

## الفصل الثامن

### شبكات الأعمال Business Networks

تتسم كثير من المشكلات التي تواجهها في الواقع العملي بالتعقيد الأمر الذي يتطلب فهمها والتعبير عنها في صورة مخططات تساعد على الحل ويطلق على هذه الطريقة في بحوث العمليات بالتحليل الشبكي Network Analysis أو شبكات الأعمال Business Networks ويعتبر أسلوب شبكات الأعمال من الأساليب التي يمكن للإدارة استخدامها لمساعدتها في حل الكثير من هذه المشكلات مثل مشكلات المرور التي يعاني منها العديد من الدول، ومشكلات إدارة المشروعات، ومشكلات التلوث البيئي، ومشكلات تدفق الموارد من موقعها إلى مواقع التشغيل والإنتاج، وغيرها من المشكلات.

ويمكن بيان مفهوم شبكات الأعمال بأنها مجموعة من الأنشطة يتم الربط بينها من خلال مجموعة من الأحداث التي يتم تنفيذها خلال فترة زمنية معينة أو يبلغ طولها مسافة محددة، ويتم التعبير عن المشكلة في صورة شبكة تسمى شبكة الأعمال، ومن خلال ما يلي يمكننا تناول مفهوم مكونات تلك الشبكة:

- **النشاط Activity:** هو جزء من المشروع يحتاج إنجازه إلى وقت معين له نقطة بداية ونقطة نهاية تسمى الحدث، وعادة ما يتم التعبير عن النشاط داخل شبكة الأعمال في صورة سهم في اتجاه واحد للأمام. ويعبر النشاط عن عمل أو مهمة تحتاج إلى تخصيص الوقت وبعض الموارد لإتمامه.

- **الحدث Event:** هو إنجاز محدد يحدث في نقطة معينة من الوقت المحدد للنشاط، والحدث لا يحتاج إلى وقت أو يقوم باستهلاك الموارد في حد ذاته، ويتم التعبير عنه في صورة دائرة داخل شبكة الأعمال.

- الشبكة **Network**: هي مجموعة الأنشطة والأحداث التي يتألف منها المشروع وتساعد في تحقيق الوقت اللازم للإنجاز من خلال مسارات الأنشطة داخل الشبكة.
- **المسار الحرج Critical Path**: بعد رسم شبكة الأعمال يمكن تحديد عدد من المسارات تعبر عن المشروع منذ نقطة البداية حتى نقطة النهاية، والمسار الحرج هو المسار الذي يعبر عن أطول وقت بين نقطتي البداية والنهاية للمشروع ويمثل الحد الأدنى للوقت المطلوب لتنفيذ المشروع أو إتمامه.
- **أهمية شبكات الأعمال**: تعتبر شبكات الأعمال من أهم الأساليب المتطورة ذات الاستخدامات المختلفة، وتعد أداة تساعد الإدارة في عمليات التخطيط والمتابعة والرقابة، والتنسيق فيما بين الأنشطة المختلفة داخل المشروع على أساس زمني وهيكلية وفقاً للترتيب المنطقي للأنشطة داخل المشروع والتي يتطلب إنجازها وقتاً زمنياً، وموارد محددة، وتتمثل أهمية شبكات الأعمال فيما يلي:
- المفاضلة بين الزمن والتكلفة والجودة: يمكن الاعتماد على شبكات الأعمال في المفاضلة بين زمن تنفيذ النشاط والتكلفة والجودة وتحديد الخطة المثلى لتنفيذ المشروع، وتقدير أقل التكاليف والوصول إلى أعلى جودة.
- تحديد أسباب التأخر في تنفيذ النشاط: يمكن لشبكات الأعمال تحديد حجم الموارد البشرية اللازمة لتنفيذ المشروع وكذلك تحديد الموارد البشرية اللازمة لتنفيذ كل نشاط، وعند حدوث إى تأخر في زمن تنفيذ النشاط فإن يتم البحث عن الأسباب التي أدت إلى ذلك سواء كانت ناتجة عن أسباب داخلية أو خارجية، وسواء إدارية أو اقتصادية أو فنية.
- توفير نظام للمعلومات: إن تنفيذ المشروع بكفاءة وتخطيط جيد يعمل على توفير قاعدة من البيانات المتعلقة بالتنفيذ وإعداد المؤشرات والتحليلات اللازمة لخطط المشروعات المستقبلية المشابهة للمشروع المنفذ.
- تحقيق مبدأ الإدارة بالأهداف: تعد الإدارة بالأهداف طريقة للتخطيط والتقييم الإداري وتحديد مجموعة من الأهداف والعمل على تحقيقها في المستقبل، وتقوم شبكات

الأعمال على توضيح العلاقة التبادلية وفقاً لتسلسل منطقي بين الأنشطة المختلفة داخل المشروع والمتعلقة بالهدف المحدد، كعلاقات التزامن بين الأنشطة التي تبدأ معاً، والعلاقات المتشابكة للأنشطة التي تنتهي مع بعضها البعض مما يعمل على تقليل الزمن المحدد لإنجاز الهدف، حيث إن تخفيض الوقت اللازم لتنفيذ النشاط يعمل على خفض التكاليف وتحقيق الأهداف.

- تحقيق مبدأ الإدارة بالإستثناء: تعتمد الإدارة بالاستثناء على تحديد الأنشطة الهامة أو الأساسية، والتي تحتاج إلى مراقبة فعالة ويطلق عليها أنشطة المسار الحرج التي تعمل على تحقيق أهداف الإدارة.

- تحديد عدد الأنشطة اللازمة لتنفيذ المشروع: المساعدة في تحديد عدد الأنشطة اللازمة لتنفيذ المشروع وتحديد الوقت اللازم للتنفيذ والموارد التي يتطلبها كل نشاط، وطبيعة تنفيذ كل نشاط وإرتباطه بالأنشطة الأخرى.

**خطوات بناء نموذج شبكات الأعمال:** يعتمد أسلوب شبكات الأعمال على تنفيذ مجموعة من الخطوات تتمثل هذه الخطوات في:

- تحديد المشروع وتنفيذه: خلال هذه الخطة يتم تحديد مجال العمل للمشروع الذي يتم تخطيطه، ووضع خطة التنفيذ، وكذلك تحديد نقطة البداية والنهاية، وتحديد وقت تنفيذ المشروع ودراسة هيكل التكاليف.

- تقسيم العمل في المشروع: حيث يتم تقسيم المشروع إلى مراحل أساسية وجزئية، وعمليات وأنشطة، ويعتمد تقسيم المشروع إلى مجموعة من المراحل على حجم المشروع حيث إن كل قسم من هذه الأقسام يعد مشروعات مستقلاً، مما يساعد في إدارة المشروعات الضخمة التي يتم تنفيذها.

- تحديد العلاقة بين الأنشطة: ويقصد بها علاقة التزامن أو التعاقب أو الإستقلال بين الأنشطة، وعلاقة التزامن تحديد الأنشطة التي تبدأ مع بعضها البعض أو تنتهي مع بعضها البعض، أما علاقة التعاقب تحديد الأنشطة التي لا يمكن البدء فيها إلا بعد

الإنهاء من الأنشطة السابقة لها، في حين إن علاقة الإستقلال يقصد بها تحديد الأنشطة التي لا يتطلب تنفيذها ضرورة إرتباطها بأنشطة أخرى.

- تقدير الزمن اللازم لإنجاز كل نشاط من أنشطة المشروع: إن تحديد الزمن اللازم لتنفيذ النشاط يتوقف عن نوع أسلوب او نموذج التحليل الشبكي الذي تم الاعتماد عليه عند وضع خطة المشروع.

- تحديد طريقة تنفيذ النشاط: يتوقف تحديد طريقة تنفيذ النشاط على الموارد المادية أو البشرية المتاحة ووقت عملها ومدى توافرها.

- وضع قائمة بأنشطة المشروع: يتم خلال هذه القائمة تحديد أنشطة المشروع وتوضيح ترتيبها المنطقي وتسلسلها والزمن المقدّر للإنجاز، وتحديد النظام الملائم لنموذج شبكات الأعمال المستخدم في وضع الخطة وجدولة المشروع ومراقبته.

### **جدولة المشروعات باستخدام أسلوب بيرت والمسار الحرج Projects Scheduling**

**By Pert – CPM:** يقصد بالمشروع مجموعة الأنشطة المترابطة ببعضها البعض والتي يتم تنفيذها وفقاً لترتيب زمني محدد، وترتبط الأنشطة ببعضها البعض وفقاً للتابع منطقي بحيث لا يمكن البدء في تنفيذ بعض الأنشطة قبل الانتهاء من أنشطة أخرى كما ذكرنا من قبل، وتعتمد جدولة المشروعات على إنجاز المشروع في أقل وقت ممكن وباستخدام أقل للموارد المتاحة للعمل على خفض التكاليف.

ونتيجة لتطور جدولة المشروعات ظهر مفهوماً جديداً يسمى إدارة المشروع معتمداً على أسلوب طريقة المسار الحرج (Critical Path Method (CPM، وأسلوب تقييم ومراجعة المشروع (PERT) Project Evaluation And Review Technique الذي قام الجيش الأمريكي بتطويره لأغراض جدولة الأنشطة الخاصة ببرنامج صواريخ بولاريس.

ويعتمد أسلوب طريقة المسار الحرج على تحديد الزمن اللازمة لتنفيذ النشاط بصورة محددة، في حين إن أسلوب بيرت يعتمد على التقدير الاحتمالي لزمن تنفيذ النشاط، ولكنه

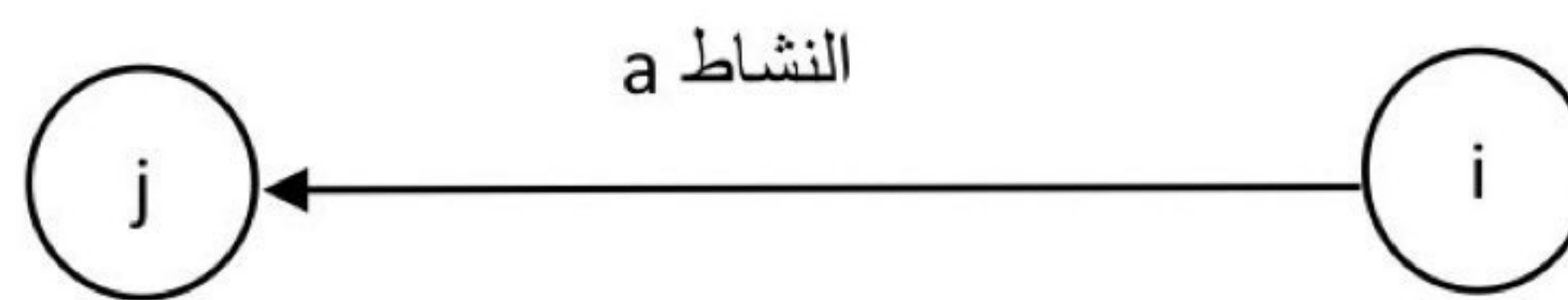
يتم النظر إلى الأسلوبين معاً على إنهما أسلوب واحد يطلق عليه أسلوب جدولة المشروعات ويمكن تطبيق هذا الأسلوب من خلال ثلاث مراحل رئيسية تتمثل في:

- التخطيط Planning: وخلال هذه المرحلة يتم تقسيم المشروع إلى مجموعة من الأنشطة وتقدير الزمن اللازم لإنجاز كل نشاط منها، وبعدها يتم رسم شبكة الأعمال وإقترح التحسينات الممكنة إن لزم الأمر.

- الجدولة Scheduling: خلال هذه المرحلة يتم وضع الخطة الزمنية للمشروع ككل وتحديد الوقت اللازم لكل نشاط منذ البداية حتى النهاية، وعلاقة النشاط بباقي الأنشطة الأخرى وتحديد الأنشطة الحرجة التي ينبغي على الإدارة التركيز عليها وإدارتها، وتحديد الوقت المتبقى من الأنشطة غير الحرجة.

- التحكم Controlling: خلال هذه المرحلة يتم استخدام شبكة الأعمال والخطة الزمنية في إعداد التقارير الدورية التي يوضح عملية الإنجاز لتنفيذ المشروع وتحديد الأنشطة التي تم تنفيذها، والأنشطة التي يتم العمل عليها وكذلك الأنشطة التي لم يتم تنفيذها بعض، كما يحدد هذا التقرير الأنشطة الحرجة حتى تتمكن الإدارة من مراقبتها والتحكم بها بالصورة التي تؤدي إلى تنفيذ المشروع خلال المدة الزمنية المحددة دون تأخير.

