

ارزیابی و محاسبه بهره‌وری گروه‌های صنعتی در افق ۱۴۰۴ با رویکرد پویای‌شناسی سیستمی

احمد رجبی^{۱*}، محمد هاشم موسوی حقیقی^۲

۱- دانشجوی دکتری مدیریت سیستم‌ها، دانشکده اقتصاد و مدیریت دانشگاه شیراز، شیراز، فارس، ایران
۲- استادیار مؤسسه تحقیقات جهاد کشاورزی، شیراز، فارس، ایران

پذیرش: ۹۲/۱/۲۱

دریافت: ۹۱/۵/۲۸

چکیده

در این مقاله با استفاده از روش پویای‌شناسی سیستمی، بهره‌وری گروه‌های صنعتی در افق ۱۴۰۴ ارزیابی شده است. برای این منظور نخست با توجه به رفتارشناسی متغیرهای مؤثر و داده‌های آماری سال ۱۳۸۰ الی ۱۳۸۸، الگوی سیستمی محاسبه بهره‌وری طراحی و تا افق ۱۴۰۴ شبیه‌سازی شد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که بهره‌وری کل عوامل تولید و بهره‌وری انرژی در بخش صنعت از سال ۱۳۸۹ تا پایان سال ۱۳۹۶ به دلیل اجرای طرح هدفمندی حامل‌های انرژی و افزایش قیمت نهاده‌ها، همواره با نرخ نزولی مواجه خواهد بود، اما از پایان سال ۱۳۹۶ شروع به رشد کرده و تا پایان سال ۱۴۰۴ همواره افزایش خواهد یافت. همچنین روند بهره‌وری نیروی انسانی نسبت به عامل سرمایه و انرژی از ثبات بیشتری برخوردار بوده و نوسان‌های کمتری خواهد داشت. با توجه به نقش بهره‌وری عوامل تولید در ارزش افزوده، بررسی سیاست‌های مختلف تغییر نرخ بهره‌وری نشان داد، با افزایش سالیانه ۱ درصد بهره‌وری عوامل تولید، ارزش افزوده بخش صنعت در افق ۱۴۰۴ نسبت به سال پایه (۱۳۸۰) ۳/۵ برابر افزایش پیدا خواهد کرد که این نتایج اطلاعات مناسبی را برای تصمیم‌گیران این بخش جهت ارتقا و افزایش بهره‌وری در برنامه‌ریزی‌های آینده ایجاد می‌کند.

کلیدواژه‌ها: پویای‌شناسی سیستمی، بهره‌وری عوامل تولید، گروه‌های صنعتی.



۱- مقدمه

امروزه ضرورت توسعه اقتصادی برای کشورهای در حال توسعه در شرایطی که شکاف بین این کشورها و کشورهای صنعتی روز به روز در حال افزایش است، بسیار مهم می‌باشد. یکی از عوامل مؤثر بر توسعه نیافتگی کشورهای جهان سوم نسبت به کشورهای پیشرفته، سطح پایین بهره‌وری عوامل تولید و عدم استفاده بهینه از نهاده‌ها می‌باشد [۱]. در کشور ما علی‌رغم دسترسی به منابع متعدد، وضعیت بهره‌وری در بخش‌های مختلف به خصوص در بخش صنعت چندان مطلوب نبوده است [۲، ص ۱۵]. بنابراین برای دستیابی به توسعه اقتصادی پایدار، استفاده مناسب از عوامل تولید و برنامه‌ریزی برای افزایش بهره‌وری در شرایطی که اقتصاد کشور با محدودیت عوامل تولید مواجه است، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. حصول به این هدف مستلزم سنجش صحیح بهره‌وری عوامل تولید و ارائه راهکارهای مطلوب برای افزایش آن می‌باشد.

همزمان با افزایش اهمیت بهره‌وری، روش‌های اندازه‌گیری آن نیز دستخوش تغییرات زیادی شده است و الگوهای متعددی برای محاسبه آن ارائه شده است. بیشتر روش‌های موجود به‌طور عمده بر مبنای کاربرد یک یا چند رابطه ساختاری از متغیرهای قابل شناخت و بر پایه الگوهای اقتصادسنجی می‌باشد. اما باید توجه داشت که آثار بهره‌وری صرفاً به متغیرهای قابل شناخت کمی محدود نمی‌شود بلکه برای درک درست و منطقی از آثار آن، باید با نگاه جامع و اتخاذ دیدگاه سیستمی به بررسی ابعاد مختلف این موضوع پرداخت. برای این منظور استفاده از روش پویایی‌شناسی سیستم می‌تواند در شناخت و تبیین روابط متغیرهای مؤثر در محاسبه بهره‌وری بسیار مهم و اثرگذار باشد. این روش برحسب روابط علت معلولی، ارتباط بین متغیرها را در قالب یک الگوی پویا بسط می‌دهد؛ به این معنا که موضوع به‌صورت یک الگوی رفتاری قابل شناخت در طی زمان آشکار شود تا بر این اساس بتوان در آینده نسبت به پیش‌بینی رفتار آن اقدام کرد [۳، صص ۲۵-۳۰]. در این مقاله با توجه به اهمیت موضوع بهره‌وری در بخش صنعت، از روش پویایی‌شناسی سیستمی برای سنجش و ارزیابی بهره‌وری عوامل تولید بخش صنعت در افق ۱۴۰۴ استفاده می‌شود.

۲- پیشینه موضوع

با توجه به نقش و جایگاه بهره‌وری در فرایند توسعه اقتصادی، الگوهای سنجش بهره‌وری طی چند دهه اخیر تغییرات زیادی کرده است و روش‌های زیادی از جمله برنامه‌ریزی ریاضی، الگوهای اقتصادسنجی و... برای ارزیابی و سنجش آن مطرح شده است [۴]. از نظر عملکرد، روش‌های محاسبه بهره‌وری به روش‌های پویا و ایستا تقسیم می‌شوند. سابقه روش‌های ایستا به‌طور عمده به مطالعات دبرو^۱، کوپمن^۲ و فارل^۳ در سال ۱۹۵۷ بر می‌گردد [۵، صص ۲۵۳-۲۸۱]. فارل روش DEA^۴ را- که یکی از روش‌های ناپارامتریک سنجش بهره‌وری است- معرفی کرد. بعد از آن دانشمندان دیگری در توسعه کاربردهای این روش نقش داشته‌اند، در این میان نقش بانکر، چارنز و کوپر^۵ نسبت به دیگران برجسته‌تر می‌باشد [۶، صص ۴۲۹-۴۴۴]. در حال حاضر با توجه به توانایی‌های این روش‌ها در مدل‌سازی مسائل واقعی، از این الگوها نیز در محاسبه و ارزیابی بهره‌وری بخش صنعت استفاده می‌شود. از جمله مطالعه مربوط به کوپر، کومباکار، سوبا و روبرت^۷ [۷] که بهره‌وری عوامل تولید صنایع کشور چین در بعد و قبل از تحولات اقتصادی (از سال ۱۹۶۶ تا سال ۱۹۹۸) را با استفاده از روش DEA مورد بررسی قرار دادند. چن^۸ نیز با استفاده از روش DEA و شاخص مالم کوئیست بهره‌وری صنایع کشور تایوان در طول سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۱ را محاسبه کرد [۸]. همچنین الساری^۹ بهره‌وری سرمایه، نیروی انسانی و انرژی صنایع کشور اردن در طول سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۷ با استفاده از روش DEA تخمین زد [۹]. نتایج این تحقیق نشان داد که بهره‌وری صنایع این کشور در طول دوره مورد بررسی دارای روند افزایشی بوده است.

