

استخدام البرمجة الديناميكية في التحليل الشبكي للمشاريع الإنشائية

دراسة حالة مشروع إنشاء موقف للسيارات بالمحطة البرية لنقل المسافرين في مدينة سطيف

*Using Dynamic Programming in Network Analysis of Construction Projects
A case study of the construction of a car park at the land station for transporting
passengers in the city of Setif*

د. عادل بن عطاء الله¹ / مخبر الشراكة والاستثمار في المؤسسات الصغيرة والمتوسطة في الفضاء الأورومغاربي ، جامعة سطيف 1

(الجزائر)، adel.benattallah@univ-setif.dz

تاريخ النشر: 2021/12/31

تاريخ القبول: 2021/10/12

تاريخ الاستلام: 2021/09/13

ملخص

هدفت هذه الورقة البحثية إلى دراسة كيفية استخدام البرمجة الديناميكية في التحليل الشبكي للمشاريع الإنشائية، وقد تم اختيار دراسة مشروع إنشاء موقف للسيارات بالمحطة البرية لنقل المسافرين في مدينة سطيف الذي يتكون من 19 نشاط، وقد تم تقسيم المشروع إلى 6 مراحل، وباستخدام خوارزميتي الحل الأمامي والحل الخلفي تم إيجاد المسار الحرج للمشروع حيث يتكون من 6 أنشطة حرجة، وكذلك إيجاد دالة العائد لكل مرحلة وللمشروع ككل، حيث قدرت المدة اللازمة لإنجاز المشروع ب 30 شهر، ومن خلال النتائج المتوصل إليها وجدنا أن تقنية البرمجة الديناميكية تعد تقنية مثلى في التحليل الشبكي للمشاريع الإنشائية حيث مكنت من إعطاء صورة دقيقة للمعلومات الممكنة حول المشروع المدروس.

الكلمات المفتاحية: البرمجة الديناميكية، المشروع الإنشائي، التحليل الشبكي، المسار الحرج.

تصنيف JEL : C61 ؛ H54 ؛ C41 ؛ C44.

Abstract:

This paper aimed to study how using dynamic programming in network analysis of construction projects. The study was selected for the construction of a car park project at the land station to transport passengers in the city of Setif, which consists of 19 activities. The project was divided into 6 phases. Using the algorithms of the forward solution and the back solution, the critical path of the project was found, which consists of 6 critical activities, As well as finding the return function for each stage and for the project as a whole, as the period required to complete the project was estimated at 30 months, Through the results obtained, we found that the dynamic programming technique is an optimal technique in the network analysis of construction projects, as it enabled to give an accurate picture of the possible information about the studied project.

Keywords: Dynamic Programming, construction project, Network Analysis, Critical Path

Jel Classification Codes : C61 ; H54 ; C41 ; C44.

¹ المؤلف المرسل: عادل بن عطاء الله، adel.benattallah@univ-setif.dz

I - تمهيد :

إن أهم المشاكل التي يواجهها مدراء المشاريع الإنشائية هي الإعداد الجيد لجدولة المشاريع، وذلك من أجل تحديد الموارد الضرورية لتنفيذ أنشطة هذه المشاريع والتحكم فيها وكذلك الرقابة عليها، ويعد التحليل الشبكي للمشاريع أحد الأدوات المهمة التي يعتمد عليها المدراء باستخدام مجموعة من الأساليب العلمية المعروفة في هذا المجال والتي تساعد على نجاح وضمان إنجاز المشاريع، وتعد البرمجة الديناميكية من الأساليب والطرق الرياضية المطبقة في اتخاذ القرارات وحل المشكلات المختلفة، فهي تشكل تقنية وأداة مهمة في عملية التخطيط والرقابة، كما أنها تعالج تلك المسائل التي تمتاز بالتشابك والتعقيد

1.I - إشكالية البحث :

كيف يمكن استخدام البرمجة الديناميكية في التحليل الشبكي للمشروع الإنشائي محل الدراسة؟

2.I - فرضيات البحث :

- يمكن تجزئة المشروع محل الدراسة إلى مجموعة من المراحل المترابطة والمتسلسلة منطقياً؛
- تقوم البرمجة الديناميكية على إيجاد المسار الحرج للمشروع المدروس وتحديد المدة اللازمة لإنجازه.
- تعطي البرمجة الديناميكية كل المعلومات الممكنة للمشروع المدروس حول مدة إنجاز كل مرحلة ومدة إنجاز أي نشاط من أنشطة كل مرحلة؛

3.I - أهداف البحث:

- التعرف على أهم طرق البرمجة الديناميكية المستخدمة في التحليل الشبكي للمشاريع؛
- تحديد الاستراتيجيات والحلول المثلى لإنشاء المشاريع الضخمة التي تمتاز بالتعقيد؛
- الاستغلال الأمثل للموارد المتاحة من أجل إنجاز هذا النوع من المشاريع بأقل وقت وأقل تكلفة ممكنة.

4.I - الدراسات السابقة:

- (دراسة عبد الجبار خضر بخيت وآخرون 2009) بعنوان: تحديد القرار الأمثل في عملية تخطيط الإنتاج باستخدام أسلوب البرمجة الديناميكية، هدفت هذه الدراسة إلى استخدام إحدى أساليب بحوث العمليات وهي البرمجة الديناميكية في التخطيط والسيطرة على الإنتاج وتأثيرها المباشر على تكلفة العملية الإنتاجية والسيطرة على المخزون، وقدمت الدراسة نموذج مقترح استخدم أسلوب الحل الأمامي والحل الخلفي ووجدت أن النتائج متطابقة في كلا الأسلوبين، وأن خطة الإنتاج المثلى المقترحة حققت نسبة زيادة أعلى من خطة الإنتاج الفعلية، وأن التكاليف الكلية في النموذج المقترح هي أقل من التكاليف الكلية في النموذج الفعلي؛

- (دراسة سماء طليع عزيز وآخرون 2012) بعنوان: تصميم خوارزمية جينية لإيجاد المسار الحرج الأمثل لشبكة أعمال المشاريع (GAOCPN)، هدفت الدراسة إلى محاولة تصميم وتوظيف الخوارزمية الجينية بشكل كفء وسلس لإيجاد المسار الحرج الأمثل لشبكات الأعمال باستخدام برنامج (GAOCPN) الذي كتب بلغة ++C، وتم تطبيقه على مشروع جسر الصرافية بالعراق، وتم التأكد من نتائج ووقت التنفيذ ومقارنتهما مع كل من البرمجة الديناميكية والطرق التقليدية للتحليل الشبكي باستخدام برنامج (WINQSB)، وأثبت برنامج (GAOCPN) دقة النتائج وبوقت قياسي كما أنه أعطى نتائج أفضل من البرامج الأخرى؛

- (دراسة عفراء عباس 2018) بعنوان: دراسة لإيجاد الاستراتيجية وتحديد الحل الأمثل باستخدام أسلوب البرمجة الديناميكية لإنشاء محطات الطاقة الكهربائية في العراق، هدفت الدراسة إلى إيجاد الاستراتيجية المثلى لإنشاء المحطات الكهربائية في العراق باستخدام البرمجة الديناميكية، حيث تم تجزئة المشروع محل الدراسة إلى 5 مراحل، وطبقت الباحثة أسلوب واحد فقط هو أسلوب الحل الخلفي وإيجاد الحلول المثلى لكل مرحلة من مراحل الإنجاز، وتوصلت إلى أن أسلوب البرمجة الديناميكية يعد أسلوب جيد في الوصول إلى الاستراتيجية المثلى المعتمدة على مجموع الاستراتيجيات الجزئية التي تم التوصل إليها أثناء مراحل العمل:

- (دراسة مروان عبد الحميد عاشور 2019) بعنوان: جدولة المشاريع باستعمال أسلوب البرمجة الديناميكية والخوارزمية الذكية)، يهدف البحث إلى المقارنة بين الطرق التقليدية والحديثة للحصول على الحل الأمثل باستعمال البرمجة الديناميكية والخوارزميات الذكية لحل المشاكل التي تتعرض لها إدارة المشاريع، وذلك بالاعتماد على الجدول الزمني الذي يضم سلسلة أنشطة مترابطة متسلسلة فيما بينها ويوضح العلاقات بين الأنشطة، وتم الحصول على النتائج باستعمال طريقة البرمجة الديناميكية ومقارنتها بنتائج أسلوب الذكاء الصناعي باستعمال الخوارزمية المهجنة حيث وجد أن مدة إنجاز المشروع المدروس هي 675 يوم عمل في كلا الطريقتين.

