



تخمین ظرفیت باربری شمع های کوبشی در خاک های رسی ماسه ای با استفاده از شبکه عصبی شعاعی و پرسپترون چند لایه

پوریا یوسفی^{۱*}۱- کارشناسی ارشد، رشته مهندسی عمران، گرایش سازه، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دماوند. ایمیل: Pouria.usefi555@gamil.com

چکیده

در این پژوهش مدل های شبکه عصبی به منظور تخمین میزان ظرفیت باربری شمع های کوبشی در انواع خاک های رسی و ماسه ای استفاده شده است. داده های ورودی شامل انسجام خاک بر حسب کیلوپاسکال، زاویه اصطحاک خاک بر حسب درجه، زاویه اصطحاک خاک و شمع بر حسب درجه، وزن مخصوص خاک بر حسب کیلونیوتن بر مترمکعب، تعداد ضربه بدون واحد، سطح مقطع شمع بر حسب مترمربع و طول شمع بر حسب متر تعریف گشته و خروجی ظرفیت باربری شمع ها بر حسب کیلونیوتن است که به صورت آزمایشگاهی بدست آمده است. برای بالابردن دقت و پیدا کردن کمترین میزان خطا از ترکیب شبکه عصبی مدل پرسپترون چندلایه و الگوریتم بهینه سازی گرگ خاکستری و هم از ترکیب شبکه عصبی فازی و الگوریتم بهینه سازی گرگ خاکستری استفاده شده است تا دقیق ترین شبکه و کمترین میزان خطا مشخص شود. به طور کلی براساس نتایج بدست آمده می توان از هر دو مدل برای تخمین ظرفیت باربری شمع ها استفاده کرد. با اینحال نتایج بدست آمده از مدل پرسپترون چندلایه و الگوریتم بهینه سازی گرگ خاکستری با ساختار پیشنهادی عملکردی بهتری را از خود نشان می دهد. همچنین مدل نهایی انتخاب شده مورد تأیید قرار گرفتند.

کلمات کلیدی: اصطحاک خاک و شمع، مدل پرسپترون چندلایه، زاویه اصطحاک خاک، شمع های کوبشی

Estimating the bearing capacity of driven piles in sandy clay soils using radial neural network and multilayer perceptron

Pouria Yousefi^{1*}

1- Master's degree. Civil engineering, structural engineering, Faculty of technical engineering, Islamic Azad University, Damavand branch. Email: Pouria.usefi555@gamil.com

Abstract

In this research, neural network models have been used to estimate the bearing capacity of percussion piles in different types of clay and pile soils. Input data include soil cohesion in kilopascals, soil friction angle in degrees, soil friction angle and pile in degrees, soil specific gravity in kilowatts per cubic meter, number of impacts per unit, pile cross section in square meters And the length of the candle is defined in meters and the output of the bearing capacity of the candles is in kilotons, which has been obtained in a laboratory. To increase the accuracy and find the least amount of error, the combination of multilayer perceptron neural network and gray wolf optimization algorithm and the combination of fuzzy neural network and gray wolf optimization algorithm have been used to determine the most accurate network and the least amount of error. In general, based on the obtained results, both models can be used to estimate the bearing capacity of piles. However, the results obtained from the multilayer perceptron model and the gray wolf optimization algorithm with the proposed structure show better performance. Also, the final selected model was approved and new data sets were obtained.

Keywords: Soil and pile friction, Multilayer perceptron model, Soil friction angle, Knock piles

۱- مقدمه

از نظر محتوا

جهت ساخت و ساز سازه های مورد استفاده را از ابتدایی ترین شیوه های آن تا فنون پیچیده آزموده و متناسب با وضعیت و اهمیت عوامل مختلف و مؤثر در این امر، به بهبود و گسترش آنها و یا جلوگیری از ترویج آنها به دلیل خطرات احتمالی نموده اند. ساخت یک سازه متناسب با ویژگی هایی که دارد، از اجزا و بخش های گوناگونی تشکیل می شود. عدم توجه به این مسئله می تواند

سرپناهی که انسان بتواند در آن زندگی کند، به نحوی که از شرایط نامساعد محیطی در امان بماند و احساس آرامش داشته باشد، قدمتی معادل با زمان انسان های نخستین تا امروز داشته است. انسان ها همواره الگوهایی

مسائل جبران ناپذیری در مراحل بعدی داشته باشد. به عبارت بهتر، اصل اساسی در فرآیند ایجاد سازه، توجه به شرایط آن در چگونگی تحمل بارهای وارده در مراحل بعدی ساخت و انتقال آن به پی زیرین است. بدین منظور رویکردهای متنوعی مورد توجه بوده که یکی از این موارد، استفاده از شالوده‌های شمعی است. یکی از روش‌های مورد استفاده جهت جلوگیری از نشست و واژگونی سازه‌های عمرانی، استفاده از شالوده‌های شمعی است. شالوده‌های شمعی جهت انتقال نیرو به سخت‌ترین و محکم‌ترین خاک‌های موجود در زیر سازه استفاده می‌شود. استفاده از شمع‌ها در ساخت سازه‌ها مزایای زیادی دارد از جمله می‌توان به عملکرد آنها در خاک‌های ریمینده، سازه‌هایی که بخشی از آنها در زیر آب قرار می‌گیرند و ... اشاره نمود (دهقان و همکاران، ۱۳۸۸). یکی از مسائلی که همواره مطرح است، افزایش سرعت و دقت در تحلیل و چگونگی عملکرد این سازه تحت شرایط بارگذاری در وضعیت‌های گوناگون دارد.

