فصلنامه مدیریت صنعتی دانشکده علوم انسانی دانشگاه آزاد اسلامی
واحد سنندج - سال چهارم / شماره ۱۰ / زمستان ۱۳۸۸

ارزیابی بهره‌وری در واحدهای مجتمع نیروگاهی با استفاده از شاخص مالم‌کوئست

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 می آید، از این‌رو دانش مدیریت، دانش اندازه‌گیری می باشد و اگر مانتوانیم چیزی را اندازه گیری کنیم بی شک نمی توانیم آن را کنترل نماییم و در نتیجه نمی توانیم آن را مدیریت کنیم .

در این مقاله با توجه به شاخص بهره وری مالم کوئست ، شاخصی برای تعیین پیشرفت و پسرفت یک واحد ارائه شده است . این شاخص با استفاده از تغییرات مرز حاصل از ورودی واحد ها و تغییرات کارایی آنها تعریف شده ، که آن را شاخص بهره وری مالم کوئست می نامیم .محاسبه مقادیر کارایی و فاصله هر واحد تا مرز ، با استفاده از تکنیک های برنامه ریزی خطی و تحلیل پوششی داده ها صورت می گیرد . 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 می دهد .

مدل مالم کوئست در یک مجتمع نیروگاهی ، که شامل چهار واحد نیروگاهی می باشد پیاده شده و نتایج به صورت کامل، در قالب جداولی ارائه گردیده است

واژه‌های کلیدی:

تحلیل پوششی داده‌ها ، بهره‌وری ، شاخص مالم 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 به‌دست 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 مطلوبیت‌های حاصله(ستانده) بر عوامل تولید(داده ها) بیان می‌شود.

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 به‌دست 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 بهره‌وری 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 براندازه 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 به‌دست آمد. با تکامل تدریجی و کاربرد آن در چارچوب تابع تولید و با لحاظ نمودن مقادیرکارایی 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 ۱۹۹۴شاخص 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 مهم‌ترین 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 مالم‌کوئست 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 سازمان‌ها، نیروی عظیم هم افزایی ایجاد می کند که این نیروها می تواند پشتیبان برنامه رشد و توسعه و ایجاد فرصت‌های 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[5] فیزیکدان انگلیسی در مورد ضرورت اندازه‌گیری می گوید : هر گاه توانستیم آنچه درباره آن صحبت

[5]-Lord Kelvin

می‌کنیم اندازه گرفته و در قالب اعداد و ارقام بیـان نمـاییم می توانیم ادعا کنیم درباره موضوع مورد بحث چیـز هـایی می دانیم .در غیر این‌صورت آگاهی و دانش ما ناقص بـوده و هرگز به مرحله بلوغ نخواهد رسید .

در این قسـمت کلیـات بحـث تحلیـل پوششـی داده هـا و کارایی و بهره وری در اقتصـاد مـورد بررسـی و تحلیـل مناسب قرار می گیرد

۲-۱ : تحلیل پوششی داده ها

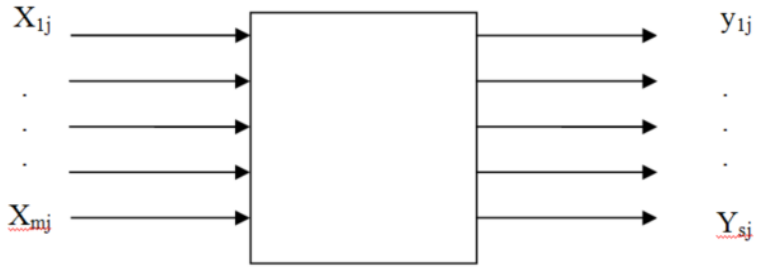
اندازه گیری راندمان یا کارایی[6] همیشه یکی از مباحث مهم مدیریت بوده است. چرا که برای هر مدیر اطلاعات در مورد کارایی واحد ها جزء مهم‌ترین ابزار مدیریت است تا بتـوان با در دست داشتن کارایی واحد ها، بهـره وری واحـد هـا را حساب کرد. بنابراین بهره وری در هر سیسـتمی تـابعی از کارایی و اثر بخشی است.

در این زمینه فارل (۱۹۵۷) برای اولین بار به تعیین کارایی به روش ناپارامتـــری پرداخت. او با استفـــاده از خروجی و ورودی های واحد تصمیم گیرنده[7] و تابع تولید[8] را چنان بـر مجموعه ای از خروجی و ورودی ها برازش داد که حاصـل آن یک تابع قطعه‌ای خطی بود.

DEA یک رویکرد داده محور نسبتاً جدیدی برای ارزیابی عملکـرد مجموعـه ای از واحـدهای مسـتقل مشـابه کـه واحدهای تصمیم گیرنده نامیده می شـود ، مـورد اسـتفاده قرار می گیرد و ورودی‌ها را به خروجی‌ها تبدیل می‌نماید[۱ و ۲].

فرض کنید n واحد تصمیم گیرنده موجود است که هر کدام از m ورودی مختلـف جهـت تولیـد s خروجـی اسـتفاده می‌کنند و x_{ij} و y_{rj} به ترتیب خروجی r ام $r =(۱,\ldots,s)$ و ورودی i ام $i = (۱,\ldots,m)$ از واحد تصمیم گیـری j ام $j=(۱,\ldots,n)$ باشـــد و $p \in \{1,...,n\}$ . .ورودی‌هـــا و خروجی‌های هر واحد تصمیم گیرنده نامنفی و حداقل یـک ورودی و یک خروجی مثبت هستند.

شکل (۱)- وضعیت ورودی وخروجی یک سازمان



به طور کلی مجموعه امکان تولید ، که آن را با T نشان می دهیم از اصول شمول مشاهدات ،بازده به مقیاس ثابت ،امکـان پـذیری و تحدب بدست می آید و چنین تعریف می شود :

$$T_c = \left(x_p, y_p\right) \perp x_p \geqslant \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_j, y_p \leqslant \sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_j, \lambda_j \geqslant 0, j = 1,2,\ldots n$$

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

[6]-Efficiency

[7]-Decision Making Unit=DMU

[8]-Production Function

مـــرز این مجموعه محدب به دلیل وجـود اصـل تحـدب یـک خط، صفحه و یـا فـوق صـفحه اسـت کـه از مبـداء مختصـات می‌گذردمرز مجموعه امکان تولید CCR بیان کننـده کـارایی نسبی است و هر DMUای که روی مرز قـرار نداشـته باشـد ناکارا است مدل CCRمی تواند در ماهیت ورودی و خروجـی تعیـین شـود. هـدف مـدل CCR بـا ماهیـت ورودی کـاهش حداکثر سطح ورودی با نسبت θ است به طوری کـه حـداقل همان خروجی بتواند تولید شود یعنی:

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

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

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

فرم پوششیCCR با ماهیت ورودی

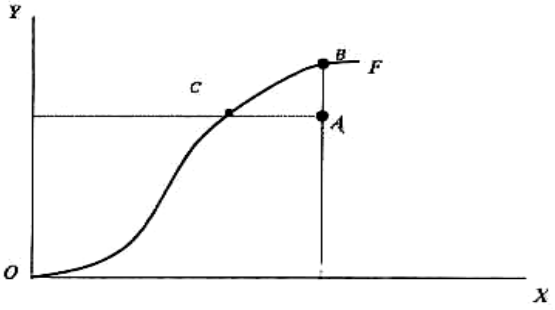
$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j Y_{rj} \geqslant Y_{rp}$$
$$\lambda_j \geqslant 0$$

که فرم پوششی[9] مدل CCRبا ماهیت ورودی گفته می شـود و θ را مقدار کارایی نسبی واحد های تصمیم گیرنده می نامیم و اگر θ^* مقدار بهینـه تـابع هـدف باشـد، ثابـت مـی شـود کـه $0 \leq \theta^* \leq 1$ است.

۲-۲: کارایی و بهره وری در اقتصاد

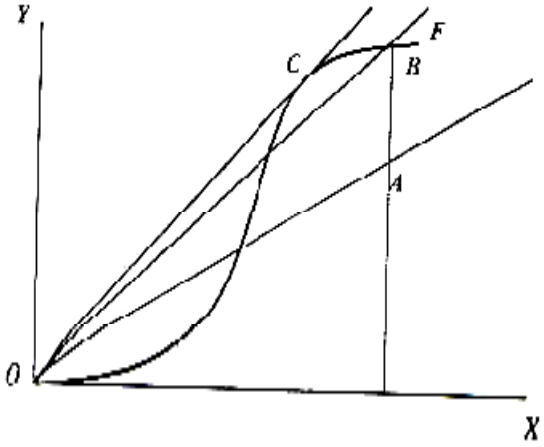
تـابع تولیـد مربـوط بـه یـک عامـل تولیـد(x) و یـک محصول(y) در شکل (۲) نشان داده شده است بنگاه‌های B و C که بر روی این تابع تولید مرزی قرار دارند، کـار ا هستند .یعنی این بنگاه ها با استفاده از عوامل تولید موجود بیشترین محصول را تولید کرده اند و بنگاه A ناکـارا مـی باشد .

شکل (۲):تابع تولید مرزی و کارائی فنی



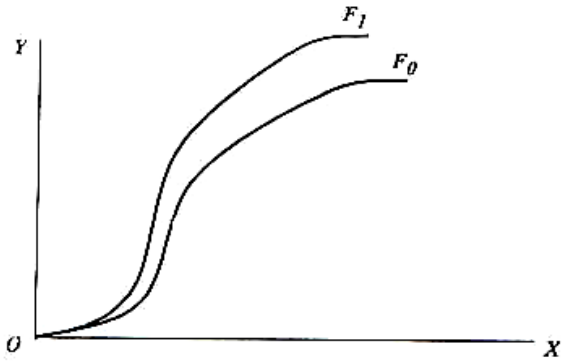
بهره وری در نمودار (۳) به خوبی نشان داده شده است . در این نمودار برای اندازه گیری بهره وری نقاط B و C دسته خطوطی از مبدأ مختصات رسم می کنیم . بنگاه A اگر به نقطه کارایB منتقل شود نشان دهنده بهره وری بالاتر است و بر روی نمودار هر چه به نقطه C نزدیکتر شود بهره وری به حداکثر مقدار خود می رسد. در واقع نقطهC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

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



بحث فوق در یک مقطع از زمان و در شرایط ایسـتا(ثبـات منحنی OF) صادق است و اگر بهره وری در طول زمان و در شرایط پویا مورد بررسـی قـرار گیـرد. در آن صـورت عامل جدیدی به نام تغییرات تکنولوژی در افـزایش بهـره وری دخیل خواهد بود. شکل (۴) ایـن تغییـرات را بخـوبی نشـان مـی دهـد سـطح تکنولـوژی F_1 بـالاتر از سـطح تکنولوژی F_0 می باشد از اینرو در اندازه گیـری کـارایی ، عامل تغییرات تکنولوژی نیز دخیل می باشد .

شکل(۴) :تغییرات تکنولوژی طی دو دوره زمانی



[9]-Envelopment form

با استناد به توضیحات فوق در دو حوزه یاد شده ، حال شاخص بهره وری مالم‌کوئست را مطرح و مورد بررسی قرار می دهیم .

۳: شاخص بهره وری مالم‌کوئست

با استفاده از تکنیک برنامه ریزی خطی و تحلیل پوششی داده ها فارل روش مناسبی برای ارزیابی تابع تولید تجربی برای چند ورودی و چند خروجی تعریف کرد در تحلیل پوششی داده ها بهترین مرز کارایی ، بدون اولویتی برای خروجی ها و ورود ی ها بوسیله مجموعه ای از واحد های تصمیم گیرنده به‌دست می آید واحد های تصمیم گیرنده روی مرز کارایی ، واحدهایی با بیشترین سطح خروجی و یا با کمترین سطح ورودی هستند با تلفیق تغییر ات کارایی هر واحد و تغییرات تکنولوژی ، شاخص بهروری مالمکو یست تعریف می شود شاخص بهروری مالمکو یست را می توان از توابع فاصله زیر و یا توابع مشابه دیگری محاسبه نمود :

$$D(X_p,Y_p) = \inf\left[\theta/(\theta X_{p,}Y_p) \in PPS\right]$$

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 $D^k(X^k, Y^k) = 1$ آنگاه واحد kام کارا فرض می شود این تابع فاصله مقدار ناکارایی را مشخص نمی کند فارل با توجه به ناکارایی و خطی بودن مرز تکنولوژی ، شاخص بهره وری را به دو عامل تجزیه کرد و مرز کارایی با استفاده از تکنیکهای DEAبرای DMUها مشخص می شود.تابع تولید در زمان t و $t+1$ مفروض است و برای محاسبه شاخص مالم‌کوئست به حل چهار مساله برنامه ریزی خطی به‌صورت زیر نیاز است :

(۳)

$$D^t(X^t_p,Y^t_p) = \min \theta$$

$$s.t. \quad \sum_{j=1}^{n}\lambda_j x^t_{ij} \leqslant \theta x^t_{ip} \qquad i = 1...m$$

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j y^t_{rj} \geqslant y^t_{rp} \qquad r = 1...s$$

$$\lambda_j \geqslant 0 \qquad j = 1...n$$

که x^t_{ip}، i-امین ورودی و Y^t_{rp} ، r-امین خروجی از DMU_p در زمان t می باشد .

مقدار کارایی $D^t(X^t,Y^t) = \theta$ 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 تکنیکیDMU_p در زمان $t+1$ است به‌دست 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) به‌دست می آید:

(۴)

$$D^t(X^{t+1}_p, Y^{t+1}_p) = \min \theta$$

$$s.t. \quad \sum_{j=1}^{n}\lambda_j x^t_{ij} \leqslant \theta x^{t+1}_{ip} \qquad i = 1...m$$

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j y^t_{rj} \geqslant y^{t+1}_{rp} \qquad r = 1...s$$

$$\lambda_j \geqslant 0 \qquad j = 1...n$$

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

$$D^{t+1}(X^t_p, Y^t_p) = \min \theta$$

$$s.t. \quad \sum_{j=1}^{n}\lambda_j x^{t+1}_{ij} \leqslant \theta x^t_{ip} \qquad i = 1...m$$

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j y^{t+1}_{rj} \geqslant y^t_{rp} \qquad r = 1...s$$

$$\lambda_j \geqslant 0 \qquad j = 1...n$$

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

(۶)

$$TEC_p = \frac{D^{t+1}_p(x^{t+1}_p, y^{t+1}_p)}{D^t_p(x^t_p, y^t_p)}$$

تعریف۱ : گوییم قطعه ای از مرز حرکت مثبت داشته است ،اگر و فقط اگر این قطعه در زمان $t+1$ نسبت به نقطه متناظر در زمانt ،مجمو عه امکان تولید را گسترش داده و بزرگ‌تر نماید .

تعریف ۲ : گوییم قطعه ای 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 : (۷)

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

برای شاخص تغییرات تکنولوژی سه حالت زیر رخ می دهد:

۱- $FS_p>1$ باشد حرکت مرز مثبت بوده یا بعبارت دیگر پیشرفت مشاهده می شود

۲- $FS_p<1$ باشد حرکت مرزمنفی بوده یا بعبارت دیگر پسرفت مشاهده می شود

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

شاخص بهره وری مالم‌کوئست در ماهیت ورودی برای هر DMU_p در زمانهای t و t+1 از حاصلضرب تغییرات کارایی و تغییرات تکنولوژی به‌دست می آیدکه به‌صورت رابطه (۸) مطرح است . |(۸)

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

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

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

(۹)

این مقدار به‌صورت ترکیب هندسی محدب تعریف می‌شود زیرا به این وسیله کوچک‌ترین ضعف موجود در کارایی ها مشخص می شود و کوچک‌ترین تغییر در هر کدام از کارایی ها در شاخص بهره وری مالم‌کوئست تاثیر می‌گذارد و سه حالت زیر ممکن است بوجود آید:

۱- $M_p>1$ افزایش بهره وری را نشان می دهد و پیشرفت مشاهده می شود

۲- $M_p<1$ کاهش بهره وری را نشان می دهد و پسرفت مشاهده می شود

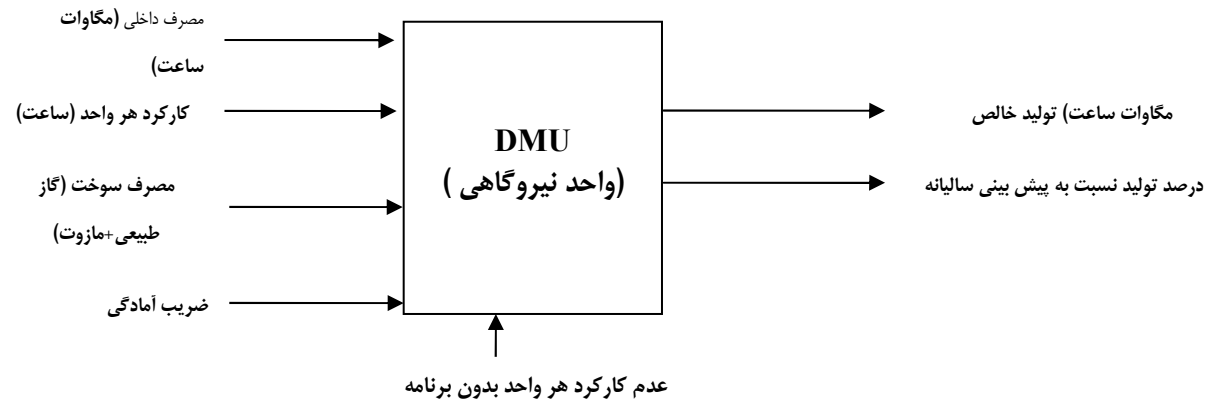
۳- $M_p=1$ نشان می دهد که هیچ تغییری در بهره وری برای زمانهای t و t+1رخ نداده است

۴- کاربرد شاخص بهره وری مالم‌کوئست در واحد های مجتمع نیروگاهی :

در این قسمت شاخص بهره وری مالم کوئست را از نظر کاربردی در یک مجتمع نیروگاه حرارتی که شامل چهار واحد بخار ۳۲۵ مگاواتی مشابه می باشد را مورد بررسی قرار داده و نتایج علمی این بررسی به‌صورت جداولی بیان می شود.

چهار واحد از یکی از نیرو گاه‌های 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:

شکل (۵): *Dmu* یک واحد نیروگاهی



تاکید می گردد 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

	ورودی اول	ورودی دوم	ورودی سوم	ورودی چهارم	ورودی پنجم	ورودی ششم	خروجی اول	خروجی دوم
نام واحد	مصرف داخلی	کارکرد هر واحد	مصرف سوخت مازوت (متر مکعب)	مصرف سوخت گاز (متر مکعب ۱۰۰۰)	عدم کارکرد واحد	ضریب آمادگی	تولید خالص	درصد تولید نسبت به پیش بینی
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	۲۰۷۷۵۳۲	٪۱۰۶/۹۵
واحد چهارم	۱۶۰۸۴۹	۸۱۲۱	۱۶۲۰۳۱	۳۱۹۷۱۸	۱	٪۹۲/۷۰	۱۹۹۹۱۹۹	٪۱۰۳/۲۳

مدل ارائه شده دارای شش ورودی و دو خروجی می باشد که در ذیل تک تک شاخص‌های ورودی و خروجی تعریف می گردد

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

$$\frac{\text{تعداد کل روزهایی که واحد تولید داشته‌است}}{\text{تعداد کل روزهایی که واحد می‌تواند تولید داشته باشد}}$$

❖ 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 کارآیی استفاده‌از 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

تولید خارج شوند، در حالت با برنامه مشکل از قبل مشخص بوه و با هماهنگی مرکز کنترل در یک مدت زمان مشخص واحد از مدارخارج و در موعد مقرر با شبکه پاراال می‌گردد. ولی بعضاً شرایطی بوجود می‌آید که بدلیل محدودیت‌های فنی، اشتباهات فردی و یا حوادث طبیعی امکان هماهنگی با مرکز کنترل وجود نداشته باشد، خروج اضطراری گفته می‌شود که بالا بودن خروج اضطراری امتیاز منفی برای هر واحد نیروگاهی محسوب می‌شود.

❖ تولید ناخالص

ظرفیت اسمی‌واحدهای نیروگاهی شازند ۳۲۵ مگاوات می‌باشد ولی واحدها همیشه در ظرفیت اسمی‌خود نمی‌باشند و در ساعات مختلف شبانه روز بسته به نیاز شبکه در مقادیر مختلف بار قرار دارد. از این رو تولید ناخالص واحدهای مختلف متفاوت می‌باشد. مفهوم تولید خالص این است که‌از کل تولید هر واحد مصرف داخلی همان واحد کسر گردد.

مصرف داخلی ـ کل تولید = تولید ناخالص

❖ درصد تولید نسبت به پیش بینی سالیانه

از آنجایی که معمولاً نیروگاه‌ها درابتدای سال، قراردادی را با شرکت برق منطقه‌ای منعقد کرده و متعهد به سطحی از تولید با توجه به وضعیت واحدها تا پایان سال می‌باشند که آن را پیش بینی[10] می‌نامند، این شاخص معمولاً برحسب درصد بیان می‌شود. میزان تولید نسبت به پیش بینی سالیانه می‌تواند به عنوان یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی واحدها و قیمت گذاری برق می‌باشد.

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 مالم‌کوئست 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

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) به‌دست می آید یعنی مقدار کارایی با در نظر گرفتن واحد تحت ارزیابی و بقیه $DMUj$ ها در زمان t به‌دست می‌آید. 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 $DMUj$ 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 زمانt مقایسه می کند که حداکثر مقدار کارایی در این حالت یک است.برای محاسبه بایستی از معادله شماره (۴) استفاده نماییم. در این معادلات $DMUj$ 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 مالم‌کوئست 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.

[10]. Forcast

جدول (۲)- شاخص بهره وری مالم‌کوئست (سالهای ۸۲-۸۳)

شاخص مالم‌کوئست	پیشرفت تکنولوژی	پیشرفت کارایی	$D^{t+1}(t+1)$	$D^{t}(t+1)$	$D^{t+1}(t)$	$D^{t}(t)$	DMU
۱.۰۳۲۳	۰.۹۸۸۶	۱.۰۴۴۱	۰.۹۱۹۳	۱	۰.۹۷۹۸	۰.۸۸۰۴	۱
۰.۸۹۷۱	۰.۹۹۲۹	۰.۸۹۷۱	۰.۸۹۷۱	۱	۱.۱۲۲۶	۱	۲
۰.۹۷۲۷	۰.۹۹۸۹	۰.۹۷۳۷	۰.۷۴۴۳	۰.۸۲۸۳	۰.۸۵۲۴	۰.۷۶۴۴	۳
۱.۱۸۱۹	۱	۱.۱۸۱۹	۰.۸۸۴۱	۰.۹۸۳۹	۰.۸۳۲۴	۰.۷۴۸۰	۴

جدول (۳) - شاخص بهره وری مالم‌کوئست (سالهای ۸۳-۸۴)

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

همان‌طوری‌که گفته شد شاخص مالم‌کوئست ، تغییر بهره وری مجموع عوامل واحد ها را از دوره t به دوره $t+1$ با استفاده از تابع مسافت اندازه گیری می کند 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 می کند. در حالت تغییرکارایی فناوری مشخص می شود که اگر واحدی مقدار نهاده دوره t را دارا باشد با تغییر فناوری وقتی به دوره $t+1$ می رسد چه تغییری در مقادیر کارایی آن ایجاد می شود و یا اگر مقادیر نهاده دوره $t+1$ در دسترس باشد، تغییر فناوری چه تغییری را در مقادیر کارایی ایجاد می کند.

در جدول شماره (۳) واحد شماره یک ، از نظر کارایی پیشرفتی نداشته است ولی پیشرفت تکنولوژی باعث گردیده است تا این واحد با افزایش بهره وری مواجه گردد . بیشترین پیشرفت تکنولوژی مربوط به واحد شماره چهار بوده که با وجود تغییرات بسیار ناچیز در مقدار کارایی ، شاهد پیشرفت محسوسی در میزان بهره وری می باشیم .

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 می دهد.

مطابق جدول ۴ کمترین مقدار کارایی در زمانهای t و $t+1$ مربوط به واحد شماره دو می باشد ولی با مقایسه این دو مقدار و محاسبه نسبت آنها مشخص می گردد روند کارایی در این واحد ، صعودی می باشد 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 می دهد

جدول (۴) - شاخص بهره وری مالم‌کوئست (سالهای ۸۴-۸۵)

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

جدول (۵) – شاخص بهروری مالم کوئست (سالهای ۸۵-۸۶)

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

مطابق جدول ۵ ، با وجود ثابت بودن کارایی واحد شماره یک در دو زمان t و $t+1$ ، تغییرات تکنولوژی دارای روند نزولی می باشد از این‌رو شاخص بهره وری نزولی است .

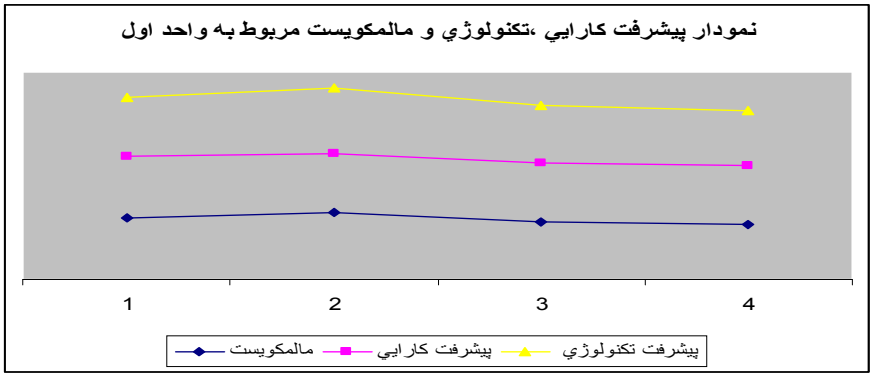
همانطوریکه از جداول فوق مشاهده می شود :

۱- اگر تغییرات کارایی و تغییرات تکنولوژی بیشتر از یک باشند، شاخص مورد نظر نیز بیشتر از یک شده و پیشرفت مشاهده می شود و اگر هر دو کمتر از یک شوند، شاخص بهره وری نیز کمتر از یک گردیده و پسرفت مشاهده می گردد. در غیر این‌صورت 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 می باشد که نشان دهنده یک وضعیت با ثبات در این واحد در مقام مقایسه با واحد های دیگر می باشیم .

در زیر روند پیشرفت کارایی ، تکنولوژی و مالم‌کوئست در چهار واحد نیرو گاهی طی پنج سال به تفکیک آورده شده است. شکل شماره (۶) این تغییرات را برای واحد شماره یک نشان می دهد [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



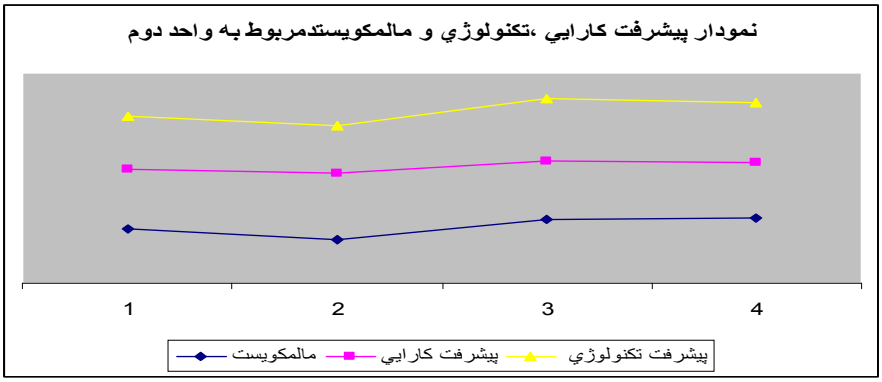
واحد شماره یک در دوره های ۸۲-۸۳ و ۸۳-۸۴ دارای پیشرفت در شاخص مالم‌کوئست بوده ولی در دوره های بعدی شاهد پسرفت در این واحد می باشیم و عمده دلیل آن پسرفت در کارایی تکنولوژی می باشد.

شکل شماره (۷) تغییرات مالم کوئست ، کارایی و تکنولوژی را برای واحد شماره دو نشان می دهد. برخلاف واحد یک، واحد شماره دو در دوره های ۸۲-۸۳ و ۸۳-۸۴ دارای پسرفت در شاخص مالمکو یست بوده ولی در دوره بعد شاهد پیشرفت در این واحد می باشیم.

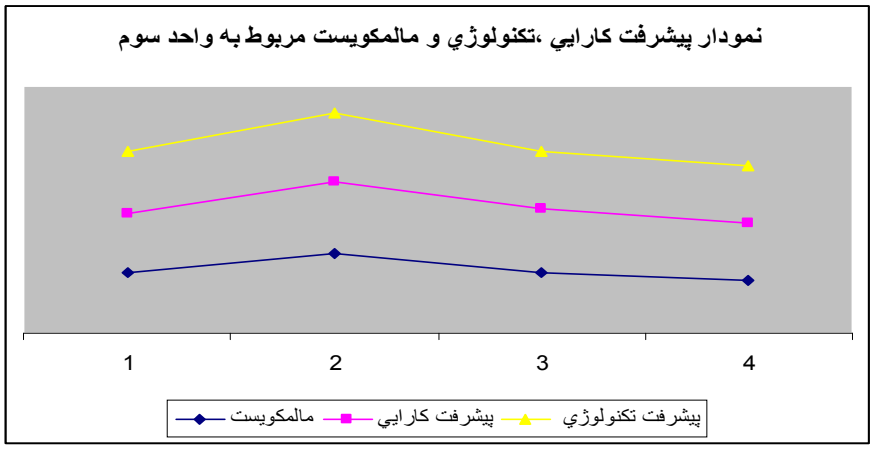
شکل شماره (۸) تغییرات مالم کوئست، کارایی و تکنولوژی را برای واحد شماره سه نشان می دهد. پیشرفت تکنولوژی در دوره های یک و دو مشهود می باشد ولی در دوره های سه و چهار شاهد پسرفت در تکنولوژی می باشیم که همین روند در کارایی و مالم‌کوئست نیز به چشم می خورد.

شکل شماره (۹) تغییرات مالم کوئست ، کارایی و تکنولوژی را برای واحد شماره چهار نشان می دهد.

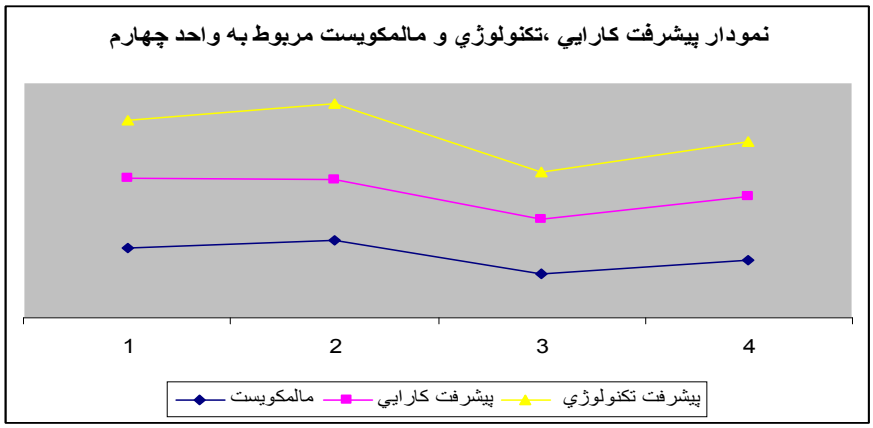
شکل (۷)- نمودار پیشرفت کارایی و مالم کوئست مربوط به واحد دوم



شکل (۸)- نمودار پیشرفت کارایی و مالم کوئست مربوط به واحدسوم



شکل (۹)- نمودار پیشرفت کارایی و مالم کوئست مربوط به واحدچهارم



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

۶- نتیجه گیری :

محاسبه شاخص بهره وری مالم‌کوئست ملاک مناسبی برای تعیین پیشرفت و پسرفت در یک سیستم است این شاخص بهره وری با تفکیک علت تغییرات بهره وری به تغییرات کارایی و تکنولوژی، مدیران بنگاه‌های اقتصادی را در جهت ارائه راهکارهای بهبود بهره‌وری یاری می کند. در مورد کاوی چند واحد نیرو گاهی ، 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 تعمدی وطبیعی و ... بوده که باعث کاهش بهره‌وری در واحد ها 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.

[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 Malmguest productivity measures :new insights with an application to computer

industry, European Journal of Operational Research(2003)

[15]حسین زاده لطفی ،فرهاد- نوابخش ،مهرداد- جهانشاهلو، غلامرضا- شاخص بهره وری مالم کوئست هزینه در بانک و کاربردی از تحلیل پوششی داده ها – (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 Consumerin the Changing Food System.

[17] Umetsu , C. Lekprichakul, T., Chakravorty, o.1995. Efficiency and Technical change in the Philippine R:ce 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