

ارزیابی تغییرات هدایت هیدرولیکی اشباع در لایه‌های سطحی و زیرسطحی خاک‌های لسی شرق استان گلستان

صغری ایزانلو^۱، مجتبی قره‌محمودلو^{۲*}، نادر جندقی^۳، حجت قربانی واقعی^۴

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۸/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۲/۲۶)

چکیده

هدایت هیدرولیکی خاک یکی از پارامترهای مهم در برآورد فرسایش پذیری خاک، جریان آب در خاک، رواناب و طراحی سیستم‌های زهکشی می‌باشد. این پژوهش به منظور تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s) سطحی و زیرسطحی خاک‌های لسی حوزه آبخیز آق‌امام (۲) واقع در شمال شرق استان گلستان انجام شد. بدین منظور از خاک سه تیپ موجود در این حوزه شامل تیپ‌های تپه، فلات لسی و تراس آبرفتی در دو لایه سطحی و زیرسطحی نمونه‌برداری شد. در این پژوهش علاوه بر تعیین K_s به روش بارافتان، برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک نظیر شوری، آهک خنثی، مواد آلی و بافت خاک در آزمایشگاه اندازه‌گیری و ارتباط آنها با K_s بررسی شد. تمامی نقشه‌ها مربوط به پراکنش K_s سطحی و زیرسطحی و همچنین برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک در محیط GIS و از روش IDW ترسیم گردید. نتایج نشان داد که تغییرات مکانی K_s در هر دو لایه ارتباط مستقیمی باهم دارند و در لایه سطحی بیشتر از لایه زیرسطحی می‌باشد. همچنین میانگین مقدار K_s به‌جز در تیپ تراس آبرفتی که مقدار آن به‌طور کلی کم است (0.9 cm.h^{-1}) در دو تیپ فلات رسی و تپه نسبتاً بالاست (3.9 cm.h^{-1}). نتایج آماری حاصل از روش رگرسیون چندگانه خطی و روش گام‌به‌گام نشان داد که از بین متغیرهای مورد بررسی، به ترتیب دو پارامتر مواد آلی و آهک خنثی بیشترین تاثیر را در تعیین مقدار K_s سطحی ($R^2=0.9556$) و زیرسطحی ($R^2=0.8607$) در منطقه مورد مطالعه دارند.

واژه‌های کلیدی: هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، روش بار افتان، خاک لسی، خواص فیزیکوشیمیایی خاک، حوزه آبخیز

ایزانلو ص.، قره‌محمودلو م.، جندقی ن.، قربانی واقعی ح. ۱۴۰۱. ارزیابی تغییرات هدایت هیدرولیکی اشباع در لایه‌های سطحی و زیرسطحی خاک‌های لسی شرق استان گلستان. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۱۰، شماره ۲. صفحه: ۱۰۳-۱۱۹.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس

۲- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس

۳- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس

۴- استادیار گروه چوب و کاغذ، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس

*پست الکترونیکی: mmahmoodlu@gonbad.ac.ir

مقدمه

لس‌ها یکی از مهم‌ترین واحدهای رسوبی مربوط کواترنر در ایران می‌باشند (Bell, 2007; Amiri *et al.*, 2019). این نهشته‌های بادرفتی با ضخامت نسبتاً زیاد (حدود ۷۰ متر) و مساحتی بالغ بر ۳۸۸ هزار هکتار، بیش از ۱۷ درصد از سطح استان گلستان را پوشانده‌اند (Feiznia, 2008). تشکیلات لسی به لحاظ گروه‌های هیدرولوژیکی در گروه (C) با پتانسیل تولید رواناب بالا قرار دارند. از اینرو نقش مهمی در تولید بار معلق رسوبی رودخانه‌های استان و همچنین گسترش اشکال مختلف فرسایشی نظیر خندقی و شیاری دارند. بنابراین با توجه به گسترش نسبتاً وسیع تشکیلات لسی در استان گلستان، مطالعه پارامترهای هیدرودینامیکی آنها از اهمیت بالایی برخوردار است. هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s) خاک، یکی از ویژگی‌های هیدرودینامیکی آن است که نقش تعیین کننده‌ای در حرکت آب و انتقال مواد محلول در خاک دارد (Soracco *et al.*, 2010; Moosavi & Omidifard, 2016; Navabian Raouf *et al.*, 2010; Zhang & Schaap, 2019; *et al.*, 2003).

تاکنون مطالعات نسبتاً وسیعی در زمینه بررسی خصوصیات هیدرودینامیکی لس‌ها و دیگر خاک‌ها انجام شده‌است که ادامه به برخی از این پژوهش‌ها اشاره می‌شود. یون کیانگ و همکاران (Yunqiang *et al.*, 2013) به منظور بررسی تغییرات منطقه‌ای و الگوهای توزیع مکانی K_s در لایه‌های سطحی (۵-۰ سانتی‌متر) و زیرسطحی (۲۵-۲۰ سانتی‌متر) در بخشی از خاک‌های لسی کشور چین، از ۳۸۲ محل نمونه‌برداری کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که مقدار K_s خاک سطحی بیشترین همبستگی را با مقدار شن و سیلت، شیب، میزان آب اشباع شده خاک، پوشش گیاهی و کاربری زمین دارد. در حالی که K_s زیرسطحی بیشترین همبستگی را با مقدار رس، رطوبت اشباع خاک، شیب هیدرولیکی جریان، ارتفاع از سطح دریا و کاربری زمین دارد. نتایج این پژوهش همچنین نشان داد که الگو توزیع مکانی K_s در مقیاس منطقه‌ای در خاک‌های لسی کشور چین به صورت کامل تحت تاثیر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک و

اثرات ترکیبی بافت خاک، پوشش گیاهی، توپوگرافی و فعالیت‌های انسانی است. در پژوهشی وانگ و همکاران (Wang *et al.*, 2018) تغییرات K_s در جهات افقی و عمودی را در یک دامنه لسی در فلات جینگ‌یانگ چین به روش آمار مکانی بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد در بیشتر نمونه‌های خاک، میزان K_s در جهت افقی از قائم بیشتر است. همچنین مقادیر K_s با افزایش عمق کاهش می‌یابد و روند کاهش مقدار هدایت هیدرولیکی توسط مدل واپاشی نمایی قابل توصیف می‌باشد.

یافته‌های کلیشادی و همکاران (Kelishadi *et al.*, 2014) بر روی ۱۰۰ نمونه خاک مربوط به بخش کوه‌رنگ و فارسان استان چهارمحال و بختیاری برای برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع خاک به کمک توابع انتقالی نشان داد که لگاریتم K_s با ماده آلی خاک، لگاریتم نسبت ماده آلی به کربنات کلسیم ($OM/CaCO_3$)، درصد شن خیلی ریز و تخلخل خاک همبستگی مثبت دارد. در مقابل لگاریتم K_s با نسبت درصد رس به کربنات کلسیم و نسبت کربنات کلسیم به ماده آلی همبستگی منفی دارد. سخون و همکاران (Schwen *et al.*, 2014) به مطالعه خصوصیات هیدرولیکی در آزمایشگاه بر دو نوع خاک در پروفیلی به عمق یک متر پرداختند. نتایج این تحقیق نشان از تغییرات قابل ملاحظه در میزان K_s در عمق پروفیل خاک داشت. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که ارتباط مستقیمی بین K_s و خصوصیات فیزیکی نظیر درصد شن و مواد آلی خاک وجود دارد.

