جدولة المشروع Project Scheduling

يركز هذا المقال على فهم معنى عملية الجدولة في المشروع، ومعرفة المنافع المتحققة من عملية الجدولة في المشروع، وتحديد مراحل عملية الجدولة في المشروع.

September 2024 20 الكاتب: **د. محمد العامري** المشاهدات: 6,302



إدارة المشاريع | من الخطة إلى الجدول

كيف يرتّب الجدول الأنشطة ويكشف ما قد يؤخّر المشروع؟

يبدأ المقال بمراحل التخطيط والجدولة والرقابة، ثم يعرض مخطط جانت والمخططات الشبكية. وتوضح الرسوم والأمثلة الأصلية حساب المسار الحرج، وتقدير الأوقات، ومفاضلة كلفة تسريع المشروع.



من إعداد الجدول إلى ضبط موعد الإنجاز

01 · مراحل الجدولة

02 · مخطط جانت والشبكة
03 · المسار الحرج
04 · تقدير الأوقات
05 · تسريع المشروع

الأهداف من المقال

نتوقع بعد قراءة هذا المقال أن يكون القارئ قادرا على:

1-فهم معنى عملية الجدولة في المشروع.

2-معرفة المنافع المتحققة من عملية الجدولة في المشروع.

3-تحديد مراحل عملية الجدولة في المشروع.

4-القدرة على رسم شبكة المشروع بطريقتي النشاط على السهم AOA والنشاط على القطب AON.

5-تحديد عناصر الشبكة وخصائص الأنشطة في المشروع.

6-فهم طرق الجدولة في المشروع:

* طريقة خرائط جانت Gantt Charts

* طريقة المسار الحرج (CPM) Critical Path Mathod.

* طريقة بيرت (RERT) Programming Evaluation Revision Technique.

7-فهم عملية تسريع المشروع Project Crashing.

تمهيد

إن إعداد وتطوير كل من خطة المشروع Project Plan وجدولة المشروع Project Schedule وموازنة المشروع Project Budget باعتبارها الأدوات الرئيسية الثلاثية في إدارة المشروع إنما يعتمد على نفس الأسس المشار إليها في الجزء الأول من الفصل السابق وتقوم هذه الأسس على ركيزتين أساسيتين:

1-إن الذي يقوم بالتخطيط والجدولة وإعداد الموازنات في المشاريع عليه أن يسأل نفسه: ما الذي يجب أن يتم عمله؟ متى يجب أن يتم عمله؟ ما هي الموارد اللازمة لذلك؟ وما هي كلفة هذه الموارد؟

2-إن أعداد هذه الأدوات الثلاث إنما يعتمد على عمله تجزئة العمل (work Break Sructure WBS) والذي يتم عن طريقه تجزئة البرنامج إلى مشاريع والمشروع إلى مهمات والمهمة إلى حزم عمل وحزمة العمل إلى وحدات عمل ووحدة العمل إلى أنشطة والتي هي أبسط الفعاليات والعمليات التي يتم البناء عليها في تجميع النظام.

استنادا إلى ما يتقدم فإننا نستطيع تقديم تعريف مبسط لجدولة المشروع project Schedule على أنها عملية تحويل خطة المشروع Project Plan إلى جدول زمني Time Table لتشغيل المشروع ابتداء من لحظة مباشرة العمل في المشروع Start مرورا بجميع الأنشطة المتتابعة والمتداخلة والأحداث Events والمحطات الرئيسية Mile Stones وصولا إلى لحظة انتهاء العمل في المشروع Finish وتحديد الوقت اللازم لتنفيذ المشروع من لحظة البدء وحتى لحظة الانتهاء.

منافع جدولة المشروع Benefits of Project Scheduling

تعني جدولة المشروع بأحد أهم الموارد في المشروع وهو الوقت Time، ولأن الوقت هو واحد من الأهداف الرئيسية للمشروع فإن إدارة الوقت Time Management تعتبر من العوامل المهمة في وصول المشروع إلى أهدافه وتحقيق الكثير من المنافع التي نذكر منها:

- تعتبر جدولة المشروع إطارا منسقا لتخطيط وتوجيه ومراقبة المشروع.
- تبين جدولة المشروع حالة الاعتمادية والتداخل Interdependency لكافة الأنشطة ووحدات العمل وحزم العمل والمهام في المشروع.
- تشير جدولة المشروع إطارا منسقا لتخطيط وتوجيه ومراقبة المشروع.
- تبين جدولة المشروع حالة الاعتمادية والتداخل Interdependency لكافة الأنشطة ووحدات العمل وحزم العمل والمهام في المشروع.
- تشير الجدولة إلى الوقت الذي يحتاج فيه المشروع إلى تواجد بعض الخبرات والمهارات الخاصة بحيث تتم متابعة تواجدها في المشروع عند الحاجة لها وذلك لتعذر تواجدها قبل هذا الوقت، أو بعد إنهاءها لمهامها.
- تساعد الجدولة في توفير خطوط اتصال أوضح وأقصر بين الأقسام الوظائف وفرق العمل.
- تساعد الجدولة في تحديد التاريخ المتوقع لإنهاء المشروع.
- تساعد الجدولة في تحديد الأنشطة الحرجة Critical Activities التي إذا تأخرت فإن وقت إتمام المشروع سيتأخر.
- تساعد الجدولة في تحديد الأنشطة الراكدة Slack والتي إذا تأخرت لوقت معلوم فإنها لن تؤثر سلبا على وقت إنهاء لمشروع.
- تساعد الجدولة في تحديد تواريخ بداية ونهاية الأنشطة وعلاقة هذه الأنشطة بالأنشطة الأخرى، وهذا يساعد في عمل التنسيق اللازم لإتمام الأنشطة في الأوقات المطلوبة بشكل انسيابي دون حصول اختناقات في العمل.
- تساعد الجدولة في تخفيف الخلافات الشخصية وتقلل من الصراعات على الموارد وذلك لأن الأوقات محددة مسبقا وبالتالي فإن وقت الحاجة لهذه الموارد يكون معلوما وتستطيع الأطراف المختلفة أن تنسق فيما بينهما بأقل اختلاف أو صراع لتأمين هذه الموارد.

مراحل جدولة المشروع Project Scheduling Phases

تمر عملية جدولة المشروع في ثلاث مراحل أساسية وهي على التوالي:

مرحلة التخطيط Planning phase

وتتضمن تحليل أنشطة المشروع إلى وحدات بحيث تكون كل وحدة مكونة من مجموع الأنشطة من نفس نوع العمل وبنفس الحجم، ثم تحليل هذا المستوى إلى المستويات الأدنى ... الخ وهذا ما يسمى (Work Break Structure WBS) ثم بعد ذلك يتم بناء شبكة عمل المشروع Network ابتداء من تحديد الوظائف الأساسية Jobs والأنشطة اللازمة لإنجاز المشروع مع بيان طبيعة العلاقة بين الأنشطة،

وعملية التسلسل والتتابع في إنجازها.

مرحلة جدولة الأنشطة Scheduling Phase

وتتكون من تحديد الوقت اللازم لإنجاز كل نشاط من أنشطة المشروع، ثم تقدير التكاليف اللازمة لإنجاز كل نشاط من هذه الأنشطة وبالتالي تقدير التكاليف الكلية اللازمة لإنجاز المشروع Budget، ومن ثم تخصيص الموارد المادية والبشرية اللازمة لكل نشاط من أنشطة المشروع.

مرحلة الرقابة Control Phase

وفي هذه المرحلة يتم التحقق فيما إذا كان العمل قد تم تنفيذه وفق ما خطط له أم أنه حدثت انحرافات في التنفيذ مثل تأخر بعض الأنشطة عن الوقت المحدد لإنجازها، أو اختلاف الموارد المادية والبشرية المستخدمة عن الكميات المقدرة في الخطة. ثم القيام بإجراء التصحيح اللازم لمعالجة الانحرافات، للعمل على تلافي حدوثها في المراحل اللاحقة من المشروع.

