جدولة فعاليات تنفيذ المشروع Project Scheduling

يركز هذا المقال على وظيفة جدولة المشروع وهي القسم التفصيلي استكمالا لوظيفة التخطيط حيث يتم تجزئة المشروع إلى مراحله وتحديد فعاليات المشروع بالإضافة إلى تقديرات الموارد المختلفة الضرورية لإنجاز الفعالية.

September 2024 26 الكاتب: **د. محمد العامري** المشاهدات: 4,230



جدولة فعاليات تنفيذ المشروع
Project Scheduling

1-9- مفهوم جدولة المشروع:

أن اتخاذ القرار بإقامة المشروع يعني تخصيص الموارد الضرورية له مما يتوجب على إدارة المشروع من استغلال هذه الموارد بالشكل الأفضل وبفاعلية لتحقيق هدف المشروع المقرر. ومن الضروري التأكيد هنا، بأن الموارد بكل أنواعها تمثل بحد ذاتها قيدا محددا قويا، ومن أبرز هذه الموارد هو الزمن الذي يتوجب عدم تجاوزه بالإضافة إلى مواصفات وشروط المشروع الواجب تحقيقها بما تلي حاجات ومتطلبات المستخدم للمشروع. ومن هنا، تبرز أهمية الموارد مما يتوجب على إدارة المشروع التعامل معها بحذر وشمولية وبعناية كبيرة من خلال وظيفة التخطيط. وتأتي وظيفة جدولة المشروع وهي القسم التفصيلي استكمالا لوظيفة التخطيط حيث يتم تجزئة المشروع إلى مراحله الأربع وتحتوي كل مرحلة منها على مجموعة من الفعاليات والأعمال التي تعني إعداد مواقيت بدايتها ونهايتها، أي إعداد الجداول الزمنية لكل فعالية من فعاليات المشروع بالإضافة إلى تقديرات الموارد المختلفة الضرورية لإنجاز الفعالية.

وتكمن وظيفة الجدولة على تجميع المعلومات الضرورية عن مختلف مكونات المشروع ومن أهم المعلومات المطلوبة لوظيفة الجدولة هي المدد الزمنية التي تستغرقها الفعاليات وكذلك تحديد علاقات الأسبقية أو التتابع فيما بينهما، بالإضافة إلى وضع

تقديرات حاجة الفعاليات من الموارد الأساسية مثل القوى العاملة والمواد والمعدات وغيرها وإجراء الموازنة السليمة في توزيعها ما بين الفعاليات.

ويتم معالجة هذه المعلومات من خلال الجداول المناسبة لهذه المهمة وباستخدام أساليب التحليل الشبكي (شبكات الأعمال) لغرض تأمين الإجابة على التساؤلات التالية:

- ما هي المدة الزمنية لإنجاز المشروع تحت ظروف العمل الاعتيادية؟
- ما هي الفعاليات الحرجة والتي تقع على المسار الحرج ولا تتقبل التأخير؟
- ما هي الفعاليات التي لو تأخرت لا تؤثر على المدة الزمنية لإنجاز المشروع إلى حين؟
- ما هي مواقيت بداية الفعاليات ونهايتهما؟
- ما مقدار الموارد التي تحتاجه الفعالية الواحدة؟
- هل توجد حاجة للمفاضلة ما بين زمن إنجاز المشروع وتكلفته؟

وبالنظر لكون المشروع عبارة عن منتج يمتاز بالتفرد والخصوصية لذا فإن الفعاليات المتشابهة بالمشروع ليست بالضرورة من أن تنجز بنفس الطريقة، وهذا ما يتطلب من العاملين بالمشروعات من الاستفادة من خبرات المشروعات السابقة المتراكمة في مجال التخطيط والجدولة في إدارة المشروعات. مما يتوجب على مدير المشروع من القيام بتنسيق الأعمال والفعاليات التي تعتبر محور وظيفة الجدولة لكي ينجز المشروع بالموعد المستهدف له.

ويجري تمثيل ال جدولة بعدة طرق منها الجداول الزمنية أو المخططات البيانية Bar charts أو مخططات جانت Gantt Charts أو بهيئة المخططات الشبكية. وتوفر الجدولة قناة الاتصال الضرورية بين إدارة المشروع وفرق العمل التي تعمل في مراحله المختلفة، إضافة إلى كونها بمثابة حلقة الاتصال والتنسيق ما بين إدارة المشروع وفرق العمل من جهة وبين أصحاب المصالح والمقاولون الذين ينفذون الأعمال بالمشروع.

وصفوة القول، أن مفهوم الجدولة يعني أدوات العمل التي تستخدم في تخطيط وتقييم المشروعات والسيطرة عليها حيث تقوم إدارة المشروع وفريق عمل المشروع بإعدادها مستفيدين بذلك من التغذية المرتجعة من أصحاب المصالح جميعهم. وبمعنى آخر، أن الجدولة تعني عملية تحويل خطة المشروع إلى مواقيت عملياتية Operating timetable. وتستخدم الجدولة كذلك كقاعدة أساس في مراقبة الفعاليات والسيطرة عليها بما يتوافق مع الخطة والموازنة باعتبارها الأداة الشاملة لإدارة المشروع. ففي بيئة المشروعات ذات الخصوصية، فإن وظيفة الجدولة تمتاز بالأهمية الخاصة مقارنة مع العمليات الأخرى لأن العمليات في المشروع تنفذ يوميا وعلى مدار الساعة وتظهر خلالها الكثير من المشكلات المعقدة المتعلقة بالتنسيق ما بين هذه العمليات المختلفة.

9-2- المخططات الشبكية:

أن هيكلة تجزئة العمل (WBS) تعني هيكلة تجزئة مجال العمل إلى حزم العمل التي يسهل إدارتها والسيطرة عليها وكذلك يمكن تطويرها إلى كشف بالفعاليات المقررة لها. وتكون العملية اللاحقة هي تأسيس العلاقات المنطقية ما بين الفعاليات باستخدام المخططات الشبكية.

ويمكن تعريف المخطط الشبكي على أنه التمثيل البياني Graphical presentation لفعاليات المشروع التي تبين بوضوح التتابع أو التسلسل المنطي Logic sequence لأداء الأعمال. ومن هذا المفهوم المبسط، من الضروري تأمين المعلومتين التاليتين:

- كشف بالفعاليات Activities list.
- القيود المنطقية Logic constraints والتي تسمى أيضا بالروابط المنطقية Logic links أو الاعتمادية المنطقية Logic dependency أو العلاقات المتبادلة المنطقية Logic relationships ما بين الفعاليات.

ويوجد نمطين من أداء الفعاليات هما:

- الفعاليات المتسلسلة Activities in series: وهي الفعاليات التي تتسلسل الواحدة بعد الأخرى ولا يمكن البدء بالفعالية اللاحقة إلا بعد الانتهاء من تنفيذ الفعالية الحالية كما مبين في الشكل (9/1-1).
- الفعاليات المتوازنة Activities in parallel: وتعني عندما تكون الفعاليات متوازية ولا توجد علاقة بينهما. ويمكن البدء بتنفيذ الفعاليات بصورة متوازية في آن واحد مما يؤدي ذلك إلى الاستثمار الأفضل لمورد الزمن مقارنة بالنمط السابق – الفعاليات المتسلسلة. ويبين الشكل (9/1-ب) نمط الفعاليات المتوازية.

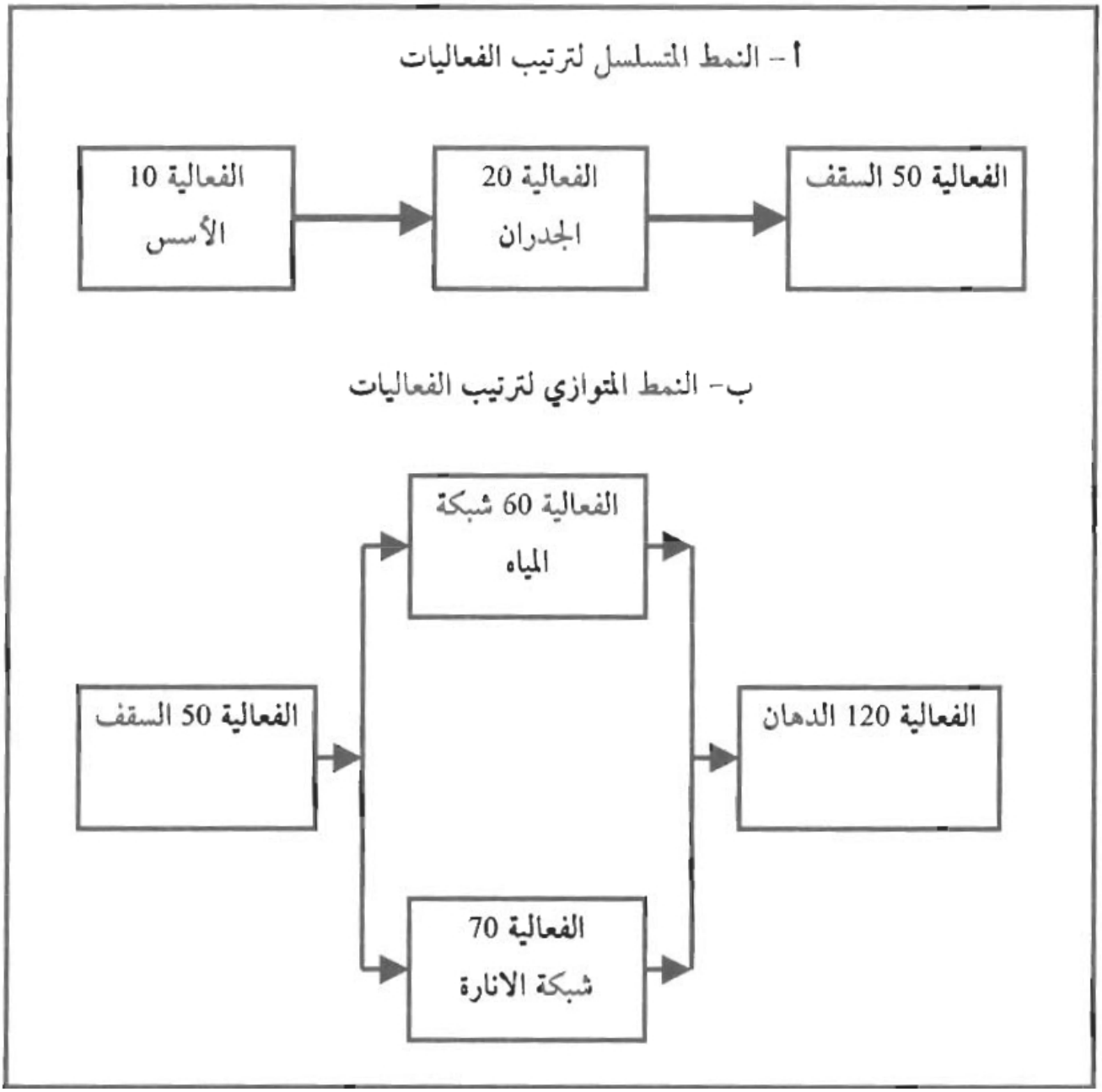
والآن نستعرض أهم الأنماط للأساليب الشبكية المستخدمة في جدولة فعاليات المشروعات.

9-2-1- أنماط المخططات الشبكية:

وقد ظهرت علاقات الأسبقية أو التتابع في بداية عقد الستينات من القرن الماضي واستخدمت في تمثيل الفعاليات في المخططات الشبكية، حيث اعتمدت على مجموعة من المفاهيم التالية:

1- عامل البدء للبدء (Start- to- start factor (SSu : ويمثل العلاقة المنطقية ما بين مواعيد بداية فعاليتين. وهذا يعني بأن البدء في تنفيذ الفعالية السابقة كمحدد وشرط للبدء في الفعالية اللاحقة ويعادل هذا المحدد أقل عدد ممكن من الوحدات الزمنية التي تستغرقها الفعالية السابقة (i) لكي تبدأ الفعالية اللاحقة (j). ولو افترضنا بأن الفعالية الرقم (600) يمكن أن تبدأ بأربعة أيام بعد بدا الفعالية الرقم (500) وهذا يمثل حالة المسار المتسارع في إنجاز الفعاليات، حيث يتم ضغط المدة الزمنية لإنجاز المشروع بسبب التسابق في الفعاليات.

الشكل (1/9) نمط ترتيب الفعاليات

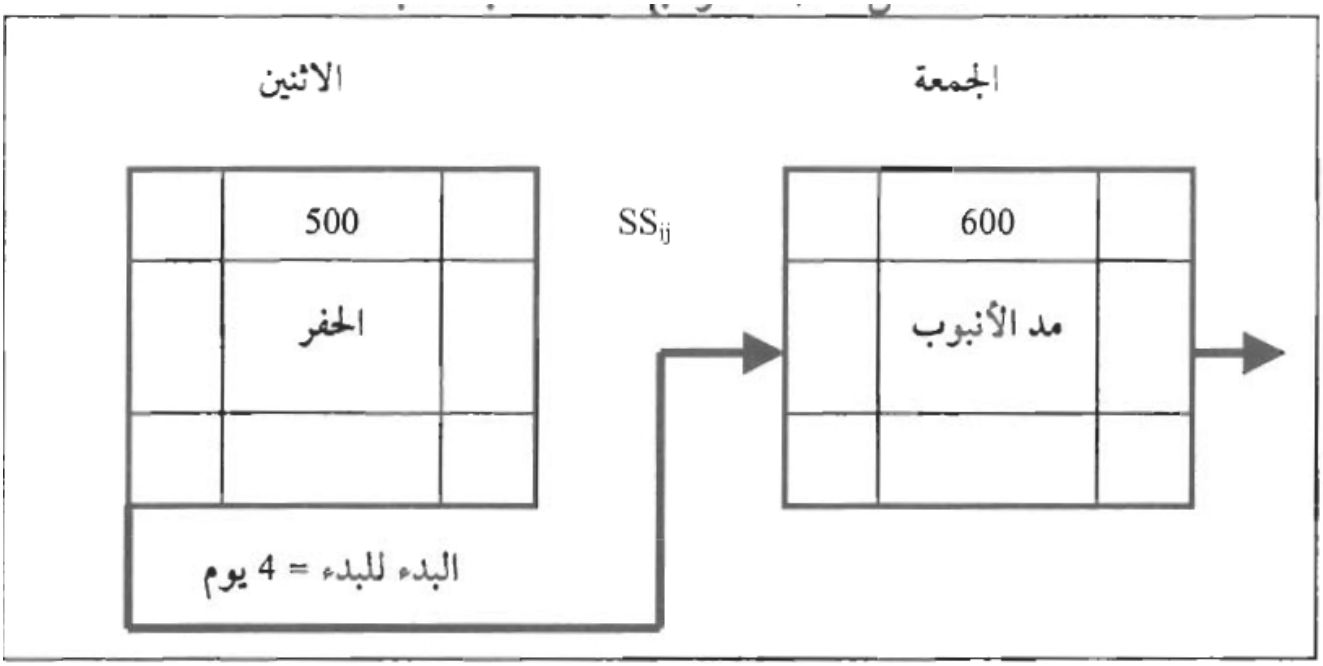


وخير مثال على عامل البدء للبدء هو مد أنبوب المياه حيث أن فعالية تمديد الأنابيب تبدأ مباشرة بعد إكمال الحفر لمسافة كيلو متر واحد. فإذا بدأت مثلا فعالية الحفر يوم الاثنين وتستغرق (4) أيام، فهذا يعني بأن فعالية تمديد الأنبوب سوف تبدأ يوم الجمعة وهو اليوم الخامس كما مبين في الشكل (9/2) ومخطط جانت بالشكل (9/3). (Burke, 1999, p 133).

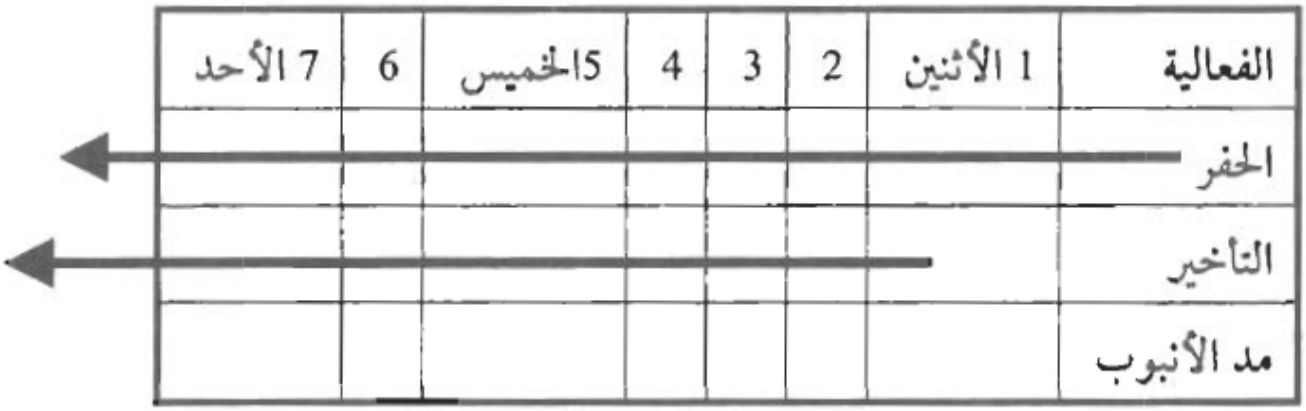
2- عامل الانتهاء (Finish- to- finish factor (ffij: ويمثل حدث انتهاء الفعالية السابقة كمحدد وشرط محدد لانتهاء الفعالية اللاحقة ويعادل هذا لمحدد أقل عدد ممكن من الوحدات الزمنية الواجب انتظارها للوصول إلى نهاية الفعالية اللاحقة (j) بعد الانتهاء من

تنفيذ الفعالية (j).

الشكل (9/ 2) نموذج لمخطط البدء للبدء



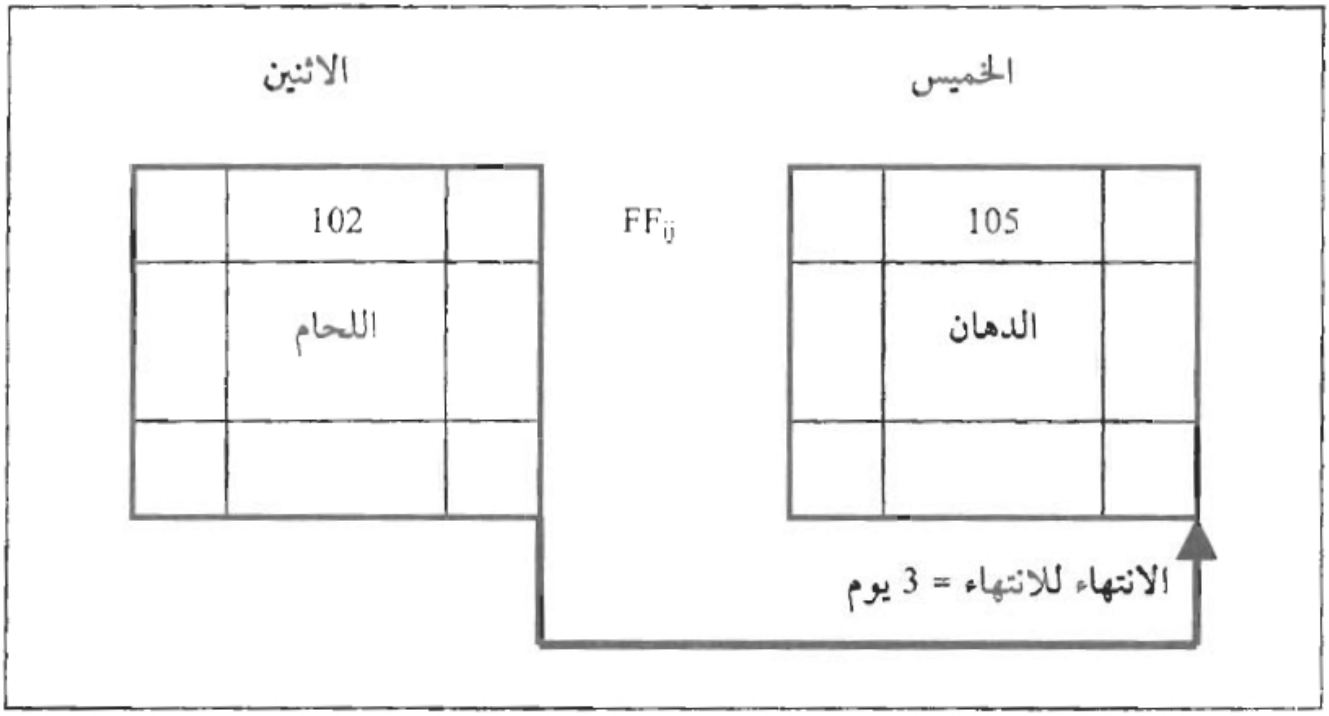
الشكل (9/ 3) مخطط جانت لعامل البدء للبدء



ومثال على ذلك، لنفترض بأن فعالية الدهان الرقم (105) يمكن أن تنتهي بعد (3) أيام من موعد إنجاز فعالية لحام خزان المياه الرقم (102) والتي تستغرق أيضا (3) أيام، كما مبين في الشكل (9/4) ومخطط جانت في الشكل (9/5). فإذا تم إنجاز لحام الخزان يوم الاثنين، فهذا يعني بأن فعالية الدهان سوف تنجز يوم الخميس في ابكر موعد ممكن.

3- عامل الانتهاء للبدء (FSij Finish – to – start factor)؛ ويمثل انتهاء الفعالية السابقة كمحدد وشرط للبدء في الفعالية اللاحقة ويعادل هذا المحدد أقل من الوحدات الزمنية الواجب أن تمضي بعد انتهاء الفعالية السابقة (j) حتى البدء في تنفيذ الفعالية (j). وأن هذه الحالة تعتبر النمط الشائع جدا في مراحل تشييد المشروعات كما سنرى بعد قليل.

