المحور الأول: شبكات الأعمال (PERT)

بعد كبر حجم المشاريع وتعقد مهام تنفيذها وكبر أيضا حجم الوسائل المستعملة في انجازها وعدد المساهمين فيها، بدأ المسيرون للمشاريع يلاقون صعوبات ومشاكل كثيرة لم تستطع استعمال الوسائل التقليدية والنظرية مساعدتهم في حلها، وبدت وكأنها قد تجاوزها الزمن، ومن أجل التغلب على هذه الصعوبات وغيرها، والتحكم في أخذ القرارات الضرورية في أحسن الظروف، ظهرت عدة تقنيات حديثة للمساعدة المسيرين على تحسين مستوى التحكم في تنفيذ المشاريع أهمها طريقة أسلوب تقييم ومراجعة المشروع (**PERT**).

تم تطوير أسلوب (**PERT**) في الخمسينيات (1958م) من قبل فريق عمل مكون من البحرية الأمريكية بالإضافة إلى مستشارين في شركة (**Booz, Allen and Hamilton**) بقيادة (**D.G. Malcolm**) بهدف تطوير نظام للصواريخ لمواجهة الاتحاد السوفيتي وتقليص الزمن الكلي لإنجاز المشروع، حيث تم تطوير مدخل شبكات الأعمال لتصميم أنظمة السيطرة الإدارية للغواصة (**Polaris**) وتضمن هذا المشروع على (**23**) شبكة من شبكات (**PERT**) وعلى (**3000**) نشاط، ومن خلال تبني أسلوب (**PERT**) تم اختصار وقت تنفيذ المشروع من خمسة سنوات إلى ثلاث سنوات، ويعتبر أسلوب(**PERT**) أحد أساليب التحليل الشبكي والذي يشبه إلى حد ما أسلوب المسار الحرج (**CPM**) من حيث رسم شبكة الأعمال، ولكنها تختلف عنه في طريقة المسار فهناك وقت واحد أي زمن واحد لإنهاء النشاط في حين أنه بالنسبة لطريقة (**PERT**) فإن وقت إنهاء النشاط أكثر من وقت وهي احتمالية.

من أجل إمكانية استعمال هذه الطريقة يجب توفر شروط عامة وهي:

- أن يكون المشروع قابلا للتجزئة إلى نشاطات (**des Activités**) محددة ومستقلة نسبيا.
- معرفة تسلسل تنفيذ هذه النشاطات وترتيبها زمنيا، أي تبعيتها لبعضها البعض في الزمن.
- يجب أيضا معرفة المدة المتوقعة لتنفيذ كل نشاط (سواء بصفة مطلقة أو احتمالية).

كما إن استعمال طريقة (**PERT**) يتم وفق المراحل التالية:

- **مرحلة التخطيط (تكوين الشبكة الخاصة بتنفيذ المشروع).**
- **تحديد الخريطة الزمنية لتنفيذ المشروع.**
- **ايجاد علاقة الزمن بالتكلفة.**
- **مراقبة وتقييم تنفيذ المشروع (مقارنة المخطط بالواقع).**

1- مرحلة التخطيط (تكوين الشبكة الخاصة بتنفيذ المشروع): هذه مرحلة تتضمن تقسيم المشروع إلى نشاطات مختلفة محددة ومستقلة نسبيا، وتحديد علاقات التتابع المنطقي في تنفيذيها (العلاقة السابقة مع اللاحقة في التنفيذ بين النشاطات المكونة للمشروع)، ثم بعد ذلك تحديد المدة الزمنية الضرورية المتوقعة لتنفيذ كل نشاط، هذه العلاقات بين النشاطات تسمح لنا بجميعها بيانيا في شكل شبكة، هذه الشبكة تعطي تمثيلا لنشاطات المشروع ككل ومراحل انجازه.

- **قواعد إعداد وتكوين شبكة (PERT):** قبل التطرق لقواعد تكوين شبكة (**PERT**) سنعرض بعض المصطلحات المستخدمة لتكوينها:

- **المشروع:** هو مجموعة من النشاطات المختلفة والمتسلسلة، بحيث لا يبدأ تنفيذ بعضها إلا بعد الانتهاء من تنفيذ البعض الاخر.

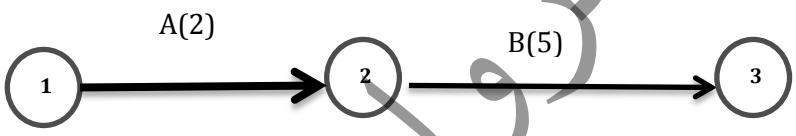
د. حايد مروان

❖ **الحادث:** هو إنجاز معين يحدث في نقطة زمن معينة في بداية أو نهاية النشاط ولا يحتاج لوقت أو موارد بحد ذاته، ويمثل في الشبكة بدائرة مرقمة حسب تسلسلها:

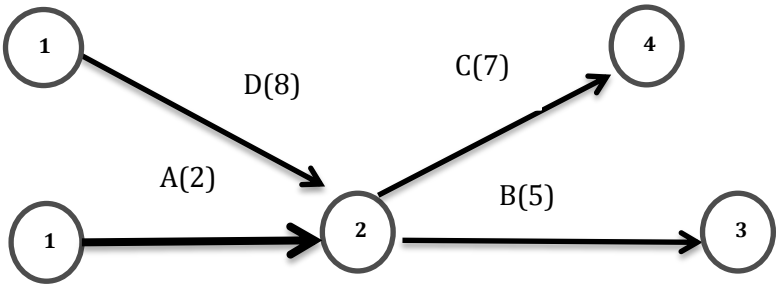
❖ **النشاط:** هو فعل أو نشاط متمثل بعمل معين والذي يتطلب توفر موارد ووقت لإنجازه ويمثل بسهم ويكتب فوقه رمز النشاط زائد الوقت اللازم لتنفيذه بالوحدة الزمنية المختارة (يوم، اسبوع، سنة...الخ):

