تقييم الكفاءة الفنية لمحطات التوليد الحرارية في مصر
باستخدام تحليل الحدود العشوائية

محمد حامد محمد ابو سليمان

مدرس مساعد– كلية التجارة– جامعة بورسعيد

ملخص

يتمثل الهدف الرئيس لهذه الورقة البحثية في قياس مستويات الكفاءة الفنية لمحطات التوليد الحرارية في مصر، وتحديد درجة تأثير العوامل المختلفة على مستويات الكفاءة في هذه المحطات. وتستخدم هذه الورقة البحثية منهج تحليل الحدود العشوائية stochastic frontier analysis (SFA) لعينة بيانات إطارية غير متوازنة للفترة من 2009/08–2017/16. وتظهر نتائج الدراسة انخفاض مستوى الكفاءة الفنية لمحطات توليد الكهرباء في مصر، إذ سجلت 68.9% في المتوسط خلال فترة الدراسة. كذلك تظهر الدراسة انخفاض كفاءة المحطات صغيرة الحجم (أقل من 500 ميجا وات) مقارنة بمحطات التوليد كبيرة الحجم. وأخيرا تشير الدراسة الى وجود تأثير إحصائى معنوى موجب لكل من نوع المحطة ومعامل سعة المحطة عل الكفاءة الفنية لمحطات التوليد، بينما كان لمعدل استهلاك الوقود أثر معنويا سالبا على الكفاءة الفنية لمحطات التوليد في مصر.

الكلمات الدلالية: الكفاءة الفنية–تحليل الحدود العشوائية–محطات التوليد الحرارية.

Abstract

The main objective of this paper is to measure the technical efficiency levels of thermal power plants in Egypt and to determine the degree of influence of different factors on the efficiency levels of these plants. This paper uses the stochastic frontier analysis (SFA) methodology to sample unbalanced panel data during the period 08/2009-16/2017. The results of the study show the low level of technical efficiency of power plants in Egypt, which recorded an average of 68.9% during the study period. The study also shows lower efficiency of small-scale plants (less than 500 MW) compared to large-scale power plants. Finally, the study indicates that there is a significant positive effect for both plant type and plant capacity factor on the technical efficiency of the power plants, while the fuel consumption rate had a negative significant effect on the technical efficiency of the power plants in Egypt.

Keywords: Technical efficiency, stochastic frontier analysis, thermal power plants

1-مقدمة

ترتبط كفاءة توليد الكهرباء ارتباطا مباشرا بالإنتاجية الكلية لصناعة الكهرباء. وكأحد أهداف إصلاح صناعة الكهرباء على المدى القصير، يستهدف هذا البحث تقدير الكفاءة الفنية (ومن ثم عدم الكفاءة) لمحطات توليد الكهرباء، واستكشاف التأثير الذي تحدثه بعض المتغيرات الخاصة بوحدات الإنتاج (محطات التوليد) على الكفاءة الفنية (عدم الكفاءة الفنية) لمحطات التوليد.

ومن الناحية التطبيقية، توجد مناهج مختلفة يتم الاعتماد عليها في قياس الكفاءة النسبية والإنتاجية لوحدات الإنتاج في علاقتها بحدود الكفاءة لعينة من وحدات الإنتاج. ويتم تصنيف هذه المناهج بشكل أساسى الى منهجين رئيسيين، الأول المنهج اللامعلمى والذى يعتمد على الأسلوب الرياضي في بناء حدود الكفاءة. ويعد أسلوب تحليل مغلف البيانات DEA أكثر الأساليب اللامعلمية استخداما في قياس الكفاءة الفنية. المنهج الثانى هو المنهج المعلمى والذى يعتمد على الأسلوب الاحصائي في بناء حدود الكفاءة. ويعد تحليل الحدود العشوائية SFA الأكثر استخداما في قياس الكفاءة الفنية لوحدات الإنتاج في إطار هذا المنهج.

وتعتمد الكثير من الدراسات على استخدام الأسلوب المقارن بين المنهجين بهدف تحقيق أقصى استفادة ممكنة من المعلومات المتاحة للتحليل وتدعيم النتائج التي يتم الحصول عليها. لكن وعلى الرغم من ذلك، فإن الاعتماد على هذا الأسلوب المقارن يتطلب اتساق البيانات والفترات الزمنية لكلا الأسلوبين، وهو ما قد لا يتحقق في كثير من الأحيان بسبب طبيعة البيانات الخاصة بكل صناعة.

وفى إطار دراستنا هذه، وباعتبار تغطية أكبر عدد من محطات توليد الكهرباء خلال الفترة من 2009/2008 وحتى 2017/2016، وبسبب فقد بعض البيانات الخاصة بمحطات التوليد من ناحية أولى واستبعاد القيم الشاذة من ناحية أخرى، نتج لدينا عينة لبيانات إطارية غير متوازنة، وهو ما لا يتيح لنا تطبيق هذا الأسلوب المقارن. ومن ثم، يكون اعتمادنا الأساسى في قياس الكفاءة الفنية لقطاع توليد الكهرباء في مصر على المنهج المعلمى باستخدام تحليل الحدود العشوائية.

ويتم ترتيب الجزء المتبقى من هذا البحث كما يلى: يوضح القسم الثانى معالجة الكفاءة في إطار نظرية الإنتاج ويتناول البحث في القسم الثالث والرابع منهجية الدراسة والنموذج التطبيقى وفى الأقسام الخامس

والسادس والسابع يهتم البحث بمناقشة نتائج نموذج الدراسة ومعقولية النتائج من الناحية الاقتصادية وتحليل الكفاءة الفنية لمحطات التوليد في عينة الدراسة وأخيرا في القسم الثامن خاتمة البحث.

2-معالجة الكفاءة في إطار نظرية الإنتاج

يمثل مفهوم الأمثلية حجر الأساس في اقتصاديات الإنتاج الحديثة. وتفترض نظرية الأمثلية تحقيق المنتجين لأهدافهم السلوكية سواء من الناحية الفنية متمثلا ذلك في عدم اهدار الموارد wasting resources، أو من الناحية الاقتصادية متمثلا ذلك في اختيار توليفة المدخلات المثلى في ظل أسعارها المعطاه، وذلك في ظل قيود تكنولوجيا الإنتاج وهيكل أسواق المدخلات والمخرجات. ويعنى ذلك، أن المنتجين يعملون في مكان ما على حدود boundary مجموعة إمكانيات الإنتاج production possibility sets الخاصة بهم وليس داخلها interior في الحالة الأولى، أو على الحدود الأدنى للتكلفة بما يحقق التخصيص الكفء للموارد في الحالة الثانية. وبشكل مشابه تتحقق كفاءة المنتجين الذين يسعون الى تحقيق الأهداف الاقتصادية الأخرى (Reifschneider and Stevenson, 1991, P. 715; Kokkinou, 2012, p.xvi).

ويعنى ذلك أن الفرضيات القابلة للاختبار والمتعلقة بسلوك المنتج إنما تصبح متعلقة فقط بسلوك المنتج الكفء، مع الأخذ في الاعتبار دائما أنها قائمة على الافتراضات المتعلقة بهيكل التكنولوجيا وهيكل سوق الإنتاج وتحقيق المنتج للكفاءة الكلية.

وحتى ما قبل ظهور النماذج الحدودية، كانت منهجيات القياس الاقتصادى قائمة على هذه الافتراضات، وتم تطوير أساليب الانحدار القائمة على المربعات الصغرى مثل طريقة المربعات الصغرى العادية وطريقة المربعات الصغرى ذات المرحلتين كأدوات لتقدير دوال الإنتاج المختلفة. وكانت السمة العامة أو المشتركة لهذه الأساليب تتمثل في ارجاع كل الاختلافات بين القيمة الفعلية والقيمة الممكنة الى متغير أو حد الضوضاء العشوائية، والذى يفترض أنه موزع بشكل متماثل بمتوسط صفر وتباين ثابت (Kumbhakar and Lovell, 2000, p.2). ومع ذلك ظهرت هذه الطرق على أنها غير مرضية من وجهة نظر الاقتصاديين بسبب بعض أوجه القصور بها. فتم نقد استخدام طريقة المربعات الصغرى التقليدية في تقدير دالة الإنتاج باعتبار أن الافتراضات القائمة عليها لا تتفق مع مفهوم دالة الإنتاج. فالدوال المقدرة على أساس طريقة المربعات الصغرى العادية يمكن وصفها في أحسن الأحوال على أنها دوال متوسطة أو دوال استجابة باعتبار

أن أسلوب الانحدار القائم عليها يقدر متوسط المخرجات بدلا من تقدير الحد الأقصى للمخرجات الذى يمثل مفهوم دالة الإنتاج (Battese, 1992, p.186; Haghiri, 2003, p.2).

