دسترسی در سایتِ http://jnrm.srbiau.ac.ir
سال هشتم، شماره سی و هفتم، مرداد و شهریور ۱۴۰۱
شماره شاپا: ۵۸۸-۲۵۸۸X

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

پژوهش‌های نوین در ریاضی

رویکرد معادل‌سازی دوره‌ای با داده‌های بازه‌ای در ارزیابی کارایی پویا شبکه‌های چند مرحله‌ای

علیرضا ابراهیمی‌بقا[۱]، فرهاد حسین‌زاده‌لطفی[*۲]، علیرضا امیر تیموری[۳]، محسن رستمی مال‌خلیفه[۴]

[۱و۲و۴] گروه آموزشی ریاضی کاربردی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران
[۳] گروه آموزشی ریاضی کاربردی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد رشت، رشت، ایران

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۹/۰۹/۱۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۳/۳۰

چکیده

در این مقاله ارزیابی کارایی دینامیکی واحدهایی با ساختارشبکه‌ای چندمرحله‌ای تحت داده‌های بازه‌ای برای مدل‌های تحلیل پوششی شبکه‌ای (NDEA) انجام می‌شود. هدف این مطالعه مدل‌سازی به منظور ارزیابی میزان کارایی پویا زیرساختارها و شبکه نهایی، با داده‌های بازه‌ای در دوره‌های زمانی معین می‌باشد. مدل پیشنهادی این پژوهش، یک مدل غیرشعاعی با تکنولوژی تعریف شده و براساس الگوی واحد کارای قوی است که قابلیت ارزیابی همزمان چندین زیر فرایند را دارد. این مدل‌ها تعامل و ارتباط بین زیر فرایندها و کل شبکه را در هر مرحله و هر دوره به صورت تام در نظر می‌گیرد و بر اساس داده‌های بازه‌ای، کارایی شبکه نهایی (شبکه کل) و زیرفرایندها را دریک بازه، محاسبه می‌نماید. این مدل مناسبات و تنظیمات بین زیر فرایندها را در یک ساختار شبکه‌ای چند مرحله‌ای پویا، برای کارا شدن فراهم می‌نماید. از نو آوری های این پژوهش رویکرد تبدیلی شبکه‌های چند مرحله‌ای به دو دوره‌ای و ایجاد یک شبکه مجازی کارای قوی است که ، قادر به ارزیابی‌کارایی دینامیکی زیرفرایندها در دوره‌های زمانی مختلف می‌باشند ضمن اینکه این تحقیق به بررسی تأثیر زیرفرایندها بر کارایی کل و سنجش کارایی پویا واحدهایی با ساختار شبکه‌ای چندمرحله‌ای پرداخته و اطلاعات مفیدی در خصوص کارایی و عدم کارایی واحدها و منابع ناکارایی هر بخش از زیر مجموعه‌های مدیریتی را در اختیار قرار می‌دهد همچنین با یک مثال کاربردی بر مبنای ایده این پژوهش و مدل‌های استنتاجی آن، کارایی دینامیکی در یک دوره چهار ساله در واحدهای تولیدی با داده‌های بازه‌ای وکراندار مورد ارزیابی و سنجش قرار گرفته است و از نتایج حاصله ارزیابی کارایی واحدها و کارایی شبکه کل بود و همچنین منابع ناکارایی واحدها شناسایی گردید و با اعمال تغییرات لازم تمامی واحدها کارا گردیدند.

واژه‌های کلیدی: تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای (NDEA)، داده‌های بازه‌ای (Interval Data)، سنجش کارایی دینامیکی واحدها، واحد کارای قوی شبکه.

*. عهده دار مکاتبات: Email: farhad@hosseinzadeh.ir

۱- مقدمه

تجزیه و تحلیل پوشش داده‌ها (DEA) یک روش برنامه‌ریزی ریاضی برای‌ارزیابی کارایی نسبی واحدهای تصمیم‌گیری (DMUs) است که برای تولید خروجی‌های متعدد از ورودی‌های چندگانه استفاده می‌کند، فارل با استفاده از DEA و ورودی و خروجی‌های واحدهای تصمیم‌گیرنده، و اصول حاکم بر آنها، مجموعه‌ای به‌عنوان مجموعه امکان تولید، ارائه و قسمتی از مرز آن را به‌عنوان تابع تولید معرفی نمود. این مرز را مرز کارا نیز می‌نامند و واحدهای تصمیم‌گیرنده‌ای که روی این مرز قرار می‌گیرند، کارا ارزیابی می‌شوند. تحلیل پوششی داده‌ها، امکاناتی را برای مطالعه واحدهایی با چند ورودی و چند خروجی فراهم می‌کند. روش DEA بر پایه جبر خطی بنا نهاده شده است و توانایی آن بیشتر به دلیل استفاده از برنامه ریزی خطی است برنامه‌ریزی خطی، تحلیل پوششی داده‌ها را قادر می‌سازد، تا از روش‌های حل مسأله برنامه‌ریزی خطی و قضایای دوآلیتی استفاده کند و به این ترتیب منبع و مقدار ناکارایی را برای هر ورودی و خروجی مشخص کند. تحلیل پوششی داده‌های برای محاسبه کارایی واحدهای تصمیم گیرنده (DMU) توسط چارنز و همکاران پیشنهاد شده است. بنکر وهمکاران در مدل‌های پایه‌ای DEA میزان کارایی واحدهای تحت ارزیابی را تعیین می‌کنند. و به واحدهای ناکارا مقادیرعددی کمتر از ۱ اختصاص می‌دهند. در مدل DEA استاندارد فرض بر این است که تمام داده‌ها دقیق بدون هیچ گونه تغییر شناخته شده است. در کاربردهای مختلف DEA در عمل ممکن است داده‌ها به صورت احتمالی بازه‌ای یا فازی باشند این مدل‌ها معمولاً غیرخطی هستند برای اصلاح این نقص کوپر و همکاران برخی از روش‌ها را برای تبدیل مدل غیر خطی به یک مدل خطی را پیشنهاد دادند همچنین جهانشاهلو و همکاران (۲۰۰۴) روش‌هایی را ارائه نموده‌اند. شرفی و همکاران (۲۰۱۵) در زمینه ارزیابی کارایی و رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیرنده در حضور داده‌های بازه‌ای برخی روش‌های کارآمد را پیشنهاد نموده‌اند. تحلیل پوشش داده‌ها کارایی نسبی مجموعه واحدهای تصمیم‌گیری را ارزیابی می‌کند. کارایی نسبی DMU_P نتیجه مقایسه مقادیر ورودی و خروجی DMU_P و سایر DMU ها در PPS می‌باشد. اگر ورودی‌ها و خروجی‌ها در فواصل مختلف متفاوت باشند، DMUها نمی‌توانند به راحتی مورد ارزیابی قرار گیرند و با استفاده از مقادیر کارایی به دست آمده رتبه‌بندی شوند. وانگ و لئو (۲۰۰۶) مدلی از کارایی کراندار برای ارزیابی عملکرد کلی واحدها پیشنهاد نمودند. حسین زاده لطفی و همکاران (۲۰۰۷) با ارائه یک ایده جدید برای محاسبه کارایی DMUها با داده‌های بازه‌ای، یک تکنیک نوین و کارامد را ارائه و در نهایت، یک روش برای رتبه‌بندی DMUها مطرح نموده‌اند. رجوع شود به مقاله رتبه‌بندی شعب بانک با داده‌های بازه‌ای و کاربرد آن در DEA. جهانشالو و همکاران (۲۰۰۴)، مدل‌هایی در زمینه تعیین بازده به مقیاس واحدهای کاملاً کارا در DEA تحت داده‌های بازه‌ای را مطرح نموده‌اند. تعیین دقیق کارایی و یا عدم کارایی زیرفرایندها در یک مجموعه تصمیم‌گیری و مدیریتی از اهمیت شایانی برخوردار است. سازمانها و واحدهای تولیدی عموماً دارای ساختار شبکه‌ای چند مرحله‌ای هستند و فرایند تولید نهایی نتیجه تعامل و ارتباط زیرفرایندها در این ساختار شبکه‌ای است. در ساختار شبکه‌ای دو مرحله‌ای بردار ورودی X مصرف و بردار خروجی Y تولید می‌شود. این تعریف نیز برای تمام زیرفرایندهای جزئی ساختار شبکه‌ای صادق است. کارایی پویا، مقایسه عملکرد یک سازمان طی دوره‌های مختلف زمانی است که روند رو به رشد و یا کاهش بهره‌وری و موانع را نشان می‌دهد. در عصر کنونی تحولات دانش مدیریت، وجود نظام ارزیابی اجتناب ناپذیر است. مدیران از طریق سیستم اندازه-گیری عملکرد بر فعالیت‌های سازمان خود نظارت دارند. مدیران سازمان‌ها و بخش‌ها جهت برنامه‌ریزی و

کنترل سازمان خود نیاز به اندازه‌گیری و ارزیابی عملکرد واحدهای زیر مجموعه خود دارند تا بتوانند واحدها را مقایسه کرده و از نقاط قوت و ضعف واحدها آگاه شوند و تصمیمات لازم را جهت افزایش عملکرد آنها اتخاذ نمایند.یکی از مؤثرترین روش‌های کاربردی برای سنجش کارایی نسبی واحدهای تصمیم گیری، تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) می‌باشد. امروزه بدلیل پیچیدگی‌های روابط و تعاملات در تولید و عوامل تأثیرگذار برآن عموماً تولیدات نهایی طی فرایندهای مختلف در زیر بخش‌های یک ساختار شبکه‌ای شکل می‌گیرد که وابسته به ورودی‌های چندگانه طی فرایندهای مختلف تولید است. تحلیل پوششی داده‌ها روش ناپارامتریک برای سنجش‌کارایی نسبی واحدهای تصمیم‌گیری است.در این روش، سنجش کارایی نیاز به تخمین تابع تولید ندارد بنابراین کارایی نسبی واحدهای تصمیم گیری تنها براساس داده‌های ورودی و خروجی مشاهده شده ارزیابی می‌شود. از نقاط ضعف مدل‌های سنتی DEA این است که فرآیند تولید واحد تحت ارزیابی را به صورت جعبه سیاه در نظر می‌گیرد که تعدادی ورودی را به خروجی نهایی تبدیل می‌کند. این مدل‌ها فرایند زیربخش‌های واحد تحت ارزیابی را در نظر نمی‌گیرند. در سال‌های اخیر اندازه‌گیری کارایی واحدها با یک ساختار شبکه‌ای دو مرحله‌ای بطور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است. در ساختار شبکه‌ای بعضی از خروجی‌های هر مرحله به عنوان محصول میانی شناخته می‌شوند، این محصول میانی به عنوان ورودی‌های مرحله دیگر در فرایند خروجی مورد استفاده قرار می‌گیرند. جنبه نوآوری در این مقاله مدل‌سازی برای n مرحله و n زیرفرایند و زیربخش و همچنین توسیع آن برای ساختارهای شبکه‌ای n مرحله‌ای در یک شبکه با داده‌های بازه‌ای و کراندار و غیر دقیق می‌باشد. شایان ذکر است که هر زیرفرایند در قالب یک دوره زمانی خاص فرض گردیده و این رویکرد ارزیابی عملکرد پویا را بدنبال خواهد داشت. مطالعات اولیه در زمینه تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای بطور جدی و مستمر در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ توسط پژوهشگران این حوزه شامل فر و گرسکوف (۲۰۰۰)، کائو (۲۰۰۸)، چن و همکاران (۲۰۱۰) و وانکه و همکاران (۲۰۱۹) انجام گرفته است همچنین هایسه و لین (۲۰۱۰)، توجه به ساختار درونی شبکه و ارزیابی کارایی زیرفرایندها اصلی شبکه را به همراه ارزیابی کارایی کل مورد مطالعه قرار داده‌اند. این مطالعه تلاش می‌نماید ارزیابی کارایی دینامیکی واحدهایی با ساختار شبکه‌ای چندمرحله‌ای با داده‌های بازه‌ای و غیردقیق را تحت ایده‌ای به نام معادلسازی دوره‌ای و رویکرد تبدیلی شبکه‌های چند مرحله‌ای به دو مرحله‌ای، مدل‌سازی و مورد ارزیابی قرار دهد. جنبه نوآوری در این مقاله مدل‌سازی برای n مرحله و n فرایند و زیربخش و همچنین توسیع آن برای شناسایی و تعیین میزان کارایی هرزیر بخش و ساختار کلی شبکه‌ی n مرحله‌ای با داده‌های بازه‌ای می‌باشد. تعیین کارایی با داده‌های بازه‌ای و کراندار منجر به تعیین کارایی واحد تصمیم‌گیری در یک بازه بین دو حد پایین و بالا می‌شود. وجود عدم قطعیت در داده‌های مورد استفاده در مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها امری اجتناب ناپذیر است و ضرورت استفاده از این الگوها که توانایی کنترل این عدم قطعیت را دارا باشد خصوصاً در ساختارهای شبکه‌ای پویا امری ضروری است. بنابراین از آنجا که قضاوت های بازه‌ای مطمئن‌تر و تضمین بالاتری می‌دهند و انعطاف‌پذیرند پس به واقعیت نزدیکتر می‌باشند. سنجش کارایی نسبی زیر فرایندهای شبکه و شبکه نهایی نیز با داده‌های بازه‌ای، ارجح‌تر و از قابلیت اطمینان بالاتری به لحاظ ساختاری و تئوریک با توجه به مدل‌های ارائه شده در شرایط عدم دسترسی به تابع تولید برخوردار است. در بخش‌های آینده مدل‌های ارزیابی تحت بازده به مقیاس متغییر با داده‌های بازه‌ای و همچنین مدل CCR تحت داده‌های بازه‌ای مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در ادامه به حل مسائلی که تمام پارامترهای

مسئله در یک بازه قرار دارند و مقادیر مشخصی ندارند پرداخته خواهد شد که کارایی نسبی واحدهای تحت ارزیابی نیز در این صورت بفرم کران بالا و کران پایین بدست می آید. در بخش سوم مقاله ارزیابی کارایی دینامیکی با رویکرد معادل‌سازی دوره‌ای تحت داده‌های بازه‌ای تحلیل می‌شود و مدل پایه‌ای برای رویکرد ایده معادل‌سازی دوره‌ای برای سنجش کارایی واحدهای شبکه‌ای چند مرحله‌ای با داده‌های بازه‌ای و مدل‌های نهایی ارائه می‌گردد و در بخش پایانی مثال کاربردی و نتایج آن تفسیر می‌گردد.

۱-۱. تاریخچه تحلیلی

جدول شماره۱-۱ خلاصه‌ای از تاریخچه تحلیلی ارزیابی با مدل‌های شبکه‌ای است. بیشترین مقالات کاربردی تحلیل پوششی داده‌ها در صنعت بانکداری و مالی انجام شده است و دلیل آن تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها مبتنی بر تکنیک غیرپارامتریک است بنابراین برای مؤسسات مالی و بانکی مناسب است زیرا تابع تولید تعریف شده خوب و مشخصی ندارند (مؤمنی و همکاران، ۱۳۹۶). بانک‌ها نیز مانند بسیاری از واحدهای تولیدی و صنعتی ساختاری شبکه‌ای دارند. مدل‌های سنتی تحلیل پوششی داده‌ها رویکرد جعبه سیاه دارند و ارتباط و تعامل بین زیرساختارها را در نظر نمی‌گیرند بعبارت دیگر در این رویکرد DMU[1] یک واحد کل در نظر گرفته می‌شود بدیهی است تحت این شرایط منابع ناکارایی در زیرساختارها شناسایی نمی‌گردند.

با در نظر گرفتن ساختارهای شبکه‌ای بسیاری از معضلات مرتفع می‌گرد زیرا خروجی یک مرحله ورودی مرحله بعد محسوب می‌گردد و در واقع نقشی دوگانه ایفا می‌کنند. مطالعات گسترده‌ای در زمینه مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها با ساختار شبکه‌ای انجام گرفته است اما این مدل‌ها عموماً بدلایل مختلفی حتی در موارد مشابه تفاوت‌های اساسی دارند. یکی از مهمترین این موارد که مانعی برای ایجاد یک فرم استاندارد برای مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای محسوب می‌گردد ساختار واحدها و تعاملات بین زیرساختارها و ویژه‌گی‌های ورودی‌ها و خروجی‌ها هستند ضمن اینکه ممکن است در یک ساختار شبکه‌ای چندمرحله‌ای بخشی از خروجی یک مرحله یا زیر فرایند سیستم را ترک کند و مابقی آن بعنوان ورودی برای مرحله بعدی با ورودی‌های جدید وارد فرایند شبکه شوند و یا حتی ممکن است خروجی بخشی از زیر ساختار بعنوان خروجی نامطلوب شناسایی شود و لذا مجموعه این تمایزها و تفاوت‌ها باعث گردیده که فرم استانداری بر خلاف مدل‌های سنتی تحلیل پوششی داده‌ها وجود نداشته باشد. بنابراین ساختارهای شبکه‌ای مدل‌های متنوعی خواهند داشت در ادامه در جدول (۱-۱) مطالعات و پژوهش‌های انجام شده در زمینه تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای ارایه می‌شود. جدول ذکرشده مطالعات قبلی(امید و همکاران، ۱۳۹۷) را توسعه داده است و اطلاعات جامعی را درموضوع این پژوهش تبیین می‌نماید.

