



مقیاس بندی نفوذ آب در خاک با استفاده از فرضیات محیط های متشابه

مهدی شرفا^۱، علی اصغر ذوالفقاری^۲، محمدحسین محمدی^۳ و منوچهر گرجی^۴

۴۰۱- دانشجویان گروه مهندسی علوم خاک- پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲- استادیار گروه بیابان‌زدایی دانشکده کویر شناسی دانشگاه سمنان

۳- استادیار گروه مهندسی علوم خاک دانشگاه زنجان

مقدمه

خصوصیات هیدرولیکی خاک بسته به مقیاس اندازه‌گیری متفاوت می‌باشد (داس و همکاران ۲۰۰۵). میلر و میلر (۱۹۵۶) مفهوم محیط‌های متشابه را برای توصیف تغییرات مکانی خاک ارائه کردند. آنها فرض کردند که ساختار میکروسکوپی دو خاک متشابه از نظر هندسی فقط از نظر طول مشخصه متفاوت است. برای مثال اگر اندازه شعاع منافذ خاک به عنوان طول مشخصه برای دو خاک متشابه در نظر گرفته شود، آنگاه اندازه شعاع منافذ یک خاک می‌تواند متفاوت از دیگری باشد بطوری که تنها با استفاده یک فاکتور مقیاس‌بندی^۱ خطی بتوان اندازه این منافذ را به هم مرتبط نمود (تولی و همکاران ۲۰۰۱). بنابراین بنا به تعریف فاکتور مقیاس‌بندی به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$\alpha_j = \frac{\lambda_{cj}}{\lambda_c^*} \quad [1]$$

α فاکتور مقیاس‌بندی λ_c طول مشخصه، j شماره طول مشخصه و یا شماره فاکتور مقیاس خاک j ام و * نشان دهنده خاک مرجع می‌باشد.

استفاده از فاکتور مقیاس در مقیاس‌بندی نفوذ سبب می‌شود که منحنی‌های نفوذ خاک‌های متفاوت در اطراف منحنی یک خاک که خاک مرجع نامیده می‌شود، تجمع حاصل کنند. به عنوان مثال اگر منحنی‌های نفوذ تجمعی خاک‌های مختلف یک منطقه در یک نمودار واحد رسم شوند، به علت تغییرات مکانی این خصوصیات، منحنی‌های مذکور از هم فاصله خواهند داشت، در حالی که با استفاده از مقیاس‌بندی نفوذ می‌توان این منحنی‌ها را حول یک منحنی مرجع جمع‌آوری نمود.

شارما و همکاران (۱۹۸۰) با در نظر گرفتن فرضیات محیط های متشابه میلر و میلر معادله دو پارامتری فیلیپ (معادله ۲) را مقیاس‌بندی کردند.

$$I = St^{0.5} + A_p t \quad [2]$$

S جذب پذیری خاک $(LT^{-0.5})$ ، t زمان (T) ، A_p یک پارامتر است که برابر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در شرایط مزرعه در نظر گرفته می‌شود (LT^{-1}) و I نفوذ تجمعی آب در خاک (L) می‌باشد. آنها برای مقیاس‌بندی نفوذ و زمان از روابط زیر استفاده کردند.

$$I^* = \alpha . I \quad [3]$$

$$t^* = \alpha^3 . t \quad [4]$$

¹ - Scaling factor

² - Sorptivity



در این روابط فاکتور مقیاس بندی (α) قابل برآورد از داده‌ها جذب پذیری و پارامتر A_p می‌باشد. این محققین روابط زیر را برای برآورد فاکتور مقیاس بندی با استفاده از جذب پذیری و پارامتر A_p ارائه کردند.

$$\alpha_{A_p} = \left(\frac{A_p}{\bar{A}_p} \right)^{1/2} \quad [5]$$

$$\alpha_S = \left(\frac{S}{\bar{S}} \right)^2 \quad [6]$$

که در این معادلات α_{A_p} و α_S به ترتیب فاکتور مقیاس بندی جذب پذیری خاک و پارامتر A_p می‌باشند. \bar{S} و \bar{A}_p به ترتیب میانگین جذب پذیری و پارامتر A_p خاک‌های مورد مطالعه هستند. از نظر تئوری هر یک از فاکتورهای مقیاس بندی α_{A_p} و α_S می‌تواند برای مقیاس کردن نفوذ (رابطه ۳) و زمان (رابطه ۴) مورد استفاده قرار گیرد. هدف از مطالعه حاضر بررسی کارائی روش شارما و همکاران (۱۹۸۰) در مقاس بندی نفوذ آب در خاک می‌باشد. همچنین انتخاب بهترین عامل در محاسبه فاکتور مقیاس بندی از دیگر اهداف این مطالعه است.

