پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری
دوره ۹، شماره ۲، تابستان ۱٤۰۳، صص ۲۷-۱
نوع مقاله: پژوهشی

ارزیابی فرایند نوآوری با رویکرد ترکیبی تحلیل پوششی داده‌های دومرحله‌ای و تئوری بازی‌های همکارانه

لیلا قرقچیان [1]، رضا سلیمانی دامنه [*2]، سلیم کریمی تکلو [3]

۱. کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، گروه مدیریت، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه ولی عصر (عج)، رفسنجان، ایران
۲. استادیار، گروه مدیریت، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه ولی عصر (عج)، رفسنجان، ایران
۳. دانشیار، گروه مدیریت، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه ولی عصر (عج)، رفسنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱٤۰۲/۱۲/۰٤ تاریخ پذیرش: ۱٤۰۳/۰۳/۰۶

چکیده

امروزه یکی از مولفه‌های اصلی توسعه پایدار سازمان‌ها و از جمله روش‌های غلبه بر چالش‌های اقتصادی و تکنولوژیکی، نوآوری است. ارزیابی فرایند نوآوری یک مساله مهم در شرکت‌های دانش‌بنیان است. از جمله روش‌های ارزیابی نوآوری، تحلیل پوششی داده‌های دومرحله‌ای است که امکان در نظر گرفتن ورودی‌ها و خروجی‌های چندگانه و ساختار داخلی را بدون فرض خاصی در رابطه با تابع تولید دارد. در این پژوهش جهت تعیین مقدار بهینه متغیرهای میانی از تئوری بازی‌های همکارانه استفاده شد. یک مدل همکارانه غیرخطی برای ساختار دو مرحله‌ای متوالی با ورودی و خروجی مازاد و شرایط بازده به مقیاس متغیر توسعه و دو رویه محاسباتی کارایی مرحله اول متغیر و کارایی مرحله دوم متغیر جهت حل آن پیشنهاد شد. با در نظر گرفتن دو مرحله تحقیق و توسعه و تجاری‌سازی برای فرایند نوآوری، کارایی مراحل و کل ۹ شرکت دانش‌بنیان فناوری اطلاعات و ارتباطات محاسبه شد. نتایج نشان داد که تنها یک شرکت در هر دو مرحله کارا است و تحقیق و توسعه سهم بیشتری در عدم کارایی نوآوری شرکت‌ها به نسبت تجاری‌سازی دارد. بنابراین شرکت‌ها باید سرمایه‌گذاری هدفمند در تحقیق و توسعه را افزایش و با دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی ارتباطات و تعاملات بیشتری را برقرار کنند.

کلیدواژه‌ها: ارزیابی نوآوری، تحلیل پوششی داده‌های دومرحله‌ای، شرکت‌های دانش‌بنیان، تئوری بازی‌های همکارانه

---

[*] نویسنده مسئول مقاله E-mail: r.soleymani@vru.ac.ir

۱- مقدمه و بیان مسئله

نوآوری عاملی حیاتی برای بقای شرکت‌ها در محیط‌های غیر قابل پیش‌بینی، در حال تغییر و رقابتی است. فعالیت‌های نوآوری به شرکت‌ها کمک می‌کند تا با بازدهی بیشتر به کسب مزیت رقابتی، توسعه پایدار، ارتقای بهره‌وری، حفظ و افزایش سهم بازار، بهبود سودآوری و غلبه بر چالش‌های اقتصادی و تگناهای تکنولوژیکی بپردازند [۱، ۲]. شرکت‌هایی که در نوآوری عقب هستند با توجه به رقابت شدید بازار به سرعت از کسب و کار رانده می‌شوند. بر این اساس بهبود قابلیت نوآوری شرکت‌ها تبدیل به یک هدف مهم شده است و نوآوری دیگر یک گزینه استراتژیک نیست، بلکه عامل اساسی است که موفقیت یا شکست شرکت را تعیین می‌کند. نوآوری به محصولات/خدمات یا فرایندهای جدید یا به طور چشمگیر بهبودیافته‌ای اشاره دارد که در صورت اجرا بر عملکرد عملیاتی مانند درآمد، هزینه و کیفیت اثر می‌گذارد [۳].

قبل از اجرای رویه‌های بهبود قابلیت نوآوری، ارزیابی منطقی و قابل قبولی از عملکرد نوآوری باید انجام شود. ارزیابی عملکرد نوآوری به شرکت‌ها در شناسایی الگوی فعالیت‌های نوآوری، کشف نقاط قوت و پیدا کردن راه‌هایی برای بهبود نقاط ضعف در فرایند نوآوری کمک می‌کند. عملکرد نوآوری نباید با یک معیار واحد ارزیابی شود، بلکه باید کل فرایندی که در آن سرمایه‌گذاری نوآوری منجر به محصولات/خدمات نوآوری می‌شود، ارزیابی شود [٤]. نوآوری یک فرایند خطی نیست که در آن ورودی‌ها به صورت خودکار به خروجی تبدیل شوند، بنابراین کارایی نوآوری که نسبتی از بروندادهای نوآوری به ورودی‌ها است باید مورد بررسی قرار گیرد. تحلیل پوششی داده‌ها که یک روش ناپارامتریک برای اندازه‌گیری کارایی نسبی واحدها است، به طور گسترده برای اندازه‌گیری کارایی نوآوری استفاده شده است، زیرا می‌تواند چندین شاخص ورودی و خروجی را همزمان مدیریت کند و نیازی به دانش قبلی از تابع تولید ورودی-ستانده و یا فرضیات آماری در مورد توزیع داده‌ها نیست. با توجه به اینکه نوآوری فرایندی چند مرحله‌ای است، از مدل‌های اولیه DEA[۱] به دلیل دیدگاه جعبه سیاه نمی‌توان جهت ارزیابی آن استفاده کرد و باید از تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای استفاده کرد. در یک ساختار دومرحله‌ای، وزن و مقدار بهینه متغیرهای میانی بر نمرات کارایی دو مرحله اثر عکس دارد. به این‌گونه که مرحله دوم ممکن است مجبور باشد ورودی های خود را کاهش دهد تا کارا شود

---

[1] Data Envelopment Analysis

و چنین اقدامی مستلزم کاهش خروجی‌های مرحله اول و در نتیجه کاهش کارایی آن مرحله خواهد بود [٥]. برای حل چنین تعارضی می‌توان از رویکرد تئوری بازی‌های همکارانه استفاده کرد. در این روش کارایی مراحل به گونه‌ای محاسبه می‌شود که کارایی کل ساختار حداکثر شود و دو مرحله برای حداکثر کردن کارایی کل همکاری می‌کنند. هم‌چنین وزن و مقدار بهینه متغیرهای میانی با هدف حداکثر کردن کارایی کل تعیین می‌شود. در مطالعات پیشین این رویکرد برای ساختار دومرحله‌ای با ورودی مازاد و بازده به مقیاس ثابت به کار رفته است، اما در پژوهش حاضر ابتدا این رویکرد به ساختار با ورودی و خروجی مازاد و شرایط فاقد اصل بی‌کرانی اشعه (بازده به مقیاس متغیر) توسعه و سپس از آن جهت ارزیابی فرایند نوآوری شرکت‌های دانش‌بنیان استفاده می‌شود.

در دو دهه اخیر توجه به شرکت‌های دانش بنیان در کشور فزونی یافته است. بهره‌مندی از نوآوری در شرکت‌های دانش بنیان به عنوان یک راهبرد سازمانی مطرح است. شرکت‌های دانش‌بنیان که در اقتصاد جدید دنیا پیشرو هستند، بایستی سطح نوآوری‌های خود را بشناسند و سعی کنند به سطح مطلوب نوآوری نزدیک شوند [٦]. اگرچه شرکت‌های دانش‌بنیان نوآور هستند و ظرفیت بالایی در نوآوری دارند ولی کمتر مطالعه‌ای میزان نوآوری آن‌ها را مورد ارزیابی قرار داده است. هدف این پژوهش ارزیابی نوآوری شرکت‌های دانش‌بنیان با رویکرد تحلیل پوششی داده‌های دومرحله‌ای همکارانه است.

۲- ادبیات و پیشینه پژوهش

۲-۱- تحلیل پوششی داده‌های دومرحله‌ای

تحلیل پوششی داده‌ها یک رویکرد برنامه‌ریزی خطی ناپارامتریک برای تحلیل کارایی نسبی واحدهای همگن با خروجی‌ها و ورودی‌های متعدد است. مدل‌های مرسوم DEA، DMU[1] را به عنوان یک واحد کامل تک مرحله‌ای بدون آن‌که نقش اقدامات میانی را در نظر بگیرند، مورد سنجش قرار می‌دهند. این مدل‌ها سیستم ارزیابی کارایی را به عنوان یک جعبه سیاه تلقی می‌کنند که در آن ورودی‌ها بدون در نظر گرفتن مراحل میانی وارد شده و خروجی‌ها خارج می‌شوند و هیچ توجهی به ساختار و سطح عملکرد فرایندهای داخلی ندارند [۷، ۸]. برای غلبه

---

[1] Decision Making Unit

بر کاستی‌های DEA سنتی، فار و گراسکوپف مدل‌های شبکه‌ای (NDEA[1]) را معرفی کردند و محققان متعدد به توسعه این مدلها و گسترش چارچوب‌های سنتی پرداختند [۹]. در میان مدل‌های شبکه‌ای، حوزه قابل‌توجهی در تئوری و کاربرد به مدل‌های دومرحله‌ای اختصاص یافته است.

