

پیش بینی برخی رفتارهای ژئوتکنیکی (مقاومت برشی، تراکم و زاویه اصطکاک داخلی) (خاکهای آلوده به مواد نفتی با استفاده از شبکه عصبی)

علیرضا حاجیان^۱، علیرضا قانع^۲

^۱ استادیار، گروه فیزیک دانشکده علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد dralirezahajian@gmail.com

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی ژئوتکنیک، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد ghane.alireza65@gmail.com

چکیده

نشت نفت خام از لوله های مخازن و پالایشگاه های مربوط به صنعت نفت و نیز فوران طبیعی نفت در برخی مناطق و نفوذ آن به خاک اطراف و زیر پی سازه ها، باعث تغییراتی در خصوصیات ژئوتکنیکی آن می شود. هر تغییری در مشخصات مهندسی لایه خاک، می تواند منجر به کاهش ظرفیت باربری و افزایش نشست کلی و نسبی پی سازه ها شود. در این تحقیق به بررسی زاویه اصطکاک داخلی، مقاومت برشی و تراکم خاک های آلوده به درصد آلودگی های نفتی ۰، ۱، ۲، ۳، ۵ و ۶ درصد به روش آزمایشگاهی (به علت داده های کم موجود از کارهای گذشته) و همچنین به پیش بینی این ویژگیها با شبکه عصبی پرداخته شده است.

در این پژوهش سعی شده است به جای آنکه برای نتیجه گیری و رسیدن به داده های مورد نیاز با آزمایش های جداگانه برای هر کدام، هزینه و زمان زیادی صرف شود، با استفاده از شبکه عصبی که با تعدادی کافی از داده های آزمایشگاهی آموزش داده می شود، نتایج سایر داده ها را سریعتر و دقیق تر و با هزینه کمتر، پیش بینی نمود. این مطالعات نشان داد نتایجی که از شبکه عصبی طراحی شده بدست می آید، نزدیک به نتایج آزمایشگاهی است بدین صورت که در اثر افزایش درصد آلودگی به نفت، مقدار زاویه اصطکاک داخلی و مقاومت برشی خاک کمتر شده و تراکم خاک افزایش می یابد.

کلمات کلیدی: شبکه عصبی، مقاومت برشی، زاویه اصطکاک داخلی، تراکم، خاک آلوده به نفت.

Prediction of Geotechnical Behavior (Shear Strength, Compression, Friction Angle) of Oil Contaminated Sandy Soils using Artificial Neural Networks

A. Hajian¹, A. Ghane²

¹Department of physics, Faculty of Sciences, Najafabad Branch, Islamic Azad University

²Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University

ABSTRACT

Pouring oil refinery tanks, pipes for the oil industry as well as natural erupted in some areas of its influence to the soil around the foundation minister structures, causes changes in geotechnical properties of it. Any changes in engineering specifications layer of soil, can lead to a reduction in freight capacity and increase the general meeting and the following structure is relative. In this study want to determine the angle of internal friction, shear strength and density of soil contaminated with oil pollution 0, 2 and 6 percent vitro (due to low data available from previous work), as well as to predict the geotechnical characteristics of soils contaminated crude oil with neural networks was studied. In this study, we used to approach and reach the conclusion that instead of data need testing, and cost a lot of time spent with haute couturier with neural networks in MATLAB, much faster and more accurate and less expensive, closer to the actual result achieved by the laboratory. The study showed that laboratory techniques results were as same as the neural networks results and nearly the same results and detailed study of soil properties obtained including by increasing the percentage of oil pollution, the internal friction angle, shear strength of sandy soil decreases, and soil compaction increases.