بیان مسأله

شمع‌ها اعضای از جنس فولاد، بتن، بتن مسلح و چوب می‌باشند که در صورت مناسب نبودن ظرفیت باربری زمین برای استفاده از شالوده‌های سطحی، از آنها برای ساخت شالوده‌های عمیق استفاده می‌شود (کوره پزان، ۱۳۸۴). تعیین ظرفیت باربری شمع‌ها از جمله مسائل مهمی است که اثر عواملی چون ناهمسانی محیط خاک دربرگیرنده شمع، جنس و شکل شمع و سایر عوامل تعیین میزان صحیح آن را با مشکل مواجه می‌سازد. آزمایش بارگذاری شمع می‌تواند به عنوان یک روش قابل اعتماد در مراحل مختلف طراحی و اجرای شمع مورد استفاده و ارزیابی قرار گیرد. به منظور تعیین ظرفیت باربری شمع‌ها از روش‌های گوناگونی شامل تحلیل استاتیکی، فرمول‌های دینامیکی، آزمایش‌های دینامیکی، روش‌های مبتنی بر نتایج آزمون‌های درجا و بارگذاری استاتیکی شمع در مقیاس اصلی متداول است. با این حال، استفاده از روش‌های مبتنی بر فرآیندهای محاسباتی ماشینی به دلیل جذابیت‌هایی که در امر سرعت و دقت محاسبات دارا می‌باشند، بیش از پیش مورد توجه هستند. بدین منظور نرم افزارهای کامپیوتری متفاوتی متناسب با نوع تحلیل و کاربرد برنامه نویسی شده و مورد استفاده قرار می‌گیرند. شبکه‌های عصبی مصنوعی به عنوان به روزترین و دقیق‌ترین فناوری موجود در این زمینه کاربرد گسترده‌ای دارند. آزمایش بارگذاری شمع با وجود دقت بالا، معایبی از جمله هزینه‌های زیاد و صرف مدت زمان طولانی جهت انجام برای پروژه‌های عمرانی است. همین مسائل موجب شده است که پژوهشگران میل به انجام تحلیل‌های عددی داشته و انواع روش‌های موجود در این زمینه را مورد استفاده قرار دهند. روش‌های عددی توسعه یافته متناسب با ابعاد و ویژگی‌های تحلیل پارامتر مورد نظر بوده و همین امر موجب گشته است تا همواره در جستجوی کامل‌ترین شیوه تحلیل باشند. هدف اصلی و کلی شامل تعیین ظرفیت باربری شمع‌های کوبشی در خاک رسی ماسه‌ای با استفاده از شبکه مصنوعی انفیس و مدل پرسپترون چندلایه می‌باشد. هدف جزئی نیز شامل بررسی میزان دقت روش مورد استفاده و میزان خطای موجود در رویکرد موردنظر به روش موردنظر است. در ضمن فهرست منابع می‌بایست به دو بخش فارسی (برای مقالات فارسی) و لاتین تفکیک شده و منابع به ترتیب متن مرتب شوند.

۲- تعاریف

از نظر شکل ظاهری

بر حسب شرایط تحت الارضی، سطح آب زیرزمینی و نوع باری که باید حمل شود، انواع مختلفی از شمع‌ها در کارهای ساختمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. شمع‌ها بر حسب مصالحی که از آنها ساخته می‌شوند، دارای انواع زیر هستند (دهقان و همکاران، ۱۳۸۸):

- **شمع‌های فولادی:** انواع متداول شمع‌های فولادی شمع‌های لوله‌ای و شمع‌های H می‌باشند. شمع‌های لوله‌ای نیز در دو حالت انتها بسته و انتها باز به زمین کوبیده می‌شوند. هر چند که از تیرآهن‌های I و بال پهن نیز می‌توان برای شمع کوبی استفاده کرد، لکن تیرآهن‌های با نیمرخ H به علت مساوی بودن ضخامت بال و جان معمولاً ترجیح داده می‌شوند.

- **شمع‌های بتنی:** شمع‌های بتنی به دو صورت مورد استفاده قرار می‌گیرند: شمع‌های پیشساخته و شمع‌های درجاریز. شمع‌های پیش ساخته را می‌توان با استفاده از میلگردهای معمولی ساخت. مقطع آنها به صورت مربع یا هشت ضلعی است. شمع‌های بتنی درجاریز معمولاً بدین شکل اجرا می‌شوند که ابتدا چاهی در زمین به وسیله دست یا ماشین حفر شده و سپس قفس آرماتورها درون چاه قرار داده شده و داخل آن با بتن پر می‌شوند. شمع‌های درجاریز در دو گروه اصلی جای می‌گیرند که شامل با غلاف و بدون غلاف می‌باشد.

- **شمع‌های چوبی:** شمع‌های چوبی شامل تنه‌های درختان سالم و بلند می‌باشد که شاخ و برگ آن زده شده و سطح آن پس از کندن پوست، به دقت تراشیده شده است. حداکثر طول اغلب شمع‌های چوبی بین ۱۰ تا ۲۰ متر می‌باشد. چوبی که از آن به عنوان شمع استفاده می‌شود، باید مستقیم، بدون درز و ترک و سالم باشد.

- **شمع‌های مرکب:** در شمع‌های مرکب، قسمت فوقانی و تحتانی شمع از دو مصالح مختلف ساخته می‌شود. به عنوان مثال، شمع‌های مرکب ممکن است از فولاد و بتن و یا چوب و بتن ساخته شوند. شمع‌های مختلط فولاد و بتن مرکب از قسمت تحتانی فولاد و قسمت فوقانی بتن درجا می‌باشند.