کائو و هوانگ [۱۰]، لیانگ و همکاران [۱۱] و هالکوس و همکاران [۱۲] مدل‌های DEA دومرحله‌ای را به ٤ گروه تقسیم کردند. گروه اول DEA دومرحله‌ای مستقل است که روش DEA استاندارد را در دو مرحله مختلف اعمال می‌کند و از تعاملات احتمالی بین آن‌ها چشم‌پوشی می‌کند. آن‌ها از سه مدل جداگانه جهت ارزیابی کارایی مراحل و کل استفاده می‌کنند. وانگ و همکاران [۱۳] و سیفورد و ژو [١٤] اولین کسانی بودند که این روش را جهت ارزیابی بانک‌ها به کار بردند. دسته دوم DEA دومرحله‌ای، روش متصل است که شامل مدل‌های زنجیره ارزش و DEA شبکه می‌شود. چنین مدل‌هایی هنگام محاسبه بازده کلی، تعاملات را در نظر می‌گیرند. چن و ژو [١٥] یک مدل زنجیره ارزش توسعه دادند که در آن برای دستیابی به کارایی کلی، هر مرحله باید کارا شود. DEA شبکه‌ای شامل مدل‌های ایستا، پویا و منابع مشترک است که عمدتا توسط فار و گراسکوپف [۹] و کاستلی و همکاران [١٦] توصیف شده است. گروه سوم روش DEA دومرحله‌ای رابطه‌ای است که پیوند ریاضی بین کارایی کل و کارایی هر فرایند ایجاد می‌کند. این نوع مدل بر اساس میانگین موزون ضربی [۱۷] یا جمعی [۱۸] است. دسته چهارم شامل مدل‌های تئوری بازی‌ها می‌شود. لیانگ و همکاران [۱۹] اولین کسانی بودند که این نوع رویکرد را پیشنهاد کردند و از آن برای ارزیابی کارایی زنجیره تامین استفاده کردند.

چو و همکاران [۲۰] از مفاهیم تئوری بازی‌ها شامل مدل‌های رهبر - پیرو و چانه‌زنی جهت تخصیص هزینه ثابت در بین واحدهای با ساختارهای دومرحله‌ای تحت چارچوب DEA استفاده کردند. وانگ و همکاران [۲۱] با تفکیک عملکرد سیستم بهره‌برداری از منابع آب صنعتی چین به دو مرحله مصرف آب و تصفیه فاضلاب، یک رویکرد DEA دومرحله‌ای با کارایی متقاطع مبتنی بر تئوری بازی‌ها برای ارزیابی آن پیشنهاد کردند. آن‌ها کارایی سیستم‌های بهره‌برداری از منابع آب صنعتی ۳۱ منطقه چین را از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵ بر اساس رویکرد

---

[1] Network DEA

پیشنهادی ارزیابی کردند و به این نتیجه رسیدند که هیچ منطقه‌ای در چین کارای کل نیست. وو و همکاران [۲۲] جهت ارزیابی منصفانه مراحل در ساختار دومرحله‌ای متوالی یک مدل غیرخطی DEA دومرحله‌ای غیرهمکارانه ارائه کردند و دو الگوریتم ساده جهت حل آن پیشنهاد کردند. یوسفی و همکاران [۲۳] یک مدل ترکیبی DEA دومرحله‌ای را برای انتخاب تامین‌کنندگان کارآمد، تخصیص سفارش و تعیین قیمت در زنجیره تامین ارائه کردند. آن‌ها برای تعیین قیمت مورد توافق خریدار و تامین‌کنندگان کارآمد از بازی چانه‌زنی و مفهوم تعادل نش استفاده کردند. فانگ [۲٤] بر اساس تئوری بازی‌ها، مدل‌های غیرهمکارانه و متمرکز را برای ساختارهای شبکه‌ای دومرحله‌ای توسعه دادند. آن‌ها یک روش ارزیابی کارایی کل و مراحل را با در نظر گرفتن درجه اولویت‌های متفاوت برای مدل‌های غیرهمکارانه و مدل‌های متمرکز با جواب‌های بهینه چندگانه پیشنهاد کردند و نشان دادند روش پیشنهادی نسبت به روش‌های موجود بار محاسباتی کمتری دارد. یین و همکاران [۲٥] عملکرد ٦٨ هتل توریستی بین‌المللی تایوان را در سال ۲۰۱۱ با استفاده از یک مدل دوهدفه مبتنی بر DEA دومرحله‌ای همکارانه ارزیابی کردند.

۲-۲- ارزیابی فرایند نوآوری

تکنیک‌ها و روش‌های کمی و کیفی زیادی مانند روش‌های تحلیل مالی، رگرسیون چندگانه و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی برای ارزیابی نوآوری توسعه داده شده است. با بهبود روش‌های ارزیابی، محققان از رویکردهای تحلیل مرزی مانند تحلیل مرزی تصادفی (SFA[1]) و DEA استفاده کردند. SFA یک روش تحلیل پارامتریک است که شکل خاصی را در رابطه بین توابع ورودی و خروجی به خود می‌گیرد و از تکنیک‌های اقتصادسنجی برای تخمین پارامترهای ناشناخته جهت شناسایی مرز استفاده می‌کند. با این حال، برای پرداختن به سناریوهایی با خروجی‌های متعدد مناسب نیست [۲٦]. در مقابل، روش DEA داده‌ها را از ورودی‌ها و خروجی‌های متعدد بدون تنظیم یک تابع عملکردی خاص در خود جای می‌دهد [۲۷]. به این ترتیب DEA به طور گسترده‌ای برای ارزیابی عملکرد نوآوری در کشورهای مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. مطالعات ارزیابی نوآوری با تحلیل پوششی داده‌ها را می‌توان به دو

---

[1] Stochastic Frontier Analysis

دسته طبقه‌بندی کرد: جعبه‌سیاه و ارزیابی فرایندگرا (جعبه سفید). دومی اطلاعات بیشتری نسبت به رویکرد اولی ارائه می‌دهد و تحقیقات دانشگاهی اخیر بر ارزیابی فرایندگرا متمرکز شده است. جدول (۱) پیشینه پژوهش ارزیابی فرایند نوآوری با DEA شبکه‌ای را نشان می‌دهد.

