الباب الثالث

أساليب التخطيط في مشروعات التشييد

Construction Project Planning Techniques

٣-١ : مقدمة Introduction

المقصود بتخطيط مشروعات التشييد هو وضع خطة عمل لتنفيذ المشروع وتشمل هذه الخطة تحديد البنود (الأنشطة) المختلفة للمشروع، وكيفية تنفيذ هذه الأنشطة وعلاقتها مع بعضها البعض ومن المسئول عن كل منها ومتي يتم كل ذلك والموارد التي يحتاجها كل منها من مواد وعمالة ومعدات ومقاولي باطن وأموال. في هذه المرحلة يتم تحديد العوائق أو المشاكل أو العقبات التي قد يتعرض لها المشروع أو أحد الأنشطة (Risk Identification) ومن ثم تحليل أسباب هذه العقبات (Risk Analysis)، وكيفية التغلب عليها في حالة حدوثها (Risk Management) سواء بمنعها أو تحجيم أثرها أو تحديد الجهة التي سوف تتحمل عواقب هذه المشاكل في حالة حدوثها (Risk Response) Or (Risk Allocation) وتشمل أيضا هذه المرحلة تحديد البدائل المختلفة للتنفيذ واختيار أفضل هذه البدائل من الناحية الفنية والمالية ولذلك يحتاج المخطط إلى دراية عالية ومعرفة جيدة بأساليب التنفيذ المختلفة لمثل نوع المشروع تحت الدراسة وقد يستعان ببعض أهل الخبرة من مسئولى التنفيذ والعاملين في المواقع ذوى الخبرة العالية وتكمن أهمية التخطيط في مشروعات التشييد فيما يلي :ـ

١ – تخطيط المشروعات يزيد من احتمالية نجاح المشروع وإنهائه في موعده المحدد.

٢ – تخطيط المشروعات يحقق الاتزان بين الموارد والاحتياجات.

٣ – تخطيط المشروعات يساعد على سهولة الاتصال بين القائمين على المشروع.

٤ – التخطيط يحدد دور كل فرد في المشروع وعلاقته ببقية العاملين فيه.

٥ – التخطيط يساعد في التنبؤ بأي مشاكل مستقبلية قد يتعرض لها المشروع وتحديد توابعها وكيفية التعامل معها.

٦ – التخطيط يساعد على متابعة المشروع وإدارته والتحكم فيه.

وتخطيط مشروعات التشييد يتم عادة من خلال اتباع المراحل التالية:

أ – اختيار الأسلوب الأمثل لتنفيذ المشروع من الناحية الفنية والتكلفة المادية.

ب– تقسيم المشروع إلى عدد من البنود (الأنشطة) يعتمد هذا العدد على الدقة المطلوبة وأهمية كل بند وخصائصه.

جـ– تحديد علاقة كل بند بالبنود الأخرى (السابقة–التابعة–المتوازية) ويعتمد ذلك على طبيعة كل بند ومدى توافر الموارد اللازمة (عمالة–مواد–معدات–أموال).

د – توزيع الموارد على الأنشطة ويعتمد ذلك على مدى توافر الموارد و الزمن المتاح لتنفيذ كل بند.

هـ – تحديد الزمن اللازم لكل بند حيث يعتمد ذلك على حجم العمل والإنتاجية التي تعتمد بدورها على حجم العمالة وعدد الأطقم العاملة في هذا البند. ويمكن للسهولة استخدام العلاقة التالية لحساب زمن البند:

زمن البند = حجم العمل ÷ الإنتاجية

و – باستخدام العلاقات بين الأنشطة التي تم تحديدها في الخطوة ج وباستخدام أحد أساليب التخطيط التي سيتم شرحها لاحقا في هذا الباب يتم رسم الأنشطة في صورة تخطيطية سهلة الاستيعاب والفهم والمتابعة.

ز– يتم حساب زمن المشروع بعد تحديد بداية ونهاية كل نشاط، وفترات السماح لكل منها، والأنشطة الحرجة مع أخذ فترات التداخل بين الأنشطة في الاعتبار.

وسيتم تناول كل هذه الخطوات بالتفصيل من خلال دراسة أساليب التخطيط المختلفة في هذا الباب إن شاء الله تعالي.

ويلاحظ مما سبق في هذه المقدمة أن عملية تخطيط مشروعات التشييد قد يقوم بها فرد واحد أو مجموعة من الأفراد وذلك طبقا لحجم المشروع وطبيعته. فكلما زاد حجم المشروع وتعقدت طبيعته أصبح الاحتياج أكبر لعدد من المتخصصين في تخطيط المشروعات. ويمكن الاعتماد على القدرات البشرية في أعمال التخطيط حتى حد معين من المشروعات البسيطة. وبعد ذلك لابد من استخدام الحاسب الآلي في هذا المجال وخاصة بعد الانتشار الكبير لاستخدامات الحاسبات الآلية في كل المجالات وانتشار برامج التخطيط التي تتنوع وتتباين من حيث كفاءتها وسهولة استخدامها.

٣-٢ أساليب التخطيط في مشروعات التشييد:

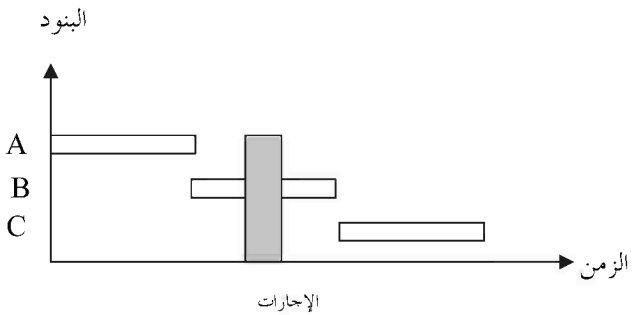
Planning Techniques In The Construction Projects

تذكر المراجع المختلفة أن التفكير في تطوير أساليب التخطيط لتناسب مشروعات التشييد بدأ مع مطلع عام ١٩٠٠م وذلك بتقسيم المشروع إلى عدد من الأنشطة وتحديد زمن كل نشاط وعلاقة كل منها ببقية الأنشطة ثم تمثيل هذه الأنشطة في صورة مستطيلات داخل محور أفقي يمثل الزمن ومحور رأسي يمثل الأنشطة. وذلك الذي عرف بعد ذلك بطريقة الجدول البياني (Bar Chart). وهي من أبسط طرق التخطيط وأقدمها والتي تم تطويرها بعد ذلك واستنتاج طريقة خط الاتزان (LOB (Line Of Balance وبين هاتين الطريقتين ظهرت طريقة التخطيط الشبكي (Network Technique) والتي تطور منها طريقتي المسار الحرج (CPM (Critical Path Method وطريقة برت (Project Evaluation Review Technique) PERT وسوف يتم تناول كل من هذه الطرق بشيء من التفصيل فيما يلي:

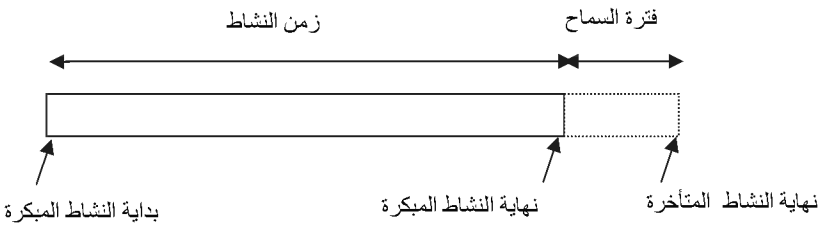
٣-٢-١ : طريقة الجدول البياني: (Bar Chart) OR (Gantt Chart).

وفي هذه الطريقة من طرق التخطيط يتم توقيع الأنشطة على المحور الرأسي والزمن على المحور الأفقي ويتم تمثيل الأنشطة في صورة مستطيلات

(Bars) بحيث يمثل طول المستطيل زمن البند أو النشاط كما هو مبين في شكل (٣-١) والذي يمثل جزءا من مشروع يتكون من ثلاثة بنود متتالية؛ يعتمد فيها البند الثاني (B) على البند الأول (A) ويعتمد البند الثالث (C) على البند الثاني (B).



شكل (٣-١) تمثيل البنود بطريقة الجدول البياني (Bar chart)



وتعتبر هذه الطريقة من أبسط طرق تخطيط مشروعات التشييد حيث يمكن لمسئولي أطقم العمل من استيعابها والعمل بموجبها وذلك لسهولة البيانات والعلاقات الموضحة فيها بين الأنشطة. ومع ذلك فمن عيوب هذه الطريقة أنها لا تحدد العلاقة بين الأنشطة إلا في نطاق ضيق بين الأنشطة المتتالية فقط وبصفة عامة يمكن إجمال مميزات وعيوب هذه الطريقة فيما يلي:

المميزات

١ – سهولة التوقيع والاستيعاب.

٢ – سهولة الاستخدام في المتابعة ومراقبة المشروع على فترات متتالية.

٣ – سهولة الاستخدام في تحديد التوزيع التكراري لاحتياجات المشروع من الموارد المختلفة على مدار المشروع.

٤ – سهولة توضيح فترات الإجازات أو أعطال العمل على الرسم.

٥ – تعتبر من أسهل وسائل الربط بين المسئولين عن المشروع من مهندسين وإداريين من جهة وبين الفنيين ومسئولي أطقم العمل من جهة أخرى.

٦ – يمكن تطوير هذه الطريقة لتشمل علاقة الأنشطة بالتكلفة داخل الإطار الكامل للمشروع فيما يطلق عليه (Diagonal Network Analysis).

٧ – يمكن استخدام لوحات متحركة لإدخال ودراسة أي تغير في بدايات الأنشطة ونهايتها مع تطور أعمال التنفيذ.

العيوب

١ – لا تصلح هذه الطريقة للمشروعات الكبيرة والمعقدة وذلك بسبب العلاقات البسيطة بين الأنشطة.

٢ – لا توضح كثيرا من العلاقات بين الأنشطة المختلفة.

٣ – لا توضح المسار الحرج.

٤ – قلة البيانات الموقعة على الأنشطة مقارنة بالطرق الأخرى مثل طريقة المسار الحرج.

٥ – لا توضح فترات السماح على الأنشطة.

والأمثلة التالية توضح هذه الطريقة بشيء من التفصيل:

مثال (١)

الجدول البياني التالي يوضح رسم تخطيطي لمشروع بسيط يتكون من ثمانية بنود، وهو عبارة عن استراحة تتكون من دور واحد. ويمكن استنتاج الملاحظات التالية من شكل (٣-٢).

١ – الزمن الكلي للمشروع هو عشرة أسابيع.

٢ – يتكون المشروع من ثمانية بنود.

٣ – هناك تداخل بين أعمال النجارة والحدادة وعمليات الحفر.

٤ – هناك تداخل بين أعمال المباني وعمليات صب الخرسانة.

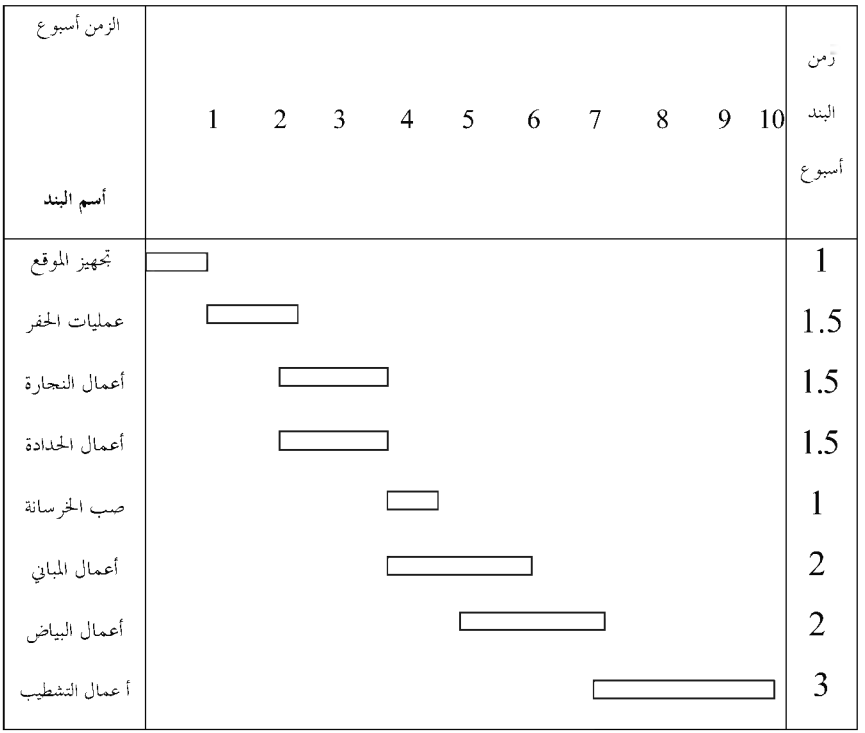
٥ – هناك تداخل بين أعمال البياض وأعمال المباني.

٦ – أعمال النجارة وأعمال الحدادة تنتهي في نفس الوقت.

٧ – الأزمنة المناظرة لكل بند هي عبارة عن حجم العمل ÷ الإنتاجية.

٨ – يمكن استبدال الأزمنة المكتوبة أفقيا بالتواريخ المناظرة لها.

٩ – يمكن استبدال أسماء البنود برموز أو بعض الأحرف.

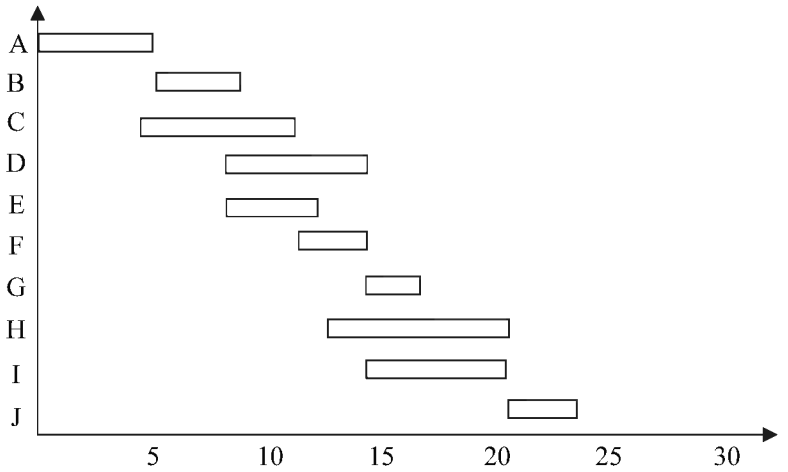


شكل (٣-٢) تمثيل البنود بطريقة الجدول البياني

مثال (٢)

الجدول التالي يمثل بنود أحد مشروعات التشييد البسيطة. والمطلوب تخطيط هذا المشروع بطريقة الجدول البياني.

اسم البند (النشاط)	زمن البند (أسبوع)	علاقة البند بالبنود الأخرى (الاعتمادية)
A	5	-
B	4	A
C	7	A
D	6	B
E	4	B
F	3	C
G	2	D
H	8	E
I	6	F
j	3	H

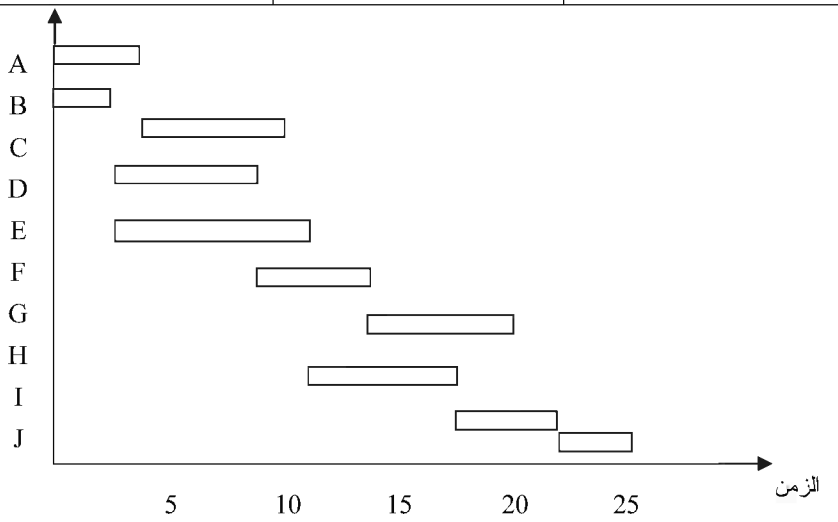


شكل (٣-٣) تمثيل بنود المشروع بطريقة الجدول البياني

مثال (٣)

الجدول التالي يمثل أحد مشروعات التشييد البسيطة. والمطلوب تخطيط هذا المشروع بطريقة الجدول البياني (Bar Chart) وتحديد زمن المشروع وموقف المشروع في نهاية الأسبوع الثامن.

اسم البند (النشاط)	زمن البند (أسبوع)	الاعتمادية (علاقة النشاط بالأنشطة الأخرى)
A	4	-
B	3	-
C	6	A
D	6	B
E	8	B
F	5	D
G	6	F
H	7	E
I	4	H
J	3	I



شكل(٣-٤) تمثيل البنود بطريقة الجدول البياني ويلاحظ أن الزمن الكلي للمشروع ٢٥ أسبوعاً

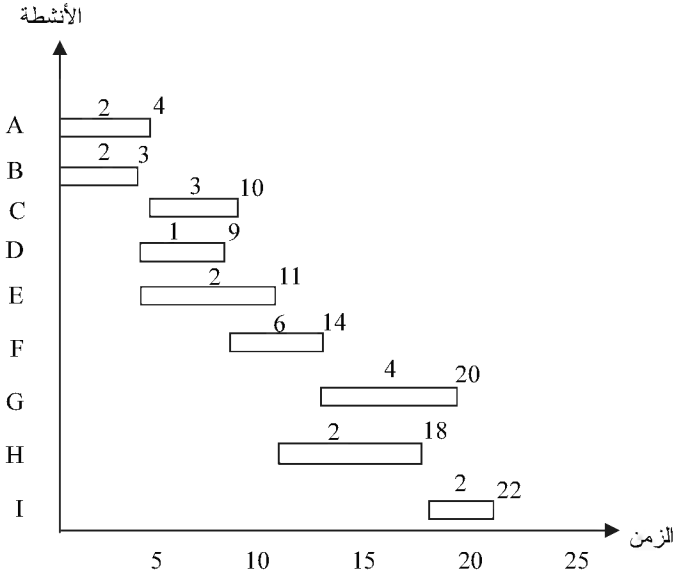
موقف المشروع في نهاية الأسبوع الثامن:

- يجب أن تكون الأنشطة A&B قد تم الانتهاء منها.
- الأنشطة F&G&H&I لم يبدأ العمل بها بعد.
- النشاط C يجب أن يكون قد تم الانتهاء من ثلثي العمل به.
- النشاط D يجب أن يكون قد تم الانتهاء ٨٣% من حجم العمل ٦/٥.
- النشاط E يجب أن يكون قد تم الانتهاء ٦٢,٥% حجم العمل ٨/٥.

مثال (٤)

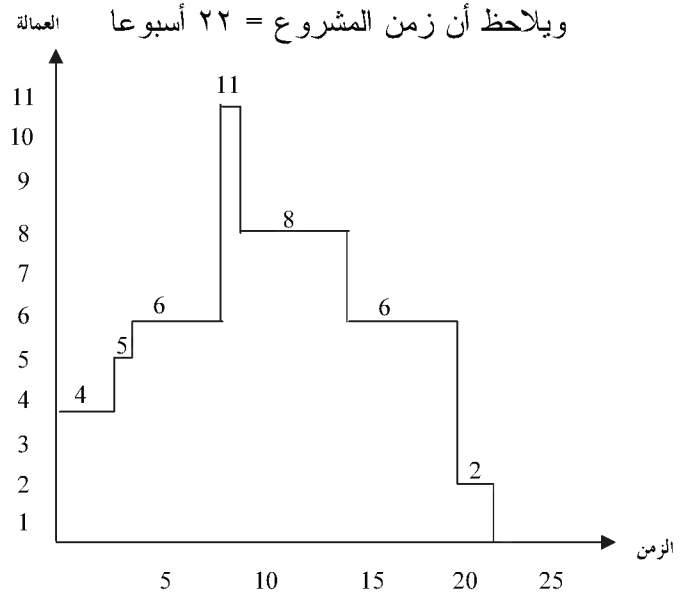
الجدول التالي يمثل بنود أحد مشروعات التشييد. والمطلوب تخطيط هذا المشروع بطريقة الجدول البياني، وتحديد الزمن الكلي للمشروع، وتوزيع احتياج المشروع من العمالة، ورسم هذا التوزيع بطريقة التوزيع التكراري.

اسم البند	زمن البند (أسبوع)	الاعتمادية	احتياج النشاط من العمالة
A	4	-	2
B	3	-	2
C	6	A	3
D	6	B	1
E	8	B	2
F	5	D	6
G	6	F	4
H	7	E	2
I	4	H	2



شكل (٣-٥) تمثيل البنود بطريقة الجدول البياني

ويلاحظ أن زمن المشروع = ٢٢ أسبوعا



شكل (٣-٦) يمثل التوزيع التكراري للعمالة خلال زمن التنفيذ

- استخدام التخطيط بطريقة الجدول البياني في إيجاد التوزيع التكراري لاستخدام الموارد وحساب كفاءة الاستخدام (Efficiency Of Usage)

والمقصود بالموارد هنا هي جميع المتطلبات اللازمة لتنفيذ المشروع من عمالة بجميع أنواعها ومواد بجميع أنواعها ومعدات بجميع أنواعها أيضا، وحتى الأموال اللازمة لتنفيذ المشروع تدخل ضمن كلمة موارد في هذا المجال.

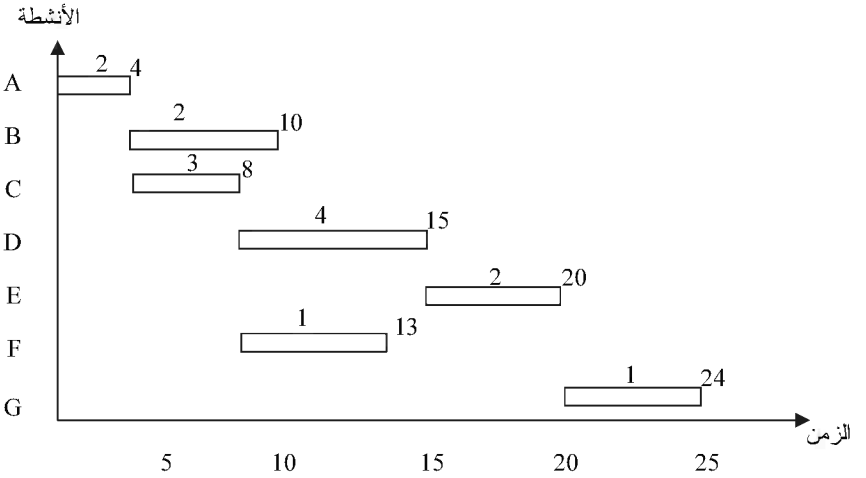
ومن مميزات التخطيط بطريقة الجدول البياني (Bar Chart) أنه يستخدم بسهولة في استنتاج ورسم التوزيع التكراري لاستخدام الموارد على مدار زمن المشروع. وذلك بتحديد احتياج كل نشاط من المورد المراد رسم التوزيع التكراري له. ثم كتابة هذا الاحتياج أعلى المستطيل الممثل للنشاط ثم رسم التوزيع التكراري أسفل الجدول البياني وأما بالنسبة لحساب كفاءة استخدام هذا المورد فالمقصود به هو نسبة المستخدم فعلا من المورد إلى المتوفر من هذا المورد أو بمعني أخر هي النسبة المئوية للطاقة المستخدمة خلال فترة المشروع من هذا المورد إلى الطاقة الكلية المتوفرة من نفس المورد ويمكن التعبير عنها بالمعادلة التالية:

كفاءة استخدام المورد = (الطاقة المستخدمة ÷ الطاقة الكلية المتوفرة)×١٠٠

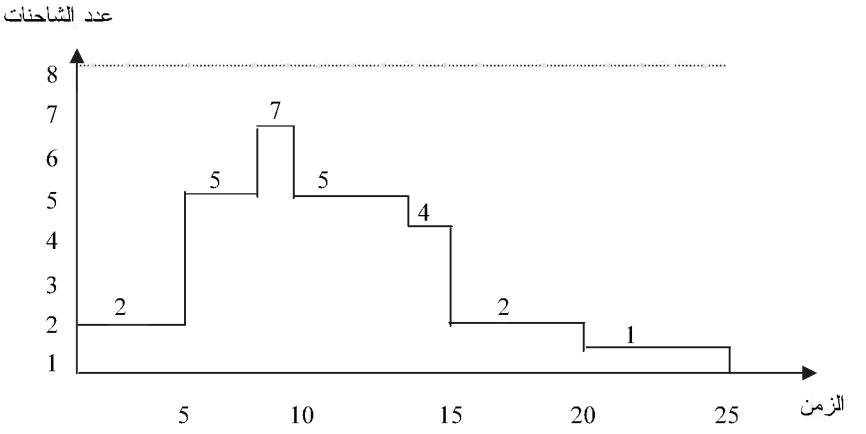
ويمكن إيضاح ذلك من المثال التالي:

الجدول التالي مبين به الأنشطة المختلفة لأحد مشروعات التشييد، ومبين نظير كل نشاط علاقته بالأنشطة الأخرى، وزمن النشاط واحتياجه من أحد المعدات ولتكن الشاحنات مثلا والمطلوب تخطيط المشروع بطريقة الجدول البياني، ورسم التوزيع التكراري لاستخدام هذه المعدة، وحساب كفاءة الاستخدام وذلك إذا علم أن العدد الكلي المتوافر في الموقع من هذه الشاحنات طوال فترة المشروع هو ٨ شاحنات.

اسم النشاط	زمن النشاط (أسبوع)	الاعتمادية	احتياج البند من الشاحنات
A	٤	-	٢
B	٦	A	٢
C	٤	A	٣
D	٧	C	٤
E	٥	D	٢
F	٥	C	١
G	٤	E	١



شكل (٣-٧) تمثيل البنود بطريقة الجدول البياني ويلاحظ أن زمن المشروع ٢٤ أسبوعاً



شكل (٣-٨) التوزيع التكراري لاستخدام الشاحنات خلال زمن التنفيذ

يلاحظ من المثال السابق ما يلي:

أن الموقع يتوافر به عدد ثماني شاحنات طوال فترة تنفيذ المشروع وهذا يعني أن الطاقة الكلية المتواجدة بالموقع من الشاحنات هي ٢٤ (أسبوع) × ٨ = ١٩٢ شاحنة أسبوع بينما الطاقة المستخدمة فعلا فهي كما يتضح من التوزيع التكراري مجموع مساحات المستطيلات المظللة والتي تساوي ٧٩ شاحنة أسبوع؛ مما يعني أن كفاءة استخدام الشاحنات = (١٩٢/٧٩) ×١٠٠ =٤١%.

