

ارائه‌ی شبیه‌تجربی هدایت آبی غیراشباع تحت تأثیر فراسنجهای فیزیکی خاک

مطالعه‌ی موردی: دشت باغین کرمان

علی نشاط^{1*}، مهدی فرهاد²

تاریخ دریافت: 1390/4/3 تاریخ پذیرش: 1391/11/8

چکیده

هدایت آبی غیراشباع یکی از فراسنجهای اساسی در مطالعه حرکت آب در خاک می‌باشد. هیچ یک از روشهای مختلف اندازه‌گیری روش صحرائی، به‌دلیل پرهزینه و مشکل بودن، روش مطلوبی به حساب نمی‌آید. اساس کار روشهای آزمایشگاهی انجام آزمایش درمورد نمونه خاک از مناطق مورد نظراست. این تحقیق به منظور انجام آزمایش و محاسبه موردنیاز برای تخمین مناسبترین رابطه بین هدایت آبی غیراشباع با خواص فیزیکی خاک در منطقه‌ی باغین کرمان بود. همچنین، در این پژوهش، وضعیت عمومی خاک با اندازه‌گیری pH، هدایت الکتریکی، میزان آهک و گچ موجود در خاک، در آزمایشگاه تعیین گردیدند. سپس هدایت آبی غیر اشباع خاک (Ku) با استفاده از روابط بده در واحد سطح و قانون دارسی، و همچنین نرم افزار RETC و شبیه‌های مختلف آن تخمین زده شد. با استفاده از شبکه‌های عصبی و نرم افزارهای SPSS، Curve Expert و Excel شبیه‌های مختلفی به نتایج حاصل از آزمایش برآزش داده شدند. نتایج نشان دادند که شبیه Power (توانی) از نرم افزار SPSS از بین شبیه‌های مختلف برآزش داده شده به نتایج تحقیق دارای بالاترین ضریب تعیین و دارای ضریب همبستگی معنی دار در سطح 1%، همچنین دارای کمترین میزان خطای RMSE می‌باشد که به عنوان بهترین شبیه معرفی می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: هدایت آبی غیراشباع خاک، خواص فیزیکی خاک، شبکه‌های عصبی، نرم افزار RETC

¹ - استادیار دانشگاه آزاد اسلامی کرمان

² - کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی دانشگاه آزاد اسلامی کرمان

* - نویسنده مسئول: a.neshat896@gmail.com

مقدمه

هدایت آبی غیر اشباع تابعی از رطوبت خاک بوده و با کاستی رطوبت مقدار آن سریعاً کاهش می‌یابد. روشهایی صحرایی برای اندازه‌گیری هدایت آبی غیر اشباع به‌کار می‌روند معمولاً پر خرج، دشوار و وقت‌گیر می‌باشند. اگر به‌خوبی طراحی و اجرا شوند نتایج به‌دست آمده از آنها دقیق می‌باشد. روشهای نظری که برای بیان هدایت آبی غیر اشباع به‌کار می‌روند شامل دو دسته معادلات تجربی و شبیه‌های ریاضی می‌باشند. معادلات تجربی با استفاده از مشاهده‌های محققین از هدایت آبی غیر اشباع خاک برحسب رطوبت یا مکش ماتریک خاک به‌دست آمده‌اند و فاقد هر گونه پایه و مبنای ریاضی می‌باشند و فقط با متناظر کردن مقادیر هدایت آبی غیر اشباع اندازه‌گیری شده با رطوبت یا مکش ماتریک خاک به‌دست می‌آیند. هدف این تحقیق ارائه‌ی رابطه‌ای که در بهترین حالت هدایت آبی غیر اشباع خاک را تحت تأثیر خواص فیزیکی خاک بیان می‌دارد می‌باشد.

مواد و روشها

منطقه‌ی مورد بررسی 6 کیلومتری شهر باغین در استان کرمان واقع شده است. دسترسی به منطقه از طریق جاده‌ی آسفالت کرمان، باغین و بردسیر امکان‌پذیر می‌باشد. با استناد به ایستگاه هواشناسی مستقر در باغین، این منطقه دارای ارتفاع 1754 متر از سطح دریا بوده،

بارندگی سالانه‌ی آن 105 میلی‌متر و بیشترین بارندگی 20mm در طی 24 ساعت می‌باشد. میانگین تبخیر سالانه در این منطقه 3021 میلی‌متر بوده، و طول دوره‌ی یخبندان 82 روز در سال می‌باشد.

برای انجام این تحقیق زمین مسطحی در منطقه‌ی موردنظر برگزیده شد. برای مشاهده وضعیت خاک اقدام به حفر یک نیمرخ به ابعاد 1*1.5*2 گردید. ساختمان خاک این نیمرخ از نوع توده‌ای، و بافت خاک با روش لمسی از نوع متوسط تشخیص داده شد. نیمرخ حفر شده در طول تحقیق برای برداشتن نمونه‌های دست‌نخورده و دست‌خورده از عمقهای مختلف مورد استفاده قرار گرفت.

آزمایشهای انجام گرفته در این تحقیق به دو دسته تقسیم می‌شوند: دسته‌ی اول آزمایشهای بررسی وضعیت خاک (اندازه‌گیری میزان آهک، گچ خاک، تعیین وضعیت pH و میزان EC خاک) می‌باشند. دسته دوم آزمایشهایی هستند که خواص فیزیکی خاک را بررسی کرده، مبنای کار این تحقیق بوده، و عبارتند از: بافت، جرم‌های مخصوص ظاهری و حقیقی، رطوبت حجمی، تهیه منحنی رطوبتی از روی تعیین توان ماتریک و تعیین هدایت آبی اشباع خاک است.

جدول 1 مقادیر درصد گچ، درصد آهک، هدایت الکتریکی و pH را برای نیمرخ ارائه می‌کند.

جدول 1. آزمایش تعیین pH، EC، میزان آهک و گچ خاک

شماره‌ی نمونه	عمق خاک (cm)	pH	EC (ds/m)	درصد آهک	درصد گچ
1	0-30	8/52	27/3	14/5	1/94
2	30-60	8/69	20/3	14/25	2/60
3	60-90	8/59	29/1	13/75	4/32
4	90-120	8/51	42/7	16/75	1/14
5	120-150	8/47	39/3	14/75	1/44

برای تعیین بافت خاک از روش هیدرومتری استفاده گردید.

جدول 2 نشان می‌دهد خاک از پنج لایه تشکیل گردیده، و بافت هر لایه مشخص شده است.

جدول 2. آزمایش تعیین بافت خاک

شماره نمونه	عمقها	شن، %	لای، %	رس، %	بافت خاک
1	0-30	39/6	32/4	28.0	متوسط رسی
2	30-60	29/6	44/4	26.0	متوسط
3	60-90	51/6	30/4	18.0	متوسط شنی
4	90-120	43/6	22/4	34.0	متوسط شنی-رسی
5	120-150	31/6	44/4	24.0	متوسط

پس از آن که آب به اعماق کرت نفوذ کرد، آن گاه با استفاده از مته‌ی نمونه برداری از هر عمق نمونه‌ای برداشت کردیم و در آزمایشگاه از طریق روش وزنی رطوبت جرمی، سپس رطوبت حجمی هر یک از نمونه‌ها تعیین شد. جدول 4 فراسنجهای رطوبت جرمی، درصد رطوبت جرمی، وزن مخصوص ظاهری و رطوبت حجمی و درصد رطوبت حجمی نشان می‌دهد.

برای به دست آوردن رطوبت جرمی، رطوبت حجمی، توان ماتریک و رسم منحنی رطوبتی خاک اقدام به ایجاد 4 کرت به مساحت یک مترمربع در منطقه مورد نظر در نزدیکی نیمرخ حفر شده گردید. سپس آنها را از آب اشباع کرده و روی هر کرت با پلاستیک پوشانده شد تا از تبخیر آب جلوگیری گردد.

جدول 4. تعیین رطوبت جرمی و رطوبت حجمی خاک

number	depths	Θ_m	ρ_b	ρ_b	Θ_v
شماره‌ی عمقها	عمق ها سانتی متر	رطوبت جرمی، گرم بر سانتی متر مکعب	وزن مخصوص ظاهری، گرم بر سانتی متر مکعب	وزن مخصوص حقیقی، گرم بر سانتی متر مکعب	رطوبت حجمی، گرم بر سانتی متر مکعب
1	0-30	0.1163	1.83	2/5	0.2129
2	30-60	0.1220	1.68	2/1	0.2049
3	60-90	0.1434	1.71	2/5	0.2451
4	90-120	0.1408	1.80	2/4	0.2534
5	120-150	0.1600	1.86	2/3	0.2977

یادداشت می‌شود. با توجه به جدول 5 منحنی رطوبتی خاک برای هر لایه ترسیم و طبق آن توان ماتریک متناظر با هر رطوبت به دست آمد. برای تعیین هدایت آبی اشباع خاک با توجه به بافت خاک از روش آزمایشگاهی بارافتان استفاده شد. جدول 6 مقادیر هدایت آبی اشباع را برای پنج لایه خاک نشان می‌دهد.

برای تعیین منحنی رطوبتی خاک نمونه‌های مورد استفاده از پنج عمق 0-30، 30-60، 60-90، 90-120 و 150-120 سانتی متری نیمرخ خاک برداشت شده و در آزمایشگاه با استفاده از دستگاه صفحات فشاری (pressure plates) در فشارهای 0/3، 0/5، 5 و 15 بار قرار گرفته و در هر مرحله وزن نمونه‌های خاک که در ابتدا به حالت اشباع رسیده بودند اندازه گیری و نتایج

جدول 5. تعیین منحنی رطوبتی خاک در لایه های مختلف

شماره نمونه	رطوبت نمونه ، عمق نمونه (cm)، درصد					فشار اعمال شده (cm)	فشار اعمال شده (bar)
	120-150	90-120	60-90	30-60	0-30		
1	20/91	22/42	10/3	17/72	22/61	300	0/3
2	10/52	13/92	4/71	9/63	10/42	500	0/5
3	6/61	9/33	3/27	5/96	6/75	5000	5.0
4	7/02	8/06	3/18	4/27	5/09	15000	15.0

جدول 6. نتایج نهایی آزمایش تعیین هدایت آبی اشباع خاک

عمق نمونه	چگالی خشک خاک	رطوبت قبل از آزمایش	زمان	طول نمونه	هدایت آبی اشباع
	gr/cm ³	%	sec	cm	cm/sec
	g_d	W_1	t_2-t_1	L	k
0-30	1/83	12/05	1200	7/00	$3/2 \times 10^{-6}$
30-60	1/68	11/86	1800	7/00	$9/5 \times 10^{-6}$
60-90	1/71	18/52	1920	7/00	$6/9 \times 10^{-6}$
90-120	1/80	22/33	1800	7/00	$7/4 \times 10^{-6}$
120-150	1/86	17/87	2700	7/00	$4/9 \times 10^{-6}$

تعیین هدایت آبی غیراشباع خاک

با استفاده از روابط بده در واحد سطح و قانون دارسی و نتایج آزمایشهای قبل هدایت آبی غیراشباع محاسبه می‌گردد.

$$q = k_u \frac{\Delta \Psi}{\Delta z} \Rightarrow k_u = -\frac{q \cdot \Delta z}{\Delta \Psi}$$

که در آن:

q: بده در واحد سطح برحسب سانتی متر در روز

Δz : اختلاف ارتفاع بین دولایه برحسب سانتی متر

$\Delta \Psi$: اختلاف توان ماتریک برحسب سانتی متر

K_u : هدایت آبی غیراشباع خاک برحسب سانتی متر بر روز

جدول 7 هدایت آبی اشباع، غیر اشباع و بافت خاک را برای

هر پنج لایه نشان می دهد.

$$q = \frac{\Delta q \cdot D}{T}$$

که در آن:

D: عمق هر لایه خاک برحسب سانتی متر

T: زمان برحسب روز

Δq : اختلاف رطوبت

q: بده در واحد سطح برحسب سانتی متر بر روز

جدول 7. مقادیر هدایت‌های آبی اشباع و غیراشباع خاک در لایه‌های مختلف.

Number	depths	pb / ps	Θ_v	Ks(cm/day)	Ku (cm/day)
شماره عمق ها	عمقها		رطوبت حجمی	هدایت آبی اشباع	هدایت آبی غیر اشباع
1	0-30	0.73	0.214	0.276	0.248
2	30-60	0.80	0.203	0.821	0.825
3	60-90	0.68	0.246	0.596	5.910
4	90-120	0.75	0.254	0.639	0.514
5	120-150	0.81	0.298	0.423	1.124

درجه سه و معکوس برازش می‌دهیم، در نهایت با استفاده از شبکه عصبی هدایت آبی غیراشباع (متغیر وابسته) به دست آمده از طرق ذکر شده بر روی متغیرهای مستقل (شامل هدایت آبی اشباع، رطوبت حجمی و ρ_b / ρ_s) برازش می‌دهیم. مشاهده می‌شود در تمامی حالات شبکه عصبی دارای بالاترین ضریب تعیین و بهترین پیش بینی ناشی از مقادیر شبیه‌بوردین، بروکز و کوری می‌باشد. بهترین رابطه بین هدایت آبی غیراشباع خاک و ویژگی‌های فیزیکی خاک از قبیل وزن مخصوص ظاهری (ρ_b)، وزن مخصوص حقیقی (ρ_s)، هدایت آبی اشباع خاک (k_s) و رطوبت حجمی خاک (q_v) است. جدول 8 کلیه شبیه‌ها را بررسی کرد.

$$\left(K_s \cdot q_v \cdot \frac{\rho_s}{\rho_b} \right)$$

جدول 8. بررسی Ku به عنوان متغیر وابسته در مقابل $\frac{\rho_s}{\rho_b}$ به عنوان متغیر مستقل.

ردیف	نام شبیه	رابطه ریاضی	ضرایب ثابت				آمارهای محاسبه شده شبیه	
			a	b	c	d	ضریب تعیین	ضریب همبستگی
1	Linear	$Y=a.x+b$	-1/330	17/824	-	-	0/236	0/486
2	Logaritmik	$Y=a+b.ln.x$	6/209	2/246	-	-	0/183	0/428
3	Inverse	$Y=a+b/x$	3/369	-0/170	-	-	0/114	0/338
4	Quadratic	$Y=a+b.x+c.x^2$	1/025	-19/979	102/644	-	0/278	0/527
5	Cubic	$Y=a+b.x+c.x^2+d.x^3$	-0/793	24/915	-174/541	484/301	0/286	0/535
6	Compound	$Y=a.bx$	0/016	2/416E7	-	-	0/490	0/7
7	Power	$Y=a.xb$	41/176	2/490	-	-	0/513	0/716
8	S	$Y=e(a/x+b)$	0/882	-0/221	-	-	0/437	0/661
9	Growth	$Y=ea+b.x$	-4/165	17/0	-	-	0/490	0/7
10	Exponential	$Y=a.eb.x$	0/016	17/0	-	-	0/490	0/7
11	Logistic	$Y=l(1/u+a.bx)$	64/378	4/139x10-8	-	-	0/490	0/7

دارای بیشترین ضریب همبستگی می‌باشند که این ضرایب همبستگی در سطح 1% معنی‌دار می‌باشند. همچنین، برای دسترسی به بهترین شبیه‌برازش شده از بین شبیه‌های ذکر شده‌ی جدول 9 خطای RMSE را نیز نشان می‌دهد. خطای حاصل از اختلاف رقوم اصلی و رقوم حاصل از برازش شبیه را بیان می‌کند.

از شبیه فیزیک خاک برنامه RETC استفاده گردید. شبیه در پنج حالت اجرا و هدایت آبی غیراشباع پیش بینی شد.

نتایج و بحث

ابتدا با استفاده از مؤلفه‌های اصلی سه متغیر مستقل هدایت آبی اشباع، رطوبت حجمی، ρ_b / ρ_s به یک متغیر تحت عنوان FUC1-1 تبدیل می‌نماییم. با استفاده از نرم افزار SPSS هدایت آبی غیراشباع (متغیر وابسته) به دست آمده از طریق میانگین‌گیری وزنی و هندسی روی مقادیر هدایت آبی غیراشباع هر عمق در سیزده تکرار، نرم افزار Retc شبیه‌بوردین، بروکز و کوری، شبیه معلم و وان گنوختن را بر روی متغیر FUC1-1 به‌وسیله‌ی شبیه‌های وایزی خطی، درجه دو،

در جدول 8 شبیه Power با ضریب تعیین 0/513 و شبیه‌های Compound (مرکب) با ضریب تعیین 0/490، Growth (رشد) با ضریب تعیین 0/490، Exponential (نمایی) با ضریب تعیین 0/490 و Logistic (لجستیک) با ضریب تعیین 0/490 به ترتیب

جدول 9. خطای RMSE حاصل از برازش شبیه بین K_u و $(K_s, q_v, \frac{r_b}{r_s})$ ضریب همبستگی

خطای RMSE	ضریب همبستگی	رابطه‌ی ریاضی شبیه	نام شبیه	ردیف
1/115	0/670	$Y=a.xb$	Power	1
1/867	0/647	$Y=a.eb.x$	Exponential	2
1/867	0/647	$Y=a.bx$	Compound	3
1/838	0/647	$Y=ea+b.x$	Growth	4
1/655	0/647	$Y=l(l/u+a.bx)$	Logistic	5

conductivity from soil moisture profiles and water retention curves, Soil Science, 156, 386-395.

- Saxton, K.E. and Rawls, W.J. and Romberger, J.S. and Papendick, R.I., 1986, Estimating generalized soil- water characteristics from texture, Soil Science Society American Journal, 50, 1031-1036.
- Van Genuchten, M.T., 1980, Aclosed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated Soil Science Society American Journal, 44, 892-898.
- Wagner, B. and Tarnawski, V.R. and Hennings, V. and Muller, U. and Wessolek, G. and Plagge, R. 2001, Evaluation of pedotransfer functions for unsaturateal soil hydraulic conductivity using an independent data set, Geoderma, 102, 275-297.
- Wosten, J.H.M. and Pachepsky, Ya.A. and Rawls, W.J., 2001, Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics, Journal of Hydrology, 251, 123-150.
- Zhang, R. and Van Genuchten, M.T., 1994, New models for unsaturated soil hydraulic properties, Soil Science, 163, 425-435.
- Zhuang, J. and Nakayama, K. and Yu, G.R. and Miyazaki, T., 2001, Predicting unsaturated hydraulic conductivity of soil based on some basic soil properties, Soil & Tillage Research, 59, 143-154.

با توجه به نتایج به‌دست آمده از نرم افزارهای Excel و Curve Expert از بین روابط ذکر شده، رابطه‌ی Power (توانی) به عنوان برترین رابطه انتخاب می‌شود:

$$Y \equiv 41.176 X^{2.49}$$

با جایگزین کردن متغیرهای مربوطه به جای X و Y رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$K_u = 41/176 \left(\frac{K_s \cdot q_v \cdot r_s}{r_b} \right)^{2/49}$$

نتیجه‌گیری

- چون منطقه کرمان خشک است به منظور جلوگیری از تلفات آب نیاز به ارائه‌ی رابطه کاربردی جهت حرکت آب در خاک غیر اشباع است.
- هدایت آبی غیر اشباع با هدایت آبی اشباع، رطوبت حجمی و وزن مخصوص ظاهری رابطه‌ی مستقیم دارد. ولی با وزن مخصوص حقیقی رابطه‌ی معکوس دارد.
- این رابطه چون با استفاده از هدایت آبی اشباع و غیراشباع و فراسنجهای فیزیکی خاک منطقه باغین تعیین شده لذا برای مناطق دیگر باید اصلاح و واسنجی گردد.

منابع

- Harvey, D.J. and Yeh, J., 1990, Effective Unsaturated Hydraulic Conductivity of Layered Sands, Water Resources Research, Vol 26, No6, 1271-1279.
- Setiawan, B.T. and Nakano, M., 1993, On the determination of unsaturated hydraulic