نشریه علمی پژوهشی سد و نیروگاه برق آبی
سال سوم / شماره دهم / پاییز ۱۳۹۵

Journal of Dam and Hydroelectric PowerPlant
3rd Year / No. 10 / December 2016

پیش‌بینی هزینه تکمیل پروژه‌های ساخت با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و روش مدیریت ارزش حاصله

فرشاد پیمان *[۱]
احمد فتحی[۲]

چکیده

انحراف زمان و هزینه نهایی پروژه‌های ساخت نسبت به مقادیر برآورد اولیه، مسئله‌ای است که در تمام کشورها وجود دارد. این انحرافات سبب به وجود آمدن دعاوی متعددی می‌شوند؛ بنابراین باید از به وجود آمدن آن‌ها جلوگیری شود. پیش‌بینی، یکی از ابزارهای مهم کنترل انحرافات زمان و هزینه پروژه است. یکی از روش‌های استاندارد برای پیش‌بینی زمان و هزینه پروژه، روش مدیریت ارزش حاصله است. همچنین مدل‌سازی به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی، یکی دیگر از روش‌های استاندارد پیش‌بینی و روشی پرکاربرد در عصر حاضر است. در این مقاله، با در نظرگیری شش پارامتر از پارامترهای اصلی و شاخص‌های عملکردی روش ارزش حاصله به‌عنوان متغیرهای ورودی، بدون استفاده از برنامه‌نویسی و تنها با استفاده از جعبه‌ابزار شبکه‌های عصبی در MATLAB، مدلی ساده ساخته می‌شود که قادر است بدون وابستگی به نوع پروژه، هزینه تکمیل پروژه‌هایی که هزینه نهایی آن‌ها از بودجه مصوب بیشتر است (اکثر پروژه‌های عمرانی اجرا شده در ایران) را به‌طور دقیق‌تری نسبت به روابط پیش‌بینی کننده هزینه در روش ارزش حاصله تخمین بزند. از دو پروژه اجرای عملیات تکمیلی سدسازی و دو پروژه احداث کانال انتقال آب نیز در آزمایش مدل استفاده شده است؛ که نتایج حاصل از این آزمایش، دقت بالای مدل را نشان می‌دهند.

واژه‌های کلیدی

پیش‌بینی هزینه، پروژه‌های ساخت، شبکه‌های عصبی مصنوعی، روش مدیریت ارزش حاصله، نرم‌افزار MATLAB.

۱*. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران، f.peyman@iauahvaz.ac.ir.
۲. استادیار، گروه عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۱/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۹/۰۶

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1395.3.10.5.7]

مقدمه

انحراف زمان و هزینه نهایی (واقعی) پروژه‌های ساخت نسبت به مقادیر برآورد شده اولیه (تخمین اولیه)، مسئله‌ای است که در تمام کشورها وجود دارد و به یک منطقه از جهان و یا یک شیوه خاص مدیریتی و اجرایی تعلق ندارد (روزنفلد[1]، ۲۰۱۴). این انحرافات سبب به وجود آمدن دعاوی متعددی می‌شوند؛ که این مسئله جزء ثابت پروژه‌های اجرایی شده است (پریسویر[2]، ۱۹۹۲). یک پروژه اجرایی در صنعت ساخت معمولاً زمانی موفق محسوب می‌شود که در زمان خودش و با بودجه و کیفیت تعریف شده به اتمام برسد. یکی از وظایف اصلی مدیران پروژه‌های اجرایی این است که با توجه به دعاوی ممکن، اطمینان حاصل کنند که پروژه آن‌ها از چارچوب‌های زمانی و هزینه‌ای تعریف شده عدول نمی‌کند (سامباسیوان و سون[3]، ۲۰۰۷). پیش‌بینی، یکی از ابزارهای مهم کنترل پروژه و جلوگیری از انحرافات زمان و هزینه آن است؛ زیرا وقتی زمان و هزینه پروژه از شروع کار پیش‌بینی می‌شود، پروژه در یک چارچوب خاص و با هزینه و زمانی از پیش تعیین شده اجرا می‌گردد. علت اصلی نیاز به پیش‌بینی این است که مدیر بتواند به‌موقع هشدار دهد که لازم است عملیات اصلاحی یا پیشگیرانه در کار انجام گیرد. چنین پیش‌بینی‌هایی باید مداوم اصلاح شود و با برنامه اولیه مقایسه گردد؛ بنابراین کنترل واقعی پروژه وقتی تحقق می‌یابد که مدیر بتواند پیش‌بینی درستی از زمان و هزینه نهایی پروژه در هر مرحله از کار داشته باشد (کیم و رینسچمیدت[4]، ۲۰۱۰). مدیریت ارزش حاصله[5] (EVM) یکی از روش‌های استاندارد و معتبر برای اندازه‌گیری و گزارش پیشرفت واقعی پروژه، پیش‌بینی زمان اتمام و هزینه تکمیل آن است (واندورد و وان‌هوکی[6]، ۲۰۰۶).

مدل‌سازی به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی، یکی دیگر از روش‌های استاندارد پیش‌بینی و روشی پرکاربرد در عصر حاضر است. این شبکه‌ها به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های هوش محاسباتی از خواص مهمی برخوردارند؛ که آن‌ها را در علوم و مسائل فنی – مهندسی حائز اهمیت می‌نماید. در مهروموم‌های اخیر استفاده از شبکه‌های عصبی به‌عنوان ابزاری برای رگرسیون، مخصوصاً در شناخت الگو و تخمین توابع غیرخطی جایگاهی ویژه پیدا کرده است. این شبکه‌ها توانایی پیدا کردن روابط بسیار پیچیده‌ای که بین متغیرهای ورودی و خروجی برقرار هستند را بدون داشتن پیش‌زمینه قبلی از ارتباط آن‌ها دارا هستند. به بیان ساده، از مدل شبکه عصبی می‌توان به‌عنوان یک رگرسیون کاملاً غیرخطی و پیچیده یاد کرد که بر اساس داده‌های ورودی و هدف، آموزش دیده و قادر به پیش‌بینی شرایط بر اساس ورودی‌های جدید است (رمضانیان پور و همکاران، ۱۳۹۱). بسیاری از مطالعات انجام گرفته در زمینه روابط قدیمی پیش‌بینی کننده هزینه پروژه در روش EVM و تحقیقاتی دیگر که در آن‌ها از پارامترهای این روش، در ساخت یک مدل و یا یک رابطه جدید پیش‌بینی استفاده شده است و همچنین بسیاری از پژوهش‌های انجام گرفته در زمینه پیش-بینی هزینه پروژه‌های ساخت با استفاده از روش‌های غیر از روش EVM مورد بررسی قرار گرفته‌اند؛ که برخی از آن‌ها در بخش مروری بر ادبیات موضوع شرح داده می‌شوند. با توجه به مطالعات انجام گرفته در زمینه استفاده از روش EVM برای تخمین هزینه پروژه، این نتیجه گرفته می‌شود که روش مدیریت ارزش حاصله در حال حاضر نیز یک روش کارا و مؤثر برای پیش‌بینی هزینه تکمیل پروژه به حساب می‌آید و تحقیقات در زمینه استفاده از این روش در تخمین هزینه همچنان ادامه دارد. همچنین با بررسی پژوهش‌های انجام شده، این نتیجه گرفته شده است که مدل‌ها و روش‌های ارائه شده تا این زمان، کمینه دارای یکی از ویژگی‌هایی مانند پیچیده بودن، نیاز به برنامه‌نویسی جهت ساخت آن‌ها، وابستگی به نوع پروژه، وابستگی به واحد پول کشورها و یا وابستگی به واحد زمان، عدم توانایی انجام پیش‌بینی در هر مقطع زمانی مشخص از پروژه (فقط داشتن توانایی پیش‌بینی هزینه نهایی در ابتدای پروژه) و عدم دقت بالا در تخمین هستند. در این مقاله سعی بر ساختن مدلی است که ویژگی-های فوق‌الذکر را نداشته باشد (همانند روابط روش ارزش حاصله که این ویژگی‌ها را ندارند). بعلاوه، در تخمین هزینه تکمیل پروژه‌هایی که کل هزینه نهایی آن‌ها از بودجه مصوبشان بیشتر می‌شود، عملکرد دقیق‌تری نسبت به این روابط داشته باشد. علاوه بر این، تنها از پارامترهای اصلی و شاخص‌های عملکردی این روش به‌عنوان متغیرهای ورودی

[1] Rosenfeld
[2] Pressoir
[3] Sambasivan & Soon
[4] Kim & Reinschmidt
[5] Earned Value Management
[6] Vandevoorde & Vanhoucke

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.23225882.1395.3.10.5.7]

این مدل استفاده شده باشد. شایان ذکر است که تاکنون مشاهده نشده است که از جعبه‌ابزار شبکه‌های عصبی مصنوعی در نرم‌افزار MATLAB به‌منظور ساخت یک مدل تخمین هزینه تکمیل پروژه‌های عمرانی با متغیرهای ورودی به‌دست‌آمده از ترکیبات پارامترهای اصلی روش EVM استفاده شده باشد.

