

H. Naderpour*

Faculty of Civil Engineering,
Semnan University, Semnan,
Iran

e-mail:
naderpour@semnan.ac.ir

S. R. Hoseini Vaez

Department of Civil
Engineering, Faculty of
Engineering, University of
Qom, Qom, Iran

e-mail:
hoseinivaez@qom.ac.ir

N. Malekshahi

Faculty of Civil Engineering,
Semnan University, Semnan,
Iran

e-mail:
malekshahi2011@gmail.com

Predicting the Behavior of Concrete Dams Using Artificial Neural Networks (Case study of Dez Dam)

Large dams store a significant amount of water behind them. Therefore, their safety and stability control have a special place. Changes in temperature and hydrostatic pressure are the most important factors that affect the dam structure; And will cause shifts in the crown of the dam upstream and downstream. Therefore, the data obtained from the monitoring center should be evaluated regularly in order to analyze the behavior of the dam. Due to this issue, in this study, using artificial neural networks, a model is presented to predict the horizontal displacement of the Dez dam crown due to changes in pressure and temperature. According to the results, it is observed that the neural network has a good performance in predicting real values. The average error of the modeled network is about 4%. This indicates that the network is well trained. Using the generated network, the radial displacement changes against the reservoir water level for different temperatures are obtained, and plotted. Using diagrams, it is possible to predict the behavior of Dez dam for different temperatures and changes in reservoir water level, which can be very useful in monitoring and maintaining this dam.

Keywords: Concrete Dam, Artificial Neural Network, Dez Dam, Hydrostatic Pressure, Temperature Changes

* Corresponding author

Received 31 March 2021, Revised 11 June 2021, Accepted 16 June 2021.
DOI: 10.22091/cer.2021.6898.1242

پیش‌بینی رفتار سدهای بتنی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (مطالعه موردی رفتار سد دز)

سدهای بزرگ حجم قابل توجهی از آب را در پشت خود ذخیره می‌کنند. از این رو، اینمنی و کنترل پایداری آنها از جایگاهی ویژه برخوردار است. تغییرات دما و فشار هیدرولاستاتیک از مهمترین عواملی می‌باشد که بر روی سازه سد تأثیرگذار هستند؛ و باعث تغییر مکان‌هایی در تاج سد به سمت بالادست و پایین‌دست خواهد شد. بنابرین باید داده‌های بهدست آمده از مرکز پایش مرتباً مورد ارزیابی قرار گیرد تا بتوان رفتار سد را تجزیه و تحلیل نمود. با توجه به این موضوع در این مطالعه با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی مدلی برای پیش‌بینی تغییر مکان افقی تاج سد دز که تحت اثر تغییرات فشار و درجه حرارت ایجاد می‌شود، ارائه شده است. با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که شبکه عصبی دارای عملکرد خوبی در پیش‌بینی مقادیر واقعی می‌باشد. خطای متوسط شبکه مدل شده در حدود ۴ درصد می‌باشد. این مساله نشان دهنده آن است که شبکه به خوبی آموزش دیده است. با استفاده از شبکه ایجاد شده، تغییرات تغییر مکان شعاعی در مقابل تراز آب مخزن برای درجه حرارت‌های مختلف بهدست آمده، و به صورت نمودار ترسیم شده است. با استفاده از نمودارها به خوبی می‌توان رفتار سد دز را برای درجه حرارت‌های مختلف و تغییرات تراز آب مخزن، پیش‌بینی کرد که این امر در زمینه پایش و نگهداری از این سد می‌تواند بسیار مفید باشد.

واژگان کلیدی: سد بتنی، شبکه عصبی مصنوعی، سد دز، فشار هیدرولاستاتیک، تغییرات دما.

حسین نادرپور*

دانشکده مهندسی عمران،

دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

پست الکترونیک:

naderpour@semnan.ac.ir

سید روح الله حسینی

واعظ

گروه مهندسی عمران، دانشکده

مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران.

پست الکترونیک:

hoseinivaez@qom.ac.ir

ناصر ملکشاهی

دانشکده مهندسی عمران،

دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

پست الکترونیک:

malekshahi2011@gmail.com

رفتار گذشته است. اگر واقعاً مسیر تکاملی بین پیش‌بینی مدل و رفتار واقعی واگرا است پس فرضیاتی از مدل تغییر کرده است و دلایلی برای تغییرات باید شناسایی و نتایج منطقی آن تعیین شود [۱ و ۲].

به طور کلی تعیین رابطه تأثیر متغیرهای ورودی بر متغیرهای پاسخ از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. تغییرات دما و فشار هیدرولاستاتیکی از عوامل مهمی هستند که بر روی رفتار سد تأثیر می‌گذارند و از اهمیت ویژه ای برخوردار می‌باشند. این دو عامل باعث تغییر مکان‌هایی در تاج سد به سمت بالادست و پایین‌دست سد می‌شوند. مدل‌های آماری در آنالیز رفتار سدها از سال ۱۹۵۰ در مهندسی سد استفاده شده است

هدف اصلی از کنترل اینمی سدهای بتنی تضمینی برای عملکرد آنها با ترکیبی از نگهداری عامل‌ها و درستی و یکپارچگی سازه است. کنترل اینمی سدها به وسیله فعالیت پایش و برآسانی مدل‌ها می‌باشد. هدف نهایی مدل‌ها پیش‌بینی رفتار یک سد بتنی و همچنین مشخص نمودن تشابه یا تفاوت رفتار سازه تحت بارهای یکسان با

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۴۰۰/۰۱/۱۱، بازنگری ۱۴۰۰/۰۳/۲۱، پذیرش ۱۴۰۰/۰۳/۲۶.

