأهم التخطيطية لتسلسل الزمن (Time sequence) بحيث أن هذه الشبكة يجب أن تُحدد وتحلل لحساب التغيرات التي تطرأ على المشروع.

10.2 تمثيل الأنشطة بواسطة الأسهم:

إن عملية رسم الأسهم تمثل العلاقة بين تسلسل النشاطات وعلاقتها ببعضها في المشاريع. وبصفة عامة تستخدم الأسهم في التعبير عن النشاطات، حيث أن رأس السهم يمثل نهاية النشاط، حيث أن رأس السهم يمثل نهاية النشاط.

وبداية السهم تمثل بداية النشاط. والشكل رقم (أ - 10.1) يوضح سورة لسهم يمثل نشاط ما (i,j) حيث أن بداية السهم j ، أما الشكل (ب - 10.1) فهو يوضح أن النشاط $(3,4)$.

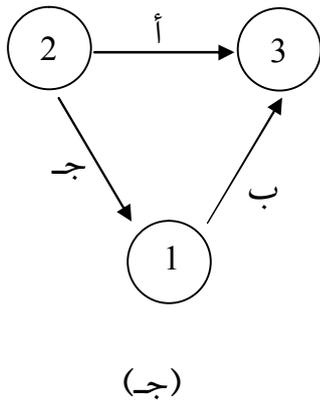
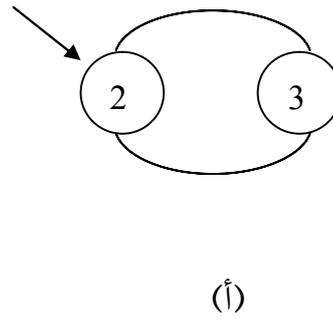
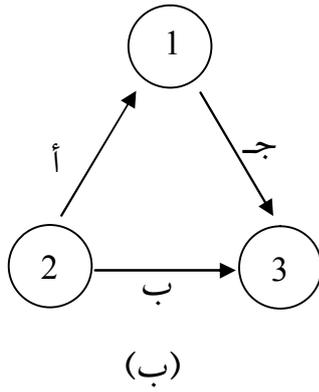


شكل (10.1)

10.3 قواعد استخدام الأسهم في بناء الشبكات التخطيطية:

قاعدة (1): كل نشاط يمثل بواسطة سهم واحد فقط في الشبكة التخطيطية، على سبيل المثال وضع ماسورة في الأرض يمثل بواسطة سهم واحد.

قاعدة (2): لا يمكن تمثيل نشاطين من نقطة واحدة كما هو موضح بالشكل (أ- 10.2) ويمكن تمثيل النشاطين من نقطة واحدة بواسطة إضافة نشاط بدون قيمة زمنية كما هو موضح بالشكل (ب- 10.2).

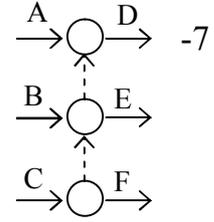


شكل (10.2)

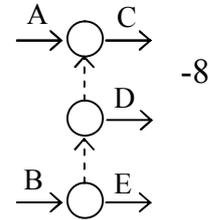
أمثلة حول قواعد الرسم:

- 1- $\xrightarrow{A} \bigcirc \xrightarrow{B}$ لا يمكن تنفيذ نشاط B بعد الانتهاء من النشاط A.
- 2- $\begin{matrix} A \nearrow \\ B \nearrow \end{matrix} \bigcirc \xrightarrow{C}$ لا يمكن البدء بتنفيذ النشاط C بعد إتمام النشاط A، B.
- 3- $\begin{matrix} A \rightarrow \\ B \nearrow \\ C \searrow \end{matrix} \bigcirc$ النشاط A مسيطر على الأنشطة B، C، أي لا يمكن البدء بتنفيذ الأنشطة B، C إلا بعد الانتهاء من النشاط A.
- 4- $\begin{matrix} A \nearrow \\ B \nearrow \\ C \nearrow \\ D \searrow \end{matrix} \bigcirc$ لا يمكن البدء بتنفيذ النشاط C، D، النشاط D مسيطر عليه من قبل النشاط C فقط.
- 5- $\begin{matrix} A \rightarrow \\ C \rightarrow \end{matrix} \bigcirc \begin{matrix} \xrightarrow{B} \\ \xrightarrow{D} \end{matrix}$ النشاط B مسيطر عليه من قبل A، C، النشاط D مسيطر عليه من قبل النشاط C فقط.
- 6- $\begin{matrix} A \rightarrow \\ B \rightarrow \\ C \rightarrow \end{matrix} \bigcirc \begin{matrix} \xrightarrow{D} \\ \xrightarrow{E} \end{matrix}$ النشاط D مسيطر عليه من قبل A، B، بينما النشاط E مسيطر عليه من قبل النشاط B، C.

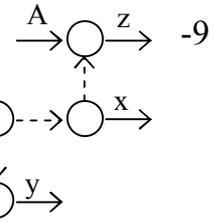
النشاط D مسيطر عليه من قبل A ، B ، C ، النشاط E مسيطر عليه من قبل B ، C فقط.



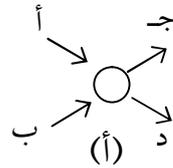
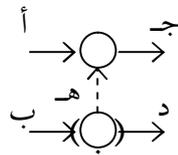
النشاط A يسطر على C ، D ، بينما النشاط B يسطر على D ، E النشاط D مسيطر عليه من قبل كل من A ، B.



النشاط C مسيطر عليه من قبل A ، D ، النشاط y مسيطر عليه من قبل A ، B ، C ، النشاط z مسيطر عليه من قبل فقط.



الشكل (أ - 10.3) يوضح التمثيل الغير صحيح للنشاطات. والشكل (ب - 10.3) يوضح التمثيل الصحيح للنشاطات



شكل (10.3)

قاعدة (3): للتأكد من أن الشبكة التخطيطية لأي مشروع صحيحة يجب أن تجيب الشبكة على الأسئلة التالية:

1- ما هو النشاط الذي يجب أن يكتمل قبل أن يبدأ النشاط الذي يعتمد عليه؟

2- ما هو النشاط الذي يجب أن يتبع النشاط السابق؟

3- ما هو النشاط الذي يجب أن ينفذ في نفس وقت النشاط الحالي؟

الأزمة المختلفة في شبكة PERT:

في شبكة (PERT) توجد ثلاثة من الأزمنة وهي:

1- الزمن التفاؤلي The optimistic time

2- الزمن التشاؤمي The pessimistic time

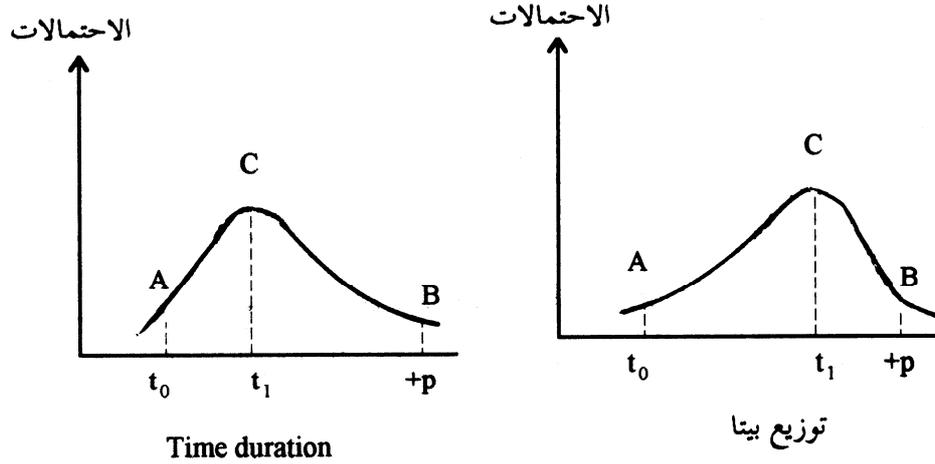
3- الزمن الأكثر احتمالاً The most likely time

الزمن التفاؤلي to هو أقصر زمن ممكن لتنفيذ وإتمام أي نشاط تحت ظروف متتالية (الزمن الذي يفترض أفضل الظروف المتوقعة).

الزمن التشاؤمي tp وهو الزمن الذي يشير إلى التقدير الأكثر تحفظاً في ظل ظروف سيئة (Abnormal conditions).