ويمكن تمثيل النشاط داخل شبة الأعمال وربطه بالأنشطة الأخرى عن طريق نقطة البداية والنهاية للنشاط والتي يتم التعبير عنها في صورة حدث  $a_{ij}$  حيث إن  $a$  تشير إلى النشاط،  $i$  تشير إلى حدث البداية،  $j$  تشير إلى حدث النهاية كما يظهر بالشكل (١-١):

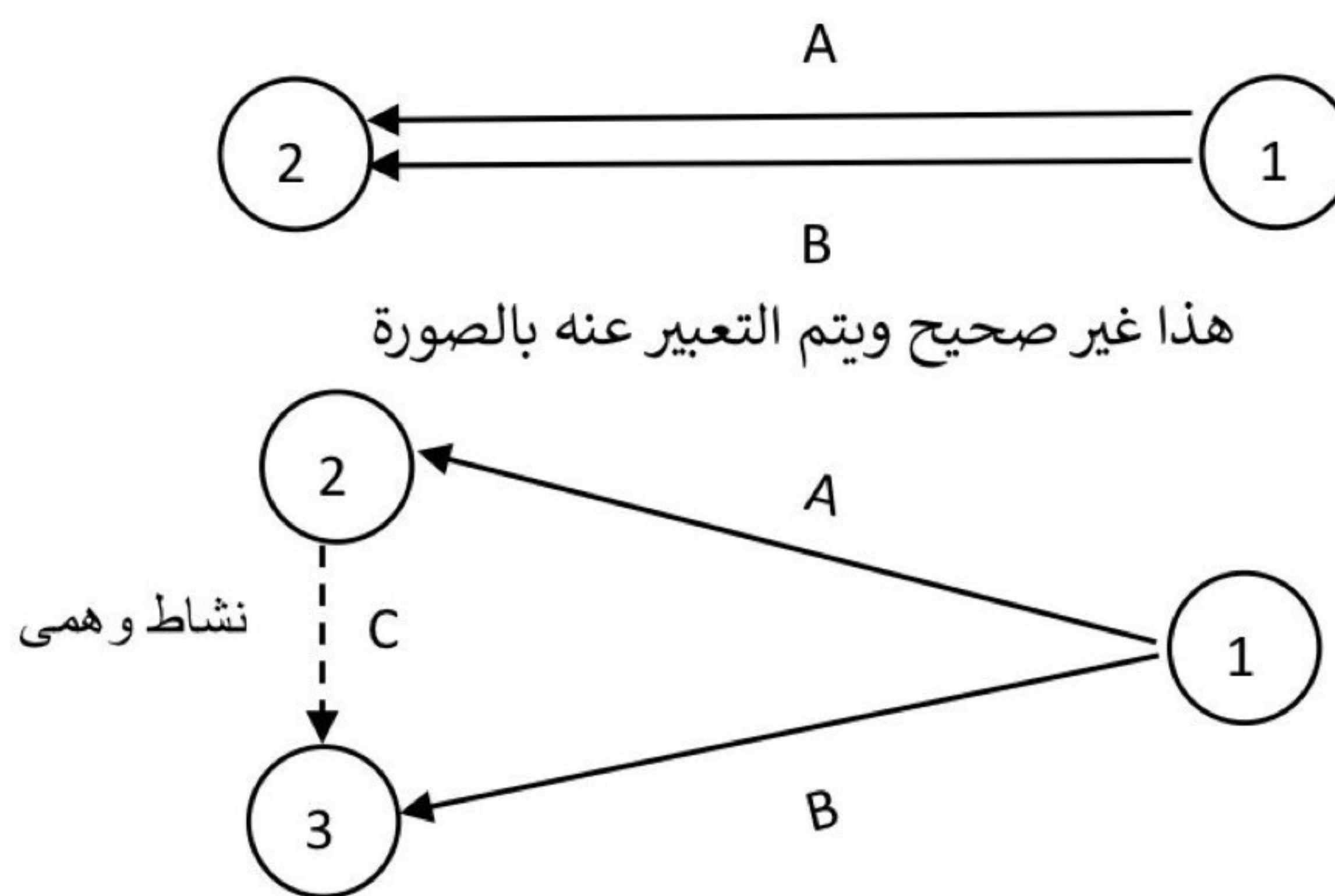


شكل رقم (١-٧): النشاط وحدث البداية والنهاية

في الحقيقة يمكن تقسيم الأنشطة حسب تتابعها الزمني داخل المشروع إلى أنشطة متتابعة أو متعاقبة وهي الأنشطة التي تتوقف عملية تنفيذها على الإنتهاء من الأنشطة السابقة لها، وأنشطة متوازية وهي تلك الأنشطة التي يتم تنفيذها بالتوازي مع الأنشطة الأخرى، كما

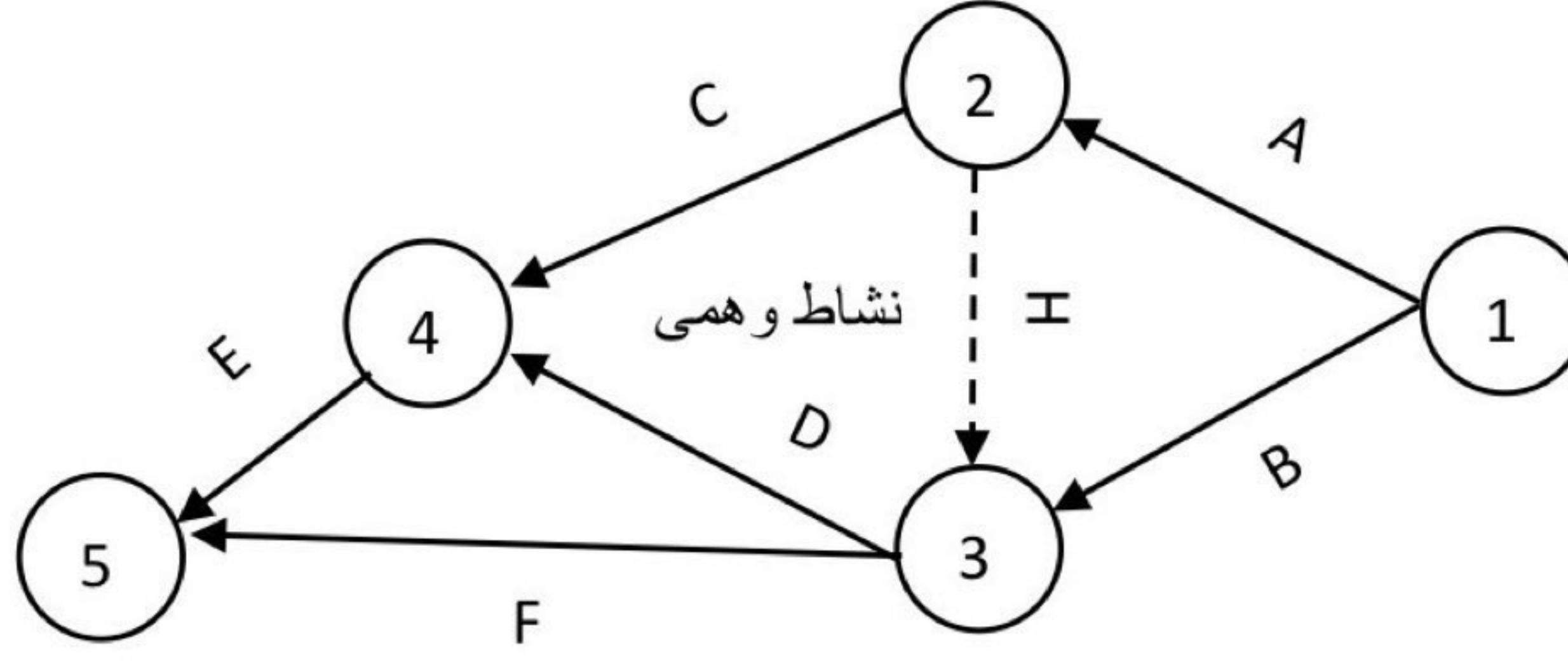
يمكن تقسيم الأنشطة داخل شبكة الأعمال من حيث الوقت اللازم للمشروع والموارد التي يستهلكها المورد إلى:

- الأنشطة الحقيقية: وهي الأنشطة الفعلية داخل شبكة الأعمال والتي يتم تنفيذها، وتستهلك هذه الأنشطة جزء من الخطة الزمنية للمشروع وبعض من الموارد المخصصة له.
- أنشطة الإنتظار: وهي الأنشطة التي يتطلب الإنتهاء من تنفيذها الإنتظار لفترة زمنية معينة دون إستهلاك موارد مثل الإنتظار حتى جفاف الأسطح أو الأسقف الخرسانية وغيرها.
- الأنشطة الوهمية أو الصورية: هي أنشطة ليس لها وجود مادي أو فعلى داخل الشبكة، والهدف منها المحافظة على التتابع الزمني والفنى المنطقى فى تسلسل تنفيذ الأحداث، ولا تستنفذ وقت أو موارد، ويتم الاعتماد على الأنشطة الوهمية عندما يكون حدث البداية والنهاية لنشاط حقيقى واحد فإنه يتم الاعتماد فى هذه الحالة على النشاط الوهمى كما يظهر من الشكل (٢-١):



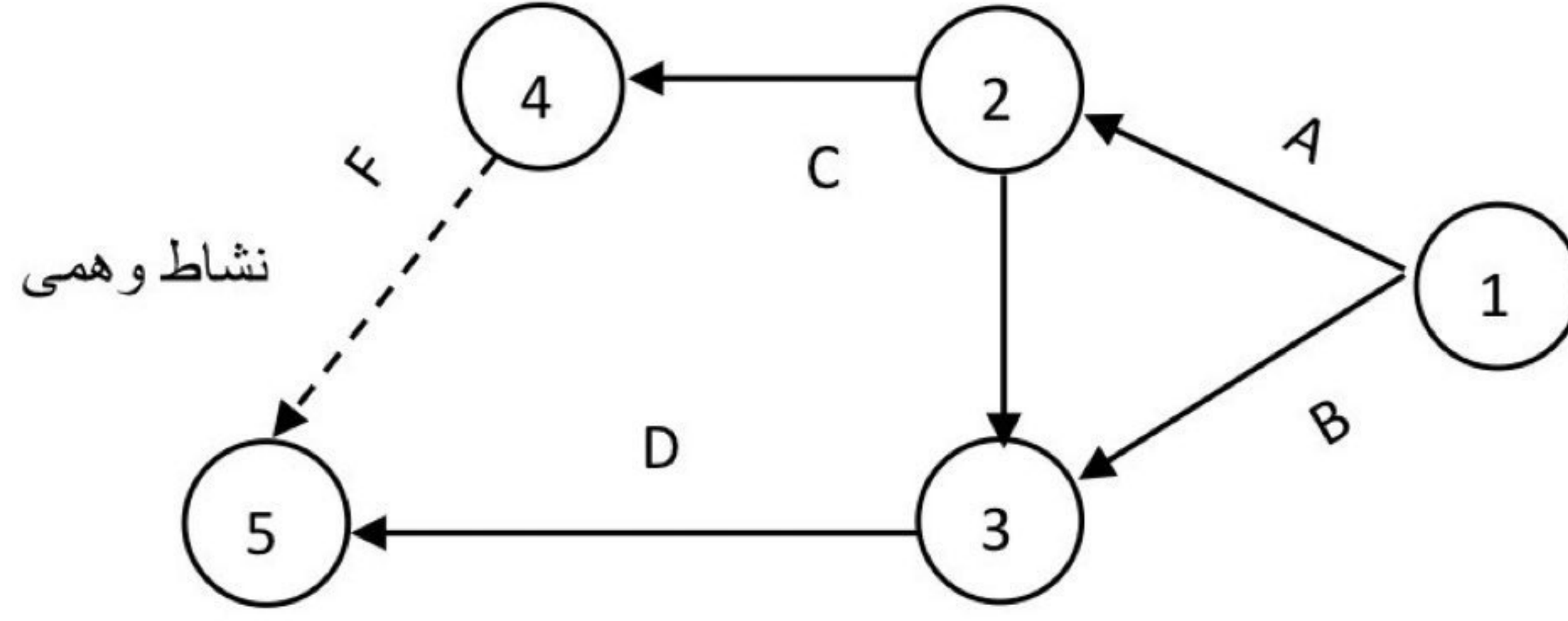
شكل رقم (٢-٧): النشاط الوهمى

كما يتم الاعتماد على الأنشطة الوهمية للربط بين الأنشطة الفعلية داخل شبكة الأعمال وذلك لاعتبارات فينة أو إدارية وفقاً للتسلسل الزمني للأنشطة، ويمكن بيان هذه الحالة من خلال الشكل رقم (٣-٧) كما يلي:



شكل رقم (٧-٣): نشاط وهمي

وهناك حالة أخرى لظهور الأنشطة الوهمية حتى تبدأ شبكة الأعمال بنقطة وتنتهي بنقطة كما يظهر بالشكل (٧-٤):



شكل رقم (٧-٤): نشاط وهمي

ومن خلال ما يلي نتناول عمليات أسلوب المسار الحرج وأسلوب بيرت:

#### ١- طريقة المسار الحرج:

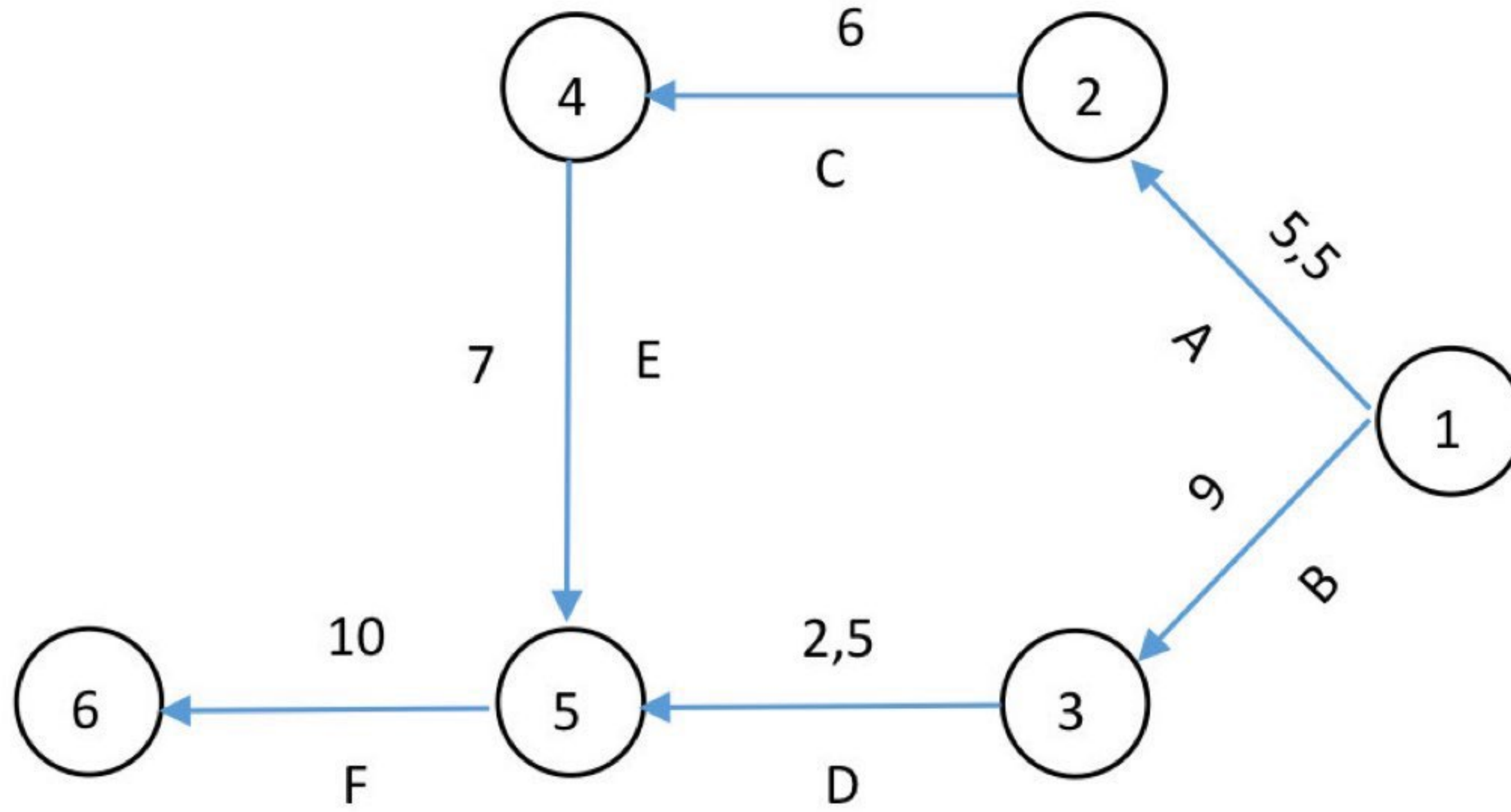
مثال (٧-١): يتكون أحد المشروعات المقترح تنفيذها من بعض الأنشطة وتم تقدير الوقت اللازم لتنفيذ كل نشاط كما يلي:

| الزمن باليوم | النشاط السابق له | النشاط |
|--------------|------------------|--------|
| 5,5          | —                | A      |
| 9            | —                | B      |
| 6            | A                | C      |
| 2,5          | B                | D      |
| 7            | C                | E      |
| 10           | E,F              | F      |

