الفصل العاشر

تخطيط المشروعات

يعتبر تخطيط المشروعات من العناصر الهامة في تنفيذ المشاريع بأقل تكلفة ممكنة وإن من أولي الطرق لتخطيط المشروعات طريقة (Gantt bar chart). ومع الوقت أخذ الهتمت الإدارة الهندسية بتخطيط المشروعات واختيار الطرق الدقيقة لتخطيط المشروعات وكيفية التحكم، مثل طريقة مم أخط التحكمي (المسار أحرج) (Critical path method) (C P M).

الفصل العاشر

10

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 لتكملته.

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 (بولاويس) 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.

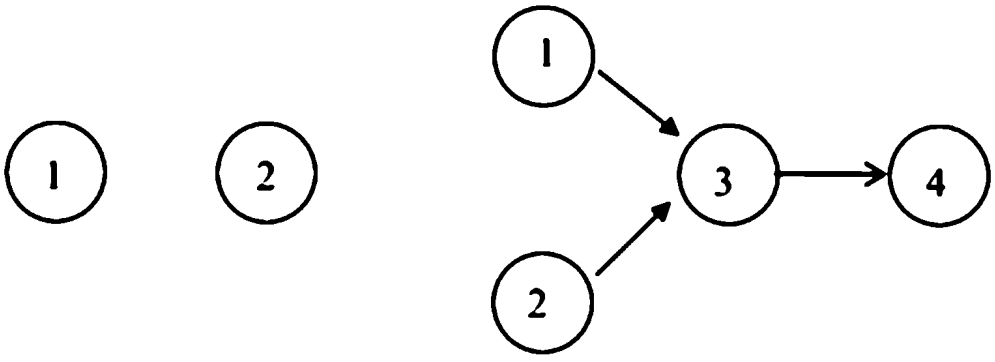
أما هدف الجدولة ونهايته. بالإضافة إلى أن التعبير عن هذه النشاطات يجب أن يوضح عليه الخط التحكمي للأنشطة التي لا تتحمل التأخير في المشروع.

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 ز، أما الشكل (ب - 10.1) فهو يوضح أن النشاط (3،4).



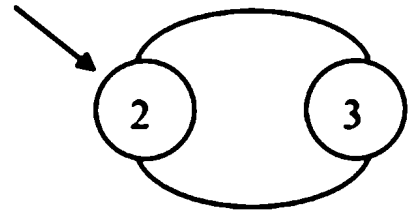
(أ) (ب)

شكل (10.1)

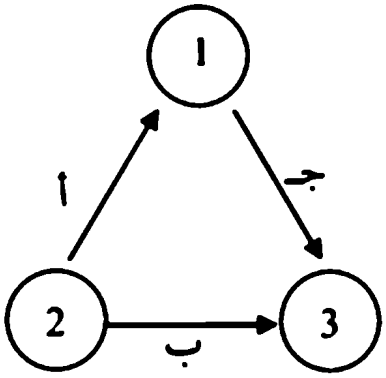
10.3 قواعد استخدام الأسهم في بناء الشبكات التخطيطية:

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

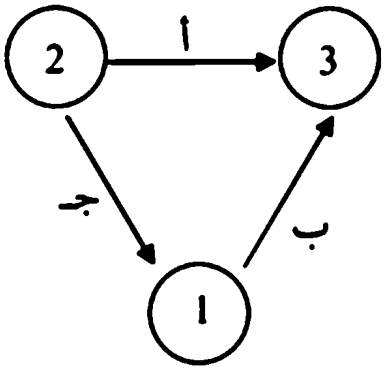
قاعدة (2): لا يمكن تمثيل نشاطين من نقطة واحدة كما هو موضح بالشكل (أ- 10.2) ويمكن تمثيل النشاطين من نقطة واحدة بواسطة إضافة نشاط بدون قيمة زمنية كما هو موضح بالشكل (ب- 10.2).



