



ارزیابی بهره‌وری در واحدهای مجتمع نیروگاهی با استفاده از شاخص مالِم کوئست

فرهاد حسین زاده لطفی^۱

میر بهادر آریا نژاد^۲

سید اصغر ابن الرسول^۳

سید اسماعیل نجفی^۴

چکیده

اندازه گیری عملکرد همواره از مهم‌ترین وظایف مدیران به حساب می‌آید، از این‌رو دانش مدیریت، دانش اندازه‌گیری می‌باشد و اگر ما نتوانیم چیزی را اندازه‌گیری کنیم بی‌شک نمی‌توانیم آن را کنترل نماییم و در نتیجه نمی‌توانیم آن را مدیریت کنیم.

در این مقاله با توجه به شاخص بهره‌وری مالِم کوئست، شاخصی برای تعیین پیشرفت و پسرفت یک واحد ارائه شده است. این شاخص با استفاده از تغییرات مرز حاصل از ورودی واحدها و تغییرات کارایی آنها تعریف شده، که آن را شاخص بهره‌وری مالِم کوئست می‌نامیم. محاسبه مقادیر کارایی و فاصله هر واحد تا مرز، با استفاده از تکنیک‌های برنامه‌ریزی خطی و تحلیل پوششی داده‌ها صورت می‌گیرد. با این شاخص میزان پیشرفت و یا پسرفت حاصل از تولید هر واحد، مورد ارزیابی قرار گرفته و اطلاعات مدیر را در این رابطه افزایش می‌دهد.

مدل مالِم کوئست در یک مجتمع نیروگاهی، که شامل چهار واحد نیروگاهی می‌باشد پیاده شده و نتایج به صورت کامل، در قالب جداولی ارائه گردیده است.

واژه‌های کلیدی:

تحلیل پوششی داده‌ها، بهره‌وری، شاخص مالِم کوئست.

^۱ دانشیار گروه ریاضی واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران Hosseinzadehlotfi@yahoo.com

^۲ استاد گروه مهندسی صنایع - دانشگاه علم و صنعت تهران

^۳ استادیار گروه مهندسی صنایع - دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران ebnerasoul@yahoo.com

^۴ گروه مهندسی صنایع - واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران Najafi1313@yahoo.com

۱- مقدمه

کوشش های اقتصادی انسان همواره معطوف بر آن بوده که حداکثر نتیجه را با حداقل تلاش و امکانات به دست آورد. این تمایل را می توان اشتیاق دستیابی به بهره وری بالاتر نامید. یکی از شاخص هایی که بیش از سایر شاخص ها برای ارزیابی عملکرد بنگاه ها مورد استفاده قرار می گیرد، بهره وری است که از طریق نسبت مطلوبیت های حاصله (ستانده) بر عوامل تولید (داده ها) بیان می شود.

در پی تعالی و تکامل دانش بشری در علم اقتصاد و مدیریت، مفاهیم کارایی و بهره وری نیز توسعه یافته و در دو دهه اخیر، اندازه گیری آن نیز بر مبنای تئوری های اقتصادی امکان پذیر و عملی شده است. در تعریف جدید، کارایی به مفهوم تلف نکردن منابع است که از نسبت کل ستانده به کل نهاده به دست می آید و بهره وری به مفهوم مقایسه کارایی یک بنگاه طی دو زمان متفاوت و یا مقایسه کارایی دو بنگاه نسبت به یکدیگر در یک زمان می باشد به عبارت دیگر، بهره وری مقایسه کارایی است. شاخص بهره وری مالم کوئست از جدید ترین روش های اندازه گیری بهره وری است. تا قبل از تدوین شاخص بهره وری مالم کوئست، تنها تغییرات کارایی را ملاک پیشرفت و یا پسرفت قرار می دادند اما دیده شد که تغییرات تکنیکی هم در بهره وری موثر است [۷ و ۱۳].

این شاخص ابتدا در سال ۱۹۵۳ توسط مالم کوئست در زمینه تئوری مصرف بیان شد. او نظرات فارل را مبنی بر اندازه کارایی با نظریه کیو مبنی بر اندازه بهره وری تلفیق کرد و شاخص بهره وری مالم کوئست را برای هر واحد با مصرف ورودیها و تولید خروجیها تعریف نمود [۱۱ و ۱۲].

بعد از آن تحقیقات زیادی که بر روی این شاخص انجام شد و کاربرد های عملی برای این شاخص به دست آمد. با تکامل تدریجی و کاربرد آن در چارچوب تابع تولید و با لحاظ نمودن مقادیر کارایی در محاسبه بهره وری مورد استفاده قرار گرفت. این شاخص تغییرات بهره وری کل را به دو جزء عمده آن یعنی تغییرات تکنولوژی و تغییرات در کارایی تفکیک کرد که مبنای آن بر اساس تکنولوژی بازده ثابت نسبت به مقیاس تولید بود. تا این که در سال

۱۹۹۴ شاخص مالم کوئست بر مبنای تکنولوژی بازده متغیر نسبت به مقیاس تولید ارائه و در آن کارایی به دو جزء کارایی مدیریت و کارایی مقیاس تفکیک گردید [۷].

در کشور ما نیز مقالات، گزارشات و پایان نامه های خوبی در این عرصه نوشته شد که از مهم ترین آنها می توان به پایان نامه آقای میکایلپور تحت عنوان بررسی و تخمین بهره وری و کارایی سیستم آموزش و پرورش ایران از دانشگاه علامه طباطبایی اشاره نمود. وی با استفاده از شاخص مالم کوئست شاخص بهره وری و کارایی مربوط به نظام آموزش و پرورش ۲۵ استان را مورد بررسی قرار داده است در زمینه محاسبه بهره وری در عرصه تولیدات می توان به مطالعات دهقانیان و همکاران در زمینه بهره وری تولیدات کشاورزی و آقای آهنگر کلایی در سنجش بهره وری فرش دستباف اشاره نمود.

در ادامه و در بخش دوم، به مرور ادبیات می پردازیم مفهوم تحلیل پوششی داده ها و کارایی و بهره وری در اقتصاد عناوین این فصل می باشند در بخش سوم شاخص بهره وری مالم کوئست و روشهای محاسبه آن مورد نقد و بررسی قرار می گیرد کاربرد شاخص مالم کوئست در نیروگاه و نتیجه گیری از این مباحث عناوین فصول بعد را تشکیل می دهند.

۲- مرور ادبیاتی:

بهبود مستمر عملکرد سازمان ها، نیروی عظیم هم افزایی ایجاد می کند که این نیروها می تواند پشتیبان برنامه رشد و توسعه و ایجاد فرصت های تعالی سازمان شود. دولت ها و سازمان ها و مؤسسات تلاش جلو برنده ای را در این مورد اعمال می کنند. بدون بررسی و کسب آگاهی از میزان پیشرفت و دستیابی به اهداف و بدون شناسایی چالش های پیش روی سازمان و کسب باز خورد و اطلاع از میزان اجرای سیاست تدوین شده و شناسایی مواردی که به بهبود جدی نیاز دارند، بهبود مستمر عملکرد میسر نخواهد شد. تمامی موارد مذکور بدون اندازه گیری و ارزیابی امکان پذیر نیست.