II- البرمجة الديناميكية :

II-1- نشأة وتطور البرمجة الديناميكية :

يرتبط أسلوب البرمجة الديناميكية باسم العالم Richard Bellman عندما قام بأبحاثه على شركة The Rand في نهاية الأربعينيات وبداية الخمسينيات، وقدم تلك الأبحاث في كتابه البرمجة الديناميكية عام 1957، ثم توالى البحوث بهذا المجال ففي عام 1961 تم تشكيل فريق مكون من Milten, Daranff, Wanniger بتطبيق البرمجة الديناميكية في مجال الهندسة الصناعية وقد اعتبر هذا البحث أول عمل في هذا المجال، ثم قام الباحث Alli سنة 1978 بتحليل نظم الموارد المائية لأغراض متعددة باستخدام الخزانات على نظام يتكون من 6 خزانات ونهرين في بريطانيا، وكان هدف الدراسة هو تقليل قيمة دالة الهدف إلى أقل ما يمكن كونها تعتمد على حالة التخزين والمياه، وتم الوصول إلى قواعد التغير الأمثل باستعمال البرمجة الديناميكية التفاضلية المنقطعة، وفي عام 1986 طرح الباحث Sulem بحثاً لتحليل سياسة الطلبية المثلى لنظام التخزين لمنتج واحد وكان الهدف هو تخفيض التكاليف، وتم التوصل إلى أفضل الحلول من خلال اشتقاقها لمبدأ البرمجة الديناميكية، وفي عام 2005 ناقش كل من Eugene, Laszio بحثاً لمشكلة العشوائية في جدولة الانتاج باستخدام البرمجة الديناميكية في الشركة العامة لإنتاج البطاريات. (بخيت و آخرون، 2009، صفحة 168)

II-2- تعريف البرمجة الديناميكية :

البرمجة الديناميكية هي "أسلوب رياضي يستخدم في البحث عن الحل الأمثل (الحلول المثلى) للعديد من المسائل كبيرة الحجم عن طريق تجزئتها إلى مسائل جزئية أو مرحلية تتابعية أصغر حجماً تكون أقل صعوبة، وبالتالي فهي تعمل على إيجاد حل جزء من أجزاء المشكلة الأصلية (مرحلة) وتصيغ مدخلات ومخرجات كل مرحلة، ويتم الحصول على الحل الأمثل للمسألة الأصلية عند إيجاد الحلول للمراحل الجزئية كافة". (بقجه جي ويوسف، 2007، صفحة 150)

وتعرف كذلك بأنها "إحدى الطرق الرياضية المستخدمة في نمذجة المسائل التي تهتم بإيجاد حلول للمسائل التي يتميز كل منها بتعدد المراحل بحيث يسهل تجزئتها إلى مراحل متعددة ومتراصة، وذلك عن طريق تحويل كل منها إلى عدة مسائل جزئية ومن ثم إيجاد الحل الأمثل لكل مسألة جزئية على حدى، ثم يتقدم الحل من مرحلة إلى أخرى، بحيث يكون القرار الذي يمكن اتخاذه في أي مرحلة لاحقة هو القرار الأمثل بصرف النظر عن نوعية القرار الذي تم اتخاذه في المرحلة الثانية، وأخيرا نحصل على الحل الأمثل للمسألة الكلية" (قازي أول، 2015، صفحة 51).

II-3- خصائص البرمجة الديناميكية :

- تتميز البرمجة الديناميكية بمجموعة من الخصائص، نذكر أهمها فيما يلي: (Sharma, 2016, p. 47)
- يمكن تقسيم المشكلة إلى مراحل فرعية مع إمكانية التوصل إلى قرار في كل مرحلة؛
- تتكون كل مرحلة من عدد من الحالات المرتبطة بها، حيث أن الحالات عبارة عن الظروف المختلفة الممكنة التي قد يجد النظام نفسه فيها عند تلك المرحلة من المشكلة؛
- يرتبط قرار الوضع الحالي في كل مرحلة بالحالة المرتبطة بالمرحلة التالية؛
- من خلال اشتقاق السياسة المثلى لكل حالة فإن إجراء الحل يبدأ من المرحلة الأخيرة؛
- لتحديد السياسة المثلى لكل حالة من نظام ما، تتم صياغة معادلة تكرارية مع عدد n من المراحل المتبقية، ويأخذ بعين الاعتبار السياسة المثلى لكل حالة مع بقاء $n-1$ من المراحل؛
- في كل مرة يتحرك إجراء الحل للأمام أو للخلف بمرحلة تلو الأخرى للحصول على السياسة المثلى لكل حالة لتلك المرحلة بالذات، حتى يصل إلى السياسة المثلى بدءاً من المرحلة الأولى.

II-4- عناصر البرمجة الديناميكية :

- تتضمن البرمجة الديناميكية مجموعة عناصر تمثل أركاناً رئيسية لأي نموذج:
- المرحلة: تعني الانتقال من حالة إلى حالة أخرى أو هي الفترة الزمنية أو القيمة الفيزيائية التي على أساسها يتم تقسيم المشكلة الرئيسية إلى مشكلات ثانوية؛ (بخيت وآخرون، 2009، صفحة 169)
- متغيرات الحالة: وهي المتغيرات التي تمثل الربط بين المراحل السابقة والمرحلة الحالية أو الربط بين المرحلة الحالية والمراحل اللاحقة، حيث أن كل مرحلة لديها مجموعة من الحالات المرتبطة ببداية تلك المرحلة؛ (Hillier & Lieberman, 2010, p. 429)
- البدائل (متغيرات القرار): وهي المتغيرات التي بموجبها يتم تحديد الحل الأمثل بالقياس إلى هدف المشكلة عند كل مرحلة من مراحل المشكلة؛ (الطائي وهواش، 2013، صفحة 322)
- السياسة المثلى: يتمثل تأثير قرار السياسة المثلى في كل مرحلة في تحويل الحالة الحالية إلى حالة مرتبطة ببداية المرحلة التالية، (Hillier & Lieberman, 2010, p. 429)، وبالتالي فهي عبارة عن مجموعة من البدائل التي تعطي أفضل قيمة لدالة العائد؛ (الطائي وهواش، 2013، صفحة 322)
- متغير العائد: وهي متغيرات قياسية تقيس العائد الكلي الناتج في كل مرحلة، حيث تعطي هذه المتغيرات دالة القرار d_i ومتجهات الحالة x_i ويمكن التعبير عن هذه الدالة كما يلي:

$$R_i = r_i(x_i, d_i) \quad i=1,2,3,\dots,n$$

- دالة التحويل: وهي عبارة عن دالة رياضية تظهر العلاقة بين المراحل المختلفة، وتساهم بنقل الحل الأمثل عبر المراحل بهدف اتخاذ القرار الأمثل في كل مرحلة، ويمكن التعبير عن هذه الدالة كما يلي:

$$X_{i+1} = t_i(x_i, d_i)$$

- المعادلة التكرارية: تكشف هذه المعادلة عن الطبيعة التعاقبية للبرمجة الديناميكية وتعكس في الوقت نفسه مبدأ الأمثلية لبلمان Bellman والذي ينص على أن السياسة المثلى لها خاصية أنه مهما كانت نقطة البداية ومهما كان القرار المتخذ عند هذه النقطة فإنه يجب أن تشكل القرارات المتبقية سياسة مثلى فيما يتعلق بالحالة الناتجة عن القرار الأول والمتخذ في البداية، (Murthy, 2007, p. 565)، ويساعدنا استعمال المعادلة التكرارية في الحصول على الحل الأمثل لكل مرحلة بشكل منفرد ثم تمكننا هذه المعادلة من حساب العائد الإجمالي المثالي المتراكم للمراحل السابقة وبذلك يتم الحصول على الحل الأمثل النهائي للمشكلة، ويمكن صياغة المعادلة التكرارية لكل مرحلة على النحو التالي: (الطائي و هواش، 2013، صفحة 323)

حيث تكون دالة العائد للمرحلة الأولى:

$$R_i = r_i (x_i, d_i)$$

أما العائد الأمثل للمرحلة الأولى فهو يمثل دالة لجميع متغيرات القرار في تلك المراحل ويتم اختيار أفضلها:

$$F_1(x_1) = \text{opt} [r_1 (x_1, d_1)]$$

أما في المرحلة الثانية فنأخذ الصيغة التالية:

$$F_2(x_2) = \text{opt} [r_2 (x_2, d_2) + F_1(x_1)]$$

وهكذا نقوم بتكرار المعادلة لكل المراحل حتى نصل إلى آخر مرحلة $stage\ n$ حيث تكون المعادلة كما يلي:

$$F_n(x_n) = \text{opt} [r_n (x_n, d_n) + F_{n-1}(x_{n-1})]$$

حيث:

x_n : يمثل متغير الحالة للمرحلة n .

d_n : يمثل القرار المتخذ في المرحلة n .

r_n : يمثل العائد للمرحلة n .

$F_n(x_n)$: تمثل دالة العائد للمرحلة n .

وعليه يمكن القول أن دالة العائد تعتمد على كل من متغير الحالة للمرحلة n ، وعلى القرار المتخذ في المرحلة n ، وأن القرار المتخذ في المرحلة n سيكون ذلك القرار الذي يعظم $Maximization$ أو يقلل $Minimization$ العائد.

II-5- أساليب حل البرمجة الديناميكية :

يستخدم في حل البرمجة الديناميكية مجموعة من الأساليب، وأهمها أسلوب خوارزمية الحل الأمامي وخوارزمية الحل الخلفي.

