

اندازه‌گیری کارایی سیستم‌های سلسه مراتبی شبکه‌ای به کمک رویکرد

ترکیبی Network DEA-Fuzzy ANP

الهه شریعتمداری سرکانی^۱، فرهاد حسین‌زاده لطفی^۲، سیداسماعیل نجفی^{۳*}، مهناز احدزاده نمین^۴

^(۱) گروه مهندسی صنایع، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

^(۲) گروه ریاضی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

^(۴) گروه ریاضی، واحد شهرقدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۹/۰۹/۲۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۲/۰۴

چکیده

دانشگاه‌ها مانند هر سازمان دیگری و به منظور آگاهی از میزان مطلوبیت فعالیت‌های خود نیاز مبرمی به نظام ارزیابی دارند. در این پژوهش با استفاده از مدل جدید هیبریدی تحلیل پوششی داده شبکه‌ای (NDEA) و فرآیند تحلیل شبکه‌ای فازی (FANP) ارزیابی کارایی و همچنین رتبه‌بندی انجام گرفته است. روش انجام بدین صورت است که وزن‌های ورودی‌های توزیع‌شده به کمک FANP حاصل سپس این وزن‌ها در مدل NDEA مورد استفاده قرار گرفته است. تعداد نه دانشکده علوم پایه از دانشگاه آزاد اسلامی به عنوان واحدهای تصمیم‌گیرنده (DMU) در نظر گرفته شده و بررسی کارایی این DMUها در دو حوزه آموزشی و پژوهشی طی سال ۹۴-۹۵ انجام شده است. بدین صورت که ابتدا ساختار سلسله مراتبی دانشکده ترسیم سپس گروه‌های ریاضی و آمار، زیست، شیمی، فیزیک مورد بررسی قرار گرفته‌اند و شاخص‌های ورودی و خروجی تعیین می‌شوند. همچنین کارایی DMUها با استفاده از روش DEA کلاسیک بررسی و در نهایت نتایج روش FANP-NDEA با DEA کلاسیک مقایسه شده است. نتایج تحقیق در محاسبه کارایی با استفاده از روش DEA، نشان می‌دهد که کارایی همه DMUها برابر با یک و هیچ رتبه‌بندی بین DMUها وجود ندارد. با استفاده از DEA، DMUها به عنوان یک جعبه سیاه که در آن ورودی‌ها به خروجی‌ها تبدیل می‌شوند؛ در نظر گرفته می‌شود، یعنی ساختار داخلی آن مورد توجه قرار نمی‌گیرد. مدل ارائه شده FANP-NDEA قادر است با در نظر گرفتن تولیدات میانی و ورودی‌های مشترک، کارایی کل DMU و همچنین کارایی داخلی واحدها را در نظر بگیرد. همچنین با استفاده از این ابزار مدیران می‌توانند کاندیدهای بالقوه را به عنوان بهترین الگو شناسایی نمایند.

واژه‌های کلیدی: کارایی، تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای، فرآیند تحلیل شبکه فازی، مجموعه فازی، ساختار سلسله مراتبی

۱- مقدمه

اندازه‌گیری کارایی یکی از مهم‌ترین فرآیندهای راهبردی است که ضمن ارتقاء پاسخگویی، میزان تحقق اهداف و برنامه‌های هر سازمان را مشخص می‌کند. باید توجه کرد که دانشگاه‌ها به عنوان بدنه اصلی آموزش عالی و منبع مهم تأمین نیروی انسانی ماهر و متفکر، نقش بسیار مهم و تعیین‌کننده‌ای در رشد و توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی کشور داشته و حتی به عنوان محور اصلی توسعه نیز معرفی می‌شوند. آموزش و پژوهش دو رسالت اصلی دانشگاه‌ها بوده و ارزیابی عملکرد گروه‌های آموزشی و پژوهشی از فرآیند دشوار تخصیص منابع در دانشگاه‌ها به شمار می‌رود.

طی سال‌های گذشته مدل‌های مختلفی برای اندازه‌گیری عملکرد ابداع شده است که می‌توان آن‌ها را به دو دسته کلی مدل‌های سخت با تکیه بر داده‌های کمی و عینی (مانند مدل‌های تحقیق در عملیات، اغلب مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و مدل تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)^۱ و همچنین مدل‌های نرم با تکیه بر داده‌های ذهنی و کیفی (از جمله تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی، روش دلفی و گروه‌های اسمی) تفکیک کرد. یکی از کاربردی‌ترین آن‌ها، تکنیک DEA است.

در این راستا به کارگیری روش DEA علاوه بر ایجاد یک سیستم اندازه‌گیری عملکرد در سازمان، می‌تواند به عنوان یک سیستم یکپارچه مدیریتی، مدیران را قادر سازد تا با شفاف کردن فعالیت‌های خود، رسالت و راهبرد سازمان را جامعه عمل بپوشانند. این روش یک نقیصه عمومی دارد و آن این‌که صرفاً ریاضی است و بنابراین قابلیت لحاظ نمودن شاخص‌های کیفی، ذهنی در آن وجود ندارد. در این میان، برخی از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره از جمله فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP)^۲ با ویژگی‌های خاص خود می‌توانند این نقیصه را برطرف نمایند. هر دو روش DEA و ANP در عمل بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند. در ANP نظرات تصمیم‌گیرندگان در قالب یک عدد قطعی می‌شود، اما این کار ممکن است به دلیل ابهام و عدم اطمینان موجود در ارزیابی به خوبی میسر نباشد چرا که بسیاری از معیارها ذاتاً کیفی و ذهنی بوده و برای تصمیم‌گیرنده اختصاص یک عدد کمی مطلق و قطعی برای ارزیابی غیرممکن است.

نظریه فازی در سال ۱۹۶۵ در مقاله‌ای تحت عنوان نظریه مجموعه‌های فازی توسط پروفسور لطفی زاده به عنوان یک روش ریاضی جهت برخورد با ابهام در تصمیم‌گیری به جامعه علمی و دانشگاهی معرفی شد. با استفاده از این روش می‌توان حالات غیرقطعی را به راحتی وارد مسئله کرده و بهترین تصمیم را اخذ نمود. به عبارت بهتر، استفاده از مجموعه‌های فازی سازگاری بیشتری با توضیحات زبانی و بعضاً مبهم انسانی دارد. بنابراین از روش ANP فازی (FANP) استفاده می‌شود.

هدف اصلی این تحقیق محاسبه کارایی ساختار سلسله مراتبی دانشکده که دارای ورودی‌های اختصاصی و مشترک می‌باشد با کمک مدل تلفیقی NDEA و FANP است. بدین صورت که در مرحله اول اوزان ورودی‌های توزیع شده به کمک FANP حاصل می‌شود، سپس در مرحله دوم این اوزان در مدل NDEA استفاده خواهد شد. مزیت اصلی چارچوب پیشنهادی FANP-NDEA این است که محدودیت رتبه‌بندی کامل در روش DEA و همچنین محدودیت‌های ارزیابی با قضاوت ذهنی در روش ANP را از بین می‌برد. در این راستا می‌توان با ترکیب این دو تکنیک و استفاده از نقاط قوت آن‌ها و مرتفع کردن کاستی‌های این تکنیک‌ها، ابزاری کارآمد برای مدیران جهت شناسایی کاندیدهای بالقوه می‌باشد.

۲. مرور ادبیات و پیشینه تحقیق

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)^۳ یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است. از ویژگی‌های ممتاز این فرآیند علاوه بر محاسبه سازگاری و ناسازگاری تصمیم، فرموله نمودن فرآیند تصمیم‌گیری، در نظر گرفتن معیارهای کیفی و کمی مختلف، تحلیل حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها، وارد نمودن گزینه‌های تصمیم‌گیری در مسئله است. این روش که توسط ساعتی^۴ معرفی شده است هنگامی که عمل تصمیم‌گیری با چند گزینه و شاخص تصمیم‌گیری

^۱ Data Envelopment Analysis (DEA)^۲ Analytical Network Process (ANP)^۳ Analytical Hierarchy Process (AHP)^۴ Saaty

روبروست، می‌تواند مفید باشد. ساعتی در سال ۱۹۹۶ روشی را برای تصمیم‌گیری چندمعیاره ارائه کرده است که ANP نامیده شد [۱]. روش ANP شکل توسعه‌یافته‌ای از روش AHP است که قادر است همبستگی‌ها و بازخوردهای موجود بین عناصر مؤثر در تصمیم‌گیری را منظور و وارد محاسبات نماید. قنادپور و همکاران^۵ برای ارزیابی تعالی مراکز آموزش الکترونیکی از روش Fuzzy ANP استفاده کردند [۲].

یکی از روش‌هایی که امروزه در ارزیابی عملکرد بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد، روش DEA است. اولین بار در سال (۱۹۵۷) فارل^۶ برای اندازه‌گیری کارایی واحد تولیدی، مدل را با یک ورودی و یک خروجی طراحی کرد که به دلیل محدود بودن ورودی و خروجی مدل موفق نبود [۳]. این مدل توسط چارنز، کوپر و رودز^۷ توسعه داده شد و به الگوی CCR که از حروف اول نام سه فرد یاد شده تشکیل شده است معروف گردید [۴]. این مدل تحت عنوان تحلیل پوششی داده‌ها نام گرفت و اولین بار در رساله دکترای ادوارد رودز و به راهنمایی کوپر تحت عنوان ارزیابی پیشرفت تحصیلی دانش آموزان مدارس ملی آمریکا در سال ۱۹۷۶، در دانشگاه کارنگی مورد استفاده قرار گرفت. مدل‌های DEA سنتی، جایی که یک فرآیند دومرحله‌ای ارائه شود فقط کارایی یک مرحله به‌خصوص را می‌توانند اندازه‌گیری نمایند. همچنین هر فعالیت را همچون یک جعبه سیاه در نظر می‌گیرند که در آن ورودی‌ها به خروجی‌ها تبدیل می‌شوند و ساختار درونی آن‌ها را در نظر نمی‌گیرند. برای اولین بار در سال ۲۰۰۰ فار و گرسکوف^۸ مقاله‌ای تحت عنوان «تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای» را ارائه نمودند [۵].

