Developing a model for optimizing the allocation of labor resources in construction projects

Dr. Fayez Jrad [1]
Dr. Samah Makieh [2]
Ali Mohamed Ahmed [3]

(Received 30 / 12 / 2018. Accepted 17 / 6 / 2019)

□ ABSTRACT □

Resource allocation optimization is one of the challenging problems in project management in today's economy because of the complexity of projects and the increasing costs of the resources in construction projects. This research presents the definition of the importance of smoothing project resources and its role in increasing the quality of achieving projects.

Since there is no software model to smooth the project resources for reaching the optimum allocation, this research aims to develop an optimization model for resource smoothing according to the proposed constraints, which in turn reduces the fluctuations in resource usage diagram without any change in the project duration.

The proposed model utilizes a system that depends on the experiential method to find the best solution, and the value of $\sum R^2$ has been used as a helpful criterion to calculate the measure of the fluctuations in daily resource demands.

After formulating the proposed model, it is programmed using DEV program, which uses C++ language to find the optimum solution.

At last, an illustrative example is presented to ensure the proposed model, and the application results come identical with research objectives.

A comparison with the results of the feature of "resource leveling" in the known construction management programs showed a high efficiency of the developed model.

The results of the developed model met the intended goal of achieving the best schedule with the minimum cumulative resource fluctuations.

Keywords: Project Scheduling; Resource optimization; Resource Smoothing.

[1] **Associate Professor – Engineering and Construction Management Department – Faculty of Civil Engineering – Tishreen University – Lattakia – Syria – email: fayezalijrad@gmail.com.**
[2] **Associate Professor – Engineering and Construction Management Department – Faculty of Civil Engineering – Tishreen University – Lattakia – Syria– email: samahsm2016@hotmail.com.**
[3] **Postgraduate (Master) student – Engineering and Construction Management Department – Faculty of Civil Engineering – Tishreen University – Lattakia – Syria – email: alloosh.91ahmad@gmail.com.**

تطوير نموذج لأمثلة توزيع موارد العمال في مشاريع التشييد

د. فايز جراد [1]

د. سماح مكية [2]

علي محمد أحمد [3]

(تاريخ الإيداع 30 / 12 / 2018. قُبِل للنشر في 17/ 6 / 2019)

□ ملخّص □

تعد عملية توزيع الموارد إحدى المشكلات الصعبة في إدارة المشاريع في اقتصاد اليوم، وذلك بسبب تعقيد المشاريع وبسبب التكاليف المتزايدة للموارد في مشاريع التشييد. سيتم في هذا البحث التعريف بأهمية صقل موارد المشروع ودورها في رفع جودة انجاز المشاريع.

وبما أنه لا يوجد نموذج برمجي لصقل موارد المشروع والوصول بها إلى التوزيع الأمثل، يهدف هذا البحث إلى تطوير نموذج أمثل لصقل الموارد وفقاً للمقيدات المفروضة، والذي يقلل بدوره من التقلبات في مخطط استخدام المورد من دون أي تغيير في مدة المشروع.

يستخدم النموذج المقترح نظاماً يعتمد على المنهج التجريبي لإيجاد الحل الأفضل، وتم استخدام قيمة $\sum R^2$ كمعيار مساعد لحساب مقدار التقلبات في احتياجات المورد اليومية.

بعد صياغة النموذج المقترح تمت برمجته باستخدام برنامج DEV، والذي يستخدم لغة C++ لإيجاد الحل الأمثل.

في النهاية تم تقديم مثال توضيحي للتأكد من صحة النموذج المقترح، وجاءت نتائج التطبيق متطابقة مع أهداف البحث. وأظهرت المقارنة مع نتائج خاصية "تسوية الموارد" في برامج إدارة التشييد المعروفة كفاءة عالية في النموذج المطور.

حققت نتائج النموذج المطور الهدف المنشود وهو تحقيق أفضل جدول زمني بأقل قدر ممكن من تقلبات الموارد التراكمية.

الكلمات المفتاحية: الجدولة الزمنية للمشروع، أمثلة الموارد، صقل الموارد.

[1] **أستاذ مساعد – قسم هندسة وإدارة التشييد – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سوريا – عنوان البريد الإلكتروني: fayezalijrad@gmail.com**

[2] **مدرسة – قسم هندسة وإدارة التشييد – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سوريا – عنوان البريد الإلكتروني: samahsm2016@hotmail.com**

[3] **طالب دراسات عليا – ماجستير – قسم هندسة وإدارة التشييد – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سوريا – عنوان البريد الإلكتروني: alloosh.91ahmad@gmail.com**

مقدمة:

تعد إدارة موارد المشروع إحدى محاور إدارة المشاريع ولها أهمية خاصة من الناحية الاقتصادية، وذلك بسبب التكاليف المتزايدة للموارد وتأثيرها المباشر على المشاريع، حيث أن أغلب المشاريع معرضة للعجز المالي والتزايد غير المتوقع في الكلفة في مراحل مختلفة من المشروع، وذلك من جراء إهمال مسألة تنظيم موارد المشروع والاختيار والتوزيع العشوائي لها. وبنتيجة التأثير المباشر لهذا الموضوع على جودة تنفيذ المشاريع الهندسية، فقد أصبح مصدراً للتنافس بين شركات صناعة التشييد.

وتبرز أهمية عملية التخطيط في كونها أحد العوامل الأساسية لنجاح المشروع وإنهائه في موعده المحدد إضافة إلى تحقيق التوازن بين الاحتياجات والتكاليف كما وتقوم بالتنبؤ بأي مشاكل مستقبلية قد يتعرض لها المشروع وتحديد كيفية التعامل معها.

الدراسات المرجعية:

تعددت الدراسات المرجعية التي تطرقت إلى موضوع توزيع موارد المشروع حيث اتخذ كل منها أبعاد ومتغيرات مختلفة كما وتعددت المنهجيات المتبعة في حل هذه المسألة.

تعرف عملية صقل الموارد بأنها العملية التي تقوم بتقليل التقلبات اليومية لمنحني حمولة المورد اللازم مع الحفاظ على مدة المشروع ثابتة، في حين تهدف عملية تسوية الموارد إلى القيام بتعديل جدولة مهام المشروع بحيث لا تتجاوز مدة المشروع حد معين، إضافة لعدم تجاوز منحني حمولة المورد اللازم لمنحي حمولة المورد المتوفر (Harris, 1990).

قام (Boctor, 1990) بتطوير نموذج حسابي لتوزيع الموارد باستخدام طرائق تجريبية والذي قام بإنتاج حلول للمسألة المطروحة ولكن لم يصل هذا النموذج إلى الحل الأمثل. كما وقام (Leu Yang, 1999) بتقديم نموذج حسابي للجدولة المثلى من خلال العمل على تابعي الكلفة والزمن بشكل مستقل مع أخذ محدودية موارد الشركة بعين الاعتبار، فقد تم استخدام الخوارزميات الجينية لبناء هذا النموذج وقد أنتج حلولاً مثالية بشكل جزئي حيث أنه لم يقدم حلولاً لتخفيض الكلفة الإجمالية. كما وقدم الباحثان (Senouci and Adeli, 2001) نموذج رياضي لجدولة الموارد بتخفيض المدة والكلفة الإجمالية للمشروع. كما وقامت دراسة أخرى بفرض تطويرات على توزيع مورد وحيد من موارد المشروع وتسويته، حيث تم اختيار طريقة الخوارزميات الجينية للبحث عن أقرب حل أمثل يقدم أقل مدة أقل للمشروع وصقل حمولة المورد اللازم قدر الإمكان، ولكن اقتصرت إمكانية النموذج على المشاريع الصغيرة حيث تم تجريبه على مشروع مؤلف من 20 مهمة فقط (Hegazy, 1999). كما وقام (الدياب وآخرون، 2008) بملاءمة الألغوريتمات الوراثية لكي تصبح قادرة على حل مسألة الجدولة الزمنية. وفي دراسة أخرى قام كل من (Gholipour and Shahbazi, 2011) باستخدام نسخة معدلة من خوارزمية Harmony Search لجدولة الموارد المقيدة في المشاريع الإنشائية، حيث تقوم هذه الخوارزمية بتحديد المدة المثالية لكل مهمة من مهام المشروع بحيث تصبح كلفة المشروع أقل ما يمكن، والتحسين الذي تم الحصول عليه بهذه الخوارزمية هو زيادة معدل التقارب وتقليل كلفة ومدة المشروع الإجمالية. وناقش (Menesi, et al., 2015) إمكانية تطوير نظام لبرمجة المقيدات لتحقيق أمثلة الجدولة للمشاريع الإنشائية واسعة النطاق بحيث تستوفي الأمور المتعلقة بالقيود المفروضة على الموارد بالإضافة إلى موعد تسليم المشروع، حيث أن هذا النموذج قام بحل مشكلة الجدولة المقيدة للموارد متعددة النمط للمشاريع الإنشائية آخذاً بعين الاعتبار موعد التسليم النهائي للمشروع وغرامات التأخير والحوافز وغيرها. وبدوره ركز (Iyer, et al., 2015) على

