

أسلوب تحليل مغلف البيانات الضبابي (FDEA) بين النظري والتطبيقي
Fuzzy Data Envelopment Analysis (FDEA) between theory and
practice

الطبيبي عبد الله¹، شر محمد موفق²*

¹ جامعة أحمد درايعة-ادرار (الجزائر)، tay.abdallah@univ-adrar.edu.dz

² جامعة قطر، blutfi@qu.edu.qa

تاريخ التسليم: 2022/11/10 تاريخ التقييم: 2022/11/11 تاريخ القبول: 2022/12/27

Abstract

الملخص

This study aims to shed light on a very advanced method, which is the fuzzy data envelopment analysis method that integrates fuzzy logic with the traditional data envelopment analysis method, by addressing the theoretical grounding and application thereof.

The most important results are that the models of the data fuzzy envelope analysis method allow to measure the efficiency in a fuzzy environment, which is the closest to the practical reality, in using one of the approaches proposed in this method, the most important of which is The α -level based approach is based on transforming the fuzzy data envelopment analysis model to a pair of parametric programming problems using alpha cuts, which can be solved by relying on the "deaR" statistical package in the R program, and despite using fuzzy numbers in estimation; the end results are more accurate and reliable.

Keywords : Fuzzy Logic, Data Envelopment Analysis, Fuzzy Data Envelopment Analysis, The α -level based approach, R.

تهدف هذه الدراسة إلى تسليط الضوء على أسلوب متطور جداً، وهو أسلوب تحليل مغلف البيانات الضبابي الذي يدمج المنطق الضبابي في أسلوب تحليل مغلف البيانات التقليدي، من خلال التطرق إلى التأصيل النظري والتطبيق له. تتمثل أهم النتائج المتوصل إليها في أن نماذج أسلوب تحليل مغلف البيانات الضبابي تسمح بقياس الكفاءة في ظل بيئة تتسم بالضبابية وهو الأقرب للواقع العملي، باستخدام أحد المناهج المقترحة ضمن هذا الأسلوب، والتي من أهمها النهج القائم على مستوى ألفا الذي يقوم على تحويل نموذج تحليل مغلف البيانات الضبابي إلى زوج من مشاكل البرمجة المعلمية باستخدام قطع ألفا، التي يمكن حلها بالاعتماد على الحزمة الإحصائية "deaR" في برنامج آر (R)، كما أنه على الرغم من استخدام الأرقام الضبابية في التقدير تكون النتائج النهائية أكثر دقة وموثوقة.

الكلمات المفتاحية: المنطق الضبابي، تحليل مغلف البيانات، تحليل مغلف البيانات الضبابي، النهج القائم على مستوى ألفا ، آر.

*المؤلف المراسل

1. مقدمة:

أن المنافسة الشرسة التي تعرفها الحياة الاقتصادية في مختلف المجالات الصناعية والتجارية، وكذا الندرة النسبية للموارد تفرض على كل الوحدات الاقتصادية البحث المستمر عن تحسين كفاءة أدائها حتى تضمن الاستمرار والبقاء، ويقصد بالكفاءة من الناحية الاقتصادية مدى القدرة على التخصيص أو الاستغلال الأمثل للموارد المتاحة، وهو مستمد حسب النظرية الاقتصادية الجزئية من التعريف الذي قدمه باريتو "Pareto" للكفاءة أو ما يعرف بكفاءة باريتو، الذي حسب لا يمكن زيادة منفعة فرد دون نقص منفعة فرد آخر عن طريق إعادة تخصيص الموارد المتاحة، ثم قام كويمنس "Koopmans" بتطوير هذا المفهوم لكي يتم تطبيقه على المخرجات (المنتج النهائي)، حسب هذا الأخير لا يمكن تحسين أي من المخرجات إذا كان هذا سيؤثر سلباً على أحد المخرجات الأخرى، ليستمر هذا التطوير إلى أن تم التوصل إلى تعريف يدمج المفهومين السابقين، وهو ما يعني أنه لا يمكن تحقيق الكفاءة إلا إذا وفقط إذا كان من غير الممكن تحسين أحد المدخلات أو المخرجات، بدون حدوث تدهور في أحد المدخلات أو المخرجات الأخرى. فيما يبدأ التاريخ الحديث لقياس الكفاءة مع أعمال فاريل (Farrell, 1957)، الذي حدد مقياس بسيط لكفاءة الوحدة الذي يمكن أن يفسر مدخلات متعددة.

أن قياس الكفاءة يعتمد على المقارنة المرجعية (Benchmarking)، التي تسمح بخلق إطار لتحليل كفاءة الوحدات، من خلال تحديد الحدود الكفوءة، التي يتم تشكيلها بناءً على أفضل الممارسات (Best Practice) الموجودة داخل نفس الصناعة أو القطاع، على افتراض أن الشركات تسعى إلى تدنية مدخلاتها (الموارد) و/أو تعظيم مخرجاتها (المنتجات والخدمات)، ويتم تقدير ذلك باستخدام الطرق الكمية الحديثة نسبياً، التي من أهمها النهج اللامعلمي القائم على البرمجة الرياضية، لما له من إيجابيات في تقدير كفاءة وحدات اتخاذ القرار (DMUs)، وكذلك تطور نماذجه باستمرار، وأبرز طريقة ضمن هذا النهج هي أسلوب تحليل مغلف البيانات (DEA)، وهو تقنية كمية اقترحت من قبل كل من Cooper، Charnes و Rhodes سنة 1978، يعتمد على البرمجة الخطية لقياس الكفاءة النسبية لمجموعة من الوحدات المتجانسة، بالاعتماد على بيانات مدخلات متعددة ومخرجات متعددة، إلا أنه في الواقع الحقيقي توجد بعض الحالات تكون فيها بيانات المدخلات والمخرجات غير واضحة أو غير دقيقة (ضبابية)؛ لذا من أجل التغلب على هذه المشكلة تم تطوير أسلوب تحليل مغلف البيانات الضبابي (Fuzzy DEA) الذي يسمح بدمج المنطق الضبابي (Fuzzy Logic) في أسلوب تحليل مغلف البيانات (DEA)، مما يسمح بقياس

الكفاءة في ظل بيئة تتسم بالضبابية، وذلك بالاعتماد على المجموعات الضبابية أو الأرقام الضبابية.