المطلوب: رسم شبكة الأعمال، وتحديد المسار الحرج، وتحديد الوقت الراكد.

## الحل

**أولاً: رسم شبكة الأعمال:** يتم رسم شبكة الأعمال بحيث يكون لها حدث بداية واحد وحدث نهاية واحد وإذا كان هناك أكثر من حدث للنهائية يمكن الاعتماد على الأنشطة الوهمية كما ذكرنا سابقاً وتحقيق الشرط بنقطة نهاية واحدة.



**ثانياً: حساب المسار الحرج:** يتمثل المسار في الإتجاه من حدث البداية حتى حدث النهاية مروراً بالأنشطة المختلفة، ويكون المسار الحرج هو صاحب أكبر وقت للمسارات المختلفة، وتكون أنشطة المسار الحرج أنشطة حرجة:

| م | المسار    | الوقت | نوع المسار |
|---|-----------|-------|------------|
| ١ | 1-2-4-5-6 | 28,5  | حرج        |
| ٢ | 1-3-5-6   | 21,5  | غير حرج    |

**ثالثاً: حساب الوقت الراكد:** يتمثل الوقت الراكد في الوقت الفائض من النشاط، وعليه لا بد من حساب الوقت المبكر للنشاط والوقت المتأخر كما يلي:

- **الوقت المبكر:** بفرض إن  $ES_i$  تمثل وقت البدء المبكر لجميع الأنشطة عند الحدث  $i$ ، وأن  $D_{ij}$  تمثل الوقت المطلوب لإنجاز نشاط يبدأ بالحدث  $i$  وينتهي بالحدث  $j$ ، فإن:

$$ES_i = \max_i \{ES_i + D_{ij}\}$$

حيث إن  $i, j$  أحداث البداية والنهائية لجميع الأنشطة:

$$ES_1 = \max_{i=0} \{ES_0 + D_{11}\} = \{0 + 0\} = 0$$

$$ES_2 = \max_{i=1-2} \{ES_1 + D_{12}\} = \{0 + 5.5\} = 5.5$$

$$ES_3 = \max_{i=1-3} \{ES_1 + D_{13}\} = \{0 + 9\} = 9$$

$$ES_4 = \max_{i=2-4} \{ES_2 + D_{34}\} = \{5.5 + 6\} = 11.5$$

$$ES_5 = \max_{i=3-5} \{ES_3 + D_{35}\}; \max_{i=4-5} \{ES_4 + D_{45}\}; \\ = \{9 + 2.5\}; \{11.5 + 7\} = 18.5$$

$$ES_6 = \max_{i=4-6} \{ES_4 + D_{46}\}; \max_{i=5-6} \{ES_5 + D_{56}\}; \\ = \{11.5 + 10\}; \{18.5 + 10\} = 28.5$$

- **الوقت المتأخر للنشاط:** وهي الوقت الذي يجب ألا يتأخر عنه النشاط ويمكن حسابه من خلال:

$$LC_i = \min_j \{LC_j - D_{ij}\}$$

حيث إن  $LC_i$  أحداث البداية والنهاية لجميع الأنشطة:

وتكون:

$$LC_6 = ES_6 = 28.5$$

$$LC_5 = \min_{j=5} \{LC_6 - D_{56}\} = \{28.5 - 10\} = 18.5$$

$$LC_4 = \min_{j=4} \{LC_5 - D_{45}\} = \{18.5 - 7\} = 11.5$$

$$LC_3 = \min_{j=3} \{LC_5 - D_{35}\} = \{18.5 - 2.5\} = 16$$

$$LC_2 = \min_{j=2} \{LC_4 - D_{24}\} = \{11.5 - 6\} = 5.5$$

$$LC_1 = \min_{j=1} \{LC_2 - D_{12}\}; \{LC_3 - D_{13}\} = \{5.5 - 5.5\}; \{11.5 - 9\} = 0$$

- **حساب الوقت الراكد:** يمثل الوقت الراكد الفرق بين الوقت المتأخر والوقت المبكر، وهناك شرط يتمثل في إن الأنشطة الحرجة التي تمثل المسار الحرج يكون الوقت الراكد

لها يساوى صفراً، ويمكننا حساب الوقت الراكد من خلال الاعتماد على المعادلة التالية:

$$TF_i = LC_i - ES_i$$

ومنه فإن:

$$TF_1 = 0 - 0 = 0$$

$$TF_4 = 11.5 - 11.5 = 0$$

$$TF_2 = 5.5 - 5.5 = 0$$

$$TF_5 = 18.5 - 18.5 = 0$$

$$TF_3 = 16 - 9 = 7$$

$$TF_6 = 28.5 - 28.5 = 0$$

ويمكن عرض النتائج من خلال الجدول التالي:

| النشاط | الأحداث | الوقت المحدد | الوقت المتأخر | الوقت المبكر | الوقت الراكد |
|--------|---------|--------------|---------------|--------------|--------------|
| A      | (1-2)   | 5,5          | 0             | 0            | 0            |
| B      | (1-3)   | 9            | 5.5           | 5.5          | 0            |
| C      | (2-4)   | 6            | 16            | 9            | 7            |
| D      | (3-5)   | 2,5          | 11.5          | 11.5         | 0            |
| E      | (4-5)   | 7            | 18.5          | 18.5         | 0            |
| F      | (5-6)   | 10           | 28.5          | 28.5         | 0            |

تحليل الحساسية للأنشطة الحرجة:

يتضح من الجدول:

- أن أنشطة المسار الحرج أنشطة حرجة بلغ وقتها الراكد صفراً مما يتطلب من الإدارة بذل الجهد اللازم لتنفيذ هذه الأنشطة في أوقاتها المخططة.

- حتى يمكننا الحكم على ما إذا كان النشاط حرجاً أم لا فإن الأمر يتطلب القيام بحساب وقت البدء والانتهاى من كل نشاط من الأنشطة، وذلك من خلال:

**الوقت المبكر لبدء النشاط:** ويقصد به أقرب وقت يمكن البدء فيه لتنفيذ النشاط بشرط إنتهاء الأنشطة السابقة له في وقتها المبكر، ، ومنه فإن

$$ES_a = ES_i$$

ويمكن تحديده كما يلى:

$$ES_A = ES_1 = 0$$

$$ES_D = ES_4 = 9$$

$$ES_B = ES_2 = 0$$

$$ES_E = ES_5 = 11.5$$

$$ES_C = ES_3 = 5.5$$

$$ES_F = ES_6 = 18.5$$

**الوقت المبكر لإنهاء النشاط:** وهو أقرب وقت يمكن أن ينتهي فيه النشاط، ويحسب من خلال المعادلة:

$$EC_{ij} = ES_a + D_{ij}$$

حيث إن:  $ES_a$  الوقت المبكر لبدء النشاط،  $D_{ij}$  الوقت المتوقع لإتمام النشاط، ومنه فإن:

$$EC_1 = ES_A + D_{1-2} = 0 + 5.5 = 5.5$$

$$EC_2 = ES_B + D_{1-3} = 0 + 9 = 9$$

$$EC_3 = ES_C + D_{2-4} = 5.5 + 6 = 11.5$$

$$EC_4 = ES_D + D_{3-5} = 9 + 2.5 = 11.5$$

$$EC_5 = ES_E + D_{4-5} = 11.5 + 7 = 18.5$$

$$EC_6 = ES_F + D_{5-6} = 18.5 + 10 = 28.5$$

**الوقت المتأخر لإنهاء النشاط:** وهو آخر وقت يمكن أن يبدأ فيه النشاط دون أن يؤثر على الإنتهاء من المشروع في الوقت المحدد وفقاً للمسار الحرج، ويمكن حسابه من المعادلة:

$$LC_{ij} = CPM_{ij} - D_{ij}$$

حيث إن:  $CPM_{ij}$  المسار الحرج،  $D_{ij}$  الوقت المتوقع لإتمام النشاط، ومنه فإن:

$$LC_A = CPM_{ij} - D_{1-2} = 28.5 - 23 = 5.5$$

$$LC_B = CPM_{ij} - D_{1-3} = 28.5 - 12.5 = 16$$

$$LC_C = CPM_{ij} - D_{2-4} = 28.5 - 17 = 11.5$$

$$LC_D = CPM_{ij} - D_{3-5} = 28.5 - 10 = 18.5$$

$$LC_E = CPM_{ij} - D_{4-5} = 28.5 - 10 = 18.5$$

$$LC_F = CPM_{ij} - D_{5-6} = 28.5 - 0 = 28.5$$

**الوقت المتأخر لبدء النشاط:** ويقصد به آخر وقت يمكن أن ينتهي عنده النشاط دون التأثير على الإنتهاء من المشروع في الوقت المحدد،

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

وتم تحديده خلال ما يلي:

$$LS_A = LC_A - D_{1-2} = 5.5 - 5.5 = 0$$

$$LS_B = LC_B - D_{1-3} = 16 - 9 = 7$$

$$LS_C = LC_C - D_{2-4} = 11.5 - 6 = 5.5$$

$$LS_D = LC_D - D_{3-5} = 18.5 - 2.5 = 16$$

$$LS_E = LC_E - D_{4-5} = 18.5 - 7 = 11.5$$

$$LS_F = LC_F - D_{5-6} = 18.5 - 10 = 8.5$$

**الوقت الراكد الكلي للنشاط:** يمثل الحد الأقصى للتأخر في إتمام النشاط دون التأثير على وقت إتمام المشروع وفقاً للمسار الحرج، ويتمثل في الفرق بين أقصى وقت متاح لإنجاز النشاط وبين الزمن الفعلي لإنجاز النشاط، ويمكن حسابه من خلال:

$$TF_{ij} = LS_i - ES_i; \text{ or } LC_j - EC_j$$

**الوقت الراكد الحر للنشاط:** يشير الوقت الراكد الحر إلى مقدار التأخر الممكن في إتمام النشاط وذلك عندما يتم بدء النشاط في وقته المبكر وبدأت الأنشطة اللاحقة له في أوقاتها المبكرة، وبمعنى آخر يقصد بالوقت الراكد الحر مقدار الزيادة في الزمن المتاح لإنجاز النشاط عن الزمن اللازم الفعلي لتنفيذه، ويمكن حسابه من المعادلة:

$$FF_{ij} = (ES_j - ES_i) - D_{ij}$$

وإذا ما كان هناك أكثر من نشاط لاحق فإن الوقت المبكر لبدء النشاط اللاحق يتم تحديده على أساس أقل وقت مبكر للأنشطة اللاحقة، ويمكن حساب الوقت الراكد الحر كما يلي:

$$FF_A = (ES_j - ES_i) - D_{ij} = (5.5 - 0) - 5.5 = 0$$

$$FF_B = (ES_j - ES_i) - D_{ij} = (9 - 0) - 9 = 0$$

$$FF_C = (ES_j - ES_i) - D_{ij} = (11.5 - 5.5) - 6 = 0$$

$$FF_D = (ES_j - ES_i) - D_{ij} = (18.5 - 9) - 2.5 = 7$$

$$FF_F = (ES_j - ES_i) - D_{ij} = (18.5 - 11.5) - 7 = 0$$

$$FF_F = (ES_j - ES_i) - D_{ij} = (28.5 - 18.5) - 10 = 0$$

**التعليق على تحليل الحساسية للأنشطة الحرجة:** يتمثل المسار الحرج في 1-2-4-5-6 في الأنشطة A,C,E,F مما يشير إلى أن جميع أنشطة المسار الحرج تعتبر أنشطة حرجة حيث إن قيمة الوقت الراكد الكلى للنشاط تساوى صفر.