KEYWORDS

Neural network, shear strength, angle of internal friction, density, Oil Contaminated Sandy Soils

^۱ علیرضا حاجیان، گروه فیزیک دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، کد پستی ۸۵۱۴۱۳۱۳۱، تلفن ۰۳۱۴۲۲۹۱۰۱۰

۱- مقدمه

ویژگیهای ژئوتکنیکی خاکهای ماسه ای و رسی پرداختند. از جمله ویژگیهای مورد نظر، بررسی مقاومت برشی انواع خاکها بوده است. در این تحقیق، با افزایش درصد نفت خام، مقاومت برشی حداکثر کاهش یافته و این نرخ کاهش برای رس ها سریعتر بوده است و به این نتیجه رسید که تاثیرات آلودگی نفت بر پارامترهای مقاومت برشی خاکها، یکسان نبوده و کاملاً وابسته به نوع خاک می باشد [۴]. حبیب الرحمان و همکاران در سال ۲۰۰۷ به بررسی ویژگیهای ژئوتکنیکی خاک ریزدانه آلوده به نفت پرداختند. بر پایه نتایج ارائه شده، در نمونه های تحت فشار همه جانبه کوچکتر، مقاومت نمونه های آلوده کمتر از نمونه های غیر آلوده است، در حالی که در فشارهای همه جانبه بزرگتر، مقاومت نمونه های آلوده بیشتر از نمونه های غیر آلوده است. نتایج این تحقیق نشان دهنده این مطلب است که مقاومت خاکهای رسی آلوده به نفت، به فشار همه جانبه وارد شده به آنها نیز وابسته است [۵]. محمدی و خوش نشین در سال (۱۳۸۹) به مطالعه رفتار مکانیکی و بررسی مقاومت برشی خاکهای ماسه ای رس دار غیر اشباع آلوده به نفت خام پرداختند. نتایج بدست آمده این تحقیق نشان داد، وجود نفت خام، موجب افزایش تنش برشی حداکثر قابل تحمل توسط خاک شده است [۶].

۳- مشخصات خاک مورد آزمایش و نتایج بدست آمده

۳-۱- مشخصات خاک

آزمایشاتی جهت تعیین درصد رطوبت و تعیین مقاومت برشی برای نمونه های مشابه جدول (۱) انجام گردید. هدف از تعیین درصد رطوبت های مختلف رسیدن به تراکم بهینه است

جدول (۱) اندازه نمونه های مرطوب خاک برای تعیین درصد رطوبت

حداقل مقدار نمونه به گرم	حداکثر اندازه دانه خاک به میلیمتر
۱۰۰-۲۰۰	۵۰/۸
۳۰۰-۵۰۰	۱۲/۷
۱۰۰-۱۵۰	۴/۷۵
۱۰-۴۰	۰/۴۲

انسان برای دستیابی به اهداف کوتاه مدت خود، به ناچار به طبیعت آسیب می زند. در اثر فعالیت های بشر نه تنها آب و هوا، بلکه خاک نیز آلوده می شود. آلوده شدن زمین علاوه بر سفره های آب زیرزمینی، باعث تغییراتی در وضعیت و چگونگی ساخت سازه های مختلف بر روی این زمین ها می شود [1]. خاک به علل مختلف در معرض آلودگی قرار می گیرد که تعدادی از آنها عبارتند از: نشت از لوله های انتقال آسیب دیده، تخلیه از تاسیسات نفتی داخل دریاها، نشت طبیعی، تصادف تانکرهای نفتی. نشت نفت خام از لوله ها، مخازن و پالایشگاه های مربوط به صنعت نفت و نیز فوران طبیعی نفت در برخی مناطق مستعد و نفوذ آن به خاک اطراف و زیر پی سازه ها، علاوه بر تاثیرات مخرب زیست محیطی مانند آلودگی آب های زیر زمینی و آب دریاها، باعث تغییراتی در خصوصیات ژئوتکنیکی خاک می شود. این تغییرات در خاکهای دانه ای به صورت تغییر در خصوصیات فیزیکی و در خاکهای چسبنده به شکل تغییر در بافت و ساختار خاک است. مسأله پایداری و مقاومت خاک های آلوده به نفت برای پی سازه ها، مخازن نفتی، لوله های انتقال نفت، پایداری شیب های خاکی و ... حائز اهمیت است [2]. بنابراین هر تغییری در در مشخصات لایه خاک، می تواند منجر به کاهش ظرفیت باربری و افزایش نشست کلی و نسبی پی سازه ها شود و در نتیجه ممکن است سازه ها دچار آسیب شده و یا از نظر کاربری غیر قابل استفاده شوند. بدین علت است که تغییرات پارامترهای مقاومتی انواع خاکهای آلوده شده، از اهمیت بالایی برخوردار است [1].

