

برآورد رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی با استفاده از شبکه عصبی - مصنوعی و رگرسیون چند متغیره

الهام مهربابی گوهری^۱، فریدون سرمدیان^۲، روح الله تقی زاده مهرجردی^۳

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۱/۱۵

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۰/۲۵

چکیده

بررسی ویژگی‌های هیدرولیکی خاک همچون نقطه پژمردگی و ظرفیت زراعی برای مطالعه و مدل‌سازی حرکت آب و املاح در خاک بسیار مهم می‌باشد. به طوری که به دلیل تغییرات زمانی و مکانی این ویژگی‌ها، مطالعات اخیر محققین منجر به توسعه روش‌های غیرمستقیم در تخمین این قبیل خصوصیات خاک گردیده است. در همین راستا در این مطالعه برای برآورد ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم اقدام به نمونه‌برداری خاک از ۱۵ پروفیل (به تعداد ۶۳ نمونه) از منطقه فشند، گردید. فراوانی نسبی ذرات به روش هیدرومتری، جرم مخصوص ظاهری به روش حجمی دست نخورده، درصد رطوبت اشباع بوسیله وزن‌سنجی و پارامترهای ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی با استفاده از دستگاه فشاری اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی، رگرسیون چند متغیره و چند تابع انتقالی تجربی و پارامترهای ورودی درصد رس، شن، سیلت، وزن مخصوص ظاهری و رطوبت اشباع اقدام به تخمین نقطه پژمردگی و ظرفیت زراعی گردید. نتایج نشان داد که شبکه عصبی بهترین عملکرد و بعد از آن، مدل رگرسیون چند متغیره عملکرد بهتری نسبت به بقیه توابع انتقالی داشته‌اند. در بین توابع انتقالی نیز توابع انتقالی کلاسی عملکرد بهتری نسبت به توابع انتقالی نقطه‌ای و پارامتری داشته‌اند. در کل نتایج این تحقیق نشان دهنده اهمیت فرآیند آموزش در تعیین پارامترهای مدل با استفاده از داده‌های یک منطقه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: توابع انتقالی، رگرسیون چند متغیره، شبکه عصبی مصنوعی، ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی.

^۱ دستیار علمی، مهندسی علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، صندوق پستی ۳۶۹۷-۱۹۳۹۵ تهران، ایران

Elham.mehrabai1@yahoo.com

^۲ دانشیار گروه مهندسی علوم خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران

Fsarmad@ut.ac.ir

^۳ دانشجوی دکتری مهندسی علوم خاک، گروه مهندسی علوم خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران

Taghizadeh@ut.ac.ir

مقدمه

بیان کمی رطوبت و هدایت آبی خاک برای مطالعه و مدل سازی حرکت آب و املاح در خاک بسیار مهم می باشد. از این رو پژوهشگران طی سالیان متمادی تلاش های زیادی به منظور یافتن شیوه های ساده و ارزان جهت شناسایی روابط منطقی و عملی بین رطوبت خاک و پتانسیل ماتریک انجام داده اند (بل و ونکولن ۱۹۹۵، قربانی دشتکی ۲۰۰۲) این مسئله هنگامی که نقاط رطوبتی مهم مانند نقطه پژمردگی یا ظرفیت زراعی مطرح است، از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد (کاوازا و پاترونو ۲۰۰۷). بنابراین، با توجه به اهمیت ویژگی های هیدرولیکی همچون نقطه پژمردگی و ظرفیت زراعی و نقش آن ها در حل مسائل مدیریتی آب و خاک، اندازه گیری و تعیین آن ها اجتناب ناپذیر می باشد. اندازه گیری مستقیم این ویژگی ها به دلیل هزینه های زیاد، وقت گیر بودن و نیاز به تجهیزات آزمایشگاهی، بسیار دشوار است (وستن و همکاران ۲۰۰۱). با توجه به مشکلات موجود در اندازه گیری مستقیم ویژگی های هیدرولیکی، روش های غیرمستقیم در سال های اخیر مورد توجه قرار گرفته اند. تخمین پارامترهای هیدرولیکی با استفاده از اطلاعات موجود خاک که به وسیله معادلات رگرسیونی صورت می گیرد، توابع انتقالی خاک نامیده می شود (بوما ۱۹۸۹). اخیرا تلاش هایی جهت بکارگیری روش ها و فنون جدید در مدل بندی چنین توابعی صورت گرفته است که می توان برای نمونه به استفاده از شبکه های عصبی اشاره نمود (میناسنی ۱۹۹۹ و ۲۰۰۲). یکی از مزایای شبکه های عصبی مصنوعی در مقایسه با دیگر توابع انتقالی این است که برای گسترش این توابع نیازی به مدل اولیه برای بیان ویژگی های هیدرولیکی وجود ندارد (اسکپ و همکاران ۱۹۹۸). در این خصوص پژوهشگران متعددی توابعی برای برآورد ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم از روی ویژگی های زودیافت خاک ارائه نموده اند. اسچاپ و همکاران (۱۹۹۸) نشان دادند که شبکه های عصبی می تواند پیش بینی هایی با خطاهای کمتر نسبت به روش های متداول رگرسیونی ارائه دهد. تاماری و همکاران (۱۹۹۶) نشان دادند که اگر ناپایداری داده ها بالا باشد شبکه عصبی از مدل های رگرسیونی خطی بهتر نخواهد بود، اما زمانی که داده هایی با دقت بالا بکار برده

