

ارزیابی عملکرد شرکت‌های آب و فاضلاب استان مازندران به کمک مدل ترکیبی تحلیل پوششی داده‌ها و شبکه عصبی مصنوعی

جواد رضائیان^{۱*} و عباس عسگری نژاد^۲

^۱ استادیار دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه علوم و فنون مازندران

^۲ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سازمان مدیریت صنعتی

(تاریخ دریافت ۹۱/۱۱/۲۸ - تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۹۲/۱۰/۳۰ - تاریخ تصویب ۹۳/۶/۲۴)

چکیده

در این تحقیق، به کمک تکنیک تحلیل پوششی داده‌های ورودی-محور، شرکت آب و فاضلاب استان مازندران ارزیابی می‌شود. یکی از روش‌های ارزیابی کارایی واحدها روش تحلیل پوششی داده‌ها^۱ است. با توجه به کارایی محاسبه‌شده برای شانزده واحد تصمیم‌گیرنده سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰، مشکل وجود چندین ناحیه کارآمد مشخص است. در مرحله اول برای رفع این ضعف از تکنیک اندرسون و پیترسون^۲ استفاده شد. از آنجا که تکنیک AP شامل حل یک مدل برنامه‌ریزی خطی به‌ازای هر DMUs است، با افزایش بعد مسئله ارزیابی کارایی زمان بر خواهد شد. بنابراین، استفاده از شبکه‌ای عصبی به منزله رویکردی جایگزین مطرح می‌شود. نتایج تحلیلی کارایی‌های محاسبه‌شده DMUsها به کمک روش ترکیبی Neuro-DEA حاکی از قدرت بالای شبکه عصبی در تفکیک‌پذیری نواحی تصمیم‌گیری است.

واژه‌های کلیدی: تحلیل پوششی داده‌ها، شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs)، مدل اندرسون پیترسون (AP)،

مدل CCR ورودی محور، Neuro-DEA

مقدمه

برای اندازه‌گیری کارایی شامل یک ورودی و یک خروجی بود. مطالعه فارل اندازه‌گیری کارایی‌های فنی و تخصیصی و مشتق تابع تولید کارا را شامل می‌شد. چارنز، کوپر، و رودز دیدگاه فارل را توسعه دادند و مدلی را ارائه کردند که توانایی اندازه‌گیری کارایی با چندین ورودی و چندین خروجی را داشت. این مدل «تحلیل پوششی داده‌ها» نام گرفت و ابتدا در رساله دکتری ادوارد رودز، به راهنمایی کوپر، با نام «ارزیابی پیشرفت تحصیلی دانش‌آموزان مدارس ملی امریکا»، در سال ۱۹۷۶، در دانشگاه کارنگی استفاده شد و در سال ۱۹۷۸ در مقاله‌ای با نام «اندازه‌گیری کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده» ارائه شد [۲].

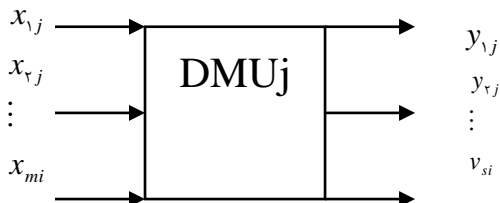
تحلیل پوششی داده‌ها چارچوبی تئوریک برای تحلیل عملکرد و اندازه‌گیری کارایی فراهم می‌آورد. ارزیابی عملکرد واحدهای یک سازمان با افزایش

یکی از ویژگی‌های بارز سازمان‌های پیش‌رو، اعم از دولتی و خصوصی، کاربرد موفقیت‌آمیز اندازه‌گیری عملکرد به منظور دستیابی به بینش و قضاوت صحیح در زمینه کارایی و اثربخشی برنامه‌ها، فرایندها، و افراد آن‌هاست. با وجود این، سازمان‌های متعالی در گردآوری و تحلیل اطلاعات در زمینه عملکرد متوقف نمی‌مانند. آن‌ها، با اندازه‌گیری عملکرد، به‌سازی را هدایت و استراتژی‌ها را به طور موفقیت‌آمیز به اقدام‌های مشخص تبدیل می‌کنند. از طرف دیگر از اندازه‌گیری عملکرد برای اداره کردن سازمان خود بهره می‌گیرند. استقرار و استمرار فرایند ارزیابی در سازمان افزایش انگیزه و رقابت سازنده را نیز به دنبال دارد.

در سال ۱۹۵۷ فارل با استفاده از روشی مانند اندازه‌گیری کارایی در مباحث مهندسی به اندازه‌گیری کارایی یک واحد تولیدی اقدام کرد. مورد مد نظر فارل

[۵]. شکل ۱ یک نوع مدل DEA را نشان می‌دهد.

$$\text{کارایی واحد زام} = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \quad (1)$$



شکل ۱. یک واحد تصمیم‌گیرنده همراه ورودی‌ها و خروجی‌ها

در سال‌های اخیر در اغلب کشورهای جهان برای ارزیابی عملکرد نهادها و دیگر فعالیت‌های رایج در زمینه‌های مختلف کاربردهای متفاوتی از تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) دیده شده است. علت مقبولیت روش DEA نسبت به سایر روش‌ها امکان بررسی روابط پیچیده و اغلب نامعلوم بین چندین ورودی و چندین خروجی معمولاً اندازه‌ناپذیر است [۶].

انواع مدل‌های DEA

به طور کلی، مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها به دو گروه ورودی‌محور و خروجی‌محور تقسیم می‌شوند. چارنز و کوپر و رودز کارایی را با توجه به این دو دیدگاه به صورت زیر تعریف کرده‌اند [۳]:

- در یک مدل ورودی‌محور یک واحد در صورتی ناکاراست که امکان کاهش هر یک از ورودی‌ها بدون افزایش ورودی‌های دیگر یا کاهش هر یک از خروجی‌ها وجود داشته باشد.
 - در یک مدل خروجی‌محور یک واحد در صورتی ناکاراست که امکان افزایش هر یک از خروجی‌ها بدون کاهش خروجی‌های دیگر یا افزایش در هر یک از ورودی‌ها وجود داشته باشد.
- بر این اساس، یک واحد وقتی کارا خواهد بود که هیچ‌یک از دو مورد یادشده تحقق نیابد.
- مدل‌های CCR^۳ و BCC و مدل جمعی مهم‌ترین مدل‌های DEA هستند که در فرم‌های ضربی و

شاخص‌های کارایی و تعداد ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم و با کافی نبودن واحدهای سازمانی یا تصمیم‌گیرنده (DMUs) مرجع مسئله‌ای اساسی است که تفکیک‌پذیری آن به راحتی ممکن نیست. از این رو، در این تحقیق معادلات به کمک تحلیل پوششی داده‌ها برای تعیین ارزیابی عملکرد داده‌ها به کار می‌رود و از ابزارهای هوشمند، نظیر شبکه‌های عصبی، برای دسته‌بندی سازمان‌ها در گروه‌های مرجع و غیره استفاده می‌شود.

در این پژوهش سعی بر آن است که از تلفیق شبکه‌های عصبی و Neuro-DEA (DEA) در اندازه‌گیری فنی واحدهای تصمیم‌گیری شرکت‌های آب و فاضلاب استان مازندران استفاده شود. پس از محاسبه کارایی واحدهای تصمیم‌گیری به کمک مدل DEA و بررسی نتایج مشاهده شد با توجه به کمبود تعداد DMUs مدل پایه‌ای DEA قادر به رتبه‌بندی واحدها نیست. بنابراین از قدرت تعمیم‌پذیری و تخمین روابط غیر خطی شبکه عصبی برای رفع این مسئله استفاده می‌شود.