ويمكن عرض نتائج التحليل في الجدول التالي:

| النشاط | الأحداث | الوقت المحدد | الوقت المبكر    |                 | الوقت المتأخر   |                 | الوقت الراكد | الوقت الحر |
|--------|---------|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------|------------|
|        |         |              | ES <sub>i</sub> | EC <sub>j</sub> | LS <sub>i</sub> | LC <sub>j</sub> |              |            |
| A      | (1-2)   | 5,5          | 0               | 5.5             | 0               | 5.5             | 0            | 0          |
| B      | (1-3)   | 9            | 0               | 9               | 7               | 16              | 7            | 0          |
| C      | (2-4)   | 6            | 5.5             | 11.5            | 5.5             | 11.5            | 0            | 0          |
| D      | (3-5)   | 2,5          | 9               | 11.5            | 16              | 18.5            | 7            | 7          |
| E      | (4-5)   | 7            | 11.5            | 18.5            | 11.5            | 18.5            | 0            | 0          |
| F      | (5-6)   | 10           | 18.5            | 28.5            | 18.8            | 28.5            | 0            | 0          |

**إعداد الخطة الزمنية وموازنة الموارد:** ذكرنا فيما سبق المراحل التي يتم من خلالها إعداد أسلوب المسار الحرج ويبرت والتي تمثلت في التخطيط والجدولة والتحكم، وخلال مرحلة الجدولة يتم إعداد الخطة الزمنية للمشروع وتخصيص الموارد اللازمة لتنفيذه، وعند وضع الخطة الزمنية يمكن الأخذ في الاعتبار قيود الوقت والموارد المتاحة، فقد لا تستطيع الشركة من إنجاز نشاطين في نفس الوقت نظراً لعدم كفاية العمالة أو الموارد المتاحة، كالآلات والمعدات، ولتفادي التأخر في البدء في تنفيذ النشاط يمكن الاعتماد على الوقت الراكد الكلى للنشاط غير الحرج حيث إنه يمكن تأجيل البدء في النشاط غير الحرج لإتاحة

الموارد والتجهيزات والعمالة للأنشطة الحرجة، مما يحقق الكفاءة في استخدام الموارد ،  
ويتم عمل الخطة الزمنية من خلال:

- جدول الأنشطة الحرجة.
  - وضع أوقات البدء المبكر والإنتهاء المتأخر للأنشطة غير الحرجة.
- ويلعب الوقت الراكد الكلى والحر دوراً هاماً في جدول الأنشطة غير الحرجة مع الأخذ في الاعتبار:

- إذا تساوى الوقت الراكد الكلى مع الوقت الراكد الحر للنشاط غير الحرج فإنه يمكن جدول هذا النشاط في أى وقت بين أوقات البدء المبكر والإنتهاء المتأخر لهذا النشاط.
- إذا كان الوقت الراكد الكلى أكبر من الوقت الراكد الحر للنشاط غير الحرج فإنه يمكن التأخر في البدء في هذا النشاط عن وقت البدء المبكر بفترة لا تزيد عن الوقت الراكد الحر للنشاط بشرط عدم التأثير على جدول الأنشطة التالية لهذا النشاط.

٢- **أسلوب بيرت:** اعتمد أسلوب المسار الحرج على تحديد وقت واحد لتنفيذ النشاط ولم يأخذ ظروف عدم التأكد في الاعتبار ويمكن الاعتماد على هذا الأسلوب عندما يكون لدى الشركة الخبرة والدراية اللازمة لتنفيذ المشروعات، في حين إن أسلوب بيرت يعتمد على تقدير الزمن اللازم لتنفيذ النشاط والزمن الكلى للمشروع وفقاً لظروف عدم التأكد بالاعتماد على تقدير ثلاثة أوقات لإتمام النشاط ومنها يتم تقدير الوقت المتوقع لإتمام النشاط، ومن ثم يتم تقدير الوقت المتوقع لتنفيذ المشروع، ومن خلال ما يلي تناول منهجية أسلوب بيرت في تقدير الوقت اللازم للتنفيذ:

- **الوقت التفاؤلى Optimistic Time:** وهو الوقت الذى يستغرقه تنفيذ النشاط إذا كانت كل الظروف مناسبة، وأن الوقت الفعلى يسير وفقاً لما هو مخطط له، ويتمثل في أقل وقت ممكن يستغرقه تنفيذ النشاط ويرمز له بالرمز a.

- **الوقت التشاؤمى Pessimistic Time:** وهو الوقت الذى يستغرقه تنفيذ النشاط إذا كانت ظروف التنفيذ غير مناسبة نتيجة لبعض العوامل سواء الداخلية أو الخارجية

تؤدي إلى عدم استقرار الظروف المحيطة بالمشروع، ويتمثل في أكبر وقت ممكن يستغرقه تنفيذ النشاط ويرمز له بالرمز b.

- **الوقت الأكثر احتمالاً Most Likely Time:** وهو الوقت الذي يستغرقه تنفيذ النشاط في ظل الظروف الطبيعية، ويقع بين الوقت التفاؤلى، والوقت التشاؤمى ويرمز له بالرمز m.

ولا يشترط أن يكون الوقت الأكثر احتمالاً أن يقع في المنتصف بين الوقت التفاؤلى والوقت التشاؤمى فمن الممكن أن يكون في المنتصف أو أقرب للوقت التشاؤمى أو التفاؤلى، حيث إن زمن إنجاز النشاط يتبع توزيع بيتا Beta Distribution ويتم تحديد المنوال بالاعتماد على الوقت الأكثر احتمالاً ويكون الوقت التفاؤلى والتشاؤمى نقطتي طرفي توزيع بيتا، ويمكن تحديد الوسط الحسابي (الوقت المتوقع) والتباين والانحراف المعياري كما يلي:

**الوسط الحسابي (الوقت المتوقع للنشاط):**

تتمثل نقطة منتصف توزيع بيتا في  $\frac{a+b}{2}$  وهي نصف وزن m ومنه يكون الوسط الحسابي:

$$\bar{D} = \frac{\frac{a+b}{2} + 2m}{3} = \frac{a + 4m + b}{6}$$

التباين: يقع التباين بين a, b في دالة الكثافة الإحتمالية فإن التباين:

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

**الانحراف المعياري:**

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

ويمكن الاعتماد على الانحراف المعياري في تحديد احتمالات إتمام المشروع في وقت محدد أو تكلفة محددة.

**مثال (٧-٢):** فيما يلي بيان بالأنشطة المطلوبة لتنفيذ أحد مشروعات لمار العقارية، وترتيب حدوثها والتقديرات الاحتمالية المتوقعة لوقت إتمام كل نشاط من تلك الأنشطة:

| تقديرات الوقت |    |   | الحدث | النشاط |
|---------------|----|---|-------|--------|
| b             | m  | a |       |        |
| 15            | 6  | 3 | 1-2   | A      |
| 14            | 5  | 2 | 1-3   | B      |
| 30            | 12 | 6 | 2-4   | C      |
| 8             | 5  | 2 | 2-5   | D      |
| 17            | 11 | 5 | 4-6   | E      |
| 15            | 6  | 3 | 5-6   | F      |
| 27            | 9  | 3 | 3-7   | G      |
| 7             | 4  | 1 | 6-8   | H      |
| 28            | 19 | 4 | 7-8   | I      |

والمطلوب:

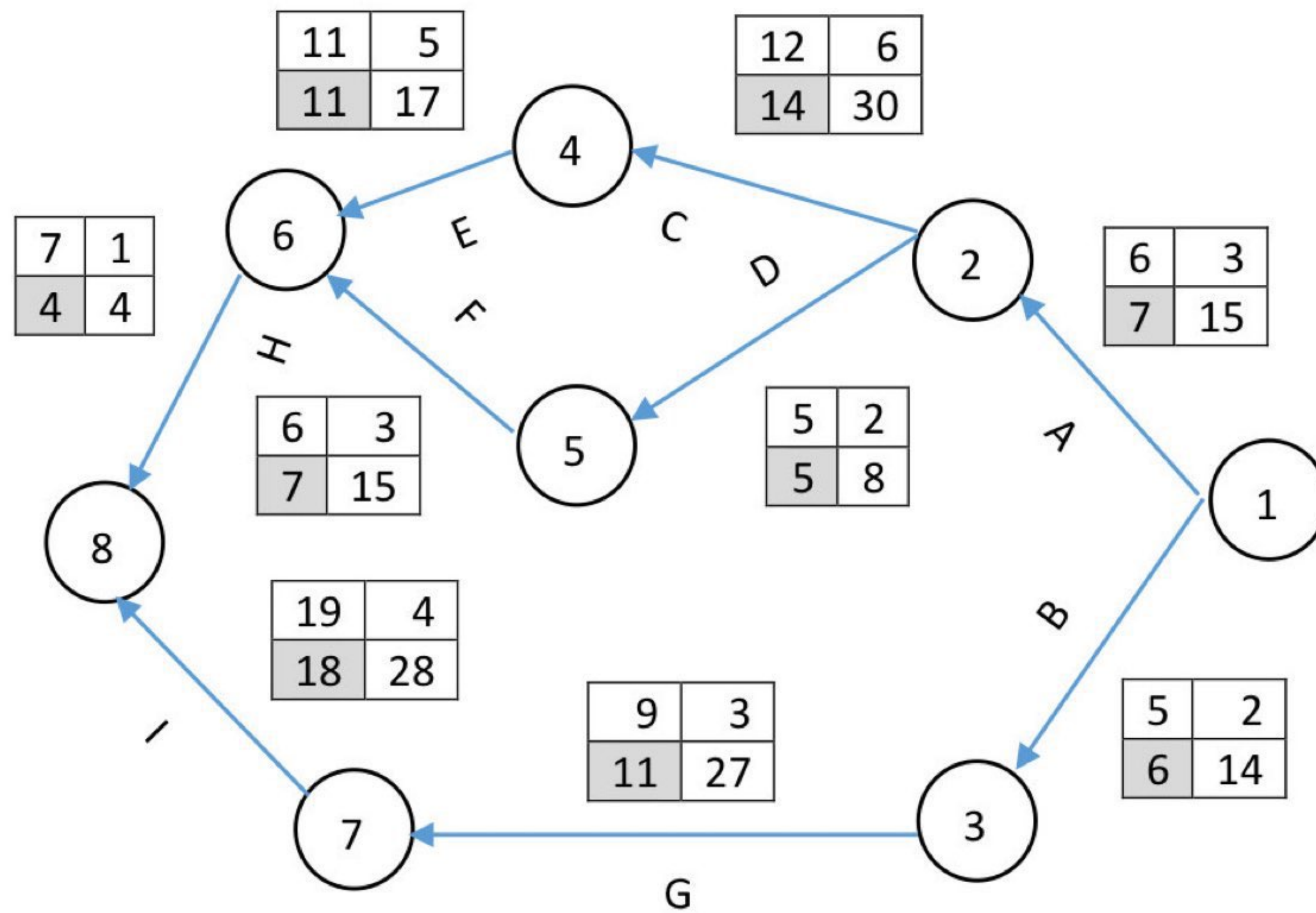
- رسم شبكة الأعمال لهذا المشروع.
- حساب الوقت المتوقع والانحراف المعياري لكل نشاط.
- حساب الوقت المتوقع لإتمام المشروع والانحراف المعياري له.
- حساب الوقت الراكد للأحداث.
- ما هو احتمال أن يتم الإنتهاء من تنفيذ المشروع خلال ٤١ يوم، مدعماً إجابتك برسم بياني للتوزيع الاحتمالي لوقت إتمام المشروع إذا علمت أنه بالبحث في جدول التوزيع الطبيعي عند ال(١) وجد أنه يساوي ٠,٨٤١٣.

## الحل

أولاً: حساب الوقت المتوقع للنشاط:

| $\bar{D}$ | تقديرات الوقت |    |   | الحدث | النشاط |
|-----------|---------------|----|---|-------|--------|
|           | b             | m  | a |       |        |
| 7         | 15            | 6  | 3 | 1-2   | A      |
| 6         | 14            | 5  | 2 | 1-3   | B      |
| 14        | 30            | 12 | 6 | 2-4   | C      |
| 5         | 8             | 5  | 2 | 2-5   | D      |
| 11        | 17            | 11 | 5 | 4-6   | E      |
| 7         | 15            | 6  | 3 | 5-6   | F      |
| 11        | 27            | 9  | 3 | 3-7   | G      |
| 4         | 7             | 4  | 1 | 6-8   | H      |
| 18        | 28            | 19 | 4 | 7-8   | I      |

ثانياً: رسم شبكة الأعمال:



تم رسم شبكة الأعمال وتحديد الأنشطة ووضع الوقت التفاؤلى والتشاؤمى والأكثر احتمالاً والوقت المتوقع للنشاط، وعند تحديد المسار الحرج وحساب الوقت الراكد يتم الاعتماد على الوقت المتوقع.

ثالثاً: حساب الإنحراف المعياري للنشاط:

يتم حساب الإنحراف المعياري بالاعتماد على المعادلة:

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

ومنه فإن:

| $\sigma$ | $\bar{D}$ | تقديرات الوقت |    |   | الحدث | النشاط |
|----------|-----------|---------------|----|---|-------|--------|
|          |           | b             | m  | a |       |        |
| 2        | 7         | 15            | 6  | 3 | 1-2   | A      |
| 2        | 6         | 14            | 5  | 2 | 1-3   | B      |
| 4        | 14        | 30            | 12 | 6 | 2-4   | C      |
| 1        | 5         | 8             | 5  | 2 | 2-5   | D      |
| 2        | 11        | 17            | 11 | 5 | 4-6   | E      |
| 2        | 7         | 15            | 6  | 3 | 5-6   | F      |
| 4        | 11        | 27            | 9  | 3 | 3-7   | G      |
| 1        | 4         | 7             | 4  | 1 | 6-8   | H      |
| 4        | 18        | 28            | 19 | 4 | 7-8   | I      |

رابعاً: تقدير وقت إتمام المشروع وتحديد المسار الحرج والإنحراف المعياري للمشروع:

بالاعتماد على الوقت المتوقع لإتمام النشاط يمكن حساب وقت إتمام المشروع وتحديد

المسار الحرج كما يلي:

| م | المسار    | الوقت | نوع المسار |
|---|-----------|-------|------------|
| ١ | 1-2-4-6-8 | 36    | حرج        |
| ٢ | 1-2-5-6-8 | 23    | غير حرج    |
| ٣ | 1-2-7-8   | 35    | غير حرج    |

ويمكن حساب الانحراف المعياري للمشروع فإذا رمزنا لتباين أنشطة المسار الحرج بالرمز  $\sigma_{CPM}^2$  فإن الانحراف المعياري لوقت إتمام المشروع:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^{ij} \sigma_{CPM}^2}$$

$$\sigma = \sqrt{(2)^2 + (4)^2 + (2)^2 + (1)^2} = 5$$

أي أنه يمكن إتمام المشروع بانحراف معياري  $\pm 5$ ، (١٤ يوم أو ٣١ يوم).