برای بدست آوردن ظرفیت باربری شمع در این تحقیق روش جامبو مورده استفاده قرار می‌گیرد:

$$UBC=9C_u * A_p + \alpha * C_u (\pi * D * L)$$

$$UBC=A_p * q' * n * q + (\pi * D * L) * f$$

$$f=k * \delta'_v * \tan \varphi$$

UBC=ظرفیت باربری شمع‌های تکی

C_u =استحکام برشی جوش نخورده

عصبی MLP و الگوریتم بهینه سازی گرگ خاکستری و هم از ترکیب شبکه عصبی فازی و الگوریتم بهینه سازی گرگ خاکستری استفاده می‌شود. وزن‌های لایه اول و دوم شبکه عصبی دو لایه به صورت برداری براساس داده های ورودی و لایه های خروجی در بیان شده اند.

$$W^{(1)} = [W_1^{(1)} \ W_2^{(1)} \ \dots \ W_p^{(1)}]^T = \begin{bmatrix} W_{11}^{(1)} & \dots & W_{1n}^{(1)} \\ W_{21}^{(1)} & \dots & W_{2n}^{(1)} \\ \vdots & & \vdots \\ W_{p1}^{(1)} & \dots & W_{pn}^{(1)} \end{bmatrix}$$

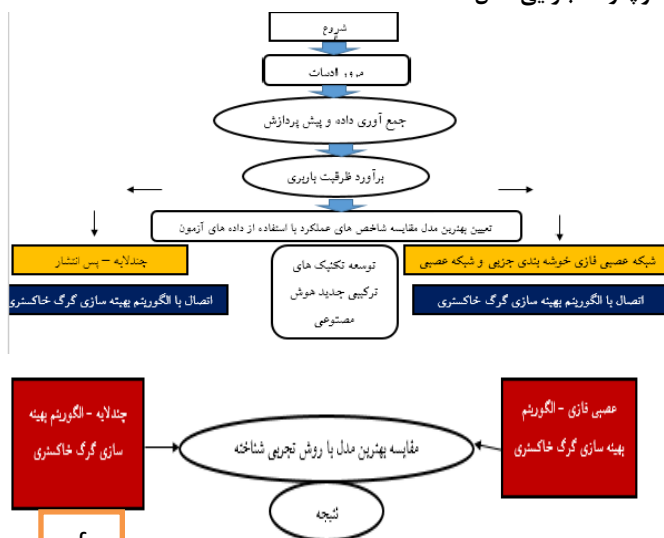
$$W^{(2)} = [W_1^{(2)} \ W_2^{(2)} \ \dots \ W_p^{(2)}]^T = \begin{bmatrix} W_{11}^{(2)} & \dots & W_{1n}^{(2)} \\ W_{21}^{(2)} & \dots & W_{2n}^{(2)} \\ \vdots & & \vdots \\ W_{p1}^{(2)} & \dots & W_{pn}^{(2)} \end{bmatrix}$$

خروجی خطی و غیرخطی هر لایه شبکه عصبی دولایه براساس لایه ورودی و لایه خروجی بیان شده اند.

$$neuron(1, i) \begin{cases} s_i^{(1)} = \sum_{k=0}^n W_{ik}^{(1)} x_k \\ z_i = \delta(s_i^{(1)}) \\ i = 1, 2, \dots, p \end{cases}$$

$$neuron(1, i) \begin{cases} s_j^{(2)} = \sum_{k=0}^n W_{jq}^{(2)} z_k \\ y_j = \delta(s_j^{(2)}) \\ i = 1, 2, \dots, m \end{cases}$$

فلوچارت اجرایی مدل



در این پژوهش برای جمع آوری اطلاعات در زمینه‌های مبانی نظری و ادبیات تحقیق و پیشینه آن با استفاده از فیش برداری از کتاب‌ها، پایان نامه‌ها، مقالات و پایگاه‌های اطلاعاتی، اطلاعات مورد نظر جهت تکمیل سنجش چارچوب نظری پژوهش استفاده شده است. داده‌های مورد نیاز تحقیق با استفاده از بانک‌های اطلاعاتی و نرم‌افزارهای الکترونیکی گردآوری و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel و Matlab صورت می‌گیرد.

Ap=سطح مقطع (m²) α=مقدار ثابت
D=قطر شمع
L=طول شمع F(m)=اثر متقابل بین خاک و شمع
K=ضریب ثابت

γ=زاویه اصطحکاک بین خاک و شمع

δ^v=فشار موثر عمودی

qⁿ=ضریب ظرفیت تحمل

q'=تنش عمودی در نوک شمع

شبکه عصبی مصنوعی الهام گرفته از شبکه عصبی بیولوژیکی است و در واقع همان سیستم‌های اتصال گر هستند، شبکه عصبی مصنوعی مانند سیستم یادگیری می‌باشد که بدون هیچ قوانین خاص و فقط با مطرح کردن مثال درباره موضوع مربوطه، می‌توان آن موضوع را فرا گرفت. یک شبکه عصبی مصنوعی از اجزای زیر تشکیل شده است:

- نورون‌ها

- اتصالات، وزن‌ها، بایاس

- توابع تکثیر و انتشار

- قانون آموزش

انتخاب لایه‌های پردازش در شبکه‌های عصبی در داخل نرم‌افزار متلب

صورت می‌گیرد.

پیشینه تحقیق

فلود و همکاران، در پژوهشی به ارزیابی مدل‌های مختلف شبکه عصبی

در مهندسی عمران می‌پردازند. سه موضوع مختلف از مهندسی عمران (پیش‌بینی زیسته جزر و مد روانگرایی ناشی از زلزله امواج ناشی از بی‌ثباتی) با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی بررسی مجدد کردند. هدف آنها پیش‌بینی سطح میزان لرزه‌نگاری یک سال در بندر تایچونگ به وسیله ANN بود.

