مدیریت صنعتی
دانشکده مدیریت دانشگاه تهران
دوره ۴، شماره ۲
پاییز و زمستان ۱۳۹۱
صص ۸۶-۶۹

تبیین الگوی ارزیابی عملکرد در طی زمان با تحلیل پنجره‌ای

محمدرحیم 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 مالم‌کوئیست 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 حالی‌که از دیدگاه مالم‌کوئیست، 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 مالم‌کوئیست 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 مالم‌کوئیست، تفاوت‌های نقطه‌ای در مرزها را در محاسبات عملکرد محاسبه کند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی

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[1] از سوی چارنز، کوپر و رودز[2] (۱۹۸۴)، بر مبنای کار فارل[3] (۱۹۵۷) معرفی شده است که رویکردی ناپارامتریک است و برای اندازه‌گیری کارایی نسبی واحدهای تصمیم‌گیرنده[4] با ورودی‌ها و خروجی‌های چندگانه بدون تخصیص وزن‌های از پیش تعیین شده به‌کار می‌رود (Charnes & et al., 1994a). ارزیابی نسبی واحدهای تصمیم‌گیرنده طی دوره زمانی با روش‌هایی مانند تحلیل پنجره[5] و شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست[6] 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 مجموعهٔ امکان تولید[7] می‌سازیم. مرز حاصل از این مجموعه یک مرز تقریبی است که و به‌شکل زیر تعریف می‌شود:

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

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.

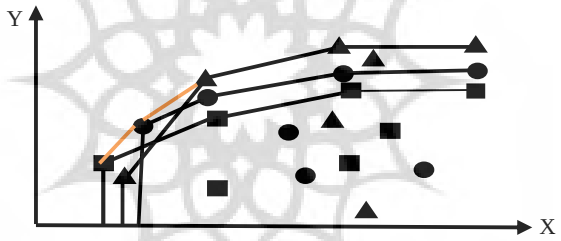
۳- **اصل تحدب:** اگر دو واحد عضو مجموعه امکان هستند، واحدی که بردار ورودی و خروجی آن ترکیب محدبی از بردارهای خروجی این دو واحد است نیز، عضو مجموعه امکان است.

۴- **اصل امکان‌پذیری**: 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 & Rholdes
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 به‌کار 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. مجموعهٔ 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، علاوه‌بر 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 به‌صورت 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 (Asmikd & et al, 2004).



شکل ۱. مرز مجموعه امکان ادغام شده

شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست 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 مالم‌کوئیست سنتی، این است که تحت فرض بازده به مقیاس متغیر نشدنی می‌شود. به‌تازگی چند شاخص مالم‌کوئیست تحت فرض بازده به مقیاس متغیر پیشنهاد شده‌اند که از مشکل نشدنی بودن شاخص سنتی مالم‌کوئیست جلوگیری می‌کنند که شامل شاخص مالم‌کوئیست 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، چارنز و همکارانش پیشنهاد می‌کنند که پنجره‌ای به 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 ملاحظاتی، می‌تواند یک راه مستدل و تحلیلی برای تعیین عرض پنجره باشد. تشخیص تفاوت مرزهای کارا را نخستین‌بار گالونی و همکاران پیشنهاد کردند و مورد استقبال براکت و همکاران (۲۰۰۴ و۱۹۹۶) 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[1] را پیشنهاد کرد.

بر اساس پیشنهاد گالونی فرض می‌شود (Roll & Golany, 1993) واحدهای کارا و واحدهای بهبودیافته[2] 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 $A=\{a_1,a_2,...,a_m\}$ و $B=\{b_1,b_2,...,b_n\}$ 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):

$$\hat{x}_0 = \theta^* x_0 - s^{-*} = \sum_{j\in E_0} \lambda_j^* x_j$$
$$\hat{y}_0 = \theta^* y_0 - s^{+*} = \sum_{j\in E_0} \lambda_j^* y_j$$