۲- مروری بر مطالعات پیشین

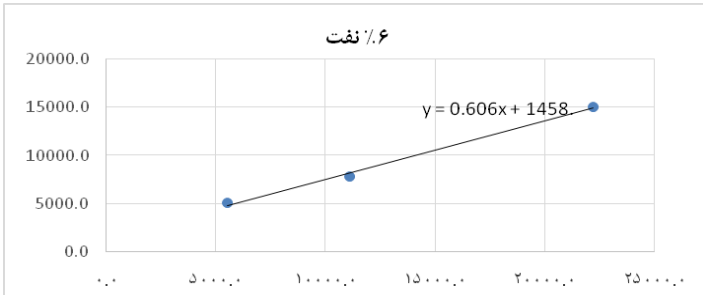
در گذشته مطالعاتی در ارتباط با خواص فیزیکی و شیمیایی خاکهای آلوده به نفت انجام شده است که تعدادی از آنها به بررسی پارامترهای ژئوتکنیکی آنها پرداخته است که در ادامه به برخی از آنها اشاره می کنیم. در این تحقیقات انواع خاکهای ماسه ای و رسی، آلوده به درصد های مختلف آلاینده مورد آزمایش قرار گرفته است و پارامترهای مختلف توسط آزمایشات مورد بررسی قرار گرفته است ولی کار پیش بینی خواص مکانیکی این خاکها با روشی مثل شبکه عصبی تا کنون انجام نشده است. اوچوا در سال (۲۰۰۵) تحقیقاتی را به منظور ارزیابی تاثیرات آلودگی نفتی بر ویژگیهای مکانیکی ماسه سیلت دار انجام داد. از میان ویژگیهای مکانیکی خاک مورد نظر، دو پارامتر مقاومت برشی و رفتار تنش- کرنش را مورد بررسی قرار داد. مقادیر هر یک از آنها با افزایش آلودگی افزایش یافته و به طور کلی آلودگی نفتی موجب بهبود خواص مکانیکی خاک شده است [۳]. خامه چیان و همکاران در سال ۲۰۰۶ به بررسی اثر نفت خام بر برخی از

۳-۲- روش آزمایش

۳-۲-۱- آزمایش محاسبه تراکم

هدف از انجام این آزمایش بدست آوردن رابطه بین وزن مخصوص خشک و درصد رطوبت و همچنین بدست آوردن رطوبت متناظر با ماکزیمم وزن مخصوص خشک در یک عمل تراکم می باشد. با درصد رطوبت متناظر به وزن خشک رسیده و تراکم محاسبه می شود. ابتدا باید کلوخه های خاک را کاملا خرد نمود، سپس به مقدار کافی از خاک را از الک ۴.۷۵ میلیمتر عبور داد تا حدود ۳ کیلوگرم خاک عبور کرده از الک در اختیار باشد. خاک بدست آمده را با مقداری آب مخلوط می نماییم که رطوبتی نزدیک ۴٪ داشته باشد. پس از اطمینان از مخلوط بودن خاک و آب، قالبی که حلقه اتصال بر آن سوار شده است را در ۳ لایه از خاک پر می نماییم و هر لایه را با ۲۵ ضربه چکش که از ارتفاع ۳۰۵ میلیمتر سقوط می کند، متراکم می کنیم. پیش از انجام این کار، قالب را بدون حلقه اتصال توزین نموده و وزن آن را ثبت می کنیم. پس از پایان تراکم، حلقه اتصال را باز نموده، به کمک خط کش لبه تیز سطح قالب را صاف می کنیم و قالب محتوی خاک را وزن کرده و آن را ثبت می کنیم. خاک درون قالب را خارج ساخته و از قسمت مرکزی آن نمونه ای را برای تعیین درصد رطوبت برداشته، توزین نموده و جهت خشک شدن داخل گرمکن قرار می دهیم. خاک را مجددا خرد نموده با مقداری آب مخلوط می کنیم، به طوری که حدود ۳ درصد به رطوبت آن اضافه شود و مراحل قبلی را تکرار می نماییم. این کار را تا هنگامی ادامه می دهیم که وزن نمونه متراکم با قالب رو به کاهش رود. حال با داشتن وزن مخصوص خشک برای هر درصد رطوبت، نمودار زیر به این دو پارامتر را رسم می نماییم (نموداری به شکل زنگوله بدست می آید) رطوبت متناظر با ماکزیمم وزن مخصوص خشک، درصد رطوبت بهینه را ارائه می دهد.

