الفصل الثالث

أسلوب تقييم البرامج ومراجعتها وطريقة المسار الحرج

PROGRAM EVALUATION AND REVIEW TECHNIQUE

مقدمة

عادة ما تقوم الشركات الكبيرة بعمل مشاريع ضخمة ومعقدة، هذه المشاريع الكبيرة تتطلب العديد من العمليات والخطوات المتعاقبة أو المتوازية لإنجازها. فمثلاً عند صنع منتج جديد لينزل في الأسواق فإن هناك الكثير من الخطوات والعمليات التي يجب أن يمر بها المنتج الجديد هذا. فالمنتج الجديد يحتاج إلى بحوث سابقة وتطوير، اختبار المنتج، بحوث تسويقية، كيفية التغليف، وهكذا.

لذا فإن التحكم في تخطيط وتنفيذ المشروع بالوسائل القديمة أصبح مستحيلا. وفي هذه الحالة سيكون تركيز الإدارة المهتمة بتنفيذ المشروع في معرفة الوقت الذي سينتهي فيه إكمال ذلك المشروع. وحيث إنه يوجد كثير من المتغيرات والأحداث التي تؤثر على وقت نهاية المشروع، فإنه من الأهمية بمكان أن يوجد عندنا " كمدراء مشاريع مثلاً.." وسيلة اتخاذ قرارات تساعدنا على الإجابة على الأسئلة التالية:

1-متى نتوقع أن ينتهي المشروع؟

2- ما هو التأثير الكلي على المشروع إذا حدث تأخر في أي من العمليات أو الخطوات؟

3-ما هو الاحتمال أن يتم المشروع في وقته الذي خطط له؟

4-كم من التكاليف الإضافية ممكن أن نتحملها إذا أردنا أن نعجل بالمشروع قبل الوقت المحدد؟

أسلوب تقييم البرامج ومراجعتها "Program evaluation and review technique "PERT"وطريقة المسار الحرج "Critical path method "CPM" هما وسيلتين من وسائل التخطيط والتحكم في تنفيذ المشاريع الكبيرة وتستخدم للإجابة على الأسئلة السابقة. ولنجاح تلك الوسيلتين في التخطيط والتحكم فقد استُعملت في كثير من المشاريع العملاقة والحكومية والتجارية.

بدأ تطبيق أسلوب تقييم ومراجعة المشروعات (PERT) وطريقة المسار الحرج (CPM) منذ أواخر الخمسينيات في تخطيط المشروعات الكبيرة ومتابعة تنفيذها. ويعتمد أسلوب تقييم ومراجعة البرامج على تقسيم المشروع إلى عدد من الأنشطة التي تسبق ومجموعة من الأنشطة التي تتبع زمنيا ومجموعة من الأنشطة التي تنفذ في نفس الوقت، ويهتم هذا الأسلوب بالوقت المتوقع لإنهاء المشروع، ويمكن أن يدخل العنصر الاحتمالي في تقدير أوقات تنفيذ أنشطة المشروع، وتهتم طريقة المسار الحرج (CPM) بالإضافة إلى عنصر الوقت بعنصر التكلفة حيث يمكن تخفيض زمن تنفيذ المشروع بزيادة تكلفة تنفيذ بعض الأنشطة وتحديد الخطط البديلة لتخفيض زمن تنفيذ المشروع بأقل تكلفة ممكنة. وقد تم تطوير أسلوب تقييم ومراجعة البرامج وطريقة المسار الحرج (CPM) واندماجها وذلك في إطار ما يسمى بتحليل شبكات الأعمال Network Analysis.

أنشطة المشروع

ينظر إلى أي مشروع على أنه مجموعة من العمليات المتعاقبة والمتوازية، كل عملية من العمليات تسمى نشاطا. كل نشاط من الأنشطة يتطلب إنفاق شي من الوقت والموارد المالية.

ومن هنا كان تعريف النشاط (Activity) على أنه عملية أو مهمة تتطلب إنفاق بعض الوقت والموارد ليتم إنجازها.

مثال:

لبناء مدرسة من المدارس فإن الأنشطة اللازم عملها هي التالي:

A. عمل مخطط معماري

B. حفر القواعد

C. صب الأعمدة

D. بناء العظم أو الهيكل

E. صب الأدوار

F. أعمال الكهرباء

G. أعمال السباكة

H. الأعمال الداخلية والأعمال الأخرى من نوافذ وأبواب ودهان

كل من هذه الأنشطة يتطلب وقتا من الزمن ويتطلب موارد من عمال ومواد أولية وأموال. رمزنا لكل نشاط بحرف من الحروف للتسهيل، فنقول نشاط A ونشاط B. فمثلاً عمل مخطط معماري هو النشاط A، وحفر القواعد هو النشاط B وهكذا...

بعض الأنشطة ممكن أن تبدأ في وقت واحد، والبعض قد تبدأ بعد انتهاء أنشطة سابقة. فمثلاً لا نستطيع بناء العظم قبل الانتهاء من صب الأعمدة . لذلك فإنه لكل نشاط أو مهمة يجب أن يحدد بالضبط الأنشطة السابقة (Predecessor activities) .

تعريف: الأنشطة السابقة (Predecessor activities) وهي الأنشطة التي يجب إتمامها أولا ليبدأ نشاط معين.

لذلك فإن النشاط السابق للنشاط D " بناء العظم والهيكل " هو النشاط C. ونحن هنا لا ننظر إلى جميع الأنشطة التي يجب أن تسبق، إنما ننظر إلى النشاط أو الأنشطة السابقة مباشرة. فمثلاً اكتمال النشاط C معناه أن الأنشطة السابقة A وB جميعها قد اكتمل. لذلك لا نقول أن الأنشطة السابقة للنشاط D هي الأنشطة A وB وC . كذلك النشاط H يتطلب إنهاء كلا من G وF لان G لا يعتمد على F وهكذا.

وإذا أردنا معرفة وقت اكتمال المشروع فإنه يجب معرفة المدة " المتوقعة" لإنجاز كل نشاط.

تعريف: الوقت المتوقع هو عبارة عن المدة الزمنية اللازمة لإنجاز أي نشاط من الأنشطة. وتقاس عادة بالساعات، الأيام، الشهور، السنوات، أو بأي وسيلة أخرى مناسبة. ولكن يجب توحيد الوحدة المستخدمة للقياس في جميع الأنشطة. وبمعرفة الأنشطة، الأنشطة السابقة، والمدة المتوقعة لكل نشاط فإنه يمكن معرفة الوقت المتوقع الإجمالي لإنهاء المشروع باستخدام PERT .

وبما أن كل نشاط لا يمكن أن يبدأ حتى ينتهي النشاط أو الأنشطة السابقة له فإنه يمكن تعريف الحدث "event " على أنه:

نقطة أو لحظة من الوقت التي يتم فيها اكتمال مجموعة معينة من الأنشطة.

في المثال السابق، النشاط H لا يمكن أن يبدأ إلا بعد انتهاء النشاط E، F، وG .

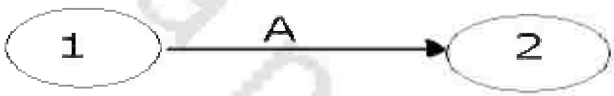
عندما يقع هذا الحدث فإنه يبدأ النشاط H. لذلك ممكن أن نرمز للأحداث هذه بالأرقام العربية التالية، مثلاً حدث 1، حدث 2، وهكذا..... فحدث 1 يكون بداية المشروع والحدث الأخير هو نهاية المشروع (أي أن جميع الأحداث قد انتهت).

شبكة أو خريطة PERT

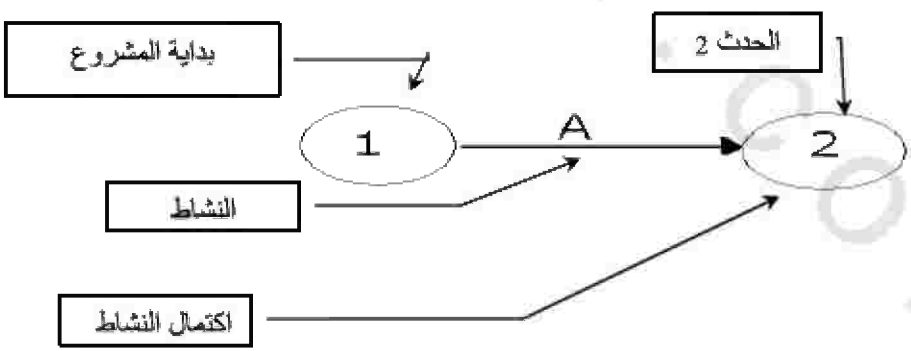
تعرف شبكة أو خريطة PERT على أنها عبارة عن رسم بياني أو نموذج شكلي يوضح تعاقب الأنشطة والحوادث اللازمة لإنهاء مشروع ما. هذه الشبكة تساعد المدير ومتخذ القرار في الشركة من رؤية الأنشطة والحوادث اللازمة لإنهاء المشروع بسهولة.

قاعدة: يجب تمثيل الأنشطة باسهم " ⟵ " والأحداث بدوائر " ◯ ".

فمثلاً الشكل التالي يوضح بداية المشروع بالنشاط A:

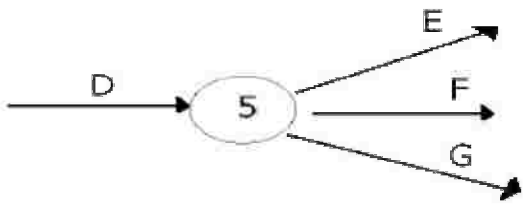


ويمكن توضيح الفرق بين الحدث والنشاط كالتالي:

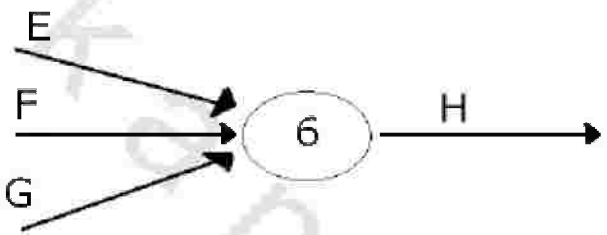


وبالمثل فإن الأنشطة E، F، وG لا يمكن أن تبدأ حتى ينتهي النشاط D .

هذا ممكن تمثيله بالشكل التالي:



كذلك النشاط H لا يمكن أن يبدأ حتى تنتهي الأنشطةE ، F، وG. وهذا يمكن تمثيله بالشكل التالي:



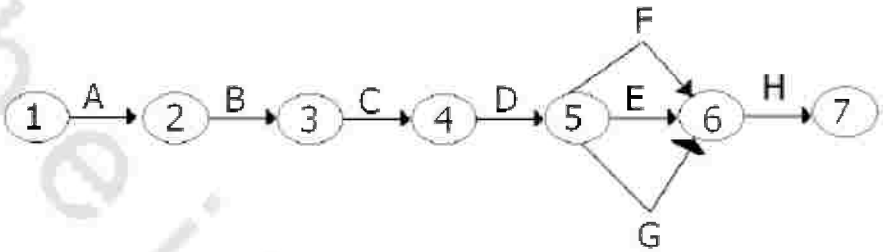
وعموما هناك حدث في بداية ونهاية كل نشاط.

والآن دعنا نرسم شبكة PERT لمشروع المدرسة السابق .

الأنشطة والأنشطة السابقة هي كما في الجدول التالي:

النشاط	الوصف	الأنشطة السابقة
A	عمل مخطط معماري	لا يوجد
B	حفر القواعد	A
C	صب الأعمدة	B
D	بناء العظم أو الهيكل	C
E	صب الأدوار	D
F	أعمال الكهرباء	D
G	أعمال السباكة	D
H	الأعمال الداخلية والأعمال الأخرى من نوافذ وأبواب ودهان	G, E, F

يمكن رسم شبكة PERT التي توضح العلاقة السابقة بالشكل التالي:



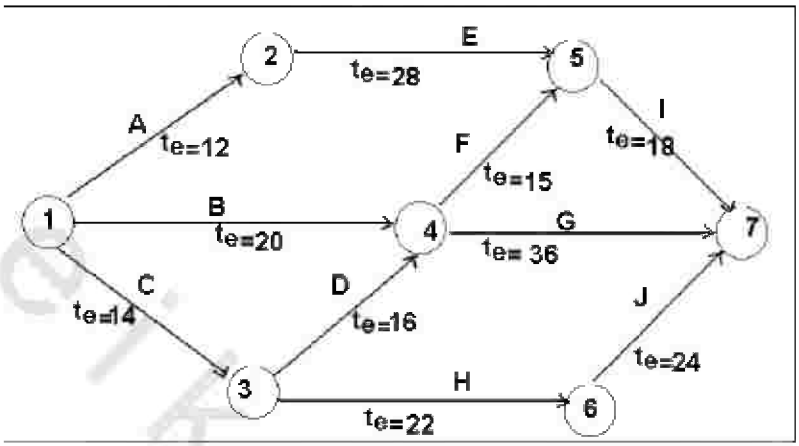
في الشبكة السابقة وضعنا 7 أحداث رئيسة للمشروع، حدث 1 هو بداية المشروع، بينما حدث 7 هو اكتمال المشروع.

الآن دعنا ننتقل إلى مثال أصعب قليلاً .