يجب على كل النشاط ان لا يبدأ إلا بعد وقوع الحدث الذي يسبقه أي أنه لا يمكن أن يبدأ إلا بعد إتمام كل الأنشطة التي تنتهي عند الحادث السابق له، وعموماً يمكن أن يقال أن الأنشطة تنقسم إلى مجموعتين رئيسيتين:

أ- **الأنشطة المتعاقبة:** وهي الأنشطة التي تحدث في ترتيب متعاقب، ففي الشكل التالي نجد أن النشاط (A) يسبق النشاط (B) وعلى هذا الأساس لا يجوز البدء بتنفيذ النشاط (B) إلا بعد إنجاز النشاط (A):

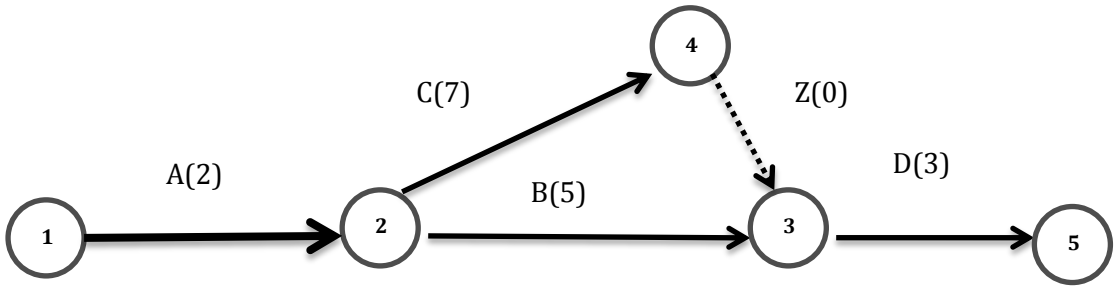


ب- **الأنشطة المتزامنة:** هي الأنشطة التي يبدأ أو ينتهي تنفيذها في نفس الحادث، بحيث يتم تنفيذ نشاطين أو أكثر في نفس الحادث بعد الانتهاء من تنفيذ نشاط واحد أو أكثر، أو انتهاء من تنفيذ نشاطين أو أكثر في نفس الحادث لكي يسمح في بدأ تنفيذ نشاط أو أكثر، والشكل التالي يبين أن النشاطين (B) و(C) نعتبر أنشطة متزامنة حيث يبدأ تنفيذهما في نفس الحادث (2) وبعد الانتهاء من تنفيذ النشاط (A) و(D)، وكذلك النشاطين (A) و(D) هي انشطة متزامنة لأنه ينتهي من تنفيذها في نفس الحدث (2) لتسمح ببدء تنفيذ النشاط (B) و(C).



❖ **النشاط الوهمي:** هو نشاط لا يتطلب لتنفيذه لا أموال ولا وسائل ولا وقت، فهو نشاط نضطر إلى استعماله في تكوين الشبكة فقط لإبراز تبعية نشاط ما في تنفيذه لانتهاء من تنفيذ نشاط آخر سابق له:

د. حايد مروان



مثلا النشاط (D) يتبع في تنفيذه نهاية النشاط (C) و(B)، ولا يكمن تمثيل ذلك في الشبكة إلا باستخدام النشاط الوهمي (Z) الذي يرمز له بسهم متقطع لتمييزه على النشاطات العادية الاخرى.

وبعد التعرف على أهم المصطلحات ينبغي عند تصميم الشبكة الأخذ بالاعتبار مجموعة من القواعد التالية:

1. يتكون المشروع من مجموعة من النشاطات كل منها يمثل مهمة محددة.
2. كل نشاط يتكون من ثلاثة أجزاء هي حادث البداية، الوقت، وحادث النهاية.
4. يأخذ المسار اتجاها واحدا ولا يمكن أن يكون في اتجاهين مختلفين.
5. ينبغي أن تكون جميع النشاطات متسلسلة ومتصلة ولا يصح الإخلال بذلك.
6. ينبغي تحديد الوقت اللازم للتنفيذ وذلك بالنسبة لكل نشاط.
7. يمكن التعبير عن مدة كل نشاط بأي وحدة زمنية لاكن بشرط تكون موحدة على طول الشبكة.
8. لا يمثل طول أو قصر الخط الواصل بين أي حادثين ما للنشاط أي أهمية.
9. يمثل الحادث لبداية ونهاية كل نشاط وغالبا ما تمثل الحادث نهاية نشاط وبداية نشاط آخر (إلا حادث بداية المشروع ونهايته)
10. عندما تنتهي مجموعة من النشاطات في حادث معين فإن ذلك يدل على ضرورة استكمالها قبل البدء في نشاط جديد، أي ينبغي الانتهاء من كل النشاطات.
11. لا يمكن أن يحمل نشاطان أو أكثر نفس نقطتي البداية والنهاية على اعتبار أن لكل نشاط نقطتي بداية ونهاية مميزتين ولهذا السبب يستعمل النشاط الوهمي.
12. كل شبكة (مشروع) يجب أن تكون لها إلا حادث ابتدائي واحد وحادث نهائي واحد.

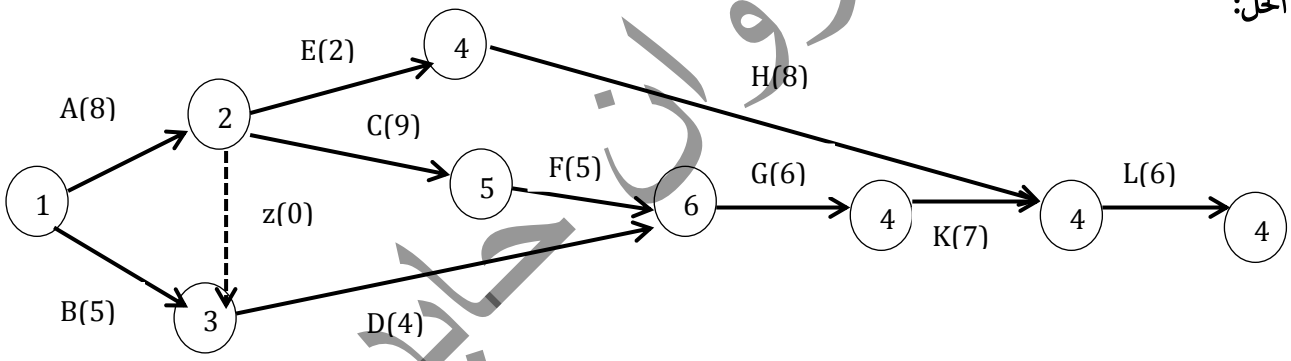
د. حايد مروان

مثال(1): تحصلت مؤسسة للبناء على مشروع انشاء مستودع، فقامت بتجزئة هذا المشروع الى انشطة، مدة تنفيذ كل نشاط وتتابعها المنطقي ممثل في الجدول التالي:

رمز النشاط	النشاط	النشاط السابق له	الزمن (اسبوع)
A	الحصول على مخطط المشروع	-	8
B	تحضير الارضية	-	5
C	طلب لوازم البناء	A	9
D	حفر الاساس	B,A	4
E	طلب الابواب والنوافذ	A	2
F	تسليم اللوازم	C	5
G	وضع الاساس	D,F	6
H	تسليم الابواب والنوافذ	E	8
K	انشاء الجدران والاسقف	G	7
L	تركيب الابواب والنوافذ	H,K	6

المطلوب: تكوين شبكة الاعمال لهذا المشروع.

الحل:



2- **تحديد الخريطة الزمنية (الجدول الزمني) لتنفيذ المشروع:** الغاية من هذه المرحلة هو تكوين الجدول الزمني الذي يظهر بداية ونهاية كل نشاط زمنيا، أي انه يمكننا من حساب التوقيت المسموح به لبداية ونهاية كل نشاط، لمعرفة المسار الحرج (الأنشطة الحرجة) ومعرفة المقدار الزمني الاحتياطي والفائض المتاح لكل نشاط لا يقع على المسار الحرج.
إذا بعد الانتهاء من مرحلة إعداد الشبكة والممثلة في وضع تتابع النشاطات التي تحدد مراحل وأولويات تنفيذ الأنشطة تبدأ مرحلة حساب ازمنة تنفيذ المسارات المختلفة للشبكة ومن بينها تحديد المسار الحرج.

المسار الحرج: يتكون المسار الحرج من النشاطات التي تكون مجموع مدد انجازها أكبر من غيرها من المسارات الاخرى المشكلة لشبكة، وبتالي فهو يحدد الوقت الكلي الاقصى الضروري لإنجاز المشروع ككل، فهذه النشاطات إذن يلزم أن لا تتعطل في انجازها، لأنها ستؤخر من الوقت الكلي لإنجاز المشروع، بينما النشاطات الاخرى التي تنتمي للمسارات غير الحرجة، مدة انجازها اقصر وبالتالي تأخرها لا يؤثر على المدة القصوى لإنجاز المجاز المشروع.
من أجل حساب أزمنة هذه المسارات وتحديد المسار الحرج يوجد طريقتين يجب اتباعهما:

د. مروان حايد

❖ طريقة الحساب الى الامام (من بداية الشبكة إلى نهايتها).

❖ طريقة الحساب الى الخلف (من نهاية الشبكة إلى بدايتها).

أ- **الحساب إلى الامام:** يعني حساب مدد تنفيذ النشاطات من الحادث الأول (الابتدائي) للشبكة والاتجاه نحو نهاية الشبكة، والهدف من ذلك حساب الأوقات المبكرة لبداية ونهاية الأنشطة المكونة للمشروع.

من اجل أن نتكمن من إجراء الحساب الى الامام يجب معرفة وتحديد المصطلحات التالية:

البداية المبكرة للحادث ونرمز له بـ (ES_i).

البداية المبكرة للنشاط ونرمز له بـ (ES_{ij}).

النهاية المبكرة للنشاط ونرمز له بـ (EC_{ij}).

الوقت المستغرق لأي نشاط ونرمز له بـ (D_{ij}).

يجب أيضا معرفة بعض القواعد:

❖ يبدأ الحساب من أول وقت مبكر لبداية الحادث الابتدائي في المشروع والذي نضعه يساوي الصفر، (ES_1=0)، على أساس الانطلاقة الزمنية للنجاز هي (0).

❖ مهما كانت بداية الحادث مبكرة فإنها لا تحدث إلا بعد أن تنتهي كل النشاطات السابقة له مباشرة، وخاصة ذو مدة الإنجاز الاطول، بمعنى النشاط ذو النهاية المبكرة الاطول (EC_{ij} الاطول)، وبالتالي فإن البداية المبكرة لأي حادث (ESi) تساوي أكبر نهاية مبكرة (ECij) للنشاطات التي تسبق أو تصب في هذا الحادث، بمعنى:

$$\left(i = 1..n\right)\{EC_{ij}\} \quad \text{.....(1)}$$

❖ النهاية المبكرة لأي نشاط (ECij) تساوي البداية المبكرة لهذا النشاط (ESij) زائد طول الوقت الكلي لإنجاز هذا النشاط (Dij)، أي:

.....(2)

❖ البداية المبكرة لأي نشاط (ESij) عي عبارة عن البداية المبكرة (ESi) للحادث الذي ينطلق منه:

i.....(3)

❖ اذا كانت هناك عدة نشاطات تنطلق من الحادث (i) فإن الوقت المبكر لبداية هذه النشاطات كلها متساوية، وتساوي الوقت المبكر لبداية الحادث الذي تنطلق منه:

ij .