لردکلوین^۵ فیزیکدان انگلیسی در مورد ضرورت اندازه گیری می گوید: هر گاه توانستیم آنچه درباره آن صحبت

^۵-Lord Kelvin

ورودی‌های واحد تصمیم‌گیرنده^۷ و تابع تولید^۸ را چنان بر مجموعه‌ای از خروجی و ورودی‌ها برآزش داد که حاصل آن یک تابع قطعه‌ای خطی بود.

DEA یک رویکرد داده‌محور نسبتاً جدیدی برای ارزیابی عملکرد مجموعه‌ای از واحدهای مستقل مشابه که واحدهای تصمیم‌گیرنده نامیده می‌شود، مورد استفاده قرار می‌گیرد و ورودی‌ها را به خروجی‌ها تبدیل می‌نماید [۱] و [۲].

فرض کنید n واحد تصمیم‌گیرنده موجود است که هر کدام از m ورودی مختلف جهت تولید S خروجی استفاده می‌کنند و X_{ij} و Y_{ij} به ترتیب خروجی i ام ($i = 1, \dots, S$) و ورودی j ام ($j = 1, \dots, m$) از واحد تصمیم‌گیری j ام ($j = 1, \dots, n$) باشند و $p \in \{1, \dots, n\}$. ورودی‌ها و خروجی‌های هر واحد تصمیم‌گیرنده نامنفی و حداقل یک ورودی و یک خروجی مثبت هستند.

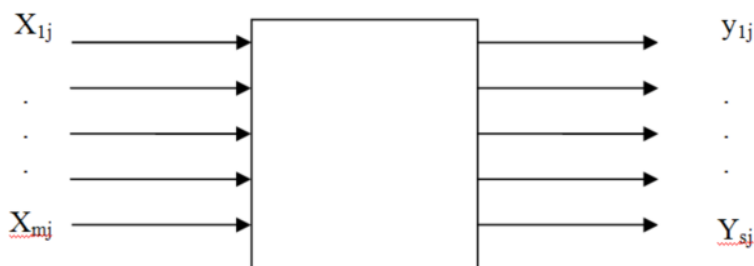
می‌کنیم اندازه گرفته و در قالب اعداد و ارقام بیان نماییم می‌توانیم ادعا کنیم درباره موضوع مورد بحث چیزهایی می‌دانیم. در غیر این صورت آگاهی و دانش ما ناقص بوده و هرگز به مرحله بلوغ نخواهد رسید. در این قسمت کلیات بحث تحلیل پوششی داده‌ها و کارایی و بهره‌وری در اقتصاد مورد بررسی و تحلیل مناسب قرار می‌گیرد.

۱-۲: تحلیل پوششی داده‌ها

اندازه‌گیری راندمان یا کارایی^۶ همیشه یکی از مباحث مهم مدیریت بوده است. چرا که برای هر مدیر اطلاعات در مورد کارایی واحد‌ها جزء مهم‌ترین ابزار مدیریت است تا بتوان با در دست داشتن کارایی واحد‌ها، بهره‌وری واحد‌ها را حساب کرد. بنابراین بهره‌وری در هر سیستمی تابعی از کارایی و اثر بخشی است.

در این زمینه فارل (۱۹۵۷) برای اولین بار به تعیین کارایی به روش ناپارامتری پرداخت. او با استفاده از خروجی و

شکل (۱) - وضعیت ورودی و خروجی یک سازمان



به طور کلی مجموعه امکان تولید، که آن را با T نشان می‌دهیم از اصول شمول مشاهدات، بازده به مقیاس ثابت، امکان پذیری و تحذب بدست می‌آید و چنین تعریف می‌شود:

$$T_c = (x_p, y_p) \perp x_p \geq \sum_{j=1}^n \lambda_j x_j, y_p \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j, \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n$$

که در آن X, Y به ترتیب نشان دهنده بردارهای ورودی و خروجی می‌باشند.

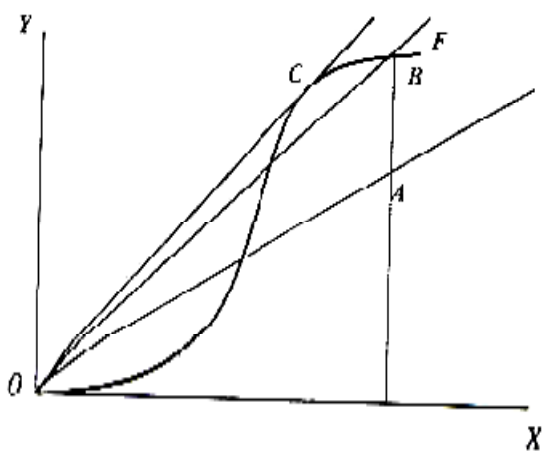
⁷-Decision Making Unit=DMU

⁸-Production Function

⁶-Efficiency

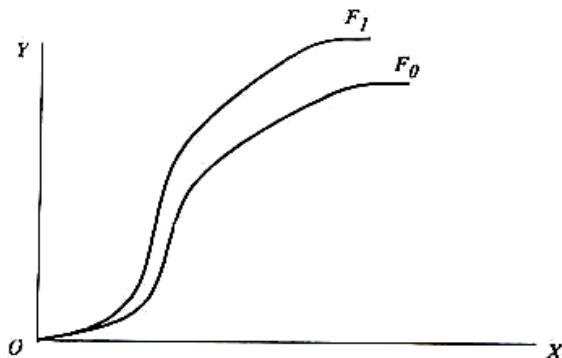
بهره وری در نمودار (۳) به خوبی نشان داده شده است. در این نمودار برای اندازه گیری بهره وری نقاط B و C و دسته خطوطی از مبدأ مختصات رسم می کنیم. بنگاه A اگر به نقطه کارایی B منتقل شود نشان دهنده بهره وری بالاتر است و بر روی نمودار هر چه به نقطه C نزدیکتر شود بهره وری به حداکثر مقدار خود می رسد. در واقع نقطه C مثالی از صرفه جوئی ناشی از مقیاس اقتصادی بنگاه و مقیاس بهینه فنی آن بنگاه است.

شکل (۳) بهره وری، کارایی فنی و مقیاس اقتصادی



بحث فوق در یک مقطع از زمان و در شرایط ایستا (ثبات منحنی OF) صادق است و اگر بهره وری در طول زمان و در شرایط پویا مورد بررسی قرار گیرد، در آن صورت عامل جدیدی به نام تغییرات تکنولوژی در افزایش بهره وری دخیل خواهد بود. شکل (۴) این تغییرات را بخوبی نشان می دهد سطح تکنولوژی F_1 بالاتر از سطح تکنولوژی F_0 می باشد از اینرو در اندازه گیری کارایی، عامل تغییرات تکنولوژی نیز دخیل می باشد.

