

ارزیابی عملکرد نوآورانه شرکت‌های دانش‌بنیان با استفاده از تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای - رویکرد تئوری بازی

سید مصطفی رضوی^۱، سلطانه‌لی شهریار^۲، محمود احمدپور داریانی^۳

چکیده: ارزیابی عملکرد و اندازه‌گیری کارایی شرکت‌های تولیدکننده نرم‌افزار به‌عنوان مجموعه‌ای از شرکت‌های دانش‌بنیان و مقایسه آن‌ها با توجه به نامشخص بودن فرایندهای درونی و مراحل مشترک بین آن‌ها و نادیده انگاشتن این فرایندها به‌وسیله مدل‌های مرسوم تحلیل پوششی داده‌ها و نیز چگونگی در نظر گرفتن این فرایندها در محاسبه کارایی از مسائلی هستند که این مقاله در پی بررسی آن‌هاست. هدف تعیین مراحل و فرایندهای درونی مشترک اجرای فعالیت‌های نوآورانه در این شرکت‌ها و سنجش کارایی مراحل و کارایی کل هر شرکت در یک دوره چهارساله است. از بررسی ادبیات و مصاحبه با خبرگان مشخص شد که همه شرکت‌ها دارای دو مرحله متوالی تولید دانش و بهره‌برداری از آن هستند. برای تعیین کارایی کل و مراحل، از تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای-رویکرد نظریه بازی استفاده شده است. مدل‌سازی با روش رهبر-پیرو (بازی استاکل‌برگ) انجام گرفت. پس از حل نتایج نشان می‌دهد کارایی کل همه شرکت‌ها کمتر از یک است و در مرحله اول فقط دو شرکت از سی‌وهشت شرکت بررسی شده و در مرحله دوم فقط سه شرکت کاملاً کارا هستند.

واژه‌های کلیدی: بازی استاکل‌برگ، تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای، کارایی کل، کارایی مراحل، نظریه بازی.

۱. دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲. استادیار مدیریت کسب‌وکار، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

۳. دانشیار دانشکده کارآفرینی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۰۸/۰۸

تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۹۴/۰۲/۲۲

نویسنده مسئول مقاله: سلطانه‌لی شهریار

E-mail: sa_shahriari@yahoo.com

مقدمه

امروزه اهمیت حیاتی و نقش نوآوری در رشد و رونق اقتصادی و نیز حفظ و بقای سازمان‌ها در مقایسه با رقبا بر کسی پوشیده نیست. تعاریف متعددی از نوآوری بیان شده است (بارگه، رولی و سامبروک، ۲۰۰۹؛ فان‌هیپل، ۲۰۰۷؛ آناند، گاردنر و موریس، ۲۰۰۷). به اعتقاد هالت (۲۰۰۲)، نوآوری فرایندی است که با به‌کارگیری یک ایده خلاق و تبدیل آن به یک محصول، خدمت یا شیوه مفید سروکار دارد و عملکرد نوآورانه سازمان‌ها به مدیریت این فرایند وابسته است. سازمان‌ها برای رشد و نیز حفظ بقای خود در محیط متلاطم و پیچیده امروزی، به تغییر و بهبود محصولات و خدمات، روش‌ها و فرایندهای کاری خود از طریق نوآوری نیازمندند. چنین اقداماتی عملکرد نوآورانه سازمان‌ها به‌ویژه سازمان‌های دانش‌بنیان را در پی خواهد داشت. سازمان‌های دانش‌بنیان نظیر شرکت‌های تولیدکننده نرم‌افزار می‌توانند با اقدامات خلاقانه و عملکرد نوآورانه از طریق خلق دانش، انتشار و بهره‌برداری از آن به‌عنوان یکی از ارکان اساسی حرکت اقتصاد یک جامعه از اقتصاد عامل محور به اقتصاد دانش محور نقشی بی‌بدیل ایفا کنند (آناند، گاردنر و موریس، ۲۰۰۷). یکی از مهم‌ترین مسائلی که مدیران سازمان‌های مختلف، به‌ویژه سازمان‌های دارای رقیب با آن مواجه‌اند، سنجش عملکرد و میزان توفیق آن‌ها نسبت به این رقباست (کاستا، ۲۰۱۲؛ کائو، ۲۰۰۹ الف). سنجش عملکرد (نوآورانه) و میزان توفیق یا عدم توفیق یک سازمان نسبت به سازمان‌های مشابه یا رقیب همواره از اهمیت و ضرورت خاصی برای مدیران سازمان‌ها و نیز پژوهشگران حوزه‌های علوم سازمانی برخوردار بوده است (تون و تسوتسوی، ۲۰۰۹؛ دو، لیانگ، چن، کوک و ژو، ۲۰۱۱). نادیده انگاشتن فرایندهای درونی یک سازمان در ارزیابی عملکرد و سنجش میزان کارایی آن مسئله‌ای اساسی است که امروزه مدل‌های مرسوم تحلیل پوششی داده‌ها به‌طور جدی با آن مواجه‌اند (فار و گراسکف، ۲۰۰۰؛ چن و یان، ۲۰۱۱). مسئله‌ای که این پژوهش در پی پاسخ به آن است، ارزیابی و سنجش عملکرد نوآورانه شرکت‌های دانش‌بنیان و نحوه و روش این ارزیابی و نیز تعیین مقدار کارایی هر مرحله و کارایی کل هر شرکت و ضعف مدل‌های مرسوم تحلیل پوششی داده‌ها در این زمینه است. بنابراین هدف تحقیق را می‌توان سنجش عملکرد نوآورانه و تعیین مقدار کارایی کل هر شرکت و کارایی هر مرحله از فرایندهای درونی آن و بیان پیشنهادهایی برای بهبود عملکرد بر مبنای مقادیر به‌دست‌آمده دانست. برای تعیین مراحل از بررسی ادبیات تحقیق و نظر خبرگان استفاده شده و دو مرحله متوالی فعالیت، یعنی خلق دانش و بهره‌برداری از آن به‌عنوان مراحل اجرای فعالیت‌های مشترک هر شرکت در نظر گرفته شد. برای تعیین مقادیر کارایی هر مرحله و نیز کارایی کل هر

شرکت از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای-رویکرد تئوری بازی^۱ استفاده شده است. از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای (NDEA) در زمینه‌های مختلفی نظیر ارزیابی کارایی شعب بانک (سیفورد و ژو، ۱۹۹۹)، بیمه (لیانگ، کوک و ژو، ۲۰۰۸؛ کائو و هوانگ، ۲۰۰۸؛ دو و همکاران، ۲۰۱۱)، حمل‌ونقل (یو و لین، ۲۰۰۸)، مراکز تحقیقاتی (لی، چن، لیانگ و زی‌یه، ۲۰۱۲)، زنجیره تأمین (چن و یان، ۲۰۱۱) و لیگ بیس‌بال (سکستون و لوئیس، ۲۰۰۳) به‌طور تجربی استفاده شده است؛ اما در زمینه ارزیابی شرکت‌های دانش‌بنیان صنعت نرم‌افزار استفاده نشده است. با توجه به خلأ و کمبود پژوهش‌های کاربردی و عملی با استفاده از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای، این تحقیق می‌تواند نقطه آغاز چنین تحقیقاتی در حوزه شرکت‌های تولیدکننده نرم‌افزار باشد.