(أ)



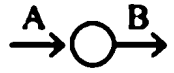
(ب)



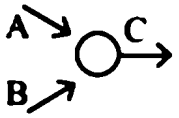
(جـ)

شكل (10.2)

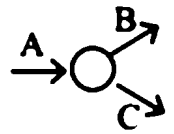
أمثلة حول قواعد الرسم:

1- 

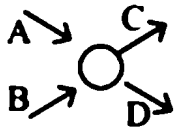
لا يمكن تنفيذ نشاط B بعد الانتهاء من النشاط A.

2- 

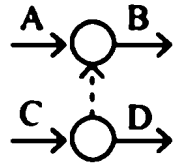
لا يمكن البدء بتنفيذ النشاط C بعد إتمام النشاط B،A.

3- 

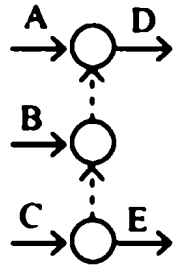
النشاط A مسيطر على الأنشطة B، C أي لا يمكن البدء بتنفيذ الأنشطة B ، C إلا بعد الانتهاء من النشاط A.

4- 

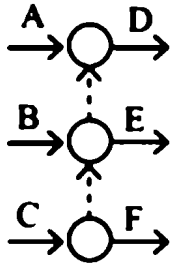
لا يمكن البدء بتنفيذ النشاط C ، D النشاط D مسيطر عليه من قبل النشاط C فقط.

5- 

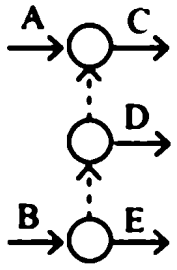
النشاط B مسيطر عليه من قبل A ، C النشاط D مسيطر عليه من قبل النشاط C فقط.

6- 

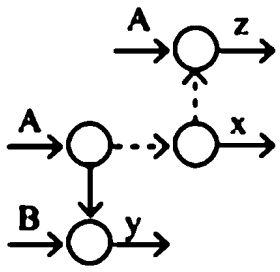
النشاط D مسيطر عليه من قبل A ، B بينما النشاط E مسيطر عليه من قبل النشاط B ، C.

7- 

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

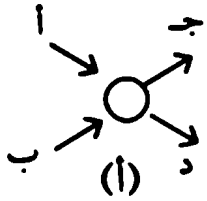
8- 

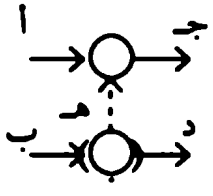
النشاط A يسطر على C، D بينما النشاط B يسيطر على D ، E النشاط D مسيطر عليه من قبل كل من A ، B.

9- 

النشاط C مسيطر عليه من قبل D ، A النشاط y مسيطر عليه من قبل A ، B ، C النشاط z مسيطر عليه من قبل D 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 النشط 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؟

الأزمنة المختلفة في شبكة PERT:

في شبكة (PERT) توجد ثلاثة من الأزمنة وهي:

1- الزمن التفاؤلي The optimistic time

2- الزمن التشاؤمي The pessimistic time

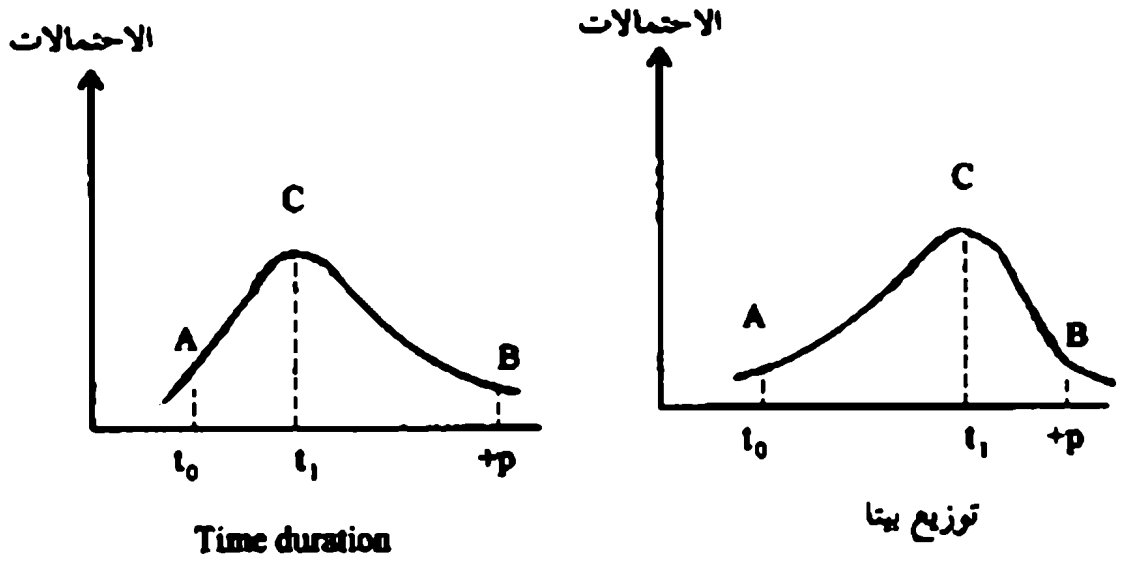
3- الزمن الأكثر احتمالاً The most likely time

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 Canditions).

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



شكل (10.3)

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

1- التوزيع يجب أن تكون له احتمالية قليلة للوصول إلى أقصى وقت تفاؤلي (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 تلبي متطلبات توزيع بيتا. وبالنسبة لتوزيع بيتا الانحراف المعياري (Standard deviation) هو $\sigma = \frac{tp - to}{\sigma^{\circ}}$

التباين (Variance) $\sigma_{\cdot} = \frac{tp - to}{\sigma^{\circ}}$

الوقت المتوقع (Expected tine):

الأوقات الثلاثة لتوزيعه بيتا هي t_o ، t_p ، t_i

التباين والانحراف المعياري يمكن حسابه باستعمال t_o ، t_p 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 tE 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 كالآتي:

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

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

مثال (10.1):

أحسب الزمن المتوقع لكل من الأنشطة التالية:

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

الوقت المتوقع للنشاط A

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

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

الزمن المتوقع للنشاط B

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

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

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.

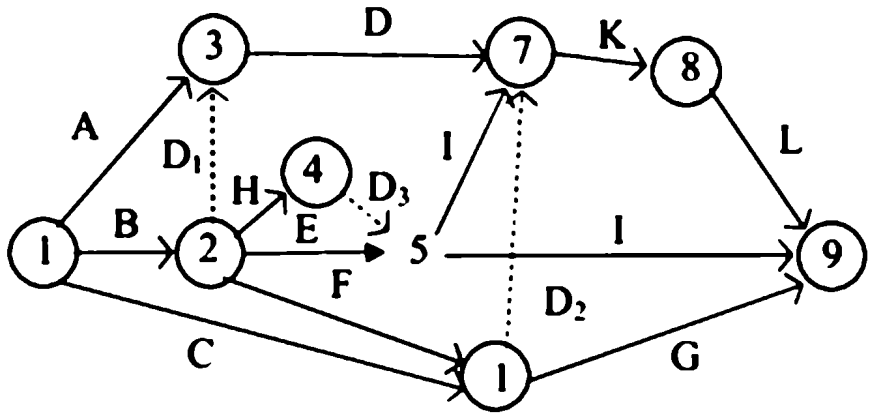
4- النشاط F ، C يسبق الناشط G.

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.