شکل (۴): تغییرات تکنولوژی طی دو دوره زمانی



مرز این مجموعه محدب به دلیل وجود اصل تحدب یک خط، صفحه و یا فوق صفحه است که از مبدا مختصات می گذرد مرز مجموعه امکان تولید CCR بیان کننده کارایی نسبی است و هر DMU ای که روی مرز قرار نداشته باشد ناکارا است مدل CCR می تواند در ماهیت ورودی و خروجی تعیین شود. هدف مدل CCR با ماهیت ورودی کاهش حداکثر سطح ورودی با نسبت θ است به طوری که حداقل همان خروجی بتواند تولید شود یعنی:

$$\min \theta$$

$$s.t. (\theta X_p, Y_p) \in T_c$$

حال با توجه به تعریف T_c مساله به صورت زیر در می آید

$$\min \theta$$

$$s.t. \theta X_p - \sum_{j=1}^n \lambda_j X_{ij} \geq 0$$

فرم پوششی CCR با ماهیت ورودی

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j Y_{rj} \geq Y_{rp}$$

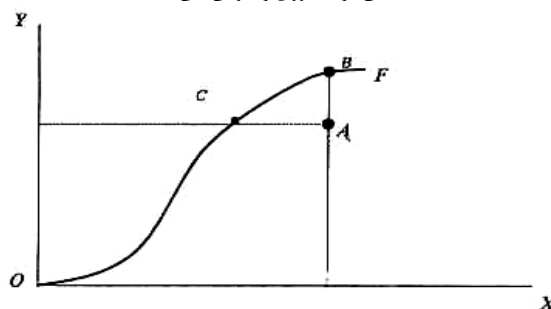
$$\lambda_j \geq 0$$

که فرم پوششی^۹ مدل CCR با ماهیت ورودی گفته می شود و θ را مقدار کارایی نسبی واحد های تصمیم گیرنده می نامیم و اگر θ^* مقدار بهینه تابع هدف باشد، ثابت می شود که $0 \leq \theta^* \leq 1$ است.

۲-۲: کارایی و بهره وری در اقتصاد

تابع تولید مربوط به یک عامل تولید (X) و یک محصول (Y) در شکل (۲) نشان داده شده است بنگاه های B و C که بر روی این تابع تولید مرزی قرار دارند، کارا هستند. یعنی این بنگاه ها با استفاده از عوامل تولید موجود بیشترین محصول را تولید کرده اند و بنگاه A ناکارا می باشد.

شکل (۲): تابع تولید مرزی و کارایی فنی



⁹-Envelopment form

که x_{ip}^t, i -امین ورودی و y_{rp}^t, r -امین خروجی از DMU_p در زمان t می باشد.

مقدار کارایی $\theta = D^t(X^t, Y^t)$ نشان می دهد که به چه میزان می توان از ورودی DMU_p کم کرد تا همان خروجی را تولید کند به جای زمان t ، مساله CCR را برای زمان $t+1$ و $D^{t+1}(X^{t+1}, Y^{t+1})$ که کارایی تکنیکی DMU_p در زمان $t+1$ است به دست می آید مقدار $D^t(X^{t+1}, Y^{t+1})$ برای DMU_p که فاصله DMU_p در زمان $t+1$ با مرز t است با استفاده از مساله برنامه ریزی خطی (۴) به دست می آید:

$$D^t(X_p^{t+1}, Y_p^{t+1}) = \min \theta$$

$$s.t. \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij}^t \leq \theta x_{ip}^{t+1} \quad i = 1 \dots m$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj}^t \geq y_{rp}^{t+1} \quad r = 1 \dots s$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad j = 1 \dots n$$

به طور مشابه $D^{t+1}(X^t, Y^t)$ فاصله DMU_p با مختصات t نسبت به مرز کارایی $t+1$ محاسبه می شود که برای محاسبه شاخص بهره‌وری مالم کوئست در ماهیت ورودی لازم است این مقدار جواب بهینه مساله برنامه ریزی خطی (۵) است.

$$D^{t+1}(X_p^t, Y_p^t) = \min \theta$$

$$s.t. \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij}^{t+1} \leq \theta x_{ip}^t \quad i = 1 \dots m$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj}^{t+1} \geq y_{rp}^t \quad r = 1 \dots s$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad j = 1 \dots n$$

اگر بتوان فرض کرد که $D^t(X^t, Y^t)$ و $D^{t+1}(X^{t+1}, Y^{t+1})$ برای کارا بودن برابر یک باشند بنابراین تغییرات کارایی نسبی را تعریف کرد:

$$(۶)$$

$$TEC_p = \frac{D_p^{t+1}(x_p^{t+1}, y_p^{t+1})}{D_p^t(x_p^t, y_p^t)}$$

تعریف ۱: گوییم قطعه ای از مرز حرکت مثبت داشته است، اگر و فقط اگر این قطعه در زمان $t+1$ نسبت به نقطه متناظر در زمان t ، مجموعه امکان تولید را گسترش داده و بزرگتر نماید.

با استناد به توضیحات فوق در دو حوزه یاد شده، حال شاخص بهره‌وری مالم کوئست را مطرح و مورد بررسی قرار می دهیم.

۳: شاخص بهره‌وری مالم کوئست

با استفاده از تکنیک برنامه ریزی خطی و تحلیل پوششی داده‌ها فارل روش مناسبی برای ارزیابی تابع تولید تجربی برای چند ورودی و چند خروجی تعریف کرد در تحلیل پوششی داده‌ها بهترین مرز کارایی، بدون اولویت برای خروجی‌ها و ورودی‌ها بوسیله مجموعه‌ای از واحد‌های تصمیم‌گیرنده به دست می آید واحد‌های تصمیم‌گیرنده روی مرز کارایی، واحدهایی با بیشترین سطح خروجی و یا با کمترین سطح ورودی هستند با تلفیق تغییرات کارایی هر واحد و تغییرات تکنولوژی، شاخص بهره‌وری مالم کوئست تعریف می شود شاخص بهره‌وری مالم کوئست را می توان از توابع فاصله زیر و یا توابع مشابه دیگری محاسبه نمود:

$$D(X_p, Y_p) = \inf \{ \theta / (\theta X_p, Y_p) \in PPS \}$$

رابطه فوق در حالت‌های خیلی خاص فقط تغییرات مرز کارایی در لحظه $t+1$ ، نسبت به مرز کارایی در لحظه t را نشان می دهد و نمی تواند معیار مناسبی برای محاسبه تغییرات تکنولوژی باشد. همچنین تغییرات کارایی نیز در این روش نادیده گرفته می شود. اگر $D^k(X^k, Y^k) = I$ آنگاه واحد کارا فرض می شود این تابع فاصله مقدار ناکارایی را مشخص نمی کند فارل با توجه به ناکارایی و خطی بودن مرز تکنولوژی، شاخص بهره‌وری را به دو عامل تجزیه کرد و مرز کارایی با استفاده از تکنیکهای DEA برای DMUها مشخص می شود. تابع تولید در زمان t و $t+1$ مفروض است و برای محاسبه شاخص مالم کوئست به حل چهار مساله برنامه ریزی خطی به صورت زیر نیاز است:

$$(۳)$$

$$D^t(X_p^t, Y_p^t) = \min \theta$$

$$s.t. \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij}^t \leq \theta x_{ip}^t \quad i = 1 \dots m$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj}^t \geq y_{rp}^t \quad r = 1 \dots s$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad j = 1 \dots n$$

$$M_p = \sqrt{\frac{D_p^t(x_p^{t+1}, y_p^{t+1})}{D_p^t(x_p^t, y_p^t)} \cdot \frac{D_p^{t+1}(x_p^{t+1}, y_p^{t+1})}{D_p^{t+1}(x_p^t, y_p^t)}} \quad (۹)$$