طرق جدولة المشروع Project Scheduling Methods

يوجد طريقتان أساسيتان في تنفيذ جدولة المشروع هما خرائط جانت Charts والبرمجة الشبكية Network Programming وتقسم طريقة البرمجة الشبكية أيضاً إلى أسلوبين هما أسلوب المسار الحرج (Critical Path Method (CPM وأسلوب بيرت ((RERT Programming Evaluation Revision Technique (RERT).

خرائط جانت Gantt charts

وهي إحدى أقدم الطرق المستخدمة في جدولة الأنشطة وقد تم تطويرها على يد أحد رواد علم الإدارة وهو هنري جانت Henry L Gantt سنة 1917 وهي طريقة بسيطة، سهلة الإعداد، سهلة القراءة وفعالة خاصة في تحديد مدى التقدم في تنفيذ الأنشطة ومراقبة الزمن.
وتتكون خرائط Gantt من محورين أحدهما أفقي والآخر عمودي، حيث تظهر على المحور العمودي أنواع أو أسماء الأنشطة، بينما يظهر على المحور الأفقي الزمن اللازم لتنفيذ النشاط مع تحديد بداية النشاط ونهاية النشاط ويرسم على شكل مستطيل تدل بدايته على بداية العمل بالنشاط ونهايته تمثل نهاية العمل بالنشاط، وبدل طول المستطيل على الوقت اللازم لإنجاز النشاط.

مثال 6-1 : رسم خريطة جانت Gannt Chart

يحتاج تنفيذ أحد المشاريع إلى الأنشطة الأربعة المبينة في الجدول 6-1 والذي يبين الزمن اللازم لتنفيذ كل نشاط بالأسبوع.

جدول 6-1 أنشطة مثال 6-1

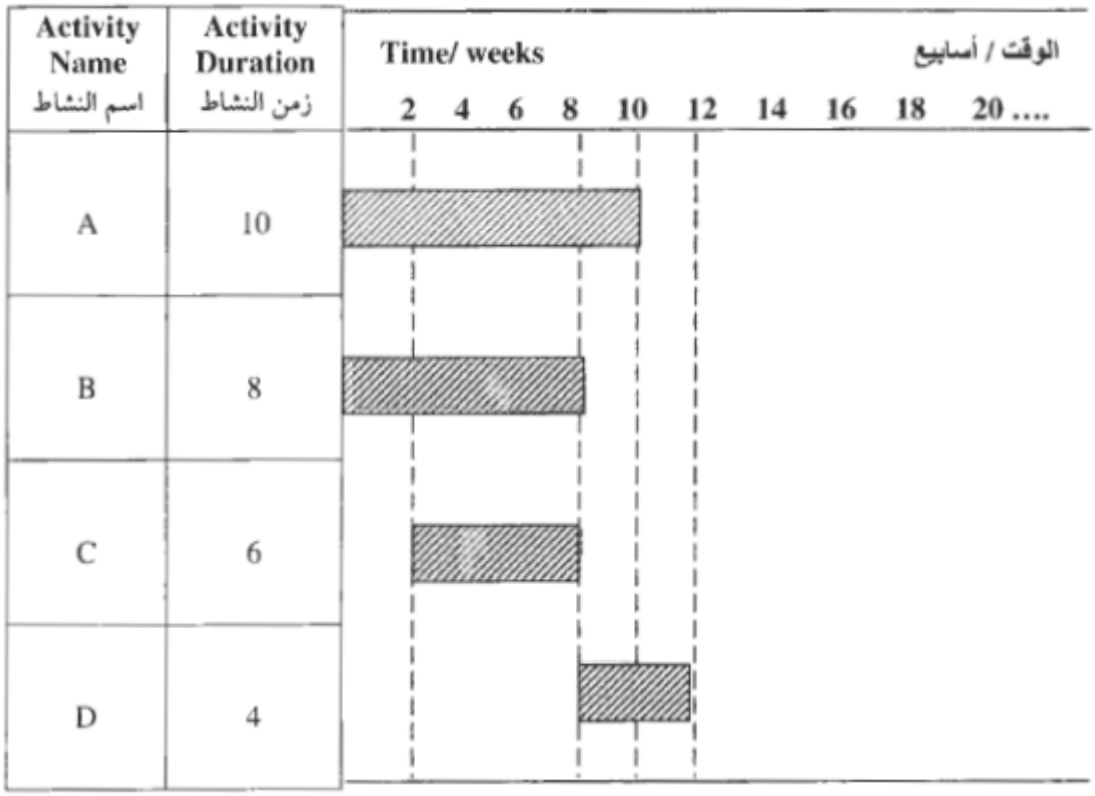
Activity Number رقم النشاط	Activity Time /week زمن النشاط/ أسبوع
A	10
B	8
C	6
D	4

مع ملاحظة أن النشاطين A و B يمكن أن يبدأ في نفس الوقت متزامنين ومتوازيتين، والنشاط C يبدأ أسبوعين من بداية النشاطين A و B

والنشاط D لا يمكن أن يبدأ إلا بعد انتهاء النشاط C .

شكل 1-6

رسم خريطة جانت Gantt Chart للمثال 1-6



في الشكل أعلاه يظهر أن الوقت اللازم لإنهاء المشروع يساوي 12 أسبوع.

البرمجة الشبكية Network Programming

تعرف الشبكة Network على أنها تمثيل بياني Graphical Presentation لأنشطة المشروع بطريقة تبين التسلسل والتتابع المنطقي Sequence لأنشطة المشروع والأوقات اللازمة لتنفيذ هذه الأنشطة من لحظة بداية المشروع وحتى نهايته، مع توضيح المسارات المحتملة لإنهاء المشروع والمسار الحرج (Critical Path (CP الذي يمثل أطول هذه المسارات لإتمام المشروع.

عناصر الشبكة Network Elements

تتكون الشبكة من العناصر التالية:

1-النشاط Activity: وهو أحد وظائف المشروع والذي يتطلب إكماله كمية محددة من الوقت والموارد. وتتمتع أنشطة المشروع بالخصائص التالية:

خصائص الأنشطة في المشروع:

* التتابع Sequence

يتكون المشروع من عدد من الأنشطة التي يجب أن يتم إكمالها بطريقة محددة ومنتظمة ومتتابعة، وتتابع الأنشطة نابع من المتطلبات الفنية لإنجاز المشروع وليس من الرغبات الإدارية، وبتحديد التتابع من المفيد أن ننظر إلى الأنشطة بمنظور المدخلات والمخرجات، لأن مخرجات بعض الأنشطة قد تكون مدخلات لأنشطة أخرى كما أن تحديد التتابع يتأثر بقيود الموارد Resource Constrains والتي قد تتطلب أن يقوم شخص واحد بإنجاز النشاطين ولذا فإن عليه أن ينهي النشاط الأول حتى يستطيع أداء النشاط الثاني.

* التفرد: Uniqueness

أنشطة أي مشروع هي بالتأكيد فريدة لأنها لم ولن تستخدم بنفس الطريقة في المشاريع الأخرى حتى لو تشابهت ظاهرا، ولتوضيح ذلك لو افترضنا أن هناك مشروعين متماثلين (ولنقل بناء فيلا عدد 2) وهما مشروع A2 ، A1 وكان المشروعان متماثلا من حيث التصميم والتشكيل والمكونات ... الخ، فإن الأنشطة التي ستستخدم في بناء المشروع A1 ستختلف بالتأكيد عن الأنشطة التي ستستخدم في بناء المشروع A2 سواء من حيث وقت النشاط، أو كلفة النشاط أو الموارد المستخدمة في إكمال نشاط أو كفاءة العاملين أو مستوى الإنجاز والمواصفات أو من حيث طبيعة اختلاف الزيون ... الخ وعليه فإنه حتى لو تشابهت بعض الأنشطة في المشروع أو طريقة أدائها فإن مجموع الأنشطة التي أنجزت المشروع لا يمكن أن تتطابق مع المشروع الآخر.

