

## حل مشكلة المفاضلة بين الزمن والتكلفة والجودة في تخطيط المشاريع بتطبيق البرمجة بالأهداف الضبابية بطريقة (MinMax)

### *Solve Time-Cost-Quality trade-off problem by using MinMax Fuzzy goal programming Method*

مامو جبار<sup>1</sup>، مكيدش محمد<sup>2</sup>

<sup>1</sup> مخبر تقييم وإستشراف السياسات الإقتصادية وإستراتيجيات المؤسسات (LEPPESE)، المركز الجامعي مغنية، الجزائر

<sup>2</sup> مخبر تقييم وإستشراف السياسات الإقتصادية وإستراتيجيات المؤسسات (LEPPESE)، المركز الجامعي مغنية، الجزائر

تاريخ النشر: 03/31/2025

تاريخ القبول: 25/03/2025

تاريخ الاستلام: 13/02/2024

#### ملخص:

المفاضلة بين الزمن والتكلفة والجودة في تخطيط المشاريع من بين أهم الإشكاليات التي تحظى باهتمام متخذ القرار لأهمية العناصر الثلاثة في المشروع و لصعوبة التحكم فيهم مع بعض و في آن واحد و لكونهم يقعون في بيئة يشوبها الغموض وعدم يقينية المستقبل المنتظر من الظروف التي تحيط بالمشروع ، فمنه لا يمكن لمتخذ القرار وضع أهداف محددة ودقيقة لهذه العناصر ، لذلك في هذه الورقة قمنا باستعمال البرمجة بالأهداف الضبابية (FGP) بطريقة (MinMax) على نموذج خطي متعدد الأهداف (MOLP) اقترناه مختلف عن النماذج المقترحة سابقا يعتمد على النشاط بدل الحدث و على المسارات بدل علاقة الأسبقية مكون من ثلاثة أهداف و هذه الدراسة تساهم أيضا في صياغة الأهداف الضبابية لمتخذ القرار و إعطاء مؤشر لدرجة الرضى عنهم .

**الكلمات المفتاحية:** برمجة بالأهداف الضبابية؛ برمجة خطية متعددة الأهداف؛ المفاضلة بين الزمن والتكلفة والجودة في المشروع.

تصنيف JEL: M19؛C61

#### Abstract:

*Time-cost-quality trade-off in project planning is among the most important issues that interest the decision-maker, because the three elements of this trade-off are very important in the project and are located in an environment dominated by ambiguity and uncertainty in the future due to the circumstances surrounding the project. From it, the decision-maker can't set specific and accurate values for these three goals, so we used Fuzzy Goal Programming (FGP) using the (MinMax) method to solve a new proposed model of multi-objective linear programming (MOLP) of three goals different from the previously proposed models, which depends on activity instead of event and on paths instead of precedence relationships. this study contributes to formulating fuzzy goals of the decision-maker and giving an indication of the decision-maker's degree of satisfaction.*

**Keywords:** Fuzzy Goal programming ; multi-objective linear programming; time-cost-quality trade-off

**Jel Classification Codes:** C61; M19

المشروع هو مسعى مؤقت يُتخذ من أجل الوصول لمنتج أو خدمة أو نتيجة متفردة (معهد ادارة المشاريع، 2017)، ينقسم المشروع إلى عدة أنشطة مترابطة بعلاقات الأسبقية و كل نشاط له حدث البداية و حدث النهاية وبين هذان الحدان مدة وتكلفة وجودة، نقصد من علاقة الأسبقية بين الأنشطة أنها متسلسلة من البداية الى النهاية و ان النشاط قد يسبقه و قد يتبعه نشاطان او أكثر في نفس الوقت و منه فإن مدة إنهاء المشروع هي عبارة عن مدة أطول مسار بين المسارات و هي التي تسمى بالمسار الحرج و أما تكلفة المشروع فهي عبارة عن مجموع تكاليف الأنشطة و أما جودة المشروع فقد إختلف الباحثون في طريقة حسابها فمنهم من ذهب الى انها متوسط مجموع جُودات أنشطة المشروع مثل (Babu & Suresh, 1996) و منهم من ذهب الى انها ادنى جودة من بين جُودات أنشطة المشروع مثل (Keshavarz & Shoul, 2020) و منهم من ذهب الى انها متوسط ثقل مجموع جُودات أنشطة المشروع مثل (Khaled El-Rayes & Amr Kandil, 2005) و هي الأقرب الى الواقع حيث الثقل بحسب تأثير جودة النشاط على جودة المشروع فعلى سبيل المثال في مشروع البناء لا نستطيع اعتبار جودة الخرسانة مثل جودة الطلاء لان جودة الخرسانة لها تأثير على سقوط البناية على عكس جودة الطلاء فلها تأثير على منظر البناية . وبحكم أن المشروع يقع بين طرفين صاحب المشروع و المنجز للمشروع فإن أصحاب المشروع يبحثون في أغلب الحالات على إنجاز المشروع في وقت محدد مع أدنى التكاليف و مع ضمان الجودة اللازمة. فمما سبق نستطيع ان نفهم ان العناصر الثلاثة المكونة للنشاط هي من العناصر الأساسية في المشروع وهي بمثابة أهداف يجب تحقيقها على اتم وجه لتحقيق نجاح المشروع ككل وفي هذا الصدد فقد ذكر (Khaled El-Rayes & Amr Kandil, 2005) في مقاله عدد من البنود تبينها بعض أصحاب المشاريع كشرط وبنود تعاقدية لمدراء المشاريع أو المنجزين للمشروع ونذكر منها:

- الزيادة على التكلفة/الوقت لتشجيع المنافسة بين المقاولين لتقليل مدة المشروع.
- بنود العقود التحفيزية التي تقدم حوافز مالية لتقليل مدة البناء.
- بند المداومة الليلي الذي يسعى إلى تقليل انقطاع الخدمة ووقت المشروع من خلال مطالبة المقاولين بالعمل خلال ساعات الليل خارج أوقات الذروة.
- عقد الضمان الذي يحاول تحسين جودة البناء من خلال جعل المقاولين مسؤولين عن أداء المنشأة بعد الانتهاء من المشروع.
- العقود متعددة المعلنات التي تقدم حوافز للمقاولين لتحسين جودة الأداء .

فهذه البنود و أخرى ارغمة مديري المشاريع على البحث عن حل للمفاضلة بين الزمن والتكلفة و الجودة في المشروع حيث أصبحت هذه الإشكالية من أبرز وأكثر الإشكاليات شيوعا في علم تسيير المشاريع حيث تدرس كيفية إتمام المشروع بأقل التكاليف وفي أدنى مدة ممكنة ومع أعظم جودة ممكنة وتكمن هذه الأهمية في انه إذا تجاوز المشروع الزمن المحدد قد ينجر عليه تكاليف و عقوبات و اذا حاول مدير المشروع تقليص الزمن لتفادي خطر العقوبات فعليه حتما زيادة التكاليف وهذه العلاقة العكسية بين الزمن و التكلفة قد اثبتتها الكثير من الباحثين و أما إذا حاول متخذ القرار ضغط أو تقليص بعض النشاطات بدون زيادة التكاليف و الموارد فقد يترتب عليه ضغط عند العمال و كذا نقص في كفاءة العمالة (Mohamad, Adenan, & Rahman, 2012) و منه قد ينجر عنه نقص جودة ذلك النشاط و من ثم قد يترتب عليه نقص جودة المشروع ككل وذلك حسب أهمية النشاط بنسبة للمشروع.

وهذه المفاضلة ماهي إلا توسعة للمفاضلة بين الزمن والتكلفة وأول من بحث فيها هو (James E. Kelley, 1961) حيث قام بدراسة هذه المفاضلة في البيئة المحددة أي ان كل المتغيرات والأهداف محددة مسبقا. وفي الكثير من الأحيان في التطبيق لا يستطيع مدير المشروع تحديد الأهداف والقيم بشكل دقيق ولكن تكون لديه تقديرات عديدة او مجالات لان المشروع يقع في محيط تشوبه الضبابية والعشوائية وعدم تحديد العوامل المستقبلية من عوامل طبيعية وتقنية. وفي سبيل نمذجة هذه الحقيقة الضبابية انقسم الباحثون من مستعين

بنظريات الاحتمالات التي تركز على مبدئ العشوائية أي إعطاء قيم عشوائية في مجال معين يحدده مدير المشروع أو من مستعين بنظريات المجموعات الضبابية التي سنستعملها في هذه الورقة العلمية والتي تركز على مبدئ درجة الرضى والتي تُمكن من تحويل العبارات اللغوية التي يستخدمها الخبراء في تقديراتهم إلى مقادير كمية ومقاييس رياضية.

وأما الطرق المستعملة لصياغة هذه المفاضلة صياغة رياضية فقد استعملت في اغلب البحوث إما طرق البرمجة الرياضية (MP) او الطرق الارشادية (heuristic methods) مثل الخوارزميات الجينية (GA). وفي هذا المقال نستعمل طريقة البرمجة بالأهداف (GP) التي تنتمي الى طرق البرمجة الرياضية والتي تستطيع حل نماذج يحتوي على عدة أهداف في أن واحد. والنقص الوحيد الذي يصادف هذه الطريقة لاستعمالها في هذه المفاضلة هي أنها لا تقبل إلا قيما وأهدافا محددة ولجبر هذا النقص فقد استعان الباحثون بنظريات المجموعات الضبابية لتطوير البرمجة بالأهداف لتصبح البرمجة بالأهداف الضبابية (FGP) لتكون قادرة على حل نماذج تحتوي على اهداف ومتغيرات ضبابية أي بتقديرات غامضة أو بأفاق مبهمه.

1.1. طرح الإشكالية: وتهدف هذه الورقة البحثية الى الإجابة عن إشكالية التالية:

كيف يمكن تحديد أهداف الزمن والتكلفة والجودة المثالية للمشروع مع الأخذ بعين الاعتباري الطابع اللايقيني لهاذه الأهداف؟

2.1. التساؤلات الفرعية: تتفرع الإشكالية الى الأسئلة التالية

• كيف يمكن المفاضلة بين الأهداف الثلاثة معا وفي ان واحد؟

• هل هناك علاقة خطية بين هذه الأهداف الثلاثة؟

• كيف يمكن صياغة تطلعات متخذ القرار الضبابية لهذه الأهداف؟

3.1. الفرضيات: للإجابة على هذه الإشكالية نضع الفرضية التالية:

• التكلفة تزيد بتقلص الزمن والتكاليف تتقلص بزيادة الزمن

• البرمجة بالأهداف الضبابية تساعد متخذ القرار على صياغة أهدافه الضبابية والمفاضلة بينها في ان واحد.