در پژوهشی حاتمی و همکاران (Hatami Golmakani *et al.*, 2017) به مقایسه روش‌های مختلف اندازه‌گیری میزان هدایت K_s به روش استوانه مضاعف و نفوذسنج گلف در صحرا و روش آزمایشگاهی بار ثابت در اراضی لسی شرق استان گلستان با کاربری‌های مختلف پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد میزان K_s خاک در روش اندازه‌گیری آزمایشگاهی با دو روش میدانی تفاوت معنی‌داری از خود نشان داد. بکر و همکاران (Becker *et al.*, 2018) اثر خواص خاک‌های سطحی و زیرسطحی را بر روی K_s در یک حوضه آبریز نیمه خشک واقع در آریزونای آمریکا را مورد مطالعه

با هدف به ترتیب (۱) تخمین میزان نفوذپذیری اشباع در دو عمق سطحی و زیرسطحی در خاک‌های لسی حوزه آبخیز مورد مطالعه، (۲) تعیین موثرترین ویژگی فیزیکی و شیمیایی خاک رسی در تخمین میزان K_s و همچنین (۳) تهیه نقشه‌های مربوط به پراکنش K_s سطحی و زیرسطحی در خاک‌های لسی حوزه آبخیز آقامام (۲) واقع در شمال شرق استان گلستان انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز آقامام (۲) با مساحت ۲۵۹۵/۳۵ هکتار در شمال شرق استان گلستان و در شرق شهرستان کلالة شهر جدید فراغی واقع شده است. بارندگی متوسط سالانه این حوزه ۴۸۹ میلی‌متر و دمای متوسط سالانه آن حدود ۱۶ درجه سانتی‌گراد است. از نظر اقلیم بیشتر مناطق مورد مطالعه دارای اقلیم نیمه‌خشک معتدل بوده و قسمت‌های محدودی از حوزه دارای اقلیم نیمه‌خشک می‌باشد (Heirkan Abkhiz Ara Company, 2007). بیشترین مساحت این حوزه از اراضی مرتعی و سپس از اراضی کشاورزی تشکیل شده است. سهم مناطق فاقد پوشش و مناطق مسکونی در این حوزه ناچیز می‌باشد. شکل (۱) موقعیت این حوزه را در کشور و استان گلستان را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز آقامام (۲) در کشور و استان گلستان

Figure 1. Location of Aghemam watershed (2) in the country and Golestan province

قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که میزان K_s با عمق کاهش می‌یابد. از طرفی آنها گزارش کردند مدل‌های توابع انتقالی (PTF) خاک ارایه شده از دقت کافی برای برآورد K_s این منطقه برخوردار نبودند. همچنین در پژوهشی رحمتی و همکاران (Rahmati *et al.*, 2019) اثر توزیع اندازه‌های مختلف خاکدانه را در یک نمونه خاک کشاورزی بر روی میزان تغییرات K_s بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین K_s با مقدار رس، ماده آلی و هدایت الکتریکی خاک وجود دارد. در حالیکه شاکر و همکاران (Shaker *et al.*, 2019) در تحقیقی نشان دادند که برای برآورد هدایت هیدرولیکی نزدیک به اشباع خاک، خصوصیات نظیر بافت خاک و درصد ذرات شن، سیلت و رس از اهمیت کمتری برخوردارند. در مقابل این پارامتر بیشتر تحت تاثیر ساختمان خاک و همچنین خصوصیات را که بیانگر وضعیت ساختمان خاک نظیر جرم ویژه ظاهری، شاخص سله‌بندی و درجه تراکم خاک می‌باشد. علاوه بر این نتایج این پژوهش نشان داد که K_s با شوری خاک و درصد سدیم تبادلی خاک منطقه مطالعه رابطه منفی دارد. تاکنون مطالعات نسبتاً وسیعی بر روی منشا، خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حاصلخیزی لس‌ها در ایران و دیگر کشورها انجام شده است. اما پژوهش‌های نسبتاً اندکی در زمینه تخمین ضرایب هیدرودینامیکی خصوصاً K_s خاک‌های لسی در ایران وجود دارد. از اینرو پژوهش حاضر

پ- اجزاء واحد اراضی ۱-۳: این واحد اراضی با تیپ تراس آبرفتی دارای سنگ مادری متشکل از رسوبات آبرفتی و لس می‌باشد. بافت خاک این تیپ لوم سیلتی تا لوم با عمق بیش از ۱۲۰ سانتی‌متر می‌باشد. حساسیت این تیپ نسبت به فرسایش زیاد بوده و دارای شیب صفر تا ۸ درصد می‌باشد. پوشش گیاهی غالب این تیپ بیشتر از گونه‌های زراعی است. از مهمترین محدودیت این اراضی می‌توان به سیل‌گیری و حساسیت به فرسایش و همچنین وجود خندق‌های عمیق اشاره کرد.

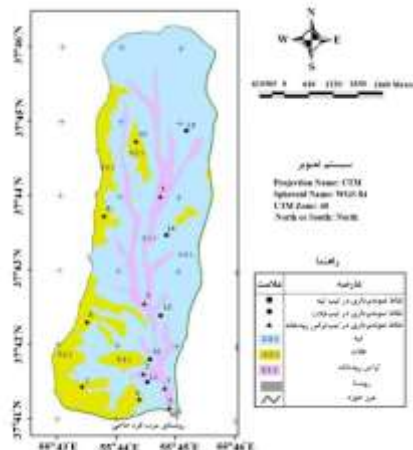
روش کار

برای انجام این تحقیق پس از بررسی‌های اولیه، اجزاء واحد اراضی به عنوان واحد کاری انتخاب شد. با توجه به مساحت کم حوزه و تنوع کم منطقه از لحاظ ویژگی‌های لیتولوژی، خاک‌شناسی و پوشش گیاهی، در هر تیپ ۱۰ نمونه خاک از دو بخش سطحی و زیرسطحی خاک (در مجموع ۳۰ نمونه) به صورت کاملاً تصادفی برداشت شد (شکل ۲). نمونه‌برداری از بخش سطحی در عمق ۵-۰ و زیرسطحی در عمق ۲۵-۲۰ سانتی‌متری از سطح زمین انجام شد. سپس از هر مقطع و هر عمق ۲ سری نمونه برداشت شد. سری اول در کیسه‌های پلاستیکی جهت انجام آزمایشات فیزیکوشیمیایی خاک و سری دوم توسط سیلندر مخصوص

حوزه آبخیز مورد مطالعه از سه تیپ عمده شامل تپه، فلات‌های لسی و تراس‌های آبرفتی تشکیل شده‌است. این تیپ‌ها براساس نوع کاربری و لیتولوژی به سه جزء واحد اراضی تقسیم‌بندی می‌شوند (Hyrkan-Arakhiz-Ara Company, 2007):

الف- اجزاء واحد اراضی ۱-۳-۲: این واحد اراضی با تیپ فیزیوگرافی تپه‌ای دارای قله مسطح و مدور است (شکل ۲). سنگ مادری آن از جنس لس و سنگ آهک با حساسیت بالا نسبت به فرسایش است. این واحد دارای شیب حدوداً ۲۵ تا ۴۵ درصد و پوشش گیاهی غالب آن از نوع مرتعی می‌باشد. بافت خاک این واحد سیلتی لوم و لوم به عمق صفر تا ۱۲۰ سانتی‌متر است. از اینرو فرسایش شیاری زیادی در تیپ شکل گرفته‌است.

ب- اجزاء واحد اراضی ۱-۲-۳: این واحد اراضی با تیپ فیزیوگرافی فلات لسی (پلاتو) است (شکل ۲). سنگ مادری آن از نوع لس با حساسیت خیلی زیاد نسبت به فرسایش می‌باشد. تیپ فیزیوگرافی فلات لسی نسبت به تیپ فیزیوگرافی تپه‌ای دارای شیب کم بین ۱۰ تا ۲۵ درصد و پوشش گیاهی غالب آن شامل گونه‌های زراعی و مرتعی است. بافت خاک سیلتی لوم با عمق بیش از ۱۲۰ سانتی‌متر است که فرسایش سطحی و شیاری با شدت بسیار زیاد در آن موجود است.



شکل ۲- نقشه اجزاء واحد اراضی و نقاط نمونه‌برداری حوزه آبخیز آق‌امام (۲)

Figure 2. Map of land unit components and sampling points of Aghemam watershed (2)

آزمون‌های نکویی برازش برای مدل رگرسیونی انجام شد. برای این منظور از آماره دوربین-واتسون برای بررسی خودهمبستگی در باقی‌مانده‌های مدل، از آزمون اندرسون-دارلینگ برای بررسی نرمال بودن باقی‌مانده‌ها، از ضریب یا عامل تورم واریانس برای بررسی همراستایی در متغیرهای پیش‌بینی کننده مدل و از آزمون درها (Run test) برای بررسی تصادفی بودن باقی‌مانده‌ها استفاده شد (Shirazi, 2016). برای تعیین مهمترین متغیر موثر در تعیین فاکتور K_s ، در ابتدا داده‌های باقیمانده در مدل استانداردسازی و سپس رگرسیون گرفته شد. در معادله رگرسیون جدید قدم‌مطلق ضریب هر پارامتر که بالاترین مقدار را داشته باشد، بیانگر موثرترین متغیر تاثیرگذار در تعیین فاکتور K_s می‌باشد.

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل پارامترهای زودیافت خاک موثر بر هدایت

هیدرولیکی اشباع

هدایت هیدرولیکی اشباع خاک متاثر از برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نظیر درصد ذرات تشکیل دهنده خاک، مقدار ماده آلی، درصد آهک و جرم ویژه ظاهری خاک می‌باشد (Kelishadi *et al.*, 2014). نتایج برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک به تفکیک تیپ اجزای واحد اراضی در دو عمق سطحی و زیرسطحی در حوزه آبخیز آق‌امام (۲) در جدول (۱) ارایه شده است.

