مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (33) العدد (7) 2011
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (33) No. (7) 2011

تحليل المعايير الاقتصادية للمشاريع الهندسية الضخمة باستخدام نظرية المجموعات الضبابية

د. جمال عمران*
د. راجح السريع**
دانا الشيخ***

(تاريخ الإيداع 4 / 9 / 2011. قُبِل للنشر في 14 / 12 / 2011)

□ ملخّص □

يستغرق إنجاز المشاريع الهندسية الضخمة زمناً طويلاً مما ينتج عنه في معظم الأحيان انحراف في الكلفة نتيجة التضخم وعوامل أخرى، مما يجعل تقرير جدوى هذه المشاريع فيه الكثير من عدم الدقة، لأنَّ المعايير الاقتصادية لدراسة الجدوى تعتمد على الكلف والعائدات المقدرة. يعتمد تحليل هذه المعايير الاقتصادية بشكل رئيسي على دراسات مشاريع مرجعية، تقديرات مستقبلية، وعلى رأي العديد من ذوي الخبرة. نتيجة لذلك تتضمن هذه المعايير نسباً متباينة من الأخطاء وعدم الدقة. هذا وتعزى الأخطاء المرتكبة في تقدير هذه المعايير إلى العشوائية في عالم المعلومات بالدرجة الأولى، بينما يعزى عدم الدقة في تقدير كلف وعائدات المشاريع إلى الغموض المحيط بهذه القيم. تقترح هذه المقالة أنموذجاً رياضياً جديداً لدعم القرار الاقتصادي الهندسي المستخدم لتحديد البديل الأفضل بين بدائل المشاريع الهندسية العدة. حيث يعتمد هذا الأنموذج على تحويل كلف وعائدات المشاريع الهندسية إلى أرقام ضبابية مثلثية ليتم استخدامها في تقدير معايير المشروع الاقتصادية، تحديداً قيمة المشروع الحالية الضبابية، قيمة المشروع المستقبلية الضبابية، والنسبة منفعة–كلفة الضبابية لجميع البدائل. وتستعرض المقالة مثالاً عددياً لتوضيح طريقة النمذجة المقترحة لتبيان مدى صواب القرار المتخذ في تحديد البديل الأفضل.

الكلمات المفتاحية: نظرية المجوعات الضبابية، القيمة الحالية الضبابية، القيمة المستقبلية الضبابية، نسبة منفعة–كلفة الضبابية.

* أستاذ مساعد–قسم هندسة وإدارة التشييد– كلية الهندسة المدنية– جامعة تشرين– اللاذقية– سوريا.
** أستاذ مساعد–قسم النقل والمواصلات– كلية الهندسة المدنية– جامعة دمشق– دمشق– سوريا.
*** طالبة ماجستير– قسم هندسة وإدارة التشييد– كلية الهندسة المدنية– جامعة تشرين– اللاذقية– سوريا.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (33) العدد (7) 2011
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (33) No. (7) 2011

Using Fuzzy Set Theory for Analysing the Economic Factors of Mega Engineering Projects

Dr. Jamal Omran*
Dr. Rajah Al Sariaa**
Dana Al Sheikh***

(Received 4 / 9 / 2011. Accepted 14 / 12 / 2011)

☐ ABSTRACT ☐

Civil engineering mega projects usually take more time to accomplish. This often results in cost deviation resulting from inflation and other factors. Thus, the feasibility of such projects involves a lot of uncertainties because the economic criteria for feasibility depends on the estimated costs and benefits. The economic analysis of these factors usually depends on previous studies, future estimations, and expert opinions. Consequently, this analysis contains various levels of error and uncertainty. While these errors are attributed to information randomness, uncertainty is related to the fuzziness associated with the estimation of these economic factors.

This paper proposes using a mathematical model to help decision-makers select the optimum option for their projects. This model suggests transforming project costs and returns into triangular fuzzy numbers, to be then used for estimating the project's present and future value, evaluating the benefit-cost ratio to all proposed options. The proposed model is, therefore, explained by a numerical example to illustrate its applicability and demonstrate the way it can be used to test the robustness of the decision associated with choosing the optimum option.

Keywords: Fuzzy sets theory; Fuzzy Present Worth, Fuzzy Future Worth, Fuzzy Benefit-Cost ratio.

* **Associate Professor, Department of Construction and Management Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
** **Associate Professor, Department of Transportation, Faculty of Civil Engineering, Damascus University, Damascus, Syria.**
*** **Postgraduate Student, Department of Construction and Management Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

المقدمة:

يستغرق إنجاز المشاريع الهندسية الضخمة زمناً طويلاً مما ينتج عنه في معظم الأحيان انحراف في الكلفة نتيجة التضخم وعوامل أخرى، مما يجعل تقرير جدوى هذه المشاريع فيه الكثير من عدم الدقة، لأنَّ المعايير الاقتصادية لدراسة الجدوى تعتمد على الكلف والعائدات المقدرة، والتي تمثل القاعدة الأساسية للتقييم الاقتصادي-الاجتماعي والبيئي لهذه المشاريع، وبالتالي دقة توقعات هذه البارامترات تشكل النقطة الحاسمة لتخصيص الأموال خاصة في ظل ندرة الأموال والأزمة الاقتصادية التي يشهدها العالم حالياً.

والمقصود بالمشروع الضخم هو مشروع كبير جداً تبعاً للمكان الذي سيبنى أو سيقام به، بشكل عام نستطيع القول بأنَّه أي شيء كلفته أكبر من ربع بليون دولار، فإذا كنا نتكلم عن مدنية مثل نيويورك نحن بحاجة لكلفة أكبر من ذلك ليعتبر المشروع ضخماً، أما بالنسبة لمدينة مثل حلب يجب أن تكون الكلفة أقل، لذلك لا نستطيع تعريف المشروع الضخم بشكل مستقل عن المكان الذي سيبنى به.

يعتبر كل من The American Planning Association, HM Treasury_Green Book and the Office Of Commerce(UK). أنَّ الخطر الرئيسي الذي يواجه إدارة المشاريع هو التنبؤ والتحيز الإيجابي غير الدقيقين عند تقدير كل من كلفة المشروع، الحاجة إليه، وعائداته، الذي ينتج عنه التقدير المنخفض لكلف المشروع والمبالغة بتقدير عائداته. (Flyvbjerg, 2006)

تشير معظم الدراسات التي تقارن كلف المشاريع الفعلية مع المقدّرة إلى أنَّ السبب الرئيسي للاختلاف الكبير بينهما يعزى إلى نقص المعلومات؛ مثل عدم توفر البيانات، نقص الإحصائيات، ونقص الخبرة فيما يتعلق بالتنبؤ، الخ. يناقش بعضهم البعض أنّ مثل هذه العوامل يمكن أن تكون مصادر مهمة لعدم التأكد وقد تؤدي إلى توقعات غير صحيحة. ويلفتون النظر إلى أنَّه لم يؤدِّ التطور الهائل في تقنيات التنبؤ، ولا الدروس المتعلمة من التجارب الماضية إلى انخفاض مستويات التحيز المتفائل. (Flyvbjerg *et al.*, 2004)

وللتعامل بشكل كمي مع الغموض وعدم التأكد، استندت بعض الدراسات إلى تحليل الحساسية، وبعضهم الآخر على الطرق الاحتمالية. إنَّ الطرق التي تعتمد على تحليل الحساسية كثيرة الاستعمال عملياً، لكنّها تملك سلبية أنَّها تعتمد كثيراً على حدس صانع القرار، وهناك مشاكل مرتبطة بالطرق الاحتمالية إذ يتطلّب إنجازها عدّة فرضيات حول التوزيعات والعمليات الاحتمالية عليها، وهذه الفرضيات نادراً ما تفي بالغرض للتوزيعات المستعملة في مجال الاقتصاد الهندسي، من ناحية أخرى، يتطلّب تطبيقها معلومات أكثر بكثير من المتوافرة عادة حول مشاريع الاستثمارات المعتبرة للتعهد، على عكس المجموعات الضبابية والتي يمكن أن تطبّق حتى بمعلومات ضئيلة.

تعتبر نظرية المجموعات الضبابية والمنطق الضبابي الأدوات الأكثر فاعلية لنمذجة الأنظمة المعقّدة، ونظام الإدارة المالية، مع اعتبار أنَّ النظام المعقّد هو النظام الذي يعاني من غياب المعلومات الكاملة والدقيقة وعندما يكون الإنسان مرتبكاً بالتعامل مع عدم التأكد. (Bojadziev, 1997)

تعتمد دراسات الجدوى الاقتصادية الحالية في الدول العربية عامة وسوريا خاصة على تحليل الحساسية لدعم عملية اتخاذ القرار الاستثماري ولمعالجة الشك بقرار الاستثمار المستقبلي.

تبرز مشكلة الشك هذه من عدم توفر البيانات التي تسمح بتقدير تكاليف وعائدات الاستثمار بدقة ومن تأثير مجموعة من الأخطار غير المتوقعة على المشروع والذي يعتبر مشكلة عالمية وليست محلية، ومن غياب منهجية أو تقنية علمية واضحة تعالج حالة عدم التأكد (Uncertainty) وتأثيرها على حساب معايير الجدوى الاقتصادية.

إنَّ الأسباب السابقة دفعتنا إلى تقديم أنموذج رياضي جديد الدعم القرار الاقتصادي الهندسي المستخدم يأخذ حالة عدم التأكد في تكاليف وعائدات المشاريع بالحسبان لتحديد البديل الأفضل بين بدائل المشاريع الهندسية العدة، نستخدم فيه نظرية المجموعات الضبابية (Fuzzy Sets Theory)، بديلاً عن نماذج التدفقات النقدية التقليدية المعرّفة كأرقام محددة (Crisp Numbers)، أنموذج قرار هندسي اقتصادي فيه التدفقات النقدية، ومعدل الفائدة، موصوفة كأرقام ضبابية مثلثية (Triangular Fuzzy Numbers)، ليتم استخدامها في تقدير معايير المشروع الاقتصادية، وتحديداً قيمة المشروع الحالية الضبابية، قيمة المشروع المستقبلية الضبابية، والنسبة عائدات–كلف الضبابية لجميع البدائل. حيث أجري هذا البحث في جامعة تشرين–كلية الهندسة المدنية في الفترة بين 15/7/2009 و 10/11/2010.