وهذه الكفاءة تعطي فكرة لمدير المشروع عن مدى الاستفادة من هذا النوع من الموارد ويمكن ببساطة استنتاج أن هناك ٥٩% من طاقة الشاحنات لا يستفاد بها، وهذا لا يعني المطالبة بالاستفادة واستخدام جميع الموارد بكفاءة ١٠٠% لأن ذلك غير ممكن وغير عملي وخاصة في مشروعات التشييد. ولكن يلاحظ أن رفع كفاءة استخدام الموارد وخاصة الموارد الغالية الأثمان والمرتفعة التكاليف يؤدي إلى تقليل التكلفة الكلية للمشروع وخاصة مع التطور السريع في تقنيات صناعة التشييد وابتكار معدات ومواد حديثة ذو تكلفة عالية فإذا وجد بالموقع مثلا عدد ٢ حفار لفترة زمنية مقدارها ٥٠ يومًا عمل، وكانت تكلفة الحفار الواحد ١٠٠٠ جنيه يوميا معني ذلك وباعتبار الكفاءة السابقة (٤١%) أن المشروع يفقد يوميا مبلغ = ٢(حفار) × ١٠٠٠ × ٥٩% = ١١٨٠ جنيها يوميا.

أي خلال زمن المشروع (شهرين) يكون الفاقد بسبب الكفاءة السيئة لاستخدام هذه المعـــدة = ٥٠ (يوم عمل) × ١١٨٠ = ٥٩٠٠٠ جنيه.

وهذا مورد واحد ولفترة بسيطة. وذلك يوضح أهمية دراسة كفاءة استخدام الموارد خلال فترات المشروعات. وهناك كثير من الأساليب يمكن استخدامها لرفع كفاءة الاستفادة من الموارد كل حسب نوعه .

٣-٢-٢: التخطيط الشبكي Network Techniques

بدأ استخدام التخطيط الشبكي مع مطلع عام ١٩٥٠م في مجال صناعة التشييد. ومنذ ذلك التاريخ ومازال التطوير مستمرا في تخطيط مشروعات التشييد بهذا الأسلوب من خلال طريقتي المسار الحرج (Critical Path Method) وبيرت (Pert). ونظرا للمزايا العديدة التي تتوفر في التخطيط الشبكي وخاصة إمكانية استخدامه في تخطيط المشروعات الكبيرة وذات الطبيعة المعقدة والتي تحتوى على كثير من الأنشطة المتداخلة. فإن معظم العاملين في مجال تخطيط مشروعات التشييد يفضلون استخدام هذه الطرق على طريقة الجدول البياني، (Bar Chart) والتي سبق التعرض لها حيث تبين أنها لا تصلح إلا للمشروعات الصغيرة.

ومع التطور السريع في صناعة التشييد سواء من ناحية حجم المشروعات أو استحداث طرق جديدة وتقنية عالية في أساليب التنفيذ فقد أدى ذلك إلى رغبة المخططين في استخدام التخطيط الشبكي حيث أنه أكثر ملائمة في تخطيط المشروعات المعقدة والتي تحتوي على علاقات متشابكة بين الأنشطة. وبصفة عامة فإن التخطيط الشبكي يحتوي على طريقتين رئيسيتين للتخطيط وهما: طريقتي المسار الحرج (Critical Path Method)، وبيرت (Pert) (Project Evaluation Review Technique) وسوف يتم تناول كل من هاتين الطريقتين بالتفصيل فيما يلي:

٣-٢-٢-١ طريقة المسار الحرج

(C.P.M)CRITICAL PATH METHOD

وتعتبر هذه الطريقة من أشهر طرق التخطيط المستخدمة في مشروعات التشييد. وذلك نظرا لكثرة البيانات التي يمكن إيضاحها على التخطيط الشبكي، وسهولة متابعة المشروع من خلال هذه الشبكة، ودراسة توابع أي تغير قد يطرأ على ظروف أي من الأنشطة وأثر ذلك على زمن وتكلفة المشروع. ومن أهم ما يميز طريقة المسار الحرج في تخطيط مشروعات التشييد هو استخدامها على نطاق

كبير جدا مع معظم برامج الحاسب الآلي المصممة لإدارة وتخطيط المشروعات. ويمكن تلخيص أهم خطوات هذه الطريقة فيما يلي:

١ – يتم تقسيم المشروع إلى عدد من الأنشطة يتناسب مع الدقة المطلوبة وأهمية المشروع.

٢ – يتم تحديد علاقة الأنشطة مع بعضها البعض.

٣ – يتم حساب الزمن اللازم لإنجاز كل نشاط، وذلك بعد تحديد حجم العمل في كل نشاط، وعدد أطقم العمل اللازم لإنجاز ذلك العمل. وبالتالي الزمن = حجم العمل ÷ الإنتاجية.

٤ – يتم رسم الشبكة التخطيطية بناء على علاقة الأنشطة مع بعضها البعض.

٥ – توقيع أي بيانات مهمة أو تواريخ على الشبكة مثل تحديد مواعيد خاصة لبعض الأنشطة أو للمشروع ككل.

٦ – حساب الشبكة لتحديد زمن المشروع والبدايات والنهايات المبكرة والمتأخرة للأنشطة.

٧ – تحديد الأنشطة الحرجة والمسار الحرج (وهو الذي يمر بالأنشطة الحرجة).

٨ – تطوير الشبكة كلما استدعي الأمر وحسب سير العمل في مرحلة التنفيذ.

وسوف نتناول هذه الخطوات بشيء من التفصيل فيما يلي:

تقسيم المشروع إلى عدد من الأنشطة

Determination Of Project Activities

وتعتبر هذه الخطوة هي أول وأهم خطوات تخطيط المشروع حيث يترتب عليها كثيرا من الخطوات التالية. وبصفة عامة هناك بعض الأسس التي يعتمد عليها المخطط في تحديد الأنشطة التي يتكون منها المشروع.فقد يعتمد المخطط في

تحديد وتقسيم المشروع إلى عدة أنشطة على طبيعة البنود فعلي سبيل المثال يمكن تقسيم المشروع إلى التقسيمات الثلاثة التالية:

١ – أنشطة احتياجات ومشتريات:

وهي تشمل كل ما يحتاجه المشروع من المواد المختلفة، وأسلوب التوريد إلى الموقع والتخزين، وكل ما يحتاجه من معدات وأسلوب نقلها إلى الموقع وتثبيتها وما تحتاجه من خدمات. وكذلك تشمل هذه الفئة جميع الأعمال المؤقتة والخدمات الجانبية، وكل ما يحتاجه المشروع خلاف أعمال التشييدات .

٢ – أنشطة التشييدات:

وهي تشمل جميع الأعمال الواجب القيام بها لتحويل الرسومات إلى واقع طبقا للمواصفات المذكورة في العقد وبالأبعاد والتصميمات المتعاقد عليها وكمثال لذلك أعمال الحفر–أعمال الخرسانة–أعمال البياض–أعمال التمديدات وهكذا.

ومن الواضح أن تحديد هذه الأنشطة يحتاج إلى خبرات جيدة في فهم الرسومات وأساليب التنفيذ واحتياج كل عمل من المواد والعمالة والمعدات.

٣ – أنشطة المتابعة والإدارة:

وهي الأنشطة الخاصة بمراقبة ومتابعة عمليات التنفيذ طبقا للأسس الهندسية الصحيحة التي تنص عليها المواصفات العامة والخاصة مثل مراقبة الجودة–الأمان والسلامة في الموقع–رصد المتغيرات–مراقبة الإنتاج وهكذا.

وقد يتبع المخطط أسلوب التسلسل المنطقي في عملية التنفيذ لتحديد الأنشطة الأساسية للمشروع مثل:

- أعمال تجهيز الموقع.
- أعمال الحفر بأنواعه.
- أعمال النجارة للأساسات.

- أعمال الحدادة للأساسات.
- أعمال صب الخرسانة للأساسات.

وهكذا.

ومن الواضح أن تقسيم الأنشطة بهذه الطريقة يعتمد إلى حد كبير على الرسومات التنفيذية وجداول الكميات.

وبصفة عامة هناك بعض القواعد العامة التي يجب أخذها في الاعتبار عند تحديد الأنشطة التي يتكون منها مشروع التشييد يمكن إجمالها فيما يلي:

١ – أي نشاط يتم تحديده يجب التأكد من إمكانية تحديد الزمن اللازم لتنفيذه وإلا يتم تقسيمه إلى أكثر من نشاط.

٢ – من المفضل تجنب عمل أكثر من مقاول باطن في نشاط واحد في نفس الوقت وإلا يفضل تقسيمه إلى أكثر من نشاط.

٣ – يجب أن تكون الأنشطة محددة بدقة وبحيث تشمل على عمل واضح وذو صفة خاصة أو بمعني آخر أن لا يحتوي النشاط على أكثر من عمل لا يربطهم صفة أو يكون بينهما أنشطة أخري مثل جمع أعمال الحفر مع أعمال صب القواعد. ففي هذه الحالة يجب تقسيم النشاط إلى أعمال حفر، وأعمال الصب حيث يفصل بينهما أعمال النجارة وأعمال الحدادة.

٤ – يجب أن يكون هناك تناسب بين عدد الأنشطة والدقة المطلوبة من هذا التقسيم بمعني أن عدد الأنشطة التي يقسم لها المشروع بغرض تقدير التكلفة قبل دخول العطاء بالتأكيد أقل من الأنشطة التي تستخدم عند التخطيط لتنفيذ المشروع. فمثلا عند تقسيم المشروع إلى أنشطة بغرض تقدير التكلفة قبل دخول العطاء فيمكن اعتبار أن أعمال تشييد الأساسات بند واحد بينما عند تحديد الأنشطة بغرض التخطيط للتنفيذ فيجب في هذه الحالة تقسيم هذا البند

إلى أعمال الشدات وأعمال التسليح من تجهيز، وتثبيت ثم أعمال صب الخرسانة ثم فك الشدات والمعالجة.

ويمكن أخذ المثال التالي لتقسيم مشروع بناء حائط ساند من الخرسانة المسلحة إلى عدد مناسب من الأنشطة التالية:

١ – أعمال الحفر حتى منسوب التأسيس.
٢ – تجهيز أعمال الشدات (خشبية أو معدنية).
٣ – تجهيز أعمال حديد التسليح.
٤ – أعمال صب الخرسانة.
٥ – أعمال معالجة الخرسانة حتى التصلد.
٦ – إزالة الشدات.
٧ – أعمال البياض.
٨ – أعمال الردم.

وكمثال آخر وهو تشييد أحد الطرق فيمكن تقسيم المشروع إلى الأنشطة التالية:

١ – تجهيز الموقع وإمداده بالخدمات اللازمة والأعمال المؤقتة ونقل المعدات اللازمة.
٢ – إزالة أي عوائق أو مخلفات قد توجد في حرم الطريق من الجانبين.
٣ – أعمال التسوية من حفر وردم.
٤ – أعمال الحفر الخاصة بالصرف .
٥ – أعمال تثبيت أنابيب (مواسير) الصرف.
٦ – أعمال الردم حول مواسير الصرف.
٧ – أعمال وضع طبقات الأساس (Base Materials).
٨ – أعمال وضع طبقات الرصف (الإسفلت).
٩ – أعمال الأكتاف.
١٠– أعمال التشطيب وإزالة المخلفات ونقل المعدات.

أما عند تقسيم مشروع مبني هيكلي من الخرسانة المسلحة يتكون من دور واحد فيمكن تقسيمة إلى الأنشطة التالية:

١ – تجهيز الموقع (بمعني إزالة أي مخلفات وتسوية الأرض تمهيدا لأعمال الحفر).
٢ – أعمال الحفر.
٣ – أعمال الخرسانة العادية.
٤ – أعمال الخرسانة المسلحة للقواعد.
٥ – أعمال الخرسانة المسلحة للسملات.
٦ – أعمال الخرسانة المسلحة للأعمدة.
٧ – أعمال الخرسانة المسلحة للأسقف.
٨ – أعمال المباني.
٩ – أعمال الردم.
١٠– أعمال الصحي.
١١– أعمال الكهرباء.
١٢– أعمال النجارة.
١٣– أعمال البياض.
١٤– أعمال الدهانات.
١٥– أعمال الأرضيات.
١٦– أعمال الطبقات العازلة.
١٧– أعمال القيشاني.

وقد يلجأ المخطط لزيادة الدقة أو المتابعة أو لأي ظروف أخرى إلى تقسيم بعض الأنشطة إلى قسمين أو أكثر فمثلا يمكن تقسيم بند الخرسانة العادية إلى خرسانة عادية للقواعد وأخرى خرسانة عادية تحت الأرضيات. ويمكن تقسيم أعمال الصحي إلى أعمال صحي (أ) وهو عمل التمديدات والتوصيلات

الخارجية والداخلية وأعمال الصحي (ب) وهو تركيب الأجهزة الصحية وعمل التشطيبات اللازمة له.

وبالمثل يمكن تقسيم أعمال الكهرباء إلى أعمال التمديدات، وأعمال التركيبات، وأعمال النجارة إلى أعمال تركيب الحلوق وأعمـــال التركيبات والدهانات وبالتالي نلاحظ أن المشروع أصبح يتكون من ٢١ نشاطًا بدلا من ١٧ نشاطًا.

تحديد علاقة الأنشـــطة مع بعضها البعض :

Activities Logical Relationship

تحديد العلاقة بين الأنشطة هي الخطوة التي تلي تقسيم المشروع إلى عدد من الأنشطة مباشرة والمقصود بهذه العلاقة هو دراسة كل نشاط من أنشطة المشروع على حدة، وتحديد الأنشطة التي لها علاقة بهذا النشاط (سواء الواجب الانتهاء منها قبل البدء في هذا النشاط أو الأنشطة التي تلي هذا النشاط). وتعتمد هذه العلاقة إلى حد كبير على التقنية المستخدمة في التنفيذ أو على ظروف، ومدي توافر الموارد اللازمة لإنجاز هذا النشاط وخاصة النادر منها. ومن الواضح أن الدراية والخبرة الكبيرة لأساليب التنفيذ من ضروريات هذا العمل وعادة يتم إنجاز هذا العمل على مرحلتين:

المرحلة الأولي : هي تحديد جميع الأنشطة التـــي تـــسبق النـــشاط تحـــت الدراسة. فمثلا يمكن القول أن أعمال الحفر (A) والـــشدات (B) ووضـــع حديـــد التسليح (C) كلها تسبق صب الخرسانة (D) كما هو موضح بالجدول المرفق.

اسم النشاط	النشاط السابق
A	-
B	A
C	B&A
D	C&B&A

ثم يتبع ذلك الخطوة التالية وهي حذف الشروط الزائدة بمعني أن النشاط D يعتمد على كل من A&B&C ولكن سبق القول أن النشاط C يعتمد على كل من B&A إذ لا داعي لتكرار هذا الشرط مع النشاط D لأن اعتماد D على C بالتأكيد يؤدي إلى اعتماده أيضا عليB&A أو بمعني أن عمليات صب الخرسانة لا تبدأ حتى تنتهي أعمال حديد التسليح ولكن أعمال حديد التسليح لن تبدأ حتى تنتهي أعمال الشدات وأعمال الحفر لذلك يعاد كتابة جدول الاعتمادية كما يلي:

اسم النشاط	النشاط السابق
A	-
B	A
C	B
D	C

ولدراسة الاعتمادية في مثال المبني السابق يمكن كتابة الاعتمادية كما يلي:

رقم البند	اسم البند	البند السابق	رقم البند	اسم البند	البند السابق
١	تجهيز الموقع	–	١٢	أعمال صحي (ب)	صحي (أ) + قيشاني
٢	أعمال الحفر	تجهيز الموقع	١٣	أعمال كهرباء (أ)	أعمال المباني
٣	أعمال الخرسانة العادية (قواعد)	أعمال الحفر	١٤	أعمال كهرباء (ب)	كهرباء (أ)
٤	أعمال الخرسانة العادية (فرشات)	أعمال الردم	١٥	أعمال نجارة (أ)	أعمال المباني
٥	أعمال الخرسانة المسلحة (قواعد)	خرسانة عادية (قواعد)	١٦	أعمال نجارة (ب)	أعمال نجارة (أ)
٦	أعمال الخرسانة المسلحة (سملات)	خرسانة مسلحة (قواعد)	١٧	أعمال البياض	كهرباء(أ)+ نجارة(أ)
٧	أعمال الخرسانة المسلحة (أعمدة)	خرسانة مسلحة (سملات)	١٨	أعمال الدهانات	بياض+أرضيات+ صحي(ب) +كهرباء(ب)+نجارة(ب)
٨	أعمال الخرسانة المسلحة (أسقف)	خرسانة أعمدة + الردم	١٩	أعمال الأرضيات	طبقات عازلة+ بياض
٩	أعمال المباني	خرسانة مسلحة (أسقف)	٢٠	أعمال العزل	خرسانة عادية فرشات
١٠	أعمال الردم	خرسانة مسلحة (أعمدة)	٢١	أعمال القيشاني	صحي (أ)
١١	أعمال صحي (أ)	أعمال المباني			

تحديد الزمن اللازم لإنجاز كل بند Duration Of Activities

إن تحديد الزمن اللازم لإنجاز بنود المشروع يستلزم أولا اختيار وحدة قياس الزمن المناسب للمشروع هل هي يوم عمل أم أسبوع عمل (ستة أيام) أم شهر عمل (ستة وعشرون يوما)، وذلك بعد حذف أيام العطلات المعتادة حسب البلد الذي ينفذ فيه المشروع.

بعد اختيار وحدة الزمن المناسب للمشروع، وحساب كميات الأعمال في كل بند من بنود المشروع يقوم مسئولو التخطيط بالاشتراك مع ذوى الخبرة باختيار وتحديد الأسلوب الأمثل والمناسب لتنفيذ جميع البنود. ومن ثم يمكن تحديد عدد أطقم العمل المناسب لكل بند مثل المعدة المناسبة وعددها وعدد العمال المهرة وعدد العمال العاديين، وكذلك حساب كميات المواد اللازمة لكل بند وبالتالي يمكن معرفة إنتاجية أطقم العمل في كل بند ثم يتم حساب زمن البند من المعادلة التالية:

زمن البند = حجم العمل في البند ÷ الإنتاجية

فمثلا: إذا كان المطلوب حساب الزمن اللازم لتشغيل وتركيب كمية من حديد التسليح قدرها ١٢ طن وقطر ١٦ مم باستخدام عدد ثلاثة أطقم عمل من الحدادين (٣حداد+٣عامل) يلزم في هذه الحالة تقدير إنتاجية الطقم الواحد ولتكن ٥ أيام لتشغيل وتركيب الطن الواحد (أي بواقع ٢٠٠ كجم – يوم – طقم).

فيصبح إنتاجية ثلاثة أطقم هو = ٥ ÷ ٣ يوم/ طن.

وبالتالي يمكن حساب زمن البند = ١٢ × $\frac{٥}{٣}$ =٢٠ يومًا عملاً.

وهكذا يمكن حساب الزمن اللازم لتنفيذ كل بند مع ملاحظة أيام الأعطال.

رسم الشبكة التخطيطية للمشروع Network Diagram

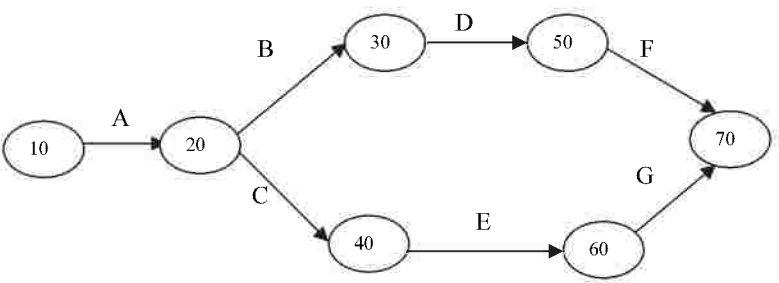
هناك أساليب كثيرة لرسم شبكة الأنشطة التي تكون المشروع أو لجزء منه، ولكن من أشهر الطرق المستخدمة مع أسلوب المسار الحرج هناك طريقة الأسهم (Arrow Diagram) وطريقة المستطيلات (Node Diagram) ويمكن تناول كل منها بشيء من الشرح والتفصيل فيما يلي:

أولا: طريقة الأسهم Arrow Diagram

في هذه الطريقة وبعد تحديد العلاقات بين بنود المشروع (Logic or Dependencies) كما سبق بيانه تمثل الأنشطة في صورة أسهم مترابطة، ومتصلة مع بعضها البعض طبقا للعلاقات التي سبق معرفتها وتحديدها جيدا. بمعني أن كل سهم يمثل نشاط معين يبدأ كل سهم بدائرة صغيرة تسمي (Node) مكتوب داخلها رقم لا يتكرر في الشبكة الواحدة، وبالتالي يصبح كل بند معرف بسهم يبدأ برقم معين وينتهي برقم آخر ويعرف النشاط بأنه محصور بين الرقمين I&J وشكل (٣-٩) يمثل نموذج لأحد الأنشطة الممثل بطريقة الأسهم .

شكل (٣-٩) تمثيل النشاط بطريقة الأسهم

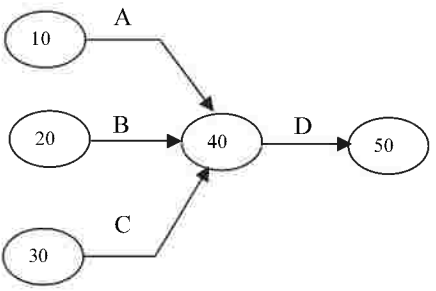
وهذه الدوائر التي في بداية الأنشطة ونهايتها يطلق عليها (Events) والرمز الذي يطلق على الرقم الذي في بداية النشاط (I) الذي في نهاية النشاط (J). ولذلك يمكن تعريف النشاط بالاسم (I&J)، فمثلا في الشبكة التالية شكل (٣-١٠) كمثال لأحد الشبكات التي تستخدم في تخطيط المشروعات يطلق على النشاط A (10&20) والنشاط B (20&30) والنشاط C (20&40) والنشاط D (30&50) وهكذا .



شكل (٣-١٠) تمثيل أحد المشروعات البسيطة بطريقة الأسهم

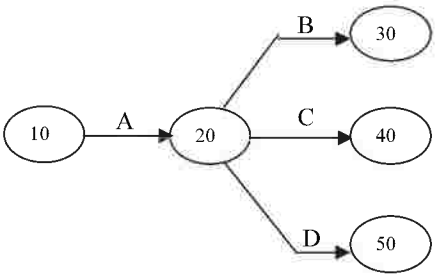
وفي هذا النوع من الشبكات يمكن معرفة الاعتمادية بمجـرد النظـر إلـى الشبكة المرسومة بمعني أن الأنشطة B&C لا يمكن أن تبدأ حتى ينتهي النشاط A، وكذلك النشاط D لا يبدأ حتى ينتهي النشاط B. وأيضا لا يبدأ النشاط E حتى ينتهي النشاط C ويمكن التعبير عن هذا المعني بأسلوب آخر، وذلك بـالقول أن انتهـاء الأنشطة التي تدخل أسهمها دائرة معينة فهذا يعني إمكانية السماح ببـدء الأنـشطة التي تخرج أسهمها من هذه الدائرة والأمثلة التالية تزيد من إيضاح هذه الفكرة :

أ - شكل (٣-١١) يعني أنه لا يمكن العمل في النشاط D حتى تنتهي كل من الأنشطة A&B&C.



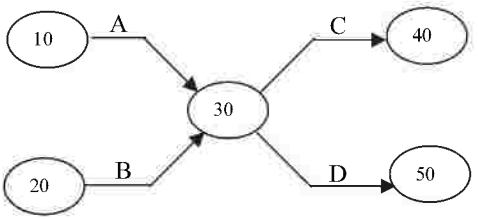
شكل (٣- ١١) تمثيل مجموعة من الأنشطة بطريقة الأسهم

ب - شكل (٣-١٢) يعني أنه لا يمكن بدء العمل في الأنشطة B&C&D حتى ينتهي النشاط A.



شكل (٣-١٢) تمثيل مجموعة من الأنشطة بطريقة الأسهم

ج- شكل (٣-١٣) يعني أنه لا يمكن بدء العمل في الأنشطة C&D قبل الانتهاء من الأنشطة التي تسبقها وهي A&B .



شكل (٣-١٣) تمثيل مجموعة من الأنشطة بطريقة الأسهم

الأنشطة الوهمية Dummy Activities

إن استخدام طريقة الأسهم في تخطيط مشروعات التشييد يفترض أن كل نشاط معرف برقم في بدايته (Start Event)، ورقم في نهايته (Finish Event) وهذه الأرقام لا تتكرر مع أكثر من نشاط وإلا حدث تعريف واحد لنشاطين مختلفين ويظهر ذلك في كثير من الحالات و كذلك هناك بعض الحالات التي ينتج عنها وبسبب الرسم بطريقة الأسهم أن يظهر في الشبكة شروط زائدة وغير مطلوبة في

التخطيط. ولتجنب ذلك يتم استخدام ما يعرف بالأنشطة الوهمية أو ما يطلق عليها أحياناً الأنشطة الميتة (Dummy Activities) وهي أنشطة ليس لها زمن وليس لها ميزانية أي أنها أنشطة تستخدم فقط لعلاج العيوب التي سبق ذكرها في طريقة التخطيط بالأسهم. والأمثلة التالية توضح فكرة الأنشطة الوهمية :

مثال(١)

بفرض أن هناك جزء من مشروع يتكون من أربعة أنشطة A&B&C&D وعلاقة كل منهم كما يلي:

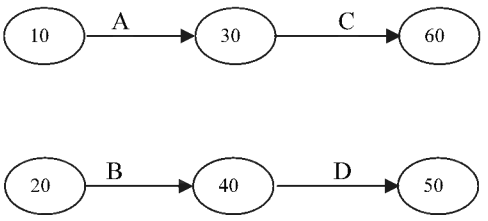
النشاط A لا يعتمد على أي أنشطة قبله

النشاط B لا يعتمد على أي أنشطة قبله

النشاطC يعتمد على النشاط A.

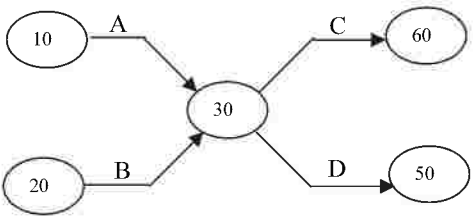
النشاطD يعتمد على كل من النشاط A&B.

وبرسم هذه العلاقات كما في شكل (٣-١٤)



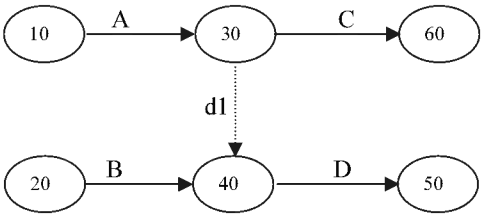
شكل (٣-١٤) تمثيل بنود المشروع بطريقة الأسهم

ولكن لتحقيق شرط اعتماد D على كل من A&B لابد من دمج الرقمين (30) و (40) ليصبح الرسم كما في شكل (٣-١٥).



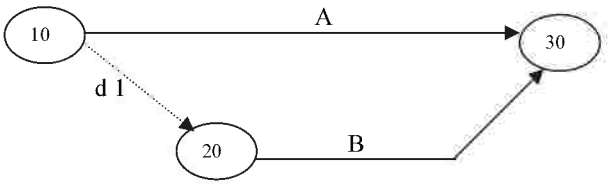
شكل (٣-١٥) دمج الرقمين (30) & (40)

ولكن ذلك الرسم يضيف شرط غير حقيقي وهو أن النشاط C يعتمد على النشاط B بينما هذا الشرط غير موجود ولحل هذه المشكلة يستخدم فكرة النشاط الوهمي d1 والذي يطلق عليه Logic Dummy ، ويتم رسم هذا النشاط في شكل خط غير متصل ويصبح الرسم كما هو مبين في شكل (٣-١٦).