إشكالية الدراسة:

- استناداً إلى ما سبق تتبلور لنا إشكالية هذه الدراسة في السؤال الرئيسي التالي:
- كيف يمكن تقدير الكفاءة باستخدام أسلوب تحليل مغلف البيانات الضبابي (FDEA)؟
- ومن أجل الإجابة على الإشكالية المطروحة، يمكن طرح الفرضيات التالية:
- يعتبر أسلوب تحليل مغلف البيانات الضبابي ملائم جداً لتقييم الكفاءة، خاصة إذا كانت البيانات ضبابية.
 - على الرغم من أن نماذج أسلوب تحليل مغلف البيانات الضبابي تستخدم لقياس الكفاءة في بيئة تتسم بالضبابية، إلا أن النتائج أكثر دقة وموثوقة.

أهداف البحث:

- نهدف من خلال هذه الورقة البحثية إلى:
- التأصيل النظري لأسلوب تحليل مغلف البيانات الضبابي (FDEA)؛
 - التأصيل التطبيقي لأحد طرق أسلوب تحليل مغلف البيانات الضبابي (FDEA) الأكثر استخداماً، وهي النهج القائم على مستوى ألفا (The α -level based approach).

منهج البحث:

اعتمدت الورقة البحثية المنهج الوصفي من أجل الإلمام والإحاطة بمختلف جوانب أسلوب تحليل مغلف البيانات الضبابي (FDEA)، بالإضافة إلى دراسة حالة من أجل التطرق إلى كيفية تطبيق أسلوب تحليل مغلف البيانات الضبابي (FDEA) من الناحية العملية.

2. مفهوم أسلوب تحليل مغلف البيانات الضبابي (FDEA)

1.2 المنطق الضبابي:

نظراً لقصور المنطق الكلاسيكي في مواجهة الغموض والضبابية التي تحيط بالتفكير الإنساني، وهذا نتيجة اللاحقين (Uncertainty) الذي يتبلور عندما يستخدم الإنسان بعض الألفاظ والأحكام الغامضة (من الممكن، من المحتمل، إلى حد ما، تقريباً، ... وغيرها)، ظهرت الحاجة إلى منطق يتيح إمكانية التحقق المتدرج من الصفر إلى الواحد (0 إلى 1)، لذا اقترح العالم الأذربيجاني

الأصل "لطف زاده" (Zadeh, 1965) المنطق الضبابي (Fuzzy Logic)، كما أنه يعرف بعدة تسميات منها المنطق الغامض، المنطق العائم وغيرها في ورقة بحثية تحت عنوان "Fuzzy Sets". يعرف المنطق الضبابي بمعناه الواسع على أربعة جوانب رئيسية وهي: أولاً الوجه المنطقي (المنطق الضبابي بمعناه الضيق)، حسب هذا الوجه هو نظام منطقي يقوم على أساس التفكير التقريبي، ثانياً الوجه التوفيقي، حيث يركز على نظرية المجموعات التي لها حدود غير واضحة (المجموعات الضبابية والرياضيات الضبابية) بدلاً من القضايا التي تتعلق بالاستدلال المنطقي، ثالثاً وجه العلاقات (العلائقي) حيث يهتم بشكل رئيسي بالمتغيرات اللغوية، حساب التفاضل والتكامل لقواعد الشرط الضبابية (if-then) والعلاقات الضبابية وهو الجانب الذي يكمن وراء جميع تطبيقات المنطق الضبابي تقريباً في التحكم وتحليل القرار والأنظمة الصناعية والمنتجات الاستهلاكية، أما رابعاً فهو الوجه المعرفي الذي يركز على المعرفة، المعنى والمعلومات غير الدقيقة (النظرية الاحتمالية). (Shapiro, 2004)

كما يعتمد المنطق الضبابي على نظرية المجموعات الضبابية، والتي هي تعميم لنظرية المجموعة الكلاسيكية، أي أن نظرية المجموعة الكلاسيكية هي حالة خاصة لنظرية المجموعات الضبابية (نظرية المجموعات الكلاسيكية هي مجموعة فرعية من نظرية المجموعات الضبابية)، (Dernoncourt, 2013, p. 05) وهو يستخدم نتيجة عدم اليقين بسبب العشوائية وعدم الدقة، حيث إنه في أحيان كثيرة تكون الأشياء غير قابلة للتصنيف الدقيق الذي يستخدم في المجموعات الكلاسيكية (نعم أو لا)؛ لذا طرح لطف زاده مفهوم نظرية المجموعات الضبابية التي لديها القدرة على التعامل مع المتغيرات اللغوية وغير الدقيقة، وهذا النوع من المتغيرات موجود بكثرة في الواقع العملي، حسب هذه النظرية يتم وصف درجة انتماء أي عنصر لمجموعة ضبابية بالاعتماد على دالة العضوية، وتقوم نظرية المجموعات الضبابية على عنصرين أساسيين هما: المجموعة الضبابية (Fuzzy set) ودالة العضوية أو الانتماء (Membership function).

2.2 تحليل مغلف البيانات

يعتبر أسلوب تحليل مغلف البيانات (DEA) الأكثر استخداماً لقياس كفاءة وحدات اتخاذ القرار (DMUs)، وهذا راجع لمرونة هذا الأسلوب الذي لا يقوم على افتراضات مسبقة، وهو طريقة اللامعلمية تعتمد على البرمجة الخطية في التقدير وبيانات عدد من المدخلات والمخرجات المختلفة، وتعود الجذور الفكرية لأسلوب تحليل مغلف البيانات في الاقتصاد إلى خمسينيات القرن العشرين، حيث إنه بعد الحرب العالمية الثانية أصبحت البرمجة الخطية (Linear programming) أداة قوية للتحليل الاقتصادي (Charles & Kumar, 2012, p. 03). وبناءً على أفكار (Farrell ,

(1957) الذي اعتمد على عمل Koopmans و Debreu سنة 1951 اقترح (Charnes, Cooper, & Rhodes, 1978) أسلوب تحليل مغلف البيانات (Data Envelopment Analysis) في دراستهم التي تهدف إلى قياس كفاءة وحدات اتخاذ القرار.

