Iran Nanotechnology Laboratory Network

Iranian Journal of laboratory Knowledge

ISSN 2538-3450

Volume 9 ■ Issue 4 ■ Winter 2021 ■ No.36

Comparison of atomic force microscopy with some common methods in measuring surface roughness Abstract

Standardization, Quality tests, and Cleansing Methods to Reuse Face Masks Used in Coronavirus and Respiratory Diseases Outbreaks

Common diseases of farmed shrimp (Litopenaeus vannamei) and laboratory diagnostic methods

Genetic studies in ancient excavations (geoarchaeology)

Prediction of UCs Sterength of Limestone Using Neural Network and ANFIS (Case Study)

Determination of the Uncertainty Sources of Vicat Softening Temperature for Thermoplastic Material

www.IJLK.ir
info@ijlk.ir

نویسنده
بهنام ابره [1*]
*BehnamAbrah@gmail.com

پیش‌بینی مقاومت فشاری تک‌محوره سنگ‌های آهکی با استفاده از شبکه عصبی و سیستم انطباقی منطق فازی (مطالعه موردی)

واژه‌های کلیدی
عوامل مقاومتی، مقاومت فشاری تک‌محوره، سنگ‌های آهکی، شبکه عصبی چند لایه (MLP)، سیستم انطباقی منطق فازی (ANFIS).

چکیده

عوامل ژئوتکنیکی و مقاومتی از قبیل مقاومت فشاری تک‌محوره[2]، مدول تغییر شکل‌پذیری، چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی جزء مهمترین عوامل برای طراحی عملی و همچنین مدلسازی عددی در توده‌سنگ هستند. مقاومت فشاری به‌عنوان یک عامل ایندکس بسیار اهمیت دارد. این عامل با استفاده از روش‌های مستقیم و آزمایشگاهی قابل تخمین بوده که در بسیاری از موارد، گران قیمت و زمان‌بر است. تاکنون مدل‌های گوناگون تجربی به‌منظور تخمین مقاومت فشاری تک‌محوره سنگ با استفاده از عوامل مختلف پیشنهاد شده‌است که به‌طور عمده برای سنگ‌های یک ناحیه خاص بوده و به‌منظور استفاده آن برای سایر مناطق، عدم قطعیت‌های زیادی وجود دارد. شبکه عصبی مصنوعی ابزار قدرتمندی است که به‌منظور ایجاد مدل‌های پیشگو به کار برده می‌شود و مطالعات انجام شده برتری این روش را نسبت به روش‌های آماری کلاسیک نشان می‌دهد. هدف این مقاله، تخمین مقاومت فشاری تک‌محوره سنگ‌های آهکی با استفاده از مدول الاستیسیته، تخلخل موثر، وزن مخصوص، نسبت پواسن است. در این مقاله برای مدلسازی UCS از دو سیستم هوشمند شبکه عصبی چندلایه[3] و سیستم انطباقی منطق فازی[4] استفاده شده‌است. براساس نتایج به دست آمده، هر دو شبکه ساخته شده دارای عملکرد قابل قبولی برای پاسخ به تخمین مقاومت فشاری سنگ بوده و انتخاب دقیق‌ترین شبکه بستگی به کمیت و کیفیت جامعه آماری داده‌های استفاده شده دارد. در این مقاله شبکه عصبی طراحی شده تا حدودی بهتر از شبکه منطق فازی عمل کرده است.

فصلنامه دانش آزمایشگاهی ایران سال نهم ■ شماره ٤ ■ زمستان ١٤٠٠ ■ شماره پیاپی ٣٦

مقدمه

توده‌های سنگی به‌عنوان عناصر زمین‌شناسی مشخصات مکانیکی پیچیده‌ای دارند و رفتار مکانیکی آن‌ها ناشی از عوامل متعددی است که مرتبط به فرایندهای تشکیل و محیط‌های زمین‌شناسی آن‌ها می‌شود. تعریف این عوامل به خصوص عوامل زمین‌شناسی در قالب متداول ریاضی برای تحلیل‌های بعدی کار مشکلی است. در بیشتر موارد، تنها تعدادی از این عوامل به جای همگی آن‌ها به‌عنوان متغیرها در فرمول‌ها جایگذاری می‌شوند؛ در نتیجه، داده‌های تجربی به دست آمده با نتایج پیش‌بینی شده از این فرمول‌ها همخوان نیستند چرا که عوامل متعددی نادیده گرفته شده‌است.

در چند دهه گذشته پیشرفت‌های عمده‌ای در شبیه‌سازی محیط‌های زمین‌شناسی و چگونگی بارگذاری آن‌ها و همچنین کسب اطلاعات بیشتر در مورد شرایط زمین‌شناسی و خواص مهندسی از فعالیت‌های شناسایی محلی حاصل شده‌است؛ اما بدلیل محدودیت‌های موجود در بودجه و طراحی و همچنین محدودیت در جمع‌آوری اطلاعات، شبیه‌سازی دقیق با استفاده از مدل‌های زمین‌شناسی فقط در پروژه‌های حساس انجام می‌شود. با این حال نمی‌توان مطمئن بود که بتوان بیشتر شرایط زمین‌شناسی را کاملاً تعریف کرد و یا پیچیدگی‌های رفتار مکانیکی در یک سیستم طبیعی را مدل نمود.

