محور مقاله: فیزیک خاک و رشد گیاه

ارزیابی مدل‌های نفوذ آب به خاک در خاک‌های ورتیسول شبکه آبیاری پایاب سد ماکو، پلدشت، استان آذربایجان غربی

فرزین پرچمی عراقی[1*]، رضا ادیبان[1]، محمد پسندیده[2]

[1] استادیار، بخش تحقیقات فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران.

[2] استادیار، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران.

چکیده

نفوذ آب به یکی از خاک نقش مهمی در چرخه آبی طبیعت ایفا می‌کند. اهمیّت پدیده نفوذ پژوهشگران را بر آن داشته تا همواره در پی ارائه مدلی مناسب برای بیان کمّی آن باشند. در پژوهش حاضر، عملکرد مدل‌های نفوذ فیلیپ، کوستیاکوف، کوستیاکوف-لوییز، سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) و هورتون در برآورد نفوذ تجمعی مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور، داده‌های حاصل از آزمایش‌های نفوذپذیری به‌روش استوانه‌های مضاعف در ۳۶ نقطه از خاک‌های ورتیسول اراضی شبکه آبیاری پایاب سد ماکو، پلدشت، استان آذربایجان غربی جمع‌آوری شد. پارامترهای مدل‌های یاد شده به‌روش حداقل مجموع مربعات خطا تعیین گردید. نتایج نشان داد که در مقایسه با دیگر مدل‌های مورد بررسی، عملکرد مدل کوستیاکوف در برآورد نفوذ تجمعی از روند پایدارتری برخوردار بود. به‌گونه‌ای که این مدل در اکثر نمونه‌های خاک مورد بررسی حایز رتبه نخست ارزیابی گردید. حال آن‌که این روند در دیگر مدل‌ها مشاهده نشد. مدل‌های کوستیاکوف، کوستیاکوف-لوییز و فیلیپ کم‌برآوردگر و مدل‌های هورتون و SCS بیش‌برآوردگر بودند. نتایج این پژوهش نشان داد که در مقایسه با دیگر مدل‌های نفوذ مورد بررسی، مدل کوستیاکوف بهترین مدل برای بیان کمّی فرآیند نفوذ آب به خاک در منطقه مطالعاتی است.

کلمات کلیدی: مدل فیلیپ، مدل کوستیاکوف، مدل کوستیاکوف-لوییز، مدل هورتون، مدل SCS

مقدمه

نفوذ آب به خاک به‌عنوان فرآیند اولیه‌ی ورود آب از سطح خاک به‌داخل ناحیه‌ی غیراشباع خاک می‌باشد. این فرآیند یکی از اجزای اصلی چرخه‌ی هیدرولوژی است. اهمیّت این فرآیند سبب گردیده است، مدل‌های فیزیکی و تجربی گوناگونی به‌منظور کمّی نمودن این فرآیند ارائه گردد (Kostiakov, 1932; Lewis, 1937; Philip, 1957; Argyrokastritis and Kerkides, 2003). به‌طور کلّی، مدل‌های نفوذ آب به خاک، شامل مدل‌های تخمینی با اساس فیزیکی و مدل‌های تخمینی تجربی می‌باشد (Rawls *et al.*, 1993). شرح مختصری از مدل‌های فوق در جدول (۱) ارائه گردیده است. از آنجا که فرضیّات و پارامترهای به‌کار رفته در مدل‌های نفوذ باهم متفاوت است، انتظار می‌رود در یک شرایط معیّن، مدلی خاص دارای عملکرد بهتری در مقایسه با بقیه باشد. از این‌رو پژوهش‌های متعددی در زمینه‌ی ارزیابی و مقایسه‌ی عملکرد مدل‌های نفوذ صورت گرفته است (Mishra *et al.*, 2003; Ghorbani Dashtaki *et al.*, 2009; Parchami-Araghi *et al.*, 2013). به همین دلیل، ارزیابی کارآیی این مدل‌ها در خاک‌های ایران که عمدتاً آهکی می‌باشند، ضروری به‌نظر می‌رسد. از این‌رو، هدف از پژوهش حاضر، ارزیابی و مقایسه کارآیی مدل‌های نفوذ گرین و امپت، فیلیپ، کوستیاکوف، کوستیاکوف-لوییز، هورتون و سازمان حفاظت خاک آمریکا در تبیین فرآیند نفوذ آب به خاک در خاک‌های ورتیسول شبکه آبیاری پلدشت، استان آذربایجان غربی بوده است.