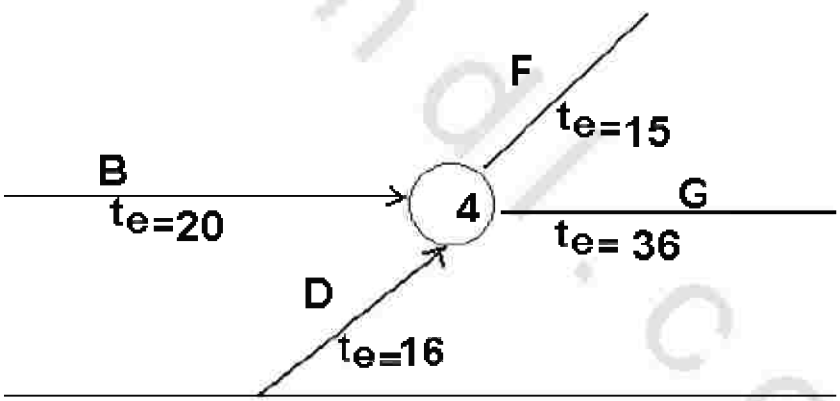
الجدول التالي يوضح كل نشاط والأنشطة السابقة والمدة المتوقعة الخاصة بشركة سدير والمطلوب رسم المشكلة وتحديد الأوقات المبكرة والمتأخرة للأنشطة والأحداث والأوقات الفائضة وحساب المسار الحرج والوقت المتوقع للانتهاء:

النشاط	الأنشطة السابقة	المدة المتوقعة (t_e) Expected duration
A	لا يوجد	12
B	لا يوجد	20
C	لا يوجد	14
D	C	16
E	A	28
F	D, B	15
G	D, B	36
H	C	22
I	E, F	18
J	H	24

وبذلك تكون شكل شبكة PERT



حيث إن الأنشطة G و I و J هما آخر الأنشطة فإنها تنتهي بالحدث 7 (هذه الأنشطة ليست سابقة لأي نشاط) :



كذلك لأن الأنشطة F، G تتحد في وجود الأنشطة B، و D كأنشطة سابقة فإن الأنشطة B، و D يجب أن تنتهي في الحدث 4 والنشاط F، G تبدأ من حيث انتهى الحدث 4 .

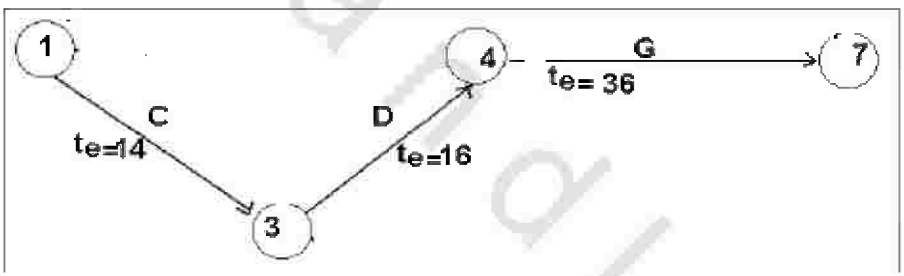
كما يلاحظ أننا وضعنا المدة المتوقعة لإنهاء كل نشاط بجوار النشاط الخاص به وذلك للتسهيل.

المسارات أو الطرق Paths في شبكة PERT

من الأسئلة المهمة التي يجب أن نجيب عليها هو متى نتوقع الانتهاء بالكامل من المشروع، ومن إحدى الطرق التي تساعدنا على ذلك هو معرفة المدة المتوقع أخذها لإنهاء جميع المسارات.

تعريف المسار Path

هو عبارة عن نشاطات متتابعة والتي تربط بين حدث البداية (الحدث 1) وحتى حدث النهاية (في مثالنا الحالي الحدث 7، هو حدث النهاية). الشكل التالي يعطي مثالا لأحد المسارات.



الجدول التالي يوضح جميع المسارات الممكنة والمدة المتوقعة لكل مسار:

"Path Number" رقم المسار	"Path" المسار	" Duration" المدة
1	A-E-I	58=18+28+12
2	B-F-I	53=18+15+20
3	B-G	56=36+20
4	C-D-F-I	63=18+15+16+14
5	C-D-G	66=36+16+14
6	C-H-J	60=24+22+14

مثلاً المسار السابق، يتكون من الأنشطة C-D-G وكذلك الأحداث 1، 3، 4، 7 وهو يستغرق حوالي 66 يوماً. ولكن اكتمال الأنشطة C-D-G لا يعني اكتمال المشروع، وذلك لأنه يجب أن تنتهي جميع الأنشطة . ولكن إذا أخذنا المدة المتوقعة لإكمال جميع المسارات (كل واحد على حدة) وكما فعلنا في الجدول السابق فإن أطول مسار من المسارات يكون هو المدة المتوقعة للانتهاء. لذلك فإن المسار رقم 5 هو المسار الذي يتطلب وقتا أطول " 66 يوماً " ومنه نقول أن المدة اللازمة لإكمال المشروع هي 66 يوماً من بداية المشروع.

في الحياة العملية من الصعب إيجاد جميع المسارات وحسابها، ومن ثم معرفة الوقت اللازم لإكمال المشروع. ولكن أسلوب PERT هو أسلوب أكثر سهولة وأفضل طريقة علمية لحل المشاكل الكبيرة.

الوقت المتوقع للانتهاء

Expected Time of Completion

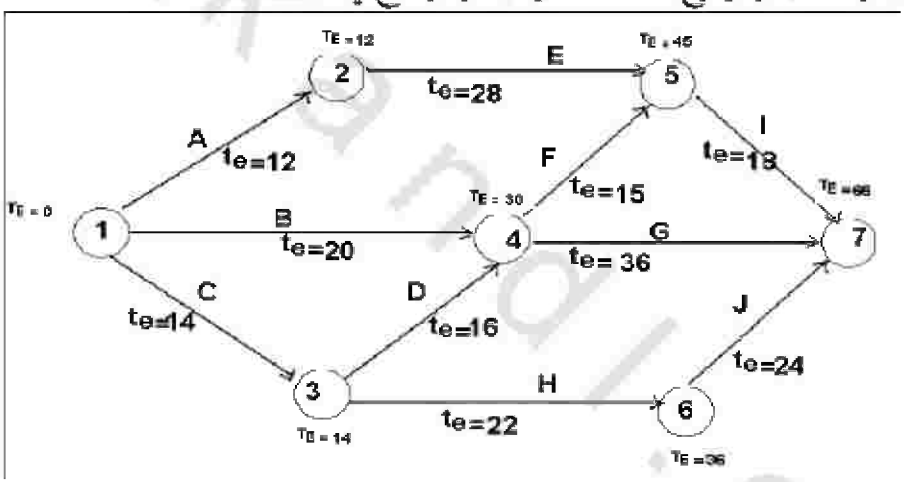
من الأسئلة المهمة هو معرفة الوقت المتوقع لإنهاء كل نشاط وكل حدث، والتي بناء عليها يأتي التعريف التالي:

تعريف: T_E ترمز لأبكر لحظة من الزمن والتي يكتمل فيها نشاط معين. وبالمثل فإن T_E ترمز إلى أبكر لحظة من الزمن والتي يقع فيها حدث معين (أي أن جميع الأنشطة التي تنتهي بهذا الحدث قد اكتملت)، الوقت المبكر المتوقع " Earliest Expected time" استخدمت لأننا نتوقع إنهاء تكتمل قبل ذلك.

الجدول التالي يوضح الوقت المبكر المتوقع T_E للانتهاء من كل نشاط:

Earliest Expected Completion time (T_E)	النشاط	Earliest Expected Completion time (T_E)	النشاط
45	F	12	A
66	G	20	B
36	H	14	C
63	I	30	D
60	J	40	E

والوقت المبكر لوقوع الأحداث هو كما هو موضح في شبكة PERT التالية:



لحساب الوقت المبكر المتوقع للأحداث يجب وضع الصفر في البداية (T_E)، لذلك فإن كل الأوقات المبكرة لوقوع الحدث تفسر على أنها عدد الأيام أو الساعات التي مضت منذ بداية المشروع. فمثلاً الحدث 6 ($T_E = 36$) أي انه أبكر وقت متوقع لوقوع الحدث 6 هو 36 يوماً من بداية المشروع.

كذلك الوقت المبكر المتوقع لأي نشاط هو عبارة عن الوقت المتوقع للنشاط نفسه+ الوقت المبكر لوقوع حدث البداية . أي أن:

T_E للنشاط A = 0 +12 = 12

T_E للنشاط B = 0 +20 = 20

T_E للنشاط F = 30 +15 = 45

وهكذا..

كذلك T_E للحدث 4 يقع عندما تكتمل جميع الأنشطة السابقة وهي B وكذلك D. فمثلاً النشاط B ينتهي بعد 20 يوماً ولكن النشاط D ينتهي بعد 30 يوماً، لذلك فإن الوقت المبكر المتوقع لوقوع الحدث 4 هو 30 يوماً. وهكذا لجميع الأحداث.

لاحظ أن الحدث 7 هو عبارة عن اكتمال الأنشطة I، G، وJ. لذلك فالنشاط الذي يأخذ وقت أطول للانتهاء منه هو أبكر وقت يتم فيه الحدث 7، وهو 66. وهو عبارة عن المسار الأطول أو المسار الحرج.

الوقت المتأخر المسموح به Latest Allowable Time

حيث إن T_E هي عبارة عن مدة متوقعة، فإن الوقت المبكر لإنهاء الأنشطة أو الوقت المبكر لوقوع أيا من الأحداث سيكون توقع فقط. لذلك فإن بعض الأنشطة قد تأخذ وقت أطول من الوقت المتوقع وبالتالي سيؤثر على المشروع بأكمله. ومعرفة الوقت المتأخر المسموح به لإنجاز أي نشاط أو لوقوع أي حدث مهم جدا. لان معرفة الوقت المتأخر المسموح به ستوضح لنا فيما إذا كان التأخير في نشاط أو حدث معين سيؤثر على تأخر المشروع بأكمله أم لا. سنرمز للوقت المتأخر المسموح به بالرمز (T_L).

تعريف: T_L لنشاط معين من الأنشطة، هو عبارة عن آخر لحظة من الزمن يسمح به لإنجاز النشاط هذا بحيث لا يؤثر على تأخر اكتمال المشروع عن المدة المتوقعة الأصلية.

كذلك T_L لحدث معين من الأحداث، هو عبارة عن آخر لحظة من الزمن يسمح به لوقوع الحدث هذا بحيث لا يؤثر على تأخر اكتمال المشروع عن المدة المتوقعة الأصلية. الجدول التالي يوضح الوقت المتأخر المسموح به للأنشطة:

النشاط	Earliest Expected Completion time (T_E) الوقت المبكر المتوقع	Latest Allowable (T_L) الوقت المتأخر المسموح به
A	12	20
B	20	30
C	14	14
D	30	30
E	40	48
F	45	48
G	66	66
H	36	42
I	63	66
J	60	66

لحساب قيم (T_L) فأننا نبدأ من الحدث النهائي (حدث 7، أي 66 يوماً) ونرجع إلى الأمام باتجاه البداية . وT_E للحدث الأخير (حدث 7 في هذا المثال) هو دائما يساوي (T_L) لنفس الحدث . أي أن $T_L = T_E = 66$ يوماً. ونرجع إلى الأمام لحساب قيم T_L الباقية.

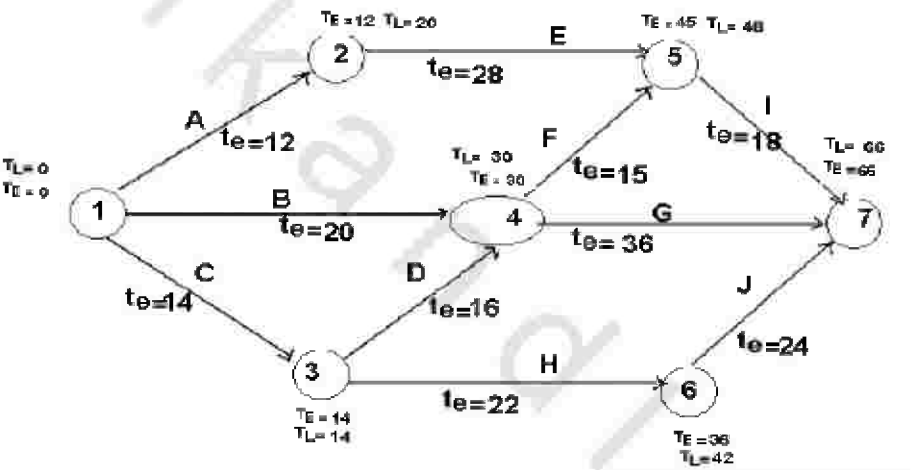
قاعدة : الوقت المتأخر المسموح به (T_L) لأي نشاط من الأنشطة هي عبارة عن الوقت المتأخر المسموح به (T_L) للحدث الذي ينتهي فيه ذلك النشاط.

إذا افترضنا أن النشاط J مثلاً لم يبدأ حتى اليوم ال 43 فهل ذلك سيؤثر على المشروع؟

إذا نظرنا إلى الوقت المتأخر المسموح به (T_L) للحدث 7 وكذلك النشاط J هو 66 يوماً، والمدة المتوقعة اللازمة لإنجاز النشاط J هي 24 يوماً. لذلك فإن النشاط J

يجب أن يبدأ في موعد أقصاه هو 66—24 = 42 (أي أن الوقت المتأخر المسموح به (T_L) للحدث 6 هو 42 يوماً) وإلا أثر ذلك على إكمال المشروع في الوقت المحدد. لذلك إذا بدأ النشاط J في اليوم الـ 43 فإن المشروع يتوقع أن ينتهي ليس قبل 43+ 24 =67 يوماً، أي يتأخر يوماً واحداً عن الموعد المتوقع لوقوع الحدث 7 .

شبكة PERT التالية توضح أيضا الوقت المتأخر المسموح به (T_L) للأحداث.



كذلك وبنفس الطريقة يمكن حساب الوقت المتأخر المسموح به (T_L) للحدث 5 . فإن الوقت المتأخر المسموح به (T_L) للحدث 5 عبارة عن 48=18-66 (المدة اللازمة لإنجاز النشاط I تساوي 48 يوماً).

حساب الوقت المتأخر المسموح به (T_L) للحدث 4 قد يكون أصعب قليلاً؛ وذلك لأن النشاط F وكذلك النشاط G تبدأ من الحدث 4 . لذلك فإن الحدث 4 يجب أن يبدأ مبكرا بما فيه الكفاية ليسمح لكلا النشاطين من الانتهاء قبل الوقت المتأخر المسموح به لكلا منهم.