أهمية البحث وأهدافه:

لقد تَّم إثبات وجود حاجة ملحة إلى منهجية أو تقنية علمية واضحة للإحاطة قدر الإمكان بالأخطار الناجمة عن سوء تقدير كلف البناء وعائدات الاستثمارات للمشاريع الهندسية. والتي تؤدي في أغلب الأحيان إلى اتخاذ القرار الخاطئ حول البديل الأفضل.

إنّ هدفَ البحث الأساسي هو التأكيد على ضرورة التعامل بشكل صحيح مع حالة عدم التأكد في تقدير كلف وعائدات المشاريع الداخلة في حساب الجدوى الاقتصادية لدعم قرار اختيار المشروع الأمثل، عن طريق تقديم أنموذجاً رياضياً جديداً لدعم القرار الاقتصادي الهندسي المستخدم لتحديد البديل الأفضل بين بدائل المشاريع الهندسية العدة، نستخدم فيه نظرية المجموعات الضبابية. وبالتالي يساعد البحث على تقديم وسائل جيدة للاختيار بين البدائل الاستثمارية، وتقييم دراسات الجدوى الاقتصادية والمالية.

ويقدم أداة مساعدة لاتخاذ القرار عند الإعلان عن المشروع للمستثمرين بهدف الحصول على التمويل، عن طريق إعلام الجهة الممولة عن مجال الكلف والعائدات بأخذ الرقم الضبابي بالحسبان، قبل اتخاذ القرار في الاستثمار به، بالتالي يتوافر لدينا ضمان أكبر لإنهاء المشروع بالمواصفات المطلوبة عند اتخاذ القرار بتمويل المشروع، بدلاً من التوقف عند مرحلة معينة نتيجة نفاذ التمويل، مثال على ذلك ما حدث في بعض المشاريع الممولة من قبل بنك الاستثمار الأوربي في أوربا الشرقية.

طرائق البحث ومواده:

كما ذكرنا يهدف هذا البحث بصورة أساسية إلى تقديم أنموذج رياضي يأخذ حالة عدم التأكد في تكاليف وعائدات المشاريع بالحسبان باستخدام نظرية المجموعات الضبابية بغية دعم قرار اختيار المشروع الأمثل. لتحقيق هذا الهدف قمنا بالخطوات الآتية:

المرحلة الأولى: دراسة مفهوم المنطق الضبابي.

المرحلة الثانية: الاطلاع على أحدث المقالات في مجال استخدام نظرية المجموعات الضبابية في الاقتصاد الهندسي.

المرحلة الثالثة: تحليل المعلومات الناتجة من المرحلة الأولى والثانية، واستنتاج علاقة القيمة الحالية الضبابية، المستقبلية، ونسبة منفعة/ كلفة الضبابية.

المرحلة الرابعة: تقديم مثال عددي لتوضيح طريقة النمذجة المقترحة وتبيان مدى صواب القرار المتخذ في تحديد البديل الأفضل عبر مقارنة النتائج مع المعايير الاقتصادية التقليدية.

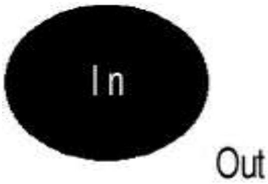
المنطق الضبابي:

المنطق الضبابي هو منهج رياضي يمكّن من نمذجة العالم الحقيقي بطريقة مشابهة لعمليات التفكير البشري (Zadeh, 1996).

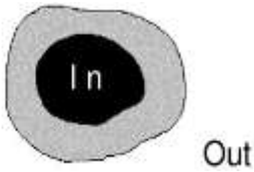
كلمة "Fuzzification" "الانتقال إلى الضبابية" لا تعني معالجة الغموض للحدث أو تحديد المتغيّر بمجال من الأرقام؛ على العكس، تعني إعطاء الفرصة لوصف حدث مبهم ولتحديد متغيّر لغوي.

تطورت نظرية المجموعات الضبابية بشكل خاص لتتفق مع الحوادث غير متوقعة الحدوث وعدم التأكد غير العشوائي في الطبيعة. مفهوم نظرية المجموعات الضبابية يختلف عن مفهوم المجموعات التقليدية أو المحددة (Crisp Sets) بشكل رئيسي في درجة انتماء العنصر إلى المجموعة؛ حيث تكون العناصر في نظرية المجموعات المحددة؛ إما منتمية أو غير منتمية إلى المجموعة، بينما في نظرية المجموعات الضبابية توصف العناصر بطريقة تسمح بالانتقال التدريجي من كونها عنصر في مجموعة إلى كونها غير عنصر. كل عنصر له درجة من العضوية تتراوح من الصفر إلى الواحد، حيث إن الصفر يدل على انعدام العضوية؛ في حين الواحد يدل إلى العضوية الكاملة، والقيم بينهم تدل على درجات العضوية الجزئية، والشكل (1) يوضح الفرق بين المجموعة التقليدية والمجموعة الضبابية.

تعّرف A في مجموعة ضبابية ما، بوصفها مجموعة من زوج هما $[t, \ \mu_A(t)]$، حيث t هو كائن أو عنصر في فضاء العناصر و $\mu_A(t)$ درجة العضوية المرافقة للعنصر t. في الحالة التي يكون فيها t متحولاً مستمراً، فإنَّ درجات العضوية ممكن أن تمثل بوساطة تابع، يعّرف عادة باسم تابع العضوية أو الانتماء، ومن الممكن أن تأخذ توابع العضوية أشكالاً ونماذج عديدة؛ واحد من أكثر هذه النماذج استخداماً يدعى الأرقام الضبابية (Fuzzy Numbers) (Zimmermann, 1993)، وهي المستخدمة لتطوير الطريقة المقترحة.



A traditional crisp set
مجموعة تقليدية



A fuzzy set
مجموعة ضبابية

شكل 1: مقارنة المجموعة التقليدية مع المجموعة الضبابية

1.1. الأرقام الضبابية

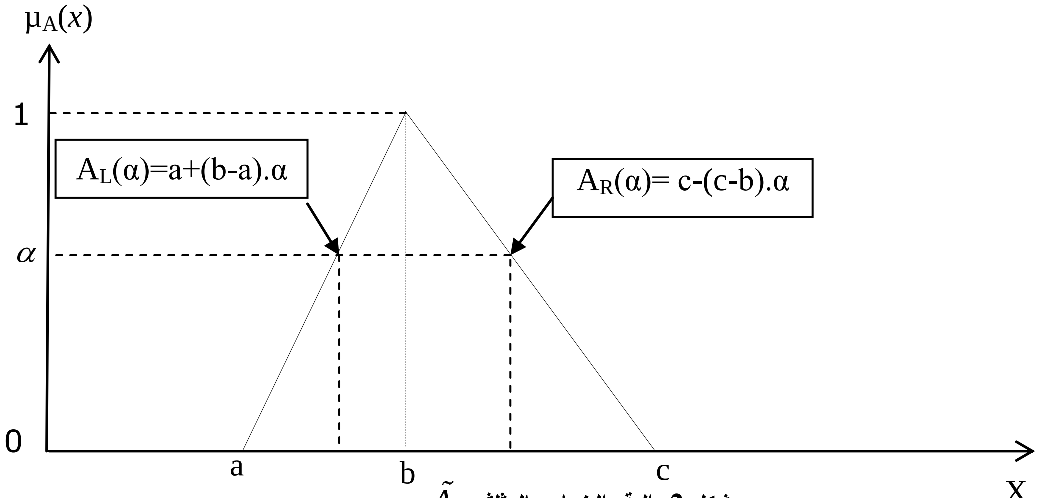
الرقم الضبابي (Fuzzy Number) هو مجموعة ضبابية مستمرة تمتاز بخاصتين اثنتين هما:

1. التحدب (Convexity)
2. الحالة النظامية (Normality)

يدل **التحدب** على أنَّ تابع العضوية يمتلك نقطة ذروة وحيدة، في حين أنَّ **الحالة النظامية** تضمن وجود عنصر واحد على الأقل في المجموعة له درجة عضوية مساوٍ للواحد.(Lorterapong and Moselhi, 1996)

1. 2. الأرقام الضبابية المثلثية

إنَّ الرقم الضبابي بشكل مثلث هو نمط خاص من الأرقام الضبابية، حيث يمكن التعبير عنه كالتالي: $\tilde{A}=(a,b,c)$، تدل البارامترات b, a و c على القيمة المتشائمة، الأكثر احتمالاً، والمتفائلة على التتالي، كما يوضح الشكل(2).



شكل 2: الرقم الضبابي المثلثي $\tilde{A}$

إنَّ فوائد استعمال الأرقام الضبابية بشكل مثلث متنوعة: أولاً، تظهر قابلية تطبيق عالية في تمثيل الكلفة الضبابية، العائد الضبابي، والزمن الضبابي في مشاريع التشييد بالتالي في المعايير الاقتصادية، ثانياً، سهلة التطبيق رياضياً، والأهم من ذلك أنها تمثل الأساس المنطقي لتحديد المعرفة المبهمة والغامضة حول معظم مسائل القرار، على سبيل المثال، عائدات المنتج، معدلات الفائدة ...إلخ. لذا في بقية البحث سنستخدم الأرقام الضبابية بشكل مثلث لتشكيل مخطط التدفقات النقدية وإنجاز تحليل القرار الاقتصادي.