4.1. أهمية الدراسة: تكمن أهمية هذه الورقة العلمية في كونها تدرس الجانب الضبابي لموضوع المفاضلة بين أهداف الزمن والتكلفة والجودة في المشروع ووضع نموذج رياضي يفاضل بين هذه الأهداف في ان واحد وذلك باستخدام البرمجة متعددة الأهداف وتحويلها الى البرمجة بالأهداف الضبابية.

5.1. أهداف الدراسة: وتكمن اهداف الدراسة في:

• صياغة أهداف متخذ القرار الضبابية صياغة رياضية.

• اقتراح نموذج من البرمجة متعددة الأهداف لزمز والتكلفة والجودة في المشروع.

• تحويل النموذج المقترح نموذج من للبرمجة بالأهداف الضبابية.

• تطبيق النموذج على دراسة حالة لمشروع ميترو طهران.

6.1. منهجية الدراسة:

في هذه الورقة العلمية استخدمنا المنهج الكمي حيث قمنا أولا بشرح المشكل وعرض الدراسات السابقة المتعلقة به ومن ثما تطرقنا

الى عرض وشرح النموذج المقترح لحل المشكل وأخيرا طبقنا النموذج المقترح على مشروع إنشاء خط ميترو وقمنا بمعالجة النتائج.

#### 7.1. الدراسات السابقة:

أول من كتب في الموضوع هم (Babu & Suresh, 1996) وقد طوروا نموذج من برمجة خطية ذات ثلاثة أهداف الهدف الأول تقليص التكاليف والهدف الثاني تقليص الزمن والهدف الثالث تعظيم الجودة الكلية للمشروع وقد اعتبر ان التكاليف هي تكاليف كلية بدون تفصيل بين أنواع التكاليف وقد اعتبروا أيضا ان زمن المشروع هو زمن المسار الحرج والجودة الكلية للمشروع هي متوسط جودة كل نشاطات المشروع. وحل النموذج استعمله البرمجة الخطية حيث يقوم بكل كل هدف بتثبيت حدود للأهداف الأخرى. وبعدها في سنة 1999 قام (Khang & Myint, 1999) بتطبيق نموذج (Babu & Suresh, 1996) على مشروع انشاء مصنع للإسمنت لإثبات صحة النموذج في الحياة العملية وقد اعتبر ان التكاليف هي تكاليف المتغيرة فقط وقد اعتبر أيضا ان في الحالة العادية للمشروع تكون الجودة تساوي 100% ومنه فإنه فرض ان الجودة تنقلص بتقليص الزمن الكلي للمشروع.

وقام كل من (Khaled El-Rayes & Amr Kandil, 2005) بتطبيق طريقة multiobjective genetic algorithm على مشكلة المفاضلة بين الزمن والتكلفة والجودة الكلية للمشروع وقد فصل في هذه الورقة طريقة حساب جودة المشروع فهو يعتبرها مجمع جودة النشاطات مضروبة في معاملات ثقل كل نشاط وحساب جودة كل نشاط يجب جمع مؤشرات النشاطات مضروبة في ثقلها ومنه فقد اعتبر ان لكل نشاط ثقل معين بنسبة للجودة الكلية للمشروع  $Q = \sum_{i=1}^l wt_i \sum_{k=1}^k wt_{i,k} * Q_{i,k}^n$ .

وقام كل من (Tareghian & Taheri, 2006) بتطوير نموذج للمفاضلة بين التكلفة والزمن والجودة في المشروع وقد افترضوا ان الجودة والتكلفة هما متغيران غير مستمران، وانهما لا ينبعان من مصدر متجدد أي لا تزيد قيمتهما مع الزمن. وقد قاموا بصياغة نموذج برمجة خطية للأعداد الصحيحة ذو ثلاث معادلات متداخلة بطريقة تمكن كل نموذج من إيجاد الحل الأمثل للمتغير مع تحديد حدود المتغيرات الأخرى وفي النهاية قاموا بتجميع كل النتائج حسب تغير الزمن الكلي للمشروع وقدموا مجموعة من الحلول المثلى.

قام كل من (Kim, Kang, & InKeuk, 2012) بدراسة مشكلة المفاضلة بين التكلفة والزمن في المشروع بمراعات جانب تكلفة الجودة الفردية (PQLC) لان توفر الكفاءة الفردية تؤدي الى إتمام الأنشطة في وقتها وبتكلفتها المرسومة. ولبرمجة هذه المشكلة استعانوا بنموذج مختلط للبرمجة الخطية للأعداد الصحيحة لإعطاء مؤشر يدل على خطر عدم مطابقة النشاط مع المعايير المرسومة والمخطط لها لتنبية متخذ القرار لإعادة صياغة الخطة او التغير في الخطة وقد توجوا هذه الدراسة بدراسة حالة على مشروع حيث تمكنوا من استخلاص خطر عدم المطابقة في 5 نشاطات وكل نشاط بتكلفة تصحيحه.

قام كل من (Mungle, Benyoucef, Son, & Tiwari, 2013) بنموذج من الخوارزميات الجينية الضبابية المسماة FCGA أي التجميع الضبابي باستخدام الخوارزميات الجينية , لدراسة مشكلة المفاضلة بين الزمن و التكلفة و جودة المشروع حيث قسموا التكاليف الى أربعة أقسام تكلفة مباشرة و تكلفة غير مباشرة و إعفاء عن تبكير و عقوبة التأخير و كذلك قسم الجودة الى قسمين الأول يحمل الجودة الكلية على حساب ادنى جودة في المشروع و القسم الاخر يحمل الجودة الكلية للمشروع على أساس حساب متوسط الجودة وذلك بمعامل  $\alpha$  و توج الدراسة بمقارنة نتائج نمودجه الذي طبقها على ثلاثة دراسات سابقة و استنتج ان نتائج نمودجه احسن من نتائج النماذج السابقة في تلك الدراسات.

قام كل من (Hajiagha, Akrami, Hashemi, & Mahdiraji, 2015) بمحاولة إيجاد الحل الأمثل لمشكلة المفاضلة بين الزمن والتكلفة والجودة الكلية للمشروع بتطبيق طريقة البرمجة بالأهداف عليها وقد اعتبر ان المشروع يخضع الى أنواع محددة من التطبيقات بحيث طبق عليه نظرية النظام الرمادي Grey Systems Theory وفي النهاية توج البحث بتطبيق النموذج على مشروعين الأول يحتوي على نوعين والثاني على أربعة أنواع للتطبيق.

قام كل من (Mahmoudia & Feylizadeha, 2017) بالبحث عن نموذج يمزج بين الوقت والتكلفة والجودة والخطر بصياغة نموذج برمجة خطية للأعداد الصحيحة بهدف تقليص التكاليف مع تقليص زمن المشروع مع تقليص خطر عدم مطابقة نشاطات المشروع مع المعايير عند تقليصها ، وقد اعتبروا ان تكلفة مطابقة المشروع وتكلفة عدم مطابقة المشروع للمخطط المرسوم هي عبارة عن تكلفة الجودة حيث وضعوا الجودة في القيود و لم يجعلوها هدفا و توجهوا هذا النموذج بدراسة حالة من 6 أنشطة وقد أعطوا نصائح بتقليص زمن 3 أنشطة لتفادي زيادة تكلفة الجودة.

قام كل من (Keshavarz & Shoul, 2020) بدراسة مشكلة المفاضلة بين التكلفة والزمن والجودة الكلية للمشروع من اجل إيجاد الحل الأمثل لهذه التوليفة وقد اعتبروا ان دالتي الزمن والتكلفة لديهما اهداف ضبابية على غرار هدف الجودة الكلية للمشروع الذي اعتبره محدد و اعتبره أيضا انه يأخذ القيمة الدنيا من بين قيم جودة نشاطات المشروع و قد طبقوا طريقة البرمجة بالأهداف الضبابية بطريقة MinMax و توجهوا هذه الدراسة بدراسة تطبيقية لمشروع بناء مدرسة حيث توصلوا الى نتائج مرضية لمتخذ القرار تقدر ب 57% من تطلعاته.

قام كل من (Son & Khoi, 2022) بتطبيق خوارزمية الذكاء الاصطناعي the Slime Mold Algorithm (SMA) على مشكلة المفاضلة بين التكلفة والزمن والجودة الكلية للمشروع من اجل إيجاد الحل الأمثل لهذه التوليفة بنسبة الى طرق أخرى مماثلة مطبقة سابقة وقد عرض في مقاله دراسة مقارنة بين طريقتيه والطرق الأخرى للخوارزميات الجينية بتطبيق كل الطرق على مثالين واستنتج ان طريقتيه تنتج أحسن الحلول.

#### 8.1. خطة البحث:

تنقسم هذه الورقة البحثية الى خمسة أجزاء الجزء الأول نعرض فيه المقدمة والجزء الثاني الدراسات السابقة والجزء الثالث نمذجة المشكل رياضيا وعرض الإطار النظري للطريقة المستعملة وبعض المفاهيم المتعلقة بالموضوع والجزء الرابع دراسة حالة على مشروع إنشاء خط ميتر و الجزء الخامس فيه نعرض الخاتمة وحدود الدراسة.

## 2. الإطار النظري للطريقة المستعملة

### 1.2. المنطق الضبابي والبرمجة بالأهداف الضبابية:

يقدم المنطق الضبابي الإطار العام لحل مشكلة المعلومات التقريبية او غير المحددة ويوفر الالية اللازمة لاستعمال هذه المعارف والمعلومات. واول من وضع اول لبنات المنطق الضبابي هو العالم لطفي زاده عام 1965. المعروف في المنطق الكلاسيكي ان المتغير يأخذ إحدى القيمتين  $\{0, 1\}$  أي  $\{\text{صحيح}, \text{خطأ}\}$ ، فإذا أخذت على سبيل المثال المجموعة الشاملة  $X$  وكانت  $A$  هي مجموعة جزئية من المجموعة  $X$  فإن أي عنصر من عناصر المجموعة الشاملة إما ان ينتمي الى المجموعة الجزئية  $A$  او لا ينتمي إلى هذه المجموعة. حيث يقدم المنطق الضبابي حلا مناسباً لهذا المشكل بإسناد درجة للمتغير (عنصر المجموعة الشاملة) أي درجة انتماء من المجال الحقيقي  $[0, 1]$  بدلا من المجموعة  $\{0, 1\}$  يساعد على تحديد انتماء العنصر الى المجموعة الجزئية.