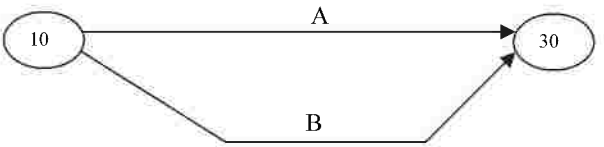
شكل (٣-١٦) ويظهر النشاط الوهمي

وهناك نوع آخر من الأنشطة الوهمية تسمي Numbering Dummy Activities وهي الأنشطة الوهمية التي تعالج مشكلة الترقيم المتكرر بمعني؛ وجود نفس الأرقام (j&J) لنشاطين مختلفين أو أكثر كما هو مبين في شكل (٣-١٧).



شكل (٣-١٧) إظهار الأنشطة الوهمية التي تعالج مشكلة الترقيم

ففي حالة عدم وجود النشاط الوهمي d1 يصبح رسم الشبكة في هذا الجزء كما في شكل (٣-١٨).



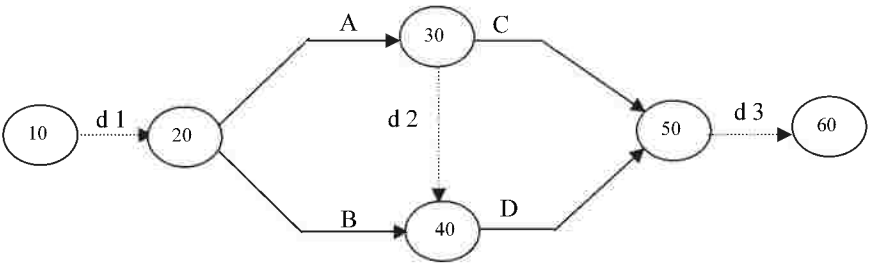
شكل (٣-١٨) يمثل الخطأ الناتج عن رسم نشاطين بنفس الترقيم

ويصبح تعريف النشاط A هو الذي يبدأ برقم (١٠) وينتهي برقم (٣٠).

ويصبح تعريف النشاط B هو الذي يبدأ برقم (١٠) وينتهي برقم (٣٠) أيضًا.

فيلاحظ أن كل من النشاطين A&B لهم نفس التعريف. وهذا الذي يجب على المخطط أن يتجنبه وخاصة في حالة استخدام الحاسب الآلي في أعمال التخطيط حيث يقابله مشكلة التعريف المشترك لنشاطين مختلفين أو أكثر. وهذا يسبب إعطاء البرنامج لأخطاء عند إدخال البيانات وإجراء الحسابات.

وهناك نوع ثالث من الأنشطة الوهمية الذي يستخدم في تجميع الأنشطة في بداية ونهاية المشروع ويطلق علية (Start And Finish Dummy) كما هو موضح شكل (٣-١٩).



شكل (٣-١٩) يمثل تجميع الشبكة باستخدام الأنشطة الوهمية في بداية ونهاية المشروع.

خطوات رسم شبكة المسار الحرج بطريقة الأسهم:

١ – يتم رسم الشبكة في صورة أسهم تمثل الأنشطة المتتالية من اليسار إلى اليمين وليس العكس وبخطوط متصلة.

٢ – يتم رسم الأسهم بطول مناسب حتى يمكن كتابة بعض بيانات الأنشطة أعلى وأسفل السهم مع ملاحظة أن طول السهم ليس له علاقة بزمن النشاط.

٣ – يمكن استخدام الأحرف اللاتينية A&B&C&D في تعريف الأنشطة. فإذا اكتملت الأحرف يمكن عمل تباديل مثل AA&BB&CC وهكذا وترسم بخطوط متصلة.

٤ – تسمي الأنشطة الوهمية d1,d2,d3 وهكذا وترسم بخطوط متقطعة.

٥ – يتم ترقيم دوائر بدايات ونهايات الأنشطة بالأرقام العادية (1) & (2) & (3) وهكذا بحيث يعرف كل نشاط برقمين.

٦- يتم تجنب تقاطعات الأسهم بقدر المستطاع وفي حالة الضرورة يمكن استخدام الرسم المبين في الشكل (٣ ــ ٢٠).

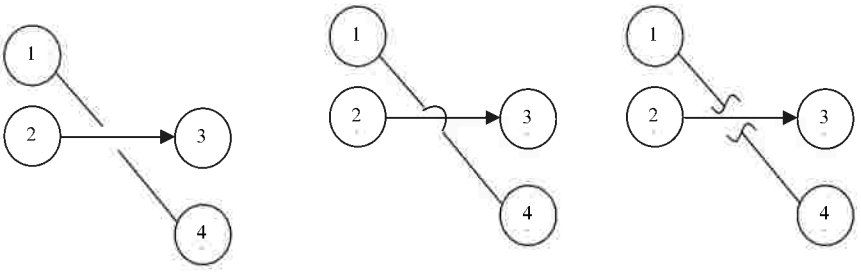
٧- يفضل دائما أن يكون الرقم الذي في بداية النشاط أصغر من الرقم الذي في نهايته وذلك يؤدى إلي زيادة الأرقام من اليسار إلي اليمين مما يسهل متابعة الشبكة، والاستدلال علي مكان النشاط بمجرد معرفة رقم البداية ورقم النهاية.

٨- يتم تعريف الأنشطة بعمل جداول توضح معاني الأحرف التي استخدمت في تسمية الأنشطة مثل:

(A : أعمال تجهيز الموقع)

(B : أعمال الحفر)

(C : أعمال النجارة)



شكل (٣-٢٠) يوضح أسلوب التخطيط باستخدام الأسهم في حالة التقاطع

أساليب رسم المخططات بطريقة الأسهم Drawing Of Arrow Diagrams

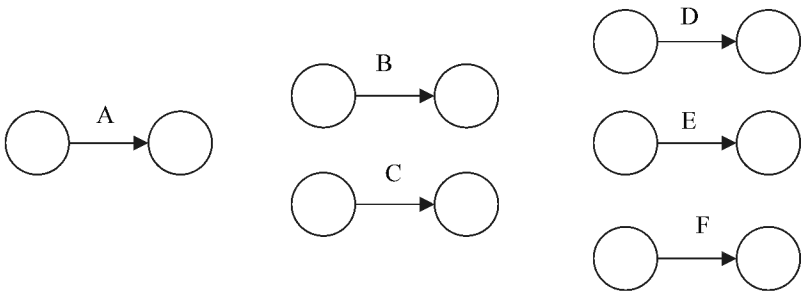
هناك طريقتان لرسم الشبكات بطريقة الأسهم وذلك بعد عمل جدول الاعتماديات أو علاقة الأنشطة مع بعضها البعض:

الطريقة الأولي:

برسم الأنشطة الابتدائية أولا والتدرج حتى نهاية المشروع أي برسم الأسهم من اليسار إلي اليمين. وتتلخص هذه الطريقة في اتباع الخطوات التالية مع استخدام المثال التوضيحي التالي:

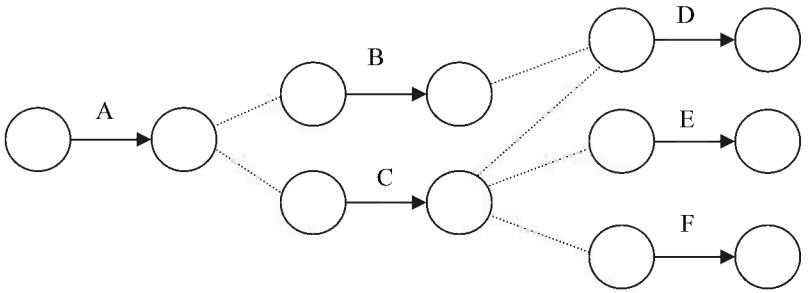
اسم النشاط	الاعتمادية
A	-
B	A
C	A
D	B&C
E	C
F	C

١ – يبدأ تمثيل الأنشطة برسم النشاط الأول الذي لا يعتمد علي أنشطة قبله في أقصي اليسار وفي هذا المثال هو النشاط A والأنشطة الأخيرة التي لا يستتبعها أي أنشطة في أقصي اليمين وفي هذا المثال الأنشطة D&E&F وبقية الأنشطة تأتي بينهما وهم الأنشطة B&C كما في شكل (٣-٢١) .



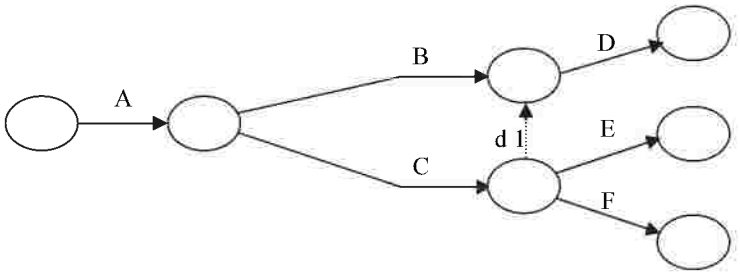
شكل(٣-٢١) تمثيل الأنشطة من البداية إلي النهاية

ربط الأنشطة طبقا لما هو وارد في جدول الاعتمادية بخطوط غير متصلة تشبه الأنشطة الوهمية كما في شكل (٣-٢٢)



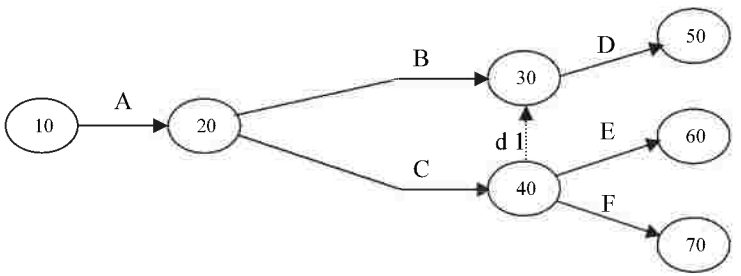
شكل (٣-٢٢) يمثل ربط الأنشطة مع بعضها البعض

٣- حذف خطوط العلاقات التي ليس لها حاجة، وذلك بطرح السؤال التالي: لو تم إلغاء هذا الخط المتقطع وجمع بداية النشاط التالي مع نهاية النشاط السابق هل تتغير الاعتمادية؟ فإذا كانت الإجابة بالنفي فيمكن إلغاء هذا الخط وإذا كانت الإجابة بنعم فيبقي هذا الخط. ويعتبر نشاط وهمي ويعطي له اسم وبالتالي ينتج التخطيط المبين في شكل (٣-٢٣).



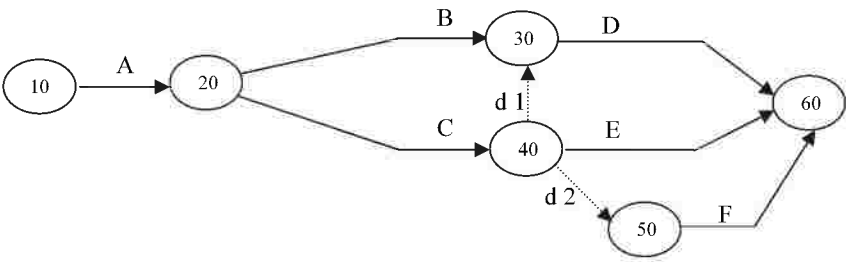
شكل (٣-٢٣) يوضح الشبكة بعد حذف العلاقات التي لا داعي لها

٤ – يتم ترقيم بدايات ونهايات الأنشطة كما فى شكل (٣-٢٤)



شكل (٣-٢٤) ترقيم بدايات ونهايات الأنشطة

٥ – بتجميع الأنشطة المنتهية للمشروع في نقطة واحدة نلاحظ ظهور نشاط وهمي آخر d2 لازم حتى لا تأخذ الأنشطة E&F نفس الترقيم، ويصبح التخطيط في صورته النهائية كما فى شكل (٣-٢٥).



شكل (٣-٢٥) تجميع الأنشطة في نهاية المشروع

ملاحظات :

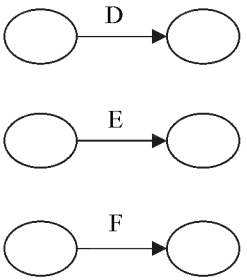
أ – عند ترقيم الدوائر يجب ملاحظة أن الرقم الذي في بداية النشاط دائما أصغر من الرقم الذي في نهاية نفس النشاط.

ب – يفضل استخدام أرقاما متباعدة ولكن بطريقة منتظمة مثل 5 & 10 & 15 وهكذا أو 20 & 30 & 40 وهذا الأسلوب من الترقيم يعطي فرصة للمخطط لإضافة أنشطة بين الأنشطة الموجودة فعلا دون إحداث تغيير في الترقيم الحالي .

الطريقة الثانية :

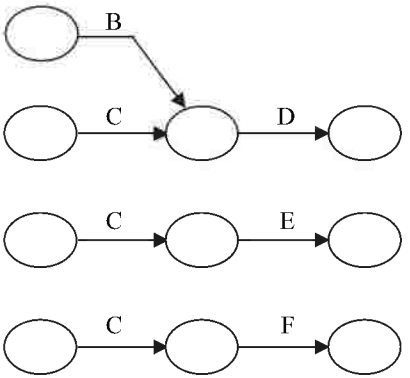
وفي هذه الطريقة يتم رسم الأنشطة من النهاية إلي البداية وذلك برسم الأنشطة النهائية أولا ثم التي تسبقها والتي تسبقها وهكذا حتى الوصول إلي بداية المشروع. ولذلك يكون الرسم من اليمين إلي اليسار آخذا اعتماديات الأنشطة في الاعتبار ويمكن شرح هذه الطريقة باستخدام نفس المثال السابق الذي تم استخدامه في شرح الطريقة الأولي كما يلي

١ – يتم رسم الأنشطة الثلاثة الأخيرة D&E&F في أقصي اليمين من ورقة الرسم كما في شكل (٣-٢٦).



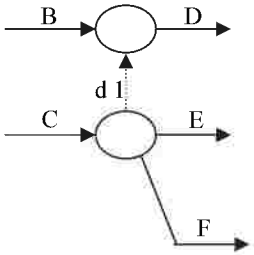
شكل (٣-٢٦) تمثيل الأنشطة من النهاية إلى البداية

٢ – يتم رسم الأنشطة السابقة لهذه الأنشطة الثلاثة والتي لها علاقة بها كما شكل (٣-٢٧).



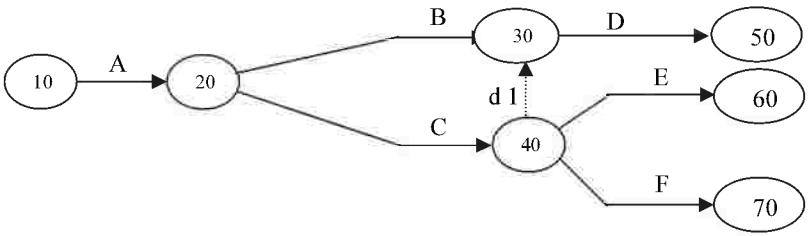
شكل (٣-٢٧) استكمال الأنشطة

٣ – يتم تعديل الرسم بإلغاء الأنشطة المتكررة مثل النشاط C حتى لو اضطر المخطط إلي استخدام أنشطة وهمية كما في شكل (٣-٢٨).



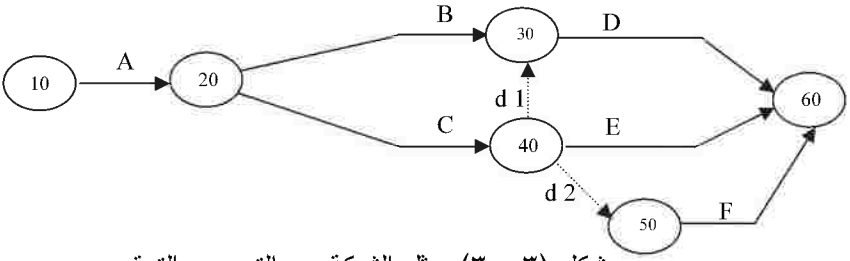
شكل (٣-٢٨) إلغاء الأنشطة المتكررة

٤ - يتم تكرار الخطوة السابقة حتى ينتهي المشروع كما في شكل (٣-٢٩)



شكل (٣-٢٩) يمثل الشبكة قبل مرحلة التجميع النهائي

١- يتم ترقيم وتجميع الأنشطة النهائية في نقطة واحدة كما في شكل (٣-٣٠).



شكل (٣-٣٠) يمثل الشبكة بعد التجميع والترقيم

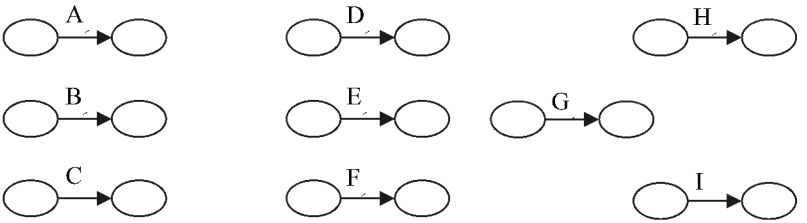
مثال

الجدول التالي يمثل مجموعة من بنود أحد مشروعات التشييد وعلاقة كل منها بالأنشطة الأخرى. والمطلوب تخطيط هذا المشروع بطريقة المسار الحرج مستخدما أسلوب الأسهم في الرسم.

اسم النشاط	النشاط السابق
A	–
B	–
C	–
D	A
E	A&B&C
F	A&B&C
G	E&F
H	D&G
I	D&G

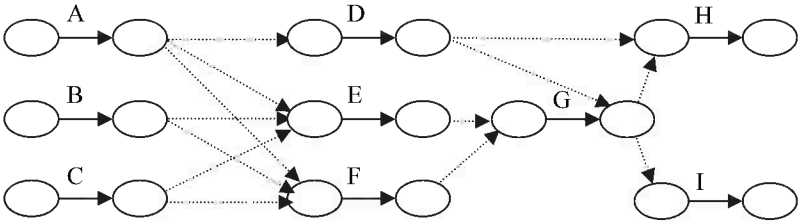
لرسم مثل هذا المشروع بطريقة الأسهم، واتباع أسلوب الأسهم من بداية المشروع والتسلسل حتى نهايته أي من اليسار إلي اليمين يتم اتباع الخطوات التالية:

١- يتم رسم الأنشطة الثلاثة الأولي A&B&C والتي لا تعتمد علي أنشطة قبلها في أقصي اليسار والأنشطة الأخيرة H&I في أقصي اليمين وباقي الأنشطة بينهما طبقا للاعتماديات المذكورة في الجدول كما في شكل (٣-٣١).



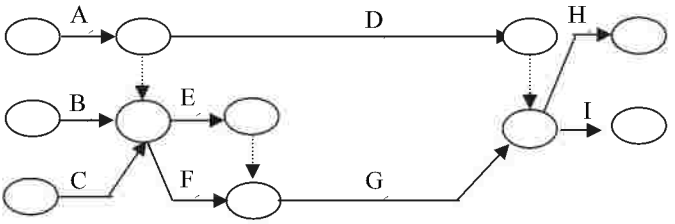
شكل (٣-٣١) رسم الأنشطة المتتالية في مجموعات

٢ - يتم ربط الأنشطة مع بعضها البعض طبقا لعلاقة كل نشاط بما يسبقه ويليه بخطوط متقطعة كأنها أنشطة وهمية كما فى شكل (٣-٣٢).



شكل (٣-٣٢) ربط الأنشطة طبقاً للعلاقات بينها

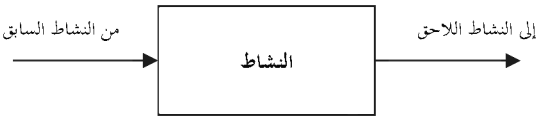
٣ - الآن يتم إزالة الأنشطة الوهمية التي لا داعي لها، وذلك بالإجابة على السؤال التالي: هل إزالة النشاط الوهمي يغير من الاعتمادية؟ فإذا كانت الإجابة بالنفي فيتم إزالة النشاط والعكس صحيح. فيصبح التخطيط النهائي كما في شكل (٣-٣٣).



شكل (٣-٣٣) يمثل الشبكة بعد حذف الأنشطة الوهمية التي لا داعي لها

ثانياً طريقة المستطيلات Node (precedence) Diagram

وفي هذا الأسلوب تستخدم المستطيلات أو المربعات أو بعض الأشكال الأخرى لتمثيل الأنشطة بينما يتم ربط هذه الأنشطة مع بعضها البعض باستخدام الأسهم كما في شكل (٣- ٣٤).



شكل (٣-٣٤) يمثل رسم النشاط بطريقة المستطيلات

وقد يتصل النشاط بعدد من الأنشطة السابقة أو اللاحقة. ويتم اتباع نفس الخطوات التي سبق شرحها في طريقة الرسم بالأسهم من اليسار إلي اليمين أي من بداية المشروع حتى نهايته. ويظهر في صورة صفوف وأعمدة من المستطيلات والتي ترتبط مع بعضها بمجموعة من الأسهم تمثل العلاقات بينها كما هو مبين في الأمثلة التالية :

مثال (١) :

الجدول التالي يمثل عدد من الأنشطة التي يتكون منهـا أحـد مـشروعات التشييد والعلاقة بينهم. والمطلوب رسم المخطط الشبكي للمشروع باستخدام طريقة المستطيلات (Nodes) .

اسم النشاط	النشاط السابق
A	-
B	A
C	A
D	B&C
E	B
F	D&E

لرسم هذا المثال يتم اتباع الخطوات التالية:

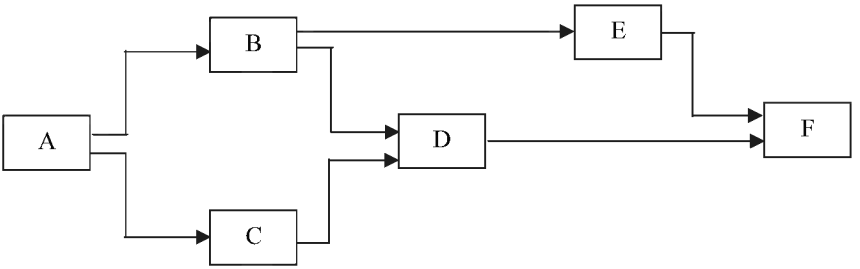
١ – رسم النشاط A داخل مستطيل في أقصي اليسار.

٢ – يتم رسم الأنشطة B&C داخل مستطيلات علي عمود واحد، واعتمادهم علي النشاط A يتم إيضاحهم باستخدام الأسهم.

٣ – يتم رسم النشاط D بعد الأنشطة B&C.

٤ – يتم رسم النشاط E علي استقامة النشاط B ويربط بينهما سهم العلاقة الـذي يوضح اعتمادية E علي B .

٥ – يتم رسم النشاط F في أقصي اليمين ويتم ربطه مع الأنشطة E&D بواسطة الأسهم كما في شكل (٣-٣٥).



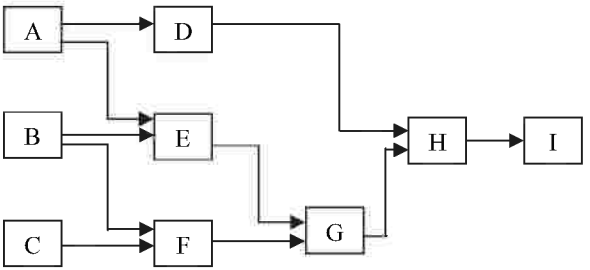
شكل (٣-٣٥) رسم الشبكة بطريقة المستطيلات

مثال (٢)

الجدول التالي يمثل أنشطة أحد مشروعات التشييد. والمطلوب رسم التخطيط الشبكي بطريقة المستطيلات.

اسم النشاط	النشاط السابق
A	-
B	-
C	-
D	A
E	A&B
F	B&C
G	E&F
H	D&G
I	H

لرسم التخطيط الشبكي لهذا المثال يتم اتباع الخطوات المشابهة للمثال السابق حتى الوصول إلى شكل (٣-٣٦).



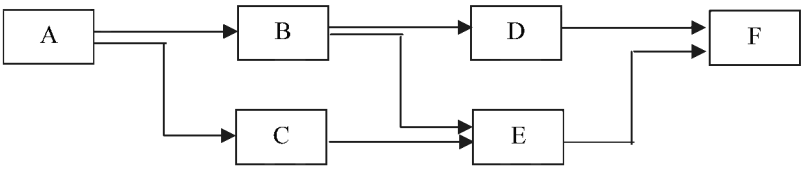
شكل (٣-٣٦) تمثيل الأنشطة بطريقة المستطيلات

مثال (٣)

الجدول التالي يمثل أنشطة أحد مشروعات التشييد. والمطلوب رسم التخطيط الشبكي بطريقة المستطيلات.

اسم النشاط	النشاط السابق
A	-
B	A
C	A
D	B
E	B&C
F	D&E

لرسم التخطيط الشبكي لهذا المثال يتم اتباع الخطوات المشابهة للمثال السابق حتى الوصول إلى شكل (٣-٣٧).



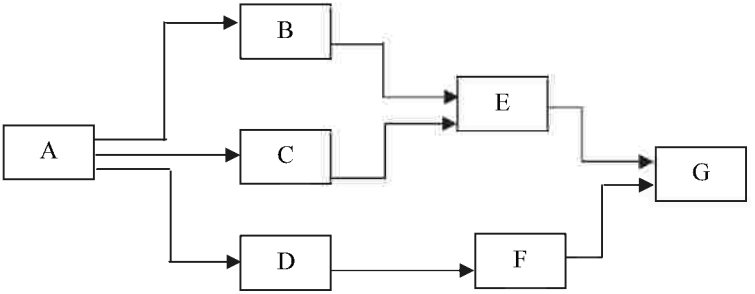
شكل (٣-٣٧) تمثيل الأنشطة بطريقة المستطيلات

مثال (٤)

الجدول التالي يمثل أنشطة أحد مشروعات التشييد. والمطلوب رسم التخطيط الشبكي بطريقة المستطيلات.

اسم النشاط	النشاط السابق
A	-
B	A
C	A
D	A
E	B&C
F	D
G	E&F

لرسم التخطيط الشبكي لهذا المثال يتم اتباع الخطوات المشابهة للمثال السابق حتى الوصول إلى شكل (٣-٣٨).



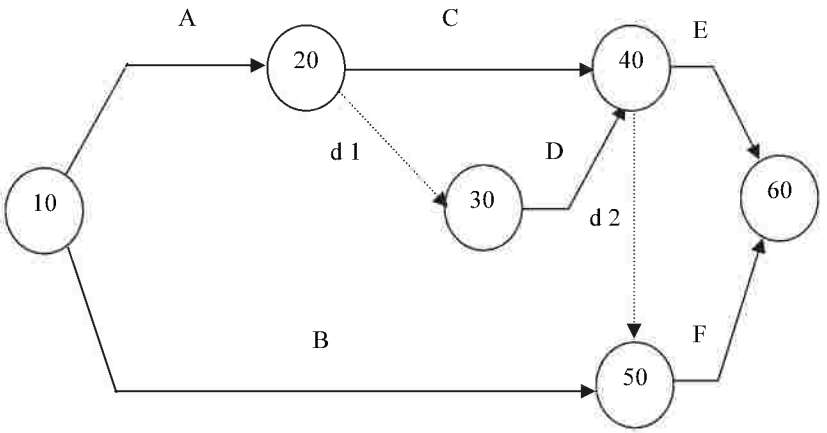
شكل (٣-٣٨) تمثيل الأنشطة بطريقة المستطيلات

مثال (٥)

المطلوب رسم شبكة المشروع التالي بطريقتي الأسهم والمستطيلات.

