

تبیین الگوی ارزیابی عملکرد در طی زمان با تحلیل پنجره‌های

محمد رحیم رمضانیان^۱، اکرم اویسی عمران^۲، کیخسرو یاکیده^۳

چکیده: تحلیل پنجره‌ای، روش شناخته‌شده‌ای برای ارزیابی عملکرد در طول دوره‌های زمانی بر مبنای تحلیل پوششی داده‌ها است. در کاربرد تحلیل پنجره، فرض می‌شود که مرزهای کارا در طول دوره‌های مورد بررسی تغییر نکرده‌اند. بر خلاف تحلیل پنجره، شاخص مالم کوئیست تلاش می‌کند تفاوت مرزهای کارا را شناسایی و تفکیک کند. اما منظور از تفاوت مرزها از دیدگاه تحلیل پنجره، تغییرات کلی آنهاست که با روش‌های آماری قابل مطالعه است؛ در حالی که از دیدگاه مالم کوئیست، منظور میزان افتراق در نقاط محدودی از مرزهاست که با روش‌های ریاضی قابل تفکیک است. در این پژوهش با توجه به انطباق مجموعه امکان تولید در دو نوع شاخص مالم کوئیست با تحلیل پنجره‌ای با عرض‌های برابر با ۲ یا بیشتر، چارچوبی پیشنهاد می‌شود که کاربر را قادر می‌کند با تعیین طول مناسب پنجره، از نقض فرض اساسی آن اجتناب کند و با به‌کارگیری نوع مناسب شاخص مالم کوئیست، تفاوت‌های نقطه‌ای در مرزها را در محاسبات عملکرد محاسبه کند.

واژه‌های کلیدی: تحلیل پوششی داده‌ها، انتقال مرز کارا، تحلیل پنجره، شاخص مالم کوئیست دوسالانه، شاخص مالم کوئیست جهانی.

۱. دانشیار گروه مدیریت، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۲. کارشناس ارشد مدیریت صنعتی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۳. استادیار گروه مدیریت دانشگاه گیلان، رشت، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۰۱/۱۹

تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۹۱/۰۵/۲۸

نویسنده مسئول مقاله: اکرم اویسی عمران

E-mail: akramoveysi@gmail.com

مقدمه

تحلیل پوششی داده‌ها^۱ از سوی چارنز، کوپر و رودز^۲ (۱۹۸۴)، بر مبنای کار فارل^۳ (۱۹۵۷) معرفی شده است که رویکردی ناپارامتریک است و برای اندازه‌گیری کارایی نسبی واحدهای تصمیم‌گیرنده^۴ با ورودی‌ها و خروجی‌های چندگانه بدون تخصیص وزن‌های از پیش تعیین شده به کار می‌رود (Charnes & et al., 1994a). ارزیابی نسبی واحدهای تصمیم‌گیرنده طی دوره زمانی با روش‌هایی مانند تحلیل پنجره^۵ و شاخص بهره‌وری مالم کوئیست^۶ بر مبنای تحلیل پوششی داده‌ها توسعه یافته است (Cooper & et al., 2002). با داشتن تابع تولید، به‌سادگی می‌توان کارایی یک واحد تصمیم‌گیرنده را به‌دست آورد، اما به‌دلایل مختلف، تابع تولید به‌راحتی محاسبه نمی‌شود. از این رو مجموعه‌ای را به نام مجموعه امکان تولید^۷ می‌سازیم. مرز حاصل از این مجموعه یک مرز تقریبی است که و به‌شکل زیر تعریف می‌شود:

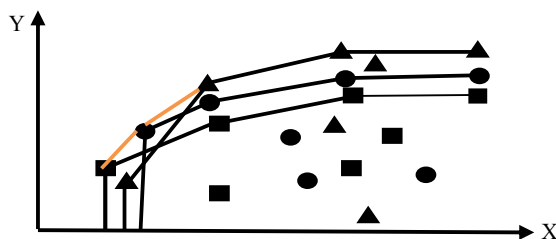
$$T = \{x, y\} / \text{بردار نا منفی } x \text{ بردار نا منفی } y \text{ را تولید می‌کند.}$$

در تحلیل پوششی داده‌ها مرز این مجموعه به جای تابع تولید مبنای مقایسه قرار می‌گیرد. مجموعه امکان تولید با توجه به مفروضات زیر ساخته می‌شود (جهان‌شاهلو و همکاران، ۱۳۹۱):

- ۱- اصل شمول مشاهدات: هر واحد مشاهده شده که با ورودی x خروجی y را تولید کند، عضو مجموعه امکان است.
- ۲- اصل بازده به مقیاس: اگر واحدی عضو مجموعه امکان است که با ورودی x خروجی y را تولید می‌کند، هر واحدی که با ورودی بیشتر از λx خروجی λy را تولید کند نیز، عضو مجموعه امکان است. این اصل، بیکرانی اشعه هم نامیده می‌شود.
- ۳- اصل تحدب: اگر دو واحد عضو مجموعه امکان هستند، واحدی که بردار ورودی و خروجی آن ترکیب محدبی از بردارهای خروجی این دو واحد است نیز، عضو مجموعه امکان است.
- ۴- اصل امکان پذیری: اگر واحدی عضو مجموعه امکان است که با ورودی x خروجی y را تولید می‌کند، هر واحدی که با ورودی بیشتر از x خروجی y را تولید کند و هر واحدی که با ورودی x خروجی کمتر از y را تولید کند نیز عضو مجموعه امکان است.

1. Data envelopment analysis (DEA)
2. Charnes, Cooper & Rhoddes
3. Farrell
4. Decision- Making Unit (DMU)
5. Window Analysis
6. Malmquist
7. Production Possibility Set (PPS)

در تحلیل پنجره با فرض n واحد تصمیم‌گیرنده (DMU) که هر کدام از این واحدها m ورودی را برای تولید S خروجی به کار می‌برند، در T دوره زمانی مجموعه‌ای شامل $(n \times T)$ مشاهده حاصل می‌شود. طول هر پنجره با ρ و عرض آن با $w = T - \rho + 1$ نشان داده می‌شود. مجموعه امکان تحلیل پنجره‌ای با عرض بزرگتر از یک، مجموعه امکان ادغام شده‌ای است که از اجتماع دوره‌های موجود در عرض پنجره ساخته می‌شود. در این مجموعه امکان ادغام شده، عملکرد یک واحد نسبت به عملکرد همان واحد در دوره‌های دیگر، علاوه بر سایر واحدهای موجود در هر دوره مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. وضعیت مرزها در یک مجموعه امکان ادغام شده تحلیل پنجره‌ای با عرض سه دوره زمانی را می‌توان به صورت شکل شماره ۱ نشان داد. این رویکرد به‌طور ضمنی فرض می‌کند که مرزهای کارا در طول دوره‌های موجود در هر تحلیل دست‌کم به‌طور جدی تغییر نکرده است (Asmikh & et al, 2004).