جدول ۱ : پیشینه پژوهش

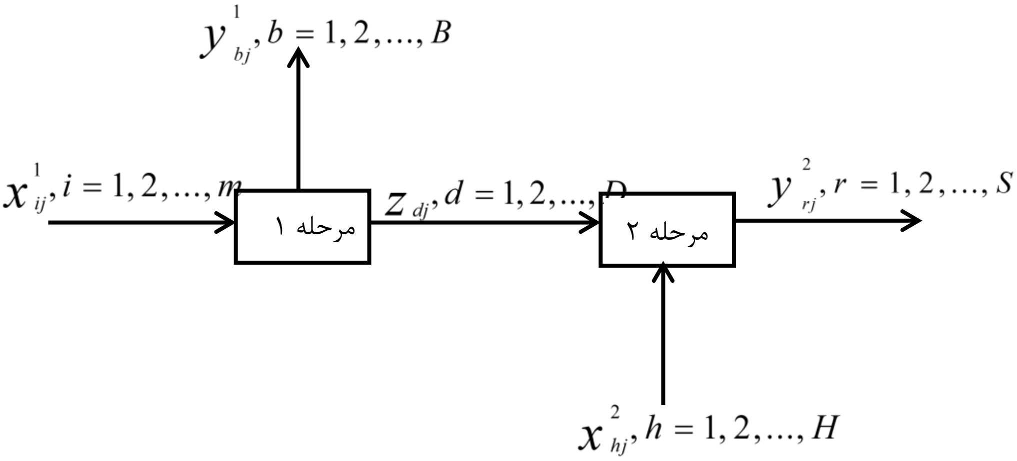
محققان (سال)	موضوع	تکنیک	جامعه موردمطالعه	ورودی‌ها	میانی‌ها	خروجی‌ها	سطح	نتیجه‌گیری	محدودیت‌ها
یو و همکاران [۲۸]	ارزیابی عملکرد نوآوری	DNDEA غیرخطی برنامه‌سازی مخروط دوگانی استراتژی تفکیک‌سازی تو در تو	۵۰۶شرکت با تکنولوژی بالا در چین	نیروی کار هزینه R&D هزینه تجاری‌سازی	اختراعات جدید کمک‌های دولت	کل درآمد درآمد محصولات جدید	شرکت	فعالیت‌های R&D پتانسیل بیشتری به نسبت تجاری‌سازی جهت بهبود عملکرد نوآوری دارند.	عدم بررسی تاخیر زمانی
وانگ و همکاران [۲۹]	ارزیابی کارایی نوآوری فناورانه	DEA دو مرحله‌ای با ورودی‌های مشترک و مازاد و خروجی آزاد	۵ صنعت با تکنولوژی بالا در چین	پرسنل تمام‌وقتR&D هزینه‌های داخلیR&D دارایی‌های ثابت هزینه برای تحول فنی	درخواست‌های ثبت اختراع	درآمد محصولات جدید	صنعت	صنعت رایانه بهترین عملکرد و صنعت دارو بدترین عملکرد را داشت.	عدم لحاظ حلقه بازخورد
گوان و چن [۳۰]	مدلسازی کارایی نسبی نظام ملی نوآوری (NIS)	NDEA جمعی PLS	۲۲ کشور OECD	دانش انباشته شده قبلی تعداد دانشمندان و مهندسین تمام وقت بودجه فعالیت‌های R&D	تعداد اختراعات ثبت‌شده	مقالات علمی بین-المللی ارزش افزوده صنایع صادرات محصولات جدید	کشور	کارایی نوآوری NIS عمدتا تابع کارایی تجاری‌سازی است.	عدم حذف داده-های پرت
ما [۳۱]	توسعه یک مدل DEA دومرحله‌ای	DEA دو مرحله‌ای با ورودی‌های مشترک و متغیرهای میانی آزاد	۲۹ بخش صنعتی بزرگ و متوسط چین	هزینه R&D پرسنل تمام‌وقت R&D سرمایه‌گذاری برای توسعه محصولات جدید	پروژه‌های محصول جدید تعداد اختراعات معتبر	ارزش تولید ناخالص محصولات جدید	صنعت	نقش اقدامات میانی نباید تنها به پیوند دومرحله محدود شود.	پیچیدگی اقدامات میانی نیاز به بررسی بیشتری دارد
لی و همکاران [۳۲]	بررسی تاثیر همکاری بر نوآوری	DEA دومرحله‌ای شاخص مالم‌کوئیست تحلیل خوشه‌ای	٤۸ صنعت تولیدی در کره‌جنوبی	نیروی انسانی منابع مالی صرف‌شده سطح قابلیت تجاری-سازی	تعداد اختراع تعداد موفقیت-های R&D	مقدار فروش نوآوری تعداد موفقیت تجاری‌سازی	صنعت	همکاری بر کارایی R&D تاثیر مثبت و بر کارایی تجاری‌سازی تاثیری ندارد.	عدم اندازه‌گیری خروجی‌های نامشهود
چیو و لین [۳۳]	بررسی اثربخشی نوآوری دانش منطقه‌ای در چین	DSBM	۳۰ منطقه چین	کارمندان R&D هزینه‌های R&D	سرمایه R&D	ثبت اختراع تولید ناخالص منطقه‌ای	منطقه-ای	نوآوری دانش تاثیر مثبتی بر توسعه اقتصادی دارد.	عدم بررسی ساختار داخلی

محققان (سال)	موضوع	تکنیک	جامعه موردمطالعه	ورودی‌ها	میانی‌ها	خروجی‌ها	سطح	نتیجه‌گیری	محدودیت‌ها
چون و همکاران [٣٤]	بررسی اثر اتحادیه‌های کارگری بر کارایی نوآوری	PSM DEA دومرحله‌ای	٤٠٠ تولیدکننده کره‌ای	سرمایه‌گذاری R&D تعداد کارکنان	درخواست‌های ثبت اختراع فرایند درخواست‌های ثبت اختراع محصول	فروش درآمد عملیاتی	شرکت	اتحادیه‌های کارگری تاثیر مثبتی بر کارایی تجاری‌سازی دارند.	عوامل خارجی در نظر گرفته نشد
اکسیونگ و همکاران [٣٥]	ارزیابی کارایی تحقیق و توسعه	DNDEA	۱۷موسسه تحقیقاتی در آکادمی علوم چین	نیروی کار R&D هزینه‌های R&D	تعداد اختراع تعداد مقالات چاپ‌شده پروژه‌های جدید	درامد ایجادشده توسط مجوزها	شرکت	کارایی سیستم به دلیل کارایی پایین انتقال تکنولوژی زیاد نیست.	بازده به مقیاس ثابت فرض شد
وانگ و همکاران [٣٦]	ارزیابی کارایی نوآوری	DEA دومرحله‌ای با ورودی‌های مشترک	۸ صنعت از ۳۸ صنعت چین	مهندسین R&D فاندهای R&D شرکت‌های با فعالیت‌های R&D هزینه توسعه محصولات	اختراعات فناوری بدون ثبت اختراع	درامد محصولات جدید صادرات محصولات جدید	صنعت	قابلیت R&D قویتر از قابلیت تبدیل دستاوردهای فناوری است اما فاصله آن‌ها در حال کاهش است	وزن یکسان مراحل بازده به مقیاس ثابت
ژانگ و همکاران [٣٧]	ارزیابی کارایی نوآوری صنایع	NDEA چندفعالیتی راسل	۲۸ استان چین	پرسنل تمام وقت مخارج تجهیزات هزینه توسعه محصولات جدید	تعداد درخواست ثبت اختراع تعداد اختراعات در حال اجرا	درآمد محصولات جدید ارزش قراردادها	استان	برای اکثر استان‌ها کارایی R&D با کارایی تجاری‌سازی متناسب نیست.	نادیده گرفتن عوامل خاص منطقه
میلز و همکاران [٣٨]	مدلسازی کارایی نوآوری و محرک‌های آن	NDEA دوفازی پویا رگرسیون پانل	۱۳۸ شرکت تولیدکننده دارویی	دارایی‌های ثابت کارکنان با مهارت بالا	مالکیت معنوی تعداد اختراعات	سهم بازار ارزش بازار کل سود	شرکتی	دلیل ناکارایی نوآوری عمدتا به دلیل ناکارایی بازاریابی است.	-
کارایاتیس و همکاران [٣٩]	کارایی نوآوری چندمرحله‌ای چندسطحی	DEAچندهدفه MCDA	۱۸۵ منطقه از ۲۳ کشور اروپایی	فارغ‌التحصیلان آموزش عالی سهام سرمایه R&D	اسناد قابل استناد سرمایه‌گذاری خطرپذیر	صادرات فناوری پیشرفته فروش نوآوری‌های جدید درآمد مجوزها	ملی و منطقه‌ای	تفاوت قابل توجهی بین کارایی دو مرحله نوآوری در هر دو سطح ملی و منطقه‌ای وجود دارد.	نادیده گرفتن تاثیر عوامل محیطی

بیشتر مطالعات کارایی نوآوری در سطح کلان مانند کشور، صنعت یا منطقه جغرافیایی متمرکز شده‌اند. مطالعات کمتری شرکت‌های سطح خرد مانند شرکت‌های دانش‌بنیان را بررسی کرده‌اند. علاوه بر این بسیاری از مطالعات از مدل‌های بازده به مقیاس ثابت (CRS[1]) جهت ارزیابی استفاده کرده‌اند، در حالی که در ارزیابی نوآوری اصل بی‌کرانی اشعه وجود ندارد و لزوما با افزایش α برابری ورودی‌ها، خروجی‌ها α برابر نمی‌شوند.

۳- مدل پژوهش

لی و همکاران [٤٠] مدل تحلیل پوششی داده‌های دومرحله‌ای با رویکرد تئوری بازی‌های همکارانه را برای یک ساختار دومرحله‌ای که مرحله دوم دارای ورودی مازاد از خارج سیستم است، توسعه دادند. در ساختار آن‌ها مرحله اول فاقد خروجی مازاد است و همچنین مدل برای شرایط بازده به مقیاس ثابت توسعه داده شد. در اینجا رویکرد پیشنهادی آن‌ها برای یک ساختار با ورودی و خروجی مازاد (شکل ۱) و شرایط بازده به مقیاس متغیر (VRS[2]) توسعه داده می‌شود. جدول (۲) متغیرها و پارامترهای پژوهش را نشان می‌دهد.


