

## ارزیابی کارایی نظام ملی نوآوری با استفاده از تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای

سلطانعلی شهریاری<sup>۱</sup>، سائنا لاهیجی<sup>۲</sup>

**چکیده:** امروزه توجه به رشد و رونق اقتصادی مبتنی بر سیاست‌گذاری‌های علم و فناوری در سطح ملی، نه تنها یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های مدیران عالی سازمان‌ها و نهادهای سیاست‌گذار است، بلکه به‌عنوان یکی از موضوعات کلیدی تحقیقات حوزه‌های اقتصادی و مدیریت کلان از اهمیتی اساسی برخوردار است. ضرورت ارزیابی نظام ملی نوآوری برای کمک به سیاست‌گذاری و تعیین میزان تحقق اهداف کلان مسئله‌ای حیاتی است. در این تحقیق از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای تن و تسوت‌سوی برای ارزیابی کارایی نظام ملی نوآوری ایران و ۷۳ کشور دیگر در قالب فرایند دو مرحله‌ای تولید و تجاری‌سازی دانش استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد نظام ملی نوآوری ایران ناکار است. مقدار کارایی کل و مراحل اول و دوم آن در حالت فعالیت ارتباطی آزاد برابر با ۰/۵۹، ۰/۷۹ و ۰/۱۸ و در حالت ثابت برابر با ۰/۷۴، ۰/۸۷ و ۰/۶۳ بوده و براساس مدل مبتنی بر متغیرهای کمکی ۰/۸۸ است. برای بهبود عملکرد، کاهش ورودی‌های مراحل به مقدار تعیین شده، موجب افزایش مقادیر کارایی آنها و در نتیجه کارایی کل سیستم تا رسیدن به مرز کارا خواهد شد.

**واژه‌های کلیدی:** تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای، کارایی کل، کارایی مراحل، نظام ملی نوآوری، نوآوری.

۱. استادیار گروه مدیریت کسب‌وکار، دانشکده مدیریت دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت کارآفرینی، دانشکده مدیریت دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۹/۰۷

تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۹۶/۰۵/۰۸

نویسنده مسئول مقاله: سلطانعلی شهریاری

E-mail: sa\_shahriari@yahoo.com

**مقدمه**

رقابت روزافزون میان کشورها در حوزه علم و فناوری موجب شده است که سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی در این حوزه مبتنی بر رویکردهای علمی شود. بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد تا کنون تحقیقات انگشت‌شماری در زمینه به‌کارگیری مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها در ارزیابی نظام ملی نوآوری (NIS) انجام گرفته است که بجز یک مطالعه آن هم با رویکردی متفاوت با این تحقیق، در هیچ‌یک از موارد دیگر سیستم ملی نوآوری ایران ارزیابی نشده است. با در نظر گرفتن اهمیت حیاتی سیستم ملی نوآوری در ارتباط با سیاست‌گذاری علم و فناوری و ارتباط آن با رشد و رونق اقتصادی و رقابت‌پذیری و نیز، با توجه به چشم‌انداز آینده علم و فناوری کشور، سنجش و ارزیابی سیستم ملی نوآوری کشور و مقایسه آن با سایر کشورها لازم و ضروری است. بنابراین ضرورت انجام تحقیق حاضر را می‌توان در طرح و به‌کارگیری مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای در زمینه NIS از طریق مقایسه سیستم ملی نوآوری ایران با سایر کشورها و تعیین کارایی نسبی آن، شناخت قوت‌ها و ضعف‌ها و ارائه راهکارهایی برای حمایت و پشتیبانی از سیاست‌گذاری در این زمینه دانست. در مدل‌های مرسوم تحلیل پوششی داده‌ها، به یک سیستم به‌عنوان یک کل نگریسته می‌شود که عملکرد اجزای فرایندی آن در محاسبه کارایی، نسبی در نظر گرفته نمی‌شود. نادیده‌انگاشتن عملکرد اجزای فرایند دو ایراد عمده دارد؛ اول آن که مقدار کارایی به‌دست آمده، منعکس‌کننده درستی برای عملکرد سیستم نیست و دوم، فرایندی که با کارایی پایین خود موجب ناکارایی یک سیستم شده است را نمی‌توان شناخت. مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای موجود سعی در رفع این ایرادها داشته و تا حدی این موارد را مرتفع کرده‌اند. برای شناسایی ناکارایی هر سیستم می‌توان کارایی هر فرایند را به‌طور مستقل محاسبه کرد، اما این کار نیز ارتباط میان کارایی کل سیستم و سایر فرایندها را نادیده‌انگاشته و نشان نمی‌دهد. بنابراین هدف این تحقیق طراحی مدل مناسبی برای سنجش کارایی نظام ملی نوآوری است؛ به بیان دیگر، این تحقیق به دنبال ارائه روش کمی برای سنجش میزان کارایی نظام ملی نوآوری بر مبنای مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای است. همچنین از اهداف دیگر این تحقیق، کمک به شناخت و مقایسه موقعیت نظام ملی نوآوری ایران با کشورهای دیگر و در صورت لزوم الگوبرداری از کشورهای موفق در این زمینه است. برای تحقق این اهداف و گردآوری داده‌های تحقیق در این مطالعه، کشورهایی برای مقایسه و ارزیابی انتخاب می‌شوند که داده‌های مربوط به نظام ملی نوآوری آنها در گزارش‌های معتبر سازمان‌های بین‌المللی نظیر گزارش‌های سازمان همکاری و توسعه اقتصادی (OECD) و پایگاه داده بانک جهانی و... که از طریق شبکه جهانی اینترنت در دسترس هستند، موجود باشد. عملکرد نوآورانه نظام ملی نوآوری

هر کشور تا حد زیادی به نحوه ارتباط و به کارگیری اجزای آن به عنوان یک سیستم یکپارچه دانش بستگی دارد. عملکرد سیستم نوآوری، خود را در قالب نوآوری‌های محصول و فرایند انتشار آنها نشان می‌دهد و در نهایت آثارش در رفاه اجتماعی و توسعه ظاهر خواهد شد (لیو، لو، هو، ۲۰۱۵). دخالت دولت در حوزه فعالیت‌های نوآوری، ریشه در این باور دارد که بسیاری از عناصر و اجزای فرایند نوآوری یا ماهیتی سیاسی داشته یا با منفعت عمومی سروکار دارند. دولت‌ها اغلب نوآوری را عامل کلیدی توسعه اقتصادی و یکی از منابع اساسی رقابت‌پذیری در بازارهای جهانی می‌دانند؛ به بیان دیگر، یکی از دلایل اهمیت سنجش نوآوری آن است که نوآوری عامل کلیدی توسعه و رشد اقتصادی است (محرور و صالح، ۲۰۱۳ و کاستلاسی و ناترا، ۲۰۱۳). از طرفی سنجش نوآوری نه تنها به دولت‌ها کمک می‌کند که به تعیین معیارهایی برای سنجش و پرورش نوآوری اقدام کنند، بلکه به آنها برای بهبود و توسعه سیاست‌های کلان و ارزیابی اثربخشی سیاست‌ها، تصمیم‌ها و خط‌مشی‌های وضع شده خود در این زمینه یاری می‌دهد تا در صورت لزوم به اصلاح، بهبود و توسعه آنها اقدام کنند (محرور و صالح، ۲۰۱۳). از این رو در این مطالعه به بررسی و سنجش میزان کارایی نظام ملی نوآوری ایران و ۷۳ کشور منتخب در هر یک از مراحل و همچنین کارکردهای مختلف آن از جمله در تولید، اشاعه و استفاده از دانش و فناوری‌های جدید پرداخته شده است. برای این منظور، ابتدا مفاهیم نظام ملی نوآوری، تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای و مدل‌های مبتنی بر متغیرهای کمکی شبکه‌ای (NSBM) تن و تسوت‌سوی (۲۰۰۹) برای به دست آوردن کارایی کل شبکه تعریف شده و هر یک از مراحل و خلاصه‌ای از تحقیقات انجام شده تشریح می‌شوند. در ادامه، پس از مشخص کردن مراحل اجرای عملیات و فعالیت‌های نظام ملی نوآوری یکی از کشورها، ورودی‌ها و خروجی‌های هر مرحله تعیین شده و مدل‌سازی ریاضی بر این اساس تشریح می‌شود. بخش انتهایی مقاله نیز به یافته‌های پژوهش و نتایج و پیشنهادها اختصاص داده شده است.

