چشم‌انداز مدیریت صنعتی
سال نهم، شماره ۳۳، بهار ۱۳۹۸
شاپای چاپی: ۹۸۷۴-۲۲۵۱، شاپای الکترونیکی: ۴۱۶۵-۲۶۴۵
ص‌ص ۲۹ – ۹

طراحی مدل اندازه‌گیری نوآوری سازمان با رویکرد تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای پویا (موردمطالعه: دانشگاه‌های سطح یک کشور)

علی حسین غریب*، عادل آذر، عباس مقبل باعرض***، محمود دهقان نیری*****

چکیده

امروزه ارزیابی عملکرد بر مبنای کارایی در سیستم‌های چندبخشی ـ چنددوره‌ای به‌طور فزاینده‌ای در اخذ تصمیمات مدیریتی و سرمایه‌گذاری اهمیت یافته است. در این پژوهش، رویکرد فرموله‌سازی جدیدی برای تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای پویا بر مبنای تفکر سیستمی ارائه شده که به‌دنبال اندازه‌گیری و تجزیه کارایی کل سیستم‌های چندبخشی ـ چنددوره‌ای است. اگرچه مدل‌های سنتی تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزیابی کارایی در شرایط چندین ورودی و چندین خروجی ایده مدل‌سازی پیشرفته‌ای را ارائه می‌دهد، اما در خصوص فرآیند انتقال پویای سیستم‌های چندبخشی ـ چنددوره‌ای واحدهای تصمیم‌گیرنده با محدودیت مواجه است و شاخص‌هایی به‌صورت جعبه سیاه برای امتیازات کارایی آن‌ها ارائه می‌دهد که با نادیده‌گرفتن اطلاعات مربوط به عملیات‌های درونی سیستم باعث می‌شوند تا امتیازات کارایی واحدها به‌صورت نادرست تخمین زده شوند. این پژوهش با درنظرگرفتن فرآیند نوآوری به‌عنوان یک سیستم چندبخشی شامل دو زیرفرآیند تحقیق و توسعه و به‌کارگیری نتایج، مدل معرفی‌شده برای اندازه‌گیری این فرآیند در دانشگاه‌های سطح یک کشور در بازه زمانی سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۵ به‌کار رفته است و میزان نوآوری را با توجه به هر بخش، هر دوره زمانی و همچنین نوآوری کل اندازه‌گیری نموده است.

کلیدواژه‌ها: تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای پویا؛ نوآوری؛ ارزیابی نوآوری؛ دانشگاه.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۷/۰۸، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۹/۲۷.

*دانشجوی دکتری، دانشگاه تربیت مدرس.
**استاد، دانشگاه تربیت مدرس (نویسنده مسئول).
E-mail: azara@modares.ac.ir
***دانشیار، دانشگاه تربیت مدرس.
****استادیار، دانشگاه تربیت مدرس.

۱. مقدمه

توسعه‌یافتگی یا عقب‌ماندگی کشورها و صنایع بر اساس میزان بهره‌گیری آنان از فناوری‌های روزآمد در ابعاد مختلف تعیین می‌شود. یکی از مؤلفه‌های اصلی سیاست‌های توسعه فناوری کارآمد، شناسایی و سنجش فعالیت‌های صورت‌گرفته در زمینه نوآوری و پایش و ارزیابی نتایج حاصل از این فعالیت‌ها است. به همین منظور برای شناسایی نقاط قوت و ضعف حوزه یا حوزه‌های موردمطالعه، ارائه رویکردهایی برای سنجش وضعیت موجود و مقایسه آن با وضعیت مطلوب با استفاده از شاخص‌های کمّی و عینی که تمامی ابعاد فرآیند نوآوری را لحاظ کرده باشد و درنهایت استخراج میزان شکاف موجود و دلایل این شکاف ضروری خواهد بود؛ ازاین‌رو استفاده از شاخص‌هایی که بتوانند تمامی ابعاد یک نظام نوآوری را به‌صورت کمّی موردسنجش و ارزیابی قرار دهند و نمایی از وضعیت موجود را نمایان سازند جزو موارد ضروری برنامه‌ریزی نظام‌های نوآوری است. در این پژوهش به‌منظور اندازه‌گیری دقیق‌تر عملکرد فرآیند نوآوری با درنظرگرفتن ساختار داخلی چندبخشی ـ چنددوره‌ای آن، یک مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای پویا پیشنهاد شده است.

در ادامه پس از بیان مسئله، مدل‌های پویا و مدل‌های شبکه‌ای تحلیل پوششی داده‌ها به‌طور مختصر شرح داده شده‌اند. پس از آن، مدل ارائه‌شده و ورودی‌ها و خروجی‌ها و ساختار مدل مفهومی نوآوری توضیح داده شده است؛ سپس در یک مطالعه موردی، مدل ارائه‌شده به‌منظور اندازه‌گیری دقیق‌تر عملکرد فرآیند نوآوری با درنظرگرفتن ساختار داخلی چندبخشی ـ چنددوره‌ای (MPMDS)[1] آن در دانشگاه‌های سطح یک کشور مورداستفاده قرار گرفته است.

بیان مسئله. سیستم‌های چندبخشی ـ چنددوره‌ای در صنایع مختلف شایع هستند؛ چون بسیاری از سیستم‌های تولیدی پیچیده از فرآیندهای چندگانه مرتبط تشکیل شده است که معمولاً در طول زمان مستقل نیستند. ارزیابی عملکرد سیستم‌های چندبخشی ـ چنددوره‌ای از دیدگاهی پویا و جامع به شکل روزافزونی اهمیت یافته است و به همین دلیل توسعه ابزارهای تحلیلی در سیستم‌های هوشمند و خبره و پشتیبانی از تصمیمات خبرگان در زمینه‌ای با شرایط چندبخشی ـ چنددوره‌ای حیاتی است.

اگرچه مدل‌های سنتی تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزیابی کارایی در شرایط چندین ورودی و چندین خروجی ایده مدل‌سازی پیشرفته‌ای را ارائه می‌دهد، اما در خصوص فرآیند انتقال پویای سیستم‌های چندبخشی واحدهای تصمیم‌گیرنده با محدودیت مواجه است و شاخص‌هایی به‌صورت جعبه سیاه[2] برای امتیازات کارایی آن‌ها ارائه می‌دهد. به‌تدریج مشخص شد که

1. Multi-period and multi- division systems
2. Black-box

اطلاعات مربوط به عملیات درونی سیستم توسط مقیاس‌های جعبه سیاه نادیده گرفته می‌شوند که این مسئله ممکن است باعث شود تا امتیازات کارایی واحدها بالاتر و یا پایین‌تر تخمین زده شوند [۱۷، ۱۶].

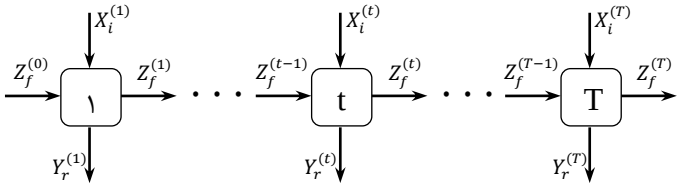
۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

تحلیل پوششی داده‌ها[1]. تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) نخستین بار توسط رودز و کوپر (۱۹۷۸)، مطرح شد. آن‌ها عملکرد مدارس دولتی ایالات متحده آمریکا را موردارزیابی قرار دادند. این مطالعه به چاپ نخستین مقاله درباره معرفی DEA منجر شد. در این سال روش تحلیل پوششی داده‌ها به‌وسیله چارنز و همکاران با جامعیت‌بخشیدن به روش فارل به‌گونه‌ای که خصوصیت فرآیند تولید با چند عامل تولید و چند محصول را دربرمی‌گرفت به مبانی نظری اقتصادی اضافه شد. این روش به‌عنوان روش اندازه‌گیری کارایی در جهان شناخته شد. روش DEA از تکنیک برنامه‌ریزی خطی استفاده می‌کند و از جمله روش‌های ناپارامتریک تخمین توابع تولید یکسان است [۹].

تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) یک روش ارزیابی عملکرد ناپارامتریک است که توسط گروه چارنز، رودز و کوپر طراحی شد تا کارایی نسبی سازمان یا واحدهای تصمیم‌گیرنده را اندازه‌گیری کند. این روش کارایی هر واحد تصمیم‌گیرنده را نسبت به یک الگوی نمونه‌ای می‌سنجد که خودِ واحد تصمیم‌گیرنده نیز در این الگوی نمونه قرار دارد. این کارایی نسبی از طریق محاسبه نسبت مجموع موزون تمامی خروجی‌ها بر مجموع موزون تمامی ورودی‌ها به‌دست می‌آید. این وزن‌ها به صورتی انتخاب خواهند شد که شرط بهینه پارتو برای هر واحد تصمیم‌گیرنده حاصل شود.

تحلیل پوششی داده‌های پویا. با وجود انعطاف‌پذیری و قابلیت توسعه بالا، بیشتر مطالعات تحلیل پوششی داده‌ها اساساً با داده‌های یک مقطع زمانی[2] روبه‌رو است و کارایی نسبی را در یک دوره زمانی واحد ارزیابی می‌کند [۲۲]؛ اما در مدل‌های پویای تحلیل پوششی داده‌ها یک واحد تصمیم‌گیرنده عملیات مشابهی را از یک دوره زمانی به دوره دیگر تکرار می‌کند و به این صورت دو دوره متوالی از طریق ناقل‌ها به یکدیگر مرتبط می‌شوند.

