

## اثر روش‌های اندازه‌گیری بر میزان هدایت هیدرولیکی اشباع در اراضی لسی شرق استان گلستان

\* پروانه حاتمی گل‌مکانی<sup>۱</sup>، واحدبردی شیخ<sup>۲</sup> و محسن حسینعلی‌زاده<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،  
<sup>۲</sup> دانشیار گروه آبخیزداری و مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،  
<sup>۳</sup> استادیار گروه آبخیزداری و مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان  
تاریخ دریافت: ۹۴/۱۰/۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۸/۹

### چکیده

**سابقه و هدف:** هدایت هیدرولیکی اشباع خاک ( $K_s$ ) یکی از ویژگی‌های مهم خاک است که در علوم آب و خاک اهمیت زیادی دارد، به طوری که در اکثر مدل‌های شبیه‌سازی هیدرولوژیکی و فرسایش خاک در آبخیزها، نقش مهمی را ایفا می‌کند. بنابراین این پژوهش با هدف مقایسه روش‌های مختلف اندازه‌گیری میزان هدایت هیدرولیکی اشباع در کاربری‌های اراضی مختلف از جمله جنگل، مرتع، کشاورزی دارای پوشش زراعی و کشاورزی شخم خورده و بدون پوشش در اراضی لسی شرق استان گلستان انجام شد.

**مواد و روش‌ها:** به منظور اندازه‌گیری میزان هدایت هیدرولیکی اشباع خاک هم از روش‌های میدانی و هم آزمایشگاهی استفاده شد. با توجه به امکانات موجود، دو روش میدانی شامل استوانه‌های مضاعف و نفوذسنج مکشی گلف و یک روش آزمایشگاهی شامل اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی با اعمال بار ثابت بر روی نمونه خاک دست‌نخورده به کار گرفته شدند. آزمایش‌های نفوذپذیری، در ۱۲ نقطه (چهار کاربری و سه تکرار) انجام شد. علاوه بر این، در هر نقطه برای تعیین برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک، یک نمونه خاک دست‌نخورده و یک نمونه خاک دست‌خورده تهیه شد. به منظور تجزیه و تحلیل آماری بود، به نتایج نیز از طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل دو عاملی در نرم‌افزار SAS 9.0 استفاده شد.

**یافته‌ها:** نتایج مقایسه هم‌زمان اثر روش اندازه‌گیری و نوع کاربری اراضی بر میزان هدایت هیدرولیکی اشباع نشان داد اثر نوع کاربری جنگل، مرتع، کشاورزی با پوشش زراعی گندم و اراضی شخم‌خورده بدون پوشش بر میزان هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نبود و تنها اثر شیوه اندازه‌گیری معنی‌دار طوری که روش‌های اندازه‌گیری آزمایشگاهی با دو روش میدانی تفاوت معنی‌داری را نشان داد. همچنین از میان روش‌های اندازه‌گیری روش آزمایشگاهی اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک اشباع خاک با بار ثابت به دلیل کوچک بودن نمونه‌ها دارای بیش‌ترین ضریب تغییرات و روش اندازه‌گیری میدانی نفوذسنج مکشی گلف به دلیل محدود شدن نفوذ آب به خلل و فرج ریز و جلوگیری از جریان آب از درون درز و ترک‌ها و خلل و فرج درشت، دارای کم‌ترین میزان ضریب تغییرات بود.

\* مسئول مکاتبه: [hatamiparvane@gmail.com](mailto:hatamiparvane@gmail.com)

**نتیجه‌گیری:** با توجه به نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، اگرچه از نظر آماری میزان هدایت هیدرولیکی اشباع خاک اندازه‌گیری شده با روش‌های آزمایشگاهی و میدانی تفاوت معنی‌دار نشان داده و نفوذ اندازه‌گیری شده در کاربری‌های مختلف تفاوت معنی‌داری نشان نداد اما به‌طور کلی با توجه به زیاد بودن ضریب تغییرات نفوذ اندازه‌گیری شده با روش‌های میدانی و آزمایشگاهی و در کاربری‌های مختلف این منطقه، نگاه صرف به معنی‌داری و مسائل آماری نمی‌تواند درست باشد و تعمیم آن‌ها منطقی به‌نظر نمی‌رسد. بنابراین پیشنهاد می‌شود نتایج این پژوهش با احتیاط بیش‌تری مورد استفاده پژوهشگران خاک و سایر علوم مرتبط قرار گیرد.

**واژه‌های کلیدی:** اراضی لسی، استوانه مضاعف، نفوذپذیری خاک، نفوذسنج با بار ثابت، نفوذسنج مکشی

### مقدمه

رودخانه و محیط زیست، همچنین حفاظت آب و خاک و کنترل فرسایش در آبخیزها نقش مهمی را ایفا می‌کند (۲۱). هدایت هیدرولیکی اشباع به عمق آبی که در واحد زمان به‌صورت قائم در لایه‌های عمقی خاک در حالت اشباع عبور می‌کند، گفته می‌شود. (۳۱). از عوامل مهم تأثیرگذار بر این ویژگی، می‌توان تراکم و انبساط خاک و پایداری و مقدار مواد آلی خاک اشاره کرد (۱). به‌منظور اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع، روش‌های زیادی وجود دارد که برخی از این روش‌ها در آزمایشگاه و بر روی نمونه‌های دست‌خورده و دست‌نخورده و برخی در عرصه و شرایط طبیعی انجام می‌شوند (۲). نتایج حاصل از این روش‌ها گاهی در دو خاک کاملاً مشابه، بسیار متفاوت است که معرف پیچیدگی محیط خاک و عدم شناخت کامل فرایند نفوذ می‌باشد (۱۱). بنابراین در هر منطقه با توجه به امکانات موجود و شرایط دسترسی به منطقه، روش‌های مختلفی اتخاذ می‌شود. از جمله روش‌های اندازه‌گیری آزمایشگاهی هدایت هیدرولیکی اشباع، دو روش بارثابت و بار افتان (۲) و روش‌های میدانی معمول استوانه‌های تک‌گانه و دوگانه، نفوذسنج گلف و نفوذسنج مکشی می‌باشد (۲۵). از معایب روش‌های آزمایشگاهی به‌هم‌خوردگی خاک است، بنابراین در طرح‌های اجرایی معمولاً از روش‌های میدانی استفاده می‌شود (۲۴).

رسوبات لسی موجود در شمال ایران از مهم‌ترین بایگانی‌های زمینی در نشان دادن تغییرات اقلیمی زمین می‌باشند، به‌طوری‌که رسوبات موجود در آن به‌دلیل حفظ خاک‌های قدیمی برای بازسازی فرآیندهای خاک‌سازی حاکم بر خاک و شرایط اقلیمی زمان تشکیل، از اهمیت زیادی برخوردارند (۲۸). لس‌ها نهشته‌های بادی زرد رنگ مایل به خاکستری‌اند که در حدود ۷۰ تا ۹۰ درصد مواد تشکیل‌دهنده آن را سیلت دربرگرفته است. این رسوبات با داشتن برخی ویژگی‌ها چون وجود کانی‌های رسی توان فرسایش‌پذیری زیادی داشته و جزو خاک‌های فروریزنده محسوب می‌شوند، به‌طوری‌که با اشباع شدن این رسوبات از خاک، حرکات توده‌ای و ناگهانی در آن‌ها می‌تواند فاجعه‌آمیز شود (۳۵). بنابراین با توجه به اهمیت مطالعه اراضی لسی در مباحث نفوذپذیری، فرسایش و سایر مسائل مربوطه و با نظر به این‌که بخش وسیعی از استان گلستان پوشیده از تپه‌های لسی است، این اراضی به‌منظور انجام آزمایش‌های نفوذپذیری انتخاب شد.

