برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع خاک با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

فرزانه پارسایی *[۱]، محمود شعبانپور شهرستانی[۲]، محمد علی محمودی[۳]
۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار، استادیار گروه خاکشناسی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان.
*Email: Farzaneh_parsaie70@yahoo.com

چکیده

هدایت هیدرولیکی اشباع خاک یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های هیدرولیکی خاک است که به شدت با مکان تغییر می‌کند. هدف از این مطالعه بهره‌گیری از شبکه عصبی مصنوعی در تخمین هدایت هیدرولیکی اشباع بود. منطقهٔ مورد مطالعه در دشت قروه در استان کردستان واقع شده است. نمونه‌برداری به روش سیستماتیک با فواصل ۱۰۰۰×۱۰۰۰ متر در ۴۰ نقطه انجام گرفت. هدایت هیدرولیکی افق سطحی خاک‌ها در هر نقطه با استفاده از نفوذسنج گلف به روش بار مضاعف (۵ cm و ۱۰ cm) اندازه‌گیری شد. با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی مدل‌های گوناگون طراحی شدند. سپس بهترین مدل بر مبنای کمترین میانگین مجموع مربعات خطا و بیشترین ضریب همبستگی انتخاب شد. نتایج نهایی مقایسه مدل‌ها نشان داد که بهترین مدل از نظر دقت و سرعت تخمین هدایت هیدرولیکی اشباع مدلی بود که از پارامترهای ورودی رس، شن و سنگریزه استفاده شد.

واژه‌های کلیدی: شبکه عصبی مصنوعی، نفوذسنج گلف، هدایت هیدرولیکی اشباع.

مقدمه

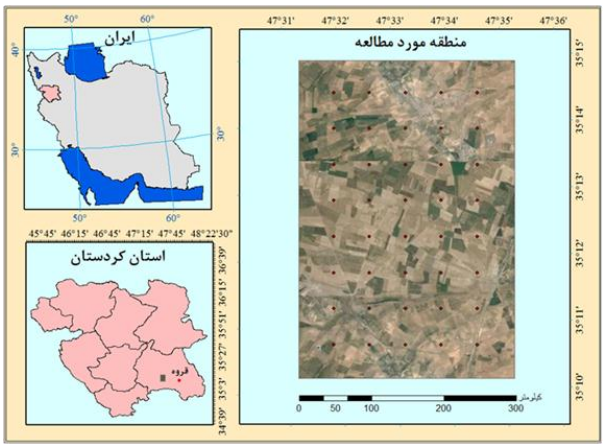
هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، از مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی خاک است که اهمیت ویژه در بررسی و مدل‌سازی آب، املاح و آلاینده‌های محیط متخلخل زیرزمینی دارد (Nasri et al., 2015). تغییر در پیوستگی و میزان منافذ خاک در اثر خاک‌ورزی بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک سطحی تأثیرگذار است (Jones et al., 1994). اطلاع از چگونگی تغییرات هدایت هیدرولیکی نسبت به مکان و زمان برای بهینه‌سازی مدیریت آب و خاک بسیار ضروری است (قبادیان و همکاران، ۱۳۹۳). مدل‌هایی که امروزه تحت عنوان توابع انتقالی شناخته می‌شوند برای پیش‌بینی ویژگی‌های دیر یافت خاک (هدایت هیدرولیکی و منحنی رطوبتی) به کمک ویژگی‌های زودیافت (توزیع اندازه ذرات، میزان ماده آلی، جرم مخصوص ظاهری و ...) بر پایهٔ روابط ریاضی مناسب به وجود آمده‌اند (Cornelis et al., 2001). در واقع این توابع روابط ریاضی را میان خصوصیات زود یافت و در دسترس خاک و خصوصیات هیدرولیکی برقرار می‌کنند. در کشورهای مختلف تلاش‌های زیادی جهت اشتقاق توابع انتقالی صورت گرفته است که این امر توسط شبکه های عصبی مصنوعی و روش‌های رگرسیونی امکان پذیر است. شبکه عصبی شبیه-سازی از دستگاه عصبی انسان است و در واقع تقلیدی از مغز و شبکه اعصاب انسان می‌باشد. در این شبکه سعی بر این است که ساختاری تهیه شود که همانند مغز، قدرت یادگیری، تعمیم‌دهی و تصمیم‌گیری داشته باشد (منهاج، ۱۳۷۷). در این گونه ساختارها هدف این است که با معرفی عملکرد یک سیستم دینامیکی، مدل را آموزش داده، چگونگی عملکرد سیستم را در حافظه مدل ذخیره و از آن برای مواردی که قبلا با آن مواجه نشده است، استفاده شود. ساختار یک شبکه عصبی متشکل از تعداد لایه‌ها، تعداد نرون‌ها در هر لایه، چگونگی ارتباط لایه‌ها با هم، روش آموزش شبکه و چگونگی توزیع پارامترها می-باشد.ساختار شبکه عصبی مصنوعی، ویژگی‌های عمده آن، سرعت بالای پردازش، توانایی یادگیری الگو به روش اراده الگو، توانایی تعمیم دانش پس از یادگیری، انعطاف پذیری در برابر خطاهای ناخواسته و عدم ایجاد اخلال قابل توجه درصورت بروز اشکال در بخشی از اتصال‌ها به دلیل توزیع وزن‌های شبکه است (Khanna, 1990). نحوه اتصال نرون‌ها می‌تواند به گونه‌ای باشد که شبکه تک لایه یا چندلایه باشد. اسخاپ و همکاران (2001) با استفاده از نرم افزار رزتا (توابعی انتقالی براساس شبکه های عصبی مصنوعی)، اقدام به تخمین و برآورد ویژگی‌های هیدرولیکی خاک نمودند.