يمكن تعريف الرقم الضبابي كما ذكر (Chiu and Park, 1994) من خلال التمثيل اليساري واليميني المماثل لكل درجة عضوية كالتالي:

$$\tilde{A} = (\ A_L(\alpha), A_R(\alpha)\ ) = (a + (b-a).\alpha,\ c-(c-b).\alpha)$$ **معادلة 1**

حيث بدلاً من كتابة $\mu_A(x)$ نكتب α كدرجة العضوية المعطاة. هذا التمثيل يعتبر أنَّ الأرقام الضبابية تقسم إلى جهة يسرى $A_L(\alpha)$ وجهة يمنى $A_R(\alpha)$ حيث أنَّ التوابع $A_L(\alpha), A_R(\alpha)$ خطية.

عبر (Chiu and Park, 1994) عن تابع العضوية الخاص بالرقم الضبابي المثلثي بالمعادلة(2):

$$\mu(t) = \begin{cases} \dfrac{x-a}{b-a} & a \le x \le b \\ \dfrac{c-x}{c-b} & b \le x \le c \\ 0 & otherwise \end{cases}$$ **معادلة 2**

1. 3. العمليات على الأرقام الضبابية الممثلة بتابع عضوية بشكل مثلث

بحسب (Chiu and Park, 1994) يوجد عدد من العمليات التي يمكن إجراؤها على الأرقام الضبابية الممثلة عبر استخدام التمثيل الأيسر والأيمن للأرقام الضبابية، بفرض لدينا $\tilde{A} = [A_L(\alpha), A_R(\alpha)]$ و $\tilde{B} = [B_L(\alpha), B_R(\alpha)]$ فإنَّ:

$$\tilde{A} \oplus \tilde{B} = \left[A_L(\alpha) + B_L(\alpha),\ A_R(\alpha) + B_R(\alpha)\right]$$ **معادلة 3**

$$\tilde{A} \ominus \tilde{B} = \left[A_L(\alpha) - B_R(\alpha),\ A_R(\alpha) - B_L(\alpha)\right]$$ **معادلة 4**

$$\tilde{A} \div \tilde{B} = \begin{bmatrix} \min(A_L(\alpha)/B_L(\alpha), A_L(\alpha)/B_R(\alpha), A_R(\alpha)/B_L(\alpha), A_R(\alpha)/B_R(\alpha)), \\ \max(A_L(\alpha)/B_L(\alpha), A_L(\alpha)/B_R(\alpha), A_R(\alpha)/B_L(\alpha), A_R(\alpha)/B_R(\alpha)) \end{bmatrix}$$ **معادلة 5**

$$\tilde{A} \div \tilde{B} = \left[A_L(\alpha)/B_R(\alpha),\ A_R(\alpha)/B_L(\alpha)\right] : \tilde{A}, \tilde{B}\ are\ positive$$ **معادلة 6**

$$\tilde{A} \div \tilde{B} = \left[A_L(\alpha)/B_L(\alpha),\ A_R(\alpha)/B_R(\alpha)\right] : \tilde{A}\ negative, \tilde{B}\ positive$$ **معادلة 7**

$$\tilde{A} \otimes \tilde{B} = \begin{bmatrix} \min(A_L(\alpha) \times B_L(\alpha), A_L(\alpha) \times B_R(\alpha), A_R(\alpha) \times B_L(\alpha), A_R(\alpha) \times B_R(\alpha)), \\ \max(A_L(\alpha) \times B_L(\alpha), A_L(\alpha) \times B_R(\alpha), A_R(\alpha) \times B_L(\alpha), A_R(\alpha) \times B_R(\alpha)) \end{bmatrix}$$ **معادلة 8**

$$\tilde{A} \otimes \tilde{B} = \left[A_L(\alpha) \times B_L(\alpha), A_R(\alpha) \times B_R(\alpha)\right] : \tilde{A}, \tilde{B}\ are\ positive$$ **معادلة 9**

1. الدراسات المرجعية:

استخدمت دراسات عديدة نظرية المجموعات الضبابية لتطوير علاقات المعايير الاقتصادية (القيمة الحالية الضبابية، القيمة المستقبلية الضبابية، ونسبة منفعة – كلفة الضبابية) لسلسلة تدفقات نقدية ضبابية خلال n فترة زمنية قد تكون رقماً تقليدياً (crisp) أو ضبابياً (fuzzy) وباستخدام معدلات فائدة ضبابية، بغية تطوير طرق جديدة لتحديد البديل الأفضل بين بدائل المشاريع الهندسية، نستعرض على سبيل المثال لا الحصر الدراسات التالية؛

- توصل (Buckley, 1987) إلى علاقة تحسب القيمة الحالية والمستقبلية الضبابية $\tilde{PW}$ و $\tilde{FW}$ بمعدل فائدة ضبابي $\tilde{r}$ لسلسلة من التدفقات النقدية الضبابية $\tilde{F}$ خلال مدة n مقدرة بالسنوات كالتالي:

$$f_{n,i}(y / \tilde{PW}_n) = f_i(y / \tilde{F}) \otimes (1 + f_j(y / \tilde{r}))^{-n}$$ **معادلة 10**

$$f_{n,i}(y / \tilde{FW}_n) = f_i(y / \tilde{F}) \otimes (1 + f_j(y / \tilde{r}))^{n}$$ **معادلة 11**

i=1,2، وعندما يكون $\tilde{F}$ سالباً فإنَّ $j=i$ وعندما يكون $\tilde{F}$ موجباً فإنَّ j=3-i ويدل الرقم 1 على جهة اليسار و2 على جهة اليمين.

- بعدها طوّر (Ward, 1989) تحليل القيمة الحالية الضبابية $\tilde{PW}$ بمعدل فائدة عادي غير ضبابي r، لسلسلة تدفقات نقدية ممثلة كأرقام ضبابية رباعية مثلث عبر مجال التسامح والعرض اليساري واليميني أي بالشكل $\tilde{F}_k = (a;b;\alpha;\beta)$، وخلال مدة n من السنوات، وفقاً للعلاقة التالية:

$$\tilde{PW} = \tilde{F}_0 \oplus \tilde{F}_1 \otimes (1+r)^{-1} \oplus ...... \oplus \tilde{F}_n \otimes (1+r)^{-n}$$ **معادلة 12**

- ثم اقترح (Chiu and Park, 1994) صيغة جديدة للقيمة الحالية الضبابية $\tilde{PW}$، لسلسلة تدفقات نقدية ضبابية مثلثية إما موجبة أو سالبة ومعدل فائدة ضبابي مثلثي موجب، ومدة مشروع عادية n بالسنوات (أشهر، أسابيع...الخ)، مثلت الأرقام الضبابية عبر التمثيل اليساري واليميني. كما يظهر في المعادلة (13):

$$\tilde{PW} = \left[\begin{array}{l} \sum_{k=0}^{n} \left(\frac{\max\{F_k^{L(\alpha)},0\}}{\prod_{k'=0}^{k}\left(1+r_{k'}^{R(\alpha)}\right)} + \frac{\min\{F_k^{L(\alpha)},0\}}{\prod_{k'=0}^{k}\left(1+r_{k'}^{L(\alpha)}\right)} \right), \\ \sum_{k=0}^{n} \left(\frac{\max\{F_k^{R(\alpha)},0\}}{\prod_{k'=0}^{k}\left(1+r_{k'}^{L(\alpha)}\right)} + \frac{\min\{F_k^{R(\alpha)},0\}}{\prod_{k'=0}^{k}\left(1+r_{k'}^{R(\alpha)}\right)} \right) \end{array} \right]$$ **معادلة 13**

حيث: $\tilde{F}_k$ التدفق النقدي الضبابي الموجب أو السالب في نهاية الزمن k و $\tilde{r}_k$، معدل الفائدة الضبابي عند الزمن k'. وعندما يكون $\tilde{F}_k$ موجباً، $\max\{F_k^{L(\alpha)},0\} = F_k^{L(\alpha)}, \min\{F_k^{L(\alpha)},0\} = 0$ ، يطبق نفس المنطق على $\tilde{F}_k^{R(\alpha)}$.

وعندما α=0 فإنَّ:

$$F_k^{L(\alpha)} = F_{k0},\ F_k^{R(\alpha)} = F_{k2},$$
$$r_k^{L(\alpha)} = r_{k0},\ r_k^{R(\alpha)} = r_{k2},$$

وعندما α=1 فإنَّ:

$$F_k^{L(\alpha)} = F_k^{R(\alpha)} = F_{k1},$$
$$r_k^{L(\alpha)} = r_k^{R(\alpha)} = r_{k1},$$

وبالتعويض في علاقة القيمة الحالية الضبابية $\tilde{PW}$ في المعادلة (13)، نحصل على الصيغة التقريبية للقيمة الحالية الضبابية $\tilde{PW}_A$ المقدمة في المعادلة (14)، إذ نلاحظ أنَّها أسهل في التطبيق لأنَّها ذات تمثيلات خطية، ولا تتطلب جهداً حسابياً مضجراً كما الحال في القيمة الحالية الفعلية $\tilde{PW}$.

$$\tilde{PW}_A = \left[\begin{array}{l} \sum_{k=0}^{n} \left(\frac{\max\{F_{k0},0\}}{\prod_{k'=0}^{k}\left(1+r_{k'2}\right)} + \frac{\min\{F_{k0},0\}}{\prod_{k'=0}^{k}\left(1+r_{k'0}\right)} \right), \sum_{k=0}^{n} \frac{F_{k1}}{\prod_{k'=0}^{k}(1+r_{k'1})} \\ \sum_{k=0}^{n} \left(\frac{\max\{F_{k2},0\}}{\prod_{k'=0}^{k}\left(1+r_{k'0}\right)} + \frac{\min\{F_{k2},0\}}{\prod_{k'=0}^{k}\left(1+r_{k'0}\right)} \right) \end{array} \right]$$ **معادلة 14**

بين (Chiu & Park, 1994) أننا نستطيع استخدام علاقة $\tilde{PW}_A$ بديلاً عن $\tilde{PW}$ في تحليل المشروع، الأمر الذي يتضمن جهداً حسابياً أقل، عندما يكون العرض الموثوق لمعدل الفائدة ضمن المجال المطلق لـ % 4±، حيث تكون نسبة الانحراف الأعظمي صغيرة نسبياً.