جنگ و همکاران، در پژوهشی به کاربرد شبکه عصبی در مشکلات

مهندسی عمران می‌پردازند. هدف آنها تعیین و تشخیص عامل روانگرایی، به وسیله ANN بود.

بشر ترونه، در پژوهشی به پیش‌بینی ظرفیت محوری شمع‌های لوله

ای که در تابعی از زمان شروع به افزایش مقاومت می‌کند، پرداختند.

هرندی زاده و همکاران، هدفشان تعیین ظرفیت بدنه شمع‌ها با

استفاده از شبکه‌های عصبی چند جمله‌ای و الگوریتم‌های ژنتیک بود. ورودی آنها مقادیر مقاومت مخروط، (q) و مقادیر اصطحکاک SF، Sleeve بوده که از ۳۳ مورد آزمایشات SPT و CPTU اخذ گشته بود.

روش تحقیق

لازمه به کارگیری هوش مصنوعی استفاده از چندین ورودی و چندین

خروجی است که با استفاده از قانون‌های درونی و الگوریتمی آن دارا می‌باشد که داده‌ها را آنالیز کرده و پاسخی را با درصد خطایی مشخص تعیین می‌نماید. برای استفاده از هر شبکه عصبی مصنوعی باید ورودی‌ها و خروجی‌ها تعریف شود. در این تحقیق داده‌های ورودی انسجام خاک بر حسب کیلو پاسکال، زاویه اصطحکاک خاک بر حسب درجه، زاویه اصطحکاک خاک و شمع بر حسب درجه، وزن مخصوص خاک بر حسب کیلونیوتن بر مترمکعب، تعداد ضربه بدون واحد، سطح مقطع شمع بر حسب مترمربع و طول شمع بر حسب متر تعریف گشته است و خروجی ظرفیت باربری شمع‌ها بر حسب کیلونیوتن است که به صورت آزمایشگاهی به دست آمده است. برای بالا بردن دقت و پیدا کردن کمترین میزان خطا هم از ترکیب شبکه

تجزیه و تحلیل نتایج

مرحله اول: پیش پردازش مجموعه داده های ورودی

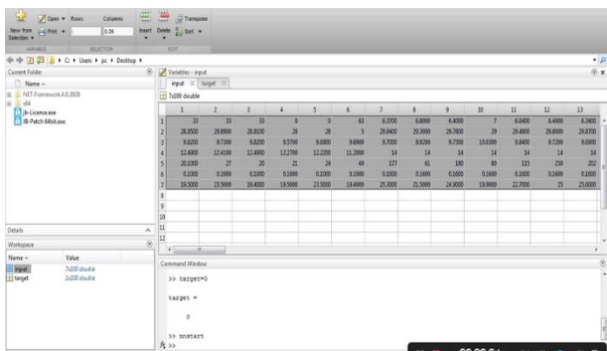
در این مرحله به پردازش داده های ورودی پرداخته می شود. نتایج آزمایشی ظرفیت نهایی تحمل شمع از ایران، مکزیک و هند به عنوان داده های ورودی می باشد. داده های ورودی انسجام خاک بر حسب کیلو (a زاویه اصطحکاک خاک بر حسب درجه، زاویه اصطحکاک خاک و شمع بر حسب درجه، وزن مخصوص خاک بر حسب کیلونیوتن بر مترمکعب، تعداد ضربه بدون واحد، سطح مقطع شمع بر حسب مترمربع و طول شمع بر حسب متر می باشد.

واحد، (f طول شمع (متر)، (g سطح مقطع شمع بر حسب متر مربع و

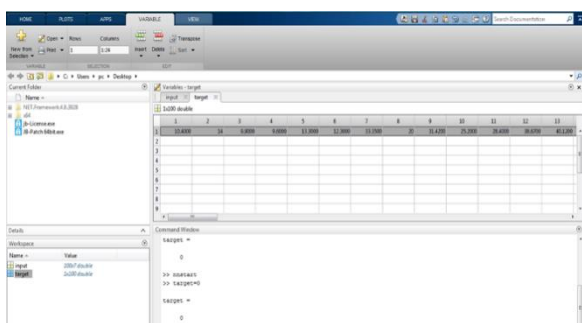
(h ظرفیت باربری شمع ها (kN)

مرحله دوم: پردازش داده های ورودی

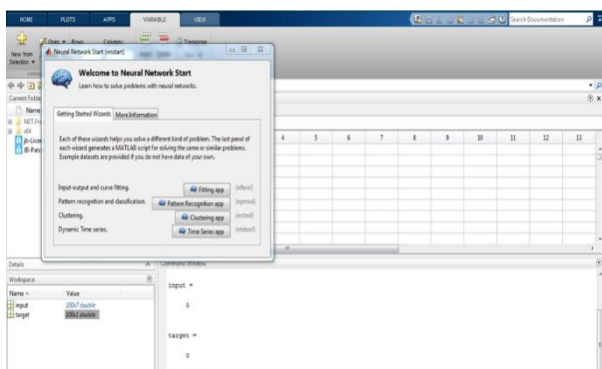
در این مرحله داده های پیش پردازش شده مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرند. مجموع صد در صد داده های پیش پردازش شده از آموزش مربوط به UBC شمع ها به منظور تجزیه و تحلیل در مدل شبکه پیشنهادی در دسترس می باشد.