متراکم می کنیم تا جعبه برش تقریباً پر شود. ارتفاع نمونه داخل سلول برش را اندازه می گیریم و نیز آن را با خاک درونش توزین می کنیم. (نمونه ای از ماسه را جهت تعیین درصد رطوبت پس از توزین، داخل گرمکن قرار می دهیم). سلول برشی را داخل دستگاه بارگذاری قرار داده، قسمت اعمال نیروی قائم را روی درپوش قرار می دهیم. بار قائم مورد نظر را بر روی اهرم اعمال می کنیم. (اول اهرم را به کمک پیچ تحتانی تراز می کنیم). حال دو میخ فیکس کننده جعبه برش را بیرون آورده و با کمی سفت کردن پیچ های دو طرف جعبه، سعی می کنیم اصطکاک اضافی ناشی از مالش سطوح تماسی جعبه برش را از بین ببریم و سپس پیچها را کاملاً شل می کنیم. گیج های سه گانه (تغییر مکان قائم، تغییر مکان افقی و نیروی برشی) را تنظیم می کنیم. (سعی می کنیم به منظور عدم اشتباه در قرائت یا محاسبه، همگی را صفر کنیم). سرعت برش را بین ۰.۵ میلیمتر بر دقیقه تا ۲.۵ میلیمتر بر دقیقه قرار می دهیم و عمل برش را شروع می کنیم. مطابق جدول موجود، تغییر مکان قائم و گیج نیرو را در تغییر مکان های افقی ذکر شده قرائت می کنیم. آزمایش هنگامی پایان می پذیرد که گیج نیرو به عدد ماکزیممی رسیده و کاهش یابد یا ثابت بماند. از آنجا که برای رسم نمودار تنش قائم-مقاومت برشی ($\sigma - \tau$)، نیاز به حداقل دو نمونه می باشد، لذا آزمایش را سه بار و برای سه بار قائم متفاوت انجام می دهیم و منحنی مربوطه را که یک خط می باشد، از بین نقاط منتهجه سه آزمایش عبور می دهیم [7].



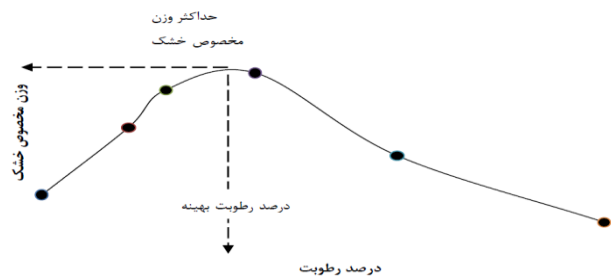
شکل (۲): رابطه بین تنش قائم و برشی در درصد آلودگی به نفت ۶٪

کلیه آزمایشات از جمله آزمایش برش مستقیم و ... در شرایط آزمایشگاهی نتایج مشابه مطالعات گذشتگان داشته و نشان می دهد که مقاومت خاک آلوده نفتی بر عکس تصور خیلی ها، با افزایش آلودگی به نفت، افزایش می یابد.

