

Railways Projects Appraisal Using Reference Class Forecasting and Fuzzy Sets Theory

Eng. Dana Marwan Al Sheikh*¹, Dr. Jamal Yunus Omran¹, Dr. Mudar Ali Alaaraj²

¹ Faculty of Civil Engineering | Tishreen University | Syria

² General Establishment of Syrian Railways | Aleppo | Syria

Received:

05/12/2022

Revised:

16/12/2022

Accepted:

24/01/2023

Published:

30/03/2023

* Corresponding author:

Dana.M.Alsheikh@tishreen.edu.sy

Citation: Al-Sheikh, D.

M., Omran, J. Y., & Alaaraj,

M. A. (2023). Railways

Projects Appraisal Using

Reference Class

Forecasting and Fuzzy Sets

Theory. *Journal of*

engineering sciences and

information technology,

7(1), 33 – 57.

<https://doi.org/10.26389/AJSRP.K051222>

2023 © AJSRP • National

Research Center, Palestine,

all rights reserved.

• Open Access



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY-NC) license

Abstract: The importance of this study is driven by the significant role the investment in railway projects plays in the national economy. The economic stability of many countries depends on the short and long term benefits of these projects. Decision makers often face difficulties in assessing the economic feasibility of infrastructure projects, given the number of risks and uncertainties associated with investing in these projects. Therefore, this study aimed to develop a methodology to address uncertainties related to quantitative and qualitative risks associated with costs and revenues estimations for railway projects.

To achieve this goal, a new mathematical model has been developed using Reference Class Forecasting method and Fuzzy Sets theory to improve costs and revenues estimations for railway projects. The applicability of the proposed model is illustrated using the feasibility study of the development of Aleppo-Damascus railway project, conducting sensitivity analyses and analysing associated results. The study concluded the possibility of using the proposed model as a tool to support the decision of sponsors and decision makers when selecting the economically viable investment option. The proposed model is easy to use in the field of uncertain decision-making, as it can be used as a tool for analysing the sensitivity of the economic feasibility of the project options under study.

The proposed methodology assumes: the availability of RCF data with high statistical quality; the performance of the project under study is similar to the projects used to inform Reference Class Forecasting data; excluding the inflation as one of causes for the increase in costs and revenues of railway projects.

Keywords: Outside view, Reference Class Forecasting, Fuzzy Sets, Uncertainty.

التقييم الاقتصادي لمشاريع السكك الحديدية باستخدام طريقة التنبؤ بالمجموعة المرجعية ونظرية المجموعات الضبابية

م. دانا مروان الشيخ*¹، الدكتور / جمال يونس عمران¹، الدكتور / مضر علي الأعرج²

¹ كلية الهندسة المدنية | جامعة تشرين | سوريا

² المؤسسة العامة للخطوط الحديدية السورية | حلب | سوريا

المستخلص: ترجع أهمية هذه الدراسة إلى الدور الكبير الذي تلعبه القيمة الاستثمارية لمشاريع النقل بالسكك الحديدية في الاقتصاد الوطني. يعتمد الاستقرار الاقتصادي للعديد من البلدان في المقام الأول على الفوائد القصيرة وطويلة الأجل لهذه المشاريع. غالباً ما يواجه صناع القرار صعوبات في تقييم الجدوى الاقتصادية لمشاريع البنى التحتية، نظراً للعديد من المخاطر والشكوك المرتبطة ببناء هذه المشاريع والاستثمار فيها. لذلك، هدفت هذه الدراسة لتطوير منهجية لمعالجة عدم التأكد المرتبط بالمخاطر الكمية والنوعية المرافقة لتقدير كلف وعائدات مشاريع السكك الحديدية.

لتحقيق هذا الهدف، تم اقتراح نموذج رياضي جديد يعتمد على استخدام طريقة التنبؤ بالمجموعة المرجعية ونظرية المجموعات الضبابية لتحسين تقديرات تكاليف وعائدات مشاريع السكك الحديدية. تم إثبات قابلية تطبيق النموذج المقترح باستخدام دراسة الجدوى الاقتصادية لمشروع تطوير خط السكة الحديدية لحلب ودمشق، وإجراء تحليل الحساسية وتحليل نتائجه. وقد أسفرت الدراسة عن نتائج وتوصيات أهمها إمكانية استخدام النموذج المقترح كأداة لدعم قرار الممولين وصناع القرار عند تحديد خيار الاستثمار المفضل اقتصادياً. يتسم النموذج المقترح بسهولة الاستخدام في مجال اتخاذ القرارات غير المؤكدة، حيث يمكن استخدامه كأداة لتحليل حساسية الجدوى الاقتصادية لخيارات المشروع قيد الدراسة.

تفترض المنهجية المقترحة: توافر بيانات RCF وبجودة إحصائية عالية؛ كون أداء المشروع المدروس مشابهاً لأداء المشاريع المعتمدة في المجموعة المرجعية؛ استثناء عامل التضخم كأحد أسباب زيادة تكاليف وعائدات مشاريع السكك الحديدية. الكلمات المفتاحية: وجهة نظر خارجية، التنبؤ بالمجموعة المرجعية، المجموعات الضبابية، عدم التأكد.

1- المقدمة

تمثل المشاريع الضخمة للبنى التحتية للنقل العمود الفقري للاقتصاد الحديث لارتباطها الوثيق بالتنمية الاقتصادية والاجتماعية على صعيد الاقتصاد الوطني؛ وأكثر من ذلك على صعيد الاقتصاد العالمي كونها شبكة نقل الأشخاص، السلع، والمعلومات. لذلك تخصص العديد من الحكومات أجزاء ضخمة من ميزانياتها لبناء وصيانة البنية التحتية للنقل (Daoud, 2018, 2019; Love et al., 2019; Salloum, 2021).

أثبتت دراسات تخطيط النقل والاقتصاد كون تجاوزات الكلفة السبب الرئيس المؤدي إلى التخصيص غير الفعّال للموارد (Allahaim & Liu, 2013; Flyvbjerg & Bester, 2021; Siemiatycki, 2015). فإذا كان صنّاع القرار على علم بنسب تجاوزات الكلف عند تمويل المشروع، قد يختارون: (1) إضافة خيارات جديدة؛ (2) تنفيذ المشروع بشكل مختلف أو؛ (3) عدم تنفيذ المشروع. لذلك يعتبر تقدير التكاليف والعائدات أمرًا بالغ الأهمية لتخطيط النقل الرشيد والتخصيص الفعّال للموارد (Al Sheikh, 2017; El-Cheikh et al., 2013; Odeck et al., 2015).

لمعالجة مشاكل تجاوز كلف الاستثمار للمشروع، المبالغة في تقدير عائدات المشروع، وبخس تقدير كلف الصيانة والتشغيل اللازمة لإدارة هذا المشروع؛ تمّ اقتراح منهجية لدعم صنّاع القرار عند تحديد الخيار المفضّل لمشاريعهم. تعتمد هذه المنهجية على طريقة التنبؤ بالمجموعة المرجعية (Reference Class Forecasting)، وعلى نظرية المجموعات الضبابية (Fuzzy Sets Theory).

2- مشكلة البحث

يعالج هذا البحث المشكلة التي تواجه صنّاع القرار عند تقييم الجدوى الاقتصادية لمشاريع السكك الحديدية⁽¹⁾ نتيجة تزايد التكاليف التقديرية وتناقص العائدات المستقبلية عند تنفيذ هذه المشاريع. حيث تترافق الجدوى الاقتصادية لهذه المشاريع بتقييم أخطار ذات احتمال ضئيل وتأثير كبير، بالإضافة إلى الأخطار الاقتصادية (التضخم، منافسة، تقانة) التي يصعب التحكم بها والسيطرة عليها.

3- الدراسات السابقة

بالنظر إلى الدور البارز الذي تلعبه المشاريع الضخمة وتحديدًا مشاريع البنى التحتية للنقل في التنمية الاقتصادية والاجتماعية، من المقلق أنّها تشتهر بسجل سيئ من حيث التوقيت والميزانية. لذا سعت العديد من الدراسات إلى تقديم تفسيرات حول الأسباب الجذرية لضعف أداء المشاريع الضخمة. حيث اقترحت دراسات: Odeck وآخرون (2015)؛ Siemiatycki (2015)؛ Cantarelli و Flyvbjerg (2015)؛ Al Hasani (2019)؛ و Servranckx وآخرون (2021)، كون العوامل التقنية، السياسية -الاقتصادية، والنفسية الأسباب الرئيسة لعدم الدقة في تقدير الكلف والعائدات والتأخير الزمني للمشاريع. لذلك سيتم توضيح هذه العوامل:

✓ العوامل التقنية: وهي العوامل الناجمة عن الأحداث غير المتوقعة في مرحلة التخطيط / أو التشييد؛ مثل التغييرات في أسعار المدخلات، البيانات غير الكافية، نقص الإحصائيات، نقص المهارات / الخبرة، وتغيير نطاق المشروع وتصميمه.

(1) يجدر التنويه بأنّ مفهوم مشاريع السكك الحديدية الخاص بهذا البحث يتضمن القطارات، السكك الحديدية لهذه القطارات، كافة البنى التحتية الملائمة لتشغيل هذه القطارات (والتي من ضمنها شبكة الاتصالات، الكابلات الكهربائية، الجسور والأنفاق الخاصة بهذه القطارات)، محطات الخدمة والصيانة لهذه القطارات، المؤسسات المسؤولة عن دراسة، إقرار، تنفيذ، وتشغيل هذه القطارات ضمن شبكة السكك الحديدية.

✓ العوامل السياسية-الاقتصادية: وهي العوامل المتعلقة بمبالغة المخططين والمروجين؛ بشكل متعمد واستراتيجي؛ في تقدير العائدات والتقليل من التكاليف عند التنبؤ بنتائج المشروع، وهو ما يطلق عليه بالتضليل الاستراتيجي (Strategic Misrepresentation).

✓ العوامل النفسية: وهي العوامل الناجمة عن الطبيعية البشرية المتفائلة، حيث يؤدي هذا التفاؤل إلى ما يسميه علماء النفس مغالطة التخطيط⁽²⁾ (Planning Fallacy) والانحياز المتفائل⁽³⁾ (Optimism Bias) المتعلقين بتقدير كلف وعائدات المشروع.

بينت دراسة (TII, 2020) في المملكة المتحدة العلاقة بين الانحياز المتفائل والتضليل الاستراتيجي نتيجة ارتباطهما المباشر بالضغوطات السياسية والتنظيمية. حيث يكون للانحياز المتفائل تأثيراً كبيراً عند غياب هذه الضغوطات، بينما تبلغ ذروة تأثير التضليل الاستراتيجي مع زيادة هذه الضغوطات.

أثبتت العديد من الدراسات (Amos & Abbasi, 2020; Emmons et al., 2018; Flyvbjerg et al., 2016; Odeck et al., 2015; TII, 2020) أنه يمكن التعامل مع حالات فشل التخطيط وتجاوزات الكلف التي شهدتها المشاريع الضخمة في العقود الماضية من خلال اعتماد "وجهة نظر خارجية" (Outside View) لتقييم هذه المشاريع. يتم ذلك بالاستعانة بالخبراء والاعتماد على بيانات الأداء لمشاريع سابقة التنفيذ في بلدان مختلفة. حيث يتم مقارنة كلف وعائدات المشروع قيد الدراسة مع المشاريع السابقة من قبل خبراء واستشاريين مستقلين بالرأي وذوي مصلحة حيادية في قرار تنفيذ المشروع وتشغيله. واقترحت هذه الدراسات كون "وجهة نظر خارجية" الطريقة الأمثل للتعامل مع الانحياز المتفائل والتضليل الاستراتيجي عند اتخاذ القرارات الخاصة بالمشاريع الضخمة.

تعتبر طريقة التنبؤ بالمجموعة المرجعية (RCF) (Reference Class Forecasting) من الطرق الهامة التي تستخدم "وجهة نظر خارجية" للمشاريع. حيث يتم اعتمادها كطريقة لمعالجة الأسباب الجذرية لضعف أداء المشاريع الضخمة بما فيها الانحياز المتفائل والتضليل الاستراتيجي (Batselier & Vanhoucke, 2016). تهدف هذه الطريقة لتحسين موثوقية التقديرات والتنبؤات بكلف وأزمنة إنجاز المشاريع الضخمة، باعتماد نسبة زيادة معينة وفقاً لبيانات مرجعية لمجموعة مشاريع مماثلة تم إكمالها في الماضي (Batselier & Vanhoucke, 2016; Servranckx et al., 2021). تستخدم هذه الطريقة على نطاق واسع في دول متعددة، وقد تم اعتمادها بشكل إلزامي في دول عدة، مثل المملكة المتحدة والدنمارك (Flyvbjerg & Bester, 2021)، وإيرلندا (TII, 2020).