در بین روش‌های ناپارامتریک محاسبه بهره‌وری، مطالعه مربوط به فانک و راهن^{۱۰} نسبت به سایر مطالعات برجسته‌تر می‌باشد. در این مطالعه بهره‌وری عوامل تولید در کشور آلمان با استفاده از روش مرزی تصادفی (SFA)^{۱۱} و تابع تولید کاب داگلاس در سال‌های ۱۹۹۴ الی ۱۹۹۸ مورد بررسی قرار گرفته است. این مطالعه تغییرات بهره‌وری در صنایع این کشور را به نوع تکنولوژی، کیفیت نیروی کار و ساختار مالکیت نسبت می‌دهد. همچنین عثمان^{۱۱} بهره‌وری انرژی، نیروی انسانی و سرمایه در صنایع کشور کامرون را با استفاده از روش مرزی تصادفی و روش



حداکثر راست‌نمایی در قبل و بعد از دوران اصلاحات اقتصادی در این کشور را مورد بررسی قرار داد [۱۱]. نتایج این مطالعه نشان داد که بهره‌وری فنی صنایع این کشور بعد از دوران اصلاحات اقتصادی همواره رو به افزایش بوده است.

با توجه به اینکه روش‌های معرفی شده، بهره‌وری را بر اساس الگوی ایستا و بدون توجه به فرایند بازخورد و تغییرات ایجاد شده محاسبه می‌کنند، نتایج آن در تصمیم‌گیری سازمانی چندان مؤثر نمی‌باشد. برای این منظور استفاده از روش سنجش پویای بهره‌وری به وسیله محققان مختلفی از جمله شپارد و فار^{۱۱} [۱۲]، هاگمن^{۱۳} [۱۳]، گراسکف و رز^{۱۴} [۱۳]، سین گوپتا^{۱۵} [۱۴]، وانگ و هانگ^{۱۶} [۱۵] مورد توجه قرار گرفت. اما این موضوع به طور عمده توسط استفانو^{۱۷} [۱۶] مطرح شد. ونمن و ترانتیس^{۱۸} [۱۷] نیز برای ارزیابی عملکرد، مدل پویای بهره‌وری را توسعه دادند آنها معتقد بودند با استفاده از مدل پویای بهره‌وری و شناخت رفتار این متغیرها، عملکرد سازمانی را بهتر می‌توان پیش‌بینی کرد. این دو محقق برای مقایسه بهره‌وری روش‌های ایستا با روش‌های پویا، نخست از روش DEA و تابع تولید کاب داگلاس^{۱۹} میزان بهره‌وری را صنایع تولید برق محاسبه کردند، سپس نتایج آن را با روش پویای بهره‌وری مقایسه نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که روش پویا ضمن ارائه اطلاعات بیشتر، نتایج دقیق‌تری را برای محاسبه بهره‌وری ارائه می‌کند [۱۸].

باروس^{۲۰} [۱۹] بهره‌وری صنایع را در کشورهای آنگولا، موزامبیک و نیجریه با استفاده از روش‌های ایستا و پویا مورد بررسی قرار داده است. او ضمن مقایسه نتایج بهره‌وری صنایع در این کشورها به این نتیجه‌گیری می‌رسد که روش‌های پویا نسبت به ایستا اطلاعات دقیق‌تری را فراهم می‌کنند. در جدول ۱ خلاصه مطالعات انجام شده در حوزه روش‌های محاسبه بهره‌وری نشان داده شده است.

جدول ۱ مطالعات انجام شده در حوزه روش‌های محاسبه بهره‌وری

ردیف	نام محققان	سال	زمینه مطالعات انجام شده
۱	ساملسون	۱۹۴۷	ارائه الگوی منعطف ارزیابی عملکرد برحسب تغییرات دوره زمانی
۲	فارل	۱۹۵۷	معرفی روش‌های محاسبه بهره‌وری جزئی و ارائه الگوی محاسبه بهره‌وری بر اساس متغیرهای ساختاری در بنگاه‌های تولیدی
۳	شپارد، فار و سین گوپتا	۱۹۷۸-۱۹۹۵	ارائه الگوی محاسبه بهره‌وری بر اساس الگوی پویای خطی
۴	هاکمن	۱۹۹۰	مدلسازی متغیرهای برون‌زا(عرضه‌کنندگان، شرکت‌های واسطه‌ای و...) بر متغیرهای درون‌زا در فرایند محاسبه بهره‌وری از مرحله تحویل مواد اولیه تا ساخت محصول نهایی
۵	گراسکف و رز	۲۰۰۵	مقایسه محاسبه بهره‌وری بر اساس دیدگاه اقتصادسنجی و تحقیق در عملیات با مدل‌های پویای بهره‌وری
۶	ونمن و ترانتیس	۲۰۰۳	طراحی رفتار سیستم‌های تولیدی بر اساس الگوی پویا
۷	استفانو	۲۰۰۶	نقش و تأثیر محاسبه الگوی پویای بهره‌وری بر بهبود سیستم
۸	ونمن و ترانتیس	۲۰۰۷	ارائه الگوی پویای محاسبه بهره‌وری بر اساس متغیرهای درون‌زا در سازمان‌های تولیدی
۹	وانگ، هانگ و چن	۲۰۰۷ و ۲۰۰۸	ارائه الگوی گسسته‌محاسبه بهره‌وری بولسل درون‌زا و پوزاش و پروتد
۱۰	تابوردا	۲۰۱۰	توسعه الگوی پویای بهره‌وری در صنعت برقی و تولید انرژی
۱۱	باروس	۲۰۱۲	مقایسه نتایج الگوی DEA با پویای سیستمی در صنایع کشورهای مختلف

در سطح کشور نیز مطالعات متعددی برای ارزیابی بهره‌وری در بخش صنعت بر اساس روش‌های ایستا انجام شده است. از جمله رجبی و یداللهی با استفاده از روش DEA بهره‌وری



عوامل تولید در صنایع استان فارس را طی سال‌های ۱۳۷۴ الی ۱۳۸۴ محاسبه و با کل کشور مقایسه کرده‌اند [۲۰]. نتایج این تحقیق نشان داد که بهره‌وری صنایع استان فارس به طور متوسط ۲ درصد از صنایع کشور کمتر بوده است.

مؤمنی و همکاران [۲۱] از روش شبیه‌سازی برای محاسبه و ارزیابی کارایی پویا و مستمر در یکی از شرکت‌های تولیدی استفاده کردند. در این مطالعه با به‌کارگیری الگوهای شبیه‌سازی، سناریوهای مختلف برای مدیران پیشنهاد شده است تا بر این اساس با استفاده از این الگوها نسبت به ارزیابی حالت‌های تصمیم‌گیری در سازمان اقدام کنند. نتایج این مطالعه نشان داد که مدیران با شبیه‌سازی سناریوهای مختلف می‌توانند نسبت به تصمیم‌گیری بهینه در سازمان خود اقدام کنند.

جوادیان و همکاران از روش پویایی‌شناسی سیستمی برای ارزیابی عوامل مؤثر بر زنجیره تأمین در یک شرکت داروسازی استفاده کردند [۲۲]. مهم‌ترین ویژگی این مطالعه ارائه یک مدل کاربردی برای سازمان‌های تولیدی است که نتایج آن می‌تواند به تصمیم‌گیری‌های مفید مدیران در سازمان کمک کرده و امکان تجزیه و تحلیل رفتار سیستم مورد مطالعه را برای آنان فراهم کند.