بعض المفاهيم الأساسية:

المجموعة الضبابية: هي مجموعة عناصرها مكونة من مركبتين. المركبة الأولى تمثل العنصر والثانية هي درجة انتماء هذا العنصر للمجموعة الجزئية.

دالة الانتماء: هي دالة عددية تأخذ قيمتها في المجال  $[0, 1]$  يتم بواسطتها حساب درجة انتماء عنصر ما للمجموعة الضبابية.

درجة الانتماء: لتكن  $X$  مجموعة غير خالية و  $A$  مجموعة جزئية منها وليكن  $I = [0, 1]$  يرفق بكل عنصر  $x \in X$  قيمة عددية تكون بين 0 و 1 تمثل درجة انتماء العنصر  $x$  للمجموعة  $A$  وكلما كانت درجة العضوية أكبر كان العنصر أكثر انتماء للمجموع  $A$ .

احتواء المجموعات الضبابية: لتكن  $\tilde{A}$  و  $\tilde{B}$  مجموعتين ضبابيتين، حيث ان  $\tilde{A}$  مجموعة جزئية من  $\tilde{B}$  ، نقول ان  $A \subset B$  اذا كانت  $u_a(x) \leq u_b(x)$  لكل  $x \in X$ .

اتحاد المجموعات الضبابية: اتحاد مجموعتين ضبابيتين  $\tilde{A}$  و  $\tilde{B}$  نشير اليه بالعارة التالية  $\tilde{A} \cup \tilde{B}$  وهي جمعة تجمع كل عناصر المجموعتين الضبابيتين. (Verdegay, 2018)

$$\tilde{A} \cup \tilde{B} = \{(x, X_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x)) | x \in X, X_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x) = \text{Max} \{X_{\tilde{A}}(x), X_{\tilde{B}}(x)\}\}$$

تقاطع المجموعات الضبابية: تقاطع مجموعتين  $\tilde{A}$  و  $\tilde{B}$  نشير اليه بالعارة التالية  $\tilde{A} \cap \tilde{B}$  وهي جمعة تجمع كل العناصر المشتركة بين المجموعتين أي التي تتواجد في المجموعة الضبابية  $\tilde{A}$  و في المجموعة الضبابية  $\tilde{B}$ . (Verdegay, 2018)

$$\tilde{A} \cap \tilde{B} = \{(x, X_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x)) | x \in X, X_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x) = \text{Min} \{X_{\tilde{A}}(x), X_{\tilde{B}}(x)\}\}$$

الأعداد الضبابية: هي مجموعات ضبابية خاصة جدا في مجموعة الأعداد الحقيقية  $R$  ، و لها أهمية كبيرة في الأنظمة الضبابية.

### البرمجة بالأهداف الضبابية طريقة (Minmax)

البرمجة بالأهداف الضبابية هي أحد اشكال البرمجة بالأهداف التي تمكنت من برمجة اهداف وقيود ضبابية، وطريقة (Minmax) هي أحد طرق البرمجة بالأهداف الضبابية وتمثل في الأصل الذي قامه عليه نظرية المجموعات الضبابية التي أسسها (Bellman & Zadeh, 1970) وطريقة البرمجة الضبابية التي طورها بعده (Zimmermann, 1978) والتي تعتمد على الحل الإيجابي الأمثل PIS والحل السلبي الأمثل NIS.

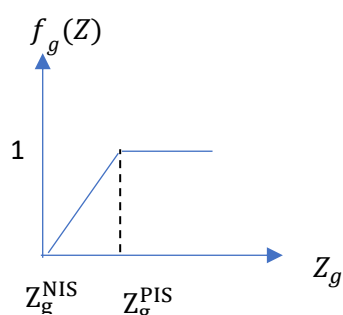
$$Z_g^{PIS} = \text{Min } Z_g ; Z_g^{NIS} = \text{Max } Z_g \quad g = 1, 2, \dots, K \quad (1)$$

S. t: Cx

ويمكن تحديد الصيغة الرياضية لدالة الانتماء الخطية كما يلي:

	$f_g(Z_g) = \begin{cases} 1, & Z_g \leq Z_g^{PIS} \\ \frac{Z_g^{NIS} - Z_g}{Z_g^{NIS} - Z_g^{PIS}}, & Z_g^{PIS} < Z_g < Z_g^{NIS} \\ 0, & Z_g \geq Z_g^{NIS} \end{cases}$ <p style="text-align: center;"><math>g = 1, 2, 3, \dots, K</math></p>	<p>دالة الانتماء غير متزايدة في حالة التندنية</p>
--	---	---

**حل مشكلة المفاضلة بين الزمن والتكلفة والجودة في تخطيط المشاريع بتطبيق البرمجة بالأهداف الضبابية بطريقة (MinMax)**

	$f_g(Z_g) = \begin{cases} 0, & Z_g \leq Z_g^{NIS} \\ \frac{Z_g^{NIS} - Z_g}{Z_g^{NIS} - Z_g^{PIS}}, & Z_g^{NIS} > Z_g > Z_g^{PIS} \\ 1, & Z_g \geq Z_g^{PIS} \end{cases}$ <p style="text-align: center;"><math>g = 1, 2, 3, \dots, K</math></p>	<p>دالة الانتماء غير المتناقصة <math>f_g(Z_g)</math> في حالة التعظيم</p>
---	---	--

حيث أن  $Z_g^{NIS}$  عبارة عن حد أدنى لدالة الهدف و  $Z_g^{PIS}$  عبارة عن حد أعلى لدالة الهدف. وبعد صياغة دالة الانتماء التي تحول الهدف  $Z_g$  الى  $f_g(Z_g)$  أي من الصيغة المحددة الى الصيغة الضبابية للهدف، تأتي مرحلة تحويل النموذج الخطي متعدد الأهداف الى نموذج خطي بهدف واحد وهذا يجعل الأهداف قيودا وادخال المساعد  $L$  وجعله الهدف الذي يجب تعظيمه

$$L = \mu_D(x) = \mu_G(x) \wedge \mu_C(x) = \min(\mu_G(x), \mu_C(x)) \quad (2)$$

و من المعادلة رقم 3 يتبين لنا ان  $L$  هو عبارة عن تقاطع درجات رضى متخذ القرار من كل هدف مرجو أي بعبارة أخرى هو درجة من  $[0, 1]$  تعبر عن مدى رضى متخذ القرار بنتيجة الأهداف ككل في ان واحد. حيث يصبح النموذج كالآتي:

$$\begin{aligned} & \text{Max } L \\ & \text{s.t: } 0 \leq L \leq f_g(Z_g) \quad \forall g \\ & \quad \quad \quad Z_g \end{aligned} \quad (3)$$

$$Cx \leq c$$

$$L \in [0..1]$$

2.2. بعض المفاهيم المتعلقة بالمشروع:

المخططات الشبكية:

هي رسم تسلسل نشاطات المشروع على شكل شبكة من اليسار الى اليمين، وهذه النشاطات ترسم إما على الأسهم (AOA) كالتالي:



او الدوائر (AON) كالتالي:



وهي من بين أفضل الطرق التي تلخص وتوضح المشروع لمتخذ القرار وهذه الطريقة تستعمل بعد تقدير ازمته النشاط وترتيب النشاطات الواحدة تلو الأخرى (WBS).

**النشاط:** يتكون من حدث بداية وحدث نهاية وله زمن وتكلفة وجودة وهو أساس المشروع لان المشروع يتكون من مجموعة أنشطة.

**المسار الحرج:** وهو المسار الأطول بين مسارات المشروع ويتم حسابه من الدائرة الأولى في المشروع حتى الدائرة الأخيرة في المشروع حسب نوع التحليل الشبكي المستعمل، هي طريقة هدفها معرفة النشاطات التي تتحكم في الزمن الكلي للمشروع وأول من ابتكرها هو (Kelley & Walker, 1959)

**النشاطات الحرجة:** هي النشاطات التي تكون في المسار الحرج و تتحكم في زمن المشروع حيث يقلص الزمن الكلي للمشروع بتقليصها ويمدد الزمن الكلي للمشروع بتمديدتها.

**الزمن الكلي للمشروع:** هو زمن أطول مسار في المشروع وهو المسار الحرج وبحسب مجموع ازمته نشاطات هذا المسار من النشاط الأول الى النشاط الأخير.

**التكاليف الكلية للمشروع:** هي التكاليف اللازمة لسير المشروع من نقطة البداية الى نقطة الاغلاق وتنقسم الى 5 أقسام:

- التكاليف المباشرة: هي التكاليف التي لديها علاقة مباشرة مع إنجاز المشروع مثل العمال او البرامج او الات.
- التكاليف غير المباشرة: هي التكاليف التي ليس لديها علاقة مباشرة مع إنجاز المشروع ولكن توجد في المشروع مثل الإضاءة للمكاتب، وسائل الترفيهية للعمال....
- التكاليف الثابتة: هي تكاليف ليس لها علاقة مع الوقت أو المردودية وتدفع بشكل ثابت مرة واحدة او عدة مرات مثل كراء محل.
- التكاليف المتغيرة: هي تكاليف تتغير مع الزمن او المردودية مثال تدفع لعمال لمدة 12 شهر ليس كدفع لعمال لمدة 6 أشهر.
- التكاليف الغارقة: هي التكاليف قد تكون من الأنواع السالفة الذكر التي تم صرفها في المشروع ولا يمكن استعادتها أي ليس لها منفعة حالية او مستقبلية.

**الجودة:** اختلفت التعاريف حول الجودة فمنهم من قال هي دقة ملائمة المنتج للتصميم الموضوع (نضال، 2016) وذلك على اعتبار ان مقياس المنتج يكمن في دقة تنفيذ التصميم الموضوع ودقة مطابقته لذلك التصميم. ومنهم من عرفها أنها مجمل الميزات والخصائص للمنتج أو الخدمة التي تؤثر على قدرتها على تلبية الاحتياجات المعلنة أو المضمرة (Schwalbe, 2006). والامر الذي لا زل البحث جرفه في الجودة هو اختلاف الباحثين في طريقة قياس الجودة الكلية للمشروع فمنهم من اعتبر ان الجودة الكلية هي عبارة عن أدني قيمة بين قيم جودة النشاطات (Keshavarz & Shoul, 2020) ومنهم من اعتبرها انها هي متوسط جودة النشاطات و منهم من جمع بين المتوسط و الأدنى حسب معامل التأثير (Mungle, Benyoucef, Son, & Tiwari, 2013) ومنهم من اعطى لكل جودة نشاط معامل ثقل بنسبة للمشروع (Khaled El-Rayes & Amr Kandil, 2005) أي حساب متوسط الانتقال أي انه لم يعتبر ان لكل الانشط نفس الأهمية و الأثر في الجودة الكلية و هذه الأخيرة هي الأقرب للواقع.

