

بررسی کارایی تولید محصولات زیربخش‌های زراعت و باغبانی در استان خراسان رضوی: کاربرد

روش‌های ترکیبی شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم خوشه بندی فازی

حمید طاهرپور¹، ناصر شاهنوشی^{2*} محمود دانشور²، محبت محبی³

تاریخ دریافت: 88/11/11 تاریخ پذیرش: 89/5/6

1- کارشناس ارشد اقتصاد کشاورزی، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

2- دانشیاران گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

3- استادیار گروه صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد

* مسئول مکاتبه E-mail: shahnoushi@um.ac.ir

چکیده

بررسی اجمالی وضعیت منابع طبیعی در استان خراسان نشان می‌دهد که این بخش با مشکلاتی از قبیل بیلان منفی آب، شوری خاک و فرسایش در دشت‌های استان روبروست. این مطالعه در نظر دارد، ضمن توجه به ملاحظات مربوط به استفاده پایدار از منابع آب به محاسبه کارایی فنی شهرستان‌های استان در زیر بخش‌های زراعت و باغبانی بپردازد. داده‌های این مطالعه مربوط به سالهای 76، 81 تا 83 و 85 می‌باشد که از آمارنامه جهاد کشاورزی و سازمان آب منطقه‌ای خراسان رضوی جمع‌آوری شده است. روش استفاده شده برای محاسبه کارایی فنی الگوریتم ترکیبی شبکه عصبی و خوشه‌بندی فازی می‌باشد. میانگین کارایی فنی در شرایط عدم توجه به ملاحظات مربوط به استفاده پایدار از منابع آب 74 درصد و در شرایط توجه به ملاحظات مربوط به استفاده پایدار از منابع آب 77 درصد است. علاوه بر این ضریب همبستگی رتبه‌بندی کارایی شهرستان‌ها در دو حالت فوق نشان می‌دهد که توجه به ملاحظات مربوط به استفاده پایدار از منابع آب می‌تواند ارزیابی کارایی فنی شهرستان‌های استان خراسان رضوی را دگرگون سازد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم خوشه‌بندی فازی، تولیدات زراعی و باغی، خراسان رضوی، شبکه عصبی مصنوعی، کارایی فنی

Investigation on Technical Efficiency of Agronomy and Horticulture Sub Sectors Products in Khorasan Razavi Province: Application of Integrated Neural Network and Fuzzy Clustering Approach

H Taherpoor¹, N Shahnoushi^{2*}, TM Danshvar² and M Mohebi³

Received : 31 January 2010 Accepted : 28 July 2010

1 MSc, Dep of Agricultural Economics, University of Fedosi, Mashad, Iran

2 Associate Profs, Dep of Agricultural Economics, University of Fedosi, Mashad, Iran

3 Assistant Prof, Dep of Nutritional Industries, University of Fedosi, Mashad, Iran

* Corresponding author : E-mail: shahnoushi@um.ac.ir

Abstract

A survey of the natural resources situation in the Khorasan Razavi province reveals that this sector is faced with problems such as negative balance of water in the plains, soil salinity, and soil erosion. This study tries to estimate the technical efficiency of the states of the Khorasan Razavi province in agronomy and horticulture subsectors with attention to restriction of water resources. Required data is collected from yearbooks of Jihad Keshavarzi and Regional Water Organization of Khorasan Razavi province for years 1997, 2002 to 2004 and 2006. This study uses an integrated neural network and fuzzy clustering algorithm. Mean of technical efficiency in the case of considering water resource limitation is 77 percent while as in the case of not considering water recourse limitation is about 74 percent. Results indicate that considering water recourse limitation in agricultural production in each region can affect results of technical efficiency assessment for each state.

Keywords: Agronomy and horticulture products, Artificial neural networks, Fuzzy clustering algorithm, Khorasan razavi province, Technical efficiency

مقدمه

حیاتی خود را در آینده و برای نسل‌های آتی نیز ایفا کند. در واقع نگاه صرفاً اقتصادی و توجه بیش از حد به بحث درآمد حاصل از این بخش باعث شده، فشار وارد بر منابع تولیدی در بخش کشاورزی که عمدتاً شامل زمین و آب هستند افزایش یافته و وضعیت این منابع را در برخی از نقاط در شرایط بحرانی قرار دهد. از این رو

در استان خراسان رضوی کشاورزی به عنوان یکی از عمده‌ترین بخش‌های اقتصادی مطرح می‌باشد. با وجود این وابستگی شدید جامعه به فعالیت‌های بخش کشاورزی همواره این نگرانی وجود داشته است که آیا این بخش قادر خواهد بود همانند گذشته نقش کلیدی و

استفاده کردند. آن‌ها همچنین فرض کردند که توزیع ناکارایی به صورت نیمه نرمال و نمایی است. نتایج مطالعات آن‌ها نشان می‌دهد که روش DEA برای ارزیابی عملکرد بنگاه‌ها بر ANN برتری داشته و رتبه‌بندی ANN شبیه به DEA در حالت بازده ثابت نسبت به مقیاس است.

وانگ (2003) از روش ناپارامتریک تحلیل کارایی که مبتنی بر شبکه‌های عصبی تطبیقی است، استفاده می‌کند. روش محاسباتی ارائه شده قادر است با استفاده از اطلاعات داده ستاده تابع مرزی تولید را برآورد کند. این روش همانند روش SFF^3 دو نوع خطا را مورد توجه قرار می‌دهد: خطای مدیریتی (خارجی) و خطای مشاهده (داخلی). همچنین همانند روش DEA به هیچ فرضیه‌ای در مورد فرم تابعی منحنی مرزی تولید احتیاج ندارد. این روش بر خلاف روش‌های SFF و Stochastic DEA نیازمند فرضیه‌ای پارامتریک در مورد توابع توزیع نیست. این مطالعه با استفاده از شبکه‌های عصبی روشی تطبیقی برای تخمین تجربی منحنی‌های مرزی تصادفی را فراهم می‌سازد. روش پیشنهادی با استفاده از اطلاعات واقعی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که روش مبتنی بر شبکه‌های عصبی می‌تواند به اندازه روش‌های تطبیقی تحلیل غیرپارامتریک کارایی مفید باشد.

سانتین و همکاران (2004) از روش شبکه عصبی برای برآورد یک تابع تولید مرزی غیرخطی شبیه‌سازی شده استفاده کردند و عملکرد آن را با روش‌های متداول از قبیل توابع مرزی تصادفی و روش DEA با استفاده از داده‌های مختلف و سناریوهای مختلف خطای آماری مقایسه کردند. نتایج نشان می‌داد که شبکه‌های عصبی می‌تواند جایگزینی برای روش‌های متداول جهت تخمین توابع تولید و اندازه‌گیری کارایی در شرایط غیرخطی باشد.