در بخش دوم پژوهش مبانی DEA به‌اجمال بررسی و در بخش سوم شبکه‌های عصبی به‌اختصار معرفی می‌شود. بخش چهارم به تشریح مدل استفاده‌شده و ساختار Neuro-DEA اختصاص دارد و در بخش پنجم داده‌های محاسباتی تحلیل می‌شود. در بخش ششم نتیجه‌گیری و پیشنهاد برای تحقیقات آتی می‌آید.

تحلیل پوششی داده‌ها

تحلیل پوششی داده‌ها تکنیکی ریاضی برای ارزیابی عملکرد واحدهای تصمیم‌گیرنده است که نخستین بار چارنز و کوپر و رودز آن را مطرح کردند. به طور کلی، مدل تحلیل پوششی داده‌ها به دو گروه ورودی‌محور و خروجی‌محور تقسیم می‌شود. مدل‌های ورودی‌محور بدون تغییر در خروجی‌ها از ورودی‌های کمتری برای به‌دست‌آوردن همان مقدار خروجی استفاده می‌کنند و مدل‌های خروجی‌محور بدون تغییر در ورودی‌ها میزان خروجی‌های بیشتری به دست می‌دهند [۴]. در DEA برای اندازه‌گیری کارایی از نسبت مجموع موزون خروجی‌ها به مجموع موزون ورودی‌ها استفاده می‌شود

محدودیت‌های مدل DEA

۱. چون DEA تکنیکی ریاضی است خطاهای اندازه‌گیری ممکن است تغییرات عمده‌ای در نتایج به وجود آورد. از این رو، باید پس از شناسایی واحد کارا به کنترل داده‌ها و ستاده‌ها اقدام و از صحت آن اطمینان حاصل شود.
۲. اگر فقط یکی از داده‌ها و ستاده‌های واحدهای تصمیم‌گیری تغییر کند، تغییرات اساسی در درجه کارایی واحدهای تصمیم‌گیری پیش خواهد آمد.
۳. توافق کلی درباره انتخاب داده‌ها و ستاده‌ها در این روش وجود ندارد.

رابطه تعداد ورودی‌ها و خروجی‌ها با تعداد

DMUها

موضوع قابل توجه در الگوی CCR آن است که اگر تعداد DMUها در مقایسه با تعداد ورودی‌ها و خروجی‌ها اختلاف چندانی نداشته باشند، پس از حل مسئله بیشتر DMUها کارا خواهند شد. تجربه نشان داده تعداد DMUهای تحت بررسی در سنجش با مجموع تعداد ورودی‌ها و خروجی‌ها باید از رابطه زیر پیروی کند [۷].

(تعداد خروجی + ورودی‌ها) ≥ 3 تعداد DMUهای

تحت بررسی

یا:

(خروجی‌ها). (ورودی‌ها) ≥ 2 تعداد DMUهای تحت

بررسی

در صورتی که رابطه فوق بین DMUs و ورودی‌ها و خروجی‌ها برقرار باشد، قدرت تفکیک‌پذیری مدل مناسب است.

مدل اندرسون و پیترسون (رتبه‌بندی کامل)

مدل‌های پایه‌ای تحلیل پوششی داده‌ها به دلیل عدم ایجاد رتبه‌های کامل بین واحدهای کارا امکان مقایسه واحدهای مزبور را به راحتی فراهم نمی‌آورد. زیرا در این مدل‌ها به همه واحدهای تصمیم‌گیرنده کارا امتیاز کارایی ۱ اختصاص می‌یابد. نیاز به رتبه‌بندی واحدهای کارا و حفظ میزان عدم کارایی واحدهای ناکارا

پوششی و نیز در حالات ورودی‌محور و خروجی‌محور به کار می‌روند. در ادامه مدل‌های نسبت CCR و مضربی CCR در حالت ورودی‌محور معرفی می‌شوند.

مدل CCR

بر اساس پیشنهاد فارل، در بررسی کارایی n واحد، که هر یک دارای m ورودی و s خروجی‌اند، کارایی واحد j (با $j=1, \dots, n$) به کمک رابطه ۱ محاسبه می‌شود. اما مدل CCR را، به منزله تعمیمی بر کار فارل، نخستین بار در سال ۱۹۷۸ چارلز و کوپر و رودز بیان کردند. آن‌ها اندازه پیشنهادی خود را برای کارایی هر واحد تصمیم‌گیری به صورت ماکزیمم نسبت خروجی‌های موزون به ورودی‌های موزون تعریف کردند؛ مشروط بر اینکه نسبت‌های مشابه برای هر واحد دیگر کوچک‌تر یا مساوی با ۱ باشد [۲]. صورت دقیق‌تر این تعریف در رابطه ۲ می‌آید.

(۲)

$$\max E_j = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}}$$

s.t.

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ik}} \leq 1; \quad k = 1, 2, \dots, n$$

$$u_r, v_i \geq 0; \quad \forall i, r$$

رابطه ۲ به مدل نسبت CCR ورودی‌محور معروف

است. با تبدیل مدل کسری ۲ به مدل خطی، مدل مضربی CCR ورودی‌محور به صورت رابطه ۳ به دست می‌آید.

(۳)

$$\max E_j = \sum_{r=1}^s u_r y_{rj}$$

s.t.

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

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rk} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} \leq 0; \quad k = 1, 2, \dots, n$$

$$u_r, v_i \geq 0; \quad \forall r, i$$

مدل‌های پوششی دوگان مدل‌های مضربی هستند که کارایی را بر اساس تخمین تابع تولید و مقایسه واحد تحت ارزیابی با مرز کارایی محاسبه می‌کنند.

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

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rk} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} \leq 0; k = 1, 2, \dots, n, k \neq j$$

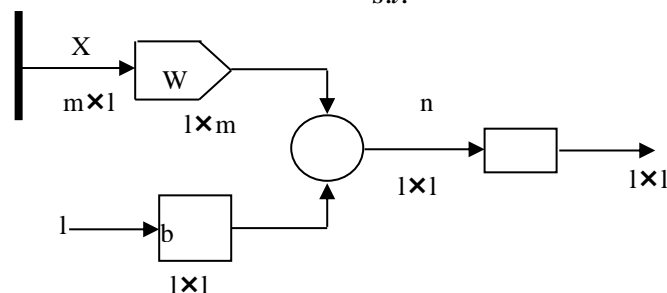
$$u_r \geq 0; r = 1, 2, \dots, s$$

$$v_i \geq 0; i = 1, 2, \dots, m$$

شبکه‌های عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی دستگاه‌ها یا نرم‌افزارهایی هستند که بر اساس ساختمان عصبی مغز انسان سازمان یافته‌اند و رفتارهایی از خود نشان می‌دهند که مشابه آن در کارکرد مغز انسان وجود دارد یا آنکه قابل قیاس با یکی از رفتارهای آدمی‌اند. این شبکه‌ها در واقع سامانه‌ای پویا و غیر خطی‌اند که از تعداد زیادی واحد پردازش و اتصالات بین این واحدها تشکیل شده‌اند. ساختار شبکه‌های عصبی مصنوعی به صورت لایه‌ای است و از یک لایه ورودی، یک لایه خروجی، و یک یا چند لایه میانی تشکیل می‌شوند. هر لایه شامل تعدادی گره یا نرون است که با شبکه و با وزن‌های متفاوت به هم مرتبط می‌شوند. بر اساس نحوه ارتباط گره‌ها به یکدیگر شبکه‌های عصبی را به دو گروه شبکه‌های عصبی پیش‌خور^۵ و شبکه‌های عصبی مصنوعی پس‌خور^۶ تقسیم می‌کنند [۸]. در شبکه‌های پیش‌خور هیچ بازخوری از خروجی شبکه به ورودی شبکه داده نمی‌شود؛ ولی در شبکه‌های بازگشتی حداقل یک سیگنال از یک نرون به همان نرون‌های لایه یا لایه‌های قبل وجود دارد [۹].