هدایت هیدرولیکی از ویژگی‌های مهم فیزیک خاک است که در علوم آب و خاک اهمیت زیادی دارد، به‌طوری‌که در اکثر مدل‌های شبیه‌سازی هیدرولوژیکی، مطالعات آب‌های زیرزمینی، پروژه‌های آبیاری و زهکشی، برخی از پروژه‌های مهندسی

داد که هدایت آبی اشباع اندازه‌گیری شده با نفوذسنج مکشی به ترتیب در خاک‌های شنی، متوسط و متوسط رسی نسبت به دو روش دیگر کم‌تر بود. همچنین در روش آزمایشگاهی، کوچک بودن نمونه‌های خاک، موجب افزایش ضریب تغییرات در این روش گردید. باگارلو و اسگوری (۲۰۰۷)، هدایت آبی اشباع را با دو روش بار افتان ساده‌سازی شده و تک استوانه در یک خاک لوم شنی اندازه‌گیری نمودند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد که هدایت آبی اشباع به‌دست آمده از روش بار افتان ساده‌سازی شده مشابه روش تک استوانه می‌باشد. در این پژوهش علاوه بر روش اندازه‌گیری، کاربری اراضی خاک نیز که از ویژگی‌های تأثیرگذار بر نفوذپذیری خاک است مورد بررسی قرار گرفت.

در مقایسه اثر نوع کاربری اراضی بر میزان هدایت هیدرولیکی اشباع نیز در مناطق مختلف بیش‌تر تحت عنوان اثر تغییر کاربری اراضی بر روی میزان هدایت هیدرولیکی اشباع مطالعات زیادی صورت گرفته است به‌طوری‌که در ایران، قیومی‌محمدی و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی اثر رها سازی اراضی زراعی و مرتعی بر تغییرات نفوذ آب به خاک دریافتند که به‌طورکلی میزان هدایت هیدرولیکی اشباع در اراضی مرتعی بیش از اراضی زراعی است همچنین رها سازی اراضی با افزایش ماده آلی خاک و پایداری خاک‌دانه‌ها موجب بهبود نفوذ آب در خاک می‌شود. فکوری و همکاران (۲۰۱۱) در مقایسه میانگین سرعت نفوذ نهایی در سه کاربری مرتع، اراضی زراعی و باغ دریافتند در مرتع میانگین سرعت نفوذ نهایی با سطح اطمینان ۹۵ درصد به‌طور معنی‌دار بیش‌تر از سایر کاربری‌هاست. قربانی‌دشتکی و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی اثر کاربری اراضی بر تغییرات نفوذ آب به خاک دریافتند به‌علت ایجاد شخم و شیار در مراتع

در مقایسه روش‌های اندازه‌گیری میدانی و آزمایشگاهی نفوذپذیری، مطالعات گسترده‌ای در سراسر دنیا و کشور انجام شده است. به‌طور مثال رثوف و همکاران (۲۰۱۰)، آزمایش‌های نفوذ را با استفاده از دستگاه‌های نفوذسنج استوانه مضاعف و نفوذسنج مکشی در دو حالت اشباع و غیراشباع انجام دادند. نتایج حاصل از دو روش نشان داد که دستگاه نفوذسنج مکشی مقدار نفوذ را کم‌تر از مقدار استوانه مضاعف برآورد کرد، اما از لحاظ آماری و در سطح اطمینان ۹۰ درصد این اختلاف معنی‌دار نبود. قانی و همکاران (۲۰۱۲)، در مقایسه چهار روش میدانی اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک ( $K_s$ ) شامل استوانه‌های دوگانه، تک استوانه، نفوذسنج گلف و نفوذسنج مکشی در مزرعه‌ای با خاک لوم در دانشگاه شهرکرد دریافتند، جز روش نفوذسنج گلف، بین سه روش دیگر در سطح اطمینان ۹۹ درصد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. قبادیان و سبوعه (۲۰۱۳)، در مقایسه دو روش اندازه‌گیری چاهک معکوس و پرماترگلف تک عمقی و چند عمقی در مزرعه پژوهشی جدید دانشکده کشاورزی رازی کرمانشاه دریافتند که هدایت هیدرولیکی اشباع اندازه‌گیری شده با روش پرماترگلف تقریباً سه برابر کم‌تر از روش چاهک معکوس است. ماهاتی و همکاران (۱۹۹۴)، در مقایسه چهار روش اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع شامل پرماترگلف، پرماتر سرعت، پرماتر دیسک و روش استوانه مضاعف در خاک‌های یخرفتی تحت کشت دریافتند هدایت هیدرولیک اشباع اندازه‌گیری شده در روش پرماترگلف از سایر روش‌ها کم‌تر بود. رینولدز و همکاران (۲۰۰۰)، هدایت آبی اشباع را در سه نوع خاک با بافت‌های شنی، متوسط و رسی متوسط با استفاده از روش‌های نفوذسنج مکشی، تک استوانه و نمونه‌های دست‌نخورده در آزمایشگاه اندازه گرفتند. نتایج نشان

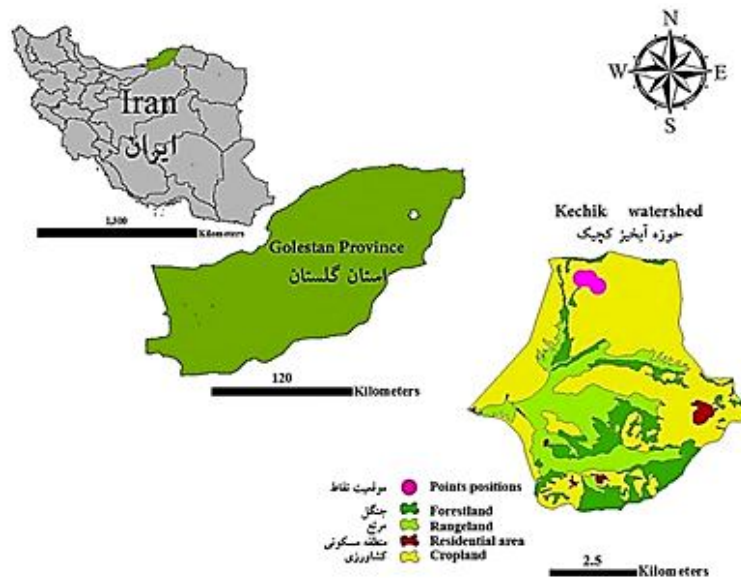
### مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه: این پژوهش در ایستگاه پژوهشی مطالعات آبخیزداری واقع در حوزه آبخیز معرف و زوجی کچیک انجام گرفت. حوزه کچیک به‌عنوان حوزه معرف مناطق تپه‌ماهوری لسی شرق استان گلستان و با هدف دستیابی به اطلاعات مفید برای بهره‌برداری و استفاده صحیح از منابع آبخیز و مشخص نمودن برنامه‌های مدیریتی برای حفظ آب و خاک در استان گلستان احداث گردید. احداث این حوضه بستر مناسبی را برای مطالعات گسترده در بخش‌های مختلف فراهم آورده است. مطالعات پایه این حوضه از سال ۱۹۹۷ و پروژه‌های اصلاحی از سال ۲۰۰۰ به اجرا درآمده است (۳۴). بدیهی است در صورت کسب نتایج قابل قبول از پژوهش‌های انجام شده هم‌چون نفوذپذیری خاک منطقه می‌توان نتایج را برای حوضه‌های مجاور با ویژگی‌هایی هم‌چون خاک، پوشش و شرایط توپوگرافی مشابه، بسط داد.