شوند شبکه عصبی کارایی بالاتری را نشان می دهد. پاچیسکی و همکاران (۱۹۹۶) شبکه های عصبی مصنوعی را جهت تخمین منحنی رطوبتی از خصوصیات زود یافت خاک بکار بردند، آن ها نشان دادند که شبکه های عصبی میزان آب را در پتانسیل های ماتریک انتخاب شده بهتر از رگرسیون تخمین زده است. اسچاپ و لیچ (۱۹۹۸) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی توابعی برای تخمین پارامترهای معادلات وان گنختن، وان گنختن معلم و گاردنر ایجاد کردند، نتایج این محققین نشان داد که هر چه تعداد داده های ورودی مورد استفاده در این توابع بیشتر باشد، صحت توابع افزایش خواهد یافت. پاراسومان و همکاران (۲۰۰۶) بیان داشتند که شبکه عصبی مصنوعی کارایی بهتری نسبت به شبکه عصبی رزت^۱ در تخمین خصوصیات هیدرولیکی خاک داشته است که این نشان دهنده اهمیت فرایند آموزش در شبکه عصبی می باشد. گیوی و همکاران (۲۰۰۴) سیزده تابع انتقالی نقطه ای و پارامتری را برای پیش بینی ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم استفاده کردند. نتایج این محققین نشان داد که توابع انتقالی که از خاک های مشابه اشتقاق پیدا کرده اند، دارای کمترین خطا می باشند. مردون و همکاران (۲۰۰۶) در پژوهشی در کشور ترکیه برای پیش بینی خصوصیات هیدرولیکی خاک از توابع انتقالی نقطه ای و پارامتری بوسیله شبکه عصبی و رگرسیون خطی پرداختند و نتایج نشان داد که تفاوت معنی داری بین دو روش مذکور وجود نداشته است. بورگسون و همکاران (۲۰۰۵) برای تخمین پارامترهای معادله وان گنختن از توابع نقطه ای و پارامتری بوسیله شبکه عصبی مصنوعی استفاده کردند، نتایج این محققین نشان داد که با افزایش میزان رس در خاک ها میزان ریشه میانگین مربعات خطا^۲ افزایش می یابد. با این وجود گیوی و پراشر (۱۳۸۴) طی تحقیقی در چهارمحال و بختیاری نشان دادند که برای تخمین آب قابل استفاده، روش های رگرسیونی تطبیق شونده از برتری نسبی نسبت به روش شبکه های عصبی مصنوعی برخوردار هستند. با توجه به توضیحات داده شده، هدف از این تحقیق مقایسه توابع انتقالی مختلف و بررسی کارایی شبکه عصبی مصنوعی برای

¹ Rosetta

² Root Mean Square Error

توابع انتقالی

در این تحقیق انواع توابع انتقالی کلاسی [کارسل و پاریش (۱۹۸۸)، رالز و براکنیسک (۱۹۸۲)]، نقطه‌ای [رائول (۱۹۸۹)، قربانی و همایی (۲۰۰۲)، بل و همکاران (۱۹۹۵)، ساکسون (۱۹۸۶)] و پارامتری [اوریکین (۱۹۸۹)، قربانی و همایی (۲۰۰۲)، میرخانی و همکاران (۲۰۰۳)] مورد ارزیابی قرار گرفتند [۲، ۵، ۸، ۱۵، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱ و ۲۶]. همچنین از شبکه عصبی رزتا نیز برای بدست آوردن پارامترهای معادله وان گنختن (۱۹۸۰) استفاده گردید.

کارسل و پاریش (۱۹۸۸) و رالز و براکنیسک (۱۹۸۲): این توابع ارائه شده توسط محققین مذکور جهت برآورد پارامترهای منحنی رطوبتی ارائه شده است. از آنجایی که برای نمونه‌های مختلف خاک که فقط در خصوصیت کلاس بافتی مشابهی هستند معادلات یکسان بدست می‌آید.

شبکه عصبی رزتا: این نرم‌افزار توسط شاپ (۱۹۹۸) طراحی شده است. رزتا ویژگی‌های هیدرولیکی بخش غیراشباع را از اطلاعات خاک‌ها از جمله بافت و جرم مخصوص ظاهری تخمین می‌زند. سایر توابع تجربی به کار برده شده به طور خلاصه در جدول (۱) آورده شده است.

برای تعیین توابع انتقالی از روش رگرسیون چندگانه و شبکه عصبی استفاده شد. در رگرسیون چندگانه خطی اگر بین متغیرهای مستقل وابستگی خطی قوی مشاهده شود، همراستائی چندگانه به وجود می‌آید. از آنجائی که فراوانی نسبی ذرات شامل رس، شن و سیلت به هم وابستگی داشتند، برای جلوگیری از همراستائی در توابع به دست آمده، در ایجاد تابع انتقالی به جای یکی از آن‌ها از نسبت رس به سیلت استفاده شده است.