## ادبیات پژوهش

### نظام ملی نوآوری

دیدگاه نظام ملی نوآوری در واقع تکامل یافته نظریه سنتی نوآوری است. اهمیت نظام‌های ملی نوآوری در نگرش جامع آن، از بُعد فرایند و ساختار نوآوری است. این دیدگاه علت و ماهیت تفاوت الگوی نوآوری در کشورهای مختلف را توضیح می‌دهد. ادکوئیست (۱۹۹۷) معتقد است که اهمیت NIS به تبیین جوانب مهم سیاسی در فرایندهای نوآوری برمی‌گردد. به بیان دیگر، اهمیت NIS در به کارگیری آن برای تحلیل روابط نهادها و ارتباط آنها با توسعه فناوری است

(لیو و همکاران، ۲۰۱۵). وانگ، وانهاوربرک و رویجاکرز (۲۰۱۲) به نقل از لاندول بیان کردند که اگرچه نظام‌های ملی نوآوری نخست به دنبال تحقق یک هدف معین از طریق فرایند خلق، انتشار و به‌کارگیری دانش هستند، اما اهداف نهایی آنها رشد اقتصادی، ایجاد شغل و کسب مهارت‌های بین‌المللی است. به بیان دیگر، نظام‌های ملی نوآوری عوامل کلیدی رشد اقتصادی و رقابت‌پذیری به‌شمار می‌روند (کاستلاسی و ناترا، ۲۰۱۳). برخی پژوهشگران معتقدند که سه جزء اصلی نظام ملی نوآوری، دانشگاه و مراکز پژوهشی، دولت و صنعت است که هر یک اهداف و سازوکارهای مربوط به خود را دارد. تعامل میان این سه جزء با یکدیگر نقش بسیار کلیدی و مهمی در عملکرد NIS به‌عنوان یک کل دارد، از این رو آن را ماریپچ سه‌گانه می‌گویند. به تازگی بُعد چهارمی با عنوان جامعه مدنی به ماریپچ سه‌گانه نظام ملی نوآوری افزوده شده است؛ به همین دلیل آن را ماریپچ چهارگانه نامیدند (لیندبرگ و لیندگرن و پکیندورف، ۲۰۱۴؛ ایوانوا، ۲۰۱۴).

### تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای

مدل‌های مرسوم تحلیل پوششی داده‌ها، واحدهای تصمیم‌گیرنده را همچون جعبه‌های سیاهی انگاشته و ساختار درونی آنها را در نظر نمی‌گیرند (کویو، چن، وانگ و شائو، ۲۰۱۶؛ لیو، لو و لو، ۲۰۱۶). به همین دلیل فار در سال ۱۹۹۱ و نیز فار و گراسکف در سال ۱۹۹۶ بر اساس تحقیق نیشی میزو و هالتن (۱۹۷۸) برای غلبه بر این مشکل و سهیل‌انگاری در محاسبه کارایی، تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای را مطرح کردند (کائو، ۲۰۱۶ و فار و گراسکف، ۲۰۰۰). مدل‌های NDEA را می‌توان به صورت‌های مختلفی طبقه‌بندی کرد. شهریاری (۱۳۹۲) در پژوهشی این مدل‌ها را از دو دیدگاه طبقه‌بندی کرده است:

الف) بر اساس ساختار شبکه و نوع فرایند واحدهای تصمیم‌گیرنده که خود شامل ساختارهای موازی، سری و ترکیبی است.

ب) بر اساس روش محاسبه کارایی شبکه که در یک تقسیم‌بندی کلی، مدل‌های مضرری و پوششی را دربرمی‌گیرند.

مهم‌ترین مزیت‌هایی که مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای نسبت به مدل‌های مرسوم DEA دارند، قدرت تمایز این مدل‌ها، تعیین کارایی هر مرحله و ارزیابی واقع بینانه‌تر عملکرد هر واحد تصمیم‌گیرنده است (گوآن و چن، ۲۰۱۲). از آنجا که مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای مورد استفاده در این تحقیق در فرم پوششی بوده و مبتنی بر PPS است، نسبت به مدل‌های مضرری شبکه‌ای نظیر مدل کائو این مزیت را دارند که به شرایط بازده به مقیاس ثابت محدود نمی‌شوند، بلکه علاوه بر آن، توانایی محاسبه کارایی کل در حالت بازده به

مقیاس متغیر را نیز دارند. همچنین بر خلاف مدل‌های مضربی شبکه‌ای نظیر مدل‌های کائو (۲۰۰۹) و کائو و هوانگ (۲۰۰۸)، مدل‌های شبکه‌ای پوششی به کار رفته در پژوهش حاضر، به استفاده از اپسیلون نیازی ندارند. در مدل‌های مورد استفاده، کارایی هر مرحله قیدی در میان قیود مدل نیست تا هر گاه مسئله به جواب بهینه چندگانه‌ای دست یافت، به ازای جوابی الزام آور بوده و به ازای جواب دیگر غیرالزام آور باشد. به بیان دیگر، ناسازگاری کارایی مراحل با بهینه پاراتو بودن در مدل مورد استفاده رخ نمی‌دهد. این مزایا مهم‌ترین دلایل استفاده از مدل‌های تن و تسوت‌سوی برای ارزیابی کارایی نظام ملی نوآوری کشورهای منتخب در این تحقیق است. همچنین از آنجا که بازیگران اصلی نظام ملی نوآوری، یعنی دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی، دولت و صنعت، توان انجام اقدامات مختلفی را برای کنترل نسبی ورودی‌های این نظام از طریق تدوین و اجرای برنامه‌های کلان دارند، در این پژوهش از ساختار شبکه‌ای مطرح شده توسط تن و تسوت‌سوی یا SBM شبکه‌ای ورودی‌محور که در پی کاهش مازاد ورودی‌هاست، استفاده شده است. برای بیان ریاضی این مدل‌ها فرض کنید که  $n$  واحد تصمیم‌گیرنده  $(DMU_j; j = 1, 2, \dots, n)$  وجود دارد که هر یک دارای  $k$  بخش  $k = 1, 2, \dots, K$  است. اگر  $m_k$  و  $r_k$  تعداد ورودی‌ها و خروجی‌های بخش  $k$  ام باشند؛ فعالیت ارتباطی از بخش  $k$  به بخش  $h$  از مجموعه فعالیت‌های ارتباطی  $L$  را با  $(k, h)$  نشان دهیم؛ داده‌های مشاهده شده  $x_j^k \in R_+^{m_k}$  بیان‌کننده ورودی واحد  $j$  ام در بخش  $k$  و  $y_j^k \in R_+^{r_k}$  محصولات خروجی از واحد  $j$  در بخش  $k$  باشد؛  $z_j^{(k,h)} \in R_+^{t_{(k,h)}}$  به طوری که  $j = 1, 2, \dots, n, (k, h) \in L$  محصولات میانی از بخش  $k$  به بخش  $h$  باشد؛  $t_{(k,h)}$  تعداد کل فعالیت‌های خارج شده (خروجی) از بخش  $k$  به بخش  $h$  است. در این صورت مجموعه امکان تولید  $(x^k, y^k, z^k)$  به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$x^k \geq \sum_{j=1}^n x_j^k \lambda_j^k, \quad k = 1, 2, \dots, K \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$y^k \leq \sum_{j=1}^n y_j^k \lambda_j^k, \quad k = 1, 2, \dots, K$$

$$z^{(k,h)} = \sum_{j=1}^n z_j^{(k,h)} \lambda_j^k, \quad \forall (k, h)$$

$$z^{(k,h)} = \sum_{j=1}^n z_j^{(k,h)} \lambda_j^h, \quad \forall (k, h)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^k = 1, \quad \forall k$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^k \geq 0, \quad \forall (j, k)$$

چنانچه بازده به مقیاس ثابت باشد نیازی به محدودیت آخر نیست. PPS برای واحد تحت ارزیابی می‌تواند به صورت زیر ارائه شود:

$$x_o^k = \sum_{j=1}^n x_j^k \lambda^k + s^{k-}, \quad k=1,2,\dots,K \quad \text{رابطه ۲}$$

$$y_o^k = \sum_{j=1}^n y_j^k \lambda^k + s^{k+}, \quad k=1,2,\dots,K$$

$$e\lambda^k = 1, \quad \lambda^k, s^{k-}, s^{k+} \geq 0, \quad \forall k$$

که  $x^k = (x_1^k, x_2^k, \dots, x_n^k) \in R^{m_k \times n}$  بردار ورودی و  $y^k = (y_1^k, y_2^k, \dots, y_n^k) \in R^{r_k \times n}$  بردار خروجی است. به منظور ارزیابی کارایی واحد تحت بررسی برای قیود ارتباطی، چندین گزینه می‌توان در نظر گرفت که دو حالت ممکن آن در زیر بررسی می‌شود.

