مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية – سلسلة العلوم الهندسية المجلد (22) العدد (9) 2000
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research –Engineering Science Series Vol. (22) No (9) 2000

مسألة تسوية الموارد المتعددة في تخطيط مشروعات التشييد

الدكتور بسام عبد الكريم حسن*

(قبل للنشر في 2000/3/26)

☐ الملخّص ☐

يعتبر موضوع الموارد من المسائل الهامة التي تعالجها الخطط التنفيذية للمشروعات. ويهدف تناول مسألة الموارد المتعددة إلى تجويد العملية التخطيطية، والارتقاء بالمؤشرات النوعية للنجاح.

يعتمد الأسلوب المتداول في التعامل مع هذه المسألة على منهجية موجهة للوصول إلى قيم تقريبية مقبولة، وذلك عن طريق إزاحة العمليات غير الحرجة، بحيث تشكل مع بعضها وضعية تؤمن تجانساً أفضل في التوزيع الزمني للموارد.

الأسلوب المقترح في البحث يعتمد أيضاً على هذه المنهجية الموجهة، عبر تشكيل يأخذ بعين الاعتبار حالات تعدد أنواع المورد الواحد، وتناول الحالات المختلفة للإزاحة، واستخدام صيغ وعلاقات رياضية تتضمن قيماً وزنية للموارد المتعددة تبعاً لأهميتها النسبية في المشروع، مما يساهم في اختصار الخطوات المتكررة للحل، وزيادة دقة النتائج المستحصلة.

* أستاذ مساعد في قسم الإدارة الهندسية والإنشاء – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية - سلسلة العلوم الهندسية المجلد (22) العدد (9) 2000
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research –Engineering Science Series Vol. (22) No (9) 2000

The Problem of Multi-Resources Leveling in Construction Project Planning

Dr Bassam Abdulkarim HASSAN*

(Accepted 26/3/2000)

❐ ABSTRACT ❐

Resource is one of the important questions that the executive plans of projects deal with. The aim of the study of the Multi-Resources problem is to improve the planning process and to promote the quality criteria of success.

The style of handling this problem depends on Heuristic Approach in order to reach acceptable approximate values, through shifting non critical activities to form together a better homogenous position in the time distribution of resources.

The method proposed in this research depends as well on the above mentioned Heuristic Approach through a combination that takes into consideration the various types within the one Resource, and applying mathematical formulas including weight values for the Multi-Resources according to their relative importance in the project; the thing that contributes in reducing the repeated steps for the solution and the increase of accuracy in the acquired results.

* Associate Professor at the Department of Engineering Management and Construction, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia- Syria.

مقدمة:

يعتبر قطاع البناء والتشييد أحد الفروع الإنتاجية الهامة، وهو يهتم بتشييد الأبنية والمنشآت لتحقيق الحاجات المتنامية للمجتمع. وعلى الرغم من النمو الكمي الذي يشهده القطر في مجال التشييد العمراني والإنشاء المدني، فإن المؤشرات النوعية لهذا التطور، بما في ذلك المؤشرات التقنية والاقتصادية، تبقى حتى الآن دون المستوى المنشود.

ومن بين المحاور المؤثرة في هذه القضية، يلعب التخطيط دوراً أساسياً في تنظيم فعاليات المشروع، وربط العمليات ببعضها، وتنظيم مواردها ضمن جداول زمنية تأخذ بعين الاعتبار الظروف الموضوعية السائدة، وتؤمن فاعلية التنفيذ المبني على أسس تكنولوجية متطورة.

ونورد في هذا السياق تعريف "شارل بيتلهام" للتخطيط بأنه "عملية مستمرة لاتخاذ القرارات المتعلقة بالمشروع وبطرق منظمة للوصول إلى أهداف مرسومة بشكل مسبق، ولحشد النشاطات اللازمة للحصول على الاستخدام الأمثل للموارد " [1].

إن التعريف السابق يؤكد ناحية مهمة، هي كون التخطيط نشاطاً إنسانياً مستمراً وعملية شاملة تهتم بكافة جوانب المشروع. وتعتبر هذه الحقيقة ذات أهمية كبيرة في مجال إدارة مشروعاتنا، فالنقد الذي يوجه إلى التخطيط من قبل القائمين على التنفيذ نابع -حسب رأيهم- من كون الخطة لا تستطيع أن تواكب المتغيرات والمشاكل الكثيرة التي ترافق عملية التنفيذ. إلا أن الخطة المرنة والمتوازنة، والتي تستند على معايير علمية واقعية، وفهم موضوعي لمنطق العمل، تستطيع أن تتكيف مع المتغيرات المستجدة، لتقارن النتائج المسجلة مع الأهداف المرجوة، ولتعدل الانحرافات الحاصلة، والتي تشير وقائع التنفيذ أنها غالباً ما تحدث، مهما بلغت دقة الخطة الموضوعة [2].

وإذ نؤكد أهمية التخطيط، فإن التطوير النوعي لمؤشرات النجاح لمشروعاتنا، يقتضي الارتقاء بعملية التخطيط لتتجاوز مرحلة وضع الخطة وتعالج المسائل والقضايا المنبثقة عنها. وتُعدّ في هذا السياق مسائل تخطيط الموارد أحد أهم القضايا التي تعالجها الخطط التنفيذية للمشروعات.

الهدف من البحث :

نظراً للأهمية التي يلعبها التخطيط في مجال إدارة المشروعات، ونظراً لضرورة زيادة الاهتمام بالممارسة الفعلية لهذه المرحلة المهمة من دورة نشاط المشروع الهندسي،فإن هذا البحث يهدف إلى :

- تأكيد على الأهمية النسبية للتخطيط والمسائل التي يعالجها في نجاح المشروعات الهندسية، والتركيز على مسألة تسوية الموارد المتعددة.
- المساهمة في تحسين نماذج تسوية الموارد، من خلال تطوير نموذج رياضي موجه يهدف إلى تقليل انحراف الموارد المتعددة عن القيمة الوسطية، ويعالج الاحتمالات المختلفة لتوضع العمليات.

طريقة البحث :

يعتمد منهج البحث على الدراسة التحليلية النقدية لنتائج باحثين عدة عالجوا مسائل تسوية الموارد، ويعتمد أيضاً على التجربة العملية الذاتية للباحث، وذلك بهدف استكشاف أفق تحسين المناهج المعتمدة في مسائل تسوية الموارد وتطويرها. كما يدعم البحث بالعلاقات الرياضية، والأمثلة التطبيقية، ويستعين بتقنيات الحاسب بهدف الوصول إلى الأهداف المرجوة.

تخطيط الموارد:

من أجل التقدم بفعاليات المشروع، لابد من تأمين الموارد اللازمة له، وهناك أربعة موارد أساسية في المشروع؛ هي القوة العاملة، والآليات، والمواد، والأموال، ويضاف إليها مورد خامس هو الإدارة [3] .

يرتبط تخطيط الموارد بالطريقة المتبعة في جدولة المشروع. وتعتبر طريقة المسار الحرج(CPM) من أكثر الطرق اتباعاً في عملية تخطيط المشاريع وجدولتها[4]. بعد وضع المخطط الشبكي يتم الاستعانة بمخطط القضبان (BAR CHART) لإظهار التوزيع الزمني للموارد، وهذا ما يعرف بمصطلح (BAR CHART CPM) [2].

يتم تحديد الموارد اللازمة لعمليات المشروع أثناء التحليل التكنولوجي لهذه العمليات ودراسة أسلوب التنفيذ،مع الأخذ بعين الاعتبار نوعية الموارد المتوافرة لدى الشركة المنفذة، أو الممكن تأمينها. وتتم هذه المرحلة من التخطيط عموماً بغض النظر عن الوضعية النهائية للحاجة للموارد، والتي ستتجلى عند الانتهاء من وضع الخطة [2,5] .