- قام (Kuchta, 2000) بتطبيق علاقات المال–الوقت المعروفة اقتصادياً باستخدام نظرية المجموعات الضبابية (العمليات الرياضية الضبابية)، وتوصل إلى استنتاج علاقة القيمة الحالية والمستقبلية الضبابية لسلسة من التدفقات النقدية الضبابية الرباعية $\tilde{F}_k$ موجبة أو سالبة بمعدل فائدة ضبابي رباعي $\tilde{r}$ ومدة مشروع n عادية، كما في المعادلة (15) و(16):

$$\tilde{PW} = \sum_{k=0}^{n} \frac{\tilde{F}_k}{(1+\tilde{r})^k}$$ **معادلة 15**

$$\tilde{FW} = \sum_{k=0}^{n} \tilde{F}_k \otimes (1+\tilde{r})^{m-k} \quad \text{for any interger} \quad m \geq n$$ **معادلة 16**

– استخدم (Abdel-Kader, Dugdale, 2001) نظرية المجموعات الضبابية في تطوير أنموذج لاتخاذ قرار الاستثمار، واستنتج علاقة خطية للقيمة الحالية الضبابية $\tilde{PW} = (PW_1, PW_2, PW_3)$، لسلسلة من التدفقات النقدية الضبابية الموجبة فقط $\tilde{F}_k = (F_{k1},\ F_{k2},\ F_{k3}) : k = 1, 2, ..., n$ مع تكلفة استثمار أولية $\tilde{I} = (I_{01},\ I_{02},\ I_{03})$ في الزمن صفر وبمعدل فائدة ضبابي $\tilde{r} = (r_1,\ r_2,\ r_3)$ خلال n سنة، حيث عبر عن معطيات مخطط التدفق النقدي الضبابي كأرقام مثلثية باستخدام البارامترات الثلاثة، ومدة المشروع كانت عبارة عن رقم عادي غير ضبابي، وفق العلاقة التالية:

$$\tilde{PW} = \left(\sum_{k=1}^{n} \frac{F_{k1}}{(1+r_3)^k} - I_{03}, \sum_{k=1}^{n} \frac{F_{k2}}{(1+r_2)^k} - I_{02}, \sum_{k=1}^{n} \frac{F_{k3}}{(1+r_1)^k} - I_{01} \right)$$ **معادلة 17**

– بين (Kahraman *et al.*, 2002) أنَّ نظرية المجموعات الضبابية أداة قويّة في مجال الإدارة عند عدم وجود بيانات كافية، ويمكن أن تعالج الأرقام الضبابية الملائمة غموض المعرفة. قدَّم القيمة الحالية والمستقبلية الضبابية كما قدمها كل من (Buckley, 1987)، و(Chiu & Park, 1994).

– استخدم (Ulukan and Ucuncuoglu, 2010) علاقة القيمة الحالية الضبابية حسب علاقة (Chiu & Park, 1994) بشكليها اللاخطية والخطية، لإجراء التقييم الاقتصادي لمشاريع نظم المعلومات (Information System Projects).

– قدم (Kahraman *et al.*, 2000)، (Kahraman *et al.*, 2002)، (Ulukan and Ucuncuoglu, 2010) تحليل نسبة منفعة–كلفة للتسويغ الاقتصادي لاختيار بديل من مجموعة بدائل تملك نفس العمر المجدي باستخدام نظرية المجموعات الضبابية، بوصفها من أكثر الطرق استخداماً للتعامل مع عدم التأكد حيث إن المبالغ النقدية المالية المستقبلية ومعدلات الفائدة تكون غالباً مقدرة استناداً على نماذج التوقع أو تقنيات إحصائية أخرى، عُبِرَ عن تحليل نسبة منفعة –كلفة الضبابي وفق الخطوات التالية:

1. حساب $\tilde{B}/\tilde{C}$ لجميع البدائل من المعادلة (18) واستبعاد البدائل التي تملك $\tilde{B}/\tilde{C} < \tilde{1}$:

$$\frac{\tilde{B}}{\tilde{C}} = \left(\frac{\sum_{t=0}^{n} B_t^{L(\alpha)} (1+r^{R(\alpha)})^{-t}}{\sum_{t=0}^{n} C_t^{R(\alpha)} (1+r^{L(\alpha)})^{-t}}, \frac{\sum_{t=0}^{n} B_t^{R(\alpha)} (1+r^{L(\alpha)})^{-t}}{\sum_{t=0}^{n} C_t^{L(\alpha)} (1+r^{R(\alpha)})^{-t}} \right)$$ **معادلة 18**

حيث $\tilde{r} = (r^{L(\alpha)}, r^{R(\alpha)})$ معدل الفائدة الضبابي، و $\tilde{B}_t = (B_t^{L(\alpha)}, B_t^{R(\alpha)})$ منافع البديل في السنة t، و $\tilde{C}_t = (C_t^{L(\alpha)}, C_t^{R(\alpha)})$ كلف البديل في السنة t، و $\tilde{1} = (1,1,1)$، و n العمر المجدي العادي (غير ضبابي).

2. اعتبار البديل ذي الكلفة الأدنى كبديل مدافع (البديل1) والبديل التالي الأدنى من حيث الكلفة كالمتحدي (البديل2).
3. تحديد التزايد في المنافع $\Delta\tilde{B} = \tilde{B}_2 - \tilde{B}_1$ والتزايد في التكاليف $\Delta\tilde{C} = \tilde{C}_2 - \tilde{C}_1$ بين المتحدي والمدافع.

4. حساب $\Delta\tilde{B} / \Delta\tilde{C}$ من المعادلة (19)، على افتراض أنَّ القيمة الأكثر احتمالاً للتدفق النقدي في السنة t للبديل ذي كلفة الاستثمار الأولية الأدنى هي أقل من القيمة الأقل احتمالاً للتدفق النقدي في السنة t للبديل ذي كلفة الاستثمار الأولية الأدنى، إذا كان $\Delta\tilde{B} / \Delta\tilde{C} \geq \tilde{1}$، البديل المتحدي هو المفضل.

$$\frac{\Delta\tilde{B}}{\Delta\tilde{C}} = \left(\frac{\sum_{t=0}^{n}(B_{2t}^{L(\alpha)} - B_{1t}^{R(\alpha)})(1+r^{R(\alpha)})^{-t}}{\sum_{t=0}^{n}(C_{2t}^{R(\alpha)} - C_{1t}^{L(\alpha)})(1+r^{L(\alpha)})^{-t}}, \frac{\sum_{t=0}^{n}(B_{2t}^{R(\alpha)} - B_{1t}^{L(\alpha)})(1+r^{L(\alpha)})^{-t}}{\sum_{t=0}^{n}(C_{2t}^{L(\alpha)} - C_{1t}^{R(\alpha)})(1+r^{R(\alpha)})^{-t}} \right) \quad \text{معادلة 19}$$

5. كرر الخطوات 3 و 4 حتى يبقى بديل واحد. هكذا نكون قد حصلنا على البديل الأمثل.

✓ تعاملت الدراسات السابقة مع تدفقات نقدية صافية ضبابية (the fuzzy net cash flows) إما كرقم سالب على سبيل المثال (-S.P5m, -S.P10m, -S.P15m)، أو كرقم موجب مثال على ذلك (S.P15m, S.P10m, S.P5m)، من ناحية ثانية، لم توضح هذه الدراسات الطريقة التي يجب التعامل بها عندما تكون أحد أو كل التدفقات النقدية الصافية الضبابية، مثل أي بارامتر ضبابي، سالب جزئياً وموجب جزئياً، على سبيل المثال (S.P10m, S.P5m, -S.P5m)، الحالة التي ممكن أن ترتبط مع أي بديل استثماري، والأكثر أهمية الحالة التي تحتاج إلى أنموذج رياضي جديد لحلها. لذا نحن بحاجة لتقديم أنموذج رياضي جديد للتعامل مع التدفق النقدي الضبابي عندما يكون سالباً جزئياً وموجباً جزئياً.

3. مقارنة البدائل الضبابية الاستبعادية

يوجد عدة طرق لترتيب الأرقام الضبابية المثلثية الناتجة عن صيغ المعايير الاقتصادية الضبابية لإيجاد الرقم الأكثر سيطرة من ضمنها، لكنها تعطي نتائج مختلفة، كما أنَّها مملة في التطبيق إذ يتطلب تطبيقها حسابات رياضيات معقدة، طريقة التثقيل حسب (Chiu and Park, 1994) وطريقة المعايير الثلاثة (Kaufmann and Gupta, 1988) تعطي نفس الترتيب للبدائل المعتبرة، كما أنَّها سهلة حسابياً، ولا تتطلب تمثيلاً بيانياً، لذا سنقوم باستخدامهما لترتيب البدائل الاستبعادية.

طريقة المعايير الثلاثة: قدم (Kaufmann and Gupta, 1988) ثلاثة معايير لترتيب الأرقام الضبابية المثلثية ذات البارامترات (a, b, c). تحدد النتيجة تبعاً للأولوية التالي:

1. نقارن العدد العادي $\frac{a+2b+c}{4}$، 2. نقارن القيمة b، لكل رقم ضبابي، 3. نقارن المجال، c-a، لكل رقم ضبابي.

فالبديل الأفضل بين البدائل يحدد بحسب رقمه العادي، أي البديل ذي الرقم العادي الأكبر هو المفضّل.إذا تساوت الأرقام العادية، البديل ذو القيمة b الأكبر هو المفضّل. إذا امتلكت البدائل نفس الأرقام العادية ونفس القيمة b، البديل مع المجال c-a الأوسع هو المفضّل.

