«مدیریت بهره وری»
سال هشتم _ شماره 32_ بهار 1394
ص ص 87 - 69
تاریخ دریافت مقاله: 93/07/27
تاریخ پذیرش نهایی مقاله: 93/12/04

بهبود کارایی پیش‌بینی بهره وری با رویکرد طراحی آزمایشات تاگوچی (مورد مطالعه : صنایع غذایی ایران)

دکتر سید محمود زنجیرچی[1]
مهدی حاتمی‌منش[2*]
حمیدرضا کدخدازاده[3]
سیدعلی محمد بنی فاطمه[4]

چکیده

پیش‌بینی بهره‌وری عاملی بسیار مهم در طراحی استراتژی‌های یک سازمان است. یکی از روش‌های پیش‌بینی بهره‌وری، استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی است که به علت دارا بودن پارامترهای قابل تنظیم، به‌کارگیری آن نیاز به تجربه و مهارت زیادی دارد و اغلب از آزمایش و خطا برای دستیابی به سطوح مناسب این پارامترها استفاده می‌شود. این مقاله، الگویی 7 مرحله‌ای جهت انتخاب مقادیر مناسب پارامترهای قابل تنظیم شبکه عصبی ارائه می دهد تا با به‌کارگیری طراحی آزمایش های تاگوچی کارایی در پیش‌بینی بهره‌وری بهبودمی یابد. به‌کارگیری این روش در پیش‌بینی بهره‌وری صنایع غذایی ایرن، سطوح بهینهٔ پارامترها را که منجر به مطلوب‌ترین پیش‌بینی در شبکه عصبی می‌شود، بدین شرح ارائه می‌دهد: تعداد لایه‌های پنهان: 2 لایه، تعداد نورون هر لایه پنهان: 7 نورون، نرخ یادگیری: 0/9 و تعداد ورودی‌های شبکه عصبی: شاخص‌های بهره‌وری با درجه همبستگی بیشتر از 0/85؛ که از بین عوامل فوق، عامل تعداد لایه‌های پنهان با سهم مشارکت 71/18% در نتیجهٔ آزمایش‌ها، مهم‌ترین عامل طراحی شبکه عصبی در پیش‌بینی بهره‌وری صنایع غذایی ایران است. در نهایت، نتیجه کلی تحقیق نشان داد که به کارگیری این الگو علاوه بر کاهش زمان و هزینه‌های پیش‌بینی، امکان انتخاب استراتژی‌های رقابتی فراهم می‌شود. به علاوه این روش با تعیین سهم مشارکت هر یک از پارامتهای قابل تنظیم در نتایج آزمایش، تصمیم‌گیرندگان را در میزان دقت و توجهی که باید به هر یک از این پارامترها داشته باشند، یاری می‌رساند.

واژه های کلیدی:پیش‌بینی بهره‌وری، شبکه عصبی مصنوعی، طراحی آزمایشات تاگوچی، کارگاه‌ها و کارخانه‌های مواد غذایی.

---

[1]- استادیار مدیریت صنعتی، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد
[2]- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه یزد (نویسنده مسئول) mehdihatami66@yahoo.com
[3]- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مدیریت صنعتی، جهاد دانشگاهی یزد
[4]- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه یزد

مقدمه

نهادهای سازمانی مدرن در محیط‌های پویا و رقابتی کار می‌کنند و مسائل حیاتی مربوط به بقا و گسترش این سازمان‌ها اغلب منجر به تلاش برای بهبود در کارایی و اثربخشی آنها می‌شود. با وجود این، به علت تناسب مفاهیم کارایی و اثربخشی، سازمان-های بهره‌ور باید اهمیت توجه به رقبایشان را در نظر بگیرند. به دلیل محیط پویای شغلی، اهمیت توجه به سازمان‌های رقیب در طول زمان تغییر می‌کند (سرگی[1] و مواتا[2]، 2013). همین امر باعث شده تا سازمان‌ها به مقایسهٔ وضعیت خود با وضعیت سازمان‌های رقیب بپردازند. یک شاخص مقایسه‌ای مهم در این زمینه، میزان بهره‌وری است که مفهومی بسیار وسیع در ادبیات تولیدی دارد. انعطاف‌پذیری مفهوم بهره‌وری و قابلیت مصطلح شدن آن در تمام فعالیت‌های روزمرهٔ بشری باعث شده است تا هر کس بسته به نوع نگرش و دیدگاه و زمینه مورد بررسی خود، تعریفی از آن ارائه دهد که با تعاریف رایج در کشورها و رشته‌های دیگر متفاوت است (چن[3] و رومانفسکی[4]، 2014).

سازمان بین المللی کار[5] ، بهره‌وری را این‌گونه تعریف کرده است : محصولات مختلف با ادغام چهار عامل اصلی (زمین، سرمایه، کار و سازماندهی) تولید می‌شوند. رابطه بازدهی سه عامل از این عوامل در ترکیب با عامل چهارم، مشخص‌کننده میزان بهره‌وری است.

از دید آژانس بهره‌وری اروپا[6] ، بهره‌وری درجهٔ استفاده مؤثر از هر یک از عوامل تولید است. بهره‌وری یک دیدگاه فکری است که همواره سعی دارد آنچه را که موجود است، بهبود بخشد. بر مبنای این عقیده است که انسان می‌تواند کارها و وظایفش را هر روز بهتر از دیروز انجام دهد.

مرکز ملی بهره‌وری ژاپن[7]، بهره‌وری را حداکثر استفاده از منابع فیزیکی، نیروی انسانی و سایر عوامل تولید به روش‌های علمی تعریف کرده است، به طوری که بهبود

---

[1]- Sergey
[2]- Muata
[3]-Chen
[4]-Romanowski
[5]-International Labor Organization (ILO)
[6]-European Productivity Agency (EPA)
[7]-Japan Productivity Organization

بهره‌وری به کاهش هزینه تولید، گسترش بازارها، افزایش اشتغال و بالارفتن سطح زندگی همه مردم منجر شود.

