

## The Efficiency of Water Infiltration Models in Different Land Uses of the Tahamchai Catchment

ALIREZA VAEZI<sup>1\*</sup>, YASIN SALEHI<sup>1</sup>

1. Department of Soil Sciences Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.  
(Received: Dec. 15, 2019- Revised: Jan. 26, 2020- Accepted: Feb. 9, 2020)

### ABSTRACT

Accurate prediction of water infiltration rate is very important for programming the soil and water conservation practices in catchments. In this study, the efficiency of infiltration rate models was investigated in three land uses consist of dry-farming, irrigated farming and pasture lands in Tahamchai catchment (20 locations with three replications) in North West of Zanjan province, Iran. The efficiency of models was assessed using the measured data based on the determination coefficient ( $R^2$ ), root mean squared error (RMSE) and Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE). Results indicated that there is obvious variation in water infiltration rate in different land uses, so that the highest value was in dry-farming lands ( $16.6 \text{ cm h}^{-1}$ ) and the lowest value was in pastures ( $5.4 \text{ cm h}^{-1}$ ). Among the proposed models, the Kostiakov's equation showed the highest  $R^2$  (0.99), the lowest error (RMSE=  $0.01 \text{ cm h}^{-1}$ ) and the highest NSE (0.99) in pasture. Philip's equation appeared to be more efficient in the rainfed-farming and irrigated farming lands with  $R^2=0.99$ , RMSE ranging from 0.14 to 0.22 and NSE=0.99. Although, the Green-Ampt's equation was fitted relatively well to the measured data ( $R^2= 0.94$ ), its error index (RMSE=  $2.32 \text{ cm h}^{-1}$ ) was relatively high, indicating the least efficiency among the models. The GA model showed higher estimation error for higher infiltration rate values which occur mostly at initial times of water infiltration process. Therefore, regarding the higher correlations of the Kostiakov's and Philip's equations with the measured data, these two models are recommended for predicting water infiltration rate in different land uses of Tahamchai catchment.

**Keywords:** Green-Ampt's Equation, Infiltration Rate, Kostiakov's Equation, Philip's Equation, Soil Infiltration.

---

\* Corresponding Author's Email: [vaezi.alireza@gmail.com](mailto:vaezi.alireza@gmail.com)

## کارایی مدل‌های نفوذ آب به خاک در کاربری‌های مختلف زمین در حوزه آبخیز تهم‌چای

علی رضا واعظی<sup>۱\*</sup>، یاسین صالحی<sup>۱</sup>

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۹/۲۴ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۱۱/۶ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۱۱/۲۰)

### چکیده

پیش‌بینی دقیق شدت نفوذ آب به خاک برای برنامه‌ریزی حفاظت آب و خاک در حوزه‌های آبخیز اهمیت زیادی دارد. در این مطالعه کارایی مدل‌های نفوذ در کاربری‌های کشت دیم، کشت آبی و مرتع (۲۰ مکان در سه تکرار) در حوزه آبخیز تهم‌چای واقع در شمال غربی استان زنجان، ایران، بررسی شد. کارایی مدل‌های نفوذ بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده با استفاده از آماره‌های ضریب تعیین ( $R^2$ )، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب کارایی نش-ساتکلیف (NSE) ارزیابی شد. بر اساس نتایج، تغییرات آشکاری از نظر شدت نفوذ آب در کاربری‌های مختلف زمین وجود دارد و بیش‌ترین مقدار در کاربری دیم (۱۶/۶ سانتی‌متر بر ساعت) و کمترین آن در کاربری مرتع (۵/۴ سانتی‌متر بر ساعت) است. از بین مدل‌های مورد بررسی، مدل کوستیاکوف بیشترین ضریب تعیین ( $R^2=0/99$ ) و کمترین مقدار خطا ( $RMSE=0/05 \text{ cm h}^{-1}$ ) و بیش‌ترین ضریب کارایی ( $NSE=0/99$ ) را در کاربری مرتع نشان داد. در کاربری کشت دیم و کشت آبی مدل فلیپ با ضریب تعیین ۰/۹۹ و با میانگین مربعات خطایی از ۰/۱۴ تا ۰/۲۲ و همچنین ضریب کارایی نش-ساتکلیف ۰/۹۹ نسبت به دیگر مدل‌ها کارایی بیشتری را داشت. با وجود آن که مدل گرین-امپت برآزش نسبتاً خوبی به دیگر مدل‌ها به داده‌های اندازه‌گیری شده داشت ( $R^2=0/94$ ) اما شاخص خطای آن نسبتاً زیاد ( $RMSE=2/32 \text{ cm h}^{-1}$ ) بود که نشان از کم‌ترین کارایی این مدل در بین مدل‌ها است. خطای این مدل در مقادیر زیادتر شدت نفوذ که اغلب در لحظات اولیه فرآیند نفوذ رخ می‌دهد، بیشتر بود. بنابراین با توجه به همبستگی بالای مدل‌های کوستیاکوف و فلیپ با داده‌های اندازه‌گیری شده در حوزه آبخیز تهم‌چای، این دو مدل برای پیش‌بینی شدت نفوذ در کاربری‌های مختلف زمین پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: توابع غیرخطی، شدت نفوذ، کاربری زمین، منطقه نیمه‌خشک.

### مقدمه

نفوذ آب به خاک از مهم‌ترین فرآیندهای مؤثر بر تولید رواناب طی بارندگی و فراهمی آب آبیاری برای ریشه گیاهان است. با گذشت زمان از آغاز فرآیند نفوذ، مقدار نفوذ تجمعی آب به خاک افزایش و در عین حال از شدت نفوذ آن کاسته می‌شود. محاسبه دقیق نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ لحظه‌ای در طراحی سیستم‌های آبیاری در مزارع و مدیریت آبخیزداری و پیش‌بینی سیلاب اهمیت زیادی دارد. تغییرات زمانی شدت نفوذ آب به خاک<sup>۱</sup> توسط بسیاری از پژوهشگران در طول قرن گذشته بررسی شده است و مدل‌های زیادی برای محاسبه آن ارائه شده است (Mizaei et al., 2014) که به صورت مدل‌های تجربی، نیمه‌تجربی و پایه فیزیکی تقسیم‌بندی شده‌اند (Mishra et al., 1999). مدل کوستیاکوف (Kostiakov, 1932)، مدل کوستیاکوف اصلاح شده (Smith, 1972) و مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا<sup>۲</sup> (SCS)

(US Department of Agriculture, 1974). از جمله مدل‌های

تجربی نفوذ آب به خاک هستند. مدل‌های نیمه‌تجربی مانند مدل هورتون (Horton, 1940) از جمله مدل‌های پایه فیزیکی و تجربی هستند. این مدل‌ها از شکل ساده معادله پیوستگی جریان استفاده می‌کنند. مدل‌های پایه فیزیکی مانند معادله فلیپ (Philip, 1957) و گرین-امپت (Green and Ampt, 1911) از حل معادله ریچاردز به دست آمده‌اند (Shukla et al., 2003). دست‌یابی به مدل نفوذ مناسب برای پیش‌بینی شدت نفوذ آب به خاک و در نتیجه در ارزیابی حساسیت خاک‌ها به تولید رواناب و فرسایش و نیز برنامه‌ریزی آبیاری حائز اهمیت است.