* التعقيد Complexity

تمتاز أنشطة المشروع بالتعقيد وعدم البساطة، لأنها تكون متكررة أحيانا، وتشمل أكثر من مرحلة وتتداخل مع أنشطة أخرى أحيانا أخرى، فمثلا يحتاج دهان منزل إلى عمليات حف الجدران ثم معجنتها وتنعيمها وبعد ذلك يتم دهان الأساس والدهان النهائي والذي قد يكون لون واحد أو مزيج ألوان، وتتداخل أعمال الدهان مع أعمال الكهرباء وأعمال الحدادة وأعمال النجارة ... الخ وهذا يجعلها أنشطة معقدة.

* الترابط Connectivity

ينتج ترابط الأنشطة من أن بعضها يتابعن بحيث لا يمكن البدء بنشاط ما إلا بعد إكمال النشاط الذي يسبقه، أو أن نشاطا معينا سوف يتأخر لأن بعض الأنشطة التي يشترط إكمالها لأداء هذا النشاط تأخرت، فمثلا في مشروع إكمال الدراسة الجامعية فإن الطالب لا يستطيع أن يقوم بتسجيل ودراسة مساق معين إلا إذا أتم إنهاء مساق يسبقه ويصطلح على تسميته بالتعبير الدارج أن المادة A تفتح للمادة B، مثال آخر لا يمكن أن تبدأ الأدوار النهائية لبطولة ما في كرة القدم قبل إكمال الأدوار التمهيدية لها .... وهكذا.

* الاعتمادية Dependency

إن تتابع الأنشطة Sequence وترابطها Connectivity يجعل هذه الأنشطة معقدة وتعتمد بدرجة كبيرة على بعضها البعض.

طرق رسم النشاط:

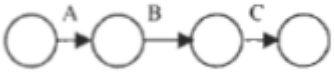
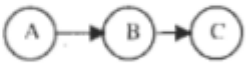
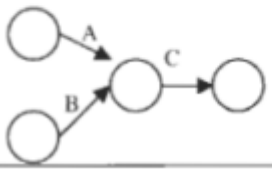
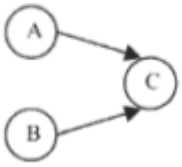
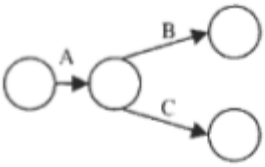
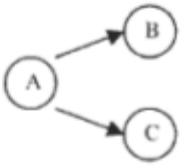
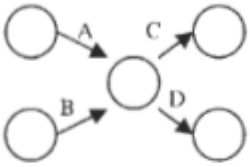
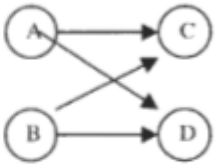
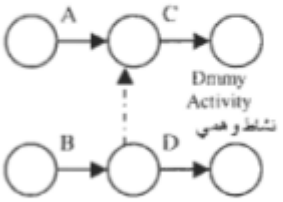
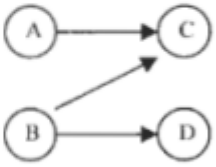
ويمكن رسم النشاط على الشبكة بأحد طريقتين كما هو موضح في الشكل 6-2:

* النشاط على السهم Activity on Arrow.

* النشاط على القطب Activity on Node.

شكل 6-2

مقارنة بين طرق رسم النشاط

Activity On Arrow النشاط على السهم AOA	Activity Meaning معنى النشاط	Activity On Node النشاط على القطب AON
	النشاط A يبدأ قبل B، وكليهما يسبق النشاط C	
	النشاط A والنشاط B كليهما يجب أن ينتهيا قبل أن يبدأ النشاط C.	
	النشاط B والنشاط C لا يمكن أن يبدءا إلا بعد انتهاء النشاط A.	
	النشاط C والنشاط D، لا يمكن ان يبدءا قبل أن ينتهي النشاطان A و B.	
	النشاط C لا يمكن أن يبدأ قبل ان ينتهي النشاطان A و B والنشاط D لا يمكن أن يبدأ قبل انتهاء النشاط B.	

المصدر:

Heizer. Jay and Barry Render, 2006, Operation Manyement 8th edition, Pearson Education Inc.

2-الحدث Event: وهو لحظة البدء بنشاط معين أو لحظة الانتهاء منه، والحدث هو نتيجة نشاط أو أكثر والنشاط يقع بين حدثين. ويتم رسم الحديث بطريقة معاكسة للنشاط فإذا كان النشاط على السهم، يكون الحدث على القطب (الدائرة أو المربع) والعكس صحيحا فإذا كان النشاط على القطب (المربع أو الدائرة) يكون الحدث على السهم.

3-المسار Path : وهو عبارة عن سلسلة من الأنشطة المتتابعة التي تربط بين نقطة البدء بالمشروع ونقطة إتمامه ككل. ويكون للمشروع أكثر من مسار.

4- المسار الحرج (Critical Path (CP: وهو سلسلة من الأنشطة الحرجة المتتابعة التي تربط بين نقطة بدء المشروع ونقطة نهايته، وهو أطول المسارات على الشبكة المكونة لنشاط المشروع ككل. ورغم أن المسار الحرج يمثل أطول المسارات على الشبكة، إلا أنه يشكل أفضل وقت لإتمام المشروع بشكل كامل.

5- النشاط الحرج Critical Activity: وهو النشاط الذي يترتب على تأخيره تأخير المشرع ككل.

6- النشاط الوهمي Dummy Activity: وهو نشاط ليس له وجود، ويستخدم فقط لتسهيل رسم الشبكة وبيان العلاقة بين الأحداث فهو لا يحتاج إلى وقت ولا إلى موارد، ويرسم على الشبكة على شكل سهم منقط.

مثال 6-2 : رسم شبكة المشروع

طلب من أحد المطابع القيام بتركيب محرقة ورق، لتلبية شروط وزارة البيئة، وقد تم إعداد دراسة حول الأنشطة المطلوبة ومدى تتابعها كما يظهر في جدول 6-2

جدول 6-2

تركيب محرقة ورق

Activity النشاط	Description وصف النشاط	Precedent Activity النشاط السابق
A	بناء الأجزاء الداخلية	-
B	تحديد السقف والأرضية	-
C	بناء مدخنة	A
D	صب الإسمنت وبناء الإطار	B، A
E	بناء المحرقة	C
F	تركيب نظام منع التلوث	C
G	تركيب جهاز تنقية الهواء	E، D
H	الفحص والتجريب	G ، F

المطلوب:

-رسم شبكة المشروع باستخدام طريقة النشاط على السهم (AOA).

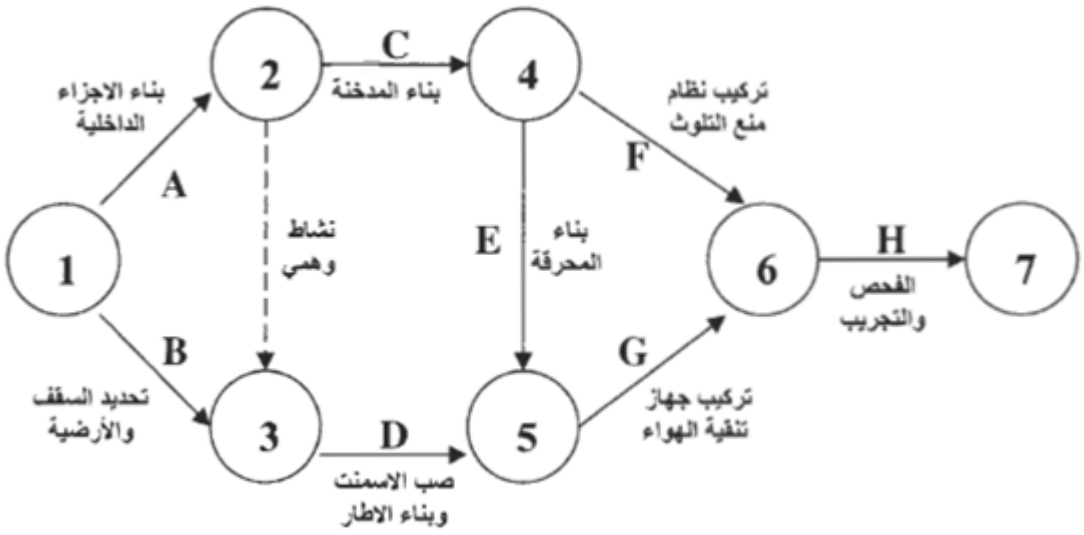
-رسم شبكة المشروع باستخدام طريقة النشاط على القطب (AON).