[1] Decision Making Unit

جدول شماره۱- پژوهش‌های انجام شده در زمینه تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای

نام پژوهشگر	سال پژوهش	نتیجه پژوهش
چارنز و همکاران	۱۹۷۸	ارائه مدل تحلیل پوششی داده‌ای در فرم استاندارد.
سیفورد و ژو	۱۹۹۹	به کارگیری رویکرد کارایی مستقل برای سنجش کارایی شبکه دومرحله‌ای.
تون و تسوتسوی	۲۰۰۹	سنجش کارایی زیرفرآیندهای شبکه به‌طور مستقل.
		سنجش کارایی کل شبکه به صورت مجموع موزون کارایی زیرفرآیندها با در نظر گرفتن اوزان دلخواه
لیانگ و همکاران	۲۰۰۶	کارایی کل شبکه به صورت میانگین وزنی کارایی زیرفرآیندها در نظر گرفته می‌شود
کائو و هوآنگ	۲۰۰۸	توسعه یک مدل مضربی برای محاسبه کارایی شبکه
چن و همکاران	۲۰۰۶	کارایی کل شبکه به صورت حاصل ضرب کارایی زیرفرآیندها مدل می‌شود.
زو و لیانگ	۲۰۱۰	
لی و همکاران	۲۰۱۲	کارایی کل شبکه به صورت حاصل ضرب کارایی زیرفرآیندها مدل می‌شود.
کوک و همکاران	۲۰۱۰	ارائه مدل‌های جمعی برای ساختار شبکه‌ای متوالی
چن و همکاران	۲۰۱۰	ارتباط کارایی کل و کارایی مراحل با استفاده از میانگین موزون وزن‌ها
هایسه و لین	۲۰۱۰	ساختار درونی شبکه و ارزیابی زیرفرایندها اصلی شبکه به همراه ارزیابی شبکه کل
تون و تسوتسوی	۲۰۱۴	رویکرد تحلیل پوششی داده‌های پویا کارایی را در دوره‌های مختلف زمانی ارزیابی می‌کند و هر دوره زمانی را بصورت یکی از زیرفرایند های شبکه مدلسازی می‌کند
کائو	۲۰۱۴	در شرایط نبود ورودی و خروجی مازاد کارایی شبکه به صورت حاصلضرب کارایی زیر فرایندهای مدل می‌شود.
		برای ساختاری دینامیکی با ورودی و خروجی‌های مازاد با اضافه کردن زیرفرایندهای مجازی تأثیر ورودی و خروجی-های مازاد حذف می‌شود
امیرتیموری‌وهمکاران	۲۰۱۶	ارائه مدل جمعی برای ساختار شبکه‌ای
کائو و همکاران	۲۰۱۸	این مطالعه با بهره‌گیری از تجزیه و تحلیل پوشش داده‌های شبکه پویا (DNDEA)، یک مدل را برای یک شرکت حمل و نقل کانتینر[۲] (CSC) با دو فرایند پیشنهاد می‌کند.
مؤمنی‌وهمکاران	۲۰۱۸	طراحی یک مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای غیرشعاعی دو مرحله‌ای جهت ارزیابی عملکرد بانک‌ها
امید و همکاران	۲۰۱۸	براساس رویکرد بلمن و زاده (۱۹۷۰) کارایی کل و کارایی زیر فرایندها همزمان اندازه‌گیری می‌شود.
ماجیوا[۳] و همکاران	۲۰۱۸	استفاده از مدل شبکه تحلیل پوششی دادها (NDEA) برای ارزیابی کارایی، صنعت فراوری برنج کنیا. نتایج مشخص نمود که هنگام استفاده از مدل DEA شبکه، نمرات کارایی کمتری نشان داده می‌شود که نشان دهنده قدرت تشخیص بیشتر آن در مقایسه با روش استاندارد DEA است.
کرباسی یزدی و همکاران	۲۰۱۹	این تحقیق با هدف ارزیابی عملکرد ساختار شبکه‌ای بر اساس چهار ورودی و پنج خروجی انجام شد.
شاه محمدی و اوه[۴]	۲۰۱۹	این مطالعه روند فعالیت های آموزشی و پژوهشی دانشگاه های خصوصی کره را بررسی می‌کند. برای تجزیه و تحلیل پوشش داده‌های شبکه‌ای دو مرحله‌ای و ارزیابی تغییرات کارایی در دانشگاه‌های خصوصی کره با متغیرهای ورودی و خروجی متعدد
اس تورتو[۵]	۲۰۲۰	رویکرد NDEA امکان ارزیابی جامع تری از عملکرد در مقایسه با DEA سنتی را فراهم می‌کند.اهدف این پژوهش تعیین رابطه کارایی و اثربخشی در ارائه خدمات اجتماعی توسط شهرداری‌ها است.
تومی و جوبین[۶]	۲۰۲۰	هدف ازاین مطالعه توصیف پویایی بین‌سیستم مدیریت عملکرد(PMS)و سیستم مدیریت کیفیت(QMS)است.
لطفی و همکاران	۲۰۲۰	نتایج به دست آمده نشان می دهد که روند مدیریت استعداد نقشی اساسی در عملکرد پویا سازمان دارد.

[2] container shipping company
[3] Majiwa
[4] Oh
[5] Storto
[6] Thoumy and Jobin

کمبل و وانخاده[7]	۲۰۲۱	ارائه مدل پویایی سیستم برای بهبود بهره وری در ساخت.نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد که هر صنعتی که می‌خواهد نگرانی در زمینه بهره وری نداشته باشد، باید قبل از هر چیز بر افزایش "فرهنگ سازمانی" ، "مدیریت منابع انسانی" و "عملکرد" برای دستیابی به سطوح بالاتری از بهره وری در آینده تمرکز کند.

۲- مدل‌ها تحت داده‌های بازه‌ای

یک ساختار شبکه‌ای حداقل یک فرایند دو مرحله‌ای است به‌گونه‌ای که خروجی یک مرحله یا تولیدات مرحله نخست، به‌عنوان ورودی مرحله دوم می‌باشد. توجه به ساختار درونی سازمان و ارزیابی کارایی زیر فرایندها اساس روش تحلیل پوششی داده‌ای شبکه‌ای را تشکیل می‌دهد. شکل ۱ یک ساختار شبکه‌ای پویا را نمایش می‌دهد در این ساختار شبکه‌ای تمامی داده‌ها به صورت بازه‌ای و غیر دقیق می‌باشند. هدف در این پژوهش ارائه یک مدل کاربردی با قابلیت و توانمندی لازم برای تطبیق و کنترل عدم قطعیت در داده‌ها و تعیین مناسبات بین زیرفرایندها در کارا شدن واحدهای تحت ارزیابی در دوره‌های زمانی معین است.

در حالت کلی یکی از مدل‌های ارزیابی کارایی ساختار شبکه‌ای فرم پوششی مدل CCR (چارنز و همکاران، ۱۹۷۸) است.

در این مدل تابع هدف به صورت حداکثر مجموع موزون خروجی است ضمناً در این مدل داده‌ها به صورت قطعی و دقیق می‌باشند.

u_{rt}, v_{il} وزن‌های اختصاص یافته به بردار ورودی X^l و بردار خروجی y^t می‌باشد.

n: تعداد مراحل یا زیر فرایندهای شبکه

J: تعداد dmu های تحت بررسی در ساختار شبکه‌ای

$r = 1,...,s$ تعداد خروجی‌ها در هر زیر فرایند

$i = 1,...,m$ تعداد ورودی‌ها در هر زیر فرایند

l: اندیس مربوط به هر دوره ارزیابی برای ورودی‌ها

t: اندیس مربوط به هر دوره ارزیابی برای خروجی‌ها

X^l: بردار ورودی مربوط به هر دوره شبکه و زیرفرایندها

y^t: بردار خروجی مربوط به هر دوره شبکه و زیرفرایندها

در این ساختار تعیین وزن‌ها به صورتی است که کارایی کل‌حداکثر و مجموع موزون خروجی‌ها کوچکتر مساوی مجموع موزون ورودی‌ها است.

$$z_p = \max \quad (\sum_{t=1}^{n}\sum_{r=1}^{s} u_{rt} y_{ro}^{t})$$

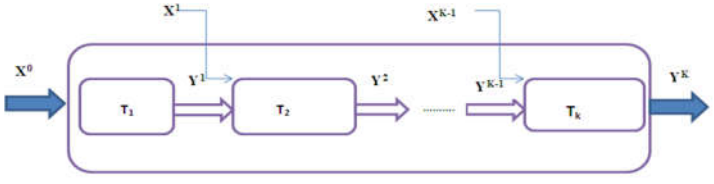
$$st \quad \sum_{l=1}^{n}\sum_{i=1}^{m} v_{il} x_{io}^{l} = 1 \qquad (1)$$

$$\sum_{t=1}^{n}\sum_{r=1}^{s} u_{rt} y_{rj}^{t} - \sum_{l=1}^{n}\sum_{i=1}^{m} v_{il} x_{ij}^{l} \le 0 \quad , \quad \forall j$$

$$(u_{rt}, v_{il}) \ge \varepsilon \quad , \quad \forall r, \forall i, \forall t, \forall l$$

این مدل ارائه شده تنها توانایی ارزیابی کارایی کلی شبکه را دارد و امکان ارزیابی زیرفرایندها را ندارد بنابراین نمی‌توان کارایی (پویا) سالیانه واحدها را با آن سنجید. (لیو و همکاران، ۲۰۱۳)

مسائل بازه ای عبارتند از مسائلی که مقادیر پارامتری در بازه قرار دارند و مقادیر دقیق آنها مشخص نیست.



شکل ۱- ساختار شبکه‌ای چند مرحله‌ای پویا

[7] Kamble and Wankhade

۲-۱: مدل‌های ارزیابی تحت بازده به مقیاس متغییر با داده‌های بازه‌ای

فرض کنید که ما n -DMU داریم که ورودی x_{ij} از m ورودی $i=(1,...,m)$ برای تولید y_{rj} خروجی $r=(1,...,s)$ استفاده می کند و $j=(1,...,n)$ و همچنین فرض کنید که سطح ورودی و خروجی هر DMU دقیقا مشخص نیست.

همچنین فرض کنید: $x_{ij}\in(\bar{x}_{ij},\underline{x}_{ij}), y_{rj}\in(\bar{y}_{rj},\underline{y}_{rj})$ که در آن کران های پایین و بالا معلوم واکیداً مثبت هستند. اکنون مدل VRS- DEA را به صورت زیر بررسی می‌کنیم: (جهانشاهلو و همکاران، ۲۰۰۴)

$$\begin{aligned}
&\max \sum_{r=1}^{s} y_{ro}u_r - u_o \\
&s.t - \sum_{i=1}^{m} x_{ij}v_i + \sum_{r=1}^{s} y_{rj}u_r - u_o \le 0 \quad , \qquad \forall j \\
&\sum_{i=1}^{m} x_{io}v_i = 1 \\
&-v_i \le -\varepsilon \ , \forall i \\
&-u_r \le -\varepsilon \ , \forall r \\
&u_o \ free
\end{aligned} \tag{1}$$

فرض کنید داده‌ها بازه‌ای هستند، بنابراین مدل فوق غیرخطی خواهد بود در حال حاضر برای بررسی DMU ها با فرض داده‌های بازه‌ای، ابتدا مدل (۲) را به کمک تغییر متغیر زیر به یک مدل خطی تبدیل می‌کنیم.

$$x_{ij}=\underline{x}_{ij}+s_{ij}(\bar{x}_{ij}-\underline{x}_{ij}), 0\le s_{ij}\le 1, \forall i, \forall j$$
$$y_{rj}=\underline{y}_{rj}+t_{rj}(\bar{y}_{rj}-\underline{y}_{rj}), 0\le t_{rj}\le 1, \forall i, \forall j$$

با این تغییر، متغیرهای جدید s_{ij} و t_{rj} به مسأله اضافه می‌شوند.

فرض کنید: $q_{ij}=s_{ij}v_i, \forall i \ \& \ p_{rj}=t_{rj}u_r, \forall r, \forall j$ بنابراین این نابرابری‌ها $0\le s_{ij}\le 1 \ \& \ 0\le t_{rj}\le 1$ $0\le p_{rj}\le u_r, 0\le q_{ij}\le v_i$ از این رو مدل (۲) می‌تواند به صورت زیر نوشته شود.

$$\begin{aligned}
&\max \sum_{r=1}^{s} \underline{y}_{ro}u_r + (\bar{y}_{ro}-\underline{y}_{ro})p_{ro} - u_o \\
&st \\
&-\sum_{i=1}^{m}\underline{x}_{ij}v_i + (\bar{x}_{ij}-\underline{x}_{ij})q_{ij} + \sum_{r=1}^{s}\underline{y}_{rj}u_r + (\bar{y}_{rj}-\underline{y}_{rj})p_{rj} - u_o = 0, \forall j \\
&\sum_{i=1}^{m}\underline{x}_{ij}v_i + (\bar{x}_{ij}-\underline{x}_{ij})q_{ij} = 1 \qquad (3) \\
&q_{ij}-v_i \le 0, \qquad \forall i, \forall j \\
&p_{rj}-u_r \le 0, \qquad \forall r, \forall j \\
&-v_i \le -\varepsilon, \qquad \forall i \\
&-u_r \le -\varepsilon, \qquad \forall j \\
&-q_{ij} \le 0, \qquad \forall i, \forall j \\
&-p_{rj} \le 0, \qquad \forall r, \forall j \\
&u_o \ free.
\end{aligned}$$

مدل فوق یک مدل DEA است.

وقتی $q_{ij}=p_{rj}=0$ آنگاه داده‌ها دقیق هستند و مدل بالا به عنوان یک مورد خاص کاملاً از مدل‌های BCC-DEA تبعیت می‌کند. با استفاده از این مدل می‌توان کران بالا و پایین و میزان کارایی واحدها را به خوبی طبقه‌بندی کرد وآنها را در محدوده بازه داده‌ها تعریف نمود.

$$\begin{aligned}
&\max u_o \\
&-\sum_{i=1}^{m}\underline{x}_{ij}v_i + (\bar{x}_{ij}-\underline{x}_{ij})q_{ij} + \sum_{r=1}^{s}\underline{y}_{rj}u_r + (\bar{y}_{rj}-\underline{y}_{rj})p_{rj} - u_o \le 0, \qquad \forall j \ne 0 \\
&-\sum_{i=1}^{m}\underline{x}_{io}v_i + (\bar{x}_{io}-\underline{x}_{io})q_{ij} + \sum_{r=1}^{s}\underline{y}_{ro}u_r + (\bar{y}_{ro}-\underline{y}_{ro})p_{ro} - u_o = 0 \qquad (4) \\
&\sum_{i=1}^{m}\underline{x}_{io}v_i + (\bar{x}_{io}-\underline{x}_{io})q_{io} = 1 \\
&q_{ij}-v_i \le 0, \qquad \forall i, \forall j \\
&p_{rj}-u_r \le 0, \qquad \forall r, \forall j \\
&-v_i \le -\varepsilon, \qquad \forall i \\
&-u_r \le -\varepsilon, \qquad \forall j \\
&-q_{ij} \le 0, \qquad \forall i, \forall j \\
&-p_{rj} \le 0, \qquad \forall r, \forall j \\
&u_o \ free.
\end{aligned}$$

۲-۲- مدل CCR تحت داده‌های بازه‌ای (دسپوتیز و اسمیر لیس، ۲۰۰۲)

فرض کنید L کران پایین داده‌های بازه‌ای و u کران بالای داده‌های بازه‌ای باشند و همچنین فرض کنید n واحد تصمیم‌گیری (DMU_S) داریم که هر واحد خروجی بازه‌ای S را $y_{rj}\in\left[y_{rj}^L, y_{rj}^U\right], (r=1,...,s)$ با استفاده از ورودهای بازه‌ای m $x_{rij}\in\left[x_{ij}^L, x_{ij}^U\right], (i=1,...,m)$ در جائیکه y_{rj}^L, y_{rj}^U، x_{ij}^L و x_{ij}^U اکیداً مثبت هستند تولید می‌کند.

براساس مدل‌های زیر θ^L کارایی کران پایین داده‌های بازه‌ای و θ^u کارایی کران بالای داده‌های بازه‌ای واحدهای تصمیم‌گیری را ارزیابی می‌کند.

$$\begin{aligned}&\theta^L=\min\theta\\&s.t\sum_{j=1}^{n}\lambda_j x_{ij}^L+\lambda_o x_{io}^u\le\theta x_{io}^u, i=1,...,m\\&\sum_{j=1}^{n}\lambda_j y_{rj}^u+\lambda_o y_{ro}^L\ge y_{ro}^L, r=1,...,s\\&\lambda_j\ge 0, j=1,...,n\end{aligned}\qquad(5)$$

$$\begin{aligned}&\theta^u=\min\theta\\&s.t\sum_{j=1}^{n}\lambda_j x_{ij}^u+\lambda_o x_{io}^L\le\theta x_{io}^L, i=1,...,m\\&\sum_{j=1}^{n}\lambda_j y_{rj}^L+\lambda_o y_{ro}^u\ge y_{ro}^u, r=1,...,s\\&\lambda_j\ge 0, j=1,...,n\end{aligned}\qquad(6)$$

اشکال روش فوق در رابطه با مرزهای کارایی و عدم مقایسه صحیح واحدهای تصمیم‌گیری است (وانگ و همکاران، ۲۰۰۵).

