



# کاربرد مدل شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی لرزش‌های ناشی از عملیات انفجار، مطالعه موردی سد رودخانه شور

محمدرضا مطهری  
استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک، اراک، ایران

امین وفايي  
کارشناسی ارشد خاک و پی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خمین

فصلنامه علمی تخصصی  
مهندسی و مدیریت ساخت  
سال دوم، شماره دوم  
شماره پیاپی ششم  
تابستان ۱۳۹۶

نویسنده مسئول: مطهری،  
محمدرضا\*

آدرس ایمیل:

m-motahari@araku.ac.ir

## چکیده

لرزش زمین یکی از مهمترین اثرات نامطلوب عملیات انفجار در پروژه‌های عمرانی و معادن سطحی است و در صورت عدم کنترل منجر به وارد آمدن آسیب‌های فراوان به سازه‌های اطراف خواهد شد. بنابراین پیش‌بینی دقیق این لرزش‌ها در جهت کمینه کردن اثرات مخرب زیست‌محیطی آن امری ضروری است. هدف از مقاله پیش رو بررسی و پیش‌بینی لرزش‌های ناشی از عملیات انفجار بر سازه سد رودخانه شور می‌باشد. استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به عنوان یک ابزار قدرتمند در پیش‌بینی لرزش‌های ناشی از عملیات انفجار مورد بررسی قرار گرفته و علاوه بر آن، از مدل‌های تجربی نیز برای این کار استفاده شده است. برای ارزیابی عملکرد مدل‌های ارائه شده در پیش‌بینی لرزش زمین، از معیارهای آماری مختلفی از جمله RMSE استفاده شده است. نتایج حاصله حاکی از آن است که مقدار پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی مصنوعی به مقادیر واقعی نزدیک تر بوده و این مدل دارای دقت به مراتب بالاتری نسبت به سایر مدل‌های تجربی در پیش‌بینی لرزش‌های ناشی از عملیات انفجار می‌باشد.

کلمات کلیدی: عملیات انفجار، لرزش زمین، مدل شبکه عصبی، مدل‌های تجربی، سد رودخانه شور

## Application of ANN in Prediction of Vibration Caused By Blast Operation, Case Study Shur River Dam

M.R. Motahari  
Assistant Professor, Dept. of Civil Engineering, Faculty of  
engineering, Arak University, Arak, Iran

AminVafae  
MSC of Geotechnical Engineering, Islamic Azad University, Khomein  
Branch, Khomein, Iran



Volume 2 , Issue 2,  
Summer 2017

Corresponding author:  
mohammadreza motahari

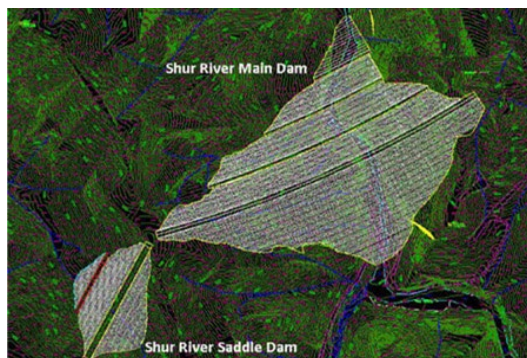
Email address:  
m-motahari@araku.ac.ir

## ۱- مقدمه

لازم است مصالح موردنیاز آن تأمین و به کارخانه‌های مربوطه ارسال و مصالح در ابعاد موردنیاز خردشده تا بخش‌های مختلف سازه سد احداث شوند. با این هدف، نیاز است مصالح مورد نیاز از نزدیک‌ترین معادن به موقعیت سد تأمین شوند. با بررسی و ارزیابی موقعیت نواحی اطراف و مبتنی بر نیازهای فنی مربوط به مشخصات سنگ موردنیاز، دو معدن در اطراف ناحیه سد انتخاب شدند. این معادن بر اساس حجم مصالح استخراج‌شده از آن‌ها به نام‌های معدن اصلی و معدن ثانویه تعبیر می‌شوند و به ترتیب در فواصل ۱۰۰۰ و ۵۰۰ متری از سازه سد قرار گرفته‌اند. عملیات خرد کردن سنگ در این معادن با استفاده از روش چال زنی و انفجار انجام می‌شود. یکی از مهم‌ترین اثرات نامطلوب عملیات انفجار در این ناحیه، لرزش زمین است. لرزش‌های تولیدشده ممکن است به سازه سد تأثیر نامطلوب گذارد، بنابراین لازم است این لرزش‌های ایجادشده پیش‌بینی و ارزیابی گردند. برای انجام پیش‌بینی، ۷۳ رویداد انفجار برصد شده است و مقادیر ماکزیمم خرج مصرفی در هر تأخیر برحسب کیلوگرم، فاصله بین مکان انفجار و محل نصب ژئوفن برحسب متر و نیز مقدار لرزش زمین ایجادشده، بر اساس پارامتر حداکثر سرعت ذرات، برحسب میلی‌متر بر ثانیه اندازه‌گیری شده است. بازه مقادیر اندازه‌گیری شده در جدول ۳ بیان شده است. برای اندازه‌گیری لرزش زمین از ژئوفن MR2002 ساخت شرکت SYSCOM سوئیس، استفاده شده است. این ژئوفن قادر است به ثبت لرزش‌های ایجادشده در سه راستای X، Y و Z بپردازد. نمونه‌ای از ثبت لرزش ایجادشده توسط این ابزار و نیز خروجی آن مربوط در اشکال ۳ و ۴ قابل مشاهده است.



شکل ۱- موقعیت سد رودخانه شور



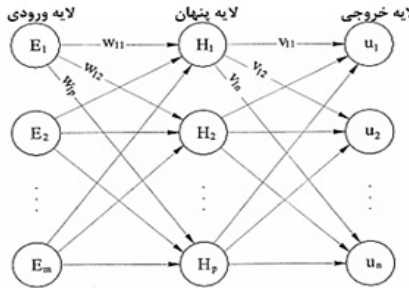
شکل ۲- نمایی از بخش‌های اصلی و سدل در ناحیه سد رودخانه شور

در پروژه‌های عمرانی و معادن سطحی، یکی از روش‌های اقتصادی و متداول برای خرد کردن سنگ، عملیات چال زنی و انفجار است [۱]. در این حالت تنها حدود ۲۰٪ انرژی آزادشده از مواد منفجره صرف خرد کردن سنگ می‌شود و مابقی صرف تولید اثرات نامطلوب از جمله لرزش زمین، لرزش هوا، ایجاد سروصدا و پرتاب سنگ می‌شود [۴-۲]. از میان این اثرات نامطلوب، لرزش زمین مهم‌ترین اثر نامطلوب عملیات انفجار محسوب می‌شود، زیرا که حدود ۴۰٪ انرژی آزادشده از مواد منفجره صرف تولید این پارامتر می‌شود [۵]. در صورت عدم کنترل و کمینه‌سازی، لرزش زمین موجب خسارت‌های فراوانی به ساختمان‌های اطراف خواهد شد. سابقه تحقیقات در زمینه پیش‌بینی لرزش‌های زمین، تولیدشده از عملیات انفجار، بسیار گسترده است که بیان‌کننده اهمیت این موضوع است. این تحقیقات در حالت کلی به دو بخش تقسیم می‌شود. بخش اول مربوط به تحقیقاتی است که پیش‌بینی لرزش زمین، با استفاده از روش‌ها و فرمول‌های تجربی انجام شده است. به‌طور مثال، از و همکاران [۶] و نیز کهریمان [۷]، با توجه به اهمیت کنترل و کمینه کردن اثرات زیست‌محیطی عملیات انفجار، به پیش‌بینی و کنترل لرزش‌های تولیدشده پرداخته‌اند. در این تحقیقات، پیش‌بینی لرزش زمین با استفاده از فرمول‌های تجربی انجام شده است و در نهایت فرمولی برای تخمین لرزش در منطقه موردنظر تدوین شده است. بخش دوم مربوط به تحقیقاتی است که از روش‌های هوش مصنوعی از جمله مدل شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده است. نتایج تحقیقات حاکی از آن است که نتایج به‌دست‌آمده از مدل شبکه عصبی مصنوعی بسیار به واقعیت نزدیک است و به همین علت استفاده از این مدل در حال گسترش است [۸-۱۲]. در مقاله حاضر، کاربرد مدل شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی لرزش‌های زمین تولیدشده از عملیات انفجار در ناحیه سد رودخانه شور مورد تحقیق قرار گرفته است. برای ارزیابی عملکرد مدل شبکه عصبی، از مدل‌های تجربی نیز استفاده شده است و در نهایت نتایج پیش‌بینی‌شده با مقادیر واقعی برای یافتن مدلی با کمترین میزان خطا مقایسه شده است.

## ۲- مطالعه موردی

سد رودخانه شور بلندترین سد هسته آسفالتی خاورمیانه است که دارای قابلیت ذخیره‌سازی آب به میزان ۳۴ میلیون مترمکعب و طول تاج ۴۵۰ متر است. این سد در استان کرمان و در مجاورت معدن مس سرچشمه احداث شده است. محل احداث این سد در موقعیتی با عرض جغرافیایی ۳۰-۴۸'۱ و طول جغرافیایی ۵۵-۴۷'۵۱ قرار گرفته است (شکل ۱). همچنین سنگ‌بستر در این منطقه از نوع آندزیت و توف است. سازه سد رودخانه شور به دو قسمت، شامل بخش‌های اصلی و سدل، تقسیم شده است. که ارتفاع آن‌ها به ترتیب ۸۵/۵ و ۳۶/۵ متر می‌باشد (شکل ۲). برای احداث سازه سد،

برای تست استفاده خواهند شد. الگوهای خاصی برای آموزش شبکه عصبی وجود دارد، از میان آن‌ها الگوریتم پس انتشار تکنیکی بسیار قوی است که بیشترین کاربرد را در طرز یادگیری برای لایه‌های چندگانه شبکه عصبی را فراهم می‌کند. این شبکه شامل یک لایه ورودی، یک یا چند لایه پنهان و یک لایه خروجی است. برای آموزش این شبکه، معمولاً از الگوریتم پس انتشار استفاده می‌شود. شکل ۲ نمونه‌ای از یک شبکه پرسپترون چندلایه را نشان می‌دهد [۱۵].



شکل ۲ شبکه پس انتشار

### ۳-۱- پیش‌بینی لرزش زمین با استفاده از فرمول‌های تجربی

در این بخش به پیش‌بینی مؤلفه لرزش زمین با استفاده از فرمول‌های تجربی مختلف می‌پردازیم. این فرمول‌های تجربی در جدول ۲ بیان شده‌اند [۱]. در این معادلات، PPV پارامتر لرزش زمین برحسب میلی‌متر بر ثانیه، D فاصله محل انفجار تا محل ثبت لرزش زمین برحسب متر، حداکثر خرج مصرفی در هر تأخیر برحسب کیلوگرم و پارامترهای K B A ضرایب ثابت این فرمول‌ها هستند که با استفاده از آنالیز رگرسیون محاسبه می‌شوند. به منظور تعیین فرمول از ۵۸ دسته اطلاعات استفاده می‌کنیم و در مرحله بعد، از ۱۵ دسته اطلاعات جدید برای مقایسه میان مقادیر اندازه‌گیری شده واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده، توسط فرمول‌های مختلف، می‌پردازیم. بر اساس آنالیز رگرسیون انجام شده، ضرایب ثابت فرمول‌های تجربی محاسبه و در جدول ۳ بیان شده‌اند.

فرمول‌های تجربی	معادله
USBM	$PPV = K \times [D / \sqrt{W}]^B$
Langefors-Kilhstrom	$PPV = K \times \left[ \sqrt{\frac{W}{D}} \right]^B$
Davies	$PPV = K \times D^B \times W^A$

جدول ۲ فرمول‌های تجربی برای پیش‌بینی لرزش زمین

فرمول تجربی	K	B	A
USBM	48.36	-0.92	-
Langefors-Kilhstrom	1.21	0.73	-
Davies	33.26	-0.84	0.44

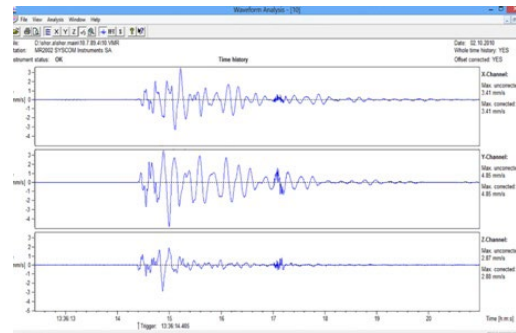
جدول ۳ ضرایب ثابت مربوط به فرمول‌های تجربی

	C16	C17	C18	C19	C20
A1	2.2	3.8	1.6	3.3	3.4
A2	3.9	3.6	3.8	2.7	4.1
A3	3.4	3.3	3	2.9	3.9
A4	3.2	3.4	3.5	2.3	4.1

جدول ۳ مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده



شکل ۳- ابزار MR2002 به منظور ثبت لرزش زمین



شکل ۴- خروجی برداشت‌شده از ابزار MR2002

### ۳- مدل شبکه عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی با الهام از شبکه عصبی بیولوژیکی به وجود آمده و کاربرد آن شبیه عملکرد مغز انسان است و یکی از خصوصیات جالب آن‌ها این است که توانایی یادگیری دارند [۱۳]. یک شبکه شامل واحدهایی به نام سلول عصبی یا نرون است و این قابلیت را دارد که با به کار بردن یک دسته داده ورودی بتواند یک دسته داده خروجی دلخواه را تولید نماید [۱۴]. هر شبکه عصبی دارای حداقل سه لایه است که شامل لایه ورودی، لایه میانی معروف به لایه پنهان و لایه خروجی است. لایه ورودی محل وارد شدن اطلاعات مورد نظر شبکه است. انتخاب، نوع و تعداد ورودی‌های شبکه در کیفیت عملکرد شبکه تأثیر زیادی دارد. استفاده از تعداد زیاد و غیر ضروری و همچنین پارامترهای غیر مؤثر به عنوان ورودی، باعث پیچیدگی بیش‌ازاندازه شبکه و در نتیجه عملکرد نامناسب آن خواهد شد. لایه‌های پنهان نقش سازمان‌دهی عملکرد یک شبکه مصنوعی را بر عهده دارند. تعداد لایه‌های پنهان و سلول‌های عصبی موجود در این لایه‌ها تأثیر بسزایی در عملکرد شبکه دارد. این تعداد بر اساس سعی و خطا تعیین خواهند شد. لایه نهایی هر شبکه عبارت از لایه خروجی است که نتیجه عملکرد شبکه عصبی و پارامترهای مورد نظر را ارائه می‌دهد. مدل‌سازی در شبکه عصبی دارای سه مرحله است که عبارت‌اند از آموزش، اعتبار سنجی و تست. در حقیقت بخشی از داده‌ها برای آموزش، بخشی برای اعتبار سنجی و بخشی

### ۳-۲- پیش‌بینی لرزش زمین با استفاده از مدل شبکه عصبی

برای به‌کارگیری شبکه عصبی از ۵۸ داده - از مجموع حدوداً ۷۳ داده - برای آموزش شبکه و از ۱۵ داده برای تست شبکه استفاده شد. پارامترهای ورودی‌ها عبارت‌اند از: ماکزیمم خرج در هر تأخیر برحسب کیلوگرم و فاصله محل انفجار تا محل نصب دستگاه لرزه‌نگار برحسب متر. همچنین پارامتر خروجی مؤلفه PPV برحسب میلی‌متر بر ثانیه است. پس از بررسی و ارزیابی مدل‌های مختلف و استفاده از روش سعی و خطا در ارتباط با تعیین تعداد لایه‌های مخفی و تعداد هر نرون در آنها، معماری مناسب برای عملکرد بهتر شبکه عصبی در جدول ۴ نشان داده شده است.

شبکه استفاده‌شده	پس انتشار
تعداد نرون‌های لایه ورودی	2
تعداد نرون‌های لایه خروجی	1
تعداد لایه‌های مخفی	1
تعداد نرون‌ها در لایه مخفی	3
تعداد داده‌ها برای آموزش شبکه	58
تعداد داده‌ها برای تست شبکه	15
تعداد epoch	1000

### ۴- مقایسه نتایج به‌دست آمده از فرمول‌های تجربی و مدل شبکه عصبی

در این مقاله، برای تعیین میزان دقت مدل‌های تجربی و نیز مدل شبکه عصبی، از روش‌های آماری مختلفی استفاده شده است تا میزان عملکرد مدل‌های مختلف به‌دقت تعیین گردد. این روش‌ها عبارت‌اند از RMSE و R2. روابط مربوط به این روش‌های آماری مطابق فرمول‌های زیر است [۱]:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - X_p)^2} \quad (1)$$

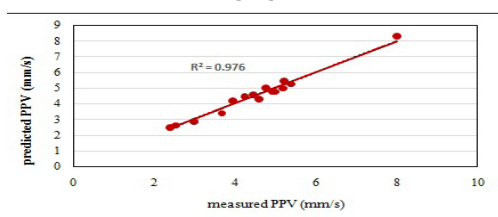
$$R^2 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^n (X_i - X_{mean})^2 \right] - \left[ \sum_{i=1}^n (X_i - X_p)^2 \right]}{\left[ \sum_{i=1}^n (X_i - X_{mean})^2 \right]} \quad (2)$$

در فرمول‌های فوق  $X_i$  بیانگر مقادیر واقعی،  $X_p$  بیانگر مقادیر پیش‌بینی‌شده،  $X_{mean}$  مقادیر متوسط  $n$  تعداد داده‌ها است. در حالت ایده آل برای مقادیر پیش‌بینی شده نسبت به مقادیر واقعی براساس معیارهای RMSE برابر صفر R2 یک خواهد بود. پس از ارزیابی نتایج به‌دست‌آمده از پیش‌بینی مؤلفه لرزش زمین (PPV) با روش‌های مختلف آماری، مشخص شد مدل شبکه عصبی نزدیک‌ترین پیش‌بینی به واقعیت را ارائه می‌کند و در بین روش‌های ارائه‌شده دارای کمترین خطا است. در جدول ۵ نتایج مربوط به معیارهای

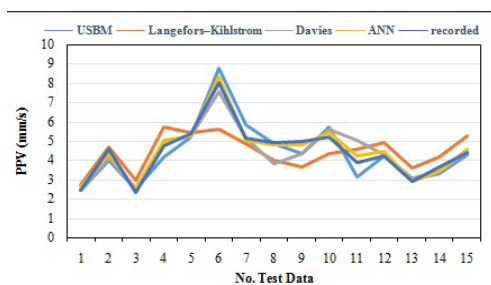
آماری مختلف برای ارزیابی مدل‌های مختلف پیش‌بینی‌کننده بیان شده است. به‌عنوان نمونه، مقایسه بین مقادیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی‌شده لرزش زمین توسط مدل شبکه عصبی در شکل ۳ مشخص شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود ضریب همگرایی R2 برابر ۰.۹۷۶ بیانگر دقت بالای این مدل در پیش‌بینی لرزش زمین است. همچنین مقادیر اندازه‌گیری شده واقعی و مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط مدل‌های مختلف، در شکل ۴ نشان داده شده است.

Model	R <sup>2</sup>	RMSE
USBM	0.92	0.46
Langefors-Kihlstrom	0.53	0.91
Davies	0.87	0.49
ANN	0.98	0.2

جدول ۵ مقایسه عملکرد مدل‌های پیش‌بینی‌کننده لرزش زمین



شکل ۳ مقایسه میان مقادیرهای پیش‌بینی‌شده لرزش زمین به‌وسیله ANN با مقادیرهای واقعی



شکل ۴ مقایسه پیش‌بینی‌های انجام‌شده و مقادیر واقعی

### ۵- نتیجه‌گیری

لرزش زمین یکی از مهم‌ترین اثرات نامطلوب عملیات انفجار است. لذا پیش‌بینی دقیق آن، با هدف بهبود اثرات زیست‌محیطی این عملیات انفجار، داری اهمیت فراوانی است. در این مقاله، پیش‌بینی این لرزش‌ها با استفاده از فرمول‌های تجربی و نیز مدل شبکه عصبی مصنوعی انجام شده است. برای این منظور، مقادیر ماکزیمم خرج مصرفی در هر تأخیر، فاصله محل انفجار تا محل ثبت لرزش زمین و نیز مقادیر لرزش ثبت‌شده توسط لرزه‌نگار، برای ۷۳ رویداد انفجاری اندازه‌گیری شده است. در این مقاله از معیارهای آماری مختلفی برای تعیین خطای مدل‌های پیش‌بینی‌کننده استفاده شده است و پس از بررسی مقادیر این معیارها، نتایج نشان‌دهنده این است که از میان مدل‌های ارائه‌شده، مدل شبکه عصبی دارای کمترین میزان خطا و بیشترین همگرایی بین مقادیر پیش‌بینی‌شده و مقادیر واقعی است.

13-Gordan B, JahedArmaghani D, Hahijassani M, Monjezi M (2015) Prediction of seismic slope stability through combination of particle swarm optimization and neural network. EngComput;DOI:10.1007/s00366-015-0400-7  
Mohamed MT (2011) Performance of -14 fuzzy logic and artificial neural network in prediction of ground and air vibrations. Int J Rock Mech Min Sci, 48:845-51  
FausettLV(1994)FundamentalsofNeural-15 Networks: Architecture, Algorithms and Applications: Prentice-Hall, Englewood Cliffs

## ۶- مراجع

Hasanipanah M, Monjezi M, Shahnazar -1 A, JahedArmaghani D, Farazmand A (2015) Feasibility of indirect determination of blast induced ground vibration based on support vector machine. Measurement 75:289-297  
Bhandari S (1997)Engineering rock blast- -2 ;ing operations, Netherlands: A.A. Balkema  
Khandelwal M, Singh TN (2007) Evaluation-3 ofblast-inducedgroundvibrationpredictors, .Soil Dynamic EarthquakeEng;27:116-25  
ShiraniFaradonbehR, MonjeziM, JahedAr--4 maghani D (2015) Genetic programing and non-linear multiple regression techniques to predict backbreak in blasting operation. EngComput;DOI 10.1007/s00366-015-0404-3  
Khandelwal M, Singh TN (2009) Pre- -5 diction of blast-induced ground vibration using artificial neural network. Int J Rock Mech Min Sci;46:1214-22  
6-Ozer, O., Kahrman, A., Aksoy, M., Adiguzel, D., Karadogan, A(2008) The analysis of ground vibrations induced by bench blasting at Akyol quarry and practical blasting charts, Environ Geol, Vol. 54, PP.737-743  
Kahrman, A(2004)Analysis of parameters-7 of ground vibration produced from bench blasting at a limestone quarry, Soil Dynamics Earthquake Eng, Vol. 24, PP.887-892  
Kazim, G., Ercan, A., Ahmet D., Arzu K(2013)-8 Investigation of blast-induced ground vibrations in the Tulu boron open pit mine, Bull EngGeol Environ, Vol. 72, PP.555-564  
BakhshandehAmnieh, M., Mozdian- -9 fard, M.R., Siamaki, A(2010) Predicting of blasting vibrations in Sarcheshmeh copper mine by neural network, Safety Science, Vol. 48, PP.319-325  
Saadat, M., Khandelwal, M., Monjezi, -10 M (2014) An ANN-based approach to predict blast-induced ground vibration of Gol-E-Gohar iron ore mine, Iran, J Rock Mech Geotechnical Eng, Vol. 6, PP.67-76  
Dehghani, H., Ataee-pour, M (2011) -11 Development of a model to predict peak particle velocity in a blasting operation, Int J Rock Mech Min Sci, Vol. 48, PP.51-58  
Vasovic, D., Kostic, S., Ravilic, M., -12 Trajkovic, S (2014) Environmental impact of blasting at Drenovac limestone quarry (Serbia), Environ Earth Sci, DOI 10.1007/s12665-014-3280-z