چریستینسن[1] (۱۹۹۳) تحقیقات جامعی را در زمینه تخمین هزینه پروژه با استفاده از روش مدیریت ارزش حاصله انجام داده و با بررسی نتایج دیگر محققان، نتایجی را گرفته است. برخی از نتایج گرفته شده عبارت‌اند از: ۱- تحقیقات نشان می‌دهند که نمی‌توان گفت که یک رابطه در همه حالات، بهترین است، ۲- دقت مدل‌های شاخص عملکردی تابعی از سیستم، مرحله و فاز پروژه است، ۳- در تخمین هزینه، شاخص عملکرد هزینه[2] (CPI) اهمیت بیشتری نسبت به شاخص عملکرد برنامه زمان‌بندی[3] (SPI) دارد، ۴- در مراحل ابتدایی پروژه، روابطی که بر اساس شاخص هزینه زمان‌بندی شده[4] (SCI) و در مراحل پایانی پروژه، روابطی که بر اساس CPI هستند، پیش‌بینی کننده بهتری هستند، ۵- از میان روابط پیش‌بینی کننده دارای وزن، روابطی که در آن‌ها شاخص SPI دارای وزن ۰/۲ است، بهترین عملکرد را در تخمین دارند. ناگریچا[5] (۲۰۰۲) نیز در طی تحقیقی به بررسی میزان دقت روابط پیش‌بینی کننده هزینه پرداخته است. او این نتیجه را گرفته است که شاخص CPI عامل مناسبی برای پیش‌بینی هزینه تکمیل پروژه است.

چنگ[6] و همکاران (۲۰۱۰a) از الگوریتم ژنتیک با آشفتگی سریع و ماشین بردار پشتیبان برای ساخت مدلی به نام مدل استنتاجی ماشین بردار پشتیبان تکامل‌یافته[7] (ESIM) استفاده کرده‌اند. این مدل قادر است که هزینه تکمیل پروژه‌های ساخت را با دقتی بالاتر نسبت به روابط EVM برآورد کند. نویسندگان مقاله از ده پارامتر مؤثر بر هزینه پروژه‌های ساخت که پنج پارامتر از ده پارامتر جزء پارامترهای اصلی و شاخص‌های عملکردی روابط EVM هستند، به‌عنوان متغیرهای ورودی مدل استفاده کرده‌اند. در مقاله مذکور، از اطلاعات ۱۱ و دو پروژه ساخت ساختمان‌های بتن مسلح به ترتیب جهت آموزش و آزمایش مدل استفاده شده است. از اطلاعات هر ۱۳ پروژه نیز جهت مقایسه هشت رابطه از روابط پیش‌بینی کننده روش EVM با مدل ارائه شده استفاده شده است. نتایج مقایسه نشان داده‌اند که خطای پیش‌بینی مدل ESIM از خطای پیش‌بینی روابط EVM کمتر است. در انتها ذکر این نکته ضروری است که کلیه متغیرهای ورودی و متغیر خروجی مدل به‌صورت ضریب و فاقد واحد هستند. چنگ و همکاران (۲۰۱۲) این بار علاوه بر الگوریتم ژنتیک با آشفتگی سریع و ماشین بردار پشتیبان، از منطق فازی نیز در ساخت مدلی دیگر به نام مدل استنتاجی ماشین بردار پشتیبان فازی تکامل یافته[8] (EFSIM) برای پیش‌بینی هزینه تکمیل پروژه‌های ساخت استفاده کرده‌اند. نتایج حاصل از مقایسه مدل EFSIM با مدل ESIM و با هشت رابطه از روابط پیش‌بینی کننده روش EVM نشان داده‌اند که خطای پیش‌بینی مدل EFSIM از همه کمتر است و این مدل قادر است که هزینه را با خطای بسیار کمی تخمین بزند.

ناربیو و دی‌مارکو[9] (۲۰۱۴) به‌منظور بهبود دقت پیش‌بینی روابط پیش‌بینی کننده هزینه تکمیل پروژه‌های ساخت در روش ارزش حاصله، یک روش جدید را با استفاده از ادغام یک مدل پیش‌رونده و روش زمان‌بندی کسب شده[10] (ES) ارائه کرده‌اند. در مقاله مذکور، ابتدا چهار مدل پیش‌رونده Logistic، Gompertz، Bass و Weibull در تخمین هزینه ۹ پروژه ساخت با هم مقایسه شده‌اند. نتایج مقایسه نشان از برتری مدل Gompertz در تخمین هزینه داده‌اند. سپس سه مدل GM base، CPI-based و GM ES-based در تخمین هزینه همان ۹ پروژه با هم مقایسه شده‌اند. شایان ذکر است که مدل دوم، همان رابطه پیش‌بینی کننده هزینه در روش EVM است که در آن از شاخص CPI برای تخمین استفاده می‌گردد. مدل سوم نیز همان روش ترکیبی ارائه شده است که در آن، یک ضریب بر اساس روابط روش ES ساخته شده و از آن ضریب در رابطه پیش‌بینی کننده مدل GM استفاده شده

[1] Christensen
[2] Cost Performance Index
[3] Schedule Performance Index
[4] Schedule Cost Index
[5] Nagrecha
[6] Cheng
[7] Evolutionary Support Vector Machine Inference Model
[8] Evolutionary Fuzzy Support Vector Machine Inference
[9] Narbaev and De Marco
[10] Earned Schedule

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.23225882.1395.3.10.5.7]

است. نتایج مقایسه نشان از دقت بالاتر روش ترکیبی GM-ES نسبت به دو روش دیگر داده‌اند.

چنگ و همکاران (۲۰۱۰b) از چهار روش مبتنی بر هوش مصنوعی (شبکه عصبی مصنوعی، شبکه عصبی با مرتبه بالا، منطق فازی و الگوریتم ژنتیک) در ساخت مدلی به نام شبکه ترکیبی عصبی فازی تکامل یافته[1] (EFHNN) برای تخمین هزینه‌های پروژه‌های ساختمان‌سازی استفاده کرده‌اند. در مقاله مذکور، ده متغیر کیفی و کمی مؤثر بر هزینه پروژه‌های ساختمان‌سازی، به‌عنوان متغیرهای ورودی مدل در نظر گرفته شده‌اند. متغیر خروجی مدل نیز هزینه نهایی پروژه برحسب دلار جدید تایوان[2] در هر مترمربع (NTD/m^2) در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که در ساخت و آزمایش مدل از اطلاعات ۲۸ پروژه ساخت ساختمان‌های بتن مسلح (۲۳ پروژه برای آموزش و پنج پروژه برای آزمایش مدل) استفاده شده است. نتایج حاصل از آزمایش مدل نشان داده‌اند که خطای مدل ارائه شده در تخمین هزینه، به‌طور میانگین برابر با ۱۰٪ بوده است که این امر نشان از دقت بالای مدل EFHNN دارد.

لی[3] و همکاران (۲۰۱۲) به ارائه دو مدل جهت پیش‌بینی هزینه پروژه‌های روکش مجدد آسفالت[4]، با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی پرداخته‌اند. در پژوهش مذکور، برای هر یک از دو روش قیمت‌گذاری قرارداد (روش بهای واحد و روش قیمت مقطوع)، یک مدل ساخته شده است. برای ساخت و آزمایش دو مدل روش‌های بهای واحد و قیمت مقطوع، به ترتیب از اطلاعات ۱۰۳ و ۶۸ پروژه روکش مجدد آسفالت (۶۰ و ۳۸ پروژه در مجموعه آموزشی، ۲۳ و ۱۴ پروژه در مجموعه ارزیابی و ۲۰ و ۱۶ پروژه در مجموعه آزمایشی) استفاده شده است. متغیرهای ورودی مدل‌ها عبارت‌اند از: تعداد مناقصه‌گران، اندازه پروژه، زمان پروژه و سال واگذاری پروژه. ضریب همبستگی بین مقادیر خروجی پیش‌بینی شده و واقعی برای مجموعه آزمایشی دو مدل روش‌های بهای واحد و قیمت مقطوع به ترتیب برابر با ۰/۸۱۰ و ۰/۶۰۵ به‌دست آمده است. همچنین خطای میانگین برای مجموعه‌های آزمایشی دو مدل، به ترتیب برابر با ۴۴۴۴۹ و ۳۶۱۶۹ به‌دست‌آمده است. نتایج نشان می‌دهد که دقت پیش‌بینی دو مدل روش‌های بهای واحد و قیمت مقطوع، به ترتیب در حد خوب و متوسط است.