رشد شرکت‌ها و مؤسسات دانش‌بنیان در پی افزایش رشد اهمیت اقتصادی دانش به‌گونه‌ای که امروزه بسیاری از فعالیت‌های اقتصادی، دانش‌گرا و مبتنی بر نوآوری شده‌اند، و نیز ضرورت ارزیابی عملکرد چنین شرکت‌هایی با توجه به تأثیر آن‌ها در تولید و بهره‌برداری از دانش از مهم‌ترین دلایل اجرای این پژوهش است. بنابراین از آنجاکه این پژوهش، کاربردی است، نوآوری آن را می‌توان در به‌کارگیری مدل‌های NDEA و استفاده از این مدل‌ها برای حل یک مسئله کاربردی دانست. همچنین این پژوهش با بررسی جامع مطالعات مربوط به NDEA و طبقه‌بندی مدل‌های مختلف در این زمینه می‌تواند در شناخت عمیق‌تر این مدل‌ها به پژوهشگران کمک کند. در بخش‌های بعد ابتدا مروری بر مدل‌های NDEA و طبقه‌بندی آن‌ها خواهیم کرد. در این میان دو روش نظریه بازی به مدل‌های NDEA یعنی مدل‌های همکاری یا کنترل متمرکز و مدل‌های عدم همکاری (رهبر-پیرو) یا بازی استاکل‌برگ به‌طور کامل تشریح و مراحل فعالیت یک شرکت مشخص شده است و مدل‌سازی ریاضی بر این اساس شرح داده خواهد شد. در نهایت یافته‌های پژوهش و نتایج و پیشنهادها بیان می‌شود.

پیشینه پژوهش

تحلیل پوششی داده‌ها، روشی ناپارامتریک است که با فرض اصول موضوعه تولید، به ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده که هر یک دارای چندین ورودی و چندین خروجی است، می‌پردازد. مدل CCR به‌عنوان مدل اولیه DEA با فرض ثابت بودن بازده به مقیاس به محاسبه کارایی واحدها می‌پردازد. هرگاه بازده به مقیاس ثابت نباشد، مدل CCR توانایی محاسبه کارایی را ندارد؛ به همین علت بنکر، چارنز و کوپر در سال ۱۹۸۴ برای رفع این مشکل مدل BCC را که

در آن بازده به مقیاس می‌تواند متغیر (ثابت، افزایشی یا کاهششی) باشد مطرح کرده‌اند. شایان ذکر است که مدل‌های CCR و BCC هرکدام می‌تواند در فرم مضربی یا پوششی با ورودی محور یا خروجی محور باشد (کوپر، سیفورد و تون، ۲۰۰۷).

تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای

مدل‌های مرسوم DEA واحدهای تصمیم‌گیرنده را جعبه‌های سیاهی می‌انگارند و ساختار درونی آن‌ها را در نظر نمی‌گیرند (لی، چن، لیانگ و زی‌یه، ۲۰۱۲). به‌همین دلیل فار در سال ۱۹۹۱ و نیز فار و گراسکف در سال ۱۹۹۶ براساس تحقیق نیشی‌میزو و هالتن (۱۹۷۸) برای غلبه بر این مشکل و سهل‌انگاری در محاسبه کارایی، مبحث تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای را مطرح کردند. آنها معتقدند که مدل‌های مرسوم DEA فرایندهای سازمانی واحدهای تصمیم‌گیرنده را در بررسی‌های خود نادیده می‌انگارند و به سازمان‌ها و واحدهای تصمیم‌گیرنده به‌عنوان جعبه سیاهی می‌نگرند که در آن‌ها ورودی‌ها به خروجی‌هایی تبدیل می‌شود و ساختار درونی این واحدها در ارزیابی لحاظ نمی‌شود؛ درحالی‌که برای کمک به بهبود عملکرد لازم است فرایندهای مختلف سازمان در مراحل مختلف بررسی شده و بخش‌های موفق از ناموفق متمایز شود (فار و گراسکف، ۲۰۰۰). شایان ذکر است که تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای بیشتر با اثر مشهور فار و گراسکف در مقاله‌ای با عنوان «تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای» به جامعه علمی معرفی شده است؛ اگرچه پیش از آن تحقیقاتی توسط فار (۱۹۹۱)، فار و گراسکف (۱۹۹۶) و لاتگرن و تامبور (۱۹۹۹) انجام گرفته است؛ اما منظور از شبکه که توسعه مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای بر مبنای آن صورت گرفته است، چیست؟ برای پاسخ به این پرسش، به بررسی روند توسعه این مدل‌ها و طبقه‌بندی آن‌ها پرداخته می‌شود که ضمن آن، شناخت عمیق‌تری از این مدل‌ها نیز حاصل می‌شود. مدل‌های NDEA را می‌توان به صورت‌های مختلفی طبقه‌بندی کرد. در این پژوهش این مدل‌ها از دو دیدگاه طبقه‌بندی شده‌اند:

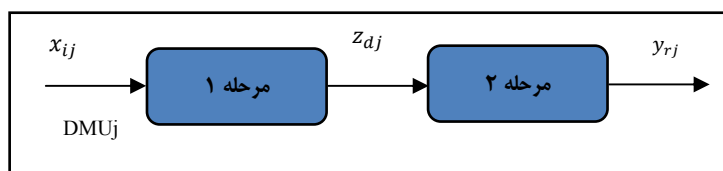
الف) طبقه‌بندی براساس ساختار شبکه و نوع فرایند واحدهای تصمیم‌گیرنده

پژوهشگران در پژوهش‌های خود ساختارهای متفاوتی از واحدهای تصمیم‌گیرنده مورد بررسی را گزارش کرده و آن را به‌عنوان یک شبکه در نظر گرفته‌اند؛ بنابراین شبکه‌ها را می‌توان به صورت‌های مختلف طبقه‌بندی کرد. در یک طبقه‌بندی آن‌ها را می‌توان به سه دسته کلی ۱. سری یا متوالی (کائو، ۲۰۰۹ الف؛ چن، کوک، کائو و ژو، ۲۰۱۲)؛ ۲. موازی (کائو، ۲۰۰۹ ب؛ کوک، ژو، بی و یانگ، ۲۰۱۰)؛ ۳. ارتباطی (فار، گراسکف و ویتاکر، ۲۰۰۷) یا ساختاری با بخش‌های مختلف که با هم در تعامل اند (تون و تسوتسوی، ۲۰۰۹؛ فوکویاما و میردهقان، ۲۰۱۲)

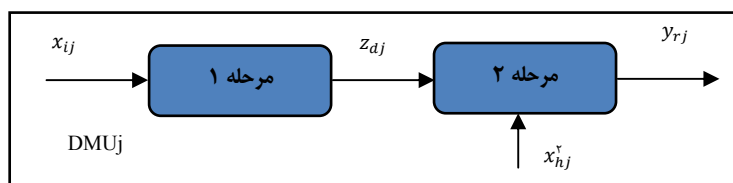
تقسیم کرد (شهریاری، ۱۳۹۲). در زیر مدل‌های NDEA مطرح‌شده برای ارزیابی کارایی مراحل و کارایی کل ساختارهای سری که مرتبط با موضوع این مقاله است، بررسی می‌شود.

ساختار سری یا متوالی: ساختار سری می‌تواند دارای دو مرحله یا چند مرحله متوالی باشد. در عمل بسیاری از تحقیقات برای ارزیابی عملکرد واحدهای تصمیم‌گیرنده‌ای چون شعبات بانک‌ها، سازمان‌های بیمه و مراکز تحقیق و توسعه از ساختار سری دومرحله‌ای استفاده کرده‌اند.

۱. سری دومرحله‌ای: در ساختارهای شبکه‌ای دومرحله‌ای هر واحد دارای خروجی‌هایی در مرحله اول است که ورودی‌های مرحله دوم‌اند. به خروجی‌های مرحله اول که خود به‌عنوان ورودی‌های مرحله دوم به کار می‌روند، معیارهای میانی گفته می‌شود. شکل‌های ۱ و ۲، دو حالت مختلف از یک ساختار متوالی دومرحله‌ای را نشان می‌دهند. سیفورد و ژو (۱۹۹۹) یک ساختار شبکه‌ای دومرحله‌ای را برای ارزیابی سودآوری و بازارپذیری بانک‌های تجاری آمریکا به کار گرفته‌اند. در این پژوهش آن‌ها از مدل‌های مرسوم DEA استفاده کرده‌اند که تعارض بالقوه ناشی از معیارهای میانی فرایند دومرحله‌ای را نشان نمی‌دهد. برای مثال مرحله دوم برای رسیدن به حالت کارا باید ورودی‌هایش (معیارهای میانی) را کاهش دهد. این اقدام به کاهش خروجی‌های مرحله اول و در نهایت کاهش کارایی این مرحله منجر می‌شود (تون و تسوتسوی، ۲۰۰۹). همچنین کائو و هوانگ (۲۰۰۸) با در نظر گرفتن ساختاری دومرحله‌ای مانند شکل ۱ برای شرکت‌های بیمه، با ارائه مدل‌هایی به ارزیابی عملکرد این شرکت‌ها پرداخته‌اند. لی، چن، لیانگ و زی‌یه (۲۰۱۲) نیز با اضافه کردن ورودی‌های خاص مرحله دوم مطابق با شکل ۲ عملکرد مراکز R&D را ارزیابی کرده‌اند.

