

ارائه یک الگوریتم برای پیش‌بینی روزانه تنش پیش‌تراکم خاک (مطالعه موردی در شهرستان شهرگرد)

زهرا ساعدی^۱، مجتبی نادری بلداجی^{۲*} و بهرام حسین‌زاده سامانی^۳

۱، ۲ و ۳- به ترتیب: دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی؛ دانشیار؛ و استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
تاریخ دریافت: ۹۶/۲/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۸/۲۹

چکیده

برای مدیریت تردد و فشردگی خاک در مزرعه نیاز است تنش وارد شده به خاک در اثر عبور تایلر ماشین تا سطحی کمتر از ظرفیت باربری خاک (تنش پیش‌تراکم، σ_{pc}) کنترل شود تا تردد ماشین باعث افزایش تراکم نگردد. تنش پیش‌تراکم تابعی است در درجه اول از رطوبت خاک و در درجه دوم از بافت خاک. هدف اصلی از این مطالعه، توسعه یک الگوریتم تجربی - تحلیلی برای پیش‌بینی روزانه تنش پیش‌تراکم خاک در مزرعه‌ای در دانشگاه شهرکرد است. تحلیل‌های آماری نشان می‌دهد که با استفاده از متغیرهای هواشناسی هر سال شامل داده‌های بارش همان روز و روز قبل، دما، تابش و سرعت باد می‌توان تغییرات رطوبت خاک را به خوبی پیش‌بینی کرد ($R^2 = 0/85$ و $RMSE = 3/3\%$). برای تعیین ارتباط بین رطوبت خاک و تنش پیش‌تراکم، نمونه‌های خاک در سه سطح چگالی ظاهری $1/15$ ، $1/22$ و $1/3$ مگاگرم بر متر مکعب و چهار سطح رطوبتی 10 ، 15 ، 20 و 25 درصد وزنی در آزمایشگاه تهیه و روی آنها آزمون فشار گام به گام تک‌محوری محصور اجرا شد. تنش پیش‌تراکم از نقطه بیشینه انحنا منحنی لگاریتم تنش - نسبت پوکی با تحلیل تابع گمپرتز تخمین زده شد. با استفاده از مدل تحلیلی ایلبانا و ویتنی و با ارتباط تجربی بین شاخص مخروط و تنش پیش‌تراکم، پیش‌بینی تنش پیش‌تراکم از یک بافت خاک به کلیه بافت‌ها تعمیم داده شد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که این مدل تحلیلی اثر رطوبت را در تغییر تنش پیش‌تراکم به خوبی بیان می‌کند. الگوریتم طراحی شده در این مطالعه می‌تواند در مدیریت و تردد ماشین و تعیین روزهای ترددپذیر هر سال زراعی استفاده شود.

واژه‌های کلیدی

تراکم خاک، تردد ماشین، روز ترددپذیر، رطوبت خاک، ظرفیت باربری خاک

مقدمه

ظاهری خاک خواهد شد (Hemmat & Adamchuk, 2008). در طبیعت معمولاً خاک‌ها بر اثر وزنشان، بارهای خارجی (حاصل از تردد ماشین‌ها)، و یا بارهای داخلی (حاصل از نیروهای مکش آب خاک) دچار کاهش حجم می‌شوند. اگر این کاهش حجم به دلیل کاهش حفره‌های هوا در خاک باشد، در این حالت فرایند تراکم (فشردگی) اتفاق می‌افتد. عامل اصلی در فشردگی خاک، نیروهای مختلفی است که به سطح خاکی غیراشباع وارد می‌شوند.

فشردگی خاک یکی از مشکلات جدی در کشاورزی مدرن است که منجر به کاهش تولید محصول و خسارت زیست محیطی می‌شود (Hamza & Anderson, 2005). برابر تعریف انجمن علوم خاک آمریکا (SSSA)، فشردگی خاک فرایندی است که طی آن دانه‌های خاک با فضای خالی کمتر و با فاصله‌های نزدیک‌تر کنار یکدیگر قرار می‌گیرند که سرانجام باعث خروج هوا و افزایش چگالی

خارجی به کار گرفته می‌شود. در واقع، تنش پیش‌تراکم بیانگر سطحی از تنش مؤثر است که قبلاً چه به صورت داخلی و یا بارهای خارجی به خاک وارد شده است یا به نوعی بیانگر گذشته تنش^۵ در هر نقطه از خاک است و به عنوان تنش تسلیم خاک تحت بارگذاری فشاری تفسیر می‌شود. این شاخص بر خواص فیزیکی و مکانیکی که به طور سنتی در ارزیابی سیستم‌های تردد و خاک‌ورزی استفاده می‌شود برتری دارد زیرا در برنامه‌ریزی و ارزیابی سیستم‌های خاک‌ورزی و تردد در مزرعه به طور مستقیم قابل استفاده است (Naderi-Boldaji *et al.*, 2017).

تنش پیش‌تراکم به شدت تحت تأثیر پتانسیل ماتریک و بافت خاک است (Horn & Fleige, 2003; Mosaddeghi *et al.*, 2003; Arvidsson & Keller, 2004; Saffih-Hdadi *et al.*, 2009; Gut *et al.*, 2015). پتانسیل ماتریک بیانگر فشار جذب آب بین ذرات خاک است که اساساً با مقدار رطوبت خاک، ولی بسته به نوع خاک، با چگالی ظاهری نیز تغییر می‌کند. از این لحاظ استحکام خاک (تنش پیش‌تراکم) ارتباط قوی با مقدار رطوبت خاک دارد (Vero *et al.*, 2014). در مدیریت تردد ماشین، اطلاعات تغییر در شرایط استحکام خاک به شکل روزانه^۶ ضروری است تا بتوان بر اساس وضعیت استحکام خاک در هر روز، شرایط ترددپذیری خاک را جهت جلوگیری از افزایش تراکم خاک زیرین در اثر تردد ماشینی با مشخصات معلوم بررسی کرد (Campbell & O'Sullivan, 1991). برنامه‌ریزی‌های ماشینی هر مزرعه قبل از فصل زراعی با پیش‌بینی روزهای ترددپذیر، ظرفیت ماشینی کافی را جهت جلوگیری از تاخیر در عملیات فراهم می‌آورد. برای این منظور نیاز به توسعه مدل‌های پیش‌بینی روزانه رطوبت خاک جهت پیش‌بینی تنش پیش‌تراکم خاک در عمق خاک زراعی است (Gut *et al.*, 2015).

از عمده دلایل به وجود آمدن تراکم خاک، تردد ماشین‌های سنگین کشاورزی در سطح مزرعه و حرکت ادواتی همچون گاوآهن برگردان‌دار در خاک است که در صورت نامناسب بودن شرایط خاک موجب ایجاد کفه شخم^۱ می‌شود (Koolen, 1982). نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که تراکم خاک منجر به کاهش عملکرد، کاهش کیفیت محصول، افزایش فرسایش ادوات، افزایش توان مورد نیاز برای خاک‌ورزی، افزایش آبدوی خاک، شتاب بخشیدن به آلودگی آب‌های سطحی به واسطه مواد شیمیایی به کار رفته می‌شود؛ تراکم خاک همچنین استفاده غیر کارآمد از آب و مواد غذایی را در پی دارد که ناشی از زهکشی ضعیف خاک و محدودیت توسعه ریشه است (Arvidsson & Keller, 2004). زمانی که تراکم خاک زیرین^۲ افزایش یابد، به‌ویژه هزینه خاک‌ورزی به مراتب افزایش می‌یابد. از این رو کنترل تراکم خاک زیرین از جمله موارد بسیار مهم در مدیریت تردد ماشین‌های کشاورزی به‌شمار می‌آید.