نرون کوچک‌ترین واحد پردازش اطلاعات است و اساس عملکرد شبکه عصبی را تشکیل می‌دهد. مدل شبکه عصبی تک‌نرون در شکل ۲ می‌آید:



شکل ۲. مدل یک نرون با m ورودی [۱۰]

اجتناب‌ناپذیر است. تحقیقات اندرسون و پیترسون (AP) در سال ۱۹۹۳ را می‌توان نخستین رهیافت‌ها و تلاش‌های مقبول به منظور حل مشکل در این زمینه دانست. آنان با حذف واحد تصمیم‌گیرنده بررسی شده در ساخت واحدهای مجازی^۱ توانستند به رتبه‌بندی کاملی دست یابند. در ارزیابی به روش AP، واحد تحت بررسی از ارزیابی حذف می‌شود. مدل‌های پایه‌ای برای ارزیابی هر واحد تصمیم‌گیرنده از خود واحد تصمیم‌گیرنده برای ایجاد واحد نشانه بهره می‌گیرند. چون واحدهای ناکارا در شکل‌گیری مرز کارایی تأثیرگذار نیستند، حذف آن‌ها از ارزیابی تأثیری بر مرز کارایی نخواهد داشت. بنابراین، کارایی تکنیکی آن‌ها حتی در مدل رتبه‌بندی کامل با نگرش AP تغییر نخواهد یافت؛ ولی حذف واحدهای کارا، که مرز کارایی را تشکیل می‌دهند، سبب تغییر شکل مرز کارایی خواهد شد. میزان تغییر به‌وجودآمده از حذف یک واحد کارا در واقع ملاکی برای رتبه‌بندی واحدهای کارا بین خودشان به شمار می‌رود. عدد اختصاص‌یافته به واحدهای کارا در مدل رتبه‌بندی کامل AP بیشتر از ۱ یا مساوی ۱ است. بنابراین، در این مدل هر واحد تصمیم‌گیرنده که عدد کارایی بیشتری کسب کند میان واحدهای کارا از عملکرد بالاتری برخوردار خواهد بود. مدل ریاضی ایده مزبور، به کمک مدل CCR پوششی به مثابه نمونه، با حذف واحد تصمیم‌گیرنده با رابطه ۴ تعریف می‌شود [۸].

(۴)

$$\max w_j = \sum_{r=1}^s u_r y_{rj}$$

s.t.

۳. داده‌ها به ورودی‌های مناسب جهت ورود به شبکه تبدیل شوند.

۴. شبکه انتخاب شده آموزش و آزمون شود.

مراحل ۱ تا ۳ تکرار شود تا زمانی که پارامتر

وزن و بایاس مطابق نتایج مطلوب بهینه شود.

۵. در نهایت از شبکه حاصله استفاده شود.

در این تحقیق از مدلی که بر پایه ترکیب دو روش

DEA (مدل CCR با ماهیت ورودی محور) و ANN

است برای اندازه‌گیری کارایی نواحی شانزده‌گانه

شرکت‌های آب و فاضلاب استان مازندران استفاده

می‌شود. اساس این ترکیب بر مبنای مقایسه کارایی

به‌دست آمده از روش DEA با نتیجه حاصل از آموزش

داده‌هاست.

مدل ترکیبی Neuro-DEA

در این بخش با به‌کارگیری DEA (مدل CCR

ورودی محور) و مدل ترکیبی Neuro-DEA هر یک از

شرکت‌های مناطق شانزده‌گانه ارزیابی می‌شود. برای

ارزیابی عملکرد واحدهای تصمیم‌گیری از داده‌هایی که

واحدهای پژوهش و آمار و تحقیقات آب و فاضلاب

استان مازندران در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ جمع‌آوری

کردند استفاده شد. همان‌طور که در شکل ۳ دیده

می‌شود در اندازه‌گیری کارایی هر یک از نواحی از چهار

ورودی و پنج خروجی استفاده شده است. با توجه به

اینکه مدل DEA مدلی خطی است و از طرفی

شبکه‌های عصبی توانایی بالایی در تقریب توابع غیر

خطی دارند، ANNs ابزار خوبی برای استفاده در چنین

مسائلی است. بنابراین امکان به‌کارگیری ANNs در

اندازه‌گیری کارایی واحدهای تصمیم‌گیری مناسب

است. هدف مدل DEA حداقل کردن مقدار ورودی‌ها به

سطح خروجی مطلوب است. برای اندازه‌گیری کارایی

شرکت‌ها یا واحدهای تصمیم‌گیرنده Neuro-DEA ابتدا

یک مدل شبکه عصبی مناسب شبیه‌سازی می‌شود.

سپس، با استفاده از داده‌هایی برای پردازش اولیه،

$X(x_1, x_2, \dots, x_m)$ یک بردار ورودی با m عنصر

W ، وزن‌های سیناپسی که میزان تأثیر X را روی خروجی

نشان می‌دهد، b مقداری ثابت یا مقدار بایاس، f تابع

تبدیل^۷ که ورودی خالص n را به خروجی تبدیل می‌کند،

و O خروجی شبکه را نشان می‌دهد.

روابط بین متغیرهای یادشده در رابطه ۵ مشاهده

می‌شود [۱۰]:

$$n = \sum_{i=1}^m x_i w_{1,i} + b = \bar{w} \cdot \bar{x} + b$$

$$\bar{x} = [x_1, x_2, \dots, x_m] , \quad (5)$$

$$\bar{w} = [w_{1,1}, w_{1,2}, \dots, w_{1,m}]$$

$$o = f(wx + b)$$

شبکه‌های عصبی می‌توانند بیش از یک لایه داشته

باشند. در شبکه‌های چندلایه هر لایه ماتریس وزن W و

بردار بایاس \bar{b} و بردار ورودی خالص \bar{n} و بردار

خروجی \bar{o} مختص خود دارد. در طراحی ساختار و

معماری شبکه عصبی تعداد عناصر بردار ورودی از

صورت مسئله بررسی شده مشخص می‌شود و به انتخاب

طراح نیست؛ اما تعیین تعداد لایه‌ها، تعداد نرون‌های

اولیه، نوع ارتباط بین نرون‌ها، نوع تابع تبدیل، و از این

قبیل به انتخاب طراح است. بنابراین، در شبکه‌های

عصبی یک طراحی بهینه ضروری به نظر می‌رسد.