وفي هذه الورقة العلمية التي نحن بصدد تقديمها عبرنا عن التكاليف بشكل مجمل بدون تفصيل وكذلك الجودة قسمناها الى جودة كل نشاط وأشرنا إليها بنسبة مئوية والجودة الكلية للمشروع هي متوسط النسب المئوية للنشاطات.

### 3. صياغة المشكل

#### 1.3. النموذج المقترح:

الزمن و التكلفة و الجودة في المشروع هي من بين الأهداف الأساسية التي يجب على متخذ القرار أو مدير المشروع تحقيقها و محاولة المفاضلة بينها بشكل ذكي لان هذه الأهداف الثلاثة لها اثر كبير على مصير المشروع و فيها هدفين متعاكسين فكلما أراد تقليص الزمن فإنه يجب عليه زيادة التكاليف و قد تترتب عنها أيضا نقص جودة المشروع و يجب الإشارة الى انه في الواقع العملي يصعب على متخذ القرار تحديد اهداف لهذه المفاضلة فهي مفاضلة ضبابية، و في هذا القسم من الورقة نعرض نموذج اقترناه من اجل المفاضلة بين هذه الأهداف الثلاثة مع الاخذ بعين الاعتبار الجانب الا يقيني لهذه الأهداف وهو كالتالي :

دالة الهدف:

- دالة تقليص تكلفة المشروع:

$$Min z_1 \cong \sum_i \sum_j C_{D_{ij}} + \sum_i \sum_j k_{ij} y_{ij} \quad (4)$$

- تقليص زمن المشروع:

$$Min z_2 \cong \sum_i \sum_j t_{ij} \quad (5)$$

- تعظيم دالة الجودة:

$$Max z_3 \cong \frac{1}{n} \left( \sum_i \sum_j q_{cpm_{ij}} t_{ij} \right) \quad (6)$$

القيود:

- قيد الزمن بين الحدث  $i$  و  $j$ :

$$t_{ij} = D_{ij} - y_{ij} \quad \forall i, \forall j \quad (7)$$

- قيد الزمن المقلص في النشاط  $(i; j)$ :

$$y_{ij} \leq D_{ij} - d_{ij} \quad \forall i, \forall j \quad (8)$$

- قيد الميزانية المخصصة للمشروع:

$$z_1 \leq B \quad (9)$$

- قيد الزمن الكلي للمشروع:

$$z_2 \leq T_{nc} \quad (10)$$

- قيد الزمن الكلي بنسبة للمسارات غير الحرجة:

$$z_2 \geq p_{th} \quad (11)$$

- قيد الزمن الكلي للمسارات غير الحرجة:

$$p_{th} = \sum_i \sum_j D_{ij} - y_{ij} \quad th = 0, \dots, m \quad (12)$$

- قيد انعدام سلبية المتغيرات:

$$t_{ij}, y_{ij} \geq 0 \quad \forall i, \forall j \quad (13)$$

الجدول (1): شرح متغيرات ومؤشرات النموذج

$(i, j)$ = النشاط بين $i, j$ .	$C_{Dij}$ = التكلفة المباشرة العادية للنشاط $(i, j)$ .
$g$ = مؤشر لدالات الهدف	$T_{nc}$ = زمن المشروع في الظروف العادية.
$Z_1$ = مجموع تكاليف المشروع.	$B$ = الميزانية المخصصة.
$Z_2$ = زمن المشروع الكلي.	$p_i$ = الزمن الكلي للمسار
$Z_3$ = متوسط جودة المشروع.	$Q_{dij}$ = جودة النشاط بعد التقليل
$D_{ij}$ = الوقت العادي للنشاط $(i, j)$ .	$Q_{Dij}$ = جودة النشاط في الحالة العادية
$d_{ij}$ = أدنى وقت يمكن تقليله في النشاط $(i, j)$ .	
$k_{ij}$ = التكاليف المضافة للنشاط $(i, j)$ .	
$t_{ij}$ = الوقت الجديد للنشاط $(i, j)$ بعد التقليل.	
$y_{ij}$ = الوقت المقلص من النشاط $(i, j)$ .	

المصدر: من إعداد الباحثين.

في كل دالة هدف فإن علامة " $\cong$ " تشير إلى الحالة الضبابية ل " $=$ " والتي تمثل بدورها ضبابية الأهداف لمتخذ القرار، ونسبة إلى دوال الأهداف 5-7 فإنها بترتيب تمثل دالة تقليل التكاليف الكلية ودالة تقليل الزمن ودالة تعظيم الجودة

ومن المعلوم ان التكاليف وزمن المشروع يسيران باتجاه متناقض، فتقليل الزمن يؤدي إلى زيادة التكاليف وكذلك إلى تخفيض الجودة. كما

يجب الإشارة إلى ان  $k_{ij} = \frac{C_{dij} - C_{Dij}}{D_{ij} - d_{ij}}$  تمثل تكلفة الوحدة الواحدة المقلصة من الزمن،

تمثل جودة الوحدة الواحدة المقلصة من الزمن.  $q_{cpm_{ij}} = \frac{Q_{dij} - Q_{Dij}}{D_{ij} - d_{ij}}$

الدالة رقم 4 هي دالة هدف تقليل التكاليف تنقسم إلى شطرين الشطر الأول يحتوي على تكاليف ثابتة مباشرة  $\sum_i \sum_j C_{Dij}$  والشطر

الثاني على تكاليف متغيرة مباشرة  $\sum_i \sum_j k_{ij} y_{ij}$  وهي تكاليف مباشرة تترتب عن تقليل الزمن.

الدالة رقم 5 هي دالة تقليل الزمن الكلي للمشروع وهي عبارة عن مجموع أزمنة أنشطة المسار الحرج،

الدالة رقم 6 هي دالة تعظيم جودة المشروع وهي متوسط مجموع جودة الأنشطة سواء الحرجة أو غير الحرجة.

المعادلة رقم 7 هي زمن النشاط بعد التقليل

المترجحة رقم 8 هي الزمن الأقصى الممكن تقليله من النشاط

المترجحة رقم 9 هي القيمة القصوى الممكن وصولها من التكاليف

المترجحة رقم 10 هي الزمن الكلي للمشروع الأقصى الممكن وصوله.

المترجحة رقم 11 هي ادنى زمن كلي للمشروع يمكن وصوله لكي لا يتغير المسار الحرج.

المعادلة رقم 12 هي الزمن الكلي للمسارات غير الحرجة

المترجحة رقم 13 هي انعدام سلبية المتغيرات.

فرضيات النموذج:

- كل الأهداف غامضة.
- كل الأهداف والقيود خطية.
- التكاليف المباشرة لها علاقة طردية مع زمن المشروع.

## حل مشكلة المفاضلة بين الزمن والتكلفة والجودة في تخطيط

### المشاريع بتطبيق البرمجة بالأهداف الضبابية بطريقة (MinMax)

- المتغيرات من زمن النشاطات وتكلفتها والتكلفة الممكن اضافتها والزمن الممكن تقليصه وتتابع النشاطات وجودة الأنشطة العادية وجودة الأنشطة بعد تقليص الزمن وميزانية المشروع هي معلومة.
- دالة الانتماء هي وسيلة لصياغة الأهداف الضبابية.
- جودة المشروع هي متوسط مجموع جودة الأنشطة.

### 2.3. خطوات الحل:

خطوات حل النموذج المقترح تتكون من ست خطوات تتدرج كالتالي:

- الخطوة الأولى: جمع البيانات المتعلقة بالمشروع من الأنشطة مدتها وتكلفتها وطريقة تسلسلها الزمني والتكاليف الثابتة وميزانية المشروع... الخ.
- الخطوة الثانية: رسم المخطط الشبكي للمشروع وتحديد المسار او المسارات الحرجة في المشروع.
- الخطوة الثالثة: تحديد الأهداف والمتغيرات والقيود، ووضع نموذج خطي متعدد الأهداف.
- الخطوة الرابعة: حل النموذج المتعدد الأهداف واستخلاص الحل المثالي الموجب و الحل المثالي السالب (NIS, PIS).
- الخطوة الخامسة: تحديد دالة الانتماء الخطية لكل هدف من الأهداف.
- الخطوة السادسة: من ثمة تحويل البرنامج الخطي المتعدد الأهداف الى برنامج خطي بهدف ضبابي و حله بطريقة الحد الأدنى و الاقصى « Minimum operator method ».

### 4. دراسة الحالة

#### 1.4. دراسة وتحليل بيانات المشروع:

في هذا الجزء من الورقة العلمية نطبق البرمجة بالأهداف الضبابية بطريقتين على مشروع انجاز ميتر و طهران الممتد على 35 كيلومتر ومنقسم على 25 محطة. الزمن العادي للمشروع:  $T_{nc} = 1345$ . الميزانية الكلية:  $B = 7\ 223\ 900$ . لتبسيط الجدول رقم 2 المتضمن لبيانات المشروع نشير الى كل عمود بإشارة وشرحها باللغة العربية كالتالي:

Normal mode time =  $D_{ij}$  الزمن العادي

Compression mode time =  $d_{ij}$  الزمن بعد التخفيض

Normal mode cost =  $C_{Dij}$  التكاليف في الزمن العادي

Compression mode cost =  $C_{dij}$  التكاليف في الزمن المخفض

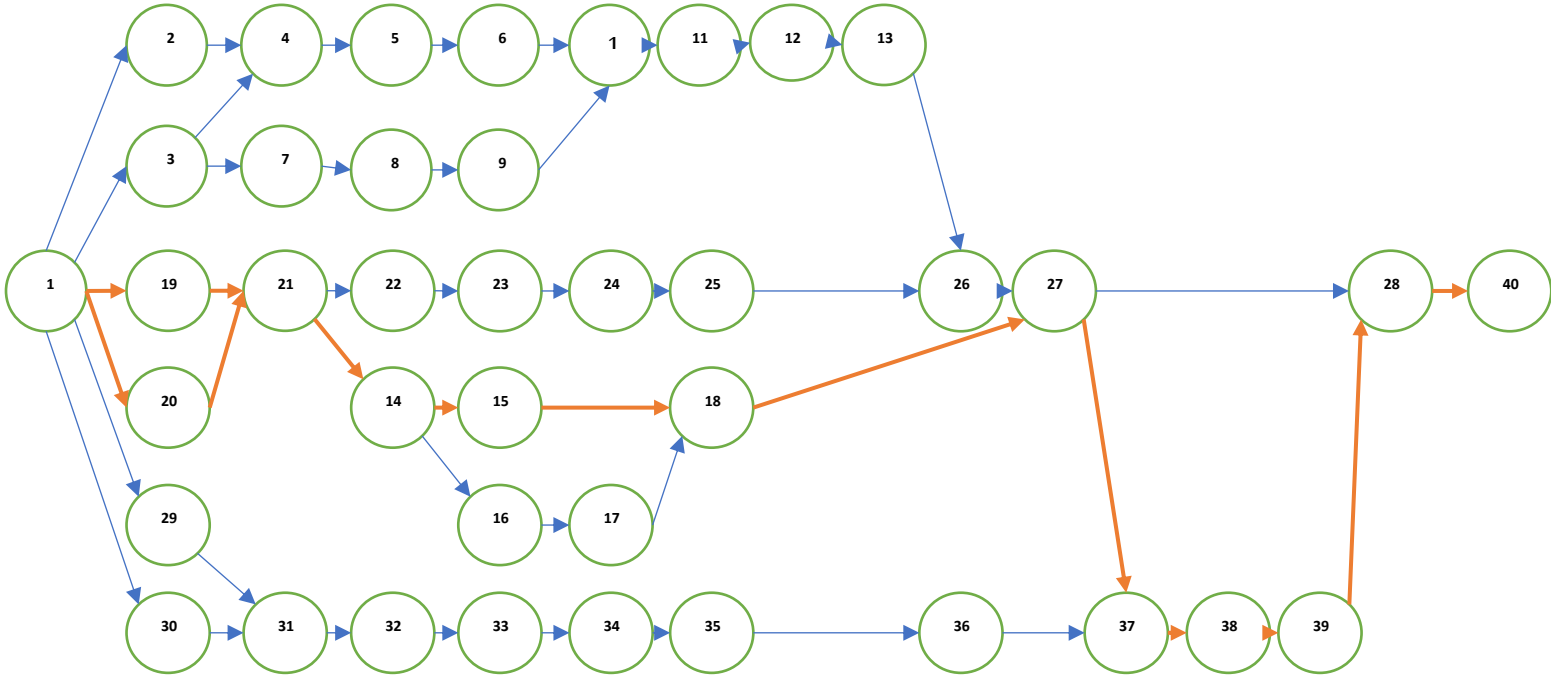
Normal mode quality =  $Q_{Dij}$  الجودة في الزمن العادي

Compression mode quality =  $Q_{dij}$  الجودة في الزمن المخفض

المخططات الشبكية:

هي رسم نشاطات المشروع على شكل شبكة من اليسار الى اليمين تربط بين النشاطات، وهذه النشاطات ترسم إما على الأسهم (AOA) او الدوائر (AON) وهي من بين أفضل الطرق التي تلخص وتوضح المشروع لمتخذ القرار. وفي الشكل رقم 1 استعملنا طريقة AON لرسم نشاطات المشروع.

الشكل 1: المخطط الشبكي للمشروع



المصدر: من إعداد الباحثين.

### طريقة المسار الحرج CPM:

هي طريقة هدفها معرفة النشاطات التي تتحكم في الزمن الكلي للمشروع وهي من بين أفضل الطرق لتحليل الشبكي للمشاريع حيث نقوم بقسمة المشروع الى مسارات وبعدها نختار المسار الحرج من بين المسارات وهو المسار الذي يحتوي على النشاطات الحرجة أي النشاطات التي تتحكم في زمن المشروع أي النشاطات التي يكون مجموعها في مسارها هو الأكبر بين المسارات، حيث يقلص الزمن الكلي للمشروع بتقليصها ويمدد الزمن الكلي للمشروع بتمديدتها.

وفي هذا المشروع يوجد 15 مسار فأدنى المسارات تتكون من 9 نشاطات وأقصها تتكون من 13 نشاطا كما هو مبين في الجدول رقم 3:

الجدول (3): المسارات الممكنة في المشروع برقم تعريف النشاط لكل خطوة

المسارات	خطوة1	خطوة2	خطوة3	خطوة4	خطوة5	خطوة6	خطوة7	خطوة8	خطوة9	خطوة10	خطوة11	خطوة12	خطوة13
المسار1	1	2	4	5	6	10	11	12	13	26	27	28	40
المسار2	1	3	4	5	6	10	11	12	13	26	27	28	40
المسار3	1	3	7	8	9	10	11	12	13	26	27	28	40
المسار4	1	19	21	22	23	24	25	26	27	28	40		
المسار5	1	20	21	22	23	24	25	26	27	28	40		
المسار6	1	19	21	14	15	18	27	28	40				
المسار7	1	20	21	14	15	18	27	28	40				
المسار8	1	19	21	14	16	17	18	27	28	40			
المسار9	1	20	21	14	16	17	18	27	28	40			
المسار10	1	19	21	14	15	18	27	37	38	39	28	40	
المسار11	1	20	21	14	15	18	27	37	38	39	28	40	

## حل مشكلة المفاضلة بين الزمن والتكلفة والجودة في تخطيط

### المشاريع بتطبيق البرمجة بالأهداف الضبابية بطريقة (MinMax)

المسار 12	1	19	21	14	16	17	18	27	37	38	39	28	40
المسار 13	1	20	21	14	16	17	18	27	37	38	39	28	40
المسار 14	1	29	31	32	33	34	35	36	37	38	39	28	40
المسار 15	1	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	28	40

المصدر: من إعداد الباحثين.

ومن جمع زمن أنشطة المسارات يظهر لنا جليا من الجدول رقم 4 ان المسار الحرج هو المسار 10 و 11 لانهما يملكان أطول مدة ب 1345 يوم عمل وهما المتحكمان في زمن الكلي للمشروع فيتقلص بتقلص أنشطتهما ويمتد بتمديد انشطتهما ومن ملاحظتنا ان المساران لهما نفس الأنشطة ماعدا الخطوة الثانية ففي المسار 10 هو النشاط 19 وفي المسار 11 فهو النشاط 20 لذلك في هذا المشروع اخترنا تقلص المسار 10 فقط لان بتقلص هذا المسار يتقلص الاخر.

#### الجدول (4) : زمن الأنشطة المتعلقة بكل خطوة وبكل نشاط

المسارات	خطوة 1	خطوة 2	خطوة 3	خطوة 4	خطوة 5	خطوة 6	خطوة 7	خطوة 8	خطوة 9	خطوة 10	خطوة 11	خطوة 12	خطوة 13	مجموع الازمنة
المسار 1	0	60	75	30	90	180	90	60	35	90	450	60	0	1220
المسار 2	0	60	75	30	90	180	90	60	35	90	450	60	0	1220
المسار 3	0	60	60	60	57	180	90	60	35	90	450	60	0	1202
المسار 4	0	120	145	30	90	260	90	90	450	60	0	x	x	1335
المسار 5	0	120	145	30	90	260	90	90	450	60	0	x	x	1335
المسار 6	0	120	145	20	400	30	450	60	0	x	x	x	x	1225
المسار 7	0	120	145	20	400	30	450	60	0	x	x	x	x	1225
المسار 8	0	120	145	20	180	45	30	450	60	0	x	x	x	1050
المسار 9	0	120	145	20	180	45	30	450	60	0	x	x	x	1050
المسار 10	0	120	145	20	400	30	450	60	30	30	60	0	x	1345
المسار 11	0	120	145	20	400	30	450	60	30	30	60	0	x	1345
المسار 12	0	120	145	20	180	45	30	450	60	30	30	60	0	1170
المسار 13	0	120	145	20	180	45	30	450	60	30	30	60	0	1170
المسار 14	0	60	75	30	90	60	60	45	60	30	30	60	0	600
المسار 15	0	60	75	30	90	60	60	45	60	30	30	60	0	600

المصدر: من إعداد الباحثين.

#### 2.4. تطبيق خطوات الحل:

بعدها استخراجنا المسار الحرج الذي يجب تقلصه في المشروع وحساب المسارات غير الحرجة و الأنشطة الرابطة بين المسارات، تأتي الخطوة الاولى هي برمجة المشروع برمجة خطية متعددة الأهداف باستعمال المعادلة من 4 الى 13 وبعدها نقوم باستخلاص الحل الأمثل السالب والموجب  $(Z_g^{PIS}; Z_g^{NIS})$  كما هو مبين في المعادلة رقم 1. و لحل نموذج البرمجة الخطية استعملنا برنامج «Lingo 19.0» المتخصص في البرمجة الرياضية فتحصلنا على النتائج مفصلة في الجدول رقم 5 و ملخصها كالتالي:

$$(Z_1^{PIS}; Z_1^{NIS}) = (7\ 223\ 900; 8\ 386\ 169)$$

$$(Z_2^{PIS}; Z_2^{NIS}) = (898; 1345)$$

$$(Z_3^{PIS}; Z_3^{NIS}) = (91,58\%; 90,63\%)$$

وانطلقا من هذه الحلول الحدية يمكننا انشاء دالة الانتماء وتمثيل درجة رضى متخذ القرار لكل هدف تمثيلا ضبابيا.

$$f_1(Z_1) = \begin{cases} 1, & Z_1 \leq 7\,223\,900 \\ \frac{8\,386\,169 - Z_1}{8\,386\,169 - 7\,223\,900}, & 7\,223\,900 < Z_1 < 8\,386\,169 \\ 0, & Z_1 \geq 8\,386\,169 \end{cases} \quad (14)$$

$$f_2(Z_2) = \begin{cases} 1, & Z_2 \leq 14.5 \\ \frac{1345 - Z_2}{1345 - 898}, & 898 < Z_2 < 1345 \\ 0, & Z_2 \geq 1345 \end{cases} \quad (15)$$

$$f_3(Z_3) = \begin{cases} 0, & Z_3 \leq 90,63\% \\ \frac{90,63\% - Z_3}{90,63\% - 91,58\%}, & 90,63\% < Z_3 < 91,58\% \\ 1, & Z_3 \geq 91,58\% \end{cases} \quad (16)$$