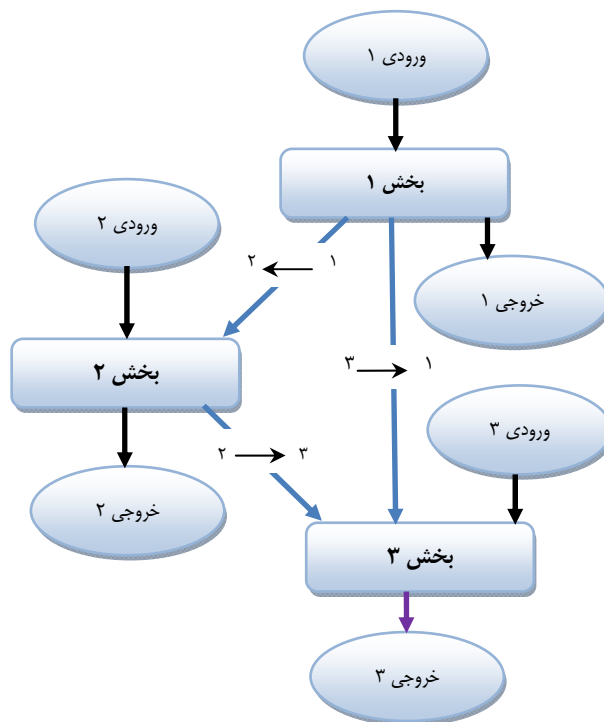


شکل ۱. فرایند دو مرحله‌ای واحد زام (لی، چن، لیانگ و زی‌یه، ۲۰۱۲)



شکل ۲. فرایند دومرحله‌ای واحد زام با ورودی خاص مرحله دوم (لی، چن، لیانگ و زی‌یه، ۲۰۱۲)

اکنون در زیرمدل‌های مختلف تحلیل پوششی داده‌ها برای سنجش کارایی فرایند یا ساختار شبکه‌ای دو مرحله‌ای، بررسی می‌شود. این مدل‌ها را می‌توان به چهار گروه زیر طبقه‌بندی کرد. ۱-۱. رویکرد تحلیل پوششی داده‌های استاندارد: برای محاسبه کارایی سازمان‌های دو یا چندبخشی با استفاده از مدل‌های DEA استاندارد، دست‌کم دو روش وجود دارد: الف) روش ترکیب (جعبه سیاه): این روش که همان روش سنتی یا مرسوم است عبارت است از ترکیب و یکی کردن بخش‌ها و فرایندهای یک واحد تصمیم‌گیرنده با استفاده از جمع کردن بخش‌های مختلف و دیدن آن‌ها به صورت یک شرکت (بخش) واحد، که برای مثال در شکل ۳ از ورودی‌های بخش‌های یک، دو و سه برای تولید خروجی‌های یک، دو و سه استفاده می‌کند. استفاده از این روش به مفهوم نادیده گرفتن فعالیت‌های ارتباطی است و بنابراین نمی‌توان تأثیر ناکارایی یک بخش خاص را بر کارایی کل شرکت ارزیابی کرد. به علاوه ممکن است این مدل یک زوج ورودی-خروجی نامتناسب را برای ارزیابی انتخاب کند و یک مقدار کارایی غیرمنطقی به واحد تخصیص دهد.



شکل ۳. ساختاری سه‌بخشی (تون و تسوتسوی، ۲۰۰۹)

ب) روش جداگانه

دومین روش، روش جداگانه در نظر گرفتن هر بخش و ارزیابی آن با ورودی‌ها و خروجی‌های آن بخش است. در یک شبکه سه‌بخشی نظیر شکل ۳، بخش اول هر واحد با ورودی‌ها و خروجی‌های این بخش و فعالیت یا فعالیت‌های ارتباطی (۱→۲) نسبت به سایر واحدها ارزیابی می‌شود. کارایی بخش دوم هر شرکت نیز با در نظر گرفتن ورودی‌های دوم و فعالیت یا فعالیت‌های ارتباطی (۱→۲) به‌عنوان ورودی و خروجی دوم و فعالیت یا فعالیت‌های ارتباطی (۲→۳) به‌عنوان خروجی به‌دست می‌آید. در این روش می‌توان کارایی هر بخش از یک واحد از مجموعه واحدهای تصمیم‌گیرنده را محاسبه کرد و بنابراین پنج‌مارک‌هایی را برای هر بخش به‌دست آورد؛ اما به‌دلیل آنکه این رویکرد پیوستگی ارتباطات میان بخش‌ها را در نظر نمی‌گیرد، نمی‌توان با استفاده از آن کارایی کل را به‌دست آورد (تون و تسوتسوی، ۲۰۰۹).

۱-۲. رویکرد تجزیه کارایی: در این رویکرد، کارایی کل هر واحد برابر است با الف) حاصل ضرب کارایی مرحله اول در کارایی مرحله دوم؛ ب) نصف مجموع کارایی دو مرحله (کائو و هوانگ، ۲۰۰۸؛ کوک، ژو، بی و یانگ، ۲۰۱۰؛ لی، چن، لیانگ و زی‌یه، ۲۰۱۲؛ شهریاری، ۱۳۹۲).

۱-۳. رویکرد تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای: از مجموعه امکان تولید برای ساخت مدل‌های شبکه‌ای استفاده می‌کند (تون و تسوتسوی، ۲۰۰۹؛ فوکویاما و میردهقان، ۲۰۱۲؛ شهریاری، ۱۳۹۲).

۱-۴. رویکرد نظریه بازی: فرض کنید که n واحد تصمیم‌گیرنده با ساختار دومرحله‌ای مطابق با شکل ۲ داریم. مرحله اول دارای m ورودی $(x_{ij}, i=1,2,\dots,m)$ و D خروجی $(z_{dj}, d=1,2,\dots,D)$ است. این D خروجی را که در عین حال بخشی از ورودی‌های مرحله دوم یعنی z_{dj} هستند معیار میانی نیز می‌گویند. همچنین مرحله دوم دارای H ورودی $(x_{hj}, h=1,2,\dots,H)$ دیگر است که با پردازش بر روی آن‌ها s خروجی $(y_{rj}, r=1,2,\dots,s)$ را تولید می‌کند. در این رویکرد برای به‌دست آوردن کارایی کل از دو روش زیر استفاده می‌شود.