بافت خاک

نتایج حاصل از بررسی بافت خاک در سه تیپ واحد اراضی نشان داد که بافت خاک حوزه آبخیز آق‌امام (۲) در محدوده لوم‌سیلتی و لومی قرار گرفته به طوری که ۲۰ درصد خاکهای سطحی حوزه دارای بافت لومی و ۸۰ درصد حوزه دارای بافت لوم‌سیلتی است در حالی که در نمونه‌های زیرسطحی ۷ درصد خاک لوم‌شنی، ۲۰ درصد لومی و ۷۳ درصد لوم‌سیلتی است. در تمامی تیپ اراضی درصد رس منطقه و

نمونه‌برداری برای تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع برداشت شد. نمونه‌ها بعد از برداشت به آزمایشگاه منتقل شدند و پس از هوا-خشک شدن از الک قطر ۲ میلی‌متر (الک شماره ۱۰) عبور داده شدند. پس از آماده‌سازی نمونه‌ها، آزمایش مقدار اسیدیته (pH)، شوری (EC)، بافت خاک به روش هیدرومتری، جرم ویژه ظاهری خاک (ρ_b) به روش سیلندری و کلوخه پارافین اندود شده، درصد ماده آلی خاک (OM) به روش سوزاندن تر، درصد رطوبت اشباع (θ_s) به روش سیلندری و درصد آهک خنثی خاک (T.N.V %) بر روی آنها انجام شد (Nelson & Sommers, 1982; Gee & Bauder, 1986). مقدار K_s با استفاده از دستگاه اتوماتیک اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک مدل (FH10) و از روش بارافتان در آزمایشگاه با ۵ تکرار اندازه‌گیری شد (Abedini *et al.*, 2019). این دستگاه مجهز به ۱۰ هولدر بار افتان مستقل با سیلندرهایی به قطر و ارتفاع ۵ سانتی‌متر است که قابلیت اشباع سازی خاک از زیر در آن تعبیه شده است و قادر است همزمان مقدار K_s ده نمونه متفاوت خاک را اندازه‌گیری کند. در نهایت برای شناخت از نحوه توزیع و پراکنش پارامترهای زود یافت خاک و همچنین مقادیر K_s نقشه رقمی آنها در سطح حوزه آبخیز با استفاده از نرم‌افزار آرک جی‌آی‌اس^۱ و از روش درون‌یابی^۲ (IDW) ترسیم شد. هدف اصلی از انتخاب این روش در پژوهش حاضر عیین مقدار پارامترهای بررسی شده در مناطقی بود که در آنها نمونه‌برداری انجام نشده‌است. این کار نیز با توجه به نقاط همسایه و با میانگین‌گیری از نقاط نمونه که در همسایگی هر نقطه مجهول قرار دارند انجام شده است (Maghami *et al.*, 2011).

برای تعیین موثرترین پارامتر در محاسبه K_s از روش رگرسیون چندگانه خطی در نرم‌افزار مینی‌تب استفاده شد. در این روش بعد از برازش مدل چنانچه رابطه‌ای بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته وجود داشته باشد، از روش گام‌به‌گام^۳ متغیرهایی مستقلی که بیشترین تاثیر را بر روی متغیر وابسته دارند مشخص می‌شود. قبل از انجام آن

³Stepwise

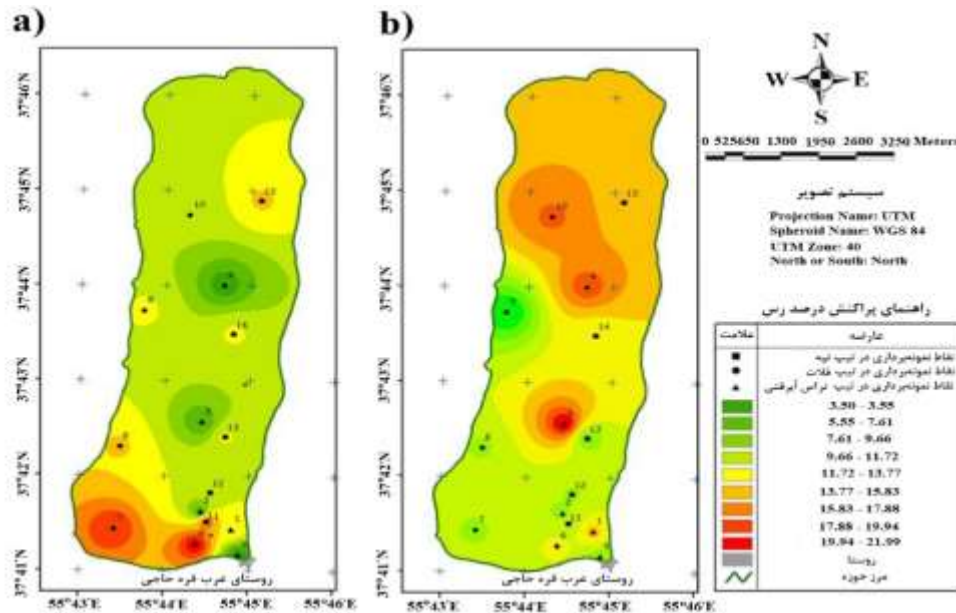
⁴Variance Inflation Factor (VIF)

¹ArcGIS

²Inverse distance weighting

پایین دست در حد متوسط و در قسمت‌های بالادست حوزه مقدار شن حداقل است. درحالی که در تپ فلات لسی و تپه مقدار شن از پایین دست حوزه به سمت بالادست افزایش یافته است. با توجه به شکل (۴) می‌توان نتیجه گرفت پراکنش درصد شن در فلات لسی در خاک سطحی در حدود ۲۰ درصد متغیر است و در صورتی که میزان تغییرات آن در لایه زیرسطحی همان نقطه کمتر از ۱۰ درصد می‌باشد. همچنین مقادیر p-value آزمون همبستگی بین درصد شن سطحی و زیرسطحی برای سه تپه، فلات لسی و تراس آبرفتی به ترتیب ۰/۵۵۲، ۰/۷۲۰ و ۰/۶۲۲ محاسبه و مشخص شد رابطه معنی‌داری بین شن سطحی و زیرسطحی در سه تپه مورد بررسی وجود ندارد.

میزان تغییرات آن در دو عمق سطحی و زیرسطحی کم بوده است. در بررسی آزمون همبستگی درصد رس خاک سطحی و زیرسطحی مقادیر p-value برای سه تپه، فلات لسی و تراس آبرفتی به ترتیب ۰/۶۳۴، ۰/۸۹۲ و ۰/۹۰۲ محاسبه شد لذا فرض H_0 یا عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین رس سطحی و زیرسطحی پذیرفته می‌شود. در لایه زیرسطحی خاک روند کاهش درصد رس از بالادست حوزه به سمت پایین آن مشاهده می‌شود که این روند کاهشی در تپه دامنه و فلات لسی بارزتر است (شکل ۳). در بررسی مقدار شن در لایه سطحی می‌توان نتیجه گرفت که مقدار آن در بالادست حوزه حداکثر است، در بخش میانی حوزه مقدار آن کاهش یافته و در پایین دست حوزه مقدار شن خاک به حداقل می‌رسد (شکل ۴). در مقایسه جداگانه هر تپه مشخص شد که در تپه تراس آبرفتی مقدار شن در



شکل ۳- نقشه پراکنش درصد رس در خاک سطحی (a) و زیرسطحی (b)

Figure 3. Distribution map of clay percentage in topsoil (a) and subsurface (b)

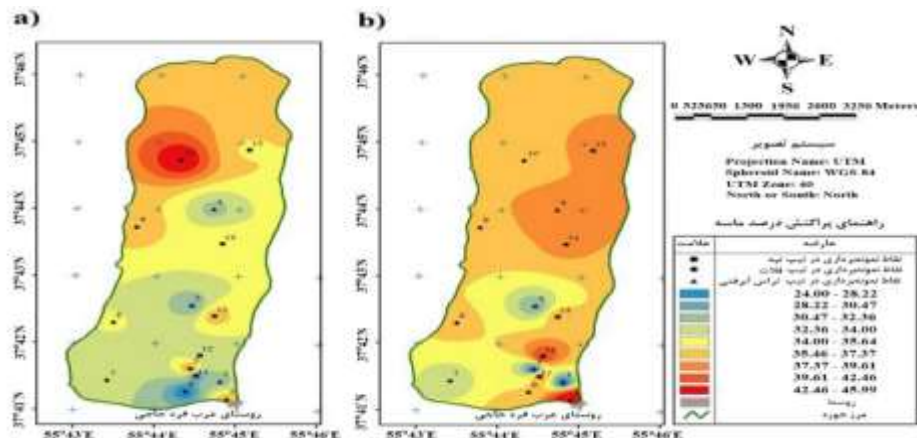
جدول ۱- نتایج برخی خواص فیزیکوشیمیایی لایه‌های سطحی و زیر سطحی خاک در حوزه آبخیز آق امام (۲)