ولكن لأسباب مختلفة، والتي من أهمها 1-الاختلافات في تكنولوجيا الإنتاج، 2-الكفاءة في عملية الإنتاج، 3-البيئة التي يحدث فيها الإنتاج، 4-الاختلافات في نوعية أو جودة المدخلات التي يستخدمها المنتجون (Fried et al, 2008, p.63). وكما تُظهر الكثير من الأدلة التطبيقية، فليس كل المنتجين ينجحون في حل كلا النوعين من مشكلات الأمثلية (الفنية والتخصيص) في جميع الظروف. فليس كل المنتجين ينجحون في استخدام الحد الأدنى من المدخلات اللازمة لتحقيق قدرا محددا من المخرجات -في ظل التكنولوجيا المتاحة لهم- بما يعنى أنه ليس كل المنتجين ينجحون في تحقيق الأمثلية من الناحية الفنية (الكفاءة الفنية). وهذا يتضمن أيضا أنه ليس كل المنتجين قادرين على تدنية النفقات اللازمة للحصول على قدر المخرجات المطلوب. إضافة الى ذلك، فحتى وإن كان كل المنتجين يحققون الكفاءة الفنية، إلا أنه لا ينجح جميعهم في اختيار توليفة المدخلات المثلى للإنتاج في ظل الأسعار التي يواجهونها، ويساهم سوء تخصيص المدخلات بدرجة أكبر في الفشل في تدنية التكاليف، بما يعنى أنهم ليسوا جميعا سواء من حيث كفاءة التكلفة. من ناحية ثالثة، فحتى إذا افترضنا قدرة كافة المنتجين على تحقيق كفاءة التكلفة، إلا إنهم لا ينجحون جميعا في تخصيص مخرجاتهم -في ظل الأسعار التي يواجهونها- بطريقة تعظم إيراداتهم. وينعكس الفشل في تحقيق كفاءة التكلفة أو كفاءة الايراد في الفشل في تحقيق هدف تعظيم الأرباح، بما يعنى أنه ليس كل المنتجين يحققون كفاءة الربح (Kumbhakar and Lovell, 2000, p.2).

وفى ضوء فشل بعض المنتجين في تحقيق أهدافهم السلوكية (الأمثلية)، كان من المستحسن إعادة صياغة تحليل كفاءة الإنتاج والتكاليف والارباح بعيدا عن الدوال التقليدية ونحو الدوال الحدودية.

وتوجد ميزتان اساسيتان تنتجان من تقدير الدوال الحدودية مقارنة بتقدير الدوال المتوسطة القائمة على استخدام طريقة المربعات الصغرى العادية (Aye, 2011, p.45):

الأولى: يعكس تقدير الدالة الحدودية أداء أفضل المنتجين في عينة الدراسة، بما يعنى ان حدود الدالة تعكس التوليفة التكنولوجية التي يستخدمها المنتجين الأكثر كفاءة، بينما تعكس الدوال المتوسطة فقط التوليفة التكنولوجية المستخدمة من قبل المنتجين في المتوسط.

الثانية: أن الدوال الحدودية توفر معيارا جيدا لقياس الأداء. إذ عندما تعبر عن أفضل ممارسة تكنولوجية، فهذا يمكن من مقارنة كفاءة كافة المنتجين في عينة الدراسة بالنسبة الى هذه الحدود.

هذا إضافة الى أن مفهوم "الحدود" يتفق مع التعريف النظرى لدوال الإنتاج والتكلفة والربح، بمعنى أنها تمثل حلا لمشكلة التعظيم والتدنية.

2-1 قياس الكفاءة

تمثل الكفاءة الإنتاجية (أداء المنتج) درجة النجاح التي يحققها المنتجون في تخصيص المدخلات المتاحة لهم والمخرجات التي يحصلون عليها بغية تحقيق أهداف إنتاجية محددة. وهكذا، فإنه من أجل قياس الكفاءة الإنتاجية، يصبح من الضروري أولاً تحديد أهداف المنتجين ومن ثم تحديد درجات نجاحهم.

ويتم الحكم على أداء الكفاءة بشكل تقليدي باستخدام مفهوم الكفاءة الاقتصادية، والذي يفترض عمومًا أنه يتكون من مكونين: الكفاءة الفنية والكفاءة التخصيصية. ويشير مفهوم الكفاءة الفنية الى القدرة على تجنب الفقد في الموارد من خلال الحصول على قدرا محددا من المخرجات باستخدام أقل قدر ممكن من المدخلات، أو القدرة على الحصول على أقصى قدر ممكن من المخرجات باستخدام قدرا محددا من المدخلات. بينما تعكس الكفاءة التخصيصية قدرة المنتج على استخدام الكميات المثلى، في ظل أسعارها والتكنولوجيا المتاحة، بمعنى أن الكفاءة التخصيصية تتعلق بشكل رئيسي بأسعار عوامل الإنتاج. وهو يشير بمفهوم آخر على قدرة واستعداد الوحدة اقتصادية على معادلة القيمة الحدية لمنتجاتها بتكلفتها الحدية (Fried et al, 2008, p.20). وهذا يعنى أن عدم الكفاءة التخصيصية (وهي بطبيعتها موجهة نحو المدخلات) تحدث حالة عدم القدرة على اختيار توليفة المدخلات المثلى التي تصل بالتكلفة إلى أدنى مستوى لها في ظل تحقيق قدرا محددا من المخرجات.

2-2 بناء حدود الكفاءة

وفقا لما سبق، يمكن تعريف الكفاءة الفنية على أنها مسافة وحدة إنتاجية ما عن حدود الكفاءة التى يتم قبولها كنقاط مرجعية للمقارنة. والمشكلة هنا هي أنه بينما يمكن ملاحظة توليفة مدخلات-مخرجات الوحدة الانتاجية، فإن حدود الكفاءة غير معروفة. ولهذا السبب ينبغي أولا تحديد حدود الكفاءة.

وكما تمت الإشارة في المقدمة، بأنه من الناحية التطبيقية، يوجد منهجين رئيسيين يتم الاعتماد عليهما في بناء حدود الكفاءة بغرض قياس (مقارنة) الكفاءة الفنية لوحدات الإنتاج المختلفة، هما المنهج اللامعلمى والمنهج المعلمى. فإننا فى إطار هذا البحث، سوف نعتمد على أسلوب تحليل الحدود العشوائية SFA لما له من الخصائص الإحصائية التي يمكن اختبارها.

3-منهجية الدراسة والمسائل المرتبطة بها

3-1 اختيار دالة واتجاه قياس الكفاءة

في سياق قياس كفاءة وحدات الإنتاج يظهر أمامنا مسألتين لابد من تحديدهما في البداية:

الأولى: هل يتم قياس الكفاءة اعتمادا على دالة الإنتاج أم اعتمادا على دالة التكلفة؟

الثانية: إذا ما تم اختيار قياس الكفاءة اعتمادا على دالة الإنتاج، فهل من الأفضل قياس الكفاءة الموجهه نحو المخرجات أم قياس الكفاءة الموجهه نحو المدخلات.

وتعتمد الإجابة على هذه الأسئلة على كل من بيئة الصناعة التي يتم قياس كفاءة وحداتها الإنتاجية وطبيعة المتغيرات من ناحية أولى وعلى أهداف البحث من ناحية أخرى.

وفيما يتعلق بالمسألة الأولى، فعلى الرغم من أن قياس كفاءة التكلفة يمثل بديلا ملائما لقياس كفاءة الإنتاج، إلا أن تقديرها يتطلب (Coelli, 2002, p. 169):

1-افتراضات تتعلق بسلوك الوحدة الإنتاجية (تدنية التكاليف).

2-معرفة الأسعار الحقيقية للمدخلات مقاسة بوحدات نقدية.

لكن، لما كانت صناعة الكهرباء في مصر تحت الملكية العامة للدولة، ولما لم يكن هدفها الأساسى هو تعظيم الأرباح، إضافة الى تشوه أسعار المدخلات بسبب الدعم المقدم لها، فيظهر لنا عدم ملاءمة قياس الكفاءة اعتمادا على دالة التكلفة في حالتنا هذه. ومن ثم، فإن قياس الكفاءة اعتمادا على دالة الإنتاج يعد أكثر ملاءمة لحالة صناعة الكهرباء في مصر. لا سيما وأنها لا تتطلب سوى متغيرات متجانسة يمكن قياسها ماديا، إضافة الى تجنب تشوه الأسعار بسبب الدعم المقدم لها، وأخيرا العمل في ظل بيئة موحدة من حيث الأهداف والقيود.

وفيما يتعلق بالمسألة الثانية، فمع اعتبار أن مشكلة الكهرباء في مصر تتمثل بشكل عام في مدى القدرة على مقابلة طلب المستهلكين، فمن ثم يعد قياس الكفاءة الفنية الموجهه نحو المخرجات أكثر ملاءمة لحالتنا هذه، لا سيما مع اعتبار عدم كفاية مدخلات الإنتاج في الأصل. وبالتالي يكون الهدف المرغوب فيه هو تحقيق أقصى قدر ممكن من هذه المخرجات بدلا من تحقيق قدرا محددا من المخرجات باستخدام أقل قدرا ممكنا من المدخلات.