يعرف تحليل مغلف البيانات بأنه أسلوب يستخدم البرمجة الخطية لتحديد الكفاءة النسبية بين مجموعة من وحدات اتخاذ القرار المتجانسة، والتي تستخدم عددا من المدخلات للحصول على عدد من المخرجات، حيث يقوم مغلف البيانات ببناء نسبة واحدة من خلال قسمة مجموع المخرجات على مجموع المدخلات لكل وحدة، ثم مقارنة هذه النسبة مع الوحدات الأخرى، والوحدة التي تحصل على أفضل نسبة تمثل حدود الكفاءة، وتقاس درجة عدم الكفاءة للوحدات الأخرى بناء على حدود الكفاءة باستعمال الطرق الرياضية، وتكون درجة الكفاءة محصورة بين "1" الذي يمثل الكفاءة التامة، و"0" الذي يمثل عدم الكفاءة، أما القيم بين "1" و"0" تمثل المستويات المختلفة للكفاءة. ويتميز تحليل مغلف البيانات بعدم حاجته لتحديد صريح لدالة الإنتاج، والقدرة على دمج العديد من المدخلات و المخرجات دون اشتراط نفس المقياس المستعمل، أما ما يعاب عليه هو افتراض عدم وجود خطأ في القياس عند بناء الحدود، وبالتالي أي انحراف عن الحدود يعزى إلى عدم الكفاءة دون غيرها من العوامل. (آمنة و محمد البشير ، 2019، صفحة 403)

3.2 تحليل مغلف البيانات الضبابي

إن أسلوب تحليل مغلف البيانات (DEA) التقليدي يقتصر فقط على البيانات الدقيقة والواضحة للمدخلات والمخرجات المستخدمة في قياس الكفاءة النسبية للوحدات (DMUs)، إلا أنه في الواقع الحقيقي عند حل المشاكل في الغالب تكون البيئة غير دقيقة أو ضبابية، بسبب وجود بيانات غير دقيقة أو ضبابية نتيجة لمعلومات غير قابلة للقياس الكمي و/أو غير مكتملة و/أو غير ممكن الحصول عليها، ويتم التعبير عن هذا النوع من البيانات في الغالب بمجالات زمنية محدودة أو بيانات ترتيبية أو أرقام ضبابية؛ لذا تم اقتراح نماذج تدمج المنطق الضبابي مع أسلوب تحليل مغلف البيانات تدعى "نماذج تحليل مغلف البيانات الضبابي (FDEA)" من أجل التعامل مع المواقف التي تكون فيها بعض بيانات المدخلات و/أو المخرجات غير دقيقة أو ضبابية (Emrouznejad, Tavana, & Hatami-Marbini, 2014, p. 04). تُستخدم نماذج تحليل مغلف البيانات الضبابي لقياس درجات الكفاءة لمجموعة من الوحدات (DMUs) المتجانسة من أجل تقييم أدائها في ظل بيئة ضبابية.

يعتبر (Sengupta J., 1992) أول من أدخل نهج البرمجة الرياضية الضبابية في نماذج تحليل مغلف البيانات التقليدية، من خلال استخدام قيود ودالة هدف غير واضحة، مع وجوب معرفة

مستويات التسامح (Levels of tolerance) القصوى لانتهاكات كل قيد ودالة هدف، وهو أمر لا يكون عملياً في كثير من الأحيان (Saati, Memariani, & Jahanshahloo, 2002, p. 255)؛ لذا كان هناك تطوير مستمر لتحليل مغلف البيانات الضبابي (FDEA)، من خلال اقتراح عدة طرق ونماذج مختلفة من طرف عدة باحثين؛ أدت إلى ظهور العديد من النماذج المختلفة ضمن أسلوب تحليل مغلف البيانات الضبابي، مصنفة إلى أربع مناهج رئيسية، النهج الأول يتمثل في نهج التسامح الذي يقوم على فكرة رئيسية تتمثل في دمج عدم اليقين في أسلوب تحليل مغلف البيانات من خلال تضبيب دالة الهدف والقيود بالاعتماد على البرمجة الخطية الضبابية، مما يسمح بتحديد حدود الكفاءة الاحتمالية (BASKAYA & AVCI ÖZTÜRK, 2012, p. 178)، أما الثاني فيتمثل في النهج القائم على مستوى ألفا الذي تقوم فكرته الرئيسية على تحويل نموذج تحليل مغلف البيانات الضبابي (FDEA) إلى زوج من مشاكل البرمجة المعلمية (Parametric programming) باستخدام قطع ألفا (α cuts) مما يسمح بتحديد الحدود الدنيا (Lower) والعليا (Upper) لمجال الكفاءة للوحدة المدروسة عند مستوى معين يمكن استخدامه لبناء الكفاءة الضبابية المقابلة (Lotfi F. , Ebrahimnejad, Vaez-Ghasemi, & Moghaddas, 2020, p. 164)، بينما يتمثل الثالث في نهج الترتيب الضبابي الذي يقوم بتحديد درجات الكفاءة الضبابية للوحدات بالاعتماد على البرمجة الخطية الضبابية (Fuzzy Linear Programs) التي تتطلب ترتيب المجموعة الضبابية (Emrouznejad, Tavana, & Hatami-Marbini, 2014, p. 19)، فيما يتمثل الرابع في نهج الاحتمال الذي تتمثل فكرته الرئيسية في اعتبار المعاملات الضبابية متغيرات ضبابية والقيود الضبابية كأحداث ضبابية وذلك بالاعتماد على نظرية الاحتمال (Lotfi F. , Ebrahimnejad, Vaez-Ghasemi, & Moghaddas, 2020, p. 164)، إلا أن أكثر النماذج استخداماً تنضوي ضمن النهج القائم على مستوى ألفا.