حائری[5] و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (نوع پس‌انتشار[6])، مدلی را برای پیش‌بینی هزینه خدمات مهندسی (طراحی + نظارت) در پروژه‌های ساخت عمومی ارائه کرده‌اند. آن‌ها ۵ عامل از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر هزینه‌های مذکور را شناسایی کرده و از آن‌ها به‌عنوان متغیرهای ورودی مدل شبکه عصبی استفاده کرده‌اند. شایان ذکر است که یکی از متغیرهای ورودی، نوع پروژه است که به ۴ نوع: ساختمان‌سازی، حمل‌ونقل، آب و فاضلاب و پروژه‌های توسعه راه تقسیم‌بندی شده است. متغیر خروجی مدل نیز هزینه خدمات مهندسی برحسب درصد هزینه ساخت در نظر گرفته شده است. این نکته باید ذکر گردد که در ساخت و آزمایش مدل از اطلاعات ۲۲۴ پروژه ساخت (۵۴ پروژه برای آزمایش مدل و بقیه برای آموزش شبکه) استفاده شده است. در انتها نیز خطای آموزش شبکه برابر با ٪۲۶/۳ و خطای آزمایش مدل برابر با ٪۲۸/۲ به‌دست‌آمده است؛ که این امر نشان‌دهنده عملکرد ضعیف مدل ارائه شده در تخمین هزینه است.

مواد و روش‌ها

روش مدیریت ارزش حاصله

پارامترهای اصلی روابط پیش‌بینی کننده هزینه تکمیل پروژه[7] (CAC) در روش ارزش حاصله عبارت‌اند از: هزینه واقعی[8] (AC)، ارزش حاصله (EV)، ارزش برنامه‌ریزی شده[9] (PV) و بودجه مصوب پروژه[10] (BAC). شایان ذکر است که سه پارامتر اول در هر مقطع زمانی مشخص از پروژه (روز، هفته، ماه و غیره) دارای یک مقدار هستند؛ که مقدار آن‌ها در هر مقطع زمانی به‌صورت تجمعی محاسبه می‌شود. PV بودجه‌ای است که برای انجام کار برنامه‌ریزی شده، تخصیص داده می‌شود. مقدار این پارامتر از ضرب مقدار BAC در درصد تکمیل برنامه‌ای به دست می‌آید. EV نیز میزان کاری است که تاکنون و یا یک تاریخ مشخص بر اساس پیشرفت واقعی از PV انجام

[1] Evolutionary Fuzzy Hybrid Neural Network
[2] New Taiwan Dollars
[3] Lhee
[4] Asphalt Resurfacing Projects
[5] Hyari
[6] Back-Propagation Network
[7] Cost At Completion
[8] Actual Cost
[9] Planned Value
[10] Budget At Completion

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.23225882.1395.3.10.5.7]

شده است. مقدار این پارامتر از ضرب مقدار BAC در درصد تکمیل واقعی به دست می‌آید. از چهار پارامتر اصلی، شاخص‌هایی به نام شاخص‌های عملکردی ساخته می‌شوند؛ که از آن‌ها در روابط پیش‌بینی کننده زمان اتمام و هزینه تکمیل یک پروژه در هر مقطع زمانی مشخص از آن پروژه استفاده می‌گردد. شاخص‌های عملکردی مورد استفاده در روابط پیش‌بینی کننده عبارت‌اند از: شاخص عملکرد برنامه زمان‌بندی، شاخص عملکرد هزینه و شاخص هزینه زمان‌بندی شده. SPI نشان‌دهنده کارایی گروه پروژه در استفاده از زمان پروژه است. این شاخص از رابطه SPI=EV/PV به دست می‌آید. CPI نیز نشان‌دهنده کارایی گروه پروژه در استفاده از منابع مالی است. این شاخص از رابطه CPI=EV/AC به دست می‌آید. SCI نیز از رابطه SCI=SPI×CPI به دست می‌آید (پاکدل، ۱۳۸۴).

چندین معادله مختلف بر اساس روش ارزش حاصله برای تخمین هزینه تکمیل پروژه ارائه شده‌اند. برای مثال، در مقالات چنگ و همکاران (۲۰۱۰a) و چنگ و همکاران (۲۰۱۲) از روابط EAC_1 تا EAC_6 برای مقایسه مدل ارائه شده در مقاله با روابط پیش‌بینی هزینه تکمیل پروژه در روش ارزش حاصله استفاده شده است. روابط (۱) تا (۶)، این روابط را نشان می‌دهند:

$$EAC_1 = AC + (\frac{BAC - EV}{1}) \quad (۱)$$

$$EAC_2 = AC + (\frac{BAC - EV}{CPI}) \quad (۲)$$

$$EAC_3 = AC + (\frac{BAC - EV}{SPI}) \quad (۳)$$

$$EAC_4 = AC + (\frac{BAC - EV}{SCI}) \quad (۴)$$

$$EAC_5 = AC + (\frac{BAC - EV}{0.2SPI + 0.8CPI}) \quad (۵)$$

$$EAC_6 = \frac{BAC}{SPI} \quad (۶)$$

که در آن‌ها EAC، هزینه تکمیل پیش‌بینی شده پروژه است. در این مقاله، جهت مقایسه مدل شبکه عصبی با روابط روش EVM، از روابط (۱) تا (۶) استفاده خواهد شد. این نکته باید ذکر گردد که از درصد پیشرفت فیزیکی پروژه به‌عنوان درصد تکمیل استفاده می‌شود. درصد پیشرفت فیزیکی پروژه، برابر است با درصد پیشرفت کار مطابق گزارش‌های ماهانه. ضمناً BAC برابر است با مبلغ اولیه پیمان به اضافه سایر هزینه‌های پیش‌بینی شده مانند تملک و غیره. CAC نیز برابر است با هزینه تمام شده شامل مبلغ نهایی پیمانکار و سایر هزینه‌های کارفرما.

شبکه‌های عصبی مصنوعی

روش‌شناسی

شبکه‌های عصبی مصنوعی[1] (ANN) از عناصر عملیاتی ساده‌ای به‌صورت موازی ساخته می‌شوند. این عناصر از سامانه‌های عصبی زیستی الهام گرفته شده‌اند. در طبیعت، ساختار شبکه‌های عصبی از طریق نحوه اتصال بین اجزاء تعیین می‌شود؛ بنابراین می‌توان یک ساختار مصنوعی به تبعیت از شبکه‌های طبیعی ساخت و با تنظیم مقادیر هر اتصال تحت عنوان وزن اتصال، نحوه ارتباط بین اجزای آن را تعیین کرد. پس از تنظیم یا همان آموزش شبکه عصبی، اعمال یک ورودی خاص به آن، منجر به دریافت پاسخی خاص می‌شود. روش کار شبکه عصبی به این شکل است که بر مبنای تطابق و هم‌سنجی بین ورودی و هدف سازگار می‌شود تا اینکه خروجی و هدف بر هم منطبق گردند. با استفاده از دانش برنامه‌نویسی می‌توان ساختاری داده‌ای طراحی کرد که همانند یک نورون عمل نماید. سپس با ایجاد شبکه‌ای از این نورون‌های مصنوعی و ایجاد یک الگوریتم آموزش برای شبکه و اعمال این الگوریتم به شبکه، آن را آموزش داد. عموماً تعداد زیادی از زوج‌های ورودی و خروجی بکار گرفته می‌شوند تا در این روند که از آن تحت عنوان یادگیری نظارت شده[2] یاد می‌شود، آموزش شبکه انجام شود (رمضانیان پور و همکاران، ۱۳۹۱).

