



دانشگاه گیلان

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و دوم، شماره سوم، ۱۳۹۴
<http://jwsc.gau.ac.ir>

توسعه توابع انتقالی با استفاده از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی اعماق مختلف خاک جهت برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع

سمیه زهری شیل‌سر^۱ و * محمدعلی غلامی سفیدکوهی^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری،
آستادیار و عضو هیأت علمی گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
تاریخ دریافت: ۹۲/۹/۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۳/۱۳

چکیده

سابقه و هدف: یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های هیدرولیکی و بسیار تغییرپذیر خاک، هدایت هیدرولیکی اشباع (KS) است که دارای اهمیت بالایی در مسائل مرتبط با آب و خاک می‌باشد. روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری مستقیم هدایت هیدرولیکی به وجود آمده است که تمامی این روش‌ها غالباً پرهزینه، وقت‌گیر و دشوار می‌باشند در حالی که روش‌های غیرمستقیم معمولاً ارزان، سریع و قابل دسترس می‌باشند. یکی از روش‌های غیرمستقیم اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع، استفاده از توابع انتقالی^۱ (PTF) می‌باشد. این پژوهش با هدف تخمین هدایت هیدرولیکی اشباع (KS) با استفاده از توابع انتقالی رگرسیونی انجام شد.

مواد و روش‌ها: محدوده مورد مطالعه شامل ۲۸۰۰۰۰ هکتار از اراضی شمالی رودخانه‌های قره‌سو-گرگانرود می‌باشد. در این پژوهش جهت تخمین هدایت هیدرولیکی اشباع (KS) از اطلاعات مربوط به ۱۸۸ خاک‌رخ استفاده شد. پارامترهای زودیافت مورد استفاده شامل تعدادی از خصوصیات فیزیکی خاک منطقه (تا عمق ۶ متر)، خصوصیات شیمیایی خاک (تا عمق ۱/۵ متر) و برخی از خصوصیات شیمیایی آب موجود در چاهک‌ها بود. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر ترکیب پارامترهای زودیافت فیزیکی و شیمیایی برداشت شده از اعماق مختلف خاک در دقت مدل‌های برازش داده شده بود. به همین منظور، سه مدل با ورودی‌های متفاوت پیشنهاد شد. در ایجاد مدل اول از خصوصیات شیمیایی آب و خاک، در مدل دوم از پارامترهای فیزیکی خاک و در مدل سوم از ترکیب پارامترهای مربوط به دو مدل قبل استفاده شد.

یافته‌ها: یافته‌ها نشان داد که مدل سوم با مقدار R^2 ، R^2_{adj} و RMSE به ترتیب ۰/۶۱، ۰/۵۶ و ۰/۳۴ از دقت بیشتری برخوردار می‌باشد. همچنین مقدار ME برای سه مدل پیشنهادی به ترتیب ۰/۰۵، ۰/۰۲ و ۰/۰۶ محاسبه شد.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان می‌دهند که خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب منطقه (مدل پیشنهادی سوم) به صورت توأمان تأثیر بیشتری بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک دارد و ترکیب این پارامترها در اعماق مختلف باعث افزایش دقت در تخمین هدایت هیدرولیکی اشباع شد. نتایج آزمون صحت‌سنجی نشان داد که میانگین مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده KS در تمامی مدل‌ها، اختلاف معنی‌داری ندارند.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای زودیافت، روش چاهک، مدل رگرسیونی، استان گلستان

* مسئول مکاتبه: ma.gholami@sanru.ac.ir

مقدمه

آشنایی با خواص فیزیکی و هیدرولیکی خاک‌ها در تعیین قابلیت استفاده از آن برای انجام صحیح مدیریت کشاورزی بسیار مهم می‌باشد. از مهم‌ترین ویژگی‌های هیدرولیکی خاک، هدایت هیدرولیکی اشباع می‌باشد. هدایت هیدرولیکی یکی از ویژگی‌های بسیار تغییرپذیر خاک به‌شمار می‌آید. این ویژگی در مطالعات جریان آب و انتقال املاح در خاک و بسیاری از پژوهش‌ها و کاربری‌های خاک مانند کشاورزی و حفاظت محیط زیست به‌عنوان یک ویژگی کلیدی به‌شمار می‌رود (8). روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری مستقیم هدایت هیدرولیکی وجود دارد که از جمله آن‌ها می‌توان به روش‌های میدانی، روش‌های آزمایشگاهی و محاسبات از طریق فرمول‌های تجربی اشاره نمود (27). اما تمام این روش‌ها غالباً پرهزینه، وقت‌گیر و دشوار می‌باشد. همچنین از آنجایی که ویژگی‌های ذاتی خاک بسته به نوع خاک، دارای تغییرات مکانی و زمانی هستند، انتظار می‌رود که مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع در خاک‌های مختلف دارای تغییرپذیری متفاوتی باشد. این مسأله موجب شده تا پژوهشگران به استفاده از روش‌های غیرمستقیم مانند توابع انتقالی روی بیاورند. توابع انتقالی خاک را می‌توان توابع برآوردکننده ویژگی‌های دیرپافت خاک از ویژگی‌های زودپافت خاک نامید. در گذشته مفهوم تابع انتقالی با عناوینی چون "Surrogate"، "rule of Thumb"، "Pedofunction" (10, 11)، "transfer-function" (2) و اصطلاحات مشابه دیگری شناخته شده بود. اما سرانجام برای جلوگیری از ایجاد سردرگمی در استفاده از توابع انتقالی در فیزیک خاک و رشته‌های دیگر، اصطلاح "Pedotransfer Function" در سرتاسر جهان به رسمیت شناخته شد. گرچه اصطلاح تابع انتقالی