3. تطبيق تحليل مغلف البيانات الضبابي

تسعى هذه الورقة البحثية إلى شرح أسلوب كمي متقدم وأكثر دقة، متمثل في نماذج تحليل مغلف البيانات الضبابي (FDEA)، الذي يسمح بضم نماذجين رياضيين في نموذج واحد، وحتى يتسنى للورقة توضيحه وتبسيط طريقة تطبيقه فإن هذه الورقة تستخدم بيانات دراسة (Kao C. & Liu, 2003, p. 151) التي تضم بيانات 24 مكتبة جامعية في تايوان، حيث يتم معالجة القيم المفقودة باستخدام الأرقام الضبابية. ومن أجل حل النموذج المحدد تستخدم الورقة الحزمة الإحصائية

"deaR" ضمن برنامج أر (R)، ويعتبر هذا الأخير بيئةً برمجية مجانية للحوسبة والرسومات الإحصائية يتيح مجموعة متنوعة من الأساليب الإحصائية.

1.3 النهج القائم على مستوى ألفا (The α -level based approach):

يقوم هذا النهج على فكرة رئيسة تتمثل في تحويل نموذج تحليل مغلف البيانات الضبابي (FDEA) إلى زوج من مشاكل البرمجة المعلمية باستخدام قطع ألفا (α cuts)، تسمح هذه التقنية بتحديد الحدود الدنيا (Lower) والعليا (Upper) لمجال الكفاءة للوحدة المدروسة عند مستوى معين يمكن استخدامه لبناء الكفاءة الضبابية المقابلة (Lotfi F. , Ebrahimnejad, Vaez- Ghasemi, & Moghaddas, 2020, p. 164). ويعتبر هذا النهج الأكثر استخداماً في الأوراق البحثية المنشورة حول أسلوب تحليل مغلف البيانات الضبابي (FDEA) (Hatami-Marbini, Emrouznejad, & Tavana, 2011, p. 464). من بين أهم النماذج ضمن هذا النهج نجد نموذج Liu و Kao .

الفكرة الأساسية للنموذج المقترح من قبل Liu و Kao هي تطبيق النهج القائم على مستوى ألفا (α -cuts) ومبدأ توسيع زاده (Zadeh L., 1978) لتحويل نموذج تحليل مغلف البيانات الضبابي (FDEA) إلى زوج من نماذج تحليل مغلف البيانات التقليدية (DEA)، كما طوروا حلاً لقياس كفاءة الوحدات (DMUs) بملاحظات ضبابية في نموذج عوائد الحجم المتغيرة (BCC)، حيث قاموا بتحويل نموذج تحليل مغلف البيانات الضبابي إلى زوج من البرامج الرياضية واستخدموا طريقة ترتيب الأرقام الضبابية التي اقترحها Chen و Klein سنة 1997 للحصول على مقياس لأداء الوحدة. (Hatami-Marbini, Emrouznejad, & Tavana, 2011, p. 460)

2.3 الصيغة الرياضية لنموذج Liu و Kao:

نفترض أن مجموعة من الوحدات (DMUs) تتميز بمدخلات $\tilde{x}_{ij}$ ومخرجات $\tilde{y}_{rj}$ ضبابية، يمكن تمثيلها بأرقام ضبابية محدبة مع دالة عضوية $\mu_{\tilde{x}_{ij}}$ و $\mu_{\tilde{y}_{rj}}$ على التوالي، في البيئة الضبابية يصبح نموذج عوائد الحجم المتغيرة (BCC) كما يلي: (Kao C. & Liu, 2003, p. 146)

$$\tilde{E}_p = \max \frac{\sum_{r=1}^s u_r \tilde{y}_{rp}}{\sum_{i=1}^m v_i \tilde{x}_{ip} + v_0} \quad (01)$$

بشرط:

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r \tilde{y}_{rp}}{\sum_{i=1}^m v_i \tilde{x}_{ip} + v_0} \leq 1, \quad j = 1, 2, \dots, n,$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon > 0, \quad \text{أشارة } v_0 \text{ غير مقيدة}$$

ونفترض إن $S(\tilde{x})$ و $S(\tilde{y}_{rj})$ تدل على $\tilde{x}_{ij}$ و $\tilde{y}_{rj}$ ، يعرف قطع ألفا $(\alpha\text{-cuts})$ لـ $\tilde{x}_{ij}$ و $\tilde{y}_{rj}$ كما يلي: (Kao & Liu, 2000, p. 431)

$$(x_{ij})_{\alpha} = \{x_{ij} \in S(\tilde{x}_{ij}) \mid \mu_{\tilde{x}_{ij}}(x_{ij}) \geq \alpha\}, \quad \forall i, j,$$

$$(y_{rj})_{\alpha} = \{y_{rj} \in S(\tilde{y}_{rj}) \mid \mu_{\tilde{y}_{rj}}(y_{rj}) \geq \alpha\}, \quad \forall r, j.$$

$(x_{ij})_{\alpha}$ و $(y_{rj})_{\alpha}$ هي مجموعتان كلاسيكيتان (crisp sets)، باستخدام قطع ألفا والتي تسمى أيضا مستوى ألفا يمكن تمثيل المدخلات والمخرجات بمستويات مختلفة من مجالات الثقة؛ مما يؤدي لتحويل نموذج تحليل مغلف البيانات الضبابي (FDEA) إلى زوج من نماذج تحليل مغلف البيانات التقليدية (DEA) على مجموعات مختلفة من مستوى ألفا (α -level) محصور بين الصفر والواحد $0 < \alpha \leq 1$.