حوزه آبخیز کچیک با مساحتی در حدود ۳۶۰۰ هکتار، زیر حوضه کوچکی از حوزه آبخیز قرناوه محسوب می‌شود. منطقه کچیک (شکل ۱) در منتهی الیه شمال‌شرق منطقه گرگان و گنبد بین طول جغرافیایی  $52^{\circ} 52' 10''$  تا  $55^{\circ} 57' 52''$  و عرض جغرافیایی  $37^{\circ} 42' 15''$  تا  $37^{\circ} 46' 25''$  قرار گرفته است. این منطقه پوشیده از اراضی لسی و تپه‌ماهوری با حداقل و حداکثر ارتفاع ۶۲۰ و ۱۲۶۴ متر از سطح دریا بوده و از نظر آب و هوایی جزء مناطق نیمه‌خشک سرد محسوب می‌شود، به طوری که متوسط درجه حرارت سالانه آن  $16/7$  درجه سانتی‌گراد، متوسط رطوبت نسبی سالانه  $63/8$  درصد، متوسط بارندگی سالانه ۴۸۲ میلی‌متر و تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه ۹۶۱ میلی‌متر می‌باشد (۳۴).

تخریب شده میانگین نفوذ تجمعی در کاربری مرتع بیش از مراتع تخریب شده بود. در خارج از کشور نیز شوکلا و همکاران (۲۰۰۳)، در مطالعه اثر کاربری اراضی بر روی برخی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک دریافتند که تغییر کاربری اراضی بر روی ویژگی‌های خاک از جمله ظرفیت نفوذ اثر قابل توجهی را نشان می‌دهد. زیمرین و همکاران (۲۰۰۶) در پژوهشی که در کاربری‌های جنگل، مرتع و مراتع مشجر انجام دادند، دریافتند که در مرتع نسبت به مراتع مشجر و در مراتع مشجر نسبت به جنگل میزان نفوذپذیری خاک و هدایت هیدرولیکی اشباع در سطح و عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک افزایش می‌یابد. وارن و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی اثر کاربری اراضی بر میزان نفوذ در اراضی جنگلی و اراضی دریافتند که میزان هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در اراضی جنگلی بیش از دو تا چهار برابر اراضی زراعی می‌باشد.

جمع‌بندی مطالعات انجام شده در این زمینه نشان می‌دهد در هر پژوهش بسته به شرایط و مشخصات خاک منطقه و امکانات در دسترس، روش خاصی اتخاذ شده و نتایج متفاوتی حاصل شده است. بنابراین هدف از انجام این پژوهش مقایسه برخی روش‌های اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک اشباع خاک شامل روش آزمایشگاهی نفوذسنج با بار ثابت و دو روش میدانی استوانه مضاعف و نفوذسنج مکشی در چهار کاربری جنگل، مرتع، کشاورزی و اراضی شخم‌خورده واقع در اراضی لسی شرق استان گلستان بود تا علاوه بر مقایسه اثر روش اندازه‌گیری بر مقدار نفوذپذیری خاک در حالت اشباع، اثر کاربری اراضی نیز بر مقدار نفوذ ارزیابی گردد.



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز کچیک در کشور و استان گلستان.

Figure 1. Kechik watershed position in Iran and Golestan province.

گلف و نفوذسنج با بارثابت انجام گرفت. آزمایش با نفوذسنج مکشی گلف و استوانه مضاعف در منطقه صورت گرفت، اما برای آزمایش روش بار ثابت، نمونه‌های خاک دست‌نخورده تهیه شده و آزمایش‌های مربوطه در آزمایشگاه انجام گرفت. جدول ۱ موقعیت نقاط مورد اندازه‌گیری را نشان می‌دهد.

در این پژوهش در چهار کاربری جنگل، مرتع، کشاورزی با پوشش گیاهی (کشت گندم) و اراضی شخم‌خورده و بدون پوشش گیاهی، ۱۲ نقطه مورد آزمایش به‌نحوی انتخاب شدند که در هر کاربری سه آزمایش انجام گیرد. اندازه‌گیری نفوذ در این کاربری‌ها با سه روش شامل استوانه مضاعف، نفوذسنج مکشی

جدول ۱- موقعیت نقاط اندازه‌گیری شده.

Table 1. The position of measured points.

ارتفاع (متر)	عرض جغرافیایی (UTM)	طول جغرافیایی (UTM)	مکان	نقاط
Height (meter)	Latitude (UTM)	Longitude (UTM)	Location	Points
793	4179674	404533		1
793	4179702	404518	جنگل Forestland	2
794	4179692	404509		3
819	4179822	403997		4
817	4179850	404007	مرتع Rangeland	5
816	4179822	404007		6
840	4179935	404197		7
839	4179932	404191	کشاورزی Agriculture (with vegetation)	8
837	4179914	404191		9
832	4179889	404129		10
831	4179888	404125	اراضی شخم خورده Agriculture (bare & plowed)	11
831	4179895	404122		12

منفی نزدیک به صفر می‌باشد. این دستگاه از یک مخزن ذخیره آب، بخش تنظیم‌کننده مکش و دیسکتی جهت نفوذ دادن آب به درون خاک تشکیل شده است. مخزن ذخیره از دو لوله تو در تو با قطرهای متفاوت ساخته شده است؛ کم بودن قطر لوله‌های این مخزن امکان اندازه‌گیری تغییرات ارتفاع سطح آب را با دقتی بیش‌تر فراهم می‌آورد (۱۸). دستگاه نفوذسنج مکشی گلف با اعمال مکش‌های دلخواه، ورود آب به درون خاک را به‌نحوی کنترل می‌کند که مانع از جریان آب به درون درز و شکاف‌های خاک شود. در این دستگاه آب تنها درون منافذی از خاک نفوذ می‌کند که شعاع کوچک‌تر و مساوی با شعاع معادل این مکش را داشته باشند. بنابراین در این روش سرعت نفوذ آب در مدت زمان کوتاه‌تری به حالت پایدار رسیده و همین عامل موجب توجه بیش‌تر پژوهشگران فیزیک خاک به این دستگاه شده است (۳۰). این دستگاه به‌علت کاربرد آسان، حداقل به‌هم‌خوردگی سطح خاک و کاهش خردشدگی ساختمان خاک در حین کار در مطالعات هیدرولوژی و خاک‌شناسی کاربرد فراوانی دارد (۳۲).

در این پژوهش آزمایش نفوذ با دستگاه نفوذسنج مکشی گلف نیز در منطقه مورد مطالعه با سه تکرار انجام شد. در هر تکرار نیز برای هر سه مکش ۶-، ۴- و ۲- سانتی‌متر تغییرات سطح آب در مخزن و در واحد زمان (در این پژوهش فاصله قرائت‌ها هر پنج دقیقه یک‌بار) ثبت گردید. هنگامی که طی سه الی چهار بازه زمانی متوالی که به‌صورت یکسان در نظر گرفته می‌شود، تغییرات ارتفاع آب به مقدار ثابتی برسد، سرعت ثبت شده به‌عنوان سرعت نفوذ ثابت (شبه پایدار) در نظر گرفته می‌شود (۱۰). در نهایت با استفاده از رابطه‌های ۱ و ۲ هدایت هیدرولیکی و عکس طول درشت موئینگی خاک تعیین گردید.

اندازه‌گیری نفوذ با استوانه مضاعف: حلقه‌های نفوذ، استوانه‌هایی به قطرهای ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر طوری در زمین کوبیده می‌شوند که در حدود ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر در زمین فرو رود. البته به‌جای استوانه بیرونی می‌توان از انباشته کردن خاک و ساختن پشته به موازات استوانه داخلی نیز استفاده کرد. حلقه‌های متحدالمرکز با فاصله حدوداً ۱۵ سانتی‌متر در زمین کوبیده شده به‌طوری که حداقل به‌هم‌خوردگی و تخریب خاک صورت گیرد. علاوه بر پر کردن حلقه درونی از آب، حد فاصل دو حلقه نیز آب ریخته می‌شود. نفوذ آب در حد فاصل دو حلقه باعث می‌شود که نفوذ آب در حلقه داخلی به‌طور عمودی صورت گیرد. به‌منظور اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع با استوانه مضاعف کفایت سرعت نفوذ نهایی را اندازه‌گیری نموده و به‌عنوان هدایت هیدرولیکی اشباع در نظر گرفت (۳۱). برای تعیین سرعت نفوذ نهایی نیز باید اندازه‌گیری نفوذ با استوانه مضاعف را تا زمانی ادامه داد که تغییرات سرعت نفوذ در مدت یک ساعت به کم‌تر از پنج الی ده درصد برسد. در این صورت سرعت نفوذ به حد نهایی خود رسیده است و می‌توان آن را به‌طور تقریبی برابر با هدایت هیدرولیکی اشباع در نظر گرفته و ثبت نمود (۲۰). البته در این پژوهش تمامی آزمایش‌ها به‌مدت دو ساعت و اندازه‌گیری‌ها در زمان‌های یک، سه، پنج، ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ دقیقه از شروع نفوذ انجام گرفت. در نمونه‌هایی که در پایان مدت آزمایش، سرعت نفوذ به حد نهایی خود نرسیده بود، سرعت نفوذ در پایان دو ساعت به‌عنوان سرعت نفوذ نهایی ثبت شد (۲۰).