۱-۴-۱. همکاری یا کنترل متمرکز: لی، چن، لیانگ و زی‌یه (۲۰۱۲) یک رویکرد متمرکز برای تحلیل عملکرد ساختارهای شبکه‌ای دومرحله‌ای مطرح کرده و کارایی کل را حاصل ضرب کارایی دو مرحله تعریف کرده‌اند. براساس مدل‌های کسری CCR برای شکل ۲ می‌توان نوشت:

رابطه (۱)

$$\theta^{cen} = \text{Max} \theta_1^o \times \theta_2^o = \text{Max} \frac{\sum_{d=1}^D w_d z_{do}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io}} \times \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{ro}}{\sum_{d=1}^D w_d z_{do} + \sum_{h=1}^H Q_h x_{ho}^2}$$

$$\text{s.t.} \frac{\sum_{d=1}^D w_d z_{dj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1, \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{d=1}^D w_d z_{dj} + \sum_{h=1}^H Q_h x_{hj}^2} \leq 1, \forall j, j = 1, 2, \dots, n$$

$$v_i, u_r, w_d, Q_h \geq 0 \quad \forall i, r, d, h$$

به دلیل وجود ورودی‌های اضافی در مرحله دوم، مدل بالا را نمی‌توان به برنامه‌ریزی خطی تبدیل کرد. نویسندگان مقاله راه حلی ابتکاری به شرح زیر برای رفع این مشکل مطرح می‌کنند؛ مدل زیر را در نظر بگیرید:

رابطه (۲)

$$\theta_1^{oMax} = \text{Max} \frac{\sum_{d=1}^D w_d z_{do}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io}}$$

$$\text{s.t.} \frac{\sum_{d=1}^D w_d z_{dj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1, \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{d=1}^D w_d z_{dj} + \sum_{h=1}^H Q_h x_{hj}^2} \leq 1, j = 1 \dots n$$

$$v_i, u_r, w_d, Q_h \geq 0 \quad \forall i, r, d, h$$

در این مدل، مجموعه قیود همان قیود مدل ۱ است که برای اطمینان از فراتر نرفتن کارایی مرحله اول و مرحله دوم از یک اضافه شده‌اند. با استفاده از این مدل حداکثر کارایی برای مرحله اول به دست می‌آید و کارایی مرحله اول باید بین صفر و این حداکثر مقدار قرار گیرد. یعنی $\theta_1^o \in [0, \theta_1^{oMax}]$ مدل ۲ غیرخطی است؛ اما با استفاده از تبدیل چارنز-کوپر می‌توان آن را به برنامه‌ریزی خطی (پارامتری) تبدیل کرد:

رابطه (۳)

$$\theta_1^{oMax} = \text{Max} \sum_{d=1}^D w_d z_{do}$$

$$\text{s.t.} \sum_{i=1}^m v_i x_{io} = 1, \sum_{d=1}^D w_d z_{dj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{d=1}^D w_d z_{dj} - \sum_{h=1}^H Q_h x_{hj}^2 \leq 0, j = 1, 2, \dots, n$$

$$v_i, u_r, w_d, Q_h \geq 0 \quad \forall i, r, d, h$$

بنابراین کارایی مرحله اول می‌تواند متغیری در فاصله $[\theta_1^o, \theta_1^{oMax}]$ در نظر گرفته شود و کارایی کل که با علامت θ_1^{cen} نشان داده شده تابعی است از θ_1^o ؛ از این رو مدل ۱ را می‌توان به صورت زیر نوشت:

رابطه (۴)

$$\theta^{cen} = \text{Max} \theta_1^o \times \frac{\sum_{r=1}^S u_r y_{ro}}{\sum_{d=1}^D w_d z_{do} + \sum_{h=1}^H Q_h x_{ho}^2}$$

$$s.t. \frac{\sum_{d=1}^D w_d z_{dj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1, \quad \frac{\sum_{r=1}^S u_r y_{rj}}{\sum_{d=1}^D w_d z_{dj} + \sum_{h=1}^H Q_h x_{hj}^2} \leq 1, \forall j, j = 1, 2, \dots, n$$

$$\frac{\sum_{d=1}^D w_d z_{do}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io}} \leq \theta_1^o, \quad \theta_1^o \in [0, \theta_1^{oMax}]$$

$$v_i, u_r, w_d, Q_h \geq 0 \quad \forall i, r, d, h$$

این مدل غیرخطی است که با استفاده از تبدیل چارنز-کوپر به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\theta^{cen} = \text{Max} \theta_1^o \times \sum_{r=1}^S u_r y_{ro}$$

$$s.t. \sum_{d=1}^D w_d z_{do} + \sum_{h=1}^H Q_h x_{ho}^2 = 1, \sum_{d=1}^D w_d z_{dj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0$$

$$\sum_{r=1}^S u_r y_{rj} - \sum_{d=1}^D w_d z_{dj} - \sum_{h=1}^H Q_h x_{hj}^2 \leq 0, \quad \forall j, j = 1, 2, \dots, n \quad (\text{رابطه ۵})$$

$$\sum_{d=1}^D w_d z_{do} - \theta_1^o \times \sum_{i=1}^m v_i x_{io} = 0, \theta_1^o \in [0, \theta_1^{oMax}]$$

$$v_i, u_r, w_d, Q_h \geq 0 \quad \forall i, r, d, h$$

فرض کنید $\theta_1^o = \theta_1^{oMax} - k\Delta\epsilon, k = 0, 1, 2, \dots, [k^{max}] + 1$ باشد که $\Delta\epsilon$ مقداری کوچک است و $[k^{max}]$ بزرگ‌ترین عدد صحیح کوچک‌تر یا مساوی $\frac{\theta_1^{oMax}}{\Delta\epsilon}$ است. اکنون با مشخص بودن مقدار θ_1^o می‌توان با استفاده از برنامه‌ریزی خطی مدل ۵ را حل کرد. برای حل این مدل ابتدا با کمترین مقدار k یعنی صفر شروع کرده و به تدریج مقدار آن را زیاد می‌کنیم و برای هر مقدار آن یک بار این مدل حل می‌شود (لی، چن، لیانگ و زی‌یه، ۲۰۱۲).

۱-۴-۲. عدم همکاری (رهبر-پیرو): در این مدل که آن را کنترل نامتمرکز یا بازی استاکل‌برگ نیز می‌نامند ابتدا کارایی مرحله رهبر (مرحله‌ای که برای ما مهم‌تر است برای مثال

مرحله اول) را به دست می آوریم سپس برای به دست آوردن کارایی مرحله پیرو (در اینجا مرحله دوم) باید کارایی مرحله اول را ثابت نگه داریم و به صورت یک قید به مدل اضافه کنیم به عبارت دیگر کارایی مرحله دوم (پیرو) را به گونه ای به دست می آوریم که کارایی مرحله رهبر (اول) تغییر نکند. کارایی مرحله اول (رهبر) با استفاده از مدل CCR به دست می آید.

$$e_1^o = \text{Max} \sum_{d=1}^D w_d z_{do}$$

$$\text{s.t.} \sum_{i=1}^m v_i x_{io} = 1, \sum_{d=1}^D w_d z_{dj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, j = 1, 2, \dots, n \quad (\text{رابطه ۶})$$

$$v_i, u_r, w_d \geq 0 \quad \forall i, r, d$$

اگر $e_1^{o*}, v_i^*, u_r^*, w_d^*$ مقادیر بهینه مرحله اول باشد چون دو مرحله توسط معیارهای میانی به هم مرتبطاند، با توجه به مقادیر v_i^*, w_d^* (که ممکن است یکتا نباشند) کارایی مرحله دوم (پیرو) با استفاده از مدل زیر به دست می آید:

(رابطه ۷)

$$e_2^o = \text{Max} \frac{\sum_{r=1}^S u_r y_{ro}}{\sum_{d=1}^D w_d z_{do} + \sum_{h=1}^H Q_h x_{ho}^2}$$

$$\text{s.t.} \frac{\sum_{d=1}^D w_d z_{dj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1, \frac{\sum_{r=1}^S u_r y_{rj}}{\sum_{d=1}^D w_d z_{dj} + \sum_{h=1}^H Q_h x_{hj}^2} \leq 1, \quad \forall j, j = 1, 2, \dots, n$$

$$\frac{\sum_{d=1}^D w_d z_{do}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io}} = e_1^{o*}, v_i, u_r, w_d, Q_h \geq 0 \quad \forall i, r, d, h$$

در این مدل کارایی مرحله دوم با ثابت نگه داشتن کارایی مرحله اول بهینه می شود. این مدل می تواند به شکل زیر تبدیل شود:

(رابطه ۸)

$$e_2^o = \text{Max} \sum_{r=1}^S u_r y_{ro}$$

$$\text{s.t.} \sum_{d=1}^D w_d z_{do} + \sum_{h=1}^H Q_h x_{ho}^2 = 1, \sum_{d=1}^D w_d z_{dj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0$$

$$\sum_{r=1}^S u_r y_{rj} - \sum_{d=1}^D w_d z_{dj} - \sum_{h=1}^H Q_h x_{hj}^2 \leq 0, \quad \forall j, j = 1, 2, \dots, n$$