يمكن تعريف دالة العضوية أو الانتماء الخاصة بالكفاءة الضبابية للوحدة "p" (DMUp) المشار إليها بـ $\tilde{E}$ ، وفق مبدأ توسيع زاده على النحو التالي:

$$\mu_{\tilde{E}_p}(z) = \sup_{x, y} \min \{ \mu_{\tilde{x}_{ij}}(x_{ij}), \mu_{\tilde{y}_{rj}}(y_{rj}), \forall i, j \mid z = E_p(x, y) \} \quad (02)$$

حيث $E_p(x, y)$ تمثل كفاءة الوحدة "p" لنموذج عوائد الحجم المتغيرة (BCC) الموجه نحو المدخلات. ويمكن تقريب دالة العضوية الخاصة بالكفاءة الضبابية المحددة في العلاقة "02" من خلال حساب الحد الأدنى $(\tilde{E})_{\alpha}^L$ والحد الأقصى $(\tilde{E}_p)_{\alpha}^U$ للكفاءة الضبابية $\tilde{E}_p$ لألفا (α) على النحو التالي: (Lotfi F. , Ebrahimnejad, Vaez-Ghasemi, & Moghaddas, 2020, p. 166)

$$(\tilde{E}_p)_{\alpha}^L = \min \begin{cases} E_p = \max \sum_{r=1}^s u_r y_{rp} + u_0 \\ \text{s.t.} \quad \sum_{i=1}^m v_i x_{ip} = 1, \\ \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + u_0 \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n, \\ v_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m, \\ u_r \geq 0, \quad r = 1, 2, \dots, s. \end{cases} \quad (03)$$

$$\begin{aligned} (x_{ij})_{\alpha}^L &\leq x_{ij} \leq (x_{ij})_{\alpha}^U \\ (y_{rj})_{\alpha}^L &\leq y_{rj} \leq (y_{rj})_{\alpha}^U, \quad \forall i, j \end{aligned}$$

$$(\tilde{E}_p)_\alpha^U = \max \left\{ \begin{array}{l} E_p = \max \sum_{r=1}^s u_r y_{rp} + u_0 \\ \text{s. t.} \quad \sum_{i=1}^m v_i x_{ip} = 1, \\ \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + u_0 \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n, \\ v_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m, \\ u_r \geq 0, \quad r = 1, 2, \dots, s. \end{array} \right. \quad (04)$$

$$\begin{array}{l} (x_{ij})_\alpha^L \leq x_{ij} \leq (x_{ij})_\alpha^U \\ (y_{rj})_\alpha^L \leq y_{rj} \leq (y_{rj})_\alpha^U, \\ \forall i, j \end{array}$$

يمكن تبسيط النموذجين الرياضييين "03" و "04" ذي المستويين إلى نموذجين ذي المستوى الواحد التقليدي من خلال ما يلي: عندما تختلف مدخلات ومخرجات كل وحدة (DMU) في النطاقات، من أجل العثور على أصغر كفاءة نسبية $(E_p)_\alpha^L$ للوحدة "p" مقارنة بالوحدات الأخرى، يتم تعيين مستوى إخراج هذا الوحدة ومستويات الإدخال لجميع الوحدات الأخرى إلى أدنى قيمها أي $(x_{ij})_\alpha^L = x_{ij}$ و $(y_{rp})_\alpha^L = y_{rp}$ ، وتعيين مستوى إدخال هذا الوحدة ومستويات الإخراج لجميع الوحدات الأخرى إلى أعلى قيمها أي $(x_{ip})_\alpha^U = x_{ip}$ و $(y_{rj})_\alpha^U = y_{rj}$ في النموذج "03"، والقيام بالعكس من أجل العثور على أعلى كفاءة نسبية $(E_p)_\alpha^U$ للوحدة "p"، أي يتم تعيين مستوى إخراج هذه الوحدة ومستويات الإدخال لجميع الوحدات الأخرى إلى أعلى قيمها أي $(y_{rp})_\alpha^U = y_{rp}$ و $(x_{ij})_\alpha^U = x_{ij}$ ، وتعيين مستوى الإدخال الخاص بهذه الوحدة ومستويات الإخراج لجميع الوحدات الآخرين إلى أدنى قيمها أي $(x_{ip})_\alpha^L = x_{ip}$ و $(y_{rj})_\alpha^L = y_{rj}$ في النموذج "04"، حيث $j \neq p$ ؛ يصبح النموذجان السابقان على التوالي كما يلي: (Kao & Liu, 2000, p. 432)

$$(E_p)_\alpha^L = \max \sum_{r=1}^s u_r (y_{rp})_\alpha^L + u_0 \quad (05)$$

بشرط:

$$\begin{array}{l} \sum_{i=1}^m v_i (x_{ip})_\alpha^U = 1, \\ \sum_{r=1}^s u_r (y_{rp})_\alpha^L - \sum_{i=1}^m v_i (x_{ip})_\alpha^U + u_0 \leq 0, \\ \sum_{r=1}^s u_r (y_{rj})_\alpha^U - \sum_{i=1}^m v_i (x_{ij})_\alpha^L + u_0 \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad j \neq p, \\ v_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m, \end{array}$$

$$u_r \geq 0, \quad r = 1, 2, \dots, s.$$

$$(E_p)_\alpha^U = \max \sum_{r=1}^s u_r (y_{rp})_\alpha^U + u_0 \quad (06)$$

بشرط:

$$\sum_{i=1}^m v_i (x_{ip})_\alpha^L = 1,$$

$$\sum_{r=1}^s u_r (y_{rp})_\alpha^U - \sum_{i=1}^m v_i (x_{ip})_\alpha^L + u_0 \leq 0,$$

$$\sum_{r=1}^s u_r (y_{rj})_\alpha^L - \sum_{i=1}^m v_i (x_{ij})_\alpha^U + u_0 \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad j \neq p,$$

$$v_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

$$u_r \geq 0, \quad r = 1, 2, \dots, s.$$

بعد حل النموذجين السابقين التقليديين للحد الأدنى و الأعلى (النموذج 06 والنموذج 07) لمختلف مستويات α لكل وحدة، يتم إنشاء دالة العضوية، استخدم Kao و Liu نهجين لطرق ترتيب الأرقام الضبابية من أجل ترتيب الكفاءات الضبابية التي تم الحصول عليها هما: طريقة (Chen C.B. & Klein, 1997) لترتيب الأرقام الضبابية، وطريقة (Chen S.H., 1985) لترتيب الأرقام الضبابية مع مجموعة التعظيم (Maximizing set) ومجموعة التذنية (Minimizing set). (Emrouznejad, Tavana, & Hatami-Marbini, 2014, p. 13).