کارکرد مدل‌های نفوذ به ویژگی‌های مختلف فیزیکی مانند توزیع اندازه ذرات و ساختمان از یک سو و شرایط خاک مانند مدیریت خاک و محتوای رطوبتی خاک وابسته است (Kavian et al., 2017). تاکنون پژوهش‌های مختلفی در زمینه ارزیابی و مقایسه مدل‌های نفوذ آب در خاک انجام شده است از آن جمله

\* نویسنده مسئول: vaezi.alireza@gmail.com

تخریب شده و مرتع حفاظت شده نشان دادند میانگین نفوذ جمعی در مرتع حفاظت شده بیش‌تر از مرتع تخریب شده بود. آن‌ها دلیل این نتیجه را اثر عملیات شخم و شیارهای ایجاد شده و در نتیجه تخریب مرتع گزارش کردند. (Kavousi *et al.* 2011) در حوضه آبخیز کجور اقدام به ارزیابی چندین مدل نفوذ آب به خاک کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که مدل کوستیاکوف بهترین برازش و مدل‌های گرین و امپ و مدل هورتون بدترین برازش را با داده‌های اندازه‌گیری شده داشتند. (Talebi *et al.* 2014) با مطالعه معادلات نفوذ در ۱۰ نقطه در گروه‌های هیدرولوژیکی A و B خاک در حوضه آبخیز منشاد استان یزد چهار مدل نفوذ را برای هر نقطه برازش دادند و مدل کوستیاکوف-لوئیس را به‌عنوان مناسب‌ترین مدل برای برآورد نفوذ در خاک‌های گروه هیدرولوژیکی A و B معرفی کردند. (Rahmati *et al.* 2016) در مطالعه‌ای به‌منظور ارزیابی پارامترهای معادلات مختلف نفوذ برای حوضه آبخیز ليقوان نشان دادند که مدل‌های سه جزئی فیلیپ، کوستیاکوف، کوستیاکف اصلاح شده هورتون، گرین و امپ و فیلیپ به‌ترتیب با مقادیر خطای برازش برابر با ۴، ۸، ۱۰، ۱۳، ۳۶ و ۳۷ به‌ترتیب کم‌ترین خطا را در پیش‌بینی نفوذ جمعی یا سرعت نفوذ برخوردار بودند. (Razzaghi *et al.* 2016) در مطالعه-ای با هدف بررسی عملکرد مدل‌های نفوذ آب به خاک در منطقه ارومیه عملکرد مدل‌هایی از جمله فیلیپ، کوستیاکوف، کوستیاکوف-لوئیس، هورتون، هاگینز و مونکه، و اسمیت-پارلانژ خطی و غیرخطی را بررسی کردند. آنان گزارش کردند که بر اساس شاخص RMSE و AIC عملکرد مدل‌های فیلیپ، کوستیاکوف، کوستیاکوف-لوئیس، هورتون با شباهت حدود ۸۰ درصد نسبت به هاگینز و مونکه، و اسمیت-پارلانژ خطی و غیرخطی بهتر بود.

(Soleimani *et al.* 2016) با برآورد نفوذ در کاربری‌های مختلف به‌منظور مدیریت بهینه حوضه آبخیز کاکاشرف استان لرستان گزارش کردند مدل فیلیپ به‌عنوان برترین مدل و مدل هورتون ضعیف‌ترین مدل در هر سه کاربری انتخاب شدند. (Sohrabi-Sadikhani 2017) با بررسی تأثیر کاربری زمین بر کارایی برخی از مدل‌های نفوذ آب به خاک در ۸۲ نقطه از اراضی زراعی، باغی و مرتع شهرستان مرودشت استان فارس گزارش کردند که مدل‌های کوستیاکوف-لوئیس، هورتون، گرین-امپ، سازمان حفاظت خاک آمریکا، کوستیاکوف و فیلیپ به‌ترتیب در رتبه‌های اول تا پنجم ارزیابی قرار گرفتند. آن‌ها دلیل برتری مدل کوستیاکوف-لوئیس را بیش‌تر بودن تعداد پارامترها نسبت

Ghorbani Dashtaki *et al.* (2009) در پژوهشی به‌منظور قرار دادن مدل‌های نفوذ آب به خاک در معرض تغییرات مکانی در ۱۲۳ مکان با بافت‌های مختلف عملکرد مدل‌های نفوذ کوستیاکوف، مزنسف، هورتون و فیلیپ را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که عملکرد مدل‌های هورتون، کوستیاکوف و فیلیپ به مقدار زیادی تحت تأثیر تغییرات مکانی قرار می‌گیرند و مدل مزنسف تخمین‌های مناسب‌تری نسبت به دیگر مدل‌ها در اکثر مکان‌ها نشان داد. (Askari *et al.* 2013) با هدف ارزیابی صحت مدل‌های نفوذپذیری در مناطق ساحلی و سیلاب زیر کشت نخل روغنی در کشور مالزی به بررسی ۱۰ مدل نفوذ پرداختند. آنان گزارش کردند مدل کوستیاکوف اصلاح شده با توجه به ریشه میانگین مربع خطا نتایج بهتری ارائه داد. (Saikia and Das 2016) در مطالعه‌ای مروری برای بررسی مدل‌سازی نفوذ در مناطق مختلف با انواع خاک گزارش کردند مقادیر پارامترهای مدل‌های نفوذ از خاکی به خاک دیگر متفاوت است. در مطالعه‌ای (Sihag *et al.* 2017) به‌منظور ارزیابی میزان نفوذ در منطقه هاریانا در کشور هند در ۱۰ منطقه و با ۱۰۹ نقطه مشاهده‌ای مدل‌های کوستیاکوف، کوستیاکوف اصلاح شده و SCS را ارزیابی نمودند و گزارش کردند این مدل‌ها پیش‌بینی دقیقی از میزان نفوذ منطقه نداشتند و مدل جدیدی برای آن منطقه ارائه دادند. (Patil *et al.* 2018) در مناطق مختلف کشاورزی منطقه نیشیک در کشور هند کارایی مدل‌های نفوذ را مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند مدل کوستیاکوف نسبت به مدل‌های دیگر بهترین برآورد را داشت. (Haimanote *et al.* 2019) با ارزیابی مدل‌های کوستیاکوف، فیلیپ و هورتون در ۴۲ نقطه حوضه آبخیز آنجی در آفریقا گزارش کردند مدل‌های هورتون و کوستیاکوف با ضریب تعیین<sup>۱</sup> (R<sup>2</sup>)، ۰/۹۷، ضریب کارایی نش-ساتکلیف<sup>۲</sup> (NSE) برابر با ۹۷٪ و میانگین خطای مطلق<sup>۳</sup> (MAE) و ریشه میانگین مربعات خطا<sup>۴</sup> (RMSE) به‌ترتیب ۲/۲۵ و ۳/۴۳ برای هورتون و ۲/۳۴ و ۳/۵۷ برای کوستیاکوف بهترین نتایج را داشتند. (Nugroho *et al.* 2019) با ارزیابی مدل‌های نفوذ برای خاک‌های معدنی در زمین‌های مختلف مناطق گرمسیری گزارش نمودند که مدل کستیاکوف در مقایسه با مدل کوستیاکوف-لوئیس، گرین-امپ، فیلیپ و هورتون نفوذ را با دقت بیش‌تری برآورد می‌کند. یافته‌های آن‌ها نشان داد میزان نفوذپذیری تحت تأثیر تعدادی از عوامل مانند چگالی فشرده، تخلخل، رطوبت خاک و بافت خاک قرار دارد. (Ghorbani *et al.* 2010) Dashtaki *et al.* با اندازه‌گیری نفوذ در دو کاربری مرتع

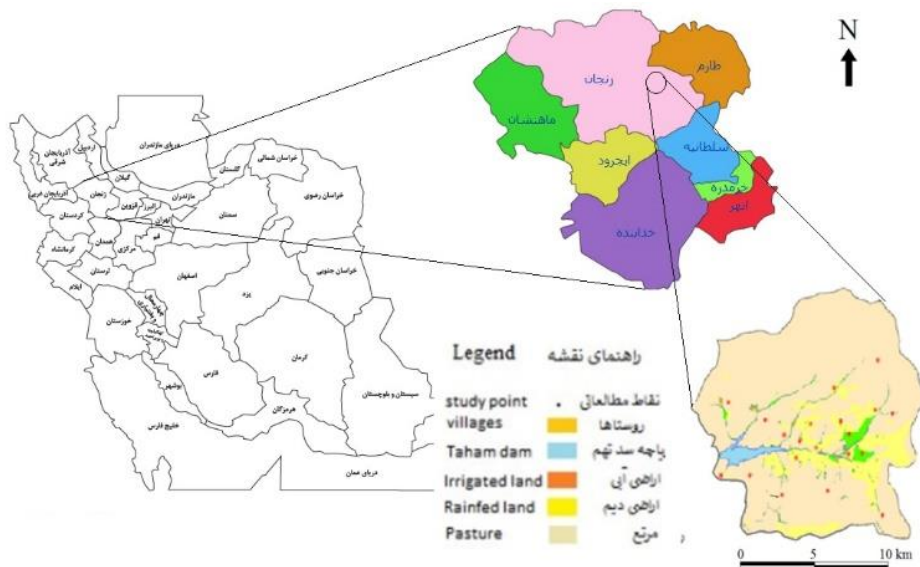
به دیگر مدل‌ها عنوان کردند.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد بررسی

این پژوهش در حوزه آبخیز تهم‌چای واقع در ۱۰ کیلومتری شمال غرب زنجان و مختصات جغرافیایی  $36^{\circ}53'$  تا  $36^{\circ}46'$  عرض شمالی و  $48^{\circ}71'$  تا  $48^{\circ}37'$  طول شرقی انجام شد. مساحت حوزه آبخیز حدود ۲۲۸۱۶ هکتار است که از آن حدود ۶۱/۹ درصد از سطح حوزه (۱۴۱۴۲ هکتار) را کاربری مرتع، حدود ۳۲/۷ درصد (۷۴۶۳ هکتار) را کشت دیم یا اراضی رها شده و حدود ۵/۴ درصد (۱۲۱۱ هکتار) را کشت آبی دربر گرفته است. در ارتفاع متوسط حوزه آبخیز ۲۰۸۵ متر از سطح دریا است. پوشش گیاهی در دامنه‌ها ضعیف (۱۵-۱۰ درصد) است. میانگین دمای سالانه ۱۰ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالانه ۳۷۸ میلی‌متر است و اقلیم منطقه بر اساس روش دومارتن جزء مناطق نیمه‌خشک محسوب می‌شود (شکل ۱).

بررسی پژوهش‌های انجام شده نشان‌دهنده نتایج متفاوت عملکرد مدل‌های نفوذ آب در خاک‌های با ویژگی‌های فیزیکی مختلف و در شرایط متفاوت مدیریتی است. اگرچه تاکنون پژوهش‌هایی در مورد دقت معادلات نفوذ آب به خاک در ایران و خارج از کشور انجام گرفته است اما همچنان اطلاعات محدودی در مورد کارایی مدل‌های نفوذ در کاربری‌های مختلف زمین وجود دارد. اهمیت این موضوع در حوزه‌های آبخیز مناطق نیمه‌خشک که تولید رواناب و فرسایش خاک مهم‌ترین عامل تخریب زمین در آن‌ها است، دوچندان می‌باشد. این پژوهش مبتنی بر اندازه‌گیری‌های صحرایی نفوذ آب به خاک در کاربری‌های کشت دیم، کشت آبی و مرتع در حوزه آبخیز تهم‌چای به منظور ارزیابی کارایی مدل‌های مختلف نفوذ آب (کوستیاکوف، کوستیاکوف-لوئیس، فیلیپ، هورتون، سازمان حفاظت خاک آمریکا و گرین-امپت) در این حوزه آبخیز نیمه‌خشک کشور انجام گرفت.



شکل ۱- نقشه کاربری زمین و موقعیت نقاط مطالعاتی در حوزه آبخیز تهم‌چای

(Kemper and Rosenau, 1986). همچنین نمونه‌های خاک دست‌خورده برای آزمایش‌های رایج برداشت شد. این نمونه‌ها پس از عبور از الک ۲ میلی‌متری برای انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه انتقال داده شدند. توزیع اندازه ذرات به روش هیدرومتری (Gee and Boudier, 1986)، pH خاک به وسیله pHسنج در گل اشباع (Lean, 1982)، درجه شوری به وسیله ECسنج بر مبنای رسانایی الکتریکی عصاره گل اشباع (EC) (Western, 1999) و میانگین قطر خاک‌دانه‌ها و پایداری خاک-دانه‌ها در نمونه خاک‌دانه ۶ تا ۸ میلی‌متر به روش الک تر با

### اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک

نمونه‌برداری خاک در ۲۰ مکان و از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری با سه تکرار انجام شد. نمونه‌ها از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. سپس برای انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه انتقال داده شدند. برای تعیین چگالی ظاهری خاک، نمونه‌های دست‌نخورده با استفاده از سیلندر فلزی (Gee and Baudier, 1986) به ارتفاع ۷ سانتی‌متر و قطر ۴/۷ سانتی‌متر برداشت شد. برای تعیین پایداری خاک‌دانه‌ها نیز نمونه‌هایی از خاک‌دانه‌های با قطر ۶ تا ۸ میلی‌متر از خاک به وسیله الک‌های مربوطه تهیه شد

شده بود میزان نفوذ آب به خاک تعیین شد. اندازه‌گیری نفوذ تا زمانی که سرعت نفوذ به مقدار ثابتی برسد (حدود ۲ ساعت) ادامه یافت. آزمایش‌های نفوذ در فصل تابستان که رطوبت خاک سطحی کم‌ترین بود (حدود ۴ تا ۵ درصد) انجام گرفت. سرعت نفوذ آب در هر زمان از آغاز فرآیند نفوذ، به‌عنوان سرعت نفوذ لحظه‌ای در نظر گرفته شد. سرعت نفوذ آب به خاک در آغازین زمان آزمایش به نام سرعت نفوذ اولیه<sup>۲</sup> و سرعت نفوذ آب در زمانی که به حد تقریباً ثابتی رسید، به نام سرعت نفوذ نهایی<sup>۳</sup> بیان شد. برای برآورد نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ لحظه‌ای از مدل‌های کوستیاکوف، کوستیاکوف-لوئیس، فیلپ، گرین-امپت، هورتون و دفتر حفاظت خاک آمریکا (SCS) استفاده شد. معادلات و پارامترهای هر یک از مدل‌ها در جدول (۱) ارائه شده است. بر اساس داده‌های مشاهده‌ای نفوذ در هر کاربری زمین (نفوذ تجمعی و شدت نفوذ)، ضرایب معادلات نفوذ (مقدار  $k$  و  $b$  در مدل کوستیاکوف و مدل کوستیاکوف-لوئیس، مقدار  $k$  در مدل هورتون و نیز مقدار  $a$  و  $b$  در مدل SCS بر اساس شماره منحنی نفوذ) به دست آمدند.

جداسازی خاک‌دانه‌های پایدار در آب به مدت یک دقیقه (Kemper and Rosenau, 1986) اندازه‌گیری شدند رطوبت اشباع خاک<sup>۱</sup> (SP) پس از اشباع کردن نمونه‌های خاک و نگه داشتن به مدت ۲۴ ساعت از طریق اندازه‌گیری رطوبت وزنی تعیین شد (Soil Survey staff, 2014). کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون (Jones, 2001) و محتوای کربن آلی به روش والکی بلاک (Walkley and Black, 1934) تعیین شد. داده‌های نفوذ آب به خاک از آزمایش شدت نفوذ با استفاده از استوانه مضاعف به روش بار افتان (Klute and Dirksen, 1986) در ۲۰ مکان با سه تکرار (مجموعاً در ۶۰ نقطه) به‌دست آمد بدین منظور از دو استوانه فلزی به قطرهای ۳۲ و ۵۵ سانتی‌متر، ارتفاع ۲۵ سانتی-متر و ضخامت ۲ میلی‌متر استفاده شد هر دو استوانه به‌صورت متحدالمرکز روی سطح خاک قرار گرفته و از طریق وارد کردن ضربه به داخل خاک (۵ تا ۱۰ سانتی‌متر) فرو برده شدند. فاصله دیوارهای دو استوانه از هم حدود ۱۵ سانتی‌متر بود و سپس با ریختن آب درون سیلندرها و قرائت میزان افت سطح آب در واحد زمان از طریق خط‌کشی که به دیواره داخلی استوانه چسپانده

جدول ۱- مدل‌های نفوذپذیری خاک

مدل	معادله ریاضی	اجزای مدل
گرین-امپت (۱۹۱۱)	$i = \frac{A}{I} + B$	$I$ عمق نفوذ تجمعی، $i$ سرعت نفوذ لحظه‌ای، $A$ و $B$ ضرایب به دست آمده از آزمایش است.
کوستیاکوف (۱۹۳۲)	$I = kt^b$	$I$ عمق نفوذ تجمعی، $k$ و $b$ ضرایب به دست آمده از آزمایش و $t$ زمان از آغاز فرایند نفوذ هستند.
هورتون (۱۹۴۰)	$i = i_f + (i_0 - i_f)e^{-kt}$	$i$ عمق سرعت نفوذ لحظه‌ای، $i_f$ سرعت نفوذ نهایی، $i_0$ سرعت نفوذ اولیه، $t$ زمان، $e$ عدد نپر و $k$ ضریب بدست آمده از آزمایش است.
فیلپ (۱۹۵۷)	$I = \frac{1}{St^2} + At$	$I$ عمق نفوذ تجمعی، $S$ ضریب جذبی خاک (تابع مکش خاک)، $A$ بیانگر نیروی ثقل در نفوذ و $t$ زمان است.
کوستیاکوف-لوئیس (۱۹۷۲)	$I = kt^b + if_t$	$I$ عمق نفوذ تجمعی، $k$ و $b$ ضرایب به دست آمده از آزمایش، $i_f$ سرعت نفوذ نهایی و $t$ زمان است.
سازمان حفاظت خاک آمریکا (۱۹۷۴)	$I = at^b + c$	$I$ عمق نفوذ تجمعی، $t$ زمان، $a$ و $b$ مقادیر به دست آمده بر اساس جدول و از روی شماره منحنی ضرایب به دست آمده و $c$ ضریب ثابت (۰/۶۹۸) است.

### ارزیابی معادلات نفوذ

مقایسه شد. ضریب تعیین درجه هم‌خطی بودن داده‌های اندازه-گیری شده و برآوردی را نشان می‌دهد هرچه این عدد به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده برازش بهتر داده‌ها است. ریشه میانگین مربعا خطا و میانگین خطای مطلق میزان خطای تخمین را نشان می‌دهند هر چه مقدار این دو آماره زیادتیر یعنی خطای بیشتری رخ داده است و همواره مثبت هستند. RMSE هم واحد

پس از تعیین پارامترهای مدل‌های مورد بررسی، مقادیر نفوذ برآورد شده برای هر مدل با مقادیر واقعی مقایسه شد. سپس با استفاده از آماره‌های ضریب تعیین ( $R^2$ )، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE) و ضریب کارایی نش-ساتکلیف (NSE) کارایی مدل‌های مورد مطالعه و ارزیابی و

پایداری ساختمان خاک بین کاربری‌های زمین وجود دارد به-طوری که بیشترین مقدار پایداری خاکدانه‌ها در آب در کاربری مرتع (۲/۲ میلی‌متر) و کمترین مقدار آن در کشت آبی (۱/۵ میلی‌متر) است.

### تغییرات نفوذپذیری خاک در کاربری‌های زمین

بررسی تغییرات زمانی نفوذ آب در کاربری‌های مختلف زمین نشان داد که کاربری‌های زمین شدت نفوذ آب (اولیه، متوسط و نهایی) متفاوتی دارند (شکل ۲). کاربری کشت دیم بیشترین شدت نفوذ اولیه (۴۳/۳۵ سانتی‌متر بر ساعت) و میانگین سرعت نهایی نفوذ (۱۶/۶۵ سانتی‌متر بر ساعت) را دارد (جدول ۳). شدت نفوذ نهایی در این کاربری به ترتیب ۱۶ درصد بیشتر از کشت آبی و ۳/۱ برابر مرتع است. تفاوت در میزان شدت نفوذ اولیه و متوسط در کاربری‌های مختلف می‌تواند به تفاوت در ویژگی‌های خاک مانند بافت خاک، درصد ماده آلی، ساختمان و همچنین میزان تخریب خاک اشاره کرد (Omidvar et al., 2014). سرعت نهایی نفوذ آب در کاربری‌های زمین تفاوت چشمگیری داشت و از ۱/۶ سانتی‌متر بر ساعت در کاربری مرتع تا ۶/۹۰ سانتی‌متر بر ساعت در کاربری کشت دیم متغیر است. در مطالعات Soleimani et al. (2016) نیز کاهش سرعت نفوذ نهایی از کاربری زراعی به مرتع را گزارش شده است. با توجه به نبود تفاوت اساسی در درصد شن (۷ درصد)، سیلت (۳ درصد) و رس (۶ درصد)، بین خاک کاربری-های زمین، تفاوت در شدت نفوذ نهایی می‌تواند به دلیل عوامل مدیریتی باشد. چرای دام‌ها در کاربری مرتع عامل اصلی کاهش نفوذپذیری خاک در این کاربری زمین است.

با داده‌ها و MAE بدون بعد است. مقدار عددی ضریب کارایی نش-ساتکلیف بین منفی بی‌نهایت تا یک است و هرچه به یک نزدیک‌تر باشد بیانگر آن است که مدل تخمین بهتری داشته است و هرچه به صفر نزدیک‌تر شود از دقت مدل کاسته می‌شود. آماره‌های مذکور از روابط زیر محاسبه شدند.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - x_j)^2}{n}} \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$MAE = \frac{RMSE}{\bar{x}_i} \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_j)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)^2} \quad (\text{رابطه ۳})$$

که در روابط بالا  $x_i$  مقدار سرعت نفوذ یا نفوذ تجمعی برآورد شده و  $x_j$  مقدار سرعت و نفوذ تجمعی اندازه‌گیری شده و  $n$  نیز برابر تعداد مقایسه‌ها می‌باشد.

## نتایج و بحث

### ویژگی‌های خاک کاربری‌های زمین

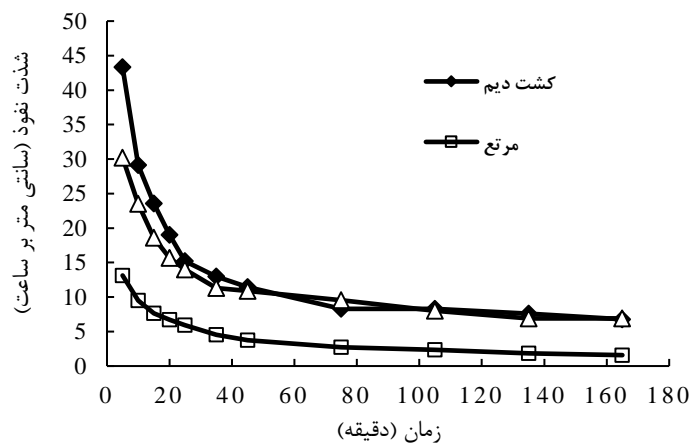
جدول (۲) میانگین ویژگی‌های خاک در کاربری‌های زمین را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج بررسی توزیع اندازه ذرات، خاک مرتع و کشت دیم در کلاس لوم شنی و خاک‌های تحت کشت آبی در کلاس لوم رس شنی قرار دارند. خاک‌های منطقه از نظر مقدار آهک (۱۶/۴ تا ۱۹/۹ درصد)، درصد رطوبت جرمی اشباع (۳۳ تا ۴۱ درصد) و چگالی ظاهری خاک (۱/۵۸ تا ۱/۶۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب) دارای شرایط نسبتاً مشابهی بودند. بیشترین مقدار ماده آلی در کاربری کشت دیم (۲/۳ درصد) و کمترین مقدار آن در مرتع (۱/۵ درصد) است. تفاوت نسبت زیادی از نظر

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک کاربری‌های زمین در حوزه آبخیز تهم‌چای

ویژگی‌های خاک	مرتع	کشت دیم	کشت آبی	میانگین مربعات
شن (%)	۵۵	۵۳/۹	۴۸/۲	۸۹/۹۳ <sup>ns</sup>
سیلت (%)	۲۵/۸	۲۸/۸	۲۸/۶	۲۰/۴۸ <sup>ns</sup>
رس (%)	۱۹/۲	۱۷/۳	۲۳/۲	۴۷/۳۳ <sup>ns</sup>
رطوبت اشباع (%)	۳۳/۰ <sup>b</sup>	۳۷/۲ <sup>b</sup>	۴۱/۴ <sup>a</sup>	۱۳۲/۰۱*
چگالی ظاهری (گرم بر سانتیمتر مکعب)	۱/۶۵	۱/۶۰	۱/۵۸	۱/۵۴ <sup>ns</sup>
میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار (میلی‌متر)	۲/۲ <sup>a</sup>	۲/۰ <sup>b</sup>	۱/۵ <sup>c</sup>	۰/۶۱۰**
سرعت نفوذ نهایی آب (سانتی‌متر بر ساعت)	۱/۵۸ <sup>c</sup>	۶/۷۷ <sup>b</sup>	۶/۹۰ <sup>a</sup>	۵۴/۶۳**
ماده آلی (%)	۱/۵ <sup>c</sup>	۲/۳ <sup>a</sup>	۲/۰ <sup>b</sup>	۱/۱۳**
کربنات کلسیم معادل (%)	۱۸/۷	۱۹/۹	۱۶/۴	۱۶/۱۳ <sup>ns</sup>

جدول ۳- مقادیر سرعت نفوذ اولیه، نهایی و متوسط در کاربری‌های زمین در حوزه آبخیز تهم‌چای

کاربری	سرعت نفوذ اولیه (سانتی‌متر بر ساعت)	متوسط سرعت نفوذ (سانتی‌متر بر ساعت)	سرعت نفوذ نهایی (سانتی‌متر بر ساعت)
کشت دیم	۴۳/۳۵	۱۶/۶۵	۶/۹۰
کشت آبی	۳۰/۲۰	۱۴/۳۰	۶/۷۷
مرتع	۱۳/۱۲	۵/۴۱	۱/۵۸



شکل ۲- تغییرات شدت نفوذ آب به خاک در کاربری‌های مختلف زمین

### دقت معادلات نفوذ

جدول (۴) نتایج ارزیابی کارایی مدل‌های برآوردی نفوذ را در کاربری‌های زمین نشان می‌دهد. تحلیل داده‌ها نشان داد که مدل‌های نفوذ برازش خوبی بر داده‌های مشاهده‌ای دارند به طوری که ضریب تعیین ( $R^2$ ) خطوط برازش یافته بر داده‌ها از ۹۴/۳ درصد در مدل گرین-امپت تا ۹۹/۷ درصد در مدل کوستیاکوف تغییر دارد. ارزیابی مدل‌ها بر اساس شاخص  $R^2$  نشان‌دهنده کارایی بیشتر مدل کوستیاکوف در برآورد شدت نفوذ و در عین حال کارایی کمتر مدل گرین-امپت است. برای بررسی دقت کارایی مدل‌ها از شاخص‌های خطا (RMSE، MAE و NSE) استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل کوستیاکوف کمترین مقدار خطا را در کاربری‌های زمین به ترتیب با میانگین RMSE، MAE و NSE برابر با  $0.27 \text{ cm.h}^{-1}$ ،  $0.04$  و  $0.99$  دارد. مقدار این شاخص‌ها در کاربری مرتع نسبت به سایر کاربری‌های زمین کمترین (به ترتیب با RMSE، MAE و NSE برابر با  $0.05 \text{ cm.h}^{-1}$ ،  $0.01$  و  $0.99$ ) بود. همچنین خطای مدل فیلیپ بر اساس شاخص‌های RMSE و MAE نیز در کاربری‌های زمین کمتر (برابر با  $0.27 \text{ cm.h}^{-1}$  و  $0.04$ ) و کارایی نش-ساتکلیف (NSE) زیادتر ( $0.99$ ) بود مدل SCS پراکنش مناسبی از داده‌ها را برای همه کاربری‌ها ( $R^2=0.98$ ) نشان داد. بررسی ضریب NSE برای این مدل نشان داد که نسبت به مدل‌های هورتون، کوستیاکوف-لوئیس و گرین-امپت به ترتیب ۱۱، ۲۰ و ۲۳ درصد از کارایی بیش‌تری برخوردار است اما نسبت به مدل‌های کوستیاکوف و فیلیپ ۱۴ درصد کارایی کمتری داشت. مدل گرین-امپت با برازش ضعیف‌تر نسبت به دیگر مدل‌ها به داده‌ها ( $R^2=0.94$ ) و با شاخص خطای زیاد ( $\text{cm.h}^{-1}$  RMSE=۲/۳۲) کم‌ترین کارایی را داشت. بر این اساس می‌توان مدل‌های نفوذ آب به خاک را از نظر کارایی در برآورد شدت نفوذ به ترتیب با برتری کوستیاکوف، فیلیپ، SCS، هورتون،

کوستیاکوف-لوئیس و گرین-امپت بیان کرد. در پژوهشی Jejurkar and Rakurkar (2012) میزان نفوذ آب به خاک در شرایط مختلف پوشش زمین بررسی کردند و معادلات نفوذ (کوستیاکوف، کوستیاکوف اصلاح شده، هورتون و فیلیپ) را مورد اعتبارسنجی قرار دادند. آنان نشان دادند که میزان نفوذ در تابستان حدود دو برابر میزان نفوذ در زمستان است و مدل کوستیاکوف تقریباً برای تمام پوشش‌های زمین بهترین مدل بود. گزارش‌ها نشان می‌دهد که ارزیابی کارایی مدل‌های نفوذ بدون بررسی میزان پراکنندگی داده‌ها و اعتماد کامل به نتایج RMSE می‌تواند گمراه‌کننده باشد، زیرا این شاخص از توازن مقادیر کوچک‌تر و بزرگ‌تر خطاها به دست می‌آید (Mizae et al., 2015) با توجه به جدول (۴) مدل‌های کوستیاکوف، فیلیپ و دارای مقادیر RMSE بسیار نزدیک به هم هستند. همین اساس برای تعیین مدل مناسب باید پراکنش همه داده‌ها و نیز در انتخاب مدل بهتر در نظر گرفته شود.