قابل ذکر می‌باشد که توابع پارامتری به کارگرفته شده، پارامترهای معادله وان گنختن (۱۹۸۰) را برآورد می‌کنند. این معادله به صورت زیر می‌باشد.

$$\theta_w = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (ah)^n\right]^m} \quad (1)$$

در اینجا n و m و α پارامترهای معادله هستند که شکل منحنی رطوبتی را از خود متاثر می‌سازند. θ_s رطوبت اشباع، h پتانسیل ماتریک و θ_r رطوبت باقی

تخمین پارامترهای ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در حوزه فشن در جنوب شهر هشتگرد و بین عرض‌های جغرافیایی 35° و 51° تا 35° و 58° شمالی و طول‌های جغرافیایی 50° تا 32° و 50° شرقی قرار دارد. این منطقه وسعتی در حدود 10000 هکتار را به خود اختصاص داده است. بلندترین ارتفاع منطقه از سطح دریا حدود 1350 متر و گودترین نقطه ارتفاعی در حدود 1165 متر است. رژیم رطوبتی و حرارتی منطقه به ترتیب زیریک^۱ و ترمیک^۲ می‌باشد.

تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک:

تعداد ۶۳ نمونه خاک جمع‌آوری شده از ۱۵ پروفیل (عمق‌های $0-30$ ، $30-60$ ، $60-90$ سانتیمتر)، بعد از انتقال به آزمایشگاه و هوا خشک شدن، به خوبی کوبیده و نرم شدند و از الک 2 میلی‌متر رد شده و آزمایش‌های زیر انجام شد.

درصد رطوبت اشباع به روش وزنی، درصد آهک از طریق حجم‌سنجی، درصد کربن آلی به روش تیتراسیون با سولفات فروآمونیم، بافت خاک به وسیله هیدرومتر و جرم مخصوص ظاهری با روش پارافین اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری رطوبت F.C و P.W.P به این شیوه انجام شد که خاک هوا خشک کوچکتر از دو میلی‌متر را روی حلقه‌های پلاستیکی صفحه فشاری قرار داده و صفحه را یک روز قبل از آزمایش با آب اشباع نموده و بعد از قرار دادن نمونه‌ها بر روی صفحه، آب ریخته تا نمونه‌ها از زیر اشباع گردند و مدتی صبر کرده تا نمونه‌ها به حالت اشباع برسند و سپس به مدت یک شبانه روز به حالت اشباع باقی مانده، آنگاه نمونه‌های اشباع شده را تحت فشارهای $0/33$ بار برای اندازه‌گیری F.C و 15 بار برای اندازه‌گیری P.W.P قرار داده و پس از قطع شدن آب خروجی، نمونه‌ها را توزین کرده و بعد از خشک کردن $105^{\circ}C$ ، درصد رطوبت خاک اندازه‌گیری شدند.

¹ Xeric

² Thermic

مانده و θ_w مقدار رطوبت خاک در پتانسیل ماتریک h است.

جدول (۱): مدل‌های مورد استفاده و پارامترهای مربوطه

Equations	Model
$\theta_{330} = 0.2676 - 0.0025 \text{ Sand} + 0.0036 \text{ Clay} + 0.0269 \text{ OM}$ $\theta_{15000} = 0.026 - 0.005 \text{ Clay} + 0.0158 \text{ OM}$	Rawls
$\theta_{330} = 11.35 - 0.287 \text{ Sand} + 15.09 \text{ Bd}$ $\theta_{15000} = 6.627 - 0.315 \text{ Clay}$	Ghorbani & Homaei(1)
$PWP = 9.03 + 1.37 \text{ OM} - 0.0397 \text{ pH} - 0.0242 \text{ OM Clay} + 0.0955 \text{ Clay pH}$	Bell et al.
$\theta_s = 0.81 - 0.283 \text{ Bd} + 0.009 \text{ Clay}$ $\theta_r = 0.015 - 0.005 \text{ Clay} + 0.0014 \text{ OC}$ $\text{Log}(a) = -20.486 + 0.025 \text{ Sand} - 0.351 \text{ C} - 2.017 \text{ Bd} - 0.023 \text{ Clay}$ $\text{Log}(n) = -0.053 - 0.009 \text{ Sand} - 0.03 \text{ Clay} + 0.00015 \text{ (Sa)}^2$	Vereecken et al.
$\theta_s = -22.1 - 0.286 \text{ Sand} + 35.009 \text{ Bd} + 35.25 \text{ OC}$ $\theta_r = 0.202 - 0.00187 \text{ Clay} - 0.15 \text{ OC}$ $a = -20.486 + 0.025 \text{ Sand} - 0.351 \text{ C} - 2.017 \text{ Bd} - 0.023 \text{ Clay}$ $n = -1.01 - 0.0032 \text{ Clay} - 0.149 \text{ Bd} - 0.34 \text{ OC}$	Mirkhani et al.
$\theta_{330} = 17.645 - 45.918 \text{ dg} + 7.794 \text{ Bd}$ $\theta_{15000} = 12.647 - 41.849 \text{ dg} + 2.944 \text{ } \sigma$	Ghorbani & Homaei(2)

نرون به روش سعی و خطا تعیین گردید. به علت کارایی، سادگی و سرعت بالا، در این تحقیق از الگوریتم آموزشی لونیگ-مارکوارت استفاده شد. نرم‌افزار مورد استفاده MATLAB 7.1 می‌باشد.

پیش پردازش: در صورتی که داده‌ها به صورت خام وارد شبکه شوند به علت تغییرات زیاد داده‌ها تاثیر متفاوتی بر روی شبکه گذاشته بطوری که برخی از نرون‌های خیلی زود به حد آتش رسیده در حالی که برخی دیگر از نرون‌ها حتی به آستانه فعالیت نیز نرسیده‌اند. لذا در ابتدا لازم است که داده‌ها معیارسازی شوند، یعنی بین یک دامنه عددی که معمولا (۱ و ۰) می‌باشد، قرار گیرند. اگر تابع سیگموئید را در نظر بگیریم شیب این تابع در محدوده ۰ تا ۱ زیاد بوده، و به تدریج که به صفر و یک نزدیک می‌شود شیب آن کاهش پیدا می‌کند. در این ارتباط بخاطر اینکه مقادیر آستانه ۰ و ۱ را در داده‌های ورودی به شبکه نداشته باشیم داده‌ها با استفاده از رابطه (۱) که باعث می‌شود داده‌ها بین ۰/۱ و ۰/۹ قرار گیرند معیارسازی شده‌اند.