در نهایت کاربردی‌ترین تعریف از نظر سازمان ملی بهره‌وری ایران عبارت است از به حداکثر رساندن استفاده از منابع، نیروی انسانی، تسهیلات و غیره به روش علمی و کاهش هزینه‌های تولید، گسترش بازارها، افزایش اشتغال و کوشش برای افزایش دستمزدهای واقعی و بهبود استانداردهای زندگی، آن گونه که به نفع کارکنان، مدیریت و جامعه باشد.

با این تعاریف و با توجه به اهمیت بحث رقابت و تأثیر بهره‌وری در ایجاد مزیت رقابتی، سازمان‌ها باید از وضعیت بهره‌وری خود در حال و آینده اطلاع داشته باشند تا در طراحی استراتژی‌های خود از آن بهره برند. به همین علت این سازمان‌ها به تخمین و پیش‌بینی میزان بهره‌وری خود می‌پردازند تا بتوانند عکس‌العمل مناسبی نسبت به آینده داشته باشند (شیخ زهور[1] و دیگران، 2013). روش‌های زیادی برای پیش‌بینی بهره‌وری وجود دارد که شبکه عصبی مصنوعی[2] یکی از پرکاربردترین آنهاست و به صورت متعدد از سوی محققان مورد استفاد قرار گرفته است. برای مثال، چن و رومانفسکی (2014)، شبکه عصبی فازی عامل محور[3] را برای پیش‌بینی بهره‌وری یک سایت تجاری مورد استفاده قرار دادند. چن[4] و پائولینو[5] (2013) نیز شبکه عصبی مصنوعی را برای تخمین بهره‌وری مصرف انرژی در چین به کار بردند. همچنین ال‌زوینی[6] و همکارانش (2012) برای تخمین بهره‌وری پروژه‌های ساخت و ساز در نقاط مختلف عراق از شبکه عصبی استفاده کردند. در تحقیقی دیگر، موقیم[7] و همکارانش (2012)، شبکه عصبی را برای پیش‌بینی بهره‌وری (نرخ تولید) کارگران در صنعت ساختمان‌سازی در مالزی به‌کار گرفتند. همچنین در تحقیقی که توسط کالوتا[8] و همکارانش (2011) انجام گرفت،

[1]-Sheikh Zahoor
[2]-Artificial neural network
[3]-Agent-based fuzzy
[4]-Chen
[5]-Paulino
[6]-AL-Zwainy
[7]- Muqeem
[8]-Culotta

توانایی شبکه عصبی برای پیش‌بینی کوتاه مدت بهره‌وری نیروگاه‌های بادی شمال ایتالیا با استفاده از همبستگی باد و داده‌های تولید انرژی مورد بررسی قرار گرفت

این تحقیقات به همراه بسیاری از تحقیقات دیگری که با استفاده از روش شبکه عصبی برای پیش‌بینی بهره‌وری صورت پذیرفته، توانایی بالای این روش را در پیش‌بینی نشان می‌دهد. با وجوداین باید توجه داشت که استفاده از شبکه عصبی نیاز به مهارت و تجربه بالایی دارد و طراحان و به‌کارگیرندگان آن، قبل از تحلیل داده‌های مربوط به هر مسأله، باید مجموعه‌ای از پارامترهای قابل تنظیم این شبکه را مشخص کنند که مهم-ترین آنها عبارت‌اند از: تعداد لایه‌های پنهان شبکه، تعداد نورون‌ها[1] در هر لایهٔ پنهان، نرخ یادگیری و تعداد ورودی‌ها به شبکه (والکزاک[2] و سرپا[3]، 2012).

این پارامترها در شبکه عصبی مصنوعی می‌توانند مقادیر مختلفی به خود بگیرند. به‌کارگیرندگان این روش، اغلب از روش آزمایش و خطا برای دستیابی به سطح مناسب هر یک از پارامترهای ذکر شده استفاده می‌کنند. این امر موجب شده تا زمان و هزینه‌های استفاده از این روش افزایش یابد. به علاوه انتخاب مقدار نامناسب برای هر یک از این چهار عامل، ممکن است شبکه‌هایی تولید کند که نسبت به انتخاب تصادفی نیز ارزش خروجی را بدتر کند (همان منبع).

برای رفع مشکل فوق تعداد تحقیقات تقریبا محدودی انجام شده که در یکی از آنها، جامازی و آلویی[4] (2014)، یک مدل هیبریدی شبکه عصبی را برای کاهش اثر پارامترهای قابل تنظیم این شبکه مورد استفاده قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل هیبریدی شبکه عصبی با در نظر گرفتن توابع و لایه‌های پنهان مختلف، نسبت به تغییر اثر پارامترها حساسیت کمتری دارد و نتایج بهتری نسبت به یک شبکه عصبی معمولی ارائه می‌دهد. آریفوویک و جنکای[5] (2013)، یک شبکه پس‌خورد[6] بر اساس الگوریتم ژنتیک را برای تعیین نوع ورودی‌ها، تعداد لایه‌های پنهان و سازه‌های ارتباطی میان لایه‌های ورودی و خروجی شبکه عصبی به کار بردند. نتایج این تحقیق نشان داد که شبکه‌های پس‌خورد مدل‌سازی شده توسط الگوریتم ژنتیک، تقریب دقیق‌تری از

[1]- Neurons
[2]- Walczac
[3]- Cerpa
[4]- Jammazi and Aloui
[5]- Arifovik and Gencay
[6]-Feedforward

نقاط بهینهٔ کلی دارد. همچنین در تحقیقی دیگر دو جاردین[1] (2012) نیز روش آنالیز حساسیت نتایج حاصل از ورودی‌های مختلف به شبکه عصبی را به صورت سیستماتیک برای کاهش اثر پارامترهای آن بر روی مقادیر پیش‌بینی به کار برد که حاصل آن نتایج بهتر نسبت به حالت آزمایش و خطا بود.

