



تعیین فاکتورهای موثر بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک با استفاده از پارامترهای زود یافت خاک و شبکه عصبی مصنوعی

فهیمة نصرتی کاریزک¹، سید علیرضا موحدی نائینی²، ابوطالب هزار جریبی³، قربانعلی روشنی⁴، امیر احمد دهقانی⁵

1- دانشجوی کارشناسی ارشد خاکشناسی دانشگاه منابع طبیعی و کشاورزی گرگان،

2- دانشیار گروه خاکشناسی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

3 و 5- استادیار گروه آبیاری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

4- استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

nosrati.f@gmail.com

چکیده

روش‌های اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک پرهزینه و زمان‌بر هستند. از این رو ضرورت برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع با استفاده از روش‌های سریع، کم‌هزینه و با دقتی قابل قبول موسوم به توابع انتقالی، احساس می‌گردد. هدف از این پژوهش، برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع با استفاده از پارامترهای زود یافت خاک شامل درصد اندازه ذرات، میانگین هندسی و انحراف معیار هندسی اندازه ذرات، وزن مخصوص ظاهری، تخلخل کل، تخلخل موثر، درصد رطوبت در مکش 0/3 و 15 بار، آهک، مواد آلی، pH و EC با بهره‌گیری از شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد. به این منظور، هدایت هیدرولیکی اشباع با استفاده از نفوذسنج گوالف اندازه‌گیری و در همان نقاط نمونه‌برداری خاک نیز صورت گرفت. با استفاده از آنالیز حساسیت، پارامترهای درصد شن و رس، رطوبت در مکش 0/3 بار، تخلخل کل و میانگین هندسی اندازه ذرات به ترتیب به عنوان پارامترهای حساس در برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع معرفی گردیدند. به منظور تخمین سریع و کم‌هزینه‌ی هدایت هیدرولیکی اشباع، با استفاده از پارامترهای حساس، مدل‌های مختلفی طراحی شدند. نتایج نهایی مقایسه مدل‌ها، مدل با پارامترهای ورودی لگاریتم میانگین هندسی قطر ذرات، تخلخل کل و درصد شن و رس به عنوان بهترین مدل از نظر دقت و سرعت تخمین‌گر هدایت هیدرولیکی نشان داد.

کلمات کلیدی: هدایت هیدرولیکی اشباع، پارامترهای زود یافت خاک، شبکه عصبی مصنوعی، آنالیز حساسیت

مقدمه

هدایت هیدرولیکی اشباع خاک¹، از مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی خاک است که اهمیتی ویژه در شناخت، بررسی و مدل‌سازی ترابری آب، املاح و آلاینده‌های محیط متخلخل زیرزمینی دارد. با وجود تحقیقات متعددی که پیرامون اندازه‌گیری مستقیم هدایت هیدرولیکی اشباع صورت گرفته است، این روش‌ها همچنان پرهزینه، زمان‌بر و تخصصی هستند (ابراهیمی و فرداد، 1377). بنابراین می‌توان با استفاده از روش‌های غیر مستقیم با صرفه جویی در زمان، هزینه و دقت مناسب، K_s خاک را از سایر خصوصیات که به آسانی قابل اندازه‌گیری‌اند و به صورت عمومی در مطالعات و گزارش‌های خاکشناسی ثبت می‌شوند، برآورد شود. یکی از جنبه‌های مهم بررسی خاک، دانستن روابط و هم‌بستگی بین خصوصیات مختلف خاک و بیان کمی آنها در قالب مدل‌های آماری است. این مدل‌ها اصطلاحاً توابع انتقالی خاک² نامیده می‌شوند، عمدتاً شامل مدل‌های رگرسیون آماری هستند. با این مدل‌ها خصوصیات مهم خاک که اندازه‌گیری

1- Saturated Hydraulic Conductivity (K_s)

2- Pedotransfer function (PTFs)



آنها پرهزینه، وقت گیر و تخصصی است، به صورت تابعی از ویژگی های خاک که به سادگی و با هزینه کمتری قابل اندازه گیری هستند، بیان می گردد. اخیرا تلاش هایی به منظور مدل سازی چنین توابعی صورت گرفته است که می توان به شبکه عصبی مصنوعی اشاره کرد. شاپ و لیچ (1998) هدایت هیدرولیکی اشباع، غیراشباع و مشخصات منحنی رطوبتی خاک را با استفاده از پارامترهای توزیع اندازه ذرات، وزن مخصوص ظاهری خاک و درصد رطوبت در مکش 0/3 بار تخمین زدند. آن ها در این بررسی، چهار مدل با ورودی های زیر انتخاب کردند. مدل (1) شامل درصد شن، سیلت و رس، مدل (2) شامل درصد شن، سیلت، رس و وزن مخصوص ظاهری، مدل (3) شامل درصد شن، سیلت، رس، وزن مخصوص ظاهری و درصد رطوبت در مکش 0/3 بار و مدل (4) شامل درصد شن، سیلت، رس، وزن مخصوص ظاهری و درصد رطوبت در مکش 0/3 و 0/1 بار بود. آن ها برای ارزیابی دقت مدل از شاخص ریشه میانگین مربعات باقیمانده (RMSE)¹ استفاده کردند. نتایج این بررسی نشان داد که روند کاهش RMSE از مدل (1) تا مدل (3) چشمگیرتر از روند کاهش RMSE از مدل (3) تا مدل (4) است. به عبارت دیگر افزایش وزن مخصوص ظاهری یا یک نقطه از منحنی رطوبتی به ورودی های مدل نقش بیشتری در کاهش RMSE دارد.