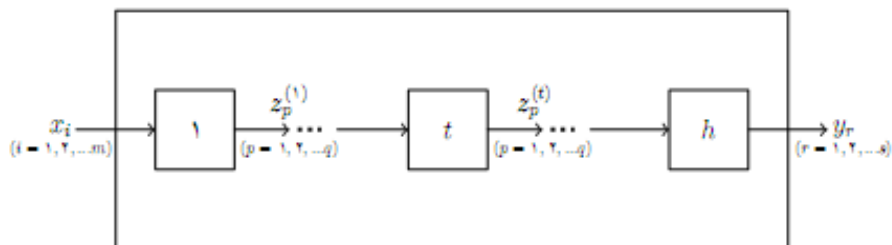
$$\sum_{d=1}^D w_d z_{do} - e_1^{o*} \times \sum_{i=1}^m v_i x_{io} = 0, v_i, u_r, w_d, Q_h \geq 0, \forall i, r, d, h$$

با محاسبه e_2^{o*} کارایی کل سیستم از رابطه ۹ به دست می‌آید (لی، چن، لیانگ و زی‌یه، ۲۰۱۲):

$$e^{non*} = e_1^{o*} \times e_2^{o*} \quad \text{رابطه ۹}$$

به غیر از رویکرد مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های استاندارد سه رویکرد دیگر در تلاش برای حل تعارض ذکر شده‌اند (شهریاری، ۱۳۹۲).

۲. سری چندمرحله‌ای: یک سیستم سری با h فرایند همانند شکل ۴ است. فرض کنید که x_{ij} و y_{ij} به ترتیب ورودی‌ها و خروجی‌های کل سیستم باشند و z_{pj}^t به عنوان p امین محصول میانی $p = 1, 2, \dots, q$ از مرحله t ام ($t = 1, 2, \dots, h-1$) واحد تصمیم‌گیرنده j ام باشد. محصولات میانی مرحله t خروجی‌های مرحله t ام و ورودی‌های مرحله $(t+1)$ ام هستند. توجه شود که محصولات میانی آخرین مرحله یعنی مرحله h همان خروجی‌های سیستم هستند. تعداد محصولات میانی یعنی q در هر مرحله می‌تواند متفاوت باشد، اما در اینجا برای سهولت علامت‌گذاری یکی فرض شده است. علامت w_i^p اهمیت یا مضرب مربوط به محصول میانی p ام مرحله t است.



شکل ۴. ساختار سری یا متوالی (کائو، ۲۰۰۹ الف)

کارایی سیستم k ام یا DMU_k با استفاده از مدل ۱۰ که تعمیمی از مدل کائو و هوانگ (۲۰۰۸) است به دست می‌آید. محدودیت دوم این مدل مربوط به کل سیستم است. محدودیت‌های سوم تا پنجم مربوط به h مرحله است. شایان ذکر است جمع محدودیت‌های مراحل یک واحد تصمیم‌گیرنده یعنی مجموعه قیود دوم تا پنجم برابر با قید کل سیستم است. بنابراین محدودیت مربوط به سیستم زاید است و می‌تواند حذف شود.

رابطه ۱۰)

$$E_k = \text{Max} \sum_{r=1}^s u_r y_{rk}$$

$$s.t. \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} = 1, \quad \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0$$

$$\sum_{p=1}^q w_p^{(1)} z_{pj}^{(1)} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, \quad \sum_{p=1}^q w_p^{(t)} z_{pj}^{(t)} - \sum_{p=1}^q w_p^{(t-1)} z_{pj}^{(t-1)} \leq 0$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rk} - \sum_{p=1}^q w_p^{(h-1)} z_{pj}^{(h-1)} \leq 0$$

$$v_i, u_r, w_p^t \geq 0, \quad i = 1, \dots, m; r = 1, \dots, s; \quad p = 1, \dots, h$$

کارایی مراحل: فرض کنید $v_i^*, u_r^*, w_p^{(t)*}$ مقادیر بهینه مدل ۱۰ باشند، کارایی هر یک از مراحل واحد k به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$E_k^{(1)} = \frac{\sum_{p=1}^q w_p^{(1)*} z_{pk}^{(1)}}{\sum_{i=1}^m v_i^* x_{ik}}, \quad E_k^{(t)} = \frac{\sum_{p=1}^q w_p^{(t)*} z_{pj}^{(t)}}{\sum_{p=1}^q w_p^{(t-1)*} z_{pk}^{(t-1)}}$$

رابطه ۱۱)

$$E_k^{(h)} = \frac{\sum_{r=1}^s u_r^* y_{rk}}{\sum_{p=1}^q w_p^{(h-1)*} z_{pk}^{(h-1)}}$$

حاصل ضرب کارایی مراحل یعنی $E_k^{(t)}$, $t = 1, 2, \dots, h$ برابر است با مقدار زیر که کارایی کل سیستم را نشان می‌دهد.

$$E_k^* = \frac{\sum_{r=1}^s u_r^* y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_i^* x_{ik}}$$

که کارایی کل سیستم است. در مدل ۱۰، چنانچه قیود سوم تا پنجم حذف شوند، مدل CCR به دست می‌آید. کاملاً واضح است که E_k محاسبه شده از مدل ۱۰ از E_k^{CCR} بیشتر نیست؛ چرا که مدل ۱۰ علاوه بر محدودیت‌های مدل CCR دارای قیود اضافی مربوط به مراحل نیز است. بنابراین E_k^{CCR} بزرگ‌ترین مقدار ممکن برای E_k در مدل ۱۰ است.

ب) طبقه‌بندی بر اساس روش محاسبه کارایی شبکه

در یک دسته‌بندی کلی از مدل‌های NDEA می‌توان آن‌ها را به دو دسته مدل‌های مضرپی و پوششی طبقه‌بندی کرد. بررسی بیشتر این مدل‌ها از حوصله این بحث خارج است.

روش پژوهش

جان واکر (۱۹۹۸) در مقاله‌ای با عنوان «تعریف تئوری: راهنمای پژوهشی برای روش‌های تحقیق گوناگون ساخت تئوری در مدیریت عملیات» اقدام به بررسی انواع روش‌های تحقیق و طبقه‌بندی آن‌ها بر مبنای طبقه‌بندی علوم کرده است. او معتقد است در یک دسته‌بندی از علوم آن‌ها را می‌توان به دو دسته علوم تحلیلی (رسمی) و علوم تجربی که به ترتیب مبتنی بر استدلال‌های قیاسی و استقرایی‌اند، طبقه‌بندی کرد. وی علوم نظیر ریاضی، منطق و علوم کتابخانه‌ای را جزء علوم تحلیلی (رسمی)، و علوم نظیر شیمی، روان‌شناسی و تعلیم و تربیت را جزء علوم تجربی بر می‌شمارد؛ بر همین اساس روش تحقیق را نیز به دو دسته اصلی روش‌های تحقیق تحلیلی و روش‌های تحقیق تجربی تقسیم می‌کند. روش‌های تحقیق تحلیلی روش قیاسی را برای رسیدن به نتیجه به کار می‌گیرند. این روش‌ها خود شامل روش‌های منطقی، روش‌های ریاضی و روش‌های ریاضی-آماري‌اند. به عبارت دیگر، وی روش‌های تحقیق تحلیلی را شامل ۱. تحقیق تحلیلی مفهومی؛ ۲. تحقیق تحلیلی ریاضی و ۳. تحقیق تحلیلی آماری می‌داند. سه زیرگروه روش‌های تحقیق تحلیلی تفاوت‌های دقیق آن‌ها در به کارگیری منطق و ریاضیات را برای توسعه یک تئوری نشان می‌دهد. همچنین وی روش‌های تحقیق تجربی را برای تحقیقات مبتنی بر علوم تجربی به سه زیرگروه ۱. تحقیق تجربی آزمایشی؛ ۲. تحقیق تجربی آماری و ۳. تحقیق تجربی مطالعه موردی طبقه‌بندی می‌کند (واکر، ۱۹۹۸). با توجه به طبقه‌بندی بالا، روش تحقیق این مطالعه از نوع روش‌های تحقیق تحلیلی زیرگروه دوم یعنی تحقیق تحلیلی ریاضی است.