کوئلی^۹ به ارزیابی کارایی فنی و مقیاس ۳۶ دانشگاه در استرالیا با سه مدل تحلیل پوششی داده‌ها پرداخت [۶]. مارتین^{۱۰} تحقیقی با عنوان کاربرد روش DEA در ارزیابی عملکرد گروه‌های دانشگاه زاراگوزا^{۱۱} در اسپانیا را انجام داد [۷]. آفونسو و سانتوز^{۱۲} با استفاده از مدل DEA کارایی نسبی دانشگاه‌های دولتی پرتغال را ارزیابی کردند [۸]. کائو و هانگ^{۱۳} کارایی نسبی شش دپارتمان علمی (۴۱ گروه آموزشی) وابسته به دانشگاه ملی چنگ چونگ^{۱۴} تایوان را با مدل DEA خروجی گرا ارزیابی نمودند [۹]. مقاله «تجزیه کارایی در تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای: یک مدل واقعی» توسط کائو در سال ۲۰۰۹ ارائه گردید [۱۰]. سریکی و همکاران^{۱۵} از یک رویکرد چند سطحی برای بررسی عملکرد نوآورانه گروه‌های پروژه‌ای فنی در آفریقا استفاده کردند [۱۱]. چن و یان^{۱۶} مدل شبکه تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین در حالت‌های متمرکز، غیرمتمرکز و ترکیبی را پیشنهاد کردند [۱۲]. دسپوتس و همکاران^{۱۷} با ارائه یک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه شبکه تحلیل پوششی داده‌ها را مورد بررسی قرار دادند [۱۳]. سپس گو و همکاران^{۱۸} با در نظر گرفتن ترکیب محدب کارایی مرحله اول و دوم، مدل محاسبه کارایی کلی را با پارامترهای متفاوت پیشنهاد کردند [۱۴]. کاشیم و همکاران^{۱۹} یک مدل شبکه DEA با ساختار موازی برای سنجش اثربخشی دانشگاه ارائه نمودند [۱۵].

تحقیقاتی که در جهت کاربرد مدل تلفیقی تحلیل پوششی داده و تصمیم‌گیری چندمعیاره انجام شده است به شرح زیر است:

⁵ Ghannadpour et al.

⁶ Farrell

⁷ Charnes, Cooper, Rhodes

⁸ Färe & Grosskopf

⁹ Coelli

¹⁰ Martin

¹¹ Zaragoza

¹² Afonso & Santos

¹³ Kao & Hung

¹⁴ Cheng Chung

¹⁵ Seriki et al.

¹⁶ Chen & Yan

¹⁷ Despotis et al.

¹⁸ Guo et al.

¹⁹ Kashim et al.

استرن و همکاران^{۲۰} یک مدل دومرحله‌ای برای رتبه‌بندی کامل واحدهای سازمانی که دارای ورودی و خروجی‌های چندگانه می‌باشند، ارائه دادند. در مرحله اول یک مدل تحلیل پوششی داده‌ها برای مقایسه هر زوج از واحدها طراحی شده و در مرحله دوم وزن نهایی هر یک از واحدهای سازمانی بر اساس AHP محاسبه شده است [۱۶]. رویندق و ارول^{۲۱} الگوریتم تلفیقی DEA-Fuzzy ANP برای ارزیابی عملکرد دانشگاه امیرکبیر را ارائه کردند. با استفاده از این الگوریتم یک رتبه‌بندی کامل برای دپارتمان‌های دانشگاه صنعتی امیرکبیر، بدون توجه به کارا یا ناکارا بودن آن دپارتمان انجام دادند [۱۷]. لین^{۲۲} از ابزار پشتیبانی تصمیم با استفاده از فرآیند Fuzzy DEA و ANP جهت انتخاب پرسنل شرکت برق و ماشین‌آلات در تایوان استفاده نمود [۱۸]. در مقاله ملکی و همکاران^{۲۳} چگونگی روش هیبریدی AHP فازی، DEA و ANP برای شناسایی انتخاب محصول موردنظر تشریح می‌شود [۱۹]. خدیوی و فاطمی قمی^{۲۴} رویه انتخاب مکان برای انتخاب یک مکان مطلوب به کمک ANP و DEA در دو مرحله ارائه دادند [۲۰]. احسانی‌فر^{۲۵} رتبه‌بندی کامل DMUها به کمک مدل ترکیبی DEA و ANP صورت داد [۲۱]. توکلی و همکاران^{۲۶} یک روش ترکیبی ANP و DEA برای رتبه‌بندی واحدهای سازمانی و همچنین اولویت‌بندی مدیریت سرمایه انسانی سازمان ارائه دادند [۲۲]. کیلیک و کبک^{۲۷} رابطه دوجانبه بین توسعه انسانی و رقابت را با استفاده از FANP و DEA تجزیه و تحلیل کردند [۲۳]. در مقاله‌ای که توسط کوی و فنگ^{۲۸} ارائه شد از روش ترکیبی DEA-ANP جهت ارزیابی نسبی پیچیدگی پروژه‌های مهندسی استفاده شد [۲۴]. پورجواد و همکاران^{۲۹} برای ارزیابی کارایی استراتژی‌های تعمیرات و نگهداری و تعیین روش بهینه از ANP و DEA استفاده کردند [۲۵]. پیشچولوف و همکاران^{۳۰} روش رأی‌گیری ترجیحی سلسله‌مراتبی^{۳۱} یک روش تجدید نظر شده با کاربرد در انتخاب تأمین‌کننده پایدار را بکار گرفتند [۲۶]. سلطانی‌فر و حسین‌زاده لطفی^{۳۲} روش VAHP برای رتبه‌بندی DMUهای کارآمد ارائه دادند [۲۷]. استارک‌اویک و همکاران^{۳۳} از AHP و DEA صورت برای تجهیز واحدهای نظامی استفاده کردند [۲۸]. سلطانی‌فر فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی گروهی با سطح نابرابر تصمیم‌گیرندگان با استفاده از رأی‌گیری ترجیحی را ارائه داد [۲۹]. در مقاله سلطانی‌فر و همکاران در خصوص تجمیع نتایج کارایی متقاطع در حضور خروجی‌های نامطلوب، روش جدیدی با الهام گرفتن از فرآیند رأی‌گیری ترجیحی و ایده مطرح شده در روش تاپسیس، ارائه شده است [۳۰]. سلطانی‌فر یک روش جدید ترکیبی رتبه‌بندی به نام تاپسیس رأی‌گیری با ترکیب دو روش تاپسیس و رأی‌گیری ترجیحی طراحی کرد [۳۱].

۳. تئوری مجموعه فازی

تئوری مجموعه فازی یکی از رویکردهای نوین برای مواجهه با حالت غیردقیق می‌باشد. با استفاده از این روش می‌توان حالات غیرقطعی را به راحتی وارد مسئله کرده و بهترین تصمیم را اخذ نمود. به عبارت بهتر استفاده از مجموعه‌های فازی سازگاری بیشتری با توضیحات زبانی و بعضاً مبهم انسانی دارد. این نظریه قادر است بسیاری از مفاهیم و متغیرها و سیستم‌هایی را که نادقیق و مبهم هستند، صورت‌بندی ریاضی ببخشد و زمینه را برای استدلال، استنتاج، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم آورد. در منطق صریح و قطعی، ارزش هر گزاره می‌تواند درست یا نادرست باشد که کامپیوتر آن را با صفر یا

²⁰ Sinuany-Stern et al.

²¹ Rouyendegh & Erol

²² Lin

²³ Maleki Moghadam-abyaneh et al.

²⁴ Khadivi & Ghomi

²⁵ Ehsanifar

²⁶ Tavakoli et al.

²⁷ Kılıç & Kabak

²⁸ Cui & Fang

²⁹ Pourjavad et al.

³⁰ Pishchulov et al.

³¹ Voting AHP

³² Soltanifar & Lotfi

³³ Starčević

یک نشان می‌دهد. مجموعه‌های فازی به مفاهیم و متغیرهای زبانی تقسیم می‌شوند. برای مثال "قیمت" یک مفهوم است و "قیمت نسبتاً پایین" یک متغیر زبانی است. بسط و گسترش مجموعه‌های فازی موجب تعمیم کاربردهای آن به عرصه سایر علوم و فنون شده است به نحوی که امروزه در زمینه‌های کنترل، هوش مصنوعی، تصمیم‌گیری در رشته‌های مختلف کاربردهای وسیعی پیدا کرده است. منطق فازی از تئوری مجموعه فازی و استدلال تقریبی استفاده می‌کند تا به نادقیق بودن و مبهم بودن تصمیم‌گیری رسیدگی کند.