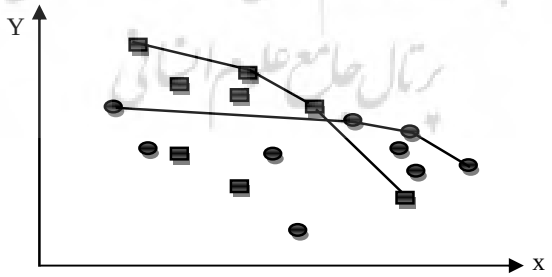
رابطه ۱)

در واقع مجموعهٔ واحدهای کارا و واحدهای بهبودیافته در هر گروه، نمونه‌ای از مرز کارای آن گروه تلقی می‌شوند و نمره‌های کارایی آنها نسبت به یک مجموعهٔ امکان که با ادغام واحدهای دو گروه ساخته می‌شود، محاسبه می‌شود. درنهایت معناداری تفاوت نمره‌های محاسبه شده برای واحدهای کارای 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 کارای دو گروه، یعنی نقاط روی مرزهای کارا، متعلق به یک جامعه نبوده و مرز کارای دو گروه متفاوت هستند.



شکل ۲. تفاوت‌های بین مرزهای کارا ناشی از شانس

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

هرچند به‌کارگیری این آزمون‌ها برای شناسایی تفاوت مرزها بین دو یا چند گروه از واحدهای تصمیم‌گیرنده که با توجه به تلقی واحدهای کارا و بهبودیافته، به‌منزله 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. به‌علاوه این آزمون‌ها هرچند برای تشخیص انتقال مرز در دوره‌های متوالی به‌کار رفته‌اند، ولی به‌طور مشخص برای بررسی فرض اساسی تحلیل پنجره، تعیین طول مناسب پنجره به‌کار گرفته نشده‌اند.

ذکر این نکته خارج از ادبیات موضوع نیست که تلاش‌ها برای ارائه آزمون پارامتریک به‌خصوص 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، به‌منزله 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 به‌اصطلاح معنادار باشند. با این حال شاخص مالم‌کوئیست 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 مالم‌کوئیست 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 به‌کارگیری نوع مناسب شاخص مالم‌کوئیست، تفاوت‌های نقطه‌ای در مرزها را در محاسبات عملکرد، به‌دست 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 به‌کار 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 به‌کار 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 ویل‌کاکسون[1] و فریدمن[2] با اندازه‌های تکراری به‌منزله جایگزینی برای این دو آزمون مستقل معرفی می‌شوند. آزمون ویل‌کاکسون 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 به‌کار گرفته می‌شود.

با فرض وجود داده‌های T دوره زمانی ($t = 1,2, \dots, T$) با به‌کارگیری آزمون رتبه علامت‌دار ویل‌کاکسون 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، به‌معنای 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 ویل‌کاکسون، 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 به‌دلیل رعایت فرض اساسی تحلیل پنجره، قابل مقایسه بوده و می‌تواند مورد تحلیل قرار گیرد.

1. Wilcoxon Test
2. Freidman Test

چنانکه پیش‌تر اشاره شد، رعایت شرط اساسی تحلیل پنجره، به‌مفهوم عدم نقش تغییرات مرزی در نمره‌های کارایی نیست و افتراق جزیی در نقاطی از مرزها که واحدهای هر دوره بر روی آن تصویر می‌شوند، محتمل است. با توجه به توانایی شاخص مالم‌کوئیست 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 مالم‌کوئیست دوسالانه و نیز هم‌ارزی مجموعه امکان تحلیل پنجره‌ای با بیش از دو دوره با مجموعه امکان معیار شاخص مالم‌کوئیست 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 به‌کارگیری شاخص مناسب، از یکدیگر تفکیک کرد.