الشكل (9/ 4) نموذج لمخطط الانتهاء للانتهاء

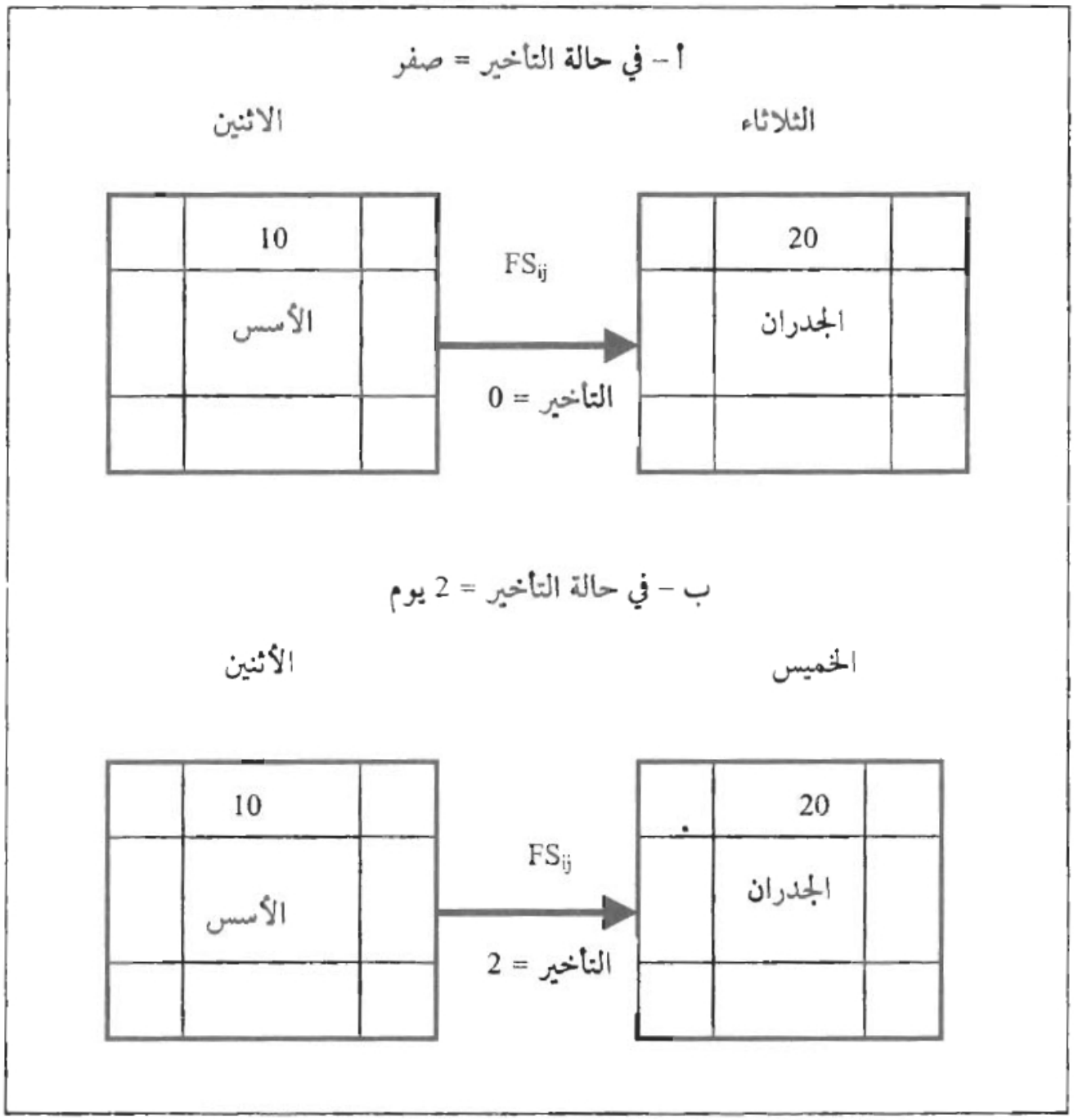


الشكل (9/ 5) مخطط جانت لعامل الانتهاء للانتهاء

الفعالية	1 الأثنين	2	3	4	5 الخميس	6	7 الأحد
لحام الخزان						←	
التأخير					←		
مد الأنبوب				←			

من المثال المبين في أدناه، نرى بأن فعالية بناء الجدران للمبنى الرقم (20) لا يمكن أن تبدأ قبل إنجاز فعالية صب الأسس الرقم (10). وهذا يعني إذا انتهت الفعالية الرقم (10) يوم الاثنين عندئذ ستبدأ الفعالية الرقم (20) يوم الثلاثاء كما مبين في الشكل (9/6-أ). ويمكن تطوير هذه العلاقة خطوة أخرى بافتراض حدوث تأخير أو توقف ما بين الفعاليتين. فلو افترضنا بأن المزيج الكونكريتي يحتاج إلى يومين لكي يتعامل وأن الفعالية الرقم (10) ظهرت يوم الاثنين، عندئذ سوف تتأخر الفعالية الرقم (20) لمدة يومين لأنه لا يمكن بناء الجدران من دون إنجاز فعالية صب الأسس، وسوف تكون بداية هذه الفعالية يوم الخميس، كما مبين في الشكل (9/6-ب) والشكل (9/7).

الشكل (9/ 6) نموذج مخطط الانتهاء للبدء



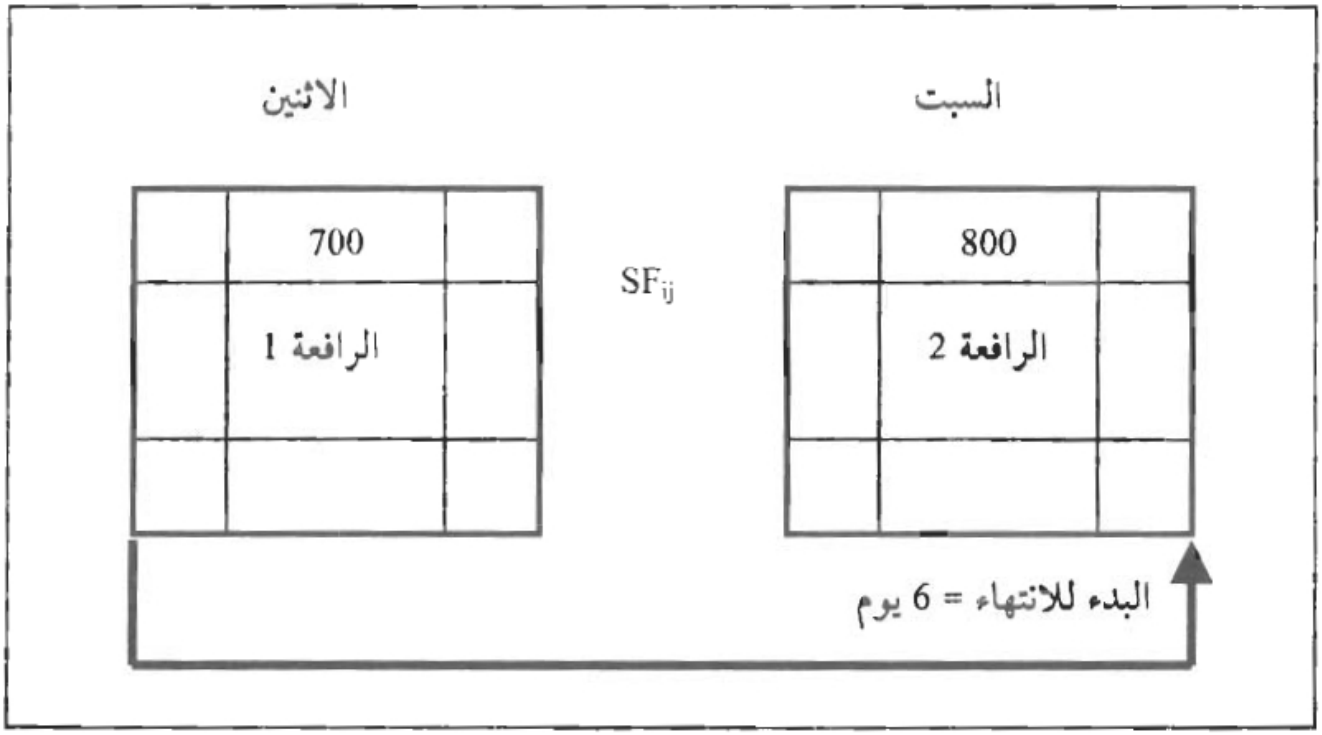
الشكل (9/ 7) مخطط جانت لعامل الانتهاء للبدء

الفعالية	1 الأثنين	2	3	4	5 الخميس	6	7 الأحد
الأسس	←						
التأخير			←				
الجدران				←			

4- عامل البدء للانتهاء (SF ij) Start – to – finish factor): ويمثل بدء الفعالية السابقة كمحدد وشرط لانتهاء الفعالية اللاحقة ويعادل عدد الوحدات الزمنية المستغرقة من بدء تنفيذ الفعالية السابقة (j) وحتى تنفيذ الفعالية اللاحقة (j). وهذه العلاقة تمثل ما يشبه القفل لأنها سهلة التمازج ما بين علاقات البدء للانتهاء SF وبين الانتهاء للبدء FS وعندئذ يكون وهميا يصعب فصلهما.

ومثال على هذه العلاقة، لو افترضنا بأن إدارة المشروع قد استأجرت رافعة لمدة (6) أيام حيث عندما تبدأ الفعالية الرقم (700) يجب أن تنتهي الفعالية الرقم (800) كما مبين في الشكل (9/8) والشكل (9/9).

الشكل (8/9) نموذج المخطط البدء للانتهاء



الشكل (9/9) مخطط (جانت) لعامل البدء للانتهاء

الفعالية	1 الأثنين	2	3	4	5الخميس	6	7 الأحد
700	←						
التأخير						←	
800						←	

9-2-2- أساليب جدولة المشروعات:

أن العدد الكبير من الأعمال والفعاليات المعقدة والمختلفة التي تصاحب مراحل دورة حياة المشروع وكذلك المعلومات الكثيرة الضرورية لبناء مخططات الجدولة وخرائطها، أصبح من الأهمية بمكان استخدام الأدوات التي تسهل عملية الجدولة بالإضافة إلى المتابعة والسيطرة على مراحل التنفيذ. وسوف نستعرض من خلال المبحث القادم أهم الأساليب المستخدمة في جدولة المشروعات.

1- الخرائط البيانية Charting techniques: يتضمن أسلوب الخرائط البيانية حصر وتجميع البيانات المتعلقة بفعاليات المشروع ومواقيت تنفيذها وترتيبها ثم يصار إلى تمثيل الزمن المخطط لتنفيذ الفعالية بخط على الخارطة بحيث يكون طوله مساويا للمدة الزمنية التي تستغرقها الفعالية على لوحة التقويم. ويلازم ذلك خط آخر ليتم بموجبه توضيح وبيان تقدم سير العمل الفعلي لنفس الفعالية حيث تؤشر بالعادة نسبة الإنجاز الفعلي من تلك الفعالية في نهايته.

وباستخدام هذه الخرائط يمكن معرفة أوقات البداية والنهاية لكل فعالية وكذلك معرفة مواعيد الحاجة إلى الموارد بالإضافة إلى معرفة نسب الإنجاز الفعلي لكل فعالية مما يمكن مقارنته مع نسب الإنجاز المخطط له. كما ويساعد المستخدم للخارطة البيانية في معرفة إن كان هناك حاجة إلى اتخاذ الإجراء التصحيحي في حالة حدوث انحراف في الإنجاز الفعلي عن المخطط له. ولا بد هنا من الإشارة إلى أنه، بالإمكان ومن خلال استخدام أسلوب الخرائط توضيح العلاقة المنطقية ما بين فعاليتين متتاليتين إذ يمكن معرفة أي من الفعالية تبدأ بعد فعالية أخرى ولكن تنتهي قبل نهاية الفعالية الخيرة.

2- شبكات الأعمال: لقد سهل كثيرا أسلوب الشبكات وظيفة التخطيط وإعداد الجدولة في إدارة المشروعات حيث أن الشبكات تمثل المخطط الشبكي الذي يعرض فعاليات المشروع. وقد ساعدت شبكات الأعمال على إلغاء قيود ومحددات الخرائط البيانية من حيث عدم عرضها علاقات التتابع المعقدة ما بين الفعاليات وكذلك عدم إظهارها المدة المثالية لإنجاز الفعالية، حيث يمكن إجراء

العمليات الحسابية بطريقة الشبكات التي تبين القرارات المتعلقة بمعرفة المدة الزمنية الأفضل لتنفيذ الفعالية.

وتستخدم الأسهم Arrows أو الشكل الرباعي (المربع) أو العقد الدائرية Nodes لتمثيل الفعاليات عند بناء الشكات في عرض مراحل المشروع. فعند استخدام الأسهم لتمثيل الفعاليات (Activity – on – arrow (AOA مثلا، فإن العلاقة المنطقية بين الفعاليات تظهر عن طريق توصيل الأسهم بالعقد. وتمثل هذه العقد حدث البداية وحدث النهاية للفعالية.

أن استخدام الأسهم لتمثيل الفعاليات (AOA) في شبكة المشروعات يتطلب في بعض الأحيان الحاجة الضرورية إلى استخدام الفعاليات الوهمية Dummy activities وذلك لتمثيل العلاقة المنطقية ما بين الفعاليات بالشكل المناسب. وتكون عادة المدة الزمنية للفعالية الوهمية تساوي القيمة صفر، كما ويتم تمثيل علاقتها بالفعاليات الأخرى بالسهم المنقط كما مبين في الشكل (9/10). ويبين الشكل (9/10 –أ) طريقة استخدام الأسهم لتمثيل الفعاليات والعلاقة المنطقية ما بينهم الفعاليات. هذا وأن السهم المنقط في الشكل المذكور يعود إلى الفعالية التي كما ذكر سلفا ليس لها موارد وأن الزمن المستغرق لإنجازها يساوي القيمة صفر. وتستخدم أيضا الفعالية الوهمية في بناء المخططات الشبكية لتلافي التداخل الذي يحدث بفعاليتين يبدءان من نفس العقدة وينتهيان بعقدة أخرى، كما مبين في الشكل (9/10-ب).

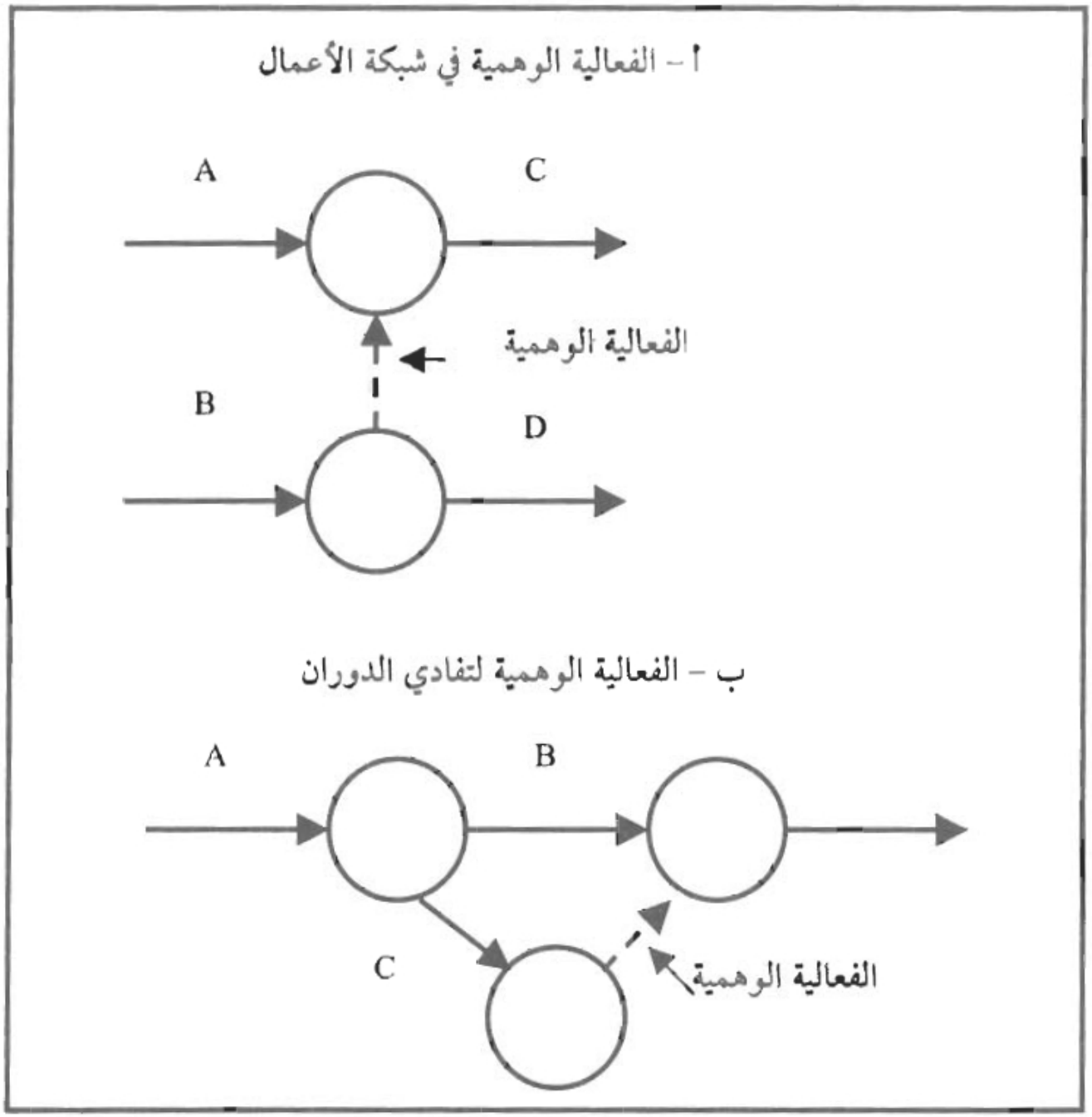
وفي حالة استخدام العقد بدلا من الأسهم لتمثيل الفعاليات (Activity on nodes (AON فإن الترابط المنطقي ما بين الفعاليات يتم تمثيله من خلال ربط العقد بأسهم وطول السهم كما هو الحال في الطريقة السابقة لا يمثل طول المدة الزمنية للإنجاز. وباستخدام هذه الطريقة تنتهي الضرورة إلى استخدام الفعالية الوهمية كما ويتطلب إضافة حدث البداية وحدث النهاية لبيان نقطة بداية المشروع ونقطة نهايته. ويبين الشكل (9/11) طريقة تمثيل الفعاليات باستخدام .AON

3- أسلوب المسار الحرج (CPM (Critical path method: وهو الأسلوب الذي يستخدم بصورة شائعة في إدارة المشروعات ويعتمد على قاعدة التتابع المنطقي المعروف ما بين الفعاليات ويستخدم أيضا في تحديد الزمن الكلي لإنجاز المشروع من خلال إيجاد المسار الحرج والفعاليات التي تقع عليه. وسوف يتم استعراض هذا الأسلوب بالتفصيل في المبحث القادم من هذا الفصل.

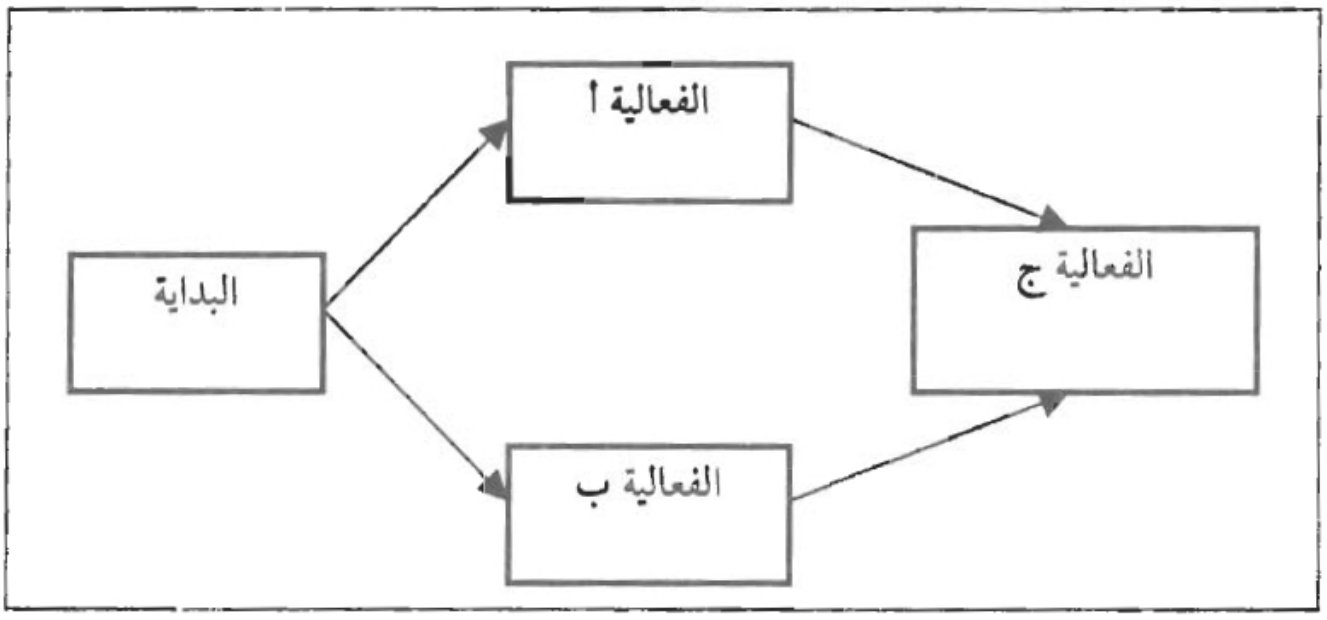
4- أسلوب تقييم ومراجعة المشروعات (PERT (Project Evaluation& Review Technique: يستخدم هذا الأسلوب في إدارة المشروعات ذات التتابع المنطقي المعروف للفعاليات عندما تكون المدة الزمنية لهذه الفعاليات غير مؤكدة وتخضع لتقديرات واحتمالات التوزيع الزمني للاحتمالية. وسوف يتم استعراض هذا الأسلوب بالتفصيل في المبحث القادم من هذا الكتاب.

5- الأسلوب البياني لتقييم ومراجعة المشروعات (GERT (Craphical Evaluation& Review Technique: يمتاز هذا الأسلوب من شبكات الأعمال بالتركيبة المعقدة نوعا ما بالمقارنة مع الأسلوبين السابقين، حيث يساعد الجهة المستخدمة له على التعامل مع محددات الفعاليات بالاعتماد على توزيعات الاحتمالية Probability Distribution المختلفة كسمة بارزة لها بدلا من احتمالية واحدة محددة. ويستخدم أيضا بالتعامل مع التتابع المنطقي الذي يقع تحت آلية الاحتمالية وإمكانية تمثيل الفعاليات المقررة لعدة مرات قبل حدوث فعالية لاحقة. وبواسطة العداد Counter يمكن هذا الأسلوب من متابعة ولعدد من المرات التي يتم عمل الفعاليات.