* ایمیل نویسنده مسئول: f.parchamiaraghi@areeo.ac.ir

جدول ۱. شرح مدل‌های نفوذ مورد بررسی و پارامترهای برازشی آنها (*)

نام مدل	پارامترها	معادله
فیلیپ	S و A	$I = St^{1/2} + At$
کوستیاکوف	k و b	$I = kt^{b}$
کوستیاکوف-لوییز	k'، b' و A'	$I = k't^{b'} + A't$
هورتون	C، m و a	$I = C\ t + m(1-e^{-at})$
SCS	a'' و b''	$I = a''t^{b''} + c''$

(*)در این جدول، I: نفوذ تجمعی (سانتی‌متر) و t: زمان (دقیقه) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

داده‌های مورد نیاز این پژوهش از مطالعات خاکشناسی صورت گرفته در اراضی شبکه آبیاری پایاب سد ماکو، پلدشت، استان آذربایجان غربی در بهمن‌ماه ۱۳۹۶ جمع‌آوری شد. شبکه آبیاری پلدشت در محدوده جغرافیائی "03 ,58' ,44 ° تا "05 ,07' ,48 ° طـول شرقی و "57 ,10' ,39 ° تـا "42 ,16' ,39 ° عرض شمالی در نزدیکی شهر پلدشت، شهرستان ماکو، استان آذربایجان غربی و به‌فاصله ۲۴۰ کیلومتری از شمال شهرستان ارومیه قرار گرفته است. محدوده طرح پلدشت دارای سطحی به وسعت ناخالص ۴۰۷۰ هکتار و مساحت خـالص ۳۵۱۱ هکتـار مـی‌باشـد. از سـوی دیگـر، فعالیـت جریان‌های سطحی منطقه منجر به ظهور تشکیلات آبرفتی جوانی گردیده است که همچنان در اعماق سطحی نیم‌رخ خاک فاقد ساختمان و خلل و فرج بوده و مانعی در جهت گسترش ریشه‌های گیاه و نفوذ عمقی آب آبیاری/بارندگی محسوب می‌شوند. خاک‌های محدوده مطالعاتی در رده خاکی ورتیسول قرار می‌گیرند و وجود درز و ترک و آثار خفیفی از قلیائیت در سطح خاک مشهود بود. بررسی‌های صـورت گرفتـه حـاکی از سـنگین‌بافـت بـودن خـاک سطحی (شامل کلاس‌های بافتی لوم رسی سیلتی، لوم رسی و رس سیلتی) در بخش عمده‌ای از محدوده مطالعاتی بود. خاک زیرسطحی، عموما، شـامل لایه‌های ضخیم (ضخامت بیش از ۱/۵ متر) و فشرده لوم رسی، لوم رسی سیلتی و لوم رسی شنی با پلاستیسیته متوسط تا زیاد به همراه میان لایه‌هـای شنی بود. خاک زراعی محدوده مطالعاتی دارای عمق محدودی (بین ۴۰ تا ۷۰ سانتی‌متر) بوده و بر روی یک لایه آبرفتی بسـیار ضـخیم و متـراکم قـرار گرفته است. طی مطالعات فوق نفوذپذیری خاک منطقه مطالعاتی در ۳۶ نقطه به‌روش استوانه‌های مضاعف انجام شد.