به علاوه موارد ذکر شده، یکی از روش‌هایی که می‌تواند این مشکل را برطرف کند، به‌کارگیری طراحی آزمایش ها به روش تاگوچی[2] است که یک روش به‌کار رفتهٔ معمول برای بهینه‌سازی پارامترهای طراحی در سیستم‌های تولید می‌باشد. این روش شامل طرح‌ریزی شرایط آزمایش با استفاده از جدول‌های خاصی است که آن را جدول آرایه‌های متعامد[3] می‌نامند. استفاده از این جدول‌ها تضمین می‌کند که طراحی آزمایشات مستقیم و پایاست. با به‌کارگیری روش تاگوچی، تعداد بررسی‌های تحلیلی لازم برای توسعهٔ یک طراحی قوی به صورت قابل توجهی کاهش می‌یابد و زمان کلی آزمایش و هزینه‌های آن به حداقل می‌رسد (هانگ[4]، 2012). بنابراین هدف این تحقیق، به‌کارگیری ساختارمند روش طراحی آزمایشات تاگوچی در بهبود پیش‌بینی بهره‌وری با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی است. بر این اساس، این تحقیق در پی پاسخگویی به سه سؤال زیر است :

1) چگونه می‌توان با استفاده از روش طراحی آزمایش های تاگوچی نسبت به تعیین پارامترهای مناسب شبکه عصبی به منظور بهبود کارایی پیش‌بینی بهره‌وری در صنایع اقدام نمود؟
2) کدام یک از پارامترهای قابل تنظیم شبکه عصبی، بیشترین تأثیر را در نتایج پیش-بینی بهره‌وری صنایع دارد؟
3) آیا استفاده از این روش می‌تواند منجر به بهبود کارایی در پیش‌بینی بهره‌وری صنایع شود؟

---

[1] Du jardin
[2] Taguchi experiment design
[3] Orthogonal arrays table
[4] Hong

ابزار و روش

روش انجام این تحقیق، تحلیلی- توصیفی بوده و از لحاظ دسته‌بندی بر مبنای هدف، کاربردی است. برای تدوین و تنظیم مبانی نظری تحقیق از مطالعات کتابخانه‌ای، مقالات و رجوع به خبرگان استفاده شده است. همچنین به منظور کاربردی نمودن الگوی پیشنهادی، از داده‌های مربوط به معیارهای بهره‌وری کارگاه‌ها و کارخانه‌های صنایع مواد غذایی استفاده شده است. این داده‌ها از مرکز آمار ایران دریافت شده‌اند و جامعهٔ آماری و دامنهٔ زمانی آن شامل تمام کارگاه‌ها و کارخانه‌های فعال تا سال 1392 در سطح کل کشور است. این تحقیق، داده‌های مربوط به شاخص‌های بهره‌وری 2096 کارگاه و کارخانهٔ مواد غذایی را مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد.

در ادامه به معرفی مختصر روش طراحی آزمایشات تاگوچی پرداخته می‌شود تا به کارگیری آن در طی الگو قابل فهم‌تر باشد.

طراحی آزمایشات به روش تاگوچی : روش تاگوچی یک روش به کار رفتهٔ معمول برای بهینه‌یابی سطح پارامترهای مؤثر بر آزمایش است. این روش در اصل به عنوان ابزار بهبود کیفیت محصولات از طریق به‌کارگیری مفاهیم آماری و مهندسی ارائه شد. از آن‌جا که به‌کارگیری آزمایش و خطاها عموما وقت‌گیر و هزینه‌بر هستند، نیاز به برآورده کردن اهداف طراحی با حداقل تعداد آزمایش های یک الزام بسیار مهم است. در روش طراحی آزمایش، به‌طور آگاهانه در متغیرهای ورودی فرآیند تغییراتی داده می‌شود، تا از این طریق میزان تغییرات حاصل در پاسخ فرآیند مشاهده و شناسایی شود. با بکارگیری این روش می‌توان عوامل ورودی قابل کنترل را به طور سیستماتیک تغییر داد و آثار آنها را بر روی پارامترهای خروجی ارزیابی کرد (یاو[1] و چی[2]، 2013).

طراحی آزمایشات به روش تاگوچی، دو دسته عوامل را در نظر می‌گیرد. دستهٔ اول که عوامل قابل‌کنترل نامیده می‌شوند، در طراحی آزمایش ها و طراحی نهایی محصول یا فرایند، سطوح مشخصی دارند و تحت کنترل هستند. دستهٔ دوم که عوامل نویز (اغتشاشی) نامیده می‌شوند، بر واکنش یک فرآیند تأثیر می‌گذارند اما نمی‌توانند از لحاظ اقتصادی کنترل شوند. این عوامل اغلب منبع اصلی نوسان هستند. هدف از طراحی

[1]-Yao
[2]-Chi

آزمایش های تاگوچی، ایجاد بهترین حالت به نحوی است که کمتر تحت تأثیر عوامل اغتشاشی قرار گیرد (هانگ، 2012).

همچنین یکی از قابلیت‌های مهم این روش، تعیین سهم مشارکت هر یک از عوامل در نتایج آزمایش است. این قابلیت که از طریق جدول آنوا برای داده‌های آزمایش به دست می‌آید، به تصمیم‌گیرنده کمک می‌کند تا عوامل را بر اساس اهمیتشان رتبه-بندی نماید. این رتبه‌بندی ممکن است تصمیم‌گیرنده را متقاعد کند تا دو یا چند عامل قابل کنترل را در هم ترکیب کند تا بدین وسیله هزینه‌های طراحی آزمایش را کاهش دهد (یاو و چی، 2013).