II-5-1- خوارزمية الحل الأمامي : وفق هذه الخوارزمية فإنه ينظر إلى السياسة المثلى من المرحلة الأولى باتجاه المراحل اللاحقة وصولاً إلى آخر مرحلة، وتعتمد هذه الخوارزمية على قيم الدوال المرتبة تصاعدياً وفق المخطط التالي :

$$F_1 \longrightarrow F_2 \longrightarrow F_3 \longrightarrow \dots \longrightarrow F_n$$

يعتمد هذا الأسلوب على مبدأ التقدم في العمل، حيث يتم حساب قيمة الدالة الأولى F_1 ثم الانتقال إلى حساب قيمة الدالة الثانية F_2 ثم الانتقال إلى حساب قيمة الدالة الثالثة F_3 وهكذا حتى نصل إلى الدالة النهائية F_n . (حسين و الحمدانية، 1999، صفحة 116)

II-5-2- خوارزمية الحل الخلفي : وفق هذه الخوارزمية فإنه ينظر إلى السياسة المثلى باتجاه الخلف من المرحلة الأخيرة باتجاه المراحل السابقة وصولاً إلى أول مرحلة، وتعتمد هذه الخوارزمية على قيم الدوال المرتبة تنازلياً وفق المخطط التالي :

$$F_n \longrightarrow F_{n-1} \longrightarrow F_{n-2} \longrightarrow \dots \longrightarrow F_1$$

يعتمد هذا الأسلوب على مبدأ التحرك من الخلف مرحلة بمرحلة، حيث يتم حساب قيمة الدالة الأخيرة F_n ثم الانتقال إلى حساب قيمة الدالة التي تسبقها F_{n-1} ثم الانتقال إلى حساب قيمة الدالة التي تسبقها F_{n-2} وهكذا حتى نصل إلى الدالة الأولى F_1 .

III- التحليل الشبكي للمشاريع الإنشائية :

III-1- أساسيات حول المشاريع الإنشائية :

III-1-1- تعريف المشروع : يعرف المشروع على أنه "مسعى مؤقت يتم إجراؤه لإنشاء منتج أو خدمة فريدة"، (Rumane, 2017, p. 169) ويعرف المشروع كذلك بأنه "تنظيم مؤقت نحتاجه للحصول على نتيجة فريدة من نوعها ومحددة بشكل مسبق وذلك أثناء فترة محددة مسبقاً، وباستخدام موارد محددة مسبقاً"، (زوكار، 2018، صفحة 16) كما يعرف أيضاً على أنه "سلسلة من الأنشطة والمهام التي تستهلك الموارد. يجب أن تجرى ضمن مجموعة من المتطلبات من أجل تحقيق هدف محدد، مع تواريخ بدء وانتهاء محددة". (Idan & Nazar, Dheyab, 2019, p. 3734)

III-1-2- تعريف المشروع الإنشائي: المشروع الإنشائي هو عبارة عن مشروع تنموي يرتبط بجميع القطاعات الاقتصادية ذات وزن وتأثير على البنية الأساسية للاقتصاد الوطني، ويتم القيام به مرة واحدة بهدف تحقيق انجازات محددة ذو طبيعة خاصة لا تتكرر، وله بداية ونهاية محددة، ويتم انجازه في حدود ميزانية معينة (جعيل و واضح، 2019، صفحة 61)، ويعرف المشروع الإنشائي كذلك بأنه "عملية إنشائية لا تتكرر، يتم تنفيذها عادة بحسب مواصفات فنية محددة ومنهاج زمني محدد مسبقاً وضمن حدود متوقعة من المخصصات المالية أو ما يعرف بتكاليف المشروع" (حسن و عبد الله يعقوب، 2018، صفحة 29).

III-1-3- خصائص المشروع الإنشائي : يتميز المشروع الإنشائي عن غيره من المشاريع الأخرى بمجموعة من الخصائص، نذكر من بينها : (جعيل و واضح، 2019، صفحة 62)

- يتطلب تصميمها وتنفيذها مجموعة من التخصصات الهندسية المختلفة؛
 - تحتاج إلى عدد كبير من العمالة الفنية من تخصصات مختلفة؛
 - يستغرق تنفيذ بعضها وقت طويل حسب حجم المشروع وبيئته؛
 - تحتاج إلى تمويلات مالية وإجراءات تعاقدية وقانونية؛
 - تحتاج إلى التخطيط المسبق والمعرفة بالمخاطر والتوقعات المستقبلية؛
- III-1-4- أنواع المشاريع الإنشائية : توجد الكثير من أنواع المشاريع الإنشائية نختصرها فيما يلي : (العثمان، 2017، صفحة 69)
- مشاريع سكنية: وهي المشاريع الإنشائية ذات الاستخدام الفردي كالعمارات، الشقق، المنازل؛

- مشاريع خدمية: وهي المشاريع الإنشائية والبنى التحتية ذات الاستخدام الخدمي أو التجاري كالمدارس، المستشفيات، الجامعات، الملاعب، ناطحات السحاب، المراكز التجارية، الفنادق...;
- مشاريع صناعية: وهي مشاريع إنشائية كبيرة تتعلق بالصناعات الخفيفة كمصانع الأدوية أو النسيج...;
- مشاريع وإنشاءات متخصصة: وهي مشاريع ضخمة تتعلق بالصناعات الثقيلة أو الصناعات المعقدة كمحطات الطاقة النووية أو مصافي النفط.

III-2- أساسيات حول التحليل الشبكي :

III-2-1- تعريف التحليل الشبكي : هو وسيلة تقنية تعمل على تحسين التحكم في تنفيذ أعمال المشروع من خلال تفكيكه إلى أنشطة أساسية حسب الزمن والتكلفة المتوقعة لإنجازها. (بورحلة، 2018، صفحة 83) ويعرف كذلك بأنه أسلوب يمكن من التحليل العلمي لتخطيط المشاريع وجدولتها ومراقبتها، وذلك بتمثيلها على شبكة موجهة توضح طريقة الترابط والتسلسل بين الأنشطة المكونة للمشروع. (ستوت، 2016، صفحة 20)

III-2-2- أهم المصطلحات المستخدمة في التحليل الشبكي : يتضمن أسلوب التحليل الشبكي بعض العناصر الضرورية في أي تحليل شبكي للأعمال نتعرف فيما يلي على أهمها :

- الشبكة: ويقصد بها تمثيل بياني لأنشطة المشروع بطريقة تبين التسلسل والتتابع المنطقي لهذه الأنشطة، والأوقات اللازمة لتنفيذها من لحظة بداية المشروع حتى نهايته؛ (واضح، 2017، صفحة 167)
- النشاط: هو جزء محدد من المشروع ويلزم لإتمامه فترة محددة من الوقت باستخدام موارد مختلفة، حيث أن كل نشاط مرتبط بشكل معين ببداية ونهاية المشروع وبباقي أنشطته الأخرى، ولا بد من ترتيب هذه الأنشطة بتتابع وتسلسل منطقي، (بورحلة، 2018، صفحة 85) ويعبر عنه ببيانها في شكل سهم؛
- الحدث: هو عبارة عن نقطة أو لحظة محددة من الزمن تعبر عن بداية ونهاية إنجاز نشاط أو مجموعة أنشطة في المشروع، ويعبر عنه ببيانها في شكل دائرة أو عقدة؛ (شيع، 2014، صفحة 276)
- المسار: هو عبارة عن سلسلة وأحداث متعاقبة والتي تبدأ ببدء المشروع وتنتهي بإنجازه دون أي تفرع؛
- النشاط الحرج: هو النشاط الذي إذا تم تأخيرها فإنه سيتسبب في تأخير المشروع بالكامل؛
- المسار الحرج: هو مجموعة من الأنشطة الحرجة، ويمكن أن يوجد للمشروع عدة مسارات حرجة، وهو المسار الأطول في المشروع وهو كذلك يمثل الوقت الإجمالي لتنفيذ المشروع، وأي تأخير في هذا المسار أو تأخير أحد الأنشطة المكونة له فإنه يؤدي إلى تأخر المشروع بكامله؛ (واضح، 2017، صفحة 168)

III-2-3- الأساليب التقليدية للتحليل الشبكي : تعتبر الأساليب التقليدية للتحليل الشبكي أول الطرق التي ظهرت لإدارة وتسيير مشاريع الأعمال وتتمثل هذه الأساليب فيما يلي :

- أسلوب مخطط GANTT: يرجع هذا الأسلوب إلى الباحث Henry Gantt سنة 1917 ولا زال يستخدم لحد اليوم، وهو عبارة عن خريطة زمنية أو رسم بياني يوضح الجدول الزمني للمشروع، هذه الخريطة تستخدم الخطوط العرضية توضح الزمن الذي يستغرقه كل نشاط من أنشطة المشروع، وتمتاز بسهولة الرسم والفهم وسهولة تعقب تقدم المشروع، (عزيز وآخرون، 2012، الصفحات 191-192)
- أسلوب PERT في تقييم ومراجعة البرامج: ظهر هذا الأسلوب من قبل مكتب المشاريع الخاصة للبحرية الأمريكية في Polaris لدراسة وتصميم نظام صاروخي لدعم مشاريع الغواصات النووية خلال الفترة (1950-1958)، وهو عبارة تقنية تستخدم الرياضيات الإحصائية البسيطة من أجل التوصل إلى توزيع

احتمالي لإكمال مواعيد معالم المشروع، (Remon, 2014, p. 82) ويقوم هذا الأسلوب في تقديراته للأوقات على ثلاثة أنواع من الأوقات هي: (بورحلة، 2018، صفحة 160)