به‌منظور بررسی اعتبار نتایج هر آزمایش و نیز تعیین بهترین تکرار از روش تحلیل اعتباریـابی[1] بـه‌روش پایـایی داخلـی[2] اسـتفاده گردیـد (Parchami-Araghi *et al.*, 2013). پارامترهای برازشی هریک از مدل‌های نفوذ مورد بررسی به‌روش حداقل مربعات خطـا و بـا اسـتفاده از الگـوریتم بهینـه‌سـازی ازدحام ذرات (PSO) تعیین گردید. عملکرد مدل‌های مورد بررسی در برآورد نفوذ تجمعی برای هر خاک با محاسبه‌ی آماره‌های میـانگین خطـا (ME)، میانگین قدرمطلق خطا (MAE)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب همبسـتگی پیرسـون (r) و حـداکثر خطـای مطلـق (ErMax) تعیـین گردید. آماره‌های فوق برای رتبه‌بندی نهایی مدل‌ها مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به هریک از آماره‌های MAE، RMSE و r رتبـه‌ای بـه مـدل‌هـای مورد بررسی داده شد که میانگین این رتبه‌ها، به‌عنوان رتبه‌ی نهایی هریک از مدل‌ها در نظر گرفته شد. در صورت احراز رتبه مشابه برای هر دو مـدل از آماره ErMax به‌منظور قضاوت نهایی در خصوص درجه نکویی عملکرد دو مدل استفاده گردید.

نتایج و بحث

دامنه‌ی تغییرات پارامترهای مدل‌های نفوذ مورد بررسی در جدول ۲ و نمونه‌ای برازش مدل‌های نفوذ مطالعاتی بر داده‌های اندازه‌گیری شـده نفوذ تجمعی در شکل ۱ ارائه شده است. بر اساس مقادیر آماره ضریب تغییرات ارائه شده در جدول ۳، در مقایسه با سـایر پارمترهـای مـدل‌هـای مـورد بررسی، پارامترهای A' (مدل کوستیاکوف-لوییز)، c'' (مدل SCS) و A (مدل فیلیپ) از بیشترین تغییرپذیری و عدم قطعیت برخوردار بوده‌اند. دلیل این امر را می‌توان به وجود درز و ترک در خاک‌های مطالعاتی و بسته شدن تدریجی آن‌ها در مجاورت رطوبت نسبت داد. به‌گونه‌ای که ماهیت بسیار متغیـر این درز و ترک‌ها موجب تغییرپذیری بسیار بالای پارامترهای فوق که به نوعی با سرعت نفوذ نهایی آب در خاک‌های مطالعاتی مرتبط هسـتند، گردیـده است. با توجه به جدول ۳ و بر اساس مقادیر آماره ME، مدل‌های کوستیاکوف، کوستیاکوف-لوییز و فیلیپ کـم‌برآوردگـر و مـدل‌هـای هورتـون و SCS

