الفصل الثالث
المسار الحرج

مقدمة:

تناولنا في الفصول السابقة مجموعة من النماذج الخطية، متمثلة في نموذج البرمجة الخطية وأسلوب النقل والتخصص، ونتناول في الفصل الحالي والفصل اللاحق نماذج مختلفة من مخططات شبكات الأعمال المستخدمة في جدولة الأعمال، والمتمثلة في المسار الحرج Critical Path Method (CPM)، ونماذج مراجعة وتقييم البرامج Programme Evalution and Review Technique (PERT)؛ حيث إنهما من الطرق الشائعة الاستخدام لتخطيط ومراقبة تنفيذ مشاريع وأعمال متوفر عنها معلومات سابقة، بما يتعلق بالتكاليف والزمن المطلوب لإنجاز العمليات التي يتضمنها هذا المشروع؛ بحيث يتمكن المسئولون عن التخطيط والتنفيذ من إنجاز هذه المشاريع والأعمال في أقصر وقت وبأقل التكاليف.

طريقة المسار الحرج:

تعتبر طريقة المسار الحرج امتدادًا للتطورات والتوسعات التي أجريت على أساليب سابقة، مثل مخططات كانت Gantt Chart؛ حيث تهدف طريقة المسار الحرج إلى مراقبة تنفيذ مشروع معين، يتكون من عدة مراحل أو عمليات (فعاليات)، وتحديد العمليات التي يستلزم وضعها تحت رقابة مستمرة؛ لأنها قد تسبب تعطيل إنجاز المشروع كله، وتحديد المسار الذي ينبغي تتبعه باستمرار؛ لأن أي تأخير يحدث للأنشطة التي تقع على هذا المسار، تؤدي إلى تعطيل المشروع بكامله.

ويتطلب استخدام هذه الطريقة ضرورة إعداد جدول زمني للأنشطة المختلفة التي يتكون منها المشروع؛ وذلك حتى يمكن إنجازه في أقل وقت ممكن وبالموارد المتاحة.

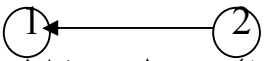
التعاريف الأساسية في طريقة المسار الحرج:

ـ الحدث (واقعة) Event:

هو إنجاز معين يحدث في نقطة زمن معينة، ولا يحتاج لوقت أو موارد بحد ذاته، ويمثل بدائرة (O).

ـ النشاط (فعالية) Activity:

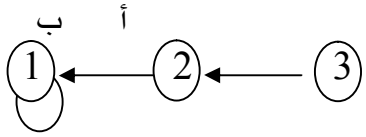
هو فعالية أو نشاط متمثل بعمل معين، والذي يتطلب توفر موارد ووقت لإنجازه، ويمثل بسهم (——►) فالشكل التالي:



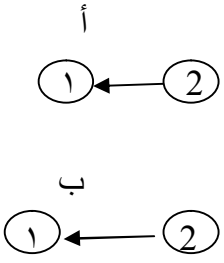
يمثل حدثين (٢، ١) مربوطين بنشاط، كل حدث يمثل نقطة معينة من الزمن، فالحدث رقم (١) يبين نقطة البدء، والحدث رقم (٢) يبين نقطة النهاية، والنشاط الممثل بالسهم يبين الوقت اللازم لإنجاز العمل الفعلي؛ فالحدث لا يمثل وقتًا، وإنما يشير إلى نقطة البداية أو النهاية للوقت المطلوب لإنجاز النشاط، وهكذا يستلزم معرفة أن بين كل حدثين يوجد نشاط واحد فقط، علمًا بأن طول السهم لا يعبر عن طول النشاط، وإنما الوقت اللازم لإنجاز ذلك النشاط يجب أن يكتب رقميًا فوق أو تحت السهم الذي يعبر عنه.

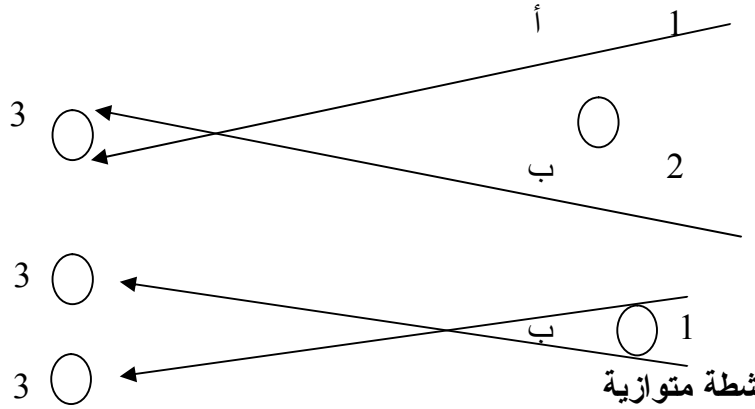
إن النشاط لا يبدأ إلا بعد وقوع الحدث الذي يسبقه أي أنه لا يمكن أن يبدأ إلا بعد إتمام كل الأنشطة التي تنتهي عند الحدث السابق له، وعمومًا يمكن أن يقال إن الأنشطة تنقسم إلى مجموعتين رئيسيتن:

١- **أنشطة متعاقبة:** وهي الأنشطة التي تحدث في ترتيب متعاقب؛ ففي الشكل التالي نجد أن النشاط (أ) يسبق النشاط (ب)، والنشاط (ب) لاحق للنشاط (أ)، وعلى هذا الأساس لا يجوز البدء بتنفيذ النشاط (ب) إلا بعد إنجاز النشاط (أ).



٢- **أنشطة متوازية:** هي الأنشطة التي يتم تنفيذها في الوقت نفسه، بحيث يتم تنفيذ نشاطين أو أكثر في وقت واحد، والشكل التالي يبين أن النشاطين (أ) و(ب) ينفذان بالوقت نفسه.