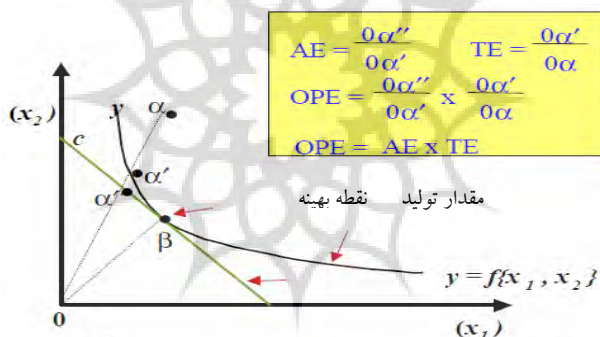
بررسی تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که در بیشتر این مطالعات از روش‌های ایستا برای محاسبه بهره‌وری استفاده شده است و کاربرد روش پویای بهره‌وری کمتر مورد توجه محققان بوده است. با توجه به قابلیت‌های این روش در این تحقیق از مدل پویا برای سنجش بهره‌وری صنایع کشور استفاده می‌شود.

۳- مبانی نظری الگوی پویای بهره‌وری

با توجه به اهمیت روابط متقابل متغیرها در سیستم‌های اقتصادی و اجتماعی، بررسی ابعاد موضوع بهره‌وری صرفاً از محاسبه آن وسیع‌تر می‌باشد. چون این سیستم‌ها در عین پیچیدگی به‌طور فزاینده‌ای منجر به اثرگذاری بر یکدیگر می‌شوند و از طریق این اثرگذاری است که رفتار نهایی سیستم مشخص می‌گردد. بنابراین در تحلیل و ارزیابی بهره‌وری، استفاده از روش پویایی‌شناسی سیستمی بسیار مفید می‌باشد. این روش با توجه روابط علت و معلولی و اثرگذاری پدیده‌های مختلف بر یکدیگر، میزان بهره‌وری را با توجه به بعد زمان و دریافت بازخور مداوم بررسی می‌کند و با رفتارشناسی الگوهای حاکم بر بهره‌وری، افق آینده را شبیه‌سازی می‌نماید. اما روش‌های ایستا، بهره‌وری را از راه میزان تغییر در نهاده‌ها و یا ستاده‌ها در یک دوره زمانی ثابت و تحت

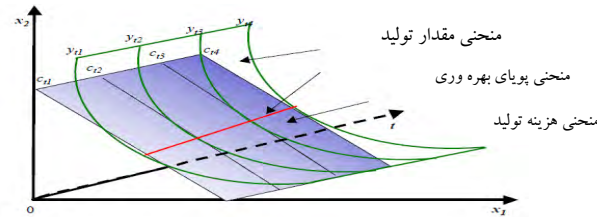
شرایط پایدار^{۲۱} محاسبه می‌کنند. این روش‌ها در واقع دیدگاه ایستا نسبت به بهره‌وری دارند و تغییرات زمانی را در محاسبه آن در نظر نمی‌گیرند.

برای درک بیشتر موضوع (همان طور که در شکل ۱ ملاحظه می‌شود) فرض کنید که این شکل دارای دو متغیر ورودی (x_1 و x_2) با خط هزینه و تولید است. در نقطه بهینه، خط تولید بر خط هزینه مماس می‌شود. این نقطه با علامت β نشان داده شده است. بر این اساس می‌توان با افزایش مقدار ورودی‌ها، منحنی خط تولید را افزایش داد و به نقاط بالاتری دست پیدا کرد که به طور طبیعی میزان بهره‌وری نیز افزایش پیدا می‌کند. در این شکل به عنوان مثال با در نظر گرفتن نقطه α ، بهره‌وری فنی (TE) از طریق تغییرات این نقطه نسبت به α' روی منحنی خط امکانات تولید و بهره‌وری تخصیصی (AE) نیز در نقطه α' و روی منحنی هزینه تولید محاسبه می‌شود. در نهایت کل بهره‌وری عملیات (OPE) از حاصلضرب این دو شاخص محاسبه می‌شود [۱۷].



شکل ۱ الگوی محاسبه بهره‌وری در حالت ایستا، [۱۸]

با توجه به شکل ۱، اگر عامل زمان (t) به متغیرهای ورودی اضافه شود، با توجه به اضافه شدن بُعد زمان، الگوی ایستا محاسبه بهره‌وری به الگوی پویا تبدیل می‌شود. در این مدل با توجه به تغییرات زمان، تابع هزینه و مقدار تولید، میزان بهره‌وری متفاوت خواهد بود [۱۷].



شکل ۲ الگوی پویای محاسبه بهره‌وری، [۱۸]

مدل پویای بهره‌وری در مقایسه با روش‌های ایستا دو تفاوت اصلی دارد:

۱- این روش میزان بهره‌وری را در طول دوران گذار^{۲۲} و با توجه به تغییرات شرایط محاسبه می‌کند؛

۲- فرض خطی بودن تابع تولید را که در مدل ایستا به عنوان یک فرض اساسی در نظر گرفته می‌شد، نقض می‌کند؛ به عبارتی در حالت پویای بهره‌وری تابع تولید که نشان‌دهنده فرایند تبدیل ورودی‌ها به خروجی‌ها است، به صورت غیرخطی در نظر گرفته می‌شود [۱۸، صص ۶۰۵-۶۰۸].

۴- روش تحقیق

با توجه به فرایند پویایی‌شناسی سیستم [۳، ص ۸۶] و متغیرهای مؤثر در بخش صنعت، در این تحقیق برای محاسبه بهره‌وری عوامل تولید مراحل زیر انجام شد.

۴-۱- تعریف مسئله و افق تحقیق

در این مرحله هدف الگو، متغیرهای کلیدی و افق زمانی مشخص می‌شوند. با توجه به موضوع تحقیق، هدف الگو "محاسبه بهره‌وری عوامل تولید (سرمایه، انرژی، نیروی انسانی) در صنایع کشور" است. متغیرهای کلیدی شامل سرمایه، انرژی، نیروی انسانی و ارزش افزوده می‌باشند. افق زمانی این تحقیق - که برای شبیه‌سازی در نظر گرفته شده است - از سال ۱۳۸۰ تا افق برنامه‌ریزی کشور (سال ۱۴۰۴) می‌باشد. مرز اصلی الگو شامل محاسبه بهره‌وری عوامل تولید در بخش صنعت و بررسی آثار و پیامدهای آن بر متغیرهای مرتبط در این بخش می‌باشد. داده‌های استفاده شده در این تحقیق بر اساس نتایج سرشماری کارگاه‌های بزرگ صنعتی

کشور در سال‌های ۱۳۸۰ الی ۱۳۸۸ و برحسب طبقه‌بندی ISIC^۳ است.

۴-۲- تعریف متغیرهای کلیدی و تعیین روابط علی و معلولی

در این مرحله نخست متغیرهای کلیدی الگو معرفی می‌شوند، سپس بر اساس روابط علت و معلولی و چگونگی ارتباط متغیرها با یکدیگر، الگوی حلقه‌ای بین متغیرها و قطبیت آنها تعیین می‌شود. این ارتباط برحسب متغیرهای مربوطه آن در شکل‌های ۴، ۳ و ۵ نشان داده شده است. با توجه به موضوع تحقیق و الگوی پویایی‌شناسی سیستمی، متغیرهای متعددی در محاسبه بهره‌وری عوامل تولید مؤثر می‌باشند که در این قسمت صرفاً متغیرهای اصلی و اثرگذار معرفی می‌شوند. در ضمن برای بررسی دقیق‌تر موضوع بهره‌وری، بهره‌وری عوامل تولید به بهره‌وری سرمایه، نیروی انسانی و انرژی تقسیم می‌شوند، سپس بهره‌وری کل عوامل تولید نیز محاسبه می‌شود.