۴- مدلسازی شبکه عصبی برای تخمین و پیش بینی

رفتارهای ژئوتکنیکی خاکهای آلوده به نفت خام

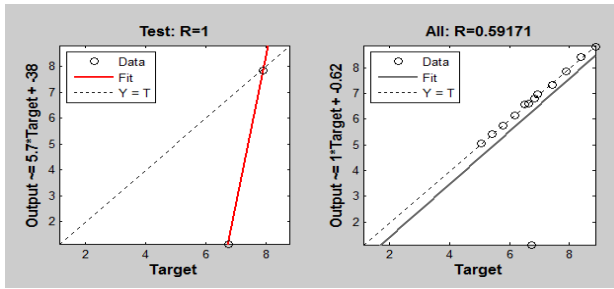
در این تحقیق از نرم افزار متلب (*Matlab*) جهت طراحی و مدلسازی شبکه عصبی استفاده شده است. مدلسازی شبکه عصبی جهت تخمین زاویه اصطکاک داخلی با تعداد ۴ لایه بوده که شامل ۳ نرون در لایه ورودی، ۱۰ نرون در لایه پنهان و یک نرون در لایه خروجی می باشد. نرون ها در لایه خروجی معرف زاویه اصطکاک داخلی، مقاومت برشی و تراکم می باشد.



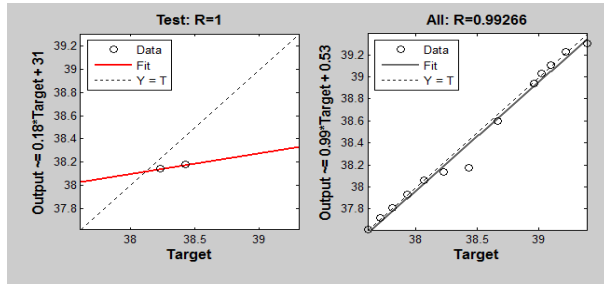
شکل (۱): منحنی تغییرات وزن مخصوص خشک خاک نسبت به درصد رطوبت

۳-۲- آزمایش محاسبه مقاومت برشی

با توجه به اینکه شیب نمودار خطی بین مقاومت برشی و تنش برشی موثر قائم برابر با $\tan \phi$ (زاویه اصطکاک داخلی می باشد)، انتظار می رود با انجام این آزمایش و رسم نمودار ذکر شده، بتوان زاویه اصطکاک داخلی را برای ماسه مورد آزمایش بدست آورد [1]. ابتدا ابعاد داخلی سلول برش را برداشت می کنیم و آن را توزین می نماییم. نمونه ماسه مورد نظر را در چند لایه داخل جعبه برش



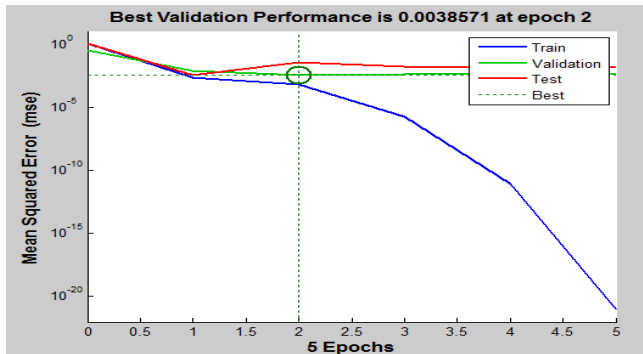
شکل (۵): نمودار همبستگی تست داده ها و صحت سنجی در درصد آلودگی ۲٪



شکل (۶): نمودار همبستگی تست داده ها و صحت سنجی در درصد آلودگی ۶٪

۴-۲- میزان آموزش بر حسب تعداد سیکل های شبکه عصبی مصنوعی

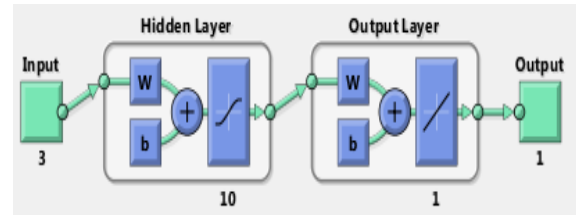
در نهایت نمودار شکل زیر میزان آموزش شبکه را بر حسب تعداد سیکل های شبکه برای درصد ۶٪ نشان می دهد با توجه به این نمودار کاملا مشخص است که با افزایش تعداد سیکل ها میزان آموزش شبکه بهبود می یابد در نتیجه نتایج به واقعیت نزدیکتر خواهد بود.