۲-۳- مدل CCR تحت داده های بازه‌ای (وانگ و همکاران، ۲۰۰۵).

فرض کنید L کران پایین داده‌های بازه‌ای و u کران بالای داده‌های بازه‌ای باشند و همچنین فرض کنید n واحد تصمیم‌گیری (DMU_S) داریم که هر واحد خروجی بازه‌ای S را $y_{rj}\in\left[y_{rj}^L, y_{rj}^U\right], (r=1,...,s)$ با استفاده از ورودهای بازه‌ای m $x_{rij}\in\left[x_{ij}^L, x_{ij}^U\right], (i=1,...,m)$ در جائیکه y_{rj}^L, y_{rj}^U، x_{ij}^L و x_{ij}^U اکیداً مثبت هستند تولید می‌کند.

$$\begin{aligned}&\bar{\theta}^L=\min\ \theta\\&s.t.\\&\sum_{j=1}^{n}\lambda_j x_{ij}^L\le\theta x_{io}^U,\quad i=1,...,n.\\&\sum_{j=1}^{n}y_{rj}^U\le y_{ro}^L,\qquad r=1,...,s.\\&\lambda_j\ge 0,\qquad j=1,...,n.\end{aligned}\qquad(7)$$

$$\begin{aligned}&\bar{\theta}^U=\min\ \theta\\&s.t.\\&\sum_{j=1}^{n}\lambda_j x_{ij}^L\le\theta x_{io}^L,\quad i=1,...,n.\\&\sum_{j=1}^{n}y_{rj}^U\le y_{ro}^U,\qquad r=1,...,s.\\&\lambda_j\ge 0,\qquad j=1,...,n.\end{aligned}\qquad(8)$$

در جائیکه $\bar{\theta}^L$ & $\bar{\theta}^U$ کارایی کران پایین وکران بالای برای DMU_O می‌باشند.

DMU_O کارا نامیده می‌شود اگر و فقط اگر $\bar{\theta}^L=1$ باشد.

۲-۴: فرض کنید n واحد تصمیم‌گیری (DMU_J), $(j=1...,n)$ برای ارزیابی داریم، هر DMU از m ورودی برای تولید s خروجی استفاده می‌کند و $x_j=\left(x_{1j},...,x_{mj}\right)$ و $y_j=\left(y_{1j},...,y_{sj}\right)$ و $x_j\neq 0$ و $y_j\neq 0$ و $x_j\ge 0$ و $y_j\ge 0$ با مدل CCR ورودی محور کارایی نسبی ارزیابی می‌شود. (حسین زاده‌لطفی و همکاران، ۲۰۰۷)

$$e^{p} = \max \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rp}$$
$$s.t \sum_{r-1}^{s} u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} \le 0, j = 1,...,n \qquad (9)$$
$$\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ip} = 1, i = 1,...,m, r = 1,...,s$$

جایی که $U = (u_1,...,u_S)$ و $V = (v_1,...,v_m)$ وزن‌های ورودی و خروجی معلوم نیستند و با حل مدل (۷) مشخص می‌گردند. فرض کنید که (U^*, V^*) جواب بهینه مسأله مدل (۹) باشد آنگاه DMU_P تحت ارزیابی کارای نسبی است اگر و فقط اگر $e_p^* = 1$ باشد در غیر این صورت گفته می‌شود که DMU_P تحت ارزیابی ناکارا است. فرض براین است که مقادیر تمام ورودی و خروجی‌های هر DMU دقیق می‌باشد.

۲-۵: فرض کنید مقادیر ورودی و خروجی هر واحد تصمیم‌گیری در یک بازه مشخص قرار گیرد در جای که x_{ij}^L و x_{ij}^U کران پایین و بالای i –امین ورودی j –امین DMU باشد و Y_{rj}^L و Y_{rj}^U کران پایین و بالای r–امین خروجی j–امین DMU باشد و $X_{ij}^L \le X_{ij} \le X_{ij}^U$ و $Y_{rj}^L \le Y_{rj} \le Y_{rj}^U$ چنین داده‌هایی، داده‌های بازه‌ای هستند زیرا در یک بازه قرار دارند. توجه شود که همیشه $X_{ij}^L \le X_{ij}^U$ و $Y_{rj}^L \le Y_{rj}^U$ می‌باشد. اگر $X_{ij}^L = X_{ij}^U$ آنگاه i- امین ورودی j – امین DMU مقدار معین و دقیقی دارد.
مسائل بازه‌ای عبارتند از مسائلی که مقادیر پارامتری در بازه قرار دارند و مقادیر دقیق آنها مشخص نیست.
مدل CCR برای ارزیابی DMU_P (e_P) با داده‌های بازه‌ای به صورت زیر است. (روابط ۱۰و۱۱و۱۲) (حسین زاده‌لطفی و همکاران، ۲۰۰۷).

$$e_p = \max \sum_{r=1}^{s} u_r \left[y_{rp}^L, y_{rp}^U \right]$$
$$s.t.$$
$$\sum_{r=1}^{s} u_r \left[y_{rj}^L, y_{rj}^U \right] - \sum_{i=1}^{m} v_i \left[x_{ij}^L, x_{ij}^U \right] \le 0, j = (1,...,n) \qquad (10)$$
$$\sum_{i=1}^{m} v_i \left[x_{ip}^L, x_{ip}^U \right] = 1$$
$$u_r, v_i \ge \varepsilon, (1,...,m), r = (1,...,s)$$

۲-۶: در مسائلی که تمام پارامترهای مسئله در یک بازه قرار دارند و مقادیر مشخصی ندارند کارای نسبی DMU_P نیز در یک بازه قرار دارد. کران بالا و پایین کارایی نسبی DMU_P با حل مدل زیر بدست می‌آید.

$$e_p^U = \max \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rp}^U$$
$$s.t \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^L - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}^U \le 0, j = (1,...,n, j \ne p)$$
$$\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rp}^U - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ip}^L \le 0$$
$$\sum_{i=1}^{m} v_i x_{rp}^L = 1$$
$$u_r, v_i \ge \varepsilon, i = (1,...,m), r = (1,...,s) \qquad (11)$$
$$e_p^L = \max \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rp}^L$$
$$s.t \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^U - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}^L \le 0 \quad , j = (1,...,n, j \ne p)$$
$$\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rp}^L - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ip}^U \le 0$$
$$\sum_{i=1}^{m} v_i x_{rp}^U = 1$$
$$u_r, v_i \ge \varepsilon, i = (1,...,m), r = (1,...,s) \qquad (12)$$

در صورتیکه حداکثر و حداقل مدل‌های فوق را با e_P^U و e_P^L نشان دهیم در این صورت کارایی واحدها در بازه $\left[e_P^L, e_P^U \right]$ محاسبه می‌شود.

۳- ارزیابی کارایی دینامیکی با رویکرد معادل سازی دوره‌ای تحت داده‌های بازه‌ای در این بخش رویکرد معادل سازی دوره‌ای جهت ارزیابی کارایی دینامیکی در ساختارهای شبکه‌ای n مرحله‌ای با داده‌های بازه‌ای ارائه گردیده است. در این رویکرد ارتباط و تعامل بین زیرفرایندهای یک شبکه چند مرحله‌ای و شبکه نهایی در شرایط عدم دسترسی به تابع تولید بطور تام در نظر گرفته می‌شود و در نهایت کارایی زیرفرایندها و شبکه نهایی در تعامل کامل با یکدیگر و بر مبنای الگوی کارای قوی و بر اساس مدل‌های طراحی شده غیر شعاعی، ارزیابی می‌گردند. در ساختار شبکه‌ای بعضی از خروجی‌های هر مرحله به عنوان محصول میانی شناخته می‌شوند، این محصول میانی به عنوان ورودی‌های مرحله دیگر در فرایند خروجی مورد استفاده قرار می‌گیرند. نقص موجود در رویکردهای فعلی عدم توانایی در ارزیابی کارایی کل شبکه و کارایی زیر فرایندهای شبکه‌ای بطور همزمان می‌باشد.

جنبه‌های نوآوری در این تحقیق:

۱- رویکرد تبدیلی شبکه‌های چند مرحله‌ای به دو مرحله‌ای و ایجاد یک شبکه مجازی کارای قوی، قادر به ارزیابی کارایی دینامیکی زیرفرایندها در دوره‌های زمانی مختلف می‌باشند.

۲- مدل‌های مورد نظر این تحقیق برای ارزیابی کارایی پویا واحدهایی با ساختار شبکه‌ای n مرحله‌ای و با n زیر فرایند تحت داده‌های بازه‌ای برمبنای ارزیابی همزمان کارایی‌کل و کارایی زیر فرایندها و بهینه‌سازی مدل‌ها بر اساس یک الگوی کارای قوی ارائه می‌شود.

۳- این تحقیق نقاط ضعف و ناتوانی تمامی روش‌های پیشین در خصوص سنجش کارایی دینامیکی واحدهایی با ساختار شبکه‌ای چند مرحله‌ای تحت داده‌های بازه‌ای را بطور کامل جبران می‌نماید.

این تحقیق به بررسی تأثیر زیرفرایندها بر کارایی کل و سنجش کارایی پویا واحدهایی با ساختار شبکه‌ای چندمرحله‌ای پرداخته و اطلاعات مفیدی در خصوص کارایی و عدم کارایی واحدها و منابع ناکارایی هر بخش از زیر مجموعه‌های مدیریتی در اختیار قرار داده و منبعی مناسب برای مدیران این شرکت‌ها و واحدهای تصمیم‌گیری می‌باشد تا با استفاده از این یافته‌ها، مؤلفه‌های مؤثر در افزایش بهره‌وری سازمانی راشناخته و براین اساس بتوانند در اجرای سیاست‌های مربوطه با تکیه بر مؤلفه‌های تأثیرگذار سرمایه‌های سازمانی راحفظ و توسعه داده و تصمیمات درست و منطقی اتخاذ نمایند.

۳-۱: تعریف واژه‌ها و اصطلاحات بکار رفته در این مطالعه

۱- سنجش کارایی پویا: کارایی پویا یا دینامیکی اندازه‌گیری کارایی واحدهای شبکه‌ای طی دوره‌های زمانی مختلف می‌باشد.

۲-ساختار شبکه‌ای دو مرحله‌ای: در ساختار شبکه‌ای دو مرحله‌ای سری، سیستم با مصرف بردار ورودی X بردار خروجی Y را تولید می‌کند و این تعریف برای تمام زیرفرایندهای یک ساختار شبکه‌ای قابل توسیع است.

۳-شبکه‌های پایه‌ای: شبکه‌های پایه‌ای عبارتند از جزئی‌ترین شبکه‌های دو مرحله‌ای غیر قابل تجزیه که اساساً با مصرف بردار x_i بردار خروجی y_r را تولید می‌نمایند و با مدل‌های استاندارد تحلیل پوششی داده‌ها قابل ارزیابی هستند.

۴-ساختار شبکه‌ای n مرحله‌ای قابل تبدیل به ساختار دو مرحله‌ای ایده این پژوهش: در این ساختار هر مرحله می‌تواند شامل چندین زیر بخش یا زیرفرایند جزئی‌تر باشد بنابراین هر مرحله خود یک شبکه تلقی شود که شامل زیربخش‌های جزئی‌تری است که با مصرف بردار ورودی X بردار خروجی Z (متغیر میانی)را تولید می‌کند این طرز تلقی و رویکرد

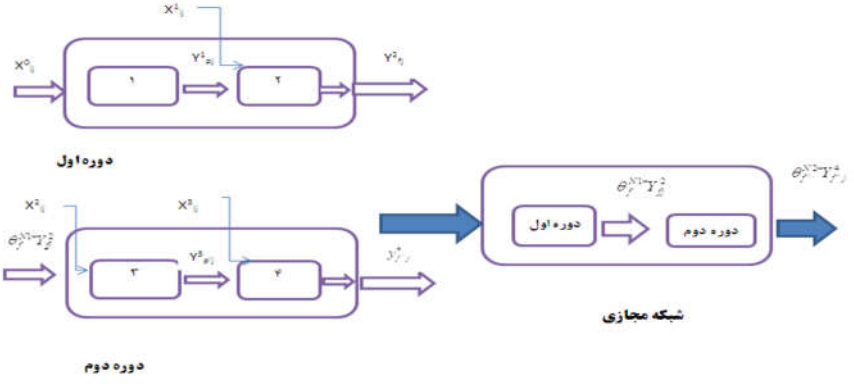
می‌تواند تا جزئی‌ترین زیربخش‌ها در هر مرحله در نظرگرفته شود این فرایند می‌تواند به شکل زنجیره‌ای از شبکه‌های جزئی دو مرحله‌ای و منطبق با همان تعریف اولیه، مصرف بردار X و تولید بردار خروجی Y قابل تعمیم و ارزیابی باشد.

۵- دوره اول و دوره دوم: هر دوره یک بازه زمانی مشخص از عملکرد واحدهای تصمیم‌گیری است که شامل شبکه‌های پایه‌ای است. این شبکه‌های پایه‌ای همان زیرفرایندها هستند که معرف عملکرد واحد تصمیم‌گیری در طی یک دوره تحت ارزیابی است بنابراین دوره اول شامل بافت فرایند مرحله اول و مرحله دوم و دوره دوم شامل بافت فرایند مرحله سوم و چهارم است در ضمن خروجی دوره اول بعنوان ورودی دوره دوم (مرحله سوم شبکه) در نظر گرفته می‌شود به‌عبارت دیگر دوره دوم تابعی از دوره اول می‌باشد.

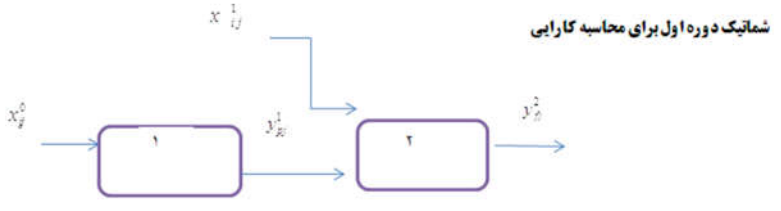
۶- شبکه مجازی: ساختار دوره اول و دوره دوم در تلفیق با یکدیگر یک شبکه مجازی را تشکیل می‌دهند، این شبکه مجازی یک واحد کارای شبکه قوی است که زیر زیرفرایندهای آن که شامل دوره اول و دوره دوم است هر یک کارای قوی هستند بنابراین شبکه مجازی اساساً یک واحد کارای شبکه قوی است.

۳-۲: شبکه دو مرحله‌ای مبنا با داده‌های بازه‌ای

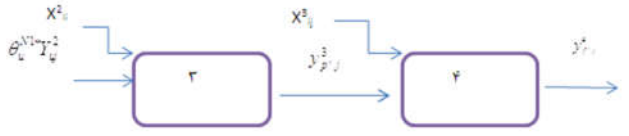
بر اساس تعریف یاد شده بالا از ساختار شبکه و دوره اول و دوره دوم و همچنین شبکه مجازی یک شماتیک دو مرحله‌ای مبنا بفرم شکل ۲ و ۳ می‌باشد. شکل ۴ شماتیک دوره دوم برای محاسبه کارایی است. دوره دوم تابعی از دوره اول می‌باشد بنابراین خروجی نهایی دوره اول بخشی از ورودی دوره دوم است. با خروجی‌های ($\theta_p^{*1} y_{pj}^1$ & $\theta_u^{N1*} Y_{uj}^2$) زیرفرایندهای اول و دوم و شبکه در دوره اول کارا می‌باشند.