بعد از بدست آوردن پارامترهای معادله وان گنختن با استفاده از نرم‌افزار رتس^۱ برای هر نمونه خاک مقادیر ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی بدست آمد.

شبکه‌های عصبی مصنوعی

در این مطالعه از شبکه عصبی پرسپترون با یک لایه مخفی که دارای تابع فعال‌سازی سیگموئید در لایه مخفی و تابع فعال‌سازی خطی در لایه خروجی بوده به منظور تخمین بعد فرکتالی سطحی استفاده گردید. پارامترهای ورودی برای آموزش شبکه پرسپترون یک لایه عبارتند از پارامترهای ورودی درصد رس، شن، سیلت، وزن مخصوص ظاهری و رطوبت اشباع که برای آموزش شبکه از ۸۰٪ داده‌های موجود که بصورت تصادفی انتخاب شده استفاده شد. داده‌های به کار رفته در دو مرحله آموزش و تست به طور خلاصه در جدول (۲ و ۳) آورده شده‌اند. در مرحله آموزش شبکه عصبی مصنوعی تعداد نرون‌های لایه مخفی از ۱ تا ۱۰ نرون متغیر در نظر گرفته شد و بهترین تعداد

نتایج

در این تحقیق در ابتدا داده‌های آموزش و آزمون به گونه‌ای تعیین گردیدند که از نظر برخی معیارهای آماری از قبیل میانگین و انحراف معیار تا حد ممکن شبیه یکدیگر باشند که در جداول (۳ و ۲) معیارهای آماری مربوط به داده‌های آموزش و آزمون آورده شده‌اند.

پس از تعیین مجموعه داده‌های آموزش و آزمون داده‌های ورودی به شبکه معیارسازی شد. در مرحله بعد مدل مختلف شبکه عصبی با یک لایه مخفی که تعداد نرون‌های آن بین ۲ تا ۱۰ نرون می‌باشد، ساخته و ساختار بهینه شبکه به روش سعی و خطا با استفاده از معیارهای ضریب همبستگی، RMSE و AARE تعیین گردید. برای پیش‌بینی درصد رطوبت در ظرفیت زراعی و در نقطه پژمردگی پارامترهای ورودی شبکه درصد رس به سیلت، شن، رطوبت اشباع و همچنین جرم مخصوص ظاهری می‌باشند. با توجه به شکل‌های (۱) و (۲) ملاحظه می‌شود که حداقل مقدار AARE در دو پارامتر ظرفیت زراعی و در نقطه پژمردگی به ترتیب ۶/۲ و ۱۳/۰۱ مربوط به شبکه با دو نرون در لایه مخفی می‌باشد. در هر دو پارامتر با افزایش تعداد نرون‌ها عملکرد مدل‌ها بدتر شده است. مقادیر R و RMSE برای شبکه با دو نرون که کم‌ترین مقدار AARE داشته برای F.C به ترتیب ۰/۹۱۲، ۱/۸۰۴ و برای پارامتر P.W.P به ترتیب ۰/۸۷۷ و ۲/۱۴۵ بدست آمد.

برای رگرسیون چند متغیره در هر یک از پارامترهای مورد مطالعه با استفاده از نرم افزار مینی تب رابطه رگرسیونی مربوطه را با استفاده از داده‌های آموزش تعیین کرده که برای دو خصوصیت F.C و P.W.P به ترتیب به صورت روابط (۵ و ۶) می‌باشد.

$$F.C = 10/3 - 0/0717Sand - (0/076Clay/Silt) - 9/52Bd + 0/351SP \quad (5)$$

$$P.W.P = 9/7^9 + 0/0023Sand + (0/228Clay/Silt) - 9/52Bd + 0/351SP \quad (6)$$

$$y = 0/8 \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} + X = 0/1$$

در این رابطه X_{\min} کوچکترین داده و X_{\max} بزرگ‌ترین داده از سری داده‌های ورودی می‌باشد. با استفاده از این رابطه داده‌های ورودی بین ۰/۱ و ۰/۹ قرار می‌گیرند.

ارزیابی مدل‌ها

در این تحقیق برای تعیین بهترین ساختار مدل و مقایسه عملکرد مدل‌های مختلف در هر مرحله از معیارهای ضریب همبستگی (R)، ریشه میانگین مربعات (RMSE) و AARE^۱ (متوسط نسبی خطای مطلق) (روابط ۳ و ۲) استفاده گردید.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (Z_s - Z_o)^2} \quad (2)$$

$$AARE = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left(\frac{Z_s - Z_o}{Z_o} \right) \times 100 \quad (3)$$

در این روابط Z_s مقادیر شبیه‌سازی شده، Z_o مقادیر مشاهداتی و n تعداد داده‌ها می‌باشند. مدلی از صحت قابل قبول در برآوردها برخوردار است که RMSE، AARE کمتر و R بیشتری داشته باشد.