تقارن القيم النهائية اليومية لإجمالي الحاجة لكل مورد، مع إمكانية الشركة المنفذة لتتم معالجة المشاكل المتولدة، وهنا فإن مسائل تخطيط الموارد ستظهر لدينا من خلال الظرفين التاليين:[2,3,4,6]

حالة وجود حدود وقيود على توافر الموارد، بينما تبقى مدة المشروع غير مقيدة.

حالة عدم وجود قيود على وفرة الموارد، بينما تعتبر مدة الشروع ثابتة.

تهدف مسألة تسوية الموارد في الحالة الأولى إلى تخصيص الموارد المحدودة على العمليات المختلفة، وهذا ما يعرف بمسألة جدولة الموارد المحدودة (CONSTRAINED RESOURCE SCHEDULING) أو (RESOURCE ALLOCATION) [2,7]. يتبع التكنيك السابق من أجل التوصل لجداول تنفيذية، لا تظهر فيها الحاجة للموارد في أية لحظة زمنية أكثر من تلك المتوفرة لدى الشركة، حتى ولو أدى ذلك إلى إطالة الفترة اللازمة لإنجاز المشروع.

إن حل مسائل الموارد المحدودة يتم من خلال التعامل مع الموضوع وفق تصورين مختلفين: الأول يهدف إلى الوصول لحلول تقريبية مقبولة، من خلال اتباع خطوات موجهة (HEURISTIC APPROACH) باتجاه الحل الأمثل، أما الأسلوب الثاني فيهدف إلى الوصول للحل الأمثل عبر تباع طرق البرمجة الخطية والرياضيات العددية. هذا ويعتبر الأسلوب الأخير معقداً نسبياً من الناحية التطبيقية، وعلى الأخص من أجل المشاريع الكبيرة [2, 8]، أما الأسلوب الأول فهو عملي، وتوفر تقنيات الحاسب سهولة نسبية في تطبيقه، وبشكل خاص من أجل المشاريع الكبيرة، حيث تستخدم بنجاح العديد من البرامج مثل "PRIMAVERA" و "MICROSOFT PROJECT".

أما مسألة التخطيط في الحالة الثانية، والتي سيركز عليها موضوع البحث، فيطلق عليه –اصطلاحاً– مسألة تسوية الموارد (RESOURCE LEVELING) أو (RESOURCE SMOOTHING) [2,7]. ويقصد بهذا المصطلح طرق جدولة العمليات ضمن الوفر الزمني الممكن، وذلك بهدف تقليل التفاوت بالحاجة للموارد بين يوم وآخر [9,10]. أما دواعي مسألة التسوية فتقتضيها الأسباب التالية:

– الرغبة بالتقيد بكمية محدودة من الموارد، بالرغم من حالة عدم وجود قيود مادية على ذلك.

– ضرورة تجنب اختلاف الحاجة للموارد بين يوم وآخر.

- إن انتظام الحاجة للموارد يمكن إدارتها بكفاءة أكبر، والاحتفاظ بالكمية المناسبة منها في المشروع، بحيث تشترك في العملية الإنتاجية (عمال، آليات) دون الاضطرار لتعطيلها، وتحمل نفقات ذلك، أو تحريرها، وبالتالي تعذر شرائها، أو استئجارها لمدة قصيرة حين الطلب.

وكما هو الحال في مسألة جدولة الموارد المحدودة، فإن التعامل مع مسألة تسوية الموارد يتم – أيضاً– وفق الأسلوبين المذكورين سابقاً، ويعتبر الأسلوب الموجه الحل الأكثر قابلية للتطبيق، وخاصة في المشاريع الكبيرة. هذا ولقد تعامل العديد من الباحثين وفق هذا الأسلوب مع مسألة تسوية الموارد [2,6,7,9,11]، حيث تتلخص الفكرة الأساسية لحلولهم بترتيب العمليات وفق زمن بدئها المبكر، ثم إزاحة العمليات غير الحرجة وفق أسلوب موجه مقترح.

ولكن، وعلى الرغم من النتائج المرضية التي تقدمها هذه الدراسات، فإننا نتفق مع [7,8] في أن هذه الطرق الموجهة، ما تزال تحتاج للتطوير في أسلوبها وكفاءتها ودرجة أمثلتها.

يسترعي الاهتمام الأسلوب الذي يقترحه [6] لحل مسألة تسوية الموارد، حيث يأخذ بعين الاعتبار موازنة الموارد المتعددة مع بعضها (للنوع الواحد من الموارد)، إلا أن تسلسل تناول العمليات، في الإزاحة تعتمد فقط على التوالي الترقيمي لهذه العمليات، وفق المخطط الشبكي السهمي (AOA)، كما أن الوضعية البدائية للعمليات ترتب فقط وفق زمن بدئها المبكر، وبالتالي فإن العلاقات الحسابية لا تأخذ بعين الاعتبار حالة الزمن المتأخر.

يقدم [8] منهجاً مختلفاً لترتيب أفضلية إزاحة العمليات، حيث يتناول ترتيبها بأسلوب تصاعدي ثم تنازلي، كما أن ترتيب الوضعية البدائية للعمليات يتناوب بين البدايات المبكرة، ثم المتأخرة، وبالتالي يحصل على أربعة خيارات لعملية الإزاحة. غير أن الطريقة المقترحة لا تأخذ بعين الاعتبار مسألة موازنة الموارد المتعددة، مما يؤدي إلى إطالة مراحل الحل. إضافة لما سبق، فإن عملية التكرار الحسابية تظهر بشكل يمكن تفاديه في كل خطوة من خطوات الحل، نتيجة لحساب كامل قيمة تابع الهدف الجديدة عوضاً عن وضع صيغة مختصرة تحدد الفرق الناجم عن الوضعية الجديدة بعد الإزاحة الدورية للعملية.

الطريقة المقترحة:

تعتمد الطريقة المقترحة على أسلوب التناول الموجه لتسوية الموارد، بحيث تتعامل مع الموارد المتعددة، من خلال إدخال قيم وزنية فيما بينها تبعاً لأهميتها النسبية في المشروع، فعلى سبيل المثال، عند تسوية مشكلة القوة العاملة لا يكون صحيحاً اعتبار العمال المهنيين مكافئين في أهميتهم الإنتاجية للعمال العاديين. كذلك الأمر، فإنه لا تتساوى الأهمية النسبية لحفارة ترابية إنتاجيتها اليومية 500 متر مكعب مع أخرى تبلغ إنتاجيتها 300 متر مكعب فقط. أما التعامل مع هذه الموارد، باعتبارها مختلفة ومستقلة عن بعضها، فيزيد الحلول تعقيداً، ويجعلها متعذرة من أجل المشاريع الكبيرة.

تتناول الطريقة –أيضاً– التوضعات البدائية للعمليات وفق الأزمنة المبكرة، ثم المتأخرة.

إن الترتيب الأولي للعمليات وفق بدئها المبكر (EST)، يوفر للمقاول جانباً من الأمان بالنسبة للعمليات غير الحرجة واحتمال حدوث تأخير بالإنجاز. إلا أن هذا الترتيب يزيد من تركيز الموارد في بداية فترة المشروع، وهذا بدوره يؤدي إلى زيادة التكاليف بسبب إطالة فترة تجميد رأس المال.[12]

من جهة أخرى، فإن ترتيب العمليات وفق الأزمنة المتأخرة (LST)، يعطي نتائج عكسية، من حيث تقليله لفترة تجميد رأس المال للحد الأدنى، ولكنه يزيد درجة المخاطرة من احتمال عدم إنجاز المشروع في موعده.

تقتضي تسوية الموارد ترتيب العمليات في وضعية انتقالية بين الوضعين السابقين، بحيث يكون الانحراف المعياري عن القيمة الوسطية أو قيمة معطاة في حده الأدنى. تعتمد الطريقة في ترتيب أفضلية الإزاحة على الترتيب التصاعدي، ثم التنازلي، تبعاً لقيم الموارد المختلفة للعمليات، بعد معالجتها بالنسب الوزنية المعتمدة.