رسول‌زاده و همکاران (2012) پژوهشی جهت، ارزیابی مدل‌های توابع انتقالی رگرسیونی مختلف، مدل تابع انتقالی رزتا با ماهیت شبکه عصبی مصنوعی و مدل فراکتال برای برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع انجام دادند. نتایج نشان داد مدل وستن و همکاران بالاترین دقت را نسبت به سایر مدل‌ها برای مناطق مورد مطالعه دارد. مدل کمپل و شوزاوا ضعیف‌ترین برآورد را برای هدایت هیدرولیکی اشباع ماتریس خاک ارائه داد. محک‌های آماری حاکی از آن بود که مدل فراکتال تعدیل شده بهترین برآورد را برای هدایت هیدرولیکی اشباع منافذ درشت خاک ارائه داد. معماریان‌فرد و بیگی هرچگانی (2009)، از توابع انتقالی برای پیش‌بینی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک با استفاده از خصوصیات اساسی خاک مانند توزیع اندازه ذرات، کربن آلی، درصد رطوبت اشباع وpH روی ۲۰۰ نمونه خاک از استان چهارمحال و بختیاری استفاده کردند. عملکرد مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیونی چند متغیره خطی با استفاده از دسته داده‌های آزمونی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل شبکه عصبی پس انتشار خطای توسعه داده شده با چهار ورودی کربن آلی، رطوبت اشباع، درصد رس و شن با هفت نرون در لایه پنهان توانست ظرفیت تبادل کاتیونی را بهتر از مدل‌های رگرسیونی و دیگر مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی پیش‌بینی کند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بخشی از اراضی دشت قروه واقع در استان کردستان است که بین طول‌های ۴۷ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۳۵ دقیقهٔ شرقی و عرض‌های ۳۵ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۱۵ دقیقهٔ شمالی قرار دارد. مساحت منطقه ۴۰۰۰ هکتار بوده که به کاربری مرتع و کشاورزی (کشت آبی، دیم) اختصاص یافته است. این منطقه دارای اقلیم نیمه‌خشک با میانگین درجه حرارت سالیانهٔ ۱۳-۱۰ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالیانهٔ در حدود ۳۴۸ میلی‌متر است، که دارای رژیم رطوبتی زریک و رژیم حرارتی مزیک می‌باشد. خاک‌های مورد مطالعه در رده‌های اینسپتی سول و انتی سول قرار دارند (شکل ۱).