تطوير أداة لتسوية الموارد بالاعتماد على المنطق الضبابي للتوصل إلى أداة نموذجية قياسية يمكن تطبيقها على المشاريع، تختلف هذه الطريقة عن غيرها من الطرق المعتمدة على المنطق الضبابي والمقترنة بغيرها من تقنيات الذكاء الصنعي، أما هذه الطريقة تعتمد على المنطق الضبابي فقط. واقتصرت هذه الدراسة على القيام بعملية التسوية على مورد وحيد من موارد المشروع، وفقط للمهام المرتبطة ببعضها برابطة نهاية – بداية وبدون فواصل زمنية. ولجأ كل من (Kaiafa and Chassiakos, 2015)و (Kumar and Kumar, 2014) إلى الخوارزميات الجينية في حل مشكلة التوزيع الأمثل للموارد والتي تعتبر من أهم التحديات في إدارة المشاريع وذلك من خلال تجنب تقلبات حمولة المورد مع الزمن وتجنب تجاوز حمولة المورد المتوفر واستخدام موارد إضافية ولكن لم يتم مراعاة القيد المتعلق بالحفاظ على مدة المشروع، حيث يسعى النموذج إلى الحصول على أقصر مدة ممكنة للمشروع.

ركزت أغلب الدراسات المرجعية على موضوع تسوية الموارد من خلال تحريك المهام وإعادة جدولتها، في حين قامت بعض الدراسات بربط عملية التسوية مع الحصول على أقل مدة ممكنة لتنفيذ المشروع. ولكن افتقرت كافة الدراسات المرجعية إلى انتاج صيغة برمجية لإجراء عملية صقل للموارد والحصول على التوزيع الأمثل لمخطط حمولة المورد اللازم مع الحفاظ على مدة المشروع ثابتة.

لذلك سيتم في هذا البحث التعريف بأهمية صقل موارد المشروع ودورها في رفع جودة انجاز المشاريع، بالإضافة إلى تحديد النتائج السلبية الناجمة عن عدم الاهتمام بمسألة توزيع الموارد، كما وسيتم تقديم نموذج برمجي سهل الاستخدام يقوم بدوره بصقل منحني حمولة المورد اللازم وفقاً للمقيدات المفروضة مع الحفاظ على مدة المشروع ثابتة. ومن ثم سيتم تطبيق هذا النموذج على حالة دراسة ومقارنة نتائجها مع نتائج الطرق الأخرى.

وفي نهاية البحث سيتم وضع تقييم للطريقة المقترحة وتوصيات حول إمكانية تطويرها في مسائل الجدولة الزمنية لمشاريع التشييد.

أهمية البحث وأهدافه:

تعتبر مسألة توزيع الموارد من أكثر التحديات في إدارة المشروع بسبب التعقيدات الكثيرة التي ترافق مشاريع التشييد، حيث تسعى الدراسة نحو بناء نموذج أمثل لتوزيع موارد العمالة المتوفرة في المشروع بالشكل الذي يصقل مخطط حمولة المورد قدر الإمكان بوجود مقيدات خاصة على أنشطة المشروع، وذلك من خلال تخفيض التقلبات في منحني حمولة المورد اللازم، لما لهذه التقلبات من تأثير سلبي على إنتاجية وكلفة المشاريع، وما تسببه من مشاكل مالية للمتعهد في مراحل مختلفة من المشروع (Kumar and Kumar, 2014).

حيث سيتم السعي في هذه الدراسة إلى الوصول إلى أداة برمجية قادرة على تحسين الأداء الاقتصادي للمشروع من خلال الوصول إلى أفضل جودة تنفيذ بأقل هدر لموارد العمال، وذلك بعد الأخذ بعين الاعتبار لمقيدات الأسبقية المفروضة على الأنشطة، والحفاظ على مدة المشروع ثابتة.

طرائق البحث ومواده:

يقصد بتخطيط المشاريع هو وضع خطة زمنية لتنفيذ المشروع وتشمل هذه الخطة تعريف الأنشطة وعلاقاتها ببعضها والمسؤول عن كل منها والموارد التي يحتاجها كل نشاط.

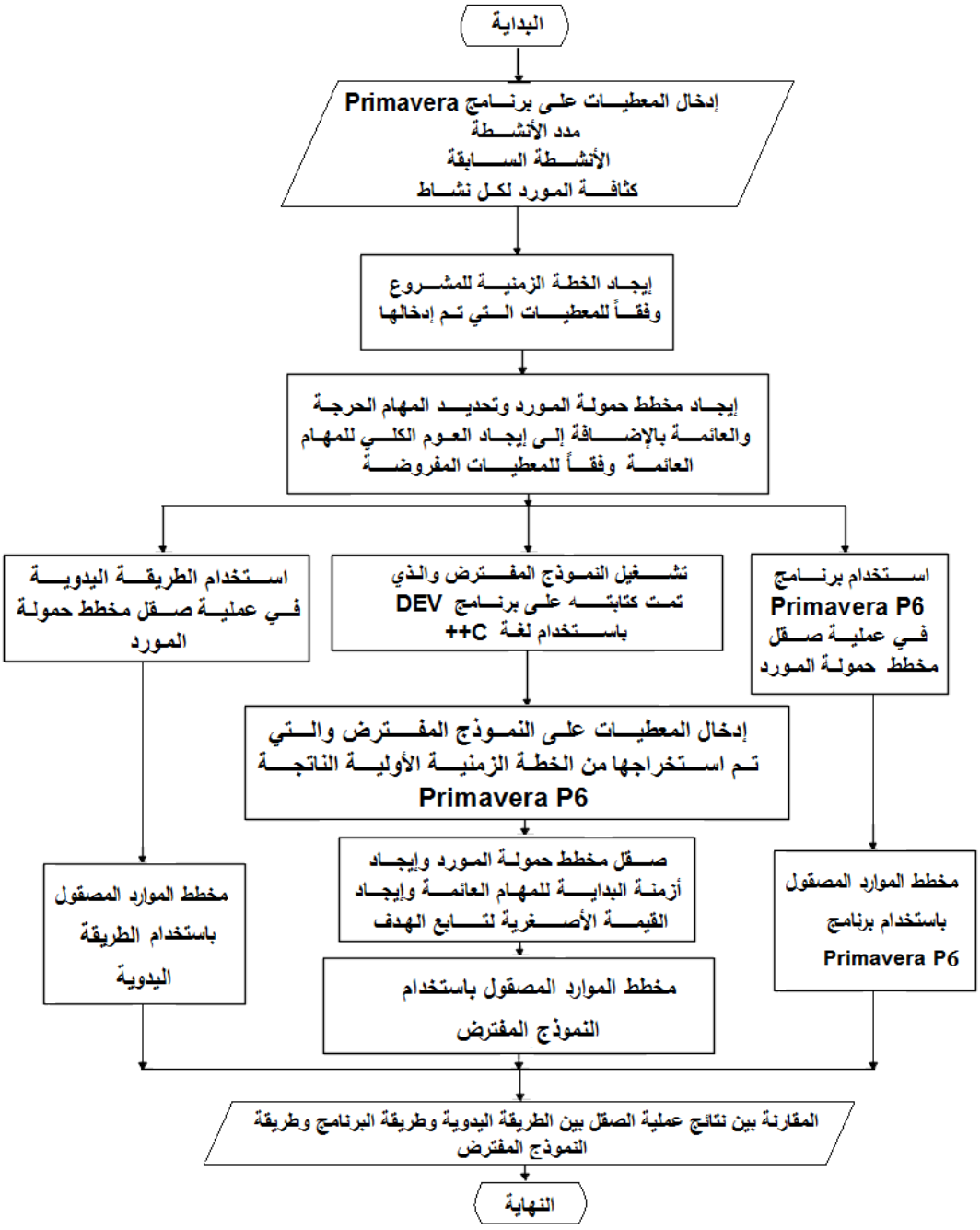
هناك العديد من الطرق والتي يمكن استخدامها في الجدولة الزمنية للمشاريع، حيث تعتبر الطرق التقليدية مثل طريقة المسار الحرج CPM وطريقة PERT غير ملائمة لجميع الحالات لأنها قد تعطي نتائج غير قابلة للتطبيق حيث أنها لا تأخذ بعين الاعتبار مقيدات الموارد ولكنها تصبح ملائمة عندما تحافظ على علاقات الأسبقية بين الأنشطة وتراعي مقيدات الموارد والمقيدات الأخرى للمشروع.