شکل ۲: شبکه دو دوره‌ای مبنا و شبکه مجازی



شکل ۳: شماتیک دوره اول



شکل۴: شماتیک دوره دوم

۳-۳: تکنولوژی تولید

مجموعه امکان تولید برای ساختار شکل-۳ (دوره اول) بدین ترتیب است که X_{ij}^{0} بتواند Y_{rj}^{1}(متغیر میانی–واسطه‌ای) را تولید کند و X_{ij}^{1} و Y_{rj}^{1} بتواند Y_{rj}^{2} را تولید کند. دوره اول یک ساختار تولید دو قسمتی دارد همچنین مجموعه امکان تولید برای ساختار شکل-۴ دوره دوم به این صورت است که Y_{rj}^{2} حاصل از دوره اول و X_{ij}^{2} بتواند Y_{rj}^{3} (متغیر میانی–واسطه‌ای) را تولید کند و Y_{rj}^{3} و X_{ij}^{3} بتواند خروجی نهایی Y_{rj}^{4} را تولید کند بنابراین تکنولوژی تولید در مجموع یک ساختار تولید چهار قسمتی است که شامل امکان تولید دوره اول و امکان تولید دوره دوم و شبکه نهایی است بطوری که سیستم با مصرف بردار ورودی بردار خروجی را تولید می‌کند بنابراین مدلسازی نهایی براساس تکنولوژی تعریف شده و رویکرد معادلسازی دوره‌ای منجر به یک مدل غیر شعاعی می‌شود که با در نظر گرفتن مدل پایه‌ای و مدل مبنا، محاسبه کارایی کران پایین و کران بالا واحدهای تحت ارزیابی را انجام می‌دهد.

$$
\begin{aligned}
&T=\{X,Y\,|\,X\geq\sum_{j=1}^{n}\lambda_{1j}X_{ij}^{0}\,,\ Y\leq\sum_{j=1}^{n}\lambda_{1j}Y_{rj}^{1}\ ;\\
&X\geq\sum_{j=1}^{n}\lambda_{2(1)j}X_{ij}^{1},\ Y\geq\sum_{j=1}^{n}\lambda_{2(1)j}Y_{rj}^{1},\ Y\leq\sum_{j=1}^{n}\lambda_{2(1)j}Y_{rj}^{2};\\
&X\geq\sum_{j=1}^{n}\lambda_{3j}X_{ij}^{2},\ Y\geq\sum_{j=1}^{n}\lambda_{3j}Y_{rj}^{2},\ Y\leq\sum_{j=1}^{n}\lambda_{3j}Y_{rj}^{3}\ ;\\
&X\geq\sum_{j=1}^{n}\lambda_{4j}X_{ij}^{3},\ Y\geq\sum_{j=1}^{n}\lambda_{4j}Y_{rj}^{3},\ Y\leq\sum_{j=1}^{n}\lambda_{4j}Y_{rj}^{4},\ \lambda\geq0\}
\end{aligned}
\qquad (13)
$$

معمولاً تکنولوژی تولید (PPS) را با نمادهای کلی نمایش می‌هند پس بفرم زیر نیز می‌توان نشان داد.

$$
\begin{aligned}
&T=\{X,Y\,|\,X\geq\sum\lambda_1X^{0}\,,\ Y\leq\sum\lambda_1Y_{p}^{1}\ ;\\
&X\geq\sum\lambda_{2(1)}X^{1},\ Y\geq\sum\lambda_{2(1)}Y_{p}^{1},\ Y\leq\sum\lambda_{2(1)}Y_{f}^{2};\\
&X\geq\sum\lambda_{3}X^{2},\ Y\geq\sum\lambda_{3}Y_{f}^{2},\ Y\leq\sum\lambda_{3}Y_{p'}^{3}\ ;\\
&X\geq\sum\lambda_{4}X^{3},\ Y\geq\sum\lambda_{4}Y_{p'}^{3},\ Y\leq\sum_{n}^{n}\lambda_{4}Y_{f'}^{4},\ \lambda\geq0\}
\end{aligned}
\qquad (13\text{-}1)
$$

۴-۳: مدل‌سازی براساس T (مجموعه امکان تولید (PPS) دوره اول، دوره دوم و شبکه نهایی) ایده معادلسازی دوره‌ای

مدل پیشنهادی این پژوهش، یک مدل غیرشعاعی با تکنولوژی تعریف شده در قالب یک شبکه تبدیلی‌چهار مرحله‌ای می‌باشد که قابلیت ارزیابی چندین زیر فرایند را بطور همزمان دارد. همچنین این مدل تعامل و ارتباط بین زیر فرایندها و کل شبکه را در هر مرحله و هر دوره در نظر می‌گیرد و بر اساس داده‌های بازه‌ای، کارایی شبکه نهایی (شبکه کل) وکارایی زیرفرایندها را در بازه $\left[\theta_P^L,\theta_P^U\right]$ محاسبه می‌نماید. همچنین این ارزیابی بر اساس الگوی یک واحد کارای قوی شبکه می‌باشد و واحدی کارا محسوب می‌گردد که $e_p^L=1$ باشد.

دلیل استفاده از رویکرد مبتنی بر مجموعه امکان تولید به‌جای رویکرد های مبتنی برکارایی در حوزه تحلیل پوششی داده های شبکه‌ای اندازه‌گیری همزمان کارایی کل و زیرفرایندها و در نظر گرفتن تعامل زیر ساختارها با یکدیگر و شبکه نهایی است در

حالیکه سایر رویکردها ارتباط بین زیر ساختارها و تأثیر آنها را در یکدیگر در نظر گرفته نمی‌شود و عموماً رویکرد جعبه سیاه دارند. همچنین در رویکرد تجزیه کارایی، ابتدا کارایی کل براساس ورودی‌ها و خروجی‌ها کلی سنجیده می‌شود سپس ارتباط بین زیرفرایندها اندازه گیری می‌شوند. و در رویکرد تجمیع کارایی نیز ابتدا، ارتباطات بین زیرفرایندها اندازه‌گیری می‌شوند، سپس کارایی کل بنابراین کارایی جزئی بر این اساس تعیین نمی‌شوند. (کائو ۲۰۱۶)

نقص موجود در دو رویکرد یاد شده بالا عبارتست از عدم توانایی در ارزیابی کارایی کل شبکه و کارایی زیر فرایندهای شبکه‌ای بطور همزمان است.

دلیل استفاده از برنامه‌ریزی بازه‌ای در این تحقیق بجای رویکرد بهینه‌سازی استوار:

در مسائل دنیای واقعی ممکن است با تغییر یکی از داده‌ها، تعداد زیادی از محدودیت‌ها نقض و جواب به دست آمده غیر بهینه یا حتی غیر ممکن شود. از این رو، چالش اصلی در این گونه مسائل، رسیدن به پاسخ مسئله است که در مقابل عدم اطمینان داده‌ها استوار باشد؛ به اصطلاح این جواب‌ها را جواب‌های استوار و این دسته از مسائل بهینه سازی‌ها را مسائل بهینه سازی استوار می‌نامند

نظریه برنامه‌ریزی یا بهینه‌سازی استوار روش ریسک گریزی را برای مواجهه با عدم اطمینان فراهم می‌سازد.

استواری به این مفهوم است که خروجی مدل نباید حساسیت زیادی به مقادیر دقیق پارامترهای ورودی داشته باشد.

به‌طور کلی می‌توان مدل‌های معرفی شده در زمینه برنامه‌ریزی استوار را به دو فهرست کلی تقسیم‌بندی کرد.

دسته اول مدل‌هایی است که مبتنی بر سناریوهای گسسته تعریف می‌شود. در این مدل‌ها مقدار تابع هدف در هر یک از سناریوها باید اختلاف کمی با یکدیگر داشته باشند.

دسته دوم نیز براساس مفهوم مجموعه‌های عدم اطمینان و مبتنی بر نوسان پارامترها در یک بازه است. در این مدل‌ها، عدم اطمینان در شکل مجموعه‌های عدم اطمینان کران‌دار مدل‌سازی می‌شود و هدف به دست آوردن جواب است که نسبت به تقریباً تمام پارامترهای عدم اطمینان حساسیت نداشته باشد. در واقع، پارامترهای پیوسته را می‌توان با رویکرد برنامه‌ریزی استوار در فواصل مشخصی محدود کرد و عدم اطمینان را در یک مجموعه مناسب جای داد.

استواری بهینگی نیز به این معنی است که مقدار تابع هدف برای جواب مسئله باید نزدیک به مقدار بهینه باقی بماند یا دارای حداقل انحرافات نامطلوب از مقدار بهینه برای هر یک از مقادیر سناریوها باشد. (منبع سایت آموزشی بهین یاب دات کام)

بنابراین اساساً رویکرد بهینه‌سازی استوار بلحاظ ساختاری از توانایی لازم برای ارزیابی کارایی زیر ساختارها در تعامل با یکدیگر در قالب یک شبکه نهایی و چند مرحله‌ای برخوردار نمی‌باشد و بدنبال تعیین مقادیر تابع هدف است بنابراین ضرورت دارد در یک ساختار شبکه‌ای چند مرحله‌ای برای ارزیابی کارایی زیرفرایندها که ورودی یک مرحله بعنوان خروجی مرحله بعد می‌باشد از برنامه‌ریزی بازهای استفاده کرد. برنامه‌ریزی بازه‌ای این امکان را فراهم می‌سازد که کارایی زیر ساختارها در تعامل با یکدیگر و شبکه نهایی توأم تعیین شود و این امکان را فراهم می‌نماید که در کنار ارزیابی زیرفرایندها، منابع ناکارایی نیز شناسایی شود و با انجام تغییرات لازم در متغیرها واحدهای ناکارا را کارا نمود.

۳-۵: معرفی نمادها و اندیس‌ها

در هر سال مالی ورودی‌ها و خروجی‌های واحدهای تصمیم‌گیری دارای کران بالا و کران پائین می‌باشند.

t برابر است با تعداد دوره زمانی جهت ارزیابی واحدهای تصمیم‌گیری که در اینجا هر واحد تصمیم گیری معادل یک دوره زمانی یکساله در یک ساختار

شبکه‌ای در نظر گرفته شده است بنابراین تعداد زیر فرایندها برابر با مدت دوره ارزیابی در یک ساختار شبکه‌ای $t=n$ مرحله‌ای می‌باشد.

در حالت کلی با توجه به داده‌های بازه‌ای وضعیت ورودی‌ها و خروجی‌های هر واحد تصمیم‌گیری به لحاظ کمی و کیفی بقرار زیر می‌باشند. (L , U) معرف کران پائین و کران بالای ورودی‌ها و خروجی‌ها می‌باشند.

۱- کلیه ورودی‌ها در قالب سرمایه‌ها و تأمین منابع مالی است که از محل فروش سهام و وام وارد سیستم می‌شود. (X_{ij}^{t})

۲- خروجی‌ها شامل (خروجی‌های میانی–لینک واسطه‌ای) و خروجی در هر مرحله و خروجی شبکه نهایی است که شامل تولیدات سرمایه‌ای و یا تولیدات قابل فروش و تبدیل به سرمایه بوده و دارای ارزش افزوده است.تولیدات میانی بعنوان سرمایه های جاری وارد چرخه تولید سال بعد می‌گردد. ($y_{rj}^{1}, y_{rj}^{2}, \ldots, y_{rj}^{n-1}$)

۳- خروجی‌های ($y_{rj}^{1}, y_{rj}^{2}, \ldots, y_{rj}^{n-1}$) بخشی از تولیدات سال اول تا سال $(n-1)$ می‌باشد که جزئی از درآمدهای سالیانه واحدهای تولیدی تحت ارزیابی است که از محل فروش محصولات، حاصل شده است.

۴- خروجی نهایی شبکه شامل کل درآمد حاصل در پایان سال مالی مورد ارزیابی است. (y_{fj}^{n})

۵- در یک دوره چهار ساله نمادها بشرح زیر تعیین می‌شوند: ($n=4$) (تعداد زیرفرایندهای شبکه)

X_{ij}^{0L} , X_{ij}^{0U} ورودی سال اول برای واحد تصمیم گیری $j-$ام و X_{ij}^{1L} , X_{ij}^{1U} ورودی سال دوم از محل فروش سهام و افزایش سرمایه برای واحد تصمیم گیری $j-$ام و X_{ij}^{2L} , X_{ij}^{2U} ورودی سال سوم از محل فروش سهام و افزایش سرمایه برای واحد تصمیم گیری $j-$ام و X_{ij}^{3L} , X_{ij}^{3U} ورودی سال چهارم از محل فروش سهام و افزایش سرمایه برای واحد تصمیم‌گیری $j-$ام

Y_{pj}^{1L} , Y_{pj}^{1U} خروجی سال اول برای واحد تصمیم گیری $j-$ام و ورودی سال دوم برای زیرفرایند دوم در دوره اول

Y_{fj}^{2L} , Y_{fj}^{2U} خروجی زیرفرایند دوم در دوره اول (سال دوم) و ورودی زیرفرایند سوم (سال سوم) در دوره دوم برای واحد تصمیم‌گیری $j-$ ام

$Y_{p'j}^{3L}$, $Y_{p'j}^{3U}$ خروجی زیر فرایند سوم در دوره دوم (سال سوم) و ورودی زیرفرایند چهارم (سال چهارم) در دوره دوم برای واحد تصمیم‌گیری $j-$ ام

$Y_{f'j}^{4L}$, $Y_{f'j}^{4U}$ خروجی نهایی شبکه کل در سال چهارم برای واحد تصمیم‌گیری $j-$ام

تعداد واحدهای تصمیم‌گیری DMU_j , $j=1,\ldots,n$

اگر $k=4$ فرض شود (ساختار شبکه چهار مرحله‌ای – تعداد زیر فرایندهای ساختار شبکه‌ای) آنگاه:

اندیس جاری متغیر خروجی زیر فرایند اول از دوره اول (همچنین ورودی زیرفرایند دوم از دوره اول) $p=1,\ldots,P$

اندیس جاری متغیر خروجی دوره اول (خروجی نهایی دوره اول) $f=1,\ldots.F$

اندیس جاری متغیر خروجی دوره دوم معادل متغیر خروجی نهایی شبکه ۴ مرحله‌ای $f'=1,\ldots,F'$

اندیس جاری متغیر خروجی زیر فرایند سوم از دوره دوم (همچنین ورودی زیرفرایند سوم از دوره دوم) $p'=1,\ldots,P'$

θ_P^{1L} نسبت افزایش کران پائین درمتغیر میانی p -ام زیرفرایند اول در دوره اول

θ_p^{1U} نسبت افزایش کران بالا در متغیر میانی p -ام زیرفرایند اول در دوره اول

θ_f^{N1L} نسبت افزایش کران پائین در متغیر خروجی نهایی دوره اول

θ_f^{N1U} نسبت افزایش کران بالا در متغیر خروجی نهایی دوره اول

$\theta_{p'}^{3L}$ نسبت افزایش کران پائین درمتغیر میانی P' -ام زیر فرایند سوم در دوره دوم

$\theta_{p'}^{3U}$ نسبت افزایش کران بالا در متغیر میانی P' -ام زیر فرایند سوم در دوره دوم

$\theta_{f'}^{N2L}$ نسبت افزایش کران پائین در متغیر خروجی نهایی دوره دوم

$\theta_{f'}^{N2U}$ نسبت افزایش کران بالا در متغیر خروجی نهایی دوره دوم

$\theta_{f'}^{4U}$, $\theta_{f'}^{4L}$ & θ_{f}^{2U} , θ_{f}^{2l} به ترتیب کران‌های پائین و بالای زیرفرایند دوم و کران‌های پائین و بالای زیر فرایند چهارم

$j=1,...,n$ اندیس جاری واحدهای تصمیم‌گیری (λ $\lambda_j^1,\lambda_j^2,\lambda_j^{N1},\lambda_j^3,\lambda_j^{N2}$)ها مربوط به واحد مرجع هر زیرفرایند است بنابراین هر واحد مجموعه مرجع مختص به خود را دارد.

λ^{N2} مربوط به واحد مرجع شبکه نهایی (شبکه کل)

- کارایی دوره دوم برابر کارایی کل شبکه‌ای است.

- هر زیر فرایند معادل یک دوره زمانی یکساله فرض گردیده است.

- دوره دوم تابعی از دوره اول می‌باشد.

- e_o^U , e_o^L: کران پائین کارایی نسبی و کران بالای کارایی نسبی واحد تحت ارزیابی می‌باشند.

eL1: کارایی کران پایین واحد تحت ارزیابی شماره ۱

eu1: کارایی کران بالا واحد تحت ارزیابی شماره ۱

eL2، eL3، eL4: کارایی کران پایین واحدهای تحت ارزیابی ۲-۳-۴

eu2، eu3، eu4: کارایی کران بالا واحدهای تحت ارزیابی ۲-۳-۴

eLN2: کارایی کران پایین شبکه نهایی

euN2: کارایی کران بالا شبکه نهایی

۳-۶: محاسبه کارایی واحدهای تصمیم‌گیری تحت داده‌های بازه‌ای- (مدل پایه‌ای خروجی محور)

مدل زیر براساس مدل وانگ و همکاران (۲۰۰۵) می‌باشد تفاوت این مدل در خروجی محور بودن آن است که به‌عنوان مدل پایه‌ای یا ابتدایی برای توسیع رویکرد معادل‌سازی دوره‌ای با داده‌های بازه‌ای در یک ساختار شبکه‌ای چند مرحله‌ای پویا مورد استفاده کاربردی قرار می‌گیرد. مدل اخیر بدون در نظر گرفتن تعاملات بین زیر فرآیندها و روابط ساختاری در قالب شبکه، کارایی واحدهای تصمیم‌گیری را با داده‌های بازه‌ای را بشکل کران پایین و کران بالا بصورت مجزا ارزیابی می‌کند. به‌عبارت دیگر توانایی ارزیابی زیر ساختارها را با در نظر گرفتن تعاملات و ارتباطات بین آنها را در قالب شبکه را ندارد (ارتباطات در نظر گرفته نمی‌شود) و رویکرد جعبه سیاه دارد. ما در این مطالعه از این مدل‌ها صرفاً بعنوان یک ابزار و مدل پایه‌ای و ابتدایی برای مدلسازی و پیاده‌سازی ایده و رویکرد معادلسازی دوره‌ای استفاده می‌کنیم تا از این طریق با دسترسی به مدل‌های مبنا، در نهایت مدل‌های نهایی برای محاسبه و ارزیابی کارایی نسبی کران پایین و کران بالای شبکه‌های چند مرحله‌ای پویا را بسازیم.

$$e_o^l=\max\theta$$
$$s.t.$$
$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j x_{ij}^l \le x_{io}^u \quad ,(i=1,...,m.\ , j\neq o) \qquad (14)$$
$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j y_{rj}^u \ge \theta y_{ro}^l \quad ,r=1,...,s.$$
$$\lambda_j \ge 0 \qquad ,j=1,...,n$$

$$e_o^u=\max\theta$$
$$s.t.$$
$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j x_{ij}^l \le x_{io}^l, \quad (i=1,...,m.\ , j\neq o) \qquad (15)$$
$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j y_{rj}^u \ge \theta y_{ro}^u, \quad r=1,...,s.$$
$$\lambda_j \ge 0, \qquad j=1,...,n$$

DMU_O کارا است اگر و فقط اگر $e_o^I = 1$ در غیر اینصورت DMU_O ناکارا است.

