



تخمین پارامترهای هیدرولیکی خاک با استفاده از داده های نفوذ سنج دیسک مکشی به روش معکوس در خاک لومی

مجید رئوف

استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
Email: majidraoof2000@yahoo.co.uk ، تلفن: 09189127697

چکیده

روش های حل مسائل معکوس شامل استفاده از روش های بهینه سازی پارامترها می باشد. در این تحقیق آزمایش های نفوذ با استفاده از دستگاه نفوذ سنج دیسک مکشی در 4 مکش مختلف 9، 15، 6 و صفر سانتی متر در زمینی با خاک یکنواخت در ایستگاه تحقیقاتی گنبد استان همدان به انجام رسید. داده های نفوذ تجمعی جهت شبیه سازی جریان آب در خاک و تخمین پارامترهای هیدرولیکی خاک به روش معکوس مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که منحنی های $q(h)$ ، $K(h)$ و $C(h)$ استخراج شده به روش حل معکوس تطابق خوبی با داده های اندازه گیری شده دارد. کلمات کلیدی: پارامترهای هیدرولیکی، حل معکوس، نفوذ سنج دیسک مکشی

مقدمه

مدل های جریان آب و انتقال املاح برای محیط های غیر اشباع اغلب بر اساس حل عددی معادله ریچاردز استوار می باشند که نیاز به اطلاعاتی از توابع هیدرولیکی غیر اشباع خاک دارد (سیمونک و همکاران 2006). بسیاری از روش های حل مسائل معکوس شامل استفاده از روش های بهینه سازی پارامترها می باشد (هوپمن 1989). آزمایش های تخمین پارامترهای هیدرولیکی خاک در حالت دو یا سه بعدی شامل استفاده از نفوذ سنج های مکشی (آنکنی و همکاران 1991)، استفاده از نفوذ سنج مخروطی اصلاح شده (گریب و همکاران 1996)، روش استخراج آب- خاک چند مرحله ای (اینو و همکاران 1998)، نفوذ از فارو و آزمایش های آبیاری قطره ای سطحی و زیر سطحی می باشند. معادله جریان آب برای جریان دو بعدی متقارن، شعاعی، همدمما، با درجه اشباع متغییر و محیط ثابت می تواند معادله تعدیل یافته ریچاردز به شرح زیر باشد:

$$\frac{\partial q}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r K \frac{\partial h}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K \frac{\partial h}{\partial z} \right) + \frac{\partial K}{\partial z} \quad [1]$$

که در آن q رطوبت حجمی $[L^3 L^{-3}]$ ، h ارتفاع فشاری $[L]$ ، K هدایت هیدرولیکی $[LT^{-1}]$ ، r فاصله شعاعی $[L]$ ، z فاصله عمودی $[L]$ که در جهت رو به پایین مثبت در نظر گرفته می شود و t زمان $[T]$ می باشند. در این تحقیق، تابع نگهداشت آب خاک، $q(h)$ مدل نگهداشت آب و خاک ون گنوختن (1980) و تابع هدایت هیدرولیکی، $K(h)$ مدل کاپیلاری معلم انتخاب شده است. معادله تابع نگهداشت آب و خاک ون گنوختن عبارتست از (ون گنوختن 1980):

$$q(h) = q_r + \frac{q_s - q_r}{(1 + |a h|^n)^m} \quad [2]$$



همچنین معادله هدایت هیدرولیکی معلم بصورت زیر می باشد (ون گنوختن 1980):

$$K(h) = K_s S_e' \left\{ 1 - \left(1 - S_e' \frac{1}{m} \right)^m \right\}^2 \quad [3]$$

$$m = 1 - \frac{1}{n} \quad [4]$$

در این روابط: K_s هدایت هیدرولیکی اشباع، q_r رطوبت باقیمانده $[L^3 L^{-3}]$ ، q_s رطوبت اشباع $[L^3 L^{-3}]$ ، S_e اشباع نسبی $[-]$ ، a پارامتر بیانگر عکس مکش و ورود هوا در خاک $[L^{-1}]$ ، l پارامتر پیوستگی منافذ $[-]$ و n پارامتر تجربی $[-]$ وابسته به نوع خاک می باشند. پارامترهای a و n بستگی به شکل منحنی $S_e(h)$ و $K(h)$ دارند. در این تحقیق آزمایش های نفوذ با استفاده از دستگاه نفوذ سنج دیسک مکشی در 4 مکش مختلف 15، 9، 6 و صفر سانتی متر در زمینی مسطح با خاک یکنواخت در ایستگاه تحقیقاتی گنبد استان همدان به انجام رسید. داده های نفوذ تجمعی جهت شبیه سازی جریان آب در خاک و تخمین پارامترهای هیدرولیکی خاک به روش معکوس مورد استفاده قرار گرفت.