الوقت المتأخر المسموح بـه (T_L) للنشاط F = 48، والمدة المتوقع أن يأخذها النشاط هذا هي 15 يوماً، لذلك فإن النشاط Fيجب أن لا يتأخر عن اليوم 33 يوماً وهو الفرق بين 48 وبين 15 .

كذلك فإن الوقت المتأخر المسموح به (T_L) للنشاط G= 66، والمدة المتوقع أن يأخذها النشاط هذه هي 36 يوماً، لذلك فإن النشاط Gيجب أن لا يتأخر عن 30 يوماً (66-36).

و لحساب الوقت المتأخر المسموح به (T_L) للحدث 4 فأننا نأخذ الوقت الأقل من بين الأوقات التي يجب أن لا تتأخر عنها الأنشطة التي تبدأ من ذلك الحدث (أي الأقل من بين 33، 30 يوماً) . أو بصيغة أخرى min (30,33)، أي أن الوقت المتأخر المسموح به (T_L) للحدث 4 يكون 30 يوماً.

افترض أن الحدث 4 وقع في اليوم ال 31، ماذا سيكون التأثير على النشاط F وكذلك النشاط G ؟

النشاط F لن يتأثر بهذا؛ وذلك لأن النشاط F يجب أن لا يتأخر عن 33 يوماً.

أما النشاط G فسوف يتأثر بهذا؛ وذلك لأن النشاط G يجب أن لا يتأخر عن 30 يوماً، أي سيتأخر بيوم واحد مما يؤدي إلى نهاية المشروع بأكمله بيوم واحد.

باستخدام نفس الطريقة فأننا نستطيع الحصول على الوقت المتأخر المسموح بـه (T_L) لكل الأحداث الباقية . ويجب أن تكون قيمة الوقت المتأخر المسموح بـه (T_L) للحدث الأول (البداية) دائما تساوي (T_E) وتساوي الصفر.

الوقت المتأخر المسموح بـه من المعلومات المهمة والتي تساعدنا في معرفة الأنشطة التي يجب أن لا تتأخر عن الموعد المحدد، وإلا فإن المشروع بأكمله سيتأخر.

فمثلاً بعد أن بدأنا المشروع وجدنا أن النشاط B لن ينتهي إلا بنهاية اليوم ال 25 بدلا من اليوم المحدد أي اليوم 20 . هل سيؤثر ذلك على المشروع ككل؟

الجواب طبعا بلا؛ وذلك لأن الوقت المتأخر المسموح به (T_L) للحدث 4 (وأيضا للنشاط B) هو 30 يوماً. ولا يوجد أي مشكلة بانتهاء النشاط B حتى اليوم الـ30.

إذا طريقة PERT تستطيع إعطائك الكثير من المعلومات الضرورية للتحكم في المشروع.

الفائض (Slack)

من الأسئلة المهمة التي من الممكن أن يجيب عليها أسلوب PERT هو معرفة المدة التي يمكن أن يتأخر فيها نشاط أو حدث بدون أن يسبب ذلك التأخير في النشاط أو الحدث إلى تأخير في المشروع بأكمله. هذه المدة التي يمكن أن يتأخر فيها نشاط أو حدث بدون أن يسبب ذلك التأخير في النشاط أو الحدث إلى تأخير في المشروع بأكمله، تسمى الأوقات الفائضة.

كيف يتم حساب الأوقات الفائضة؟

تعريف: الوقت الفائض لنشاط أو حدث معين (ونرمز له بالرمز s) هو الفرق بين الوقت المتأخر المسموح به(T_L) للحدث أو النشاط والوقت المبكر (T_E) لهذا الحدث أو النشاط. أي انه = ($T_L - T_E$)

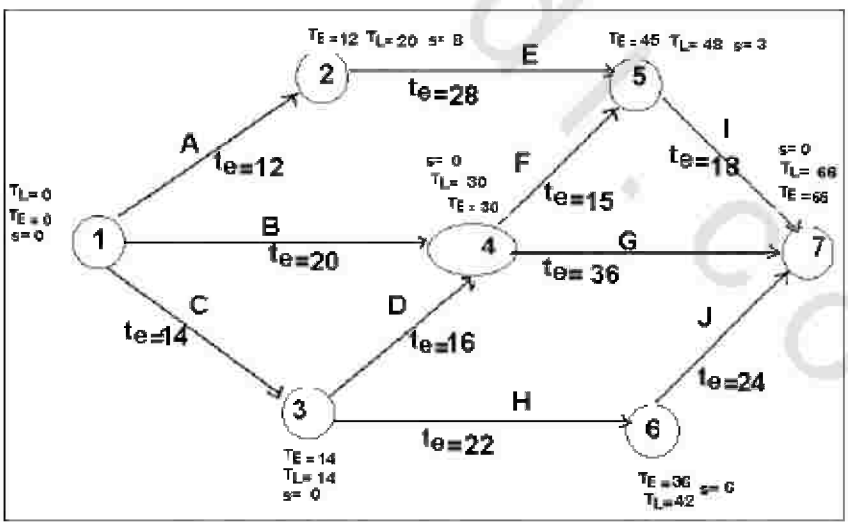
يفسر الوقت الفائض لنشاط ما على أنه المدة الزائدة عن الوقت المتوقع (t_e) التي ممكن أن يأخذها نشاط معين بدون أي تأثير على المشروع بأكمله.

ويفسر الوقت الفائض لحدث ما على أنه المدة الزائدة عن الوقت المبكر لوقوع الحدث (T_E) والتي ممكن أن يقع فيها حدث معين بدون أي تأثير على المشروع بأكمله.

الجدول التالي يوضح الأوقات الفائضة للأنشطة:

النشاط	Earliest Expected Completion time (T_E) الوقت المبكر المتوقع	Latest Allowable (T_L) الوقت المتأخر المسموح به	الأوقات الفائضة Slacks ($T_L - T_E$)
A	12	20	8
B	20	30	10
C	14	14	0
D	30	30	0
E	40	48	8
F	45	48	3
G	66	66	0
H	36	42	6
I	63	66	3
J	60	66	6

الأوقات الفائضة لكل حدث من الأحداث هو كما في الشبكة التالية:



الوقت الفائض لنشاط E هو 8 أيام. ذلك يعني أن النشاط E يمكن أن يتأخر 8 أيام زيادة عن المدة المتوقعة (te)، أي يأخذ إنجازه 28 + 8 = 36 يوماً. أو أن النشاط

ممكن أن يتأخر 8 أيام عن بدايته . كذلك الوقت الفائض للحدث 3 يوضح لنا أنه من المستحيل أن يتأخر الحدث عن الوقت المبكر للحدث (T_E =14) وأي تأخر في هذا الحدث يعني تأخر في المشروع ككل.

المسار الحرج The Critical Path CPM

المسار الحرج هو عبارة عن الأنشطة المتلاحقة والتي تكون في مجموعها أطول فتره ممكنة من البداية وحتى النهاية. وبالنظر إلى شبكة PERT السابقة يتضح أن الأنشطة C→D→G تكون المسار الحرج لهذا المشروع. في السابق تعرفنا على المسار الحرج وذلك بجمع فترات الأنشطة اللازمة لجميع المسارات الممكنة، ولكن باستخدام أسلوب PERT فإننا لا نحتاج لأن نحسب جميع المسارات، إذ إنه بالسهولة يمكن تحديده.

جميع الأنشطة التي فائضها يساوي الصفر، لا يمكن تأخيرها عن موعدها المحدد وإلا فإن ذلك سيؤثر على المشروع بأكمله. ولذلك فإن هذه الأنشطة هي التي تحدد المدة المتوقعة لإنهاء المشروع وكذلك المسار الحرج.

قاعدة : المسار الحرج يتكون من الأنشطة التي لا يوجد بها فوائض في الأوقات أي (s=0) . الأحداث التي لا يوجد بها فوائض (أي أن فوائضها تساوي أصفاراً) تكون تقع على المسار الحرج.

وبتطبيق هذه القاعدة على شبكة PERT نجد أن الأنشطة التي لا يوجد بها فوائض هي الأنشطة C، D، والنشاط G. ولذلك فإن المسار الحرج يمر بهذه الأنشطة. كذلك فإن الأحداث التي يوجد بها فوائض هي الأحداث 1، 3، 4، وكذلك 7 . وهذه الأحداث تربط الأنشطة C، D، والنشاط G لتكوين المسار الحرج.

وعموماً فإن الأشخاص الذين يعملون في المشروع ستكون علاقتهم قوية بأنشطة معينة وليس لهم علاقة بالأحداث، لأن الأحداث ستكون من تخصص مدير المشروع ومحلل شبكة PERT.

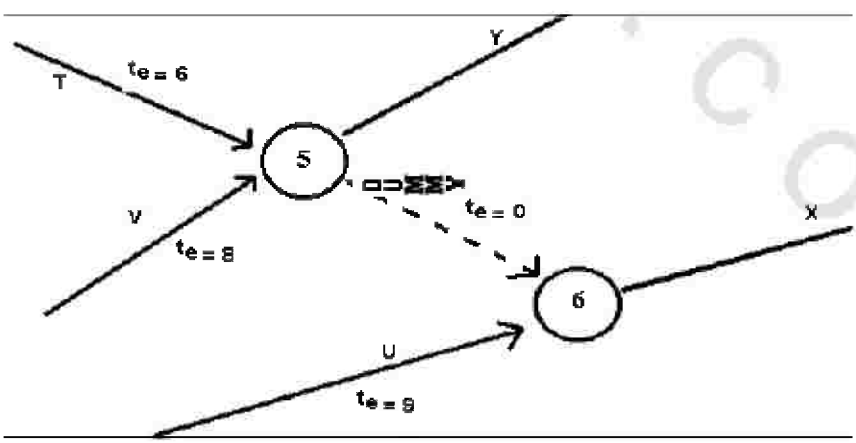
لذلك فإنه بالأهمية بمكان الاهتمام بالأنشطة التي تقع على المسار الحرج ويجب ملاحظتها بعناية أكبر والتركيز عليها والتحكم في أوقاتها حتى لا يتأخر المشروع بأكمله.

الأنشطة الوهمية Dummy Activities

في بعض الحالات نجد أن أنشطة معينة تشارك بعضها البعض في بعض الأنشطة السابقة وليس كلها. انظر إلى الجدول التالي:

النشاط	الأنشطة السابقة
X	T , U, V
Y	T , V

في هذه الحالة فإننا لا نستطيع أن نضع حدث واحد ينتهي فيه V , U, T ويكون بداية لنشاط X ونشاط Y . وذلك لان نشاط Y لا يحتاج لنشاط U أن يتم قبله كنشاط سابق. وفي هذه الحالة يجب أن نضع نشاط وهمي ((Dummy Activity ونعطيه صفراً من الزمن (أي أن $t_e = 0$) ويوضع على شكل خط متقطع في شبكة PERT الرسم التالي يوضح هذه الحالة:



وبافتراض أن المدة المتوقعة للنشاط T =6 , V=8 , U =9 فإنه بمجرد أن يقع الحدث 5 (مثلاً) فإن الحدث 6 سيقع مباشرة إذا كان النشاط U قد اكتمل . أي أن الحدث 6 سيقع متى ما انتهت جميع الأنشطة الثلاثة.

الأنشطة الوهمية تعامل معاملة الأنشطة العادية الأخرى، وحيث إن المدة اللازمة لإنجازها دائما يساوي الصفر فإن هذه الأنشطة الوهمية من المستحيل أن تتسبب في تأخير المشروع.

جدولة الأوقات Schedule Times

في حالات كثيرة في الواقع يجب أن ينتهي بناء المشروع في مدة محددة . مثلاً، صاحب الشركة يريد أن ينتقل إلى المقر الجديد في تاريخ معين، والانتهاء من بناء المقر في ذلك الوقت يكون بالأهمية بمكان في المثال السابق

تعريف: T_S ترمز للوقت المتأخر المسموح به لإكمال نشاط معين أو حدث معين بدون تأخير في المشروع بأكمله عن التاريخ المحدد له.

تعريف : S_S هو الفائض الثاني ($T_L - T_S$) وهو عبارة عن الفرق بين الوقت المتأخر المسموح به لإكمال نشاط أو حدث معين بدون التأثير على التاريخ المحدد لتسليم المشروع – الوقت المتأخر المسموح به لإكمال نشاط أو حدث معين بدون التأثير على التاريخ المحدد لاكتمال المشروع.

لذلك فإن T_S للحدث الأخير يساوي تاريخ التسليم أو التاريخ المقرر أن ينتهي فيه المشروع . جميع قيم T_S للأحداث الأخرى ستحسب بدقة إذا استخدمنا تاريخ التسليم كأساس لحساب الأحداث الأخرى.