3-2 تحديد متغيرات نماذج الدراسة

بعد تحديد دالة واتجاه قياس الكفاءة، لا يزال يتعين علينا تحديد المتغيرات التي ينبغي ادراجها في التحليل. فما هي مخرجات الصناعة؟ وما هي المدخلات؟ وهل يتم ادراج متغيرات بيئة أم لا؟

وفيما يتعلق بتعيين المدخلات والمخرجات، فإننا لن نخرج عن إطار الدراسات التطبيقية السابقة المتعلقة بقياس الكفاءة الفنية لمحطات توليد الكهرباء (انظر الجدول رقم (1)). ووفقا لهذه الدراسات، فإن الناتج (Y) والذى يمثل إجمالي الكهرباء المولدة (مقاسا بـ kw/h) يفترض أنه دالة في ثلاثة مدخلات هي: رأس المال (K)، ويتم التعبير عنه بقدرات التوليد الاسمية المركبة (مقاسا بـ mw)، والعمل (L) وهو يمثل العمالة الموجودة بمحطات التوليد، والوقود (F) المستخدم في توليد الكهرباء (مقاسا بطن مازوت معادل). كما يتم ادراج متغير الزمن لمعرفة التغير التكنولوجى (T) الحاصل (إن وجد) في هذه الصناعة بمرور الزمن.

جدول (1) ملخص الدراسات السابقة لقياس كفاءة قطاع توليد الكهرباء

المؤلف وسنة الدراسة	عينة الدراسة	المنهجية	المدخلات	المخرجات
Ghosh (2014)	عدد 77 محطة لتوليد الكهرباء تعمل بالفحم في الهند خلال الفترة من 2005-2011	تحليل الحدود العشوائية SFA	1-رأس المال. 2-العمل. 3-الوقود. 4-مدخلات أخرى. 5-متغيرات عدم الكفاءة (عمر المحطة، حجم المحطة، مؤشر يعكس الحوكمة التنظيمية)	1-الكهرباء المولد.
Zhao and Ma (2013)	عدد 34 محطة كبيرة لتوليد الكهرباء في الصين خلال الفترة من 1997-2010	نموذج تحليل مغلف DEA مع نموذج انحدار توبت Tobit	1-رأس المال. 2-العمل. 3-الوقود. 4-متغيرات عدم الكفاءة (عمر المحطة، معامل الحمل، حجم المحطة، معدل الاستخدام ومؤشر للتلوث البيئى)	1-الكهرباء المولد.
Fatima and Barik (2012)	مرافق توليد الكهرباء في عدد 14 ولاية في الهند خلال الفترة من 2001-2008	تحليل الحدود العشوائية SFA	1-رأس المال. 2-العمل. 3-الوقود.	1-الكهرباء المولد.
Jaraite and Di Maria (2012)	24 دولة من الاتحاد الأوربي خلال الفترة من 1996-2007	نموذج تحليل مغلف DEA ومؤشر مالمكويست للانتاجية MPI	1-رأس المال. 2-العمل. 3-الوقود.	1-الكهرباء المولد 2-انبعاثات CO_2 و SO_2
See and Coelli (2012)	محطات الطاقة الحرارية في ماليزيا خلال الفترة من 1998-2005	تحليل الحدود العشوائية SFA	1-رأس المال. 2-العمل. 3-الوقود. 4-مدخلات أخرى. 5-متغيرات عدم الكفاءة (نوع الملكية، ونوع المحطة، حجم المحطة، ونوع الوقود واتجاه الزمن)	1-الكهرباء المولدة.
Shrivastava, Sharma and Chauhan (2012)	عدد 60 محطة لتوليد الكهرباء (ملكية عامة وملكية خاصة) في الهند للعام 2008-2009	نموذج تحليل مغلف DEA	1-استهلاك الفحم. 2-استهلاك زيت الوقود. 3-استهلاك الطاقة المساعدة.	1-الكهرباء المولد.
Liu, Lin and Lewis (2010)	عدد 12 محطة لتوليد الكهرباء في تايوان خلال الفترة من 2004-2006	نموذج تحليل مغلف DEA	1-قدرات التوليد المركبة. 2-الكهرباء المستخدمة. 3-قيمة تسخين الوقود.	1-الكهرباء المولدة.

Barros (2008)	25 محطة كهرومائية لتوليد الكهرباء في البرتغال خلال الفترة من 2001-2004	نموذج تحليل مغلف DEA ونموذج انحدار توبت ومؤشر مالمكويست للانتاجية MPI	1-راس المال. 2-العمل. 3-تكاليف التشغيل. 4-تكاليف الاستثمار. ب-متغيرات عدم الكفاءة (موقع المحطة، عمر المحطة، التباين في نزول الامطار واتجاه الزمن)	1-الكهرباء المولدة. 2-سعة الاستخدام.
Rungsuriyawiboon and Coelli (2004)	61 مرفق لتوليد الكهرباء في الولايات المتحدة خلال الفترة 1986-1998	دالة التكلفة الحدودية SFA، دالة مسافة المدخلات، ومؤشر تورنكفيست	1-رأس المال. 2-العمل. 3-الوقود. 4-الصيانة.	1-صافى الطاقة الكهربائية المولدة.
Domah, 2002	عدد 16 من المولدات داخل الجزر الصغيرة، وعدد 121 مولدات مملوكة للمستثمرين فى الولايات المتحدة خلال الفترة 1994-2000	مقارنة لنموذجى SFA و DEA	1-رأس المال. 2-العمل. 3-الوقود. 4- متغيرات عدم الكفاءة (متوسط نصيب الفرد من استهلاك الكهرباء، معامل السعة، متغير وهمى للجزيرة، متغير وهمى لمدى اتصال الجزيرة بالغير).	1-الكهرباء المولدة.

وفيما يتعلق بالمتغيرات البيئية (المتغيرات الخارجة عن سيطرة وحدات الانتاج)، والتي سيتم ادراجها في نموذج SFA، كمتغيرات لعدم الكفاءة الفنية، فهى تتمثل في معدل استهلاك الوقود (R)، ومعامل الحمل (LF)، ومعامل السعة (CF)، إضافة الى متغير وهمى (D) يمثل نوع المحطة بناء على نوع الوقود المستخدم في التوليد، والذى يأخذ القيمة 1 اذا كانت المحطة مركبة، والقيمة 0 اذا كانت خلاف ذلك.

3-3 قياس الكفاءة الفنية باستخدام نموذج SFA

كما تمت الإشارة سابقا، تم تقديم نموذج SFA لأول مرة في دراستين منفصلتين [Aigner *et al.* (1977) and Meeusen and Van den Broeck (1977)]. ثم تم تطوير هذه النماذج في دراسات تالية، [Kumbhakar et al., (1991); Bettese and Coelli (1992 and 1995); (1999); Kumbhakar and Lovell (2003); Coelli et al., (2005) and Ghosh and Raychaudhuri (2010)].

وفي المراحل المبكرة من تحليل عدم الكفاءة الفنية، تم استخدام منهج المرحلتين two-stage approach كما عند Pitt and Lee (1981). حيث فى المرحلة الأولى يتم تقدير عدم الكفاءة الفنية بافتراض أنها موزعة بشكل متماثل وأنها ليست دالة للمتغيرات الأخرى. بينما فى المرحلة الثانية يتم بناء نموذج انحدار لعدم الكفاءة المقدرة في المرحلة الأولى كدالة في مجموعة من المتغيرات المستقلة بهدف تفسير التباينات في عدم الكفاءة بين وحدات الإنتاج. وقد وضع هذا المنهج معيارا لتحليل الكفاءة.

لكن فيما بعد ظهرت دراسات تشكك في الأساس النظري لمنهج المرحلتين، كما في دراسة (Kumbhakar, Ghosh and McGukin,1991) ودراسة (Reifschneider and Stevenson,1991) ودراسة (Coelli, 1996b). وقد ركزت هذه الانتقادات على الافتراضات المتعلقة بتوزيع مكون عدم الكفاءة الفنية. ففي المرحلة الأولى، يفترض أن تكون آثار عدم الكفاءة الفنية مستقلة وموزعة طبيعيا. وفى المرحلة الثانية، يتم تفسير عدم الكفاءة الفنية المقدرة من خلال عدد من المتغيرات التفسيرية، مما يجعلها في النهاية غير موزعة بشكل متماثل (طبيعيا). وعليه رأى كل من (Battese and Coelli,1993) بأن هذا يتناقض مع افتراض أن تأثيرات عدم الكفاءة موزعة بشكل متماثل في دالة الحدود العشوائية.

ولتفادى انتقادات منهج المرحلتين، فسوف نستخدم في هذه الدراسة منهج المرحلة الواحدة في تحليل تأثيرات عدم الكفاءة، وهو النموذج الذى اقترحه Battese and Coelli (1995)، حيث يتم تفسير تأثيرات عدم الكفاءة الفنية على انها دالة صريحة في متجه من المتغيرات الخاصة بالشركة والخطأ العشوائي. وهكذا، يمكن تقدير الكفاءة الفنية لكل وحدة إنتاجية على حده في عينة الدراسة.