سيتم الاعتماد في هذا البحث على العديد من الدراسات المرجعية التي تناولت موضوع الجدولة الزمنية للمشاريع إضافة إلى المراجع التي استخدمت التقنيات المتقدمة في تسوية وصقل موارد المشروع.

كما وسيتم بناء نموذج برمجي لأمثلة توزيع موارد العمالة من خلال صقل حمولة المورد قدر الإمكان بحيث يتم اعتماد المنهج التجريبي والذي يقوم بتقييم كل الحلول الممكنة والمتوافقة مع القيود المفروضة واختيار الحل الأمثل للمسألة والذي يرتبط بدوره مع أقل قيمة $\sum R^2$ للحلول الممكنة (Li, et al., 1999). وستتم كتابة النموذج باستخدام برنامج DEV الذي يدعم لغة البرمجة C++.

وستتلخص آلية العمل في هذه الدراسة على إدخال معطيات المسألة على برنامج Primavera P6 وإيجاد الخطة الزمنية للمشروع ومن ثم إيجاد مخطط حمولة المورد اللازم بالإضافة إلى تحديد المهام الحرجة والمهام العائمة والعوم الكلي لها. ثم سيتم إدخال البيانات السابقة إلى النموذج المقترح واستعراض النتائج كما وسيتم استخدام ميزات برنامج Primavera P6 لصقل مخطط حمولة المورد اللازم وحساب $\sum R^2$ للمخطط الناتج.

وفي النهاية سيتم إجراء مقارنة بين نتائج النموذج المقترح مع نتائج برنامج Primavera P6 بالإضافة إلى نتائج الطريقة اليدوية في عملية صقل مخطط حمولة المورد لتحديد الطريقة التي تعطي التوزيع الأمثل للموارد وذلك من ناحية دقة النتائج وقدرة الطريقة على التعامل مع مشاريع ضخمة بالإضافة إلى الزمن المستغرق في الحصول على النتائج. ويبين الشكل (1) المخطط التفصيلي لآلية العمل.



الشكل (1) المخطط التفصيلي لآلية العمل

صياغة النموذج المطور لأمثلة توزيع الموارد:

تتكون مشاريع التشييد من مجموعة من الأنشطة والروابط، ولكل نشاط من هذه الأنشطة مدة وكمية محددة من الموارد اللازمة لتنفيذه (مواد، عمالة، آليات)، ولكل مشروع مقيدات متعلقة بالمحافظة على مدة المشروع وعلى روابط الأسبقية بين المهام بالإضافة إلى الحفاظ على مقيدات الموارد والتي يتم التعبير عنها بمخطط حمولة المورد المتوفر.

تم اعتبار تابع الهدف F هو الحصول على أصغر قيمة من $\sum R^2$ حيث يعبر R عن قيمة الاحتياج اليومي من المورد، وفي هذه المسألة لا يمكن عزل كل مهمة بشكل مستقل عن بقية المهام لأن R تمثل الاحتياج اليوم من المورد والذي يساوي بدوره المجموع التراكمي لقيمة هذا المورد بالنسبة لجميع المهام في يوم معين.

تأتي الخطوة الأولى لعملية التمثيل الرياضي للمشكلة المطروحة بتعريف مكونات المسألة وهي:

1- ثوابت المسألة:

- عدد المهام في المشروع
- مدد المهام
- الاحتياج اليومي من المورد لكل مهمة
- أزمنة البداية للمهام الحرجة
- العوم الكلي للمهام غير الحرجة (العائمة)

2- متغيرات التصميم:

- أزمنة البداية للمهام العائمة، وبذلك سيكون عدد المتغيرات مساوٍ لعدد المهام العائمة في المشروع.

3- تابع الهدف:

$$F = \sum_{j=1}^{j=D} R(j)^2 \dots min$$

R(j): المجموع التراكمي للاحتياج من المورد في اليوم (j)

D: مدة المشروع

يعتبر تقليل قيمة $\sum R^2$ هو التعبير الرياضي عن أمثلة توزيع الموارد بحيث يصبح مخطط حمولة المورد اللازم مصقولاً قدر الإمكان والذي يتضمن بدوره تقليل التقلبات اليومية لمخطط حمولة المورد (Li, et al., 1999).

4- المقيدات: سيتم اعتبار مقيدات الدراسة ممثلة بما يلي:

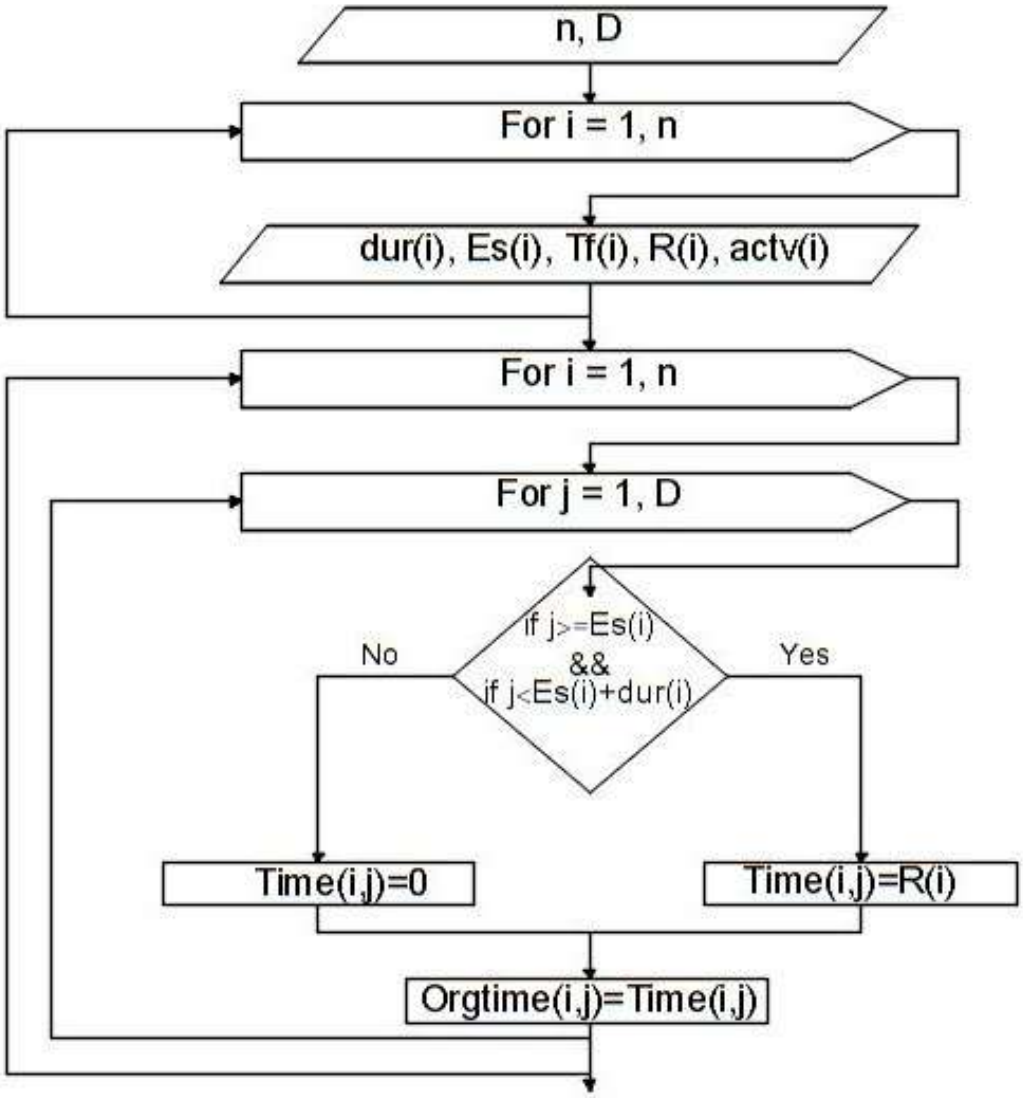
- مدة المشروع ثابتة
- المهام الحرجة في المشروع ثابتة
- لن يتم اعتماد حد أعظمي للمورد المتوفر