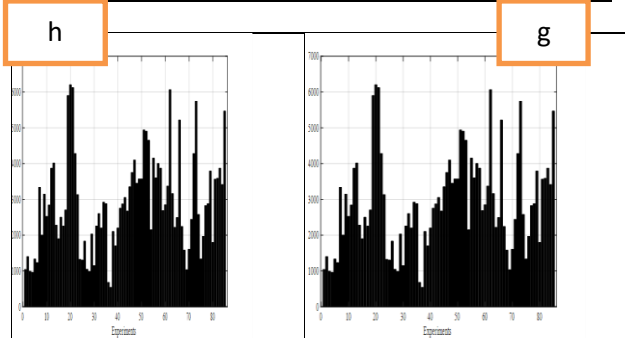
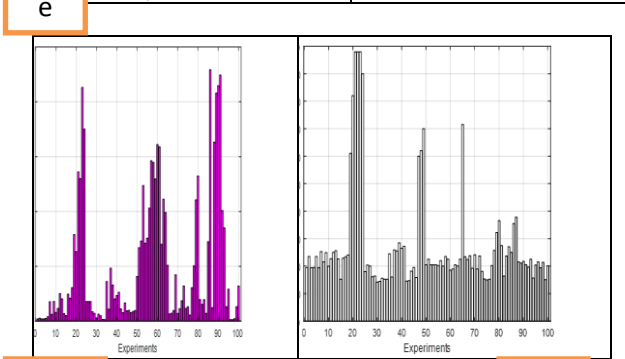
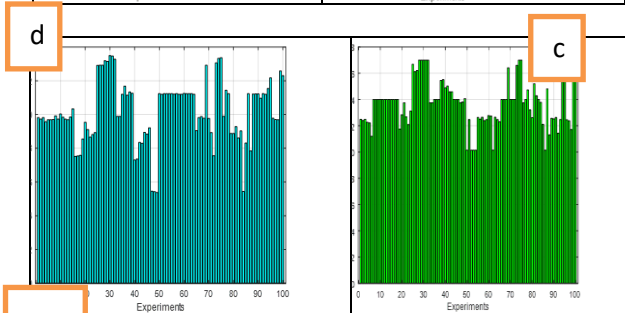
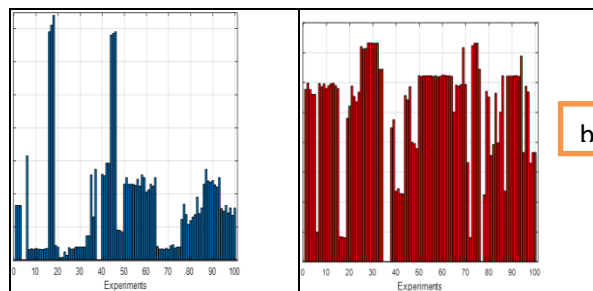
شکل ۲- فراخوانی داده های ماتریس ورودی به نرم افزار



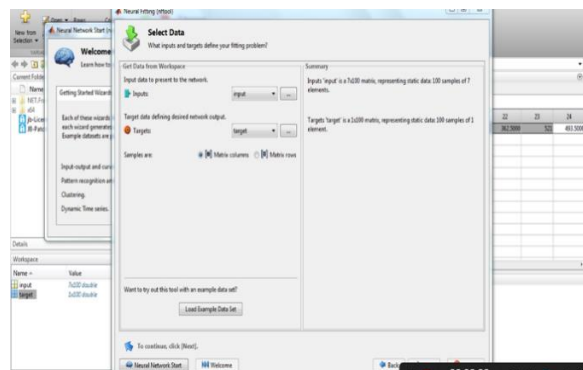
شکل ۳- تعیین ظرفیت باربری شمع در قسمت target بر مبنای مدل پیشنهادی



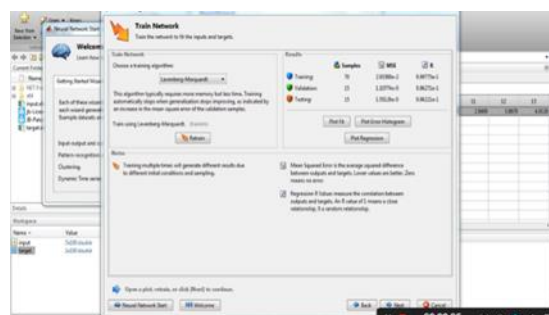
شکل ۴- تعیین fitting app به صورت تابع mlp



شکل ۱- پارامترهای محاسباتی بر حسب داده های ورودی، (a) انسجام خاک (kPa)، (b) زاویه اصطحکاک خاک، (c) وزن مخصوص خاک (d) زاویه اصطحکاک بین شمع . خاک ، (e) تعداد ضربه بدون



شکل ۵- تعیین داده های ورودی و داده های هدف به منظور تعیین میزان خطا و دقت شبکه عصبی.



شکل ۸- تعیین میزان آموزش شبکه و انتخاب شاخص های سنجش



شکل ۹- تعیین مدل نهایی و ذخیره سازی نتایج

خطی	خطی	خطی	نوع تابع MF برای خروجی
-	۳۰۰	-	تعداد تکرار ها
۴۵۰	-	-	جمعیت اولیه
۰.۶۵, ۰.۷۱	-	-	r_1 & r_2
۱.۱۳	-	-	A
-	-	۰.۵	دامنه ی نفوذ ^۱
-	-	۱.۲۵	ضریب اسکواش ^۲
-	-	۰.۵	ضریب قبولی ^۳
-	-	۰.۱۵	ضریب عدم قبولی ^۴
-	-	۱۳	تعداد نمونه بندی هر ورودی