وبناء على ذلك، يمكن تعريف دالة إنتاج الحدود العشوائية على النحو التالي:

$$Y_{it} = X_{it}\boldsymbol{\beta} + (v_{it} - u_{it}); i = 1, \dots, N; \quad t = 1, \dots, T \qquad 1$$

حيث:

Y_{it}: تشير الى لوغاريتم ناتج كل وحدة إنتاجية لكل فترة زمنية.

X_{it}: متجه $(1 * k)$ يمثل قيم المدخلات والمتغيرات التفسيرية الأخرى لكل وحدة إنتاجية ولكل فترة زمنية.

$\boldsymbol{\beta}$: متجه $(1 * k)$ للمعلمات غير المعروفة والتي يجب تقديرها.

v_{it}: تمثل حدود الخطأ العشوائية المنتظم والتي من المفترض ان تكون موزعة بشكل مستقل ومتماثل بمتوسط صفر وتباين غير معروف $iid\ N(0, \sigma_v^2)$ ، ويفترض أن هدا الحد يفسر قياس الخطأ والعوامل الأخرى التي لا تقع تحت سيطرة الوحدة الإنتاجية.

u_{it}: تمثل حدود خطأ عشوائية غير سالبة مرتبطة بعدم الكفاءة الفنية في الإنتاج، والتي يفترض أن تكون موزعة بشكل مستقل ومبتورة عند الصفر من التوزيع $N(m_{it}, \sigma_u^2)$ ، حيث:

$$m_{it} = z_{it}\delta \qquad 2$$

حيث

z_{it}: متجه $(m * 1)$ يمثل المتغيرات التفسيرية المرتبطة بعدم الكفاءة الفنية في الإنتاج بمرور الوقت.

δ: متجه $(m * 1)$ يمثل معلمات مجهولة يتم تقديرها.

ويتم استخدام طريقة الإمكان الأعظم للتقدير الآنى أو المتزامن لمعلمات الحدود العشوائية ونموذج تأثيرات عدم الكفاءة الفنية المعرفة في المعادلة السابقة وذلك باستخدام برنامج FRONTIRE 4.1 (Coelli, 1996b). حيث يتم التعبير عن دالة الإمكان من ناحية معلمات التباين. وباستخدام رموز المعلمات المقترحة بواسطة Battese and Corra (1977) يتم استبدال كل من σ_u^2 وكذلك σ_v^2 بالمعلمة $\sigma^2 \equiv \sigma_u^2 +$ وإحلال σ_v^2 $\gamma \equiv \sigma_u^2/(\sigma_u^2 + \sigma_v^2)$. ولابد هنا أن تقع قيمة المعلمة جاما بين الصفر والواحد حتى يتم الحصول على قيمة مناسبة لعملية التعظيم المتكررة.

ويتم تحديد الكفاءة الفنية لكل وحدة إنتاجية i عند كل مشاهدة خلال الفترة الزمنية t (TE_{it}) ، على أنها نسبة الناتج الفعلى الى الناتج الممكن، ومن ثم يمكن كتابة TE_{it} كالآتى:

$$TE_{it} = e^{-uit} \qquad 3$$

4- النموذج التطبيقى والبيانات

وفقا لـ (Coelli and Perlman, 2000)، يتطلب تحليل الكفاءة الفنية في إطار المنهج الحدودى المعلمى شكلا داليا يتصف بالخصائص الآتية:1-المرونة، 2- سهولة الحساب، 3- وأن يكون مناسبا لفرض التجانس. وتتوافر هذه الخصائص في شكل الدالة المتسامية transcendental function، وهو الشكل الذى تم استخدامه على نطاق واسع في دراسات قياس الكفاءة الفنية لصناعة الكهرباء. ومن ثم فسوف يتم اعتماد هذا الشكل الدالى بجانب دالة كوب-دوجلاس Cobb-Douglas -كشكل دالى بديل يتم الاختيار من بينهما-لتمثيل إنتاج الكهرباء في مصر.

بناء على ذلك، وفى ظل المتغيرات المعرفة أعلاه، يمكن صياغة دالة انتاج الكهرباء وفقا للشكل الدالى المتسامى كالآتى:

$$\ln Q_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln L_{it} + \beta_2 \ln F_{it} + \beta_3 \ln K_{it} + \beta_4 t + 0.5\beta_5 \ln(L_{it})^2 + \beta_6 \ln L_{it} \ln F_{it} + \beta_7 \ln L_{it} \ln K_{it} + \beta_8 \ln L_{it} t + 0.5\beta_9 \ln(F_{it})^2 + \beta_{10} \ln F_{it} \ln K_{it} + \beta_{11} \ln F_{it} t + 0.5\beta_{12} \ln(K_{it})^2 + \beta_{13} \ln K_{it} t + 0.5\beta_{14} t^2 + v_{it} - u_{it} \quad (4)$$

كما يتم تعريف مكون عدم الكفاءة في النموذج كالآتى:

$$m_{it} = \delta_0 + \delta_1 R_{it} + \delta_2 LF_{it} + \delta_3 CF_{it} + \delta_4 D_{it} \quad (5)$$

ويسمح إدراج العوامل الخاصة بمحطات التوليد بتغير متوسط حدود خطأ الكفاءة الفنية. ويتم اختبار أثر هذه العوامل على عدم الكفاءة الفنية من خلال فرض التقييد بأن جميع δ_s باستثناء δ_0، تساوي الصفر. ثم يتم مقارنة نتائج ذلك بالنموذج الذي يكون فيه حد عدم الكفاءة له توزيع طبيعي مقطوع كما في دراسة (Stevenson, 1980).

وتجدر الإشارة هنا إلى أن العوامل الأربعة الخاصة بمحطات التوليد والتي تم ادراجها في التحليل لا تمثل العوامل الوحيدة التي يمكن أن تؤثر على الكفاءة. أضف الى ذلك أنه من الممكن أن تؤثر مجموعة متنوعة من عوامل الإدارة مثل خبرة المديرين ودرجة القيود البيروقراطية على الكفاءة الفنية للمحطات.

ويتم تطبيق النموذج السابق لبيانات إطارية غير متوازنة (تتراوح بين 25–32 محطة لتوليد الكهرباء لفترة تسع سنوات من (08–2009 الى 16–2017)). ومن الكفاءة الفنية المتوسطة لمحطات التوليد، يصبح من الممكن تقييم الكفاءة الفنية لقطاع توليد الكهرباء في مصر. ويوضح الجدول التالي الإحصاء الوصفي للإحصاءات المستخدمة في هذا التحليل.

جدول (2) ملخص الإحصاءات الوصفية للمتغيرات الرئيسية في نماذج الدراسة

المتغير		المتوسط	الانحراف المعيارى	أدنى قيمة	أعلى قيمة
Q	الناتج	3641.33	2764.43	84	14695
L	العمل	814.57	602.39	24.66	3270
F	الوقود	761.22	514.84	32	2393
K	راس المال	638.15	473.51	24	2250
R	معدل استهلاك الوقود	233.21	50.32	152.8	417
LF	معامل الحمل	67.05	15.17	16	94.5
CF	معامل السعة	65.42	16.84	15.3	96.9
D	نوع المحطة	تأخذ القيمة 1 اذا كانت مركبة والقيمة 0 خلاف ذلك			
عدد المشاهدات		259 مشاهدة			

المصدر: الباحث اعتمادا على تقارير الشركة القابضة لكهرباء مصر، سنوات مختلفة.

وتجب الإشارة هنا الى ان الاختبار المشترك لمعنوية المكونات العشوائية والمحددة لحد خطأ عدم الكفاءة يستلزم عمل تقييد يتضمن $\gamma = \delta_0 = \delta_1 = \delta_2 = \delta_3 = \delta_4$. وعليه، فإن نتيجة عدم رفض هذه الفرضية هو أنه يجب إزالة حد خطأ عدم الكفاءة u_{it} من النموذج التطبيقى. وهذا يقلص من هذا النموذج إلى دالة الإنتاج المتوسطة النموذجية التي يفترض ضمنيًا فيها تحقق الكفاءة الفنية.

كذلك تجب الإشارة الى أن دالة الإنتاج المتسامية تمثل الشكل الدالى الأكثر مرونة. ومن ثم يسمح هذا الشكل بتحليل إمكانات الإحلال وإمكانات تغير الحجم والتغير الفنى مقارنة بدالة **Cobb-Douglas**. ولذا نلاحظ أنه يتطلب تقدير عدد أكثر من المعلمات. أضف الى ذلك، أنه إذا كان هناك شكلا داليا أبسط يمكن أن يمثل تكنولوجيا الإنتاج الأساسية، فإن تقدير المزيد من المعلمات يعد زائدا عن الحاجة ومن ثم قد يؤدي إلى تقديرات غير كفء. ولذا، سيتم اختبار عدد من الفرضيات على أساس قيود مختلفة للدالة المتسامية.