- الوقت المتفائل (a): وهو يمثل أقصر الأزمدة التي يمكن أن يستغرقه إنجاز النشاط، ويفترض أن كل الظروف الخاصة بالأداء والموارد اللازمة على ما يرام؛
- الوقت المتشائم (b): وهو يمثل أطول زمن ممكن لإنجاز النشاط، حيث يفترض أن كل الظروف الخاصة بالأداء والموارد اللازمة سيئة في كل مرحلة من مراحل المشروع؛
- الوقت الأكثر احتمالا (m): وهو يمثل الزمن الاعتيادي اللازم للإنجاز بافتراض تحقق الظروف الطبيعية. وعليه يكون الوقت المتوقع لإنجاز النشاط (Dij) كما يلي:

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

- أسلوب المسار الحرج CPM: ظهر هذا الأسلوب عام 1957 على يد المهندسين J.E. Keely و M.R. Walker بغرض جدولة عمليات التعطل بسبب الصيانة في أحد المصانع الكيماوية، وقد أدى استخدام هذا الأسلوب في مصانع شركة Dupont بالولايات المتحدة إلى تخفيض وقت الصيانة من 125 ساعة إلى 78 ساعة (معطالله، 2020، الصفحات 674 - 675)، ويفترض هذا الأسلوب أن الوقت المتوقع لإنجاز الأنشطة محدد والعلاقة بين الموارد المستخدمة والوقت المطلوب محددة كذلك، ويتحدد المسار الحرج من خلال مجموعة من الأنشطة الحرجة المتسلسلة، والتي تبدأ من الحدث الأول في الشبكة.

III-2-4- مبدأ الأمثلية في التحليل الشبكي: يعد المسار الحرج أطول مسار عبر شبكة المشروع، ويمكن تنفيذ الأنشطة على هذا المسار بالتتابع دون انقطاع (وإلا فلن يكون هذا هو أطول مسار) لذلك فإن الوقت المطلوب للوصول إلى عقدة النهاية يساوي بالضرورة طول هذا المسار، علاوة على ذلك ستصل جميع المسارات الأقصر إلى عقدة النهاية في موعد لا يتجاوزه، وبالتالي فإن المدة المقدرة للمشروع تساوي طول المسار الحرج.

IV- استخدام البرمجة الديناميكية في التحليل الشبكي لمشروع إنشاء موقف للسيارات بالمحطة البرية لنقل المسارين بمدينة سطييف :

IV-1- وصف المشروع محل الدراسة :

المشروع المدروس هو إنجاز موقف للسيارات بالمحطة البرية لنقل المسافرين لمدينة سطييف، بادرت به الوكالة الولائية للتسيير والتنظيم العقاري الحضري لسطييف، ويتضمن المشروع طوابق (طابق أرضي + 5) ومحلات تجارية، وقد تم اختيار المحطة البرية لنقل المسافرين بحي المعدومين الخمسة لتجسيد هذا المشروع التنموي، ويتربع المشروع على وعاء عقاري مساحته الإجمالية تقدر ب 5992,31م²، أما المساحة المبنية منها فهي تقدر ب 2895,53م²، يتسع هذا المشروع لاحتواء ما يقارب 500 سيارة كما يشمل كذلك على 22 محلا تجاريا، ويتكون المشروع من 19 نشاطا رئيسيا هي كما يلي:

- أشغال التهيئة والحفر والبنية التحتية: يتم في هذا النشاط إعداد الموقع وتجهيزه، كما يتم إنشاء حفريات في الخنادق ووضع خرسانة تحت قواعد من الاسمنت بالإضافة إلى وضع الخرسانة المسلحة للجدار المحيط، والقيام بأعمال الحديد وجميع المواد الضرورية الأخرى؛

- أشغال تجهيز وتركيب الأعمدة والعوارض: يتم في هذا النشاط تجهيز وتركيب الألواح الصلبة وتجميعها من أجل تجهيزها كأعمدة وعوارض، ووضع الخرسانة المسلحة لها وإنشاء السلاسل، ثم تركيب وصلات التمدد المقاومة للماء والزلازل، بالإضافة إلى إنجاز العزل المائي المتعدد الطبقات؛
- إنجاز منحدر وصول السيارات: يهدف هذا النشاط إلى إنجاز منحدر لوصول السيارات والعربات إلى الموقع؛
- أشغال الطرق والتهيئة: يتم في هذا النشاط كل أعمال الحفر وإنجاز جميع المرفقات بما في ذلك وضع الخرسانة المسلحة للأرصعة وكذلك وضع ملاط الحشو والتنفيذ بالمعايير المطلوبة؛
- أشغال البناء: يتضمن هذا النشاط كل من البناء الداخلي والخارجي في أقسام مزدوجة من الطوب المجوف، بالإضافة إلى تركيب الطوب العرضي وتوريد التمديدات لتحقيق مجاري التهوية اللازمة؛
- التركيب الزجاجي والمعدني: يتم في هذا النشاط إنجاز باب مدخل أوتوماتيكي بالزجاج المقوى، بالإضافة إلى تركيب شريط معدني من الحديد المستدير والصلب وخزانات صلبة؛
- أشغال أخرى: يتم في هذا النشاط إنجاز مصدات وقوف العربات موصولة بحاجز إدارة يساعد على الوصول إلى أماكن ركن العربات، وإنجاز مصعد يسع 8 أشخاص، بالإضافة إلى إنجاز تسقيف باستخدام ألواح PLYCARBONATE المقاومة للطقس والصدمات؛
- أشغال الترصيص الصحي: يتم في هذا النشاط تركيب مغاسل وتثبيت العديد من صمامات العزل والإغلاق، بالإضافة إلى تركيب أنابيب الحرائق وفقا للمعايير الفنية؛
- أشغال شبكة الصرف الصحي: يتم في هذا النشاط إنجاز الخنادق وردم الفراغات وكل ما يتعلق بالصرف الصحي وتركيب الفوهات الخاصة اللازمة لذلك،
- بناء خزان ماء سعة 150 م³: يتم إنجاز خزان مائي بملاط الاسمنت المقاوم للمياه وتركيب باب معدني مرفوق بشبكة تهوية وخزان كهربائي ووضع مضخة لتدفع المياه ومضخات الحرائق الكهربائية؛
- أشغال شبكة الكهرباء: يختص هذا النشاط بتركيب وإنجاز كل ما يتعلق بشبكة الكهرباء من مأخذ ومصابيح، وإنجاز وحدة الإنارة المقاومة للماء والتسربات، وتركيب مصابيح مؤشر اللون، الأخضر والأحمر؛
- أشغال شبكة المياه: يتم في هذا النشاط إنجاز كل الأشغال الخاصة بالري والضغط بطبقات متتالية، وتركيب صمامات التفريغ وبناء غرفة للصمامات؛
- تغطية الأرض والجدران: يتم فيه تغطية الأرضيات والجدران، وتركيب واجهات التهوية في ألواح من السيراميك وتركيب صفائح الألمنيوم المزخرفة وإنجاز بلاط رخامية للأرضيات وفقا لقواعد فنية محددة؛
- أشغال شبكة الغاز الخارجي: يهتم هذا النشاط بتوصيل أنابيب الغاز، وتركيب أجزاء التوصيل والدعم وكل ما يتعلق بذلك وفقا لمعايير السلامة اللازمة؛

- أشغال الوقاية من الحرائق: يتم في هذا النشاط إنجاز كل الأشغال التي تحقق الضمان وتركيب كل ملحقات التوصيل وتوريد وتوصيل صنادير الإطفاء وإنشاء صمامات عزل صلبة، وإنجاز غرفة الصمام وسدادة من الخرسانة المسلحة؛
- بناء وتهيئة جدار السياج: يهتم هذا النشاط بكل ما يتعلق بأشغال جدار السياج الخاص بالسطح، وتركيب الحديد المطاوع والمصمت والمواد المانعة لكل التسربات وتركيب الملحقات المضادة للصدأ؛
- أشغال الإضاءة الخارجية وإمدادات الطاقة: يتم تركيب إنارة مزدوجة القوس مزودة بمصباح فلوريسنت مدمج 250W وتوريد لوحة مفاتيح الإضاءة الخارجية المجهزة في قواطع دائرية حرارية ومغناطيسية، بالإضافة إلى تركيب شبكة الإمداد الكهربائي وفقا للمعايير المعمول بها وتوفير كل ملزماتها ولواحقها؛
- أشغال الطلاء: يهتم هذا النشاط بوضع طلاء عازل مع ملاط من الاسمنت على الطوب والخرسانة، ووضع لصاقات داخلية مرفقة بملاط من الاسمنت تحت سقف خرساني مقوى؛
- الأشغال النهائية: يتم في هذا النشاط إنجاز محطة محولات الكهرباء تهتم بتحويل 100 كيلو فولط مع جميع ملحقات السلامة، وإنجاز ملاجئ ذات الأبعاد 4 * 4,2 م، كما يتم إعداد وتجهيز غرفة الحراسة والمراقبة بكل اللوازم الضرورية.