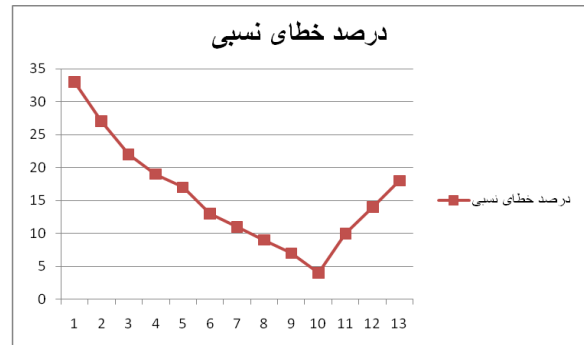
شکل (۷): نمودار میزان آموزش بر حسب تعداد سیکل های شبکه عصبی مصنوعی در درصد آلودگی ۶٪

با دقت در نمودارهای فوق مشاهده می گردد که نمودار آموزش و آزمایش با افزایش تعداد گامها تا پایان سیر نزولی خود را حفظ می کنند ولی نمودار اعتبار سنجی که به رنگ سبز نمایش داده شده است برای مثال در شکل ۷، در ۵ گام به کمترین خطا می رسد و با گام های بیشتر، تعداد خطا افزایش یافته و شبکه به جای یادگیری، حفظ می کند و اصطلاحاً حالت فرابراز رخ می دهد که نامناسب می باشد و بدین معنی است که آموزش در پنجمین گام کافی می باشد. در نتیجه بهینه ترین حالت و کمترین خطا در گام

تعداد بهینه نرون ها در لایه پنهان بر اساس آزمون و خطا بدست آمده است. علت اینکه تعداد نرون ها در لایه پنهان را ۱۰ می گیریم این است که کمترین خطا در تعداد نرون ۱۰ رخ می دهد و با افزایش بیشتر نرون، تغییر محسوسی در کاهش خطای آموزش شبکه رخ نمی دهد و پس از آن بیشتر روند افزایشی خطا در نتیجه افزایش نرون ها در لایه پنهان مشهود است. در نتیجه بهترین حالت ممکن (حالت بهینه) و مناسبترین تعداد نرون برای لایه پنهان، ۱۰ عدد می باشد



شکل (۳): نمای شماتیک الگوریتم شبکه عصبی طراحی شده برای تخمین زاویه اصطکاک داخلی خاک ماسه ای آلوده به نفت خام



شکل (۴): نمودار درصد خطای نسبی در برابر تعداد نرون های موجود در لایه پنهان

۴-۱- آموزش شبکه عصبی

برای آموزش شبکه الگوریتم های مختلفی مانند گوس-نیوتن، لونیبرگ مارکوت و گرادیان نزولی وجود دارد و مزایا و معایب هر کدام از روشها در کتب هوش مصنوعی و ریاضیات ذکر شده است. اما از بین روش ها آموزش الگوریتم لونیبرگ - مارکوت (Levenberg-Marquarte) استفاده شده است به دلیل اینکه یک الگوریتم تکرار پذیر است و کمینه تابع چند متغیره را بر اساس مجموع مربعات تابع غیر خطی بیان می کند. البته خود این الگوریتم ترکیبی از روش های بیشترین شیب و گوس - نیوتن است.

برای آموزش شبکه عصبی به جهت پیش بینی زاویه اصطکاک داخلی خاک ماسه ای، از ۶۱ عدد داده آزمایشگاهی در ۵ درصد آلودگی مختلف ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶٪ استفاده کردیم که نتایج آن در شکل ۵ آورده شده است. در ادامه برخی نمودارهای مربوط به همبستگی داده ها و صحت سنجی خروجی از شبکه عصبی برای درصد ۲ و ۶ آورده شده است.