علاوه بر معیارهای آماری فوق‌الذکر برای بررسی کارایی مدل‌های مختلف از پارامتر آکایک نیز استفاده گردید (رابطه ۴). با استفاده از این پارامتر ما می‌توانیم مدل مناسب‌تر^۲ را انتخاب کنیم. در واقع مدلی مناسب‌تر است که در شرایط یکسان با تعداد پارامترهای کمتر، عملکرد بهتری داشته باشد.

$$AIC = n \ln \left(\frac{ESS}{n} \right) + 2p \quad (4)$$

که در این رابطه n تعداد مشاهدات، ESS مجموع مربعات خطا، p تعداد پارامترهای مورد نیاز مدل

^۱ Average Absolute Relative Error

^۲ Parsimony

جدول (۲): پارامترهای آماری داده‌های استفاده شده در شبکه عصبی برای نقطه پژمردگی

Statistics Parameters		Sand	Silt	Clay	BD	SP	PWP
Training Data	Min	12.56	1.28	8.44	1.23	22.14	7.78
	Mean	39.71	28.41	31.62	1.41	41.31	15.74
	Max	84.28	49.28	55.44	1.55	66.33	29.55
	Std	18.5	12.23	10.65	0.08	8.1	5.79
	Skewness	0.89	-0.37	-0.09	-0.05	-0.42	2.07
Test Data	Min	12.56	21.28	23.44	1.27	36.21	11.07
	Mean	29.31	35.1	34.43	1.37	47.8	16.5
	Max	47.56	45	44.44	1.46	55.64	26.56
	Std	9.75	6.79	7.27	0.06	8.69	5.06
	Skewness	0.07	-0.5	-0.29	0.07	0.75	2.31

مدل‌های شبکه عصبی رگرسیونی در جدول (۵و۴) آورده شده است.

در مرحله بعد برای داده‌های آزمون با استفاده از توابع انتقالی نقطه‌ای، پارامتری و کلاسی اقدام به برآورد مقادیر F.C و P.W.P گردید. که نتایج آن به همراه نتایج

جدول (۳): پارامترهای آماری داده‌های استفاده شده در شبکه عصبی برای نقطه f.c

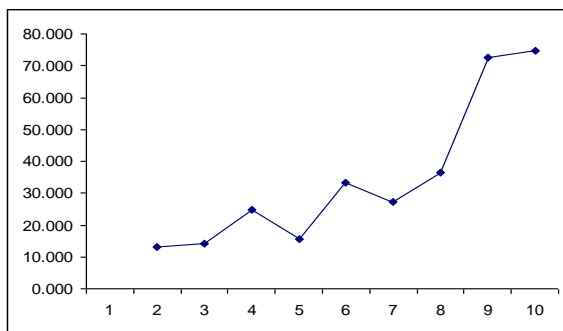
Statistics Parameters		Sand	Silt	Clay	BD	SP	PWP
Training Data	Min	12.56	1.28	8.44	1.23	22.14	10.49
	Mean	38.63	28.99	31.8	1.39	43.12	21.07
	Max	84.28	49.28	55.44	1.55	66.33	35.13
	Std	18.19	11.28	10.84	0.07	6.96	4.15
	Skewness	1.06	-0.59	-0.12	-0.07	-0.18	-0.54
Test Data	Min	15.56	12	23.44	1.27	29	11.09
	Mean	33.46	32.87	33.67	1.43	40.9	19.89
	Max	59.56	47	45.44	1.59	54	31.33
	Std	14.56	12.74	6.3	0.07	6.89	4.2
	Skewness	0.63	-0.78	0.03	0.78	0.27	-0.65

داشته و از نظر دو معیار AIC و RMSE (به ترتیب ۴۲/۵۳ و ۳/۷۷) شبکه عصبی رزتا عملکرد بهتری داشته است. در مقایسه با توابع انتقالی ساخته شده توسط دیگر محققین برای برآورد F.C بهترین عملکرد مربوط به شبکه عصبی و بعد از آن مدل رگرسیون می‌باشد و تابع انتقالی وری‌کن بدترین عملکرد را به خود اختصاص داده است. اگر چه در این تابع مقدار ضریب همبستگی بالا می‌باشد، اما این مدل مقادیر F.C را یک سطح بالاتر نسبت به مقدار مشاهداتی آن پیش‌بینی کرده است. در برآورد P.W.P تابع انتقالی کلاسی رالز و براکنیسک (۱۹۸۲) بهترین عملکرد

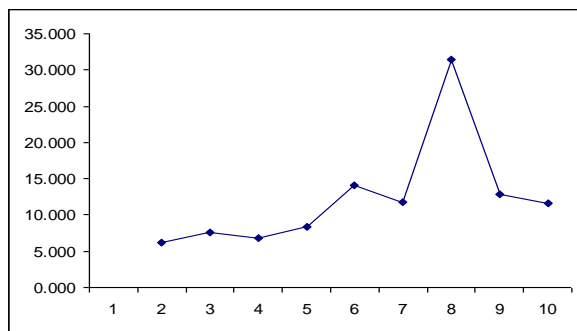
با توجه به جدول (۴) ملاحظه می‌شود، در بین توابع انتقالی استفاده شده برای برآورد F.C بهترین عملکرد مربوط به تابع انتقالی کلاسی کارسل و پاریش (۱۹۸۸) و برای برآورد P.W.P تابع کلاسی رالز و براکنیسک (۱۹۸۲) و بدست آمده است. مقادیر R، RMSE، AIC و AARE برای تابع انتقالی کلاسی کارسل و پاریش (۱۹۸۸) ۰/۶۴، ۴/۱۹، ۴۳/۲۵ و ۱۷/۰۲ و برای تابع کلاسی رالز و براکنیسک (۱۹۸۲) ۰/۵۸، ۵/۷، ۵۱/۲۵ و ۳۹/۷۵ بدست آمده است. در برآورد F.C از لحاظ دو معیار AARE و R تابع کلاسی کارسل و پاریش (۱۹۸۸) عملکرد بهتری