$$RMSE_{model1} = .84 \quad RMSE_{model2} = .77 \quad RMSE_{model3} = .72 \quad RMSE_{model4} = .71$$

پاراسورامن و همکاران (2006) برای برآورد هدایت آبی اشباع در مقیاس مزرعه ای، دو مدل شبکه عصبی مصنوعی طراحی نمودند. پارامترهای ورودی در مدل اول درصد رس، سیلت و شن بود و در مدل دوم علاوه بر سه ویژگی یاد شده، جرم مخصوص ظاهری اضافه شد. نتایج این پژوهش نشان داد که شبکه های عصبی طراحی شده عملکردی بهتر در برآورد هدایت آبی اشباع در مقیاس با نرم افزار Rosetta داشته اند. مردون و همکاران (2006) با استفاده از توابع انتقالی و شبکه های عصبی مصنوعی هدایت هیدرولیکی اشباع را برآورد نمودند. در این پژوهش 130 نمونه از داده ها برای پی ریزی مدل ها و 65 نمونه باقی مانده برای ارزیابی مدل ها مورد استفاده قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد مدل های رگرسیونی برآورد بهتری از هدایت هیدرولیکی اشباع نسبت به شبکه های عصبی مصنوعی داشته اند. با این وجود، تفاوت یاد شده در برآورد متغیرهای مورد نظر از نظر آماری معنی دار نبوده است. هدف از این تحقیق به دست آوردن روابطی بین هدایت هیدرولیکی اشباع با بعضی از پارامترهای زودیافت خاک مانند درصد ذرات مختلف خاک (رس، سیلت و شن)، میانگین هندسی قطر ذرات خاک، درصد ماده آلی، درصد آهک، جرم مخصوص ظاهری و حقیقی خاک، pH و EC می باشد. به کمک روابط به دست آمده می توان هدایت هیدرولیکی اشباع را به جای اندازه گیری مستقیم که اقدامی دشوار، وقت گیر و پرهزینه است، با استفاده از پارامترهای زودیافت خاک که اندازه گیری آن ها ساده تر است، برآورد نمود.

مواد و روشها

برای انجام این تحقیق، 73 نمونه خاک از اعماق 10-35، 15-35، 20-35 سانتی متری به روش نمونه برداری سیستماتیک و با تنوع بافتی نسبتا مناسب برداشت شد که در محدوده یساقی تا بندترکمن واقع در اطراف شهرستان گرگان واقع بود. به منظور تخمین هدایت هیدرولیکی اشباع با استفاده از پارامترهای زودیافت خاک هدایت هیدرولیکی اشباع در منطقه با استفاده از نفوذسنج گوالف اندازه گیری شد و از همان محل نمونه برداری از خاک نیز صورت گرفت. سپس فراوانی نسبی اندازه ذرات خاک به روش هیدرومتری اندازه گیری و کلاس بافتی خاکها تعیین گردید. کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون با اسید کلریدریک نیم نرمال برای خنثی سازی کربنات کلسیم در آن، درصد

1- Root Mean Squar Error (RMSE)



ماده آلی به روش والکی- بلاک، جرم مخصوص حقیقی به روش پیکنومتری، جرم مخصوص ظاهری به روش استوانه و EC و pH آن‌ها پس از تهیه گل اشباع، با دستگاه EC متر و pH متر اندازه‌گیری شدند. همچنین میانگین هندسی قطر ذرات خاک بر اساس روش ارائه شده توسط شیرازی و بورسما (1984) تعیین شد. در نهایت روابط بین هدایت هیدرولیکی اشباع و پارامترهای زودیافت خاک با آنالیز شبکه عصبی مصنوعی مشخص شد. قبل از آموزش شبکه عصبی، داده‌های ورودی به آن بایستی استاندارد شوند. برای استاندارد کردن داده‌ها از رابطه زیر استفاده شده است:

$$x_n = 0.5 + 0.5 \left(\frac{x - x_{\text{mean}}}{x_{\text{max}} - x_{\text{min}}} \right) \quad (1)$$