التشكيل الرياضي لمسألة تسوية الموارد المتعددة :

بافتراض لدينا مشروع تشييد مكون من M عملية، ويحتوي على N مورد.

يمكننا حساب القيمة Y_j^t والتي تمثل شدة استخدام المورد y، من أجل توضع معين للعمليات، ضمن مجال زمن t :

$$Y_j^t = y_{ij} \cdot t_i \qquad (1)$$

حيث: y_{ij} قيمة المورد j للعملية i

$(i=1,2,\ldots,m)$

$(j=1,2,\ldots,n)$

أما القيمة الوسطية لشدة الحاجة للمورد y فيمكن حسابها بالعلاقة:

$$\overline{Y_j} = \frac{1}{T}\sum_{i=1}^{m} y_{ij} \cdot t_i \qquad (2)$$

حيث T المدة المحددة والثابتة للمشروع.

يمكن حساب الانحراف التربيعي لقيم شدة استخدام الموارد j عن القيمة المتوسطة بالعلاقة:

$$Z_j = \left(\frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T} Y_j^t - \overline{Y_j}\right)^2 \qquad (3)$$

$$= \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T} (Y_j^t)^2 - \frac{2}{T}\overline{Y_j}\sum_{t=1}^{T} Y_j^t + \overline{Y_j}^2 \qquad (4)$$

بإدخال جميع الموارد، فإننا نحصل على المؤشر :

$$Z = \sum_{j=1}^{n} \omega_j Z_j \qquad (5)$$

حيث ω_j النسبة الوزنية المعطاة للمورد j، والذي يعبر عن الأهمية النسبية لهذا المورد بالنسبة لباقي الموارد، وعليه:

$$\omega_j > 0 ; \qquad \sum_{j=1}^{n} \omega_j = 1$$

بتعويض (4) في (5) ينتج:

$$Z=\frac{1}{T}\sum_{j=1}^{n}\omega_j\sum_{t=1}^{T}(Y_j^t)^2-\frac{2}{T}\sum_{j=1}^{n}\omega_j.\overline{Y}_j+\sum_{j=1}^{n}\overline{Y}_j^2 \qquad (6)$$

وباعتبار:

$$S=\sum_{j=1}^{n}\omega_j\sum_{t=1}^{T}(Y_j^t)^2 \qquad (7)$$

وبتعويض (7) في (6) نحصل على:

$$Z=\frac{1}{T}S-\frac{2}{T}\sum_{j=1}^{n}\omega_j\overline{Y}_j\sum_{t=1}^{T}Y_j^t+\sum_{j=1}^{n}\omega_j\overline{Y}_j^2 \qquad (8)$$

وبملاحظة أن قيمة S هي المتحولة فقط في العلاقة (8)، نستنتج أنه من أجل تناهي الانحراف التربيعي إلى قيمة أصغرية، فإن ذلك يتوافق مع قيمة أصغرية لـــS.

خطوات الحل (LOGARITHM):

تتكون خطوات التناول الموجه المقترحة لتطوير نماذج الحل لمسألة تسوية الموارد المتعددة من المراحل التالية:

1-افتراض القيم الوزنية للموارد تبعاً لأهميتها النسبية في المشروع.

2-ضرب هذه القيم الوزنية بقيم الموارد الموافقة.

3-جمع ناتج الموارد من أجل كل عملية، للحصول على قيمة وحيدة للمورد المكافئ.

4-وضع المخطط الشبكي وحساب متحولاته الزمنية، وفقاً لاحتمال البدايات المبكرة، والبدايات المتأخرة.

5-حساب قيم Z و S من اجل البدايات المبكرة، والمتأخرة.

6-ترتيب العمليات غير الحرجة بشكل تصاعدي، ثم تنازلي، وذلك وفقاً لقيم الموارد المكافئة. نحصل بذلك على أربعة خيارات للحل مدرجة في الجدول (1).

7-نبدأ بالخيار الأول بإزاحة العملية غير الحرجة ذات الترتيب الأول، وذلك نحو اليمين، بقيمة تساوي وحدة زمنية، ثم نحسب قيمة ΔS، ونضيفها بإشارتها الجبرية إلى قيمة S الناجمة عن الوضعية البدائية.

8-نتابع إزاحة العملية السابقة بقيم واحدية ضمن الوفر الزمني، ونحسب قيمΔS و S الموافقة، ثم نثبت بداية هذه العملية عند الوضعية X_I التي تتوافق مع أصغر قيمة لـــ S.

9-نكرر الخطوتين 7 و 8 على جميع العمليات غير الحرجة المرتبة وفق الخيار الأول.

10-نحسب قيمة Z التي توافق الوضع النهائي للمخطط.

11-نكرر الخطوات 7، 8، 9 على الخيارات الثلاثة المتبقية، مع ملاحظة أن الإزاحة في الخيارين 3، 4 ستكون نحو اليسار، وأن X_i تمثل نهاية العملية الجارية إزاحتها.

12-نختار الوضعية التي توافق أقل قيمة لـــ Z من بين الخيارات الأربعة المحسوبة، وبذلك نكون قد وصلنا إلى الحل النهائي للمسألة.

جدول 1-الخيارات الممكنة لحل مسالة تسوية الموارد المتعددة

رقم الخيار	شكل الوضعية البدائية	تسلسل الإزاحة
1	بدايات مبكرة	بشكل تراجعي من النهاية وفقاً للترتيب التصاعدي للموارد المكافئة
2	بدايات مبكرة	بشكل تراجعي من النهاية وفقاً للترتيب التنازلي للموارد المكافئة
3	بدايات متأخرة	من البداية وفقاً للترتيب التصاعدي للموارد المكافئة
4	بدايات متأخرة	من البداية وفقاً للترتيب التنازلي للموارد المكافئة

إن حساب الانحراف ΔS الناجم عن إزاحة واحدية، يمكن استنتاجه من أجل حالة البدايات المبكـــرة، شكل(1) :

$$\Delta S=\sum_{j=1}^{n}\omega_j\left[\left(Y_j^{x_i+1}-y_{ij}\right)^2+\left(Y_j^{x_i+t_i+1}+y_{ij}\right)^2\right]-\sum_{j=1}^{n}\omega_j\left[\left(Y_j^{x_i+1}\right)^2+\left(Y_j^{x_i+t_i+1}\right)\right] \qquad (9)$$

وبالمعالجة ينجم:

$$\Delta S=2\sum_{j=1}^{n}\omega_j\, y_{ij}\,(y_{ij}+Y_j^{x_i+t_i+1}-Y_j^{x_i+1}) \qquad (10)$$

أما من أجل الخيار ين الثالث والرابع، فيمكن بشكل مشابه استنتاج قيمة ΔS وفقاً (للشـــكل 2)، مـــع الانتباه إلى أن X_i تمثل نهاية العملية، وأن الانزياح يتم بشكل عكسي نحو اليسار:

$$\Delta S=2\sum_{j=1}^{n}\omega_j\, y_{ij}\,(y_{ij}+Y_j^{x_i-t_i-1}-Y_j^{x_i-1}) \qquad (11)$$

تطبيق :

معطى في الجدول2 العمليات المكونة لمشروع هندسي، وترابطها، وأزمنتها، وعدد العمال المهـــرة والعمال العاديين. إن تقييم الأهمية النسبية للعمال يعطي قيمة وزنية للعمال المهرة، تســـاوي ضـــعف القيمـــة الوزنية للعمال العاديين. تطلب تسوية مسألة الموارد، بحيث نحصل على انحراف تربيعي أصغري عن القيمة الوسطية، علماً بأن مدة المشروع ثابتة.