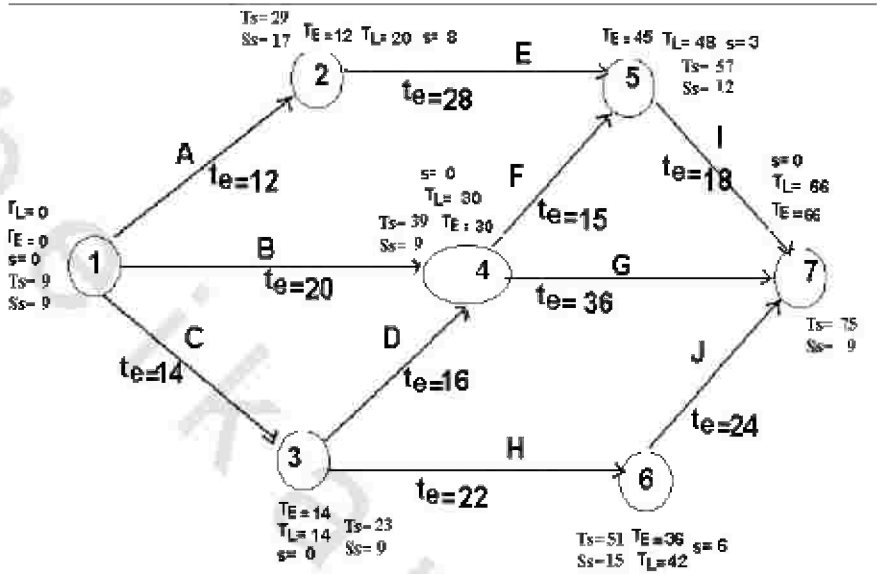
مثلاً افترض أن المشروع والذي نحن بصدده مطلوب له أن ينتهي قبل اليوم الـ 75 . والمشروع كما قدرنا يتطلب فقط 66 يوماً لإنهائه. لذلك فإن كل قيم T_S هي عبارة

عن قيم T_L التي حصلنا عليها من قبل بعد إضافة 9 (وهي 75–66 =9) أيام ($T_S = T_L + 9$) وكذلك فإن الفوائض الثانية هي عبارة عن الفوائض الأولى بعد إضافة 9 أي أن ($S_S = s+9$) قيم S_S وكذلك قيم T_S لجميع الأنشطة هي كما يلي:

Schedule (S_S) $S_S = T_S - T_E$	Schedule (time T_S) $= T_L + 9$	الأوقات الفائضة Slacks ($T_L - T_E$)	Latest Allowable (T_L) الوقت المتأخر المسموح به	Earliest Expected Completion time (T_E) الوقت المبكر المتوقع	النشاط
17	29	8	20	12	A
19	39	10	30	20	B
9	23	0	14	14	C
9	39	0	30	30	D
17	57	8	48	40	E
12	57	3	48	45	F
9	75	0	66	66	G
15	51	6	42	36	H
12	75	3	66	63	I
15	75	6	66	60	J

القيمة 9 للحدث 1 (حدث البداية) تفسر على أننا بإمكاننا أن نبدأ في اليوم التاسع وليس الآن ومع ذلك نستطيع أن نكمل المشروع قبل اليوم ال 75، إذا ما تم كل نشاط حسب المقدر له.

الشبكة التالية توضح قيم S_S وكذلك قيم T_S لجميع الأحداث:



استخدام الأوقات المقدرة Variable Time Estimate

المدة التي استخدمناها لكل نشاط في السابق هي عبارة عن توقع وتخمين وليس شيء مؤكد. وفي الحقيقة أن الأنشطة قد لا تأخذ نفس الفترة التي افترضناها. في بعض الأحيان قد تأخذ وقتاً أطول أو اقصر من الفترة المتوقعة. لذلك، فلكي يكون توقعنا أقرب إلى الحقيقة، فإنه يجب استخدام بعض التوزيعات الاحتمالية. ومن أفضل التوزيعات الاحتمالية على الإطلاق في هذا المجال، والذي يتناسب استعماله مع طبيعة طول الفترة الزمنية التي يتطلبها إنجاز نشاط من الأنشطة، هو توزيع "beta" .

افترض أننا وضعنا ثلاث فترات لتقدير الزمن اللازم (t_e) بدلا من تقدير واحد.

1– التقدير المتفائل Optimistic estimate

وهي أقصر فترة ممكنة، بحيث إن الفترة الصحيحة التي يأخذها نشاط معين يجب أن تكون أطول من هذا التقدير بنسبة 99٪ . افترض إننا رمزنا بالرمز (a) لهذا التقدير.

2- التقدير الأكثر احتمالاً Most likely estimate

وهي الفترة التي تقابل أكبر احتمال ممكن أن يأخذه هذا النشاط. وهذا هو المنوال لتوزيع الفترات التي يأخذها هذا النشاط "Mode". وليس بالضرورة المتوسط الحسابي "Mean"، افترض أننا أسمينا هذا التقدير "m".

3- التقدير المتشائم Pessimistic estimate

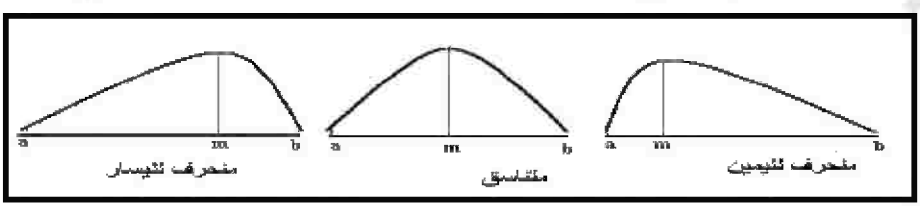
وهي أطول فترة ممكنة، بحيث إن الفترة الصحيحة التي يأخذها نشاط معين يجب أن تكون أقصر من هذا التقدير بنسبة 99% . افترض إننا رمزنا بالرمز " b " لهذا التقدير. توزيع بيتا له خاصية واحدة جعلته الأنسب والأفضل لوصف المدة الزمنية التي يتطلبها إنجاز نشاط من الأنشطة. هذه الخاصية هي أنه إذا عرفنا القيم الثلاث (أي التقدير المتفائل، التقدير الأكثر احتمالا، التقدير المتشائم) فإننا نستطيع معرفة المتوسط الحسابي أو المدة المتوقعة (t_e)، وكذلك التباين σ^2_e لهذه الفترة كما يلي:

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

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

توزيع بيتا يختلف عن التوزيع الطبيعي بأنه ليس بالضرورة متناسق حول الوسط. وذلك لأنه بإمكاننا الحصول على تقدير متفائل "a" قريب جدا من التقدير الأكثر احتمالا "m " والتقدير المتشائم"b " يكون بعيد جدا عن التقدير الأكثر احتمالا، أو العكس. وهذا يعرف في الإحصاء بالتوزيع المنحرف "Skewed distribution".

الشكل التالي يوضح الأشكال الثلاثة الممكنة لفترات الأنشطة حسب توزيع بيتا:



الآن دعنا نستخدم هذه التقديرات الثلاث (أي التقدير المتفائل، التقدير الأكثر احتمالا، التقدير المتشائم) في المشكلة السابقة، بدلا من التقدير الأول. كذلك المتوسط الحسابي أو الفترة المتوقعة t_e والتباين σ^2_e في فترة الأنشطة.

الجدول التالي يوضح المتوسط الحسابي أو الفترة المتوقعة t_e والتباين σ^2_e لفترات جميع الأنشطة:

النشاط	التقدير المتفائل	التقدير الأكثر احتمالا	التقدير المتشائم	المدة المتوقعة	التباين
A	8	12	16	12	1.78
B	13	19	31	20	9
C	8	14	20	14	4
D	4	16	28	16	16
E	19	23	57	28	40.11
F	9	15	21	15	4
G	24	36	48	36	16
H	14	22	30	22	7.11
I	13	18	23	18	2.78
J	14	24	34	24	11.11

مثلاً لحساب الوقت المتوقع والتباين للنشاط B فإن:

$$t_e = \frac{13 + 4(19) + 31}{6} = 120/6 = 20$$

$$\sigma^2_e = \left(\frac{31-13}{6}\right)^2 = (3)^2 = 9$$

لاحظ أن القيم الثلاث التي وضعناها (أي التقدير المتفائل، التقدير الأكثر احتمالاً، التقدير المتشائم) في الجدول السابق، وضُعت لكي تتفق مع القيم المتوقعة السابقة، ولذلك فإن عند التعويض في (t_e) فإن القيم جاءت كالسابق بدون تغيير.

فترة المشروع Project Duration

من أهم الأسئلة المطلوب الإجابة عليها من قبل المشرفين على المشروع، هي أسئلة تتعلق بالوقت الذي ينتهي فيه المشروع. وبالتحديد السؤال هو بنسبة كم نحن واثقون بأن المشروع سينتهي في وقت أو تاريخ معين؟

وفي المثال الحالي ممكن أن نُسأل : بنسبة كم نحن واثقون بأننا سنكمل المشروع قبل اليوم الـ 75؟

بإمكاننا إرفاق مقياس للاحتمالية هذه، مثل التباين والانحراف المعياري للأوقات التي حسبناها وذلك مثل التوقيت المبكر للأنشطة أو الأحداث. ولكن نحن الآن بصدد التركيز على معرفة احتمال وقوع الحدث الأخير (حدث 7) وهو حدث الانتهاء من المشروع.

تعريف σ^2_E: هو التباين في فترة إكمال نشاط من الأنشطة أو حدث من الأحداث .

الآن دعنا نقوم بصياغة وقت إتمام المشروع على أنه يُتوقع أن يكتمل في خلال 66 يوماً وبتباين σ^2_E . مع العلم أن تقدير 66 يوماً جاء من السابق ومن مجموعة الأنشطة التي تكّون المسار الحرج.

إذا كان فترة إتمام المشروع هي عبارة عن مجموع 3 متغيرات عشوائية، فإن توزيع هذه الفترة عبارة عن مجموع هذه الثلاث المتغيرات العشوائية المستقلة. وباستخدام نظرية النزعة المركزية "Central limit theory " التي تقول: إنه عند جمع عدة متغيرات عشوائية مستقلة، بغض النظر عن توزيعاتها الاحتمالية، فإن الناتج هو متغير عشوائي يقترب من التوزيع الطبيعي. وكلما زاد عدد هذه المتغيرات العشوائية المستقلة هذه، كلما اقترب الناتج إلى التوزيع الطبيعي. ومتوسط هذا التوزيع هو عبارة عن مجموع

متوسطات المتغيرات العشوائية (أي فترات الأنشطة)، وتباينه هو عبارة عن مجموع تباينات هذه المتغيرات العشوائية.

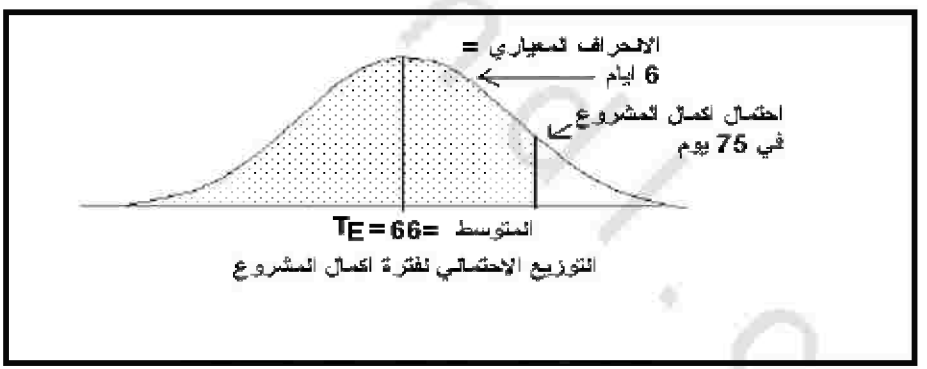
لذلك فإن :

متوسط المدة التي يأخذها المشروع = 14 +16+36 = 66 يوماً (كما في السابق)

وتباينه يكون σ^2_e = 16 + 16 + 4 = 36 يوماً

والانحراف المعياري = $\sqrt{36}$ = 6 يوم

لذلك فإنه من الممكن أن نتصور المدة التي يأخذها إكمال المشروع واحتمال اكتمال في أو قبل المدة المقررة وهي 75 يوماً كما في الشكل الاحتمالي التالي:



ولحساب احتمال إكمال المشروع في 75 يوماً فإنه يجب استخدام التوزيع الطبيعي المعياري (أي بمتوسط = صفر وانحراف معياري = 1).

والسؤال هو ما هو الاحتمال بان نأخذ عينة عشوائية من مجتمع طبيعي معياري بمتوسط 66 وانحراف معياري 6، وتكون هذه العينة اقل من أو يساوي 75 ؟

وللوصول للجواب فإنه أولا يجب الحصول على قيمة z (لتحويله إلى متغير عشوائي معياري طبيعي).

$$z = \frac{\text{المدة المقررة للتسليم} - \text{المدة اللازمة لإكمال المشروع}}{\text{الانحراف المعياري}}$$

$$z = \frac{75 - 66}{6} = 1.5$$

لذلك فإن 75 يوماً تقابل انحراف معياري 1.5 فوق المتوسط. وبالرجوع إلى جدول التوزيع الطبيعي المعياري التجميعي (Cumulative Standard Normal Distribution) فإننا نجد أن القيمة 1.5 تقابل احتمال 0.9332 . أي أن احتمال أن يكتمل المشروع قبل اليوم الـ 75 = 93%، وباعتبار أن الفترة المتوقعة لإكمال المشروع هو 66 يوماً حُدد بواسطة الأنشطة التي تقع على المسار الحرج (أي G-D-C)

مع إننا افترضنا أن الفترة المتوقعة لإكمال المشروع هي 66 يوماً، إلا أن ذلك قد لا يحدد الوقت الصحيح، خاصة أن بعض المسارات الأخرى قد يأخذ وقت أطول من المسار الحرج أو أن المسار الحرج قد يكتمل في وقت اقل.

احسب احتمال أن يأخذ المسار A-E-I وقتا أكثر من 43 يوماً.

أوقات وقوع الحدث Event Occurrence Times

فترة إكمال المشروع هي تعادل الوقت المبكر TE لوقوع الحدث الأخير، وخاصة لان T_E للحدث الأول بدأ من الصفر. ويإمكاننا قياس التباين σ^2_E المرافق للوقت المبكر T_E لكل حدث . وسنستخدم تباين فترة النشاط $\sigma^2 e$ للحصول على تباين الحدث σ_{2E} . فلكل حدث معين، فإن التباين في وقوع الحدث (σ^2_E) = التباين (σ^2_E) للحدث السابق له مباشرة + التباين ($\sigma^2 e$) لفترة النشاط الذي يربط بين هذين الحدثين.