اندازه‌گیری نفوذ با نفوذسنج مکشی گلف: یکی از رایج‌ترین روش‌های اندازه‌گیری میدانی هدایت هیدرولیکی خاک استفاده از نفوذسنج مکشی می‌باشد. نفوذسنج مکشی ابزاری مناسب برای اندازه‌گیری ویژگی‌های هیدرولیکی خاک در پتانسیل‌های مثبت و

نمونه‌برداری در محل، خاک به تدریج و به مدت چندین ساعت خیس‌انده شد تا جبهه رطوبتی تا عمق کافی نفوذ نماید. پس از اشباع نمونه‌های تهیه شده و آماده‌سازی آن‌ها برای آزمایش نفوذپذیری و تنظیم بار هیدرولیکی دل‌خواه به صورت ثابت برای دستگاه، میزان آب نفوذ یافته در مدت زمان دلخواه (به طور مثال ۱۰ دقیقه) اندازه‌گیری شده و با استفاده از رابطه ۳ میزان نفوذپذیری خاک در حالت اشباع محاسبه گردید.

$$k_s = \frac{v \times l}{h \times A \times t} \quad (3)$$

که در آن،  $k_s$  هدایت هیدرولیکی اشباع ( $LT^{-1}$ )،  $v$  حجم آب خارج شده از نمونه ( $L^3$ ) (همان مقدار آب خارج شده بر حسب میلی‌لیتر)،  $l$  ارتفاع ستون خاک ( $L$ )،  $h$  بار هیدرولیکی ثابت ایجاد شده ( $L$ ) در این پژوهش با بار ثابت ۱۵ سانتی‌متر تنظیم و در محاسبات لحاظ شد، سطح مقطع نمونه خاک ( $L^2$ ) و  $t$  زمان (T) می‌باشد.

به منظور تجزیه و تحلیل اثر کاربری و روش اندازه‌گیری بر میزان نفوذپذیری خاک از آرایش فاکتوریل دو عاملی (کاربری اراضی \* روش اندازه‌گیری) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار برای کاربری‌های مختلف، در نرم‌افزار SAS 9.0 استفاده شد.

### نتایج و بحث

علاوه بر آزمایش‌های نفوذپذیری انجام شده، برای تعیین برخی ویژگی‌های خاک نقاط مورد آزمایش، یک نمونه دست‌خورده برای تعیین بافت خاک و دانه‌بندی و یک نمونه دست‌نخورده برای تعیین رطوبت حجمی، جرم مخصوص ظاهری و تخلخل خاک از اعماق صفر تا ۱۰ سانتی‌متری خاک برداشت شد. بافت خاک به روش هیدرومتر، رطوبت و جرم مخصوص ظاهری خاک به روش وزنی تعیین شدند و

$$\alpha_{(x,y)} = \frac{\ln(q_x/q_y)}{(\psi_x - \psi_y)}, \begin{cases} x=1,2,3,.. \\ y=x+1 \end{cases} \quad (1)$$

$$k_s = \frac{G_d \times \alpha_{(x,y)} \times q_s}{r \times (1 + G_d \times \alpha_{(x,y)} \times \pi r) \left(\frac{q_x}{q_y}\right)^P} \quad (2)$$

که در آن‌ها،  $\alpha$  پارامتر عکس طول درشت موئینگی<sup>۱</sup> است و به ساختمان خاک بستگی دارد ( $L^{-1}$ )،  $q$  سرعت نفوذ ثابت شده به‌ازای مکش ( $\psi$ ) اعمال شده ( $LT^{-1}$ )،  $k_s$  هدایت هیدرولیکی اشباع خاک ( $LT^{-1}$ )،  $G_d$  عامل شکل که ثابت است و حدود ۰/۲۵ محاسبه شده است،  $P = \psi_x / \psi_x - \psi_y$  نمایه‌های  $x$  و  $y$  توان‌های اعمال شده می‌باشند (۱۰).

**اندازه‌گیری نفوذ با نفوذسنج با بار ثابت:** دستگاه نفوذسنج آزمایشگاهی یک ابزار آزمایشگاهی برای سنجش نفوذپذیری اشباع شده نمونه‌های خاک دست‌نخورده به عمق ۲۰ سانتی‌متری و قطر پنج الی ۲۰ سانتی‌متر توسط گروه آموزشی آبخیزداری طراحی و ساخته شده است و سعی دارد هدایت هیدرولیکی اشباع نمونه‌های برداشت شده را در حالتی که بیش‌ترین تطابق را با محیط دارا می‌باشد، اندازه‌گیری نماید. این دستگاه با ایجاد بارهای هیدرولیکی ثابت و قابل تنظیم روی نمونه‌های خاک اشباع شده و سنجش میزان آب جریان یافته در طول یک بازه زمانی، میزان نفوذپذیری خاک را در حالت اشباع تعیین می‌کند. به منظور اجرای آزمایش نفوذ با این دستگاه، از هر کاربری تعداد سه نمونه دست‌نخورده با قطر پنج اینچ (معادل ۱۲/۷ سانتی‌متر) و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر تهیه شد. در زمان تهیه نمونه‌ها حداکثر دقت و تلاش صورت گرفت تا کم‌ترین آشفتنگی در نمونه ایجاد شود. برای این منظور ۲۴ ساعت قبل از کوبیدن رینگ

1- Inverse of macroscopic capillary length parameter.

که در آن،  $\eta$  درصد تخلخل،  $\rho_p$  جرم مخصوص حقیقی که برای تمامی نمونه‌های خاک ۲/۶۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب و  $\rho_b$  جرم مخصوص ظاهری خاک بر حسب گرم بر سانتی‌مترمکعب می‌باشند.

با در نظر گرفتن جرم مخصوص حقیقی ۲/۶۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب برای کل نمونه‌ها و با استفاده از رابطه ۴، میزان تخلخل خاک این نقاط تعیین شد و نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است.

$$\eta = 1 - (\rho_b / \rho_p) \quad (۴)$$

جدول ۲- برخی مشخصات فیزیکی خاک نقاط مورد اندازه‌گیری.

Table 2. Some physical characteristics of soils in studied points.