1.3. مبدأ التنبؤ بالمجموعة المرجعية

التنبؤ بالمجموعة المرجعية (RCF) هو طريقة للتنبؤ بالمستقبل، من خلال النظر إلى مواقف سابقة مماثلة وإلى نتائجها. وتمت تسميتها بهذا الاسم لأنها تعتمد على النتائج الفعلية لمجموعة مشاريع مرجعية بغية التنبؤ للأداء المستقبلي للمشاريع المماثلة (Flyvbjerg et al., 2016). كان Flyvbjerg و COWI (2004) أول من قدم إرشادات شاملة لاستخدام هذه الطريقة (RCF) للتخفيف من آثار الانحياز المتفائل.

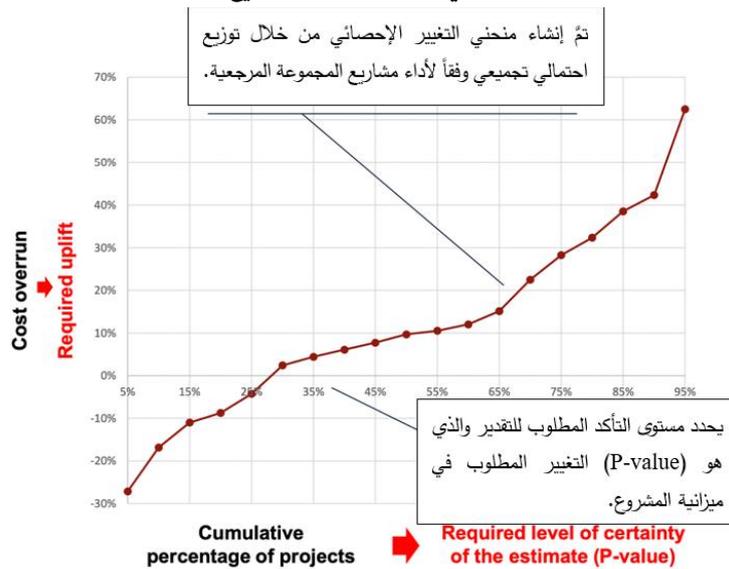
يتألف الإجراء العام للتنبؤ بالمجموعة المرجعية (RCF) لمشروع معين من الخطوات التالية:

أولاً، تحديد مجموعة مرجعية للمشاريع السابقة والمشابهة للمشروع المدروس: اقترح (DFT & OGP, 2020) كون المجموعة المرجعية المؤلفة من 20-30 مشروع كافية إحصائياً، ولكن كلما ازداد عدد المشاريع في المجموعة

(2) تشير مغالطة التخطيط إلى ظاهرة يمكن ملاحظتها بسهولة وهي: الاقتناع بأن المشروع الحالي سوف يسير كما هو مخطط له على الرغم من أن معظم المشاريع من مجموعة المقارنة ذات الصلة قد فشلت في تحقيق النتائج المخطط لها (Buehler et al., 2010).

(3) بحسب (HM_Treasury, 2022, p:9) الانحياز المتفائل هو "الاتجاه المنهجي الواضح لمقديري المشروع للإفراط في التفاؤل حول بارامترات المشروع الرئيسية، بما في ذلك تكاليف رأس المال، تكاليف التشغيل، مدة المشروع، والعائدات من إنجاز المشروع."

المرجعية، ازدادت الدلالة الإحصائية لهذه المجموعة. يجدر الإشارة على ضرورة إيضاح مستويات التشابه بين المشاريع المعتمدة لتشكيل المجموعة المرجعية كشرط أساسي لاعتبار هذه المشاريع جزءاً من المجموعة المرجعية (TII, 2020).



الشكل 1: مثال على التوزيع الاحتمالي لمشاريع السكك الحديدية (OGP, 2020, p. 11)

ثانياً، إنشاء توزيع احتمالي للمجموعة المرجعية المعتمدة: حيث يتم إنشاء منحنى التغيير الإحصائي (كلفة أو زمن) من خلال اعتماد توزيع احتمالي تجميعي وفقاً لأداء مشاريع المجموعة المرجعية (Flyvbjerg et al., 2018).
ثالثاً، تحديد موقع المشروع المدروس على التوزيع الاحتمالي التجميعي: يتم ذلك بغية تحديد نسبة التغيير الإحصائية (كلفة أو زمن) للمشروع قيد الدراسة. على سبيل المثال، استناداً إلى الشكل (1)، يعتبر موقع مشروع السكة الحديدية المدروس موافقاً لنسبة 50% على التوزيع الاحتمالي وبالتالي ينبغي زيادة ميزانية هذا المشروع بنسبة 10% من الكلفة المقدرة.

4- مواد البحث وطرائقه

1.4. تطبيق طريقة التنبؤ بالمجموعة المرجعية

تقدم وزارة النقل البريطانية (Department for Transport) نهجاً من أربع خطوات لتعديل كلف الاستثمار لمشاريع النقل ليتضمن الانحياز المتفائل (DFT; TAG-Unit A1.2, 2022):

الخطوة الأولى _ تحديد فئة المشروع: يتم تحديد فئة المشروع وفقاً للتصنيف الوارد في الجدول (1).

الجدول 1: فئات المشروع (Project Categories) (DFT; TAG-Unit A1.2, 2022, p. 15)

الفئة	مثال عن الأنواع الفرعية للمشروع
السكك الحديدية	السكك الحديدية الخفيفة، التقليدية، الحضرية، والعالية السرعة
الطرق	الطرق الرئيسية، الأوتوستراد، والطرق السريعة
الوصلات الثابتة	الجسور والأنفاق
مشاريع الأبنية	المحطات، المستودعات، قاعات الحفلات الموسيقية، مباني المكاتب، المتاحف
مشاريع تكنولوجيا المعلومات	تطوير أنظمة تكنولوجيا المعلومات
الأراضي والممتلكات	شراء الأراضي والممتلكات
القاطرة والمقطورات (العربات)	المركبات التي تعمل بالطاقة، والمركبات غير المزودة بمحركات

الخطوة الثانية_ تحديد مرحلة تطور المشروع: حددت وزارة النقل البريطانية ثلاث مراحل رئيسية في عمر مشروع النقل والمكافئة لمراحل مشاريع الاستثمار في السكك الحديدية (GRIP) بحسب دليل (Network Rail)، وقامت بتوفير قيم رفع افتراضية لها، كما هو موضح في الجدول (2).

الجدول 2: مرحلة تطور المشروع حسب فئة المشروع (DFT; TAG-Unit A1.2, 2022, p. 15)

المرحلة 3	المرحلة 2	المرحلة 1	الفئة
Full Business Case ⁽⁶⁾ (FBC)	Outline Business Case ⁽⁵⁾ (OBC)	Strategic Outline Business (SOBC) ⁽⁴⁾ Case	مشاريع النقل العام
Construction Preparation	Order Publication/Works Commitment	PCF Options Phase	مشاريع الطرق السريعة
مرحلة 5: تصميم مفصل	مرحلة 3: انتقاء الخيار	مرحلة 1: تعريف المشروع	السكك الحديدية

الخطوة الثالثة_ تطبيق عوامل الرفع الموصى بها لكلفة رأس المال الأساسية: يتم تحديد نسبة الرفع (الانحياز المتفائل) تبعاً لفئة ومرحلة تطوير المشروع كما هو موضح بالجدول (3) أدناه. على سبيل المثال يجدر رفع كلفة رأس المال الأساسية لمشروع من فئة الطرق خلال المرحلة 1 (SOBC) بنسبة 46%.

الجدول 3: نسب الرفع الموصى بها لمختلف المشاريع في مختلف مراحل حياة مشاريع النقل

(DFT; TAG-Unit A1.2, 2022, p. 16)

المرحلة 3 (FBC)	المرحلة 2 (OBC)	المرحلة 1 (SOBC)	أنواع المشاريع	الفئة
20%	23%	46%	الطرق الرئيسية، الأوتوستراد، والطرق السريعة	الطرق
30%	33%	56%	السكك الحديدية الخفيفة، التقليدية، الحضرية، والعالية السرعة	السكك الحديدية
28%	32%	55%	الجسور والأنفاق	الوصلات الثابتة
44%	48%	70%	المحطات، المستودعات، قاعات الحفلات الموسيقية، مباني المكاتب، والمتاحف	مشاريع الأبنية
42%	50%	69%	تطوير أنظمة تكنولوجيا المعلومات	مشاريع تكنولوجيا المعلومات
0%	14%	33%	شراء الأراضي والممتلكات	الأراضي والممتلكات
35%	38%	61%	المركبات التي تعمل بالطاقة، والمركبات غير المزودة بمحركات	القاطرة والمقطورات

الخطوة الرابعة_ إجراء تحليل الحساسية: تتطلب هذه الخطوة تحليل حساسية نسبة الرفع (الانحياز المتفائل) المستخدمة من خلال دراسة تأثير مستويات رفع أخرى على تقديرات كلفة رأس المال. يجب بالذكر ضرورة إجراء تحليل الحساسية هذا لكل من مراحل تطور المشروع الموضحة في الجدول 2.

بالإضافة إلى النهج السابق، تقدم وزارة النقل البريطانية (Department for Transport) بالتعاون مع الشركة الاستشارية (Oxford Global Projects) تقرير (DFT & OGP, 2020) كدليل لتعديلات الانحياز المتفائل بحسب فئة المشروع (الجدول 1) ومرحلة تطوره (الجدول 2). يقدم هذا التقرير قيم التغيير الخاصة بتكاليف رأس المال (Cost)، العائدات (Benefits)، التكاليف التشغيلية (Operational Cost)، والجدول الزمني لتسليم المشروع (Schedule)، وذلك لجميع مستويات درجة التأكد من التقدير المرغوب فيها من P5 إلى P95. تقدّم الوزارة بيانات هذا التقرير في

(4) Strategic Outline Business Case: دراسة الجدوى الأولية (Pre-feasibility Study)

(5) Outline Business Case: دراسة الجدوى (Feasibility Study)

(6) Full Business Case: دراسة الجدوى الكاملة (التصميم المفصل)

(7) GRIP (Guide to Rail Investment Projects): دليل مشروعات استثمار السكك الحديدية

مستند يحمل اسم (Optimism Bias Workbook) (DFT:OB Workbook, 2021) ، حيث يحتوي هذا المستند على منحنيات التنبؤ بالمجموعة المرجعية (RCF) التي قامت بإعدادها شركة (Oxford Global Projects) (OGP).

2.4. المنطق الضبابي

يعتبر المنطق الضبابي (Fuzzy Logic) منهجاً رياضياً أساسياً للتعامل مع عدم التأكد وعدم دقة المعلومات، حيث تمّ تقديمه من قبل العالم Lotfi Zadeh في عام 1965. تنبع قوة هذا المنهج من قابلية نظريته؛ نظرية المجموعات الضبابية (Fuzzy Sets Theory)؛ على تقديم آلية رياضية لتمثيل التركيبات اللغوية مثل "كثير"، "متوسط"، "قليلاً"، المرافقة للتعبير عن عدم التأكد على أرض الواقع (Kahraman et al., 2017; Ross, 2017). أكد Sullivan وآخرون (2019) على كون كلف وعائدات المشاريع المستخدمة عند إعداد الجدوى الاقتصادية بكونها ذات طابع تقديري بحت وبالتالي فهي متأصلة بعدم التأكد بشكل جذري. لذلك تلعب نظرية المجموعات الضبابية دوراً هاماً في دعم توصيات الجدوى الاقتصادية.

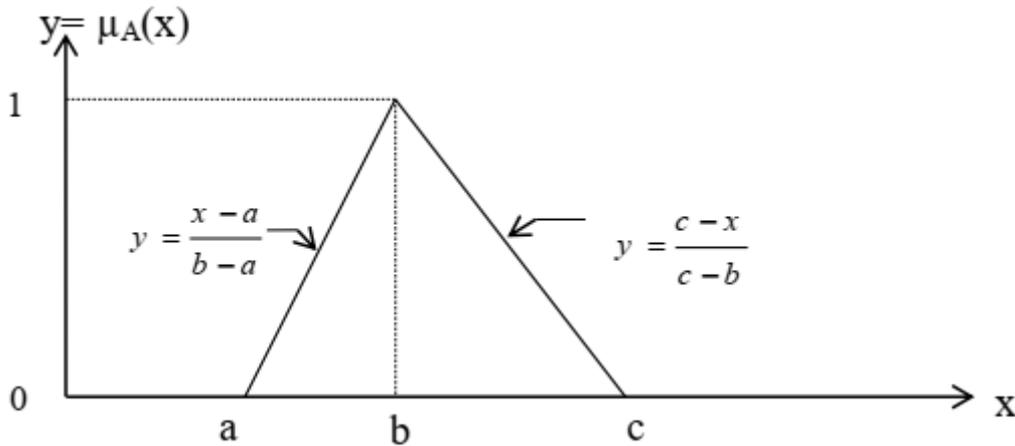
3.4. الأرقام الضبابية المثلثية وعملياتها الحسابية

يعتبر الرقم الضبابي (Fuzzy Number) كمجموعة ضبابية مستمرة تمتاز بخاصيتين هما: التحدب (Convexity)، الحالة النظامية (Normality). يشير التحدب على أنّ تابع العضوية له ذروة واحدة فقط، بينما تضمن الحالة النظامية أنّ عنصراً واحداً على الأقل في المجموعة لديه درجة عضوية مساوٍ للواحد (Ross, 2017). يعرف تابع العضوية للرقم الضبابي المثلثي (Triangular Fuzzy Number) $\tilde{A} = (a, b, c)$ بالمعادلة (1) (Attarzadeh et al., 2017):

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} (x - a)/(b - a) & a \leq x \leq b \\ (x - c)/(b - c) & b \leq x \leq c \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{معادلة 1}$$

حيث a: الحد الأدنى (Lower bound)، b: القيمة الأكثر احتمالاً (Most Likely Value)، c: الحد الأعلى

(Upper bound) كما هو موضح في الشكل (2).