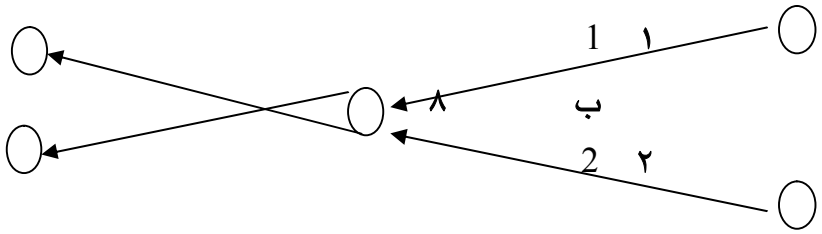




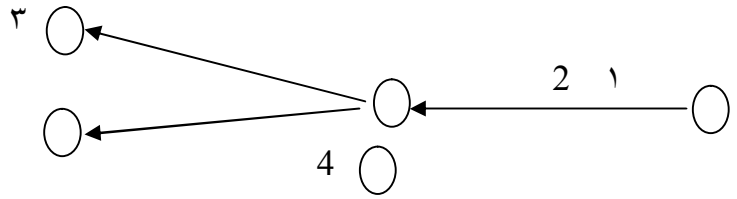
أنشطة متوازية

ممكن لشبكة العمل أن تحتوي على أشكال مختلفة من الأنشطة أعلاه؛ فالشكل أدناه يبين أن النشاطين (أ) و(ب) أنشطة متوازية وأن النشاطين (ج) و (د) لا يمكن أن يبدآ إلا بعد إنجاز النشاطين (أ) و(ب).

(أنشطة متوازية وأنشطة لاحقة)



والشكل أدناه يبين أن النشاطين (ج، هـ) لاحقين للنشاط (أ)؛ حيث لا يجوز البدء بهما إلا بعد إنجاز النشاط (أ).



أنشطة لاحقة لنشاط سابق

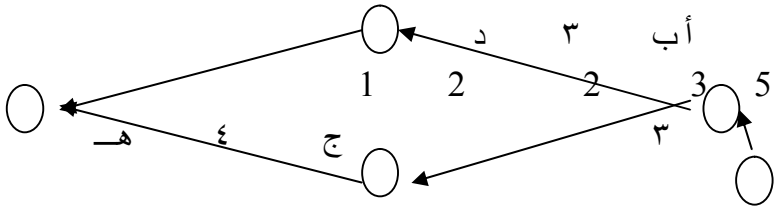
مثال: المعلومات التالية تخص بناء مشروع معين:

المسار	النشاط	الوقت اللازم لإنجاز النشاط
١ ـــــ ٢	أ	٣
٢ ـــــ ٣	ب	٢
٢ ـــــ ٤	ج	٥
٣ ـــــ ٥	د	٣
٤ ـــــ ٥	هـ	٢

المطلوب:

رسم شبكة العمل لبناء هذا المصنع حسب تعاقب العمليات المشار إليها أعلاه.

الحل:



نلاحظ أن الحدث رقم (١) يبين بداية النشاط (أ)، والحدث رقم (٢) يبين نهاية نشاط (أ)، وبالوقت نفسه يكون بداية نشاطين هما النشاط (ب) والنشاط (ج)، كما أن الحدث رقم (٣) يبين نهاية النشاط (ب) وبداية النشاط (د)، وكذلك الحال بالنسبة للحدث رقم (٤)؛ لذا نلاحظ - عند بداية الشبكة - أن الحدث رقم (١) يشير فقط إلى بداية نشاط (أ)، ولم يكن هذا الحدث نهاية لنشاط سابق، وعند نهاية الشبكة - كما نلاحظ في الحدث رقم (٥) - فإنه يشير إلى نهاية نشاط أو أنشطة فقط، ولكن لم يكن بداية لنشاط لاحق؛ وذلك لأن فعاليات هذه الشبكة قد انتهت.

كما يبدو واضحًا أن الوقت اللازم لإنجاز المشروع ككل، هو الوقت المحسوب في أطول مسار من البداية إلى النهاية؛ حيث نلاحظ من الشبكة أعلاه أن هناك مسارين هما:

الأول: (١ ـ ٢)، (٢ ـ ٣)، (٣ ـ ٥).

الثاني: (١ ـ ٢)، (٢ ـ ٤)، (٤ ـ ٥).

وإذا راجعنا شبكة هذا المصنع المشار إليها أعلاه، نلاحظ أن المسار الأول يستلزم (٨) شهور (٣+٢+٣)، والمسار الثاني يستلزم (١٠) شهور (٣+٥+٢)، ولكون المسار الثاني هو أطول مسار، فهو يسمى بالمسار الحرج لإنجاز المشروع، والأنشطة الواقعة عليه يطلق عليها الأنشطة الحرجة؛ حيث نلاحظ أن المسار الحرج هو المسار الذي يحتاج إلى الوقت الأطول لإتمام مجموعة الأنشطة الموجودة فيه، وهذا المسار هو الذي يحدد الوقت اللازم لإنجاز هذا المشروع.

وكما نلاحظ من شبكة بناء المصنع أعلاه، أن كلا من النشاطين (٢ ـ ٣) أو (٢ ـ ٤) لا يمكن البدء بأي منهما قبل انتهاء النشاط (١ ـ ٢)، كما لا يمكن البدء بالنشاط (٣ ـ ٥) إلا بعد إنجاز النشاط (٢ ـ ٣) وكذلك الحال، لا يمكن البدء بالنشاط (٤ ـ ٥) قبل إنجاز النشاط (٢ ـ ٤).

ومن ناحية أخرى يمكن تصنيف الأنشطة على أنها:

١. الأنشطة الحقيقية Real Activities

٢. الأنشطة الوهمية Dummy Activities

تعبر الأنشطة الحقيقية عن الأعمال التي يجب تنفيذها للانتقال من حدث (واقعة) Event معين على شبكة العمل الخاصة بتنفيذ مشروع معين، إلى حدث آخر، وعلى هذا الأساس، فإنها تمثل إنجازات معينة، تأخذ وقتًا في تنفيذها، وبالإضافة إلى ذلك فإنها تتطلب موارد أخرى لازمة لهذا التنفيذ، متمثلة بتوفير المواد والعمل والأجهزة المختلفة. كما يعبر عن الأنشطة الحقيقية في شبكة العمل بخطوط متصلة، تربط الأحداث (Event) للأنشطة المختلفة.