رابطه (۱۲) و (۱۳) این مطالعه مشکل روش دسپوتیز و اسمیر لیز (۲۰۰۲) را در رابطه با مرزهای کارایی و عدم مقایسه صحیح واحدهای تصمیم‌گیری را مرتفع می‌نماید.

۳-۷: محاسبه کارایی کران پایین زیرفرایندهای اول و شبکه دوره اول (N1) (مدل مبنا-۱)

نمادهای بکار گرفته شده در مدل‌های این بخش در (بخش ۳-۴) صفحات ۱۴-۱۵-۱۶ تشریح گردیده است.

تشریح مدل ارائه شده بر اساس رویکرد معادلسازی دوره‌ای شامل مدل‌های مبنا و مدل نهایی:

الف- دلیل MAX بودن تابع هدف این استکه چون اساساً مدل مورد نظر یک مدل غیرشعاعی مبتنی بر مدل راسل است، تابع هدف باید بشکل $\rho = \min \sum \frac{1}{\theta}$ و $\theta \leq 1$ باشد لذا برای رفع مشکل غیر خطی بودن، تابع هدف را بفرم $\max \sum \theta$ در نظر می‌گیریم و محدویت $\theta \geq 1$ را به مدل اضافه می‌کنیم.

ب- برای رسیدن به کارایی شبکه باید مراحل (زیر فرایندها) کارا شوند. ابتدا باید با ورودی فعلی، خروجی مرحله اول را به نسبت $(\frac{1}{e_1^I}) = \theta_p^{1I}$ برابر افزایش دهیم تا مرحله اول کارا شود بنابراین مقدار بهینه آن برابر با $(\theta_p^{1L*} y_p^{1I})$ خواهد شد سپس با در نظر گرفتن مقدار بهینه این متغیر واسطه‌ای، تعیین می‌کنیم خروجی نهایی به چه نسبتی (θ_f^{N1L}) افزایش پیدا کند که مرحله دوم و کل شبکه کارا شود. و این بدان معنا است که در تعیین میزان تغییرات و افزایش خروجی‌های کران بالا و پایین در هریک از زیر فرایندها و شبکه، کارایی زیر فرایندها در هر دوره زمانی و کارایی شبکه در نظر گرفته می‌شود بقسمی که میزان افزایش تغییرات خروجی نهایی در هر دوره به نسبتی تعیین شود که همواره زیرفرایندها و شبکه کارا باشند.

ج- در مدل‌های شعاعی خروجی محور، مدل نسبت افزایش خروجی‌ها را به یک نسبت زیاد می‌کند بنابراین شک احتمال اسلک (S) در محدودیت‌های خروجی شدت می‌گیرد ولی در مدل ارائه شده (مدل مبنا-۱، مبنا- ۲ و مدل‌های نهایی) مدل‌های غیر شعاعی هستند که نسبت افزایش در متغیر میانی و متغیر نهایی متفاوت بوده و برابر (θ_p^{1I}) برای متغیر میانی $P-$ ام و (θ_f^{N1L}) نسبت افزایش خروجی $f-$ ام است بنابراین با این مدل متغیر کمبود یا اسلک در خروجی‌ها تولید نمی‌شود در نتیجه هر یک از متغیرهای میانی و خروجی به نسبت خودشان تغییر می‌کنند نه به نسبت مساوی

د- روند مدل‌سازی با رویکرد معادلسازی دوره‌ای طی سه مرحله انجام می‌گیرد که این مراحل عبارتست:

مرحله مدل پایه یا ابتدایی ← مرحله مدل مبنا ← مرحله مدل نهایی

رویکرد ایده معادل‌سازی دوره‌ای برای سنجش کارایی واحدهای شبکه‌ای چند مرحله‌ای با داده‌های بازه‌ای

$$\rho_1 = \max \left(\frac{1}{P} \sum_{p=1}^{P} \theta_p^{1L} + \frac{1}{F} \sum_{f=1}^{F} \theta_f^{N1L} \right) \times \frac{1}{2}$$

$$s.t.$$

$$\begin{aligned}
&\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^1 X_{ij}^{0L} \leq X_{io}^{0U}, && i = 1,\ldots,m \\
&\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^1 Y_{pj}^{1U} \geq \theta_p^{1L} Y_{po}^{1L}, && p = 1,\ldots,P \\
&\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{N1} Y_{pj}^{1U} \leq \theta_p^{1L} Y_{po}^{1L}, && p = 1,\ldots,P \\
&\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{N1} X_{ij}^{1L} \leq X_{io}^{1U}, && i = 1,\ldots,m \\
&\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{N1} Y_{fj}^{2U} \geq \theta_f^{N1L} Y_{fo}^{2L}, && f = 1,\ldots,F \\
&\theta_p^{1L} \geq 1, && p = 1,\ldots,P \\
&\theta_f^{N1L} \geq 1, && f = 1,\ldots,F
\end{aligned} \tag{16}$$

$$\lambda_j^1 \geq 0, \qquad j=1,\ldots,n$$
$$\lambda N_j^1 \geq 0, \qquad j=1,\ldots,n$$

$$e_1^L = \frac{1}{\frac{1}{P}\sum_{p=1}^{P}\theta_p^{1L}}$$
$$e_{N1}^L = \frac{1}{\frac{1}{F}\sum_{f=1}^{F}\theta_f^{N1L}}$$

برای محاسبه کارایی کران پایین زیرفرایند دوم، بشرح زیر تغییرات را در مدل اعمال می‌کنیم.

$$\theta_p^{1L}=1 \quad \& \quad \theta_f^{N1L} \equiv \theta_f^{2L} \quad , \quad e_2^L = \frac{1}{\frac{1}{F}\sum_{f=1}^{F}\theta_f^{2L}}$$

۳-۸: محاسبه کارایی کران پایین زیرفرایندهای سوم و شبکه دوره دوم (N۲- شبکه نهایی) (مدل مبنا- ۲)

$$\rho_2 = \max\ (\frac{1}{P'}\sum_{p'=1}^{P'}\theta_{p'}^{3L} + \frac{1}{F'}\sum_{f'=1}^{F'}\theta_{f'}^{N2L})\times\frac{1}{2}$$

$$s.t.$$
$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^3\ Y_{fj}^{2U} \leq \theta_f^{N1L} Y_{fo}^{2L}, \qquad f=1,\ldots,F$$
$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^3\ X_{ij}^{2L} \leq X_{io}^{2U}, \qquad i=1,\ldots,m$$
$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^3\ Y_{p'j}^{3U} \geq \theta_{p'}^{3L} Y_{P'o}^{3L}, \qquad p'=1,\ldots,P'$$
$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^{N2}\ Y_{p'j}^{3U} \leq \theta_{p'}^{3L} Y_{P'o}^{3L}, \qquad p'=1,\ldots,P'$$
$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^{N2}\ X_{ij}^{3L} \leq X_{io}^{3U}, \qquad i=1,\ldots,m$$
$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^{N2}\ Y_{f'j}^{4U} \geq \theta_{f'}^{N2L} Y_{f'o}^{4L}, \qquad f'=1,\ldots,F' \qquad (17)$$
$$\theta_{p'}^{3L} \geq 1, \qquad p'=1,\ldots,P'$$
$$\theta_{f'}^{N2L} \geq 1, \qquad f'=1,\ldots,F'$$
$$\lambda_j^3 \geq 0, \qquad j=1,\ldots,n$$
$$\lambda_j^{N2} \geq 0, \qquad j=1,\ldots,n$$

$$e_3^L = \frac{1}{\frac{1}{P'}\sum_{p'=1}^{P'}\theta_{p'}^{3L}} \quad , \quad e_{N2}^L = \frac{1}{\frac{1}{F'}\sum_{f'=1}^{F'}\theta_{f'}^{N2L}}$$

برای محاسبه کارایی کران پایین زیرفرایند چهارم، بشرح زیر تغییرات را در مدل جایگزین می‌کنیم.

$$\theta_{p'}^{3L}=1 \quad \& \quad \theta_{f'}^{N2L} \equiv \theta_{f'}^{4L}$$
$$e_4^L = \frac{1}{\frac{1}{F'}\sum_{f'=1}^{F'}\theta_{f'}^{4L}}$$

۳-۹: مدل نهایی ارزیابی کارایی نسبی کران پایین شبکه چند مرحله‌ای تحت داده‌های بازه‌ای (مدل-۳)

$$\rho = \max\ \frac{1}{P}\sum_{p=1}^{P}\theta_p^{1L} + \frac{1}{F}\sum_{f=1}^{F}\theta_f^{N1L} + \frac{1}{P'}\sum_{p'=1}^{P'}\theta_{p'}^{3L} + \frac{1}{F}\sum_{f'=1}^{F'}\theta_{f'}^{N2L}$$
$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^1 X_{ij}^{0L} \leq X_{io}^{0U}, \qquad i=1,\ldots,m$$
$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^1 Y_{pj}^{1U} \geq \theta_p^{1L} Y_{Po}^{1L}, \qquad p=1,\ldots,P$$
$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^{N1}\ Y_{pj}^{1U} \leq \theta_p^{1L} Y_{Po}^{1L}, \qquad p=1,\ldots,P$$
$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^{N1}\ X_{ij}^{1L} \leq X_{io}^{1U}, \qquad i=1,\ldots,m$$
$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^{N1}\ Y_{fj}^{2U} \geq \theta_f^{N1L} Y_{fo}^{2L}, \qquad f=1,\ldots,F$$
$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^3\ Y_{fj}^{2U} \leq \theta_f^{N1L} Y_{fo}^{2L}, \qquad f=1,\ldots,F$$
$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^3\ X_{ij}^{2L} \leq X_{io}^{2U}, \qquad i=1,\ldots,m$$
$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^3\ Y_{p'j}^{3U} \geq \theta_{p'}^{3L} Y_{P'o}^{3L}, \qquad p'=1,\ldots,P'$$
$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^{N2}\ Y_{p'j}^{3U} \leq \theta_{p'}^{3L} Y_{P'o}^{3L}, \qquad p'=1,\ldots,P'$$
$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^{N2}\ X_{ij}^{3L} \leq X_{io}^{3U}, \qquad i=1,\ldots,m$$
$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^{N2}\ Y_{f'j}^{4U} \geq \theta_{f'}^{N2L} Y_{f'o}^{4L}, \qquad f'=1,\ldots,F' \qquad (18)$$
$$\theta_p^{1L} \geq 1, \qquad p=1,\ldots,P$$
$$\theta_f^{N1L} \geq 1, \qquad f=1,\ldots,F$$

$$\theta_{p'}^{3L} \geq 1 , \qquad p' = 1,\ldots,P'$$
$$\theta_{f'}^{N2L} \geq 1 , \qquad f' = 1,\ldots,F'$$
$$\lambda_j^1 \geq 0 , \qquad j = 1,\ldots,n$$
$$\lambda N_j^1 \geq 0 , \qquad j = 1,\ldots,n$$
$$\lambda_j^3 \geq 0 , \qquad j = 1,\ldots,n$$
$$\lambda_j^{N2} \geq 0 , \qquad j = 1,\ldots,n$$

۳-۱۰: مدل نهایی ارزیابی کارایی نسبی کران بالا شبکه‌چند مرحله‌ای تحت داده‌های بازه‌ای (مدل-۴)

$$Z = \max \frac{1}{P}\sum_{p=1}^{P}\theta_p^{1U} + \frac{1}{F}\sum_{f=1}^{F}\theta_f^{N1U} + \frac{1}{P'}\sum_{p'=1}^{P'}\theta_{p'}^{3U} + \frac{1}{F'}\sum_{f'=1}^{F'}\theta_{f'}^{N2U}$$

$S.T.$

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^1 X_{ij}^{0L} \leq X_{io}^{0L} , \qquad i = 1,\ldots,m$$
$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^1 Y_{pj}^{1U} \geq \theta_p^{1U} Y_{Po}^{1U} , \qquad p = 1,\ldots,P$$
$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^{N1} Y_{pj}^{1U} \leq \theta_p^{1U} Y_{Po}^{1U} , \qquad p = 1,\ldots,P$$
$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^{N1} X_{ij}^{1L} \leq X_{io}^{1L} , \qquad i = 1,\ldots,m$$
$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^{N1} Y_{fj}^{2U} \geq \theta_f^{N1U} Y_{fo}^{2U} , \qquad f = 1,\ldots,F$$
$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^{3} Y_{fj}^{2U} \leq \theta_f^{N1U} Y_{fo}^{2U} , \qquad f = 1,\ldots,F$$
$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^{3} X_{ij}^{2L} \leq X_{io}^{2L} , \qquad i = 1,\ldots,m$$
$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^{3} Y_{p'j}^{3U} \geq \theta_{p'}^{3U} Y_{P'o}^{3U} , \qquad p' = 1,\ldots,P'$$
$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^{N2} Y_{p'j}^{3U} \leq \theta_{p'}^{3U} Y_{P'o}^{3U} , \qquad p' = 1,\ldots,P'$$
$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^{N2} X_{ij}^{3L} \leq X_{io}^{3L} , \qquad i = 1,\ldots,m$$
$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^{N2} Y_{f'j}^{4U} \geq \theta_{f'}^{N2U} Y_{f'o}^{4U} , \qquad f' = 1,\ldots,F'$$
$$\theta_p^{1U} \geq 1 , \qquad p = 1,\ldots,P$$
$$\theta_f^{N1U} \geq 1 , \qquad f = 1,\ldots,F$$
$$\theta_{p'}^{3U} \geq 1 , \qquad p' = 1,\ldots,P'$$
$$\theta_{f'}^{N2U} \geq 1 , \qquad f' = 1,\ldots,F'$$
$$\lambda_j^1 \geq 0 , \qquad j = 1,\ldots,n$$
$$\lambda N_j^1 \geq 0 , \qquad j = 1,\ldots,n$$
$$\lambda_j^3 \geq 0 , \qquad j = 1,\ldots,n$$
$$\lambda_j^{N2} \geq 0 , \qquad j = 1,\ldots,n$$

(19)

$$e_1^U = \frac{1}{\frac{1}{P}\sum_{p=1}^{P}\theta_p^{1U}} \quad , \quad e_3^U = \frac{1}{\frac{1}{P'}\sum_{p'=1}^{P'}\theta_{p'}^{3U}}$$
$$e_{N1}^U = \frac{1}{\frac{1}{F}\sum_{f=1}^{F}\theta_f^{N1L}} \quad , \quad e_{N2}^U = \frac{1}{\frac{1}{F'}\sum_{f'=1}^{F'}\theta_{f'}^{N2U}}$$

برای محاسبه کارایی کران بالا زیرفرایند چهارم، بشرح زیر تغییرات را در مدل جایگزین می‌کنیم.

$$\theta_{p'}^{3U} = 1 \qquad \& \qquad \theta_{f'}^{N2U} \equiv \theta_{f'}^{4U}$$

به دلیل داده‌های بازه‌ای با حل مدل‌های کران پایین و کران بالا، نتیجه کارایی زیرفرایندهای ساختار شبکه-ای چند مرحله‌ای و شبکه نهایی در یک بازه بفرم زیر بدست می‌آید. شبکه با ۴ زیرفرایند $(n=4)$

$$\left[e_1^L , e_1^U\right] \quad , \quad \left[e_2^L , e_2^U\right]$$
$$\left[e_3^L , e_3^U\right] \quad , \quad \left[e_4^L , e_4^U\right] \quad , \quad \left[e_{N2}^L , e_{N2}^U\right]$$

در صورتی که نمره ارزیابی کران پایین واحدهای تصمیم‌گیری برابر ۱ باشد $(e_o^L = 1)$ واحد تصمیم گیری کارا می‌باشد در غیر اینصورت واحد تحت ارزیابی ناکارا است.