الشكل (10/9) مخطط الشبكة مع الفعالية الوهمية



الشكل (11/9) مخطط تمثيل الفعاليات بطريقة AON



3-2-9- تعريف المفاهيم الأساسية:

قبل الدخول في تطبيقات أسلوبي المسار الحرج وتقييم ومراجعة المشروعات لا بد من تحديد بعض المفاهيم الضرورية التي تستخدم في كلا الأسلوبين وعلى النحو الآتي:

- الفعالية Activity: وتعني أي جهد يتطلب بعض الموارد والوقت المحدد لإنجازها.
- الحدث Event: وهو إنجاز محدد عند نقطة معينة من الزمن (أو برهة زمنية) أو نقطة تفتيش. والحدث ليس له زمن إنجاز لأن هذا الزمن يساوي القيمة صفر.
- الشبكة Network: وهي المخططات التي تعرض تدفق الفعاليات ذات الترابط والتزامن المنطقي بالإضافة إلى إظهار العلاقات المتبادلة بينهما.
- المسار Path: وهو اتجاه تدفق مجموعة من الفعاليات التي تنتقل من حدث إلى آخر.
- المسار الحرج Critical path: وهو اتجاه تدفق مجموعة من الفعاليات المتسلسلة التي تشكل مسارا مستمرا من بداية المشروع وحتى نهايته كما وأن طول هذا المسار يبين الزمن الكلي لإنجاز المشروع.
- الفعالية الحرجة Critical activity: وهي الفعالية التي تقع على المسار الحرج وأن أي تغير (سلبا أو إيجابا) يؤثر على الزمن الكلي لإنجاز المشروع.
- الفعالية الوهمية Dummy activity: وهي الفعالية التي ليس لها موارد (الموارد بما فيها الزمن والتكلفة تساوي القيمة صفر) وتستخدم في بناء المخططات لتبيان العلاقة المنطقية لتسلسل الفعاليات.
- الزمن الاعتيادي Normal time: وهو مقدار الزمن المقدر والمتوقع لإنجاز الفعالية بالموارد الاعتيادية.
- الزمن المختزل Crash time: وهو مقدار الزمن (ويسمى أيضا الزمن العائم Float time) الذي يمكن اختزاله من زمن الفعالية الاعتيادي من دون التأثير سلبيا على الزمن الكلي لإنجاز المشروع. ويستخدم عادة هذا الزمن في اختزال الزمن الكلي للمشروع.
- التكلفة الاعتيادية Normal cost: وهي مجموع النفقات المستخدمة في تنفيذ الفعالية الاعتيادية.
- التكلفة المختزلة Crash cost: وهي تكلفة الزمن المختصر وتزداد كلما زاد الزمن المختزل والعكس صحيح.

3-9- أسلوب المسار الحرج:

لقد ظهرت في بداية الأمر (أي قبل ظهور أسلوب المسار الحرج) جداول جانت Gantt charts البيانية وهي الطريقة التي كانت ولا تزال شائعة الاستعمال في جدولة المشروعات. وبالرغم من أن هذه الطريقة مفيدة جدا في إظهار الفعاليات المخططة والمتحققة فعليا بالإضافة إلى أوقات بدايتها ونهايتها كما مقرر لها بموجب خطة الجدولة، إلا أنها عيبها الرئيسي هو عدم إظهارها للعلاقات المتبادلة ما بين الفعاليات من حيث الترابط المنطقي وقواعد الأولويات في التنفيذ. وهذا ما جعل عملية التنبؤ من خلال هذه الجداول صعبة في إيجاد العلاقات المنطقية والترابط الذي يخدم عملية المتابعة والسيطرة على سير تقدم العمل ومراحل تنفيذه.

وبعد إجراء العديد من الدراسات والتطبيقات العملية لأساليب بحوث العمليات في بريطانيا في العقد الخمسينات من القرن الماضي، فقد بدأ استخدام أسلوب المسار الحرج وبشكل تجريبي في عمليات صيانة محطة توليد الطاقة الكهربائية حيث أظهرت النتائج تقليص الزمن اللازم لإنجاز عمليات الصيانة بنسبة (42%) ومن ثم بنسبة (32%). ومن ذلك الوقت أصبح أسلوب المسار الحرج يستخدم في جدولة الفعاليات ذات التتابع المنطقي المعروف في إدارة المشروعات بالإضافة إلى أنه الأسلوب الفعال في تحديد الزمن الكلي لإنجاز المشروع من خلال إيجاد المسار الحرج والمدد الزمنية المحددة مسبقا لإنجاز الفعاليات الحرجة.

ويمكن إيجاز الخطوات اللازمة لاستخدام أسلوب المسار الحرج بالآتي:

- تحديد جميع الفعاليات المقررة في جدولة الأعمال وتعريفها بدقة كما مبين في الجدول (9/1).
- تحديد علاقات الأسبقية التي تمثل التتابع المنطقي لهذه الفعاليات.
- رسم الشبكة وتمثيل العلاقات التبادلية والتتابع المنطقي عليها مع تحديد موعد بداية ونهاية الفعالية.
- تحديد الزمن اللازم لإنجاز الفعالية حيث من المقرر أن يمثل أفضل تقدير ممكن.
- احتساب المسار الحرج الذي يمثل الزمن الكلي لإنجاز المشروع من خلال:

- تحديد جميع المسارات من بداية الشبكة وحتى نهايتها مع الفعاليات التي تقع عليها.
- احتساب الزمن الكلي لكل مسار من خلال حاصل جمع أزمنة الفعاليات التي تقع على ذلك المسار.

- اختيار المسار الحرج الذي يكون مجموع الزمن الكلي هو الأكبر (أو المسار الأطول) من بين المسارات جميعها.
- من الممكن أن يكون هنالك أكثر من مسارا حرجا واحدا وذلك إذا تساوت مجموع أزمنة تلك المسارات.

ويجري تقدير الزمن المقرر لإنجاز الفعالية باستخدام أسلوب المسار الحرج على أساس أنها تعتبر متغيرات ثابتة ومؤكدة Deterministic حيث يتم استبعاد أي احتمال لحدوث تعديل في المدة الزمنية التي تستغرقها الفعالية خلال التنفيذ. وهذا يعني بأن أسلوب المسار الحرج يتعامل مع الفعالية التي تستغرق مدة إنجازه (12) يوما دون تغير في هذا الزمن.

الجدول (9/1) متغيرات الفعالية المنطقية

رقم الفعالية	علاقات الأسبقية	المدة الزمنية للإنجاز	تاريخ البدء
100	البداية	2	-
200	100	2	-
300	100	1	-
400	200	4	-
500	300	2	-
600	500 ،400	2	-

وبالعودة إلى الجدول (9/1) نرى المتغيرات الأساسية التالية:

- موعد البداية Start date: لابد من تحديد موعد (تاريخ) البدء بالمشروع (وغالبا ما يتم تغيره)، لأن محلل المسار الحرج يحتاج إلى هذا الموعد لكي يبدأ بتصميم جدولة الأعمال. وبعد تحديد موعد بداية المشروع يصبح من السهولة تصويب المؤشرات المتعلقة بالفعالية مثل العلاقة المنطقية ومدة إنجاز الفعالية وتاريخ البدء بالفعالية.
- البداية المبكرة Early start (ES): المقصود بالبداية المبكرة هي الموعد المبكر لبدء تنفيذ الفعالية والذي يفترض بأن تكون جميع الفعاليات قد تم إنجازها بما ينسجم مع المخطط لها بالجدولة.
- النهاية المبكرة Early finish (EF): وهي تمثل تاريخ النهاية المبكرة لإنجاز الفعالية والذي يفترض بأن تكون جميع الفعاليات قد تم إنجازها بالوقت المحدد بالجدولة.
- البداية المتأخرة Late start (LS): الموعد المتأخر الذي يمكن أن تبدأ به الفعالية بما يحقق موعد الإنجاز المخطط.
- النهاية المتأخرة Late finish (LF): الموعد المتأخر الذي يمكن أن تنهي به الفعالية بما يحقق موعد الإنجاز المخطط.
- البداية المستهدفة والنهاية المستهدفة Target start & target finish: بالإضافة إلى المواعيد المحدد (التواريخ المحددة) من الممكن أن توجد مواعيد افتراضية Imposed dates التي تتأثر بمواعيد توريد المواد والمستلزمات الضرورية لإنجاز الفعالية وكذلك الوصول إلى المقاول الثانوي وغيرها من الأمور الأساسية.
- وعاء الفعالية Activity box: أن مفاتيح وعاء الفعالية الأساسية تشير عادة إلى مواقع القيم في وعاء الفعالية. وهذا الترتيب متعلق بحزمة البرمجيات حيث يبين الشكل (9/12) نموذجا لوعاء الفعالية.

الشكل (9/12) نموذج وعاء الفعالية

البداية المبكرة		النهاية المبكرة
عائم	رمز وتوصيف الفعالية	المدة الزمنية لإنجاز الفعالية
البداية المتأخرة		النهاية المتأخرة

وتستخدم طريقتين لغرض احتساب مواعيد البداية والنهاية للفعاليات هما:

- طريقة الحسابات الأمامية Forward pass calculations.
- طريقة الحسابات الخلفية Backward pass calculations.

والآن نستعرض هاتين الطريقتين بشيء من التفصيل.

9-3-1- طريقة الحسابات الأمامية:

وتعني هذه الطريقة الآلية المستخدمة في عملية حسابات موعد البداية المبكرة (ES) والنهاية المبكرة (EF) لجميع الفعاليات. ولو افترضنا البيانات المبينة في الجدول (9/2) لمشروع صغير يحتوي على فعاليتين هما (أ و ب) حيث أن الفعالية (أ) يجب أن تنجز قبل أن تبدأ الفعالية (ب). ويبين الشكل (9/13) مخطط وعاء الفعاليتين في طريقة الحسابات الأمامية.

الجدول (9/2) بيانات المثال

رمز الفعالية	علاقات ا لأسبقية	مدة الإنجاز
أ	-	3
ب	أ	4

وقد تم احتساب موعد النهاية المبكرة (EF) للفعالية من خلال إضافة المدة الزمنية لإنجاز الفعالية (D) إلى موعد البداية المبكرة باستخدام المعادلة التالية:

EF = (ES ÷ D) – 1

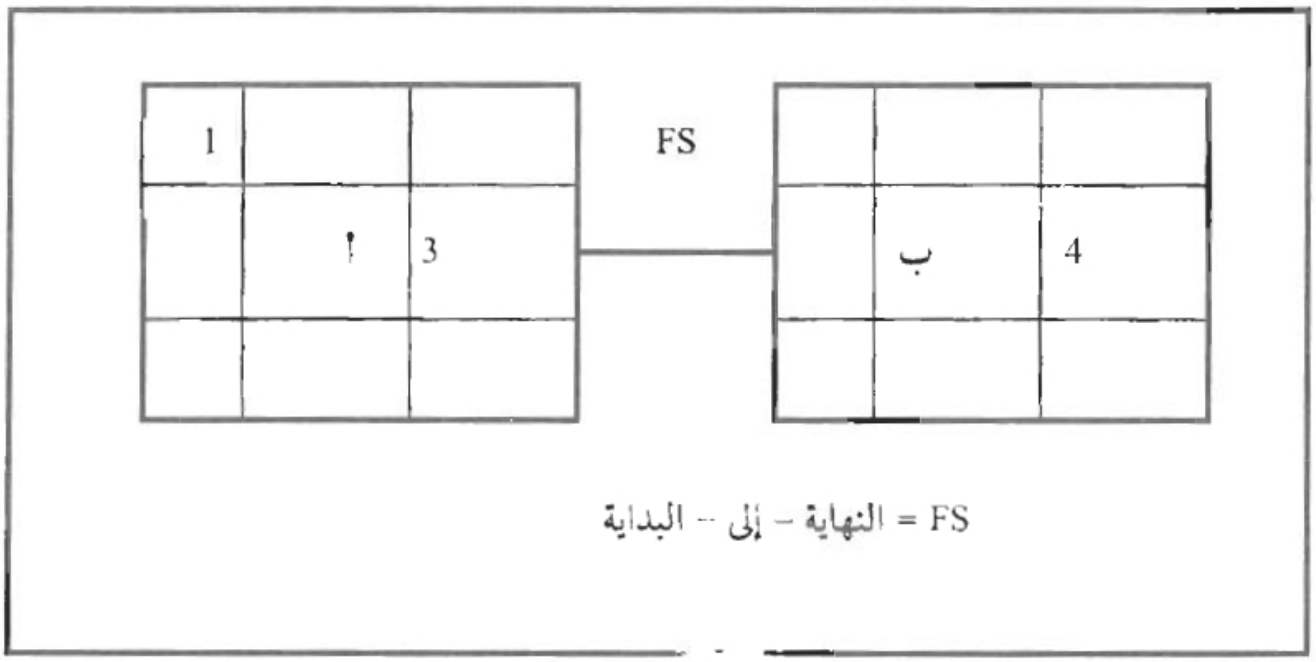
EF = (1+ 3) – 1 =3

أما الفعالية (ب) فتكون:

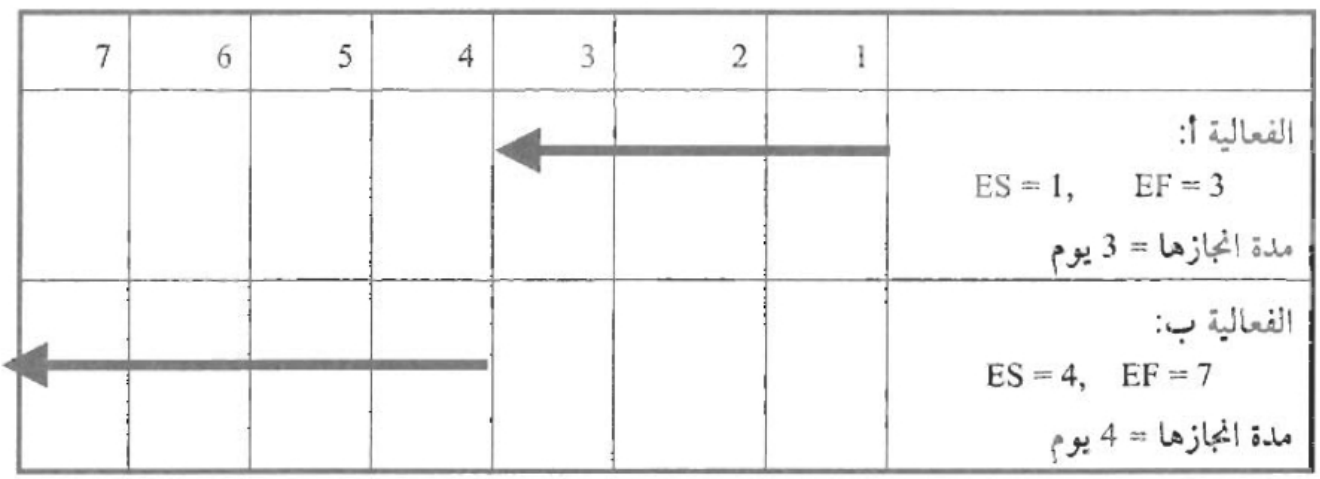
EF = (4+4) – 1 = 7

وأن طرح القيمة واحد (- 1) ضروري هنا للاحتفاظ على صحة العملية الرياضية. ويبين الشكل (9/14) مخطط التدفق لتقدم العمل بالفعالية حيث يشير بوضوح إلى أن الفعالية التي تستغرق مدة إنجازها ثلاثة أيام سوف تبدأ من اليوم الأول وتنتهي في اليوم الثالث.

الشكل (13/9) طريقة الحسابات الأمامية



الشكل (14/9) مخطط تقدم العمل خلال سبعة أيام



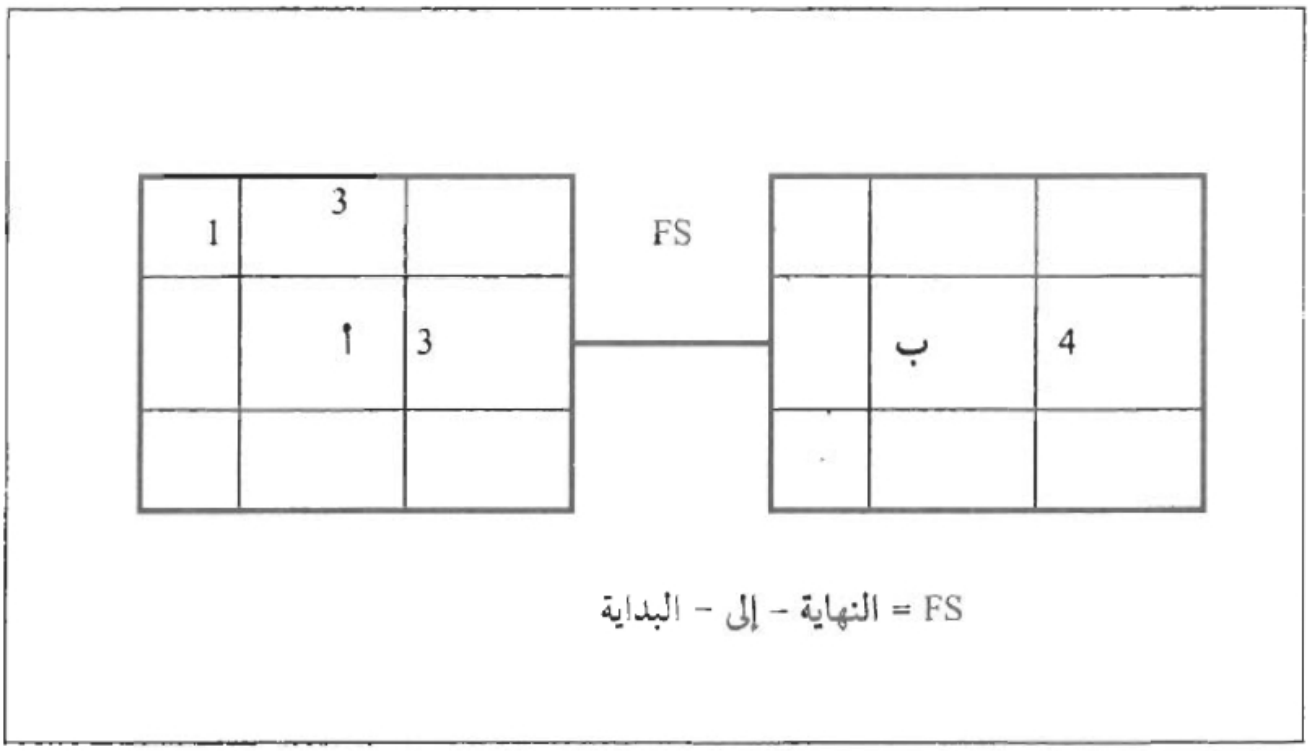
وباستخدام المعادلة السابقة نستنتج موعد النهاية المبكرة (EF) للفعالية (أ) بطريقة الحسابات الأمامية وكما مبين في أدناه. ويبين

الشكل (9/15) طريقة الحسابات الأمامية لعرض العملية الحسابية السابقة.

1 – ((أ) D + (أ) ES) = (أ) EF

3= 1 – 3 + 1 = (أ) EF

الشكل (15/9) عرض عملية احتساب موعد النهاية المبكرة بطريقة الحسابات الأمامية



وأن احتساب موعد البداية المبكرة (ES) للفعالية (ب) يتم بموجب المعادلة التالية:

1 + (ب) EF = (ب) ES

مع التأكيد هنا، بأن الفعالية (ب) يمكن أن تبدأ فقط بعد انتهاء الفعالية (أ).

4 = 1+ 3 = (ب) ES

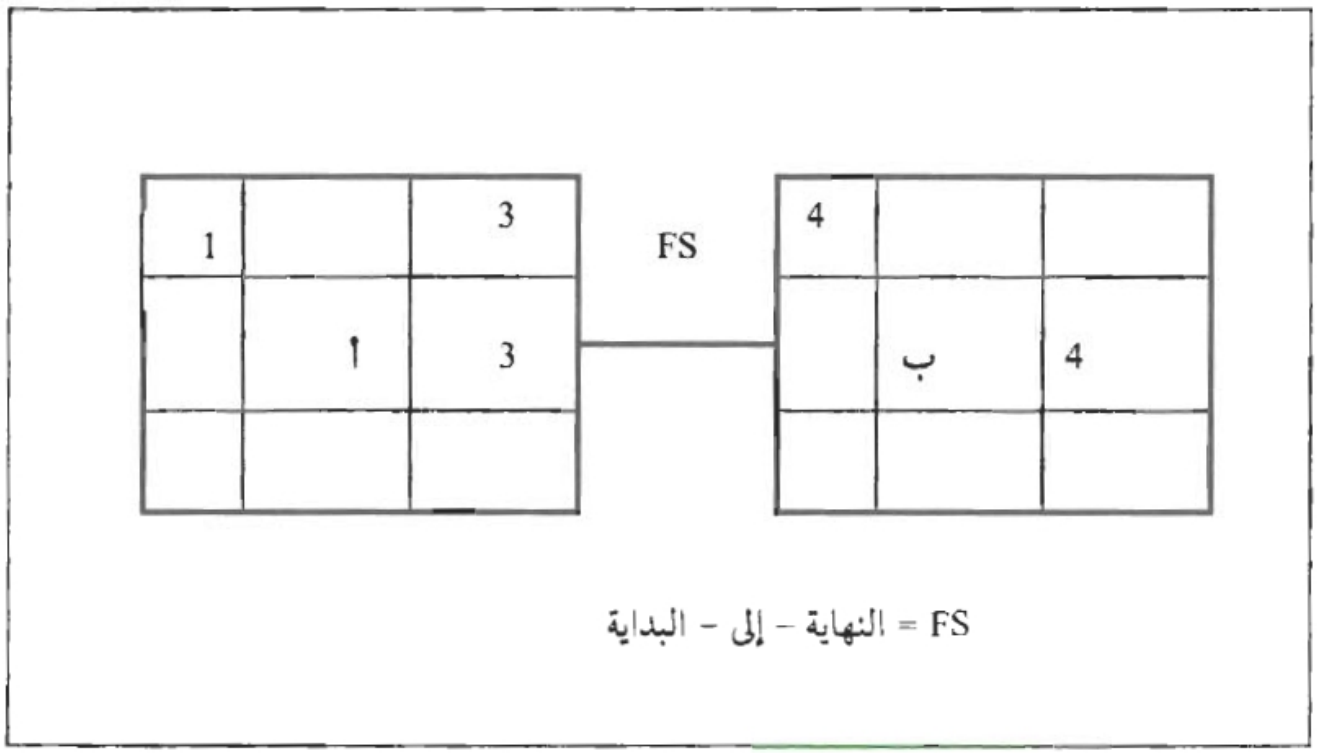
ويبين الشكل (9/16) طريقة الحسابات الأمامية لعرض العملية الحسابية السابقة.