أما الأنشطة الوهمية فهي الأنشطة التي لا تستغرق وقتًا، ولا تستسلزم أي موارد، أي أن الوقت المستغرق من قبل النشاط الوهمي يعادل صفرًا، وعادة يعبر عن النشاط الوهمي في صورة سهم ذات خطوط متقطعة (على شكل خط متقطع)، ويعبر عنه بهذا الشكل من أجل تمييزه عن الأنشطة الحقيقية، وتستخدم الأنشطة الوهمية بشكل عام في ثلاث حالات رئيسة هي:

١. يستخدم النشاط الوهمي للتعبير عن علاقات متقطعة تتابعية بين الأنشطة المختلفة المكونة للشبكة. ولنأخذ مثال عملية تغير الإطار المطلوب في السيارة؛ حيث تتكون من الأنشطة التالية:

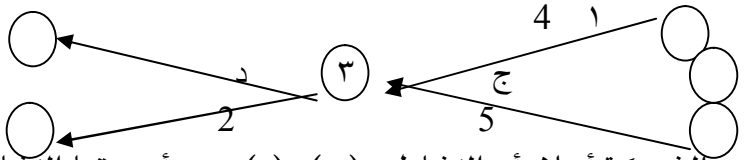
النشاط (أ): نزع الإطار.

النشاط (ب) تصليح الإطار المعطوب.

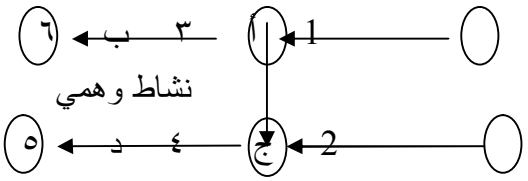
النشاط (ج) إحضار إطار احتياطي.

النشاط (د) تركيب الإطار الاحتياطي

والشبكة التالية تعبر عن عملية تغيير الإطار أعلاه:

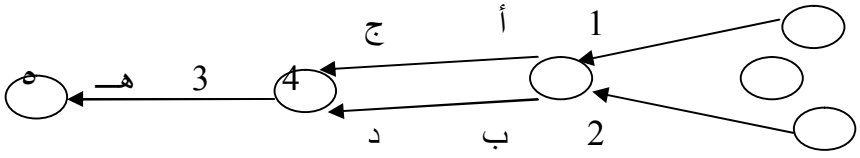


ونلاحظ من الشبكة أعلاه أن النشاطين (ب)، (د) يجب أن يعقبا النشاط (أ)، كما أن النشاط (د) لاحق للنشاط (ج)، وهذا أيضًا صحيح، وهناك خطأ في الشبكة أعلاه، تجسد بأن النشاط (ب) يتبع النشاط (ج)، كما أن النشاط (ب) لا يمكن أن يبدأ إلا إذا تم النشاطان (أ)، (ج) معًا؛ ومن أجل معالجة الموقف أعلاه، فإننا نستطيع إعادة رسم الشبكة، مستخدمين نشاطًا وهميًا وبالشكل التالي:

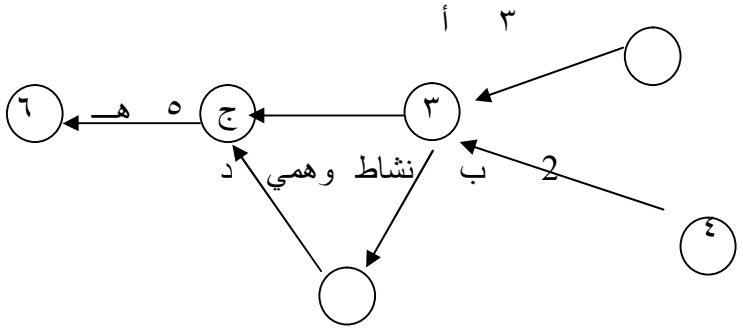


واضح من الشكل أعلاه أن النشاط (د) لا يمكن البدء به إلا بعد إكمال النشاطين (أ) و(ج)، كما أن النشاط (ب) يمكن البدء به بعد إنجاز النشاط (أ)، ولكنه لا يعتمد على النشاط (ج).

٢. يستخدم النشاط الوهمي من أجل فك الارتباط بين حدثين بأكثر من نشاط، في حالة وجود نشاطين موازيين، يحدثان في الوقت نفسه، ولكن يجب أن لا يرتبط النشاطين نفسيهما بحدثين كما هو في الشكل التالي:

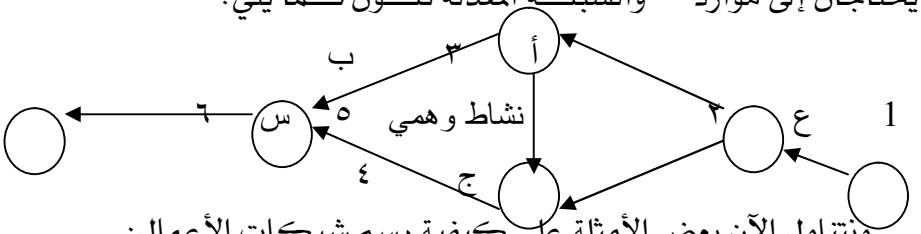


حيث نلاحظ من الشكل أعلاه بأن النشاطين (ج) و(د) يمكن وصفهما بأنهما النشاط (٣ ـ ٤). ومن أجل تجنب هذا الخطأ، علينا استخدام النشاط الوهمي؛ من أجل فك ارتباط هذين النشاطين، وبالشكل التالي:



ومن خلال إضافة النشاط الوهمي، اتضح من الشبكة أعلاه، بأن كلا من النشاطين (ج)، (د) أخذا مسارين مستقلين عن بعضهما البعض، فنلاحظ أن النشاط (ج) مساره (٣ ـ ٥)، والنشاط (د) مساره (٤ ـ ٥).