فمثلاً :

التباين للحدث الأول $\sigma^2_E = 0$، حسب التعريف

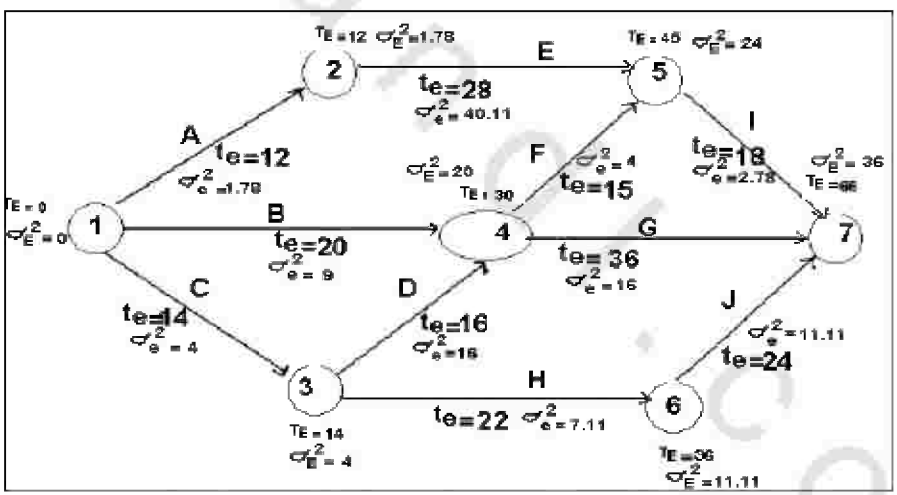
التباين للحدث الثاني σ^2_E =تباين الحدث الأول + تباين النشاط الذي يربط الحدث 2 بالحدث 1 (أي تباين النشاط A) =0 + 1.78 = 1.78

كذلك الحدث 3 = 0 + 4 = 4 أيام

ولكن الحدث 4، أصعب قليلا، حيث يوجد نشاطين سابقين للحدث 4 وهم D, B ولمعرفة التباين لهذا الحدث فإنه يجب معرفة أي من النشاطين هو الذي حدد وقت مبكر T_E = 30 يوماً للحدث 4 ؟

إنه النشاط D وذلك لان T_E = 30 هي عبارة عن جمع 14 + 16 = 30 يوماً.

شبكة PERT التالية توضح التباين لكل الأحداث :



وهو عن طريق الحدث 3 . لذلك فعند حساب التباين لهذا الحدث فإننا نجمع تباين الحدث 3 + تباين النشاط = 4 + 16 = 20 يوماً.

ويفسر على أن احتمال وقوع الحدث 4 يكون يتبع التوزيع الطبيعي بمتوسط حسابي (T_E) يساوي 30 يوماً، وتباين 20 يوماً.

ومن الممكن حساب احتمال أن يقع الحدث 4 قبل اليوم 35 . ولحساب ذلك فإننا أولا نستخرج قيمة z.

$$z = \frac{35 - 30}{\sqrt{20}} = 1.12$$

وبالرجوع إلى جدول التوزيع الطبيعي التجميعي، بإمكاننا إيجاد احتمال أن:

$z \leq 1.12$

وهكذا ممكن أن نكمل حساب التباين لجميع الأحداث الباقية، وملاحظة أن التباين للحدث الأخير (7) يجب أن يساوي التباين الخاص بالفترة المتوقعة لإنهاء المشروع بأكمله.

أوقات إتمام النشاط Activity-Completion Times

بإمكاننا أيضا حساب التباين لكل نشاط على حدة، والقاعدة هي كالتالي:

تباين (σ^2_E) نشاط معين = التباين σ^2_E للحدث السابق + التباين σ^2_e لفترة النشاط نفسه.

الجدول التالي يوضح الوقت المتوقع (T_E) والتباين لإكمال الأنشطة:

النشاط	الوقت المبكر المتوقع Earliest Expected Completion time (T_E)	التباين Variance σ^2_E
A	12	1.78
B	20	9
C	14	4
D	30	20
E	40	41.89
F	45	24
G	66	36
H	36	11.11
I	63	26.78
J	60	22.22

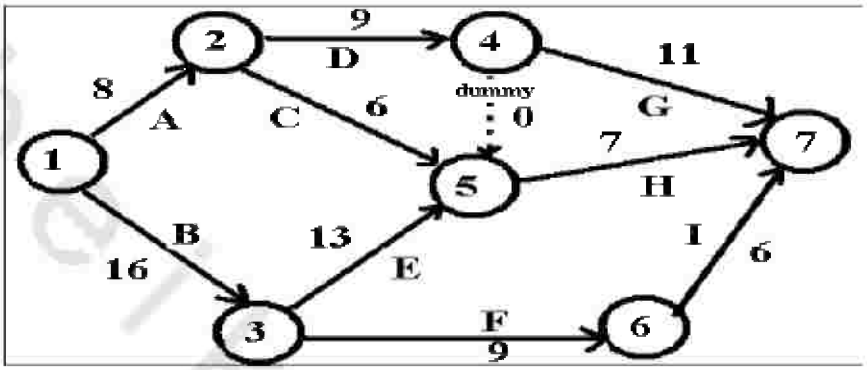
مسائل محلولة على أسلوب تقييم البرامج ومراجعتها وطريقة المسار الحرج CPM

1- (تخطيط منشآت سياحية) شركة المنتجعات الوطنية قامت بشراء أرض مساحتها 16 كم^2 بمدينة الرياض لإقامة استراحات طبيعية وأشجار وملاعب أطفال ومسطحات خضراء ومائية وكانت الأنشطة اللازمة لتخطيط الأرض وتسويتها وتقسيمها وزراعتها وتشجيرها وبناءها يتطلب إنجاز الأنشطة التالية:

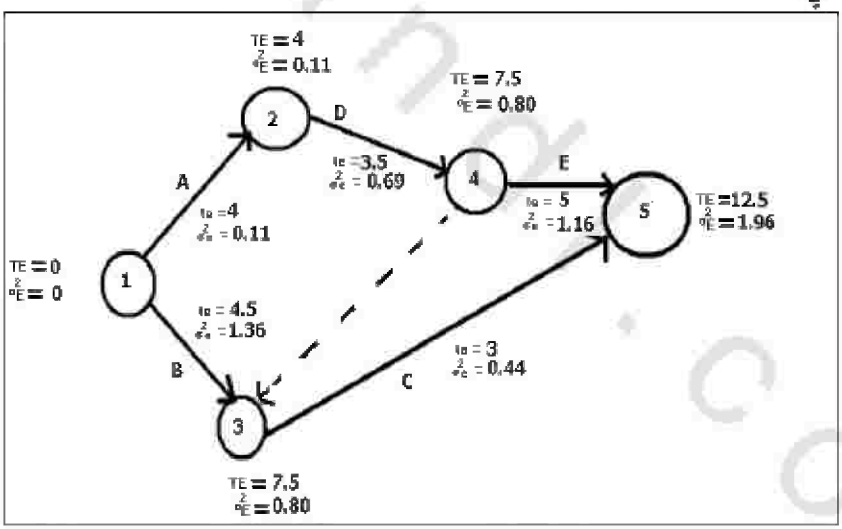
النشاط (Activity)	النشاط السابق (predecessor activities)
A	لا يوجد
B	لا يوجد
C	A
D	A
E	A,B
F	B,A
G	C,E
H	D,G
I	E
K	F

المطلوب رسم شجرة بيرت فقط.

2- (تخطيط أحداث المشروع) إذا كانت الأوقات المتوقع (t_e) هي كما هو على شبكة بيرت التالية. المطلوب استخراج الوقت المبكر (T_E) والمتأخر (T_L) والفوائض (Slacks) لأحداث المشروع واستخراج المسار الحرج (CPM):



3- إذا كانت الأوقات المتوقعة والتباين للأنشطة والإحداث لأحد المشاريع هي كالتالي:



المطلوب:

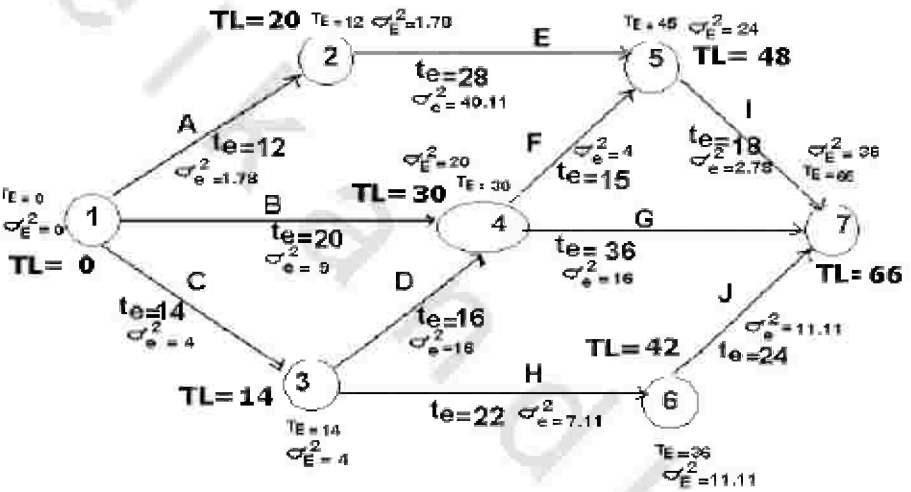
أ) حساب احتمال أن ينتهي المشروع في خلال 14 يوماً (14 يوم أو اقل)؟

ب) احتمال أن ينتهي المشروع في خلال 10 أيام (10 أيام أو اقل) ؟

جـ) احتمال أن ينتهي النشاط D في مدة تتراوح بين 5 إلى 10 أيام؟

د) احتمال أن ينتهي النشاط D في خلال 10 أيام؟

4- إذا كانت شبكة – خارطة- PERT شاملة الأوقات المتوقعة والتباين للأنشطة هي كالتالي:



المطلوب :

أ) حساب احتمال أن ينتهي المشروع في فترة لا تقل عن 46 يوم؟

ب) حساب احتمال أن ينتهي المشروع في فترة لا تزيد عن 86 يوم؟

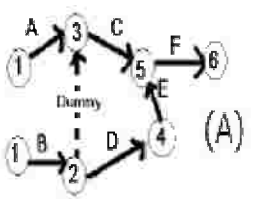
جـ) حساب احتمال أن يبدأ النشاط G في فترة لا تزيد عن 40 يوماً؟

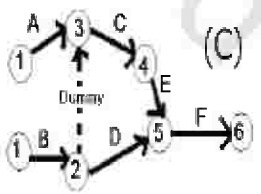
د) حساب احتمال أن يبدأ النشاط G في فترة تتراوح بين 30 إلى 50 يوماً؟

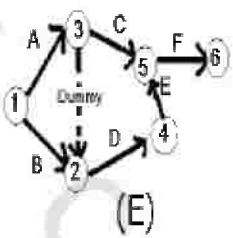
5- إذا كانت الأنشطة والأنشطة السابقة لمشروع تسويق منتج هي كالتالي

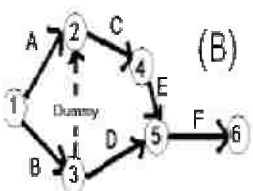
النشاط (Activities)	الأنشطة السابقة (Predecessors)
A : تدريب العمال	لا يوجد
B : شراء الآلات	لا يوجد
C: إنتاج المادة (1)	A , B
D: إنتاج المادة (2)	B
E: اختبار المادة (2)	D
F: مزج المادتين (1 ، 2)	C, E

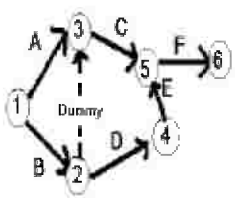
والمطلوب اختيار الرسم الصحيح لشبكة PERT من بين الرسوم التالية:







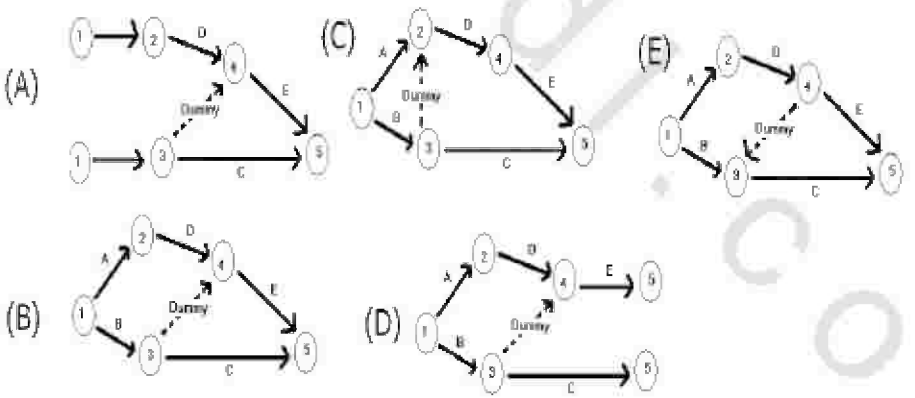




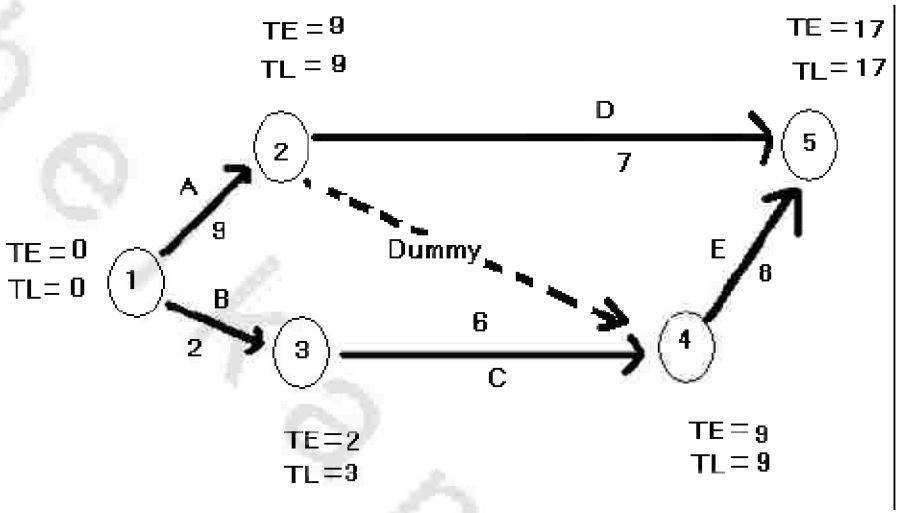
6- إذا كانت الأنشطة والأنشطة السابقة لمشروع الجزيرة هي كالتالي:

النشاط (Activities)	الأنشطة السابقة Predecessors
A : تدريب العمال	لا يوجد
B : شراء الآلات	لا يوجد
C: إنتاج المادة (1)	B
D: إنتاج المادة (2)	A
E: اختبار المادة (2)	D,B

والمطلوب اختيار الرسم الصحيح لشبكة PERT من بين الرسوم التالية:



7- إذا كانت شبكة بيرت PERT لمشروع العقار هي كالتالي:



المطلوب اختيار الأنشطة التي تقع على المسار الحرج CPM

a) A, ,Dummy,D

b) A,Dummy,E

c) B,C,D

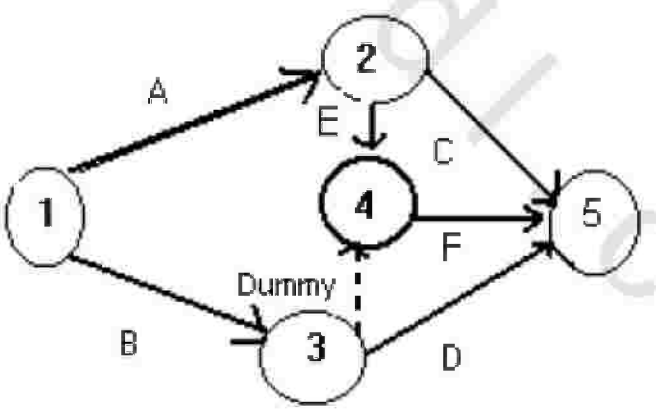
d) B,C,E

e) A,Dummy, C,B

8- إدارة مشاريع. إذا كانت الأنشطة والفترات المتوقعة بالأسابيع لمشروع الجزيرة هي كالتالي:

			te	الفترات المتوقعة			النشاط
				المتشائم (b)	الأكثر احتمالا (m)	المتفائل (a)	
			2.75	3.5	3	1	A
			2	3.5	2	0.5	B
			4.5	8	4	3	C
			5.5	10	5	3	D
			5.5	9	5	4	E
			3.5	4	.53	3	F

المطلوب الآتي: بالاستعانة بالجدول السابق وبالرسم المرفق المطلوب:



أ) حساب الوقت المبكر والمتأخر للأحداث وللأنشطة وتحديد المسار الحرج؟

ب) حساب احتمال أن ينتهي المشروع في فترة تتراوح بين 10 إلى 15 أسبوعاً؟

جـ) احتمال أن ينتهي المشروع في فترة لا تقل عن 14 أسبوع (أي 14 أسبوعا أو أكثر)؟

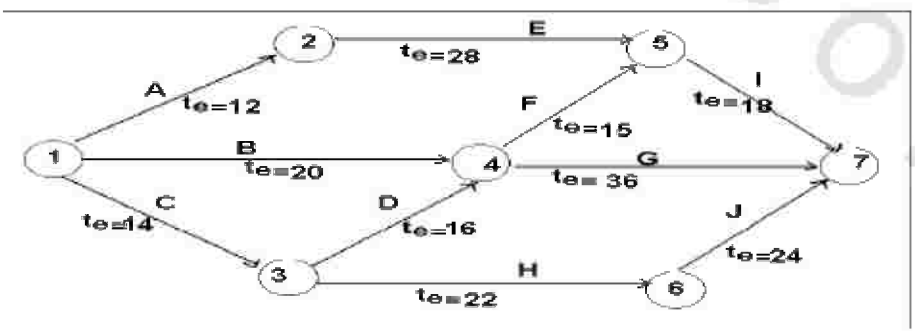
د) احتمال أن يبدأ النشاط d في مدة لا تزيد عن 3 أسابيع؟

حل مشكلة Pert وCPM باستخدام الحاسب

حل مشاكل Pert وCPM باستخدام إكسل (Excel)

هنا نسترجع المشكلة الخاصة بشركة سدير السابقة وملخص المشكلة في الجدول وخريطة بيرت (PERT) التاليتين والتي تم حلها باستخدام شبكة Pert بالتفصيل:

النشاط	الأنشطة السابقة	المدة المتوقعة Expected duration (t_e)
A	لا يوجد	12
B	لا يوجد	20
C	لا يوجد	14
D	C	16
E	A	28
F	D, B	15
G	D, B	36
H	C	22
I	E, F	18
J	H	24



والمطلوب حل المشكلة وتحديد المسار الحرج والوقت المتوقع للانتهاء باستخدام برنامج إكسل (EXCEL).

لحل المشكلة يتعين علينا إتباع الخطوات التالية لتسهيل عملية الحل:

الانتقال إلى برنامج إكسل (EXCEL) ووضع جدول بيرت (PERT) بالشكل التالي:

- اختيار صف وتسميته الأحداث ووضع أرقام هذه الأحداث في هذا الصف.
- كل خلية من الخلايا تمثل الوقت المبكر لبداية الحدث.
- نبدأ بوضع القيمة صفر (0) في الخلية الأولى والتي تمثل الحدث رقم 1.
- الخلايا D9:G9 ستكون الخلايا التي يخرج فيها قيم ونتائج الوقت المبكر لكل حدث. وهذا سيكون هو المطلوب من البرامج التوصل إليه وسيكون شكل المشكلة في برنامج إكسل (EXCEL) كالتالي:

• بعد ذلك ندخل شبكة بيرت (PERT) والعلاقة بين الأحداث والأنشطة في جدول إكسل (EXCEL) بوضع الأنشطة على العمود B والأحداث على الصف 15 على سبيل المثال.

• حيث إن الأنشطة تمثل في شبكة بيرت (PERT) بمنحنى أو خط يصل بين الحدث السابق والحدث اللاحق فإنه هنا ستوضع هذه العلاقة في الصفوف بحيث يكون لكل نشاط صف واحد.

• كل نشاط سيوضع إمامه الرقم (-1) مقابل الحدث الذي يبدأ به ويوضع أمامه (1) أمام الحدث الذي ينتهي فيه وما عدى ذلك نضع القيمة (0) كما في الشكل التالي:

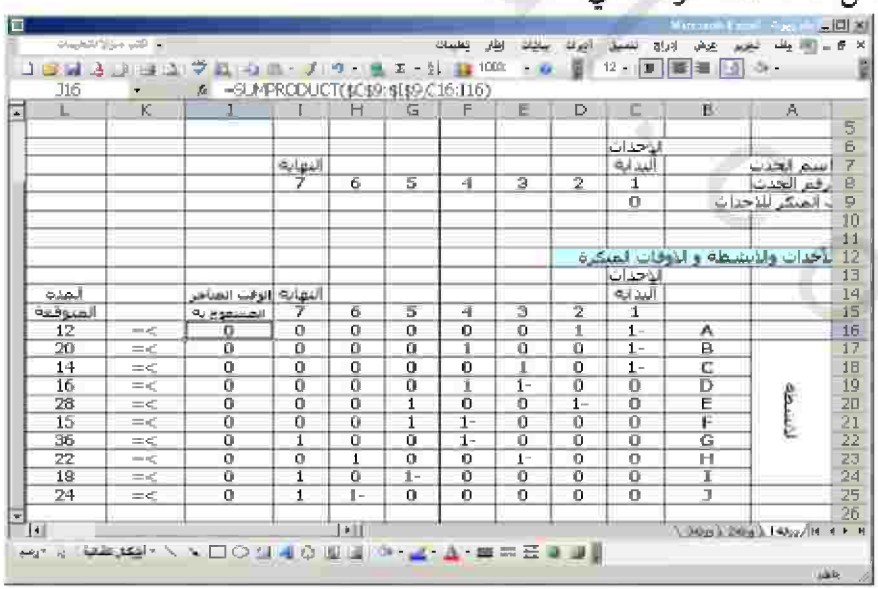
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
4										
5										
6			الأحداث							
7	اسم الحدث		البداية						النهاية	
8	رقم الحدث		1	2	3	4	5	6	7	
9	الصفر للأحداث		0							
10										
11										
12	الأحداث والأنشطة و الأوقات الصفرية									
13			الأحداث							
14			البداية						النهاية	
15			1	2	3	4	5	6	7	
16		A	1-	1	0	0	0	0	0	
17		B	1-	0	0	1	0	0	0	
18		C	1-	0	1	0	0	0	0	
19		D	0	0	1-	1	0	0	0	
20		E	0	1-	0	0	1	0	0	
21	الأنشطة	F	0	0	0	1-	1	0	0	
22		G	0	0	1-	1	0	0	1	
23		H	0	1-	0	0	0	1	0	
24		I	0	0	0	0	1-	0	1	
25		J	0	0	0	0	0	1-	1	

• بعد ذلك ندخل الوقت أو المدة المتوقعة (te) لكل نشاط أمامه في العمود على سبيل المثال في العمود L . وتكون في الخلايا (L16:L25) .

• وفي العمود J على سبيل المثال يمكن أن نضع الخلايا الخاصة بالوقت المتأخر المسموح به لكل نشاط أي في الخلايا (J16:J25). ويكون حسب المعادلة التالية: sumproduct(c9:I9,c16:I16) لحساب الوقت المتأخر المسموح به لكل نشاط. مع ملاحظة أن رمز الدولار ($) وضع بين الإشارات إلى الصف رقم 9 لتثبيت هذه الخلايا وعدم تحرك الإشارة إليها عند التعبئة. وهذه التعبئة سنستخدمها في نسخ الدالة إلى الخلايا الأخرى. حيث نبدأ بالخلية رقم J16 ثم نسحب الخلية من الزاوية السفلى اليسرى مع استمرار الضغط على الماوس حتى نصل إلى آخر خلية.

• في العمود M نضع الفوائض وهي عبارة عن ناتج طرح قيم J16-L16 وهكذا بالنسبة للعناصر الأخر في نفس العمود.

• وفي العمود رقم K نقوم بإدخال علامات الأكبر من أو يساوي (=<) أي أن الوقت المتأخر المسموح به دائماً أكبر من أو يساوي المدة المتوقعة لكل نشاط. ويكون الحل عند هذه الخطوة كالتالي:



بعد ذلك نحدد الخلية الخاصة بالمدة المتوقع للمشروع ككل وهي عبارة عن الوقت المبكر والمتأخر للحدث الأخير ونضعها في الخلية مثلاً H11 وهي نفسها القيمة التي تكون في الخلية I9. ولذلك نضع في الخلية H11 القيمة (I9).

الانتقال إلى Solver في قائمة أدوات Tools ثم ادخل المعطيات التالية:

في خانة الخلية الهدف set target cell ضع H11 .

في خانة equal to نضع min أي اقل مدة متوقعة.

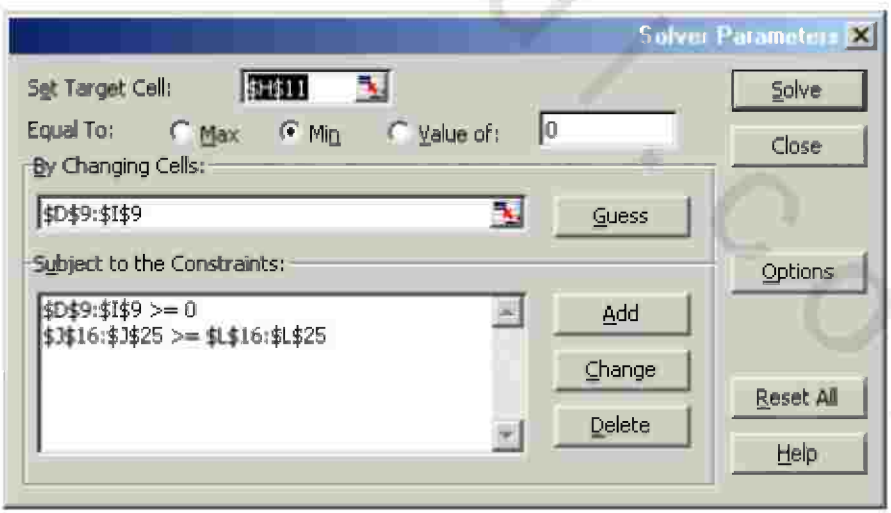
في خانة الخلايا التي يتم تغييرها by changing نضع D9:I9 .

وفي خانة القيود subject to نضع القيد D9:I9>=0 وكذلك القيد.