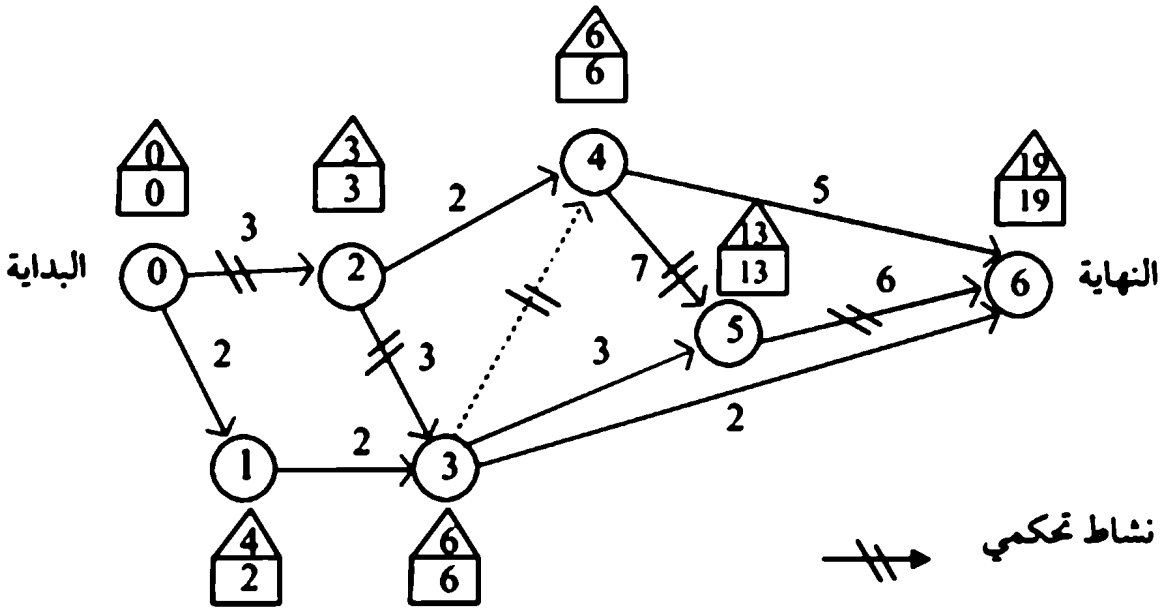
10.4 طرق حساب الخط التحكمي (Critical path calculation):

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

يسمى النشاط بأنه واقع في الخط التحكمي إذا كان التأخير في بداية تنفيذ سوف يؤثر على تأخير في زمن المشروع بالكامل. أما النشاط الذي لا يقع في الخط التحكمي 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 التحكمي 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: $ES_j = Max\{E_{ii} + D_{ij}\}$

عندما تكون $ES_o = 0$

فمثلاً:

$ES_1 = ES_o + D_{o1}$

$= 0 + 2 = 2$

$ES_2 = ES_o + D_{o2}$

$= 0 + 3 = 3$

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

$i = 1, 2$

$= Max\ [2 + 2, 3 + 3] = 6$

$i = 1, 2$

وبنفس الطريقة:

$$ES_4 = \underset{i=2,3}{Max}\,[ES_i + D_{i4}]$$

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

$$ES_5 = \underset{i=3,4}{Max}\,[ES_i + D_{i5}]$$

$$ES_5 = \underset{i=3,4}{Max}\,[6 + 3 , 6 + 7] = 6$$

$$ES_6 = \underset{i=3,4,5}{Max}\,[ES_i + D_{i6}]$$

$$ES_6 = \underset{i=3,4,5}{Max}\,[2 + 2 , 3 + 3] = 6$$

$$= \underset{i=3,4,5}{Max}\,[6 + 2 , 6 + 5 , 13 + 6] = 19$$

أما الحسابات في الاتجاه المعاكس يتم حسابها بالطريقة التالية:

إذا فرضنا أن LC_i هو الزمن الأخير لتكملة النشاط.