شکل ۱. مرز مجموعه امکان ادغام شده

شاخص بهره‌وری مالم کوئیست در DEA، نسبت بین دو کارایی یک واحد در دو دوره متفاوت یا بین دو دسته از مشاهدات تعریف می‌شود که تغییرات بهره‌وری ناشی از تغییر عملکرد، تغییر مرز کارا و در صورت لزوم تغییر مقیاس را محاسبه می‌کند. مشکل اصلی شاخص مالم کوئیست سنتی، این است که تحت فرض بازده به مقیاس متغیر نشدنی می‌شود. به‌تازگی چند شاخص مالم کوئیست تحت فرض بازده به مقیاس متغیر پیشنهاد شده‌اند که از مشکل نشدنی بودن شاخص سنتی مالم کوئیست جلوگیری می‌کنند که شامل شاخص مالم کوئیست متوالی، جهانی و دوسالانه هستند (Pastore & et al., 2011).

ادبیات پژوهش

تحلیل پنجره به‌طور ضمنی فرض می‌کند که تغییر جدی در مرزهای کارای دوره‌های موجود در عرض پنجره وجود ندارد. به‌گفته‌ای هنگام انتخاب عرض پنجره، این فرض اساسی باید رعایت شود. با رعایت این فرض اساسی نمره‌های کارایی در تحلیل پنجره، دربردارنده تغییرات بهره‌وری واحدها و تغییرات جزئی مرزهای کارا در بین دوره‌های موجود در تحلیل هستند. تغییر بهره‌وری یک واحد در بین دو تحلیل متوالی در تحلیل پنجره، فقط ناشی از تغییر در عملکرد خود واحد نیست (Asmild & et al., 2004)، بلکه انتقال در مرزهای کارا را نیز اندازه‌گیری می‌کند.

اگرچه این فرض اساسی تحلیل پنجره مورد توجه محققان بوده، اما تلاشی برای ارائه یک روش تحلیلی و مستدل نشده است و به راه‌حل‌های تجربی مثل توصیه به کاهش تعداد دوره‌ها و به‌کارگیری پنجره‌ای با عرض کم بسنده شده است. برای نمونه، چارنر و همکارانش پیشنهاد می‌کنند که پنجره‌ای با عرض سه یا چهار دوره زمانی، بهترین کیفیت و ثبات را در نمره‌های کارایی خواهد داشت (Charnes & et al., 1994b).

در مطالعات مشابه (Chung & et al., 2008; Halkos & Tzeremes, 2009; Wang & Zhang, 2011; Zhang & et al., 2011) بر همین اساس عرض سه دوره زمانی به‌کار برده شده است. آسمیلد نیز با هدف حذف احتمال انتقال مرز در بین دوره‌های تحت بررسی، پنجره‌ای به طول ۱ را در نظر گرفته است (Asmild & et al., 2004).

این در حالی است که به‌کارگیری آزمون فرض آماری همراه با رعایت ملاحظات، می‌تواند یک راه مستدل و تحلیلی برای تعیین عرض پنجره باشد. تشخیص تفاوت مرزهای کارا را نخستین بار گالونی و همکاران پیشنهاد کردند و مورد استقبال براکت و همکاران (۲۰۰۴ و ۱۹۹۶) و باروا و همکاران (۲۰۰۴) قرار گرفت. از آنجایی که توزیع نظری نمره‌های کارایی در DEA معمولاً ناشناخته است، گالونی برای مقایسه مرز کارا در دو گروه از واحدهای تصمیم‌گیرنده، آزمون ناپارامتری من‌وایتنی^۱ را پیشنهاد کرد.

بر اساس پیشنهاد گالونی فرض می‌شود (Roll & Golany, 1993) واحدهای کارا و واحدهای بهبودیافته^۲ در هر مجموعه نمونه‌ای از بی‌نهایت نقطه روی مرز کارا هستند. واحدهای بهبودیافته، در واقع تصویر واحدهای ناکارا روی مرز کارا هستند. اگر تفاوت نمره‌های کارایی

1. Wilcoxon Mann- Withney Test
2. Projection DMU

نمونه در دو گروه از واحدهای کارا نسبت به یک مجموعه امکان ادغام شده، معنادار باشد، آنگاه می‌توان پذیرفت که دو مرز کارا با هم متفاوت هستند.

با این فرض، نمره‌های کارایی دو گروه $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ و $B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$ از واحدهای تصمیم‌گیرنده در گروه خود، نسبت به مجموعه امکان همان گروه، محاسبه شده تا واحدهای کارا و ناکارا در هر گروه مشخص شوند. واحدهای بهبودیافته با به‌کارگیری رابطه شماره ۱ محاسبه می‌شوند (Tone & et al., 2007):

$$\hat{x}_0 = \theta^* x_0 - s^{-*} = \sum_{j \in E_0} \lambda_j^* x_j$$

$$\hat{y}_0 = \theta^* y_0 - s^{+*} = \sum_{j \in E_0} \lambda_j^* y_j$$

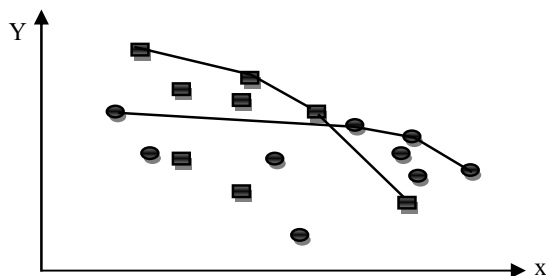
رابطه ۱)

در واقع مجموعه واحدهای کارا و واحدهای بهبودیافته در هر گروه، نمونه‌ای از مرز کارایی آن گروه تلقی می‌شوند و نمره‌های کارایی آنها نسبت به یک مجموعه امکان که با ادغام واحدهای دو گروه ساخته می‌شود، محاسبه می‌شود. در نهایت معناداری تفاوت نمره‌های محاسبه شده برای واحدهای کارایی هر گروه، پس از تبدیل به رتبه با آزمون ناپارامتری من‌وایتنی بررسی می‌شود (Sueyoshi & Goto, 2011, 2012, 2013; Field & et al., 2005: 536). در این آزمون‌ها فرض صفر زیر مورد آزمون قرار می‌گیرد:

H_0 : داده‌ها از یک جامعه هستند

H_1 : داده‌ها از یک جامعه نیستند

به این ترتیب با رد فرض صفر استنباط می‌شود که واحدهای کارایی دو گروه، یعنی نقاط روی مرزهای کارا، متعلق به یک جامعه نبوده و مرز کارایی دو گروه متفاوت هستند.