**مقدار ارتباطی آزاد:** فعالیت‌های ارتباطی ضمن حفظ پیوستگی میان ورودی - خروجی به طور اختیاری و آزاد تعیین می‌شوند.

$$z^{(k,h)} \lambda^h = z^{(k,h)} \lambda^k, \quad \forall (k,h) \quad \text{رابطه ۳}$$

$$\text{و } z^{(k,h)} = (z_1^{(k,h)}, z_2^{(k,h)}, \dots, z_n^{(k,h)}) \in R^{1 \times n(k,h)} \text{ است.}$$

**مقدار ارتباطی ثابت:** فعالیت‌های ارتباطی اختیاری نبوده و تغییرناپذیر و ثابت‌اند.

$$z_o^{(k,h)} = z^{(k,h)} \lambda^h, \quad \forall (k,h) \quad \text{رابطه ۴}$$

$$z_o^{(k,h)} = z^{(k,h)} \lambda^k, \quad \forall (k,h) \quad \text{رابطه ۵}$$

با توجه به PPS بیان شده و ماهیت ورودی، مقدار کارایی کل و کارایی هر بخش با استفاده از مدل‌های زیر به دست می‌آید. مدل در حالتی که فعالیت‌های ارتباطی آزاد در نظر گرفته شود به صورت زیر است:

$$\theta_o = \text{Min}_{\lambda^k, s^{k-}} \sum_{k=1}^K w^k \left[ 1 - \frac{1}{m_k} \left( \sum_{i=1}^{m_k} \frac{s_i^{k-}}{x_{io}^k} \right) \right] \quad \text{رابطه ۶}$$

$$y_o^k = \sum_{j=1}^n y_j^k \lambda^k + s^{k+}, \quad k = 1, 2, \dots, K$$

$$z^{(k,h)} \lambda^h = z^{(k,h)} \lambda^k, \quad \forall (k, h)$$

$$e \lambda^k = 1$$

$$\lambda^k, s^{k-}, s^{k+} \geq 0, \quad \forall k$$

مدل در حالتی که فعالیت‌های ارتباطی ثابت در نظر گرفته شود به صورت زیر است:

$$\theta_o = \text{Min}_{\lambda^k, s^{k-}} \sum_{k=1}^K w^k \left[ 1 - \frac{1}{m_k} \left( \sum_{i=1}^{m_k} \frac{s_i^{k-}}{x_{io}^k} \right) \right] \quad (\text{رابطه ۷})$$

$$\text{s.t.} \quad x_o^k = \sum_{j=1}^n x_j^k \lambda^k + s^{k-}, \quad k = 1, 2, \dots, K$$

$$y_o^k = \sum_{j=1}^n y_j^k \lambda^k + s^{k+}, \quad k = 1, 2, \dots, K$$

$$z_o^{(k,h)} = z^{(k,h)} \lambda^h, \quad \forall (k, h), \quad z_o^{(k,h)} = z^{(k,h)} \lambda^k, \quad \forall (k, h), \quad e \lambda^k = 1$$

$$\lambda^k, s^{k-}, s^{k+} \geq 0, \quad \forall k$$

که  $m_k$  و  $r_k$  به ترتیب تعداد ورودی‌ها و خروجی‌های بخش  $k$ ام و  $w^k$  اهمیت نسبی بخش یا مرحله  $k$ ام است که توسط تصمیم‌گیرنده مشخص می‌شود و  $w^k \geq 0$  و  $\sum_{k=1}^K w^k = 1$  واحد تحت ارزیابی  $DMU_o$  کارای کل ورودی محور است، اگر  $\theta^* = 1$  باشد. کارایی بخشی مدل ورودی محور از رابطه ۸ به دست می‌آید:

$$\theta_k = \left[ 1 - \frac{1}{m_k} \left( \sum_{i=1}^{m_k} \frac{s_i^{k-*}}{x_{io}^k} \right) \right], \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (\text{رابطه ۸})$$

پس از حل مدل کارایی کل، مقادیر بهینه  $s_i^{k-*}$  به دست آمده را در این رابطه جایگزین کرده تا  $\theta_k$  به به دست آید (تن و تسوت‌سوی، ۲۰۰۹).

### ارزیابی عملکرد NIS با استفاده از DEA

جدول ۱ خلاصه‌ای از پژوهش‌های پیشین در به‌کارگیری مدل‌های مختلف DEA برای ارزیابی عملکرد NIS را نشان می‌دهد.

جدول ۱. خلاصه برخی از تحقیقات ارزیابی نظام ملی نوآوری با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها

نویسنده (سال)	ورودی‌ها و خروجی‌ها	مدل DEA
شارما و توماس (۲۰۰۸)	ورودی‌ها: هزینه ناخالص داخلی R&D. تعداد محققان در هر یک میلیون جمعیت، تولید ناخالص داخلی (GDP) به جمعیت ورودی خروجی‌ها: اختراعات ثبت شده توسط افراد داخل کشور، تعداد کل انتشارات	DEA ورودی محور (ثابت و متغیر)
کولمن، اشमित احمک و زلس زیستی (۲۰۰۹)	کشورهای مورد مطالعه: تعداد کل: ۲۸؛ آفریقا (۰)؛ آسیا و اقیانوسیه (۵)؛ استرالیا، چین، ژاپن، کره جنوبی، اروپای شرقی (۴)؛ چک، مجارستان، لهستان، اسلواکی؛ اروپای غربی و آمریکای شمالی (۱۷)؛ بلژیک، یونان، ایتالیا، کانادا، دانمارک، فنلاند، فرانسه، آلمان، ایسلند، ایرلند، نروژ، پرتغال، اسپانیا، سوئد، هلند، انگلستان، آمریکا؛ آمریکای لاتین و کارائیب (۲)؛ آرژانتین، مکزیک کشورهای کارا: کارایی قوی در آلمان و سوئد. کارایی ضعیف در بلژیک، فنلاند، هلند، آمریکا	DEA خروجی محور (متغیر)
بن، هانگ و لو (۲۰۱۰)	ورودی‌ها: کل هزینه‌های عمومی آموزش و پرورش، واردات کالاها و خدمات تجاری، هزینه کل R&D، میزان سرمایه‌گذاری مستقیم در خارج از کشور، کل کارکنان R&D خروجی‌ها: تعداد اختراع ثبت شده توسط افراد داخل کشور، تعداد اختراع ثبت شده توسط افراد بیرون از کشور، تعداد مقالات منتشر شده	ورودی محور (ثابت و متغیر)، مدل ابرکارایی، مدل DEA مقایسات زوجی
کای (۲۰۱۱)	کشورهای مورد مطالعه: تعداد کل: ۳۳؛ آفریقا (۰)؛ آسیا و اقیانوسیه (۱۰)؛ چین، هند، ژاپن، مالزی، فیلیپین، سنگاپور، کره جنوبی، تایلند، تایوان، ترکیه؛ اروپای شرقی (۷)؛ چک، مجارستان، رومانی، لهستان، روسیه، اسلواکی، اسلونی؛ اروپای غربی و آمریکای شمالی (۱۶)؛ اتریش، بلژیک، دانمارک، فنلاند، فرانسه، آلمان، ایسلند، ایتالیا، یونان، نروژ، پرتغال، اسپانیا، سوئد، سوئیس، هلند، انگلستان؛ آمریکای لاتین و کارائیب (۰) کشورهای کارا: جمهوری چک، یونان، مجارستان، هند، ژاپن، لهستان، رومانی، روسیه، سنگاپور، جمهوری اسلواک، کره جنوبی، تایوان، ترکیه، بریتانیا	مدل DEA خروجی محور (بازده به مقیاس ثابت)
	ورودی‌ها: هزینه کل R&D، کل کارکنان R&D خروجی‌ها: تعداد اختراع ثبت شده WIPO، تعداد مقاله‌ها در مجلات علمی و فنی، میزان صادرات تکنولوژی بالا و خدمات ICT	
	کشورهای مورد مطالعه: تعداد کل: ۳۲؛ آفریقا (۱)؛ آفریقای جنوبی؛ آسیا و اقیانوسیه (۵)؛ استرالیا، چین، هند، ژاپن، کره جنوبی؛ اروپای شرقی (۱)؛ روسیه؛ اروپای غربی و آمریکای شمالی (۱۴)؛ اتریش، بلژیک، کانادا، دانمارک، فنلاند، فرانسه، آلمان، ایتالیا، نروژ، سوئد، سوئیس، انگلستان، آمریکا؛ آمریکای لاتین و کارائیب (۱)؛ برزیل کشورهای کارا: هلند، سوئد	