رطوبت حجمی	تخلخل	جرم مخصوص ظاهری	بافت خاک	رس	سیلت	شن	مکان	کد
Volumetric moisture content (Percent)	Porosity (Percent)	Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	Soil texture	Clay (Percent)	Silt (Percent)	Sand (Percent)	Location	Code
14.9	54.1	1.242	لوم شنی Sandy loam	5.0	45.2	49.8		1
16.7	51.6	1.281	لومی Loam	12.8	45.4	41.8	جنگل Forestland	2
16.2	52.7	1.254	لوم شنی Sandy loam	6.8	39.4	53.8		3
14.1	48.0	1.379	لوم سیلتی Silty loam	14.8	57.4	27.7		4
11.8	47.2	1.399	لومی Loam	14.8	49.4	35.8	مرتع Rangeland	5
9.9	49.0	1.352	لوم سیلتی Silty loam	14.8	51.4	33.8		6
9.4	49.0	1.352	لوم سیلتی Silty loam	8.8	67.4	23.8		7
12.2	44.6	1.469	لوم سیلتی Silty loam	12.8	53.4	33.8	کشاورزی Agriculture (with vegetation)	8
13.7	46.0	1.439	لوم سیلتی Silty loam	10.8	57.4	31.8		9
21.3	40.6	1.574	لوم سیلتی Silty loam	16.8	59.4	23.8		10
18.3	45.2	1.453	لومی Loam	20.8	45.4	33.8	شخم خورده Agriculture (bare & plowed)	11
14.6	47.1	1.402	لومی Loam	18.8	47.4	33.8		12

اراضی جنگلی با خاک لوم شنی تا ۱/۵۷۴ گرم بر سانتی‌مترمکعب در اراضی شخم خورده با خاک لوم سیلتی و درصد تخلخل خاک در این منطقه از ۴۰/۶

بررسی ویژگی‌های خاک اندازه‌گیری شده در این پژوهش (جدول ۲) نشان می‌دهد، جرم مخصوص ظاهری خاک از ۱/۲۴۲ گرم بر سانتی‌مترمکعب در



کشاورزی و شخم خورده بود، به منظور مقایسه نتایج اندازه‌گیری دستگاه‌ها در کاربری‌های نام برده در این پژوهش از طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل دو عاملی (کاربری اراضی \* روش اندازه‌گیری) با سه تکرار و با سطح احتمال پنج درصد در نرم‌افزار SAS 9.0 استفاده گردید. نتایج اندازه‌گیری با روش‌های مختلف در جدول سه و نتایج آزمون‌های صورت گرفته در جدول‌های ۴ و ۵ ارائه شده است.

در اراضی شخم‌خورده با خاک لوم سیلتی تا ۵۴/۱ در اراضی جنگلی با خاک لوم شنی تغییر می‌یابد. مقایسه مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع با روش‌های مختلف در کاربری‌های متفاوت: با نظر به این‌که هدف از انجام این پژوهش مقایسه مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع اندازه‌گیری شده با روش‌های اندازه‌گیری میدانی و آزمایشگاهی هدایت هیدرولیکی اشباع در چهار کاربری جنگل، مرتع، اراضی

جدول ۳- مقادیر متوسط هدایت هیدرولیکی اشباع اندازه‌گیری شده با سه روش در کاربری‌های مختلف (میلی‌متر بر ساعت).

**Table 3. The saturated hydraulic conductivity measured by three methods in different landuses (mm/hr).**

cv	جنگل Forestland	مرتع Rangeland	کشاورزی Agriculture (with vegetation)	شخم خورده Agriculture (bare & plowed)	روش / وسیله اندازه‌گیری Measurement Method/Device
22.8	4.8	4.4	3.8	2.2	استوانه مضاعف Double ring
3.3	2.0	1.3	1.8	1.5	نفوذسنج مکشی Tension Guelph permeameter disk
31.5	7.8	6.9	6.0	5.0	دستگاه اندازه‌گیری با بار ثابت Measurement device with constant water head
	76.2	69.7	60.9	95.8	Cv

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر کاربری اراضی و روش اندازه‌گیری بر میزان هدایت هیدرولیکی اشباع اندازه‌گیری شده.

**Table 4. Variation analysis of the effect of Landuse and measuring method on measured saturated hydraulic conductivity.**

میانگین مربعات خطای صفات مورد بررسی	درجه آزادی	عامل
RMSE	DF	Factor
5.441 <sup>ns</sup>	3	کاربری اراضی Landuse
67.494**	3	روش اندازه‌گیری Measurement method
1.201 <sup>ns</sup>	6	روش اندازه‌گیری * کاربری اراضی Measurement method* Landuse
6.736	24	خطا Error
6.494	-	ضریب تغییرات Coefficient of Variation

\*\* معنی‌داری و <sup>ns</sup> عدم معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ را نشان می‌دهند.

\*\* Indicates the significance and ns indicates no significance at 0.05 confidence level.

تعیین‌کننده را در میزان نفوذ خواهند داشت و نیاز است که در پژوهش‌های آتی اثر هر یک از ویژگی‌های خاک بر میزان نفوذپذیری در حالت اشباع بررسی شود. در این آزمون (جدول ۴) همچنین نتایج نشان داد بین روش‌های اندازه‌گیری نفوذ در سطح احتمال پنج درصد این اختلاف معنی دار بود. بدین‌صورت که بین دو روش میدانی استوانه مضاعف و نفوذسنج مکشی این اختلاف معنی‌دار نبوده، اما بین نتایج اندازه‌گیری حاصل از این دو روش با دستگاه اندازه‌گیری با بار ثابت تفاوت به‌صورت معنی‌دار بود (جدول ۵).

نتایج این آزمون نشان داد که بین مقادیر نفوذ اندازه‌گیری‌شده در کاربری‌های مختلف در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). این بدین معنی است که نتایج اندازه‌گیری در هر یک از کاربری‌ها با سطح اطمینان ۹۵ درصد و بدون در نظر گرفتن اثر پوشش قابل‌تعمیم دادن در سایر کاربری‌های واقع در این مناطق می‌باشد. در این پژوهش از آنجایی که نوع کاربری اثر قابل‌توجهی را بر میزان نفوذ نشان نداد، احتمالاً عوامل دیگری چون تراکم پوشش گیاهی و برخی ویژگی‌های خاک از قبیل بافت خاک و مواد آلی در این منطقه نقش

جدول ۵- مقایسه روش‌های اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک.

**Table 5. The comparison of saturated hydraulic conductivity measuring methods.**

روش اندازه‌گیری	میانگین هدایت هیدرولیکی اشباع (میلی‌متر بر ساعت)
Measured method	The average of saturated hydraulic conductivity (mm/hr)
استوانه مضاعف Double ring	3.800 <sup>b</sup>
نفوذسنج مکشی Tension Guelph permeameter disk	1.639 <sup>b</sup>
دستگاه اندازه‌گیری با بار ثابت Measurement device with constant water head	6.376 <sup>a</sup>

در هر ستون میانگین‌ها با حروف نامشابه دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵ می‌باشد ( $P < 0.05$ ).

There is significant difference in confidence level of 0.05 among means with un-similar letters ( $P < 0.05$ ).

نمونه‌ها و بار آبی مثبت در استوانه مضاعف می‌باشد. اما با توجه به اختلاف زیاد این دو روش، معنی‌دار نشدن اختلاف نتایج این دو دستگاه احتمالاً ناشی از تغییرپذیری زیاد داده‌ها می‌باشد. اما اندازه‌گیری نفوذ با نفوذسنج با بار ثابت که از دسته روش‌های اندازه‌گیری آزمایشگاهی نفوذپذیری خاک در حالت اشباع است با روش‌های میدانی در همان سطح احتمال تفاوت معنی‌داری نشان داد. احتمالاً دلیل این تفاوت، کوچک بودن نمونه‌های آزمایشگاهی، احتمال بروز خطای دستگاهی ناشی از نشت آب از فضای

نتایج جدول پنج نشان می‌دهد که در این منطقه نتایج اندازه‌گیری با نفوذسنج استوانه مضاعف و نفوذسنج مکشی گلف که هر دو از روش‌های میدانی اندازه‌گیری نفوذ هستند، در سطح احتمال پنج درصد با هم تفاوت معنی‌داری ندارد و این اختلاف از نظر آماری قابل چشم‌پوشی می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد میزان هدایت هیدرولیک اشباع اندازه‌گیری‌شده با استوانه مضاعف تقریباً دو برابر نفوذسنج مکشی می‌باشد (جدول ۵). طبق نظر قانی و همکاران (۲۰۱۲) دلیل این امر ناشی از بزرگ بودن

بین خاک و رینگ‌های نمونه‌برداری و ضریب تغییرات بیشتر در این نمونه‌ها می‌باشد. بنابراین روش‌های آزمایشگاهی در این منطقه قابل کاربرد به جای روش‌های میدانی نمی‌باشد؛ در صورت کاربرد روش‌های آزمایشگاهی نیز نیاز است آزمایش‌ها با نمونه‌های بزرگ‌تر و یا تعداد تکرار بیشتر در آزمایشگاه انجام شود.