یافته‌ها

برای پاسخ گویی به سؤالات تحقیق و بررسی چگونگی کارکرد روش طراحی آزمایش های تاگوچی در بهبود پیش‌بینی بهره‌وری، الگویی 7 مرحله‌ای به شرح زیر ارائه می‌شود :

مرحله اول: شناسایی شاخص‌های بهره‌وری صنایع غذایی به عنوان متغیرهای ورودی به شبکه عصبی

در این مرحله از بین شاخص‌های مربوط که در فایل اطلاعاتی مرکز آمار ایران به عنوان شاخص‌های تعیین‌کنندهٔ بهره‌وری کارخانه‌ها و کارگاه‌های مواد غذایی مطرح بودند، با نظرخواهی از خبرگان، شاخص‌هایی که همبستگی بالاتر از 0/7 با میزان بهره‌وری کل داشتند انتخاب شدند. برای این کار ابتدا آزمون کولموگروف- اسمیرنوف[1] برای تعیین نرمال بودن یا نبودن توزیع داده‌های مربوط به شاخص‌ها انجام شد و از آنجا که سطح معناداری تمام متغیرها کمتر از 0/05 بود مشخص شد که توزیع همه آنها به صورت غیرنرمال است. بنابراین از آزمون همبستگی اسپیرمن[2] استفاده شد و در نهایت 7 عامل زیر به عنوان پیش‌بینی کننده‌های بهره‌وری انتخاب و به عنوان ورودی به شبکه عصبی وارد شدند. عنوان، تعریف و درجهٔ همبستگی این شاخص‌ها به شرح جدول 1 است.

[1]-Kolmogorov-Smirnov Test
[2] -Spearman correlation test

جدول 1 : میزان همبستگی شاخص‌های بهره وری

شاخص‌های بهره‌وری	درجه همبستگی با بهره‌وری کل
بهره‌وری نیروی کار : نسبت ارزش افزوده به تعداد شاغلان	0/87
بهره‌وری سرمایه : نسبت ارزش افزوده به هزینه سرمایه	0/86
بهره‌وری عوامل کل : نسبت ارزش افزوده به (هزینه سرمایه + هزینه کار)	0/84
بهره‌وری انرژی : نسبت ارزش افزوده به ارزش انرژی	0/81
بهره‌وری مواد اولیه : نسبت ارزش افزوده به ارزش مواد اولیه مصرفی	0/79
بهره‌وری تولیدات : نسبت ارزش افزوده به ارزش تولیدات	0/76
بهره‌وری تحقیقات : نسبت ارزش افزوده به هزینه تحقیقات	0/73

با توجه به اطلاعات جدول 1، لازم است تا مفهوم دو اصطلاح ارزش افزوده و بهره‌وری کل تعریف شود. در این بین، ارزش افزوده عبارت است از ثروت اضافه‌ای که توسط شرکت از طریق فرایند تولید یا ارائه خدمات ایجاد می‌شود که با کسر نهاده‌های واسطه (مثل هزینه خریدها) از عایدی‌ها به دست می‌آید. بهره‌وری کل نیز عبارت است از نسبت ستانده کل به ارزش کل داده‌ها.

مرحله دوم : تعیین پارامترهای قابل تنظیم شبکه عصبی و سطوح آن‌ها

همان طور که در قسمت مقدمه هم ذکر شد، چهار پارامتر تعداد ورودی‌ها به شبکه عصبی، تعداد لایه‌های پنهان، تعداد نورون‌ها در هر لایه و نرخ یادگیری به عنوان پارامترهای قابل تنظیم مدنظر قرار گرفت. سپس بر اساس تحقیق والکزاک و سرپا (2012)، برای هر پارامتر 4 سطح به شرح جدول 2 ارائه شد.

جدول 2 : سطوح پارامترهای قابل تنظیم شبکه عصبی

پارامترهای قابل تنظیم	سطح اول	سطح دوم	سطح سوم	سطح چهارم
تعداد لایه‌های پنهان	1 لایه	2 لایه	3 لایه	4 لایه
تعداد نورون در هر لایه	7 نورون	8 نورون	9 نورون	10 نورون
نرخ یادگیری	0/6	0/7	0/8	0/9
تعداد ورودی‌های شبکه	شاخص‌های با درجه همبستگی بیشتر از 0/7	شاخص‌های با درجه همبستگی بیشتر از 0/75	شاخص‌های با درجه همبستگی بیشتر از 0/8	شاخص‌های با درجه همبستگی بیشتر از 0/85

مرحله سوم : انتخاب جدول آرایه‌های متعامد مناسب به منظور طراحی آزمایش‌ها

اگر قرار باشد تمامی حالت‌های ممکن مورد آزمایش قرار گیرد، تعداد کل آزمایش‌ها از فرمول "تعداد سطح هر پارامتر به توان تعداد پارامترها" به دست می‌آید که در این تحقیق برابر است با 256 آزمایش. از آنجا که انجام این تعداد آزمایش بسیار زمان‌بر و هزینه‌بر است، بسته به این‌که چند پارامتر وجود دارد و هر پارامتر دارای چند سطح است، جدولی به نام جدول آرایه‌های متعامد از سوی تاگوچی پیشنهاد می‌شود تا به‌جای انجام آزمایش تمامی حالت‌ها، تنها کسری از حالت‌ها مورد آزمایش قرار گیرند. این جدول نشان می‌دهد که چه تعداد آزمایش باید انجام شود و در هر آزمایش، هر پارامتر در چه سطحی از مقادیر انتخابی باشد. انتخاب آرایهٔ متعامد مناسب به درجهٔ آزادی آن آزمایش خاص بستگی دارد. درجه آزادی هر فاکتور، درجه آزادی سطح آن فاکتور منهای یک است. از جمع درجه آزادی فاکتورها، درجه آزادی کل آزمایش به دست می‌آید. البته اگر در آزمایش فاکتورهای دارای اثر متقابل وجود داشته باشند، درجات آزادی برهم‌کنش آن‌ها که از حاصل‌ضرب درجه آزادی فاکتورهای دارای اثر متقابل به دست می‌آید را هم باید در نظر گرفت.

