

تجزیه علیت خصوصیات خاک مؤثر بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاکهای شالیزاری

فاطمه مسکینی ویشکائی*^۱ - محمود شعبانپور شهرستانی^۲ - ناصر دوات گر^۳

تاریخ دریافت: ۸۹/۲/۲۷

تاریخ پذیرش: ۸۹/۷/۱۱

چکیده

هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s) یکی از مهمترین ویژگی‌های فیزیکی خاک است. اندازه‌گیری مستقیم این ویژگی در خاک، پرحمت و زمان بر است. توابع انتقالی رگرسیونی روشی برای برآورد خصوصیات خاک از داده‌های زودیافت خاک فراهم می‌کند. تجزیه علیت، روش مکمل تجزیه رگرسیونی است و قادر به جداسازی اثرات مستقیم و غیر مستقیم متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته است. هدف این پژوهش، تعیین عامل‌های مؤثر بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاکهای شالیزاری با استفاده از رگرسیون خطی چندگانه و جداسازی اثرات مستقیم و غیرمستقیم آنها بر K_s با استفاده از روش تجزیه علیت می‌باشد. تعداد ۷۰ نمونه خاک با بافت متوسط تا سنگین از اراضی شالیزاری استان گیلان بعد از برداشت محصول برنج جمع‌آوری شد. دامنه تغییرات pH بیانگر وضعیت اسیدی متوسط تا خنثی در خاک‌های شالیزاری منطقه مورد مطالعه بود. نتایج نشان داد که مدل رگرسیونی با متغیرهای ورودی میانگین و انحراف معیار هندسی قطر ذرات، درصد رطوبت خاک در نقطه ظرفیت مزرعه و جرم مخصوص ظاهری می‌تواند هدایت هیدرولیکی اشباع را با دقت خوبی برآورد نماید ($R^2_{adj} = 0/84$ و $RMSE = 0/5$). بر اساس نتایج تجزیه علیت مشخص شد که با وجود همبستگی مثبت بین جرم مخصوص ظاهری و هدایت هیدرولیکی اشباع، اثر مستقیم جرم مخصوص ظاهری بر K_s منفی است. بیشترین اثر مستقیم خصوصیات خاک بر K_s در خاکهای شالیزاری از طریق رطوبت حجمی خاک در ظرفیت مزرعه به دست آمد که نشان‌دهنده اهمیت این پارامتر در پیش‌بینی هدایت هیدرولیکی اشباع است.

واژه‌های کلیدی: توابع انتقالی، رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای، میانگین هندسی قطر ذرات خاک

مقدمه

توابع انتقالی توسط بوما (۶) برای توصیف روابط کمی بین برخی خصوصیات خاک و سایر خصوصیات که به سادگی قابل اندازه‌گیری هستند بکار برده شد. انتخاب متغیرهای مناسب به عنوان ورودی توابع انتقالی، در توانایی پیش‌بینی مدل از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. نمس و همکاران (۱۳) دریافتند که اهمیت داده‌هایی که به عنوان ورودی توابع انتقالی مورد استفاده قرار می‌گیرد بیشتر از چگونگی تهیه توابع است. دو تا از معمولترین ورودی‌های توابع انتقالی، داده‌های بافت خاک (مقدار شن، سیلت و رس) و جرم مخصوص ظاهری هستند (۱۷ و ۲۶). با توجه به اثر شناخته شده ماده آلی بر خصوصیات هیدرولیکی خاک، برخی از محققین ماده آلی را به عنوان یکی از متغیرهای ورودی توابع انتقالی بکار بردند. نمس و همکاران (۱۴) افزایش مقدار ماده آلی یک خاک کمیوسول را شبیه سازی کردند و بر پایه تابع انتقالی بسط داده شده به این نتیجه رسیدند که وجود مقادیر زیاد ماده آلی در خاک موجب کاهش توانایی انتقال آب در خاک و کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع می‌شود. از خصوصیات فیزیکی دیگر که بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک مؤثر است، می‌توان به تخلخل کل، توزیع اندازه منافذ و هندسه منافذ اشاره کرد (۳ و ۹).