وإدخالنا المساعد  $L$  الذي يمثل درجة الرضى متخذ القرار بنتائج كل الأهداف مجتمعة وباستعمال المعادلة رقم 2 و 3 لتحويل النموذج من برمجة بالأهداف الضبابية الى برمجة خطية بمهدف واحد وهو تعظيم المساعد  $L$  أي درجة رضى متخذ القرار. وباستعمال برنامج "LINGO الإصدار 19.0" تظهر النتائج الحل الأمثل مفصلة في الجدول رقم 6 وملخصها كالتالي .

$$L = 0.6707 \text{ و } Z_3 = 91.36\% \text{ و } Z_1 = 7567048 \text{ و } Z_2 = 1235$$

و من نموذج البرمجة بالأهداف الضبابية الذي طبقناه على بيانات مشروع انشاء ميترو طهران فإننا استنتجنا الحل المثالي للمفاضلة بين الزمن الكلي للمشروع والتكاليف الكلية وجودة ومنه فإننا قد قمنا بتقليص زمن الكلي للمشروع من 1345 يوم الى 1235 يوم أي ب 110 يوم مقابل رفع التكاليف الكلية من 723900 الى 7567048 أي بمقدار 343148 مع فقدان الجودة من الجودة العادية 91.42% إلى الجودة بعد التقليص 91.36% بمقدار 0.06% وهذا مقدار ضئيل جدا وذلك بخفض النشاط الحرج رقم 21 من 145 يوم الى 100 يوم بمقدار 45 يوم و النشاط الحرج رقم 14 من 20 يوم الى 10 أيام بمقدار 10 أيام و النشاط الحرج رقم 27 من 450 يوم الى 424 يوم بمقدار 26 يوم و النشاط الحرج رقم 28 من 60 يوم الى 31 يوم بمقدار 29 يوم. وهذا الحل المثالي المقترح قد يحظى بقبول متخذ القرار بنسبة 67.07% وهذه درجة جد مرضية.

وهذا النموذج المقترح أخذ بعين الاعتبار كل مسارات المشروع بما في ذلك غير الحرجة لكيلا تصبح حرجة ويكون الحل لا جدو منه وذلك مبين في الجدول رقم 6 حيث نلاحظ ان المسارات  $p_1, p_2, \dots, p_{15} \leq 1235$  أي بقي المسار الحرج قبل الحل هو المسار الحرج بعد الحل.

#### تحليل الحساسية:

في هذه الفقرة من دراسة حالة نحاول دراسة أثر تغير كل هدف بالنسبة للأهداف الأخرى وذلك بقيامنا بمحاكات حوالي 56000 حل للمفاضلة بين الزمن و التكلفة و الجودة من بينهم الحل الأمثل الذي قدمناه و لكن هذه المحاكات لم تأخذ بعين الاعتبار قيد عدم تقليص الزمن اقل من المسارات الأخرى وذلك لان ليس لها جدوة في دراسة الحساسية بين هذه الأهداف و قد قمنا بذلك باستعمال برنامج «Excel 2016» و بعدها قمنا بدراسة الترابط بطريقة Pearson على عينة عشوائية من 2000 حل من بينهم الحل الأمثل و اسقاطه في معلم متعامد متجانس ذو بعدين  $R^2$  لتوضيح الصورة اكثر وذلك باستعانتنا ببرنامج «XLSTAT2023»

## حل مشكلة المفاضلة بين الزمن والتكلفة والجودة في تخطيط المشاريع بتطبيق البرمجة بالأهداف الضبابية بطريقة (MinMax)

الجدول (5): وصف بيانات المحاكاة

Variable	Observations	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
T	2000	898,000	1345,000	1123,131	66,877
C	2000	7223900,000	8386170,000	7799374,266	306078,369
Q	2000	0,908	0,915	0,911	0,001

المصدر: من إعداد الباحثين بالاستعانة ببرنامج «XLSTAT2023»

الزمن والتكلفة:

من خلال الشكل رقم 2 الذي يحتوي على تقاطع نقاط الزمن الكلي للمشروع و التكاليف الكلية للمشروع و مصفوفة ترابط الزمن و التكلفة و الجودة في الجدول رقم 8 يتضح لنا جليا ان هدف الزمن وهدف التكلفة مترابطان ترابط سلبى متوسط أي منعكستي المسير حيث نري ان مؤشريهما يساوي  $-0,451$  و قيمة P value التابعة لهما اصغر من 0.05 وهذا يدل على وجود ترابط و الشكل رقم 2 يوضح ذلك.

الجدول (6): مصفوفة الترابط (Pearson (n))

Variables	T	C	Q
T	1	$-0,451$	0,318
C	$-0,451$	1	0,048
Q	0,318	0,048	1

*Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05*

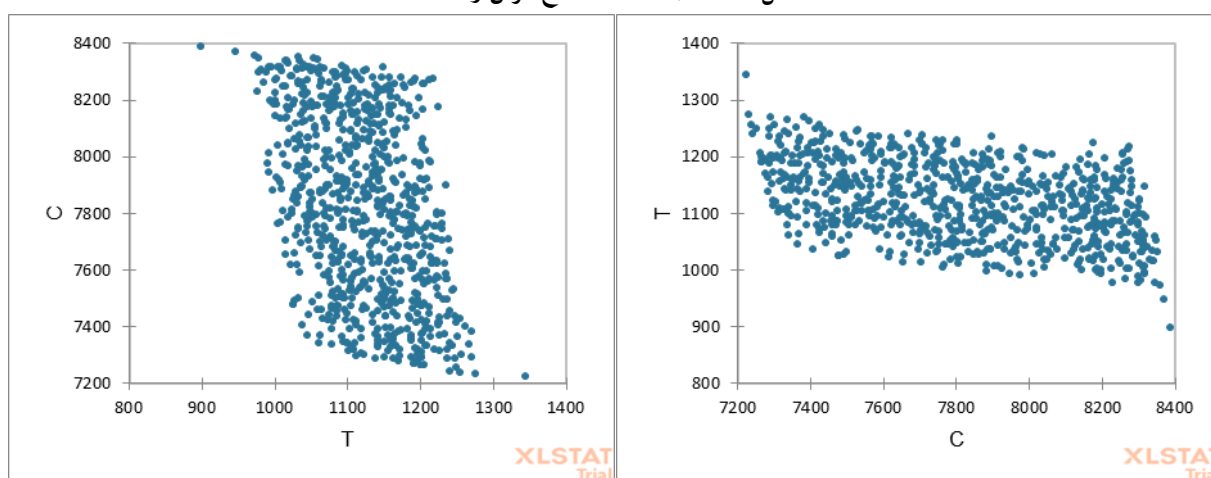
المصدر: من إعداد الباحثين بالاستعانة ببرنامج «XLSTAT2023»

الجدول (7): اختبار الدلالة (p-values (Pearson))

Variables	T	C	Q
T	0	$<0,0001$	$<0,0001$
C	$<0,0001$	0	0,034
Q	$<0,0001$	0,034	0

المصدر: من إعداد الباحثين بالاستعانة ببرنامج «XLSTAT2023»

الشكل 3: سحابة النقاط لتقاطع الزمن والتكلفة



المصدر: من إعداد الباحثين بالاستعانة ببرنامج «XLSTAT2023»

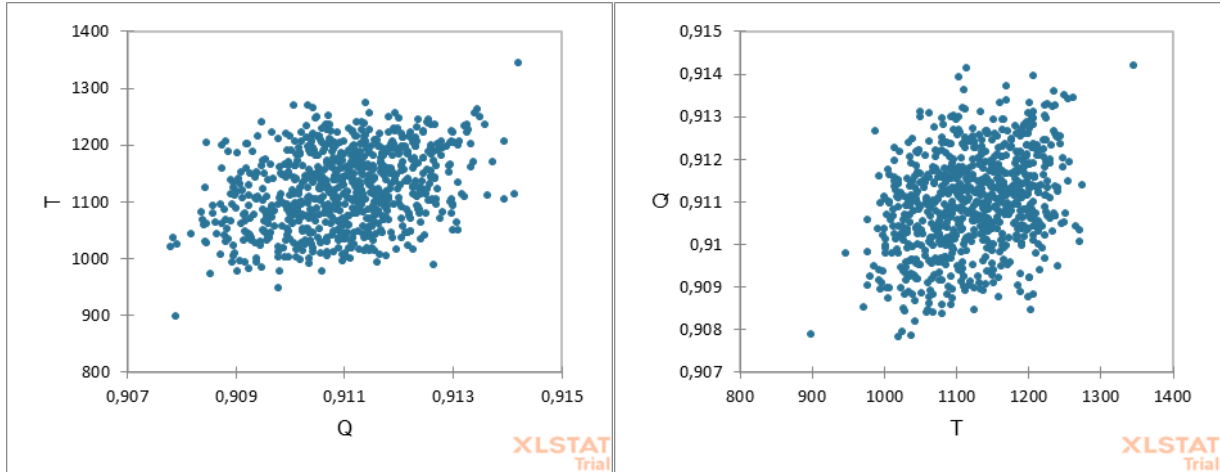
## حل مشكلة المفاضلة بين الزمن والتكلفة والجودة في تخطيط

### المشاريع بتطبيق البرمجة بالأهداف الضبابية بطريقة (MinMax)

الزمن والجودة:

من خلال الشكل رقم 3 الذي يحتوي على تقاطع نقاط الزمن الكلي للمشروع والجودة الكلية للمشروع ومصفوفة ترابط الزمن والتكلفة والجودة في الجدول رقم 8 و 9 يتضح لنا جليا ان هدف الزمن وهدف الجودة مترابطان ترابط إيجابي متوسط أي يسيران في نفس الاتجاه حيث نري ان مؤشريهما يساوي 0,318 وقيمة P value التابعة لهما أصغر من 0.05 وهذا يدل على وجود ترابط و الشكل رقم 3 يوضح ذلك.