یکی از شبکه‌های عصبی متداول و پرکاربرد شبکه‌های

عصبی پرسپترون چندلایه با الگوریتم پس‌انتشار^۸ است. در

الگوریتم پس‌انتشار خطا داده‌های ورودی مکرر به شبکه

داده می‌شود و خروجی با خروجی مطلوب مقایسه و خطا

در هر تکرار محاسبه می‌شود. این خطا در طول شبکه

منتشر و وزن‌های سیناپسی طوری تنظیم می‌شود که

خطا در هر تکرار کاهش یابد [۱۱]. در واقع، پس‌انتشار

یک روش واریانس کاهش یا افزایش است که تابع خطا

(مجموع مربعات خطا) را با تعدیل وزن‌های سیناپسی

کمینه می‌کند.

مراحل طراحی مدل شبکه عصبی غالباً چنین

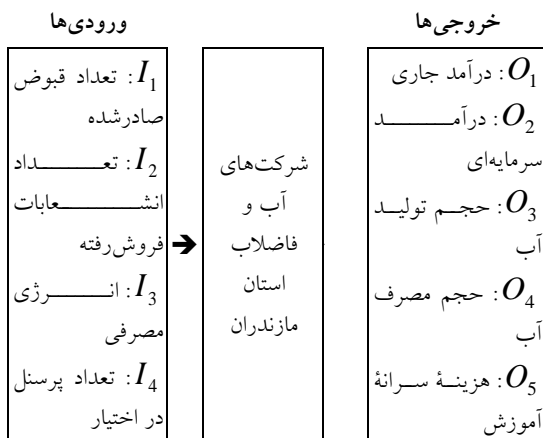
تعریف می‌شود:

۱. همه داده‌ها یک جا جمع شوند.

۲. داده‌ها به دو گروه داده‌های آزمون و

داده‌های آموزشی تقسیم شوند.

به دست می‌آید. خروجی مطلوب شبکه عصبی در این تحقیق خروجی‌ای است که میزان خطای آن کمتر از ۰/۰۲ باشد.



شکل ۳. ورودی‌ها و خروجی‌های واحدهای تصمیم‌گیری

نتایج و یافته‌های تحقیق

در این پژوهش کارایی واحدهای تصمیم‌گیری (نواحی شانزده گانه استان مازندران) در سه مرحله تحلیل شد؛ مرحله اول نتایج مدل DEA، مرحله دوم نتایج مدل Neuro-DEA، و مرحله سوم مقایسه نتایج DEA با Neuro-DEA. در مطالعه سیستم‌های واقعی برای محاسبه کارایی اولین گام تعیین ورودی‌ها و خروجی‌های هر DMU است؛ طوری که منعکس‌کننده کارایی باشند. بعد از تعیین ورودی‌ها و خروجی‌های هر DMU، برای مقایسه و اندازه‌گیری کارایی واحدهای تصمیم‌گیری اطلاعات هر یک از آن‌ها جمع‌آوری و نرمالیزه می‌شود. همان‌طور که آمد، برای اندازه‌گیری کارایی و مقایسه واحدها از داده‌های سال ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ استفاده شد. روش نرمال‌سازی به‌کاررفته در این پژوهش دو گونه است: نرمال‌سازی برای داده‌های هزینه‌ای و نرمال‌سازی برای داده‌های غیر هزینه‌ای. داده‌های هزینه‌ای به داده‌هایی گفته می‌شود که هر چه مقدار خروجی آن‌ها کمتر باشد مناسب‌تر است و داده‌های غیر هزینه‌ای داده‌هایی است که هر چه مقدار خروجی آن‌ها بیشتر باشد مناسب‌تر است. برای نرمال‌سازی داده‌های هزینه‌ای از رابطه ۶ و برای نرمال‌سازی داده‌های غیر هزینه‌ای از رابطه ۷ استفاده شد.

پیش‌پردازش شبکه با استفاده از خروجی مطلوب، که با DEA محاسبه می‌شود، آموزش داده می‌شود تا جایی که شبکه بتواند الگوهای مرجع را یاد بگیرد و بر مبنای آن کارایی واحدها را محاسبه کند. نتایج مشاهده‌شده با مدل DEA (CCR ورودی‌محور) و Neuro-DEA بررسی می‌شود.

ایده ترکیب تحلیل پوششی داده‌ها با شبکه‌های عصبی از این نظر اهمیت دارد که می‌توان یک شبکه عصبی را طراحی کرد و آن را با اطلاعات به‌دست‌آمده از روش تحلیل پوششی داده‌ها تعلیم داد و برای ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیری در سال‌های بعد یا حتی برای واحدهای جدیدی که قبلاً نبوده‌اند از این شبکه عصبی تعلیم‌دیده استفاده کرد. بنابراین، در این تحقیق از شبکه‌های عصبی و توانایی آن‌ها در تقریب روابط و توابع غیر خطی کمک گرفته شد و کارایی شرکت‌ها تحلیل شد. بدین منظور یک شبکه پیش‌بینی‌کننده عملکرد به کار رفت. نیز از یک شبکه عصبی پیش‌خور پرسپترون سه‌لایه با ده نرون در لایه اول، پنج نرون در لایه دوم، و پنج نرون در لایه سوم استفاده شد که در لایه‌های مخفی تابع انتقال Tansig و در لایه خروجی تابع Purelin به کار رفت. با استفاده از این شبکه می‌توان کارایی و رتبه واحدهای تصمیم‌گیرنده را تخمین زد. در این تحقیق، برای اینکه مقادیر کارایی با خطای پایین تقریب زده شود و هم‌زمان رتبه واحدها درست برآورده شود، خروجی شبکه به صورت جمع وزنی مقادیر نرمالیزه‌شده کارایی و رتبه شرکت‌ها تنظیم شد. بدین منظور با آزمایش مقادیر مختلف وزن رتبه ۰/۲ و وزن کارایی ۰/۸ تنظیم شد. در روش یادشده داده‌های آزمونی به طور مکرر به شبکه عصبی ارائه می‌شوند. وزن‌های اولیه ۰ در نظر گرفته می‌شوند. سپس خروجی شبکه عصبی با خروجی مطلوب، که همان ترکیب کارایی فنی و رتبه حاصل از روش DEA است، مقایسه می‌شود و اگر خطا زیاد باشد، روند آموزش داده‌ها با مجموعه وزن‌های اولیه متفاوت، که در جهت کاهش خطای اولیه است، تکرار می‌شود. این کار خطا را در هر تکرار کمتر می‌کند و خروجی مطلوب‌تری

$$N_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max(x_{ij})} \quad (۷)$$

$$N_{ij} = 1 - \frac{x_{ij}}{\max(x_{ij})} \quad (۶)$$

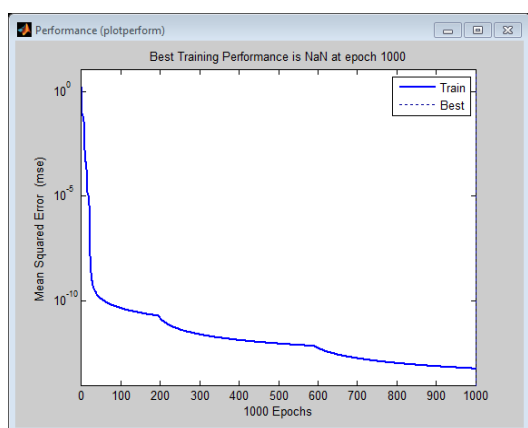
جدول ۱. جدول نرمالیزه شده داده‌های سال ۱۳۸۹