$y^1_{bj}, b = 1, 2, \ldots, B$
$x^1_{ij}, i = 1, 2, \ldots, m$
مرحله ۱
$z_{dj}, d = 1, 2, \ldots, D$
مرحله ۲
$y^2_{rj}, r = 1, 2, \ldots, S$
$x^2_{hj}, h = 1, 2, \ldots, H$

شکل ۱: ساختار دومرحله‌ای متوالی با ورودی و خروجی مازاد

---

[1] Constant Returns to Scale

[2] Variable Returns to Scale

جدول ۲: متغیرها و پارامترهای پژوهش

متغیر	شرح
x_{ij}^{1}	ورودی (۱,...,m) i ام مرحله ۱ واحد (۱, ..., n) j ام
v_i	وزن i امین ورودی مرحله ۱
y_{bj}^{1}	خروجی مازاد (۱,...,B) b ام مرحله ۱ واحد j ام
P_b	وزن b امین خروجی مازاد مرحله ۱
z_{dj}	متغیر میانی (۱,..., D) d ام واحد j ام
w_d	وزن d امین متغیر میانی
x_{hj}^{2}	ورودی مازاد (۱,...,H) h ام مرحله ۲ واحد j ام
Q_h	وزن h امین ورودی مازاد مرحله ۲
y_{rj}^{2}	خروجی (۱,...,R) r ام، مرحله ۲ واحد j ام
u_r	وزن r امین خروجی مرحله ۲ واحد j ام
o	واحد تحت ارزیابی
U_1	متغیر بازده به مقیاس متغیر مرحله اول
U_2	متغیر بازده به مقیاس متغیر مرحله دوم

در رویکرد همکارانه کارایی مراحل به گونه‌ای محاسبه می‌شود که کارایی کل حداکثر شود و دو مرحله برای حداکثر کردن کارایی کل باهم همکاری می‌کنند و وزن بهینه متغیرهای میانی با هدف حداکثر کردن کارایی کل تعیین می‌گردد. مدل (۱) نحوه محاسبه کارایی کل را بیان می‌کند. در این مدل، θ_1^o و θ_2^o به ترتیب نشان دهنده کارایی‌های مراحل ۱و۲ هستند و کارایی کل حاصل‌ضرب کارایی مراحل است. محدودیت‌ها از این جهت است که تضمین کند کارایی مراحل هیچ واحدی از یک بیشتر نشود. با توجه به اینکه کارایی کل حاصل‌ضرب کارایی دومرحله است و کارایی مراحل با توجه به محدودیت‌ها کمتر از یک خواهند شد بنابراین ضرب

کارایی مراحل هم قطعا عددی کوچکتر از یک می‌شود و درنتیجه محدودیتی که تضمین کند کارایی کل هیچ واحدی از یک بیشتر نشود زائد است و لزومی به نوشتن آن نیست.

$$\theta^{cen} = \max \theta_1^o * \theta_2^o = \max \frac{\sum_{d=1}^{D} w_d z_{do} + \sum_{b=1}^{B} P_b y_{bo}^1 + U_1}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{io}^1} \times \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro}^2 + U_2}{\sum_{d=1}^{D} w_d z_{do} + \sum_{h=1}^{H} Q_h x_{ho}^2}$$

$$s.t.$$

$$\frac{\sum_{d=1}^{D} w_d z_{dj} + \sum_{b=1}^{B} P_b y_{bj}^1 + U_1}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}^1} \le 1 \quad \forall j = 1,2,\dots,n$$

$$\frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^2 + U_2}{\sum_{d=1}^{D} w_d z_{dj} + \sum_{h=1}^{H} Q_h x_{hj}^2} \le 1 \quad \forall j = 1,2,\dots,n$$

$$v_i, w_d, Q_h, u_r, P_b \ge 0$$

$$U_1, U_2 \quad free$$

مدل

(۱)

به دلیل خروجی‌های مازاد مرحله اول ($\sum_{b=1}^{B} P_b y_{bo}^1$) و ورودی‌های مازاد به مرحله دوم ($\sum_{h=1}^{H} Q_h x_{ho}^2$) مدل غیر خطی (۱) را نمی‌توان به یک مدل خطی تبدیل کرد. در ادامه دو رویه محاسباتی جهت حل این مشکل بیان می‌شود [۴۰].

۳-۱- کارایی مرحله اول متغیر

در این روش ابتدا کارایی مرحله اول با استفاده از مدل (۲) محاسبه می‌شود.

مدل (۲)

$$\theta_1^{o\max} = \max \frac{\sum_{d=1}^{D} w_d z_{do} + \sum_{b=1}^{B} P_b y_{bo}^1 + U_1}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{io}^1}$$

$$s.t.$$

$$\frac{\sum_{d=1}^{D} w_d z_{dj} + \sum_{b=1}^{B} P_b y_{bj}^1 + U_1}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}^1} \le 1 \qquad \forall j = 1,2,\dots,n$$

$$\frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^2 + U_2}{\sum_{d=1}^{D} w_d z_{dj} + \sum_{h=1}^{H} Q_h x_{hj}^2} \le 1 \qquad \forall j = 1,2,\dots,n$$

$$v_i, w_d, Q_h, u_r, P_b \ge 0$$

$$U_1, U_2 \quad free$$

مدل (۲) را می‌توان با استفاده از طریق تبدیلات چارنز-کوپربه یک مدل برنامه‌ریزی خطی (مدل (۳)) تبدیل کرد.

مدل (۳)

$$\theta_1^{o\max} = \max \sum_{d=1}^{D} w_d z_{do} + \sum_{b=1}^{B} P_b y_{bo}^1 + U_1$$

$$s.t.$$

$$\sum_{d=1}^{D} w_d z_{dj} + \sum_{b=1}^{B} P_b y_{bj}^1 + U_1 - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}^1 \le 0 \qquad \forall j = 1,2,\dots,n$$

$$\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^2 + U_2 - \sum_{d=1}^{D} w_d z_{dj} - \sum_{h=1}^{H} Q_h x_{hj}^2 \le 0 \quad \forall j = 1,2,\dots,n$$

$$\sum_{i=1}^{m} v_i x_{io}^1 = 1$$

$$v_i, w_d, Q_h, u_r, P_b \ge 0$$

$$U_1, U_2 \quad free$$

مقدار بهینه مدل (۳) حداکثر مقدار ممکن برای کارایی مرحله اول را نشان می‌دهد. بنابراین کارایی مرحله اول را می‌توان به عنوان متغیری در فاصله $\theta_1^o \in \left[0, \theta_1^{o\max}\right]$ در نظر گرفت و کارایی کل ($\theta^{cen,1,*}$) تابعی از θ_1^o می‌شود. بنابراین مدل (۱) را می‌توان به صورت مدل (٤) بازنویسی کرد.

$$
\begin{aligned}
&\theta^{cen,1,*} = \max \theta_1^o \times \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro}^2 + U_2}{\sum_{d=1}^{D} w_d z_{do} + \sum_{h=1}^{H} Q_h x_{ho}^2} \\
&s.t. \\
&\frac{\sum_{d=1}^{D} w_d z_{dj} + \sum_{b=1}^{B} P_b y_{bj}^1 + U_1}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}^1} \le 1 \qquad \forall j = 1, 2, \dots, n \\
&\frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^2 + U_2}{\sum_{d=1}^{D} w_d z_{dj} + \sum_{h=1}^{H} Q_h x_{hj}^2} \le 1 \qquad \forall j = 1, 2, \dots, n \\
&\frac{\sum_{d=1}^{D} w_d z_{do} + \sum_{b=1}^{B} P_b y_{bo}^1 + U_1}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{io}^1} = \theta_1^o \qquad \theta_1^o \in \left[0, \theta_1^{o\max}\right] \\
&v_i, w_d, Q_h, u_r, P_b \ge 0 \\
&U_1, U_2 \quad free
\end{aligned}
$$

مدل (٤)

مدل کسری (٤) با استفاده از تبدیلات چارنز-کوپر به مدل (٥) تبدیل می‌شود.

مدل (۵)

$$\theta^{cen,1,*} = \max \theta_1^o \times \left(\sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro}^2 + U_2 \right)$$

$$s.t.$$

$$\sum_{d=1}^{D} w_d z_{dj} + \sum_{b=1}^{B} P_b y_{bj}^1 + U_1 - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}^1 \le 0 \quad \forall j = 1,2,\ldots,n$$

$$\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^2 + U_2 - \sum_{d=1}^{D} w_d z_{dj} - \sum_{h=1}^{H} Q_h x_{hj}^2 \le 0 \quad \forall j = 1,2,\ldots,n$$

$$\sum_{d=1}^{D} w_d z_{do} + \sum_{h=1}^{H} Q_h x_{ho}^2 = 1$$

$$\sum_{d=1}^{D} w_d z_{do} + \sum_{b=1}^{B} P_b y_{bo}^1 + U_1 - \theta_1^o \sum_{i=1}^{m} v_i x_{io}^1 = 0 \qquad \theta_1^o \in \left[0, \theta_1^{o\max} \right]$$

$$v_i, w_d, Q_h, u_r, P_b \ge 0$$

$$U_1, U_2 \quad free$$

در این مدل $\theta_1^o = \theta_1^{o\max} - k\Delta\varepsilon$ تعریف می‌شود. $\Delta\varepsilon$ مقداری کوچک است و می‌توان آن را ۰/۰۱ قرار داد. $k = 0,1,2,\ldots,k^{\max}$ است که $k^{\max}$ بزرگترین عدد صحیح کوچکتر یا مساوی $\frac{\theta_1^{o\max}}{\Delta\varepsilon}$ است. برای حل این مدل ابتدا با کمترین مقدار k یعنی صفر شروع کرده و سپس در هر مرحله مقدار k را افزایش داده تا $k^{\max}$. مدل مربوط به هر k که حل می‌شود، مقدار بهینه تابع هدف به صورت $\theta^{cen,1}(k)$ نشان داده می‌شود و کارایی بهینه ساختار مورد ارزیابی را می‌توان به صورت $\hat{\theta}^{cen,1,*} = \max \theta^{cen,1}(k)$ تخمین زد. یعنی کارایی کل بزرگترین کارایی محاسبه‌شده مدل (۵) به ازای kهای مختلف است. کارایی مرحله اول $\hat{\theta}_1^{o*} = \theta_1^o(k^*)$ می‌شود که $k^* = \min\left\{ k \,\middle|\, \hat{\theta}^{cen,1,*} = \theta^{cen,1}(k) \right\}$ است، یعنی

بیشترین کارایی مرحله اولی که با آن کارایی کل به اندازه مقدار بهینه می‌شود. کارایی مرحله دوم $\hat{\theta}_2^{o*} = \hat{\theta}^{cen,1,*} / \hat{\theta}_1^{o*}$ می‌شود.

