مستخرج از پایان نامه

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و پنجم، شماره چهار، تیر ماه ۱۴۰۲(۷۷-۶۷)

مدل‌سازی رگرسیونی هدایت هیدرولیکی اشباع خاک با استفاده از پارامترهای زودیافت خاک

عبدالفتاح سالارعشایری [۱]

علی صارمی [۱]

معروف سی و سه مرده [۲*]

maroof_33m@yahoo.com

حسین صدقی [۱]

حسین بابازاده [۱]

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۲/۱۷ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۹/۱۶**

چکیده

زمینه و هدف: اندازه‌گیری مستقیم هدایت هیدرولیکی اشباع خاک امری زمان‌بر و پرهزینه است و امروزه می‌توان با استفاده از پارامترهای زودیافت خاک مقدار آن را برآورد کرد. بنابراین هدف از این پژوهش، استفاده از مدل سازی رگرسیونی در برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع خاک بر اساس پارامترهای دانه‌بندی d_{10}، d_{50} و d_{60} بوده است.

روش بررسی: ابتدا ۲۵ نمونه‌خاک با بافت شنی به‌صورت تصادفی در بهار ۱۳۹۷ از اراضی کشاورزی شهرستان سقز تهیه شد و نمونه‌ها به آزمایشگاه برای تجزیه و تحلیل منتقل شدند و هدایت هیدرولیکی با استفاده از فرمول دارسی محاسبه شد. با استفاده از داده‌های موجود، روابط رگرسیونی تک و چند متغیره بر روی داده‌ها برازش داده شد و براساس آماره‌های ارزیابی مدل، رابطه‌ای را که بهترین برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع خاک را داشت، انتخاب گردید.

یافته‌ها: نتایج این پژوهش نشان داد که معادله خطی ۳ پارامتری، هدایت هیدرولیکی را نسبت به معادلات خطی و درجه ۲ یک پارامتری و خطی ۲ پارامتری، با دقت بیشتری برآورد کرده است. نتایج نشان داد که پارامتر d_{10} نسبت به پارامترهای d_{50} و d_{60} نقش مؤثرتری جهت برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع داشته است و پارامتر مؤثر جهت مقایسه هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، پارامتر d_{10} حاصل شد.

۱- گروه مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲- گروه مهندسی آب، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران. *(مسوول مکاتبات)

بحث و نتیجه‌گیری: در این پژوهش هدف اصـــلی ارائه مدل‌هایی بود که بتوان هدایت هیدرولیکی اشـــباع خاک را با کاهش هزینه و صرفه‌جویی در زمان با دقت قابل قبولی برآورد کرد و در یک جمع‌بندی می‌توان بیان کرد که مدل سازی رگر سیونی ابزاری کارا در برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع خاک است.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای دانه‌بندی، رگرسیون، مدل‌سازی.

J. Env. Sci. Tech., Vol 25, No. 4, July, 2023

Estimation of saturated hydraulic conductivity of soil using soil retrieval parameters and regression modeling

Abdolfattah Salarashayeri [1]
Ali Saremi
Maaroof Siosemarde [2*]
maroof_33m@yahoo.com
Hossain Sedghi[1]
Hossain Babazadeh[1]

Admission Date: December 20, 2022 Date Received: March 7, 2021

Abstract

Background and Objective: Direct measurement of saturated hydraulic conductivity of soil is time consuming and costly and today this parameter can be estimated using soil retrieval parameters. Therefore, this study aimed to use regression modeling to estimate the saturated hydraulic conductivity of soil based on grain size parameters i.e. d10, d50, and d60.

Material and Methodology: First, 25 soil samples with sandy texture were randomly collected in the spring of 2017 from the agricultural lands of Saqez city and the samples were collected in a container and taken to the laboratory for analysis and hydraulic guidance using the Darcy's law was calculated. Using the available data, univariate and multivariate regression relationships were fitted on the data and based on the model evaluation statistics, the relationship that had the best estimate of saturated hydraulic conductivity of soil was determined.

Findings: The results of this study showed that the linear equation with 3 inputs saturated hydraulic conductivity of soil more accurately than the equations with 1 or 2 inputs. The results showed that the parameter d_{10} had a more effective role for estimating saturated hydraulic conductivity of soil than the parameters d_{50} and d_{60} and the effective parameter for comparison of saturated hydraulic conductivity is called d_{10}.

Discussion and Conclusion: The main purpose of this study was to provide models that can estimate the saturated hydraulic conductivity of soil with cost reduction and time savings with acceptable precision, and in summary, regression modeling can be used to estimate the saturated hydraulic conductivity of soil.