ادامه جدول ۱

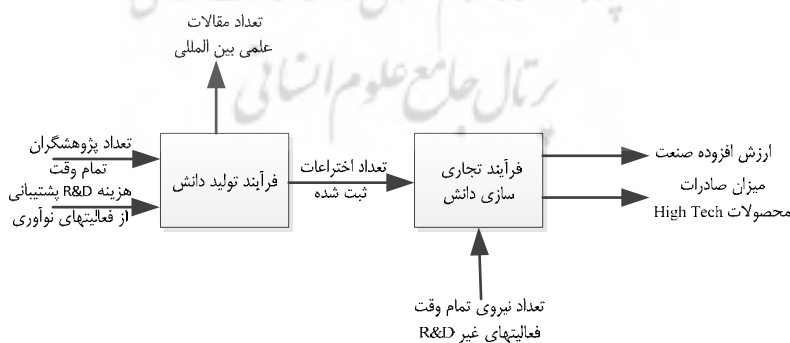
نویسنده (سال)	ورودی‌ها و خروجی‌ها	مدل DEA
چن، هو و یانگ (۲۰۱۱)	<p><b>ورودی‌ها:</b> هزینه کل R&amp;D (میلیون دلار)، کل کارکنان R&amp;D (تمام وقت)</p> <p><b>خروجی‌ها:</b> تعداد اختراع ثبت شده در EPO و USPTO، تعداد مقالات مجلات علمی، حق امتیاز و صدور مجوز (میلیون دلار در سال ۲۰۰۰)</p> <p><b>کشورهای مورد مطالعه:</b> تعداد کل: ۲۴؛ آفریقا (۰)؛ آسیا و اقیانوسیه (۴)؛ استنگاپور، سرائیل، ژاپن، کره جنوبی؛ اروپای شرقی (۶)؛ روسیه، چک، مجارستان، اسلونی، رومانی، لهستان؛ اروپای غربی و آمریکای شمالی (۱۲)؛ ایرلند، بلژیک، کانادا، دانمارک، فنلاند، فرانسه، آلمان، ایتالیا، هلند، پرتغال، اسپانیا، انگلستان، آمریکا؛ آمریکای لاتین و کارائیب (۲)؛ آرژانتین، مکزیک</p> <p><b>کشورهای کارا:</b> کاملاً کارا در تمام سال‌ها: مجارستان، اسرائیل، بریتانیا، آمریکا. کارا در برخی سال‌ها: آرژانتین، فنلاند، ایتالیا، ایرلند، هلند، اسلونی، اسپانیا، کره جنوبی</p>	مدل DEA خروجی محور (بازده به مقیاس ثابت)
گوآن و چن (۲۰۱۲)	<p><b>ورودی‌ها:</b> تعداد پژوهشگران تمام وقت، هزینه نهایی تحقیق و توسعه، ذخیره دانش تجمیع شده اولیه پرورش جریان بالادستی تولید دانش، ذخیره دانش تجمیع شده اولیه مشارکت در جریان پایین دستی تجاری سازی دانش، نیروی کار تمام وقت مصرف شده برای فعالیت‌های غیر تحقیق و توسعه</p> <p><b>خروجی‌ها:</b> تعداد اختراعات ثبت شده (USPTO)، تعداد مقالات علمی بین المللی، ارزش افزوده صنعت، میزان صادرات محصولات جدید در صنایع با فناوری بالا</p> <p><b>کشورهای مورد مطالعه:</b> تعداد کل: ۲۲؛ آفریقا (۰)؛ آسیا و اقیانوسیه (۵)؛ ترکیه، ژاپن، کره جنوبی، استرالیا، نیوزلند، اروپای شرقی (۱)؛ مجارستان؛ اروپای غربی و آمریکای شمالی (۱۵)؛ بلژیک، کانادا، دانمارک، فنلاند، فرانسه، آلمان، یونان، ایرلند، ایتالیا، هلند، نروژ، پرتغال، اسپانیا، سوئد، بریتانیا؛ آمریکای لاتین و کارائیب (۱)؛ مکزیک</p> <p><b>کشورهای کارا:</b> کارایی کل مقیاسی: یونان، ایرلند، مکزیک، نیوزیلند</p>	مدل DEA ورودی محور (بازده به مقیاس ثابت و متغیر)
میتی و آلدی (۲۰۱۲)	<p><b>ورودی‌ها:</b> تعداد فارغ التحصیلان جدید دکتری، انتشارات مشترک علمی بین المللی، هزینه عمومی R&amp;D به عنوان درصدی از GDP، انتشارات مشترک بخش خصوصی و دولتی، تعداد ثبت اختراع فایبل شده در EPO تقسیم بر GDP، تعداد علائم تجاری عمومی</p> <p><b>خروجی‌ها:</b> میزان اشتغال در فعالیت‌های دانش بنیان، میزان صادرات محصولات با فناوری متوسط و بالا به کل صادرات، میزان صادرات خدمات و محصولات دانش بنیان به کل صادرات</p> <p><b>کشورهای مورد مطالعه:</b> تعداد کل: ۳۱؛ آفریقا (۰)؛ آسیا و اقیانوسیه (۱)؛ ترکیه؛ اروپای شرقی (۱۰)؛ بلغارستان، کرواسی، چک، استونی، مجارستان، لیتوانی، رومانی، لهستان، اسلونی، اسلواک؛ اروپای غربی و آمریکای شمالی (۲۰)؛ دانمارک، آلمان، فنلاند، سوئد، اتریش، بلژیک، قبرس، یونان، ایتالیا، فرانسه، لوکزامبورگ، مالت، ایسلند، ایرلند، نروژ، پرتغال، اسپانیا، سوئد، هلند، بریتانیا؛ آمریکای لاتین و کارائیب (۰)؛</p> <p><b>کشورهای کارا:</b> مالت، رومانی، ترکیه، ایرلند</p>	مدل DEA خروجی محور (بازده به مقیاس متغیر)

## روش‌شناسی پژوهش

با توجه به طبقه‌بندی جان واکر (۱۹۹۸) از روش‌های تحقیق پژوهش‌های حوزه مدیریت تولید و تحقیق در عملیات، این مطالعه نوعی تحلیل ریاضی است. همچنین این تحقیق از نظر هدف با توجه به اجرای آن در عمل برای ارزیابی عملکرد NIS کشورها، در پی توسعه دانش کاربردی و کاربرد عملی دانش است، بنابراین نوعی تحقیق کاربردی به‌شمار می‌رود (شهریاری، ۱۳۹۲).

## تعیین مراحل عملکردی نظام ملی نوآوری

به دلیل ماهیت پیچیده و چندوجهی بودن ورودی‌ها و خروجی‌های علم و فناوری، بحث بهره‌وری در مفهوم دقیق و سنجش آن در نظام ملی نوآوری نیز بحث بسیار پیچیده‌ای است. بنابراین بحث کارایی و ناکارایی چنین نظامی، موضوع کاملاً بحث‌برانگیز است (یون، ۲۰۱۷؛ و کراوتسوا و رادوسویک، ۲۰۱۲). کارلسون، جاکوبسون و ریکن (۲۰۰۲) معتقد است که یک سیستم فناورانه و مبتنی بر دانش، سه مرحله ایجاد، انتشار و استفاده از دانش را دربردارد که با شاخص‌هایی نظیر تعداد محققان، تعداد اختراع ثبت شده، تعداد مجوز صادر شده، میزان اشتغال و دارایی مالی، ارزیابی می‌شوند. در تحقیقی دیگر لیو و باک (۲۰۰۷) عملکرد نوآورانه شرکت‌های دانش‌بنیان را شامل دو مرحله اکتشاف دانش و بهره‌برداری از آن می‌دانند. گوآن و چن (۲۰۱۲) نیز با استفاده از یک مدل مضربی دو مرحله‌ای به سنجش کارایی نوآوری سیستم ملی نوآوری تعدادی از کشورهای عضو OECD اقدام کردند. آنها NIS هر کشور را فرایندی متوالی در نظر گرفتند که فرایند تولید دانش و فرایند تجاری‌سازی دانش را دربرمی‌گیرد. بنابراین برای محاسبه کارایی عملکرد NIS در این پژوهش با توجه به بررسی ادبیات و مصاحبه با خبرگان دانشگاهی و صنعت، عملکرد این نظام برای کشورهای مختلف در دو مرحله در نظر گرفته می‌شود: تولید دانش و تجاری‌سازی دانش (شکل ۱).



شکل ۱. فرایند ارزیابی عملکرد NIS

## تولید دانش

برای این مرحله دو ورودی منابع انسانی و منابع مالی در نظر گرفته شده است. منظور از منابع نیز دارایی‌های تحت مالکیت کشورها بوده که در دسترس و قابل انتقال هستند.

- تعداد پژوهشگران تمام‌وقت (به ازای هر میلیون نفر): از تعداد پژوهشگران تمام‌وقتی که در مراکز تحقیقاتی در حال انجام فعالیت‌اند، برای سنجش منابع انسانی فعال در انجام فعالیت‌های نوآورانه بهره برده شده است (کاستا، ۲۰۱۲). برای به‌دست آوردن مقدار این ورودی برای هر کشور، از متوسط تعداد پژوهشگر (به ازای هر میلیون نفر) در دو سال ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ استفاده شده است.

- هزینه تحقیق و توسعه پشتیبانی از فعالیت‌های نوآوری: از هزینه تحقیق و توسعه (درصدی از تولید ناخالص ملی) نیز به‌عنوان منابع مالی و ورودی این مرحله استفاده شده است. بدین منظور ابتدا این هزینه برای هر ۷۴ کشور در دو سال ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ (بر حسب درصدی از GDP)، محاسبه می‌شود و میانگین آنها در این دو سال به‌عنوان متوسط هزینه تحقیق و توسعه صرف‌شده برای پشتیبانی از فعالیت‌های نوآوری در آن کشور مد نظر قرار می‌گیرد.