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

روش نمونه‌برداری سیستماتیک با استفاده از نرم افزار ArcGIS و دستگاه GPS با فواصل ۱۰۰۰×۱۰۰۰ متر در ۴۰ نقطه انتخاب و به وسیله‌ی نفوذسنج گلف مدل KI280 هدایت هیدرولیکی اشباع خاک اندازه‌گیری شد. در این نقاط چاهک‌هایی با عمق ۳۰ سانتی‌متر و با قطر ۵ سانتی‌متر حفر و اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع در دو بار آبی ثابت ۵ سانتی‌متر و ۱۰ سانتی‌متر انجام شد. از کنار چاهک‌ها نمونه خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری تهیه شد. پس از هوا خشک‌کردن نمونه‌ها و کوبیدن و عبور دادن از الک ۲ میلی‌متری، تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی بر روی آن‌ها در آزمایشگاه انجام گرفت.

طراحی شبکه عصبی مصنوعی

پارامترهای زودیافت خاک به عنوان پارامترهای ورودی و هدایت هیدرولیکی اشباع به عنوان خروجی شبکه در نظر گرفته شد. ۷۵ درصد داده‌ها (۳۰ نمونه) برای آموزش مدل و ۲۵ درصد داده‌ها (۱۰ نمونه) به عنوان داده‌های آزمون مدل انتخاب گردید. به منظور آموزش شبکه عصبی، نرم افزار Matlab R2016a مورد استفاده قرار گرفت. از الگوریتم‌های آموزش الگوریتم لونبرگ- مارکوارت[۱] (LM) برای بهنگام‌سازی وزن‌های شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد، که یکی از الگوریتم‌های پرکاربرد می‌باشد. چون آموزش شبکه را بسیار سریع انجام داده و سطح خطای موجود را حداقل می‌سازد. در واقع این الگوریتم برای افزایش سرعت یادگیری شبکه طراحی شده که بر مبنای ماتریس هیسن می باشد.