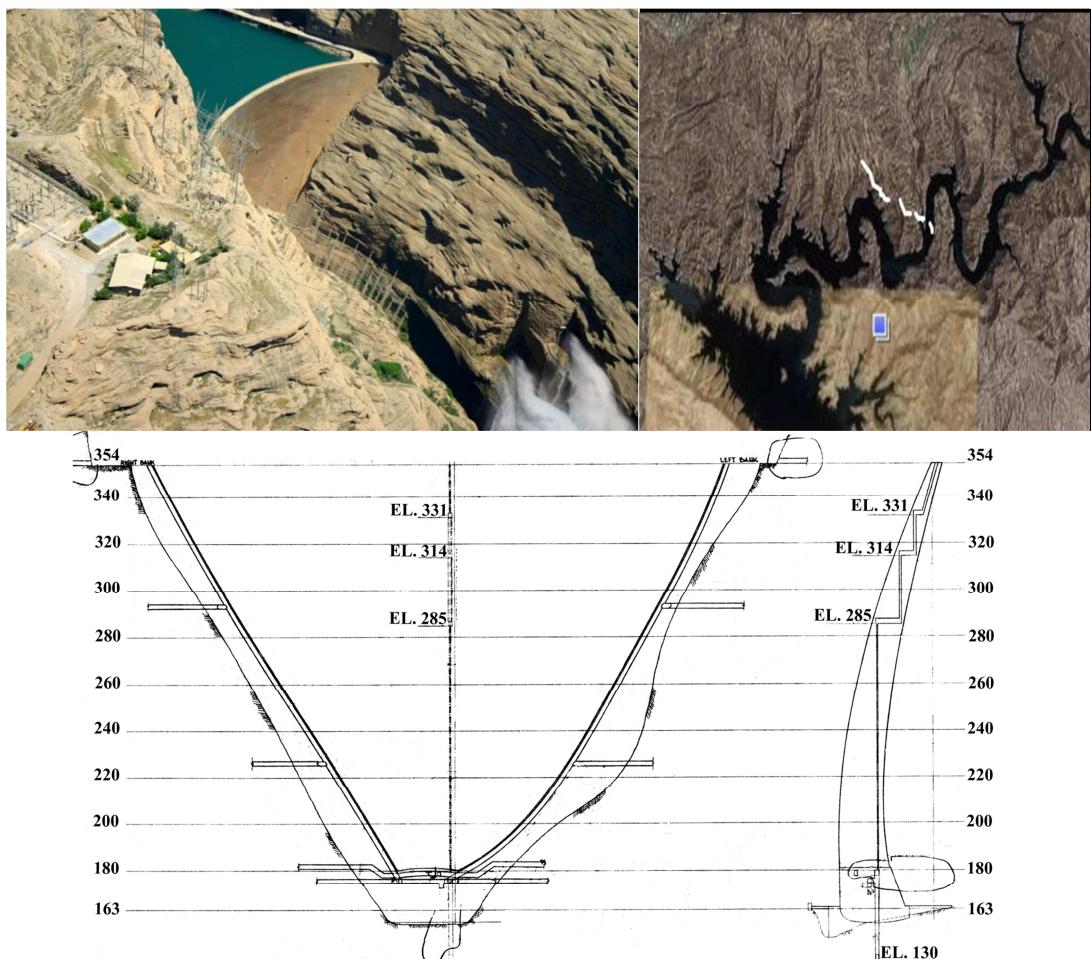
DOI: 10.22091/cer.2021.6898.1242

سد دز (شکل ۱) نخستین سد چندمنظوره کشور می‌باشد که با هدف تولید برق، آبیاری دشت‌های خوزستان، تنظیم آب رودخانه دز و حفاظت مناطق پایین‌دست در برابر سیلاب در ۲۳ کیلومتری شمال شرقی اندیمشک احداث شده است. محل احداث سد در قسمت فوچانی سازند کنگلومرا ای بختیاری است. در سال ۱۳۳۷ براساس پیشنهاد مهندسین مشاور، ۱۴ شرکت معروف ساختمانی برای شرکت در مناقصه سد دز، نیروگاه و نصب تجهیزات نیروگاهی دعوت و از میان این شرکت‌ها سه شرکت ایتالیایی به عنوان یک شرکت تضامنی (ایمپر جیلو) برای اجرای کارهای ساختمانی انتخاب شدند. طبق جدول زمانی مدت اجرای پروژه سه سال بوده است و در سال ۱۳۴۱ تکمیل و آبگیری مخزن شروع شد. سد دز از نوع بتُنی دو قوسی جدار نازک است که هم در پلان و هم در مقطع دارای انحنا می‌باشد.

[۳]. امروزه با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توان رفتار یک سد بتُنی را تحت عوامل ذکر شده پیش بینی کرد. مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی در زمینه های مختلفی از جمله مهندسی سد بکار می‌رود و محققین زیادی در این زمینه تحقیق کرده‌اند [۱۶-۴].

همان‌طور گفته شد تغییرات هیدرولاستاتیک فشار و درجه حرارت دو عامل اصلی هستند که در هنگام آنالیز سدهای بتُنی مورد توجه قرار می‌گیرند. با توجه به این موضوع در این مطالعه سعی شده است با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی مدلی برای پیش‌بینی تغییر مکان افقی تاج سد دز که تحت اثر تغییرات فشار و درجه حرارت ایجاد می‌شود ارائه گردد.