۳-۲- کارایی مرحله دوم متغیر

در این روش ابتدا مدل (٦) حل می‌شود.

مدل (٦)

$$
\begin{aligned}
&\theta_2^{o\max} = \max \sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro}^2 + U_2 \\
&s.t. \\
&\sum_{d=1}^{D} w_d z_{dj} + \sum_{b=1}^{B} P_b y_{bj}^1 + U_1 - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}^1 \le 0 \quad \forall j = 1,2,\dots,n \\
&\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^2 + U_2 - \sum_{d=1}^{D} w_d z_{dj} - \sum_{h=1}^{H} Q_h x_{hj}^2 \le 0 \quad \forall j = 1,2,\dots,n \\
&\sum_{d=1}^{D} w_d z_{do} + \sum_{h=1}^{H} Q_h x_{ho}^2 = 1 \\
&v_i, w_d, Q_h, u_r, P_b \ge 0 \\
&U_1, U_2 \quad free
\end{aligned}
$$

با حل مدل (٦)، حداکثر کارایی مرحله‌ی دوم به دست می‌آید و کارایی مرحله‌ی دوم باید بین صفر و این حداکثر مقدار قرار گیرد، یعنی $\theta_2^o \in \left[0, \theta_2^{o\max}\right]$. پس مدل (١) را می‌توان به صورت مدل (٧) نوشت.

مدل (۷)

$$\theta^{cen,2,*} = \max \frac{\sum_{d=1}^{D} w_d z_{do} + \sum_{b=1}^{B} P_b y_{bo}^{1} + U_1}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{io}^{1}} \times \theta_2^{o}$$

$$s.t.$$

$$\frac{\sum_{d=1}^{D} w_d z_{dj} + \sum_{b=1}^{B} P_b y_{bj}^{1} + U_1}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}^{1}} \le 1 \qquad \forall j = 1,2,\dots,n$$

$$\frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^{2} + U_2}{\sum_{d=1}^{D} w_d z_{dj} + \sum_{h=1}^{H} Q_h x_{hj}^{2}} \le 1 \qquad \forall j = 1,2,\dots,n$$

$$\frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro}^{2} + U_2}{\sum_{d=1}^{D} w_d z_{do} + \sum_{h=1}^{H} Q_h x_{ho}^{2}} = \theta_2^{o} \qquad \theta_2^{o} \in \left[0, \theta_2^{o\max}\right]$$

$$v_i, w_d, Q_h, u_r, P_b \ge 0$$

$$U_1, U_2 \quad free$$

مدل (۷) یک مدل کسری است که با تبدیلات چارنز-کوپر به صورت مدل (۸) خطی می‌شود.

مدل (۸)

$$\theta^{cen,2,*} = \max \theta_2^o \times (\sum_{d=1}^{D} w_d z_{do} + \sum_{b=1}^{B} P_b y_{bo}^1 + U_1)$$

$$s.t.$$

$$\sum_{d=1}^{D} w_d z_{dj} + \sum_{b=1}^{B} P_b y_{bj}^1 + U_1 - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}^1 \leq 0 \quad \forall j = 1,2,\dots,n$$

$$\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^2 + U_2 - \sum_{d=1}^{D} w_d z_{dj} - \sum_{h=1}^{H} Q_h x_{hj}^2 \leq 0 \quad \forall j = 1,2,\dots,n$$

$$\sum_{i=1}^{m} v_i x_{io}^1 = 1$$

$$\sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro}^2 + U_2 - \theta_2^o \sum_{d=1}^{D} w_d z_{do} - \theta_2^o \sum_{h=1}^{H} Q_h x_{ho}^2 = 0 \qquad \theta_2^o \in \left[0, \theta_2^{o\max}\right]$$

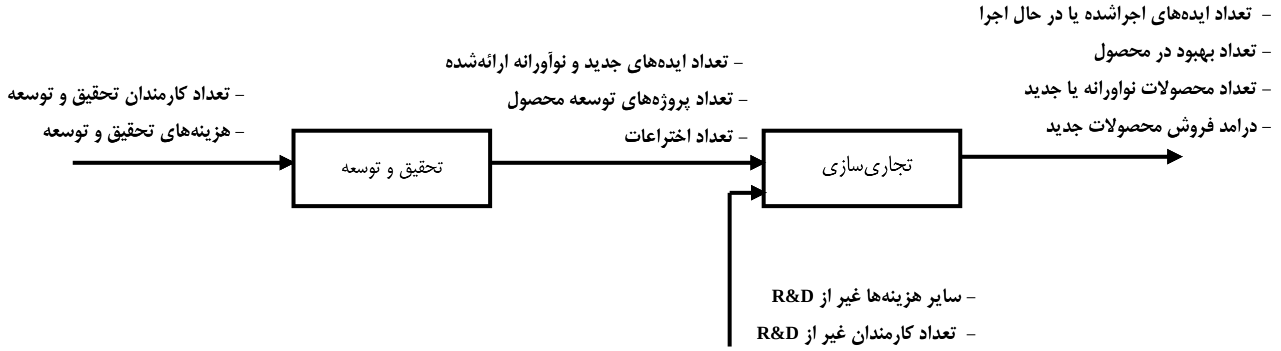
$$v_i, w_d, Q_h, u_r, P_b \geq 0$$

$$U_1, U_2 \quad free$$

در این فرمول $\theta_2^o = \theta_2^{o\max} - k\Delta\varepsilon$ است و به ازای kهای مختلف، مقادیر کارایی محاسبه و به صورت $\theta^{cen,2}(k)$ نشان داده می‌شود. کارایی بهینه کل برابر می‌شود با $\hat{\theta}^{cen,2,*} = \max \theta^{cen,2}(k)$ و کارایی مرحله دوم $\hat{\theta}_2^{o*} = \theta_2^o(k^*)$ می‌شود که $k^* = \min\left\{k \middle| \hat{\theta}^{cen,2,*} = \theta^{cen,2}(k)\right\}$ است، یعنی بیشترین کارایی مرحله دومی که با آن کارایی کل به اندازه مقدار بهینه می‌شود. کارایی مرحله اول $\hat{\theta}_1^{o*} = \hat{\theta}^{cen,2,*} / \hat{\theta}_2^{o*}$ می‌شود.

۴- مطالعه کاربردی

در این پژوهش فرایند نوآوری شرکت‌های دانش بنیان حوزه فناوری اطلاعات و ارتباطات استان یزد مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا با بررسی پیشینه پژوهش و مصاحبه با خبرگان دانشگاهی و صنعت، ساختار، ورودی‌ها، میانی‌ها و خروجی‌های فرایند نوآوری مطابق شکل (۱) در نظر گرفته شد.


- تعداد کارمندان تحقیق و توسعه
- هزینه‌های تحقیق و توسعه
تحقیق و توسعه
- تعداد ایده‌های جدید و نوآورانه ارائه‌شده
- تعداد پروژه‌های توسعه محصول
- تعداد اختراعات
تجاری‌سازی
- سایر هزینه‌ها غیر از R&D
- تعداد کارمندان غیر از R&D
- تعداد ایده‌های اجراشده یا در حال اجرا
- تعداد بهبود در محصول
- تعداد محصولات نواورانه یا جدید
- درامد فروش محصولات جدید

شکل ۲: ساختار و متغیرهای فرایند نوآوری

طبق این ساختار، فرایند نوآوری شامل دومرحله متوالی تحقیق و توسعه (R&D) و تجاری‌سازی است. داده‌های مربوط به ورودی‌ها، خروجی‌ها و متغیرهای میانی سال ۱۴۰۱، نه شرکت دانش‌بنیان فناوری اطلاعات و ارتباطات مستقر در پارک علم و فناوری استان یزد با مراجعه حضوری جمع‌آوری شد.

۵- تحلیل داده‌ها

با استفاده از نرم‌افزار لینگو و بر اساس رویه‌های محاسباتی گفته شده، مقادیر کارایی مراحل و کل فرایند نوآوری هر یک از شرکت‌ها در هر دو حالت الف (کارایی مرحله اول متغیر) و ب (کارایی مرحله دوم متغیر) محاسبه شد. جدول (۳) نتایج محاسبه کارایی‌ها را با $k=0/01$ نشان می‌دهد.