مدیریت تردد ماشین در مزرعه برای جلوگیری از افزایش تراکم خاک نیاز به تعیین روزهای ترددپذیر^۳ آن مزرعه برای ماشین مورد استفاده دارد. روز ترددپذیر به روزی اطلاق می‌شود که در آن استحکام خاک در حدی باشد که علاوه بر تأمین نیروی کشش تردد ماشین، با عبور ماشین روی خاک موجب از بین بردن ساختمان خاک و افزایش تراکم خاک زیرین نشود (Campbell & O'Sullivan, 1991; Gut *et al.*, 2015). یکی از متداول‌ترین مشخصه‌های تعیین استحکام خاک تنش پیش‌تراکم^۴ است. تنش پیش‌تراکم حداکثر تنشی تعریف شده است که خاک می‌تواند تحمل کند بی‌آنکه فشردگی آن افزایش یابد (Casagrande, 1936; Lebert & Horn, 1991). این تنش معیاری از مقاومت خاک است که برای پایدار نگه داشتن ساختمان خاک در برابر نیروهای داخلی و

1- Plow Pan
3- Trafficable Days
5- Stress History

2- Subsoil
4- Precompression Stress
6- Daily-Base

سال به اندازه‌گیری پتانسیل ماتریک در یک نوع خاک با دو نوع نظام خاک‌ورزی گاوآهن برگردان‌دار و بی‌خاک‌ورزی پرداختند؛ آنها همچنین تنش پیش‌تراکم را در عمق ۳۰ سانتی‌متری (مرز بین خاک رویین و زیرین) اندازه گرفتند. نتایج تجربی این تحقیق نشان داد که بین تنش پیش‌تراکم و پتانسیل ماتریک روابط قوی لگاریتمی وجود دارد که تابعی از نظام خاک‌ورزی نیز هست. این محققان همچنین مشخص کردند که در مزارع مورد مطالعه برای تایرهای سنگین‌تر از ۵ تن تعداد روزهای ترددپذیر بسیار محدود می‌شود که این کار می‌تواند منجر به تاخیر در عملیات‌های کشاورزی شود.

مدل‌های توسعه داده شده تاکنون برای پیش‌بینی رطوبت خاک اغلب بر پایه مدل‌های فیزیکی آب خاک بوده است که در آن اجزای ورود و خروج رطوبت خاک شامل بارش، زهکشی، تبخیر و تعرق و رواناب تحلیل و رطوبت روزانه پیش‌بینی می‌شود. همچنین برای تعیین روزهای ترددپذیر، اغلب مطالعات به شکل تجربی یا با استفاده از خروجی‌های مدل‌های فیزیکی رطوبت خاک گزارش شده‌اند. به‌رغم مزیت مدل‌های فیزیکی در پیش‌بینی رطوبت خاک، تعیین پارامترهای این مدل‌ها با روش‌های آزمایشگاهی کاری هزینه‌بر خواهد بود.

در سال‌های اخیر، شبکه‌های عصبی مصنوعی در زمینه‌های مختلفی استفاده شده است از جمله در حفاظت از محیط زیست، طیف‌سنجی، باد، تخمین بارش و رواناب در مقیاس‌های مختلف زمانی، پیش‌بینی دمای سطح دریا، آنالیز پارامترهای هواشناسی، پیش‌بینی ارتفاع موج، تکمیل سری‌های زمانی عناصر هواشناسی، و پیش‌بینی دمای حداقل (Plamen *et al.*, 1999; Linker *et al.*, 2005; Gosav *et al.*, 2008; Hall *et al.*, 1998; Vogt & Sacher, 2001).

به‌عنوان یک راهکار، تعیین روزهای ترددپذیر خاک در یک منطقه زراعی با پیش‌بینی رطوبت خاک با استفاده از

تاکنون در خصوص توسعه مدل‌های پیش‌بینی روزانه استحکام خاک جهت مدیریت تردد ماشین مطالعات متنوعی شده است. ارل (Earl, 1997) در شش مزرعه نمونه در اروپا با خاک‌های مختلف، با استفاده از داده‌های ماهانه هواشناسی در پانزده سال گذشته و با استفاده از ارتباط میزان استحکام خاک با کاهش رطوبت خاک، تعداد روز کارپذیر^۱ و ترددپذیر مزرعه را تعیین کرد. بدین منظور از شاخص مخروط^۲ به‌عنوان معیار استحکام خاک استفاده شد. نتایج بررسی‌ها نشان داده است که بین شاخص مخروط و میزان رطوبت خاک در عمق ۲۰ سانتی‌متر رابطه‌ای قوی وجود دارد که برای توسعه مدل پیش‌بینی تعداد روز کارپذیر و ترددپذیر قابل استفاده خواهد بود.

آرویدسون و همکاران (Arvidsson *et al.*, 2003) در مطالعه‌ای با استفاده از داده‌های ۲۵ ساله هواشناسی، تغییرات رطوبت خاک را در دوره رشد گیاه چغندر قند برای توسعه مدل رطوبت خاک و شبیه‌سازی حساسیت خاک را به تراکم بررسی کردند. برای شبیه‌سازی رطوبت خاک با داده‌های آب و هوایی، از یک مدل یک بعدی دینامیکی استفاده شد که در آن جریان آب با قانون دارسی و جریان گرما با معادله فوریه بیان شده است. با در نظر گرفتن تنش پیش‌تراکم به‌عنوان معیار کنترل تراکم خاک، میزان مقاومت و استحکام خاک در رطوبت‌های مختلف تخمین زده شد. با توجه به اطلاعات به‌دست آمده، فشار باد تایر و فشار مجاز اعمالی برای اجرای عملیات کشاورزی جهت جلوگیری از تراکم خاک زیرین و تردد ماشین در رطوبت‌های مختلف خاک محاسبه شد.

در جدیدترین مطالعه، گوت و همکاران (Gut *et al.*, 2015) برای تعیین تعداد روزهای ترددپذیر خاک و همچنین تعیین ظرفیت باربری خاک (حداکثر بار روی محور ماشین برای تایرهای با مشخصات معلوم) در طول

متغیرهای هواشناسی و تخمین استحکام خاک از رطوبت با استفاده از روابط تجربی می‌تواند رویکرد ساده‌تری برای توسعه یک مدل پیش‌بینی روزانه استحکام خاک باشد. در این خصوص نیاز است تا با استفاده از داده‌های هواشناسی هر منطقه و همچنین خصوصیات فیزیکی و بافت خاک مدلی برای پیش‌بینی روزانه استحکام خاک توسعه داده شود تا بتوان با ارزیابی وضعیت استحکام به شکل روزانه و با تغییر پارامترهای ماشین، میزان خطر فشردگی خاک به واسطه تردد ماشین را پیش‌بینی کرد. تا کنون گزارشی مبنی بر امکان پیش‌بینی رطوبت خاک از داده‌های هواشناسی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی ارائه نشده است که در این مطالعه این موضوع مد نظر قرار گرفته است.

در ایران و به‌ویژه در استان چهارمحال و بختیاری، جهت کاهش خطر فشردگی خاک به واسطه تردد ماشین، تا کنون رویکرد تعیین روزهای ترددپذیر خاک با معیار تنش پیش‌تراکم به‌کار گرفته نشده است. هدف اصلی از این مطالعه، توسعه یک الگوریتم تجربی-تحلیلی برای پیش‌بینی روزانه تنش پیش‌تراکم در لایه صفر تا ۳۰ سانتی‌متر خاک در مزرعه انتخابی در دانشگاه شهرکرد است. در این راستا مدلی برای پیش‌بینی مقدار رطوبت خاک در این مزرعه با استفاده از داده‌های هواشناسی ۲۰ سال گذشته و شبکه عصبی مصنوعی به‌شکل روزانه مد نظر قرار گرفت. برای تعیین ارتباط بین رطوبت خاک و تنش پیش‌تراکم، از اندازه‌گیری‌های تجربی استفاده شد و نتایج تجربی با مدل تحلیلی ایلبانا و ویتنی (Elbanna & Witney, 1987) با استفاده از ارتباط بین تنش پیش‌تراکم و شاخص مخروط مقایسه شد. از این‌رو اهداف این مطالعه به‌طور مشخص عبارت‌اند از: ۱- تعیین متغیرهای هواشناسی مؤثر در پیش‌بینی رطوبت خاک در مزرعه‌ای مفروض، ۲- بررسی امکان پیش‌بینی متغیرهای مؤثر هواشناسی یک سال با استفاده از داده‌های هواشناسی

سال‌های قبل و مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی، و ۳- تعیین ارتباط بین رطوبت و تنش پیش‌تراکم با اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی و مدل‌های تحلیلی.