Key words: Granulation parameters, regression, modeling.

1- Department of Water Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
۲ Department of Water Engineering, Mahabad Branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran.*(*Corresponding Author*)

مقدمه

هدایت هیدرولیکی ا شباع خاک یکی از مهم‌ترین م شخ صه‌های فیزیکی خاک اســـت که در م طالـعات آب‌و خاک، طراحی سیستم‌های زهکشی و مطالعات هیدرولوژی اهمیت زیادی دارد و در مباحث نفوذ آب در خاک، کنترل رواناب‌های ســـطحی، آبشویی مزارع کشاورزی و انتقال آلودگی‌های سطحی به آب‌های زیرزمینی نقش به سزایی دارد (۱ و ۲). اندازه‌گیری م ستقیم این مشـخصـه چه به‌صـورت صـحرایی و چه آزمایشـگاهی بسـیار وقت‌گیر، هزینه‌بر و دشـــوار اســـت. به همین دلیل، روش‌های غیرمســـتقیم (مانند روش‌های رگرســـیونی و شـــبکه عصـــبی) به‌عنوان راه حلی نسبی، ارائه شده‌اند. ایجاد توابع انتقالی، یکی از روش‌های غیرمســتقیم برآورد مشــخصــه‌های هیدرولیکی خاک اســـت که با اســـتفاده از اطلاعات موجود خاک و بهره‌گیری از معادلات رگرســـیونی بین پارامترهای زودیافت و دیریافت خاک ارتباط برقرار می‌کند (۳). همچنین در بســیاری از کاربردها نیاز به داده‌های خیلی دقیق ویژگی‌های هیدرولیکی نیســت. از دیگر ســـو، به دلیل تفاوت در اندازه‌گیری‌ها با روش‌های مختلف و نیز تغییرات مکانی-زمانی آن‌ها، دقت اندازه‌گیری‌های مستقیم مورد تردید بوده و ازاین‌رو برآوردهای حاصل از روش‌های غیرمستقیم کافی به نظر می‌رسند (۴).

خاک مجموعه‌ای از ذرات جامد و حفرات بین آن‌هاســـت. در نتیجه آب می‌تواند از یک نقطه پر انرژی به نقطه کم انرژی‌تر جریان پیدا کند. مطالعه جریان آب در محیط متخلخل خاک اهمیت زیادی در مکانیک خاک دارد. این مســـئله از نقطه نظر تخمین میزان جریان‌های زیرزمینی تحت شـــرایط هیدرولیکی مختلف، زهکشی در حین اجرای ساختمان‌ها در داخل سفره‌های آب زیرزمینی، مطالعه پایداری سدهای خاکی و سازه‌های حائل خاک تحت نیروهای نشت و همچنین تحکیم خاک‌های رسی، حائز اهمیت می‌باشد. هدایت هیدرولیکی اشباع، بیانگر قابلیت محیط متخلخل برای انتقال آب از طریق منافذ خاک ا ست (۵). در مباحث آب‌وخاک، شـــناخت هدایت هیدرولیکی خاک برای مدل‌ســـازی جریان آب در خاک، در هر دو منطقه اشـــباع و غیراشـباع و انتقال مواد آلاینده‌های محلول آب در خاک بسـیار ضروری ا ست. همچنین یک پارامتر مهم برای طراحی زهک شی اراضـی منطقه و احداث سـد خاکی اسـت. به‌علاوه، برای تعیین مقدار نشت، محاسبات نشست، تجزیه‌وتحلیل پایداری موردنیاز است (۶).

یکی از پارامترهای اثرگذار بر هدایت هیدرولیکی اشـــباع خاک، چگونگی توزیع اندازه ذرات خاک اســـت. در واقع، اغلب خواص فیزیکی و ب سیاری از خواص شیمیایی خاک شدیداً تحت تأثیر رده‌های توزیع اندازه ذرات خاک قرار دارند. تعیین توزیع اندازه ذرات خاک، اندازه‌گیری توزیع اندازه ذرات مجزا در نمونه خاک اســـت. بهترین روش برای بیان نتایج اندازه‌گیری توزیع اندازه ذرات خاک، ترسیم منحنی توزیع اندازه ذرات است (۷).