این مقدار به صورت ترکیب هندسی محدب تعریف می‌شود زیرا به این وسیله کوچک‌ترین ضعف موجود در کارایی‌ها مشخص می‌شود و کوچک‌ترین تغییر در هر کدام از کارایی‌ها در شاخص بهره‌وری مالم کوئست تاثیر می‌گذارد و سه حالت زیر ممکن است وجود آید:

۱- $M_p > 1$ افزایش بهره‌وری را نشان می‌دهد و پیشرفت مشاهده می‌شود

۲- $M_p < 1$ کاهش بهره‌وری را نشان می‌دهد و پسرفت مشاهده می‌شود

۳- $M_p = 1$ نشان می‌دهد که هیچ تغییری در بهره‌وری برای زمانهای t و $t+1$ رخ نداده است

۴- کاربرد شاخص بهره‌وری مالم کوئست در واحدهای مجتمع نیروگاهی:

در این قسمت شاخص بهره‌وری مالم کوئست را از نظر کاربردی در یک مجتمع نیروگاه حرارتی که شامل چهار واحد بخار ۳۲۵ مگاواتی مشابه می‌باشد را مورد بررسی قرار داده و نتایج علمی این بررسی به صورت جداولی بیان می‌شود.

چهار واحد از یکی از نیروگاه‌های کشور مورد ارزیابی قرار گرفته و اطلاعات پنج سال متوالی آن تهیه گردیده است برای برای هر DUM (واحد نیروگاهی) مدل ارزیابی و شاخص‌های ورودی و خروجی به صورت شکل (۵) تعریف می‌گردد:

تعریف ۲: گویم قطعه‌ای از مرز حرکت منفی داشته، اگر و فقط اگر این قطعه در زمان $t+1$ نسبت به نقطه متناظر در زمان t مجموعه امکان تولید را کوچک‌تر نماید و به سمت داخل حرکت کند. فارل میزان تغییرات تکنولوژی را بین زمانهای t و $t+1$ به صورت ترکیب هندسی بیان کرد:

$$FS_p = \sqrt{\frac{D_p^t(x_p^{t+1}, y_p^{t+1})}{D_p^{t+1}(x_p^{t+1}, y_p^{t+1})} \cdot \frac{D_p^t(x_p^t, y_p^t)}{D_p^{t+1}(x_p^t, y_p^t)}} \quad (۷)$$

برای شاخص تغییرات تکنولوژی سه حالت زیر رخ می‌دهد:

۱- $FS_p > 1$ باشد حرکت مرز مثبت بوده یا عبارت دیگر پیشرفت مشاهده می‌شود

۲- $FS_p < 1$ باشد حرکت مرز منفی بوده یا عبارت دیگر پسرفت مشاهده می‌شود

۳- $FS_p = 1$ باشد حرکت لازم نیست و یا مرز تغییر نمی‌کند

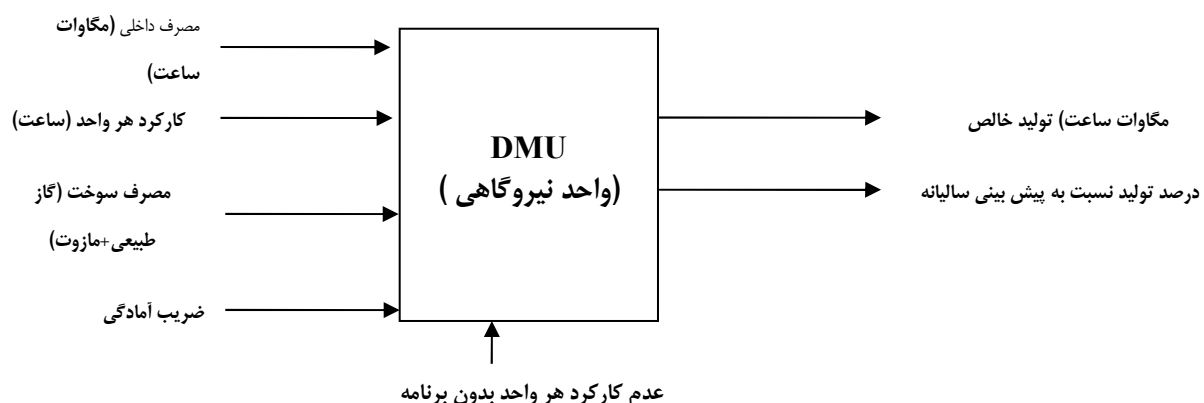
شاخص بهره‌وری مالم کوئست در ماهیت ورودی برای هر DMU_p در زمانهای t و $t+1$ از حاصلضرب تغییرات کارایی و تغییرات تکنولوژی به دست می‌آید که به صورت رابطه (۸) مطرح است.

$$M_p = \frac{D_p^{t+1}(x_p^{t+1}, y_p^{t+1})}{D_p^t(x_p^t, y_p^t)} \times$$

$$\sqrt{\frac{D_p^t(x_p^{t+1}, y_p^{t+1})}{D_p^{t+1}(x_p^{t+1}, y_p^{t+1})} \cdot \frac{D_p^t(x_p^t, y_p^t)}{D_p^{t+1}(x_p^t, y_p^t)}}$$

و اگر رابطه (۸) را ساده کنیم مقدار M_p برابر است با: رابطه (۹)

شکل (۵): Dmu یک واحد نیروگاهی



تاکید می‌گردد اطلاعات در پنج سال متوالی تهیه گردیده است که برای نمونه اطلاعات واحد ها در سال ۱۳۸۴ در جدول (۱) آورده شده است .

جدول (۱) اطلاعات واحدهای مختلف مربوط به سال ۱۳۸۴

نام واحد	ورودی اول	ورودی دوم	ورودی سوم	ورودی چهارم	ورودی پنجم	ورودی ششم	خروجی اول	خروجی دوم
واحد اول	۱۶۹۶۶۱	۷۵۷۱	۱۴۳۵۱۷	۳۲۶۲۲۷	۳	%۸۶/۴۲	۱۹۲۷۴۱۷	%۱۰۴/۱۶
واحد دوم	۱۶۹۵۸۴	۸۱۴۶	۱۳۵۳۴۶	۳۵۹۹۵۵	۸	%۹۲/۹۹	۲۰۳۴۶۲۸	%۱۰۱/۴۴
واحد سوم	۱۷۰۲۳۶	۸۰۷۱	۱۷۳۵۶۷	۳۳۰۰۱۰	۳	%۹۲/۱۳	۲۰۷۷۵۳۳	%۱۰۶/۹۵
واحد چهارم	۱۶۰۸۴۹	۸۱۲۱	۱۶۲۰۳۱	۳۱۹۷۱۸	۱	%۹۲/۷۰	۱۹۹۹۱۹۹	%۱۰۳/۲۳

مدل ارائه شده دارای شش ورودی و دو خروجی می‌باشد که در ذیل تک تک شاخص‌های ورودی و خروجی تعریف می‌گردد

❖ مصرف داخلی

درصدی از تولیدات هر واحد صرف مصرف داخلی همان واحد می‌شود. تجهیزاتی مانند پمپ‌ها، فن‌ها و... قبل از به مدار آمدن واحد از شبکه اصلی تغذیه گردیده ولی بعد از این که واحد در مدار قرار گرفت تغییر وضعیت داده و درصدی از تولید همان واحد را مصرف می‌کنند و تغذیه شبکه آنها در حالت استندبای (ایستا) قرار می‌گیرد. این میزان مصرف به صورت درصد از تولید کل محاسبه می‌شود و معمولاً بسته به میزان بار واحد و شرایط مصرف کننده‌های واحد بین ۷ تا ۹ درصد متغیر می‌باشد. طبیعی است که بهره برداری صحیح به تعمیرات دوره‌ای به موقع تجهیزات و رعایت قوانین بهینه سازی مصرف انرژی می‌تواند در کاهش مصرف داخلی موثر باشند.