- خروجی‌های مرحله اول: خروجی فعالیت‌های تولید دانش و نوآوری شامل محصولاتی نظیر اختراعات ثبت شده و مقالات، محسوساتی نظیر تجهیزات و ماشین‌آلات برای مثال، تجهیزات علمی و نیز مجموعه دانش فنی، قابلیت‌ها و مهارت‌هاست (کراوتسوا و رادوسویک، ۲۰۱۲). بر اساس ادبیات تحقیق و بررسی‌های صورت‌گرفته و با توجه به در دسترس بودن داده‌ها و اطلاعات موارد ذکر شده در بالا، دو خروجی برای هر کشور در نظر گرفته شده است.

- تعداد مقالات علمی بین‌المللی منتشر شده: یکی از خروجی‌های اساسی فرایند تولید دانش در هر کشور، انتشار مقاله‌های علمی در مجله‌های معتبر بین‌المللی توسط پژوهشگران و محققانی است که نقش اصلی تولید دانش و ایجاد نوآوری را برعهده دارند. بنابراین متوسط تعداد مقاله‌های منتشر شده در مجله‌های بین‌المللی در دو سال ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ به‌عنوان خروجی این مرحله در نظر گرفته شده است. در ضمن این خروجی از سیستم نیز خارج می‌شود. اگرچه بخشی از این مقاله‌ها می‌توانند منبعی برای ساخت تجهیزات، اختراع یا محصولی باشند، به‌دلیل در دسترس نبودن چنین اطلاعاتی در دنیای واقعی، نمی‌توان از آن به‌عنوان خروجی میانی استفاده کرد.

- تعداد اختراعات ثبت‌شده ملی: یکی دیگر از خروجی‌های اساسی مرحله تولید دانش، تعداد اختراعاتی است که توسط افراد آن کشور ثبت شده است. این شاخص را می‌توان به

شکل‌های مختلف محاسبه کرد که در این تحقیق از متوسط تعداد اختراعات ثبت شده در سطح ملی طی دو سال ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹، به دلیل ارائه این اطلاعات در گزارش‌های رسمی منتشر شده توسط بانک جهانی برای سایر کشورها استفاده شده است. این خروجی در عین حال ورودی مرحله تجاری‌سازی دانش نیز در نظر گرفته شده است. به بیان دیگر، این خروجی یک خروجی میانی است که در مرحله تجاری‌سازی دانش با توجه به قابلیت هر کشور در این زمینه، می‌تواند به‌عنوان منبعی برای ارائه خدمات یا ساخت تجهیزات و کالاهای نوین بهره‌برداری شود.

### تجاری‌سازی دانش

از آنجا که قابلیت‌ها و توانایی‌های NIS کشورهای مختلف در تجاری‌سازی و بهره‌برداری از دانش و منابع خود متفاوت است، بر اساس دیدگاه مبتنی بر منبع، عملکرد آنها نیز در این زمینه کاملاً متفاوت است. بنابراین در پژوهش حاضر برای سنجش عملکرد هر کشور در این مرحله با بررسی ادبیات و نیز بهره‌مندی از نظر خبرگان، از ورودی‌ها و خروجی‌های زیر استفاده شده است.

**ورودی‌های مرحله دوم:** با بررسی مطالعات انجام گرفته، علاوه بر تعداد اختراعات ثبت شده در سطح ملی، از تعداد نیروی انسانی تمام‌وقت فعالیت‌های غیرتحقیق و توسعه به‌عنوان یکی از ورودی‌های فرایند تجاری‌سازی برای کمک به بهره‌برداری و فروش محصولات استفاده شده است. بنابراین علاوه بر خروجی تعداد اختراعات ثبت‌شده ملی در مرحله اول، از متوسط تعداد کارکنان تمام‌وقت فعالیت‌های غیرتحقیق و توسعه طی سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ نیز به‌عنوان ورودی این مرحله استفاده شده است. به‌طور خلاصه ورودی‌های این مرحله عبارت‌اند از: تعداد اختراعات ثبت‌شده ملی و تعداد نیروی انسانی تمام‌وقت فعالیت‌های غیرتحقیق و توسعه.

**خروجی‌های مرحله دوم:** این مرحله شامل خروجی‌های زیر است:

- ارزش افزوده صنعت طی چهار سال: این مقدار با میانگین حساسی از ارزش افزوده صنعت طی چهار سال (۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰) برای کشورهای مورد ارزیابی بر حسب دلار آمریکا به‌دست می‌آید.
- میزان صادرات محصولات جدید با فناوری بالا: از میزان صادرات محصولات نوین با فناوری بالا که نشان‌دهنده توان نظام ملی نوآوری برای تبدیل دانش به ثروت است، به‌عنوان خروجی این مرحله استفاده می‌شود. مقادیر این خروجی برای ۷۴ کشور مورد ارزیابی با محاسبه میانگین حساسی آن طی سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ بر حسب هزار دلار آمریکا به‌دست می‌آید.

### مدل‌سازی و حل آن

با توجه به شکل ۱، داده‌های لازم از گزارش‌های جهانی منتشر شده توسط مراجع مختلفی همچون بانک جهانی داده‌ها، OECD و... گردآوری شد و مدل‌سازی ریاضی برای تعیین کارایی کل و کارایی هر مرحله مطابق با رابطه‌های ۶ تا ۸ صورت گرفت و با استفاده از نسخه ۲۳/۹ نرم‌افزار GAMS حل شد که نتایج آنها در بخش یافته‌های پژوهش ارائه شده است.

### یافته‌های پژوهش

جدول ۲ نتایج حل مدل SBM شبکه‌ای ورودی‌محور در حالت فعالیت ارتباطی آزاد را به دلیل کمبود فضا برای تعدادی از کشورهای مورد بررسی نشان می‌دهد. در ستون دوم مقادیر کارایی کل؛ در ستون‌های سوم تا پنجم مقادیر متغیرهای کمکی مرحله‌های اول و دوم که بیان‌کننده مازاد ورودی‌های به کار رفته است و در ستون‌های ششم و هفتم به ترتیب مقدار کارایی مرحله تولید دانش و تجاری‌سازی آمده است.

جدول ۲. کارایی کل، کارایی هر مرحله و متغیرهای کمکی ورودی‌های دو مرحله در حالت ارتباطی آزاد

نام کشور	کارایی کل	S1(i1)	S1(i2)	S2(e1)	کارایی مرحله اول	کارایی مرحله دوم
آرژانتین	۰/۳۹	۸۹۱/۲۷	۰/۴۸	۲۳/۰۱	۰/۱۱۵۵۹۶	۰/۶۶۴۶۹۹
ارمنستان	۰/۳۶	۱۲۵۸	۰/۲۴	۲۰/۰۹	۰/۰۳۱۴۶۹	۰/۶۸۷۶۸
آذربایجان	۰/۳۴	۱۲۷۷	۰/۲۲	۲۴/۷۳	۰/۰۲۰۵۳۲	۰/۶۴۳۰۱۷
مصر	۰/۵۴	۳۰۶/۴۴	۰/۲۱	۶/۵۴	۰/۲۰۴۸۷	۰/۸۷۳۰۱
ایران	۰/۵۹	۵۶۰/۴۹	۰/۷۰	۰/۵۱	۰/۷۹۱۹۱	۰/۱۸۲۶۴۸
ترکیه	۰/۵۷	۵۲۶/۵۷	۰/۶۶	۴/۹۱	۰/۲۴۰۶۹۵	۰/۹۰۳۳۹۴
بریتانیا	۰/۴۹	۲۹۵۱/۸۶	۱/۲۲	۲۴/۶۲	۰/۲۹۸۸۳۲	۰/۶۷۴۸۷۶
آمریکا	۱	۰	۰	۰	۱	۱
اروگوئه	۰/۳۵	۲۶۴/۹۳	۰/۶۶	۳۱/۳۹	۰/۱۱۸۸۲۸	۰/۵۸۴۹۲۶

### کارایی NIS و مقایسه آن در دو حالت فعالیت ارتباطی ثابت و آزاد

مقادیر کارایی نظام ملی نوآوری هر یک از کشورهای منتخب در حالت فعالیت ارتباطی ثابت با استفاده از مدل مرسوم SBM ورودی‌محور به دست آمده است. این مقادیر با مقادیر کارایی کل و کارایی هر مرحله در حالت فعالیت ارتباطی آزاد در جدول ۳ نشان داده شده است. با مقایسه این نتایج می‌توان گفت که در همه مدل‌های استفاده شده، NIS سه کشور آمریکا، چین و فیلیپین کاملاً کاراست. از نکات شایان توجه دیگر، بزرگ‌تر بودن مقدار کارایی کل مدل‌های شبکه‌ای در

۴۶۸ \_\_\_\_\_ ارزیابی کارایی نظام ملی نوآوری با استفاده از تحلیل پوششی...