شکل ۲. تفاوت‌های بین مرزهای کارا ناشی از شانس

در مطالعات متعددی (Sueyoshi & Aoki, 2001; Brockett & et al., 2004; Sueyoshi & Goto, 2009, 2011, 2012)، از آزمون من‌وایتنی برای تشخیص انتقال مرز در بین دو دوره متوالی و آزمون کروسکال والیس (Ross & Droge, 1993; Roll and Golany, 2002; Sueyoshi & Goto, 2009, 2010, 2011, 2013) برای تشخیص انتقال مرز در بین بیش از دو دوره زمانی استفاده شده است.

هرچند به کارگیری این آزمون‌ها برای شناسایی تفاوت مرزها بین دو یا چند گروه از واحدهای تصمیم‌گیرنده که با توجه به تلقی واحدهای کارا و بهبود یافته، به منزله نمونه بی‌نهایت نقطه روی مرز، از مبنای آماری روشنی برخوردار است، اما کاربرد این نوع آزمون‌ها برای بررسی انتقال مرز در دوره‌های زمانی متوالی، فاقد ملاحظه آماری است. نمره‌های کارایی واحدها طی دوره‌های زمانی در واقع داده‌های تکراری هستند و از این نظر داده‌های وابسته قلمداد می‌شوند (Field & et al., 2005)، اما آزمون‌های فوق برای گروه‌های مستقل کاربرد دارند. به علاوه این آزمون‌ها هرچند برای تشخیص انتقال مرز در دوره‌های متوالی به کار رفته‌اند، ولی به طور مشخص برای بررسی فرض اساسی تحلیل پنجره، تعیین طول مناسب پنجره به کار گرفته نشده‌اند. ذکر این نکته خارج از ادبیات موضوع نیست که تلاش‌ها برای ارائه آزمون پارامتریک به خصوص از سوی بنکر انجام گرفته است، اما پیشنهادها، فقط در شرایط خاص کاربرد دارد (Banker, 1993, 1996).

در این پژوهش آماری با توجه به ماهیت تکراری داده‌های کارایی در طول زمان، آزمون‌های مناسبی که برای تشخیص انتقال مرز معرفی شده، به منزله یک ابزار تحلیلی برای تعیین عرض پنجره شناخته می‌شوند؛ اما تغییرات کلی مرزها که با روش‌های آماری قابل مطالعه است، شامل هر گونه افتراق جزئی در نواحی مختلف دو مرز کارا نمی‌شود؛ چرا که روش‌های آماری وقتی دو مرز را متفاوت قلمداد می‌کنند که تفاوت‌ها از حد معینی بیشتر بوده و به اصطلاح معنادار باشند. با این حال شاخص مال‌کوئیست می‌تواند میزان افتراق در نقاط محدودی از مرزها را با روش‌های ریاضی تشخیص دهد. منظور از این نقاط محدود، نقاطی است که واحدها روی مرزهای دو یا چند دوره تصویر می‌شوند. در این پژوهش با توجه به انطباق مجموعه امکان تولید در دو نوع شاخص مال‌کوئیست با تحلیل پنجره‌ای با عرض‌های برابر با ۲ یا بیشتر، چارچوبی پیشنهاد می‌شود که کاربر را قادر می‌سازد با تعیین طول مناسب پنجره، از نقض فرض اساسی آن اجتناب کرده و با به کارگیری نوع مناسب شاخص مال‌کوئیست، تفاوت‌های نقطه‌ای در مرزها را در محاسبات عملکرد، به دست آورد.

روش پژوهش

این پژوهش از دید هدف، از دسته پژوهش‌های کاربردی بوده و در واقع به ارائه یک روش برای حل مسئله در دنیای واقعی می‌پردازد.

روش پیشنهادی پژوهش

آزمون‌های به کار رفته برای تعیین انتقال مرز کارا، آزمون‌های من‌وایتنی و کروسکال والیس از نوع آزمون‌های بدون تکرار بوده و برای تشخیص تمایز دو یا چند گروه مستقل از هم به کار برده می‌شوند. اما از آنجایی که نمره‌های کارایی واحدها طی دوره‌های زمانی تکرار می‌شوند، این دو آزمون که برای گروه‌های مستقل کاربرد دارند، در اینجا مورد ابهام واقع می‌شوند. بنابراین در این پژوهش به دلیل رعایت ظرافت‌های آماری، آزمون ویل کاکسون^۱ و فریدمن^۲ با اندازه‌های تکراری به‌منزله جایگزینی برای این دو آزمون مستقل معرفی می‌شوند. آزمون ویل کاکسون برای تعیین وضعیت انتقال مرزها در بین دو دوره زمانی و آزمون فریدمن، در بین بیش از دو دوره با هدف تعیین تعداد دوره‌ها در تحلیل پنجره به کار گرفته می‌شود.