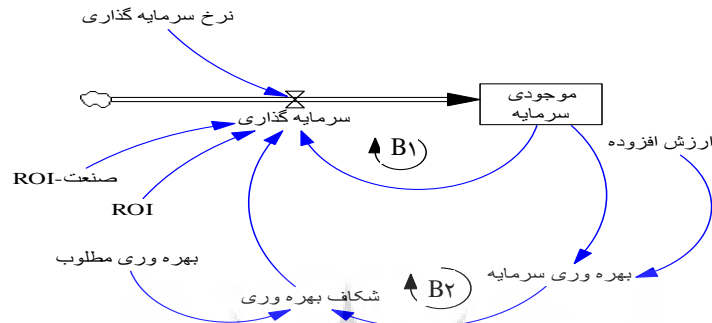
۴-۲-۱- بهره‌وری سرمایه

بهره‌وری سرمایه متوسط ارزش افزوده حاصل از هر واحد سرمایه‌گذاری را بیان می‌کند. این شاخص از تقسیم ارزش افزوده در طول یک دوره بر مجموع دارایی‌های به‌کار گرفته شده در آن دوره حاصل می‌شود [۲۳، صص ۶-۷].

با توجه به نمودار پویایی‌شناسی سیستمی (شکل ۳) بهره‌وری سرمایه از نسبت ارزش افزوده بر سطح موجودی سرمایه محاسبه می‌شود. برای تعیین سطح سرمایه مطلوب، نخست مرز بهره‌وری مطلوب سرمایه بخش صنعت با استفاده از روش تابع تولید کاب داگلاس تخمین زده شد، سپس با مقایسه بهره‌وری واقعی بخش صنعت با مرز مطلوب بهره‌وری میزان شکاف بهره‌وری سرمایه محاسبه شد. در صورتی که نرخ بهره‌وری سرمایه در بخش صنعت مثبت باشد- با توجه به اینکه بهره‌وری سرمایه بر ارزش افزوده مؤثر خواهد بود- این فرایند در دوره‌های بعد ارزش افزوده بخش صنعت را افزایش و نرخ سرمایه‌گذاری موجود را نیز افزایش می‌دهد. در صورتی که نرخ بازگشت سرمایه در بخش صنعت از بازگشت سرمایه در سایر بخش‌ها (ROI) کمتر باشد، میزان سرمایه‌گذاری افزایشی نخواهد داشت. در غیر این صورت نرخ سرمایه‌گذاری افزایش پیدا می‌کند. با توجه به نمودار ملاحظه می‌شود که قطبیت این حلقه



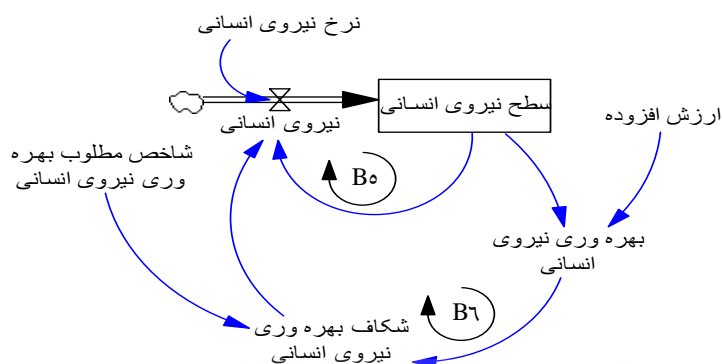
به صورت تعادلی خواهد بود (حلقه B₁, B₂).



شکل ۳ متغیرهای نرخ و انباشت شاخص بهره‌وری سرمایه

۲-۲-۴- بهره‌وری نیروی کار

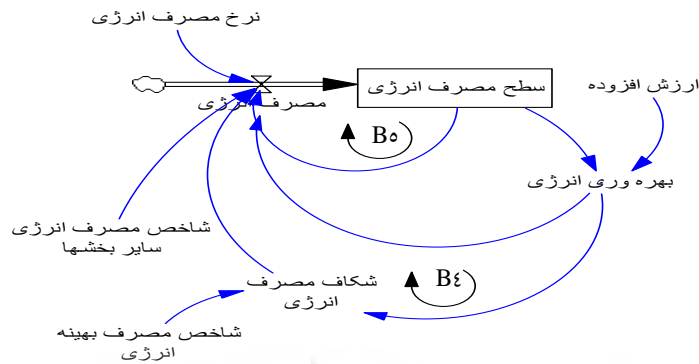
بهره‌وری نیروی کار نشان‌دهنده میزان ارزش افزوده به ازای هزینه پرداخت شده برای نیروی کار است [۲۳، صص ۵-۶]. بر اساس الگوی پویایی‌شناسی سیستمی (شکل ۴) نخست بهره‌وری نیروی انسانی از طریق نسبت ارزش افزوده بر هزینه نیروی انسانی محاسبه می‌شود، سپس با مقایسه آن با سطح بهره‌وری مطلوب- که از تابع تولید کاب داگلاس محاسبه شده است- شکاف بهره وری (مثبت یا منفی) محاسبه می‌شود. در صورتی که بهره‌وری بخش صنعت از مرز مطلوب بهره‌وری نیروی کار کمتر باشد، نیروی کار به کار گرفته شده تا اندازه‌ای که به حد بهره وری مطلوب برسد، باید کاهش پیدا کند. در صورت مثبت بودن شاخص بهره‌وری، نیازی به کاهش ورودی‌ها نمی‌باشد (حلقه B₅, B₆).



شکل ۴ متغیرهای نرخ و انباشت بهره‌وری نیروی انسانی

۴-۲-۳- بهره‌وری انرژی

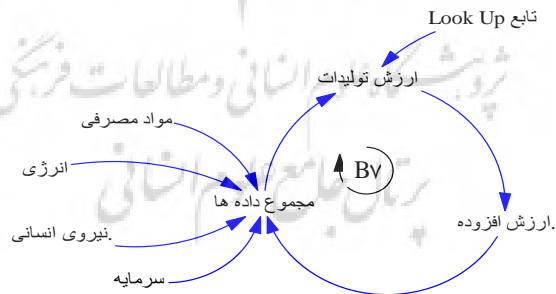
بهره‌وری انرژی، از طریق نسبت ارزش افزوده به میزان انرژی مصرفی محاسبه می‌شود. این شاخص نشان می‌دهد که به ازای هر واحد انرژی مصرف شده چه میزان ارزش افزوده ایجاد شده است [۲۳، صص ۷-۱۰]. همان‌طور که در شکل ۵ ملاحظه می‌شود تفاوت بین بهره‌وری انرژی و میزان مطلوب مصرف انرژی، تعیین‌کننده شکاف بهره‌وری انرژی می‌باشد. با مقایسه بهره‌وری بخش صنعت با سایر بخش‌های دیگر، میزان مصرف انرژی بخش صنعت برای دوره‌های بعد مشخص می‌شود. در صورتی که شاخص بهره‌وری مصرف انرژی در بخش صنعت از سایر بخش‌ها بیشتر باشد، میزان مصرف انرژی در دوره‌های آینده افزایش خواهد یافت، در غیر این صورت میزان مصرف کاهش پیدا می‌کند. با توجه به روابط الگو بهره‌وری انرژی نیز مصرف انرژی را کاهش می‌دهد، کاهش مصرف انرژی نیز منجر به کاهش درونداها می‌شود، این موضوع نیز در نهایت ارزش افزوده را افزایش می‌دهد. با توجه به ماهیت ارتباط متقابل متغیرها، اثر این حلقه به صورت تعادلی خواهد بود (حلقه B3, B4).