مواد و روش ها:

- منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در ایستگاه تحقیقاتی گنبد، واقع در 25 کیلومتری شهر همدان (جاده همدان - ملایر) با طول و عرض جغرافیایی به ترتیب 48 درجه و 42/14 دقیقه و 34 درجه و 41/74 دقیقه و ارتفاع از سطح دریا 2170 متر انجام گرفت. خاک منطقه مورد مطالعه طبق تجزیه و تحلیل های آزمایشگاهی بر اساس رده بندی USDA از نوع لومی می باشد. خاک منطقه بر اساس پروفیل حفر شده غیر لایه لایه بوده و برخی مشخصات خاک منطقه مورد مطالعه در آزمایشگاه اندازه گیری گردید (جدول 2). فرضیاتی نیز برای تحلیل جریان آب در خاک در نظر گرفته شد. در منطقه مورد نظر آزمایش های نفوذ با استفاده از دستگاه نفوذ سنج دیسک مکشی در دو حالت غیراشباع و اشباع به انجام رسید. آزمایش های نفوذ در چهار مکش صفر، 6، 9 و 15 سانتی متر انجام شدند. هر آزمایش نفوذ سه مرتبه تکرار گردید. در کل 12 آزمایش نفوذ انجام و ثبت شد. آزمایش ها تا زمانی ادامه یافتند که طی چندین قرائت متوالی (حداقل 3 قرائت) شدت نفوذ ثابت شده و جریان نفوذ آب در خاک به حالت ماندگار می رسید. مدت زمان آزمایش ها بین 30 تا 60 دقیقه بود. بعد از آماده کردن محل هر آزمایش، دستگاه نفوذسنج مکشی در فشار مورد نظر تنظیم شده و در محل مورد نظر قرار داده شد. با استفاده از یک دستگاه TDR رطوبت های اولیه و نهایی نقطه مورد آزمایش اندازه گیری گردید.

- حل معکوس

حل معکوس بر اساس حل عددی معادله ریچاردز با استفاده از الگوریتم بهینه سازی مارکوارت - لونبرگ (1963) پایه گذاری شده که در آن ترکیبی از دو روش نیوتن و نزول سریع استفاده شده است. تابع هدف، f که بایستی در فرایند تخمین پارامتر حداقل گردد بصورت زیر می باشد (سیمونک و ون گنوختن 2006):

$$f(b, q, p) = \sum_{j=1}^m V_j \sum_{i=1}^m W_{ij} [q_j^*(x, t_i) - q_j(x, t_i, b)]^2 + \sum_{j=1}^m \bar{V}_j \sum_{i=1}^m \bar{W}_{ij} [p_j^*(q_i) - p_j(q_i, b)]^2 + \sum_{j=1}^m \check{V}_j [b_j^* - b_j]^2 \quad (6)$$

در این معادله m تعداد پارامترهای اندازه گیری شده و n تعداد اندازه گیری های هر پارامتر می باشد. $q_j^*(x, t_i)$ بیانگر مقدار اندازه گیری شده پارامتر j ام در زمان t_i و در مکان (x, z) ، $q_j(x, t_i, b)$ بیانگر تخمین مدل از مقدار



$q_j^*(x, t_i)$ و v_j و w_{ij} ضرایب وزنی به ترتیب برای یک پارامتر یا نقطه به خصوص می باشند. $p_j(q_i, b)$ و $p_j^*(q_i)$ برای پارامترهای هیدرولیکی خاک می باشند. جزء آخر معادله (6) بیانگر تابع خطا برای اختلافات بین مقادیر قبلی پارامترهای هیدرولیکی خاک (b_j^*) و تخمین نهایی آنها (b_j) می باشد.