هدایت هیدرولیکی توانایی خاک برای انتقال آب است (۱۰). هدایت هیدرولیکی اشباع یکی از مهمترین ویژگی‌های فیزیکی خاک است که در تعیین سرعت نفوذ، مقدار نفوذ عمقی، طراحی زهکش‌ها و دیگر فرآیندهای هیدرولوژیکی مؤثر است. امروزه با توجه به وقت‌گیر بودن، هزینه زیاد و نیاز به امکانات ویژه برای اندازه‌گیری مستقیم خصوصیات هیدرولیکی خاک، توجه پژوهشگران به روش‌های غیرمستقیم معطوف شده است. یکی از مزیت‌های روش‌های غیر مستقیم، به دست آوردن برآوردی از تغییرات هدایت هیدرولیکی اشباع بر پایه متغیرهایی با روش اندازه‌گیری آسان‌تر است (۴). توابع انتقالی روشی غیر مستقیم برای برآورد خصوصیات هیدرولیکی خاک با دقت برآوردی مناسب و با مشخصه صرفه‌جویی در زمان و هزینه می‌باشد.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و استادیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان

*- نویسنده مسئول: (Email: fatemeh.meskini@yahoo.com)

۳- استادیار پژوهشی، عضو هیأت علمی مؤسسه تحقیقات برنج کشور، گیلان

معیار و چولگی داده ها تعیین شدند. قبل از توسعه توابع انتقالی آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده آزمون معنی‌دار بودن چولگی و کشیدگی^۱ انجام شد. برای تعیین عامل‌های مؤثر بر K_s ، ابتدا همبستگی خطی بین متغیرها مشخص و سپس تابع انتقالی رگرسیونی خطی چند گانه به روش گام به گام پیشرو^۳ (۱۱) تعیین شد. برای محاسبات آمار توصیفی و توسعه تابع انتقالی از نرم افزار SPSS^۴ 13.0 استفاده شد. برای ارزیابی مدل رگرسیونی از آماره ضریب تبیین اصلاح شده^۵ (R^2_{adj}) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد:

$$R^2_{adj} = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y}_i)^2}\right) * \left(\frac{N-1}{N-P}\right) \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{N}} \quad (2)$$

در این معادلات، Y_i : مقدار متغیر وابسته اندازه‌گیری شده، \hat{Y}_i : مقدار متغیر وابسته برآورد شده، N : تعداد نمونه‌ها، P : تعداد متغیرهای مستقل، \bar{Y}_i : میانگین متغیر وابسته، R^2_{adj} : ضریب تبیین اصلاح شده و $RMSE$: ریشه میانگین مربعات خطا است.

تجزیه علیت

تجزیه علیت، تعمیمی از روش رگرسیون چند گانه است که توانایی تبیین اثرات علیتی متغیرهای مستقل را به تفکیک اثر مستقیم و غیر مستقیم بر متغیر هدف دارد (۱۲). شامل دو مرحله اصلی است: (۱) محاسبه همبستگی بین صفات و تهیه نمودار مسیر، (۲) تجزیه همبستگی مشاهده شده به اثرات مستقیم و غیر مستقیم. اثرات علیتی مستقیم همان ضریب رگرسیونی استاندارد شده در توابع رگرسیونی می‌باشند و اثرات غیر مستقیم بوسیله ضرب ضرایب علیت (اثر مستقیم) در ضرایب همبستگی ساده محاسبه می‌شوند (۷). به همراه هر مجموعه از متغیرهای مستقل که رابطه آنها با متغیر وابسته در نظر گرفته می‌شود، یک اثر باقیمانده^۶ نیز منظور می‌گردد. اثر باقیمانده شامل خطای آزمایش و اثر صفاتی است که با متغیر وابسته رابطه داشته ولی در نظر گرفته نشده‌اند و با استفاده از معادله ۳ قابل محاسبه است (۱).

یکی از روش‌های برازش توابع انتقالی، روش رگرسیون خطی چندگانه است. اما، توابع انتقالی رگرسیونی تنها قادر به تعیین اثرات مستقیم متغیرهای مستقل است و در مواردی که اثرات غیر مستقیم نقش مهمی را برعهده دارند، این روش تحلیل مناسبی نمی‌باشد. تجزیه علیت^۱، ضریب رگرسیون جزئی استاندارد شده است که ضرایب همبستگی را به اثرات مستقیم و غیر مستقیم مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل بر روی یک متغیر هدف تقسیم می‌نماید (۱). اثر علیتی مستقیم، اثری است که به طور مستقیم از یک متغیر بر دیگری اعمال می‌شود و اثر غیر مستقیم، اثری است که یک متغیر از طریق متغیرهای مستقل دیگر (متغیر همراه) بر متغیر هدف وارد می‌کند (۷). در خاکشناسی مطالعات کمی در این زمینه انجام شده است. تایل و همکاران (۲۵) با استفاده از روش تجزیه علیت به بررسی رابطه بین برخی از خصوصیات خاک و ساختمان خاک پرداختند و به این نتیجه رسیدند که درصد رس خاک بیشترین اثر مستقیم بر MWD را دارد. گولسر و کاندنیر (۸) با استفاده از این روش اثرات مستقیم و غیر مستقیم برخی از خصوصیات فیزیکی و ثابت‌های رطوبتی خاک را بر هدایت هیدرولیکی اشباع تعیین کردند. هدف این پژوهش، تعیین عامل‌های مؤثر بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاکهای شالیزاری و جداسازی و تعیین اثرات مستقیم و غیرمستقیم آنها بر K_s با استفاده از روش تجزیه علیت می‌باشد.