شماره واحد	تصمیم‌گیرنده واحدهای	رتبه	کارایی	جمع رتبه و کارایی نرمالیزه شده	هزینه سرانه آموزش	حجم مصرف آب	حجم تولید آب	درآمد سرمایه‌های	درآمد جاری	تعداد پرسنل	تعداد اتزری مصرفی	تعداد انشعابات فروش رفته	تعداد قبوض صادر شده
۱	بهر	۱۶	۰.۷۳۳۵	۰	۰.۵۲۷۷	۰.۴۰۸۱	۰.۳۲۴۲	۰.۵۲۷۸	۰.۶۱۹۹	۰.۵۸۹۲	۰.۴۱۰۴	۰.۲۷۲۰	۰.۳۶۱۲
۲	گورگانه	۱	۱	۱	۰.۸۸۵۰	۰.۹۲۵۹	۰.۸۱۵۵	۰.۸۸۹۸	۰.۹۰۸۰	۰.۹۴۰۱	۰.۰۵۹۶	۰.۰۶۷۲	۰.۰۵۲۰
۳	کسا	۷	۰.۹۷۵۴	۰.۸۵	۰.۸۲۷۵	۰.۸۰۲۴	۰.۳۲۳۳	۰.۲۱۲۶	۰.۷۳۵۶	۰.۷۸۸۵	۰.۲۰۹۵	۰.۱۵۱۳	۰.۱۹۰۲
۴	ساری	۲	۱	۰.۹۹	۰	۰.۱۳۷۱	۰.۸۶۷۰	۱	۰	۰	۱	۱	۱
۵	قائم‌شهر	۶	۰.۹۹۲۲	۰.۹۱	۰.۴۸۲۷	۰	۰.۵۸۰۰	۰.۸۳۷۳	۰.۴۰۲۲	۰.۱۶۰۳	۰.۸۸۰۷	۰.۴۶۳۷	۰.۶۸۹۳
۶	جویبار	۱۲	۰.۸۱۳۵	۰.۵	۰.۸۳۹۰	۰.۹۴۷۱	۰.۱۰۶۷	۰.۱۵۰۰	۰.۸۸۵۰	۰.۸۷۹۸	۰.۱۳۳۷	۰.۰۸۵۲	۰.۱۰۳۲
۷	سوادکوه	۹	۰.۹۴۳۴	۰.۷۲	۰.۸۰۴۵	۰.۸۴۷۱	۰.۱۴۶۴	۰.۱۷۶۴	۰.۷۳۵۶	۰.۸۴۵۸	۰.۱۵۲۶	۰.۰۷۱۹	۰.۱۴۱۷
۸	بابل	۸	۰.۹۶۶۷	۰.۸۱	۰.۳۷۹۳	۰.۰۴۳۱	۱	۰.۸۸۷۴	۰.۳۷۵۸	۰.۰۸۷۱	۰.۹۰۹۴	۰.۴۹۸۸	۰.۷۴۴۵
۹	بابلسر	۱۳	۰.۸۵۸۴	۰.۴۱	۰.۷۲۴۱	۰.۹۳۶۴	۰.۲۵۲۱	۰.۳۲۴۷	۰.۸۳۹۰	۰.۷۰۰۲	۰.۰۲۹۷	۰.۱۸۳۶	۰.۲۷۶۷
۱۰	فریدون‌کنار	۱۴	۰.۷۸۵۵	۰.۱۸	۰.۸۳۹۰	۰.۸۷۲۳	۰.۱۶۱۹	۰.۱۸۹۱	۰.۸۸۵۰	۰.۸۵۸۸	۰.۱۳۲۵	۰.۱۱۳۳	۰.۱۲۱۳
۱۱	امل	۳	۱	۰.۹۷	۰.۴۲۵۲	۰.۳۷۷۷	۰.۶۸۴۷	۰.۷۳۲۶	۰.۳۴۴۸	۰.۳۲۴۸	۰.۷۷۲۲	۰.۴۸۱۰	۰.۷۲۹۶
۱۲	محمودآباد	۴	۱	۰.۹۶	۰.۸۷۳۵	۰.۹۱۷۳	۰.۱۵۵۰	۰.۱۴۶۱	۰.۸۲۷۵	۰.۸۷۶۰	۰.۱۱۹۰	۰.۱۰۹۱	۰.۱۲۲۹
۱۳	نور و رویان	۵	۱	۰.۹۵	۰.۶۸۹۶	۰.۶۴۰۱	۰.۲۶۶۴	۰.۲۶۶۵	۰.۸۲۷۵	۰.۷۲۴۶	۰.۲۸۲۵	۰.۲۷۷۴	۰.۲۶۴۴
۱۴	نوشهر	۱۱	۰.۸۸۷۱	۰.۵۳	۰.۴۸۲۷	۰.۳۷۱۳	۰.۶۹۶۵	۰.۶۷۲۵	۰.۶۷۸۱	۰.۹۳۹۹	۰.۶۲۲۴	۰.۵۰۵۶	۰.۵۷۰۳
۱۵	تکابن	۱۵	۰.۷۷۴۶	۰.۱۴	۰.۵۴۰۲	۰.۶۳۰۳	۰.۴۵۸۳	۰.۶۰۸۴	۰.۶۱۷۰	۰.۵۷۳۱	۰.۴۹۹۶	۰.۳۵۶۰	۰.۴۳۰۵
۱۶	رامسر	۱۰	۰.۹۴۹۲	۰.۶۷	۰.۶۸۰۶	۰.۶۲۹۸	۰.۲۰۶۱	۰.۳۴۸۷	۰.۹۹۳۱	۰.۸۰۴۴	۰.۲۲۹۴	۰.۱۳۵۱	۰.۱۹۲۰

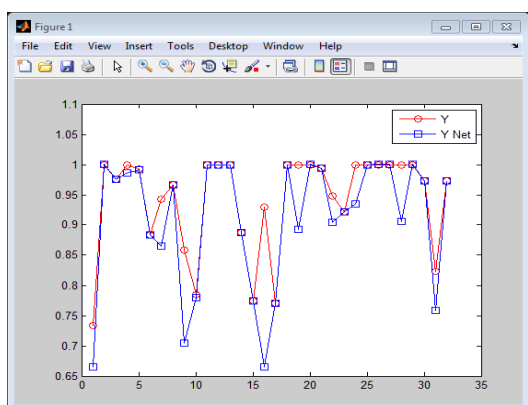
جدول ۲. جدول نرمالیزه شده داده‌های سال ۱۳۹۰