الشكل 2: الرقم الضبابي المثلثي \tilde{A} (Attarzadeh et al., 2017)

توضح المعادلات التالية العمليات الحسابية الأساسية المستخدمة في تطوير الطريقة المقترحة. باعتبار أنّ كلاً

من $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ و $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3)$ أرقام ضبابية مثلثية يكون:

$$\tilde{A} \oplus \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3) \oplus (b_1, b_2, b_3) = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3) \quad \text{معادلة 2}$$

$$\tilde{A} \ominus \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3) \ominus (b_1, b_2, b_3) = (a_1 - b_3, a_2 - b_2, a_3 - b_1) \quad \text{معادلة 3}$$

$$\vec{A} \div \vec{B} = (a_1, a_2, a_3) \div (b_1, b_2, b_3) = \left(\frac{a_1}{b_3}, \frac{a_2}{b_2}, \frac{a_3}{b_1} \right); a_i > 0, b_i > 0, \quad \text{معادلة 4}$$

$$i = 1, 2, 3.$$

$$\vec{A}^{-1} = (1, 1, 1) \div (a_1, a_2, a_3) = \left(\frac{1}{a_3}, \frac{1}{a_2}, \frac{1}{a_1} \right); a_i > 0, i = 1, 2, 3. \quad \text{معادلة 5}$$

حيث: \oplus : عملية الجمع الضبابي؛ \ominus : عملية الطرح الضبابي؛ \div : عملية التقسيم الضبابي؛ \vec{A}^{-1} مقلوب العدد الضبابي \vec{A} (Kahraman et al., 2017).

يعتمد هذا البحث الأرقام الضبابية المثلثية لنمذجة التدفقات النقدية وإجراء التحليل الاقتصادي، لسهولة النمذجة الرياضية باستخدام هذه الأرقام (Al Sheikh, 2017; El-Cheikh et al., 2013; Ferrer-Comalat et al., 2021). الأمر الذي يساعد على سهولة تمثيل الأساس المنطقي لتحديد المعرفة المهمة والغامضة لتقدير حجم ربح، كلفة، إيرادات المنتجات، ومعدلات الفائدة وما إلى ذلك. كما وتسم الأرقام الضبابية المثلثية بقدرتها الكبيرة على التكيف مع بنية الفكر البشري، واستخدامها على نطاق واسع لنمذجة العديد من البارامترات غير المؤكدة (Ferrer-Comalat et al., 2021).

4.4. معدل الفائدة الضبابي

يُعرف معامل الفائدة المركبة الضبابي بالمعادلة (6) وفقاً لـ (Al Sheikh, 2017; El-Cheikh et al., 2013).

$$\vec{I} \oplus \vec{i} = (1, 1, 1) \oplus (i_l, i_m, i_u) = (1 + i_l, 1 + i_m, 1 + i_u) \quad \text{معادلة 6}$$

$$(\vec{I} \oplus \vec{i})^n = ((1 + i_l)^n, (1 + i_m)^n, (1 + i_u)^n)$$

بفرض أن معدل الفائدة الضبابي (Fuzzy Interest Rate) لأجل مدة تقييم المشروع n هو $\vec{i} = (i_l, i_m, i_u)$.

5.4. القيمة الحالية الضبابية

تُحسب القيمة الحالية (Present Worth (PW)) لسلسلة من التدفقات النقدية لمشروع قيد الدراسة من المعادلة (7)، حيث يعتبر المشروع مجدياً اقتصادياً إذا كان $PW \geq 0$ (Sullivan et al., 2019).

$$PW(i\%) = \sum_{k=0}^n \frac{F_k}{(1+i)^k} \quad \text{معادلة 7}$$

حيث F_k : التدفق النقدي في نهاية السنة k .

تُعرف التدفقات النقدية كرقم ضبابي مثلثي $\vec{F}_k = (F_{kl}, F_{km}, F_{ku})$. كما وتُعرف القيمة الحالية كرقم ضبابي مثلثي $\vec{PW} = (PW_l, PW_m, PW_u)$. باستخدام المعادلة (4) وبتعويض $\vec{A} = \vec{F}_k$ و $\vec{B} = (\vec{I} \oplus \vec{i})^k$ نحصل على علاقة القيمة الحالية الضبابية (Fuzzy Present Worth) الموضحة في المعادلة (8):

$$\vec{PW} = (PW_l, PW_m, PW_u) = \left(\sum_{k=0}^n \frac{F_{lk}}{(1+i_l)^k}, \sum_{k=0}^n \frac{F_{mk}}{(1+i_m)^k}, \sum_{k=0}^n \frac{F_{uk}}{(1+i_u)^k} \right) \quad \text{معادلة 8}$$

لتحديد البديل ذو القيمة الحالية الضبابية الأعلى-تراتبياً، ولتتمكن من ترتيب الأرقام الضبابية تنازلياً، تمّ الاطلاع على طرق إزالة الضبابية (Defuzzification) المعتمدة في الدراسات المرجعية. وفقاً لذلك تمّ اعتماد طريقة التثقيف (Weighted Method)، المقترحة من قبل Chiu و Park (1994)، والمستخدمة في دراسات مرجعية عديدة كونها سهلة التطبيق رياضياً، ولا تحتاج لتمثيل بياني (Al Sheikh, 2017; El-Cheikh et al., 2013). يتم حساب القيمة الحالية الضبابية المثقولة (Weighted \vec{PW}) بواسطة المعادلة (9).

$$\text{Weighted } \vec{PW} = \frac{(PW_l + PW_m + PW_u)}{3} + w \cdot PW_m \quad \text{معادلة 9}$$

حيث تُحدد قيمة w تبعاً لأهمية القيمة الأكثر احتمالاً (PW_m)، إذ تؤخذ مساوية للقيمة 0.3 في حالة اعتبار القيمة (PW_m) مهمة، وإلا تؤخذ مساوية للقيمة 0.1.

6.4. نسبة منفعة-كلفة الضبابية \tilde{B}/\tilde{C}

تُعتبر طريقة نسبة منفعة-كلفة (Benefit-Cost Ratio (B/C)) من أهم طرق تقييم الجدوى الاقتصادية للمشاريع الحكومية. وتُعرّف بأنها النسبة بين القيمة المكافئة للمنافع والقيمة المكافئة للكلف، ويعتبر المشروع مجدي اقتصادياً عندما تكون هذه النسبة أكبر من الواحد. تعطى نسبة منفعة-كلفة (B/C) بالمعادلة (10) (Sullivan et al., 2019):

$$B/C = \frac{PW(B)}{PW(I) + PW(O\&M) - PW(MV)} \quad \text{معادلة 10}$$

حيث $PW(B)$: القيمة الحالية لعائدات المشروع المقترح، $PW(I)$: القيمة الحالية لتكاليف الاستثمار/ رأس المال للمشروع المقترح، $PW(O\&M)$: القيمة الحالية لتكاليف التشغيل والصيانة للمشروع المقترح، و $PW(MV)$: القيمة الحالية للقيمة المتبقية للمشروع في نهاية عمره المجددي.

بغية حساب نسبة منفعة-كلفة الضبابية \tilde{B}/\tilde{C} لخيارات المشروع المقترح سيتم اعتماد الخطوات التالية:

1. حساب القيمة الحالية الضبابية لكلف خيارات المشروع $\tilde{P}\tilde{W}(C)$: من المعادلة (8) تمّ حساب كل من القيمة الحالية الضبابية لكلفة استثمار المشروع $\tilde{P}\tilde{W}(I)$ ، والقيمة الحالية الضبابية لكلف التشغيل والصيانة للمشروع $\tilde{P}\tilde{W}(O\&M)$ ، والقيمة الحالية الضبابية للقيمة المتبقية للمشروع $\tilde{P}\tilde{W}(MV)$ ، وباعتبار $\tilde{P}\tilde{W}(C)$ ممثلة بالمعادلة (11):

$$\tilde{P}\tilde{W}(C) = \tilde{P}\tilde{W}(I) + \tilde{P}\tilde{W}(O\&M) - \tilde{P}\tilde{W}(MV) \quad \text{معادلة 11}$$

باستخدام المعادلات (11)، الجمع الضبابي (2)، والطرح الضبابي (3) نستطيع حساب $\tilde{P}\tilde{W}(C)$ من المعادلة (12):

$$\tilde{P}\tilde{W}(C) = \left(\begin{array}{l} PW(I)_l + PW(O\&M)_l - PW(MV)_r, \\ PW(I)_m + PW(O\&M)_m - PW(MV)_m, \\ PW(I)_r + PW(O\&M)_r - PW(MV)_l \end{array} \right) \quad \text{معادلة 12}$$

ثم يتم استخدام طريقة التثقيل (Weighted Method)، المعادلة (9)، لترتيب القيم الضبابية $\tilde{P}\tilde{W}(C)$ ترتيباً تصاعدياً.

2. يُعتبر الخيار ذي كلفة المشروع الأدنى الخيار المدافع (الخيار الأول في الترتيب)، ويُحسب له نسبة منفعة-كلفة

الضبابية \tilde{B}/\tilde{C} باستخدام المعادلة (13):

$$\tilde{B}/\tilde{C} = \frac{\tilde{P}\tilde{W}(B)}{\tilde{P}\tilde{W}(I) + \tilde{P}\tilde{W}(O\&M) - \tilde{P}\tilde{W}(MV)} \quad \text{معادلة 13}$$

تمثل المعادلة (14) $\tilde{P}\tilde{W}(B)$ القيمة الحالية الضبابية لعائدات المشروع والمحسوبة من المعادلة (8)،

و $\tilde{P}\tilde{W}(C)$ القيمة الحالية الضبابية لكلف المشروع والمحسوبة من المعادلة (12).

$$\begin{aligned} \tilde{B} &= \tilde{P}\tilde{W}(B) = (PW(B)_l, PW(B)_m, PW(B)_u) \\ \tilde{C} &= \tilde{P}\tilde{W}(C) = \tilde{P}\tilde{W}(I) + \tilde{P}\tilde{W}(O\&M) - \tilde{P}\tilde{W}(MV) = (PW(C)_l, PW(C)_m, PW(C)_u) \end{aligned} \quad \text{معادلة 14}$$

باستخدام المعادلات (13)، (14) والقسمة الضبابية (4) نحصل على المعادلة (15):

$$\tilde{B}/\tilde{C} = \left(\frac{PW(B)_l}{PW(C)_u}, \frac{PW(B)_m}{PW(C)_m}, \frac{PW(B)_u}{PW(C)_l} \right) \quad \text{معادلة 15}$$

3. إذا كان $\tilde{B}/\tilde{C} \geq \tilde{1}$ للمدافع، يبقى المدافع نفسه، وننتقل إلى الخطوة 4، وإلا يكون هذا الخيار غير مجدٍ اقتصادياً، ونعتبر الخيار التالي الأدنى من حيث الكلفة كالخيار المدافع ونكرر الخطوتين 2 و 3.
4. يُعتبر الخيار التالي الخيار المتحدي (الخيار الثاني في الترتيب)، ويُتبع الإجراء الموضح في الخطوتين 2 و 3 أعلاه للخيار المتحدي.