**مقایسه مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع در کاربری‌های مختلف:** به‌طور کلی مقایسه مقادیر نفوذ در حالت اشباع در کاربری‌های مختلف حوزه آبخیز کچیک نشان می‌دهد، در اراضی جنگلی با متوسط  $4/9$  میلی‌متر بر ساعت بیش از سه کاربری دیگر است و احتمالاً یکی از اصلی‌ترین علل این امر وجود خاک‌های لوم شنی با تخلخل و قابلیت نفوذ بیشتر نسبت به خاک‌های لوم و سیلتی در سایر کاربری‌ها می‌باشد. چرا که تعداد و پیوستگی خلل و فرج درشت خاک سطحی بیش‌ترین تأثیر را در میزان نفوذ آب به خاک دارد (۸). همچنین میزان هدایت هیدرولیک اشباع خاک مرتع با متوسط  $4/2$  میلی‌متر بر ساعت نسبت به اراضی کشاورزی با متوسط  $3/9$  و شخم‌خورده با متوسط  $2/9$  میلی‌متر بر ساعت بیشتر بوده و این مورد با نتایج وارن و همکاران (۲۰۰۹)، مبنی بر بیشتر بودن میزان هدایت هیدرولیکی اشباع در مناطق جنگلی نسبت به اراضی زراعی مطابقت دارد. تراکم خاک در اثر عبور ماشین‌آلات یا چرای دام می‌تواند باعث تخریب منافذ درشت خاک شود و هدایت هیدرولیکی را کاهش دهد (۱۳). در اراضی کشاورزی نیز نسبت به اراضی شخم‌خورده، میزان نفوذپذیری در حالت اشباع بیشتر بود و طبق پژوهش‌هایی که قبلاً در این زمینه انجام شده، این مسأله توجیه‌پذیر است. چرا که در اراضی کشاورزی، خاک‌ورزی عاملی مهم در تغییر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک است (۲۲). تغییر در میزان و اندازه

منافذ خاک در اثر خاک‌ورزی به‌طور قابل‌توجهی بر روی ویژگی‌های هیدرولیکی خاک سطحی تأثیرگذار است. البته در مطالعات مختلف، تأثیر خاک‌ورزی بر شدت نفوذ متفاوت گزارش شده است (۱۴). به‌طوری‌که بسته به تاریخچه کشت، اقلیم و مدیریت خاک، هدایت هیدرولیکی تحت شرایط بدون شخم یا حداقل شخم نسبت به شخم مداوم می‌تواند بیشتر (۴) یا کم‌تر شود (۱۵) و یا تغییری در آن ایجاد نشود (۶).

به‌طور کلی معمولاً در خاک‌های لخت نیز نسبت به خاک‌هایی با پوشش گیاهی، میزان نفوذ کم‌تر است. علت این امر احتمالاً این است که در خاک‌های لخت، سطح زمین به سرعت سله بسته و جلوی نفوذ آب سد می‌شود، در حالی‌که در خاک‌های با پوشش گیاهی به‌دلیل خوب بودن ساختمان خاک، این امر اتفاق نمی‌افتد (۱). از دیگر ویژگی‌های اندازه‌گیری‌شده در این پژوهش، جرم مخصوص ظاهری خاک بوده که با میزان هدایت هیدرولیکی خاک رابطه معکوس دارد. همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است، میزان جرم مخصوص ظاهری در اراضی جنگلی نسبت به اراضی مرتعی، در اراضی مرتعی نسبت به اراضی کشاورزی و شخم‌خورده کاهش و میزان هدایت هیدرولیکی آن افزایش می‌یابد. بنابراین نتایج این قسمت از پژوهش با نتایج زیمرمن و همکاران (۲۰۰۶) و بورمان و کلاسن (۲۰۰۸) مطابقت دارد؛ چرا که در این خصوص آن‌ها بیان کردند: جرم مخصوص ظاهری خاک در اراضی کشاورزی بیش‌تر از اراضی مرتعی و در اراضی مرتعی نیز بیش‌تر از اراضی جنگلی بوده و با افزایش جرم مخصوص ظاهری، هدایت هیدرولیکی خاک، کاهش می‌یابد. افزایش در جرم مخصوص ظاهری می‌تواند دلالت بر تغییرات نامطلوب در هدایت هیدرولیکی باشد (۷).

اشباع با بار ثابت ۱۵ سانتی متر به کار گرفته شد و نتایج حاصل از آن‌ها مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که میزان نفوذ اندازه‌گیری شده به روش آزمایشگاهی مقادیری بیش از دو روش میدانی ارائه داد. روش آزمایشگاهی به کار گرفته شده در این پژوهش دستگاه اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک اشباع با بار ثابت است و طراحی این دستگاه به شیوه‌ای است که خاک دست‌خوش کم‌ترین تغییرات شده با این حال علت این امر می‌تواند ناشی از خطای اندازه‌گیری، زیاد بودن ضریب تغییرات ناشی از کوچک بودن نمونه‌ها باشد. در بین دو روش میدانی نیز میانگین نفوذ اندازه‌گیری شده با دستگاه نفوذسنج مکشی کم‌تر از نفوذ اندازه‌گیری شده با استوانه‌های مضاعف می‌باشد اما این تفاوت در سطح اطمینان ۰/۹۵ معنی‌دار نبود. به نظر می‌رسد علت این امر بار آبی مثبت و سطح وسیع‌تر در روش استوانه مضاعف است که موجب افزایش مقدار هدایت آبی می‌گردد (۱۰). رثوف و همکاران (۲۰۱۱) آزمایش‌های نفوذ را با استفاده از دستگاه‌های نفوذسنج استوانه مضاعف و نفوذسنج مکشی در دو حالت اشباع و غیراشباع انجام دادند. نتایج حاصل از دو روش نشان داد که دستگاه نفوذسنج مکشی مقدار نفوذ را کم‌تر از مقدار استوانه مضاعف برآورد می‌کند اما از لحاظ آماری و در سطح اطمینان ۹۰ درصد اختلاف آن‌ها معنی‌دار نمی‌باشد. مرادی باصری و همکاران (۲۰۱۲)، قانی و همکاران (۲۰۱۲)، رضایی‌پور و قبادی‌نیا (۲۰۱۱)، به نتایج مشابهی در این زمینه دست یافتند.

مقایسه ضریب تغییرات روش‌های اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع در این پژوهش نشان داد بیش‌ترین ضریب تغییرات مربوط به دستگاه اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع با بار ثابت است که احتمالاً دلیل این امر کوچک بودن نمونه‌های مورد آزمایش است. کم‌ترین ضریب تغییرات نیز مربوط به

مقایسه ضریب تغییرات هدایت هیدرولیکی اشباع کاربری‌های مختلف در این پژوهش (جدول ۳) نشان داد بیش‌ترین ضریب تغییرات مربوط به اراضی شخم‌خورده است که احتمالاً دلیل این امر وجود جریان‌ات ترجیحی به دلیل وجود شخم و شیارهای ایجاد شده بر سطح خاک و ناهمگون بودن حفره‌ها و درز و شکاف‌های سطح خاک می‌باشد. بعد از اراضی شخم‌خورده بیش‌ترین ضریب تغییرات مربوط به اراضی مرتعی و جنگلی است چرا که تنوع پوشش گیاهی از مقادیر ناچیز در برخی مناطق تا پوشش‌های بوته‌ای و درختچه‌های جنگلی نسبتاً پراکنده در این مناطق می‌تواند عامل اصلی بروز این تغییرات باشد. کم‌ترین میزان ضریب تغییرات نیز مربوط به اراضی زراعی بود. از آنجایی که در اراضی زراعی با کشت گندم تغییرات و تنوع پوشش سطح نسبت به اراضی جنگلی و مرتعی کم‌تر بوده و از همگونی بیش‌تری نسبت به سایر کاربری‌های مورد مطالعه در این پژوهش بوده است بنابراین می‌توان علت این امر را به پوشش سطح نسبت داد.