برای بررسی دقیق‌تر دقت معادلات نفوذ، مقادیر اندازه‌گیری شده نفوذ در مقابل مقادیر برآوردی مدل‌ها برای هر یک از کاربری‌های زمین ارزیابی شدند (شکل ۳). نتایج همچنان بیانگر آن است که مدل کوستیاکوف و مدل فیلیپ در تمام شدت‌های نفوذ آب برآورد بهتری داشتند. از مهم‌ترین دلایل دقت زیاد مدل کوستیاکوف در همبستگی زیادی با داده‌ها، پایه تجربی آن است که به مدل امکان انطباق با داده‌ها بدون محدودیت خاصی را می‌دهد (Rahmati et al., 2016). نتایج ارزیابی مدل هورتون نشان‌دهنده آن است که این مدل در مقادیر پایین نفوذ (مقادیر نفوذ در زمان‌های پایانی فرآیند نفوذ) همبستگی بیش‌تری با داده‌های مشاهداتی در سه کاربری زمین دارد اما با افزایش شدت نفوذ (مقادیر نفوذ در زمان‌های ابتدایی فرآیند نفوذ) مقدار خطای این مدل در کاربری مرتع افزایش یافته، مدل مقدار شدت نفوذ

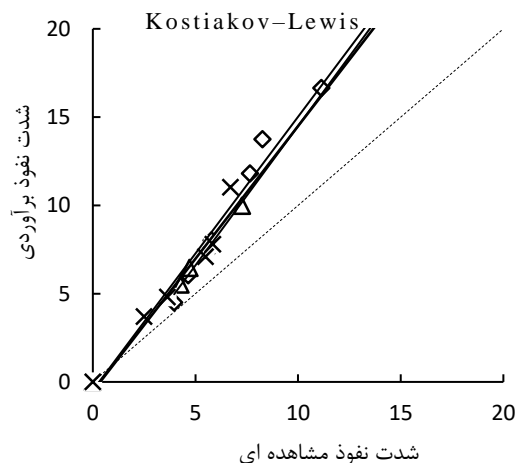
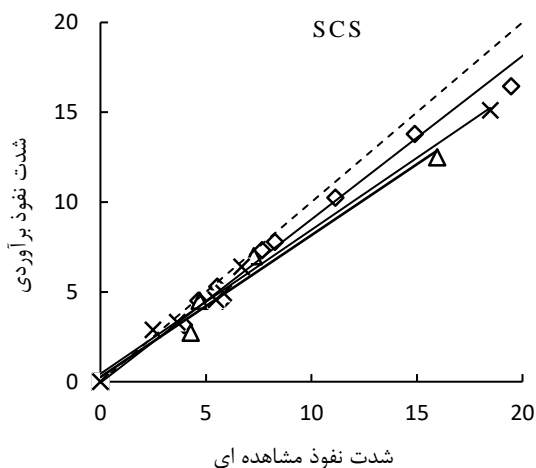
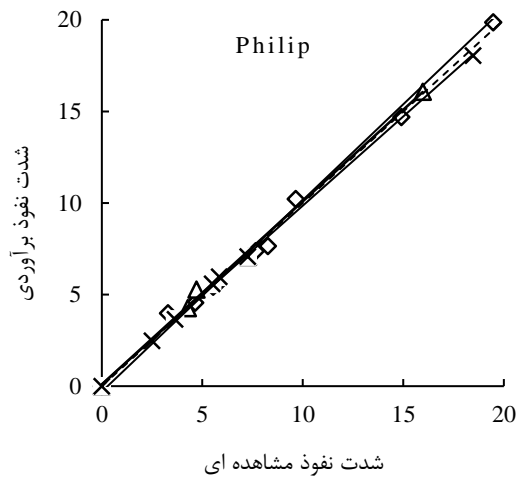
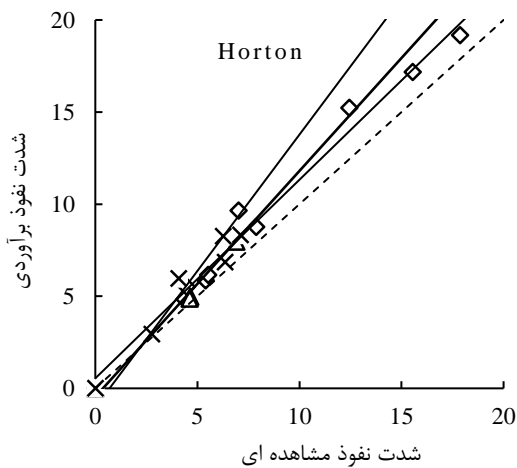
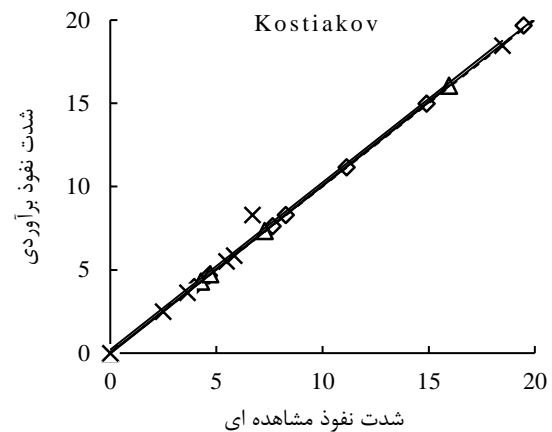
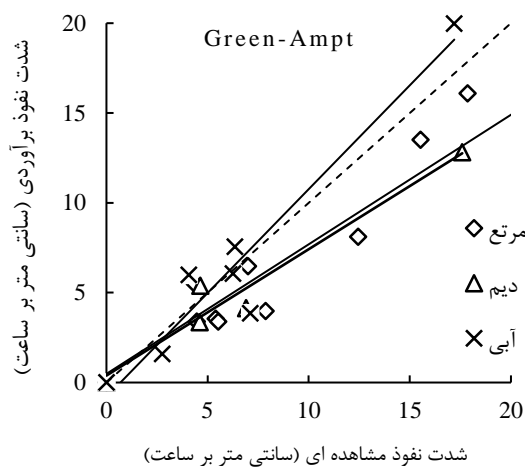
هورتون، فیلیپ و تالسم-پارلانچ در جنوب جلگه کادونا در کشور نیجریه گزارش کردند که دو مدل کوستیاکوف و فیلیپ به ترتیب بهترین برآورد را از نفوذ به دست آمده از استوانه‌های مضاعف داشت. در مقابل نتایج *Yongyong et al.* (2012) نشان داد مدل-های فیلیپ و کوستیاکوف را برای خاک‌های لسی فلاتی در چین کارایی مناسبی نداشتند. یکی از دلایل این تناقض‌ها طبیعت-پذیری فرایندهای نفوذ آب به خاک است که باعث می‌شود نفوذ در دو خاکی که ویژگی‌های فیزیکی بسیار مشابهی دارند کارایی متفاوتی داشته باشند (Javadi *et al.*, 2014). در پژوهشی *Neyshabouri et al.* (2009) نیز گزارش کردند که مدل کوستیاکوف نسبت به مدل فیلیپ، هورتون و گرین-امپت بهترین برازش را با داده‌های تجربی دارد. *Kavousi et al.* (2013) با ارزیابی پنج مدل نفوذ آب به خاک در کاربری‌های مختلف زمین در حوزه آبخیز کجور نشان دادند که مدل کوستیاکوف و فیلیپ بهترین برازش را و مدل‌های گرین-امپت و هورتون ضعیف‌ترین برازش را با داده‌های اندازه‌گیری شده داشتند. *Bamutaze et al.* (2010) نیز نتایج مناسب‌تر مدل فیلیپ را نسبت به گرین-امپت در برآورد نفوذ گزارش کردند. *Karami et al.* (2012) نیز با مطالعه شش مدل نفوذ در دشت خوزستان گزارش کردند که مدل‌های کوستیاکوف-لوئیس، کوستیاکوف و فیلیپ نتایج بهتری نسبت به سه مدل دیگر داشتند.

بیش‌تری را برآورد می‌کند. این نتیجه برای مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) عکس بوده، با افزایش شدت نفوذ، مدل دچار کم‌برآوردی در کاربری‌های زمین می‌شود. مدل گرین-امپت در کاربری کشت آبی دچار اندکی بیش‌برآورد می‌شود و در کاربری مرتع و کشت دیم با کم‌برآوردی نسبتاً زیادی همراه بود. به‌طور کلی با توجه به مقادیر جدول (۴) و شکل (۳) به‌طور کلی مدل کوستیاکوف و فیلیپ، مناسب‌ترین مدل‌ها برای داده‌های نفوذ منطقه ته‌مچای بودند و مدل‌های دفتر حفاظت خاک آمریکا، هورتون، کوستیاکوف-لوئیس و گرین-امپت به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار دارند. علت خطای نسبتاً بیشتر مدل گرین-امپت این است که در این مدل، شدت نفوذ آب به خاک به‌صورت تابع خطی با زمان کاهش می‌یابد. چنین فرضی در شرایط طبیعی که تغییرات نفوذ آب با زمان به‌صورت تابع غیرخطی است، درست نیست. به این دلیل مدل مذکور کارایی مناسبی را به‌ویژه در مقادیر بالای شدت نفوذ ندارد. در سایر مدل‌های نفوذ، شدت نفوذ آب به‌صورت تابع توانی یا نمایی از زمان تغییر می‌یابد و این موجب برتری نسبی این مدل‌ها در برآورد شدت نفوذ آب می‌شود. با توجه به سادگی مدل کوستیاکوف در برآورد شدت نفوذ می‌توان از این معادله در کاربری‌های مختلف زمین در منطقه نیمه‌خشک مورد بررسی استفاده کرد. بررسی‌های مختلفی در مورد دقت مدل‌های نفوذ در سراسر دنیا انجام شده است. بر این اساس *Arab et al.* (2014) با بررسی میزان کارایی چهار مدل نفوذ کوستیاکوف،

جدول ۴- ارزیابی و رتبه عملکرد هر یک از مدل‌های مورد بررسی در کاربری‌های مختلف

نام مدل	کاربری	R <sup>2</sup>	RMSE	MAE	NSE	رتبه در هر کاربری	رتبه نهایی
گرین-امپت	مرتع	۰/۹۶	۲/۸۳	۰/۲۷	۰/۴۹	۶	۶
	کشت دیم	۰/۹۵	۲/۳۸	۰/۳۱	۰/۷۴	۴	
	کشت آبی	۰/۹۲	۱/۷۵	۰/۳۱	۰/۶۸	۵	
کوستیاکوف	مرتع	۱/۰۰	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۹۹	۱	۱
	کشت دیم	۱/۰۰	۰/۳۳	۰/۰۸	۰/۹۸	۲	
	کشت آبی	۰/۹۹	۰/۲۷	۰/۰۴	۰/۹۸	۲	
هورتون	مرتع	۰/۹۹	۱/۴۱	۰/۱۵	۰/۹۱	۳	۴
	کشت دیم	۰/۹۹	۱/۳۳	۰/۱۴	۰/۶۷	۵	
	کشت آبی	۰/۹۸	۲/۳۰	۰/۲۷	۰/۶۲	۶	
فیلیپ	مرتع	۰/۹۹	۰/۴۴	۰/۰۴	۰/۹۸	۲	۲
	کشت دیم	۰/۹۹	۰/۲۲	۰/۰۵	۰/۹۹	۱	
	کشت آبی	۰/۹۹	۰/۱۴	۰/۰۲	۰/۹۹	۱	
کوستیاکوف-لوئیس	مرتع	۰/۹۸	۲/۶۰	۰/۲۶	۰/۵۳	۵	۵
	کشت دیم	۰/۹۹	۱/۵۹	۰/۳۹	۰/۵۹	۶	
	کشت آبی	۰/۹۸	۲/۱۳	۰/۵۳	۰/۶۹	۴	
SCS	مرتع	۰/۹۹	۱/۰۴	۰/۱۰	۰/۷۹	۴	۳
	کشت دیم	۰/۹۷	۱/۳۶	۰/۱۰	۰/۸۳	۳	
	کشت آبی	۰/۹۹	۱/۰۳	۰/۱۳	۰/۹۲	۳	





شکل ۳- مقادیر نفوذ برآوردی با مدل‌های نفوذ در برابر مقادیر اندازه‌گیری شده در کاربری‌های مرتع، کشت دیم و کشت آبی

کم‌ترین مقدار برخوردارند. چراغ دام‌ها در کاربری مرتع عامل اصلی کاهش نفوذپذیری خاک در آن است. ارزیابی دقت معادلات نفوذ آب در کاربری‌های زمین (مرتع، کشت دیم و کشت آبی) بر اساس شاخص ضریب تعیین ( $R^2$ ) و شاخص‌های خطا (RMSE،

### نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان داد که شدت نفوذ اولیه، نهایی و متوسط به شدت تحت تأثیر نوع کاربری زمین است. این ویژگی‌های هیدرولوژیکی در کشت دیم از بیش‌ترین مقدار و در کاربری مرتع

دچار بیش‌برآورد در مقادیر بالای شدت نفوذ هستند اما مدل دفتر حفاظت خاک آمریکا دچار کم‌برآوردی اندک در مقادیر زیاد شدت نفوذ است. بررسی علت خطای نسبتاً بیشتر مدل گرین-امپت نشان داد که در این مدل، شدت نفوذ به‌صورت تابع خطی با زمان کاهش می‌یابد. چنین فرضی در شرایط طبیعی که تغییرات نفوذ آب با زمان به‌صورت تابع غیرخطی است، سازگار نیست. در سایر مدل‌های نفوذ، تغییرات زمانی شدت نفوذ آب به‌صورت تابع توانی یا نمایی از زمان است و این موجب برتری نسبی این مدل‌ها می‌شود. به‌طور کلی کارایی مدل‌های نفوذ در برآورد شدت نفوذ به ترتیب از برتری کوستیاکوف، فیلپ، سازمان حفاظت خاک آمریکا، هورتون، کوستیاکوف-لوئیس و گرین-امپت پیروی می‌کند. با توجه به سادگی مدل کوستیاکوف در برآورد شدت نفوذ می‌توان از این معادله در کاربری‌های مختلف زمین در منطقه نیمه‌خشک مورد بررسی استفاده کرد.