5. يُحسب الفرق في المنافع والكلف الضبابية بين المدافع والمتحدي على النحو التالي:

$$\begin{aligned} \Delta\tilde{B} &= (\tilde{B}_2 - \tilde{B}_1) = (B_{2l} - B_{1u}, B_{2m} - B_{1m}, B_{2u} - B_{1l}) \\ \Delta\tilde{C} &= (\tilde{C}_2 - \tilde{C}_1) = (C_{2l} - C_{1u}, C_{2m} - C_{1m}, C_{2u} - C_{1l}) \end{aligned} \quad \text{معادلة 16}$$

حيث تُمثل: $\tilde{B}_1 = (B_{1l}, B_{1m}, B_{1u})$ القيمة الحالية الضبابية لعائدات المدافع الممثلة في المعادلة (14)، $\tilde{B}_2 = (B_{2l}, B_{2m}, B_{2u})$ القيمة الحالية الضبابية لعائدات المتحدي الممثلة في المعادلة (14)، $\tilde{C}_1 = (C_{1l}, C_{1m}, C_{1u})$ القيمة الحالية الضبابية لكلف المدافع الممثلة في المعادلة (14)، $\tilde{C}_2 = (C_{2l}, C_{2m}, C_{2u})$ القيمة الحالية الضبابية لكلف المتحدي الممثلة في المعادلة (14).

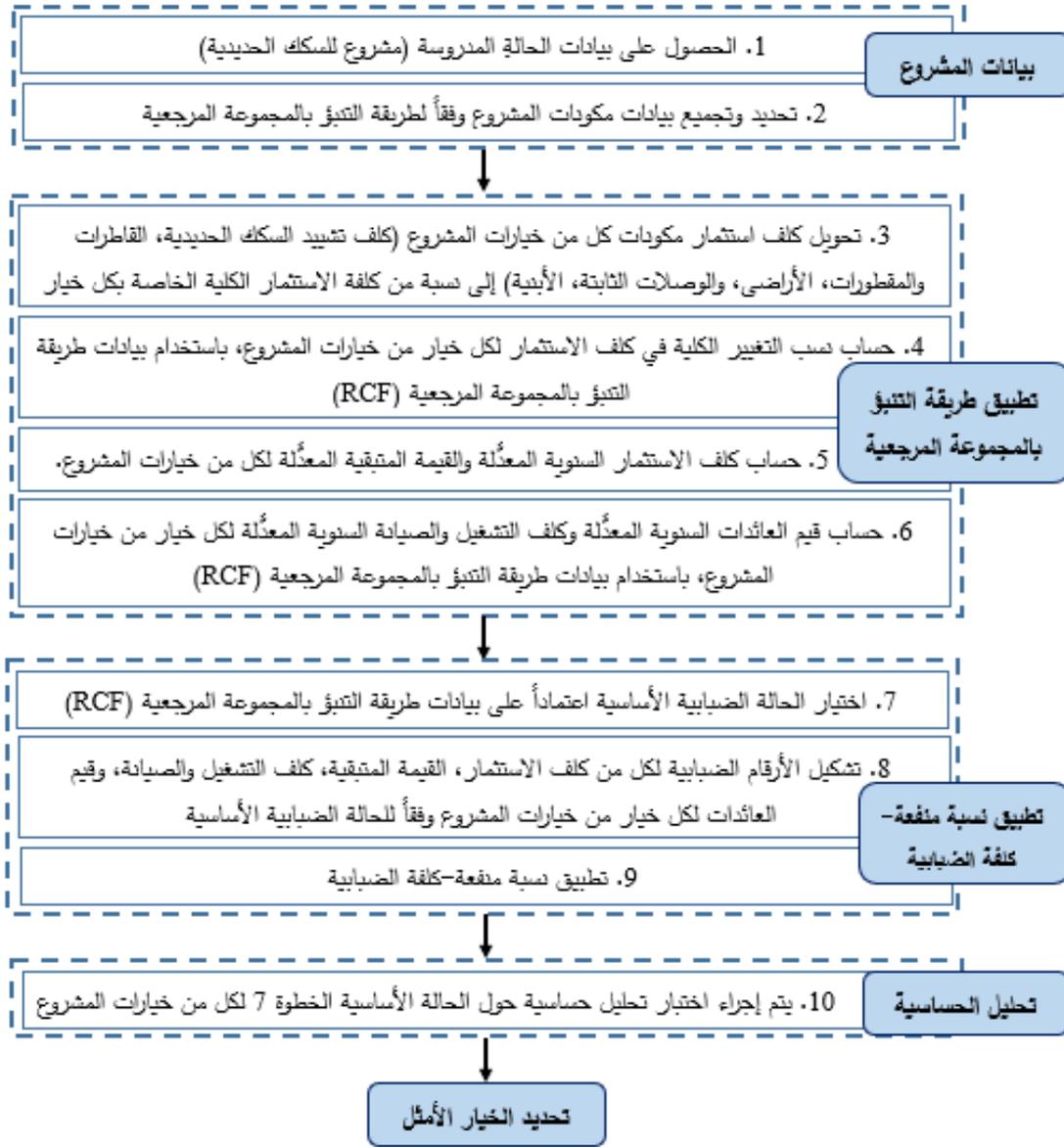
6. تحسب النسبة $\Delta\tilde{B}/\Delta\tilde{C}$ من المعادلة (17). إذا كانت $\Delta\tilde{B}/\Delta\tilde{C} \geq \tilde{1}$ ، إذاً المتحدي، يصبح المدافع، وإلا يبقى المدافع نفسه. في كلتا الحالتين يتم تحديد منافس جديد (الخطوة 4) وتكرر العملية حتى يتم مقارنة جميع المنافسين المحتملين مع المدافع. وبناءً عليه، يعتبر المدافع النهائي هو الخيار الأمثل.

$$\frac{\Delta\tilde{B}}{\Delta\tilde{C}} = \left(\frac{(B_{2l} - B_{1u})}{(C_{2u} - C_{1l})}, \frac{(B_{2m} - B_{1m})}{(C_{2m} - C_{1m})}, \frac{(B_{2u} - B_{1l})}{(C_{2l} - C_{1u})} \right); 0 \notin \Delta\tilde{C} \quad \text{معادلة 17}$$

يجدر التنويه على أنه؛ في حال انعدام الحصول على أي خيارٍ مجدٍ اقتصادياً وفقاً لطريقة منفعة-كلفة الضبابية؛ ينبغي على الجهة الدارسة القيام بدراسة خاصة بأداء كلف مكونات المشروع وعائداته (بارامترات المشروع) بغية فهم أسباب التغيير في هذه البارامترات واقتراح الإجراءات اللازمة لمعالجة هذه التغييرات وفقاً للخيارات قيد الدراسة. على سبيل المثال اعتماد "وجهة نظر خارجية" باستخدام بيانات مشاريع مماثلة أو بيانات طريقة التنبؤ بالمجموعة المرجعية لفهم أسباب ضعف أو قوة أداء المشاريع السابقة. الأمر الذي يعتبر بالغ الأهمية لتلافي حصول الانحياز المتفائل بغية تجنب رفض المشروع وخياراته لكونها غير مجدية اقتصادياً.

7.4. المنهجية المقترحة:

تمَّ إجراء هذا البحث في كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين، سوريا في الفترة بين 2022/1/5 و 2022/11/30. يوضح الشكل (3) المنهجية المقترحة لمعالجة مشكلة البحث.



الشكل 3: المنهجية المقترحة

8.4. فرضيات المنهجية المقترحة:

تفترض المنهجية المقترحة:

- توافر بيانات RCF وجودة إحصائية عالية (Servranckx et al., 2021)؛
 - كون أداء المشروع قيد الدراسة مشابهاً لأداء المشاريع المعتمدة في مجموعة RCF المرجعية (OGP, 2020)؛
 - استثناء عامل التضخم كأحد أسباب زيادة تكاليف وعائدات مشاريع السكك الحديدية، حيث يتم قياس هذه الكلف والعائدات بالأسعار الثابتة (DFT; TAG-Unit A1.2, 2022).
- تعتبر العوامل المذكورة أعلاه كفرضيات عامة مرافقة لمصدافية وثبات المنهجية المقترحة، وكتعميمات خاصة بالبيانات المستخدمة لبناء مجموعة RCF المرجعية.

5- النتائج والمناقشة_ الحالة المدروسة (Case study):

1.5. بيانات المشروع

1.1.5. الحصول على بيانات الحالة المدروسة (مشروع للسكك الحديدية): بغية تطبيق المنهجية المقترحة وتحليل نتائجها تمّ الحصول على بيانات الجدوى الاقتصادية لمشروع تطوير خط السكة الحديدية لحلب ودمشق⁽⁸⁾ في سوريا، والمنجزة من قبل شركة SYSTRA الاستشارية الفرنسية بالاتفاق مع المؤسسة العامة للخطوط الحديدية السورية. حيث أجريت دراسة الجدوى الاقتصادية لهذا المشروع على عدة سيناريوهات مع معدل فائدة 8% ومدة الدراسة 25 سنة مع مدة تشغيل مقدارها 20 سنة، كما هو موضح في الجدول (4).

الجدول 4: مواصفات الخيارات كما هي موثقة في الدراسة

Scenarios	S0	S1	S2	S3 DMU	S3-HST	S3-Direct Line	S3DMU to HST in 2020
	Existing	Upgrade1	Upgrade2	HST new line	HST new line	HST new line	HST new line
Travel Time	7h in 2002 4:30h in 2004	4:10h	3:20 h	2:30 h	2 h	1:57 h	2:30 h in 2010 2 h in 2020
Daily frequency	2	7	12	21	21	21	21
Train max speed (km/h)	120	160	160	200	300	300	200 in 2010 300 in 2020
Track max speed (km/h)	100	120	160	300	300	300	300
Main feature	Loco + coaches	DMU	DMU	DMU	HST	HST	DMU in 2010 HST in 2020

يجدر التنويه إلى أنّ عائدات هذا المشروع الكلية قد تصل إلى 10.5 billion Euro (وفقاً للخيار المعتمد) وأنّ ناتج الدخل الإجمالي (GDP) لسوريا المعتمد في هذه الدراسة هو 40.1 billion Euro.

2.1.5. تحديد وتجميع بيانات مكونات المشروع وفقاً لطريقة التنبؤ بالمجموعة المرجعية (RCF):

1.2.1.5. تحديد الفئات الخاصة بالمشروع وفقاً للتصنيف الوارد في الجدول (1) كما يلي:

السكك الحديدية (Rail)، الأراضي والممتلكات (Land and Property)، القاطرات والمقطورات (Rolling Stock)، الوصلات الثابتة/الجسور والأنفاق (Fixed Links/ Bridges and Tunnels)، والأبنية/المحطات (Buildings/ Stations).

2.2.1.5. تجميع البيانات الخاصة بكلف استثمار خيارات المشروع المدروس وفقاً لفئات المشروع المحددة في

الخطوة السابقة، بالشكل الذي يظهر في الجدول (5):

(8) SYSTRA, Feasibility Study for the Improvement of Aleppo-Damascus railway line, 2004.

الجدول 5: الكلف المقدرة لمكونات المشروع المدروس وفقاً لفئات طريقة التنبؤ بالمجموعة المرجعية (RCF)

	S0	S1	S2	S3DMU	S3 HST	S3-Direct Route	S3DMU to S3 in 2020
Rail	290.52	630.47	789.19	1,045.26	1,395.90	1,386.27	1,513.26
Land and Property	51.5	100.5	120	132.65	132.65	131.25	132.65
Rolling Stock	45.3	307	378.5	1,026.40	1,214.80	1,214.80	1,487.40
Fixed Links	159.8	396.93	427.14	562.39	562.39	1,588.17	562.39
Buildings/ Stations	10	10	10	10	10	10	10
Total Cost (Million Euro)	557.12	1,444.90	1,724.83	2,776.70	3,315.74	4,330.49	3,705.70

2.5. تطبيق طريقة التنبؤ بالمجموعة المرجعية (RCF)

1.2.5. تحويل كلف استثمار مكونات كل من خيارات المشروع: الجدول (5): إلى نسبة مئوية من كلفة

الاستثمار الكلية الخاصة بكل خيار كما يظهر في الجدول (6):

الجدول 6: الكلف المقدرة لمكونات المشروع كنسب مئوية من كلفة الاستثمار الكلية

	S0	S1	S2	S3DMU	S3 HST	S3-Direct Route	S3DMU to S3 in 2020
Rail	52.1%	43.6%	45.8%	37.6%	42.1%	32.0%	40.8%
Land and Property	9.2%	7.0%	7.0%	4.8%	4.0%	3.0%	3.6%
Rolling Stock	8.1%	21.2%	21.9%	37.0%	36.6%	28.1%	40.1%
Fixed Links	28.7%	27.5%	24.8%	20.3%	17.0%	36.7%	15.2%
Buildings/ Stations	1.8%	0.7%	0.6%	0.4%	0.3%	0.2%	0.3%

2.2.5. حساب نسب التغيير الكلية في كلف الاستثمار لكل خيار من خيارات المشروع:

1.2.2.5. تحديد مرحلة تطور المشروع: هي المرحلة 1 (SOBC) (Strategic Outline Business Case)، وهي

المرحلة المقابلة لمرحلة تعريف المشروع والجدوى المبدئية للمشروع.