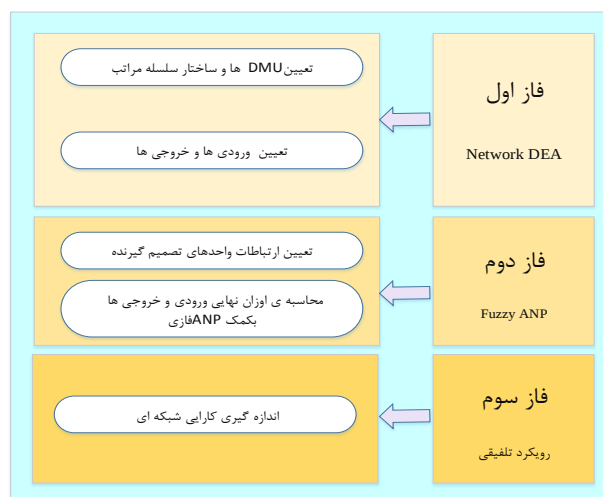
اگر درجه عضویت یک عنصر از مجموعه برابر با صفر باشد، آن عضو کاملاً از مجموعه خارج است و اگر درجه عضویت یک عضو برابر با یک باشد، آن عضو کاملاً در مجموعه قرار دارد. حال اگر درجه عضویت یک عضو مابین صفر و یک باشد، این عدد بیانگر درجه عضویت تدریجی می‌باشد. اگر μ به عنوان میزان تعلق یا درجه عضویت در یک مجموعه کلاسیک مثل A در نظر گرفته شود داریم:

$$\begin{cases} \text{If } x \in A \rightarrow \mu_x = 1 \\ \text{If } x \notin A \rightarrow \mu_x = 0 \end{cases} \quad (1)$$

ولی در مجموعه‌های فازی این میزان عضویت‌ها نسبی و اعدادی بین صفر و یک خواهد بود. منطق فازی از متغیرهای سیستم زبانی نرم (مثل سرد، خنک، گرم، داغ) و بازه پیوسته مقادیر درستی در محدوده $[0,1]$ به جای تصمیمات و دستورالعمل‌های باینری قاطع $\{0,1\}$ کاملاً درست یا کاملاً نادرست استفاده می‌کند.

۴. مدل تلفیقی FANP و NDEA

اگرچه تقریباً تمام سازمان‌ها ساختار سلسله‌مراتبی دارند ولی این گونه سیستم‌ها کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. به‌طور معمول سازمان چندین واحد^{۳۴} در سطح اول دارد و در سطح دوم تعدادی زیرواحد^{۳۵} وجود دارد. زیرواحدها ممکن است بزرگ باشند در این صورت چندین زیر-زیرواحد^{۳۶} با فانکشن‌های متفاوت در سطح سوم قرار گیرند و این سطح‌بندی در صورت لزوم می‌تواند ادامه یابد. در DEA شبکه‌ای هر DMU ی مورد ارزیابی می‌بایست ساختار مشابه داشته باشند. الگوریتم تحقیق به شکل زیر است:



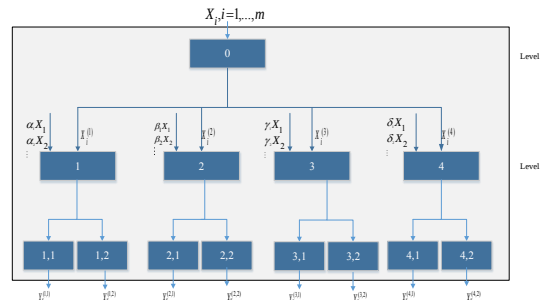
شکل ۱ الگوریتم تحقیق

³⁴ Unit

³⁵ Subunit

³⁶ Sub-Sub Unit

سیستم به شکل زیر وجود دارد:



شکل ۲ سیستم سلسله‌مراتبی

سیستم سلسله‌مراتبی مورد مطالعه بدین صورت است که هر DMU تعداد یکسان واحد در سطح اول با فانکشن‌های مجزا در حال اجرا دارد. در سطح اول، اگر یک واحد واحدهای زیرمجموعه در سطح پایین‌تر داشته باشد دیگر DMUها باید همان تعداد واحدهای زیرمجموعه با فانکشن‌های مشابه در حال اجرا داشته باشند. چنانکه واحدهای یک DMU تناظر یک‌به‌یک با دیگر DMUها دارد. در سلسله‌مراتبی استفاده شده در این مقاله، فرض Dependency پذیرفته نشده است. لذا از ANP کمک گرفته شده است.

نام‌گذاری سیستم بدین صورت است که بالاترین سطح، سطح صفر شناخته شده است. که زیرمجموعه سطح صفر چهار زیرواحد یک، دو، سه و چهار در سطح اول وجود دارد. هر زیرواحد در سطح اول دارای دو زیر-زیر واحد در سطح زیرین است. زیرواحد یک نیز دو زیر-زیر واحد (۱،۱)، (۱،۲) و زیر واحد دو دارای دو زیر-زیر واحد (۲،۱) و (۲،۲)، زیر واحد سه دارای دو زیر-زیر واحد (۳،۱) و (۳،۲)، زیر واحد چهار دارای دو زیر-زیر واحد (۴،۱) و (۴،۲) است. لازم به ذکر است که نیازی نیست که زیر واحدهای یک سطح به تعداد مساوی زیر-زیر واحد داشته باشند، حتی می‌تواند هیچ زیر-زیر واحدی نداشته باشد.

فرض نمایید که n تا DMU با ساختار مشابه جهت اندازه‌گیری کارایی نسبی که قابل قیاس باشند وجود دارد و $X_{ij}^{(p)}$ و $Y_{ij}^{(p)}$ به ترتیب ورودی i ام و خروجی r ام DMU_j از واحد p باشند. این سیستم m ورودی را جهت تولید s خروجی بکار می‌گیرد. ورودی‌ها دارای دودسته ورودی‌های مشترک و اختصاصی است و خروجی‌ها اختصاصی می‌باشند. روش کار سیستم سلسله‌مراتبی بدین صورت است که مدیریت ارشد سازمان ورودی‌ها را جهت تقسیم در سطوح پایین به سطح اول تخصیص می‌دهد. سپس ورودی‌های تخصیص داده شده به سطح اول، به سطح دوم تقسیم می‌شوند. فرآیند تخصیص ورودی بدین صورت سطح به سطح تا آخرین سطح (پایین‌ترین سطح) ادامه می‌یابد. خروجی‌های تقسیم شده در پایین‌ترین سطح آن چیزی است که تولید می‌شود. هر واحد خود دارای ورودی اختصاصی است. فرض می‌شود ورودی مشترک X_i ، $i=1, \dots, n$ باشد در این صورت $\alpha_i X_i$ به واحد یک، $\beta_i X_i$ به واحد دو، $\gamma_i X_i$ به واحد سه، $\delta_i X_i$ به واحد چهار توزیع می‌شود، چنانکه $\sum_{i=1}^n (\alpha_i + \beta_i + \gamma_i + \delta_i) = 1$ درواقع ورودی که به واحد یک وارد می‌شود برابر با مجموع ورودی اختصاصی و توزیع شده است. یعنی ورودی واحد یک برابر است با $\alpha_i X_i + X^{(1)}$. به همین ترتیب ورودی واحد دو برابر است با $\alpha_i X_i + X^{(2)}$ ، ورودی واحد سه برابر است با $\alpha_i X_i + X^{(3)}$ و ورودی واحد چهار برابر است با $\alpha_i X_i + X^{(4)}$. هرچند که هر واحد در سطوح مختلف ممکن است همه‌ی m ورودی را مصرف نکند و همچنین کل s خروجی را تولید نکند. هر واحدی ورودی‌های مختص خود از مادرش را به زیرواحدهایش جهت تولید خروجی‌ها توزیع می‌نماید. برای مثال واحد (۱) ورودی مشترک $\alpha_i X_i$ را از واحد مادر (۰) دریافت می‌کند و همچنین ورودی اختصاصی $X^{(1)}$ نیز خود دارد.

مقادیر $\delta_i, \gamma_i, \beta_i, \alpha_i$ از روش Fuzzy-ANP حاصل می‌شوند. با توجه به روش Fuzzy-ANP مقادیر وزن ورودی‌های توزیع شده حاصل می‌شود و این مقادیر در مدل DEA استفاده می‌گردند.

مدل جعبه سیاه متعارف DEA به دنبال ضرایب u_r و v_i جهت تولید بیشترین سهم یکپارچه‌ی خروجی‌های تولیدشده با DMU در حال ارزیابی به مجموع ورودی‌های مصرفی با ملاحظه‌ی این‌که محدودیت این نسبت برای هر DMU می‌بایست کمتر یا مساوی یک است. در عمل مدل اندازه‌گیری کارایی DMU_K با فرض بازده به مقیاس ثابت به شرح زیر است:

$$E_K^{BB} = \max_{r=1}^s \frac{\sum_{r=1}^s u_r (Y_{rk}^{(1,1)} + Y_{rk}^{(1,2)} + Y_{rk}^{(2,1)} + Y_{rk}^{(2,2)} + Y_{rk}^{(3,1)} + Y_{rk}^{(3,2)} + Y_{rk}^{(4,1)} + Y_{rk}^{(4,2)})}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ik}} \quad (2)$$

$$s.t. \quad \sum_{r=1}^s u_r (Y_{rk}^{(1,1)} + Y_{rk}^{(1,2)} + Y_{rk}^{(2,1)} + Y_{rk}^{(2,2)} + Y_{rk}^{(3,1)} + Y_{rk}^{(3,2)} + Y_{rk}^{(4,1)} + Y_{rk}^{(4,2)}) - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} \leq 0,$$

$$j = 1, \dots, n; \quad u_r, v_i \geq \varepsilon; \quad r = 1, \dots, s; \quad i = 1, \dots, m$$

اگر عملیات داخلی واحدهای سیستم سلسله‌مراتبی در نظر گرفته شود آنگاه یک اندازه‌گیری کارایی شبکه‌ای خواهیم داشت. جهت در نظر گرفتن عملیات نیاز است که تجميع خروجی‌های تولیدشده زیرواحدها در تمام سطوح کمتر یا مساوی تجميع ورودی‌های تخصیصی به آن واحد باشد.