مواد و روش‌ها

شکل ۱ روند نما (الگوریتم) مدل پیش‌بینی روزانه تنش پیش‌تراکم خاک را نشان می‌دهد. در گام اول، با در نظر گرفتن متغیرهای آب و هوایی (بارش، دما، تابش، و سرعت باد) به‌عنوان ورودی، پیش‌بینی رطوبت خاک برای ۴۸ روز از سال زراعی ۹۴-۹۵ (که در آن رطوبت خاک اندازه‌گیری شد) با استفاده از شبکه‌های عصبی بررسی و تأثیر نسبی هر یک از این متغیرها بر خروجی شبکه (رطوبت خاک) تحلیل شد. در گام دوم، امکان پیش‌بینی متغیرهای آب و هوایی مؤثر در پیش‌بینی رطوبت خاک شامل بارش، دما، تابش و سرعت وزش باد از داده‌های سال‌های قبل هواشناسی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی بررسی شد. در گام سوم، رابطه بین رطوبت خاک و تنش پیش‌تراکم با آزمون‌های تجربی بررسی و با روابط تحلیلی استحکام خاک ارزیابی شد. با این ساختار، الگوریتم ارائه شده می‌تواند تنش پیش‌تراکم را برای مزرعه‌ای با بافت خاک مشخص به‌شکل روزانه پیش‌بینی کند.

پیش‌بینی رطوبت خاک از داده‌های هواشناسی و تعیین متغیرهای هواشناسی مؤثر در اندازه‌گیری مقدار رطوبت خاک

مزرعه مورد مطالعه، واقع در دانشگاه شهرکرد با بافت لومی رسی (۳۸ درصد رس، ۳۲ درصد سیلت و ۳۰ درصد شن) انتخاب شد. برای اندازه‌گیری مقدار رطوبت خاک، در پاییز و زمستان ۹۴ هفته‌ای دو نمونه در سه عمق ۰-۱۰، ۱۰-۲۰، و ۲۰-۳۰ سانتی‌متری و در بهار و تابستان ۹۵ هفته‌ای یک نمونه از مزرعه

ارائه یک الگوریتم برای پیش‌بینی روزانه...

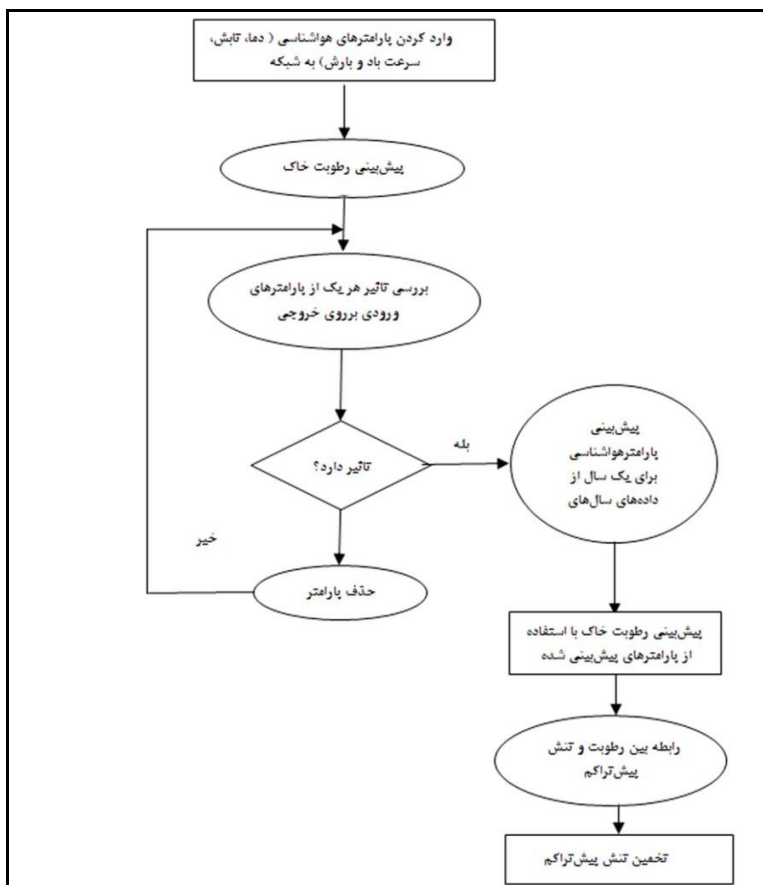
محاسبه شد.

$$\theta_m = \frac{M_{wet} - M_{dry}}{M_{dry}} * 100 \quad (1)$$

که در آن،

M_{wet} = جرم خاک مرطوب قبل از خشکاندن؛
 M_{dry} = جرم خاک خشک شده؛ و θ_m = درصد رطوبت
 جرمی خاک. رطوبت میانگین ۳۰-۰ سانتی‌متر مورد
 تحلیل قرار گرفت و اندازه‌گیری‌های رطوبت خاک در
 مجموع ۴۸ روز ادامه یافت.

گرفته شد. زمان نمونه‌برداری در میانه هر روز
 در نظر گرفته شد تا از تأثیر شب‌نیم و یخ صبحگاهی بر
 اندازه‌گیری رطوبت جلوگیری شود و مقدار رطوبت
 به‌دست آمده بیانگر میانگین رطوبت در آن روز باشد.
 نمونه‌ها پس از برداشت و نگهداری در کیسه‌های
 پلاستیکی بلافاصله به آزمایشگاه منتقل و اندازه‌گیری‌ها
 روی آنها دنبال شد. برای تعیین مقدار رطوبت خاک،
 نمونه‌ها در آون در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به‌مدت
 ۴۸ ساعت خشکانده شدند و رطوبت خاک از رابطه ۱



شکل ۱- روندنمای مدل تخمین روزانه تنش پیش‌تراکم

چند لایه پنهان و یک لایه خروجی است. تعداد نرون‌ها در
 لایه پنهان با سعی و خطا و سه تابع سیگموئیدی
 purelin و logsig، tansig آموزش داده و آزمایش شدند و
 پس از اعمال الگوهای مختلف و آموزش شبکه بهترین الگو

پیش‌بینی رطوبت خاک از متغیرهای هواشناسی و
 شبکه‌های عصبی مصنوعی

در این پژوهش، از شبکه‌های چند لایه پرسپترون
 استفاده شد. این شبکه‌ها شامل یک لایه ورودی، یک یا

پیش‌بینی بارش و سایر پارامترهای مؤثر در پیش‌بینی رطوبت خاک از اطلاعات هواشناسی سال‌های قبل

پس از تعیین پارامترهای مؤثر هواشناسی در پیش‌بینی رطوبت خاک، امکان پیش‌بینی این پارامترها از داده‌های هواشناسی سال‌های قبل بررسی شد. اساس فلسفه امکان پیش‌بینی آن است که اگر تغییرات شدید آب و هوایی و اقلیمی در منطقه‌ای رخ ندهد، الگوی تغییر در متغیرهای هواشناسی در هر سال با سال‌های قبل در آن منطقه مشابه است. از این‌رو با آموزش الگوی تغییر متغیرهای هواشناسی در سال‌های قبل می‌توان متغیرهای سال بعد را پیش‌بینی کرد. در این مرحله، جهت پیش‌بینی بارش سال ۹۵ (خروجی شبکه)، به ترتیب داده‌های ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سال قبل به عنوان ورودی توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی، با الگوریتم آموزشی چند لایه پرسپترون (MLP)، با یک و دو لایه پنهان و با نرون‌های متفاوت در هر لایه و با دو تابع سیگموئیدی tansig و logsig آموزش و آزمایش شدند و پس از اعمال الگوهای مختلف و آموزش شبکه بهترین الگو برگزیده شد.