نتایج و بحث

در این پژوهش در مجموع ۸ متغیر ورودی انتخاب شدند که این متغیرها شامل: درصد رس (Clay)، شن (Sand)، سیلت (Silt)، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)، میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها (GMD)، سنگریزه (Gravel)، جرم مخصوص ظاهری (BD) و ماده آلی (OM) بودند و هدایت هیدرولیکی به عنوان خروجی مدل در نظر گرفته شد. در مدل‌های شبکه عصبی تعیین تعداد نرون‌ها و لایه‌های مخفی مهم‌ترین مرحله در طراحی می‌باشد. شبکه پیش خور پس انتشار خطا با تعداد ۳ نرون در لایه پنهان در این تحقیق به عنوان شبکه بهینه انتخاب گردیده است. سعی گردید از تعداد فرضیه‌های تکراری کم شود تا استنتاج آماری قوی‌تری داشته باشیم. تعداد کل نرون‌های انتخابی (۲،۳،۴،۵) می‌باشد. بنابراین تعداد فرضیه‌ها به عدد ۵ محدود می‌شود که در حد معقولی می‌باشد. شبکه عصبی مورد استفاده نیز شبکه عصبی پیش‌خور با یک لایه مخفی می‌باشد. افزایش یا کاهش میزان خطا و ضریب همبستگی بین داده‌ها مستقل از تعداد نرون‌های در نظر گرفته شده برای لایه پنهان می‌باشد. در واقع با در نظر گرفتن نرون‌های متفاوت نباید انتظار روند صعودی یا نزولی در میزان خطا یا ضریب همبستگی را داشت بلکه باید با سعی و خطا مدلی که تعداد نرون بهینه که کمترین میزان خطا و بیشترین ضریب همبستگی را ایجاد کند، پیدا نمود. نکته دیگر این است که نرون‌های نزدیک به هم، رفتار نزدیک دارند و خطای آنها نیز نزدیک به هم می‌باشد. به همین دلیل از فرضیه های بالا استفاده شده است. اگر در ابتدا فرضیه‌ها مشخص نشود، انتخاب مدل بهینه مشکل می‌باشد زیرا یکی از فاکتورهای دخیل در تنظیم وزن‌ها و بایاس‌ها و در نتیجه آن میزان برآورد داده‌ها و خطای آن‌ها، مقدار دهی اولیه می‌باشد که این مقدار دهی تا حدی به تصادف بستگی دارد. به عبارت دیگر می‌توان گفت که اگر تعداد شبکه‌های مورد مقایسه زیاد شود، احتمال اینکه شبکه‌ای پیدا شود که خطای پایینی داشته باشد اما این شبکه، شبکه بهینه برای بررسی مسئله نباشد، زیاد می‌شود. به همین دلیل باید در انتخاب تعداد فرضیه‌ها دقت لازم انجام گیرد. در این پژوهش به طور تصادفی از ۷۵ درصد داده‌ها برای آموزش و ۲۵ درصد داده‌ها برای تست استفاده شد. بطوریکه از ۴۰ نمونه مورد استفاده ۳۰ نمونه آن برای آموزش و ۱۰ نمونه برای آزمون استفاده گردید. برای انتخاب بهترین متغیرهای ورودی و حصول بهترین ساختار شبکه عصبی مدل‌سازی با تمام ترکیب‌های ممکن از این پارامترها صورت گرفت. از آن جایی که مقدار اولیه وزن‌ها و اریب‌ها روی کارایی نهایی شبکه تأثیر می‌گذارد هر شبکه ۵ بار با مقادیر اولیه متفاوت آموزش داده شدند. جهت اجتناب از خطای موسوم به بیش‌برازشی[۲] در شبکه‌های عصبی مصنوعی از الگوریتم آموزش پس انتشار خطا بایسین در ترکیب با الگوریتم لونبرگ-مارکوات استفاده شد (Marquardt, 1963). پنگ-تائو و همکاران (2013) نیز از این الگوریتم برای پیش‌بینی میزان ماده آلی در خاک‌های منطقه‌ای از کشور چین استفاده کردند.

برای شبکه با سه نرون مدل (شن+رس+گراول) بر طبق معیار میانگین مجموع مربعات خطا و ضریب همبستگی پیرسون بهترین پیش‌بینی را در سراسر منطقه مورد مطالعه برای توزیع هدایت هیدرولیکی اشباع داشت. این مدل شبکه با ۳ نرون کمترین میانگین مجموع مربعات خطا و بالاترین ضریب همبستگی را داشت به طوری که از مدل‌های با نرون‌های بیشتر هم بهتر بود. بهترین الگو از بین مدل‌های مختلف انتخاب گردید و در جدول ۱ نشان داده شده است.