الزمن الأكثر احتمالاً هو الزمن الممكن والأكثر احتمالاً لتنفيذ وإتمام النشاط في ظل ظروف أو شروط طبيعية (Normal Conditions).

يعتبر توزيع بيتا أكثر الأنماط ملائمة لتحليل شبكة PERT ويوضح الشكل التالي توزيعين لبيتا الأول مائل للييسار (والثاني مائل إلى جهة اليمين).



شكل (10.3)

وقد كان اهتمام مصممي شبكة (PERT) ينصبُّ في إيجاد ذلك النوع من التوزيع الاحتمالي الذي يحقق الحالات التالية:

- 1- التوزيع يجب أن تكون له احتمالية قليلة للوصول إلى أقصى وقت تفاعلي (أقصر وقت).
- 2- التوزيع يجب أن يكون له احتمالية قليلة للوصول إلى أقصى وقت تشاؤمي (أطول وقت).
- 3- التوزيع يجب أن يكون له وقت واحد فقط وهو الأكثر احتمالاً والذي يستطيع الحركة بحرية بين الطرفين المذكورين في الحالة 1، 2.

إن هذه الشروط أعلاه تلي متطلبات توزيع بيتا. وبالنسبة لتوزيع بيتا الانحراف

$$\text{المعياري (Standard deviation) هو } \sigma = \frac{tp - to}{\sigma^0}$$

$$\sigma_2 = \frac{tp - to}{\sigma^0} \text{ (Variance) التباين}$$

الوقت المتوقع (Expected time):

الأوقات الثلاثة لتوزيعه بيتا هي t_i ، t_p ، t_o

التباين والانحراف المعياري يمكن حسابه باستعمال t_p ، t_o ومع ذلك من المفترض ربط الأوقات المذكورة في وقت واحد، وعليه لا يمكن الأخذ بالأوقات الثلاثة سوية، بل يجب احتساب متوسط لها. هذا المتوسط يطلق عليه الزمن المتوقع ويرمز له t_E ويعتبر الزمن المتوقع الذي يستغرقه أي نشاط في ضوء التقديرات الزمنية الثلاثة السابقة التي تأخذ الأوزان التالية:

أربعة أوزان للزمن الأكثر احتمالاً.

وزن واحد للزمن التفاؤلي.

وزن واحد للزمن التشاؤمي.

وبذلك تكون معادلة احتساب الزمن المتوقع كالاتي:

$$\text{الزمن المتوقع} = \frac{\text{الزمن التفاؤلي} + 4 \text{الزمن الأكثر احتمالاً} + \text{الزمن التشاؤمي}}{6}$$

$$(t_E)A = \frac{t_o + 4t_i + t_p}{6} =$$

مثال (10.1):

أحسب الزمن المتوقع لكل من الأنشطة التالية:

t_o	t_i	t_p	
4	6	11	نشاط A
5	10	12	نشاط B

الوقت المتوقع للنشاط A

$$(tE)A = \frac{t_o + 4t_i + t_p}{6}$$

$$= \frac{4 + (4 \times 6) + 11}{6} = 6.5 \text{ يوم}$$

الزمن المتوقع للنشاط B

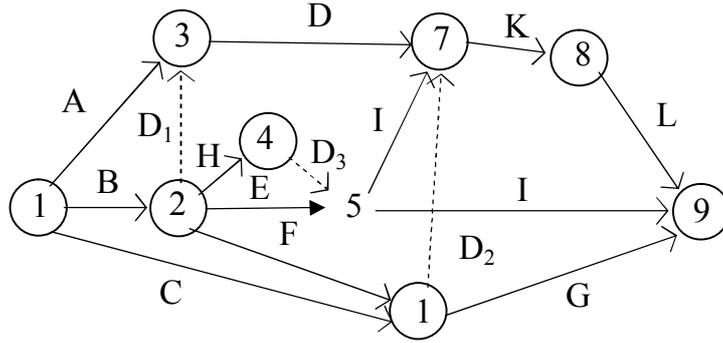
$$(tE)A = \frac{t_o + 4t_i + t_p}{6}$$

$$= \frac{5 + (4 \times 10) + 12}{6} = 9.5 \text{ يوم}$$

مثال 10.2:

ارسم الشبكة التخطيطية التي تحتوي على النشاطات التالية A ، B ، C ، ، L ، بحيث تحقق العلاقات التالية:

- 1- النشاط A ، B ، C أول نشاطات تبدأ في المشروع في آن واحد.
- 2- لنشاطات A ، B تسبق النشاط D.
- 3- نشاط B يسبق النشاطات E ، F ، H.
- 4- النشاط F ، C يسبق النشاط G.
- 5- النشاطات E ، H يسبقن النشاطات I ، J.
- 6- النشاطات C ، D ، F ، J يسبقن النشاط K.
- 7- النشاط K يسبق النشاط L.
- 8- النشاطات I ، G ، L نهاية المشروع أنياً.



حيث أن الأنشطة D_1 ، D_2 ، D_3 هي أنشطة ذات أزمنة تساوي صفر أنشطة
خامدة.

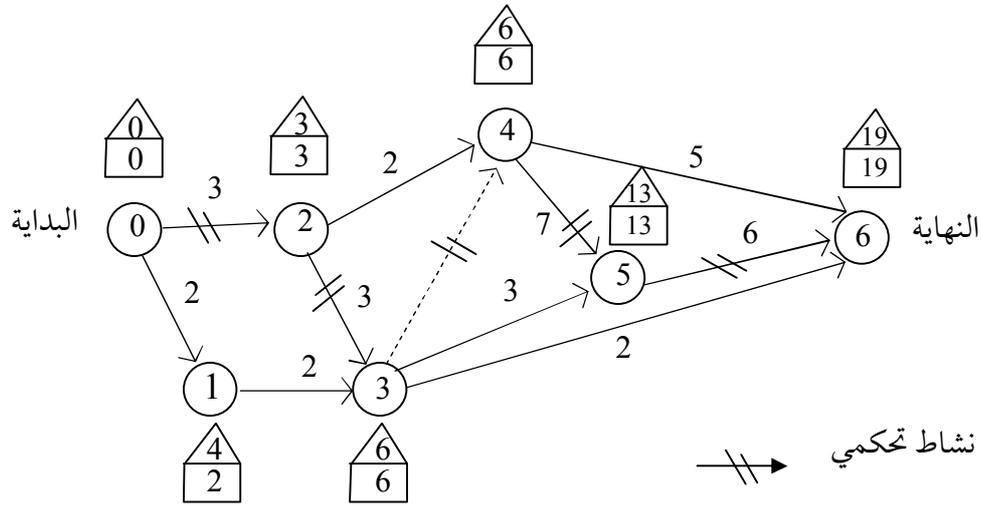
10.4 طرق حساب الخط التحكيمي (Critical path calculation):

إن تطبيق (PERT) و (CPM) يؤدي إلى تحديد بداية ونهاية كل نشاط في المشروع
في الشبكة التخطيطية.

يسمى النشاط بأنه واقع في الخط التحكيمي إذا كان التأخير في بداية تنفيذ سوف
يؤثر على تأخير في زمن المشروع بالكامل. أما النشاط الذي لا يقع في الخط التحكيمي
فهو النشاط التي بدايته أو نهايته إذا تأخرت لا تؤثر في زمن تأخير المشروع إلى حد
معين.

ويسمى هذا الحد من الزمن المسموح به لتأخير - الزمن الفائض - (Slack).

لتحديد الخط التحكيمي لأي مشروع نستخدم المثال التالي:



إذا فرضنا أن ES_i زمن بداية النشاط

D_{ij} زمن تنفيذ النشاط

زمن بداية النشاط i ونهاية النشاط j .