مواد و روشها

در این مطالعه از داده‌های نفوذ تجمعی ۴۵ خاک برای مقیاس کردن نفوذ استفاده شد. ۲۲ خاک از خاک‌های مورد مطالعه از دشت زرین آباد و خورخور در استان زنجان و ۲۳ خاک از خاک‌های دشت ملاصدرا در استان فارس بودند. در خاک‌های مورد مطالعه در ابتدا مدل دو پارامتری فیلیپ (معادله ۲) بر داده‌های اندازه‌گیری شده نفوذ برازش داده شد و پارامترهای S و A_p خاک‌های مذکور تعیین شد. سپس فاکتورهای مقیاس بندی α_{A_p} و α_S با استفاده از معادلات (۵) و (۶) محاسبه شد. در نهایت نفوذ تجمعی آب در خاک و زمان با استفاده از معادلات (۳) و (۴) و با توجه به فاکتورهای α_{A_p} و α_S مقیاس شدند.

برای بررسی دقت مقیاس بندی فاکتورهای مقیاس (یعنی α_{A_p} و α_S) رابطه بین این فاکتورها و فاکتور مقیاس بندی بهینه (α_{opt}) بدست آمد. α_{opt} فاکتور مقیاسی می‌باشد که با استفاده از بهینه کردن یک تابع هدف بدست می‌آید. در صورتی که تابع هدف به خوبی انتخاب گردد فاکتور مقیاس بندی بهینه قادر خواهد بود که تمامی منحنی‌های نفوذ را حول منحنی مرجع جمع نماید. در این مطالعه فاکتور مقیاس بندی بهینه (α_{opt}) با استفاده از حداقل کردن مجموع مربعات خطای بین متوسط نفوذ تجمعی و نفوذ مقیاس شده (تابع هدف) (رابطه ۷) بدست آمد.

$$SE = \sum_{t_j^*}^N \left(I_{t_j^*}^* - I_{av}^* \right)^2 \quad [7]$$

t_j^* زمان مقیاس شده و N تعداد نقاط اندازه‌گیری شده نفوذ می‌باشد.

متوسط نفوذ تجمعی آب در خاک نیز با استفاده از رابطه زیر بدست آمد:

$$I_{av}^* = \bar{S} \cdot t^{*0.5} + \bar{A}_p \cdot t^* \quad [8]$$

که \bar{S} و \bar{A}_p به ترتیب میانگین حسابی پارامترهای S و A_p می‌باشند. برای محاسبه α_{opt} یک برنامه کامپیوتری در محیط برنامه نویسی MATLAB 8.1 نوشته شد.