در اشکال (۳) و (۴) نمودار پراکنش برای رطوبت خاک اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده با استفاده از شبکه عصبی در داده‌های آزمون برای F.C و P.W.P آورده شده است. با توجه به این اشکال مشاهده می‌شود در هر دو مدل برازش داده شده دارای R^2 بالا بوده که حاکی از عملکرد خوب این شبکه عصبی در تخمین این دو پارامتر می‌باشد.

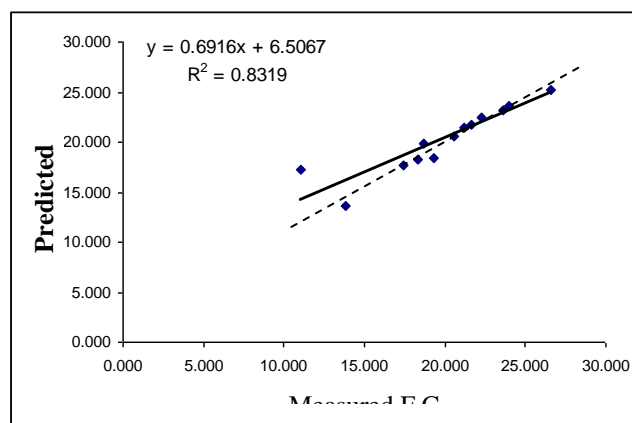
را به خود اختصاص داده است و بعد از آن، مدل رزتا عملکرد بهتری نسبت به سایر توابع انتقالی داشته است. مقادیر R، RMSE، AIC و AARE برای تابع کلاسی رالز و براکنیسک (۱۹۸۲) به ترتیب ۰/۵۸، ۵/۷، ۵۱/۲۵ و ۳۹/۷۵ و برای مدل رزتا به ترتیب ۰/۷، ۷/۲، ۵۹/۴۲ و ۶۲/۸۱ بدست آمده است. در کل در این قسمت نیز شبکه عصبی و رگرسیون بهترین عملکرد را به خود اختصاص داده‌اند و بدترین عملکرد نیز مربوط به مدل وری‌کن می‌باشد.



شکل (۲): مقادیر AARE برای تعداد نرون متفاوت در پیش‌بینی پارامتر P.W.P



شکل (۱): مقادیر AARE برای تعداد نرون متفاوت در پیش‌بینی پارامتر F.C



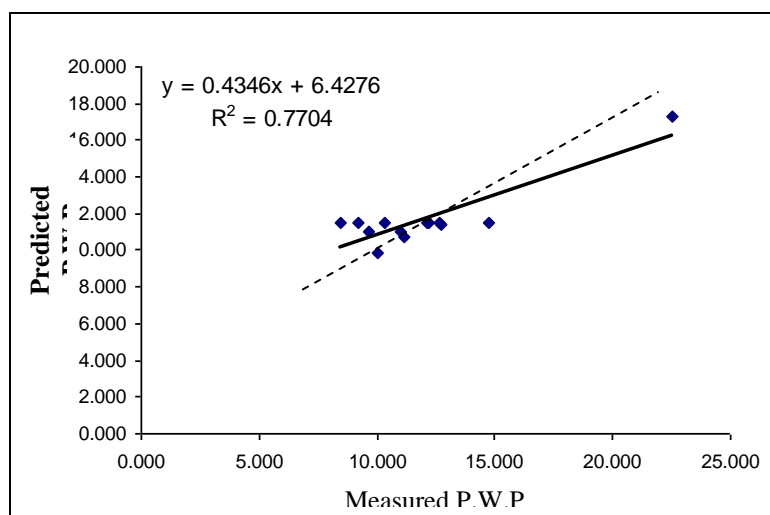
شکل (۳): دیاگرام پراکنش برای مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در F.C

جدول (۴): عملکرد مدل‌های مختلف در برآورد پارام

Model	AIC	RMSE	R	AARE
Carsel & Parrish	49.34	4.29	0.64*	79.09
Rawls & Brakensiek	75.99	14.76	0.53*	76.9
Rawls	46.1	4.33	0.43	18.72
Ghorbani & Homaei (2)	71.42	13.37	0.48	69.57
Saxon	78.69	14.04	0.13	72.96
Mirkhani et al.	87.67	21.43	0.74**	115.84
Vereeken et al.	70.02	11.73	0.29	56.04
Ghorbani & Homaei(1)	42.53	3.77	0.43	19.05
Rosetta	32.37	2.36	0.90**	9.49
Regression	25.34	1.8	0.91**	6.2
Artificial Neural Network				