**خامساً: حساب الوقت الراكد:** يتمثل الوقت الراكد في الوقت الفائض من النشاط، وعليه لا بد من حساب الوقت المبكر للنشاط والوقت المتأخر كما يلي:

- الوقت المبكر: بفرض إن  $ES_i$  تمثل وقت البدء المبكر لجميع الأنشطة عند الحدث  $i$ ، وأن  $D_{ij}$  تمثل الوقت المطلوب لإنجاز نشاط يبدأ بالحدث  $i$  وينتهي بالحدث  $j$ ، فإن:

$$ES_i = \max_i \{ES_i + D_{ij}\}$$

حيث إن  $i$  أحداث البداية والنهاية لجميع الأنشطة:

$$ES_1 = \max_{i=0} \{ES_1 + D_{11}\} = \{0 + 0\} = 0$$

$$ES_2 = \max_{i=1-2} \{ES_1 + D_{12}\} = \{0 + 7\} = 7$$

$$ES_3 = \max_{i=1-3} \{ES_1 + D_{13}\} = \{0 + 6\} = 6$$

$$ES_4 = \max_{i=2-4} \{ES_2 + D_{24}\} = \{7 + 14\} = 21$$

$$ES_5 = \max_{i=2-5} \{ES_2 + D_{25}\} = \{7 + 5\} = 12$$

$$ES_6 = \max_{i=4-6} \{ES_4 + D_{46}\}; \max_{i=5-6} \{ES_5 + D_{56}\}; \\ = \{21 + 11\}; \{12 + 11\} = 32$$

$$ES_7 = \max_{i=3-7} \{ES_3 + D_{37}\} = \{6 + 11\} = 17$$

$$ES_8 = \max_{i=6-8} \{ES_6 + D_{68}\}; \max_{i=7-8} \{ES_7 + D_{78}\};$$

$$= \{32 + 4\}; \{17 + 18\} = 36$$

- الوقت المتأخر للنشاط: وهى الوقت الذى يجب ألا يتأخر عنه النشاط ويمكن حسابة من خلال:

$$LC_i = \min_j \{LC_j - D_{ij}\}$$

حيث إن  $LC_i$  أحداث البداية والنهاية لجميع الأنشطة:  
وتكون:

$$LC_8 = ES_8 = 36$$

$$LC_7 = \min_{j=7} \{LC_8 - D_{78}\} = \{36 - 18\} = 18$$

$$LC_6 = \min_{j=6} \{LC_8 - D_{68}\} = \{36 - 4\} = 32$$

$$LC_5 = \min_{j=5} \{LC_8 - D_{56}\} = \{36 - 11\} = 25$$

$$LC_4 = \min_{j=4} \{LC_8 - D_{46}\} = \{36 - 15\} = 21$$

$$LC_3 = \min_{j=3} \{LC_8 - D_{37}\} = \{36 - 29\} = 7$$

$$LC_2 = \min_{j=2} \{LC_8 - D_{24}\}; \{LC_8 - D_{25}\} = \{36 - 16\}; \{36 - 29\} = 7$$

$$LC_1 = \min_{j=1} \{LC_8 - D_{12}\}; \{LC_8 - D_{13}\} = \{36 - 36\}; \{36 - 35\} = 0$$

- حساب الوقت الراكد: يمثل الوقت الراكد الفرق بين الوقت المتأخر والوقت المبكر، وهناك شرط يتمثل فى إن الأنشطة الحرجة التى تمثل المسار الحرج يكون الوقت الراكد لها يساوى صفراً، ويمكننا حساب الوقت الراكد من خلال الاعتماد على المعادلة التالية:

$$TF_i = LC_i - ES_i$$

ومنه فإن:

$$TF_1 = 0 - 0 = 0$$

$$TF_5 = 25 - 12 = 13$$

$$TF_2 = 7 - 7 = 0$$

$$TF_6 = 32 - 32 = 0$$

$$TF_3 = 7 - 6 = 1$$

$$TF_7 = 18 - 17 = 1$$

$$TF_4 = 21 - 21 = 0$$

$$TF_8 = 36 - 36 = 0$$

ويمكن عرض النتائج من خلال الجدول التالي:

| النشاط | الأحداث | الوقت المحدد | الوقت المتأخر | الوقت المبكر | الوقت الراكد |
|--------|---------|--------------|---------------|--------------|--------------|
| A      | (1-2)   | 7            | 0             | 0            | 0            |
| B      | (1-3)   | 6            | 7             | 7            | 0            |
| C      | (2-4)   | 14           | 7             | 6            | 1            |
| D      | (2-5)   | 5            | 21            | 21           | 0            |
| E      | (4-6)   | 11           | 25            | 12           | 13           |
| F      | (5-6)   | 7            | 32            | 32           | 0            |
| H      | (6-8)   | 4            | 18            | 17           | 1            |
| I      | (7-8)   | 18           | 36            | 36           | 0            |

بالرجوع إلى أنشطة المسار الحرج نجد أن الوقت الراكد لها دائماً يساوى صفراً، ويمكن إجراء تحليل الحساسية لأنشطة المسار الحرج ووضع الخطة الزمنية للمشروع بالاعتماد على الوقت الراكد أو الفائض الكلى.

سادساً: احتمال إتمام المشروع في ١٤ يوم: يمكن حساب إتمام المشروع في وقت معين من خلال المعادلة:

$$P(E) = \frac{T - PCM}{\sigma}$$

حيث إن:

$P(E)$  احتمال تحقق الحدث.

$T$  الوقت المتوقع.

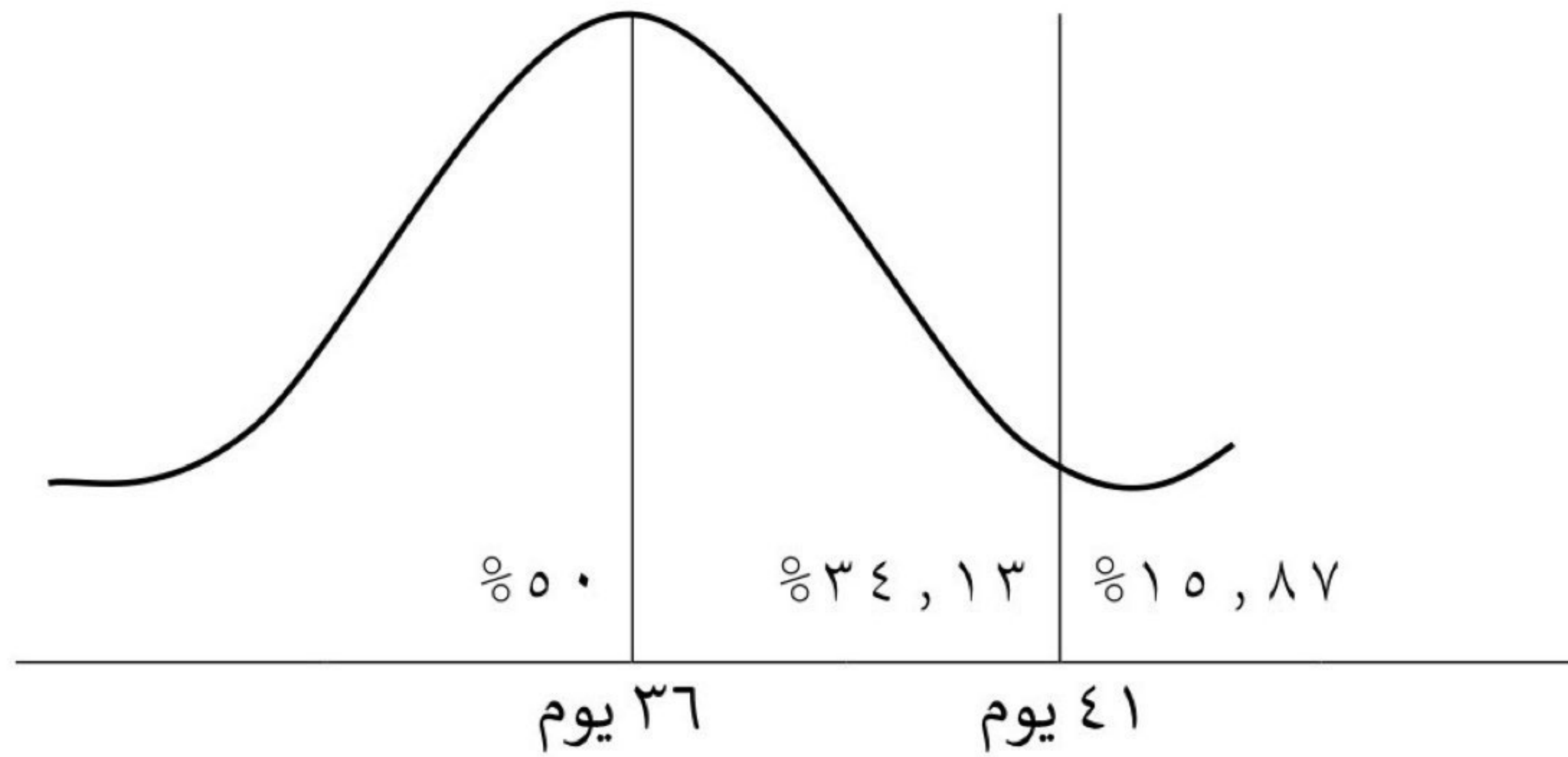
$PCM$  المسار الحرج لوقت إتمام المشروع.

$\sigma$  الإنحراف المعياري لوقت إتمام المشروع.

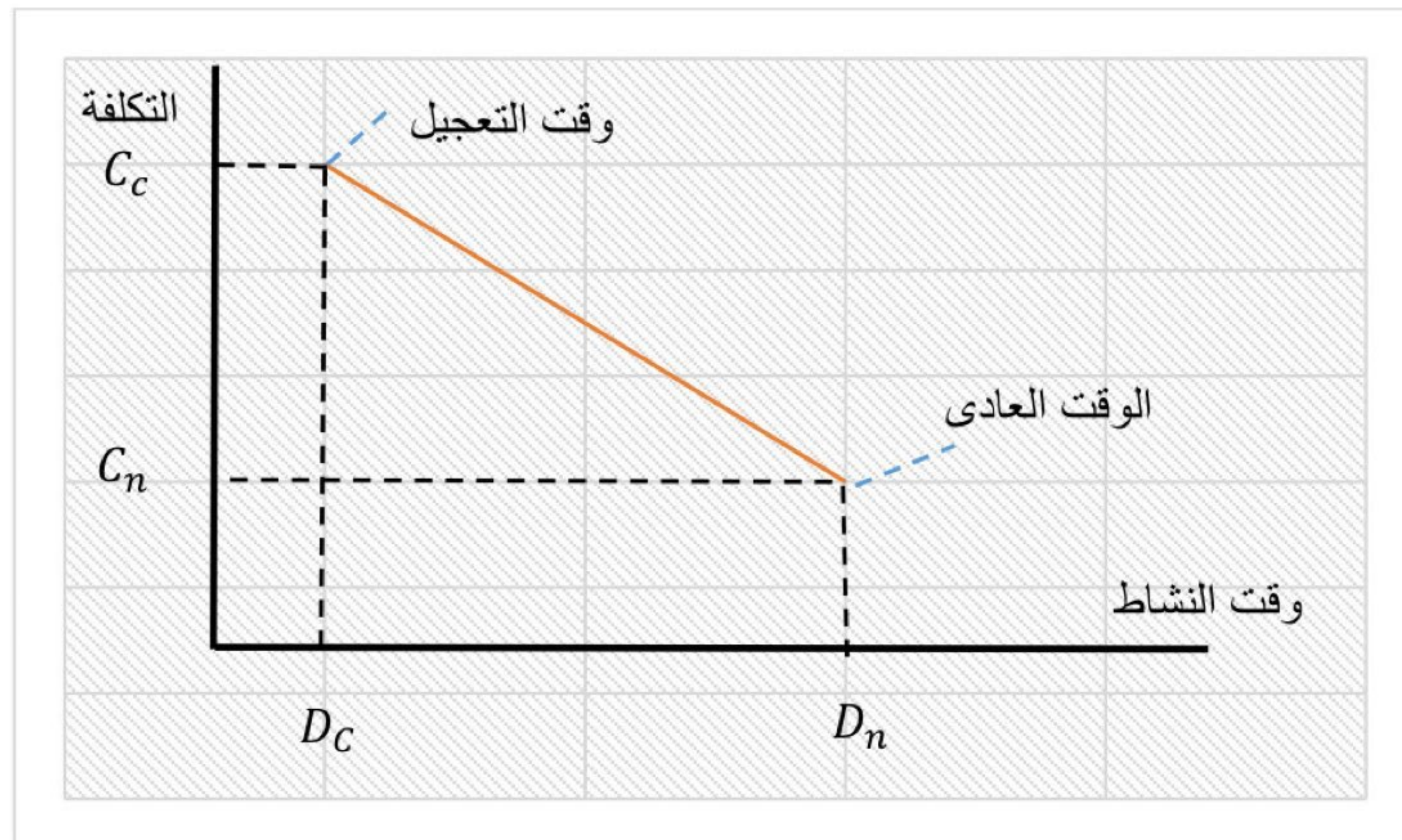
ومنه:

$$P(E) = \frac{41 - 46}{5} = 1$$

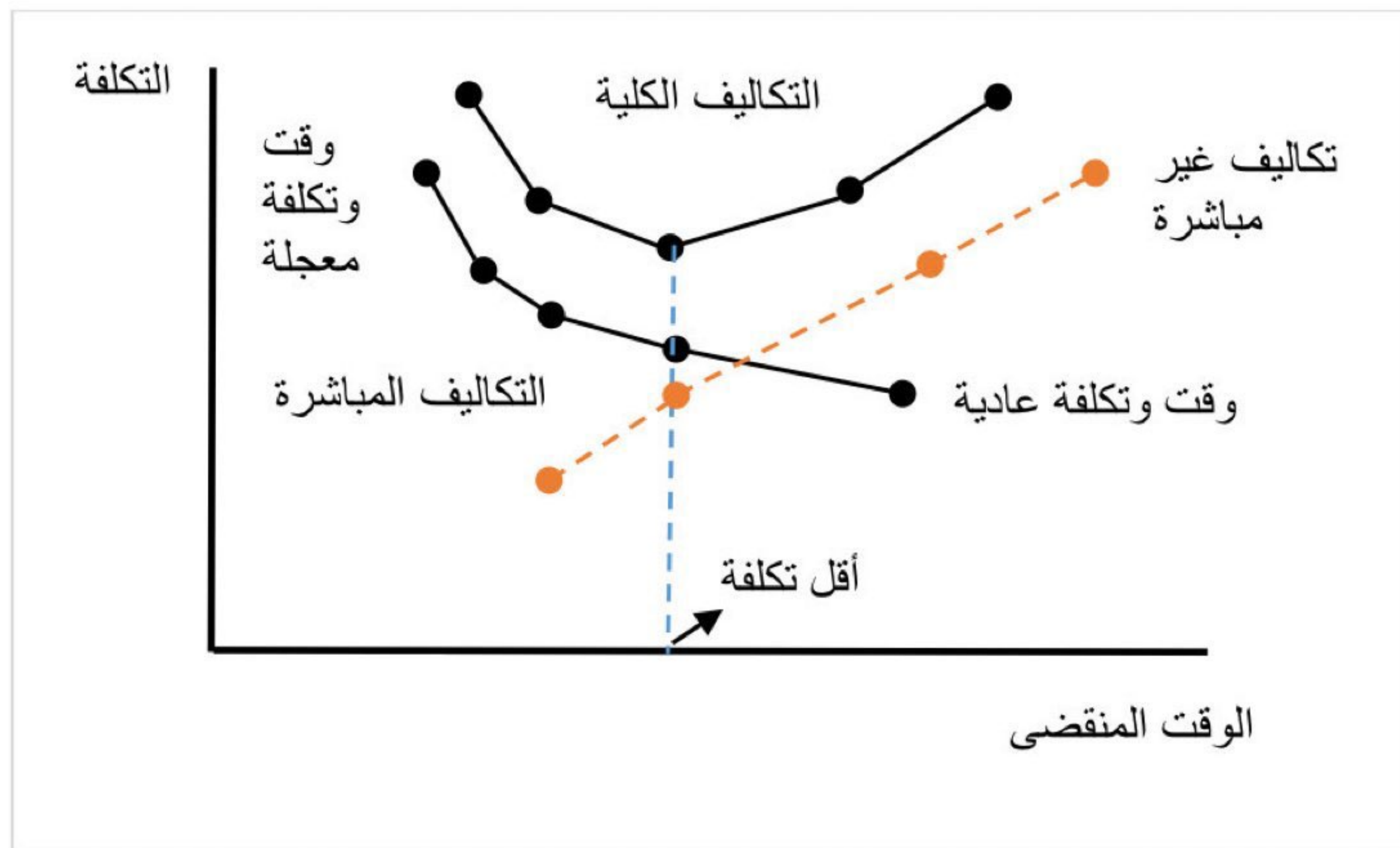
وبالبحث في جداول التوزيع الطبيعي عند الواحد الصحيح نجد أن قيمة المعامل ٠,٨٤١٣،  
ومنه فإن احتمال إتمام المشروع خلال ٤١ يوم يبلغ نسبة ٨٤,١٣%، وإحتمال إتمامه في  
مدة أكثر من ٤١ يوم تبلغ ١٥,٨٧%، ويمكن بيان ذلك من منحنى التوزيع الطبيعي كما يلي:



٣- أسلوب بيرت والتكلفة: يمكن بالاعتماد على نموذج شبكات الأعمال في تحديد العلاقة  
بين التكلفة ووقت إنجاز النشاط، ويمكننا عرض هذه العلاقة من خلال الشكل رقم  
(٧-٥) كما يلي:



فالشكل رقم (٥-٧) يظهر العلاقة الخطية بين التكلفة ووقت الإنجاز، حيث تشير  $D_n$  إلى وقت التنفيذ العادي،  $C_n$  التكلفة العادية في الوقت العادي، ويمكن تعجيل وقت التنفيذ ليصبح  $D_c$  ولكن ذلك سوف يؤدي إلى زيادة التكاليف المباشرة وتصبح  $C_c$  ولكن التعجيل يقف عند حد معين حيث إنه إذا تم الاستمرار في تعجيل الوقت بعد زمن التعجيل المناسب فإن ذلك سوف يؤدي إلى زيادة التكاليف دون تخفيض الوقت، ويمكن تحديد تكلفة كل نشاط من خلال معرفة وقت وتكلفة الزمن العادي  $C_n \cdot D_n$ ، ووقت وتكلفة الإنجاز المعجل  $C_c \cdot D_c$  ويعتمد أسلوب بيرت لدراسة سلوك التكاليف داخل شبكات الأعمال على تحديد الوقت العادي لأنشطة المشروع من نقطة البداية حتى نقطة النهاية وبعدها يتم تحديد المسار الحرج، والتكاليف المباشرة للأنشطة، ومن ثم يتم تحديد المسار الحرج عند القيام بالتعجيل وحساب التكاليف المباشرة المعجلة، وبعدها نبدء بالقيام بعمليات التعجيل لأنشطة المسار الحرج فقط، حيث إن الأنشطة غير الحرجة لا تتطلب إجراءات التعجيل، ويمكن التعبير عن وقت الأنشطة وتكاليفها العادية والمعجلة ومحاولات التعجيل من الشكل رقم (٦-٧) كما يلي:



ورياًضياً يمكننا حسب الحد الأقصى- لزمن التعجيل  $max_{ij}$  ، وميل التكلفة Cost Slope من خلال المعادلات التالية:

$$\max_{ij} = D_n - D_c$$

$$\text{cost slope} = \frac{C_c - C_n}{D_n - D_c}$$

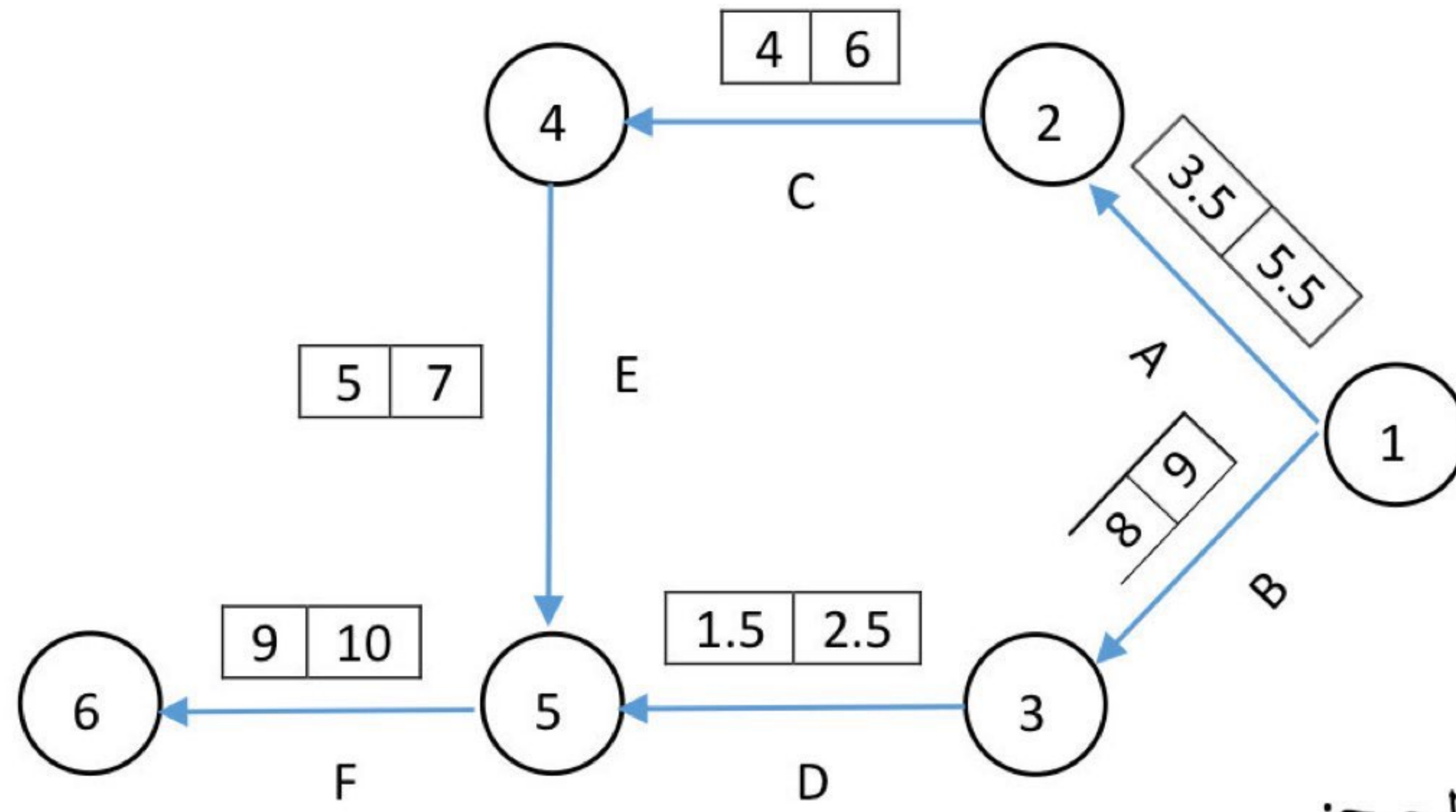
مثال (٧-٣): قدمت إليك شركة جودى وأدم الصناعية بياناً بأحد مشروعاتها المقترح تنفيذها وكانت البيانات كما يلي:

| النشاط   | الحدث | الوقت بالأسبوع |        | التكاليف |         |
|----------|-------|----------------|--------|----------|---------|
|          |       | العادى         | المعجل | العادية  | المعجلة |
| A        | (1-2) | 5.5            | 3.5    | 825      | 1425    |
| B        | (1-3) | 9              | 8      | 900      | 1500    |
| C        | (2-4) | 6              | 4      | 7200     | 8600    |
| D        | (3-5) | 2.5            | 1.5    | 225      | 475     |
| E        | (4-5) | 7              | 5      | 1400     | 2200    |
| F        | (5-6) | 10             | 9      | 1300     | 1500    |
| الاجمالى |       |                |        | 11850    | 15700   |

المطلوب: استخدام اسلوب بيرت التكلفة فى مساعدة الإدارة على اتخاذ القرار المناسب لعملية التعجيل بهدف إتمام المشروع فى أقل وقت وبأدنى تكلفة ممكنة، علماً بأن التكاليف غير المباشرة التى يتحملها المشروع أسبوعياً ٥٠٠ ج.

الحل

أولاً: رسم شبكة الأعمال وتحديد المسار الحرج العادى والمعجل:



تحديد المسار الحرج:

| م | المسار    | العادي | المعجل | نوع المسار |
|---|-----------|--------|--------|------------|
| ١ | 1-2-4-5-6 | 28,5   | 21.5   | حرج        |
| ٢ | 1-3-5-6   | 21,5   | 18.5   | غير حرج    |

ثانياً: تحديد الوقت الممكن للتعجيل لكل نشاط وتكلفة التعجيل:

| النشاط   | الحدث | الوقت بالأسبوع |        | التكاليف |         | $max_{ij}$ | ميل<br>التكلفة |
|----------|-------|----------------|--------|----------|---------|------------|----------------|
|          |       | العادي         | المعجل | العادية  | المعجلة |            |                |
| A        | (1-2) | 5.5            | 3.5    | 825      | 1425    | 2          | 300            |
| B        | (1-3) | 9              | 8      | 900      | 1500    | 1          | 600            |
| C        | (2-4) | 6              | 4      | 7200     | 8600    | 2          | 700            |
| D        | (3-5) | 2.5            | 1.5    | 225      | 475     | 1          | 250            |
| E        | (4-5) | 7              | 5      | 1400     | 2200    | 2          | 400            |
| F        | (5-6) | 10             | 9      | 1300     | 1500    | 1          | 200            |
| الاجمالي |       |                |        | 11850    | 15700   |            |                |

ثالثاً: حساب تكلفة المشروع في الوقت العادي والوقت المعجل:

تكلفة الوقت العادي خلال ٢٨,٥ أسبوع:

|                                     |                   |
|-------------------------------------|-------------------|
| التكاليف المباشرة                   | 11850=            |
| التكاليف غير المباشرة               | 28.5= 500× 14250= |
| التكاليف الاجمالية                  | 26100             |
| تكلفة الوقت المعجل خلال ٢١,٥ أسبوع: |                   |

|                       |                   |
|-----------------------|-------------------|
| التكاليف المباشرة     | 15700=            |
| التكاليف غير المباشرة | 28.5= 500× 10750= |
| التكاليف الاجمالية    | 26450             |

∴ إدنى تكلفة لتنفيذ المشروع — روع بلغت 26100 ج، وأعلى تكلفة لتنفيذ المشروع بلغت 26450 ج.

#### رابعاً: محاولات التعجيل:

تعتمد محاولات التعجيل على تعجيل وقت أنشطة المسار الحرج والتي تمثل الأنشطة الحرجة حيث إن الأنشطة غير الحرجة لا تتطلب تعجيل لأن تعجيلها لن يفيد في تعجيل وقت المشروع الكلى، وعند إجراء محاولات التعجيل فإننا نبدء بالنشاط الحرج صاحب أقل ميل للتكلفة وإذا تساوى نشاطين حرجين في ميل التكلفة نختار النشاط صاحب أقل حد أقصى- لزمن التعجيل وبالبحث في الجدول السابق نجد أن أول نشاط حرج يتم تعجيله هو النشاط F.