با داشتن شش پارامتر درصدهای رس، سیلت، شن، وزن مخصوص ظاهری و رطوبت باقیمانده در دو مکش 33 و 1500 کیلو پاسکال به عنوان داده های ورودی پارامترهای q_r ، q_s ، K_s ، n و a به عنوان پارامترهای خروجی از نرم افزار روزتا استخراج و به عنوان تخمین های اولیه در حل عددی معادله ریچاردز در کد Hydrus 2D مورد استفاده قرار گرفت. از طرفی بر اساس گزارش معلم (1976) برای اکثر خاکها مقدار عددی فاکتور پیوستگی منافذ $l=0.5$ می باشد. در این تحقیق $q_j^*(x, t_i)$ مقادیر نفوذ تجمعی در زمان های مختلف می باشد.

نتایج و بحث

برخی مشخصات فیزیکی خاک منطقه مورد مطالعه شامل چگالی ظاهری، چگالی حقیقی، درصد مواد آلی و تخلخل کل در جدول 1 آورده شده است. مقادیر استخراج شده از کد روزتا برای پارامترهای q_r ، q_s ، K_s ، n ، a به ترتیب 0/073، 0/451، 0/017، 1/546 و 0/009 می باشد. جدول 2 پارامترهای هیدرولیکی غیر اشباع خاک، تخمین زده شده از حل معکوس با کد Hydrus 2D، خطای استاندارد و حد بالا و پایین این مقادیر را در سطح اعتماد 95 درصد نشان می دهد. مقادیر بهینه شده به روش حل معکوس (جدول 1) نشان می دهد که تخمین اولیه مقادیر تقریباً نزدیک به واقعیت بوده اما با آن دارای تفاوت می باشد. خطای استاندارد (SE) برای تمام پارامترها قابل قبول می باشد. منحنی نگهداشت آب خاک (منحنی $q-h$) به دست آمده از روش حل معکوس و اندازه گیری شده مستقیم در شکل 1 آورده شده است. تطابق مقادیر اندازه گیری شده و شبیه سازی هدایت هیدرولیکی غیر اشباع نیز در حد قابل قبول می باشد. در بیشتر موارد روش اندازه گیری مستقیم مقدار رطوبت را بیشتر از روش حل معکوس برآورد می نماید. از جمله دلایلی که می توان برای تخمین کمتر حل معکوس نسبت به مقادیر اندازه گیری شده می توان ذکر نمود عبارتند از:

1- در روش حل معکوس از داده های نفوذ تجمعی برای استخراج منحنی مشخصه آب خاک استفاده می گردد بنابراین در این روش شاخه جذب (Sorption) منحنی مشخصه آب خاک استخراج شده در حالی که در روش اندازه گیری مستقیم از داده های استخراج شده از دستگاه های ستون آب آویزان و صفحات فشاری استفاده شده است بنابراین در این روش شاخه واجذب (Desorption) منحنی مشخصه آب خاک استخراج شده است. به علت پدیده پس ماند (Hysteresis) مقادیر به دست آمده از حل معکوس کمتر از مقادیر اندازه گیری شده خواهد بود.

2- در حل معکوس جهت بررسی حرکت آب در خاک باید پارامترهای موثر در حرکت آب در خاک به صورت مستقل از هم عمل نمایند. چنانچه دو پارامتر یا پارامترهای بیشتری روی همدیگر اثر گذارند پارامترها به همدیگر وابسته شده و این امر باعث می گردد که پارامترهای مورد نظر بیشتر یا کمتر از مقدار واقعی خود برآورد گردند. برای بررسی میزان همبستگی یا استقلال پارامترها نسبت به همدیگر بایستی ماتریس همبستگی را مورد بررسی قرار داد. شکل 2 منحنی نیمه لگاریتمی هدایت هیدرولیکی به ازای مکش های مختلف و به دو روش حل معکوس و اندازه گیری شده مستقیم را نشان می دهد.