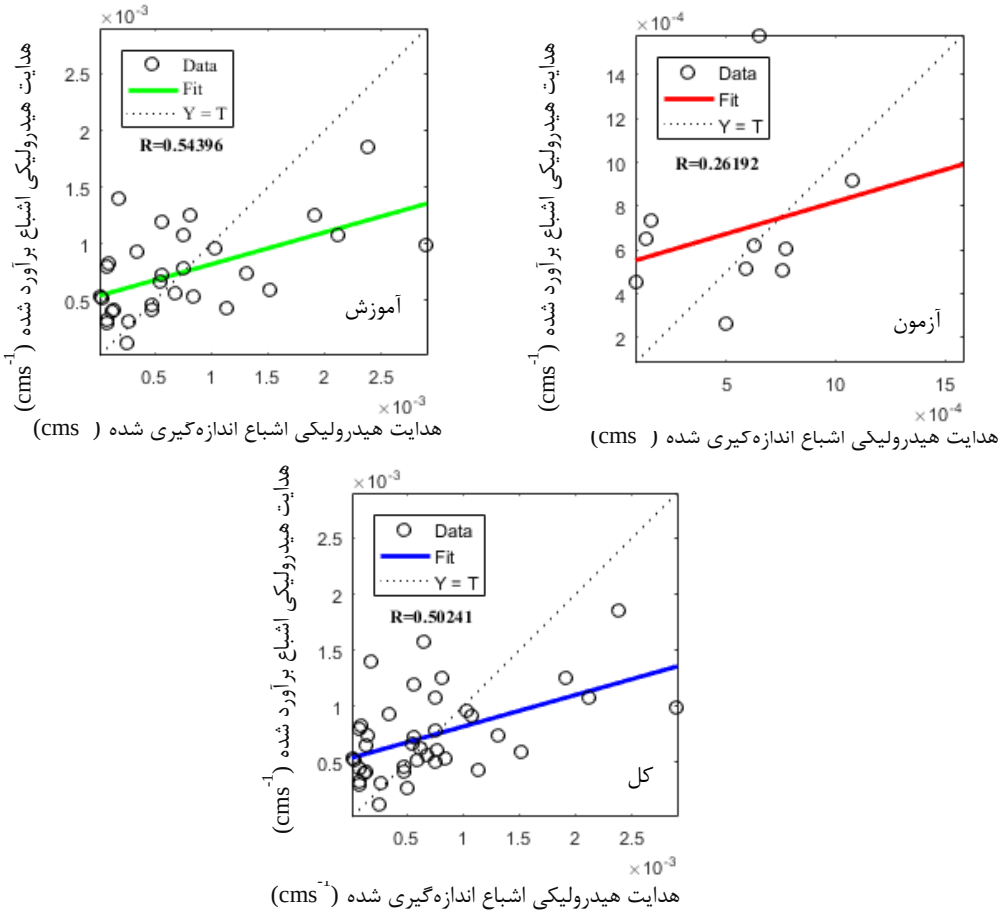
۱- Levenberg-Marquardt Algorithm

۲ - Over fitting

جدول ۱- بهترین الگو از بین مدل‌های مختلف

مدل	پارامتر ورودی	تعداد نرون	MSE	r
مدل ۱	Silt	۴	۳/۵۳۱×۱۰$^{-۷}$	۰/۲۵
مدل ۲	Gravel+OM	۲	۴/۲۸۹×۱۰$^{-۷}$	۰/۲۸
مدل ۳	Clay+Sand+Gravel	۳	۳/۳۴۷×۱۰$^{-۷}$	۰/۵۰
مدل ۴	Sand+Silt+MWD+Gravel	۲	۳/۷۶۶×۱۰$^{-۷}$	۰/۴۲
مدل ۵	Clay+Silt+ MWD+Gravel+OM	۳	۳/۹۳۲×۱۰$^{-۷}$	۰/۳۲
مدل ۶	Clay+ Silt+MWD+GMD+BD+OM	۳	۴/۴۳۴×۱۰$^{-۷}$	-۰/۲۹
مدل ۷	Clay+Sand+Silt+MWD+GMD+BD+OM	۲	۴/۸۱۴×۱۰$^{-۷}$	-۰/۳۰
مدل ۸	Clay+Sand+Silt+MWD+GMD+Gravel+BD+OM	۴	۴/۵۲۵×۱۰$^{-۷}$	۰/۰۶

انتخاب بهترین مدل بر اساس میزان خطای مدل بر روی داده‌های ارزیابی و همچنین میزان ضریب همبستگی بین داده‌های ارزیابی اندازه‌گیری شده و برآورد شده انجام می‌گیرد. هرچه میزان خطا بر روی داده‌های ارزیابی کمتر باشد و همچنین میزان ضریب همبستگی بیشتر باشد معلوم می‌شود که شبکه در برآورد داده‌های خارج از داده‌های آموزش دقت بیشتری داشته است. به همین دلیل در انتخاب مدل بهینه باید مدلی انتخاب گردد که هم خطای کمتر و هم ضریب همبستگی بیشتری داشته باشد. نمودارهای هدایت هیدرولیکی برآورد شده در برابر هدایت هیدرولیکی اندازه‌گیری شده در شکل ۲ در بهترین مدل برای مراحل آموزش، آزمون و کل داده‌ها ارائه شده است.