2.2.2.5. باستخدام بيانات طريقة التنبؤ بالمجموعة المرجعية (RCF) (DFT:OB Workbook, 2021):

والخاصة بكلف استثمار فئات المشروع للمرحلة 1 (SOBC): المبينة في الجدول (7): يتم أولاً حساب نسبة التغيير

الجديدة لكل من مكونات المشروع، ثم حساب نسبة التغيير الكلية في كلفة الاستثمار لكل خيار من خيارات المشروع،

كما في المعادلتين (18، 19). وذلك للقيم من RCF-P10 إلى RCF-P90.

معادلة 18 نسبة التغيير الجديدة لمكون المشروع = نسبة هذا المكون من الكلفة الكلية للمشروع (الجدول 6) ×

نسبة التغيير الموصى بها حسب المكون، وحسب مستوى التأكد (الجدول 7)

معادلة 19 نسبة التغيير الكلية في كلفة الاستثمار = مجموع نسب التغيير الجديدة لمكونات المشروع

الجدول 7: بيانات التغيير (RCF) المتعلقة بقيم كلف استثمار فئات المشروع للمرحلة 1 (SOBC)
(DFT:OB Workbook, 2021)

RCF Values	P10 %	P15 %	P20 %	P25 %	P30 %	P35 %	P40 %	P45 %	P50 %	P55 %	P60 %	P65 %	P70 %	P75 %	P80 %	P85 %	P90 %
Rail	-19.5	-10.8	-7.7	-2.7	3.0	6.0	9.0	13.1	19.0	24.0	32.6	51.7	58.5	98.5	121.1	138.0	267.1
Land and Property	-87.0	-72.4	-60.8	-43.7	-39.8	-24.7	-15.5	-10.1	3.4	5.6	8.1	22.0	52.8	69.8	113.1	120.8	239.2
Rolling Stock	-24.7	-0.9	6.3	16.2	20.7	22.5	24.4	27.4	29.9	31.1	32.6	48.1	55.6	104.4	125.3	133.7	260.1
Fixed Links	-22.2	-15.4	-11.7	-3.7	0.0	3.0	8.4	15.6	20.3	23.8	26.0	44.3	48.1	93.9	123.5	134.2	278.9
Buildings/ Stations	-20.4	-10.1	-7.1	-2.7	1.4	4.0	9.0	12.0	13.3	18.4	22.0	48.4	57.3	100.9	145.1	190.2	376.5

على سبيل المثال، حساب نسبة التغيير الكلية في كلفة الاستثمار للخيار (S1) عند مستوى تأكد RCF-P70، تُحسب نسبة التغيير الجديدة لمكون السكك الحديدية بتطبيق المعادلة (18):
 $25.5\% = 58.5\% \times 43.6\%$ (Rail) نسبة التغيير الجديدة لمكون السكك الحديدية ✓
تُكرر العملية الحسابية السابقة على بقية مكونات الخيار (S1)، ثم تُطبق المعادلة (19) كما يلي:
 $54.6\% = 0.4\% + 13.2\% + 11.8\% + 3.7\% + 25.5\%$ (S1) نسبة التغيير الكلية للخيار ✓
يعرض الجدول (8) نسبة التغيير الكلية في كلف الاستثمار لخيارات المشروع، والمقابلة لمستوى تأكد قدره RCF-P70.

الجدول 8: نسبة التغيير الكلية (Total Uplifts Percentage) في كلف الاستثمار المقابلة لنسبة تأكد من التقدير RCF-P70

	S0	S1	S2	S3DMU	S3 HST	S3-Direct Route	S3DMU to S3 in 2020
Rail	30.5%	25.5%	26.8%	22.0%	24.6%	18.7%	23.9%
Land and Property	4.9%	3.7%	3.7%	2.5%	2.1%	1.6%	1.9%
Rolling Stock	4.5%	11.8%	12.2%	20.5%	20.4%	15.6%	22.3%
Fixed Links	13.8%	13.2%	11.9%	9.7%	8.2%	17.6%	7.3%
Buildings/ Stations	1.0%	0.4%	0.3%	0.2%	0.2%	0.1%	0.2%
Total Uplifts Percentage	%54.7	%54.6	%54.9	%55.0	%55.4	%53.7	%55.5

يوضح الجدول (9) نسب التغيير الكلية لكلف الاستثمار لكل خيار من خيارات المشروع المدروس وفقاً للقيم المرجعية من RCF-P10 إلى RCF-P90.

الجدول 9: نسب التغيير الكلية (Total Uplifts Percentages) في كلف الاستثمار لخيارات المشروع

	S0	S1	S2	S3DMU	S3 HST	S3-Direct Route	S3DMU to S3 in 2020
Uplift % at RCF-P10 Total	-27.0%	-26.1%	-26.0%	-25.2%	-24.6%	-24.0%	-24.4%
Uplift % at RCF-P15 Total	-17.0%	-14.2%	-14.0%	-11.0%	-10.4%	-11.6%	-9.7%
Uplift % at RCF-P20 Total	-12.6%	-9.5%	-9.3%	-5.9%	-5.4%	-6.8%	-4.6%
Uplift % at RCF-P25 Total	-5.3%	-1.8%	-1.7%	2.1%	2.4%	1.0%	3.2%
Uplift % at RCF-P30 Total	-0.4%	3.0%	3.2%	6.9%	7.3%	5.6%	8.1%

	S0	S1	S2	S3DMU	S3 HST	S3- Direct Route	S3DMU to S3 in 2020
Uplift % at RCF-P35 Total	3.6%	6.5%	6.7%	10.0%	10.3%	8.6%	11.1%
Uplift % at RCF-P40 Total	7.8%	10.4%	10.5%	13.4%	13.6%	12.4%	14.2%
Uplift % at RCF-P45 Total	12.8%	15.2%	15.2%	17.8%	17.8%	17.3%	18.4%
Uplift % at RCF-P50 Total	18.7%	20.6%	20.6%	22.5%	22.6%	22.1%	23.0%
Uplift % at RCF-P55 Total	22.7%	24.1%	24.2%	25.7%	25.8%	25.3%	26.1%
Uplift % at RCF-P60 Total	28.3%	29.0%	29.2%	30.0%	30.5%	29.4%	30.7%
Uplift % at RCF-P65 Total	46.5%	46.8%	47.0%	47.4%	47.9%	47.1%	48.1%
Uplift % at RCF-P70 Total	54.7%	54.6%	54.9%	55.0%	55.4%	53.7%	55.5%
Uplift % at RCF-P75 Total	95.1%	96.5%	96.7%	98.4%	98.8%	97.6%	99.2%
Uplift % at RCF-P80 Total	121.8%	122.3%	122.2%	122.9%	122.8%	123.0%	122.9%
Uplift % at RCF-P85 Total	135.9%	135.2%	135.2%	135.0%	135.3%	135.0%	135.2%
Uplift % at RCF-P90 Total	269.3%	267.6%	267.1%	265.9%	265.7%	268.8%	265.3%

3.2.5. حساب كلف الاستثمار السنوية المعدلة لكل خيار من خيارات المشروع: يمثل الجدول (17) في

الملحق A كلف الاستثمار السنوية لكل خيار من خيارات المشروع، والتي يجب تعديلها وفقاً لنسب التغيير الكلية لكلف

الاستثمار الموافقة للقيم المرجعية من RCF-P10 إلى RCF-P90، الجدول (9)، باستخدام المعادلة التالية:

معادلة 20 كلف الاستثمار السنوية المعدلة للخيار = (كلف الاستثمار السنوية للخيار) * (1 + نسبة التغيير الكلية للخيار)

على سبيل المثال: كلف الاستثمار السنوية المعدلة وفقاً لنسب التغيير الكلية الموافقة لـ RCF-P70، للخيار S1

وعند بداية السنة الثانية = $(10^6 \times 279.38) \times (1 + 54.6\%) = 431.92 \times 10^6$ يورو.

❖ يجب التنويه أنه في حال توافر كلف الاستثمار السنوية لكل مكون من مكونات المشروع ضمن خيارات المشروع

المتاحة، يمكن الاستغناء عن المرحلتين 1.2.5، و2.2.5 وتطبيق المعادلة التالية:

معادلة 21 كلف الاستثمار السنوية المعدلة للمكون = (كلف الاستثمار السنوية للمكون) * (1 + نسبة التغيير للمكون (الجدول (7))

4.2.5. حساب القيمة المتبقية المعدلة لكل خيار من خيارات المشروع: وفقاً للحالة المدروسة، تمّ تحديد

القيمة المتبقية لكل خيارات المشروع عند نهاية الاستخدام الجدول (18) في الملحق A؛ لذلك يجدر تعديل هذه القيمة

وفقاً لنسب التغيير الكلية لكلف الاستثمار الخاصة بخيارات المشروع، وذلك بتكرار الإجراء المتبع في حساب كلف

الاستثمار السنوية المعدلة في الفقرة 3.2.5.

5.2.5. حساب قيم العائدات (Benefits) وكلف التشغيل والصيانة (OPEX) السنوية المعدلة لكل خيار

من خيارات المشروع: يبين الجدول (10) بيانات التغيير الخاصة بطريقة التنبؤ بالمجموعة المرجعية (RCF) المتعلقة

بقيم العائدات وكلف التشغيل والصيانة للمرحلة 1 (SOBC) – القيم المرجعية RCF-P10 إلى RCF-P90 وفقاً

لبيانات (DFT:OB Workbook, 2021).

الجدول 10: بيانات التغيير (RCF) المتعلقة بقيم العائدات وكلف التشغيل والصيانة للمرحلة 1 (SOBC) (DFT:OB Workbook, 2021)

RCF Values	P10	P15	P20	P25	P30	P35	P40	P45	P50	P55	P60	P65	P70	P75	P80	P85	P90
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Benefits	33.6	16.0	8.4	1.0	-4.3	-12.7	-18.4	-25.6	-30.0	-37.1	-42.7	-50.0	-53.6	-58.0	-64.4	-69.0	-75.0
OPEX	-65.8	-61.9	-55.1	-43.0	-39.1	-36.5	-23.9	-14.7	-10.4	-3.8	0.6	11.2	17.0	23.1	39.9	51.5	76.5

يمثل الجدول (19) في الملحق A، قيم العائدات السنوية لكل خيارات المشروع؛ حيث سيتم تعديل هذه القيم باستخدام نسب التغيير-Benefits الموضحة بالجدول (10) باستخدام المعادلة التالية:
معادلة 22 قيم العائدات المعدلة للخيار = (قيم العائدات السنوية للخيار) * (1 + نسبة التغيير للعائدات)
يمثل الجدول (20) في الملحق A، كلف التشغيل والصيانة السنوية لكل خيارات المشروع؛ حيث سيتم تعديل هذه الكلف باستخدام نسب التغيير-OPEX الموضحة بالجدول (10) باستخدام المعادلة التالية:
معادلة 23 كلف التشغيل والصيانة السنوية المعدلة للخيار = (كلف التشغيل والصيانة السنوية للخيار) * (1 + نسبة التغيير للتشغيل والصيانة)

3.5. تطبيق نسبة منفعة-كلفة الضبابية \tilde{B}/\tilde{C}

1.3.5. تحديد الحالة الضبابية الأساسية (Fuzzy Base Case): سيتم الاعتماد على نسب التغيير المقترحة في الدليل (DFT; TAG-Unit A1.2, 2022) الجدول (3)-المرحلة 1 (SOBC)، لتحديد مستويات التأكد للحالة الضبابية الأساسية وفقاً لبيانات طريقة التنبؤ بالمجموعة المرجعية (RCF)، بيانات الجدول (7) (DFT:OB Workbook, 2021). كما هو موضح في الجدول (11).

الجدول 11: تحديد الحالة الضبابية الأساسية

RCF Values Category	(DFT:OB Workbook, 2021): RCF-P65	(DFT; TAG-Unit A1.2, 2022)- Recommended Uplifts	(DFT:OB Workbook, 2021): RCF-P70	(DFT; TAG-Unit A1.2, 2022)- Recommended Uplifts	(DFT:OB Workbook, 2021): RCF-P75
Rail	51.70%	56%	58.50%		98.50%
Land and Property	22.00%	33%	52.80%		69.80%
Rolling Stock	48.10%		55.60%	61%	104.40%
Fixed Links	44.30%		48.10%	55%	93.90%
Buildings/ Stations	48.40%		57.30%	70%	100.90%

على سبيل المثال، نلاحظ من الجدول (3) أن نسبة التغيير لكلف السكك الحديدية (Rail) الموصى بها وفقاً للمرحلة 1 (SOBC) هي 56%؛ وهذه القيمة متواجدة في مجال قيم التغيير المرجعية [51.70%-58.50%] المقترنة بمستويي التأكد RCF-P65 و RCF-P70 وفقاً للجدول (7). أما بالنسبة للمقطورات (Rolling Stock) ووفقاً للجدول (3)، فإن نسبة التغيير الموصى بها 61% للمرحلة 1 (SOBC)، وهي القيمة المتواجدة في مجال قيم التغيير المرجعية [55.60%-104.40%] المقترنة بمستويي التأكد RCF-P70 و RCF-P75 وفقاً للجدول (7). باستخدام التحليل السابق على مكونات المشروع المتبقية نحصل على الجدول (11).

وفقاً للجدول (11) تمثل النسب المرافقة لمستوى التأكد RCF-P70 الحالة المشتركة لجميع مكونات المشروع، لذلك سيتم اعتماد هذه الحالة كالقيمة الوسطى للحالة الأساسية الضبابية، وعلى ضوء هذا سيتم اعتبار RCF(P65, P70, P75) الحالة الضبابية الأساسية لكل مكونات المشروع.

يجدر التنويه على أن نسب التغيير المرافقة لمستويات التأكد وفقاً لطريقة التنبؤ بالمجموعة المرجعية (RCF) تتسم بعلاقة لاهطية. كما وأن دليل (DFT; TAG-Unit A1.2, 2022) يعتمد على قيم التغيير الوسطية (Mean) كأساس لتحديد نسب تغيير كلف الاستثمار وفقاً لطريقة التنبؤ بالمجموعة المرجعية (RCF). لذلك يجدر أخذ هذين الأمرين بالحسبان عند تحديد مستويات التأكد المرافقة لمكونات الحالة الضبابية الأساسية؛ ومن ثم إجراء تحليل حساسية لمكونات الحالة الضبابية الأساسية اعتماداً على بيانات طريقة التنبؤ بالمجموعة المرجعية (RCF). وبناءً على ذلك سيتم اعتبار RCF(P65, P70, P75) الحالة الضبابية الأساسية لكلف الاستثمار، كلف التشغيل والصيانة، القيمة المتبقية، وقيم عائدات المشروع.

2.3.5. تشكيل الأرقام الضبابية المثلثية (a, b, c) لكلف وعائدات كل من خيارات المشروع وفقاً للحالة الضبابية الأساسية المختارة، حيث:

- a: الحد الأدنى (Lower bound)، هي كلف الاستثمار السنوية المعدلة، القيمة المتبقية المعدلة، وكلف التشغيل والصيانة السنوية المعدلة؛ وفقاً لنسب التغيير المرافقة لمستوى التأكد RCF-P65؛ والمحسوبة في الفقرات 3.2.5، 4.2.5، 5.2.5، على التوالي. أما بالنسبة للعائدات، فتتسم قيم التغيير المرجعية بطابع التخفيض لذلك سيتم اعتبار قيمة الحد الأدنى (a) هي قيم العائدات السنوية المعدلة المرافقة لمستوى التأكد RCF-P75، والمحسوبة في الفقرة 5.2.5.
- b: القيمة الأكثر احتمالاً (Most likely value)، هي كلف الاستثمار السنوية المعدلة، والقيمة المتبقية المعدلة، وكلف التشغيل والصيانة السنوية المعدلة، والعائدات السنوية المعدلة؛ وفقاً لنسب التغيير المرافقة لمستوى التأكد RCF-P70؛ والمحسوبة في الفقرات 3.2.5، 4.2.5، 5.2.5، على التوالي.
- c: الحد الأعلى (Upper bound)، هي كلف الاستثمار السنوية المعدلة، القيمة المتبقية المعدلة، كلف التشغيل والصيانة السنوية المعدلة؛ وفقاً لنسب التغيير الموافقة لمستوى التأكد RCF-P75؛ والمحسوبة في الفقرات 3.2.5، 4.2.5، 5.2.5، على التوالي. أما بالنسبة للعائدات، فتتسم قيم التغيير المرجعية بطابع التخفيض لذلك سيتم اعتبار قيمة الحد الأعلى (c) هي قيم العائدات السنوية المعدلة المرافقة لمستوى التأكد RCF-P65، والمحسوبة في الفقرة 5.2.5، (يوضح الملحق B بيانات السيناريو S0 الضبابية وفقاً للحالة (RCF (P65, P70, P75)).
- بالإضافة إلى ذلك، لأخذ تأثير عدم التأكد على معدل الخصم (Discount Rate) المستخدم، تم تطبيق الاختلاف $\pm 10\%$ على قيمته المستخدمة في الحالة المدروسة (8%)، بالتالي معدل الخصم الضبابي المستخدم هو (7.2)، (7.8)، (8.8).

3.3.5. تطبيق طريقة نسبة منفعة-كلفة الضبابية \tilde{B}/\tilde{C} وفقاً للمراحل الموضحة في الفقرة 6.4.

1.3.3.5. حساب القيمة الحالية الضبابية لكلف كل من خيارات المشروع $\tilde{PW}(C)$: باستخدام المعادلة (8) سيتم حساب القيمة الحالية الضبابية لكلف استثمار المشروع $\tilde{PW}(I)$ ، القيمة الحالية الضبابية لكلف التشغيل والصيانة للمشروع $\tilde{PW}(O\&M)$ ، والقيمة الحالية الضبابية للقيمة المتبقية للمشروع $\tilde{PW}(MV)$ لكل من خيارات المشروع (الجدول 12). يتم تعويض نتائج الجدول (12) في المعادلة (12) بغية الحصول على القيم الحالية الضبابية لكلف خيارات المشروع $\tilde{PW}(C)$ (الجدول 13).

الجدول 12: القيمة الحالية الضبابية لكلف الاستثمار، كلف التشغيل والصيانة، والقيمة المتبقية وفقاً للحالة RCF(P65, P70, P75)

(Million Euro) P75)

Scenarios	$\tilde{PW}(I)$	$\tilde{PW}(O\&M)$	$\tilde{PW}(MV)$
S0	(649, 698, 895)	(149, 168, 192)	(59, 75, 113)

Scenarios	$\bar{P}W(I)$	$\bar{P}W(O\&M)$	$\bar{P}W(MV)$
S1	(1579, 1699, 2208)	(275, 314, 360)	(146, 185, 283)
S2	(1876, 2020, 2624)	(377, 433, 497)	(176, 223, 342)
S3 DMU	(2661, 2880, 3798)	(423, 486, 560)	(300, 379, 584)
S3 HST	(3297, 3562, 4688)	(555, 638, 734)	(327, 413, 636)
S3-Direct Route	(4557, 4876, 6426)	(548, 629, 724)	(450, 566, 876)
S3-DMU To S3 in 2020	(3100, 3387, 4518)	(458, 529, 613)	(405, 511, 789)

يتم استخدام طريقة التثقييل، المعادلة (9)، بغية ترتيب $\bar{P}W(C)$ لخيارات المشروع ترتيباً تصاعدياً وفقاً للقيم الضبابية المثقلة لكلف هذه الخيارات (الجدول 13).

الجدول 13: القيمة الحالية الضبابية لكلف خيارات المشروع وفقاً للحالة RCF(P65, P70, P75) (Million Euro)

Scenarios	$\bar{P}W(C)$	Weighted $\bar{P}W(C)$
S0	(684, 792, 1028)	1,072
S1	(1571, 1829, 2423)	2,489
S2	(1912, 2229, 2945)	3,031
S3 DMU	(2499, 2987, 4059)	4,077
S3-DMU To S3 in 2020	(2770, 3404, 4726)	4,655
S3 HST	(3216, 3786, 5095)	5,168
S3-Direct Route	(4229, 4940, 6700)	6,771

2.3.3.5. يُعتبر (السيناريو S0) ذي الكلفة $\bar{P}W(C)$ المثقلة الدنيا؛ المدافع (Defender) (الجدول 13).

وُحسب نسبة منفعة-كلفة الضبابية للسيناريو S0 بتعويض $\bar{P}W(C)_{S0} = (684, 792, 1028) \times 10^6$ (الجدول 13)، و $\bar{P}W(B)_{S0} = (135, 160, 185) \times 10^6$ المحسوبة من المعادلة (8)، في المعادلة (15) كما يلي:

$$(\bar{B}/\bar{C})_{S0} = \left(\frac{135}{1028}, \frac{160}{792}, \frac{185}{684} \right) = (0.13, 0.2, 0.27)$$

باستخدام طريقة التثقييل، المعادلة (9)، تمّ حساب نسبة منفعة-كلفة المثقلة للسيناريو S0 ومقارنتها مع \bar{I}

المثقل لاختبار الجدوى الاقتصادية للسيناريو S0، كما هو موضح في المعادلة (24):

$$\left. \begin{array}{l} (\bar{B}/\bar{C})_{S0} = (0.13, 0.2, 0.27) \\ (\text{Weighted } \bar{B}/\bar{C})_{S0} = 0.26 \\ \bar{I} = (1, 1, 1) \\ \text{Weighted } \bar{I} = 1.3 \end{array} \right\} \Rightarrow (\bar{B}/\bar{C})_{S0} < \bar{I} \quad \text{معادلة 24}$$

3.3.3.5. بما أنّ $(\bar{B}/\bar{C})_{S0} < \bar{I}$ ، يعتبر السيناريو S0 غير مجدٍ اقتصادياً. ينبغي تطبيق الخطوتين

2.3.3.5 و 3.3.3.5 على الخيار التالي وفقاً للجدول 13 (السيناريو S1 في هذه الحالة). بعد تكرار الخطوتين 2.3.3.5 و

3.3.3.5 لجميع خيارات المشروع (وفقاً للجدول 13) تبين عدم وجود أي خيار مجدٍ اقتصادياً كما هو موضح في

الجدول (14).

الجدول 14: نسب منفعة-كلفة الضبابية \bar{B}/\bar{C} لجميع خيارات المشروع وفقاً للحالة RCF (P65, P70, P75)

Scenarios	\bar{B}/\bar{C}	Weighted \bar{B}/\bar{C}	Result
S0	(0.13, 0.2, 0.27)	0.26 < 1.3	Not Economically Feasible
S1	(0.16, 0.26, 0.35)	0.33 < 1.3	Not Economically Feasible
S2	(0.21, 0.33, 0.46)	0.43 < 1.3	Not Economically Feasible

Scenarios	\tilde{B}/\tilde{C}	Weighted \tilde{B}/\tilde{C}	Result
S3 DMU	(0.25, 0.42, 0.6)	0.55 < 1.3	Not Economically Feasible
S3-DMU To S3 in 2020	(0.18, 0.3, 0.41)	0.47 < 1.3	Not Economically Feasible
S3 HST	(0.21, 0.36, 0.53)	0.50 < 1.3	Not Economically Feasible
S3-Direct Route	(0.23, 0.38, 0.54)	0.38 < 1.3	Not Economically Feasible

وفقاً لطريقة منفعة-كلفة الضبابية الموضحة في الفقرة 6.4. ينبغي دراسة أداء كلف مكونات المشروع وعائداته (بارامترات المشروع). لذلك سيتم القيام بتحليل حساسية خاص لفهم أداء هذه البارامترات، وتحديد نسب التغيير فيها وفقاً للخيارات قيد الدراسة باستخدام بيانات طريقة التنبؤ بالمجموعة المرجعية.

4.5. تحليل الحساسية:

تم إجراء اختبار تحليل حساسية حول الحالة الأساسية RCF (P65, P70, P75) بإعادة تطبيق طريقة نسبة منفعة-كلفة الضبابية لكل خيار من خيارات المشروع، باعتماد الحالات التالية: RCF (P55, RCF (P60, P65, P70)، P60, P65) وهكذا حتى الحصول على حالة مرافقة لخيار مجدي اقتصادياً.

وفقاً للحالة المدروسة في هذا البحث تمّ تحديد الحالة RCF (P35, P40, P45) موافقة لكون الخيار S3-DMU مجدي اقتصادياً، كما هو موضح في الجدول (15).

الجدول 15: نسب منفعة-كلفة الضبابية \tilde{B}/\tilde{C} لجميع خيارات المشروع وفقاً للحالة RCF (P35, P40, P45)

Scenarios	\tilde{B}/\tilde{C}	Weighted \tilde{B}/\tilde{C}	Result
S0	(0.39, 0.52, 0.67)	0.68 < 1.3	Not Economically Feasible
S1	(0.48, 0.64, 0.86)	0.85 < 1.3	Not Economically Feasible
S2	(0.61, 0.83, 1.11)	1.10 < 1.3	Not Economically Feasible
S3 DMU	(0.75, 1.02, 1.39)	1.36 > 1.3	Economically Feasible
S3-DMU To S3 in 2020	(0.63, 0.88, 1.21)	1.17 < 1.3	Not Economically Feasible
S3 HST	(0.69, 0.94, 1.27)	1.25 < 1.3	Not Economically Feasible
S3-Direct Route	(0.53, 0.72, 0.97)	0.96 < 1.3	Not Economically Feasible

سيتم الآن استخدام بيانات طريقة التنبؤ بالمجموعة المرجعية (الجدول 16) لفهم أداء كلف مكونات الخيار المجدي S3-DMU المرافق للحالة RCF (P35, P40, P45).