نوع تابع MF برای ورودی	گوسین ^۱	گوسین	گوسین

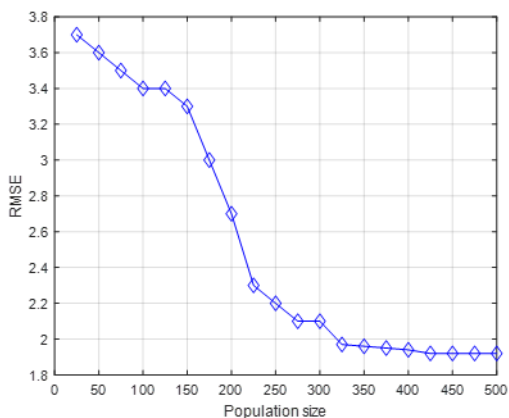
در مدل پیشنهادی ارائه شده ضریب اکتشاف برابر با ۰.۶۵، بردار ضریب بهره برداری برابر با ۰.۷۱ و مقدار ثابت ۱.۱۳ منجر به بهترین مدل پیش بینی می شود. همچنین این میزان ضرایب نشان می دهد که مدل پیشنهادی ANFIS-GWO نسبت به مدل ANFIS-GP به زمان آموزش کمتری نیاز دارد. برای مدل ANFIS-GP بهترین معیار عملکرد در $R^2 = 0.93$ و مجذور میانگین مربعات خطا برابر با $RMSE = 3.42$ محاسبه شده است. می توان بیان داشت که در مرحله آموزش با افزایش تعداد MF ها در ورودی و خروجی، شاخص عملکرد به دلیل تعیین بسیاری از پارامترها و مولفه های اولیه، مطلوب نمی باشد.

لازم به ذکر است که شاخص های عملکردی ANFIS-GP با در نظر گرفتن مجموعه داده های ورودی بهتر از ANFIS-SC می باشد. بنابراین در مدل پیشنهادی فقط از نتایج مدل های ANFIS-GP برای آموزش توسط الگوریتم GWO در نظر گرفته می شود. با استفاده از ANFIS-GP توسط الگوریتم GWO، تعداد MF های ورودی و خروجی کاهش داشته است.

جدول ۱- مشخصات مدل های ANFIS

ویژگی ها	مدل ها		
	ANFIS-GWO	ANFIS-GP	ANFIS-SC
نوع	TSK	TSK	TSK
تعداد ورودی ها	۷	۷	۷
تعداد خروجی ها	۱	۱	۱
تعداد MF ها برای هر ورودی	۵	۷	-
تعداد MF ها برای هر خروجی	۳	۷	-

¹ Gaussian

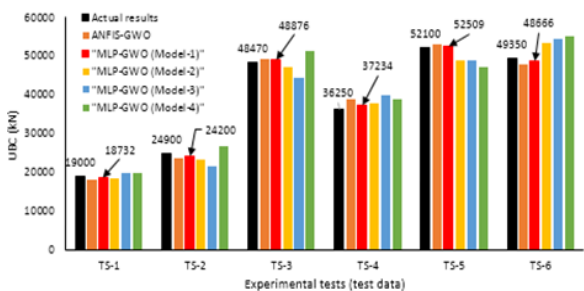


شکل ۱۲- شاخص های عملکردی مدل بهینه ANFIS-GWO براساس شاخص های (a) R^2 و (b) $RMSE$



شکل ۱۰- آموزش شبکه پیشنهادی

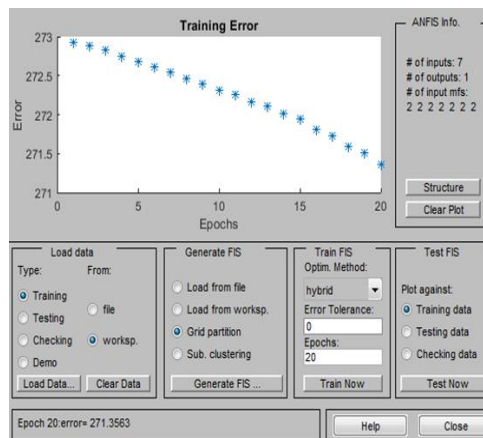
براساس شکل ۴ هر چهار مدل MLP-GWO نسبت به مدل های ANFIS-GP و ANFIS-GWO با دقت و قابلیت اطمینان بالاتر UBC، داده های آزمون را تخمین زده اند.



شکل ۱۳- مقایسه داده های واقعی و برآورد شده از آزمون

جدول ۲- نتایج تجربی بدست آمده از UBC در زمین ماسه ای و خاک رسی

نوع خاک	شماره تست	شماره	مواد شمع	زاویه اصطکاک (°)	انجام و چسبندگی (kPa)	وزن مخصوص خاک (kN/m ³)	زاویه اصطکاک خاک (°)	شماره قلاب	مساحت شمع (m ²)	طول شمع (m)	UBC (kN)
Driven piles in clay soils											
Clay	C-TS-1	1	Concrete	0	36	11,78	14	110	0,16	16	1160
Clay	C-TS-2	2	Steel	0	33,7	11,13	14	306	0,16	20,2	1602
Clay	C-TS-3	3	Concrete	0	51,4	11,19	14	361	0,16	24,8	2020
Clay	C-TS-4	4	Concrete	0	54,8	11,10	14	482	0,16	25,9	2200
Driven piles in sandy soils											
Sand	S-TS-1	1	Concrete	36	0	9,76	12,13	20	0,1	18,5	950
Sand	S-TS-2	2	Steel	28	0	9,57	12,27	21	0,1	19,5	960
Sand	S-TS-3	3	Steel	28	0	9,79	12,22	24	0,1	23,5	1320
Sand	S-TS-4	4	Concrete	36	0	9,45	12,32	26	0,1	24	1420