الحل:

1-رسم شبكة محرقة الورق باستخدام طريقة النشاط على السهم AOA والحل موجود في الشكل 3-6 .

شكل 3-6

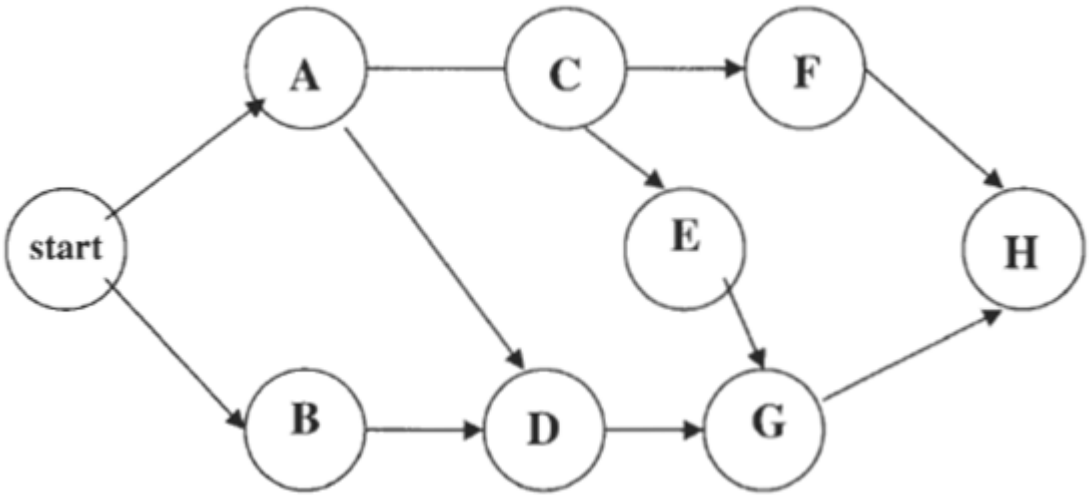
رسم شبكة مشروع بناء محرقة ورق باستخدام النشاط على السهم AO0041



2-رسم شبكة محرقة الورق باستخدام طريقة النشاط على القطب AOA والحل موجود في الشكل 4-6.

شكل 4-6

رسم شبكة مشروع بناء محرقة ورق باستخدام النشاط على القطب AOA.



البرمجة الشبكة باستخدام أسلوب المسار الحرج (CPM) Critical Path Method

يتم تطوير شبكة المشروع باستخدام أسلوب المسار الحرج CPM باتباع الخطوات التالية:

1-تحديد البداية المبكرة (ES) Earliest Start لكل نشاط من الأنشطة وهذا يعني أبكر وقت يمكن أن يبدأ به كل نشاط، وتكون البداية المبكرة ES لأول نشاط في المشروع = صفر. كما تكون البداية المبكرة ES لأي نشاط = النهاية المبكرة (EF) Earliest Finish للنشاط السابق، وفي حال وجود أكثر من نهاية مبكرة EF تسبق أي نشاط، فإننا نأخذ النهاية المبكرة (EF) الأطول زمنا، لأنه لا يمكن بأي نشاط قبل الانتهاء من كافة الأنشطة السابقة المرتبطة به.

2-تحديد النهاية المبكرة (EF) Earliest Finish لكل نشاط، وهذا يعني أبكر وقت ممكن أن ينتهي به ذلك النشاط. وتكون النهاية المبكرة EF لأي نشاط تساوي البداية المبكرة لذلك النشاط ES مضافا لها الزمن اللازم لإنجاز النشاط (راجع المعادلة 1-6، الموجودة أسفل الشكل 6-5).

3-تحديد النهاية المتأخرة (LF) Latest Finish وهو عبارة عن أقصى تأخير في زمن نهاية النشاط دون أن يؤدي ذلك إلى تأخير زمن تنفيذ المشروع ككل. وتكون النهاية المتأخرة للنشاط هي نفسها البداية المتأخرة للنشاط اللاحق، وفي حال وجود أكثر من نشاط لاحق (أي أكثر من بداية متأخرة) فإننا نختار النشاط الأقصر زمنا (البداية المتأخرة الأقل) من أجل حساب النهاية المتأخرة للنشاط الحالي، كما تجدر الإشارة إلى أن النهاية المتأخرة (LF) لآخر نشاط في المشروع هي نفسها النهاية المبكرة (EF) له.

4-تحديد البداية المتأخرة (LS) Latest Start والتي أقصى تأخير في زمن بداية النشاط دون أن يؤدي ذلك إلى تأخير المشروع ككل. وتكون البداية المتأخرة LS لأي نشاط تساوي النهاية المتأخرة للنشاط (LF) Latest Finish مطرحا منها زمن إنجاز النشاط (راجع المعادلة 2-6 الموجودة أسفل الشكل 6-5).

5-تحديد الوقت الفائض (ST) Slack Time وهو الوقت الفائض بين الوقت المخطط له لتنفيذ النشاط، ووقت التنفيذ الفعلي على الأرض ويمثل الحد الأقصى لتأخير النشاط دون أن يؤثر ذلك على إنجاز المشروع.

6- يتم حساب كافة المسارات في المشروع واختيار المسار الأطول فيكون هو المسار الحرج CP، وللتأكد من صحة النتيجة يجب أن يكون وقت المسار الحرج مساويا لوقت النهاية المتأخرة LF للنشاط الأخير في المشروع.

مثال 3-6 توضيحي لتطوير شبكة المشروع باستخدام أسلوب المسار الحرج CPM بالرجوع إلى المثال السابق 2-6 فقد تم تحديد أوقات الأنشطة كما تظهر في جدول 3-6

جدول 3-6

بيانات مثال 3-6

Activity النشاط	Description وصف النشاط	Duration وقت النشاط	Precedence النشاط السابق
A	بناء الأجزاء الداخلية	2	-
B	تحديد السقف والأرضية	3	-
C	بناء مدخنة	A	2

Activity النشاط	Description وصف النشاط	Duration وقت النشاط	Precedence النشاط السابق
D	صب الإسمنت وبناء الإطار	B، A	4
E	بناء المحرقة	C	4
F	تركيب نظام منع التلوث	C	3
G	تركيب جهاز تنقية الهواء	E، D	5
H	الفحص والتجريب	G ، F	2

والمطلوب:

- رسم شبكة المشروع باستخدام طريقة النشاط على القطب AON.
- تحديد أوقات البداية المبكرة ES وأوقات النهاية المتأخرة LF لأنشطة المشروع.
- تحديد المشار الحرج في المشروع CP.
- تحديد الأوقات الفائضة ST في المشروع إن وجدت.