در این تحقیق نیز از آنجا که چهار فاکتور چهار سطحی داریم و هیچ برهم‌کنشی هم بین فاکتورها در نظر گرفته نشده، درجه آزادی کل آزمایش برابر است با :

درجه آزادی کل آزمایش : $4 \times (4 - 1) = 12$ (1)

برای انتخاب آرایه متعامد مناسب، درجه آزادی آرایه متعامد باید از درجه آزادی کل آزمایش، بزرگتر یا مساوی باشد. بر این اساس از بین جداول پیشنهادی تاگوچی، آرایهٔ متعامد $L_{16}(4^5)$ به کار برده شد. این آرایه می‌تواند 5 فاکتور 4 سطحی را در خود جای دهد؛ بنابراین فاکتورهای تعداد لایه‌های پنهان، تعداد نورون در هر لایه، نرخ یادگیری و تعداد ورودی به ترتیب به ستون‌های 1، 2، 3 و4 نسبت داده شدند و ستون 5 به علت آنکه هیچ فاکتوری به آن تعلق نیافت از جدول حذف گردید. این آرایه‌ها، قسمت سمت چپ جدول 3 را در بر می‌گیرند که در ادامه آمده است.

مرحله چهارم : انتخاب معیار مناسب به منظور سنجش کارایی شبکه عصبی

قبل از این‌که آزمایش‌ها انجام شود، لازم است تا معیاری مناسب که سنخیت خوبی با مسأله داشته باشد انتخاب شود تا میزان تفاوت مقادیر پیش‌بینی بهره‌وری را از مقادیر واقعی بهره‌وری بسنجد. در این تحقیق نیز به منظور مقایسهٔ مقادیر پیش‌بینی و واقعی بهره‌وری صنایع غذایی و سنجش کارایی شبکه عصبی از معیار R^2 استفاده شده است. R^2 میزان انطباق مقدار پیش‌بینی و مقدار واقعی است که طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود :

$$R^2 = 1 - \frac{RMSE}{\sigma} \qquad (2)$$

که در آن

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(F_i - A_i)^2}{n}} \qquad (3)$$

در این فرمول‌ها F^i و A^i به ترتیب داده‌های پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی و داده‌های واقعی، n تعداد داده‌ها و σ^2 واریانس داده‌های واقعی می‌باشد.

مرحله پنجم : اجرای آزمایش

در این مرحله، بر اساس جدول آرایه‌های متعامد، تعدادی آزمایش با سطح پارامتر مشخص انجام می‌شود و نتیجه‌ی هر آزمایش بیان می‌شود. برای این‌که پایایی نتایج اثبات شود، هر آزمایش چندین بار تکرار می‌شود که در این صورت تاگوچی پیشنهاد می‌کند برای تحلیل نتایج، به‌جای میانگین گرفتن از تکرارها، از نسبت S/N[1] استفاده شود. منظور از S (سیگنال)، اثر پارامترهای قابل کنترل و منظور از N (نویز)، اثر فاکتورهای اغتشاشی است. بنابراین مقادیر بالاتر برای نسبت S/N همواره بهتربوده و بیانگر این است که متغیر پاسخ بیشتر تحت تأثیر متغیرهای قابل کنترل است تا اغتشاشی (یاو و چی، 2013). نحوه‌ی محاسبه S/N نیز به شرح زیر است :

$$S/N = -10 \log_{10} (MSD) \qquad (4)$$

[1]-Signal/Noise

که در آن MSD برابر است با میانگین مجذور انحراف از مقدار هدف مشخصه کیفی. در این تحقیق که متغیر پاسخ (R^2) از نوع "بیشتر – بهتر" است، مقدار MSD از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید :

$$MSD = (1/y_1^2 + 1/y_2^2 + 1/y_3^2 + \cdots)/n \qquad (5)$$

در این فرمول، y متغیر پاسخ برای هر آزمایش و n تعداد تکرارهای هر آزمایش است.

بر اساس جدول پیشنهادی تاگوچی که بر مبنای موارد طرح شده در مرحله سوم به دست آمد، در این مرحله 16 آزمایش با سطوح متفاوت پارامترها انجام شد. مثلا برای آزمایش اول، جدول 3 نشان می‌دهد که باید تعداد لایه‌های پنهان در سطح اول (1 لایه)، تعداد نورون در هر لایه در سطح اول (7 نورون)، نرخ یادگیری در سطح اول (0/6) و تعداد ورودی به شبکه عصبی نیز در سطح اول (شاخص‌های با درجه همبستگی بیشتر از 0/7) باشد. برای دست‌یابی به پایایی در نتایج، هر یک از 16 آزمایش، به پیشنهاد خبرگان 8 بار در شبکه عصبی تکرار و مقادیر نتایج R^2 آن ثبت شد. اعداد درج شده در ستون تکرارهای اول تا هشتم جدول 3، نشان‌دهنده‌ی نتایج R^2 به دست آمده از خروجی شبکه عصبی هستند.

مرحله ششم : تعیین سطوح بهینهٔ هر یک از پارامترهای شبکه عصبی

مقادیر به‌دست آمده R^2 از مرحله قبل، در این مرحله به نرم افزار کوالیتک[1] که نرم افزاری برای تحلیل طراحی آزمایشات تاگوچی است، وارد شد تا حالت بهینه برای هر پارامتر به دست آید. چون هر آزمایش 8 بار تکرار شده، برای تحلیل در نرم افزار کوالیتک، به‌جای میانگین نتایج از نسبت S/N استفاده شد. همان‌طور که در ستون آخر جدول 3 مشاهده می‌شود، آزمایش شماره 5 دارای بیشترین مقدار نسبت S/N است و بهترین حالت سطوح پارامترها را در بین 16 آزمایش دارد. اما باید توجه داشت که تعداد آزمایش‌های ارائه شده در جدول آرایه‌های متعامد، تنها کسری از تعداد کل حالت‌های آزمایشی است؛ پس ممکن است حالت بهینه در بین آزمایش‌های انجام شده نباشد. در