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

$$LC_n = ES_n$$

$$LC_i = \underset{j}{Min}\,[LC_j - D_{ij}]$$

حيث قيمة LC فيمكن حسابها بالطريقة التالية:

$$LC_6 = ES_6 = 19$$

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

$$LC_4 = \underset{j=5,6}{Min}\,[LC_i - D_{4j}]$$

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

$$i = 5\ ,\ 6$$

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

$$j = 4\ ,\ 5,\ 6$$

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

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

$$j = 3\ ,\ 4$$

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

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

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

$$j = 1\ ,\ 2$$

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

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

$$EC_i = LC_i$$

$$EC_j = LC_j$$

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

نلاحظ أن الشروط المذكورة أعلاه لا تسمح بالاتاحية أو الوقت الزائد ما بين ES_i ، LC_i.

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

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

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

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

أما الانحراف المعياري

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

لمزيد من التفاصيل يمكن الرجوع إلى مرجع في علم الإحصاء.

مثال توضيحي: احسب الخط التحكمي للنشاطات التالية:

النشاط	تقديرات الزمن (m, b, a)
(0،1)	(1،3،2)
(0،2)	(2،8،2)
(1،3)	(1،3،2)
(2،3)	(1،11،1.5)
(2،4)	(0.5،7.5،1)
(3،5)	(1،7،2.5)
(3،6)	(1،3،2)
(4،5)	(6،8،7)
(3،6)	(1،3،2)
(4،5)	(6،8،7)
(4،6)	(3،11،4)
(5،6)	(4،8،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 صفراً، وفي الواقع هو السبب الرئيسي التي أهّلها بأن تكون في الخط التحكمي.

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

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

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

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

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

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

ويوجد نوعان من الأزمنة الزائدة:

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

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

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 (1-10)

النشاط	الفترة	الزمن المبكر		الزمن المتأخر			
		البداية	النهاية	البداية	النهاية		
			Δ		Δ		
(i, j)	D_{ij}	ES_i	ES_{ij}	LS_{ij}	LC_i	TF_{ij}	FF_{ij}
(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:

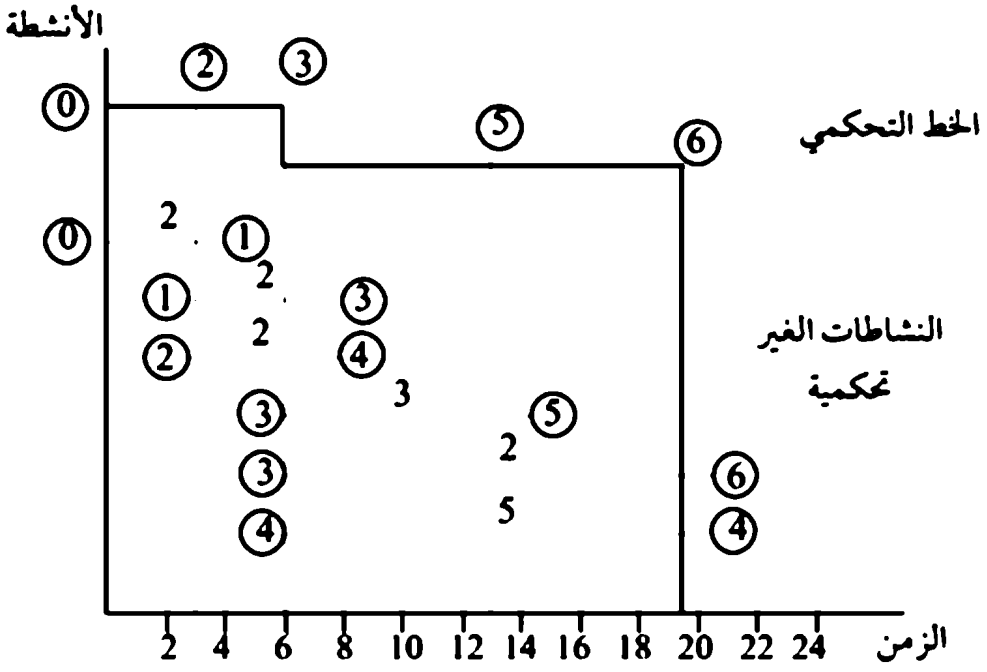
يتم إصدار خرائط الزمن ضمن حدود الموارد المتاحة لأنها تعكس النشاطات الحقيقية للمشروع من خلال الطاقة البشرية والآلات المتاحة.