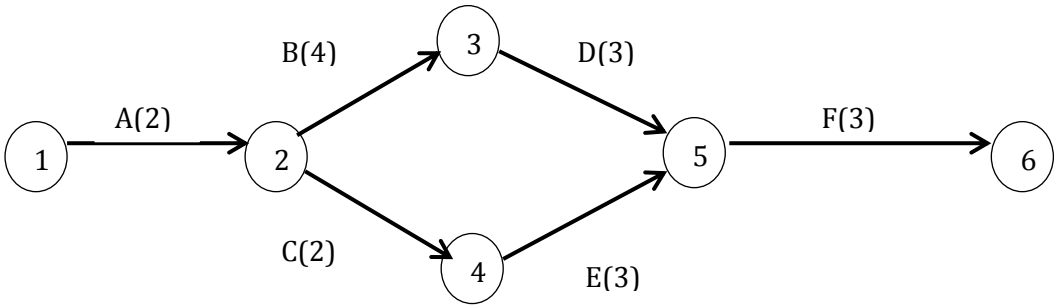
- انطلاقا من القواعد السابقة فإنه يمكن كتابة الصيغة (2) وحساب النهاية المبكرة لكل نشاط كالتالي:

ij.

وبالتالي الصيغة (1) يمكن كتابتها:

$$\left(\quad n\right)\left\{ES_{i_{\text{السابق}}} + D_{ij}\right\}.$$

مثال (1): أحسب البدايات المبكرة للحوادث التي تتشكل منها الشبكة التالية ثم أحسب البدايات والنهايات المبكرة للنشاطات ؟



الحل:

- حساب البدايات المبكرة للحوادث (ES_i).

✓ $ES_1=0$

✓ $ES_2=\max\{ES_{1.2}+D_{1.2}\}=\max\{ES_1+D_{1.2}\}=\max\{0+2\}=2$

✓ $ES_3=\max\{ES_{2.3}+D_{2.3}\}=\max\{ES_2+D_{2.3}\}=\max\{2+4\}=6$

✓ $ES_4=\max\{ES_{2.4}+D_{2.4}\}=\max\{ES_2+D_{2.4}\}=\max\{2+2\}=4$

✓ $ES_5=\max\{ES_{3.5}+D_{3.5}/ES_{4.5}+D_{4.5}\}=\max\{ES_3+D_{3.5}/ES_4+D_{4.5}\}=\max\{6+3/4+3\}=9$

✓ $ES_6=\max\{ES_{5.6}+D_{5.6}\}=\max\{ES_5+D_{5.6}\}=\max\{9+3\}=12$

- حساب البدايات المبكرة للنشاطات (ES_{ij}).

✓ $ES_{1.2}=ES_1=0$

✓ $ES_{2.3}=ES_2=2$

✓ $ES_{2.4}=ES_2=2$

✓ $ES_{3.5}=ES_3=6$

✓ $ES_{4.5}=ES_4=4$

✓ $ES_{5.6}=ES_5=9$

- حساب النهايات المبكرة للنشاطات (ES_{ij}).

✓ $EC_{1.2}=ES_1+D_{1.2}=0+2=2$

✓ $EC_{2.3}=ES_2+D_{2.3}=2+4=6$

✓ $EC_{2.4}=ES_2+D_{2.4}=2+2=4$

✓ $EC_{3.5}=ES_3+D_{3.5}=6+3=9$

✓ $EC_{4.5}=ES_4+D_{4.5}=4+3=7$

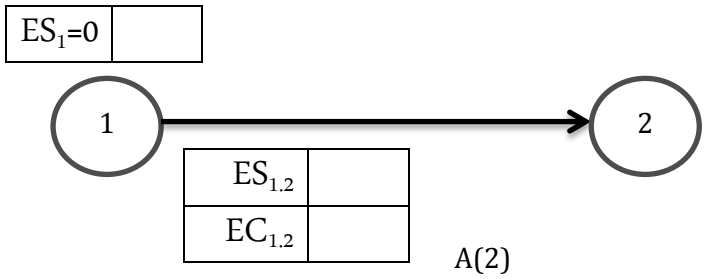
✓ $EC_{5.6}=ES_5+D_{5.6}=9+3=12$

د. مروان حايد

ملاحظة1: بعد إجراء الحساب إلى الامام يمكن معرفة الوقت الكلي للمشروع، وهو آخر نهاية مبكرة (في مثال (1) ..... ($EC_{6.5}$=12).....إذا 12 (و.ز) هو الوقت الكلي للمشروع.

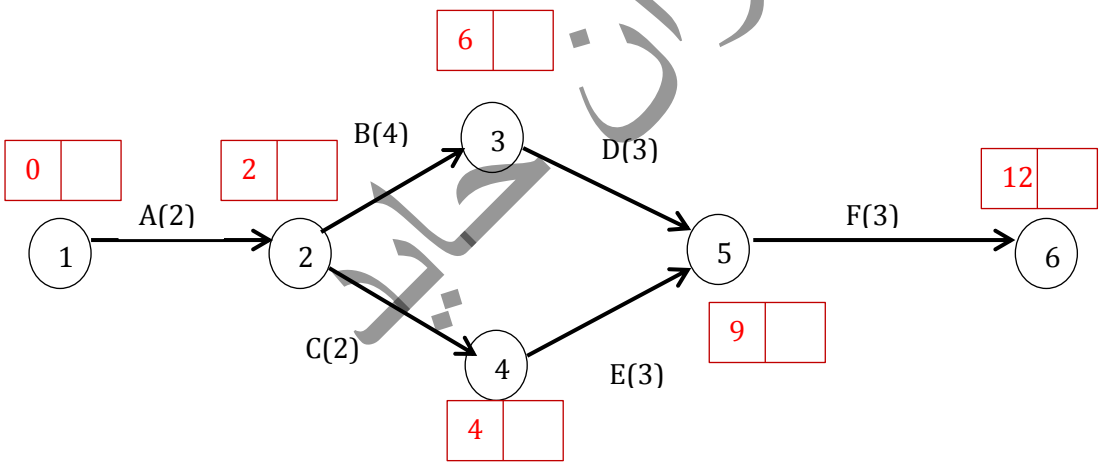
ملاحظة2: يمكن القيام بالحساب إلى الامام ذهنيا مباشرة على الشبكة، دون القيام بالحسابات السابقة، وذلك على النحو التالي:

- رسم مربع مكون من خانتين على كل حادث ومربع آخر مكون من أربعة خانات فوق كل نشاط، وليكن مثلا الحدث (1) والنشاط (A).
- بحكم اننا نعرف المعادلات الي تحسب بها كل من (ES_i, ES_{ij}, EC_{ij})، نكتب نتائج الحساب مباشرة على الشبكة في الاماكن الموضحة في الشكل التالي:



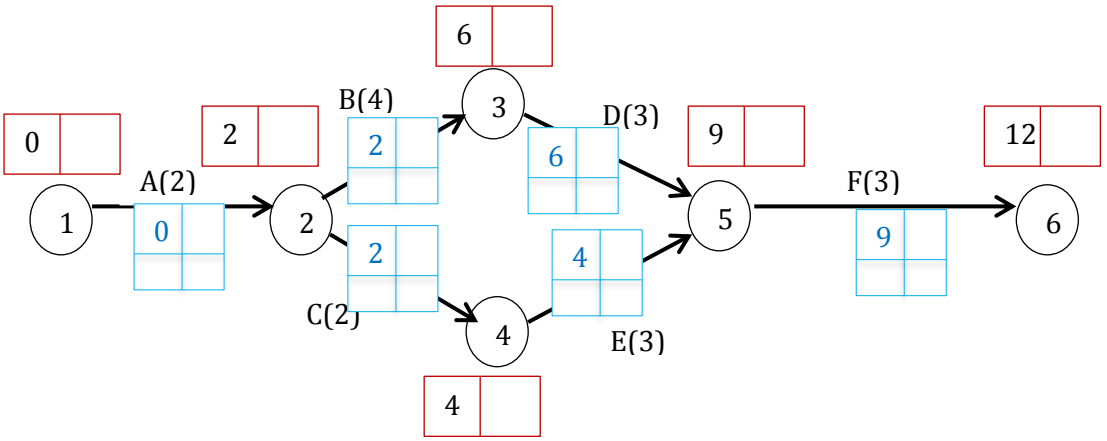
- وهكذا نكمل الحساب على ثلاث مراحل:

مرحلة حساب (ES_i):

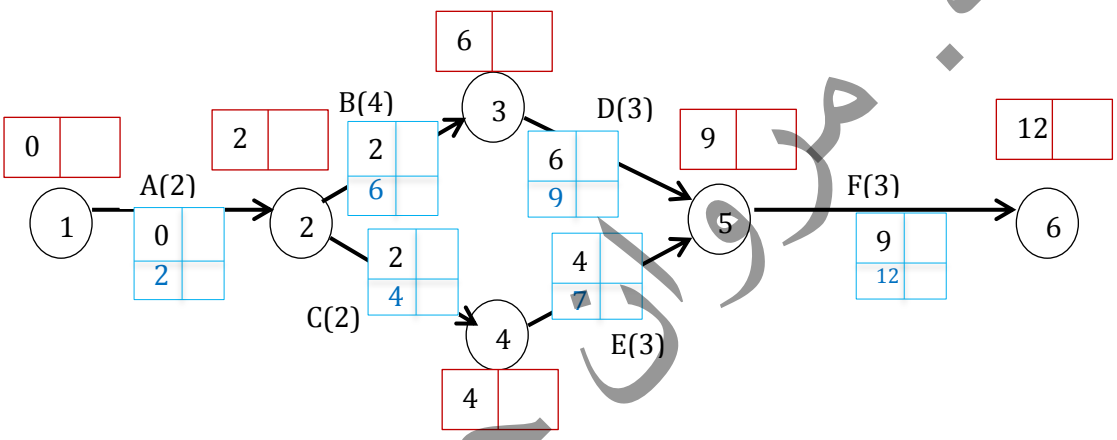


د. مروان حايد

مرحلة حساب (ES_{ij}):



مرحلة حساب (EC_{ij}):



د. مروان حايد

2- **الحساب الى الخلف:** يعني بالحساب إلى الخلف حساب ازمنة النشاطات المكونة للمشروع ابتداء من نهاية الشبكة، أي من الحادث الذي يشكل نهاية المشروع في اتجاه الحدث الابتدائي، والهدف من ذلك هو حساب الازمنة المسموح التأخر بها لبداية ونهاية كل نشاط.

- حساب هذه الازمنة يبدأ من البداية المبكرة للحادث الاخير والمحسوب من الحساب إلى الامام، وهو في نفس الوقت البداية المتأخرة له، بعبارة اخرى هو الوقت الذي يمكن تعطل به بداية المشروع ككل.
- من أجل أن نتمكن من إجراء الحساب الى الخلف يجب معرفة المصطلحات المستعملة التالية:
  - ✓ البداية المتأخرة للحادث ونرمز له بـ (LS_i).
  - ✓ البداية المتأخرة النشاط ونرمز له بـ (LS_{ij}).
  - ✓ النهاية المتأخرة النشاط ونرمز له بـ (LC_{ij}).
  - ✓ الوقت المستغرق لأي نشاط ونرمز له بـ (D_{ij}).

➢ لكي نستطيع أن نجري الحساب إلى الخلف يجب معرفة كيفية حساب البدايات المتأخرة للحوادث التي تنطلق منها النشاطات، وكذلك البدايات والنهايات للنشاطات المشكلة للمشروع، وبذلك تمكن من معرفة الزمن الاكثر تأخيرا لبداية المشروع والاكثر تأخيرا لنهايته، وهذا الأمر يتطلب معرفة القواعد التالية:

❖ البداية المتأخرة للحوادث تساوي أقل (أصغر) بداية متأخرة للنشاط الذي تنطلق (تتفرع) منه هذا الحادث:

$$LS_j = \left(\min_{i=1..n}\right)\{LS_{ij}\} \quad \text{.....(1)}$$

وهذا بسبب ان الحادث يبدأ عندما يبدأ النشاط ذو البداية المتأخرة الاصغر، حيث ان النشاط الذي تكون له أقل بداية متأخرة هو الذي عمليا يبدأ قبل غيره، وبالتالي فالحادث الذي ينطلق منه لا يمكن أن يتأخر أكثر من ذلك.