[1]-Qualitek

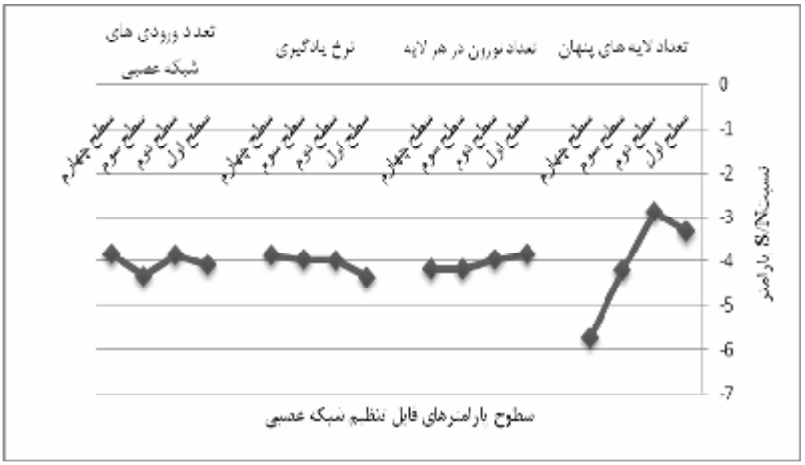
واقع کار اصلی روش تاگوچی هم رفع همین مشکل است که می‌تواند تنها با انجام کسری از کل آزمایش‌ها، حالت بهینه را در بین تمامی حالات ممکن مشخص کند.

جدول 3 : نتایج آزمایش‌های انجام شده

شماره آزمایش	تعداد لایه پنهان	تعداد نورون در هر لایه	نرخ یادگیری	تعداد ورودی به شبکه	مقدار R^2 برای تکرارهای مختلف								نسبت S/N
					تکرار اول	تکرار دوم	تکرار سوم	تکرار چهارم	تکرار پنجم	تکرار ششم	تکرار هفتم	تکرار هشتم	
1	1	1	1	1	0/61	0/65	0/64	0/66	0/59	0/62	0/66	0/67	-3/748
2	1	2	2	2	0/71	0/79	0/63	0/66	0/62	0/74	0/73	0/68	-3/168
3	1	3	3	3	0/66	0/69	0/61	0/71	0/72	0/67	0/69	0/68	-3/644
4	1	4	4	4	0/75	0/73	0/75	0/76	0/73	0/71	0/73	0/71	-2/744
5	2	1	2	3	0/78	0/72	0/76	0/74	0/74	0/71	0/69	0/82	-2/551
6	2	2	1	4	0/74	0/79	0/79	0/70	0/68	0/76	0/71	0/68	-2/877
7	2	3	4	1	0/69	0/71	0/76	0/66	0/70	0/74	0/68	0/72	-3/701
8	2	4	3	2	0/73	0/67	0/68	0/71	0/78	0/69	0/69	0/66	-3/032
9	3	1	3	4	0/66	0/62	0/61	0/69	0/70	0/64	0/59	0/66	-3/884
10	3	2	4	3	0/57	0/61	0/64	0/58	0/54	0/56	0/62	0/67	-4/501
11	3	3	1	2	0/65	0/56	0/60	0/61	0/56	0/63	0/69	0/64	-4/132
12	3	4	2	1	0/70	0/64	0/61	0/55	0/57	0/60	0/61	0/63	-4/290
13	4	1	4	2	0/58	0/60	0/48	0/55	0/59	0/49	0/55	0/52	-5/140
14	4	2	3	1	0/59	0/54	0/57	0/60	0/48	0/55	0/47	0/60	-5/252
15	4	3	2	4	0/48	0/51	0/43	0/58	0/55	0/59	0/51	0/48	-5/869
16	4	4	1	3	0/45	0/54	0/41	0/44	0/37	0/52	0/43	0/39	-6/672

در ادامه پردازش داده‌ها توسط نرم‌افزار کوالیتک، مشخص شد که حالت بهینه برای سطوح پارامترهای ورودی شبکه عصبی از لحاظ شاخص R^2 در شرایط زیر اتفاق می‌افتد :

تعداد لایه‌های مخفی در سطح دوم (2 لایه)، تعداد نورون هر لایه مخفی در سطح اول (7 نورون در هر لایه)، نرخ یادگیری در سطح چهارم (0/9) و تعداد ورودی‌های شبکه عصبی در سطح چهارم (متغیرهای با درجه همبستگی بیشتر از 0/85). این وضعیت به خوبی در شکل 1 که خروجی نرم‌افزار کوالیتک است نشان داده شده.



شکل 1 : **سطوح بهینه‌ی پارامترها**

مرحله هفتم : انجام آزمایش تأییدی

در مرحله آخر لازم است تا یک آزمون تأییدی برای اثبات درستی نتیجهٔ تحقیق انجام گیرد. همان‌طور که در نمودار مرحله قبل مشاهده می‌شود، سطوح پارامترها در حالت بهینه در بین 16 حالت آزمایش وجود ندارد؛ لذا برای اطمینان از درستی خروجی نرم افزار، آزمایشی با سطوح ذکر شده با 8 تکرار انجام شد که نتایج آن در جدول 4 نشان داده شده است.

جدول 4 : نتایج آزمون تائیدی

نسبت S/N	تکرارها								تعداد ورودی به شبکه	نرخ یادگیری	تعداد نورون در هر لایه	تعداد لایه مخفی
	تکرار هشتم	تکرار هفتم	تکرار ششم	تکرار پنجم	تکرار چهارم	تکرار سوم	تکرار دوم	تکرار اول				
									4	4	1	2
-2/126	0/82	0/73	0/84	0/80	0/79	0/81	0/77	0/78	مقدار R^2 برای تکرارهای مختلف			

همان‌طور که مشاهده می‌شود، نسبت S/N در حالت بهینه در شاخص $\mathbf{R^2}$ از همین نسبت در تمامی 16 آزمایش قبلی بیشتر است و این مورد تأییدکننده انتخاب صحیح سطوح بهینهٔ پارامترهای قابل تنظیم شبکه عصبی با به‌کارگیری روش تاگوچی است.

علاوه بر تعیین سطوح بهینهٔ عوامل، روش تاگوچی همچنین می‌تواند سهم مشارکت هر یک از آنها را در نتایج آزمایش تعیین کند. این امر به تصمیم‌گیرنده کمک می‌کند تا فاکتورها را بر اساس اهمیتشان رتبه‌بندی نماید. این قابلیت از طریق جدول آنوا[1] برای داده‌های تحقیق در جدول 5 نشان داده شده است.