فإن: $ES_j = \text{Max}_i \{ES_i + D_{ij}\}$

عندما تكون $ES_0 = 0$

فمثلاً:

$$ES_1 = ES_0 + D_{01}$$

$$= 0 + 2 = 2$$

$$ES_2 = ES_0 + D_{02}$$

$$= 0 + 3 = 3$$

$$ES_3 = \text{Max} [ES_i + D_{i3}]$$

$$i = 1, 2$$

$$= \text{Max} [2 + 2, 3 + 3] = 6$$

$$i = 1, 2$$

وبنفس الطريقة:

$$ES_4 = \text{Max} [ES_i + D_{i4}]$$

$$i = 2, 3$$

$$= \text{Max} [3 + 2, 3 + 3] = 6$$

$$i = 2, 3$$

$$ES_5 = \text{Max} [ES_i + D_{i5}]$$

$$i = 3, 4$$

$$ES_5 = \text{Max} [6 + 3, 6 + 7] = 6$$

$$i = 3, 4$$

$$ES_6 = \text{Max} [ES_i + D_{i6}]$$

$$i = 3, 4, 5$$

$$ES_6 = \text{Max} [2 + 2, 3 + 3] = 6$$

$$i = 3, 4, 5$$

$$= \text{Max} [6 + 2, 6 + 5, 13 + 6] = 19$$

$$i = 3, 4, 5$$

أما الحسابات في الاتجاه المعاكس يتم حسابها بالطريقة التالية:

إذا فرضنا أن LC_1 هو الزمن الأخير لتكملة النشاط.

إذا كان $i = n$ حيث أن نهاية النشاط (n)

$$LC_n = ES_n$$

$$LC_i = \text{Min}_j [LC_j - D_{ij}]$$

حيث قيمة LC يمكن حسابها بالطريقة التالية:

$$LC_6 = ES_6 = 19$$

$$LC_5 = ES_5 - D_{56} = 19 - 6 = 13$$

$$LC_4 = \text{Min}_j [LC_i - D_{4j}]$$

$$j = 5, 6$$

$$= \text{Min} [13 - 7, 19 - 5] = 6$$

$$i = 5, 6$$

$$LC_3 = \text{Min} [LC_i - D_{3j}]$$

$$j = 4, 5, 6$$

$$= \text{Min} [6 - 0, 13 - 3, 19 - 2] = 6$$

$$LC_2 = \text{Min} [LC_i - D_{2j}]$$

$$j = 3, 4$$

$$= \text{Min} [6 - 3, 6 - 2] = 3$$

$$LC_1 = LC_3 - D_{13} = 6 - 2 = 4$$

$$LC_0 = \text{Min} [LC_i - D_{0j}]$$

$$j = 1, 2$$

$$= \text{Min} [4 - 2, 3 - 3] = 0$$

عليه، يمكن تحديد الخط التحكمي باستخدام القواعد التالية. فمثلاً نشاط (i, j) يقع في الخط التحكمي إذا تحققت الشروط التالية:

$$EC_i = LC_i$$

$$EC_j = LC_j$$

$$(i, j) \text{ لكل الأنشطة } ES_j - EC_i = LC_j - LC_i = D_{ij}$$

نلاحظ أن الشروط المذكورة أعلاه لا تسمح بالاتاحية أو الوقت الزائد ما بين

$$.LC_i, ES_i$$

فلو نظرنا إلى الرسم التخطيطي بالأسهم نلاحظ أن الاتجاه الأول محسوب في مربعات والاتجاه المعاكس محسوب في مثلثات Δ والفرق ما بين Δ هو الزمن الزائد المسموح به في تأخير النشاط في المشروع.

النشاطات (0, 2)، (2, 3)، (3, 4)، (4, 5)، (5, 6) تعرف

$$\bar{D} = \frac{(a + b)/2 + 2m}{3}$$

$$= \frac{a + b + 4m}{6}$$

أما الانحراف المعياري

$$V = \left(\frac{b - a}{6} \right)^2$$

لمزيد من التفاصيل يمكن الرجوع إلى مرجع في علم الإحصاء.

مثال توضيحي: احسب الخط التحكيمي للنشاطات التالية:

تقديرات الزمن (m, b, a)	النشاط
(1,3,2)	(0,1)
(2,8,2)	(0,2)
(1,3,2)	(1,3)
(1,11,1.5)	(2,3)
(0.5,7.5,1)	(2,4)
(1,7,2.5)	(3,5)
(1,3,2)	(3,6)
(6,8,7)	(4,5)
(1,3,2)	(3,6)
(6,8,7)	(4,5)
(3,11,4)	(4,6)
(4,8,6)	(5,6)

بتطبيق المعادلات أعلاه تحصل على الجدول التالي:

تعرف الخط التحكمي وفي نفس الوقت اللازم لتكملة المشروع.
أما النشاطات (2,4) ، (3,5) ، (3,6) ، (4,6) ، تفي بالشرطين الأول والثاني
ولكن لا تفي بالشرط الثالث لتحقيق أنها في الخط التحكمي.

10.5 طرق حساب الزمن الزائد (Determination of the float):

يعد حساب الخط التحكمي، بأنه حساب الزمن الزائد للنشاطات التي لا تقع في
الخط التحكمي. ومن المعروف أن الأنشطة التي تقع في الخط التحكمي يجب أن يكون
الزمن الزائد يساوي فيها صفرًا، وفي الواقع هو السبب الرئيسي التي أهلها بأن تكون في
الخط التحكمي.

وقبل البدء في حساب الزمن الزائد، من الضروري تعريف زمنين مصاحبين
للنشاط الواحد.

أ - آخر موعد لبداية النشاط (LS) (Latest Start).

ب - أول زمن لتكملة النشاط (ES) (Earliest Completion).

ويمكن تعريف هذين الزمنين لأي نشاط (i, j) بالآتي:

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

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

ويوجد نوعان من الأزمنة الزائدة:

أ - مجموعة الزمن الزائد (TF) (Total Float)

ب - الزمن الزائد الحر (FF) (Free Float)

فإن كان مجموع الزمن الزائد (TF) يسمى TF_{ij} والذي يعرف بالفرق ما بين الحد
الأقصى لتكملة نشاط. ($=LC_j - ES_i$) وزمن النشاط ($=D_{ij}$) أي أن:

$$TF_{ij} = LC_j - ES_i - D_{ij}$$

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

أما الزمن الزائد الحر (FF) مع افتراض أن النشاطات كلها تبدأ بأسرع طريقة ممكنة فإن الزمن الزائد الحر لنشاط (i, j) يسمى الزيادة المتاحة من الزمن ($ES_i - ES_i =$) أي أن FF:

$$FF_{ij} = ES_i - ES_i - D_{ij}$$

وبالتالي حساب الخط التحكمي مع مجموع الزمن الزائد مع الزمن الزائد الحر تلخص حساباته في الجدول (10.1).

جدول (10-1)

النشاط (i, j)	الفترة D_{ij}	الزمن المبكر		الزمن المتأخر		TF_{ij}	FF_{ij}
		البداية ES_i	النهاية ES_{ij}	البداية LS_{ij}	النهاية LC_i		
(0,1)	2	0	2	2	4	2	0
(0,2)	3	0	3	0	3	0	0
(1,3)	2	2	4	4	6	2	2
(2,3)	3	3	6	3	6	0	0
(2,4)	2	3	5	4	6	1	1
(3,4)	0	6	6	6	6	0	0
(3,5)	3	6	9	10	13	4	4
(3,6)	2	6	8	17	19	11	11
(4,5)	7	6	13	6	13	0	0
(4,6)	5	6	11	14	19	8	8
(5,6)	6	13	19	13	19	0	0

10.6 بناء خرائط الزمن ومستوى المصادر:

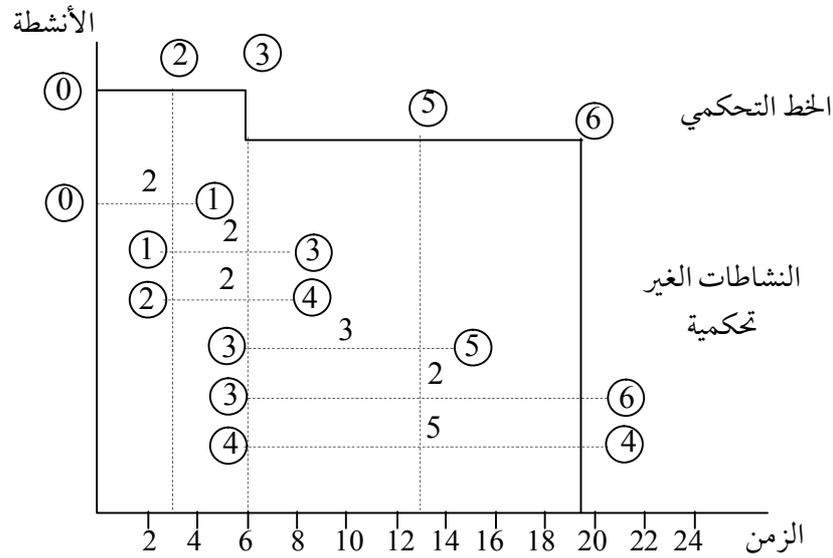
يتم إصدار خرائط الزمن ضمن حدود الموارد المتاحة لأنها تعكس النشاطات الحقيقية للمشروع من خلال الطاقة البشرية والآلات المتاحة.