۳-۱۱: محاسبه کارایی دینامیکی در یک دوره ۵ ساله با داده‌های بازه‌ای (مدل-۵ و مدل-۶)

با توجه به رویکرد معادل‌سازی دوره‌ای برای محاسبه کارایی دینامیکی واحدهای تصمیم‌گیری در یک دوره ۵ ساله، شبکه پویا شامل ۲ دوره می‌باشد، یک دوره ۴ ساله و یک دوره نیز متعلق به سال پنجم، بنابراین بر اساس روابط (۱۸و۱۹) خروجی‌های فرایند در پایان سال چهارم، به عنوان متغیر میانی زیر فرایند سال پنجم در شبکه معادل‌سازی شده اخیر محسوب گردیده و به‌عنوان ورودی سال پنجم برای ارزیابی کران پایین و کران بالا زیرفرایند سال پنجم و شبکه نهایی (دوره پنج ساله) لحاظ می‌شود.

مقادیر $\theta_{f'}^{N2L}Y_{f'o}^{4L}$ و $\theta_{f'}^{N2U}Y_{f'o}^{4U}$ بدست آمده از روابط (۱۸) و (۱۹) در مدل‌های کران پایین و کران بالا اعمال می‌گردد.

(در صورت افزایش زیرساختارها به K زیر فرایند، بطور مشابه معادل‌سازی دوره‌ای انجام می‌شود.)

۳-۱۲: مدل نهایی ارزیابی کارایی نسبی کران پایین شبکه پنج مرحله‌ای تحت داده‌های بازه‌ای (مدل-۵)

$$W_L = (\max \frac{1}{F'}\sum_{f'=1}^{f'}\theta_{f'}^{4L} + \frac{1}{F''}\sum_{f''=1}^{F''}\theta_{f''}^{NL})\times\frac{1}{2}$$

$$s.t.$$

$$\begin{aligned}
&\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^4\, Y_{p'j}^{3U} \le \theta_{p'}^{3L}Y_{p'o}^{3L}, && p'=1,\dots,F\\
&\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^4\, X_{ij}^{3L} \le X_{io}^{3U}, && i=1,\dots,m\\
&\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^4\, Y_{f'j}^{4U} \ge \theta_{f'}^{4L}Y_{f'o}^{4L}, && f'=1,\dots,f'\\
&\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^N\, Y_{f'j}^{4U} \le \theta_{f'}^{4L}Y_{f'o}^{4L}, && f'=1,\dots,f'\\
&\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^N\, X_{ij}^{4L} \le X_{io}^{4U}, && i=1,\dots,m\\
&\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^N\, Y_{f''j}^{5U} \ge \theta_{f''}^{NL}Y_{f'o}^{5L}, && f''=1,\dots,F''\\
&\theta_{f'}^{4L} \ge 1, && f'=1,\dots,F'\\
&\theta_{f''}^{NL} \ge 1, && f''=1,\dots,F''\\
&\lambda_j^4 \ge 0, && j=1,\dots,n\\
&\lambda_j^N \ge 0, && j=1,\dots,n
\end{aligned} \qquad (20)$$

$$e_4^L = \frac{1}{\frac{1}{P'}\sum_{f'=1}^{f'}\theta_{f'}^{4L}} \quad , \quad e_N^L = \frac{1}{\frac{1}{F''}\sum_{f''=1}^{F''}\theta_{f''}^{NL}}$$

برای محاسبه کارایی کران پایین زیرفرایند پنجم، بشرح زیر تغییرات را در مدل-۵ جایگزین می‌کنیم.

$$\theta_{f'}^{4L}=1 \qquad \& \qquad \theta_{f''}^{NL} \equiv \theta_{f''}^{5L}$$

۳-۱۳: مدل نهایی ارزیابی کارایی نسبی کران بالا شبکه پنج مرحله‌ای تحت داده‌های بازه‌ای (مدل-۶)

$$W_{U\theta} = (\max \frac{1}{F'}\sum_{f'=1}^{f'}\theta_{f'}^{4U} + \frac{1}{F''}\sum_{f''=1}^{F''}\theta_{f''}^{NU})\times\frac{1}{2}$$

$$s.t.$$

$$\begin{aligned}
&\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^4\, Y_{p'j}^{3U} \le \theta_{p'}^{3U}Y_{p'o}^{3U}, && p'=1,\dots,F\\
&\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^4\, X_{ij}^{3L} \le X_{io}^{3L}, && i=1,\dots,m\\
&\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^4\, Y_{f'j}^{4U} \ge \theta_{f'}^{4U}Y_{f'o}^{4U}, && f'=1,\dots,f'\\
&\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^N\, Y_{f'j}^{4U} \le \theta_{f'}^{4U}Y_{f'o}^{4U}, && f'=1,\dots,f'\\
&\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^N\, X_{ij}^{4L} \le X_{io}^{4L}, && i=1,\dots,m\\
&\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^N\, Y_{f''j}^{5U} \ge \theta_{f''}^{NU}Y_{f'o}^{5U}, && f''=1,\dots,F''\\
&\theta_{f'}^{4U} \ge 1, && f'=1,\dots,F'\\
&\theta_{f''}^{NU} \ge 1, && f''=1,\dots,F''\\
&\lambda_j^4 \ge 0, && j=1,\dots,n\\
&\lambda_j^N \ge 0, && j=1,\dots,n
\end{aligned} \qquad (21)$$

$$e_4^U = \frac{1}{\frac{1}{P'}\sum_{f'=1}^{f'}\theta_{f'}^{4U}} \quad , \quad e_N^U = \frac{1}{\frac{1}{F''}\sum_{f''=1}^{F''}\theta_{f''}^{NU}}$$

برای محاسبه کارایی کران بالا زیرفرایند پنجم، بشرح زیر تغییرات را در مدل- ۶ جایگزین می‌کنیم.

$$\theta_{f'}^{4U}=1 \qquad \& \qquad \theta_{f''}^{NU} \equiv \theta_{f''}^{5U}$$

مدل‌های (۵) و (۶) در حالت شبکه ۵ مرحله‌ای مدل‌سازی شده است.

۴: مثال‌های کاربردی

ارزیابی کارایی پویا ۱۵ کارخانه در یک مجتمع تولیدی شامل سه گروه الف، ب' و ج در یک دوره چهار ساله تحت داده‌های بازه‌ای بر اساس جداول شماره ۱، ۳ و ۵ با رویکرد طراحی معادل‌سازی دوره‌ای (بر اساس معرفی نمادها بخش ۳-۴)

۴ -۱: نتایج کارایی کران‌های پایین و کارایی کران‌های بالا واحدهای تصمیم‌گیری با داده‌های بازه‌ای براساس جدول-۱

جدول شماره ۱- داده‌های بازه‌ای شرکت‌های تولیدی گروه الف در یک دوره چهار ساله

$y^4_{f'j}$	$y^3_{p'j}$	y^2_{fj}	y^1_{pj}	x^3_{ij}	x^2_{ij}	x^1_{ij}	x^0_{ij}	DMU
[521,606]	[412,500]	[429,540]	[543,770]	[234,458]	[266,354]	[265,390]	[392,456]	1
[427,555]	[405,585]	[461,569]	[398,592]	[214,398]	[290,323]	[289,350]	[265,372]	2
[426,493]	[378,435]	[322,471]	[30۵,388]	[212,326]	[159,298]	[211,292]	[132,267]	3
[498,681]	[351,417]	[469,525	[506,635]	[291,389]	[181,251]	[275,369]	[311,469]	4
[352,445]	[278,375]	[428,700]	[372,409]	[162,252]	[254,298]	[265,308]	[124,252]	5
[498,629]	[459,660]	[328,422]	[438,584]	[265,353]	[275,306]	[157,218]	[259,328]	6
[392,595]	[378,445]	[494,655]	[259,343]	[198,292]	[184,220]	[232,328]	[122,184]	7
[590,748]	[415,512]	[345,434]	[441,650]	[206,360]	[232,315]	[202,298]	[222,334]	8
[682,831]	[514,716]	[533,609]	[720,839]	[244,382]	[287,394]	[376,423]	[309,469]	9
[598,756]	[481,658]	[629,834]	[475,548]	[262,348]	[288,321]	[340,489]	[275,309]	10
[452,596]	[521,643]	[545,696]	[352,474]	[141,261]	[221,345]	[231,345]	[132,169]	11
[593,820]	[528,742]	[414,573]	[295,414]	[153,213]	[237,308]	[165,284]	[168,195]	12
[624,896]	[429,505]	[413,596]	[372,408]	[382,498]	[105,232]	[283,304]	[113,210]	13
[767,906]	[576,718]	[451,587]	[434,556]	[319,467]	[233,376]	[201,325]	[195,239]	14
[724,967]	[613,847]	[475,659]	[582,718]	[253,386]	[242,375]	[255,375]	[217,349]	15

جدول شماره ۲- نتایج کارایی واحدهای تحت ارزیابی شرکت‌های تولیدی گروه الف با رویکرد معادلسازی

DMU	eL1	eu1	eL2	eu2	eL3	eu3	eL4	eu4	eLN2	euN2
1	0.3298	0.5440	0.4137	0.5868	0.2918	0.4912	0.7127	0.7979	0.2796	0.5186
2	0.2963	0.6187	0.6066	0.6187	0.3165	0.5271	0.5942	0.6802	0.2576	0.4839
3	0.3164	0.8141	0.5529	0.7318	0.3337	0.6448	0.6352	0.7378	0.3001	0.5616
4	0.2988	0.5655	0.4854	0.5704	0.3069	0.4974	0.7852	0.9481	0.3172	0.5969
5	0.4088	0.9135	0.6025	0.9222	0.2402	0.4034	0.7136	0.7979	0.2701	0.5125
6	0.3698	0.6245	0.4765	0.7740	0.4588	0.8527	0.6115	0.6530	0.3630	0.6010
7	0.3899	0.7787	0.9988	1.0000	0.3917	0.6018	0.5845	0.8922	0.3173	0.6612
8	0.3657	0.8109	0.4099	0.6187	0.3514	0.6074	0.8013	1.0000	0.3891	0.7556
9	0.4252	0.7520	0.4251	0.4911	0.3306	0.5788	0.7528	0.8602	0.3728	0.6355
10	0.4257	0.5519	0.6934	0.8437	0.3299	0.5558	0.7124	0.7905	0.3524	0.5639
11	0.5769	0.9945	0.8108	0.9461	0.4165	0.7714	0.5604	0.8211	0.3257	0.7887
12	0.4190	0.6825	0.7349	1.0000	0.4627	0.9731	0.7683	1.0000	0.5195	1.0000
13	0.4906	1.0000	0.5814	0.7650	0.4295	1.0000	0.8198	1.0000	0.4041	1.0000
14	0.5029	0.7897	0.5442	0.8410	0.4228	0.8510	0.7505	0.8423	0.4161	0.7579
15	0.4619	0.9164	0.4414	0.7442	0.4265	0.8940	0.7106	0.8969	0.4135	0.8397

جدول شماره۳- داده‌های بازه‌ای شرکت‌های تولیدی گروه ب' در یک دوره چهار ساله

$y^4_{f'j}$	$y^3_{p'j}$	y^2_{fj}	y^1_{pj}	x^3_{ij}	x^2_{ij}	x^1_{ij}	x^0_{ij}	DMU
[3521,4606]	[2412,2500]	[1429,1540]	[543,770]	[234,458]	[266,354]	[265,390]	[392,456]	1
[3427,3555]	[2405,2585]	[1461,1569]	[398,592]	[214,398]	[290,323]	[289,350]	[265,372]	2
[3426,3493]	[2378,2435]	[1322,1471]	[305,388]	[212,326]	[159,298]	[211,292]	[132,267]	3
[3498,3681]	[2351,2417]	[1469,1525]	[506,635]	[291,389]	[181,251]	[275,369]	[311,469]	4
[3352,3445]	[2278,2375]	[1428,1700]	[372,409]	[162,252]	[254,298]	[265,308]	[124,252]	5
[3498,3629]	[2459,2660]	[1328,1422]	[438,584]	[265,353]	[275,306]	[157,218]	[259,328]	6
[3392,3595]	[2378,2445]	[1498,1655]	[259,343]	[198,292]	[184,220]	[232,328]	[122,184]	7
[3590,3748]	[2415,2512]	[1345,1434]	[441,650]	[206,360]	[232,315]	[202,298]	[222,334]	8
[3682,3831]	[2514,2716]	[1533,1609]	[720,839]	[244,382]	[287,394]	[376,423]	[309,469]	9
[3598,3756]	[2481,2658]	[1629,1834]	[475,548]	[262,348]	[288,321]	[340,489]	[275,309]	10
[3452,3596]	[2521,2643]	[1545,1696]	[352,474]	[141,261]	[221,345]	[231,345]	[132,169]	11
[3593,3820]	[2528,2742]	[1414,1573]	[295,414]	[153,213]	[237,308]	[165,284]	[168,195]	12
[3624,3896]	[2429,2505]	[1413,1596]	[372,408]	[382,498]	[105,232]	[283,304]	[113,210]	13
[3767,3906]	[2576,2718]	[1451,1587]	[434,556]	[319,467]	[233,376]	[201,325]	[195,239]	14
[3724,3967]	[2613,2847]	[1475,1659]	[582,718]	[253,386]	[242,375]	[255,375]	[217,349]	15

۴-۲: نتایج کارایی کران‌های پایین و کارایی کران‌های بالا واحدهای تصمیم‌گیری با داده‌های بازه‌ای براساس جدول-۳

۴-۳: نتایج کارایی کران‌های پایین و کارایی کران‌های بالا واحدهای تصمیم‌گیری با داده‌های بازه‌ای براساس جدول-۵

جدول شماره ۴- نتایج کارایی واحدهای تحت ارزیابی شرکت‌های تولیدی گروه ب با رویکرد معادلسازی

DMU	eL1	eu1	eL2	eu2	eL3	eu3	eL4	eu4	eLN2	euN2
1	0.1649	0.5440	0.2727	0.6096	0.1979	0.5951	0.3962	1.0000	0.1780	0.7878
2	0.1482	0.6187	0.3804	0.6417	0.2194	0.5643	0.3962	0.8024	0.1962	0.6514
3	0.1582	0.8141	0.4492	0.8744	0.2562	0.7994	0.3910	0.8129	0.2359	0.7364
4	0.1494	0.5655	0.3008	0.6116	0.2111	0.5845	0.4038	0.8266	0.2013	0.5683
5	0.2044	0.9135	0.3978	0.8806	0.2346	0.6870	0.3993	0.9415	0.2608	0.8338
6	0.1849	0.6245	0.3639	0.9501	0.3358	0.9618	0.3861	0.7405	0.2593	0.7122
7	0.1949	0.7787	0.4997	1.0000	0.2691	0.7898	0.3871	0.8688	0.2533	0.7793
8	0.1828	0.8109	0.3162	0.7447	0.2536	0.7680	0.4034	0.8753	0.2315	0.7750
9	0.2126	0.7520	0.2367	0.4815	0.1895	0.4726	0.3975	0.7846	0.1962	0.6156
10	0.2129	0.5519	0.3554	0.7246	0.1776	0.5050	0.3936	0.7670	0.2027	0.5621
11	0.2884	0.9945	0.4548	0.8669	0.2726	0.8017	0.3716	1.0000	0.2664	1.0000
12	0.2095	0.6825	0.4967	1.0000	0.2792	0.9849	0.4105	1.0000	0.3307	0.9929
13	0.2453	1.0000	0.3936	0.8107	0.2622	1.0000	0.4049	0.8442	0.2124	0.8442
14	0.2515	0.7897	0.3465	0.8282	0.2444	0.8338	0.3969	0.7800	0.2004	0.6504
15	0.2309	0.9164	0.2692	0.6824	0.2199	0.7101	0.3868	0.7801	0.2086	0.6686

جدول شماره۵- داده‌های بازه‌ای شرکت‌های تولیدی گروه ج' در یک دوره چهار ساله

$y_{f'j}^{4}$	$y_{p'j}^{3}$	y_{fj}^{2}	y_{pj}^{1}	x_{ij}^{3}	x_{ij}^{2}	x_{ij}^{1}	x_{ij}^{0}	DMU
[222,306]	[212,396]	[109,140]	[143,207]	[134,258]	[266,354]	[65, 90]	[192,256]	1
[398,555]	[205,285]	[201,269]	[288,392]	[214,398]	[90,123]	[89,150]	[165,227]	2
[226,293]	[198,265]	[212,381]	[185,288]	[112,226]	[159,198]	[111,212]	[182,267]	3
[189,281]	[251,407]	[269,425	[269,393]	[91,189]	[181,251]	[175,269]	[192,269]	4
[152,240]	[198,275]	[108,198]	[172,269]	[62,152]	[154,198]	[65,108]	[114,172]	5
[253,329]	[206,260]	[198,270]	[228,304]	[65,153]	[75,106]	[157,198]	[159,228]	6
[230,295]	[190,245]	[198,255]	[210,233]	[98,192]	[84,120]	[132,198]	[112,184]	7
[290,348]	[215,358]	[345,434]	[341,350]	[106,160]	[132,215]	[222,248]	[212,314]	8
[82,131]	[114,216]	[133,209]	[190,239]	[44,82]	[87,114]	[76,123]	[109,169]	9
[98,156]	[101,158]	[89,134]	[75,148]	[62,98]	[88,101]	[40,89]	[75,109]	10
[52,96]	[43,53]	[45,96]	[52,74]	[41,61]	[21,30]	[31,45]	[32,69]	11
[193,250]	[208,242]	[214,263]	[195,214]	[153,193]	[108,137]	[165,184]	[168,195]	12
[324,396]	[229,305]	[113,296]	[۱32,208]	[82,98]	[105,132]	[83,104]	[113,210]	13
[167,206]	[198,218]	[251,285]	[244,256]	[119,167]	[133,176]	[100,125]	[195,239]	14
[124,167]	[113,147]	[75,109]	[182,218]	[53,86]	[42,75]	[55,75]	[117,249]	15

