کاربرد روش ترکیبی کریجینگ- رگرسیون چند متغیره خطی در برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع خاک

بیژن خلیل مقدم[1*]، پرستو میساقی[2]،شجاع قربانی دشتکی[3]

1- استادیار گروه خاکشناسی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان.

2- دانشجوی کارشناسی ارشد خاکشناسی دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات خوزستان.

3- استادیار گروه خاکشناسی، دانشگاه شهرکرد.

* آدرس پست الکترونیکی مکاتبه کننده (moghaddam623@yahoo.ie)

چکیده

شبیه‌سازی فرسایش خاک در حوزه‌های آبخیز اغلب به دلیل عدم اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع (Ks) با مشکل مواجهه می‌گردد. که لازم است به اطلاعات از منابع دیگر استناد کرد. این مطالعه با هدف پیش بینی این پارامتر با استفاده از روش ترکیبی کریجینگ-رگرسیون چند متغیره خطی انجام شده‌است. منطقه مورد مطالعه بر اساس نقشه های زمین شناسی، توپوگرافی و کاربری و قابلیت اراضی 14 واحد کاری ایجاد شده است. در کل 90 نمونه در سه تکرار به منظور تعیین تغییرپذیری در هر واحد کاری از عمق های 10-0 و 40-10 سانتی‌متری برداشت گردید. در این مطالعه، سه تابع انتقالی و پیش بینی فضایی رگرسیون چندمتغیره خطی مورد آزمون و بررسی قرار گرفت. از پارامترهای زودیافت شامل خواص لایه رویین و زیرین به انضمام خواص توپوگرافی و پوشش گیاهی: توزیع اندازه ذرات، کربن آلی، چگالی ظاهری، سنگریزه، کربنات کلسیم، شیب، جهت شیب، ارتفاع و شاخص پوشش گیاهی(NDVI) استفاده گردید. تغییرپذیری مکانی پارامترها با استفاده از تغییرنماها و نسبت اثر قطعه‌ای به کل تغییر نما مورد بررسی قرار گرفت و برای تهیه نقشه های کریجینگ مورد استفاده قرار گرفت. هدایت هیدرولیکی اشباع با استفاده از پارامترهای زودیافت میان یابی شده از طریق نقشه های کریجینگ در توابع انتقالی و پیش بینی فضایی خاک برآورد گردید. از ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، متوسط خطای مطلق (MAE)، میانگین هندسی خطا (GMER)، انحراف معیار هندسی خطا (GSDER) بین مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده ، جهت بررسی کارایی روشهای مختلف استفاده شد. نتایج نشان داد که کارایی عملکرد روش ترکیبی کریجینگ-توابع انتقالی در مقایسه با توابع انتقالی و پیش بینی فضایی خاک بهبود یافته است.

کلمات کلیدی: هدایت هیدرولیکی اشباع، زاگرس، زمین آمار

مقدمه

در سال‌های اخیر استفاده از مدل‌های ریاضی- فیزیکی برای شبیه سازی رواناب و فرسایش،گسترش چشمگیری یافته است. برای کاربرد این مدل ها در مقیاس منطقه‌ای و حوزه آبخیز نیاز به پارامترهای ورودی نظیر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (K_s) می باشد. ولی از آنجا که اندازه گیری مستقیم هدایت هیدرولیکی اشباع پرهزینه و زمان بر می‌باشد، بنابراین تعیین آن را در مقیاس‌های بزرگ بسیار مشکل می‌سازد. برای حل این مشکل از روشهای غیرمستقیم مانند روش ترکیبی زمین آمار- توابع انتقالی (کریجینگ-رگرسیون چند متغیره خطی) استفاده می‌گردد (لاگاچری و مک براتنی، 2006). تحقیقات متعددی در زمینه روش های زمین‌آماری و زمین‌آماری-توابع انتقالی برای برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع انجام شده است. ازجمله: مینگ و همکاران (2007) از روش ترکیبی زمین آماری- شبکه عصبی مصنوعی برای برآورد خواص هیدرولیکی استفاده نمودند. نتایج این محققین نشان داد که استفاده از روش

ترکیبی باعث بهبود کارایی تخمین گردید. بنابراین در این تحقیق از روش زمین‌آماری کریجینگ-رگرسیون چند متغیره خطی در برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع استفاده می‌گردد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه بخشی از مراتع منطقه حفاظت شده شیدا شهرکرد می باشد. این منطقه بر اساس نقشه توپوگرافی، زمین شناسی، کاربری اراضی و قابلیت اراضی به واحدهای کاری همگن تقسیم شده است (گان و الریک، 1988). در هر واحد کاری هدایت هیدرولیکی اشباع، توزیع اندازه ذرات خاک، چگالی ظاهری، کربن آلی، خواص توپوگرافی و شاخص NDVI مورد اندازه گیری قرار گرفت. برای ایجاد توابع انتقالی و پیش بینی فضایی خاک از روش رگرسیون چندمتغیره خطی استفاده گردید. برای این کار با استفاده از نرم افزار آماری SAS توابع انتقالی و پیش بینی فضایی خاک هدایت هیدرولیکی اشباع خاک ایجاد گردید. در این پژوهش سه مدل از داده های زودیافت برای هدایت هیدرولیکی اشباع خاک مورد بررسی قرار گرفته است (جدول1). با استفاده از نرم افزار GS^+ (نسخه‌ی 5) تغییرنمای تجربی برای پارامترهای هدایت هیدرولیکی اشباع، توزیع اندازه ذرات خاک، چگالی ظاهری و کربن آلی محاسبه شد و ساختار مکانی داده‌ها در کل پهنه‌ی مطالعاتی بررسی شد. در این پژوهش چگونگی توزیع پارامترهای هدایت هیدرولیکی اشباع، توزیع اندازه ذرات خاک، چگالی ظاهری و کربن آلی با استفاده از آزمون نرمال بودن به روش کولموگروف - اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های با توزیع نرمال برای تجزیه و تحلیل‌های بعدی به‌کار گرفته شد. در فرآیند تجزیه ساختاری، مدل‌های استاندارد به تغییرنماهای تجربی به‌دست آمده برازش داده شد و بهترین مدل برای هر پارامتر انتخاب گردید. برای استفاده از روش‌های زمین‌آماری در برآورد کمیت مورد نظر، ساختار مکانی کمیت مورد نیاز است. در این پژوهش از مدل‌های برازش داده شده بر تغییرنماهای تجربی پارامترهای هدایت هیدرولیکی اشباع، توزیع اندازه ذرات خاک، چگالی ظاهری و کربن آلی به منظور برآورد این پارامترها به روش کریجینگ معمولی استفاده شد. بنابراین، با استفاده از پارامترهای مدل‌های به‌دست آمده و نرم‌افزار زمین‌آماری GS^+ نقشه‌ی میان‌یابی شده‌ی پارامترهای مقاومت برشی، هدایت هیدرولیکی اشباع، توزیع اندازه ذرات خاک، چگالی ظاهری و کربن آلی تهیه گردید. مقدار هر کدام از پارامترهای زودیافت را با استفاده از نقشه میان یابی محاسبه کرده و مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع را بوسیله توابع انتقالی و پیش بینی فضایی خاک ایجاد شده برآورد شد. کارایی روش کریجینگ- رگرسیون چندمتغیره خطی در برآورد پارامترهای هدایت هیدرولیکی اشباع، توزیع اندازه ذرات خاک، کربن آلی، کربنات کلسیم و چگالی ظاهری با محاسبه‌ی آماره‌های میانگین خطای مطلق (MAE)، میانگین هندسی نسبت خطا (GMER)، انحراف معیار هندسی نسبت خطا (GSDER) و ریشه‌ی میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده ارزیابی شدند.

جدول1- ویژگی های زود یافت مورد استفاده برای ایجاد توابع انتقالی و توابع پیش بینی فضایی خاک

مدل	شماره	متغیرها
هدایت هیدرولیکی اشباع خاک	1	ویژگی‌های لایه رویین خاک: توزیع اندازه ذرات ، مقدار کربن آلی، چگالی ظاهری، مقدار کربنات کلسیم و درصد سنگریزه خاک
	2	ویژگی‌های لایه رویین و زیرین خاک: توزیع اندازه ذرات، مقدار کربن آلی، چگالی ظاهری، مقدار کربنات کلسیم و درصد سنگریزه
	3	شیب، جهت شیب، ارتفاع و NDVI به همراه ویژگی‌های فیزیکی لایه رویین خاک

نتیجه‌گیری

به‌منظور بررسی ساختار مکانی پارامترهای هدایت هیدرولیکی اشباع، توزیع اندازه ذرات خاک، کربن آلی، کربنات کلسیم و چگالی ظاهری ، تحلیل‌های زمین‌آماری با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده انجام گردید. بنابراین، آزمون نرمال بودن پارامترهای مذکور انجام شد. نتایج بدست آمده نشان داد توزیع پارامترهای کربن آلی و چگالی ظاهری نرمال بوده است، اما توزیع پارامترهای هدایت هیدرولیکی اشباع، توزیع اندازه ذرات خاک و کربنات کلسیم نبوده است، و داده‌های با توزیع نرمال برای تجزیه و تحلیل‌های بعدی به‌کار گرفته شد.

برای بررسی ساختار مکانی هدایت هیدرولیکی اشباع از تغییرنمای همه جانبه که بیانگر متوسط تغییرات مکانی پارامتر K_s در تمام راستاها است، استفاده گردید. تغییرنمای همه جانبه نشان می‌دهد همبستگی مکانی پارامتر K_s پس از رسیدن به شعاع 4000 متر، حالت تصادفی پیدا کرده است. پس از محاسبه‌ی تغییرنمای تجربی، تغییرنمای تئوری این پارامتر با برازش مدل‌های مختلف به داده‌ها تعیین گردید. مجموع مربعات خطا و ضریب رگرسیونی این مدل به ترتیب 0/000026 و 0/49 بوده است. شعاع تاثیر تغییرنما در مدل انتخاب شده برابر 4000 متر بود. از کل تغییرات مربوط به K_s (در کل منطقه)، 56 درصد آن دارای ساختار مکانی بوده و 43 درصد از این تغییرات تصادفی بوده است. ضریب رگرسیونی به‌دست آمده برای K_s در کل منطقه نشان می‌دهد مدل ارایه شده برای آن تنها قادر به توجیه49 درصد از تغییرات تغییرنمای تجربی آن بوده است و دارای ساختار مکانی متوسط می‌باشد.

تغییرنمای سطحی درصد رس، شن، سیلت و سنگریزه نشان می دهد که ناهمسانگردی در پیوستگی مکانی این پارامترها مشاهده می‌گردد و توزیع اندازه ذرات خاک در جهت شیب و عمود بر جهت شیب ساختار مکانی متفاوتی داشته است. به طور مشابه تغییرنمای تجربی کربن آلی، چگالی ظاهری و کربنات کلسیم نیز محاسبه گردید. بر این اساس مدل بهینه برای این سه پارامتر مدل نمایی بوده است. مجموع مربعات خطا و ضریب رگرسیونی این مدل به ترتیب برابر 0/00121، 0/00000641، 0/041 و 0/92، 0/903، 0/89 بوده است. شعاع تاثیر تغییرنما در مدل انتخاب شده برای این دو پارامتر به ترتیب 3000، 6290 و 460 متر برآورد شده است.

در این پژوهش از مدل‌های برازش داده شده بر تغییرنماهای تجربی، هدایت هیدرولیکی اشباع، توزیع اندازه ذرات خاک، کربن آلی، کربنات کلسیم و چگالی ظاهری به منظور برآورد این پارامترها به روش کریجینگ معمولی استفاده شد. به‌منظور تهیه‌ی نقشه‌ی هر کدام از پارامترها، شعاع جستجو برابر با شعاع تاثیر تغییرنمای مربوطه در نظر گرفته شد. برای تعیین تعداد نقطه‌ی بهینه برای شرکت در میان‌یابی پارامتر مربوطه، از روش سعی و خطا استفاده شد. در این روش، ابتدا تعداد نقاط همسایگی مورد نظر انتخاب گردید. سپس با استفاده از روش اعتباریابی متقاطع، به ازای تعداد نقاط همسایگی مختلف، عملکرد روش زمین‌آماری انتخاب شده مورد ارزیابی قرار گرفت. تعداد نقاطی همسایگی که دارای کمترین خطا در برآورد پارامتر مربوطه بود، به عنوان نقاط همسایگی بهینه برگزیده شد.

نقشه میان یابی هدایت هیدرولیکی اشباع نشان می‌دهد که خطوط تراز به هم نزدیک است و ناهمگنی بالا است. این ناهمگنی به دلیل تنوع توپوگرافی، پوشش گیاهی، خاک و تخریب اراضی منطقه می باشد. همین طور نقشه میان یابی توزیع اندازه ذرات نشان می‌دهد که درصد ذرات درشتر از تنوع بیشتری نسبت به ذرات ریزتر برخوردار هستند و از اندازه سنگریزه و شن به طرف رس پراکندگی کمتر می شود و خطوط تراز از همدیگر فاصله می گیرند. که به دلیل شیب و ارتفاع زیاد و تنوع جهت شیب منطقه می‌باشد. نقشه میان یابی کربن آلی نشان می‌دهد که میزان کربن آلی در جهت شیب غالب از جنوب غربی به طرف شمال شرقی افزایش می یابد و نشان دهنده این است که با کاهش شیب و کاهش ارتفاع منطقه، کربن آلی کاهش می‌یابد.

مقایسه روش ترکیبی کریجینگ-رگرسیون چند متغیره خطی در برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع خاک

نتایج ارزیابی عملکرد روش ترکیبی کریجینگ-رگرسیون چند متغیره خطی برای تخمین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در جدول 2 آمده است. مقدار MAE و RMSE نشان می دهد که میزان خطا از مدل 1 به مدل 3 برای K_s کاهش می‌یابد. میزان GMER، GSDER از مدل 1به مدل 3 به یک نزدیک می‌گردد. که نشان می‌دهد مدل 3، روش ترکیبی زمین آماری- توابع انتقالی (کریجینگ-رگرسیون چند متغیره خطی) درای دقت بیشتری است. میانگین واقعی و میانگین تخمینی هم از روند تبعیت می‌کند. مقایسه روش ترکیبی زمین آماری- توابع انتقالی با توابع انتقالی نشان می دهد که این روش باعث بهبود کارایی مدل ها گردیده است. بنابراین می توان از نقشه کریجینگ برای بدست آوردن داده های زودیافت مورد استفاده در توابع انتقالی استفاده نمود.

جدول 6- شاخص‌های ارزیابی عملکرد روش ترکیبی کریجینگ-رگرسیون چندمتغیره خطی در برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع خاک

	ویژگی	MAE	RMSE	GMER	GSDER	میانگین واقعی	میانگین تخمینی
Ks	مدل 1	0/0814	0/793	0/995	1/046	0/279	3/43
	مدل 2	0/0012	0/012	0/995	1/046	0/282	0/416
	مدل 3	0/00083	0/0081	0/997	1/0207	0/533	0/379

منابع

Gunn R. H., and Aldrick J. M, 1988. Australian Soil and Land Survey Handbook: Guidelines for Conducting Surveys. Inkata Press, Melbourne.

Lagacherie P., and Mcbratney A. B, 2006. Chapter 1 spatial soil information systems and spatial soil inference systems: perspectives fordigital soil mapping, *Developments in Soil Science* 31: 3-22.

Ye M., Khaleel R., Schaap M. G., and Zhu J, 2007. Simulation of field injection experiments in heterogeneous unsaturated media using cokriging and artificial neural network. Water Resource Research 43: W07413, doi:10.1029/2006WR005030.