1. Data Envelopment Analysis
2. Cross sectional data



شکل ۱. شکل مفهومی یک مدل پویا

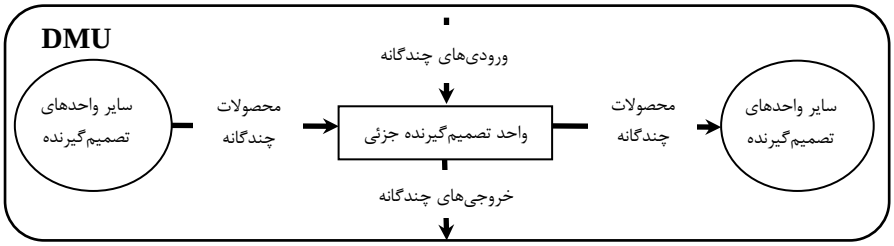
شکل ۱، مفهوم یک سیستم پویا را نمایش می‌دهد که در آن هر دورهٔ t ورودی‌های $X_i^{(t)}(i = 1.2. \ldots . m)$ و ناقل‌های $Z_f^{(t-1)}(f = 1.2. \ldots . h)$ را مصرف می‌کند تا خروجی‌های $Z_f^{(t)}(f = 1.2. \ldots . h)$ و ناقل‌های $Y_r^{(t)}(r = 1.2. \ldots . s)$ را تولید کند. با دقت در تصویر مشاهده می‌شود که یک سیستم سری به‌صورت افقی وجود دارد که در آن هر فرآیند محصولات واسطه‌ای (ناقل‌ها) را که توسط فرآیندهای پیشین تولید شده‌اند را مصرف می‌کند تا همین محصولات را برای مصرف فرآیندهای بعدی تولید کنند؛ همچنین در حالت عمودی سیستمی موازی وجود دارد که هر فرآیند، ورودی‌های برونزای[1] مشابهی را مصرف می‌کند تا خروجی‌های برونزای مشابهی را تولید کند.

سنگوپتا (۱۹۹۹) یک مدل پویای تحلیل پوششی داده‌ها را از طریق معرفی مقادیر سایه شبه‌ورودی‌های ثابت و مسیرهای بهینه آن‌ها در یک مسئله برنامه‌ریزی خطی تحلیلی ارائه داد. فیر و گروسکوپف (۱۹۹۶)، انواع مختلفی از ترکیبات زمانی در میان ورودی‌ها، خروجی‌ها و خروجی‌های واسطه‌ای با استفاده از نظریه شبکه‌ای مدل‌سازی کردند که بر این اساس فرآیندهای تولید به شکل واقع‌بینانه‌تری در طول دوره‌های زمانی تشریح خواهند شد. نموتو و گوتو (۱۹۹۹)، تحلیل پوششی داده‌ها را به یک چارچوب پویا توسعه دادند. مدل تحلیل پوششی داده‌های پویای آن‌ها نه‌تنها مقیاسی برای ارزیابی کارایی ارائه می‌دهد، بلکه قادر است گزینه‌ای ناپارامتریک برای مدل‌سازی اقتصادی رفتار بین‌المللی یک شرکت باشد. آن‌ها دو نوع متفاوت ورودی‌ها (ورودی‌های متغیر و ورودی‌های شبه‌ثابت) را در چارچوب تحلیل پوششی داده‌های پویا ترکیب کردند. یکی از مصادیق ورودی‌های شبه‌ثابت، آن‌هایی هستند که در دوره حاضر به‌عنوان خروجی محسوب می‌شوند؛ درحالی‌که برای دوره بعد به‌عنوان ورودی در نظر گرفته می‌شوند [۲۱]. سیوشی و سکیتانی (۲۰۰۵)، روشی برای چگونگی درآمیختن مفهوم بازگشت به مقیاس به تحلیل پوششی داده‌ها ارائه دادند [۲۳].

1. exogenous

تون و سوتسویی (۲۰۱۰) با توجه به مدل فیر و گروسکوپف (۱۹۹۶)، یک مدل جمعی[1] را برای ارزیابی کارایی پویای یک واحد تصمیم‌گیرنده در دوره‌های زمانی مختلف ارائه دادند. آن‌ها اثر فعالیت‌های مرتبط‌کننده (فعالیت‌های ناقل) بین دو دوره متوالی را محاسبه کرده و این فعالیت‌ها را در ۴ دسته فعالیت‌های ناقل خوب، بد، آزاد و ثابت دسته‌بندی کردند [۲۴].

تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای. ایرادی که از سوی پژوهشگران به مدل‌های مرسوم تحلیل پوششی داده‌ها وارد می‌شود، این است که بسیاری از واحدهای تصمیم‌گیرنده، ساختارهای مرکب و متنوعی دارند که نوع این ساختار و عملکرد این اجزا بر کارایی سیستم تأثیر می‌گذارد. همانگونه که در شکل شماره ۲ نشان داده شده است در دنیای واقعی واحدهای تصمیم‌گیری‌ای وجود دارند که در آن‌ها فرآیند تولید را می‌توان به‌صورت یک فرآیند دو یا چندمرحله‌ای در نظر گرفت. درون واحدهای تصمیم‌گیرنده برای تبدیل ورودی‌های اولیه به خروجی‌های نهایی، ممکن است فرآیندهای داخلی بسیار زیادی وجود داشته باشد؛ درحالی‌که در مدل‌های معمولی، ورودی‌ها برای تولید خروجی‌ها به‌کار می‌روند؛ بدون اینکه توجهی به ارتباطات بخش‌های داخلی واحدها شود [۵].



شکل ۲. نمای داخلی از واحدهای تصمیم‌گیرنده در تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای

به‌منظور رفع این مشکل، فار و گراسکف (۲۰۰۰) در پژوهشی، ضمن اشاره به ضعف مدل مرسوم تحلیل پوششی داده‌ها، به معرفی «تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای» پرداختند و اهمیت آن را در تحلیل دقیق‌تر کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده توصیف کردند. این مدل یک واحد تصمیم‌گیرنده را با تمامی زیرواحدها و ارتباطات موجود در آن، به‌صورت ساختار شبکه‌ای در نظر می‌گیرد. در این مورد فرض می‌شود که سیستم تحت ارزیابی، شامل چندین واحد تصمیم‌گیرنده مشابه هم است که هر واحد نیز چندین زیرواحد به هم مرتبط دارد [۲]. پس از معرفی مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای، مطالعات زیادی در این زمینه صورت گرفت و مدل‌های مختلفی با کاربردهای گوناگون در انواع صنایع برای آن ارائه شد. برای مثال کائو (۲۰۰۹)،

1. Slack- based Model

مدل‌های شبکه‌ای را به سه دسته مدل‌های سری، موازی و ارتباطی تقسیم کرد. در یک واحد تصمیم‌گیری چندبخشی، وقتی فعالیت بخش‌ها در امتداد یکدیگر قرار می‌گیرند، سیستم، ساختار سری دارد. ساختار شبکه‌ای سری، شامل دو یا بیش از دو فرآیند است که از طریق اندازه‌های میانی به‌طور سری به هم متصل شده‌اند. اندازه‌های میانی همان خروجی‌های یک مرحله هستند که با عنوان ورودی، وارد مرحله بعد می‌شوند. در این حالت ورودی کل سیستم به بخش اول وارد می‌شود و خروجی نهایی سیستم از آخرین بخش خارج می‌شود. در ساختار سری چون کارایی کل، حاصل مجموع کارایی زیرواحدها است، زمانی یک واحد تصمیم‌گیرنده کارا است که تمامی زیرفرآیندهای آن کارا باشند؛ همچنین در یک واحد تصمیم‌گیری چندبخشی، هرگاه بخش‌ها به‌صورت موازی در کنار یکدیگر قرار گیرند، سیستم ساختار موازی دارد. در ساختار موازی، ورودی کل بین تمامی بخش‌ها تقسیم می‌شود و خروجی کل از خروجی تمام بخش‌ها حاصل می‌شود. یک ساختار موازی وقتی کارا است که همه فرآیندهای آن کارا باشد [۱۵].

به اعتقاد کائو (۲۰۰۹)، برای ارزیابی عملکرد هر بخش از سیستم‌های دوبخشی، به‌راحتی می‌توان مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های مرسوم را به‌کار برد تا کارایی هر بخش به‌طور مستقل اندازه‌گیری شود؛ اما در حالتی که واحد تصمیم‌گیری دارای چندین بخش است، به‌کارگیری مدل‌های پیوندی پیشنهاد می‌شود. ازآنجاکه در مدل‌های پیوندی، متغیرهای میانی ماهیت دوگانه دارند، یعنی نسبت به مرحله اول، خروجی و نسبت به مرحله دوم، ورودی محسوب می‌شوند، فرض اساسی در مدل‌های پیوندی این است که وزن اختصاص داده‌شده به متغیر خروجی در ارزیابی کارایی مرحله اول با وزن اختصاص داده‌شده به همان متغیر در ارزیابی کارایی مرحله دوم، یکسان در نظر گرفته می‌شود. تفاوت مدل‌های پیوندی با مدل‌های مرسوم تحلیل پوششی داده‌ها در این است که در مدل‌های پیوندی کارایی کل سیستم توسط اندازه کارایی بخش‌های آن به‌دست می‌آید [۱۵].