بررسی رابطه بین تنش پیش‌تراکم و رطوبت خاک

پس از پیش‌بینی رطوبت خاک، برای تخمین تنش پیش‌تراکم به روابط تجربی یا تحلیلی بین رطوبت و تنش پیش‌تراکم نیاز خواهد بود. برای تعیین تنش پیش‌تراکم در ارتباط با رطوبت خاک با استفاده از آزمون‌های آزمایشگاهی، نمونه‌هایی استوانه‌ای (به قطر ۱۰۰ و ارتفاع ۶۰ میلی‌متر) از خاک مزرعه قالب‌گیری شدند. با توجه به اینکه خاک‌های منطقه مورد مطالعه اغلب بدون ساختمان هستند، تعمیم نتایج حاصل از نمونه‌های قالب‌گیری شده به خاک دست‌نخورده مزرعه احتمالاً اختلاف زیادی با نتایج ارائه شده در این مطالعه ایجاد نکند. برای قالب‌گیری نمونه‌ها، پس از خشک کردن خاک مزرعه در آون به مدت

انتخاب شد. معیار انتخاب، شبکه‌ای است که بهترین آموزش را دیده باشد و نتایجی قابل قبول ارائه داده باشد. در انتخاب شبکه باید به وقوع پدیده بیش پردازش نیز دقت کرد زیرا در آزمون‌هایی که خطا به مقدار زیادی به صفر نزدیک شود، شبکه تعمیم‌دهی قابل قبولی نخواهد داشت. در پایان، بهترین توپولوژی مدل شبکه عصبی با بیشترین ضریب R^2 و کمترین RMSE انتخاب شد. متغیرهای ورودی شبکه از این قرارند: بارش در روز نمونه‌برداری، بارش روز قبل، بارش دو روز قبل، دما، سرعت باد و میزان تابش آفتاب در روز نمونه‌برداری، نقطه شبنم، ابرناکی، رطوبت هوا، فشار هوا و ساعات آفتابی در روز؛ متغیر خروجی رطوبت خاک است.

برای آموزش شبکه عصبی، از میان روش‌های مختلف آموزش از روش پس انتشار خطا، الگوریتم لونیگ-مارکوارت، به دلیل همگرایی سریع‌تر در آموزش شبکه‌های با اندازه متوسط و حداقل‌سازی سطح خطاهای موجود، برای بهنگام سازی وزن‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده شد که یکی از الگوریتم‌های پرکاربرد است. الگوریتم پس انتشار خطا، وزن‌های شبکه و مقادیر باپاس را در جهتی تغییر می‌دهد که تابع عملکرد با سرعت بیشتری کاهش یابد. همچنین از توابع آموزشی traingdx ، trainbr ، trainbfg و trainscg نیز در شبکه استفاده شد ولی به دلیل نبود دقت در نتایج حاصل، محاسبات با تابع آموزشی trainlm دنبال شد. داده‌های ورودی به صورت تصادفی به سه گروه آموزش (۶۰ درصد)، ارزیابی (۱۵ درصد) و آزمون (۲۵ درصد) تقسیم‌بندی و کد مورد نیاز برای شبیه‌سازی شبکه‌های عصبی با استفاده از نرم‌افزار MATLAB R2013 توسعه داده شد. داده‌های هواشناسی از ایستگاه سینوپتیک شهرکرد تهیه شد. همچنین با تحلیل حساسیت، نقش و اهمیت هر یک از متغیرهای ورودی (دما، تابش، باد، بارش در روز نمونه‌برداری و ...) در قبال متغیر خروجی (رطوبت خاک) سنجیده شد.

ρ_s = چگالی ذرات جامد؛ و ρ_d = چگالی ظاهری. چگالی ذرات جامد خاک مورد آزمون با روش پیکنومتر ۲/۷ مگاگرم بر متر مکعب تعیین شد.

برای تخمین تنش پیش‌تراکم، از روش برازش تابع گمپرتز (Gompertz, 1825) بر منحنی لگاریتم تنش - نسبت پوکی و تعیین نقطه بیشینه انحنا استفاده شد (Naderi-Boldajji *et al.*, 2017). گرگوری و همکاران (Gregory *et al.*, 2006) نشان دادند که برازش تابع گمپرتز دقیق‌ترین تخمین از σ_{pc} را در نقطه بیشینه انحنا به دست می‌دهد که دقیق‌تر و کمی پایین‌تر از σ_{pc} روش کاساگراند (Casagrande, 1963) است. تابع سیگموئیدی گمپرتز با رابطه ۳ بیان می‌شود:

$$e = a - c \exp[-\exp(b - (\log \sigma) - m)] \quad (3)$$

که در آن،

σ = تنش فشاری تک محوری (کیلوپاسکال)؛ e = نسبت پوکی؛ و a, b, c, m = پارامترهای مثبت تابع.

برای برازش تابع گمپرتز بر داده‌های تنش - نسبت پوکی، برنامه‌ای با ابزار ویژوال بیسیک در نرم‌افزار اکسل نوشته شد که پارامترهای تابع گمپرتز را تعیین و با محاسبه تابع انحنا نقطه بیشینه انحنا را محاسبه می‌کند (Naderi-Boldajji *et al.*, 2017). تنش متناظر با نقطه ماکزیمم انحنا به عنوان تنش پیش‌تراکم استفاده شد.

مدل تحلیلی برای تخمین تنش پیش‌تراکم

یکی از پارامترهای جایگزین برای استحکام خاک، شاخص مخروط است. استفاده از شاخص مخروط برای تعیین تردپذیری و کارپذیری خاک در بسیاری از مطالعات گزارش شده است (Earl, 1997; Arvidsson *et al.*, 2003; Hoogmoed *et al.*, 2003; Rotz & Harrigan, 2005). برخی مطالعات نشان داده‌اند

۴۸ ساعت و در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس، خاک در چهار سطح رطوبت وزنی ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد، هر یک در سه سطح چگالی ظاهری خشک ۱/۱۵، ۱/۲۲ و ۱/۳ مگاگرم بر متر مکعب با سه تکرار در هر سطح آماده شد. برای تهیه سطوح مختلف رطوبتی به شکل یکنواخت، مقدار رطوبت مورد نیاز برای هر سطح روی خاک خشک در یک سینی اسپری و همزمان به هم زده شد. پس از آن خاک در کیسه‌های پلاستیکی به مدت ۲۴ ساعت درون یخچال نگهداری شد تا رطوبتی کاملاً یکنواخت در هر سطح حاصل شود. برای یکنواختی در تهیه چگالی ظاهری در حین قالب‌گیری نمونه‌ها، وزن خاک محاسبه شده برای هر سیلندر در دو مرحله درون سیلندر ریخته شد و پس از کمی ارتعاش دادن به منظور ایجاد یکنواختی در سطح خاک، ضرباتی آرام با یک چکش پلاستیکی روی صفحه‌ای نازک و هم‌قطر با داخل سیلندر زده شد تا خاک تا ارتفاع مد نظر متراکم شود. پس از آن نمونه‌ها درون کیسه‌های پلاستیکی و به مدت ۲۴ ساعت در یخچال نگهداری شدند.

برای تعیین تنش پیش‌تراکم، از آزمون فشار گام به گام تک‌محوری محصور ۱ استفاده شد. نمونه‌های آماده شده همراه با سیلندر روی دستگاه آزمون مکانیکی مواد قرار گرفت و فشار به صورت گام به گام به ترتیب در سطوح ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۸۰، ۱۶۰، ۳۲۰ و ۶۴۰ کیلوپاسکال در گام‌های سه دقیقه‌ای به نمونه‌ها وارد شد. با استفاده از تغییر شکل‌های ثبت شده در انتهای هر گام، منحنی تنش - نسبت پوکی نمونه‌ها محاسبه و تحلیل شد. نسبت پوکی از رابطه ۲ با محاسبه چگالی ظاهری در انتهای هر گام تنش محاسبه شد.

$$e = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1 \quad (2)$$

که در آن،

مطالعات تجربی در خاک‌های اسکاتلند، میزان ضریب چسبندگی و اصطکاک را به ترتیب $3/62$ و $6/63 \times 10^{-3}$ به دست داده است. نسبت رس R_C عبارت است از نسبت درصد رس به جمع درصد سیلت و شن خاک که با توجه به ترکیب بافت خاک مزرعه مورد مطالعه، این نسبت $0/61$ به دست آمده است.