1-Reliability Analysis
2-Internal Consistency

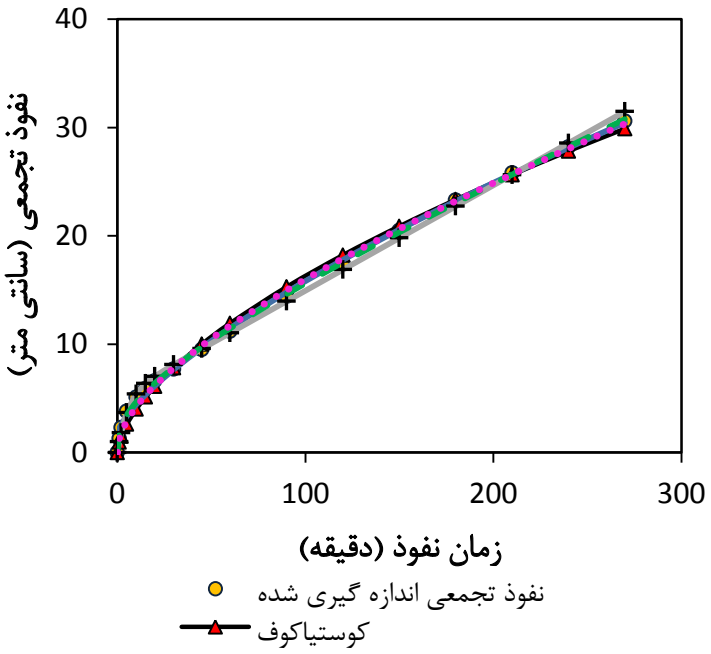
بیش‌برآوردگر بوده‌اند. مقایسه مقادیر آماره‌های ME و MAE حاکی از آن است که این کم‌برآوردگری یا بیش‌برآوردگری در هیچ‌یک از مدل‌های مورد بررسی به‌صورت سیستماتیک رخ نداده است. بر اساس مقادیر آماره RMSE، هورتون، کوستیاکوف-لوییز، SCS، کوستیاکوف و فیلیپ به‌ترتیب، از بهترین عملکرد در برآورد نفوذ تجمعی در خاک‌های مطالعاتی برخوردار بوده‌اند. همچنین، بر اساس آماره ضریب همبستگی پیرسون، مدل‌های هورتون، کوستیاکوف-لوییز، SCS، کوستیاکوف و فیلیپ به‌ترتیب، از بهترین عملکرد برخوردار بوده‌اند. بر اساس آماره ErMax مدل‌های هورتون، کوستیاکوف-لوییز، کوستیاکوف، SCS و فیلیپ به‌ترتیب، از کمترین حداکثر خطای مطلق برخوردار بوده‌اند. بر اساس میانگین رتبه‌های محاسبه شده برای عملکرد هریک از مدل‌های نفوذ مورد بررسی در نمونه‌های خاک مطالعاتی مدل‌های کوستیاکوف، هورتون، SCS، کوستیاکوف-لوییز و فیلیپ به‌ترتیب، از بهترین عملکرد در برآورد فرآیند نفوذ عمودی آب به خاک در خاک‌های ورتیسول منطقه مطالعاتی برخوردار بوده‌اند. بر اساس مقادیر انحراف معیار رتبه‌های ارزیابی محاسبه شده می‌توان گفت که عملکرد مدل‌های SCS، فیلیپ، کوستیاکوف، کوستیاکوف-لوییز و هورتون در نمونه‌های خاک مطالعاتی از به‌ترتیب، از بیشترین پایداری برخوردار بوده است.

جدول ۲- آماره‌های توصیفی پارامترهای نفوذ برآورد شده از طریق برازش مدل‌های نفوذ بر داده‌های نفوذ حاصل از آزمایش‌های استوانه‌های مضاعف.

نام مدل	پارامترهای مدل	حداقل	حداکثر	میانگین	ضریب تغییرات (درصد)
کوستیاکوف	K	۰,۵۰۲	۱۰,۰۷۰	۲,۳۱۵	۷۰,۵۰۸
	B	۰,۲۴۸	۰,۶۱۰	۰,۴۰۵	۲۱,۸۱۷
کوستیاکوف-لوییز	k'	۰,۵۰۲	۱۰,۰۴۱	۲,۳۶۳	۶۸,۴۸۰
	b'	۰,۲۴۸	۰,۵۴۶	۰,۳۹۲	۲۰,۳۲۱
	A'	۰,۰۰۰	۰,۰۶۸	۰,۰۰۴	۳۵۰,۷۹۱
هورتون	C	۰,۰۰۸	۰,۱۱۵	۰,۰۳۹	۶۵,۹۹۵
	M	۳,۴۸۱	۶۰,۵۹۸	۱۱,۱۶۸	۸۵,۰۴۸
	A	۰,۰۲۷	۰,۱۹۰	۰,۰۷۰	۶۳,۰۴۶
SCS	a''	۰,۵۰۲	۹,۶۱۳	۲,۲۶۲	۷۰,۰۲۴
	b''	۰,۲۴۸	۰,۷۱۷	۰,۴۱۰	۲۳,۸۳۷
	c''	۰,۰۰۰	۱,۷۳۰	۰,۱۰۵	۳۷۶,۸۷۵
فیلیپ	S	۰,۴۲۱	۵,۴۷۶	۱,۳۷۸	۶۵,۷۹۴
	A	۰,۰۰۰	۰,۰۳۸	۰,۰۰۲	۳۵۴,۷۴۳