برآورد هدا یت ه یدرولیکی خاک یکی از مهم‌ترین م با حث مدل‌سازی جریان آب در خاک است (۱ و ۲). در خصوص برآورد هدایت هیدرولیکی خاک، مطالعات مختلفی انجام شـده اسـت. برای نمونه، احمدی و همکاران (۸) به برآورد هدایت هیدرولیکی ا شباع خاک با ا ستفاده از برنامه‌ریزی بیان ژنی و رگر سیون ریج در استان آذربایجان شرقی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که تابع انتقالی ارائه شـــده با روش برنامه‌ریزی بیان ژنی از دقت و صحت بی شتری ن سبت به مدل رگر سیونی برخوردار می‌با شد. امیرعابدی و همکاران (۹) برآورد هدایت هیدرولیکی اشـــباع خاک‌های منتخب از دشـــت اردبیل با اســـتفاده از مدل‌های رگرسـیونی و شـبکه‌های عصـبی مصـنوعی پرداختند که نتایج تحقیق مورد نشـان داد شـبکه‌های عصـبی با داده‌های ورودی یکسان هدایت هیدرولیکی اشباع خاک را با دقت بیشتری نسبت به مدل‌های رگر سیونی برآورد می‌کنند. آزاماثیولا و جارت (۱۰) ن شان دادند که ا ستفاده از مقدار رس به جای میانگین هند سی قطر ذرات برای برآورد هدا یت هیدرولیکی اشـــباع خاک‌های اســـترالیا شـــاخص مناســـب‌تری اســـت. در این راســـتا، یکی از پارامترهای مهم نحوه دانه‌بندی ذرات خاک است که پارامترهای دا نه‌بندی d_{10}، d_{50} و d_{60}، به‌عنوان پر کاربردترین پارامتر ها شناخته می شوند و این پارامترها قطری از ذرات خاک ه ستند که به ترتیب ۱۰، ۵۰، ۶۰، درصد ذرات خاک از آن قطر کوچکتر باشد.

خصوصیات هیدرولیکی خاک همچنین نقش مهمی را در فرآیند بارش، رواناب و رطوبت خاک دارد. یکی از نیازهای رشد و توسعه هر کشور آب است. آب نه فقط برای گسترش شهرها و صنایع لازم است بلکه یکی از عوامل توسعه کشاورزی نیز به شمار می‌آید و آب های زیرزمینی از مهمترین منابع آب هستند. بررسی هیدرولیکی سفره‌های آب از آن جهت اهمیت دارد که به استفاده بهتر از آب‌های زیرزمینی و در نتیجه مدیریت بهتر منابع آب می‌انجامد. بنابراین هدف از این پژوهش، ارائه مدل‌هایی بود که بتوان هدایت هیدرولیکی اشباع خاک را با کاهش هزینه و صرفه‌جویی در زمان با استفاده از پارامترهای زودیافت خاک برآورد کرد.

روش بررسی

- منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در اراضی کشاورزی شهرستان سقز در استان کردستان در بهار ۱۳۹۷ انجام شد. منطقه سقز در شمال غربی استان کردستان واقع شده است. از نظر مشخصات جغرافیایی در ۴۶ درجه و ۱۷ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۱۴ دقیقه عرض شمالی با ارتفاع متوسط ۱۴۷۶ متر از طرح دریا قرار دارد. وسعت این شهرستان حدود ۴۴۴۴ کیلومتر مربع است که در شمال غرب، شمال و شمال شرق به ترتیب با شهرهای بوکان، شاهین دژ و تکاب هم مرز است و در شرق با دیواندره، جنوب با مریوان و غرب با بانه و جنوب غرب با کرد ستان عراق مرز دارد.. این منطقه در ناحیه‌ای کوهستانی و مرتفع بین ارتفاعات نامنظم رشته کوه‌های زاگرس واقع شده است. میانگین بارش سالانه در این شهر از ۳۵۰ تا ۶۵۰ میلی‌متر در نوسان است. در منطقه سقز، سرانه آب کشاورزی در حدود ۱۰۲۰ متر مکعب است که از متوسط کشور پایین‌تر است.