طريقة التثقيل: اقترح (Chiu and Park, 1994) طريقة لترتيب الأرقام الضبابية المثلثية ذات البارامترات (a, b, c) أطلق عليها طريقة التثقيل (Weighted Method)، إذ يحدد البديل الأفضل بين البدائل تبعاً للبديل الذي يملك الرقم الأكبر الناتج من المعادلة التالية:

$$\text{Weighted Fuzzy Parameter} = \frac{(a+b+c)}{3} + w\,.\,b \quad \text{معادلة 20}$$

تحدد قيمة w تبعاً لأهمية القيمة الأكثر احتمالاً (b)، إذ تؤخذ مساوية للقيمة 0.3 في حالة كون القيمة (b) مهمة، وإلا تؤخذ مساوية للقيمة 0.1.

4. العلاقات المقترحة لتقييم المشاريع الهندسية

يقدم هذا المقطع الاستنتاج العملي للأنموذج الرياضي المقترح انطلاقاً من الأساس النظري آخذين بالحسبان أنَّ معدل الفائدة الضبابي هو $\tilde{i} = (i_L,\ i_R)$، و n هي فترة تقييم المشروع، المعادلة (21) ستستخدم في المقطع الثانوي التالي. (Chen and Liou, 2006)

$$\tilde{1} \oplus \tilde{i} = (1+i_L, 1+i_R)$$
$$\left(\tilde{1} \oplus \tilde{i}\right)^n = \left((1+i_L)^n, (1+i_R)^n\right)$$

معادلة 21

4. 1. القيمة الحالية الضبابية $\tilde{PW}$ – Fuzzy Present Worth

يمكن إيجاد القيمة الحالية التقليدية PW بدلالة معدل الفائدة *i%* لسلسة من التدفقات النقدية F_K خلال مدة زمنية n بالمعادلة(22)، فإذا كانت $PW \geq 0$ فإنَّ المشروع مسوغ من الناحية الاقتصادية، وإلا فإنَّه غير مسوغ. (Sullivan *et al.*, 2003)

$$PW = \sum_{k=0}^{n} \frac{F_k}{(1+i)^k}$$

معادلة 22

استناداً إلى علاقة القيمة الحالية التقليدية PW الموضحة في المعادلة (22)، وباستخدام الحالة العامة للقسمة الضبابية المقدمة في المعادلة (5)، تَّم استنتاج علاقة القيمة الحالية الضبابية اللاخطية $\tilde{PW}$ لسلسلة من التدفقات النقدية الضبابية $\tilde{F}_K = (F_{KL},\ F_{KR})$ وباستخدام معدل فائدة ضبابي $\tilde{i}\,\%$ بوصف أنَّ $\tilde{A} = \tilde{F}_k$ و $\tilde{B} = \left(\tilde{1} \oplus \tilde{i}\right)^k$، كما يظهر في المعادلة (23):

$$\tilde{PW} = (PW_L, PW_R):$$
$$PW_L = \sum_{j=0}^{n} \left(Min\left(\frac{F_{Lj}}{(1+i_L)^j}, \frac{F_{Lj}}{(1+i_R)^j}, \frac{F_{Rj}}{(1+i_L)^j}, \frac{F_{Rj}}{(1+i_R)^j}\right) \right)$$
$$PW_R = \sum_{j=0}^{n} \left(Max\left(\frac{F_{Lj}}{(1+i_L)^j}, \frac{F_{Lj}}{(1+i_R)^j}, \frac{F_{Rj}}{(1+i_L)^j}, \frac{F_{Rj}}{(1+i_R)^j}\right) \right)$$

معادلة 23

لأجل اختيار البديل الأفضل نحن بحاجة لاختيار البديل ذي القيمة الحالية الضبابية الأكبر، يتم هذا باستخدام طريقة المعايير الثلاثة أو طريقة التثقيل والموضحة في الفقرة 3.

4. 2. القيمة المستقبلية الضبابية $\tilde{FW}$ – Fuzzy Future Worth

تحدد القيمة المستقبلية التقليدية FW بدلالة معدل الفائدة i% لسلسة من التدفقات النقدية F_K خلال مدة زمنية n وفق المعادلة (24)، فإذا كان $FW \geq 0$ يكون المشروع مبرراً من الناحية الاقتصادية، وإلا فإنّه ليس كذلك. (Sullivan *et al.*, 2003)

$$FW(i\%) = \sum_{k=0}^{n} F_k (1+i)^{n-k}$$

معادلة 24

استناداً إلى علاقة القيمة المستقبلية التقليدية FW والموضحة في المعادلة (24)، وباستخدام الحالة العامة للضرب الضبابي المقدمة في المعادلة (8)، تَّم استنتاج علاقة القيمة المستقبلية الضبابية اللاخطية $\tilde{FW}$ لسلسلة من التدفقات النقدية الضبابية $\tilde{F}_K = (F_{KL}, F_{KR})$ وباستخدام معدل فائدة ضبابي $\tilde{i}\%$ باعتبار أنَّ $\tilde{A} = \tilde{F}_k$ و $\tilde{B} = \left(\tilde{1} \oplus \tilde{i}\right)^k$، كما يظهر في المعادلة (25):

$$\tilde{FW} = (FW_L, FW_R):$$
$$FW_L = \sum_{j=0}^{N} \left(Min(F_{Lj} \times (1+i_L)^{N-j}, F_{Lj} \times (1+i_R)^{N-j}, F_{Rj} \times (1+i_L)^{N-j}, F_{Rj} \times (1+i_R)^{N-j}) \right)$$
$$FW_R = \sum_{j=0}^{N} \left(Max((F_{Lj} \times (1+i_L)^{N-j}, F_{Lj} \times (1+i_R)^{N-j}, F_{Rj} \times (1+i_L)^{N-j}, F_{Rj} \times (1+i_R)^{N-j}) \right)$$
معادلة 25

لأجل اختيار البديل الأفضل نحن بحاجة لاختيار البديل ذي القيمة المستقبلية الضبابية الأكبر، يتم هذا باستخدام طريقة المعايير الثلاثة، أو طريقة التثقيل والموضحة في الفقرة 3.

4. 3. تحليل منفعة/ كلفة الضبابي $\tilde{B}/\tilde{C}$ - Fuzzy Benefit / Cost Analysis

يمكن أن تعّرف نسبة منفعة – كلفة بأنَّها نسبة القيمة المكافئة للمنافع إلى القيمة المكافئة للتكاليف. القيمة المكافئة قد تكون القيمة الحالية، السنوية، أو المستقبلية، فإذا كانت هذه النسبة أكبر من الواحد يعني أنَّ المشروع مفيد اقتصادياً.(Sullivan et al, 2003)

تعطى **نسبة منفعة – كلفة المعدّلة التقليدية** مع القيمة الحالية، وبإدخال القيمة السوقية للاستثمار كما يلي:

$$B/C = \frac{PW(B) - PW(O\&M)}{PW(I) - PW(MV)}$$
معادلة 26

حيث: B المنافع؛ (O&M) تكاليف التشغيل والصيانة؛ I تكاليف الاستثمار؛ MV القيمة السوقية.

باتباع خطوات تحليل نسبة منفعة–كلفة التقليدية يمكن أن نستنتج نسبة منفعة–كلفة في الحالة الضبابية $\tilde{B}/\tilde{C}$ للبدائل أو الاستثمارات المقترحة، باستخدام الخطوات التالية، مفترضين أنَّ جميع البدائل تملك نفس فترة التقييم:

1. حساب القيمة الحالية الضبابية $\tilde{PW}(C)$ لتكاليف المشروع لجميع البدائل، والتي تمثل مجموع القيمة الحالية الضبابية لكلفة الاستثمار $\tilde{PW}(I)$، والقيمة الحالية الضبابية لكلف الصيانة والتشغيل $\tilde{PW}(O\&M)$، يتم حساب القيم الحالية الضبابية من المعادلة (23)، كما يظهر في المعادلة:

$$\tilde{PW}(C) = (PW(I)_L + PW(O\&M)_L, PW(I)_R + PW(O\&M)_R)$$
معادلة 27

ثم نستخدم طريقة المعايير الثلاثة أو طريقة التثقيل والموضحة في الفقرة 3، لترتيب هذه القيم الضبابية تصاعدياً.

2. نعتبر البديل ذا الكلفة الأدنى مدافعاً (البديل1)، بعدها نسبة منفعة–كلفة الضبابية $\tilde{B}/\tilde{C}$ للبديل1 باستخدام المعادلة(28):

$$\tilde{B}/\tilde{C} = \frac{\tilde{PW}(B) - \tilde{PW}(O\&M)}{\tilde{PW}(I) - \tilde{PW}(MV)}$$
معادلة 28

حيث: $\tilde{PW}(B)$ القيمة الحالية الضبابية للمنافع، و $\tilde{PW}(MV)$ القيمة الحالية الضبابية للقيمة السوقية، وتعطى $\tilde{B}$ و $\tilde{C}$ بالمعادلة (29):

$$\tilde{B}=(B_L,B_R)=(PWB_L-PW(O\&M)_R,PWB_R-PW(O\&M)_L)$$
$$\tilde{C}=(C_L,C_R)=(PW(I)_R-PW(MV)_L,PW(I)_L-PW(MV)_R)$$
معادلة 29

باستخدام المعادلة (28)، (29) و (5) نستطيع حساب نسبة منفعة–كلفة الضبابية كما يظهر في المعادلة (30).

$$\tilde{B}/\tilde{C}=\begin{pmatrix}\min\left(\frac{B_L}{C_L},\frac{B_L}{C_R},\frac{B_R}{C_L},\frac{B_R}{C_R}\right),\\ \max\left(\frac{B_L}{C_L},\frac{B_L}{C_R},\frac{B_R}{C_L},\frac{B_R}{C_R}\right)\end{pmatrix}$$
معادلة 30

3. إذا كان $\tilde{B}/\tilde{C}\geq\tilde{1}$ للبديل1، يبقى هذا البديل بديلاً مدافعاً، وننتقل إلى الخطوة4، وإلا يكون هذا البديل غير مجدٍ اقتصادياً، لذا نعتبر البديل التالي الأدنى من حيث الكلفة بديلاً مدافعاً ونكرر الخطوة2.