وبالتالي سيقوم النموذج بالبحث عن التوزيع الأفضل للموارد، من خلال الوصول إلى أصغر قيمة من $\sum R^2$ عن طريق تحريك المهام العائمة ضمن العوم المتوفر لها.

سيتم تجهيز النموذج المفترض وكتابة الكود البرمجي بلغة C++ على برنامج DEV بالاعتماد على عملية التحريك للمهام العائمة وإعادة الحساب التراكمي لمجموع كثافات المورد في كل يوم عمل وإعادة حساب تابع الهدف F بالنسبة لكل عملية تحريك. وكنتيجة نهائية للنموذج سيتم الحصول على أفضل توضع للمهام العائمة في المشروع مع احترام روابط التسلسل فيما بينها.

سيتم تقسيم المخطط النهجي لعمل النموذج إلى المراحل التفصيلية التالية:

- المرحلة الأولى: في البداية سيتم تعريف مدخلات النموذج وتشكيل مصفوفة كثافة المورد وفقاً للشكل(2).



الشكل (2) المرحلة الأولى لآلية عمل النموذج

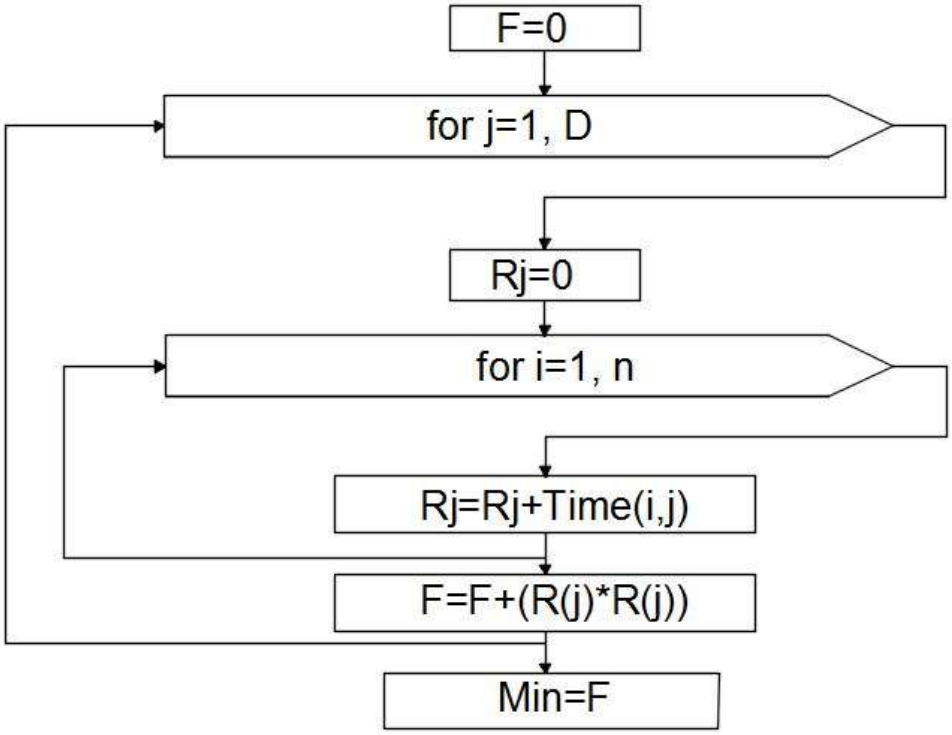
D: مدة المشروع n: عدد الأنشطة في المشروع Tf(i): قيمة العوم الكلي للمهمة (i)

R(i): الاحتياج اليومي من المورد للمهمة (i) j: عداد الأيام 1−D i: عداد الأنشطة 1−n

Time(i,j): قيمة الاحتياج اليومي للمهمة i في اليوم j Es(i): زمن البدء المبكر للمهمة (i)

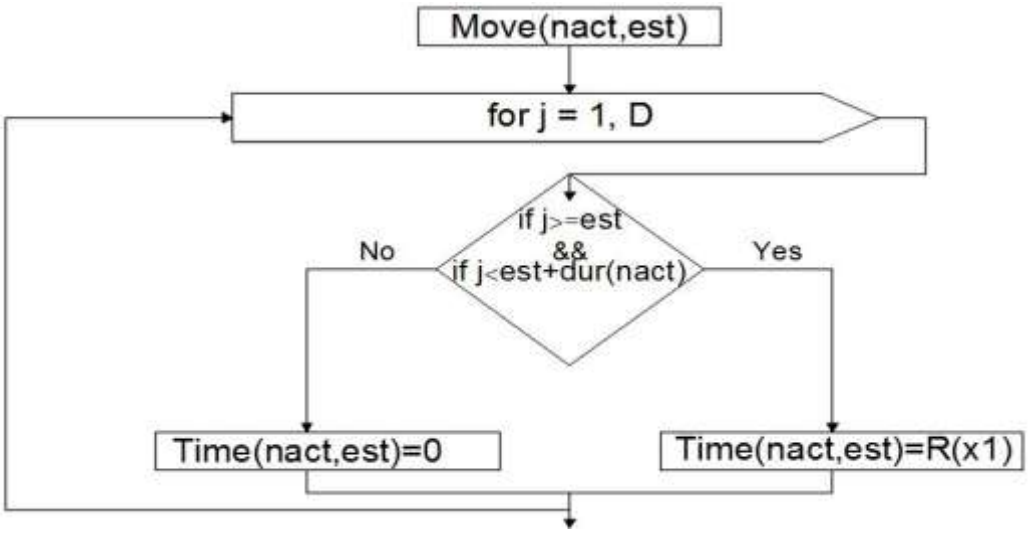
actv(i): متغير يأخذ القيمة 1 إذا كانت المهمة عائمة والقيمة 0 إذا كانت حرجة dur(i): مدة المهمة (i)

- المرحلة الثانية: إيجاد قيمة $\sum R^2$ للحالة الأولية لمصفوفة كثافة المورد وتخزين قيمتها بمتغير Min كما في الشكل (3).



الشكل (3) المرحلة الثانية لآلية عمل النموذج

- المرحلة الثالثة: تعريف تابع التحريك الذي سيتم استخدامه لتحريك المهام العائمة كما في الشكل (4).