٣. استخدام الأنشطة الوهمية من أجل إضفاء نوع من الوضوح والملاءمة على شبكة العمل؛ حيث إن شبكة العمل يجب أن تكون لها نقطة بداية واحدة ونقطة نهاية واحدة، والآن نعيد رسم شبكة العمل الخاصة بتبديل الإطار المعطوب في السيارة المشار إليه سابقًا، ويتم من خلال إضافة نشاطين، يقومان مقام الأنشطة الوهمية، وهما النشاط (ع) ومساره (١ ـ ٢)، والنشاط (س) ومساره (٥ ـ ٦) - علمًا بأن هذين النشاطين لا يستهلكان وقتًا ولا يحتاجان إلى موارد - والشبكة المعدلة تكون كما يلي:



ونتناول الآن بعض الأمثلة على كيفية رسم شبكات الأعمال:

مثال:

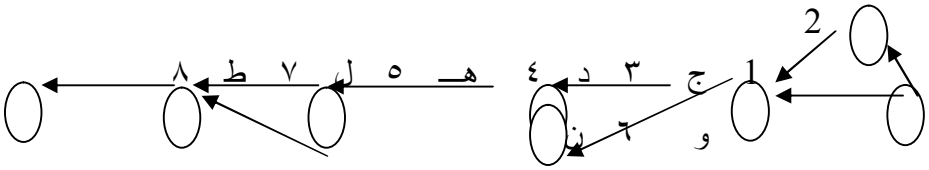
نفرض أن عملية إقامة مبنى تتضمن الأنشطة التالية:

النشاط ومساره	وصف النشاط
أ (١ ــ ٢)	استلام الموقع وتطهيره.
ب (٢ ـ ٣)	الحفر.
ج (١ ــ ٣)	الحصول على الأسمنت والمواد الأخرى.
د (٣ ــ ٤)	وضع الأساسات.
هـ (٤ ــ ٥)	إقامة المبنى.
و (٥ ـ ٦)	نشاط وهمي.
ل (٥ ــ ٧)	توصيل الكهرباء.
ن (٦ ــ ٧)	أعمال النجارة.
ط (٧ ــ ٨)	أعمال البياض.

المطلوب:

ارسم شبكة العمل الخاصة بإقامة المبنى أعلاه.

الحل:

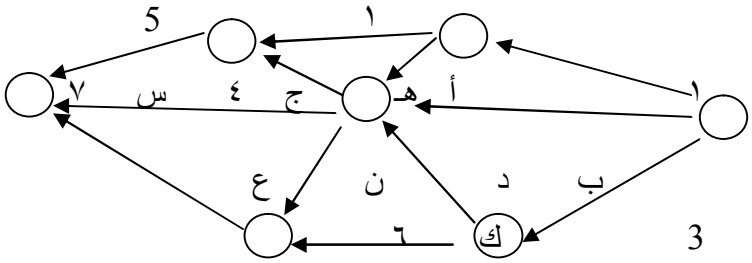


يبين الجدول التالي الأنشطة التي يتضمنها تنفيذ أحد المشروعات:

النشاط	مسار النشاط
أ	١ ـ ٢
ب	١ ـ ٣
ج	٢ ـ ٤
د	٣ ـ ٤
و	٢ ـ ٥
ل	٤ ـ ٥
ك	٣ ـ ٦
ن	٤ ـ ٦

س	٤ ـ ٧
ص	٥ ـ ٧
ع	٦ ـ ٧
هـ	١ ـ ٤

المطلوب: ارسم شبكة العمل التي تخص المشروع أعلاه.



احتساب الوقت: من أجل التوصل لاحتساب الزمن اللازم لإنجاز المشروع، فإن طريقة المسار الحرج تتطلب توضيح التعابير التالية:

ـ البداية المبكرة للنشاط (Early start):

البداية المبكرة للنشاط عبارة عن أقرب وقت يمكن البدء فيه بتنفيذ ذلك النشاط.

ـ النهاية المبكرة للنشاط (Early Finish):

النهاية المبكرة عبارة عن أقرب وقت يمكن أن ينتهي فيه تنفيذ فعالية أو نشاط معين.

ـ وقت النشاط (Activity Time):

هو عبارة عن الوقت اللازم لإنجاز النشاط، وهذا الوقت في طريقة المسار الحرج يكون محددًا ومعلومًا، ويتم تزويده من قبل الإدارة، كما أن التكلفة يستلزم أن تكون محددة ومعلومة؛ أما في أسلوب بيرت فإن الوقت اللازم لإنجاز النشاط يكون متوقعًا (Expected)، أي يحسب وفق سياق معين، وسيتم تناول ذلك بالفصل القادم.

إن الوقت المبكر لبدء نشاط معين هو عبارة عن النهاية المبكرة للنشاط الذي سبق النشاط المعني، وإذا كان النشاط المعني هو النشاط الأول في شبكة العمل، يكون الوقت المبكر له (صفرًا)؛ وسبب ذلك أنه لا يوجد نشاط يسبق هذا النشاط المعني.

أما النهاية المبكرة لنشاط معين فهي عبارة عن البداية المبكرة لهذا النشاط، مضاف له الوقت اللازم لإنجازه، ولتوضيح ذلك نتناول المثال التالي:

مثال (١):

أعطيت لك المعلومات التالية التي تخص بناء مصنع معين:

النشاط	الوصف	الزمن اللازم (بالأشهر)	النشاط السابق
أ	إعداد تقرير الجدوى	٣	ـ
ب	تنظيف الموقع وحفر الأساس	٤	أ
ج	صب الأساس	٢	ب
د	شراء المكائن	٢	ب
هـ	البناء	٦	د
و	تدريب الفنيين	٣	ج
ر	نصب المكائن	٢	هـ - و
ح	الإنتاج التجريبي والفحص	٣	ر

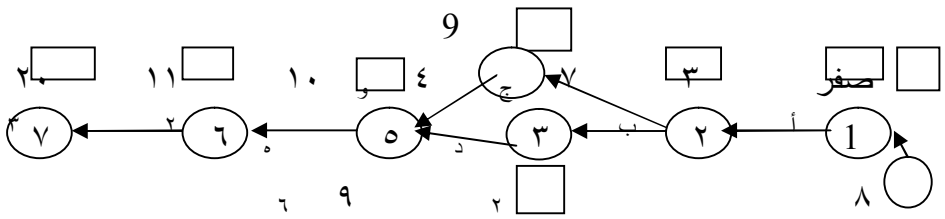
المطلوب:

١. ارسم شبكة العمل الخاصة بالمشروع أعلاه.

٢. تحديد البدايات والنهايات المبكرة.

٣. احتساب المسار الحرج.