جدول شماره - ۶ نتایج کارایی واحدهای تحت ارزیابی شرکت‌های تولیدی گروه ج با رویکرد معادلسازی

DMU	eL1	eu1	eL2	eu2	eL3	eu3	eL4	eu4	eLN2	euN2
1	0.2049	0.3955	0.5762	0.6148	0.3222	0.8161	0.5377	0.5551	0.2304	0.4820
2	0.4655	0.8716	0.5276	0.8475	0.4762	0.9048	0.9970	1.0000	0.4747	0.9518
3	0.2542	0.5806	0.8662	1.0000	0.2857	0.4906	0.5861	0.7345	0.2371	0.5169
4	0.3669	0.7510	0.7559	0.8175	0.2857	0.6425	0.3867	0.6101	0.1976	0.6101
5	0.3669	0.8657	0.4746	0.8542	0.3487	0.7317	0.3942	0.7648	0.2065	0.7648
6	0.3669	0.7015	0.6564	0.6714	0.5553	0.9905	0.6343	1.0000	0.4572	1.0000
7	0.4187	0.7632	0.7127	0.8273	0.4524	0.8333	0.6216	0.8164	0.3529	0.7244
8	0.3984	0.7788	0.7648	0.7290	0.2857	0.7749	0.6959	0.7281	0.3581	0.6486
9	0.4125	0.8045	0.5291	0.7861	0.2857	0.7094	0.3776	0.5882	0.1976	0.5882
10	0.2524	0.7240	0.8970	0.9397	0.2857	0.7033	۰.4983	0.6741	0.2117	0.5309
11	0.2765	0.8484	0.6541	0.9806	0.4095	0.7211	0.6210	0.9301	0.2882	0.7740
12	0.3669	0.4673	0.8296	0.9290	0.4338	0.6402	0.4765	0.5779	0.2723	0.4465
13	0.4053	1.0000	0.3682	1.0000	0.4957	0.8299	0.9354	1.0000	0.6532	0.9541
14	0.3746	0.4817	0.7776	0.8415	0.3271	0.4683	0.4331	0.5654	0.2109	0.3470
15	0.2682	0.6836	0.3115	0.5557	0.4305	1.0000	۰.5635	0.7990	0.3429	0.7990

۴-۴: تجزیه و تحلیل نتایج جدول شماره- ۶

۱- مدل‌های ۳ و ۴ کارایی هر زیرفرایند و شبکه نهایی را در یک ساختار شبکه‌ای با داده‌های کراندار و بازه‌ای در قالب کارایی کران پائین و کارایی کران بالا در دوره زمانی مورد ارزیابی براساس مدل‌های غیر شعاعی و پویا تعیین می نماید.

این کارایی در بازه‌ای $\left[e_{1j}^{L}, e_{1j}^{U}\right]$, $\left[e_{2j}^{L}, e_{2j}^{U}\right]$, ... , $\left[e_{1j}^{N2L}, e_{1j}^{N2U}\right]$ برای واحد تصمیم‌گیری اول و DMU_j , $j = 1, ..., n$ تعیین می‌گردد.

۲- مقادیر محاسبه شده $eL1$ کارایی کران پایین دوره اول برای هر واحد تصمیم‌گیری است و بطور

مشابه $eL4$ کارایی کران پایین دوره چهارم برای واحدهای تحت ارزیابی است و $eLN2$ نیز کارایی کران پایین شبکه پویا کل در یک دوره چهارساله است.

۳- شرط لازم و کافی برای کارا بودن هر واحد تصمیم‌گیری در هر دوره زمانی این است که کارایی کران پایین eLo برابر ۱ باشد بنابراین هیچ یک از واحدهای تحت ارزیابی براساس نتایج کارا نمی‌باشند.

۴- برای کارا نمودن واحدهای ناکارا باید نسبت تغییرات هر متغیر خروجی $\left(\frac{1}{eLo}\ ,\ \frac{1}{eUo}\right)$ را با توجه به یافته‌های جدول-۶ بر متغیرهای خروجی دوره اعمال نمود تا واحد کارا شود.

برای نمونه برای کارا شدن کران پایین واحد تصمیم گیری اول در دوره اول تغییرات در خروجی دوره اول y_{p1}^{1L} را اعمال می‌کنیم.

$$y_{p1}^{1}=[143,207]\quad ,\ eL1=0.2049\ ,\ y_{p1}^{1L}=143\quad ,$$

$$\frac{1}{eL1}=\frac{1}{0.2049}=4.8804$$

$$y_{p1}^{1L}=143\times 4.8804=697.8$$

با این تغییر درکران پایین متغیر خروجی اول مقدار نمره کارایی کران پایین واحد در دوره اول برابر ۱ خواهد شد و واحد کارا می‌شود.

$$eU1=0.3955\ ,\ y_{p1}^{1U}=207\quad ,$$

$$\frac{1}{eU1}=\frac{1}{0.3955}=2.5284$$

$$y_{p1}^{1U}=207\times 2.5284=523.37$$

با این تغییر در کران بالای متغیر خروجی اول مقدار نمره کارایی کران بالا واحد در دوره اول برابر ۱ خواهد شد.

تغییرات در خروجی دوره سوم $y_{p'2}^{3L}$ جهت کارا شدن کران پایین واحد تصمیم‌گیری دوم (نسبت تغییرات برابر $\frac{1}{e_2^{L3}}$)

$$y_{p'2}^{3}=[205,285]\quad \&\quad e_2^{L3}=0.4762$$

$$\&\ \frac{1}{e_2^{L3}}=\frac{1}{0.4762}=2.1$$

با این تغییر متغیر کارایی کران پایین DMU_2 برابر ۱ خواهد شد. $y_{p'2}^{3L}=205\times 2.1=430.5$

۶- مقادیر محاسبه شده e_o^L فقط میزان کارایی کران پایین واحد تحت ارزیابی (O) را در تعامل و ارتباط با سایر زیرفرایندهای شبکه پویا و شبکه کل در دوره‌های زمانی تحت داده‌های بازه‌ای ارزیابی می‌کند بنابراین هر واحد میزان افزایش یا تغییرات مختص به خود را در هر دوره زمانی برای کار شدن دارد. (هر واحد به نسبت خود افزایش می‌یابد).

۷- در مورد e_o^U کارایی کران بالا نیز مانند موارد شرح داده شده فوق (بند-۶) می‌باشد. (ارزیابی کران بالا واحدهای تحت ارزیابی در قالب شبکه پویا)

۸- نسبت تغییرات در متغیر کران پایین و کران بالا برای هر DMU_O در دوره‌های زمانی یکسان، متفاوت است و این مقدار برای کارا شدن متغیرهای کران بالا واحدهای تحت ارزیابی برابر $\frac{1}{eU_O}$ است. مثال:

DMU_9

$$y_{p'9}^{3}=[114\ ,\ 216]\ ,\ e_9^{L3}=0.2857\ \&\ e_9^{U3}=0.7094$$

$$\left[e_9^{L3}\ ,e_9^{U3}\right]=[0.2857\ ,\ 0.7094]$$

$$\frac{1}{e_9^{L3}}=\frac{1}{0.1429}=3.50\ ,\ \frac{1}{e_9^{U3}}=\frac{1}{0.7094}=1.4094\ \&$$

$$y_{p'9}^{3L}=3.50\times 114=399\ \&\ y_{p'9}^{3U}=1.4094\times 216=304.5$$

با این تغییرات در متغیر $y^3_{p'9}$ کارایی کران پایین و کارایی کران با لای DMU_9 برابر ۱ خواهد شد. $\left[e_9^{L3}, e_9^{U3}\right] = [1,1]$

۹- $\left[e_9^{L3}, e_9^{U3}\right] = [1,1]$ که با اعمال تغییرات و افزایش در خروجی‌های DMU_9 حاصل شده است مبین توانمندی و قابلیت مدل‌ها در ارزیابی کارایی واحدهای شبکه‌ای پویا با داده‌های بازه‌ای است.

۱۰- $(B.M)$ در کران پایین و کران بالا، ترکیب خطی از ورودی‌های کران پایین و ترکیب خطی از خروجی‌های کران بالا است که واحد تحت ارزیابی را $(Do\min ate)$ می‌کند.

۱۱- با توجه به مجموعه $(B.M)$ تعریف شده همواره بین میزان مقادیر عددی متغیرهای ورودی و خروجی با داده‌های بازه‌ای و کراندار، رابطه‌ای منطقی و معنی‌دار برقرار است که براساس روش DEA کارایی این واحدهای تحت ارزیابی همواره بین ۰ و ۱ تعیین و تعریف می‌شوند.

$$X^t_{ij} = \left[x^{tl}_{ij}\ ,\ x^{tu}_{ij}\right]\ ,\ t = 0,1,\ldots,k-1\ ,$$

$$Y^t_{rj} = \left[y^{tl}_{rj}\ ,\ y^{tu}_{rj}\right]\ ,\ t = 1,\ldots,k$$

۱۲- تغییرات در کارایی کران پایین در داده‌های بازه‌ای (e_o^L) در داده‌های بازه‌ای ورودی‌ها و خروجی‌ها عبارتند:

$$x_o = (x_o^L, x_o^U) \quad \& \quad y_o = (y_o^L, y_o^U)$$

(۱): اگر میزان عددی (y_o^L) افزایش یابد (در صورت عدم تغییر در سایر مؤلفه‌ها) در این حالت $(e_o^L)\uparrow$ افزایشی خواهد بود.

(۲): اگر میزان عددی (x_o^U) افزایش یابد در این صورت میزان $(e_o^L)\downarrow$ کاهش می‌یابد.

(۳): اگر میزان عددی (x_o^U) کاهش یابد در این صورت میزان $(e_o^L)\uparrow$ افزایش می‌یابد.

(۴): اگر مقدار (x_o^L) افزایش یابد و مقدار (y_o^U) بدون تغییر بماند در این صورت $(e_o^L)\uparrow$ افزایش می‌یابد.

(۵): افزایش (x_o^U) و یا افزایش (y_o^U) باعث کاهش $(e_o^L)\downarrow$ می‌گردد.

(۶): اگر مقدار (x_o^U) افزایش یابد و (y_o^L) ثابت بماند در این صورت $(e_o^L)\downarrow$ کاهشی است.

(۷): اگر (x_o^L) افزایش یابد در مقدار عددی (e_o^L) بی تأثیر است اگر (y_o^U) افزایش یابد.

(۸): اگر (x_o^L) کاهشی شود مقدار $(e_o^L)\downarrow$ کاهش می‌یابد.

(۹): کاهش (y_o^U) سبب افزایش $(e_o^L)\uparrow$ می‌شود.

۱۳- در تعیین میزان تغییرات و افزایش خروجی‌های کران بالا و کران پایین در هریک از زیرفرایندها و شبکه، کارایی زیرفرایندها در هر دوره زمانی، و کارایی شبکه در نظر گرفته شده است بگونه‌ای که میزان افزایش تغییرات خروجی نهایی به نسبتی تعیین می‌گردد که همواره زیرفرایندها و شبکه کارا باشند.

۵- نتایج

مدل‌های طراحی شده غیر شعاعی بر مبنای الگوی کارای قوی این پژوهش با رویکرد معادلسازی دوره‌ای برای ارزیابی کارایی واحدهایی با ساختار شبکه‌ای پویا چند مرحله‌ای تحت داده‌های بازه‌ای، (مدل‌های ۳ و ۴) کارایی واحدها را در هر دوره زمانی معین به صورت کران بالا و کران پایین برای زیرفرایندها و شبکه نهایی اندازه‌گیری و تعیین می‌نماید و این جواب‌ها به دلیل الگوهای آن اساساً جواب‌های بهتری محسوب می‌گردند. میزان نمره کارایی در هر کران بالا و یا کران پایین، کوچکتر مساوی ۱ می‌باشد که نمره ارزیابی ۱ به واحدهای کارا تخصیص داده می‌شود و واحدهای دارای نمره ارزیابی کمتر از ۱ ناکارا تشخیص داده می‌شوند. واحدهایی که در هر مرحله دارای نمره کارایی ۱ در کران بالا و کران پایین می‌باشند واحدهای کارای قوی محسوب می‌شوند اما شرط لازم

و کافی برای کارایی واحدها با توجه به $(B.M)$ کسب نمره ارزیابی ۱ در کران پایین است. این مدل‌ها کارایی هر زیرساختار را در ارتباط با زیرساختارهای دیگر و شبکه کل بررسی می‌کنند. تعیین کارایی با داده‌های بازه‌ای و کراندار منجر به تعیین کارایی واحد تصمیم‌گیری در یک بازه بین دو حد پایین و بالا می‌شود بنابراین ارزیابی جامع‌تری از کارایی است. اساساً در عمل و در شرایط واقعی داده‌ها به صورت کراندار و غیر دقیق می‌باشند مانند بخش‌های کشاورزی و پرورش طیور که نمی‌توان از داده‌های دقیق و قطعی استفاده نمایند زیرا این بخش‌ها به دلائل غیر قابل کنترل و خارج از اراده همواره با ریسک و عدم اطمینان مواجه است. بنابراین از آنجا که قضاوت‌های بازه‌ای مطمئن‌تر و تضمین بالاتری می‌دهند و انعطاف‌پذیرند به واقعیت نزدیکتر می‌باشند. سنجش کارایی نسبی زیرفرایندهای شبکه و شبکه نهایی نیز با داده‌های بازه‌ای، ارجح‌تر و از قابلیت اطمینان بالاتری به لحاظ ساختاری و تئوریک با توجه به مدل‌های ارائه شده در این پژوهش در شرایط عدم دسترسی به تابع تولید برخورداراست. با توجه به نتایج حاصله از جدول شماره-۶ و اعمال تغییرات معین بر اساس یافته‌های جدول ذکر شده می‌توان کارایی کران بالا و کران پایین واحدهای ناکارا را به عدد ۱ ارتقاء داد و این از توانمندی‌ها و قابلیت‌های این مدل‌ها محسوب می‌شود. رویکرد معادلسازی دوره‌ای بر اساس ایجاد یک شبکه مجازی کارای قوی که دوره دوم آن تابعی از دوره اول است می‌باشد. همچنین مدل‌های استنتاجی (مدل‌های ۳و۴و۵و۶)، قادر است مناسبات و تنظیمات بین زیر فرایندها را در یک ساختار شبکه‌ای چند مرحله‌ای پویا با داده‌های بازه‌ای و کراندار و غیر قطعی برقرار نماید.

۵-۱- مدل‌های تحت داده‌های بازه‌ای

۱- مدل‌های تحت داده‌های بازه‌ای و کراندارد سه گروه از مجتمع‌های تولیدی جمعاً ۴۵ واحد تولیدی طی یک دوره چهارساله در قالب یک ساختار شبکه‌ای ۴ مرحله‌ای پویا مورد آزمون و سنجش کارایی واقع و موارد ذیل در تجزیه و تحلیل تعیین گردیده است.

۲- هریک از زیرفرایندهای ساختار شبکه‌ای واحدهای تولیدی در هر سه گروه الف- ب و ج بر اساس مدل‌های طراحی شده با رویکرد معادل‌سازی دوره‌ای مورد سنجش و ارزیابی کارایی قرار گرفته و برای هر زیرفرایند از واحدهای تولیدی در هر مقطع زمانی در قالب شبکه پویا ۴ مرحله‌ای، عدد کارایی بصورت دوکران پایین و کران بالا در یک بازه تعیین شده است.

۳- عددهای تخصیص داده شده به هر زیرفرایند در قالب کارایی کران پایین و کران بالا عددی بین ۰ و ۱ بصورت بازه تعیین گردیده است.

۴- مدل‌های طراحی شده بر اساس رویکرد معادل سازی دوره‌ای بصورت متمرکز کارایی دینامیکی زیرفرایندها و کارایی شبکه را در یک مرحله با تأثیر زیرفرایندها برای کران پایین و یک مرحله نیز برای کران بالا مورد ارزیابی قرار می‌دهند و نتایج مربوط به این ارزیابی‌ها در جداول مربوطه درج و تجزیه و تحلیل شده است.

۵- بر اساس نتایج بدست آمده هیچ یک از واحدهای تحت ارزیابی کارای شبکه قوی تشخیص داده نشدند بنابراین در ارزیابی‌ها ارتباط زیرفرایندها و شبکه نهایی بطور تأم در نظر گرفته شده است.