کوک و همکاران (۲۰۱۰)، با توسعه مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای، مدلی چندمرحله‌ای را معرفی کردند که خروجی‌های هر مرحله می‌توانند محصول نهایی تلقی شده و از سیستم خارج شوند. این مدل نمایانگر یک فرآیند چندمرحله‌ای باز[1] است؛ به این معنا که خروجی‌های هر مرحله می‌توانند سیستم را ترک کنند یا به‌منزله ورودی وارد مرحله بعد شوند؛ ضمن اینکه ورودی‌های جدیدی نیز در هر مرحله می‌توانند وارد سیستم شوند. تفاوت این مدل با مدل‌های بسته[2] در این است که در سیستم‌های بسته، امکان واردکردن ورودی‌های جدید در هر مرحله به سیستم وجود ندارد و صرفاً خروجی‌های مرحلهٔ آخر، خروجی‌های نهایی محسوب می‌شوند [۵].

1. Multistage Process Open
2. Closed

نوآوری. اندازه‌گیری کارایی نوآوری به‌منظور مدیریت سرمایه‌گذاری‌های نوآوری در دوران «اقتصاد دانش» هر روزه موردتوجه تعداد بیشتری از پژوهشگران قرار می‌گیرد. ارزیابی کارایی نوآوری کمک می‌کند تا بهترین متصدیان و مجریان نوآوری را به‌منظور الگوگیری[1] شناسایی کرده و روش‌های بهبود کارایی را از طریق روشن‌کردن نقاط ضعف مشخص کرد.

بدون درنظرگرفتن ساختار داخلی ورودی‌ها و خروجی‌ها می‌توان کارایی جعبه سیاه فرآیند نوآوری (شکل شماره ۳) را از طریق مدل‌های سنتی تحلیل پوششی داده‌ها تخمین زد (برای نمونه به منابع ۱۲، ۱۳ و ۲۵ مراجعه شود). در این چارچوب، اطلاعات عملیات انجام‌شده در مراحل میانی نادیده گرفته خواهد شد که این امر ممکن است باعث انحراف در مقدار کارایی تخمین زده شود.

به‌منظور ممانعت از روبه‌روشدن با جعبه سیاه نوآوری و درنظرگرفتن فعالیت‌های داخلی این فرآیند، برخی از پژوهشگران یک چارچوب تحلیل دوبخشی را از طریق تجزیه فرآیند نوآوری به فرآیند بالادستی تحقیق و توسعه و فرآیند پایین‌دستی کاربرد نتایج تحقیق و توسعه (شکل شماره ۴) ارائه دادند [۱۴، ۱۳].

دو فرآیند ذکرشده مستقل نیستند و از طریق محصولات واسطه‌ای که به‌وسیله فعالیت‌های فرآیند بالادستی تحقیق و توسعه ایجاد می‌شوند به هم مرتبط شده‌اند. چن و گوآن (۲۰۱۱، ۲۰۱۲) و گوان و چن (۲۰۱۲)، مدل شبکه‌ای تحلیل پوششی داده‌ها را برای اندازه‌گیری فرآیند تولید شبکه‌ای مرتبط در سطوح صنایع، تقسیمات کشوری و بین‌المللی ارائه دادند که تعاملات میان فرآیندهای تحقیق و توسعه و به‌کارگیری نتایج این فرآیند را در نظر می‌گیرد [۴، ۳]. در مقایسه با اندازه‌گیری مستقل در مدل‌های سنتی تحلیل پوششی داده‌ها، تحلیل پوششی شبکه‌ای تخمین بهتری برای کارایی‌ها ارائه می‌دهد که می‌توان به‌وسیله آن کارایی کلی و کارایی اجزا را مقایسه کرد.

اگر عملکرد فرآیند نوآوری در دوره‌های زمانی چندگانه موردنظر باشد، می‌توان از میانگین کارایی‌ها در دوره‌های زمانی مختلف برای اندازه‌گیری کارایی کلی استفاده کرد. اگرچه عملیات فرآیند نوآوری در یک دوره زمانی مستقل از دوره‌های قبل نیست و ارتباطی درونی میان‌دوره‌های متوالی از طریق واسطه‌های زمانی برای این فرآیند وجود دارد. میانگین‌گیری از مقادیر مستقل کارایی، ارتباطات درونی میان‌دوره‌های متوالی و بین فرآیند بالادستی تحقیق و توسعه و فرآیند پایین‌دستی به‌کارگیری نتایج تحقیق و توسعه را نادیده می‌گیرد و درنتیجه ممکن است تخمینی اشتباه از مقادیر کارایی ارائه دهد. تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای پویا یک تکنیک تخمین مناسب در این حالت خواهد بود.

1. Benchmarking

سنجش نوآوری. در دنیای امروز، چالش‌های رقابت به‌ویژه در کشورهای توسعه‌یافته تغییر کرده است و تمرکز بر تغییر ساختار، کاهش هزینه و بالابردن کیفیت، جای خود را به نوآوری تجاری داده است. در این فضا، سازمان موفق بر گسترش مرزهای فناوری سرمایه‌گذاری می‌کند؛ به شکلی که رقبا را پشت سر بگذارد و تا مدتی پیشتاز بازار باشد؛ باوجوداین موفقیت پروژه‌های نوآوری در کشورهای مختلف متفاوت است. پورتر (۱۹۹۰)، نشان داد که موقعیت جغرافیایی کشورها یا به عبارت بهتر ظرفیت ملّی نوآوری کشورها در سطح نوآوری افراد و سازمان‌های آن کشور تأثیر بسزایی دارد. در مبانی نظری نوآوری، مقایسه عملکرد نوآوری بر پویایی و ساختار نظام نوآوری کشورها متمرکز است. مدل‌های مختلفی برای سنجش ظرفیت نوآوری در سطوح کلان و خُرد ارائه شده است و هر یک به‌نوبه خود در توسعه مفهوم ظرفیت ملّی نوآوری سهیم بوده‌اند.

گالانکیس (۲۰۰۶)، نوآوری را از دیدگاه سیستمی بررسی کرد و مدل مفهومی را برای سیستم نوآوری در یک سازمان ارائه داد. در این سیستم، نوآوری محصول سیستمی از عناصر مختلف است که با ورودی‌های مشخص و پس از طی‌کردن فرآیندهای داخلی سیستم به‌عنوان خروجی پدیدار می‌شود [۱۱]؛ اما تعیین و سپس اندازه‌گیری ورودی‌ها و خروجی‌های نوآوری همواره یکی از مشکلات اصلی در سنجش نوآوری در سطح خُرد و کلان بوده است [۱۰]. از سویی در سطح کلان و ملّی استخراج فرآیندهای نوآوری نیز با توجه به پیچیدگی روابط بین عناصر سیستم و شفاف‌نبودن ساختار آن امری بسیار مشکل است. به همین دلیل در مطالعات مرتبط سعی شده است که به‌تناسب هدف، از مدل‌های مناسب و بر پایه داده‌های مطمئن عملکرد سیستم‌های نوآوری سنجیده شود. یکی از روش‌های کاربردی در ارزیابی و سنجش عملکرد سیستم‌های مختلف تحلیل پوششی داده‌ها است که با استفاده از داده‌های ورودی و خروجی سیستم‌های مختلف در یک فضای کاری به رتبه‌بندی آن‌ها می‌پردازد [۱].

۳. روش‌شناسی پژوهش

با توجه به اینکه رویکرد اصلی این پژوهش، ارائه مدل ریاضی مناسب برای ارزیابی واحدها است، پژوهش جنبه کاربردی ـ توصیفی دارد. با توجه به اینکه پژوهش حاضر به‌دنبال توسعه دانش کاربردی و کاربرد عملی دانش است، می‌توان آن را از نظر هدف، کاربردی دانست. همچنین از نظر روش، توصیفی ـ پیمایشی به‌شمار می‌رود. در این نوع از پژوهش‌ها ویژگی‌ها و صفات افراد جامعه مطالعه می‌شود و وضعیت پراکندگی فعلی جامعه آماری در قالب چند صفت یا متغیر موردبررسی قرار می‌گیرد؛ به‌عبارت‌دیگر، پژوهشگر در این‌گونه پژوهش‌ها سعی می‌کند تا «آنچه هست» را بدون هیچ‌گونه دخالت یا استنتاج ذهنی گزارش کند و نتایجی عینی از موقعیت

بگیرد. جامعه آماری موردپژوهش، ۱۳ دانشگاه سطح یک کشور است که شامل ۷ دانشگاه جامع و ۶ دانشگاه تخصصی است.

مدل ارائه‌شده. اگرچه مدل‌های سنتی تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزیابی کارایی در شرایط چندین ورودی و چندین خروجی، ایده مدل‌سازی پیشرفته‌ای را ارائه می‌دهند، اما در خصوص فرآیند انتقال پویای سیستم‌های چندبخشی با محدودیت مواجه است و شاخص‌هایی به‌صورت جعبه سیاه برای امتیازات کارایی آن‌ها ارائه می‌دهد که اطلاعات مربوط به عملیات‌های درونی سیستم را نادیده می‌گیرند. این مسئله ممکن است باعث شود تا امتیازات کارایی واحدها بالاتر و یا پایین‌تر تخمین زده شوند.

مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای به‌منظور درنظرگرفتن متغیرهای رابط که به محصولات میان‌بخشی مربوط است، توسعه داده شده است. متغیرهای رابط که به‌عنوان خروجی در یکی از فرآیندها/ بخش‌های فرعی تولید می‌شوند در فرآیند/ بخش بعدی به‌عنوان ورودی در نظر گرفته می‌شوند؛ علاوه بر این از بُعد زمانی عملیات واحد تصمیم‌گیرنده در یک دوره زمانی مستقل از دوره‌های زمانی دیگر نخواهد بود. روابط داخلی میان دوره‌های متوالی از طریق متغیرهای ناقل که معمولاً به محصولات میان‌دوره‌ای مربوط می‌شوند، ایجاد می‌شود.

متغیرهای مازاد، اغلب به‌عنوان ناقل‌هایی عمل می‌کنند که در یک دوره زمانی شکل گرفته و به منبع انباشت در دوره بعدی تبدیل می‌شوند؛ به‌علاوه اندازه‌گیری عملکرد فعالیت‌های سرمایه‌گذاری در دوره‌های چندگانه دلیل توجه زیاد سیاست‌گذاران دنیای واقعی برای ارزیابی برنامه‌های بلندمدت و میان‌مدت است. در این مورد بهینه‌سازی بر اساس دوره‌های واحد مناسب نیست و مدل پویای تحلیل پوششی داده‌ها موردنیاز است.

در موقعیت‌هایی که چند بخش و چند دوره وجود دارند، تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای و تحلیل پوششی داده‌های پویا به‌طور مستقل کارا نخواهند بود و بنابراین تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای پویا موردنیاز است. این مطالعه یک رویکرد فرموله‌سازی جدید را برای مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای پویا و تحلیل کارایی کلی سیستم‌های چندبخشی ـ چنددوره‌ای ارائه می‌دهد.

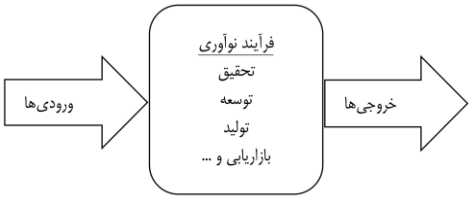
به‌منظور قابل‌فهم‌کردن رویکرد ارائه‌شده و مفاهیم ناقل‌ها و رابط‌ها، چارچوب مفهومی ساختار داخلی یک سیستم شبکه‌ای پویا، متشکل از n واحد تصمیم‌گیرنده (j=1, 2, ..., n) که از D بخش (d=1, 2, ..., D) در T دوره زمانی (t=1, 2, ..., T) تشکیل شده، در شکل ۵ نشان داده شده است. متغیرهای استفاده شده در مدل نیز در جدول شماره ۱ شرح داده شده‌اند.

جدول ۱. متغیرهای مدل

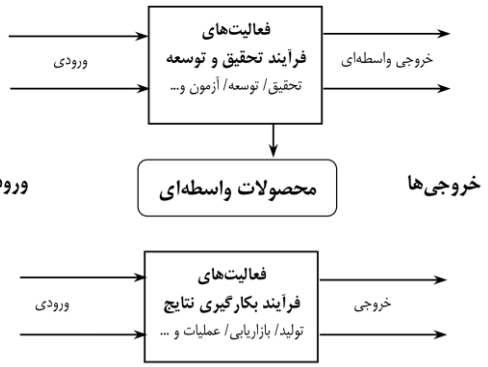
متغیر	شرح
$X_{i^d j}^{(t)}$	ورودی iام بخش dام دوره زمانی tام واحد تصمیم‌گیرنده jام
$Y_{r^d j}^{(t)}$	خروجی rام بخش dام دوره زمانی tام واحد تصمیم‌گیرنده jام
$Z_{p^d j}^{(t.t+1)}$	ناقل pام بخش dام دوره زمانی t به t+1ام واحد تصمیم‌گیرنده jام
$Z_{p^{(d-1.d)} j}^{(t)}$	رابط pام بخش d-1 به dام دوره زمانی tام واحد تصمیم‌گیرنده jام
$v_{i^d}^*$	ضریب ورودی iام بخش dام
$u_{r^d}^*$	ضریب خروجی rام بخش dام
$w_{p^d}^*$	ضریب ناقل pام بخش dام
$w_{p^{(d-1.d)}}^*$	ضریب رابط pام بخش d-1 به dام

دلیل اصلی ارتباط بین کارایی کلی و کارایی اجزا در چارچوب ارتباطی آن است که تابع هدف و محدودیت‌های کلی مدل اطلاعات داخلی تولید که ریشه در ناقل‌های مرتبط‌کننده دوره‌های زمانی و رابط‌های مرتبط‌کننده بخش‌های متوالی دارند را نادیده گرفته و همان‌گونه که در شکل ۳، نشان داده شده است، تنها شامل انتقال‌دهندگان ابتدایی و انتهایی می‌شوند که در خارج از سیستم شبکه‌ای پویا قرار دارند. در حقیقت ناقل‌ها و رابط‌های درون سیستم ممکن است همانند خروجی‌ها باعث کمبود و همانند ورودی‌ها باعث ایجاد مازاد شوند و درنتیجه عملکرد کل سیستم شبکه‌ای پویا را تحت تأثیر قرار دهند.

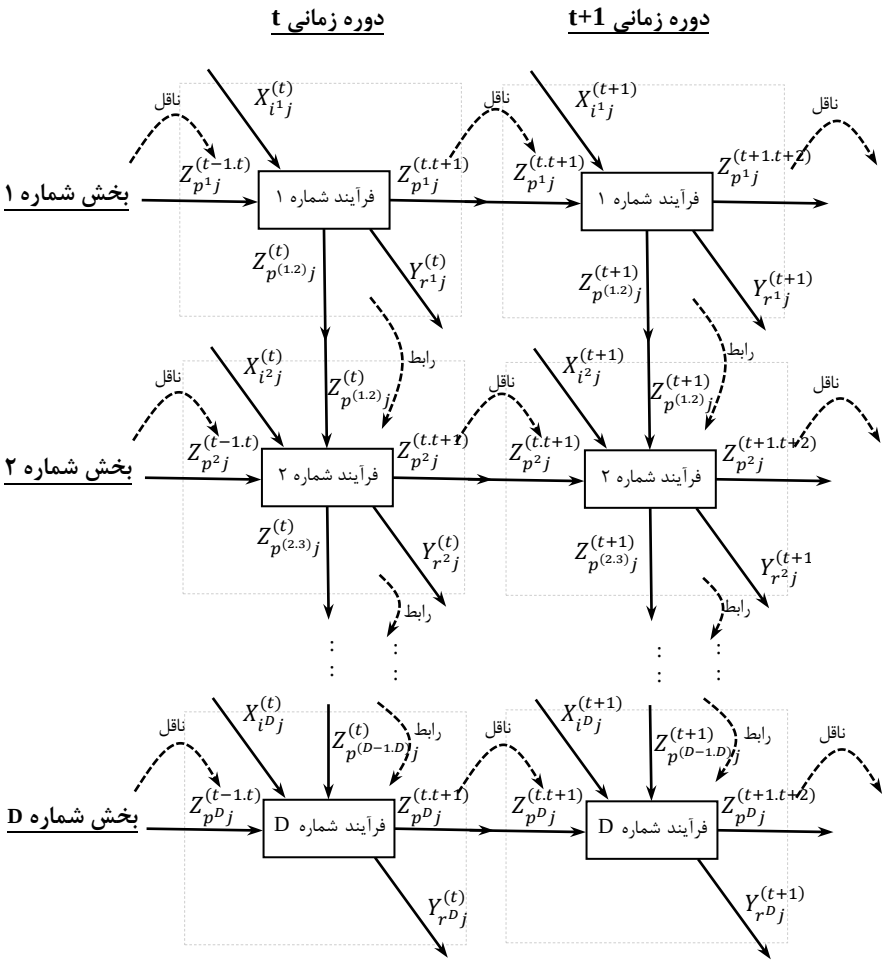
این دو مفهوم (ناقل‌ها و رابط‌ها) دربرگیرنده اطلاعات تولیدی بیشتری نسبت به ورودی‌ها و خروجی‌های عمومی هستند و بنابراین باید تأثیرات بیشتری بر اندازه‌گیری کارایی سیستم‌های چندبخشی ـ چند دوره‌ای داشته باشند. این بخش رویکردی منعطف به تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای پویا با مدل CCR ارائه می‌دهد (DN-CCR) تا به‌طور کامل اطلاعات ناقل‌ها و رابط‌ها را در نظر بگیرد. مدل استفاده‌شده در این پژوهش بر پایه مدل ارائه‌شده به‌وسیله کو و همکاران (۲۰۱۶)، است که تغییراتی در آن اعمال شده است.