به‌طور خلاصه می‌توان چارچوب پیشنهادی پژوهش را در شکل شماره ۳ نشان داد. این چارچوب علاوه‌بر 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، علاوه‌بر اینکه در خدمت تعیین عرض پنجره درنیامده، به‌دلیل عدم رعایت ملاحظات آماری و استفاده از آزمون‌های مستقل در مواردی که آزمون‌های وابسته لازم بوده، مورد انتقاد است. حال آنکه با به‌کارگیری این چارچوب که آزمون‌های وابسته ویل‌کاکسون 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 مالم‌کوئیست که در این چارچوب به‌کار 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 مالم‌کوئیست دوسالانه

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

$$T_c^t = \{(x,y) \in R^{m+s} / x \le \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^t x_j^t \quad , y \ge \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^t y_j^t \ge 0, \qquad j = 1,2,...,n\}$$

$$T_c^{t+1} = \{(x,y) \in R^{m+s} / x \le \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{t+1} x_j^{t+1} \quad , y \ge \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{t+1} y_j^{t+1} \ge 0, \; j = 1,2,...,n\}$$

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. علاوه‌بر 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 به‌دست می‌آید، به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$T_C^B = convex\,\{T_c^t, T_c^{t+1}\} \quad \forall \lambda \ge 0 \Longrightarrow \lambda T_C^K = T_C^K \;,\; (K = t\,, t+1)$$

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

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

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

$$M_C^B = EC_V^B \times TC_V^B \times SC^B \qquad \text{رابطه ۲)}$$

۱- تغییرات عملکرد از یک دوره به دوره دیگر که با نماد EC[1] 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.

$$\mathrm{EC}_{\mathrm{V}}^{\mathrm{B}} = \frac{\delta_{\mathrm{v}}^{\mathrm{t+1}}(\mathrm{x}_{\mathrm{j}}^{\mathrm{t+1}}, \mathrm{y}_{\mathrm{j}}^{\mathrm{t+1}})}{\delta_{\mathrm{v}}^{\mathrm{t}}(\mathrm{x}_{\mathrm{j}}^{\mathrm{t}}, \mathrm{y}_{\mathrm{j}}^{\mathrm{t}})} \qquad \text{رابطه ۳)}$$

1. Efficiency Change (EC)

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.

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

۳- تغییرات ناشی از تغییر مقیاس واحدها که آن را با نماد SC[2] 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.

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

شاخص مالم‌کوئیست 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:

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

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 مالمکوئیست 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)

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

این تفکیک از شاخص مالم‌کوئیست با تفکیک دسلی و ری متناظر بوده و تفاوت آنها، در مجموعه امکان تولید معیار جهانی است:

رابطه ۶) $$M_C^G = EC_V^G \times TC_V^G \times SC^G$$

اندیس V نشان‌دهنده فرض بازده به مقیاس متغیر بوده و اندیس G نیز نماینده مرز ترکیبی از تکنولوژی تمام دوره‌های موجود در تحلیل است (Pastore & Lovell, 2005).