از آنجایی‌که این سیستم چهار زیر واحد در سطوح مختلف دارد، چهار مجموعه محدودیت در مدل شبکه‌ای خواهیم داشت. با ماکزیمم سازی کارایی DMU، که واحد (۰) در سطح (۰) است تابع هدف به‌صورت زیر می‌شود:

$$E_K^{NW} = \max \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ik}}$$

$$s.t. \quad \begin{aligned} Unit(0): \quad & \sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} \leq 0, & j = 1, \dots, n, \\ Unit(1): \quad & \sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}^{(1)} - \sum_{i=1}^m v_i (X_{ij}^{(1)} + \alpha_{ij} X_{ij}) \leq 0, & j = 1, \dots, n, \\ Unit(2): \quad & \sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}^{(2)} - \sum_{i=1}^m v_i (X_{ij}^{(2)} + \beta_{ij} X_{ij}) \leq 0, & j = 1, \dots, n, \\ Unit(3): \quad & \sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}^{(3)} - \sum_{i=1}^m v_i (X_{ij}^{(3)} + \gamma_{ij} X_{ij}) \leq 0, & j = 1, \dots, n, \\ Unit(4): \quad & \sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}^{(4)} - \sum_{i=1}^m v_i (X_{ij}^{(4)} + \delta_{ij} X_{ij}) \leq 0, & j = 1, \dots, n. \end{aligned} \quad (3)$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad r = 1, \dots, s, \quad i = 1, \dots, m.$$

که

$$\begin{aligned} Y_{rj}^{(1)} &= Y_{rj}^{(1,1)} + Y_{rj}^{(1,2)}, & Y_{rj}^{(2)} &= Y_{rj}^{(2,1)} + Y_{rj}^{(2,2)} \\ Y_{rj}^{(3)} &= Y_{rj}^{(3,1)} + Y_{rj}^{(3,2)}, & Y_{rj}^{(4)} &= Y_{rj}^{(4,1)} + Y_{rj}^{(4,2)} \end{aligned} \quad (4)$$

تابع هدف غیرخطی است اما می‌تواند با تخصیص مقدار یک به مخرج کسر خطی شود و از صورت کسر تابع هدف حذف شود.

$$E_K^{NW} = \max \sum_{r=1}^s u_r Y_{rk}$$

$$s.t. \quad \sum_{i=1}^m v_i X_{ik} = 1,$$

$$\begin{aligned} Unit(0): \quad & \sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} \leq 0, & j = 1, \dots, n, \\ Unit(1): \quad & \sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}^{(1)} - \sum_{i=1}^m v_i (X_{ij}^{(1)} + \alpha_{ij} X_{ij}) \leq 0, & j = 1, \dots, n, \\ Unit(2): \quad & \sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}^{(2)} - \sum_{i=1}^m v_i (X_{ij}^{(2)} + \beta_{ij} X_{ij}) \leq 0, & j = 1, \dots, n, \\ Unit(3): \quad & \sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}^{(3)} - \sum_{i=1}^m v_i (X_{ij}^{(3)} + \gamma_{ij} X_{ij}) \leq 0, & j = 1, \dots, n, \\ Unit(4): \quad & \sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}^{(4)} - \sum_{i=1}^m v_i (X_{ij}^{(4)} + \delta_{ij} X_{ij}) \leq 0, & j = 1, \dots, n. \end{aligned} \quad (5)$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad r = 1, \dots, s, \quad i = 1, \dots, m.$$

مدل شبکه‌ای محدودیت‌های اضافی را در برگرفته است. مجموع محدودیت‌های متناظر با واحدهای (۱)، (۲)، (۳) و (۴) مشابه واحد مادر (۰) است. از این‌رو محدودیت‌های متناظر با واحد (۰) اضافی است و می‌تواند حذف شود.

$$\begin{aligned}
E_k^{NW} &= \max \sum_{r=1}^s u_r Y_{rk} \\
s.t. \quad &\sum_{i=1}^m v_i X_{ik} = 1, \\
Unit(1): \quad &\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}^{(1)} - \sum_{i=1}^m v_i (X_{ij}^{(1)} + \alpha_j X_{ij}) \leq 0, \quad j = 1, \dots, n, \\
Unit(2): \quad &\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}^{(2)} - \sum_{i=1}^m v_i (X_{ij}^{(2)} + \beta_j X_{ij}) \leq 0, \quad j = 1, \dots, n, \\
Unit(3): \quad &\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}^{(3)} - \sum_{i=1}^m v_i (X_{ij}^{(3)} + \gamma_j X_{ij}) \leq 0, \quad j = 1, \dots, n, \\
Unit(4): \quad &\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}^{(4)} - \sum_{i=1}^m v_i (X_{ij}^{(4)} + \delta_j X_{ij}) \leq 0, \quad j = 1, \dots, n. \\
u_r, v_i &\geq \varepsilon, \quad r = 1, \dots, s, \quad i = 1, \dots, m.
\end{aligned} \tag{۶}$$

بعد از حل بهینه (u^*, v^*) به دست می‌آید. کارایی کل سیستم برابر است با:

$$E_k^{NW} = \sum_{r=1}^s u_r^* Y_{rk} / \sum_{i=1}^m v_i^* X_{ik} \tag{۷}$$

کارایی p امین واحد در سطح ۱:

$$E_k^{(p)} = \sum_{r=1}^s u_r^* Y_{rk}^{(p)} / \sum_{i=1}^m v_i^* X_{ik}^{(p)} \tag{۸}$$

در روش تحلیل شبکه‌ای سنتی قضاوت‌های خبرگان به صورت اعداد قطعی نمایش داده می‌شد. به رغم مفهوم ساده و کاربرد وسیع، این رویکرد نمی‌تواند به درستی عدم قطعیت موجود در فرایند تفکر انسانی را منعکس کند. برای غلبه بر این نقیصه، روش تحلیل شبکه‌ای فازی و توسعه‌های بعدی آن برای اولویت‌بندی و انتخاب گزینه‌ی برتر ارائه شد. در ادامه به توضیح روش تحلیل گسترش‌یافته‌ی چانگ^{۳۷} (۱۹۹۶) به عنوان یکی از معروف‌ترین و پرکاربردترین روش‌های حل مسائل فرایند تحلیل شبکه‌های فازی پرداخته می‌شود [۳۲]. چانگ برای مقایسه‌های زوجی روش تحلیل گسترش‌یافته با استفاده از اعداد فازی مثلثی را پیشنهاد کرد. با استفاده از جدول زیر مقیاس‌های زبانی برای بیان درجه‌ی اهمیت آورده شده است.

جدول ۱ مقیاس فازی مثلثی

مقیاس زبانی برای اهمیت	مقیاس فازی مثلثی	مقیاس زبانی برای اهمیت معکوس	مقیاس فازی مثلثی معکوس
کاملاً برابر (JE) ^{۳۸}	(۱, ۱, ۱)	کاملاً برابر	(۱, ۱, ۱)
تقریباً برابر (EI) ^{۳۹}	(۱/۲, ۱, ۳/۲)	بسیار جزئی کم‌اهمیت‌تر	(۲/۳, ۱, ۲)
کمی مهم‌تر (WMI) ^{۴۰}	(۱, ۳/۲, ۲)	نسبتاً کم‌اهمیت‌تر	(۱/۲, ۲/۳, ۱)
مهم‌تر (SMI) ^{۴۱}	(۳/۲, ۲, ۵/۲)	کم‌اهمیت‌تر	(۲/۵, ۱/۲, ۲/۳)
بسیار مهم‌تر (VSMI) ^{۴۲}	(۲, ۵/۲, ۳)	خیلی کم‌اهمیت‌تر	(۱/۳, ۲/۵, ۱/۳)
کاملاً مهم‌تر (AMI) ^{۴۳}	(۵/۲, ۳, ۷/۲)	کاملاً کم‌اهمیت‌تر	(۲/۷, ۱/۳, ۲/۵)

در ادامه فرایند تحلیل شبکه فازی بر اساس روش تحلیل توسعه‌ای چانگ جهت محاسبه بردارهای وزن تشریح می‌شود. روش تحلیل توسعه‌ای توسط چانگ در سال ۱۳۳۶ برای تکنیک AHP فازی ارائه شده است. فرض کنید $M_{g_i}^j$ نشان‌دهنده‌ی اعداد فازی مثلثی واقع شده در سطر i ام و ستون j ام ماتریس مقایسات زوجی به صورت زیر باشد:

$$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = (\sum_{j=1}^m a_{ij}, \sum_{j=1}^m b_{ij}, \sum_{j=1}^m c_{ij}), i = 1, 2, 3, \dots, n \tag{۹}$$

³⁷ Chang

³⁸ Just equal

³⁹ Equally important

⁴⁰ Weakly more important

⁴¹ Strongly more important

⁴² Very strongly more important

⁴³ Absolutely more important

که در آن l , m و u به ترتیب نشان‌دهنده‌ی حد پایین، وسط و بالای اعداد فازی مثلثی هستند. میزان حد ترکیبی فازی^{۴۴} را با S_i نمایش داده و به صورت زیر تعریف می‌شود:

در این روش برای هر یک از سطرهای ماتریس مقایسه‌های زوجی، مقدار S_i که یک عدد مثلثی است، به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} \quad (10)$$

که:

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right] = \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij}, \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m b_{ij}, \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} \right) \quad (11)$$

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij}}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m b_{ij}}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij}} \right) \quad (12)$$

سپس می‌بایست درجه‌ی امکان تعیین شود. برای مثال درجه امکان $M_2 \geq M_1$ به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$V(M_2 \geq M_1) = \text{Sup}[\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y))], y \geq x \quad (13)$$

این درجه امکان از طریق رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$V(M_2 \geq M_1) = \text{hgt}(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1 & \text{if } b_2 \geq b_1 \\ 0 & \text{if } a_1 \geq c_2 \\ \frac{a_1 - c_2}{(b_2 - c_2) - (b_1 - a_1)} & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (14)$$

که در آن d بیشترین ارتفاع موجود بین μ_{M_1} و μ_{M_2} است.