توجه به مسئله استفاده کارا از منابع طبیعی مورد نیاز بخش کشاورزی و لحاظ نمودن میزان کمیابی این منابع در بحث سنجش کارایی حائز اهمیت خواهد بود.

روش‌های متداول محاسبه کارایی را به طور کلی می‌توان در دو گروه روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی و روش‌های اقتصادسنجی طبقه‌بندی کرد. تا حدود یک دهه قبل کاربردهای مربوط به روش‌های محاسبه کارایی فنی به گونه‌ای بود که روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی را به صورت غیرتصادفی و روش‌های اقتصادسنجی را به صورت پارامتریک استفاده می‌کردند و این یک نتیجه منحرف کننده در برداشت. اگر قرار باشد که تحلیل کارایی به صورت جدی انجام گیرد، ارزیابی عملکرد تولید کننده می‌باید هم از لحاظ خطای آماری و هم از جهت خطای تصریح قابل اطمینان باشد و به نظر نمی‌رسد که هیچکدام از این روش‌ها از بعد توجه به هر دو نوع خطا قابل اطمینان باشند (فراید و همکاران 2008). شبکه‌های عصبی می‌تواند جایگزینی مناسب برای روش‌های سنتی ناپارامتریک مانند DEA^1 و مدل‌های اقتصاد سنجی برای تخمین توابع غیر خطی تولید و محاسبه کارایی باشد (آزاده 2007). شبکه‌های عصبی تخمین زنده‌هایی فراگیر از توابع و مشتق توابع می‌باشد. این مدل‌ها غیر خطی، تصادفی و دارای انعطاف‌پذیری بالا می‌باشند. همچنین از لحاظ تئوری امکان استنتاج آماری مانند محاسبه فواصل اطمینان شاخص‌های ناکارایی را دارند. بنابراین ابزاری مناسب برای رسیدن به این هدف می‌باشند. در نتیجه شبکه‌های عصبی ابزاری مناسب برای تخمین منحنی‌های مرزی تولید ارائه کرده است (وانگ 2003).

ایده ترکیب روش‌های DEA و ANN^2 اولین بار توسط آنتاسوپولوس و کورام (1996) مطرح شد. آن‌ها در ابتدا با استفاده از روش DEA کارایی بانک‌ها را با استفاده از چهار محصول و سه نهاده اندازه‌گیری کردند و سپس از شبکه‌ی عصبی برای پیش‌بینی عملکرد بنگاه‌ها

¹ Artificial Neural Network

² Artificial Neural Network

³ Stochastic Frontier Function

این نرون‌ها یک لایه گفته می‌شود. برای ایجاد این لایه‌ها، این نرون‌ها بوسیله توابع فعالیت (محرک) به یکدیگر متصل می‌گردند. در عمل تعداد محدودی از توابع فعالیت مورد استفاده قرار می‌گیرند. پژوهشگران شبکه عصبی ترجیح می‌دهند از توابع محرک غیرخطی استفاده کنند و بویژه در داده‌های سری زمانی معمولاً از توابع فعالیت سیگموئیدی و تانژانت هیپربولیکی استفاده می‌شود. شبکه‌های عصبی علیرغم تنوع، از ساختار مشابهی برخوردار می‌باشند. یک شبکه عصبی معمولاً از سه لایه ورودی، پنهان و خروجی تشکیل شده است. لایه ورودی فقط اطلاعات را دریافت می‌کند و مشابه متغیر مستقل عمل می‌کنند. لذا تعداد نرون‌های لایه ورودی بر اساس طبیعت مسئله تعیین می‌شود و بستگی به تعداد متغیرهای مستقل دارد. لایه خروجی نیز همانند متغیر وابسته عمل کرده و تعداد نرون‌های آن بستگی به تعداد متغیر وابسته دارد. اما برخلاف لایه‌های ورودی و خروجی، لایه پنهان هیچ مفهومی را نشان نمی‌دهد و صرفاً یک نتیجه میانی در فرآیند محاسبه ارزش خروجی هستند. بهترین روش جهت تعیین تعداد نرون بهینه، روش آزمون و خطاست (نجفی و طرازکار 1385). در شکل (1) نمایش استاندارد یک شبکه عصبی پیش‌خور نشان داده شده است. مطابق شکل (1)، در هر مرحله داده‌ها وزن دار شده و به لایه بعد فرستاده می‌شوند. در ابتدا هر نرون مجموع داده‌های وزن‌دار شده را با توجه به تابع فعالیت دسته بندی نموده و نتایج را به نرون‌های لایه بعدی می‌فرستد. لذا نتیجه پروسه نرون j بصورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$O_j = f(\sum w_{ji}x_i + w_{j0}\beta_j) \quad [1]$$

که در آن O_j : خروجی، f : تابع فعالیت، x_i : ورودی نام، w_{ji} : وزن بین ورودی نام و نرون نام و w_{j0} : وزن بین نرون اریب β_j و نرون نام می‌باشد. در استفاده از شبکه عصبی دو مرحله مجزا وجود دارد که به صورت مکمل، استفاده از شبکه را سبب

آزاده و همکاران (2007) با استفاده از روش ترکیبی شبکه عصبی و الگوریتم خوشه‌بندی فازی اقدام به ارزیابی عملکرد نیروگاه‌های برقی کردند. روش پیشنهادی این مطالعه قادر است که تابع مرزی تصادفی را بر اساس مشاهدات داده ستاده تخمین بزند و نیازی نیز به تعیین فرم تابعی برای تابع مرزی تصادفی ندارد. در این مطالعه روش مشابه با روش‌های اقتصادسنجی مورد استفاده قرار گرفته است. علاوه بر این اثر بازدهی نسبت به مقیاس واحدهای تصمیم‌گیرنده بر روی کارایی آن‌ها مورد توجه قرار گرفته و واحد به کار رفته برای تصحیح با توجه به مقیاس واحدها (تحت شرایط بازده ثابت نسبت به مقیاس) انتخاب شده است. همچنین برای افزایش همگنی واحدهای تصمیم‌گیرنده از روش FCM¹ برای خوشه‌بندی واحدها استفاده شده است. با کاربرد این روش در مورد نیروگاه‌های برق ایران مشخص می‌شود که به دلیل استخراج الگوهای عملکرد بهتر، این روش در مقایسه با سایر روش‌ها تعداد واحدهای کارایی بیشتری را معرفی می‌کند.