❖ البداية المتأخرة لأي نشاط (LSij) تساوي النهاية المتأخرة له (LCij) ناقص طول الوقت الكلي لإنجاز هذا النشاط (Dij)، أي:

$$LS_{ij} = LC_{ij} - D_{ij} \text{ .....(2)}$$

❖ النهاية المتأخرة لأي نشاط (LCij) هي عبارة عن البداية المبكرة (LSi) للحادث الذي ينطلق منه:

$$LC_{ij} = LS_j \text{.....(3)}$$

❖ اذا كانت هناك عدة نشاطات تصب من الحادث (i) فإن النهاية المتأخرة (LC_{ij}) لهذه النشاطات كلها متساوية، وتساوي البداية المتأخرة للحادث الذي تصب فيه:

$$LS_j = LC_{i_1 j} = LC_{i_2 j} = LC_{i_3 j} = \cdots = LC_{i_n j} \text{.....(4)}$$

إنطلاقا من القواعد السابقة فإنه يمكن كتابة الصيغة (2) وحساب النهاية المبكرة لكل نشاط كالتالي:

$$LS_{ij} = LS_j - D_{ij}.$$

وبالتالي الصيغة (1) يمكن كتابتها:

$$LS_j = \left(\max_{i=1..n}\right)\left\{ES_{j_{\text{اللاحق}}} + D_{ij}\right\}.$$

مثال (2): أحسب البدايات المتأخرة للحوادث التي تتشكل منها شبكة المثال (1) ثم أحسب البدايات والنهايات المتأخرة للنشاطات؟

الحل:

➢ **حساب البدايات المتأخرة للحوادث (LS_j).**

✓ $LS_6=12$

✓ $LS_5=\min\{LC_{5.6}-D_{5.6}\}=\min\{LS_6-D_{5.6}\}=\min\{12-3\}=9$

✓ $LS_4=\min\{LC_{4.5}-D_{4.5}\}=\min\{LS_5-D_{4.5}\}=\min\{9-3\}=6$

✓ $LS_3=\min\{LC_{3.5}-D_{3.5}\}=\min\{LS_5-D_{3.5}\}=\min\{9-3\}=6$

✓ $LS_2=\min\{LC_{2.3}-D_{2.3}/\ LC_{2.4}-D_{2.4}\}=\min\{LS_3-D_{2.3}/\ LS_4-D_{2.4}\}=\min\{6-2/6-4\}=2$

✓ $LS_1=\min\{LC_{1.2}-D_{1.2}\}=\min\{LS_2-D_{1.2}\}=\min\{2-2\}=0$

➢ **حساب النهايات المتأخرة للنشاطات (LC_{ij}).**

- ✓ $LC_{5.6}=LS_6=12$
- ✓ $LC_{4.5}=LS_5=9$
- ✓ $LC_{3.5}=LS_5=9$
- ✓ $LC_{2.4}=LS_4=6$
- ✓ $LC_{2.3}=LS_3=6$
- ✓ $LC_{1.2}=LS_2=2$

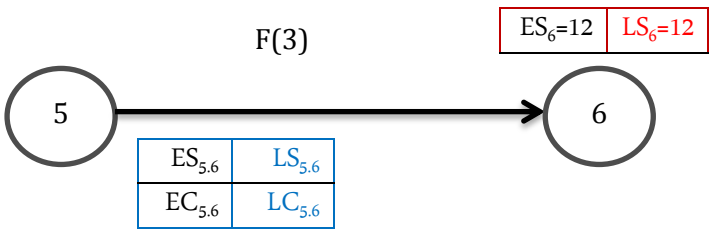
➢ **حساب البدايات المتأخرة للنشاطات (LS_{ij}).**

- ✓ $LS_{5.6}=LS_6-D_{5.6}=12-3=9$
- ✓ $LS_{4.5}=LS_5-D_{4.5}=9-3=6$
- ✓ $LS_{3.5}=LS_5-D_{3.5}=9-3=6$
- ✓ $LS_{2.4}=LS_4-D_{2.4}=6-2=4$
- ✓ $LS_{2.3}=LS_3-D_{2.3}=6-4=2$
- ✓ $LS_{1.2}=LS_2-D_{1.2}=2-2=0$

ملاحظة1: بعد إجراء الحساب الى الخلف يجب أن نتحصل في آخر الحساب للبداية المتأخرة لآخر حدث (الابتدائي) يساوي الصفر($LS_1=0$)، وكذلك آخر بداية متأخرة (النشاط الابتدائي) يساوي الصفر ($LS_{12}=0$)، وإلا فإنه يوجد خطأ في الحساب.

ملاحظة2: يمكن القيام بالحساب إلى الخلف ذهنيا مباشرة على الشبكة، دون القيام بالحسابات السابقة، وذلك على النحو التالي:

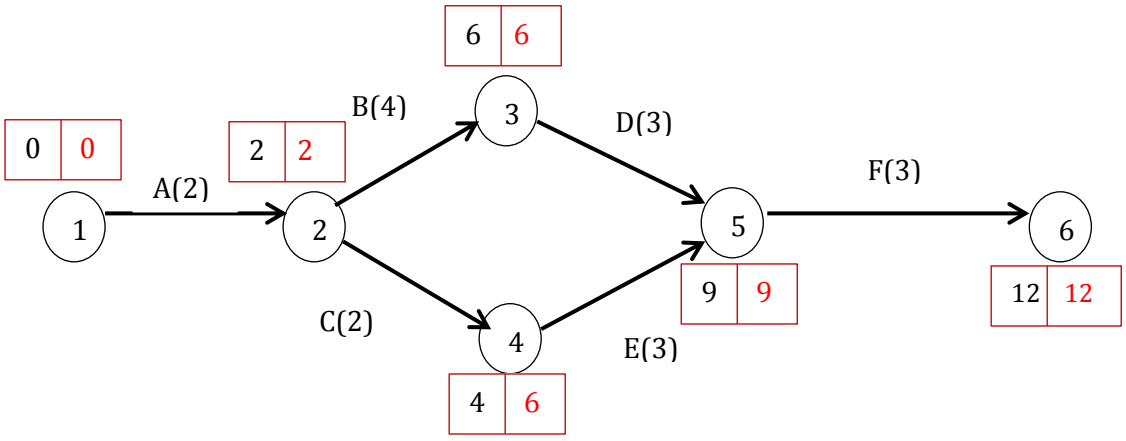
- بحكم أننا نعرف المعادلات الي تحسب بها كل من (LS_i, LS_{ij}, LC_{ij})، نكتب نتائج الحساب مباشرة على الشبكة في المربعات المضافة سابقا (في الحساب الى الامام) في الاماكن الموضحة في الشكل التالي:



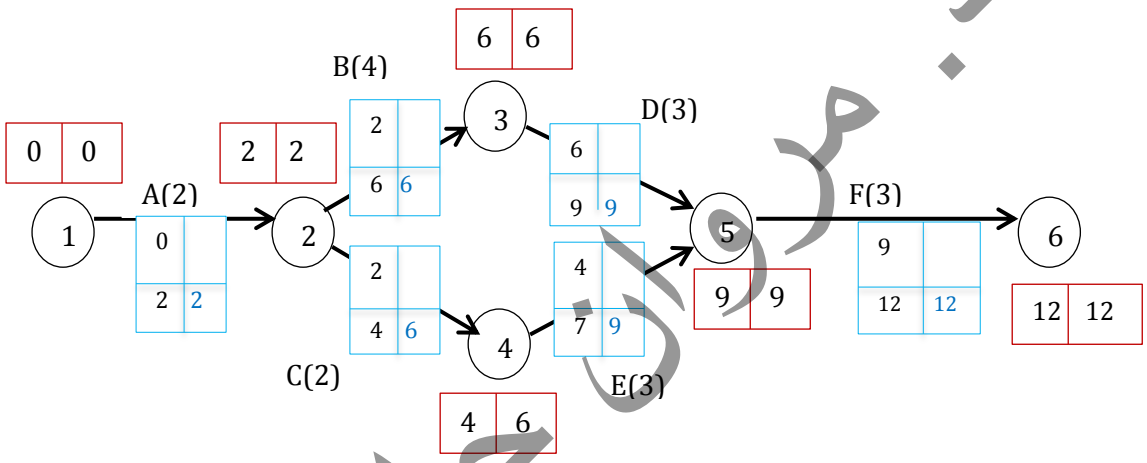
- وهكذا نكمل الحساب على ثلاث مراحل:

د. مروان حايد

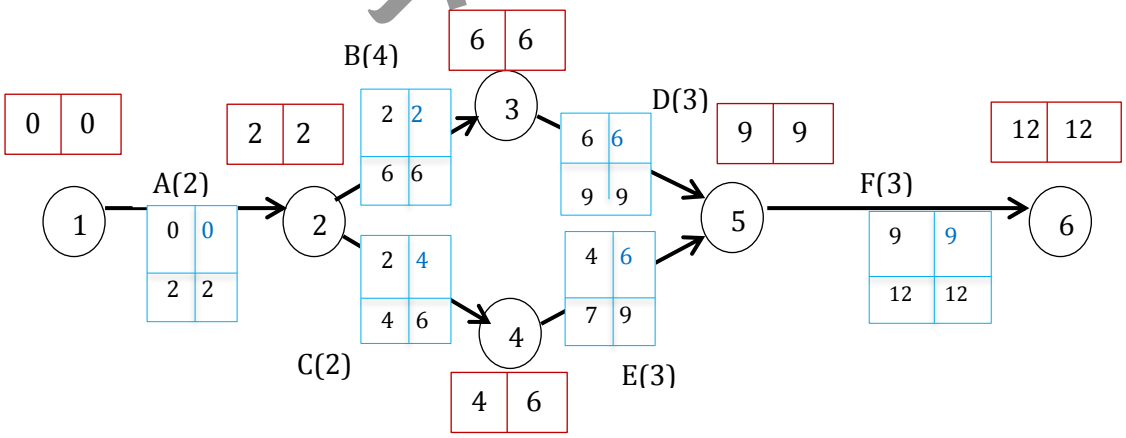
مرحلة حساب (LS_i):



مرحلة حساب (LC_{ij}):



مرحلة حساب (LS_{ij}):



د. مروان حايد

3- حساب الوقت الاحتياطي الكلي (FT) للنشاطات وتحديد المسار الحرج:

بعد إكمال الحساب إلى المام وإلى الخلف، يمكننا الآن حساب الوقت الاحتياطي الكلي لكل نشاط والذي يرمز لها بـ (FT)، حيث يحسب بالعلاقة التالية:

الوقت الاحتياطي الكلي لأي نشاط يساوي البداية المتأخرة له ناقص البداية المبكرة له.

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

أو

الوقت الاحتياطي الكلي لأي نشاط يساوي النهاية المتأخرة له ناقص النهاية المبكرة له.

$$FT_{ij} = LC_{ij} - EC_{ij}$$

ويمكن تحديد المسار الحرج إذا تحققت الشروط التالية:

أ- الشروط الخاصة بالنشاطات الحرجة:

- ✓ البداية المتأخرة للنشاط (ij) = البداية المبكرة له $\leftrightarrow LS_{ij} = ES_{ij} \leftrightarrow FT_{ij} = 0$.
- ✓ النهاية المتأخرة للنشاط (ij) = النهاية المبكرة له $\leftrightarrow LC_{ij} = EC_{ij} \leftrightarrow FT_{ij} = 0$.

ب- الشروط الخاصة بالمسار الحرج:

- ✓ في كل شبكة يجب أن يوجد فيها مسار حرج واحد أو أكثر.
- ✓ كل المسارات في الشبكة يمكن أن تكون حرجة.
- ✓ كل المسارات الحرجة تبدأ من الحادث الابتدائي للشبكة وتنتهي عند الحادث النهائي له.
- ✓ المسار الحرج هو مسار متصل (غير متقطع).
- ✓ مجموع مدد النشاطات الواقعة على المسار الحرج تساوي مدة إنجاز المشروع.