با فرض وجود داده‌های T دوره زمانی ($t = 1, 2, \dots, T$) با به‌کارگیری آزمون رتبه علامت‌دار ویل کاکسون در دو دوره زمانی اول و دوم، وضعیت انتقال مرز بررسی می‌شود. در صورت رد فرض صفر که به معنای انتقال مرز بین دو دوره است، دوره اول کنار گذاشته می‌شود و دو دوره بعدی افزوده شده و آزمون بین دو دوره بار دیگر انجام می‌شود. در صورت قبول فرض صفر که به معنای عدم انتقال مرز بین دو دوره است، دوره بعدی به این دو دوره افزوده می‌شود و با توجه به اینکه تعداد دوره‌های مورد بررسی بیشتر از دو دوره شده، این بار با به‌کارگیری آزمون فریدمن، انتقال مرز بین دوره‌ها بررسی می‌شود. هرگاه با اضافه شدن دوره بعدی به دوره‌ها فرض صفر رد شود، به معنای این است که انتقال مرز رخ داده و دوره آخر باید جدا شود. پس از حذف دوره آخر، دوره‌های قبلی موجود در تحلیل، تشکیل یک عرض مناسب تحلیل پنجره‌ای را می‌دهند. در این صورت آخرین دوره که جدا شده، با دوره بعدی موجود در مطالعه و با به‌کارگیری آزمون ویل کاکسون، آزمون شده و این رویه از ابتدا آغاز می‌شود. این رویه تا جایی ادامه می‌یابد که وضعیت مرزها در بین T دوره زمانی موجود در تحلیل بررسی شود.

به این ترتیب دوره‌های زمانی پی‌درپی که در انتقال، مرز کارا بین آنها اتفاق نیفتاده، تشکیل پنجره‌هایی می‌دهند که الزاماً عرض برابر ندارند. نمره‌های کارایی در این پنجره‌ها به دلیل رعایت فرض اساسی تحلیل پنجره، قابل مقایسه بوده و می‌تواند مورد تحلیل قرار گیرد.

1. Wilcoxon Test
2. Friedman Test

چنانکه پیش‌تر اشاره شد، رعایت شرط اساسی تحلیل پنجره، به مفهوم عدم نقش تغییرات مرزی در نمره‌های کارایی نیست و افتراق جزئی در نقاطی از مرزها که واحدهای هر دوره بر روی آن تصویر می‌شوند، محتمل است. با توجه به توانایی شاخص مال‌کوئیست در محاسبه افتراق جزئی در مرزها، می‌توان برای تفکیک و شناسایی اثرات مرزها از این شاخص استفاده کرد. با توجه به هم‌ارزی مجموعه امکان در تحلیل پنجره‌ای به عرض ۲ با مجموعه امکان شاخص مال‌کوئیست دوسالانه و نیز هم‌ارزی مجموعه امکان تحلیل پنجره‌ای با بیش از دو دوره با مجموعه امکان معیار شاخص مال‌کوئیست جهانی، می‌توان بدون انجام محاسبات مجدد نمره‌های کارایی میزان تغییرات عملکرد، اثر انتقال مرز و تغییر مقیاس را بر حسب مورد با توجه به عرض پنجره و به کارگیری شاخص مناسب، از یکدیگر تفکیک کرد.

به‌طور خلاصه می‌توان چارچوب پیشنهادی پژوهش را در شکل شماره ۳ نشان داد. این چارچوب علاوه بر ایجاد انسجام و تجمیع تلاش‌هایی که در ادبیات موضوع صورت گرفته از مزیت‌های زیر برخوردار است:

۱- استفاده از آزمون‌های آماری برای بررسی تفاوت مرزها، به‌منزله ابزار تعیین عرض پنجره، روشی تحلیلی و قابل اعتماد است و در مقابل روش‌های تجربی پیشنهاد شده در ادبیات موضوع قابل اعتنا است.

۲- استفاده از آزمون‌های آماری برای بررسی انتقال مرزها در دوره‌های زمانی، علاوه بر اینکه در خدمت تعیین عرض پنجره درنیامده، به دلیل عدم رعایت ملاحظات آماری و استفاده از آزمون‌های مستقل در مواردی که آزمون‌های وابسته لازم بوده، مورد انتقاد است. حال آنکه با به کارگیری این چارچوب که آزمون‌های وابسته ویل کاکسون و فریدمن را توصیه می‌کند، ملاحظات آماری رعایت می‌شود.

۳- چارچوب پیشنهادی به‌گونه‌ای سامان یافته است که در هر مرحله، از محاسبات مرحله پیش استفاده کرده و از انجام محاسبات تکراری و غیر ضروری اجتناب می‌شود. به‌علاوه، هر دو نوع شاخص‌های مال‌کوئیست که در این چارچوب به کار رفته‌اند، از این مزیت برخوردارند که چنانچه دوره‌ای به دوره‌های تحت بررسی اضافه شود، نیازی به انجام دوباره محاسبات نبوده و نتایج قبلی حفظ می‌شود.

شاخص مال‌کوئیست دوسالانه

برای هر یک از دوره‌های مورد بررسی در محاسبه شاخص در دوره‌های $(t, t + 1)$ ، مجموعه امکان تولید زیر را می‌توان تعریف کرد:

$$T_c^t = \{(x, y) \in R^{m+s} / x \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j^t x_j^t, y \geq \sum_{j=1}^n \lambda_j^t y_j^t \geq 0, j=1, 2, \dots, n\}$$

$$T_c^{t+1} = \{(x, y) \in R^{m+s} / x \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j^{t+1} x_j^{t+1}, y \geq \sum_{j=1}^n \lambda_j^{t+1} y_j^{t+1} \geq 0, j=1, 2, \dots, n\}$$

T_c^t بیانگر مجموعه امکان تولید واحدها در دوره t و T_c^{t+1} مجموعه امکان تولید واحدها در دوره $t+1$ است. اندیس c نشان‌دهنده فرض بازده به مقیاس ثابت برای هر کدام از مجموعه‌های امکان تولید $(t, t+1)$ است. علاوه بر مجموعه امکان تولید در هر دوره، از ادغام مجموعه امکان دو دوره متوالی $(t, t+1)$ ، مجموعه امکان دوسالانه T_c^B ، که از ادغام مجموعه امکان تولید دو دوره متوالی تحت بررسی به دست می‌آید، به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$T_c^B = \text{convex} \{T_c^t, T_c^{t+1}\} \quad \forall \lambda \geq 0 \Rightarrow \lambda T_c^K = T_c^K, (K = t, t+1)$$

تحت فرض بازده به مقیاس متغیر، مجموعه امکان تولید T_V^B به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$T_V^B = \text{convex} \{T_V^t, T_V^{t+1}\}$$