- روش پژوهش

به منظور انجام این پژوهش، ابتدا تعداد ۲۵ نمونه خاک با بافت شنی به صورت تصادفی از اراضی کشاورزی تهیه شد و نمونه‌ها در ظرف جمع‌آوری شده و به آزمایشگاه برای تجزیه و تحلیل منتقل شد. در آزمایشگاه، نمونه‌های تحت آزمایش برای تعیین توزیع اندازه دانه بر اساس روش استاندارد BS1377 مورد بررسی قرار گرفتند. نمونه‌های با ذرات درشت‌تر توسط آزمایش دانه‌بندی به روش خشک و با استفاده از مرتب‌کردن یک سری از الک‌های BS روی هم آنالیز شدند و نمونه‌های ریزتر با استفاده از آزمایش هیدرومتری آنالیز گردیدند. برای تعیین منحنی دانه‌بندی خاک و تجزیه و تحلیل توزیع ذرات، نتایج آزمایش روی یک گراف نیمه‌لگاریتمی برای به دست‌آوردن منحنی توزیع اندازه دانه‌ها برای هر نمونه رسم و پارامترهای d_{10}، d_{50} و d_{60} با روش های استاندارد تعیین گردید. در این تحقیق، هدایت هیدرولیکی اشباع با روش بار افتان[1] اندازه‌گیری شد به‌طوری‌که ابتدا نمونه‌ها از پایین اشباع گردید تا هوای داخل خاک بتواند از سطح نمونه‌ها خارج شود. پس از حرکت آب در داخل خاک، زمانی که شدت جریان خروجی از نمونه ثابت شد، مقادیر ضریب هدایت هیدرولیکی اندازه‌گیری گردید. در آزمایشگاه، اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع با استفاده از فرمول دارسی برای یک ستون یکنواخت خاک اشباع انجام می‌شود. یک اختلاف بار هیدرولیکی به ستون خاک اعمال می‌شود و شدت جریان آب اندازه‌گیری می‌شود. هدایت هیدرولیکی با استفاده از فرمول دارسی محاسبه شد:

$$Ks_{(cm/s)} = \frac{L_{(cm)}.A_{2(cm^2)}}{A_{1(cm)}.(t_2 - t_1)_{(s)}} \ln \frac{H_{1(cm)}}{H_{2(cm)}} \quad (۱)$$

که در رابطه ۱، K هدایت هیدرولیکی اشباع (سانتی‌متر بر ثانیه)، A_1 سطح مقطع ظرف نمونه (سانتی‌متر مربع)، A_2 سطح مقطع لوله حاوی آب (سانتی‌متر مربع، منظور سطح مقطع استوانه‌ای که آب در درون آن از H_1 به H_2 افت می‌کند)، H_1 بار آبی در زمان t_1 (سانتی‌متر)، H_2 بار آبی روی نمونه در زمان t_2 (سانتی‌متر) و L طول نمونه خاک (سانتی‌متر) است. مشخص است که اگر سطح مقطع نمونه خاک و لوله آب برابر باشند، رابطه بالا به رابطه ساده زیر تبدیل می‌شود:

$$Ks = \frac{L}{t_2 - t_1} \ln \frac{H_1}{H_2} \quad (۲)$$

1- Falling Head

اساس کار این روش این است که نمونه‌ها به مدت ۱۲ ساعت باید از زیر اشباع شوند (۱۱) و در این روش افت سطح آب با زمان اندازه‌گیری می‌شود.

- محاسبات آماری

در این تحقیق مجموعه داده‌ها شامل ۲۵ سری داده شامل مقادیر d_{10}، d_{50}، d_{60} و ضریب هدایت هیدرولیکی بوده که با استفاده از نرم‌افزار های EXCEL و SPSS روابط مختلف رگرسیون چند متغیره بین داده‌ها برازش داده شد و براساس آماره‌های ضریب همبستگی (R)، ریشه میانگین مربعات خطا ($RMSE$)، میانگین خطای مطلق (MAE)، خطای نسبی (RE) و کارایی مدل (DT)، بهترین رابطه‌ی برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع خاک تعیین گردید (۱۲ و ۱۳).

مقدار R همواره در بازهٔ ۱+ و ۱- قرار دارد. ضریب همبستگی بدون توجه به آماره‌های $RMSE$ و MAE نمی‌تواند معیار مناسبی در ارزیابی عملکرد شبکه و مقایسه مدل‌ها با همدیگر باشد زیرا در صورتی که بین مقادیر متناظر پیش‌بینی شده و مشاهده شده یک رابطه خطی وجود داشته باشد، در این حالت مقدار ضریب همبستگی ۱+ یا ۱- می‌باشد. در هر حال، ضریب همبستگی شاخص مناسبی در نشان‌دادن میزان هماهنگی روند تغییرات مقادیر مشاهده شده و مقادیر پیش‌بینی‌شده است. دقت مدل با نزدیک‌شدن مقدار R به ۱+ یا ۱-، و مقادیر آماره‌های $RMSE$ و MAE به سمت صفر، افزایش می‌یابد (۱۴ و ۱۵).

$RMSE$ معیار مناسبی در ارزیابی عملکرد و مقایسه مدل‌ها بوده، مقدار آن می‌تواند از صفر تا بی‌نهایت تغییر نماید. نکته قابل ذکر این که اگر به سمت صفر میل کند، آنگاه R به سمت ۱ میل خواهد کرد، ولی عکس این موضوع صحیح نمی‌باشد. کمترین میزان آماره $RMSE$ و در شرایطی که مقادیر برآورد و اندازه‌گیری شده برابر (مساوی) باشند برابر با صفر است. مقدار آماره $RMSE$ نمایانگر آن است که مقادیر همانند سازی شده به چه میزانی مقادیر مربوطه را کمتر و یا بیشتر از مقدار مشاهده‌شده (اندازه‌گیری)، برآورد می‌نماید (۱۴ و ۱۵).

مقدار MAE بیان‌کننده دقت مدل است که با افزایش دقت مدل، مقدار آن کم می‌شود. مقدار MAE در بازه صفر تا بینهایت تغییر نموده، مدلی که MAE کمتری داشته باشد از دقت بیشتری برخوردار است. کمترین میزان آماره MAE و در شرایطی که مقادیر برآورد و اندازه‌گیری شده برابر (مساوی) باشند برابر با صفر است (۱۲).

هرچه مقدار پارامتر DT بزرگتر باشد خطای تخمین‌ها بیشتر و نشان‌دهنده آنست که دقت و کارایی مدل در برآورد ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع کمتر است.

یافته‌ها

پس از برازش داده‌ها، روابط رگرسیونی زیر جهت برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع بر اساس اندازه قطر ذرات به دست آمد:

$$K_S = 8.91 + 61.08(d_{10}) \quad (۳)$$

$$K_S = 16.88 + 10.60(d_{50}) \quad (۴)$$

$$K_S = 16.55 + 8.32(d_{60}) \quad (۵)$$

$$K_S = 16.16 + 121.5(d_{10})^2 \quad (۶)$$

$$K_S = 20.90 + 6.52(d_{50})^2 \quad (۷)$$

$$K_S = 20.79 + 3.84(d_{60})^2 \quad (۸)$$

$$K_S = 10.14 + 114.67(d_{10}) - 20.93(d_{50}) \quad (۹)$$

$$K_S = 9.80 + 116.39(d_{10}) - 15.92(d_{60}) \quad (۱۰)$$

$$K_S = 16.68 - 2.85(d_{50}) + 10.38(d_{60}) \quad (۱۱)$$

$$K_S = 10.06 + 118.54(d_{10}) - 12.50(d_{50}) - 7.32(d_{60}) \quad (۱۲)$$

در این روابط، d10، d50 و d60 قطری از ذرات خاک است که به ترتیب ۱۰ ، ۵۰ و ۶۰ درصد وزنی ذرات خاک از آن قطر کوچک‌تر باشد و هدایت هیدرولیکی اشباع بر حسب (متر در روز) است. مقادیر آماره‌های مختلف ارزیابی روابط فوق در جدول ۱ نشان داده شده است.

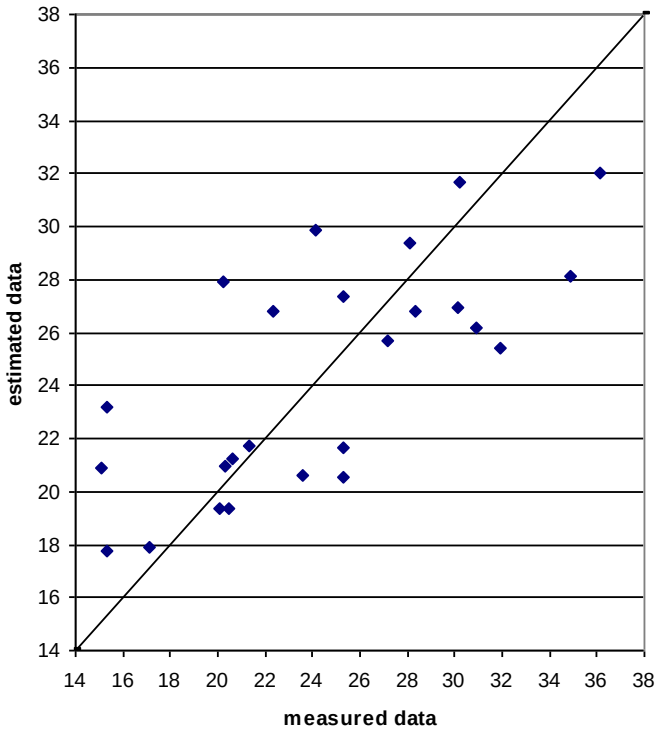
جدول ۱- نتایج مقادیر آماره‌ها معادلات مختلف هدایت هیدرولیکی خاک

Table 1. The results of the values of the statistics of different equations of saturated hydraulic conductivity of soil

شماره رابطه	آماره‌ها				
	R	***RMSE***	***MAE***	***RE* (%)**	***DT***
۳	۰/۶۲۱	۴/۵۸	۳/۶۸	۱۵/۰۸	۱/۲۱۵
۴	۰/۳۲۹	۵/۵۲	۴/۵۸	۱۸/۷۹	۱/۲۶۳
۵	۰/۳۴۶	۵/۴۸	۴/۵۱	۱۸/۴۹	۱/۲۶۱
۶	۰/۶۱۷	۴/۶۰	۳/۷۴	۱۵/۳۳	۱/۲۱۶
۷	۰/۲۹۵	۵/۵۸	۴/۶۵	۱۹/۰۸	۱/۲۶۶
۸	۰/۳۱۱	۵/۵۵	۴/۵۶	۱۸/۷۲	۱/۲۶۵
۹	۰/۷۱۵	۴/۰۹	۳/۳۷	۱۳/۸۲	۱/۱۹۰
۱۰	۰/۷۱۲	۴/۱۰	۳/۲۶	۱۳/۳۹	۱/۱۹۰
۱۱	۰/۳۴۶	۵/۴۸	۴/۵۰	۱۸/۴۴	۱/۲۶۱
۱۲	۰/۷۱۹	۴/۰۶	۳/۳۲	۱۳/۶۲	۱/۱۸۹

نتایج ارائه شده در جدول نشان می‌دهد که رابطه ۱۲ با ضریب همبستگی (*R*) ۰/۷۱۹، ریشه میانگین مربعات خطا (*RMSE*) ۴/۰۶، میانگین قدر مطلق خطا (*MAE*) ۳/۳۲، خطای نسبی (*RE*) ۱۳/۶۲ درصد و کارآیی مدل (*DT*) ۱/۱۸۹، بهترین مدل پیش‌بینی هدایت هیدرولیکی اشباع از میان روابط فوق می‌باشد. همچنین نمودار مقایسه مقادیر مشاهداتی نسبت به مقادیر برآوردشده بوسیله معادله ۱۲ در در شکل ۱ نشان داده است. نتایج این تحقیق نشان داد که از بین معادلات خطی یک پارامتری (روابط ۳، ۴ و ۵)، دقت معادله برآورد هدایت هیدرولیکی بر اساس پارامتر d_{10} (معادله ۳) نسبت به معادلات برآورد هدایت هیدرولیکی بر اساس پارامترهای d_{50} و d_{60} بیشتر است.

همچنین نتایج نشان داد که از بین معادلات خطی ۲ پارامتری (روابط ۹ تا ۱۱)، معادله ۹ که هدایت هیدورلیکی را بر اساس پارامترهای d_{10} و d_{50} (بدون d_{60}) برآورد می‌کند دارای دقت بیشتری نسبت به معادلات ۱۰ و ۱۱ بوده است و معادله برآورد هدایت هیدورلیکی بر اساس پارامترهای d50 و d60 (یعنی معادله ۱۱) بیشترین خطای برآورد را داشته است.



شکل ۱- مقایسه مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع اندازه‌گیری‌شده و برآوردشده بوسیله رابطه ۱۲

Figure 1. Comparison of saturated hydraulic conductivity of soil values measured and estimated by Equation 12

بحث و نتیجه‌گیری

اندازه‌گیری مستقیم هدایت هیدرولیکی خاک امری وقت‌گیری و پرهزینه بوده و گاهی اوقات به دلیل خطاهای آزمایشی و عدم یکنواختی خاک، نتایج به د ست آمده قابل اطمینان نمی‌با شند. از طرفی دیگر، این پارامتر می‌تواند با استفاده از پارامترهای زودیافت خاک برآورد شود. نتایج تحقیقات فریز و چری نشان داد که هدایت هیدرولیکی، با توزیع اندازه ذرات خاک رابطه دارد (۱۶) که با نتایج تحقیق حاضر قابل مقایسه است به‌طوری‌که نتایج آنالیز رگرسیون تک‌پارامتری نشان داد که با افزایش مقادیر d_{10}، d_{50} و d_{60} مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع خاک افزایش یافته است. نتایج این تحقیق نشان داد که معادله خطی ۳ پارامتری، هدایت هیدرولیکی را نسبت به معادلات یک پارامتری خطی و درجه ۲ و نیز دو پارامتری خطی، با دقت بیشتری برآورد کرده است.

در این پژوهش، اختلاف بین مقادیر هدایت هیدرولیکی برآورد شده با مقادیر اندازه‌گیری شده مشاهده شد که در دیگر پژوهش‌ها نیز گزارش شده است (۶، ۷، ۱۷، ۱۸ و ۱۹). در واقع مدل‌سازی، امروزه اصطلاح مدل برای همگان مفهومی آشناست و کاربرد آن در علوم و فنون مختلف بسیار متداول است. مدل، توصیف یا قیاسی است که جهت درک بهتر پدیده‌هایی که امکان دیدن آن‌ها وجود ندارد، استفاده می‌شود. برای داشتن یک مدل مناسب، باید مدل‌سازی انجام گیرد. از طرف دیگر رسیدن به یک مدل که دقیقاً مشابه با سیستم واقعی عمل کند، غیرممکن است. بنابراین بسته به اهداف مختلف، مدل‌های زیادی در دنیا معرفی شده و کاربرد دارند. مدل شکل ساده شده‌ی یک سیستم طبیعی است. هدف از مدل، مشخص کردن عملکرد و رفتار یک پدیده حقیقی تحت شرایط معین می‌باشد. مدل، یک پدیده را در ساده‌ترین حالت ممکن بررسی نموده و در صورت موفق بودن می‌توان آن را به واقعیت‌های طبیعی که غالباً پیچیده می‌باشند، تعمیم داد. یک مدل شامل واکنش‌های به هم پیوسته‌ای بوده که در حقیقت مکانیسم‌های

شناخته شده‌ای هستند که در سیستم رخ می‌دهند (۱۳). در واقع مدل‌سازی هنری است متکی بر قضاوت در مورد نحوه‌ی خلاصه‌سازی مولفه‌هایی از دنیای واقعی که در تصمیم‌گیری اهمیت دارند و می‌توان با روش‌های کمی آنها را توصیف کرد. بنابراین مدل سازی نیازمند قضاوت در بیان این مولفه‌ها و روابط بین آنها به زبان ریاضی است. به بیان دیگر، تبدیل یک مساله تصمیم‌گیری به یک مدل ریاضی، مدل سازی نامیده می شود. بنابراین نمی‌توان انتظار داشت که یک مدل بدون خطا داده واقعی را براورد کند، بلکه با خطای قابل‌قبول و استفاده از ورودی‌های مناسب، می‌توان مدل‌های بهینه را پیدا کرد. برای بهبود مدل‌های پیشنهادی، نیاز به وارد کردن ورودی مختلف به مدل نیز می‌باشد. در پژوهش انجام شده توسط امیرعابدی و همکاران (۹) نیز کارآیی مدل‌های رگرسیونی در برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع خاک‌های منتخب از دشت اردبیل تاکید شده است و دیگر پژوهشگران در دنیا نیز بر کارآیی روش‌های رگرسیونی در پیش‌بینی مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع خاک صحه گذاشته‌اند (۲۰ و ۲۱).

در این تحقیق معادلات برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع با استفاده از پارامترهای d_{10}، d_{50} و d_{60} مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که مقادیر هدایت هیدرولیکی به خوبی قابل برآورد است. همچنین نتایج نشان داد که پارامتر d_{10} نسبت به پارامترهای d_{50} و d_{60} نقش مؤثرتری جهت برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع داشته است و پارامتر مؤثر جهت مقایسه هدایت هیدورلیکی اشباع نامیده می‌شود. نتایج این تحقیق نشان داد که معادله خطی ۳ پارامتری، هدایت هیدرولیکی را نسبت به معادلات یک پارامتری خطی و درجه ۲ و نیز دو پارامتری خطی، با دقت بیشتری برآورد کرده است. در پایان پیشنهاد می‌شود در اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک نوع رس‌ها تعیین و نقش نوع رس‌ها در تغییرات هدایت هیدرولیکی بررسی شود. هم‌چنین، در این پژوهش ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع با روش بارافتان تعیین شده است ولی پیشنهاد می‌شود برای نتیجه بهتر ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع با استفاده از چندین روش صحرایی و آزمایشگاهی تعیین شود. هم‌چنین استفاده از روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی (مانند شبکه عصبی) و مقایسه آن با روش‌های رگرسیونی می‌تواند در تکمیل پاز اطلاعاتی درباره برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع خاک کمک شایانی بنماید.

References

1. Farahnak, M., Mitsuyasu, K., Jeong, S., Otsuki, K., Chiwa, M., Sadeghi, S. M. M., & Kume, A. (2019). Soil hydraulic conductivity differences between upslope and downslope of two coniferous trees on a hillslope. Journal of Forest Research, 24(3), 143-152.
2. Farahnak, M., Mitsuyasu, K., Hishi, T., Katayama, A., Chiwa, M., Jeong, S., Otsuki, K., Sadeghi, S.M.M., and Kume, A. 2020. Relationship between very fine root distribution and soil water content in pre-and post-harvest areas of two coniferous tree species. Forests, 11(11): 1227.
3. Bagarello, V., Di Prima, S., & Iovino, M. (2017). Estimating saturated soil hydraulic conductivity by the near steady-state phase of a Beerkan infiltration test. Geoderma, 303, 70-77.
4. Radinja, M., Vidmar, I., Atanasova, N., Mikoš, M., & Šraj, M. (2019). Determination of spatial and temporal variability of soil hydraulic conductivity for urban runoff modelling. Water, 11(5), 941.
5. Ghanbarian, B., Hunt, A. G., Skaggs, T. H., & Jarvis, N. (2017). Upscaling soil saturated hydraulic conductivity from pore throat characteristics. Advances in Water Resources, 104, 105-113.
6. Vogeler, I., Carrick, S., Cichota, R., & Lilburne, L. (2019). Estimation of soil subsurface hydraulic conductivity based on inverse modelling and soil

morphology. Journal of Hydrology, 574, 373-382.

7. Jabro, J. D. (1992). Estimation of saturated hydraulic conductivity of soils from particle size distribution and bulk density data. Transactions of the ASAE, 35(2), 557-560.
8. Ahmadi, A., Palizvan Zand, P., & Palivan Zand, H. (2018). Estimation of saturated hydraulic conductivity by using gene expression programming and ridge regression (A case study in East Azerbaijan province). Iranian Journal of Soil and Water Research, 48(5), 1087-1095.
9. Amirabedi H., Asghari Sh., Mesri Gandoshmin T., Balandeh N., & Johari E. (2019). Estimating the soil saturated hydraulic conductivity in Ardabil Plain soils using artificial neural networks and regression models. Applied Soil Research. 7(4), 124-136.
10. Azamathulla, H. M., & Jarrett, R. D. (2013) Use of gene-expression programming to estimate Manning's roughness coefficient for high gradient streams. Water Resources Management, 27, 715-729.
11. Kozeny, J. (1927). Uber Kapillare Leitung Des Wassers in Boden. Sitzungsber Akad. Wiss.Wien Math.Naturwiss.Kl., Abt.2a, 136,271-306. (In German)
12. Sadeghi, S.M.M., Attarod, P., Van Stan II, J.T., Pypker, T.G., & Dunkerley, D. (2015). Efficiency of the reformulated Gash's interception model in semiarid afforestations. Agricultural and Forest Meteorology, Vol. 201, pp. 76-85.
13. Sadeghi, S. M. M., Van Stan II, J. T., Pypker, T. G., & Friesen, J. (2017). Canopy hydrometeorological dynamics across a chronosequence of a globally invasive species, *Ailanthus altissima* (Mill., tree of heaven). Agricultural and forest meteorology, 240, 10-17.
14. Nazari, M., Sadeghi, S. M. M., Van Stan II, J. T., & Chaichi, M. R. (2020a). Rainfall interception and redistribution by maize farmland in central Iran. Journal of Hydrology: Regional Studies, 27, 100656.
15. Nazari M., Chaichi M R., Kamel H., Grismer M., Sadeghi S M M. 2020b. Evaluation of estimation methods for monthly reference evapotranspiration in arid climates. Arid Ecosystems, **10**, 329-336.
16. Freeze, R.A., and Cherry, J. A. 1979. Ground water. Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
17. Wagner, B., Tarnawski, V. R., Hennings, V., Müller, U., Wessolek, G., and Plagge, R., 2001. Evaluation of pedo-transfer functions for unsaturated soil hydraulic conductivity using an independent data set. Geoderma, 102(3-4), 275-297.
18. Tian, Z., Kool, D., Ren, T., Horton, R., and Heitman, J. L., 2019. Approaches for estimating unsaturated soil hydraulic conductivities at various bulk densities with the extended Mualem-van Genuchten model. Journal of Hydrology, 572, 719-731.
19. Kashani, M. H., Ghorbani, M. A., Shahabi, M., Naganna, S. R., and Diop, L., 2020. Multiple AI model integration strategy—application to saturated hydraulic conductivity prediction from easily available soil properties. Soil and Tillage Research, 196, 104449.
20. Hassan Shah A., Lone M., Stephen I., & Anderson H. (1997). Regression model to predict hydraulic conductivity from simple soil physical and chemical properties. 7th ICID international drainage workshop. Malaysia.

21. Jabro J. A. (1992). Estimation of saturated hydraulic conductivity of soils from particle size distribution and bulk density data. Transactions of the ASAE, 35, 557-560.