شکل ۳. چارچوب مفهومی جعبه سیاه فرآیند نوآوری



شکل ۴. فرآیند نوآوری حاصل از ترکیب دو فرآیند تحقیق و توسعه و کاربرد نتایج تحقیق و توسعه



شکل ۵. چارچوب مفهومی ساختار داخلی سیستم چندبخشی ـ چنددوره‌ای

در اینجا $Z^{(t)}_{p^{(0.1)}j}=0$ و $Z^{(t)}_{p^{(D.D+1)}j}=0$ خواهد بود. همان‌طور کـه در شـکل ۵، نشـان داده شده است عبارات تجمعی شماره ۱ و ۲ به‌ترتیب نشان‌دهنده ورودی‌ها و خروجی‌های اسمی تجمعی کل سیستم شبکه‌ای پویا هستند که به‌طور کامل ناقل‌ها و رابطهای درون سیسـتم را در نظر می‌گیرد.

$$\sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}\sum_{r^d=1}^{s^d}U_{r^d}\,Y^{(t)}_{r^dk}+\sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}\sum_{p^d=1}^{q^d}W_{p^d}\,Z^{(t.t+1)}_{p^dk}+\sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}\sum_{p^{(d.d+1)}=1}^{q^{(d.d+1)}}W_{p^{(d.d+1)}}\,Z^{(t)}_{p^{(d.d+1)}k} \quad (۱)$$

$$\sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}\sum_{i^d=1}^{m^d}V_{i^d}\,X^{(t)}_{i^dk}+\sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}\sum_{p^d=1}^{q^d}W_{p^d}\,Z^{(t-1.t)}_{p^dk}+\sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}\sum_{p^{(d-1.d)}=1}^{q^{(d-1.d)}}W_{p^{(d-1.d)}}\,Z^{(t)}_{p^{(d-1.d)}k} \quad (۲)$$

بـا تعیـین مقـادیر بهینـه $u^*_{r^d}.v^*_{i^d}.w^*_{p^d}.w^*_{p^{(d-1.d)}}$ کـارایی کـل سیسـتم (E^S_k) واحـد تصمیم‌گیرنده تحت ارزیابی با ساختار تولیـدی شـبکه‌ای حاصـل از D بخـش در T دوره زمـانی به‌صورت رابطه شماره ۳ نشان داده می‌شود:

$$E^S_k=max\frac{\sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}\sum_{r^d=1}^{s^d}U_{r^d}\,Y^{(t)}_{r^dk}+\sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}\sum_{p^d=1}^{q^d}W_{p^d}\,Z^{(t.t+1)}_{p^dk}+\sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}\sum_{p^{(d.d+1)}=1}^{q^{(d.d+1)}}W_{p^{(d.d+1)}}\,Z^{(t)}_{p^{(d.d+1)}k}}{\sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}\sum_{i^d=1}^{m^d}V_{i^d}\,X^{(t)}_{i^dk}+\sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}\sum_{p^d=1}^{q^d}W_{p^d}\,Z^{(t-1.t)}_{p^dk}+\sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}\sum_{p^{(d-1.d)}=1}^{q^{(d-1.d)}}W_{p^{(d-1.d)}}\,Z^{(t)}_{p^{(d-1.d)}k}} \quad (۳)$$

با درنظرگرفتن این محدودیت که امتیاز کارایی کل و کارایی هر یک از اجزا نباید بـالاتر از ۱ باشد، برنامه‌ریزی کسری شماره ۴ برای استخراج ضرایب بهینه به‌منظور تعیین کارایی کل واحـد تحت بررسی فرموله می‌شود.

$$E^S_k=max\frac{\sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}\sum_{r^d=1}^{s^d}U_{r^d}\,Y^{(t)}_{r^dk}+\sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}\sum_{p^d=1}^{q^d}W_{p^d}\,Z^{(t.t+1)}_{p^dk}+\sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}\sum_{p^{(d.d+1)}=1}^{q^{(d.d+1)}}W_{p^{(d.d+1)}}\,Z^{(t)}_{p^{(d.d+1)}k}}{\sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}\sum_{i^d=1}^{m^d}V_{i^d}\,X^{(t)}_{i^dk}+\sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}\sum_{p^d=1}^{q^d}W_{p^d}\,Z^{(t-1.t)}_{p^dk}+\sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}\sum_{p^{(d-1.d)}=1}^{q^{(d-1.d)}}W_{p^{(d-1.d)}}\,Z^{(t)}_{p^{(d-1.d)}k}}$$

$$S.t.\frac{\sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}\sum_{r^d=1}^{s^d}U_{r^d}\,Y^{(t)}_{r^dj}+\sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}\sum_{p^d=1}^{q^d}W_{p^d}\,Z^{(t.t+1)}_{p^dj}+\sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}\sum_{p^{(d.d+1)}=1}^{q^{(d.d+1)}}W_{p^{(d.d+1)}}\,Z^{(t)}_{p^{(d.d+1)}j}}{\sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}\sum_{i^d=1}^{m^d}V_{i^d}\,X^{(t)}_{i^dj}+\sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}\sum_{p^d=1}^{q^d}W_{p^d}\,Z^{(t-1.t)}_{p^dj}+\sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}\sum_{p^{(d-1.d)}=1}^{q^{(d-1.d)}}W_{p^{(d-1.d)}}\,Z^{(t)}_{p^{(d-1.d)}j}}\le 1.$$

$$j=1.2.\ldots.n$$

$$\frac{\sum_{r^d=1}^{s^d}U_{r^d}\,Y^{(t)}_{r^dj}+\sum_{p^d=1}^{q^d}W_{p^d}\,Z^{(t.t+1)}_{p^dj}+\sum_{p^{(d.d+1)}=1}^{q^{(d.d+1)}}W_{p^{(d.d+1)}}\,Z^{(t)}_{p^{(d.d+1)}j}}{\sum_{i^d=1}^{m^d}V_{i^d}\,X^{(t)}_{i^dj}+\sum_{p^d=1}^{q^d}W_{p^d}\,Z^{(t-1.t)}_{p^dj}+\sum_{p^{(d-1.d)}=1}^{q^{(d-1.d)}}W_{p^{(d-1.d)}}\,Z^{(t)}_{p^{(d-1.d)}j}}\le 1.$$

$$d=1.2.\ldots.D;\ t=1.2.\ldots.T;\ j=1.2.\ldots.n$$

$$U_{r^d}.V_{i^d}.W_{p^d}.W_{p^{(d-1.d)}} \geq \varepsilon. \qquad (۴)$$

محدودیت‌ها و تابع هدف در مدل بالا هر دو مفهوم ناقل‌ها و رابطها را در عملیات سیستم‌های شبکه‌ای پویا در نظر می‌گیرد. با استفاده از رویکرد چارنز و کوپر (۱۹۶۲)، می‌توان مدل را به برنامه‌ریزی معادلات خطی شماره ۵ تغییر داد تا به‌آسانی قابل‌حل شوند.

$$E_k^S = min \sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}\sum_{i^d=1}^{m^d} V_{i^d} X_{i^d k}^{(t)} + \sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}\sum_{p^d=1}^{q^d} W_{p^d} Z_{p^d k}^{(t-1.t)} + \sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}\sum_{p^{(d-1.d)}=1}^{q^{(d-1.d)}} W_{p^{(d-1.d)}} Z_{p^{(d-1.d)} k}^{(t)}$$

$$S.t. \sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}\sum_{r^d=1}^{s^d} U_{r^d} Y_{r^d k}^{(t)} + \sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}\sum_{p^d=1}^{q^d} W_{p^d} Z_{p^d k}^{(t.t+1)} + \sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}\sum_{p^{(d.d+1)}=1}^{q^{(d.d+1)}} W_{p^{(d.d+1)}} Z_{p^{(d.d+1)} k}^{(t)} = 1.$$

$$\left(\sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}\sum_{r^d=1}^{s^d} U_{r^d} Y_{r^d j}^{(t)} + \sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}\sum_{p^d=1}^{q^d} W_{p^d} Z_{p^d j}^{(t.t+1)} + \sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}\sum_{p^{(d.d+1)}=1}^{q^{(d.d+1)}} W_{p^{(d.d+1)}} Z_{p^{(d.d+1)} j}^{(t)}\right)$$

$$-\left(\sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}\sum_{i^d=1}^{m^d} V_{i^d} X_{i^d j}^{(t)} + \sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}\sum_{p^d=1}^{q^d} W_{p^d} Z_{p^d j}^{(t-1.t)} + \sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}\sum_{p^{(d-1.d)}=1}^{q^{(d-1.d)}} W_{p^{(d-1.d)}} Z_{p^{(d-1.d)} j}^{(t)}\right) \leq 0.$$

$$j = 1.2.\ldots.n$$

$$\left(\sum_{r^d=1}^{s^d} U_{r^d} Y_{r^d j}^{(t)} + \sum_{p^d=1}^{q^d} W_{p^d} Z_{p^d j}^{(t.t+1)} + \sum_{p^{(d.d+1)}=1}^{q^{(d.d+1)}} W_{p^{(d.d+1)}} Z_{p^{(d.d+1)} j}^{(t)}\right)$$

$$-\left(\sum_{i^d=1}^{m^d} V_{i^d} X_{i^d j}^{(t)} + \sum_{p^d=1}^{q^d} W_{p^d} Z_{p^d j}^{(t-1.t)} + \sum_{p^{(d-1.d)}=1}^{q^{(d-1.d)}} W_{p^{(d-1.d)}} Z_{p^{(d-1.d)} j}^{(t)}\right) \le 0.$$

$$d = 1.2. \ldots . D;\ t = 1.2. \ldots . T;\ j = 1.2. \ldots . n$$

$$U_{r^d} . V_{i^d} . W_{p^d} . W_{p^{(d-1.d)}} \ge \varepsilon. \qquad (۵)$$

پس از محاسبه ضرایب بهینه $u_{r.d}^* . v_{i^d}^* . w_{p^d}^* . w_{p^{(d-1.d)}}^*$ در ارتباط با مدل بالا می‌توان از روابط ۶، ۷ و ۸ به ترتیب برای محاسبه کارایی دوره زمانی، بخش و بخش ـ دوره زمانی برای هر واحد تصمیم‌گیرنده استفاده کرد.