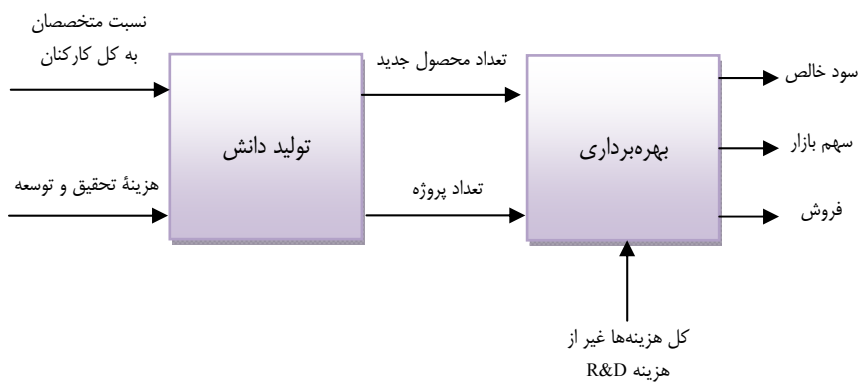
تعیین مراحل عملکردی شرکت‌های مورد بررسی

کارلسون، یاکوبسون، هولمن و ریکن (۲۰۰۲) معتقدند که یک سیستم فناورانه و مبتنی بر دانش دارای سه مرحله ایجاد، انتشار و استفاده از دانش است. آنان برای ارزیابی عملکرد این سیستم فناورانه در هر یک از این مراحل معیارهایی به شرح جدول ۱ مطرح می‌کنند.

جدول ۱. شاخص‌های ارزیابی عملکرد سیستم فناوری (کارلسون و همکاران، ۲۰۰۲)

تولید دانش	انتشار دانش	بهره‌برداری از دانش
تعداد ثبت اختراع	گزارش زمان‌بندی/مرحله توسعه	اشتغال
تعداد دانشمندان و مهندسان	تنظیم پذیرش فناوری	جابه‌جایی
تحرک (جابه‌جایی) متخصصان	تعداد مجوز پخش	رشد
تنوع فناورانه (تعداد رشته‌های فناوری)	-	دارایی مالی

لیو و باک (۲۰۰۷) سنجش عملکرد نوآورانه شرکت‌های دانش‌بنیان را شامل دو مرحله اکتشاف دانش و بهره‌برداری از دانش می‌دانند. گوآن و چن (۲۰۱۲) نیز با استفاده از یک مدل مضربی دومارحله‌ای اقدام به سنجش کارایی نوآوری سیستم ملی نوآوری تعدادی از کشورهای عضو سازمان توسعه و همکاری‌های اقتصادی (OECD) کرده‌اند. آن‌ها به NIS هر کشور به‌عنوان فرایندی متوالی نگرینسته که شامل فرایند تولید دانش و فرایند تجاری‌سازی دانش است. بنابراین برای محاسبه کارایی عملکرد نوآورانه شرکت‌های دانش‌بنیان در این پژوهش با توجه به موارد بیان‌شده و نیز بررسی ادبیات پژوهش، استفاده از نظر خبرگان دانشگاهی و مصاحبه با متخصصان صنعت تولید نرم‌افزار، مراحل فرایندی عملکرد تعیین شد. شکل ۵ این مراحل را نشان می‌دهد.



شکل ۵. مراحل عملکرد شرکت‌های تولیدکننده نرم‌افزار

به‌دلیل ماهیت پیچیده و چندوجهی بودن ورودی‌ها و خروجی‌های علم و فناوری بحث بهره‌وری در مفهوم دقیق و سنجش آن در سیستم‌های دانش‌بنیان و مبتنی بر نوآوری نیز پیچیده است. بنابراین کارایی و ناکارایی چنین سیستم‌هایی موضوعی کاملاً بحث‌برانگیز است (شریف، ۲۰۰۶؛ کراوتسوا و رادوشویچ، ۲۰۱۲). در هر صورت با توجه به بررسی ادبیات، مصاحبه با خبرگان دانشگاهی، خبرگان صنعت و نیز شکل بالا، عملکرد نوآورانه این شرکت‌ها شامل دو مرحله زیر است:

۱. **تولید دانش:** برای این مرحله دو ورودی منابع فردی و منابع مالی در نظر گرفته شد. منظور از منابع نیز دارایی‌های تحت مالکیت شرکت است که در دسترس و انتقال‌پذیرند (دوتا،

ناراسیمهان و راجیو، ۲۰۰۵). همچون کاستا (۲۰۱۲) از نسبت کارکنان متخصص به کل کارکنان برای سنجش منابع فردی استفاده شده است. برای به‌دست آوردن مقدار این ورودی برای هر شرکت ابتدا نسبت متخصصان در هر سال به کل کارکنان در آن سال به‌دست آمد؛ سپس میانگین هندسی این نسبت‌ها در طی دوره چهارساله محاسبه و به‌عنوان مقدار این ورودی در نظر گرفته شد. براساس مصاحبه با خبرگان صنعت تولید نرم‌افزار، منظور از متخصص، طراحان و برنامه‌نویسان فنی است. به‌عبارت دیگر منظور از کارکنان متخصص افرادی است که در طراحی و تولید نرم‌افزار تأثیر مستقیم دارند. از هزینه تحقیق و توسعه نیز به‌عنوان منابع مالی و ورودی این مرحله استفاده شد. بدین منظور ابتدا هزینه تحقیق و توسعه برای هر سال از ضرب درصد (این درصد با مصاحبه از مدیران ارشد هر سازمان به‌دست آمد) هزینه صرف‌شده برای این امر در آن سال محاسبه و سپس متوسط آن در طی چهار سال به‌دست آمد.

خروجی‌های مرحله اول خروجی فعالیت‌های تولید دانش و نوآوری شامل محصولات نظیر پتنت‌ها و مقالات، محسوسات نظیر تجهیزات و ماشین‌آلات برای مثال تجهیزات علمی و نیز گستره‌ای از دانش فنی، قابلیت‌ها و مهارت‌هاست (کراوتسوا و رادوشویچ، ۲۰۱۲). با بررسی‌های میدانی صورت‌گرفته، مصاحبه با مدیران شرکت‌های تولیدکننده نرم‌افزار و نیز متخصصان این صنعت مشخص شد که در این صنعت بحث ثبت اختراعات مطرح نیست، اما در عوض این شرکت‌ها با ثبت نرم‌افزار خود در شورای عالی انفورماتیک کشور اقدام به حفظ مالکیت خود می‌کنند که در بسیاری از موارد، این کار نیز نه‌تنها وقتگیر است و صورت نمی‌گیرد، بلکه به‌صرفه هم نیست. بنابراین در این پژوهش خروجی‌های مرحله اول که در واقع معیارهایی میانی بوده و از آن‌ها به‌عنوان ورودی‌های مرحله دوم نیز استفاده می‌شود، عبارتند از: تعداد محصول جدید یا بهبودیافته و تعداد پروژه‌های اجراشده یا در حال اجرا نظیر طراحی و راه‌اندازی سامانه‌هایی که برای سازمان‌های متقاضی اجرا شده است و خاص آن سازمان‌اند.

۲. بهره‌برداری از دانش: بخش عمده‌ای از زمان، توان و تلاش هر شرکت صرف شناسایی و معرفی خدمات، محصولات و توانمندی‌های سازمان به بازار و در نتیجه بهره‌برداری از دانش به‌کاررفته در طراحی محصولات و خدمات می‌شود. از آنجاکه قابلیت‌ها و توانمندی‌های شرکت‌های مختلف در بهره‌برداری از دانش و منابع خود متفاوت است، براساس دیدگاه مبتنی بر منبع عملکرد آن‌ها نیز در این زمینه کاملاً متفاوت است (تیس، ۲۰۰۰). در این پژوهش برای سنجش عملکرد هر یک از شرکت‌های مورد بررسی در این مرحله با بررسی ادبیات و نیز استفاده از نظر خبرگان از ورودی‌ها و خروجی‌های زیر استفاده شده است.