نتایج و بحث

مدل پیش‌بینی رطوبت خاک از متغیرهای هواشناسی

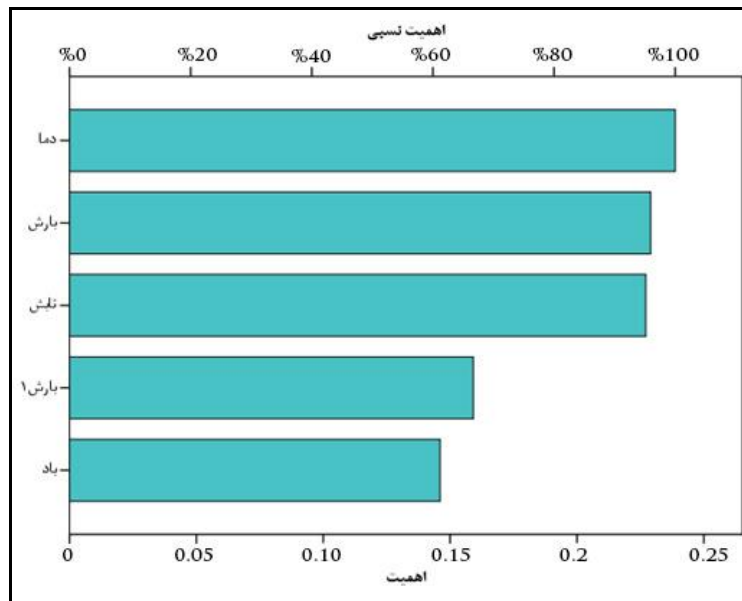
پیش‌بینی میزان رطوبت خاک با استفاده از متغیرهای هواشناسی شامل بارش در روز نمونه‌برداری، بارش روز قبل، بارش دو روز قبل، دما، سرعت باد و میزان تابش آفتاب در روز نمونه‌برداری، نقطه شب‌نم، ابرناکی، رطوبت هوا، فشار هوا و ساعات آفتابی در روز به‌عنوان ورودی بررسی گردید و با استفاده از آنالیز مولفه‌های اصلی (PCA)، متغیرهای مؤثر بر پیش‌بینی رطوبت خاک مشخص شد. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، اهمیت نسبی پارامترهای دما، بارش، تابش روز نمونه‌برداری، بارش روز قبل و سرعت باد با درصد تأثیر به ترتیب 100 ، 96 ، $95/2$ ، $66/7$ و $61/2$ حاصل شد. با استفاده از پارامترهای مشخص شده جهت پیش‌بینی رطوبت خاک (یعنی دما، سرعت باد، تابش آفتاب، بارش یک روز قبل و بارش روز نمونه‌برداری)، بهترین نتیجه در تابع آموزشی trainlm با دو لایه پنهان، لایه اول 25 نرون و تابع logsig، لایه دوم 30 نرون و تابع tansig با $R^2 = 0/85$ و $RMSE = 3/3\%$ (شکل ۳). این نتیجه از بین نتایج به دست آمده از 1300 اجرای شبکه انتخاب شد.

که بین شاخص مخروط و تنش پیش‌تراکم خاک می‌تواند همبستگی نسبتاً قوی وجود داشته باشد (Mosaddeghi *et al.*, 2003; Hemmat *et al.*, 2014; Naderi-Boldaji *et al.*, 2017). همت و همکاران (Hemmat *et al.*, 2014) می‌گویند در خاک با ساختار ناپایدار در ایران، تنش پیش‌تراکم $0/09$ شاخص مخروط است. مصدقی و همکاران (Mosaddeghi *et al.*, 2003) رابطه بین تنش پیش‌تراکم و شاخص مخروط را به صورت $\sigma_{pc} = 11 + 0.115CI$ در خاک مرکز ایران به دست آوردند. این ضریب در مطالعه‌ای در خاک‌های سوئیس $0/63$ به دست آمده است (Naderi- Boldaji *et al.*, 2017). از این منظر می‌توان با تخمین شاخص مخروط و با اعمال یک فاکتور تجربی تنش پیش‌تراکم را تخمین زد. ایل‌بانا و ویتنی (Elbanna & Witney, 1987) مدلی تحلیلی (رابطه ۴) برای محاسبه شاخص مخروط در عمق صفر تا 30 سانتی‌متر ارائه دادند که دارای دو عبارت مرتبط با چسبندگی خاک و زاویه اصطکاک داخلی است:

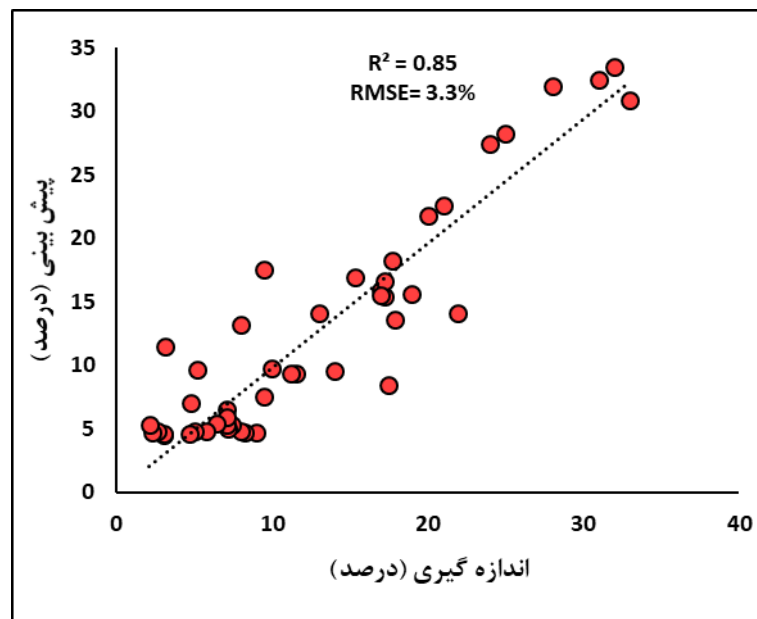
$$CI = [K_C \cdot R_C \cdot e^{-0.01 \cdot \theta / (1 + R_C)} + K_\phi \cdot \gamma \cdot (1 + 2R_C)] \cdot e^{\pi(1 + 2R_C)} \quad (4)$$

که در آن، CI = مقاومت نفوذسنج مخروطی (مگاپاسکال)؛ K_C = ضریب چسبندگی خاک؛ R_C = نسبت رس؛ θ = درصد رطوبت خاک؛ K_ϕ = ضریب مربوط به اصطکاک داخلی خاک؛ و γ = وزن مخصوص خاک (کیلو نیوتن بر متر مکعب).

ارائه یک الگوریتم برای پیش‌بینی روزانه...



شکل ۲- اهمیت نسبی و نقش پارامترهای ورودی شبکه در پیش‌بینی رطوبت خاک (بارش و بارش ۱ به ترتیب بارش روز نمونه‌برداری و بارش روز قبل از آن است).



شکل ۳- رطوبت خاک اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده از مدل‌های شبکه عصبی

۱۳۹۵ از داده‌های بارش ۲۰ سال قبل ارائه می‌دهد؛ شبکه با ۲۴ نرون در لایه اول و ۲۸ نرون در لایه دوم با $R^2 = 0.79$ بهترین نتیجه را بیان می‌کند.