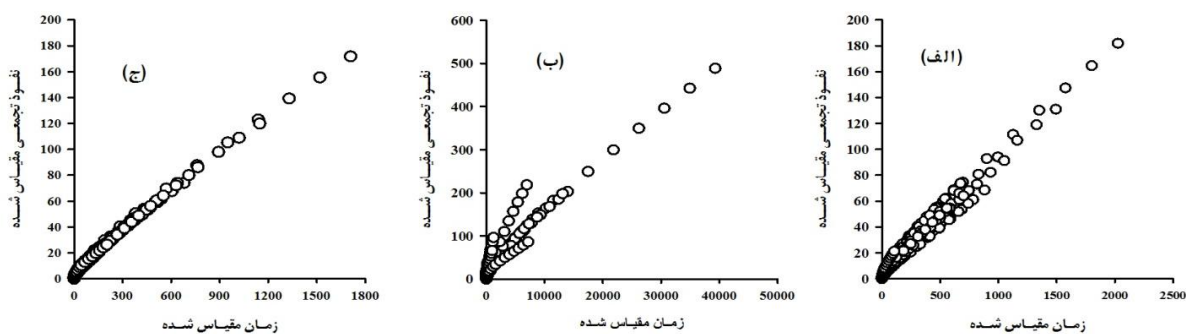
نتایج و بحث

جدول (۱) متوسط، حداکثر و حداقل ضریب جذب پذیری و پارامتر A_p خاک‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. متوسط ضریب تبیین برازش معادله دو پارامتری فیلیپ (رابطه ۲) بر خاک‌های مورد مطالعه برابر با ۰/۹۹ می‌باشد که دقت بالای این معادله را در توصیف نفوذ آب در خاک نشان می‌دهد. همچنین دامنه زیاد پارامترهای S و A_p نیز تغییرات بالای نفوذ را در خاک‌های مورد مطالعه نشان می‌دهند.

جدول ۱: حداکثر، حداقل و میانگین پارامترهای معادله دو پارامتر فیلیپ و شاخص‌های توصیف کننده دقت برازش این معادله در خاک‌های مورد مطالعه

پارامتر	حداکثر	حداقل	متوسط
S ($\text{cm min}^{-0.5}$)	۱/۵۴۷	۰/۲۷۴	۰/۶۹۷
A_p (cm min^{-1})	۰/۲۵۰۹	۰/۰	۰/۰۶۵
R^2	۱/۰	۰/۹۰	۰/۹۹
RMSE (cm)	۱/۴۵	۰/۰۴۲	۰/۳۵

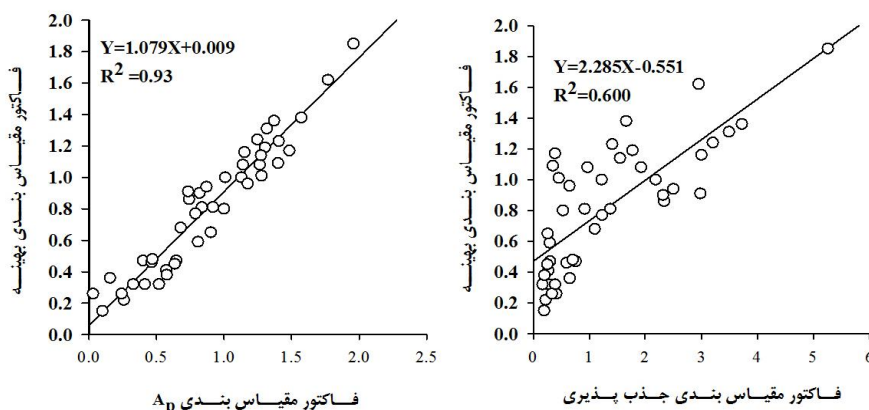
شکل (۱) نفوذ مقیاس شده را در برابر زمان مقیاس شده نشان می‌دهد. در صورتی که روش مقیاس بندی بخوبی عمل نماید بایستی تمامی منحنی‌های جدا از یکدیگر در اطراف یک منحنی مرجع تجمع حاصل کنند. نمودارهای الف و ب در شکل (۱) نفوذ مقیاس شده، با استفاده از فاکتورهای مقیاس بندی α_{Ap} و α_S را نشان می‌دهند. از نظر گرافیکی مشخص است که α_{Ap} بهتر از فاکتور α_S قادر به مقیاس کردن نفوذ می‌باشد. همچنین نمودار ج شکل (۱) نشان می‌دهد که استفاده از α_{opt} در مقیاس کردن نفوذ باعث شده که تمامی منحنی‌های نفوذ در اطراف منحنی مرجع تجمع نمایند. لذا تابع هدف انتخاب شده برای برآورد α_{opt} به خوبی قادر به برآورد α_{opt} می‌باشد



شکل ۱: تغییرات نفوذ مقیاس شده در برابر زمان مقیاس شده با استفاده از فاکتورهای

مقیاس بندی متفاوت (الف با استفاده از فاکتور مقیاس بندی پارامتر A_p (α_{Ap}))، ب با استفاده از فاکتور مقیاس بندی ضریب جذب پذیری خاک (α_S) و ج با استفاده از فاکتور مقیاس بندی بهینه (α_{opt})

شکل (۲) رابطه بین فاکتورهای مقیاس بندی α_{Ap} و α_S را با فاکتور مقیاس بندی بهینه نشان می‌دهد. مطابق انتظار، نتایج این شکل نشان می‌دهد که رابطه بهتری بین α_{Ap} با فاکتور مقیاس بندی بهینه ($R^2=0/93$) نسبت به α_S و فاکتور مقیاس بندی بهینه ($R^2=0/60$) وجود دارد. به عبارت دیگر این نتایج نیز نشان می‌دهند که استفاده از α_{Ap} برای مقیاس کردن نفوذ مناسب تر از α_S است.