ولغرض احتساب موعد النهاية المبكرة (EF) للفعالية (ب) نستخدم نفس المعادلة التي استخدمت في حساب الفعالية (أ). ويبين الشكل (9/17) عرض عملية احتساب موعد النهاية المبكرة للفعالية (ب).

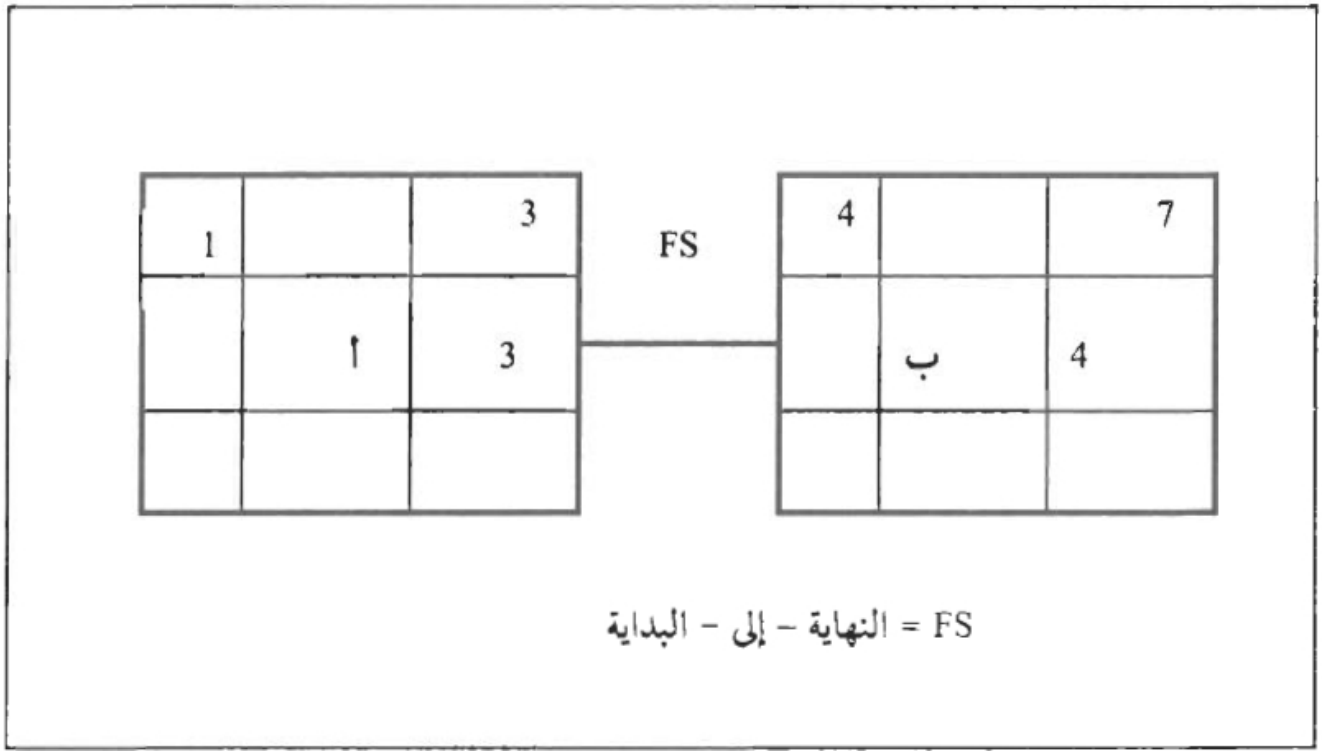
1 – (ES (B) + D (B)) = EF (B)

7 = 1 + 4 + 4 = EF (B)

الشكل (16/9) عملية احتساب موعد البداية المبكرة بطريقة الحسابات الأمامية للفعاليات (ب)



الشكل (17/9) عملية احتساب موعد النهاية المبكرة بطريقة الحسابات الأمامية للفعالية



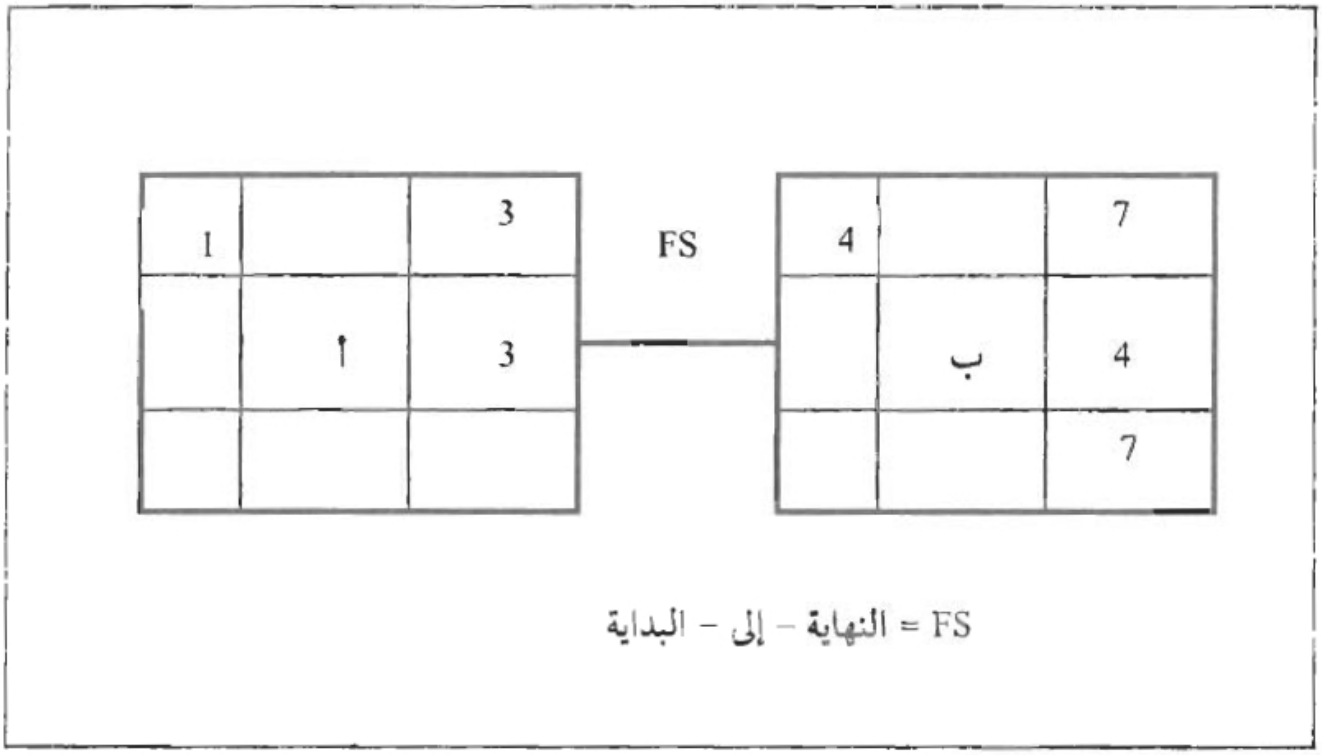
9-3-2- طريقة الحسابات الخلفية:

بعد الانتهاء من طريقة الحسابات الأمامية، تبدأ الخطوة اللاحقة وهي استخدام طريقة الحسابات الخلفية في احتساب موعد البداية المتأخرة (Late start date (LS وموعد النهاية المتأخرة (Late finish date (LF لكل فعالية في جدولة الأعمال.

ولغرض البدء بتطبيق هذه الطريقة، لابد من تثبيت موعد النهاية المتأخرة للفعالية الأخيرة وإذا لم يتسنى ذلك، يستخدم موعد النهاية المبكرة كما مبين في الشكل (9/18). عندئذ يكون:

LF (ب) = EF (ب) = 7

الشكل (18/9) عملية احتساب موعد النهاية المبكرة بطريقة الحسابات الخلفية للفعالية (ب)



ولغرض احتساب موعد البداية المتأخرة (LS) للفعالية (ب) نستخدم المعادلة التالية:

LS (ب) = (LF (ب) – D (ب)) + 1

LS (ب) = (7 – 4) + 1 = 4

وأن إضافة القيمة واحد (+1) ضروري هنا للاحتفاظ على صحة العملية الرياضية، عندئذ يكون:

LF (أ) = LS (ب) – 1

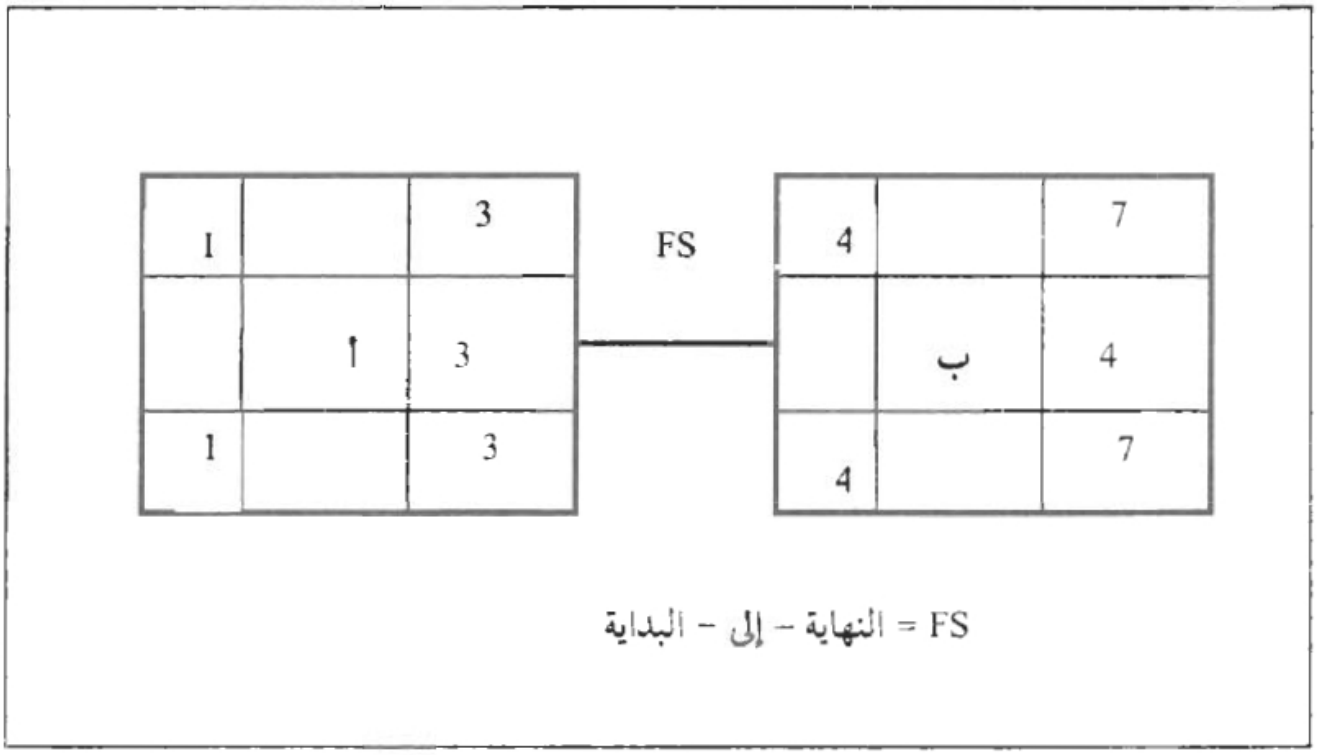
LF (أ) = 4 – 1 = 3

LS (أ) = LF (أ) – D (أ) + 1

LS (أ) = 3 – 3 + 1 =1

ويبين الشكل (9/19) طريقة الحسابات الخلفية لاحتساب موعد البداية والنهاية المتأخرة للفعالية. هذا مع العلم، بأن موعد البداية المتأخرة لأي فعالية من فعاليات المشروع عبارة عن قياس الزمن المطلوب لإنجاز جميع الفعاليات اللاحقة بالتسلسل أو التتابع المنطقي المعروف في شبكات الأعمال.

الشكل (19/9) طريقة الحسابات الخلفية لاحتساب موعد البداية والنهاية المتاخرة للفعالية



3-3-9- الزمن المختزل:

المقصود بالزمن المختزل Slack time أو الزمن العائم هي الطريقة التي تستخدم في قياس المرونة أو الزمن الفائق في جدولة الفعاليات. وتشير هذه إلى عدد أيام العمل الممكن أن تتأخر بها الفعالية قبل التأثير على موعد إنجاز المشروع أو أي من الأهداف الأساسية ومنها الفعاليات الأساسية التي تقع على المسار الحرج.

ويحتسب الزمن المختزل أو الفائض بإحدى الطريقتين التاليتين:

- الزمن المختزل = البداية المتأخرة – البداية المبكرة، أو:

Ts = LS – ES

- الزمن المختزل = النهاية المتأخرة – النهاية المكبرة، أو:

Ts = LF – EF

وتظهر هاتين المعادلتين متشابهتين رياضيا مما يتم اختيار أي منهما أكثر ملائمة للحالة تحت الدراسة. وباستخدام البيانات الواردة في مثالنا السابق نحصل على الآتي:

Ts (أ) = LS (أ) – ES (أ)

Ts (أ) = 1 – 1 = 0

وأن الزمن المختزل للفعالية يساوي أيضا القيمة صفر. وهذا يعني، عندما يكون ا لزمن المختزل لأية فعالية مساويا للقيمة صفر فهذا يعني بأن الفعالية حرجة Critical لأنها تقع على المسار الحرج.

4-9- أسلوب تقييم ومراجعة المشروعات:

لقد تم تطوير أسلوب تقييم ومراجعة المشروعات (PERT project Evaluation & Reviow Techniques) لأغراض حالات عدم التأكد Uncertainty ذات العلاقة بطول مدة إنجاز الفعاليات. وقد استخدم هذا الأسلوب بفاعلية في العام 1958 من القرن الماضي من قبل إحدى الشركات المتخصصة في تقديم الاستشارات الإدارية بناءا على طلب من مكتب المشروعات الخاصة بالبحرية الأمريكية. كما شارك أيضا في هذه الأبحاث قسم منظومة الصواريخ بشركة Lockheed التي تقوم بتنفيذ المشروعات التابعة لوزارة الدفاع الأمريكية. وكان الهدف الأساسي من استخدام أسلوب تقييم ومراجعة المشروعات هو تصميم الطريقة التي يتم بها تخطيط وجدولة مشروع إنتاج الصاروخ الباليستي Polaris بالشكل الذي يمكن من إحكام الرقابة على تنفيذ المشروع وإنجازه في موعده المحدد. ويمكن أن ندرك أهمية هذا الأسلوب الذي استخدم في جدولة أعمال قدرت بحوالي (3000) مورد خارجي ساهم في توريدات المشروع.

وقد أثبتت نتائج تطبيقات هذا الأسلوب في تخطيط وجدولة المشروعات على أنه الأداة الفعالة في تحقيق الاستثمار الأفضل للموارد وتخفيض المدد الزمنية لإنجاز الفعاليات وبالتالي تخفيض المدة الزمنية لإنجاز المشروع بالكامل.

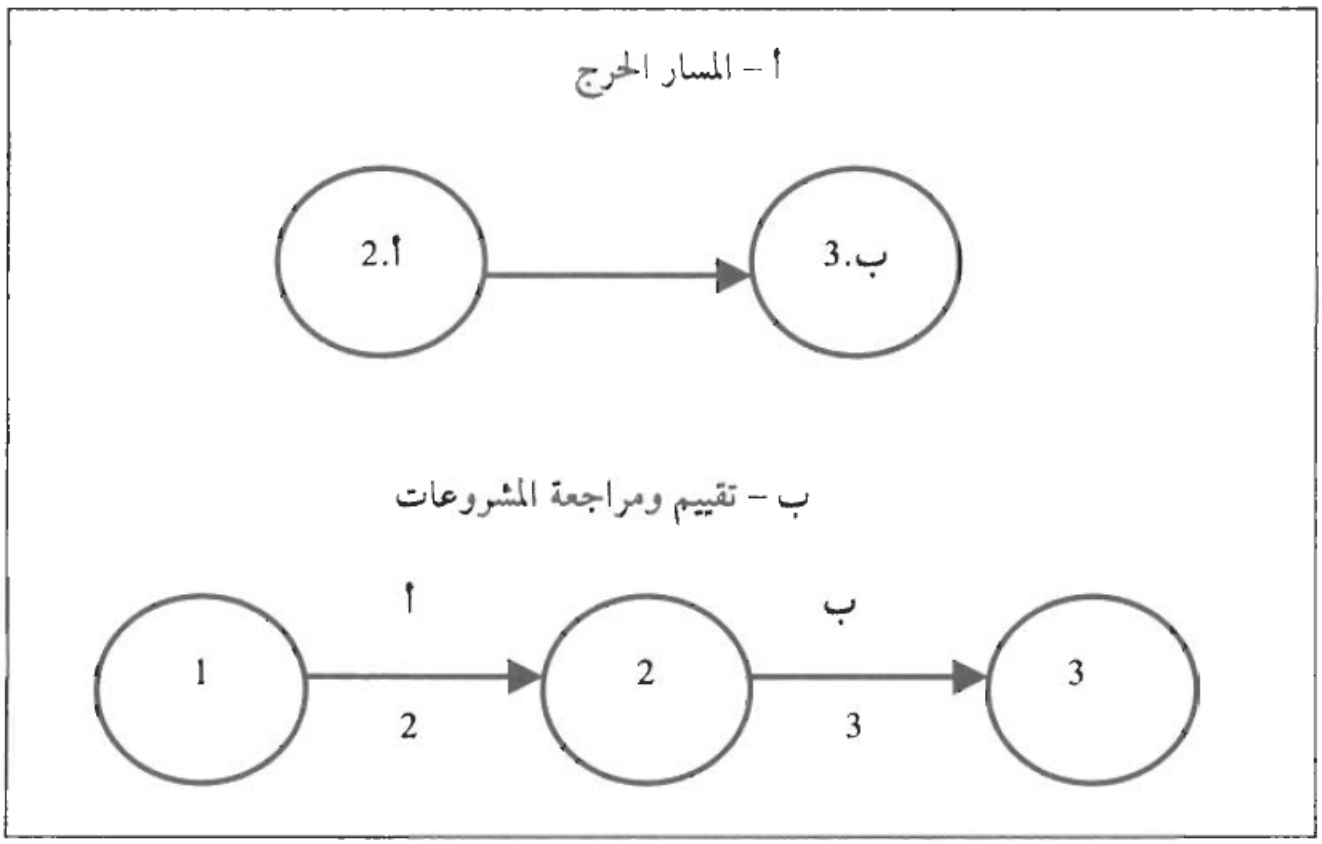
9-4-1- المسار الحرج / أسلوب تقييم ومراجعة المشروعات PERT / CPM:

لقد تم تطوير واستخدام ما يسمى بأسلوب المسار الحرج / أسلوب تقييم ومراجعة المشروعات PERT / CPM وذلك لوجود القواسم المشتركة بينهما في آلية التطبيق، وخاصة في تخطيط وجدولة المشروعات وأحكام السيطرة على الأداء ولكنهما يختلفان في عدة أمور أساسية أهمها الآتي:

أولا: اختلاف طريقة تمثيل الفعاليات: عند رسم الشبكة بحسب أسلوب المسار الحرج، فإن العقد (الدوائر) تعبر عن الفعاليات بطريقة "AON" وأن الأسهم التي تربط العقد بعضها الآخر تعبر فقط عن اتجاه العلاقات بين الأنشطة. كذلك وأن الوقت اللازم لإنجاز الفعالية يوضع داخل العقدة التي ترمز إلى الفعالية المقصودة كما مبين في الشكل (9/20 – أ).

أما بموجب أسلوب تقييم ومراجعة المشروعات، فإن العقد تستخدم لكي تدل على بداية أو نهاية الفعالية، حيث تسمى بحدث البداية Starting event وحدث الإنجاز Completion event" للفعالية كما مبين في الشكل (9/20- ب).

الشكل (20/9) نماذج تمثيل الفعاليات



ويعبر الشكل (9/20- ب) عن نفس الشبكة التي تم رسمها حسب أسلوب المسار الحرج كما في الشكل (9/20-أ) حيث يتضح منها بأن الفعاليات تمثل بواسطة الأسهم التي تربط حدث البداية بحدث النهاية (AOA). كما وأن زمن الفعالية يوضع تحت السهم ليعبر عن المدة الزمنية التي تستغرقها تلك الفعالية. ومن الجدير التأكيد هنا، على أن من الممكن أن يكون لعدد من الفعاليات نفس حدث البدء أو الانتهاء.

ثانيا: استخدام الفعاليات الوهمية: يترتب باختلاف طريقة الرسم الحاجة في أسلوب تقييم ومراجعة المشروعات (PERT) إلى ما يعرف بالفعاليات Dummy activities وهي تلك الفعاليات التي لا توجد أصلا في الشبكة ولكنها ضرورية لتحقيق التناسق المنطقي لتتابع الفعاليات في المخطط الشبكي. في حين أن مثل هذه الحالة لا توجد لها ضرورة في أسلوب المسار الحرج (CPM). وبما أن هذه الفعاليات وهمية، لذا فإن الزمن اللازم لإنجازها يكون دوما مساويا للقيمة صفر ويعبر عنها في المخطط الشبكي بخطوط متقطعة.

وتظهر الحاجة إلى استخدام الفعاليات ا لوهمية في الحالات التالية:

1- عندما يكونان فعاليتان لهما نفس نقطة البداية ونفس نقطة النهاية كما مبين في الشكل (9/21- أ). وبما أن الفعاليات في أسلوب تقييم ومراجعة المشروعات (PERT) تعرف بنقطة البداية ونقطة النهاية – كما ذكر سلفا – فإن استخدام نفس الأرقام لتعريف الفعاليتين (أ و ب) يعتبر غير صحيح وخصوصا في التطبيقات بالحاسب في حل مثل هذه المشكلات لأن كلتا الفعاليتين

يعرفان (2-3). وللتغلب على مثل هذه المشكلة، يتم استخدام الفعالية الوهمية كما مبين في الشكل (9/21-أ). في حين أن مثل هذه الحالة لا تمثل مشكلة بتطبيق أسلوب المسار الحرج (CPM) لأن تمثيل الشبكة يكون كما في الشكل (9/21-ب).