پیش‌بینی متغیرهای هواشناسی از داده‌های سال‌های قبل و شبکه عصبی جدول ۱ نتایج آزمون شبکه‌های با توپولوژی‌های متفاوت را برای پیش‌بینی بارش سال

جدول ۱ - برخی نتایج حاصل از اجرای شبکه با داده‌های ۲۰ سال قبل بارش به عنوان ورودی برای پیش‌بینی بارش سال ۱۳۹۵

تعداد نرون لایه اول	تعداد نرون لایه دوم	مجدور میانگین مربعات خطای آزمون (میلی‌متر)	ضریب تبیین آموزش	ضریب تبیین ارزیابی	ضریب تبیین آزمون
۱۶	۲۷	۳/۱	۰/۵۹۹	۰/۱۳۵	۰/۰۰۹۹
۱۷	۲۵	۷/۳	۰/۳۵۲	۰/۷۶۸	۰/۷۰۲
۱۸	۲۶	۲/۳	۰/۷۳۱	۰/۰۰۵	۰/۰۱۹
۱۹	۲۷	۲/۳۲	۰/۴۱۸	۰/۱۴	۰/۰۰۲
۱۹	۲۸	۲/۲۱	۰/۳۵۶	۰/۵	۰/۰۰۲
۲۱	۳۰	۵/۳۲	۰/۵	۰/۱۸۶	۰/۰۰۴
۲۲	۲۳	۱/۰۸	۰/۱۴۵	۰/۰۸۴	۰/۷۸
۲۲	۲۹	۳/۲۸	۰/۴۶	۰/۰۰۷	۰/۲۶۳
۲۲	۲۶	۳/۳۹	۰/۷	۰/۳۳۲	۰/۰۰۴
۲۳	۲۰	۴/۶۱	۰/۷	۰/۹۸۹	۰/۰۰۵
۲۴	۲۷	۵/۷۶	۰/۴۳۵	۰/۳۴۵	۰/۰۰۱
۲۴	۲۸	۰/۸۹	۰/۱۷۵	۰/۰۴۵	۰/۷۹۳
۲۵	۲۱	۳/۸۹	۰/۹۱	۰/۵۷	۰/۰۴۸

(2007, *et al.*)، کارکرد دو مدل سیستم استنباط فازی و شبکه‌های عصبی مصنوعی را در پیش‌بینی بارش منطقه خراسان بزرگ در بازه زمانی ۱۹۷۰-۲۰۰۷ مقایسه کردند و نشان دادند که شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی بارش موفق‌تر از مدل فازی عمل می‌کنند؛ این محققان مقدار $R^2 = 0/38$ را برای روش شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی بارش به‌دست آوردند که در مقایسه با نتیجه به‌دست آمده از این مطالعه به‌طور معنی‌دار کوچک‌تر است. نتایج برخی پژوهش‌ها نیز کمابیش نزدیک به یافته‌های این پژوهش است. از جمله قلی‌زاده و دارند (Gholizadeh & Darand, 2010) میزان بارش در تهران را از داده‌های بارش ماهانه طی دوره آماری ۵۳ سال (۱۹۵۱-۲۰۰۳) و شبکه‌های عصبی مصنوعی به‌عنوان یک روش غیرخطی با ضریب تبیین $R^2 = 0/77$ پیش‌بینی کردند.

جدول ۲ نتایج پیش‌بینی مدل‌های شبکه عصبی از بارش روزانه سال ۱۳۹۵ را از داده‌های بارش ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سال قبل با بهترین توپولوژی‌های حاصل نشان می‌دهد. در این مدل، بیشترین ضریب تبیین ($R^2 = 0/79$) و کمترین خطا ($RMSE = 0/89$ mm) در پیش‌بینی بارش ۱۳۹۵ با داده‌های ۲۰ سال قبل حاصل شد که این نتیجه با استفاده از تابع آموزشی trainLm با دو لایه پنهان، در لایه اول با ۲۴ نرون، تابع سیگموئیدی tansig و لایه دوم، با ۲۸ نرون و تابع logsig به‌دست آمد.

مطالعات دیگر پژوهشگران در زمینه پیش‌بینی بارش با استفاده از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی، نشان‌دهنده دقت مطلوب نتایج این مطالعه است (Hung *et al.*, 2008; Solamani, 2009; Wang & Sheng, 2010; Fallahi *et al.*, 2011). فلاح قاهره و همکاران (Fallah-Ghalhary

جدول ۲- الگوهای برگزیده شبکه عصبی در پیش‌بینی بارش با استفاده از داده‌های بازه‌های زمانی ۲۰، ۱۵، ۱۰ و ۵ ساله قبل از سال ۱۳۹۵

سال	تعداد نرون مخفی لایه اول	تعداد نرون مخفی لایه دوم	R ² آزمون	RMSE
بازه ۲۰ ساله	۲۴	۲۸	۰/۷۹	۰/۸۹
بازه ۱۵ ساله	۲۳	۲۱	۰/۷	۱/۲
بازه ۱۰ ساله	۱۶	۱۵	۰/۵۹	۱
بازه ۵ ساله	۱۹	۲۵	۰/۵۱	۱/۳

در شکل ۲ نشان داده شده است که متغیرهای تابش، دما، و سرعت باد نیز در پیش‌بینی رطوبت خاک مؤثرند. تابش خورشید در شهرکرد را با استفاده از داده‌های ۲۰ سال گذشته و شبکه‌های عصبی پیش‌بینی کرد که نتایج پوربصیرت (Purbasirat, 2017) پارامترهای دما، باد و آن در جدول ۳ ارائه شده است.

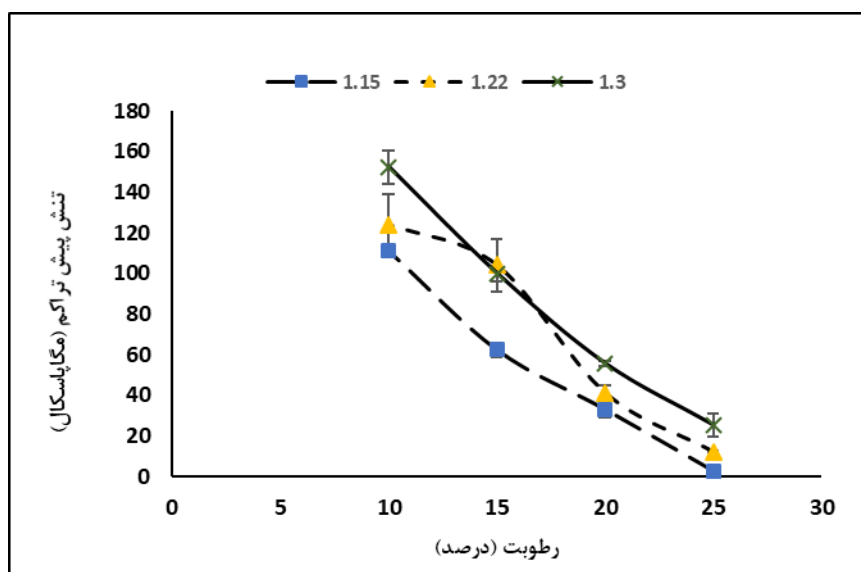
جدول ۳- نتایج پیش‌بینی باد، دما و تابش در شهرکرد از داده‌های هواشناسی ۲۰ سال گذشته و شبکه عصبی مصنوعی (Purbasirat, 2017)

متغیر هواشناسی	R ²	RMSE
دمای روزانه	۰/۹	۶/۴ (°C)
سرعت باد	۰/۴۷	۴/۲ (m/s)
تابش خورشید	۰/۸۱	۵/۸ (W/m ²)

ارتباط تنش پیش‌تراکم و رطوبت خاک

تجربی با اندازه‌گیری همزمان تنش پیش‌تراکم و شاخص مخروط با خاک‌های منطقه مورد مطالعه توصیه می‌شوند. شکل ۶ تنش پیش‌تراکم پیش‌بینی شده با استفاده از مدل تحلیلی را در مقابل تنش پیش‌تراکم اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد که ضریب تبیین آن ۰/۹ حاصل شد. شکل ۶ نشان می‌دهد که تغییرات تنش پیش‌تراکم با رطوبت با استفاده از مدل تحلیلی ایلبانا و ویتنی (Elbanna & Witney, 1987) به خوبی بیان می‌شود. با این حال پراکندگی نقاط اطراف خط در هر سطح رطوبت به خاطر تغییر در چگالی ظاهری تطابق خوبی با مدل ندارد. اثر چگالی ظاهری در مدل تحلیلی می‌تواند با آزمون تجربی برای مقدار پارامتر K_φ اصلاح شود زیرا این پارامتر، ضریب مدل در عبارت حاوی وزن مخصوص است.