الشكل 4 : سحابة النقاط لتقاطع الزمن و الجودة

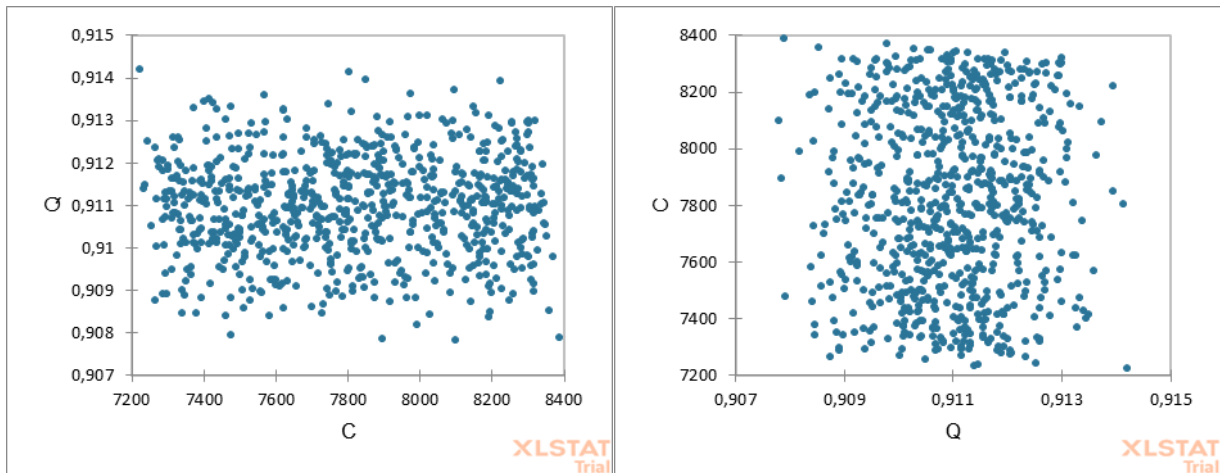


المصدر: من إعداد الباحثين بالاستعانة ببرنامج «XLSTAT2023»

التكلفة والجودة:

من خلال الشكل رقم 4 الذي يحتوي على تقاطع نقاط الزمن الكلي للمشروع والجودة الكلية للمشروع ومصفوفة ترابط الزمن والتكلفة و الجودة في الجدول رقم 8 و 9 يتضح لنا جليا ان هدف التكلفة وهدف الجودة مترابطان ترابط إيجابي ضعيف حيث نري ان مؤشريهما يساوي 0,048 و قيمة P value التابعة لهما اصغر من 0.05 وهذا يدل على وجود ترابط و الشكل رقم 4 يوضح ذلك.

الشكل 3: سحابة النقاط لتقاطع التكلفة والجودة



## حل مشكلة المفاضلة بين الزمن والتكلفة والجودة في تخطيط المشاريع بتطبيق البرمجة بالأهداف الضبابية بطريقة (MinMax)

المصدر: من إعداد الباحثين بالاستعانة برنامج «XLSTAT2023»

### الزمن والتكلفة والجودة:

من تحليلنا للترابط الأهداف الثلاثة من جودة وتكاليف وزمن يتضح لنا ان تأثير الزمن على التكلفة تأثير سلبي متوسط، ومن زاوية أخرى نرى ان الجودة تتأثر بالزمن أكثر من تأثيرها بتكلفة حيث ان الزمن والتكلفة يأتزان على الجودة تأثير إيجابي ولكن تأثير الزمن أقوى من تأثير التكلفة أي انه من هذه الزاوية نجد خطورة في تقليص الزمن أكثر من الازم لان الجودة المخفضة جراء تخفيضنا الزمن المبالغ فيه لا نستطيع استرجاعها بضخ الأموال الزائدة في المشروع.

### 5. الخلاصة:

المفاضلة بين الزمن والتكلفة و الجودة في تخطيط المشاريع من بين اهم النقاط التي تحظى باهتمام متخذ القرار لكون تحقيق هذه الأهداف هي أفضل المؤشر على نجاح إدارة المشروع، لان تجاوز مدة انهاء المشروع المتعاقد عليها أو درجة الجودة المتفق عليها في المشروع قد يعرضان المشروع الى الرفض او الى غرامات مالية او عقوبات وهذا ما يخلف خسائر و أضرار ، و تجاوز التكاليف تعرض المشروع الى الخسارة او الى تقليص هامش الربح ، بالإضافة إلى كون هذه الاهداف تقع في بيئة يشوبها الغموض وعدم يقينية المستقبل المنتظر من الظروف التي تحيط بالمشروع من عوامل طبيعية ومرونة القوانين وتغير أسعار السوق والموارد الأولية فمنه لا يمكن لمتخذ القرار وضع قيم محددة ودقيقة لهاذه الاهداف ، لذلك في هذه الورقة قمنا بدراسة الطابع الضبابي للأهداف بالاستعمال المنطق الضبابي بحل نموذج خطي متعدد الأهداف (MOLP) من ثلاثة اهداف الهدف الأول تقليص التكاليف الكلية و الثاني تقليص الزمن الكلي للمشروع و الثالث تعظيم الجودة الكلية للمشروع بتحويله الى برمجة بالأهداف الضبابية (FGP) بطريقة القيم الصغرة و الكبيرة (MinMax method) , حيث من هذه الدراسة استنتجنا أن النموذج متعدد الأهداف الذي اقترناه حيث حولنا النموذج الكلاسيكي الذي يعتمد على قيد الاسبقية الى نموذج حديث يعتمد على قيد المسارات غير الحرجة هو نموذج فعال وله نتائج جد جيدة و سهل الاستعمال و استنتجنا أيضا أن البرمجة بالأهداف الضبابية بطريقة القيم الصغرة و الكبيرة يمكنها صياغة اهداف و تطلعات متخذ القرار الضبابية و المفاضلة بينها معا و في ان واحد و هي أداة جد فعالة و تعطي نتائج مثالية و من نتائج تحليل الحساسية استخلصنا انه يوجد علاقة خطية عكسية بين الزمن و التكلفة في المشروع حيث اذا زادة التكلفة يتقلص الزمن و اذا تقلص الزمن تزيد التكلفة اما بين الزمن و الجودة أو التكلفة و الجودة فالتمسنا علاقة خطية طردية غير قوية.

### 1.5. إختبار الفرضيات:

- ✓ من تحليل الحساسية الذي اجريناه على تغير الزمن و التكلفة في المشروع تبين تأكيد صحة الفرضية الأولى.
- ✓ النتائج تطبيق النموذج المقترح على بيانات مشروع ميترو طهران ومن درجة الرضى متخذ القرار  $L = 0.6707$  التي توصلنا اليها تبين لنا ان الفرضية الثانية صحيحة.

2.5. نتائج الدراسة: من هذه الدراسة التطبيقية على مشروع إنشاء خط ميترو الانفاق تحصلنا على مفاضلة المثلى بين الزمن والتكلفة و الجودة المقدرة ب 1235 يوم ; 7567048 ; 91.36% و قمنا أيضا بدراسة حساسية هدف التكلفة الكلية و الزمن و الجودة فوجدنا ان تأثير الزمن على التكلفة تأثير سلبي قوي, و ان الجودة تتأثر بالزمن أكثر من تأثيرها بتكلفة حيث ان الزمن و التكلفة يأتزان على الجودة تأثير إيجابي ولكن تأثير الزمن اقوي من تأثير التكلفة أي انه نجد خطورة في تقليص الزمن أكثر من الازم لان الجودة المخفضة جراء تخفيضنا الزمن المبالغ فيه لا نستطيع استرجاعها بضخ الأموال الزائدة في المشروع.

3.5. التوصيات: إن النتائج التي توصلنا إليها تدل على مدى تحقيق الأهداف في ان واحد وبشكل متكافئ ولكن في الواقع المهني وفي كثير من الحالات قد نجد تباين وعدم تساوي ثقل الأهداف فيما بينها أي انه يوجد في اغلب الأحيان اهداف ذات أولوية على اخري وهذا يحدده متخذ القرار حسب الخبرة المهنية ومتطلبات المشروع. لذلك اوصي بدراسة موضوع المفاضلة بين اهداف الزمن والتكلفة والجودة في المشروع في حالة اختلاف الأولوية او ثقل هذه الاهداف.

## 6. الإحالات والمراجع:

### • المؤلفات:

معهد ادارة المشاريع. (2017). *الدليل المعرفي لادارة المشاريع PMBOK*. بنسلفينيا . الولايات المتحدة الامريكية: معهد إدارة المشاريع. doi:978-1-62825-185-2

Verdegay, A. E. (2018). *Fuzzy Sets-Based Methods and Techniques for Modern Analytics*. Switzerland: Springer International Publishing.

Schwalbe, K. (2006). *Introduction to Project Management*. doi: 978-1505212099

### • المقالات:

عدنان جاسم نضال. (2016). تقييم ادارة جودة التصميم الهندسية لمشاريع محافظة ديالى باعتماد تقنية التقييم (COPRAS). *مجلة ديالى للعلوم الهندسية*, 9(1)، 13-30. doi:https://doi.org/10.24237/djes.2016.09112

Babu, A., & Suresh, N. (1996). Project management with time, cost, and quality considerations. *Journal of Operational Research*, 88(2), 320-327. doi:https://doi.org/10.1016/0377-2217(94)00202-9

Bellman, R. E., & Zadeh, L. A. (1970). Decision-Making in a Fuzzy Environment. *Management Science*, 17(4), 141-164. doi:https://doi.org/10.1287/mnsc.17.4.B141

Hajiagha, S. H., Akrami, H., Hashemi, S. S., & Mahdiraji, H. A. (2015). An Integer Grey Goal Programming For Project Time, Cost and Quality Trade-Off. *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics*, 26(1), 93-100. doi:https://doi.org/10.5755/j01.ee.26.1.9930

Hashemi, R., & Shahbandarzadeh, H. (2024). A fuzzy goal programming model for time, cost, and quality trade-off problem in metro construction projects considering sustainable development. *International Journal of Construction Management*, 24(3), 323-330. doi:https://doi.org/10.1080/15623599.2023.2223000

James E.Kelley, J. (1961). Critical path planning and scheduling mathematical basis. *Operations Research*, 296-320.