با توجه به مطالب بیان شده، مطالعه حاضر قصد دارد ضمن توجه به ملاحظات مربوط به استفاده پایدار از منابع آب، به محاسبه کارایی فنی شهرستان‌های استان خراسان رضوی با استفاده از کاربرد روش شبکه‌های عصبی بپردازد. علاوه بر این یکی از اهداف دیگر این مطالعه، مقایسه کارایی فنی شهرستان‌های استان خراسان رضوی در دو حالت رعایت ملاحظات مربوط به استفاده پایدار از آب و عدم رعایت این ملاحظات و به بیان ساده‌تر بررسی تاثیر توجه به مسئله استفاده پایدار از منابع آب در سنجش کارایی شهرستان‌ها می‌باشد.

مواد و روش‌ها

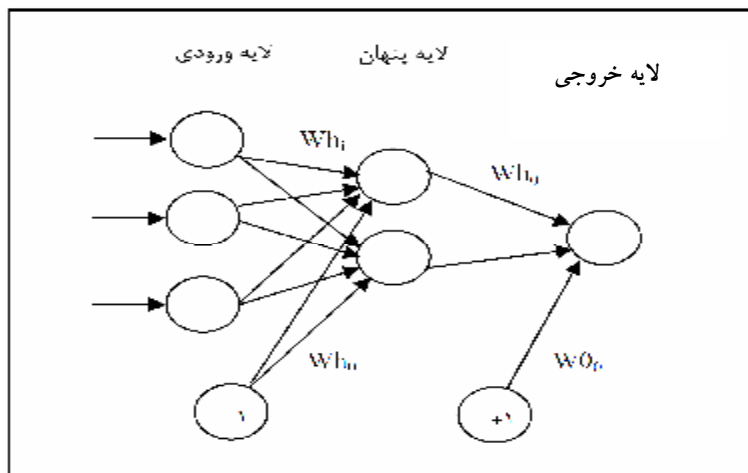
الف: شبکه‌های عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی شامل مجموعه‌ای از نرون‌های به هم متصل می‌باشند که به هر مجموعه از

¹ Fuzzy Clustering Mean

استفاده قرار گیرد. در این مرحله، اوزان خطوط اتصال ثابت هستند و تنها با دادن ورودی‌های جدید خروجی‌های مربوطه حاصل می‌شوند (نجفی و طرازکار 1385).

می‌گردند. در ابتدا سلول‌های شبکه آموزش می‌بینند و از این طریق اوزان مناسب تعیین می‌شوند. پس از آموزش شبکه، نوبت به آن می‌رسد تا شبکه آموزش یافته مورد



شکل 1- نمایش استاندارد شبکه عصبی پیش‌خور

در این رابطه n تعداد مشاهدات و e_i خطای پیش‌بینی است که از مقایسه خروجی شبکه و خروجی مطلوب به دست می‌آید.

ب: الگوریتم خوشه‌بندی فازی

خوشه‌بندی را می‌توان مهم‌ترین نوع از مسائل "آموزش نظارت نشده" دانست که همانند همه این مسائل با مسئله یافتن ساختاری مناسب برای طبقه‌بندی داده‌های طبقه‌بندی نشده سروکار دارد. به عنوان یک تعریف ساده، خوشه بندی فرایند سازماندهی کردن تعدادی شیء در قالب گروه‌هایی است که اعضاء آن به نحوی با یکدیگر مشابهت داشته باشند. در خوشه بندی فازی از مجموعه‌های فازی برای خوشه‌بندی داده‌ها استفاده می‌شود. در این نوع خوشه‌بندی یک یا چند شیء می‌توانند با درجات عضویت متفاوت در چند خوشه عضویت داشته باشند. بنابراین برای هر داده یک خوشه به همراه یک درجه عضویت مناسب تعریف می‌شود (بزک 1981). الگوریتم خوشه بندی فازی که برای اولین بار توسط دان ایجاد شد و بعدها توسط بزک در سال

برای مقایسه قدرت پیش‌بینی و انتخاب بهترین شبکه از میان شبکه‌های مختلف معیارهای متفاوتی از قبیل MAE ، ME ، $MAPE$ و MSE وجود دارد. از این میان معیار MSE معیاری عمومی برای استفاده در انواع مسائل متفاوت بوده و سایر معیارها حالت‌های تعمیم یافته این معیار برای کاربردی در مسائل خاص می‌باشد. علاوه بر این MSE دارای بیشترین استفاده در مطالعات کاربردی می‌باشد (همپشایر و ویبل 1990). بنابراین در این مطالعه از معیار MSE (میانگین مربعات خطا) استفاده شده است و از طریق رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد.

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n} \quad [2]$$

1 Mean Absolute Error

2 Mean Error

3 Mean Absolute Percent Error

4 Mean Square Error

3- تبدیل $U(k)$ به $U(k+1)$ با استفاده از رابطه زیر

$$u_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^c \left(\frac{\|x_i - c_k\|}{\|x_i - c_j\|} \right)^{\frac{2}{m-1}}} \quad [7]$$

4- توقف فرایند اگر $|U(k+1)-U(k)| \leq \varepsilon$ در غیر اینصورت بازگشت به مرحله 2.

ج: ارزیابی نتایج خوشه‌بندی

انتخاب تعداد بهینه خوشه‌ها یکی از مهمترین نکات در خوشه‌بندی فازی می‌باشد. میزان فازی بودن یک جواب می‌تواند به وسیله ضریب پارتیشن دان² مشخص شود. این معیار میزان نزدیک بودن یک جواب فازی را "به جواب سخت" اندازه‌گیری می‌کند. "جواب سخت" به وسیله قرار دادن هر مشاهده در خوشه‌ای که بالاترین درجه عضویت را دارد حاصل می‌شود. رابطه ضریب پارتیشن دان به صورت زیر است.

$$F(U) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^c u_{ij}^2 \quad [8]$$

ضریب پارتیشن دان به وسیله رابطه زیر نرمال‌سازی می‌شود در این صورت مقادیر آن بین صفر (کاملاً فازی) و یک (کاملاً سخت) متغیر خواهد بود.

$$F_c(U) = \frac{F(U) - \frac{1}{k}}{1 - \frac{1}{k}} \quad [9]$$

یک معیار دیگر برای تعیین تعداد خوشه‌ها معیار کوفمن³ است که به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$D(U) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^c (h_{ij} - u_{ij})^2 \quad [10]$$

1981 بسط یافت، مکرراً برای تشخیص الگو به کار رفته است. این روش بر اساس حداقل‌سازی تابع هدف زیر می‌باشد (آزاده 2007).

$$J_m = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^c u_{ij}^m \|x_i - c_j\|^2, \quad 1 \leq m < \infty \quad [3]$$