❖ کارکرد هر واحد

میزان ساعاتی است که واحدهای مربوطه در چرخه تولید انرژی الکتریکی قرار گرفته‌اند و این پارامتر برای همه واحدها مشابه نمی‌باشد. معمولاً دو نوع تعمیرات بر روی واحدها انجام می‌پذیرد. تعمیرات دوره‌ای و تعمیرات اساسی (over hall).

تعمیرات دوره‌ای در هر سال بسته به وضعیت واحدها حداکثر تا ۱۵ روز و یا در صورت بروز مشکل urgent در واحد با هماهنگی مرکز کنترل بسته به مشکل بوجود آمده تا سقف نامشخصی انجام می‌پذیرد. ولی تعمیرات اساسی معمولاً هر چهار سال یک بار بین ۲ تا ۴ ماه انجام می‌پذیرد.

پس شکی نخواهد بود که میزان کارکرد هر واحد بسته به پارامترهای فوق و عوامل دیگر متفاوت می‌باشند.

❖ ضریب آمادگی

ضریب آمادگی یک شاخصی است که از طرف مرکز کنترل (دیسپاچینگ) که وظیفه کنترل نیروگاه‌ها را برعهده دارد تعریف می‌گردد و هر چه این شاخص بالاتر باشد نشان دهنده آن است که نیروگاه عملکرد بهتری داشته‌است. می‌توان یادآور شد که یکی از فاکتورهای مهمی که در قیمت خرید برق از نیروگاه‌ها تاثیر مهمی دارد عامل ضریب آمادگی واحدها می‌باشند و بنا به تعریف ضریب آمادگی عبارت است از:

تعداد کل روزهایی که واحد تولید داشته‌است

تعداد کل روزهایی که واحد می‌تواند تولید داشته باشد

❖ مصرف سوخت

مصرف سوخت در نیروگاه‌ها به صورت گاز، مازوت و یا ترکیب آنها می‌باشند. معمولاً در فصول گرم سال واحدها به صورت گازسوز بوده و در زمستان از سوخت مازوت و یا ترکیبی استفاده می‌شود. ارزش حرارتی متفاوت سوخت گاز و مازوت به ساختار متفاوت ساختمان مشعل‌ها، و عوامل زیاد تاثیر گذار در هنگام استفاده از مشعل مازوت ... می‌تواند کارایی استفاده از آنها را تا حدی تغییر دهد.

❖ عدم کارکرد هر واحد بدون برنامه

واحدهای نیروگاهی ممکن است بدلیل اشکالات فنی بوجود آمده با برنامه و یا بدون برنامه (خروج اضطراری) از مدار

در جدول (۲) شاخص مالم کوئست مربوط به سالهای ۸۲ و ۸۳ محاسبه شده است سال ۱۳۸۲ مرز t و سال ۱۳۸۳ مرز $t+1$ را نشان می دهد.

در جدول ۲ در ستون اول واحد ها مشخص شده اند و در ستون دوم کارایی هر واحد را در زمان t نسبت به مرز زمان t نشان می دهد. مقدار این کارایی از رابطه شماره (۳) به دست می آید یعنی مقدار کارایی با در نظر گرفتن واحد تحت ارزیابی و بقیه DMU_j ها در زمان t به دست می آید. در جدول ۲ واحد شماره ۲ نسبت به این مرز کارا بوده و بقیه واحد ها ناکارا هستند.

ستون سوم نشان دهنده کارایی هر واحد در زمان t نسبت به مرز زمان $t+1$ است. برای محاسبه بایستی از معادله شماره (۵) استفاده شود. در این معادلات DMU_j ها در زمان t و واحد تحت ارزیابی (DMU_p) در زمان $t+1$ در نظر گرفته می شوند. مقدار این کارایی در ستون دوم بیش از یک می باشد که این مساله امکان پذیر است چرا که هر واحد، نسبت به زمان دیگر مورد بررسی قرار می گیرد و واحد ها می توانند در طرف دیگر مرز قرار داشته باشند.

ستون چهارم، هر واحد را در زمان $t+1$ نسبت به زمان t مقایسه می کند که حداکثر مقدار کارایی در این حالت یک است. برای محاسبه بایستی از معادله شماره (۴) استفاده نماییم. در این معادلات DMU_j ها در زمان $t+1$ و واحد تحت ارزیابی (DMU_p) در زمان t در نظر گرفته می شوند.

در ستون پنجم کارایی هر واحد در زمان $t+1$ نسبت به مرز $t+1$ محاسبه می شود که می توانیم از رابطه شماره (۳) با لحاظ نمودن اطلاعات در زمان $t+1$ استفاده نماییم. ستونهای ششم و هفتم بترتیب پیشرفت کارایی و تغییرات تکنیکی را مطابق روابط (۶) و (۷) محاسبه شده است را نشان می دهد و در نهایت در ستون هشتم مقدار شاخص بهره وری مالم کوئست محاسبه شده است.

در جدول (۳) شاخص مالم کوئست مربوط به سالهای ۸۳ و ۸۴ محاسبه شده است سال ۱۳۸۳ مرز t و سال ۱۳۸۴ مرز $t+1$ را نشان می دهد.

تولید خارج شوند، در حالت با برنامه مشکل از قبل مشخص بوه و با هماهنگی مرکز کنترل در یک مدت زمان مشخص واحد از مدار خارج و در موعد مقرر با شبکه پارالل می گردد. ولی بعضاً شرایطی بوجود می آید که بدلیل محدودیت های فنی، اشتباهات فردی و یا حوادث طبیعی امکان هماهنگی با مرکز کنترل وجود نداشته باشد، خروج اضطراری گفته می شود که بالا بودن خروج اضطراری امتیاز منفی برای هر واحد نیروگاهی محسوب می شود.

❖ تولید ناخالص

ظرفیت اسمی واحدهای نیروگاهی شازند ۳۲۵ مگاوات می باشد ولی واحدها همیشه در ظرفیت اسمی خود نمی باشند و در ساعات مختلف شبانه روز بسته به نیاز شبکه در مقادیر مختلف بار قرار دارد. از این رو تولید ناخالص واحدهای مختلف متفاوت می باشد. مفهوم تولید خالص این است که از کل تولید هر واحد مصرف داخلی همان واحد کسر گردد.