در مرحله‌ی بعدی درجه‌ی امکان برای اعداد فازی محدب به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = \quad (15)$$

$$V[(M \geq M_1) \& \dots \& (M \geq M_k)] =$$

$$\min(M \geq M_i), i = 1, 2, \dots, k$$

بنابراین:

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k) \quad (16)$$

سپس بردار وزن به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (17)$$

سپس بردار وزن به دست آورده نرمال می‌شود:

$$d(A_i) = \frac{d'(A_i)}{\sum_{i=1}^n d'(A_i)} \quad (18)$$

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (19)$$

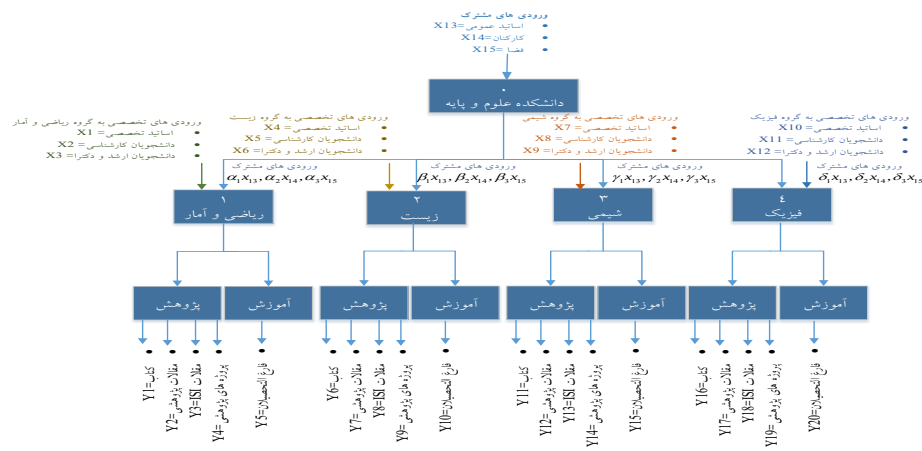
که W یک عدد غیر فازی است. بدین ترتیب می‌توان وزن هریک از زیر معیارها را به دست آورد.

⁴⁴ Fuzzy synthetic extent

۵. محاسبه کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده به کمک مدل FANP-NDEA

اداره کردن خیلی از سازمان‌ها ساختار سلسله‌مراتبی دارد. در این تحقیق دانشکده علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی مورد مطالعه قرار گرفته است. دانشگاه می‌تواند از ابعاد پژوهش، آموزش، اداری مالی، دانشجویی و فرهنگی بررسی شود.

دانشکده علوم پایه شامل گروه‌های ریاضی و آمار، زیست، شیمی، فیزیک است. هر گروهی از نظر ابعاد آموزشی و پژوهشی بررسی می‌شوند. هر یک از گروه‌ها دارای سه ورودی اختصاصی و سه ورودی مشترک است. ورودی‌های اختصاصی شامل اساتید تخصصی هر گروه، دانشجویان کارشناسی و دانشجویان کارشناسی ارشد و دکترا است و ورودی‌های مشترک شامل اساتید عمومی، کارکنان و فضا است. خروجی‌های پژوهشی هر گروه شامل کتاب، مقالات پژوهشی، مقالات ISI، پروژه‌های پژوهشی و خروجی آموزش شامل فارغ‌التحصیلان است. در این تحقیق، تعداد نه DMU در نظر گرفته شده است. ساختار دانشکده علوم پایه به همراه ورودی‌ها و خروجی‌ها در شکل ۳ نمایش داده شده است.



شکل ۳ ساختار DMU به همراه ورودی‌ها و خروجی‌ها

جدول ۲. اطلاعات DMUها

۹۴-۹۵	ورودی اخروچی	۱DMU	۲DMU	۳DMU	۴DMU	۵DMU	۶DMU	۷DMU	۸DMU	۹DMU
ریاضی و آمار	X_1 = اسانید تخصصی	۱۲	۱۵	۲۵	۳۰	۳۰	۲۷	۱۵	۲۰	۲۴
	X_2 = دانشجویان کارشناسی	۰	۲۰۰	۴۵۰	۳۴۸	۴۲۳	۶۵	۸۷	۹۲	۳۳۱
	X_3 = دانشجویان کارشناسی ارشد و دکترا	۳۰۰	۱۵۰	۳۰۰	۲۳۳	۴۳۴	۲۵۴	۳۴۴	۲۲۲	۱۱۱
	Y_1 = کتاب	۳	۳	۴	۴	۴	۵	۵	۳	۲
	Y_2 = مقالات پژوهشی	۴۰	۲۶	۳۵	۱۵	۲۵	۱۶	۲۵	۳۵	۱۶
	Y_3 = مقالات	۲۰	۷	۹	۱۴	۱۷	۷	۵	۶	۶
	Y_4 = پروژه‌های پژوهشی	۱۳۰	۴۴	۵۲	۶۴	۴۳	۴۴	۵۴	۴۷	۵۴
	Y_5 = فارغ‌التحصیلان	۱۵۰	۱۳۴	۱۲۴	۱۶۶	۲۶۶	۱۵۶	۱۵۵	۲۵۵	۱۳۵
زیست	X_1 = اسانید تخصصی	۲۲	۲۴	۱۲	۱۲	۴۴	۲۳	۲۳	۲۵	۲۳
	X_2 = دانشجویان کارشناسی	۱۰۰	۵۳۳	۳۳۴	۸۲۲	۵۳۴	۷۴۴	۳۴۴	۷۵۵	۵۴۴
	X_3 = دانشجویان کارشناسی ارشد و دکترا	۵۰۰	۳۹۹	۲۳۴	۲۳۴	۴۵۵	۳۴۴	۴۴۴	۳۴۴	۲۳۴
	Y_1 = کتاب	۲	۱	۱	۰	۵	۵	۲	۴	۵
	Y_2 = مقالات پژوهشی	۷۰	۵۴	۳۰	۴۶	۴۰	۲۰	۶۰	۷۰	۱۰
	Y_3 = مقالات	۲۰	۵۰	۷۰	۴۶	۳۶	۵۵	۳۵	۵۰	۲۰
	Y_4 = پروژه‌های پژوهشی	۱۲	۴۳	۳۲	۵۴	۷۶	۴۳	۸۷	۵۲	۲۷
	Y_5 = فارغ‌التحصیلان	۲۵۰	۱۵۶	۶۷	۲۴۴	۲۳۴	۲۵۵	۲۷۷	۱۴۵	۲۶۶
شیمی	X_1 = اسانید تخصصی	۱۵	۱۵	۲۵	۳۰	۴۵	۳۰	۱۵	۲۰	۵۵
	X_2 = دانشجویان کارشناسی	۰	۴۳۲	۶۵۴	۴۳۲	۷۲۱	۳۷۶	۳۴۷	۶۴۵	۴۵۳
	X_3 = دانشجویان کارشناسی ارشد و دکترا	۲۰۰	۱۲۳	۱۲۳	۳۳۴	۱۲۳	۲۱۳	۱۳۳	۱۳۳	۱۳۳

	Y_{11} =کتاب	۱	۰	۴	۴	۴	۶	۳	۲	۱
	Y_{12} =مقالات پژوهشی	۱۰	۱۴	۱۵	۱۶	۱۴	۱۰	۲۳	۲۴	۱۳
	Y_{13} =ISI=مقالات	۳۵	۵۶	۳۴	۲۳	۵۵	۳۵	۳۵	۴۵	۳۵
	Y_{14} =پروژه‌های پژوهشی	۰	۹۸	۶۵	۴۳	۶۵	۲۸	۲۶	۴۲	۶۱
	Y_{15} =فارغ‌التحصیلان	۷۰	۵۶	۵۶	۶۷	۲۳	۲۴	۷۸	۶۸	۵۶
فیزیک	X_{11} =اساتید تخصصی	۴۶	۴۵	۵۵	۷۸	۷۸	۵۶	۵۷	۳۵	۷۷
	X_{12} =دانشجویان کارشناسی	۷۰۰	۲۳۴	۶۷۷	۵۶۶	۵۶۷	۴۵۶	۵۶۷	۷۶۸	۶۸۸
	X_{13} =دانشجویان کارشناسی ارشد و دکترا	۴۰۰	۱۵۶	۲۶۷	۱۷۷	۱۴۶	۲۷۸	۱۶۷	۲۶۸	۱۷۷
	Y_{16} =کتاب	۱	۳	۲	۱	۰	۱	۳	۲	۴
	Y_{17} =مقالات پژوهشی	۵	۳	۴	۵	۶	۴	۴	۵	۵
	Y_{18} =ISI=مقالات	۷۰	۲۳	۳۵	۵۵	۳۴	۵۵	۵۶	۵۰	۶۷
	Y_{19} =پروژه‌های پژوهشی	۳۵۰	۳۴۵	۳۵۴	۳۵۵	۵۶۷	۲۴۴	۱۳۳	۲۳۴	۴۲۴
	Y_{20} =فارغ‌التحصیلان	۴۰۰	۳۴۵	۴۴۴	۲۵۵	۴۵۶	۵۶۴	۳۴۵	۲۳۵	۲۴۵
	X_{13} =اساتید عمومی	۱۰	۳۴	۱۲	۲۳	۱۱	۴۶	۳۴	۳۴	۴۴
ورودی‌های مشترک	X_{14} =کارکنان	۱۵	۲۳	۲۴	۵۳	۳۴	۴۵	۳۵	۶۵	۴۶
	X_{15} =فضا	۱۰۰۰	۲۲۲	۴۳۵	۴۵۶	۴۵۶	۴۶۶	۳۴۳	۷۸۸	۶۷۸