که m می‌تواند هر عدد حقیقی بزرگتر از 1 باشد. u_{ij} درجه عضویت x_i در خوشه j داده نام d بعدی، c_j مرکز d بعدی خوشه و علامت $\| \cdot \|$ هر معیاری است که بیان‌کننده شباهت بین هر داده اندازه‌گیری شده و مرکز خوشه باشد. خوشه‌بندی فازی از طریق بهینه‌سازی مکرر تابع فوق انجام می‌شود. این فرایند با استفاده از به روز رسانی درجه عضویت u_{ij} و مرکز خوشه c_j از طریق روابط زیر انجام می‌گیرد.

$$u_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^c \left(\frac{\|x_i - c_k\|}{\|x_i - c_j\|} \right)^{\frac{2}{m-1}}}, \quad c_j = \frac{\sum_{i=1}^N u_{ij}^m \cdot x_i}{\sum_{i=1}^N u_{ij}^m} \quad [4]$$

فرایند تکرار در جایی متوقف می‌شود که

$$\max_{ij} \{ |u_{ij}^{(k-1)} - u_{ij}^{(k)}| \} < \varepsilon \quad [5]$$

که ε معیار اختتام و k نشان دهنده k امین مرحله از فرایند تکرار است. این روش به سمت یک نقطه حداقل موضعی¹ یا نقطه زین‌اسبی برای J_m همگرا می‌شود. این الگوریتم از مراحل زیر تشکیل شده است.

1- تشکیل ماتریس $U(0) = [u_{ij}]$

2- محاسبه بردارهای مرکزی $U(k) = [c_{ij}]$ در مرحله k با استفاده از

$$c_j = \frac{\sum_{i=1}^N u_{ij}^m \cdot x_i}{\sum_{i=1}^N u_{ij}^m} \quad [6]$$

² Dunn's Partition Coefficient

³ Koufman's Partition Coefficient

¹ Local Minimum

معیار نرمال شده کوفمن به صورت زیر است.

$$D_c(U) = \frac{D(U)}{1 - \frac{1}{k}} \quad [11]$$

کاربرد F_c و D_c به صورت توأم می‌تواند ابزار مناسبی برای تشخیص تعداد بهینه خوشه‌ها باشد. تعداد خوشه‌ها باید به گونه‌ای انتخاب شود که $F_c(U)$ بزرگ و $D_c(U)$ کوچک باشد.

د: الگوریتم محاسبه کارایی فنی

در این بخش از یک الگوریتم شبکه عصبی جهت اندازه‌گیری کارایی واحدها در دوره فعلی استفاده می‌شود که از مراحل زیر تشکیل شده است.

- 1- تعیین متغیرهای ورودی (s) و خروجی (p) مدل
- 2- جمع‌آوری مجموعه داده‌ها (S) برای تمامی دوره‌های ممکن که بیان‌کننده روابط داده ستاده واحدهای تصمیم‌گیرنده (DMU) می‌باشد. بنا بر فرض n واحد تصمیم‌گیرنده وجود دارد و داده‌های دوره جاری (S_c) که ارزیابی باید بر روی آن انجام شود، به مجموعه S تعلق ندارد.
- 3- تقسیم S به دو زیر مجموعه مجزا: داده‌های آموزش (S_1) و داده‌های آزمون (S_2).
- 4- استفاده از روش شبکه عصبی جهت تخمین روابط بین داده‌ها و ستاده‌ها، که شامل مراحل زیر است:

- تعیین ساختار شبکه و پارامترهای آموزش
- آموزش شبکه با استفاده از S_1 .
- ارزیابی شبکه با استفاده از S_2 .
- تکرار مراحل فوق با ساختارها و پارامترهای آموزش متفاوت.
- انتخاب بهترین ساختار برای شبکه با استفاده از خطای مجموعه آزمایش ($MAPE$).

5- اجرا ANN برای S_c .

- 6- خوشه بندی DMU ها با استفاده از روش FCM (پس از خوشه بندی x خوشه به دست می‌آید) و انجام مرحله 7 برای هر خوشه.
- 7- محاسبه وزن (w_i) واحد DMU_i با استفاده از روابط زیر

$$V_i = P_i / \text{Ave}(P_1, \dots, P_{i-1}, P_{i+1}, \dots, P_n) \\ W_i = V_i / \text{Sum}(V_i) \quad [12]$$

که C_j ($1 < j < x$) تعداد واحدهایی است که به j امین خوشه از x خوشه تعلق دارد.

- 8- محاسبه خطای بین خروجی واقعی $P_{\text{real}(i)}$ و خروجی شبکه ($P_{\text{ANN}^*(i)}$) برای دوره‌ای که قرار است کارایی مورد بررسی قرار گیرد (S_c).

$$E_i = P_{\text{real}(i)} - P_{\text{ANN}^*(i)}, \quad i = 1, \dots, n \quad [13]$$

انتقال تابع مرزی شبکه عصبی به سمت بالا برای به دست آوردن اثر بزرگترین جمله خطای مثبت.

$$E'_i = E_i / W_i, \quad i = 1, \dots, n \quad [14]$$

بزرگترین E'_i نشان دهنده DMU با بهترین عملکرد می‌باشد. اگر DMU_k بالاترین E'_i را داشته باشد، یعنی $E'_k = \max(E'_i)$ مقدار انتقال برای هر یک از DMU ها متفاوت و به شکل زیر محاسبه می‌شود.

$$Sh_i = E'_k W_i / W_k, \quad i = 1, \dots, n \quad [15]$$

- 9- محاسبه میزان کارایی که عددی بین صفر تا یک است. بالاترین مقدار به واحد استفاده شده برای تصحیح در هر خوشه اختصاص می‌یابد.

$$EFF_i = \frac{P_{\text{real}(i)}}{P_{\text{ANN}(i)} + sh_i} \quad [16]$$

مطالعه موردی

جامعه آماری در این مطالعه مجموعه کل شهرستان‌های استان خراسان رضوی است که در آن هر یک از اعضای جامعه به عنوان یک واحد تصمیم‌گیرنده

کشاورزی محاسبه کرد و از طریق رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد. (فائو 1986):

$$P_{ti} = \frac{\sum_j P_{0j} Q_{ij}}{\text{Mean}(\sum_j P_{0j} Q_{0j})} \quad [18]$$

که i ، j و t به ترتیب اندیس‌های نشان‌دهنده شهرستان، محصول و سال می‌باشد و P_{ti} : شاخص تولید شهرستان i در سال t P_{0j} : قیمت محصول j در سال پایه (1375)، Q_{0j} : میزان تولید محصول j در سال پایه (1375)، Q_{ij} : میزان تولید محصول j در سال t و عبارت $\text{Mean}(\cdot)$ بیانگر میانگین یک متغیر بر روی همه i ها می‌باشد. اطلاعات مربوط به این متغیرها برای سال‌های 76، 81، 82، 83 و 85 از طریق آمار و ارقام سازمان جهاد کشاورزی و سازمان آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی جمع‌آوری شده است.