١. رسم شبكة العمل للمشروع أعلاه:



٢. نلاحظ من شبكة العمل الخاصة بالمشروع أعلاه، بأن الوقت المبكر لبداية النشاط (أ) هي عبارة عن النهاية المبكرة للنشاط السابق، وطالما أن النشاط (أ) هو نشاط البداية في الشبكة أعلاه؛ لذا فإن البداية المبكرة للنشاط (أ) هو (صفر)، أما النهاية المبكرة لهذا النشاط فهي:

البداية المبكرة للنشاط (أ) + الوقت اللازم لإنجاز هذا النشاط:

= صفر+٣ = ٣ شهور.

أما البداية المبكرة للنشاط (ب) فهي النهاية المبكرة للنشاط (أ)، أي أن النشاط (ب) يبدأ عند نهاية النشاط (أ) مباشرة، أما النهاية المبكرة للنشاط (ب) فهي:

البداية المبكرة للنشاط (ب) + الوقت اللازم لإنجاز هذا النشاط:

= ٣+٤ = ٧ أشهر.

أما البداية المبكرة للنشاط (ج) فهي عبارة عن النهاية المبكرة للنشاط (ب)، وتساوي (٧)، أما النهاية المبكرة للنشاط (ج) فتساوي:

= ٧ + ٢ = ٩ أشهر.

والبداية المبكرة للنشاط (و) هي النهاية المبكرة للنشاط (ج) وتساوي (٩)، أي هذا النشاط يبدأ عند نهاية النشاط (ج) مباشرة، أما النهاية المبكرة للنشاط (و) فهي:

البداية المبكرة للنشاط (و) + الوقت اللازم لإنجاز هذا النشاط

= ٩ + ٢ = ١٢ شهرًا.

وطالما أن بداية النشاط (ر) تستلزم إنجاز النشاطين (و)، (هـ)؛ لذا يتطلب منا احتساب البداية والنهاية المبكرة للمسار الثاني (د، هـ)، وبالشكل التالي:

البداية المبكرة للنشاط (د) هي النهاية المبكرة للنشاط (ب)، وتساوي (٧)؛ أما النهاية المبكرة للنشاط (د) فهي:

البداية المبكرة للنشاط (د) + الوقت اللازم لإنجاز هذا النشاط

= ٧ + ٢ = ٩ أشهر.

أما بالنسبة للنشاط (هـ)، فإن بدايته المبكرة هي (٩)، ونهايته المبكرة تساوي: البداية المبكرة للنشاط (هـ) + الوقت اللازم لإنجازه

= ٩ + ٦ = ١٥ شهرًا.

لذا فإن النشاط (ر) لن يبدأ إلا بعد اكتمال أطول مسار، وعلى هذا الأساس فإن البداية المبكرة للنشاط (ر) هي عبارة عن النهاية المبكرة للنشاط (هـ)، وتساوي (١٥). أما النهاية المبكرة للنشاط (ر) فهي:

البداية المبكرة للنشاط (ر) + الوقت اللازم لإنجازه = ١٥ + ٢ = ١٧،

وأخيرًا فإن البداية المبكرة للنشاط (ح) هي النهاية المبكرة للنشاط (ر)، وتساوي (١٧).

أما النهاية المبكرة للنشاط (ح) فتساوي:

البداية المبكرة للنشاط (ح) + الوقت اللازم لإنجازه = ١٧ + ٣ = ٢٠ شهرًا

٣. أما المسار الحرج لشبكة العمل أعلاه، فهو يمثل أطول مسار، وهو المسار الذي يمثل الأنشطة (أ، ب، د، هـ، ر، ح)، وطوله (٢٠) شهرًا، والأنشطة الواقعة على المسار الحرج تمثل الأنشطة الحرجة، ويطلق عليها الحرجة لأنها هي التي تتحكم بإنجاز المشروع ضمن الوقت المحسوب أي أن تأخير أي من هذه الأنشطة الحرجة سيتولد عنه تأخير المشروع بكامله، أما الأنشطة (ج، و) فهي أنشطة غير حرجة.

البداية المتأخرة والنهاية المتأخرة:

يمكن تعريف البداية المتأخرة لأي نشاط بأنها آخر وقت يمكن أن يبدأ فيه النشاط (الفعالية) دون أن يؤثر على إتمام المشروع في الوقت المحدد، وفقًا للمسار الحرج؛ أما النهاية المتأخرة فهي آخر وقت يمكن النشاط تحت الدراسة أن ينتهي دون أن يؤثر على إنجاز المشروع في وقته المحدد.

وتحسب البدايات والنهايات المتأخرة عن طريق المرور التراجعي، أي البدء من النشاط النهائي (الأخير)، الذي نعرف متى ينتهي، ثم نبدأ بالتراجع على المسارات المختلفة، مرورًا بجميع الأنشطة؛ لاحتساب كل البدايات والنهايات المتأخرة، وبالرجوع إلى مثالنا السابق عن تشييد المصنع، فإن آخر

نشاط هو الإنتاج التجريبي رقم (ح)، والمدة اللازمة لإنجاز المشروع كله، وبالتالي هذا النشاط - وفقًا لحساباتنا - (المسار الحرج) هو (٢) شهران، أما البداية المتأخرة فهي عبارة عن موعد انتهاء هذا النشاط مطروحًا منه الوقت الذي يستغرقه هذا النشاط، وهو (٣) شهور، وبالتالي:

البداية المتأخرة لنشاط (ح) = النهاية المتأخرة لنشاط (ح)، والزمن اللازم لإنجاز النشاط (ح) = ٢٠ — ٣ = ١٧.

وحيث إن الرجوع إلى بداية المشروع يعني الرجوع عبر ممرين، فنبدأ أولًا عبر المسار الحرج، وبعدها المسارات الأخرى.

علمًا بأن النهاية المتأخرة لأي نشاط هي البداية المتأخرة للنشاط الذي يليه، والجدول أدناه يبين البدايات والنهايات المتأخرة لتنفيذ المشروع في المثال(١):

النشاط	الزمن بالأشهر	بداية متأخرة	نهاية متأخرة
أ	٣	صفر	٣
ب	٤	٣	٧
ج	٢	١٠	١٢
د	٢		٩
هـ	٦	٩	١٥
و	٣	١٢	١٥
ر	٢	١٥	١٧
ح	٣	١٧	٢٠

الوقت الفائض:

يعرف الوقت الفائض (أو الزمن الإضافي الإجمالي) لأي نشاط من الأنشطة، بأنه الفرق بين البداية المتأخرة والبداية المبكرة لهذا النشاط، أو الفرق بين النهاية المتأخرة لهذا النشاط ونهايته المبكرة، والتعريف السابق ناتج عن واقع العمل؛ حيث إن البداية المتأخرة تمثل آخر وقت يمكن أن نبدأ

فيه هذا النشاط، على أن لا يتأخر إنهاء المشروع عن الوقت المحدد؛ نتيجة تحليل المسار الحرج.