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:

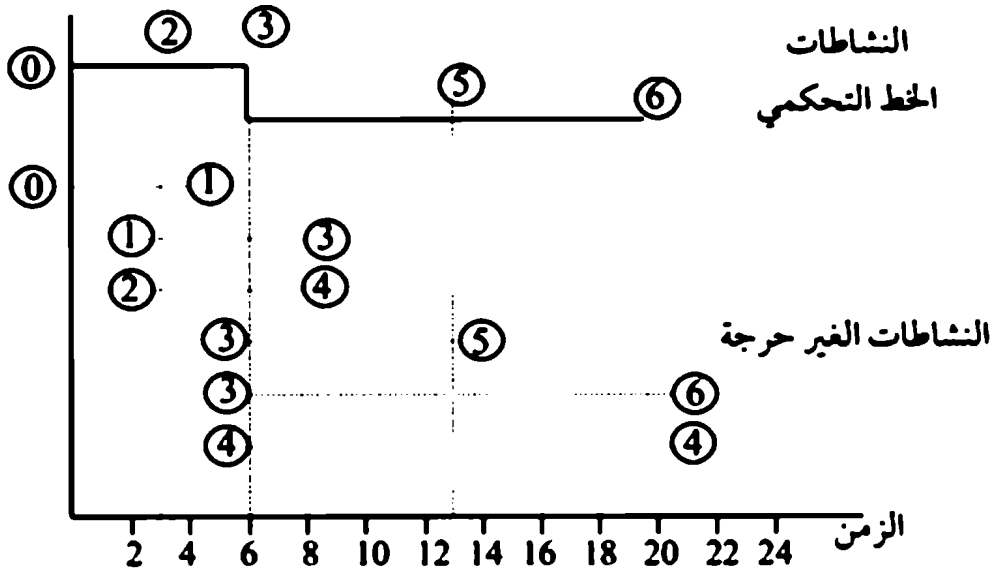
إذا فرضنا أن الطاقة البشرية اللازمة لتنفيذ عدة نشاطات للإنتاج منتج معين. والمطلوب عمل جدول تخطيطي لتوزيع هذه القوى البشرية خلال زمن تنفيذ المشروع. مع ملاحظة أن النشاط (0،1) والنشاط (1،3) لا تحتاج إلى جهد بشري حيث أن قيمتها صفر.