جدول 5 : نتایج حاصل از جدول آنوا در نرم افزار کوالیتک

پارامترهای قابل تنظیم شبکه عصبی	درجه آزادی (f)	جمع مربعات (S)	واریانس (V)	سهم مشارکت (P)
تعداد لایه‌های پنهان	3	185/82	92/9110	71/18
تعداد نورون در هر لایه	3	0/9073	0/4537	0/45
نرخ یادگیری	3	6/8718	3/4359	3/37
تعداد شاخص‌های بهره‌وری ورودی به شبکه	3	50/945	25/4725	25/00
جمع کل	12	244/5441		%100

ستون سهم مشارکت این جدول نشان می‌دهد که عامل تعداد لایه‌های پنهان با سهم مشارکت 71/18% بسیار مهم‌تر از سایر عوامل است و پارامترهای تعداد

[1]-ANOVA

شاخص‌های بهره‌وری ورودی به شبکه، نرخ یادگیری و تعداد نورون در هر لایه، به ترتیب در رتبه‌های دوم، سوم و چهارم قرار دارند. بنابراین تصمیم‌گیرنده باید در تعیین و تنظیم سطوح تعداد لایه‌های پنهان با دقت بیشتری عمل نماید، چرا که این پارامتر سهم به‌سزایی در تعیین نتایج آزمایش‌ها و پیش‌بینی دقیق‌تر بهره‌وری دارد. همچنین مشاهده می‌شود که انتخاب شاخص‌های پیش‌بینی کننده بهره‌وری که به عنوان ورودی به شبکه عصبی وارد می‌شوند دارای سهم مشارکت 25 درصدی بوده و اهمیت قابل توجهی در بهبود نتیجه پیش‌بینی دارند؛ از این رو باید به انتخاب با دقت این شاخص‌ها نیز توجه داشت. اما به نظر می‌رسد دو پارامتر دیگر (تعداد نورون در هر لایه و نرخ یادگیری) دارای اهمیت چندانی نیستند و می‌توان در طراحی معماری شبکه عصبی با دقت کمتری آن‌ها را مورد توجه قرار داد.

نتایج و بحث

این تحقیق، الگویی 7 مرحله‌ای را به منظور بهبود کارایی پیش‌بینی بهره‌وری از طریق بهینه‌یابی سطوح پارامترهای قابل تنظیم شبکه عصبی با رویکرد طراحی آزمایش های تاگوچی ارائه می‌دهد. الگوی پیشنهادی نشان می‌دهد که از طریق توجه هم‌زمان به چندین عامل موثر بر مقادیر پیش‌بینی، این روش امکان جمع‌آوری داده‌های کارآمد را برای اهداف پیش‌بینی فراهم می‌کند. این الگو با توجه به عدم نیاز به انجام تمام حالت‌های آزمایش، علاوه بر کاهش زمان و هزینه‌های پیش‌بینی، امکان انتخاب استراتژی‌های رقابتی را فراهم می‌کند. به علاوه این روش با تعیین سهم مشارکت هر یک از فاکتورها در نتایج آزمایش، تصمیم‌گیرندگان را در میزان دقت و توجهی که باید به هر یک از فاکتورها داشته باشند یاری می‌کند.

در مقایسهٔ الگوی پیشنهادی این تحقیق با سایر تحقیقات باید ذکر کرد که روش تاگوچی در مقایسه با مدل هیبریدی ارائه شده توسط جامازی و آلویی (2014) از سهولت بیشتری در به‌کارگیری برخوردار است. چنان‌که در مدل هیبریدی، هنگامی که بیش از دو پارامتر در شبکه عصبی مدنظر قرار گیرد، ساخت و به‌کارگیری این مدل به شدت پیچیده می‌شود. اما در روش تاگوچی به راحتی می‌توان چندین پارامتر را مدنظر قرار داد و جدول آرایه‌های متعامد مناسب آن را با توجه به تعداد سطوح هر پارامتر تعیین کرد.

به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک در شبکه‌های پس‌خورد که توسط آریفوویک و جنکای (2013) ارائه شد نیز دارای محدودیت‌هایی است که البته بیشتر آن به ماهیت روش کلی الگوریتم ژنتیک باز می‌گردد. این الگوریتم اگرچه قابل اعمال به تمام مسائل بهینه‌سازی است، اما در بعضی از مسائل این روش بسیار کند عمل می‌کند و از کارایی بالایی برخوردار نیست. همچنین این روش ممکن است در هر بار به‌کارگیری پاسخی متفاوت ارائه دهد. ساخت و به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک نیاز به مهارت بسار زیاد در کدنویسی دارد که اگر عملگرهای آن (مثلا عملگر تناسب) به خوبی نوشته نشود، ممکن است پاسخی برای مسأله پیدا نشود و یا مسأله اشتباه حل شود. به علاوه از آنجا که این روش به جستجوی نقاط بهینهٔ محلی برای رسیدن به نقطهٔ بهینه‌کل می‌پردازد، در صورتی که یک پاسخ تفاوت زیادی با پاسخ‌های مجاور خود داشته باشد، ممکن است آن پاسخ خیلی زود مورد توجه قرار گیرد و راه حل را به سوی پاسخ بهینه‌ی محلی سوق دهد.

دوجاردین (2012) نیز در ارائه مدل تحلیل حساسیت برای تعیین ساختار مناسب شبکه عصبی بیان می‌کند که بزرگترین مشکل این روش هنگامی است که تعداد متغیرها زیاد باشد. در این صورت به سختی می‌توان اثر هم‌افزایی متغیرها را در نتایج مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. به علاوه این روش همان کاری را می‌کند که زیر منوی استیمیت[1] در نرم‌افزار کوالیتک آن را به خوبی انجام می‌دهد. بنابراین می‌توان آنالیز حساسیت را یکی از قابلیت‌های طراحی آزمایشات تاگوچی در نرم‌افزار کوالیتک دانست.