4. نعتبر البديل التالي الأدنى من حيث الكلفة البديل المتحدي (البديل2)، ونحسب $\Delta\tilde{B}$ و $\Delta\tilde{C}$ من المعادلة (31). حيث $\tilde{B}_2$ و $\tilde{C}_2$ تحسب من المعادلة (29) للبديل 2 ونفس الأمر للبديل 1:

$$\Delta\tilde{B}=(\tilde{B}2-\tilde{B}1)=(\Delta B_L,\Delta B_R)=(B_{2L}-B_{1R},B_{2R}-B_{1L})$$
$$\Delta\tilde{C}=(\tilde{C}2-\tilde{C}1)=(\Delta C_L,\Delta C_R)=(C_{2L}-C_{1R},C_{2R}-C_{1L})$$
معادلة 31

5. نحسب النسبة $\Delta\tilde{B}/\Delta\tilde{C}$ من المعادلة (32). إذا $\Delta\tilde{B}/\Delta\tilde{C}\geq\tilde{1}$، إذاً البديل2، المتحدي، يصبح البديل المدافع ونعود إلى الخطوة4، وإلا يبقى المدافع نفسه ونغير المتحدي في الخطوة4 ليصبح البديل التالي الأدنى من حيث الكلفة، ونكرر الخطوات4 و5 حتى يبقى بديل واحد، وهكذا إلى أن نحصل على البديل الأمثل.

$$\Delta\tilde{B}/\Delta\tilde{C}=\begin{pmatrix}\min\left(\frac{\Delta B_L}{\Delta C_L},\frac{\Delta B_L}{\Delta C_R},\frac{\Delta B_R}{\Delta C_L},\frac{\Delta B_R}{\Delta C_R}\right),\\ \max\left(\frac{\Delta B_L}{\Delta C_L},\frac{\Delta B_L}{\Delta C_R},\frac{\Delta B_R}{\Delta C_L},\frac{\Delta B_R}{\Delta C_R}\right)\end{pmatrix}:0\notin\Delta\tilde{C}=(\Delta C_L,\Delta C_R)$$
معادلة 32

مع افتراض أنَّه في الحالة الضبابية يجب أن تكون القيمة المتفائلة للمدافع أصغر من القيمة المتشائمة للمتحدي عند حساب $\Delta\tilde{C}$ لضمان عدم القسمة على صفر.

النتائج والمناقشة

التطبيق العملي–مثال تطبيقي

سيتم توضيح كيفية تطبيق العلاقات المستنتجة على مثال عددي بسيط بعرض التبسيط وتفادي التعقيد، المثال العددي التالي بسيط يوضح طريقة مساعدة الأنموذج الرياضي الجديد في دعم صانعي القرار في اختيار البديل الأفضل تحت شروط عدم التأكد. سيقارن المثال العددي طرق حساب القيمة الحالية والمستقبلية ونسبة ومنفعة– كلفة التقليدية مع الطريقة الضبابية المقترحة.

1) **المثال العددي:** شركة استشارية كبرى ترغب بالاستثمار في تقنية هندسية جديدة، يتوجب على الشركة الاختيار بين منتجين جديدين A & B، تبعاً لقيمتهما المالية الأفضل لذا هناك حاجة لتقدير القيمة الحالية والمستقبلية ونسبة منفعة–كلفة لكل منتج، يقدم الجدول (1) و (2) التدفقات النقدية لكل منتج في الحالتين العادية والضبابية، باعتبار معدل الفائدة 15%، معدل الفائدة الضبابي (12%, 15%, 18%).

جدول2: التدفقات النقدية للبدائل المقترحة ($S.P\ 10^3$)

Year	Product A	Product B
0	-10	-5
1	4	3
2	5	4.5
3	3.5	1.5
4	4.5	4

جدول1: التدفقات النقدية الضبابية للبدائل المقترحة ($S.P\ 10^3$)

Year	Product A	Product B
0	(-7,-5,-3)	(-12,-10,-8)
1	(2,3,4)	(3,4,5)
2	(4,4.5,5)	(4.5,5,5.5)
3	(1,1.5,2)	(3,3.5,4)
4	(3.5,4,4.5)	(4,4.5,5)

الحل:

لنبدأ بحساب القيمة الحالية والقيمة المستقبلية لكل بديل بحسب المعادلة (22) و(24) على التتالي، يظهر من النتائج المقدمة في الجدول(3) أن كلا المنتجين مجديان اقتصادياً لامتلاكهما قيماً حالية ومستقبلية موجبة، والبديل الأفضل هو A نتيجة امتلاكه القيم الأكبر.

جدول 3: القيمة الحالية والمستقبلية التقليدية للبدائل ($\times 10^3$)

	A	B
PW	4.28 > 0	2.13 > 0
FW	21.39 > 0	10.65 > 0

يظهر الجدول (4) كيفية حساب نسبة منفعة–كلفة، باستخدام المعادلة(26)، نلاحظ من الجدول أنَّ كلا المنتجين مجديان اقتصادياً بسبب كون نسبة منفعة–كلفة خاصتهما أكبر من الواحد، كما تظهر النتائج أنَّ ΔB/ΔC بين البديلين أصغر من الواحد، لذا البديل الأفضل هو A.

جدول4: نسبة منفعة–كلفة للمنتجين A & B

	Product A	Product B
PW (Benefits)	9.28×10^3	12.13×10^3
PW (Costs)	5×10^3	10×10^3
(PW Benefit - PW Cost) Ratio	B/C= 1.857 > 1	B/C= 1.213 > 1
(ΔPW Benefit - Δ PW Cost) Ratio	$\frac{\Delta B}{\Delta C}=\frac{(12.13-9.28)\times10^3}{(10-5)\times10^3}=0.57<1$	

تبعاً للتحليل الاقتصادي التقليدي، باستخدام القيم المحددة (crisp values) ينتج أنَّ المنتج A هو الأفضل. لكننا بحاجة لمعرفة ماذا سيحدث إذا تَّم اعتبار القيم الضبابية في التحليل الاقتصادي عوضاً عن القيم المحددة. لذلك لننتقل الآن لحساب القيمة الحالية والمستقبلية الضبابية اللاخطية، ونسبة منفعة–كلفة الضبابية. لكن أولاً سيتم استخدام المعادلة(1) لحساب التمثيل اليساري واليميني لكل التدفقات النقدية الضبابية المقدمة في الجدول(2)، وستوضع في الجدول(5) أدناه. وكذلك معدل الفائدة الضبابي $(0.03-0.03\alpha, 0.18-0.03\alpha)$ $(0.12+0,03\alpha, 0.18-0.03\alpha)$.

جدول5: التمثيل اليساري واليميني للتدفقات النقدية الضبابية ($S.P\ 10^3$)

Year	Product A	Product B
0	$(-7+2\alpha,-3-2\alpha)$	$(-12+2\alpha,-8-2\alpha)$
1	$(2+\alpha,4-\alpha)$	$(3+\alpha,5-\alpha)$
2	$(4+0.5\alpha,5-0.5\alpha)$	$(4.5+0.5\alpha,5.5-0.5\alpha)$
3	$(1+0.5\alpha,2-0.5\alpha)$	$(3+0.5\alpha,4-0.5\alpha)$
4	$(3.5+0.5\alpha,4.5-0.5\alpha)$	$(4+0.5\alpha,5-0.5\alpha)$

وبما أنَّ الهدف هو اختيار المنتج الأفضل من وجهة نظر استثمارية، فإنَّ المنتج ذا القيمة الحالية والمستقبلية الأعلى سيكون المنتج الأفضل، لكن قبل ذلك يجب اختبار فيما إذا كان كلا المنتجين مجديين اقتصادياً.

لنبدأ بحساب $\tilde{PW}$ من المعادلة(23) للمنتج A وB. المعادلة (33) و(34) توضح كيفية حساب القيم اليسارية واليمنية على التتالي، حيث تحصل على القيمة الصغرى بإعطاء α القيمة صفر في المعادلة (33)، وعلى القيمة العظمى بإعطاء α القيمة صفر في المعادلة (34)، أما القيمة الأكثر احتمالاً تحسب إما من المعادلة (33) أو من (34) بإعطاء α القيمة واحد.

$$\begin{aligned}PW_L = {} & \min\left(\frac{-7+2\alpha}{(1.12+0.03\alpha)^0},\frac{-7+2\alpha}{(1.18-0.03\alpha)^0},\frac{-3-2\alpha}{(1.12+0.03\alpha)^0},\frac{-3-2\alpha}{(1.18-0.03\alpha)^0}\right)+\\ & \min\left(\frac{2+\alpha}{(1.12+0.03\alpha)^1},\frac{2+\alpha}{(1.18-0.03\alpha)^1},\frac{4-\alpha}{(1.12+0.03\alpha)^1},\frac{4-\alpha}{(1.18-0.03\alpha)^1}\right)+\\ & \min\left(\frac{(4+0.5\alpha)}{(1.12+0.03\alpha)^2},\frac{(4+0.5\alpha)}{(1.18-0.03\alpha)^2},\frac{(5-0.5\alpha)}{(1.12+0.03\alpha)^2},\frac{(5-0.5\alpha)}{(1.18-0.03\alpha)^2}\right)+\\ & \min\left(\frac{(1+0.5\alpha)}{(1.12+0.03\alpha)^3},\frac{(1+0.5\alpha)}{(1.18-0.03\alpha)^3},\frac{(2-0.5\alpha)}{(1.12+0.03\alpha)^3},\frac{(2-0.5\alpha)}{(1.18-0.03\alpha)^3}\right)+\\ & \min\left(\frac{(3.5+0.5\alpha)}{(1.12+0.03\alpha)^4},\frac{(3.5+0.5\alpha)}{(1.18-0.03\alpha)^4},\frac{(4.5-0.5\alpha)}{(1.12+0.03\alpha)^4},\frac{(4.5-0.5\alpha)}{(1.18-0.03\alpha)^4}\right)\end{aligned}$$