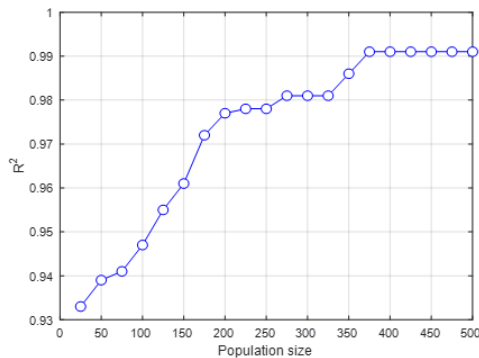


شکل ۱۱- آموزش یک مدل انفیس با دو تابع عضویت

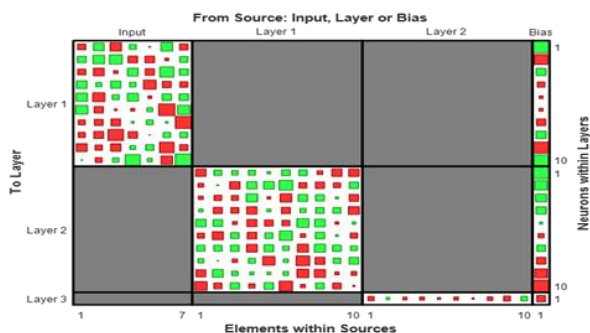
مرحله سوم: ارزیابی صحت سنجی شاخص ها و ارائه نتایج

به منظور ارزیابی صحت شاخص ها بر مبنای مدل ANFIS-GWO، تغییرات شاخص های رگرسیون و مجذور میانگین مربعات خطا براساس اندازه جمعیت اولیه نمایش داده شده، می توان نتیجه گرفت که اندازه جمعیت اولیه بهینه شده برابر با ۴۵۰ نفر بوده است.

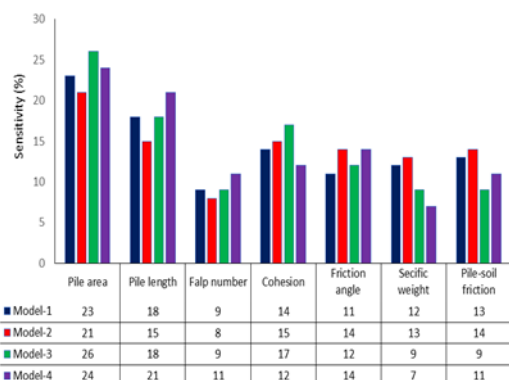
a



b

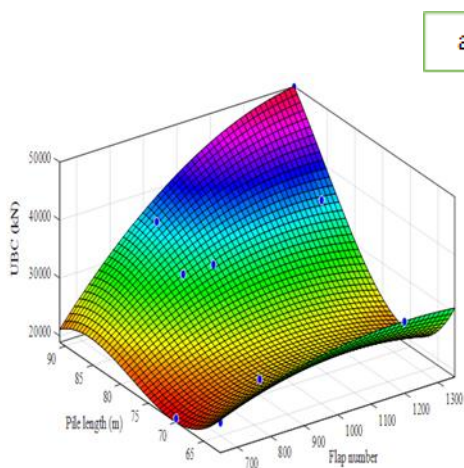


شکل ۱۶- توزیع وزن و انحراف مدل‌های MLP-GWO (ماتریس هینتون)

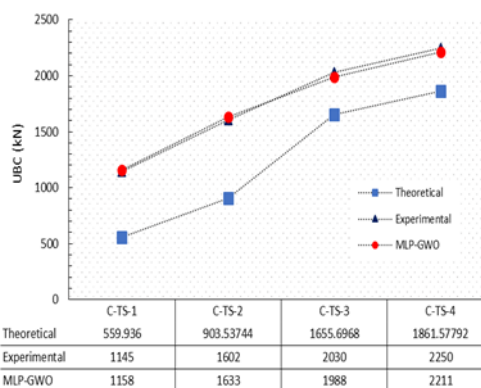


شکل ۱۷- اهمیت نسبی هر متغیر ورودی در UBC تخمین زده شده شمع‌ها

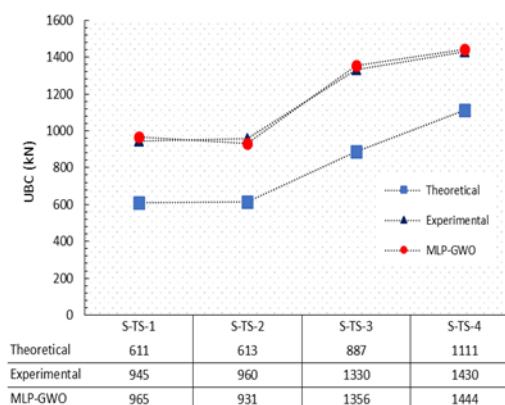
براساس نتایج بدست آمده از این شکل، تقریباً همه مدل‌ها از نظر تأثیرگذاری رتبه یکسانی را نشان می‌دهند. شکل ۱۸ (a) و (b)، سطوح تصمیم‌گیری را برای پیش‌بینی UBS براساس بهترین مدل MLP-GWO با در نظر گرفتن تعداد فلپ‌ها نمایش داده است.