نخستین بار توسط یوهان بوما (1989) ارائه شد (1) اما نخستین تابع انتقالی برای تخمین هدایت هیدرولیکی اشباع توسط کلاپ و هورن‌برگر (1978) ایجاد شد (3). آن‌ها مقادیر متوسطی برای پارامترهای منحنی رطوبتی خاک و هدایت هیدرولیکی اشباع برای کلاس‌های مختلف بافت خاک به‌دست آوردند (17). روش‌های رگرسیونی (7, 6, 22, 24, 28, 29) یکی از ابزارهای پرکاربرد در برآزش و توسعه توابع انتقالی می‌باشند. مکنزی و جکیور (1997) دو روش رگرسیون چندگانه خطی و رگرسیون شاخه‌ای را برای برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع مورد آزمون قرار دادند (15). این پژوهشگران با استفاده از متغیرهای فراوانی نسبی ذرات خاک، جرم ویژه ظاهری و شاخص‌هایی دیگر، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک را برآورد کردند. نتیجه این پژوهش نشان داد که استفاده از رگرسیون شاخه‌ای در مقایسه با رگرسیون چندگانه خطی، تخمین بهتری از هدایت آبی اشباع خاک ارائه می‌دهد. وستن و همکاران (2001) از توابع انتقالی برای برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع در خاک‌های شنی، لومی و رسی استفاده کردند (31). آن‌ها برای توسعه مدل خود از ویژگی‌های خاک شامل جرم مخصوص ظاهری، درصد سیلت و میزان مواد آلی استفاده نمودند. در پژوهشی دیگر فرر جولیا و مونرال (2004) برای تخمین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در مناطق مدیترانه‌ای اسپانیا از دو نوع تابع انتقالی رگرسیونی استفاده نمودند که در یکی از آن‌ها از سه متغیر درصد شن و رس و درصد مواد آلی استفاده شده بود و در دیگری تنها از متغیر درصد شن استفاده شده بود (4). نتایج نشان داد که تابع سه‌متغیره نتایج بهتری در مقایسه با تابع یک‌متغیره ایجاد می‌نماید. مسکینی‌ویشکائی و همکاران (2011) به تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک‌های شالیزار اراضی گیلان

با معرفی هدایت هیدرولیکی اشباع خاک به عنوان پارامتر دیریافت، برای تخمین آن از ترکیب پارامترهای زودیافت فیزیکی و شیمیایی خاک استفاده شد. استفاده ترکیبی از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی مربوط به خاک منطقه، این امکان را فراهم کرد تا تخمین صحیح تر و دقیق تری از هدایت هیدرولیکی اشباع به دست آید.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه: محدوده مورد مطالعه به وسعت ۲۸۰۰۰۰ هکتار در شمال ایران و منطقه‌ای بین عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ درجه تا ۵۵ درجه و ۵ دقیقه قرار گرفته است. این منطقه از نظر تقسیمات کشوری به استان گلستان تعلق داشته و از شمال به رودخانه اترک و مرز ترکمنستان، از جنوب به رودخانه‌های قره‌سو و گرگانرود، از شرق به شهرستان گنبد کاووس و از غرب به دریای خزر محدود می‌شود. در این پژوهش برای تخمین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک با استفاده از مدل‌های رگرسیونی، از اطلاعات مربوط به ۱۸۸ پروفیل خاک که توسط شرکت مه‌اب قدس اندازه‌گیری شده بود، استفاده شد (12). شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط داده‌برداری شده را نشان می‌دهد.

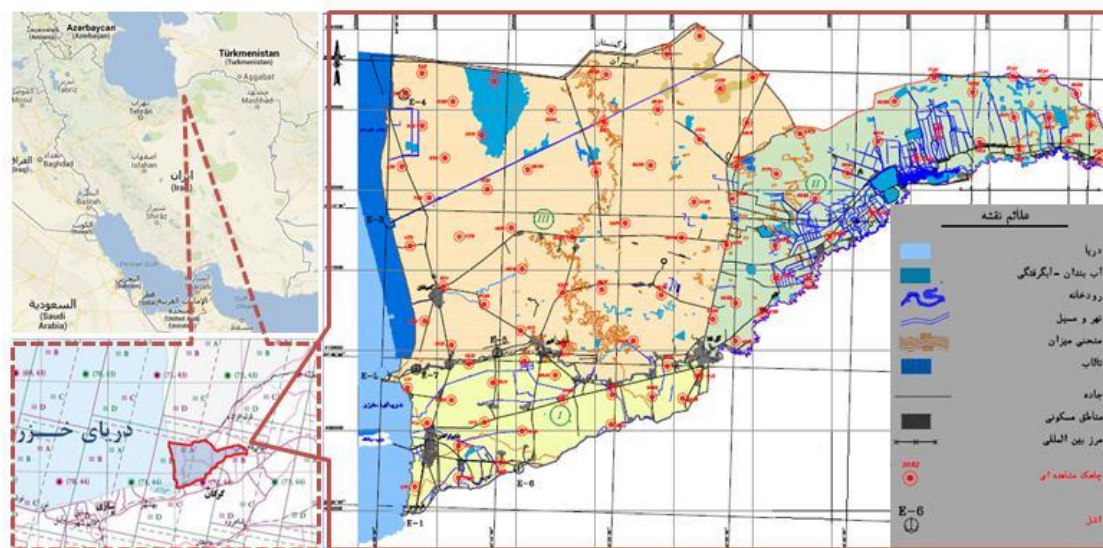
پارامترهای زودیافت فیزیکی اندازه‌گیری شده در این پژوهش شامل توزیع اندازه ذرات خاک (درصد شن، سیلت و رس) بود که با فواصل عمقی ۰/۵ متر از یکدیگر و تا عمق ۶ متر به دست آمد. جدول ۱ خلاصه‌ای از اطلاعات مربوط به پارامترهای فیزیکی خاک را نشان می‌دهد.

با استفاده از تولید توابع انتقالی با روش رگرسیون خطی چندگانه، پرداختند (16). نتایج نشان داد که مدل رگرسیونی با متغیرهای ورودی میانگین و انحراف معیار هندسی قطر ذرات، درصد رطوبت خاک در نقطه ظرفیت مزرعه و جرم مخصوص ظاهری می‌تواند هدایت هیدرولیکی اشباع را با دقت خوبی برآورد نماید. در برخی از پژوهش‌های صورت گرفته، پارامترهای شیمیایی خاک نیز به عنوان عوامل مؤثر در تخمین هدایت هیدرولیکی خاک در نظر گرفته شده است. مؤذن‌زاده و همکاران (2009) از هدایت الکتریکی عصاره اشباع، واکنش اسیدیته خاک، مقدار کربنات کلسیم و مواد آلی و جلالی و همایی (2011) از هدایت الکتریکی عصاره اشباع، مقدار مواد خنثی‌شونده و درصد کربن آلی، به عنوان پارامترهای شیمیایی زودیافت همراه با سایر پارامترهای فیزیکی خاک استفاده کرده‌اند (9, 19). مک‌برانتی و همکاران (2002) اشاره کردند که گرچه امروزه مقالات بسیاری منتشر می‌شوند که توابع انتقالی جدیدی را برای پیش‌بینی خصوصیات هیدرولیکی خاک‌ها ارائه می‌دهند اما توابع انتقالی ارائه شده به‌جز در مورد توابع رزتا که مربوط به ایالت متحده آمریکا می‌باشند (25) و توابع هایپرس^۱ که مربوط به اروپا می‌باشند (30)؛ کم‌تر توسط دیگران مورد استفاده قرار گرفته‌اند (14). شاید یکی از دلایل ناکارآمدی توابع ایجاد شده این باشد که اغلب توابع ایجاد شده، فاقد اطلاعات کافی برای واسنجی مدل می‌باشند. همچنین در برخی موارد نیز واحد متغیرهای مورد استفاده در ایجاد تابع انتقالی به خوبی نشان داده نشده است (13). ایجاد تابع انتقالی که بتواند هدایت هیدرولیکی اشباع را تا حدودی در عمق نصب زهکش زیرزمینی تخمین بزند، به نظر مفید و کاربردی می‌رسد. در این پژوهش