معادلة 33

$$\begin{aligned}PW_R = {} & \max\left(\frac{-7+2\alpha}{(1.12+0.03\alpha)^0},\frac{-7+2\alpha}{(1.18-0.03\alpha)^0},\frac{-3-2\alpha}{(1.12+0.03\alpha)^0},\frac{-3-2\alpha}{(1.18-0.03\alpha)^0}\right)+\\ & \max\left(\frac{2+\alpha}{(1.12+0.03\alpha)^1},\frac{2+\alpha}{(1.18-0.03\alpha)^1},\frac{4-\alpha}{(1.12+0.03\alpha)^1},\frac{4-\alpha}{(1.18-0.03\alpha)^1}\right)+\\ & \max\left(\frac{(4+0.5\alpha)}{(1.12+0.03\alpha)^2},\frac{(4+0.5\alpha)}{(1.18-0.03\alpha)^2},\frac{(5-0.5\alpha)}{(1.12+0.03\alpha)^2},\frac{(5-0.5\alpha)}{(1.18-0.03\alpha)^2}\right)+\\ & \max\left(\frac{(1+0.5\alpha)}{(1.12+0.03\alpha)^3},\frac{(1+0.5\alpha)}{(1.18-0.03\alpha)^3},\frac{(2-0.5\alpha)}{(1.12+0.03\alpha)^3},\frac{(2-0.5\alpha)}{(1.18-0.03\alpha)^3}\right)+\\ & \max\left(\frac{(3.5+0.5\alpha)}{(1.12+0.03\alpha)^4},\frac{(3.5+0.5\alpha)}{(1.18-0.03\alpha)^4},\frac{(4.5-0.5\alpha)}{(1.12+0.03\alpha)^4},\frac{(4.5-0.5\alpha)}{(1.18-0.03\alpha)^4}\right)\end{aligned}$$

معادلة 34

نتائج $\tilde{PW}$ للمنتجين موضحة بالجدول (6)، لأجل اختيار البديل الأفضل نحن بحاجة لحساب $\tilde{PW}$ المثقلة، تم هذا باستخدام طريقة التثقيل والموضحة المعادلة (20). نلاحظ من النتائج أنَّ كلا المنتجين مجديان اقتصادياً لأنَّ $\tilde{PW}$ خاصتهما أكبر من الصفر والمنتج A هو الأفضل كونه يملك القيمة المثقلة الأكبر.

جدول6 : القيمة الحالية الضبابية $\tilde{PW}$ للمنتجين A & B ($S.P\ 10^3$)

	Product A	Product B
$\tilde{PW}$	$(-0.02,\ 4.28,\ 8.84)$	$(-2.34,\ 2.13,\ 6.87)$
Weighted $\tilde{PW}$	$5.654 > 0$	$2.863 > 0$

المرحلة التالية ستكون حساب $\tilde{FW}$ لكلا المنتجين من المعادلة (25)، وباتباع نفس الخطوات المتبعة لحساب $\tilde{PW}$، نحصل على الجدول (7)، نلاحظ من النتائج أنَّ كلا المنتجين مجديين اقتصادياً لأنَّ $\tilde{FW}$ المثقّلة خاصتهما أكبر من الصفر والمنتج A هو الأفضل مرة أخرى لامتلاكه القيمة الأكبر.

جدول7: القيمة المستقبلية الضبابية $\tilde{FW}$ للمنتجين A & B ($S.P\ 10^3$)

	Product A	Product B
$\tilde{FW}$	$(-1.12,\ 7.49,\ 15.67)$	$(-6.05,\ 3.73,\ 13.01)$
Weighted $\tilde{FW}$	$9.596 > 0$	$4.683 > 0$

المرحلة التالية الآن ستكون حساب نسبة منفعة–كلفة لكل من المنتجين A و B، آخذين بالحسبان أنَّه في هذا المثال ستعتبر تكاليف التشغيل والصيانة والقيمة السوقية مهملة نتيجة لنوع البدائل، باتباع الخطوات التالية:

1) حساب القيمة الحالية الضبابية $\tilde{PW}(C)$ لتكاليف كل منتج باستخدام المعادلة (23). نتائج $\tilde{PW}(C)$ تظهر في الجدول (8)، لأجل ترتيب هذه القيم الضبابية بشكل تصاعدي، تم استخدام طريقة التثقيل أي المعادلة (20).

جدول8: القيمة الحالية الضبابية $\tilde{PW}$ لكلف A & B ($S.P\ 10^3$)

	Product A	Product B
$\tilde{PW}(C)$	$(3,\ 5,\ 7)$	$(8,\ 10,\ 12)$
Weighted $\tilde{PW}(C)$	6.5	13

2) نعتبر البديل A هو المدافع بوصفه البديل ذا الكلفة الأدنى كما يظهر في الجدول (8)، بعدها نحسب نسبة منفعة–كلفة الضبابية $\tilde{B}/\tilde{C}$ للمدافع باستخدام المعادلة (29) و(30)، من المعادلة (29) نحصل على القيمة الحالية الضبابية للعائدات والكلف.

$\tilde{B}_A = (6.98,\ 9.29,\ 11.84)\times 10^3$ $\qquad$ $\tilde{C}_A = (3,\ 5,\ 7)\times 10^3$

$\tilde{B}_A = (6.98+2.30\alpha,\ 11.84-2.56\alpha)\times 10^3$ $\qquad$ $\tilde{C}_A = (3+2\alpha,\ 7-2\alpha)\times 10^3$

باستخدام المعادلة (30) نحسب نسبة منفعة–كلفة كما يظهر في المعادلة (35).

$$\tilde{B}_A/\tilde{C}_A = \left(\begin{array}{l} \min\left(\dfrac{6.98+2.30\alpha}{3+2\alpha}, \dfrac{6.98+2.30\alpha}{7-2\alpha}, \dfrac{11.84-2.56\alpha}{3+2\alpha}, \dfrac{11.84-2.56\alpha}{7-2\alpha}\right), \\ \max\left(\dfrac{6.98+2.30\alpha}{3+2\alpha}, \dfrac{6.98+2.30\alpha}{7-2\alpha}, \dfrac{11.84-2.56\alpha}{3+2\alpha}, \dfrac{11.84-2.56\alpha}{7-2\alpha}\right) \end{array} \right) \qquad \text{معادلة 35}$$

ستكون النتيجة $\tilde{B}_A / \tilde{C}_A = (0.997,\ 1.857,\ 3.947)$.

3) تتم مقارنة نسبة منفعة–كلفة للبديل A مع $\tilde{1}$ باستخدام طريقة التثقيل، أي المعادلة (20)، للتحقق من جدوى هذا البديل الاقتصادية. كما يظهر في المعادلة (36).

$$\left.\begin{array}{l} \tilde{B}_A / \tilde{C}_A = 2.824, \\ \tilde{1} = (1,\ 1,\ ,1), \\ \dfrac{(a+b+c)}{3} + wb = 1.3 \end{array}\right\} \Rightarrow \tilde{B}_A / \tilde{C}_A > \tilde{1}$$ **معادلة 36**

4) حساب $\tilde{B}_B$ و $\tilde{C}_B$ من المعادلة (29) كما يظهر أدناه:

$\tilde{B}_B = (9.66,\ 12.13,\ 14.87)\times 10^3$ $\qquad$ $\tilde{C}_B = (8,\ 10,\ 12)\times 10^3$

$\tilde{B}_B = (9.66 + 2.47\alpha,\ 14.87 - 2.74\alpha)\times 10^3$ $\qquad$ $\tilde{C}_B = (8 + 2\alpha,\ 12 - 2\alpha)\times 10^3$

حساب $\Delta\tilde{B}$ و $\Delta\tilde{C}$ من المعادلة (31) كما يظهر في المعادلة (37):

$$\Delta\tilde{B} = \tilde{B}_B - \tilde{B}_A = (-2.178 + 5.026\alpha,\ 7.892 - 5.044\alpha)\times 10^3$$
$$\Delta\tilde{C} = \tilde{C}_B - \tilde{C}_A = (1 + 4\alpha,\ 9 - 4\alpha)\times 10^3$$ **معادلة 37**

5) حساب $\Delta\tilde{B} / \Delta\tilde{C}$ من المعادلة (32).

$$\Delta\tilde{B} / \Delta\tilde{C} = \left(\begin{array}{l} \min\left(\dfrac{-2.178 + 5.026\alpha}{1 + 4\alpha}, \dfrac{-2.178 + 5.026\alpha}{9 - 4\alpha}, \dfrac{7.892 - 5.044\alpha}{1 + 4\alpha}, \dfrac{7.892 - 5.044\alpha}{9 - 4\alpha} \right), \\ \max\left(\dfrac{-2.178 + 5.026\alpha}{1 + 4\alpha}, \dfrac{-2.178 + 5.026\alpha}{9 - 4\alpha}, \dfrac{7.892 - 5.044\alpha}{1 + 4\alpha}, \dfrac{7.892 - 5.044\alpha}{9 - 4\alpha} \right) \end{array} \right)$$ **معادلة 38**

ستكون النتيجة $\Delta\tilde{B} / \Delta\tilde{C} = (-2.178,\ 0.57,\ 7.892)$. نحسب $\Delta\tilde{B} / \Delta\tilde{C}$ المثقلة ونقارنها مع $\tilde{1}$، كما يظهر في المعادلة (39).

$$\left.\begin{array}{l} \Delta\tilde{B} / \Delta\tilde{C} = 2.265, \\ \tilde{1} = (1,\ 1,\ ,1), \\ \dfrac{(a+b+c)}{3} + wb = 1.3 \end{array}\right\} \Rightarrow \Delta\tilde{B} / \Delta\tilde{C} > \tilde{1}$$ **معادلة 39**

تظهر نسبة منفعة–كلفة أنَّ البديل B هو البديل الأفضل، بسبب أنَّ $\Delta\tilde{B} / \Delta\tilde{C}$ المثقلة بين البديلين A و B أكبر من الواحد، كما يبدو في المعادلة (39). هذه النتيجة مخالفة لما حصلنا عليه من طريقة القيمة الحالية الضبابية والمستقبلية الضبابية، والتي نتج عنهما أنَّ البديل A هو الأفضل، وهذا ما يتشابه مع النتائج الحاصلة من جميع المعايير الاقتصادية التقليدية، التي تستخدم قيم العائدات والكلف المحددة (العادية).