جدول ۳: نتایج تحلیل داده‌ها

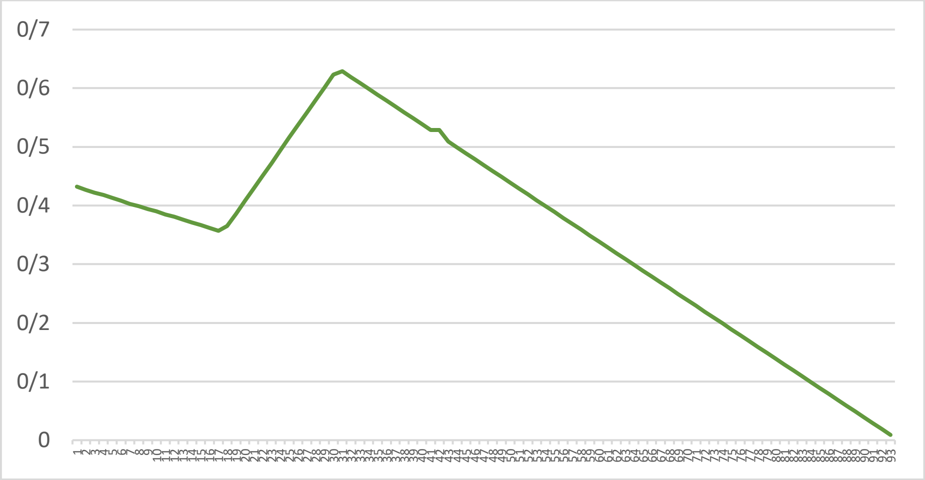
		کارایی مرحله اول متغیر (الف)			کارایی مرحله دوم متغیر (ب)		
شرکت	کارایی جعبه سیاه	کارایی R&D	کارایی تجاری‌سازی	کارایی فرایند نوآوری	کارایی R&D	کارایی تجاری‌سازی	کارایی فرایند نوآوری
۱	۱	۰/۷۷۸	۱	۰/۷۷۸	۰/۷۷۸	۱	۰/۷۷۸
۲	۱	۱	۰/۸	۰/۸	۱	۰/۷۹۲	۰/۷۹۲
۳	۰/۸۸۳	۰/۵۹۷	۰/۷۳۳	۰/۴۳۸	۰/۴۶۹	۰/۹۳۳	۰/۴۳۸
٤	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
٥	۱	۰/۵۰۵	۰/۸۴۳	۰/۴۶۲	۰/۴۶۵	۰/۹۲۳	۰/۴۲۹
٦	۰/۸۷۹	۰/۹۱۸	۰/۳۳۳	۰/۳۰۶	۰/۶۶۶	۰/۴۴۱	۰/۲۹۴
۷	۱	۰/۶۲۹	۱	۰/۶۲۹	۰/۶۳۴	۱	۰/۶۳۴
۸	۱	۰/۹۱۷	۰/۷۱۳	۰/۶۵۴	۰/۹۱۷	۰/۷۱۳	۰/۶۵۴
۹	۰/۸۰۰	۰/۷۵۵	۰/۷۰۱	۰/۵۲۹	۰/۶۱۸	۰/۸۵۷	۰/۵۳۰

برای مثال کارایی مرحله اول، کارایی مرحله دوم و کارایی کل واحد هفت در حالت الف به ترتیب ۰/۶۲۹، ۱ و ۰/۶۲۹ به دست آمد. به این ترتیب که ابتدا حداکثر کارایی مرحله اول این واحد با مدل (۳) محاسبه و ۰/۹۲۹ ($\theta_1^{7\max}=0/929$) بدست آمد و سپس بر اساس فرمول $\theta_1^7=0/929-0/01k$ و به ازای $k=0,1,2,\dots,k^{\max}=0/92$ مدل (۵) حل و نمرات کارایی کل ($\theta^{cen,1}(k)$) محاسبه شد. جدول (٤) نتایج این محاسبات را نشان می‌دهد.

جدول ۴: نتایج کارایی واحد ۷ به ازای k مختلف

k	θ_1^7	$\theta^{cen,1}(k)$
0–10	0.929 – 0.829	0.432 – 0385
11-20	0.819 – 0.729	0.381 – 0.429
21-30	0.719 – 0.629	0.451 – 0.629
31-40	0.619 – 0.529	0.619 – 0.529
41-50	0.519 – 0.429	0.519 – 0.429
51-60	0.419 – 0.329	0.419 – 0.329
61-70	0.319 – 0.229	0.319 – 0.229
71-80	0.219 – 0.129	0.219 – 0.129
81–90	0.119 – 0.029	0.119 – 0.029

با توجه به جدول (٤) بیشترین مقدار کارایی کل ۰/۶۲۹ ($\hat{\theta}^{cen,1,*} = \max \theta^{cen,1}(k) = 0.629$) می‌شود که مربوط به $k=30$ است. همچنین کارایی مرحله اول $\hat{\theta}_1^{7*} = \theta_1^7(k^*=30) = 0.629$ و کارایی مرحله دوم $\hat{\theta}_2^{o*} = \frac{\hat{\theta}^{cen,1,*}}{\hat{\theta}_1^{o*}} = \frac{0/629}{0/629} = 1$ می‌شود. نمودار (۱) روند تغییرات کارایی کل واحد ۷ را به ازای k های مختلف نشان می‌دهد که به ازای $k=30$ حداکثر می‌شود.



نمودار ۱: تغییرات کارایی کل واحد ۷

منطقه موجه مدل (۵) و مدل (۸) زیرمجموعه‌ای از منطقه موجه مدل (۱) هستند (تمام محدودیت‌های مدل (۱) را دارند)، پس هر دو دسته جواب‌های بهینه کارایی مرحله اول متغیر (الف) و کارایی مرحله دوم متغیر (ب)، جواب‌های موجه‌ای برای مدل (۱) هستند. بنابراین از بین دو رویه الف و ب، کارایی‌هایی نهایی هر واحد بر اساس کارایی کل بیشتر انتخاب می‌شود، چرا که در رویکرد همکارانه هدف حداکثر کردن کارایی کل است. برای مثال کارایی کل واحد ٦ در رویه الف، ۰/۳۰٦ و در رویه ب، ۰/۲۹٤ شده است، بنابراین کارایی کل نهایی این واحد ۰/۳۰٦ و کارایی مرحله اول و دوم آن به ترتیب ۰/۹۱۸ و ۰/۳۳۳ می‌شود. جدول (۵) مقادیر نهایی کارایی‌ها را به همراه رتبه نشان می‌دهد.

جدول ۵: نمرات نهایی کاراییها

شرکت	کارایی R&D	رتبه	کارایی تجاری‌سازی	رتبه	کارایی فرایند نوآوری	رتبه
۱	۰/۷۷۸	٥	۱	۱	۰/۷۷۸	۳
۲	۱	۱	۰/۸	٦	۰/۸	۲
۳	۰/٥۹۷	۸	۰/۷۳۳	۷	۰/٤۳۸	۸
٤	۱	۱	۱	۱	۱	۱
٥	۰/٥۰٥	۹	۰/۸٤۳	٥	۰/٤٦۲	۷
٦	۰/۹۱۸	۳	۰/۳۳۳	۹	۰/۳۰٦	۹
۷	۰/٦۳٤	۷	۱	۱	۰/٦۳٤	٥
۸	۰/۹۱۷	٤	۰/۷۱۳	۸	۰/٦٥٤	٤
۹	۰/٦۱۸	٦	۰/۸٥۷	٤	۰/٥۳۰	٦

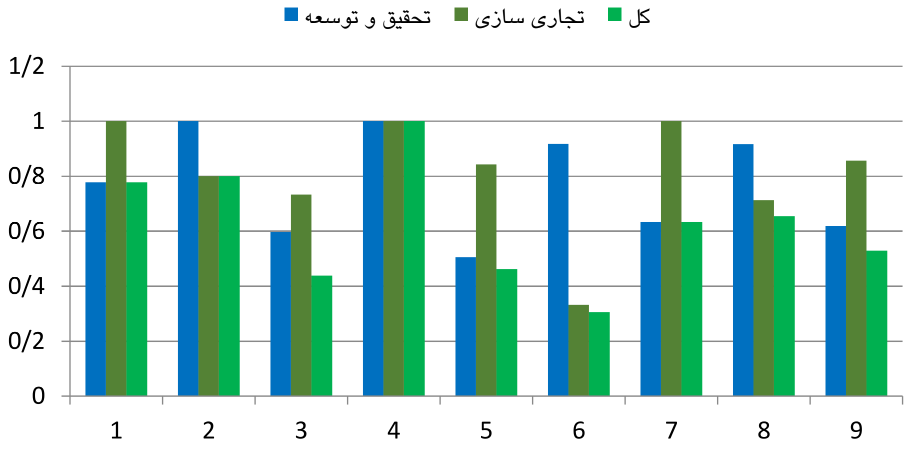
شرکت‌های ۲ و ٤ در مرحله تحقیق و توسعه و شرکت‌های ۱، ٤ و ۷ در مرحله تجاری‌سازی کارا هستند و تنها شرکت ٤ کارای کل است. برای هر شرکت منبع اصلی عدم کارایی آن مشخص است. برای مثال ناکارایی شرکت ۱ به مرحله تحقیق و توسعه برمی‌گردد و علی‌رغم اینکه در مرحله تجاری‌سازی رتبه ۱ را دارد اما در مرحله تحقیق و توسعه رتبه ٥ را از ۹ دارد. بنابراین تمرکز اصلی این شرکت باید بر تقویت تحقیق و توسعه خود باشد. یا شرکت ٦ که ضعیف‌ترین عملکرد نوآوری را دارد عمدتا به دلیل ضعف در مرحله تجاری‌سازی است.