۵- نتیجه و جمع بندی

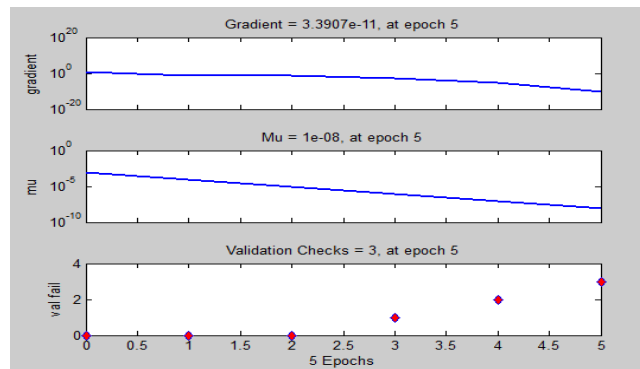
در این تحقیق به پیشبینی ویژگیهای ژئوتکنیکی خاکهای ماسه ای آلوده به نفت خام پرداخته شد. برای این موضوع ابتدا داده های آزمایشگاهی از مطالعات گذشتگان جمع آوری گردید و به علت وجود داده های کم، آزمایشهایی نیز مجدد بر روی خاکهای ماسه ای آلوده در درصدهای ۰، ۱، ۲، ۳، ۵ و ۶ درصد انجام گرفت تا تعداد داده ها افزایش یابد (زیرا برای کار با شبکه عصبی تعداد داده ها باید کافی باشد). پس از بدست آوردن داده ها، برنامه مدلسازی با شبکه عصبی را در نرم افزار متلب نوشته و داده ها را به عنوان داده های خام ورودی وارد کرده و به داده های خروجی در قالب نمودارها و جداول دست یافتیم. بعد از مدلسازی با درصد نفت های مذکور، درصدهای مختلف بین این درصدها را به شبکه عصبی داده و پیشبینی ویژگیهای ژئوتکنیکی را در آن درصدها (که بدست آوردن آن با آزمایش مشکل و وقت گیر است) را بدست آوردیم، سپس جداول و نمودارها را با هم مقایسه کرده و به نتایج مشابهی بین داده های خروجی آزمایشگاهی و شبکه عصبی رسیدیم از جمله اینکه با افزایش درصد آلودگی خاکهای ماسه ای به نفت خام، زاویه اصطکاک داخلی و مقاومت برشی این خاکها کاهش یافته ولی تراکم آنها افزایش می یابد. علت کاهش زاویه اصطکاک داخلی این است که نفت خام سطح ذرات خاک را پوشانده و همچون یک لغزان کننده عمل کرده و در نتیجه قفل و بست بین دانه ای کمتر می شود. دلیل افزایش تراکم خاک را می توان پر شدن فضای خالی بین ذرات و فشردن شدن ذرات خاک در همدیگر در اثر لغزندگی ذرات بوسیله نفت خام توجیه کرد. مقاومت برشی خاکهای ماسه ای به علت آن که زاویه اصطکاک داخلی کاهش یافته، کاهش می یابد و همچنین وجود نفت خام موجب کاهش تنش برشی حداکثر قابل تحمل توسط خاک می شود ولی میزان کاهش مقاومت برشی آنقدر کم است که شبکه عصبی به ازای درصدهای مختلف آلودگی تقریباً یک مقاومت برشی ثابت به ما می دهد.

۶- تشکر و قدردانی

نگارندگان لازم می دانند از معاون محترم پژوهش و فناوری دانشگاه آزاد اسلامی جناب آقای دکتر واشقانی فراهانی به دلیل تشویقها و دلگرمیهایشان در ارائه دستاوردهای پژوهشی کاربردی در صنعت نفت و نیز مدیرکل محترم دفتر توسعه علم و ارتباط با صنعت دانشگاه آزاد اسلامی و مدیر محترم طرح ملی بهینه سازی تولید وازدیدارداشت نفت دانشگاه آزاد اسلامی جناب آقای دکتر ثمری به خاطر حمایتهای معنویشان کمال تشکر و قدردانی را داشته باشند.