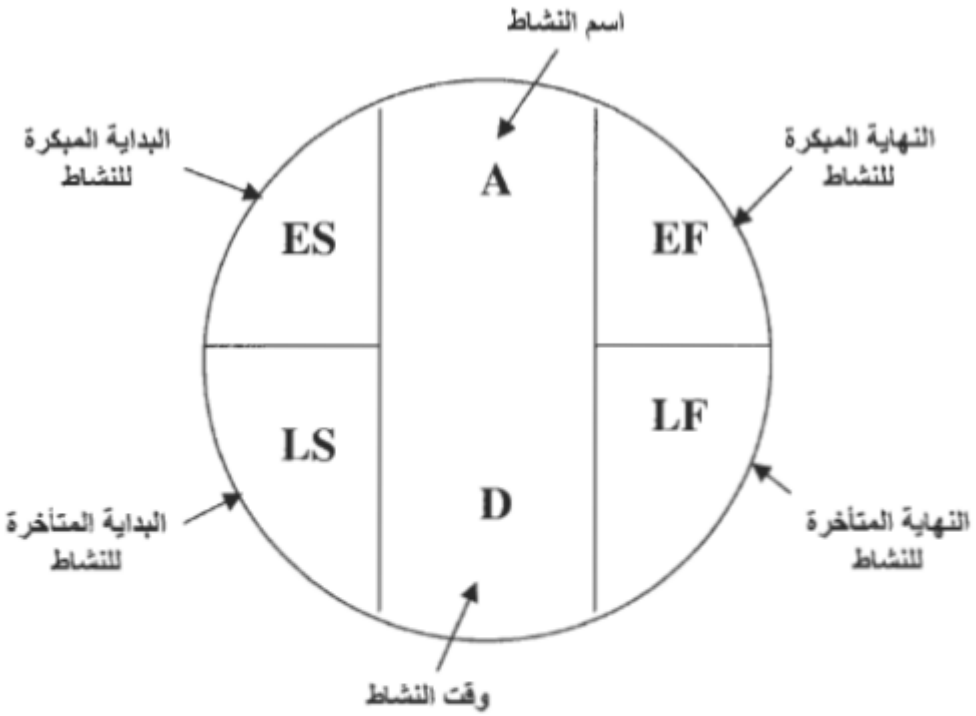
حل مثال 3-6

1-رسم شبكة المشروع بطريقة على القطب AON: الحل موجود في شكل 6-4، والذي يوضح رسم شبكة المشروع باستخدام طريقة النشاط على القطب AON.

2-تحديد أوقات البداية المبكرة ES والنهاية المبكرة EF لأنشطة المشروع: يوضح الشكل 6-5 الطريقة التي يتم بها رسم النشاط متضمنا كافة المعلومات والأوقات المتعلقة بهذا النشاط وهي: اسم النشاط A، وقت النشاط D، البداية المبكرة للنشاط ES، النهاية المبكرة للنشاط EF، البداية المتأخرة للنشاط LS والنهاية المبكرة للنشاط LF، ومتابعة شبكة مشروع استنادا إلى القوانين المذكورة أسفل الرسمة في شكل 6-5.

شكل 6-5

توضيح تفاصيل رسم النشاط على القطب AON



$$EF = ES + D \quad \dashrightarrow \quad 6 \rightarrow 1$$

$$LS = LF - D \quad \dashrightarrow \quad 6 \rightarrow 2$$

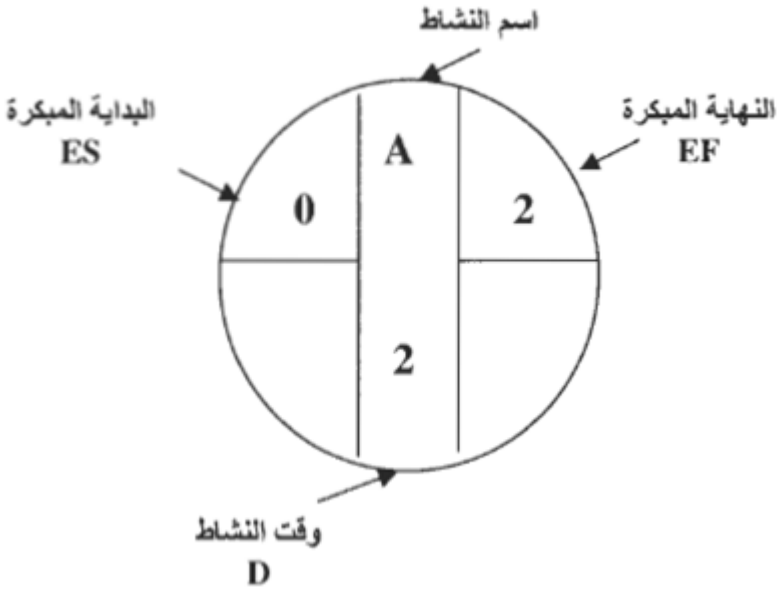
$$ST = LS - ES \quad \dashrightarrow \quad 6 \rightarrow 3$$

$$ST = LF - EF \quad \dashrightarrow \quad 6 \rightarrow 4$$

ولتوضيح ذلك، نقوم برسم النشاط A على سبيل المثال كما هو موضح في الشكل 6-6

شكل 6-6

أوقات البداية المبكرة والنهاية المبكرة للنشاط A



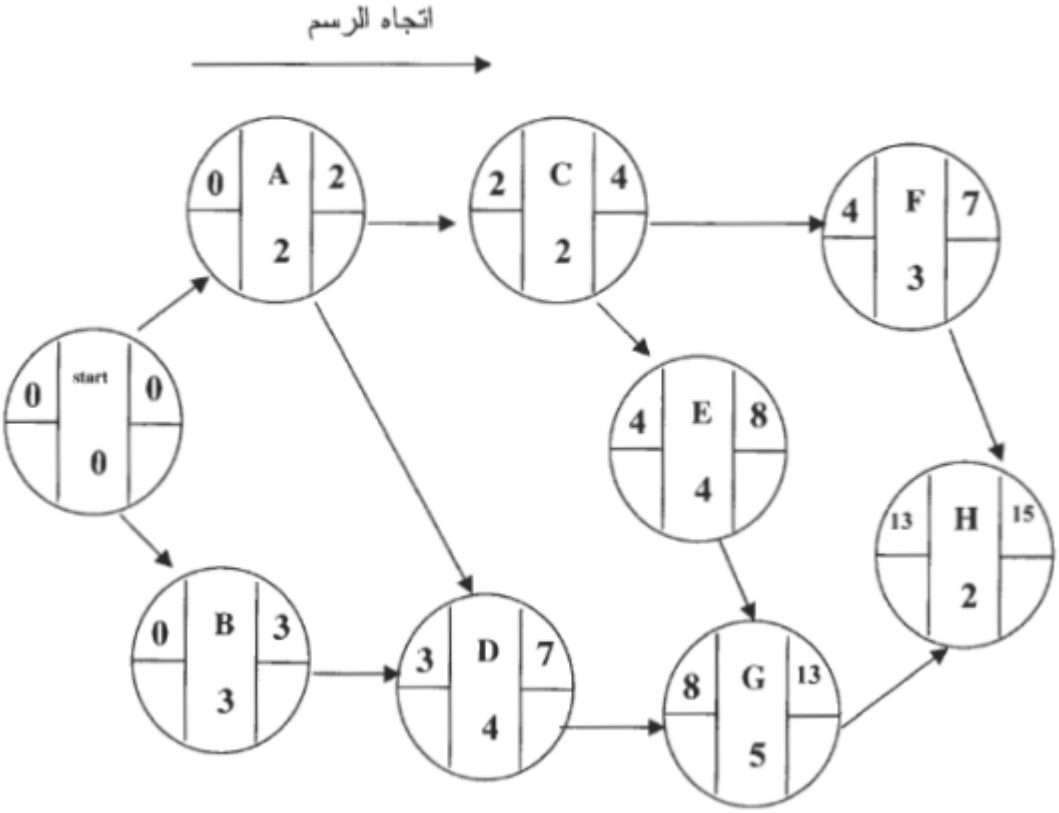
* البداية المبكرة ES للنشاط A، هي نفسها النهاية المبكرة للنشاط الذي يسبقه وهو نشاط Start وتساوي صفر.

* النهاية المبكرة EF للنشاط A تساوي (EF=0+2=2 week)

وهكذا فإن تحديد البدايات المبكرة ES والنهايات المبكرة EF لأنشطة المشروع، موضحة بالكامل في الشكل 6-7.