شکل ۵ متغیرهای نرخ و انباشت بهره‌وری انرژی

۴-۲-۴- بهره‌وری کل عوامل تولید

بهره‌وری کل عوامل تولید نشان‌دهنده میزان ارزش افزوده به ازای ارزش تمام داده‌هایی است که جهت ساخت محصولات و خدمات استفاده شده است. این شاخص نشان می‌دهد که با ازای مصرف کل نهاده‌ها (سرمایه، نیروی انسانی، انرژی و مواد اولیه) چه میزان ارزش افزوده ایجاد شده است [۲۳]. در شکل ۶ ارتباط کل ورودی‌ها با ارزش افزوده و محاسبه بهره‌وری کل عوامل تولید نشان داده شده است.



شکل ۶ متغیرهای نرخ و انباشت بهره‌وری عوامل تولید

۳-۴- ایجاد فرضیه‌های دینامیکی و تعریف روابط بین متغیرها

در این مرحله چگونگی رفتار الگو و اثرگذاری متغیرها بر یکدیگر در قالب فرضیه‌های دینامیکی و روابطی که بتواند رفتار الگو را به نحو مطلوبی نشان دهد، تعریف می‌شود. فرضیه‌های در نظر گرفته شده برای این تحقیق عبارتند از:

۳-۴-۱- فرضیه اول

در روش پویای محاسبه بهره‌وری، رفتار نهایی شاخص‌های بهره‌وری از ارتباط متقابل متغیرهای مؤثر با یکدیگر و فرایند بازخور تعیین می‌شود. اما در روش‌های ایستا تعامل و ارتباط سیستمی متغیرها با یکدیگر در محاسبه بهره‌وری چندان مورد توجه نمی‌باشد. بنابراین روش پویا نسبت به روش‌های ایستا در محاسبه بهره‌وری جامع‌تر می‌باشد.

۳-۴-۲- فرضیه دوم

الگوی پویا، بهره‌وری را با توجه به بعد زمان و دریافت بازخور مداوم از متغیرهای کلیدی مؤثر محاسبه می‌کند و با اجرای تغییرات اصلاحی در سیستم دوباره آن را به حالت تعادل می‌رساند. اما در روش‌های ایستا، بهره‌وری صرفاً از راه تغییر در نهاده‌ها و یا ستاده‌ها در یک دوره زمانی ثابت و تحت شرایط پایدار محاسبه می‌شود. بنابراین در تحلیل و ارزیابی بهره‌وری، استفاده از روش پویایی‌شناسی سیستمی بسیار مفیدتر بوده و اطلاعات مطلوب‌تری را فراهم می‌کند.

۳-۴-۳- فرضیه سوم

با توجه به اجرای طرح هدفمندی حامل‌های انرژی و افزایش قیمت انرژی مصرفی بخش صنعت، انتظار می‌رود که سطح بهره‌وری انرژی در زمان اجرا کاهش پیدا کرده و پس از طی دوران گذار و لزوم تغییر تکنولوژی با مصرف انرژی کمتر و روش‌های تولید اثربخش در بخش صنعت، روند مطلوب بهبود را طی نماید.



۴-۴- طراحی نمودار پویایی‌های سیستم و تعیین وضعیت متغیرها

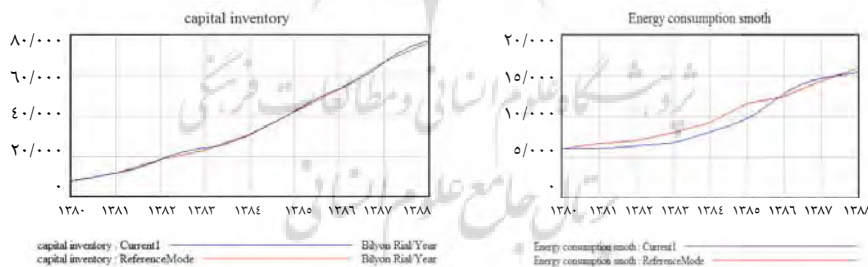
با توجه به روابط بین متغیرها، در این مرحله ارتباط سیستمی کل متغیرها در قالب روابط علت و معلولی تعریف شده و وضعیت هر متغیر در نمودار پویایی‌شناسی سیستم بر اساس قالب متغیرهای حالت^{۲۳}، نرخ^{۲۴} و کمکی^{۲۵} مشخص شده است.

۴-۵- شبیه‌سازی و اعتبارسنجی الگو

پس از تعریف الگو و تعیین روابط متغیرها، رفتار متغیرهای بررسی شده طی افق زمانی مورد نظر شبیه‌سازی شد. برای اطمینان از صحت رفتار شبیه‌سازی شده، آزمون‌های متعددی به‌وسیله نرم افزار Vensim DSS انجام شد که نتایج آنها به شرح زیر می‌باشد.

۴-۵-۱- آزمون رفتار مجدد^{۲۶}

هدف از این آزمون مقایسه نتایج شبیه‌سازی با داده‌های واقعی برای اطمینان از صحت عملکرد رفتار الگو می‌باشد؛ به عبارتی دیگر در این حالت رفتار شبیه‌سازی شده برای الگو باز تولید می‌گردد تا با داده‌های واقعی مقایسه شود. در شکل ۷ و ۸ اطلاعات واقعی و نتایج شبیه‌سازی جهت متغیر موجودی سرمایه و انرژی مصرفی در بخش صنعت در سال‌های ۱۳۸۰ الی ۱۳۸۸ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود رفتار متغیرهای مورد بررسی به خوبی شبیه‌سازی شده است.



شکل ۸ آزمون رفتار الگو برحسب متغیر مصرف انرژی شکل ۹ آزمون رفتار الگو برحسب موجودی سرمایه

۴-۵-۲-آزمون محاسبه میزان خطا

برای اطمینان از نتایج شبیه‌سازی علاوه بر بازتولید رفتار الگو، خطای متغیرهای کلیدی بر اساس روش حداقل خطای مجزورات^{۲۷} و ریشه‌های خطا محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱ نتایج محاسبه خطاهای الگو برحسب دوره شبیه‌سازی

محاسبه ریشه‌های خطا			شاخص نابرابری UT	حداقل خطای مجزورات (RMSPE) درصد	شاخص آزمون خطا متغیرهای کلیدی الگو
U^c	U^s	U^m			
.۰۹۷	.۰۲۶	.۰۰۵	.۰۰۵	۵	موجودی سرمایه
.۰۹۶	.۰۲۶	.۰۱۰	.۰۱۱	۵/۴	مصرف انرژی
.۰۹۹	.۰۰۵	.۰۰۵	.۰۰۶	۵	نیروی انسانی
.۰۹۲	.۰۰۹	.۰۰۶	.۰۱۲	۵/۸۲	بهره‌وری کل عوامل تولید
.۰۹۶	.۰۱۵	.۰۲۸	.۰۰۱	۱/۰۲	بهره‌وری سرمایه
.۰۸۷	.۰۱۲	.۰۰۵۴	.۰۴۱	۷/۳	بهره‌وری انرژی
.۰۹۴	.۰۱۶	.۰۴۸	.۰۲۴	۷/۵	بهره‌وری نیروی انسانی