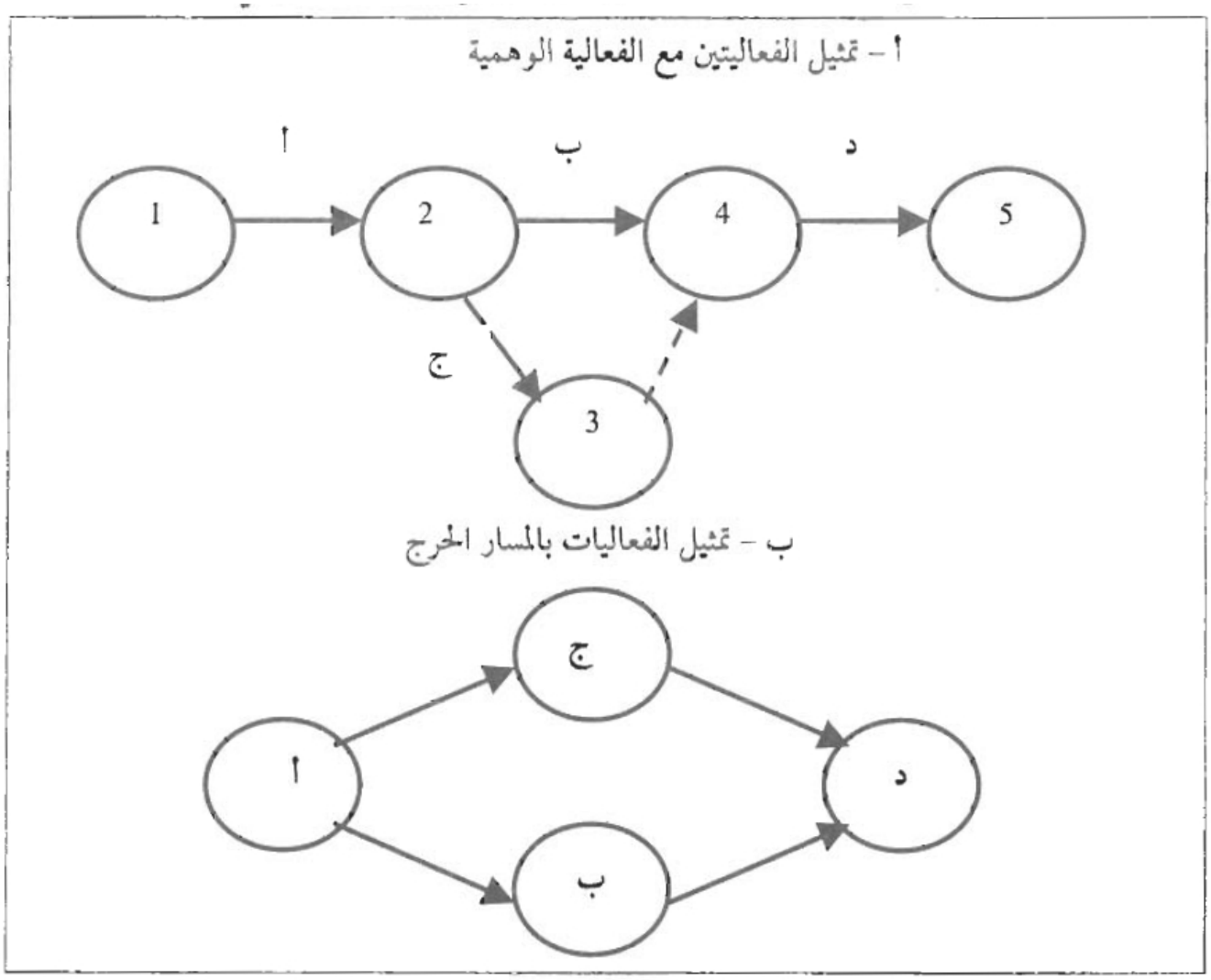
2- في حالة احتمال حدوث خطأ في تمثيل التتابع المنطقي للفعاليات، فمثلا، لو افترضنا بأن الفعالية (أ) فقط يجب إنجازها قبل البدء بتنفيذي الفعالية (ج) كما وأن الفعالية (د) يجب أن يبدأ تنفيذها قبل تنفيذ الفعاليتين (ب و ب) حيث يمكن توضيح هذه العلاقات للتتابع المنطقي كما مبين في الجدول (9/3).

الجدول (9/3) علاقات التتابع المنطقي للمثال

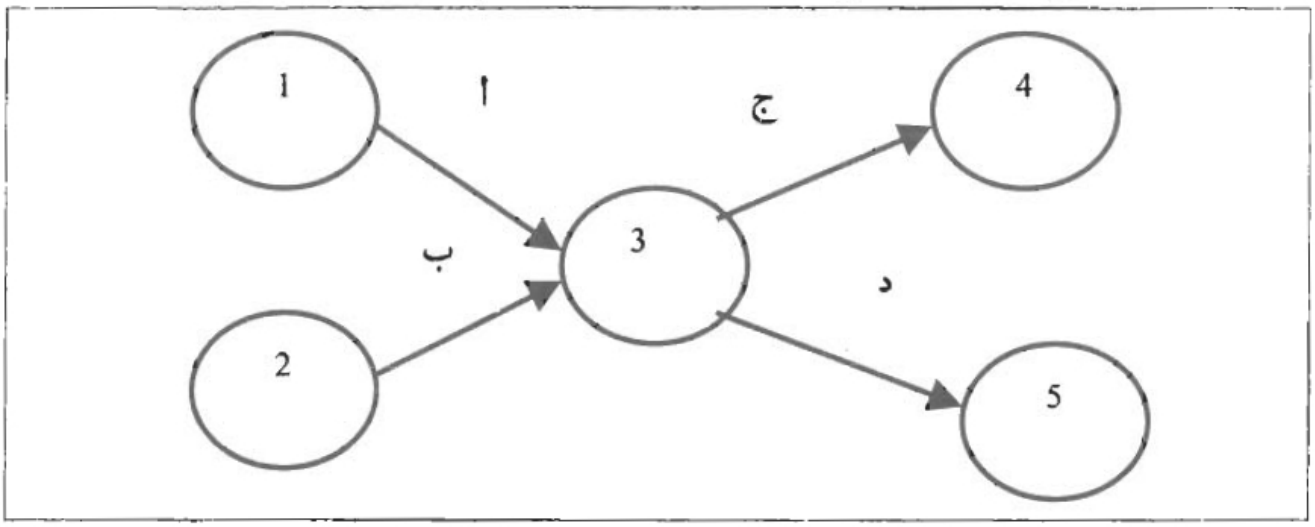
الفعالية	علاقات الأسبقية
أ	-
ب	-
ج	أ
د	أ، ب

وعند تمثيل الشبكة بأسلوب تقييم ومراجعة المشروعات (PERT) كما مبين في الشكل (9/22) عندئذ تظهر المشكلة، حيث أن ذلك يعني بأن الفعاليتين (أ ، ب) يجب إنجازهما قبل البدء.

الشكل (21/9) تمثيل الفعالية الوهمية في المخطط الشبكي

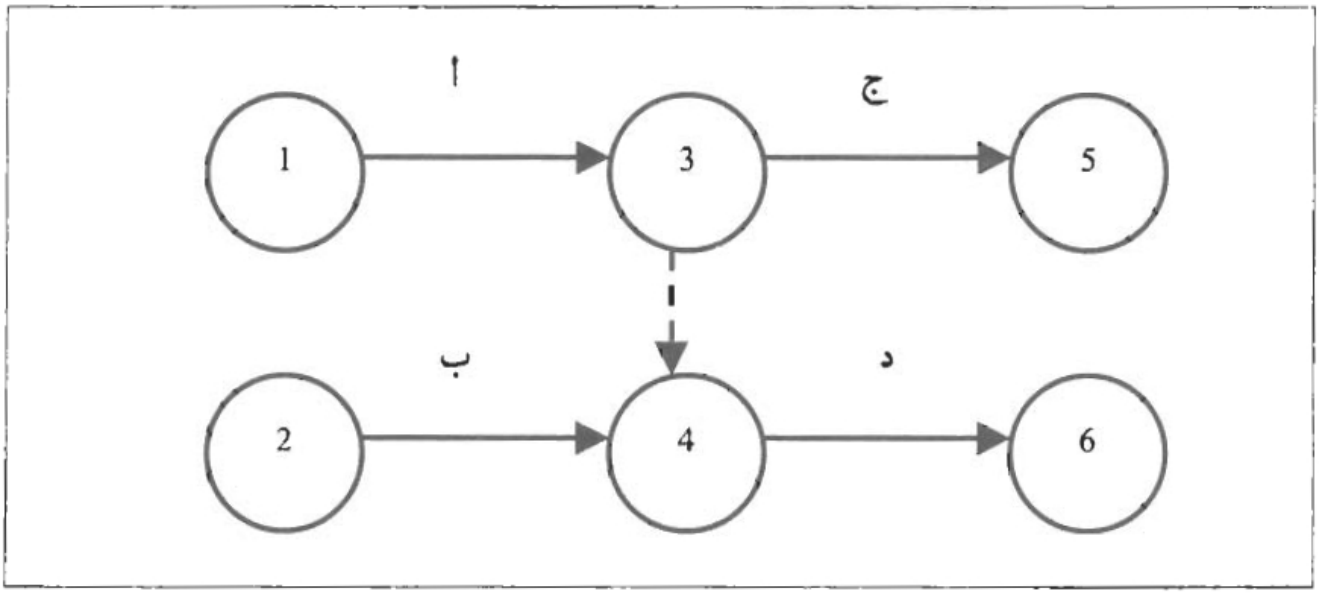


الشكل (22/9) تمثيل الفعاليات بأسلوب تقييم ومراجعة المشروعات



بتنفيذ الفعالية (ج) وهذا الأمر غير ضروري في مثل هذه الحالة، حيث يجب إنجاز الفعالية (أ) قبل البدء بتنفيذ الفعالية (ج) لأن هذه الفعالية (الفعالية ج) ليست لها علاقات الأسبقية مع الفعالية (ب) كما هو واضح من الشكل (9/22). ولتصحيح هذه الحالة، يجري استخدام الفعالية الوهمية كما مبين في الشكل (9/23).

الشكل (23/9) تمثيل الفعاليات باستخدام الفعالية الوهمية



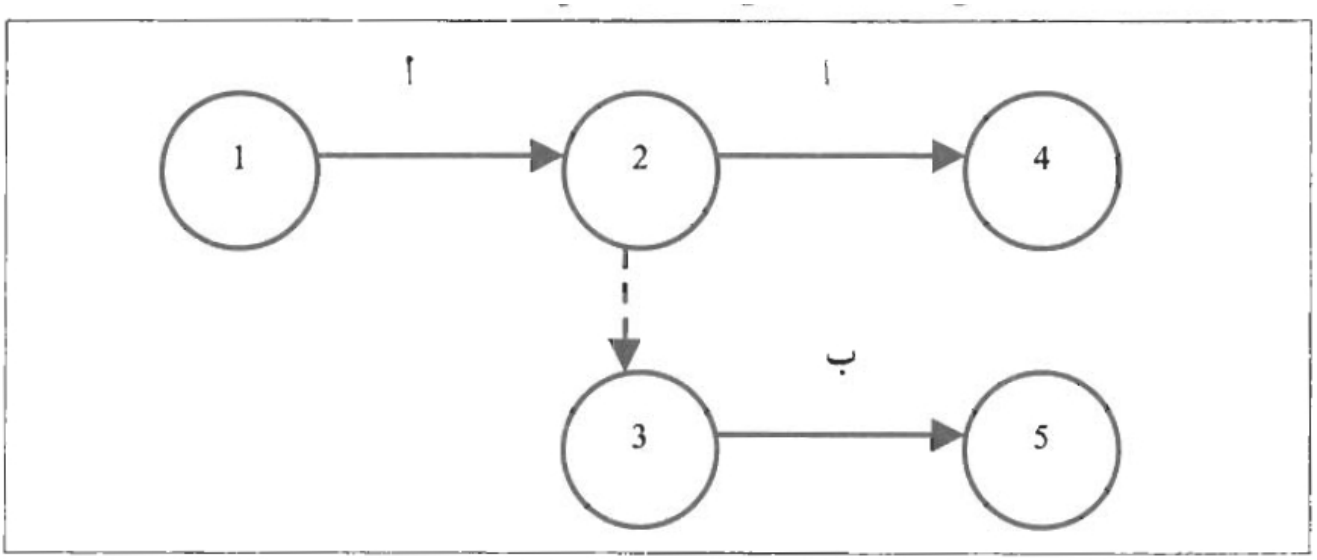
3- في الحالة التي تكون فيها الفعالية تعتمد جزئيا على فعالية أخرى، وهذا يعني إذا كانت بداية تنفيذ الفعالية (ب) تعتمد على إنجاز جزءا من الفعالية (أ) وليس بالضرورة الانتظار لحين إنجازها بالكامل. وخير مثال على ذلك، البدء بفعالية تشطيب المبنى بعد إنجاز فعالية الشبكة الكهربائية في جزءا منه، وهذه الحالة مشابهة تماما لعامل البدء - للبدء start factor - to – Start التي تم الحديث عنها بالمبحث (9/ 2 / 1) وكذلك بالشكل (9/2) والمتعلق ببناء المخططات الشبكية.

وباستخدام البيانات الواردة في مثالنا أعلاه، يكون تمثيل الفعاليات في الشبكة كما مبين في الشكل (9/23).

ثالثا: الاختلاف في احتساب الزمن اللازم المتوقع لإنجاز الفعالية، حيث يستخدم تقديرا واحدا للزمن بموجب أسلوب المسار الحرج (CPM) كما سبق القول في المبحث (9/3) السابق وقد أطلق عليه "بالزمن التقديري المعلوم Estimated deterministic time". أما بالنسبة لأسلوب تقييم ومراجعة المشروعات (PERT) فيقوم على تقديرات احتمالية " الزمن التقديري Estimated probabilistic time " الذي يمثل متوسط الزمن من الزمن المتفائل الأكثر قبولا والزمن المتشائم.

وهذا ما يضع هيكلية الأسلوب التقليدي لبرمجة وتقييم المشروعات وبخاصة عند التعامل مع المشروعات في حالات عدم التأكد Uncertainty. وسوف يتم توضيح ذلك بالتفصيل في المبحث القادم.

الشكل (23/9) تمثيل الفعاليات في حالة البدء - البدء



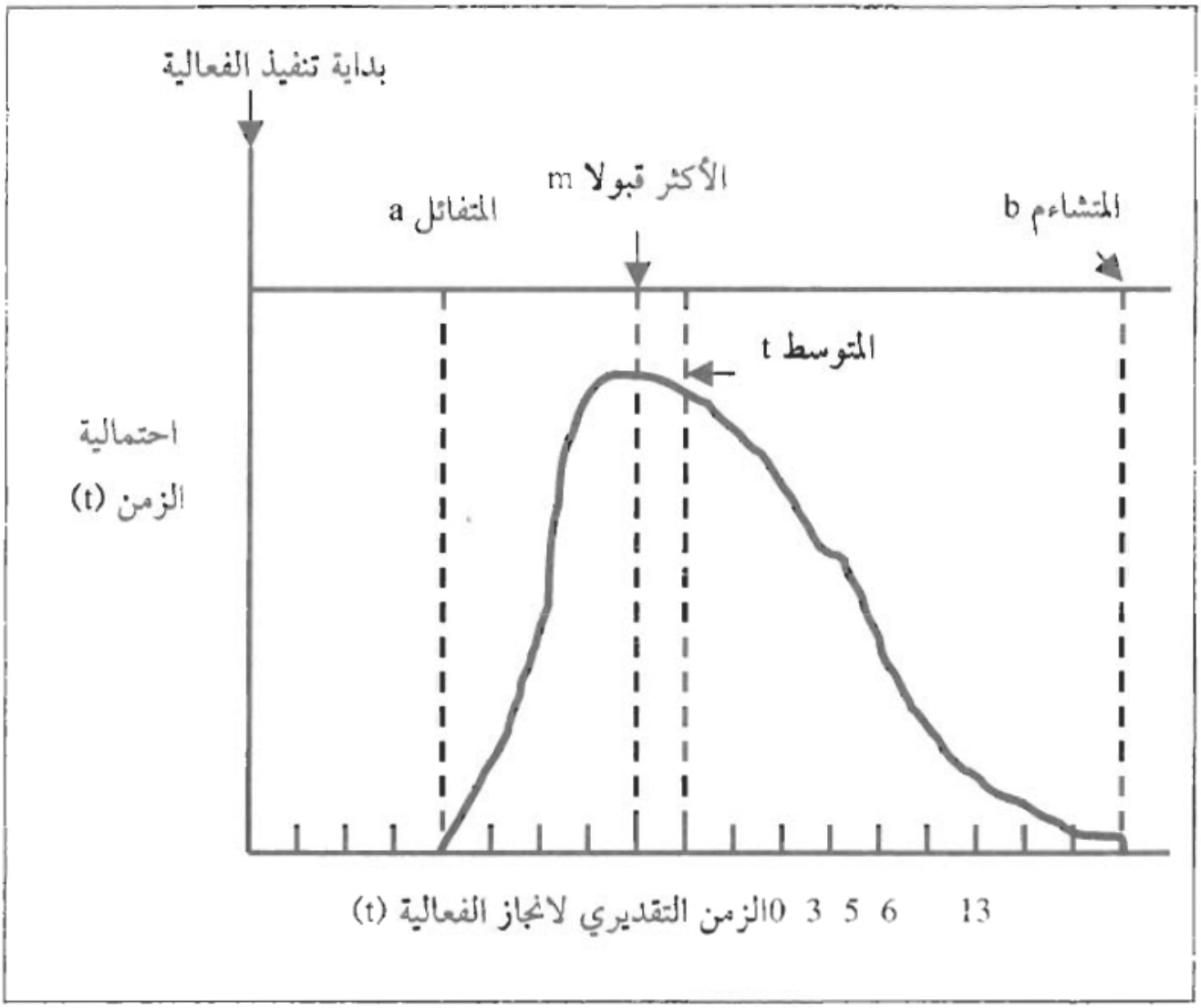
2-4-9- تقديرات الزمن بأسلوب تقييم ومراجعة المشروعات:

أن تطبيقات الطرق المستخدمة في تمثيل المخطط الشبكي مثل طريقة تمثيل (AON - AOA) المستخدمة في احتساب المسار الحرج والزمن المختزل أو العائم (Slack time) بالاعتماد على أفضل التقديرات لأزمنة إنجاز الفعاليات. ويستخدم بموجب أسلوب تقييم ومراجعة المشروعات (PERT) ثلاثة أزمنة في احتساب الزمن التقديري ا لمتوقع (Expected time) لإنجاز الفعالية وذلك لكي يتعامل مع حالات عدم التأكد. وهذه الأزمنة التي يتمد مداها ما بين الزمن المتفائل والزمن المتشائم، هي:

- الزمن المتفائل a) Optimistic time)
- الزمن الأكثر قبولا m) Most likely time)
- الزمن المتشائم p) Pessimistic time)

وأن الزمن المتفائل يمثل أقصر الأزمنة الذي يمكن أن يستغرقه إنجاز الفعالية في الحالة التي تسير فيها كل الأمور بصورة طبيعية بالإضافة إلى وجود بعض الأمل بأن هذه الفعلية يمكن أن تنجز بزمن أبكر قليل من دون إضافة موارد أخرى مثل القوى العاملة أو تشغل وردية (وجبة) العمل الإضافية. ويبين الشكل (9/24) تقديرات الزمن المتوقع لإنجاز العملية. أما الزمن الأكثر قبولا (أو رواجا) فيمثل الزمن الاعتيادي اللازم لإنجاز الفعالية والذي يتكرر كثيرا في التنفيذ الأقصى الذي يمكن أن تستغرقه عملية تنفيذ الفعالية حيث يمكن أن تكون ظروف التنفيذ سيئة جدا في كل مرحلة من مراحل المشروع.

الشكل (24/9) تقديرات الزمن المتوقع لانجاز العفالية



قد تم تقدر متوسط الزمن لإنجاز الفعالية بالإضافة إلى الانحراف العشوائي الذي يمكن أن يحدث أثناء تنفيذ الفعالية في تطبيقات أسلوب تقييم ومراجعة المشروعات كالآتي: ((Malcolm, eds, 1959

$$E(T) = (a + 4m + b)/6$$

$$E(t) = m + (a + b - 2m)/6$$

وكذلك:

$$D2(t) = (b - a)2/36$$

ويتم تقدير الأزمنة الثلاثة من قبل الخبراء وفرق العمل في إدارة المشروعات. كما وأن جميع هذه التقديرات تميل إلى توزيع الاحتمالية " بيتا Beta". وهذا يعني، بأن المدى أو البعد Spread ما بين القيمة المقدرة للزمن المتفائل (a) وبين القيمة المقدرة للزمن المتشائم (b) هي (6) أضعاف لقيمة الانحراف (8) في زمن إنجاز الفعالية وكالآتي:

$$? = (1/6)2(b - a))$$

$$? = 2((b - a)/6)$$

أن الزمن التقديري المتوقع (E(t)) لإنجاز الفعالية يمثل النقطة التي تقع على محور الاحتمالية في الشكل (9/24) حيث أن احتمالية تنفيذ الفعالية تبلغ (50 إلى 50 أو 0.5) في الزمن المبكر أو الزمن المتأخر. وبالعودة إلى البيانات في الشكل (9/24) تكون كما يلي:

$$E(t) = (a + 4m + b)/6$$

$$E(t) = (3 + 4(5) + 13)/6 = 6$$

وهذا يعني بأن الزمن التقديري المتوقع لإنجاز الفعالية يساوي (6) أيام. أما بالنسبة للانحراف (8) وهو معيار قياس الانحرافات التي يمكن أن تحدث في زمن إنجاز الفعالية، فيكون كما يلي:

$$8 = ((13 - 3)/6)2 = (1.67)2 = 2.78$$

المثال:

يبين الجدول (9/4) البيانات المتعلقة بفعاليات أحد المشروعات الصغيرة، حيث يتطلب إيجاد الآتي:

- الزمن الكلي لإنجاز المشروع.
- الانحراف المعياري لأزمنة الفعاليات.
- احتمالية أن ينجز المشروع بالزمن المحدد له.