در نهایت می‌توان گفت که در مقایسه با روش‌ها و مدل‌های ذکر شده، الگوی پیشنهادی مبتنی بر طراحی آزمایش ها به روش تاگوچی از سهولت خوبی برخوردار است و دشواری‌های کاربرد دیگر روش‌ها را ندارد. طبق نتایج تحقیق، طراحی آزمایشات تاگوچی می‌تواند مقادیر مناسب برای تعداد زیادی پارامتر با سطوح متفاوت را تعیین کند و ساختاری با کارایی و اثربخشی بالا برای شبکه عصبی طراحی نماید. این روش همچنین با تعیین سهم مشارکت، به رتبه‌بندی و بررسی فاکتورهای دخیل در آزمایش کمک کرده و به تصمیم گیرنده اجازه می‌دهد تا با نادیده گرفتن فاکتورهای کم‌اهمیت، میان هزینه‌های آزمایش و عملکرد پیش‌بینی بهره‌وری توازن برقرار کند.

[1]- Estimate

بر همین اساس، این تحقیق پیشنهاد می‌دهد چه در پیش‌بینی بهره‌وری صنایع غذایی و چه در سایر صنایع، استفاده از روش تاگوچی در شبکه عصبی مدنظر قرار گیرد تا با دست‌یابی به معماری مناسب این شبکه، نتایج مطلوبی حاصل شود.

در ادامه به منظور تحقیقات آینده در زمینهٔ بهبود عملکرد روش‌های پیش‌بینی و مدل‌سازی، پیشنهادهایی به شرح زیر ارائه می‌شود :

- در این تحقیق بهبود کارایی پیش‌بینی بهره‌وری توسط شبکه عصبی با استفاده از روش تاگوچی مدنظر قرار گرفته است. پیشنهاد می‌شود تحقیقاتی در زمینه سایر کاربردهای شبکه عصبی از جمله طبقه‌بندی، شناسایی الگو و پردازش سیگنال نیز انجام شود و امکان حل مسألهٔ مربوط به پارامترهای قابل تنظیم شبکه عصبی در آنها مورد بررسی قرار گیرد.
- طراحی معماری شبکه عصبی مستلزم توجه به پارامترهای مختلف قابل تنظیم این شبکه است که چهار مورد آن در این تحقیق مدنظر قرار گرفت. پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آینده به سایر پارامترهای آن، از جمله نوع تابع مورد استفاده، توجه شود.
- پیشنهاد می‌شود از روش‌های فوق ابتکاری نیز برای بهبود عملکرد شبکه عصبی در پیش‌بینی بهره‌وری استفاده شود و نتایج آن با سایر روش‌ها از جمله روش تاگوچی مقایسه شود.
- پیشنهاد می‌شود به منظور بهبود عملکرد انواع روش‌های پیش‌بینی بهره‌وری از جمله روش ساریما[1]، پیش‌بینی خاکستری و مدل‌های ترکیبی، امکان‌پذیری به‌کارگیری روش تاگوچی در آنها بررسی شود.

[1]-SARIMA

منابع:

- AL-Zwainy, Sarhan; Hatem Rasheed & Huda Farhan Ibraheem. (2012), development of the construction productivity estimation model using artificial neural network for finishing works for floors with marble. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 7, pp 714-722.
- Arifovik, Jasmina & Ramazan Gencay. (2013), Using genetic algorithms to select architecture of a feedforward articial neural network. Physica A, Volume 289, Issues 3–4, pp 474-594.
- Chen, Shiyi & Amelia Paulino. (2013), Energy consumption restricted productivity re-estimates and industrial sustainability analysis in post-reform China, Energy Policy, Volume 57, pp 52-60.
- Chen, Toly & Richard Romanowski. (2014), Forecasting the productivity of a virtual enterprise by agent-based fuzzy collaborative intelligence—With Facebook as an example, Applied Soft Computing, Volume 24, pp 511-521.
- Culotta, Salma, Maria Galletto & Arad Macaione. (2011), Influence of raw data analysis for the use of neural networks for win farms productivity prediction. Clean Electrical Power (ICCEP), International Conference on Italia.
- Du jardin, Philippe. (2012), Bankruptcy prediction and neural networks: the contribution of variable selection methods. Edhec Business School-Information Technology Department, 73, pp 271-284.
- Hong Chien-wen. (2012), Using the Taguchi method for effective market segmentation. Expert Systems with Applications, Volume 39, Issue 5, pp 5451–5459.
- Jammazi, Rania & Chaker Aloui. (2014), Crude oil price forecasting: Experimental evidence from wavelet decomposition

and neural network modeling. Energy Economics, Volume 34, Issue 3, pp 828–841

- Muqeem, Sahan; Arin Idrus, Fateh Khamidi & Samir Zakaria. (2012), Prediction Modeling of Construction Labor Production Rates using Artificial Neural Network. 2nd International Conference on Environmental Science and Technology in Singapore.
- Sergey, Samoilenko & Kweku Muata. (2013), Using Data Envelopment Analysis (DEA) for monitoring efficiency-based performance of productivity- driven organizations: Design and implementation of a decision support system. Omega, Volume 41, Issue 1, pp 131–142.
- Sheikh Zahoor, Ishaque; Sarwar Azam; Ehsan Nadeem; Danial Saeed Pirzada & Nasir Zafar Moeen. (2013), identifying productivity blemishes in Pakistan automotive industry: a case study. International Journal of Productivity and Performance Management, Volume 61 Issue 2, pp 173-193.
- Walczac, Steven & Narciso Cerpa. (2012), Heuristic Principles for the Design of Artificial Neural Networks. Informational Software Technology, Volume 41, Issue 2, 25, pp 107–117.
- Yao Albert & Sio. (2013), Analysis and Design of a Taguchi–Grey Based Electricity Demand Predictor for Energy Management Systems, Energy Conversion and Management, Volume 45, Issues 7–8, pp 1205–1217.