جدول ۳- مقادیر آماره‌های ارزیابی مدل‌های نفوذ و رتبه مدل به‌ازای تمامی داده‌های آزمایش‌های نفوذپذیری

آماره ارزیابی	نام مدل				
	کوستیاکوف	هورتون	SCS	کوستیاکوف-لوییز	فیلیپ
(cm) ME	-۰,۰۵۶	۰,۰۱۴	۰,۰۸۹	-۰,۱۱۱	-۰,۱۵۱
(cm) MAE	۰,۶۳۷	۰,۴۰۶	۰,۶۲۷	۰,۶۲۲	۱,۱۵۳
(cm) RMSE	۰,۷۴۹	۰,۴۷۶	۰,۷۳۷	۰,۷۳۱	۱,۳۴۹
(-) r	۰,۹۹۳	۰,۹۹۶	۰,۹۹۳	۰,۹۹۳	۰,۹۸۲
(cm) ErMax	۱,۴۳۳	۰,۹۲۷	۱,۴۵۲	۱,۳۹۵	۲,۳۲۱
میانگین (انحراف معیار) رتبه نهایی	۲,۱۳۹ (۰,۸۲۸)	۲,۲۷۸ (۱,۶۶۷)	۲,۵۵۶ (۰,۷۷۳)	۳,۳۶۱ (۰,۹۶۱)	۴,۶۶۷ (۰,۸۲۸)



شکل ۱- نمونه‌ای برازش مدل‌های نفوذ مطالعاتی بر داده‌های اندازه‌گیری شده نفوذ تجمعی (سانتی‌متر).

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از ارزیابی عملکرد مدل‌های فیلیپ، کوستیاکوف، کوستیاکوف-لوییز، هورتون و SCS نشان داد که مدل‌های مورد بررسی در این پژوهش در نمونه‌های خاک مختلف عملکردی متفاوت داشتند. با این وجود، در مقایسه با سایر مدل‌ها، نحوه‌ی برآورد نفوذ تجمعی در مدل کوستیاکوف از روند پایدارتری برخوردار بوده و در اکثر نمونه‌های خاک مورد بررسی حایز رتبه‌ی نخست ارزیابی گردید. حال آن‌که این روند در دیگر مدل‌ها مشاهده نشد. با توجه به نتایج به‌دست آمده از ارزیابی کلی برآورد نفوذ تجمعی توسط مدل‌های نفوذ مورد بررسی در این پژوهش، کوستیاکوف، هورتون، SCS، کوستیاکوف-لوییز و فیلیپ، به‌ترتیب، در رده‌های نخست تا پنجم ارزیابی قرارگرفتند. بنابراین، می‌توان گفت از بین مدل‌های نفوذ مورد بررسی، مدل کوستیاکوف از بهترین مدل برای بیان کمّی فرآیند نفوذ آب به خاک در خاک‌های ورتیسول منطقه مطالعاتی برخوردار است.

منابع:

Argyrokastritis, I. and Kerkides, P. 2003. A note to the variable sorptivity infiltration equation. Water Resources Management, 17,133–145.

Ghorbani Dashtaki, S., Homaee, M., Mahdian, M.H. and Kouchakzadeh, M. 2009. Site-Dependence Performance of Infiltration Models. Water Resources Management, 23, 1573-1650.

Green, W.H. and Ampt, G. 1911. Studies of Soil Physics, Part 1. The flow of air and water through soils. Journal of Agricultural Science, 4, 1-24.

Haverkamp, R., Rendon, L. and Vachaud, G. 1987. Infiltration equations and their applicability for predictive use. In, Yu-SI Fok (ed.) Infiltration Development and Application. Honolulu, Hawaii. pp. 142-152.

Horton, R.E. 1940. An Approach Towards a Physical Interpretation of Infiltration Capacity. Soil Science Society of America Proceedings, 5, 399-417.

Kostiakov, A.N. 1932. On the dynamics of the coefficient of water-percolation in soils and on the necessity for studying it from a dynamic point of view for purposes of amelioration. Transactions Congress International Society for Soil Science, 6th, Moscow, Part A, 17-21.

Lewis, M.R. 1937. The rate of infiltration of water in irrigation practice. Eos Trans AGU 18,361–368.

Mezencev, V.J. 1948. Theory of formation of the surface runoff. Meteorologiae Hidrologia, 3, 33-40.

Mishra, S.K, Tyagi, J.V. and Singh, V.P. 2003. Comparison of infiltration models. Hydrol. Processes, 17, 2629–2652.

Mukheibir, P. 2008. Water resources management strategies for adaptation to climate-induced impacts in South Africa. Water Resour Manage 22,1259–1276.

Philip, J.R. 1957. The theory of infiltration, 1. The infiltration equation and its solution. Soil Science, 83, 345–357.

Rawls, W.J., Ahuja, L.R., Brakensiek, D.L. and Shirmohammadi, A. 1993. Infiltration and soil water movement. In, Handbook of Hydrology, Maidment, D.R. (Ed.). McGraw-Hill, New York.

Sadegh Zadeh, K., Shirmohammadi, A., Montas, H.J. and Felton, G. 2007. Evaluation of infiltration models in contaminated landscape. Journal of Environmental Science and Health, 42(7), 983-988.

US Department of Agriculture, Natural Resources and Conservation Service. 1974. National Engineering Handbook. Section 15. Border Irrigation. National Technical Information Service, Washington, DC, Chapter 4.

16th Iranian Soil Science Congress

University of Zanjan, Iran, August 27-29, 2019

Topic for submission: Soil Physics and Plant Growth

Performance Assessment of Some Infiltration Models in Vertisol Soils of Downstream Lands of Maku Dam, Poldasht, Western Azerbaijan Province, Iran

Parchami-Araghi*[1], F., Adiban[1], R., Pasandideh, M.[2]

[1] Assistant Prof., Agricultural Engineering Research Institute, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ardabil, Iran.

[1] Assistant Prof., Soil and Water Research Institute, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ardabil, Iran.

Abstract

Infiltration process is one of the most important components of the hydrological cycle. The importance of the infiltration process has enforced the soil and water researchers to model this process for quantitative applications. In this study, the performance of Philip, Kostiakov, Kostiakov-Lewis, Soil Conservation Service (SCS) and Horton infiltration models for estimation of the cumulative soil water infiltration was evaluated. For this purpose, the infiltration data were obtained by double rings method from 36 points in Vertisol Soils of Downstream Lands of Maku Dam, Poldasht, Western Azerbaijan Province, Iran. The infiltration parameters were then estimated, using least square optimization method. The results indicated that, compared to other models, the performance of Kostiakov model had more consistent trend in estimating the cumulative infiltration under the studied soil samples. This model provided first ranking of evaluation in different soil samples. The results indicated that Kostiakov, Kostiakov-Lewis, and Philip models underestimated the infiltration process while Horton and SCS models overestimated the soil water infiltration process. The results of this study indicated that compared to the other infiltration models, the Kostiakov model is the best model for quantifying the infiltration process in the study area.

Keywords: Philip model, Kostiakov model, Kostiakov-Lewis model, Horton model, SCS model

* Corresponding author, Email: f.parchamiaraghi@areeo.ac.ir