**حل مشكلة المفاضلة بين الزمن والتكلفة والجودة في تخطيط  
المشاريع بتطبيق البرمجة بالأهداف الضبابية بطريقة (MinMax)**

- Kelley, J. E., & Walker, M. R. (1959). Critical-path planning and scheduling. *In Proceedings Eastern Joint Computer Conference, 59*, pp. 160-173. Boston, .  
doi:https://doi.org/10.1145/1460299.1460318
- Khaled El-Rayes, M., & Amr Kandil, A. (2005). Time-Cost-Quality Trade-Off Analysis for Highway. *JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT, 131*(4), 477-486. doi:https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131:4(477)
- Khang, D. B., & Myint, Y. M. (1999). Time, cost and quality tradeoff in project management: A case study. *International Journal of Project Management, 17*(4), 249-256.  
doi:https://doi.org/10.1016/S0263-7863(98)00043-X
- Mohamad, S. B., Adenan, M. H., & Rahman, I. A. (2012). Project Crashing Impact to Labour Productivity and Quality of work in Construction Project. *The International Conference on Civil and Environmental Engineering Sustainability, 1-14*.
- Mungle, S., Benyoucef, L., Son, Y.-J., & Tiwari, M. (2013). A fuzzy clustering-based genetic algorithm approach for time-cost-quality trade-off problems: A case study of highway construction project. *Engineering Applications of Artificial Intelligence, 26*(8), 1953-1966.  
doi:https://doi.org/10.1016/j.engappai.2013.05.006
- Son, P. V., & Khoi, L. N. (2022). Utilizing artificial intelligence to solving time – cost – quality trade-off problem. *Scientific Reports, 12*(1), 1-18. doi:https://doi.org/10.1038/s41598-022-24668-7

7. ملاحق:

الجدول (8): القيم الحدية لكل هدف (PIS ;NIS).

المتغيرات	Z <sub>1</sub> التكاليف		Z <sub>2</sub> الزمن الكلي		Z <sub>3</sub> الجودة	
	التخفيض (min)	التعظيم (max)	التخفيض (min)	التعظيم (max)	التخفيض (min)	التعظيم (max)
Y19	0	0	0	0	0	0
Y21	0	45	45	0	0	45
Y14	0	0	0	0	0	10
Y15	0	10	0	0	0	0
Y18	0	0	0	0	0	0
Y27	0	80	80	0	0	80
Y37	0	0	0	0	0	0
Y38	0	0	7	0	7	0

## حل مشكلة المفاضلة بين الزمن والتكلفة والجودة في تخطيط

### المشاريع بتطبيق البرمجة بالأهداف الضبابية بطريقة (MinMax)

Y39	0	0	3	0	3	0
Y28	0	29	29	0	29	0
E18	1345	1181	1181	1345	1306	1210
T19	120	120	120	120	120	120
T21	145	100	100	145	145	100
T14	20	20	20	20	20	10
T15	400	390	400	400	400	400
T18	30	30	30	30	30	30
T27	450	370	370	450	450	370
T37	60	60	60	60	60	60
T38	30	30	23	30	23	30
T39	30	30	27	30	27	30
T28	60	31	31	60	31	60
C	<b>*7223900</b>	<b>*8279548</b>	8277132	7223900	7226633	8274899
T	1345	1181	<b>*1181</b>	<b>*1345</b>	1306	1210
Q	0,9142105	0,9136189	0,9106134	0,9142105	<b>*0,9098266</b>	<b>*0,9152605</b>
P1	1220	1111	1111	1220	1191	1140
P2	1220	1111	1111	1220	1191	1140
P3	1202	1093	1093	1202	1173	1122
P4	1335	1181	1181	1335	1306	1210
P5	1335	1181	1181	1335	1306	1210
P6	1225	1061	1071	1225	1196	1090
P7	1225	1061	1071	1225	1196	1090
P8	1050	896	896	1050	1021	915
P9	1050	896	896	1050	1021	915
P11	1345	1181	1181	1345	1306	1210
P12	1170	1016	1006	1170	1131	1035
P13	1170	1016	1006	1170	1131	1035
P14	600	571	561	600	561	600
P15	600	571	561	600	561	600

المصدر: من إعداد الباحثين.

ملاحظة: العلامة \* تشير الى قيمة الهدف

### الجدول (9): النتائج النهائية للنموذج.

المتغيرات	البرمجة الخطية						المساعد التعظيم
	Z <sub>1</sub> التكاليف		Z <sub>2</sub> الزمن الكلي		Z <sub>3</sub> الجودة		
	التخفيض	التعظيم	التخفيض	التعظيم	التخفيض	التعظيم	
Y19	0	0	0	0	0	0	0
Y21	0	45	45	0	0	45	45
Y14	0	0	0	0	0	10	10
Y15	0	10	0	0	0	0	0
Y18	0	0	0	0	0	0	0
Y27	0	80	80	0	0	80	26
Y37	0	0	0	0	0	0	0
Y38	0	0	7	0	7	0	0

**حل مشكلة المفاضلة بين الزمن والتكلفة والجودة في تخطيط  
المشاريع بتطبيق البرمجة بالأهداف الضبابية بطريقة (MinMax)**

Y39	0	0	3	0	3	0	0
Y28	0	29	29	0	29	0	29
E18	1345	1181	1181	1345	1306	1210	1235
T19	120	120	120	120	120	120	120
T21	145	100	100	145	145	100	100
T14	20	20	20	20	20	10	10
T15	400	390	400	400	400	400	400
T18	30	30	30	30	30	30	30
T27	450	370	370	450	450	370	424
T37	60	60	60	60	60	60	60
T38	30	30	23	30	23	30	30
T39	30	30	27	30	27	30	30
T28	60	31	31	60	31	60	31
P1	1220	1111	1111	1220	1191	1140	1165
P2	1220	1111	1111	1220	1191	1140	1165
P3	1202	1093	1093	1202	1173	1122	1147
P4	1335	1181	1181	1335	1306	1210	1235
P5	1335	1181	1181	1335	1306	1210	1235
P6	1225	1061	1071	1225	1196	1090	1115
P7	1225	1061	1071	1225	1196	1090	1115
P8	1050	896	896	1050	1021	915	940
P9	1050	896	896	1050	1021	915	940
P11	1345	1181	1181	1345	1306	1210	1235
P12	1170	1016	1006	1170	1131	1035	1060
P13	1170	1016	1006	1170	1131	1035	1060
P14	600	571	561	600	561	600	571
P15	600	571	561	600	561	600	571
L							<b>0,6707317</b>
C	<b>*7223900</b>	<b>*8279548</b>	8277132	7223900	7226633	8274899	<b>7567048</b>
T	1345	1181	<b>*1181</b>	<b>*1345</b>	1306	1210	<b>1235</b>
Q	0,9142105	0,9136189	0,9106134	0,9142105	<b>*0,9098266</b>	<b>*0,9152605</b>	<b>*0,9135926</b>

المصدر: من إعداد الباحثين.

**الجدول (2): البيانات الخاصة بكل نشاط في المشروع.**

ID	Task Name	Predecessors	Normal mode time	Compression mode time	Normal mode cost	Compression mode cost	Normal mode quality	Compression mode quality
1	Start		-	-	-	-	100%	100%
2	Geotechnical operation of TBM input shaft	1	60	40	10 000	20 000	90%	91%
3	Geophysical operation of TBM input shaft	1	60	40	10 000	20 000	90%	91%
4	Contractor selection of designing and building the TBM input shaft	2;3	75	30	500	1 000	90%	91%

## حل مشكلة المفاضلة بين الزمن والتكلفة والجودة في تخطيط

### المشاريع بتطبيق البرمجة بالأهداف الضبابية بطريقة (MinMax)

5	Detailed design of TBM input shaft - phase one	4	30	20	2 500	5 000	95%	96%
6	Detailed design of TBM input shaft - phase two	5	90	60	7 500	15 000	95%	96%
7	Locating of TBM input shaft inlet	3	60	30	500	1 000	96%	98%
8	Acquisition of land required for the TBM input shaft	7	60	30	1 000 000	1 100 000	95%	97%
9	Relocation of municipal facilities at the TBM inlet shaft	8	57	40	10 000	11 000	90%	91%
10	TBM inlet shaft excavation	6;9	180	120	25 300	26 700	85%	86%
11	TBM input shaft wall reinforcement	10	90	59	12 500	14 100	90%	80%
12	Execution of TBM input shaft floor	11	60	21	13 500	14 200	90%	85%
13	Construction of TBM input shaft gateway	12	35	22	10 350	11 150	90%	91%
14	Selection and concluding a contract with the contractor of the segment production factory	21	20	10	500	1 000	90%	91%
15	Construction of a segment production factory	14	400	200	200 000	285 000	90%	85%
16	Making segment molds	14	180	110	7 000	9 500	90%	88%
17	Shipping of segment molds to the factory	16	45	30	500	970	90%	100%
18	Installation of segment molds	15;17	30	19	5 650	7 320	90%	85%
19	Geotechnical operations of tunnel construction	1	120	80	20 000	40 000	90%	91%
20	Geophysical operations of tunnel construction	1	120	80	20 000	40 000	90%	91%
21	Selection of tunnel contractor and TBM supplier	19;20	145	100	500	1 000	90%	91%
22	Detailed design of tunnel - phase one	21	30	20	2 600	5 200	95%	96%
23	Detailed design of tunnel - phase two	22	90	60	8 500	17 000	95%	96%
24	TBM manufacturing	23	260	260	200 000	200 000	100%	100%
25	Transportation and clearance of TBM	24	90	50	50 000	100 000	87%	100%
26	TBM assembling	25;13	90	48	7 500	9 300	90%	85%
27	Tunnel construction by TBM	26;18	450	370	4 500 000	5 550 000	95%	97%
28	Disassembling the TBM	27;39	60	31	6 200	7 100	90%	85%
29	Geotechnical operation of TBM output shaft	1	60	36	10 000	20 000	90%	91%
30	Geophysical operation of TBM output shaft	1	60	36	10 000	20 000	90%	91%
31	Contractor selection of designing and building the TBM output shaft	29;30	75	40	500	1 000	90%	91%
32	Detailed design of TBM output shaft - phase one	31	30	18	2 500	5 000	95%	96%
33	Detailed design of TBM output shaft - phase two	32	90	57	7 500	15 000	95%	96%
34	Location of TBM output shaft exit	33	60	28	500	1 000	96%	98%
35	Acquisition of land required for the TBM output shaft	34	60	31	1 000 000	1 100 000	95%	97%
36	Relocation of municipal facilities at the TBM exit shaft	35	45	35	10 000	11 000	90%	91%
37	TBM exit shaft excavation	27;36	60	44	25 300	26 700	85%	86%
38	TBM output shaft wall reinforcement	37	30	23	12 500	14 100	90%	80%
39	Execution of TBM output shaft floor	38	30	21	13 500	14 200	90%	85%
40	Finish	28	-	-	-	-	100%	100%

المصدر: بيانات مقتبسة من المقال (Hashemi & Shahbandarzadeh, 2024)

**حل مشكلة المفاضلة بين الزمن والتكلفة والجودة في تخطيط  
المشاريع بتطبيق البرمجة بالأهداف الضبابية بطريقة (MinMax)**