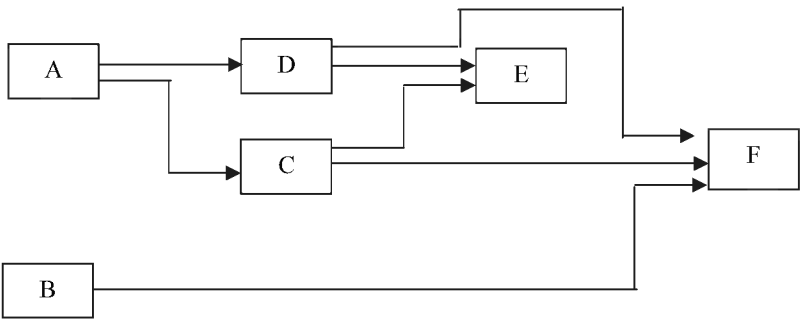
اسم النشاط	النشاط السابق
A	-
B	-
C	A
D	A
E	C&D
F	B&C&D

لرسم التخطيط الشبكي بطريقتي الأسهم والمستطيلات يتم اتباع الخطـــوات السابق شرحها في رسم كل من الطريقتين للحصول عـــلي الرسومات التاليـــة كما هـــو في شـــكل (٣-٣٩) & (٣-٤٠).



شكل (٣-٣٩) رسم الشبكة بطريقة الأسهم

شكل (٣-٤٠) رسم الشبكة بطريقة المستطيلات

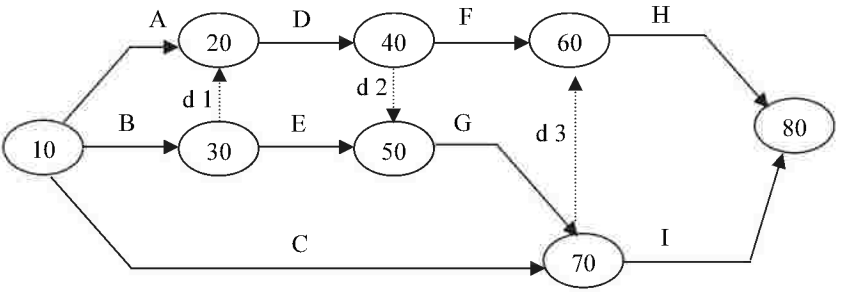


مثال (٦)

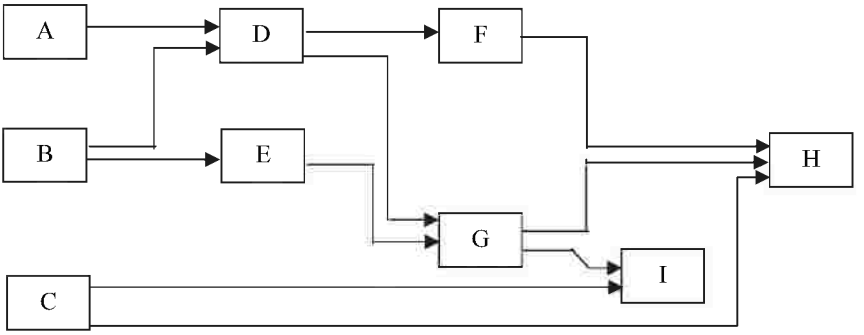
المطلوب رسم شبكة المشروع التالي بطريقتي الأسهم والمستطيلات.

اسم النشاط	النشاط السابق
A	-
B	-
C	-
D	A&B
E	B
F	D
G	D&E
H	C&F&G
I	C&G

لرسم التخطيط الشبكي بطريقتي الأسهم والمستطيلات يتم اتباع الخطـــوات السابق شرحها في رسم كل من الطريقتين للحصول علي الرسومات التالية كما في شكل (٣-٤١) & (٣-٤٢).



شكل (٣-٤١) رسم الشبكة بطريقة الأسهم



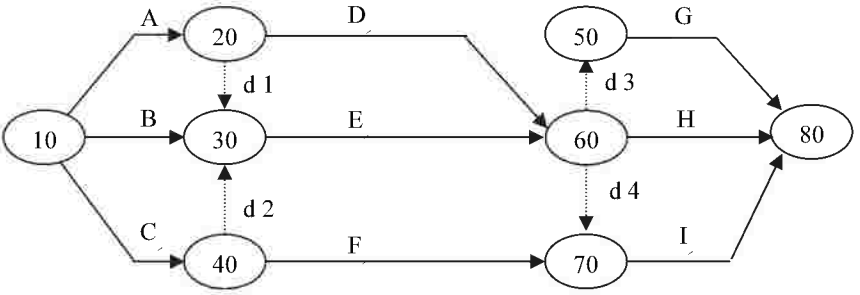
شكل (٣-٤٢) رسم الشبكة بطريقة الأسهم

مثال (٧)

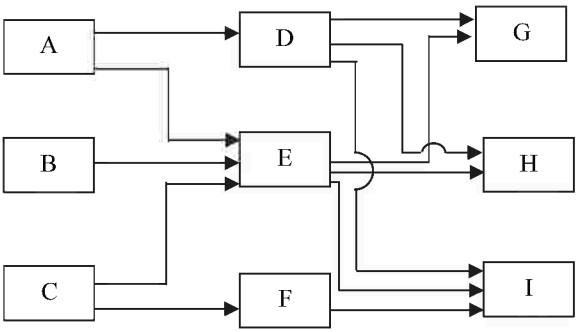
المطلوب رسم شبكة المشروع التالي بطريقتي الأسهم والمستطيلات.

اسم النشاط	النشاط السابق
A	-
B	-
C	-
D	A
E	A&B&C
F	C
G	D&E
H	D&E
I	D&E&F

لرسم التخطيط الشبكي بطريقتي الأسهم والمستطيلات يتم اتباع الخطـوات السابق شرحها في رسم كل من الطريقتين للحصول علي الرسومات التالية كما في شكل (٣-٤٤) & (٣-٤٥).



شكل (٣-٤٤) رسم الشبكة بطريقة الأسهم



شكل (٣-٤٥) رسم الشبكة بطريقة المستطيلات

حسابات الشبكة بطريقة المسار الحرج

لحساب زمن المشروع وتحديد بدايات ونهايات الأنشطة ومعرفة الأنشطة الحرجة، وبالتالي المسار الحرج وفترات السماح لبقية الأنشطة يجب أولا تحديد بعض المصطلحات التي سيتم استخدامها في هذا الجزء من الباب.

- البداية المبكرة للنشاط Early Start (E.S)

وهو أول زمن يمكن أن يبدأ فيه النشاط

- النهاية المبكرة للنشاط Early Finish (E.F)

وهو الزمن الذي ينتهي فيه النشاط إذا بدأ بداية مبكرة

مما سبق يمكن استنتاج العلاقة التالية:

النهاية المبكرة للنشاط = البداية المبكرة للنشاط + زمن النشاط

- البداية المتأخرة للنشاط Late Start (L.S.)

وهو آخر موعد يمكن أن يبدأ فيه النشاط.

- النهاية المتأخرة للنشاط Late Finish (L.F)

وهو الزمن الذي ينتهي فيه النشاط إذا بدأ بداية متأخرة

مما سبق يمكن استنتاج هذه العلاقة:

النهاية المتأخرة = البداية المتأخرة + زمن النشاط

- فترة السماح الكلي للنشاط Total Float Of Activity (T.F)

وهي الفترة المسموح للنشاط أن يتأخرها دون أن يؤثر علي الزمن الكلـــي للمشروع

ويمكن كتابتها علي الصورة التالية:

فترة السماح الكلي = النهاية المتأخرة – النهاية المبكرة = البداية المتأخرة – البداية المبكرة

TF = L.S. – E.S. = L.F – E.F.

- فترة السماح الجزئي للنشاط Free Float Of Activity (F.F)

وهي الفترة المسموح للنشاط أن يتأخرها دون أن يؤثر علي أي من بدايات الأنشطة التي تليه ويمكن كتابتها علي الصورة التالية:

فترة السماح الجزئي = البداية المبكرة للنشاط التالي – النهاية المبكرة للنشاط تحت الدراسة

F.F. = E.S. Of Succeeding Activity-E.F

فإذا كان النشاط يتبعه أكثر من نشاط ونتج عن كل منهم فترة سماح جزئي فتعتبر أقل قيمة هي فترة السماح الجزئي لهذا النشاط.

- الأنشطة الحرجة Critical Activities

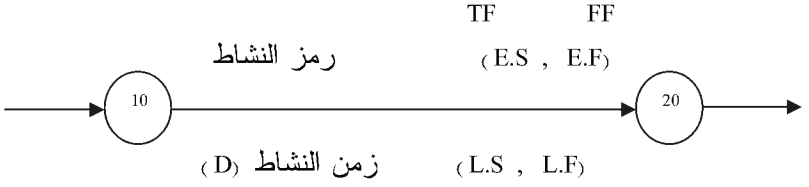
وهي الأنشطة التي لها أقل فترة سماح كلي في الشبكة.

- المسار الحرج Critical Path (C.P)

وهو أطول مسار في الشبكة وبالتالي هو المسار الذي يحدد زمن المشروع. وهو أيضا المسار الذي يمر بالأنشطة الحرجة مع ملاحظة أن الشبكة قد يوجد بها أكثر من مسار حرج ولكن أي شبكة يجب أن يكون بها مسار حرج واحد علي الأقل.

- تمثيل الأنشطة

تمثل الأنشطة في حالة الرسم بطريقة الأسهم علي شكل سهم مبينا عليه بعض البيانات كما في شكل (٣-٤٦).



شكل (٣-٤٦) تمثيل البيانات على الأنشطة بطريقة الأسهم

حيث

ES = البداية المبكرة

E.F = النهاية المبكرة = البداية المبكرة + زمن النشاط

D + ES =

LS = البداية المتأخرة

L.F = النهاية المتأخرة = البداية المتأخرة + زمن النشاط

D + LS =

T.F = فترة السماح الكلي = البداية المتأخرة – البداية المبكرة = النهاية المتأخرة – النهاية المبكرة.

F.F = فترة السماح الجزئي = ES (للنشاط اللاحق) – E.F (لنفس النشاط)

وتمثل الأنشطة في حالة الرسم بطريقة المستطيلات علي شكل مستطيلات مقسمة بالطريقة التالية كما في شكل(٣-٤٧).

ES	رمز النشاط	E.F
اسم النشاط		
LS	زمن النشاط	L.F

شكل (٣-٤٧) تمثيل البيانات على الأنشطة في طريقة المستطيلات

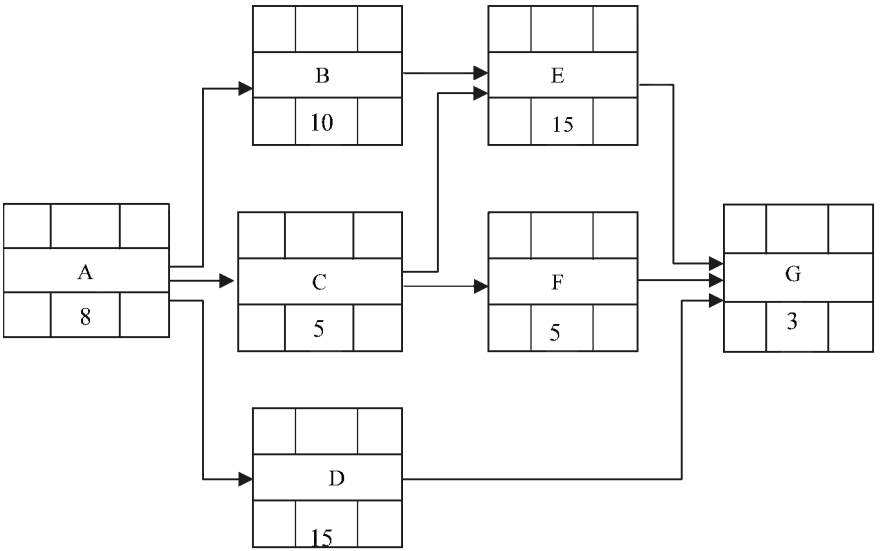
- **حسابات الشبكة من البداية إلي النهاية (من اليسار إلي اليمين)**

Password (Forward) Calculations

وهي الخطوة التالية مباشرة بعد رسم الشبكة سواء باستخدام الأسهم أو باستخدام المستطيلات. وتبدأ الحسابات بافتراض أن النشاط الأول يأخذ بداية مبكرة تساوي صفر (أو واحد). وبجمع زمن هذا النشاط مع قيمة البداية المبكرة نحصل علي النهاية المبكرة للنشاط الأول. وتعتبر هي نفسها البداية المبكرة للأنشطة التي تلي هذا النشاط وتعتمد عليه وبمعرفة البدايات المبكرة لهذه الأنشطة، وجمع زمن كل نشاط مع بدايته المبكرة نحصل علي نهايته المبكرة. وهكذا تتسلسل حسابات الشبكة حتى آخر نشاط في الشبكة فتعتبر نهايته المتأخرة هي زمن المشروع. ويمكن تتبع ذلك بالشرح علي المثال التالي:

مثال ٨ :

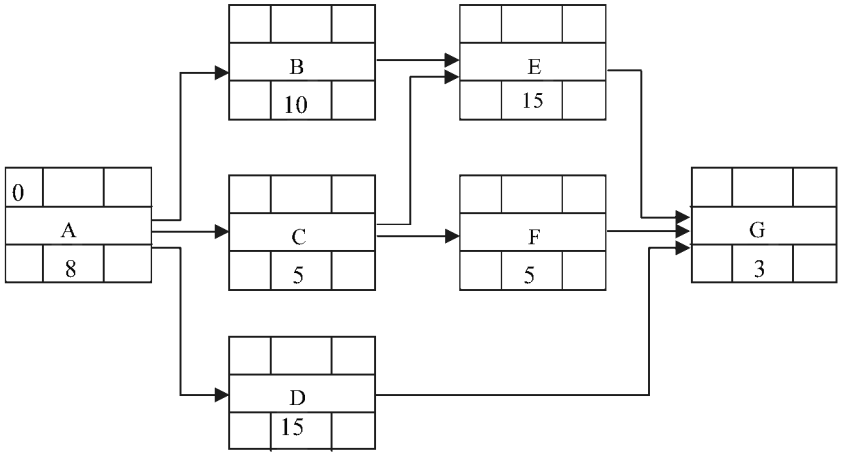
احسب زمن المشروع التالي باستخدام العلاقات المبينة بالرسم وأزمنة الأنشطة المبينة نظير كل منها كما في شكل (٣-٤٨).



شكل (٣-٤٨) يمثل شبكة افتراضية لأحد مشروعات التشييد مبيناً عليها الأزمنة والعلاقات بين الأنشطة

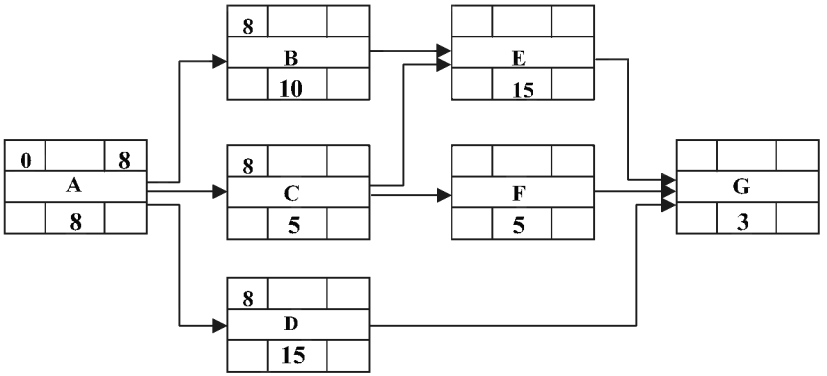
الحـــــــل

١ - نبدأ بفرض أن البداية المبكرة للنشاط A = صفر كما في شكل (٣-٤٩).



شكل (٣-٤٩) بداية الحسابات من زمن صفر كبداية مبكرة للبند (A)

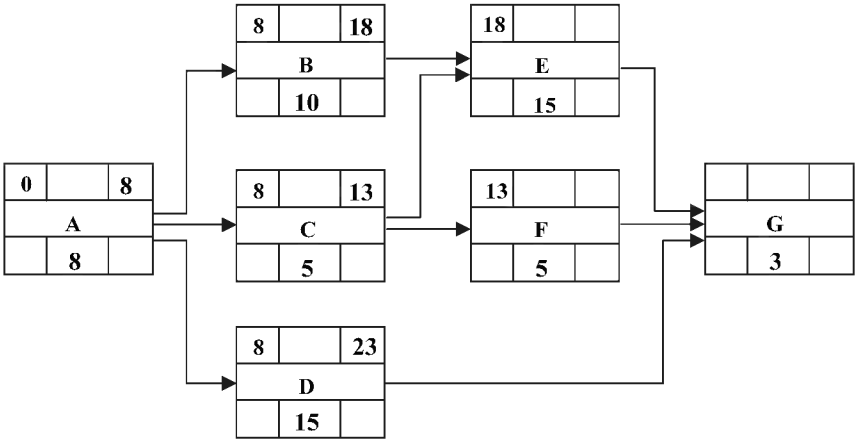
٢ – بالنسبة للنشاط A نجمع البداية المبكرة (صفر) مع زمن النشاط (8) فنحصل علي النهاية المبكرة للنشاط A وهي نفسها البداية المبكرة لجميع الأنشطة التي تعتمد عليه وهي B & C & D كما في شكل (٣ -٥٠).



شكل (٣-٥٠) تحديد البدايات المبكرة للأنشطة (B&C&D)

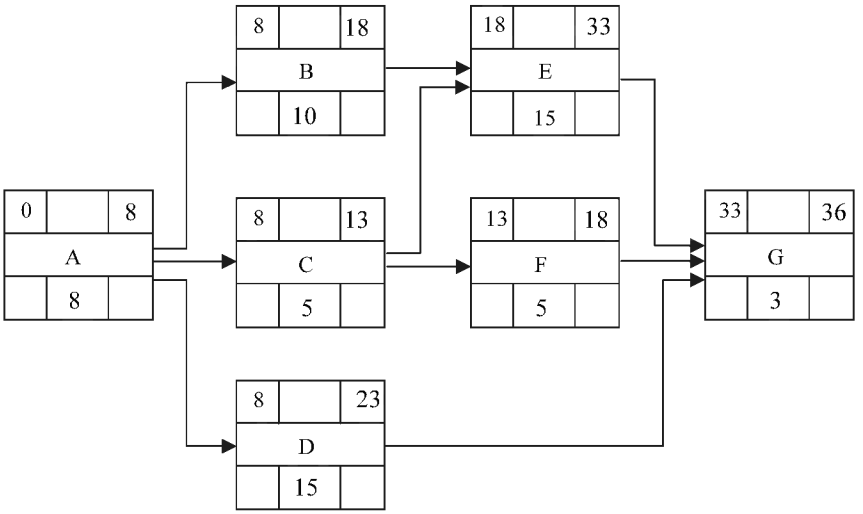
٣ – بالنسبة للأنشطة B&C&D بجمع البداية المبكرة لكل منهم مع زمن كل نشاط نحصل علي النهاية المبكرة لكل نشاط، والتي تعتبر بدايات مبكرة للأنشطة

التي تعتمد عليها مع ملاحظة أن النشاط E يعتمد علي كل من B&C. فتعتبر البداية المبكرة للنشاط E هي النهاية المبكرة لأي من B&C أيهما أكبر أي (١٨) كما في شكل (٣-٥١).



شكل (٣-٥١) حساب النهايات المبكرة للأنشطة (B&C&D) وتحديد البدايات المبكرة للأنشطة (E&F)

٤ - نكرر العمل مع كل من E&F وبعد الحصول علي النهايات المبكرة لهم وبما أن G يعتمد علي كل من D&E&F . فتعتبر البداية المبكرة لهذا النشاط (G) هي أكبر قيمة للنهايات المبكرة لكل من D&E&F أي تصبح (33) كما في شكل (٣-٥٢).



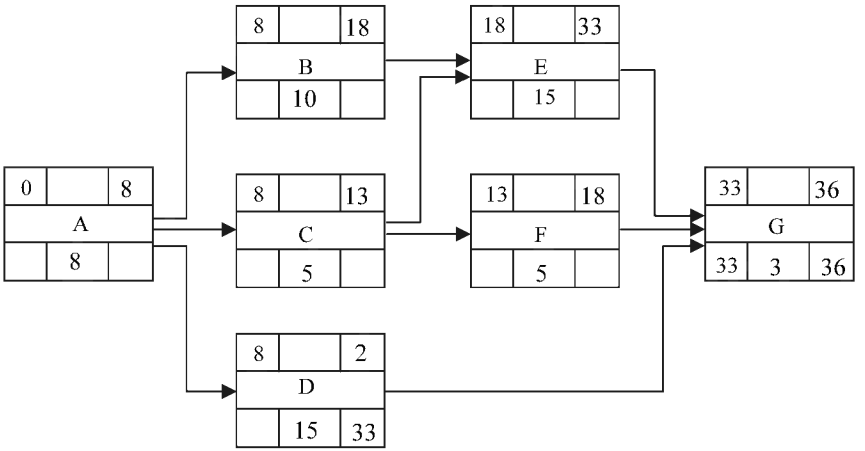
شكل (٣-٥٢) حساب النهايات المبكرة لكل من الأنشطة (E&F) وتحديد البداية المبكرة للنشاط (G)

٥ – وبجمع البداية المبكرة للنشاط G مع زمن النشاط نحصل علي النهاية المبكرة لهذا النشاط وهي (36) ، وتعتبر نفسها الزمن الكلي للمشروع وتعتبر أيضا النهاية المتأخرة لهذا النشاط والنهاية المتأخرة للمشروع. ثم نبدأ بعد ذلك في حسابات الشبكة من النهاية إلي البداية أي من اليمين إلي اليسار.

حسابات الشبكة من النهاية إلي البداية أو من اليمين إلي اليسار

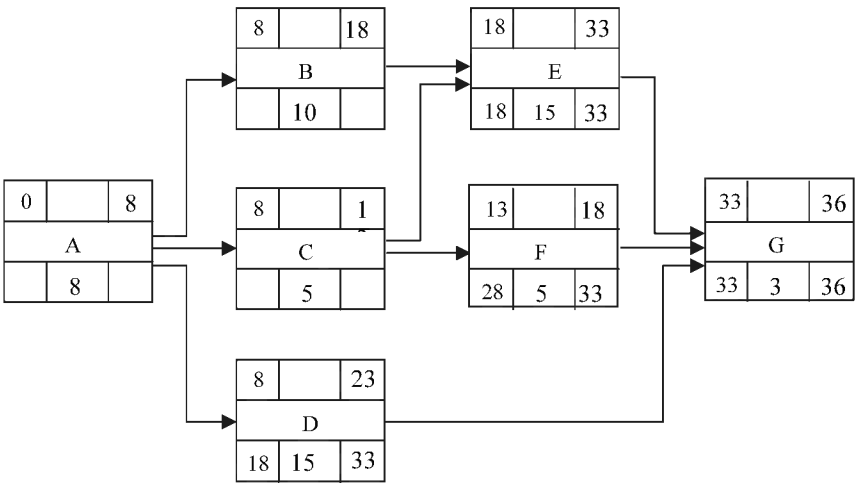
(Backward Path)

٦ – نبدأ بالنشاط G فبطرح زمن النشاط من النهاية المتأخرة نحصل علي البداية المتأخرة لهذا النشاط وهي (33)، ثم يتم نقلها إلي الأنشطة السابقة للنشاط G وهي الأنشطة E&F&D كنهاية متأخرة لهذه الأنشطة كما في شكل (٣-٥٣).



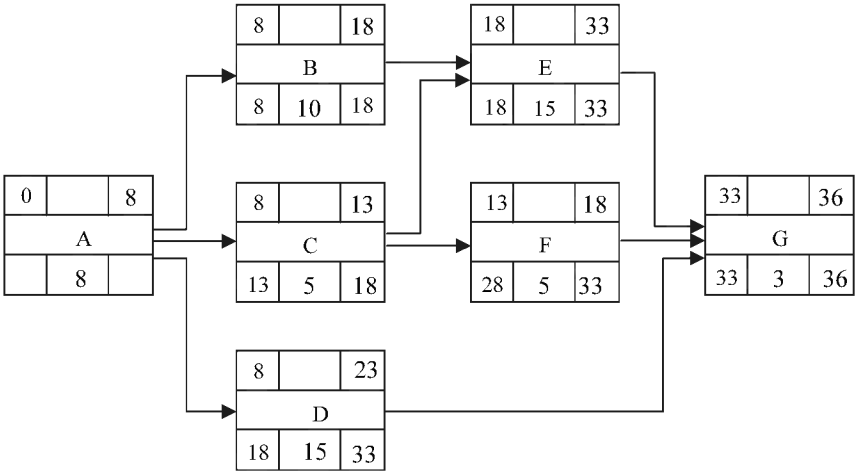
شكل (٣-٥٣) تحديد النهاية المتأخرة للنشاط (G) وحساب البداية المتأخرة له والتي تحدد النهايات المتأخرة لكلٍ من الأنشطة (E&F&D).

٧ – ننتقل الآن إلي الأنشطة E&F&D ونحسب البداية المتأخرة لكل منهم وذلك بطرح أزمنة هذه الأنشطة من النهاية المتأخرة، والتي تم الحصول عليها من النشاط G وهي (33) كما في شكل (٣-٥٤).



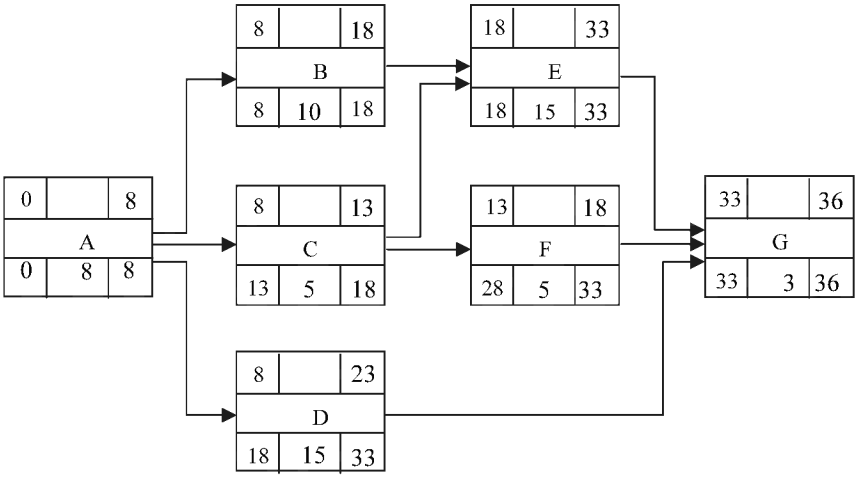
شكل (٣-٥٤) حساب البدايات المتأخرة للأنشطة (E&F&D)

٨ – بدراسة الأنشطة B&C نحصل علي النهاية المتأخرة للنشاط B من البداية المتأخرة للنشاط E وهي (18). أما النهاية المتأخرة للنشاط C فهي تعتمد علي البدايات المتأخرة لكل من E&F أيهما أصغر أي أن النهاية المتأخرة للنشاط C هي 18 أيضا. وبطرح أزمنة الأنشطة من نهاياتها المتأخرة نحصل علي البدايات المتأخرة لهذه الأنشطة كما في الشكل (٣-٥٥) .