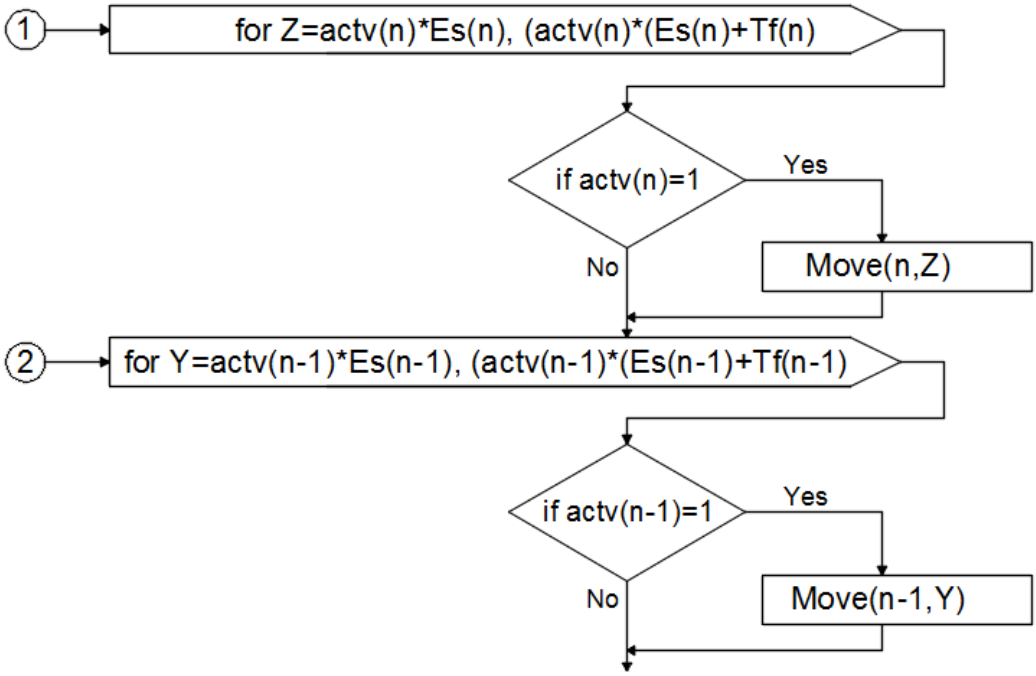


الشكل (4) المرحلة الثالثة لآلية عمل النموذج

nact: رقم المهمة المراد تحريكها **est**: زمن البداية الجديد **F**: القيمة المحسوبة للتابع في كل تكرار

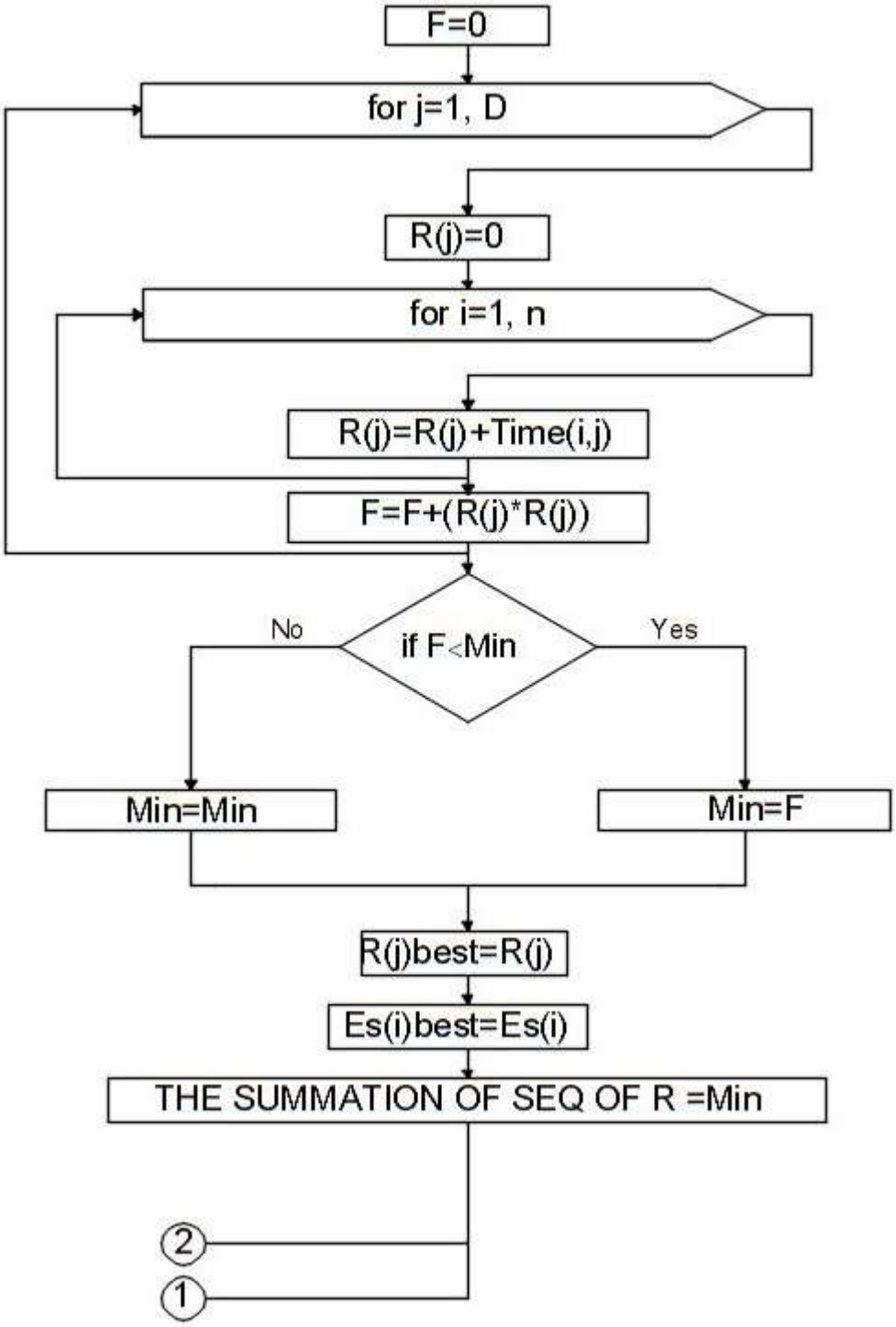
R(j): مجموع الأعمدة في اليوم (j)

- المرحلة الرابعة: انطلاقاً من المهمة العائمة الأخيرة وباتجاه المهمة الأولى، سيتم تحريك المهمة ضمن العوم الكلي الخاص بها وفق حلقات تكرارية متداخلة ومن ثم إيجاد مجموع أعمدة مصفوفة كثافة المورد، بالإضافة إلى حساب قيمة التابع F بالنسبة لكل تكرار كما في الشكل(5).



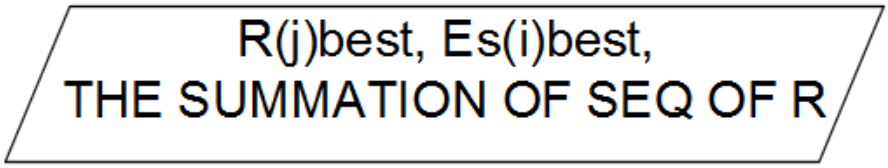
الشكل (5) المرحلة الرابعة لآلية عمل النموذج

- المرحلة الخامسة: ضمن الحلقات السابقة سيتم اختبار تحقق شرط الوصول إلى أصغر قيمة للتابع ومقارنة قيمته مع قيمة المتغير Min للحصول في النهاية على أصغر قيمة للتابع، ومن ثم سيتم تخزين قيم الأشعة R(j) و Es(i) والتي أعطت بدورها الحل الأمثل في الأشعة R(j)best و Es(i)best على الترتيب، كما وسيتم تخزين قيمة التابع الصغرى في المتغير (THE SUMMATION OF SEQ OF R) كم في الشكل (6).