مصرف داخلی - کل تولید = تولید ناخالص

❖ درصد تولید نسبت به پیش بینی سالیانه

از آنجایی که معمولاً نیروگاهها در ابتدای سال، قراردادی را با شرکت برق منطقه ای منعقد کرده و متعهد به سطحی از تولید با توجه به وضعیت واحدها تا پایان سال می باشند که آن را پیش بینی^{۱۰} می نامند، این شاخص معمولاً برحسب درصد بیان می شود. میزان تولید نسبت به پیش بینی سالیانه می تواند به عنوان یکی از شاخص های مهم در ارزیابی واحدها و قیمت گذاری برق می باشد.

۵- نتایج حاصل از اجرای مدل

اطلاعات مربوطه در پنج سال متوالی (۱۳۸۲ تا ۱۳۸۶) جمع آوری گردیده و با استفاده از نرم افزار *gams* شاخص بهره وری مالم کوئست محاسبه شده است. همانطوریکه که در تئوری این مبحث گفته شد محاسبه بهره وری به کمک شاخص مالم کوئست در طول زمان و در شرایط پویا مورد بررسی قرار گیرد (یعنی مرز کارایی در لحظه $t+1$ را نسبت به مرز کارایی در لحظه t مورد محاسبه قرار می دهد) از اینرو با داشتن اطلاعات پنج سال متوالی، چهار شاخص مالم کوئست را می توان برای هر واحد تصمیم گیرنده محاسبه نمود

¹⁰. Forecast

جدول (۲) - شاخص بهره‌وری مالم کوئست (سالهای ۸۲-۸۳)

DMU	$D^t(t)$	$D^{t+1}(t)$	$D^t(t+1)$	$D^{t+1}(t+1)$	پیشرفت کارایی	پیشرفت تکنولوژی	شاخص مالم کوئست
۱	۰.۸۸۰۴	۰.۹۷۹۸	۱	۰.۹۱۹۳	۱.۰۴۴۱	۰.۹۸۸۶	۱.۰۳۲۳
۲	۱	۱.۱۲۲۶	۱	۰.۸۹۷۱	۰.۸۹۷۱	۰.۹۹۳۹	۰.۸۹۷۱
۳	۰.۷۶۴۴	۰.۸۵۲۴	۰.۸۲۸۳	۰.۷۴۴۳	۰.۹۷۳۷	۰.۹۹۸۹	۰.۹۷۲۷
۴	۰.۷۴۸۰	۰.۸۳۲۴	۰.۹۸۳۹	۰.۸۸۴۱	۱.۱۸۱۹	۱	۱.۱۸۱۹

جدول (۳) - شاخص بهره‌وری مالم کوئست (سالهای ۸۳-۸۴)

DMU	$D^t(t)$	$D^{t+1}(t)$	$D^t(t+1)$	$D^{t+1}(t+1)$	پیشرفت کارایی	پیشرفت تکنولوژی	شاخص مالم کوئست
۱	۱	۰.۸۸۷۷	۱.۱۱۳۹	۱	۱	۱.۱۲۰۱	۱.۱۲۰۱
۲	۱	۰.۹۱۰۴	۰.۷۹۴۷	۰.۷۲۱۹	۰.۷۲۱۹	۱.۰۹۹	۰.۷۹۳۸
۳	۰.۸۲۸۳	۰.۷۵۴۱	۱.۰۸۷۷	۰.۹۵۴۹	۱.۱۵۲۸	۱.۱۱۸۵	۱.۲۸۹۴
۴	۰.۹۸۳۹	۰.۸۹۵۸	۱.۵۳۴۵	۱	۱.۰۱۶۳	۱.۲۹۸۲	۱.۳۱۹۴

بیشترین پیشرفت تکنولوژی مربوط به واحد شماره چهار بوده که با وجود تغییرات بسیار ناچیز در مقدار کارایی، شاهد پیشرفت محسوسی در میزان بهره‌وری می‌باشیم. در جدول (۴) شاخص مالم کوئست مربوط به سالهای ۸۴ و ۸۵ محاسبه شده است سال ۱۳۸۴ مرز t و سال ۱۳۸۵ مرز $t+1$ را نشان می‌دهد.

مطابق جدول ۴ کمترین مقدار کارایی در زمانهای t و $t+1$ مربوط به واحد شماره دو می‌باشد ولی با مقایسه این دو مقدار و محاسبه نسبت آنها مشخص می‌گردد روند کارایی در این واحد، صعودی می‌باشد در صورتی که واحد شماره چهار با داشتن مقادیر کارایی بالاتر، روند نزولی دارد.

در جدول (۵) شاخص مالم کوئست مربوط به سالهای ۸۵ و ۸۶ محاسبه شده است سال ۱۳۸۵ مرز t و سال ۱۳۸۶ مرز $t+1$ را نشان می‌دهد

همان‌طوری که گفته شد شاخص مالم کوئست، تغییر بهره‌وری مجموع عوامل واحد‌ها را از دوره t به دوره $t+1$ با استفاده از تابع مسافت اندازه‌گیری می‌کند قسمت اول شاخص مذکور تغییر کارایی فنی واحدها از دوره t به دوره $t+1$ (حرکت در امتداد تابع مرزی) را اندازه گرفته و جزء دوم، تغییر در کارایی فناوری واحدها را از دوره t به دوره $t+1$ (انتقال تابع مرزی) را محاسبه می‌کند. در حالت تغییر کارایی فناوری مشخص می‌شود که اگر واحدی مقدار نهاده دوره t را دارا باشد با تغییر فناوری وقتی به دوره $t+1$ می‌رسد چه تغییری در مقادیر کارایی آن ایجاد می‌شود و یا اگر مقادیر نهاده دوره $t+1$ در دسترس باشد، تغییر فناوری چه تغییری را در مقادیر کارایی ایجاد می‌کند. در جدول شماره (۳) واحد شماره یک، از نظر کارایی پیشرفتی نداشته است ولی پیشرفت تکنولوژی باعث گردیده است تا این واحد با افزایش بهره‌وری مواجه گردد.

جدول (۴) - شاخص بهره‌وری مالم کوئست (سالهای ۸۴-۸۵)