در این بین سیستم‌های هوشمند در کارهای مهندسی در چندین شاخه که شامل سیستم‌های خبره، شبکه‌های عصبی مصنوعی و روش‌های احتمالی و یا فازی است، رشد کرده است و تحقیقات زیادی برای استفاده از این ابزار در مهندسی ژئوتکنیک انجام شده‌است [۱ و ۲].

در این تحقیق از شبکه‌های عصبی مصنوعی دو لایه و سیستم انطباقی منطق فازی برای تخمین مقاومت فشاری سنگ استفاده شده‌است. ابتدا با استفاده از نتایج آزمایش‌های آزمایشگاهی برای یک مطالعه موردی، اطلاعات جمع‌آوری شد. سپس اقدام به تهیه شبکه شد و، در انتها پس از تهیه شبکه، به تخمین و بررسی مدل ساخته شده پرداخته شده‌است.

تاریخچه پیش‌بینی مقاومت فشاری با استفاده از سیستم‌های هوشمند

اندازه‌گیری مقاومت فشاری تک‌محوره در طراحی‌های مکانیک سنگی از اولویت‌های آزمایشگاهی است. این عامل در بسیاری از طراحی‌ها از جمله تونل، شیروانی و همچنین در بسیاری از سیستم‌های طبقه‌بندی سنگ مورد استفاده قرار می‌گیرد [۵-۳].

به‌طور کلی دو روش اساسی برای تخمین مقاومت فشاری سنگ وجود دارد. روش اول استفاده از روش‌های مستقیم مانند نمونه گرفتن و انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی و روش دوم استفاده از روش‌های غیرمستقیم مانند فرمول‌های تجربی حاصل از مطالعات انجام است [۶]. در روش مستقیم، اجرای دقیق این آزمایش مشکل، وقت‌گیر و هزینه‌بر است. آزمایش‌های استاندارد برای بدست آوردن این عامل به روش آزمایشگاهی با استفاده از روش‌های پیشنهادی انجمن بین‌المللی مکانیک سنگ[۵] و انجمن آمریکایی آزمایش و مواد[۶] ارائه شده‌است [۶ و ۷]. همچنین در بسیاری موارد، بدست آوردن نمونه‌ای با ابعاد مناسب به‌منظور انجام آزمایش مانند شرایطی که هوازدگی و خردشدگی شدید وجود دارد، بسیار مشکل و حتی غیرممکن بوده و یا آنکه نیاز است نمونه موجود تخریب نشود. در اینگونه شرایط، روش‌های غیرمستقیم می‌توانند برای تعیین مقاومت فشاری تک‌محوره مؤثر باشد. آزمون بار نقطه‌ای و چکش اشمیت از جمله روش‌های غیرمستقیمی هستند که به‌منظور تخمین مقاومت فشاری تک‌محوره مورد استفاده قرار می‌گیرند [۳ و ۴].

در سال‌های گذشته محققین تلاش نموده‌اند مدل‌هایی ارائه دهند که قادر به تخمین مقاومت فشاری تک‌محوره سنگ براساس دیگر خواص ذاتی آن با قابلیت اندازه‌گیری ساده‌تر باشد. در این مطالعات به‌طور عمده با استفاده از روش‌های آماری و اخیراً با گسترش روش‌های هوشمند، مدل‌هایی ارائه شده که قادر به تخمین مقاومت فشاری تک‌محوره سنگ هستند [۸].

سینک و همکاران (۲۰۰۱) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی مدلی ارائه دادند که قادر به پیش‌بینی مقاومت فشاری تک‌محوره سنگ با دقت مناسب بود [۸]. منوچهریان و همکاران (۲۰۱۲) به تخمین مقاومت فشاری تک‌محوره ماسه‌سنگ از ویژگی‌های بافتی آن با استفاده از شبکه عصبی پرداختند. آنها با استفاده از تصاویر پتروگرافی و ایجاد یک شبکه عصبی مصنوعی، تخمینی از مقاومت فشاری تک‌محوره سنگ بدست آوردند [۳]. آبدولکادیر و همکاران (۲۰۱۱) به تخمین مقاومت تک‌محوره با استفاده از نتایج آزمایشگاهی و یک شبکه مصنوعی برای سنگ‌های رسی در یک منطقه در ترکیه پرداختند. عاملی که آنها بیشتر مورد توجه قرار دادند، دوام سنگ و محتوی رس بود [۴]. دهقانی و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی و پیش‌بینی مقاومت فشاری تک‌محوره و مدول الاستیسیته سنگ تراورتن با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرداختند. عوامل ورودی آنها برای تولید یک شبکه عصبی مقاومت فشاری حاصل از چکش اشمیت، تخلخل، آزمایش مقاومت فشاری نقطه‌ای و سرعت امواج طولی اولیه[۷] است [۹]. مجدی و رضایی (۲۰۱۳) به تخمین مقاومت فشاری تک‌محوره سنگ در اطراف یک جاده با استفاده از شبکه عصبی و آنالیز رگرسیون چند متغیره پرداختند [۱۰]. قاسمی و همکاران

(۲۰۱۶) به پیش‌بینی مقاومت فشاری تک‌محوره و مدول یانگ سنگ‌های کربناته پرداختند. عوامل ورودی در شبکه عصبی ساخته شده شامل مقاومت فشاری چکش اشمیت، چگالی، تخلخل مؤثر، سرعت امواج P و دوام سنگ است [۱۱]. حیدری و همکاران (۲۰۱۷) مقاومت فشاری تک‌محوره برای ماسه‌سنگ، وکاستون و ژیپس را برای منطقه‌ای در قم (ایران مرکزی) بررسی کردند [۱۲]. مشرفی و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از شبکه‌های عصبی و مدل‌های ساخته شده برای پیش‌بینی مقاومت نهایی شیل از مدل‌های رفتاری مختلف از جمله دراگر-پراگر و موگی-کولومب استفاده نمودند [۱۳]. نتایج تمامی این تحقیقات نشان می‌دهند که روش‌های محاسبات نرم‌افزاری دقت بهتری نسبت به روش‌های مرسوم تجربی دارند.