جدول (۵): عملکرد مدل‌های مختلف در برآورد پارامتر p.w.p

Model	AIC	RMSE	R	AARE
Carsel & Parrish	58.59	7.56	0.41	47.96
Rawls & Brakensiek	51.25	5.7	0.58*	39.75
Rawls	64.41	10.21	-0.63	78.2
Ghorbani & Homaei (2)	48.59	6	0.65*	51.2
Bell et al.	57.97	7.38	0.65*	56.16
Saxon	60.63	8.83	0.55*	72.07
Ghorbani & Homaei(1)	55.56	6.23	0.62*	42.41
Mirkhani et al.	60.22	6.9	0.54*	58.92
Vereeken et al.	83.99	18.59	0.33	166.16
Rosetta	59.42	7.2	0.7**	62.81
Regression	39.25	3.08	0.49	16.73
Artificial Neural Network	29.78	2.14	0.88**	13.01



شکل (۴): دیاگرام پراکنش برای مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در P.W.P

نتیجه گیری

مورد آزمایش و انتخاب صحیح داده‌های تست و آموزش می‌باشد. پاپچسکی و همکاران (۱۹۹۶)، با استفاده از آماره‌های ضریب همبستگی و ریشه میانگین مربعات خطا به بررسی شبکه عصبی مصنوعی و آنالیز رگرسیون پرداختند. آن‌ها نتیجه گرفتند که شبکه عصبی برآورد بهتر و با خطای کمتری، بر اساس داده‌های زود یافت خاک دارد. نتایج مشابهی توسط تاماری و همکاران (۱۹۹۶) به دست آمده است، آن‌ها نیز مقدار RMSE کمتری از برآورد خصوصیات خاک با شبکه عصبی مصنوعی نسبت به رگرسیون خطی چندگانه به دست آوردند. بعد از مدل شبکه عصبی، رگرسیون چند متغیره عملکرد بهتری نسبت به توابع انتقالی داشته است. عملکرد بهتر این مدل‌ها را می‌توان ناشی از این امر دانست که این دو مدل با استفاده از داده‌های ناحیه مورد مطالعه آموزش یافته و پارامترهای نامعلوم آن‌ها تعیین می‌گردند. در حالی که در توابع انتقالی پارامترهای آن‌ها ثابت می‌باشند. همچنین مدل شبکه عصبی یک مدل غیرخطی می‌باشد در حالی که مدل‌های رگرسیون پایه مدل خطی می‌باشند. در بین توابع انتقالی نیز توابع کلاسی عملکرد بهتری نسبت به توابع انتقالی نقطه‌ای و پارامتری داشته‌اند. پیشنهاد می‌گردد با توجه به عدم وجود داده‌های کافی در اغلب نقاط کشور از توابع انتقالی در شرایطی که تعداد داده‌ها برای آموزش روش‌های شبکه عصبی و رگرسیون چند متغیره محدود باشد، استفاده گردد.

در این تحقیق با استفاده از توابع انتقالی [کلاسی کارسل و پاریش (۱۹۸۸)، رالز و براکنیسک (۱۹۸۲)]، نقطه‌ای [رائول (۱۹۸۹)، قربانی و همایی (۲۰۰۲)، بل و همکاران (۱۹۹۵)، ساکسون (۱۹۸۶)] و پارامتری [اوریکین (۱۹۸۹)، قربانی و همایی (۲۰۰۲)، میرخانی و همکاران (۲۰۰۳)]، شبکه عصبی رزتا و همچنین روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و مدل رگرسیون چند متغیره اقدام به برآورد پارامترهای P.W.P و F.C با استفاده از پارامترهای معلوم خاک گردیده شد. در کل شبکه عصبی بهتر از مدل‌های رگرسیون پایه عمل کرده است (در سطح ۰/۰۵ AARE معنی دار بود) که با نتایج اسپچاپ و همکاران (۱۹۹۶)، تاماری و همکاران (۱۹۹۶) و پاپچسکی و همکاران (۱۹۹۶) مطابق می‌باشد. این بررسی نشان داد که در مورد مطالعه شده شبکه‌های عصبی مصنوعی نسبت به معادلات رگرسیونی پایه کارایی بهتر داشته است. زیرا احتمالاً از یک طرف کارایی توابع انتقالی بدست آمده در مناطق مختلف با هم متفاوتند و از طرف دیگر بر طبق نظر اسپچاپ (۱۹۹۸) در طراحی شبکه‌های عصبی نوع خاصی از معادلات لازم نیست و با ایجاد رابطه مناسب بین داده‌های ورودی و خروجی می‌توان به نتایج مناسب دست پیدا کرد. تاماری و همکاران (۱۹۹۶) نشان دادند که اگر ناپایداری داده‌ها بالا باشد شبکه عصبی از مدل‌های رگرسیونی خطی بهتر نخواهد بود، اما زمانی که داده‌هایی با دقت بالا بکار برده شوند شبکه عصبی کارایی بالاتری را نشان می‌دهد که این مسئله موید دقت بالای داده‌های

تقدیر و تشکر

نویسندگان این مقاله از همکاری‌های گروه مهندسی علوم خاک دانشکده مهندسی علوم خاک و آب پردیس

کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران جهت تامین وسائل نقلیه و امکانات آزمایشگاهی در انجام این تحقیق کمال تشکر و امتنان را دارد.

منابع:

- 1) Akaike, H. 1973. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. In: Petrox, B., Csaki, F. (Eds.), Symposium on Information Theory, Akademiai Kiado, Budapest, Hungary, p. 267.
- 2) Bell, A.M. and H. Van Keulen. 1995. Soil pedotransfer functions for four Mexican soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 59: 865-871.
- 3) Borgesen, C.D. and M. Schaap. 2005. Point and parameter pedotransfer functions for water retention predictions for Danish soils. Geoderma. 127: 154-167.