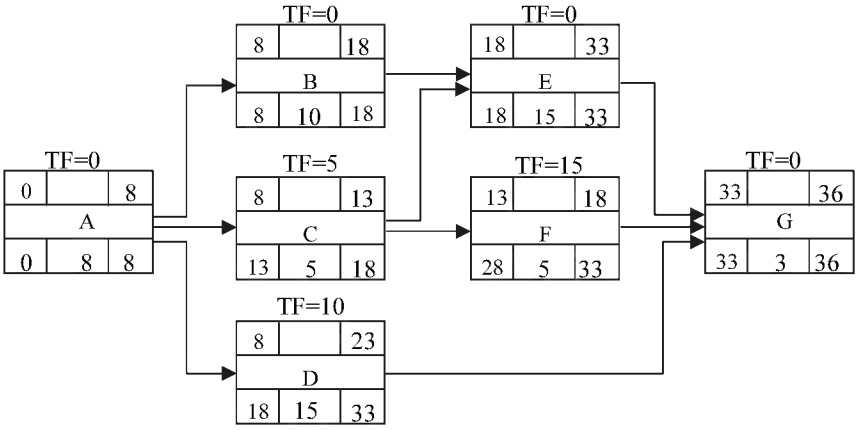
شكل (٣-٥٥) تحديد النهايات المتأخرة لكل من الأنشطة (B&C) وحساب البدايات المتأخرة لها

٩ – الآن وبالنسبة للنهاية المتأخرة للنشاط A فهي عبارة عن البداية المتأخرة لأي من B&C&D أيهما أصغر أي أن النهاية المتأخرة للنشاط A هي (8)، وبطرح زمن النشاط A من نهايته المتأخرة نحصل علي بدايته المتأخرة وهي (صفر) وتساوي بدايته المبكرة حيث أنه نشاط حرج مثل النشاط G .ويمكن استنتاج أن كل من النشاط الأول والنشاط الأخير تساوي بدايتهم المبكرة والمتأخرة وتساوي نهايتهم المبكرة والمتأخرة أي أنهم أنشطة حرجة كما في شكل (٣-٥٦).



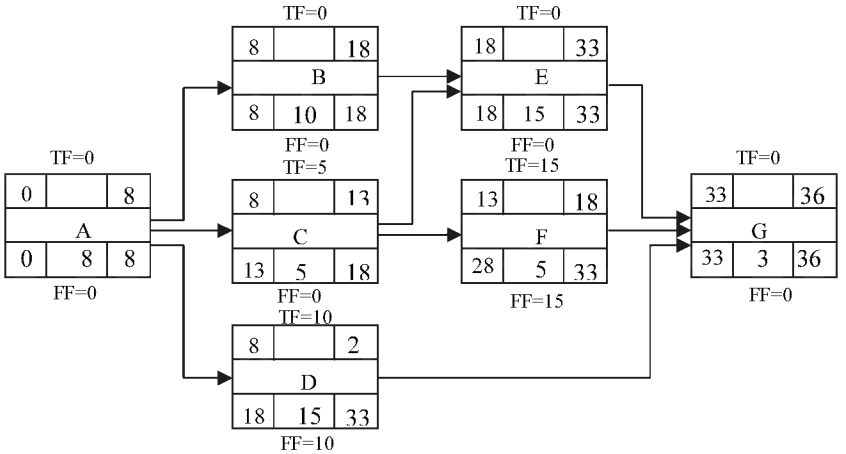
شكل (٣-٥٦) الشبكة في شكلها النهائي بعد تحديد البدايات والنهايات المبكرة والمتأخرة لجميع الأنشطة

١ - في هذه المرحلة يمكن حساب فترة السماح الكلية لجميع الأنشطة، وذلك بطرح البداية المبكرة من البداية المتأخرة أو بطرح النهاية المبكرة من النهاية المتأخرة لكل نشاط كما في شكل (٣-٥٧).



شكل (٣-٥٧) حساب فترة السماح الكلي (TF) لجميع الأنشطة

١١ – ولحساب فترات السماح الجزئي للأنشطة نطرح النهاية المبكرة للنشاط من البدايات المبكرة للأنشطة التي تليه وتكون أصغر قيمه هي فترة السماح الجزئي لهذا النشاط كما في شكل (٣ –٥٨).



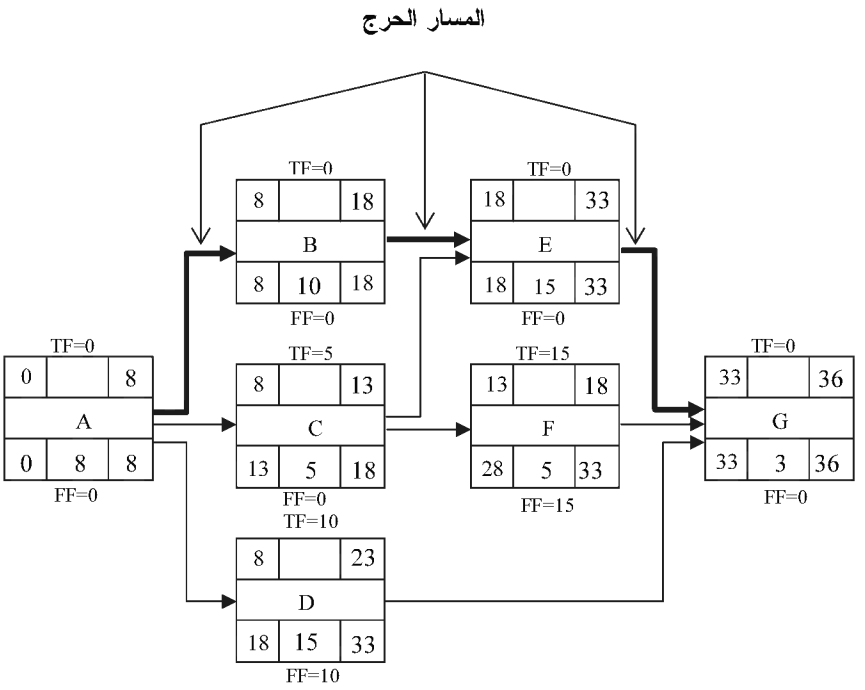
شكل (٣–٥٨) الشبكة النهائية بعد حساب فترات السماح الجزئي لجميع الأنشطة

ملاحظات:

١– نلاحظ أن F.F للنشاط C = الفرق بين البداية المبكرة للنشاط E (١٨) والنهاية المبكرة للنشاط C (١٣) أي أن F.F = ٥ أو =الفرق بين البداية المبكرة للنشاط F (١٣) والنهاية المبكرة للنشاط C (١٣) أي أنها = صفر وفي هذه الحالة نأخذ القيمة الأصغر وهي صفر. فتصبح فترة السماح الجزئي للنشاط C = صفر.

٢– يلاحظ أن جميع قيم TF & FF للأنشطة الحرجة = صفر وهذا بسبب تساوي النهايات المتأخرة مع النهايات المبكرة وتساوي البدايات المتأخرة مع النهايات المتأخرة . وهذا قد ترتب تلقائيا علي اختيار النهاية المتأخرة للنشاط G مساويا للنهاية المبكرة له مساويا أيضا لزمن المشروع.

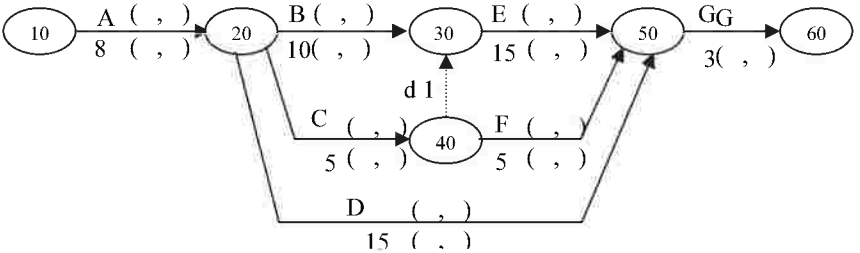
٣- يلاحظ أن الأنشطة الحرجة هي A & B & E & G والمسار الواصل بين هـذه الأنشطة هو المسار الحرج وهو أطول مسار في الشبكة. وهو الـذي يحـدد زمن المشروع.



شكل (٣-٥٩) الشبكة في صورتها النهائية

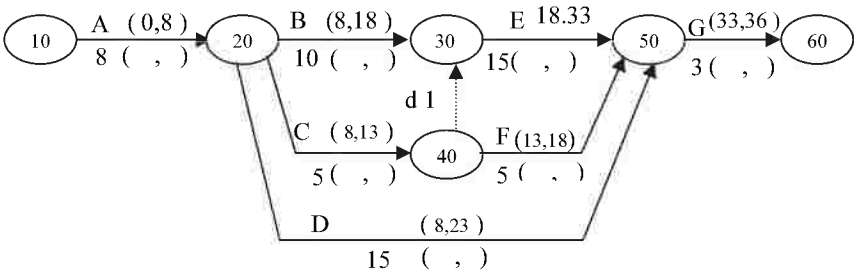
يمكن تكرار نفس الخطوات السابقة ولكن باستخدام الرسم بطريقة الأسهم كما هو مبين في المثـــال التالي :

احسب زمن المشروع التالي باستخدام الاعتماديات المبينة بالرسم وأزمنة الأنشطة المبينة نظير كل منها كما في شكل (٣-٦٠).



شكل (٣-٦٠) شبكة افتراضية لأحد المشروعات ممثلة بطريقة الأسهم

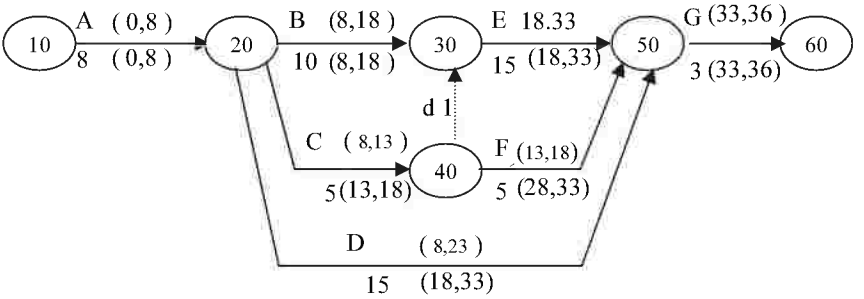
١ – نبدأ بفرض أن البداية المبكرة للنشاط (A) = صفر ونحسب من اليسار إلي اليمين كما سبق في حالة المستطيلات والبداية المبكرة لأي نشاط هي أكبر نهاية مبكرة للأنشطة التي تسبقه مباشرة ويعتمد عليها ونستمر حتى نصل إلي نهاية المشروع، ونحدد زمن المشروع وهو النهاية المبكرة لآخر نشاط G ويساوي (36) أسبوعا مثلا كما في شكل (٣-٦١).



شكل (٣-٦١) حسابات الشبكة من اليسار إلى اليمين
حتى الوصول إلى زمن المشروع

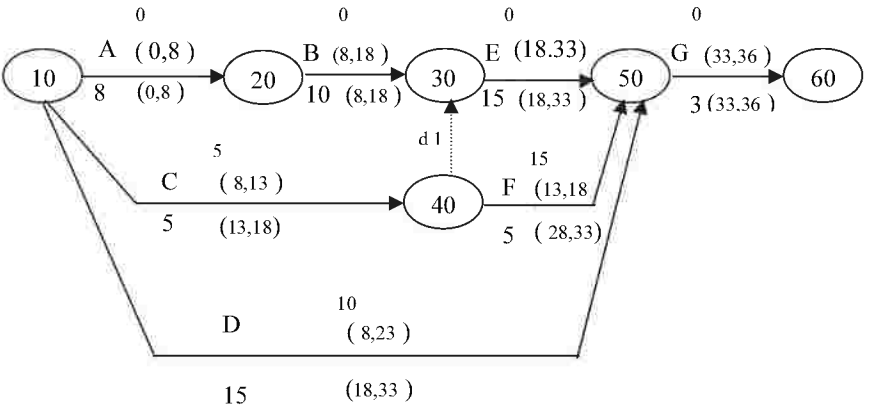
٢ – ننقل النهاية المبكرة للنشاط G مكان النهاية المتأخرة لنفس النشاط ونبدأ في حسابات العودة أي من اليمين إلي اليسار، وذلك بطرح زمن كل نشاط من نهايته المتأخرة. فنحصل علي بدايته المتأخرة وهي نفسها النهايات المتأخرة

للأنشطة السابقة مع اختيار أقل قيمة عند تعدد القيم كما هو مبين فـــي شـــكل (٣-٦٢).



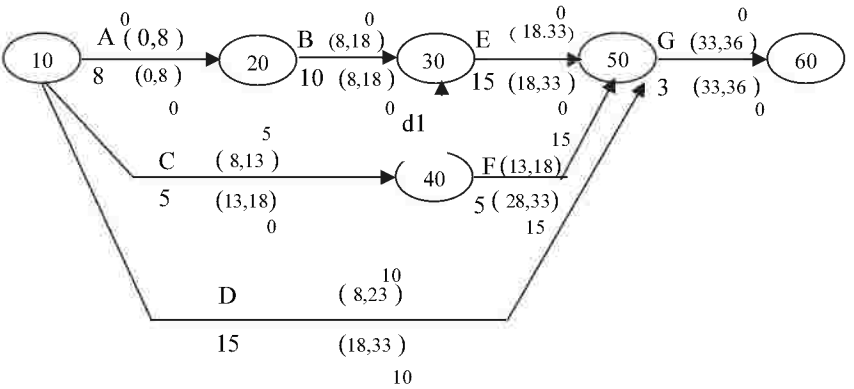
شكل (٣-٦٢) حسابات الشبكة من اليمين إلى اليسار للحصول على البدايات والنهايات المتأخرة للأنشطة وتحديد المسار الحرج

٣ - حساب فترات السماح الكلية للأنشطة TF وهي الفرق بين البدايـــة المتـــأخرة والنهاية المتأخرة، أو الفرق بين النهاية المبكرة والنهاية المتأخرة. وتكتب هذه القيم أعلى السهم علي اليسار كما هو مبين في شكل (٣-٦٣).



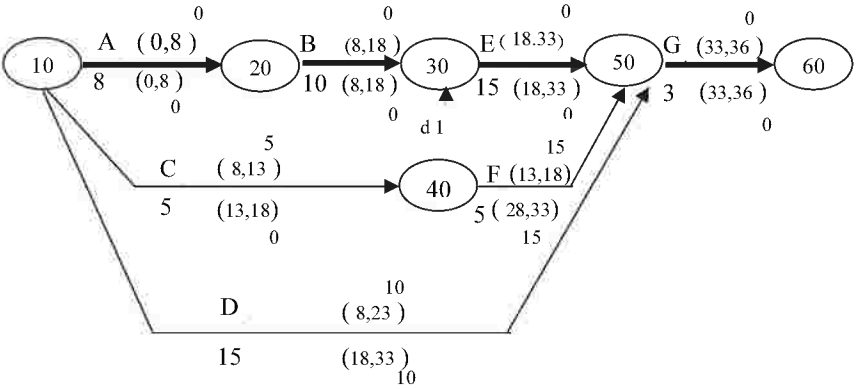
شكل (٣-٦٣) حسابات فترات السماح الكلية للأنشطة

٤ – حساب فترات السماح الجزئية أو ما يطلق عليها أحيانا فترات السماح الحـــر (FREE FLOAT) FF للأنشطة وهي أقل فرق بين النهاية المبكرة للنـــشاط والبدايات المبكرة للأنشطة التي تليه وتعتمد عليه وتكتب أعلى السهم علـــي اليمين كما هو مبين في شكل (٣-٦٤).



شكل (٣-٦٤) حسابات فترات السماح الحر للأنشطة

٥ – تحديد الأنشطة الحرجة والمسار الحرج حيث أن الأنشطة الحرجة هي التـــي لها أقل فترة سماح (TF) في الشبكة وهي A&B&E&G. ويمر بها المـــسار الحرج ويعبر عنه بأسهم ملونة أو بنفس اللون ولكن بسمك أكبر عن المعتـــاد كما هو مبين في شكل (٣-٦٥).



شكل (٣-٦٥) الشبكة النهائية مع تحديد المسار الحرج

ملاحظات:

١ – ليس من اللازم أن تكون فترات السماح للأنشطة الحرجة تساوي صفرًا. فهي فقط تساوي صفراً إذا اقتنع المخطط بالنهاية المبكرة لآخر نشاط واعتبرها تساوي زمن المشروع وبالتالي تساوي النهاية المتأخرة لآخر نشاط، ولكن أي زيادة في النهاية المتأخرة لآخر نشاط عن النهاية المبكرة له سوف تكون هي فترة السماح الكلي للأنشطة الحرجة. وأيضا تزيد فترات السماح الكلي لجميع أنشطة المشروع بنفس القيمة (الفرق بين النهاية المتأخرة لآخر نشاط والنهاية المبكرة له). وهذا يعطى بعض المرونة للمشروع بحيث تستخدم هذه الفترة لتغطية بعض مخاطر المشروع التي قد تحدث أثناء أعمال التنفيذ.

٢ – قد يظهر في كثير من مشروعات التشييد أكثر من مسار حرج. وهذا مؤشر علي قلة مرونة التخطيط، ويزيد من احتمالات تأخر المشروع عند تعرضه لأي مخاطر أثناء أعمال التنفيذ.

أمثلة محلولة

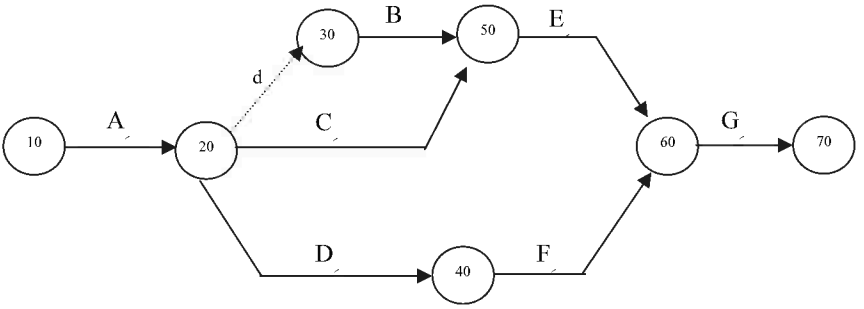
مثال (١):

المشروع التالي يبين البنود التي يتكون منها أحد مشروعات التشييد ونظير كل بند مبين زمن البند وعلاقته بالبنود الأخرى. والمطلوب تخطيط المشروع بطريقتي الأسهم. والمستطيلات وحساب زمن المشروع مع إيضاح الأنشطة الحرجة والمسار الحرج وفترات السماح لكل نشاط.

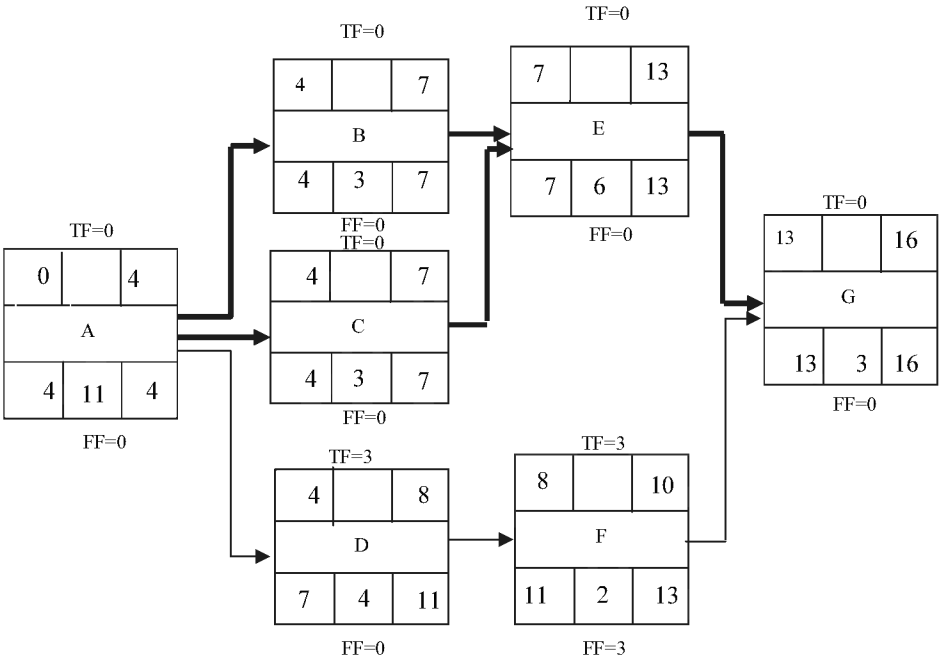
اسم البند	زمن البند	الاعتمادية
A	٤	–
B	٣	A
C	٣	A
D	٤	A
E	٦	B&C
F	٢	D
G	٣	E&F

ملاحظة

سوف يكتفي برسم الشبكة بطريقة الأسهم ولكن حل الشبكة تفصيليا سوف يكون برسم المستطيلات كما يلي في شكل (٣-٦٦) & (٣-٦٧).



شكل (٣-٦٦) رسم الشبكة بطريقة الأسهم



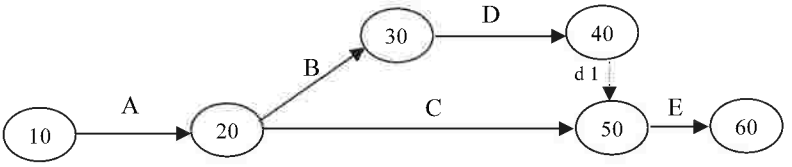
شكل (٣-٦٧) رسم وحساب الشبكة بطريقة المستطيلات

مثال (٢)

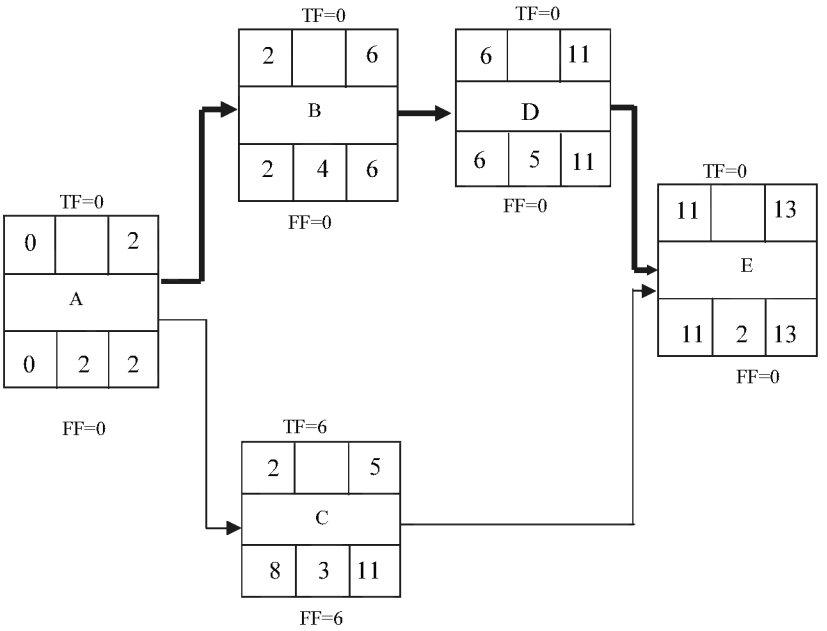
المشروع التالي يبين البنود التي يتكون منها أحد مشروعات التشييد. ونظير كل بند مبين زمن البند وعلاقته بالبنود الأخرى. والمطلوب تخطيط المشروع بطريقتي الأسهم والمستطيلات، وحساب زمن المشروع مع إيضاح الأنشطة الحرجة والمسار الحرج، وفترات السماح لكل نشاط .

اسم البند	الزمن	الاعتمادية
A	٢	–
B	٤	A
C	٣	A
D	٥	B
E	٢	D&C

سوف يكتفي برسم الشبكة بطريقة الأسهم ولكن حل الشبكة تفصيليا سوف يكون برسم المستطيلات كما يلي في شكل (٣-٦٨) &(٣-٦٩).



شكل (٣-٦٨) رسم الشبكة بطريقة الأسهم



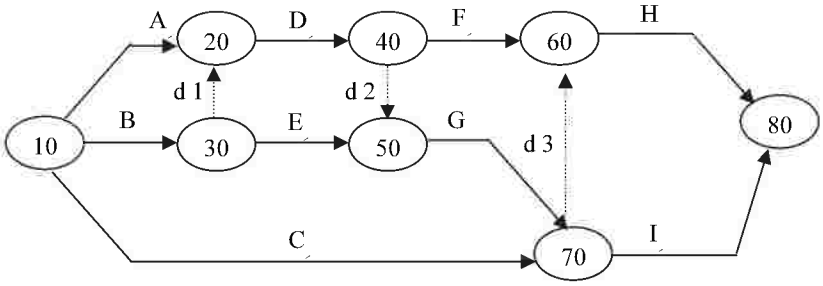
شكل (٣-٦٩) رسم وحساب الشبكة بطريقة المستطيلات

مثال (٣)

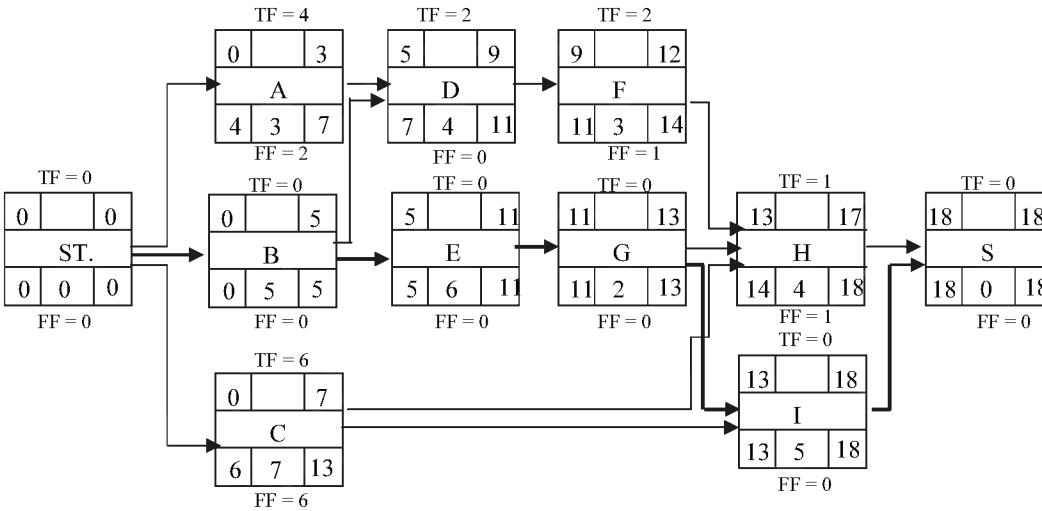
المشروع التالي يبين البنود التي يتكون منها أحد مشروعات التشييد. ونظير كل بند مبين زمن البند وعلاقته بالبنود الأخرى. والمطلوب تخطيط المشروع بطريقتي الأسهم والمستطيلات، وحساب زمن المشروع مع إيضاح الأنشطة الحرجة والمسار الحرج وفترات السماح لكل نشاط.

اسم البند	زمن البند	الاعتمادية
A	3	–
B	5	–
C	7	–
D	4	A&B
E	6	B
F	3	D
G	2	E
H	4	C&F&G
I	5	C&G

في هذا المثال سوف يتم الاستعانة بنشاط تجميعي في بداية المشروع يسمي Start. ونشاط تجميعي في نهاية المشروع يسمي Finish والزمن لكل منهم = صفر وهذه الأنشطة فقط تستخدم لتجميع الأنشطة في بداية ونهاية المشروع. وسوف يكتفي برسم الشبكة بطريقة الأسهم ولكن حل الشبكة تفصيليا سوف يكون برسم المستطيلات كما سبق في الأمثلة الماضية كما في شكل (٣-٧٠) & (٣-٧١).



شكل (٣-٧٠) رسم الشبكة بطريقة الأسهم



شكل (٣-٧١) رسم الشبكة بطريقة المستطيلات

مثال (٤)

المشروع التالي يبين البنود التي يتكون منها أحد مشروعات التشييد ونظير كل بند مبين زمن البند وعلاقته بالبنود الأخرى. والمطلوب محاولة القارئ

تخطيط المشروع بطريقتي الأسهم والمستطيلات، وحساب زمن المشروع مع إيضاح الأنشطة الحرجة والمسار الحرج وفترات السماح لكل نشاط.

اسم البند	زمن البند	الاعتمادية
A	2	–
B	4	–
C	3	–
D	4	A
E	2	B
F	5	B
G	3	A&C
H	4	A&C&E
I	6	A&C&E
J	2	D
K	8	D
L	7	G&H&K
M	6	J
N	5	F
O	2	F&I

مثال (٥)

المشروع التالي يبين البنود التي يتكون منها أحد مشروعات التشييد. ونظير كل بند مبين زمن البند وعلاقته بالبنود الأخرى. وسوف يترك للقارئ محاولة تخطيط المشروع بطريقتي الأسهم والمستطيلات، وحساب زمن المشروع مع إيضاح الأنشطة الحرجة والمسار الحرج وفترات السماح لكل نشاط.

اسم البند	زمن البند	الاعتمادية
A	0	–
B	2	A
C	3	A
D	1	A
E	4	B
F	5	C
G	8	C
H	3	D
I	1	E
J	4	F
K	5	G&H
L	3	I&J
M	0	L&K

٣-٢-٢-٢طريقة برت PERT

Project Evaluation And Review Technique

طريقة برت تشبه تماما طريقة المسار الحرج CPM السابق شرحها وذلك في جميع خطوات التخطيط، إلا أنها تختلف عنها فقط في حساب أزمنة الأنشطة حيث في طريقة المسار الحرج CPM يتم تحديد زمن كل نشاط كما سبق شرحه ويظل هذا الزمن ثابتا أثناء حسابات الشبكة وبناءا عليه يتحدد زمن المشروع بينما في طريقة برت PERT يتم استخدام نظرية الاحتمالات في تحديد أزمنة الأنشطة وذلك من خلال الافتراضات التالية:

١ – أزمنة الأنشطة يتم تحديدها باستخدام قيم تقديرية مختلفة، وهذه القيم لها قيمة متوسطة (Te) ولها انحراف معياري (Qte) (Stander Deviation) ولها قيمة انحراف (V) Variance.

٢ – باستخدام القيم المتوسطة (Te) وقيم الانحراف (V) للأنشطة الحرجة يمكن حساب التوزيع الأكثر احتمالا لزمن المسار الحرج وهو الذي يعبر عن زمن المشروع كما سبق إيضاحه في طريقة المسار الحرج.

أما بالنسبة لخطوات التخطيط بطريقة برت فهي نفسها المتبعة في طريقة المسار الحرج. ولا داعي إعادة شرحها هنا . ولكن فقط سوف يتم التركيز علي نقطة الاختلاف الرئيسية وهي طريقة حساب زمن الأنشطة .

عند تقدير زمن الأنشطة في طريقة برت يتم فرض ثلاث قيم محتملة لزمن كل نشاط وهي:

- أقل زمن يمكن تنفيذ النشاط خلاله علي أساس أن جميع الأمور سوف تسير علي ما يرام (Optimistic Duration).
- أطول زمن يستغرقه تنفيذ البند وذلك بفرض وجود عقبات قد تعترض أعمال التنفيذ (Pessimistic Duration).

- الزمن الأكثر احتمالا لتنفيذ البند (Most Likely Or Average Duration).

ويمكن الحصول علي هذه الأزمنة باستخدام المعلومات المسجلة للمشروعات السابقة والاستعانة بأصحاب الخبرات من رجال التنفيذ ودراسة المخاطر المختلفة (Risk Identification And Analysis) التي قد يتعرض لها المشروع واحتمالية حدوث كل منها.

باستخدام القيم السابقة مع اختيار الرموز التالية لها : -

a = Optimistic Activity Duration

m = Most likely Activity Duration

b = Pessimistic Activity Duration

يمكن حساب القيمة المتوسطة لزمن كل نشاط (Te) والانحراف المعياري للأزمنة الثلاثة (Qte) وكذلك قيمة الانحراف (V) كما يلي:

$$Te = (a + 4m + b) / 6$$

$$Qte = (b-a) / 6$$

$$V = (Q_{te})^2$$

وبالتالي يمكن حساب الشبكة من البداية إلي النهاية والعكس كما سبق شرحه في طريقة المسار الحرج. ولكن باستخدام (Te) لكل نشاط يمكن الحصول علي زمن المشروع وتحديد المسار الحرج.

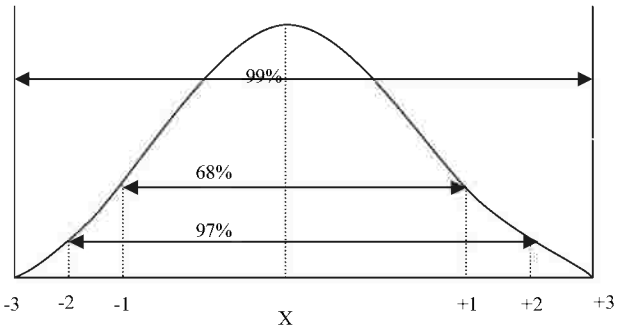
والخطوة التالية هي حساب الزمن المتوسط للمشروع وهو نفسه الزمن المتوسط للمسار الحرج (TE) حيث: TE = مجموع الأزمنة المتوسطة للأنشطة الحرجة .

وإيجاد قيمة الانحراف للمسار الحرج **V** وهو مجموع انحرافات الأنشطة الحرجة.

وبالتالي يمكن حساب الانحراف المعياري للمسار الحرج حيث:

$$\sqrt{V} = Qte$$

وبفرض أن منحني التوزيع الطبيعي لاحتمالات تحقيق زمن المشروع يأخذ الشكل التالي:



شكل (٣-٧٢) منحنى التوزيع الطبيعي لاحتمالات تحقيق زمن المشروع

يمكن حساب احتمالية انتهاء أي نشاط في موعد محدد (Ts) باستخدام قيمة الانحراف المعياري عن المتوسط (Z) حيث: $Z = (Ts-Te)/ Qte$.

وحيث :

Z= Number of stander deviations from mean

Te = Critical path mean

Qte = Critical path stander deviation

Ts = Any date you choose

والجدول التالي يعطي الاحتمالية المناظرة لقيم Z المختلفة:

Z	Probability of completing by Ts	Z	Probability of completing by Ts
-3.0	0.00	+0.1	0.54
-2.5	0.01	+0. 2	0.58
-2	+0.02	+0. 3	0.62
-1.5	0.07	+0. 4	0.66
-1.4	0.08	+0.5	0.69
-1.3	0.10	+0.6	0.73
-1.2	0.12	+0.7	0.76
-1.1	0.14	+0.8	0.79
-1.0	0.16	+0.9	0.82
-0.9	0.18	+1.0	0.84
-0.8	0.21	+1.1	0.86
-0.7	0.24	+1.2	0.88
-0.6	0.27	+1.3	0.90
-0.5	0.31	+1.4	0.92
-0.4	0.34	+1.5	0.93
-0.3	0.38	+2.0	0.98
-0.2	0.42	+2.5	0.99
-0.1	0.46	+3.0	1.00
0.0	0.50		

فمثلا إذا فرضنا أن Te لأحد المشروعات كانت 40 أسبوعا وقيمة الانحراف المعياري لنفس المشروع Qte تساوي 2

فتصبح احتمالية أن ينتهي المشروع في زمن 40 أسبوعا هي:

$$Z= (40 - 40) / 2 = 0$$

ومن الجدول نجد أن الاحتمالية عند Z=0 هي 50%.

أما احتمالية أن ينتهي المشروع في زمن 38 أسبوعا يمكن الحصول عليها بحساب قيمة Z أولا كما يلي:

$$Z = (38 - 40) / 2 = -1$$

ومن الجدول وباستخدام قيمة Z =-1 يمكن إيجاد الاحتمالية وهي: 16%

وهكذا لأي قيمة Ts يمكن إيجاد النسبة المئوية لاحتمالية تحقيق هذه القيمة (Ts). وذلك بعد إيجاد قيمة Z ومن ثم استخدام الجداول لإيجاد النسبة المئوية لاحتمالية تحقيق هذا الزمن أو قبله.

مع ملاحظة هامة وهي أن كل ما سبق يشترط أن التوزيع الاحتمالي للمسار الحرج يتبع الشكل السابق (٣-٧٢). ولكن أي اختلاف للتوزيع عن الشكل السابق سوف يؤدي إلي نتائج مخالفة. وأيضا يلاحظ أن طريقة المسار الحرج هي نفسها طريقة PERT مع اعتبار أن الانحراف المعياري لجميع الأنشطة Qte يساوي صفرا. وبمعني آخر أن الأزمنة المحسوبة لجميع الأنشطة ثابتة ولا تحتمل التغيير.

أمثـــلة محلولة :

مثال (١)

الجدول التالي يبين عدد من أنشطة أحد مشروعات التشييد وعلاقة كل منهم بالأنشطة الأخرى وقيم كل من a&m&b. والمطلوب تخطيط المشروع بطريقة برت PERT.

Activity	a	M	b	Dependencies
A	6	8	10	-
B	1	7	12	A
C	5	6	7	A
D	5	5	12	B
E	2	4	8	B
F	1	5	7	D
G	7	7	6	F

الحـــــل

الخطوة الأولي : حساب Te لجميع الأنشطة . حيث Te = (a+4m+b) /6

Activity	a	m	b	Te
A	6	8	10	8
B	1	7	12	6.8
C	5	6	7	6.0
D	5	5	12	6.2
E	2	4	8	4.3
F	1	5	7	4.7
G	7	7	6	7

الخطوة الثانية:

حساب V & Qte للأنشطة الحرجة . حيث Qte = (b-a)/6 & $V= (Q_{te})^2$

كما في الجدول التالي:

Activity	Te	Qte	V
A	8	0.66	0.44
B	1.8	1.83	3.35
D	6.2	1.2	1.44
F	4.7	1.0	1.0
G	6.8	0.00	0.00
	33		6.23

الخطوة الثالثة :

حساب Qte = الجزر التربيعي لمجموع قيم V = الجزر التربيعي للقيمة 2.5=6.23

الخطوة الرابعة:

إيجاد احتمالية إنهاء المشروع في زمن 33 أسبوعا

Z33 = (Ts – Te) / Qte = (33 – 33)/2.5 = 0.0

من الجدول السابق نجد أن الاحتمالية = 50% P33.

أما لإيجاد احتمالية انتهاء المشروع قبل زمن 38 أسبوعا فنتبع الخطوات التالية:

Z38 = (38 –33) /2.5 = 2

P38 = 0.98 (احتمالية إنهاء المشروع قبل 38 أسبوعا).

ما هي احتمالية إنهاء المشروع مع نهاية الأسبوع 36؟ (للإجابة عن هذا السؤال نتبع الخطوات التالية):

$Z36 = (36-33) / 2.5 = 1.2$

من الجدول نجد قيمة $P = 0.88$

أوجد الزمن الذي ينتهي فيه المشروع باحتمالية علي الأقل 93%.

من الجدول نجد أن قيمة Z عند 0.93 هي تساوى أو أكبر من 1.5

أي أن $1.5 =(Ts-33) /2.5$

$(Ts – 33) = 1.5 \times 2.5 = 3.75$

$Ts = 3.75 + 33 = 36.75$ Weeks

معني ذلك أن المشروع قد ينتهي مع نهاية الأسبوع ٣٧ باحتمالية علي الأقل مقدارها ٩٣% .

مثال (٢)

المطلوب استكمال الجدول التالي الذي يمثل الأنشطة الحرجة لأحد مشروعات التشييد وحساب كل من Te & Qte.

ومن ثم أجب علي الأسئلة التالية:

١ – ما هي النسبة المئوية لاحتمالية انتهاء المشروع بنهاية الأسبوع السادس والعشرون؟

٢ – ما هي النسبة المئوية لاحتمالية انتهاء المشروع بنهاية الأسبوع الرابع والعشرون؟

٣ – أوجد زمن انتهاء المشروع باحتمالية ٩٣%.

البنود الحرجة	a	m	b	Te	Qte	V
A	6	6	6			
D	2	5	8			
E	2	3	7			
F	6	8	10			
I	2	2	5			

الحل في الجدول التالي

البنود الحرجة	A	m	b	Te	Qte	V
A	6	6	6	6.0	0.0	0.0
D	2	5	8	5.0	1.0	1.0
E	2	3	7	3.5	0.83	0.11
F	1	8	10	8.0	0.67	0.45
I	2	2	5	2.5	0.5	0.25

$$Te = 25$$

$$Qte = 1.55$$

$$Z26 = (26-25)/1.55 = 0.65$$

احتمالية إنهاء المشروع بنهاية الأسبوع السادس والعشرون من الجدول وعند قيمة $Z = 0.65$ هي 75%.

$$Z24 = (24-25)/1.55 = -0.65$$

احتمالية إنهاء المشروع بنهاية الأسبوع الرابع والعشرون ومن الجدول وعند قيمة $Z24 = -0.65$ هي ٢٦%

لإيجاد زمن المشروع باحتمالية ٩٣%.

من الجدول وعند احتمالية ٩٣% نجد أن $Z = 1.5$

$$(X-25) / 1.55 = 1.5 < Z$$

$$X = 27.325$$

وبالتالي يمكن القول أن زمن المشروع المحتمل بنسبة ٩٣% هو ٢٧ أسبوعا.

مثال (٣)

المطلوب استكمال الجدول التالي الذي يمثل الأنشطة الحرجة لأحد مشروعات التشييد وحساب كل من Te & Qte .

ومن ثم أجب على الأسئلة التالية:

١ – ما هي النسبة المئوية لاحتمالية انتهاء المشروع بنهاية الأسبوع السابع عشر؟

٢ – ما هي النسبة المئوية لاحتمالية انتهاء المشروع بنهاية الأسبوع الخامس عشر؟

٣ – أوجد زمن انتهاء المشروع باحتمالية 38%.

البنود الحرجة	a	M	b	Te	Qte	V
A	1	3	5			
C	1	1	4			
E	2	4	6			
F	2	3	7			
H	3	3	9			

الحل في الجدول التالي

البنود الحرجة	a	M	b	Te	Qte	V
A	1	3	5	3.0	0.17	0.45
C	1	1	4	1.5	0.50	0.25
E	2	4	6	4.0	0.17	0.45
F	2	3	7	3.5	0.83	0.69
H	3	3	9	4.0	1.0	1.0

Te = 16

Qte = 1.69

Z17 = (17-16)/1.69 = 0.59

احتمالية إنهاء المشروع بعد الأسبوع السابع عشر وعند Z=0.59 هي 73%

Z15 = (15-16)/1.69= -0.59

احتمالية إنهاء المشروع بعد الأسبوع الخامس عشر وعند Z= -0.59 هي 27%

لإيجاد زمن المشروع باحتمالية ٨٣% (Z =X-16)/1.69 > X =17.6 0.59

أسئلة للتدريب

السؤال الأول:

المطلوب استكمال الجدول التالي الذي يمثل الأنشطة الحرجة لأحد مشروعات التشييد وحساب كل من Te & Qte .

ومن ثم أجب علي الأسئلة التالية:

١- ما هي النسبة المئوية لاحتمالية انتهاء المشروع بنهاية الأسبوع الثالث والثلاثون؟

٢ - ما هي النسبة المئوية لاحتمالية انتهاء المشروع بنهاية الأسبوع الثاني والثلاثون؟

٣ - أوجد زمن انتهاء المشروع باحتمالية 80 % .

البنود الحرجة	a	M	B	Te	Qte	V
B	6	8	10			
C	7	7	7			
G	5	5	8			
H	3	6	9			
J	3	6	6			

السؤال الثاني:

المطلوب استكمال الجدول التالي الذي يمثل الأنشطة الحرجة لأحد مشروعات التشييد وحساب كل من Te & Qte.

ومن ثم أجب علي الأسئلة التالية:

١- ما هي النسبة المئوية لاحتمالية انتهاء المشروع بنهاية الأسبوع الثامن والخمسون؟

٢ – ما هي النسبة المئوية لاحتمالية انتهاء المشروع بنهاية الأسبوع الخامس والخمسون؟

٣ – أوجد زمن انتهاء المشروع باحتمالية 98%.

البنود الحرجة	a	M	B	Te	Qte	V
A	5	6	7			
B	3	5	7			
E	8	9	13			
F	1	4	4			
I	6	6	6			
J	5	7	9			
M	9	10	14			
N	8	8	11			

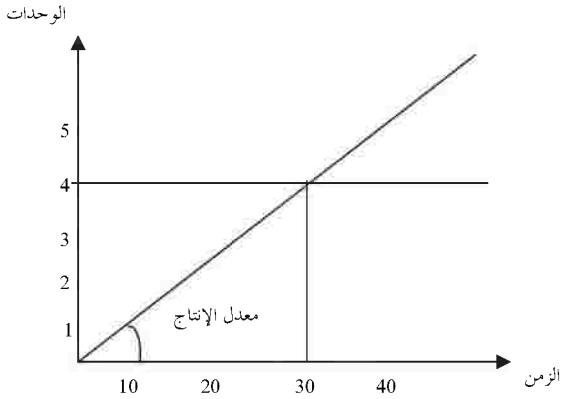
٣-٢-٣ نظرية خط الاتزان Line Of Balance L.O.B. Technique

تم استخدام هذا الأسلوب لتخطيط مشروعات التشييد ذات الطبيعة التكرارية (أو المشروعات الطولية مثل مشروعات الطرق والأنفاق والسحارات). ومثل مشروعات المدن السكنية التي تتكون من مجموعة متماثلة من المباني وكان بداية ذلك عام ١٩٤٢م.

ومن المعلوم أن المشروعات ذات الطبيعة التكرارية تتسم بصفة تكرار الأنشطة نفسها عدد كبير من المرات مما يكسبها صفة تحسن الإنتاج كلما كان هناك اتزان لمعدل إنتاج البنود المختلفة والتي تتتابع من بداية المشروع حتى نهايته.

وتستخدم أيضا طريقة خط الاتزان في المراحل الأولي من المشروعات كوسيلة ذات كفاءة عالية في عمل برنامج توريد المواد واستخدامها في مواقع التشييد هذا بالإضافة إلي كفاءتها في ضبط عدد أطقم العمل التي تعطي أحسن إنتاجية وذلك بتقليل الزمن الفاقد بسبب تغير معدلات الأداء .

وباختصار شديد فإن هذه الطريقة تمثل بمحورين كما هو في شكل (٣-٧٣).



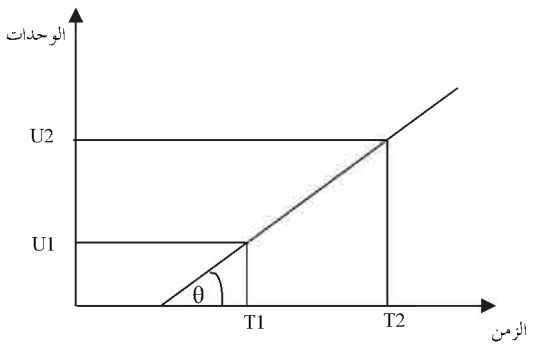
شكل (٣-٧٣) تمثيل الإنتاج في طريقة خط الاتزان

المحور الرأسي يمثل عدد الوحدات التي تم الانتهاء منها والمحور الأفقي يمثل الزمن. وبين المحورين يمكن تمثيل معدل إنتاج الأطقم أو الانتهاء من عمل البنود المختلفة وبالتالي فإن ميل هذه العلاقة يمثل الإنتاجية حيث إن :

ميل هذه العلاقة = عدد الوحدات المنتجة ÷ الزمن اللازم للانتهاء منها

فمثلا: في الشكل السابق فإن معدل الإنتاج = ٤ ÷ ٣٠ = ٠,١٣ وحدة/أسبوع

ويمكن تبسيط هذه الفكرة كما في شكل (٣-٧٤).



شكل (٣ - ٧٤) يمثل الإنتاجية

عند الزمن T1 مطلوب الانتهاء من عدد U1 من الوحدات.

عند الزمن T2 مطلوب الانتهاء من عدد U2 من الوحدات.

θ = زاوية ميل خط الاتزان علي المحور الأفقي

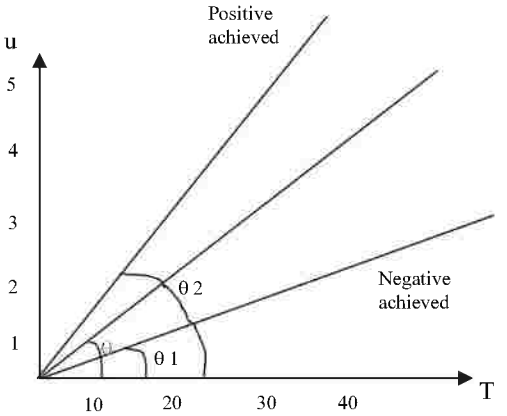
$$\text{Tan}\,\theta = (U2-U1)/(T2-T1)$$

$$U2 = U1 + (T2-T1)\text{Tan}\,\theta$$

فإذا علم قيمة U1 وزمن T1 والمعدل المطلوب للانتهاء من الوحدات فيمكن حساب عدد الوحدات المطلوب إنجازها عند زمن T2 أو تحديد الزمن الذي عنده سيتم الانتهاء من عدد U2 من الوحدات.

$$T2 = T1 + (U2-U1)/\tan\theta$$

وبالتالي: أي اختلاف بين ما تم إنجازه فعلا عند أي قيمة زمنية وبين ما تم التخطيط لإنجازه عند هذه القيمة الزمنية يعني انحراف عن المخطط، وقد يكون بالنقص أي أن($\theta 1 < \theta$) أو بالزيادة أن ($\theta < \theta 2$) كما في شكل (٣-٧٥).

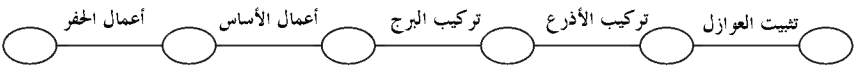


شكل (٣-٧٥)

وبالتالي يلاحظ أن طريقة خط الاتزان تستخدم بكفاءة عالية لتحديد موقف الإنتاجية ومتابعتها في أي وقت من أوقات المشروع ومعرفة ما إذا كان يتماشى مع المخطط أو يسبقه أو يقل عن المعدل المطلوب. وبالتالي يسهل أخذ القرار اللازم لعلاج أي تأخير حدث في الإنتاج أو في توريد المواد إلي مواقع التشييد.ومن الاستخدامات الهامة لهذا النوع من التخطيط دراسة تأثير البدائل المختلفة علي عمليات الإنتاج وبالتالي علي الزمن النهائي للمشروع. وكذلك دراسة تأثير أي من الأحداث الغير متوقعة التي قد يتعرض لها المشروع أثناء مرحلة التنفيذ وتأثير هذا الحدث علي معدل الإنتاج وبالتالي علي الزمن الكلي للمشروع.

والمثال التالي يشرح الخطوات الواجب اتباعها لتشييد عدد خمسون برجا لنقل الطاقة الكهربائية بين المدن قد تم اقتباسه من بحث الدكتوراه الخاص بالمؤلف عام ١٩٨٧م.

١- تبدأ عملية التخطيط بتقسيم أحد الوحدات إلي مجموعة من البنود أو الأنـــشطة والتي غالبا ما تكون متتالية كما شكل (٣-٧٦).



شكل (٣-٧٦) تقسيم أحد وحدات المشروع إلى عدة أنشطة

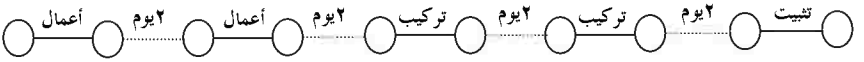
٢- تقدير الطاقة اللازمة لعمل كل بند أو نشاط وفي هذا المثال تم تقدير هذه الطاقة (بالرجل. ساعة) كما هو بالجدول التالي:

اسم النشاط	الطاقة اللازمة لإنجاز البند (رجل.ساعة)
أعمال الحفر	56
أعمال الأساسات	58
تركيب البرج	160
تركيب الأذرع أعلى البرج	100
تثبيت العوازل	25

بفرض أن عدد أيام العمل الأسبوعي هو ٥ أيام.

بفرض أن ساعات العمل اليومي هو ٨ ساعات.

٣ - افتراض ترك فترات سماح بين البنود وذلك لتغطية أي مخاطر أو عقبات قد يتعرض لها المشروع أثناء التنفيذ كما هو مبين في الشكل (٣-٧٧).



شكل (٣-٧٧) ويبين افتراض فترات السماح

٤ – حساب معدل الإنتاجية اللازم لتحقيق الزمن المتاح لإنجاز المشروع في موعده وهو في هذه الحالة تم افتراضه (٦أبراج/أسبوع).

٥ – يتم بناءا علي ما سبق استكمال جدول المشروع والذي يحتوي علي الصفوف التالية:

*-الصف الأول ويشمل علي تعريف الأنشطة.

*-الصف الثاني ويشمل علي الطاقة اللازمة لإنهاء كل بند كما سبق افتراضه.

*-الصف الثالث ويشمل علي العدد الأمثل المفترض من العمال في كل طقم عمل.

*-الصف الرابع ويشمل علي العدد النظري المفترض من العمال في كل طقم لتحقيق الإنتاجية المطلوبة وهي ٦ أعمدة في كل أسبوع ويمكن الحصول عليها من العلاقة التالية:

(عدد الأعمدة اللازم الانتهاء منها أسبوعيا × الطاقة اللازمة للعمود الواحد) ÷ عدد ساعات العمل الأسبوعي.

فمثلا أعمال الحفر (العدد النظري) = (٥٦×٦) ÷ (٨×٥) = ٨,٤ عاملا.

أعمال الأساسات (العدد النظري) = (٥٨×٦) ÷ (٨×٥) = ٨,٧ عاملا.

أعمال الأبراج (العدد النظري) = (١٦٠×٦) ÷ (٨×٥) = ٢٤ عاملا.