#### المحاولة الأولى: تعجيل النشاط F:

إن الحد الأقصى للتعجيل يساوى أسبوعاً واحداً منه يصبح المسار الحرج ٢٧,٥ أسبوع بدلاً من ٢٨,٥ أسبوع ويبقى كما هو المسار الحرج.

تكلفة تعجيل النشاط = ميل التكلفة × الحد الأقصى لزمن التعجيل.

التكاليف المباشرة = التكاليف العادية + تكلفة تعجيل النشاط.

التكاليف غير المباشرة = المسار الحرج الجديد × تكلفة الأسبوع.

التكاليف التفاضلية = التكاليف غير المباشرة + تكاليف التعجيل.  
ومنه:

$$\begin{aligned} \text{تكلفة التعجيل} &= 200 \times 1 = 200 \\ \text{التكاليف المباشرة} &= 11850 + 200 = 12050 \\ \text{التكاليف غير المباشرة} &= 27.5 \times 500 = 13750 \\ \text{التكاليف الإجمالية} &= 25800 \\ \text{التكاليف التفاضلية} &= 13750 + 200 = 13950 \end{aligned}$$

ومنه إذا تم تعجيل النشاط F وتوفير أسبوعاً واحداً فإن المسار الحرج ينخفض بمقدار أسبوع، وتزيد التكاليف العادية من ١٨٥٠ ج لتصل ١٢٠٥٠ ج وتنخفض التكاليف الإجمالية العادية من ٢٦١٠٠ ج لتصل ٢٥٨٠٠ ج.

#### المحاولة الثانية: تعجيل النشاط A:

بالبحث داخل المسار الحرج عن المسار التالي نجد أن النشاط A صاحب أقل ميل تكلفة تالي وبحد أقصى- للتعجيل أسبوعين ويصبح المسار الحرج ٢٧,٥ - ٢ = ٢٥,٥ أسبوع ويبقى مساراً حرجاً، ويمكن تعجيله كما يلي:

$$\begin{aligned} \text{تكلفة التعجيل} &= 300 \times 2 = 600 \\ \text{التكاليف المباشرة} &= 12050 + 600 = 12650 \\ \text{التكاليف غير المباشرة} &= 25.5 \times 500 = 12750 \\ \text{التكاليف الإجمالية} &= 25400 \\ \text{التكاليف التفاضلية} &= 12750 + 800 = 13550 \end{aligned}$$

ومنه إذا تم تعجيل النشاط A وتوفير أسبوعين فإن المسار الحرج ينخفض بمقدار أسبوعين ليصبح ٢٥,٥ أسبوعاً، وتزيد التكاليف المباشرة العادية من ١٢٠٥٠ ج لتصل ١٢٦٥٠ ج وتنخفض التكاليف الإجمالية العادية من ٢٥٨٠٠ ج لتصل ٢٥٤٠٠ ج.

#### المحاولة الثالثة: تعجيل النشاط E:

بالبحث داخل المسار الحرج عن المسار التالى نجد أن النشاط E صاحب أقل ميل تكلفة تالى وبحد أقصى- للتعجيل أسبوعين ويصبح المسار الحرج ٢٥,٥ - ٢ = ٢٣,٥ أسبوع ويبقى مساراً حرجاً، ويمكن تعجيله كما يلي:

$$\begin{aligned} \text{تكلفة التعجيل} &= 400 \times 2 = 800 \\ \text{التكاليف المباشرة} &= 12650 + 800 = 13450 \\ \text{التكاليف غير المباشرة} &= 23.5 \times 500 = 11750 \\ \text{التكاليف الإجمالية} &= 25200 \\ \text{التكاليف التفاضلية} &= 11750 + 1600 = 13350 \end{aligned}$$

ومنه إذا تم تعجيل النشاط E وتوفير أسبوعين فإن المسار الحرج ينخفض بمقدار أسبوعين ليصبح ٢٣,٥ أسبوعاً، وتزيد التكاليف المباشرة العادية من ١٢٦٥٠ ج لتصل ١٢٤٥٠ ج وتنخفض التكاليف الإجمالية العادية من ٢٥٤٠٠ ج لتصل ٢٥٢٠٠ ج.

#### المحاولة الرابعة: تعجيل النشاط C:

بالبحث داخل المسار الحرج عن المسار التالى نجد أن النشاط C صاحب أقل ميل تكلفة تالى وبحد أقصى- للتعجيل أسبوعين ويصبح المسار الحرج ٢٣,٥ - ٢ = ٢١,٥ أسبوع ويتساوى مع المسار الآخر ويصبحا حرجين معاً، ويمكن تعجيله كما يلي:

$$\begin{aligned} \text{تكلفة التعجيل} &= 700 \times 2 = 1400 \\ \text{التكاليف المباشرة} &= 13450 + 1400 = 14850 \\ \text{التكاليف غير المباشرة} &= 21.5 \times 500 = 10750 \\ \text{التكاليف الإجمالية} &= 25600 \\ \text{التكاليف التفاضلية} &= 10750 + 3000 = 13750 \end{aligned}$$

ومنه إذا تم تعجيل النشاط C وتوفير أسبوعين فإن المسار الحرج ينخفض بمقدار أسبوعين ليصبح ٢١,٥ أسبوعاً، متساوياً مع المسار الآخر، وتزيد التكاليف المباشرة العادية من ١٣٤٥٠ ج لتصل ١٤٨٥٠ ج وتزيد التكاليف الإجمالية العادية من ٢٥٢٠٠ ج لتصل ٢٥٦٠٠ ج.

بعد زيادة التكاليف الإجمالية يتم التوقف عن إجرائها وتكون آخر محاول تعجيل هي المرحلة الثالثة بعد تعجيل الأنشطة، F,A,E على الترتيب وعدم تعجيل النشاط C لأ تعجيله سوف يؤدي إلى زيادة التكاليف المباشرة بمقدار ١٤٠٠ ج رغم إنخفاض التكاليف غير المباشرة بمقدار ٢ × ٥٠٠ = ١٠٠٠ ج، حيث إن الفرق بين زيادة التكاليف المباشرة والنقص في التكاليف غير المباشرة يمثل مقدار الزيادة في التكاليف الاجمالية بمقدار ١٤٠٠ - ١٠٠٠ = ٤٠٠ ج، ومن خلال الجدول التالي يمكن عرض نتائج محاولات التعجيل.

| م | المسار                             | النشاط المعجل | التكاليف الإضافية | التكاليف الإضافية المجمعة | التكاليف الإضافية | التكاليف المباشرة | التكاليف غير المباشرة | التكاليف الإجمالية |
|---|------------------------------------|---------------|-------------------|---------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|--------------------|
| 0 | 1-2-4-5-6 = 28.5<br>1-3-5-6 = 21.5 | —             | —                 | —                         | —                 | 11850             | 14350                 | 26100              |
| 1 | 1-2-4-5-6 = 27.5<br>1-3-5-6 = 21.5 | F             | 200               | 200                       | 13950             | 12050             | 13750                 | 25800              |
| 2 | 1-2-4-5-6 = 25.5<br>1-3-5-6 = 21.5 | A             | 600               | 800                       | 13550             | 12650             | 12750                 | 25400              |
| 3 | 1-2-4-5-6 = 23.5<br>1-3-5-6 = 21.5 | E             | 800               | 1600                      | 13350             | 13450             | 11750                 | 25200              |
| 4 | 1-2-4-5-6 = 21.5<br>1-3-5-6 = 21.5 | C             | 1400              | 3000                      | 13750             | 14850             | 10750                 | 25600              |

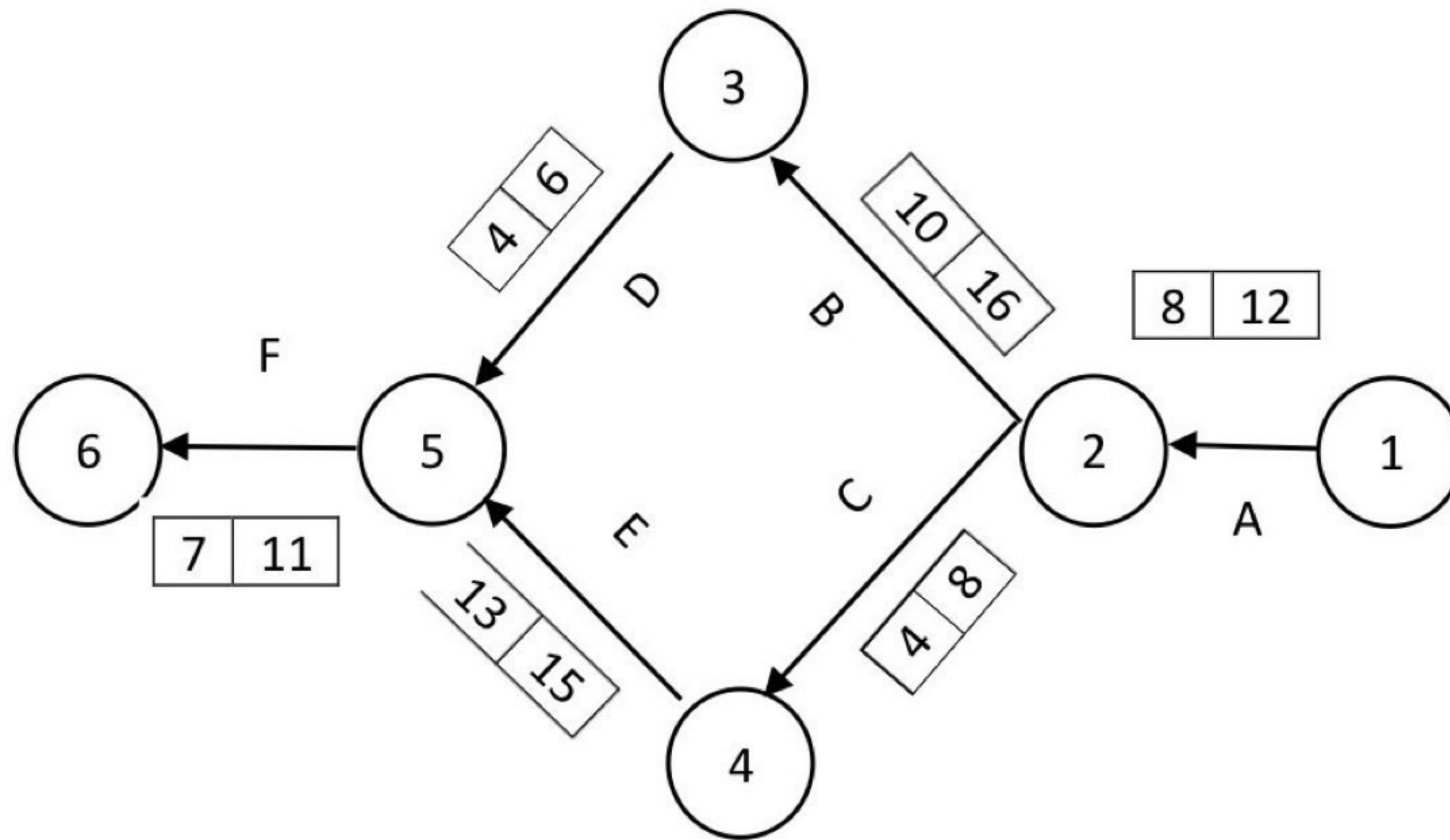
مثال (٧-٤): قدمت إليك شركة على ولمار الصناعية بياناً بأحد مشروعاتها المقترح تنفيذها وكانت البيانات كما يلي:

| النشاط   | الحدث | الوقت باليوم |        | التكاليف |         |
|----------|-------|--------------|--------|----------|---------|
|          |       | العادي       | المعجل | العادية  | المعجلة |
| A        | (1-2) | 12           | 8      | 2000     | 2500    |
| B        | (2-3) | 16           | 10     | 2400     | 2700    |
| C        | (2-4) | 8            | 4      | 1800     | 2200    |
| D        | (3-5) | 6            | 3      | 1600     | 1950    |
| E        | (4-5) | 15           | 13     | 3400     | 3500    |
| F        | (5-6) | 11           | 7      | 2600     | 12000   |
| الاجمالي |       |              |        | 13800    | 24850   |

المطلوب: استخدام أسلوب بيرت التكلفة في مساعدة الإدارة على اتخاذ القرار المناسب لعملية التعجيل بهدف إتمام المشروع في أقل وقت وبأدنى تكلفة ممكنة، علماً بأن التكاليف غير المباشرة التي يتحملها المشروع يومياً ٢٠٠ ج، ما هي أقل تكلفة لإنجاز المشروع في ٣٩ يوم، ومدى قبول القرار أو رفضه من وجهة نظرك.

الحل

أولاً: رسم شبكة الأعمال وتحديد المسار الحرج العادي والمعجل:



## تحديد المسار الحرج:

| م | المسار    | العادي | المعجل | نوع المسار |
|---|-----------|--------|--------|------------|
| ١ | 1-2-3-5-6 | 45     | 31     | غير حرج    |
| ٢ | 1-2-4-5-6 | 46     | 32     | حرج        |

ثانياً: تحديد الوقت الممكن للتعجيل لكل نشاط وتكلفة التعجيل:

| النشاط   | الحدث | الوقت باليوم |        | التكاليف |         | ميل<br>maxij | التكلفة |
|----------|-------|--------------|--------|----------|---------|--------------|---------|
|          |       | العادي       | المعجل | العادية  | المعجلة |              |         |
| A        | (1-2) | 12           | 8      | 2000     | 2500    | 4            | 125     |
| B        | (2-3) | 16           | 10     | 2400     | 3600    | 6            | 200     |
| C        | (2-4) | 8            | 4      | 1800     | 2200    | 4            | 100     |
| D        | (3-5) | 6            | 4      | 1600     | 2200    | 2            | 300     |
| E        | (4-5) | 15           | 13     | 3400     | 3500    | 2            | 50      |
| F        | (5-6) | 11           | 7      | 2600     | 3000    | 4            | 100     |
| الاجمالي |       |              |        | 13800    | 17000   |              |         |

ثالثاً: حساب تكلفة المشروع في الوقت العادي والوقت المعجل:

تكلفة الوقت العادي خلال 46 يوم:

$$\begin{array}{rcl}
 & \text{التكاليف المباشرة} & 13800 = \\
 & \text{التكاليف غير المباشرة} & 46 = 200 \times 9200 = \\
 \hline
 & \text{التكاليف الاجمالية} & 23000
 \end{array}$$

تكلفة الوقت المعجل خلال 32 أيام:

$$\begin{array}{rcl}
 & \text{التكاليف المباشرة} & 17000 = \\
 & \text{التكاليف غير المباشرة} & 32 = 200 \times 6400 = \\
 \hline
 & \text{التكاليف الاجمالية} & 23400
 \end{array}$$

∴ إيدنى تكلفة لتنفيذ المشروع بلغت 23000ج، وأعلى تكلفة لتنفيذ المشروع بلغت 23400ج.