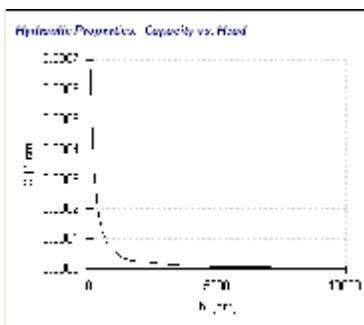
جدول 1 برخی مشخصات فیزیکی خاک منطقه مورد مطالعه

عمق خاک (سانتیمتر)				
75-100	50-75	25-50	0-25	پارامتر
1/66	1/67	1/66	1/66	چگالی ظاهری (gr/cm^3)
2/58	2/57	2/58	2/58	چگالی حقیقی (gr/cm^3)
0/5	0/6	0/3	0/6	مواد آلی (درصد)
34/93	35/12	35/41	35/66	تخلخل کل (درصد)

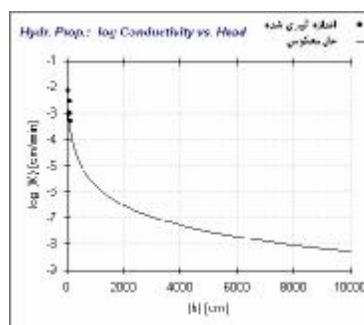
جدول 2 پارامترهای هیدرولیکی غیر اشباع خاک بدست آمده از حل معکوس با کد Hydrus 2D

سطح اعتماد 95 درصد		خطای	مقدار متوسط	پارامتر
حد بالا	حد پایین	استاندارد	پارامتر	
0/498	-0/478	2/383	0/099	$q_r (-)$
0/845	-0/745	3/879	0/502	$q_s (-)$
0/252	-0/231	0/118	0/0107	$K_s (cm/min)$
3/527	-0/957	5/3	1/277	$n (-)$
0/144	-0/141	0/694	0/015	$a (1/cm)$
1/248	-0/268	1/144	-0/1	$l (-)$

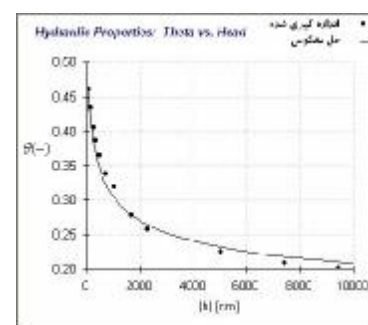
در روش اندازه گیری مستقیم هدایت هیدرولیکی تنها در چهار مکش 0، 6، 9 و 15 سانتیمتر اندازه گیری شده است. مقادیر شبیه سازی شده به روش حل معکوس تطابق بسیار خوبی با مقادیر اندازه گیری شده در نقاط اندازه گیری شده نشان می دهد. در شکل 3 منحنی ظرفیت نگهداری آب خاک شبیه سازی شده آورده شده است.



شکل 3 منحنی ظرفیت نگهداری آب خاک شبیه سازی شده به روش حل معکوس



شکل 2 منحنی هدایت هیدرولیکی غیر اشباع اندازه گیری شده و شبیه سازی شده به روش حل معکوس



شکل 1 منحنی نگهداشت آب خاک اندازه گیری شده و شبیه سازی شده به روش حل معکوس



منابع مورد استفاده

- Van Genuchten M Th, 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *SSSA J.* 44(5): 892–898.
- Marquardt D W, 1963. An algorithm for least squares estimation of non-linear parameters. *J. Ind. Appl. Math.* 11: 431–441.
- Gribb M M, 1996. Parameter estimation for determining hydraulic properties of a fine sand from transient flow measurements. *Water Resources Research* 32(7): 1965–1974.
- Inoue H, Simunek J, Hopmans J W and Clausnitzer V, 1998. In-situ estimation of soil hydraulic functions using a multi-step-water extraction technique, *Water Resour. Res.*, in press.
- Ankeny M, Ahmed M, Kaspar T and Horton R, 1991. Simple field method for determining unsaturated hydraulic conductivity, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 5:467–470.
- Simunek J, Sejna M and van Genuchten M Th, 2006. The HYDRUS Software Package for Simulating Two- and Three-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media, User Manual, Version 1.0, PC Progress, Prague, Czech Republic.
- Hopmans J W, 1989. Stochastic description of field-measured infiltration data. *Trans. ASAE* 32(6): 1987–1993.