۶- برای کارا نمودن واحدهای ناکارا در هر کران، نسبت تغییرات هر متغییر خروجی با توجه به یافته‌های جداول نتایج بر متغییر خروجی زیر فرایند در دوره اعمال نموده و نتیجه این تغییرات منجر به کارایی زیرفرایند در کران بالا و یا کران پایین و نهایتاً کارایی واحد در قالب یک ساختار شبکه‌ای پویا گردیده است. برای نمونه برای کارا شدن زیرفرایند یکم واحد تصمیم‌گیری اول از گروه تولیدی ج میزان تغییرات ۴/۸۸۰۴ در متغیر کران پایین خروجی زیرفرایند اول اعمال و متغییر خروجی به عدد ۶۹۷/۸

تغییر یافت و با این تغییر در کران پایین متغییر خروجی اول، میزان نمره کارایی کران پایین برابر ۱ شده و زیرفرایند اول کارا گردید. همچنین با اعمال تغییرات براساس جدول محاسبه کران بالای واحدهای تحت ارزیابی، بمیزان ۲/۵۲۸۴ در متغییر کران بالای خروجی اول زیرفرایند اول، کران بالای متغییر خروجی به عدد ۵۲۳/۳۷ تغییر یافته و با این افزایش، عدد کارایی کران بالای این زیرفرایند ۱ گردید.

۷- بطور مشابه این تغییرات در سایر واحدهای ناکارا اعمال و منجر به کارا شدن واحدهای مورد نظر گردید.(عدد کارایی کران پایین برابر ۱ شد) و گزارش مربوط به واحد دوم تحت ارزیابی گروه ج در زیرفرایند سوم ساختار شبکه‌ای مربوطه با اعمال تغییرات ۲/۱ در میزان متغییر کران پایین خروجی زیرفرایند سوم و افزایش متغییر مورد بحث به عدد ۴۳۰/۵ موجب کارایی کران پایین زیرفرایند سوم گردید و عدد کارایی کران پایین به ۱ ارتقا یافته و ثبت گردیده است.

۸- نکته حائز اهمیت که در گزارش به استناد آزمون‌های بعمل آمده از نتایج جداول کارایی کران پایین و کران بالا ثبت گردیده مبین این است که هر زیرفرایند میزان افزایش مختص به خود را در هر دوره زمانی برای کارا شدن دارد و هر واحد و زیرفرایند در این ساختار منحصراً به نسبت خود افزایش می‌یابد.

۹- موارد مطروحه فوق نشان می‌دهد مدل‌هایی که بر مبنای ساختار شبکه‌ای دومرحله‌ای و تکنولوژی مورد تحقیق تعریف می‌شوند توانای ارزیابی کارایی دینامیکی ساختارهای شبکه‌ای را دارند.

۱۰- به استناد موارد مندرج در جدول نتایج سنجش کارایی تحت داده‌های‌بازه‌ای و آزمون‌های بعمل آمده برای کارا شدن شبکه و زیرفرایندهای ناکارا، مقادیر محاسبه شده در هر کران (پایین یا بالا) واحد تحت ارزیابی را در تعامل و ارتباط با سایر زیرفرایندهای شبکه پویا و شبکه کل در دوره‌های زمانی ارزیابی می‌کند بنابراین برابر بند ۸ هر واحد میزان افزایش یا تغییرات مختص به خود را در هر دوره زمانی برای کارا شدن دارد.

۱۱- بر اساس موارد فوق تعارض بین افزایش متغییرهای میانی و کارایی شبکه در هر دوره و شبکه نهایی در قالب محاسبه کارایی کران پایین و کران بالا مرتفع گردیده است و آزمون‌های بعمل آمده بر اساس نتایج نشان داد اعمال تغییرات موجب کارایی واحدها و زیرفرایند مربوطه می‌شود.

۱۲- بدلیل اینکه در تعیین میزان تغییرات و افزایش خروجی‌های کران پایین و کران بالای متغییرها در هر یک از زیرفرایندها و شبکه، کارایی زیرفرایندها در هر دوره زمانی و کارایی شبکه در نظرگرفته شده است به گونه‌ای که میزان افزایش تغییرات خروجی نهایی به نسبتی تعیین می‌گردد که همواره زیرفرایندها و شبکه کارا باشند بنابراین در فرایند نهایی ارزیابی کارایی شبکه‌کل، تأثیر زیرفرایندها در هر مرحله بطور مستقیم در نظر گرفته شده است.

۱۳- جمع‌بندی کلی نشان می‌دهد نتایج سنجش کارایی دینامیکی در ۶۰ واحد تولیدی در یک دوره چهار ساله با ساختار شبکه‌ای پویا با داده‌های دقیق و بازه‌ای قابلیت ارزیابی و کارا نمودن واحدهای ناکارا را داشته و تنظیمات و مناسبات زیرفرایندها را با یکدیگرو شبکه نهایی برقرار می‌نماید.

۵-۲- پیشنهادات

پیشنهادات کاربردی و کارهای آتی در زمینه ساختارهای شبکه‌ای پویابشرح ذیل ارائه می‌گردد.

۵-۲-۱. پیشنهادات کاربردی

پیشنهادات کاربردی در این طرح تحقیقی با توجه به ویژگی‌ها و قابلیت‌های معادل‌سازی دوره‌ای در یک ساختار شبکه‌ای n مرحله‌ای و همچنین تابع هدف مدل و تکنولوژی چند قسمتی بکارگرفته شده در قالب مجموعه امکان تولید و ماهیت داده‌های ورودی (هزینه‌ها) و خروجی (مطلوب و نا مطلوب) و تفکیک

مراحل اجرایی آن بر حسب دوره و مرحله‌بندی شبکه‌ای، قابلیت تطبیق مناسبی با بخش‌های خدماتی، صنعتی و تولیدی کشور دارد. روش تحقیق این طرح عمدتاً بر مبنای نظریه‌ها، قانونمندی‌ها، اصول DEA و فنونی که در تحقیقات پایه و بنیادی تدوین می‌شوند را برای حل مسایل اجرایی و واقعی بکار می‌گیرد. در واقع پژوهشی است که با استفاده از نتایج تحقیقات بنیادی و کاربردی به منظور بهبود و به کمال رساندن روش‌ها و ساختارها و الگوهای مورد استفاده درمدیریت با لحاظ نمودن سنجش کارایی پویای واحدهای تصمیم‌گیری در ساختارهای شبکه‌ای انجام می‌شود. هدف این تحقیق کاربردی، توسعه دانش کاربردی در یک زمینه خاص است. پیشنهادات کاربردی زیر می‌تواند در چارچوب مدل‌های ارائه شده در مجموعه‌های مدیریتی فنی،صنعتی، خدماتی و تولیدی انجام شود برای اجرای این طرح می‌توان باتوجه به اینکه اساساً بانک‌ها یک ساختار شبکه‌ای سری دارند بانک‌های دولتی در یک دوره ۴ ساله (ارزیابی کارایی پویا و ارزیابی کارایی کل بانک‌ها در هر سال) مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته و همین اقدام نیز برای بانک‌های خصوصی انجام و منابع ناکارایی هریک از بانک ها را در طی هر دوره زمانی یکساله تعیین نمود همچنین بانک‌های کارا را رتبه‌بندی نمود. یکی دیگر از مراجع نمونه می‌تواند شرکت‌های تولید لوازم خانگی در کشور باشد که مطالعات اندکی در آن حوزه صورت پذیرفته بنابراین می‌توان شرکت‌های بنام و مشهور تولید کننده لوازم خانگی در کشور را در یک دوره ۴ ساله مورد ارزیابی کارایی دینامیکی و ارزیابی کارایی کلی قرار داد و منابع ناکارایی و میزان آن را تعیین و با اقدامات مدیریتی نسبت به افزایش بهره‌وری اقدام نمود. همچنین این قابلیت در بخش‌های خدماتی از جمله ناوگان حمل و نقل درون شهری و برون شهری و سایر بخش‌های خدماتی بدون هیچ محدودیتی برای توسعه و ارتقاء بهره‌وری قابلیت اجرایی دارد همچنین در امور ستادی و اموزشی نیز قابل تعمیم است.

۵-۲-۲. پیشنهادات کارهای آتی

ایده کارهای تحقیقاتی و پژوهشی آتی می‌تواند در زمینه داده‌های فازی در شبکه‌های پویا و یا عوامل غیر قابل کنترل و تغییر در شکل ساختار شبکه باشد. ضمناً طرح‌ریزی و مدل‌سازی در شرایط تکنولوژی نامحدب می‌تواند مورد تحقیق و بررسی قرارگیرد.

فهرست منابع

[1] Charnes, A., Cooper, W. W., and Rhodes, E. (1978) 'Measuring the efficiency of decision making units', European Journal of Operational Research, Vol. 2, No. 6, pp.429- 444.

[2] Chen, Y., Du, J., David Sherman, H., and Zhu, J. (2010) 'DEA model with shared resources and efficiency decomposition', European Journal of Operational Research, Vol. 207, No. 1, pp.339-349.

[3] Chao, L., Yu, M., and Hsieh, W. (2018) 'Evaluating the efficiency of major container shipping companies: A framework of dynamic network DEA with shared inputs ', Transportation Research Part A: Policy and Practice, Vol. 117, pp.44-57.

[4] Despotis, D.K., Smirlis, Y.G. (2002). 'Data envelopment analysis with imprecise data', European J. Oper. Res. Vol. 140, pp. 24–36.

[5] Esfidani, S., Hosseinzadeh Lotfi, F., Razavyan, S., and Ebrahimnejad, A. (2020) 'A slacks-based measure approach for efficiency decomposition in multi-period two-stage systems', RAIRO-Operations Research, Vol. 54, No. 6, pp.1657-1671.

[6] Fare, R., and Grosskopf, S. (2000)' Network DEA'. Socio-Economic Planning Sciences, Vol .34 No. 1, pp.35-49.

[7] Gholiha, AM., Hosseinzadeh Lotfi, F., Shahriari, M., and Vaez-Ghasemi, M. (2020) '

[8] Providing a model based on auxiliary variables for calculating the efficiency and effectiveness of metro stations in Tehran in the analysis of data coverage with inputs and outputs ',Journal of New Researches in Mathematics, Vol. 6, No. 27, pp.5-16.

[9] Hsieh, L.-F., and Lin, L.-H. (2010) 'A performance evaluation model for international tourist hotels in Taiwan—An application of the relational network DEA', International Journal of Hospitality Management, Vol. 29, No. 1, pp.14-24

[10] Hosseinzadeh Lotfi, F., Rostamy-Malkhalifeha, M., Navabakhs, M., Tehranian, A. and Shahverdi, R. (2007). 'Ranking Bank Branches with Interval Data' The Application of DEAInternational Mathematical Forum, Vol.2, No.9, pp.429 - 440

[11] Jahanshahloo, G.R., Kazemi Matin, R., & Hadi Vencheh, A., (2004).' On FDH efficiency analysis withinterval data', Applied Mathematics and Computation, Vol.159, No.1.

[12] Jahanshahloo, G.R., Kazemi Matin, R., & Hadi Vencheh, A. (2004)' On return to scale of fully efficient DMUs in data envelopment analysis under interval data', Applied Mathematics and Computation, Vol.154, pp.31–40

[13] Kao, C. (2008)' A linear formulation of the two-level DEA model', Omega, Vol. 36, No. 6, pp.958-962.

[14] Kao, C. and Hwang, S.-N. (2008) 'Efficiency decomposition in two-stage data envelopment analysis: An application to non-life insurance companies in Taiwan', European Journal of Operational Research, Vol. 185, No. 1, pp.418-429.

[15] Kao, C. (2013) 'Dynamic data envelopment analysis: A relational analysis', European Journal of Operational Research, Vol. 227, No. 2, pp.325-330.

[16] Kao, C. (2016) 'Efficiency decomposition and aggregation in network data envelopment analysis', European Journal of Operational Research, Vol. 255, No. 3, pp.778-786.

[17] Karbassi Yazdi, A., Wang, Y., and Mohammadi Kahorin, M. (2019) 'Performance benchmarking on export credit agencies: a data envelopment analysis ',International Journal of Productivity and Quality Management, Vol. 28, No. 3, pp.340-359.

[18] Kamble, R., and Wankhade, L. (2021) 'System dynamics model to improve productivity in manufacturing', International Journal of Productivity and Quality Management, Vol. 32, No. 1, pp. 23-52.

[19] Lotfi, A., Hasani, A., and Aibaghi Esfahani, S. (2020)' Performance assessment of talent management system via using system dynamic approach and scenario planning (case study: Iran Falat-Qhare Oil Company)', International Journal of Productivity and Quality Management, Vol. 29, No. 1, pp.62-93.

[20] Liu, J. S., Lu, L. Y. Y., Lu, W.-M., and Lin, B. J. Y. (2013).' Data envelopment analysis 1978–2010: A citation-based literature survey', Omega, Vol.41, No. 1), pp.3-15.

[21] Momeni, M., Safari, H., Rostami, M., Mostafaee, A. and Soleymani-Damaneh, R. (2018)'Designing a Non-Oriented NDEA for Performance Evaluation', Management Studies in Development and Evolution, Vol. 26 , No. 86, pp.1-23.

[22] Majiwa, E., Lee, B., Wilson, C., Fujii, H., and Managi, S. (2018) 'A network data envelopment analysis (NDEA) model of post-harvest handling: the case of Kenya's rice processing industry', Food Security, Vol. 10, pp.631-646.

[23] Nemoto, J. and Goto, M. (2003) 'Measurement of dynamic efficiency in production: an application of data envelopment analysis to Japanese electric utilities', Journal of Productivity Analysis, Vol. 19, pp.191-210.

[24] Nourani, M., Devadason, E. S. and Chandran, V. (2018) 'Measuring technical efficiency of insurance companies using dynamic network DEA: an intermediation approach', Technological and Economic Development of Economy, Vol. 24, No. 5, pp.1909-1940.

[25] Omid, A., Zegordi, S. H. and Nahavandi, N. (2018)' Assessing Dynamic Efficiency of Machine-made Carpet Industry by Network DEA Technique', Production and Operations Management, Vol. 9, No. 1, pp.139-160.

[26] Sharafia, H., Rostamy-Malkhalifeha, M., Salehi, A., and Izadikhah, M. (2015)' Efficiency Evaluation and Ranking DMUs in the Presence of Interval Data with Stochastic BOUNDS', Int.J. Data Envelopment Analysis (ISSN 2345-458X), Vol.3, No.1, pp.617-626

[27] Soltanzadeh, E., and Omrani, H. (2018) 'Dynamic network data envelopment analysis model with fuzzy inputs and outputs: An application for Iranian Airlines ', Applied Soft Computing, Vol. 63, No. C, pp.268-288.

[28] Shamohammadi, M., Oh, D. (2019) Measuring the efficiency changes of private universities of Korea: A two-stage network data envelopment analysis ',Technological Forecasting and Social Change, Vol. 148.

[29] Sarkhosh-Sara, A., Tavassoli, M., and Heshmati, A. (2020) 'Assessing the sustainability of high-, middle-, and low-income countries: A network DEA model in the presence of both zero data and undesirable outputs', Sustainable

[36] Wang, Y., Pan, J., Pei, R., Yi, B.-W., and Yang, G. (2020) 'Assessing the technological innovation efficiency of China's high-tech industries with a two-stage network DEA approach', Socio-Economic Planning Sciences, Vol. 71.

[37] Yu, M. M. (2008)' Assessing the technical efficiency, service effectiveness, and technical effectiveness of the world's railways through NDEA analysis', Transportation Research, Vol. 42, No. 10, pp.1283-1294

[38] Wang, Y., Greatbanks, R., and Yang, J. (2005)' Interval efficiency assessment using data envelopment analysis', Fuzzy Set Syst, Vol.153, pp.347–370.

[39] Yu, S., Liu, J. and Li, L. (2019) 'Evaluating provincial eco-efficiency in China: an improved network data envelopment analysis model with undesirable output', Environmental Science and Pollution Research, Vol. 27, pp.6886-6903.

Production and Consumption, Vol. 21, pp.252-268.

[30] Storto, C. (2020) 'Performance evaluation of social service provision in Italian major municipalities using Network Data Envelopment Analysis', Socio-Economic Planning Sciences, Vol. 71.

[31] Tone, K. and Tsutsui, M. (2014) 'Dynamic DEA with network structure: A slacks-based measure approach', Omega, Vol. 42, No. 1, pp.124-131.

[32] Thoumy, M., and Jobin, M. (2020) 'Interactions dynamics between the performance management system and the quality management system',International Journal of Productivity and Quality Management, Vol. 31, No. 3, pp.412-433.

[33] Vaezi, E., Najafi, S.E., Hajimolana, S. M., Hosseinzadeh Lotfi, F. and Ahadzadeh Namin, M. (2021) 'Efficiency evaluation of a three-stage leader-follower model by data envelopment analysis with double-frontier viewpoint ', Scientia Iranica, Vol. 28, No. 1, pp. 492–515.

[34] Wang, Y. and Luo, Y. (2006)' DEA efficiency assessment using ideal and anti-ideal decision making units', Applied Mathematics and Computation, Vol.173, pp.902–915.

[35] Wanke, P., Abul Kalam Azad, M., Emrouznejad, A. and Antunes, J. (2019) 'A dynamic network DEA model for accounting and financial indicators: A case of efficiency in MENA banking', International Review of Economics and Finance, Vol. 61, pp. 52–68.