تعداد قیوض صادر شده	تعداد انشعابات فروش رفته	انرژی مصرفی	تعداد پرسنل	درآمد جاری	درآمد سرمایه‌ای	حجم تولید آب	حجم مصرف آب	هزینه سرانه آموزش	جمع رتبه و کارایی نرمالیزه شده	کارایی	رتبه	واحدهای تقسیم گیرنده	شماره واحد
۰,۳۱۰۴	۰,۲۵۱۹	۰,۴۰۹	۰,۵۹۱۷	۰,۴۱۶۶	۰,۵۳۱۷	۰,۲۶۶۶	۰,۴۳۸۰	۰,۵۵۸۱	۰	۰,۷۶۹۸	۱۶	پهشهر	۱
۰,۰۴۸۴	۰,۰۷۲۸	۰,۰۵۵۲	۰,۹۴۴۵	۰,۲۱۲۲	۰,۰۹۴۶	۰,۰۷۲۱	۰,۹۳۳۷	۰,۸۹۵۳	۱	۱	۱	گلگاه	۲
۰,۱۴۰۷	۰,۱۲۵۰	۰,۱۹۴۶	۰,۸۰۱۰	۰,۳۰۹۵	۰,۳۱۸۰	۰,۱۳۹۹	۰,۸۳۶۷	۰,۸۲۵۵	۰,۹۹	۱	۲	نکا	۳
۱	۱	۱	۰	۰	۱	۰,۶۰۰۷	۰,۲۵۵۷	۰	۰,۹۷	۱	۳	ساری	۴
۰,۶۲۱۸	۰,۵۰۵۹	۰,۸۸۲۵	۰,۱۴۰۷	۰,۰۶۹۰	۰,۸۴۵۰	۰,۴۱۷۳	۰,۰۱۷۰	۰,۵۰۰۰	۰,۸۶	۰,۹۹۳۹	۱۰	قلمشهر	۵
۰,۰۷۶۵	۰,۱۰۶۲	۰,۱۱۲۸	۰,۸۷۸۷	۰,۳۲۸۰	۰,۱۵۲۵	۰,۰۶۸۰	۰,۹۴۶۸	۰,۸۴۸۸	۰,۶۶	۰,۹۴۷۴	۱۳	جویبار	۶
۰,۰۹۸۰	۰,۰۸۴۹	۰,۱۳۴۳	۰,۸۶۴۱	۰,۳۰۹۵	۰,۱۹۰۲	۰,۰۷۶۹	۰,۹۵۹۳	۰,۸۱۳۹	۰,۵۵	۰,۹۲۱۶	۱۴	سوادکوه	۷
۰,۷۰۹۷	۰,۵۴۴۳	۰,۹۴۴۲	۰,۰۳۳۷	۰,۷۵۰۰	۰,۸۹۲۶	۰,۸۶۰۲	۰	۰,۳۹۵۳	۰,۹۶	۱	۴	بابل	۸
۰,۲۱۸۵	۰,۳۶۵۵	۰,۳۰۰۷	۰,۶۸۹۵	۰,۳۴۵۲	۰,۳۱۲۸	۰,۲۶۱۳	۰,۹۴۲۷	۰,۸۰۲۳	۰,۹۵	۱	۵	بابلسر	۹
۰,۰۹۷۵	۰,۳۰۸۷	۰,۱۳۵۴	۰,۵۵۳۵	۰,۳۴۵۲	۰,۱۹۷۲	۰,۱۴۳۳	۰,۸۸۴۰	۰,۸۳۷۲	۰,۹۳	۱	۶	فریدون کتار	۱۰
۰,۷۳۱۳	۰,۶۲۵۲	۰,۷۴۷۷	۰,۳۲۸۰	۰,۶۴۲۸	۰,۷۵۲۴	۰,۶۷۴۷	۰,۳۴۰۸	۰,۴۳۰۲	۰,۹۲	۱	۷	امل	۱۱
۰,۱۱۶۰	۰,۰۹۴۱	۰,۱۱۳۳	۰,۸۷۸۹	۰,۳۳۳۳	۰,۱۷۳۱	۰,۰۹۸۹	۰,۹۳۵۹	۰,۸۴۸۸	۰,۹۱	۱	۸	محمودآباد	۱۲
۰,۲۰۳۹	۰,۲۷۰۳	۰,۳۰۶۲	۰,۶۹۶۱	۰,۳۴۵۲	۰,۳۱۲۶	۰,۲۸۹۰	۰,۶۹۶۲	۰,۶۹۷۶	۰,۸۹	۱	۹	نور و رویان	۱۳
۰,۴۵۲۶	۰,۵۲۲۵	۰,۵۸۴۷	۰,۴۴۹۴	۰,۷۳۸۰	۰,۶۳۶۸	۱	۰,۳۶۶۸	۰,۳۲۸۲	۰,۷۶	۰,۹۷۲۴	۱۲	نوشهر	۱۴
۰,۴۰۰۰	۰,۳۶۲۶	۰,۴۸۱۴	۰,۵۶۹۰	۰,۶۰۷۱	۰,۶۲۴۸	۰,۳۲۵۹	۰,۶۷۶۳	۰,۴۴۱۱	۰,۲	۰,۸۲۲۷	۱۵	نگابن	۱۵
۰,۱۶۹۸	۰,۲۲۵۶	۰,۳۲۱۶	۰,۸۰۱۴	۰,۳۵۷۱	۰,۲۵۹۵	۰,۱۵۷۶	۰,۶۶۸۲	۰,۶۹۷۶	۰,۷۷	۰,۹۷۳۵	۱۱	رامسر	۱۶

پس از رتبه‌بندی نواحی تصمیم‌گیری کارا با روش اندرسون و پیترسون، از بین پنج ناحیه کارا در سال ۱۳۸۹، گلوگاه رتبه اول و ساری رتبه پنجم را کسب کردند. ترتیب بقیه نواحی در جدول ۳ می‌آید. همچنین در رتبه‌بندی نواحی برای سال ۱۳۹۰ گلوگاه در رتبه اول و بابل در رتبه نهم قرار گرفتند. ترتیب بقیه نواحی در جدول ۴ می‌آید.



شکل ۴. رفتار خطا برای داده‌های آموزش در رویکرد اول پس از ۱۰۰۰ تکرار



شکل ۵. مقایسه خروجی‌های شبکه با داده‌های کارایی سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰

در این مرحله جمع وزنی کارایی و رتبه نواحی تصمیم‌گیری به کمک رویکرد ترکیبی تحلیل پوششی داده‌ها و شبکه‌های عصبی محاسبه می‌شود. قدم اول برای استفاده از یک شبکه عصبی انتخاب داده‌ها جهت آموزش شبکه است. بنابراین، برای اجرای این شبکه عصبی به کمک خروجی‌های روش DEA دو رویکرد پیش می‌گیریم. در این رویکرد از داده‌های واحدهای

جدول‌های ۱ و ۲ داده‌های نرمال‌شده واحدها را همراه کارایی محاسبه‌شده با مدل DEA در سال ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ نشان می‌دهد. با استفاده از تکنیک DEA (CCR ورودی‌محور) کارایی و رتبه‌های نواحی محاسبه‌شده ارزیابی شد. در این ارزیابی برای داده‌های سال ۱۳۸۹ پنج ناحیه کارا وجود دارد که کارایی ۱ را کسب کرده‌اند. این واحدهای تصمیم‌گیرنده عبارت‌اند از گلوگاه، ساری، آمل، محمودآباد، و نور و رویان. برای سال ۱۳۹۰ از شانزده واحد تصمیم‌گیرنده نه واحد کارایی ۱ را کسب کرده‌اند که عبارت‌اند از گلوگاه، نکا، ساری، بابل، بابلسر، فریدونکنار، آمل، محمودآباد، و نور و رویان. این واحدها ماکزیمم کارایی ۱ دارند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، مدل DEA به‌تنهایی قادر به تفکیک کارایی همه واحدهای تصمیم‌گیرنده از یکدیگر نیست. دلیل آن نیز روشن است. تعداد واحدهای تصمیم‌گیرنده (DMUs) نسبت به تعداد ورودی‌ها و خروجی‌ها کم است. برای بررسی بیشتر روش اندرسون و پیترسون (AP) برای رتبه‌بندی واحدهای کارا، که با مدل DEA (CCR ورودی‌محور) به دست آمده، برای سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ به کار رفت. نتیجه کارایی عملکرد مناطق در جدول‌های ۳ و ۴ می‌آید.