۶- نتیجه‌گیری

ارزیابی منطقی فرآیند نوآوری و تعیین کارایی و عدم کارایی آن، یک مساله مهم در شرکت‌های دانش بنیان است. با توجه به اینکه فرایند نوآوری شامل دو مرحله متوالی تحقیق و توسعه و تجاری‌سازی است، برای ارزیابی آن از تحلیل پوششی داده‌های دومرحله‌ای همکارانه استفاده شد. در ابتدا با توجه به پیشنهاد لی و همکاران [٤۰] برای تحقیقات آتی، مدل و رویکرد آن‌ها به ساختارهای دومرحله‌ای دارای ورودی و خروجی مازاد و شرایط بازده به مقیاس متغیر توسعه داده شد. سپس نمرات کارایی ۹ شرکت دانش‌بنیان فناوری اطلاعات و ارتباطات مستقر در پارک علم و فناوری استان یزد با استفاده از این مدل‌ها محاسبه شد. نتایج نشان داد تنها شرکت چهار کارای کل است و برای سایر واحدها منبع عدم کارایی مشخص شد. طبق نتایج

شرکت‌های یک، سه، پنج، هفت و نه در مرحله تجاری‌سازی کاراتر از مرحله تحقیق و توسعه هستند و شرکت‌های دو، شش و هشت در مرحله تحقیق و توسعه کاراتر هستند. به طور کلی میانگین نمره کارایی مرحله تحقیق و توسعه، مرحله تجاری‌سازی و کل فرایند نوآوری به ترتیب ٠/٧٧٤، ٠/٨٠٩ و ٠/٦٢٢ بدست آمد. این نشان می‌دهد عدم کارایی نوآوری این شرکت‌ها بیشتر به عدم کارایی تحقیق و توسعه برمی‌گردد. در تحقیقات یو و همکاران [٢٨]، لیو و لیا [٤١] و فانگ و همکاران [٤٢] نتایج مشابهی بدست آمد. در این پژوهش‌ها که به ارزیابی تحقیق و توسعه و تجاری‌سازی به عنوان دو مرحله فرایند نوآوری پرداخته بودند، عدم کارایی نوآوری شرکت‌ها بیشتر به دلیل ضعف مرحله تحقیق و توسعه بود. از آنجا که سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه فرصتی برای رقابت غیرقیمتی بین شرکت‌ها فراهم می‌آورد، باید کارایی R&D را بهبود داد. برای این منظور اول دولت باید حمایت‌ها و مشوق‌های مالی را افزایش دهد و بودجه ویژه‌ای را برای تحقیقات علمی تخصیص دهد و از شرکت‌های دانش‌بنیان در حال رشد به ویژه آن‌هایی که ظرفیت قوی برای نوآوری فناوری دارند، حمایت کند. دوم شرکت‌ها باید شدت سرمایه‌گذاری تحقیق و توسعه و قابلیت نوآوری مستقل را افزایش دهند. از طرفی شرکت‌ها باید نه تنها بودجه دولتی، بلکه سرمایه‌های شرکتی و اجتماعی را در تلاشی مشترک برای افزایش توجه به R&D به کار گیرند. بنابراین شرکت‌های دانش‌بنیانی که که کارایی تحقیق و توسعه آن‌ها پایین است می‌توانند با افزایش سرمایه‌گذاری هدفمند به توسعه این مرحله بپردازند. توصیه می‌شود که شرکت‌های دانش‌بنیان به جای محدودکردن فعالیت‌های R&D خود در استان یزد، پیوندها و ارتباطات خود را با دانشگاه‌ها وموسسات تحقیقاتی خارج از استان نیز تقویت کنند.

نتایج این پژوهش با مطالعات گوان و چن [٣٠]، چن و همکاران [٤٣]، وانگ و همکاران [٢٩] و ژانگ و همکاران [٣٧] که عامل اصلی عدم‌کارایی نوآوری شرکت‌ها را مرحله تجاری‌سازی عنوان کردند، در تضاد است. تمرکز صرف بر برنامه‌های تحقیق و توسعه و غفلت از برنامه‌های تجاری‌سازی منجر به تولید محصولات بی‌کیفیت و نهایتا از دست دادن بازار می‌شود. نمودار (٢) نمرات کارایی شرکت‌ها را به تفکیک نشان می‌دهد.



نمودار ۲: نمرات کارایی واحدها

تنها در سه شرکت عملکرد تحقیق و توسعه بهتر از تجاری‌سازی است و این مرحله پتانسیل بیشتری برای بهبود عملکرد نوآوری دارد. کارایی هر دو مرحله شرکت‌های یک و چهار از میانگین بالاتر و بنابراین شرکت‌های پیشرو در نوآوری هستند. شرکت‌های سه و نه کارایی هر دو مرحله‌شان کمتر از میانگین و نشاندهنده مدیریت ضعیف هم در تحقیق و توسعه و هم در تجاری‌سازی است. شرکت‌های پنج و هفت در گروه شرکت‌های با کارایی تحقیق و توسعه کمتر از میانگین و کارایی تجاری‌سازی بالاتر از میانگین قرار می‌گیرند. کارایی تحقیق و توسعه شرکت‌های دو، شش و هشت بالاتر از میانگین و کارایی تجاری‌سازی آن‌ها کمتر از میانگین است. به طور کلی با توجه به ماهیت سیستماتیک رابطه بین تحقیق و توسعه و تجاری‌سازی، سیاست‌گذاران باید بر هماهنگی فعالیت‌های دو مرحله تاکید کنند. وجود متغیرهای میانی بین دو مرحله باعث می‌شود یکی بدون در نظرگرفتن دیگری نتواند بهبود یابد. بنابراین متعادل‌کردن رابطه بین هر دو فرایند و اتخاذ یک تصمیم عاقلانه برای تخصیص منابع پیشنهاد می‌شود.

از جمله محدودیت‌های پژوهش حاضر عدم بررسی اثر تاخیر زمانی در فعالیت‌های نوآوری است. به منظور در نظر گرفتن این موضوع می‌توان در پژوهش‌های آتی از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای پویا یا تحلیل پنجره‌ای یا شاخص مالم‌کوئیست که زمان را هم در ارزیابی لحاظ می‌کنند، استفاده کرد. محدودیت دیگر پژوهش عدم ارائه برخی اطلاعات توسط

شرکت‌ها و در نتیجه تعداد کم واحدها در مطالعه کاربردی بود (شرکت‌های با اطلاعات ناقص حذف شدند). البته در مدل‌های پژوهش (رویکرد همکارانه) چون وزن بهینه متغیرهای میانی با وزن بهینه کارایی مراحل به صورت مستقل، متفاوت است، واحدهای زیادی در مراحل کارا نمی‌شوند. اما در رویکرد غیرهمکارانه (رهبر–پیرو) وزن میانی‌ها توسط مرحله رهبر تعیین می‌شود وبنابراین در مطالعات با تعداد کم واحد مشکل عدم تفکیک بین واحدهای کارا و ناکارا به وجود می‌آید. توسعه روش پیشنهادی به سایر ساختارهای شبکه‌ای از جمله چندمرحله‌ای متوالی و ترکیبی می‌تواند در مطالعات بعدی مورد بررسی قرار گیرد. می‌توان با تفکیک فرایند نوآوری به سه مرحله اکتشاف (ایده‌پردازی)، تحقیق و توسعه و تجاری‌سازی به ارزیابی دقیق‌تر و شناسایی بهتر منابع عدم‌کارایی پرداخت.

۷- منابع

[1] Abril, C. & Gimenez-Fernandez, E. M. (2024). Using gamification to overcome innovation process challenges: A literature review and future agenda. *Technovation*, *133*, 103020. DOI:10.1016/j.technovation.2024.103020.

[2] Nandal, N., Kataria, A. & Dhingra, M. (2020). Measuring Innovation: Challenges and Best Practices. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 29, 5, 1275-1285. http://sersc.org/journals/index.php/IJAST/article/view/8157.

[3] Qin, Y., Zhang, P., Deng, X. & Liao, G. (2023). Innovation efficiency evaluation of industrial technology research institute based on three-stage DEA. *Expert Systems with Applications*, 224. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120004.

[4] An Q., Meng F., Xiong B., Wang Z. & Chen X. (2020). Assessing the relative efficiency of Chinese high-tech industries: a dynamic network data envelopment analysis approach. *Annals of Operations Research*, 290(1), 707-729. DOI: 10.1007/s10479-018-2883-2.

[5] Zuo, Z., Guo, H., Li, Y., Cheg, J. (2022). A two-stage DEA evaluation of Chinese mining industry technological innovation efficiency and eco-efficiency. *Environmental Impact Assessment Review*, 94, 106762. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106762.