**مقایسه روش‌های اندازه‌گیری:** به منظور اندازه‌گیری نفوذ مواردی از قبیل نوع خاک، فاصله سطح آب زیرزمینی تا سطح خاک، مقیاس مورد مطالعه و امکانات موجود روش‌های متفاوتی ارائه شده‌اند. پاره‌ای از این روش‌ها در آزمایشگاه برای نمونه‌های دست‌خورده و یا دست‌نخورده و برخی دیگر در عرصه و در شرایط طبیعی انجام می‌شوند (۲). یکی از معایب روش‌های آزمایشگاهی به هم‌خوردگی خاک هنگام نمونه‌برداری می‌باشد. به همین دلیل در طرح‌های اجرایی روش‌های میدانی کاربرد بیش‌تری دارند (۲۴). در این پژوهش نیز جهت اندازه‌گیری نفوذ، دو روش میدانی استوانه‌های مضاعف و نفوذسنج مکشی در سه مکش ۲-، ۴- و ۶- سانتی متر با روش آزمایشگاهی اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک

کاربردهای مختلف این منطقه، نگاه صرف به معنی‌داری و مسائل آماری نمی‌تواند درست باشد و تعمیم آن‌ها منطقی به نظر نمی‌رسد.

همچنین لازم به ذکر است از آنجایی که به‌طور مکرر در پژوهش‌های متعدد بر تغییرپذیری پدیده و فرایند نفوذ تأکید بسیار شده است، با وجود کم بودن تعداد نقاط اندازه‌گیری در این پژوهش که اثرات آن در ضریب تغییرات نفوذ اندازه‌گیری شده با دستگاه‌های مختلف و کاربردهای نامبرده در این پژوهش به وضوح قابل مشاهده است و اهمیت مطالعه و پژوهش مطالعات آب و خاک در اراضی لسی که یکی از مناطق حساس و مورد علاقه پژوهشگران در زمینه‌های مختلف علمی در سراسر دنیا است، پیشنهاد می‌شود جهت تأیید یا رد نتایج این پژوهش، آزمایش‌های نفوذپذیری با تعداد نقاط و تعداد تکرارهای بیش‌تر در این منطقه صورت گیرد و نتایج حاصل از این پژوهش با احتیاط بیش‌تری مورد استفاده پژوهشگران خاک و سایر علوم مرتبط مورد استفاده قرار گیرد. همچنین نیاز است تا اثرات برخی ویژگی‌های خاک هم‌چون مواد آلی، درصد پوشش و اقلیم نیز بر میزان نفوذپذیری خاک در این منطقه مورد آزمایش و بررسی قرار گیرد.

### سیاسگزاری

بدین‌وسیله از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان که اعتبارات مالی لازم را برای انجام این پژوهش فراهم نمود سپاسگزاری می‌نمائیم.

دستگاه نفوذسنج مکشی است که احتمالاً دلیل این امر نیز عبور دادن آب از منافذ خاک به‌صورت انتخابی و کاهش اثر جریان‌ات ترجیحی آب می‌باشد چرا که این عامل موجب کاهش اثر تغییرات ناشی از تنوع پوشش سطح خاک و وجود حفره‌ها و درز و شکاف‌های ناشی از لانه‌سازی حشرات و موجودات خاکزی می‌شود. جمع‌بندی نتایج این پژوهش و همه مطالعاتی که در این زمینه صورت گرفته است نشان می‌دهد اگرچه هر کدام از روش‌های اندازه‌گیری میدانی و آزمایشگاهی هدایت هیدرولیکی استفاده فراوانی در مطالعات آب و خاک دارد اما بسته به هدف پژوهش، بافت و ساختمان خاک، شرایط منطقه مورد مطالعه، امکانات در دسترس و روش‌های مختلف تحلیل داده‌های به‌دست آمده از این روش‌ها نتایج متفاوتی حاصل شده است.

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد در اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک اشباع بین روش اندازه‌گیری نفوذسنج استوانه مضاعف و نفوذسنج مکشی گلف در سطح اطمینان ۹۵ درصد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد اما نتایج این دو دستگاه با نفوذسنج با بار ثابت در همین سطح اطمینان، تفاوت معنی‌داری نشان می‌دهد. همچنین نتایج اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک اشباع در چهار کاربری جنگل، مرتع، کشاورزی و اراضی شخم‌خورده در سطح اطمینان ۹۵ درصد تفاوت معنی‌داری نشان نداد. اما به‌طورکلی با توجه به زیاد بودن ضریب تغییرات نفوذ اندازه‌گیری شده با روش‌های اندازه‌گیری مختلف و نفوذ اندازه‌گیری در

### منابع

1. Alizade, A. 2009. The principles of Application Hydrology. Ferdowsi university of Mashhad publication, 26<sup>th</sup> edition, Pp: 290-374. (In Persian)
2. Alizadeh, A. 2004. Soil Physics. Imam Reza university publication, Pp: 186-258. (In Persian)
3. Bagarello, V., and Sgroi, A. 2007. Using the simplified falling head technique to detect temporal changes in field-saturated hydraulic conductivity at the surface of a sandy loam soil. Soil and Tillage Research. 94: 2. 283-294.