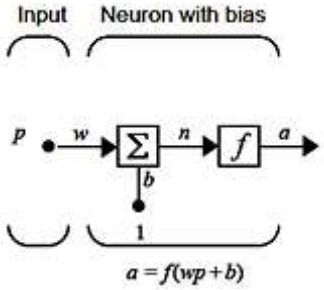
نورون

نورون‌ها اجزای اصلی شبکه‌های عصبی هستند؛ که اساساً از سه بخش وزن، Bias و تابع انتقال[3] تشکیل می‌شوند. شکل (۱)، یک نورون ساده با یک ورودی را نشان می‌دهد. ورودی P به نورون اعمال شده و با ضرب در وزن W، وزن‌دار می‌شود. با اضافه کردن Bias (b) به ساختار نورون، نورون Bias دار ایجاد می‌شود. ورودی Bias یک مقدار ثابت برابر یک است. مقدار Bias با حاصل‌ضرب W در P جمع شده و به‌عنوان ورودی

[1] Artificail Neural Networks
[2] Supervised Learning
[3] Transfer Function

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.23225882.1395.3.10.5.7]

(n) به تابع انتقال f اعمال می‌شود و درنتیجه، خروجی نهایی (a) حاصل می‌گردد (کیا، ۱۳۹۱).



شکل (۱): یک نورون ساده با یک ورودی (کیا، ۱۳۹۱).

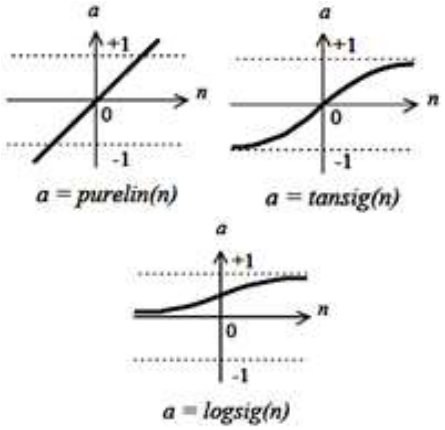
شبکه عصبی پس‌انتشار

شبکه عصبی پس‌انتشار از سادگی و قابلیت تعمیم خوبی برخوردار است. حائری و همکاران (۲۰۱۵) دلیل استفاده از شبکه مذکور در مقاله خود را جمله فوق و استفاده از این نوع شبکه توسط نویسندگان بسیاری از مقالات علمی معتبر، عنوان و به برخی از این مقالات معتبر اشاره کرده‌اند. در این مقاله نیز برای تخمین هزینه تکمیل پروژه‌های ساخت از شبکه عصبی پس‌انتشار استفاده خواهد شد.

شبکه پس‌انتشار از سه لایه تشکیل شده است؛ که این لایه‌ها عبارت‌اند از: لایه ورودی، لایه پنهان و لایه خروجی؛ اما بعضی اوقات نیاز است که تعداد لایه‌های پنهان به دو، سه و یا تعداد بیشتری لایه افزایش یابند؛ که در این صورت تعداد کل لایه‌های شبکه، بیش از سه لایه خواهد شد. تعداد نورون‌های موجود در لایه ورودی برابر با تعداد متغیرهای ورودی و تعداد نورون‌های موجود در لایه خروجی برابر با تعداد متغیرهای خروجی است؛ اما متأسفانه هیچ قاعده مشخص و دقیقی وجود ندارد که تعداد لایه‌های پنهان و تعداد نورون‌های موردنیاز در این لایه‌ها را تعیین کند. هیچ روش دقیق و واضحی برای تنظیم سایر پارامترهای شبکه نیز وجود ندارد. یکی از روش‌های تعیین تعداد لایه‌های پنهان و تعداد نورون موردنیاز در هر لایه پنهان و همچنین تنظیم پارامترهای شبکه، روش معروف آزمون‌وخطا است (حائری و همکاران، ۲۰۱۵). در بسیاری از مقالات علمی معتبر که در مقاله حائری و همکاران (۲۰۱۵) به آن‌ها اشاره شده است، از روش آزمون‌وخطا برای تنظیم پارامترهای شبکه استفاده شده است. در این مقاله نیز از این روش برای تعیین تعداد لایه‌های پنهان و تعداد نورون موردنیاز در هر لایه پنهان استفاده می‌شود.

توابع انتقال

در شبکه پس‌انتشار از توابع Linear (purelin)، Log-Sigmoid (logsig) و Tan-Sigmoid (tansig) به‌عنوان توابع انتقال استفاده می‌شود. شکل (۲) این توابع را نشان می‌دهد. تابع Linear (purelin) همان مقدار ورودی (n) را به‌عنوان خروجی (a) برمی‌گرداند. تابع Log-Sigmoid (logsig)، مقادیر ورودی (n) را دریافت کرده و یک مقدار خروجی (a) بین صفر و یک تولید می‌نماید. تابع Tan-Sigmoid (tansig) نیز مقادیر ورودی (n) را دریافت کرده و یک مقدار خروجی (a) بین (+۱ و -۱) تولید می‌نماید (کیا، ۱۳۹۱، حائری و همکاران، ۲۰۱۵).



شکل (۲): توابع انتقال مورد استفاده در BPN (کیا، ۱۳۹۱).

شبکه پس‌انتشار با معماری Feed-forward

شبکه Feed-forward اغلب دارای یک یا چند لایه پنهان از نورون‌هایی با تابع انتقال tansig و یک لایه خروجی از نورون‌هایی با تابع انتقال purelin است. شایان ذکر است که مرسوم‌ترین معماری شبکه پس‌انتشار، این نوع شبکه چند لایه است؛ که در ارتباط با کاربردهای تخمین توابع (رگرسیون) از عملکرد خوب و مناسبی برخوردار است (کیا، ۱۳۹۱). در این مقاله، برای تخمین هزینه پروژه‌های ساخت، از شبکه Feed-forward استفاده می‌شود.

الگوریتم آموزش شبکه

در کتاب کیا (۱۳۹۱) از سه مسئله متفاوت برای مقایسه سرعت و کارایی ۹ الگوریتم آموزش در تخمین توابع استفاده شده است. بدین گونه که ۳ شبکه Feed-forward با الگوریتم‌های مختلف آموزش داده شده‌اند و چند نتیجه به‌دست‌آمده است. یکی از نتایج به‌دست‌آمده، این است که

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.23225882.1395.3.10.5.7]

عموماً در مسائلی که تعداد کمی متغیر، به‌عنوان متغیرهای ورودی شبکه در نظر گرفته می‌شوند و شبکه در اندازه کوچک و متوسط است، الگوریتمی که دارای سرعت، دقت و کارایی بالایی در آموزش شبکه است، الگوریتم Levenberg-Marquardt (trainlm) است؛ اما درصورتی‌که تعداد متغیرهای ورودی زیادی برای شبکه وجود داشته باشند و شبکه در اندازه بزرگ باشد، هم سرعت و کارایی این الگوریتم کاهش می‌یابد و هم مشکل محدودیت حافظه کامپیوتر برای انجام عملیات به وجود می‌آید. در این مقاله، با توجه به کم بودن تعداد متغیرهای ورودی و متوسط بودن اندازه شبکه، از الگوریتم trainlm برای آموزش شبکه استفاده می‌شود.

معیارهای ارزیابی دقت مدل

ضریب تعیین[1] (R^2) یکی از رایج‌ترین معیارها برای سنجش دقت مدل‌های پیش‌بینی و مقایسه آن‌ها با همدیگر است. R^2 معیاری مناسب و قابل‌اعتماد برای ارزیابی عملکرد یک شبکه است، اما کافی نیست. برای ارزیابی کامل عملکرد شبکه باید از معیاری برای محاسبه خطای پیش‌بینی شبکه نیز استفاده شود. خطایی که پژوهشگران بارها از آن، به‌منظور اندازه‌گیری خطای مدل‌های پیش‌بینی و مقایسه آن‌ها با همدیگر استفاده کرده‌اند، خطای میانگین مربعات[2] (MSE) است. در مقاله جعفرزاده[3] و همکاران (۲۰۱۴) علاوه بر بیان جملات فوق، به بسیاری از مقالات معتبر که نویسندگان آن‌ها از این دو معیار جهت ارزیابی دقت مدل ارائه شده خود استفاده کرده‌اند نیز اشاره شده است.

R^2 یک مقدار بین صفر و یک است؛ که هر چه به یک نزدیک‌تر شود، دقت مدل ساخته شده، بیشتر و هر چه به صفر نزدیک‌تر شود، دقت مدل ساخته شده کمتر می‌شود. شایان ذکر است که جذر ضریب تعیین را ضریب همبستگی[4] (R) گویند. این ضریب نیز یک مقدار بین صفر و یک است. خطای میانگین مربعات (MSE) نیز هر چه کوچک‌تر باشد، نشان‌دهنده کمتر بودن فاصله هزینه واقعی با هزینه پیش‌بینی شده است. پس هر چه MSE کوچک‌تر باشد، بهتر است و اگر صفر باشد، یعنی خطایی رخ نداده است. R و MSE از طریق روابط (۷) و (۸) محاسبه می‌شوند:

$$R = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}\left[(Y_{A_i} - Y_{A_i m})(Y_{P_i} - Y_{P_i m})\right]}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^{n}(Y_{A_i} - Y_{A_i m})^2\right]\left[\sum_{i=1}^{n}(Y_{P_i} - Y_{P_i m})^2\right]}} \right] \quad (۷)$$

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_{A_i} - Y_{P_i})^2}{n} \quad (۸)$$

که در آن‌ها، Y_{A_i} مقدار واقعی متغیر خروجی نمونه i ام [Target(i)]، Y_{P_i} مقدار پیش‌بینی شده شبکه برای متغیر خروجی نمونه i ام [Output(i)]، $Y_{A_i m}$ میانگین مقادیر Y_{A_i} ، $Y_{P_i m}$ میانگین مقادیر Y_{P_i} و n تعداد نمونه‌های موجود در یک مجموعه است (جعفرزاده و همکاران، ۲۰۱۴). با توجه به مطالب گفته شده، در این مقاله نیز برای سنجش دقت مدل پیش‌بینی هزینه، تعیین شبکه بهینه برای ساخت مدل (تعیین تعداد بهینه لایه‌های پنهان و تعداد بهینه نورون‌های هر لایه پنهان) و مقایسه مدل با روابط EVM، از دو معیار R و MSE استفاده می‌شود.

ارائه نتایج

جمع‌آوری داده‌ها

در این مقاله، برای ساخت و آزمایش مدل پیش‌بینی هزینه تکمیل پروژه‌های ساخت، از اطلاعات ۲۱ پروژه واقعی پایان یافته با مدت زمان مجموعاً ۷۱۹ ماه استفاده می‌شود. شایان ذکر است که تمامی پروژه‌ها در ایران اجرا شده‌اند. در ساخت مدل، از اطلاعات ۱۷ پروژه با مدت زمان مجموعاً ۵۴۱ ماه و برای آزمایش مدل نیز از اطلاعات ۴ پروژه با مدت زمان مجموعاً ۱۷۸ ماه استفاده می‌شود. پروژه‌ها از لحاظ نوع، دارای تنوع زیادی هستند؛ به‌نحوی‌که از انواع پروژه‌های عمرانی شامل دو پروژه اجرای عملیات تکمیلی ساخت سد در استان‌های خراسان رضوی و آذربایجان شرقی – پروژه‌های راه‌سازی از قبیل ساخت آزادراه و جاده – پروژه‌های ساختمان‌سازی – پروژه‌های آب و فاضلاب از قبیل احداث خط لوله، کانال و تونل انتقال آب، احداث شبکه آبیاری و زهکشی و ساخت فاضلاب‌رو – پروژه آماده‌سازی و محوطه‌سازی یک شهر جدید و پروژه‌های ساخت سازه‌های صنعتی مانند سیلوی کلینکر کارخانه

[1] Determination Coefficient
[2] Mean Squared Error
[3] Jafarzadeh
[4] Correlation Coefficient

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.23225882.1395.3.10.5.7]

تولید سیمان که در بین مهروموم‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۳ اجرا شده‌اند، در آموزش و آزمایش شبکه استفاده می‌شود. کمترین و بیشترین هزینه تکمیل پروژه‌ها، به ترتیب برابر با ۸۹۰۰ و ۹۰۰۰۰۰۰ میلیون ریال است. کمترین و بیشترین مدت زمان واقعی تمامی پروژه‌ها نیز به ترتیب برابر با ۸ و ۹۶ ماه است.

ساخت و آزمایش مدل

در این مقاله، به‌منظور جلوگیری از وابستگی مدل شبکه عصبی به نوع پروژه، واحد پول کشورها و واحد زمان، از متغیرهایی که به‌صورت ضریب و فاقد واحد هستند، به عنوان متغیرهای ورودی و خروجی مدل استفاده می‌شود. دو پارامتر درصد پیشرفت فیزیکی واقعی و درصد پیشرفت فیزیکی برنامه‌ریزی شده که برای هر پروژه و به‌صورت تجمعی و ماهانه محاسبه شده‌اند و با تقسیم بر عدد ۱۰۰، به اعدادی در محدوده [۱ و ۰) تبدیل شده‌اند، دو متغیر از شش متغیر ورودی مدل هستند. AC/BAC یکی دیگر از متغیرهای ورودی است. شاخص‌های SPI، CPI و SCI نیز که برای هر پروژه و به‌صورت ماهانه محاسبه شده‌اند، سه متغیر ورودی دیگر مدل هستند. نسبت هزینه تکمیل پروژه (CAC) به بودجه مصوب پروژه (BAC) نیز به‌عنوان متغیر خروجی مدل در نظر گرفته می‌شود. لازم به ذکر است که CAC/BAC در محدوده $1 \le (CAC / BAC) \le 2.104$ قرار دارد. ذکر این نکته مهم نیز ضروری است که از جعبه‌ابزار شبکه‌های عصبی در نرم‌افزار MATLAB R2014a برای مدل‌سازی استفاده می‌شود؛ بنابراین دیگر نیازی به استفاده از برنامه‌نویسی برای ساخت مدل و آزمایش آن با داده‌های جدید نیست و بدین ترتیب یکی از مهم‌ترین اهداف این مقاله که ساخت مدلی ساده و معرفی راهکاری جهت استفاده آسان از آن است، تأمین می‌گردد.

در جعبه‌ابزار شبکه‌های عصبی در نرم‌افزار MATLAB، کلیه داده‌های ورودی، به سه مجموعه به نام‌های مجموعه آموزشی، مجموعه ارزیابی و مجموعه آزمایشی تقسیم‌بندی می‌شوند؛ که تقسیم‌بندی به‌طور تصادفی و توسط نرم‌افزار انجام می‌پذیرد. شایان ذکر است که از مجموعه ارزیابی در راستای حفظ عمومیت شبکه و جلوگیری از بیش‌برازش[1] آن استفاده می‌شود. لازم به توضیح است که بیش‌برازش پدیده‌ای است که در آن، نقاط آموزشی به‌خوبی برازش می‌شوند، اما منحنی برازش بین این نقاط به‌شدت نوسان می‌کند. در نرم‌افزار MATLAB R2014a، مقادیر پیش‌فرض برای تعداد داده‌های موجود در مجموعه‌های آموزشی، ارزیابی و آزمایشی، به ترتیب برابر با ۷۰٪، ۱۵٪ و ۱۵٪ تعداد کل داده‌ها است (کیا، ۱۳۹۱). در این مقاله، تغییری در مقادیر پیش‌فرض نرم‌افزار برای تقسیم‌بندی داده‌ها در مجموعه‌ها ایجاد نمی‌شود؛ بنابراین در مجموعه‌های آموزشی، ارزیابی و آزمایشی، به ترتیب ۳۷۹ نمونه، ۸۱ نمونه و ۸۱ نمونه (مجموعاً ۵۴۱ نمونه (ماه)) قرار می‌گیرند. در ادامه، باید سایر تنظیمات شبکه، ازجمله نوع و معماری شبکه، الگوریتم آموزش شبکه، معیار اندازه‌گیری خطا، توابع انتقال لایه‌های پنهان و خروجی، تعداد لایه‌های پنهان، تعداد نورون‌های موجود در هر لایه پنهان و غیره انجام گیرد. ذکر این نکته مهم ضروری است که کلیه پارامترهایی از شبکه که باید تنظیم شوند و در این مقاله اشاره‌ای به آن‌ها نشده است، بر روی مقادیر پیش‌فرض نرم‌افزار باقی مانده‌اند. پس از تنظیم کردن پارامترهای شبکه در نرم‌افزار، روال آموزش شبکه با بیشینه ۱۰۰۰ تکرار آغاز می‌گردد. پس از توقف آموزش شبکه نیز نمودارهای نتایج حاصل از مدل‌سازی نمایش داده می‌شوند. شایان ذکر است که برای تعیین شبکه عصبی بهینه (تعیین تعداد بهینه لایه‌های پنهان و تعداد بهینه نورون‌های موجود در هر لایه پنهان) با استفاده از روش آزمون‌وخطا و بر اساس معیارهای R و MSE، ابتدا شبکه‌هایی با یک، دو و سه لایه پنهان و با تعداد نورون‌های مساوی در لایه‌های پنهان آموزش داده شده‌اند و سپس نتایج حاصل از آموزش آن‌ها با یکدیگر مقایسه شده است. نتایج حاصل از مقایسه نشان می‌دهند که شبکه عصبی بهینه، شبکه‌ای با ساختار ۱-۶-۶ است؛ یعنی تعداد نورون‌ها در لایه ورودی برابر با شش، تعداد بهینه لایه‌های پنهان برابر با ۱، تعداد بهینه نورون‌های موجود در لایه پنهان برابر با شش و تعداد نورون‌ها در لایه خروجی برابر با یک است. نمودار آموزش شبکه عصبی بهینه و نمودار عملکرد آموزش، به ترتیب در شکل (۳- الف) و در شکل (۳- ب) و نمودارهای رگرسیونی حاصل از آموزش شبکه، در شکل (۴) نشان داده شده‌اند.