حالت فعالیت ارتباطی ثابت از مقدار متناظر آن در حالت فعالیت ارتباطی آزاد است. در عین حال هر دو مقدار یاد شده از مقدار کارایی به دست آمده از مدل مرسوم SBM ورودی گرا بزرگترند. نکته قابل تأمل، کاهش قدرت تمایز مقادیر کارایی در مدل مرسوم SBM ورودی محور نسبت به مدل های شبکه ای مورد استفاده است.

جدول ۳. مقادیر کارایی کل و کارایی هر مرحله در دو حالت فعالیت ارتباطی ثابت و آزاد

نام کشور	Fixed links			Free Links			Input Oriented
	ک. م. اول	ک. م. دوم	کل	ک. م. اول	ک. م. دوم	کل	
آرژانتین	۰/۱۱۵۵۹۶	۰/۶۶۴۶۹۹	۰/۵۵	۰/۱۱۵۵۹۶	۰/۶۶۴۶۹۹	۰/۳۹	کارایی SBM ۰/۹۱
آرمانیا	۰/۰۳۱۴۶۹	۰/۶۸۱۷۶۸	۰/۳۶	۰/۰۳۱۴۶۹	۰/۶۸۱۷۶۸	۰/۳۶	۰/۹۹
استرالیا	۰/۱۰۹۴۸۷	۰/۶۱۳۸۳۵	۰/۸۵	۰/۱۰۹۴۸۷	۰/۶۱۳۸۳۵	۰/۳۶	۰/۹
اتریش	۰/۰۳۵۲۴۴	۰/۶۱۰۰۲۷	۰/۳۵	۰/۰۳۵۲۴۴	۰/۶۱۰۰۲۷	۰/۳۲	۰/۹۷
آذربایجان	۰/۰۲۰۵۳۲	۰/۶۴۳۰۱۷	۰/۳۴	۰/۰۲۰۵۳۲	۰/۶۴۳۰۱۷	۰/۳۴	۰/۹۶
بنگلادش	۰/۱۳۰۸۳۹	۰/۶۰۶۹۶	۰/۵	۰/۱۳۰۸۳۹	۰/۶۰۶۹۶	۰/۳۶	۰/۹۶
بلاروس	۰/۰۲۳۰۱۲	۰/۶۷۸۰۱۵	۰/۳۵	۰/۰۲۳۰۱۲	۰/۶۷۸۰۱۵	۰/۳۵	۰/۹۹
بلژیک	۰/۰۶۴۶۰۹	۰/۷۰۳۲۰۷	۰/۹	۰/۰۶۴۶۰۹	۰/۷۰۳۲۰۷	۰/۳۸	۰/۹۳
برزیل	۰/۳۲۲۱۹	۰/۶۵۲۰۳۴	۰/۶۹	۰/۳۲۲۱۹	۰/۶۵۲۰۳۴	۰/۴۹	۰/۷۵
بلغارستان	۰/۰۳۹۳۶۵	۰/۶۵۷۵۶۷	۰/۳۷	۰/۰۳۹۳۶۵	۰/۶۵۷۵۶۷	۰/۳۵	۰/۹۹
کانادا	۰/۱۸۲۰۲	۰/۶۲۷۴۸	۱	۰/۱۸۲۰۲	۰/۶۲۷۴۸	۰/۴۱	۰/۸۳
شیلی	۰/۱۹۴۰۷۹	۰/۷۱۱۴۴۴	۰/۵۹	۰/۱۹۴۰۷۹	۰/۷۱۱۴۴۴	۰/۴۵	۰/۹۱
چین	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
کلمبیا	۰/۳۰۱۶۳۴	۰/۶۶۰۵۴	۰/۸۲	۰/۳۰۱۶۳۴	۰/۶۶۰۵۴	۰/۴۸	۰/۷۹
کرواسی	۰/۰۳۹۹۲۹	۰/۶۸۲۸۳۳	۰/۴	۰/۰۳۹۹۲۹	۰/۶۸۲۸۳۳	۰/۳۶	۰/۹۹
کوبا	۰/۰۸۸۰۶۷	۰/۶۹۰۹۸۷	۰/۴۳	۰/۰۸۸۰۶۷	۰/۶۹۰۹۸۷	۰/۳۹	۰/۹۹
قبرس	۰/۰۵۶۹۵	۰/۶۱۱۰۵	۰/۹۸	۰/۰۵۶۹۵	۰/۶۱۱۰۵	۰/۳۳	۰/۶۴
چک	۰/۰۵۱۱۷۶	۰/۶۵۵۳۶۵	۰/۴۴	۰/۰۵۱۱۷۶	۰/۶۵۵۳۶۵	۰/۳۵	۰/۹۶
دانمارک	۰/۰۳	۰/۵۶۵۵۶۵	۰/۳۳	۰/۰۳	۰/۵۶۵۵۶۵	۰/۳	۰/۹۷

ادامه جدول ۳

Input Oriented	Fixed links			Free Links			DMUs
	کارایی SBM	ک.م.دوم	ک.م.اول	ک.کل	ک.م.دوم	ک.م.اول	
۰/۹۴	۱	۱	۱	۰/۶۲۶۴۹۸	۰/۳۸۱۲۹۵	۰/۵۱	اکوادور
۰/۹	۰/۸۷۴۹۵۱	۰/۶۳۳۳۳۵	۰/۷۵	۰/۸۷۳۰۱	۰/۲۰۴۸۷	۰/۵۴	مصر
۰/۵۷	۰/۵۹۸۵۱۵	۰/۰۵۱۹۴۵	۰/۳۲	۰/۵۹۷۹۷۴	۰/۰۱۶۲۴۸	۰/۳۱	استونی
۰/۹۸	۰/۶۲۴۷۰۹	۰/۰۳۸۸۷۱	۰/۳۳	۰/۶۰۰۹۳	۰/۰۲۱۱۷۴	۰/۳۱	فنلاند
۰/۷۵	۱	۰/۴۸۴۱۱	۰/۷۴	۰/۷۵۶۹۴۴	۰/۲۱۳۹۷۹	۰/۴۸	فرانسه
۰/۶۲	۰/۶۵۶۸۶۷	۰/۰۳۳۹۱۵	۰/۳۴	۰/۶۵۶۶۷۸	۰/۰۳۳۸۵۴	۰/۳۴	جورجیا
۰/۶۶	۱	۰/۲۵۰۵۷۵	۰/۶۲	۰/۷۷۷۵۱۶	۰/۲۶۶۴۵۳	۰/۵۲	آلمان
۰/۹۴	۰/۶۶۴۵۷۳	۰/۵۹۵۴۲۷	۰/۶۳	۰/۶۶۲۲۰۹	۰/۰۹۷۷۹۱	۰/۳۸	یونان
۰/۹۹	۰/۶۳۹۷۷	۰/۱۰۷۰۹۶	۰/۳۷	۰/۶۳۶۸۹۹	۰/۰۲۶۱۷۴	۰/۳۳	هنگ کنگ
۰/۹۴	۰/۷۹۷۷۳۱	۰/۱۲۵۳۱۳	۰/۴۶	۰/۷۶۸۰۷۱	۰/۰۵۴۷۱۲	۰/۴۱	مجارستان
۰/۷۱	۰/۵۲۰۷۷۶	۰/۰۱۲۷۳۳	۰/۲۷	۰/۵۲۰۱۸۸	۰/۰۰۵۶۹۳	۰/۲۶	ایسلند
۱	۰/۹۳۹۷۹۸	۱	۰/۹۷	۰/۹۳۹۷۹۸	۱	۰/۹۷	هند
۰/۸۸	۰/۶۳۳۳۳۵	۰/۸۷۴۹۵۱	۰/۷۴	۰/۱۸۲۶۴۸	۰/۷۹۱۹۱	۰/۵۹	ایران
۰/۹۴	۰/۷۲۳۱۷۴	۰/۰۶۷۲۲۷	۰/۳۹	۰/۶۵۷۸۶۵	۰/۰۶۲۴۹۳	۰/۳۶	ایرلند
۰/۶۹	۱	۰/۹۹۳۳۳۳	۱	۰/۷۹۳۵۱۷	۰/۳۴۸۴۴۷	۰/۵۷	ایتالیا
۱	۱	۱	۱	۱	۰/۶۴۰	۰/۸۲	ژاپن
۰/۹۹	۱	۰/۰۷۰۵۲۷	۰/۵۴	۰/۹۲۱۴۵	۰/۱۵۸۵۵	۰/۵۴	اردن
۰/۹۳	۱	۰/۵۱۰۱۲۶	۰/۷۶	۰/۵۸۶۹۲۱	۰/۰۶۹۳۵۳	۰/۳۳	قزاقستان
۰/۹۸	۰/۶۶۴۹۳۸	۰/۴۱۱۷۸۴	۰/۵۴	۰/۶۶۵۰۸۸	۰/۱۸۹۵۱۸	۰/۴۳	کنیا
۰/۶۳	۰/۹۰۴۳۷۵	۰/۲۰۷۰۵	۰/۵۶	۰/۸۲۸۳۹۶	۰/۱۰۹۳۹۳	۰/۴۷	کره جنوبی
۰/۵۷	۰/۶۳۲۶۰۶	۰/۱۶۷۴۹۶	۰/۴	۰/۶۳۳۶۰۶	۰/۱۱۸۹۸۳	۰/۳۷	قرقیزستان
۰/۷۳	۰/۶۰۲۰۴	۰/۰۲۸۷۵	۰/۳۱	۰/۶۰۲۱۷۶	۰/۰۱۹۳۳۴	۰/۳۱	لتونی
۰/۹۹	۰/۶۴۲۰۶	۰/۰۵۲۸۲۷	۰/۳۵	۰/۶۳۸۶۰۳	۰/۰۲۱۱۹۸	۰/۳۳	لیتوانی
۰/۵۳	۰/۷۱۱۹۷۶	۰/۰۱۷۳۶	۰/۳۶	۰/۶۵۷۲۴۹	۰/۰۰۸۶۷۶	۰/۳۳	لوکزامبورگ
۰/۶۷	۰/۹۲۲۷	۰/۱۴۵۶۹۲	۰/۵۳	۰/۹۰۸۸۷۹	۰/۱۴۴۵۶۳	۰/۵۳	مالزی
۰/۵۶	۱	۱	۱	۰/۸۵۲۵۶۶	۰/۳۱۰	۰/۵۸	مکزیک