b



شکل ۱۴- مقایسه UBC شمع‌های موجود در خاک‌های رسی



شکل ۱۵- مقایسه UBC شمع‌های موجود در خاک‌های ماسه‌ای

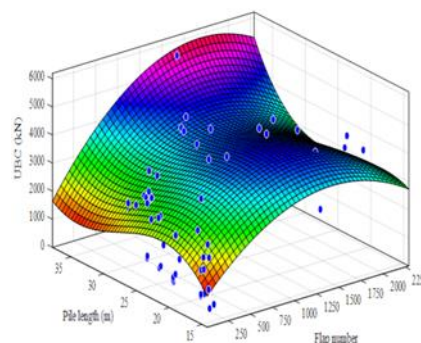
در هر دو زمین ماسه و خاک رسی، روش نظری ذکر شده بر مبنای مطالعات پژوهش به طور قابل توجهی UBC را کمتر از میزان خود در نظر می‌گیرد. این میزان اختلاف برای هر دو نوع خاک در نظر گرفته شده یکسان می‌باشد. همچنین یکی از توضیحات احتمالی به منظور بیان اختلاف‌های مشاهداتی رفتار پیچیده فعل و انفعالات توده خاک می‌باشد. از آنجایی که در طی مراحل نصب شمع، آشفستگی زیاد در خاک وجود ندارد، نمی‌توان دقیقاً انسجام و زاویه اصطکاک بین شمع و خاک اطراف را تعیین کرد. علاوه بر این در محاسبات نظری UBC فرض بر این است که خصوصیات ژئوتکنیکی سایت در عمق مورد نظر ثابت می‌مانند که دور از ذهن است. بنابراین از آنجایی که یک شباهت بسیار نزدیک بین UBC آزمایشگاهی و پیش‌بینی شده وجود دارد، مدل پیشنهادی ارائه شده می‌تواند UBC را در هر دو زمینه با نرخ دقت بالا تخمین بزند.

مرحله چهارم: آنالیز حساسیت

بعد از اینکه UBC شمع‌ها بهترین مدل به درستی برآورد شده، میزان تأثیرگذاری هر پارامتر به منظور درک تأثیرات UBC قابل توجه می‌باشد. تجزیه و تحلیل این حساسیت بر مبنای الگوریتم گارسون انجام شده است. الگوریتم در نظر گرفته شده بر مبنای وزن‌ها و تعیین میزان انحرافات تمام لایه‌های در نظر گرفته شده، میزان تأثیر پارامترهای ورودی را روی هدف پیدا می‌کند. آزمایشات حساسیت تنها بروی MLP‌ها صورت گرفته است.

مراجع

- دهقان، محسن، نوری، سیامک، ابن الرسول، سید اصغر، (۱۳۸۸)، طراحی الگوی مدیریت هزینه در پروژه های عمرانی، اولین کنفرانس مدیریت اجرایی، تهران.
- کوره پزان، امین. (۱۳۸۴)، اصول تئوری مجموعه های فازی و کاربردهای آن، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیر کبیر.
- منہاج، محمد باقر. (۱۳۹۳)، مبانی شبکه های عصبی مصنوعی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.



شکل ۱۸- سطح تصمیم گیری برای پیش بینی UBC براساس تعداد فلپ ها: (a) طول شمع بین ۱۵ متر و ۴۰ متر، (b) طول شمع بین ۶۵ متر و ۹۰ متر

۳- نتیجه گیری

- Bashar Tarawneh, (2013), Pipe pile setup: Database and prediction model using artificial neural network, Soils and Foundations, Vol.4, pp.607-615.
- H. Harandizadeh, M. M. Toufigh, V. Toufigh, (2018), Different Neural Network and Model Tree Method for Predicting Ultimate Bearing Capacity of Piles, International Journal of Optimization in Civil Engineering, Vol.8, pp. 311-328.
- D.-S. Jeng, D. H. Cha, M. Blumenstein, (2015), Application of Neural Network in Civil Engineering Problems, Advanced Engineering Informatics, Vol.5, pp. 1-5.

در مطالعه حال حاضر مدل های جدید ANFIS-GWO و MLP-GWO با موفقیت برای تخمین UBC شمع ها در خاک های مورد نظر استفاده شده است. به منظور ساخت مدل مورد نظر از پایگاه داده ای بر اساس صد تست تجربی برای UBC شمع ها از نقاط مختلف استفاده شده است. در اولین مرحله ساختار مدل های MLP و ANFIS با استفاده از روش GWO بهینه سازی شد. برای ساخت مدل ها، ابعاد شمع و خصوصیات اساسی ژئوتکنیکی خاک به عنوان پارامترهای ورودی و UBC تخمین زده شده شمع استفاده شد. به طور کلی بر مبنای نتایج بدست آمده می توان از هر دو مدل ANFIS-GWO و MLP-GWO برای تخمین UBC شمع ها استفاده کرد. با این حال براساس نتایج بدست آمده، مدل MLP-GWO با ساختار $1 \times 10 \times 10 \times 7$ عملکرد بهتری را نشان می دهد. همچنین مدل های نهایی انتخاب شده نیز مورد تایید قرار گرفتند و مجموعه داده های جدید به دست آمد و میانگین اختلاف ۲ درصد بین داده های هدف و داده های خروجی، (میزان خطای تعیین شده)، اعتبار مدل پیشنهادی را نشان می دهد. سرانجام نتایج حاصل از الگوریتم گارسون نشان می دهد که مولفه های مساحت و طول پشته دو عامل موثر در تخمین UBC می باشند. بر مبنای نتایج بدست آمده از تجزیه و تحلیل حساسیت مدل ها، به منظور افزایش UBC شمع ها، افزایش مساحت شمع ها نسبت به طول شمع ها کارآمدتر است. همچنین در خصوصیات ژنتیکی ثابت سایت در نظر گرفته شده، معادلات کلی UBC در خاک رس، شن و ماسه این گفته را نیز تأیید می کند. در مورد UBC جانبی شمع ها، نتایج تجزیه و تحلیل حساسیت بر مبنای یک شبکه عصبی عملکردی نشان داده است که مقاومت برشی تخلیه نشده خاک های رسی بیشترین تأثیر را بر روی UBC جانبی شمع ها دارد.