شکل ۲: رابطه بین فاکتور مقیاس بندی بهینه و فاکتورهای مقیاس بندی محاسبه شده با استفاده از A_p و S

بررسی توزیع آماری فاکتورهای مقیاس بندی و برخی از خصوصیات هیدرولیکی اطلاع از نحوه توزیع فراوانی خصوصیات هیدرولیکی خاک در مدلسازی تصادفی^۳ اهمیت زیادی دارد. زیرا دانستن نحوه توزیع این متغیرها می تواند در پیش بینی آنها در مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین در این مطالعه نحوه توزیع فراوانی برخی از خصوصیات هیدرولیکی خاک نیز مورد بررسی قرار گرفت. جدول (۲) توزیع آماری فاکتورهای مقیاس بندی و برخی از خصوصیات هیدرولیکی خاکهای مورد مطالعه را نشان می دهد. در این مطالعه دو توزیع آماری نرمال و لاگ نرمال برای بررسی توزیع آماری خصوصیات مورد مطالعه استفاده شد. نتایج نشان می دهد که هر دو توزیع نرمال و لاگ نرمال قادر به توصیف توزیع فراوانی جذب پذیری خاکهای مورد مطالعه می باشند. در حالی که پارامترهای A_p و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (K_s) فقط از توزیع لاگ نرمال تبعیت می کنند. این نتایج مشابه نتایج زهو و ماهاتی (۲۰۰۶) می باشد. نتایج این مطالعه نشان داد که توزیع فاکتورهای مقیاس بندی α_{Ap} و α_S از توزیع لاگ نرمال پیروی می کند.

جدول ۲- بررسی توزیع آماری فاکتورهای مقیاس بندی و برخی از خصوصیات هیدرولیکی در

خاکهای مورد مطالعه

فاکتور مقیاس بندی	مقدار کای توزیع لاگ نرمال	مقدار کای توزیع نرمال	مقدار کای جدول [†]
α_{Ap}	۱۸/۰۷*	۶/۴۱*	۱۸/۳۱
α_S	۱۴/۸۶*	۵۳/۳۶ ^{NS}	۱۸/۳۱
α_{op}	۲۹/۵۳ ^{NS}	۱۲/۷۸۰*	۱۸/۳۱
هدایت هیدرولیکی اشباع خاک	۱۸/۰۲*	۳۴/۷۴ ^{NS}	۱۸/۳۱
ضریب جذب پذیری خاک	۱۴/۵۲*	۱۸/۰۹*	۱۸/۳۱
پارامتر A_p	۱۸/۰۸*	۳۹/۱۳ ^{NS}	۱۸/۳۱

[†] اگر مقدار کای اسکور محاسبه شده کوچکتر از کای اسکور جدول باشد نشان می دهد که داده های مورد آزمون از توزیع مورد نظر تبعیت می کنند. * نشان دهنده معنی داری در سطح ۵ درصد و NS نشان دهنده این است که داده ها از توزیع مورد بررسی تبعیت نمی کنند.

منابع

³ - Stochastic modeling



- Das BS, Haws NW and Rao PSC, 2005. Defining Geometric Similarity in Soils. *Vadose Zone Journal*. 4: 264-270.
- Miller E.E and Miller R.D, 1956. Physical theory for capillary flow phenomena. *Journal of Applied Physics* 27: 324-332.
- Sharma ML, Gander GA and Hunt, CG, 1980. Spatial variability of infiltration in a watershed. *Journal of Hydrology* 45: 101-122.
- Tuli A, Kosugi K and Hopmans JW, 2001. Simultaneous scaling of soil water retention and unsaturated hydraulic conductivity functions assuming lognormal pore-size distribution. *Advances in Water Resources* 24: 677-688.
- Zhu J and Mohanty BP, 2006. Effective scaling factor for transient infiltration in heterogeneous soils. *Journal of Hydrology* 319: 96-108.