۲- مطالعه موردي سد دز



شکل ۱- سد دز

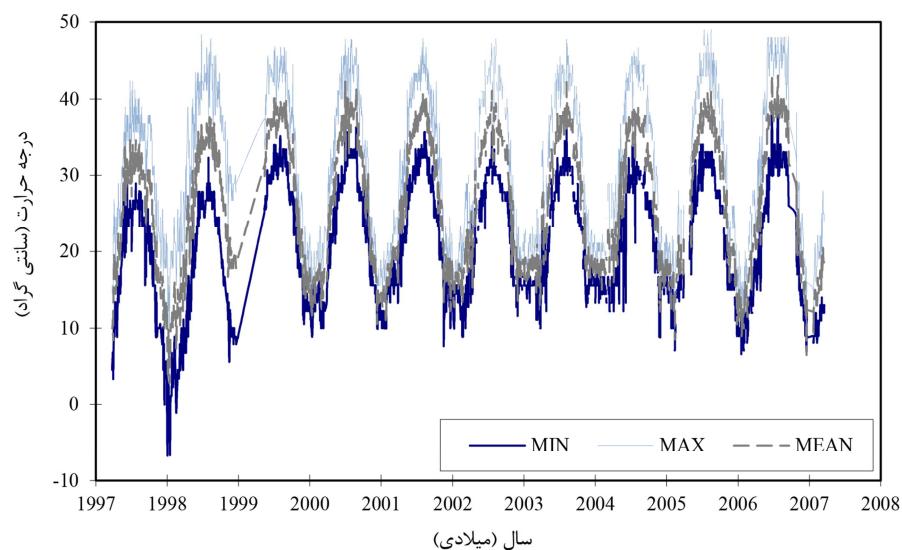
سال ۱۳۸۹ حداکثر تغییرمکان ثبت شده در تراز ۲۸۵ در اردیبهشت ماه به میزان ۲۲/۶۳ میلیمتر به ازای تراز آب مخزن ۳۵۲/۱ متر از سطح دریا و متوسط دمای هوای ۲۹ درجه سانتی گراد اتفاق افتاده و حداقل جابه جایی ۷/۶۸ میلیمتر در آذرماه برای تراز آب مخزن ۳۲۰/۹۲ متر از سطح دریا و درجه حرارت ۲۲/۵ درجه سانتی گراد بوده است. دامنه تغییرات در این تراز برابر ۱۴/۹۵ میلیمتر بوده و نسبت به سال ۸۶ حدود ۴/۲ میلیمتر کمتر می باشد. همچنین در این سال، حداکثر تغییرمکان ثبت شده در تراز ۳۱۴ در اردیبهشت ماه به میزان ۳۸/۳۵ میلیمتر و برای تراز آب مخزن ۳۵۱/۴۵ متر از سطح دریا و متوسط دمای هوای ۲۴/۵ درجه سانتی گراد اتفاق افتاده و حداقل جابه جایی ۱۵/۴ میلیمتر در آبان ماه و تراز مخزن ۳۲۲/۱۸ متر از سطح دریا و درجه حرارت ۲۵/۵ درجه سانتی گراد ثبت شده است. دامنه تغییرات در این تراز برابر ۲۲/۹۵ میلیمتر بوده و نسبت به سال ۸۶ حدود ۴/۶۵ میلیمتر کمتر می باشد. در تراز ۳۳۱ حداکثر جابه جایی در اردیبهشت ماه به میزان ۴۹/۰۶ میلیمتر و به ازای تراز آب مخزن ۳۵۱/۴۵ متر از سطح دریا و متوسط دمای هوای ۲۴/۵ درجه سانتی گراد ثبت شده است و حداقل جابه جایی ۲۳/۱۱ میلیمتر در آبان ماه و برای تراز آب مخزن ۳۲۴/۳ متر از سطح دریا و درجه حرارت ۲۸ درجه سانتی گراد بوده است. دامنه تغییرات در این تراز برابر ۲۵/۹۵ میلیمتر بوده و نسبت به سال ۸۶ حدود ۵ میلیمتر کمتر می باشد. شکل های ۲ تا ۴ اطلاعات مفیدی را در زمینه پایش سد دز نمایش می دهند. شکل ۲ تغییرات درجه حرارت را در سال های مختلف نمایش می دهد. شکل ۳ نمودار تغییرمکان شعاعی (بالادست و پایین دست) سد دز را در ترازهای ۳۱۴، ۲۸۵ و ۳۳۱ متر از سطح دریا نشان می دهد. شکل ۴ تغییرات تراز آب مخزن سد در سال های مختلف نمایش می دهد.

ارتفاع سد از پی ۲۰۳، طول تاج ۲۱۲، ضخامت پی ۲۷ و ضخامت تاج سد ۴/۵ متر می باشد. جداکثر آب قابل کنترل ۳۵۲ متر از سطح دریا و حداقل ۲۹۰ متر از سطح دریا می باشد. حجم مخزن سد دز حدود ۳/۵ میلیارد متر مکعب و سطح آن در بالاترین تراز ۱۷۰۰۰ کیلومتر مربع و طول دریاچه آن ۶۵ کیلومتر است.

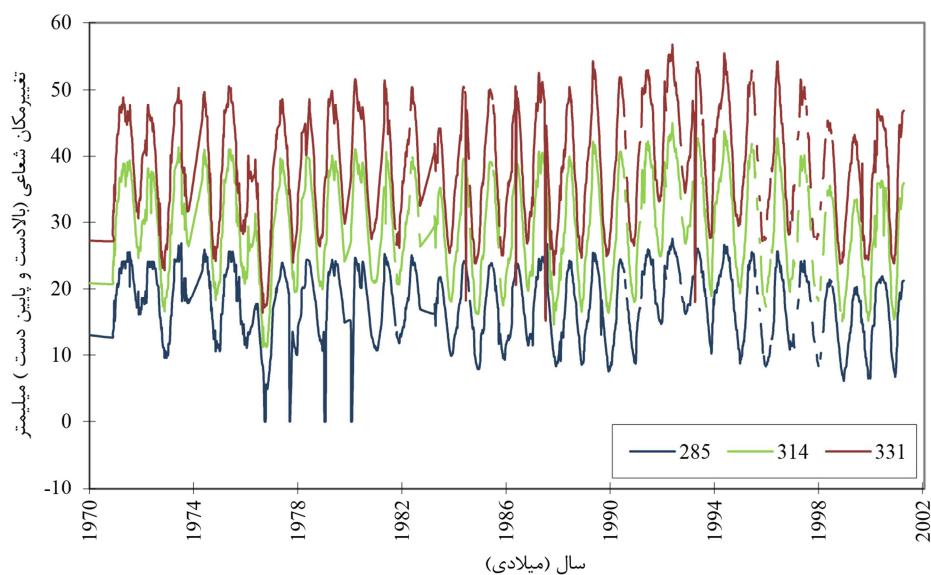
اصولا وقتی سدی ساخته می شود در پشت آن دریاچه ای تشکیل می گردد که بزرگترین و خطرناکترین عامل مخرب آن، همان آب دریاچه می باشد. چون نفوذ آب دریاچه در پی و تکیه گاه سد از یک طرف و فشار آب دریاچه به بدنه از طرف دیگر پیوسته سد را تهدید به تخریب می کنند، لذا جهت مبارزه با این دو عامل مخرب یک سری اقدامات ایمنی لازم است صورت گیرد تا در درجه اول بتوان از اشباع شدن پی و تکیه گاه سد از آبهای نفوذی جلوگیری کرد و در درجه دوم توسط ابزار آلات دقیقی که در بدنه سد و تکیه گاهها کار گذاشته می شوند موقعیت و حالت سد را مشخص نمود و حرکات آن را اندازه گیری کرد این کار توسط گروه اندازه گیری و رفتار سنجی انجام گرفته و پیوسته رفتار سد توسط این گروه مورد پایش و ارزیابی قرار می گردد.