بينما تمثل البداية المبكرة أقرب وقت يمكن البدء فيه بهذا النشاط؛ نتيجة لتسلسل العمليات، وعلى هذا الأساس يمثل الفرق بين البداية المتأخرة والبداية المبكرة الزمن الفائض، وهو الوقت الذي يمكن تأخير الابتداء في النشاط بدون أن يؤثر ذلك على موعد الانتهاء من المشروع طبقًا للزمن المحدد في المسار الحرج، والجدول التالي يوضح احتساب الزمن الفائض للمثال رقم(١).

النشاط	بداية متأخرة	بداية مبكرة	الفائض	نهاية متأخرة	نهاية مبكرة	الفائض
أ	صفر	صفر	صفر	٣	٣	صفر
ب	٣	٣	صفر	٧	٧	صفر
ج	١٠	٧	٣	١٢	٩	٣
د	٧	٧	صفر	٩	٩	صفر
هـ	٩	٩	صفر	١٥	١٥	صفر
و	٩	٩	٣	١٥	١٢	٣
ز	١٥	١٥	صفر	١٧	١٧	صفر
ح	١٧	١٧	صفر	٢٠	٢٠	صفر

مثال: أدناه تفاصيل الأحداث والأنشطة لمشروع معين مدرجة بالجدول أدناه:

الأنشطة	الزمن المطلوب
١ ـ ٢	٢
١ ـ ٣	١
٢ ـ ٥	٣
٢ ـ ٦	٥
٣ ـ ٥	٤
٥ ـ ٦	١
٣ ـ ٤	٣
٤ ـ ٧	٢

٥ ـ ٨	
٦ ـ ٨	٦
٧ ـ ٨	١

المطلوب:

١. رسم شبكة العمل لهذا المشروع.

٢. تعين الوقت اللازم لإنجاز هذا المشروع.

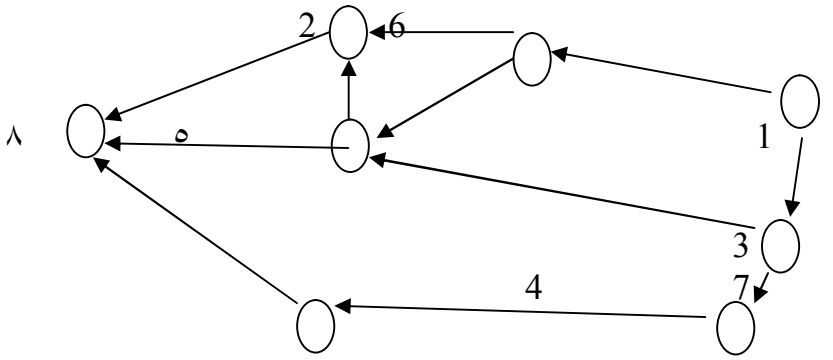
٣. تحديد البداية المبكرة والنهاية المبكرة للمشروع.

٤. تحديد البداية المتأخرة والنهاية المتأخرة.

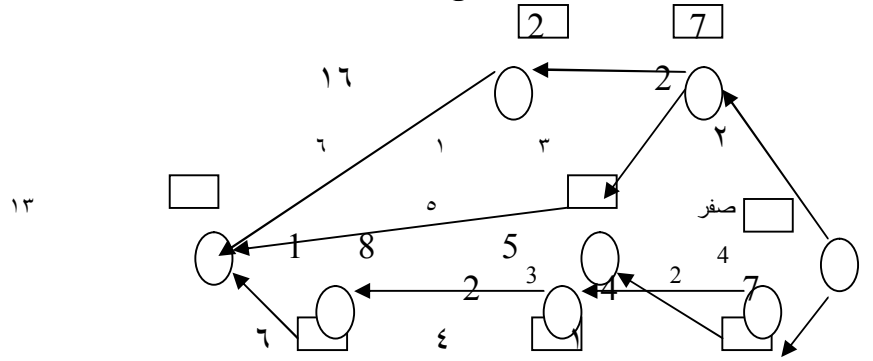
٥. تحديد الوقت الفائض.

الحل:

١- رسم الشبكة:



٢. احتساب المسار الحرج



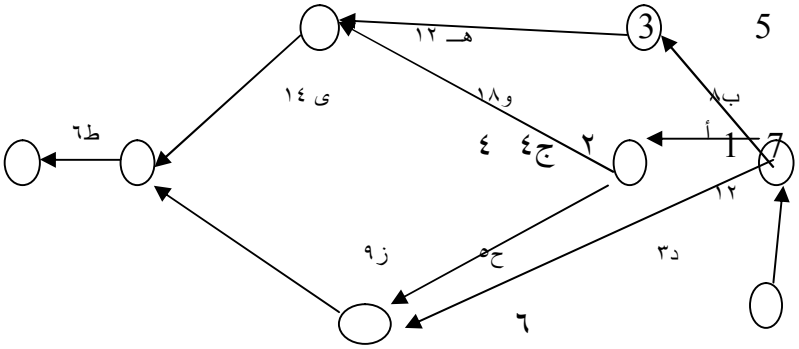
المسار الحرج = ١٣ أسبوعًا، ويتمثل بالمسارات من (١ـ ٢)، (٢ ـ ٦)، (٦ ـ ٨).

