

برآورد ضریب پخشیدگی گرمایی خاک با استفاده از توابع انتقالی رگرسیونی

حسین بیات^۱، شیما صاحبی همراه^۲، سیده فاطمه اسلامی^۳

به ترتیب دانشیار، دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و دانشجوی دکتری، گروه علوم خاک، دانشگاه بوعلی سینا همدان

چکیده

با توجه به مشکلات اندازه‌گیری مستقیم ضریب پخشیدگی گرمایی خاک و عدم دسترسی به داده‌های آن در داخل کشور، در این تحقیق سعی شد این ویژگی با استفاده از خصوصیات سهل‌الوصول برآورد شود. در این مطالعه برای ایجاد ۵ مدل جهت تخمین ضریب پخشیدگی گرمایی از داده‌های ۱۵۶ نمونه خاک استفاده گردید. در هر مدل ضریب پخشیدگی گرمایی خاک به عنوان متغیر وابسته و ترکیب‌های متفاوتی از متغیرهای رطوبت اشباع، کربن آلی، جرم مخصوص ظاهری، هدایت هیدرولیکی اشباع، درصد رس و نسبت سیلت به شن بر اساس قابلیت دسترسی، به عنوان متغیر مستقل استفاده شدند و مدل‌ها با روش رگرسیون خطی ایجاد شدند. نتایج بدست آمده نشان داد که بهترین مدل‌ها برای تخمین ضریب پخشیدگی گرمایی مدل با ورودی‌های رس، نسبت سیلت به شن و هدایت هیدرولیکی اشباع و مدل با ورودی‌های رس، نسبت سیلت به شن و رطوبت اشباع بودند.

واژه‌های کلیدی: جرم مخصوص ظاهری، خصوصیات هیدرولیکی، رطوبت اشباع

مقدمه

از جمله مشکلاتی که تا به امروز حل نشده است اندازه‌گیری یا تخمین ویژگی‌های گرمایی از جمله ضریب پخشیدگی گرمایی می‌باشد. توابع انتقالی خاک، روابطی هستند که خصوصیات دیرپافت (ویژگی‌هایی که اندازه‌گیری آن‌ها دشوار و هزینه‌بر است) را به خصوصیات زودپافت خاک (ویژگی‌هایی که به سادگی قابل اندازه‌گیری هستند) ارتباط می‌دهند (بوما، ۱۹۸۰). ضریب پخشیدگی گرمایی چگونگی تغییرات دمای خاک در اثر وجود گرادیان‌های دمایی در اعماق مختلف را تعیین می‌نماید (هیلل، ۱۹۸۰). ضریب پخشیدگی گرمایی از مهم‌ترین ویژگی‌های گرمایی خاک می‌باشد و وضعیت گرمایی و قابلیت خاک برای ذخیره گرما را کنترل می‌نماید (دک، ۲۰۰۶). با این وجود، علی‌رغم تحقیقات زیاد در مورد استفاده از خصوصیات سهل‌الوصول برای تخمین خصوصیات هیدرولیکی با توجه به بررسی منابع چنین به نظر می‌رسد که تاکنون از این خصوصیات جهت تخمین یکی از ویژگی‌های گرمایی استفاده نشده است. بنابراین هدف این مطالعه ایجاد توابع انتقالی توسط روش رگرسیون و بهره‌گیری از برخی ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی خاک به عنوان تخمین‌گر برای تخمین ضریب پخشیدگی گرمایی خاک بود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش داده‌های مربوط به منطقه دشت بزرگ جنوبی آمریکا^۱ (SGP97)، واقع در ایالات متحده آمریکا مورد استفاده قرار گرفت (موهانتی و همکاران، ۱۹۹۹). به‌طور کلی تعداد ۱۵۶ نمونه خاک سطحی از ۴۶ بخش مربع شکل در لیتل واشیتا^۲ (LW)، رئون^۳ (ER) و فسیلیتی مرکزی^۴ (CF) جمع‌آوری گردید. شرح جزئیات روش‌های آزمایشگاهی جهت اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی، هیدرولیکی و گرمایی توسط شوز و همکاران (۲۰۰۲) و موهانتی و همکاران (۲۰۰۱) بیان شده است.

1. Southern Great Plains 1997

2. Little Washita

3. El Reno

4. Central Facility

مدل سازی

علائم اختصاری استفاده شده برای هر یک از متغیرهای بهره‌گیری شده در این پژوهش در جدول ۱ معرفی شده است. کلیه متغیرها با استفاده از نرم افزار مینی تب^۵ (آزمون کولموگروف-اسمیرنوف) از نظر نرمال بودن بررسی شدند. متغیرهای رطوبت اشباع، درصد کربن آلی، هدایت هیدرولیکی اشباع و ضریب پخشیدگی گرمایی، به ترتیب با تبدیل‌های Ln ، $1/(WCS)^{1/2}$ ، Ln (OC)، Ln (K_s) و $1/(TD)^{1/2}$ نرمال شدند. متغیرهای درصد رس و نسبت سیلت به شن به ترتیب با روابط (۱) و (۲) نرمال گردیدند.

$$y = 45/121 Ln(CI) - 121/51 \quad (1)$$

$$y = -0/0925(Si/Sa)^2 + 1/2167(Si/Sa) - 0/0556 \quad (2)$$

در رابطه (۱) و (۲)، y به ترتیب بیانگر متغیر رس و نسبت سیلت به شن نرمال شده می‌باشد. سپس همه متغیرها استاندارد شدند به گونه‌ای که میانگین برابر صفر و انحراف استاندارد یک داشتند. دوسوم داده‌ها برای ایجاد توابع و یک‌سوم آن‌ها برای آزمون توابع ایجاد شده به صورت تصادفی مورد استفاده قرار گرفتند. جهت اطمینان از تصادفی بودن داده‌ها مقایسه میانگین داده‌های آموزش و آزمون با استفاده از آزمون t انجام گرفت. برای ایجاد مدل‌ها از روش رگرسیون خطی استفاده گردید و در مجموع ۵ مدل ایجاد شد (جدول ۱).

جدول ۱- معرفی علائم استفاده شده در این پژوهش

متغیر	واحد	علامت
ضریب پخشیدگی گرمایی	$(10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})$	TD
رطوبت اشباع	$(\text{cm}^3/\text{cm}^3)$	WCS
کربن آلی	(/)	OC
جرم مخصوص ظاهری	(g/cm^3)	BD
هدایت هیدرولیکی اشباع	(cm/s)	K_s
نسبت سیلت به شن	(-)	Si/Sa
درصد رس	(/)	CI

در هر مدل ضریب پخشیدگی گرمایی خاک به عنوان متغیر وابسته و متغیرهای رطوبت اشباع، کربن آلی، جرم مخصوص ظاهری، هدایت هیدرولیکی اشباع، درصد رس و نسبت سیلت به شن، با ترکیب‌های متفاوت بر اساس قابلیت دسترسی، به عنوان متغیر مستقل استفاده شدند. ورودی‌های مدل‌ها در جدول ۲ آورده شده است. در تمام توابع ایجاد شده مشکل چند هم‌خطی با استفاده از آماره فاکتور تورم واریانس^۶ بررسی شد.

جدول ۲- متغیرهای ورودی استفاده شده در هر مرحله (مدل)

مدل	ورودی‌های مدل
۱	رس و نسبت سیلت به شن
۲	رس، نسبت سیلت به شن و جرم مخصوص ظاهری
۳	رس، نسبت سیلت به شن و رطوبت اشباع
۴	رس، نسبت سیلت به شن و درصد کربن آلی
۵	رس، نسبت سیلت به شن و هدایت هیدرولیکی اشباع

برای بررسی صحت و اعتبار مدل‌ها و مقایسه‌ی عملکرد آن‌ها از آماره‌های ضریب تبیین $(R^2)^7$ ، میانگین خطا $(ME)^8$ ، مجذور مجذور میانگین مربعات خطا $(RMSE)^9$ ، معیار اطلاعات آکایک $(AIC)^{10}$ و بهبود نسبی $(RI)^{11}$ استفاده گردید.

۵. MINITAB

۶. Variance inflation factor

۷. Correlation coefficient

آماره‌های توصیفی

معیارهای آماری (میانگین، انحراف استاندارد، مقادیر کمینه و بیشینه) متغیرهای مورد استفاده در این پژوهش برای داده‌های آموزش و آزمون به تفکیک در جدول ۳ آورده شده است. همه‌ی متغیرها دارای دامنه تغییرات بالایی بودند. نتایج مقایسه میانگین آزمون t نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین میانگین مجموعه نمونه‌های آموزش و آزمون هیچ‌کدام از متغیرها وجود ندارد (داده‌ها نشان داده نشده‌اند).

جدول ۳- ویژگی‌های آماری متغیرهای اندازه‌گیری شده در خاک‌های مورد مطالعه

آموزش			آزمون			
بیشینه	کمینه	انحراف	میانگین	بیشینه	کمینه	انحراف
۰/۴۹	۰/۲۷	۰/۱۰۴	۰/۳۷	۰/۷۰	۰/۲۶	۰/۱۰۶
۳/۷۶	۰/۰۴	۰/۹۴	۱/۲۵	۳/۲۵	۰/۰۴	۰/۷۵
۴۲/۵۵	۰/۶۴	۸/۶۶	۱۶/۷۷	۳۷/۲۴	۱/۹۱	۶/۷۶
۹۴/۰۴	۱۴/۲۴	۲۳/۸۵	۴۶/۰۳	۹۴/۰۴	۱۸/۵۲	۲۰/۵۲
۶۵/۱۸	۳/۴۶	۱۸/۳۵	۳۷/۲۰	۶۳/۰۸	۴/۰۴	۱۵/۹۷
۲/۱۴	۰/۱۳	۰/۴۹	۰/۷۶	۲/۱۴	۰/۲۱	۰/۴۹
۱/۷۱	۱/۰۷	۰/۱۱	۱/۴۱	۱/۵۹	۱/۲۲	۰/۱۰
۰/۲۵	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰۲
۱/۰۷	۰/۲۳	۰/۲۱	۰/۵۷	۱/۰۵	۰/۲۴	۰/۲۰

^a. کلیه متغیرها در جدول ۱ معرفی شده‌اند.

همبستگی بین متغیرها

در جدول (۴) ضرایب همبستگی خطی (پیرسون) بین متغیرهای ورودی و خروجی (ضریب پخشیدگی گرمایی) استفاده شده در این پژوهش نشان داده شده است. به دلیل طولانی شدن متن توضیح ضرایب همبستگی امکان‌پذیر نبود.

جدول ۴- ضریب همبستگی بین متغیرهای ورودی و خروجی استفاده شده در این پژوهش

علامت	WCS	Si/Sa	CI	OC	BD	K _s
TD	--/۰۴۷۸**	۰/۳۵۸**	۰/۱۶۸*	۰/۱۷۶*	--/۰۵۸۴**	۰/۲۷۲**

^a. کلیه متغیرها در جدول ۱ معرفی شده‌اند.

ارزیابی عملکرد مدل‌های ایجاد شده

مدل ۱: برای تخمین ضریب پخشیدگی گرمایی ابتدا (در مدل ۱) از درصد رس و نسبت سیلت به شن به عنوان متغیر مستقل بهره‌گیری شد. چراکه این متغیرها سهل‌الوصول‌ترین متغیرها بوده و در تمام منابع اطلاعاتی موجود هستند. براساس معیارهای به‌دست آمده (جدول ۵) استفاده از درصد رس و نسبت سیلت به شن به تنهایی برای برآورد ضریب پخشیدگی گرمایی مفید نمی‌باشند. زیرا علاوه بر بافت خاک عوامل دیگری نیز (به ویژه جرم مخصوص ظاهری و مقدار رطوبت خاک) بر ضریب پخشیدگی گرمایی مؤثر هستند. هیلل و همکاران (۱۹۸۰) نیز بیان نمودند که ترکیب مواد آلی و معدنی خاک، مقدار رطوبت خاک، جرم مخصوص ظاهری و هوای خاک از عوامل مؤثر بر ضریب پخشیدگی گرمایی می‌باشند.

جدول ۵- آماره‌های ارزیابی عملکرد مدل‌های برآورد ضریب پخشیدگی گرمایی خاک

آموزش			آزمون			مدل			
RMSE, 1/(10 ⁻⁶ m ² /s) ^{1/2}	ME, 1/(10 ⁻⁶ m ² /s) ^{1/2}	AIC/n	R ²	RI	RMSE, 1/(10 ⁻⁶ m ² /s) ¹	ME, 1/(10 ⁻⁶ m ² /s) ¹	AIC/ n	R ²	RI

⁸. Maximum error

⁹. Root mean square error

¹⁰. Akaike information criterion

¹¹. Relative improvement

۰/۱۸۷	-۰/۰۲۲	-۳/۵۵	۱/۲۳۷		۰/۱۸۹	۰/۰۰۴	-۳/۳۱	۲۱	۱
۰/۱۳۷	-۰/۰۲۶	-۴/۱۱*	۱/۵۸۸	۱/۸	۰/۱۶۷	۰/۰۰۰	-	۳۹	۱۱/۷
۰/۱۵۶	-۰/۰۴۹	-۳/۷۶*	۱/۴۸۳	۱/۵	۰/۱۷۳	۰/۰۰۴	-	۴۲	۸/۸
۰/۱۸۶	-۰/۰۱۸	-۳/۳۹	۱/۲۴۸	۰/۲	۰/۱۹۲	۰/۰۰۴	-۳/۲۸	۲۱	-۱/۲
۰/۱۷۸	-۰/۰۲۱	-۳/۴۱	۱/۲۶۴	۴/۷	۰/۱۷۲	-۰/۰۰۳	-	۳۵	۸/۹

مدل ۲: با افزودن جرم مخصوص ظاهری به مدل دوم در هر دو مرحله آموزش و آزمون مقدار R^2 به میزان قابل توجهی افزایش یافت و مقادیر RMSE و AIC به طور معنی داری نسبت به مدل یک کاهش پیدا کردند. شاخص RI در مرحله آموزش برابر ۱۱/۷ درصد و در مرحله آزمون برابر ۲۶/۸ درصد بود که مقدار قابل توجهی را نشان می دهد (جدول ۵ و شکل ۱). لیبیک و همکاران (۲۰۰۷) گزارش نمودند که توزیع ضریب پخشیدگی گرمایی در هر دو خاک تحت کشت و با پوشش علفزار مشابه تغییرات BD می باشد. آسوویز و همکاران (۱۹۹۶) نیز مشاهده نمودند که توزیع ضریب پخشیدگی گرمایی توسط BD کنترل می گردد. تیسون (۲۰۰۱) تغییرات ضریب پخشیدگی گرمایی با تغییر جرم مخصوص ظاهری را در ۴ نوع خاک مورد ارزیابی قرار داد و مشاهده نمود که با افزایش جرم مخصوص ظاهری مقدار ضریب پخشیدگی گرمایی در نمونه خاکها (به جز نمونه های بسیار خشک خاک لوم سیلتی) افزایش یافت. احتمالاً به این علت که در اثر افزایش جرم مخصوص ظاهری تماس بین ذرات خاک افزایش می یابد (هارتج و هورن، ۱۹۹۹). در نتیجه ضریب پخشیدگی نیز افزایش می یابد (هاپمنس و دن، ۱۹۸۶).

مدل ۳: استفاده از متغیر رطوبت اشباع در مدل سوم باعث بهبود معنی دار دقت تخمین ها در هر دو مرحله آموزش و آزمون شد (جدول ۵ و شکل ۱). تحقیقات آسوویز و همکاران (۱۹۹۶) نیز نشان داد که ضریب پخشیدگی گرمایی به طور مثبت و غیرخطی به مقدار رطوبت خاک وابسته می باشد. ویرنگا و همکاران (۱۹۶۹) ضریب پخشیدگی گرمایی را برای پلات های بدون آبیاری و تحت آبیاری ارزیابی نمودند و مشاهده کردند که تغییرات این ضریب در پلات های بدون آبیاری نسبت به پلات های تحت آبیاری بیش تر بود. احتمالاً به این علت که آبیاری منجر به توزیع یکنواخت آب در خاک می شود و در نتیجه ضریب پخشیدگی نیز کم تر تغییر می نماید.

مدل ۴: استفاده از کربن آلی علاوه بر درصد رس و نسبت سیلت به شن قابلیت تخمین مدل چهارم را بهبود بخشید (جدول ۵). این در حالی است که نتایج آنالیزهای همبستگی نشان داد (جدول ۴) که بین کربن آلی و ضریب پخشیدگی گرمایی همبستگی مثبت و معنی داری وجود دارد. عدم بهبود عملکرد مدل چهارم در اثر ورود کربن آلی احتمالاً به این علت است که تأثیر تغییر در مقدار کربن آلی بر نگهداری رطوبت خاک و در نتیجه بر ضریب پخشیدگی گرمایی در خاکهایی با بافت های متفاوت و مقدار کربن آلی مختلف، متغیر است. راولز و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند که هنگامی که کربن آلی خاک کم است افزایش در مقدار کربن آلی منجر به افزایش نگهداری رطوبت در خاکهای با بافت درشت می شود. در حالی که در خاکهای ریزبافت باعث کاهش ظرفیت نگهداری رطوبت می گردد. والکزاک و همکاران (۲۰۰۴) نیز بیان نمودند که برقراری یک رابطه مستقیم بین مقدار ماده آلی خاک و رطوبت خاک به دلیل رفتار پیچیده این پارامتر مشکل است. زیرا مواد آلی در بافت های مختلف تأثیر متفاوتی دارند. در خاک های شنی با اضافه شدن مواد آلی، در اثر افزایش خاکدانه سازی و چسبیدن ذرات شن بهم، خلل و فرج درشت کاهش می یابد که باعث افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت می گردد. در حالی که در خاک های رسی این روند معکوس می باشد. در نتیجه افزایش مقدار کربن آلی خاک، ضریب پخشیدگی گرمایی را با توجه به بافت خاک و به طور غیرمستقیم با تأثیر بر مقدار رطوبت تحت تأثیر قرار می دهد.

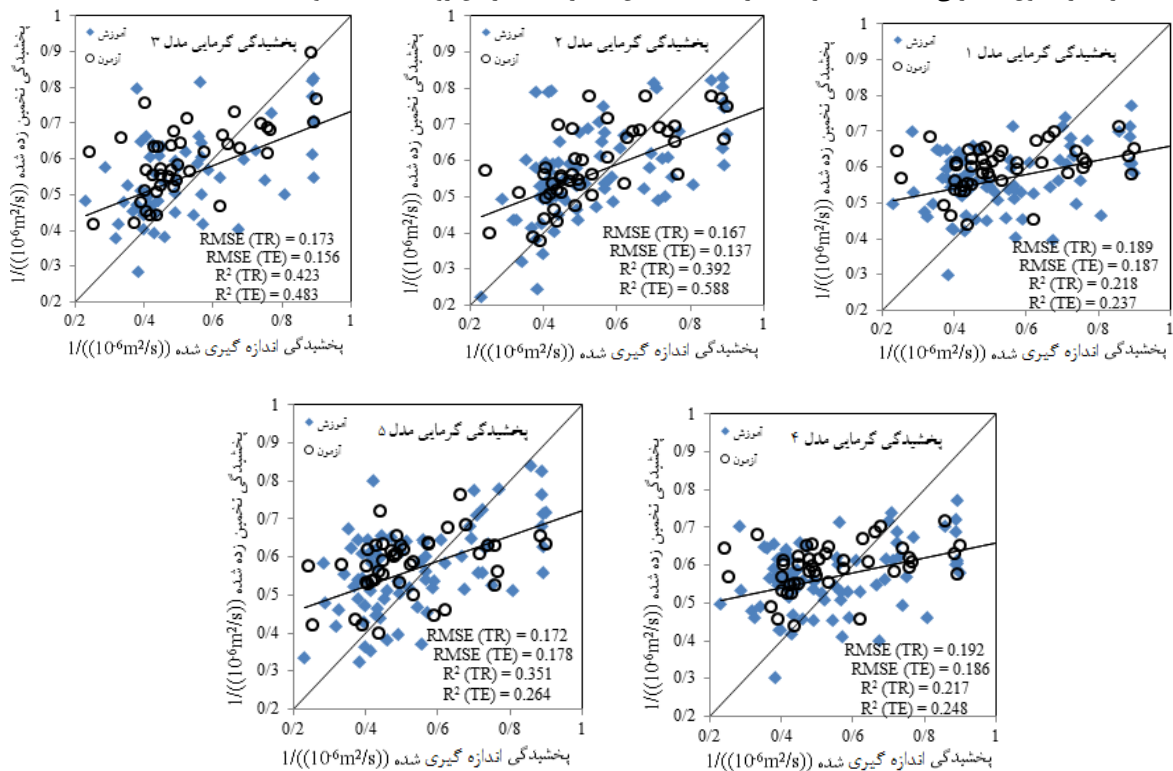
مدل ۵: افزودن متغیر هدایت هیدرولیکی اشباع به مدل پنجم باعث بهبود تخمین ضریب پخشیدگی گرمایی در هر دو مرحله آموزش و آزمون گردید و این بهبود در مرحله آموزش معنی دار بود (جدول ۵ و شکل ۱). دک (۲۰۰۶) بیان نمود که تحت شرایط اشباع و هدایت هیدرولیکی بالا، انتقال گرما افزایش می یابد. این امر به دلیل توانایی بالای آب برای هدایت و انتقال گرما می باشد که در نتیجه آن ضریب پخشیدگی گرمایی خاک نیز افزایش می یابد. احتمالاً به همین علت استفاده از هدایت هیدرولیکی اشباع موجب بهبود معنی دار تخمین ضریب پخشیدگی گرمایی شد.

جدول ۶- فرمول‌ها و ضرایب مدل‌های ایجاد شده برای ضریب پخشیدگی گرمایی

مدل	فرمول‌ها و ضرایب مدل‌ها
۱	$1/(TD)^{1/2} = 0.092 + 0.246 CI^* - 0.555 Si/Sa^*$
۲	$1/(TD)^{1/2} = 0.106 - 0.050 CI^* - 0.299 Si/Sa^* + 0.494 BD$
۳	$1/(TD)^{1/2} = 0.123 + 0.168 CI^* - 0.530 Si/Sa^* + 0.420 1/(WCS)^{1/2}$
۴	$1/(TD)^{1/2} = 0.092 + 0.246 CI^* - 0.547 Si/Sa^* - 0.107 Ln(OC)$
۵	$1/(TD)^{1/2} = 0.111 + 0.149 CI^* - 0.618 Si/Sa^* - 0.419 Ln(K_s)$

* مقادیر نرمال شده متغیرها باید در این روابط استفاده شود.

^a کلیه متغیرها در جدول ۱ معرفی شده‌اند. مقادیر استاندارد شده همه این متغیرها باید در این روابط استفاده شوند.



شکل ۱- مقایسه‌ی پراکنش ضریب پخشیدگی گرمایی اندازه‌گیری شده و برآورد شده از مدل‌های مختلف در مرحله آموزش و آزمون. علائم TR و TE به ترتیب بیانگر مرحله آموزش و آزمون می‌باشند.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه با استفاده از مدل‌های رگرسیون چند متغیره ضریب پخشیدگی گرمایی خاک برآورد گردید. نتایج بررسی مدل‌ها نشان داد بهره‌گیری از خصوصیات هیدرولیکی به همراه سایر ویژگی‌های فیزیکی برای تخمین ضریب پخشیدگی گرمایی نه تنها منجر به بهبود قابلیت تخمین توابع گردید بلکه باعث شد این توابع بهترین نتایج تخمین را داشته باشند. احتمالاً از دلایل این امر تأثیر به سزای ویژگی‌های هیدرولیکی بر رطوبت خاک است، که از مهمترین عوامل مؤثر بر این ویژگی گرمایی خاک به شمار می‌رود.

منابع

Bouma J. 1980. Using soil survey data for quantitative land evaluation. Soil. Sci. Soc. 9: 177-213.



- Dec D.A. 2006. Thermal properties in Luvisols under conventional and conservation tillage treatment. PHD Thesis. Universität zu Kiel. 1-151.
- De Vries D.A. 1952. The thermal conductivity of soil. Meded. Landbouwhogeschool, Wageningen, p52.
- Evetts S.R. Agam N. William P.K. Paul D.C. and Robert C.S. 2012. Soil profile method for soil thermal diffusivity, conductivity and heat flux: Comparison to soil heat flux plates. Soil Sci. Soc. 50: 41-54.
- Hartge K.H. and Horn R. 1999. Einführung in die Bodenphysik. Enke, Stuttgart, 304 P.
- Hillel D. 1980. Fundamental of soil physics: Academic Press, INC. Pp. 287-317. USA.
- Hopmans J.W. and Dane J.H. 1986. Thermal conductivity of two porous media as a function of water content, temperature, and density. Soil. Sci. Soc. Vol. 142.
- Mohanty B.P. and Skaggs T.H. 2001 Spatio-temporal evolution and timestable characteristics of soil moisture within remote sensing footprints with varying soil, slope, and vegetation, Adv. Water Resour. 24: 1051-1067.
- Mohanty B.P. Shouse P.J. Miller D.A. and van Genuchten M.T. 1999. Soil property measurement: SGP97, Oklahoma, http://daac.gsfc.nasa.gov/CAMPAIGN_DOCS/SGP97/arssl.html, GSFC Earth Sci. Distrib. Active Arch. Cent., Greenbelt, Md.
- Rawls W.J. and Pachepsky Y.A. 2002. Soil consistence and structure as predictors of water retention. Soil Sci. Soc. Am. J. 66:1115-1126.
- Shouse P.J. Mohanty B.P. Miller D.A. Jobes J.A. Fargerlund J. Russell W.B. Skaggs T.H. and van Genuchten M.T. 2002. Soil properties of dominant soil types of the Southern Great Plains 1997 (SGP97) Hydrology Experiment: Oklahoma, report, George E. Brown Salinity Lab., Riverside, Calif.
- Tyson E. Ochsner R. Horton S. and Tusheng, R. 2001. A new perspective on soil thermal properties. Soil Sci. Soc. Am. J. 65: 1641-1647.
- Usowicz B. Kossowski J. and Baranowski P. 1996. Spatial variability of soil thermal properties in cultivated fields, Soil Tillage Res. 39: 85- 100.
- Walczak R. Witkowska-Walczak B. and Sławiński C. 2004. "Pedotransfer studies in Poland". Developments in Soil Science. 30: 449-463.
- Wierenga P.J. Nielsen D.R. and Hagan R.M. 1969. Thermal properties of soil based upon field and laboratory measurements. Soil Sci. Soc. Am. 33: 354-360.

Estimation of soil thermal diffusivity using regression pedotransfer functions

H. Bayat¹ Sh. Sahebi Hamrah², S.F. Eslami³

Associate Professor, Former M.Sc. Student and Ph.D. Student, Department of Soil Science, Bu-Ali Sina University

Abstract

With respect to difficulties of direct measurements of soil thermal diffusivity and unavailability of its data in our country, this property was estimated by using readily available soil data in this study. To do so, 156 soil samples data were used in 5 steps for the estimation of thermal diffusivity. In each model, thermal diffusivity were used as a dependent variable and different combinations of other variables such as saturation moisture content, organic carbon, bulk density, saturated hydraulic conductivity, clay content and silt to sand ratio, were used as independent variables, based on their availability and the models were developed by linear regression method. The results showed that the best models for estimating thermal diffusivity were a model, with the inputs of clay, silt to sand ratio and saturated hydraulic conductivity and a model, with the inputs of clay, silt to sand ratio and saturation water content.

Keywords: Bulk density, Hydraulic properties, Saturation moisture