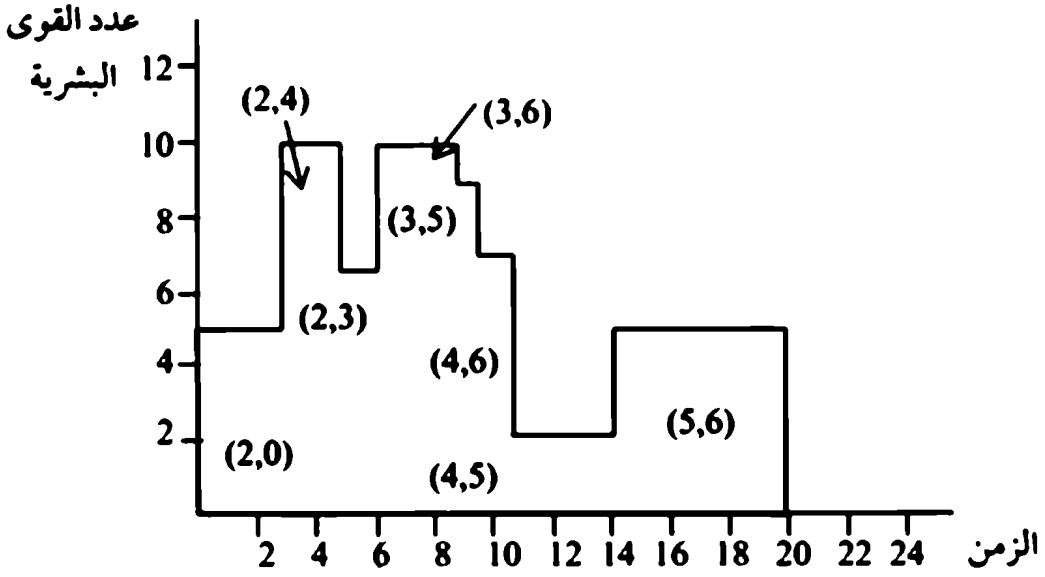
النشاط	عدد القوى البشرية اللازمة
0.1	0
0.2	5
1.3	0
2.3	7
2.4	3
3.5	2
3.6	1
4.5	2
4.6	5
5.6	6

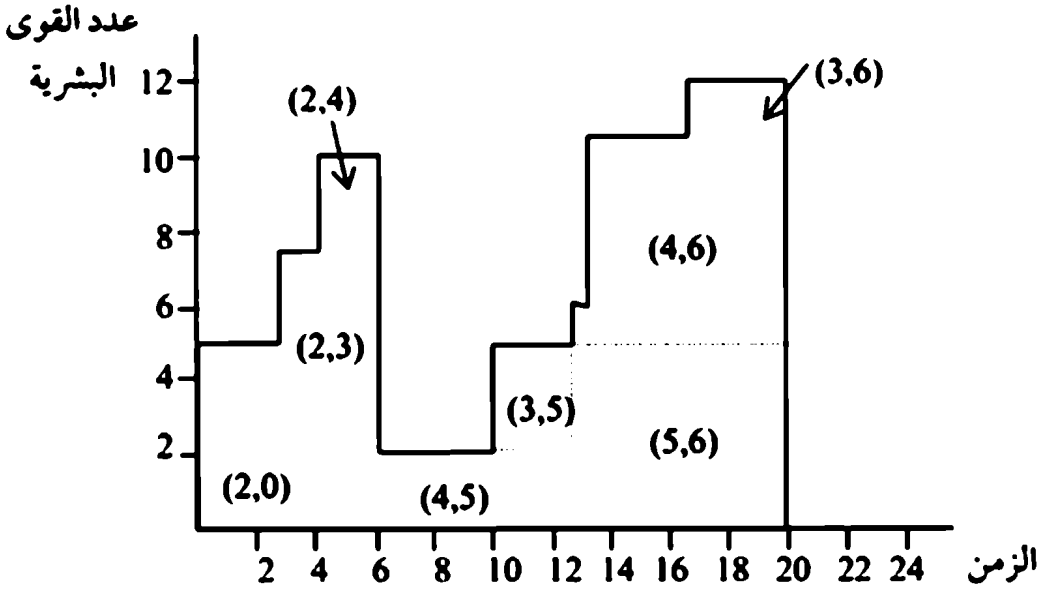
الشكل (10.5) يوضح القوى البشرية اللازمة خلال الزمن للأنشطة الغير واقعية في الخط التحكمي.

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.


النشاطات
الخط التحكمي
النشاطات الغير حرجة
الزمن
2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24


عدد القوى البشرية
12
10
8
6
4
2
(2,4)
(3,6)
(3,5)
(2,3)
(4,6)
(5,6)
(2,0)
(4,5)
الزمن
2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24


عدد القوى البشرية
12
10
8
6
4
2
(2,4)
(3,6)
(4,6)
(2,3)
(3,5)
(5,6)
(2,0)
(4,5)
الزمن
2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24