5- النتائج والتحليل

نذكر في البداية بأنه تم استخدام برنامج **FRONTIER4.1** للحصول على تقديرات الإمكان الأعظم لمعلمات نموذج الدراسة بتوصيفات ثلاثة مختلفة (1-نموذج الانحدار العشوائى المتسامى 2-نموذج الانحدار العشوائى المتسامى مع تغير فنى محايد لهيكس 3-نموذج الانحدار العشوائى مع دالة كوب-دوجلاس). ويوضح الجدول رقم (3) تقديرات هذه المعلمات ونسب t الخاصة بها.

وبنظرة أولية الى تقديرات المعاملات المرتبطة بمدخلات الإنتاج والتغير التكنولوجى، نجد أن نسبة t لمعاملات الوقود ورأس المال أكبر من 1.96 بالقيم المطلقة. وهذا يشير الى أن المعاملات المقدرة تختلف معنويا عن الصفر عند مستوى معنوية 5%، وبما يشير الى معقولية هذه النتائج.

لكن، ولتجنب تفسير نسب t المرتبطة بهذه المعاملات بشكل خاطئ، فإن اختبارا أكثر ملاءمة يتم إجراؤه للتأكيد على معنوية مجموعات المعاملات وهو اختبار نسبة الإمكان LR. ولاختبار صحة القيود المسبقة priori restrictions، والتي يجعلها (المعلمات) مساوية للصفر، يتم اختبار LR وفقا للإحصاء التالى (Damodar and Dawn, 2009, p. 275):

$$\lambda = 2(\text{ULLF} - \text{RLLF}) \qquad 6$$

حيث ULLF و RLLF هما على الترتيب دالة لوغاريتم الإمكان غير المقيدة (لنموذج الانحدار العشوائى المتسامى)، ودالة لوغاريتم الإمكان المقيدة (لتوصيفات نماذج الدراسة الأخرى) التي يتم تقديرها في ظل القيود المسبقة على هذه النماذج.

والفكرة الرئيسية وراء هذا الاختبار مباشرة، فلو أن القيود المسبقة كانت صحيحة، فإن دالة لوغاريتم الإمكان المقيدة وغير المقيدة لن يختلفا، ومن ثم تكون قيمة λ مساوية للصفر. أما إذا لم تكن الحالة كذلك، فإن قيم دوال الإمكان لابد وأن يختلفا (Ibid).

جدول (3) تقديرات الإمكان الأعظم لنموذج الحدود العشوائى المقدرة من المعادلة (4)

Coefficient		Translog	Translog (HNTC)	Cobb-Douglas
Intercept	β_0	0.405	0.396	0.597
		14.624	8.466	29.763
lnL	β_1	0.008	0.006	0.002
		1.135	0.633	0.240
lnF	β_2	0.828	0.824	0.899
		33.372	27.843	38.063
lnK	β_3	0.172	0.178	0.102
		7.069	5.505	4.303
t	β_4	0.002	0.001	0.001
		1.822	1.368	0.603
$0.5\ln(L)^2$	β_5	-0.049	0.006	
		-0.984	0.128	
$lnLlnF$	β_6	0.007	0.011	
		0.228	0.296	
$lnLlnK$	β_7	0.046	-0.009	
		0.949	-0.232	
$lnL * t$	β_8	-0.006	-0.229	
		-1.474	-4.035	
$0.5\ln(F)^2$	β_9	-0.229	0.202	
		-5.568	4.558	
$lnFlnK$	β_{10}	0.207	-0.168	
		4.956	-2.809	
$lnF * t$	β_{11}	-0.002	-0.001	
		-0.471	-0.978	
$0.5\ln(K)^2$	β_{12}	-0.224		
		-3.395		
$lnK * t$	β_{13}	0.007		
		1.360		
$0.5t^2$	β_{14}	-0.001		
		-1.569		
Intercept	δ_0	0.266	-0.266	-0.187
		-12.004	-4.380	-3.436
R	δ_1	0.003	0.003	0.004
		28.649	22.099	29.275
LF		0.0005	0.000	0.000

	δ_2	1.619	1.361	0.899
CF	δ_3	0.002	-0.002	-0.001
		-5.122	-4.651	-2.738
D	δ_4	-0.024	-0.023	-0.024
		-4.142	-3.862	-3.990
sigma-squared	σ^2	0.001	0.001	0.001
		11.150	10.949	10.471
gamma	γ	1.000	1.000	0.505
		17.251	29.143	19.544
log likelihood function		515.146	513.638	488.808

المصدر: مخرجات نموذج الدراسة.

وهذا يعنى أنه على الرغم من أن بعض المعلمات الفردية قد لا تكون معنوية إحصائيا، إلا أن أي تقليل أو تقليص في عدد المتغيرات التفسيرية في النموذج لابد وأن يعتمد على اختبارات الفرضيات المتعلقة بمجموعات المعاملات من خلال اختبار نسبة الإمكان LR.

ويوضح الجدول (3) تقديرات دوال لوغاريتم الإمكان للنماذج المختلفة، والتي يتم استخدامها في الجدول (4) لاشتقاق الإحصاءات بغرض اختبار الفرضيات.

5-1 الفرضيات المتعلقة بدالة الانتاج

تم القيام بعدة اختبارات لاختيار الشكل الدالى الصحيح للنموذج.

الاختبار الأول: كان بهدف التعرف على ما إذا كان هناك تغير فنى محايد لهيكس Hicks-neutral technical change للمتغيرات الرئيسية الثلاثة (العمل، والوقود ورأس المال) خلال فترة الدراسة. ويمكننا هذا الاختبار من استنتاج فيما إذا كان التقدم الفني (إن وجد) محابيا لاستخدام مدخلات معيّنة بدلاً من المدخلات الأخرى. ويستلزم ذلك وضع قيدا مسبقا بأن $\beta_8 = \beta_{11} = \beta_{13} = 0$ على النموذج المتسامى. وقد وجد أن إحصاء الاختبار 3.02 وهو أقل من القيمة الجدولية لـ (χ^2) وهى 7.81 عند مستوى معنوية 5%. وبالتالي، فإن فرضية حيادية التغير الفنى لا يمكن رفضها. وبالتالي يمكن استنتاج أن الشكل الدالى المتسامى مع وجود تغير فنى محايد يمثل توصيفا افضل لانتاج الكهرباء في مصر مقارنة بالنموذج المتسامى.

الاختبار الثانى: كان بهدف معرفة إذا ما كان يوجد تغير تكنولوجى واتجاهه خلال فترة الدراسة من عدمه. ويستلزم هذا الاختبار وضع القيد بأن $\beta_4 = \beta_8 = \beta_{11} = \beta_{13} = \beta_{14} = 0$. وقد بلغ إحصاء الاختبار 47 وهو أكبر من القيمة الحرجة لـ (χ^2) وهى 11.5 عند مستوى معنوية 5%. ومن ثم نرفض فرضية العدم بعدم وجود تغيرتكنولوجى.

الاختبار الثالث: يتعلق بما إذا كان الشكل الدالى كوب–دوجلاس أكثر ملاءمة لتوصيف انتاج الكهرباء في مصر مقارنة بالشكل الدالى المتسامى المقدر. ويقتضى قبول فرضية العدم تقليص معلمات التقدير والاستدلال الذى يمكن استخلاصه من التحليل. وتتضمن هذه الفرضية اختبار النموذج المتسامى في ظل القيد $\beta_5 = \beta_6 = \beta_7 = \beta_8 = \beta_9 = \beta_{10} = \beta_{11} = \beta_{12} = \beta_{13} = \beta_{14} = 0$ **. وقد وجد أن إحصاء اختبار LR هو 52.6 وهو أكبر من القيمة الحرجة لـ** (χ^2) **18.3 وذلك عند مستوى معنوية 5%. ومن ثم تم رفض فرضية العدم للشكل الدالى كوب–دوجلاس لصالح الشكل الدالى المتسامى. ويعنى هذا أن دالة الإنتاج Cobb–Douglas لا تعد توصيفا ملائما لقطاع توليد الكهرباء في مصر، مقارنةً بمواصفات نموذج دالة الإنتاج المتسامى. ويشير هذا أيضًا إلى أن مرونة المدخلات والإحلال ليست ثابتة بين وحدات التوليد، والذى يعد افتراضا أساسيا لدالة كوب–دوجلاس.**

ومن الاختبارات الثلاثة السابقة نصل إلى أن النموذج الحدودى المتسامى مع تغير فنى محايد يعد توصيفا ملائما لقطاع توليد الكهرباء في مصر.