شکل ۲- مقادیر پیش‌بینی و مشاهداتی هدایت هیدرولیکی اشباع با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در بهترین الگو

با توجه به مقدار ضریب همبستگی که در مراحل آموزش، آزمون و کل به ترتیب برابر ۰/۵۴، ۰/۲۶ و ۰/۵۰ حاصل شد این ضریب در مرحله آموزش بیشتر از مرحله آزمون و کل داده‌ها می‌باشد.

نتایج روش شبکه عصبی مصنوعی نشان داد که هدایت هیدرولیکی برآوردی با پارامترهای شن، رس و گراول با ضریب همبستگی ۰/۵ و میزان خطای کمتر از ۰/۰۰۱ بهترین مدل است.

منابع

قبادیان ر.، شکاری پ. سبعه غ. و ملکی ر. ۱۳۹۳. بررسی تغییرات عمقی هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در اراضی دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی به روش پرمامتر گلف. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. جلد ۲۱، شماره ۲، صفحه: ۱۰۷-۸۵.

منهاج م. ب. ۱۳۷۷. مبانی شبکه‌های عصبی، چاپ اول، مرکز نشر پروفسور حسابی.

Cornelis W.M., Ronsyn J., Meirvenne M.V., and Hartmann R. 2001. Evaluation of pedotransfer functions for predicting the soil moisture retention curve. Soil Science Society of America Journal, 65:648-638.

Jones O.R., Hauser, V.I. and Popham, T.W. 1994. No-tillage effect on infiltration, runoff, and water conservation on dryland. Trans, ASAE,. 37: 473-479.

Khanna T. 1990. Foundation of neural networks. Addison-Wesley Publishing Company, U.S.A.

Marquardt D.W. (1963) An algorithm for least-square estimation of non-linear parameters. J Soc Ind Appl Math, 11:431–441.

Memarian Fard M., and Beigi Harchagani, H. 2009. Comparison of artificial neural network and regressionpedotransfer functions models for prediction of network and regression pedotransfer functions models for prediction of J. Water Soil. 23: 4. 90-99. (In Persian)

Nasri B., Fouché, O., Torri, D. 2015. Coupling published pedotransfer functions for the estimation of bulk density and saturated hydraulic conductivity in stony soils. Catena, 131:99–108.

Peng-Tao G., Wei, W. Qing-Kai, S. Mao-Fen, Li. Hong-Bin, L. and Zheng-Yin, W. 2013. Prediction of soil organic matter using artificial neural network and topographic indicators in hilly areas. Nutr Cycl Agroecosyst, 95: 333–344.

Schaap M.G., Leij F.J. and van Genuchten M.T.h. 2001. Rosetta: a computer program for the estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. J Hydrol, 251: 151–162.

Rasoulzadeh P., Razavi-Galajogh, S., and Neishabouri, M.R. 2012. Evaluate the accuracy methods to estimate the saturated hydraulic conductivity of soil water. J. Water Res. Agric. 26: 3. 303-316.

Estimate Saturated Hydraulic Conductivity Using Artificial Neural Networks

F. Parsaie[1*], M. Shabanpour Shahrestani [2] and M.A. Mahmoodi[3]
1, 2, 3- MS student, Associated Professor and Assistant Professor of soil science, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran, respectively.

*E-mail: Farzaneh_parsaie70@yahoo.com

Abstract
Saturated hydraulic conductivity (Ks) is one of the most important soil hydraulic properties which has strong spatial variability. The objective of this study was to using of artificial neural networks predicting the soil Saturated hydraulic conductivity. A 4000 ha area in Ghorveh plain of Kurdistan province in western Iran was systematically sampled in a grid of 40 points spaced 1000 m × 1000 m. Saturated soil surface hydraulic conductivity were determined with Guelph permeameter using double head method. Using Artificial Neural Networks, Various models have been designed. The best performed Model was evaluated by lowest values mean squared error and highest values correlation coefficient. Input parameters were Gravel, Sand and Clay contents with this model.

Key words: Artificial Neural Networks, Guelph permeameter, saturated hydraulic conductivity.