وبناء عليه فإن مجموع الزمن الزائد (TF) للنشاطات الغير واقعة في الخط التحكمي مفيد.

ولتوضيح كيفية بناء خرائط الزمن تستخدم المثال التالي:

مثال:

بالإشارة إلى المثال السابق بالنظر إلى المخطط شكل (10.4) نلاحظ أن الأنشطة التي تقع في الخط التحكمي خطوطها متصلة.



شكل (10.4)

مثال 10.4:

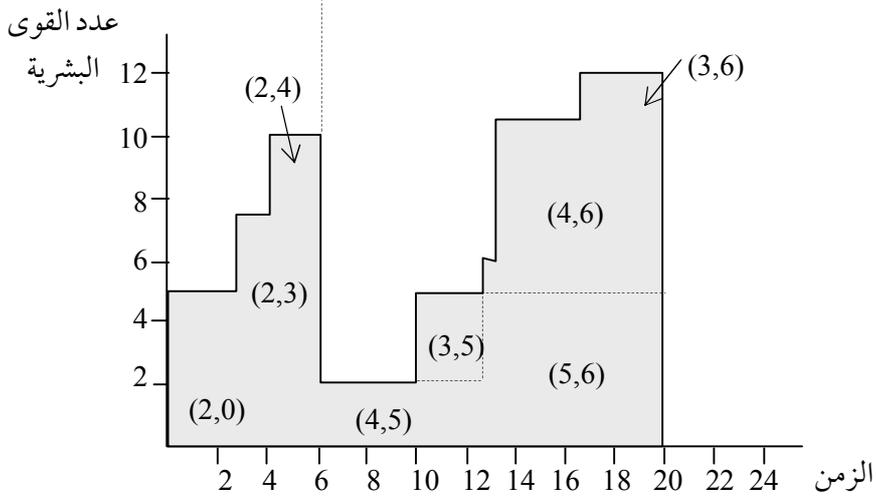
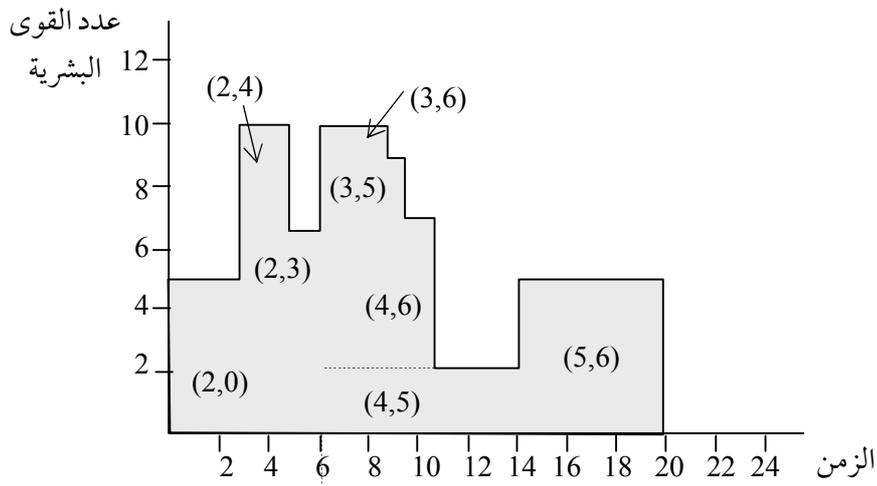
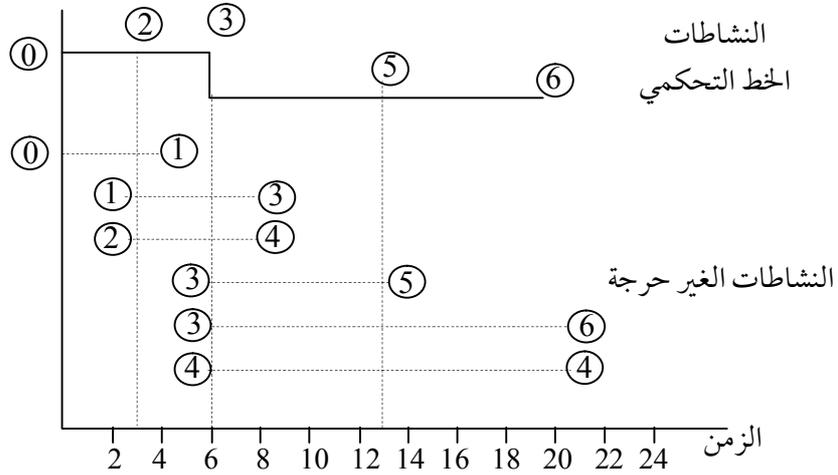
إذا فرضنا أن الطاقة البشرية اللازمة لتنفيذ عدة نشاطات للإنتاج منتج معين. والمطلوب عمل جدول تخطيطي لتوزيع هذه القوى البشرية خلال زمن تنفيذ المشروع. مع ملاحظة أن النشاط (0،1) والنشاط (1،3) لا تحتاج إلى جهد بشري حيث أن قيمتها صفر.

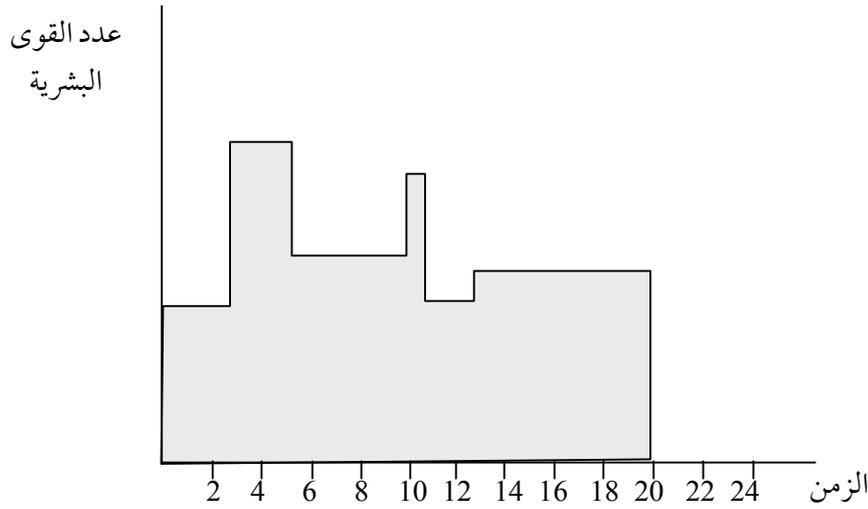
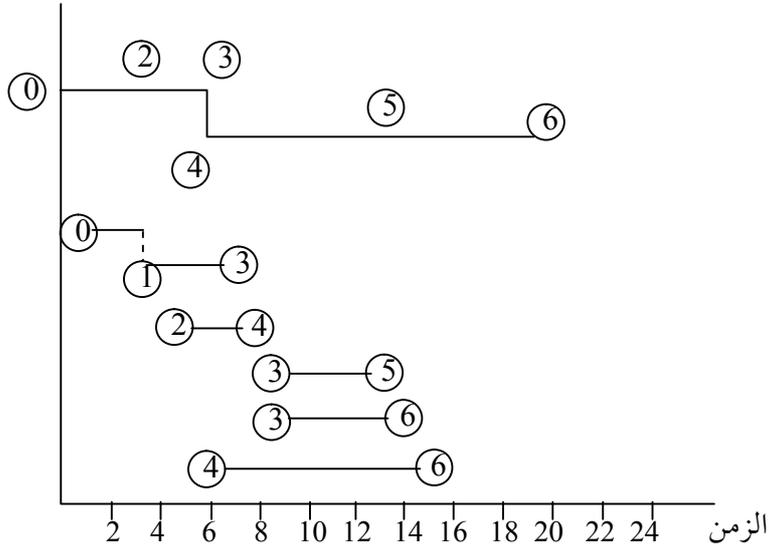
النشاط	عدد القوى البشرية اللازمة
0.1	0
0.2	5
1.3	0
2.3	7
2.4	3
3.5	2
3.6	1
4.5	2
4.6	5
5.6	6

الشكل (10.5) يوضح القوى البشرية اللازمة خلال الزمن
للأنشطة الغير واقعية في الخط التحكمي.