رابعاً: محاولات التعجيل:

نبدء بالنشاط الحرج صاحب أقل ميل للتكلفة وإذا تساوى نشاطين حرجين فى ميل التكلفة نختار النشاط صاحب أقل حد أقصى لزمان التعجيل وبالبحث فى الجدول السابق نجد أن أول نشاط حرج يتم تعجيله هو النشاط E.

**المحاولة الأولى: تعجيل النشاط E:**

إن الحد الأقصى- للتعجيل يساوى يومين ويصبح المسار الحرج ٤٤ يوماً بدلاً من ٤٦ يوم ويتحول إلى مسار غير حرج ويصبح المسار الآخر حرج.

$$\text{تكلفة التعجيل} = 50 \times 2 = 100$$

$$\text{التكاليف المباشرة} = 13800 + 100 = 13900$$

$$\text{التكاليف غير المباشرة} = 44 \times 200 = 8800$$

$$\text{التكاليف الإجمالية} = 22700$$

$$\text{التكاليف التفاضلية} = 8800 + 100 = 8900$$

ومنه إذا تم تعجيل النشاط E وتوفير يوماً واحداً فإن المسار الحرج ينخفض بمقدار يوماً، وتزيد التكاليف العادية من 13800ج لتصل 3900ج وتنخفض التكاليف الإجمالية العادية من 23000ج لتصل 22700ج، وتحول المسار الثانى إلى مسار حرج نقوم بتعجيل أنشطته الحرجة.

**المحاولة الثانية: تعجيل النشاط B:**

بالبحث داخل المسار الحرج عن المسار التالى نجد أن النشاط B صاحب أقل ميل تكلفة تالى وبحد أقصى. للتعجيل 6 أيام ويصبح المسار الحرج ٤٥ - ٦ = ٣٩ أسبوع ويتحول المسار الأول إلى مسار حرج، ويمكن تعجيله كما يلى:

$$1200 = 6 \times 200 = \text{تكلفة التعجيل}$$

$$15100 = 1200 + 13900 = \text{التكاليف المباشرة}$$

$$7800 = 200 \times 39 = \text{التكاليف غير المباشرة}$$

$$22900 = \text{التكاليف الإجمالية}$$

$$9000 = 1200 + 7800 = \text{التكاليف التفاضلية}$$

ومنه إذا تم تعجيل النشاط B وتوفير يومين، وتزيد التكاليف المباشرة العادية من ١٣٩٠٠ ج لتصل ١٥١٠٠ ج وتزيد التكاليف الإجمالية العادية من ٢٢٧٠٠ ج لتصل ٢٢٩٠٠ ج. بعد زيادة التكاليف الإجمالية يتم التوقف عن محاولات التعجيل وتكون آخر محاول تعجيل هي المرحلة الأولى بعد تعجيل النشاط E وعدم تعجيل النشاط B لأن تعجيله سوف يؤدي إلى زيادة التكاليف المباشرة بمقدار ٢٠٠ ج رغم إنخفاض التكاليف غير المباشرة بمقدار ١٠٠٠ ج، حيث إن الفرق بين زيادة التكاليف المباشرة والنقص في التكاليف غير المباشرة يمثل مقدار الزيادة في التكاليف الاجمالية بمقدار ١٢٠٠ - ١٠٠٠ = ٢٠٠ ج، ومن خلال الجدول التالي يمكن عرض نتائج محاولات التعجيل.

| م | المسار                               | النشاط المعجل | التكاليف الإضافية | التكاليف الإضافية المجمعة | التكاليف الإضافية | التكاليف المباشرة | التكاليف غير المباشرة | التكاليف الإجمالية |
|---|--------------------------------------|---------------|-------------------|---------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|--------------------|
| 0 | 1-2-4-5-<br>6=46<br>1-2-3-5-<br>6=45 | —             | —                 | —                         | —                 | 13800             | 9200                  | 23000              |
| 1 | 1-2-4-5-<br>6=44<br>1-2-3-5-<br>6=45 | E             | 100               | 100                       | 8900              | 13900             | 8800                  | 22700              |
| 2 | 1-2-4-5-<br>6=44<br>1-2-3-5-<br>6=39 | B             | 1200              | 1300                      | 9000              | 15100             | 7800                  | 22900              |

من التحليل السابق نجد أن:

- أقل تكلفة لتنفيذ المشروع تبلغ ٢٢٧٠٠ ج خلال ٤٤ يوم.
  - تكلفة تنفيذ المشروع في ٣٩ يوم تبلغ ٢٢٩٠٠ ج وهو قرار مرفوض.
- ويتم خلال المرحلة الأخيرة من مراحل أسلوب المسار الحرج وبيروت التحكم ويمكننا القيام بالتحكم في تنفيذ المشروع بالاعتماد على كلاً من:
- شبكة الأعمال للمشروع.
  - الجدول الزمني لتنفيذ الأنشطة.

**استخدام برنامج Microsoft Excel Solver في حل مشكلات شبكات الأعمال:** يمكننا الاعتماد على بعض البرامج الإلكترونية لحل مشكلات شبكات الأعمال من برنامج Microsoft Excel Solver وذلك عن طريق تحويل المشكلة إلى نموذج برمجة خطية، ومن خلال ما يلي نتناول كيفية تحديد المسار الحرج وكيفية حساب تكاليف التعجيل بالاعتماد على Microsoft Excel Solver:

- ١- استخدام البرمجة الخطية في تحديد المسار الحرج للمشروع: يمكن الاعتماد على البرمجة الخطية في تحديد الوقت المبكر والمتأخر كل نشاط من أنشطة المشروع، عن طريق صياغة مشكلتين للبرمجة الخطية الأولى متعلقة بتحديد الوقت المبكر لزمن النشاط، والثانية لتحديد الوقت المتأخر، ويمكن بيان خطوات الحل من خلال المثال التالي:

**مثال (٦-٧):** فيما يلي البيانات المتعلقة بأعمال الصرف الصحي والأعمال الكهروميكانيكية داخل إحدى مشروعات شركة ريف العقارية بالعاصمة الإدارية الجديدة، وكانت تقديرات الوقت بالأسبوع:

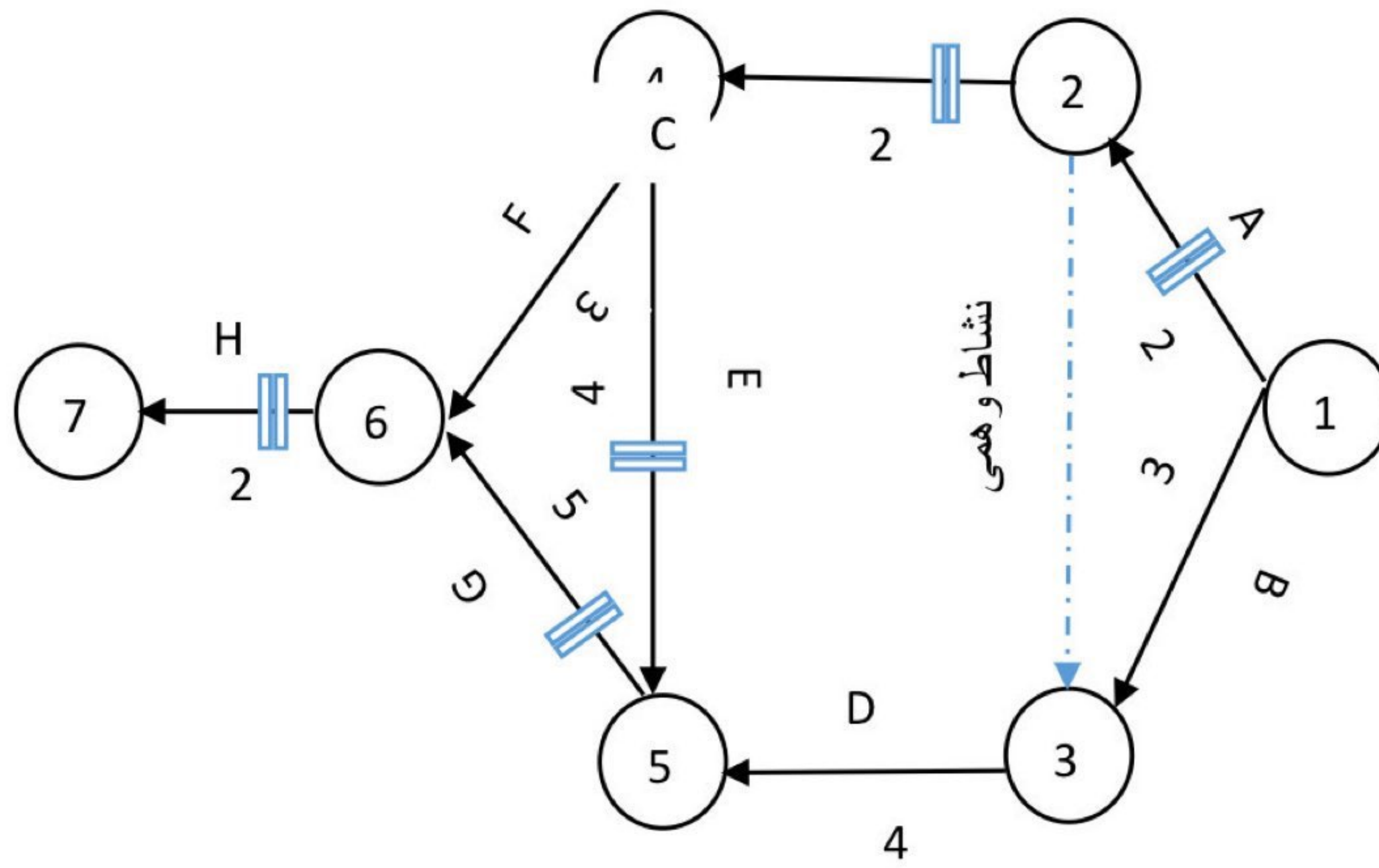
| النشاط | وصف النشاط             | النشاط السابق | الوقت بالأسبوع |
|--------|------------------------|---------------|----------------|
| A      | بناء الوحدات الداخلية. | —             | 2              |
| B      | تحسين الأرضية والأسقف. | —             | 3              |
| C      | إنشاء المجموعات.       | A             | 2              |

|   |     |                                |   |
|---|-----|--------------------------------|---|
| 4 | A,B | صب الخرسانات وتركيب الأجزاء    | D |
| 4 | C   | مد خط الإنذار.                 | E |
| 3 | C   | تركيب نظام شفط الهواء والأتربة | F |
| 5 | D,E | تركيب أجهزة الإنذار والمراقبة  | G |
| 2 | F,G | المراجعة والاختبارات.          | H |

المطلوب حل النموذج باستخدام البرمجة الخطية.

الحل

أولاً: رسم شبكة الأعمال: نقوم برسم شبكة الأعمال للتعرف على المشروع.



ويكون المسار الحرج:

| م | المسار      | الوقت | نوع المسار |
|---|-------------|-------|------------|
| 1 | 1-2-4-6-7   | 9     | غير حرج    |
| 2 | 1-2-4-5-6-7 | 15    | حرج        |
| 3 | 1-2-3-5-6-7 | 12    | غير حرج    |
| 4 | 1-3-5-6-7   | 14    | غير حرج    |

ويمكن صياغة نموذج البرمجة الخطية كما يلي:

أ- نموذج البرمجة الخطية لتحديد الوقت المبكر: ويكون متغير القرار هو تحديد الوقت

المبكر للنشاط  $i$  ويرمز له بالرمز  $E_i$  وعليه تكون دالة الهدف:

$$\min E_A + E_B + E_C + E_D + E_E + E_F + E_G + E_H$$

Subject to:

$$E_C \geq E_A + 2 \quad (C \text{ يسبق } A)$$

$$E_D \geq E_A + 2 \quad (D \text{ يسبق } A)$$

$$E_D \geq E_B + 3 \quad (C \text{ يسبق } B)$$

$$E_E \geq E_C + 2 \quad (E \text{ يسبق } C)$$

$$E_F \geq E_C + 2 \quad (F \text{ يسبق } C)$$

$$E_G \geq E_D + 4 \quad (G \text{ يسبق } D)$$

$$E_G \geq E_E + 4 \quad (G \text{ يسبق } E)$$

$$E_H \geq E_F + 3 \quad (H \text{ يسبق } F)$$

$$E_H \geq E_G + 5 \quad (H \text{ يسبق } G)$$

حيث إن  $E_i \geq 0$

تصبح المشكلة:

$$\min E_A + E_B + E_C + E_D + E_E + E_F + E_G + E_H$$

Subject to:

$$E_C - E_A \geq 2$$

$$E_D - E_A \geq 2$$

$$E_D - E_B \geq 3$$

$$E_E - E_C \geq 2$$

$$E_F - E_C \geq 2$$

$$E_G - E_D \geq 4$$

$$E_G - E_E \geq 4$$

$$E_H - E_F \geq 3$$

$$E_H - E_G \geq 5$$

حيث إن  $E_i \geq 0$