4. Benjamin, J.G. 1993. Tillage effects on near-surface soil hydraulic properties. *Soil and Tillage Research*. 26: 4. 277-288.
5. Bhardwaj, A., and Singh, R. 1992. Development of a portable simulator infiltrometer for infiltration, runoff and erosion studies. *Agricultural Water Management*. 22: 235-248.
6. Bodhinayake, W., and Cheng Si, B. 2004. Near-saturated surface soil hydraulic properties under different landuses in the St Denis National Wildlife Area, Saskatchewan, Canada. *Hydrological processes*. 18: 15. 2835-2850.
7. Bormann, H., and Klaassen, K. 2008. Seasonal and landuse dependent variability of soil hydraulic and soil hydrological properties of two Northern German soils. *Geoderma*. 145: 3. 295-302.
8. Ehlers, W. 1975. Observations on earthworm channels and infiltration on tilled and untilled loess soil. *Soil Science*. 119: 3. 242-249.
9. Ghaiumi Mohamadi, A.M., Ghorbani Dashtaki, Sh., Raiesi, F., and Tahmasbi, P. 2013. Effect of land abandonment on variation of soil water infiltration parameters. *J. Soil Water Cons.* 2: 41-51. (In Persian)
10. Ghani, F., Tabatabayi, S.H., Shayannejad, M., and Ghorbani Dashtaki, Sh. 2012. Comparison of four field measurement methods of saturated hydraulics conductivity. *J. Water Resour. Engin.* Pp: 290-374. (In Persian)
11. Ghobadian, R., and Sabeh, G.A. 2013. Comparison of inverse auger hole and different methods of Golph Permeameter analysis to calculate field hydraulic conductivity of clay soils. *Iran. J. Water Environ. Engin.* 2: 57-65. (In Persian)
12. Ghorbani Dashtaki, Sh., Homaei, M., and Mahdian, M.H. 2011. The effect of landuse changing on local variation of infiltration parameters. *Iran. J. Irrig. Drain.* 4: 2. 206-221. (In Persian)
13. Heddadj, D., and Gascuel-Oudou, C. 1999. Topographic and seasonal variations of unsaturated hydraulic conductivity as measured by tension disc infiltrometers at the field scale. *Europ. J. Soil Sci.* 50: 2. 275-283.
14. Jones, O.R., Hauser, V.L., and Popham, T.W. 1994. No-tillage effects on infiltration, runoff, and water conservation on dryland. *Transactions of the ASAE*. 37: 2. 473-479.
15. Miller, J.J., Sweetland, N.J., Larney, F.J., and Volkmar, K.M. 1998. Unsaturated hydraulic conductivity of conventional and conservation tillage soils in southern Alberta. *Can. J. Soil Sci.* 78: 4. 643-648.
16. Mohanty, B.P., Kanwar, R.S., and Everts, C.J. 1994. Comparison of saturated hydraulic conductivity measurement methods for a glacial-till soil. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 58: 3. 672-677.
17. Moradi Baseri, H., Ghorbani Dashtaki, Sh., Khodaverdilu, H., Khalil Moghadam, B., and Givi, J. 2011. Evaluation of selected infiltration models in vertisols and non vertisols soils. *Iran. J. Water Res.* 5: 187-196. (In Persian)
18. Moret-Fernández, D., and González-Cebollada, C. 2009. New method for monitoring soil water infiltration rates applied to a disc infiltrometer. *J. Hydrol.* 379: 3. 315-322.
19. Muñoz-Carpena, R., Regalado, C.M., Álvarez-Benedi, J., and Bartoli, F. 2002. Field evaluation of the new Philip-Dunne permeameter for measuring saturated hydraulic conductivity. *Soil Science*. 167: 1. 9-24.
20. Neshat, A., and Parezkar, M. 2007. The comparison of methods for determining the vertical infiltration rate. *J. Agric. Sci. Natur. Resour.* 14: 3. 32-47. (In Persian)
21. Omidifard, M., and Mousavi, S.A.A. 2015. The estimation of some hydraulic properties of Calcic soils in Bajgah area of Fars province by regression transitive function. *J. Soil Inv.* 29: 1. 83-92. (In Persian)
22. Prieksat, M.A., Kaspar, T.C., and Ankeny, M.D. 1994. Positional and temporal changes in ponded infiltration in a corn field. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 58: 1. 181-184.
23. Raouf, M., Nazemi, A.H., Sadraddini, S.A.A., and Maroofi, S. 2009. Estimating Saturated and Unsaturated Hydraulic Conductivities of Sloping Lands under Steady and Transient States. *J. Water Soil Know.* 20: 4. 33-46. (In Persian)

24. Reynolds, W.D. 1993. Saturated hydraulic conductivity: field measurement. P 599-613, In: M.R. Carter (Eds.), Soil Sampling and Methods of analysis Canadian Society of Soil Science Lewis Publishers, Boca Raton.
25. Reynolds, W.D., and Elrick, D.E. 1990. Ponded infiltration from a single ring: I. Analysis of steady flow. Soil Sci. Soc. Amer. J. 54: 5. 1233-1241.
26. Reynolds, W.D., Bowman, B.T., Brunke, R.R., Drury, C.F., and Tan, C.S. 2000. Comparison of tension infiltrometer, pressure infiltrometer, and soil core estimates of saturated hydraulic conductivity. Soil Sci. Soc. Amer. J. 64: 2. 478-484.
27. Rezaee pour, S., and Ghobadinea, M. 2012. The study of infiltration process using the Disk permeameter and double rings. The third national proceeding of Agricultural and food sciences. Fasa Azad University. (In Persian)
28. Shahriari, A., Khormali, F., Karimi, A.R., Lehndorff, E., Tazikeh, H., and Kehl, M. 2015. Palaeopedological study of loess-palaeosol sequences along a climosequence in northern Iran. J. Water Soil Cons. 22: 2. 21-39. (In Persian)
29. Shukla, M.K., Lal, R., Owens, L.B., and Unkefer, P. 2003. Landuse and management impacts on structure and infiltration characteristics of soils in the North Appalachian region of Ohio. Soil Science. 168: 3. 167-177.
30. Tangsir, S., Izadpanah, Z., Kashkouli, H.A., and Maazed, H. 2013. The estimation of absorption coefficient for Philip equation by two methods using the Disk permeameter. Irrigation Engineering Sciences. 37: 1. 69-80. (In Persian)
31. The management and planning organization of Iran country. 2001. Instructions of measuring the water infiltration speed into the soil by double ring. 242<sup>th</sup> J. The publication of management and planning organization Country, 32p. (In Persian)
32. Ventrella, D., Losavio, N., Vonella, A.V., and Leij, F.J. 2005. Estimating hydraulic conductivity of a fine-textured soil using tension infiltrometry. Geoderma. 124: 267-277.
33. Wahren, A., Feger, K.H., Schwärzel, K., and Münch, A. 2009. Land-use effects on flood generation—considering soil hydraulic measurements in modelling. Advances in Geosciences. 21: 21. 99-107.
34. Watershed management office of Golestan province. 1998. Basic studies of Kechiken watershed, 24p. (In Persian)
35. Zand, M., and Moghadam, R. 2010. The evaluation and study of the morphologic loess deposits in management and planning of the Eastern North of Iran (Case study: Gorgan County). J. Spatial Geograph. 29: 129-143. (In Persian)
36. Zimmermann, B., Elsenbeer, H., and De Moraes, J.M. 2006. The influence of land-use changes on soil hydraulic properties: implications for runoff generation. Forest ecology and management. 222: 1. 29-38.



---

## The effect of measurement methods on saturated hydraulic conductivity in eastern loess lands of Golestan province

\*P. Hatami Golmakani<sup>1</sup>, V.B. Sheikh<sup>2</sup> and M. Hosseinalizadeh<sup>3</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Graduate, Dept. of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>2</sup>Associate Prof., Dept. of Watershed and Desert Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>3</sup>Assistant Prof., Dept. of Watershed and Desert Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 12/25/2015; Accepted: 10/30/2016

---

### Abstract

**Background and Objectives:** Saturated hydraulic conductivity ( $K_s$ ) is one of the most important properties of soil that is essential for soil and water studies. It is a key input parameter to most watershed hydrology and soil erosion simulation models. Therefore this research aimed at comparison of different measurement methods of saturated hydraulic conductivity in different landuse types including forestland, rangeland, Agriculture (with vegetation) and Agriculture (bare & plowed) in the eastern loess lands of the Golestan province.

**Materials and Methods:** To measure the saturated hydraulic conductivity both field and laboratory methods were used. Considering the availability of equipments, two field methods including double rings and tension Guelph permeameter disk and one laboratory method of the constant-head conductivity test on undisturbed soil core were employed. Infiltration tests were conducted at 12 locations (in four landuse types with 3 repetitions). Furthermore, in order to determine some of soil physical properties in each location, one disturbed and one undisturbed soil sample were taken. For statistical analysis of results the completely randomize factorial design with two treatment factors was used within SAS 9.0 software.

**Results:** The results of both comparisons between the influence of the measurement method and the type of landuse on the saturated hydraulic conductivity, showed that the landuse influence on hydraulic conductivity at the confidence level of 95% was not significant but the influence of measurement method with the same confidence level was significant so that a significant difference between the laboratory method and two field methods was observed. Among two measuring categories, the laboratory method due to smaller sample sizes had the highest coefficient of variation while the field method of tension Guelph permeameter disk had the least coefficient of variation due to restriction of flux to micropores and prevention from water flow through cracks and macropores.

**Conclusion:** According to the results obtained in this research, without considering the landuse effect is generalized to all placed landuses in these regions. While that the measured saturated hydraulic conductivity by laboratory and field methods could not to be apply and generalized instead of each other. So given that the application objective of results and available equipment in every area should select the fitting method for measuring of the saturated hydraulic conductivity in this area.

**Keywords:** Constant head infiltrometer, Double ring, Infiltration, Loess lands, Tension Guelph permeameter disk

---

\* Corresponding Author; Email: [hatamiparvane@gmail.com](mailto:hatamiparvane@gmail.com)