با توجه به اینکه تعداد DMU از سه برابر مجموع ورودی و خروجی کمتر است و در واقع شرط $n \geq 3(m+s)$ برقرار نیست، به همین دلیل در مدل محدودیت‌های وزنی اعمال شده است. مدل اندازه‌گیری کارایی شبکه‌ای DMU_K با فرض بازده به مقیاس ثابت به شرح زیر است:

$$\begin{aligned}
 E_k^{NW} = & \max \quad u_1 Y_{1k} + u_2 Y_{2k} + u_3 Y_{3k} + u_4 Y_{4k} + u_5 Y_{5k} + \\
 & u_6 Y_{6k} + u_7 Y_{7k} + u_8 Y_{8k} + u_9 Y_{9k} + u_{10} Y_{10k} + u_{11} Y_{11k} + \\
 & u_{12} Y_{12k} + u_{13} Y_{13k} + u_{14} Y_{14k} + u_{15} Y_{15k} + u_{16} Y_{16k} + u_{17} Y_{17k} + \\
 & u_{18} Y_{18k} + u_{19} Y_{19k} + u_{20} Y_{20k}; \\
 s.t. \quad & v_1 X_{1k} + v_2 X_{2k} + v_3 X_{3k} + v_4 X_{4k} + v_5 X_{5k} + v_6 X_{6k} + \\
 & v_7 X_{7k} + v_8 X_{8k} + v_9 X_{9k} + v_{10} X_{10k} + v_{11} X_{11k} + v_{12} X_{12k} + \\
 & v_{13} X_{13k} + v_{14} X_{14k} + v_{15} X_{15k} = 1; \\
 & (u_1 Y_{1j} + u_2 Y_{2j} + u_3 Y_{3j} + u_4 Y_{4j}) + u_5 Y_{5j} - \\
 & (v_1 X_{1j} + v_2 X_{2j} + v_3 X_{3j}) - \\
 & (\alpha v_{13} X_{13j} + \alpha_3 v_{14} X_{14j} + \alpha_5 v_{15} X_{15j}) \leq 0, \\
 & (u_6 Y_{6j} + u_7 Y_{7j} + u_8 Y_{8j} + u_9 Y_{9j}) + u_{10} Y_{10j} - \\
 & (v_4 X_{4j} + v_6 X_{6j} + v_7 X_{7j}) - \\
 & (\beta v_{13} X_{13j} + \beta_2 v_{14} X_{14j} + \beta_5 v_{15} X_{15j}) \leq 0, \\
 & (u_{11} Y_{11j} + u_{12} Y_{12j} + u_{13} Y_{13j} + u_{14} Y_{14j}) + \\
 & u_{15} Y_{15j} - (v_8 X_{8j} + v_9 X_{9j} + v_{10} X_{10j}) - \\
 & (\gamma v_{13} X_{13j} + \gamma_2 v_{14} X_{14j} + \gamma_5 v_{15} X_{15j}) \leq 0, \\
 & (u_{16} Y_{16j} + u_{17} Y_{17j} + u_{18} Y_{18j} + u_{19} Y_{19j}) + \\
 & u_{20} Y_{20j} - (v_{11} X_{11j} + v_{12} X_{12j}) - \\
 & (\delta v_{13} X_{13j} + \delta_2 v_{14} X_{14j} + \delta_5 v_{15} X_{15j}) \leq 0, \\
 & u_1, \dots, u_{20} \geq 0; \quad v_1, \dots, v_{15} \geq 0;
 \end{aligned} \tag{20}$$

همان‌طور که از مدل بالا مشاهده می‌شود، $i = 1, 2, 3, \delta_i, \gamma_i, \beta_i, \alpha_i$ ضریب ورودی توزیع شده به هر یونیت است. میزان ورودی توزیع شده به هر واحد از روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای فازی به صورت حاصل می‌شود.

محاسبه وزن‌های ورودی‌های مشترک با کمک روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای فازی:

با توجه به این‌که سه ورودی مشترک در مدل شامل X_{15}, X_{14}, X_{13} است نیاز است ضریبی از هر ورودی مشترک که به هر واحد توزیع می‌شود، محاسبه شود. برای محاسبه ضریب توزیع از مقایسات زوجی فازی استفاده می‌شود. ماتریس مقایسات فازی با کمک مقایسات زوجی طی ارزیابی حاصل می‌شود. مقایسات زوجی فازی برای گروه‌ها نسبت به ورودی x_{13} در جدول زیر آورده شده است:

جدول ۳ مقایسات زوجی فازی برای گروه‌ها نسبت به ورودی x_{13}

X_{13}	ریاضی و آمار	زیست	شیمی	فیزیک
ریاضی و آمار	(۱,۱,۱)	(۱,۱,۱)	(۱/۲,۱,۳/۲)	(۲/۳,۱,۲)
زیست	(۱,۱,۱)	(۱,۱,۱)	(۱/۲,۲/۳,۱)	(۱/۲,۱,۳/۲)
شیمی	(۲/۳,۱,۲)	(۱,۳/۲,۲)	(۱,۱,۱)	(۲/۳,۱,۲)
فیزیک	(۱/۲,۱,۳/۲)	(۲/۳,۱,۲)	(۱/۲,۲/۳,۱)	(۱,۱,۱)

حال با استفاده از روش چانگ به وزن‌دهی، مجموع اعداد فازی در هر سطر محاسبه می‌شود.

$$\sum_{j=1}^4 M_{g_1}^j = (3.167, 4.000, 5.500) \quad (21)$$

$$\sum_{j=1}^4 M_{g_2}^j = (3.000, 3.667, 4.500)$$

$$\sum_{j=1}^4 M_{g_3}^j = (3.333, 4.500, 7.000)$$

$$\sum_{j=1}^4 M_{g_4}^j = (2.667, 3.667, 5.500)$$

در این مرحله، مجموع تمام اعداد فازی را در سطرها و ستون‌ها محاسبه می‌شود.

$$\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 M_{g_i}^j = (12.167, 15.833, 22.500) \quad (22)$$

مجموع اعداد فازی مرحله قبل معکوس می‌شود.

$$\left[\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 M_{g_i}^j \right]^{-1} = (0.044, 0.063, 0.082) \quad (23)$$

مجموع اعداد هر سطر در مجموع تمامی سطر و ستون‌ها ضرب می‌شود.

$$S_1 = (3.167, 4.000, 5.500) * (0.044, 0.063, 0.082) \quad (24)$$

$$= (0.141, 0.253, 0.452)$$

$$S_2 = (3.000, 3.667, 4.500) * (0.044, 0.063, 0.082)$$

$$= (0.133, 0.232, 0.370)$$

$$S_3 = (3.333, 4.500, 7.000) * (0.044, 0.063, 0.082)$$

$$= (0.148, 0.284, 0.575)$$

$$S_4 = (2.667, 3.667, 5.500) * (0.044, 0.063, 0.082)$$

$$= (0.119, 0.232, 0.452)$$

اعداد حاصله از گام قبل مقایسه می‌شوند و مقادیر درجه امکان تعیین می‌گردند.

$$V(S_1 \geq S_2) = 0.916, V(S_1 \geq S_3) = 1, V(S_1 \geq S_4) = 0.937 \quad (25)$$

$$V(S_2 \geq S_1) = 1, V(S_2 \geq S_3) = 1, V(S_2 \geq S_4) = 1$$

$$V(S_3 \geq S_1) = 0.906, V(S_3 \geq S_2) = 0.808, V(S_3 \geq S_4) = 0.852$$

$$V(S_4 \geq S_1) = 1, V(S_4 \geq S_2) = 1, V(S_4 \geq S_3) = 1$$

تعیین حداقل مقدار درجه امکان به ازای هر میزان حد ترکیبی فازی: در گام قبل به ازای هر دسته درجه امکان، حداقل آن

دسته تعیین می‌گردد.

$$\begin{aligned}
 d'(A_1) &= \min V(S_1 \geq S_k) = 0.916 \\
 d'(A_2) &= \min V(S_2 \geq S_k) = 1 \\
 d'(A_3) &= \min V(S_3 \geq S_k) = 0.808 \\
 d'(A_4) &= \min V(S_4 \geq S_k) = 1 \\
 k &= 1, 2, 3, 4
 \end{aligned}
 \tag{26}$$

وزن‌های نرمال شده به صورت زیر حاصل می‌شود:

جدول ۴ وزن نسبی ورودی مشترک X_{13} نسبت به گروه‌ها

X_{13}	وزن
ریاضی و آمار	۰,۲۴۶
زیست	۰,۲۶۹
شیمی	۰,۲۱۷
فیزیک	۰,۲۶۹

مقایسات زوجی فازی برای گروه‌ها نسبت به ورودی X_{14} در جدول زیر آورده شده است:

جدول ۵ مقایسات زوجی فازی برای گروه‌ها نسبت به ورودی X_{14}

X_{14}	ریاضی و آمار	زیست	شیمی	فیزیک
ریاضی و آمار	(۱,۱,۱)	(۱,۳/۲,۲)	(۱,۳/۲,۲)	(۱,۳/۲,۲)
زیست	(۱/۲,۲/۳,۱)	(۱,۱,۱)	(۱,۱,۱)	(۱,۱,۱)
شیمی	(۱/۲,۲/۳,۱)	(۱,۱,۱)	(۱,۱,۱)	(۱,۱,۱)
فیزیک	(۱/۲,۲/۳,۱)	(۱,۱,۱)	(۱,۱,۱)	(۱,۱,۱)

وزن‌های نرمال شده به صورت زیر حاصل می‌شود:

جدول ۶ وزن نسبی ورودی X_{14} نسبت به گروه‌ها

X_{14}	وزن نسبی
ریاضی و آمار	۰,۱۱۰
زیست	۰,۲۹۷
شیمی	۰,۲۹۷
فیزیک	۰,۲۹۷

مقایسات زوجی فازی برای گروه‌ها نسبت به ورودی X_{15} در جدول زیر آورده شده است:

جدول ۷ مقایسات زوجی فازی برای گروه‌ها نسبت به ورودی X_{15}

X_{15}	ریاضی و آمار	زیست	شیمی	فیزیک
ریاضی و آمار	(۱,۱,۱)	(۱/۲,۱,۳/۲)	(۱,۱,۱)	(۱/۲,۱,۳/۲)
زیست	(۲/۳,۱,۲)	(۱,۱,۱)	(۱/۲,۲/۳,۱)	(۲/۳,۱,۲)
شیمی	(۱,۱,۱)	(۲/۳,۱,۲)	(۱,۱,۱)	(۲/۳,۱,۲)
فیزیک	(۲/۳,۱,۲)	(۱/۲,۲/۳,۱)	(۱/۲,۲/۳,۱)	(۱,۱,۱)

وزن‌های نرمال شده به صورت زیر حاصل می‌شود:

جدول ۸ وزن نسبی ورودی X_{15} نسبت به گروه‌ها

X_{15}	وزن نسبی
ریاضی و آمار	۰,۲۳۷
زیست	۰,۲۵۴
شیمی	۰,۲۳۵
فیزیک	۰,۲۷۴

مقایسات زوجی فازی ورودی‌های X_{15} , X_{14} , X_{13} نسبت به هم در جدول زیر آورده شده است:

جدول ۹ مقایسات زوجی فازی ورودی‌های X_{15} , X_{14} , X_{13} نسبت به هم

هدف سیاست‌گذاری علوم پایه	X_{13}	X_{14}	X_{15}
X_{13}	(۱,۱,۱)	(۱/۲,۲/۳,۱)	(۱/۲,۱,۳/۲)
X_{14}	(۲/۳,۱,۲)	(۱,۱,۱)	(۱,۱,۱)
X_{15}	(۲/۳,۱,۲)	(۱,۱,۱)	(۱,۱,۱)

وزن‌های نسبی ورودی‌ها به صورت زیر حاصل می‌شود:

جدول ۱۰ وزن نسبی ورودی‌ها

هدف سیاست‌گذاری علوم پایه	وزن نسبی MAX T
X_{13}	۰,۳۶۶
X_{14}	۰,۳۱۷
X_{15}	۰,۳۱۷

خلاصه اوزان در جدول زیر گردآوری شده است:

جدول ۱۱ اوزان نسبی

ورودی / گروه	X_{13} ۰,۳۶۶	X_{14} ۰,۳۱۷	X_{15} ۰,۳۱۷
ریاضی و آمار	۰,۲۴۶	۰,۱۱۰	۰,۲۳۷
زیست	۰,۲۶۹	۰,۲۹۷	۰,۲۵۴
شیمی	۰,۲۱۷	۰,۲۹۷	۰,۲۳۵
فیزیک	۰,۲۶۹	۰,۲۹۷	۰,۲۷۴

در نهایت وزنی که از هر ورودی به هر یک از گروه‌ها توزیع می‌شود به شرح زیر است:

جدول ۱۲ وزن نهایی ورودی‌های توزیع شده به گروه‌ها

X_{15}	X_{14}	X_{13}	ورودی / گروه
$\alpha_3 = 0.075$	$\alpha_2 = 0.035$	$\alpha_1 = 0.090$	ریاضی و آمار
$\beta_3 = 0.080$	$\beta_2 = 0.094$	$\beta_1 = 0.099$	زیست
$\gamma_3 = 0.074$	$\gamma_2 = 0.094$	$\gamma_1 = 0.079$	شیمی
$\delta_3 = 0.087$	$\delta_2 = 0.094$	$\delta_1 = 0.099$	فیزیک

برای مثال $\alpha_1 = 0.246 * 0.366 = 0.090$ میزان ورودی توزیع شده از X_{13} به گروه ریاضی و آمار است. مجموع اوزان برابر با یک است.

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 = 1 \quad (27)$$

مرحله دوم استفاده از اوزان به دست آمده از Fuzzy ANP در مدل NDEA است. مدل Fuzzy ANP-NDEA به شکل زیر است:

$$\begin{aligned}
 E_k^{NW} = & \text{Max } u_1 Y_{1k} + u_2 Y_{2k} + u_3 Y_{3k} + u_4 Y_{4k} + u_5 Y_{5k} + u_6 Y_{6k} + u_7 Y_{7k} + u_8 Y_{8k} + \\
 & u_9 Y_{9k} + u_{10} Y_{10k} + u_{11} Y_{11k} + u_{12} Y_{12k} + u_{13} Y_{13k} + u_{14} Y_{14k} + u_{15} Y_{15k} + u_{16} Y_{16k} + \\
 & u_{17} Y_{17k} + u_{18} Y_{18k} + u_{19} Y_{19k} + u_{20} Y_{20k} \\
 \text{s.t. } & v_1 X_{1k} + v_2 X_{2k} + v_3 X_{3k} + v_4 X_{4k} + v_5 X_{5k} + v_6 X_{6k} + v_7 X_{7k} + v_8 X_{8k} + \\
 & v_9 X_{9k} + v_{10} X_{10k} + v_{11} X_{11k} + v_{12} X_{12k} + v_{13} X_{13k} + v_{14} X_{14k} + v_{15} X_{15k} = 1 \\
 & (u_1 Y_{1j} + u_2 Y_{2j} + u_3 Y_{3j} + u_4 Y_{4j}) + u_5 Y_{5j} - (v_1 X_{1j} + v_2 X_{2j} + v_3 X_{3j}) - \\
 & (0.090 * v_{13} X_{13j} + 0.035 * v_{14} X_{14j} + 0.075 * v_{15} X_{15j}) \leq 0, \\
 & (u_6 Y_{6j} + u_7 Y_{7j} + u_8 Y_{8j} + u_9 Y_{9j}) + u_{10} Y_{10j} - (v_4 X_{4j} + v_6 X_{6j} + v_7 X_{7j}) - \\
 & (0.099 * v_{13} X_{13j} + 0.094 * v_{14} X_{14j} + 0.080 * v_{15} X_{15j}) \leq 0, \\
 & (u_{11} Y_{11j} + u_{12} Y_{12j} + u_{13} Y_{13j} + u_{14} Y_{14j}) + u_{15} Y_{15j} - (v_8 X_{8j} + v_9 X_{9j} + v_{10} X_{10j}) - \\
 & (0.079 * v_{13} X_{13j} + 0.094 * v_{14} X_{14j} + 0.074 * v_{15} X_{15j}) \leq 0, \\
 & (u_{16} Y_{16j} + u_{17} Y_{17j} + u_{18} Y_{18j} + u_{19} Y_{19j}) + u_{20} Y_{20j} - (v_{10} X_{10j} + v_{11} X_{11j} + v_{12} X_{12j}) - \\
 & (0.099 * v_{13} X_{13j} + 0.094 * v_{14} X_{14j} + 0.087 * v_{15} X_{15j}) \leq 0, \\
 & 5.7 \times v_{13} \leq v_{14}; \quad 3.5 \times v_{15} \leq v_{13}; \\
 & 5.7 \times v_3 \leq v_1; \quad 2.8 \times v_2 \leq v_3; \\
 & 2.9 \times v_6 \leq v_4; \quad 2.5 \times v_5 \leq v_6; \\
 & 5.8 \times v_9 \leq v_7; \quad 6.5 \times v_8 \leq v_9; \\
 & 6.9 \times v_{12} \leq v_{10}; \quad 4.5 \times v_{11} \leq v_{12}; \\
 & 5.9 \times u_1 \leq u_3; \quad 5.7 \times u_4 \leq u_1; \quad 7.5 \times u_2 \leq u_4; \\
 & 6.9 \times u_6 \leq u_8; \quad 5.6 \times u_9 \leq u_6; \quad 7.8 \times u_7 \leq u_9; \\
 & 4.9 \times u_{11} \leq u_{13}; \quad 3.9 \times u_{14} \leq u_{11}; \quad 5.7 \times u_{12} \leq u_{14}; \\
 & 4.8 \times u_{16} \leq u_{18}; \quad 6.8 \times u_{19} \leq u_{16}; \quad 5.7 \times u_{17} \leq u_{19}; \\
 & \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4 \geq 0, \\
 & u_1, \dots, u_{20} \geq 0.00001; \\
 & v_1, \dots, v_{15} \geq 0.00001;
 \end{aligned}
 \tag{28}$$

۶. نتیجه‌گیری

روش کلاسیک سازمان‌ها را به‌صورت جعبه سیاه در نظر گرفته و محاسبات خود را به ورودی‌های اولیه و خروجی‌های نهایی محدود کرده و از فرآیندهای داخلی غفلت می‌ورزند. لذا به‌منظور برطرف نمودن این مشکل مدل‌های مختلفی تحت عنوان تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای ارائه گردید. اندازه‌گیری کارایی وظیفه‌ی مهمی در مدیریت است که نه تنها دستوردهای گذشته یک واحد را نشان می‌دهد، بلکه جهت‌گیری‌های توسعه در آینده را نیز نشان می‌دهد. مدل DEA به‌عنوان روش مؤثری برای اندازه‌گیری کارایی نسبی واحدهای تصمیم‌گیرنده که چندین ورودی برای تولید چندین خروجی را به‌کار می‌گیرد. ارزیابی سیستم با مدل DEA مانند یک جعبه سیاه است که فقط نقاط تمرکز ارزیابی ورودی‌ها و خروجی‌ها است و عملیات و تعاملات داخلی فرآیندها چشم‌پوشی می‌شوند. در نتیجه یک سیستم ممکن است کارا معرفی شود درحالی‌که تمام مؤلفه‌های فرآیند آن کارا نباشد. به‌طور معنادار، مواردی وجود دارد که در آن تمام مؤلفه‌های فرآیند یک DMU بدتر از DMU دیگر عمل می‌کنند، و درعین حال عملکرد سیستم بهتری را دارند. به‌منظور بدست آوردن اندازه‌های کارایی معنادار بهتر است ساختار داخلی یک سیستم هر زمان که داده موجود است در نظر گرفته شود. رویکردی که عملیات مؤلفه فرآیندها را در قالب DEA لحاظ می‌کند DEA شبکه‌ای نامیده می‌شود. سیستم‌ها می‌توانند ساختارهای متفاوتی داشته باشند و به ازای آن نیز مدل‌های DEA شبکه‌ای مختلفی وجود خواهد داشت.