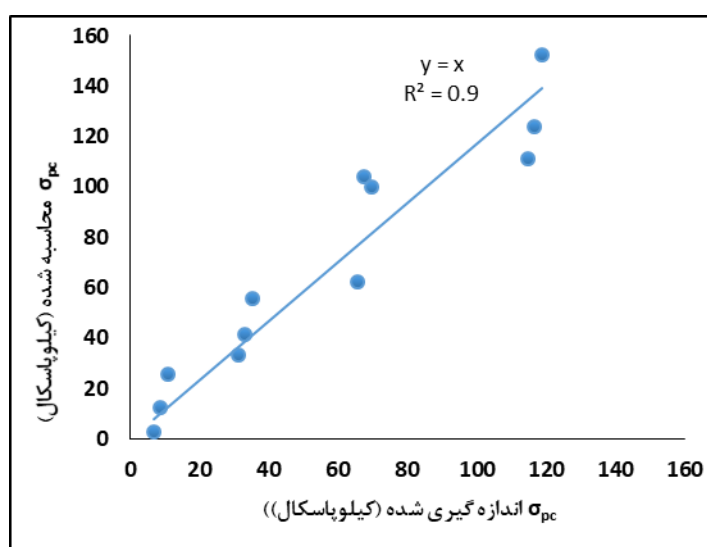
شکل ۵ رابطه بین تنش پیش‌تراکم و رطوبت را در سه سطح چگالی ظاهری برای نمونه‌های قالب‌گیری شده نشان می‌دهد. مشخص است که تنش پیش‌تراکم با افزایش رطوبت، کاهش و با افزایش چگالی، افزایش یافته است. جهت آزمون مدل تحلیلی شاخص مخروط (رابطه ۴) برای پیش‌بینی تنش پیش‌تراکم با مشخصات خاک آزمون شده، شاخص مخروط برای رطوبت و چگالی‌های ظاهری آزمون شده محاسبه شد. از مقادیر محاسبه شده با لحاظ کردن فاکتور تجربی ۰/۴، تنش پیش‌تراکم نمونه‌های قالب‌گیری شده به خوبی پیش‌بینی شد. این فاکتور تجربی با انطباق نتایج اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده با مدل روی خط ۱:۱ (y=x) حاصل شد. با این حال، آزمون‌های



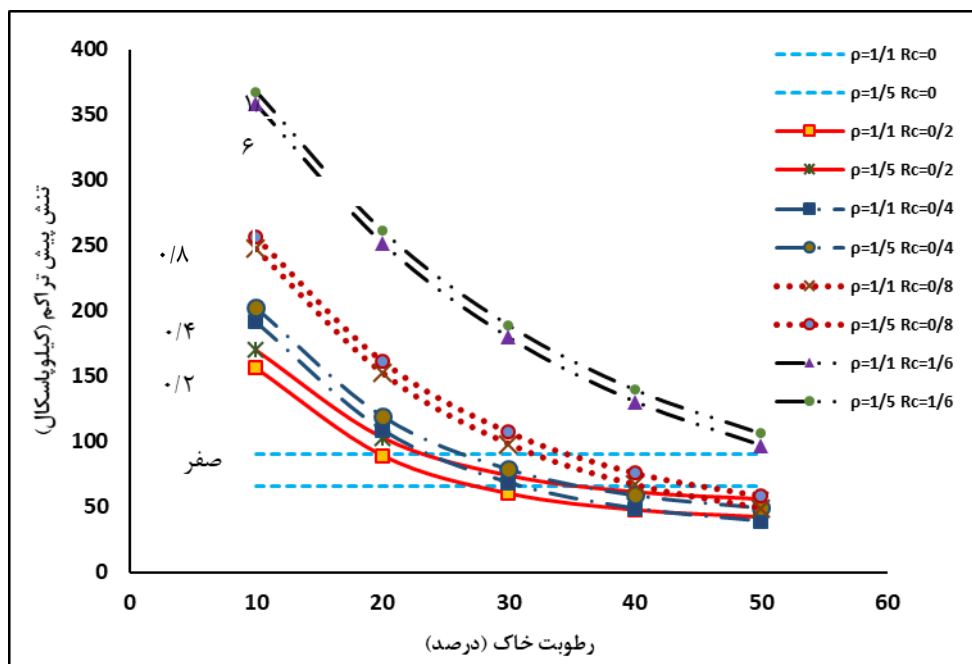
شکل ۵ - رابطه بین تنش پیش تراکم و رطوبت در سه سطح چگالی ظاهری (۱/۱۵، ۱/۲۲ و ۱/۳ مگاگرم بر متر مکعب)

درصد رس بالا برای نسبت رس ۱/۶ است. با استفاده از این مدل، در خاک شنی (با نسبت‌های رس پایین) که خاک‌های اصطکاکی هستند، رطوبت خاک بر تنش پیش تراکم تأثیری ندارد و تنها وزن مخصوص خاک باعث تغییر تنش پیش تراکم می‌شود. با افزایش نسبت رس در خاک‌های چسبنده، اثر وزن مخصوص بر تغییر تنش پیش تراکم ناچیز است در حالی که تغییر در رطوبت خاک تأثیر بیشتری دارد.

شکل ۷ نتایج پیش‌بینی تنش پیش تراکم برای بافت‌های مختلف خاک و تابعی از رطوبت و چگالی ظاهری را با استفاده از مدل ایلبانا و ویتنی (Elbanna & Witney, 1987) نشان می‌دهد. شکل با نسبت رس ۰، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۸ و ۱/۶ و چگالی ظاهری برای هر یک از بافت‌ها در بازه ۱/۵ - ۱/۱، (۱/۵ - ۱/۴ - ۱/۳ - ۱/۲ - ۱/۱ مگاگرم بر متر مکعب) رسم شده است. نسبت‌های رس مفروض در بالا به ترتیب بیانگر خاک بدون رس برای نسبت رس صفر (فقط شن یا سیلت) تا خاک با



شکل ۶ - رابطه بین تنش پیش تراکم اندازه‌گیری شده و تنش پیش تراکم پیش‌بینی شده



شکل ۷ - تأثیر رطوبت خاک و نسبت رس بر تنش پیش‌تراکم برای یک گروه از چگالی ظاهری خاک از ۱/۵ - ۱/۱ مگاگرم بر متر مکعب

تحلیلی برای استحکام خاک می‌توان تغییرات روزانه تنش پیش‌تراکم خاک را در بافت‌های مختلف خاک پیش‌بینی کرد و برای برنامه‌ریزی‌های ماشینی و تعیین روزهای ترددپذیر به کار گرفت. تنش پیش‌تراکم در هر بافت خاک با پتانسیل ماتریک - که تابعی از رطوبت و چگالی است - تغییر می‌کند، از این رو پیشنهاد می‌شود به‌جای رطوبت و چگالی، به‌عنوان متغیرهای فیزیکی خاک، از مدل‌های پیش‌بینی پتانسیل ماتریک برای پیش‌بینی استحکام خاک استفاده شود. توسعه این الگوریتم و مدل می‌تواند رویکردی باشد مناسب و کم هزینه در خصوص برنامه‌ریزی‌های ماشینی هر سال زراعی برای مهندسان مکانیزاسیون کشاورزی تا تردد در مزارع و تراکم خاک را به‌طور صحیح مدیریت کنند.

نتیجه‌گیری

رطوبت خاک از متغیرهای هواشناسی دما، تابش، سرعت وزش باد، بارش روز قبل و بارش روز نمونه‌گیری با $R^2 = 0/85$ و $RMSE = 3/3$ % پیش‌بینی شد. نتایج تحلیل‌های شبکه‌های عصبی نشان می‌دهد که پیش‌بینی بارش با استفاده از داده‌های ۲۰ سال گذشته با ضریب $R^2 = 0/79$ و $RMSE = 0/89$ mm ممکن خواهد بود که در مقایسه با سایر مطالعات قابل قبول نیز هست و می‌توان از آن برای پیش‌بینی رطوبت خاک استفاده کرد. سایر متغیرهای هواشناسی مؤثر در پیش‌بینی رطوبت خاک قابل پیش‌بینی از داده‌های هواشناسی سال‌های قبل است. با استفاده از آزمون‌های تجربی برای تعیین ارتباط بین تنش پیش‌تراکم و رطوبت خاک و با ارزیابی یک مدل

مراجع

Arvidsson, J. and Keller, T. 2004. Soil precompression stress: I. A survey of Swedish arable soils. Soil Till. Res. 77, 85-95.