الجدول 16: نسبة التغيير الموصى بها حسب (DFT; TAG-Unit A1.2, 2022)، وبحسب (DFT:OB Workbook, 2021) المقترنة

بمستويات التأكد RCF (P35, P40, P45)

RCF Values	(DFT:OB :Workbook, 2021)	(DFT:OB :Workbook, 2021)	(DFT:OB :Workbook, 2021)	(DFT; TAG-Unit - A1.2, 2022) Recommended Uplifts
Category	RCF-P35	RCF-P40	RCF-P45	
Rail	6%	9%	13%	56%
Land and Property	-25%	-16%	-10%	33%
Rolling Stock	23%	24%	27%	61%
Fixed Links	3%	8%	16%	55%
Buildings/ Stations	4%	9%	12%	70%

كما هو موضح في الجدول (16)، بالنسبة لكلف السكك الحديدية (Rail) يمكن أن تتغير هذه الكلف بنسب تتراوح من 6% إلى 13%، بينما ينصح (DFT; TAG-Unit A1.2, 2022) بنسبة تغيير 56%. وكذلك الأمر بالنسبة لكلف

الروابط الثابتة (Fixed Links) حيث يمكن أن تتغير هذه الكلف بنسب تتراوح من 3% إلى 16%. بينما ينصح (DFT; TAG-Unit A1.2, 2022) بنسبة تغيير 55%. نلاحظ نفس النمط لكلف الأبنية/ المحطات (Buildings/ Stations) إذ يمكن أن تتغير هذه الكلف بنسب تتراوح من 4% إلى 12%. بينما ينصح (DFT; TAG-Unit A1.2, 2022) بنسبة تغيير 70%. لذا يتوجب على الجهة الدارسة إيجاد معلومات خاصة عن أسباب زيادة كلف هذه المكونات عن طريق البحث في مدى توافق أسعار التشييد المعتمدة في المشروع مع البلد الذي سيقام فيه المشروع، إذ ترتبط أسعار التشييد بالدرجة الأولى بسوق العقد، أي السوق المعني قيد الدراسة.

كما يجدر التنويه إلى وجود لغط كبير بين كلف التشييد وأسعار التشييد، الأمر الذي يعتبر عاملاً هاماً في زيادات الكلف في معظم مشاريع البنى التحتية. على سبيل المثال قد تتضمن الدراسة منتج بأبعاد معينة غير موجود بالسوق، بالتالي سيتطلب إنتاجه كلف تصنيع لم يتم إدراجها ضمن الدراسة. ويمكن عند فهم التصميم المقترح (التصاميم) بشكل جيد من ناحية كلفة التشييد، أن نصرف النظر عنه، أي البحث عن تصميم آخر أكثر جدوى (أقل كلفة) عن طريق اقتراح تصميم أبسط وبالتالي كلفة تشييد وكلفة صيانة أدنى.

كما يجب التنويه _ وفقاً للجدول 16_ أن كلف استملاك الأراضي والممتلكات (Land and Property) كانت أدنى من الكلف التقديرية بنسب تتراوح من 10% إلى 25% في حين ينصح (DFT; TAG-Unit A1.2, 2022) بنسبة تغيير 33%. يجب على الجهة الدارسة في هذه الحالة التعمق بفهم قانون الاستملاك في بلد المشروع بالإضافة إلى استقصاء الزمن اللازم لتملك الأراضي والممتلكات الخاصة بالمشروع. مثلاً هل سيتم شراء هذه الأراضي دون اعتراض من قبل مالكيها؟ أو هل يقتضي قانون الاستملاك عرض أسعار مرغوبة اقتصادياً؟ هل هناك جهات مستفيدة من تنفيذ المشروع قيد الدراسة، بالتالي ممكن لهذه الجهات أن تقوم ببيع الأراضي التابعة لخياراتها المفضلة بسعر منخفض؟ بالتالي التقليل من الكلف الكلية لاستملاك الأراضي والممتلكات.

بما أن كون الجدوى الاقتصادية لخيارات المشروع قيد الدراسة تتعلق بالكلف والمنافع الخاصة بهذا المشروع، لذا يجب على الجهة الدارسة أخذ التغيير بعائدات ومنافع المشروع بشكل جدي. فيجب على الجهة الدارسة اعتماد استراتيجيات خاصة لزيادة العائدات على سبيل المثال لا الحصر: تغيير عدد المحطات التخديمية خلال النهار، ودراسة عدد المسافرين من كل محطة، ونورم السفر (مطلب ركاب السكك الحديدية)، بغية زيادة عدد الركاب وبالتالي زيادة العائدات.

كما يمكن اعتماد استراتيجية العروض المتعددة لأسعار التذاكر: مثلاً تذكرة صالحة لمدة شهر إياب ويوم محدد للذهاب في أي وقت (أعلى التذاكر)، تذاكر محددة الوقت للذهاب والاياب وقابلة للشراء (بعدد محدود) على الأقل بأسبوعين قبل موعد الذهاب (أرخص التذاكر)، أسعار خاصة بأوقات محددة من النهار لتشجيع السفر بالقطار.

الخلاصة

تهدف هذه الدراسة إلى التعامل مع مشكلة ضعف أداء مشاريع السكك الحديدية من خلال تطوير منهجية لمعالجة عدم التأكد المرتبط بالمخاطر الكمية والنوعية المرافقة لتقدير كلف وعائدات مشاريع السكك الحديدية. حيث تمّ تقديم منهجية تعتمد على طريقة التنبؤ بالمجموعة المرجعية (RCF) ونظرية المجموعات الضبابية، كما وتمّ التوصل إلى الاستنتاجات التالية:

- 1- ضعف توثيق المعلومات الخاصة بأداء مشاريع السكك الحديدية والأخطار المتعلقة بها;
- 2- عدم توفر قواعد بيانات خاصة بالكلف الفعلية لمشاريع السكك الحديدية خلال مراحل التنفيذ والاستثمار في سوريا ومعظم مشاريع الدول النامية.

3- ضرورة تقدير التغييرات المستقبلية بشكل موضوعي عند اتخاذ القرارات المتعلقة بتمويل ونوعية مشاريع السكك الحديدية.

لذلك تمّ تقديم منهجية جديدة تأخذ بعين الاعتبار حالة عدم التأكد في تكاليف وعائدات مشاريع السكك الحديدية لدعم قرار اختيار المشروع الأمثل. حيث تعتمد هذه المنهجية على بيانات فعلية لمشاريع مماثلة سابقة نفذت في بلدان وظروف مختلفة، عن طريق تطبيق طريقة التنبؤ بالمجموعة المرجعية. تمتاز طريقة التنبؤ بالمجموعة المرجعية بالقدرة على تقديم تنبؤات أكثر دقة من الطرق التقليدية لتقدير كلف وعائدات المشاريع، حيث يزيد اعتماد هذه الطريقة من احتمالية تسليم المشروع وفقاً للإطار الزمني والميزانية المطلوبة. يجدر بالذكر أنّ بيانات المجموعة المرجعية المقترحة تتعلق بمشاريع سابقة قد تكون نفذت بتقنيات قديمة، وفقاً لآليات تمويل وشروط تعاقدية مختلفة، في دول مختلفة ذات قوانين خاصة بالبيئة، الصحة والسلامة العامة.

التوصيات

بناءً على النتائج التي توصل إليها هذا البحث يوصي الباحثون ما يلي:

- ✓ ضرورة إجراء عملية توثيق لبيانات المشاريع المنجزة بالقطر، بهدف الحصول على قاعدة بيانات خاصة للكمف والعائدات الخاصة بكل مرحلة من مراحل حياة المشروع. قاعدة البيانات هذه ستمكّننا من مراقبة أفضل الكلف والعائدات، أي مقارنة كلف وعائدات الاستثمار المقدّرة مع الأداء الفعلي لهذه المشاريع، وستزوّدنا بقاعدة دليل تجريبية كأساس لتقدير نسب الانحياز المتفائل للمشاريع المستقبلية.
- ✓ نتيجة العوامل الاقتصادية، السياسية، واللاحتمية المحيطة بمشاريع السكك الحديدية بشكل خاص، والنقل بشكل عام، وبغية السّماح بتقييم صحيح لكلف وعائدات هذه المشاريع، يوصي البحث بأن تتبني وزارة النقل وغيرها من الوزارات مفهوم مجال القيم التقديرية بدلاً من اعتماد قيمة واحدة لكل بارامتر مقدّر. أي اعتماد ثلاثة مستويات لكل بارامتر: متفائل (Optimistic)، الأكثر احتمالاً (Most Likely)، متشائم (Pessimistic)، وأن يكون لهذا المفهوم تمثيل رئيسي ضمن دراسة الجدوى الاقتصادية واعتماد الميزانية المقدّرة.

المراجع

- Al Hasani, M. (2019). What Causes Optimism Bias in Transportation Projects. *European Journal of Economics, Law and Politics*, 6(1), 75–83. <https://doi.org/10.19044/elv.v6no1a6>
- Al Sheikh, D. M. (2017). Sensitivity Analysis of Fuzzy Present Worth for Railway Projects. *Tishreen University Journal - Engineering Sciences Series*, 39(4), 89–109.
- Allahaim, F. D., & Liu, L. (2013). Understanding major causes cost overrun for infrastructure projects; a typology approach. *Annual Conference of the Australasian Universities Building Educators Association*, 424–437.
- Amos, K., & Abbasi, A. (2020). A Selection and Prioritization Framework for Public Projects. *Project Management*, 7(4), 1–14.
- Attarzadeh, M., Chua, D. K. H., Beer, M., & Abbott, E. L. S. (2017). Fuzzy Randomness Simulation of Long-Term Infrastructure Projects. *ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering*, 3(3), 1–15. <https://doi.org/10.1061/AJRUA6.0000902>
- Batselier, J., & Vanhoucke, M. (2016). Practical application and empirical evaluation of reference class forecasting for project management. *Project Management Journal*, 47(5), 36–51.
- Buehler, R., Griffin, D., & Peetz, J. (2010). The planning fallacy: Cognitive, motivational, and social origins. In *Advances in experimental social psychology* (Vol. 43, pp. 1–62). Elsevier.

- Cantarelli, C. C., & Flyvbjerg, B. (2015). Decision-making and major transport infrastructure projects: the role of project ownership. In D. Hickman, Robin ; Bonilla, David ; Givoni, Moshe ;Banister (Ed.), Handbook on transport and development (pp. 380–393). Edward Elgar Publishing.
- Chiu, C.-Y., & Park, C. S. (1994). Fuzzy cash flow analysis using present worth criterion. *The Engineering Economist*, 39(2), 113–138.
- Daoud, S. (2018). Reconstruction of The infrastructure in Transportation sector. *Tishreen University Journal - Engineering Sciences Series*, 40(4), 61–76. <http://journal.tishreen.edu.sy/index.php/engscnc/article/view/4522>
- Daoud, S. (2019). Participation of the private sector in the transport Infrastructure projects in Syria by BOT system. *Damascus University Journal for Engineering Sciences*, 35(1), 23–37.
- DFT; TAG-Unit A1.2. (2022). Transport Analysis Guidance: Scheme Costs. Department for Transport, UK. <https://www.gov.uk/government/publications/webtag-tag-unit-a1-2-scheme-costs-july-2017#full-publication-update-history>
- DFT:OB Workbook. (2021). TAG: Optimism Bias Workbook. <https://www.gov.uk/government/publications/tag-optimism-bias-workbook>
- DFT, & OGP. (2020). Updating The Evidence Behind The Optimism Bias Uplifts For Transport Appraisals. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/983759/updating-the-evidence-behind-the-optimism-bias-uplifts-for-transport-appraisals.pdf
- El-Cheikh, M., Al Sheikh, D., & Burrow, M. (2013). Project appraisal of rail projects using fuzzy sets theory. *The International Journal of Railway Technology*, 2(1), 39–62. <https://doi.org/10.4203/ijrt.2.1.2>
- Emmons, D. L., Mazzuchi, T. A., Sarkani, S., & Larsen, C. E. (2018). Mitigating cognitive biases in risk identification: Practitioner checklist for the aerospace sector. *Defense Acquisition Research Journal*, 25(1), 52–93.
- Ferrer-Comalat, J. C., Corominas-Coll, D., & Linares-Mustarós, S. (2021). A Fuzzy Economic Dynamic Model. *Mathematics*, 9(826), 1–15. <https://doi.org/10.3390/math9080826>
- Flyvbjerg, B., Ansar, A., Budzier, A., Buhl, S., Cantarelli, C., Garbuio, M., Glenting, C., Holm, M. S., Lovallo, D., Lunn, D., & others. (2018). Five things you should know about cost overrun. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 118, 174–190. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.07.013>
- Flyvbjerg, B., & Bester, D. W. (2021). The cost-benefit fallacy: Why cost-benefit analysis is broken and how to fix it. *Journal of Benefit-Cost Analysis*, 12(3), 395–419. <https://doi.org/10.1017/bca.2021.9>
- Flyvbjerg, B., & COWI. (2004). Procedures for dealing with optimism bias in transport planning. In London: The British Department for Transport, Guidance Document.
- Flyvbjerg, B., Hon, C. K., & Fok, W. H. (2016). Reference Class Forecasting for Hong Kong's Major Roadworks Projects. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Civil Engineering*, 169(6), 17–24. <https://doi.org/10.1680/jcien.15.00075>
- HM_Treasury. (2022). The Green Book: Central Government Guidance Appraisal and Evaluation. The UK's Economics & Finance Ministry. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1063330/Green_Book_2022.pdf
- Kahraman, C., Sari, I. U., Onar, S. C., & Oztaysi, B. (2017). Fuzzy Economic Analysis Methods for Environmental Economics. In *Intelligence Systems in Environmental Management: Theory and Applications* (pp. 315–346). Springer.
- Love, P. E. D., Sing, M. C. P., Ika, L. A., & Newton, S. (2019). The cost performance of transportation projects: The fallacy of the Planning Fallacy account. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 122, 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.02.004>