[6] Alinezhad, A., Azar, A. & PourZarandi, M. (2019). Designing a Model for Predicting and Evaluating the Innovation Capacity of Knowledge-based Companies with a Neural-Adaptive Fuzzy Inference System (ANFIS). *Public Management Researches*, 13, 47, 55-84. [In Persian]

[7] Azar, A., Mohebbi, H., Khadivar, A., & Heydari, A. (2017). A New Mathematical Model to Solve the Assignment Problems Caused by Multiple Heterogeneous Inputs and Outputs. *Industrial Management Journal*, *9*(1), 1-18. [In Persian]

[8] Lin, R. & Li, Z. (2020). Directional distance based diversification super-efficiency DEA models for mutual funds. *Omega*, 97(C). https://doi.org/10.1016/j.omega.2019.08.003

[9] Mohebbi, H., Azar, A., Heidari, A., & Khadivar, A. (2019). Designing a Mathematical Model for Optimum Assignment in the Two-stage Green Supply Chain using Network Data Envelopment Analysis and Electrical Circuits. *Industrial Management Studies*, *17*(54), 1-23. [In Persian]

[10] Kao C. & Hwang S. N. (2010). Efficiency measurement for network systems: IT impact on firm performance. *Decision Support Systems*, 48(3):437–446. https://doi.org/10.1016/j.dss.2009.06.002.

[11] Liang, L, Cook W. D. & Zhu J. (2008). DEA Models for Two-Stage Processes: Game Approach and Efficiency Decomposition. *Naval Research Logistics,* 55. https://doi.org/10.1002/nav.20308.

[12] Halkos, G. E., Tzeremes, N. G. & Kourtzidis, S. A. (2014). A unified classification of two-stage DEA models. *Surveys in Operations Research and Management Science*, 19(1), 1–16. https://doi.org/10.1016/j.sorms.2013.10.001.

[13] Wang, C., Gopal, R. & Zionts, S. (1997). Use of data envelopment analysis in assessing information technology impact on firm performance. *Annals of Operations Research,* 73(1), 191–213. https://doi.org/10.1016/j.sorms.2013.10.001.

[14] Seiford, L. M. & Zhu, J. (1999). Profitability and marketability of the top 55. U.S. Commercial Banks. *Performance of Financial Institutions,* 45(9), 1270–1288. http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.45.9.1270.

[15] Chen, Y. & Zhu, J. (2004). Measuring information technology's indirect impact on firm performance. *Information Technology & Management*, 5(1), 9–22. https://doi.org/10.1023/B:ITEM.0000008075.43543.97.

[16] Castelli, L, Pesenti, R. & Ukovich, W. (2010). A classification of DEA models when the internal structure of the Decision Making Units is considered. *Annals of Operations Research*, 173(1), 207–35. https://doi.org/10.1007/s10479-008-0414-2.

[17] 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, 1*85(1), 418–429. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.11.041.

[18] Chen, Y., Cook, W. D., Li, N. & Zhu, J. (2009). Additive efficiency decomposition in two-stage DEA. *European Journal of Operational Research,*196(3),1170–1176. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.05.011.

[19] Liang, L., Yang, F., Cook, W. D. & Zhu, J. (2006). DEA models for supply chain efficiency evaluation. *Annals Operations Research*, 145(1), 35–49. https://doi.org/10.1007/s10479-006-0026-7.

[20] Chu, J., Wu, J., Chu, C. & Zhang, T. (2019). DEA-based fixed cost allocation in two-stage systems: Leader-follower and satisfaction degree bargaining game approaches. *Omega,* 94, 102054. https://doi.org/10.1016/j.omega.2019.03.012.

[21] Wang, M., Huang, Y. & Li, D. (2021). Assessing the performance of industrial water resource utilization systems in China based on a two-stage DEA approach with game cross efficiency. Journal of Cleaner Production, 312, 127722. https: //doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127722.

[22] Wu, J., Xu, G., Zhu & Q. Zhang, C. (2021). Two-stage DEA models with fairness concern: Modelling and computational aspects. *Omega*, 105. https://doi.org/ 10.1016/j.omega.2021.102521.

[23] Yousefi, S., Jahangoshai Rezaee, M. & Solimanpur, M. (2019). Supplier selection and order allocation using two-stage hybrid supply chain model and game-based order price. *Operational Research International Journal,* 21, 553-588. https://doi.org/10.1007/s12351-019-00456-6.

[24] Fang, L. (2020). Stage efficiency evaluation in a two-stage network data envelopment analysis model with weight priority. *Omega*, 97. https://doi.org/10.1016/j.omega.2019.06.007.

[25] Yin, P., Chu, J., Wu, J., Ding, J., Yang, M. & Wang, Y. (2020). A DEA-based two-stage network approach for hotel performance analysis: An internal cooperation perspective. *Omega,* 93. https://doi.org/10.1016/j.omega.2019.02.004.

[26] Liu, H., Yang, G., Liu, X. & Song, Y. (2020). R&D performance assessment of industrial enterprises in China: A two-stage DEA approach. *Socio-Economic Planning Sciences*, 71. https://doi.org/10.1016/j.seps.2019.100753.

[27] Liu, X., Wu, X. & Zhang, W. (2024). A new DEA model and its application in performance evaluation of scientific research activities in the universities of Chinas double first-class initiative. *Socio-Economic Planning Sciences*, 92. https://doi.org/ 10.1016/j.seps. 2024.101839.

[28] Yu, A., Shi, Y., You, J. & Zhu, J. (2020). Innovation performance evaluation for high-tech companies using a dynamic network data envelopment analysis approach. *European Journal of Operational Research*, 292(5). https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.10.011.

[29] Wang, Y., Pan, J., Pei, R., Yi, B. & Yang, G. (2020). Assessing the technological innovation efficiency of China's high-tech industries with a two-stage network DEA approach. *Socio-Economic Planning Sciences,* 71. https://doi.org/10.1016/j.seps.2020.100810.

[30] Guan, J., Chen, K. (2012). Modeling the relative efficiency of national innovation systems. *Research Policy,* 41 (1), 102–115. https://doi.org/10.1016/j.respol.2011.07.001.

[31] Ma, J. (2015). A two-stage DEA model considering shared inputs and free intermediate measures. *Expert Systems with Applications*, 42, 4339-4347. https://doi.org/10.1016 /j.eswa.2015.01.040.

[32] Lee, J., Kim, C. & Choi, G. (2019). Exploring data envelopment analysis for measuring collaborated innovation efficiency of small and medium-sized enterprises in Korea. *European Journal of Operational Research*, 278 (2). https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.08.044.

[33] Chiu, S. H. & Lin, T. (2019). Evaluating of Regional Knowledge Innovation System in China: An Economic Framework Based on Dynamic Slacks-based Approach. *Journal of Asian Finance, Economics and Business*, 6(3), 141-149. DOI:10.13106/jafeb.2019.vol6.no3.141.

[34] Chun, D., Chung, Y., Woo, C., Seo, H. & Ko, H. (2015). Labor Union Effects on Innovation and Commercialization Productivity: An Integrated Propensity Score Matching and Two-Stage Data Envelopment Analysis. *Sustainability*, 7, 5120-5138. https://doi.org/10.3390/ su7055120.

[35] Xiong, X., Yang, G. L. & Guan, Z. (2018). Assessing R&D efficiency using a two-stage dynamics DEA model: A case study of research institutes in the Chines. *Journal of Informetrics*, 12, 784-805. DOI:10.1016/j.joi.2018.07.003.

[36] Wang, X., Liu, Y. & Chen, L. (2023). Innovation Efficiency Evaluation Based on a Two-Stage DEA Model With Shared-Input: A Case of Patent-Intensive Industry in China, in *IEEE Transactions on Engineering Management*, 70(5), 1808-1822. https://doi.org/10.1109/ TEM.2021.3068989.

[37] Zhang, B., Luo, Y. & Chiu, Y. H. (2019). Efficiency evaluation of Chinas high-tech industry with a multi-activity network data envelopment analysis approach. *Socio-Economic Planning Sciences,* 66, 2-9. https://doi.org/10.1016/j.seps.2018.07.013.

[38] Mills, E. F. E. A., Zeng, K., Fangbiao, L., & Fangyan, L. (2021). Modeling innovation efficiency, its micro-level drivers, and its impact on stock returns. *Chaos, Solitons & Fractals, 152,* 111303. https://doi.org/10.1016/j.chaos.2021.111303.

[39] Carayannis, E., Grigoroudis, E. & Goletsis, Y. (2016). A multilevel and multistage efficiency evaluation of innovation systems: A multiobjective DEA approach. *Expert Systems With Applications,* 62, 63-80. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.06.017.

[40] Li, Y., Chen, Y., Liang, L. & Xie, J. (2012). DEA models for extended two-stage network structures. *Omega,* 40, 611-618. https://doi.org/10.1016/j.omega.2011.11.007.

[41] Liu, Z. & Lyu, J. (2020). Measuring the innovayion efficiency of the Chinese pharmaceutical industry based on a dynamic network DEA model. *Applied Economics Letters,* 27 (1), 35-40. https://doi.org/10.1080/13504851.2019.1606402.

[42] Fang, Z., Gui, W., Han, Z. & Lan, L. (2024). The efficiency evaluation and influencing factor analysis of regional green innovation: a refined dynamic network slacks-based measure approach. *Kybernetes*, 53, 6, 2153-2193. https://doi.org/10.1108/ K-03-2022-0420.

[43] Chen, X., Liu, Z. & Zhu, Q. (2018). Performance evaluation of Chinas high-tech innovation process: Analysis based on the innovation value chain. *Technovation,* 74, 42-53. https://doi.org/10.1016/j.technovation.2018.02.009.