جدول ۳. کارایی واحدهای کارا با روش AP برای سال ۱۳۸۹

رتبه	واحدهای تصمیم‌گیرنده	کارایی
۱	گلوگاه	۱٫۷۵۹۴
۲	نور و رویان	۱٫۳۸۵۳
۳	محمودآباد	۱٫۰۱۶۷
۴	آمل	۱٫۰۱۶۱
۵	ساری	۱٫۰۰۵۹

جدول ۴. کارایی واحدهای کارا با روش AP برای سال ۱۳۹۰

رتبه	واحدهای تصمیم‌گیرنده	کارایی
۱	گلوگاه	۱٫۷۳۰۹
۲	فریدونکنار	۱٫۴۰۰۱
۳	آمل	۱٫۱۲۴۷
۴	بابل	۱٫۰۵۸۹
۵	ساری	۱٫۰۳۸۴
۶	محمودآباد	۱٫۰۳۸۳
۷	نکا	۱٫۰۱۸۷
۸	نور و رویان	۱٫۰۱۴۰
۹	بابلسر	۱٫۰۰۳۸

سال ۱۳۸۹ گلوگاه، آمل، محمودآباد، و نور و رویان اند و برای سال ۱۳۹۰ گلوگاه، ساری، بابلسر، فریدونکنار، آمل، و نور و رویان. جدول ۵ کارایی‌های محاسبه شده با Neuro-DEA به کمک نرم‌افزار Matlab7.0 را برای سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ نشان می‌دهد. با توجه به نتایج جدول ۵، واحد تصمیم‌گیری بهشهر برای سال ۱۳۸۹ و واحد تصمیم‌گیری تنکابن برای سال ۱۳۹۰ پایین‌ترین کارایی را داشتند.

تصمیم‌گیرنده شانزده‌گانه سال ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ برای تسلیم شبکه استفاده می‌کنیم؛ به این صورت که داده‌های آموزش به صورت کاملاً تصادفی از سی و دو ناحیه تصمیم‌گیرنده انتخاب می‌شوند، طوری که کوچک‌ترین میانگین مربعات خطا^۱ برای داده‌های آزمون حاصل شود. در بهترین حالت، مقدار MSE برای داده‌های آزمون ۰/۰۱ به دست آمد. شکل ۴ رفتار خطا را برای داده‌های آموزش در شبکه مفروض نشان می‌دهد. در این روش کاراترین واحدهای تصمیم‌گیری برای

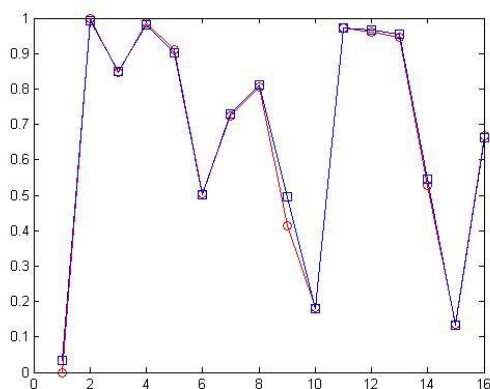
جدول ۵. جدول کارایی محاسبه شده با مدل Neuro-DEA در رویکرد اول

ردیف	واحدهای تصمیم‌گیرنده	جمع وزنی کارایی و رتبه نرمالیزه شده سال ۱۳۸۹	جمع وزنی کارایی و رتبه نرمالیزه شده سال ۱۳۹۰
۱	بهشهر	0,03277	0,026
۲	گلوگاه	0,9916	0,9971
۳	نکا	0,8505	0,9867
۴	ساری	0,9814	0,9744
۵	قائم‌شهر	0,90241	0,8573
۶	جویبار	0,5011	0,6577
۷	سوادکوه	0,7293	0,5589
۸	بابل	0,8109	0,9653
۹	بابلسر	0,4943	0,9471
۱۰	فریدونکنار	0,1785	0,9381
۱۱	آمل	0,9713	0,9266
۱۲	محمودآباد	0,9656	0,9008
۱۳	نور و رویان	0,9536	0,8605
۱۴	نوشهر	0,5439	0,7437
۱۵	تنکابن	0,1325	0,1812
۱۶	رامسر	0,6629	0,7627

جدول ۶. مقایسه کارایی واحدها برای سال ۱۳۸۹ حاصل از روش‌های DEA و Neuro-DEA

ردیف	واحدهای تصمیم‌گیرنده	رتبه DEA	کارایی وزنی DEA	رتبه Neuro-DEA	کارایی وزنی Neuro-DEA	مربع اختلاف کارایی وزنی DEA و Neuro-DEA
۱	بهشهر	۱۶	۰	۱۶	۰,۸۰۲۲	0,001074
۲	گلوگاه	۱	۱	۱	۱	7,06E-05
۳	نکا	۷	۰,۹۹	۷	۰,۹۷۵۴	1,89E-05
۴	ساری	۲	۰,۹۷	۲	۱	2,77E-05
۵	قائم‌شهر	۶	۰,۸۶	۶	۰,۹۹۲۲	5,64E-05
۶	جویبار	۱۲	۰,۶۶	۱۲	۰,۹۱۲۶	6,33E-06
۷	سوادکوه	۹	۰,۵۵	۹	۰,۹۰۳۱	3,45E-05
۸	بابل	۸	۰,۹۶	۸	۱	1,76E-05
۹	بابلسر	۱۳	۰,۹۵	۱۳	۰,۸۳۳۵	0,006299
۱۰	فریدونکنار	۱۴	۰,۹۳	۱۴	۰,۹۱۳۲	1,82E-05
۱۱	آمل	۳	۰,۹۲	۳	۱	4,13E-06
۱۲	محمودآباد	۴	۰,۹۱	۴	۱	3,14E-05
۱۳	نور و رویان	۵	۰,۸۹	۵	۱	4,81E-05
۱۴	نوشهر	۱۱	۰,۷۶	۱۱	۰,۹۷۹۲	0,000261
۱۵	تنکابن	۱۵	۰,۲	۱۵	۰,۶۵۱۳	1,77E-05
۱۶	رامسر	۱۰	۰,۷۷	۱۰	۰,۹۶۴۲	2,09E-05

محاسبات مشابه سال ۱۳۸۹ برای سال ۱۳۹۰ در جدول ۷ و شکل ۷ می‌آید.

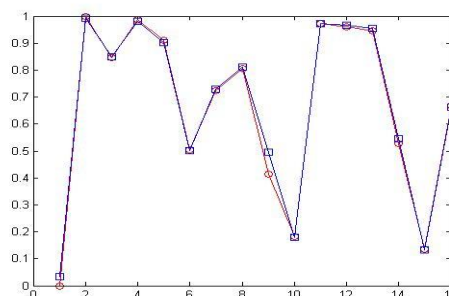


شکل ۷. نمودار مقایسه کارایی واحدها برای سال ۱۳۹۰ حاصل روش‌های DEA و Neuro-DEA

مقادیر به دست آمده از جدول ۷ نیز نشان می‌دهد با ترکیب وزنی رتبه و کارایی با مقادیر تنظیم شده رتبه‌های محاسبه شده برای هر دو تکنیک در سال ۱۳۹۰ مقادیری برابر به دست آوردند. این نتیجه در کنار مقادیر کارایی محاسبه شده با انحراف بسیار پایین (مجموع مربعات اختلافات ۰/۰۰۲۵۰۱) حاصل شد.