أما الشكل (10.6) يوضح توزيع الأنشطة حسب تخطيطها بشكل متأخر -
الخطوط الغير متواصلة توضح الأنشطة الواقعة في الخط التحكمي والتي يجب أن
تتحقق إذا كان زمن المشروع قد انتهى.

تلاحظ أن المشروع يحتاج على الأقل 7 رجال لتكملة المشروع. وأن 10 رجال
كحد أقصى لتكملة المشروع. وأن أكبر تأخير ممكن يحصل لتنفيذ المشروع هو 12 رجل.



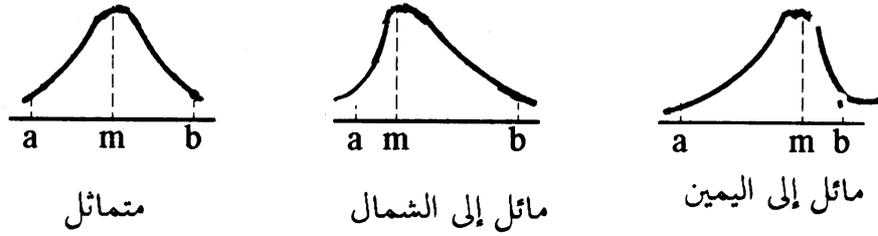


10.7 طرق حساب تخطيط المشروعات بواسطة الإحصاء:

(Probability consideration in project scheduling)

تساهم الإحصاء في تخطيط المشروعات باعتبار تقدير الزمن اللازم للإنجاز أي نشاط باعتماده على احتمالات هي:

a - الزمن التفاؤلي: وهو أقصى زمن يمكن إنجاز فيه أي نشاط.
 b - الزمن التشاؤمي: وهو أكبر زمن يمكن فيه إنجاز فيه أي نشاط.
 m - الزمن المتوسط: وهو الزمن الطبيعي لإنجاز أي نشاط أو الزمن العادي.
 وباعتبار أن احتمال إنجاز أي نشاط في الفترة m ونظراً لهذه الخواص يمكن تمثيلها بالرسم على النحو الآتي على نموذج التوزيع Beta المعروف.



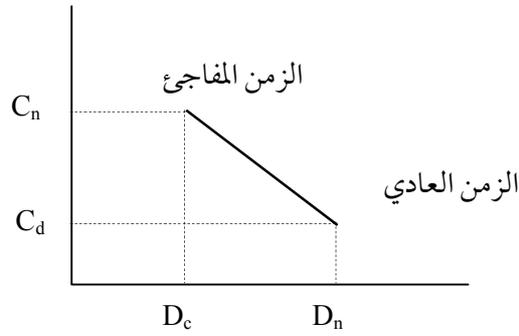
شكل (10.6)

وبالتالي يمكن التعبير عن المتوسط \bar{D} والانحراف المعياري V لـ توزيع β على النحو الآتي:

V_{ij}	$\bar{D}.j$	النشاط
0.33	2	(0,1)
1.00	3	(0,2)
0.33	2	(1,3)
2.78	3	(2,3)
1.36	2	(2,4)
1.00	3	(3,5)
0.11	2	(3,6)
0.11	7	(4,5)
1.78	5	(4,6)
0.44	6	(5,6)

10.8 إدخال التكلفة في جدول المشروع:

تعرف التكلفة هنا بالتكلفة المباشرة والتكلفة الغير مباشرة. فمثلاً التكلفة الغير مباشرة هي تكاليف إدارية أو إشرافية لتنفيذ النشاط. أما التكلفة المباشرة - هو التكلفة المباشرة اللازمة لتنفيذ النشاط. شكل (10.7) توضح العلامة الخطية بين التكاليف.

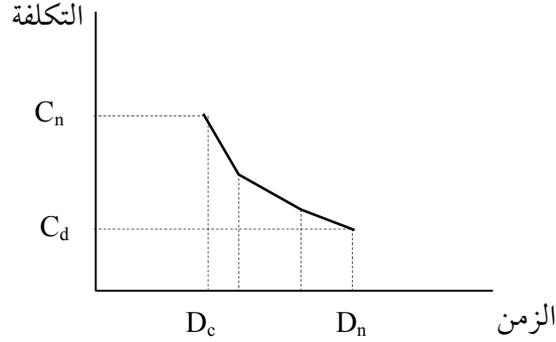


شكل (10.7)

حيث أن (D_n, C_n) تمثل الفترة الزمنية D_n مصحوبة بالتكلفة C_n إذا النشاط أنجز في الوقت العادي. ويمكن تقليل الفترة D_n بزيادة التكلفة، ويسمى في هذه الحالة الزمن المقلص، وبالتالي ترتفع التكلفة إلى النقطة (D_n, C_n) .

إن علاقة الخط المستقيم يمكن استخدامها وفق المعايير المطلوبة لكل نشاط.

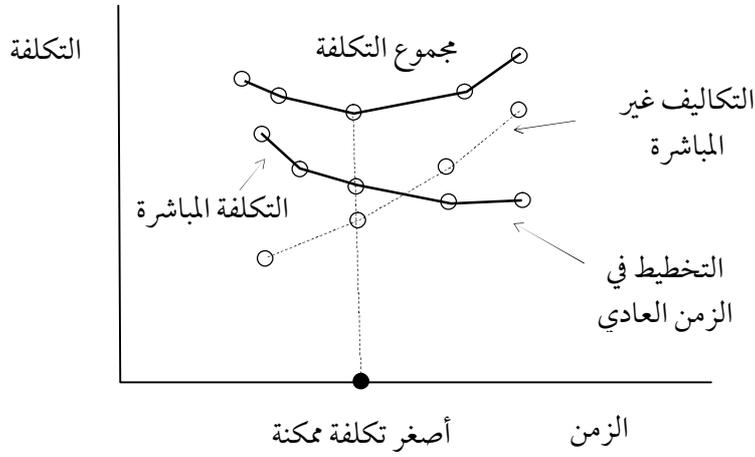
ويمكن حساب علاقة غير خطية لحساب الزمن والتكلفة كما هو في شكل (10.8).



شكل (10.8)

وفي هذه الحالة يمكن تقسيم النشاط إلى عدة أجزاء أو عدة نشاطات كل جزء نشاط له خط مستقيم على حدة.

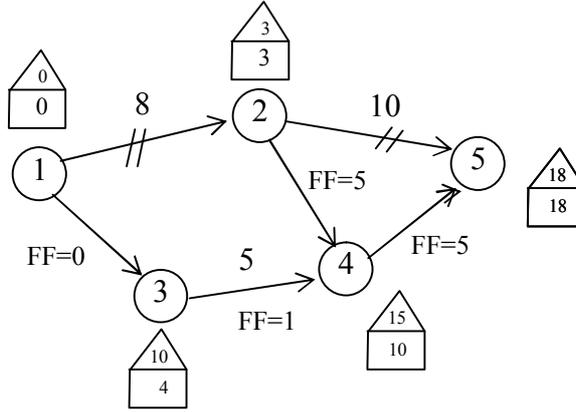
ويمكن تحليل هذه التكاليف من الخبرة العملية على الشكل (10.9).



شكل (10.9)

مثال 10.5:

إذا اعتبرنا الشبكة التخطيطية الموضحة بالشكل (10.10) وأن الزمن العادي والزمن المقلص موضحة بالجدول (10.10) المطلوب حساب أقل أو أصغر تكاليف ممكنة ما بين الزمن العادي والزمن المضغوط.