4- حساب الوقت الاحتياطي الحر(FF).

الوقت الاحتياطي (الهامش الزمني) الحر لأي نشاط هو المدة القصوى التي نستطيع أن نؤخر بها بداية إنجاز هذا النشاط بدون ما نؤثر على البداية المبكرة للحادث الذي يأتي بعده، بعبارة أخرى، إذا ما أخرنا تنفيذ نشاط ما أو مددنا إنجازه لمدة تساوي وقته الاحتياطي الحر، فلا يترتب على هذا تأثير سلبي (تأخر) على بداية إنجاز النشاط الموالي له. فالأوقات المبكرة والمتأخرة للنشاطات الأخرى تبقى كما هي، وبالتالي لا تتأثر بذلك مدة إنجاز المشروع ككل، حيث يحسب بالعلاقة التالية:

الوقت الاحتياطي الحر لأي نشاط يساوي البداية المبكرة للحادث الذي يصب فيه ناقص النهاية المبكرة لهذا النشاط.

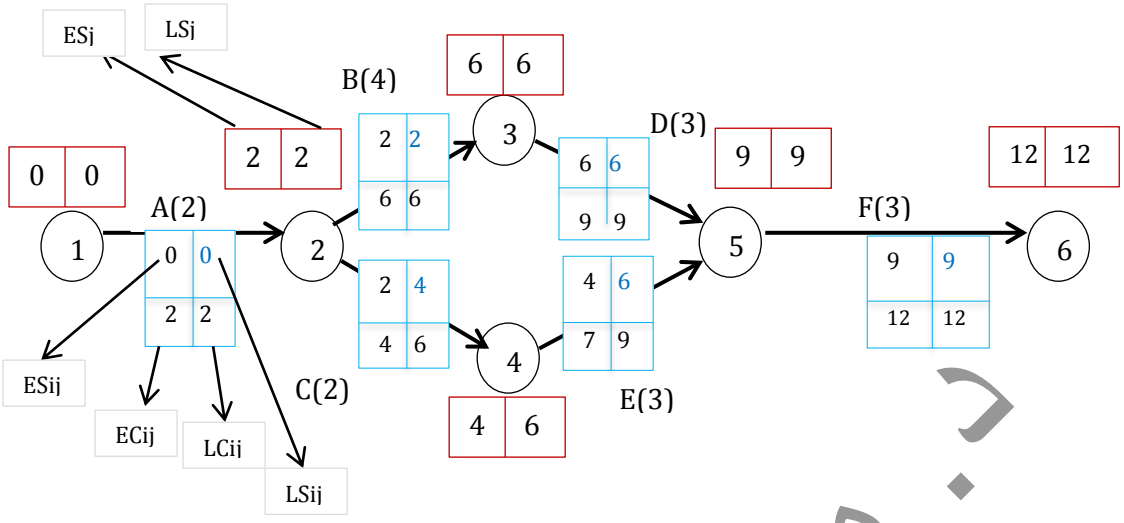
$$FF_{ij} = ES_j - EC_{ij}$$

مثال(3): احسب الاوقات الاحتياطية الكلية والحرة، مع تحديد النشاطات الحرجة (المسار الحرج) للشبكة المكونة في المثال (1).

د. حايد مروان

الحل:

➢ من الشكل الاخير المحصل عليه بعد الحساب الى الامام والى الخلف يمكن حساب الوقت الاحتياطي الكلي والحر للنشطات وتحديد المسار الحرج:



❖ **الوقت الاحتياطي الكلي (TFij):**

✓ $FT_{1.2}=LS_{1.2}-ES_{1.2}=2-2=0$ (نشاط حرج)

✓ $FT_{2.3}=LS_{2.3}-ES_{2.3}=2-2=0$ (نشاط حرج)

✓ $FT_{2.4}=LS_{2.4}-ES_{2.4}=4-2=2$

✓ $FT_{3.5}=LS_{3.5}-ES_{3.5}=6-6=0$ (نشاط حرج)

✓ $FT_{4.5}=LS_{4.5}-ES_{4.5}=6-4=2$

✓ $FT_{5.6}=LS_{5.6}-ES_{5.6}=9-9=0$ (نشاط حرج)

❖ **الوقت الاحتياطي الحر (FFij):**

✓ $FF_{1.2}=ES_{2}-EC_{1.2}=2-2=0$

✓ $FF_{2.3}=ES_{3}-EC_{2.3}=6-6=0$

✓ $FF_{2.4}=ES_{4}-EC_{2.4}=4-4=0$

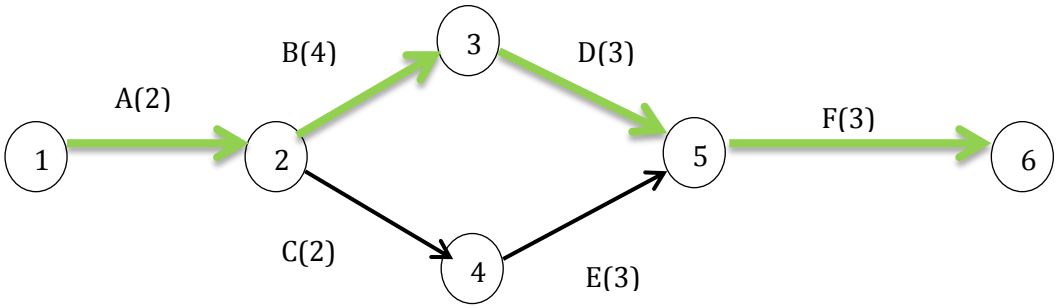
✓ $FF_{3.5}=ES_{5}-EC_{3.5}=9-9=0$

✓ $FF_{4.5}=ES_{5}-EC_{4.5}=9-7=2$

✓ $FF_{5.6}=LS_{6}-EC_{5.6}=12-12=0$

❖ **رسم المسار الحرج على الشبكة:**

د. حايد مروان



د. مروان حايد