جدول ۱ - خلاصه‌ای از اطلاعات مربوط به پارامترهای فیزیکی خاک.

Table 1. A summary of information about the physical properties of soil.

درصد شن در اعماق مختلف خاک (سانتی‌متر)												
The percentage of sand at different depths (cm)												
	550-600	500-550	450-500	400-450	350-400	300-350	250-300	200-250	150-200	100-150	50-100	0-50
حداقل min	5	5	5	5	5	5	5	5	10	5	5	5
حداکثر max	80	80	80	80	85	80	80	80	85	85	80	80
میانگین Average	31.41	32.28	28.30	30.31	30.66	30.29	30.55	30.87	35.55	33.96	31.10	25.05
درصد سیلت در اعماق مختلف خاک (سانتی‌متر)												
The percentage of silt at different depths (cm)												
	550-600	500-550	450-500	400-450	350-400	300-350	250-300	200-250	150-200	100-150	50-100	0-50
حداقل min	10	10	15	15	10	15	15	10	10	10	15	10
حداکثر max	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65
میانگین Average	45.27	44.59	46.17	44.88	44.31	44.89	45.10	45.20	39.99	41.40	42.83	43.14
درصد رس در اعماق مختلف خاک (سانتی‌متر)												
The percentage of clay at different depths (cm)												
	550-600	500-550	450-500	400-450	350-400	300-350	250-300	200-250	150-200	100-150	50-100	0-50
حداقل min	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
حداکثر max	45	45	45	45	45	45	45	45	40	45	45	45
میانگین Average	23.30	23.11	25.48	24.78	24.97	24.79	24.28	23.87	24.38	24.52	25.94	31.65



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط داده برداری.

Figure 1. Location of the study area and surveying data points.

پارامترهای میانگین هندسی قطر ذرات (d_g) و انحراف استاندارد هندسی قطر ذرات خاک (σ_g) نیز از روی درصدهای شن، سیلت و رس و با استفاده از روابط زیر محاسبه شد (26).

پارامترهای میانگین هندسی قطر ذرات (d_g) و انحراف استاندارد هندسی قطر ذرات خاک (σ_g) نیز از روی درصدهای شن، سیلت و رس و با استفاده از روابط زیر محاسبه شد (26).

$$d_g = \exp a \quad (1)$$

$$\sigma_g = \exp b \quad (2)$$

$$a = 0.01 \sum_{i=1}^n f_i \ln(M_i) \quad (3)$$

$$b^2 = 0.01 \sum_{i=1}^n f_i \ln^2(M_i) - a^2 \quad (4)$$

۲ آورده شده است. پارامترهای زود یافت شیمیایی نمونه‌های آب که از چاهک‌های حفر شده برداشت شد، نیز شامل مقدار اسیدیته (pH)، هدایت الکتریکی (EC)، سدیم (Na^+)، پتاسیم (K^+)، کلسیم (Ca^{2+})، منیزیم (Mg^{2+})، کلراید (Cl^-)، بی‌کربنات (HCO_3^-) و سولفات (SO_4^{2-}) نمونه‌های آب بود که به صورت مختصر در جدول ۳ آمده است.

که در آن‌ها، f_i : درصد جرمی ذرات خاک، n : تعداد گروه‌های ذرات خاک و M_i : میانگین قطر ذرات خاک.

برای تعیین خصوصیات شیمیایی خاک در هر ایستگاه، نمونه‌های خاک از اعماق ۰-۵۰، ۵۰-۱۰۰ و ۱۰۰-۱۵۰ سانتی‌متر برداشت شد و مقدار پارامترهای اسیدیته (pH)، هدایت الکتریکی (EC)،

جدول ۲ - خلاصه‌ای از اطلاعات مربوط به پارامترهای شیمیایی خاک.

		عمق مختلف خاک (سانتی‌متر)									
		different depths of soil (cm)									
		0-50	50-100	100-150	0-50						
درصد اشباع					هدایت الکتریکی						
SP					EC						
25.33	25.3	2	0.03	3.36	7.2	7.4	0.1	2.19	2.09	حد اقل min	
53.39	56.5	26	34	25.5	8.5	8.5	95.91	94.29	102	حد اکثر max	
38.05	39.1	7.78	7.96	8.46	7.96	7.95	38.93	36.78	33.9	میانگین Average	
		عمق مختلف خاک (سانتی‌متر)									
		different depths of soil (cm)									
		0-50	50-100	100-150	0-50						
کلسیم					کاربید						
Ca ⁺⁺					Cl ⁻						
5	3	33.8	22.1	29.1	13	8.9	4.6	5	11	11	حد اقل min
177	273	2922.4	1322.9	1581	194.3	178.6	210	2820	1520	1580	حد اکثر max
46.25	48.2	595.27	514.46	472.2	86.33	81.88	79.2	498.91	421.8	387	میانگین Average
		عمق مختلف خاک (سانتی‌متر)									
		different depths of soil (cm)									
		0-50	50-100	100-150	0-50						
کربن آلی					سدیم						
OC					Na ⁺						
8	0.14	2.99	16.74	22.3	5.8	19.9	7.2	7.25	9	4.5	حد اقل min
232	2.09	1395.11	1353.8	1576	1474.6	968.4	975	624	456	402	حد اکثر max
48.12	0.67	495.09	461.77	423.8	358.46	316.07	298	105.06	95.37	85.1	میانگین Average

جدول ۳- خلاصه‌ای از اطلاعات مربوط به پارامترهای شیمیایی آب و پارامتر وابسته مورد ارزیابی.

Table 3. A summary of information about chemical properties of water and dependent parameters.