مواد و روش‌ها

نمونه برداری و تجزیه نمونه های خاک

با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی تعداد ۷۰ نمونه خاک سطحی (عمق ۳۰-۰ سانتیمتر) از برخی شالیزارهای دشت فومنات استان گیلان واقع در شهرستانهای شفت، فومن، صومعه‌سرا و اطراف رشت به گونه‌ای که از توزیع مکانی یکنواختی برخوردار باشند، به هر دو صورت دست خورده و دست نخورده نمونه‌برداری شد. هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در آزمایشگاه و به روش بار افتان و در نمونه‌های دست نخورده اندازه‌گیری شد (۱۰). کربن آلی به روش والکلی بلک (۱۶)، جرم مخصوص ظاهری به روش سیلندر (۱۰)، جرم مخصوص حقیقی به روش پیکنومتر (۱۰)، درصد فراوانی نسبی ذرات خاک به روش هیدرومتر (۱۰) و رطوبت حجمی در مکش ۰/۰۳۳ مگا پاسکال با استفاده از دستگاه صفحات فشاری اندازه‌گیری شدند. برای تعیین میانگین و انحراف معیار هندسی قطر ذرات از روابط ارائه شده توسط شیرازی و بورسما (۲۳) استفاده شد.

توسعه توابع انتقالی رگرسیونی چند متغیره

آمار توصیفی متغیرها مانند حداقل، حداکثر، میانگین، انحراف

2 - Skewness and kurtosis

3 - Forward stepwise

4 - Statistical package for social science

5 - Adjusted determination coefficient

6 - Residual effect

1 - Path analysis

مقدار آب خاک در مکش‌های کم (۰/۰۳۳ مگا پاسکال) همبستگی منفی بالایی (۰/۷۲۹) با هدایت هیدرولیکی اشباع دارد. زیرا مقدار رطوبت در این مکش‌ها تابع مقدار منافذ درشت خاک است. مقدار آب خاک در مکش ۰/۰۳۳ مگا پاسکال همبستگی مثبت معنی‌دار با کربن آلی (۰/۵۵۷) و همبستگی منفی معنی‌دار با شن (۰/۷۲۴-) دارد. با افزایش کربن آلی هدایت هیدرولیکی اشباع و توانایی خاک در انتقال آب کاهش یافت (۰/۳۵۸-). به نظر می‌رسد ماده آلی در یک اثر پیچیده بر روی هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، از یک سو بوسیله ایجاد تخلخل بیشتر موجب افزایش هدایت هیدرولیکی بالقوه خاک می‌گردد و از سوی دیگر در اثر نگهداری آب سبب کاهش آن می‌شود و در نتیجه آب کمتری می‌تواند آزادانه در خاک جریان یابد (۱۴) و (۱۸).

$$E = \sqrt{1 - R^2} \quad (3)$$

که در آن؛ E: اثر باقیمانده و R²: ضریب تبیین است.

نتایج و بحث

برخی از آماره‌های توصیفی خصوصیات فیزیکی خاک جدول ۱ ذکر شده است. دامنه تغییرات pH خاک‌ها بین ۵/۱ تا ۷/۶ بود که بیانگر وضعیت اسیدی متوسط تا خنثی در خاک‌های شالیزاری منطقه مورد مطالعه می‌باشد. کربن آلی نمونه‌های خاک در دامنه ۰/۲ تا ۴/۲ درصد قرار داشت. مقدار کم کربن آلی در اراضی شالیزاری بافت سبک ساحلی و مقدارهای زیاد کربن آلی در اراضی شالیزاری سنگین بافت واحد فیزیوگرافی دشت‌های پست مشاهده شد.