$$E_k^{(d)} = \frac{\sum_{t=1}^{T}\sum_{r^d=1}^{s^d} U_{r^d}^* Y_{r^d k}^{(t)} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{p^d=1}^{q^d} W_{p^d}^* Z_{p^d k}^{(t.t+1)} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{p^{(d.d+1)}=1}^{q^{(d.d+1)}} W_{p^{(d.d+1)}}^* Z_{p^{(d.d+1)} k}^{(t)}}{\sum_{t=1}^{T}\sum_{i^d=1}^{m^d} V_{i^d}^* X_{i^d k}^{(t)} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{p^d=1}^{q^d} W_{p^d}^* Z_{p^d k}^{(t-1.t)} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{p^{(d-1.d)}=1}^{q^{(d-1.d)}} W_{p^{(d-1.d)}}^* Z_{p^{(d-1.d)} k}^{(t)}} \qquad (۶)$$

$$d = 1.2. \ldots . D$$

$$E_k^{(t)} = \frac{\sum_{d=1}^{D}\sum_{r^d=1}^{s^d} U_{r^d}^* Y_{r^d k}^{(t)} + \sum_{d=1}^{D}\sum_{p^d=1}^{q^d} W_{p^d}^* Z_{p^d k}^{(t.t+1)} + \sum_{d=1}^{D}\sum_{p^{(d.d+1)}=1}^{q^{(d.d+1)}} W_{p^{(d.d+1)}}^* Z_{p^{(d.d+1)} k}^{(t)}}{\sum_{d=1}^{D}\sum_{i^d=1}^{m^d} V_{i^d}^* X_{i^d k}^{(t)} + \sum_{d=1}^{D}\sum_{p^d=1}^{q^d} W_{p^d}^* Z_{p^d k}^{(t-1.t)} + \sum_{d=1}^{D}\sum_{p^{(d-1.d)}=1}^{q^{(d-1.d)}} W_{p^{(d-1.d)}}^* Z_{p^{(d-1.d)} k}^{(t)}} \qquad (۷)$$

$$t = 1.2. \ldots . T$$

$$E_k^{(td)} = \frac{\sum_{r^d=1}^{s^d} U_{r^d}^* Y_{r^d k}^{(t)} + \sum_{p^d=1}^{q^d} W_{p^d}^* Z_{p^d k}^{(t.t+1)} + \sum_{p^{(d.d+1)}=1}^{q^{(d.d+1)}} W_{p^{(d.d+1)}}^* Z_{p^{(d.d+1)} k}^{(t)}}{\sum_{i^d=1}^{m^d} V_{i^d}^* X_{i^d k}^{(t)} + \sum_{p^d=1}^{q^d} W_{p^d}^* Z_{p^d k}^{(t-1.t)} + \sum_{p^{(d-1.d)}=1}^{q^{(d-1.d)}} W_{p^{(d-1.d)}}^* Z_{p^{(d-1.d)} k}^{(t)}} \qquad (۸)$$

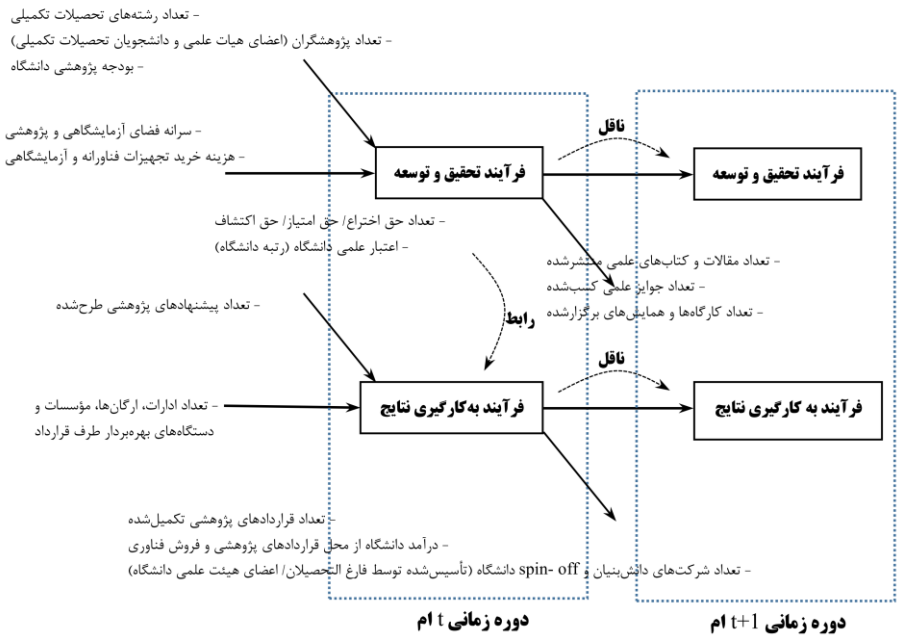
$$d = 1.2. \ldots . D;\ t = 1.2. \ldots . T$$

٤. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

با توجه به مبانی نظری پژوهش بیشتر پژوهشگران یک چارچوب تحلیل دوبخشی را از طریق تجزیه فرآیند نوآوری به فرآیند بالادستی تحقیق و توسعه و فرآیند پایین‌دستی کاربرد نتایج تحقیق و توسعه ارائه دادند [۱۳،۱۲، ۲۰،۱۹،۱۴]. دو فرآیند ذکرشده مستقل نیستند و از طریق محصولات واسطه‌ای که به‌وسیله فعالیت‌های فرآیند بالادستی تحقیق و توسعه ایجاد می‌شوند به هم مرتبط شده‌اند.

شکل ۶، ساختار مدل مفهومی نوآوری دانشگاه‌ها و متغیرهای مربوطه را نشان می‌دهد. ساختار شبکه‌ای پویای حاضر بر اساس مرور مبانی نظری پژوهش و مطالعات پیشین و همچنین بهره‌گیری از نظرات خبرگان ذی‌ربط حاصل شده و پس از تأیید به‌منظور اندازه‌گیری نوآوری دانشگاه‌ها به‌کار رفته است. خبرگان این پژوهش شامل گروهی از اعضای هیئت‌علمی دانشگاه‌های کشور بود که علاوه بر مفهوم نوآوری با مفاهیم تحقیق و توسعه و عملکرد پژوهشی آشنا بودند. از این میان تعدادی از آن‌ها به روش «نمونه دردسترس» انتخاب شدند؛ همچنین از نظرهای صاحب‌نظران تحلیل پوششی داده‌ها که دانش و آگاهی مناسبی نسبت به مدل‌های آن دارند، استفاده شده است. ابزار گردآوری داده‌ها در این پژوهش مصاحبه‌های نیمه‌ساخت‌یافته، پرسشنامه و گزارش‌های عملکردی است.

در این مدل، متغیرهای تعداد رشته‌های تحصیلات تکمیلی، تعداد پژوهشگران (اعضای هیئت‌علمی و دانشجویان تحصیلات تکمیلی) و بودجه پژوهشی دانشگاه به‌عنوان ورودی و متغیرهای تعداد مقاله‌ها و کتاب‌های علمی منتشرشده، تعداد جوایز علمی کسب‌شده و تعداد کارگاه‌ها و همایش‌های برگزارشده به‌عنوان خروجی فرآیند بالادستی تحقیق و توسعه در نظر گرفته شده‌اند. سرانه فضای آزمایشگاهی و پژوهشی و هزینه خرید تجهیزات فناورانه و آزمایشگاهی به‌عنوان متغیر بین زمانی در این فرآیند عمل می‌کند؛ یعنی خروجی یک دوره زمانی هستند که به‌عنوان ورودی همان DMU در دوره زمانی بعدی عمل می‌کنند و به‌عنوان ناقل بین دو دوره زمانی متوالی ارتباط برقرار خواهند کرد.



شکل ۶. چارچوب مفهومی ساختار چندبخشی ـ چنددوره‌ای فرآیند نوآوری

در فرآیند پایین‌دستی به‌کارگیری نتایج، متغیر تعداد پیشنهادهای پژوهشی طرح‌شده به‌عنوان ورودی و متغیرهای تعداد قراردادهای پژوهشی تکمیل‌شده، درآمد دانشگاه از محل قراردادهای پژوهشی و فروش فناوری و تعداد شرکت‌های دانش‌بنیان و spin-off دانشگاه به‌عنوان خروجی تعیین شده‌اند. در فرآیند به‌کارگیری نتایج، متغیر تعداد اداره‌ها، ارگان‌ها، مؤسسه‌ها و دستگاه‌های بهره‌بردار طرف قرارداد نقش ناقل را بازی خواهد کرد. متغیرهای تعداد حق اختراع، حق امتیاز و حق اکتشاف و اعتبار علمی دانشگاه به‌عنوان رابط، وظیفه برقراری ارتباط میان دو زیرفرآیند تحقیق و توسعه و به‌کارگیری نتایج را بر عهده خواهند داشت. در جدول ۲، نتایج ارزیابی دانشگاه‌ها به استفاده از مدل ارائه‌شده نشان داده شده است.