جدول رقم (4) اختبارات الفرضيات

توصيف النموذج	القيود	لوغاريتم الإمكان	إحصاء نسبة اللوغاريتم	القيمة الحرجة	القرار
المتسامى	لا يوجد	515.12			
المتسامى (مع تغير فنى محايد)	$\beta_8 = \beta_{11} = \beta_{13} = 0$	513.02	4.20	7.81	قبول فرضية العدم
المتسامى (مع عدم وجود تغير فنى)	$\beta_4 = \beta_8 = \beta_{11} = \beta_{13} = \beta_{14} = 0$	491.6	47.04	11.07	رفض فرضية العدم
كوب-دوجلاس	$\beta_5 = \beta_6 = \beta_7 = \beta_8 = \beta_9 = \beta_{10} = \beta_{11} = \beta_{12} = \beta_{13} = \beta_{14} = 0$	488.8	52.64	18.31	رفض فرضية العدم
المتسامى (مع 0LS)	$\gamma = \delta_0 = \delta_1 = \delta_2 = \delta_3 = \delta_4 = 0$	128.3	769.44	11.07	رفض فرضية العدم
المتسامى (مع عدم وجود عوامل خاصة بالمشروع)	$\delta_1 = \delta_2 = \delta_3 = \delta_4 = 0$	131.8	762.44	9.48	رفض فرضية العدم

5–2 الفرضيات المتعلقة بعدم الكفاءة الفنية

بالنظر الى نسب t المرتبطة بكل من γ و δ_i نجد أن كلها معنوية باستثناء معامل واحد فقط. وهذا يثبت أن إدراج العوامل الخاصة بمحطات التوليد تمثل إضافات معنوية الى النموذج. لكن، وكما في حالة معاملات بيتا يمكن تأكيد هذه المعنوية باستخدام اختبار دالة لوغاريتم الإمكان LR.

الاختبار الأول: نستهدف من خلاله تقدير عدم الكفاءة الفنية الموجود في محطات توليد الكهرباء لعينة الدراسة. فإذا ما تم قبول فرضية العدم بعدم وجود كفاءة فنية، فإنه يجب حذف حد خطأ عدم الكفاءة U ، ومن ثم تقدير النموذج باستخدام طريقة المربعات الصغرى العادية OLS. ويكافئ حذف U فرض القيد بأن $\gamma = \delta_0 = \delta_1 = \delta_2 = \delta_3 = \delta_4 = 0$. ومن الجدول (4) نجد أن إحصاء LR هو 769.44 وهو أكبر من القيمة الجدولية لـ (χ^2). ويعنى هذا رفض فرضية العدم واستنتاج ملاءمة النموذج الذى يفسر عدم الكفاءة الفنية.

الاختبار الثانى: بهدف معرفة معنوية تأثير المتغيرات البيئية على عدم الكفاءة الفنية لمحطات التوليد، ويستلزم ذلك فرض القيد بأن $\delta_1 = \delta_2 = \delta_3 = \delta_4 = 0$. ومن الجدول (4) نجد أن قيمة إحصاء LR بلغت 762.44 التي فاقت القيمة الجدولية لـ (χ^2) عند مستوى معنوية 5%. ومن ثم نرفض فرضية العدم بأن العوامل الخاصة بمحطات التوليد ليس لها تأثير معنوى على عدم الكفاءة الفنية.

ومن كلا الاختبارين يمكننا القول بأن دالة الاستجابة المتوسطة والتي يفترض في إطارها تحقيق الكفاءة الفنية التامة من قبل كل وحدات الإنتاج لا تعد تمثيلا ملائما لحالة توليد صناعة الكهرباء في مصر.

6-معقولية النتائج اقتصادياً

باعتبار نتائج الفرضيات المذكورة أعلاه، اتضح أن النموذج المفضل هو الذي تم تعريفه بالمعادلة (4) و (5) مع فرض تغير فني محايد لهيكس. لكن تعقد الشكل الدالى المتسامى يجعل التفسير الاقتصادي المباشر للمعاملات المقدرة صعبا. ومع ذلك، يمكن التغلب على هذه المشكلة عن طريق مفاضلة المعادلة (4) ثم حساب التقديرات المفسرة بسهولة أكبر (Coelli,1996c). لكن وحيث تم في البداية التعبير عن البيانات بانحرافها عن الوسط الهندسى، فكان من الممكن تفسير معلمات الرتبة الأولى المقدرة للدالة المتسامية مباشرة على أنها تقديرات لمرونات الإنتاج محسوبة عند متوسطات العينة.

ومن ثم فمن الجدول (3) نحصل على تقديرات مرونة الإنتاج الخاصة بمدخلات الانتاج الثلاثة، ومرونة العائد بالنسبة للحجم والتغير النسبى السنوي في الإنتاج بسبب التغير التكنولوجى.

ويظهر من الجدول أن مرونات الإنتاج المقدرة ذات إشارة موجبة، لا سيما الوقود ورأس المال بما لهما من معنوية إحصائية. ويشير ذلك الى أن استخدام المزيد من الوقود ورأس المال سوف يكون له مردود إيجابي على المخرجات. وعلى الرغم من الإشارة الموجبة لمرونة متغير العمالة، الا انها غير معنوية احصائيا، ويشير ذلك الى أن الوقود ورأس المال يمثلان المدخلات الأكثر أهمية في تكنولوجيا الإنتاج. وبجمع مرونات متغيرات العمالة والوقود ورأس المال نجد أنها تصل الى مرونة الوحدة (1 صحيح) بما يشير الى أن صناعة توليد الكهرباء في مصر تتميز بثبات العائد بالنسبة للحجم. أخيرا، وعلى الرغم من عدم معنوية معامل التغير التكنولوجى عند مستوى معنوية 10%، إلا أن نسبة t الخاصة به والمرتفعة الى حد ما (1.368) يمكننا القول على أساسها بأن تكنولوجيا الإنتاج قد تحسنت بمعدل 0.1% خلال فترة الدراسة. ويعنى ذلك، أنه في ظل هذا المعدل التقديرى للتغير التكنولوجى، يكون من المفترض أن تحقق محطات التوليد الجديدة لفترة مماثلة زيادة في المخرجات بنسبة 1% باستخدام نفس مجموعة المدخلات.

7- الكفاءة الفنية لمحطات توليد الكهرباء (عينة الدراسة)

7-1 التباينات في متوسط الكفاءة الفنية بمرور الوقت

يتيح إجراء التقدير المتبع في هذه الدراسة توفير درجات للكفاءة الفنية لكل وحدة انتاج (محطة توليد) على حدة خلال فترة الدراسة. ومن أجل تمييز نتائج ذات معنى، نورد في الجدول رقم (5) متوسط الكفاءة الفنية وتغيرها لمحطات التوليد قيد الدراسة خلال فترات الدراسة.

جدول رقم (5) متوسط درجات الكفاءة الفنية وتغيرها خلال سنوات الدراسة

السنة	عدد المحطات	متوسط درجات الكفاءة	تغير متوسط الكفاءة
2008-2009	25	68.32	-
2009-2010	27	69.38	1.54
2010-2011	30	69.20	-0.26
2011-2012	29	70.85	2.35
2012-2013	32	68.23	-3.76
2013-2014	31	68.36	0.19
2014-2015	31	65.69	-3.99
2015-2016	26	69.67	5.89
2016-2017	28	69.32	-0.51
المتوسط	-	68.78	-

المصدر: الباحث اعتمادا على بيانات الجدول رقم (3).

ومن الجدول السابق يمكن ملاحظة أن الكفاءة الفنية لمحطات التوليد تميزت بالثبات النسبى خلال فترة الدراسة. إذ تراوحت بين 65.69% – 70.85%، وبلغت في المتوسط 68.78%، وأن معدل التغير في متوسطاتها كان منخفضا جدا، بما يشير الى عدم وجود طفرات إيجابية أو سلبية في هذه المتوسطات، وإنما كان هناك ثباتا نسبيا الى حد كبير في هذه المتوسطات خلال فترة الدراسة.

7-2 التباينات بين المحطات في الكفاءة الفنية

تظهر التقلبات بشكل أوضح عند النظر في مستويات الكفاءة الفنية على مستوى المحطات الفردية. ويعرض الجدول (6) متوسط الكفاءة الفنية لكل محطة وتغير درجة الكفاءة بين السنة الأولى والأخيرة خلال فترة الدراسة.

جدول (6) متوسط الكفاءة الفنية وتغيرها وترتيبها لمحطات التوليد خلال فترة الدراسة

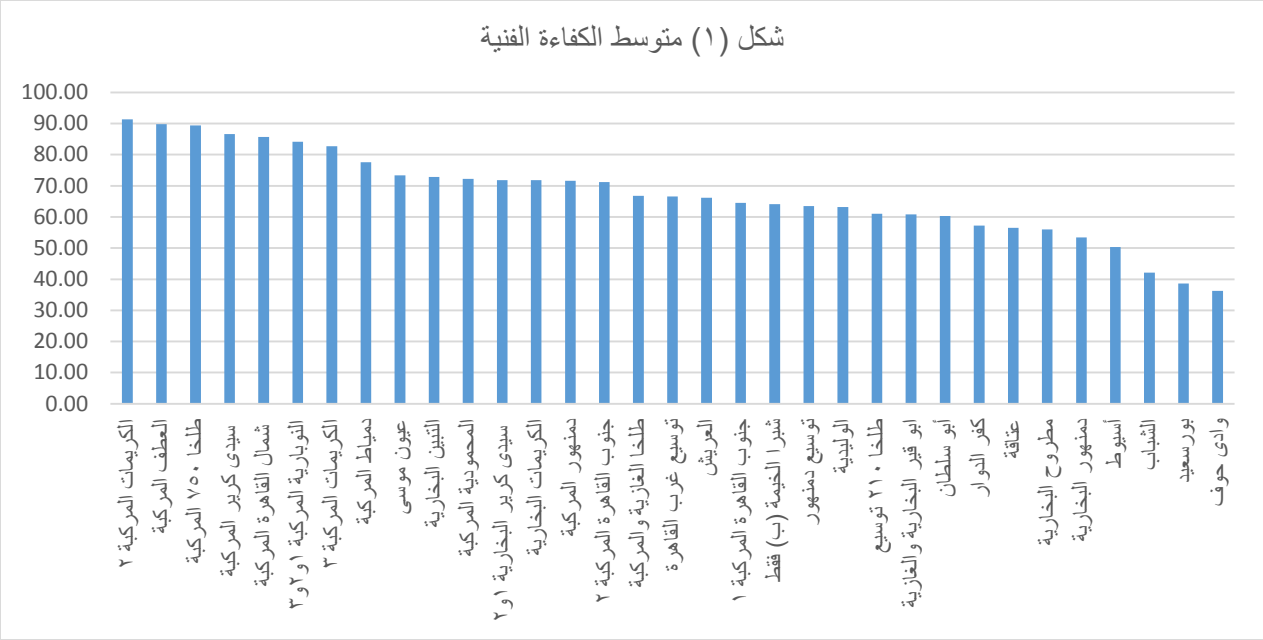
المحطة	رتبة المحطة	متوسط الكفاءة	2008-2009	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017	التغير بين أول سنة وآخر سنة
شبرا الخيمة (ب) فقط	20	64.14	0.696	0.664	0.655	0.604	0.622	0.615	0.634	0.645	0.638	-8.77
توسيع غرب القاهرة	17	66.59	0.630	0.708	0.627	0.691	0.684	0.682	0.667	0.658	0.645	2.39
جنوب القاهرة المركبة 1	19	64.55	0.715	0.723	0.718	0.678	0.597	0.602	0.607	0.586	0.583	-20.37
جنوب القاهرة المركبة 2	15	71.24	0.854	0.766	0.767	0.577	0.710	0.716	0.556	0.777	0.688	-21.54
شمال القاهرة المركبة	5	85.65	0.843	0.886	0.903	0.918	0.882	0.852	0.788	0.814	0.824	-2.38
وادى حوف	33	36.22	-	-		-	0.365	-	0.360	-	-	-
التبين البخارية	10	72.81	-	-	0.772	0.767	0.712	0.707	0.684	-	-	-
دمياط المركبة	8	77.61	0.784	0.778	0.772	0.776	0.799	0.787	0.759	0.750	0.779	-0.60
عتاقة	27	56.53	0.626	0.594	0.560	0.590	0.534	0.543	-	-	0.509	-20.70
أبو سلطان	25	60.32	0.590	0.584	0.599	0.618	0.619	0.593	0.604	0.600	0.621	5.09
الشباب	31	42.06	-	-	0.460	-	0.427	0.429	0.443	0.402	0.362	-
بورسعيد	32	38.59	-	-	-	-	0.386	0.388	0.383	-	-	-
العريش	18	66.12	0.696	0.691	0.635	0.601	0.665	0.675	0.663	0.667	0.659	-5.55
عيون موسى	9	73.36	0.746	0.745	0.753	0.766	0.736	0.748	0.707	0.720	0.682	-8.95
طلخا الغازية والمركبة	16	66.79	0.693	0.709	0.693	0.661	0.670	0.692	0.624	0.600	0.669	-3.49
طلخا 210 توسيع	23	61.03	0.638	0.647	0.568	0.632	0.598	0.628	0.587	0.594	0.602	-5.77
طلخا 750 المركبة	3	89.41	0.655	0.839	0.967	0.861	0.965	0.888	0.981	0.952	0.940	36.15
النوبارية المركبة 1و2و3	6	84.15	-	-	0.795	0.844	0.840	-	0.880	0.849	0.841	-

المحمودية المركبة	11	72.18	0.746	0.740	0.737	0.678	0.729	0.721	0.754	0.685	0.706	-5.49
العطف المركبة	2	89.77	-	0.730	0.906	0.941	0.929	0.948	0.880	0.923	0.925	-
كفر الدوار	26	57.23	0.595	0.572	0.547	0.558	0.590	0.601	0.575	0.574	0.541	-9.50
توسيع دمنهور	21	63.47	0.658	0.652	0.632	-	-	0.584	0.650	0.612	0.653	-0.70
دمنهور البخارية	29	53.46	0.577	0.552	0.528	0.546	0.530	0.529	0.481	-	-	-
دمنهور المركبة	14	71.60	0.731	0.660	0.710	0.729	0.740	0.743	0.726	0.702	0.702	-3.99
ابو قير البخارية والغازية	24	60.84	0.641	0.608	0.594	0.623	0.619	0.598	0.611	0.570	0.611	-4.75
سيدى كرير البخارية 1و2	12	71.85	0.738	0.752	0.730	0.724	0.729	0.686	0.695	0.702	0.711	-3.65
سيدى كرير المركبة	4	86.58	-	0.665	0.881	0.939	0.918	0.933	0.891	0.885	0.813	-
مطروح البخارية	28	56.01	0.533	-	0.525	0.555	0.589	0.561	0.548	0.593	0.576	7.73
الوليدية	22	63.16	0.659	0.633	0.615	0.646	0.650	0.641	0.570	0.670	0.600	-9.42
الكريمات البخارية	13	71.80	0.756	0.717	-	0.711	0.731	0.727	0.724	0.694	0.683	-10.06
الكريمات المركبة 2	1	91.29	0.739	1.000	0.961	0.951	0.898	0.952	-	-	0.889	18.42
الكريمات المركبة 3	7	82.75	-	0.600	0.639	0.852	0.861	0.936	0.884	0.892	0.956	-
أسيوط	30	50.36	0.542	0.518	0.510	0.505	0.512	0.487	0.450	-	-	-
متوسط درجة الكفاءة عبر السنوات		68.78	68.32	69.38	69.20	70.85	68.23	68.36	65.69	69.67	69.32	1.45
عدد محطات المتوسط			25	27	30	29	32	31	31	26	28	

المصدر: الباحث بناء على مخرجات نموذج الدراسة.

ويوضح الجدول رقم (6) أن متوسط الكفاءة لكل المحطات بلغ 68.78%، وأن أعلى متوسط للكفاءة بين المحطات حققته محطة الكريمات المركبة 2 بنسبة 91.29% بينما كان أقل متوسط لمحطة وادى حوف بنسبة 36.22%. وباعتبار التغير في الكفاءة بين السنة الأولى والأخيرة نجد أن 18 محطة حققت تغيرات سلبية كان أبرزها محطة جنوب القاهرة المركبة 2 بنسبة 21.5%، في حين حققت ست محطات فقط تغيرات ايجابية كان أبرزها محطة طلخا 750 المركبة بنسبة 36.15%. ومن ثم انعكست هذه النتائج في انخفاض المتوسط العام للكفاءة بين السنة الأولى والأخيرة.

والسمة البارزة المعروضة في هذا الجدول، هو أن عدد 15 محطة فقط بنسبة 45% تجاوزت متوسط الكفاءة العام بينما انخفض متوسط الكفاءة الفنية لباقى المحطات وعددها 18 محطة عن المتوسط العام. وأن كافة المحطات التي لم تتجاوز قدراتها المركبة 500 ميجاوات وعددها ست محطات كانت في هذه المجموعة. بل إن هذه المحطات سجلت أقل متوسطات للكفاءة خلال فترة الدراسة.



أضف إلى ذلك، أنه لو اعتبرنا أن متوسط معامل الحمل مؤشرا للكفاءة الفنية للمحطات، فعليه يمكن اعتبار أن هذا المتوسط يمثل أداء ضعيفا للمحطات، خاصة وأن معامل حمل المحطة العالمى يبلغ في المتوسط 70%. ويتضح هذا الأداء الضعيف أيضا عند مقارنته بمتوسط الكفاءة الفنية لقطاع التوليد في بعض الدراسات المشابهه –وليست المماثلة–.

7–2–3 العوامل التفسيرية لتباين الكفاءة الفنية

يرتبط تفسير عدم الكفاءة الفنية بالمعلمتين γ و δ_i. وكما تم ذكره سابقا، تم ادراج أربعة متغيرات بيئية δ_i تمثل العوامل التفسيرية لعدم الكفاءة الفنية. ويوضح الجدول (3) تقديرات الإمكان الأعظم لهذه المعلمات. ومن الجدول نجد أن قيمة γ للنموذج المتسامى المفضل تبلغ 0.999 بمستوى معنوية مرتفع. وتشير هذه القيمة المرتفعة لـ γ الى نتيجتين هامتين: الأولى تقريبا كل التباين في البيانات بين محطات التوليد يمكن تفسيرها من خلال هذا النموذج، بما يعنى أن معظم الاختلافات في الكفاءة الفنية بين محطات التوليد ترجع الى متغيرات عدم الكفاءة وليس الى الخطأ العشوائى. النتيجة الثانية هي أن عدم الكفاءة الفنية المقدرة يتم تفسيرها بالمتغيرات البيئية المدرجة في هذا النموذج.