جدول 2 – بيانات العمليات

رمز العملية	العملية التي تسبق مباشرة	مدة العملية (وحدة زمنية)	الموارد المطلوبة	
			عمال مهرة	عمال عاديون
البداية	–	0	0	0
A	البداية	7	3	6
B	البداية	4	1	1
C	البداية	4	2	4
D	A	2	4	4

رمز العملية	العملية التي تسبق مباشرة	مدة العملية (وحدة زمنية)	الموارد المطلوبة	
			عمال مهرة	عمال عاديون
E	B	2	2	4
F	C	6	1	2
G	E	6	4	8
H	F	5	2	3
النهاية	D,G,H	–	0	0

من أجل السرعة في خطوات الحساب والتحليل، تمت الاستعانة ببرنامج (MICROSFT PROJECT 98)، ويبين الشكل3 المخطط الشبكي، مع اعتبار التاريخ99/9/1 موعداً لبدء المشروع. كما يبين الجدول (3) البيانات الزمنية لحساب الشبكة، بالإضافة إلى قيم إجمالي الموارد المكافئة، بعد معالجة الموارد المعطاة بالقيم الوزنية التالية :

موازنة العمال المهرة : $\omega_1=0.667$

موازنة العمال العاديين: $\omega_2=0.333$

جدول 3 –النتائج الحسابية للشبكة

رمز العملية	المدة DUR	بداية مبكرة ES	نهاية مبكرة EF	بداية متأخرة LS	نهاية متأخرة LF	الوفر الحرFF	الوفر الكلي TF	المورد المكافئ	ملاحظات
A	7	0	7	6	13	0	6	4	
B	4	0	4	3	7	0	3	1	
C	4	0	4	0	4	0	0	2.7	حرجة
D	2	7	9	13	15	6	6	4	
E	2	4	6	7	9	0	3	2.7	
F	6	4	10	4	10	0	0	1.33	حرجة
G	6	6	12	9	15	3	3	5.3	
H	5	10	15	10	15	0	0	2.3	حرجة

نحدد بعد ذلك أفضلية إزاحة العمليات وفق الخيارات الأربع والأربعة مع الأخذ بعين الاعتبار أنه في حالة تساوي عدد الموارد المكافئة يتم اعتبار مدة العملية، وفي حالة التساوي أيضاً يؤخذ العوم المتوفر كمعيار للتفضيل. يبين الجدول 4 أفضلية الإزاحة

الجدول 4- تسلسل إزاحة العمليات

الخيار	تسلسل الإزاحة(تقرأ من اليسار)
1	G,E,D,B,A
2	G,D,E,A,B
3	B,A,E,D,G
4	A,B,D,E,G

يبين الشكل (4) مخطط القضبان ومخطط توزع الموارد اللذين يوافقان الخيارين الأول والثاني، كما يبين الشكل (5) هذين المخططين للخيارين الثالث والرابع.

بتطبيق العلاقة 2 نحصل على:

متوسط المورد الأول: $\overline{Y}_1 = 5.67$

متوسط المورد الثاني: $\overline{Y}_2 = 9.93$

نحسب S من أجل الوضعية البدائية للخيارين الأول والثاني بتطبيق العلاقة (7) : S=942.3

بتطبيق (8) نحصل على الانحراف التربيعي: Z=13.01

باتباع العلاقات السابقة نفسها يمكن حساب قيم S و Z من أجل الوضعية البدائية للخيارين الثالث والرابع: S=1099.2 ، Z=17.3

الخيار الأول:

- من الجدول (4) لدينا العملية G تملك التسلسل 1 بأفضلية الإزاحة، وطالما أن الوفر الزمني لها يبلغ ثلاثة أيام، فإنه سيتم تجريب ثلاث إزاحات واحدية:

الإزاحة الأولى:

$X_i = 6;\ t_i = 6\ ;\ y_{i,1} = 4\ ;\ y_{i,2} = 8$

$Y_1^{x_i+1} = Y_1^7 = 8\ ;\ Y_1^{x_i+t_i+1} = Y_1^{13} = 2$

$Y_2^{x_i+1} = Y_2^7 = 16\ ;\ Y_2^{x_i+t_i+1} = Y_2^{13} = 3$

بتطبيق العلاقة (10) نحصل على $\Delta S = -37.31$

ومنه: $S_1 = S + \Delta S = 942.3 - 37.31 = 905$

نتابع الإزاحات الممكنة وفق الوفر الزمني المتبقي، ونرتب النتائج في الجدول 5، ثم نطبق العلاقة (8) للحصول على الانحراف التربيعي: $Z_1 = 3.74$

الجدول 5 – نتائج حساب ΔS وS الناجمة عن الازاحات وفق الخيار الأول

رمز العملية	الوفر الزمني المتبقي	رقم الإزاحة						موضع تثبيت العملية
		1	2	3	4	5	6	
G	3	ΔS=-37.31 S=905	ΔS=-32 S=873	ΔS=-32 S=841	–	–	–	عند الإزاحة الثالثة
E	3	ΔS=0 S=841	ΔS=-2.66 S=838.4	ΔS=-2.66 S=835.7	–	–	–	عند الإزاحة الثالثة
D	6	ΔS=+26.67	موجبة	موجبة	موجبة	موجبة	موجبة	تثبت في وضعيتها البدائية
B	3	ΔS=-2 S=833.7	ΔS=-2 S=831.7	ΔS=-2 S=829.7	–	–	–	عند الإزاحة الثالثة
A	0	–	–	–	–	–	–	تثبت في وضعيتها البدائية

يبين الشكل (6) مخططات القضبان والموارد للوضعية النهائية المحسنة للخيار الأول.

إن متابعة الحل للخيارات الثلاثة المتبقية تعطي النتائج المبينة في الجدول (6)، حيث يظهر من المقارنة أن الخيارين الأول والثاني هما الخياران المفضلان لمسألة تسوية الموارد المتعددة.

ويبين الشكلان (7,8) مخططات القضبان والموارد للوضعية النهائية المحسنة للخيارين الثالث والرابع.

الجدول 6 – النتائج النهائية للإزاحة للخيارات الثاني والثالث والرابع

رقم الخيار	تسلسل العمليات	الوفر الزمني المتبقي	موضع تثبيت العملية	قيمة الانحراف التربيعي
الثاني	G	3	عند الإزاحة الثالثة	Z=3.74
	D	6	في وضعيتها البدائية	
	E	3	عند الإزاحة الثالثة	
	A	6	في وضعيتها البدائية	
	B	3	عند الإزاحة الثالثة	
الثالث	B	3	عند الإزاحة الاولى	Z=12.28
	A	6	عند الإزاحة الخامسة	
	E	2	في وضعيتها الأولية	
	D	5	في وضعيتها الأولية	
	G	0	في وضعيتها الأولية	
الرابع	A	6	عند الإزاحة الخامسة	Z=14.11
	B	3	في وضعيتها الأولية	
	D	1	في وضعيتها الأولية	
	E	0	في وضعيتها الأولية	
	G	0	في وضعيتها الأولية	

الخلاصة والمقترحات :

إن تجويد الدراسات التخطيطية لمشروعات التشييد، تقتضي الاهتمام بالمسائل التحليلية الناجمة عنها، وضمن هذا الإطار، فإن النموذج المحدث لمنهجية التناول الموجه لمسائل تسوية الموارد المتعددة يعتبر مساهمة تضاف إلى المناهج العديدة المعتمدة، والتي تتعامل مع هذا الموضوع ضمن أشكال متشابهة، ولكن عن طريق تصورات وتركيبات مختلفة، تحدد أفضلية وتسلسل إزاحة العمليات غير الحرجة ضمن المخطط الشبكي للمشروع، وتهدف إلى زيادة درجة التقريب، ودقة النتائج المستحصلة.

ومن الضروري تأكيد أهمية هذه المسألة؛ لما لها من دور مؤثر في تأمين الاستقرار الإداري التنظيمي في المشروع، من حيث محافظتها على أعداد وطواقم شبه ثابتة ومنتظمة من العمال والآليات، أو الموارد الأخرى. ويساعد إدخال القيم الوزنية في معالجة الموارد المتعددة ضمن صيغة رياضية واحدة، مما يوفر إمكانية تطبيقية غير معقدة لمسألة تسوية الموارد.