داده‌های جدول ۲، نشان می‌دهد که از ۱۳ دانشگاه موردمطالعه، ۲ دانشگاه (۱۵ درصد) در این دوره سه‌ساله کارا بوده‌اند و میانگین کارایی کلی این دانشگاه‌ها ۰/۹۰ بوده است. در این مدل امکان مقایسه امتیاز کارایی کل و امتیاز کارایی اجزا در هر سال و هر زیرفرآیند (بخش) نیز وجود دارد که از بعد ارزیابی عملکرد قابل‌توجه است؛ به‌عبارت‌دیگر عملکرد نسبی هر دانشگاه با سایر دانشگاه‌ها با درنظرگرفتن ساختار داخلی و زمان قابل‌مقایسه است؛ یعنی اگر دانشگاه «ب» با امتیاز نوآوری کل ۰/۹۰ ناکارا شده است می‌توان با بررسی سایر امتیازات این دانشگاه در زیرفرآیندها مشخص کرد که منبع این ناکارایی مربوط به کدام سال و کدام زیرفرآیند است.

این دانشگاه در زیرفرآیند تحقیق و توسعه در سال ۱۳۹۵ و در زیرفرآیند به‌کارگیری نتایج در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۵ عملکرد قابل‌قبولی نداشته است. عملکرد این دانشگاه در این زیرفرآیند در سال ۱۳۹۳ بسیار ضعیف بوده است.

از مزایای دیگر این مدل، امکان استخراج مقادیر هدف برای واحدهای ناکارا در هر مرحله و هر دوره است. امتیازات هر مرحله و هر دوره نشان‌دهنده تفاوت سطح خروجی‌های کنونی هر دانشگاه با خروجی‌های ایده‌آل به‌منظور کاراشدن است. برای مثال، امتیاز دانشگاه «ب» در زیرفرآیند به‌کارگیری نتایج در سال ۱۳۹۵ برابر با ۰/۶۱ شده است و این دانشگاه به‌منظور کاراشدن باید سطح خروجی‌های خود در این مرحله (شامل تعداد قراردادهای تحقیقاتی تکمیل‌شده، درآمد دانشگاه از محل قراردادهای تحقیقاتی و فروش فن‌آوری و تعداد شرکت‌های دانش‌بنیان، spin- off دانشگاه ((تأسیس‌شده توسط فارغ‌التحصیلان/ اعضای هیئت‌علمی دانشگاه)) و تعداد اداره‌ها، ارگان‌ها، مؤسسه‌ها و دستگاه‌های بهره‌بردار طرف قرارداد) را به میزان ۱/۴ برابر (۱ تقسیم بر ۰/۶۱) افزایش دهد.

شکل ۷، مقایسه میانگین کارایی نوآوری، تحقیق و توسعه و به‌کارگیری نتایج را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۷، میانگین کارایی‌ها نشان می‌دهد که این دانشگاه‌ها در زیرفرآیند تحقیق و توسعه با میانگین کل ۹۲ درصد نسبت به زیرفرآیند به‌کارگیری نتایج با میانگین کل ۸۲ درصد عملکرد بهتری داشته‌اند؛ همچنین نتایج نشان‌دهنده آن است که دانشگاه‌ها عموماً در سال ۱۳۹۴ نسبت به سال ۱۳۹۳ عملکرد بهتری در تمامی فرآیندها داشته‌اند؛ اما این عملکرد در سال ۱۳۹۵ کمی افت کرده است.

از سال ۱۳۹۳ به بعد در زیرفرآیند به‌کارگیری نتایج، جهش خیره‌کننده‌ای در عملکرد دانشگاه‌ها مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده عزم جدی‌تر و بسیج امکانات دانشگاه‌ها در این مقوله است که این امر ممکن است نتیجه تغییر در سیاست‌های وزارت علوم در اعمال شاخص‌های عملکردی دانشگاه‌ها در تعیین بودجه عمومی آن‌ها و حرکت از بودجه نهاده‌محور به بودجه ستاده‌محور (بر مبنای عملکرد) برای دانشگاه‌ها در سال‌های اخیر باشد. به نظر می‌رسد از سال ۱۳۹۴ به بعد دانشگاه‌ها توجه متناسب‌تر و متوازن‌تری به هر دو مقوله تحقیق و توسعه و به‌کارگیری داشته‌اند؛ درحالی‌که پیش از آن دانشگاه‌ها در این زمینه به‌صورت تک‌بُعدی عمل می‌کردند.

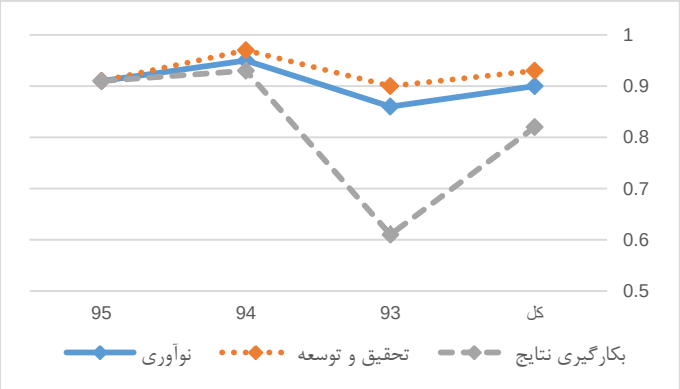
جدول ۲. نتایج تحلیل داده‌های دانشگاه‌ها

	نوآوری کل					تحقیق و توسعه					به‌کارگیری نتایج				
	کل ۹۳-۹۵	رتبه	۹۳	۹۴	۹۵	کل ۹۳-۹۵	رتبه	۹۳	۹۴	۹۵	کل ۹۳-۹۵	رتبه	۹۳	۹۴	۹۵
الف	۱/۰۰	۱	۱/۰۰	۰/۹۵	۱/۰۰	۱/۰۰	۱	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	/۹۲	۵	۰/۸۵	۰/۹۰	۱/۰۰
ب	۰/۹۰	۸	۰/۸۹	۱/۰۰	۰/۸۴	۰/۹۵	۸	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۸۷	۰/۶۵	۱۱	۰/۲۸	۱/۰۰	۰/۶۱
پ	۰/۹۳	۷	۰/۸۸	۰/۹۷	۰/۹۵	۰/۹۸	۷	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۴	۰/۶۳	۱۲	۰/۰۷	۰/۷۵	۱/۰۰
ت	۰/۹۹	۴	۰/۹۹	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۹	۴	۰/۹۸	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۳	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰
ث	۰/۸۷	۱۰	۰/۷۸	۰/۹۰	۰/۹۲	۰/۸۸	۱۰	۰/۶۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۸۷	۷	۰/۸۵	۰/۸۶	۰/۸۹
ج	۰/۸۸	۹	۰/۸۲	۰/۸۷	۰/۹۶	۰/۹۸	۶	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۴	۰/۶۷	۱۰	۰/۳۹	۰/۵۶	۱/۰۰
چ	۱/۰۰	۲	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۳	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۲	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰
ح	۰/۹۹	۳	۰/۹۹	۰/۹۹	۱/۰۰	۱/۰۰	۲	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۷	۴	۰/۸۸	۱/۰۰	۱/۰۰
خ	۰/۹۸	۵	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۹۹	۵	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۷	۰/۷۴	۸	۰/۱۳	۱/۰۰	۱/۰۰
د	۰/۸۴	۱۱	۰/۷۱	۰/۷۱	۰/۸۲	۰/۸۲	۱۱	۰/۶۸	۱/۰۰	۰/۸۰	۰/۸۹	۶	۰/۷۹	۱/۰۰	۰/۸۹
ذ	۰/۷۴	۱۲	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۷۳	۰/۷۶	۱۲	۰/۶۵	۰/۸۹	۰/۷۵	۰/۶۳	۱۳	۰/۲۵	۱/۰۰	۰/۶۲
ر	۰/۹۶	۶	۰/۸۸	۰/۸۸	۱/۰۰	۰/۹۳	۹	۰/۸۱	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰
ز	۰/۶۷	۱۳	۰/۶۲	۰/۶۲	۰/۶۲	۰/۶۶	۱۳	۰/۶۷	۰/۷۵	۰/۵۸	۰/۷۳	۹	۰/۳۹	۱/۰۰	۰/۸۱

با مقایسه موقعیت نسبی منحنی فرآیند نوآوری و دو زیرفرآیند مربوطه ملاحظه می‌شود که کارایی نوآوری از کارایی تحقیق و توسعه تبعیت می‌کند؛ درحالی‌که ناکارایی نوآوری اساساً از ناکارایی در فرآیند به‌کارگیری نتایج تحقیق و توسعه حاصل می‌شود.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در پژوهش حاضر مدل ارائه‌شده برای ارزیابی کارایی ۱۳ دانشگاه سطح یک کشور در فرآیند نوآوری به‌کار رفت. در این پژوهش فرآیند نوآوری به‌صورت یک سیستم چندبخشی ـ چنددوره‌ای در نظر گرفته شده است که از دو زیرفرآیند وابسته به هم تحقیق و توسعه و به‌کارگیری نتایج تشکیل شده است. این فرآیندها در یک دوره سه‌ساله ارزیابی شده‌اند. از ۱۳ دانشگاه موردمطالعه ۲ دانشگاه یعنی ۱۵ درصد آن‌ها در فرآیند نوآوری کل کارا شناخته شدند و میانگین کارایی برابر ۰/۹۰ برای دانشگاه‌ها به‌دست آمد. تعداد دانشگاه‌های کارا در زیرفرآیند تحقیق و توسعه، ۳ دانشگاه (۲۳ درصد) و میانگین کارایی آن‌ها برابر با ۰/۹۲ است. در زیرفرآیند به‌کارگیری نتایج نیز ۳ دانشگاه کارا شناخته شده‌اند؛ اما میانگین کارایی در این زیرفرآیند معادل ۰/۸۲ است که عملکرد ضعیف‌تر دانشگاه در این زمینه را نشان می‌دهد.