شكل 6-7

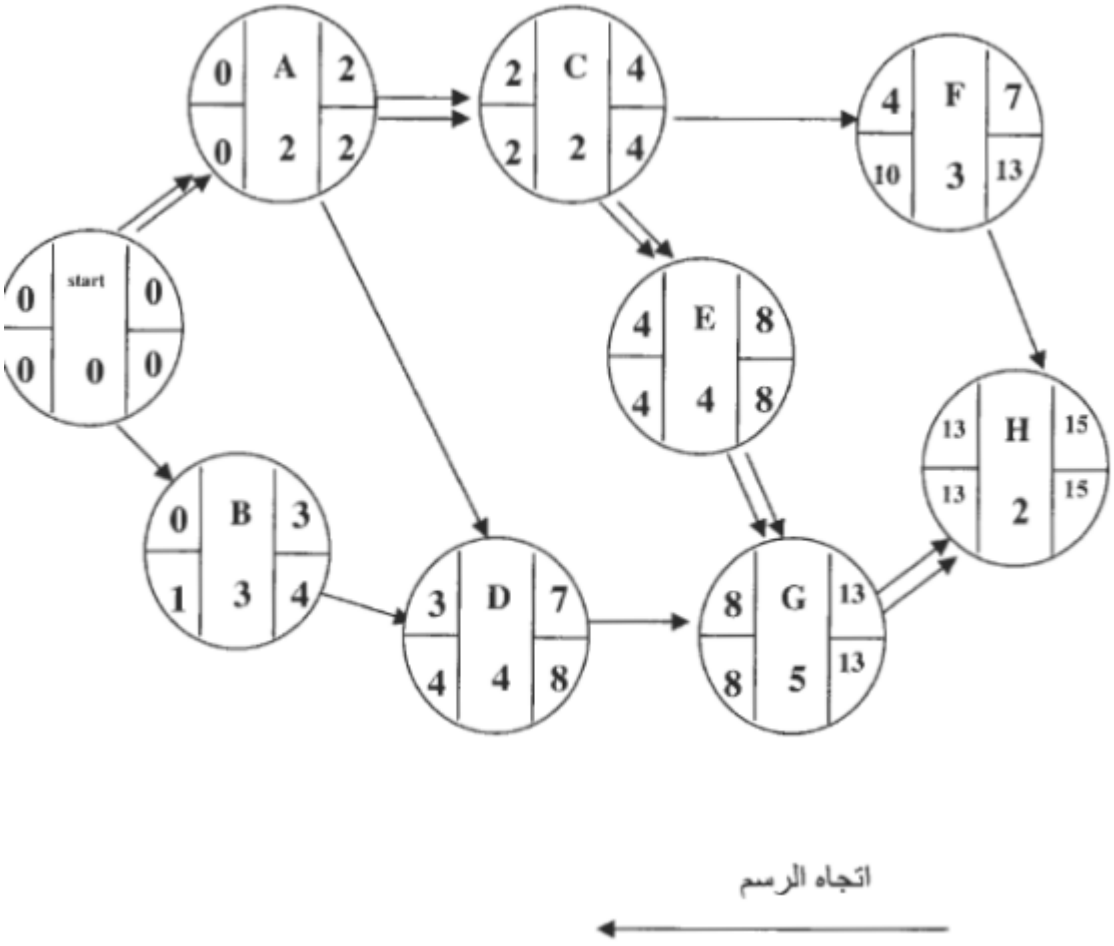
رسم شبكة المشروع لتوضيح أوقات البداية المبكرة ES والنهاية المبكرة EF لأنشطة المشروع باستخدام طريقة AON



3-تجديد أوقات البداية المتأخرة LS والنهاية المتأخرة LF لأنشطة المشروع، بالرجوع إلى الشكل 6-5 والمعادلات الموجودة أسفل الرسمة نستطيع أن نرسم الأوقات المذكورة لأنشطة المشروع كما تظهر في الشكل 6-8.

شكل 6-8

رسم شبكة المشروع بإضافة أوقات النهاية المبكرة LS والنهاية المتأخرة LF لأنشطة المشروع باستخدام طريقة AON



4-تحديد المسار الحرج: حتى نقوم بتحديد المسار الحرج يجب أولا تحديد كل المسارات الممكنة في المشروع وهي على النحو التالي:

* المسار الأول:

$$\text{Start} \rightarrow A \rightarrow C \rightarrow F \rightarrow H$$
$$0 + 2 + 2 + 3 + 2 = 9 \text{ weeks}$$

* المسار الثاني:

$$\text{Start} \rightarrow A \rightarrow C \rightarrow E \rightarrow G \rightarrow H$$
$$0 + 2 + 2 + 4 + 5 + 2 = 15 \text{ weeks}$$

* المسار الثالث:

$$\text{Start} \rightarrow A \rightarrow D \rightarrow G \rightarrow H$$
$$0 + 2 + 4 + 5 + 2 = 13 \text{ weeks}$$

* المسار الرابع:

$$\text{Start} \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow G \rightarrow H$$
$$0 + 3 + 4 + 5 + 2 = 14 \text{ weeks}$$

ثم نختار المسار الأطول وهو هنا المسار الثاني

$$\text{Start} \rightarrow A \rightarrow C \rightarrow E \rightarrow G \rightarrow H$$

والبالغ 15 أسبوع. وللتأكد من أن المسار الحرج صحيح فإن جميع الأنشطة التي تقع عليه يجب أن تكون حرجة وليست راكدة (أي ليس بها أي أوقات فائضة) كما يظهر من خط المسار الحرج الموضح بالأسهم المزدوجة في شكل 6-8.

5-تحديد الأوقات الفائضة (ST): لتحديد الأوقات الفائضة يجب أولا تحديد الأنشطة الراكدة، وهي الأنشطة التي إذا حصل بها تأخير فإنها لن تؤدي إلى تأخير المشروع ككل. وهذه الأوقات موضحة في الجدول 6-4. ومنها يتضح أن الأوقات الفائضة يساوي 8 أسابيع.

جدول 6-4

ملخص حل مثال 6-3

Activity النشاط	Duration الوقت Week	Precedence النشاط السابق	ES	EF	LS	LF	طبيعة النشاط	ST
A	2	-	0	2	0	2	حرج	-
B	3	-	0	3	1	4	راكد	1
C	2	A	2	4	2	4	حرج	-
D	4	A , B	3	7	4	8	راكد	1
E	4	C	4	8	4	8	حرج	-
F	3	C	4	7	10	13	راكد	6
G	5	D , E	8	13	8	13	حرج	-
H	2	F , G	13	15	13	15	حرج	-
					Total Slack		8 weeks	

البرمجة الشبكية باستخدام أسلوب بيرت (Programming Evaluation Revision Technique (PERT

وقد تم تطوير هذا الأسلوب في الحرب العالمية الثانية من قبل سلاح الحرية الأمريكية وذلك لإدارة الوقت في نقل الموارد إلى ميدان المعارك في أوروبا ضمن أفضل وقت ممكن، ويتم إعداد البرمجة الشبكية للمشروع باستخدام أسلوب بيرت PERT باتباع الخطوات التالية:

1-يقوم المعنيون بالبرمجة الشبكية بتحديد ثلاثة أوقات محتملة لإنهاء كل نشاط من أنشطة المشروع وهي: الوقت المتفائل Optimistic Time ويرمز له في الشبكة بالرمز (a) وهو أقصر وقت ممكن لتنفيذ النشاط إذا عملت الظروف المؤثرة في صالح المشروع. والوقت المتشائم Pessimistic Time ويرمز له في الشبكة بالرمز (b) وهو أطول وقت ممكن لتنفيذ النشاط إذا جاءت الظروف المؤثرة غير مواتية وعملت في غير صالح المشروع. ثم الوقت الأكثر احتمالا Most likely ويرمز له على الشبكة (m) وهو الوقت الأكثر احتمالا أن يتم تنفيذ النشاط به.

2-تحديد الوقت المتوقع (Expected Time (ET لكل نشاط من أنشطة المشروع وذلك باستخدام المعادلة الرياضية (5-6).

$$ET = \frac{a + 4m + b}{6} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 6 \rightarrow 5$$

3-يتم احتساب التباين Variance لأوقات المشروع ككل، وذلك عن طريق احتساب التباين لكل نشاط من أنشطة المشروع، ثم جمع التباينات للأنشطة الحرجة (التي تقع على المسار الحرج) فقط. ويكون حاصل جمع التباينات التي تقع على المسار الحرج هو تباين المشروع ككل. ويتم احتساب التباين حسب المعادلة الرياضية 6-6:

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

4- يتم احتساب الانحراف المعياري للمشروع، وذلك باستخدام المعادلة الرياضية 7-6.