٣.احتساب الوقت الفائض:

النشاط	البداية المتأخرة	البداية المبكرة	الفائض	النهاية المتأخرة	النهاية المبكرة	الفائض
(١ـ٢)	صفر	صفر	صفر	٢	٢	صفر
(١ـ٣)	١	صفر	١	٢	١	١
(٢ـ٥)	٣	٢	١	٦	٥	١
(٣ـ٥)	٢	١	١	٦	٥	١
(٢ـ٦)	٢	٢	صفر	٧	٧	صفر
(٥ـ٦)	٦	٥	١	٧	٦	١
(٣ـ٤)	٧	١	٦	١٠	٤	٦
(٤ـ٧)	١٠	٤	٦	١٢	٦	٦
(٥ـ٨)	٦	٥	١	١٣	١٢	١
(٦ـ٨)	٧	٧	صفر	١٣	١٣	صفر
(٧ـ٨)	١٢	٦	٦	١٣	٧	٦

مثال:

الشبكة أدناه تمثل الأنشطة الخاصة ببناء مصنع للطاقة الكهربائية، مبينًا عليها الوقت اللازم لإنجاز كل نشاط.



المطلوب:

١. حدد المسار الحرج للشبكة أعلاه.

٢. احسب الوقت الفائض لأنشطة الشبكة.

الحل:

١. تحديد المسار الحرج:

يتم تحديد المسار الحرج للشبكة أعلاه، من خلال حساب البداية والنهاية المبكرة لكل نشاط، وبالشكل التالي:

النشاط (أ): نلاحظ أن حدث البداية للنشاط (أ) هو الحدث رقم (١)، وبما أن هذا الحدث هو حدث البداية للشبكة أعلاه، فإن البداية المبكرة لنشاط (أ) ستكون (صفرًا)؛ وسبب ذلك أنه لا يوجد نشاط يسبق هذا النشاط، أما النهاية المبكرة لنشاط (أ) فهي عبارة عن البداية المبكرة له، مضاف لها الوقت اللازم لإنجاز هذا النشاط، ومقدارها (١٢) أسبوعًا، وبذلك تكون النهاية المبكرة لنشاط (أ) تساوي (١٢).

يلاحظ من الشبكة أعلاه أن حدث رقم (٢) - وهو حدث نهاية نشاط (أ) - سيكون حدث البداية لثلاثة أنشطة هي (ب، ج، د)، وبناء على ذلك فإن البداية المبكرة للأنشطة الثلاثة تحسب بالشكل التالي:

النهاية المبكرة لنشاط (ب) = النهاية المبكرة لنشاط أ + الوقت اللازم لإنجاز النشاط ب

= ١٢ + ٨ = ٢٠.

النهاية المبكرة لنشاط ج = ١٢ + ٤ = ١٦.

النهاية المبكرة لنشاط د = ١٢ + ٣ = ١٥.

وكما يلاحظ أيضًا من الشبكة الحدث رقم (٤) - وهو حدث النهاية للنشاط (ج) - يمثل حدث البداية للنشاطين (و، ح)، وبناء على ذلك فإن البداية المبكرة لهذين النشاطين هي عبارة عن النهاية المبكرة للنشاط (ج)، وتساوي (١٦)، أما النهاية المبكرة لهذين النشاطين فتحسب كما يلي:

النهاية المبكرة للنشاط (و) = ١٦ + ١٨ = ٣٤.

النهاية المبكرة للنشاط (ح) = ١٦ + ٥ = ٢١.

إن الحدث رقم (٣) - الذي يمثل حدث النهاية للنشاط (ب) - يعتبر حدث البداية للنشاط (هـ)، وتكون البداية المبكرة له عبارة عن النهاية المبكرة لنشاط (ب)، ومقدارها (٢٠)، وتحسب النهاية المبكرة كما يلي:

النهاية المبكرة للنشاط (هـ) = ٢٠ + ١٢ = ٣٢.

يلاحظ من الشبكة أعلاه أن الحدث رقم (٥) يمثل حدث النهاية للنشاطين (هـ، و)؛ بالوقت نفسه يعتبر حدث البداية للنشاط (ي)، وبما أن النشاط (ي) يعقب النشاطين (هـ، و)؛ حيث لا يمكن البدء به إلا بعد إكمال (إنجاز) هذين النشاطين، وبناء على ذلك تحدد البداية المبكرة للنشاط (ي) بأكبر النهايتين المبكرتين للنشاطين السابقين، ومن المعلومات السابقة نلاحظ أن النهاية المبكرة للنشاط (و) تساوي (٣٢)، أما النهاية المبكرة للنشاط (و) فتساوي (٣٤)، ويتم الأخذ بأكبر قيمة، والتي تمثل أطول مسار، وهي (٣٤)، والتي تمثل النهاية المبكرة للنشاط (هـ)؛ أما النهاية المبكرة لنشاط = ٣٤ + ٤ = ٣٨؛ أما الحدث رقم (٦) الذي يمثل حدث النهاية للأنشطة (ح، د) فيعتبر حدث البداية للنشاط (ز)، وبما أن النشاط (ز) يعتبر نشاطًا يعقب النشاطين أعلاه؛ لذا لا يجوز البدء به إلا بعد إنجاز هذين النشاطين، وبناء على ذلك فإن بدايته المبكرة تحدد بأطول نهاية مبكرة للنشاطين اللذين يسبقان هذا النشاط، وهما:

النهاية المبكرة للنشاط (ح) = ٣١.

النهاية المبكرة للنشاط (د) = ١٥.

إذن البداية المبكرة للنشاط (ز) تساوي (٢١)، والتي تمثل أطول مسار يسبق البدء بالنشاط (ز)، والمتمثلة بالنشاط (ح).

النهاية المبكرة للنشاط (ز) = النهاية المبكرة له + الوقت اللازم لإنجازه = ٢١ + ٩ = ٣٠.

إن حدث رقم (٧) - والذي يمثل حدث النهاية للنشاطين (ي، ز) - يعتبر حدث البداية للنشاط (ط)، وبما أن النشاط (ط) يعقب النشاطين (ي، ز)،

فلا يجوز البدء به إلا بعد إكمال (إنجاز) هذين النشاطين؛ لذا فإن البداية المبكرة للنشاط (ط) تمثل أكبر نهاية مبكرة للنشاطين اللذين يسبقان هذا النشاط، وهما:

النهاية المبكرة للنشاط (ي) = ٣٨.