- Odeck, J., Welde, M., & Volden, G. H. (2015). The impact of external quality assurance of costs estimates on cost overruns: empirical evidence from the Norwegian road sector. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 3(15), 286–303. <http://hdl.handle.net/11250/2627350>
- OGP. (2020). Rail Needs' Assessment: Reference Class Forecast. <https://nic.org.uk/app/uploads/RNA-Reference-Class-Forecast.pdf>
- Ross, T. J. (2017). Fuzzy Logic with Engineering Applications. In Southern Gate, ed: Chichester, West Sussex, United Kingdom. John Wiley & Sons Inc.
- Salloum, D. (2021). The importance of the growing transport sector and its role in the growth of GDP. *Transport Electronic Magazine*, 18, Retrieved on 10/11/2021. http://mot.gov.sy/web/magazine/magazine_det.php?id=89
- Servranckx, T., Vanhoucke, M., & Aouam, T. (2021). Practical application of reference class forecasting for cost and time estimations: Identifying the properties of similarity. *European Journal of Operational Research*, 295(3), 1161–1179. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.03.063>
- Siemiatycki, M. (2015). Cost overruns on infrastructure projects: patterns, causes and cures (pp. 1–14). Institute on Municipal Finance and Governance. <http://hdl.handle.net/1807/82852>
- Sullivan, W. G., Wicks, E. M., & Koelling, C. P. (2019). *Engineering economy* (17th ed.). Pearson.
- TII. (2020). Reference Class Forecasting, Guidelines for use in connection with National Roads Projects. [https://www.tii.ie/tii-library/policies/TII General Publications/RCF-Guidelines-for-National-Road-Projects.pdf](https://www.tii.ie/tii-library/policies/TII%20General%20Publications/RCF-Guidelines-for-National-Road-Projects.pdf)

الملاحق

الملحق A: بيانات الحالة المدروسة

الجدول 17: كلف الاستثمار السنوية (Million Euro)

Year	S0	S1	S2	S3DMU	S3 HST	S3-Direct Route	S3 in S3DMU to 2020
0	9.05	48.89	57.89	76.52	93.73	142.12	76.52
1	132.31	279.38	331.75	411.65	411.65	744.99	411.65
2	139.87	272.77	329.79	454.02	454.77	781.77	454.02
3	155.38	357.54	419	543.23	714.89	1035.27	543.23
4	99.86	281.57	332.65	467.64	866.7	852.34	467.64
5	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0
7	0	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8
8	0	11.83	11.83	11.83	11.83	11.83	11.83
9	1.4	41.38	41.38	82.38	98.38	98.38	82.38
10	0	17.05	17.05	17.05	17.05	17.05	17.05
11	0	0	0	15.66	15.66	15.66	15.66
12	0	0	0	18.38	18.38	18.38	18.38
13	0	0	0	21.24	21.24	21.24	256.31
14	2.8	31.5	36	143.26	108.26	108.26	856.44
15	0	0	0	25.84	25.84	25.84	25.84
16	0	0	0	14.58	14.58	14.58	14.58
17	0	0	0	15.08	15.08	15.08	15.08

Year	S0	S1	S2	S3DMU	S3 HST	S3-Direct Route	S3 in S3DMU to 2020
18	0	0	0	17.2	17.2	17.2	17.2
19	2.8	27	81	187.76	101.76	101.76	101.76
20	0	0	0	18.35	18.35	18.35	18.35
21	0	0	0	20.58	20.58	20.58	20.58
22	0	0	0	19.64	19.64	19.64	19.64
23	0	0	0	23.54	23.54	23.54	23.54
24	2.8	54	45	124.69	190.69	190.69	190.69
25	0	0	0	25.08	25.08	25.08	25.08

الجدول 18: القيمة المتبقية (Million Euro)

Year	S0	S1	S2	S3DMU	S3 HST	S3-Direct Route	S3 in S3DMU to 2020
25	330.26	819.07	987.94	1,675.21	1,820.69	2,520.75	2,252.02

الجدول 19: قيم العائدات السنوية (Million Euro)

Year	S0	S1	S2	S3DMU	S3 HST	S3-Direct Route	S3DMU to S3 in 2020
0	18.81	18.81	18.81	18.81	18.81	18.81	18.81
1	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9
2	23.21	23.21	23.21	23.21	23.21	23.21	23.21
3	25.78	25.78	25.78	25.78	25.78	25.78	25.78
4	28.64	28.64	28.64	28.64	28.64	28.64	28.64
5	32.18	77.34	125.31	192.11	229.38	229.91	190.94
6	32.25	84.33	135.09	206.45	246.02	246.58	203.84
7	32.33	92.1	145.88	222.15	264.18	264.78	217.82
8	32.43	100.73	157.73	239.38	284.07	284.71	233
9	32.53	108.34	170.84	258.31	305.84	306.53	249.52
10	32.65	121.05	185.28	279.11	329.75	330.49	267.46
11	32.78	124.62	192.88	301.19	355.17	355.96	286.22
12	32.93	128.46	201.09	325.4	383	383.84	306.54
13	33.09	132.58	209.92	351.99	413.49	414.39	328.58
14	33.27	137.03	219.46	381.2	446.97	447.94	352.51
15	33.48	141.84	229.78	413.35	483.72	484.75	440.75
16	33.64	143.91	234.43	430.17	502.8	503.86	453.15
17	33.86	148.25	243.84	456.2	533.15	534.27	474.71
18	34.1	152.82	253.78	484.93	565.43	566.62	497.07
19	34.37	157.65	264.32	513.45	599.79	601.04	520.27
20	34.67	162.77	275.49	544.91	636.41	637.73	544.36
21	34.99	168.13	287.3	578.39	675.39	676.77	569.3
22	35.34	173.86	299.89	614.2	717.06	718.52	595.28
23	35.73	179.96	313.32	652.48	761.62	763.16	622.3
24	36.16	186.46	327.65	693.43	809.28	810.89	650.43

Year	S0	S1	S2	S3DMU	S3 HST	S3-Direct Route	S3DMU to S3 in 2020
25	36.62	193.39	342.96	737.28	860.31	862	679.68

الجدول 20: كلف التشغيل والصيانة السنوية (Million Euro)

Year	S0	S1	S2	S3DMU	S3 HST	S3-Direct Route	S3DMU to S3 in 2020
0	5.69	5.69	5.69	5.69	5.69	5.69	5.69
1	6.06	6.06	6.06	6.06	6.06	6.06	6.06
2	6.46	6.46	6.46	6.46	6.46	6.46	6.46
3	6.91	6.91	6.91	6.91	6.91	6.91	6.91
4	7.41	7.41	7.41	7.41	7.41	7.41	7.41
5	15.71	30.81	43.5	47.31	68.75	67.76	47.31
6	15.71	30.88	43.33	47.08	68.11	67.14	47.08
7	15.71	31.01	43.23	46.93	67.56	66.6	46.93
8	15.72	31.21	43.21	46.85	67.08	66.14	46.85
9	15.72	31.49	43.27	46.85	66.7	65.78	46.85
10	15.78	34.94	49.26	52.17	68.24	67.29	52.17
11	15.78	34.33	48.39	52.15	67.91	66.98	52.15
12	15.78	33.74	47.54	52.21	67.67	66.76	52.21
13	15.78	33.17	46.71	52.36	67.53	66.63	52.36
14	15.78	32.62	45.91	52.6	67.49	66.61	52.6
15	15.84	35.56	50.16	58.28	76.99	75.85	76.99
16	15.84	34.91	49.23	57.8	76.15	75.03	76.15
17	15.85	34.28	48.34	57.38	75.38	74.29	75.38
18	15.85	33.67	47.46	56.99	74.64	73.57	74.64
19	15.85	33.07	46.6	56.63	73.94	72.89	73.94
20	15.91	34.06	51.76	63.04	75.72	74.62	75.72
21	15.91	33.45	50.82	62.6	75.04	73.96	75.04
22	15.91	32.86	49.9	62.19	74.39	73.33	74.39
23	15.91	32.28	48.99	61.81	73.78	72.74	73.78
24	15.91	31.72	48.11	61.46	73.2	72.19	73.2
25	15.97	34.01	50.83	64.43	78.45	77.28	71.87

الملحق B: بيانات السيناريو S0 الضبابية وفقاً للحالة RCF (P65, P70, P75)

الجدول 21: كلف الاستثمار، كلف التشغيل والصيانة، والعائدات السنوية الضبابية (Million Euro)

Year	كلف الاستثمار السنوية الضبابية			كلف التشغيل والصيانة السنوية الضبابية			العائدات السنوية الضبابية		
	Lower bound	Most Likely Value	Upper bound	Lower bound	Most Likely Value	Upper bound	Lower bound	Most Likely Value	Upper bound
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
0	13.26	14.00	17.65	6.33	6.66	7.01	7.90	8.72	9.41

	كف الاستثمار السنوية الضبابية			كف التشغيل والصيانة السنوية الضبابية			العائدات السنوية الضبابية		
1	193.84	204.73	258.08	6.74	7.09	7.46	8.78	9.69	10.45
2	204.92	216.43	272.83	7.18	7.56	7.95	9.75	10.76	11.61
3	227.64	240.43	303.09	7.68	8.08	8.51	10.83	11.96	12.89
4	146.30	154.52	194.79	8.24	8.67	9.12	12.03	13.28	14.32
5	0	0	0	17.46	18.38	19.34	13.52	14.92	16.09
6	0	0	0	17.46	18.38	19.34	13.55	14.96	16.13
7	0	0	0	17.46	18.38	19.34	13.58	14.99	16.17
8	0	0	0	17.48	18.39	19.35	13.62	15.04	16.22
9	2.05	2.17	2.73	17.48	18.39	19.35	13.66	15.09	16.27
10	0	0	0	17.54	18.46	19.43	13.71	15.14	16.33
11	0	0	0	17.54	18.46	19.43	13.77	15.20	16.39
12	0	0	0	17.54	18.46	19.43	13.83	15.27	16.47
13	0	0	0	17.54	18.46	19.43	13.90	15.35	16.55
14	4.10	4.33	5.46	17.54	18.46	19.43	13.97	15.43	16.64
15	0	0	0	17.61	18.53	19.50	14.06	15.53	16.74
6	0	0	0	17.61	18.53	19.50	14.13	15.60	16.82
17	0	0	0	17.62	18.54	19.51	14.22	15.70	16.93
18	0	0	0	17.62	18.54	19.51	14.32	15.81	17.05
19	4.10	4.33	5.46	17.62	18.54	19.51	14.44	15.94	17.19
22	0	0	0	17.69	18.61	19.59	14.56	16.08	17.34
21	0	0	0	17.69	18.61	19.59	14.70	16.23	17.50
22	0	0	0	17.69	18.61	19.59	14.84	16.39	17.67
23	0	0	0	17.69	18.61	19.59	15.01	16.57	17.87
24	4.10	4.33	5.46	17.69	18.61	19.59	15.19	16.77	18.08
25	0	0	0	17.75	18.68	19.66	15.38	16.98	18.31

الجدول 22: القيمة المتبقية الضبابية (Million Euro)

Year	Lower bound	Most Likely Value	Upper bound
25	483.85	511.04	644.21