شكل (10.10)

الزمن المضغوط		الزمن المصغوط		النشاط
التكلفة	الزمن	التكلفة	الزمن	
200	6	100	8	(1,2)
350	2	150	4	(1,3)
90	1	50	2	(2,4)
400	5	100	10	(2,5)
220	1	100	5	(3,4)
100	1	80	3	(4,5)

يمكن تحليل هذه المسألة اعتماداً على ميل التكلفة - الزمن لمختلف الأنشطة والتي يمكن حسابه بالمعادلة الآتية:

$$\frac{c_n - c_c}{D_n - D_c} = \text{الميل (Slope)}$$

ويمكن تلخيص الميول في الجدول (10.2)

جدول (10-2)

النشاط	الميل
(1,2)	50
(1,3)	100
(2,4)	40
(2,5)	62
(3,4)	25
(4,5)	10

لبداية الحساب افتراض أن جميع النشاطات تحدث في الزمن العادي. والشبكة الموضحة في الشكل (10.10) تعطي الخط التحكمي تحت الزمن العادي حيث أن مجموع زمن المشروع 18 وتكلفته المصاحبة 580.

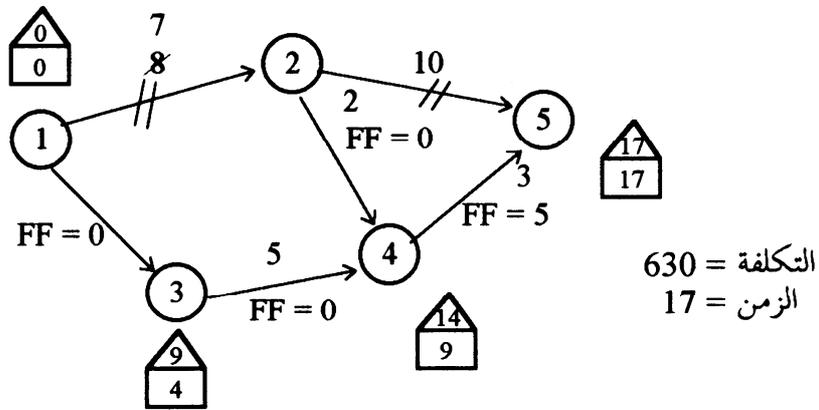
أما الخطوة الثانية التي تسمى تقليل الزمن اللازمة لتكملة المشروع وذلك بضغط زمن النشاطات الواقعة في الخط التحكمي وذلك بأقل ميول ممكن. وبناء على الشبكة الموضحة في الشكل (10.10) يوجد نشاطات فقط الواقعة في الخط التحكمي. ويمكن اختيار النشاط (1,2) لأنه له ميل أقل وفقاً للمنحنى الزمني - التكلفة، ويمكن ضغط هذا النشاط بمقدار وحدتين زمن لحساب FF أولاً نحتاج لتقليل زمن الخط التحكمي. سوف نلاحظ أن هذه النشاطات سوف تقل قيمة FF الموجبة بمقدار وحدة زمن. سوف نلاحظ أن هذه النشاطات سوف تقل قيمة FF الموجبة بمقدار وحدة زمن. وأن أقل FF لجميع النشاطات يحسب فيها FF اللازم.

وبتطبيق هذه القاعدة على الشكل (10.10) فإن FF موضع عمل النشاطات التي يهيمها. فمثلاً النقص في النشاط (1,2) بمقدار وحدة زمن سوف يقلل FF للنشاط

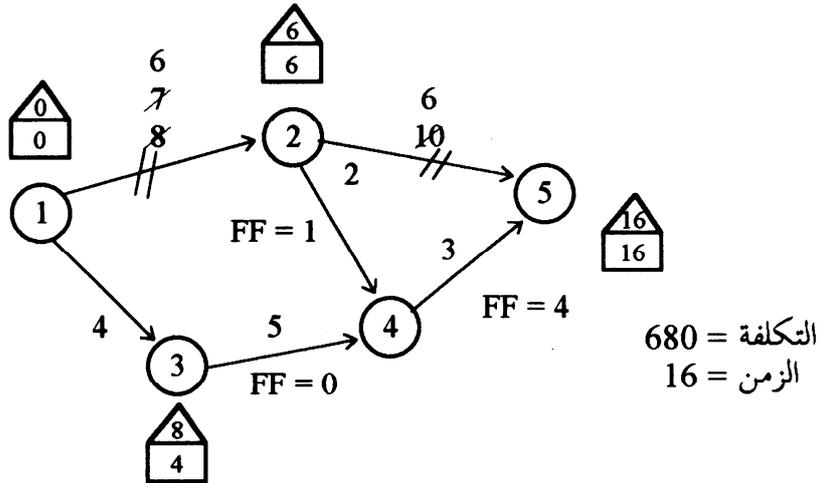
(3,4) من واحد إلى صفر أما لل نشاط (4,5) FF لل نشاط (4,5) سوف يبقى ثابت بمقدار قيمة 5. عليه فإن نهاية أي FF = 1.

الشكل (10-10) يوضح قيمة أن زمن المشروع 17 والتكلفة المصاحبة له

$$630 = 580 + (18 - 17) \times 50$$



شكل (10.11)



$$630 + (17 - 16) * 5 = 680$$

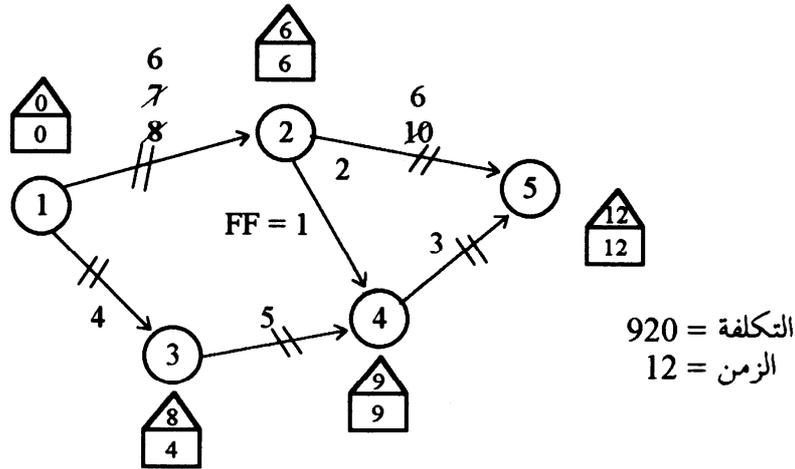
النشاط (2، 1) لا يمكن ضغطه أكثر من ذلك. وبالتالي النشاط (2، 5) يمكن اختياره لضغط زمنه.

$$\text{نهاية الزمن السريع} = 10 - 5$$

$$\text{وبما أن FF للنشاط (4، 5) = 4}$$

$$\text{نهاية ضغط الزمن} = \text{القيمة الصغرى (4، 5)} = 4$$

وتنتج الحسابات توضيح في الشكل الآتي:



من الرسم يوحّد خطين تحكّمين هما 1 ← 2 ← 5

و 1 ← 3 ← 4 ← 5

وزمن المشروع 12 وتكلفته تحسب على النحو الآتي:

$$680 + (16-12) \times 60 = 920$$

ويعني ظهور خطين تحكّمين إشارة إلى تقليص زمن المشروع بحيث يتم تقليص زمن المشروع عن طريق الخطين آنياً. وأن القاعدة السابقة لاختيار النشاطات الواقعة على الخط التحكّمي. فمثلاً الخط التحكّمي 1 ← 2 ← 5 النشاط (2، 5) يمكن

ضغطه وحدة زمن واحدة. أما الخط التحكيمي $1 \leftarrow 3 \leftarrow 4 \leftarrow 5$ يمكن ضغط النشاط (5,4) وفقاً لصفري ميله بعدد وحدتين زمن.

∴ الزمن الصغير للخطين التحكميين يساوي أقل تقليص ما بين $[2,1] = 1$

و FF يمكن حسابها من خلال كل خط تحكيمي على حدة، وبما أن أقل قيمة زمن يمكن تقليصها هي واحد ولا يتعارض مع FF.