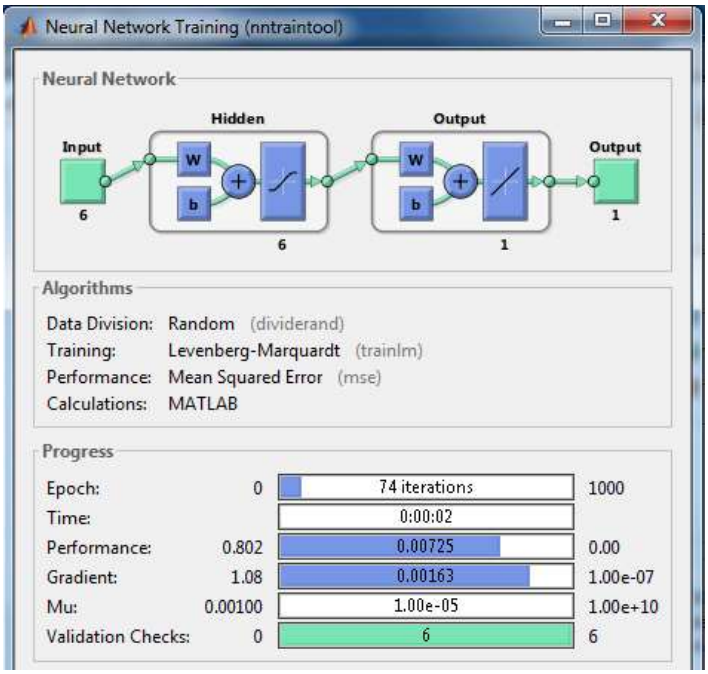
یکی از شروط توقف آموزش شبکه این است که روال آموزش شبکه درصورتی‌که خطای مجموعه ارزیابی در شش تکرار

[1] Over Fitting

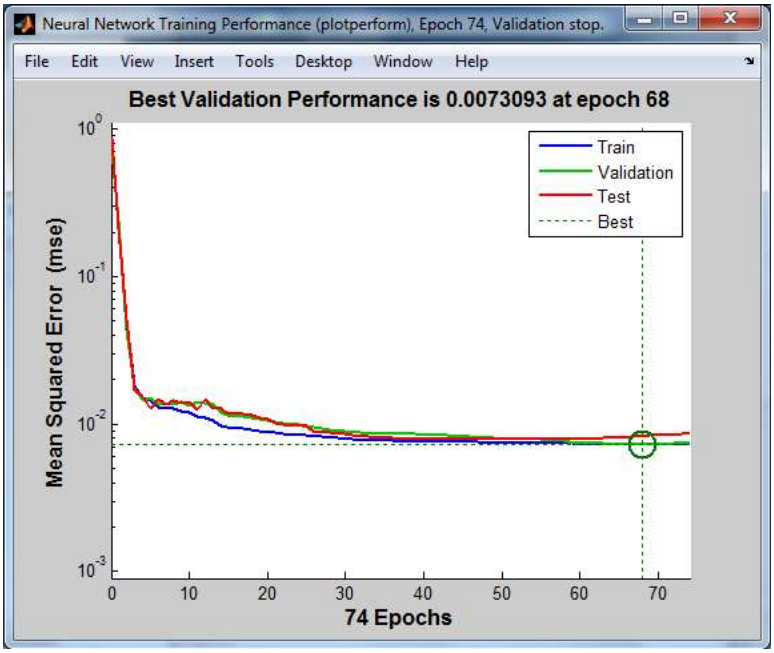
[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1395.3.10.5.7]

متوالی افزایش یابد، متوقف می‌شود؛ به‌این‌ترتیب از بیش‌برازش شبکه بر روی مجموعه آموزشی جلوگیری می‌شود. با توجه به نمودار عملکرد، نتایج حاصل از آموزش شبکه در صورت برآورده شدن سه شرط کوچک بودن مقدار نهایی خطای میانگین مربعات، مشابه بودن رفتار و خصوصیات خطاهای مجموعه‌های ارزیابی و آزمایشی و رخ ندادن بیش‌برازش تا تکراری که کمترین MSE برای مجموعه ارزیابی به دست می‌آید، مطلوب ارزیابی می‌شوند (کیا، ۱۳۹۱). آموزش شبکه پس از دو ثانیه و ۷۴ تکرار متوقف شده است؛



(الف)

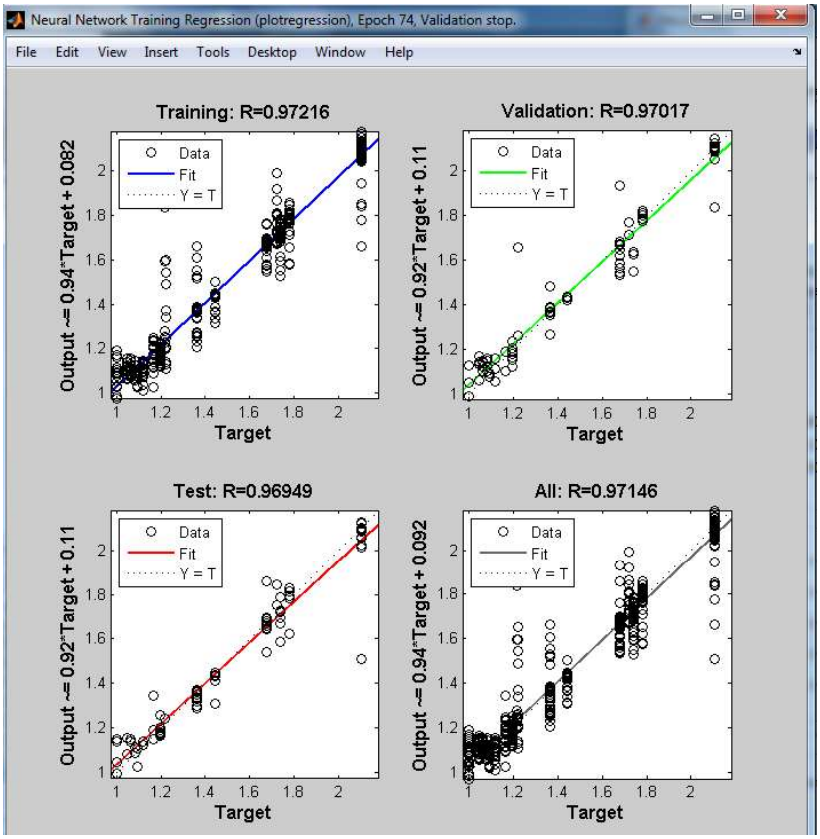


(ب)

شکل (۳): (الف) نمودار آموزش شبکه بهینه در MATLAB، (ب) نمودار عملکرد آموزش شبکه بهینه در MATLAB

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1395.3.10.5.7]



شکل (۴): نمودارهای رگرسیونی حاصل از آموزش شبکه عصبی بهینه در MATLAB

که با توجه به شکل (۳- ب)، کمترین MSE برای مجموعه ارزیابی برابر با ۰/۰۰۷۳۰۹ است که در تکرار ۶۸ به‌دست‌آمده است. با بررسی شکل (۳- ب) می‌توان این نتیجه را گرفت که سه شرط لازم برای مطلوب بودن نتایج حاصل از آموزش شبکه برآورده شده است. با بررسی شکل (۴) نیز اطمینان حاصل می‌شود که آموزش شبکه به‌طور صحیح و دقیقی انجام گرفته است؛ زیرا ضرایب همبستگی مدل، همگی نزدیک به یک هستند و این بدان معناست که مقادیر Output بسیار نزدیک به مقادیر Target هستند. شایان ذکر است که در شکل (۴)، نمودارهای Training، Test، Validation و All به ترتیب نمودارهای رگرسیونی مجموعه‌های آموزشی، آزمایشی، ارزیابی و کل داده‌ها هستند. در گام آخر مدل‌سازی نیز نوبت به آزمایش شبکه بهینه با داده‌های ورودی جدید که تاکنون وارد مدل نشده‌اند، می‌رسد. همان‌طور که توضیح داده شد، از اطلاعات چهار پروژه ساخت سد و کانال انتقال آب با مدت زمان مجموعاً ۱۷۸ ماه برای آزمایش مدل استفاده می‌شود؛ که در بخش بعدی، مقدار خطای پیش‌بینی مدل برای ۱۷ پروژه بکار گرفته شده در ساخت و چهار پروژه بکار گرفته شده در آزمایش مدل، بیان و با مقدار خطای پیش‌بینی بهترین روابط روش EVM مقایسه می‌گردد. شایان ذکر است که مقدار خطای تخمین مدل برای تمامی پروژه‌های بکار گرفته شده در ساخت مدل برابر با ۰/۰۱۰۷۱ و مقادیر خطای سه رابطه روش EVM که کمترین مقادیر خطا را در تخمین هزینه داشته‌اند (روابط (۱)، (۵) و (۲))، به ترتیب برابر با۰/۰۷۹۴۳، ۰/۶۱۴۴۷ و ۰/۷۲۳۲۶ به‌دست‌آمده است.

مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از مدل با نتایج حاصل از روابط EVM

مقدار خطای مدل و مقدار خطای رابطه بهینه روش EVM در پیش‌بینی هزینه تکمیل هر پروژه از ۲۱ پروژه مورد استفاده در ساخت و آزمایش مدل، در جدول (۱) مشخص شده است. لازم به ذکر است که منظور از رابطه بهینه (.opt)، رابطه‌ای است که کمترین خطا را در بین سه رابطه (۱)، (۵) و (۲) دارد. مقدار خطای رابطه بهینه دوم نیز برای پروژه‌هایی که رابطه بهینه روش EVM نسبت به مدل، عملکرد بهتری در پیش-بینی داشته است، در جدول (۲) مشخص شده است. در جدول (۱) مشاهده می‌شود که مدل شبکه عصبی، هزینه تکمیل ۱۶ پروژه از ۲۱ پروژه را به‌طور دقیق‌تری نسبت به رابطه بهینه

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.23225882.1395.3.10.5.7]

روش EVM تخمین زده است. در جدول (۲) نیز مشاهده می‌شود که مدل ارائه شده، هزینه تکمیل پنج پروژه دیگر را به‌طور دقیق‌تری نسبت به رابطه بهینه دوم تخمین زده است؛ بنابراین می‌توان گفت که مدل ارائه شده، مجموعاً در پیش-بینی هزینه پروژه‌های با (CAC/BAC)>1 دارای دقت بالایی است. همچنین با توجه به جداول (۱) و (۲)، این نتیجه به‌دست‌آمده است که هر چه مقدار متغیر خروجی (نسبت هزینه تکمیل به بودجه مصوب) افزایش یابد، خطای پیش‌بینی مدل و روابط ارزش حاصله، به ترتیب، کمتر و بیشتر می‌شود؛ بنابراین هر چه مقدار خروجی افزایش یابد، احتمال اینکه مدل، دارای دقتی بالاتر نسبت به روابط EVM باشد، بیشتر است. برای مثال، در پروژه‌های آزمایشی یک و سه که متغیر خروجی آن‌ها از پروژه‌های آزمایشی دو و چهار بیشتر است؛ فاصله خطای مدل با خطای رابطه بهینه، بیشتر از فاصله این دو خطا در پروژه‌های آزمایشی دو و چهار است. شایان ذکر است که بر اساس جداول (۱) و (۲)، این نتیجه را نیز می‌توان گرفت که هر چه اندازه پروژه، بزرگ‌تر و مدت زمان واقعی آن بیشتر شود، احتمال اینکه مدل، دارای دقتی بالاتر نسبت به روابط EVM باشد، بیشتر است. در انتها به‌عنوان‌مثال، به مقادیر هزینه تکمیل و میانگین هزینه پیش‌بینی شده توسط مدل و رابطه بهینه برای چهار پروژه آزمایشی اشاره می‌گردد. مقدار هزینه تکمیل پروژه‌های آزمایشی ۱، ۲، ۳ و ۴، به ترتیب، برابر است با: ۱۰۳۹۸۲، ۶۴۷۹۲، ۱۲۸۵۹۳ و ۷۲۹۱۵ میلیون ریال. مقدار میانگین هزینه پیش‌بینی شده توسط مدل، به ترتیب، برابر است با: ۱۱۰۸۷۳، ۶۰۸۹۱، ۱۴۰۴۷۴ و ۷۹۸۲۰ میلیون ریال. مقدار میانگین هزینه پیش‌بینی شده توسط رابطه بهینه نیز به ترتیب، برابر است با: ۸۷۹۷۴، ۷۱۵۴۵، ۹۵۶۴۲ و ۸۱۰۷۸ میلیون ریال. لازم به ذکر است که به این خاطر از کلمه میانگین برای مقادیر هزینه پیش‌بینی شده استفاده شده است که مدل و روابط EVM، هزینه تکمیل را در هر ماه از پروژه تخمین می‌زنند؛ بنابراین مقدار میانگین از تقسیم مجموع هزینه‌های پیش‌بینی شده بر مدت زمان واقعی پروژه به‌دست‌آمده است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، بدون استفاده از برنامه‌نویسی و تنها با استفاده از جعبه‌ابزار شبکه‌های عصبی در نرم‌افزار MATLAB، مدلی ساده برای پیش‌بینی هزینه تکمیل پروژه‌های عمرانی ساخته شد. برای ساخت و آزمایش مدل، از اطلاعات ۲۱ پروژه واقعی با انواع گوناگون که مجموعاً در مدت زمان ۷۱۹ ماه اجرا شده-اند، استفاده شد. با توجه به اینکه یکی از اهداف اصلی، عدم وابستگی مدل به نوع پروژه، واحد پول کشورها و واحد زمان بود؛ شش پارامتر بدون واحد از پارامترهای اصلی و شاخص‌های عملکردی روابط پیش‌بینی کننده روش EVM، به‌عنوان متغیرهای ورودی مدل انتخاب شدند. متغیر خروجی مدل نیز نسبت هزینه تکمیل پروژه به بودجه مصوب آن در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از آزمایش مدل با داده‌های ورودی جدید و نتایج مقایسه مدل ارائه شده با سه رابطه دارای بهترین عملکرد روش ارزش حاصله نشان دادند که مدل ارائه شده قادر است هزینه تکمیل اکثر پروژه‌های عمرانی اجرا شده در ایران (پروژه‌های با [1<(CAC/BAC)]) را بهتر از روابط EVM پیش‌بینی کند.

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1395.3.10.5.7]

جدول (۱): مقادیر متغیر خروجی پروژه‌ها و مقادیر خطای پیش‌بینی مدل و رابطه بهینه روش ارزش حاصله برای هر یک از پروژه‌ها

شماره پروژه / متغیر خروجی، مدت زمان واقعی، رابطه بهینه، خطای مدل، خطای رابطه بهینه.	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
متغیر خروجی	۱/۴۴۴	۱/۷۲۲	۱/۰۹۴	۱/۳۶۴	۱/۷۸۲	۱/۱۶۷	۱/۶۷۷	۱/۷۳۹	۱/۲۱۵	۱/۱۱۹	۱/۰۶۴
مدت زمان واقعی (ماه)	۳۰	۱۸	۱۳	۶۰	۴۰	۲۳	۵۲	۴۱	۸	۲۶	۱۶
رابطه بهینه	(۵)	(۱)	(۱)	(۱)	(۱)	(۱)	(۱)	(۵)	(۱)	(۵)	(۱)
خطای مدل	۰/۰۰۲۸۹	۰/۰۱۰۰۵	۰/۰۰۱۱۹	۰/۰۰۶۰۰	۰/۰۰۵۰۷	۰/۰۰۴۱۱	۰/۰۰۵۲۱	۰/۰۰۵۷۶	۰/۰۶۷۱۰	۰/۰۰۱۲۵	۰/۰۰۳۶۱
خطای رابطه بهینه	۰/۰۱۱۳۸	۰/۲۳۰۴۷	۰/۰۰۵۳۵	۰/۰۲۳۰۰	۰/۲۴۵۲۵	۰/۰۰۵۱۵	۰/۱۶۱۳۴	۰/۰۴۸۷۲	۰/۰۰۹۸۸	۰/۰۰۱۴۶	۰/۰۰۰۸۴
شماره پروژه / متغیر خروجی، مدت زمان واقعی، رابطه بهینه، خطای مدل، خطای رابطه بهینه.	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	آزمایشی ۱ (اجرای عملیات تکمیلی ساخت سد)	آزمایشی ۲ (اجرای عملیات تکمیلی ساخت سد)	آزمایشی ۳ (احداث کانال انتقال آب)	آزمایشی ۴ (احداث کانال انتقال آب)	
متغیر خروجی	۱/۱۹۶	۱/۰۰۰	۱/۲۲۲	۱/۰۴۷	۱/۰۸۲	۲/۱۰۴	۱/۴۹۴	۱/۲۵۰	۱/۶۷۸	۱/۱۵۹	
مدت زمان واقعی (ماه)	۵۴	۲۰	۱۴	۲۰	۲۰	۸۶	۳۱	۹	۹۶	۴۲	
رابطه بهینه	(۱)	(۱)	(۱)	(۱)	(۱)	(۱)	(۵)	(۱)	(۱)	(۱)	
خطای مدل	۰/۰۰۱۳۰	۰/۰۱۰۳۷	۰/۰۴۰۸۰	۰/۰۰۴۸۴	۰/۰۰۱۰۳	۰/۰۱۱۰۰	۰/۰۰۹۷۸	۰/۰۰۵۵۷	۰/۰۲۴۰۰	۰/۰۱۱۶۷	
خطای رابطه بهینه	۰/۰۳۴۷۰	۰/۰۰۵۶۳	۰/۰۱۰۱۱	۰/۰۰۱۱۶	۰/۰۰۱۵۰	۰/۳۷۶۰۰	۰/۰۵۱۴۴	۰/۰۱۶۷۰	۰/۱۸۷۰۰	۰/۰۱۶۹۷	

جدول (۲): مقادیر خطای پیش‌بینی دومین رابطه بهینه روش ارزش حاصله برای پروژه‌هایی که $MSE_{model} > MSE_{EACopt}$.

متغیر خروجی، مدت زمان واقعی، رابطه بهینه دوم، خطای مدل، خطای رابطه بهینه دوم. / شماره پروژه	۹	۱۱	۱۳	۱۴	۱۵
متغیر خروجی	۱/۲۱۵	۱/۰۶۴	۱/۰۰۰	۱/۲۲۲	۱/۰۴۷
مدت زمان واقعی (ماه)	۸	۱۶	۲۰	۱۴	۲۰
رابطه بهینه دوم	(۲)	(۵)	(۵)	(۵)	(۵)
خطای مدل	۰/۰۶۷۱۰	۰/۰۰۳۶۱	۰/۰۱۰۳۷	۰/۰۴۰۸۰	۰/۰۰۴۸۴
خطای رابطه بهینه دوم	۰/۶۰۵۸۴	۰/۰۱۲۷۴	۰/۱۹۵۱۵	۰/۳۸۱۸۷	۰/۰۰۷۵۳

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1395.3.10.5.7]

قدردانی و تشکر

نویسندگان مقاله لازم می‌دانند که از آقای مهندس محمدهادی جلیلی، دانشجوی مقطع دکتری دانشگاه تهران (رشته مهندسی عمران – گرایش مهندسی و مدیریت ساخت) که بدون مساعدت‌های فراوان ایشان در جمع‌آوری اطلاعات پروژه‌ها، انجام چنین پژوهشی امکان‌پذیر نبود، کمال تشکر و قدردانی را به عمل آورند.

مراجع

۱- پاکدل، ا. (۱۳۸۴)."روش مدیریت ارزش حاصله پروژه و مفاهیم آن."فصلنامه مدیریت پروژه، سال اول، شماره ۱: ۳-۱۴.

۲- رمضانیان پور، ع. ا.، پیلوار، ا. و سبحانی، ج. (۱۳۹۱). " تخمین مقاومت فشاری بتن با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی."چهارمین کنفرانس ملی بتن ایران، دانشگاه شهید بهشتی تهران.

۳- کیا، س. م. (۱۳۹۱)."شبکه‌های عصبی در MATLAB." ویرایش دوم، تهران: انتشارات کیان رایانه سبز.

4- Cheng, M. Y., Hoang, N. D., Roy, A. F. V. and Wu, Y. W. (2012). "A novel time-depended evolutionary fuzzy SVM inference model for estimating construction project at completion." *Engineering Applications of Artificial Intelligence.* 25(4), 744-752.

5- Cheng, M. Y., Peng, H. S., Wu, Y. W. and Chen, T. L. (2010a). "Estimate at completion for construction projects using evolutionary support vector machine inference model." *Automation in Construction.* 19(5), 619–629.

6- Cheng, M. Y., Tsai, H. C. and Sudjono, E. (2010b). "Conceptual cost estimates using evolutionary fuzzy hybrid neural network for projects in construction industry." *Expert Systems with Applications.* 37(6), 4224–4231.

7- Christensen, D. S. (1993). "The estimate at completion problem: A review of three studies." *Project Management Journal.* 24(1), 37-42.

8- Hyari, K. H., Al-Daraiseh, A. and El-Mashaleh, M. (2015). "Conceptual cost estimation model for engineering services in public construction projects." *Journal of Management in Engineering.* Article number 04015021, Just Released, Available as http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000381

9- Jafarzadeh, R., Ingham, J. M., Wilkinson, S., González, V. and Aghakouchak, A. A. (2014). "Application of artificial neural network methodology for predicting seismic retrofit construction costs." *Journal of Construction Engineering and Management.* 140(2), Article number 04013044.

10- Kim, B. C. and Reinschmidt, K. F. (2010). "Probabilistic forecasting of project duration using kalman filter and the earned value method." *Journal of Construction Engineering and Management.* 136(8), 834–843.

11- Lhee, S. C., Issa, R. R. A. and Flood, I. (2012). "Prediction of financial contingency for asphalt resurfacing projects using artificial neural networks." *Journal of Construction Engineering and Management.* 138(1), 22–30.

12- Nagrecha, S. (2002). "An introduction to earned value analysis." Online Article, PMI Great Lakes Chapter (PMIGLC), Troy, Michigan, Retrieved from http://www.pmiglc.org/COMM/Articles/0410_nagrecha_eva-3.pdf

13- Narbaev, T. and De Marco, A. (2014). "Combination of growth model and earned schedule to forecast project cost at completion." *Journal of Construction Engineering and Management.* 140(1), Article number 04013038.

14- Pressoir, S. (1992). "Are you constructing for success?" *Proceeding of the 36th Annual Transactions of the American Association of Cost Engineers (AACE' 92),* Vol.1, Orlando, Florida, U. S., Paper D.7.

15- Rosenfeld, Y. (2014). "Root-cause analysis of construction-cost overruns." *Journal of Construction Engineering and Management.* 140(1), Article number 04013039.

16- Sambasivan, M. and Soon, Y. W. (2007). "Cause and effects of delays in Malaysian construction industry." *International Journal of Project Management.* 25(5), 517–526.

17- Vandevoorde, S. and Vanhoucke, M. (2006). "A comparison of different project duration forecasting methods using earned value metrics." International Journal of Project Management. 24(4), 289-302.

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1395.3.10.5.7]

Forecasting Cost of Civil Engineering Projects Using ANN and EVA

Farshad Peyman [*1]
Ahmad Fathi [2]

Abstract

Compared to the preliminary forecasted values, the fluctuation in the final cost and time of civil engineering projects is an issue exists in all of the countries in the world. These fluctuations will possibly result in many claims; therefore, they should be controlled. Forecasting is an important tool for controlling the fluctuations in the cost and time of a project. One of the standard methods for forecasting the time and cost of a project is the earned value analysis; also, modeling with the help of artificial neural networks is another standard forecasting method which is currently popular. In this paper, a model is created by considering several variables from the basic variables and the performance indices of the EVA as input variables without using any type of coding and only using the nftool in Matrix Laboratory software. Without any affiliation on the type of project, this model is capable of forecasting the cost of projects whose cost is higher than the budget (most of the civil engineering projects executed in Iran); the model does so with a higher accuracy compared to the cost forecast relations in the EVA. It should be noted that two water transmission channel projects and two dam projects (executed in Iran) were used to experiment this model. The findings of this experiment showed that the model is highly accurate.

Keywords

Forecasting Cost, Civil Engineering Projects, ANN, EVA, Matrix Laboratory Software.

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1395.3.10.5.7]

1* M.Sc. Student, Department of Civil, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran. f.peyman@iauahvaz.ac.ir.
2 Assistant Professor, Department of Civil, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
Received: 2016/04/06 Accepted: 2016/12/19