. J16:J25>=L16:L25

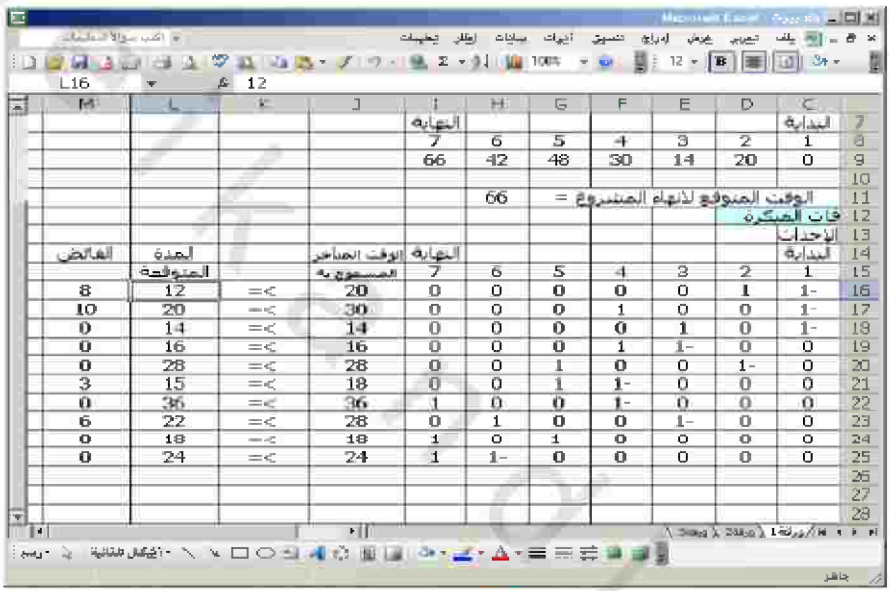
وفي خانة الخيارات Options نضع افتراض نموذج خطي Assume Linear Model

ويكون شكل نافذة Solver كالآتي:



ثم بالنقر على حل Solve ثم موافق Ok نصل إلى الحل وفيها يظهر أن الأوقات المتأخرة المسموح بها لكل حدث هي كما يلي:

TL(1)=0,TL(2)=20,TL(3)=14,TL(4)=30,TL(5)=48,TL(6)=42,TL(7)=66



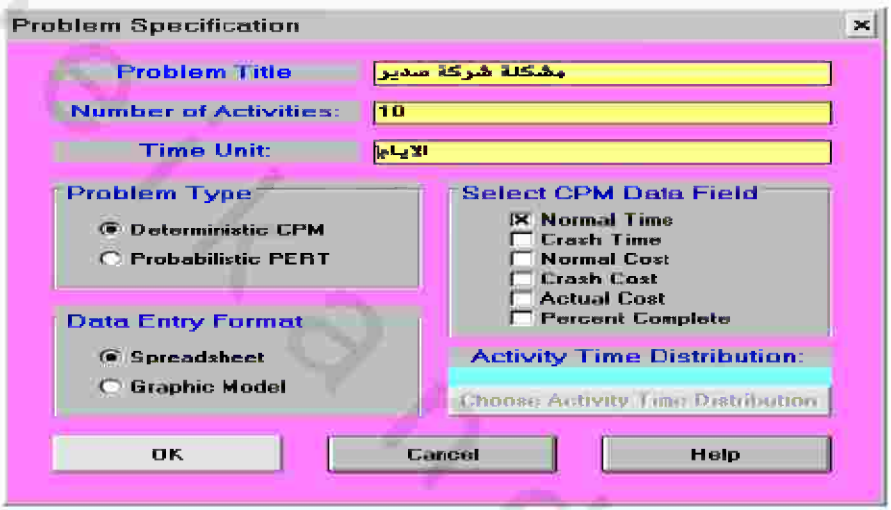
				النهاية						البداية	
				7	6	5	4	3	2	1	
				66	42	48	30	14	20	0	
					66	= الوقت المتوقع لانهاء المشروع					
									فات الشبكة		
									الوحدات		
الفائض	المدة		الوقت الحاضر	النهاية					البداية		
	المتوقعة		المسموح به	7	6	5	4	3	2	1	
8	12	=<	20	0	0	0	0	0	1	1-	
10	20	=<	30	0	0	0	1	0	0	1-	
0	14	=<	14	0	0	0	0	1	0	1-	
0	16	=<	16	0	0	0	1	1-	0	0	
0	28	=<	28	0	0	1	0	0	1-	0	
3	15	=<	18	0	0	1	1-	0	0	0	
0	36	=<	36	1	0	0	1-	0	0	0	
6	22	=<	28	0	1	0	0	1-	0	0	
0	18	=<	18	1	0	1	0	0	0	0	
0	24	=<	24	1	1-	0	0	0	0	0	

حل مشاكل Pert وCPM باستخدام برنامج QSB

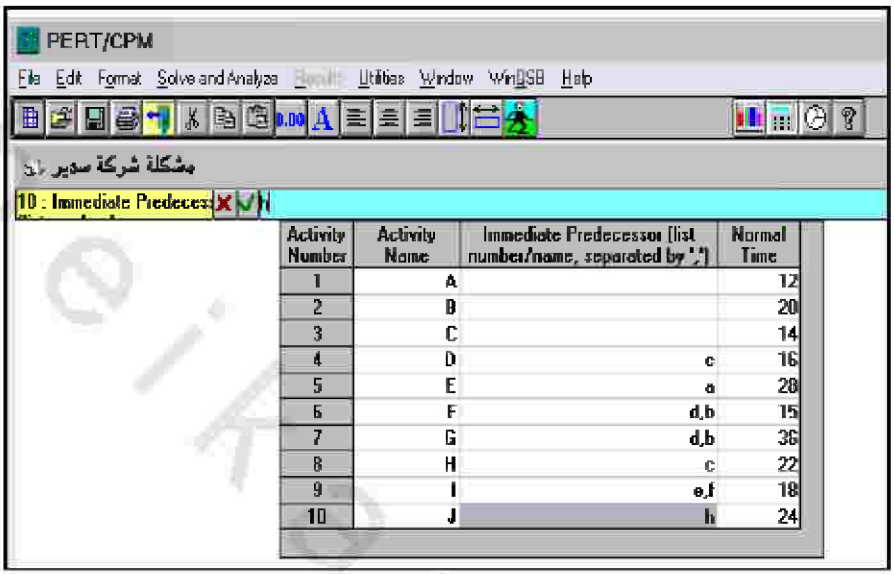
يمكن حل مشكلة شركة سدير السابقة باستخدام برنامج QSB كما يلي:

أولاً: من قائمة إبدأ (Start) في النوافذ نذهب إلى البرامج (programs) ثم اختيار برنامج SQB وبعد ذلك تخرج لنا قائمة طويلة بتطبيقات البرنامج ونختار منها (Pert/cpm) ثم تخرج لنا نافذة البرنامج كما في الشكل التالي:

بعد ذلك يتم النقر على الأيقونة "مشكلة جديدة" ويتم كتابة معلومات المشكلة كما في الشكل التالي:



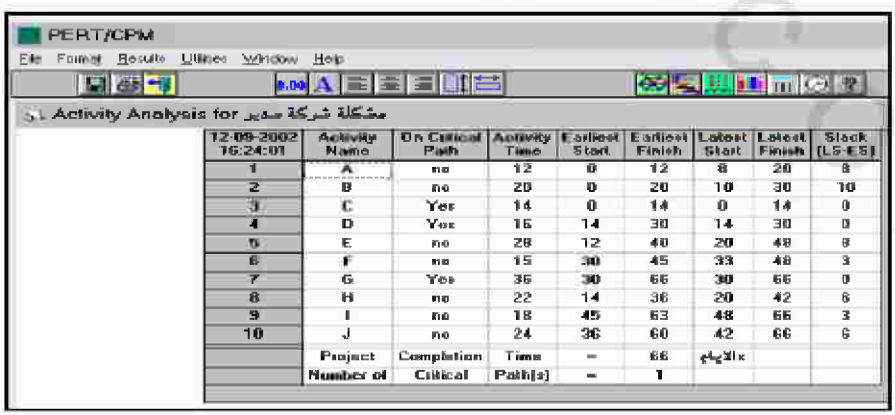
مع العلم بأن Number of activities هي عدد الأنشطة ونوعية المشكلة (Problem type) هي محددة (Deterministic) وحقل البيانات (Data Field) هو الوقت الطبيعي (Normal Time) بينما وضعنا الهيئة التي ندخل بها البيانات (Data Entry Format) على شكل جدول (Spreadsheet). وبعد ذلك تخرج لنا نافذة إدخال البيانات كما هي في الشكل التالي:



Activity Number	Activity Name	Immediate Predecessor (list number/name, separated by ",")	Normal Time
1	A		12
2	B		20
3	C		14
4	D	c	16
5	E	a	28
6	F	d,b	15
7	G	d,b	36
8	H	c	22
9	I	e,f	18
10	J	h	24

مع العلم أيضا بأن رقم النشاط هو (Activity Number) واسم النشاط هو (Activity name) والأنشطة السابقة مباشرة هي (Immediate Predecessor) ويتم وضع فواصل بينهما إذا كانت الأنشطة السابقة أكثر من واحد. وبعد الانتهاء من إدخال البيانات بالكامل نقوم بحل المشكلة من قائمة (Solve and Analyze).

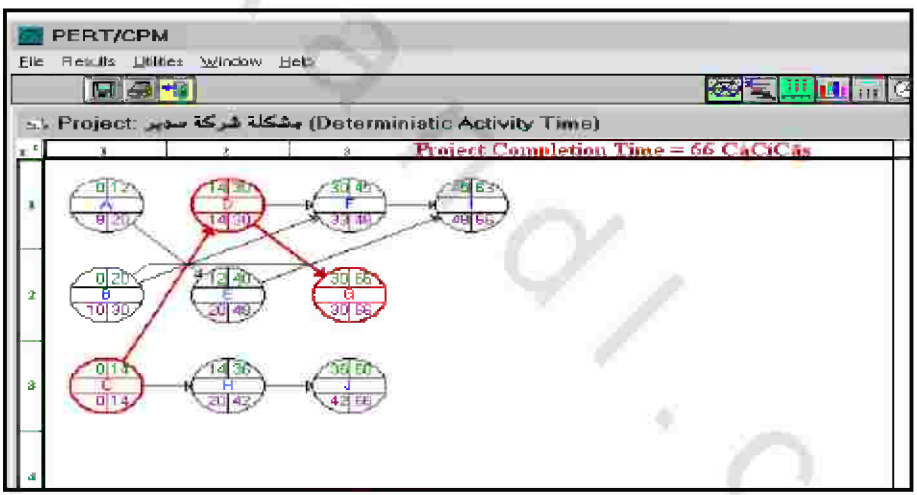
وبعد ذلك تخرج لنا نافذة الحل في الصفحة التالية:



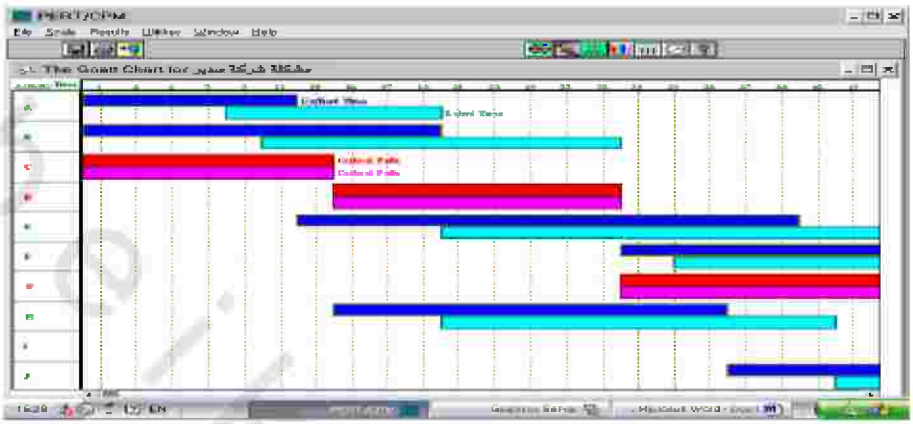
12-09-2002 16:24:01	Activity Name	On Critical Path	Activity Time	Earliest Start	Earliest Finish	Latest Start	Latest Finish	Slack (LS-ES)
1	A	no	12	0	12	8	20	8
2	B	no	20	0	20	10	30	10
3	C	Yes	14	0	14	0	14	0
4	D	Yes	16	14	30	14	30	0
5	E	no	28	12	40	20	48	8
6	F	no	15	30	45	33	48	3
7	G	Yes	36	30	66	30	66	0
8	H	no	22	14	36	20	42	6
9	I	no	18	45	63	48	66	3
10	J	no	24	36	60	42	66	6
	Project	Completion	Time	=	66	الايام		
	Number of	Critical	Path(s)	=	1			

ونلاحظ من الحل السابق أن الأنشطة التي تقع على المسار الحرج (CPM) هي الأنشطة (c,d,g) كما يظهر من العامود (On Critical Path) وأن الأوقات المبكرة للأنشطة (TE) هي القيم الموجودة في العامود (Earliest Start) وكذلك الوقت المتوقع لانتهاء المشروع (Project Completion Time) وهي نفسها نفس النتائج التي تحصلنا عليها من قبل باستخدام طريقة بيرت (PERT) .

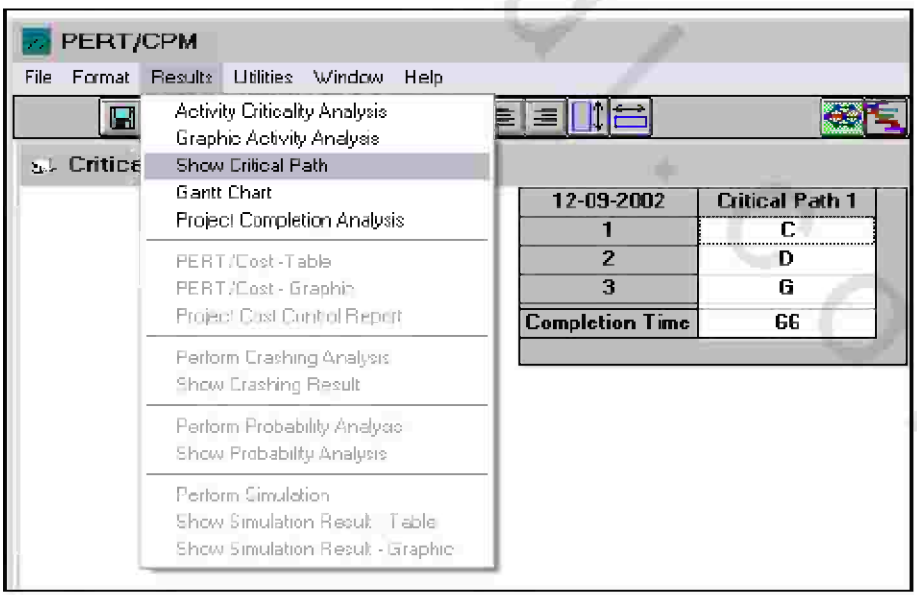
كذلك يمكن الاطلاع على نتائج الحل السابق على خارطة بيرت (PERT) التالية:



وكذلك يمكن الاطلاع على الرسم الخاص بالوقت المبكر والوقت المتأخر لكل نشاط من الأنشطة السابقة كما في الشكل التالي:

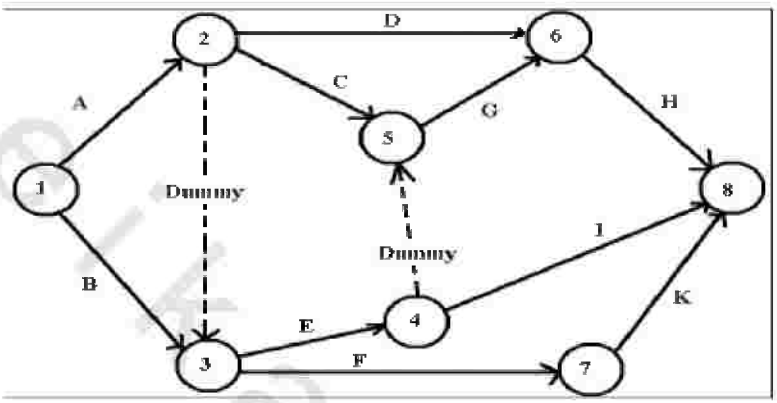


كذلك يمكن الحصول على العديد من النتائج المهمة الأخرى باستخدام البرنامج مثل الحصول على جدول تكاليف مشكلة بيرت (PERT) ورسم شبكة التكاليف لمشكلة بيرت (PERT) وتحليل الاحتمالات (Probabilities) وكذلك المحاكاة (Simulation).