– الصف الخامس بناءا علي عدد العمال النظري اللازم لإنهاء البند والذي سبق حسابه في الصف الرابع يتم تقريب العدد كمضاعفات لعدد العمال الأمثل في كل طقم وذلك لتجنب كسور العمال.

فمثلا في البند الأول يتم تقريب الرقم ٨,٤ إلي العدد ٨ أي يقابل طقمين.

فمثلا في البند الثاني يتم تقريب الرقم ٨,٧ إلي العدد ٨ أي يقابل طقمين.

فمثلا في البند الثالث يتم تقريب الرقم ٢٤ إلي العدد ٢٤ أي يقابل ٣ أطقم.

فمثلا في البند الرابع يتم تقريب الرقم ١٥ إلي العدد ١٦ أي يقابل طقمين.

فمثلا في البند الخامس يتم تقريب الرقم ٤,٥ إلي العدد ٥ أي يقابل طقما واحدا.

* الصف السادس وبناءا علي تحديد عدد الأطقم في كل بند يتم حساب الإنتاجية الحقيقية من المعادلة التالية:

الإنتاجية الحقيقية = (حجم الطقم الحقيقي) ÷ (حجم الطقم النظري) × الإنتاجية

فمثلا في البند الأول: الإنتاجية الحقيقية = (٨)÷(٨,٤) ×٦ = ٥,٧ عموداً

البند الثاني الإنتاجية الحقيقية = (٨) ÷(٨,٧) ×٦ = ٥,٥٢ عموداً

البند الثالث الإنتاجية الحقيقية = (٢٤) ÷ (٢٤) × ٦ = ٦,٠ عموداً

البند الرابع الإنتاجية الحقيقية = (١٦) ÷(١٥) × ٦ = ٦,٤ عموداً

البند الخامس الإنتاجية الحقيقية = (٥)÷(٤,٥) × ٦ = ٦,٦٦ عموداً

* الصف السابع حساب زمن كل بند من المعادلة التالية:

زمن البند = (الطاقة اللازمة لإنهاء البند) ÷ (عدد عمال الطقم الواحد التي تعمل في البند)(عدد ساعات العمل اليومي).

فمثلا البند الأول: الزمن = ٥٦ ÷(٨×٤) =١,٧٥ يوما

البند الثاني: الزمن = ٥٨ ÷(٨×٤) =١,٨ يوما

البند الثالث: الزمن = ١٦٠ ÷(٨×٨) =٢,٥ يوما

البند الرابع: الزمن = ١٠٠ ÷(٨×٨) =١,٥٦ يوما

البند الخامس: الزمن = ٣٠ ÷(٥×٨) =٠,٧٥ يوما

* الصف الثامن حساب الفترة الزمنية باليوم لكل بند من بداية عمل العمـــود الأول وحتى بداية عمل آخر عمود كهرباء، وهو عبارة عن المسقط الأفقي لخط الاتزان.

الفترة الزمنية باليوم = (عدد الأعمدة–١)(عدد أيام العمل الأسبوعي) ÷ميل خط الاتزان أو الإنتاجية الحقيقية

فمثلا الفترة الزمنية للبند الأول = (٤٩ × ٥)÷٥,٧ = ٤٢,٩٨ يوما

الفترة الزمنية للبند الثاني = (٤٩ ×٥) ÷٥,٥٢ = ٤٤,٤ يوما

الفترة الزمنية للبند الثالث =(٤٩ ×٥) ÷٦ = ٤٠,٨٣ يوما

الفترة الزمنية للبند الرابع =(٤٩ × ٥) ÷٦,٤ = ٣٨,٣ يوما

الفترة الزمنية للبند الخامس=(٤٩ ×٥) ÷٦,٦٦ = ٣٦,٧٩ يوما

* الصف التاسع حساب بداية كل بند وهو عبارة عن بداية البند السابق لهذا البند + زمن البند السابق + فترة السماح بينهما.

فمثلا: بداية البند الأول = صفر

بداية البند الثاني = صفر + ١,٧٥ + ٢ = ٣,٧٥ يوما.

بداية البند الثالث = ٣,٧٥+١,٨+٣ = ٨,٥٥ يوما.

بداية البند الرابع = ٨,٥٥+٢,٥+٣ = ١٤,٠٥ يوما.

بداية البند الخامس = ١٤,٠٥ +١,٥٦ + ٢ = ١٧,٦١ يوما.

*- الصف العاشر حساب نهاية كل بند وهو عبارة عن العلاقة التالية:

نهاية كل بند= بداية البند + زمن الصف الثامن + زمن البند

فمثلا: نهاية البند الأول = صفر + ٤٢,٩٨ + ١,٧٥ = ٤٤,٧٣ يوماً.

نهاية البند الثاني = ٣,٧٥ + ٤٤,٤ + ١,٨ = ٤٩,٩٥ يوماً.

نهاية البند الثالث = ٨,٥٥ + ٤٠,٨٣ +٢,٥ = ٥١,٨٨ يوماً.

نهاية البند الرابع = ١٤,٠٥ + ٣٨,٣ +١,٥٦ = ٥٣,٩١ يوماً.

نهاية البند الخامس = ١٧,٦١ + ٣٦,٧٩ + ٠,٧٥ = ٥٥,١٥ يوماً.

وذلك موضح في الجدول التالي:

رقم الصف	اسم البند (النشاط)	أعمال الحفر	أعمال الأساسات	تركيب الأبراج	تركيب الأذرع	تثبيت العوازل
١	الوصف					
٢	الطاقة اللازمة لإنهاء البند	56	58	160	100	30
٣	العدد الأمثل للعمال	4	4	8	8	5
٤	العدد النظري للعمال	8.4	8.7	24	15	4.5
٥	العدد الحقيقي للعمال	8	8	24	16	5
٦	الإنتاجية الحقيقية	5.7	5.52	6	6.4	6.66
٧	زمن البند	1.75	1.8	2.5	1.56	0.75
٨	المسقط الأفقي لزمن البند	42.98	44.4	40.83	38.3	36.79
٩	بداية البند	0.0	3.75	8.55	14.05	17.61
١٠	نهاية البند	44.73	49.95	51.88	53.91	55.15

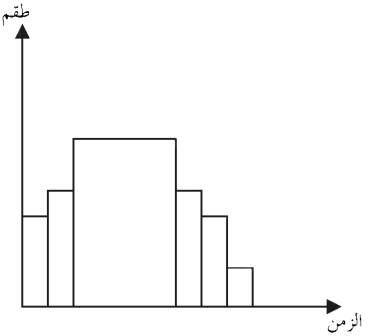
٣-٣: توزيع الموارد Resource Allocation

بمجرد الانتهاء من تخطيط المشروع بأي من الطرق السابق التعرض لها بالشرح والإيضاح (L.O.B – C.P.M – Bar Chart) لا ينسي المخطط أن هذا التخطيط قد تم بافتراض أن جميع الموارد متوافرة في جميع الأوقات وبالأعداد المطلوبة، وهذا الافتراض غير منطقي مما يستلزم عمل علاقة بين الزمن واحتياج المشروع من الموارد المختلفة في صورة توزيع تكراري (Histogram)، والتأكد من أن الحد الأعلى من احتياجات المشروع للموارد المختلفة لا يتعدى أقصي عدد من الموارد المتاحة بالموقع في كل الأزمنة.

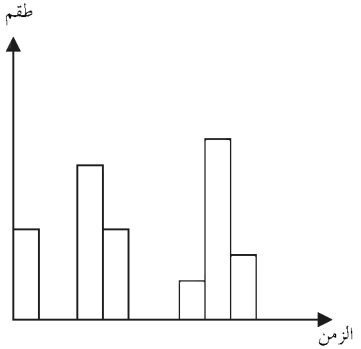
فإذا وجد أن هذا الشرط متحقق يبدأ المخطط في عمل انسيابية في استخدام الموارد (Resource Smoothing) مما يرفع من كفاءة استخدام الموارد وخاصة الموارد مرتفعة التكلفة (Expensive Resources) أو الموارد النادرة (Scarce Resources)، مع ملاحظة أن كثيرا من الموارد قد تعمل مع أكثر من نشاط في نفس الوقت وخاصة المعدات مما يستدعي عمل أولويات عند احتياج عدة أنشطة لنفس المعدة في نفس الوقت، وبالطبع تعطى الأولوية للأنشطة الحرجة أولا حتى لا يتسبب أي تأخير لها في تأخير المشروع كما سبق بيانه. ومما يجب عمله في هذه المرحلة أيضا هو عمل تسوية لاستخدام الموارد (Resource Leveling) وكل من تسوية الموارد وانسيابيتها يساعد كثيرا في رفع كفاءة استخدام الموارد وخاصة النادرة منها ولذلك سوف نتعرض لكل منها بشيء من التفصيل فيما يلي:

تسوية الموارد Resource Leveling

والمقصود بتسوية الموارد هو توزيع الموارد على الأنشطة بطريقة تتجنب وجود فجوات بين احتياجات المشروع للمورد. وأيضا بطريقة تجعل التوزيع التكراري لاستخدام المورد يزداد تدريجيا حتى يصل إلى أعلى قيمة له ثم يقل تدريجيا حتى يصل إلى الصفر أي يأخذ شكل الجرس (Shape Bill) كما هو في شكل (٣-٧٨) & (٣-٧٩).



شكل (٣-٧٨)



شكل (٣-٧٩)

فمثلا: يلاحظ من الرسم السابق الذي يوضح العلاقة بين زمن المشروع وعدد أطقم العمل المستخدمة أن التوزيع الأيمن(٣-٧٨) يحقق استخداما أفضل لأطقم العمل من التوزيع الأيسر (٣-٧٩)، وبالتالي إنتاجية أفضل. وبالمقارنة أيضا بين كل من التوزيع في الحالتين يمكن استخراج الملاحظات التالية:

١ – تغيب جزء من أطقم العمل عن الموقع بسبب عدم الحاجة إليهم خلال فترة زمنية مؤقتة. ثم عودتهم إلى الموقع مرة أخري (سواء نفس الأطقم أو غيرهم) يؤدي إلى كثير من العيوب مثل:

أ – قلة الإنتاجية بسبب استغراق جزء من الوقت حتى يتم التأقلم مع ظروف الموقع.

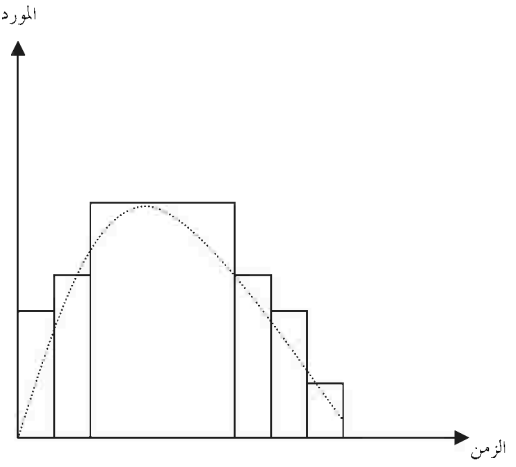
ب – استغراق جهد ووقت من مسئولي أطقم العمل حتى يتم ضبط الإنتاجية بسبب تغيير أطقم العمل بين فترة وأخرى.

ج- من المعلوم أن هناك علاقة بين إنتاجية أطقم العمل وعدد مرات إجراء نفس العمل وهو ما يطلق عليه منحنى التعلم (Learning Curve). ولذلك

ترك العمل والعودة إليه حتى لو كان نفس طقم العمل يؤثر على العمل بصورة سلبية.

٢- إذا تم ترك بعض أطقم العمل بالموقع دون الحاجة إليهم أو إذا كان الاحتياج الفعلي أكثر من أطقم العمل المتوفرة ففي كلتا الحالتين فإن كفاءة استخدام الموارد تتأثر بصورة سلبية.

٣- أفضل كفاءة لاستخدام الموارد يتم الحصول عليها بمحاولة بدأ العمل بعدد قليل من الأطقم ثم زيادة هذا العدد تدريجيا حتى يصل المشروع إلى أقصى عدد من الأطقم، ثم يقل العدد تدريجيا إلى أن ينتهي المشروع، وهذا ما يطلق عليه شكل الجرس في توزيع الموارد كما هو في الشكل التالي الذي يعطى أعلى كفاءة في استخدام الموارد وبالتالي أفضل إنتاجية.



شكل (٣-٨٠) الشكل الذي يعطي أعلى كفاءة

٤- من الملاحظات الهامة أيضا في هذا المجال أن التوزيع الجيد كما سبق شرحه في الخطوة السابقة يجنب المشروع ازدحام الموقع بأطقم العمل والمعدات قرب

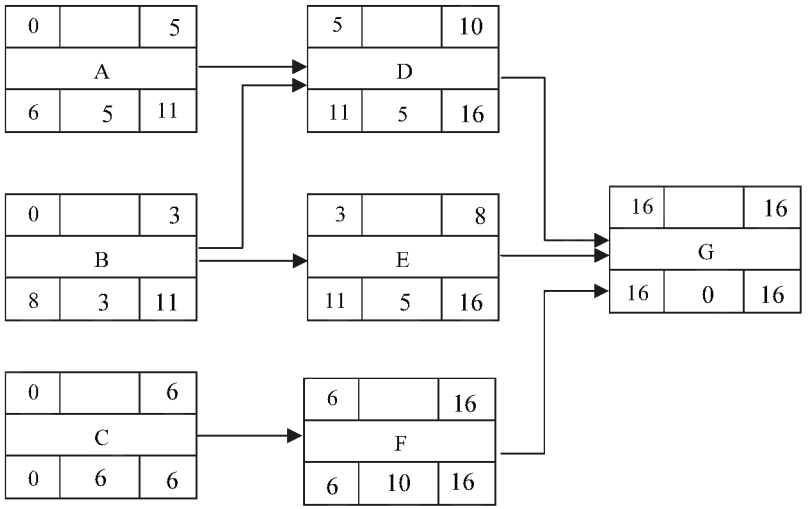
نهاية مرحلة التنفيذ وذلك بسبب ضيق المساحة المتاحة بعد الانتهاء من كثير من الأعمال.

ولإجراء عمليات تسوية الموارد (Resource Leveling) هناك طرق مختلفة ولكن أبسطها طريقة المحاولة والخطأ وذلك باستغلال فترات السماح للأنشطة الغير حرجة لتسوية الموارد مع المحافظة على زمن المشروع وفي نفس الوقت عدم الاحتياج لأطقم عمل زائدة عن الحد الأقصى المتوفر للموقع.

المثال التالي يوضح هذه الطريقة:

المطلوب توزيع العمالة التالية على الأنشطة المكونة للمشروع المبين طبقا للجدول المرفق على ألا يزيد عدد العمال في أي وقت من أوقات المشروع عن ١٣ عاملاً.

اسم البند	زمن البند	الاعتمادية
A	5	–
B	3	–
C	6	–
D	5	A&B
E	5	B
F	10	C
G	0.0	D&E&F



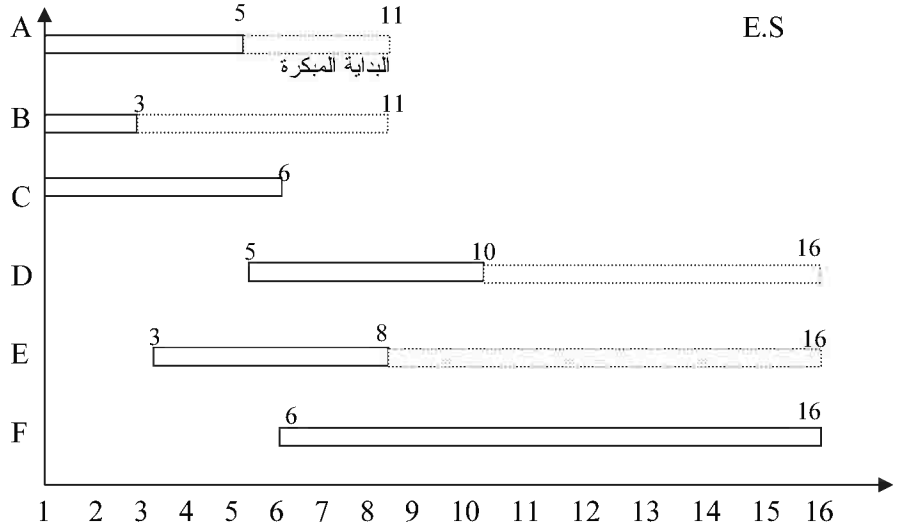
شكل (٣-٨١) يمثل البنود بطريقة المسار الحرج

ولتوزيع العمالة يتم اتباع الخطوات التالية:

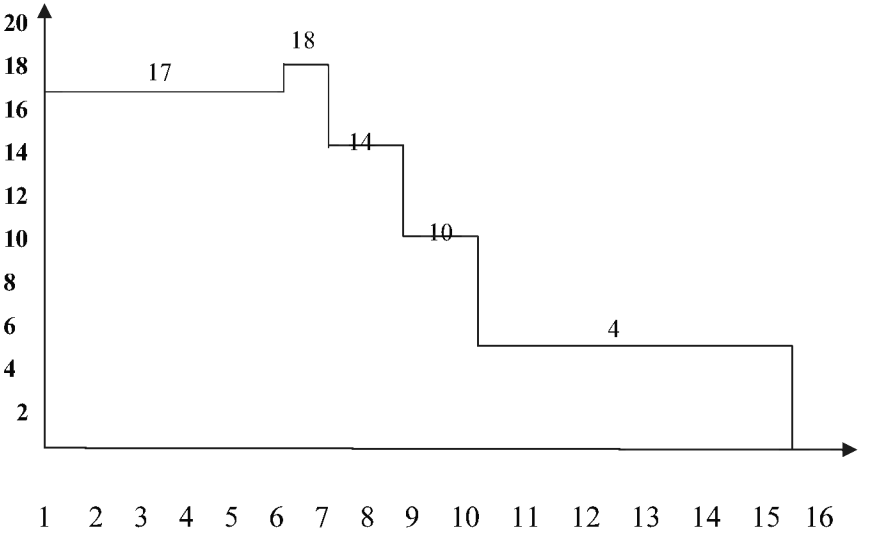
١ – نبدأ أولا بتوزيع المورد بإعطاء الأنشطة الحرجة (C & F) ما تحتاجه وذلك للمحافظة على زمن المشروع. ويمكن الاستعانة برسم الأنشطة على محوري Bar Chart مع إيضاح فترات السماح في شكل خطوط متقطعة ورسم التوزيع التكراري في كل من حالتي البداية المبكرة والبداية المتأخرة كما يلي:

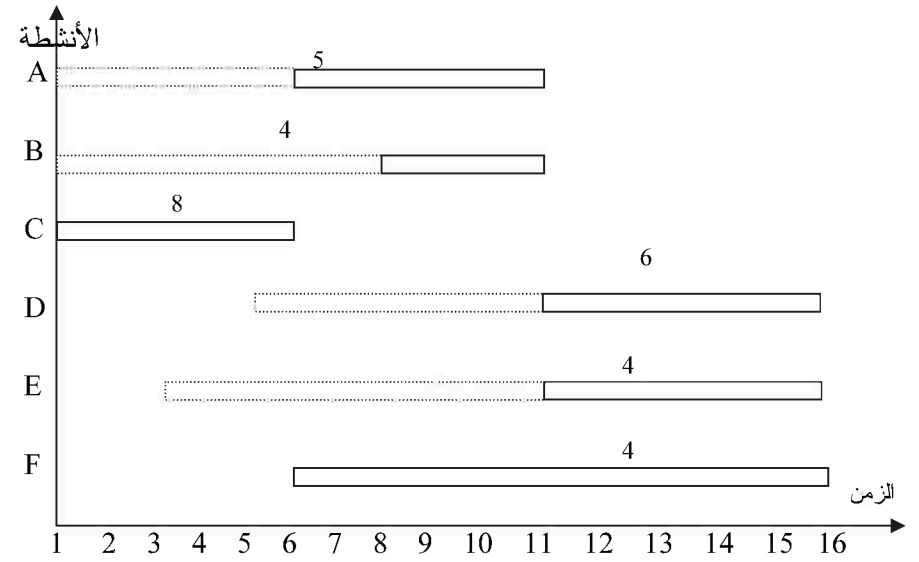
الحـــل

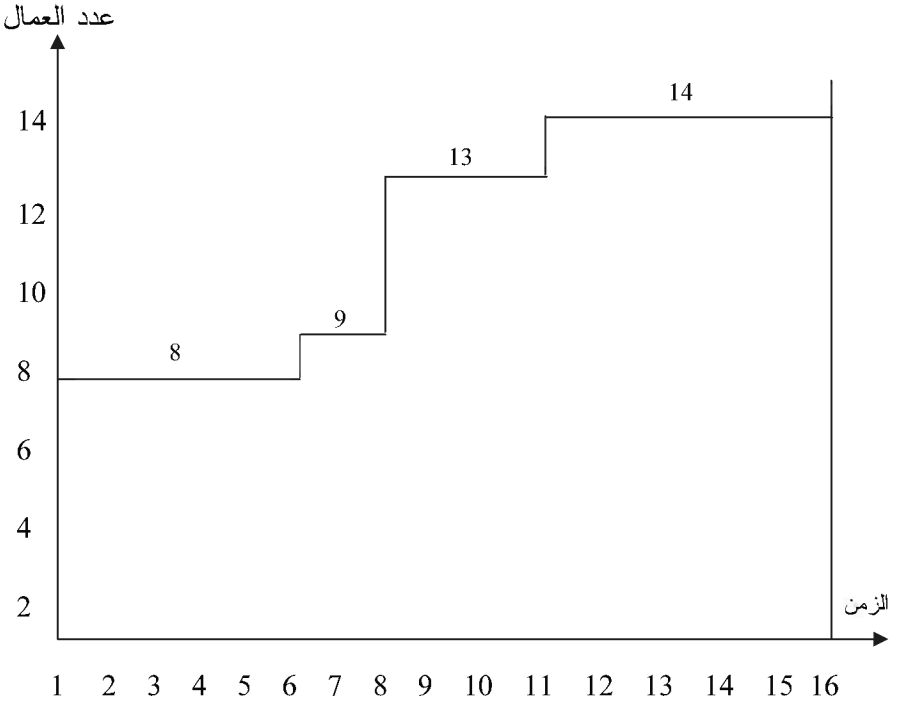
١ – يبدأ المخطط بتوزيع المورد محافظاً على زمن المـــشروع وذلـــك بإعطـــاء الأنشطة الحرجة (C & F) ما تحتاجه من هذا المورد أولا ويمكن الاســـتعانة برسم الأنشطة على محوري Bar Chart مع وضع فترات السمـــــاح فـــي شكل خطوط متقطعة كما يلي : ــ


A
B
C
D
E
F
E.S
البداية المبكرة
5
11
3
11
6
5
10
16
3
8
16
6
16
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16

عدد العمال


20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
17
18
14
10
4
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16


الأنشطة
A
B
C
D
E
F
5
4
8
6
4
4
الزمن
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16


عدد العمال
14
12
10
8
6
4
2
8
9
13
14
الزمن
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16

٢ – بعد توزيع المورد على الأنشطة طبقا لاحتياجات كل منها في كل من حـــالتي البداية والنهاية المبكرة والبداية والنهاية المتأخرة ينتج من التوزيع المبين: أن هناك فترات يزيد فيها احتياج المشروع عن الحد الأقصى وهو ١٣ عـــاملا، لذلك يبدأ المخطط بعمل تسوية للموارد باستخدام ما يطلق عليه جدول العمـــل (Work Sheet) كما يلي:

اسم البند	زمن البند	احتياج البند	أيام العمل															
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
A	5	5	←	—	—	—	—	—	—	—	—	—	→					
B	3	4	←	—	—	—	—	—	—	—	—	—	→					
C	6	8	8	8	8	8	8	8										
D	5	6						←	—	—	—	—	—	—	—	—	—	→
E	5	4				←	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	→
F	10	4							4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

جدول العمل مبين به احتياج الأنشطة الحرجة فقط

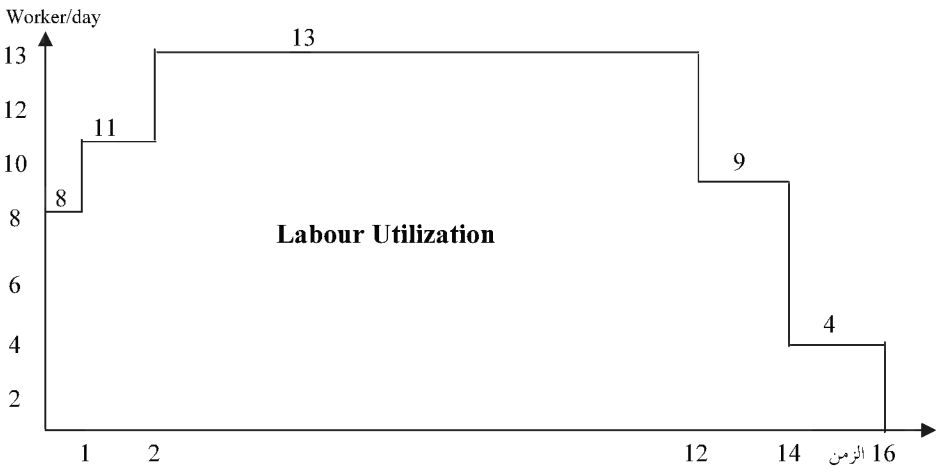
٣ – وبعد إعطاء الأنشطة الحرجة ما تحتاجه من المورد يبدأ المخطط في محاولة توزيع الموارد على بقية الأنشطة مع المحافظة على عدم زيادة الاحتياج عن الحد الأقصى (١٣ عاملا) وذلك باستغلال فترات الـــسماح للأنـــشطة الغيـــر حرجه كما هو مبين بالجدول التالي:

اسم البند	زمن البند	احتياج البند	أيام العمل															
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
A	5	5	5	5	5	5	5	←	—	—	—	—	→					
B	3	4	←	—	—	—	—	—	—	→	4	4	4					
C	6	8	8	8	8	8	8	8										
D	5	6						←	—	—	—	—	→	6	6	6	6	6
E	5	4							4	4	4	4	4	←	—	—	—	→
F	10	4							4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
عدد العاملين في الموقع			13	13	13	13	13	8	8	8	12	12	12	10	10	10	10	10

٤ – يلاحظ من التوزيع السابق أن المشروع قد بدأ بعدد ١٣ عاملا لفترة خمسة أيام ثم ثمانية عمال لفترة ثلاثة أيام. ثم اثني عشر عاملا لفترة ثلاثة أيام. وأنهي المشروع بعدد عشرة عمال ولفترة زمنية مقدارها خمسة أيام ولكن هناك توزيع أفضل لهذا المورد، وذلك بزيادة أزمنة الأنشطة الغير حرجة في حدود فترات السماح مع المحافظة على الطاقة الإجمالية لاحتياج كل نشاط، وكذلك المحافظة على عدم زيادة الحد الأقصى من العمال عن ١٣ عاملا وذلك كما يتضح من الجدول التالي والمبين في شكل (٣ ــ ٨٣).