تعطي قيمة الانحراف التربيعي المحسوبة تصوراً جيداً عن مدى دقة الترتيب النهائي للعمليات، واقتراب ذلك من الحل الأمثل. وكما هو واضح في التطبيق السابق، فإن هناك تفاوتاً كبيراً في درجة الدقة بين الخيارات الأربع والأربعة، حيث نجد أن متوسط الانحراف التربيعي للخيارين الأول والثاني يبلغ 3.74، بينما يرتفع هذا المتوسط في الخيار الرابع إلى 14.11. ويؤكد هذا التفاوت ضرورة التعامل مع مختلف التشكيلات الممكنة، وعدم الاكتفاء بتناول البدايات المبكرة فقط.

وعلى الرغم من أن هذا الأسلوب يستند على افتراضات الاستمرارية التنظيمية للعمليات الإنشائية، وفق مفهوم الطريقة المتسلسلة، التي تنص على أن العملية إما أن تزاح بكاملها خارج المجال الزمني المدروس وغما أن يجري تأخير إزاحتها، فإنه يمكن تطوير هذا النموذج، لكي يتوافق –أيضاً– مع الأسلوب المتوازي الذي ينص على التقييم اليومي لأهمية الإزاحة، وذلك من خلال وضع تصور أولي لإمكانية تجزئة العمليات ضمن حدود زمنية معينة، على أن يتوافق ذلك مع الخصوصيات التكنولوجية لهذه العمليات.

REFERENCES المراجع

1-حنوش، زكي، 1981 – الرقابة والتخطيط في المشروع. منشورات جامعة حلب، حلب.

2-AHUJA,H.N. 1994- Project Management, technique in planning and ntrolling construction project, 2nd ed.، Wiley، New York.

3-HALPIN, D.W. 1980- Construction Management, Wiley, New York.

4-MATTILA, K.G. and ABRAHAM, D.M. 1998- Resource Leveling of Linear Schedules Using Integer Linear Programming, Journal of Construction Engineering and Management، USA., ASCE، Vol. 124, No 3، pp. 232-244.

5-CLOUGH, R.H. and SEARS, A.G. 1979- Construction Project Management, 2nd ed.، Wiley، New York.

6-SHRYBOR, L.E. 1987- Construction Organization and Planning, Vishay Shkola، Moscow.

7-HEGAZY, T. 1999-Optimization of Resource Allocation and Leveling using ic Genetic Algorithms, Journal of Construction Engineering and Management، Vol.125,No.3,pp. 167-175.

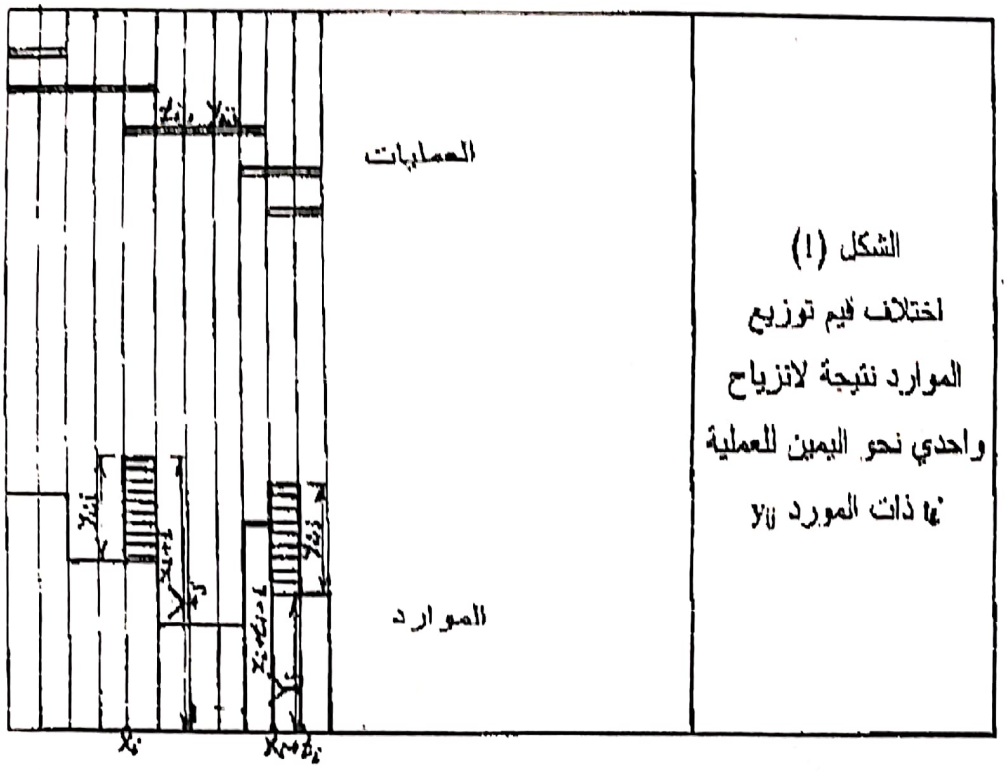
8-SON, J. and SKIBNIEWSKI, M.J. 1999- Multiheuristic Approach for Resource Leveling Problem in Construction Engineering: Hybrid Approach, Journal of Construction Engineering and Management، USA, ASCE, Vol.125,No. 1 pp.23-31.

9-HARRIS, R.B. 1978- Precedence and Arrow Networking Techniques for Construction، Wiley، New York.

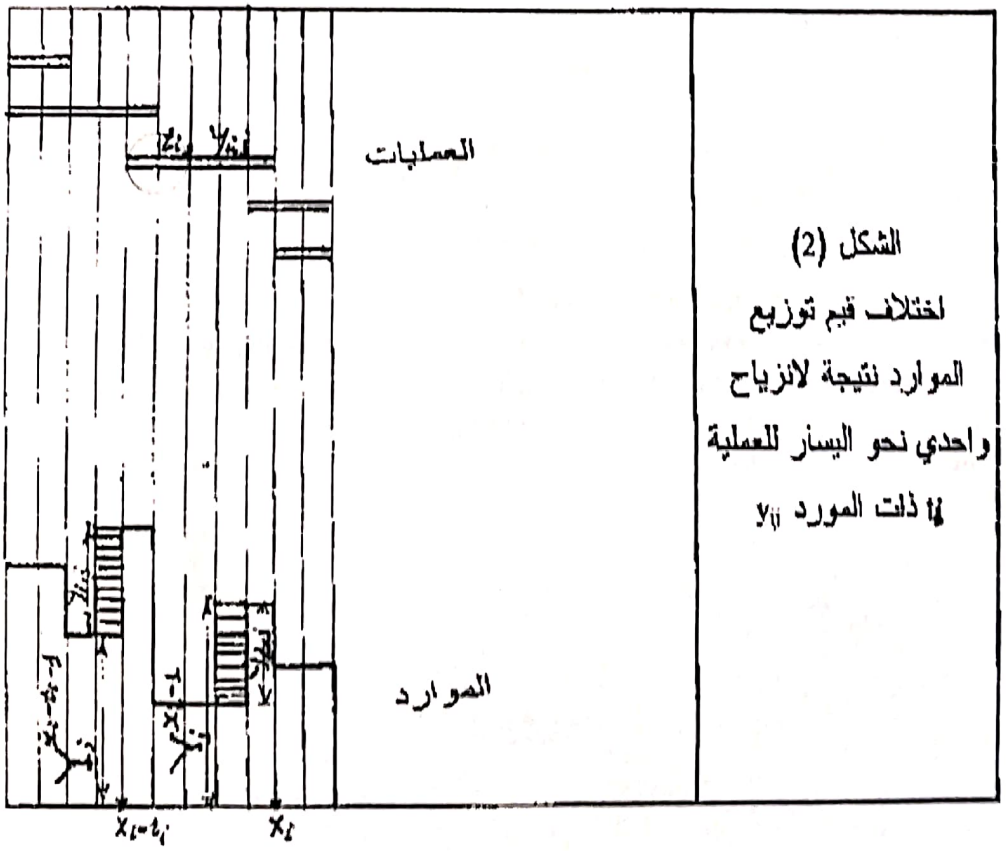
10-POPESCU, C.M. and CHAROENNGAM, C. 1995- Project Planning، Scheduling and Control in Construction، Wiley، New York.