ماتریس ضرایب همبستگی خطی بین خصوصیات هیدرولیکی و فیزیکی خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱- آماره های توصیفی خصوصیات فیزیکی خاک و هدایت هیدرولیکی اشباع

K _s (cm day ⁻¹)	θ _{0.033} (%)	ρ _b (gr cm ⁻³)	O C (%)	pH	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	
۰/۰۱۸	۲۴/۶۸	۰/۸	۰/۲	۶/۷	۲/۰	۳۰/۶	۹/۱	حداقل
۱/۵۳۹	۵۸/۰۹	۱/۳	۴/۲	۷/۶	۵۲/۸	۶۹/۷	۵۸/۳	حداکثر
۰/۲۰۹	۴۲/۰۴	۱/۰	۱/۹	۵/۱	۱۸/۰	۵۱/۰	۳۰/۷	میانگین
۰/۲۷۹	۸/۸۱	۰/۱	۰/۹	۰/۸	۱۱/۶	۷/۹	۱۱/۱	انحراف معیار
۲/۹*	-۰/۲	۰/۴	۰/۶	-۰/۸	۱/۲	-۰/۲	۰/۲	چولگی

Clay: رس؛ Silt: سیلت؛ Sand: شن؛ pH: واکنش خاک؛ O C: کربن آلی؛ ρ_b: جرم مخصوص ظاهری؛ d_g: میانگین هندسی قطر ذرات خاک؛ δ_g: انحراف معیار هندسی قطر ذرات خاک؛ θ_{0.033}: رطوبت حجمی خاک در مکش ۰/۰۳۳ مگاپاسکال، K_s: هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، * : معنی دار بودن در سطح احتمال ۵ درصد.

جدول ۲- ماتریس ضرایب همبستگی خطی بین خصوصیات هیدرولیکی و فیزیکی خاک‌های مورد مطالعه

رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	کربن آلی (%)	ρ _b (gr cm ⁻³)	d _g (cm)	δ _g (cm)	θ _{0.033} (%)	K _s (cm day ⁻¹)
۱								
	۱							
		۱						
			۱					
				۱				
					۱			
						۱		
							۱	
								۱

* معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ درصد

** معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۱ درصد

داده شده است. هرچه نقاط به خط ۱:۱ نزدیکتر باشند، نشان‌دهنده انحراف کمتر مقادیر برآورد شده از مقادیر واقعی و برآورد دقیق‌تر مدل است.

برای انجام تجزیه علیت و تعیین اثرات مستقیم و غیر مستقیم خصوصیات وارد شده در مدل رگرسیونی (جدول ۳) بر هدایت هیدرولیکی اشباع، نمودار مسیر ترسیم شد (شکل ۴) نمودار مسیر اثر مستقیم و غیر مستقیم متغیرهای وابسته را روی متغیر هدف نشان می‌دهد. در این روش برای به دست آوردن اثرات غیر مستقیم، یک گروه از رگرسیونهای اضافی به مدل رگرسیونی اصلی اضافه می‌شود (۲). سپس تجزیه علیت انجام شد (جدول ۴). با استفاده از روش تجزیه علیت مشخص می‌شود که همبستگی صفات مختلف با متغیر وابسته (K_s) به علت اثر مستقیم آنها بر K_s و یا در نتیجه اثر غیر مستقیم آنها از طریق صفات دیگر است. اگر همبستگی بین متغیر وابسته و یک متغیر مستقل به علت اثر مستقیم متغیر مستقل باشد، نشانگر وجود یک رابطه واقعی بین آنها می‌باشد. اما، اگر این وابستگی اصولاً به علت اثر غیرمستقیم متغیر مستقل از طریق متغیرهای همراه باشد، در آن صورت بایستی به متغیرهای همراه که موجب اثر غیر مستقیم شده‌اند، توجه نمود (۱).

بر پایه نتایج تجزیه علیت بیشترین اثر مستقیم بر هدایت هیدرولیکی اشباع در منطقه مورد مطالعه از طریق رطوبت حجمی خاک در مکش ۰/۰۳۳ مگا پاسکال ($\theta_{0.033}$) و به دنبال آن میانگین هندسی قطر ذرات است. بنابراین وابستگی این صفات و K_s یک رابطه واقعی است. بیشترین اثر غیر مستقیم خصوصیات خاک بر K_s نیز مربوط به میانگین هندسی قطر ذرات از طریق درصد رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای است (جدول ۴).

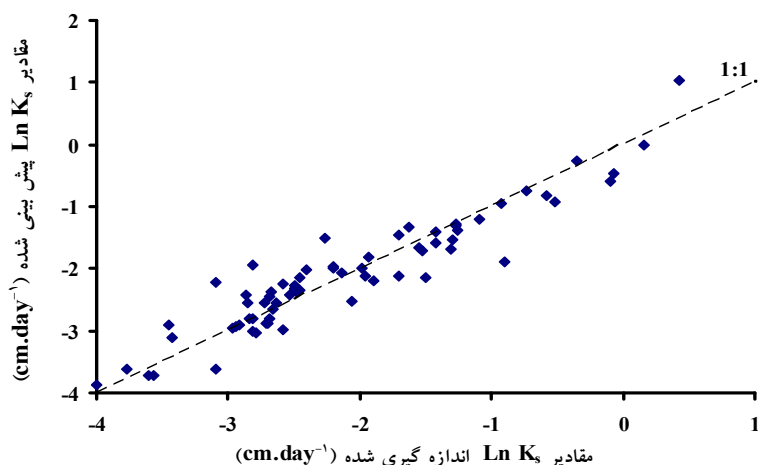
اثر مستقیم میانگین هندسی قطر ذرات بر هدایت هیدرولیکی اشباع مثبت بود. ذرات خاک با قطر بزرگ، منافذی با قطر بزرگ ایجاد می‌کنند. بنابراین با افزایش میانگین هندسی قطر ذرات، اندازه منافذ خاک بزرگ‌تر شده و هدایت هیدرولیکی اشباع افزایش می‌یابد. به طور کلی خاکهایی با مقدار رس زیاد نسبت به خاکهای شنی، هدایت هیدرولیکی کمتری دارند زیرا خاکهای شنی با وجود جرم مخصوص ظاهری بالاتر و تخلخل کل کمتر از خاکهای رسی، دارای توزیع اندازه منافذ درشتتری هستند (۲۴). نتایج تجزیه علیت نشان داد که علیرغم وجود همبستگی ساده مثبت بین هدایت هیدرولیکی اشباع و جرم مخصوص ظاهری (ρ_b)، اثر مستقیم ρ_b بر هدایت هیدرولیکی اشباع منفی است. برای توضیح این رابطه باید به مفهوم ρ_b توجه کرد. ρ_b به معنی جرم واحد حجم خاک است. به عبارت دیگر هر اندازه ρ_b خاک بیشتر باشد، یعنی جرم بیشتری در واحد حجم خاک و فضای کمتری برای عبور آب وجود دارد. به این ترتیب انتظار بر این است با افزایش ρ_b ، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک کاهش یابد.

بر پایه نتایج آزمون معنی‌دار بودن چولگی و کشیدگی، چولگی هدایت هیدرولیکی اشباع در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. برای غیر معنی‌دار شدن چولگی و پیروی نمودن این متغیر از توزیع فراوانی نرمال از تبدیل لگاریتمی استفاده شد (جدول ۱). شاپ و لیج (۲۱) نیز بیان کردند که به طور کلی هدایت هیدرولیکی اشباع دارای توزیع فراوانی لاگ نرمال است. بر پایه روابط رگرسیونی خطی چند متغیره، جرم مخصوص ظاهری، مقدار آب خاک در مکش ۰/۰۳۳ مگا پاسکال، انحراف معیار هندسی و لگاریتم میانگین هندسی قطر ذرات، ۸۴ درصد از تغییرات لگاریتم هدایت هیدرولیکی اشباع را توجیه می‌نمایند ($R^2_{adj} = 0/84$ و $RMSE = 0/5$). ضرایب تابع انتقالی همراه با سطح معنی‌داری در جدول ۳ ذکر شده است.

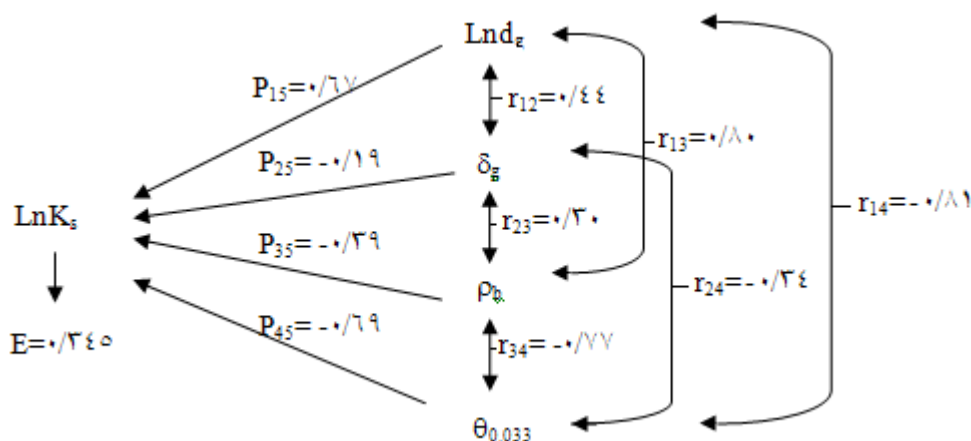
جدول ۳- ضرایب تابع انتقالی رگرسیونی

مدل	B	انحراف استاندارد	سطح معنی‌داری
مقدار ثابت	۸/۳۸۳	۱/۰۲	۰/۰۰۱>
Lnd_g	۰/۸۳	۰/۱۰۴	۰/۰۰۱>
δ_g	-۰/۰۹۲	۰/۰۲۲	۰/۰۰۱>
ρ_b	۳	۰/۰۰۸	۰/۰۰۱>
$\theta_{0.033}$	-۰/۰۷۶	۰/۵۸۲	۰/۰۰۱>

ضریب رگرسیون میانگین هندسی قطر ذرات در معادله رگرسیونی مثبت بود، این امر نشان‌دهنده رابطه مستقیم میانگین هندسی قطر ذرات با هدایت هیدرولیکی اشباع است، میانگین هندسی قطر ذرات خاک بیانگر متوسط قطر ذرات خاک است به عبارت دیگر هر اندازه قطر ذرات خاک بزرگ‌تر باشد، میانگین هندسی قطر ذرات بیشتر بوده و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک افزایش می‌یابد. شو و بادر (۲۲) در مطالعه‌ای در آمریکا نشان دادند که اندازه ذرات خاک و جرم مخصوص ظاهری به صورت معنی‌داری با هدایت هیدرولیکی اشباع در ارتباط است و ۶۰ درصد از تغییرات K_s توسط این رابطه توجیه می‌شود. ضریب رگرسیون رطوبت حجمی خاک در مکش ۰/۰۳۳ مگا پاسکال در معادله رگرسیونی منفی به دست آمد. رطوبت حجمی خاک در مکش ۰/۰۳۳ مگا پاسکال دارای همبستگی مثبت و قوی (۰/۸۰۴) با رس خاک بود (جدول ۲). با افزایش رس خاک مقدار منافذ ریز خاک افزایش می‌یابد. با افزایش مقدار منافذ ریز در خاک هدایت هیدرولیکی اشباع کاهش می‌یابد (۳). گولسر و کاندیمیر (۸) و شاپ و لیج (۲۰) بیان داشتند که علاوه بر خصوصیات فیزیکی خاک، داشتن ضرایب رطوبتی (رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای و نقطه پژمردگی دائم) در مدل‌ها سبب می‌شود که هدایت هیدرولیکی اشباع در خاک‌ها به گونه‌ای دقیق‌تر پیش‌بینی شود. برآزش مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع پیش‌بینی شده در برابر مقادیر اندازه‌گیری شده در شکل ۳ نشان



شکل ۳- برازش مقادیر پیش‌بینی شده هدایت هیدرولیکی اشباع توسط تابع انتقالی رگرسیونی در مقابل مقادیر اندازه‌گیری شده



شکل ۴- نمودار مسیر متغیرهای مستقل انتخاب شده بر هدایت هیدرولیکی اشباع، که در آن Lnd_g ، δ_g ، ρ_b ، $\theta_{0.033}$ متغیرهای مستقل، LnK_s متغیر وابسته، P_{15} ، P_{25} ، P_{35} ، P_{45} به ترتیب اثرات مستقیم Lnd_g ، δ_g ، ρ_b و $\theta_{0.033}$ بر LnK_s ، r_{12} ، r_{13} ، r_{23} ، r_{34} ، r_{24} و r_{14} ضرایب همبستگی بین صفات و E نشان‌دهنده اثر باقیمانده می‌باشد.

مکش 0.33 مگا پاسکال افزایش و هدایت هیدرولیکی اشباع کاهش پیدا می‌کند. اثر غیر مستقیم $\theta_{0.033}$ از طریق میانگین هندسی قطر ذرات بر K_s نیز منفی است (جدول ۳). راولز و همکاران (۱۹) بیان کردند که مهمترین فاکتور در تعیین مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع، توزیع اندازه منافذ به ویژه مقدار کل منافذ درشت و متوسط می‌باشد. متغیرهای ورودی معمول در مدل‌های توابع انتقالی مثل بافت، جرم مخصوص ظاهری و ماده آلی تا حدودی با ساختمان منافذ مرتبط هستند، اما، برای مشخص کردن ساختمان منافذ یک خاک کافی نیستند (۱۵). نتایج تحقیقات آیمرون و همکاران (۵) نشان داد که تخلخل مؤثر (تفاوت بین تخلخل کل و رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای) می‌تواند به عنوان متغیر مهمی در تخمین هدایت هیدرولیکی اشباع خاکهای شالیزار به کار برده شود. زیرا مقدار رطوبت خاک در ظرفیت

اما، اثر غیر مستقیم ρ_b بر K_s از طریق میانگین هندسی قطر ذرات و رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای موجب رابطه مثبت K_s و ρ_b شده است (جدول ۴). به طور کلی با کاهش مقدار رس در بافت خاک، جرم مخصوص ظاهری خاک افزایش می‌یابد (۹) و تخلخل کل کاهش یافته، اما، نسبت تخلخل درشت به ریز افزایش می‌یابد. به این ترتیب که با افزایش ρ_b ، خاک سبک بافت‌تر، اندازه ذرات خاک بزرگ‌تر شده و اندازه منافذ خاک افزایش و رطوبت حجمی خاک کاهش یافته و در نهایت برآیند این اثرات موجب همبستگی مثبت ρ_b و هدایت هیدرولیکی اشباع شده است. اثر مستقیم مقدار آب خاک در مکش 0.33 مگاپاسکال بر هدایت هیدرولیکی اشباع منفی است. هر اندازه منافذ کوچک‌تر و مقدار منافذ بیشتر باشند در این صورت مقدار آب نگهداری شده در

مقیاس اندازه‌گیری رابطه خطی بین دو متغیر به کار می‌رود، دارای یک تفسیر مطلقاً ریاضی است و لزوماً دلالتی بر رابطه علت و معلولی ندارد. اما، تجزیه علیت قادر به تعیین اثرات مستقیم و غیر مستقیم هر خصوصیت خاک بر K_s می‌باشد. نتایج تجزیه علیت نشان داد که در خاکهای شالیزاری رطوبت ظرفیت مزرعه و میانگین هندسی قطر ذرات بیشترین اثر مستقیم بر K_s را دارند و مهمترین عامل‌های مؤثر در برآورد K_s در اینگونه خاکها می‌باشند.

مزرعه‌ای اطلاعات بیشتری در مورد ساختمان منافذ خاک نسبت به بافت و جرم مخصوص ظاهری فراهم می‌کند (۸).

نتیجه گیری

هدایت هیدرولیکی اشباع تحت تأثیر عامل‌های مختلفی قرار دارد. تعیین این عامل‌ها و بررسی اثر آنها بر K_s ، برای برآورد مناسب این خصوصیت بسیار ضروری است. ضریب همبستگی که به عنوان

جدول ۴- اثرات مستقیم و غیر مستقیم برخی از خصوصیات خاک بر هدایت هیدرولیکی اشباع نرمال شده ($\ln K_s$)

r_{xy}	اثر غیر مستقیم					اثر مستقیم	
	$\theta_{0.033}$	ρ_b	δ_g	Lnd_g	Lnd_g		
۰/۸۳۷	-۰/۵۵۹	-۰/۳۱۱	-۰/۰۸۴	-	-	۰/۶۷۲	Lnd_g
۰/۲۲۴	-۰/۲۳۴	۰/۱۱۷	-	۰/۲۹۵	-	-۰/۱۹۱	δ_g
۰/۶۲۵	۰/۵۳۱	-	-۰/۰۵۸	۰/۵۳۸	-	-۰/۳۸۸	ρ_b
-۰/۸۷۲	-	۰/۳۰۰	۰/۰۶۴	-۰/۵۴۵	-	-۰/۶۹۱	$\theta_{0.033}$

اثر باقیمانده = ۰/۳۴۵

r_{xy} : ضریب همبستگی خطی بین هر یک متغیرها با هدایت هیدرولیکی اشباع نرمال شده

منابع

- ۱- فرشادفر ع. ۱۳۷۶. روش‌شناسی اصلاح نباتات. انتشارات دانشگاه رازی.
- 2- Ahn J. 2002. Beyond Single Equation Regression Analysis: Path Analysis and Multi-Stage Regression Analysis, American Journal of Pharmaceutical Education, 66:37-42.
- 3- Ahuja L.R., Naney J.W., Green R.E., and Nielsen D.R. 1984. Macroporosity to characterize spatial variability of hydraulic conductivity and effects of land management, Soil Science Society of America Journal, 48: 699- 702.
- 4- Ahuja L.R., Cassel D.K., Bruce R.R., and Burnes B.B. 1989. Evaluation of hydraulic conductivity using effective porosity data, Soil Sci., 148: 404- 441.
- 5- Aimrun W., Amin M.S.M., and Eltaib S.M. 2004. Effective porosity of paddy soils as estimation of its saturated hydraulic conductivity, Geoderma, 121: 197-203.
- 6- Bouma J. 1989. Using soil survey data for qualitative land evaluation, Advances in Soil Science, 9: 177-213.
- 7- Carmer C.S., Wehner T.C., and Donaghy S.B. 1999. PATHSAS: A SAS computer program for path coefficient analysis of quantitative data, Journal of Heredity, 90(1): 260-262.
- 8- Gulser C., and Candemir F. 2008. Prediction of saturated hydraulic conductivity using some moisture constants and soil physical properties, Journal of Applied Science, 4: 418-424.
- 9- Hillel D. 1982. Introduction to soil physics, Academic Press, Inc. San Dieoga, California.
- 10- Klute A. 1986. Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods. Madison, Wisconsin, USA.
- 11- Kohler H. 2002. Statistics for business and Economics, Thomson Learning, Inc.
- 12- Lleras C. 2005. Path analysis, Encyclopedia of social measurement, 3: 25-30.
- 13- Nemes A., Pachepsky Y., Rawls W., Wosten H., and Zeilguer A. 2002. Using similarity and neural network approach to inter plate soil particle- size distribution, 17th WCSS. Thailand. PP: 221-224.
- 14- Nemes A., Rawls W.J., and pachepsky Y.A. 2005. Influence of organic matter on the estimation of saturated hydraulic conductivity, Soil Science Society of America Journal, 69: 1330-1337.
- 15- Pachepsky Y.A., Rawls W.J., and Lin H.S. 2006. Hydropedology and pedotransfer functions, Geoderma, 131: 308-316.
- 16- Page A.L., Miller R.H., and Keeney D.R. 1982. Methods of Soil Analysis. Part2. Chemical and microbiological properties, American Society of Agronomy, Inc. Soil Science American. Madison, Wisconsin. USA.
- 17- Pucket W.E., Dane J.H., and Hack B.F. 1985. Physical and mineralogical data to determine soil physical properties, Soil Sci. Am. J., 49: 831- 836.
- 18- Rawls W.J., Nemes A., and Pachepsky Y.A. 2005. Effect of soil organic matter on soil hydraulic properties, p. 95-114. In Pachepsky Y.A., and Rawls W.J. (ed.) Development of Pedotransfer Functions in Soil Hydrology. Elsevier, Amsterdam-New York.

- 19- Rawls W.J., Gimenez D., and Grossman R. 1998. Use of texture, bulk density, and slope of the water retention curve to predict saturated hydraulic conductivity, *Trans. ASAE*, 41(4): 983-988.
- 20- Schaap M.G., and Leij F.J. 1998. Using neural networks to predict soil water retention and hydraulic conductivity, *Soil and Tillage Research*, 47: 37-42.
- 21- Schaap M.G., and Leij F.L. 2000. Improved prediction of unsaturated hydraulic conductivity with the Mualem-van Genuchten model, *Soil Science Society of America Journal*, 64: 843-851.
- 22- Schuh W.M., and Bauder J.W. 1986. Effect of soil properties on hydraulic conductivity-moisture relation ships, *Soil Science Society of America Journal*, 50: 848-855.
- 23- Shirazi M.A., and Borsma L. 1984. A unifying quantitative analysis of soil texture, *Soil Science Society of American Journal*, 48: 142-147.
- 24- Soil Survey Staff. 1993. *Soil Survey Manuel*, USDA Handbook No: 18 Washington.
- 25- Tayel M.Y., Abd El-Hady M., and EI-Dardiry E. 2010. Soil structure affected by some soil characteristics, *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environment Science*, 7(6): 705-712.
- 26- wosten J.H.M., Lillg A., Nemes A., and Le Bas C. 1999. Development and use of a database of hydraulic properties of European soils, *Geoderma*, 90: 169-185.

Path Analysis of Effective Soil Properties on Paddy Soil Saturated Hydraulic Conductivity

F. Meskini Vishkaii^{1*}- M. Shabanpour Shahrestani²- N. Davatgar³

Received: 17-5-2010

Accepted: 3-10-2010

Abstract

The saturated hydraulic conductivity (K_s) is an important physical property of soil. The direct measurement of this property in soils is a difficult and time consuming process. Pedotransfer functions (PTFs) provide an alternative by estimating soil parameters from more readily available soil data. The objective of this study is to determine effective factors on soil hydraulic conductivity using multiple-linear regression methods and to determine direct and indirect effects of input soil properties of model using path analysis method. 70 soil samples with medium to heavy texture were randomly collected from paddy fields in Guilan province after harvest of rice crop. Range of pH indicated acidic to neutral condition of paddy soils. Results showed that regression equation using geometric mean and standard deviation of soil particles diameter (d_g and δ_g), bulk density (ρ_b) and soil moisture at field capacity ($\theta_{0.033}$) as input variables, can estimate hydraulic conductivity with a good accuracy (RMSE= 0.5 and R^2_{adj} =0.84). Although correlation between bulk density and saturated hydraulic conductivity was positive, but according to path analysis results, direct effect of bulk density on K_s is negative. Moreover the highest direct effect of soil properties on K_s in paddy soil was through soil water content at field capacity that indicates importance of this factor to predict saturated hydraulic conductivity.

Keywords: Pedotransfer functions, Geometric mean of soil particle diameter, Field capacity

1,2- Former MSc Student and Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Guilan

(*-Corresponding Author Email: fatemeh.meskini@yahoo.com)

3- Assistant Professor of Soil Science, Academic Member of Rice Research Institute, Guilan