نتایج

با توجه به این که تابع تولید مورد نظر در این مطالعه دارای چهار متغیر مستقل و یک متغیر وابسته می‌باشد، بنابراین در این بخش باید به دنبال ایجاد یک شبکه عصبی بود که شامل چهار ورودی و یک خروجی باشد و بتواند مقادیر متغیر وابسته را به خوبی پیش‌بینی کند. فرایند یافتن چنین شبکه‌ای شامل جستجو در میان انواع و اقسام شبکه‌ها با ساختارها و پارامترهای متفاوت تا جایی است که نتایج رضای‌کننده حاصل شود. جدول 1 نشان‌دهنده 13 ساختار متفاوت از شبکه‌های عصبی است، که دارای یک لایه مخفی بوده و تعداد نرون‌های این لایه بین 2 تا 29 نرون متغیر بوده است.

عمل می‌کنند. بنابراین هر شهرستان در این مطالعه یک واحد تصمیم‌گیرنده است که سعی دارد با استفاده از برخی از نهاده‌ها به تولید محصولات بپردازد. این نهاده‌ها شامل آب، زمین، کود، بذر، سم، ماشین‌آلات و نیروی کار است که در قالب متغیرهای مستقل وارد الگو شده است. بر این اساس متغیرهای مستقل تابع تولید شامل متغیرهای WI : شاخص آب مصرفی در هر شهرستان، A : سطح زیر کشت محصولات زراعی و باغی در هر شهرستان، CA : متغیر سرمایه شامل سرمایه لازم برای خرید نهاده‌های سم، کود، بذر و ماشین‌آلات و سایر اقلام هزینه و L : نیروی کار مورد استفاده بر حسب نفر-روز-کار در هر شهرستان می‌باشد. شاخص آب مصرفی با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$W_i = \frac{EW_i}{PW_i} \quad [17]$$

EW_i میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی و PW_i پتانسیل برداشت از این منابع (میزان تغذیه دشت) در طول سال می‌باشد. PW_i نشان‌دهنده میزانی از برداشت از منابع آب زیرزمینی است که اگر برداشت شود سطح آب‌های زیرزمینی ثابت می‌ماند و در واقع حداکثر ظرفیت برداشت از منابع آب را در هر سال نشان می‌دهد (کلوزن و گارسز 1998).

متغیر وابسته شاخص تولید محصولات کشاورزی است. از آنجا که باید اقلام مختلف محصولات تولیدی در هر شهرستان در هر سال را به نوعی در هم ادغام کرد و آن را در قالب یک متغیر ارائه کرد، از روش پیشنهادی سازمان خواربار و کشاورزی (FAO) استفاده شده است. این شاخص را می‌توان در سطوح ملی و منطقه‌ای و برای هر یک از زیر بخش‌های

جدول 1- مشخصات بهترین شبکه از هر یک از ساختارهای طراحی شده

ردیف	نوع شبکه	تابع		تعداد نرون در لایه مخفی	الگوریتم آموزش لایه خروجی و مخفی	حداقل MSE
		فعالیت لایه مخفی	فعالیت لایه خروجی			
1	Perceptron	Sigmoid	Linear	3	Momentum	0/04502
2	Perceptron	Sigmoid	Sigmoid	30	Momentum	0/01142
3	Perceptron	Sigmoid	Tanh	29	Momentum	0/04549
4	Perceptron	Tanh	Linear	28	Momentum	0/01973
5	Perceptron	Tanh	Sigmoid	30	Momentum	0/00999
6	Perceptron	Tanh	Tanh	25	Momentum	0/01939
7	Perceptron	Tanh	Tanh	17	Levenberg-	0/00078
8	GFF*	Sigmoid	Linear	11	Momentum	0/045
9	GFF	Sigmoid	Sigmoid	22	Momentum	0/01137
10	GFF	Sigmoid	Tanh	2	Momentum	0/04543
11	GFF	Tanh	Linear	28	Momentum	0/03679
12	GFF	Tanh	Sigmoid	29	Momentum	0/01114
13	GFF	Tanh	Tanh	30	Momentum	0/03636

* شبکه پیش‌خور

از MSE داده‌های آزمون انجام می‌گیرد که نتایج این مقایسه در جدول 2 بیان شده است. بر اساس داده‌های این جدول شبکه شماره 8 به عنوان بهترین شبکه انتخاب می‌شود.

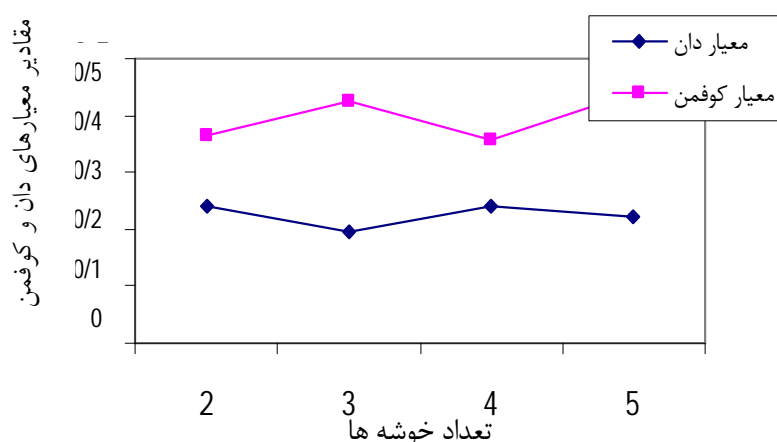
این جدول نشان‌دهنده الگوریتم آموزش مورد استفاده و همچنین بهترین تعداد نرون در لایه مخفی برای هر یک از ساختارهای طراحی شده می‌باشد، که بر اساس معیار حداقل MSE داده‌های آموزش انتخاب شده است. انتخاب نهایی از میان 13 شبکه برگزیده با استفاده

جدول 2- مقایسه عملکرد شبکه‌های مختلف در پیش‌بینی میزان تولید محصولات کشاورزی

ردیف	نوع شبکه	MSE داده‌های آموزش	MSE داده‌های آزمون	ضریب همبستگی	تعداد نرون در لایه مخفی
1	Perceptron	0/04502	0/44204467	0/802691	3
2	Perceptron	0/01142	0/45281028	0/791637	30
3	Perceptron	0/04549	0/45038368	0/795123	29
4	Perceptron	0/01973	0/19969006	0/934055	28
5	Perceptron	0/00999	0/41427485	0/82136	30
6	Perceptron	0/01939	0/19652743	0/926807	25
7	Perceptron	0/00078	0/0643375	0/97497	17
8	GFF	0/045	0/44192654	0/798725	11
9	GFF	0/01137	0/45760017	0/792193	22
10	GFF	0/04543	0/46577562	0/785861	2
11	GFF	0/03679	0/39673809	0/8376	28
12	GFF	0/01114	0/45641487	0/793034	29
13	GFF	0/03636	0/38295006	0/843299	30