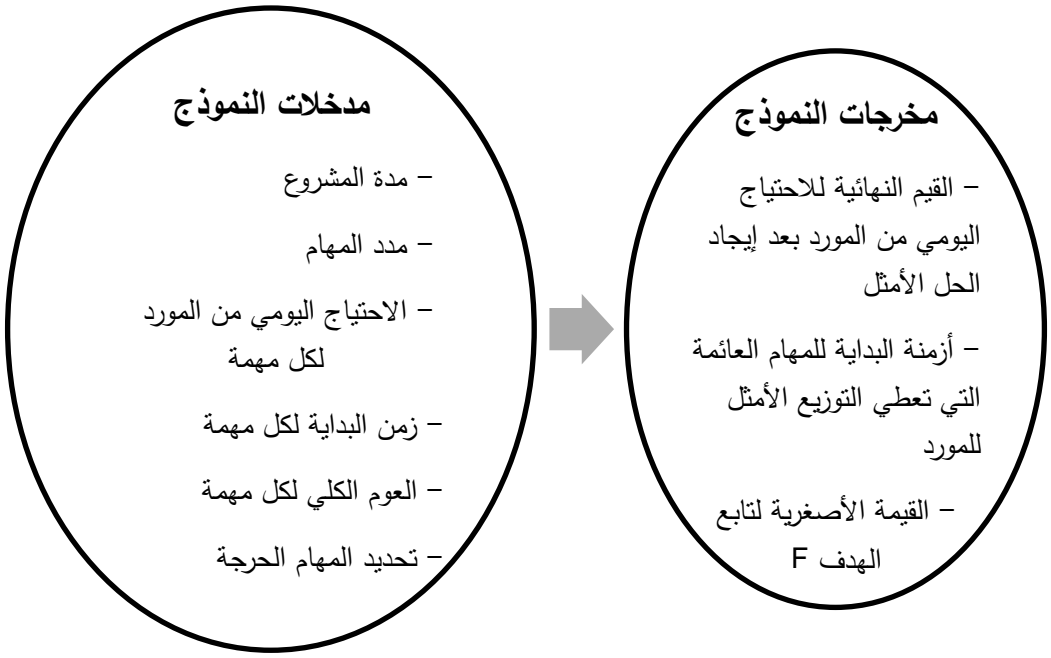
الشكل (6) المرحلة الخامسة لآلية عمل النموذج

- المرحلة السادسة: تأتي هذه المرحلة بعد إغلاق كافة الحلقات التراكمية حيث سيتم استعراض مخرجات النموذج والمتمثلة بشعاع مجموع أعمدة مصفوفة كثافة المورد، وشعاع أزمنة البداية للمهام العائمة والتي تعطي بدورها الحل الأمثل، بالإضافة إلى القيمة الصغرى لتابع الهدف كما في الشكل (7).



الشكل (7) المرحلة السادسة لآلية عمل النموذج

وسيكون الهيكل النهائي لعمل النموذج وفقاً للمدخلات والمخرجات المبينة في الشكل (8)، وقد تمت كتابة الكود البرمجي للمخطط النهجي السابق بلغة C++، ويمكن للبرنامج الذي تم إعداده أن يعمل على أي حاسوب شخصي وهو قادر على صقل موارد مشروع مؤلف من 26 مهمة قابلة للزيادة.



الشكل (8) مدخلات ومخرجات النموذج المقترح

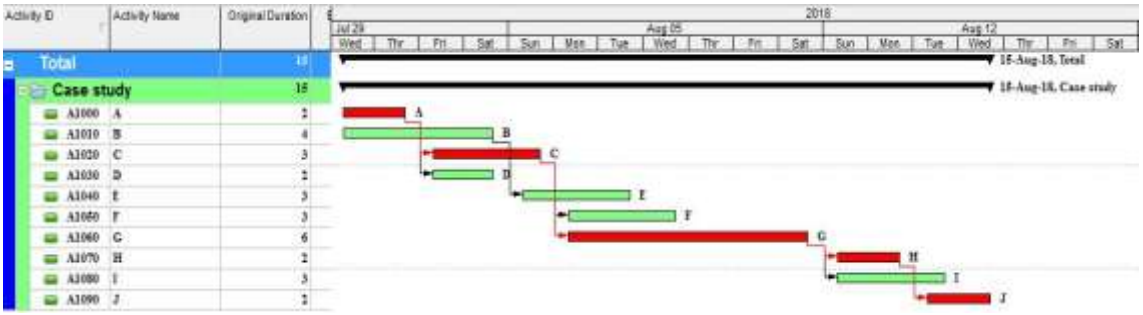
حالة الدراسة:

للتأكد من صحة النموذج المقترح سيتم تجريبه على حالة دراسة لمشروع مؤلف من عشر مهام ويبين الجدول (1) مدد المهام والمهام السابقة بالإضافة إلى كثافة المورد بالنسبة لكل مهمة.

الجدول(1) معطيات المشروع المفترض

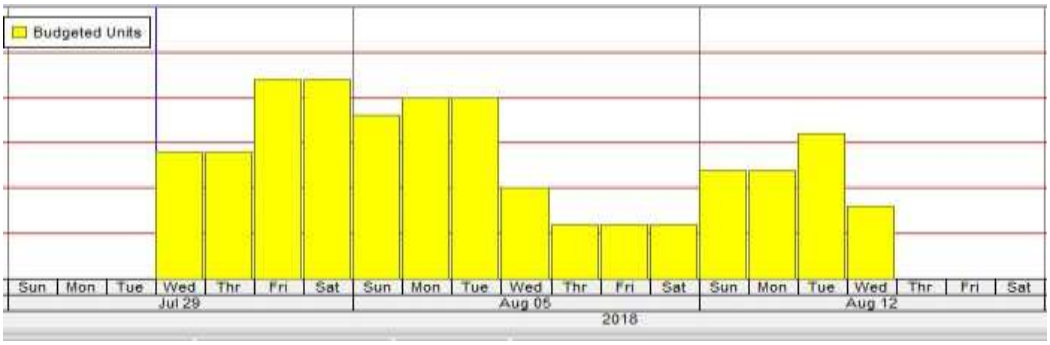
المهمة	المدة	المهام السابقة	عدد العمال
A	2	–	3
B	4	–	4
C	3	A	4
D	2	A	3
E	3	B	5
F	3	C	2
G	6	C	3
H	2	G	2
I	3	G	4
J	2	H	4

وبعد إدخال معطيات المشروع على برنامج Primavera P6 كانت الخطة الزمنية وفقاً للشكل (9) بمدة تساوي 15 يوم، وتمثل المهام ذات اللون الغامق المهام الحرجة للمشروع، أما بقية المهام ذات اللون الفاتح فهي المهام العائمة.



الشكل (9) المخطط الزمني الأولي وفقاً لمعطيات المشروع

ويظهر الشكل (10) مخطط حمولة المورد اللازم الخاص بالعمال.



الشكل (10) مخطط حمولة المورد اللازم وفقاً لمعطيات المشروع

حيث تبين أنه أكبر كثافة للعمال في اليومين 4 ,3 وأقل كثافة للعمال في الأيام 11 ,10 ,9 ويظهر الشكل (11) التمثيل القضباني للمشروع وفقاً لكثافة مورد العمال، كما ويظهر قيمة $\sum R^2$ وفقاً للخطة الأولية.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A	3	3													
B	4	4	4	4											
C			4	4	4										
D			3	3											
E					5	5	5								
F						2	2	2							
G						3	3	3	3	3	3				
H												2	2		
I												4	4	4	
J														4	4
$\sum R^2$ **825**	7	7	11	11	9	10	10	5	3	3	3	6	6	8	4

الشكل (11) التمثيل القضباني للمشروع وفقاً لكثافة مورد العمال

وعند استخدام النموذج المفترض سيتم إدخال معطيات المشروع والبيانات المتعلقة بكل مهمة من المهام كما هو موضح في الشكل (12)، في حين سيقوم النموذج بأمثلة توزيع موارد المشروع وعرض الاحتياجات اليومية من المورد في يوم عمل على كامل مدة المشروع، كما وسيقوم النموذج باستعراض أزمنة البداية لكل مهمة من المهام العائمة بالإضافة إلى حساب $\sum R^2$ للحالة الأمثل.

```
ENTER THE NO. OF ACTIVITIES=10
ENTER THE INITITIAL PROJECT DURATION=15

A
dur=2
ARE YOU SURE Y/Ny
Es=0
ARE YOU SURE Y/Ny
Tf=0
ARE YOU SURE Y/Ny
R=3
ARE YOU SURE Y/Ny
crtical=0 , not critical=1
0
ARE YOU SURE Y/Ny


B
dur=4
ARE YOU SURE Y/Ny
Es=0
ARE YOU SURE Y/Ny
If=8
ARE YOU SURE Y/Ny
R=4
ARE YOU SURE Y/Ny
crtical=0 , not critical=1
1
ARE YOU SURE Y/Ny
```

الشكل (12) واجهة إدخال معطيات المشروع على النموذج المقترح

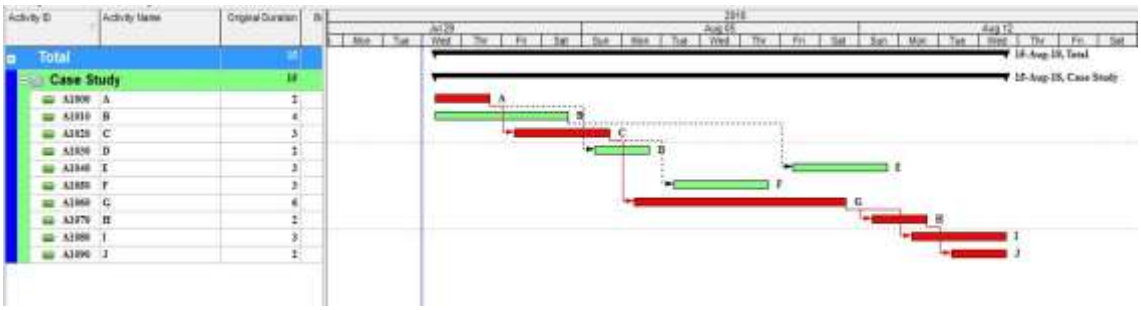
ويبين الشكل(13) مخرجات النموذج المقترح بعد تطبيق حالة الدراسة، حيث لم يتم تحريك المهمة B، بينما تم تحريك المهمة D بمقدار (2 days) وتحريك المهمة E بمقدار (5 days) وتحريك المهمة F بمقدار (1 day) وتحريك المهمة I بمقدار (1 day).

```
final time
7,7,8,8,7,6,5,5,5,8,8,7,6,8,8,
 ESB=0
 ESD=4
 ESE=9
 ESF=6
 ESI=12
 THE SUMMATION OF SEQ OF R=727

--------------------------------
Process exited after 312.1 seconds with return value 0
Press any key to continue . . .
```

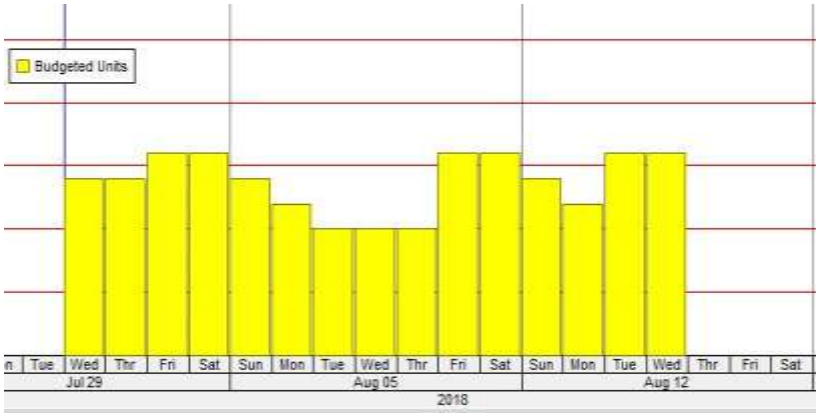
الشكل (13) مخرجات النموذج المطور بعد تطبيق حالة الدراسة

وبعد تعديل أزمنة البداية للأنشطة العائمة (D, E, F, I) على برنامج Primavera P6 مع الإبقاء على بقية المعطيات ثابتة تصبح الخطة الزمنية كما في الشكل (14).



الشكل (14) المخطط الزمني للمشروع بعد استخدام النموذج المقترح

كما ويصبح مخطط حمولة المورد اللازم الخاص بالعمال في هذه الحالة كما هو مبين في الشكل (15).



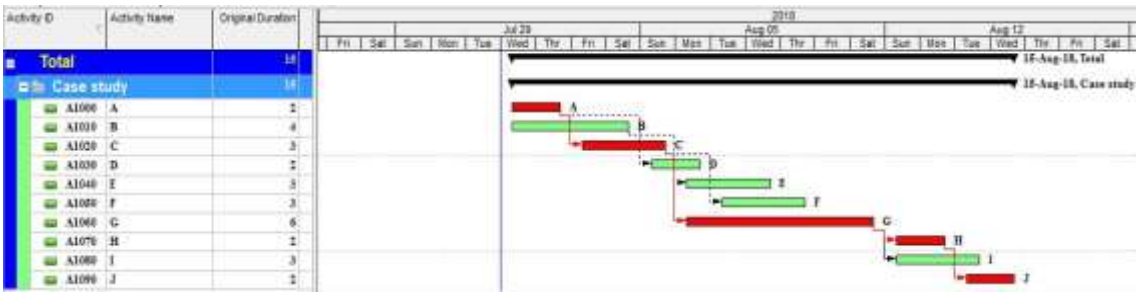
الشكل (15) مخطط حمولة المورد اللازم بعد استخدام النموذج المقترح

ويظهر الشكل(16) التمثيل القضباني للمشروع وفقاً لكثافة مورد العمال بعد استخدام النموذج المقترح، حيث تبين انخفاض قيمة $\sum R^2$ بشكل واضح عما كانت عليه في الخطة الأولية.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A	3	3													
B	4	4	4	4											
C			4	4	4										
D					3	3									
E										5	5	5			
F							2	2	2						
G						3	3	3	3	3	3				
H												2	2		
I													4	4	4
J														4	4
$\sum R^2$ **727**	7	7	8	8	7	6	5	5	5	8	8	7	6	8	8

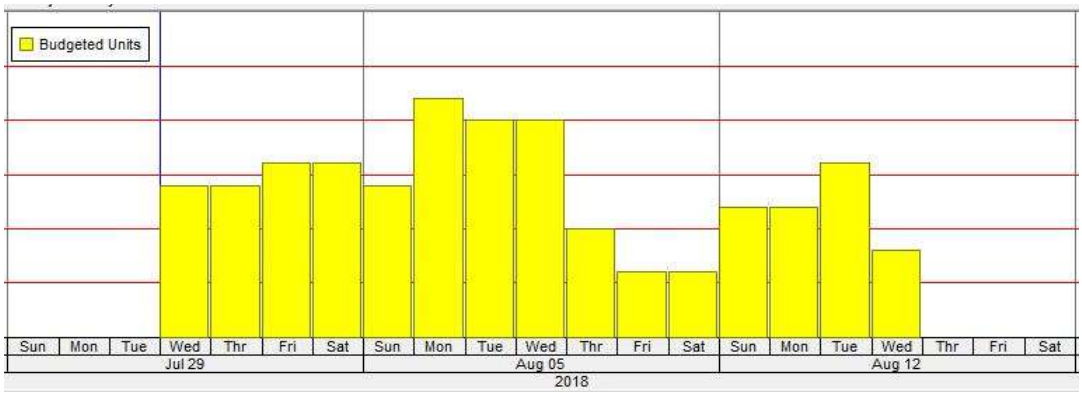
الشكل (16) التمثيل القضباني للمشروع بعد استخدام النموذج المقترح

وبما أن برنامج Primavera P6 مزود بأداة لتسوية الموارد (Leveling) موجودة ضمن قائمة أدوات في شريط القوائم، تقوم هذه الأداة بعملية تسوية وصقل للموارد (Hegazy, 1999)، وبالتالي يمكن مقارنة نتائج استخدام هذه الأداة مع نتائج النموذج المقترح في عملية صقل الموارد. ولكن بشكل عام لا يمكن اعتبار برامج إدارة المشاريع الهندسية المعروفة كأنظمة ذكية في عملية اتخاذ القرار، وإنما تشكل قاعدة بيانات ضخمة تساعد بدورها مهندس التخطيط في عملية إدارة المشروع من خلال الاستفادة من الأدوات الموجودة فيه. حيث تقتصر حزمة برمجيات إدارة المشاريع الهندسية في عملية تسوية الموارد على استخدام خيار وحيد يتعلق مستوى الأولوية للمهام ولا تقدم خيارات إضافية في عملية تحريك الأنشطة، وبالتالي يجب على برامج إدارة المشاريع الهندسية أن تدخل بعض الأنظمة الفعالة في عملية إدارة الموارد لتدارك كافة العقبات التي قد تواجه المشروع (Kumar and Kumar, 2014). وبعد استخدام أداة التسوية في برنامج Primavera P6 على حالة الدراسة السابقة أصبحت الخطة الزمنية كما في الشكل(17).



الشكل (17) المخطط الزمني للمشروع وفقاً بعد استخدام تقنيات برنامج Primavera P6 في عملية أمثلة توزيع الموارد

وكان مخطط حمولة المورد اللازم الخاص بالعمال في هذه الحالة وفقاً للشكل (18).



الشكل (18) مخطط حمولة المورد اللازم بعد استخدام تقنيات برنامج Primavera P6 في عملية أمثلة توزيع الموارد

وكان التمثيل القضباني للمشروع في هذه الحالة وفقاً للشكل(19)، حيث تبين انخفاض قيمة $\sum R^2$ عما كانت عليه في الخطة الأولية، ولكنه لم يصل إلى القيمة التي تم الوصول إليها باستخدام النموذج المقترح.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A	3	3													
B	4	4	4	4											
C			4	4	4										
D					3	3									
E						5	5	5							
F							2	2	2						
G						3	3	3	3	3	3				
H												2	2		
I												4	4	4	
J														4	4
$\sum R^2$ **791**	7	7	8	8	7	11	10	10	5	3	3	6	6	8	4

الشكل (19) التمثيل القضباني للمشروع بعد استخدام تقنيات برنامج Primavera P6 في عملية أمثلة توزيع الموارد

النتائج والمناقشة:

في هذه الدراسة تم تطوير نموذج برمجي لإيجاد التوزيع الأمثل لموارد العمالة في المشروع وكتابته على برنامج DEV بلغة C++. يعتمد هذا النموذج على المنهج التجريبي لإيجاد الحل الأفضل في ظل وجود عدد كبير من الحلول المحتملة لهذه المسألة.

بعد تجريب النموذج الذي تم تطويره على حالة دراسة لمشروع مؤلف من عشر مهام وبكثافات مورد مختلفة بالنسبة لكل مهمة، أثبت هذا النموذج كفاءته في إعطاء حلول مثلى لتوزيع موارد المشروع بالشكل الذي يصقل مخطط حمولة المورد قدر الإمكان.

يظهر الجدول (2) مقارنة بين حلول مختلفة للمسألة المطروحة، وقد تم اعتماد $\sum R^2$ كمعيار رئيسي للمقارنة بين الطرق المختلفة (Li, et al., 1999). كما وتم إضافة معيار زمن المعالجة لأهميته في معرفة مدى كفاءة النموذج في المشاريع الأكثر تعقيداً (Menesi, et al., 2015). إضافةً لذلك تم اعتماد المجموع التراكمي لتقلبات المورد اليومية والانحراف المعياري والاستخدام الأعظمي للمورد كمعايير إضافية للمقارنة (Kaiafa and Chassiakos, 2015). وكنتيجة نهائية يظهر الجدول (2) أن النتائج التي تم الحصول عليها باستخدام النموذج المفترض والطريقة اليدوية هي الأكثر جدوى، حيث كانت قيمة $\sum R^2$ والمجموع التراكمي للتقلبات اليومية أقل منها عند استخدام برنامج Primavera P6، كما ويظهر النموذج المقترح تفوقاً على برنامج Primavera P6 وذلك نتيجة لعدم قدرة الأخير على صقل حمولة المورد بشكل مستقل عن عملية تسوية الموارد. كما وأن الطريقة اليدوية بالرغم من وصولها إلى نفس نتيجة النموذج المقترح إلا أنها تصبح معقدة عندما يزداد عدد المهام في المشروع وتصبح بحاجة إلى وقت أطول. وكنتيجة نهائية أثبت النموذج المطور أنه الأفضل في عملية صقل مخطط حمولة المورد بوقت مقبول.

الجدول (2) مقارنة بين الطرق المختلفة في عملية أمثلة توزيع موارد المشروع

رقم الحل	المنهجية المستخدمة	الاستخدام الأعظمي للمورد	الانحراف المعياري للمورد	المجموع التراكمي لتقلبات المورد	$\sum R^2$	زمن المعالجة
1	Primavera P6	11	2.4	23	791	2 Sec
2	الطريقة اليدوية	8	1.2	11	727	تستغرق زمن طويل
3	النموذج المطور	8	1.2	11	727	312.1 Sec

الاستنتاجات والتوصيات:

انطلاقاً من النموذج الذي تم تطويره في هذه الدراسة تم التوصل إلى ما يلي:

1- أثبت النموذج المطور كفاءة عالية في عملية صقل موارد المشروع وتعديل الخطة الزمنية بحيث يصبح مخطط حمولة المورد مصقولاً قدر الإمكان مع الحفاظ على مدة المشروع ثابتة. وما لذلك من أثر إيجابي على تحسين الأداء الاقتصادي للمشروع من خلال الوصول إلى أفضل جودة تنفيذ بأقل هدر لموارد العمال.

2- إمكانية الاستفادة من النموذج المفترض كمرجع يمكن الاعتماد عليه في الدراسات اللاحقة المتخصصة في مجال تخطيط موارد المشروع وتجاوز القيود التي تم فرضها عليه، لتزداد موثوقية النموذج في حل مسائل أكثر شمولية وقرباً من الواقع.

3- اقتصرت هذه الدراسة على رابطة نهاية _ بداية، لذا يجب أن تراعي الدراسات المستقبلية تنوع الروابط بين الأنشطة على أن يتم إضافة خيار في البرنامج لإدخال نوع الرابطة، بالإضافة إلى إدخال التوقفات بين الأنشطة (Lags).

4- يمكن أن تتضمن الدراسات المستقبلية المتخصصة في مجال تنظيم موارد المشاريع معايير جديدة في تقييم النموذج وقيوداً إضافية تتعلق بمحدودية المورد لدى الشركة مع إمكانية العمل على أمثلة توزيع كافة الموارد في المشروع.

المراجع:

1- الدياب، علي; علي، حمزة; زعرور، نسيب. *ملاءمة الألغوريتمات الوراثية لاستخدامها في الجدولة الزمنية لمشروعات التشييد*. مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (30)، العدد (4)، 2008، 231-249.

2- BOCTOR, F. F. *Some Efficient Multi-heuristic Procedures for Resource constrained Project Scheduling*. European Journal of Operational Research, North Holland, Vol 49, No. 1, 1990, 3-13.

3- GHOLIPOUR, Y. and SHAHBAZI, M. M. *Resource Constrained Scheduling of Construction Projects Using the Harmony Search Algorithm*. J. Industrial Eng. Iran, Special Issue, 2011, 51-60.

4- HARRIS, R. B., *Packing Method for Resource Leveling (PACK),* Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 116, No. 2, 1990.

5- HEGAZY, T. *Optimization of resource allocation and leveling using genetic algorithms*. J. Constr. Eng. Manage. U. S. A, Vol. 125, No. 3, 1999, 167-175.

6- IYER, P.; LIU, Y.; SADEGHPOUR, F. and BRENNAN, R. W. *A fuzzy logic based resource levelling optimisation tool*. IFAC-PapersOnLine. Netherlands, Vol. 48, No. 3, 2015, 1942-1947.

7- KAIAFA, S. and CHASSIAKOS, A. P. *A genetic algorithm for optimal resource-driven project scheduling.* Procedia Engineering. Krakow, Poland, Vol. 123, 2015, 260 – 267.

8- KUMAR, N.S. and KUMAR, R.R. *Study on application of genetic algorithm in construction resource levelling*, International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. India, Vol. 3, No. 2, 2014, 78-83.

9- LEU, S. S. and YANG, C. H. *GA-based multi-criteria optimal model for construction scheduling*. J. Constr. Eng. Manage. U. S. A, Vol. 125, No. 6, 1999, 420–427.

10- LI, H., CAO, J.N. and LOVE, P.E., *Using Machine Learning and Genetic Algorithms to solve Time Cost Trade of Problems, ASCE,* journal of Construction and Management, Vol. 125, No.5, 1999.

11- MENESI, W.; ABUWARDA, Z.; ABDEL-MONEM, M. and HEGAZY, T. *Multi-objective schedule optimization using constraint programming*. International Construction Specialty Conference. Vancouver, British Columbia, 2015, 1-9.

12- SENOUCI, A. B. and ADELI, H. *Resource scheduling of construction projects using neural dynamics model of Adeli and Park*. J. Constr. Eng. Manage. U. S. A, Vol. 127, No. 1, 2001, 28-33.