جدول (4/9) بيانات المثال واحتساب الانحراف المعياري والتباين لأزمنة الفعاليات

الفعالية	الأزمنة التقديرية			الزمن المتوقع	الانحراف المعياري	التباين
	a	m	b	(a + 4m+b)/6	(b - a) / 6	((b - a)/62
أ	1	3	5	3	2 /3	4 /9
ب	3	4.5	9	5	1	1
ج	2	3	4	3	1 /3	1 /9
د	2	4	6	4	2 /3	4 /9
و	4	7	16	8	2	4
ز	1	1.5	5	2	2 /3	4 /9
ح	2.5	3.5	7.5	4	5 /6	25 /36
ط	1	2	3	2	1 /3	1 /9
ي	4	5	6	5	1 /3	1 /9
ك	1.5	3	4.5	3	1 /2	1 /4
ل	1	3	5	3	2 /3	4 /9

1- إيجاد الزمن الكلي لإنجاز المشروع: قبل البدء برسم المخطط الشبكي للمثال أعلاه وكما مبين في الشكل (9/25) وذلك لغرض احتساب الزمن الكلي لإنجاز المشروع، من الضروري تنفيذ العمليات الحسابية التالية:

أ- تحديد العلاقات الشبكية المبينة في الشكل (9/25) لكي يتم عمل الخلاصة بالمسارات المتوقعة كما مبين في الجدول (9/5).

ب- احتساب الزمن المتوقع لكل فعالية من فعاليات المشروع بدلالة المعادلة:

(T = ((a + 4m + b)) /6

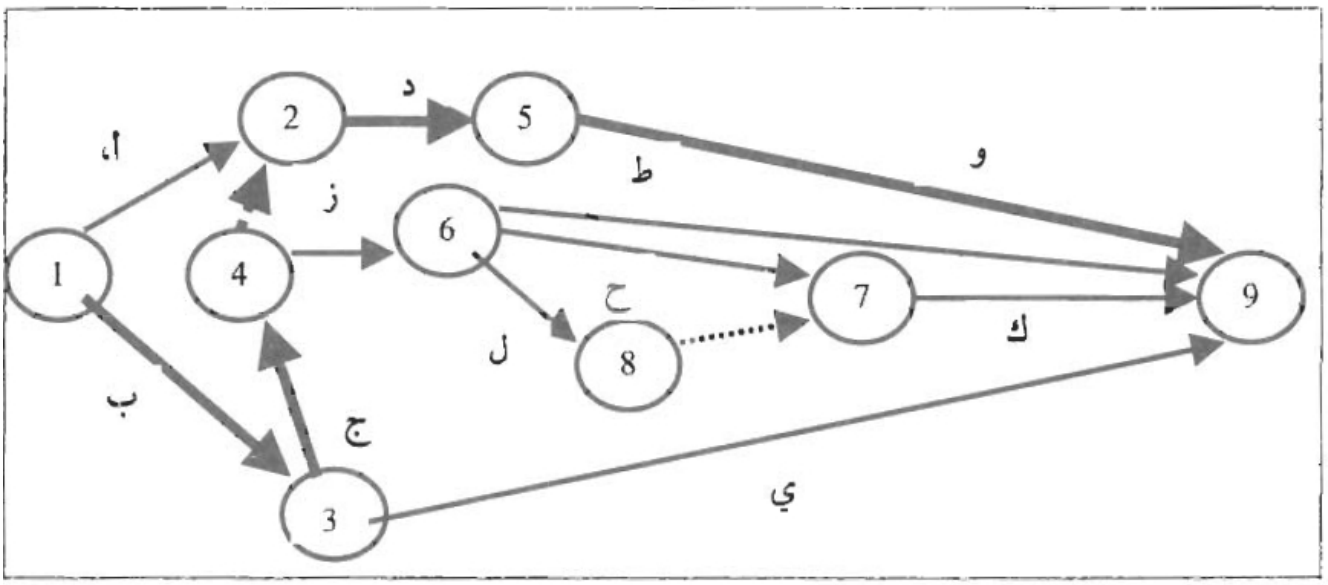
ولو أخذنا بيانات الفعالية (أ) كمثال لغرض التوضيح تكون كالآتي:

T = ((1 + 4 (3) + 5) / 6) = 3

ج- رسم المخطط الشبكي لفعاليات المشروع مع تحديد العلاقات المنطقية كما مبين في الشكل (9/25).

د- عمل جدول خلاصة للمسارات الممكنة من المخطط الشبكي كما في الجدول (9/5).

الشكل (25/9) المخطط الشبكي (AOA) للبيانات الواردة في المثال



الجدول (9/5) خلاصة المسارات من المخطط الشبكي

رقم المسار	الفعاليات (الرمز)	الفعاليات/المسار	مجموعة الأزمنة	نوع المسار
الأول	أ – د – و	1-2-5-9	8+4+3=15	غير حرج
الثاني	ب – ي	1-3-9	5+5= 10	غير حرج
الثالث	ب-ج-وهمي-د-و	1-3-4-2-5-9	8+4+0+3+5=20	حرج
الرابع	ب-ج-ز-ط	1-3-4-6-9	2+2+3+5=17	غير حرج
الخامس	ب-ج-ز-ح-ك	1-3-4-6-7-9	3+4+2+3+5=17	غير حرج
السادس	ب-ج-ز-ل-وهمي-ك	8-6-4-3-1-وهمي-7-9	3+2+3+5+وهمي+3=16	غير حرج

ومن نتائج الجدول (9/5) يتبين بأن المسار الحرج الذي يحتوي على الفعاليات:

ب-ج- وهمي –د-و (5+3+0+4+8=20 أسبوعا) وهذا يعني بأن الزمن الكلي لإنجاز المشروع هو (20) أسبوعا. وأن المسار الحرج المبين بالخط العريض في الشكل (9/25).

2- الانحراف المعياري لأزمنة الفعاليات: يجري تقدير الانحراف المعياري لزمن الفعالية – كما سبق القول – من خلال الفرضية الداعية إلى وجود ستة قيم للانحراف المعياري ما بين الزمن المتفائل والزمن المتشائم وكالآتي:

8 = ((2/6) (a – b)

ونستعرض احتساب الانحراف المعياري للفعالية (أ) كمثال للحسابات وكما يلي:

8 = (5 – 1) /6 = 2/3

ويبين الجدول (9/5) نتائج حسابات الانحراف المعياري لبقية الفعاليات.

2- احتمالية أن ينجز المشروع بالزمن المحدد له. وبما أن أزمنة إنجاز الفعاليات تعتبر متغيرات عشوائية Random variables ، فإن زمن إنجاز المشروع يعتبر أيضا هو الآخر متغيرات عشوائيا. وهذا يعن لا يوجد شيئا ما يؤكد بأن المشروع سوف ينجز في (20) أسبوعا كما ظهر في المخطط الشبكي الوارد في الشكل (9/25). وإذا افترضنا بالصدفة بأن بعض الفعاليات ممكن أن يتأخر زمن إنجازهما لمدة أسبوعين زيادة مما يتطلب التأكد من أن المشروع سوف ينجز بهذا الموعد (22 أسبوعا) أم لا. لذا فمن المفيد جدا معرفة الاحتمالية بأن المشروع سوف ينجز في مدة (22) أسبوعا. وتمر عملية معرفة احتمالية المشروع بالموعد المتوقع من خلال الخطوات التالية:

أ- لنفترض بأن (t) تمثل مجموع الزمن الكلي للفعاليات التي تقع على المسار الحرج.

ب- نوجد الاحتمالية التي ستكون بها قيمة الزمن الكلي لإنجاز المشروع مساوية أو أقل من الموعد الذي ترغب إدارة المشروع به إنجازه. وهذا يعني: (22 > = T)). وفي هذه الحالة يسهل إيجاد التقدير الجيد لهذه الاحتمالية إذا توفرت فرصة للافتراضين وهما:

إذا افترضنا بأن أزمنة إنجاز الفعاليات هي متغيرات عشوائية مستقلة Independent random variables . وهذه الفرضية ملائمة لأسلوب تقييم ومراجعة المشروعات (PERT).

• يميل عادة المتغير العشوائي (T) إلى التوزيع الطبيعي Normal distribution . والآن، الهدف هو معرفة قيمة احتمالية (T <22) عندما تمثل قيمة (T) الزمن الكلي للمسار الحرج (أي مجموع أزمنة الفعاليات التي تقع على المسار الحرج). ولتسهيل العملية، سوف نحول (T) إلى المتغير العشوائي المعياري الطبيعي Standard normal random variable مع استخدام جدول المساحات للتوزيع الطبيعي المعياري Standard normal distribution لإيجاد احتمالية أن ينفذ المشروع في أو أقل من (22) أسبوعا (22 ? T). وتبدأ الخطوة في هذه العملية لإيجاد الانحراف ا لمعياري لمتغير الزمن الكلي (T). ولغرض عمل هذه الخطوة، نحتاج إلى إيجاد التباين في قيمة (T). وعندما تكون أزمنة ا لفعالية عبارة عن متغير مستقل، عندئذ نعرف بأن التباين (var) في مجموع الزمن الكلي للمسار الحرج مساويا إلى حاصل جمع التباينات في أزمنة الفعاليات التي تقع على المسار الحرج المبين في الجدول (9/5). وهذا يكون كالآتي:

التباين في قيمة (T) = (التباين في زمن الفعالية ب) + (التباين في زمن الفعالية ج) + التباين في زمن الفعالية د) + (التباين في زمن الفعالية و).

وبتعويض البيانات الواردة في الجدول (9/4) نحصل على:

Var T = 1 + 1/9 + 4/9 + 4 = 50/9

وأخيرا، إيجاد الانحراف المعياري لمجموع الأزمنة (T) وكالآتي:

8 T) = (var T) = 50/9 = 2.357)

والآن نقوم بتحويل (T) إلى المتغير العشوائي الطبيعي المعياري الذي يمثل قيمة (z) بالطريقة الاعتيادية وكما يلي:

Z = (T – U) /8

ولو افترضنا بأن الزمن الكلي المتوقع لإنجاز المشروع (22) يمثل المعدل، عندئذ نحصل على:

Prob (T < 22) = prob ((T – 20 / 2.357) ? (22 – 20 / 2.357)

Prob (Z < 0.8485)

3-4-9- العلاقة بين الزمن والتكلفة:

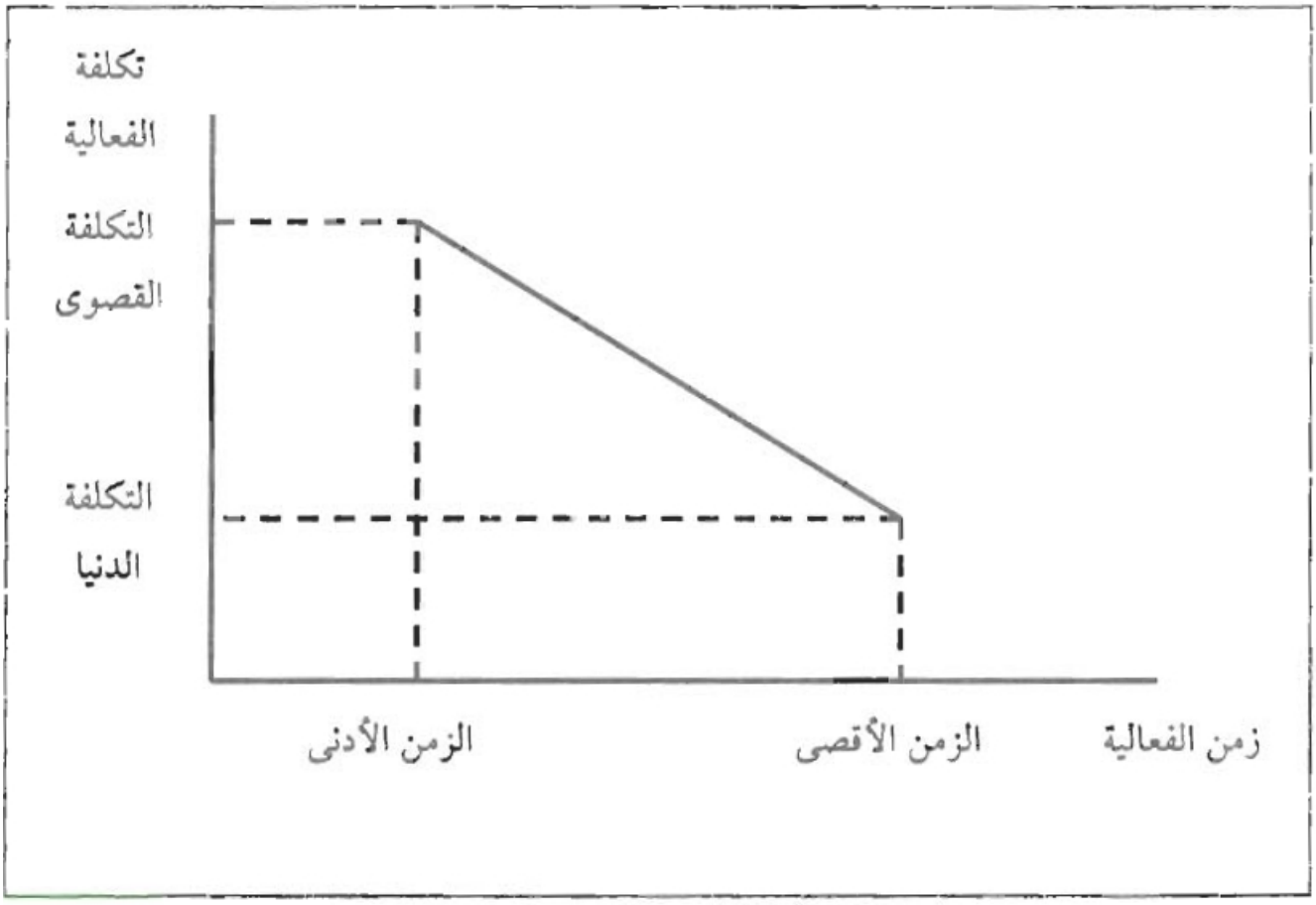
لقد تم من خلال المبحث السابق توضيح المدخل المفيد الذي يحققه أسلوب تقييم ومراجعة المشروعات (PERT) في تحليل المشكلات المتعلقة بقضايا جدولة فعاليات المشروع وخاصة في مواجهة حالات عدم التأكد في أزمنة إنجاز الفعاليات.

وكثيرا ما تحدث مثل هذه الحالات في إدارة المشروعات الجديدة أو تشييد المشروع المنفرد حيث تتوفر معلومات غير كافية فيما يخص تقديرات أزمنة التنفيذ والكلف. أما في المشروعات المكررة والمتعددة، فتكون قد تراكمت الكثير من المعلومات والخبرات بحيث تجعل عملية تقدير الأزمنة والكلف أكثر سهولة ودقة من الحالة المذكورة. وفي مثل هذه الحالات من المهم التعامل بصورة أوسع مع تقديرات الكلف بمفهوم تحليل البحث عن الإمكانيات التي يمكن من خلالها عمل المناقلة بالموارد وإعادة تصحيحها على الفعاليات بهدف تقليص (اختزال) الزمن الكلي لإنجاز المشروع. وبمعنى آخر، فإن المفهوم هنا يتركز في عملية الموازنة ما بين الزمن الذي تستغرقه عملية إنجاز الفعالية وتكلفة الموارد المخصصة لهذه الفعالية والتي تعتبر الحالة جزءا من أسلوب المسار الحرج (CPM).

ولغرض بناء النموذج والحالة، نفترض بأن التكلفة عبارة عن دالة خطية مع الزمن كما مبين في الشكل (9/26). ويبين هذا الشكل بأن لدى إدارة المشروع الفرصة بمساعدة زمن الفعالية بطريقة ما بين القيمة الدنيا والقيمة القصوى. وأن اختيار الزمن اللازم لتنفيذ الفعالية يعتمد على تكلفة الفعالية كما مبينة في الشكل (9/26).

وفي حالة توفر مثل هذه الدالة (دالة العلاقة ما بين الزمن والتكلفة) لكل فعالية من فعاليات المشروع، تكون لدى إدارة المشروع الفرصة لاختيار الزمن المناسب لإنجاز كل فعالية ضمن الحدود المعينة (الأقصى والأدنى) واختيار التكلفة ذات العلاقة. ومن الواضح أن اختيار أزمنة الفعاليات منفردة (لكل فعالية منفردة) سوف يؤدي بالتأكيد إلى تغير الزمن الكلي لإنجاز المشروع. ويظهر السؤال المهم الآن وهو: ما هو زمن إنجاز الفعالية التقديري الواجب اختياره الذي يؤثر على تقصير زمن إنجاز المشروع بأقل تكلفة ممكنة؟ وهنا لابد من الإشارة إلى أن العلاقة ما بين الزمن والتكلفة (الكلف) في التحليل الشبكي هي علاقة عكسية، أي كلما أردت إدارة المشروع من تقصير زمن إنجاز الفعالية كلما ارتفعت التكلفة لأن ذلك يحتاج إلى إضافة موارد أخرى مما يجعل الأساليب الشبكية بمثابة الأدوات التخطيطية وليس تحقيق الخفض في التكلفة. وسوف يتم توضيح هذا بعد قليل.

الشكل (9/ 26) نموذج لدالة العلاقة ما بين الزمن والتكلفة



وتسمى عملية تقليص الزمن المقرر لإنجاز الفعالية وعلاقتها بالتكلفة بعملية اختزال الزمن Crash time حيث سيتم توضيح التحليل المالي لهذه العملية من خلال المثال بعد قليل. فمن المعروف، بأن التكلفة الكلية للمشروع تحتوي على العناصر التالية:

- الكلف المباشرة مثل كلف العمالة والمواد.
- الكلف غير المباشرة مثل النفقات الإدارية والتمويل.
- كلف الغرامات Penalty costs التي تسدد عندما لا ينجز المشروع في الوقت المحدد له.

ويمكن تمثيل الكلف أعلاه كما يلي:

التكلفة الكلية للمشروع= الكلف المباشرة + الكلف غير المباشرة + كلف الغرامات وجميع هذه الكلف تتأثر بزمن إنجاز المشروع، حيث سوف لن تكون مثلا أية كلف عن الغرامات إذا ما أنجز المشروع في الموعد المحدد له. وفي بعض الحالات يتم دفع مكافئات مالية إذا أنجز المشروع في الموعد الأبكر عن الموعد المقرر. وتعتمد هذه الحالات أساسا على نمط المشروع وأهميته الإستراتيجية ودرجة تعقيداته وغيرها من الأمور لأن التعجيل بإنجاز المشروع يعني توظيف موارد إضافية فيه. وعليه لابد من عمل موازنة بشكل أو بآخر ما بين مدة إنجاز المشروع والتكلفة الكلية لإنجازه. ونتيجة لذلك، يتطلب القيام ببعض الحسابات ذات العلاقة بالمفاهيم التالية:

1- الزمن الاعتيادي Normal time وهو الزمن المتوقع لإنجاز الفعالية والمتعلق بالكلف الاعتيادية .Normal costs

2- الزمن المختزل Crash time وهو الزمن الأقصر الممكن لإنجاز الفعالية وله الكلف الأقصى للاختزال.

ولتبسيط عملية التحليل، نفترض بأن تكلفة إنجاز الفعالية في الزمن المتوقع لها هي خليط من تشكيلة خطية Combination of costs لهذه الكلف. لذا فإن تكلفة اختزال الوحدة الزمنية من زمن إنجاز الفعالية هي:

تكلفة اختزال الوحدة الزمنية = (تكلفة الاختزال – التكلفة الاعتيادية) / الزمن الاعتيادي لإنجاز الفعالية – الزمن المختزل لإنجاز الفعالية).

والآن يمكن العمل باتجاه الحصول على المدخل الذي يؤدي إلى تحقيق التكلفة الدنيا لإنجاز المشروع من خلال البدء بتحليل جميع فعاليات المشروع المقررة ضمن الزمن الاعتيادي المتوقع لإنجازها والتكلفة الاعتيادية لكل منهما. وفي البداية، فإن تكلفة المشروع يمكن أن تنخفض كلما انخفضت المدة الزمنية الاعتيادية لإنجازه، إلا أن حقيقة المشكلة تظهر عندما تبدأ التكلفة الاعتيادية بالتصاعد. وتبدأ عملية تحليل المشكلة هنا من خلال الخطوات التالية:

1- رسم المخطط الشبكي للمشروع – عندئذ إجراء التحليل للتكلفة الاعتيادية والأمور الأخرى المتعلقة بجميع الفعاليات ابتداء بالأزمنة الاعتيادية.

2- إيجاد الفعالية الحرجة ذات التكلفة الأقل في اختزال الوحدة الزمنية لها، أي تكون تكلفة الاختزال هي الأقل بين الفعاليات المراد اختزالها. وهنا يطبق أسلوب التكلفة الأقل Least cost method في اختيار الفعالية المراد اختزال الزمن الاعتيادي المقرر لإنجازها. وإذا كان هناك أكثر من فعالية حرجة واحدة وأكثر من مسار حرج واحد بهذه الميزة، يتوجب التعامل معها جميعا في نفس الوقت.

3- تبدأ عملية اختزال الزمن حتى تظهر إحدى الحالات:

- لا يمكن اختزال الفعالية أكثر (أي اختزال الوحدات الزمنية المسموح بها فقط).
- ظهور مسار (أو مسارات) أخرى حرجة ويصبح المسار الذي تقع عليه الفعالية تحت للاختزال مسارا غير حرجا.
- عندما تبدأ التكلفة الكلية للمشروع بالزيادة.

4- تكرر الخطوتين المرقمتين (2 و 3) أعلاه حتى تبدأ التكلفة الكلية للمشروع بالزيادة.

والآن نوضح الحالة أعلاء من خلال المثال التالي.

المثال:

يبين الجدول (9/6) البيانات المتعلقة بالمشروع تحت الدراسة حيث إن أزمنة الفعاليات بالأسابيع وكلف الفعاليات بآلاف الريالات.

الجدول (6/9) بيانات المشروع

الفعالية	علاقات الأسبقية	الاعتيادية		الاختزال	
		الزمن	التكلفة	الزمن	التكلفة
أ	-	3	13	2	15
ب	أ	7	25	4	28
ج	ب	5	16	4	19

د	ج	5	12	3	24
و	-	8	32	5	38
ز	و	6	20	4	30
ح	ز	8	30	6	35
ط	-	12	41	7	45
ي	ط	6	25	3	30
ك	د، ط، ي	2	7	1	14

هذا وتوجد تكلفة الغرامة البالغة (3500) ريال عن كل أسبوع تأخير عن الأسبوع (18).