شکل ۷. روند تغییرات میانگین کارایی نوآوری و زیرفرآیندهای تحقیق و توسعه و به‌کارگیری نتایج

با بررسی امتیازات کارایی دانشگاه در مدل ارائه‌شده می‌توان مشخص کرد که منبع عدم‌کارایی دانشگاه‌ها مربوط به کدام زیرفرآیند و کدام سال بوده است؛ همچنین می‌توان عملکردهای ضعیف را که باعث عدم‌کارایی بوده‌اند، شناسایی کرد. با توجه به اینکه مدل استفاده‌شده خروجی‌محور است می‌توان مقادیر خروجی مطلوب را برای رسیدن به مرز کارایی برای دانشگاه‌ها محاسبه کرد و این ارقام را به‌عنوان اهداف عملیاتی دانشگاه‌ها برای دوره‌های آتی در نظر گرفت.

با بررسی نمودار مربوط به تغییرات میانگین کارایی نوآوری دانشگاه‌ها و زیرفرآیندهای مربوطه (شکل شماره ۷) می‌توان فهمید که نوآوری کل از کدام زیرفرآیند تبعیت می‌کند و می‌توان میزان تأثیرگذاری هر یک از این زیرفرآیندها را بر کارایی نوآوری شناسایی کرد؛ همچنین از تغییرات میانگین کارایی در طول سنوات مختلف می‌توان تأثیر تغییر در سیاست‌های «وزارت علوم» بر عملکرد کلی دانشگاه‌ها به‌صورت عمومی و عملکرد پژوهشی آن‌ها به‌صورت اختصاصی را درک کرد. با توجه به اینکه مدل مورداستفاده بر پایه مدل CCR خروجی‌محور تدوین شده است پیشنهاد می‌شود، ضمن درنظرگرفتن مفروضات متغیرهای بازگشت به مقیاس، درباره مدل‌های BCC شبکه‌ای پویا، مدل‌های غیرشعاعی، مدل‌های با خروجی یا ورودی مشترک بین مراحل و مدل‌های مبتنی بر متغیر کمبود، پژوهش‌های بیشتری صورت گیرد.

منابع

1. Chen, K. & Guan, J. (2011). Mapping the functionality of China's regional innovation systems: A structural approach. *China Economic Review*, *22*, 11-27.

2. Chen, K. H. & Guan, J. C. (2012). Measuring China's regional innovation systems: an application of a relational network DEA. *Regional Studies*, *46(3)*, 355-370.

3. Cook, W. D.; Zhu, J.; Bi, G. B. & Yang, F. (2010). Network DEA: additive efficiency decomposition. *European Journal of Operational Research*, *207(2)*, 1122-1129.

4. Faghih, N., & Askarifar, K. (2014). Ranking of Selected Countries According to National Innovation Capacity Improvement Using Data Envelopment Analysis. *Journal of Business Development*. *1(7)*, 1-16 (In Persian).

5. Färe, R. & Grosskopf, S. (1996a). *Intertemporal production Frontiers: with dynamic DEA*. Norwell: Kluwer.

6. Färe, R, & Grosskopf, S. (1996b). Productivity and intermediate products: A frontier approach. *Economics Letters*. *50(1)*, 65-70.

7. Färe, R., & Grosskopf, S. (2000). Network DEA. *Socio-Economic Planning Sciences*, *34*, 35-49.

8. Färe, R. & Whittaker, G. (1995). An intermediate input model of dairy production using complex survey data. J*ournal of Agricultural Economics*, *46(2)*, 201-213.

9. Furman, J. L., Porter, M. E., & Stern, S. (2002). The determinants of national innovative capacity. *Research Policy*, *31*, 899-933.

10. Galanakis, K. (2006). Innovation process, make sense using systems thinking. *Technovation, 26*, 1222-1232.

11. Ghlichlee, B. & Rajabi Shahrabadi, E. (2015). Study of Relationship between Knowledge Creation, Technological Innovation and Organizational Agility (A Case Study: Iran Alloy Steel Company). *Journal of Industrial Management Perspective*, *16(4)*, 95-116 (In Persian).

12. Ghlichlee, B., Mirzaei, F., & Rahmati, H. (2017). Effect of Intellectual Capital on Innovation Capacity and Competitive Advantage in SME's. *Journal of Industrial Management Perspective*, *27(7)*, 105-126 (In Persian).

13. Guan, J. C., & Chen, K. H. (2010). Measuring the innovation production process: a cross‐region empirical study of China's high-tech innovations. *Technovation*, *30(5)*, 348-358.

14. Guan, J. C., & Chen, K. H. (2012). Modeling the relative efficiency of national innovation systems. *Research Policy*, *41(1)*, 102-115.

15. Hollanders, H. & Celikel-Esser, F. (2007). Measuring innovation efficiency. INNO Metrics 2007 report. *European Commission*. Brussels: DG Enterprise INNO Metrics 2007 report.

16. Kao, C. (2009). Efficiency decomposition in network data envelopment analysis: a relational model. *European Journal of Operational Research*, *192(3)*, 949-962.

17. Kao, C. (2014). Network data envelopment analysis: a review. *European Journal of Operational Research*, *239(1)*, 1-16.

18. Kao, C. & 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*, *185(1)*, 418-429.

19. Kou, M., Chen, K., Wang, Sh. & Shao, Y. (2016). Measuring efficiencies of multi-period and multi-division system associated with DEA: An application to OECD countries' national innovation systems. *Expert systems whit applications*, *46*, 494-510.

20. Liu, J. S., & Lu, W. M. (2009). DEA and ranking with the network-based approach: a case of R&D performance. *Omega*, *38(6)*, 453-464.

21. Lu, W. M. & Hung, S. W. (2010). Exploring the operating efficiency of Technology Development Programs by an intellectual capital perspective- A case study of Taiwan. *Technovation*, *31(8)*, 374-383.

22. Nemoto, J. & Goto, M. (1999). Dynamic data envelopment analysis modeling intertemporal behavior of a firm in the presence of productive inefficiencies. *Economic Letters*, *64(1)*, 51-56.

23. Park, K. S. & Park, K. (2009). Measurement of multiperiod aggregative efficiency. *European Journal of Operational Research*, *193(2)*, 567-580.

24. Salehzadeh, S. J.; Hejazi, R.; Arkan, A. & Hosseini, S. M. (2011). Proposing an Integrative Approach for Efficiency Evaluation of Network Structures Including Tour and Allocation Link. *Production and Operations Management*, *2 (1)*, 47-60 (In Persian).

25. Soleimani Damaneh, R.; Momeni, M.; Mostafaei, A. & Rostami Malkhalife, M. (2017). Developing of a Dynamic Network Data Envelopment Analysis Model for Performance Evaluating Banking Sector. *Journal of Industrial Management Perspective*, *25(7)*, 68-89 (In Persian).

26. Sueyoshi, T. & Sekitani, K. (2005). Returns to scale in dynamic DEA. *European Journal of Operational Research*, *161(2)*, 536-544.

27. Tone, K. & Tsutsui, M. (2010). Dynamic DEA: a slacks-basedmeasure approach. Omega. *The International Journal of Management Science*, *38(3)*, 145-156.

28. Wang, E. C. & Huang, W. C. (2007). Relative efficiency of R&D activities: A cross-country study accounting for environmental factors in the DEA *approach*. *Research Policy*, *36(2)*, 260-273.

Designing Organizational Innovation Measuring Model with Dynamic Network DEA (Case Study: Iranian First Level Universities)

Ali Hosein Gharib[*], Adel Azar[**], Abbas Moghbel Ba Erz[***], Mahmoud Dehghan Nayeri[****]

Abstract

Nowadays the efficiency-o7666riented performance evaluation of complex systems be-comes increasingly important for investment and management decisions. This paper proposes a new formulation approach based on dynamic network DEA (DN–DEA) models for multi-period and multi-division (MPMD) systems to measure and decompose the overall efficiency. Although conventional DEA models provide magnificant modeling idea of efficiency measures in the multi-input and -output contexts, they do not account for the multi-division transformation process of decision-making units (DMUs) and present "black-box" measures of their efficiency scores wich causes incorrect estimates of the efficiency points of the units by ignoring the information about the internal operations of the system. As an illustrative case study, the present research applies the proposed approach to evaluate the efficiencies of 13 universities of Iran over the three-year period and the rate of innovation has been measured according to each division, every period, as well as total innovation.

Keywords: **Dynamic Network Data Envelopment Analysis; Innovation; Innovation Evaluation; Universiry.**

Received: Sep.30, 2018, Accepted: Dec. 18, 2018.
*PhD. Student, Tarbiat Modares University.
** Professor, Tarbiat Modares University.
E-mail: azara@modares.ac.ir
***Associate Professor, Tarbiat Modares University.
**** Assistant Professor, Tarbiat Modares University.