ادامه جدول ۳

Input Oriented	Fixed links			Free Links			DMUs
	کارایی SBM	ک.م.دوم	ک.م.اول	ک.کل	ک.م.دوم	ک.م.اول	
۰/۹۸	۰/۸۴۰۹۰۵	۰/۱۱۴۹۶۲	۰/۴۸	۰/۸۳۷۷	۰/۰۶۳۴۳۲	۰/۴۵	مراکش
۰/۸۶	۰/۷۷۳۸۵۲	۰/۶۰۰۰۴	۰/۶۹	۰/۶۲۹۳۷۸	۰/۱۳۳۳۰۷	۰/۳۸	هلند
۱	۰/۵۷۱۶۲۱	۱	۰/۷۹	۰/۵۷۱۶۲۱	۱	۰/۷۹	نیوزلند
۰/۹۵	۰/۵۹۹۷۴۷	۰/۱۰۲۷۲۹	۰/۳۵	۰/۵۸۳۵۷۵	۰/۰۳۲۴۹۲	۰/۳۱	نروژ
۰/۹۴	۰/۸۰۸۸۷۷	۰/۶۳۳۴۸۶	۰/۷۲	۰/۸۰۸۳۳۳	۰/۲۹۳۶۷۷	۰/۵۵	پاکستان
۰/۹۷	۰/۸۹۴۶۲۲	۱	۰/۹۵	۰/۸۹۴۶۲۲	۱	۰/۹۵	پاراگوئه
۰/۴۱	۰/۸۸۶۶۱۵	۱	۰/۹۴	۰/۵۷۹۴۰۸	۰/۷۲۳۷۵۷	۰/۶۵	پرو
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	فیلیپین
۰/۸۹	۰/۷۲۵۱۹۴	۰/۲۹۷۱۴۱	۰/۵۱	۰/۷۱۰۲۶۴	۰/۱۵۱۸۲۷	۰/۴۳	لهستان
۰/۹۸	۰/۶۱۱۳۴	۰/۲۱۶۸۳۵	۰/۴۱	۰/۶۰۳۹۱۵	۰/۰۳۵۶۷۷	۰/۳۲	پرتغال
۰/۹۵	۰/۷۱۶۵۸۸	۰/۰۸۶۱۶۵	۰/۴	۰/۷۱۱۶۹	۰/۰۷۲۹۳۷	۰/۳۹	رمانی
۰/۸۶	۰/۶۵۱۰۴۴	۰/۱۵۵۰۴۳	۰/۴	۰/۶۵۲۷۱۱	۰/۱۴۲۹۶	۰/۴	روسیه
۰/۸	۱	۰/۱۰۱۷۱۵	۰/۵۵	۰/۷۵۸۷۵۶	۰/۱۲۸۴۸۱	۰/۴۴	سنگاپور
۰/۹۸	۰/۶۶۰۵۱۸	۰/۱۳۰۱۵۳	۰/۴	۰/۶۵۰۰۱۸	۰/۰۳۶۷۰۲	۰/۳۴	اسلواکی
۰/۹۹	۰/۶۲۱۳۳۱	۰/۰۴۹۴۴	۰/۳۴	۰/۶۱۸۸۲۲	۰/۰۱۸۷۳	۰/۳۲	اسلونی
۰/۹۲	۰/۸	۰/۳۱۴۱۳۳	۰/۵۶	۰/۷۹۶۴۸۵	۰/۱۸۰۷۱۹	۰/۴۹	آفریقای جنوبی
۰/۸۱	۰/۸۵۷۴۲۷	۱	۰/۹۳	۰/۶۷۰۶۶۹	۰/۱۹۷۹۳۹	۰/۴۳	اسپانیا
۰/۹۵	۰/۷۴۳۴۵۶	۰/۴۴۱۷۵۳	۰/۵۹	۰/۷۴۳۴۵۶	۰/۴۴۱۵۴۸	۰/۵۸	سریلانکا
۰/۹۵	۰/۶۱۳۰۳۴	۰/۱۴۹۲۵۸	۰/۳۸	۰/۵۷۸۶۱۴	۰/۰۴۵۴۵۱	۰/۳۱	سوئد
۰/۹۲	۰/۶۸۴۰۱۲	۰/۲۸۰۸۹۷	۰/۴۸	۰/۵۸۷۸۴۲	۰/۰۶۵۹۵	۰/۳۳	سوئیس
۰/۵۶	۰/۹۶۲۵۱۸	۱	۰/۹۸	۰/۶۳۲۹۰۴	۰/۱۹۷۹۵۳	۰/۴۳	تاجیکستان
۱	۰/۶۸۳۳۹۷	۱	۰/۸۴	۰/۶۸۳۳۹۷	۱	۰/۸۴	تایلند
۰/۸۴	۰/۹۲۷۲۹۸	۰/۵۶۰۹۲۹	۰/۷۴	۰/۹۰۳۳۹۴	۰/۲۴۰۶۹۵	۰/۵۷	ترکیه
۰/۹۷	۰/۶۶۳۶۴۳	۰/۰۵۲۳۱۴	۰/۳۶	۰/۶۶۴۲۲۸	۰/۰۵۳۱۱۴	۰/۳۶	اوکراین
۰/۷۱	۰/۸۳۳۶۰۸	۱	۰/۹۲	۰/۶۷۴۸۷۶	۰/۲۹۸۸۲۲	۰/۴۹	انگلستان
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	آمریکا
۰/۹۹	۰/۷۴۹۰۲۵	۰/۲۶۴۸۲۱	۰/۵۱	۰/۵۸۴۹۲۶	۰/۱۱۸۲۸۲	۰/۳۵	اوروگوئه
۰/۹۹	۰/۶۹۳۹۲۴	۰/۰۷۶۲۲۳	۰/۳۹	۰/۶۹۳۹۲۴	۰/۰۷۵۹۴۲	۰/۳۹	ازبکستان
۰/۴	۰/۵۵۳۶۷۱	۰/۸۹۹۶۹۶	۰/۷۲	۰/۵۵۴۲۸۶	۰/۹۲۰۳۴۸	۰/۶۳	ویتنام



## نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این تحقیق عملکرد NIS کشورهای منتخب را برای کاربرد مدل‌های NDEA در دنیای واقعی بررسی کرده است. یکی از اهداف این پژوهش، ارزیابی عملکرد نظام ملی نوآوری ایران و پیشنهادهایی برای بهبود آن بود. جدول ۳ نتایج کارایی نظام ملی نوآوری را در دو حالت فعالیت ارتباطی ثابت و آزاد برای دو مرحله تولید و تجاری‌سازی دانش و مدل مبتنی بر متغیرهای کمکی ورودی محور نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۳، کارایی NIS کشورهای آمریکا، چین و فیلیپین در هر دو مرحله مدل شبکه‌ای و نیز مدل SBM ورودی محور برابر با ۱ بود، اما سایر کشورها در یکی از مراحل مدل‌های شبکه‌ای یا SBM ورودی محور ناکارا بودند.