ورودی‌های مرحله دوم: با بررسی مطالعات انجام گرفته از میزان کل هزینه‌ها به‌جز هزینه R&D به‌عنوان معیار سنجش برای کمک به بهره‌برداری و تجاری‌سازی دانش و فروش محصولات استفاده شده است. بنابراین علاوه بر خروجی‌های مرحله اول، از متوسط میزان کل هزینه شرکت به‌جز هزینه تحقیق و توسعه نیز به‌عنوان ورودی این مرحله استفاده شده است. خروجی‌های مرحله دوم: این مرحله شامل سه خروجی است: ۱. متوسط سود خالص در طی چهار سال: با میانگین حسابی از سود خالص در طی چهار سال به‌دست می‌آید؛ ۲. متوسط مبلغ فروش محصولات جدید یا بهبودیافته در طی چهار سال: درصد فروش محصولات جدید یا بهبودیافته در هر سال در کل فروش آن سال ضرب می‌شود تا مبلغ فروش محصولات جدید یا بهبودیافته در آن سال به‌دست آید، سپس میانگین حسابی آن در طی چهار سال به‌دست می‌آید.

۳. سهم نسبی بازار: از تقسیم فروش شرکت بر فروش کل صنعت، فروش شرکت بر جمع کل فروش همه شرکت‌ها یا فروش سالانه هر شرکت بر بیشترین مقدار فروش به‌دست می‌آید. در این پژوهش با توجه به ماهیت مدل‌های مورد استفاده از فروش شرکت بر جمع کل فروش همه شرکت‌ها استفاده شده است.

مدل‌سازی و حل آن

مدل‌سازی مسئله با استفاده از روش رهبر - پیرو رویکرد تئوری بازی در قالب دو مدل ۶ و ۸ صورت گرفته است. بیشتر خبرگان و نیز مدیران شرکت‌های مورد بررسی بر نقش رهبری مرحله اول تأکید داشتند و معتقد بودند که بقا و توفیق در این صنعت وابسته به نوآوری و عرضه خدمات و محصولات جدید است که این نیز خود منوط به آگاهی از دانش روز و خلق دانش توأم با دیدی کاربردی است. بنابراین در این تحقیق، مرحله اول به‌عنوان رهبر و مرحله دوم به‌عنوان پیرو در نظر گرفته شد.

یافته‌های پژوهش

پس از مدل‌سازی برای حل آن با استفاده از نرم‌افزار GAMS ابتدا کارایی مرحله اول با به‌کارگیری مدل ۶ به‌دست آمد؛ سپس کارایی مرحله پیرو (دوم) با در نظر گرفتن کارایی مرحله اول به‌عنوان قیدی برای مرحله دوم طبق مدل ۸ محاسبه شد. در نهایت از رابطه ۹ مقدار کارایی کل محاسبه شد. جدول ۲ به‌طور خلاصه این نتایج را نشان می‌دهد.

جدول ۲. مقادیر کارایی مراحل و کارایی کل واحدهای تصمیم گیرنده

شرکت	کارایی مرحله اول	رتبه	مجموعه مرجع مرحله اول	کارایی مرحله دوم	رتبه	مجموعه مرجع مرحله دوم	کارایی کل
DMU1	۰/۱۲	۳۴	DMU2	۰/۳۸	۹	DMU28	۰/۰۵
DMU2	۱	۱	DMU2	۰/۲۶	۱۳	DMU28	۰/۲۶
DMU3	۰/۴۴	۷	DMU4	۰/۴۴	۶	DMU28	۰/۱۹
DMU4	۱	۱	DMU4	۰/۱۲	۲۹	DMU28	۰/۱۲
DMU5	۰/۳۰	۱۸	DMU2	۰/۱۲	۲۷	DMU28	۰/۰۴
DMU6	۰/۲۴	۲۳	DMU2	۰/۲۴	۱۵	DMU28	۰/۰۶
DMU7	۰/۳۲	۱۶	DMU2	۰/۰۶	۳۶	DMU28	۰/۰۲
DMU8	۰/۱۳	۳۱	DMU2	۰/۳۱	۱۰	DMU28	۰/۰۴
DMU9	۰/۵۴	۶	DMU2	۰/۱۷	۲۰	DMU28	۰/۰۹
DMU10	۰/۳۹	۱۲	DMU2	۰/۲۷	۴	DMU25, DMU28	۰/۱۱
DMU11	۰/۲۳	۲۶	DMU2	۰/۰۵	۳۷	DMU23, DMU28	۰/۰۱
DMU12	۰/۳۱	۱۷	DMU2	۰/۱۲	۲۸	DMU28	۰/۰۴
DMU13	۰/۶۹	۵	DMU2	۰/۱۹	۱۸	DMU28	۰/۱۳
DMU14	۰/۷۵	۴	DMU4	۰/۵۲	۵	DMU28	۰/۳۹
DMU15	۰/۲۵	۲۲	DMU2, DMU4	۰/۲۳	۱۱	DMU25, DMU28	۰/۰۶
DMU16	۰/۱۶	۳۰	DMU4	۰/۰۴	۳۸	DMU28	۰/۰۱
DMU17	۰/۲۳	۲۵	DMU2, DMU4	۰/۰۶	۳۴	DMU28	۰/۰۱
DMU18	۰/۳۶	۱۴	DMU2, DMU4	۰/۱۷	۱۹	DMU23, DMU28	۰/۰۶
DMU19	۰/۲۸	۲۰	DMU2	۰/۱۳	۲۴	DMU28	۰/۰۴
DMU20	۰/۳۹	۱۳	DMU2, DMU4	۰/۲۷	۱۲	DMU23, DMU25	۰/۱۰
DMU21	۰/۴۴	۸	DMU2, DMU4	۰/۱۲	۲۵	DMU23, DMU28	۰/۰۵

جدول ۲. مقادیر کارایی مراحل و کارایی کل واحدهای تصمیم‌گیرنده

شرکت	کارایی مرحله اول	رتبه	مجموعه مرجع مرحله اول	کارایی مرحله دوم	رتبه	مجموعه مرجع مرحله دوم	کارایی کل
DMU22	۰/۴۰	۱۱	DMU2,DMU4	۰/۱۴	۲۳	DMU23,DMU25, DMU28	۰/۰۶
DMU23	۰/۲۴	۲۴	DMU4	۱	۱	DMU23	۰/۲۴
DMU24	۰/۲۸	۱۹	DMU2,DMU4	۰/۱۱	۳۰	DMU23, DMU25	۰/۰۳
DMU25	۰/۲۶	۲۱	DMU2	۱	۱	DMU25	۰/۲۶
DMU26	۰/۱۱	۳۷	DMU2,DMU4	۰/۱۱	۲۶	DMU23,DMU25, DMU28	۰/۰۱
DMU27	۰/۰۹	۳۸	DMU2,DMU4	۰/۲	۱۷	DMU28	۰/۰۲
DMU28	۰/۸۸	۳	DMU2,DMU4	۱	۱	DMU28	۰/۸۸
DMU29	۰/۴۳	۹	DMU2,DMU4	۰/۱	۳۳	DMU23,DMU28	۰/۰۴
DMU30	۰/۱۳	۳۲	DMU2,DMU4	۰/۲۲	۱۶	DMU23, DMU28	۰/۰۳
DMU31	۰/۱۳	۳۳	DMU2,DMU4	۰/۱۶	۲۱	DMU23, DMU28	۰/۰۲
DMU32	۰/۳۳	۱۵	DMU2,DMU4	۰/۲۵	۱۴	DMU23, DMU28	۰/۰۸
DMU33	۰/۴۱	۱۰	DMU4	۰/۴۲	۷	DMU23, DMU28	۰/۱۷
DMU34	۰/۱۹	۲۷	DMU2,DMU4	۰/۳۸	۸	DMU23, DMU28	۰/۰۷
DMU35	۰/۱۱	۳۶	DMU2,DMU4	۰/۱	۳۱	DMU23, DMU28	۰/۰۱
DMU36	۰/۱۷	۲۸	DMU2,DMU4	۰/۱۵	۲۲	DMU28	۰/۰۳
DMU37	۰/۱۶	۲۹	DMU2,DMU4	۰/۰۶	۳۵	DMU28	۰/۰۱
DMU38	۰/۱۲	۳۵	DMU2,DMU4	۰/۰۷	۳۳	DMU23,DMU25, DMU28	۰/۰۱