4. تحليل النتائج:

إن النهج القائم على مستوى ألفا يقوم على فكرة تحويل نموذج تحليل مغلف البيانات الضبابي إلى زوج من البرامج باستخدام قطع ألفا (α cuts)، مما يسمح بتقدير الحدود الدنيا (Lower) والعليا (Upper) لمؤشر الكفاءة عند مستوى معين من ألفا، وستأخذ هذه الأخيرة في هذه الدراسة ثلاث قيم (0، 0.5، 1)؛ الذي ينتج عنه مؤشرات كفاءة ضبابية يصعب تصنيفها، ومن أجل تصنيفها سنستخدم طريقة Chen و Klein.

الجدول 1: مؤشرات الكفاءة الموجهة نحو المخرجات الضبابية

قيمة ألفا		0 = α		0.5 = α		1 = α	
الحدود	الدنيا	العليا	الدنيا	العليا	الدنيا	العليا	الحدود
المكتبة 1	1	1	1	1	1	1	1

1	1	1	1	1	1	المكتبة 2
1	1	1	1	1	1	المكتبة 3
1	1	1	1	1	1	المكتبة 4
1	1	1	1	1	1	المكتبة 5
1	1	1	1	1	1	المكتبة 6
1	1	1	1	1	1	المكتبة 7
1	1	1	1	1	1	المكتبة 8
0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	المكتبة 9
0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	المكتبة 10
0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	المكتبة 11
0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.87	المكتبة 12
0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.86	المكتبة 13
0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	المكتبة 14
0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.83	المكتبة 15
0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	المكتبة 16
0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	المكتبة 17
0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	المكتبة 18
0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	المكتبة 19
0.96	0.96	0.96	0.96	0.97	0.96	المكتبة 20
0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	المكتبة 21
0.78	0.78	0.92	0.75	1	0.71	المكتبة 22
0.71	0.71	0.84	0.63	1	0.57	المكتبة 23
0.53	0.53	0.83	0.53	1	0.53	المكتبة 24

المصدر: من إعداد الباحثين بناءً على مخرجات برنامج ار (R 4.2.1)

نلاحظ من خلال الجدول السابق أن الحدود الدنيا لمؤشر الكفاءة الموجهة نحو المخرجات للمكتبات الجامعية في تايوان تتراوح بين 0.53 و1، وهذا يدل على أن كل المكتبات استطاعت أن تحقق مؤشر كفاءة أكبر من المتوسط، وحقت 8 مكتبات الكفاءة التامة، أي أن المكتبات الجامعية في تايوان تنشط بمستوى كفاءة موجهة نحو المخرجات مقبول لأنها استطاعت أن تعظم مستوى مخرجاتها إلى أكبر مستوى ممكن (الحدود المستحيلة) باستخدام مستوى معين من المدخلات.

كما نلاحظ كذلك أن الحدود العليا لمؤشر الكفاءة (الحدود الخالية من المخاطر) الموجهة نحو المخرجات تتراوح بين 0.53 و1، وهذا بسبب أن معظم بيانات الدراسة كانت غير ضبابية باستثناء ثلاث مشاهدات (المشاهدات المفقودة)، حيث تم تعويضها بأرقام ضبابية ثلاثية تتكون من أدنى قيمة، القيمة المتوسطة وأعلى قيمة لبيانات المتغير. إلا أنه في حال كون معظم أو كل البيانات ضبابية يظهر فرق ملحوظ بين مؤشرات الكفاءة عند الحدود الدنيا التي يتم فيها المقارنة بين أسوأ أداء للوحدة التي يتم تقييمها مع أفضل أداء للوحدات الأخرى، لذلك تسمى الحدود المستحيلة، والحدود العليا التي يتم فيها مقارنة أفضل أداء للوحدة التي يتم تقييمها مع أسوأ أداء للوحدات الأخرى (أي العكس)، لذلك تسمى الحدود الخالية من المخاطر.

الجدول 1: مؤشرات الكفاءة الموجهة نحو المدخلات الضبابية

1 = α		0.5 = α		0 = α		قيمة ألفا
العليا	الدنيا	العليا	الدنيا	العليا	الدنيا	الحدود
1	1	1	1	1	1	المكتبة 1
1	1	1	1	1	1	المكتبة 2
1	1	1	1	1	1	المكتبة 3
1	1	1	1	1	1	المكتبة 4
1	1	1	1	1	1	المكتبة 5
1	1	1	1	1	1	المكتبة 6
1	1	1	1	1	1	المكتبة 7
1	1	1	1	1	1	المكتبة 8
0.94	0.94	0.93	0.94	0.94	0.89	المكتبة 9
0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	المكتبة 10

المكتبة 11	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76
المكتبة 12	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
المكتبة 13	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
المكتبة 14	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
المكتبة 15	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
المكتبة 16	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74
المكتبة 17	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56
المكتبة 18	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72
المكتبة 19	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48
المكتبة 20	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61
المكتبة 21	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37
المكتبة 22	0.46	0.46	0.78	0.46	1	0.46
المكتبة 23	0.31	0.31	0.52	0.29	0.81	0.29
المكتبة 24	0.24	0.24	0.65	0.23	1	0.23

المصدر: من إعداد الباحثين بناءً على مخرجات برنامج ار (R 4.2.1)

نلاحظ من خلال الجدول السابق أن الحدود الدنيا لمؤشر الكفاءة الموجهة نحو المدخلات للمكتبات الجامعية في تايوان تتراوح بين 0.23 و1، فيما تتراوح بالنسبة للحدود العليا بين 0.24 و1، وهذا يدل على التباين الكبير في مستوى الكفاءة الموجهة نحو المدخلات الذي تحققه المكتبات، في حين حققت 8 مكتبات الكفاءة التامة، كما أن 5 مكتبات جاء مؤشر كفاءتها أقل من المتوسط؛ وهو يدل على أنها لم تستطع أن توفق في تدنية مدخلاتها إلى أقل مستوى ممكن لتحقيق مستوى معين من المخرجات.