۵- نتایج شبیه‌سازی متغیرهای کلیدی الگو

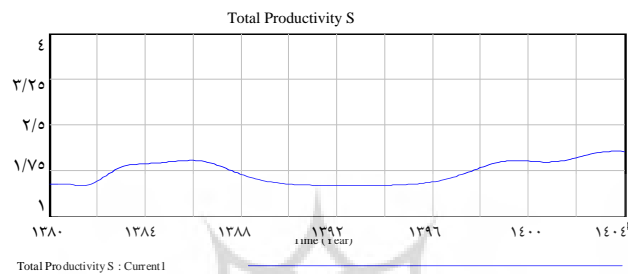
با توجه به ارتباط متقابل و رفتار متغیرها در نمودار پویایی‌های سیستمی، این الگو در یک دوره ۲۵ ساله، یعنی از سال‌های ۱۳۸۰ الی ۱۴۰۴ شبیه‌سازی و بر این اساس روند تغییرات متغیرهای کلیدی به شرح زیر مشخص شد.

۵-۱- بهره‌وری کل عوامل تولید

بر اساس نتایج شبیه‌سازی، بهره‌وری کل عوامل تولید در بخش صنعت در سال ۱۳۸۰ برابر با ۱/۶ هزار میلیارد ریال بوده است؛ به عبارتی به ازای به‌کارگیری هزار میلیارد ریال از عوامل تولید، ۱/۶ هزار میلیارد ریال ارزش افزوده در بخش صنعت ایجاد شده است. با توجه به نتایج شبیه‌سازی ملاحظه می‌شود، بهره‌وری کل در بخش صنعت از سال ۱۳۸۸ تا پایان سال ۱۳۹۶ به دلیل افزایش قیمت نهاده‌ها، به‌خصوص اجرای طرح هدفمندی یارانه‌های انرژی و لزوم سرمایه‌گذاری برای به‌روز کردن تکنولوژی



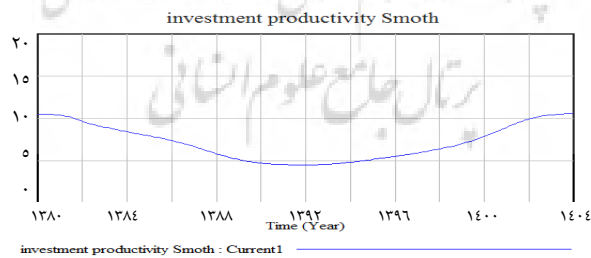
تولید، کاهش پیدا می‌کند. اما از پایان این سال با توجه به نتیجه رسیدن تغییرات تکنولوژی، به‌طور مجدد با نرخ افزایشی رشد کرده و در سال ۱۴۰۴ به بیش از ۲ هزار میلیارد ریال افزایش پیدا خواهد کرد (شکل ۱۰).



شکل ۱۰ نتایج شبیه‌سازی بهره‌وری کل عوامل تولید در بخش صنعت

۲-۵- بهره‌وری سرمایه

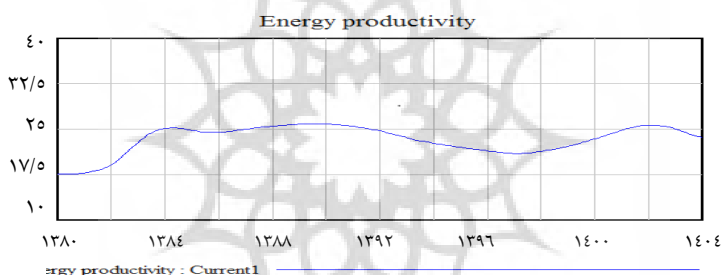
بر اساس نتایج شبیه‌سازی، بهره‌وری سرمایه در سال ۱۳۸۰ برابر با ۱۱ هزار میلیارد ریال بوده است که بر اساس نتایج مدل (شکل ۱۱) در سال‌های ۱۳۸۸ الی ۱۳۹۶ کاهش محسوسی داشته است. اما از پایان سال ۱۳۹۶ به‌طور مجدد رشد کرده و در سال ۱۴۰۴ به ۱۱/۵ هزار میلیارد ریال افزایش پیدا کرده است. لازم به ذکر است که یکی از علل افزایش بهره‌وری سرمایه در سال‌های پایان شبیه‌سازی، برنامه‌ریزی کاهش هزینه‌ها و در نتیجه افزایش ارزش افزوده در این بخش می‌باشد.



شکل ۱۱ نتایج شبیه‌سازی بهره‌وری سرمایه در بخش صنعت

۳-۵- بهره‌وری انرژی

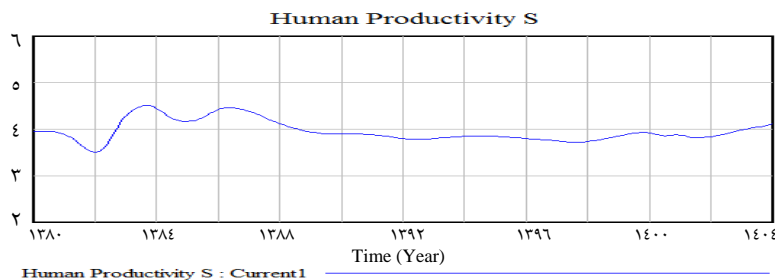
بر اساس نتایج شبیه‌سازی، بهره‌وری انرژی در سال ۱۳۸۰ برابر با ۱۸ هزار میلیارد ریال بوده است. با توجه به نتایج مدل (شکل ۱۲)، بهره‌وری انرژی در بخش صنعت و طی سال‌های ۱۳۹۰ الی ۱۳۹۸ کاهشی محسوس داشته است اما دوباره از پایان سال ۱۳۹۸ با توجه به الزام تغییرات فناوری در بخش صنعت و توجه به فناوری‌های کم‌مصرف، به‌طور مجدد شروع به رشد کرده است که در سال ۱۴۰۴ به ۲۴ هزار میلیارد ریال افزایش پیدا خواهد کرد. لازم به ذکر است که علت افزایش بهره‌وری انرژی در سال‌های پایان شبیه‌سازی، برنامه‌ریزی کاهش مصرف انرژی و در نتیجه افزایش ارزش افزوده در این بخش می‌باشد که این وضعیت فرضیه سوم تحقیق را تأیید می‌کند.



شکل ۱۲ نتایج شبیه‌سازی بهره‌وری انرژی در بخش صنعت

۴-۵- بهره‌وری نیروی انسانی

بر اساس نتایج شبیه‌سازی، بهره‌وری نیروی انسانی در سال ۱۳۸۰ برابر با ۴ هزار میلیارد ریال بوده است. با توجه به نتایج مدل (شکل ۱۳) ملاحظه می‌شود که بهره‌وری نیروی انسانی در سال‌های ۱۳۸۶ تا پایان سال ۱۳۹۱ با کاهش کمی مواجه است. اما از سال ۱۳۹۲ به‌طور مجدد با نرخ افزایشی رشد کرده است که در سال ۱۴۰۴ به ۵ هزار میلیارد ریال افزایش پیدا خواهد کرد.