- Arvidsson, J., Sjöberg, E., van den Akker, Jon J. H. 2003. Subsoil compaction by heavy sugarbeet harvesters in southern Sweden: III. Risk assessment using a soil water model. *Soil Till. Res.* 73, 77-87.
- Campbell, D. J. and O'Sullivan, M. F. 1991. The Cone Penetrometer in Relation to Trafficability, Compaction and Tillage. In: K. A. Smith and C. E. Mullins (Eds.) *Soil Analysis: Physical Methods*. Marcel Defier. New York.
- Casagrande, A. 1936. The determination of pre-consolidation load and its practical significance. *Proceedings of the International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*. June 22-26. Cambridge, MA.
- Earl, R. 1997. Prediction of trafficability and workability from soil moisture deficit. *Soil Till. Res.* 40, 155-168.
- Elbanna, E. B. and Witney, B. D. 1987. Cone penetration resistance equation as a function of the clay ratio, soil moisture content and specific weight. *J. Terramech.* 24(1): 41-56.
- Fallah-Ghalhary, G. A., Mousavi-Baygi, M. and Habibi-Nokhandan, M. 2007. Seasonal rainfall forecasting based on synoptically pattern of sea level pressure and sea level pressure gradient by means of statistical models. *Agric. Sci. Technol. J.* 21, 95-104. (in Persian)
- Fallahi, M., Varvani, H. and Golian, S. 2011. Predicting precipitation regression model tree for flood control. 5th conference on Watershed Management and Soil and Water Resources Management. Feb. 29-March 1. Kerman, Iran. (in Persian)
- Gholizadeh, M. H. and Darand, M. 2010. Forecasting monthly precipitation using artificial neural networks. A case study: Tehran. *Phys. Geog. Res. Quart.* 42, 51-63. (in Persian)
- Gompertz, B. 1825. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* 115, 513-585.
- Gregory, A. S., Whalley, W. R., Watts, C. W., Bird, N. R. A., Hallett, P. D. and Whitmore, A. P. 2006. Calculation of the compression index and precompression stress from soil compression test data. *Soil Till. Res.* 89, 45-57.
- Gosav, S., Dinica, R. and Praisler, M. 2008. Choosing between GC-FTIR and GC-MS spectra for an efficient intelligent identification of illicit amphetamines. *J. Mol. Struct.* 887(1-3): 269-278.
- Gut, S., Chervet, A., Stettler, M., Weisskopf, P., Sturny, W. G., Lamandé, M., Schjønning, P. and Keller, T. 2015. Seasonal dynamics in wheel load-carrying capacity of a loam soil in the Swiss Plateau. *Soil Use. Manage.* 31, 132-141.
- Hall, T. Harold, E. B. and Charles, A. D. 1998. Precipitation forecasting using a neural network. *Wea. Forecast.* 14, 338-345.
- Hamza, M. A. and Anderson, W. K. 2005. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil Till. Res.* 82, 121-145.
- Hemmat, A. and Adamchuk, V. I. 2008. Sensor systems for measuring soil compaction: Review and analysis. *Comput. Electron. Agric.* 63, 89-103.
- Hemmat, A., Yaghoubi-Taskoh, M., Masoumi, A. and Mosaddeghi, M. R. 2014. Relationships between rut depth and soil mechanical properties in a calcareous soil with unstable structure. *Biosyst. Eng.* 118, 147-155.
- Hoogmoed, W. B., Cadena-Zapata, M. and Perdok, U. D. 2003. Laboratory assessment of the workable range of soils in the tropical zone of Veracruz, Mexico. *Soil Till. Res.* 74, 169-178.

- Horn, R. and Fleige, H. 2003. A method for assessing the impact of load on mechanical stability and on physical properties of soils. *Soil Till. Res.*, 73, 89-99.
- Hung, N. Q., Babel, M. S., Weesakul, S. and Tripathi, N. K. 2008. An artificial neural network model for rainfall forecasting in Bangkok, Thailand. *Hydrol. Earth. Syst. Sc.* 5, 183-218.
- Koolen, A. J. 1982. Precompaction stress determination on precompacted soil. Proc. 9th Conference International on Soil Tillage Research Organization (ISTRO). Osijek, Yugoslavia.
- Lebert, M. and Horn, R. 1991. A method to predict the mechanical strength of agricultural soils. *Soil Till. Res.* 19, 275-289.
- Linker, R., Shmulevich, I., Kenny, A. and Shaviv, A. 2005. Soil identification and chemometrics for direct determination of nitrate in soils using FTIR-ATR mid-infrared spectroscopy. *Chemosphere.* 61(5): 652-658.
- Mosaddeghi, M. R., Hemmat, A., Hajabbasi, M. A. and Alexandrou, A. 2003. Pre-compression stress and its relation with the physical and mechanical properties of a structurally unstable soil in central Iran. *Soil Till. Res.* 70, 53-64.
- Naderi-Boldaji, M., Hemmat, A. and Keller, T. 2017. The relationship between horizontal penetrometer resistance and soil pre-compaction stress. *J. Agric. Eng.* 40(2): 153-169. (in Persian)
- Plamen, N., George, N. and Varmuza, K. 1999. Automatic classification of infrared spectra using a set of improved expert-based features. *Analytica Chimica Acta.* 388, 145-159.
- Purbasirat, S. 2017. Prediction of some parameters affecting on agricultural practices using artificial neural network in Shahrekord Township. M. Sc. Thesis. Faculty of Agriculture. Shahrekord University. Shahrekord, Iran. (in Persian)
- Rotz, C. A. and Harrigan, T. M. 2005. Predicting suitable days for field machinery operations in a whole farm simulation. *Appl. Eng. Agric.* 21(4): 563-571.
- Saffih-Hdadi, K., Défossez, P., Richard, G., Cui, Y. J., Tang, A. M. and Chaplain, V. 2009. A method for predicting soil susceptibility to the compaction of surface layers as a function of water content and bulk density. *Soil Till. Res.* 105, 96-103.
- Solamani, K. 2009. Rainfall-runoff prediction based on artificial neural network (A case study: Jarahi Watershed). *American- Eurasian J. Agric. Environ. Sci.* 5(6): 856-865.
- Vogt, S. and Sacher, D. 2001. A neural network method for wind estimation using wind profiler data. *Meteorol. Z.* 10(6): 479-487.
- Vero, S. E., Antille, D. L., Lator, S. T. J. and Holden, N. M. 2014. Field evaluation of soil moisture deficit thresholds for limits to trafficability with slurry spreading equipment on grassland. *Soil Use Manage.* 30, 69-77.
- Wang, Z. L. and Sheng, H. H. 2010. Rainfall prediction using generalized regression neural network: Case study Zhengzhou. *International Conference on Computational and Information Sciences.* Dec. 17-19. Chengdu, Sichuan, China.



An Algorithm for Daily Prediction of Soil Precompression Stress (Case Study in Shahrekord)

Z. Saedi, M. Naderi-Boldaji* and B. Hoseinzadeh-Samani

* Corresponding Author: Associate Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. Email: naderi.mojtaba@sku.ac.ir

Received: 7 May 2017, Accepted: 20 November 2017

To manage the traffic-induced soil compaction in a field, the applied stress on soil with machinery traffic needs to be controlled below the soil bearing capacity (i.e. precompression stress, σ_{pc}) to prevent increase in soil compaction. Precompression stress is primarily a function of soil moisture and secondarily soil texture. This study aimed at developing an empirical -analytical algorithm for daily prediction of soil precompression stress in a selected field at Shahrekord University. Statistical analyses showed that using the meteorology variables of each year including the precipitation of the target day and its previous day, temperature, radiation and wind velocity, daily changes in soil moisture could be well predicted ($R^2 = 0.85$, RMSE= 3.3%). To determine the relationship between the soil moisture and precompression stress, remolded soil samples were prepared at three bulk densities of 1.15, 1.22 and 1.3 Mg m⁻³ and four moisture levels of 10, 15, 20 and 25% and subjected to stepwise confined compressive stress. Precompression stress was estimated at the point of maximum curvature on the void ratio- log stress curves with fitting Gompertz function. In addition, the analytical model of Elbanna & Witney (1987) was tested for extending the results to different soil textures using an empirical relation between cone index and precompression stress. The results showed that the model predicts well the variations in precompression stress as affected by soil moisture. The algorithm developed in this study can be implemented in managing the machinery traffic and predicting the trafficable days of each year.

Key Words: Machinery Traffic, Soil Bearing Capacity, Soil Compaction, Soil Moisture, Trafficable Day