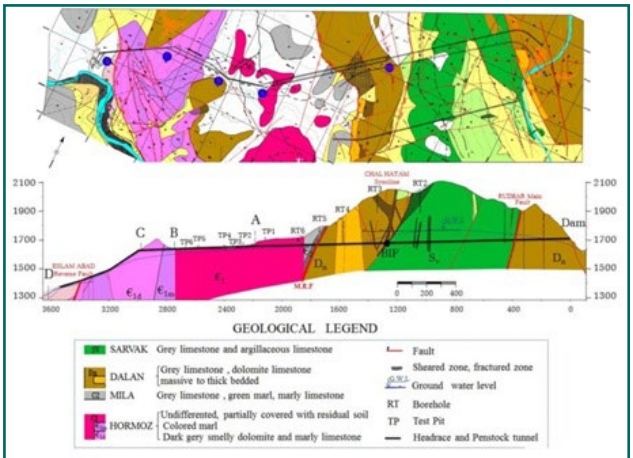
هدف این مقاله ارائه یک مدل پیش‌بینی برای مقاومت فشاری تک‌محوره سنگ‌های آهکی است. داده‌های مورد استفاده برای ساخت شبکه عصبی و فازی به‌منظور تخمین مقاومت فشاری تک‌محوره در این مقاله مدول الاستیسیته، چگالی خشک، نسبت پواسن و تخلخل موثر است.

معرفی مطالعه موردی

سد و نیروگاه رودبار در استان لرستان و در فاصله حدود ۱۰۰ کیلومتری جنوب شهرستان الیگودرز روی رودخانه رودبار احداث شده‌است. هدف از احداث این سد، استفاده از پتانسیل طبیعی منطقه به‌منظور تولید انرژی برقابی با ظرفیت ۴۵۰ مگاوات است. ساختگاه سد در عرض جغرافیایی "۱۹ '۵۴ °۳۲ شمالی و طول جغرافیایی "۵ '۴۱ °۴۹ شرقی واقع شده‌است [۱۴].

محدوده محل سد و دریاچه سد رودبار و همچنین تونل آب‌بر و تونل‌های پنستاک در پهنه زاگرس شمالی یا زاگرس مرتفع واقع شده‌اند. این ناحیه یک نوار به شدت خرد شده به پهنای بین ۷۰ تا ۱۰۰ کیلومتر است که از جنوب باختری به نوار چین‌خورده زاگرس و از شمال خاوری به گسل اصلی معکوس زاگرس در ناحیه سنندج - سیرجان محدود شده‌است. توده سنگ‌های مسیر انتقال آب به نیروگاه به لحاظ سنگ‌شناسی متنوع بوده و از ساختار به نسبت پیچیده‌ای برخوردار است [۱۴].

تمامی نمونه‌های سنگی که برای آزمایش‌های آزمایشگاهی مورد استفاده قرار گرفتند طبق استانداردهای ASTM و ISRM است. جنس سنگ‌های مورد مطالعه در این پروژه آهک، آهک دولومیتی و دولومیت خاکستری تا خاکستری تیره و دلومیت آهکی است. عوامل مورد استفاده برای پیش‌بینی مقاومت فشاری تک‌محوره شامل مدول الاستیسیته، وزن مخصوص، تخلخل موثر و نسبت پواسن است. مقطع ژئوتکنیکی و زمین‌شناسی محدوده طرح در شکل (۱) آمده است.

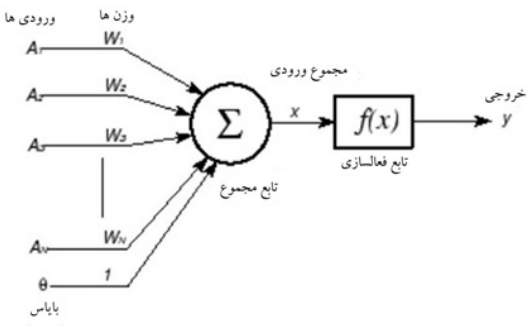


شکل (۱): مقطع عرضی ژئوتکنیکی و زمین‌شناسی سد و نیروگاه رودبار لرستان [۱۴]

شبکه عصبی

شبکه‌های عصبی مصنوعی، شبکه‌های محاسباتی هستند که به‌منظور شبیه‌سازی شبکه سلول‌های عصبی مغز موجودات زنده به کار می‌روند [۱۵]. یک شبکه عصبی از تعدادی نورون که در لایه‌های متوالی قرارگرفته‌اند تشکیل شده‌است. در اصل، در این شبکه‌ها سه نوع لایه وجود دارد؛ یک لایه ورودی، یک یا چند لایه میانی و یک لایه خروجی.

تعداد نرون‌های موجود در لایه‌های ورودی و خروجی براساس تعداد عوامل ورودی و خروجی سیستم و تعداد لایه‌های میانی به همراه تعداد نرون‌های موجود در هر لایه با توجه به پیچیدگی مسئله با روش سعی و خطا تعیین می‌شوند. در شکل (۲) یک شبکه ساده با تغذیه پیشرو با R ورودی نشان داده شده‌است.



شکل (۲): مدل ریاضی نرون با تغذیه پیشرو [۱۶].

◆ ساخت شبکه عصبی چندلایه

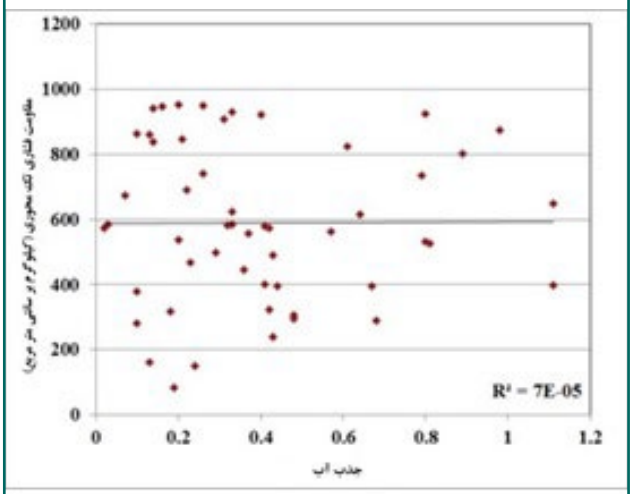
برای ساخت مدل شبکه عصبی مصنوعی به روش شبکه چند لایه پرسپترون از ۶۱ سری داده به‌دست آمده از پروژه سد و نیروگاه رودبار لرستان به کمک ۵ داده ورودی (در مجموع ۳۰۵ داده) استفاده شده‌است به طوری که در ابتدا

باید عوامل ورودی و خروجی شبکه مشخص شوند. عوامل ورودی شامل عوامل مدول الاستیسیته، نسبت پواسن، تخلخل موثر و دانسیته خشک هستند. عامل خروجی برداشت شده نیز مقاومت فشاری تک‌محوره است. در جدول (۱) عوامل ورودی و خروجی شبکه عصبی برای ساخت مدل نشان داده شده‌اند.

با بررسی داده‌ها مشخص شد که مقاومت فشاری تک‌محوره با مدول الاستیسیته بیشترین همبستگی و با مقدار جذب آب کمترین همبستگی را دارد (شکل (۳)). لذا در تحلیل و ساخت شبکه مصنوعی از عامل جذب آب استفاده نشد. جدول (۲) ضریب رگرسیون خطی عوامل موثر در مقاومت فشاری تک‌محوری را نشان داده است.

جدول (۱): عوامل ورودی و خروجی شبکه عصبی [۱۷].

نوع عامل	عوامل	واحد	نشانه	دامنه تغییرات
ورودی	مدول الاستیسیته	Kg/cm^2*10^4	E	۰/۱۸ – ۲۶/۴
	تخلخل موثر	%	n	۰/۰۷ – ۸/۸
	وزن مخصوص	Kg/cm^3	γ	۲/۵۷۵ – ۲/۸۱۲
خروجی	نسبت پواسن	-	ν	۰/۱۸ – ۰/۳۳
	مقاومت فشاری تک‌محوره	Kg/cm^2	UCS	۱۷/۲ – ۱۲۳۴



شکل (۳): همبستگی جذب آب یا مقاومت فشاری تک‌محور.

جدول (۲): ضریب رگرسیون خطی عوامل خطی موثر در مقاومت فشاری تک‌محوره.

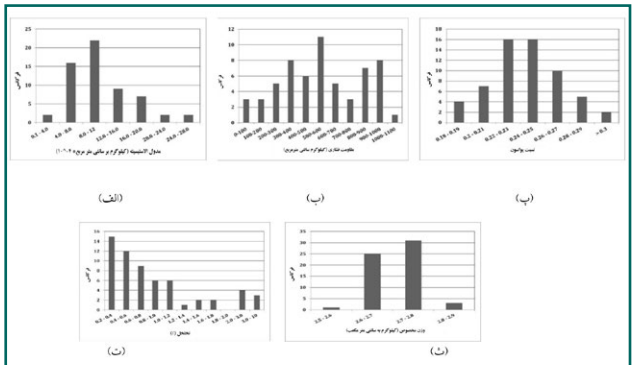
عامل	R^2
مدول الاستیسیته	۰/۴۳
تخلخل موثر	۰/۰۱۸
وزن مخصوص	۰/۰۰۸
نسبت پواسن	۰/۰۱۴
درصد جذب آب	۰/۰۰۰۰۷

در مرحله بعد داده‌ها به دو دسته داده‌های آموزشی و آزمون تقسیم می‌شوند. ۲۰ درصد از این داده‌ها به‌صورت تصادفی انتخاب و به‌عنوان داده‌های آزمون استفاده شد و داده‌های باقیمانده نیز به‌منظور آموزش شبکه برای پیش‌بینی مقاومت فشاری تک‌محوره به کار گرفته شده‌است. برای دست‌یابی به شبکه بهینه لازم است عوامل تعریف شده برای شبکه به‌گونه‌ای تغییر داده شود که مقدار خطای شبکه به کمترین مقدار ممکن خود در حالت آموزش و آزمون میل کند.

◆ تعیین شبکه بهینه

برای رسیدن به مناسب‌ترین ساختار شبکه، شبکه‌های با تعداد لایه و نورون‌های میانی و توابع انتقال مختلف مورد آزمایش قرار گرفت، از بین شبکه‌های موجود، شبکه با الگوی ژنتیک لونبر- مارکوارت با ساختار یک، دو و سه لایه پنهان با نورون‌های مختلف ساخته شد که دو لایه پنهان و ۱۰ نورون میانی با توابع انتقال[8] بهترین نتیجه را داشت. تابع هدف نیز کمینه مربعات خطا[9] در نظر گرفته شد.

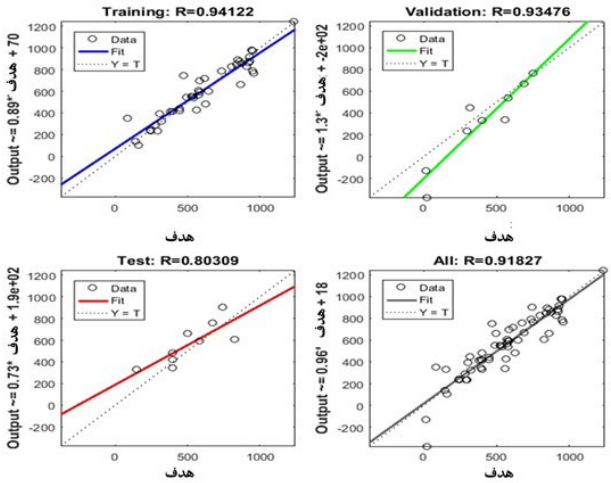
نتایج و مقدار ضریب همبستگی برای ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ نورون در جدول (۳) آمده است. شکل (۴) نتایج ضریب همبستگی بین شبکه عصبی و داده‌های ورودی برای مدل ۱۰ نورون را نشان می‌دهد که بین مدل‌های حل شده بهترین نتیجه را داشته است.



شکل (۴): نمودار فراوانی داده‌های، (الف): مدول الاستیسیته، (ب): مقاومت فشاری، (پ): نسبت پواسن، (ت): تخلخل موثر، (ث): وزن مخصوص.

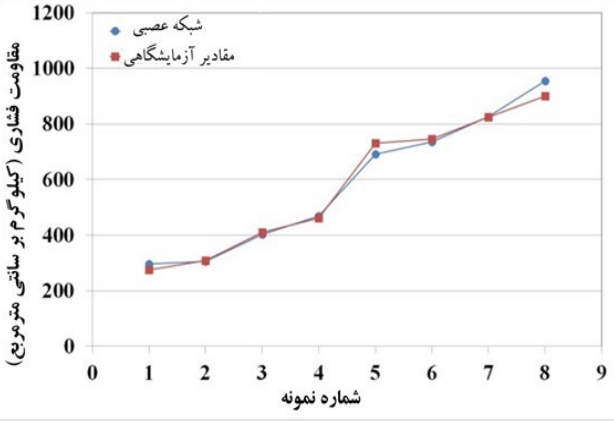
جدول (۳): نتایج و مقدار ضریب همبستگی برای ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ نورون.

الگوریتم	تعداد نورون	R^2	RMSE
Levenberg-Marqardt	۱۲	۰/۸۳	۹/۷
Levenberg-Marqardt	۱۱	۰/۸۵	۷/۵
Levenberg-Marqardt	۱۰	۰/۸۲	۱/۳
Levenberg-Marqardt	۹	۰/۷۴	۵/۲



شکل (۵): نتایج ضریب همبستگی بین شبکه عصبی دو لایه (MLP) و داده‌های ورودی برای مدل ۱۰ نورون.

برای صحت سنجی شبکه عصبی ساخته شده با ۸ داده موجود آزمایشگاهی که در هیچ کدام از فرآیندهای ساخت شبکه استفاده نشده‌است، به بررسی شبکه پرداخته شده‌است. مقادیر آزمایشگاهی و مقادیر تخمین‌زده شده با شبکه عصبی در جدول (۴) آمده است. در شکل (۵) نیز مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده به روش شبکه عصبی دو لایه به‌صورت نمودار آورده شده‌است. در شکل (۶) نیز، مقایسه مقادیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده به روش شبکه عصبی نشان داده شده‌است.



شکل (۶): مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده به روش شبکه عصبی.

جدول (۴): مقایسه بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر پیش‌بینی شده با استفاده از مدل MLP ساخته شده.

شماره	ورودی					مقدار UCS	خروج
	γ	w	n	E	v		UCS N.N.
	Kg/cm^3	%	%	$Kg/cm^2 \times 10^4$		Kg/cm^2	Kg/cm^2
۱	۲/۷۱	۰/۴۸	۰/۴۸	۶/۹	۰/۲۶	۲۹۶	۲۷۵
۲	۲/۶۹	۰/۴۸	۰/۴۸	۱۰	۰/۲۴	۳۰۶	۳۰۹
۳	۲/۶۹	۰/۴۱	۰/۴۱	۷/۴	۰/۲۳	۴۰۲	۴۱۰
۴	۲/۶۹	۰/۲۳	۰/۶۳	۱۲/۵	۰/۲۱	۴۶۹	۴۶۱
۵	۲/۷۴	۰/۲۲	۰/۶۲	۶/۳	۰/۱۸	۶۹۱	۷۳۰
۶	۲/۷۹	۰/۷۹	۰/۷۹	۲۱	۰/۲۴	۷۳۵	۷۴۵
۷	۲/۶۹	۰/۶۱	۱/۶۷	۱۰/۶	۰/۲۲	۸۲۵	۸۲۴
۸	۲/۶۷	۰/۲	۰/۵۲	۱۵/۸	۰/۲۷	۹۵۴	۹۰۰

سیستم انطباقی منطق فازی ANFIS

سـبرای پیش‌بینـی مقادیـر هـدف بـا ایـن روش، یـک سیسـتم اسـتنتاج فـازی[10] ابتدایـی سـاخته شـد. در مرحلـه بعـد بـا اسـتفاده از روش پیـش تعییـن شـده هیبریـد[11] شـبکه آمـوزش داده شـد.

بـا توجـه بـه تعییـن موثرتریـن عوامـل ورودی در مرحلـه قبـل، مـدل نروفـازی بـا اسـتفاده از یـک FIS تهیـه شـد. در ایـن مرحلـه فـرض شـد کـه یـک آزمایـش انجـام نشده‌اسـت و بـا اسـتفاده از سـایر آزمایش‌هـا بـه تخمیـن آن پرداختـه شـد. داده‌هـای آمـوزش و آزمـون دسـته‌بندی شـدند و در هـر مرحلـه جـای داده‌هـای آمـوزش و آزمـون بـا یکدیگـر تعویـض شـدند تـا تمامـی نقـاط بجـز نقاطـی کـه در آنهـا مقادیـر مقاومـت فشـاری تک‌محـوره کمینـه و بیشـینه هسـتند، ارزیابـی شـود. برخـی نقـاط تخمیـن‌زده شـده، خطـای زیـادی دارنـد کـه ناشـی از خـارج از محـدوده قـرار گرفتـن ورودی‌هـای مـدل اسـت. در نقاطـی کـه مـدل در دامنـه داده‌هـای آموزشـی قـرار گرفتـه باشـند، مـدل بـا خطـای کمـی، مقـدار مقاومـت فشـاری تک‌محـوره را تخمیـن می‌زنـد. مقـدار جـذر میانگیـن مربعـات خطـا بـرای نقـاط بـا حـذف نقـاط خـارج از دامنـه آمـوزش ۵ Kg/cm^2 بدست آمد.

مـدل فـازی سـاخته شـده دارای چهـار ورودی بـوده کـه در فضـای ورودی هـر کـدام از آنهـا سـه تابـع عضویـت گوسـی تعریـف شده‌اسـت. مـدل فـازی سـاخته شـده از نـوع TS و دارای شـش قانـون بـوده و توابـع عضویـت خروجـی آن خطـی اسـت.

آزمون کور

به‌منظـور تخمیـن مقاومـت فشـاری تک‌محوره و برای بررسـی صحـت مدلسـازی از یکسـری داده مربـوط بـه یـک پـروژه مشـابه اسـتفاده شـد کـه نتایـج حاصـل در جـدول (۵) ارائـه شده‌اسـت. نتایـج ایـن آزمایـش بیانگر این اسـت که مدلسـازی شـبکه عصبی نتایـج مطلوب‌تـری را ارائـه داده اسـت و هـر دو شـبکه از عملکـرد نسـبی قابـل قبولـی برخوردار اسـت.

جدول (۵): مقایسه بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر پیش‌بینی شده با استفاده از مدل ساخته شده.

الگوریتم	R^2	RMSE	N
MLP	۰/۸۹	۱/۱	۱۰
ANFIS	۰/۸۰	۶/۲	۱۰

نتیجه‌گیری

در ایـن مطالعـه یـک مدل شـبکه عصبی بـرای پیـش بینـی مقاومـت فشـاری سـنگ آهکـی گسـترش یافتـه اسـت. بـرای یـک مـدل دو لایـه بـا تعـداد نـورون ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ مـدل سـاخته و بهتریـن نتیجـه بـا ۱۰ نـورون حاصل شـد. مقدار ضریب همبسـتگی بـا ده نـورون ۸۲ درصـد بدسـت آمـد. یـک مـدل نروفـازی نیـز بـا سیسـتم انطباقی منطـق فـازی ANFIS[12] سـاخته شـد. مقادیر مقاومـت فشـاری تک‌محـوره پیش‌بینـی شـده بـا مقادیـر آزمایش‌هـا تطابـق خوبـی را نشـان داد کـه بیانگـر کارا بـودن شـبکه‌های سـاخته شده‌اسـت. نتایج این آزمایـش بیانگر ایـن اسـت کـه مدلسـازی شـبکه عصبـی نتایـج مطلوب‌تـری را ارائـه داده اسـت و هـر دو شـبکه از عملکـرد نسـبی قابـل قبولـی برخـوردار اسـت.

پی‌نوشت

۱. دانشجوی دکتری مکانیک سنگ، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی معدن، شرکت مهندسین مشاور آزمونه فولاد

2. Unaxial Compressive Strength (UCS)

3. Multi Layer Perceptron (MLP)

4. Adaptive neuro fuzzy inference system (ANFIS)

5. International Society for Rock Mechanics Suggested Methods (ISRM)

6. American Society for Testing and Materials (ASTM)

7. Primary Wave (P)

8. Activation Function

9. Root Mean Square Error (RMSE)

10. Fuzzy Inference Systems (FIS)

11. Hybrid method

12. Adaptive Network – based Fuzzy Interence System

مراجع

[1] S. Moshrefi, K. Shahriar, A. Ramezanzadeh and K. Goshtasbi, " Prediction of ultimate strength of shale using artificial neural network ", Journal of Mining & Environment, Vol.9, No.1, 2018.

[2] F. Meulenkamp, M. Alvarez Grima, "Application of neural networks for the prediction of the unconfined compressive strength (UCS) from Equotip hardness", International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 36 (1999) 29±39.

[۳] ا. منوچهریان، م. شریفزاده، ر. حمیدزاده مقدم، تخمین مقاومت فشاری تکمحوره ماسهسنگ از خصوصیات بافتی آن با استفاده از شبکه عصبی، اولین کنفرانس فناوریهای معدنکاری ایران، یزد، ۱۵ تا ۱۷ شهریور ماه ۱۳۹۱.

[4] Abdulkadir Cevika, Ebru Akcapinar Sezerb, Ali Firat Cabalara, Candan Gokceogluc , "Modeling of the uniaxial compressive strength of some clay-bearing rocks using neural network", Applied Soft Computing 11,PP: 2587–2594, 2011.

[5] Candan Gokceoglu, Kivanc Zorlu, "A fuzzy model to predict the uniaxial compressive strength and the modulus of elasticity of a problematic rock", Engineering Applications of Artificial Intelligence 17 (2004) 61–72, 2003.

[6] Baykasoglu A, Gullu H, Canakci H, Ozbakir L (2008) Predicting of compressive and tensile strength of limestone via genetic programming. Expert Syst Appl 35:111–123

[7] Gokceoglu C, Zorlu K (2004) A fuzzy model to predict the uniaxial compressive strength and the modulus of elasticity of a problematic rock. Eng Appl Artif Intell 17:61–72

[8] Singh, V.K., Singh, D., Singh, T.N., "Prediction of strength properties of some schistose rocks from petrographic properties using artificial neural networks", Int. J.Rock Mech. Min. Sci. 38, 269–284, 2001.

[9] DEHGHAN S, SATTARI Gh, CHEHREH CHELGANI S, ALIABADI M A,"Prediction of uniaxial compressive strength and modulus of elasticity for Travertine samples using regression and artificial neural networks", Mining Science and Technology 20, PP: 0041–0046, 2010.

[10] Abbas Majdi • Mohammad Rezaei, "Prediction of unconfined compressive strength of rock surrounding a roadway using artificial neural network", Neural Comput & Applic, PP:381–389 DOI 10.1007/s00521-012-0925-2, 2013.

[11] Ebrahim Ghasemi, • Hamid Kalhori, • Raheb Bagherpour, • Saffet Yagiz, "Model tree approach for predicting uniaxial compressive strength and Young's modulus of carbonate rocks", DOI 10.1007/s10064-016-0931-1, : 12 August 2016.

[12] Mojtaba Heidari . Hassan Mohseni . Seyed Hossein Jalali, Prediction of Uniaxial Compressive Strength of Some Sedimentary Rocks by Fuzzy and Regression Models", Geotech Geol Eng DOI 10.1007/s10706-017-0334-5, 2017.

[13] S. Moshrefi1, K. Shahriar, A. Ramezanzadeh and K. Goshtasbi, "Prediction of ultimate strength of shale using artificial neural network", Journal of Mining & Environment, Vol.9, No.1, PP: 91-105, 2018.

[۱۴] شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران؛ «گزارش زمینشناسی مهندسی طرح سد و نیروگاه رودبار لرستان»؛ مطالعات مرحله دوم؛ فروردین ۱۳۸۶.

[15] Suwansawat, S (2002). Earth pressure balance (EPB) shield tunneling in Bangkok: Ground Response and Prediction of Surface Settlements Using Artificial Neural Networks. Ph.D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.

[16] K Luka, M, Neural Network Based Hausa Language Speech Recognition, International Journal of Advanced Research in Articial Intelligence 1(2), 39-44, 2012

[۱۷] (ISC) ب. ابره، ل. فرامرزی، م. قارونینیک. «تعیین پارامترهای زمینشناسی و ژئومکانیکی تودهسنگ تونلهای پنستاک سد رودبار لرستان». مجله علمی پژوهشی انجمن زمینشناسی مهندسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس، جلد پنجم، شماره ۳ و۴، ص ۴۹ تا ۶۶، پائیز و زمستان ۱۳۹۱.

No.36 ■ Winter 2022 ■ Issue 4 ■ Volume 9
Iranian Journal of Laboratory Knowledge

Author

Behnam Abrah*

*BehnamAbrah@gmail.com

Ph.D. Candidate of Rock Mechanics, Department of Mining Engineering, Isfahan University of Technology (IUT), Azmouneh Foulad Counsulting Engineering Co.

Prediction of UCs Sterength of Limestone Using Neural Network and ANFIS (Case Study)

Abstract

Geotechnical and Strength parameters such as uniaxial compressive strength (UCS), modulus of deformation, cohesion and internal friction angle are the most important parameters for practical design as well as numerical modeling in rock mass. UCS as an index parameter is very important. This parameter can be estimated using direct and laboratory methods, which in many cases are expensive and time consuming. So far, various experimental models have been proposed to estimate rock compressive strength using different parameters, mainly for rocks in a particular area and there are many uncertainties for its use in other areas. Artificial neural network is a powerful tool used to create predictive models and studies have shown the superiority of this technique over classical statistical methods. The purpose of this paper is to estimate UCS of limestone rocks using elastic modulus, effective porosity, specific gravity, Poisson's ratio. In this paper, two models of multilayer neural network (MLP) and fuzzy logic adaptive system (ANFIS) are used to model UCS. Based on the results, both constructed networks have acceptable performance for estimating rock compressive strength and selecting the most accurate network based on the quantity and quality of the statistical population used. In this paper, the designed neural network performs somewhat better than the fuzzy logic network.

Keywords

Strength Parameters, UCS, Limestones, Multilayer Neural Network (MLP), ANFIS.

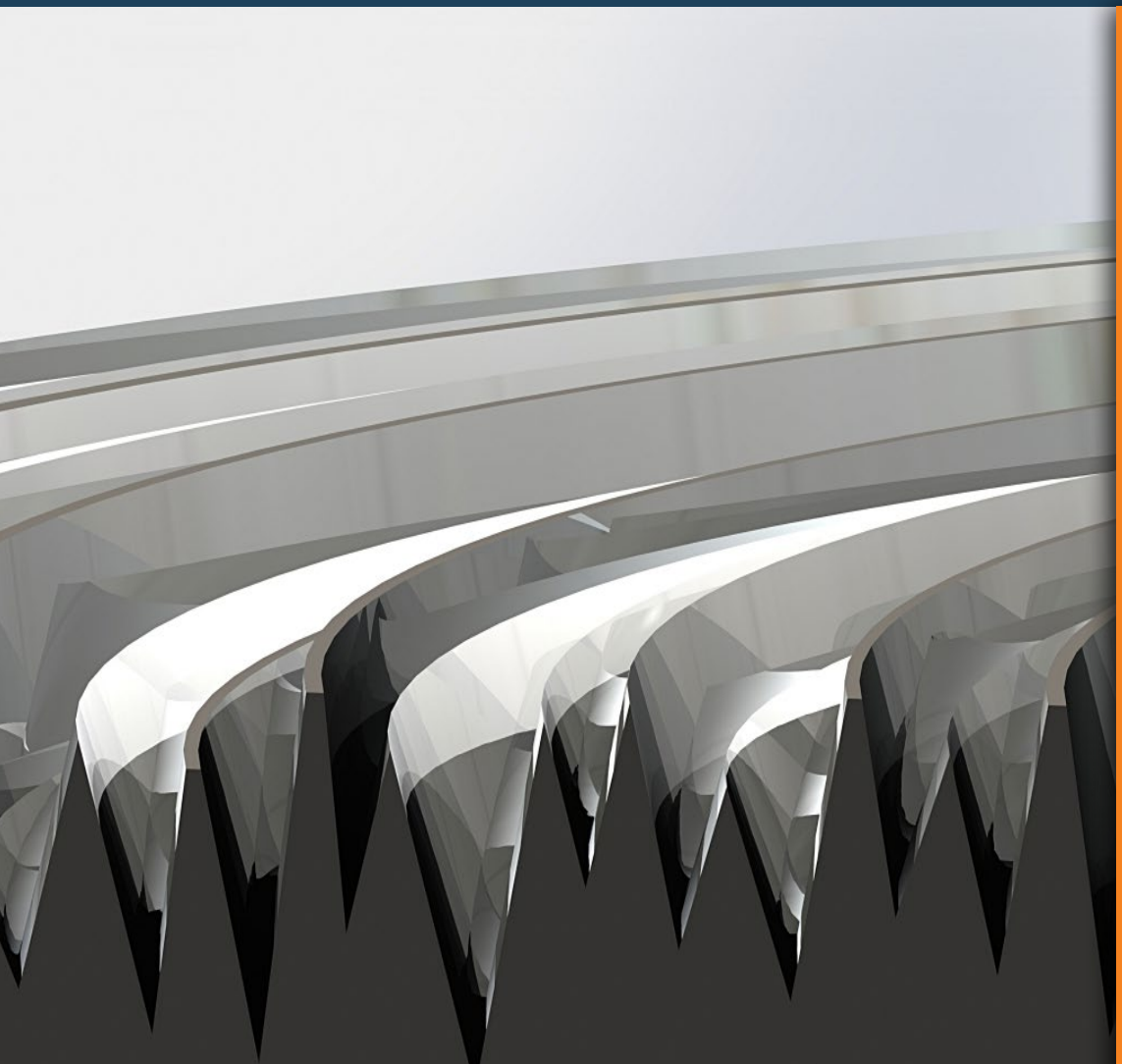
شبکه آزمایشگاهی فناوری نانو

فصلنامه

دانش آزمایشگاهی ایران

ISSN 2538-3450

سال نهم ■ شماره ٤ ■ زمستان ١٤٠٠ ■ شماره پیاپی ٣٦



مقایسه میکروسکوپ نیروی اتمی با برخی از روش‌های رایج در اندازه‌گیری زبری سطح

باشگاه مشتریان شبکه آزمایشگاهی و تسهیل توسعه پژوهش در کشور

باشگاه مشتریان شبکه آزمایشگاهی و تسهیل توسعه پژوهش در کشور

استانداردها، آزمون‌های ارزیابی کیفیت انواع ماسک مورد استفاده در شیوع ویروس کرونا و ...

بیماری‌های شایع میگوهای پرورشی و روش‌های تشخیص آزمایشگاهی

مطالعات ژنتیک در کاوش‌های باستانی (ژئوآرکئولوژی)

ارزیابی منابع عدم قطعیت در تعیین دمای نرمی ویکات پلاستیک‌های گرمانرم

پیش‌بینی مقاومت فشاری تک‌محوره سنگ‌های آهکی با استفاده از شبکه عصبی و سیستم انطباقی منطق فازی

www.IJLK.ir
info@ijlk.ir