بهبود بر اساس معیار ضریب پارتیشن نرمال دان و معیار کوفمن تعیین می‌شود. شکل 2 نحوه تغییر این دو معیار را در مقابل تعداد خوشه‌ها نشان می‌دهد. تعداد بهینه خوشه‌ها جایی است که معیار دان حداکثر و معیار کوفمن حداقل است. بنابراین با توجه به نمودار تعداد بهینه خوشه‌ها برابر با 4 خوشه است. جدول 4 نیز درجه عضویت هر یک از شهرستان‌ها را در هر یک از خوشه‌ها نشان می‌دهد.

پس از این مرحله خوشه‌بندی فازی با استفاده از نرم‌افزار NCSS 2007 انجام گرفته است. نوع مقیاس مورد استفاده برای نرمال‌سازی داده‌ها انحراف معیار، تابع فاصله‌ای از نوع اقلیدسی و توان فازی برابر 2 انتخاب شده است. فرایند تصحیح درجه عضویت در جایی متوقف خواهد شد که تغییرات کمتر از 10^{-7} باشد. خوشه‌بندی فازی بر روی داده‌های سال 1385 با پارامترهای فوق انجام گرفته است. تعداد خوشه‌های



شکل 2- تغییرات شاخص‌های دان و کوفمن در مقابل تغییرات تعداد خوشه‌ها

جدول 4- درجه عضویت هر کدام از شهرستان‌های استان خراسان رضوی در هر یک از خوشه‌ها

نام شهرستان	درجه عضویت در خوشه 1	درجه عضویت در خوشه 2	درجه عضویت در خوشه 3	درجه عضویت در خوشه 4
بردسکن	0/1766	0/3591	0/346	0/1183
تایباد	0/4161	0/3343	0/1312	0/1184
تربت جام	0/3088	0/2995	0/1357	0/256
تربت حیدریه	0/7062	0/1173	0/0625	0/1141
خواف	0/1017	0/1866	0/6537	0/058
درگز	0/1168	0/1589	0/6586	0/0656
رشتخوار	0/1987	0/5004	0/2103	0/0906
سبزوار	0/3947	0/175	0/1266	0/3036
سرخس	0/1694	0/5404	0/1851	0/1051
قوچان	0/6579	0/1276	0/0755	0/1389
کاشمر	0/357	0/3282	0/1107	0/2041
کلات	0/096	0/1427	0/7006	0/0606
گناباد	0/1105	0/1509	0/6735	0/0651
مشهد	0/0809	0/0516	0/0293	0/8382
مه ولات	0/2128	0/5142	0/1307	0/1423
نیشابور	0/0841	0/0521	0/0311	0/8327

مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی و E_i میزان خطا، w_i وزن هر یک از اعضا در هر خوشه، E'_i مقادیر تصحیح شده خطا، sh_i مقدار انتقال هر یک از مقادیر پیش‌بینی شده (P_{ai}) و در نهایت F_i کارایی فنی هر بنگاه در هر کدام از خوشه‌ها می‌باشد.

پس از انجام محاسبات مربوط به خوشه‌بندی فازی، اقدام به محاسبه کارایی فنی شده است. جدول 5 نتایج و مراحل محاسبه کارایی فنی هر شهرستان را در هر یک از خوشه‌ها بر اساس الگوریتم ترکیبی شبکه عصبی و خوشه‌بندی فازی نشان می‌دهد. در این جدول P_{ri} نشان‌دهنده مقادیر واقعی تولید، P_{ai} نشان‌دهنده

جدول 5- مراحل محاسبه کارایی فنی در شرایط استفاده از شاخص منابع آب به عنوان متغیر مستقل (شرایط توجه به ملاحظات استفاده پایدار از منابع آب)

F_i	sh_i	E'_i	w_i	E_i	P_{ai}	P_{ri}	نام شهرستان
خوشه 1							
0&80	30&532493	121&16	0&077344	9&37	72&77	82&14	تایباد
0&68	25&355084	-118&10	0&064229	-7&59	76&77	69&18	تربت جام
0&75	63&087996	77&96	0&159813	12&46	143&46	155.92	تربت حیدریه
0&73	30&122482	4&70	0&076306	0&36	80&77	81&12	رشتخوار
0&73	83&258664	52&03	0&210909	10&97	184&93	195&90	سبزوار
0&71	33&873056	-25&18	0&085806	-2&16	92&46	90&30	قوچان
0&74	77&027437	68&23	0&195124	13&31	170&65	183&96	کاشمر
1	51&504345	394&76	0&13047	51&50	79&58	131&08	مه ولات
خوشه 2							
0&84	29&044491	121&87	0&112427	13&70	67&10	80&80	بردسکن
0&80	29&591779	81&81	0&114545	9&37	72&77	82&14	تایباد
0&68	24&388383	-80&35	0&094404	-7&59	76&77	69&18	تربت جام
0&74	29&176827	3&17	0&112939	0&36	80&77	81&12	رشتخوار
0&54	14&507798	-396&08	0&056158	-22&24	65&19	42&95	سرخس
0&73	80&127454	42&92	0&310161	13&31	170&65	183&96	کاشمر
1	51&504345	258&34	0&199366	51&5	79&58	131&08	مه ولات
خوشه 3							
0&82	31&784755	33&11	0&413829	13&7	67&1	80&8	بردسکن
0&66	12&35478	-53&78	0&160856	-8&65	48&98	40&33	خواف
0&49	7&9283218	-199&6	0&103225	-20&6	48&28	27&67	درگز
0&61	3&4517247	-106&03	0&04494	-4&77	17&72	12&95	کلات
1	21&28698	76&81	0&277151	21&29	40&17	61&46	گناباد
خوشه 4							
0&82	7&4964708	-118&38	0&064081	-7&59	76&77	69&18	تربت جام
0&93	25&052991	51&24	0&214157	10&97	184&93	195&9	سبزوار
0&94	24&071426	64&7	0&205766	13&31	170&65	183&96	کاشمر
1	34&694724	116&98	0&296575	34&69	215&61	250&3	مشهد
0&88	25&668864	-1&99	0&219421	-0&44	200&08	199&65	نیشابور

نظر گرفتن بحث مربوط به استفاده پایدار از منابع آب تا چه میزان کارایی فنی شهرستان‌ها را متاثر می‌سازد و رتبه‌بندی کارایی شهرستان‌ها را تغییر می‌دهد. فرایند محاسبه کارایی نیز به روش مذکور مجدداً انجام گرفته است. تخمین تابع تولید با استفاده از شبکه عصبی مجدداً انجام پذیرفته سپس با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی فازی شهرستان‌ها در قالب دو خوشه طبقه‌بندی شده و نتایج مربوط محاسبه کارایی فنی در جدول 6 گنجانده شده است.