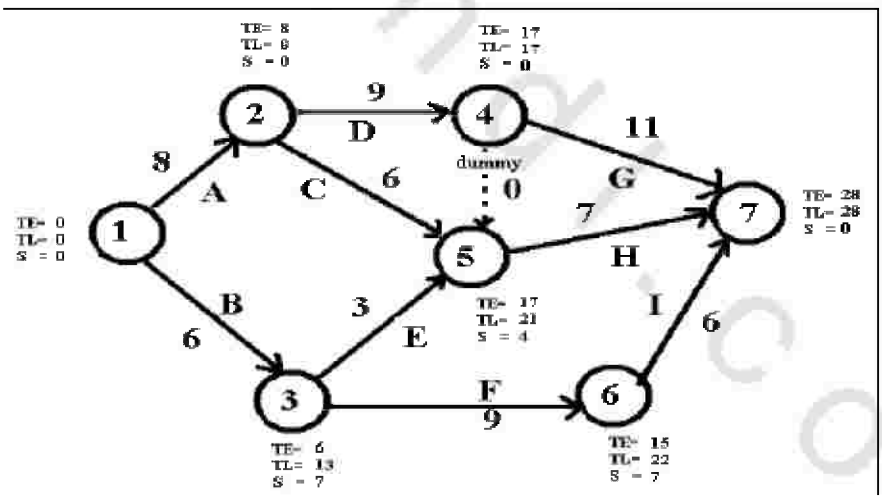


حلول مسائل تقييم البرامج ومراجعتها وطريقة المسار الحرج CPM

-1



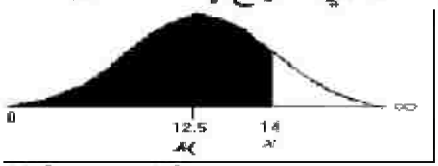
-2



المسار الحرج هو A، D، G

-3

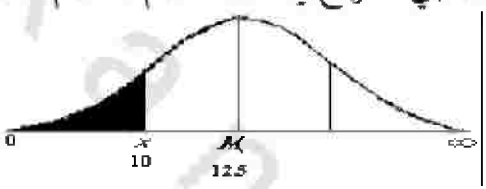
أ) حساب احتمال أن ينتهي المشروع في خلال 14 يوماً (14 يوم أو اقل)؟



$$Z=\frac{x-\mu}{\sigma}=\frac{14-12.5}{\sqrt{1.96}}=\frac{1.5}{1.4}=1.07 \quad \text{ومن الجدول} \quad =0.3577$$

$$P(x \le 14)=0.5+0.3577=0.8577$$

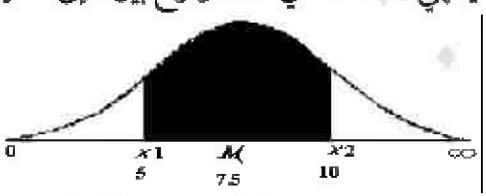
ب) احتمال أن ينتهي المشروع في خلال 10 أيام (10 أيام أو اقل) ؟



$$Z=\frac{x-\mu}{\sigma}=\frac{10-12.5}{\sqrt{1.96}}=\frac{2.5}{1.4}=-1.79 \quad \text{ومن الجدول} \quad =0.4833$$

$$P(x \le 10)=0.5-0.4833=0.017$$

ج) احتمال أن ينتهي النشاط D في مدة تتراوح بين 5 إلى 10 أيام؟



$$Z1=\frac{X1-\mu}{\sigma}=\frac{5-7.5}{\sqrt{0.8}}=\frac{-2.5}{0.894}=-2.80 \quad \text{ومن الجدول} \quad =0.4974$$

$$Z2=\frac{-\mu\,2X}{\sigma}=\frac{-7.510}{\sqrt{0.8}}=\frac{2.5}{0.894}=2.80 \quad \text{ومن الجدول} \quad =0.4974$$

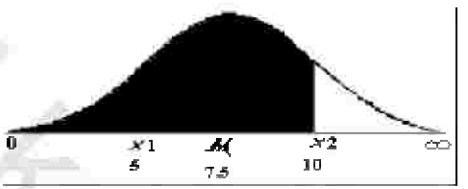
$$P(5 \le x \le 1)=0.4974+0.4974=0.99$$

د) احتمال أن ينتهي النشاط D في خلال 10 أيام؟

الاحتمال هو :

$$Z=\frac{X-\mu}{\sigma}=\frac{10-7.5}{\sqrt{0.8}}=\frac{2.5}{0.894}=2.80 \quad \text{ومن الجدول} \quad =0.4974$$

$P(x \le 10) = 0.5 + 0.4974 = 0.9974$

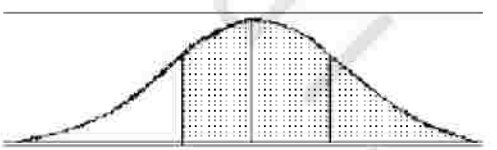


-4

أ) حساب احتمال أن ينتهي المشروع في فترة لا تقل عن 46 يوم؟

$$Z=\frac{x-\mu}{\sigma}$$

$$Z=\frac{46-66}{36}=-3.33$$



من الجدول p=0.499

الاحتمال =0.5+0.499=0.999

ب) حساب احتمال أن ينتهي المشروع في فترة لا تزيد عن 86 يوم؟

$$Z=\frac{x-\mu}{\sigma}$$

$$Z=\frac{86-66}{36}=+3.33$$

من الجدول p=0.499

الاحتمال =0.5+0.499=0.999

جـ) حساب احتمال أن يبدأ النشاط G في فترة لا تزيد عن 40 يوماً؟

$$Z= \frac{x-\mu}{\sigma}$$

$$Z= \frac{30-40}{20} = +2.24$$

من الجدول p=0.487

الاحتمال =0.5+0.487=0.987

د) حساب احتمال أن يبدأ النشاط G في فترة تتراوح بين 30 إلى 50 يوماً؟

$$Z= \frac{x-\mu}{\sigma}$$

$$Z1= \frac{30-50}{20} = +4.47$$

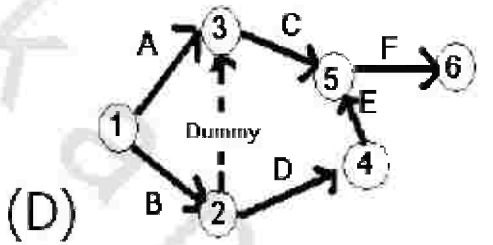
$$Z=\frac{x-\mu}{\sigma}$$

$$Z2=\frac{30-30}{20}=0$$

من الجدول p=0.499

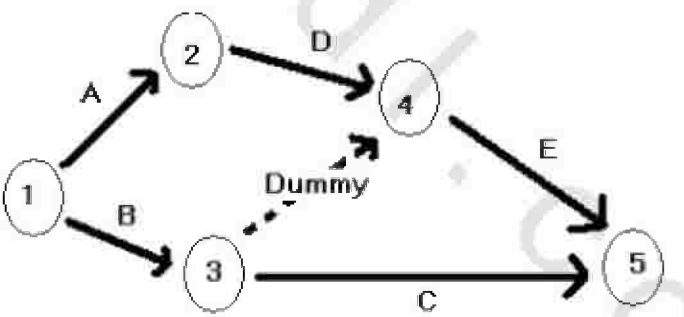
الاحتمال =0+0.499= 0.5

-5



(D)

-6



(B)

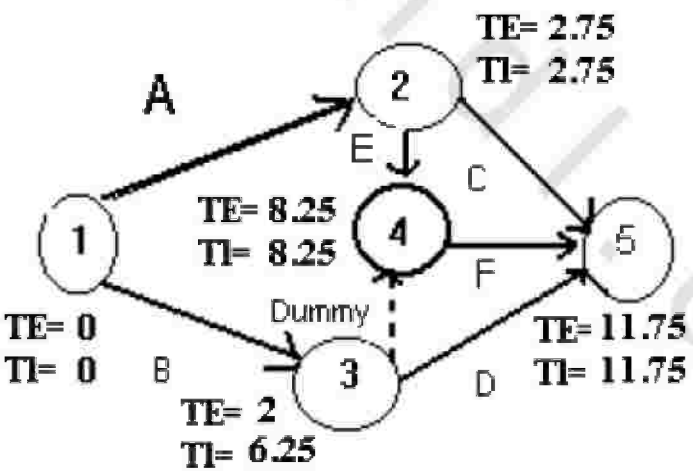
-7

b) A,Dummy,E

obeikandl.com

-8

TL	TE	σ2	te	الفترات المتوقعة			النشاط
				المتشائم (b)	الأكثر احتمالا (m)	المتفائل (a)	
2.75	2.75	0.17	2.75	3.5	3	1	A
6.25	2	0.25	2	3.5	2	0.5	B
11.75	7.25	0.69	4.5	8	4	3	C
11.75	7.5	1.36	5.5	10	5	3	D
8.25	8.25	0.69	5.5	9	5	4	E
11.75	11.75	0.027	3.5	4	.53	3	F



أ) المسار الحرج A,E,F

ب) حساب احتمال أن ينتهي المشروع في فترة تتراوح بين 10 إلى 15 أسبوعا؟

$$Z1=\frac{x-\mu}{\sigma}=\frac{10-11.75}{\sqrt{0.887}}=\frac{.751}{0.942}=-1.86$$ من الجدول $= 0.4686$

$$Z2=\frac{x-\mu}{\sigma}=\frac{15-11.75}{\sqrt{0.887}}=\frac{3.25}{0.942}=3.45$$ من الجدول $= 0.4999$

$P(10 \le x \le 5)= 0.4686+0.4999 = 0.9686$

ج) احتمال أن ينتهي المشروع في فترة لا تقل عن 14 أسبوع (أي 14 أسبوعا أو أكثر)؟

$$Z=\frac{x-\mu}{\sigma}=\frac{14-11.75}{\sqrt{0.887}}=\frac{.252}{0.942}=.382$$ من الجدول $= 0.4916$

$P (14 \le x) =0.5- 0.4916=0.0084$

احتمال أن ينتهي المشروع خلال 11 يوم

$.5-0.2880=.220$

د) احتمال أن يبدأ النشاط d في مدة لا تزيد عن 3 أسابيع؟

$$Z=\frac{x-\mu}{\sigma}=\frac{3-2}{0.125}=\infty \quad =0.4999 \quad +0.5 \quad = 0.9999$$

obeikandl.com

المراجع

أولاً: المراجع العربية

1- المنصور، كاسر نصر، *نظرية القرارات التجارية (مفاهيم وطرق كمية)*، الأردن، دار الحامد 2000 م.

2- مشرفي، حسن علي، *نظرية القرارات الإدارية(مدخل كمي في الإدارة)*، عمّان، دار المسيرة للنشر والتوزيع. 1997م.

3- سلطان، تركي إبراهيم، *التحليلات الكمية في اتخاذ القرارات*، الرياض، جامعة الملك سعود. 1984م

4- مخلوف، إبراهيم، *التحليل الكمي في الإدارة*(2)، مذكرة، قسم الأساليب الكمية، جامعة الملك سعود.1998

5- البديوي، منصور، *دراسات في الأساليب الكمية واتخاذ القرارات*. (الدار العربية 1987م).

6- برونسون، ريتشارد، *نظريات ومسائل في بحوث العمليات*. نيويورك: دار ماكروهيل للنشر ؛ القاهرة: الدار الدولية للنشر والتوزيع، 1988.

ثانياً: المراجع الأجنبية

1. Operation Research, Application and Algorithms, Wayne L. Winston, Indiana University, 4th Edition, 2004.
2. Applied Management Science: A Computer-Integrated Approach for Decision Making: John A., Jr. Lawrence, Barry Alan Pasternak, 1997
3. Introduction to Operations Research, Hamdy A. Taha, eighth edition, April 4, 2006.
4. Introduction to mathematical programming, Frederick S. Hillier, Gerald J. Lieberman. 2 edition, April 1, 1995
5. Production and Operations Analysis, Second Edition, Steven Nahmais, Santa Clara University, IRWIN, March 3, 2008
6. Introduction to Mathematical Programming, by N. K. Kwak, Saint Louis University, Marc J. Schniederjurs university of Nebraska, Robert E.Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, 1987
7. Quantitative Methods for Business Decision with Case. San Jose. State University, The Dryden Press, Sixth Edition, 1994
8. Operation Research Principles and Practice, Second Edition, Ravindran Phillips Solberg, July 2007
9. Quantitative Decision-Making for Business, Prentice, Hall International editions, Gilbert Gordon, Israel Pressman. Third edition, 1990
10. Linear Programming and Network Flows, Second Edition, Makhtar s. Bazaraa, John J. Jarvis, and Hanif D. Sherali, November 2008