که در آن x_n معرف داده نرمال شده، x معرف داده‌های مشاهده‌ای، x_{mean} ، x_{min} و x_{max} به ترتیب معرف داده‌های مشاهده‌ای میانگین، حداکثر و حداقل می‌باشند. سپس پارامترهای زودیافت خاک به عنوان پارامترهای ورودی و لگاریتم هدایت هیدرولیکی اشباع به عنوان خروجی شبکه در نظر گرفته شدند. 60 درصد داده‌ها (45 نمونه) جهت آموزش مدل، 20 درصد داده‌ها (14 نمونه) جهت انجام فرایند اعتبارسنجی مدل و 20 درصد (14 نمونه) به عنوان داده‌های آزمون مدل انتخاب گردیدند. به منظور آموزش شبکه عصبی، با استفاده از نرم‌افزار Matlab 7.9 شبکه MLP مورد استفاده قرار گرفت. همچنین جهت دستیابی به فاکتورهای موثر بر هدایت هیدرولیکی اشباع از آنالیز حساسیت استفاده شد. در این تحقیق برای انجام آنالیز حساسیت مدل از ضریب بدون بعد حساسیت (هیل، 1998) استفاده گردید. در این پژوهش از ضریب تبیین R^2 و جذر میانگین مربعات خطا $RMSE$ بین داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده به منظور ارزیابی عملکرد مدل استفاده شد. بیان ریاضی آماره $RMSE$ به صورت زیر می‌باشد.

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum(t-a)^2}}{N} \quad (2)$$

در روابط بالا، a و t به ترتیب مقدار پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده پارامتر هدایت هیدرولیکی اشباع و N تعداد داده‌ها است.

نتایج و بحث

در مدل‌سازی هدایت هیدرولیکی اشباع با 14 پارامتر ورودی برای 73 نمونه خاک در شبکه عصبی مصنوعی، بهترین آرایش لایه پنهان با الگوریتم آموزشی لوبنبرگ- مارکوآرت به صورت یک لایه پنهان، 45 نرون، تابع آستانه logsig برای لایه پنهان و tansig برای لایه خروجی انتخاب گردید. جدول 1 پارامترهای آماری محاسبه شده برای مدل ایجاد شده در مراحل آموزش، اعتبارسازی، آزمون و کل را نشان می‌دهد.

جدول 1- پارامترهای آماری محاسبه شده برای مراحل آموزش، اعتبارسازی، آزمون و کل در مدل با 14 پارامتر ورودی

مرحله	R^2	RMSE
آموزش	0/944	0/0033
اعتبارسازی	0/855	0/013
آزمون	0/807	0/014
کل	0/884	0/0042

1 - Correlation Coefficient (R^2)

2 - Root Mean Square Error (RMSE)



بعد از مدل سازی هدایت هیدرولیکی اشباع با 14 پارامتر به وسیله شبکه عصبی مصنوعی و بدست آوردن بهترین شبکه از نظر پارامترهای آماری، برای بدست آوردن حساسترین پارامترها، آنالیز حساسیت به روش ضریب بدون بعد حساسیت (هیل، 1998) انجام شد. شکل 1 نتایج آنالیز حساسیت را نشان می دهد. هیل (1998) در تحقیقاتش بیان می کند که اگر مقدار ضریب حساسیت پارامتری از 0/1 بیشتر باشد، آن پارامتر جز پارامترهای حساس مدل محسوب می شود. برطبق نتایج هیل (1998)، در تحقیق حاضر، هدایت هیدرولیکی اشباع به همه پارامترها به جز پارامترهای درصد آهک و شوری حساس می باشد.



شکل 2- نمودار هیستوگرام ضرایب حساسیت هدایت هیدرولیکی اشباع به روش هیل

جدول 2- آنالیز حساسیت پارامترهای زودیافت خاک

پارامتر	شن	رس	رطوبت 0/3 بار	تخلخل	میانگین هندسی اندازه ذرات	وزن مخصوص ظاهری	انحراف معیار هندسی اندازه ذرات
ضریب حساسیت نسبی	1	0/873	0/51	0/33	0/234	0/193	0/175
پارامتر	pH	سیلت	تخلخل موثر	مواد آلی	رطوبت 15 بار	آهک	شوری
ضریب حساسیت نسبی	0/173	0/142	0/137	0/103	0/101	0/098	0/041

منابع

ابراهیمی ک و فرداد ح، ۱۳۷۷. مقایسه چند روش تعیین ضریب آبگری خاک در حالت اشباع. مجله علوم کشاورزی ایران، جلد چهارم، شماره ۲۹. صفحه های ۶۵۷ تا ۶۶۶.

Parasurman, K., Elshorbagy, A and Si, B. 2006. Estimating saturated hydraulic conductivity in spatially variable fields using neural network in Ensembles. Soil Sci. Soc. Am. J. 70: 1851-1859.



دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران
تبریز، 12 الی 14 شهریور 1390
(فن آوری های نوین در علوم خاک)

- Schaap, M., and Leij, F. 1998. Using neural networks to predict soil water retention and soil hydraulic conductivity. *Soil and Till Res.* 47: 37-42.
- Merdun, H., Ozer, C., Meral, R., and Apan, M. 2006. Comparison of Artificial Neural Network and regression pedotransfer functions for prediction of soil water retention and saturated hydraulic conductivity. *Soil Tillage Res.* 90: 108-116.
- Hill, M. 1998. *Methods and guidelines for effective model calibration.* U.S. Geological survey Water- Resources Investigations Rep. 98-4005.