Table 1- Results of some physicochemical properties of surface and subsurface layers in Aghemam watershed (2)

Sampling depth (cm)	Land unit components	Statistical parameters	%					EC (ds/m)	pH	Soil texture
			Sand	Silt	Caly	Organic matter	Neutral lime			
0-5	Alluvial terrace	Min	28.5	54	3.5	4.65	25	0.392	6.78	Silt loam
		Max	40.5	66	13.5	7.55	27.25	18.31	8.1	Silt loam
		Mean	33.7	59.7	6.5	6.13	26.27	6.38	7.50	Silt loam
	Loess plateau	Min	24	44	10	0.78	25.62	0.50	7.21	Silt loam
		Max	46	54	22	2.34	27.12	1.51	7.64	Loam
		Mean	34.8	49.6	15.6	1.48	26.62	0.87	7.55	Loam
	Hill	Min	26	50	10	2.01	32.5	0.32	7.41	Silt loam
		Max	38	58	18	2.68	33.38	0.69	7.85	Silt loam
		Mean	33.6	53.2	13.2	2.41	32.95	0.50	7.72	Silt loam
20-25	Alluvial terrace	Min	18.5	19	3.5	4.14	24.62	2.03	6.67	Sandy loam
		Max	38.5	73	12.5	7.14	26.78	9.8	7.8	Silt loam
		Mean	34.1	57.4	8.5	5.66	25.92	5.28	7.07	Silt loam
	Loess plateau	Min	28	48	6	1.17	26.25	0.33	7.59	Loam
		Max	36	60	16	1.57	27	1.40	7.59	Silt loam
		Mean	33.4	55.4	11.2	1.39	26.64	0.74	7.76	Silt loam
	Hill	Min	36	40	8	1.34	32.5	0.29	7.54	Loam
		Max	48	54	13	2.68	33.37	2.67	7.96	Silt loam
		Mean	39.8	49.4	10.8	2.08	32.75	1.34	7.80	Silt loam

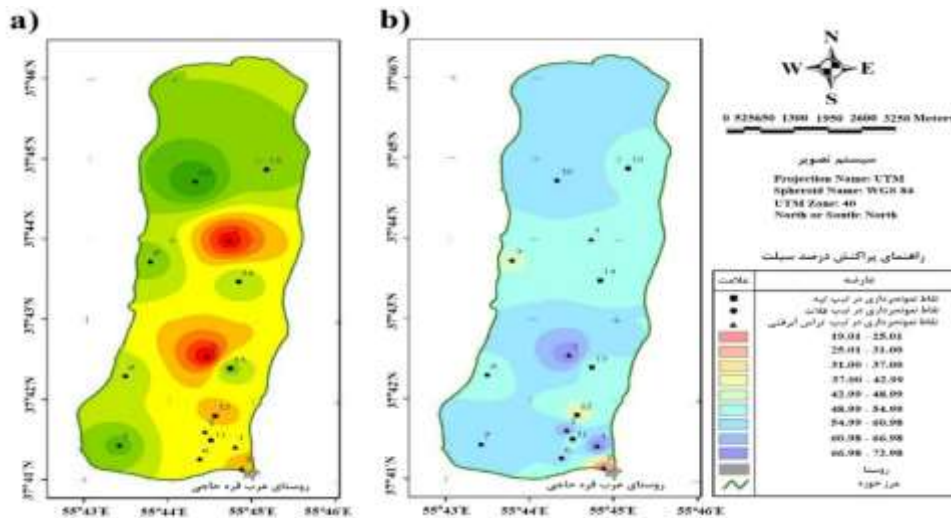
حوزه مورد مطالعه از خاک زیرسطحی بیشتر است. بطور کلی از بالادست حوزه به سمت خروجی، تجمع میزان سیلت در هر دو عمق خاک افزایش می‌یابد. همچنین براساس نقشه

شکل (۵) نقشه پراکنش درصد سیلت را در دو عمق سطحی و زیرسطحی در خاک نشان می‌دهد. مقایسه این دو نقشه بیانگر آن است که میزان درصد سیلت خاک‌های سطحی در



شکل ۴- نقشه پراکنش درصد شن در خاک سطحی (a) و زیرسطحی (b)

Figure 4. Distribution map of sand percentage in topsoil (a) and subsurface (b)



شکل ۵- نقشه پراکنش درصد سیلت در خاک سطحی (a) و زیرسطحی (b)

Figure 5. Distribution map of silt percentage in topsoil (a) and subsurface (b)

شده است. وجود جریان رواناب و سبک بودن لاشبرگها به راحتی امکان انتقال کمپلکس رس-ماده آلی به اراضی پایین دست را فراهم می آورد به طوری که مقدار آن در تیپ تراس آبرفتی بیش از دو تیپ دیگر بود لذا بالا بودن درصد ماده آلی در تیپ تراس آبرفتی به علت تجمع لاشبرگها است. نکته قابل توجه آن است که متوسط مقدار ماده آلی در منطقه مورد مطالعه نسبت به میانگین کشور (۰/۵ تا ۱ درصد)، به مراتب بیشتر است (Mirzashahi & Bazargan, 2015; Mahmoodi et al. 2018). مقادیر p-value آزمون همبستگی بین درصد مواد آلی سطحی و زیرسطحی برای سه تیپ تپه، فلات لسی و تراس آبرفتی به ترتیب ۰/۳۹۹، ۰/۳۹۰ و ۰/۵۳۴ محاسبه شد که نشان می دهد ارتباط معنی داری بین درصد مواد آلی سطحی و زیرسطحی خاک وجود ندارد.

درصد آهک خنثی

با توجه به شکل (۷) میزان آهک خنثی در نمونه های سطحی در دو تیپ تراس آبرفتی و فلات لسی تفاوت چندانی با هم نداشته و در محدوده ۲۴ تا ۲۷ درصد است ولی در تیپ تپه مقدار آن در محدوده ۳۲ تا ۳۳/۵ درصد متغیر می باشد. متوسط مقدار آهک برحسب درصد کربنات کلسیم موجود در خاک، در نمونه های سطحی در تیپ تراس آبرفتی و فلات لسی و تپه به ترتیب ۲۶/۲۷، ۲۶/۶۲ و ۳۲/۹۵ درصد

پراکنش درصد سیلت، میزان درصد سیلت در بالادست حوزه مورد مطالعه در هر دو عمق تقریباً یکسان و حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد می باشد در حالی که این مقدار برای خاکهای پایین دست حوزه تنها ۲۰ درصد باهم اختلاف دارند. در این پژوهش مقادیر p-value آزمون همبستگی بین درصد سیلت سطحی و زیرسطحی برای سه تیپ تپه، فلات لسی و تراس آبرفتی به ترتیب ۰/۰۷۷، ۰/۳۸۹ و ۰/۹۶۰ محاسبه و مشخص شد ارتباط معنی داری بین درصد سیلت سطحی و زیرسطحی خاک وجود ندارد.