في هذه الدراسة من أجل ترتيب الكفاءة الضبابية للمكتبات الجامعية سنستخدم طريقة Chen و Klein سنة 1997، ولتحقيق هذا الغرض نجعل أقصى ارتفاع لدالة انتماء كفاءة المكتبات $(p=1,...,n)$ ، مع افتراض أن h مقسمة إلى m من الفترات، بحيث تكون $\alpha_i = ih/m$ و $i=1,...,m$ ، يمكن استخدام العلاقة التالية لترتيب الكفاءة الضبابية (Chen, Chiu, Huang, & Tu, 2013, p. 228):

$$E_p = \frac{\sum_{i=0}^m [(E_p)_\alpha^U - c]}{\sum_{i=0}^m [(E_p)_\alpha^U - c] - \sum_{i=0}^m [(E_p)_\alpha^L - d]}, m \rightarrow \infty \quad (7)$$

حيث ان "c" تمثل أدنى قيمة للكفاءة التقنية $(c = \min_{ip} \{(E_p)_{\alpha i}\})$ ، و "d" أعظم قيمة للكفاءة التقنية $(c = \max_{ip} \{(E_p)_{\alpha i}\})$.

الجدول 3: ترتيب المكتبات وفق مؤشرات الكفاءة

الموجهة نحو المدخلات	الموجهة نحو المخرجات		الكفاءة
	المؤشر	الترتيب	
1	1,00	1	المكتبة 1
1	1,00	1	المكتبة 2
1	1,00	1	المكتبة 3
1	1,00	1	المكتبة 4
1	1,00	1	المكتبة 5
1	1,00	1	المكتبة 6
1	1,00	1	المكتبة 7
1	1,00	1	المكتبة 8
9	0,90	9	المكتبة 9
17	0,48	11	المكتبة 10
10	0,69	12	المكتبة 11
18	0,44	13	المكتبة 12
13	0,61	14	المكتبة 13
14	0,51	15	المكتبة 14
20	0,42	17	المكتبة 15
11	0,66	16	المكتبة 16
19	0,43	18	المكتبة 17
12	0,64	20	المكتبة 18
23	0,32	20	المكتبة 19

المكتبة 20	0,92	10	0,49	15
المكتبة 21	0,23	25	0,18	24
المكتبة 22	0,59	19	0,49	15
المكتبة 23	0,47	22	0,31	22
المكتبة 24	0,35	23	0,34	21

المصدر: من إعداد الباحثين بناءً على مؤشرات الكفاءة الضبابية السابقة

من خلال التأصيل النظري لأسلوب تحليل مغلف البيانات الضبابي (FDEA) نستنتج أنه أسلوب مناسب جداً لتقدير الكفاءة لوحدة اتخاذ القرار (DMUS) خاصة إذا كانت البيئة التي تنشط فيها هذه الوحدات أو بياناتها ضبابية، لأنه يسمح بدمج المنطق الضبابي في أسلوب تحليل مغلف البيانات التقليدي؛ لذا تقبل الورقة الفرضية الأولى القائلة "يعتبر أسلوب تحليل مغلف البيانات الضبابي ملائماً جداً لتقييم الكفاءة، خاصة إذا كانت البيانات ضبابية".

كما تستنتج الورقة من خلال التطبيق العملي لأحد أهم النماذج ضمن النهج القائم على مستوى ألفا، وهو النهج الأكثر استخداماً في الدراسات المستخدمة لأسلوب تحليل مغلف البيانات الضبابي أنه على الرغم من أن بيانات المتغيرات (المدخلات والمخرجات) ضبابية تكون النتائج دقيقة وغير ضبابية، وهو ما يجعلها أكثر دقة وموثوقية؛ لذا تقبل الورقة الفرضية الثانية القائلة "على الرغم من أن نماذج أسلوب تحليل مغلف البيانات الضبابي تستخدم لقياس الكفاءة في بيئة تتسم بالضبابية، إلا أن النتائج أكثر دقة وموثوقية".

5. خاتمة:

إن تقييم الكفاءة له أهمية ودور كبير في تطوير وتحسين الاقتصاد على المستوى الكلي والجزئي، ولا يتأتى هذا إلا من خلال استخدام أفضل الطرق والأساليب الحديثة، التي من أهمها أسلوب تحليل مغلف البيانات الضبابي (FDEA). وتتمثل أبرز النتائج المتوصل إليها من خلال هذه الورقة في النقاط التالية:

- يعتبر المنطق الضبابي الأقرب للواقع الحقيقي، لأن مشكلات الحياة الواقعية غالباً ما تتضمن بعض المعلومات الضبابية أو غير الدقيقة، وهذا نتيجة التفكير التقريبي للإنسان؛