شکل ۱۳ نتایج شبیه‌سازی بهره‌وری نیروی انسانی در بخش صنعت

۶- سیاست‌گذاری برای بهینه‌سازی متغیرهای کلیدی

در این مرحله با توجه به نتایج شبیه‌سازی و سناریوهای مختلف، سیاست‌گذاری‌های لازم برای بهینه‌سازی متغیرهای کلیدی ارائه می‌شود. با توجه به متغیرهای اثرگذار و سناریوهای مختلف، دو سیاست بهینه‌سازی به شرح زیر اتخاذ و نتایج آن ارزیابی می‌شود:

۱- افزایش سالیانه ۱ درصد نرخ بهره‌وری برحسب هر کدام از عوامل تولید (انرژی، سرمایه، نیروی انسانی).

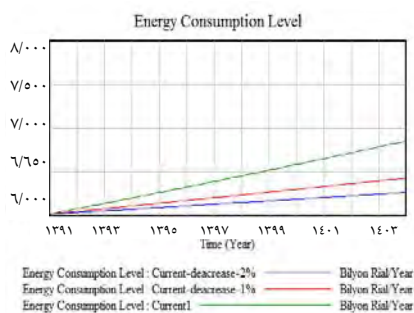
۲- افزایش سالیانه ۲ درصد نرخ بهره‌وری برحسب هر کدام از عوامل تولید. نتایج اجرای این سناریوها نشان می‌دهد که:

- برحسب ادامه سیاست وضعیت موجود (خط سبز رنگ)، ارزش افزوده بخش صنعت از ۱۱۳ هزار میلیارد ریال در سال ۱۳۹۱ به ۲۵۱ هزار میلیارد ریال در افق ۱۴۰۴ افزایش خواهد یافت.

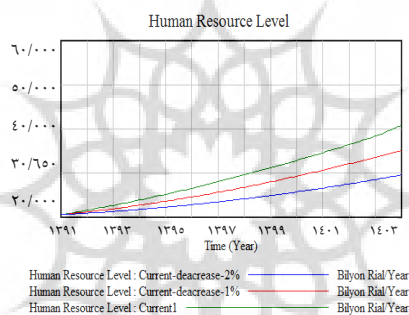
- با افزایش سالیانه ۱ درصد نرخ بهره‌وری عوامل تولید (خط قرمز رنگ)، ارزش افزوده بخش صنعت از ۱۱۴ هزار میلیارد ریال در سال ۱۳۹۱ به ۳۰۵ هزار میلیارد ریال در افق ۱۴۰۴ افزایش پیدا خواهد کرد.

- با افزایش سالیانه ۲ درصد نرخ بهره‌وری عوامل تولید (خط آبی رنگ)، ارزش افزوده بخش صنعت از ۱۱۵ هزار میلیارد ریال در سال ۱۳۹۱ به ۴۲۷ هزار میلیارد ریال در افق ۱۴۰۴ افزایش پیدا خواهد کرد.

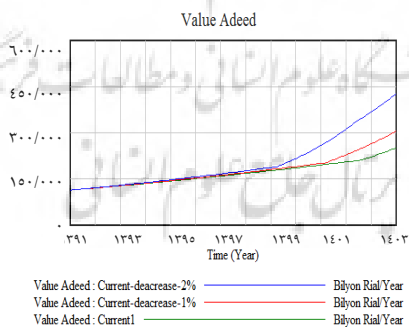
در شکل‌های ۱۶ تا ۱۹ نتایج تغییرات بهره‌وری و ارزش افزوده در بخش صنعت بر اساس سناریوهای پیشنهادی ارائه شده است.



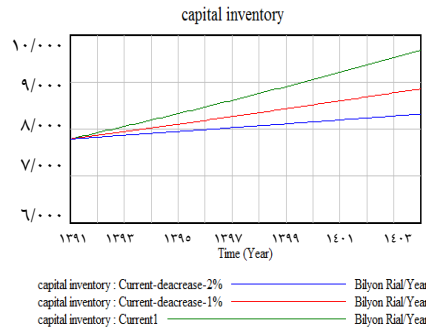
شکل ۱۶ شبیه‌سازی سیاست تغییرات بهره‌وری نیروی انسانی



شکل ۱۷ شبیه‌سازی سیاست تغییرات بهره‌وری انرژی



شکل ۱۸ شبیه‌سازی سیاست تغییرات سرمایه



شکل ۱۹ شبیه‌سازی سیاست‌های بهره‌وری عوامل تولید بر ارزش افزوده

۷- نتیجه‌گیری

روش پویایی‌شناسی سیستمی با توجه روابط علت و معلولی، اثرگذاری متغیرهای مختلف بر یکدیگر را در قالب یک الگوی پویا بررسی می‌کند، به طوری که موضوع به صورت یک الگوی رفتاری قابل شناخت در طی زمان آشکار شود. این روش میزان بهره‌وری را با توجه به دریافت بازخور مداوم از سیستم اندازه‌گیری می‌کند و با اجرای تغییرات اصلاحی در سیستم دوباره آن را به حالت تعادل می‌رساند.

با توجه به ویژگی‌های الگوی پویای بهره‌وری، یکی از اهداف اصلی این تحقیق، ارزیابی و محاسبه بهره‌وری عوامل تولید در بخش صنعت بر اساس مدل پویای بهره‌وری در افق ۱۴۰۴ بود تا ضمن درک ارتباط سیستمی عوامل مؤثر بر بهره‌وری، روند تغییرات بهره‌وری هر کدام از عوامل تولید در افق ۱۴۰۴ شبیه‌سازی شود. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که بهره‌وری بخش صنعت در سال‌های آینده به خصوص با اجرای طرح هدفمندی یارانه‌ها و افزایش قیمت حامل‌های انرژی و نهاده‌های تولید، روند مطلوبی نخواهد داشت و نسبت به گذشته کاهش پیدا خواهد کرد اما در افق ۱۴۰۴ بهبود اندکی افزایش خواهد یافت. از آن جایی که تکنولوژی مورد استفاده بیشتر صنایع در کشور و به طور عمده انرژی بر می‌باشد و در سال‌های اخیر به دلیل قیمت پایین انرژی نسبت به نوسازی آن اقدامی نشده است، بنابراین با توجه به افزایش قیمت حامل‌های انرژی، ادامه فعالیت این صنایع در آینده مقرون به صرفه نخواهد بود. از این رو تغییر تکنولوژی و لزوم استفاده از تکنولوژی‌های کم مصرف برای

بخش صنعت امری ضروری به نظر می‌رسد. مجموعه این الزام‌ها باعث خواهد شد که بخشی از گروه‌های صنعتی از فرایند تولید خارج شوند و بخشی دیگر نیز باید با سرمایه‌گذاری بالا نسبت به تغییر تکنولوژی تولید اقدام کنند که خود منجر به افزایش هزینه‌ها و کاهش ارزش افزوده در این بخش خواهد شد.

با توجه به نقش سایر عوامل تولید مانند نیروی انسانی، سرمایه و... در افزایش بهره‌وری و ایجاد ارزش افزوده، اتخاذ سیاست‌های لازم برای ارتقای ارزش افزوده و افزایش بهره‌وری در بخش صنعت امری اجتناب‌ناپذیر بوده است که مدیران باید با اتخاذ سیاست‌های مطلوب نسبت به افزایش بهره‌وری در این بخش اقدام کنند چون با ایجاد تغییر جزئی در نرخ بهره‌وری عوامل تولید، ارزش افزوده حاصل تا حد زیادی افزایش پیدا خواهد کرد. همان‌طور که نتایج شبیه‌سازی نیز نشان داد با افزایش سالیانه ۱ درصد نرخ بهره‌وری عوامل تولید، ارزش افزوده بخش صنعت از ۱۱۴ هزار میلیارد ریال در سال ۱۳۹۱ به ۳۰۵ هزار میلیارد ریال در افق ۱۴۰۴ افزایش خواهد یافت.