IV-2- منهجية إعداد الدراسة :

إن استخدام أسلوب البرمجة الديناميكية يحتاج أساسا إلى تجزئة وتفكيك المشكلة الرئيسية إلى مشكلات ومسائل فرعية من أجل تحديد المراحل التي على أساسها يتم حل كل مسألة فرعية وربطها إلى غاية الوصول إلى الحل النهائي، وبالنسبة للمشروع محل الدراسة سنعتمد في البداية على منهجية التحليل الشبكي للمشاريع المعروفة، فالمشكلة الرئيسية له هي جدولة المشروع وإيجاد المسار الحرج له الذي يحقق أقصى وقت إنجاز ممكن، وبالتالي فإن الأمثلية تتمثل في إيجاد أكبر مدة لإنجاز المشروع وإيجاد المسار الذي يحقق ذلك، ومن أجل كل ذلك يتم تفكيك هذا المشروع إلى أنشطة وتحديد سيرورة إنجاز هذه الأنشطة من حيث مدة إنجازها ثم تقسيمها إلى مراحل وتحديد تسلسل وربط هذه الأنشطة والمراحل وحساب مدة إنجازها في كل مرحلة، ومن ثم اختيار القرار الأنسب لكل مرحلة إلى غاية الوصول إلى آخر مرحلة.

IV-2-1- إعداد جدول الأنشطة وأزمنتها : من أجل المساعدة في تمثيل المشروع محل الدراسة في شبكة أعمال فإن الجدول التالي يتضمن تحديد الأنشطة وترميزها بحروف كبيرة وتحديد الأنشطة السابقة لكل نشاط بالإضافة إلى مدة إنجاز كل نشاط :

الجدول (01): ترتيب وجدولة الزمن والتكاليف إلى أنشطة المشروع

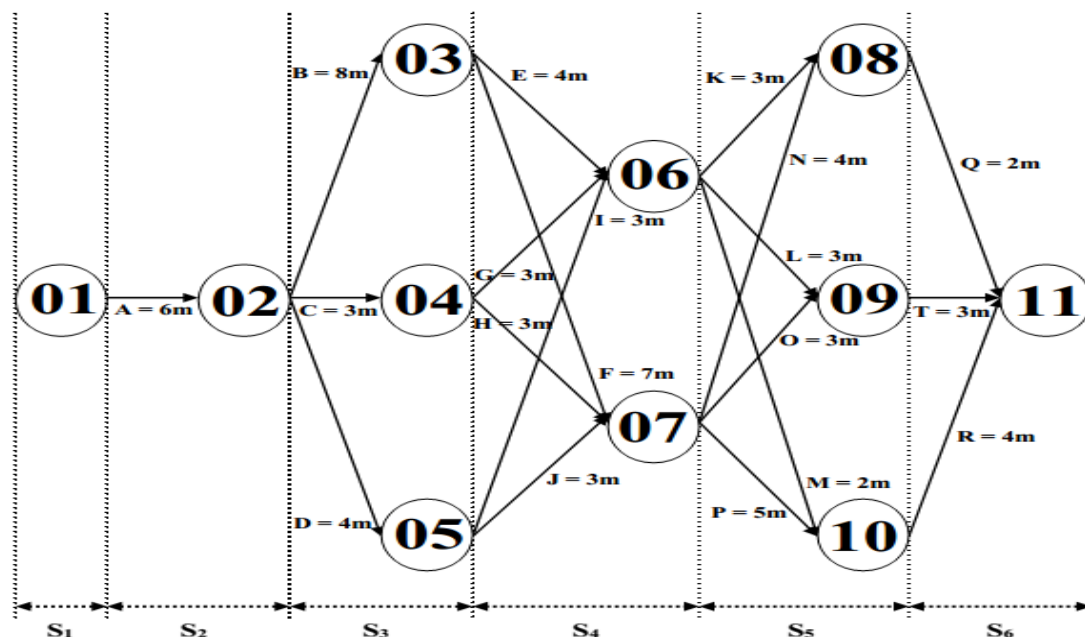
اسم النشاط	رمز النشاط	النشاط السابق	مدة الإنجاز (الأشهر)
أشغال التهيئة والحفر والبنية التحتية	A	/	6 أشهر
أشغال تجهيز وتركيب الأعمدة والعوارض	B	A	8 أشهر
إنجاز منحدر وصول السيارات	C	A	3 أشهر
أشغال الطرق والتهيئة	D	A	4 أشهر
أشغال البناء	E	B	4 أشهر
التركيب الزجاجي والمعدني	F	B	7 أشهر

أشغال أخرى	G	C	3 أشهر
أشغال الترميم الصحي	H	C	3 أشهر
أشغال شبكة الصرف الصحي	I	D	3 أشهر
بناء خزان ماء سعة 150 م ³	J	D	3 أشهر
أشغال شبكة الكهرباء	K	E.G.I	3 أشهر
أشغال شبكة المياه	L	E.G.I	3 أشهر
أشغال شبكة الغاز الخارجي	M	E.G.I	2 أشهر
تغطية الأرض والجدران	N	F.H.J	4 أشهر
أشغال الوقاية من الحرائق	O	F.H.J	3 أشهر
بناء وتهيئة جدار السياج	P	F.H.J	5 أشهر
أشغال الإضاءة الخارجية وإمدادات الطاقة	Q	K.N	2 أشهر
أشغال الطلاء	R	M.P	4 أشهر
الأشغال النهائية	T	L.O	3 أشهر

المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على وثائق مقدمة من إدارة المؤسسة المكلفة بالمشروع

IV- 2-2- التمثيل الشبكي وتحديد المراحل: بعد القيام بعملية بتفكيك المشروع إلى مجموعة من الأنشطة وتحديد تسلسل هذه الأنشطة ومدة إنجازها، نحاول فيما يلي تمثيل أنشطة هذا المشروع وإظهار ترابطها في شبكة أعمال وفق منهجية التمثيل التي يعتمد عليها أسلوب تحليل شبكات الأعمال، وسنعبّر عن الأنشطة من خلال رموزها بسهم يعبر عن مسار ذلك النشاط تتضمن مدة الإنجاز، أما الدوائر فسترمز للحوادث وترقم تواليها من اليسار إلى اليمين، حيث يعبر الرقم 1 عن الحدث الأول وهو انطلاق المشروع (بداية الأشغال)، فيكون التمثيل الشبكي كالتالي:

الشكل (01): التمثيل الشبكي لأنشطة المشروع



المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على بيانات الجدول (1)

يظهر لنا الرسم وجود 19 نشاط تمثل كل نشاطات المشروع من بدايته إلى نهايته، وكذلك يظهر لنا وجود 11 حدث، والحدث يعبر عن واقعة بداية أو نهاية مشروع ما، وأهم ما تظهره الشبكة هو تقسيم المشروع إلى مجموعة مرحلة أي تفكيك المشكلة الرئيسية إلى مجموعة مشكلات جزئية، وعليه نلاحظ وجود 6 مراحل في هذا المشروع كما هو مبين في الجدول التالي:

الجدول (02): مراحل إنجاز المشروع

المرحلة	اسم النشاط	رمز النشاط	الحدث	المسار
المرحلة الأولى (S ₁)	نقطة بداية المشروع	/	الحدث 01	/
المرحلة الثانية (S ₂)	أشغال التهيئة والحفر والبنية التحتية	A	الحدث 02	2 - 1
المرحلة الثالثة (S ₃)	أشغال تجهيز وتركيب الأعمدة والعوارض	B	الحدث 03	3 - 2
	إنجاز منحدر وصول السيارات	C	الحدث 04	4 - 2
	أشغال الطرق والتهيئة	D	الحدث 05	5 - 2
المرحلة الرابعة (S ₄)	أشغال البناء	E	الحدث 06	6 - 3
	التركيب الزجاجي والمعدني	F	الحدث 07	7 - 3
	أشغال أخرى	G	الحدث 06	6 - 4
	أشغال التزويج الصحي	H	الحدث 07	7 - 4
	أشغال شبكة الصرف الصحي	I	الحدث 06	6 - 5
	بناء خزان ماء سعة 150 م ³	J	الحدث 07	7 - 5
المرحلة الخامسة (S ₅)	أشغال شبكة الكهرباء	K	الحدث 08	8 - 6
	أشغال شبكة المياه	L	الحدث 09	9 - 6
	أشغال شبكة الغاز الخارجي	M	الحدث 10	10 - 6
	تغطية الأرض والجدران	N	الحدث 08	8 - 7
	أشغال الوقاية من الحرائق	O	الحدث 09	9 - 7
	بناء وتهيئة جدار السياج	P	الحدث 10	10 - 7
المرحلة السادسة (S ₆)	أشغال الإضاءة الخارجية وإمدادات الطاقة	Q	الحدث 11	11 - 8
	أشغال الطلاء	R	الحدث 11	11 - 9
	الأشغال النهائية	T	الحدث 11	11 - 10

المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على التمثيل الشبكي

IV- 2-3- إيجاد الحل الأمثل: بعد تحديد المراحل سنقوم بالبحث عن الحل الأمثل والمتمثل في أقصى وقت متاح لإنجاز المشروع وإيجاد المسار الحرج الذي يحقق ذلك، وبالتالي فإن المشكلة التي لدينا هي مشكلة تعظيم وسنستخدم خوارزميتي الحل الأمامي والحل الخلفي، حيث بالاعتماد على خوارزمية الحل الأمامي سنصل إلى الحل الأمثل في المرحلة النهائية اعتماداً على المراحل السابقة والانطلاق سيكون من المرحلة الأولى التي يكون فيها الزمن مساوياً للصفر، ثم نستخدم خوارزمية الحل الخلفي بنفس الخطوات لكن يتم الانطلاق من المرحلة الأخيرة حيث يكون فيها الزمن مساوياً للصفر والوصول في الأخير إلى المرحلة الأولى وإيجاد الحل الأمثل فيها.