∴ التخطيط النهائي يساوي 11 وتكلفة تنفيذ المشروع يمكن حسابها على النحو

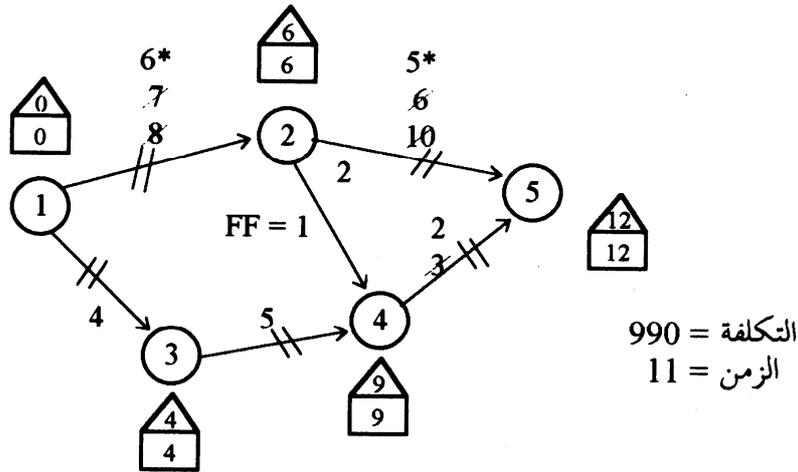
الآتي:

$$920 + (12 - 11) \times (10 + 60) = 990$$

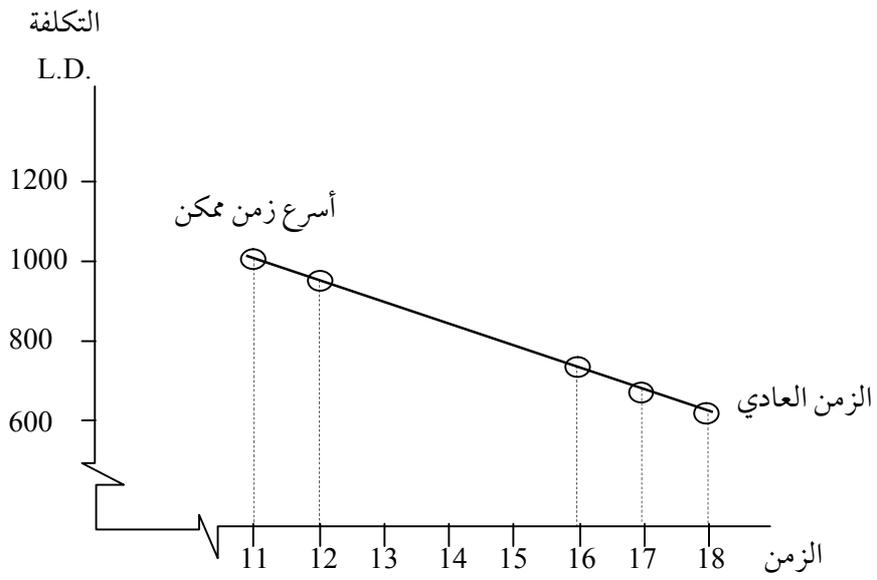
ويبقى الخطان التحكميان ثابتان في الخطوة الأخيرة. وبما أن النشاطات الواقعة في

الخط التحكيمي $1 \leftarrow 2 \leftarrow 5$ وصلت أسرع وقت ممكن وفقاً للمعطيات.

∴ لا يمكن تقليل زمن المشروع كما هو موضح بالشكل الآتي:



وأن ملخص الحسابات يُعطي بالشكل الآتي:



Some software packages for project management

Name	Source/Details
	(for addresses see list at end of chapter)
Project Scheduler	Scitor Corp.
SAS System	SAS
Project/2	Project Software & Development
Super Project Expert	Computer Associates
Artemis	Lucas Management Systems (see also Project Manager Today, Feb. 1992, pp. 42-45)
Project Manager Workbench	Hoskins
Open Plan	Welcome Software
Primavera	Primavera Systems
Trackstar	Cosar Project Management
Plantrac	Computerline
Pronis-PMS	(based on Arternis) (see Project Manager Today, Nov./Dec. 1992, pp. 30-33)
Project Guide	Deepak Sareen
Power Project	Asta
Pc Project 3	(see Project Manager To dat, Oct. 1992, pp. 34-36)

Types and capabilities of computer software packages

- | | |
|---------------|--|
| 1. Simple: | Single-project planning Limited analysis (e.g. no rescheduling) Simple, easy to use and understand |
| Single: | Single-project management (planning, scheduling control, monitoring)
Comprehensive analysis (with progress reports, rescheduling, etc.) |
| Multiproject: | Multiproject management (planning, scheduling control, monitoring)
Comprehensive analysis and reports
Uses common database |

Typical capabilities:

- 1- Formats (activity on arrow or node)
- 2- Bar or Gantt chart displays/outputs
- 3- Schedule dates
- 4- Updating (e.g. with revised durations, schedule dates, etc.)
- 5- Sorting (i.e. listing of activities with dates, by department)
- 6- Resource aggregation and allocations
- 7- Cost controls and calculations
- 8- Calendar dates (i.e. internal calendar used to apply calendar dates to activities)
- 9- Reports (i.e. choice of report formats)
- 10- PERT calculations
- 11- Cost/duration comparisons
- 12- "What if?" calculations (e.g. calculate effects of changes in durations, resources, etc.)

10.9 التحكم في المشروع (Project control):

تبدأ أهمية الشبكة التخطيطية للمشروع أثناء تنفيذ المشروع، وذلك من خلال متابعة تسلسل الأنشطة والحرص على تحقيق الأمانة في مواعيدها خلال عملية التنفيذ. إن تأثير تأخير أي زمن لأي نشاط داخل المشروع سوف يؤثر على الجزء الذي لم يكمل في المشروع بعد.

فمثلاً: عند تنفيذ أي مشروع على مدى الزمن المخصص له، يراعى أن تكتمل الأنشطة في الزمن المخصص لها، وفي حالة التأخير مطلوب إعادة تخطيط وجدولة ما تبقى من تنفيذ المشروع، وهذا ما يقصد بالتحكم في المشروع.

10.10 مسائل:

1- شركة مساهمة تخطط لإنتاج منتج جديد، وترغب الشركة في تخطيط التسويق، وتشمل النشاطات اللازمة للتسويق القائمة الآتية:

رمز النشاط	وصف النشاط	النشاط السابق	زمن النشاط (أسبوع)
A	الإعداد للمشروع وتحديد الميزانية	-	1
B	تدريب المنتجين لأداء العمل الخدمي	A	8
C	تدريب رجال البيع والتسويق	A	4
D	توزيع المنتج على مراكز التسويق	C	4
E	إعداد الدعاية بواسطة الإذاعتين المسموعة والمرئية	A	4
F	التعاقد مع الإذاعتين	E	1
G	صناعة الأفلام بالإذاعة المرئية	F	8
H	طباعة البرنامج للدعاية بواسطة المسموعة	F	4
I	اعتماد البرنامج المرئي من الإدارة	G	3
J	الدعاية بواسطة الجرائد	A	2
K	الدعاية لكيفية التعاقد	J	1
L	إعداد الدعاية بواسطة المطبوعات كمخطوط	K	4
M	طباعة المخطوط	L	4
N	توزيع المنتج بالجملة	D	2
O	توزيع المنتج للموزع الفردي	N	4
P	الندوات الإعلامية	B,O,I,H,M	0

2- مصنع حقائب اللدائن يحتوي على النشاطات التالية:

رمز النشاط	وصف النشاط	النشاط السابق	الزمن (دقيقة)
A	قطع المادة البلاستيكية بشكل الحقيبة	-	5
B	تصنيع النموذج الخشبي	-	15
C	ثقب الفتحات اللازمة	A	5
D	طبع الصور اللازمة على الحقيبة	A	2
E	تثبيت البلاستيك على النموذج الخشبي	C , B	3
F	ربط حوامل الحقيبة	C , B	2
G	وضع الإشارات الأمنية لحفظ الحقيبة	D , E	1
H	تعليب الحقيبة للتسويق	F , G	1

- أ - ارسم الشبكة التخطيطية للمشروع.
 ب- أوجد الخط التحكمي للمشروع.
 ج- أوجد FF ، FT لكل نشاط.