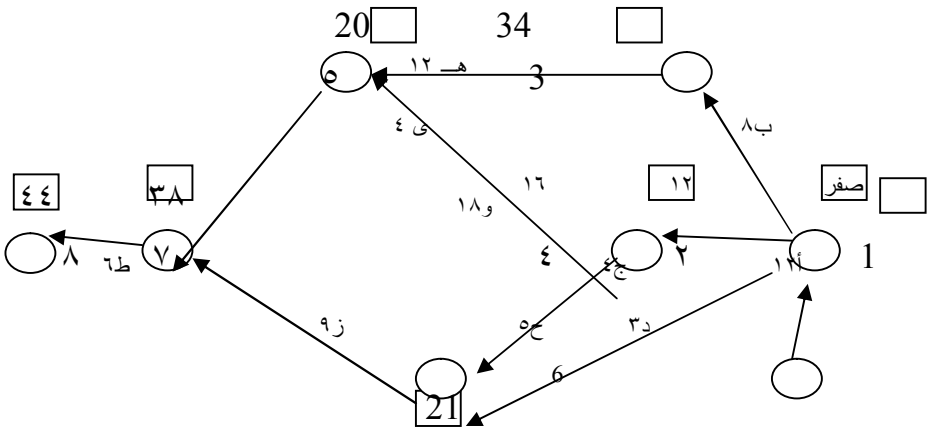
النهاية المبكرة للنشاط (ز) = ٣٠.

إذن البداية المبكرة للنشاط (ط) هي (٣٨)، أما النهاية المبكرة للنشاط (ط) = ٣٨ + ٦ = ٤٤.

الوقت اللازم لإنجاز الشبكة أعلاه هو (٤٤) أسبوعًا، والذي يمثل أطول مسار في الشبكة، ويطلق عليه المسار الحرج، ويمثل الأنشطة التالية:

(أ، ج، و، ي، ط)، وهذه الأنشطة يطلق عليها الأنشطة الحرجة؛ لأنها هي التي تتحكم بإنجاز المشروع أعلاه، وهذا يعني أن حدوث أي تأخير على إنجاز الأنشطة الحرجة في الوقت المحدد لها، سيؤدي في النهاية إلى تأخير إنجاز الشبكة بكاملها.

والآن نعيد رسم الشبكة مبين عليها البداية المبكرة (Early start) والنهاية المبكرة (Early Finish) للأنشطة المختلفة وبالشكل التالي:



المسار الحرج يمثل الأنشطة (أ، ج، و، ي، ط)، وطوله (٤٤) شهرًا.

٢. احتساب الوقت الفائض: حتى يتم احتساب الوقت الفائض، يستلزم تحديد البداية والنهاية المتأخرة لكل نشاط؛ حيث يستلزم حسابهما بالمرور التراجعي من نهاية الشبكة، حيث يمثل طول المسار الحرج (٤٤) شهرًا النهاية المتأخرة للشبكة أعلاه، والذي يمثل بالوقت نفسه النهاية المتأخرة لآخر نشاط في الشبكة، وهو النشاط (ط)، وتحسب البداية المتأخرة لهذا النشاط كما يلي: البداية المتأخرة للنشاط (ط) = النهاية المتأخرة له + الوقت اللازم لإنجازه = ٤٤ – ٦ = ٣٨. ونلاحظ أن البداية المتأخرة للنشاط (ط)، تكون النهاية المتأخرة للنشاط أو الأنشطة التي تسبقه.

والجدول التالي يمثل البداية والنهاية المتأخرة لأنشطة الشبكة أعلاه

النشاط	الوقت اللازم لإنجازه	البداية المتأخرة	النهاية المتأخرة
أ	١٢	صفر	١٢
ب	٨	١٤	٢٢
ج	٤	١٢	١٦
د	٣	٢٦	٢٩
هـ	١٢	٢٢	٣٤
و	١٨	١٦	٣٤
ح	٥	٢٤	٢٩
ز	٩	٢٩	٣٨
ي	٤	٣٤	٣٨
ط	٦	٣٨	٤٤

واضح من الجدول أعلاه، عندما نريد تحديد النهاية المتأخرة لنشاط معين - علمًا بأن حدث النهاية لهذا النشاط يمثل حدث البداية لعدة أنشطة - ففي هذه الحال نحسب البدايات المتأخرة للأنشطة التي تعقب هذا النشاط، ونأخذ أصغرها، كما هو الحال في حالة النشاط (ج)؛ حيث هناك نشاطان يعقبان هذا النشاط، وهما (و، ح)؛ حيث تم احتساب البداية المتأخرة للنشاط (و) وكانت (١٦)، وحيث البداية المتأخرة للنشاط (ح) وكانت (٢٤). إذن النهاية المتأخرة للنشاط (ج) أصغر قيمة، وهذه هي (١٦)، وكذلك الحال بالنسبة للنشاط (أ)؛ حيث هناك ثلاثة أنشطة تعقب هذا النشاط، وهي (ب، ج، د)؛ حيث تم حساب البدايات المتأخرة لهذه الأنشطة حيث كانت:

البداية المتأخرة للنشاط (ب) = ١٤.

البداية المتأخرة للنشاط (ج) = ١٢.

البداية المتأخرة للنشاط (د) = ٢٦.

والنهاية المتأخرة للنشاط (ج) تمثل أصغر القيم أعلاه، وهي (١٢)، وتمثل بالنشاط (ج).

ويتم احتساب الوقت الفائض، والذي يمثل حاصل الفرق بين البداية المتأخرة والبداية المبكرة، أو الفرق بين النهاية المتأخرة والنهاية المبكرة، والجدول التالي يحسب الوقت الفائض وفقاً للطريقتين أعلاه.

النشاط	البداية المتأخرة	البداية المبكرة	الفائض	النهاية المتأخرة	النهاية المبكرة	الفائض
أ	صفر	صفر	صفر	١٢	١٢	صفر
ب	١٤	١٢	٢	٢٢	٢٠	٢
ج	١٢	١٢	صفر	١٦	١٦	صفر
د	٢٦	١٢	١٤	٢٩	١٥	١٤
هـ	٢٢	٢٠	٢	٣٤	٣٢	٢
و	١٦	١٦	صفر	٣٤	٣٤	صفر
ح	٢٤	١٦	٨	٢٩	٢١	٨
ز	٢٩	٢١	٨	٣٨	٣٠	٨
ي	٣٤	٣٤	صفر	٣٨	٣٨	صفر
ط	٣٨	٣٨	صفر	٤٤	٤٤	صفر