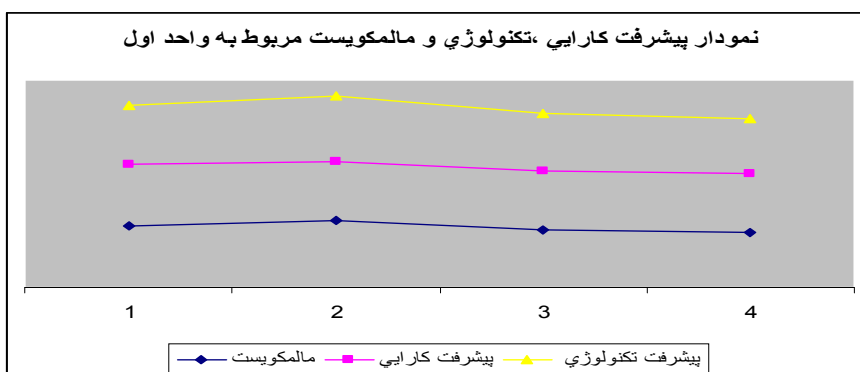
DMU	$D^t(t)$	$D^{t+1}(t)$	$D^t(t+1)$	$D^{t+1}(t+1)$	پیشرفت کارایی	پیشرفت تکنولوژی	شاخص مالم کوئست
۱	۱	۱.۰۳۲۲	۰.۹۶۹۶	۱	۱	۰.۹۶۹۱	۰.۹۶۹۱
۲	۰.۷۲۱۹	۰.۷۴۵	۰.۷۴۴۲	۰.۷۶۷۸	۱.۰۶۳۵	۰.۹۶۹۱	۱.۰۳
۳	۰.۹۵۴۹	۱.۰۱۲۲	۰.۹۵۶۹	۰.۹۸۷۲	۱.۰۳۳۸	۰.۹۳۴۴	۰.۹۶۸۵
۴	۱	۱.۴۴۵۲	۰.۸۵۵۳	۰.۹۳۳۴	۰.۹۳۳۴	۰.۷۹۶۲	۰.۷۴۳۲

جدول (۵) - شاخص بهره‌وری مالم کوئست (سالهای ۸۵-۸۶)

DMU	$D^t(t)$	$D^{t+1}(t)$	$D^t(t+1)$	$D^{t+1}(t+1)$	پیشرفت کارایی	پیشرفت تکنولوژی	شاخص مالم کوئست
۱	۱	۱.۰۸۹۸	۰.۹۳۴۰	۱	۱	۰.۹۲۵۷	۰.۹۲۵۷
۲	۰.۷۶۷۸	۰.۸۲۹۶	۰.۷۶۵۷	۰.۸۲۷۳	۱.۰۷۷۴	۰.۹۲۵۲	۰.۹۹۴۷
۳	۰.۹۸۷۲	۱.۰۷۵۸	۰.۸۵۲۴	۰.۹۲۱۰	۰.۹۳۲۹	۰.۹۱۵۶	۰.۸۵۷۷
۴	۰.۹۳۳۴	۱.۰۰۷۹	۰.۹۳۱۳	۰.۹۹۷۱	۱.۰۶۸۲	۰.۹۳	۰.۹۹۳۴

در زیر روند پیشرفت کارایی، تکنولوژی و مالم کوئست در چهار واحد نیروگاهی طی پنج سال به تفکیک آورده شده است. شکل شماره (۶) این تغییرات را برای واحد شماره یک نشان می‌دهد [در شکل‌های زیر دوره (۸۲-۸۳) با شماره یک، دوره (۸۳-۸۴) با شماره دو، دوره (۸۴-۸۵) با شماره سه و دوره (۸۵-۸۶) با شماره چهار نشان داده شده است].

شکل (۶) - نمودار پیشرفت کارایی و مالم کوئست مربوط به واحد اول



مطابق جدول ۵، با وجود ثابت بودن کارایی واحد شماره یک در دو زمان t و $t+1$ ، تغییرات تکنولوژی دارای روند نزولی می‌باشد از این رو شاخص بهره‌وری نزولی است.

همانطوریکه از جداول فوق مشاهده می‌شود:

۱- اگر تغییرات کارایی و تغییرات تکنولوژی بیشتر از یک باشند، شاخص مورد نظر نیز بیشتر از یک شده و پیشرفت مشاهده می‌شود و اگر هر دو کمتر از یک شوند، شاخص بهره‌وری نیز کمتر از یک گردیده و پسرفت مشاهده می‌گردد.

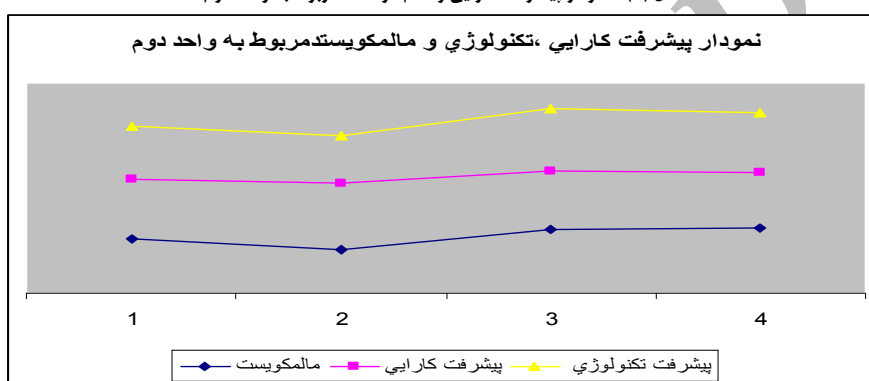
در غیر این صورت اگر کمبود در یکی از تغییرات بوسیله دیگری جبران شود، واحد مورد نظر پیشرفت داشته است.

۲- واحد شماره یک در سال‌های بین ۸۳ تا ۸۶ دارای کارایی یک می‌باشد که نشان دهنده یک وضعیت با ثبات در این واحد در مقام مقایسه با واحدهای دیگر می‌باشیم.

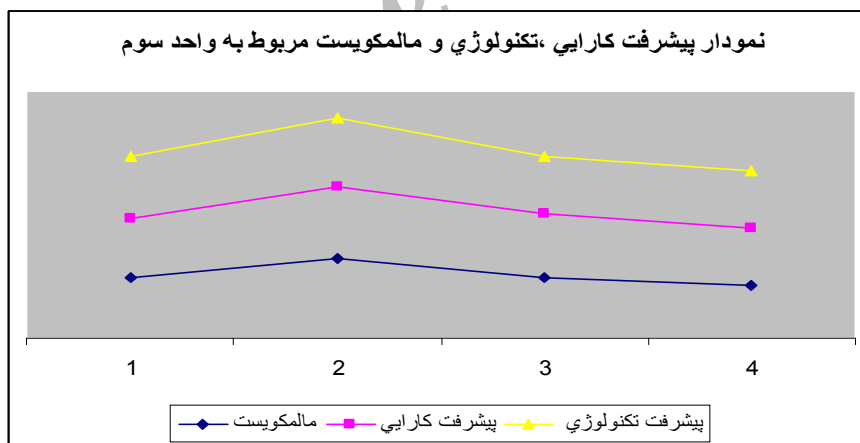
شکل شماره (۸) تغییرات مالک کوئست، کارایی و تکنولوژی را برای واحد شماره سه نشان می‌دهد. پیشرفت تکنولوژی در دوره‌های یک و دو مشهود می‌باشد ولی در دوره‌های سه و چهار شاهد پسرفت در تکنولوژی می‌باشیم که همین روند در کارایی و مالک کوئست نیز به چشم می‌خورد. شکل شماره (۹) تغییرات مالک کوئست، کارایی و تکنولوژی را برای واحد شماره چهار نشان می‌دهد.

واحد شماره یک در دوره‌های ۸۲-۸۳ و ۸۳-۸۴ دارای پیشرفت در شاخص مالک کوئست بوده ولی در دوره‌های بعدی شاهد پسرفت در این واحد می‌باشیم و عمده دلیل آن پسرفت در کارایی تکنولوژی می‌باشد. شکل شماره (۷) تغییرات مالک کوئست، کارایی و تکنولوژی را برای واحد شماره دو نشان می‌دهد. برخلاف واحد یک، واحد شماره دو در دوره‌های ۸۲-۸۳ و ۸۳-۸۴ دارای پسرفت در شاخص مالک کوئست بوده ولی در دوره بعد شاهد پیشرفت در این واحد می‌باشیم.