IV- 2-3-1- استخدام خوارزمية الحل الأمامي: يكون استخدام هذه الخوارزمية وفق الصيغة التالية:

$$F_n(x_n) = \text{Max} [r_n(x_n, d_n) + F_{n-1}(x_{n-1})]$$

حيث:

$F_n(x_n)$: تمثل دالة العائد (زمن الإنجاز) للمرحلة n .

x_n : يمثل متغير الحالة للمرحلة n .

d_n : يمثل القرار المتخذ في المرحلة n .

r_n : يمثل العائد للمرحلة n .

$F_{n-1}(x_{n-1})$: يمثل دالة العائد (زمن الإنجاز) للمرحلة السابقة $n-1$.

المرحلة الأولى (S_1):

$$1. F_1(1) = \text{Max} [r_1(x_1, d_1) + F_0(0)] = \text{Max} [r_1(0, 1) + 0] = \text{Max} [0 + 0] \Rightarrow F_1(1) = 0m$$

المرحلة الثانية (S_2):

$$2. F_2(2) = \text{Max} [r_2(x_1, d_2) + F_1(1)] = \text{Max} [r_2(1, 2) + 0] = \text{Max} [6 + 0] \Rightarrow F_2(2) = 6m$$

المرحلة الثالثة (S_3):

$$3. F_3(3) = \text{Max} [r_3(x_2, d_3) + F_2(2)] = \text{Max} [r_3(2, 3) + 6] = \text{Max} [8 + 6] \Rightarrow F_3(3) = 14m$$

$$4. F_3(4) = \text{Max} [r_4(x_2, d_4) + F_2(2)] = \text{Max} [r_4(2, 4) + 6] = \text{Max} [3 + 6] \Rightarrow F_3(4) = 9m$$

$$5. F_3(5) = \text{Max} [r_5(x_2, d_5) + F_2(2)] = \text{Max} [r_5(2, 5) + 6] = \text{Max} [4 + 6] \Rightarrow F_3(5) = 10m$$

المرحلة الرابعة (S_4):

$$6. F_4(6) = \text{Max} \begin{bmatrix} r_6(x_3, d_6) + F_3(3) \\ r_6(x_4, d_6) + F_3(4) \\ r_6(x_5, d_6) + F_3(5) \end{bmatrix} = \text{Max} \begin{bmatrix} r_6(3, 6) + 14 \\ r_6(4, 6) + 9 \\ r_6(5, 6) + 10 \end{bmatrix} = \text{Max} \begin{bmatrix} 4 + 14 \\ 3 + 9 \\ 3 + 10 \end{bmatrix}$$

$$= \text{Max} \begin{bmatrix} 18 \\ 12 \\ 13 \end{bmatrix} \Rightarrow F_4(6) = 18m$$

$$7. F_4(7) = \text{Max} \begin{bmatrix} r_7(x_3, d_7) + F_3(3) \\ r_7(x_4, d_7) + F_3(4) \\ r_7(x_5, d_7) + F_3(5) \end{bmatrix} = \text{Max} \begin{bmatrix} r_7(3, 7) + 14 \\ r_7(4, 7) + 9 \\ r_7(5, 7) + 10 \end{bmatrix} = \text{Max} \begin{bmatrix} 7 + 14 \\ 3 + 9 \\ 3 + 10 \end{bmatrix}$$

$$= \text{Max} \begin{bmatrix} 21 \\ 12 \\ 13 \end{bmatrix} \Rightarrow F_4(7) = 21m$$

المرحلة الخامسة (S_5):

$$8. F_5(8) = \text{Max} \begin{bmatrix} r_8(x_6, d_8) + F_4(6) \\ r_8(x_7, d_8) + F_4(7) \end{bmatrix} = \text{Max} \begin{bmatrix} r_8(6, 8) + 18 \\ r_8(7, 8) + 21 \end{bmatrix} = \text{Max} \begin{bmatrix} 3 + 18 \\ 4 + 21 \end{bmatrix}$$

$$= \text{max} \begin{bmatrix} 21 \\ 25 \end{bmatrix} \Rightarrow F_5(8) = 25m$$

$$9. F_5(9) = \text{Max} \begin{bmatrix} r_9(x_6, d_9) + F_4(6) \\ r_9(x_7, d_9) + F_4(7) \end{bmatrix} = \text{Max} \begin{bmatrix} r_9(6, 9) + 18 \\ r_9(7, 9) + 21 \end{bmatrix} = \text{Max} \begin{bmatrix} 3 + 18 \\ 3 + 21 \end{bmatrix}$$

$$= \text{max} \begin{bmatrix} 21 \\ 24 \end{bmatrix} \Rightarrow F_5(9) = 24m$$

$$10. F_5(10) = \text{Max} \begin{bmatrix} r_{10}(x_6, d_{10}) + F_4(6) \\ r_{10}(x_7, d_{10}) + F_4(7) \end{bmatrix} = \text{Max} \begin{bmatrix} r_{10}(6, 10) + 18 \\ r_{10}(7, 10) + 21 \end{bmatrix} = \text{Max} \begin{bmatrix} 2 + 18 \\ 5 + 21 \end{bmatrix}$$

$$= \text{Max} \begin{bmatrix} 20 \\ 26 \end{bmatrix} \Rightarrow F_5(10) = 26m$$

المرحلة السادسة (S₆):

$$11. F_6(11) = \text{Max} \begin{bmatrix} r_{11}(x_8, d_{11}) + F_5(8) \\ r_{11}(x_9, d_{11}) + F_5(9) \\ r_{11}(x_{10}, d_{11}) + F_5(10) \end{bmatrix} = \text{Max} \begin{bmatrix} r_{11}(8, 11) + 25 \\ r_{11}(9, 11) + 24 \\ r_{11}(10, 11) + 26 \end{bmatrix}$$

$$= \text{Max} \begin{bmatrix} 2 + 25 \\ 3 + 24 \\ 4 + 26 \end{bmatrix} = \text{max} \begin{bmatrix} 27 \\ 27 \\ 30 \end{bmatrix} \Rightarrow F_6(11) = 30m$$

إذن الحل الأمثل هو عبارة عن أقصى زمن يمكن الوصول إليه والذي يقدر ب 30 شهر، وعليه فإن زمن إنجاز مشروع إنشاء موقف للسيارات بالمحطة البرية لنقل المسافرين بمدينة سطيف هو 30 شهر حسب طريقة خوارزمية الحل الأممي للبرمجة الديناميكية، أما المسار الذي حقق هذا الزمن فهو كالتالي:

$$F_1(1) \rightarrow F_2(2) \rightarrow F_3(3) \rightarrow F_4(7) \rightarrow F_5(10) \rightarrow F_6(11)$$

وبالإسقاط على الشبكة الموضحة في الشكل (1) نجد أن المسار الحرج الذي يحقق أقصى مدة لإنجاز المشروع هو كالتالي:

$$F_1(1) \Rightarrow / , F_2(2) \Rightarrow A , F_3(3) \Rightarrow B , F_4(7) \Rightarrow F , F_5(10) \Rightarrow P , F_6(11) \Rightarrow R$$

$$A \rightarrow B \rightarrow F \rightarrow P \rightarrow R$$

وللتوضيح أكثر نقترح هذا الجدول الذي يلخص خوارزمية الحل الأممي بطريقة يدوية

الجدول (03): الحل اليدوي للبرمجة الديناميكية (خوارزمية الحل الأممي)

$F_n \backslash x_n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
2	*	6	*	*	*	*	*	*	*	*	*
3	*	*	14	9	10	*	*	*	*	*	*
4	*	*	*	*	*	18	21	*	*	*	*
5	*	*	*	*	*	*	*	25	24	26	*
6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	30

المصدر: من إعداد الباحث

إذن فالمرحلة الأولى من هذا المشروع تتعلق فقط بحدث الانطلاق حيث من الطبيعي أن تكون المدة المنجزة تساوي الصفر لأنها لا تتضمن إنجاز أي نشاط أي أن دالة العائد تكون تساوي الصفر، أما المرحلة الثانية فهي تتضمن إنجاز النشاط A فقط وعليه فإن دالة العائد لهذه المرحلة هي 6 أشهر، أما المرحلة الثالثة فقد تضمنت إنجاز ثلاث أنشطة (B, C, D) وتكون دالة لهذه المرحلة 8 أشهر حيث يصل عمر المشروع إلى 14 شهر، وأطول نشاط في هذه المرحلة هو النشاط B، في حين تضمنت المرحلة الرابعة إنجاز ستة أنشطة (E, F, G, H, I, J) ودالة العائد لهذه المرحلة تساوي 7 أشهر وأخر نشاط يتم إتمامه في هذه المرحلة هو النشاط F في حين يكون المشروع قد بلغ 21 شهر، أما المرحلة الخامسة فقد تضمنت إنجاز ستة أنشطة (K, L, M, N, O, P) ودالة العائد لهذه المرحلة تساوي 5 أشهر وأطول نشاط في هذه المرحلة هو النشاط P أما عمر المشروع فسيكون 26 شهر، وأخيرا المرحلة السادسة التي تضمنت إنجاز ثلاث أنشطة (Q, R, T) في حين دالة العائد لهذه المرحلة تساوي 4 أشهر والنشاط الأطول هو النشاط R وهو آخر نشاط حيث ينتهي المشروع بإتمام هذا

النشاط، أما دالة العائد النهائية للمشروع فهي عبارة عن مجموع دوال العائد للمراحل الست إذ نجد أنها تساوي 30 شهر، وهي مدة إنجاز المشروع ككل.

IV-2-3-1 استخدام خوارزمية الحل الخلفي: يكون استخدام هذه الخوارزمية وفق الصيغة التالية:

$$F_n(x_n) = \text{Max} [r_n(x_n, d_n) + F_{n+1}(x_{n+1})]$$

حيث:

$F_n(x_n)$: تمثل دالة العائد (زمن الإنجاز) للمرحلة n .

x_n : يمثل متغير الحالة للمرحلة n .

d_n : يمثل القرار المتخذ في المرحلة n .

r_n : يمثل العائد للمرحلة n .

$F_{n+1}(x_{n+1})$: يمثل دالة العائد (زمن الإنجاز) للمرحلة السابقة $n-1$.

المرحلة السادسة (S_6):

$$1. F_6(11) = 0m$$

المرحلة الخامسة (S_5):

$$2. F_5(8) = \text{Max}[r_8(x_8, d_{11}) + F_6(11)] = \text{Max}[r_8(8, 11) + 0] = \text{Max}[2 + 0] \Rightarrow F_5(8) = 2m$$

$$3. F_5(9) = \text{Max}[r_9(x_9, d_{11}) + F_6(11)] = \text{Max}[r_9(9, 11) + 0] = \text{Max}[3 + 0] \Rightarrow F_5(9) = 3m$$

$$4. F_5(10) = \text{Max}[r_{10}(x_{10}, d_{11}) + F_6(11)] = \text{Max}[r_{10}(10, 11) + 0] = \text{Max}[4 + 0] \Rightarrow F_5(10) = 4m$$

المرحلة الرابعة (S_4):

$$5. F_4(6) = \text{Max} \begin{bmatrix} r_6(x_6, d_8) + F_5(8) \\ r_6(x_6, d_9) + F_5(9) \\ r_6(x_6, d_{10}) + F_5(10) \end{bmatrix} = \text{Max} \begin{bmatrix} r_6(6, 8) + 2 \\ r_6(6, 9) + 3 \\ r_6(6, 10) + 4 \end{bmatrix} = \text{Max} \begin{bmatrix} 3 + 2 \\ 3 + 3 \\ 2 + 4 \end{bmatrix}$$

$$= \text{Max} \begin{bmatrix} 5 \\ 6 \\ 6 \end{bmatrix} \Rightarrow F_4(6) = 6m$$

$$6. F_4(7) = \text{Max} \begin{bmatrix} r_7(x_7, d_8) + F_5(8) \\ r_7(x_7, d_9) + F_5(9) \\ r_7(x_7, d_{10}) + F_5(10) \end{bmatrix} = \text{Max} \begin{bmatrix} r_7(7, 8) + 2 \\ r_7(7, 9) + 3 \\ r_7(7, 10) + 4 \end{bmatrix} = \text{Max} \begin{bmatrix} 4 + 2 \\ 3 + 3 \\ 5 + 4 \end{bmatrix}$$

$$= \text{Max} \begin{bmatrix} 6 \\ 6 \\ 9 \end{bmatrix} \Rightarrow F_4(7) = 9m$$

المرحلة الثالثة (S_3):

$$7. F_3(3) = \text{Max} \begin{bmatrix} r_3(x_3, d_6) + F_4(6) \\ r_3(x_3, d_7) + F_4(7) \end{bmatrix} = \text{Max} \begin{bmatrix} r_3(3, 6) + 6 \\ r_3(3, 7) + 9 \end{bmatrix} = \text{Max} \begin{bmatrix} 4 + 6 \\ 7 + 9 \end{bmatrix}$$

$$= \text{max} \begin{bmatrix} 10 \\ 16 \end{bmatrix} \Rightarrow F_3(3) = 16m$$

$$8. F_3(4) = \text{Max} \begin{bmatrix} r_4(x_4, d_6) + F_4(6) \\ r_4(x_4, d_7) + F_4(7) \end{bmatrix} = \text{Max} \begin{bmatrix} r_4(4, 6) + 6 \\ r_4(4, 7) + 9 \end{bmatrix} = \text{Max} \begin{bmatrix} 3 + 6 \\ 3 + 9 \end{bmatrix}$$

$$= \text{max} \begin{bmatrix} 9 \\ 12 \end{bmatrix} \Rightarrow F_3(4) = 12m$$

$$9. F_3(5) = \text{Max} \begin{bmatrix} r_5(x_5, d_6) + F_4(6) \\ r_5(x_5, d_7) + F_4(7) \end{bmatrix} = \text{Max} \begin{bmatrix} r_5(5, 6) + 6 \\ r_5(5, 7) + 9 \end{bmatrix} = \text{Max} \begin{bmatrix} 3 + 6 \\ 3 + 9 \end{bmatrix}$$

$$= \max \begin{bmatrix} 9 \\ 12 \end{bmatrix} \Rightarrow F_3(5) = 12m$$

المرحلة الثانية (S₂):

$$10. F_2(2) = \max \begin{bmatrix} r_2(x_2, d_3) + F_3(3) \\ r_2(x_2, d_4) + F_3(4) \\ r_2(x_2, d_5) + F_3(5) \end{bmatrix} = \max \begin{bmatrix} r_2(2, 3) + 16 \\ r_2(2, 4) + 12 \\ r_2(2, 5) + 12 \end{bmatrix} = \max \begin{bmatrix} 8 + 16 \\ 3 + 12 \\ 4 + 12 \end{bmatrix}$$

$$= \max \begin{bmatrix} 24 \\ 15 \\ 16 \end{bmatrix} \Rightarrow F_2(2) = 24m$$

المرحلة الأولى (S₁):

$$11. F_1(1) = \max[r_1(x_1, d_2) + F_2(2)] = \max[r_1(1, 2) + 24] = \max[6 + 24] \Rightarrow F_1(1) = 30m$$

إذن الحل الأمثل هو 30 شهر، وعليه فإن زمن إنجاز مشروع إنشاء موقف للسيارات بالمحطة البرية لنقل المسافرين بمدينة سطيف هو 30 شهر حسب طريقة خوارزمية الحل الخلفي للبرمجة الديناميكية، أما المسار الذي حقق هذا الزمن فهو كالتالي:

$$F_6(11) \rightarrow F_5(10) \rightarrow F_4(7) \rightarrow F_3(3) \rightarrow F_2(2) \rightarrow F_1(1)$$

وبالإسقاط على الشبكة الموضحة في الشكل (1) نجد أن المسار الحرج الذي يحقق أقصى مدة لإنجاز

المشروع هو كالتالي:

$$F_6(11) \Rightarrow R, F_5(10) \Rightarrow P, F_4(7) \Rightarrow F, F_3(3) \Rightarrow B, F_2(2) \Rightarrow A, F_1(1) \Rightarrow /$$

$$R \rightarrow P \rightarrow F \rightarrow B \rightarrow A$$

وللتوضيح أكثر نقترح هذا الجدول الذي يلخص خوارزمية الحل الخلفي بطريقة يدوية

الجدول (04): الحل اليدوي للبرمجة الديناميكية (خوارزمية الحل الخلفي)

$F_n \backslash x_n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	30	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
2	*	24	*	*	*	*	*	*	*	*	*
3	*	*	16	12	12	*	*	*	*	*	*
4	*	*	*	*	*	6	9	*	*	*	*
5	*	*	*	*	*	*	*	2	3	4	*
6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0

المصدر: من إعداد الباحث

الانطلاق في هذه الخوارزمية سيكون ابتداءً من المرحلة الأخيرة أي المرحلة السادسة حيث تكون دالة العائد مساوية للصفر، أما المرحلة الخامسة فتكون دالة العائد تساوي 4 أشهر وأطول نشاط فيها هو النشاط R، في حين تكون دالة العائد للمرحلة الرابعة مساوية لـ 5 أشهر والنشاط الأطول فيها هو النشاط P، أما المرحلة الثالثة فتكون دالة العائد لها تساوي 7 أشهر وأطول نشاط فيها هو النشاط F، المرحلة الموالية هي المرحلة الثانية وتكون دالة العائد فيها تساوي 8 أشهر والنشاط الأطول فيها هو النشاط B، وأخيراً المرحلة الأولى فتكون دالة العائد فيها تساوي 6 أشهر وهي تحتوي على النشاط A فقط، أما دالة العائد النهائية للمشروع فستكون

تساوي مجموع دوال العائد للمراحل الست، وبالتالي فإن دالة العائد النهائية للمشروع تساوي 30 شهر وهي مدة إنجاز المشروع.