اندیس V نشان‌دهنده فرض بازده به مقیاس متغیر بوده و اندیس B نیز نماینده مرز دوگانه ترکیبی از تکنولوژی دو دوره متوالی است. با به کارگیری این مجموعه‌های امکان، شاخص مالک کوئیسست دوسالانه به سه بخش زیر تفکیک می‌شود (Pastore & et al., 2011):

$$M_c^B = EC_V^B \times TC_V^B \times SC^B \quad \text{رابطه ۲}$$

۱- تغییرات عملکرد از یک دوره به دوره دیگر که با نماد EC آن را نشان می‌دهیم و نسبت تغییرات کارایی یک واحد در مجموعه امکان همان دوره، به کارایی واحد در مجموعه امکان دوره قبل را برای هر واحد نشان می‌دهد.

$$EC_V^B = \frac{\delta_v^{t+1}(x_j^{t+1}, y_j^{t+1})}{\delta_v^t(x_j^t, y_j^t)} \quad \text{رابطه ۳}$$

۲- تغییرات تکنولوژی که منجر به تغییر مرز کارا از یک دوره به دوره دیگر شده و آن را با نماد TC^1 نشان می‌دهیم. صورت این کسر بیانگر نسبت تغییرات کارایی واحد در دوره دوم، در مجموعه امکان ادغام شده به مجموعه امکان همان دوره است. مخرج کسر بیانگر نسبت تغییرات کارایی واحد در دوره اول، در مجموعه امکان ادغام شده به مجموعه امکان همان دوره است.

$$TC_V^B = \frac{\delta_V^B(x_j^{t+1}, y_j^{t+1}) / \delta_V^{t+1}(x_j^{t+1}, y_j^{t+1})}{\delta_V^B(x_j^t, y_j^t) / \delta_V^t(x_j^t, y_j^t)} \quad (\text{رابطه ۴})$$

۳- تغییرات ناشی از تغییر مقیاس واحدها که آن را با نماد SC^T نمایش می‌دهیم. صورت این کسر بیانگر نسبت تغییرات کارایی واحد در دوره دوم، در مجموعه امکان ادغام شده با فرض بازده به مقیاس ثابت به مجموعه امکان ادغام شده با فرض بازده به مقیاس متغیر است. مخرج کسر نیز بیانگر نسبت تغییرات کارایی واحد در دوره اول، در مجموعه امکان ادغام شده با فرض بازده به مقیاس ثابت به مجموعه امکان ادغام شده با فرض بازده به مقیاس متغیر است.

$$SC^B = \frac{\delta_C^B(x_j^{t+1}, y_j^{t+1}) / \delta_V^B(x_j^{t+1}, y_j^{t+1})}{\delta_C^B(x_j^t, y_j^t) / \delta_V^B(x_j^t, y_j^t)} \quad (\text{رابطه ۵})$$

شاخص مالک کوئیست جهانی

برای هر یک از دوره‌های مورد بررسی در محاسبه شاخص در دوره‌های $(t, t+1)$ ، مجموعه امکان تولید تک‌دوره‌ای زیر تعریف می‌شود. سپس با تعریف تکنولوژی معیار جهانی، می‌توان مجموعه امکان جدیدی را از ترکیب تمام دوره‌های مورد بررسی به صورت زیر تعریف کرد:

$$T_C^G = \text{conv}\{T_C^1 \cup \dots \cup T_C^T\}$$

تکنولوژی معیار فوق، با فرض بازده به مقیاس ثابت (CRS) ارائه شده که برای شناسایی و تحلیل کامل فاصله تا بهترین تکنولوژی معیار، باید فرض بازده به مقیاس متغیر (VRS) در نظر گرفته شود (Pastore & Lovell, 2005). این قرارداد شاخص مالک کوئیست را قادر می‌کند تا اثرگذاری مقیاس اقتصادی را به‌منزله یک بخش از انحراف بهترین تکنولوژی ممکن از تکنولوژی معیار جهانی را در محاسبات خود مشارکت دهد (Lovell, 2003, p. 440). بنابراین می‌توانیم با فرض بازده به مقیاس متغیر (VRS)، تکنولوژی معیار جهانی را برای تمام دوره‌ها، تحت فرض بازده به مقیاس متغیر تعریف می‌کنیم:

1. Technical Change (TC)
2. Scale efficiency (SC)

$$T_V^G = \text{conv}\{T_V^1 \cup \dots \cup T_V^T\}, (t = 1, 2, \dots, T)$$

اين تفكيك از شاخص مالم كوئيست با تفكيك دسلى و رى متناظر بوده و تفاوت آنها، در مجموعه امكان توليد معيار جهانى است:

$$M_C^G = EC_V^G \times TC_V^G \times SC^G \quad (\text{رابطه ۶})$$

اندیس V نشان‌دهنده فرض بازده به مقياس متغير بوده و اندیس G نیز نماينده مرز ترکیبى از تکنولوژى تمام دوره‌هاى موجود در تحليل است (Pastore & Lovell, 2005).
 ۱- تغييرات عملكرد از يك دوره به دوره ديگر كه آن را با نماد EC نشان می‌دهيم، نسبت تغييرات كارايى يك واحد در مجموعه امكان همان دوره به كارايى واحد در مجموعه امكان دوره قبل را برای هر واحد نشان می‌دهد.

$$EC_V^G = \frac{\delta_V^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{\delta_V^t(x^t, y^t)} = \frac{TE_V^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{TE_V^t(x^t, y^t)} \quad (\text{رابطه ۷})$$

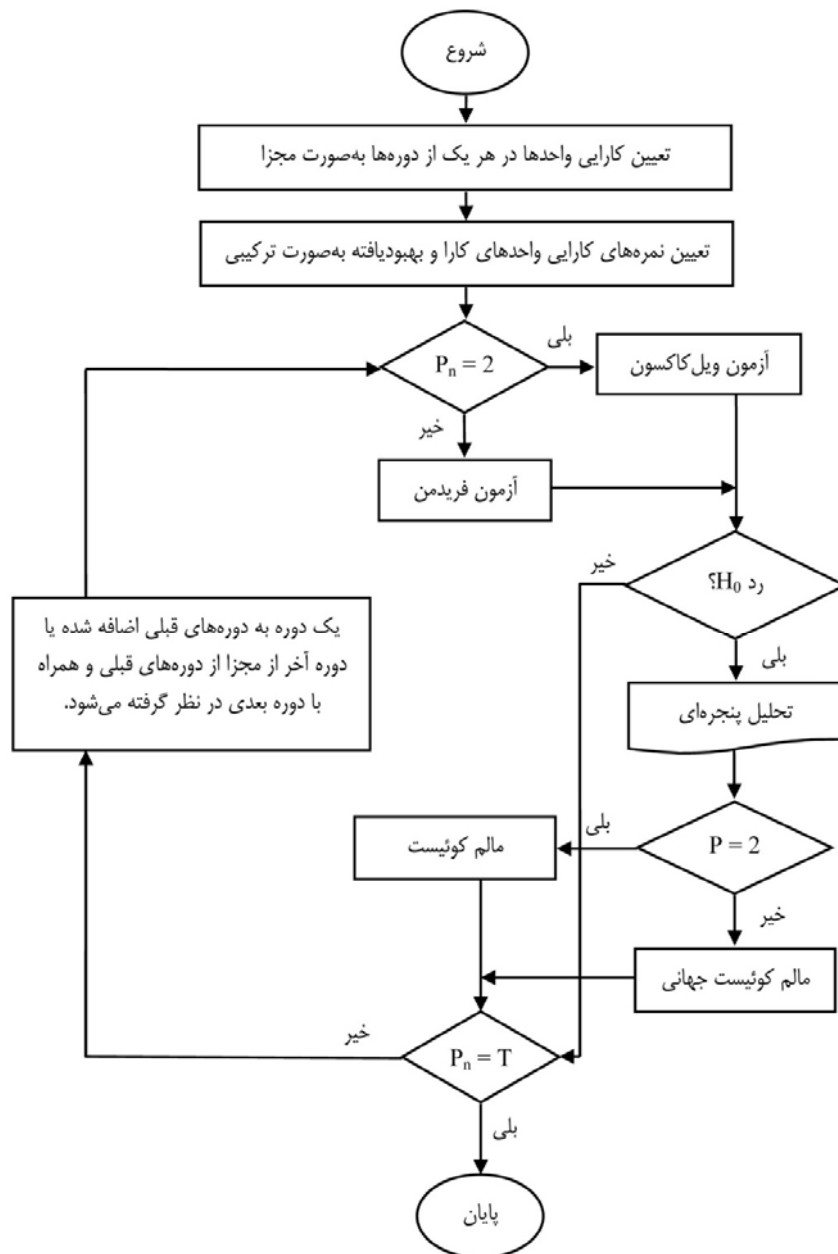
۲- تغييرات تکنولوژى كه منجر به تغيير مرز كارا از يك دوره به دوره ديگر شده و آن را با نماد TC نشان می‌دهيم. صورت اين كسر بيانگر نسبت تغييرات كارايى واحد در دوره دوم، در مجموعه امكان ادغام شده به مجموعه امكان همان دوره است. مخرج كسر، نسبت تغييرات كارايى واحد در دوره اول، در مجموعه امكان ادغام شده به مجموعه امكان همان دوره را بيان می‌کند.

$$TC_V^G = \frac{\delta_V^G(x^{t+1}, y^{t+1}) / \delta_V^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{\delta_V^t(x^t, y^t) / \delta_V^G(x^t, y^t)} \quad (\text{رابطه ۸})$$

۳- تغييرات ناشى از تغيير مقياس واحدها كه آن را با نماد SC نمايش می‌دهيم. صورت اين كسر بيانگر نسبت تغييرات كارايى واحد در دوره دوم، در مجموعه امكان ادغام شده با فرض بازده به مقياس ثابت به مجموعه امكان ادغام شده با فرض بازده به مقياس متغير است. مخرج كسر نیز بيانگر نسبت تغييرات كارايى واحد در دوره اول، در مجموعه امكان ادغام شده با فرض بازده به مقياس ثابت به مجموعه امكان ادغام شده با فرض بازده به مقياس متغير است.

$$SC^G = \frac{\delta_C^G(x^{t+1}, y^{t+1}) / \delta_V^G(x^{t+1}, y^{t+1})}{\delta_C^G(x^t, y^t) / \delta_V^G(x^t, y^t)} \quad (\text{رابطه ۹})$$

توسعه شاخص مالم كوئيست جهانى با فرض بازده به مقياس متغير و توجه به مفهوم شاخص مالم كوئيست رى و دسلى (Ray & Desli, 1997)، يکى ديگر از نوآوری‌هاى اين پژوهش به‌شمار می‌رود.



شکل ۳. چارچوب پیشنهادی پژوهش

یافته‌های پژوهش

برای پیاده‌سازی و اجرای چارچوب پیشنهادی پژوهش، ۳۶ شعبه از شعب درجه سه اداره سرپرستی منطقه جنوب بانک سپه انتخاب شدند. با مطالعه ادبیات موضوع و کسب نظر مدیریت و کارشناسان اداره حسابداری بانک، متغیرهای زیر، متغیرهای ورودی و خروجی انتخاب شدند و اطلاعات مورد نیاز از ترازنامه، صورت سود و زیان، آمارهای روزانه و صورت‌های حسابرسی شده شعب مورد بررسی در دوره‌های زمانی یک‌ساله و در بازه (۱۳۸۰-۱۳۸۹) به‌دست آمد. متغیرهای ورودی شامل سود پرداختی، هزینه‌های کل و سپرده اول دوره و متغیرهای میزان تسهیلات، سپرده آخر دوره، درآمد کل، نسبت تسهیلات به مطالبات و تعداد اسناد نیز متغیرهای خروجی انتخاب شدند.

برای محاسبه کارایی واحدها از فرم ورودی‌گرای مدل BCC استفاده شد. ابتدا نمره‌های کارایی واحدها در هر یک از دوره‌ها به‌طور مستقل با استفاده از نرم‌افزار DEA-Solver محاسبه شد. واحدهای بهبودیافته در هر دوره، به‌دست آمده و در نهایت نمره‌های کارایی مجموعه واحدهای کارا و بهبودیافته در یک مجموعه بار دیگر محاسبه و با به‌کارگیری نرم‌افزار اس.پی.اس.اس. آزمون‌های فریدمن و ویل کاکسون در سطح معناداری ۱ درصد انجام گرفت که کوتاه‌شده نتایج آن در جدول شماره ۱ آمده است.

جدول ۱. خلاصه‌ای از آزمون‌های آماری

دوره‌ها	نوع آزمون	آماره آزمون	مقدار بحرانی	تصمیم نهایی
۱۳۸۰-۱۳۸۱	ویل کاکسون	-۱,۲۶۹	$\pm ۱,۶۴۵$	پذیرش فرض صفر
۱۳۸۰-۱۳۸۱-۱۳۸۲	فریدمن	۰,۳۲۱	۵,۹۹۱۴۷	پذیرش فرض صفر
۱۳۸۰-۱۳۸۱-۱۳۸۲-۱۳۸۳	فریدمن	۰,۵۶۳	۷,۸۱۴۷۳	پذیرش فرض صفر
۱۳۸۰-۱۳۸۱-۱۳۸۲-۱۳۸۳-۱۳۸۴	فریدمن	۰,۷۷۰	۹,۴۸۱۷۳	پذیرش فرض صفر
۱۳۸۰-۱۳۸۱-۱۳۸۳-۱۳۸۴-۱۳۸۵	فریدمن	۷,۲۴۹	۱۱,۰۷۰۵	پذیرش فرض صفر
۱۳۸۰-۱۳۸۱-...-۱۳۸۴-۱۳۸۵-۱۳۸۶	فریدمن	۱۰,۴۴۳	۱۲,۵۹۱۶	پذیرش فرض صفر
۱۳۸۰-۱۳۸۱-...-۱۳۸۵-۱۳۸۶-۱۳۸۷	فریدمن	۱۱,۹۱۱	۱۴,۰۶۷۱	پذیرش فرض صفر
۱۳۸۰-۱۳۸۱-...-۱۳۸۶-۱۳۸۷-۱۳۸۸	فریدمن	۱۵,۶۵۹	۱۵,۵۰۷۳	رد فرض صفر
۱۳۸۷-۱۳۸۸	ویل کاکسون	-۳,۹۱۲	$\pm ۱,۶۴۵$	رد فرض صفر
۱۳۸۸-۱۳۸۹	ویل کاکسون	-۳,۳۴۳	$\pm ۱,۶۴۵$	رد فرض صفر

پس از آزمون فرض صفر تعداد دوره‌های مورد نظر برای تحلیل پنجره DEA انتخاب شد. نتایج کارایی تحلیل پنجره با پنجره‌ای به طولی که انتخاب شده بود، انجام گرفت. نتایج کامل تحلیل کارایی به‌طور خلاصه در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲. خلاصه‌ای از نتایج تحلیل پنجره

طول پنجره انتخابی	تعداد واحدها	نمره‌های کارایی				نوع شاخص مالم کوئیسست
		حداقل کارایی	شاخص کارایی	انحراف معیار	بازتاب	
۱۳۸۰-۱۳۸۱-...-۱۳۸۶-۱۳۸۷	۲۸۸	۰,۰۹۱۲	۰,۰۴۳	۱,۰۰۰	۰,۸۱۶	جهانی
۱۳۸۷-۱۳۸۸	۷۲	۰,۹۴۱	۰,۰۴۹	۱,۰۰۰	۰,۸۴۳	دوسالانه
۱۳۸۸-۱۳۸۹	۷۲	۰,۹۵۸	۰,۰۴۹	۱,۰۰۰	۰,۸۳۱	دوسالانه

بنابراین برای تحلیل کامل تغییرات کارایی در بین دوره‌های انتخاب شده با استفاده از این دو شاخص، به تحلیل و تفکیک کامل تغییرات کارایی واحدها پرداخته شد که خلاصه‌ای از نتایج در جدول شماره ۳ آمده است.

جدول ۳. خلاصه‌ای از نتایج شاخص‌های مالم کوئیسست جهانی و دوسالانه

	نمره‌های کارایی				تعداد کارایی‌های ارتقا یافته	تعداد کارایی‌های تقلیل یافته
	بازتاب	انحراف معیار	شاخص کارایی	حداقل کارایی		
تغییر عملکرد	۰,۹۹۸	۰,۰۱۹	۱,۳۶۹	۰,۷۱۸	٪۲۷	٪۳۰
اثر تغییر مرز	۱,۰۰۴	۰,۰۲۱	۱,۴۳۷	۰,۷۳۷	٪۲۱	٪۲۵
اثر تغییر مقیاس	۱,۰۰۹	۰,۰۳۷	۱,۷۷۵	۰,۵۵۷	٪۴۴	٪۴۵
مالم کوئیسست	۱,۰۱۴	۰,۱۴۸	۱,۷۷۵	۰,۵۵۷	٪۴۱	٪۴۳

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مطالعه دو آزمون آماری ناپارامتریک رتبه علامت‌دار ویل کاکسون و فریدمن، برای تعیین انتقال مرز کارا و تعیین دوره‌های زمانی در تحلیل پنجره معرفی شدند. آزمون ویل کاکسون برای

مقایسه دو دوره زمانی و آزمون فریدمن برای سه و بیشتر از سه دوره زمانی کاربرد دارد. نمره‌های کارایی تحلیل پنجره، دربردارنده تغییرات عملکرد و بهره‌وری بین دوره‌ها است. بنابراین بعد از تعیین دوره‌های زمانی در تحلیل پنجره، با استفاده از شاخص مالم کوئیست می‌توان به تفکیک و تحلیل کامل تغییرات کارایی واحدها در بین دوره‌های مورد بررسی پرداخت. شاخص مالم کوئیست دوسالانه برای دو دوره زمانی و شاخص مالم کوئیست جهانی برای بیش از دو دوره به کار می‌رود. در مطالعه موردی، پس از پیاده‌سازی چارچوب پیشنهادی برای انتخاب تعداد دوره‌های موجود در تحلیل پنجره، در بین ۸ دوره زمانی فرض صفر پذیرفته و در دو دوره آخر فرض صفر رد شد. بنابراین تحلیل پنجره‌ای به طول ۸ و دو تحلیل پنجره نیز به عرض ۲ در نظر گرفته شدند. پس از انجام محاسبات تحلیل پنجره با استفاده از هم‌ارزی تحلیل پنجره‌ای و شاخص‌های مالم کوئیست دوسالانه و جهانی، تغییرات کارایی واحدها در طی زمان به سه بخش تغییر عملکرد، تغییر مرز و تغییر مقیاس تفکیک شدند. هنگام محاسبات شاخص‌های مالم کوئیست با توجه به نوع مالم کوئیست انتخابی در چارچوب پیشنهادی، بخش عمده‌ای از محاسبات از قبل و در مرحله تحلیل پنجره انجام شده است. بنابراین می‌توان درصد بالایی از میزان تغییر در کارایی واحدها را به تغییر اندازه یا مقیاس واحدها و درصد نسبتاً پایینی را به تغییر در عملکرد و مرز کارا نسبت داد.

منابع

- جهانشاهلو، غ.ر.؛ نیکومرام، ه و حسین‌زاده لطفی، ف. (۱۳۹۱). تحلیل پوششی داده‌ها و کاربردهای آن. تهران: آثار نفیس.
- Asmild, M., Paradi, C.V., Aggarwall, V., Schaffnit, C. (2004). Combining DEA window analysis with the Malmquist Index approach in a study of the Canadian banking industry. *Journal of Productivity Analysis*, 21(1): 67-89.
- Banker, R. (1993). Maximum likelihood, consistency and data envelopment analysis: a statistical foundation, *Management Science*, 39 (10): 1265-1273.
- Banker, R. (1996). Hypothesis tests using data envelopment analysis. *Journal of Productivity Analysis*, 7 (2/3): 139-159.
- Barua, A., Brockett, P.L, Cooper, W.W, Deng, H., Onghui Parker, B. R., Ruefli, T. W. & Whinston, A., (2004), DEA evaluations of long- and short-run efficiencies of digital vs. physical product in “dot com” companies. *Socio-Economic Planning Sciences*, 38 (4): 233-253.

- Brockett, P. L. & Golany, B. (1996). Using rank statistics for determining programmatic efficiency differences in data envelopment analysis. *Management Science*, 42 (3): 466-472.
- Brockett, P. L., Cooper, W. W., Golden, L. L., Rousseau, J. & Wang, Y. (2004). Evaluating solvency versus efficiency performance and different forms of organization and marketing in US property - liability insurance companies. *European Journal of Operational Research*, 154 (2): 492-514.
- Charnes, A., Cooper, W. W. & Rhodes, E. (1984). Measuring the Efficiency of Decision Making Units, *European Journal of Operational Research*, 2 (6): 429- 444.
- Charnes, A., Cooper, W. W., Lewin, A. Y., & Seiford, L. M. (1994a). *Data envelopment analysis: Theory, methodology, and application*. Norwell: Kluwer Academic Publishers.
- Charnes, A., Cooper, W. W., Lewin, A.Y., Seiford, L.M. (1994b), *Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology, and Application*. Kluwer Academic Publishers, Norwell.
- Chung, S.H., Lee, A. H. I., Kang, H.Y., Lai, C. W. (2008). A DEA window analysis on the product family mix selection for a semiconductor fabricator. *Expert Systems with Applications*, 35 (1/2): 379-388.
- Cooper, W. W., L. M. Seiford, & Tone, K. (2002), *Data Envelopment Analysis*. Kluwer Academic Publishers.
- Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency, *Journal of the Royal Statistical Society Series a*, 120 (3): 253- 281.
- Field, A., Breakwell, G., Leeuw, J. D., Saris, W., Schuman, H., Meter, K. V. (2005). *Discovering Statistics Using SPSS*, Sage Publications.
- Halkos, G.E. & Tzeremes, N.G. (2009). Exploring the existence of Kuznets curve in countries' environmental efficiency using DEA window analysis, *Ecological Economics*, 68: 2168-2176.
- Lovell, C. (2003). The decomposition of Malmquist productivity indices. *Journal of Productivity Analysis*, 20 (3): 437-58.
- Pastor, J.T. & Lovell C., (2005). a global Malmquist productivity index. *Economics Letters*, 88(2): 266-271.
- Pastor, T.J., Asmild, M. & Lovell, C. A. K. (2011). The biennial Malmquist productivity change index, *Socio-Economic Planning Science*, 45 (1):10-15.

- Ray, S.C. & Desli, E. (1997). Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries: comment. *The American Economic Review*, 87 (5): 1033-1039.
- Roll, Y. & Golany, B. (1993). Alternate Methods for Treating Factor Weights in DEA. *OMEGA International Journal of Management Science*, 21(1): 99-109.
- Ross, A. & Droge, C. (2002). An integrated benchmarking approach to distribution center performance using DEA modeling. *Journal of operation Management*, 20 (1): 19-32.
- Sueyoshi, T. & Aoki, A. (2001). A use of a nonparametric statistic for DEA frontier shift: the Kruskal and Wallis rank test. *Omega*, 29(1): 1-18.
- Sueyoshi, T. & Goto, M. (2009). Can R&D expenditure avoid corporate bankruptcy? Comparison between Japanese machinery and electric equipment industries using DEA–discriminant analysis. *European Journal of Operational Research*, 196 (1): 289-311.
- Sueyoshi, T. & Goto, M. (2009). Core business concentration vs. corporate diversification in the US electric utility industry: Synergy and deregulation effects. *Energy Policy*, 37 (11): 4583–4594.
- Sueyoshi, T. & Goto, M. (2010). Should the US clean air act include CO 2 emission control?: Examination by data envelopment analysis. *Energy Policy*, 38(10): 5902–5911.
- Sueyoshi, T. & Goto, M. (2011). Operational synergy in the US electric utility industry under an influence of deregulation policy: A linkage to financial performance and corporate value. *Energy Policy*, 39 (2): 699-713.
- Sueyoshi, T. & Goto, M. (2011). Operational synergy in the US electric utility industry under an influence of deregulation policy: A linkage to financial performance and corporate value. *Energy Policy*, 39(2): 699-713.
- Sueyoshi, T. & Goto, M. (2012). Environmental assessment by DEA radial measurement: U.S. coal- fi red power plants in ISO (Independent System Operator) and RTO (Regional Transmission Organization). *Energy Economics*, 34(3): 663–676.
- Sueyoshi, T. & Goto, M. (2013). A use of DEA–DA to measure importance of R&D expenditure in Japanese information technology industry. *Decision Support Systems*, 54 (2): 941–952.

- Tone, K., Cooper, W. W. & Seiford, L. M., (2007). *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA- Solver Software*. 2nd edition. New York: Springer.
- Wang, K., Yu S., Zhang, W. (2011). China's regional energy and environmental efficiency: A DEA window analysis based dynamic evaluation, *Mathematical and Computer Modeling*, 58 (5/6): 1117-1127.
- Zhang, X.P., Cheng, X.M., Yuan, J.H., Gao, X.J. (2011). Total-factor energy efficiency in developing countries. *Energy Policy*, 39 (2): 644-650.