- أسلوب تحليل مغلف البيانات الضبابي (FDEA) يسمح بدمج المنطق الضبابي في أسلوب تحليل مغلف البيانات التقليدي، مما يسمح بقياس الكفاءة في ظل بيئة ضبابية؛
- تم اقتراح عدة مناهج ضمن أسلوب تحليل مغلف البيانات الضبابي (FDEA)، التي من أهمها النهج القائم على مستوى ألفا؛
- النهج القائم على مستوى ألفا يقوم على فكرة تحويل نموذج تحليل مغلف البيانات الضبابي (FDEA) إلى زوج من مشاكل البرمجة المعلمية باستخدام قطع ألفا (α cuts)؛
- يمكن حل نماذج تحليل مغلف البيانات الضبابي (FDEA) بالاعتماد على الحزمة الإحصائية "deaR" في برنامج آر (R)؛
- نتائج الكفاءة النهائية تكون دقيقة بالرغم من استخدام الأرقام الضبابية في التقدير. بناءً على النتائج التي توصلنا إليها من خلال هذه الدراسة، نوصي الممارسين ومتخذي القرار بمختلف الوحدات الاقتصادية إلى استخدام النماذج الرياضية الحديثة نسبياً لقياس الكفاءة بدل الطرق التقليدية، من أجل تحديد نقاط القوة وتعزيزها، ونقاط الضعف ومعالجتها، على وجه الخصوص نماذج أسلوب تحليل مغلف البيانات الضبابي (FDEA) لما لها من قدرة على تقدير الكفاءة في حالة كانت الوحدة تنشط في بيئة ضبابية أو بياناتها ضبابية، وهو الأمر الأكثر واقعية نظراً للتفكير الإنساني التقريبي.

6. قائمة المراجع:

- Arnold F. Shapiro, Fuzzy logic in insurance, Insurance: Mathematics and Economics, 424-399, 2004;
- Baskaya Z. & Avcı Öztürk B., Measuring financial efficiency of cement firms listed in istanbul stock exchange via fuzzy data envelopment analysis, The Journal of Accounting and Finance, 175-188, 2012;
- Charnes A., Cooper W. & Rhodes E., Measuring the efficiency of decision making units. European Journal of Operational Research, 2, 429-444, 1978;

- Chen C.B. & Klein C., A simple approach to ranking a group of aggregated fuzzy utilities, IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Part B Cybern., 27(01), 26–35, 1997;
- Chen S.H., Ranking fuzzy numbers with maximizing set and minimizing set, Fuzzy Sets Syst, 17, 113–129, 1985;
- Chen Y.C., Chiu Y.H., Huang C.W. & Tu C., The analysis of bank business performance and market risk—Applying Fuzzy DEA, Economic Modelling, 32, 225–232, 2013;
- Derroncourt F., Introduction to fuzzy logic, (United States: Massachusetts Institute of Technology, 2013);
- Emrouznejad A., Tavana M. & Hatami-Marbini A., The State of the Art in Fuzzy Data Envelopment Analysis. In A. Emrouznejad & M. Tavana, Performance Measurement with Fuzzy Data Envelopment Analysis (pp. 1–45). (New York: Springer, 2014);
- Farrell M., The measurement of productive efficiency, Journal of the Royal Statistical Society, 120, 253–290, 1957;
- Hatami-Marbini A., Emrouznejad A. & Tavana M., A taxonomy and review of the fuzzy data envelopment analysis, European Journal of Operational Research, 214(03), 457–472, 2011;
- Kao C. & Liu S., A mathematical programming approach to fuzzy efficiency ranking, Int. J. Production Economics, 86, 145–154, 2003;
- Kao C. & Liu S., Fuzzy efficiency measures in data envelopment analysis, Fuzzy Sets and Systems, 113, 427–437, 2000;
- Lotfi F., Ebrahimnejad A., Vaez-Ghasemi M. & Moghaddas Z., Data Envelopment Analysis with R, (New York: Springer, 2020);

- Saati M., Memariani A. & Jahanshahloo G., Efficiency Analysis and Ranking of DMUs with Fuzzy Data, Fuzzy Optimization and Decision Making, 01, 255–267, 2002;
- Sengupta J., K., A Fuzzy Systems Approach in Data Envelopment Analysis, Computers Math. Applic., 24(8/9), 259–266, 1992;
- Zadeh L.A., Fuzzy Sets .Information and control, 35–338, 1965;
- Zadeh L.A., Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. Fuzzy Sets and Systems, 01, 3–28, 1978;
- ولعة آمنة، و غوالي محمد البشير، قياس كفاءة نظام حوكمة الشركات الجزائرية باستخدام التحليل التطويقي للبيانات -حالة شركات المساهمة بولاية ورقلة-، مجلة الباحث، (01)19، 418–403، 2019.

7. ملاحق:

برنامج الرموز (Codes) لقياس الكفاءة الموجهة نحو المخرجات وفق نموذج Liu و Kao :

```
library(deaR)
library(readxl)
data <- read_excel("C:/Users/data.xlsx", sheet = "sheet")
data_example <- read_data_fuzzy(data ,
                                inputs.mL = 2,
                                inputs.dL = NA,
                                inputs.dR = NA,
                                outputs.mL = 3:7,
                                outputs.dL = c(NA, NA, 8, NA, 9),
                                outputs.dR = c(NA, NA, 10, NA, 11))
result <- modelfuzzy_kaoliu(data_example ,
                             kaoliu_modelname = "basic",
                             alpha = seq(0, 1, by = 0.5) ,
                             orientation = "oo ",
```

```
rts = "vrs")
sol <- efficiencies(result)
eff <- data.frame(1 / sol$Worst, 1 / sol$Best)
names(eff) <- c("eff_lower", "eff_upper")
eff
```

برنامج الرموز (Codes) لقياس الكفاءة الموجهة نحو المدخلات وفق نموذج Kao و Liu :

```
library(deaR)
library(readxl)
data <- read_excel("C:/Users/ data.xlsx", sheet = "sheet")
data_example <- read_data_fuzzy(data,
                                inputs.mL = 2,
                                inputs.dL = NA,
                                inputs.dR = NA,
                                outputs.mL = 3:7,
                                outputs.dL = c(NA, NA, 8, NA, 9),
                                outputs.dR = c(NA, NA, 10, NA, 11))
result <- modelfuzzy_kaoliu(data_example,
                             kaoliu_modelname = "basic",
                             alpha = seq(0, 1, by = 0.5),
                             orientation = "io",
                             rts = "vrs")
efficiencies(result).
```