V- الخاتمة:

إن استخدام البرمجة الديناميكية يمكن اعتباره كخيار فعال في تسيير المشاريع الإنشائية وتحليل شبكات الأعمال وهو لا يقل أهمية عن الأساليب الأخرى مثل PERT، CPM، وكذلك خرائط GANTT، حيث أن استخدام كلا من الطريقتين البارزتين في طرق حساب البرمجة الديناميكية، سواء خوارزمية الحل الأمامي أو الخوارزمية العكسية مكننا من الوصول إلى نفس مقدار دالة العائد النهائية للمشروع والمقدرة بـ 30 شهر والتي هي نفسها المدة اللازمة لإنجاز هذا المشروع، كما أن كلا الطريقتين سمح لنا بتحديد دالة العائد لكل مرحلة من مراحل إنجاز المشروع بالإضافة إلى إظهار الأنشطة الأطول في كل مرحلة والتي تعرف بالأنشطة الحرجة وتسلسل هذه الأخيرة يمكننا من تحديد المسار الحرج النهائي لإنجاز المشروع.

1.IV. نتائج البحث:

- تقوم البرمجة الديناميكية على حل مسائل القرارات التي تتميز بتعدد المراحل، حيث تعمل على تقسيم المسألة الأصلية إلى مسائل جزئية أبسط حسابيا ثم إتباع أسلوب العلاقات التتابعية لمعالجتها وتقديم الحل الأمثل لها؛
- تتضمن البرمجة الديناميكية عدة طرق لحلها، إلا أن أكثر هذه الطرق استخداما هما خوارزميتي الحل الأمامي والحل الخلفي؛
- يمكن للبرمجة الديناميكية أن تعتمد في كثير من المسائل كبيرة الحجم على التمثيل الشبكي للمراحل المتتابعة والنتيجة عن تجزئة هذه المسائل؛
- يتضمن مشروع إنشاء موقف للسيارات بالمحطة البرية للمسافرين على 19 نشاط شامل بالإضافة إلى اكتشاف وجود 11 حدث، وذلك بعد القيام بالتمثيل الشبكي للمشروع؛
- أظهرت النتائج أنه يمكن تجزئة المسألة الرئيسية المتمثلة في المشروع ككل إلى 6 مراحل يمكن اعتبارها كمسائل جزئية أقل حجما من المسألة الرئيسية؛
- أظهرت النتائج أن المدة اللازمة لإنجاز المشروع محل الدراسة تقدر بـ 30 شهر، كما أن المشروع يتكون من 6 أنشطة حرجة غير قابلة نهائيا للتأخير؛
- تقدم البرمجة الديناميكية كل المعلومات الممكنة للمشروع المدروس حول مدة إنجاز كل مرحلة ومدة إنجاز أي نشاط من أنشطة كل مرحلة؛
- استخدام البرمجة الديناميكية أعطى صورة تفصيلية دقيقة لكافة أنشطة المشروع من خلال حساب الزمن المتراكم لكل نشاط وكل الأنشطة التي تسبقه أو تليه؛

2.IV. مقترحات البحث:

- إن الوصول إلى نتائج وحلول مثلى لشبكات أعمال المشاريع الإنشائية يتطلب ما يلي:
- استخدام البرمجة الديناميكية بشكل واسع نظرا لما تقدمه من معلومات تفصيلية على كل حيثيات إنجاز المشروع الإنشائي، والوقوف على المعوقات الممكن حدوثها؛
- ضرورة تكوين الكوادر الفنية وتأهيلها لاستخدام هذا الأسلوب بشكل جيد ومهاري؛

- الاستعانة بحزم البرامج الإحصائية والتقنية المتخصصة والتي تتضمن أساليب بحوث العمليات عموماً وأسلوب البرمجة الديناميكية بالخصوص، للتعامل مع البيانات الضخمة والمعقدة حيث يمكن أن تساعد هذه الحزم في توفير الجهد والتكلفة بالإضافة إلى الدقة في النتائج؛

3.IV. آفاق البحث:

- استخدام البرمجة الديناميكية العشوائية في تسيير وتقييم المشاريع؛
- المفاضلة بين البرمجة الديناميكية والخوارزميات الذكية في تحليل شبكات الأعمال؛
- المفاضلة بين البرمجة الديناميكية والمنطق الضبابي في تحليل شبكات الأعمال.

VI - قائمة المراجع :

المؤلفات:

- زوكار، إباد، (2018)، إدارة المشاريع، منشورات الجامعة الافتراضية السورية، سوريا.
- بقجة جي، صباح الدين، يوسف، جمال، (2007)، بحوث العمليات، منشورات جامعة دمشق، سوريا.
- Hillier, F. S, Lieberman, G. J, (2010), *Introduction to Operations Research*, McGraw-Hill, United States.
- Murthy, P, (2007), *Operations Research*, New Age International, India.
- Rumane, A.R, (2017), *Quality management in construction projects*, Taylor & Francis CRC Press, United States.
- Sharma, K, (2016), *Application of Operations Research in agricultur*, Csk Himachal Pradesh Agriculture University Palampur, India.

الأطروحات:

- العثمان، عبير عبد الله محمد، (2017). أثر إدارة مخاطر المشاريع الإنشائية على الأداء دراسة ميدانية في الأمانة العامة للأوقاف ووزارة الأوقاف - دولة الكويت، كلية الدراسات العليا، جامعة العلوم الإسلامية العالمية، الأردن.
- بورحلة، منجية، (2018)، أهمية التحليل الشبكي في المفاضلة بين الوقت والتكلفة والجودة لإنجاز المشاريع: دراسة حالة عينة من المشاريع المنجزة من مديرية السكن والتجهيزات العمومية، قسم علوم التسيير، كلية العلوم الاقتصادية والتجارية وعلوم التسيير، جامعة محمد خيضر، الجزائر.
- ستوت، دلال بدر الدين، (2016)، استخدام شبكة بيرت في تخفيض التكاليف دراسة تطبيقية، كلية الاقتصاد، جامعة حلب، سوريا.
- قازي أول، محمد شكري، (2015)، فعالية استخدام البرمجة الديناميكية في عملية اتخاذ قرار المخزون مشروع بناء سد، قسم علوم التسيير، كلية العلوم الاقتصادية والتجارية وعلوم التسيير، جامعة أبو بكر بلقايد، الجزائر.
- واضح، واضح، (2017)، مساهمة في تحسين إدارة المشاريع الإنشائية في الجزائر دراسة تطبيقية لنشاط إنجاز قنوات نقل المحروقات عبر الأنابيب حالة مؤسسة المؤسسة الوطنية للقنوات، قسم علوم التسيير، كلية العلوم الاقتصادية والتجارية وعلوم التسيير، جامعة باتنة 1، الجزائر.

المقالات:

- بنجيت عبد الجبار خضر ، وآخرون، (2009)، تحديد القرار الأمثل في عملية الإنتاج باستخدام أسلوب البرمجة الديناميكية، مجلة العلوم الاقتصادية والإدارية، المجلد 15 (55)، 167 - 182.

- جعيل جمال، واضح محمود، (2019)، واقع دراسات جدوى المشاريع الإنشائية في الجزائر الصعوبات والحلول. مجلة الاقتصاد الصناعي، المجلد 09 (1)، 58-76.
- حسن عمر صفوت، يعقوب فيحاء عبد الله، (2018)، توظيف أدوات إدارة الكلفة في أسلوب التنفيذ المتسارع للمشاريع الإنشائية لغرض ترشيد الكلف، مجلة دراسات محاسبية ومالية، المجلد 13 (43)، 27-44.
- حسين بخيت، الحمدانية رفاه، (1999)، الأمثلة في توزيع الاستثمارات في الاقتصاد الأردني باستخدام البرمجة الديناميكية. مجلة أبحاث اليرموك سلسلة العلوم الانسانية والاجتماعية، المجلد 15 (3)، 107-126.
- خالد ضاري عباس الطائي، هوش محمد كاظم، (2013). استعمال البرمجة الديناميكية العشوائية في تخطيط الانتاج بحث تطبيقي في شركة مصافي واسط. مجلة العلوم الاقتصادية والإدارية، المجلد 19 (71)، 320-333.
- شياح عبد الأمير عبد الحسين، (2014)، استخدام التحليل الشبكي في تقييم مشروع بناية كلية اللغات بجامعة بغداد. مجلة القادسية للعلوم الإدارية والاقتصادية، المجلد 16 (3)، 274-283.
- عزيز سماء طليع، وآخرون، (2012)، تصميم خوارزمية جينية لإيجاد المسار الحرج الأمثل لشبكة أعمال المشاريع (GAOCPN). مجلة الرافدين لعلوم الحاسوب والرياضيات، المجلد 09 (1)، 187-210.
- معطالله محمد، (2020)، استخدام التحليل الشبكي في جدولة المشاريع الإنشائية دراسة حالة إنجاز 60 وحدة سكنية، مجلة أفاق علمية، المجلد 12 (4)، 672-691.
- Idan Mahmoud Fadhel, Nazar Dheyab Sarah, (2019), Estimate Costs Management in Construction Projects, *International Journal of Applied Engineering Research*, Volume 14(19), 3734-3741.
- Remon Fayek Aziz, (2014). RPERT: Repetitive-Projects Evaluation and Review. *Alexandria Engineering Journal*, Volume 53(1), 81-93.