## REFERENCES

- Arab, A. I., Mudiare, O. J., Oyebo, M. A., and Idris, U. D. (2014). Performance evaluation of selected infiltration equations for irrigated (FADAMA) soils in Southern Kaduna Plain, Nigeria. *Basic Research Journal of Soil and Environmental Science*, 2(4), 1-18.
- Askari, M., Ahmad, FA, Mohd sayuti, AM., The, CBS, Suchartino, Yusop, H., and Wijaya, K. (2013). Field Evaluation of Infiltration Models under Oil Palm Plantation: Stemflow and Throughfall Areas. International Conference on Sustainable Rural Development "Sustainable Rural Development-Towards A Better World" Purwokerto, pp. 19-27.
- Bamutaze Y., Makooma T., Gilbert M., Vanacker V, Bagoora F, Magunda M, Obando J, and Wasige, J. E. (2010). Infiltration characteristics of volcanic sloping soils on Mt. Elgon, Eastern Uganda. *Catena*, 80(2), 122-130.
- Gee, G.W. and Bauder, J.W. (1986). Particle size analysis. In: Klute, (Ed.) *Methods of Soil Analysis*. (pp. 383-411). Part 1, 2<sup>nd</sup> ed. America Society of Agronomy, Madison, WI.
- Ghorbani Dashtaki, S. G., Homae, M., Mahdian, M. H., & Kouchakzadeh, M. (2009). Site-dependence performance of infiltration models. *Water Resources Management*, 23(13), 2777-2790.
- Ghorbani Dashtaki, S. Homae, M. and Mahdian, M.H. (2010). Effect of land use change on spatial variability of infiltration parameters. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 4, 193-205. (In Farsi)
- 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.
- Haimanote, K.B. Yihun T.D. Tigist, Y.T. Tegenu, A.E. and Tammo, S.S. (2019). Evaluating infiltration models and pedotransfer functions: Implications for hydrologic modeling. *Geoderma*, 338, 159-169.
- Horton, R.E. (1940). An approach towards a physical interpretation of infiltration capacity. *Soil Science Society of America Proceedings*, 5, 399-417.
- Javadi, A. Mashal, M. and Ebrahimian, H. (2014). Evaluate the performance and sensitivity of the influence of the initial conditions and different boundaries in furrow irrigation. *Journal of Water Research in Agriculture*, 28(4), 787-798. (In Farsi)
- Jejurkar, C.L. and Rakurkar, M.P. (2012). Infiltration studies for varying land cover conditions. *International Journal of Computational Engineering*, 5(6), 72-76.
- Jones, J. B. (2001). Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. (pp. 27-160). CRC Press, Boca Raton, FL.
- Karami, B. Golabi, M. and Dhumal, K.N. (2012). Determination coefficients of infiltration equations: case study of Shavoor plain in Khuzestan province. *International Journal of Applied Engineering Research*, 7(1), 55-69.
- Kavian, A. Ahmadi Lemrask, R. Mahmoud Hbybnzhad Raoshan, M. and Jafarian Z. (2017). Investigation of spatial variations of soil permeability using experimental and geostatistical methods in the coastal plain of Behshahr-Glughah. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 48(1), 177-186. (In Farsi)
- Kavousi, S.M. Vafakhah, M. and Mahdian, M.H. (2011). Evaluation of different soil infiltration models in Kajour Watershed in order to sustainable management of water resources. The Second Regional Conference on Sustainable Development of Natural Resources in the Caspian Sea. pp. 1-15. (In Farsi)
- Kavousi, S.M. Vafakhah, M. and Mahdian, M.H. (2013). Evaluation of some equations of infiltration of water into soil in different land use,

- Kojoor catchments. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 4(13): 1-13. (In Farsi)
- Kemper, W.D. and Rosenau R.C. (1986). Aggregate stability and size distribution models. *Geoderma*, 123, 363-371.
- Klute, A. and Dirksen, C. (1986). Hydraulic Conductivity and Diffusivity: Laboratory Methods. In: Klute, (Ed) *Methods of Soil Analysis. Part 1: Physical and Mineralogical Methods*, 2nd Edition, Agronomy Monograph No. 9, ASA, Madison, 687-734.
- 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.
- Lean, E. O. (1982). Soil pH and lime requirement. *Methods of soil analysis: Chemical and microbiological properties*. (pp. 199-224). Part 2, 2nd ed., Agron. Monogr. No.9. In: A. L. Page (ed.), ASA and SSSA, Madison.
- Mishra SK, Kumar SR and Singh VP. (1999). Calibration of a general infiltration model. *Hydrology Processes*, 13, 1691-1718.
- Neyshabouri, M.R. A Fakhery-Fard, A. Farsadzade, D. Sadeghian, N. and Kheiry, J. (2009). Coefficients of Kostiakov, modified Kostiakov and Philip infiltration models on the basis of soil bulk density and initial water content. *Journal of Water and Soil Science*, 19(2), 57-69. (In Farsi).
- Nugroho, S. Suhardjono, S. Widandi, S. Erys, S. and Lali, M.L. (2019). Evaluation of infiltration models for mineral soils with different land uses in the tropics. *Journal of Water and Land Development*, 37(4-6), 153-160.
- Omidvar, E. Kavian, A. and Solaimani, K. (2014). Identification of the Best Infiltration Model in Order to Investigation of Spatial Variability of Infiltration Parameters (Case Study: Darabkola River Basin). *Environmental Erosion Researches*, 13, 1-16. (In Farsi)
- Patil V.S., Chavan, S.M. and Pawar, D.P. (2018). Spatial distribution of soil under the influence of infiltration rate. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(2), 2024-2029
- Philip, J.R. (1957). The theory of infiltration: The infiltration equation and its solution. *Soil Science*, 83(5), 345-357.
- Rahmati, M. Neyshabouri, M.R. Mohammadi Oskooei, M. Fakheri Fard, A. Ahmadi, A. and Mousavi, S.B. (2016). Evaluating and optimizing the parameters of soil infiltration models in Lighvan watershed (Northwest of Iran). *Journal of Water and Soil Conservation*, 22(6), 1-20. (In Farsi).
- Razzaghi, S., Khodaverdiloo, H., and Ghorbani Dashtaki, S. (2016). Effects of long-term wastewater irrigation on soil physical properties and performance of selected infiltration models in a semi-arid region. *Hydrological Sciences Journal*, 61(10), 1778-1790.
- Sadikhani, M.R. and Sohrabi, A. (2017). Effect of land use on the performance of selected soil water infiltration models. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 7(1), 127-138. (In Farsi).
- Saikia, M.D. and Das, G. 2016. A review on modelling on infiltration in different areas with different types of soils. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 3(11): 601-607.
- Shukla, M.K. Lal, R. Owens, L.B. and Unkefer, P. (2003). Land use and management impacts on structure and infiltration characteristics of soils in the north Appalachian region of Ohio. *Soil Science*, 168 (3), 167-177.
- Sihag, p. Tiwari, N.K. And Ranjan, S. (2017). Estimation and inter-comparison of infiltration models. *Water Science*, 31, 34-43.
- Smith, R.E. (1972). The infiltration envelope: results from a theoretical infiltrometer. *Journal of Hydrology*, 17, 1-21.
- Soil Survey Staff. 2014. *Soil Survey Field and Laboratory Methods Manual*. Soil Survey Investigations Report No. 51, Version 2.0. R. Burt and Soil Survey Staff (Ed.). U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
- Soleimani, L. Haghizadeh, A. and Zeinivand, H. (2016). The determination of the best models to estimate the infiltration in various land uses for optimum management of watersheds (Case Study: Kakasharaf Watershed, Lorestan Province). *Journal of Watershed Management Research*, 7(13), 33-41. (In Farsi).
- Talebi, A. Poormohammadi, S. and Rahimian, M.H. (2014). Determination of the most Appropriate Infiltration Equation in Arid and Semi- Arid Watersheds (Case Study: Manshad watershed, Yazd province). *Journal of Water and Soil Science*, 24(4), 101-114. (In Farsi).
- 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.
- Walkley A. and Black I.A. (1934). Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method. *Soil science*, 37, 29-38.
- Western, A. W. Grayson R. B. Bloschl G. Willgoose G. R. and McMahon T. A. (1999). Observed spatial organization of soil moisture and its relation to terrain indices. *Journal of Water Resource Research*, 35(3), 797-810.
- Yongyong, Z. Pute, W. Xining, Z. and Ping, L. (2012). Evaluation and modeling of furrow infiltration for uncropped ridge-furrow tillage in Loess Plateau soils. *Soil Research*, 50, 360-370.