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 6\rightarrow 7$$

5-نقوم باحتساب القيمة المعيارية (Z) للمشروع، وذلك باستخدام المعادلة الرياضية 8-6.

$$Z = \frac{X-\mu}{\sigma} = \frac{X-Cp}{\sigma} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 6\rightarrow 8$$

حيث μ وقت إنهاء المشروع على المسار الحرج

X: الوقت الذي نسعى (نرغب) لأن ننهى المشروع به.

: الانحراف المعياري للمشروع.

6- نذهب إلى جدول الاحتمالات للقيمة المعيارية، وهو ما يسمى في الإحصاء بجدول Z، ونستخرج الاحتمال المقابل للقيمة المعيارية التي نتجت معنا في النقطة 5 فتكون هي النسبة المئوية (احتمالية) أن ننهي المشروع في الوقت الذي نسعى إليه (نرغب به).

مثال 6-4 توضيحي لأسلوب بيرت PERT

بالعودة إلى مثال 6-2 فقد أراد المعنيون بالبرمجة الشبكية في المشروع القيام بتطوير شبكة المشروع باستخدام أسلوب بيرت PERT، وقد قاموا بتحديد الأوقات المتفائلة والأوقات المتشائمة والأوقات الأكثر احتمالا كما هي في جدول 6-5. والمطلوب، دراسة احتمال أن ينتهي المشروع بعد أسبوع واحد من الوقت الأصلي المتوقع انتهاؤه فيه.

Activity النشاط	Precedent Activity النشاط السابق	Optemistic time الوقت المتفائل أسبوع	Most likely time الوقت الأكثر احتمالا – أسبوع	Pessimestic time الوقت المتشائم أسبوع
A	-	1	2	3
B	-	2	3	4
A	C	1	2	3
B،A	D	2	4	6
C	E	1	4	7

Activity النشاط	Precedent Activity النشاط السابق	Optemistic time الوقت المتفائل أسبوع	Most likely time الوقت الأكثر احتمالا – أسبوع	Pessimestic time الوقت المتشائم أسبوع
C	F	1	2	9
E، D	G	3	4	11
G، F	H	1	2	3

حل مثال 6-4:

1-يتم احتساب المتوقع لكل نشاط، باستخدام المعادلة الرياضية (6-5) والنتائج جميعا موجودة في جدول 6-6 وللتوضيح فإن حساب الوقت المتوقع للنشاط A يكون على النحو التالي:

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

$$= \frac{1+4X2+3}{6} = 2 \text{ weeks}$$

2-يتم رسم شبكة المشروع بطريقة النشاط على القطب كما هو مبين في الشكل 6-4، تم احتساب المسارات جميعها وتحديد المسار الحرج للأوقات المتوقعة (ET) كما تم شرحه سابقا. والمسار الحرج يكون 15 أسبوع.

3-يتم احتساب التباين لكل نشاط من أنشطة المشروع باستخدام المعادلة الرياضية (6-6)، والنتائج جميعها موجودة في جدول 6-6، ويتم حساب التباين للنشاط A على النحو التالي:

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

$$= \left(\frac{3-1}{6}\right)^2 = 0.111$$

4-يتم احتساب تباين المشروع ككل وذلك يجمع التباينات للأنشطة التي تقع على المسار الحرج وهي الأنشطة H، G، E، C، A

$$\sigma_P^2 = 0.111 + 0.111 + 1.00 + 1.778 + 0.111$$

$$\sigma_P^2 = 3.111$$

5-يتم احتساب الانحراف المعياري للمشروع وذلك باستخدام المعادلة الرياضية (7-6) على النحو التالي:

$$\sigma_P = \sqrt{3.111}$$

$$\sigma_P = 1.764$$

6-يتم احتسابا ليمة المعيارية Z للمشروع باستخدام المعادلة الرياضية (8-6) على النحو التالي:

$$Z_P = \frac{X - \mu}{\sigma_P}$$

$$= \frac{16 - 15}{1.764} = 0.5668$$

ملاحظة: قيمة X=6، جاءت من السؤال، لأن المطلوب أن نحسب إمكانية إنهاء المشروع بعد أسبوع واحد من الوقت المتوقع (الوقت الحرج)، وبما أن المسار الحرج = 15 أسبوع، إذن قيمة X=16 week.

7-نذهب إلى جدول الاحتمالات للقيمة المعيارية Z الموجود نسخة منه في نهاية هذا الفصل ومقابل قيمة Z=0.5668 نجد أن احتمال إنهاء المشروع بعد أسبوع واحد من موعده المتوقع يساوي 71.5%.

جدول 6-6

نتائج لحل لمثال 6-4

Activity النشاط	ET الوقت المتوقع اسبوع	σ^2 التباين	Activity type طبيعة النشاط	σ_P^2 تباين المشروع
A	2	0.111	حرج	0.111
B	3	0.111	راكد	–
C	2	0.111	حرج	0.111
D	4	0.444	راكد	–
E	4	1.000	حرج	1.000
F	3	1,778	راكد	–
G	5	1.778	حرج	1.778
H	2	0.111	حرج	0.111
			$\sum \sigma_p^2 =$	3.111
			$\sigma_p = \sqrt{3.111} = 1.764$	

تسريع المشروع project Crashing

وهي العملية التي يتم من خلالها تسريع وقت إنهاء المشروع مع الاستعداد لتحمل التكاليف الإضافية المترتبة على هذا التسريع، وعند القيام بتنفيذ عملية التسريع Crashing من المفيد الانتباه إلى المرتكزات التالية:

1-إن عملية تسريع المشروع project Crashing ليست اعتباطية وإنما يتم تقييمها واتخاذ القرار بخصوصها بعد إخضاعها لمبدأ الكلفة والمنفعة Cost and Benefit.

2-إن عملية تسريع المشروع project Crashing ليست مزاجية، ولا يتم اتخاذ قرار بتبنيها إلا في ظل وجود أسباب موجبة، نذكر بعضا منها:

* وجود خطأ في جدولة المشروع project Schedule من الأساس، بحيث يكون قد تم وضع أوقات تنفيذ متفائلة أكثر من اللازم لأنشطة المشروع، وعند بدء التنفيذ، تبين أنه من الصعب إنجاز هذه الأنشطة ضمن الأوقات المجدولة، مما يستدعي تحمل كلف إضافية حتى نتمكن من إنهاء المشروع في الأوقات المذكورة.

* نشوء ظروف بيئة داخلية تؤدي إلى تأخير تنفيذ بعض الأنشطة الحرجة Critical Activities والتي يؤدي تأخر تنفيذها إلى تأخر تنفيذ المشروع ككل مثل: غيابات العاملين، تأخر وصول بعض الموارد الحرجة Critical Resources، ظهور صعوبات فنية Technical Difficulties، عدم توفر السيولة اللازمة Lack of Liquidity لتنفيذ بعض الأنشطة، ... الخ، كل هذه المشكلات ممكن أن تؤدي إلى تسريع بعض الأنشطة اللاحقة حتى يتم الالتزام بالوقت المطلوب للتنفيذ مع دراسة الكلفة الإضافية المترتبة على ذلك ومقارنتها بغرامات التأخير.

* نشوء ظروف بيئية خارجية ممكن أن تؤدي لتأخير تنفيذ بعض الأنشطة الحرجة مثل: تأخر الموردين في توريد بعض المواد الضرورية، ظروف مناخية تؤدي لتعطيل العمل بالمشروع كالسيول والأعاصير ... الخ، حصول حروب واضطرابات اجتماعية قد تؤدي لجعل الاستمرار في ذلك الوقت يحتوي على مخاطرة عالية... الخ.

* التسريع بناء على طلب الزبون مع استعداده لتقديم مكافأة مالية Bonus مقابل إنهاء المشروع قبل وقته المقرر، بحيث يتم مقارنة هذه المكافأة مع الكلف الإضافية المترتبة على عملية التسريع (الكلفة والمنفعة Cost and Benefit).