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

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

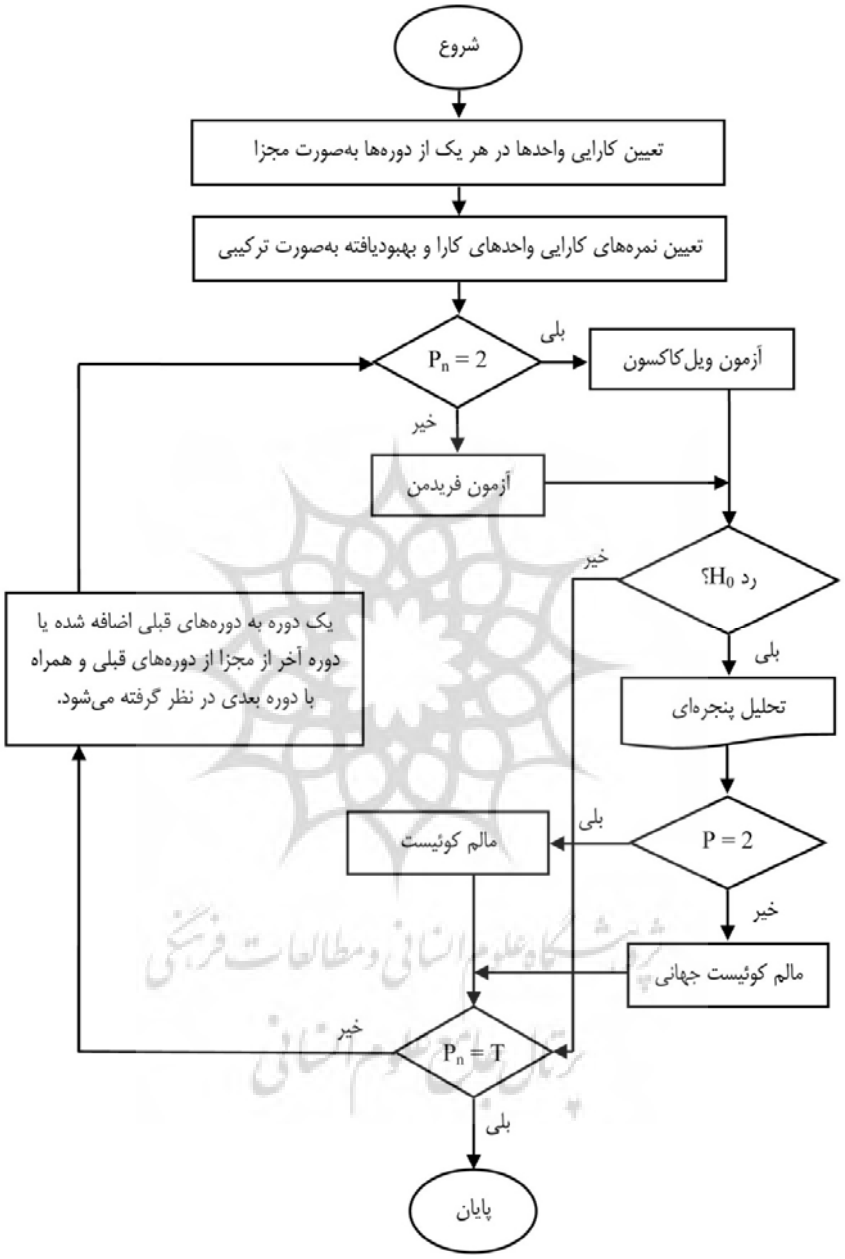
۲- تغییرات تکنولوژی که منجر به تغییر مرز کارا از یک دوره به دوره دیگر شده و آن را با نماد TC نشان می‌دهیم. صورت این کسر بیانگر نسبت تغییرات کارایی واحد در دوره دوم، در مجموعه امکان ادغام شده به مجموعه امکان همان دوره است. مخرج کسر، نسبت تغییرات کارایی واحد در دوره اول، در مجموعه امکان ادغام شده به مجموعه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

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

۳- تغییرات ناشی از تغییر مقیاس واحدها که آن را با نماد SC 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.

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

توسعه شاخص مالم‌کوئیست جهانی با فرض بازده به مقیاس متغیر و توجه به مفهوم شاخص مالم‌کوئیست ری و دسلی (Ray & Desli, 1997)، یکی دیگر از نوآوری‌های این پژوهش به‌شمار می‌رود.



شکل ۳. چارچوب پیشنهادی پژوهش

یافته‌های پژوهش

برای پیاده‌سازی و اجـرای چـارچوب پیشـنهادی پـژوهش، ۳۶ شـعبه از شـعب درجـه سـه اداره سرپرستی منطقه جنوب بانک سپه انتخاب شدند. با مطالعه ادبیات موضوع و کسب نظر مـدیریت و کارشناسان اداره حسابداری بانک، متغیرهای زیر، متغیرهای ورودی و خروجی انتخاب شـدند و اطلاعات مورد نیاز از ترازنامه، صورت سود و زیان، آمارهای روزانه و صورت‌های حسابرسی شـده شعب مورد بررسی در دوره‌های زمانی یک‌ساله و در بازه (۱۳۸۰–۱۳۸۹) به‌دست آمد. متغیرهـای ورودی شامل سود پرداختنی، هزینه‌های کل و سپرده اول دوره و متغیرهـای میـزان تسـهیلات، سپرده آخر دوره، درآمد کل، نسبت تسهیلات به مطالبات و تعداد اسـناد نیـز متغیرهـای خروجـی انتخاب شدند.

برای محاسبهٔ کارایی واحدها از فرم ورودی‌گرای مدل BCC استفاده شـد. ابتـدا نمـره‌هـای کارایی واحدها در هر یک از دوره‌ها به‌طور مستقل با استفاده از نرم‌افزار DEA-Solver محاسبه شد. واحدهای بهبودیافته در هر دوره، به‌دسـت آمـده و درنهایـت نمـره‌هـای کـارایی مجموعـه واحدهای کارا و بهبودیافته در یـک مجموعـه بـار دیگـر محاسـبه و بـا بـه‌کـارگیری نـرم‌افـزار اس.پی.اس.اس. آزمون‌های فریدمن و ویل‌کاکسون در سطح معناداری ۱ درصد انجام گرفت کـه کوتاه‌شدهٔ نتایج آن در جدول شماره ۱ آمده است.

جدول ۱. خلاصه‌ای از آزمون‌های آماری

تصمیم نهایی	مقدار بحرانی	آماره آزمون	نوع آزمون	دوره‌ها
پذیرش فرض صفر	±۱٫۶۴۵	-۱٫۲۶۹	ویل‌کاکسون	۱۳۸۰–۱۳۸۱
پذیرش فرض صفر	۵٫۹۹۱۴۷	۰٫۳۲۱	فریدمن	۱۳۸۰–۱۳۸۱–۱۳۸۲
پذیرش فرض صفر	۷٫۸۱۴۷۳	۰٫۵۶۳	فریدمن	۱۳۸۰–۱۳۸۱–۱۳۸۲–۱۳۸۳
پذیرش فرض صفر	۹٫۴۸۷۷۳	۰٫۷۷۰	فریدمن	۱۳۸۰–۱۳۸۱–۱۳۸۲–۱۳۸۳–۱۳۸۴
پذیرش فرض صفر	۱۱٫۰۷۰۵	۷٫۲۴۹	فریدمن	۱۳۸۰–۱۳۸۱–۱۳۸۳–۱۳۸۴–۱۳۸۵
پذیرش فرض صفر	۱۲٫۵۹۱۶	۱۰٫۴۴۳	فریدمن	۱۳۸۰–۱۳۸۱–...–۱۳۸۴–۱۳۸۵–۱۳۸۶
پذیرش فرض صفر	۱۴٫۰۶۷۱	۱۱٫۹۱۱	فریدمن	۱۳۸۰–۱۳۸۱–...–۱۳۸۵–۱۳۸۶–۱۳۸۷
رد فرض صفر	۱۵٫۵۰۷۳	۱۵٫۶۵۹	فریدمن	۱۳۸۰–۱۳۸۱–..–۱۳۸۶–۱۳۸۷–۱۳۸۸
رد فرض صفر	±۱٫۶۴۵	-۳٫۹۱۲	ویل‌کاکسون	۱۳۸۷–۱۳۸۸
رد فرض صفر	±۱٫۶۴۵	-۳٫۳۴۳	ویل‌کاکسون	۱۳۸۸–۱۳۸۹

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

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

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 مالم‌کوئیست جهانی و دوسالانه

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

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مطالعه دو آزمون آماری ناپارامتریک رتبه علامت‌دار ویل‌کاکسون و فریدمن، برای تعیین انتقال مرز کارا و تعیین دوره‌های زمانی در تحلیل پنجره معرفی شدند. آزمون ویل‌کاکسون 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 مالم‌کوئیست می‌توان به تفکیک و تحلیل کامل تغییرات کارایی واحدها در بین دوره‌های مورد بررسی پرداخت. شاخص مالم‌کوئیست دوسالانه برای دو دوره زمانی و شاخص مالم‌کوئیست جهانی برای بیش از دو دوره به‌کار 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 مالم‌کوئیست دوسالانه و جهانی، تغییرات کارایی واحدها در طی زمان به سه بخش تغییر عملکرد، تغییر مرز و تغییر مقیاس تفکیک شدند. هنگام محاسبات شاخص‌های مالم‌کوئیست با توجه به نوع مالم‌کوئیست 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.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی