

اندازه‌گیری و تحلیل بهره‌وری در صنعت آلومینیوم کشور

غلامرضا خاکسار^(۱)

چکیده

در چند ساله اخیر در معرفی مفاهیم اولیه و اهمیت بهره‌وری تلاشهای قابل توجهی به عمل آمده و در واقع، اولین هدف سازمان ملی بهره‌وری ایران که رواج این مفاهیم بود تا حدود زیادی تحقق یافته است. لذا در این مقاله از تعریف و مفهوم بهره‌وری سخنی به میان نخواهد آمد. در این مقاله به دلیل اینکه تنها تولیدکننده آلومینیوم در ایران، شرکت آلومینیوم ایران (ایرالکو)^(۲) است. به اندازه‌گیری بهره‌وری در سطح شرکت به دو روشی که در اقتصاد مطرح است - یعنی روشهای شاخص و تابع تولید - خواهیم پرداخت. به منظور وارد شدن به بحث عملی، صنعت آلومینیوم و چگونگی شکل‌گیری آن در ایران را به صورت مختصر معرفی خواهیم کرد. سپس اندازه‌گیری بهره‌وری بر اساس مقادیر فیزیکی ارزش تولیدات به قیمت ثابت در دو کارگاه احیا و ریخت این کارخانه صورت خواهد گرفت. مقایسه بین صنعت آلومینیوم با صنایع فلزات اساسی استان مرکزی و کل کشور (کد ۳۷) و همچنین کل صنایع کشور (کد ۳) انجام شده است. در بررسی بهره‌وری نهایی عوامل تولید به روش تابع تولید، نتایج قابل اتکایی برای مدیران و تصمیم‌گیران کارخانه ارائه شده است.

اندازه‌گیری بهره‌وری

هدف از اندازه‌گیری بهره‌وری به دست آوردن ابزاری است که مآلاً بتوان از طریق آن وضعیت اقتصادی، مالی و تولیدی شرکت را بهبود بخشید. از آنجا که مفهوم بهره‌وری در سطح فراگیری مطرح

۱- کارشناس پژوهشکده اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس.

است، می توان اندازه گیری این مفهوم را در سطح بین المللی، ملی، بخشی، صنعتی، مؤسسه یا بنگاه و حتی در سطح فردی انجام داد. از یک طرف، مجموعه سازمانها و مؤسسات اقتصادی یک کشور ارکان اقتصادی آن کشور را تشکیل می دهند و بهبود بهره وری در سطح ملی باید از مؤسسات و شرکتهای یک کشور شروع شود و از طرف دیگر، بحث اصلی این مقاله به اندازه گیری بهره وری در یک شرکت برمی گردد. بنابراین، اندازه گیری در سطح شرکتها و مؤسسات مورد بحث قرار خواهد گرفت.

اندازه گیری بهره وری در یک مؤسسه امری حیاتی برای بهبود بهره وری به حساب می آید. برای این کار روشهای مختلفی توسط اقتصاددانان، مدیران، مهندسان و حسابداران ارائه شده است. در سطح شرکت آنچه معمولاً مورد ارزیابی و اندازه گیری قرار می گیرد نهاده ها و ستاده ها است و معمولاً به فرایند تبدیل نهاده ها و ستاده ها توجه چندانی نمی شود، اما این امر نیز ضروری به نظر می رسد.

اهدافی که از اندازه گیری بهره وری شرکتها دنبال می شود عبارتند از:

۱. ارزیابی کلی فعالیتهای تولیدی و خدماتی،
۲. بررسی و تحلیل ساختار فعالیتهای مختلف،
۳. پیش بینی و برنامه ریزی برای عوامل اصلی نظیر نیروی انسانی، تکنولوژی، هزینه هر واحد و غیره،
۴. یافتن راههای بهبود عملکرد،
۵. مشخص کردن نقش مدیریت در عملکردها.

دانستن اینکه سطح بهره وری مطلوب برای شرکت چه میزانی است، مستلزم مشخص کردن سطح بهره وری در شرایط عملیاتی کنونی است، اما در صورتی که بخواهیم به نتیجه صحیحی در تحلیل و بهره وری برسیم، لازم است روش اندازه گیری صحیحی انتخاب شود. منظور این است که باید بین کلیه ورودیها و خروجیهای مهم رابطه مناسبی برقرار باشد. می بایست سیستم اندازه گیری به طریقی باشد که عواملی مانند تورم، باعث گمراهی نتایج حاصله نشود؛ بدین معنا که بتوان در مقاطع زمانی خاص بهره وری مطلق را به دست آورد. به علاوه با توجه به اینکه ممکن است در یک مؤسسه انواع مختلفی از محصولات تولید شود، لازم است برای خروجیها و ورودیهای سیستم از یک مقیاس واحد استفاده شود و در مواقع لزوم برای جمع بندی شاخصهای مختلف، مدلهای مناسبی که در آنها وزن شاخصها رعایت شده است به کار گرفته شود. بدین منظور متخصصان مختلف، روشهای متفاوتی را به شرح زیر برای

اندازه‌گیری در سطح شرکتها به کار می‌برند:

- اقتصاددانها، از روشهای شاخصی^(۱)، روش تابع تولید^(۲) و روش داده و ستانده^(۳)،
 - مهندسان از روش شاخص، روش مطلوبیت^(۴) و روش نظام خودکار^(۵) (یا سیستم قابل تنظیم)،
 - مدیران از روش صف^(۶) و روش نسبتهای مالی،
 - و حسابداران از روشهای بودجه‌بندی سرمایه^(۷) و روش هزینه واحد^(۸).
- می‌توان دلایل تنوع اندازه‌گیری بهره‌وری را به صورت زیر برشمرد.

۱. مقاصد متفاوتی از اندازه‌گیری بهره‌وری دنبال می‌شود و مفاهیم مختلف بهره‌وری با مقاصد گوناگون انطباق دارند.
 ۲. حتی هنگامی که منظور، واحد است، ارزشها در درون و همچنین بین سیستمهای مختلف اجتماعی، متفاوت است؛ در حالی که بهره‌وری به سادگی عبارت است از: نسبت بازده به نهاده. بازده و نهاده، هیچیک یک کمیت فیزیکی ساده و مستقل از آنچه بشر ارزشمند می‌شمارد نیست.
 ۳. اقتصاد ممالک مختلف جهان از لحاظ سازمان و خصیصه بازده و نهاده با یکدیگر تفاوت دارند و همان‌طور که سیستم ارزشهایشان متفاوت است، همین امر در مورد یک اقتصاد در زمانهای مختلف صادق است.
 ۴. یک مورد استفاده عمده مفاهیم و اندازه‌گیری بهره‌وری در تجزیه و تحلیل رشد اقتصادی است که شکل‌های تجزیه و تحلیل و فروض اولیه نیز به همین سان نزد محققان، متفاوت است.
 ۵. اندازه‌گیری بهره‌وری با این دلیل ساده که اطلاعات آماری، غیرکافی اند و طرق غلبه بر این نارساییها کمابیش یکطرفه و اندازه‌گیری بهره‌وری با هم متفاوت است.
- با عنایت به اینکه در بحث کاربردی (اندازه‌گیری بهره‌وری در کارخانه آلومینیوم ایران) از روش شاخص و تابع تولید استفاده خواهد شد، این مباحث را به صورت مختصر در مقاله بازگو می‌کنیم.

روش شاخص در اندازه‌گیری بهره‌وری

منظور از شاخص بهره‌وری، نسبت بین حجم یا ارزش خروجی کالاها و خدمات به حجم یا ارزش

- | | |
|----------------------------|-----------------------------------|
| 1. Index Approach | 2. Productivity Function Approach |
| 3. Input - Output Approach | 4. Utility Approach |
| 5. Servo System | 6. Array Approach |
| 7. Capital Budgeting | 8. Unit Cost Approach |

یک یا چند عامل ورودی است که برای آن خروجی در نظر گرفته شده است. البته این تعریف یک تعریف کلی است و تلاش تحلیلگران بهره‌وری بر آن است که بتوانند نسبتهایی را که با توجه به نوع صنعت و سطح بهره‌وری مورد نظر، در تحلیلهای خود لازم دارند به دست آورند. بر این اساس مدل‌های مختلفی توسط افراد مختلف ارائه شده است. مبنای کار همه این مدل‌ها این است که یک سال را به عنوان سال پایه انتخاب می‌کنند و بهره‌وری سایر سالها را با آن سال پایه می‌سنجند. در بعضی از این مدل‌ها، بهره‌وریهای جزئی و بهره‌وریهای کلی با هم یا جدا از هم سنجیده می‌شوند. در زیر یک نمونه از محاسبه بهره‌وری جزئی ارائه می‌گردد.^(۱)

تغییر در بهره‌وری نیروی کار در دو دوره زمانی مختلف را می‌توان به صورت زیر نوشت.

$$\frac{Q_1}{L_1} / \frac{Q_0}{L_0}$$

در این فرمول، اندیس صفر و یک به ترتیب نشانگر دوره پایه و دوره جاری است. با این حال، اندازه‌گیری بهره‌وری نیروی کار به سادگی آنچه که در فوق بدان اشاره شد نیست، زیرا در عمل، هر یک از صنایع، محصولات مختلفی را که با واحدهای فیزیکی متفاوت بیان می‌شوند تولید می‌کنند. یک روش جبران این مشکل به صورت زیر است:

می‌توان یک شاخص تولید و نیز یک شاخص اشتغال یا نفر ساعت را برای هر یک از دو دوره زمانی صفر و یک تعریف کرد. بدین طریق، تغییر در بهره‌وری در دوره زمانی یک با دوره مبنای صفر را می‌توان با نسبت بهره‌وری در دوره یک به بهره‌وری در دوره صفر اندازه‌گیری کرد. تغییر بهره‌وری در دوره یک را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\frac{I_1}{E_1} / \frac{I_0}{E_0}$$

که در آن I شاخص تولید و E شاخص اشتغال است.

روش دیگری نیز برای رفع این مشکل وجود دارد که در مآخذ مورد اشاره آورده شده است. اما مدل‌های دیگری نیز توسط دیگران ارائه شده که مهمترین آنها عبارتند از:^(۲) ۱) مدل کندریک - کریمر^(۳)، ۲) مدل کریک - هریس^(۴)، ۳) مدل هینس^(۵)، ۴) مدل مرکز بهره‌وری امریکا^(۶)، (APC)^(۷)، ۵) مدل

۱. سب مجموعه بهره‌وری (اندازه‌گیری بهره‌وری) نشریه شماره ۲ - وزارت صنایع سنگین .

2. Sumanth David , "Productivity Engineering & Management" McGraw Hill , 1985 .

3. Kendrick - Creamer's Model

4. Craig - Harris's Model

5. Hines's Model

بهره‌وری کل (TPM) (۶) مدل مانند (۷)، (۸)، (۹) مدل تیلور، دیویس (۹) ..

در زیر با توجه به اهمیت مدل بهره‌وری کل به تشریح آن می‌پردازیم.

دیوید سامنت در سال ۱۹۷۹ مدلی را برای اندازه‌گیری بهره‌وری ارائه کرد. در این مدل، اثر عوامل نهاده بر ستاده به صورتی مشهود^(۱۰) در نظر گرفته می‌شود. این مدل نه فقط به عنوان یک ابزار کلی در سطح بنگاه قابل استفاده است، بلکه آن را در سطح «واحد عملیاتی»^(۱۱) نیز می‌توان به کار برد. ویژگی بی‌نظیر این مدل این است که هم می‌تواند شاخصهای بهره‌وری کل را تعیین کند هم می‌تواند نهاده‌ها یا منابع مشخصی را که بهره‌وری باید از آنها بهبود یابد نشان دهد. به عبارت دیگر، مدل بهره‌وری کل ماهیتاً هم تشخیص می‌دهد و هم تجویز می‌کند. این مدل به گونه‌ای علمی به کار ارزیابی بهره‌وری، برنامه‌ریزی بهره‌وری و بهبود بهره‌وری می‌آید. مدل بهره‌وری کل نه فقط در شرکت‌های تولیدی، بلکه در سازمانهای خدماتی نیز به کار گرفته و دلای تعابیر متعددی است که آن را برای موقعیتهای مختلف قابل استفاده می‌سازد. این مدل از نظرها و اعتراضات مدیریت نیز برای اتخاذ تصمیمات استراتژیک و تاکتیکی استفاده می‌کند.

مدل بهره‌وری کل که توسط سامنت (۱۹۷۹) ارائه شده تقریباً از کاملترین مدلهای شاخصی اندازه‌گیری بهره‌وری محسوب می‌شود. در این مدل، یک معیار بهره‌وری کل و پنج معیار بهره‌وری جزئی در نظر گرفته شده و آن را می‌توان در هر شرکت صنعتی یا سازمان خدماتی به کار برد.

بهره‌وری کل آن گونه که ما آن را در مدل TPM تعریف می‌کنیم عبارت است از:

$$\text{بهره‌وری کل} = \frac{\text{کل ستاده مشهود}}{\text{کل نهاده مشهود}} = \text{ارزش واحدهای ساخته شده محصول} = \text{کل ستاده مشهود} + \text{ارزش واحدهای نیمه ساخته} + \text{سود سهام حاصل از اوراق بهادار} + \text{بهره اوراق قرضه} + \text{سایر درآمدها}$$

در این مدل ستاده به پنج قسمت تقسیم شده است:

ارزش نهاده‌های به کار گرفته شده (انسان + مواد اولیه + سرمایه + انرژی + سایر مخارج) = کل نهاده مشهود

6. Total Productivity Model

8. Mundel's Model

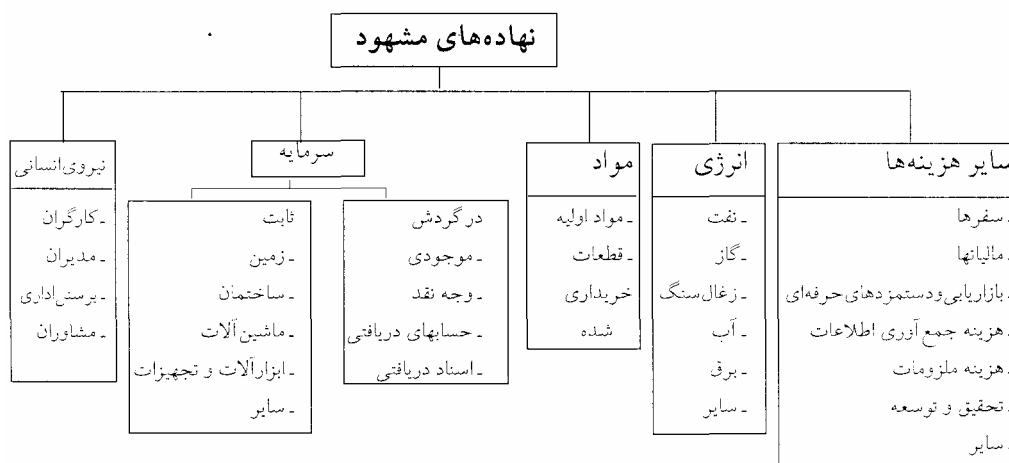
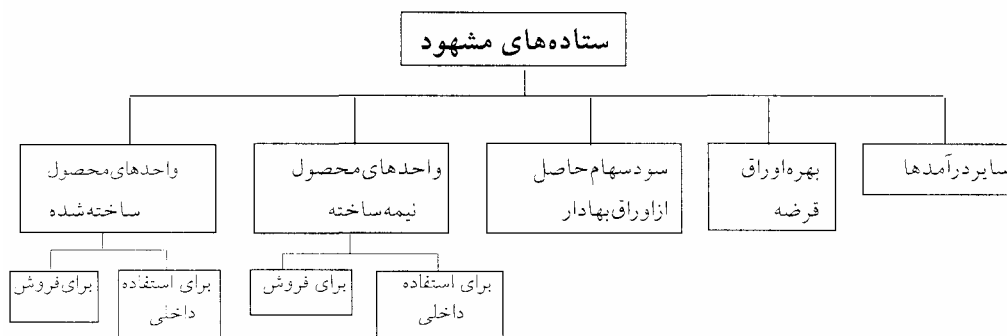
10. Tangible

7. American Productivity Center

9. Taylor - Davis Model

11. Operational Unit

منظور از مشهود داشتن قابلیت اندازه‌گیری مستقیم است. تعداد اتومبیل‌های مونتاژ شده و میزان مواد تولید شده مثالهایی از ستاده مشهودند، اما میزان آلودگی ایجاد شده به وسیله یک سازمان، ستاده‌ای است که به طور غیرمستقیم قابل اندازه‌گیری است و بابت آن، مخارجی برای دستگاههای رفع آلودگی به مؤسسه تحمیل شده است. مقدار سرفق‌لی ایجاد شده توسط یک سازمان، نمونه دیگری از یک عنصر ستاده است که مشهود نیست. عناصر ستاده و نهاده نامشهود در مقایسه با کل ستاده و نهاده مشهود نسبتاً کوچک هستند، و برای مقاصد کاربردی و عملی می‌توان آنها را نادیده گرفت. گفتنی است در اینجا منظور از ستاده، تمام ستاده‌های تولید شده و منظور از نهاده، تمام نهاده‌های صرف شده برای تولید این ستاده است. در جدول زیر نهاده‌ها و ستاده‌های مشهود به وضوح بیان شده‌اند:



در این مدل هم ستاده و هم نهاده برحسب واحد پولی نسبت به یک دوره پایه بیان می‌شود. از آنجا که یک سازمان ممکن است محصولات متنوعی را که هر کدام دارای واحد فیزیکی متفاوتی - مثل تن،

متر، عدد و ... هستند تولید کنند، به منظور در دست داشتن ارزش مجموع ستاده‌ها و حذف اثر تورم از مدل، آنها را برحسب ارزش واحد پولی به قیمت یک دوره پایه محاسبه کرده، جمع می‌کنیم.

نهاده‌های مدل بهره‌وری کل

$$TPF^{(۱)} = \text{بهره‌وری کل یک بنگاه} = \frac{\text{کل ستاده بنگاه}}{\text{کل نهاده بنگاه}}$$

$$TP_i^{(۲)} = \text{بهره‌وری کل محصول } i = \frac{\text{کل ستاده محصول } i}{\text{کل نهاده محصول } i}$$

$$PP_{ij}^{(۳)} = \text{بهره‌وری جزئی محصول } i \text{ با توجه به نهاده } j \text{ ام}$$

$$\{j\} = \{H, M, C, E, X\} = \text{نوع نهاده}$$

H = نهاده نیروی انسانی (شامل تمامی کارکنان).

M = نهاده مواد اولیه خریداری شده (شامل مواد خام و قطعات خریداری شده‌ای که در ساخت و مونتاژ استفاده می‌شود).

C = نهاده سرمایه (شامل هزینه سالانه یکنواخت سرمایه ثابت و سرمایه در گردش).

E = نهاده انرژی (شامل نفت، گاز، ذغال سنگ، برق و غیره).

X = نهاده سایر مخارج (شامل مالیاتها، دستمزدهای حرفه‌ای، هزینه جمع‌آوری اطلاعات، هزینه ملزومات اداری، هزینه سفر و غیره).

N و ... و ۳ و ۲ و ۱ = انواع محصول.

N = تعداد کل محصولات ساخته شده در دوره مورد بررسی (دوره جاری).

O_i = ستاده محصول i ام دوره جاری برحسب ارزش پولی که با استفاده از قیمت فروش به عنوان وزن به ارزش ثابت (در دوره پایه) بیان می‌شود.

$OF^{(۴)}$ = کل ستاده جاری بنگاه برحسب ارزش پولی که با استفاده از قیمت فروش به عنوان وزن ارزش ثابت (دوره پایه) بیان می‌شود.

$$OF = \sum_i O_i$$

I_i = کل نهاده دوره جاری، برای محصول i ام برحسب ارزش که به ارزش ثابت (دوره پایه) بیان می‌شود.

$$I_i = \sum_j I_{ij} = I_{iH} + I_{iM} + I_{iC} + I_{iE} + I_{iX}$$

I_{ij} = نهاده i ام دوره جاری، برای محصول i برحسب ارزش (که به ارزش ثابت (دوره پایه) بیان می‌شود).

1. Total Productivity of a Firm

2. Total Productivity

3. Partial Productivity

4. Output of the Firm (OF)

$IF^{(1)}$ = کل نهاده دوره جاری که توسط بنگاه استفاده شده برحسب ارزش (که به ارزش ثابت (دوره پایه) بیان می‌شود).

$$IF = \sum_i I_i = \sum_i \sum_j I_{ij}$$

اگر ϕ و t نشان‌دهنده اندیسهایی باشند که به ترتیب مربوط به دوره پایه و دوره جاری‌اند، آنگاه داریم:

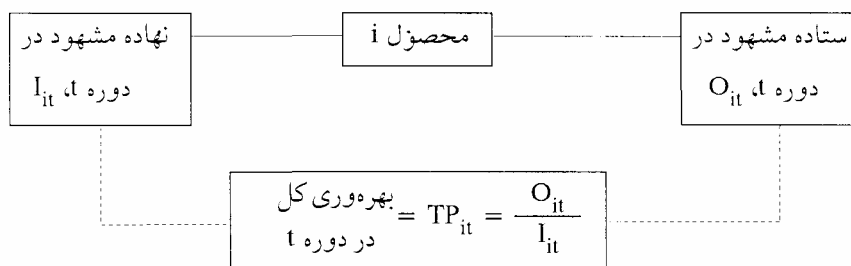
$$TPF_t = \frac{OF_t}{IF_t} = \frac{\sum_i O_{it}}{\sum_i I_{it}} = \frac{\sum_t O_{it}}{\sum_i \sum_j I_{ijt}} \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$TPF_\phi = \frac{OF_\phi}{IF_\phi} = \frac{\sum_i O_{i\phi}}{\sum_i I_{i\phi}} = \frac{\sum_t O_{i\phi}}{\sum_i \sum_j I_{ijt}} \quad (\text{رابطه ۲})$$

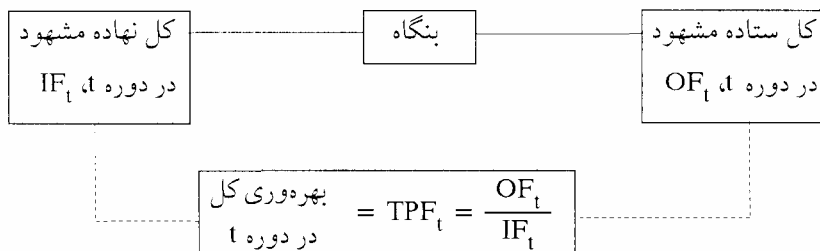
شاخص بهره‌وری کل برای بنگاه در دوره زمانی t . $(TPIF)_t^{(2)}$ را به شرح زیر تعریف می‌کنیم:

$$(TPIF)_t = \frac{TPF_t}{TPF_\phi} \quad (\text{رابطه ۳})$$

در نمودارهای ۱، ۲، ۳ این روابط روشن شده است.



نمودار ۱: بهره‌وری کل محصول i به عنوان یک نسبت ستاده مشهود به نهاده مشهود



نمودار ۲: بهره‌وری کل یک بنگاه به صورت نسبت کل ستاده مشهود به کل نهاده مشهود

1. Input use by the Firm (IF)

2. Total Productivity Index for the Firm (IPIF)

به طور مشابه، شاخص بهره‌وری کل برای یک محصول i ام در دوره t ، $(TPI)_{it}$ به وسیله رابطه زیر نشان داده می‌شود.

$$(TPI)_{it} = \frac{TP_{it}}{TP_i} \quad (\text{رابطه ۴})$$

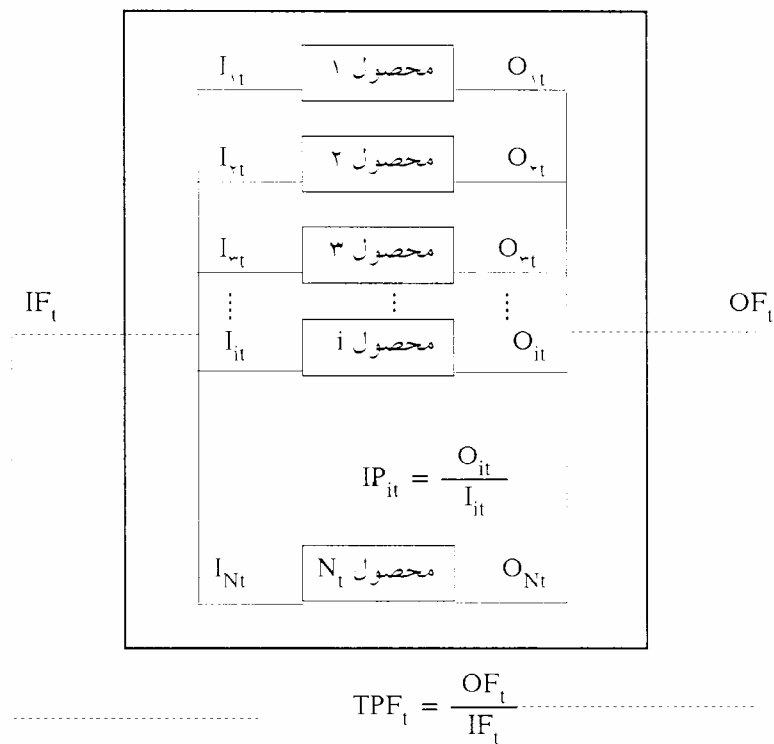
به عبارت دیگر:

$$TP_{it} = \frac{O_{it}}{I_{it}} = \frac{O_{it}}{\sum_j I_{ij_t}} = \frac{O_{it}}{I_{iH_t} + I_{iM_t} + I_{iC_t} + I_{iE_t} + I_{iX_t}}$$

$$TP_{i\phi} = \frac{O_{i\phi}}{I_{i\phi}} = \frac{O_{i\phi}}{\sum_j I_{ij_\phi}} = \frac{O_{i\phi}}{I_{iH_\phi} + I_{iM_\phi} + I_{iC_\phi} + I_{iE_\phi} + I_{iX_\phi}}$$

می‌توان برای ارائه جزئیات بیشتر، هر یک از عناصر ستاده نهاده مشهود در مدل TPM را تشریح کرد. که در این مقاله از آن صرف نظر می‌شود.

بنگاه F



نمودار ۳: مدل بهره‌وری کل TPM برای یک بنگاه و تک تک محصولاتش در دوره t

روش تابع تولید

بهره‌وری نهایی یکی از انواع بهره‌وری است که بیشتر از دیدگاه متخصصان اقتصاد مورد توجه قرار می‌گیرد و عبارت است از مقداری که واحد عامل ورودی (داده) به ستاده کل اضافه می‌کند و در واقع به صورت ناپیوسته و در مورد نیروی کار به صورت $\frac{\Delta Q}{\Delta L}$ تعریف می‌شود. چنانچه حالت پیوسته آن مدنظر باشد $\frac{dQ}{dL}$ در نظر گرفته می‌شود و در مورد توابع چند متغیره $\frac{\partial Q}{\partial L}$ تعریف می‌شود. اگر بخواهیم از این تعریف استفاده کنیم ناچار به روش تابع تولید متوسل می‌شویم.

اقتصاددانها طی چهار دهه گذشته به طور وسیع از این روش استفاده کرده‌اند و این روش مبنای بسیاری از روشها قرار گرفته است. در متون اقتصادی این روش در سه حوزه تحقیقی به کار رفته است: (۱) نظریه محض توابع تولید، (۲) نظریه اقتصادسنجی توابع تولید، (۳) نظریه اقتصادسنجی کاربردی^(۱)، توابع تولید. در نظریه محض توابع تولید بیشتر از تابع کاب داگلاس^(۲) (C.D.) و تابع تولید باکشش جانشینی ثابت^(۳) (C.E.S.) استفاده می‌شود که در بحث کاربردی در مورد شرکت آلومینیوم ایران به آن پرداخت.

صنعت آلومینیوم در ایران

عامل تعیین کننده در احداث واحد ذوب آلومینیوم بهای انرژی است و ایران نیز به لحاظ دارا بودن منابع فراوان انرژی در جهان مطرح است. شرکت‌های فراملیتی توجه خود را به ایران معطوف داشته و سعی کرده‌اند از طریق مشارکت در تکنولوژی، موقعیت مناسبی را در ایران و منطقه به دست آورند و با این هدف کارخانه ایرالکو با ظرفیت اسمی ۴۵ هزار تن در سال در منطقه اراک راه‌اندازی شد. بعدها در سال ۱۳۷۱ ظرفیت این کارخانه در سه فاز به ۱۲۰ هزار تن در سال رسید.

کارگاهها و تأسیسات ایرالکو عبارتند از:

- (۱) کارگاه احیا (۲) کارگاه تولید آند، (۳) کارگاه ریخت (۴) تأسیسات جانبی و کمکی.

1. Productivity Function Approach
3. Constant Elasticity of Substitution

2. Cobb - Douglas

اندازه‌گیری بهره‌وری با استفاده از روش شاخص در کارخانه ایرالکو

با توجه به اهمیت دو کارگاه احیا و ریخت در این کارخانه، بهره‌وری نیروی انسانی را در هر یک از این دو کارگاه با عنایت به مقادیر فیزیکی تولید و ارزش تولیدات به قیمت ثابت، طی یک روند ۲۲ ساله (از سال ۱۳۵۱ تا ۱۳۷۲) با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌کنیم:

$$LPQ_{it} = \frac{Q_{it}}{L_{it}} \quad i = ۱, ۲ \quad t = ۱۳۵۱, ۱۳۵۲, \dots, ۱۳۷۲$$

در این فرمول:

LPQ_{it} = بهره‌وری نیروی انسانی براساس مقادیر فیزیکی در کارگاههای احیا و ریخت در سال مورد نظر.

Q_{it} = تولید کارگاهها در سال مورد نظر.

L_{it} = تعداد پرسنل در هر کارگاه در سال مورد نظر.

ارقام بهره‌وری نیروی انسانی در دو کارگاه احیا و ریخت در جدول ۱ آورده شده است. به منظور مقایسه صحیح بین دو کارگاه و حذف بُعد اندازه‌گیری، ارقام بهره‌وری به صورت شاخصی در جدول ۱ آورده شده‌اند. باید اذعان داشت که در انتخاب سال پایه باید دقت خاصی به عمل آید و این سال باید از سالهایی باشد که در آن، مشکل برونزای خاصی بر کارخانه تحمیل نشده باشد. لذا با عنایت به این موضوع و وضعیت کارخانه، سال ۱۳۶۳ به عنوان سال شاخص انتخاب و سایر سالها با آن مقایسه شد. به منظور محاسبه شاخص از فرمول زیر استفاده شده است:

$$ILPQ_{it} = \frac{LPQ_{it}}{LPQ_{۱۳۶۳}} \times ۱۰۰ \quad t = ۱۳۵۱, ۱۳۵۲, \dots, ۱۳۷۲$$

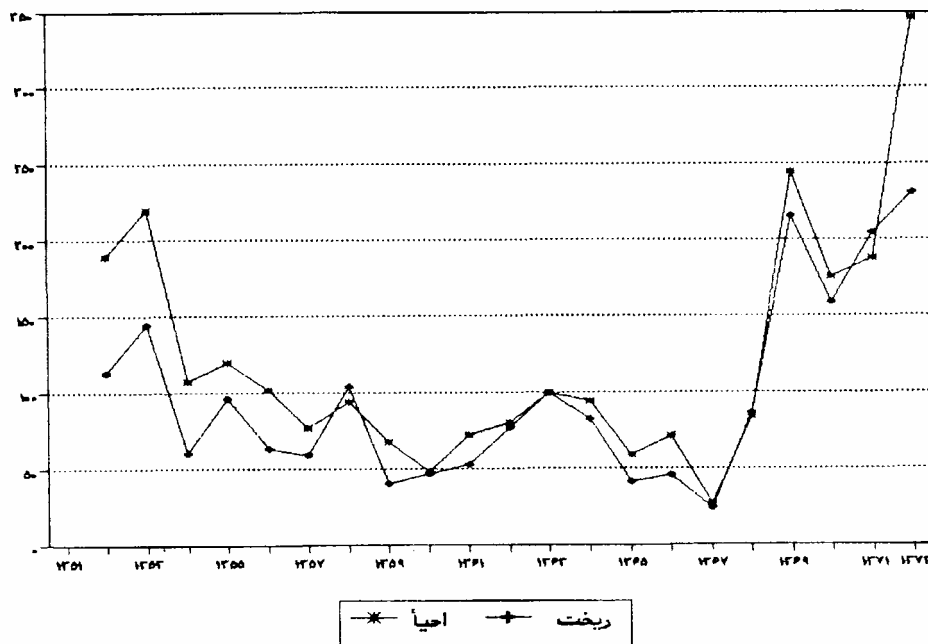
که در آن $ILPQ_{it}$ ، شاخص بهره‌وری نیروی انسانی در کارگاهها براساس مقادیر فیزیکی است.

جدول ۱: بهره‌وری و شاخص بهره‌وری نیروی انسانی براساس مقادیر فیزیکی تولید

سال	Q_1	LPQ_1	Q_2	LPQ_2	$ILPQ_1$	$ILPQ_2$
۱۳۵۱	۱۰/۳۱۶	۶۲/۱	۸/۹	۱۶۱/۸	۳۷/۲	۷۱/۴
۱۳۵۲	۳۸/۷۵۶	۱۸۲/۸	۳۸/۷	۵۴۵/۱	۱۲۵/۴	۲۱۰/۰
۱۳۵۳	۴۵	۱۸۷/۵	۴۹/۱	۶۱۳/۸	۱۴۱/۲	۲۱۵/۳
۱۳۵۴	۴۰/۸۸۳	۱۴۹/۸	۳۸/۱	۴۱۸/۷	۹۶/۳	۱۷۲/۲
۱۳۵۵	۲۹/۰۴۳	۱۰۴/۵	۳۸/۹	۴۱۸/۳	۹۶/۳	۱۲۰/۰
۱۳۵۶	۲۲/۵۲۵	۸۴/۴	۲۳/۴	۲۶۲/۹	۶۰/۵	۹۶/۹
۱۳۵۷	۱۸/۸۶۹	۷۰/۴	۲۵/۱	۲۶۹/۹	۶۲/۱	۸۰/۹
۱۳۵۸	۱۳/۴۹	۴۸/۲	۲۴/۸	۲۶۶/۷	۶۱/۴	۵۵/۳
۱۳۵۹	۱۵/۲۸۸	۴۹/۳	۱۵/۳	۱۴۷/۱	۳۳/۹	۵۶/۶
۱۳۶۰	۱۶/۴۴۶	۴۷/۹	۲۶/۸	۲۳۳/۰	۵۳/۶	۵۵/۱
۱۳۶۱	۲۷/۹۱۳	۶۵/۱	۳۴/۱	۲۳۸/۵	۵۴/۹	۷۴/۷
۱۳۶۲	۴۰/۰۸۳	۸۲/۶	۶۳/۹	۳۹۴/۴	۹۰/۸	۹۴/۹
۱۳۶۳	۴۳/۰۱۳	۸۷/۱	۷۱/۷	۴۳۴/۵	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰
۱۳۶۴	۴۳/۲۳۱	۸۶/۳	۶۳	۳۷۷/۲	۸۶/۸	۹۹/۱
۱۳۶۵	۳۲/۲۸۳	۶۵/۴	۳۷/۴	۲۲۶/۷	۵۲/۲	۷۵/۱
۱۳۶۶	۳۵/۴۲۹	۷۳/۷	۳۷/۸	۲۳۴/۸	۵۴/۰	۸۴/۶
۱۳۶۷	۱۹/۰۳۵	۳۹/۸	۲۸/۲	۱۷۷/۴	۴۰/۸	۴۵/۷
۱۳۶۸	۲۵/۷۳۲	۵۱/۹	۴۴	۲۶۵/۱	۶۱/۰	۵۹/۶
۱۳۶۹	۶۶/۶۲۹	۹۵/۲	۱۰۰	۴۱۸/۴	۹۶/۳	۱۰۹/۳
۱۳۷۰	۷۳/۴۲۵	۱۰۹/۴	۱۱۳/۱	۴۹۳/۹	۱۱۳/۷	۱۲۵/۷
۱۳۷۱	۷۷/۰۰۵	۹۶/۰	۱۱۷/۱	۵۲۲/۸	۱۲۰/۳	۱۱۰/۳
۱۳۷۲	۹۰/۱۱۵	۱۳۷/۲	۱۰۰/۴	۴۵۸/۴	۱۰۵/۰۵	۱۵۷/۵
میانگین	۳۷/۴۸	۸۹/۸۴	۴۹/۹۹	۳۴۴/۵۱	۷۹/۲۸	۱۰۳/۱۸

مأخذ: محاسبات نویسنده

نمودار ۴: بهره‌وری نیروی کار براساس مقادیر فیزیکی در کارگاه‌های احیا و ریخت

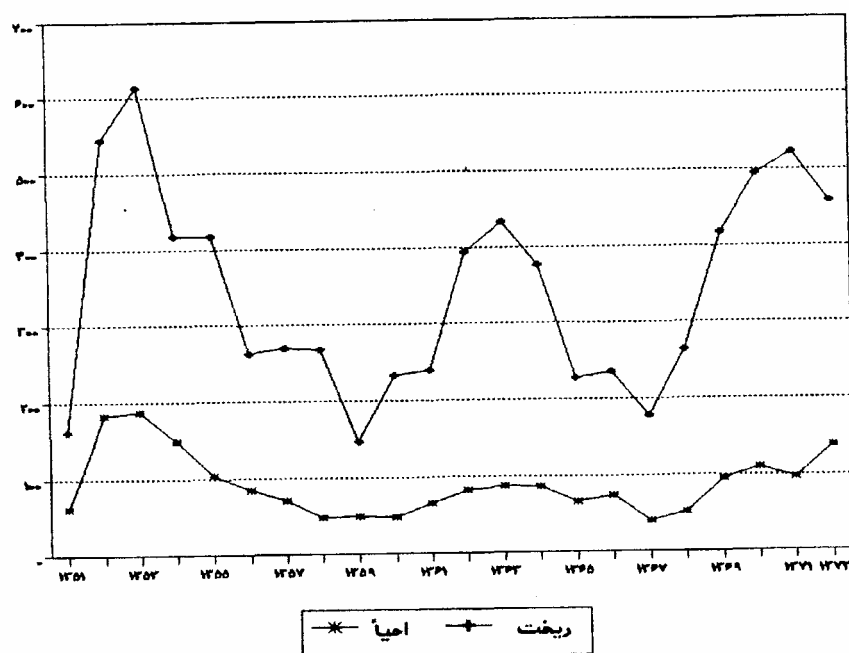


نمودار ۴ نشان‌دهنده بهره‌وری نیروی انسانی در دو کارگاه احیا و ریخت در ایرالکو است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بهره‌وری نیروی انسانی در هر دو کارگاه به صورت هماهنگ حرکت کرده، ولی همواره سطح بهره‌وری کارگاه ریخت به لحاظ تن - نفر بالاتر قرار گرفته است. در واقع، نوع تکنولوژی این دو کارگاه موجب وقوع چنین امری شده است، چراکه عملیات اصلی در کارگاه احیا انجام می‌شود و در کارگاه ریخت با تعداد پرسنل کمتر، عملیات تکمیلی بر روی تولیدات کارگاه احیا انجام می‌گیرد و این در حالی است که فرایند تولید در کارگاه احیا نیاز به تعداد پرسنل بیشتر دارد.

اما به منظور مقایسه دقیق‌تر دو کارگاه در نمودار ۵ شاخص بهره‌وری در هر دو کارگاه آورده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، هنگامی که ارقام به صورت شاخصی مقایسه می‌شوند، تحلیل درست‌تری از نتایج حاصل می‌گردد و قابلیت مقایسه آن امکان‌پذیر می‌شود. چنان‌که در نمودار دیده می‌شود، طی سالهای ۱۳۵۱ (سال شروع فعالیت) تا سال ۱۳۵۳ رشد شدیدی در شاخص بهره‌وری انسانی وجود داشته که دلیل آن، استفاده از ظرفیت خالی و سالهای ابتدایی بهره‌برداری است. پس از آن با افت شدید بهره‌وری روبه‌رو هستیم، به نحوی که طی سالهای ۱۳۵۳ تا ۱۳۵۸ بهره‌وری به میزانی کمتر

از سال راه اندازی می‌رسد. دلیل این امر زیاندهی کارخانه و کاهش سطح تولیدات آن است. البته وقوع انقلاب اسلامی در سال ۱۳۵۷ نیز خود عامل کاهش بیشتر تولیدات شده است. مسأله مطرح در سال ۱۳۵۸ این است که بهره‌وری نیروی انسانی در کارگاه ریخت از کارگاه احیا پیشی گرفته که دلیل آن را می‌توان استفاده از موجودی انبار این کارگاه و افت شدید تولیدات کارگاه احیا دانست. مجدداً از سال ۱۳۵۹، یعنی سالی که کمترین سطح شاخص بهره‌وری را در دو کارگاه شاهد هستیم، بهره‌وری نیروی انسانی شروع به رشد کرده و تا سال ۱۳۶۳ به ۱۰۰ رسیده است. طی دوره ۱۳۶۳ تا ۱۳۶۷ بار دیگر بهره‌وری نیروی انسانی در هر دو کارگاه کاهش یافته و از سطح ۱۰۰ در سال ۱۳۶۳ در کارگاه ریخت به ۴۰/۸ و در کارگاه احیا به ۴۵/۷ در سال ۱۳۶۷ رسیده است. از این سال به بعد بهره‌وری نیروی انسانی رشد داشته و ارقام مذکور، در سال ۱۳۷۱ در کارگاه ریخت به ۱۲۰/۳ و در کارگاه احیا به ۱۱۰/۳ بالغ شده است. یکی از سالهایی که کارگاه ریخت در زمینه بهره‌وری از کارگاه احیا پیشی گرفته، سال ۱۳۷۱ است؛ ولی در سال ۱۳۷۲ سطح شاخص بهره‌وری در کارگاه احیا به ۱۵۷/۵ و در کارگاه ریخت به ۱۰۵/۵ رسیده است.

نمودار ۵: شاخص بهره‌وری نیروی کار براساس مقادیر فیزیکی
در کارگاه احیا و ریخت (۱۳۶۳=۱۰۰)



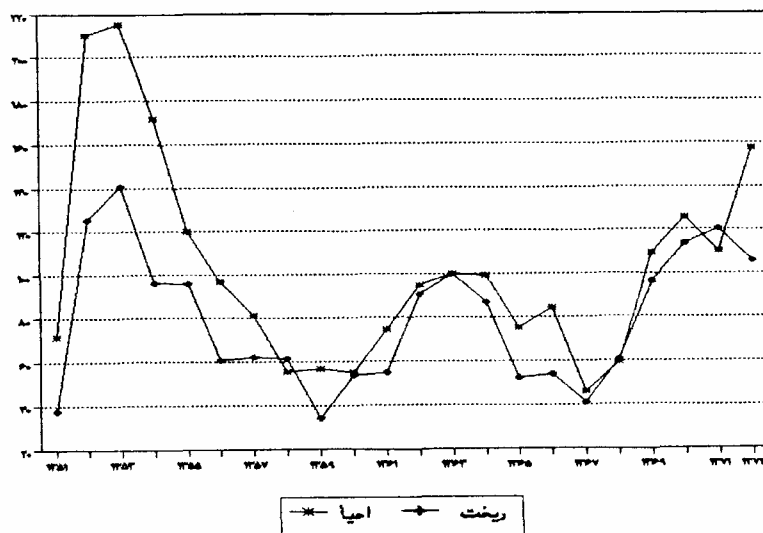
همچنین می‌توان بهره‌وری نیروی انسانی هر کارگاه را بر اساس ارزش تولیدات آن محاسبه کرد؛ ولی از آنجا که ارقام ارزشی تحت تأثیر سطح عمومی قیمت‌ها قرار دارند و اختلاف قابل ملاحظه‌ای در ارقام سالهای ۱۳۶۷ تا ۱۳۷۲ با سالهای قبل از آن به چشم می‌خورد، لازم است با استفاده از شاخص عمده فروشی کالاها و خدمات ارقام ارزش تولیدات تعدیل شود (با توجه به آمار بانک مرکزی سال پایه سال ۱۳۶۱ در نظر گرفته شده است). سپس رقم بهره‌وری نیروی انسانی و شاخص آن محاسبه گردد ارقام مذکور در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲: بهره‌وری و شاخص بهره‌وری نیروی انسانی در کارگاه ریخت و احیا
به قیمت ثابت سال ۱۳۶۱ (به ۱۰۰=۱۳۶۳)

سال	LPY _{F-1}	LPY _{F-2}	ILPY _{F-1}	ILPY _{F-2}
۱۳۵۲	۳۱/۳	۹۳/۴	۱۸۸/۸	۱۱۲/۸
۱۳۵۳	۳۶/۵	۱۱۹/۶	۲۲۰/۲	۱۴۴/۴
۱۳۵۴	۱۷/۸	۴۹/۷	۱۰۷/۱	۶۰/۰
۱۳۵۵	۱۹/۸	۷۹/۳	۱۱۹/۴	۹۵/۸
۱۳۵۶	۱۶/۷	۵۲/۲	۱۰۰/۹	۶۳/۰
۱۳۵۷	۱۲/۷	۴۸/۷	۱۶/۶	۵۸/۸
۱۳۵۸	۱۵/۵	۸۵/۸	۹۳/۴	۱۰۳/۶
۱۳۵۹	۱۱/۲	۳۳/۳	۶۷/۴	۴۰/۳
۱۳۶۰	۷/۹	۳۸/۵	۴۷/۸	۴۶/۵
۱۳۶۱	۱۱/۹	۴۳/۶	۷۱/۶	۵۲/۶
۱۳۶۲	۱۳/۳	۶۳/۳	۷۹/۹	۷۶/۴
۱۳۶۳	۱۶/۶	۸۲/۸	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰
۱۳۶۴	۱۵/۶	۶۸/۰	۹۳/۷	۸۲/۱
۱۳۶۵	۹/۷	۳۳/۸	۵۸/۸	۴۰/۸
۱۳۶۶	۱۱/۱	۳۷/۵	۷۰/۹	۴۵/۳
۱۳۶۷	۴/۴	۱۹/۸	۲۶/۸	۲۳/۹
۱۳۶۸	۱۴/۰	۷۱/۳	۸۴/۱	۸۶/۱
۱۳۶۹	۴۰/۷	۱۷۹/۱	۲۴۵/۵	۲۱۶/۲
۱۳۷۰	۲۹/۱	۱۳۱/۴	۱۷۵/۴	۱۵۸/۶
۱۳۷۱	۳۱/۲	۱۶۹/۸	۱۸۷/۹	۲۰۵/۰
۱۳۷۲	۵۷/۴	۱۹۱/۸	۳۴۵/۷	۲۳۱/۶
میانگین	۲۰/۲۴	۸۰/۶۰	۱۲۱/۹۹	۹۷/۳۳

منبع: محاسبات نویسنده

نمودار ۶: شاخص بهره‌وری نیروی کار در کارگاه احیا و ریخت
براساس ارزش تولیدات به قیمت ثابت سال ۱۳۶۱ (۱۰۰=۱۳۶۳)



در نمودار ۶ مشاهده می‌شود که بهره‌وری این دو کارگاه با یکدیگر حرکت می‌کند و نوسانات بهره‌وری بیشتر تحت تأثیر عوامل برونزا بوده و در داخل کارخانه با یکدیگر حرکت کرده‌اند. در اکثر سالها سطح شاخص بهره‌وری نیروی کار در کارگاه احیا بیشتر از کارگاه ریخت بوده که در دوره ۱۳۵۶ تا ۱۳۶۸ در کارگاه احیا کمتر از ۱۰۰ و در سالهای ۱۳۵۲ تا ۱۳۵۵ و ۱۳۶۹ تا ۱۳۷۲ بیشتر از ۱۰۰ بوده است. در کارگاه ریخت، شاخص بهره‌وری طی سالهای ۱۳۵۴ تا ۱۳۶۸ - بجز سال ۱۳۵۸ - کمتر از ۱۰۰ بوده است. از سال ۱۳۶۸ به بعد رشد بهره‌وری نیروی انسانی را شاهد هستیم که در سال ۱۳۷۲ به رقم ۲۳۱/۶ رسیده است.

در سال ۱۳۷۱ نیز علت پیشی گرفتن بهره‌وری نیروی انسانی در کارگاه ریخت از کارگاه احیا، تولیدات بالای این کارگاه است. در سال ۱۳۷۲ سطح بهره‌وری در کارگاه احیا به شدت رشد کرده و اختلاف زیادی با کارگاه ریخت یافته که علت آن، تعدیل نیروی انسانی است. با توجه به این امر می‌توان نشان داد که بهره‌وری از تولید مجزا است و با افزایش ناچیز در تولید و تعدیل نیروی انسانی، افزایش قابل ملاحظه‌ای در بهره‌وری تحقق خواهد یافت.

بررسی انجام شده می‌تواند به طریق دیگری در سطح کل کارخانه مورد بحث واقع شود و به جای در

نظر گرفتن نیروی انسانی در هر کارگاه، نیروی انسانی فعال در کل کارخانه مورد ارزیابی قرار گیرد. بدین منظور تولیدات کارگاه احیا به لحاظ بهره‌وری نیروی انسانی و سرمایه در این قسمت مورد بحث قرار می‌گیرد.

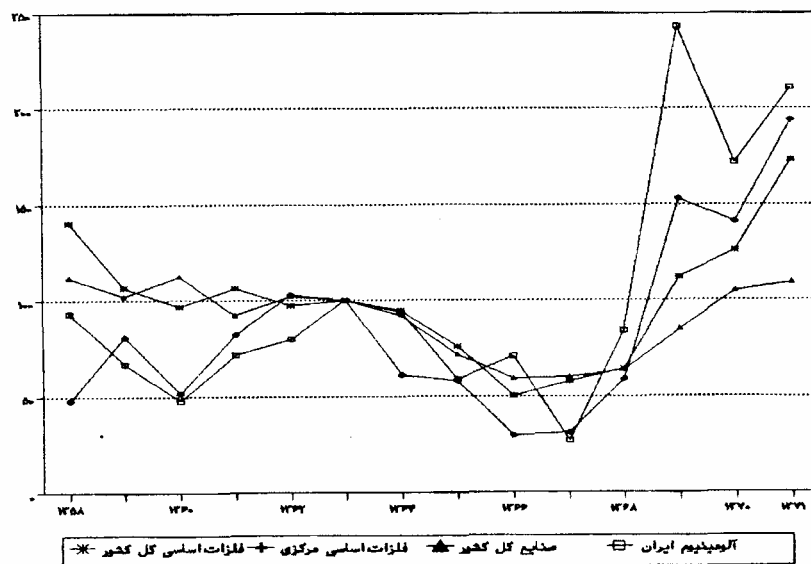
بهره‌وری و شاخص بهره‌وری نیروی انسانی و سرمایه به قیمت ثابت در کل کارخانه ایرالکو در جدول ۳ آورده شده است. به منظور نشان دادن نوسانات بهره‌وری نیروی انسانی و سرمایه در نمودار ۷ آورده شده است.

جدول ۳: بهره‌وری و شاخص بهره‌وری نیروی کار و سرمایه به قیمت ثابت در ایرالکو

سال	Y_F	LPY_F	CPY_F	ILP_F	$ICPY_F$
۱۳۵۲	۶۶۴۳/۲	۷/۱		۱۸۸/۹	
۱۳۵۳	۸۷۶۸/۳	۸/۳		۲۲۰/۶	
۱۳۵۴	۴۸۵۰	۴/۰		۱۰۶/۹	
۱۳۵۵	۵۵۰۶/۰	۴/۵		۱۱۹/۴	
۱۳۵۶	۴۴۷۰/۱	۳/۸		۱۰۰/۸	
۱۳۵۷	۳۴۰۶/۴	۲/۸	۰/۷	۷۳/۷	۵۰/۰
۱۳۵۸	۴۳۳۹/۸	۳/۵	۰/۸	۹۳/۵	۶۳/۵
۱۳۵۹	۳۴۶۵/۰	۲/۵	۰/۷	۶۷/۳	۵۰/۴
۱۳۶۰	۲۷۱۹/۵	۱/۸	۰/۵	۴۷/۷	۳۹/۶
۱۳۶۱	۵۰۹۹/۹	۲/۷	۰/۹	۷۱/۷	۶۶/۷
۱۳۶۲	۶۴۳۲/۱	۳/۰	۱/۱	۸۰/۰	۸۲/۱
۱۳۶۳	۸۱۹۷/۶	۳/۸	۱/۳	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰
۱۳۶۴	۷۷۹۳/۲	۳/۵	۱/۲	۹۳/۷	۹۱/۵
۱۳۶۵	۴۸۱۶/۲	۲/۲	۰/۷	۵۸/۸	۵۵/۰
۱۳۶۶	۵۵۶۰/۷	۲/۷	۰/۷	۷۰/۹	۵۱/۹
۱۳۶۷	۲۱۲۵/۰	۱/۰	۰/۲	۲۶/۸	۱۸/۹
۱۳۶۸	۶۹۲۳/۱	۳/۲	۰/۷	۸۴/۱	۵۴/۱
۱۳۶۹	۲۸۵۱۴/۲	۹/۱	۱/۹	۲۴۲/۹	۱۴۳/۳
۱۳۷۰	۱۹۵۳۰/۴	۶/۵	۱/۱	۱۷۲/۱	۸۷/۵
۱۳۷۱	۲۵۰۰۶/۳	۷/۹	۰/۳	۲۱۰/۴	۲۴/۶
۱۳۷۲	۳۷۶۹۴/۳	۱۳/۰	۰/۴	۳۴۵/۶	۳۱/۸
میانگین	۹۶۱۷/۲۳	۴/۶۰	۰/۸۲	۱۲۲/۶۵	۶۳/۱۸

منبع: محاسبات نویسنده

نمودار ۷: شاخص بهره‌وری نیروی انسانی و سرمایه در کارخانه ایرالکو (۱۰۰=۱۳۶۳)



نمودار ۷ نشانگر آن است که بهره‌وری سرمایه در کلیه سالها پایینتر است و بهره‌وری نیروی انسانی در کلیه سالها بیشتر، و میزان اختلاف این دو در سال ۱۳۷۲ به حداکثر، یعنی به ۳۱۴ واحد می‌رسد. دلیل این امر، ثابت نگاه داشتن نیروی انسانی و حتی کاهش آن و افزایش سرمایه در کارخانه بوده و می‌توان گفت که رقم شاخص بهره‌وری در سال ۱۳۷۱ به رقم شاخص در سال ۱۳۵۳ رسیده و در سال ۱۳۷۲ شاخص بهره‌وری نیروی انسانی توانسته از رقم سال ۱۳۵۳ نیز پیشی بگیرد.

مقایسه دیگری نیز بین بهره‌وری نیروی انسانی در کارخانه آلومینیوم ایران (ایرالکو)، صنایع فلزات اساسی استان مرکزی، صنایع فلزات اساسی کل کشور (کد ۳۷) و کل صنایع کشور (کد ۳) با توجه به ارقام ارزش تولیدات به قیمت ثابت انجام گردیده که نتایج این مقایسه در جدول ۴ آورده شده است.

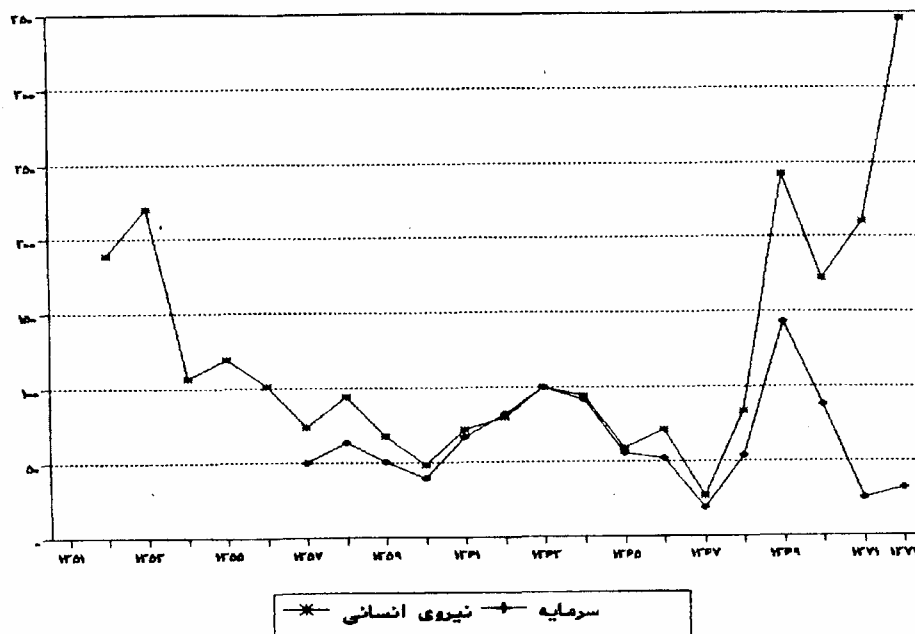
جدول ۴: بهره‌وری و شاخص بهره‌وری نیروی انسانی در شرکت آلومینیوم ایران، کد ۳۷ استان مرکزی و کل کشور و کل صنایع کشور به قیمت ثابت (۱۳۶۱=۱۰۰)

سال	$LPY_{F_{T_{37}}}$	$LPY_{F_{TT}}$	$LPY_{F_{AL}}$	$ILPY_{F_{M_{37}}}$	$ILPY_{F_{T_{37}}}$	$ILPY_{F_{TT}}$	$ILPY_{F_{AL}}$
۱۳۵۸	۳/۴	۵/۶	۳/۵	۴۷/۷	۱۴۰/۶	۱۱۲/۱	۹۳/۵
۱۳۵۹	۵/۷	۴/۲	۳/۲	۸۱/۰	۱۰۷/۰	۱۰۲/۳	۶۷/۳
۱۳۶۰	۳/۷	۳/۹	۳/۵	۵۱/۷	۹۷/۳	۱۱۳/۰	۴۷/۷
۱۳۶۱	۵/۸	۴/۲	۲/۹	۸۲/۶	۱۰۶/۵	۹۲/۴	۷۱/۷
۱۳۶۲	۷/۳	۳/۹	۳/۲	۱۰۳/۳	۹۷/۵	۱۰۲/۰	۸۰/۰
۱۳۶۳	۷/۱	۴/۰	۳/۱	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰
۱۳۶۴	۴/۳	۳/۷	۲/۹	۶۱/۵	۹۴/۵	۹۲/۲	۹۳/۷
۱۳۶۵	۴/۱	۳/۰	۲/۲	۵۷/۸	۷۶/۲	۷۱/۹	۵۸/۸
۱۳۶۶	۲/۱	۲/۰	۱/۹	۲۹/۸	۵۰/۶	۵۹/۲	۷۰/۹
۱۳۶۷	۲/۲	۲/۳	۱/۹	۳۱/۱	۵۷/۵	۶۰/۱	۲۶/۸
۱۳۶۸	۴/۲	۲/۵	۲/۰	۵۸/۸	۶۴/۱	۶۳/۶	۸۴/۱
۱۳۶۹	۱۰/۸	۴/۵	۲/۷	۱۵۲/۶	۱۱۲/۵	۸۵/۱	۲۴۲/۹
۱۳۷۰	۱۰/۰	۵/۰	۳/۳	۱۴۱/۰	۱۲۵/۸	۱۰۴/۸	۱۷۲/۱
۱۳۷۱	۱۳/۷	۶/۹	۳/۴	۱۹۳/۹	۱۱۳/۰	۱۰۹/۵	۲۱۰/۴
میانگین	۶/۰۲	۳/۹۷	۲/۸۳	۸۵/۲۰	۱۰۰/۲۲	۹۰/۶۰	۱۰۱/۴۲

منبع: محاسبات نویسنده

در مقام مقایسه می‌توان بیان داشت که ارقام ارزش تولیدات تا سال ۱۳۶۷ در شرکت آلومینیوم ایران و استان مرکزی پایین‌تر از صنایع کل کشور و کد ۳۷ کل کشور بوده و از سال ۱۳۶۷ توانسته از هر دو مورد با سرعت زیاد پیشی بگیرد. شاخص بهره‌وری در سال ۱۳۵۸ در استان مرکزی در کد ۳۷، ۴۷/۷ بوده، در حالی که در کل کشور در همین صنعت ۱۴۰/۶ بوده است. در سال ۱۳۶۰ رقم شاخص در استان مرکزی در کد ۳۷، ۵۱/۷ و در آلومینیوم ایران ۴۷/۷ بوده، اما در کل کشور رقم ۱۰۶/۵ را شاهد هستیم. در سال ۱۳۶۶ نیز شاخص در استان مرکزی ۲۹/۸، در کد ۳۷ کل کشور ۵۰/۶ و در کل صنایع کشور ۵۹/۲ محاسبه شده است. از سال ۱۳۶۷ شرکت آلومینیوم ایران از سه مورد مقایسه‌ای دیگر پیشی گرفته است. تفاوتها بسیار قابل توجه است. رقم شاخص بهره‌وری نیروی انسانی در سال ۱۳۷۱ در شرکت آلومینیوم ایران ۲۱۰/۴، در کد ۳۷ استان مرکزی ۱۹۳/۹، در صنایع کل کشور (کد ۳) ۱۰۹/۵ و در صنعت فلزات اساسی (کد ۳۷) کل کشور ۱۷۳ واحد بوده است.

نمودار ۸: شاخص بهره‌وری نیروی کار در صنایع فلزات اساسی استان مرکزی
کل کشور کل صنایع ایران و آلومینیوم ایران به قیمت ثابت سال ۱۳۶۱ (۱۰۰=۱۳۶۳)



محاسبه بهره‌وری به روش تابع تولید در کارخانه ایرالکو

روش دیگر محاسبه بهره‌وری با استفاده از تابع تولید صورت می‌پذیرد. در این روش با استفاده از توابع مختلف تولید و روش حداقل مربعات معمولی (O.L.S.)^(۱) پارامترهای تابع، تعیین و تحلیل می‌شود. تابع تولید به لحاظ شکل ریاضی اشکال مختلفی دارد. به همین دلیل در جریان عمل توابع بسیاری برآورد شده‌اند تا بهترین و مناسبترین آنها انتخاب شود. سه نوع تابع انتخاب شده عبارتند از: (۱) تابع تولید خطی، (۲) تابع تولید کاب‌داگلاس، (۳) تابع تولید باکشش جانشینی ثابت (C.E.S). این توابع با استفاده از بسته نرم‌افزاری هم TSP تخمین زده شده‌اند. در مورد تابع تولید کاب‌داگلاس، برآورد، به

1. Ordinary Least Squares

صورت مقید و هم به صورت غیر مقید صورت گرفته است. برای به کار بردن روش حداقل مربعات باید توابع مورد نظر خطی باشند. در تخمین تابع تولید خطی که هم متغیرها و هم پارامترها خطی هستند مشکلی پیش نمی‌آید. ولی در تابع تولید کاب داگلاس باید با استفاده از لگاریتم، آن را به صورت خطی درآورد. در مورد تابع تولید (C.E.S.) استفاده از^(۱) این عمل صورت گرفته است.

تابع تولید خطی

پس از تخمین توابع مختلف، توابع خطی که به لحاظ آماری مشکل نداشتند در جدول ۵ آورده شدند؛ ولی به لحاظ معیار اقتصادی و تئوری اقتصاد سنجی نیز توابع باید مورد تأیید قرارگیرند تا امکان بررسی آنها وجود داشته باشد. لذا با توجه به اولویت مقادیر فیزیکی بر مقادیر ارزشی و همچنین اولویت مقادیر ارزشی بر قیمت ثابت تابع خطی زیر انتخاب شده است:

$$Q = -23471/3 + 26/684L + 0/318K_F$$

$(-2/81)$ $(6/36)$ $(3/15)$

$$\bar{R}^2 = 0/89 \quad D.W. = 1/62 \quad n = 16$$

جدول ۵: نتایج معادلات تابع تولید خطی

ردیف	پارامترهای متغیرها	a_0	α	β	\bar{R}^2	D.W	F	n
۱	Q, L, K_N	-23471/3 (-2/81)	26/684 (6/36)	0/318 (3/15)	0/89	1/62	21/99	16
۲	$K_M Q, L$	-19698/1 (-2/19)	25/19 (5/6)	0/12 (3/16)	0/9	1/27	6/17	16
۳	Q, L, K_F	-23471/3 (-2/81)	26/684 (6/36)	0/318 (3/15)	0/9	1/62	6/17	16
۴*	$K_M Q, L$	-3495/4 (-2/24)	3/8 (4/4)	1/1 (2/6)	0/93	2/8	47/4	15

1. Kmenta Approximation

ادامه جدول ۵

ردیف	بازار متغیرها	a_0	α	β	R^2	D.W	F	n
۵*	Q, W_N, K_N	۱۴۴۲۸/۲ (۱/۸۲)	۶/۰۶ (۴/۱)	-۰/۰۰۰۸ (-۱/۹۶)	۰/۸۶	۱/۸۳	۲۰/۵	۱۴
۶*	Q, W_N, KM_N	۱۴۳۷۳/۲ (۱/۹۹)	۶/۷۳ (۳/۹)	-۰/۰۰۰۴ (-۱/۹۴)	۰/۸۶	۱/۸۷	۲۰/۷	۱۴
۷	Q, W_F, KM_F	-۱۹۱۵۰/۸ (-۳)	۲۹/۲ (۶/۷)	۱/۰۵ (۱/۹)	۰/۹۱	۲/۲۹	۵۹/۲	۱۵
۸*	Y_N, L, KM_N	-۱۱۶۶۵۰ (-۳/۵)	۵۹/۵ (۴/۶۶)	۰/۰۰۸ (۵/۶۸)	۰/۹۷	۱/۶۴	۱۱۰/۱	۱۵
۹*	Y_N, L, K_F	-۱۳۱۸۰۹ (-۳/۸۵)	۶۵/۸۲ (۵/۲)	۱/۰۷ (۵/۵۷)	۰/۹۷	۱/۵۵	۱۰۷	۱۵
۱۰*	Y_N, L, KM_F	-۱۵۵۷۲۷ (-۵/۳)	۶۶/۵۵ (۷/۹۵)	۲/۵۸ (۸/۶۵)	۰/۹۹	۱/۲۳	۲۴۸/۶	۱۵
۱۱*	Y_N, W_F, KM_F	-۵۷۰۰۲ (-۲/۵۴)	۳۱/۵ (۲/۵۳)	۶/۳ (۴/۶)	۰/۹۲	۱/۷۲	۲۰/۱	۱۴
۱۲	Y_F, L, K_N	-۱۱۰۵۹ (-۱/۹۹)	۸/۹۵ (۳/۲۹)	۰/۰۰۰۳ (۲/۸۸)	۰/۸	۱/۸۵	۲۵/۹	۱۶
۱۳	Y_F, L, K_F	-۱۱۳۱۴/۸ (-۲/۳۶)	۸/۴۷ (۳/۵۲)	۰/۲۱۱ (۳/۶۶)	۰/۸۴	۱/۷۶	۳۳/۶	۱۶
۱۴	Y_F, L, KM_F	-۱/۰۳۹۲ (-۲/۵۲)	۷/۲۵ (۳/۳۸)	۰/۸۸۹ (۴/۷۶)	۰/۸۸	۱/۶۱	۲۷/۸	۱۶
۱۵	Y_F, W_F, KM_F	-۸۶۰۶۳ (-۲/۱۷)	۸ (۲/۹۷)	۰/۷۸ (۲/۲۴)	۰/۷۷	۱/۵۹	۲۰/۶۲	۱۵

توضیحات:

- ۱- ارقام پرانتز مربوط به آزمون t استیوننت است.
- ۲- نتایج معادلاتی که با علامت * مشخص شده‌اند پس از رفع خودهمبستگی با روش آتورگرسیو Autoregressive مرتبه اول آورده شده است.
- ۳- R^2 ضریب تعیین، D.W آزمون دورین واتسون و F آزمون فیشر و n تعداد مشاهدات را نشان می‌دهد.

تابع تولید کابداگلاس مقید ($\alpha + \beta = 1$)

نتایج تخمین تابع تولید کابداگلاس مقید زیر در جدول ۶ آورده شده است.

$$\ln \frac{Q}{L} = A_0 + (1-\alpha) \ln \frac{K}{L} = A_0 + \beta \ln \frac{K}{L} \Rightarrow \ln \left(\frac{Q}{L} \right) = A_0 + \beta \ln \left(\frac{K}{L} \right)$$

در این جدول فقط توابعی ذکر گردیده که به لحاظ معیارهای آماری پذیرفته شده‌اند.

جدول ۶: نتایج تابع کاب داگلاس (C.D.) مقید ($\alpha+\beta=1$)

ردیف	متغیرها	$\ln A_0$	α	β	R^2	D.W	$\sum e_i^2$	F	n
۱	LQLKMN _N L	۱.۶۸ (۳.۸)	۰.۸۱	۰.۱۹ (۱.۱۹۷)	۰.۵۱	۱.۴۵	۱.۹۰۶	۶.۲۱	۱۵
۲	LY _F LLK _N L	-۳.۹۷ (-۶.۱۶)	۰.۸۴	۰.۱۶ (۱.۱۶۵)	۰.۸۵	۱.۴۵	۳.۶۱	۸.۱۱	۱۶
۳*	LY _F LLKMW _F	-۳.۳۲ (-۳.۴۶)	۰.۷۲	۰.۲۸ (۱.۲۶۹)	۰.۸۷	۱.۶۹	۲.۸۸	۳۹.۵	۱۵
۴	LY _N W _F LK _N W _F	-۴.۰ (-۲.۱۱)	۰.۷۳	۰.۲۷ (۱.۱۲۲)	۰.۸۷	۱.۴۷	۳.۴۹	۵۶.۶	۱۵
۵*	LY _F L.LK _N W _F	۲.۷۳ (۱.۱۸۹)	۰.۳۳	۰.۶۷ (۳.۱۰۶)	۰.۸۱	۱.۶	۳.۷۵	۱۸.۸	۱۴
۶	LY _F LLKMN _N W _F	-۳.۵۸ (-۴.۳)	۰.۷۱	۰.۲۹ (۱.۳۱)	۰.۷۵	۱.۴۲	۶.۵۴	۳.۹۸	۱۵
۷*	LY _F L.LKMN _N W _F	-۲.۶۶ (-۱.۸۲)	۰.۲۶	۰.۷۴ (۳.۲۴)	۰.۷۷	۱.۵۶	۳.۶۶	۱۶.۳	۱۴

توضیحات:

۱. برآه داخلی برانتر مربوط به آزمون t استیوونت است.
۲. نتایج معادلاتی که با علامت # مشخص شده است پس از رفع خود همبستگی به روش اتورگرسیون Autoregressive مرتبه اول آورده شده است.
۳. در معادلات فوق R^2 ضریب تعیین، D.W. آزمون دورین و اتسون، $\sum e_i^2$ مجموع مربعات خطا در رگرسیون مقید، F آزمون فیشر و n تعداد مشاهدات است.
۴. حرف L در ابتدای متغیرهای فوق نشان دهنده لگاریتم طبیعی (Ln) آن متغیر است.
۵. در جدول فوق LQL = لگاریتم حجم تولیدات سرانه، LKM_NL = لگاریتم سرمایه سرانه در ماشین‌آلات و تجهیزات به قیمت جاری، LY_FL = لگاریتم ارزش تولیدات سرانه، LK_NL = لگاریتم سرمایه کل سرانه به قیمت جاری، LKM_NW_F = لگاریتم نسبت سرمایه گذاری در ماشین‌آلات و تجهیزات به قیمت جاری به کل دستمزد به قیمت ثابت، LY_NW_F = لگاریتم نسبت ارزش تولیدات به قیمت جاری به کل دستمزد به قیمت ثابت، LK_NW_F = لگاریتم نسبت کل سرمایه به قیمت اسمی به کل دستمزد به قیمت ثابت، LY_FL = لگاریتم ارزش تولیدات سرانه به قیمت ثابت است.

چنانچه معیار اقتصادی را لحاظ کنیم، توابع زیر به عنوان تابع کاب داگلاس مقید ($\alpha + \beta = 1$) انتخاب می شود.

$$LQL = \frac{1}{68} + \frac{0.19}{(1/97)} LKM_N L$$

$$\bar{R}^2 = 0.81 \quad D.W. = 1/45 \quad \Sigma e_r^2 = 0.906 \quad n = 15$$

$$LY_N W_F = \frac{-4/0.05}{(-5/11)} + \frac{0.87}{(7/5)} LK_N W_N$$

$$\bar{R}^2 = 0.81 \quad D.W. = 1/47 \quad \Sigma e_r^2 = 3/49 \quad n = 15$$

تابع تولید کاب داگلاس غیرمقید

نتایج تابع کاب داگلاس غیر مقید نیز برآورد گردیده که پس از اعمال کردن معیارهای آماری و اقتصادی تابع زیر انتخاب شده است:

$$LY_F = \frac{-5/25}{(-2/44)} + \frac{1/44}{(3/45)} LW_F + \frac{0.48}{(2/22)} LKM_F$$

$$\bar{R}^2 = 0.8 \quad D.W. = 1/93 \quad \Sigma e_{ur}^2 = 1/7 \quad n = 15$$

$$Ly_N = \frac{-11/95}{(-4/55)} + \frac{1/6}{(3/3)} LW_F + \frac{0.66}{(5/9)} LK_N$$

$$\bar{R}^2 = 0.93 \quad D.W. = 2/0.5 \quad \Sigma e_{ur}^2 = 1/93 \quad n = 15$$

به لحاظ معنادار بودن رگرسیون مقید از طریق آزمون فیشر می توان با استفاده از فرمول زیر کل رگرسیون را آزمون کرد:

$$F = \frac{\frac{\Sigma e_r^2 - \Sigma e_{ur}^2}{m}}{\frac{\Sigma e_{ur}^2}{n-k}} = \frac{\frac{3/49 - 1/93}{1}}{\frac{1/93}{15-3}} = \frac{1/56}{0.16} = 9/7$$

با توجه به F محاسباتی و F جدول در سطح احتمال ۹۹ درصد بازدهی نسبت به مقیاس ثابت رد می شود. بنابراین، تابع تولید کاب داگلاس مقید برای این کارخانه مناسب نیست و چنانچه قرار باشد تابع

تولید کاب داگلاس استفاده شود، تابع مورد نظر باید از نوع غیر مقید باشد و لذا تابع زیر پیشنهاد می‌شود.

$$Ly_F = -5/25 + 1/44 LW_F + 0/48 LKM_F$$

$$(-2/45) \quad (3/45) \quad (2/22)$$

$$R^2 = 0/8 \quad D.W. = 1/93$$

تابع تولید با کشش جانشینی ثابت C.E.S.

در تابع تولید که فرم تابع عمومی آن به شکل زیر است:

$$Q = A [\alpha K^{-\rho} + (1-\alpha) L^{-\rho}]^{-1/\rho} e^u$$

Q ستانده، L نیروی کار، و K سرمایه است. همچنین A ضریب تغییرات تکنولوژی، α پارامتر توزیع، ρ پارامتر جانشینی و ν درجه بازدهی نسبت به مقیاس است. u نیز جمله اخلاص مدل رگرسیون است. از آنجاییکه تابع فوق غیر خطی، محسوب می‌شود از تقریب کم‌تنا^(۱) برای خطی کردن استفاده می‌کنیم و تابع به شکل زیر در می‌آید:

$$\ln Q = \ln A + \nu \alpha \ln K + \nu (1-\alpha) \ln L - \frac{1}{\rho} \nu \rho \alpha (1-\alpha) [\ln (K/L)]^2 + u$$

حال با توجه به مدل فوق و اطلاعات موجود، حالت‌های مختلف در نظر گرفته شده تابع تولید زیر به لحاظ اقتصادی و آماری مورد تأیید قرار گرفت:

$$\ln Y_N = -24/0.2 + 0/76 LW_F + 3/2 LK_F - 0/59 LK_F L2$$

$$(-10/5) \quad (1/83) \quad (7/38) \quad (-5/27)$$

$$\bar{R}^2 = 0/96 \quad D.W. = 2/24 \quad F = 110 \quad n = 15$$

با توجه به مدل اصلی، پارامترهای مدل به شرح زیر قابل محاسبه است:

$$\begin{cases} \nu \alpha = 3/2 \\ \nu (1-\alpha) = 0/76 \\ -\frac{1}{\rho} \nu \rho \alpha (1-\alpha) = -0/59 \end{cases}$$

درجه همگنی $\nu = 3/96$

$$\sigma = \frac{1}{1+\rho} = \frac{1}{2/94} = 0/34 \quad \text{کشش جانشینی} \quad \rho = 1/94 \quad \text{پارامتر جانشینی}$$

1. J. Kmenta, "On Estimation of The C.E.S. Production Function", International Economic Review, Vol 8, No 2, June, 1967.

$$\alpha = 0/81 \quad \beta = 0/19 \quad 1-\alpha = \beta = 0/19$$

ضرایب α, β که ضرایب سرمایه و نیروی کار را مشخص می‌کنند در واقع بیانگر نوع تکنولوژی مورد استفاده‌اند. با توجه به اینکه ضریب عامل سرمایه در این مدل $0/81$ به دست آمده، تکنولوژی مورد استفاده در این کارخانه کاملاً سرمایه‌بر است. به علاوه ضریب عامل نیروی انسانی که در رابطه اخیر $0/19$ محاسبه شده نشانگر سهم ناچیز نیروی انسانی در تولید است. در نتیجه، به منظور دستیابی به تولید بیشتر سهم قابل توجهی به سرمایه اختصاص داده می‌شود. در تابع فوق $\nu = 3/96$ به دست آمده که درجه همگنی تابع را مشخص می‌سازد و چون از ۱ بزرگتر است نشان دهنده بازدهی صعودی نسبت به مقیاس است و با افزایش عوامل تولید درصد افزایش تولید بیشتر از درصد افزایش عوامل تولید است.

کشش جانشینی بین عامل کار و سرمایه در ایرالکو عدد $0/34$ به دست آمده که نشان می‌دهد در این کارخانه جابه‌جایی بین عوامل تولید بسیار ناچیز است و تحرک کمی بین این دو عامل وجود دارد و به راحتی نمی‌توان سرمایه و کار را جانشین یکدیگر کرد. البته هر چه مقدار این کشش بیشتر محاسبه می‌شد، مطلوبتر بود.

نتیجه‌گیری و سیاستهای مورد توصیه

۱. نوسانات نسبتاً زیادی طی سالهای فعالیت کارخانه در تولید و بهره‌وری به وقوع پیوسته آنها را که آن را می‌توان به پنج دوره تقسیم‌بندی کرد. دوره اول سالهای ۱۳۵۱ تا ۱۳۵۳ که به عنوان سالهای راه‌اندازی شناخته شده که تولید از ۱۰ هزار تن شروع شده و به ۴۵ هزار تن در سال رسیده است و به دلیل سالهای اولیه فعالیت چنین چیزی امری طبیعی در هر کارخانه است. دوره دوم سالهای ۱۳۵۳ تا ۱۳۵۸ است که به علت زیاندهی کارخانه و وقوع انقلاب اسلامی، بهره‌وری و تولید کاهش داشته و یکی از دلایل عقب‌نشینی شریکهای خارجی (امریکا و پاکستان) طی این دوره زیاندهی کارخانه بوده است. دوره سوم سالهای ۱۳۵۸ تا ۱۳۶۳ است که به علت نیاز به تولید در داخل و باور به توان تولیدی کشور، تولید افزایش یافته و رقم تولید واقعی به تولید اسمی کارخانه نزدیک شده است. سالهای ۱۳۶۴ تا ۱۳۶۷ را که می‌توان دوره چهارم نوسان نامگذاری کرد دوران کاهش در تولید است که دلیل آن را می‌توان تحریم اقتصادی و تنگناهای ارزی در کشور بوده و بهره‌وری نیروی انسانی در این دوره در پایین‌ترین سطح خود قرار داشته است. دوره پنجم سالهای ۱۳۶۸ تا ۱۳۷۲ بوده که به دلیل برطرف شدن موانع ارزی و راه‌اندازی خطوط تولید جدید، سطح تولید شدیداً افزایش یافته و با افزایش به نسبت کمی که در تعداد پرسنل داده شده، بهره‌وری نیروی انسانی توانسته به سطح بهره‌وری سال ۱۳۵۳ نزدیک

شود، به طوری که بالاترین سطح بهره‌وری نیروی انسانی در پس از انقلاب اسلامی را در سال ۱۳۷۲ شاهد هستیم. در مجموع در سالهای بعد از انقلاب اسلامی در سالهایی که مشکل برونزا بر کارخانه عارض شده، از عوامل تولید به صورت صحیح استفاده نشده و با برطرف شدن مشکل کارخانه توانسته است به سطح تولید اسمی نزدیک شود.

۲. نفر - ساعت استفاده شده به ازای هر تن آلومینیوم نشان می‌دهد که در سالهای اخیر گامهای مثبتی در جهت بهبود بهره‌وری برداشته شده است و با افزایش به نسبت کمی که در تعداد پرسنل داده شده، تولید به شکل قابل ملاحظه‌ای رشد داشته است، به گونه‌ای که نفر - ساعت استفاده شده به ازای هر تن آلومینیوم حیا در سال ۱۳۶۷، ۲۲۰ نفر ساعت بوده، در حالی که در سال ۱۳۷۲ به رقم ۶۵ نفر - ساعت رسیده که کمترین مقدار نفر - ساعت استفاده شده پس از انقلاب اسلامی است.

۳. از مقایسه بهره‌وری نیروی انسانی شرکت آلومینیوم ایران، صنایع فلزات اساسی استان مرکزی، صنایع فلزات اساسی کل کشور و کل صنایع کشور مشخص شد که صنایع فلزات اساسی در کل کشور در وضعیت بهتری نسبت به کل صنایع کشور دارد و همچنین صنایع فلزات اساسی استان مرکزی در رده دوم و شرکت آلومینیوم ایران در رده اول قرار دارد. در کل صنایع فلزات اساسی با تمام توانی که در ایجاد ارزش افزوده در کشور دارد، شدیداً تحت تأثیر عوامل برونزا است و عواملی همچون جنگ، تحریم اقتصادی، تأمین ارز در سطح بهره‌وری آن نقش بسزایی دارد در سالهایی که مشکل خاصی وجود نداشته، صنایع و به طور خاص فلزات اساسی توانسته است از پرسنل بهره کافی را ببرد و از عوامل تولید به نحو بهتر استفاده کنند.

۴. با توجه به اهداف برنامه پنجساله دوم که قرار است تولید آلومینیوم کشور تا پایان برنامه به مرز ۳۳۰ هزار تن در سال برسد، صادرات آلومینیوم امری اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. اگر قرار است این محصول صادر شود باید قدرت رقابت با قیمتهای جهانی را داشته باشد. هرچند در حال حاضر به دلیل حمایت‌های دولت مانند پرداخت یارانه انرژی و دستمزدهای پایین - نسبت به سطح بین‌المللی - تولید آن در کشور مقرون به صرفه است، ولی اگر دستمزد به سطح متعارف بین‌المللی برسد و یارانه دولتی انرژی نیز قطع شود، آنگاه قدرت رقابت از دست خواهد رفت. با توجه به اینکه سهم قابل توجهی از قیمت تمام شده محصول نهایی را مواد اولیه نظیر آلومینا به خود اختصاص می‌دهد که آن نیز وارداتی است، باید به گونه‌ای این صنعت را از وابستگی نجات دهیم و تولید آلومینا در داخل مورد توجه بیشتر قرار گیرد.