* حصول تغير في القوانين التشريعات الحكومية يترتب عليه إجراء تعديل في طريقة تنفيذ المشروع، بحيث يتم تسريع وقت إنهاء المشروع مقابل تحمل كلف إضافية مترتبة على ذلك.

3-إن عملية التسريع Crashing تبدأ بالأساس على المسار الحرج، لأنه المسار الأطول، وأي تسريع لوقت تنفيذ المشروع يعني تقصير وقت المسار الحرج عن طريق تسريع الأنشطة الحرجة، وبعد ذلك ينظر إلى المسارات الأخرى ونقرر إذا كانت بحاجة إلى تسريع أم أن عملية التسريع لا تؤثر على تك المسارات وتبقى كما هي، وكمثال توضيحي لهذه الفكرة، افترض أن هناك 4 مسارات لبرمجة أحد المشاريع:

Path 1:	Critical Path	= 60 weeks
Path 2:		= 50 weeks
Path 3:		= 45 weeks
Path 4:		= 40 weels

فإذا أردنا تسريع المشروع لينتهي في 52 أسبوعا، ففي هذه الحالة، فإن عملية التسريع تتم على المسار الحرج فقط ولا تطال المسارات الأخرى، وذلك لأن المسار الحرج سيبقى أطول المسارات حتى بعد التسريع. ولكن لو أردنا تسريع المشروع ليصبح 48 أسبوعا فإننا في هذه الحالة سنحتاج إلى تسريع المسار الحرج بمعدل 12 أسبوع وسيصبح المسار الحرج أقصر من المسار الثاني path2 بمقدار 2 أسبوعا، وعليه فإننا نحتاج أيضاً لتسريع المسار الثاني path2 ليصبح 48 أسبوعا وعليه تصبح كلفة التسريع هي كلفة تسريع المسار الحرج والمسار الثاني.

4-يتم حساب كلفة التسريع على النحو التالي:

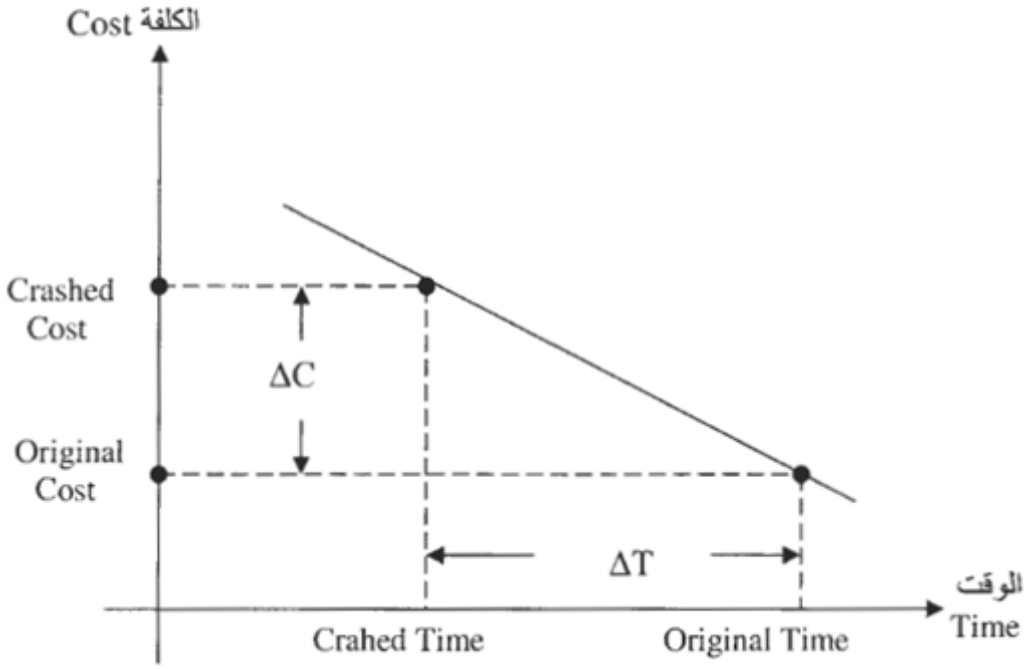
* يتم حساب كلفة تسريع وحدة زمنية واحدة وذلك حسب المعادلة التالية:

$$\text{Crashing Cost of one time unit} = \frac{\Delta C}{\Delta T} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 6 \rightarrow 9$$

$$\Delta C = \text{Crashed Cost} - \text{Original Cost} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 6 \rightarrow 10$$

$$\Delta T = \text{Original Time} - \text{Crashed Time} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 6 \rightarrow 11$$

ويمكن التعبير من ذلك بالرسم البياني التالي:



شكل 6-9

تسريع المشروع

يتم ضرب كلفة التسريع لوحدة زمنية واحدة في عدد الوحدات الزمنية (وقت التسريع)

مثال 6-5:

البيانات المتوفرة في جدول 6-7 تمثل الأوقات اللازمة لتنفيذ أنشطة المشروع الثمانية مع كلفة ضغط (تسريع) أسبوع واحد لكل نشاط، فإذا علمت أن المشروع له المسارات التالية:

Path 1:	Critical Path CP:	A→C→E→G→H = 34 weeks
Path 2:		A→C→F →H = 20 weeks
Path 3:		A→D→ G→H = 24 weeks
Path 4:		B→D→ G→H = 21 weeks

جدول 6-7

بيانات مثال 6-5

Activity النشاط	Time/week	Crashing Cost $/Week
A	6	100
B	3	500
C	5	1500
D	4	1250
E	8	500
F	3	1000
G	8	1500
H	6	750

المطلوب: حساب كلفة تسريع المشروع ليصبح المسار الجديد = 28 أسبوعا، بشرط أن لا يزيد تسريع أي نشاط عن مدة أسبوعين فقط.

الحل:

* بما أن وقت المسار الحرج (CP(Critical Path الجديد سيكون 28 أسبوعا، فإن هذا يعني أن وقت المسار الحرج الأصلي والبالغ 34 أسبوعا، سوف يبقى حتى بعد تسريعه لستة أسابيع هو المسار الحرج. وعليه فإن عملية التسريع سوف تتم على المسار الحرج الأصلي فقط.

* الوقت المطلوب للتسريع هو10 أسابيع، بحيث لا يزيد وقت التسريع لأي نشاط عن أسبوعين فقط، وعليه فإننا نذهب إلى النشاط الحرج (الذي يقع على المسار الحرج) وله أقل كلفة تسريع وهو النشاط E ونقوم بتسريعه بمقدار أسبوعين وبكلفة 1000$ للأسبوعين، ثم ننتقل إلى لنشاط الذي يليه من حيث كلفة التسريع وهو النشاط ونقوم بتسريعه لمدة أسبوعين بكلفة 1500$ للأسبوعين. ونكون حتى الآن قد قمنا بتسريع 4 أسابيع ويبقى أسبوع فنذهب إلى النشاط A، لأنه النشاط الأقل كلفة تسريع بعد النشاط H ونقوم بتسريعه أسبوعين أيضاً بكلفة 2000$ للأسبوعين، فتكون قد قمنا بتسريع المشروع بمقدار 6 أسابيع وبكلفة إجمالية للتسريع تساوي:

1000+1500+200+2500$

جدول 6-8

حل مثال 6-5

Activity	Time/week	Crashing cost $/week	Critical Path؟	$Crashing	Crashed Time
A	6	1000	Yes	2000	4
B	3	500	NO		3
C	5	1500	Yes		5
D	4	1250	NO		4
E	8	500	Yes	1000	6
F	3	1000	NO		3
G	8	1500	Yes		8
H	6	750	Yes	1500	4

Total Crashing Cost 4500$

المرجع:

كتاب : إدارة المشاريع المعاصرة Contemporary Project Management ، منهج متكامل في إدارة المشاريع ، من تأليف د. موسى أحمد خير الدين، من إصدار دار وائل للنشر ، الطبعة الثانية 2014 .