3. مقارنة النتائج:

باستخدام التحليل الاقتصادي التقليدي، أظهرت القيمة الحالية والمستقبلية ونسبة منفعة–كلفة، للبديلين A وB أنهما مجديان اقتصادياً. وأنَّ البديل A بدون شك هو الأفضل. من ناحية أخرى، عند تطبيق التحليل الضبابي بعض المعايير الاقتصادية أظهرت أنَّ البديل A هو الأفضل وبعضهم الآخر أظهر أنَّ البديل B هو الأفضل.

هذا وتعتبر هذه النتائج بعيداً كل البعد عن التناقض، حيث إنَّ الكلف والعائدات المقدرة تتضمن بطبيعتها مقداراً من عدم التأكد، نتيجة لذلك فإنَّ القرار المتخذ حول البديل الأمثل سيكون محاطاً أيضاً بعدم التأكد. على آخذي القرار في هذه الحالة أخذ أحد السيناريوهين التاليين بالحسبان: إما الطلب من الجهات الدارسة القيام بمزيد من التحليل لمصادر عدم التأكد؛ أو اتخاذ القرار استناداً إلى معيار اقتصادي محدد. في حالة السيناريو الأول والذي يعتبر غير ممكن في معظم الحالات نتيجة ضيق الوقت وقلة الخبرات والموارد البشرية، هنا ينصح باستخدام الرقم الضبابي حيث إن نسبة عدم التأكد تتناسب طرداً مع كبر مجال هذا الرقم وعندها يمكن التغلب على ظاهرة غير الموضوعية المتضمنة في كل قرار متخذ نتيجة النظرة الذاتية لآخذ القرار. إضافة إلى لفت نظر آخذ القرار إلى الأخطار المرافقة لقرار اختيار البديل الأمثل. أما في السيناريو الثاني فيكون للنظرة الذاتية لآخذ القرار تأثير أقل على القرار المتخذ حيث القرار سيبنى إما على القيمة الحالية والمستقبلية للبديل عندها سيكون A هو المفضَّل، وإما على نسبة منفعة–كلفة للبديل عندها سيكون B المفضَّل. في كلا الحالتين على آخذي القرار الابتعاد عن نظرتهم الذاتية غير الموضوعية عند اعتبار الأخطار المرتبطة مع بديلهم الأمثل.

هدف المنهجية المقترحة الإشارة إلى حساسية القرار المتخذ تجاه أي تغيير في الكلف والعائدات المقدرة إضافة إلى لفت نظر القارئ إلى تأثير نظرة آخذ القرار الذاتية، وغير الموضوعية في بعض الأحيان، على القرار المتخذ. لذا نقترح بأخذ الرقم الضبابي بالحسبان عند عملية اتخاذ القرار بالاستثمار وخاصة عند الإعلان عن المشروع للمستثمرين بهدف الحصول على التمويل، وبالتالي إعلام الجهة الممولة عن مجال الكلف والعائدات. وأيضاً للإحاطة قدر الإمكان بالأخطار الناجمة عن سوء تقدير كلف البناء وعائدات الاستثمارات للمشاريع الهندسية، والذي قد يؤدي إلى اختيار بديل ليس الأفضل في ظروف عدم التأكد، وتصبح دراسات الجدوى الاقتصادية ضعيفة الجدوى.

الاستنتاجات والتوصيات:

1. اعتماد المنهجية المتبعة في البحث، والتي تقلل من الخطأ المرتكب في تقدير الكلف والعائدات بتحويل بارامترات الجدوى الاقتصادية من قيمة وحيدة إلى مجال من القيم، لدعم قرار اختيار المشروع الأمثل، وتبيان مدى صواب القرار المتخذ.
2. تعتبر كلف وعائدات المشاريع الهندسية مُحاطة بعدم التأكد، وللسماح بتقديم صحيح لعدم التأكد مهما كانت المنهجية المتبعة في معالجته، نوصي بأن تَتبنّى المؤسسات الحكومية مفهوم مجال القيم بدلاً من القيمة الوحيدة لكل بارامتر مقدّر؛ أي لكل بارامتر ثلاثة مستويات متشائم (pessimistic)، الأكثر احتمالاً (Most Promising)، والمتفائل (optimistic)، وأن يكون لهذا المفهوم الحضورُ في كُلّ ميزانية مُخَمَّنة.
3. إمكانية تطبيق العلاقات المستنتجة على كافة أنواع المشاريع الهندسية، إذ لا يوجد شروط لتطبيقها على نوع محدد من المشاريع.

المراجع:

[1] ABDEL-KADER, M.; DUGDALE, D. *Evaluating Investments in Advanced Manufacturing Technology: A Fuzzy Set Theory Approach*. British Accounting Review, December, Vol. 33, No. 4, 2001, 455-489. 20/08/2009, Definitive version available Online at: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/08908389>

[2] BOJADZIEV, G.; BOJADZIEV, M. *Fuzzy Logic Applications for Business, Finance and Management.* World Scientific Publishing, Singapore, 1997, 375.

[3] BUCKLEY, J. U. *The Fuzzy Mathematics of Finance*. Fuzzy Sets and Systems, Vol. 21, 1987, 257–273.

[4] CHEN, C. W., LIOU, T. S. *Evaluation and Analysis of Investment Alternatives with Different Economic Lives Using Fuzzy Logic*, Journal of Interdisciplinary Mathematics, Taru Publications, 9, 1, 2006, 77-97, 15/08/2010 Available from: <http://www.tarupublications.com/journals/jim/FullText/JIM-2006/JIM-9-1-2006/jim102.pdf.>

[5] CHIU, C.; PARK, C. *Fuzzy Cash Flow Analysis Using Present Worth Criterion*. The Engineering Economist, Vol. 39, No.2; Winter 1994, 113-138.

[6] FLYVBJERG, B. *From Nobel Prize to Project Management: Getting Risks Right*. Project Management Journal, Vol. 37, No. 3, August 2006, 5-15. Available at <http://flyvbjerg.plan.aau.dk/pub.htm> Accessed on 25/9/ 2009.

[7] FLYVBJERG, B.; GLENTING, C.; RONNEST, A. K. *Procedures for Dealing with Optimism Bias in Transport Planning: Guidance Document*. London, UK Department for Transport, June 2004, 38-41. Available at <http://flyvbjerg.plan.aau.dk/pub.htm> Accessed on 25/9/2009.

[8] KAHRAMAN, C.; RUAN, D.; TOLGA, E. *Capital Budgeting Techniques Using Discounted Fuzzy Versus Probabilistic Cash Flows*. Information Sciences, Vol. 142, 2002, 57–76, 15/08/2010. Available from: <http://sedok.narod.ru/s_files/poland/35.pdf>

[9] KAHRAMAN, C.; TOLGA, E.; ULUKAN, Z. *Justification of Manufacturing Technologies Using Fuzzy Benefit/Cost Ratio Analysis*. International Journal of Production Economics, Vol. 66, 2000, 45-52.

[10] KAUFMANN, A.; GUPTA, M.M. *Fuzzy Mathematical Models in Engineering and Management Science*. Elsevier Science Publishers BV, Amsterdam, 1988, 19-35; 159-165.

[11] KUCHTA, D. *Fuzzy Capital Budgeting*. Fuzzy Sets and Systems, Vol. 111, No. 3, 2000, 367–385.

[12] LORTERAPONG, P.; MOSELHI, O. *Project Network Analysis Using Fuzzy Sets Theory*. Construction Engineering and Management, Vol. 122, No. 4, 1996, 308-318.

[13] SULLIVAN,W. G.; WICKS, M.E.; LUXHOJ, T. J. *Engineering Economy*. 12nd. ed., Prentice-Hall, New Jersey, 2003, Chapter4:148-196.

[14] ULUKAN, Z.; UCUNCUOGLU, C. *Economic Analysis for the Evaluation of IS Projects*. Journal of Information Systems and Technology Management, Vol. 7, No. 2, 2010, 233-260, 15/08/2010 Available from: <http://www.scielo.br/pdf/jistm/v7n2/01.pdf>.

[15] WARD, T. L. *Fuzzy Discounted Cash Flow Analysis. In Applications of Fuzzy Set Methodologies in Industrial Engineering.* EVAN, G.; KARWOWSKI, W.; WILHELM, M. (eds), Applications of Fuzzy Set Methodologies in Industrial Engineering, Elsevier, Amsterdam, 1989, 91-102.

[16] ZADEH, A. L. *Fuzzy Sets*. In Klir, G. and Yuan, B. (Ed), Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy System (Issues in Advances In Fuzzy Systems- Applications And Theory), Singapore, NJ and London: World Scientific Publishing Co Pte Ltd. 1996, 125-151.

[17] ZIMMERMANN, H.-J. *Fuzzy Sets, Decision Making and Expert System*. Kluwer Academic Publishers, (1993), Boston, USA, 1934. 270.