المطلوب: في أي أسبوع يتوجب إنجاز المشروع بأقل التكلفة؟

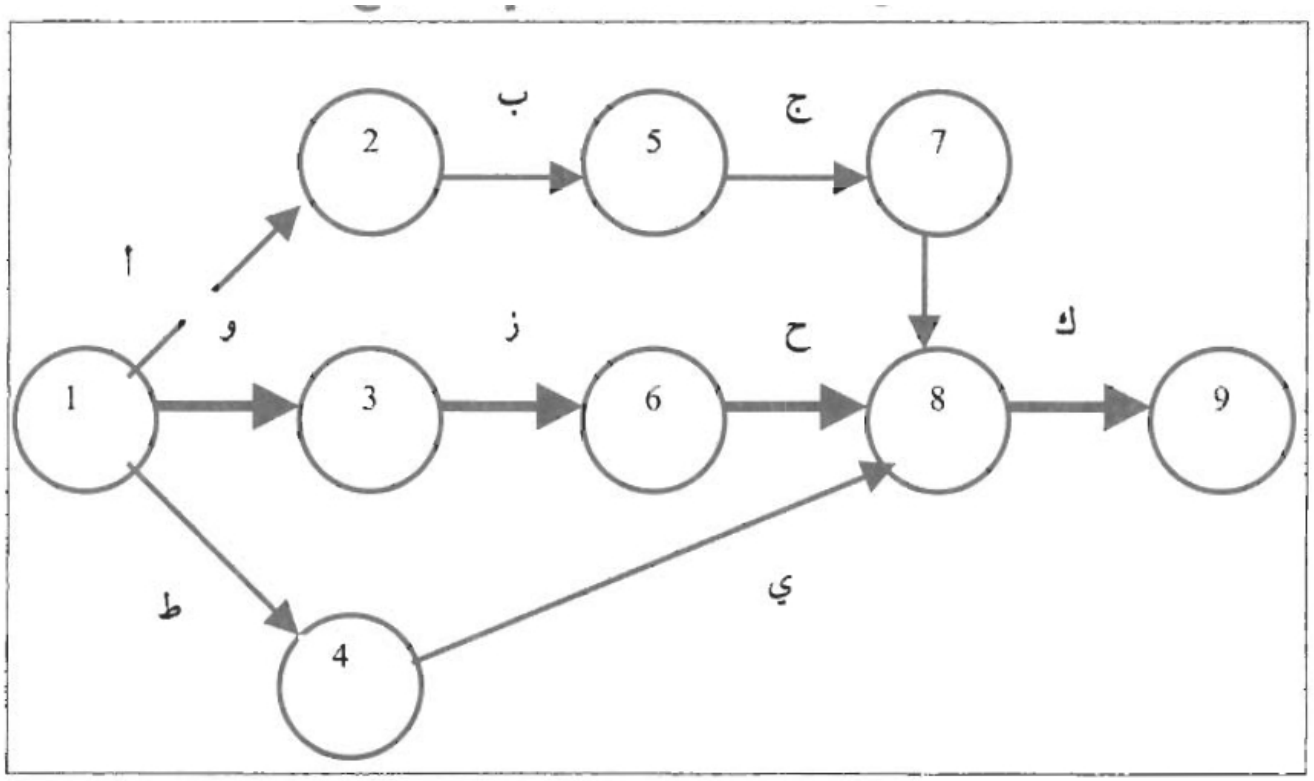
الحل:

نتبع الخطوات الواردة في أعلاه وكالآتي:

- الخطوة الأولى: رسم المخطط الشبكي للمشروع تحت الدراسة كما مبين في الشكل (9/27) بالأزمنة الاعتيادية. ومن هذا المخطط يتبين بأن المسار الحرج هو (و – ز – ح – ك) والتي تبلغ مجموع مددهم الزمنية للإنجاز (24) أسبوعا، والتكلفة الكلية التي هي حاصل جمع الكلف الاعتيادية لهذه الفعاليات الحرجة تبلغ (89000) ريال ومضافا لها تكلفة الغرامات عن التأخير ما بعد الأسبوع الثامن عشر، فتصبح التكلفة الاعتيادية كما يلي:

مجموع التكلفة الاعتيادية – (32000 + 2000 + 30000 + 70000 = 89000 ريال) + (3500 × 6 = 21000 ريال) = 110000 ريال

الشكل (27/9) المخطط الشبكي للمشروع



ويبين الجدول (9/7) نتائج حسابات كلف اختزال أزمنة الفعاليات، حيث ندرج الملاحظات التالية: أن التكلفة العائمة (للزمن المختزل) للفعاليات في المسار المتوازي (أ – ب – ج – د) يصبح حرجا.

الجدول (9/7) نتائج حسابات كلف اختزال أزمنة الفعاليات (ألف ريال أسبوعيا)

الفعاليات	**أ**	**ب**	**ج**	**د**	**و**	**ز**	**ح**	**ط**	**ي**	**ك**
الزمن الاعتيادي	3	7	5	5	8	6	8	12	6	2
الزمن المختزل	2	4	4	3	5	4	6	7	3	1
الخفض بالأسابيع	1	3	1	2	3	2	2	5	3	1

تكلفة الزمن المختزل	15	28	19	24	38	30	35	45	30	14
التكلفة الاعتيادية	13	25	16	12	32	20	30	41	25	7
تكلفة الخفض	2	1	3	6	2	5	2.5	0.8	1.7	7

- الخطوة الثانية: إيجاد الفعالية التي تقع على المسار الحرج (و – ز – ح – ك) ذات التكلفة الأقل بعملية الاختزال وهي الفعالية (و) والتي تبلغ تكلفة اختزال زمن إنجازها (2000) ريال بالأسبوع الواحد.
- الخطوة الثالثة: خفض الزمن المتوقع لإنجاز الفعالية (و) بأسبوعين وبعد هذا سوف يصبح المسار (أ – ب – ج – د – ك) مسارا حرجا.

وتكون العمليات الحسابية كما يلي:

- التكلفة الكلية للزمن المختزل لمدة أسبوعين = 2 × 2000 = 4000 ريال
- مجموع الوفورات = 2 × 2500 = 7000 ريال

وقد أدت هذه الخطوة إلى تخفيض تكلفة الغرامات في حالة التأخير عن (18) شهرا، وهي أكثر من تكلفة الزمن المختزل مما تشجع إلى البحث عن مزيدا عن التوفير.

الخطوة الثانية: إيجاد كلف الفعاليات الأقل التي تقع على المسار الحرج مثل الفعالية (و) في المسار (و – ز – ح – ط) وكذلك الفعالية (ب) التي تمثل التكلفة الأقل على المسار الحرج (أ – ب – ج – د – ك).

- الخطوة الرابعة: اختزال زمن إنجاز هذه الفعاليات بمدة أسبوع واحد مثل تخفيض الفعالية (و) بما يسمح ذلك. وتكون العمليات الحسابية كما يلي:

- التكلفة الكلية للزمن المختزل لمدة أسبوع واحد = 2000 + 1000 = 3000 ريال.
- مجموع الوفورات = 3500 ريال.

ومرة أخرى، فإن التكلفة الإجمالية التي تم تحقيقها تشجع على البحث عن المزيد من التوفير.

- الخطوة الخامسة: تأشير الكلف الأقل على المسارات الحرجة مثل الفعالية (ب) على المسار الحرج (أ – ب – ج – د – ك) وكذلك الفعالية المعنية وتكون العمليات الحسابية كما يلي:

- التكلفة الكلية للزمن المختزل لمدة أسبوع واحد = 1000+ 2500= 3500 ريال
- مجموع الوفورات = 3500 ريال

وفي هذه النقطة فقد تعادلت الوفورات مع التكلفة حيث تم الوصول إلى التكلفة الكلية الدنيا لانجاز المشروع. وإذا تم إجراء عمليات اختزال أخري فأن التكلفة سوف تكون أعلي بكثير من مقدار الوفوراتٍ مما يتطلب التوقفٍ عند هذه النقطة.

وأن الزمن الكلي لإنجاز المشروع وصل إلى (20) أسبوعا وبتكلفة اعتيادية تبلغ (110) ألف ريال مضافا لها تكلفة الاختزال البالغة (10500) ريال وتكلفة الغرامات بسبب التأخير عن (18) أسبوعا والبالغة (7000) ريالا لتصبح التكلفة الكلية لإنجاز المشروع (128500) ريال.

9-5- تخطيط الموارد:

يواجه مدير المشروع الكثير من التحديات في إدارته للمشروع، حيث أنه يحاول تنفيذ الوظائف والأعمال بالشكل الذي يحقق الهدف المخطط وفق معايير الجودة المطلوبة وبأقل ما يمكن من الموارد المتاحة وخاصة الزمن والتكلفة والموارد الأخرى.

والآن نتكلم بشيء من التركيز على مكونات عملية تخطيط الموارد. (Burke, 1999)).

أولا: تقديرات الموارد Resource estimating : ترتبط تقديرات الموارد مباشرة بمجالات العمل Scope of work وقائمة المواد (BOM)، فمثلا يمكن أن يعبر عن مجال العمل بكمية الأطنان من الحديد أو عدد الأمتار المربعة من الجدران المراد دهانهما وغيرها. ومن هذا التوصيف يستطيع المقدر Estimator (أو المثمن) تحويل مجال العمل إلى عدد ساعات العمل (شخص/ ساعة) للوحدة ولتكن (س).

أما الخطوة الثانية المطلوب دراستها فهي دراسة العلاقة المتبادلة المباشرة ما بين متطلبات الموارد والمدة الزمنية التي تستغرقها عملية إنجاز الفعالية. ومثال على ذلك، دراسة البيانات التالية:

- حاجة مجال العمل = 12 طن من مادة الحديد .

- ويعرف المقدر Estimator من خبراته السابقة بأن العمل ينفذ بمعدل (150) شخص/ساعة لكل طن من مادة الحديد.
- ويعمل الأفراد بورديات طول الوردية الواحدة (10) ساعة.

عندئذ، فإن المعادلة التالية تستخدم في احتساب عدد أيام العمل لإنجاز الفعالية وكالآتي: الحاجة من شخص / يوم = (1 طن × 150 شخص / ساعة للطن الواحد) / 10 ساعة / يوم = 180.

وأن العلاقة المتبادلة ما بين الموارد والمدة الزمنية مبينة في الجدول (9/8).

الجدول (9/8) العلاقة ما بين المورد والمدة الزمنية

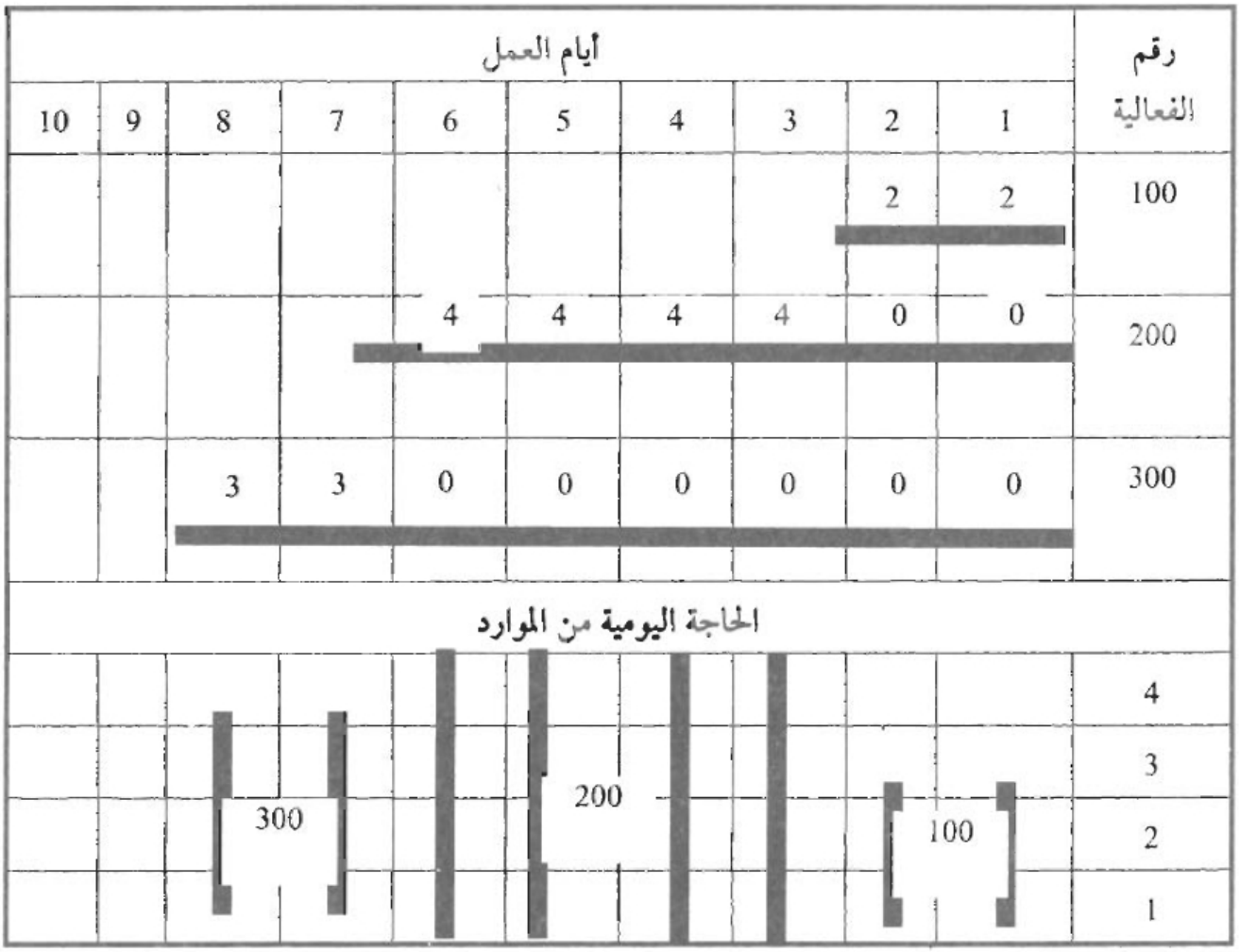
يوم / شخص	كمية المورد المتاحة	المدة الزمنية (يوم)
180	10	18
180	11	16.4
180	12	15
180	13	13.8
180	14	12.9

ثانيا: تنبؤات الموارد Resource forecasting: تكمن الخطوة الثانية في التنبؤ بالمتطلبات الكلية من المورد (أو الموارد) بطريقة الموارد المتعددة الاستخدامات أو ما تسمى بالاستبدالية Interchangeable. والمقصود بالمورد الاستبدالي هو عندما تكون ساحة المشاركة Pool" التي تجمع مجموعة العاملين ذوي التخصص الواحد العاملين ويستطيع الفرد العامل الواحد منهم أداء العمل المطلوب. ويتم ذلك بواسطة تقدير جميع الموارد وتمثيلها في جدول الموارد المهيكلة Structured resource، كما مبين في الجدول (9/9) وكذلك الشكل (9/28).

الجدول (9/9) جدول الموارد

رقم الفعالية	نمط المورد	الكمية/ يوم	المدة الزمنية للمورد	زمن التوريد
100	مقاول البناء	2	2	0
200	مقاول البناء	4	4	2
300	مقاول البناء	3	2	6

الشكل (28/9) تنبؤ الموارد بواسطة الجدول البياني والمخطط



ويمكن استخدام البرمجيات الجاهزة لهذه المهمة مع التأكيد على توفر المعلومات التالية:

1- رقم أو رمز الفعالية Activity number: توجه جميع المعلومات المتعلقة بالمورد من حيث الكمية والمواصفات ومواقيت الطلب وغيرها من خلال رقم أو رمز الفعالية. لذلك، يربط مباشرة موعد تنفيذ المورد مع جدولة الفعالية ذات العلاقة. ولهذا السبب يتوجب عمل تحليل طريقة المسار الحرج وجدولة الفعالية قبل البدء بتحليل المورد (أو الموارد). أنظر في ذلك الجدول (9/9).

2- نمط المورد Resource type: يستخدم هذا الحقل في التمييز ما بين الأنماط المختلفة للمورد. ومثال على ذلك، من الممكن أن يكون السيد قيس مهندسا أم فني لحام أو عامل بناء.

3- الكمية اليومية Quantity per day: يستخدم هذا الحقل في إدخال البيانات المتعلقة بكمية المورد المطلوبة باليوم. ومثال على ذلك، فإن الفعالية الرقم (100) بحاجة إلى عمال بناء العدد (2) في اليوم.

4- المدة الزمنية للحاجة من المورد Duration: يستخدم هذا الحقل للتأشير على عدد الأيام الذي سوف يستغرقه المورد (الشخص) في تنفيذ الفعالية. ومن الممكن أن تكون هذه المدة أقل من زمن إنجاز الفعالية وليس أكثر.

5- زمن التوريد Lead time: المقصود بزمن التوريد هو الفرق ما بين موعد بداية الفعالية بموجب الجدولة وموعد بدء المورد (الشخص) بالعمل. ومثال على ذلك، نرى بأن عمال البناء قد باشروا عملهم بالفعالية الرقم (200) بعد يومين من موعد البداية المبكرة لهذه الفعالية.

ثالثا: وفرة المورد Resource availability: والخطوة اللاحقة هي تقدير كميات المورد المتاحة داخل وخارج المنظمة، حيث يتطلب دراسة الأمور التالية:

- التزامات المورد مع الآخرين Other resource commitments: وهذا يعني الحالة التي تكون فيها المنظمة ملتزمة بعدد من المشروعات التي جميعها تسحب حاجاتها من المورد من ساحة المشاركة بالعمل Pool حيث يتوجب الأخذ بنظر الاعتبار حاجة المشروعات الأخرى من هذا المورد.
- معدل الغياب لأسباب مختلفة Absenteeism rate: وهو غياب الأفراد لأسباب مختلفة عن المجيء إلى ساحة المشاركة بالعمل مما يتطلب احتساب الحاجة الإضافية من المورد عند إعداد خطة الموارد.

رابعا: المخطط البياني للمورد Resource histogram: يعتبر المخطط البياني الأداة الشائعة التي تستخدم في التخطيط لأنها تعرض بوضوح الحالة وتجعلها سهلة الفهم. وأن متطلبات رسم المخطط البياني هي:

- رسم الجدول البياني المبكر Early start barchart ويتم ذلك بعد الانتهاء من دراسة وتحديد المتطلبات.
- تنبؤات المورد لكل فعالية من فعاليات المشروع.

ويتم رسم مجموع المتطلبات اليومية من المورد التي تمثل المخطط البياني وذلك كما مبين في بيانات المثال الوارد في الجدول (9/10).

الجدول (9/10) بيانات المورد

رقم الفعالية	تاريخ البدء	تاريخ الانتهاء	الحاجة من المورد باليوم
100	1	2	2
200	3	4	2
300	3	4	6
400	5	6	3
500	7	10	1
600	11	11	2

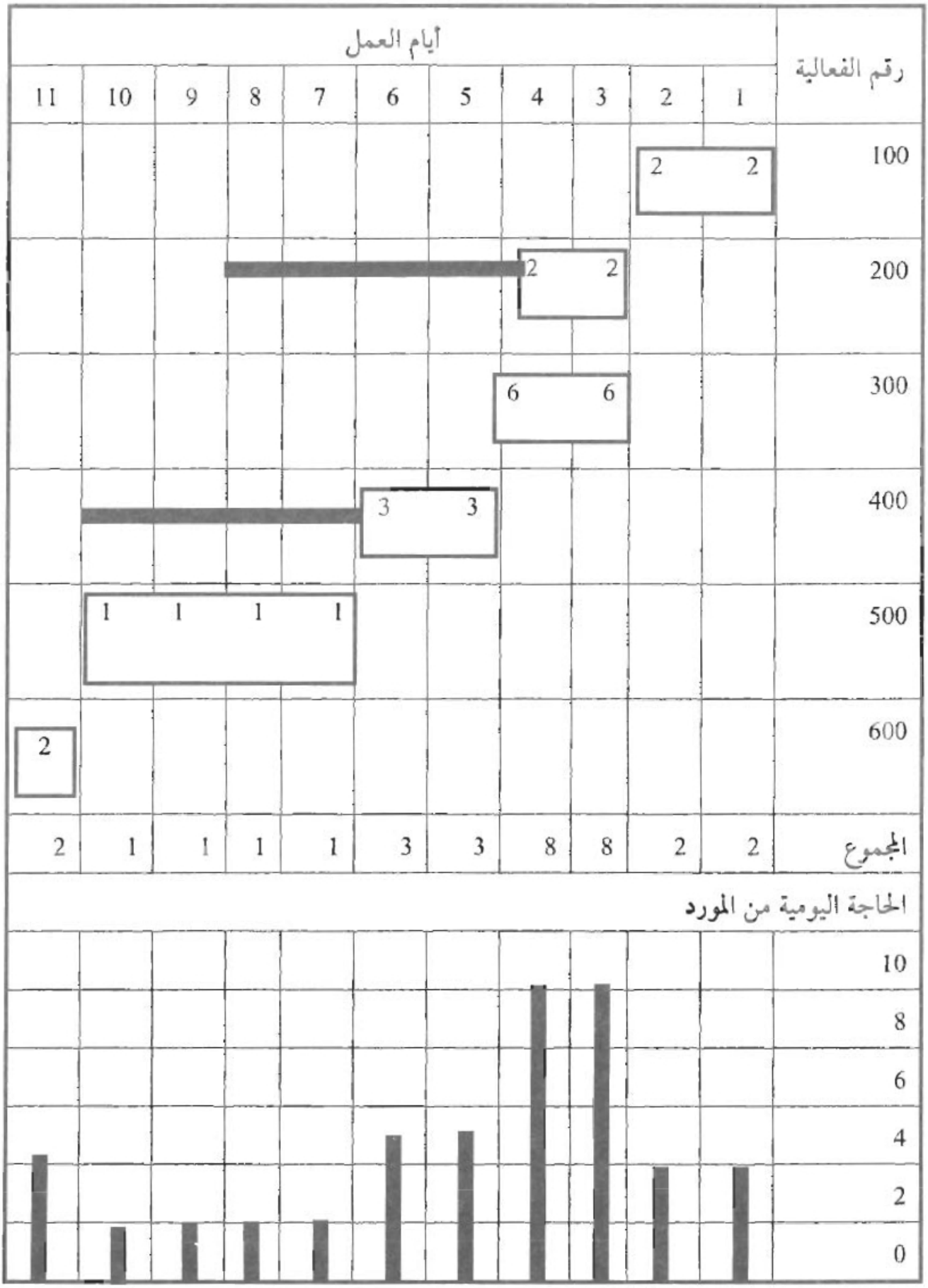
خطوات رسم المخطط البياني للمورد:

- الخطوة 1 : أرسم الجدول البياني كما في الشكل (9/29).
- الخطوة 2 : حول كمية المورد اليومية من الجدول (9/10) إلى الجدول البياني.
- الخطوة 3: أضف كمية المورد اليومية عموديا لكي تحصل على مجموع الحاجة اليومية.
- الخطوة 4 : أرسم المخطط البياني كما في الشكل (9/29).