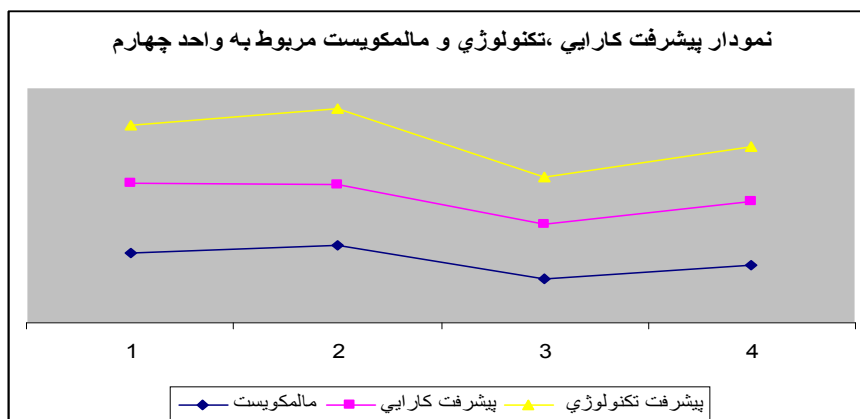
شکل (۷) - نمودار پیشرفت کارایی و مالک کوئست مربوط به واحد دوم



شکل (۸) - نمودار پیشرفت کارایی و مالک کوئست مربوط به واحد سوم



شکل (۹) - نمودار پیشرفت کارایی و مالک کوئست مربوط به واحد چهارم



[4] Berg, S. A., Forsund, F. R., Jansen, F. S., 1992. Malmquist indices of Productivity growth during the deregulation of Norwegian banking, 1980-89. *Scandinavian Journal of economics (supplement)*, 211-228.

[5] Despotis, D. K., Smirlis, Y. G., 2002. Data envelopment analysis with imprecise data. *European Journal of Operational Research*. 140, 24-36.

[6] Dyson, R. G., Camanho, A. S., 2005. "Cost efficiency measurement with price uncertainty, a DEA application to bank branch assessments". *European Journal of Operational Research*. 161, 432-446.

[7] Fare, R., Grosskopf, Norris M., Zhang, Z., 1994. "Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized counties." *American Economic Review*. 84, 66-83.

[8] Thanassoulis, E., Maniadakis, N., 2004. A cost Malmquist productivity index. *European Journal of Operational Research*. 154, 396-409.

[9] G.R. Jahanshahloo, F. Hosseinzadeh Lotfi, N. Shoja, H. Bagherzadeh Valami, Malmquist Productivity Index with Interval and fuzzy data, *An Application of Data Envelopment Analysis, International Mathematical Forum*, 1, (2006), no. 33, 1607-1623.

[10] F. Hosseinzadeh Lotfi, G.R. Jahanshahloo, R. Shahverdi, M. Rostamy-Malkhalife, Cost Efficiency and Cost Malmquist Productivity Index with Interval data, *International Mathematical Forum*, 2, (2007), no. 9, 441-453.

[11] F. Hosseinzadeh Lotfi, M. Navabakhsh, F. Rezai Balf, M. A. Jahantighey, Sh. Abolghasemzadeh, Application of Malmquist Productivity Index on Interval Data in Education Groups, *International Mathematical Forum*, 1, (2006), no. 16, 753-762.

[12] Robert M. Thrall, Measures in DEA with an Application to the Malmquist index, *Journal of Productivity Analysis*, (2000) 13, 125-137.

[13] Yao Chen, Agha Iqbal Ali, DEA Malmquist productivity measure: New insights with an application to computer industry, *European Journal of Operational Research*

[14] Yao chen, Agha iqbal Ali, "DEA Malmquist productivity measures :new insights with an application to computer

پسرفت شدید تکنولوژی در دوره سوم باعث کاهش شدید در شاخص مالم کوئست گردیده است که در دوره سوم ارزیابی مالم کوئست کاملاً مشهود است. واحد مذکور به دلیل مشکل فنی (Turbine vibration) دارای محدودیت تولید بار به اندازه حداکثر ۲۰ مگاوات بوده از این رو در سال‌های بین ۸۲ تا ۸۴ دارای حساسیت بالایی بوده به طوری که مدیریت مجموعه، بهترین اپراتورها و همچنین بیشترین سرویس و نگهداری را به این واحد اختصاص می‌داد. از این رو شاهد پیشرفت تکنولوژی در این واحد، در طی این سال‌ها می‌باشیم. در سال‌های بعد از این، حساسیت کمتر بوده از این رو پسرفت تکنولوژی در این سال‌ها محسوس می‌باشد.

۶- نتیجه گیری :

محاسبه شاخص بهره‌وری مالم کوئست ملاک مناسبی برای تعیین پیشرفت و پسرفت در یک سیستم است این شاخص بهره‌وری با تفکیک علت تغییرات بهره‌وری به تغییرات کارایی و تکنولوژی، مدیران بنگاه‌های اقتصادی را در جهت ارائه راهکارهای بهبود بهره‌وری یاری می‌کند. در مورد کاوی چند واحد نیروگاهی، شاخص مالم کوئست طی پنج سال مورد ارزیابی قرار گرفته است سیر نزولی این شاخص در تعدادی از این واحدها که در بعضی از سال‌ها، ناشی از تعمیرات اساسی، تلفات بالا، حوادث عمدی و طبیعی و ... بوده که باعث کاهش بهره‌وری در واحدها شده است.

منابع:

[1] Charnes A, Cooper WW, Lewin A, Seiford LM. *Data envelopment analysis: theory, methodology and applications*. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers; 1994.

[2] Charnes A, Cooper WW, Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of the Operational Research* 1978;2:429-44.

[3] Charnes A, Cooper WW, Wei QL, Huang ZM. Cone-ratio data envelopment analysis and multi-objective programming. *International Journal of Systems Science* 1989;20:1099-118.

industry, European Journal of Operational Research(2003)

[15] حسین زاده لطفی، فرهاد- نوابخش، مهرداد-

جهانشاهلو، غلامرضا- شاخص بهره‌وری مالِم کوئست

هزینه در بانک و کاربردی از تحلیل پوششی داده‌ها -

(۱۳۸۴) - فصلنامه علمی پژوهشی ریاضیات کاربردی -

دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات

[16] Ferdaus, H., Bhuyon . S. 2000 . An Analysis of Technical Progress and Efficiency in U.S. Food Industries. A paper Presented in the national Conference on American Consumer in the Changing Food System.

[17] Umetsu , C. Lekprichakul, T., Chakravorty, o.1995. Efficiency and Technical change in the Philippine Rice Sector : A Malmquist total Factor Productivity, ASID Press.

[18] Yuk - Shing , C. , 1998 , Productivity Growth and Efficiency Change in Chinese Agriculture. Part of a reaserch by Faculty research Grant of Hong Koag Boptist University

Archive