11-LEAVY, F.K. and THOMPSON, G.L. 1962- Multiship, Multishop, Workload – Smoothing Program, Naval Res. Logistics Quarterly, USA, q(1), pp. 37-44.

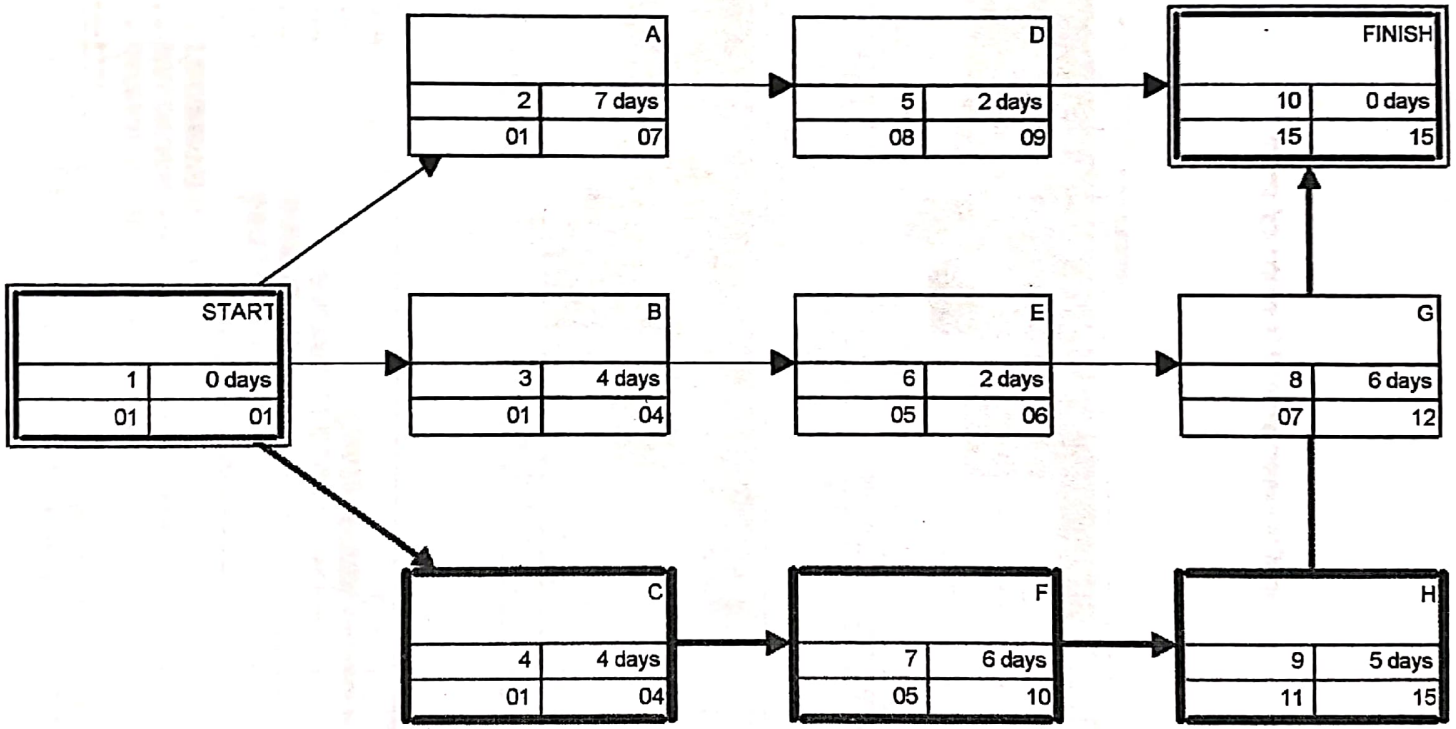
12-WHITE, J.A. 1977- Principles of Engineering Economic Analysis, Wiley, New York.



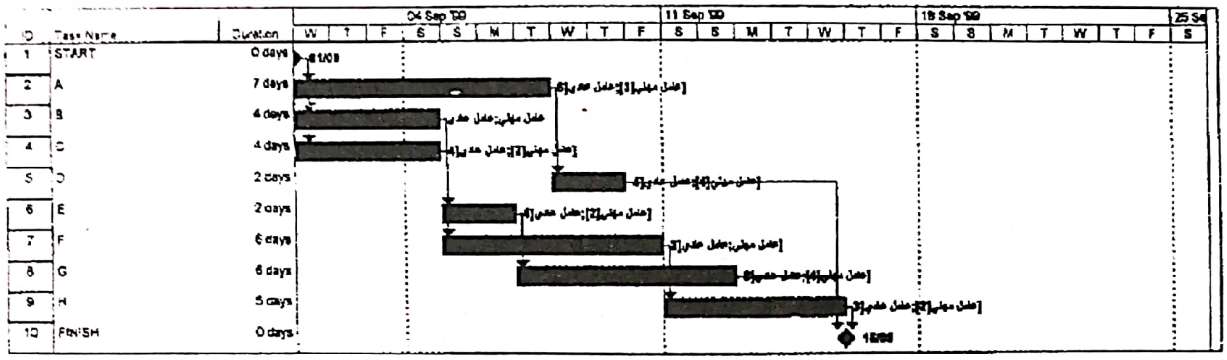
الشكل (1)
اختلاف قيم توزيع
الموارد نتيجة لانزياح
واحدي نحو اليمين للعملية
i_1 ذات المورد y_{ij}

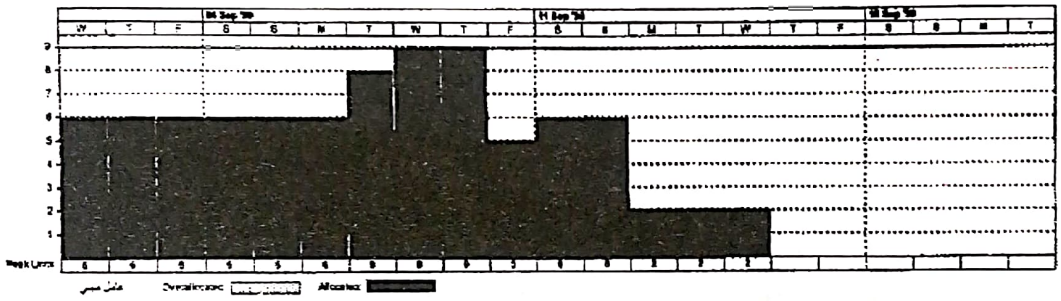


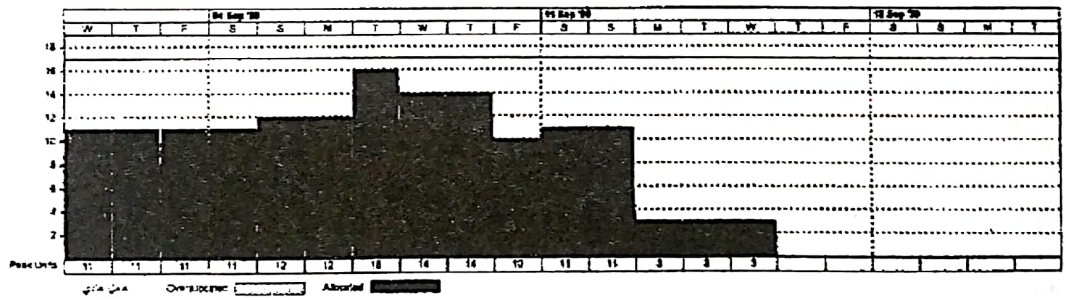
الشكل (2)
اختلاف قيم توزيع
الموارد نتيجة لانزياح
واحدي نحو اليسار للعملية
i_1 ذات المورد y_{ij}



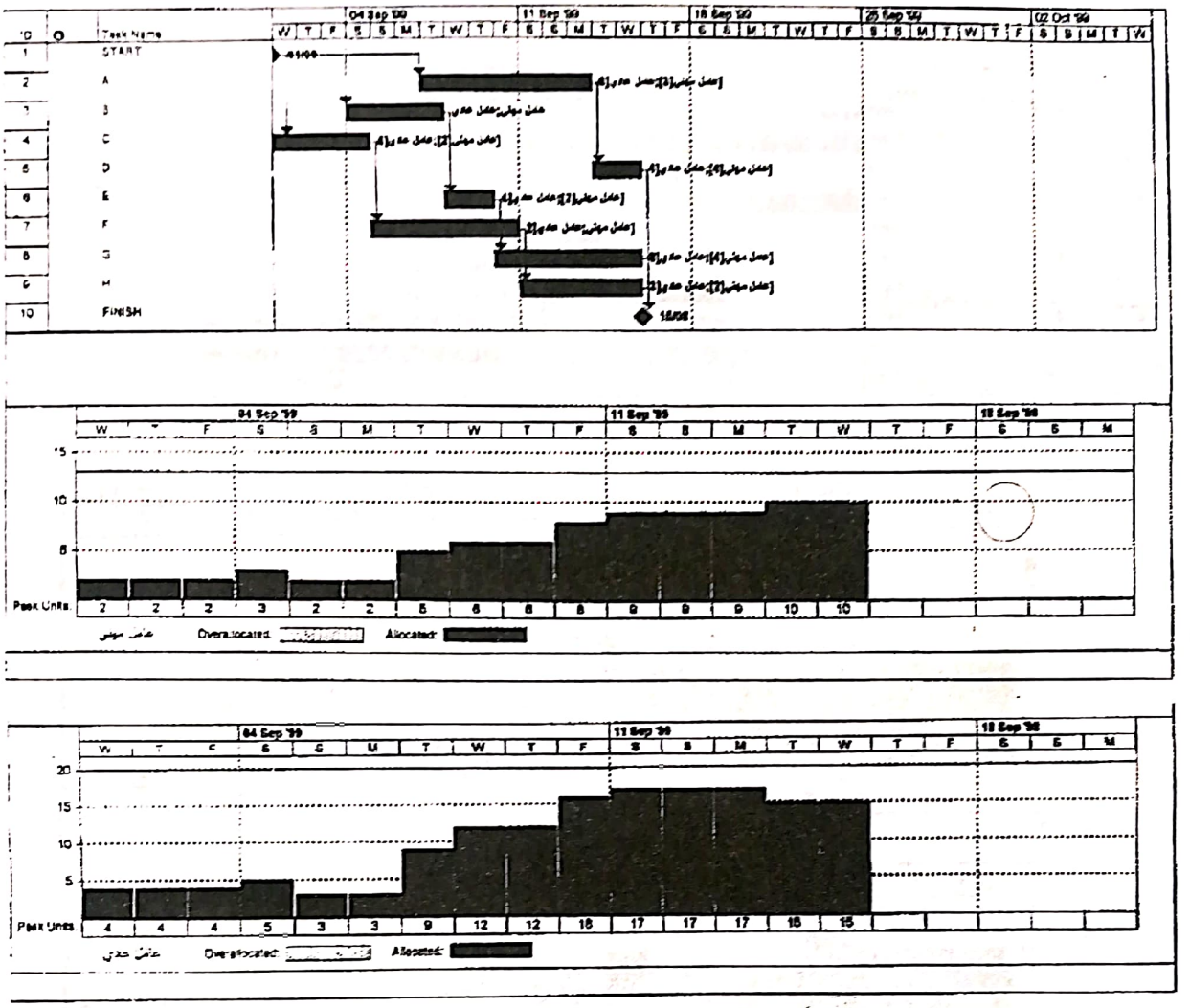
الشكل (3) المخطط الشبكي للعمليات المبينة في الجدول (2)



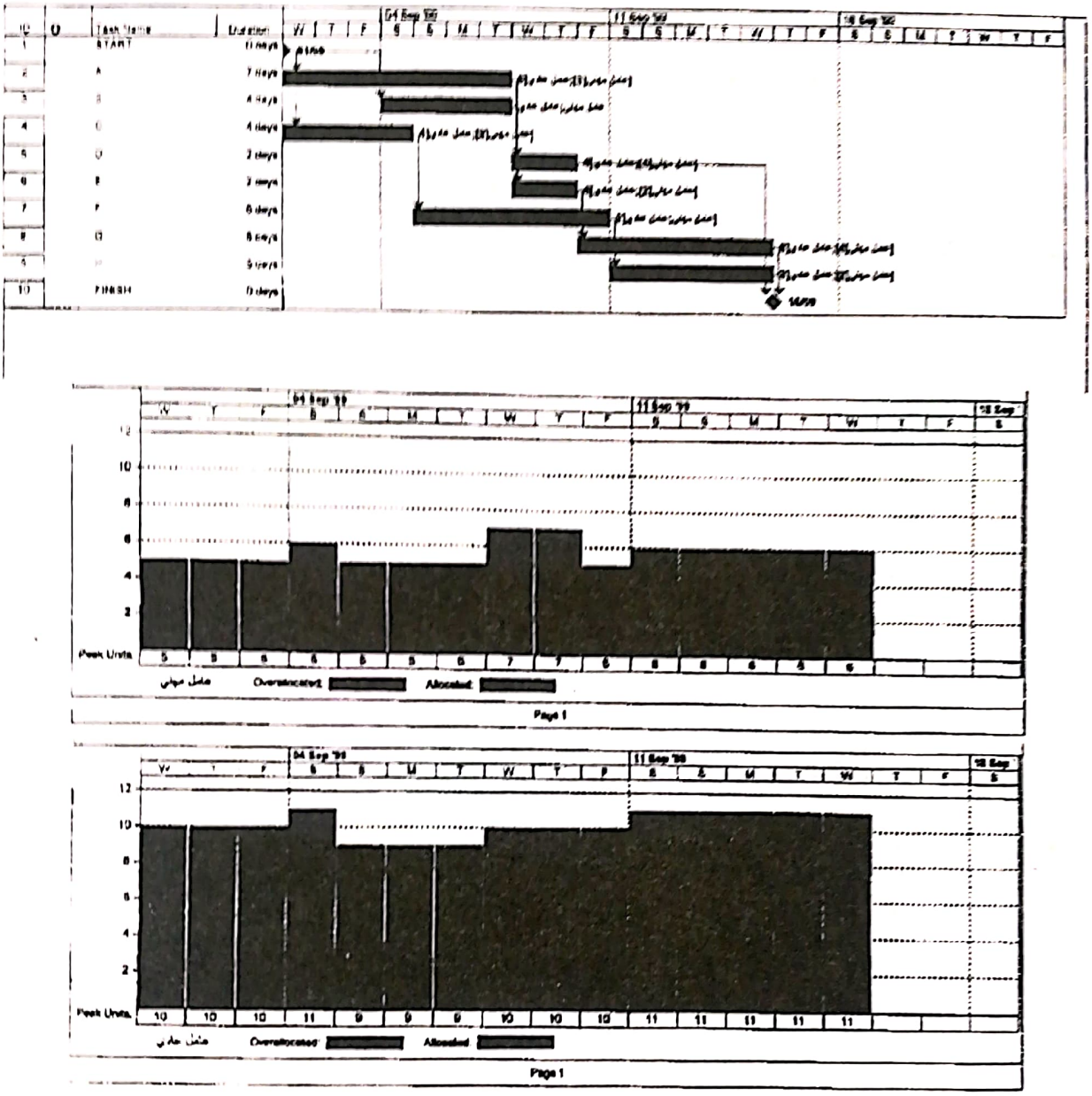




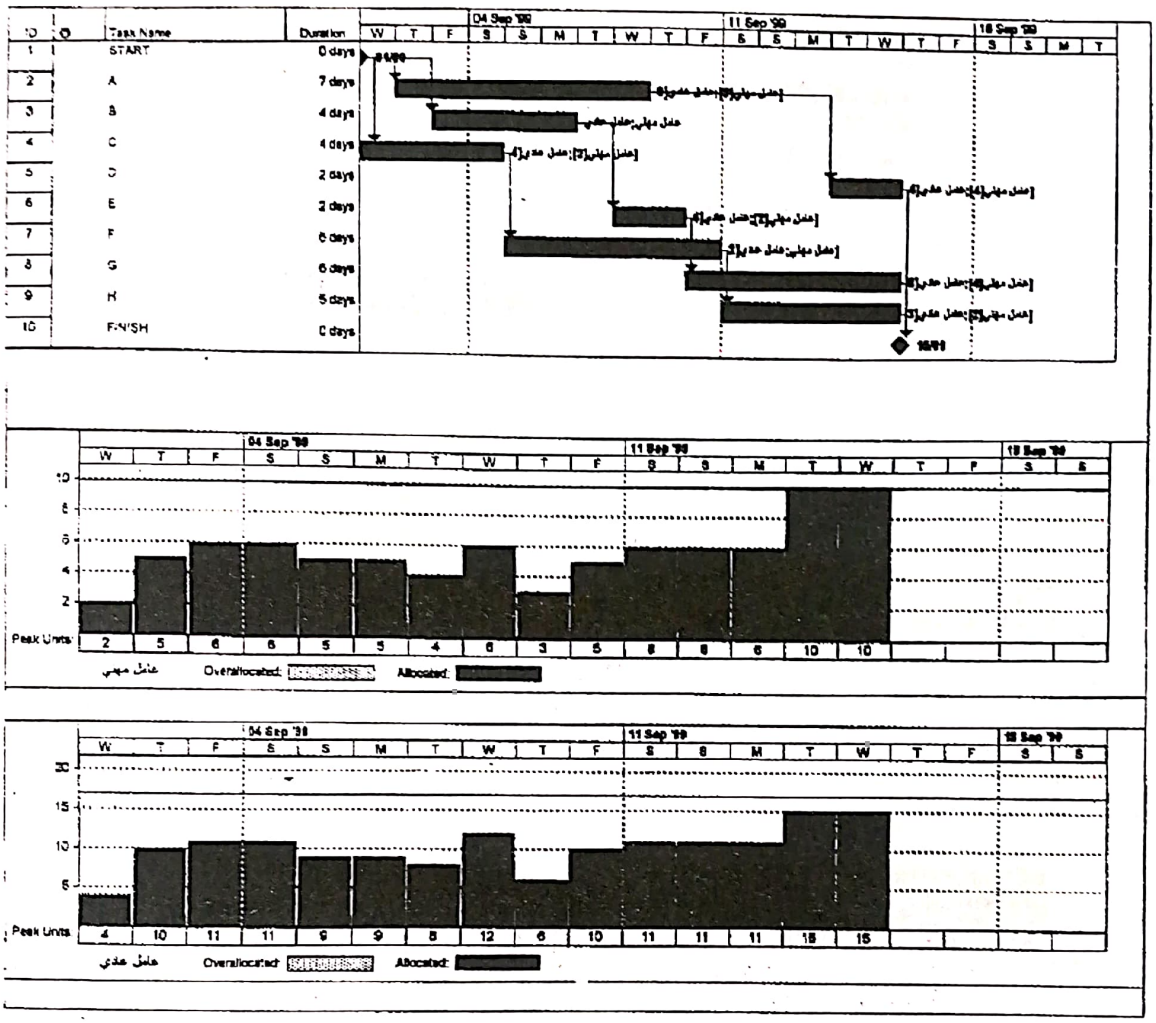
الشكل (٤)– مخططات القضبان والموارد لحالة البدء المبكر للعمليات.



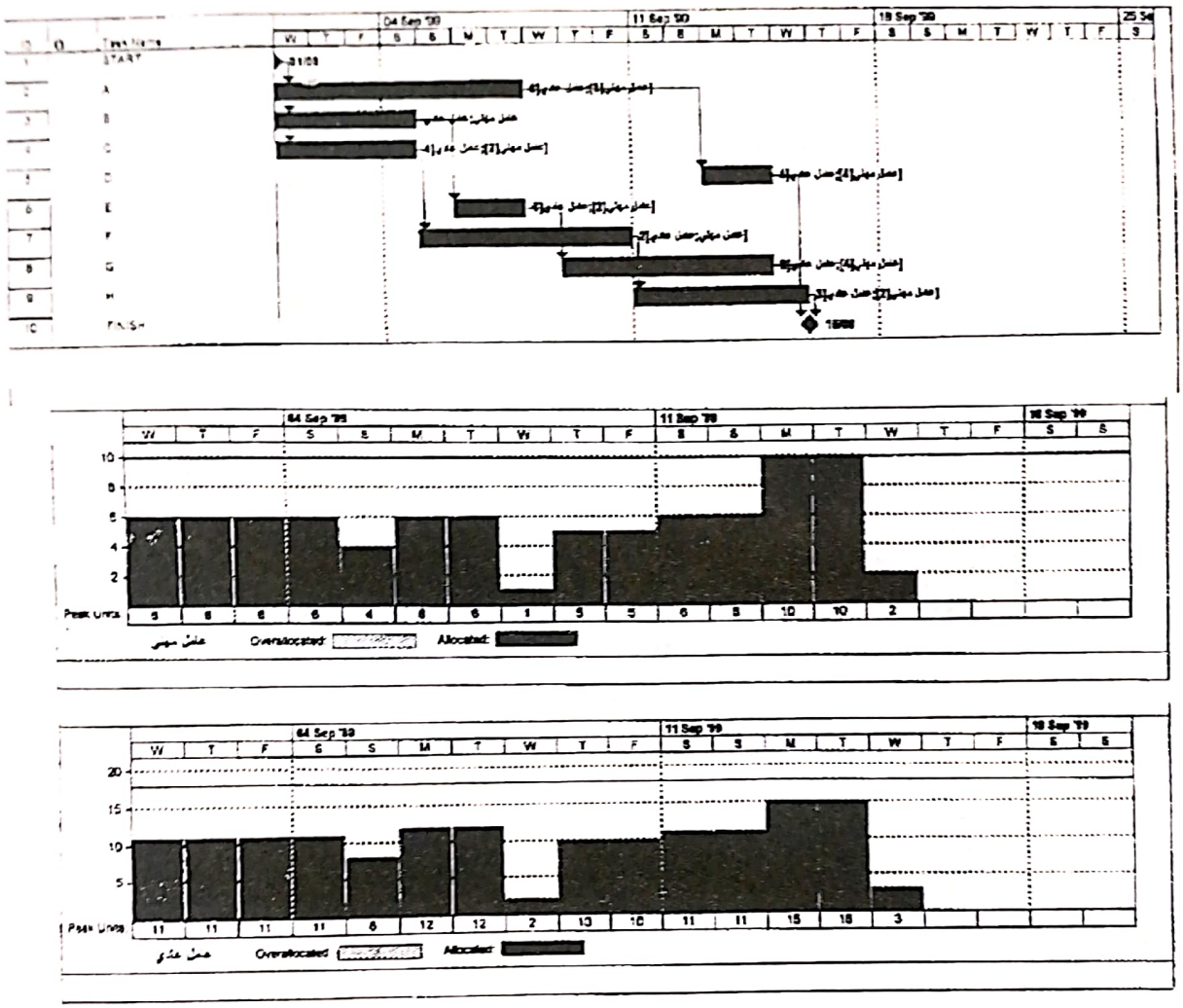
الشكل (5)– مخططات القضبان والموارد لحالة البدء المتأخر للعمليات .



الشكل (٤)- مخططات القضبان والموارد للوضعية المهاية للخيارين الأول والثاني .



الشكل (7)– مخططات القضبان والموارد للوضعية النهائية للخيار الثالث .



الشكل (8)– مخططات القضبان والموارد للوضعية النهائية للخيار الرابع .