خامسا: تحميل المورد Resource loading: بعد إنجاز التنبؤ بالحاجة التقديرية من المورد المعين، يجري مقارنة النتائج مع المتوفر من ذلك المورد حيث تكون الحالة المثالية عندما تتساوى الحاجة مع المتوفر. إلا أنه ليست الحاجة هكذا بالتطبيقات العملية من أن الطلب والعرض متساويان. والمقصود بالحمولة الزائدة Overload للمورد عندما تكون تنبؤات الحاجة إلى المورد تزيد على ما متوفر منه، والحالة المعكوسة هي عندما تكون التنبؤات أقل من المتوفر من المورد المعين. ففي حالة الحمولة الزائدة من الممكن أن تؤدي إلى تأخير إنجاز بعض الفعاليات مما تؤدي بالنتيجة إلى تأخير إنجاز المشروع بالكامل. أما إذا كانت حمولة المورد أقل من طاقته، فهذا يعني بأن المنظمة تعمل تحت طاقتها (أي أن نسبة الانتفاع دون المقرر) وهذا بدوره قد يؤدي إلى انخفاض في مدخولات المنظمة بسبب زيادة الكلف.

وبالعودة إلى بيانات المثال في الشكل (9/29) حيث يمكن مقارنة معدلات حمولة الموارد المتاحة مقارنة بالحاجة المتوقعة لها وكما مبين في الشكل (9/30).

الشكل (29/9) الجداول والمخطط البياني للمورد



ويمكن توضيح حالات الحمولة الزائدة (فوق الطاقة) والحمولة الناقصة (دون الطاقة المتاحة) من خلال المفاهيم التالية:

1- الحصول على المورد Resource smoothing: وتعني تخصيص الموارد إلى الفعاليات الحرجة أولا ومن ثم محاولة الانتقال إلى الفعاليات الأخرى بالتخفيف عن الحمولة الزائدة للمورد إن وجدت وتحميل المورد الذي يشتغل بأقل من طاقته.

2- جدولة المورد للزمن المحدود Time- limited resource scheduling: وتعني طالما إن الزمن الكلي لإنجاز المشروع قد تم تحديده

لذا يتوجب زيادة المورد (الموارد) ذا الحمولة الزائدة.

3- جدولة المورد من المورد المحدود Resource-limited resource scheduling: لقد تم تحديد العدد الأقصى من الموارد لذا من الممكن أن يحتاج المشروع إلى تمديد الزمن الكلي لإنجازه بسبب الحمولة الزائدة بالمورد (الموارد).

4- زيادة الموارد Increase resources: وتعني زيادة الموارد ذات الحمولة الزائدة.

5- تقليل الموارد Reduce resources : وتعني تقليل الموارد ذات الحمولة الناقصة.

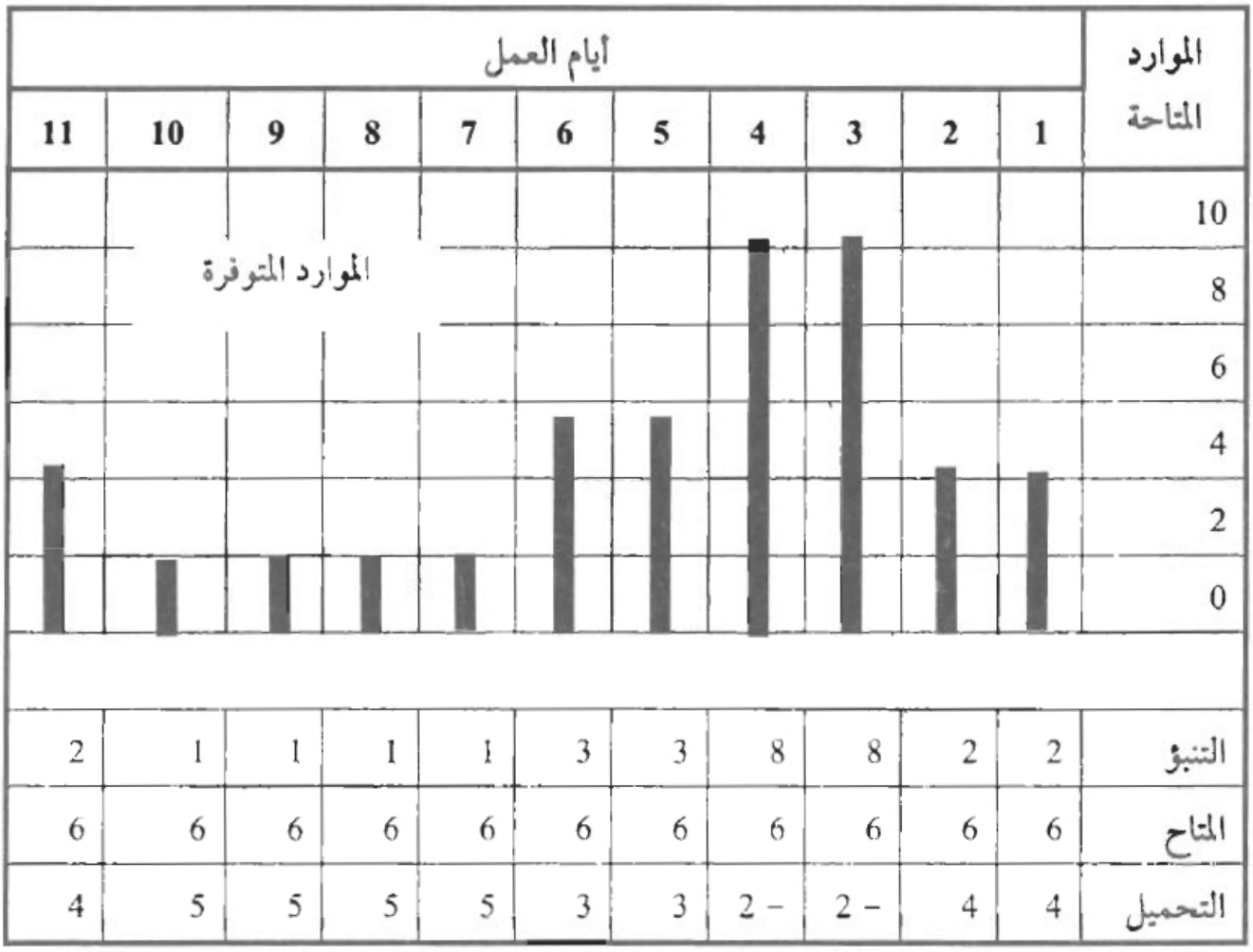
9-6- موازنة الموارد:

تأتي وظيفة موازنة الموارد مباشرة بعد الانتهاء من عملية تخطيط الموارد التي تم الحديث عنها بالمبحث السابق حيث سيتم الحديث بالتفصيل عن موازنة الموارد.

المقصود بموازنة الموارد Resource leveling هي الطريقة المستخدمة في تطوير الجدولة الهادفة إلى محاولة تقليل إلى الحد الأدنى من تذبذب في الطلب على الموارد.

وبمعنى آخر، تعني موازنة الموارد هي محاولة تأسيس الجدولة إلى المزيد من ذلك المورد خلال الزمن الكلي لإنجاز المشروع. وهذه الطريقة توازن الموارد بواسطة تطبيق أسلوب الصواب والخطأ Trial-and – error والتي تكون فيها الفعاليات غير الحرجة (وهي الفعاليات التي يكون زمن اختزالها إيجابيا) قابلة للتأخير عن الأزمنة المبكرة لبداياتها لغرض إدامة المستوى المطلوب من الموارد. ويمكن تأخير فقط هذه الفعاليات إلى النقطة التي تكون فيها نتائج اختزال أزمنتها إيجابية لأن ذلك لا يؤثر على الزمن الكلي لإنجاز المشروع. وأن طريقة موازنة الموارد تحاول تأسيس الجدولة التي خلالها يمكن استعمال المورد لذلك المستوى قدر الإمكان من دون تمديد الزمن الكلي لإنجاز المشروع.

الشكل (9/30) معدلات تحميل الموارد



ولغرض توضيح طريقة موازنة الموارد، نورد البيانات المبينة في الجدول (9/11) التي تعود إلى مشروع دهان مبنى الطلبة.

الجدول (9/11) بيانات المثال

رقم الفعالية	الوصف	علاقات الأسبقية	العمالة المطلوبة	مدة إنجاز الفعالية
100	دهان الصالة	-	2 شخص	8 يوم
105	دهان غرفة الجلوس	-	1شخص	4 يوم
110	دهان غرفة النوم الرئيسية	-	1 شخص	6 يوم
115	دهان الدرج والمطبخ	100	1شخص	4يوم
120	دهان الحمام	100	1شخص	2يوم

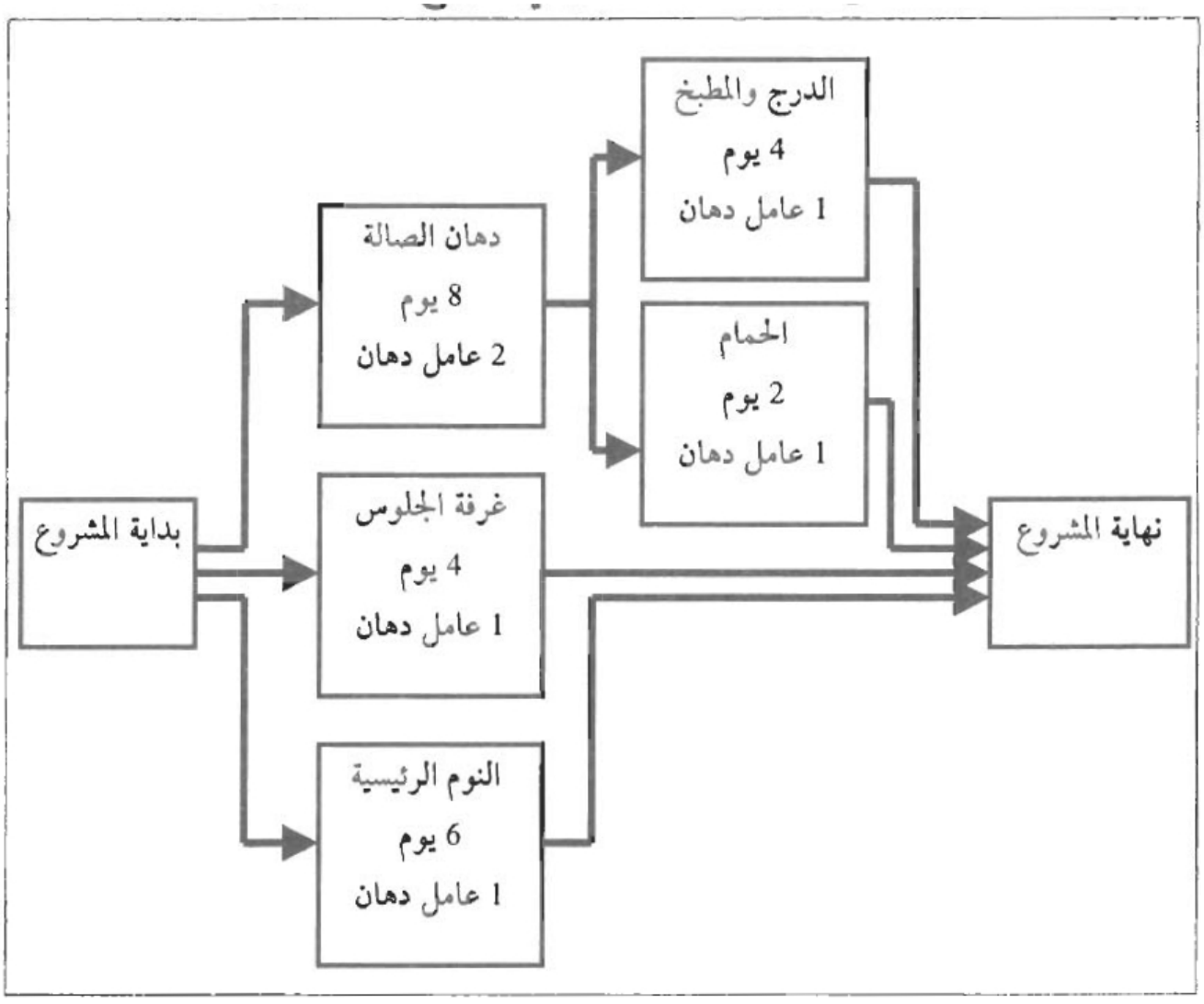
ونستعرض الآن الخطوات التي تمر من خلالها عملية تطبيق طريقة موازنة الموارد.

الخطوة الأولى: رسم المخطط البياني وتوضيح العلاقات المنطقية ما بين الفعاليات كما في الشكل (9/31).

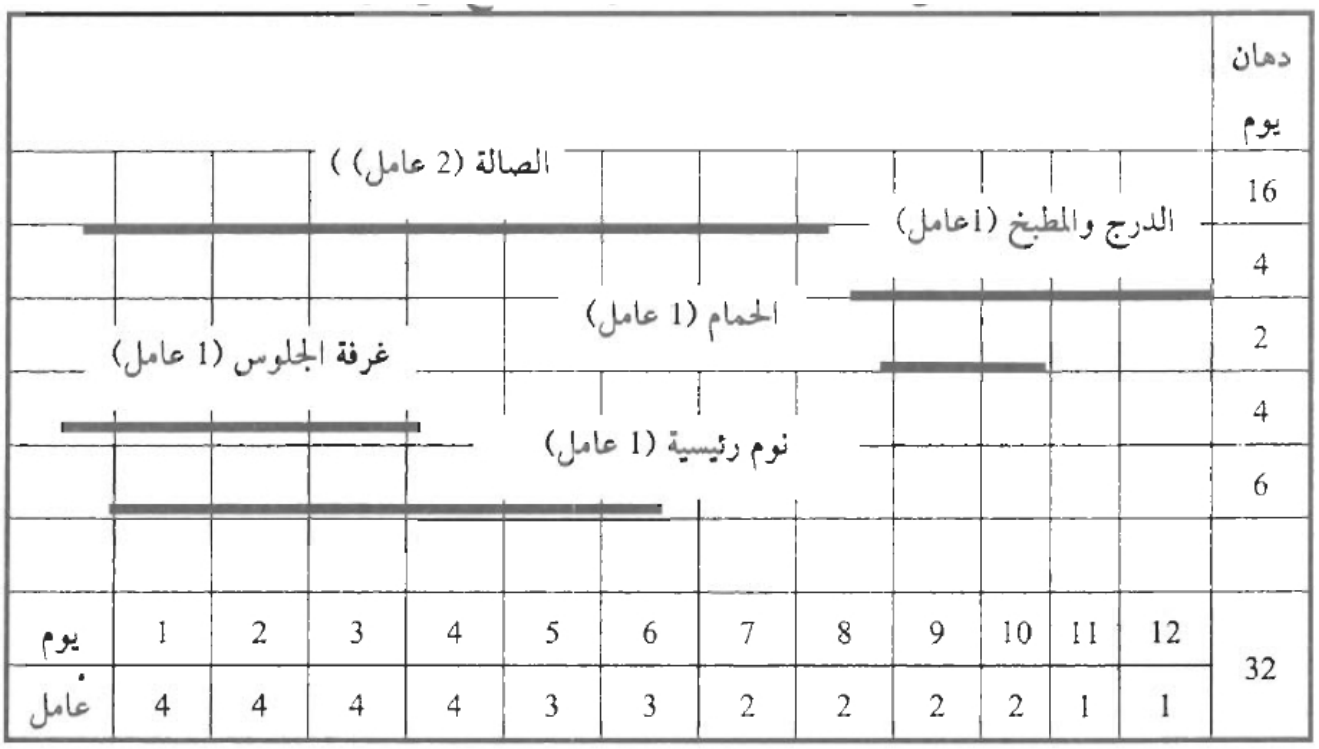
الخطوة الثانية: رسم الجدول البياني لجدولة الموارد كما مبين في الشكل (9/32) بالاعتماد على البيانات الواردة في الشكل (9/31).

ولو ألقينا نظرة من خلال الأشكال (9/31) و (9/32) و (9/33) على مشروع دهان مبنى الطلبة في مثالنا أعلاه لغرض تحديد إمكانية عمل موازنة للانتفاع من المورد البشري (عمال الدهان) بهدف تحقيق مستوى معياري من الانتفاع من هذا المورد. ويظهر من الشكلين (9/31) و (9/32) بأن المسار الحرج يتكون من فعاليتين وأن مجموع الزمن لهذا المسار هو (12) يوما، و (8) يوم تستغرق فعالية دهان الصالة زائدا (4) يوم تستغرق فعالية دهان الدرج والمطبخ). ولا يمكن لهاتين الفعاليتين أن تتأخران ما لم يؤدي ذلك إلى تأخير الزمن الكلي لإنجاز المشروع ما بعد (12) يوما.

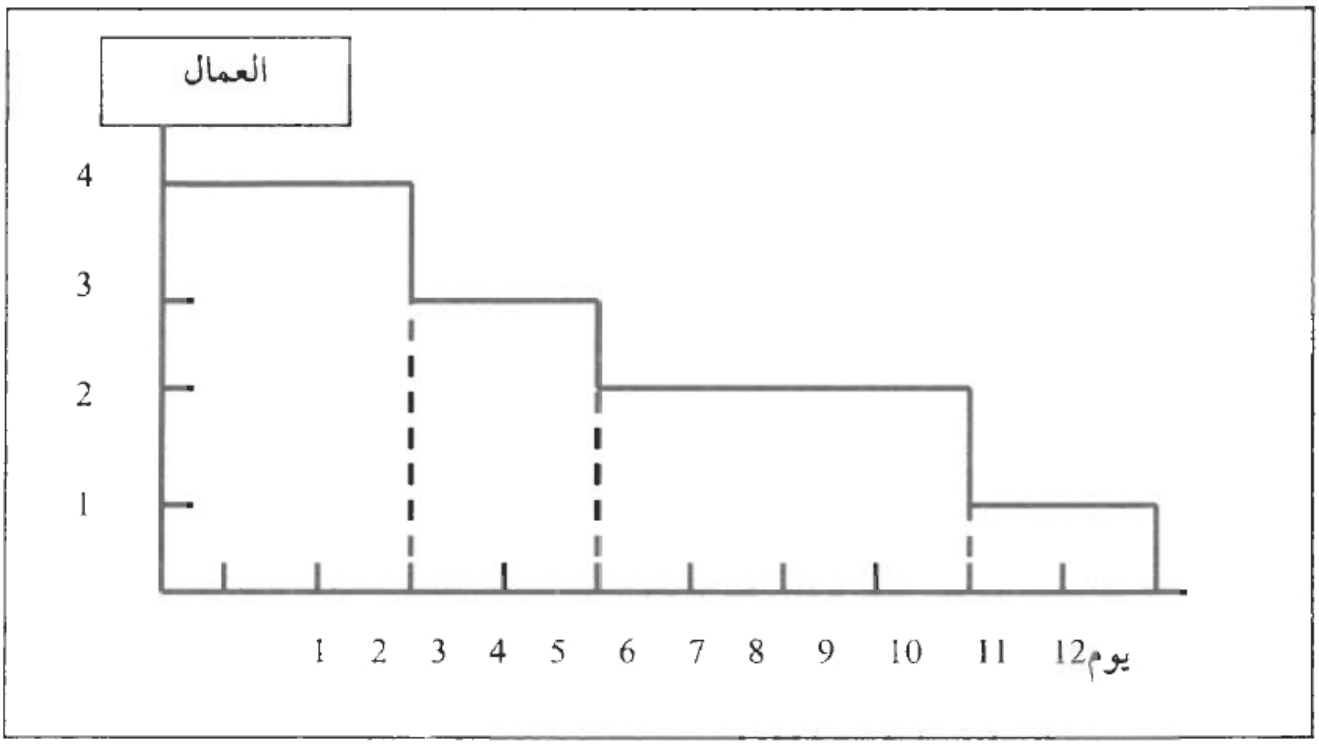
الشكل (31/9) المخطط البياني لمشروع دهان المبني



الشكل (32/9) تخطيط مستوى الانتفاع من الموارد



الشكل (33/9) مخطط موازنة المورد لعمال الدهان



وعند النظر إلى الشكل (9/32) نرى بأن فعالية دهان الحمام يمكن أن تتأخر لغاية يومين، في حين أن فعالية غرفة الجلوس يمكن أن تتأخر لغاية ثمانية أيام وكذلك غرفة النوم الرئيسية يمكن أن تتأخر لغاية ستة أيام. ونتيجة لذلك، ومن الشكل (9/32) يتضح بوجود بديلين من الإجراءات التي يمكن أن تتخذ في عمل الموازنة اليومية لمتطلبات عمال الدهان وهي:

- البديل الأول: تأخير الفعالية التي تحقق أعلى ما يمكن من اختزال الزمن إيجابيا وهي غرفة الجلوس حيث يبلغ (+8) يوم وهذا يعني يمكن اختزال زمن إنجاز هذه الفعالية لمدة (6) يوم والبدء بها بعد إنجاز غرفة النوم الرئيسية. وفي هذه الحالة سيكون هناك عاملان منفصلان حيث يقومان كل واحد منهم بدهان غرفة الجلوس والعامل الآخر بدهان غرفة النوم الرئيسية تحديدا. وفي مثل هذه الحالة أصبح من الممكن جعل جدولة موازنة المورد باستخدام نفس العامل بدهان غرفة النوم الرئيسية أولا ومن ثم دهان غرفة الجلوس.

- البديل الثاني: يدعو إلى تأخير دهان غرفة النوم الرئيسية بحيث تبدأ فعالية دهانها في اليوم الرابع بعد إنجاز فعالية دهان غرفة الجلوس. وبموجب هذا البديل سوف يستخدم نفس العامل بدهان غرفة الجلوس أولا ومن ثم دهان غرفة النوم الرئيسية.

ويبين الشكلان (9/32) و (9/33) النتيجة النهائية لجدولة موازنة المورد، حيث إذا تم اختيار البديل الأول لجدولة الموازنة تكون المقارنة ما بين الشكل (9/33) والشكل (9/32) حيث يتضح إلى أن يكون زمن النهاية المبكرة في اليوم العشر بدلا من اليوم الرابع.
وخلاصة القول، بأن جدولة موازنة المورد في كلتا الحالتين تحتاج إلى (32) يوم/ عامل إلا أنها تؤدي إلى تقليل الذبذبات في العمل.

المرجع:

كتاب : إدارة المشروعات العامة General Project Management ، من تأليف أ. د. عبد الستار محمد العالي، من إصدار دار المسيرة ، عمان.