از آنجا که یکی از اهداف این مطالعه مقایسه کارایی فنی شهرستان‌های استان خراسان رضوی در دو حالت رعایت ملاحظات مربوط به استفاده پایدار از آب و عدم رعایت این ملاحظات می‌باشد، کارایی فنی این شهرستان یک بار دیگر با استفاده از الگوریتم فوق محاسبه شده است. تنها تفاوت آن است که به جای استفاده از شاخص کاربرد منابع آب از مقادیر حقیقی برداشت از منابع در هر شهرستان استفاده شده است. در واقع در این بخش هدف آن است که مشخص شود در

جدول 6- مراحل محاسبه کارایی فنی شهرستان‌ها در شرایط استفاده از مقادیر حقیقی برداشت از منابع آب (شرایط عدم توجه به استفاده پایدار از منابع آب)

F_i	sh_i	E'_i	w_i	E_i	P_{ai}	P_{ri}	نام شهرستان
خوشه 1							
0&97	31&790634	336&19135	0&086766	29&17	51&63	80&8	بردسکن
0&79	32&36891	118&6565	0&088344	10&48	71&65	82&14	تایباد
0&72	26&84073	-8&861097	0&073256	-0&65	69&83	69&18	تریت جام
0&64	15&124741	-185&0761	0&04128	-7&64	47&97	40&33	خواف
0&58	10&227735	-346&6558	0&027914	-9&68	37&35	27&67	درگز
0&91	31&93053	270&71927	0&087147	23&59	57&53	81&12	رشتخوار
0&53	16&154671	-504&1936	0&044091	-22&23	65&18	42&95	سرخس
0&73	35&944413	22&388281	0&098102	2&2	88&11	90&3	قوچان
0&81	82&750344	178&31345	0&225849	40&27	143&69	183&96	کاشمر
0&28	4&7088695	-2239&079	0&012852	-28&78	41&73	12&95	کلات
1	23&626837	366&3969	0&064484	23&63	37&83	61&46	گناباد
0&96	54&928491	326&26652	0&149915	48&91	82&17	131&08	مه ولات
خوشه 2							
1	29&169832	597&56363	0&048815	29&17	51&63	80&8	بردسکن
0&81	29&678974	211&05861	0&049667	10&48	71&65	82&14	تایباد
0&73	24&781388	-15&65268	0&041471	-0&65	69&83	69&18	تریت جام
0&72	59&292004	-3&654342	0&099223	-0&36	156&28	155&92	تریت
0&93	29&293071	481&2744	0&049021	23&59	57&53	81&12	رشتخوار
0&73	76&674575	35&896653	0&128312	4&61	191&29	195&9	سبزوار
0&53	15&118496	-878&6568	0&0253	-22&23	65&18	42&95	سرخس
0&75	32&810748	40&000772	0&054908	2&2	88&11	90&3	قوچان
0&86	71&379797	337&14053	0&119451	40&27	143&69	183&96	کاشمر
0&75	102&02626	121&67922	0&170737	20&78	229&53	250&3	مشهد
1	48&982959	596&70204	0&081971	48&91	82&17	131&08	مه ولات
0&7	78&355535	-40&63836	0&131125	-5&33	204&97	199&65	نیشابور

در نظر گرفتن بخشی از ملاحظات مربوط به استفاده پایدار از منابع آب باعث تغییر 27 درصدی در رتبه‌بندی کارایی فنی می‌شود. بدیهی است در صورت وجود داده‌های کافی و وارد کردن سایر مسائل مربوط به کشاورزی پایدار این رتبه‌بندی می‌تواند دچار دگرگونی‌های دیگری نیز گردد.

جدول 7 میزان کارایی فنی کلی هر یک از شهرستان‌ها و رتبه‌بندی آنها را نمایش می‌دهد. مقدار ضریب همبستگی بین رتبه شهرستان‌ها در دو وضعیت 1 و 2 برابر با 73/ است و نشان می‌دهد تا چه حد در نظر گرفتن مولفه‌های مربوط به استفاده پایدار از آب، رتبه کارایی فنی شهرستان را دگرگون ساخته است. در واقع

جدول 7- مقایسه کارایی شهرستان‌ها در شرایط متفاوت
(وضعیت‌های توجه و عدم توجه به استفاده پایدار از منابع آب)

رتبه در وضعیت 2	رتبه در وضعیت 1	کارایی در وضعیت 2**	کارایی در وضعیت 1*	نام شهرستان
3	5	0&9769	0&8304	بردسکن
6	7	0&799	0&7981	تایباد
10	11	0&7267	0&7197	ترت جام
11	9	0&7233	0&7549	ترت حیدریه
13	13	0&6392	0&6575	خواف
14	16	0&5816	0&4924	درگز
4	10	0&9155	0&7358	رشتخوار
9	6	0&7311	0&8152	سبزوار
15	15	0&5302	0&5389	سرخس
8	12	0&7407	0&7148	قوچان
5	8	0&8434	0&7922	کاشمر
16	14	0&279	0&6119	کلات
1	1	1	1	گناباد
7	1	0&7549	1	مشهد
2	1	0&9836	1	مه ولات
12	4	0&7046	0&8844	نیشابور
		0&279	0&4924	حداقل
		1	1	حداکثر
		0&7456	0&7716	میانگین

* توجه به ملاحظات مربوط به استفاده پایدار از منابع آب و استفاده از شاخص مصرف آب به عنوان متغیر مستقل

** عدم توجه به ملاحظات مربوط به استفاده پایدار از منابع آب و استفاده از مصرف حقیقی آب به عنوان متغیر مستقل

نتیجه گیری و پیشنهادات

محاسبه کارایی فنی کلی شهرستان‌ها در حالت عدم توجه به استفاده پایدار از منابع آب نشان می‌دهد که میانگین کارایی فنی شهرستان برابر با 74 درصد است. این بدان معنی است که می‌توان با اعمال مدیریت بهتر و استفاده از روشهای مناسب‌تر در تولید به اندازه 26 درصد شاخص تولید محصولات کشاورزی را افزایش داد بدون آنکه نیاز به افزایش سطح مصرف نهاده‌ها باشد.