دانشکده علوم پایه شامل گروه‌های ریاضی و آمار، زیست، شیمی، فیزیک است. هر گروهی از نظر ابعاد آموزشی و پژوهشی بررسی می‌شوند. هر یک از گروه‌ها دارای سه ورودی اختصاصی و سه ورودی مشترک است. ورودی‌های اختصاصی شامل اساتید تخصصی هر گروه، دانشجویان کارشناسی و دانشجویان کارشناسی ارشد و دکترا و ورودی‌های مشترک شامل اساتید عمومی، کارکنان و فضا است. خروجی‌های پژوهشی هر گروه شامل کتاب، مقالات پژوهشی، مقالات ISI، پروژه‌های پژوهشی و خروجی آموزش شامل فارغ‌التحصیلان است. در این تحقیق، تعداد نه DMU در نظر گرفته شده است. اطلاعات مربوط به نه DMU بررسی شده است و نتایج مدل به شرح زیر است:

جدول ۱۳ نتایج کارایی

DMU	E_{BB}	E_{NW}	$E_{NW-Math}$	$E_{NW-Biology}$	$E_{NW-Chemistry}$	$E_{NW-Physics}$
۱	۱	۰.۹۰	۰.۹۹	۰.۸۳	۰.۹۲	۰.۹۹
۲	۱	۰.۸۱	۰.۹۲	۰.۶۸	۰.۹۹	۰.۸۹
۳	۱	۰.۸۷	۰.۵۱	۰.۹۹	۰.۶۵	۰.۸۰
۴	۱	۰.۸۳	۰.۷۹	۰.۹۹	۰.۴۲	۰.۸۴
۵	۱	۰.۶۶	۰.۷۵	۰.۶۷	۰.۵۵	۰.۷۸
۶	۱	۰.۸۴	۰.۶۰	۰.۹۱	۰.۳۹	۰.۹۹
۷	۱	۰.۹۱	۰.۷۸	۰.۹۳	۰.۹۹	۰.۹۹
۸	۱	۰.۸۱	۰.۹۸	۰.۶۲	۰.۸۵	۰.۹۸
۹	۱	۰.۸۹	۰.۸۳	۰.۹۸	۰.۴۲	۰.۹۸

همان‌طور که از جدول بالا مشاهده می‌شود، در ستون دوم کارایی DMUها به کمک DEA سنتی محاسبه شده است، درواقع در محاسبه کارایی با استفاده از روش کلاسیک DEA، DMUها به‌عنوان یک جعبه سیاه در نظر گرفته می‌شوند؛ یعنی ساختار داخلی آن مورد توجه قرار نمی‌گیرد. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود، کارایی همه‌ی DMUها برابر با یک شده است و هیچ رتبه‌بندی بین DMUها وجود ندارد.

در ستون سوم جدول، کارایی به روش تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای محاسبه شده است. در این محاسبه وزن‌های ورودی‌های توزیع شده به کمک تحلیل سلسه‌مراتبی فازی حاصل شده است سپس این وزن‌ها در مدل تحلیل پوششی داده شبکه‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. DMU5 با مقدار کارایی برابر با ۰.۶۶ دارای کمترین کارایی و DMU7 با مقدار کارایی برابر با ۰.۹۱ دارای بیشترین کارایی است. برای DMU5 گروه شیمی با مقدار کارایی ۰.۵۵، دارای کمترین کارایی و گروه فیزیک با مقدار کارایی ۰.۷۸، دارای بیشترین کارایی در بین گروه‌ها می‌باشند.

در ستون‌های چهارم تا هفتم نیز به ترتیب کارایی داخلی گروه ریاضی، زیست، شیمی، فیزیک حاصل شده است.

منابع

- [1] Saaty, T. L. (1996). The ANP for decision making with dependence and feedback.
- [2] Ghannadpour, S., jokar, M., Makui, A. (2018). Fuzzy analytical network process logic for performance measurement system of e-learning centers of universities. *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 11(3), 261-280.
- [3] Farrell, M. (1957). The Measurement of Productive Efficiency. *journal of the royal statistical society series A*, 120 (3), 253-290.
- [4] Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research*, 2(6), 429-444.
- [5] Färe, R., & Grosskopf, S. (2000). Network dea. *Socio-economic planning sciences*, 34(1), 35-49.
- [6] Coelli, T. J. (1996). Assessing the performance of Australian universities using data envelopment analysis. University of New England, Department of Econometrics.
- [7] Martin, E. (2003). An application of the data envelopment analysis methodology in the performance assessment of Zaragoza University departments.
- [8] Afonso, A., & Santos, M. (2005). Students and teachers: A DEA approach to the relative efficiency of Portuguese public universities.
- [9] Kao, C., & Hung, H. T. (2008). Efficiency analysis of university departments: An empirical study. *Omega*, 36(4), 653-664.+
- [10] Kao, C. (2009). Efficiency decomposition in network data envelopment analysis: A relational model. *European journal of operational research*, 192(3), 949-962.
- [11] Seriki, H. T., Hoegl, M., & Parboteeah, K. P. (2010). Innovative performance in African technical projects—A multi-level study. *Journal of World Business*, 45(3), 295-303.
- [12] Chen, C., & Yan, H. (2011). Network DEA model for supply chain performance evaluation. *European journal of operational research*, 213(1), 147-155.
- [13] Despotis, D. K., Koronakos, G., & Sotiros, D. (2015). A multi-objective programming approach to network DEA with an application to the assessment of the academic research activity. *Procedia Computer Science*, 55, 370-379.
- [14] Guo, C., Shureshjani, R. A., Foroughi, A. A., & Zhu, J. (2017). Decomposition weights and overall efficiency in two-stage additive network DEA. *European Journal of Operational Research*, 257(3), 896-906.
- [15] Kashim, R., Kasim, M. M., & Rahman, R. A. (2017). Measuring effectiveness of a university by a parallel network DEA model. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1905, No. 1, p. 040014). AIP Publishing.
- [16] Sinuany-Stern, Z., Mehrez, A., & Hadad, Y. (2000). An AHP/DEA methodology for ranking decision making units. *International Transactions in Operational Research*, 7(2), 109-124.
- [17] Rouyendegh, B. D., & Erol, S. (2010). The DEA-FUZZY ANP department ranking model applied in Iran Amirkabir University. *Acta Polytechnica Hungarica*, 7(4), 103-114.
- [18] Lin, H. T. (2010). Personnel selection using analytic network process and fuzzy data envelopment analysis approaches. *Computers & Industrial Engineering*, 59(4), 937-944.
- [19] Maleki Moghadam-abyaneh, P., Raei Nojehdehi, R., & Najafi, E. (2011). Applying Combine FAHP-DEA-ANP In Selecting Products. *International Journal of Business and Commerce*, 1 (3), 1-9.

- [20] Khadivi, M. R., & Ghomi, S. F. (2012). Solid waste facilities location using of analytical network process and data envelopment analysis approaches. *Waste management*, 32(6), 1258-1265.
- [21] Ehsanifar, M. (2014). DEA/AHP and its application in Full Ranking of Decision Making Units. *International Journal of Quantitative Economics and Applied Management Research*.
- [22] Tavakoli, M. M., Shirouyehzad, H., & Dabestani, R. (2016). Proposing a hybrid method based on DEA and ANP for ranking organizational units and prioritizing human capital management drivers. *Journal of Modelling in Management*, 11(1), 213-239.
- [23] Kılıç, H., & Kabak, Ö. (2019, July). Analysis of Relation Between Human Development and Competitiveness Using Fuzzy ANP and DEA. In *International Conference on Intelligent and Fuzzy Systems* (pp. 859-866). Springer, Cham.
- [24] Cui, M. X., & Fang, C. (2015, December). A hybrid DEA-ANP method for measuring complexity in engineering projects. In *2015 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 1287-1291, IEEE.
- [25] Pourjavad, E., Shirouyehzad, H., & Shahin, A. (2020). Integration of ANP and DEA methods for evaluating efficiency of maintenance strategies. *International Journal of Manufacturing Technology and Management*, 34(4), 311-330.
- [26] Pishchulov, G., Trautrimis, A., Chesney, T., Gold, S., & Schwab, L. (2019). The Voting Analytic Hierarchy Process revisited a revised method with application to sustainable supplier selection. *International Journal of Production Economics*, 211, 166-179.
- [27] Soltanifar, M., & Lotfi, F. H. (2011). The voting analytic hierarchy process method for discriminating among efficient decision making units in data envelopment analysis. *Computers & Industrial Engineering*, 60(4), 585-592.
- [28] Starčević, S., Bojović, N., Junevičius, R., & Skrickij, V. (2019). Analytical hierarchy process method and data envelopment analysis application in terrain vehicle selection. *Transport*, 34(5), 600-616.
- [29] Soltanifar M. A new Group Voting Analytical Hierarchy Process Method. *Journal of Operational Research and Its Applications*. 2017; 14 (3) :1-13.
- [۳۰] سلطانی فر، مهدی، شرفی، حمید، زرگر، سید محمد، همایونفر، مهدی. (۱۳۹۹). رتبه بندی تامین کنندگان با استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده ها و مدل جدید کارایی متقاطع در حضور خروجی های نامطلوب. پژوهش های نوین در ریاضی.
- [۳۱] سلطانی فر، مهدی. (۱۳۹۹). شناسایی عوامل موثر بر انتخاب شبکه های اجتماعی و ارائه راهبرد لازم جهت ارتقاء جایگاه شبکه های داخلی. فصلنامه علمی پژوهش های مدیریت راهبردی.
- [32] Chang, D. Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European journal of operational research*, 95(3), 649-655.