3- ضع علامة (✓) أو (✗) على المعلومات التالية:

- 1- النشاط الخامد في الشبكة التخطيطية دائماً قيمته صفر ()
 2- يمكن أن يمثل أكثر من نشاط من خلال دائرتين ()
 3- الخط التحكمي في المشروع يمثل الحد الأدنى من الزمن اللازم لتكملة المشروع ()
 4- من الممكن أن يتأخر أي نشاط واقع في الخط التحكمي بدون أن يتأخر المشروع بالكامل ()
 5- أي شبكة تخطيطية لأي مشروع أكثر من خط تحكمي ()
 6- يختلف حساب الخط التحكمي بطريقة PERT عنها في CPM ()
 7- النشاط الغير واقع في الخط التحكمي لا يمكن أن يكون له قيمة صفر لـ TF ()

- 8- النشاط الواقع في الخط التحكمي يشترط أن TF ، FF يساوي صفر ()
 9- من المستحيل أن تزيد زمن أي نشاط بعد قيمته العادية بدون زيادة تكلفته ()
 10- من المستحيل أن تأخر أي نشاط في الخط التحكمي دون أ، تأخر كل المشروع ()

4- المعلومات التالية تعطي نشاطات لبناء مسكن جديد:

رمز النشاط	وصف النشاط	النشاط السابق	الزمن (يوم)
A	تنظيف الموقع	-	1
B	إحضار الخدمات للموقع	-	2
C	حفر الموقع	A	1
D	حفر المجاري الخارجية	B , C	6
E	أعمال البناء	D	10
F	الأعمال الكهربائية	F	3
G	حسب الأرضيات	G	1
H	صب السقف	F	1
I	المرافق الأرضية	E , H	5
J	المظلات الخارجية	I	2
K	وضع العوازل الخارجية	F, J	1
L	تركيب النوافذ والأبواب	F	2
M	أعمال البدورات	L , M	4
N	وضع العوازل الداخلية	G , J	2
O	تغطية الجدران والأسقف	O	2
P	عزل السقف الخارجي	I , P	1
Q	التشطيب الداخلي	P	7
R	التشطيب الخارجي	I , N	7
S	أعمال الحدائق	S	3

- أ- أرسم الشبكة التخطيطية للمشروع.
 ب- احسب الخط التحكمي للمشروع

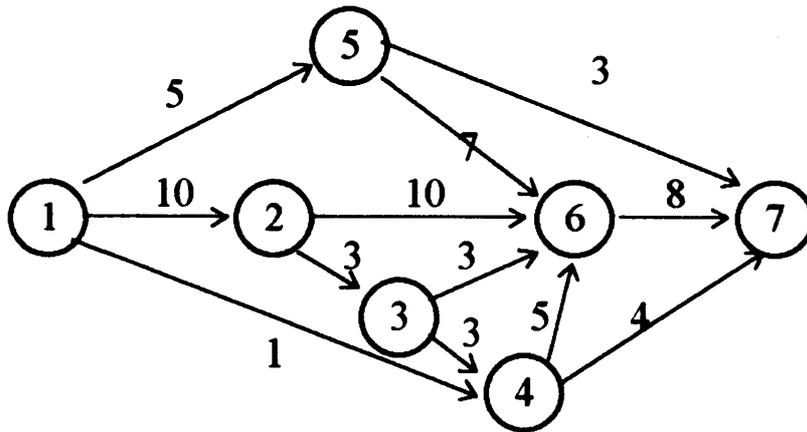
5- ترغب إحدى شركات القطاع العام في تحديد ميزانيته للسنة القادمة. عليه يجب تجميع المعلومات التالية؛ مثال: المبيعات، الإنتاج، الحسابات، والمالية. وكل هذه النشاطات مدرجة حسب أزمتهما في الجدول الآتي:

رمز النشاط	وصف النشاط	النشاط السابق	الزمن (يوم)
A	حساب تنبؤ المبيعات	-	10
B	دراسة السوق المنافسة	-	7
C	تصميم المنتج ومعدات الإنتاج	A	5
D	إعداد برمجة الإنتاج	C	3
E	تقدير تكاليف الإنتاج	D	2
F	إعداد ثمن المبيع	B, E	1
G	إعداد الميزانية العامة	14 E, F	

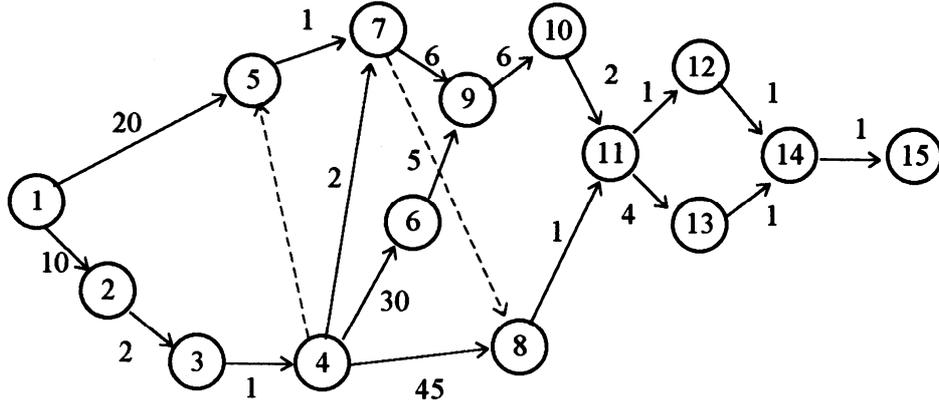
أ- أرسم الشبكة التخطيطية لتنفيذ المشروع.

ب- احسب الخط التحكمي للمشروع

6- احسب الخط التحكمي للشبكة التخطيطية الآتية:



7- أحسب الخط الحرج للشبكة التخطيطية الآتية:

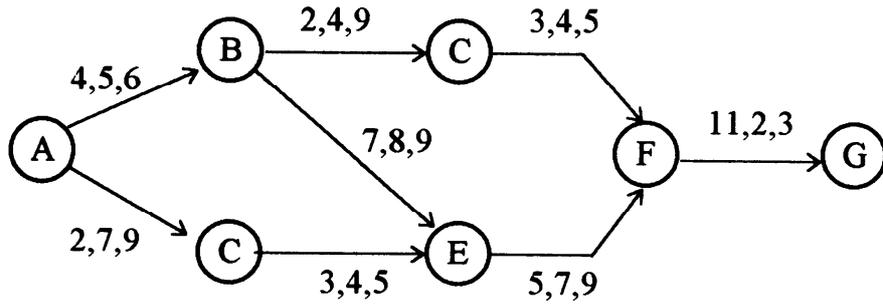


8- مشروع يحتوي على تسعة نشاطات، إذا علمت بأن الزمن التفائي، والزمن المتوسط والزمن التشارمي وأسبقية رغب النشاطات على النحو الآتي:

رمز النشاط	الأزمة			أسبقية الأنشطة
A	1	3	4	-
B	2	4	1	-
C	1/2	2	1	A
D	2	5	1	A
E	1	6	3	B, C
F	1	2	7	D, E
G	3	4	9	D, E
H	2	3	5	F
I	4	5	8	G

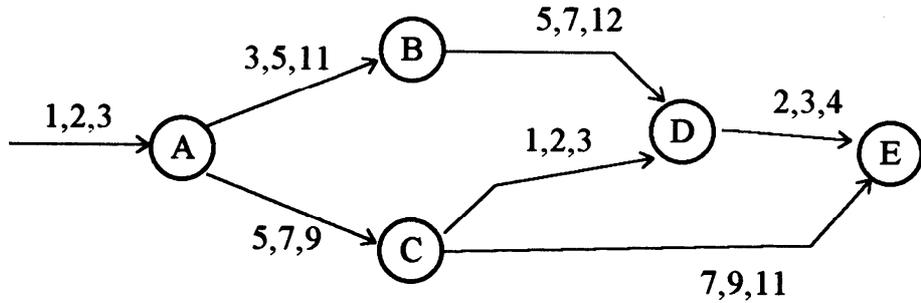
احسب الخط التحكمي للمشروع.

9- إذا أعطيت الشبكة التخطيطية للمشروع الآتي:



- أ- أرسم الخط التحكمي للمشروع.
 ب- احسب الانحراف المعياري لكل نشاط.

10- إذا أعطيت الشبكة التخطيطية للمشروع الآتي:



- أ- ما هو ES_i للمشروع؟
 ب- ما هو الخط التحكمي للمشروع؟
 ج- ما هو الانحراف المعياري للخط التحكمي؟
 د- ما هو الاحتمال الذي يسمح لاستكمال المشروع في 20 أسبوعاً؟

11- أجب عن الأسئلة النظرية التالية:

أ - عرف: النشاط الوهمي
النشاط السابق
النشاط اللاحق
النشاط المتوازي.

ب- عرف: المشروع
الخط التحكمي
الزمن التفائلي
الزمن التثائمي.

ج- عرف: الوقت المبكر لحدث النشاط
الوقت المتأخر للحدث.

د- لماذا تزيد تكلفة النشاط إذا تم التعجيل في تنفيذه؟