در حالت عدم توجه به استفاده پایدار از منابع آب، میانگین کارایی فنی در خوشه‌های 1 و 2 (شهرستان‌های دارای تولید متوسط)، به ترتیب 76/7 و 76/1 درصد و میانگین کارایی فنی در شهرستان‌های خوشه 4 که عمدتاً شهرستان‌های دارای تولید زیاد هستند 91/4 درصد است. بر این اساس مشخص می‌شود که به طور نسبی با افزایش مقیاس تولید از یک خوشه به خوشه دیگر میانگین کارایی فنی افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر اختلاف کارایی فنی واحدها با بهترین واحد، در میان شهرستان‌های دارای مقیاس کوچک بیشتر از اختلاف کارایی فنی در میان شهرستان‌های دارای مقیاس بزرگ می‌باشد. لازم به ذکر است این مسئله به این معنی نیست که با افزایش مقیاس تولید کارایی فنی افزایش خواهد یافت بلکه به این معنی است که در گروه شهرستان‌های دارای مقیاس بزرگ تولید، اختلاف واحدها با یکدیگر از بعد کارایی فنی کمتر است.

نتایج مطالعه نشان می‌دهد چنانچه شهرستانی در چند خوشه قرار داشته باشد، کارایی آن در خوشه‌ای که شهرستان‌های آن دارای مقیاس تولیدی بزرگتری هستند، بیشتر است. به عنوان مثال کارایی شهرستان کاشمر در خوشه 4 که دارای مقیاس تولیدی وسیع هستند، 94 درصد و کارایی همین شهرستان در خوشه 1 که دارای مقیاس تولیدی متوسط هستند، 74 درصد است. این روند برای تمامی شهرستان‌هایی که در بیش از یک خوشه قرار دارند مصداق دارد. چنین رابطه‌ای می‌تواند نشانه‌ای از وجود بازده نزولی نسبت به مقیاس باشد، اما از آنجا که نمی‌توان با قطعیت در این مورد سخن گفت، تنها به صورت یک فرضیه آزمایش نشده مطرح می‌شود.

محاسبه کارایی فنی کلی شهرستان‌ها در حالت توجه به استفاده پایدار از منابع آب نشان می‌دهد که میانگین کارایی فنی شهرستان برابر با 77 درصد است. این بدان معنی است که می‌توان با اعمال مدیریت بهتر و استفاده از روشهای مناسب‌تر در تولید به اندازه 23 درصد شاخص تولید محصولات کشاورزی را افزایش داد بدون آنکه نیاز به افزایش سطح مصرف نهاده‌ها باشد.

ضریب همبستگی رتبه‌بندی کارایی شهرستان‌ها در دو حالت توجه و عدم توجه به ملاحظات مربوط به استفاده پایدار از منابع آب برابر با 73 درصد است. بنابراین می‌توان مشاهده کرد که استفاده از شاخص استفاده از منابع آب در مقایسه با وضعیت استفاده از مقادیر حقیقی برداشت آب به عنوان متغیر مستقل مدل، رتبه‌بندی کارایی شهرستان‌ها را تا چه حد دچار تغییرات می‌کند. به این ترتیب می‌توان به تاثیر توجه به استفاده پایدار از منابع آب در سنجش کارایی فنی شهرستان‌های استان خراسان رضوی پی برد. بنابراین مشاهده می‌شود که چگونه با وارد کردن اثرات جانبی مربوط به کشاورزی ارزیابی عملکرد شهرستان‌ها دچار تغییرات می‌شود و تفاوت شهرستان‌ها به صورت دقیق‌تر آشکار می‌گردد. در صورت وجود داده‌های کافی در مورد عواملی از قبیل کیفیت آب، شوری خاک، فرسایش خاک، تخریب جنگل‌ها، تخریب مراتع و مواردی دیگر می‌توان شاخص‌های مناسب‌تری برای نشان دادن میزان استفاده کمی و کیفی از منابع تعریف کرد. بنابراین توصیه می‌شود سازمان‌ها و ارگان‌های ذی‌ربط اقدامات لازم برای طراحی و ایجاد یک نظام قدرتمند جمع‌آوری داده‌ها را مد نظر قرار دهند.

استفاده از شاخص‌های کاربرد منابع این امکان را می‌دهد که بتوان تاثیر بسیاری از اثرات جانبی فعالیت‌های کشاورزی را در محاسبه کارایی فنی مد نظر قرار داد. از این رو لازم است که مطالعاتی در زمینه تعیین شاخص‌های مناسب کاربرد منابع مورد توجه قرار گیرد.

منابع مورد استفاده

- منهاج م. 1379. مبانی شبکه‌های عصبی. نشر دانشگاه صنعتی امیر کبیر.
- نجفی ب و طرازکار مح، 1385. پیش‌بینی میزان صادرات پسته ایران: کاربرد شبکه عصبی مصنوعی. فصل‌نامه پژوهش‌های اقتصادی شماره 39، صفحه‌های 191-214.
- Athanassopoulos AD and Curram SP, 1996. A comparison of data envelopment analysis and artificial neural networks as tool for assessing the efficiency of decision making units. *Journal of the Operational Research Society* 47: 1000–1016.
- Azadeh A, Ghaderi SF, Anvari M, Saberi M, and Izadbakhsh H, 2007. An integrated artificial neural network and fuzzy clustering algorithm for performance assessment of decision making units. *Applied Mathematics and Computation* 187: 584–599.
- Bezdek JC, 1981. *Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms*. Plenum Press, New York.
- Dunn JC, 1973. A fuzzy relative of the ISODATA process and its use in detecting compact well-separated clusters. *Journal of Cybernetics* 3: 32-57
- Fried HO, Lovell CAK and Schmidt SS, 2008. *The measurement of productive efficiency and productive growth*. Oxford University Press, US.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1986. *The FAO agricultural production index*. Statistics Division, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Hampshire JB and Waibel AH, 1990. A novel objective function for improved phoneme recognition using time-delay neural networks, *IEEE Trans Neural Netw* 2:216-228.
- Kloezen WH and Garces RC, 1998. *Assessing irrigation performance with comparative indicators: the case of the Alto Rio Lerma irrigation district, Mexico*. International Water Management Institute (IWMI). Research Report No. 22. Colombo, Sri Lanka.
- Santin D, Delgado FJ and Valino A, 2004. The measurement of technical efficiency: a neural network approach. *Applied Economics* 36: 627–635.
- Wang S, 2003. Adaptive non-parametric efficiency frontier analysis: a neural-network-based model. *Computers & Operations Research* 30: 279-295.