مقایسه نتایج DEA با Neuro-DEA

مقایسه کارایی واحدها برای سال ۱۳۸۹ حاصل روش‌های DEA و Neuro-DEA در جدول ۶ و شکل ۶ می‌آید.



شکل ۶. نمودار مقایسه کارایی واحدها برای سال ۱۳۸۹ حاصل روش‌های DEA و Neuro-DEA

مقادیر به دست آمده از جدول ۶ نشان می‌دهد با ترکیب وزنی رتبه و کارایی با بهترین مقادیر تنظیم شده (وزن کارایی ۰/۸ و وزن رتبه ۰/۲) رتبه‌های محاسبه شده برای هر دو تکنیک مقادیری برابر به دست آوردند. این نتیجه در کنار مقادیر کارایی محاسبه شده با انحراف بسیار پایین (مجموع مربعات اختلافات ۰/۰۰۷۹۸۵) حاصل شد.

جدول ۷. مقایسه کارایی واحدها برای سال ۱۳۹۰ حاصل روش‌های DEA و Neuro-DEA

مربع اختلاف کارایی وزنی Neuro-DEA و DEA	کارایی وزنی-Neuro- DEA	رتبه-Neuro- DEA	کارایی وزنی DEA	رتبه DEA	واحدهای تصمیم گیرنده	ردیف
0,000676	0,026	۱۶	۰	۱۶	بهشهر	۱
8,41E-06	0,9971	۱	۱	۱	گلوگاه	۲
1,09E-09	0,9867	۲	۰,۸۵	۲	نکا	۳
1,14E-06	0,9744	۳	۰,۹۹	۳	ساری	۴
2,25E-06	0,8573	۱۰	۰,۹۱	۱۰	قائم‌شهر	۵
2,48E-07	0,6577	۱۳	۰,۵	۱۳	جویبار	۶
2,2E-05	0,5589	۱۴	۰,۷۲	۱۴	سوادکوه	۷
2,81E-05	0,9653	۴	۰,۸۱	۴	بابل	۸
1,87E-07	0,9471	۵	۰,۴۱	۵	بابلسر	۹
2,27E-05	0,9381	۶	۰,۱۸	۶	فریدون‌کنار	۱۰
4,36E-05	0,9266	۷	۰,۹۷	۷	آمل	۱۱
3,44E-05	0,9008	۸	۰,۹۶	۸	محمودآباد	۱۲
0,001078	0,8605	۹	۰,۹۵	۹	نور و رویان	۱۳
0,000188	0,7437	۱۲	۰,۵۳	۱۲	نوشهر	۱۴
0,000255	0,1812	۱۵	۰,۱۴	۱۵	تنکابن	۱۵
0,000141	0,7627	۱۱	۰,۶۷	۱۱	رامسر	۱۶

زمان به تقریب‌هایی منطقی و دقیق از کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده دست یافت، مطرح شد.

با ترکیب مدل Neuro-DEA و محاسبه کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده مشخص شد این مدل نسبت به مدل DEA قدرت تفکیک‌پذیری بیشتری دارد و از آن می‌توان در حل مسائلی در مقیاس بزرگ‌تر نیز استفاده کرد. مزیت نسبی آن نیز این است که به حل یک معادله ریاضی برای هر DMU نیاز ندارد. می‌توان برای افزایش دقت تقریب کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده با شبکه‌های عصبی، از داده‌های سال‌های بیشتر نیز بهره برد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای به دست آوردن کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده شانزده گانه شرکت‌های آب و فاضلاب استان مازندران، ابتدا مدل DEA (CCR ورودی‌محور) به کار رفت؛ که به علت کم‌بودن واحدهای تصمیم‌گیرنده (DMUs) بیشتر واحدها کارا شدند. برای رفع این مشکل از تکنیک اندرسون و پیترسون برای رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیرنده از نظر کارایی استفاده شد. مشکل این روش زمان‌بر بودن و حجم محاسبات طولانی برای رسیدن به جواب بهینه است. بنابراین، ایده ترکیب تحلیل پوششی داده‌ها با شبکه‌های عصبی، با این هدف که بتوان در کوتاه‌ترین

مراجع

- 1- Niazi, M. (1384). The designing of performance measurement system of areas in Mazandaran Water and Wastewater Company, Industrial Management Master's thesis, High Education Institute of Planning Management of Mazandaran province.
- 2- Charnes, A., Cooper, W. W., and Rhodes, E. (1978). "Measuring the efficiency of decision making units." *European Journal of Operational Research*, 2, 429-444.
- 3- Mehregan, M. R. (1387). Quantitative Models in Performance Evaluation agencies (DEA), Department of Management, Tehran University.
- 4- Ajaly, M. and Safari, H. (1390). "Performance evaluation of decision making units using the hybrid model of neural networks of predicting performance and data envelopment analysis (case study: National Iranian Gas Company)." *Special Journal of Industrial Engineering*, Vol 45, No. 1.
- 5- Mehregan, M. R., Frasad, A., and Kamyabmoghadas, A. (1385). "Analyzes the technical efficiency of oil refineries of company using a hybrid model of neural network and data envelopment analysis (Neuro-DEA)." *Journal of Humanities and Social Sciences*, sixth Year, N 23.
- 6- William Cooper., Lawrence Siford., Koraten., translation by Dr Mir-Hosseini, Ali (1389). Data envelopment analysis models and applications.
- 7- Ghafourian, M. (1383). Performance Evaluation of citizen offices of Telecom Company of Hormozgan province with data envelopment analysis method (DEA), Industrial Management Master's thesis, University of Shiraz.
- 8- Gholamrezayee, D. and Shah Tahmasebi, A. (1388). The relative performance assessment of country provinces in the achievement of Third Development Plan objectives in agriculture, agricultural and development economics section, seventeenth year, N 67.
- 9- Shalkoof Robert, J. (1382). Artificial Neural Networks, translation by Jorabiyani, M., Zare, T and Ostvar, O., martyr Chamran University Press of Ahvaz, first edition.
- 10- Menhaj, M. B. (1384). Foundations of Neural Networks, Vol 1, Amir Kabir Industrial University Press, third edition, Tehran.
- 11- Troutt, M. D., Rai, A., and Zhang, A. (1995). "The potential use of DEA for credit applicant acceptance system." *Computers and Operation research*, 4, 405-408.
- 12- Farrell, M. (1957). "The Measurement of Productive Efficiency." *Journal of the Royal Statistics Society*, Series A, Vol. 120, No. 3, 253-281.

واژه‌های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1- Data Envelopment Analysis (DEA)
- 2- Anderson & Peterson (AP)
- 3- Banker, Charnes, Cooper
- 4- Virtual Units
- 5- Feed Forward Networks
- 6- Feedback Networks
- 7- Transformation Function
- 8- Back-Propogation
- 9- Preprocessed
- 10- Mean Squared Error (MSE)