وتشير هذه النتائج الى وجود أوجه قصور محددة بين محطات التوليد يمكن استخدامها كمعايير مرجعية لرفع مستوى الكفاءة الفنية في وحدات هذا القطاع.

وفيما يتعلق بتأثير المتغيرات البيئية على الكفاءة الفنية لمحطات التوليد، يجب التنبيه هنا أولا على أن الإشارة السالبة للمعاملات تشير الى تأثير إيجابى للمتغير البيئي التفسيرى على الكفاءة الفنية، بينما تشير الإشارة الموجبة للمعاملات الى تأثير عكسى للمتغير البيئي التفسيرى على الكفاءة الفنية.

وباستثناء معامل الحمل نلاحظ أن الثلاثة متغيرات الباقية معنوية احصائيا وإن كانت تأثيراتها في الكفاءة الفنية ضعيفة الى حد ما. وبينما كان تأثير معدل استهلاك الوقود سلبيا (إيجابيا) على الكفاءة الفنية (على عدم الكفاءة) الفنية، نجد أن كلا من معامل السعة ومحطات التوليد المركبة تساهم إيجابيا (سلبيا) في الكفاءة الفنية (عدم الكفاءة الفنية)، وبما يشير الى أن إشارات هذه المتغيرات كانت في اتجاهها المتوقع لها.

8- خاتمة البحث

على ما وقف عليه الباحث، تعد هذه الدراسة هي أولى الدراسات التي تتناول قياس الكفاءة الفنية لقطاع توليد الكهرباء في مصر باستخدام تحليل الحدود العشوائية. وتوصلت الدراسة الى انخفاض مستوى الكفاءة الفنية لقطاع توليد الكهرباء في مصر خلال فترة الدراسة. إذ لم يتجاوز مستوى الكفاءة الفنية 69% في المتوسط. ويمكن اعتبار أن هذا المتوسط يمثل أداء ضعيفا لهذا القطاع خاصة إذا ما اعتبرنا أن معامل حمل المحطة العالمى والذى يبلغ في المتوسط 70% يمثل مؤشرا للكفاءة الفنية لمحطات التوليد. وتشير هذه النسبة المنخفضة الى وجود إمكانية لتخفيض موارد التوليد بما يقارب 30% مع الإبقاء على نفس القدر من الكهرباء المولدة.

كذلك أظهرت نتائج الدراسة أن متغيرى الوقود ورأس المال متمثلا في قدرات التوليد المركبة يمثلان عاملى الإنتاج الرئيسيين في توليد الكهرباء، إذ لم يوجد اثرا معنويا لعنصر العمل كمتغير مؤثر في عملية الإنتاج. إضافة الى ذلك، أظهرت الدراسة وجود أثرا معنويا موجبا لكل من نوع المحطة ومعامل السعة في رفع مستويات الكفاءة الفنية لمحطات التوليد، بينما كان لمعدل استهلاك الوقود أثر سالبا على مستويات الكفاءة الفنية. أخيرا، أظهرت الدراسة ارتفاع مستويات الكفاءة الفنية لمحطات التوليد كبيرة الحجم (أكبر من 500 ميجاوات) مقارنة بمحطات التوليد صغيرة الحجم.

مراجع البحث

أولا: المراجع العربية

-الجهاز المركزى للتعبئة العامة والإحصاء، النشرة السنوية لإحصاء الكهرباء والطاقة، سنوات مختلفة.

-الشركة القابضة لكهرباء مصر، التقرير السنوى، سنوات مختلفة.

ثانيا: المراجع الأجنبية

-Aigner, D., Lovell, C.K. and Schmidt, P., (1977). Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. Journal of Econometrics, 6(1), pp.21-37.

-Aye, G. C. (2011). Sensitivity and integration of efficiency estimates from input distance functions and stochastic production frontiers: Application to maize production in Benue State Nigeria (Doctoral dissertation, University of Pretoria).

-Barros, C. P. (2008). Efficiency analysis of hydroelectric generating plants: A case study for Portugal. Energy Economics, 30(1), 59-75.

-Battese, G., and G. Corra, (1977). "Estimation of a Production Frontier Model: With Application to the Pastoral Zone of Eastern Australia," Australian Journal of Agricultural Economics, 21, pp. 167–179.

-Battese, G.E. (1992) Frontier Production Functions and Technical Efficiency: A Survey of Empirical Applications in Agricultural Economics, Agricultural Economics, 7: 185-208.

-Battese, G.E. and Coelli, T.J., (1992). Frontier Production Functions, Technical Efficiency and Panel Data: With Application to Paddy Farmers in India. Journal of Productivity Analysis, pp.153-169.

-Battese, G.E. and Coelli, T.J., (1995). A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data. Empirical Economics, 20(2), pp.325-332.

-Coelli, T. (2002). A comparison of alternative productivity growth measures: with application to electricity generation. In Efficiency in the public sector (pp. 169-200). Springer, Boston, MA.

-Coelli, T., & Perelman, S. (2000). Technical efficiency of European railways: a distance function approach. Applied Economics, 32(15), 1967-1976.

-Coelli, T.J., Rao, D.S.P., O'Donnell, C.J. and Battese, G.E. (2005). An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis, Second Edition, Springer, USA.

-Damodar N. and Dawn C. (2009). Basic econometrics. 5th Edition. The Mc-Graw Hill.

-Domah, P. (2004). Technical efficiency in electricity generation-the impact of smallness and isolation of island economies.

-Fatima, S., & Barik, K. (2012). Technical efficiency of thermal power generation in India: post-restructuring experience. International Journal of Energy Economics and Policy, 2(4), 210-224.

-Fried, H.O., C.A.K. Lovell, S.S. Schmidt (2008) Efficiency and Productivity, in: H. Fried, C.A.K. Lovell, S. Schmidt (eds) The Measurement of Productive Efficiency and Productivity Change, New York, Oxford University Press: 3-91.

-Ghosh, C., & Raychaudhuri, A. (2010). Measurement of cost efficiency in the case of rice production in West Bengal and Andhra Pradesh. IUP Journal of Agricultural Economics, 7(1/2), 30.
-Ghosh, R. K., & Kathuria, V. (2014). Effects of Regulatory Governance on Indian Thermal Power Efficiency: Results from a Stochastic Frontier Modeling.
-Haghiri, M. (2003). Stochastic non-parametric frontier analysis in measuring technical efficiency: a case study of the North American dairy industry (Doctoral dissertation, University of Saskatchewan).
-Jaraitė, J., & Di Maria, C. (2012). Efficiency, productivity and environmental policy: a case study of power generation in the EU. Energy Economics, 34(5), 1557-1568.
-Kokkinou, Aikaterini (2012) An industry and country analysis of technical efficiency in the European Union, 1980-2005. PhD thesis, University of Glasgow.
-Kumbhakar, S. C., & C. A. K. Lovell (2000), Stochastic Frontier Analysis. New York: Cambridge University Press.
-Kumbhakar, S.C., Ghosh, S. and McGuckin, J.T., (1991). A generalized production frontier approach for estimating determinants of inefficiency in US dairy farms. Journal of Business & Economic Statistics, 9(3), pp.279-286.
-Liu, C. H., Lin, S. J., & Lewis, C. (2010). Evaluation of thermal power plant operational performance in Taiwan by data envelopment analysis. Energy policy, 38(2), 1049-1058.
-Meeusen, W. and van Den Broeck, J., 1977. Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error. International economic review, pp.435-444.
-Pitt, M.M. and L.F. Lee, 1981, 'The Measurement and Sources of Technical Inefficiency in the Indonesian Weaving Industry.' Journal of Development Economics, Vol. 9: 43 - 64.
-Reifschneider, D. and Stevenson, R. (1991) Systematic Departures from the Frontier: A framework for the Analysis of Producer inefficiency International Economic Review, 32: 3: 715-723.
-Rungsuriyawiboon, S., & Coelli, T. (2004). Regulatory reform and economic performance in US electricity generation. Centre for Efficiency and Productivity Analyisis.
-See, K. F., & Coelli, T., 2012. An analysis of factors that influence the technical efficiency of Malaysian thermal power plants. Energy Economics, 34(3), 677-685.
-Shrivastava, N., Sharma, S., & Chauhan, K. (2012). Efficiency assessment and benchmarking of thermal power plants in India. Energy policy, 40, 159-176.
-Stevenson R (1980) Likelihood functions for generalized stochastic frontier functions. J Econ 13:57–66.
-Zhao, X., & Ma, C. (2013). Deregulation, vertical unbundling and the performance of China's large coal-fired power plants. Energy Economics, 40, 474-483.