۷-۱- پیشنهادات

در این مطالعه آثار متغیرهای درون‌زا بر بهره‌وری ارزیابی شده است اما با توجه به نقش و اهمیت متغیرهای برون‌زا می‌توان تأثیر این متغیرها را بر بهره‌وری گروه‌های صنعتی با توجه به الگوی پویای سیستمی مورد تحلیل قرار داد. همچنین از آن جایی که در این تحقیق روش داده‌گرا در ارزیابی بهره‌وری استفاده شده است، محاسبه بهره‌وری بر اساس الگوی پویای سیستمی با توجه به روش ستاده‌گرا و اجرای سناریوهای بهینه‌سازی برای دست یافتن به سطح مطلوب ستانده‌ها نیز می‌تواند برای مطالعات بعدی مورد توجه قرار گیرد.

۸- پی‌نوشت‌ها

1. Debreu
2. Copmann
3. Farell
4. Data Envelopment Analysis
5. Bankers, Charns and cooper
6. Cooper, Kumbhakar, Suba and Robert



7. Chen and Cherng
8. Alsarie
9. Funk and Rahn
10. Stastical Frontier Analysis
11. Ousmanou
12. Shephard and Färe
13. Hackman
14. Grosskopf and Roos
15. Sengupta
16. Huang and Wang
17. Stefanou
18. Vaneman and Triantis
19. Cobb Douglas
20. Barros
21. Steady state
22. Transition period
23. State variables
24. Rate variables
25. Auxiliary variables
26. Behavioral reproduction Test
27. Root Mean Square Percent Error

۹- منابع

- [1] Bonly R; "Growth of productivity in Brazilian industry"; *Journal of Development Economic*, No. 39, 1992.
- [2] Yadollahi, H.; Appraisal and estimation of industrial productivity in Iran, ma thesis in economics, M.A. Thesis, Allamah Tababtabae University, Tehran, Iran, 2002 [In Persian].
- [3] Sterman J.D.; "Business dynamics: System thinking and modeling for a complex world"; Mc Graw Hill, Boston, 2000.
- [4] Subhash C.R.; "An extended decomposition of the Malmquist productivity index"; University of Connecticut, 2002.
- [5] Farrell M.J.; "The measurement of productive efficiency;" *Journal of the Royal Statistical Society*, Vol. 120, No. 3, pp. 253-281, 1957.
- [6] Charnes A., Cooper W., Rhodes E. L.; "Measuring the efficiency of decision making units;" *European Journal of Operational Research*, Vol. 2, No. 6, pp.

429-444,1978.

- [7] Cooper W., Kumbhakar Subal M., Thrall R.; “DEA and stochastic frontier analyses of the 1978 Chinese economic reforms”; *Socio-Economic Planning Sciences*, Elsevier, Vol. 29, No. 2, pp. 85-112,1995.
- [8] Chen C.M.; “A network-DEA model with new efficiency measures to incorporate the dynamic effect in production network”; *European Journal of Operation Research*, pp. 21-28, 2008.
- [9] Alsarie A.; Appraisal productivity in Jordon industrial with DEA; MBA Thesis, California University, 2004.
- [10] Funke M., Rhan J.; “How to be Efficient in Eastern Germany”; *Economic of Transistion*, Vol. 10, pp. 201-223,2005.
- [11] Ousmanou N.; “Faculty of economics and management trade reform and efficiency in cameroon's manufacturing industries”; *African Economic Research Consortium*, 2003.
- [12] Shephard R., Fare R.; “Dynamic theory of production correspondences: Parts I-III”; ORC-78-2 Through 78-4, *Operations Research Center*, University of California, Berkeley, 1978.
- [13] Hackman S.; “An axiomatic framework of dynamic production”; *The Journal of Productivity Analysis*, Vol. 1 , No. 4, pp. 309-324,1990.
- [14] Sengupta J.K., “A dynamic efficiency model using data envelopment analysis”, *International Journal of Production Economics*, 62, pp. 209-218, 1999.
- [15] Wang M., Hung T.; “A study on the persistent of Farrell efficiency measure under a dynamic formwork”; *European Journal of Operational Research*, Vol. 180, PP. 1302-1316, 2007.
- [16] Stefanou S.; “A dynamic characterization of efficiency”; *Working Paper*, Department of Agricultural Economics, Penn State University, 2006.
- [17] Vaneman W., Triantis K.; “The dynamic production axioms and system dynamic behaviors: The foundation for future integration”; *Journal of*

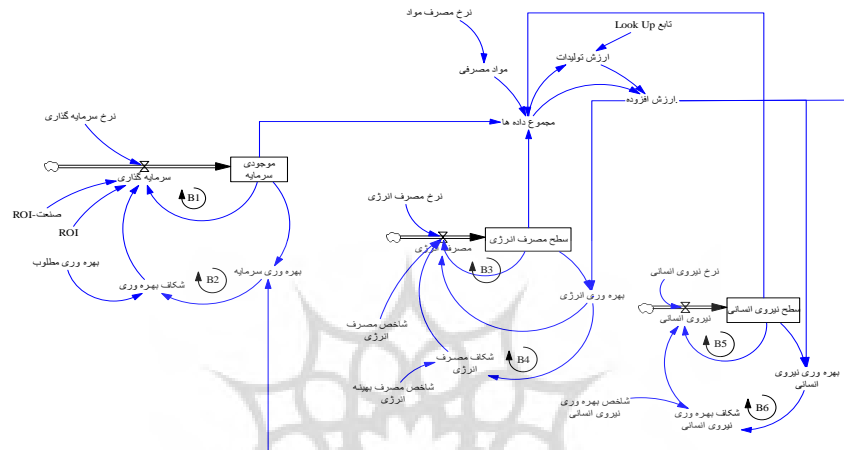


Productivity Analysis, Vol. 19, PP. 93-113, 2003.

- [18] Vaneman W., Triantis K.; "Evaluating the productive efficiency of dynamical systems"; *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. 54 , No. 3, PP. 600-611, 2007.
- [19] Barros C.P.; "Productivity assessment of African seaports"; *Productivity Assessment of African Seaports*, Vol. 24, Issue 1, PP. 67-87, 2012.
- [20] Rajabi A. and Yadollahi H.; "Calculated on productivity change in the industries of Fars Province and analyzing the affective factors using data envelopment analysis"; *Fars Industrial and Mining Organization*, 2007 [In Persian].
- [21] Momeni M., Zaraee B., Esmaelian M.; "Productivity analysis of production system via a simulation model "; *Management Research in Iran*, Vol. 10, No.4, pp. 230-211, 2006 [In Persian].
- [22] Javadian N., Khani M., and Mahdavi A.;" Identifying effective factors on supply chain performance and improving them by using system dynamics techniques (Case study: Darugar Company)"; *Management Research in Iran*; Vol. 16, No. 3, pp. 59-81 [In Persian].
- [23] Iranian National Productivity Organization; "A guide for appraisal and calculation of productivity in industrial units"; Tehran, Iran, 1997 [In Persian].

پیوست شماره ۱ مدل پویای محاسبه و سنجش بهره وری عوامل تولید در گروه‌های

صنعتی



پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



پښتونستان ښار
پښتونستان ښار
پښتونستان ښار



پروفیسر شگاہ علوم انسانی و مطالعات فرہنگی
پرتال جامع علوم انسانی