۵. از بحث تابع تولید در کارخانه آلومینیوم ایران مشخص شد که تولیدات این کارخانه با توجه به عوامل به کار گرفته شده در ناحیه بازدهی صعودی نسبت به مقیاس قرار دارد و باید در بلندمدت

- با افزایش دادن عوامل، تولید در منطقه اقتصادی (منطقه II) انجام پذیرد.
- همچنین از بحث فوق نتیجه شد که جانشینی بین عوامل تولید (کار و سرمایه) در حد بسیار پایینی قرار دارد و با عنایت به اینکه سهم سرمایه در تولید بسیار قابل توجه‌تر از نیروی انسانی است، برای توسعه کارخانه پیش‌بینی منابع سرمایه‌ای از اهمیت بیشتری برخوردار است.
۶. تعداد پرسنل کارخانه همواره در حال افزایش بوده و با توجه به سطح تولید تعیین نشده است. به علاوه تعداد پرسنل نیز تغییر نکرده و در دوره‌هایی که مشکل برونزا بر کارخانه عارض شده و کاهش تولید وجود داشته، تعداد پرسنل کاهش نیافته که این امر از مقررات قانون کار و نوع استخدام کارگران ناشی شده است.
۷. از اقدامات مهم دیگری که در سالهای اخیر به آن توجه شده و در بهبود بهره‌وری و تنوع تولیدات کارخانه نقش بسزایی داشته و دارد، ایجاد واحد تحقیق و توسعه (R&D) است که در سال ۱۳۷۱ آغاز به کار کرده است. با راه‌اندازی این واحد، تحقیقات عمده‌ای به منظور کاهش انواع آلودگی در دست انجام است.
۸. با توجه به اینکه تولید در کارخانه ایرالکو در منطقه اقتصادی انجام نمی‌گیرد، در طرح توسعه کارخانه باید از تکنولوژی جدیدتر استفاده شده، و از توسعه به روش قدیمی خودداری شود و موارد زیر در طرح توسعه آن لحاظ گردد:
- استفاده از دیگهای بزرگتر،
 - بالا بردن شدت جریان به دلیل بزرگ شدن دیگ،
 - استفاده از دیگهای با درپوش به جای دیگهای روباز،
 - به کارگیری روشهای اتوماسیون در زمینه‌های کنترل ولتاژ برق، بازدهی و کنترل سایر عوامل داخلی دیگ،
 - استفاده از روشهای کنترل محیط زیست و سایر عوامل مرتبط با امر احیا.
۹. با توجه به نقش دستمزد در افزایش بهره‌وری در ایرالکو، باید با ایجاد انگیزه‌هایی نظیر افزایش دستمزد یا سهام کردن کارکنان و مشارکت دادن آنان در کارخانه موجب افزایش در بهره‌وری در کارخانه ایرالکو شویم.

فهرست منابع و مآخذ

۱. ابریشمی، حمید - مبانی اقتصادسنجی ۱ - جلد اول - دانشگاه تهران - ۱۳۷۰
۲. افخمی ستوده، حمیدرضا - «ارزیابی اقتصادی طرح تولید آلومینا از سنگ بوکسیت در منطقه جاجرم» - پایان‌نامه کارشناسی ارشد - دانشکده علوم اقتصادی - دانشگاه علامه طباطبایی - ۱۳۷۳.
۳. اقدسی، دکتر محمد - وکیلی، بهمن - عوامل مؤثر در پائین بودن بهره‌وری - مجله زمینه - سال دوم - شماره ۱۴ - مرداد ۱۳۷۱.
۴. اقدسی، دکتر محمد - وکیلی، بهمن - عوامل مؤثر در پائین بودن بهره‌وری - مجله زمینه - سال دوم - شماره ۱۴ - مرداد ۱۳۷۱.
۵. ایریتک، شرکت بین‌المللی مهندسی ایران - گزارش طرح توسعه آلومینیوم اراک (نقش برق و اثرات اقتصادی آن در صنعت آلومینیوم ایران و جهان) - دیماه ۱۳۶۶.
۶. بانک مرکزی ایران - گزارش اقتصادی و ترازنامه بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران ۱ - سالهای ۱۳۵۰ تا ۱۳۷۲.
۷. پورسیف، عباس، چگونه بهره‌وری نیروی انسانی بهبود می‌یابد؟ - مجله زمینه سال سوم - شماره ۲۲ - اردیبهشت ۷۲
۸. پورقریان، محمدرضا - اندازه‌گیری بهره‌وری مدل بهره‌وری کل - مطالعه موردی اندازه‌گیری بهره‌وری در شرکت نکاء چوب - پایان‌نامه کارشناسی ارشد - دانشکده علوم اقتصادی - دانشگاه علامه طباطبایی ۱۳۷۱.
۹. جورج شن، اندازه‌گیری بهره‌وری، ترجمه شده در معاونت اقتصادی و برنامه‌ریزی بنیاد مستضعفان و جانبازان - بنیاد مستضعفان و جانبازان - آبان ۱۳۷۲.
۱۰. خبازان، مرحومه فاطمه - بررسی توابع تولید در برخی از صنایع ایران - پایان‌نامه کارشناسی ارشد - دانشگاه تربیت مدرس - ۱۳۶۹.
۱۱. دانش جعفری، داود - مقایسه عملکرد بنگاههای دولتی و خصوصی با توجه به مورد ایران ۱ - پایان‌نامه کارشناسی ارشد - دانشکده اقتصاد - دانشگاه تهران - ۱۳۷۱.
۱۲. رستگاری، فریدون - بهره‌وری ۱ - مؤسسه کار و تأمین اجتماعی - ۱۳۵۴.
۱۳. روشناس، قاسم، ارزیابی اقتصادی طرح احداث صنعت ذوب آلومینیوم در ایران با هدف صادرات - پایان‌نامه کارشناسی ارشد - دانشکده علوم اقتصادی - دانشگاه علامه طباطبایی - ۱۳۷۳.

۱۴. سلیمی، دکتر محمدحسین - «کلید موفقیت رقابتی ژاپن - کایزن» - (ترجمه) - دانشگاه امیرکبیر - تهران - ۱۳۷۲
۱۵. شرکت سهامی آلومینیوم ایران - «تولید آلومینیوم» - منتشر نشده.
۱۶. شرکت سهامی آلومینیوم ایران، «گزارش هیئت مدیره مجتمع عمومی عادی صاحبان سهام» - سالهای مالی ۱۳۷۰، ۱۳۷۱ و ۱۳۷۲.
۱۷. شرکت مطالعاتی طرحهای جامع فلزات ایران - «بررسی اجمالی وضعیت جهانی آلومینیوم (مصرف الکتریسته و هزینه تولید این صنعت)» - شهریور ۱۳۷۲.
۱۸. شرکت مطالعاتی طرحهای جامع فلزات ایران - «بررسی وضعیت تجارت، عرضه و تقاضای آلومینیوم در جهان» - شهریور ۱۳۷۱.
۱۹. شرکت مهندسی و تحقیقاتی فلزات - «تحلیل عملکرد سال ۱۳۷۰ بخش فلزات غیرآهنی».
۲۰. شریفی، محمود - «بهره‌وری کار، سهم‌کار و سهم سرمایه در صنایع کوچک و بزرگ» - سازمان برنامه و بودجه استان اصفهان - بهمن ۱۳۶۴.
۲۱. طهماسبی، دکتر اردشیر - «آلومینیوم» - جامعه ریخته‌گران - چاپ اول - اردیبهشت ۱۳۶۴.
۲۲. طهماسبی، دکتر اردشیر - «عملیات کارگاهی آلومینیوم» - (ترجمه) - مرکز نشر دانشگاهی - چاپ اول - ۱۳۶۷.
۲۳. عرب مازار، دکتر عباس - اقتصادسنجی کاربردی - (ترجمه) - دانشگاه شهید بهشتی - ۱۳۷۰.
۲۴. فشنگچی، کوروش - «مدیریت بار در صنایع تولید آلومینیوم» - مرکز تحقیقات نیرو - بخش برق - تابستان ۱۳۷۳.
۲۵. مدیریت آمارهای ساختمان و مسکن مرکز آمار ایران - «بررسی آمار صنعت آلومینیوم در ایران»
۲۶. مرکز آمار ایران - «آمار کارگاههای بزرگ صنعتی کشور» - سالهای ۱۳۵۸ تا ۱۳۶۵.
۲۷. مرکز آمار ایران - «آمار کارگاههای بزرگ صنعتی کشور» - سالهای ۱۳۶۶ تا ۱۳۷۲.
۲۸. مرکز پژوهش و خدمات مهندسی ایرالکو - «آشنائی با شرکت سهامی آلومینیوم ایران» - وزارت معادن و فلزات - منتشر نشده.
۲۹. مرکز تحقیقات نیرو (متن) - «مدیریت بار در صنعت تولید آلومینیوم صنعتی» - مرکز تحقیقات نیرو - ۱۳۷۳.
۳۰. معاونت طرح و برنامه وزارت معاون و فلزات - «اطلاعات واحدهای در حال بهره‌برداری (بخش صنعت) گروه آلومینیوم» - ۱۳۷۱.

۳۱. مؤسسه تحقیقات اقتصادی دانشگاه تربیت مدرس - «تحلیلی پیرامون بازدهی نیروی انسانی در صنایع مختلف استان مرکزی - وزارت امور اقتصادی و دارایی - معاونت امور اقتصادی - تهران - ۱۳۷۲»
۳۲. نجاری مقدم، احمد - «بررسی راههای ارتقاء بهره‌وری نیروی کار در بخش صنعت» - پایان‌نامه کارشناسی ارشد - دانشکده اقتصاد - دانشگاه تهران.
۳۳. وزارت صنایع سنگین - ضمیمه شماره ۶ نشریه صنعت سنگین - خرداد ۱۳۷۲.
۳۴. وزارت صنایع سنگین - «مجموعه بهره‌وری» - نشریه شماره ۵۰۴، ۳۰۲، ۱ و ۶ - وزارت صنایع سنگین - معاونت تحقیق و آموزش - ۱۳۷۱ و ۱۳۷۲
۳۵. وزارت معادن و فلزات - «برآورد قیمت جهانی آلومینیوم در پایان قرن بیستم طرح تولید آلومینا از منابع داخلی» - فروردین - ۱۳۶۸.
۳۶. وکیلی، بهمن - «نقش و اهمیت بهره‌وری و راههای ارتقاء آن» - مجله اطلاعات سیاسی و اقتصادی - شماره ۵۱ و ۵۲ زمستان - ۱۳۷۰.
۳۷. همایی ایبانه، محمدرضا - «بررسی بهره‌وری نیروی کار در ماشین‌سازی اراک و ماشین‌سازی تبریز» - پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده اقتصاد - دانشگاه تهران - زمستان ۱۳۷۲.
۳۸. هرور شجاعی - «بهره‌وری کار» - مؤسسه کار و تأمین اجتماعی - نشریه شماره ۴.
۳۹. «استراتژی بهره‌وری چشم‌انداز بین‌المللی» ترجمه و تنظیم، معاونت اقتصادی و برنامه‌ریزی بنیاد مستضعفان و جانبازان انقلاب اسلامی. ناشر بنیاد مستضعفان و جانبازان انقلاب اسلامی - تهران - ۱۳۷۲
۴۰. «بازار جهانی آلومینیوم» - مؤسسه مطالعات و پژوهشهای بازرگانی - ۱۳۷۰.
۴۱. «گزارش سمینار آموزشی بهره‌وری».
۴۲. «مجموعه مقالات اولین کنگره بهره‌وری و مهندسی صنایع (خرداد ۱۳۷۱)» - مرکز تحقیقات مهندسی صنایع و بهره‌وری - نشر بصیر - ۱۳۷۲
43. Branson William H. "Macroeconomic theory and Policy", Third Edition, Harper & Row, Publishers, New York, 1989.
44. Bronislaw, Minc, "Problems in the Measuring and Analysis of labor Productivity" labor Prouctivity Dunlop and DATCHENKO.