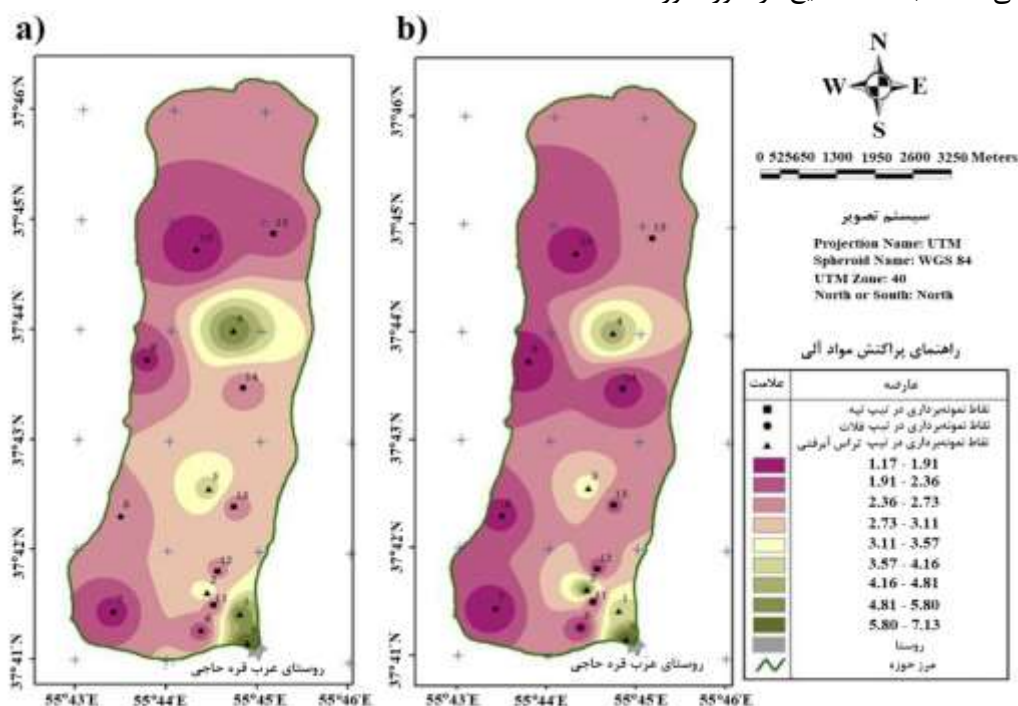
ماده آلی خاک

براساس نتایج جدول (۱)، متوسط درصد مواد آلی در لایه سطحی خاک در سه تیپ تراس آبرفتی، فلات لسی و تپه به ترتیب ۶/۱۳، ۱/۴۸ و ۲/۴۱ درصد بوده و در لایه زیرسطحی در تیپهای فوق الذکر به میزان ۵/۶، ۱/۳۸ و ۲/۰۷ درصد می باشد. شکل (۶) توزیع ماده آلی را در دو لایه سطحی و زیرسطحی نشان می دهد. براساس شکل (۶) مقدار مواد آلی در تیپ تراس آبرفتی و فلات لسی در هر دو لایه سطحی و زیر سطحی به ترتیب زیاد و کم می باشد دو عامل حاصلخیزی اراضی لسی و مقدار بارندگی بالاتر از متوسط کشور، امکان رشد گیاهان مرتعی در هر سه تیپ اجزای اراضی را فراهم کرده است. این امر باعث به جاماندن لاشبرگ این گیاهان در سطح خاک و افزایش مواد آلی در آن

عکس این واقعیت را نشان داده و بیانگر آن است که شرایط حوزه از نظر هیدرولوژیکی مناسب نیست. به طوری که بارش‌های این منطقه فرصت نفوذ در خاک را نداشته و با ایجاد رواناب لایه‌های سطحی خاک را با خود شسته و به سمت خروجی حوزه انتقال می‌دهد. دلیل این تغییرات را می‌توان به تپه ماهور بودن منطقه نسبت داد. در این‌گونه مناطق به دلیل ناهمواری زیاد آن و شیب بالایی که ایجاد می‌کند شرایط برای نفوذ آب در خاک مهیا نمی‌باشد.

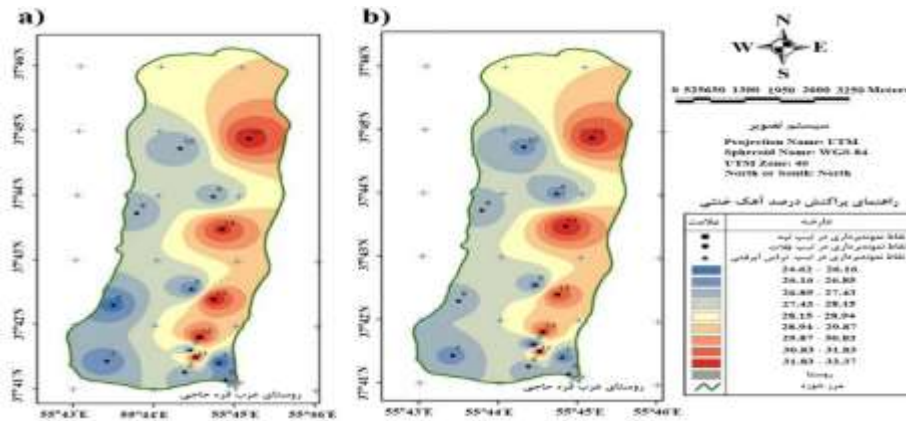
و در نمونه‌های زیرسطحی به ترتیب ۲۵/۹۲، ۲۶/۶۴ و ۳۲/۷۵ درصد است. مقادیر p-value مربوط به آزمون همبستگی بین درصد آهک خنثی سطحی و زیرسطحی برای سه تپه، فلات لسی و تراس آبرفتی به ترتیب ۰/۶۲۰، ۰/۸۲۶ و ۰/۹۲۱ محاسبه و مشخص شد ارتباط معنی‌دار بین درصد آهک خنثی در دو لایه سطحی و زیرسطحی خاک وجود ندارد.

اگر خاک منطقه دارای نفوذپذیری خوب باشد، بارش باران، آهک موجود در خاک را حل و به لایه‌های زیرین منتقل خواهد کرد لذا لایه سطحی خاک باید آهک کمتری از آهک لایه زیرسطحی داشته باشد اما نتایج در حوزه مورد مطالعه



شکل ۶- نقشه پراکنش درصد ماده آلی در خاک سطحی (a) و زیرسطحی (b)

Figure 6. Distribution map of organic matter percentage in topsoil (a) and subsurface (b)



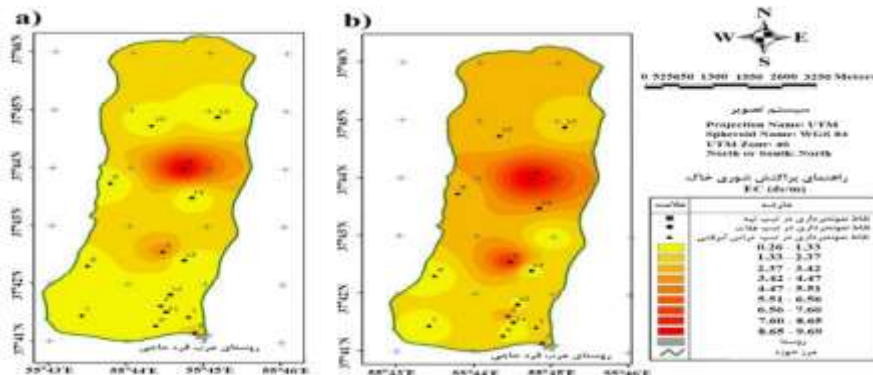
شکل ۷- پراکنش درصد آهک خنثی سطحی (a) و زیرسطحی (b)

Figure 7. Distribution map of neutral lime percentage in surface and subsurface soils

نتایج نشان داد شوری در تیپ تپه بالعکس آهک عمل کرده و در لایه زیرسطحی بیشتر از لایه سطحی است اما در دو تیپ دیگر شوری در لایه سطحی بیشتر از شوری خاک زیرسطحی است. شوری این منطقه از نوع سدیمی است که با نتایج پژوهش ثروتی و همکاران (Sarvati *et al.*, 2008) همخوانی دارد. از طرفی حل شدن املاح در آب و انتقال آنها به عمق می‌تواند موید نفوذ آب به اعماق سطحی و نیز بیشتر بودن میزان شوری خاک زیرسطحی نسبت به خاک سطحی باشد. اما مقادیر p-value آزمون همبستگی بین هدایت الکتریکی سطحی و زیر سطحی برای سه تیپ تپه، فلات رسی و تراس آبرفتی به ترتیب ۰/۲۳۲، ۰/۴۵۵ و ۰/۰۵۰ محاسبه و نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین شوری این دو عمق در سه تیپ اجزای اراضی وجود ندارد. به عبارت خیلی ساده می‌توان نتیجه گرفت که متوسط هدایت هیدرولیکی اشباع خاک منطقه کمتر از متوسط باشد.

هدایت الکتریکی خاک

محدوده تغییرات هدایت الکتریکی خاک در تیپ تراس آبرفتی بین ۰/۳ تا ۱۸ دسی‌زیمنس بر متر، در تیپ فلات لسی ۰/۵ تا ۱ دسی‌زیمنس بر متر و در تیپ تپه بین ۰/۳ تا ۰/۶ دسی‌زیمنس بر متر بوده است. در تیپ تراس آبرفتی میزان شوری در برخی نقاط بسیار بالاست که محل رشد گیاهان شورپسند است و علت این امر را می‌توان به وجود نمک‌های محلول در آب و انتقال آنها از اراضی بالادست به سمت پایین دست نسبت داد. مقایسه شوری خاک سطحی و زیرسطحی نشان می‌دهد که تغییرات آن از قاعده خاصی پیروی نمی‌کند اما مطالعات میدانی موید آن است که در محل اجرای بندهای خاکی تجمع املاح موجب شوری بیش از حد در لایه‌های سطحی و زیرسطحی خاک شده است (نواحی قرمز رنگ در شکل ۸).

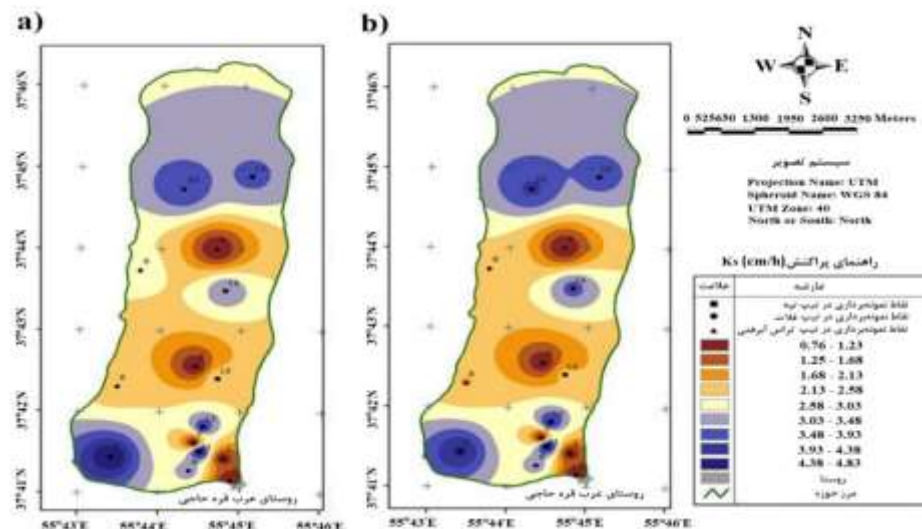


شکل ۸- نقشه پراکنش شوری در خاک سطحی (a) و زیرسطحی (b)

Figure 8. Salinity distribution map in topsoil (a) and subsurface (b)

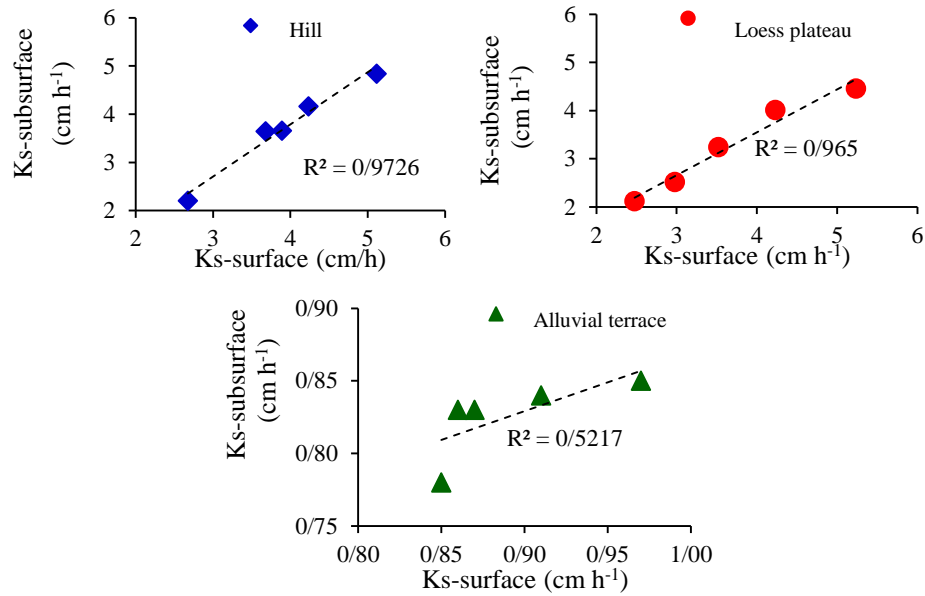
ب- هدایت هیدرولیکی اشباع خاک
 میزان K_s در لایه خاک سطحی در تیپ تراس آبرفتی کمتر از دو تیپ دیگر و محدوده تغییرات آن بین ۰/۸۵ تا ۰/۹۷ سانتی‌متر بر ساعت بود. میزان K_s در دو تیپ فلات لسی و تپه مشابه هم و مقدار آن بین ۲ تا ۶ سانتی‌متر بر ساعت است (جدول ۲). مقایسه K_s سطحی و زیرسطحی در هر سه تیپ منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که مقدار آن در لایه سطحی بیشتر از لایه زیرسطحی متناظر خود است (شکل ۹) که این امر مربوط به فشردگی لایه زیرسطحی نسبت لایه سطحی است. این نتایج با یافته‌های سخون و همکاران (Schwen *et al.*, 2014)، بکر و همکاران (Wang *et al.*, 2018) و وانگ و همکاران (Wang *et al.*, 2018) همسو می‌باشد. نمودار مقایسه میزان K_s در نمونه‌های سطحی و زیرسطحی در سه تیپ واحد اراضی و مشاهده ضریب تبیین در آنها بیانگر وجود رابطه خطی بین میزان K_s لایه‌های

سطحی و زیرسطحی خاک است (شکل ۱۰). بنابراین می‌توان بیان داشت که با مشخص بودن میزان K_s خاک سطحی، میزان K_s خاک زیر سطحی را می‌توان تعیین کرد. برخلاف یافته‌های این پژوهش، وانگ و همکاران (Wang *et al.*, 2018) یک رابطه نمایی را با تغییر K_s خاک با عمق ارائه کردند. مقادیر p-value آزمون همبستگی بین میزان K_s سطحی و زیرسطحی برای سه تیپ تپه، فلات رسی و تراس آبرفتی به ترتیب ۰/۰۰۲، ۰/۰۳۰ و ۰/۱۶۸ محاسبه شد. با توجه به اینکه مقادیر p-value فقط در تیپ تراس آبرفتی بزرگتر از ۰/۰۵ بوده فرض H_0 یا عدم وجود ارتباط معنی‌دار بین K_s سطحی و زیرسطحی پذیرفته می‌شود. اما در دو تیپ تپه و فلات لسی فرض H_1 یا وجود ارتباط معنی‌دار بین میزان K_s سطحی و زیرسطحی پذیرفته می‌شود.



شکل ۹- نقشه پراکنش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در خاک سطحی (a) و زیرسطحی (b)

Figure 9. Distribution map of soil saturation hydraulic conductivity in topsoil (a) and subsurface (b)



شکل ۱۰- رابطه بین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک سطحی و زیرسطحی

Figure 10. Relationship between saturated hydraulic conductivity of surface and subsurface soil

جدول ۲- مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در لایه‌های سطحی و زیرسطحی در اجزای واحد اراضی در حوزه آبخیز آق امام (۲)

Table. Hydraulic conductivity values of soil saturation in surface and subsurface layers in land unit components in Aghemam watershed (2)

Sampling depth (cm)	Land unit components	Statistical parameters	Saturated hydraulic conductivity (cm h ⁻¹)
0-5	Alluvial terrace	Min	0.85
		Max	0.97
		Mean	0.89
	Loess plateau	Min	2.47
		Max	5.23
		Mean	3.69
	Hill	Min	2.68
		Max	5.12
		Mean	3.92
20-25	Alluvial terrace	Min	0.78
		Max	0.85
		Mean	0.83
	Loess plateau	Min	2.12
		Max	4.46
		Mean	3.27
	Hill	Min	2.20
		Max	4.84
		Mean	3.70

$$\begin{aligned} \text{Log}Ks_1 &= -3.049 - 0.638 \text{Log}OM_1 \\ &+ 2.263 \text{Log}CaCo_3_1 + 0.390 \text{Log}Clay_1, \\ (R^2=95.56\%) & \quad (1) \\ \text{Log}Ks_2 &= -2.59 - 0.854 \text{Log}OM_2 \\ &+ 2.238 \text{Log}CaCo_3_2, \\ (R^2=86.07\%) & \quad (2) \end{aligned}$$

پس از استانداردسازی داده‌های باقی‌مانده در مدل و انجام مجدد رگرسیون چندگانه خطی، مهمترین متغیر تاثیرگذار در تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک سطحی و زیرسطحی فاکتور مواد آلی تعیین شد. همچنین مشخص شد فاکتور درصد آهک خنثی پس از مواد آلی خاک، مهمترین متغیر تاثیرگذار در تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک سطحی و زیرسطحی می‌باشد. نتایج این پژوهش با یافته‌های لادو و همکاران (Lado *et al.*, 2004)، کلیک (Celik, 2005)، رزاقی و رضایی (Razzaghi & Rezaei, 2017)، وانگ و همکاران (Wang *et al.*, 2018) و رحمتی و همکاران (Rahmati *et al.*, 2019) مبنی بر همبستگی مثبت و معنی‌داری بین ماده آلی خاک با هدایت هیدرولیکی همخوانی دارد و با نتایج یون کیانگ و همکاران (Yunqiang *et al.*, 2013) همسو نمی‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش میزان K_s سطحی و زیرسطحی در حوزه آبخیز آق امام (۲) مورد مطالعه قرار گرفت. بررسی نقشه‌های پراکنش مقدار K_s در لایه سطحی و زیرسطحی نشان داد که تغییرات این پارامتر در خاک‌های سطحی و زیرسطحی باهم رابطه مستقیم دارند و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک به جز در تیپ تراس آبرفتی که مقدار آن به طور کلی کم (0.89 cm/h) است اما در دو تیپ فلات رسی (3.7 cm/h) و دامنه (3.9 cm/h) مقدار آن افزایش می‌یابد. همچنین بررسی‌های به‌عمل آمده بر روی بافت خاک در محدوده مورد مطالعه نشان داد که در لایه سطحی خاک مقدار رس در بالادست حوزه بیشتر از پایین‌دست حوزه است. در مقابل در لایه زیرسطحی میزان رس در خاک بالادست حوزه کمتر از پایین دست آن می‌باشد.

تعیین مهمترین پارامتر موثر در محاسبه هدایت هیدرولیکی اشباع خاک

در این پژوهش برای تعیین ارتباط بین پارامترهای زودیافت خاک و K_s از روش رگرسیون چندگانه خطی استفاده شد. لازم به توضیح است که از مقادیر لگاریتمی متغیرهای پیش‌گویی و پیش‌بینی در رگرسیون چندگانه خطی استفاده شده‌است. نتایج حاصل از رگرسیون چندگانه خطی نشان داد که بین مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع خاک سطحی ($P\text{-value}=0.000$) و زیرسطحی ($P\text{-value}=0.014$) با حداقل یکی از متغیرهای مستقل رابطه معنی‌داری وجود دارد. سپس آزمون‌های نکویی برازش مدل رگرسیونی انجام شد. در خاک سطحی با توجه به مقدار معنی‌داری در آماره دوربین واتسون ($p\text{-value}=0.932$) مشخص شد خودهمبستگی در باقی‌مانده‌ها وجود ندارد. نتایج آزمون درها ($p\text{-value}=0.774$) نیز مشخص کرد که باقی‌مانده‌ها تصادفی بوده‌اند. همچنین نتایج آزمون اندرسون-دارلینگ ($p\text{-value}=0.641$) نشان داد که باقیمانده‌ها دارای توزیع نرمال بوده‌است. نتایج ضریب تورم واریانس (VIF) نیز که برای هر سه مدل کمتر از ۱۰ گزارش شده است نشان داد که همراستایی بین متغیرهای پیش‌بینی کننده مدل نهایی وجود نداشته است. نتایج آزمون نکویی برازش برای خاک زیرسطحی مشابه با خاک سطحی بوده و برای آزمون‌های دوربین واتسون، درها، اندرسون دارلینگ و ضریب تورم واریانس به ترتیب 0.917 ، 0.802 ، 0.056 و $1/13$ محاسبه شده‌است. در بررسی روش گام‌به‌گام مشخص شد از بین متغیرهای مورد بررسی ۳ فاکتور مواد آلی و آهک خنثی و رس در تعیین مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع خاک سطحی بیشترین نقش را داشته‌اند (رابطه ۱)، اما در تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک زیرسطحی دو متغیر مواد آلی و آهک خنثی در مدل انتخاب شدند (رابطه ۲). که در آن: Ks_1 و Ks_2 به ترتیب هدایت هیدرولیکی اشباع سطحی و زیرسطحی خاک، OM_1 و OM_2 به ترتیب درصد مواد آلی خاک سطحی و زیرسطحی، $CaCO_3_1$ و $CaCO_3_2$ درصد آهک خنثی خاک سطحی و زیرسطحی و $Clay_1$ درصد رس خاک سطحی می‌باشد.

بررسی به ترتیب ۲ فاکتور مواد آلی و آهک خنثی در تعیین مقدار K_s سطحی و زیرسطحی بیشترین نقش را دارد. بررسی‌ها در حوزه مورد مطالعه نشان داد که بندهایی خاکی که در بالادست این حوزه ایجاد شده است عملیات مناسبی در جهت جلوگیری از ایجاد رواناب و در مرحله پیک آن یعنی سیل شده است اما همین بندها باتوجه به نقشه پراکنش شوری، باعث افزایش شوری خاک و استقرار گیاهان شورپسند و در پی آن کاهش K_s در این منطقه شده‌است که این امر می‌تواند در سال‌های آتی مشکل‌ساز شود. با توجه به بارش نسبتاً خوب باران در این منطقه، پیشنهاد می‌شود جهت افزایش مقدار K_s خاک و در پی آن زهکشی بهتر خاک عملیات بیولوژیک شامل کشت گیاهان با تاج‌پوشش بالا و قرق آن به مدت چند سال انجام گردد و با برنامه‌های ترویجی به اهالی منطقه از کشاورزی در اراضی شیب‌دار جلوگیری به عمل آید. همچنین پیشنهاد می‌شود در اراضی شیب‌دار با کشت گیاهانی مانند یونجه که تا هفت سال نیاز به شخم و بذریاشی ندارد پوشش مناسب ایجاد کرده و با جلوگیری از ایجاد رواناب، فرسایش‌های سطحی، شیاری و خندقی در حوزه تا حدودی کنترل شود

مقدار مواد آلی در تیپ تراس آبرفتی به مراتب بیشتر از دو تیپ فلات رسی و دامنه می‌باشد. کمترین میزان درصد مواد آلی مربوط به تیپ دامنه است. بررسی درصد آهک خنثی نشان داد که میزان این ویژگی در دو تیپ تراس آبرفتی و فلات لسی خاک‌های زیرسطحی بیشتر از سطحی است ولی در تیپ تپه بالعکس دو تیپ دیگر، درصد آهک خنثی در لایه سطحی بیشتر از لایه زیرسطحی است. مقدار شوری یا هدایت الکتریکی خاک در تراس آبرفتی در هر دو لایه سطحی و زیرسطحی بیشتر از دو تیپ واحد اراضی دیگر است. اگرچه تغییرات میزان شوری در محدوده مورد مطالعه به صورت نامنظم می‌باشد ولی میزان پارامتر مذکور در بالادست حوزه بیشتر از پایین‌دست حوزه است. نتایج این پژوهش نشان داد که تغییرات شوری در این حوزه عکس K_s می‌باشد بطوریکه با افزایش میزان شوری در هر دو لایه سطحی و زیر سطحی مقدار K_s کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از رگرسیون چندگانه خطی نشان داد که بین مقدار K_s با حداقل یکی از متغیرهای مستقل رابطه معنی‌داری وجود دارد. در بررسی روش گام‌به‌گام و استانداردسازی داده‌ها مشخص شد از بین متغیرهای مورد

References

- Abedini M.R., Khankeshipour G., Davatgar N., Shahdi Komele, A., Abedini, H., Khankeshipour, A., Saber Samiei D., and Kheirandish I., 2019. Fully automatic computer system for measuring saturated hydraulic conductivity of soil using falling head method. *Agricultural Research Education and Extention Organization*. COI code of research project: R-1103512. (In Persian)
- Ajmi M., Khormali F., and Ayobi Sh. 2010. Application of neural network for prediction of earthen Dam Peak Breach Outflow, and breach time. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 39(1): 15-30. (In Persian)
- Amiri Z., Khormali F., and Choghi B. 2019. Distribution map of the different lithologic units in loess plateau of eastern Golestan by using remote sensing technique; Aghband research area. *Quaternary journal of Iran*, 5(1): 47-58. (In Persian)
- Bagheri M., Izadpanah Z., Boromand-Nasab S., and Khorramian M. 2016. Estimation of hydraulic conductivity of saturated and unsaturated soils measured by two methods of tillage corn in summer in the northern province of Khuzestan. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering*, 39(2): 39-48. (In Persian)
- Becker R., Gebremichael M., and Märker M. 2018. Impact of soil surface and subsurface properties on soil saturated hydraulic conductivity in the semi-arid Walnut Gulch Experimental Watershed, Arizona, USA. *Geoderma*, 322: 112-120.
- Bell F.G. 2007. *Engineering Geology*, Butterwoth-Heinemann. Oxford, UK, 581p.
- Celik I. 2005. Land-use effects on organic matter and physical properties of soil in a Southern Mediterranean highland of Turkey. *Soil and Tillage Research*, 83: 270-277.
- Feiznia S. 2008. *Applied Sedimentology (with emphasize on soil erosion and sediment production)*, University of Gorgan press, 360p. (In Persian)

- Gee G.W., and Bauder J.W. 1986. Particle Size Analysis. In: Methods of Soil Analysis, Part A. Klute (ed.). 2Ed., Vol. 9 nd. Am. Soc. Agron., Madison, WI, pp. 383-411.
- Hatami Golmakani P., Sheikh V., and Hoseinali zade M. 2017. The effect of measurement methods on saturated hydraulic conductivity in eastern loess lands of Golestan province. *Soil Management and Sustainable Production*, 6(4): 87-102. (In Persian)
- Heirkan -Arakhiz-Ara Company. 2007. Evaluation of watershed management operations in Aqhemam (2) and Shordareh watersheds of Golestan province. General Department of Natural Resources of Golestan Province. Watershed management. 320 p.
- Kelishadi, H., Mosaddeghi, M., Hajabbasi, M., and Ayoubi, S. 2014. Evaluating and developing pedotransfer functions to predict soil saturated hydraulic conductivity at landscape scale in central Zagros. *Applied Soil Research*, 1(2), 16-33. (In Persian)
- Lado M., Paz A., and Ben-Hur M. 2004. Organic matter and aggregate size interactions in infiltration, seal formation and soil loss. *Soil Sciences Society of American Journal*, 68: 935-942.
- Maghami Y., Ghazavi, R. Vali A.A., and Sharafi S. 2011. Evaluation of spatial interpolation methods for water quality zoning using GIS Case study, Abadeh Township. *Geography and Environmental Planning*, 42(2):171-182.
- Mahmoodi M.A., Mirzaie M., and Pir Bavaghar M. 2018. Assessment of soil organic matter status using regression kriging technique and Landsat images. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 49(5), 1107-1117.
- Mirzashahi K., and Bazargan K. 2015. Soil organic matter management, Soil and Water Resource Institute, Technical Journal 535, 16p. (In Persian)
- Moosavi A.A., and Omidifard M. 2016. Spatial variability and geostatistical prediction of some soil hydraulic coefficients of a calcareous soil. *Journal of Water and Soil*, 30(3): 730-742. (In Persian)
- Navabian M., Liaghat A.M., and Homaei M. 2003. Deviation of pedo-transfer functions to estimate saturated hydraulic conductivity. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 4(16): 1-12. (In Persian)
- Nelson D.W., and Sommers L.E. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter: In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney) Methods of soil analysis. Part 2 Chemical and Microbiological Properties, pp. 539-579.
- Nikpour N, Fotohi S, Negaresh H, and Sistani M. 2017. Morphometric of gully erosion (ditch) and factors affecting the development of the basin plains on southern West Ilam Cham Fazel, Jsaeh. 4 (1): 97-112. (In Persian)
- Omidifar M., and Moosavi, A.A. 2015. Prediction of some hydraulic properties of calcareous soils of Bajgah Region Fars province using regression pedotransfer functions. *Iranian Journal of Soil Research*, 29 (1): 83-92. (In Persian)
- Parsi S., Pazhohesh M., Gharahi N., and Abdollahi K. 2019. Effect of lime on soil wetting depth in different slopes using artificial sprinkler (Case study: Qalat Range, Shahrekord), 1st international and 4th national conference on conservation of nraural resourcesa and environment, 27-28 Aguste, University of Mohaghegh Ardabili. (In Persian)
- Rahmati S., Vaezi A.R., and Bayat H. 2019. Study of saturated hydraulic conductivity variations in different aggregate size distributions in an agricultural soil. *Journal of Water and Soil Science*, 23 (1): 31-42. (In Persian)
- Raooof M., Nazemi A.H., Sadraddini S.A.A., and Maroofi S. 2010. Estimating saturated and unsaturated hydraulic conductivities of sloping lands under steady and transient states. *Journal of Water and Soil Scince*, 1/20(20): 34-47. (In Persian)
- Razzaghi F., and Rezaei N. 2017. Effects of different levels of biochar on soil physical properties with different textures. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 7(1): 75-88. (In Persian)
- Sadeghian N., and Vaezi A. 2019. Selectivity of particles through rill erosion in different soil textures. *Journal of Water and Soil Science*, 23(2):1-12. (In Persian)

- Sarvati M.R., Ghoddousi J., and Dadkhah M. 2008. Factors effecting initiation and advancement of gully erosion in loesses. *Pajouseh & Sazandeghi*, 75:20-33. (In Persian)
- Schwen A., Zimmermann M., and Bodner G. 2014. Vertical variations of soil hydraulic properties within two soil profiles and its relevance for soil water simulations. *Journal of Hydrology*, 516:169-181.
- Shaker Shahmarbeigloo P., Khodaverdiloo H., and Momtaz, H. 2019. Testing of new inputs to predict near-saturated soil hydraulic conductivity. *Applied Soil Research*, 7(1): 54-69. (In Persian)
- Shirazi, E. 2016. Statistical Software Training Minitab 16. Noruzi Publications. 306 p. (In Persian)
- Soracco C.G., Lozano L.A., Sarli G.O., Gelati P.R., and Filgueira R.R. 2010. Anisotropy of saturated hydraulic conductivity in a soil under conservation and no-till treatments. *Soil and Tillage Research*, 109(1):18-22.
- Vaezi A.R. 2014. Modeling runoff from semi-arid agricultural lands in Northwest Iran. *Pedosphere*, 24: 595-604.
- Wang W., Wang Y., Sun Q., Zhang M., Qiang Y., and Liu M. 2018. Spatial variation of saturated hydraulic conductivity of a loess slope in the South Jingyang Plateau, China. *Engineering Geology*, 236: 70-78.
- Xu D. and Mermoud A. 2003. Modeling the soil water balance based on time-dependent hydraulic conductivity under different tillage practices, *Agricultural Water Management*, 63:139-151.
- Yunqiang W., Shao M., Liu Z., and Horton R. 2013. Regional-scale variation and distribution patterns of soil saturated hydraulic conductivities in surface and subsurface layers in the loessial soils of China. *Journal of hydrology*, 487: 13-23.
- Zhang Y., and Schaap M.G. 2019. Estimation of saturated hydraulic conductivity with pedotransfer functions: A review. *Journal of Hydrology*, 575:1011-1030.

Evaluation of Saturated Hydraulic Conductivity Changes in Surface and Subsurface Layers of Loess Soils of East of Golestan Province

Soghra Izanloo¹, Mojtaba G. Mahmoodlu^{2*}, Nader Jandaghi³, Hojjat Ghorbani Vaghei⁴

(Received: November 2020 Accepted: May 2021)

Abstract

Soil hydraulic conductivity is one of the important parameters to estimate soil erodibility, soil water flow, estimate runoff, and design drainage systems. This study was carried out to determine the hydraulic saturation (Ks) of surface and subsurface loess soils of Aghemam watershed (2) that located in the northeast of Golestan province. For this purpose, three types of soils in this area including hill, loess plateau and alluvial terrace in two surface and subsurface layers were sampled. In this study, in addition to determining Ks using the falling head method, some physicochemical properties of soil samples such as salinity, neutral lime, organic matter and soil texture were measured in the laboratory and their relationship with Ks was investigated. Then, the spatial variations of surface and subsurface saturation hydraulic conductivity in the study area were plotted using GIS software and IDW method. The spatial variations of Ks in both layers indicated its direct relationship between the two layers. However, the value of this parameter in the surface layer is more than for the subsurface layer. Also, the amount of Ks is relatively high in the two types of loess plateau and hill (3.9 cm/h), except in the alluvial terrace type, which is generally low (0.9 cm/h). The statistical results of linear multiple regression and stepwise methods showed that among the variables studied, the organic matter and neutral lime parameters, respectively, have the most impact on determining the amount of surface Ks ($R^2=0.9556$) and subsurface ($R^2=0.8607$) in the study area.

Keywords: Soil Saturated Hydraulic Conductivity, Falling Head Method, Loess Soil, Soil Physicochemical Properties, Watershed

Izanloo S., Mahmoodlu M.G., Jandaghi N., Ghorbani H. 2022. Evaluation of Saturated Hydraulic Conductivity Changes in Surface and Subsurface Layers of Loess Soils of East of Golestan Province. *Applied Soil Research*, 10(2): 103-119.

1-Former MSc Student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Gonbade Kavoods

2-Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Gonbade Kavoods

3- Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Gonbade Kavoods

* Corresponding Author Email: mmahmoodlu@gonbad.ac.ir