هدایت هیدرولیکی	هدایت الکتریکی	سدیم	پتاسیم	منیزیم	کلسیم	سولفات	کلراید	بی‌کربنات	اسیدیته	
Ks	EC	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	pH	
متر بر روز (m/day)	میکروموس بر سانتی‌متر (µm/cm)	میلی‌گرم بر لیتر (mg/lit)								
0.12	2081.9	2.8	83.69	74	136	455	426	74.1	6.6	حداقل min
10.11	152275.8	594	66405	7260	9720	32750	97128	1003.88	7.89	حداکثر max
1.94	67376.14	84	24388	2736	1615	10637	35066	390.14	7.2	میانگین Average

نمی‌شود (23). یکی از راه‌های تشخیص چند هم‌خطی در تحلیل‌های چندمتغیره، همبستگی بالای ۰/۸ بین دو متغیر مستقل است (20). در این پژوهش برای بررسی اولیه وجود هم‌راستایی، از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. سپس جهت بررسی نهایی، از عامل تورم واریانس (VIF) استفاده شد. متغیرهایی که VIF آن‌ها کم‌تر از ۱۰ باشد مشکل هم‌راستایی نخواهند داشت (20).

در این پژوهش سه مدل با ورودی‌های متفاوت تعریف شد که در برآورد مدل اول از خصوصیات شیمیایی آب و خاک منطقه، در ایجاد مدل دوم، از پارامترهای فیزیکی خاک منطقه و در برآزش مدل سوم، از ترکیب پارامترهای مربوط به دو مدل قبل یعنی پارامترهای شیمیایی آب و خاک و پارامترهای فیزیکی خاک، در اعماق مختلف به‌عنوان پارامترهای زودیافت ورودی استفاده شد. مدل‌های رگرسیونی با استفاده از نرم‌افزار SAS و به روش گام به گام^۳ به‌دست آمدند و متغیرهای مستقلی که اثر آن‌ها در سطح آماری ۰.۰۵٪ معنی‌دار نبود، با استفاده از روش

از فرض‌های اولیه معادلات رگرسیونی این است که متغیرها باید از توزیع نرمال پیروی کرده و مستقل از یکدیگر باشند؛ بنابراین ابتدا داده‌ها به دو گروه تقسیم شدند؛ به طوری که تقریباً ۸۰٪ از داده‌ها (۱۵۰ نمونه) برای آموزش و ۲۰٪ دیگر داده‌ها (۳۸ نمونه) برای اعتبارسنجی اختصاص داده شد (23). سپس جهت بررسی نرمال بودن توزیع پارامترهای مستقل و وابسته، از آزمون کلموگراف-اسمیرنوف^۱ و نرم‌افزار SPSS استفاده شد و در مواردی که داده‌ها دارای توزیع نرمال نبودند؛ توزیع آن‌ها با استفاده از تبدیل‌های مناسب (لگاریتم، جذر و معکوس)، نرمال شد. از فرض‌های دیگر در استفاده از معادلات رگرسیونی بررسی عدم وجود هم‌راستایی چندگانه^۲ می‌باشد. اگر چه وجود هم‌راستایی، تجزیه رگرسیون را غیرمعتبر نمی‌سازد (23)، لیکن برای جلوگیری از مشکلاتی که ممکن است در زمینه برآورد، محاسبه و تفسیر به همراه داشته باشد، تا حد ممکن از متغیرهایی که هم‌راستایی چندگانه دارند در معادلات استفاده

1- Kolmogorov-Smirnov

2- Multicollinearity

3- Stepwise

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i(m) - y_i(p))^2}{\sum_{i=1}^n (y_i(m) - \bar{y}_i(m))^2} \quad (7)$$

$$R_{adj}^2 = 1 - (1 - R^2) \left[\frac{n-1}{n-k-1} \right] \quad (8)$$

که در آن‌ها، $y_i(m)$: مقدار اندازه‌گیری شده پارامتر وابسته، $y_i(p)$: مقدار برآورد شده پارامتر وابسته توسط مدل رگرسیونی، $\bar{y}_i(m)$: میانگین متغیر وابسته، n : تعداد داده‌های مربوط به پارامتر وابسته و k : تعداد متغیرهای مستقل مورد استفاده در مدل.

نتایج و بحث

جدول ۴ خلاصه آماری داده‌های مربوط به متغیرهای مستقل در مرحله آموزش و نتایج آزمون کلموگراف-اسمیرنوف را نشان می‌دهد. به دلیل زیاد بودن تعداد پارامترهای مستقل، ضریب کلموگراف-اسمیرنوف تنها برای آن دسته از متغیرهایی آورده شده است که تأثیر معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد بر هدایت هیدرولیکی اشباع داشته‌اند. از آنجایی که این ضریب برای تمامی پارامترهای معرفی شده در جدول ۴ کم‌تر از ۰/۵ می‌باشد؛ در نتیجه تمامی این متغیرها، پس از انجام تبدیل‌های مناسب، با احتمال ۹۵ درصد از توزیع نرمال پیروی کرده‌اند.

مقدار ضریب همبستگی پیرسون برای پارامترهای مورد استفاده در برازش مدل‌ها، پس از نرمال‌سازی توزیع با استفاده از تبدیل‌های مناسب، در جدول ۵ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که هیچ‌یک از پارامترها دارای همبستگی بالاتر از ۰/۸ نمی‌باشند و در نتیجه میان پارامترهایی که تأثیر معنی‌داری بر هدایت هیدرولیکی اشباع داشته‌اند؛ مشکل هم‌راستایی وجود ندارد.

رگرسیونی گام به گام، از مدل حذف شدند. به منظور بررسی استقلال خطاها از یکدیگر از آماره دوربین-واتسون^۱ (DW) استفاده می‌شود. مقدار این آماره همواره بین ۰ تا ۴ قرار دارد. چنانچه مقدار آماره DW در فاصله ۱/۵ تا ۲/۵ قرار داشته باشد؛ فرض عدم وجود همبستگی بین خطاها رد نشده و می‌توان از رگرسیون استفاده کرد (18). همچنین جهت بررسی صحت توابع رگرسیونی ایجاد شده؛ فرض برابری میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده با میانگین مقادیر برآورد شده با استفاده از آزمون آماری t زوجی مورد بررسی واقع شد و برای این منظور از نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

مک‌برانتی و همکاران (2011) به‌عنوان یک راهنمای کلی در مورد پژوهش‌هایی که با استفاده از توابع انتقالی صورت می‌گیرند؛ اعلام نمودند که بهتر است به منظور ارزیابی دقت مدل‌ها از محک‌های آماری ضریب تعیین (R^2) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و برای نشان دادن کم‌برآورد یا بیش برآورد تابع از ضریب متوسط خطا (ME) استفاده شود (13). بنابراین در این پژوهش ضمن استفاده از معیارهای معرفی شده؛ به دلیل تفاوت در تعداد پارامترهای ورودی، از معیار ضریب تعیین اصلاح شده (R_{adj}^2) نیز به منظور مقایسه عملکرد توابع در پیش‌بینی هدایت هیدرولیکی اشباع خاک استفاده شد. مقادیر مربوط به معیارهای RMSE، R^2 ، R_{adj}^2 و ME برای داده‌های مورد استفاده در مرحله آموزش و آزمون، با استفاده از رابطه‌های ۵ تا ۸ محاسبه شدند (21).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i(m) - y_i(p))^2}{n}} \quad (5)$$

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i(p) - y_i(m))}{n} \quad (6)$$

1- Durbin-Watson statistic

جدول ۴- مشخصات آماری داده‌های مربوط به متغیرهای مستقل و مقدار آماره کلموگراف اسمیرنوف در مرحله آموزش.

Table 4. Statistical specifications of independent parameters and amount of Kolmogorov-Smirnov factor in the training phase.

پارامتر ورودی Input parameter	$\sqrt{\text{HCO}_3^-}$ (w)	$\log\text{Ca}^{2+}$ (w)	pH (s)(50-100)	pH (s)(100-150)	SP (s)(50-100)	SO_4^{2+} (s)(0-50)	og (0-50)	1/g (150-200)	1/dg (250-300)	1/dg (450-500)	dg (550-600)	واحد Unit
تعداد مشاهدات Number of data	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	تعداد مشاهدات Number of data
حداقل min	8.608	2.134	7.4	7.2	25.33	4.6	29.39	1.992	2.394	2.394	0.007	حداقل min
حداکثر Max	31.683	3.789	8.5	8.5	53.39	188.5	331.48	83.309	138.668	138.668	0.418	حداکثر Max
میانگین Average	18.999	3.091	7.957	7.962	37.662	78.25	144.57	36.963	49.155	49.155	0.094	میانگین Average
انحراف معیار standard deviation	5.651	0.296	0.223	0.235	4.446	33.19	66.47	31.245	43.979	43.979	0.133	انحراف معیار standard deviation
کلموگراف- اسمیرنوف Kolmogorov-Smirnov	0.411	0.05	0.455	0.151	0.501	0.098	0.067	0.092	0.072	0.072	0.112	کلموگراف- اسمیرنوف Kolmogorov-Smirnov

جدول ۵- مقدار ضریب همبستگی پیرسون بین پارامترهای مورد استفاده در برازش مدل‌ها.

Table 5. Pearson correlation coefficient between the parameters that used in the fitting the models.

پارامتر ورودی Input	$\sqrt{\text{HCO}_3^-}$ (w)	$\log\text{Ca}^{2+}$ (w)	pH (s)(100-150)	pH (s)(100-150)	SP (s)(50-100)	SO_4^{2+} (s)(0-50)	og (0-50)	1/dg (150-200)	1/dg (250-300)	1/dg (450-500)	dg (550-600)
$\sqrt{\text{HCO}_3^-}$ (w)	1	-0.75	0.34	0.38	-0.04	0.36	0	0.027	0.02	0.01	-0.09
$\log\text{Ca}^{2+}$ (w)	-0.75	1	-0.29	-0.38	0.28	-0.16	-0.1	0	-0.07	-0.05	0.2
pH (50-100)(s)	0.34	-0.29	1	0.74	-0.12	0.62	-0.1	-0.08	-0.15	-0.14	0.12
pH (100-150)(s)	0.38	-0.38	0.74	1	-0.16	0.45	-0.1	-0.14	-0.2	-0.13	0.22
SP (50-100)(s)	-0.04	0.28	-0.12	-0.16	1	0.07	0.03	-0.06	0.09	-0.06	0.11
SO_4^{2+} (0-50)(s)	0.36	-0.16	0.62	0.45	0.07	1	0	0.03	-0.19	-0.1	0.13
og (0-50)	-0.04	-0.05	-0.13	-0.09	0.03	-0.04	1	0.19	0.11	0.02	-0.19
1/dg (150-200)	0.027	0	-0.08	-0.14	-0.06	0.03	0.19	1	0.2	0.08	-0.32
1/dg (250-300)	0.02	-0.07	-0.15	-0.2	0.09	-0.19	0.11	0.2	1	0.34	-0.52
1/dg (450-500)	0.01	-0.05	-0.14	-0.13	-0.06	-0.1	0.02	0.08	0.34	1	-0.52
dg (550-600)	-0.09	0.2	0.12	0.22	0.11	0.13	-0.1	-0.19	-0.32	-0.52	1

مستقل می‌باشد؛ نسبت به دو مدل اول و دوم، دارای دقت بیش‌تری در تخمین هدایت هیدرولیکی اشباع می‌باشد. همچنین مقدار آماره DW در مدل اول و دوم کم‌تر از ۲ بوده و همبستگی پیاپی مثبت را نشان می‌دهد. اما در مدل سوم مقدار DW بیش‌تر از ۲ بوده و همبستگی پیاپی منفی را در بین باقی‌مانده‌ها نشان می‌دهد. مقدار آماره DW برای هر سه مدل برآورد شده در فاصله ۱/۵ تا ۲/۵ قرار دارد. بنابراین فرض عدم وجود همبستگی بین خطاها رد نمی‌شود و می‌توان از مدل‌های رگرسیونی ایجاد شده استفاده نمود.

جدول ۷ مشخصات آماری داده‌های مربوط به متغیر وابسته و محک‌های آماری مربوط به مدل‌های ایجاد شده در مرحله آزمون را نشان می‌دهد. همان‌طوری‌که مشاهده می‌شود، مدل پیشنهادی سوم دارای دقت بیش‌تری نسبت به دو مدل دیگر است. با توجه به ارتباط بین ضریب تعیین و ضریب همبستگی، می‌توان گفت که مدل سوم، ۷۸ درصد تغییرات log Ks را ناشی از تغییرات پارامترهای شیمیائی آب و خاک و پارامترهای فیزیکی خاک در اعماق مختلف دانسته و ۲۲ درصد مابقی تغییرات را متأثر عوامل دیگر بیان می‌دارد. این یافته با نتایج فرر جولیا و مونرال (2004) مطابقت دارد (4). همچنین مدل اول و دوم به ترتیب ۶۴ و ۶۴/۸ درصد تغییرات log Ks را ناشی از تغییرات خصوصیات شیمیائی آب و خاک و پارامترهای فیزیکی خاک می‌داند. مقایسه این دو مدل اخیر نشان می‌دهد که تأثیر پارامترهای فیزیکی خاک بر هدایت هیدرولیکی اشباع بیش‌تر از پارامترهای شیمیائی می‌باشد. این یافته با نتایج قربانی دشتکی و همکاران، (2011) مطابقت دارد (5). با توجه به مقدار مثبت محک آماری میانگین خطا می‌توان گفت که تمامی مدل‌ها تمایل اندکی به بیش‌برآورد مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع در مقایسه با مقدار اندازه‌گیری شده این پارامتر دارند.

در هنگام انتخاب ورودی‌های هر یک از مدل‌ها سه‌گانه گفته شده، تمامی حالت‌های ممکن که در آن پارامترهای ورودی با هم همبستگی کم‌تر از ۰/۸ داشتند، بررسی شد و در نهایت مدل‌هایی انتخاب شدند که ضمن داشتن دقت کافی، تمامی متغیرهای مورد استفاده در آن‌ها، تأثیر معنی‌داری (در سطح ۰/۰۵) بر هدایت هیدرولیکی اشباع داشت. این مدل‌های پیشنهادی عبارتند از:

مدل اول

$$\log Ks = -0.47 - 0.01\sqrt{HCO_3^-}_w + 0.02SP_{(50-100)s} + 0.003SO_4^{2+}_{(0-50)s}$$

مدل دوم

$$\log Ks = 0.02 + 0.001\delta g_{(0-50)} - 0.002 \frac{1}{dg_{(150-200)}} + 0.002 \frac{1}{dg_{(250-300)}} - 0.002 \frac{1}{dg_{(450-500)}}$$

مدل سوم

$$\log Ks = 0.58 + 0.25 \log Ca^{2+}_w - 0.62 pH_{(50-100)s} + 0.42 pH_{(100-150)s} + 0.004 SO_4^{2+}_{(0-50)s} + 0.001\delta g_{(0-50)} - 0.002 \frac{1}{dg_{(150-200)}} + 0.002 \frac{1}{dg_{(250-300)}} - 0.002 \frac{1}{dg_{(450-500)}}$$

در این مدل‌ها برای نشان دادن ویژگی‌های مربوط به آب و خاک منطقه، به ترتیب از زیروندهای W و S استفاده شد و اعداد به‌کار رفته در داخل پرانتزها بیانگر عمق مربوط به داده‌برداری بر حسب سانتی‌متر می‌باشد.

جدول ۶ مشخصات آماری داده‌های مربوط به متغیر وابسته و محک‌های آماری مربوط به مدل‌های ایجاد شده در مرحله آموزش را نشان می‌دهد. نتایج مرحله آزمایش نشان داد که مدل سوم که دارای ۸ متغیر

جدول ۶- مشخصات آماری داده‌های مربوط به متغیر وابسته و محک‌های آماری مربوط به مدل‌ها در مرحله آموزش.

Table 6. Statistical Specifications related to the dependent parameter and statistical indicators related to models in the training phase.

مدل سوم	مدل دوم	مدل اول	
Third model	Second model	First model	
log Ks	log Ks	log Ks	متغیر پیش‌بینی شده Predicted parameter
150	150	150	تعداد مشاهدات Number of data
8	5	3	تعداد متغیرهای مستقل Independent parameters No.
2.063	1.989	1.821	آماره دوربین واتسون DW
0.52	0.42	0.38	ضریب تعیین R^2
0.47	0.39	0.36	ضریب تعیین اصلاح شده R^2_{adj}
0.37	0.38	0.39	ریشه میانگین مربعات خطا RMSE

جدول ۷- مشخصات آماری داده‌های مربوط به متغیر وابسته و محک‌های آماری مربوط به مدل‌های ایجاد شده در مرحله آزمون.

Table 7. Statistical Specifications related to the dependent parameter and statistical indicators related to models in the testing phase.

مدل سوم	مدل دوم	مدل اول	
Third model	Second model	First model	
log Ks	log Ks	log Ks	متغیر پیش‌بینی شده Predicted parameter
38	38	38	تعداد مشاهدات number of data
0.61	0.42	0.41	ضریب تعیین R^2
0.56	0.37	0.36	ضریب تعیین اصلاح شده R^2_{adj}
0.34	0.41	0.38	ریشه میانگین مربعات خطا RMSE
0.06	0.025	0.05	متوسط خطا ME

مدل‌ها از ۰/۰۵ بزرگ‌تر می‌باشد که این موضوع برابری میانگین مقادیر پیش‌بینی شده هدایت هیدرولیکی اشباع با مقادیر اندازه‌گیری شده را تأیید می‌نماید.

جدول ۸ نتایج آزمون t زوجی با سطح اطمینان ۹۵٪ جهت مقایسه میانگین مقادیر پیش‌بینی شده هدایت هیدرولیکی اشباع با مقادیر اندازه‌گیری شده آن را نمایش می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود؛ مقدار معیار تصمیم (Sig) در تمامی

جدول ۸- نتایج آزمون t با سطح اطمینان ۹۵٪ جهت مقایسه میانگین مقادیر پیش‌بینی شده با مقادیر اندازه‌گیری شده.

Table 8. T-test at 95% for comparison, the mean of predicted values and measured values.

معیار تصمیم	آماره t	بیش‌ترین اختلاف میانگین	کم‌ترین اختلاف میانگین	
Sig. (2-tailed)	t factor	Max difference	min difference	
0.419	-0.817	0.075	-0.176	مدل اول First model
0.716	-0.366	0.112	-0.161	مدل دوم Second model
0.26	-1.144	0.062	-0.223	مدل سوم Third model

متغیر کوچک‌تر باشد؛ آن متغیر تأثیر بیش‌تری در برآورد مدل خواهد داشت. در نتیجه با توجه به مقادیر موجود در جدول ۹ متغیر سولفات خاک که مربوط به عمق ۰-۵۰ سانتی‌متری خاک می‌باشد؛ در برآزش مدل‌های پیشنهادی یک و سه مؤثرترین ویژگی می‌باشد و متغیر انحراف معیار هندسی قطر ذرات خاک در عمق ۰-۵۰ سانتی‌متری خاک، مؤثرترین پارامتر در برآزش مدل دوم محسوب می‌شود.

جدول ۹ مقدار عامل تورم واریانس و سطح معنی‌داری پارامترهای مستقل سه مدل پیشنهادی را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که در تمامی مدل‌های ایجاد شده؛ متغیرها مشکل هم‌راستایی ندارند. همچنین یافته‌ها نشان می‌دهد که همه پارامترهای استفاده شده در ایجاد مدل‌ها، معنی‌دار می‌باشند. با توجه به سطح معنی‌دار بودن یک پارامتر ($Pr > |t|$) در تخمین هدایت هیدرولیکی اشباع می‌توان به تأثیر آن متغیر در برآزش مدل پی برد. در واقع هرچه مقدار این پارامتر برای یک

جدول ۹- مقدار فاکتور تورم واریانس و سطح معنی‌داری پارامترهای مستقل برای سه مدل پیشنهادی.

Table 9. T-variance inflation factor and the significant level of independent parameters for the three proposed models.

Pr > t	t Value	فاکتور تورم واریانس		متغیر مستقل	
		VIF	Independent parameter		
0.05	-1.63	1.157	$\sqrt{\text{HCO}_3^-}$ (w)	مدل اول First model	
0.031	2.18	1.011	SP _{(50-100)(s)}		
0.016	2.45	1.162	SO ₄ ²⁺ _{(0-50)(s)}		
0.036	2.11	1.055	σg ₍₀₋₅₀₎	مدل دوم Second model	
0.049	-1.82	1.09	1/dg ₍₁₅₀₋₂₀₀₎		
0.042	2.05	1.199	1/dg ₍₂₅₀₋₃₀₀₎		
0.043	-2.04	1.447	1/dg ₍₄₅₀₋₅₀₀₎		
0.05	1.67	1.459	dg ₍₅₅₀₋₆₀₀₎		
0.027	2.24	1.222	logCa ²⁺ _(w)	مدل سوم Third model	
0.008	-2.68	2.899	PH _{(50-100)(s)}		
0.038	2.09	2.451	PH _{(100-150)(s)}		
0.0008	3.44	1.691	SO ₄ ²⁺ _{(0-50)(s)}		
0.05	1.95	1.067	σg ₍₀₋₅₀₎		
0.021	-2.34	1.102	1/dg ₍₁₅₀₋₂₀₀₎		
0.006	2.8	1.249	1/dg ₍₂₅₀₋₃₀₀₎		
0.0015	-3.25	1.1467	1/dg ₍₄₅₀₋₅₀₀₎		

نتیجه‌گیری

پی‌ریزی توابع مورد نظر مورد آزمون قرار گرفت. نتایج نشان داد که ویژگی‌های لایه‌های زیرسطحی خاک، تأثیر معنی‌داری در تخمین هدایت آبی اشباع داشته است و وارد کردن ویژگی‌های این لایه، باعث بهبود کارایی توابع پی‌ریزی شده؛ گشته است.

هدایت هیدرولیکی اشباع دارای تغییرات شدید مکانی می‌باشد و تعمیم مقدار به‌دست آمده از یک چاهک به یک سطح وسیع به روش درون‌یابی، باعث بروز خطای زیادی می‌شود. از این‌رو استفاده از توابع انتقالی به‌دست آمده، برای پیش‌بینی هدایت هیدرولیکی اشباع یک سطح وسیع، مناسب‌تر از اندازه‌گیری مستقیم این پارامتر در یک نقطه و تعمیم آن به یک سطح وسیع خواهد بود. همچنین نتیجه‌های به‌دست آمده در این مطالعه تنها برای منطقه مورد مطالعه و دیگر مناطق مشابه آن هم پس از ارزیابی اعتبار توابع با داده‌های اندازه‌گیری شده از منطقه مورد نظر، قابل استفاده است.

نتایج نشان می‌دهند که خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب منطقه (مدل پیشنهادی سوم) به‌صورت توأمان تأثیر بیش‌تری بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک دارد و ترکیب این پارامترها در اعماق مختلف باعث افزایش دقت در تخمین هدایت هیدرولیکی اشباع شد. در این مدل پارامتر سولفات خاک که مربوط به عمق ۵۰-۰ سانتی‌متری خاک می‌باشد بیش‌ترین تأثیر و انحراف معیار هندسی قطر ذرات خاک در عمق ۵۰-۰ سانتی‌متری خاک، کم‌ترین تأثیر در ایجاد مدل را داشته‌اند. در مدل نهایی، از آن‌جایی که مقدار ضریب تعیین برابر با ۰/۶۱ به‌دست آمده است؛ می‌توان چنین استنباط نمود که پارامترهای مستقل مدل سوم، حدود ۶۰ درصد از تغییرات مربوط به متغیر وابسته هدایت هیدرولیکی اشباع را توجیه می‌نمایند. همچنین در این پژوهش با نمونه‌برداری از اعماق مختلف خاک، ویژگی‌های لایه زیرسطحی نیز برای

منابع

1. Bouma, J. 1989. Using soil survey data for quantitative land evaluation. *Adv. J. Soil Sci.* 9: 177-213.
2. Bouma, J., and van Lanen, H.A.J. 1986. Transfer functions and threshold values: from soil characteristics to land qualities. P 106-110, In: K.J. Beek and et al (eds), *Quantified land evaluation Proc. Workshop. ISSS and SSSA, Washington.*
3. Clapp, R.B., and Hornberger, G.M. 1978. Empirical equations for some hydraulic properties. *J. Water Resour. Res.* 15: 601-604.
4. Ferrer Julia, M., and Estrela Monreal, T. 2004. Constructing a saturated hydraulic conductivity map of Spain using pedotransfer functions and spatial prediction. *Geoderma*, 123: 257-277.
5. Ghorbani Dashtaki, SH., Dehghani Baniani, S., Khodaverdiloo, H., Mohammadi, J., and Khalilmoghaddam, B. 2011. Estimation of Saturated Hydraulic Conductivity and Inverse of Macroscopic Capillary Length Using PTFs. *J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. Water Soil Sci.* 60: 16. 145-157. (In Persian)
6. Gupta, S.C., and Larson, W.E. 1979. Estimating soil water characteristics from particle size distribution, organic matter percent, and bulk density. *J. Water Resour. Res.* 15: 1633-1635.
7. Hassan Shah, A., Lone, M., Stephen, I., and Anderson, H. 1997. Regression model to predict hydraulic conductivity from simple soil physical and chemical properties. 7th ICID international drainage workshop. Press, Pp: 78-95.
8. Hillel, D. 2004. *Introduction to Environmental Soil Physics.* Elsevier, Academic Press, 494p.
9. Jalali, V.R., and Homaei, M. 2011. A Nonparametric Model by using k-nearest neighbor Technique for Predicting Soil Saturated Hydraulic Conductivity. *J. Water Soil.* 25: 2. 347-355. (In Persian)
10. Kneib, W., and Schroeder, D. 1984. Evaluation of the pedofunction plant-production in Schleswig-Holstein. *Festschrift fur Pflanzenernahrung und Bodenkunde*, 147: 425-434.
11. Lamp, J., and Kneib, W. 1981. Zur quantitative Erfassung und Bewertung von Pedofunktionen. *Mitteilungender Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*, 32: 695-711.
12. Mahab Ghodss Consulting Engineering Company 2010. *Drainage studies land north of Gorganrood and Gharesoo, Tehran.* (In Persian)
13. McBratney, A.B., Minasny, B., and Tranter, G. 2011. Necessary meta-data for pedotransfer functions. *Geoderma*, 160: 627-629.
14. McBratney, A.B., Minasny, B., Cattle, S.R., and Vervoort, R.W. 2002. From pedotransfer functions to soil inference systems. *Geoderma*, 109: 41-73.
15. McKenzie, N., and Jacquier, D. 1997. Improving the field estimation of saturated hydraulic conductivity in soil survey. *Austr. J. Soil Res.* 35: 803-825.
16. Meskini Vishkaii, F., Shabanpour Shahrestani, M., and Davatgar, N. 2011. Path Analysis of Effective Soil Properties on Paddy Soil Saturated Hydraulic Conductivity. *J. Water Soil.* 24: 6. 1246-1253. (In Persian)
17. Minasny, B., McBratney, A.B., and Bristow, K.L. 1999. Comparison of different approaches to the development of pedotransfer functions for water retention curves. *Geoderma*, 93: 225-253.
18. Mirzadeh, M.R. 2010. *Statistical Analysis with SPSS.* Taymaz Publication. 397p. (In Persian)
19. Moazenazadeh, R., Ghahraman, B., Fathalian, F., and Khoshnood Yazdi, A.A. 2009. Effect of type and number of input variables on moisture retention curve and saturated hydraulic conductivity prediction. *J. Water Soil.* 23: 3. 57-70. (In Persian)
20. Neter, J., Wasserman, W., and Kutner, M. 1989. *Applied Linear Regression Models (3rd Ed.)* The McGraw-Hill Companies.
21. Nikoukar, M., and Arabzadeh, B. 2012. *Applied Probability and Statistics.* First edition, Azade Publication. 565p. (In Persian)

22. Rawls, W.J., Brakensiek, D.L., and Saxton, K.E. 1982. Estimation of soil water properties. *Trans. ASAE*, 25: 1316-1320.
23. Rezaee, A., and Soltani, A. 1988. Introduction to applied regression analysis. Isfahan University, Publication Center. 294p. (In Persian)
24. Schaap, M.G., and Bouten, W. 1996. Modeling water retention curves of sandy soils using neural networks. *J. Water Resour.* 32: 3033-3040.
25. Schaap, M.G., Leij, F.J., and Van Genuchten, M.Th. 2001. Rosetta: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. *J. Hydrol.* 251: 1. 163-176.
26. Shirazi, M.A., and Boersma, L. 1984. A unifying quantitative analysis of soil texture. *J. Soil Sci.* 48: 142-147.
27. Todd, D.K., and Mays, L.W. 2005. Groundwater hydrology. John Wiley and Sons, New York, 636p.
28. Vereecken, H., Maes, J., and Feyen, J. 1990. Estimating unsaturated hydraulic conductivity from easily measured soil properties. *J. Soil Sci.* 149: 1-12.
29. Vereecken, H., Maes, J., Feyen, J., and Darius, P. 1989. Estimating the soil moisture retention characteristic from texture, bulk density and carbon content. *J. Soil Sci.* 148: 389-403.
30. Wosten, J.H.M., Finke, P.A., and Janes, M.J.W. 1999. Comparison of class and continuous pedotransfer function to generate soil hydraulic characteristic. *Geoderma*, 66: 227-237.
31. Wosten, J.H.M., Pachepsky, Y.A., and Rawls, W.J. 2001. Pedotransfer functions bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics. *J. Hydrol.* 251: 123-150.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 22(3), 2015
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Develop Pedotransfer Functions by Using of Soil Physical and Chemical Properties in Different Depths to Estimate the Saturated Hydraulic Conductivity

S. Zohari Shilsar¹ and *M.A. Gholami Sefidkouhi²

¹M.Sc. Student, Dept. of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, ²Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

Received: 11/24/2013; Accepted: 06/03/2014

Abstract

Background and Objectives: One of the most important and highly variable hydraulic properties of soil is saturated hydraulic conductivity (Ks) which is of paramount importance to issues related to water and soil. There is different direct method for measuring the hydraulic conductivity that all these methods are often costly, time-consuming and difficult, while indirect methods are usually inexpensive, fast and available. One of the indirect methods of measuring saturated hydraulic conductivity, is the use of transfer functions. This study was conducted to estimate the saturated hydraulic conductivity by using regression transfer functions.

Materials and Methods: The study area includes 280,000 hectares of northern land of Gharasoo-Gorganroud Rivers. For this purpose data from 188 soil profiles was used. Available soil information includes some of the physical properties of soil (till the depth 6 m), some of the chemical properties of the soil (till the depth 1.5 m) and some chemical properties of the water in the wells. The aim of the present study was evaluating the effects of combined physical and chemical available parameters from different depths on the accuracy of the models were fitted. To this end, three models were proposed with different inputs. The first model was created by using the chemical properties of water and soil, the second model was developed by using soil physical parameters and third model were created by combining parameters of the two previous models.

Results: The results showed that the third model is more accurate and the value of R^2 , R^2_{adj} and RMSE, respectively was, 0.61, 0.56 and 0.34 also ME values for the three models respectively was 0.05, 0.02 and 0.06.

Conclusion: The results show that using physical and chemical properties of water together (the third proposed model) has a greater impact on soil saturated hydraulic conductivity and combinations of these parameters at different depths, increases the accuracy in estimating saturated hydraulic conductivity. Verification test results showed that the average predicted values and the measured Ks in all models, with no significant difference.

Keywords: Available parameters, Auger hole method, Regression model

* Corresponding Author; Email: ma.gholami@sanru.ac.ir