- 4) Bouma, J. 1989. Using soil survey data for quantitative land evaluation. *Adv. Soil Sci.* 9: 177–213.
- 5) Carsel, R.F. and R.S. Parrish. 1988. Developing joint probability distribution of soil water retention characteristic. *Water Resour. Res.* 24: 755-769.
- 6) Cavazza, L, A. Patruno and E. Cirillo. 2007. Field capacity in soils with a yearly oscillating water table. *Biosys. Engin.* 98: 364 – 370.
- 7) Demuth, H, M. Beale. 1998. Neural network toolbox for use with MATLAB. MathWorks, Inc.
- 8) Ghorbani Dashtaki, Sh. and M. Homaei. 2002. Prediction of parametric hydraulic function in unsaturated soils using pedotransfer functions. *Agri. Engi. Res. J.* 3 (12):3-15.
- 9) Givi, J. and Sh. Prasher. 2005. Comparison between multivariate regression and artificial neural network for prediction of available water content. 9th Soil Science Congress. 675- 677.
- 10) Givi, J. S.O. Prasher and R.M. Patel. 2004. Evaluation of pedotransfer functions in predicting the soil water contents at field capacity and wilting point. *Agri.Wat. Manag.* 70: 83–96.
- 11) Menhaj, M. 1998. Fundamental of Artificial neural networks. Amirkabir Press.
- 12) Merdun, H., C. Ozer, R. Meral, and M. Apan. 2006. Comparison of artificial neural network and regression pedotransfer functions for prediction of soil water retention and saturated hydraulic conductivity. *Soil & Till. Res.* 90: 108–116.
- 13) Minasny, B. A.B. McBratney. 2002. The Neuro-m method for fitting neural network parametric pedotransfer functions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 352–361.۱۳
- 14) Minasny, B., A.B. McBratney, K.L. Bristow. 1999. Comparison of different approaches to the development of pedotransfer functions for water-retention curves. *Geoderma* 93, 225–253.
- 15) Mirkhani, R. 2001. Pedotransfer functions for determination of hydraulic curve in loamy soils. Msc thesis. TMU.
- 16) Pachepsky, Y.A. D. Timlin and G. Varallyay. 1996. Artificial neural networks to estimate soil water retention from easily measurable data. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60:727–733.
- 17) Parasuraman, K., Elshorbagy, and B.C. Si. 2006. Estimating saturated hydraulic conductivity in spatially variable fields using neural network in Ensembles. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 1851-1859.
- 18) Rawls, W.J., D.L. Brakensiek and K.E. Saxton. 1982. Estimation of soil water properties, *Trans. ASAE* 26: 1747–1752.
- 19) Rawls, W.J; D. L. Brakensiek. 1982. Estimating soil water retention from water properties. *Trans. ASAE.* 108: 166-171.
- 20) Saxon, K.E, W.J. Rawls, J.S. Roberger and R.I. Pependick. 1986. Estimating soil-water characteristics from texture. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 50: 1031-1036.
- 21) Schaap, M.G. and F.J. Leij. 1998. Using neural networks to predict soil water retention and soil hydraulic conductivity. *Soil & Tillage Research.* 47: 37–42.
- 22) Schaap, M.G., F.J. Leij and M.Th. van Genuchten. 1998. Neural network analysis for hierarchical prediction of soil hydraulic properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62: 847–855.
- 23) Sparks, D.L., A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Leoppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, G.T. Johnston and M.E. Summer. 1996. Methods of soil analysis, *Soil Sci. Soc. Of Am., Madison, Wisconsin.*
- 24) Tamari, S., J.H.M. Wosten and J.C. Ruiz-Suarez. 1996. Testing an artificial neural network for predicting soil hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60: 1732–1741.
- 25) Van Genuchten, M.Th. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 892–898.
- 26) Vereeken, H. J. Meas and J. Feyen. 1989. Estimating unsaturated hydraulic conductivity from easily measured soil properties. *Soil Sci.* 149: 1-12.
- 27) Wosten, J.H.M. Y.A. Pachepsky and W.J. Rawls. 2001. Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics. *J. Hydrol.* 251, 123–150.

Prediction of the amount of water at Field Capacity and Permanent Wilting Point Using Artificial Neural Network and Multivariate Regression

E.Mehrabi Gohari¹, F.Sarmadian², R.Taghizadeh Mehrjardi³

Abstract

Investigation of soil hydraulic properties like permanent wilting point (PWP) and field capacity (F.C) are very important for studding and modeling the soil water and solute transport in soil in which their spatial and temporal variability led to development of indirect methods in prediction of these soil characteristics. Therefore; in the present study in order to evaluate the amount of water at F.C and P.W.P, 63 samples have been taken from 15 pedons in Fashand region. The particle size distribution have been determined by hydrometric method, bulk density by volumetric method (using undisturbed clods), saturation percentage by weight and percentage of water at F.C and P.W.P by using pressure plate apparatus. We applied the artificial neural network (ANN), multivariate regression (MR) methods and used several pedotransfer functions (PTFs) to predict the F.C and P.W.P parameters, using the easily measurable characteristics of clay, silt and sand percentage, bulk density and water at saturation percentage. The results showed that the ANN method give the best results followed by MR method and finally the PTFs. Regarding the PTFs, the classic are showed better results relative to parametric and point PTFs. In conclusion, the results of this study showed that, training is very important in increasing the model accuracy of one region.

Keywords: Artificial neural network, Pedotransfer functions, Multivariate regression, Field capacity, Permanent wilting point.