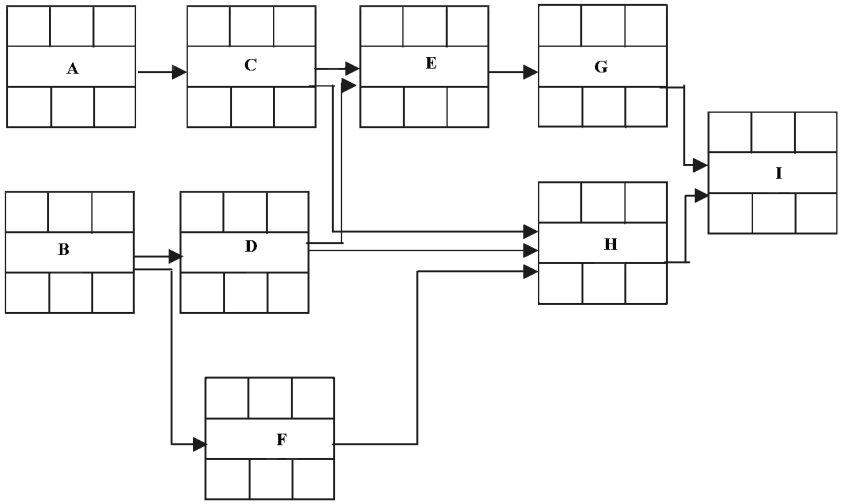
اسم النشاط	زمن النشاط	احتياج النشاط	أيام العمـــــل																الطاقة الكلية
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
A	5	5	←	3	3	3	3	3	5	5	→	→	→						25
B	3	4	←	←	2	2	2	2	4	→	→	→	→						12
C	6	8	8	8	8	8	8	8											48
5	5	6						←	←	←	5	5	5	5	5	5			30
E	5	4				←	←	←	←	4	4	4	4	4					20
F	10	4							4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	40
عدد العاملين في الموقع			8	11	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	9	9	4	4	175

شكل (٣-٨٣) يمثل التوزيع التكراري لاستخدام العمالة طوال فترة المشروع



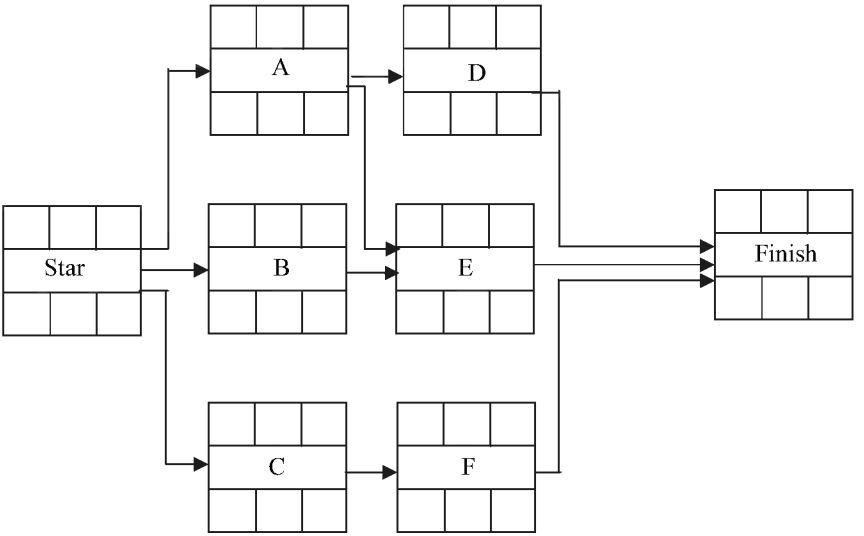
مسائل وتمارين

١- المطلوب في المشروع التالي توزيع أطقم العمل المبينة في الجدول المرفق على أنشطة المشروع بحيث لا يزيد الاحتياج في أي من أيام المشروع عن ١٠ أطقم.



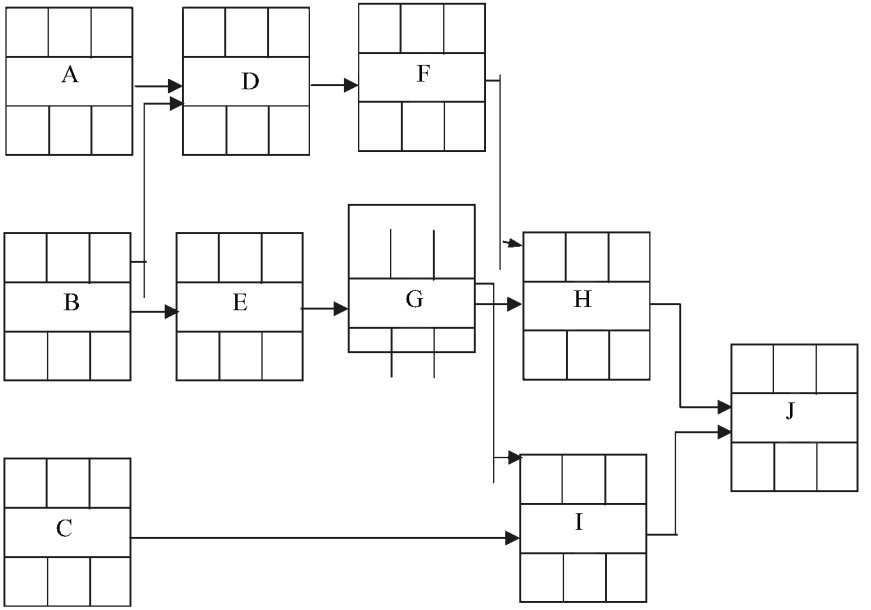
اسم النشاط	زمن النشاط	احتياج النشاط من الأطقم
A	3	2
B	4	2
C	6	5
D	7	4
E	4	3
F	10	3
G	2	2
H	6	3
I	2	3

٢ – المطلوب توزيع المورد المبين في جدول المشروع التالي على الأنشطة على ألا يزيد الاحتياج من هذا المورد في أي من أيام المشروع عن ٩ وحدات.



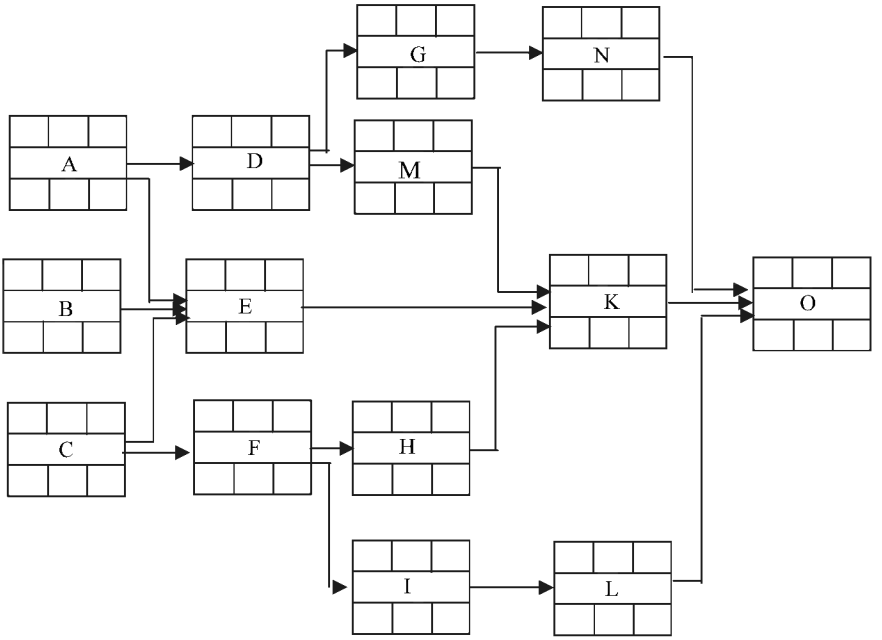
اسم النشاط	زمن النشاط	احتياج النشاط من المورد
A	3	5
B	6	4
C	4	4
D	3	3
E	6	4
F	2	6

٢- المطلوب توزيع المورد المبين في الجدول التالي وطبقا للعلاقة الشبكية بين الأنشطة على ألا يزيد احتياج المشروع في أي يوم من أيام المشروع عن ٨ وحدات.



اسم النشاط	زمن النشاط	احتياج النشاط من المورد
A	3	4
B	5	4
C	6	5
D	5	3
E	3	2
F	5	4
G	3	3
H	2	3
I	3	3
J	0	0

٤ – المطلوب توزيع المورد التالي على شبكة الأنشطة المبينة على ألا تزيد حاجة المشروع من هذا المورد عن ١٠ وحدات في أي يوم من أيام المشروع.



اسم النشاط	زمن النشاط	احتياج النشاط من المورد
A	4	3
B	2	5
C	4	4
D	5	4
E	4	1
F	2	4
G	3	3
H	2	3
I	3	4
K	4	3
L	3	6
M	4	4
N	2	4
O	2	0

٣-٤: استخدام الحاسبات في تخطيط وبرمجة مشروعات التشييد

مما لا شك فيه أن مجال صناعة التشييد لابد من أن يستفيد من التقدم السريع في علوم الحاسبات، ومن الإمكانات الهائلة التي توفرها تلك الآلة. وخاصة قدرتها العظيمة على حفظ المعلومات والبيانات والسرعة والدقة في معالجة وتجنب أي تداخل لتلك البيانات وهذا بالإضافة إلى الذاكرة الهائلة القادرة على تخزين واسترجاع المعلومات بسرعة فائقة مما أدي إلى ظهور العديد من برامج الحاسبات التي تخدم في مجال تخطيط وبرمجة مشروعات التشييد.

ومن أهم المميزات التي يوفرها استخدام الحاسبات في هذا المجال هو القدرة الهائلة على تناول عدد كبير جدا من الأنشطة قد يصل إلى عدة آلاف، هذا بالإضافة إلى تناول عدد كبير أيضا من الموارد في نفس الوقت. ومما سبق شرحه في المراحل السابقة. من هذا الباب يلاحظ أن قدرة الإنسان على ترتيب الأنشطة وتداخلها وتوزيع الموارد المتاحة على هذه الأنشطة، وحساب الأزمنة المبكرة والمتأخرة لكل منها وتقدير زمن المشروع وحساب التكلفة وربطها بالزمن كل هذا الكم الكبير من العمل يجعل قدرة الإنسان محدودة في هذا المجال بتناول عدد قليل من الأنشطة قد لا يتعدى الثلاثين نشاطًا وعدداً محدوداً أيضا من الموارد. فإذا أخذنا في الاعتبار التطور السريع في تقنية صناعة التشييد، بالإضافة إلى الزيادة الرهيبة في حجم المشروعات وخصوصية كل منها قادنا ذلك إلى الحكم بضرورة الاستعانة باستخدام الإمكانات الهائلة التي يوفرها الحاسب الآلي في هذا المجال .

إن تداخل زمن التنفيذ مع الموارد مع التكلفة في عمليات تخطيط مشروعات التشييد من الناحية العملية يؤدي إلى التعرض إلى كثير من المغيرات (Variables). فإذا أضفنا إلى ذلك تغيرات الأحوال والظروف الطبيعية أثناء مرحلة التنفيذ والتي يجب أن ينظر لها بعين الاعتبار أثناء مرحلة التخطيط مثل دراسة المخاطر (Risk Studies) كتغير الأحوال الجوية – عوائق أعمال الحفر – تغيب العمال أو عطل

بعض المعدات الهامة، أو نقص بعض منها بسبب أعمال الصيانة. فإن كل ذلك بلا أدني شك سوف يؤثر على كل من زمن وتكلفة المشروع.

يؤدي ذلك كله إلى ضرورة استخدام نظرية المحاكاة (Simulations) أو الافتراضات وذلك لبحث ودراسة توابع حدوث أي من المخاطر المتوقع حدوثها قبل أن تقع وتأثير كل منها على زمن وتكلفة وجودة المشروع. وهذا لا يتم بل من المستحيل أن يتم على الوجه الصحيح دون استخدام برامج الحاسبات التي تساعد على تناول كل هذه الافتراضات وتحليلها وتوفر للمخطط سرعة هائلة في دراسة البدائل المختلفة، وتأثير كل منها حتى لو حدث تداخل بينها.

ومع انتشار الحاسبات الصغيرة وانخفاض تكلفتها فإنه من المستحسن اقتناء هذه الأجهزة واستخدامها على أوسع نطاق في مجال صناعة التشييد وخاصة لربط المواقع بالإدارة العليا مما يسهل عمليات المتابعة، وسرعة اتخاذ القرار في الوقت المناسب وعلي أسس علمية جيدة.

وهناك الكثير من برامج الحاسبات التي تستخدم حاليا في تخطيط ومتابعة مشروعات التشييد ويوفر معظمها للمخطط الخدمات التالية:

١ – إعداد البرامج الزمنية مع إظهار الأنشطة الحرجة والمسار الحرج وفترات السماح لجميع الأنشطة ورسم الشبكة التخطيطية.

٢ – توزيع الموارد على الأنشطة.

٣ – عمل منحنيات التوزيع التكراري للموارد المختلفة وحساب كفاءة استخدام كل منها.

٤ – ضبط الموارد وانسيابيتها لرفع كفاءة الاستخدام بقدر المستطاع .

٥ – حساب تكلفة البنود المختلفة والتكلفة الكلية للمشروع ورسم منحنى التدفق المالي (Cash Flow).

٦ – عمل مراقبة للمصروفات (Cost Control).

٧ – رسم العلاقة بين زمن وتكلفة التنفيذ للبدائل المختلفة (Cost Time Relationship).

٨ – دراسة وتحليل المخاطر وتأثير كل منها على زمن وتكلفة المشروع (Risk Analysis).

وهناك من البرامج الحديثة من يقوم بالإضافة إلى ما سبق بعمل تحليل شبكي للمؤثرات الغير مرئية أو للمخاطر الغير متوقعة ورسم علاقة هذه المخاطر بكل من زمن وتكلفة المشروع. ويلاحظ أن هذه البرامج مازالت في مرحلة التطوير والتحسين والإضافة وذلك بغرض خدمة كل من المالك والمقاول والاستشاري وتقديم الأفكار المختلفة وتحسين الأداء وتسهيل وسرعة أخذ القرار .

والمثال التالي يشرح استخدام الحاسب الآلي في إعداد البرنامج الزمني وتحديد المسار الحرج لأحد المشاريع البسيطة:

هذا المثال عبارة عن مشروع مبني سكني بسيط يتكون من دور أرضي ودور أول. والمطلوب عمل برنامج زمني لتنفيذ هذا المشروع باستخدام أحد برامج الحاسب الآلي مع شرح جميع المراحل المستخدمة، وطريقة تجهيز وإدخال المعلومات وشرح كيفية الحصول على التقارير من البرنامج.

وقبل البدء في عملية إدخال البيانات للحاسب الآلي يجب على المخطط تجهيز جميع المعلومات المطلوبة بالطريقة المناسبة للبرنامج المستخدم وذلك لأن لكل برنامج ما يميزه من ناحية المعلومات المطلوبة وطرقة إدخال البيانات وعدد الأنشطة التي يمكن للبرنامج أن يتناولها وكذلك العدد الأقصى من الموارد التي يمكن للبرنامج استيعابها وكذلك هناك حدود لكل برنامج من ناحية التقارير المستخرجة منه.

وعلى المخطط أن يختار البرنامج الملائم للمشروع والذي يلبي احتياجاته (من ناحية طبيعة المشروع وحجمه وعدد أنشطته وعدد الموارد المستخدمة

والتقارير المطلوبة). وفي هذا المثال سوف يتم استخدام برنامج (Primavera Project Planner) لتخطيط هذا المشروع وإعطاء فكرة للقارئ عن كيفية إعداد البيانات وإدخال المعلومات والحصول على التقارير اللازمة وبصفة عامة فإن معظم البرامج المستخدمة في هذا المجال لن تختلف كثيرا عن بعضها أما الخبرة بكاملها في هذا العمل فإنها تحتاج دون شك إلى دراسة وتدريب وإحاطة شاملة بما يتوفر في هذا المجال من خدمات كبيرة أما في هذا المثال البسيط فسوف يكتفي بشرح الأمور التي تفي بالغرض.

أولا: تجهيز المعلومات والبيانات اللازمة

حيث إن هذا المشروع يتكون من مبني بسيط من دور أرضي ودور أول فقد تم تقسيم المشروع إلى تسعة وعشرون بندا وحساب الكميات لكل بند وافتراض معدلات التنفيذ وأطقم العمل اللازمة لإنجاز هذه المعدلات وذلك مبين في الجدول التالي:

رقم النشاط	اسم النشاط	الوحدة	الكمية	معدل التنفيذ	طقم العمل (فني/عامل)	ملاحظات
1	تجهيز الموقع	–	–	–	–	تقديري
2	أعمال الحفر	متر مكعب	100	2	1/2	
3	أعمال الأساسات وأعمدة الدور الأرضي					
	* خرسانة عادية	متر مكعب	10	4	2/2	
	* خرسانة مسلحة (أساسات–ميدات– أعمدة)	متر مكعب	86	25	5/6	

4	أعمال العزل والردم					
	* الردم	متر مكعب	60	1.4	2/2	
	* خرسانة عادية تحت الأرضية	متر مكعب	46	3.5	2/2	
	* طبقات عازلة	–	–	–	–	تقديري
5	أعمال المباني للدور الأرضي	متر مربع	800	1.4	4/6	
6	سقف الأرضي	متر مكعب	66	18	4/6	
7	نضج خرسانة الدور الأرضي	–	–	–	–	تقديري
8	أعمدة الدور الأول	متر مكعب	10	40	4/6	
9	مباني الدور الأول	متر مربع	800	1.4	4/6	
10	–	–	–	–	–	تقديري
11	سقف الدور الأول	متر مكعب	66	18	4/6	
12	نضج خرسانة الدور الأول	–	–	–	–	تقديري
13	مباني الدروة	متر مربع	200	1.6	3/4	
14	فك شدة الدور الأول	–	–	–	–	تقديري
15	تركيب إطارات الأبواب والنوافذ	–	–	–	–	"
16	تمديد مواسير الكهرباء	–	–	–	–	"
17	تمديد مواسير المياه والصرف	–	–	–	–	"

18	أعمال السطح					
	* خرسانة عادية للميول	متر مكعب	35	3.5	2/2	
	* طبقات عازلة	متر مربع	300	–	–	تقديري
	* بلاط السطح	متر مربع	300	0.8	2/4	
19	لياسة الدور الأرضي(داخلي)	متر مربع	800	1.5	3/6	
20	أعمال الواجهات					
	* لياسة خارجية	متر مربع	1000	2	6/3	
	* الرش الخارجي	–	–	–	–	تقديري
21	لياسة الدور الأول (داخلي)	متر مربع	800	1.5	3/6	
22	أعمال تبليط الدور الأرضي					
	*بلاط موزايكو للأرضيات	متر مربع	300	0.8	2/2	
	* سيراميك حمامات ومطابخ	متر مربع	40	2	1/1	
	* قيشاني لجدران الحمامات	متر مربع	130	2	2/2	
23	أعمال تبليط الدور الأول					
	* موزايكو للأرضيات	متر مربع	300	0.8	2/2	
	* سيراميك للحمامات والمطابخ	متر مربع	40	2	1/1	
	* قيشاني لجدران الحمامات	متر مربع	130	2	2/2	

24	تركيب الأبواب والنوافذ	–	–	–	–	تقديري
25	أعمال الكهرباء	–	–	–	–	"
26	أعمال الدهانات					
	دهانات الدور الأرضي	متر مربع	900	1	3/6	
	دهانات أبواب الدور الأرضي	متر مربع	100	2	3/4	
	دهانات الدور الأول	متر مربع	900	1	3/6	
	دهانات أبواب الدور الأول	متر مربع	100	2	3/4	
27	التركيبات الصحية	–	–	–	–	تقديري
28	التركيبات الكهربائية	–	–	–	–	"
29	نظافة الموقع	متر مكعب	66	18	4/6	

باستخدام المعلومات التي بالجدول السابق يمكن حساب مدة التنفيذ بالأيام لكل بند وذلك بقسمة الكمية على معدل التنفيذ في عدد الأطقم وذلك باستخدام العلاقة التالية:

الزمن اللازم لإنجاز العمل (بالأسبوع)= الكمية× معدل التنفيذ(رجل–ساعة ÷ عدد أيام العمل الأسبوعي×عدد ساعات العمل اليومي×عدد الأفراد)

= (ك × الزمن المقدر لإنجاز وحدة الكمية) ÷ (٦ × ٨ × عدد الأفراد).

= (ك × الزمن) ÷ (٤٨ × عدد الأفراد) .

= (ك × معدل التنفيذ) ÷ (٤٨ × عدد الأفراد).

الجدول التالي يبين معدل تنفيذ البنود بالأيام:

رقم البند	اسم البند	زمن البند بالأيام	ملاحظات
1	تجهيز الموقع	8	تقديرية
2	أعمال الحفر	8	
3	الأساسات وأعمدة الدور الأرضي	25	
4	أعمال العزل والردم	8	
5	المباني للدور الأرضي	14	
6	سقف الدور "	15	
7	نضج خرسانة الدور الأرضي	12	تقديرية
8	أعمدة الدور الأول	5	
9	مباني الدور الأول	14	
10	فك شدة الدور الأرضي	2	تقديرية
11	سقف الدور الأول	15	
12	نضج خرسانة الدور الأول	12	تقديرية
13	مباني الدروة	7	
14	فك شدة الدور الأول	2	تقديرية
15	تمديد مواسير الكهرباء	14	تقديرية
16	إطارات الأبواب والنوافذ	10	تقديرية
17	تمديد مواسير المياه والصرف	24	تقديرية
18	أعمال السطح	18	
19	لياسة الدور الأرضي (داخلي)	17	

20	أعمال الواجهات	5	
21	لياسة الدور الأول (داخلي)	17	
22	تبليط الدور الأرضي	20	
23	" " الأول	20	
24	تركيب الأبواب والنوافذ	16	تقديرية
25	أعمال التسليك الكهربائية	10	تقديرية
26	أعمال الدهانات	32	
27	التركيبات الصحية	16	تقديرية
28	التركيبات الكهربائية	12	تقديرية
29	نظافة الموقع	12	تقديرية

وبمجرد الانتهاء من حساب الزمن اللازم لإنجاز كل بند يبدأ المخطط في ترتيب بنود المشروع وعلاقة كل بند بما يسبقه من البنود وهو ما يسمي بالاعتمادية أو (Dependences)

وذلك كما هو مبين بالجدول التالي:

رقم البند	اسم البند	زمن البند بالأيام	البنود السابقة	التداخل	طبيعة العلاقة
1	تجهيز الموقع	8	-	-	بداية مع نهاية
2	أعمال الحفر	8	1	٢مع البند١	بداية مع نهاية
3	الأساسات وأعمدة الدور الأرضي	25	2		بداية مع نهاية
4	أعمال العزل والردم	8	3		بداية مع نهاية
5	المباني للدور الأرضي	14	4		بداية مع نهاية

6	سقف الدور "	15	5		بداية مع نهاية
7	نضج خرسانة الدور الأرضي	12	6		بداية مع نهاية
8	أعمدة الدور الأول	5	6	2مع البند٦	بداية مع نهاية
9	مباني الدور الأول	14	8		بداية مع نهاية
10	فك شدة الدور الأرضي	2	7		بداية مع نهاية
11	سقف الدور الأول	15	10&9		بداية مع نهاية
12	نضج خرسانة الدور الأول	12	11		بداية مع نهاية
13	مباني الدروة	7	12	6 مع البند١٢	بداية مع نهاية
14	فك شدة الدور الأول	2	12		بداية مع نهاية
15	تمديد مواسير الكهرباء	14	14		بداية مع نهاية
16	إطارات الأبواب والنوافذ	10	14		بداية مع نهاية
17	تمديد مواسير المياه والصرف	24	14		بداية مع نهاية
18	أعمال السطح	18	13		بداية مع نهاية
19	لياسة الدور الأرضي (داخلي)	17	&15 &16 17		بداية مع نهاية
20	أعمال الواجهات	5	&13 16		بداية مع نهاية
21	لياسة الدور الأول (داخلي)	17	19		بداية مع نهاية

22	تبليط الدور الأرضي	20	19		بداية مع نهاية
23	" " الأول	20	&21 22		بداية مع نهاية
24	تركيب الأبواب والنوافذ	16	23		بداية مع نهاية
25	أعمال التسليك الكهربائية	10	23		بداية مع نهاية
26	أعمال الدهانات	32	25		بداية مع نهاية
27	التركيبات الصحية	16	26		بداية مع نهاية
28	التركيبات الكهربائية	12	26		بداية مع نهاية
29	نظافة الموقع	12	&18 &20 &24 &27 28		بداية مع نهاية

وباستخدام الجدول السابق يمكن إدخال هذه المعلومات إلى البرنامج المستخدم واستخراج التقارير اللازمة عن المشروع، ويمكن اختصار خطوات إدخال هذه المعلومات فيما يلي:

١ – إدخال المعلومات الخاصة بالمشروع (Project Data) مثل:

أ – اسم المشروع واسم المالك.

ب – اسم الشركة (المقاول).

ج– الوحدة الزمنية المستخدمة (يوم ــ أسبوع ــ شهر).

د- زمن بداية ونهاية المشروع (اختياري).

هـ- عدد أيام العمل في الأسبوع.

و- تحديد العطلات السنوية الرسمية.

٢ - إدخال البيانات الخاصة بالأنشطة (Activity Data) مثل:

أ - إدخال اسم البند (Description)

ب- إدخال رقم كودي للبند.

ج- علاقة كل نشاط بالأنشطة السابقة أو اللاحقة له.

د - زمن كل نشاط.

هـ- احتياج كل نشاط من الموارد (عمالة ـ معدات ـ مواد ـ مقاول باطن).

٣ - إدخال البيانات الخاصة بالموارد (Resource Data) مثل:

أ - اسم المورد المطلوب.

ب- وحدة الأداء لهذا المورد (بالساعة-بالعدد-بالمسطح-بالمتر الكعب).

ج - تحديد نوع المورد (هل هو مورد حاكم أم لا) وهو المورد الذي يتحكم في زمن البند.

د - إدخال المعدل الطبيعي لتواجد الموارد بالموقع.

هـ- إدخال أقصى عدد من هذا المورد ممكن تواجده بالمشروع في نفس الوقت.

و - تكلفة المورد بالوحدة المستخدمة

المخرجات (Output)

يمكن استخراج الكثير من المعلومات وبسرعة فائقة جدا بعد مرحلة إدخال البيانات السابقة الخاصة بالمشروع . وهذه المخرجات تختلف من برنامج إلى آخر ولكن وبصفة عامة يمكن إجمال أهم المخرجات فيما يلي:

١- الجداول الزمنية لبنود المشروع ومحدد بها البدايات والنهايات المبكرة والمتأخرة لكل بند وفترة السماح الكلي (T.F) وفترة السماح الجزئي (F.F) لهذه البنود وكذلك البنود الحرجة.

٢ – الرسم الشبكي للمشروع (Network).

٣ – الجدول البياني للمشروع (Bar Chart).

٤ – العلاقة الزمنية للموارد المختلفة وبالتالي التوزيع التكراري لاستخدام كل مورد وكفاءة الاستخدام.

٥ – منحنى التدفق المالي (Cash Flow).

٦ – دراسة علاقة زمن التنفيذ بتكلفة المشروع (Time/Cost Relationship).

٧ – دراسة وتحليل المخاطر التي قد يتعرض لها المشروع وكيفية التعامل معها.

٨ – تقارير مراقبة المصروفات (Cost Control).

وستظل برامج الحاسب الآلي تتطور لتقدم لمخططي برامج مشروعات التشييد المعلومات اللازمة في أوقات أقل وبدقة أكبر.