سیستم پایش سد دز شامل دستگاه های متعددی می باشد که این امکان را برای مشاهده و اندازه گیری مقادیری مانند درجه حرارت بتن و هواء، سطح آب مخزن، تغییر مکان افقی و قائم، کرنش، تنش، جابه جایی فونداسیون و نشتی آب را می دهد. از میان بارهای مختلفی که بر روی سدهای بتونی عمل می کند فشار هیدرولاستاتیک و تغییرات دما از مهمترین عواملی هستند که می توان بر روی سازه نرمال سد تشخیص داد.

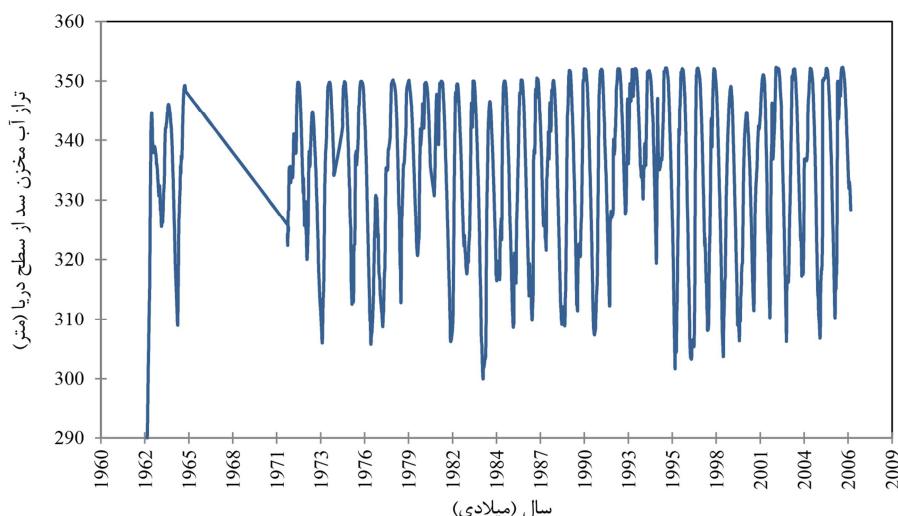
در سه تراز ۲۸۵، ۳۱۴ و ۳۳۱، پاندول های مستقیم برای ثبت تغییر مکان شعاعی (بالادست و پایین دست) قرار گرفته است (شکل ۱). با توجه به این اطلاعات ثبت شده می توان اطلاعات مفیدی را به دست آورد. برای مثال در



شکل ۲- نمودار تغییرات دما

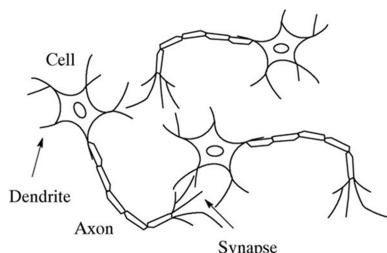


شکل ۳- نمودار تغییر مکان شعاعی (بالادست و پایین دست) در ترازهای ۲۸۵، ۳۱۴ و ۳۳۱ متر از سطح دریا



شکل ۴- نمودار تغییرات تراز آب مخزن سد

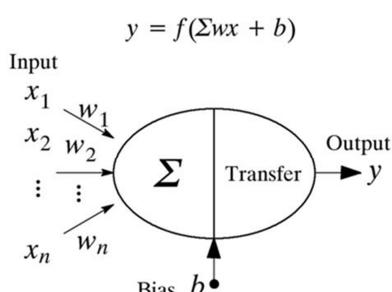
یک سیگنال الکتریکی تولید شده طی یک واکنش شیمیایی می‌توانند تحويل شوند.



شکل ۵- نورون بیولوژیک و اعضای آن

ساخ نورون‌ها سیگنال را در محل تماس نورون‌های همسایه (سیناپس یا پیوندگاه) دریافت می‌کنند. این سیستم قادر به یادگیری، فراخوانی و تولید خروجی مربوط به سیگنال‌های خارجی می‌باشد. چنانچه یک سیستم نورونی دارای یک سیگنال پایدار و تکرارشونده باشد، سیگنال خروجی آن پایدار خواهد بود و در سیستم ذخیره می‌شود.

از طرف دیگر، چنانچه تحت یک سیگنال ناپایدار یا نادر قرار گیرد، حافظه برای این نوع اطلاعات ممکن است پس از رسیدن سایر سیگنال‌ها یا الگوها پاک شود. این سیستم نورون بیولوژیکی می‌تواند به منظور اداره کردن یادگیری پیچیده‌تر برای تشریح چگونگی عملگرهای ریاضیاتی برای افزایش کاربرد آنها عمل نماید. نورون محاسباتی در شکل ۶ نمایش داده شده است. مشابه با نورون‌های بیولوژیکی، یک نورون محاسباتی دارای ورودی، سلول و خروجی می‌باشد. هر نورون عموماً با وزن‌های داخلی شبکه مانند اتصال دارد. نوع شبکه عصبی مصنوعی می‌تواند به وسیله کل سازه، نوع نورون، فضای اطلاعات یادگیری و قوانین یادگیری تشخیص داده شود.



شکل ۶- نورون محاسباتی

۳- پیش‌بینی رفتار سد بتني با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی

۳-۱- شبکه‌های عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی از تعداد زیادی اعضای پردازشگر (نورون‌ها) با وابستگی داخلی بسیار زیاد که با هماهنگی برای حل مسائل مختلف کار می‌کنند، تشکیل شده است. مشابه با انسان، شبکه‌های عصبی مصنوعی به کمک مثال یاد می‌گیرند [۱۷]. یک شبکه عصبی مصنوعی برای یک کاربرد خاص مانند تشخیص الگو یا طبقه‌بندی داده‌ها در طی پروسه یادگیری ایجاد می‌شود. یادگیری در سیستم‌های بیولوژیکی با استفاده از ارتباطات سیناپسی که بین نورون‌ها به وجود می‌آید، شکل می‌گیرد؛ همین پروسه در شبکه‌های عصبی نیز رخ می‌دهد. شبکه‌های عصبی مصنوعی یک روش عملی عمومی را برای توابع با مقادیر حقیقی، گستته و برداری با استفاده از مثال‌ها تأمین نموده و بنابراین در کاربردهای گسترده مسائل مهندسی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در کاربردهای مهندسی، یک شبکه عصبی می‌تواند یک نگاشت برداری تلقی شود که بردار ورودی را به بردار خروجی می‌نگارد. از نقطه نظر معماری شبکه‌های عصبی، یک نورون بیولوژیکی مشتمل از سه بخش اصلی شامل سلول، آکسون و دندریت می‌باشد. شکل ۵، نمایی شماتیک از نورون‌های بیولوژیکی و یک نورون محاسباتی را نشان می‌دهد. سلول یک نورون به دندریت نورون هم‌سایه اتصال دارد. این نورون‌های بیولوژیکی به سایر نورون‌ها به کمک دندریت‌های مو مانند متصل هستند. یک گروه از این نورون‌ها می‌تواند شامل چند لایه نورون باشد و یک مجموعه از لایه‌ها می‌تواند سیستم‌های عصبی را در بشر تشکیل دهد [۱۸].

ارتباطات مخابراتی بین نورون‌ها به صورت پیوسته تولید می‌شوند که از یک نورون به سایر نورون‌ها با ارسال

Levenberg–Marquardt می‌باشد که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است [۲۰].

۳-۲- پیش‌بینی تغییرمکان شعاعی سد دز در تراز ۳۳۱

برای رسیدن به یک مدل مناسب شبکه‌های عصبی استفاده از اطلاعات هموزن بسیار ضروری می‌باشد. به همین منظور جهت آموزش، بررسی صحت و آزمایش شبکه‌های عصبی، از اطلاعات ثبت شده در مرکز کنترل و پایداری سد دز استفاده شده است. همانطور گفته شد تغییرات هیدرواستاتیک فشار و درجه حرارت دو عامل اصلی هستند که در پایش و آنالیز رفتار سدهای بتنی مورد توجه قرار می‌گیرند. با توجه به این موضوع در این مطالعه سعی می‌شود با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی مدلی برای پیش‌بینی تغییرمکان افقی تاج سد دز که تحت اثر تغییرات فشار و درجه حرارت ایجاد می‌شود ارائه گردد. به همین منظور از ۶۷۷ مورد اطلاعات ثبت شده در زمینه تأثیر تغییرات تراز آب مخزن سد و دما بر تغییرمکان شعاعی سد دز در تراز ۳۳۱ متر استفاده می‌شود. پارامترهای تراز آب مخزن سد بر حسب متر از سطح دریا و درجه حرارت هوا بر حسب سانتی‌گراد، به عنوان ۲ گره ورودی و در مقابل تغییرمکان شعاعی (بالادست و پایین‌دست) در تراز ۳۳۱ متر از سطح دریا بر حسب میلی‌متر به عنوان گره هدف، انتخاب شدند. دو لایه مخفی در مدل سازی شبکه عصبی به کار رفت و توابع انتقال به صورت لگاریتم سیگموئید و خطی در نظر گرفته شدند (شکل ۷).

الگوریتم Levenberg–Marquardt به طور تصادفی بردارهای ورودی و بردارهای هدف را به سه بخش شامل آموزش، صحت و آزمایش تقسیم می‌کند. تغییر در درصد نسبی این بخش‌ها به میزان کمی می‌تواند بروشه یادگیری را بهبود دهد یا ضعیفتر نماید. در این مطالعه در گام مقدماتی، داده‌ها با درصدهای مختلف از سه دسته آموزش، صحت و آزمایش مورد مطالعه قرار گرفتند؛ گروهی که در آن ۶۰٪ داده‌ها به آموزش، ۲۰٪ به صحت و

هر ورودی با یک ۷٪ مناسب وزن داده می‌شود. مجموع داده‌های وزن‌دار و باقیمانده‌ها، ورودی را به تابع انتقال F تبدیل می‌کند. نورون‌ها می‌توانند از هر تابع انتقال تشخیص‌پذیری برای تولید خروجی‌شان استفاده نمایند [۱۷].

روش انتشار برگشتی^۱، تعمیم یافته روش یادگیری Widrow–Hoff به شبکه‌های چند لایه و توابع انتقال غیرخطی می‌باشد [۱۷]. از آنجایی که شبکه‌های باقیمانده، یک لایه سیگموئید و یک لایه خروجی خطی قادر به تخمین هر تابع با تعداد معینی ناپیوستگی می‌باشد، بردارهای ورودی و بردارهای هدف مربوطه برای آموزش یک شبکه به منظور تقریب زدن یک تابع استفاده می‌شوند. روش انتشار برگشتی استاندارد یک الگوریتم نزولی شیب دار است که در آن وزن‌های شبکه در طول شیب منفی تابع عملکرد انتقال می‌یابند. عبارت انتشار برگشتی مربوط به حالتی است که در آن شیب برای شبکه‌های غیرخطی چند لایه محاسبه می‌شود. تعدادی نوسان در الگوریتم مبنا وجود دارد که بر مبنای سایر تکنیک‌های بهینه‌سازی مانند شیب توام و روش نیوتون می‌باشدند. شبکه‌های انتشار برگشتی که به خوبی آموزش می‌باشند، زمانی که به داده‌های ورودی که قبلان ندیده‌اند برخورد می‌کنند، تمایل دارند جواب‌های معقول بدهند.

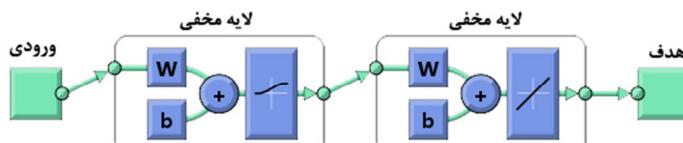
[۱۹]

به طور کلی یک ورودی جدید به یک خروجی منتهی می‌شود که شبیه به خروجی صحیح برای بردارهای ورودی مورد استفاده در آموزش می‌باشد و شبیه به ورودی جدید ارائه شده هستند. این خصوصیت تعمیم، آن را قادر می‌سازد که شبکه را به عنوان نماینده‌ای از دسته‌های ورودی/هدف آموزش داده و نتایج خوبی بدون آموزش شبکه برای تمام ورودی‌های ممکن به دست دهد. معمول‌ترین الگوریتم آموزش انتشار برگشتی،

^۱- Back-Propagation

بهترین گروه در نظر گرفته شد.

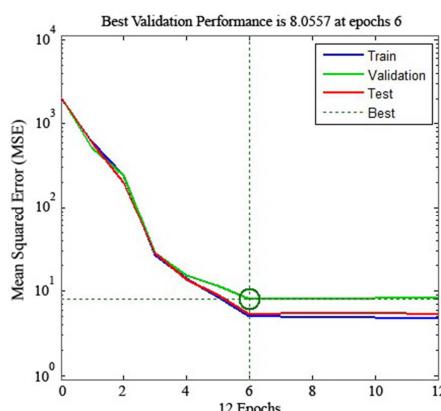
۲۰٪ به آزمایش اختصاص داده شده بود، به عنوان



شکل ۷- ساختار شبکه

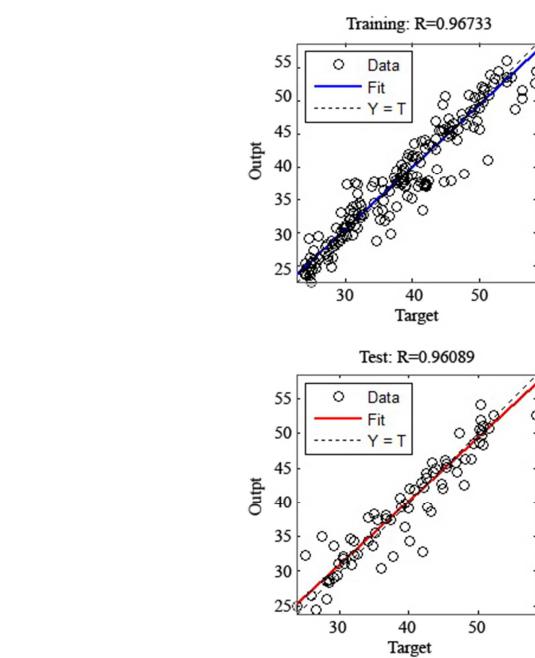
بردارهای صحت کاهش یابد. پس از آن که شبکه، آموزش دید، پرسه یادگیری متوقف می‌شود.

بهترین شبکه، شبکه‌ای است که ۱۰ نورون در لایه پنهان خود دارد؛ زیرا مقادیر رگرسیون خوبی ارائه داده و دارای کمترین خطای میانگین در میان تمام شبکه‌ها می‌باشد. نتایج آموزش شبکه در شکل ۹ آورده شده است.



شکل ۸- عملکرد شبکه با ۱۰ نورون در لایه مخفی

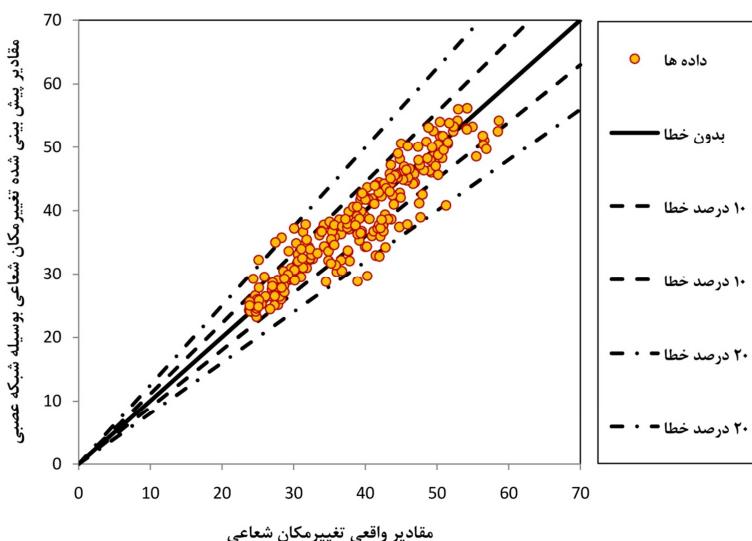
ملک توقف آموزش شبکه‌ها، خطای میانگین مربعی (MSE) بود که میانگین تفاوت مربعی بین مقادیر خروجی و هدف می‌باشد. مقادیر کمتر به معنای عملکرد بهتر شبکه بوده و مقدار صفر به معنی عدم وجود خطای می‌باشد. مقادیر رگرسیون، همبستگی بین خروجی‌ها و هدف‌ها را در شبکه‌ها اندازه‌گیری می‌کنند؛ به نحوی که R=1 به معنی ارتباط کامل بوده و R=0 نشان‌دهنده رابطه تصادفی است. این دو معیار یعنی MSE و R به عنوان اساس انتخاب شبکه ایده‌آل در نظر گرفته شده‌اند. شکل ۸، میانگین مربع خطای شبکه را نشان می‌دهد که از مقادیر بزرگ شروع شده و به مقادیر کوچکتر کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، این مساله نشان می‌دهد که شبکه در حال یادگیری است. این نمودار دارای ۳ خط است که هریک نماینده یک دسته از داده‌ها می‌باشند. آموزش بردارها تا زمانی ادامه می‌یابد که خطای شبکه در



شکل ۹- رگرسیون داده‌های مربوط به آموزش، صحت و آزمایش شبکه با ۱۰ نورون در لایه مخفی

می‌گیرند. با توجه به نمودار مشاهده می‌شود که شبکه عصبی دارای عملکرد خوبی در پیش‌بینی مقادیر واقعی می‌باشد. خطای متوسط مدل شبکه عصبی برابر $4/08$ درصد می‌باشد. این مساله نشان دهنده آن است که شبکه به خوبی آموزش دیده است.

در شکل ۱۰، مقادیر واقعی تغییرمکان در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده آنها با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی ایجاد شده، رسم شده است. چنانچه تطابق کامل بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده با شبکه عصبی موجود باشد، تمام نقاط بر روی خط 45 درجه قرار



شکل ۱۰- مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده تغییرمکان شعاعی بوسیله شبکه‌های عصبی مصنوعی در برابر مقادیر واقعی

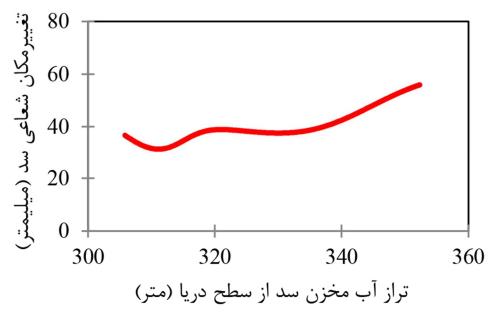
بالاتر و پایین‌تر، مقادیر مورد نیاز را به دست آورد. با استفاده از نمودار شکل ۱۱ مشخص می‌شود که افزایش درجه حرارت باعث ایجاد انبساط در بدنه سد و فشار به تکیه‌گاهها می‌شود و همچنین تغییرمکان شعاعی در بالادرست و پایین‌درست کاهش می‌یابد. در مقابل افزایش تراز آب مخزن سد باعث می‌شود تا تغییرمکان شعاعی در بالادرست و پایین‌درست افزایش پیدا کند. این موضوع به وضوح از روی نمودارهای استخراج شده از شبکه عصبی مدل شده، پیدا می‌باشد. با استفاده از نمودارها به خوبی می‌توان رفتار سد را برای درجه حرارت‌های مختلف و تغییرات تراز آب مخزن، پیش‌بینی کرد؛ که این امر در زمینه پایش و نگهداری از این سد می‌تواند بسیار مفید باشد.

۴- نتیجه گیری

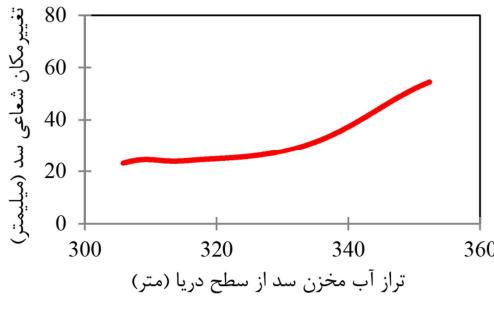
در این مطالعه با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی مدلی برای پیش‌بینی تغییرمکان افقی تاج سد

همان طور که از نتایج مشخص می‌باشد، مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی دارای تطابق قابل قبولی با مقادیر واقعی هستند. اما استفاده از شبکه در طراحی مهندسی مسائلهای رایج نمی‌باشد، زیرا شبکه دارای وزن‌ها و باقی مانده‌های زیادی به همراه توابع انتقال می‌باشد و در نتیجه معادلات نهایی بسیار پیچیده خواهد بود. به منظور حل این معضل، شبکه عصبی می‌بایست برای تولید چارت‌های طراحی تجربی و نیز معادلات به کار گرفته شود. برای ایجاد رابطه‌ای منطقی با استفاده از نتایج شبکه‌های عصبی، با ثابت در نظر گرفتن درجه حرارت در ۳۳۱ دماهای مشخص، تغییرات تغییرمکان شعاعی در تراز ۳۳۱ متر از سطح دریا در مقابل تراز آب مخزن به دست آمده، و به صورت نمودار ترسیم می‌شود. شکل ۱۱، تغییرات تغییرمکان شعاعی را در مقابل تراز آب مخزن برای درجه حرارت‌های مختلف نشان می‌دهد. چنانچه این تغییرات، برای درجه حرارتی خارج از هریک از نمودارها موردنیاز بود، می‌توان با درون‌یابی بین دو نمودار درجه حرارت پژوهش‌های زیرساخت‌های عمرانی

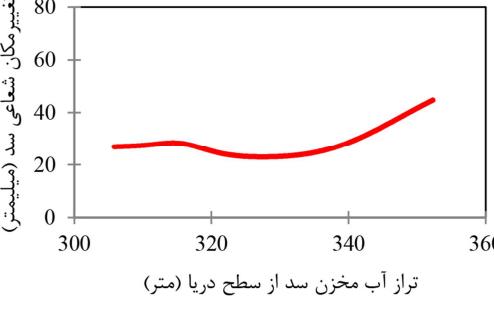
می‌شود، ارائه شده است.



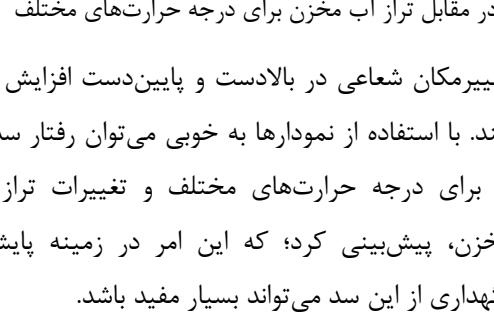
(ب) ۱۴ درجه سانتي گراد



(ت) ۲۸ درجه سانتي گراد

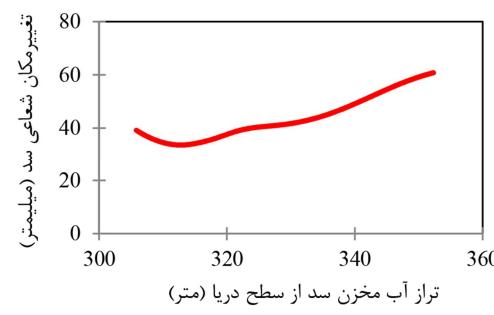


(ج) ۴۲ درجه سانتي گراد

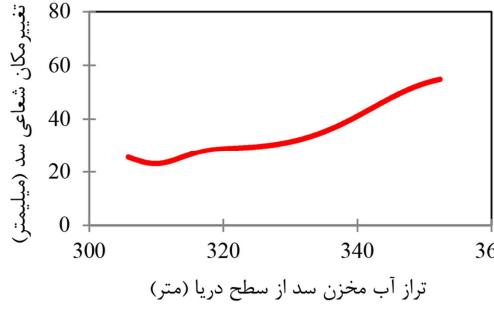


(ث) ۳۵ درجه سانتي گراد

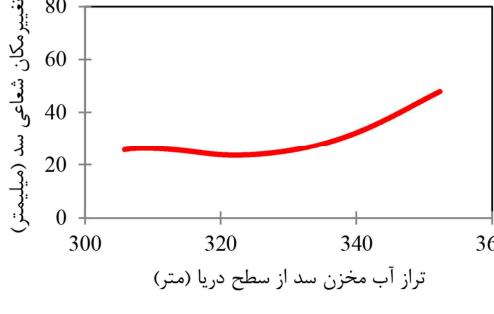
دز که تحت اثر تغییرات فشار و درجه حرارت ایجاد



(الف) ۷ درجه سانتي گراد



(پ) ۲۱ درجه سانتي گراد



(ث) ۳۵ درجه سانتي گراد

شکل ۱۱- تغییرات تغییرمکان شعاعی در مقابله تراز آب مخزن برای درجه حرارت‌های مختلف

تغییرمکان شعاعی در بالادست و پایین‌دست افزایش پیدا کند. با استفاده از نمودارها به خوبی می‌توان رفتار سد دز را برای درجه حرارت‌های مختلف و تغییرات تراز آب مخزن، پیش‌بینی کرد؛ که این امر در زمینه پایش و نگهداری از این سد می‌تواند بسیار مفید باشد.

تقدیر و قدردانی

نویسنده‌گان مقاله از کارکنان شرکت سد و نیروگاه دز به جهت در اختیار گذاشتن اطلاعات آماری و تاریخچه این سد سپاسگزاری می‌نمایند.

همان طور که از نتایج مشخص می‌باشد، مقدار پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی دارای تطابق قابل قبولی با مقدار واقعی هستند. خطای متوسط مدل شبکه عصبی برابر 40.8 درصد می‌باشد. این مساله نشان دهنده آن است که شبکه به خوبی آموزش دیده است. با توجه به نمودارهای استخراج شده از شبکه مدل‌سازی شده مشخص می‌شود که افزایش درجه حرارت موجب ایجاد انبساط در بدنه سد و فشار به تکیه‌گاه‌ها و کاهش تغییرمکان شعاعی در بالادست و پایین‌دست می‌شود. در مقابل افزایش تراز آب مخزن سد باعث می‌شود تا

مراجع

- [1] Léger, P., & Leclerc, M. (2007). "Hydrostatic, temperature, time-displacement model for concrete dams", *Journal of engineering mechanics*, 133(3), 267-277.
- [2] De Sortis, A., & Paoliani, P. (2007). "Statistical analysis and structural identification in concrete dam monitoring", *Engineering structures*, 29(1), 110-120.
- [3] ICOLD. (2003). *Methods of analysis for the prediction and the verification of dam behaviour*. Tech. rep. Swiss Committee on Dams.
- [4] Gomes, H. M., & Awruch, A. M. (2004). "Comparison of response surface and neural network with other methods for structural reliability analysis", *Structural safety*, 26(1), 49-67.
- [5] Wang, B. S., & He, Z. C. (2007). "Crack detection of arch dam using statistical neural network based on the reductions of natural frequencies", *Journal of Sound and Vibration*, 302(4-5), 1037-1047.
- [6] Bakhary, N., Hao, H., & Deeks, A. J. (2007). "Damage detection using artificial neural network with consideration of uncertainties", *Engineering Structures*, 29(11), 2806-2815.
- [7] Fedele, R., Maier, G., & Miller, B. (2006). "Health assessment of concrete dams by overall inverse analyses and neural networks", *International Journal of Fracture*, 137(1-4), 151-172.
- [8] Sohn, H., Czarnecki, J. A., & Farrar, C. R. (2000). "Structural health monitoring using statistical process control", *Journal of structural engineering*, 126(11), 1356-1363.
- [9] Joghataie, A., & Dizaji, M. S. (2009). "Nonlinear analysis of concrete gravity dams by neural networks", In *Proceedings of the World Congress on Engineering*, 2, 1022-7.
- [10] Liu, J., Wang, G., & Chen, Y. (2008). "Research and application of GA neural network model on dam displacement forecasting", In *Earth & Space 2008: Engineering, Science, Construction, and Operations in Challenging Environments*, 1-9.
- [11] Perner, F., Koehler, W., & Obernhuber, P. (2001). "Interpretation of Schlegeis dam crest displacements", In *Proceedings of the 6th International Benchmark Workshop on Numerical Analysis of Dams. Salzburg, Austria*, 17-19.
- [12] Wen, C. M., Hung, S. L., Huang, C. S., & Jan, J. C. (2007). "Unsupervised fuzzy neural networks for damage detection of structures", *Structural Control and Health Monitoring: The Official Journal of the International Association for Structural Control and Monitoring and of the European Association for the Control of Structures*, 14(1), 144-161.
- [13] Yi, X. D., Xu, F., & Jiang, C. K. (2009). "Research on dam deformation forecast model based on genetic algorithm neural network", *8th international symposium on test and measurement*, 1-6, Hong Kong: International Academic Publishers Ltd, 1536-9.
- [14] Naderpour, H., Rafiean, A. H., & Fakharian, P. (2018). "Compressive strength prediction of environmentally friendly concrete using artificial neural networks", *Journal of Building Engineering*, 16, 213-219.
- [15] Alavi, S. A., Naderpour, H., & Fakharian, P. (2018). "An Approach for Estimating the Rotation Capacity of Wide Flange Beams using Bayesian Regularized Artificial Neural Networks (BRANN)", *Modares Civil Engineering journal*, 18(4), 157-169.
- [16] Kashkaki, Z., Banejad, H., & Heydari, M. (2018). "Application of ANN in Estimating Discharge Coefficient of Circular Piano Key Spillways", *Journal of Soft Computing in Civil Engineering*, 2(3), 39-49.
- [17] Ahmadi, M., Naderpour, H., & Kheyroddin, A. (2014). "Utilization of artificial neural networks to prediction of the capacity of CCFT short columns subject to short term axial load", *Archives of civil and mechanical engineering*, 14(3), 510-517.
- [18] Demuth, H., Beale, M., & Hagan, M. (2009). *Neural Network Toolbox 6 User's Guide*'The MathWorks. Inc, MA, US.
- [19] Naderpour, H., Kheyroddin, A., & Amiri, G. G. (2010). "Prediction of FRP-confined compressive strength of concrete using artificial neural networks", *Composite Structures*, 92(12), 2817-2829.
- [20] Uysal, M., & Tanyildizi, H. (2011). "Predicting the core compressive strength of self-compacting concrete (SCC) mixtures with mineral additives using artificial neural network", *Construction and Building Materials*, 25(11), 4105-4111.