مقدار کارایی کل نظام ملی نوآوری ایران در مدل شبکه‌ای در دو حالت فعالیت ارتباطی ثابت و آزاد به ترتیب ۰/۷۴ و ۰/۵۹ به دست آمد. همچنین در حالت فعالیت ارتباطی آزاد، مقدار کارایی مرحله‌های اول و دوم ۰/۷۹ و ۰/۱۸ بود و در حالت فعالیت ارتباطی ثابت مرحله‌های اول و دوم ۰/۸۷ و ۰/۶۳ محاسبه شد. کارایی نظام ملی نوآوری ایران بر اساس مدل مبتنی بر متغیر کمکی (SBM) ورودی محور نیز ۰/۸۸ به دست آمد. نتایج مدل‌های مختلف نشان می‌دهد نظام ملی نوآوری ایران کارا نیست؛ بنابراین لازم است که اقدامات لازم برای کارا شدن و قرار گرفتن آن روی مرز کارایی صورت گیرد. این اقدامات با توجه به مدل‌های مختلف متفاوت است. برای مثال با توجه به جدول ۲ و بر مبنای مدل شبکه‌ای با فعالیت‌های ارتباطی آزاد برای بهبود عملکرد، میزان مازاد ورودی‌های مرحله اول به ترتیب ۵۶۰/۴۹ و ۰/۷ به دست آمد و مازاد ورودی مرحله دوم برابر با ۰/۵۱ بود که کاهش ورودی‌های هر یک از مراحل به مقدار تعیین شده، موجب افزایش کارایی هر مرحله و در نتیجه کارایی کل سیستم ملی نوآوری تا رسیدن به مرز کارا خواهد شد. بهبود عملکرد نظام ملی نوآوری سایر کشورهای ناکارا در این حالت را می‌توان کاملاً مشابه ایران توجیه و تفسیر کرد. به‌طور خلاصه در حالت فعالیت ارتباطی آزاد، سه کشور آمریکا، چین و فیلیپین دارای کارایی کل بوده و در هر دو مرحله کاملاً کارا هستند. همچنین در مرحله اول یعنی مرحله تولید دانش، چهار کشور هند، پاراگوئه، نیوزلند و تایلند کارا بودند، اما در مرحله تجاری‌سازی دانش تنها کشور کارا ژاپن شناسایی شده است. برای مثال، ژاپن در مرحله تجاری‌سازی دانش کاملاً کاراست، اما در مرحله تولید دانش ناکارا شناخته شده است و برای بهبود عملکرد خود طبق نتایج به دست آمده، باید مازاد ورودی‌های اول و دوم خود را به ترتیب به میزان ۴۱۸۱/۷۱ و ۲/۵۳ کاهش دهد تا به مرز کارایی برسد. همچنین در حالت فعالیت ارتباطی ثابت، کشورهای آمریکا، کانادا، چین، اکوادور، مکزیک و فیلیپین دارای کارایی کل بوده و در مرحله اول نظام ملی کشورهای استرالیا، بلژیک، قبرس، نیوزلند، پاراگوئه، پرو، تاجیکستان، تایلند

و بریتانیا و در مرحله دوم نظام ملی کشورهای فرانسه، ایتالیا، آلمان، اردن و قزاقستان کاملاً کارا هستند. از نظر مدل مبتنی بر متغیر کمکی (SBM) ورودی محور نیز، نظام ملی کشورهای آمریکا، چین، هند، ژاپن، نیوزلند، فیلیپین و تایلند کاملاً کارا هستند. پیشنهاد می‌شود هر کشوری که نظام ملی نوآوری ناکارایی دارد، برای بهبود عملکرد خود در هر مرحله و کارا شدن، مازاد ورودی‌های تعیین شده خود را که در ستون‌های سوم تا پنجم جدول ۱ آمده است، کاهش دهد و به بهبود عملیات خود برای رسیدن به مرز کارایی اقدام کنند.

برای انجام تحقیقات بیشتر، پیشنهاد می‌شود که با اعمال محدودیت وزن‌ها، ابتدا تغییرات مدل شبکه‌ای بررسی شود؛ سپس مسئله با استفاده از آن بار دیگر حل شده و کارایی واحدها در هر مرحله با هم مقایسه شود. استفاده از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای برای محاسبه کارایی نظام ملی نوآوری کشورهای هر منطقه یا مناطقی که از نظر فرهنگی یا سیاسی و اجتماعی تناسب و اشتراک بیشتری با هم دارند، پیشنهاد دیگری برای تحقیقات در آینده است.

### فهرست منابع

- شهریاری، س.؛ رضوی، م.؛ اصغری زاده، ع. (۱۳۹۲). تحلیل پوششی داده‌های فازی و رویکرد نوین FIEP/AHP جهت رتبه‌بندی کامل واحدهای تصمیم‌گیرنده (مطالعه موردی: دانشکده‌های علوم انسانی دانشگاه تهران). مدیریت صنعتی، ۵(۱)، ۴۲-۲۱.
- Cai, Y. (2011). Factors affecting the efficiency of the BRICSS' national innovation systems: A comparative study based on DEA and Panel Data Analysis. *Economics (open eJournal), Economics Discussion Papers*, No. 2011-52.
- Carlsson, B., Jacobsson, S., & Rickne, A. (2002). *Innovation systems: analytical and methodological issues. Research policy*, 31(2), 233-245.
- Castellacci, F., & Natera, J. M. (2013). The dynamics of NIS: a panel cointegration analysis of the coevolution between innovative capability and absorptive capacity. *Research Policy*, 42(3), 579-594.
- Chen, C. P., Hu, J. L., & Yang, C. H. (2011). An international comparison of R&D efficiency of multiple innovative outputs: The role of the national innovation system. *Innovation*, 13(3), 341-360.
- Chen, C., & Yan, H. (2011). *Network DEA model for supply chain performance evaluation. European Journal of Operational Research*, 213(1), 147-155.
- Costa, R. (2012). Assessing intellectual capital efficiency and productivity: An application to the Italian yacht manufacturing sector. *Expert Systems with Applications*, 39(8), 7255-7261.

- Cullmann, A., Schmidt-Ehmcke, J., & Zloczysti, P. (2009). Innovation, R&D efficiency and the impact of the regulatory environment: A two-stage semi-parametric DEA approach. German Institute for Economic Research, *Discussion paper* №. 883: Berlin, May 2009.
- Färe, R. & Grosskopf, S. (2000). Network DEA. *Socio-Economic Planning Sciences*, 34(1), 35–49.
- Guan, J., & Chen, K. (2012). Modeling the relative efficiency of national innovation systems. *Research Policy*, 41(1), 102-115.
- Ivanova, I. (2014). Quadruple helix systems and symmetry: a step towards helix innovation system classification. *Journal of the Knowledge Economy*, 5(2), 357-369.
- Kao, C. (2016). Efficiency decomposition and aggregation in network DEA. *European Journal of Operational Research*, 255(3), 778-786.
- Kao, C. (2009). Efficiency decomposition in network DEA: A relational model. *European Journal of Operational Research*, 192(3), 949–962.
- 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.
- Kou, M., Chen, K., Wang, S., & Shao, Y. (2016). Measuring efficiencies of multi-period and multi-division systems associated with DEA: an application to OECD countries' NIS. *Expert Systems*, 46, 494-510.
- Kravtsova, V., & Radosevic, S. (2012). Are systems of innovation in Eastern Europe efficient? *Economic Systems*, 36(1), 109-126.
- Lindberg, M., Lindgren, M., & Packendorff, J. (2014). Quadruple Helix as a way to bridge the gender gap in entrepreneurship: the case of an innovation system project in the Baltic Sea region. *Journal of the Knowledge Economy*, 5(1), 94-113.
- Liu, J. S., Lu, L. Y., & Lu, W. M. (2016). Research fronts in data envelopment analysis. *Omega*, 58, 33-45.
- Liu, J. S., Lu, W. M., & Ho, M. H. C. (2015). National characteristics: innovation systems from the process efficiency perspective. *R&D Management*, 45(4), 317-338.
- Liu, X., & Buck, T. (2007). Innovation performance and channels for international technology spillovers: Evidence from Chinese high-tech industries. *Research Policy*, 36(3), 355-366.

- Mahroum, S., AlSaleh, Y. (2013). Towards a functional framework for measuring national innovation efficacy. *Technovation*, 33(10), 320-332.
- Matei, M. M., & Aldea, A. (2012). Ranking national innovation systems according to their technical efficiency. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 62, 968-974.
- Pan, W., Hung, W., & Lu, M. (2010). DEA performance measurement of the NIS in Asia and Europe. *Asia-Pacific of OR*, 27(03), 369-392.
- Shahriari, S., Razavi, M. & Asgharizadeh, A. (2013). Fuzzy DEA and new approach FIEP/AHP units for the full ranking decision makers: A Case Study of Humanities Faculty of Tehran University. *Industrial Management Journal*, 5(1), 21-42. (in Persian)
- Sharma, S., Thomas, V. (2008). Inter-country R&D efficiency analysis: An application of DEA. *Scientometrics*, 76(3), 483-501.
- Tone, K. & Tsutsui, M. (2009). Network DEA: a slacks-based measure approach. *European Journal of Operational Research*, 197(1), 243-252.
- Wang, Y., Vanhaverbeke, W., & Roijackers, N. (2012). Exploring the impact of open innovation on NIS-A theoretical analysis. *Technological Forecasting and Social Change*, 79(3), 419-428.
- Yun, J. (2017). Open Innovation Policy in National Innovation System. *In Business Model Design Compass* (pp. 49-60). Springer Singapore.