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

شرکت‌های تولیدکننده نرم‌افزار به‌عنوان مجموعه‌ای از شرکت‌های دانش‌بنیان برای توفیق در بازار متلاطم و کاملاً رقابتی امروز از یک‌سو نیازمند خلق دانش و از سوی دیگر نیازمند

بهره‌برداری از آن و افزایش توان خود در این زمینه‌اند. جدول ۲ نتایج کارایی آنها را در این دو مرحله نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۲ کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده دوم و چهارم در مرحله اول یعنی مرحله تولید دانش و نوآوری برابر با یک است و بقیه واحدهای تصمیم‌گیرنده در این مرحله ناکارا هستند. همچنین در مرحله دوم یعنی بهره‌برداری، سه واحد ۲۳، ۲۵ و ۲۸ کاملاً کارا و واحدهای دیگر ناکارا هستند. رتبه‌بندی واحدها در هر یک از این دو مرحله به‌همراه مجموعه مرجع برای هر واحد ناکارا در جدول مذکور آمده است. محاسبه کارایی کل در جدول آخر نشان می‌دهد که واحد ۲۸ با بیشترین مقدار کارایی کل ۰/۸۸ از نظر کلی دارای رتبه اول است و واحدهای ۱۱، ۱۶، ۱۷، ۲۶، ۳۵، ۳۷ و ۳۸ با مقدار کارایی کل ۰/۰۱ دارای کمترین مقدارند و در آخرین رتبه قرار دارند. همچنین هیچ یک از این واحدهای تصمیم‌گیرنده کارایی کل نیستند. متوسط کارایی کل برابر با ۰/۱۰ و در مرحله اول ۰/۳۴ و در مرحله دوم ۰/۲۷ است. کم بودن کارایی کل و متوسط آن به تعریف آن یعنی حاصل ضرب کارایی دو مرحله برمی‌گردد. پیشنهاد می‌شود که هر یک از شرکت‌های ناکارا برای بهبود عملکرد خود در هر مرحله و کارا شدن از واحدهای مرجع در ستون‌های چهارم و هفتم جدول ۲ به‌عنوان الگوهای معرفی شده پیروی کرده و با تعیین مقادیر ورودی و خروجی واحد مجازی در هر مرحله به‌عنوان هدف آن مرحله اقدام به بهبود عملیات خود برای رسیدن به مرز کارایی کنند. همچنین برای اجرای تحقیقات بیشتر پیشنهاد می‌شود که با اعمال محدودیت اوزان، ابتدا تغییرات مدل شبکه‌ای بررسی شود و سپس مسئله با استفاده از آن، از نو حل شده و کارایی واحدها در هر مرحله مقایسه شود. استفاده از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای برای محاسبه کارایی در زمینه‌هایی چون زنجیره تأمین یا شرکت‌های دیگر با فرض داشتن ورودی‌ها یا خروجی‌های مشترک از دیگر پیشنهادها برای تحقیقات آینده است.

References

- Anand, N., Gardner, H., Morris, T. (2007). Knowledge-based innovation: emergence and embedding of new practice areas in management consulting firms. *Academy of Management Journal*, 50(2): 406-428.
- Baregheh, A., Rowley, J., & Sambrook, S. (2009). Towards a multi-disciplinary definition of innovation. *Mang. Decision*, 47(8):23-39.
- Carlsson, B., Jacobsson, S., Holmén, M., & Rickne, A. (2002). Innovation systems: analytical and methodological issues. *Research policy*, 31(2): 233-245.

- Chen, C., & Yan, H. (2011). Network DEA model for supply chain performance evaluation. *European Journal of Operational Research*, 213(1): 147-155.
- Chen, Y., Cook, W. D., Kao, C., & Zhu, J. (2013). Network DEA pitfalls: Divisional efficiency and frontier projection under general network structures. *European Journal of Operational Research*, 226(3): 507-515.
- Cook, W. D., Zhu, J., Bi, G., & Yang, F. (2010). Network DEA: Additive efficiency decomposition. *European Journal of Operational Research*, 207(2): 1122-1129.
- Cook, W., Zhu, G., Yang, F. (2010). Network DEA: Additive efficiency decomposition. *European Journal of Operational Research*, 207(2): 1122-1129.
- Cooper, W., M. Seiford, and K. Tone (2007). *Introduction to data envelopment analysis and its uses: with DEA-solver software*. Springer.
- 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.
- Du, J., Liang, L., Chen, Y., Cook, W., & Zhu, J. (2011). A bargaining game model for measuring performance of two-stage network structures. *Euro. J. of Operational Research*, 210(2): 390-397.
- Dutta, S., O. Narasimhan, and S. Rajiv (2005). Conceptualizing and measuring capabilities: Methodology and empirical application. *Strategic Management Journal*, 26(3): 277-285.
- Färe, R. & S. Grosskopf (2000). Network DEA. *Socio-Economic Planning Sciences*, 34(1): 35-49.
- Färe, R., S. Grosskopf, and G. Whittaker (2007). Network DEA in Modeling data irregularities and structural complexities in data envelopment analysis, 209-240. *Springer*.
- Fukuyama, H. and S. Mirdehghan (2012). Identifying the efficiency status in network DEA. *European Journal of Operational Research*, 220(1): 85-92.
- Guan, J., & Chen, K. (2012). Modeling the relative efficiency of national innovation systems. *Research Policy*, 41(1): 102-115.
- Holt, D. (1992). *Entrepreneurship: New venture creation*. Prentice Hall.

- Kao, C. (2009b). Efficiency measurement for parallel production systems. *European Journal of Operational Research*, 196(3): 1107–1112.
- 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.
- Kao, C. (2009a). Efficiency decomposition in network DEA: A relational model. *Euro. J. of Operational Res.*, 192(3): 949–962.
- Kravtsova, V., & Radosevic, S. (2012). Are systems of innovation in Eastern Europe efficient?. *Economic Systems*, 36(1): 109-126.
- Li, Y., Y. Chen, L. Liang, and J. Xie (2012). DEA models for extended two-stage network structures. *Omega*, 40(5): 611–618.
- Liang, L., Cook, W. D., & Zhu, J. (2008). DEA models for two-stage processes: Game approach and efficiency decomposition. *Naval Research Logistics (NRL)*, 55(7): 643-653.
- 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.
- Löthgren, M., & Tambour, M. (1999). Productivity and customer satisfaction in Swedish pharmacies: A DEA network model. *European Journal of Operational Research*, 115(3): 449-458.
- Seiford, L. M., & Zhu, J. (1999). Profitability and marketability of the top 55 US commercial banks. *Management science*, 45(9): 1270-1288.
- Sexton, T. & H. Lewis (2003). Two-Stage DEA: An Application to Major League Baseball. *Productivity Analysis*, 19(2-3): 227-249.
- Shahriari, S. (2013). *A Network Data Envelopment Analysis (NDEA) Model to evaluate firm's Strategic Entrepreneurship*. (Unpublished doctoral dissertation). Tehran University, Tehran, Iran. (in Persian)
- 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)
- Sharif, N. (2006). Emergence and development of the National Innovation Systems concept. *Research policy*, 35(5): 745-766.

- Teece, D. (2000). Strategies for managing knowledge: the role of firm structure and industrial context. *Long range planning*, 33(1): 35-54.
- Tone, K. and M. Tsutsui (2009). Network DEA: a slacks-based measure approach. *European Journal of Operational Research*, 197(1): 243–252.
- Von Hippel, E. (2007). *The sources of innovation*. Gabler.
- Wacker, J. G. (1998). A definition of theory: research guidelines for different theory-building research methods in operations management. *Journal of Operations Management*, 16(4): 361-385.
- Yu, M., & Lin, T. (2008). Efficiency and effectiveness in railway performance using multi-activity network DEA. *Omega*, 36(6): 5-17.