۴-۳- گرادیان و گشتاور شبکه عصبی

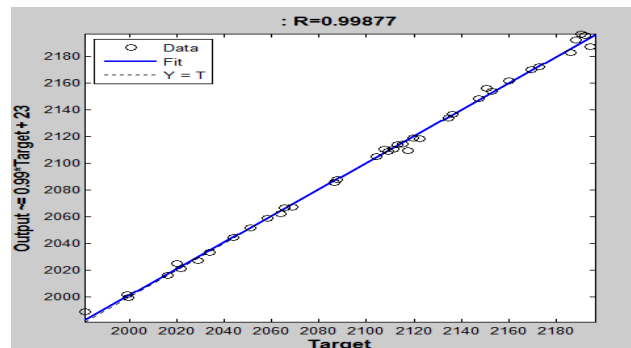
اگر نرخی که طبق آن ضرایب وزنی تغییر می یابند به تدریج کاهش پیدا می کند آنگاه الگوریتم نزول در شیب می تواند به جواب های بهتری دست یابد، اگر ضریب بهره در ابتدا بزرگ فرض شود میزان حرکت به سوی جواب در ضرایب وزنی و فضای انرژی زیاد خواهد بود به تدریج که ضریب بهره کاهش یابد و حرکت در شیب کمتر و کمتر شود ضرایب وزنی و فضای انرژی زیاد خواهد شد. نمودار زیر عبارت گشتاور را نشان می دهد در عبارت گشتاور حرکت بیشتری را در میزان تغییر ضرایب وزنی شبکه با اضافه نمودن عبارت گشتاور در معادله ی تنظیم ضرایب ایجاد کرد این عبارت در ابتدا باعث تغییرات زیاد در ضرایب وزنی می شود در نتیجه احتمال درگیر شدن شبکه در کمینه های محلی در ابتدا کمتر است زیرا عبارت گشتاور تغییراتی را فراتر از افزایش های محلی در تابع انرژی باعث می گردد.



شکل (۸) : نمودار گشتاور و تعداد اندرکنش های شبکه عصبی

مصنوعی با گرادیان در درصد آلودگی ۶٪

به طور مشابه مراحل فوق جهت مدلسازی شبکه عصبی برای تخمین و پیش بینی مقاومت برشی و تراکم خاکهای ماسه ای آلوده به نفت خام نیز انجام گردید. در شکل ۹ کل خروجی های حاصل از شبکه عصبی به صورت نموداری ترسیم شده است و مشاهده می گردد که نتایج بسیار نزدیک به هم و تقریباً بر روی یک خط قرار دارند.



شکل (۹) : نتایج و خروجی داده های بدست آمده از شبکه

عصبی

۷- مراجع

- [1] یثربی، سید شهاب الدین. میرزایی، علی. ۱۳۹۰، مکانیک خاک های غیر اشباع. تهران: انتشارات سیمای دانش.
- [2] اسدی لنگرودی، آریا. ۱۳۸۶، "مطالعه اثر آلودگی، اصطکاک جدار، شرایط زهکشی، ابعاد نمونه و ریزبافت رس روی فشار تورم". پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس.
- [3] Ochoa R.R, 2005. *Influence of Oil Contamination on Geotechnical Properties of Silty Sand*. M.Sc. Thesis, University of Alberta, Canada, 138p.
- [4] Khamehchiyan, M., Charkhabi, A.H., Tajik M., "Effects of crude oil contamination on geotechnical properties of clayey and sandy soils", *Journal of Engineering Geology*, 2007, (89), 220-229.
- [5] Rehman, H.U, Abduljawwad, S.N, Akram, T., 2007. *Geotechnical Behavior of Crude Oil-Contaminated Fine Grained Soil*, *Electronic Journal of Geotechnical Engineering* vol. 12, No. A, 2007, pp 1-12.
- [6] محمدی، م. یثربی، ش. خوش نشین، م. "بررسی تاثیر آلودگی نفت خام بر برخی از ویژگیهای ژئوتکنیکی خاک ماسه ای"، ۱۳۸۹، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد.
- [7] حفظی، ابراهیم. ۱۳۸۸، "بررسی مقاومت برشی خاکهای غیر اشباع با استفاده از دستگاه برش مستقیم". پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس