

سَلَامٌ عَلَيْكَ يَا مُحَمَّدٌ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده کشاورزی

پایان نامه کارشناسی ارشد شیمی و حاصلخیزی خاک

پهنه بندی برخی ویژگی‌های خاک در شهرستان ابرکوه و تخمین

نفوذپذیری خاک به کمک شبکه عصبی مصنوعی

ندا ستار فیض آبادی

اساتید راهنما

دکتر علی عباسپور

دکتر وجیهه درستکار

اساتید مشاور

دکتر محمدهادی موحدنژاد

دکتر روزبه مؤذن‌زاده

شهریور ۹۷

تقدیم به:

نیکان نیک اندیش نیکو سرشت

درد زده‌ای باید تا قصه‌ی دردمندان بخواند.

تقدیم به دردمندان درد آشنا.

تقدیم به:

مادر عزیزم،

به پاس تعبیر عظیم و انسانی‌اش از کلمه‌ی ایثار و

از خود گذشتگی‌اش به پاس عاطفه‌ی سـرشار و

گرمای امیدبخش وجودش، که در این سردترین

روزگاران بهترین پشتیبان است.

به پاس قلب بزرگش که فریادرس است و

سرگردانی و ترس در پناهش به شجاعت می‌گراید و

به پاس محبت‌های بی دریغش که هرگز فروکش نمی‌کند.

سپاس گزاری:

سپاس و ستایش بی کران معبودی که به وجود بی وجود هستی بخشید و جسم و جانم را در اقیانوس بیکران لطف و کرمش غریق رحمت و اسعاهش ساخت.

رب جلیلی که به واسطه عطای بی منتش، این بنده غرق گناه را مرهون کرامت بی نظیرش گردانید و به باغستان خشک و عطشناک اندیشه‌ام از دریای بیکران علم و دانش قطره‌ای نوشاند.

خالق بی همتای من، در امواج متلاطم این دریای بیکران، یاری عزیزان فرزانه‌ای چراغ راهم شد که اگر نبود این هدایت و حمایت، هرگز به ساحل مقصود نمی‌رسیدم. از تو می‌خواهم اینک که زبان از تقدیر بازمانده است قلمم را توانا سازی تا مراتب سپاس و قدردانی را به جا آورم از:

استادان فرزانه و کم‌نظیر، جناب آقای دکتر **علی عباسپور** و سرکار خانم دکتر **وجیهه درستکار** و جناب آقایان دکتر **محمدهادی موحدنژاد** و دکتر **روزبه مؤذن‌زاده** که با تواضع وصف ناپذیرشان به ترتیب راهنمایی و مشاوره‌ی این رساله را پذیرفتند.

مادر عزیزتر از جانم که دیده‌ام به دیده‌ی او بیناست و قلبم به شوق او در طپش.

خواهران و برادر مهربانم که مرا مرهون محبت‌های خویش ساختند.

و از جناب آقای **سید علیرضا رسولی شهردار محترم شهرستان ابرکوه** و مسئولین محترم این ارگان که منابع بسیار خوبی را در این زمینه پیش روی من قرار دادند، تشکر و سپاس فراوان دارم.

تعهد نامه

اینجانب ندا ستار فیض آبادی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه پهنه بندی برخی ویژگی های خاک در شهرستان ابر کوه و

تخمین نفوذ پذیری خاک به کمک شبکه عصبی مصنوعی

تحت راهنمایی آقای دکتر علی عباسپور و خانم دکتر وجیهه درستکار متعهد می شوم. تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است. در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است. مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.

کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید. حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.

در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت های آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.

در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

اهمیت بهره‌برداری صحیح و اصولی از منابع محدود آب و خاک بر همگان روشن است. خاک به عنوان یکی از مهم‌ترین عناصر حیاتی نقش مهمی در زندگی موجودات دارد. تخریب اراضی به طور عمده نتیجه استفاده نادرست و مدیریت نامطلوب اراضی و یا به عبارتی "استفاده از اراضی به صورت نامتناسب با قابلیت و پتانسیل آن‌ها" می‌باشد که باعث می‌گردد اراضی از منابعی ابدی و قابل تجدید به منابعی موقتی و آسیب‌پذیر تبدیل شوند. این مطالعه برای بررسی الگوی تغییرات مکانی و پهنه بندی برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی در خاک‌های فضای سبز استان یزد، شهرستان ابرکوه با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و همچنین بررسی امکان تخمین پارامترهای مدل فیلیپ و هورتون و سرعت نفوذ نهایی آب در خاک با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان (SVM) بوده است. برای انجام این پژوهش ۱۰۰ نقطه در فضای سبز شهری انتخاب شد. در تمامی نقاط مورد مطالعه، خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری سطح خاک جمع‌آوری و برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نظیر بافت، هدایت الکتریکی، اسیدیته، و ماده آلی، آهک نفوذپذیری و ... با استفاده از روش‌های استاندارد آزمایشگاهی اندازه‌گیری شد. سپس با بهره‌گیری از قابلیت‌های نرم افزار GIS نسبت به تهیه نقشه پراکنش مکانی اقدام گردید. در نزدیکی نقاط اندازه‌گیری نفوذپذیری خاک به روش استوانه‌ای مضاعف تعیین گردید. نتایج نشان داد که روش میان‌یابی کریجینگ نسبت به روش وزن‌دهی معکوس فاصله عملکرد بهتری داشت. شبکه‌های عصبی پرسپترون چند لایه (MLP) با چهار طراحی با ۳، ۵، ۷ و ۹ ورودی و ماشین بردار پشتیبان با نه ورودی برای برآورد سرعت نهایی نفوذ و پارامترهای مدل‌های نفوذ به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که در برآورد پارامترهای مدل فیلیپ و هورتون شبکه‌های طراحی شده با نه پارامتر ورودی بیش‌ترین ضریب تبیین و کم‌ترین خطا را نسبت به سایر شبکه‌های طراحی شده بیش‌ترین کارایی را داشتند. نتایج آنالیز حساسیت نشان می‌دهد که حساسیت بهترین مدل MLP و SVM در شبیه‌سازی سرعت نفوذ نهایی به دو پارامتر نسبت جذب سدیم و ماده آلی بیشتر از هفت فاکتور دیگر بوده است. همچنین مدل

SVM با دقت بسیار بالا توانایی تخمین و پیش‌بینی مقادیر نفوذپذیری نهایی خاک‌ها را بر اساس پارامترهای زود یافت خاک دارد و کارایی این شبکه بیش‌تر از شبکه MLP در تخمین سرعت نفوذ نهایی آب به خاک بود.

کلمات کلیدی: پراکنش مکانی، حاصلخیزی خاک، شبکه پرسپترون چندلایه، ماشین بردار پشتیبان

مقالات:

- پهنه‌بندی شوری خاک در اراضی فضای سبز شهرستان ابرکوه با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)
- پهنه‌بندی ماده‌آلی خاک در اراضی فضای سبز شهرستان ابرکوه با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)

فهرست

صفحه	عنوان
فصل اول: مقدمه	
۲	۱-۱- مقدمه.....
۶	۲-۱- مطالعات خاکشناسی.....
۶	۳-۱- ویژگی‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی.....
۸	۴-۱- توانایی‌های شبکه عصبی.....
۹	۵-۱- ضرورت تحقیق.....
۱۰	۶-۱- اهداف.....
فصل دوم: مرور منابع	
۱۲	۱-۲- سابقه تحقیق در ایران.....
۱۴	۲-۲- مطالعه، شناسایی و مکان‌یابی خاک‌ها در دنیا.....
فصل سوم: مواد و روش‌ها	
۲۰	۱-۳- مشخصات منطقه مورد مطالعه.....
۲۰	۱-۱-۳- شرایط آب‌وهوایی.....
۲۰	۲-۳- نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه.....
۲۱	۳-۳- اندازه‌گیری متغیرهای فیزیکی و شیمیایی موثر در حاصلخیزی خاک.....
۲۳	۴-۳- زمین‌آمار.....
۲۵	۵-۳- اعتبارسنجی تخمین‌ها.....
۲۵	۱-۵-۳- ریشه میانگین مربعات خطا.....

۲۵	.....۳-۵-۲-ضریب تبیین
۲۶	.....۳-۶-شبکه عصبی مصنوعی (ANN)
۲۶	.....۳-۶-۱-ویژگی‌های شبکه عصبی مصنوعی
۲۷	.....۳-۷-ماشین بردار پشتیبان (SVM)
۲۸	.....۳-۷-۱-ساخت شبکه‌های مورد استفاده

فصل چهارم: نتایج و بحث

۳۲	.....۴-۱-پارامترهای آماری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک
۳۵	.....۴-۲-بررسی ساختار مکانی و نقشه‌های ویژگی‌های مورد مطالعه
۳۵	.....۴-۲-۱-درصد رس، سیلت و شن خاک
۴۳	.....۴-۲-۲-شوری خاک
۴۷	.....۴-۲-۳-واکنش خاک
۴۹	.....۴-۲-۴-کربن آلی خاک
۵۲	.....۴-۲-۵-درصد آهک خاک
۵۴	.....۴-۲-۶-کلسیم خاک
۵۸	.....۴-۲-۷-منیزیم خاک
۶۰	.....۴-۲-۸-پتاسیم خاک
۶۳	.....۴-۲-۹-سدیم خاک
۶۶	.....۴-۲-۱۰-تخلخل
۶۹	.....۴-۲-۱۱-نسبت جذب سدیم
۷۱	.....۴-۲-۱۲-نفوذ
۷۳	.....۴-۳-برآورد سرعت نفوذ آب به خاک توسط شبکه عصبی
۷۸	.....۴-۴-ماشین بردار پشتیبان

۴-۵- آنالیز حساسیت مدل‌های مورد مطالعه..... ۷۹

فصل پنجم: نتیجه‌گیری

۵-۱- نتیجه‌گیری..... ۸۴

۵-۲- پیشنهادها..... ۸۶

منابع..... ۸۷

فهرست جداول

صفحه	عنوان
جدول ۱-۳-۲۲.....	خلاصه‌ای از مدل‌های نفوذ مورد استفاده در مدل‌سازی نفوذ آب به خاک
جدول ۱-۴-۳۲.....	توصیف آماری متغیرهای فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده در عمق سطحی خاک
جدول ۲-۴-۳۶.....	بررسی کارایی مدل‌های مختلف وریوگرام برای درصد رس
جدول ۳-۴-۳۶.....	بررسی کارایی مدل‌های مختلف وریوگرام برای درصد شن خاک
جدول ۴-۴-۳۶.....	بررسی کارایی مدل‌های مختلف وریوگرام برای درصد سیلت خاک
جدول ۵-۴-۳۸.....	ارزیابی خطا با روش‌های مختلف میان‌یابی برای تهیه نقشه درصد رس خاک
جدول ۶-۴-۳۹.....	ارزیابی خطا با روش‌های مختلف میان‌یابی برای تهیه نقشه درصد شن خاک
جدول ۷-۴-۳۹.....	ارزیابی خطا با روش‌های مختلف میان‌یابی برای تهیه نقشه شوری خاک
جدول ۸-۴-۴۴.....	بررسی کارایی مدل‌های مختلف وریوگرام برای شوری خاک
جدول ۹-۴-۴۵.....	ارزیابی خطا با روش‌های مختلف میان‌یابی برای تهیه نقشه شوری خاک
جدول ۱۰-۴-۴۷.....	بررسی کارایی مدل‌های مختلف برای وریوگرام واکنش خاک
جدول ۱۱-۴-۴۸.....	ارزیابی خطا با روش‌های مختلف میان‌یابی برای تهیه نقشه واکنش خاک
جدول ۱۲-۴-۵۰.....	بررسی کارایی مدل‌های مختلف برای وریوگرام کربن آلی
جدول ۱۳-۴-۵۱.....	ارزیابی خطا با روش‌های مختلف میان‌یابی برای تهیه نقشه کربن آلی
جدول ۱۴-۴-۵۲.....	بررسی کارایی مدل‌های مختلف برای وریوگرام آهک خاک
جدول ۱۵-۴-۵۳.....	ارزیابی خطا با روش‌های مختلف میان‌یابی برای تهیه نقشه درصد آهک خاک
جدول ۱۶-۴-۵۵.....	بررسی کارایی مدل‌های مختلف برای وریوگرام کلسیم خاک
جدول ۱۷-۴-۵۶.....	ارزیابی خطا با روش‌های مختلف میان‌یابی برای تهیه نقشه کلسیم خاک

- جدول ۴-۱۸- بررسی کارایی مدل‌های مختلف برای وریوگرام منیزیم خاک.....۵۸
- جدول ۴-۱۹- ارزیابی خطا با روش‌های مختلف میان‌یابی برای تهیه نقشه منیزیم خاک.....۵۹
- جدول ۴-۲۰- بررسی کارایی مدل‌های مختلف برای وریوگرام پتاسیم خاک.....۶۱
- جدول ۴-۲۱- ارزیابی خطا با روش‌های مختلف میان‌یابی برای تهیه نقشه پتاسیم خاک.....۶۲
- جدول ۴-۲۲- بررسی کارایی مدل‌های مختلف برای وریوگرام سدیم خاک.....۶۳
- جدول ۴-۲۳- ارزیابی خطا با روش‌های مختلف میان‌یابی برای تهیه نقشه سدیم خاک.....۶۴
- جدول ۴-۲۴- بررسی کارایی مدل‌های مختلف برای وریوگرام تخلخل خاک.....۶۶
- جدول ۴-۲۵- ارزیابی خطا با روش‌های مختلف میان‌یابی برای تهیه نقشه تخلخل خاک.....۶۷
- جدول ۴-۲۶- بررسی کارایی مدل‌های مختلف برای وریوگرام نسبت جذب سدیم.....۶۹
- جدول ۴-۲۷- ارزیابی خطا با روش‌های مختلف میان‌یابی برای تهیه نقشه نسبت جذب سدیم.....۷۰
- جدول ۴-۲۸- بررسی کارایی مدل‌های مختلف برای وریوگرام نفوذ.....۷۱
- جدول ۴-۲۹- ارزیابی خطا با روش‌های مختلف میان‌یابی برای تهیه نقشه نفوذ.....۷۲
- جدول ۴-۳۰- بهترین شبکه‌های عصبی گزینش شده در برآورد سرعت نفوذ نهایی.....۷۴
- جدول ۴-۳۱- نتایج بهترین شبکه‌های پی‌ریزی شده از بین ۴ نوع شبکه مورد مطالعه با معماری‌های مختلف برای برآورده پارامترهای مدل‌های فیلپ و هورتون.....۷۵
- جدول ۴-۳۲- نتایج مدل ماشین بردار پشتیبان در پیش‌بینی سرعت نفوذ نهایی آب در خاک.....۷۸

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۳-۱- نحوه پراکنش داده‌ها در منطق مورد مطالعه.....	۲۱
شکل ۴-۱- وریوگرام درصد رس خاک با مدل گوسی.....	۳۷
شکل ۴-۲- وریوگرام شن خاک با مدل گوسی.....	۳۷
شکل ۴-۳- وریوگرام شن خاک با مدل کروی.....	۳۸
شکل ۴-۴- توزیع مکانی رس خاک با روش میان‌یابی وزن معکوس فاصله.....	۴۰
شکل ۴-۵- توزیع مکانی شن خاک با روش میان‌یابی کریجینگ.....	۴۱
شکل ۴-۶- توزیع مکانی سیلت خاک با روش میان‌یابی کریجینگ.....	۴۳
شکل ۴-۷- وریوگرام شوری خاک با مدل نمایی.....	۴۴
شکل ۴-۸- توزیع مکانی شوری با روش میان‌یابی کریجینگ.....	۴۶
شکل ۴-۹- وریوگرام واکنش خاک با مدل گوسی.....	۴۷
شکل ۴-۱۰- توزیع مکانی واکنش خاک با روش میان‌یابی کریجینگ.....	۴۹
شکل ۴-۱۱- وریوگرام کربن آلی با مدل گوسی.....	۵۰
شکل ۴-۱۲- توزیع مکانی کربن آلی خاک با روش میان‌یابی کریجینگ.....	۵۱
شکل ۴-۱۳- وریوگرام درصد آهک خاک با مدل کروی.....	۵۳
شکل ۴-۱۴- توزیع مکانی درصد آهک خاک با روش میان‌یابی کریجینگ.....	۵۴
شکل ۴-۱۵- وریوگرام کلسیم خاک با مدل کروی.....	۵۵
شکل ۴-۱۶- توزیع مکانی کلسیم خاک با روش میان‌یابی کریجینگ.....	۵۷
شکل ۴-۱۷- وریوگرام منیزیم خاک با مدل گوسی.....	۵۸

- شکل ۴-۱۸- توزیع مکانی کربن آلی خاک با روش میان‌یابی وزن معکوس فاصله..... ۶۰
- شکل ۴-۱۹- وریوگرام پتاسیم خاک با مدل گوسی..... ۶۱
- شکل ۴-۲۰- توزیع مکانی پتاسیم خاک با روش میان‌یابی وزن معکوس فاصله..... ۶۲
- شکل ۴-۲۱- وریوگرام سدیم خاک با مدل کروی..... ۶۴
- شکل ۴-۲۲- توزیع مکانی سدیم خاک با روش میان‌یابی کریجینگ..... ۶۵
- شکل ۴-۲۳- وریوگرام تخلخل خاک با مدل گوسی..... ۶۶
- شکل ۴-۲۴- توزیع مکانی تخلخل خاک با روش میان‌یابی کریجینگ..... ۶۸
- شکل ۴-۲۵- وریوگرام نسبت جذب سدیم با مدل گوسی..... ۶۹
- شکل ۴-۲۶- توزیع مکانی نسبت جذب سدیم با روش کریجینگ..... ۷۰
- شکل ۴-۲۷- وریوگرام نفوذ با مدل نمایی..... ۷۱
- شکل ۴-۲۸- توزیع مکانی هدایت نفوذ با روش میان‌یابی کریجینگ..... ۷۳
- شکل ۴-۲۹- پراکندگی مقادیر اندازه‌گیری و تخمینی مربوط به برآورد سرعت نفوذ نهایی (شکل A)، پارامترهای A (شکل B) و S (شکل C) از مدل فیلپ و همچنین پارامترهای I0 (شکل D)، Ic (شکل E) و K (شکل F) از مدل هورتون توسط بهترین شبکه‌های عصبی مصنوعی مورد مطالعه..... ۷۶
- شکل ۴-۳۰- پراکندگی مقادیر اندازه‌گیری و تخمینی سرعت نفوذ نهایی در بهترین حالت مدل SVM..... ۷۹
- شکل ۴-۳۱- آنالیز حساسیت مدل شبکه عصبی..... ۸۰
- شکل ۴-۳۲- آنالیز حساسیت مدل SVM..... ۸۰

فصل اول

مقدمه

اهمیت بهره‌برداری صحیح و اصولی از منابع محدود آب و خاک بر همگان روشن است. خاک به عنوان یکی از مهم‌ترین عناصر حیاتی نقش مهمی در زندگی موجودات دارد. خاک به عنوان جزئی از طبیعت هم دارای تغییرپذیری ذاتی است که در نتیجه بر همکنش عوامل تشکیل‌دهنده آن است و هم دارای تغییرپذیری غیرذاتی است که حاصل مدیریت، کشت و کار، استفاده از اراضی و فرسایش می‌باشد (ذوالفقاری و حاج عباسی، ۱۳۸۶).

مطالعه کیفیت خاک نه تنها در اراضی زراعی مفید است، بلکه در مراتع، جنگل‌ها و به طور کلی در همه اکوسیستم‌های خشکی حائز اهمیت و قابل کاربرد است (دوران و همکاران، ۱۹۹۶). در دهه‌های اخیر به دنبال رشد بی‌رویه جمعیت دنیا، استفاده بشر از منابع طبیعی خصوصاً اراضی کشاورزی نه بر مبنای قابلیت و استعداد آن‌ها، بلکه بر اساس نیازهای آبی و تکنولوژی عصر خود برنامه‌ریزی شده است که باعث وارد آمدن خسارات جدی به این منابع گردیده است.

تخریب اراضی به طور عمده نتیجه استفاده نادرست و مدیریت نامطلوب اراضی و یا به عبارتی "استفاده از اراضی به صورت نامتناسب با قابلیت و پتانسیل آن‌ها" می‌باشد که باعث می‌گردد اراضی از منابعی ابدی و قابل تجدید به منابعی موقتی و آسیب‌پذیر تبدیل شوند. لذا برای پیشگیری از تخریب بیشتر بایستی قابلیت و استعداد این منابع به خصوص اراضی کشاورزی برای استفاده‌های مورد نظر مطالعه گردد.

به عنوان نقطه شروع هر کشوری می‌بایست فهرستی از منابع خاکی خود تهیه کند که در اغلب کشورها این اطلاعات به صورت نقشه‌های خاک و یا اطلاعات استفاده از اراضی و یا امثال آن یافت می‌شوند. با بهره‌گیری از روش‌های جدید مانند سنجش از دور و یا سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) می‌توان داده‌های مورد نیاز را جمع‌آوری و تبیین کرد تا تصویری مشخص از منابع خاکی هر کشور و در عین حال پتانسیل و محدودیت‌های آن رسم گردد. سپس در مناطقی که در آن‌ها نحوه استفاده از اراضی باید تغییر یابند به آسانی قابل تشخیص خواهد بود.

در مناطق خشک و نیمه خشک به ویژه ایران خاک‌ها با مشکلات مختلف مواجه هستند که بایستی مورد مطالعه قرار گیرند تا با توجه به روند افزایش جمعیت ایران و برای رفع نیاز غذایی مردم از آن‌ها استفاده بهینه به عمل آید (بلک و بل، ۱۹۹۴). در ایران ۳۲/۵ میلیون هکتار از اراضی در مناطق خشک و نیمه خشک با پتانسیل تولید وجود دارند که بدون استفاده باقی مانده‌اند (زینک، ۱۹۹۲). شناسایی خاک اولین گام برای پی بردن به خصوصیات خاک می‌باشد که از این طریق ویژگی‌ها و ارزش اراضی برای کاربری‌های مختلف مشخص می‌شود (اسفندیارپور و باقری، ۱۳۸۵). شناسایی خاک عبارت است از تشریح و بیان خصوصیات خاک در یک منطقه خاص و طبقه‌بندی خاک‌ها براساس یک سامانه طبقه‌بندی استاندارد، به گونه‌ای که حد و مرزهای خاک را مشخص و ترسیم نماید. در هر حال، هدف کلی از شناسایی خاک، فراهم آوری اطلاعات در مورد خاک‌های مختلف سطح زمین می‌باشد (اوری، ۱۹۸۷). نقشه‌های خاکشناسی یکی از اصلی‌ترین منابع اطلاعات خاک در هر کشوری می‌باشند. این نقشه‌ها برای اهداف مختلف مانند کشاورزی پایدار، منابع طبیعی، محیط زیست، منابع آبی و دیگر تحقیقات مورد استفاده قرار می‌گیرند. بهره‌برداری بیشتر از این منابع حیاتی نیازمند مدیریت و برنامه‌ریزی بهینه برای استفاده از سرزمین می‌باشد. این نقشه‌ها برآورد مناسبی از ظرفیت تولید انواع محصولات زراعی رادر سراسر جهان ارائه می‌دهند (صالحی و خادمی، ۱۳۸۷).

از مهم‌ترین ویژگی‌های خاک در مناطق خشک و نیمه خشک می‌توان به ماده آلی، هدایت الکتریکی، غلظت عناصر شوری، بافت، ساختمان، چگالی ظاهری، تخلخل، هدایت هیدرولیکی و نفوذپذیری خاک اشاره نمود. تهیه نقشه این عناصر به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک که از منابع آبی محدودی برخوردار می‌باشند، در مدیریت خاک ضروری به نظر می‌رسد. نفوذپذیری یکی از مشخصات فیزیکی خاک در این مناطق بوده که در مسایل آبیاری و زهکشی اهمیت خاصی دارد.

دستیابی به مدیریت صحیح آبیاری، ذخیره رطوبتی مطلوب خاک در مناطق خشک، عملکرد زراعی قابل قبول و سامانه پایدار حفاظتی خاک تابع نفوذپذیری خاک است (قربانی دشتکی و

همکاران، ۱۳۸۱). به طور کلی عوامل زیادی در سرعت نفوذ آب به خاک موثر می‌باشند. از جمله این عوامل می‌توان به بافت، ساختمان، رطوبت اولیه و مواد آلی خاک اشاره نمود (کاشی و همکاران، ۱۳۹۲). به طور کلی خصوصیات خاک دارای تغییرات مکانی و زمانی از مقیاس‌های کوچک تا بزرگ می‌باشد که تحت تأثیر خصوصیات ذاتی و خصوصیات غیرذاتی خاک قرار می‌گیرد (ایوبی و همکاران، ۱۳۸۶). روش‌های اندازه‌گیری این ویژگی‌ها برای یک منطقه وسیع هزینه زیادی به دنبال دارد و لازم است تا توزیع مکانی این عناصر به نوعی تخمین و برآورد شود (سان و همکاران، ۲۰۰۳).

به‌دست آوردن توزیع مکانی و نقشه خصوصیات خاک دارای اهمیت چشم‌گیری بوده و برای مدیریت کامل خاک و ارزیابی محیط زیست و همچنین برای مدیریت کوددهی و عناصر غذایی در خاک و کنترل آلودگی مورد استفاده قرار می‌گیرد (لماس و همکاران، ۲۰۰۹). یکی از ابزارهای مهم برای بررسی خصوصیت خاک‌های یک منطقه زمین‌آمار می‌باشد (کمباردلا و همکاران، ۱۹۹۴). این روش قادر به ارائه نقشه‌های پهنه‌بندی با دقت معلوم از ویژگی‌های خاک و ارتباط آن با تولید محصولات کشاورزی بوده و در نتیجه می‌توان از آن برای مدیریت صحیح اراضی بهره برد (زمانی و همکاران، ۱۳۸۶).

از ابزارهای کاربردی در تکنیک‌های زمین‌آمار می‌توان سامانه اطلاعات جغرافیایی را نام برد که یک سیستم الکترونیک برای کسب اطلاعات جغرافیایی است. این سیستم کلیه اطلاعات جمع‌آوری شده را به صورت لایه آماده و پس از تفکیک و کنترل داده‌ها کلیه اطلاعات توصیفی و مکانی مورد نیاز را استخراج می‌نماید. علاوه بر دسترسی سریع و صحیح به داده‌های مورد نیاز در یک حجم وسیع، استفاده از این نرم افزار، امکان ارائه و به تصویر کشیدن اطلاعات مکانی و موضوعی در قالب نقشه، جدول و نمودار و نیز امکان استفاده از داده‌ها در برای اهداف مختلف و بر اساس نیازهای گوناگون کاربران را فراهم می‌نماید.

شبکه‌های عصبی مصنوعی یکی دیگر از ابزارهای قدرتمند برای برآورد ویژگی‌های خاک می‌باشد. شبکه‌های عصبی مصنوعی یک ساختار شبکه‌ای بوده که از تعدادی عناصر مرتبط به هم به

نام نرون تشکیل شده که مهمترین بخش شبکه‌های عصبی می‌باشند. این شبکه‌ها از لایه‌های ورودی، پنهان و خروجی تشکیل شده است. در هر لایه یک یا چند عنصر پردازشگر (نورون) وجود دارد که عملکرد آن‌ها مشابه عملکرد نورون‌های مغز انسان می‌باشد (لیچ و همکاران، ۲۰۰۲).

با توجه به پیشرفت‌های بشر در فناوری و جایگزینی روش‌های مدرن و با سهولت بیشتر با روش‌های سنتی و بعضاً پردردسر و پرهزینه بحث اندازه‌گیری نیز از این قائله مستثنی نیست و باید پیشرفت‌های لازم در این بستر نیز صورت گیرد. با توجه به همین مسئله مطالعه حاضر هدف‌گذاری شده است. بحث اندازه‌گیری میزان نفوذ از مباحث پردردسر و پرهزینه‌ای است که باید برای آن چاره‌ای اندیشیده شود. مدل‌های هوشمندی که امروزه از آن‌ها در تمام علوم استفاده‌های وافر می‌شود بستری را فراهم آورده‌اند که می‌توان از آن‌ها برای کاهش هزینه‌ها و صرفه‌جویی در وقت استفاده کرد. به‌طور کلی روش‌های متعددی مانند رگرسیون و شبکه‌های عصبی مصنوعی برای توسعه روش‌های پیش‌بینی مورد استفاده قرار می‌گیرند. شبکه‌های عصبی مصنوعی، کلاسی از تکنیک‌های داده محور است که به عنوان یک ابزار جایگزین برای روش‌های سنتی در مدل‌سازی سیستم‌های دینامیکی غیرخطی به کار گرفته می‌شوند. شبکه‌های عصبی مصنوعی در زمینه‌های بسیاری، از جمله سیستم‌های هیدرولوژیکی (راجای، ۲۰۱۱، الویسی و فرانچینی، ۲۰۱۱، مای و سیواکومار، ۲۰۰۹، ادلوی و همکاران، ۲۰۱۱، کوالکنت و همکاران، ۲۰۱۳)، مسائل مربوط به آب‌های زیرزمینی (نیکولاس و همکاران، ۲۰۰۸، چانگ و همکاران، ۲۰۱۳) و ارزیابی کیفیت آب (سین و همکاران، ۲۰۰۹) استفاده شده است.

یکی از توانایی‌های مهم شبکه عصبی مصنوعی پی بردن به روابط پیچیده بدون دانش قبلی از سیستم می‌باشد. با توجه به مطالب گفته شده در مورد اهمیت شناسایی خاک‌ها، مطالعه حاضر با هدف بررسی ویژگی‌های خاک در فضای سبز شهری شهرستان ابرکوه شکل گرفته است. در این راستا ابزارهای مختلف از جمله سامانه اطلاعات جغرافیایی و تکنیک شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده قرار گرفته است.

۱-۲- مطالعات خاکشناسی

مطالعات خاکشناسی مجموعه عملیاتی است که برای جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل داده‌ها، بررسی عوامل کنترل‌کننده تشکیل و پراکنش جغرافیایی خاک‌ها، تشریح خصوصیات، طبقه‌بندی، آزمایش، تهیه نقشه پراکنش جغرافیایی و گزارش فنی خاکشناسی یک منطقه معین طبق استانداردها و ضوابط فنی انجام می‌گیرد (دستورالعمل مطالعات خاکشناسی، نشریه ۴۶۶).

شناسایی خاک، ویژگی‌های خاک‌ها را در منطقه مورد بررسی تشریح می‌نماید، خاک‌ها را براساس یک سامانه طبقه‌بندی استاندارد رده‌بندی می‌کند، حدود و مرز خاک‌ها را روی نقشه ترسیم می‌نماید و رفتار خاک‌ها را برای کاربری‌های مورد نظر پیش‌بینی می‌کند (دستورالعمل مطالعات خاکشناسی، نشریه ۴۶۶).

شناسایی خاک ممکن است با هدف خاص (مانند تهیه نقشه‌های موضوعی شوری، نفوذپذیری، بافت خاک سطحی و نظایر آن) یا با هدف عمومی، که مطالعات، کنترل و نظارت فنی نیز بر آن اساس صورت می‌گیرد، برنامه‌ریزی و انجام شود.

پیش از کشف بزرگ داکوچایف، هیچ‌گونه مفهومی از چگونگی تشکیل خاک در دست نبود. او نخستین دانشمندی بود که نقش عوامل خاک‌سازی را در تشکیل خاک مورد توجه قرار داد و اظهار نمود که خاک، عبارت است از مجموعه‌ای از پیکره‌های طبیعی که دارای افق‌های مختلف و خصوصیات مورفولوژیک گوناگون می‌باشد. این دانشمند معتقد بود که تغییر در هر یک از عوامل خاک‌ساز می‌تواند باعث شود تا ماهیت خاک تغییر کند و باعث ایجاد تنوع در خاک‌ها شود (ینی، ۱۹۴۱).

۱-۳- ویژگی‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی

GIS یک سامانه رایانه‌ای و مجموعه‌ای از سخت‌افزار، نرم‌افزار، داده‌های جغرافیایی و منابع انسانی است که به منظور کسب، ذخیره، پردازش، مدیریت اطلاعات جغرافیایی و نمایش کلیه اشکال اطلاعات با مرجع جغرافیایی طراحی می‌شود. هدف نهایی سامانه اطلاعات جغرافیایی، پشتیبانی برای تصمیم‌گیری‌های بنا شده بر پایه داده‌های جغرافیایی می‌باشد و عملکرد اساسی آن به دست آوردن اطلاعاتی است که از ترکیب لایه‌های متفاوت داده‌ها با روش‌های مختلف و با دیدگاه‌های گوناگون به دست می‌آیند.

با استفاده از GIS می‌توان داده‌ها را جمع‌آوری، طبقه‌بندی، تجزیه و تحلیل و به روز نمود و با انجام تحلیل‌های مکانی، اطلاعات سودمندی از وضعیت مکانی عوامل خاکی و روند تغییرات آن‌ها به دست آورد و به صورت نقشه ارائه نمود (نصرت پور، ۱۳۹۰).

این سامانه علاوه بر اطلاعات توصیفی، امکان ورود اطلاعات پیکسلی و یا برداری را از منابع مختلفی از قبیل نقشه، تصاویر هوایی و ماهواره‌ای، GPS، تجهیزات نقشه برداری و غیره دارد. داده‌های ذخیره شده در این سامانه از جنبه‌های گوناگون ارزیابی و جمع‌بندی می‌شوند و می‌توان آن‌ها را در قالب نقشه‌هایی با مقیاس مناسب و دلخواه، گزارش، جدول و نمودار ارائه نمود.

توانایی مورد نیاز و نمایش نتایج آن به صورت نقشه، جدول و نمودار در کمترین زمان ممکن و دقت بالا، سبب شده این تکنولوژی کامپیوتری مورد توجه بسیاری قرار می‌گیرد. به طوری که امروزه پژوهش‌های متعددی را در زمینه حاصلخیزی خاک از طریق فناوری مذکور در نقاط مختلف جهان شاهد بوده‌ایم (اکبرپور و برزنونی، ۱۳۸۸).

ایجاد ارتباط بین حجم زیادی از اطلاعات و کیفیت بالای تحلیل داده‌ها در کوتاه‌ترین زمان، سبب استفاده وسیع از GIS در زمینه‌های مختلف مانند ارزیابی توان اکولوژیکی، منابع طبیعی، تغییرات محیط زیست، شناخت تخریب‌ها، ضایعات و آلودگی‌ها و از همه مهمتر برنامه‌ریزی منطقه‌ای یا محیط زیست شده است. استفاده از امکانات سامانه اطلاعات جغرافیایی و نقشه‌ها، امکان تلفیق و ادغام

لایه‌های اطلاعاتی را برای دقیق کردن مطالعات و بهینه سازی توصیه و مصرف کود در ابعاد دقیق‌تر فراهم کرده است (میلر، ۲۰۰۸).

۴-۱- توانایی‌های شبکه عصبی

۱-۴-۱- قابلیت یادگیری

نرون یک دستگاه غیرخطی است و در نتیجه یک شبکه عصبی که از اجتماع این نرون‌ها تشکیل می‌شود نیز یک سیستم کاملاً پیچیده و غیرخطی خواهد بود. به علاوه خاصیت غیرخطی عناصر پردازش، در کل شبکه توزیع می‌گردد. پیاده‌سازی یک سیستم با یک نگاشت غیرخطی و یا خطی پیچیده به وسیله یک الگوریتم معمولی و بدون قابلیت یادگیری نیاز به دقت و مراقبت زیادی دارد. در چنین حالتی سیستمی که بتواند خود این رابطه را استخراج کند، بسیار سودمند به نظر می‌رسد. خصوصاً افزودن مثال‌های احتمالی در آینده به یک سیستم با قابلیت یادگیری، به مراتب آسان‌تر از انجام آن در یک سیستم بدون چنین قابلیت است. قابلیت یادگیری یعنی توانایی تنظیم پارامترهای شبکه (وزن‌های سیناپسی)، هنگامی که محیط شبکه تغییر می‌کند و شبکه شرایط جدید را تجربه می‌کند. با این هدف که اگر شبکه برای یک وضعیت خاص آموزش دید و تغییر کوچکی در شرایط محیطی آن (وضعیت خاص) رخ داد، شبکه بتواند با آموزش مختصر برای شرایط جدید کارآمد باشد. دیگر اینکه اطلاعات در شبکه‌های عصبی در سیناپس‌ها ذخیره می‌گردد و هر نرون در شبکه به صورت بالقوه از کل فعالیت سایر نرون‌ها متأثر می‌شود. در نتیجه اطلاعات از نوع مجزا از هم نبوده بلکه متأثر از کل شبکه است.

آنچه که شبکه عصبی فرا می‌گیرد (اطلاعات و یا دانش)، در وزن‌های سیناپسی مستتر می‌باشد. رابطه‌ی یک به یک بین ورودی‌ها و وزن‌های سیناپسی وجود ندارد. می‌توان گفت که هر وزن سیناپسی مربوط به همه‌ی ورودی‌ها است ولی به هیچ یک از آنها به طور منفرد و مجزا مربوط نیست. به عبارت دیگر هر نرون در شبکه، از کل فعالیت سایر نرون‌ها متأثر می‌باشد. در نتیجه اطلاعات توسط

شبکه‌های عصبی پردازش می‌شوند. براین اساس، چنانچه بخشی از سلول‌های شبکه حذف شوند و یا عملکرد غلط داشته باشند باز هم احتمال رسیدن به پاسخ صحیح وجود دارد. اگر چه این احتمال برای تمام ورودی‌ها کاهش یافته، ولی برای هیچ یک از بین نرفته است (منهاج، ۱۳۸۱).

۱-۴-۲- قابلیت تعمیم‌دهی

پس از این که داده‌های اولیه به شبکه آموزش داده شد، شبکه می‌تواند در مقابل داده‌های آموزش داده نشده قرار گیرد و یک خروجی مناسب ارائه نماید. این خروجی بر اساس یک مکانیزم تعمیم که همان درون یابی است، بدست می‌آید. به عبارت روشن‌تر، شبکه تابع نگاشت بین دسته‌های ورودی و خروجی را بدون اینکه دقیقاً بداند چیست، یاد می‌گیرد و الگوریتم را می‌آموزد و یا رابطه تحلیلی مناسب را برای تعدادی نقاط در فضا بدست می‌آورد (منهاج، ۱۳۸۱).

۱-۴-۳- مقاوم بودن شبکه در مقابل خطا

در یک شبکه عصبی مصنوعی هر سلول به طور مستقل عمل می‌کند و رفتار کلی شبکه برآیند رفتارهای محلی سلول‌های متعدد است. این ویژگی باعث می‌شود تا خطاهای محلی از چشم خروجی نهایی دور بماند. به عبارت دیگر سلول‌ها در یک روند همکاری، خطاهای محلی یکدیگر را تصحیح می‌کنند. این خصوصیت باعث افزایش قابلیت مقاوم بودن (تحمل پذیری خطاها) در سیستم می‌گردد (منهاج، ۱۳۸۱).

۱-۵- ضرورت تحقیق

رشد سریع شهرها را می‌توان از بزرگ‌ترین تهدیدکننده‌های محیط زیست برشمرد که تأثیرات آن به ساکنان شهرها یعنی انسان‌ها منتقل خواهد شد و تأثیری بس فرساینده بر روح و جسم انسان شهری باقی خواهد گذاشت (سلطانی، ۱۳۸۷). رشد صنعت و افزایش جمعیت در شهرها، به ساخت و سازهای سوداگرانه‌ای منجر شده است که به موضوعات بهداشتی، تأمین نور کافی و هوای سالم و

فضاهای گذران اوقات فراغت توجه کافی نمی‌کنند. از سوی دیگر، ضرورت ایجاد کاربری‌های جدید شهری، برای پاسخ‌گویی به نیازهای روزافزون شهرنشینان به تدریج باعث کاهش سهم فضای سبز و باغ‌های شهری شده، که پیامد آن محدود شدن دسترسی انسان شهرنشین به طبیعت است. اما بنا به دلایلی، از اوایل قرن بیستم به بعد انسان شهرنشین توجهی دوباره به طبیعت و فضای سبز نشان داد، که نمود عینی آن ایجاد باغ‌های کاربردی به جای باغ‌های تفریحی است که به نیازهای جدید شهروندان پاسخ می‌دهد (کاشانی، ۱۳۸۹).

شهرستان ابرکوه در سال‌های اخیر به دنبال توسعه و ایجاد فضاهای سبز شهری خود بوده که با توجه به خشکی منطقه به مدیریت آب صحیح نیازمند است. با این وجود تاکنون مطالعه گسترده‌ای در ارتباط با ویژگی‌های خاکشناسی اراضی فضای سبز شهرستان ابرکوه انجام نشده و اطلاعات دقیقی از این اراضی در دسترس نمی‌باشد. به منظور بررسی مشکلات پیش رو در برای ایجاد و گسترش فضاهای سبز این شهرستان، پژوهش حاضر صورت گرفت.

۱-۶-اهداف

به طور کلی اهداف این تحقیق را می‌توان به موارد زیر خلاصه نمود :

- بررسی و تهیه نقشه برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در فضای سبز شهری ابرکوه

- برآورد میزان نفوذ خاک به کمک شبکه عصبی مصنوعی و تهیه نقشه نفوذ در اراضی مورد

مطالعه

فصل دوم

مروری بر منابع

۲-۱- سابقه تحقیق در ایران

مطالعات خاکشناسی در ایران از سال ۱۳۳۲ هجری شمسی در اراضی پایاب سدها آغاز گردیده است و نقشه‌های خاک با مقیاس متفاوت در برخی مناطق کشور تهیه شده است (صالحی و خادمی، ۱۳۸۷).

کنعانی و همکاران (۱۳۸۶) در تحقیقی با عنوان تخمین مقادیر شوری حوزه‌ی آبریز رودخانه‌ها به روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی، به کارایی بالای مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی به‌خصوص شبکه‌های با ورودی تأخیر یافته دست یافتند.

سکوتی و همکاران (۱۳۸۶) با هدف ارزیابی و تحلیل تغییرات مکانی شوری خاک و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی شوری، به مقایسه سه روش کریجینگ، کوکریجینگ و میانگین متحرک وزندار در محیط GIS پرداخته و به این نتیجه رسیدند که روش کریجینگ با دقت $0/98$ و نیم تغییرنمای مدل گوسی از دقت بالایی برای پهنه‌بندی برخوردار است.

قربانی دشتکی و همکاران (۱۳۸۸) برای بررسی امکان تخمین پارامترهای مدل‌های فیلیپ، کوستیاکوف، کوستیاکوف - لوییز و هورتون از شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده کردند. اعتبارسنجی مدل‌های نفوذ نشان داد شبکه‌های ایجاد شده برای پارامترهای مدل فیلیپ با میانگین جذر میانگین مربعات خطا معادل $6/664$ سانتی متر، دارای بهترین عملکرد در برآورد نفوذ تجمعی آب به خاک بوده و شبکه‌های پی‌ریزی شده برای مدل‌های هورتون، کوستیاکوف-لوییز و کوستیاکوف به ترتیب در رتبه‌های دوم تا چهارم قرار گرفتند.

ابراهیمی و نایب لوئی (۱۳۸۸) در تحقیقی با عنوان تخمین نفوذپذیری نهایی خاک‌ها با استفاده از مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی، با استفاده از فاکتورهایی نظیر مجموع کلسیم و منیزیم، سدیم، هدایت الکتریکی، درصد ماده‌ی آلی، تخلخل، جرم مخصوص ظاهری، جرم مخصوص حقیقی و اسیدیت، به کارایی بالای مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی حتی با وجود تعداد کم داده‌ها دست پیدا

کردند. البته در این تحقیق مدل رگرسیون خطی کارکرد بالاتری نسبت به مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی دارا بود.

صفاری و همکاران (۱۳۸۸) به مقایسه‌ی روش‌های اِبی کریجینگ و شبکه‌ی عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی تغییرات مکانی برخی از خصوصیات شیمیایی خاک پرداختند. خصوصیات شیمیایی خاک شامل هدایت الکتریکی، کلسیم، منیزیم و پتاسیم بودند. برای مقایسه و بررسی دقت مدل‌ها از پارامترهای میانگین خطای مطلق (MAE)، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب همبستگی (r) استفاده شد. نتایج حاکی از برتری مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی بوده است که از روش پس انتشار خطا برای آموزش کمک می‌گیرد.

همچنین سکوتی و همکاران (۱۳۸۹) برای بررسی تغییرات مکانی عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک، به مقایسه روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و میانگین متحرک وزن‌دار پرداخته و به این نتیجه رسیدند که روش کریجینگ با ضریب همبستگی $0/99$ و نیم تغییر نمای مدل گوسی از دقت بالایی برخوردار بوده و براساس این روش نقشه‌های پراکنش مکانی این عناصر حاصلخیزکننده برای منطقه مورد مطالعه تهیه شد.

اعمی ازغدی و همکاران (۱۳۸۹) به منظور ارزیابی حاصلخیزی خاک بر اساس فاکتورهای فسفر، پتاسیم و مواد آلی برای گندم در دشت شاور استان خوزستان ابتدا درون‌یابی نقاط را با استفاده از مدل IDW در محیط GIS انجام دادند و برای نقشه حاصلخیزی خاک از تکنیک AHP با نرخ سازگاری $0/05$ استفاده کرده و منطقه را از نظر حاصلخیزی در چهار گروه خیلی ضعیف، ضعیف، متوسط و خوب برای کشت گندم قرار دادند.

در تحقیقی ایوبی و همکاران (۱۳۹۴) با بررسی تغییرات مکانی عناصر غذایی پر مصرف خاک شامل فسفر و پتاسیم و ماده آلی خاک با استفاده از روش‌های مختلف زمین‌آماری به برآورد مقادیر این عناصر برای توزیع مناسب کود در دشت ارومیه پرداختند. برای برآورد تغییرات این عناصر در نقاط نمونه‌برداری نشده، از روش‌های کریجینگ، فازی کریجینگ، کوکریجینگ و میانگین متحرک وزن‌دار در

محیط GS⁺ استفاده شد. نتایج به دست آمده نشان داد روش تلفیقی منطق فازی به عنوان روش برتر می باشد که براساس این روش نقشه های پهنه بندی برای فسفر، پتاسیم و کربن آلی در محیط GIS تهیه گردید.

هزارجریبی (۱۳۹۲)، با استفاده از ۶۹ نمونه خاک در محدوده شهرستان گرگان با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی ظرفیت تبادل کاتیونی را با استفاده از پارامترهای زودیافت تخمین زد. امینی و همکاران (۲۰۰۵) با درصد رس و ماده آلی مقدار CEC را برآورد کردند.

از اوایل دهه هشتاد به بعد مناطق وسیعی از کشور (به طور عمده اراضی مستعد کشاورزی) توسط موسسه تحقیقات آب و خاک کشور و بر اساس روش ماهر (۱۹۷۰) مورد مطالعه قرار گرفت. هرچند این روش به منظور طبقه بندی اراضی برای کشت های آبی بنیانگذاری گردیده است، لیکن با توجه به اصول موجود در آن و جداسازی واحدهای فیزیوگرافی، نقشه های خاک بسیاری از مناطق کشور تهیه شده است.

در تحقیقی سرمردیان و همکاران (۲۰۱۰) به ارزیابی و آنالیز تغییرات مکانی کربنات کلسیم خاک سطحی و ارتباط آن با حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاهی پرداختند و نشان دادند که روش کوکریجینگ بیشترین ضریب همبستگی و کمترین خطا را دارد.

۲-۲- مطالعه، شناسایی و مکان یابی خاک ها در دنیا

خاک به عنوان بستر از زمان های قبل از میلاد مورد توجه قرار گرفته است. از قرن نوزدهم به بعد به تدریج خاکشناسی جنبه ی آکادمیک گرفته است. داکوچائف روسی یکی از دانشمندان زمین شناس روسیه بوده است، که از طرف دولت مأمور به دسته بندی و طبقه بندی اراضی کشاورزی برای اخذ مالیات می شود. وی اراضی را به نه دسته تقسیم نمود، تا بتوان مطابق با تولید و توان اراضی مالیات را اخذ نمود.

در سال ۱۹۹۰ مطالعه خاکشناسی ایستگاه تحقیقات مات داپیلی در استرالیا توسط بخش منابع اراضی انجام شد. اطلاعات موجود برای انجام ارزیابی تناسب اراضی ایستگاه برای کشاورزی و دامداری به کار رفت. اطلاعات به دست آمده از مطالعات تناسب اراضی در اختصاص اراضی به پروژه تحقیقات ژنتیک حیوانی و دیگر کاربری‌ها کمک زیادی نمود. این مطالعه پیشنهادهایی برای کنترل شوری، فرسایش و مدیریت مناطق مستعد سیلاب، نوع آبیاری، سطح آب زیرزمینی، مشکل خاک‌ها، نیازهای حیوانات وحشی و اختصاص اراضی برای چرای دام ارائه نموده است. اطلاعات به دست آمده از این گزارش در انجام برنامه‌های بخش حفاظت خاک بکار رفته که این برنامه، باروری درازمدت اراضی این ایستگاه را تضمین نمود (فیشر و همکاران ۱۹۹۰).

پچپسکی و همکاران (۱۹۹۶) با استفاده از داده‌های مربوط به ۲۳۰ نمونه خاک، پژوهشی برای بررسی قابلیت توابع انتقالی و شبکه‌های عصبی مصنوعی در برآورد منحنی رطوبتی خاک انجام دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که شبکه‌های عصبی مصنوعی و مدل‌های رگرسیونی، عملکردی مشابه در برآورد منحنی رطوبتی داشته‌اند.

مارسل و همکاران (۱۹۹۸) مدل شبکه عصبی را برای پیش‌بینی ظرفیت نگهداری رطوبت و هدایت هیدرولیکی در حالت اشباع از خصوصیات پایه خاک شامل مقادیر شن، سیلت و رس، وزن مخصوص ظاهری، تخلخل و مقادیر گراول استفاده کرده و نتیجه گرفتند که به طور کلی با افزایش تعداد داده‌ها، پیش‌بینی ظرفیت نگهداری رطوبت و هدایت هیدرولیکی در حالت اشباع بهبود می‌یابد و استفاده از این روش به دلیل دقت و میزان انعطاف‌پذیری زیاد در مقابل داده‌های در دسترس، مورد توجه قرار گرفت.

اسخاپ و لای (۱۹۹۸) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی موفق به برآورد پارامترهای مدل‌های ون گنختن (۱۹۸۰) و گاردنر (۱۹۵۸) گردیدند. این پژوهشگران در ابتدا با استفاده از ورودی‌های فراوانی نسبی ذرات، شبکه‌های مورد نظر را طراحی نمودند. سپس به صورت سلسله وار ورودی‌های جدیدی به شبکه‌ها اضافه نمودند و در هر مرحله عملکرد شبکه‌های طراحی شده را مورد ارزیابی قرار

دادند. نتایج این پژوهش نشان داد با ورود متغیرهای جدید به شبکه به عنوان برآورد کننده، عملکرد شبکه در برآورد پارامترهای یاد شده بهبود یافت. با این وجود، این پژوهشگران تفاوتی قابل ملاحظه بین مقادیر اندازه گیری شده و برآورد شده مشاهده نمودند.

کراوچنکو و بولاک (۱۹۹۹) نیز تحقیق مشابهی را در مورد فسفر و پتاسیم خاک در ۳۰ مزرعه بزرگ انجام داده و گزارش نموده است که هر چند هر دو روش کریجینگ و وزن دهی فاصله معکوس نتایج قابل قبولی دارد، اما روش کریجینگ از برتری محسوسی نسبت به روش دیگر برخوردار است.

میناسنی و مک برتنی (۲۰۰۲) برای برآورد پارامترهای مدل ون گنختن در خاک‌های استرالیا از شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده نمودند. این پژوهشگران در طراحی شبکه عصبی مصنوعی تابع هدف جدیدی ارایه نمودند. در این پژوهش به جای این که تابع هدف مورد نظر را با استفاده از پارامترهای ون گنختن تعیین کنند، از مقدار رطوبت برآورده شده از مدل ون گنختن استفاده نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد که تابع هدف ارایه شده اثر قابل قبول در بهبود عملکرد شبکه داشته است.

روبینسون و مترنیچت (۲۰۰۶) دقت روش کریجینگ را برای درون‌یابی برخی خصوصیات خاک شامل pH، هدایت الکتریکی و درصد ماده آلی خاک مورد ارزیابی قرار داده و نتایج آن را با روش‌های وزن دهی فاصله معکوس و نوارهای باریک مقایسه نمودند. در این تحقیق، روش کریجینگ بهترین نتایج را در مورد pH و هدایت الکتریکی نسبت به روش‌های دیگر نشان داده است. ارزیابی روش شبکه عصبی مصنوعی در تعیین پارامترهای مدل نفوذپذیری نیز توسط جین و کومار (۲۰۰۶) انجام و براساس نتایج به دست آمده به این نکته نیز اشاره شده است که برای مقایسه ارجحیت هر یک از روش مدل‌های آماری و یا شبکه‌های عصبی مصنوعی اتکا به پارامتر حداقل میانگین مربعات خطا کافی نبوده و مطالعات گسترده تر آماری پیشنهاد شده است.

نشات و همکاران (۲۰۰۷) عملکرد مدل‌های نفوذ کوستیاکوف، گرین و آمپت، فیلیپ، هورتون و سازمان حفاظت خاک آمریکا در برآورد نفوذ جمعی و سرعت نفوذ اندازه‌گیری شده به روش استوانه‌های مضاعف را مورد مقایسه و ارزیابی قرار دادند. به منظور مقایسه عملکرد مدل‌های نفوذ از

آماره ضریب تبیین استفاده شد. نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که مدل کوستیاکوف مناسب‌ترین مدل برای برآورد نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ می‌باشد.

لامورسکی و همکاران (۲۰۰۸) نیز امکان استفاده از SVMs برای تخمین هدایت هیدرولیکی خاک با استفاده از داده‌های زودیاقت را مورد بررسی قرار دادند و دقت بالای این روش برای برآورد هدایت هیدرولیکی خاک را گزارش کردند.

تواراکاوی و همکاران (۲۰۰۹) ضمن مقایسه روش SVMs با ANNs برای برآورد پارامترهای هدایت هیدرولیکی خاک، دریافتند که ماشین‌های بردار پشتیبان دارای توانایی بالاتری در تعیین مقادیر بهینه پارامترهای هدایت هیدرولیکی خاک هستند.

بیلگیلی (۲۰۱۳) دمای ماهانه خاک را با استفاده از رگرسیون‌های خطی و غیرخطی و روش‌های شبکه عصبی مصنوعی در شهر آدانا ترکیه مدل‌سازی کرد. نتایج مبین آن بود که روش شبکه عصبی عملکرد بهتری نسبت به روش‌های رگرسیونی ارائه نموده است. در مطالعه‌ای دیگر بیلگیلی و همکاران (۲۰۱۳) دماهای خاک یک ایستگاه هدف را با استفاده از دماهای خاک ایستگاه‌های همسایه در ترکیه تخمین زدند. خروجی‌های حاصله مشخص نمود که مدل شبکه عصبی، یک پیش‌بینی ساده و با دقت برای نمایش دمای خاک ارائه نموده است.

لیو و همکاران (۲۰۱۴) قابلیت استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs)، رگرسیون چند متغیره گام به گام و SVMs برای برآورد ظرفیت تبادل کاتیونی خاک را مورد بررسی قرار دادند و بیان کردند که روش SVMs بسیار قویتر از دیگر روشهای مورد مطالعه بود.

فصل سوم

مواد و روش‌ها

۳-۱- مشخصات منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه اراضی فضای سبز شهرستان ابرکوه از استان یزد می‌باشد. شهرستان ابرکوه با وسعت ۵۶۴۱ کیلومترمربع در جنوب غربی شهرستان تفت و استان یزد واقع شده است. این شهرستان از لحاظ مختصات جغرافیایی در محدوده ۵۲ درجه و ۵۸ دقیقه شرقی و ۳۰ درجه و ۴۶ دقیقه شمالی، با ۱۵۵۰ متر ارتفاع از سطح دریا قرار دارد.

۳-۱-۱- شرایط آب‌وهوایی

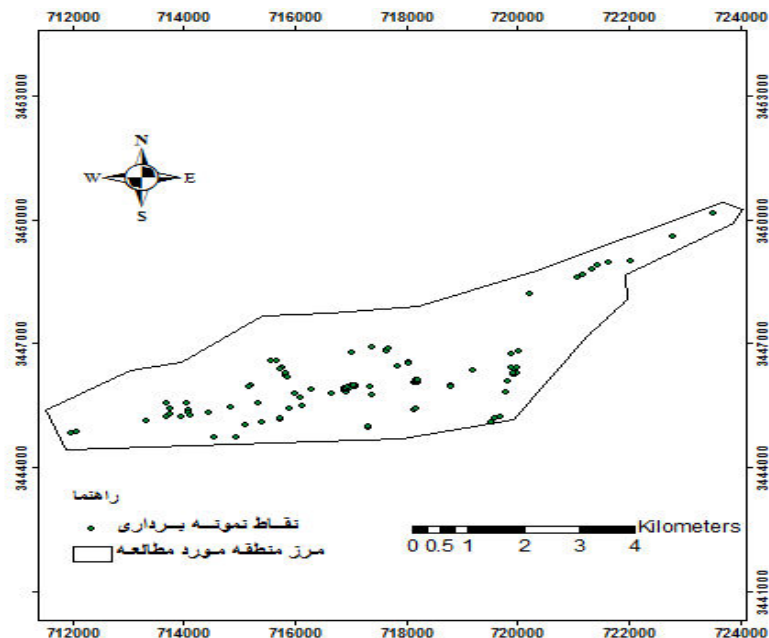
میانگین دما در ابرکوه برابر است با ۱۷/۲ سانتی‌گراد و میانگین بارندگی در این شهر به ۱۲۵ میلی‌متر می‌رسد. در بهمن میزان بارش بیشترین مقدار با میانگین ۳۰ میلی‌متر است. بیشینه و کمینه دما به ترتیب در تیرماه با میانگین ۳۰ درجه سانتی‌گراد و در دی ماه با میانگین دمای ۴/۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

۳-۲- نمونه برداری و آماده سازی نمونه

تعداد نمونه لازم برای تهیه نقشه‌های خاک، متناسب با اهداف و برنامه‌ریزی مدیریت مزرعه و امکانات موجود تعیین می‌گردد. تعداد نمونه بیشتر از آنچه که برای برنامه‌ریزی مدیریت مزرعه لازم است باعث هدررفت وقت و سرمایه خواهد بود. از طرف دیگر تعداد نمونه کم نیز تغییرپذیری متغیرهای مورد نظر را به درستی آشکار نمی‌کند و در نتیجه باعث هدر دادن نهاده‌های کشاورزی خواهد شد (روشنی، ۱۳۹۲).

پس از انتخاب نقاط نمونه‌برداری و مکان‌دار کردن آن‌ها، به منظور اندازه‌گیری متغیرهای فیزیکی و شیمیایی خاک مؤثر در احداث فضای سبز شهری، تعداد ۹۹ نمونه خاک از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری از سطح خاک در منطقه مورد مطالعه جمع‌آوری گردید. برای تعیین موقعیت دقیق

نمونه برداری‌ها از دستگاه مکان‌یاب جهانی (GPS) استفاده گردید. شکل ۳-۱ نقشه پراکنش نقاط نمونه برداری در محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱- پراکنش داده‌ها در منطقه مورد مطالعه

تعداد ۹۹ نمونه خاک بعد از هوا خشک شدن در محیط آزمایشگاه، کوبیده و از الک ۲ میلی متری عبور داده شده و برای آزمایشات فیزیکی و شیمیایی خاک آماده گردید.

۳-۳- اندازه‌گیری متغیرهای فیزیکی و شیمیایی موثر در حاصلخیزی خاک

در این تحقیق برای اندازه‌گیری بافت خاک از روش هیدرومتر (بایکاس، ۱۹۲۷) به عنوان روش استاندارد تجزیه اندازه ذرات استفاده شده است. اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک در عصاره گل اشباع و به ترتیب به کمک دستگاه pH متر و هدایت سنج الکتریکی اندازه‌گیری گردید. برای تعیین کربن آلی خاک از روش والکی و بلک (۱۹۳۴) استفاده شد. برای محاسبه چگالی حقیقی از روش پیکنومتر استفاده شد (نشریه آزمایشگاهی آب و خاک، ۱۳۸۷).

همچنین میزان کلسیم و منیزیم در عصاره اشباع خاک به روش تیتراسیون با EDTA و سدیم و پتاسیم خاک در عصاره اشباع به روش شعله‌سنجی اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری درصد آهک خاک از روش تیتراسیون برگشتی استفاده گردید (نشریه آزمایشگاهی آب و خاک، ۱۳۸۷).
اندازه‌گیری نفوذپذیری خاک با استفاده از روش استوانه مضاعف انجام شد. استوانه‌ها از لوله و یا فولاد صاف به قطر بیش از ۲۵ سانتیمتر و به ضخامت دو میلی‌متر ساخته شد. ارتفاع استوانه میانی حدود ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع استوانه خارجی ۲۵ سانتی‌متر است. درپوش یا صفحه فلزی، برای راندن استوانه‌ها به داخل خاک، استفاده شد. طول درپوش معمولاً ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر بیشتر از قطر بزرگترین استوانه است و چکش یا پتک نیز برای اعمال ضربه به صفحه مورد استفاده قرار گرفت. در تمامی نقاط نمونه‌برداری شده نفوذپذیری نیز اندازه‌گیری شد.

در این پژوهش مدل‌های فیلپ و هورتون برای بیان نفوذ آب به خاک به کار گرفته شده‌اند که خلاصه‌ای از مدل‌ها و پارامترهای مربوطه در جدول ۳-۱ ارائه شده است.

جدول ۳-۱ - خلاصه‌ای از مدل‌های نفوذ مورد استفاده در مدل‌سازی نفوذ آب به خاک

نام مدل	پارامترها	معادله
فیلپ	I (L) نفوذ تجمعی، t (T) زمان، s ($Lt^{1/2}$) ضریب جذبی خاک (تابع مکش خاک)، و K_s ضریبی است که بیانگر هدایت هیدرولیکی منطقه انتقال بوده و مقدار آن کوچکتر و یا مساوی هدایت هیدرولیکی اشباع خاک است	$I = st^{1/2} + k_s t$
هورتون	I (L) نفوذ تجمعی، i_0 (Lt^{-1}) سرعت نفوذ اولیه، i_f (Lt^{-1}) سرعت نفوذ نهایی، β (-) ثابت تناسب، t (T) زمان نفوذ	$I = i_f t + (i_0 - i_f) / \beta * (1 - e^{-\beta t})$

چگالی ظاهری خاک به روش سیلندر، میانگین هندسی قطر ذرات (d_g) و انحراف معیار هندسی

قطر ذرات خاک (σ_g) با استفاده از روابط پیشنهادی توسط شیرازی و بورسما (۱۹۸۴) محاسبه شدند:

$$\alpha = 0.01 \sum_{i=1}^n f_i \ln M_i \quad (1)$$

$$d_g = \exp a \quad (2)$$

$$b = (0.01 \sum_{i=1}^n f_i \ln^2 M_i) - a^2 \quad (3)$$

$$\sigma_g = \exp b \quad (4)$$

که در آن f_i درصد جرمی ذرات خاک بامیانگین قطر μ_i و n تعداد گروه ذرات خاک است. پس از تعیین مجموعه ویژگی‌های مورد نظر، تجزیه آماری داده‌ها توسط نرم افزار SPSS انجام شد.

۳-۴- زمین‌آمار

از اواسط قرن بیستم شاخه‌ای از علم آمار به نام زمین‌آمار پا به عرصه علوم نهاد که امکان پردازش داده‌ها و توصیف مکانی آن‌ها را به وجود آورد. این علم یکی از دقیق‌ترین روش‌هایی است که علاوه بر توصیف تغییرات مکانی و زمانی داده‌ها، قادر به تهیه نقشه‌های کمی پراکنش عناصر با حداقل واریانس ممکن می‌باشد (ایساک، ۱۹۸۹). یکی از فواید بسیار مثبت علم زمین‌آمار برآورد میزان عناصر غذایی موجود در خاک و ارزیابی کیفیت و کمیت پراکنش آن‌ها در خاک می‌باشد. امروزه به منظور تخمین متغیرهای مکانی یک منطقه از روش‌های زمین‌آمار استفاده می‌گردد که بسته به نوع متغیر، دقت متفاوتی را نشان می‌دهند. این علم قادر به ارائه مجموعه وسیعی از تخمین‌گرهای آماری به منظور برآورد خصوصیت مورد نظر در مکان‌های نمونه‌برداری نشده با استفاده از اطلاعات حاصل از نقاط نمونه برداری شده می‌باشد (تاچگران و همکاران، ۱۳۸۶، جوانگ و همکاران، ۲۰۰۰). مک براتنی و وبستر (۱۹۸۳) از جمله اولین کسانی بودند که کاربرد علم زمین‌آمار را برای تخمین پراکنش مکانی خصوصیات شیمیایی و تهیه نقشه حاصلخیزی خاک توصیه نمودند.

تابع وریوگرام ابزار کلیدی در نظریه متغیرهای ناحیه‌ای است و بر اساس این فرض شکل گرفته که سمی واریانس به‌طور نرمال توزیع یافته و داده‌ها از فرضیات پایائی پیروی می‌کنند. وریوگرام

تجربی عبارت است از متوسط مجذور اختلاف بین دو مشاهده $Z(x+h)$ و $Z(x)$ در دو موقعیت مکانی واقع در فضای نمونه برداری است که توسط آرایه h از هم جدا شده‌اند (حسنی‌پاک، ۱۳۸۶).

در این پژوهش برای بررسی توزیع مکانی ویژگی‌ها، ابتدا داده‌های خام در نرم افزار اکسل وارد گردید. سپس با استفاده از نرم‌افزار *variowin 2.21*، مدل‌های گوسین، کروی و نمایی بر پارامترهای مورد نظر برازش داده شد و با توجه به بهترین حالت مشاهده شده در نرم افزار بهترین مدل از بین سه مدل انتخاب گردید و خروجی‌های آن برای استفاده در نرم‌افزار سامانه اطلاعات جغرافیایی استخراج گردید. همچنین شکل مدل برتر در بخش نتایج و بحث نشان داده شده است. پارامترهای اصلی هر واریوگرام شامل *Nugget*، *Range* و *Partial sill* می‌باشد. *Nugget* عبارت است از مقدار واریوگرام به ازای فاصله صفر که هرچه به صفر نزدیک‌تر باشد مطلوب‌تر است. *Range* در واقع فاصله‌ای بوده که در آن واریوگرام به مقدار ثابت می‌رسد و در نهایت *Partial sill* نشان دهنده تغییرات مکانی در یک واریوگرام می‌باشد. از این سه پارامتر برای محاسبه ساختار مکانی به صورت نسبت *Nugget* به مجموع *Partial sill* و *Nugget* استفاده می‌شود.

تکنیک میان‌یابی به معنی تهیه داده‌های پیوسته از طریق داده‌های گسسته است. منطق میان‌یابی بر این اصل استوار است که احتمال شباهت نقاط مجهول به نزدیک‌ترین نقاط معلوم (کمترین فاصله) بیشتر از نقاطی است که از هم دور می‌باشند (هم، ۱۹۸۹). این روش‌ها مجموعه‌ای از مدل‌های مختلف ریاضی و آماری را برای پیش‌بینی مقادیر نامعلوم به کار می‌گیرند.

روش‌های کلاسیک نظیر میانگین حسابی به دلیل در نظر نگرفتن موقعیت و آرایش داده‌ها و همبستگی بین آن‌ها، از دقت کافی برخوردار نمی‌باشند. بنابراین استفاده از تخمینگرهای زمین آماری می‌تواند دقت محاسبات را (به دلیل در نظر گرفتن موارد فوق‌الذکر) افزایش دهد. از مهم‌ترین این فنون می‌توان به روش‌های وزن معکوس فاصله (*IDW*) و کریجینگ (*Kriging*) اشاره کرد. این روش‌ها به راحتی در سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در دسترس هستند و می‌توان با استفاده از درون‌یابی (*Interpolation*) و مقادیر اندازه‌گیری شده، نسبت به برآورد مقادیر در نقاطی که فاقد نمونه هستند

اقدام و داده‌های مربوط به نقاط نمونه برداری شده به تمامی منطقه تعمیم داده شوند. این امر هزینه تهیه نقشه‌ها را به دلیل کاهش نقاط نمونه برداری کم می‌کند. در نتیجه نقشه‌های تهیه شده علاوه بر کاربرد ساده آن دارای اطلاعات بسیار ارزشمند خواهند بود که به مدیریت بهینه اراضی به ویژه جنبه حاصلخیزی خاک کمک شایانی می‌نماید.

در این پژوهش پس از تعیین بهترین مدل زمین‌آماري، داده‌های مربوطه به نرم افزار GIS انتقال یافت و نقشه پراکنش ویژگی‌های مورد مطالعه به روش کریجینگ و وزن معکوس فاصله رسم گردید. برای ارزیابی دقت نقشه‌های ترسیم شده از محاسبه خطا و تعیین ضریب تبیین استفاده شد.

۳-۵-۱- اعتبارسنجی تخمین‌ها

به منظور مقایسه روش‌های میان‌یابی در نرم افزار ArcGIS از پارامترهای آماری ریشه میانگین مربعات خطا (Root Mean Squared Error, RMSE) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد.

۳-۵-۱-۱- ریشه میانگین مربعات خطا:

مقدار RMSE نیز هرچه به صفر نزدیکتر باشد نشان‌دهنده دقت بیشتر روش است. مقدار این پارامتر از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - X_p)^2} \quad (5)$$

۳-۵-۲- ضریب تبیین:

مقدار این ضریب همواره بین صفر و ۱ می‌باشد. هر چه مقدار R^2 بالاتر باشد نشان‌دهنده دقت بیشتر و عملکرد بهتر مدل است که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$R^2 = \frac{\sum(X - \bar{X})}{\sqrt{\sum(X - \bar{X})^2}} \quad (6)$$

در روابط فوق، X_i مقدار مشاهده شده، X_p مقدار برآورده شده، \bar{X} میانگین مقادیر مشاهده شده و n تعداد داده‌های اندازه‌گیری نفوذ است.

۳-۶- شبکه عصبی مصنوعی (ANN)

شبکه عصبی مصنوعی (Artificial Neural Network - ANN) با شناخت توانایی سلول‌های عصبی در مغز انسان و شبیه‌سازی این روند در سیستم‌های کامپیوتری، برای نخستین بار در سال ۱۹۴۳ توسط مک کالوخ (عصب‌شناس) و پیت (ریاضیدان) به وجود آمد و از آنجایی که مفاهیم پایه و مباحث آن از اساس ریاضی قابل اعتمادی برخوردار بود، بعدها به طور گسترده‌ای مورد اقبال عمومی پژوهشگران در مدل‌سازی تجربی فرآیندهای شدیداً غیرخطی قرار گرفت (هایکین، ۱۹۹۹).

۳-۶-۱- ویژگی‌های شبکه عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی سیستم‌ها و روش‌های محاسباتی نوینی هستند که در استنتاج معانی از داده‌های پیچیده یا مبهم برای استخراج الگو و شناسایی روند، مورد استفاده قرار می‌گیرند (هایکین، ۱۹۹۹). شبکه عصبی مصنوعی، تقلیدی از مغز و شبکه اعصاب انسان می‌باشد و به دنبال تهیه ساختاری همانند مغز انسان است که قدرت یادگیری، تعمیم‌دهی و تصمیم‌گیری داشته باشد (منهاج، ۱۳۷۷). در این گونه ساختارها هدف این است که با معرفی عملکرد یک سیستم دینامیکی، مدل را آموزش داده، چگونگی عملکرد در حافظه مدل ذخیره و از آن برای مواردی که قبلاً با آن مواجه نشده است، استفاده شود.

مهم‌ترین مزیت شبکه‌های عصبی مصنوعی نسبت به سایر روش‌ها این است که از توزیع آماری داده‌ها مستقل بوده و نیازمند تعیین یک تابع خاص برای بیان رابطه میان داده‌های ورودی و خروجی

نیست و از طریق فرآیند آموزش به دست می‌آید (اسچاپ و همکاران، ۱۹۹۸). مزیت دیگر نسبت به سیستم‌های هوشمند، قدرت یادگیری آن‌ها در مقیاس خیلی کوچک از محیط پیرامونشان و توانایی تعمیم این یادگیری است. به طور کلی، در این روش سعی می‌شود بر اساس روابط ذاتی میان داده‌ها، مدلی خطی یا غیرخطی بین متغیرهای مستقل و وابسته برقرار گردد. خاصیت تعمیم‌دهی، شبکه را قادر می‌سازد تا ضمن برخورد با تعداد محدودی نمونه، یک قانون کلی از آن به دست آورده و نتایج این آموخته‌ها را به موارد مشاهده شده از قبل تعمیم دهد. امروزه شبکه‌های عصبی مصنوعی به دلیل توانایی شبیه‌سازی فرآیندهای پیچیده که در آن‌ها تعداد عوامل تاثیرگذار زیاد است، در علوم کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند (منهاج، ۱۳۸۱).

۳-۷- ماشین بردار پشتیبان (SVM)

ماشین‌های بردار پشتیبان از جمله روش‌های هوش مصنوعی می‌باشند که از آن‌ها برای طبقه‌بندی و رگرسیون استفاده می‌شود (بسالت پور، ۱۳۹۴).

ماشین‌های بردار پشتیبان (SVMs) از جمله روش‌های یادگیری نظارت‌شونده می‌باشند که از آن‌ها برای طبقه‌بندی و رگرسیون استفاده می‌شود. الگوریتم نوع خاصی از مدل‌های خطی را می‌یابد که حاشیه‌ی ابر صفحه بیشینه شود. بیشینه‌کردن حاشیه‌ی ابر صفحه، منجر به حداکثر شدن تفکیک بین طبقات می‌شود. در واقع، نزدیکترین نقاط آموزشی به حداکثر حاشیه‌ی ابر صفحه را بردارهای پشتیبان می‌نامند که از آن‌ها برای مشخص کردن مرز بین طبقات استفاده می‌شود. اگر داده‌ها به صورت خطی قابل جداسازی باشند، از ماشین‌های خطی برای تولید یک سطح بهینه که داده‌ها را بدون خطا و با حداکثر فاصله‌ی میان صفحه و نزدیکترین نقاط آموزشی (بردارهای پشتیبان) تفکیک می‌نماید، استفاده می‌شود. به منظور مفهوم‌سازی چگونگی عملکرد ماشین‌های بردار پشتیبان، نقاط آموزشی به صورت رابطه‌ی ۷ در نظر گرفته شدند.

$$D = \{(x_i, y_i)\}_{i=1}^n \quad (7)$$

که در این رابطه x_i بردار ورودی بوده که $x_i \in X$ و y_i مقدار مطلوب می‌باشد که $y_i \in R$ است و n تعداد کل الگوهای داده‌ای می‌باشد.

معادله قواعد تصمیم‌گیری به کمک یک صفحه‌ی بهینه برای تفکیک طبقات تصمیم‌گیری

باینری، در صورت امکان تفکیک داده‌ها به شکل خطی به صورت معادله ۸ می‌باشد:

$$y = \text{sign}\left(\sum_{i=1}^n y_i a_i(X, X_i) + b\right) \quad (8)$$

در این رابطه y خروجی معادله، y_i ارزش طبقه‌ی نمونه آموزشی، بردار X نشان‌دهنده‌ی یک

داده‌ی ورودی، بردارهای X_i بردارهای پشتیبان و پارامترهای b و a_i تعیین‌کننده ابر صفحه

هستند. اما در صورتی که داده‌ها به صورت خطی قابل تفکیک نباشند، معادله ۸ به شکل زیر تغییر

می‌یابد:

$$y = \text{sign}\left(\sum_{i=1}^n y_i a_i K(X, X_i) + b\right) \quad (9)$$

در این رابطه $K(X, X_i)$ تابع کرنل بوده که برای ایجاد ماشین‌های با انواع مختلف از سطوح

تصمیم‌گیری غیرخطی در فضای داده‌ها، ضرب‌های داخلی تولید می‌نماید (ونگ و همکاران، ۲۰۰۹).

۳-۷-۱- ساخت شبکه‌های مورد استفاده

در این پژوهش در اولین قدم استانداردسازی داده‌ها برای ورود به شبکه با استفاده از فرمول زیر

انجام گردید.

$$X_n = 0.1 + 0.8 \left[\frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \right] \quad (10)$$

که در آن X_n معرف داده استاندارد شده، X معرف داده‌های مشاهده‌ای، X_{\min} و X_{\max} به ترتیب معرف داده‌های مشاهده‌ای حداقل و حداکثر می‌باشند. سپس داده‌ها برای ورود به شبکه عصبی مصنوعی به صورت تصادفی مخلوط شده و الگوهای آموزش، اعتبارسنجی و آزمون به ترتیب به صورت ۷۰ و ۱۵ و ۱۵ درصد انتخاب گردید. در طراحی شبکه عصبی از روش سلسله‌ای استفاده گردید. بدین صورت که در شبکه اول (ANN_1) تنها از ویژگی‌های فراوانی نسبی ذرات خاک به عنوان متغیرهای ورودی استفاده گردید. در شبکه دوم (ANN_2) چگالی ظاهری خاک و تخلخل کل به ورودی‌های شبکه ANN_1 اضافه گردید و شبکه ANN_2 را ایجاد نمود. به همین ترتیب برای ایجاد شبکه سوم (ANN_3) ماده آلی و نسبت جذب سدیم به ورودی‌های قبلی اضافه شد و در نهایت برای ایجاد شبکه چهارم (ANN_4) میانگین هندسی قطر ذرات و انحراف معیار هندسی به شبکه افزوده شد.

یک شبکه عصبی پرسپترون پیش‌خور سه لایه قادر است روابط موجود بین لایه ورودی و خروجی را تشخیص دهد و مدل کند. باتوجه به قابلیت این شبکه در این پژوهش از آن برای برآورد میزان نفوذ آب در خاک و پارامترهای مدل‌های نفوذ به کمک الگوریتم آموزشی لوبنبرگ-مارکوآردت استفاده شد. برای اجرا، آموزش و آزمون شبکه از نرم افزار MATLABR2016a استفاده شد. به منظور بهینه‌سازی شبکه عصبی مورده استفاده از آزمون و خطا استفاده شد و تعداد نوروهای لایه پنهان و نوع تابع آستانه مشخص و بهینه شد. به همین منظور، برای پیش‌بینی سرعت نفوذ نهایی و هرکدام از پارامترهای دو مدل هورتون و فیلیپ، شبکه‌هایی با ۲ تا ۱۵ نورون و در ترکیب با دو تابع آستانه $tansig$ و $logsig$ در لایه مخفی طراحی و مورد آزمون قرار گرفت.

همچنین برای پیش‌بینی میزان نفوذ نهایی با استفاده از نه پارامتر ورودی مورد اندازه‌گیری شامل درصد شن، سیلت، رس، ماده آلی، نسبت جذب سدیم، چگالی ظاهری، تخلخل، میانگین

هندسی قطر ذرات و انحراف معیار هندسی از مدل ماشین بردار پشتیبان نیز استفاده شد. مدلسازی ماشین بردار پشتیبان به کمک نرم افزار 12 Clementine انجام شد.

در مطالعه حاضر برای برآورد سرعت نفوذ نهایی آب در خاک با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان ۸۰ درصد داده‌ها برای ساخت و آموزش مدل، ۱۰ درصد اعتبارسنجی و ۱۰ درصد باقی مانده برای آزمون کارایی مدل استفاده شد. در مرحله بعد مقادیر بهینه مشخصه‌های مدل SVM شامل ϵ و c با آزمون و خطا تعیین گردید. همچنین در این مطالعه تابع کرنل مورده استفاده، تابع RBF انتخاب شد چرا که در اکثر مطالعات از دقت بیشتری برخوردار بود.

$$K(X, X_i) = \exp(-\|X - X_i\|^2 / \sigma^2) \quad (11)$$

در این رابطه σ پهنای باند کرنل می‌باشد (بائوفنگ و همکاران، ۲۰۰۸).

همچنین برای انجام آنالیز حساسیت مدل از محاسبه درصد خطا در زمان حذف هر یک از پارامترهای ورودی مدل در مقایسه با مدل کامل استفاده شد. همچنین برای ارزیابی و مقایسه عملکرد مدل‌های مختلف، از ضریب تبیین (R^2) (رابطه ۶) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) (رابطه ۵) بین داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده استفاده شد.

فصل چہارم

نتایج و بحث

۴-۱- پارامترهای آماری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

آزمایشات مورد نظر برای متغیرهای مورد مطالعه بر روی ۹۹ نمونه اخذ شده از عمق سی سانتیمتری سطح خاک به روش‌های استاندارد آزمایشگاهی انجام گرفت. به منظور بررسی چگونگی توزیع داده‌ها و دستیابی به خلاصه‌ای از اطلاعات آماری حداقل، حداکثر، میانگین، دامنه تغییرات، انحراف معیار، واریانس، چولگی و کشیدگی داده‌ها توسط نرم افزار SPSS مورد بررسی قرار گرفت. جدول ۴-۱ توصیف آماری متغیرهای فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده در عمق سطحی خاک را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱ توصیف آماری متغیرهای فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده در عمق سطحی خاک

پارامتر	واحد	کشیدگی	چولگی	حداقل	حداکثر	میانگین	دامنه تغییرات	انحراف معیار	واریانس
Ec	dS/m	-/۶۸۱	۰/۵۷۱	۱/۱۰	۹۹	۱/۴۴	۹۷/۹	۲/۰۹۲	۴۳۷/۹۲
واکنش خاک	-	۰/۴۴	۰/۷۶	۶/۹۸	۸/۸۸	۷/۷۴	۱/۹۰	۰/۳۹۸	۰/۱۵۹
کربن آلی	%	-/۴۱	۰/۸۳۰	۰/۲۸۶	۳/۸۷۰	۱/۶۲	۳/۵۸۳	۰/۸۴	۰/۷۴۲
تخلخل	%	۰/۵۰۱	-/۰۹۷۲	۰/۲۰	۰/۶۸	۰/۵۱	۰/۴۷	۰/۱۴۱	۰/۰۲
سدیم	mg/l	۰/۴۰۷	-/۴۱۵	۱/۰۴	۶/۳۸۲	۹/۳۲	۶/۳۷	۱/۱۴۹	۱/۳۲
کلسیم	mg/l	-/۲۳۷	۰/۳۳۴	۳/۵۵	۳/۹۲۰	۵/۶۲	۳/۸۸۴	۶/۸۷۶	۴/۷۲
منیزیم	mg/l	-/۲۵۱	۰/۳۰۱	۰/۲۵	۲/۵۲	۲/۱۵	۲/۵۲	۴/۰۸	۱/۶۷
پتاسیم	mg/l	۱/۹۲۵	۱/۶۴۷	۰/۳۰	۲۵/۰۳۶	۵/۴۰	۲۴/۷۲	۶/۲۰	۳۸/۴
نسبت جذب سدیم		۲/۴۶	-/۰۹۴	۰/۲۴	۹۰/۵۳	۱۳/۵	۹۰/۲۹	۱/۲۸	۱۶۵
کربنات کلسیم	%	-/۳۸۹	-/۴۰۹	۲۷/۵	۷۵	۵۴/۵	۴۷/۵	۱۰/۵۱۹	۱۱۰/۶۶۱
رس	%	-/۰۲۸	۰/۹۱	۱	۳۴	۱۱/۴۷	۳۳	۸/۶۷	۷۵
شن	%	۰/۴۲۴	۱/۳۷	۱۷	۹۱	۶۳/۸۳	۷۴	۱۷/۴۸	۳۰۳
سیلت	%	۰/۹۷۹	۰/۹۸۱	۶	۵۹	۱۱/۴۷	۳۳	۸/۶۷	۷۵/۳
میانگین هندسی ذرات	mm	-/۰۱۵	۰/۲۳۲	۰/۰۱	۰/۷۰	۰/۲۵	۱	۰/۱۴۸	۰/۰۲۲
انحراف معیار هندسی ذرات		-/۰۵۴	۰/۷۲	۰/۵۸	۲/۰۵	۱/۲۳	۱/۴۷	۰/۳۵	۰/۱۲۷
چگالی ظاهری		۰/۱۲	۰/۵۰	۰/۶۴	۱/۴۶	۱/۰۵	۰/۸۲	۰/۱۷۰	۰/۰۲۹
چگالی حقیقی		-/۰۲۷	۰/۱۱	۱/۷۵	۲/۹۴	۲/۲۲	۱/۱۹	۰/۲۵۲	۰/۶۴

برای بررسی نرمال بودن داده‌ها می‌توان از ضریب چولگی و ضریب کشیدگی داده‌ها استفاده کرد. اگر ضریب چولگی بین مقادیر $+2$ و -2 و ضریب کشیدگی بین مقادیر $+3$ و -3 باشد، داده‌ها نرمال می‌باشد و نیازی به نرمال سازی نیست (جورج و مالری، ۲۰۱۰). برای پارامترهایی که نرمال نبوده نرمال سازی به کمک روش لگاریتمی با استفاده از نرم افزار SPSS انجام گردید. یک

بیشترین میزان درصد رس خاک در منطقه مورد آزمایش ۳۴ و کمترین مقدار رس خاک یک درصد بوده است. میانگین عددی مقدار رس خاک ۱۱/۴۷ درصد و دامنه تغییرات نیز ۳۳ درصد بود. مقدار شن در بافت خاک منطقه مورد آزمایش در کمترین مقدار برابر ۱۷ و در بیشترین مقدار برابر ۹۱ درصد بود. میانگین عددی شن در منطقه مورد آزمایش ۶۳/۸۳ درصد و دامنه تغییرات نیز ۷۴ درصد بود. بیشترین میزان سیلت خاک در منطقه مورد آزمایش ۵۹ درصد و کمترین میزان سیلت خاک در منطقه مورد آزمایش شش درصد می‌باشد میانگین درصد سیلت خاک در منطقه مورد آزمایش ۲۴/۶۹ درصد و دامنه‌ی تغییرات نیز ۵۳ درصد بوده است. میانگین هندسی قطر ذرات خاک در کمترین مقدار برابر ۰/۰۱ و در بیشترین مقدار خود برابر ۰/۷۰ میلی‌متر می‌باشد. همچنین انحراف معیار هندسی ذرات در کمترین مقدار ۰/۵۸ و در بیشترین مقدار خود برابر ۲/۰۵ بود (جدول ۴-۱). این نتایج نشان می‌دهد که توزیع اندازه ذرات خاک در منطقه مورد مطالعه گسترده بوده و یکنواخت نمی‌باشد.

بیشترین میزان واکنش خاک در منطقه مورد مطالعه ۸/۸۸ و کمترین میزان واکنش خاک ۶/۹۸ بود. همچنین میانگین عددی واکنش خاک در منطقه مورد مطالعه ۷/۷۴ بوده است (جدول ۴-۱). میزان شوری خاک منطقه مورد مطالعه در کمترین مقدار برابر ۱/۸ و در بیشترین مقدار ۹۹ دسی زیمنس بر متر می‌باشد. میانگین عددی شوری خاک در منطقه مورد مطالعه برابر ۱۴/۴۴ دسی زیمنس بر متر بود (جدول ۴-۱). مشاهدات بیانگر شوری بالا در برخی از قسمت‌های منطقه مورد مطالعه می‌باشد که از دلایل عمده آن می‌توان به ورود آب‌های با املاح بالا از طریق کانال‌های فاضلاب شهری

به فضای سبز و همچنین شوری ذاتی خاک‌ها به دلیل بارندگی پایین و آلودگی ناشی از دود ماشین‌ها و نشتن املاح ناشی از آن بر برروی گیاهان و خاک فضای سبز منطقه مورد مطالعه اشاره نمود.

درصد کربن آلی در منطقه مورد مطالعه در کمترین مقدار برابر $0/28$ و در بیشترین مقدار نیز $3/8$ درصد بود. همچنین میانگین عددی درصد کربن آلی در منطقه مورد آزمایش $1/61$ درصد نشان داده شد (جدول ۴-۱). با توجه به مشاهدات بالا بودن میزان کربن آلی در برخی از قسمت‌های منطقه مورد مطالعه را می‌توان به دپوی کودهای دامی اضافه شده به فضای سبز توسط شهرداری نسبت داد.

میزان منیزیم خاک در منطقه مورد آزمایش در کمترین مقدار برابر $0/25$ میلی‌گرم محلول و در بیشترین مقدار نیز $2/5$ میلی‌گرم محلول خاک بود. همچنین میانگین عددی میزان منیزیم خاک در منطقه مورد مطالعه $1/69$ نشان داده شد. میزان کلسیم خاک در منطقه مورد آزمایش در کمترین میزان برابر $3/5$ و در بیشترین میزان $3/92$ میلی‌گرم محلول بود و میانگین عددی کلسیم خاک در منطقه مورد مطالعه $3/6$ میلی‌گرم محلول نشان داده شد. بیشترین میزان پتاسیم خاک در منطقه مورد آزمایش برابر $0/3$ و بیشترین مقدار پتاسیم خاک نیز برابر $25/03$ میلی‌گرم محلول خاک بود. همچنین میانگین عددی میزان پتاسیم خاک $5/4$ میلی‌گرم محلول نشان داده شد. میزان سدیم خاک در کمترین مقدار برابر $1/04$ و در بیشترین میزان نیز برابر $6/38$ میلی‌گرم محلول بود. همچنین میزان عددی میانگین سدیم خاک در منطقه مورد مطالعه $4/8$ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک نشان داده شد (جدول ۴-۱). نسبت جذب سدیم خاک در کمترین مقدار برابر $0/24$ و در بیشترین مقدار خود برابر $90/53$ می‌باشد. همچنین میانگین عددی نسبت جذب سدیم در منطقه مورد مطالعه $13/5$ نشان داده شد (جدول ۴-۱). مجموعه این نتایج نشان می‌دهد که یکی از مشکلات منطقه وجود خاک‌های با شوری زیاد و سدیمی می‌باشد.

درصد آهک خاک در منطقه مورد آزمایش در بیشترین مقدار برابر 75 درصد و در کمترین مقدار نیز $27/5$ درصد بود. میزان میانگین عددی درصد آهک خاک در منطقه مورد مطالعه نیز 54 درصد است که بیانگر بالا بودن میزان آهک در برخی از نقاط منطقه مورد آزمایش می‌باشد (جدول ۴-۱).

چگالی ظاهری خاک در بیشترین مقدار برابر ۱/۴۶ و در کمترین مقدار خود برابر ۰/۶۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب بوده است. همچنین میانگین عددی چگالی ظاهری در منطقه مورد مطالعه ۱/۰۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب نشان داده شد (جدول ۴-۱). از دلایل کم بودن آن می‌توان به بالابودن ماده آلی ناشی از اضافه نمودن کود دامی به فضای سبز منطقه اشاره کرد. همچنین رسی بودن خاک‌های این نقاط و عملیات خاکورزی که به تازگی بروی این نقاط صورت گرفته بود. چگالی حقیقی خاک در کمترین مقدار برابر ۱/۷۵ و در بیشترین مقدار خود برابر ۲/۹۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب بوده است. همچنین میانگین عددی چگالی حقیقی در منطقه مورد مطالعه ۲/۲۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب نشان داده شد (جدول ۴-۱). که از دلایل کم بودن آن می‌توان به زیاد بودن ماده آلی ناشی از اضافه نمودن کود دامی به فضای سبز منطقه اشاره کرد. تخلخل خاک در کمترین مقدار برابر ۰/۲۰ و در بیشترین مقدار خود برابر ۰/۶۸ بود. همچنین میانگین عددی تخلخل در منطقه مورد مطالعه ۰/۵۱ است (جدول ۴-۱).

۲-۴- بررسی ساختار مکانی و نقشه‌های ویژگی‌های مورد مطالعه

جداول زیر بهترین مدل وریوگرام را برای پارامترهای مورد آزمایش در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک نشان می‌دهد. با توجه به اعداد خروجی بهترین برازش از بین مدل‌های گوسی، کروی و نمایی انتخاب گردید.

۲-۴-۱- رس، سیلت و شن خاک

جدول ۲-۴ تا ۴-۴ نشان می‌دهد که در بررسی وریوگرام مربوط به درصد رس، شن و سیلت خاک به ترتیب مدل‌های گوسی، کروی و نسبت به سایر مدل‌ها عملکرد بهتری داشته است.

جدول ۲-۴- بررسی کارایی مدل‌های مختلف وریوگرام برای درصد رس

نسبت ساختار مکانی (درصد)	Partial sill	Range	Nugget	خطا	نام مدل
	۵۷/۷۵	۱۸۸۹	۱۹/۵	۰/۰۰۸۲	نمایی
۳۶	۴۷/۷۵	۱۰۵۰	۲۷/۷	۰/۰۰۱۱	گوسی
	۵۰/۲۵	۱۳۳۹	۲۴	۰/۰۰۱۹	کروی

جدول ۳-۴- بررسی کارایی مدل‌های مختلف وریوگرام برای درصد شن خاک

نسبت ساختار مکانی (درصد)	Partial sill	Range	Nugget	خطا	نام مدل
	۲۶۷	۱۶۷۹	۵۷	۰/۰۳۳	نمایی
۳۲	۲۱۰	۹۷۹	۹۹	۰/۰۱۳	گوسی
	۲۰۷	۱۲۶۰	۹۰	۰/۰۲۷	کروی

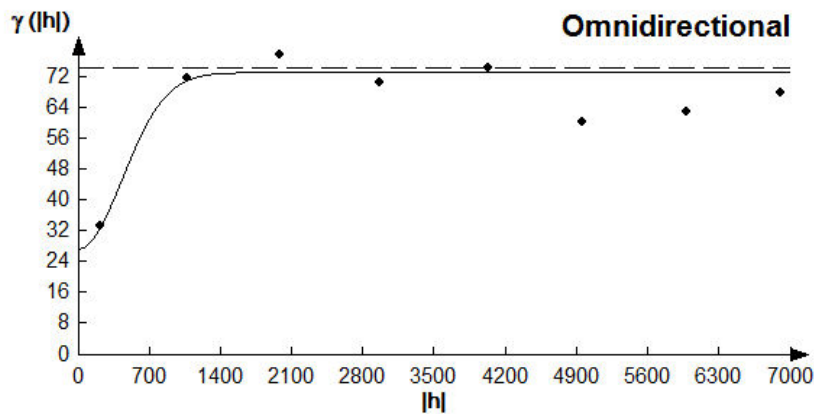
جدول ۴-۴- بررسی کارایی مدل‌های مختلف وریوگرام برای درصد سیلت خاک

نسبت ساختار مکانی (درصد)	Partial sill	Range	Nugget	خطا	نام مدل
	۷۴/۴۹	۱۶۰۹	۳۸/۵	۰/۰۰۹۱	نمایی
	۵۸/۳۰	۹۸۰	۴۹/۵	۰/۰۰۸۱	گوسی
۳۹	۶۴/۸۹	۱۳۲۹	۴۲/۹	۰/۰۰۶۸	کروی

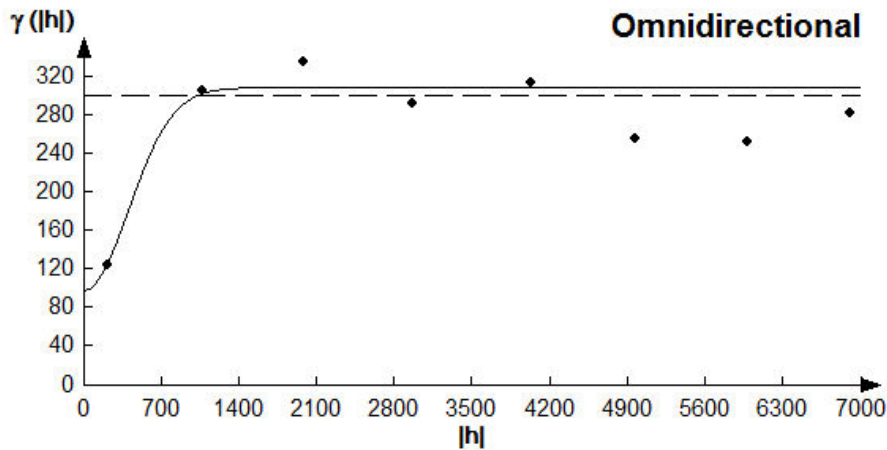
بهترین واریوگرام برای هر سه پارامتر درصد رس، شن و سیلت به ترتیب در شکل‌های ۱-۴، ۲-۴ و

۳-۴ نشان داده شده است. همچنین بررسی ساختار مکانی هر سه پارامتر به کمک نسبت ساختار

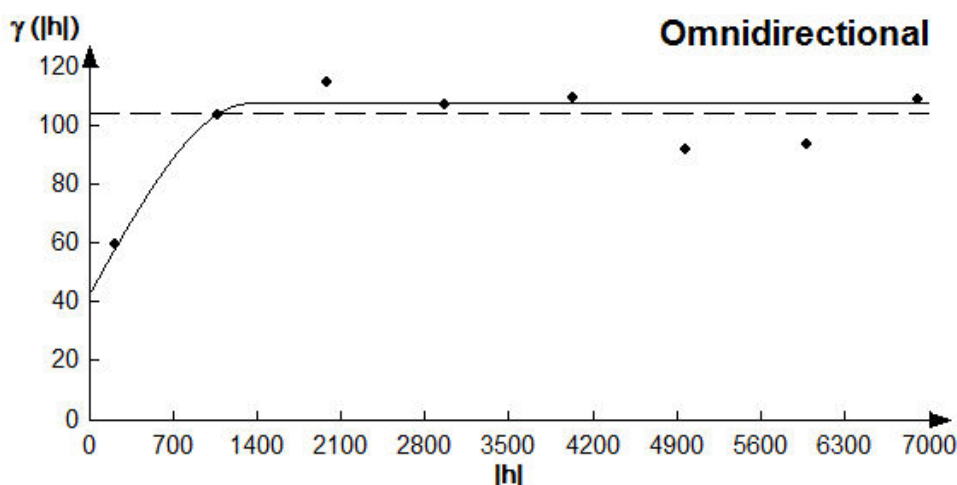
مکانی نشان می‌دهد که هر سه پارامتر دارای ساختار مکانی متوسطی بوده‌اند (جدول ۴-۲ تا ۴-۴). نسبت ساختار مکانی برای طبقه بندی میزان وابستگی مکانی متغیرها به کار می‌رود. اگر این نسبت کم‌تر از ۲۵ درصد باشد وابستگی مکانی متغیر قوی است، اگر بین ۲۵ تا ۷۵ درصد باشد، وابستگی مکانی آن متوسط و اگر بالاتر از ۷۵ درصد باشد، وابستگی مکانی ضعیف می‌باشد (کامباردلا و همکاران ۱۹۹۴).



شکل ۴-۱- وریوگرام درصد رس خاک با مدل گوسی



شکل ۴-۲- وریوگرام شن خاک با مدل گوسی



شکل ۴-۳- وریوگرام سیلت خاک با مدل کروی

جداول ۴-۵ تا ۴-۷ نشان می‌دهد که روش میان‌یابی برای پارامتر درصد رس خاک روش میان‌یابی وزن معکوس فاصله با ضریب تبیین ۰/۴۹ و RMSE برابر ۰/۰۱ بوده و نسبت به روش کریجینگ با ضریب تبیین ۰/۴۳ عملکرد بهتری داشته است. بهترین روش میان‌یابی از بین دو روش کریجینگ و روش میان‌یابی وزن معکوس فاصله برای پارامتر درصد رس خاک در منطقه مورد آزمایش روش میان‌یابی کریجینگ با ضریب تبیین برابر ۰/۵۸ و RMSE برابر ۰/۰۳ نسبت به روش وزن معکوس فاصله عملکرد بهتری داشته است. بهترین روش میان‌یابی برای پارامتر سیلت خاک روش میان‌یابی کریجینگ با ضریب تبیین ۰/۶۱ و RMSE برابر ۰/۰۴ بود و نسبت به روش وزن معکوس فاصله با ضریب کارایی برابر ۰/۴۹ عملکرد بهتری داشته است.

جدول ۴-۵- ارزیابی خطا روش‌های مختلف میان‌یابی برای تهیه نقشه درصد رس خاک

نام پارامتر	روش میان‌یابی	RMSE	R ²
رس	کریجینگ	۰/۰۴	۰/۴۳
	وزن معکوس فاصله	۰/۰۱	۰/۴۹

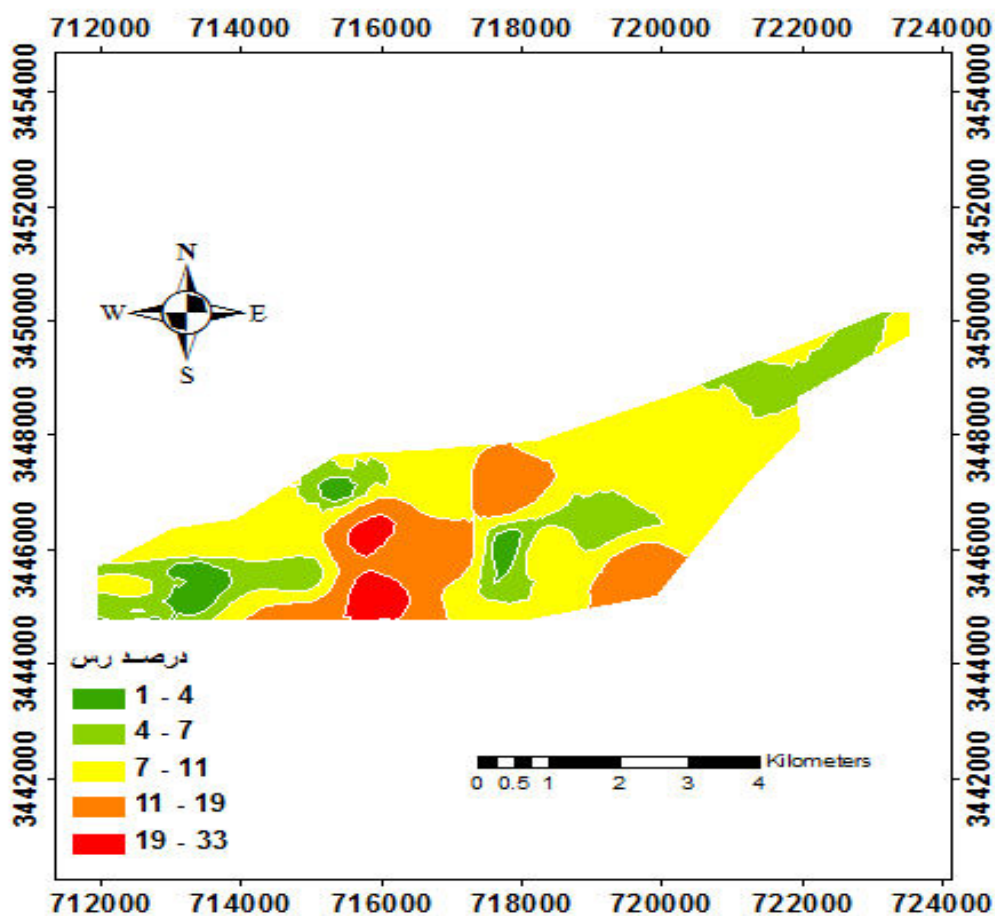
جدول ۴-۶- ارزیابی خطا روش‌های مختلف میان‌یابی برای تهیه نقشه درصد شن خاک

نام پارامتر	روش میان‌یابی	RMSE	R ²
شن	کریجینگ	۰/۰۳	۰/۵۸
	وزن معکوس فاصله	۰/۰۷	۰/۵۱

جدول ۴-۷- ارزیابی خطا با روش‌های مختلف میان‌یابی برای تهیه نقشه شوری خاک

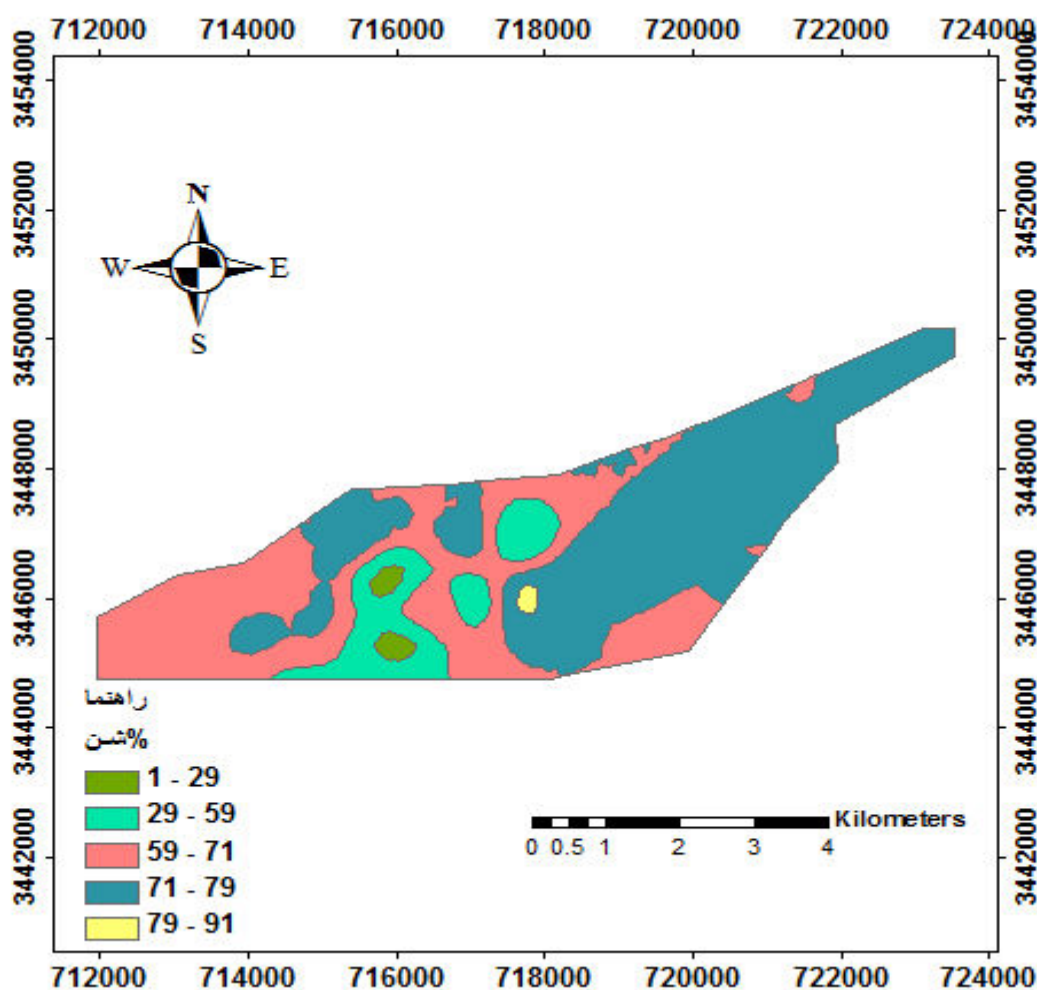
نام پارامتر	روش میان‌یابی	RMSE	R ²
سیلت	کریجینگ	۰/۰۴	۰/۶۱
	وزن معکوس فاصله	۰/۰۸	۰/۴۹

شکل ۴-۴ نقشه توزیع مکانی مقدار رس خاک را نشان می‌دهد. بیشترین درصد رس خاک سه درصد از مساحت کل منطقه مورد را شامل می‌شود که در این مساحت میزان رس خاک بین ۱۹ تا ۳۳ درصد بوده است. همچنین کمترین میزان رس خاک در منطقه مورد مطالعه ۱ تا ۴ درصد بوده است که ۴ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را اشغال کرده است. بیشترین مساحت از منطقه مورد مطالعه میزان رس خاک بین ۷ تا ۱۱ درصد بود که ۵۱ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه بوده است. بیشترین میزان رس بافت خاک در بخش جنوبی و قسمتی از بخش مرکزی منطقه مورد آزمایش مشاهده گردید.



شکل ۴-۴- توزیع مکانی رس خاک با روش میان‌یابی وزن معکوس فاصله

شکل ۴-۵- توزیع مکانی شن خاک رادر منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. بیش‌ترین درصد شن خاک ۱ درصد از مساحت کل منطقه بود که در این مساحت میزان شن خاک بین ۷۹ تا ۹۱ درصد بوده است. همچنین کم‌ترین میزان شن خاک در منطقه مورد مطالعه بین ۱ تا ۲۹ درصد بوده که ۳/۷ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را اشغال نموده است. بیش‌ترین مساحت از منطقه مورد مطالعه میزان شن خاک بین ۵۹ تا ۷۱ درصد بود که ۳۹/۷ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه بوده است.

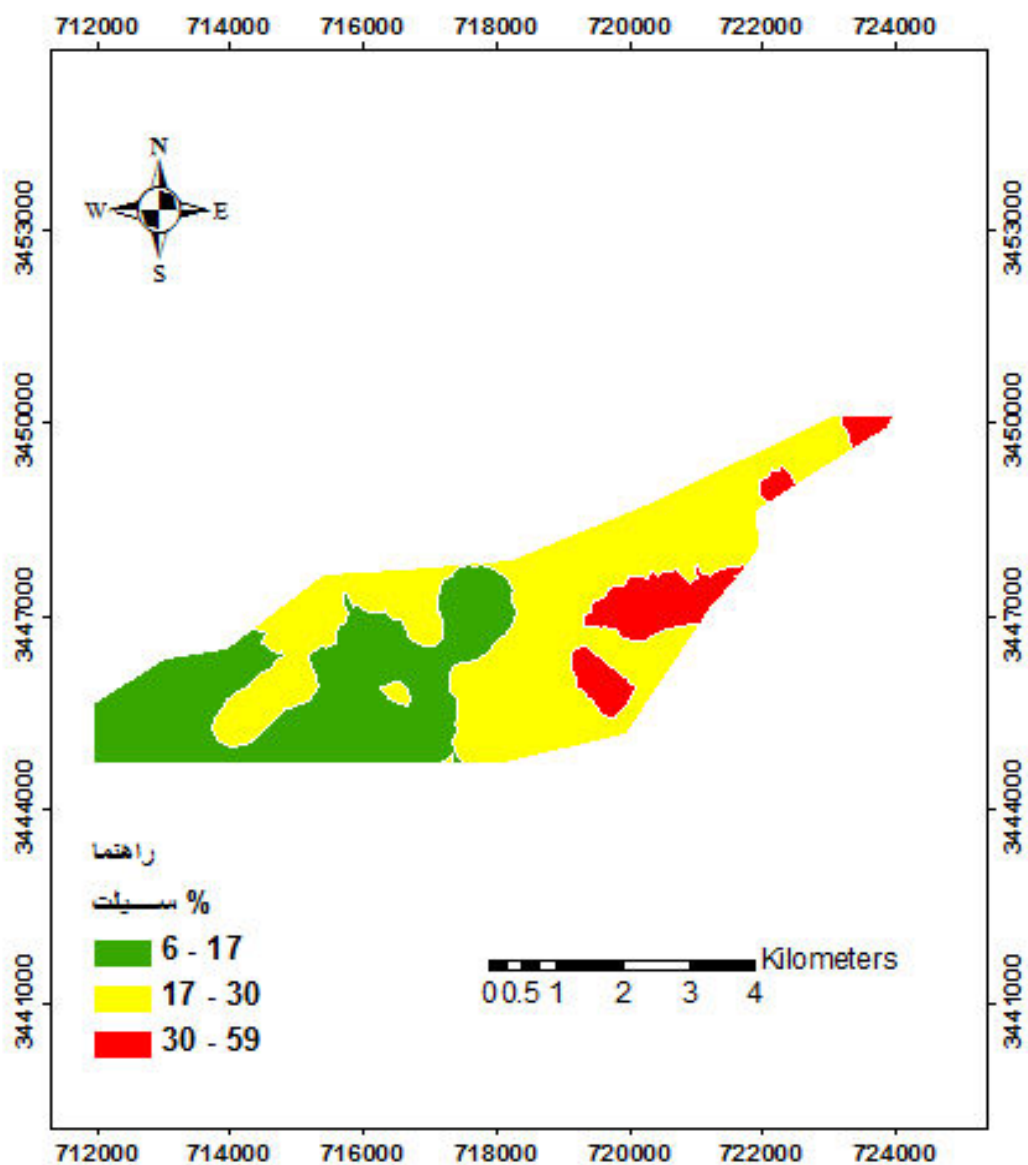


شکل ۴-۵- توزیع مکانی شن خاک با روش میان‌یابی کریجینگ

در مجموع ۹۹ درصد از مساحت کل منطقه مورد آزمایش میزان شن بافت خاک بیش از ۴۰ درصد نشان داده شده است، که نشان می‌دهد خاک منطقه در بیشتر قسمت‌ها دارای بافت سنی است. روند کلی افزایش شن از غرب به شرق منطقه مورد مطالعه بوده است.

شکل ۴-۶- توزیع مکانی سیلت خاک رادر منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. بیشترین میزان سیلت خاک ۲۴ درصد از مساحت کل منطقه بوده است که این میزان بین ۲۴ تا ۵۹ درصد می‌باشد. همچنین کمترین میزان سیلت بافت خاک در منطقه مورد مطالعه هفت درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه بوده است که این میزان بین ۶ تا ۱۷ درصد می‌باشد. بیش‌ترین مساحت از منطقه مورد مطالعه میزان سیلت بافت خاک بین ۱۷ تا ۳۰ درصد بوده که ۳۵ درصد از مساحت کل منطقه مورد

مطالعه بوده است. مشاهدات بیانگر این است که درصد سیلت بافت خاک در غربی‌ترین قسمت منطقه مورد آزمایش کم‌ترین مقدار بوده و با حرکت به سمت قسمت‌های غربی منطقه مورد آزمایش به تدریج میزان سیلت خاک کاهش یافته و در غربی‌ترین نقطه منطقه به کم‌ترین مقدار خود می‌رسد. در مجموع از بررسی توزیع اندازه سه کلاس اصلی اندازه ذرات خاک می‌توان نتیجه گرفت که در قسمت عمده منطق میزان شن بیش از ۶۰ درصد و میزان رس کم‌تر از ۱۰ درصد بوده است که نشان می‌دهد به جز در قسمت‌هایی از مرکز و جنوب منطقه به صورت موضعی، در سایر نقاط خاک سبک و یا نسبتاً سبک بوده است.



شکل ۴-۶- توزیع مکانی سلیت خاک با روش میان‌یابی کریجینگ

۴-۲-۲- شوری خاک

در بررسی وریوگرام مربوط به شوری از بین سه مدل استفاده شده در این پژوهش مدل نمایی

بهتر از مدل گوسی و کروی عمل نموده است (جدول ۴-۸، شکل ۴-۷).

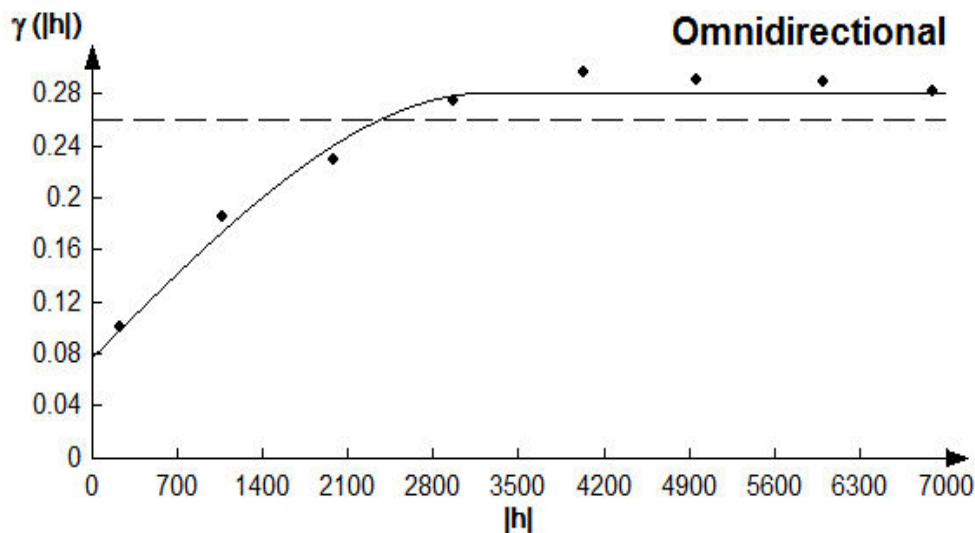
جدول ۴-۸- بررسی کارایی مدل‌های مختلف وریوگرام برای شوری خاک

نسبت ساختار مکانی (درصد)	Partial sill	Range	Nugget	خطا	نام مدل
۲۴	۰/۲۲	۴۷۶۰	۰/۰۷	۰/۰۰۲۰	نمایی
	۰/۱۷	۲۴۱۴	۰/۰۹	۰/۰۰۹۵	گوسی
	۰/۲۰	۳۲۴۲	۰/۰۷	۰/۰۰۴۸	کروی

بررسی نسبت ساختار مکانی پارامتر شوری خاک نشان داد که این فاکتور با نسبت ساختار مکانی

۲۴ درصد از یک ساختار مکانی قوی برخوردار بوده و استفاده از تکنیک زمین‌آمار برای رسم

پهنه‌بندی آن کارآمد می‌باشد (جدول ۴-۸).



شکل ۴-۷- وریوگرام شوری خاک با مدل نمایی

جدول ۴-۹ نشان می‌دهد که بهترین روش میان‌یابی برای پارامتر شوری روش کریجینگ با

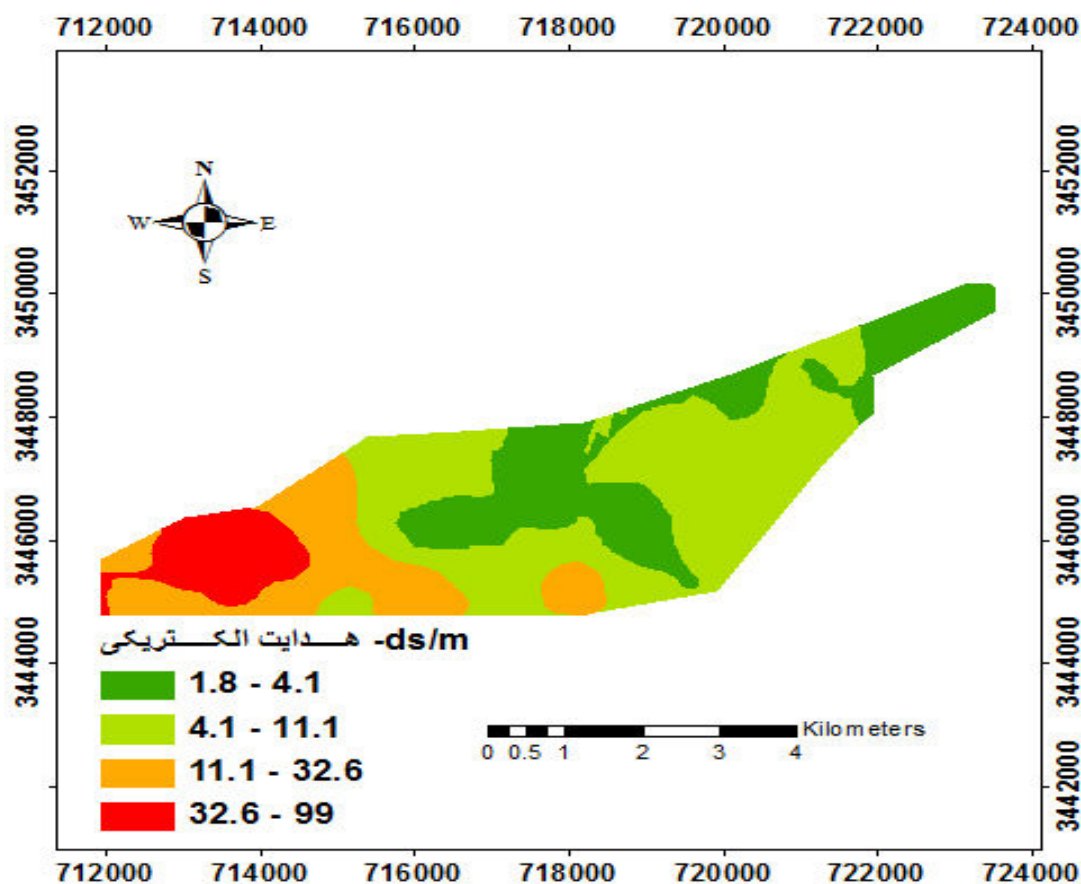
ضریب کارایی ۰/۴۲ و RMSE برابر ۰/۰۲ می‌باشد و نسبت به روش وزن معکوس فاصله با ضریب

کارایی برابر ۰/۳۸ عملکرد بهتری داشته است.

جدول ۴-۹- ارزیابی خطا روش‌های مختلف میان‌یابی برای تهیه نقشه شوری خاک

نام پارامتر	روش میان‌یابی	RMSE	R ²
شوری خاک	کریجینگ	۰/۰۲	۰/۴۲
	وزن معکوس فاصله	۰/۱۶	۰/۳۸

شکل ۴-۸ نشان می‌دهد که بیش‌ترین میزان شوری خاک شش درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را اشغال می‌نماید که این میزان شوری خاک بین ۳۲/۶ تا ۹۹ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد. همچنین کمترین میزان شوری خاک در منطقه مورد مطالعه ۱۰ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود که این میزان شوری خاک بین ۱/۸ تا ۴/۱ دسی‌زیمنس بر متر بوده و در دسته خاک‌های با شوری خیلی کم و کم طبقه‌بندی می‌شود. بیشترین مساحت از منطقه مورد مطالعه میزان شوری خاک بین ۴/۱ تا ۱۱/۱ دسی‌زیمنس بر متر را بوده که ۴۷ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه بوده که در دسته خاک‌های با شوری متوسط و زیاد طبقه‌بندی می‌شود.



شکل ۴-۸- توزیع مکانی شوری با روش میان‌یابی کریجینگ

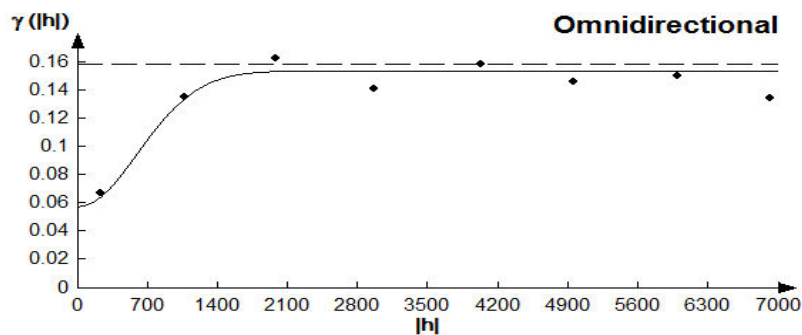
تحمل گیاهان مختلف در برابر شوری با توجه به نوع گیاه، نوع گونه و مرحله رشد گیاه متفاوت است. شوری خاک در منطقه مورد آزمایش در حدود ۹۰ درصد از مساحت منطقه بیش از چهار دسی زیمنس بر متر بوده که بر روی رشد گیاهان اثر قابل ملاحظه‌ای خواهد داشت. همچنین این میزان شوری تا ۹۹ دسی زیمنس بر متر نیز رسیده است. از دلایل این مقدار شوری می‌توان به شوری ذاتی خاک‌ها، کمبود بارندگی در منطقه، ورود زه‌آب‌های ناشی از فاضلاب شهری، ترکیبات خروجی ناشی از سوخت اتومبیل‌ها و نشستن آن‌ها بر روی خاک فضای سبز و از همه مهم‌تر آبیاری فضای سبز با آب شور اشاره کرد. در مجموع با توجه به شوری خاک منطقه استفاده از گیاهان شوری پسند در توسعه فضای سبز توصیه می‌شود.

۴-۲-۳- واکنش خاک

بررسی وریوگرام مربوط به واکنش خاک نشان داد که از بین سه مدل گوسی، کروی و نمایی مدل گوسی عملکرد بهتری در بررسی توزیع مکانی واکنش خاک داشته است (جدول ۴-۱۰، شکل ۴-۹).
جدول ۴-۱۰- بررسی کارایی مدل‌های مختلف برای وریوگرام واکنش خاک

نام مدل	خطا	Nugget	Range	Partial Sill	نسبت ساختار مکانی (درصد)
نمایی	۰/۰۰۱۹	۰/۰۳	۲۳۰۹	۰/۱۱	
گوسی	۰/۰۰۱۴	۰/۰۵	۱۴۶۹	۰/۰۹	۳۵
کروی	۰/۰۰۶۰	۰/۰۴	۱۶۷۹	۰/۱۰	

بررسی نسبت ساختار مکانی پارامتر واکنش خاک نشان داد که این فاکتور با نسبت ساختار مکانی ۳۵ درصد از یک ساختار مکانی متوسط برخوردار بوده و استفاده از تکنیک زمین‌آمار برای رسم پهنه‌بندی آن می‌تواند کارآمد باشد (جدول ۴-۱۰).



شکل شماره ۴-۹- وریوگرام واکنش خاک با مدل گوسی

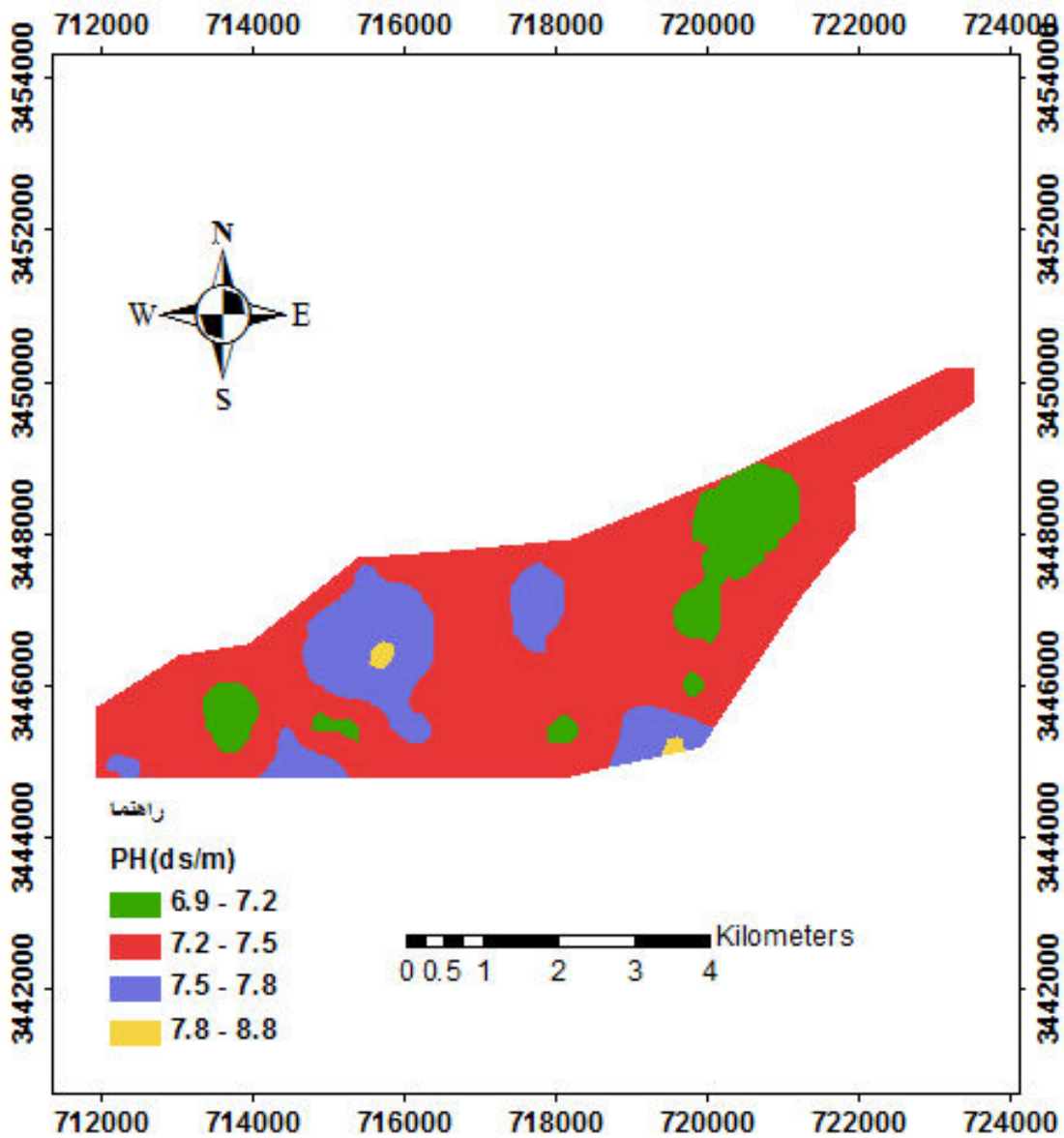
جدول ۴-۱۱ نشان می‌دهد که برای پارامتر واکنش خاک روش میان‌یابی کریجینگ با ضریب کارایی برابر ۰/۱۵ و RMSE برابر ۰/۳۶ عملکرد بهتری نسبت به روش وزن معکوس فاصله داشته است. اما به‌طور کلی با توجه به ضریب کارایی بسیار پایین این روش میان‌یابی می‌توان گفت که هیچ

کدام از روش‌های استفاده شده در این پژوهش برای پارامتر واکنش خاک میان‌یابی مناسبی ارائه نکرده‌اند.

جدول ۴-۱۱- ارزیابی خطا با روش‌های مختلف میان‌یابی برای تهیه نقشه واکنش خاک

نام پارامتر	روش میان‌یابی	RMSE	R ²
واکنش خاک	وزن معکوس فاصله	۰/۳۹	۰/۰۱
	کریجینگ	۰/۳۶	۰/۱۵

شکل ۴-۱۰ بیانگر این است که بیش‌ترین میزان عددی واکنش خاک ۰/۵ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهد که این میزان عددی واکنش خاک بین ۷/۸ تا ۸/۸ می‌باشد. همچنین کم‌ترین میزان عددی واکنش خاک در منطقه مورد مطالعه ۱۰ درصد از مساحت کل منطقه را شامل می‌شود که این میزان بین ۶/۹ تا ۷/۲ می‌باشد. بیشترین مساحت از منطقه مورد مطالعه میزان عددی واکنش خاک بین ۷/۲ تا ۷/۵ را بوده که ۷۳ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهد. در قسمت‌های اندکی از منطقه مورد آزمایش میزان عددی واکنش خاک زیاد بوده که نشانگر قلیایی بودن این قسمت از منطقه مورد آزمایش می‌باشد. که علت آن کمبود بارندگی در منطقه و دارا بودن اقلیمی خشک که باعث تجمع بازهای تبادلی در خاک و در نتیجه پیشرفت به سوی خاک قلیایی می‌شود. مشکل دیگر آهکی بودن خاک است که باعث افزایش PH خاک می‌شود. در نتیجه حلالیت عناصر غذایی ضروری برای گیاه کاهش پیدا می‌کند. و کمبود عناصر غذایی مثل آهن، روی، و منگنز در گیاه مشاهده می‌شود.



شکل ۴-۱۰- توزیع مکانی pH با روش میان‌بازی کریجینگ

۴-۲-۴- کربن آلی خاک

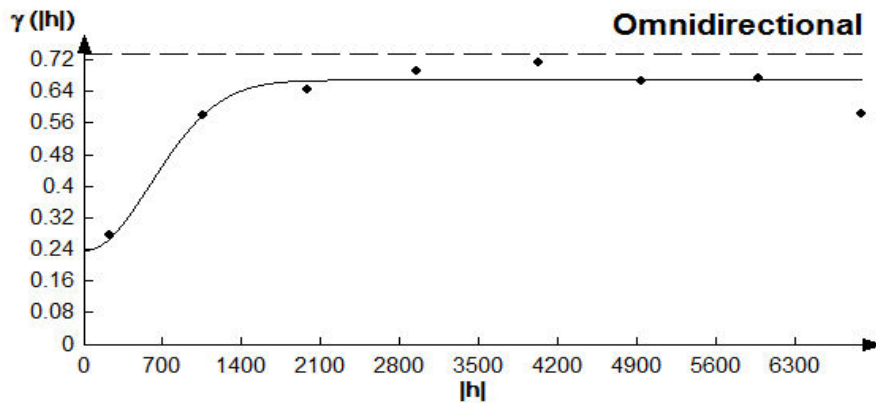
از بین مدل‌های استفاده شده در بررسی و ریوگرام ماده آلی خاک مدل گوسی نسب به دو مدل

کروی و نمایی عملکرد بهتری داشته است (جدول ۴-۱۲، شکل ۴-۱۱).

جدول ۴-۱۲- بررسی کارایی مدل‌های مختلف برای وریوگرام ماده آلی

نسبت ساختار مکانی (درصد)	Partial sill	Range	Nugget	خطا	نام مدل
	۰/۵۳	۲۴۸۵	۰/۱۶	۰/۰۰۵۱	نمایی
۳۵	۰/۴۳	۱۴۴۸	۰/۲۴	۰/۰۰۲۵	گوسی
	۰/۴۷	۱۷۹۳	۰/۱۹	۰/۰۰۳۶	کروی

بررسی نسبت ساختار مکانی پارامتر ماده آلی خاک نشان داد که این فاکتور با نسبت ساختار مکانی ۳۵ درصد از یک ساختار مکانی متوسط برخوردار بوده و استفاده از تکنیک زمین‌آمار برای رسم پهنه‌بندی آن می‌تواند کارآمد باشد (جدول ۴-۱۲).



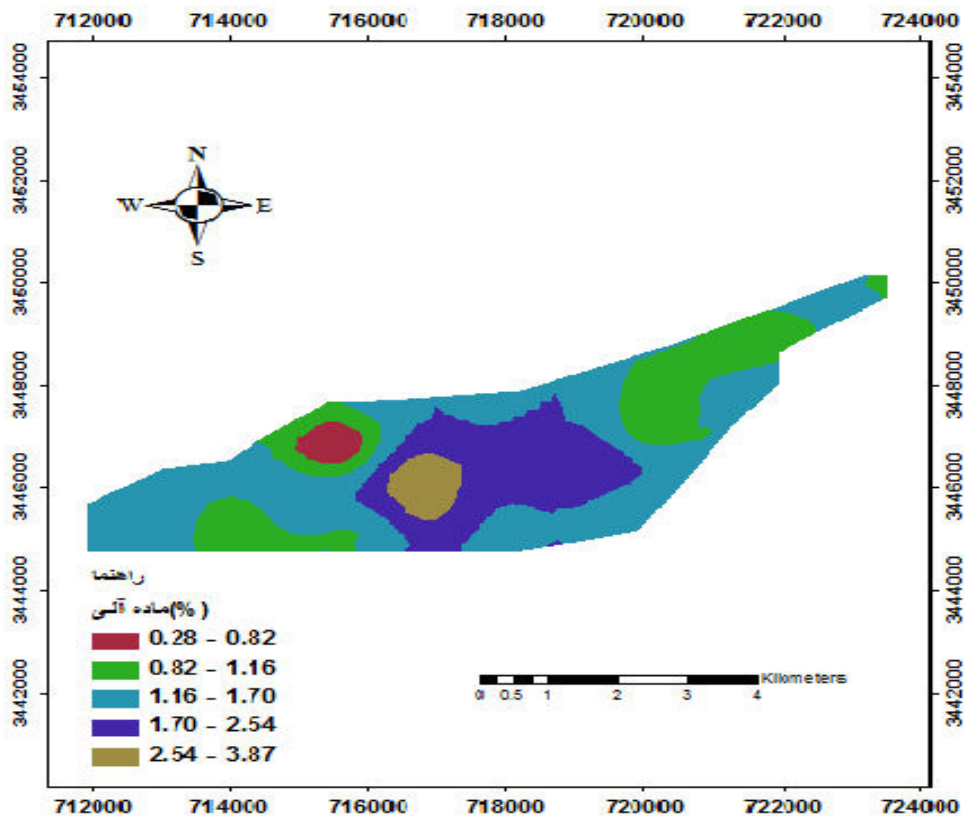
شکل ۴-۱۱- وریوگرام ماده آلی خاک با مدل گوسی

بررسی جدول ۴-۱۳ نشان می‌دهد که برای پارامتر ماده آلی روش میان‌یابی کریجینگ با ضریب تبیین برابر با ۰/۵۴ و RMSE برابر ۰/۵۷ نسبت به روش وزن معکوس فاصله عملکرد بهتری داشته است.

جدول ۴-۱۳- ارزیابی خطا با روش‌های مختلف میان‌یابی برای تهیه نقشه ماده آلی

نام پارامتر	روش میان‌یابی	RMSE	R ²
ماده آلی	کریجینگ	۰/۵۷	۰/۵۴
	وزن معکوس فاصله	۰/۶۲	۰/۴۶

شکل ۴-۱۲ بیانگر این است که بیش‌ترین درصد ماده آلی خاک چهار درصد از مساحت کل منطقه مورد را تشکیل می‌دهد که این میزان درصد ماده آلی خاک بین ۲/۵۴ تا ۳/۸۷ درصد می‌باشد. همچنین کمترین میزان ماده آلی خاک در منطقه مورد مطالعه ۲/۲ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را اشغال می‌نماید که این میزان ماده آلی خاک بین ۰/۲۸ تا ۰/۸۲ درصد می‌باشد. در بیش‌ترین مساحت از منطقه مورد مطالعه میزان ماده آلی خاک بین ۱/۱۶ تا ۱/۷۰ درصد بوده که ۴۹ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهد.



شکل ۴-۱۲- توزیع مکانی ماده آلی خاک با روش میان‌یابی کریجینگ

مشاهدات بیانگر این است که میزان ماده آلی در حدود ۷۵ درصد از مساحت منطقه مورد آزمایش در محدوده خوب و خیلی خوب بوده است که از دلایل بالا بودن آن می‌توان به اضافه نمودن کود دامی و سایر کودها توسط شهرداری به فضای سبز این قسمت‌ها اشاره نمود. همچنین ۲۵ درصد از مساحت منطقه مورد آزمایش میزان ماده آلی کم بوده و خاک این مناطق از این نظر در گروه خاک‌های فقیر قرار دارد که مدیریت بیشتر ماده آلی در این مناطق را نیاز دارد.

۴-۲-۵- درصد آهک خاک

بررسی وریوگرام مربوط به پارامتر درصد آهک خاک نشان می‌دهد که از بین سه مدل کروی، نمایی و گوسی، مدل کروی از بقیه مدل‌ها عملکرد بهتری داشته است (جدول ۴-۱۴، شکل ۴-۱۳).

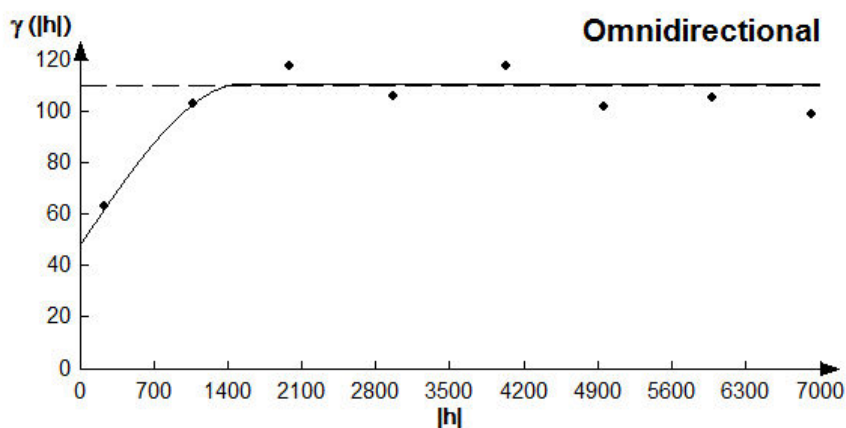
جدول ۴-۱۴- بررسی کارایی مدل‌های مختلف برای وریوگرام آهک خاک

نام مدل	خطا	Nugget	Range	Partial sill	نسبت ساختار مکانی (درصد)
نمایی	۰/۰۰۸۴	۴۲/۹	۱۸۱۹	۷۰/۳۹	
گوسی	۰/۰۰۵۷	۵۷/۱	۱۳۹۹	۵۴/۸۹	
کروی	۰/۰۰۵۵	۴۸/۴	۱۵۴۰	۶۶/۶۹	۴۱

بررسی نسبت ساختار مکانی پارامتر آهک خاک نشان داد که این فاکتور با نسبت ساختار مکانی

۴۱ درصد از یک ساختار مکانی متوسط برخوردار بوده و استفاده از تکنیک زمین‌آمار برای رسم

پهنه‌بندی آن می‌تواند کارآمد باشد (جدول ۴-۱۴).



شکل ۴-۱۳- وریوگرام آهک خاک با مدل کروی

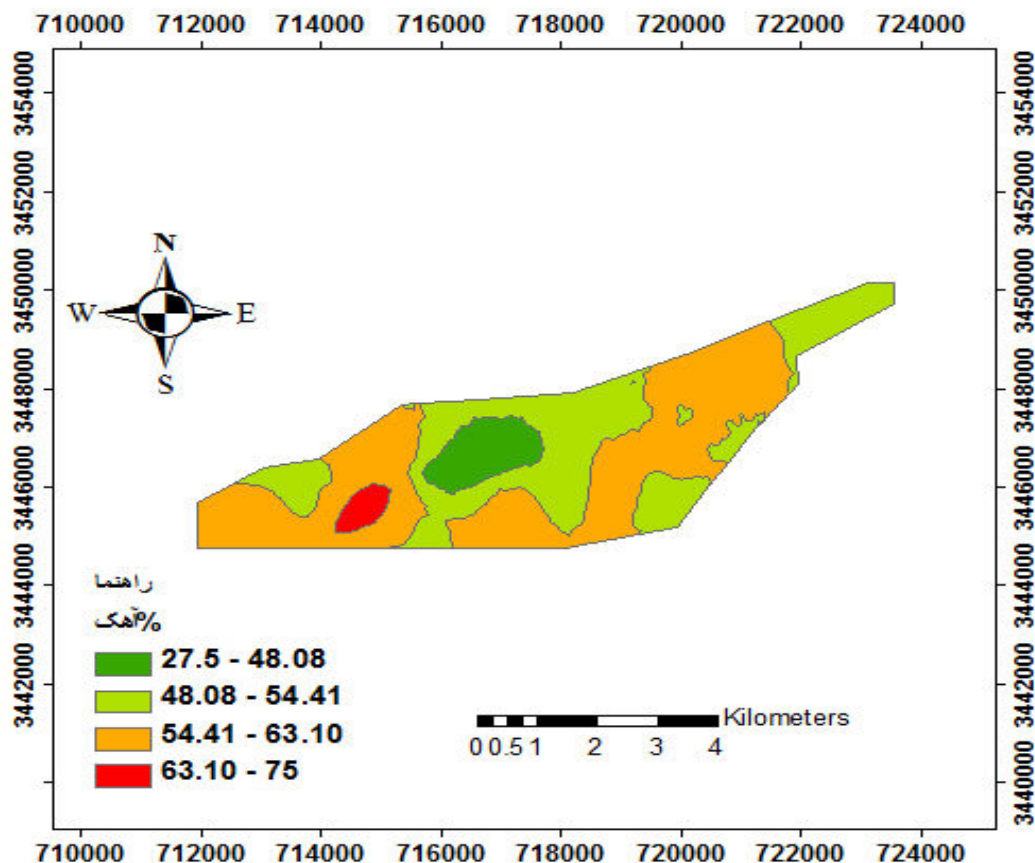
جدول ۴-۱۵ نشان می‌دهد که در ارزیابی خطای روش‌های میان‌یابی مختلف برای پارامتر درصد آهک، روش میان‌یابی کریجینگ و وزن معکوس فاصله به ترتیب با ضریب کارایی برابر با ۰/۹۹۷ و ۰/۹۹۲ عملکرد بسیار مطلوبی را داشته‌اند. همچنین میزان RMSE برای روش میان‌یابی کریجینگ برابر ۰/۰۰۵ و برای روش میان‌یابی وزن معکوس فاصله ۰/۰۴۴ می‌باشد که نشان می‌دهد روش میان‌یابی کریجینگ نسبت به روش وزن معکوس فاصله عملکرد بهتری را داشته است.

جدول ۴-۱۵- ارزیابی خطا در روش‌های مختلف میان‌یابی برای تهیه نقشه درصد آهک خاک

نام پارامتر	روش میان‌یابی	RMSE	R^2
آهک	کریجینگ	۰/۰۰۵	۰/۹۹۷
	وزن معکوس فاصله	۰/۰۴۴	۰/۹۹۲

شکل ۴-۱۴ بیانگر این است که بیش‌ترین میزان درصد آهک خاک دو درصد از مساحت کل منطقه مورد را شامل می‌شود که این میزان درصد آهک خاک بین ۶۳/۱۰ تا ۷۵ درصد می‌باشد. همچنین کم‌ترین میزان آهک خاک در منطقه مورد مطالعه هفت درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود که این میزان آهک خاک بین ۲۷/۵ تا ۴۸/۰۸ درصد می‌باشد. بیش‌ترین

مساحت از منطقه مورد مطالعه میزان آهک خاک بین ۵۴/۴۱ تا ۶۳/۱۰ درصد بود که ۵۲ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه تشکیل می‌دهد.



شکل ۴-۱۴- توزیع مکانی درصد آهک خاک با روش میان‌یابی کریجینگ

در مجموع مشاهدات بیانگر آن است که در بیش از نیمی از مساحت منطقه مورد آزمایش میزان درصد آهک خاک بیش از ۵۰ درصد بوده که نشان از آهکی بودن خاک این قسمت از منطقه مورد آزمایش بوده است. در خاک‌های آهکی به دلیل وجود آهک و یون کلسیم فراوان، جذب عناصر کم مصرف با مشکلات فراوانی صورت می‌گیرد. برای اصلاح این خاک‌ها اضافه نمودن گوگرد و ژبیس مناسب می‌باشد. چون با کاهش pH از قلیائیت خاک می‌کاهند.

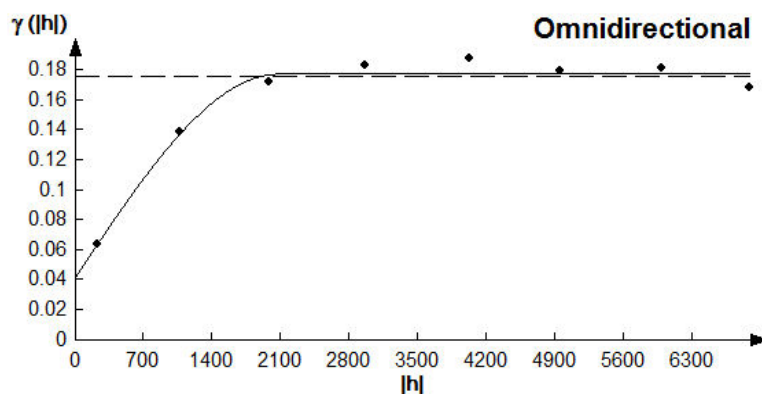
۴-۲-۶- کلسیم خاک

بررسی وریوگرام مربوط به پارامتر کلسیم خاک نشان داد که مدل کرووی نسبت به مدل‌های گوسی و نمایی عملکرد بهتری داشته است (جدول ۴-۱۶ و شکل ۴-۱۵).

جدول ۴-۱۶- بررسی کارایی مدل‌های مختلف برای وریوگرام کلسیم خاک

نسبت ساختار مکانی (درصد)	Partial sill	Range	Nugget	خطا	نام مدل
	۰/۱۵	۳۴۴۹	۰/۰۴	۰/۰۱۱	نمایی
	۰/۱۳	۲۴۱۴	۰/۰۷	۰/۰۱۴	گوسی
۲۶	۰/۱۴	۲۸۹۶	۰/۰۵	۰/۰۰۶۴	کرووی

بررسی نسبت ساختار مکانی پارامتر کلسیم خاک نشان داد که این فاکتور با نسبت ساختار مکانی ۲۶ درصد از یک ساختار مکانی متوسط برخوردار بوده و استفاده از تکنیک زمین‌آمار برای رسم پهنه‌بندی آن می‌تواند کارآمد باشد (جدول ۴-۱۶).



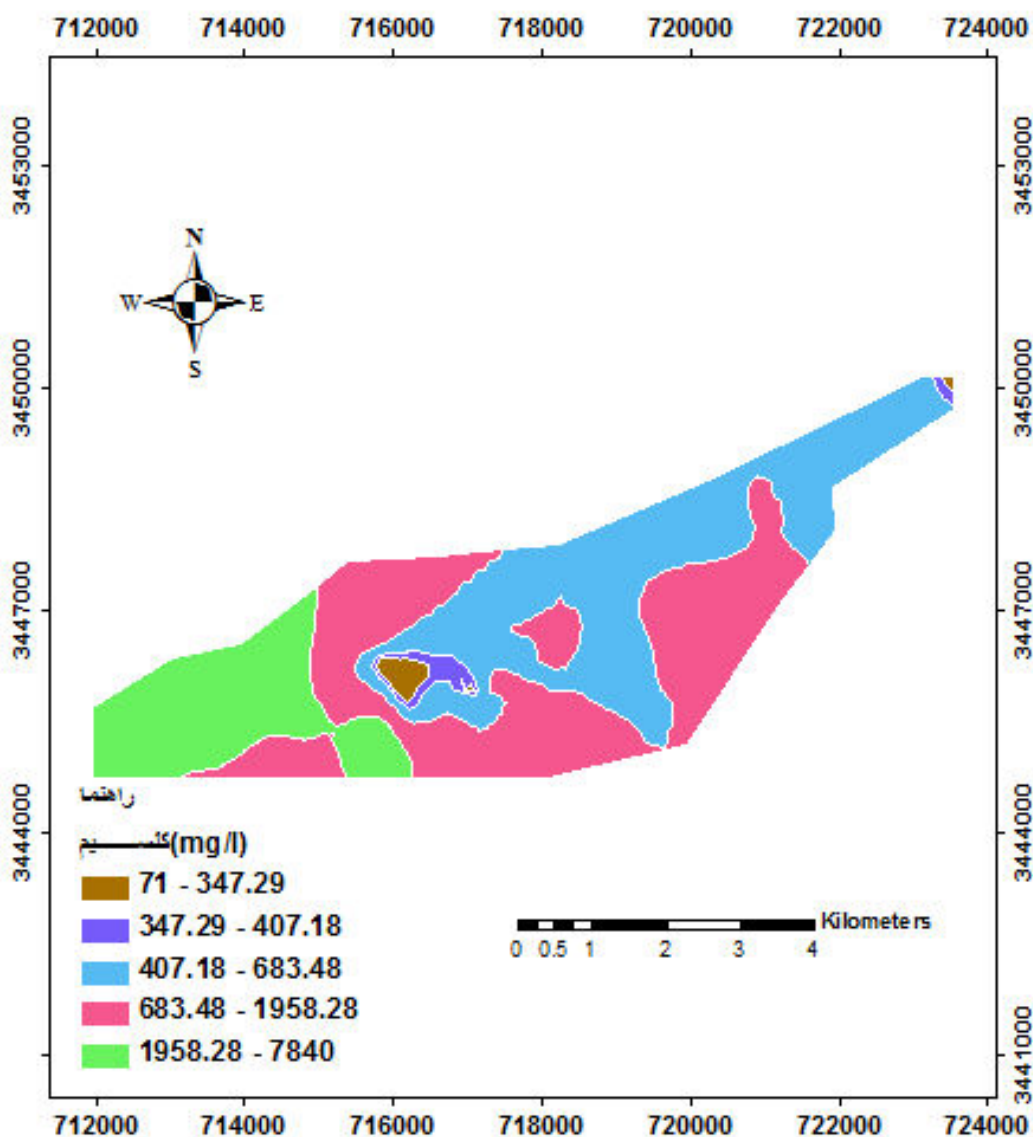
شکل ۴-۱۵- وریوگرام کلسیم خاک با مدل کرووی

ارزیابی خطای روش‌های میان‌یابی مختلف بیانگر این بوده که روش میان‌یابی کریجینگ با ضریب کارایی برابر ۰/۴۱ و RMSE برابر ۱۹/۴۱ نسبت به روش کریجینگ عملکرد مطلوب‌تری داشته است (جدول ۴-۱۷).

جدول ۴-۱۷- ارزیابی خطا با روش‌های مختلف میان‌یابی برای تهیه نقشه کلسیم خاک

نام پارامتر	روش میان‌یابی	RMSE	R ²
کلسیم	کریجینگ	۱۹/۴۱	۰/۴۱
	وزن معکوس فاصله	۳۱/۴	۰/۳۵

شکل ۴-۱۶ نشان می‌دهد که بیش‌ترین میزان کلسیم خاک ۲۰ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهد که این میزان کلسیم خاک بین ۱۹۵۸ تا ۷۸۴۰ میلی‌گرم بر لیتر بوده است. همچنین کم‌ترین میزان کلسیم خاک در منطقه بین ۷۱ تا ۳۴۷ میلی‌گرم بر لیتر بوده که یک درصد از مساحت کل منطقه را اشغال نموده است. در بیش‌ترین مساحت از منطقه مورد مطالعه میزان کلسیم بین ۶۳۸ تا ۱۹۵۸ میلی‌گرم بر لیتر بوده که در مجموع ۴۰ درصد از مساحت کل منطقه را شامل می‌شود.



شکل ۴-۱۶- توزیع مکانی کلسیم خاک با روش میان‌یابی کریجینگ

مشاهدات بیانگر این است که در بیش از ۹۷ درصد از مساحت منطقه مورد آزمایش میزان کلسیم خاک بیش از ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بوده و بیش از ۲۰ درصد از مساحت منطقه مورد آزمایش میزان کلسیم خاک بیش از ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد که این میزان بسیار زیاد بوده و می‌تواند یکی از دلایل بالا بودن شوری خاک در این منطقه را بالا بودن میزان کلسیم خاک و همچنین بالا بودن میزان آهک خاک دانست. روند کاهشی میزان کلسیم از غرب به شرق نیز مشابه روند کاهشی شوری از غرب به شرق بوده است (شکل ۴-۱۶ و ۴-۸).

۷-۲-۴- منیزیم خاک

بررسی وریوگرام مربوط به پارامتر منیزیم خاک نشان داد که مدل گوسی نسبت به دو مدل کروی

و نمایی عملکرد مطلوبتری داشته است (جدول ۴-۱۸ و شکل ۴-۱۷).

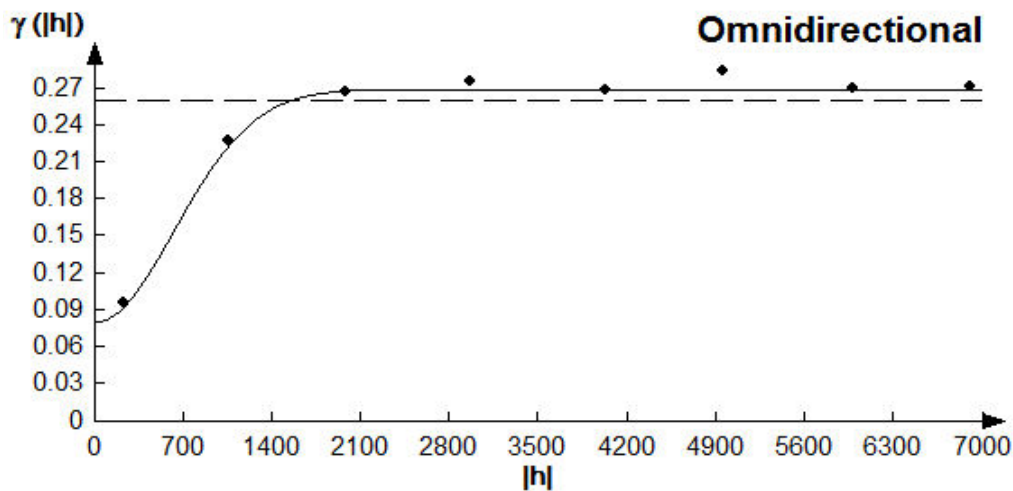
جدول ۴-۱۸- بررسی کارایی مدل‌های مختلف برای وریوگرام منیزیم خاک

نام مدل	خطا	Nugget	Range	Partial sill	نسبت ساختار مکانی (درصد)
نمایی	۰/۰۰۴۹	۰/۰۴	۲۵۱۹	۰/۲۳	
گوسی	۰/۰۰۰۶۵	۰/۰۸	۱۵۴۰	۰/۱۸	۳۰
کروی	۰/۰۰۱۳	۰/۰۶	۱۸۲۰	۰/۲۰	

بررسی نسبت ساختار مکانی پارامتر غلظت منیزیم خاک نشان داد که این فاکتور با نسبت

ساختار مکانی ۳۰ درصد از یک ساختار مکانی متوسط برخوردار بوده و استفاده از تکنیک زمین‌آمار

برای رسم پهنه‌بندی آن می‌تواند کارآمد باشد (جدول ۴-۱۸).



شکل ۴-۱۷- وریوگرام منیزیم خاک با مدل گوسی

ارزیابی خطای روش‌های میان‌یابی مختلف برای پارامتر منیزیم خاک نشان داد که روش میان‌یابی

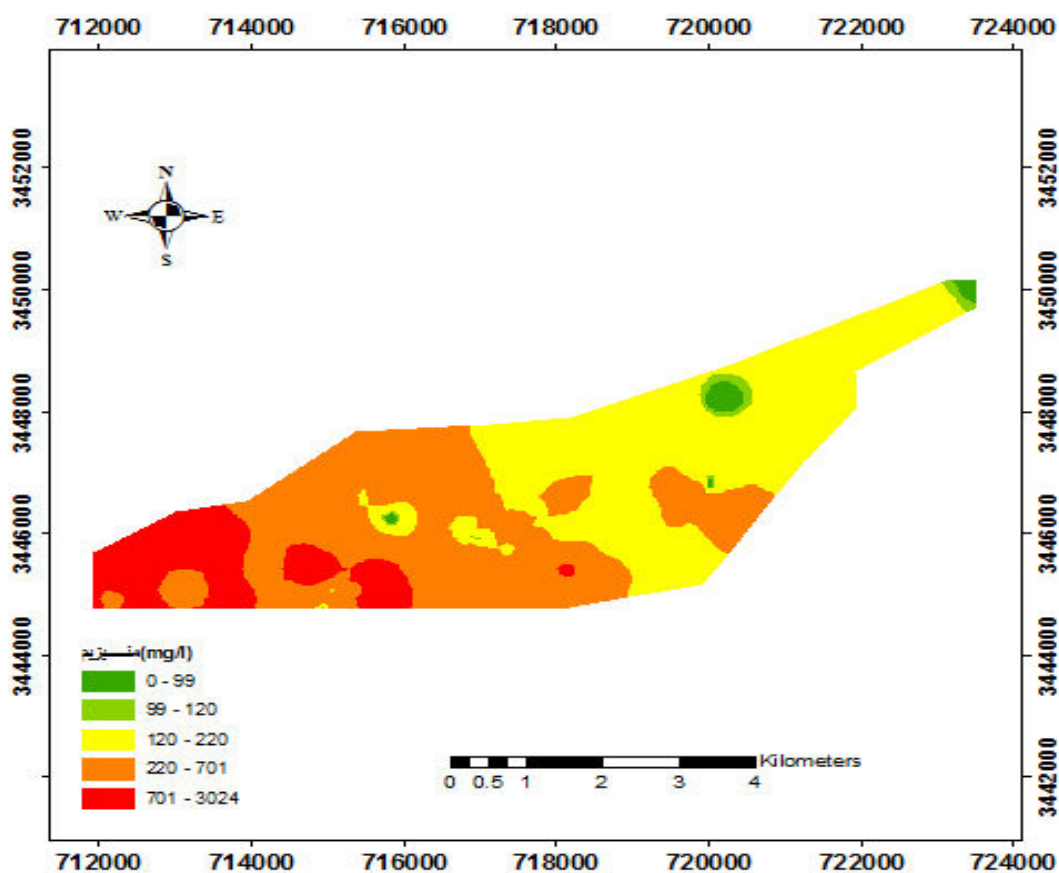
وزن معکوس فاصله با ضریب کارایی ۰/۲۷ و RMSE برابر ۱/۶۴ نسبت به روش میان‌یابی کریجینگ

عملکرد بهتری داشته است. اما به طور کلی هر دو روش میان‌یابی ضریب تبیین پایینی داشته و میان‌یابی مناسبی را نداشته‌اند (جدول ۴-۱۹)

جدول ۴-۱۹- ارزیابی خطا با روش‌های مختلف میان‌یابی برای تهیه نقشه منیزیم خاک

نام پارامتر	روش میان‌یابی	RMSE	R ²
کریجینگ		۳/۸۵	۰/۲۰
منیزیم	وزن معکوس فاصله	۱/۶۴	۰/۲۷

شکل ۴-۱۸ بیانگر این است که بیش‌ترین میزان منیزیم خاک ۱۳ درصد از مساحت کل منطقه مورد را شامل می‌شود که این میزان منیزیم خاک بین ۷۰۱ تا ۳۰۲۴ میلی‌گرم برلیتر می‌باشد. همچنین کمترین غلظت منیزیم خاک در منطقه مورد مطالعه یک درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را تشکیل داده که این میزان منیزیم خاک بین ۰ تا ۹۹ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. در بیش‌ترین مساحت از منطقه، غلظت منیزیم بین ۱۲۰ تا ۷۰۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده که ۸۴ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را اشغال نموده است.



شکل ۴-۱۸- توزیع مکانی منیزیم خاک با روش میان‌یابی وزن معکوس فاصله

بیش‌ترین غلظت منیزیم خاک در بخش غربی منطقه مورد آزمایش مشاهده گردید و هرچقدر به سمت شرق حرکت کنیم از میزان منیزیم خاک کم شده تا جایی که در شرقی‌ترین نقطه منطقه مورد آزمایش کمترین میزان منیزیم خاک مشاهده گردید. منیزیم نیز از جمله عناصر دخیل در شوری خاک بوده که روند غلظتی آن مشابه با شوری خاک است.

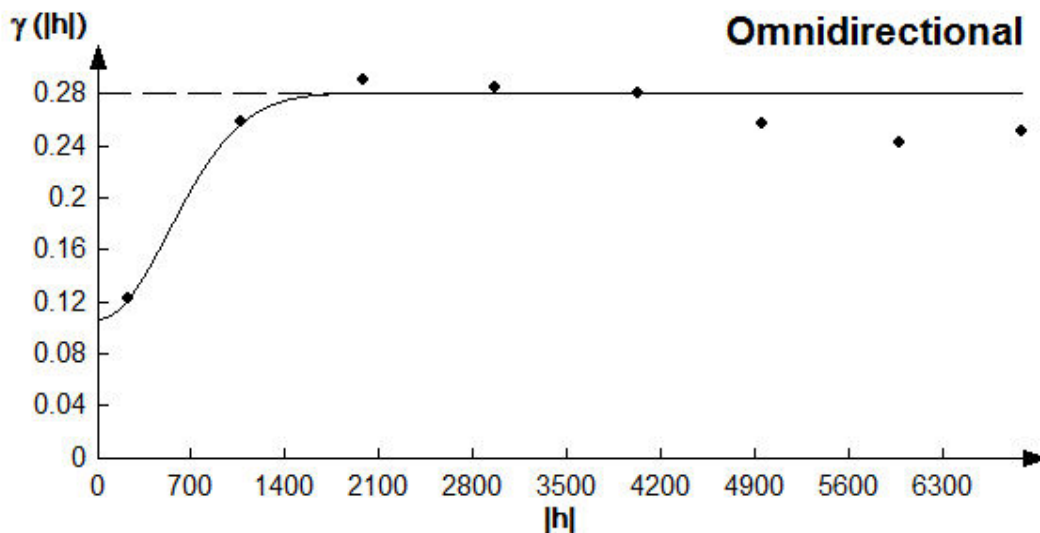
۴-۲-۸- پتاسیم خاک

بررسی وریوگرام مربوط به پتاسیم خاک نشان داد که از بین مدل‌های گوسی، کروی و نمایی مدل گوسی نسبت به مدل کروی و نمایی عملکرد مطلوب‌تری داشته است (جدول ۴-۲۰ و شکل ۴-۱۹).

جدول ۴-۲۰- بررسی کارایی مدل‌های مختلف برای وریوگرام پتاسیم خاک

نام مدل	خطا	Nugget	Range	Partial sill	نسبت ساختار مکانی (درصد)
نمایی	۰/۰۰۶۱	۰/۰۴	۱۶۵۴	۰/۰۲۴	
گوسی	۰/۰۰۳۶	۰/۱۰	۱۳۱۱	۰/۱۷	۳۷
کروی	۰/۰۰۳۸	۰/۰۸	۱۵۱۷	۰/۲۰	

بررسی نسبت ساختار مکانی پارامتر غلظت پتاسیم خاک نشان داد که این فاکتور با نسبت ساختار مکانی ۳۷ درصد از یک ساختار مکانی متوسط برخوردار بوده و استفاده از تکنیک زمین‌آمار برای رسم پهنه‌بندی آن می‌تواند کارآمد باشد (جدول ۴-۲۰).



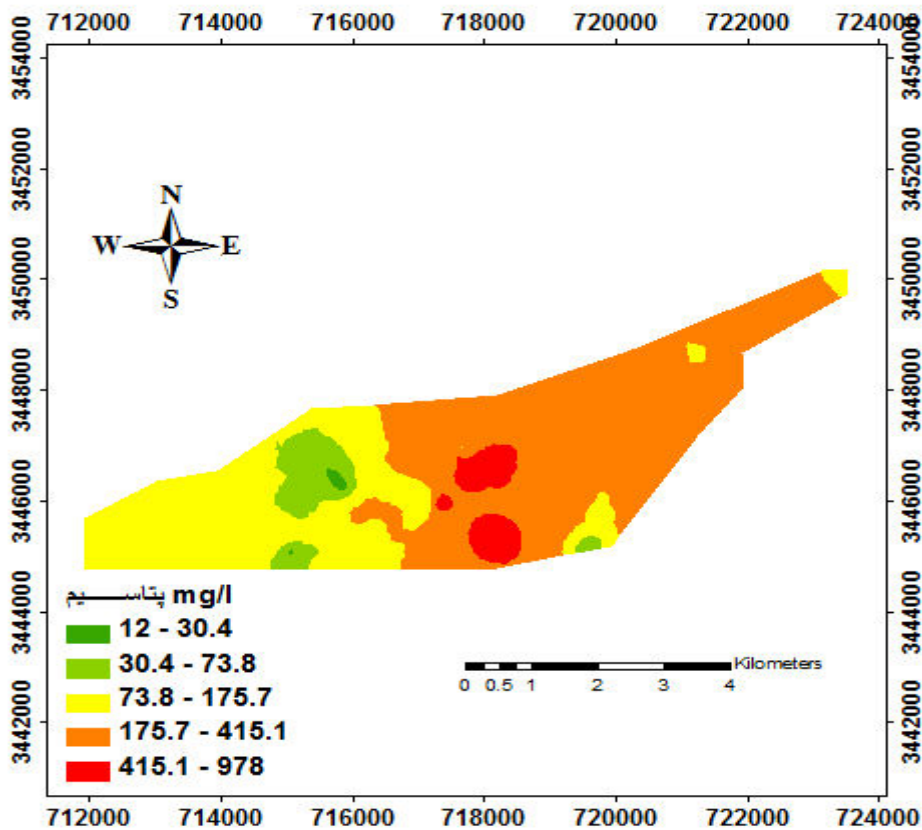
شکل ۴-۱۹- وریوگرام پتاسیم خاک با مدل گوسی

جدول ۴-۲۱ نشان می‌دهد که در ارزیابی خطا با روش‌های میان‌یابی مختلف روش میان‌یابی وزن معکوس فاصله با ضریب تبیین ۰/۵۷ و RMSE برابر ۰/۰۷ نسبت به روش میان‌یابی کریجینگ عملکرد مطلوب‌تری داشته است.

جدول ۴-۲۱- ارزیابی خطا با روش‌های مختلف میان‌یابی برای تهیه نقشه پتاسیم خاک

نام پارامتر	روش میان‌یابی	RMSE	R ²
پتاسیم	کریجینگ	۰/۳۷	۰/۳۰
	وزن معکوس فاصله	۰/۰۷	۰/۵۷

شکل ۴-۲۰ بیانگر این است که بیش‌ترین میزان پتاسیم خاک ۵ درصد از مساحت کل منطقه را شامل می‌شود که این میزان پتاسیم خاک بین ۴۱۵ تا ۹۸۷ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. همچنین کم‌ترین میزان پتاسیم خاک بین ۱۲ تا ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر بوده که ۰/۲ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهد. بیش‌ترین مساحت از منطقه میزان پتاسیم بین ۱۷۵ تا ۵۱۵ میلی‌گرم بر لیتر بود که ۵۴ درصد از مساحت کل منطقه را شامل می‌شود.



شکل ۴-۲۰- توزیع مکانی پتاسیم خاک با روش میان‌یابی وزن معکوس فاصله

مشاهدات بیانگر بالا بودن میزان پتاسیم در بیش از پنج درصد از مساحت منطقه مورد آزمایش می‌باشد و بیش از ۵۰ درصد از مساحت منطقه مورد آزمایش میزان پتاسیم در محدوده متوسط رو به بالا بود.

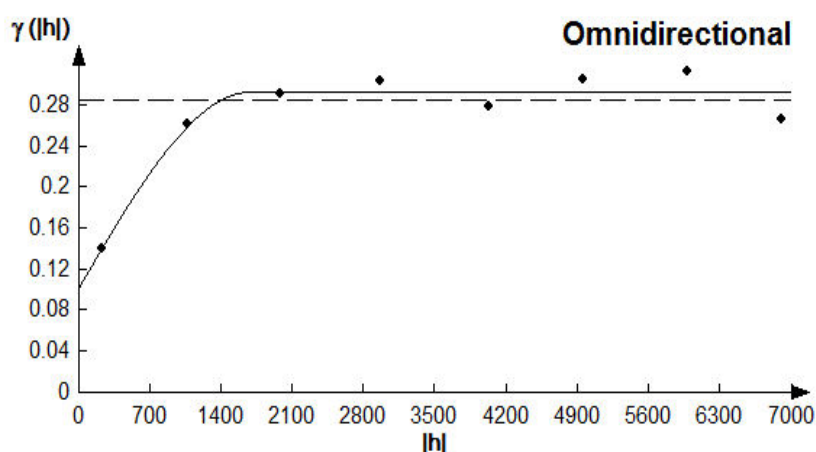
۴-۲-۹-سدیم خاک

جدول ۴-۲۲ و شکل ۴-۲۱ نشان می‌دهد که در بررسی وریوگرام مربوط به پارامتر سدیم خاک مدل کروی نسبت به مدل‌های گوسی و نمایی عملکرد بهتری را داشته است.

جدول ۴-۲۲- بررسی کارایی مدل‌های مختلف برای وریوگرام سدیم خاک

نسبت ساختار مکانی (درصد)	Partial Sill	Range	Nugget	خطا	نام مدل
	۰/۲۱	۲۱۶۹	۰/۰۸	۰/۰۰۴۵	نمایی
	۰/۱۷	۱۴۰۰	۰/۱۲	۰/۰۰۲۲	گوسی
۳۴	۰/۱۹	۱۶۷۹	۰/۱۰	۰/۰۰۲۰	کروی

بررسی نسبت ساختار مکانی پارامتر غلظت سدیم خاک نشان داد که این فاکتور با نسبت ساختار مکانی ۳۴ درصد از یک ساختار مکانی متوسط برخوردار بوده و استفاده از تکنیک زمین‌آمار برای رسم پهنه‌بندی آن می‌تواند کارآمد باشد (جدول ۴-۲۲).



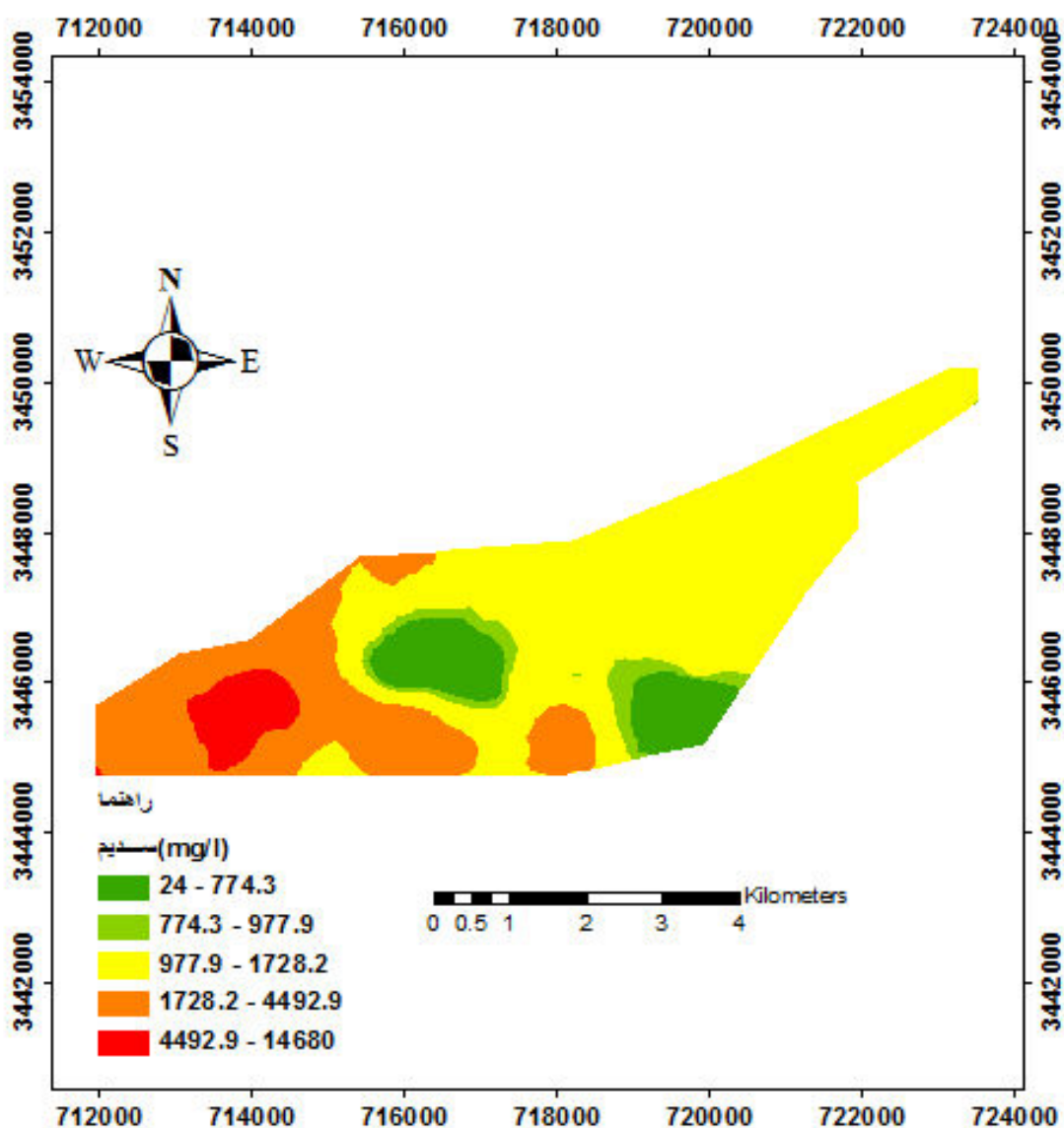
شکل ۴-۲۱- وریوگرام سدیم خاک با مدل کروی

بررسی جدول ۴-۲۳ نشان می‌دهد در ارزیابی خطای روش‌های میان‌یابی برای پارامتر سدیم خاک، روش میان‌یابی کریجینگ با ضریب تبیین برابر ۰/۲۶ و RMSE برابر ۲۲۵۷ نسبت به روش میان‌یابی وزن معکوس فاصله عملکرد بهتری داشته است. اما به‌طور کلی با توجه به پایین بودن ضریب تبیین می‌توان گفت که هر دو روش میان‌یابی مطلوبی انجام ندادند.

جدول ۴-۲۳- ارزیابی خطای روش‌های مختلف میان‌یابی برای تهیه نقشه سدیم خاک

نام پارامتر	روش میان‌یابی	RMSE	R ²
سدیم	کریجینگ	۲۲۵۷	۰/۲۶
	وزن معکوس فاصله	۲۴۳۶	۰/۱۴

شکل ۴-۲۲ بیانگر این است که بیش‌ترین میزان سدیم خاک پنج درصد از مساحت کل منطقه را شامل می‌شود که این میزان سدیم خاک بین ۴۴۹۲ تا ۱۴۶۸۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. همچنین کم‌ترین میزان سدیم خاک در منطقه مورد مطالعه ۱۰ درصد از مساحت کل را شامل می‌شود که این میزان سدیم خاک بین ۲۴ تا ۷۷۴ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. در بیش‌ترین مساحت از منطقه مورد مطالعه میزان سدیم بین ۹۷۷ تا ۱۷۲۸ میلی‌گرم بر لیتر بوده که ۵۶ درصد از مساحت کل منطقه را شامل می‌شود.



شکل ۴-۲۲- توزیع مکانی سدیم خاک با روش میان‌یابی کریجینگ

کم‌ترین میزان سدیم خاک در بخش جنوبی و قسمت اندکی از بخش مرکزی منطقه مورد آزمایش مشاهده گردید و بیش‌ترین میزان سدیم خاک در بخش غربی منطقه مورد آزمایش مشاهده گردید. همچنین نقشه توزیع مکانی نشان می‌دهد که میزان سدیم خاک در بیش از ۸۰ درصد از مساحت منطقه مورد آزمایش بیش از ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد که این میزان عدد بسیار بالایی می‌باشد. که این میزان سدیم بالا سبب تشکیل سله و سرعت تخریب ساختمان خاک را افزایش می‌دهد.

۴-۲-۱۰-تخلخل

بررسی وریوگرام مربوط به پارامتر تخلخل خاک نشان داد که مدل گوسی نسبت به مدل‌های

کروی و نمایی عملکرد بهتری را داشته است (جدول ۴-۲۴ و شکل ۴-۲۳).

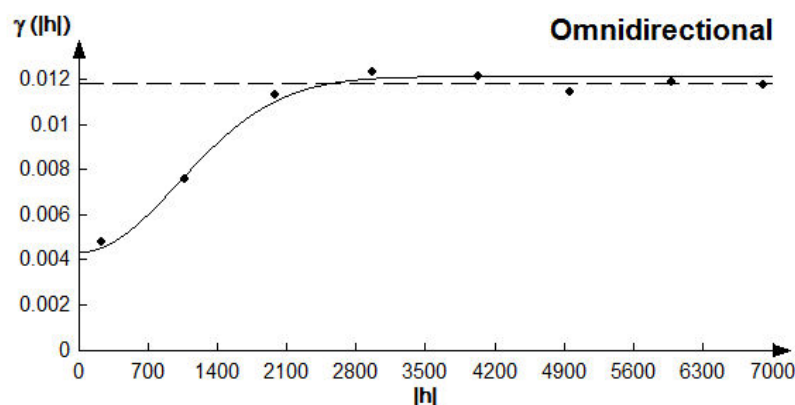
جدول ۴-۲۴- بررسی کارایی مدل‌های مختلف برای وریوگرام تخلخل خاک

نسبت ساختار مکانی (درصد)	Partial Sill	Range	Nugget	خطا	نام مدل
	۰/۰۰۹	۵۱۰۹	۰/۰۰۳	۰/۰۱۴	نمایی
۳۶	۰/۰۰۷	۲۴۵۰	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲۰	گوسی
	۰/۰۰۸	۳۲۱۹	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴۳	کروی

بررسی نسبت ساختار مکانی پارامتر تخلخل خاک نشان داد که این فاکتور با نسبت ساختار

مکانی ۳۶ درصد از یک ساختار مکانی متوسط برخوردار بوده و استفاده از تکنیک زمین‌آمار برای رسم

پهنه‌بندی آن می‌تواند کارآمد باشد (جدول ۴-۲۴).



شکل ۴-۲۳- وریوگرام تخلخل خاک با مدل گوسی

جدول ۴-۲۵ نشان می‌دهد در ارزیابی خطای روش‌های میان‌یابی مختلف برای پارامتر تخلخل

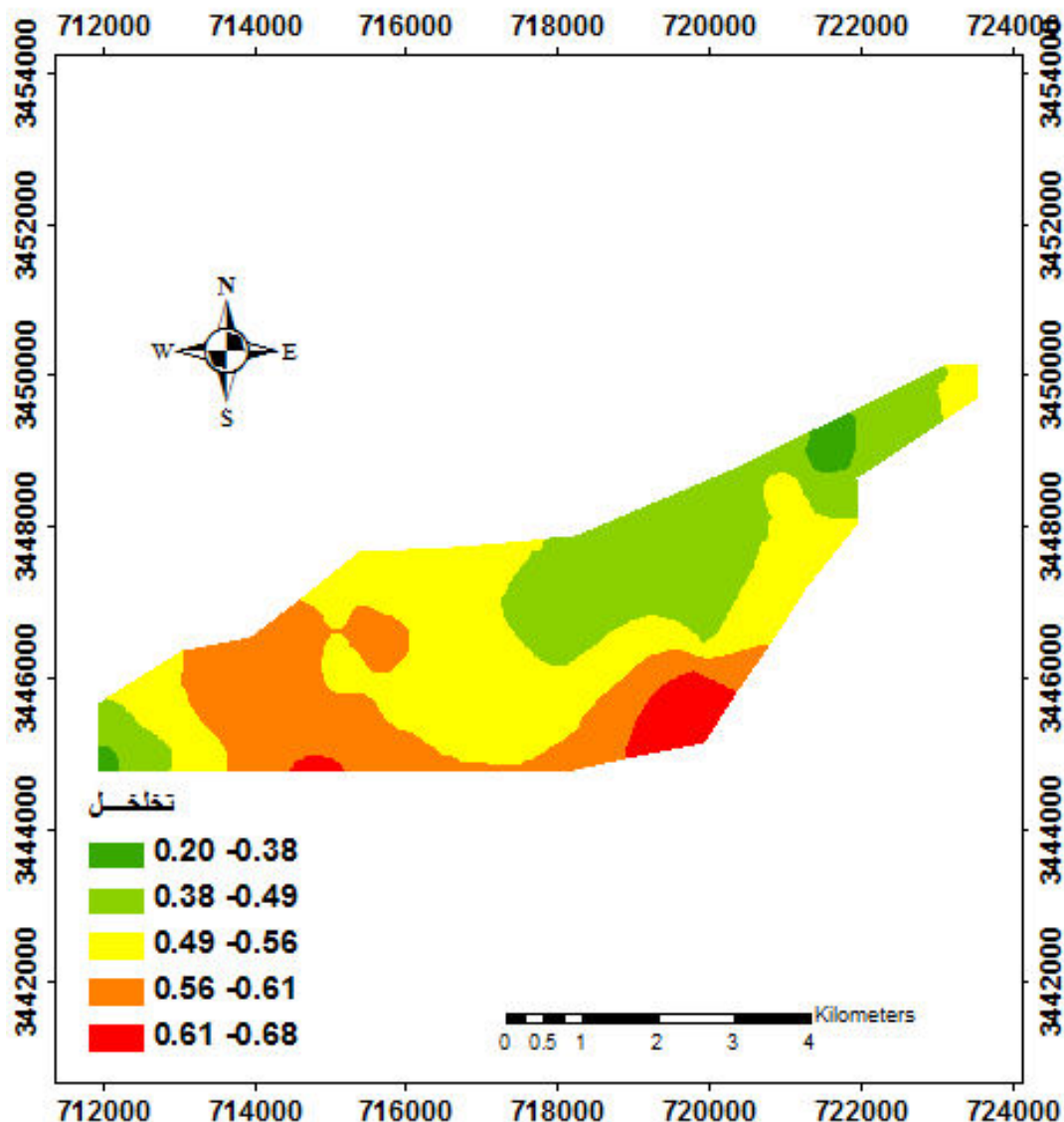
خاک، روش میان‌یابی کریجینگ با ضریب تبیین برابر ۰/۴۹ و RMSE برابر ۰/۰۰۰۶ نسبت به روش

میان‌یابی وزن معکوس فاصله عملکرد بهتری داشته است.

جدول ۴-۲۵- ارزیابی خطا با روش‌های مختلف میان‌یابی برای تهیه نقشه تخلخل خاک

نام پارامتر	روش میان‌یابی	RMSE	R ²
تخلخل	کریجینگ	۰/۰۰۰۶	۰/۴۹
	وزن معکوس فاصله	۰/۰۰۱	۰/۴۰

شکل ۴-۲۴ بیانگر این است که بیش‌ترین میزان تخلخل خاک دو درصد از مساحت کل منطقه بوده که این میزان تخلخل خاک بین ۰/۶۱ تا ۰/۶۸ می‌باشد. همچنین کم‌ترین میزان تخلخل خاک بین ۰/۲۰ تا ۰/۳۸ بوده که در مجموع چهار درصد از مساحت کل منطقه بوده است. بیش‌ترین مساحت از منطقه مورد مطالعه میزان تخلخل بین ۰/۴۹ تا ۰/۵۶ بود که ۴۰ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود.



شکل ۴-۲۴- توزیع مکانی تخلخل خاک با روش میان‌یابی کریجینگ

بیشترین میزان تخلخل خاک در قسمت جنوبی منطقه مورد آزمایش مشاهده گردید که سهم کمی از مساحت منطقه مورد آزمایش را شامل می‌شود. در این قسمت‌ها مقدار رس خاک و ماده آلی خاک نیز بیش‌تر بوده که دلیل اصلی افزایش تخلخل خاک می‌باشد (شکل ۴-۴ و ۴-۱۲). همچنین در بخشی از مناطق شمالی و شمال شرق که میزان تخلخل کم‌ترین مقدار بوده، روند کلی مشابه میزان شن خاک بوده (شکل ۴-۵) و در کل می‌توان نتیجه گرفت که تخلخل خاک تحت تأثیر بافت و ماده آلی خاک بوده است.

۴-۲-۱۱-نسبت جذب سدیم

جدول ۴-۲۶ و شکل ۴-۲۵ نشان می‌دهد که در بررسی وریوگرام مربوط به پارامتر نسبت جذب

سدیم مدل گوسی نسبت به مدل‌های کروی و نمایی عملکرد بهتری داشته است.

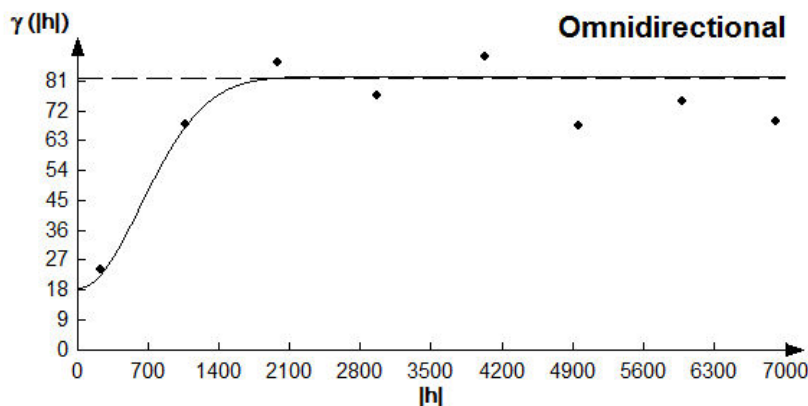
جدول ۴-۲۶- بررسی کارایی مدل‌های مختلف برای وریوگرام نسبت جذب سدیم

نسبت ساختار مکانی (درصد)	Partial sill	Range	Nugget	خطا	نام مدل
	۷۹/۵	۲۱۶۹	۱۴/۹۱	۰/۰۰۱۷	نمایی
۲۲	۶۳/۹	۱۵۳۹	۱۸/۸۵	۰/۰۰۱۰	گوسی
	۶۷/۲۳	۱۸۸۹	۱۵/۵۷	۰/۰۰۱۴	کروی

بررسی نسبت ساختار مکانی پارامتر نسبت جذب سدیم خاک نشان داد که این فاکتور با نسبت

ساختار مکانی ۲۲ درصد از یک ساختار مکانی قوی برخوردار بوده و استفاده از تکنیک زمین‌آمار برای

رسم پهنه‌بندی آن می‌تواند کارآمد باشد (جدول ۴-۲۶).



شکل ۴-۲۵- وریوگرام نسبت جذب سدیم با مدل گوسی

جدول ۴-۲۷ نشان می‌دهد که در ارزیابی خطا با روش‌های مختلف میان‌یابی برای پارامتر نسبت

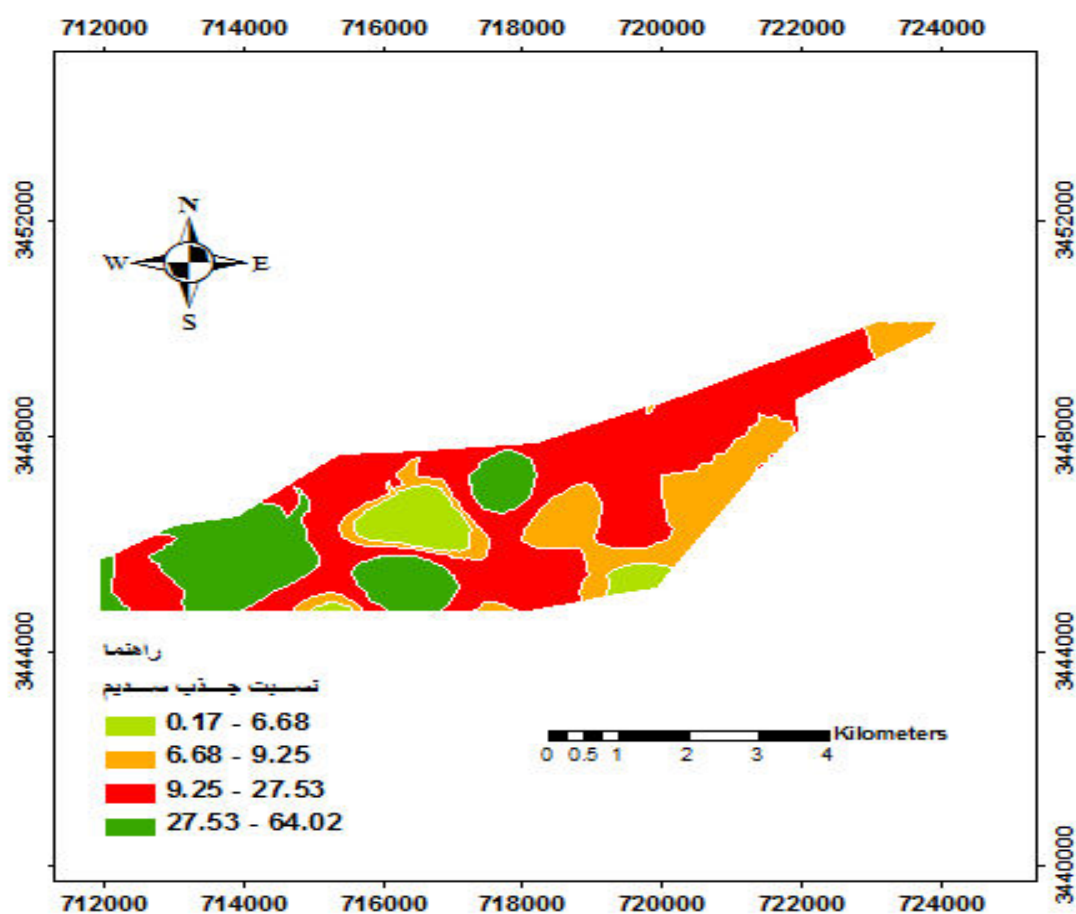
جذب سدیم در منطقه مورد مطالعه روش میان‌یابی کریجینگ با ضریب تبیین ۰/۵۳ و RMSE برابر

۰/۰۲۷ نسبت به روش میان‌یابی وزن معکوس فاصله عملکرد بهتری داشته است.

جدول ۴-۲۷- ارزیابی خطا با روش‌های مختلف میان‌یابی برای تهیه نقشه نسبت جذب سدیم

نام پارامتر	روش میان‌یابی	RMSE	R ²
نسبت جذب سدیم	کریجینگ	۰/۰۲۷	۰/۵۳
	وزن معکوس فاصله	۰/۰۳۲	۰/۱۴۶

شکل ۴-۲۶ نشان می‌دهد که بیش‌ترین میزان نسبت جذب سدیم ۲۱ درصد از مساحت کل منطقه را شامل می‌شود که این میزان نسبت جذب سدیم بین ۲۷/۵۳ تا ۶۴/۰۲ می‌باشد. همچنین کم‌ترین میزان نسبت جذب سدیم بین ۰/۱۷ تا ۶/۶۸ بوده که ۷ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را تشکیل داده است. در بیش‌ترین مساحت منطقه میزان نسبت جذب سدیم بین ۹/۲۵ تا ۲۷/۵۳ بود که ۵۳ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود.



شکل ۴-۲۶- توزیع مکانی نسبت جذب سدیم با روش کریجینگ

در مجموع در بخش قابل توجهی از اراضی مورد مطالعه نسبت جذب سدیم بیش از ۱۵ بوده که نشان دهنده وجود خاک‌های سدیمی در منطقه می‌باشد.

۱۲-۲-۴- سرعت نفوذ

جدول ۲۸-۴ و شکل ۲۹-۴ نشان می‌دهد که در بررسی وریوگرام مربوط به پارامتر سرعت نفوذ مدل نمایی نسبت به مدل‌های کروی و گوسی عملکرد بهتری داشته و مدل بهتری ارائه نموده اند.

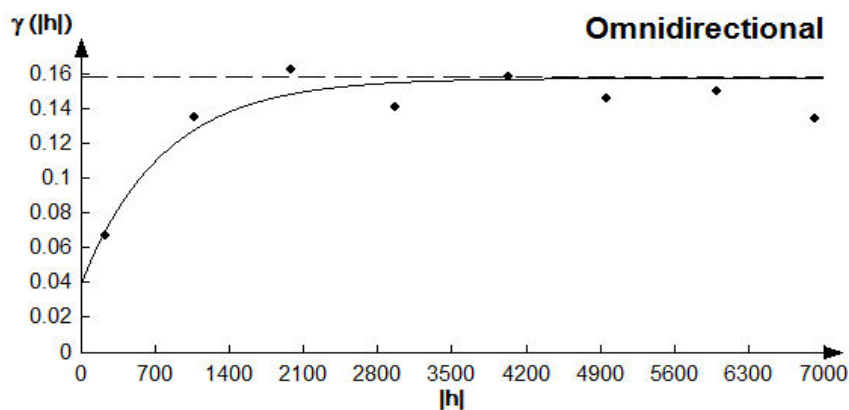
جدول ۲۸-۴- بررسی کارایی مدل‌های مختلف برای وریوگرام سرعت نفوذ

نسبت ساختار مکانی (درصد)	Partial sill	Range	Nugget	خطا	نام مدل
۱/۴	۰/۲۱	۱۳۷۶	۰/۰۰۳	۰/۰۳۱	نمایی
	۰/۱۷	۱۲۹۶	۰/۰۰۱	۰/۰۳۴	گوسی
	۰/۲۶	۱۰۹۷	۰/۰۰۲	۰/۰۵۱	کروی

بررسی نسبت ساختار مکانی پارامتر سرعت نفوذ خاک نشان داد که این فاکتور با نسبت ساختار

مکانی ۱/۴ درصد از یک ساختار مکانی قوی برخوردار بوده و استفاده از تکنیک زمین‌آمار برای رسم

پهنه‌بندی آن می‌تواند کارآمد باشد (جدول ۳۰-۴).



شکل ۲۷-۴- وریوگرام نفوذ با مدل نمایی

جدول ۴-۲۹ نشان می‌دهد که در ارزیابی خطا با روش‌های مختلف میان‌یابی برای پارامتر سرعت

نفوذ در منطقه مورد مطالعه روش میان‌یابی کریجینگ با ضریب تبیین ۰/۵۱ و RMSE برابر ۱/۰۳

نسبت به روش میان‌یابی وزن معکوس فاصله عملکرد بهتری داشته است.

جدول ۴-۲۹- ارزیابی خطا با روش‌های مختلف میان‌یابی برای تهیه نقشه نفوذ

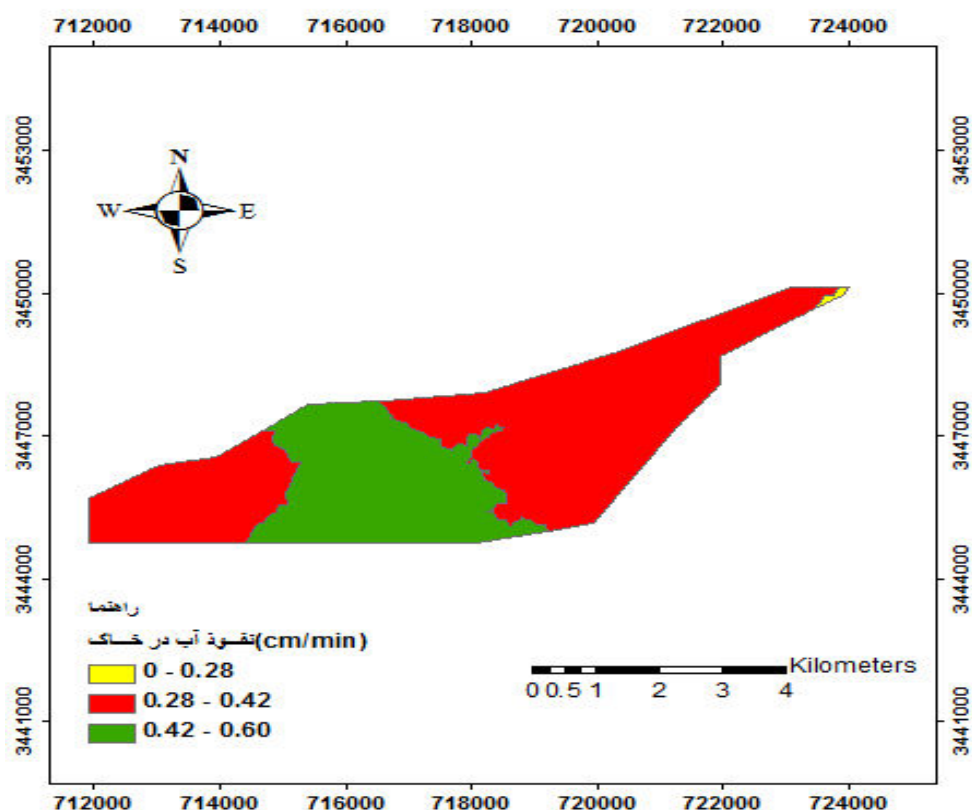
نام پارامتر	روش میان-یابی	RMSE	R ²
	کریجینگ	۱/۰۳	۰/۵۱
نفوذ	وزن معکوس فاصله	۳/۶۹	۰/۳۶

شکل ۴-۲۸ بیانگر این است که کم‌ترین میزان نفوذ در ۰/۳ درصد از مساحت کل منطقه مورد

مطالعه بوده که این میزان نفوذ بین ۰ تا ۰/۲۸ سانتی‌متر بر دقیقه می‌باشد. همچنین بیش‌ترین میزان

نفوذ در منطقه ۰/۴۲ تا ۰/۶۰ سانتی‌متر بر دقیقه بود که ۲۹ درصد از مساحت کل منطقه مورد

مطالعه را تشکیل داده است.



شکل ۴-۲۸- توزیع مکانی هدایت نفوذ با روش میان‌یابی کریجینگ

۳-۴- برآورد سرعت نفوذ آب به خاک توسط شبکه عصبی

به منظور برآورد هر کدام از پارامترهای مدل‌های یاد شده نفوذ، چهار نوع شبکه با تعداد گره‌های مختلف طراحی گردید. با توجه به تعداد گره‌های استفاده شده در لایه میانی هر شبکه از ۳ تا ۱۵ گره تشکیل شده است.

عملکرد شبکه‌های طراحی شده در بخش آموزش و آزمون، با استفاده از آماره ضریب تبیین (R^2) مورد بررسی قرار گرفت. سپس از بین شبکه‌های طراحی شده برای هر ANN_i ، شبکه‌ای که دارای بهترین عملکرد بود، انتخاب شد.

جدول ۴-۳۰ شبکه‌های عصبی گزینش شده برای برآورد سرعت نفوذ نهایی را نشان می‌دهد. مقدار R^2 بخش آزمون شبکه‌ها همواره کمتر از مقدار آن در بخش آموزش بوده است. در واقع می‌توان گفت مقدار خطای بخش آزمون از بخش آموزش بیش‌تر بوده است.

جدول ۴-۳۰- بهترین شبکه‌های عصبی گزینش شده در برآورد سرعت نفوذ نهایی

نوع شبکه	معماری انتخابی	توابع آستانه	ضریب تبیین آموزش	ضریب تبیین آزمون	ضریب تبیین اعتبارسنجی	ضریب تبیین شبیه‌سازی	خطای شبیه‌سازی
ANN ₁	۳-۶-۱	tansig	۰/۹۵۱۷	۰/۶۲۱۳	۰/۵۴۳۲	۰/۷۹۸۸	۰/۰۴۲۱
	۳-۳-۱	logsig	۰/۷۰۸۹	۰/۵۹۳۵	۰/۴۸۵۲	۰/۷۵۷۷	۰/۰۴۶۲
ANN ₂	۵-۸-۱	tansig	۰/۸۹۶۵	۰/۴۲۱۵	۰/۲۷۲۷	۰/۷۰۸۹	۰/۰۵۰۷
	۵-۱۵-۱	logsig	۰/۹۲۰۹	۰/۷۱۶۵	۰/۵۵۶۵	۰/۶۲۶۴	۰/۰۵۷۴
ANN ₃	۷-۱۲-۱	tansig	۰/۹۶۵۰	۰/۷۶۶۲	۰/۶۴۰۳	۰/۸۵۰۶	۰/۰۳۶۳
	۷-۶-۱	logsig	۰/۹۵۲۱	۰/۴۸۸۵	۰/۷۱۸۹	۰/۸۷۹۳	۰/۰۳۲۶
ANN ₄	۹-۴-۱	tansig	۰/۹۴۹۱	۰/۷۳۴۲	۰/۷۵۲۷	۰/۸۷۸۴	۰/۰۳۲۸
	۹-۶-۱	logsig	۰/۹۳۸۷	۰/۵۸۶۶	۰/۶۶۶۰	۰/۸۵۸۳	۰/۰۳۵۴

بهترین شبکه طراحی شده برای برآورد سرعت نفوذ، شبکه طراحی شده با نه متغیر ورودی شامل فراوانی نسبی ذرات خاک، چگالی ظاهری خاک، تخلخل کل، ماده آلی، نسبت جذب سدیم، میانگین هندسی قطر ذرات و انحراف معیار هندسی (ANN₄) بوده است. معماری بهترین شبکه به صورت ۹-۴-۱ و با تابع آستانه tansig بوده است. در این معماری ضریب تبیین به ترتیب برای مراحل آموزش، آزمون و اعتبارسنجی ۰/۹۴۹۱، ۰/۷۳۴۲ و ۰/۷۵۲۷ می‌باشد. همچنین در مرحله شبیه‌سازی نیز این شبکه با معماری اشاره شده توانسته به خوبی به شبیه‌سازی سرعت نفوذ پرداخته و ضریب تبیین و ریشه میانگین مربعات خطا در این مرحله به ترتیب ۰/۸۷۸۴ و ۰/۰۳۲۸ می‌باشد (جدول ۴-۳۰). شکل A-۴-۲۹ نیز بیان‌کننده پراکنش مناسب داده‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده توسط این شبکه بوده که بر کارایی مناسب شبکه طراحی شده در پیش‌بینی سرعت نفوذ تأکید می‌نماید.

همچنین در بین چهار شبکه مطالعه شده با معماری‌های مختلف شبکه دارای هفت ورودی شامل فراوانی نسبی ذرات خاک، چگالی ظاهری خاک، تخلخل کل، ماده آلی و نسبت جذب سدیم (ANN₃) با ساختار ۷-۶-۱ و تابع آستانه logsig نیز با ضریب تبیین ۰/۸۷۹۳ و خطای شبیه‌سازی

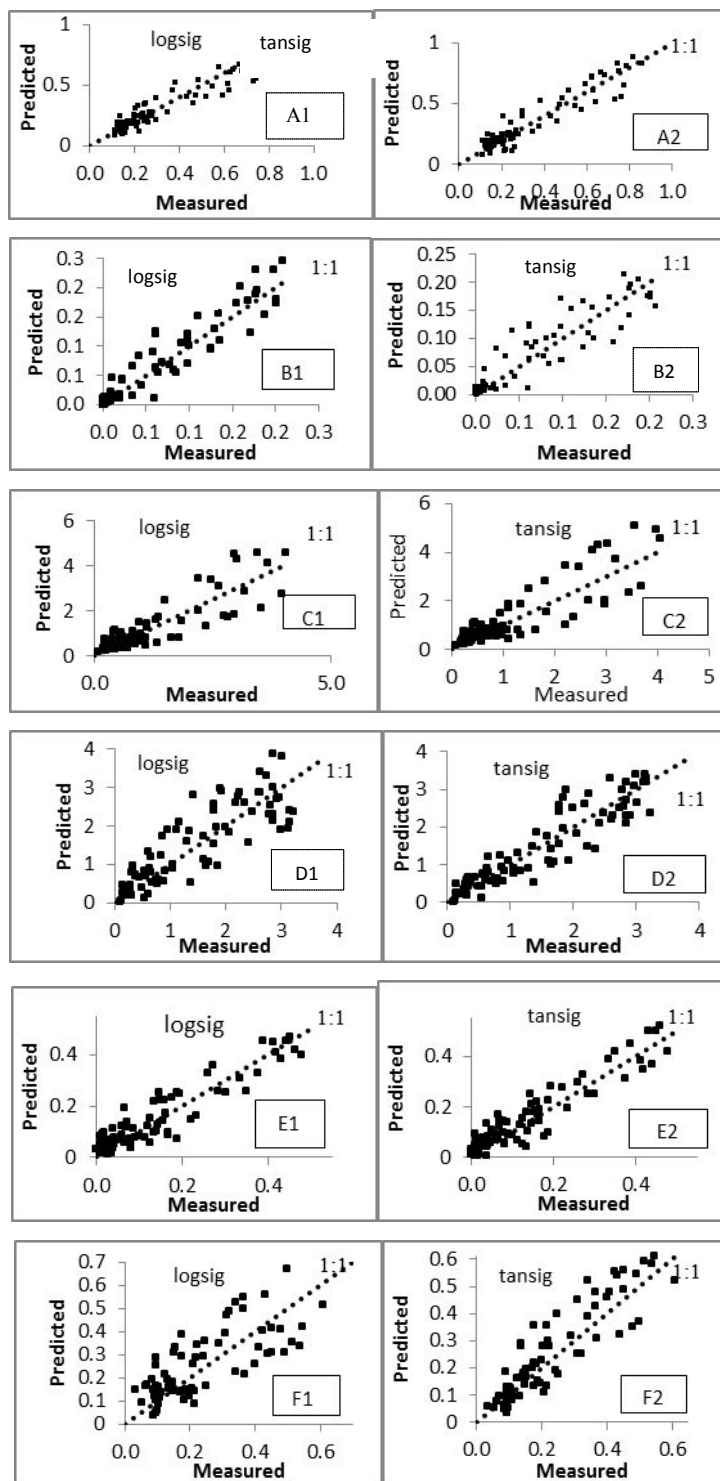
۰/۰۳۲۶ توانسته تا حد قابل قبولی به شبیه‌سازی سرعت نفوذ بپردازد. با این وجود ضریب تبیین این

ساختار نسبت به معماری ۱-۴-۹ در مراحل آزمون و اعتبارسنجی کمتر بوده است (جدول ۴-۳۰).

جدول ۴-۳۱- نتایج بهترین شبکه‌های پی‌ریزی شده از بین ۴ نوع شبکه مورد مطالعه با معماری‌های مختلف

برای برآورده پارامترهای مدل‌های فیلیپ و هورتون.

خطای شبیه‌سازی	ضریب تبیین شبیه‌سازی	ضریب تبیین اعتبارسنجی	ضریب تبیین آزمون	ضریب تبیین آموزش	توابع آستانه	معماری	پارامتر	مدل
۰/۰۶۱۴	۰/۸۴۲۵	۰/۸۶۴۴	۰/۴۲۶۴	۰/۹۸۸۹	tansig	۹-۱۳-۱	A	فیلیپ
۰/۰۶۶۹	۰/۸۱۲۹	۰/۹۷۶۳	۰/۷۶۲۱	۰/۹۱۹۶	logsig	۹-۱۱-۱	S	
۰/۰۸۶۸	۰/۶۳۸۹	۰/۴۵۰۷	۰/۳۶۱۵	۰/۹۴۲۱	tansig	۹-۷-۱		I ₀
۰/۰۸۴۰	۰/۶۶۲۲	۰/۸۷۵۹	۰/۴۶۲۵	۰/۸۷۶۳	logsig	۹-۲-۱		
۰/۰۶۸۴	۰/۷۵۷۱	۰/۵۶۲۳	۰/۶۲۱۷	۰/۹۷۲۵	tansig	۹-۱۱-۱		i _c
۰/۰۸۳۸	۰/۶۳۵۹	۰/۶۴۷۳	۰/۲۲۳۸	۰/۹۷۷۰	logsig	۷-۱۱-۱		
۰/۰۴۲۵	۰/۸۲۰۹	۰/۷۶۳۴	۰/۴۹۶۷	۰/۹۳۳۳	tansig	۹-۹-۱		هورتون
۰/۰۳۹۲	۰/۸۴۷۵	۰/۹۱۲۷	۰/۳۵۷۳	۰/۹۴۴۷	logsig	۹-۵-۱		
۰/۰۶۰۹	۰/۷۱۱۶	۰/۶۰۶۹	۰/۵۸۱۵	۰/۹۴۸۶	tansig	۵-۹-۱	K	
۰/۰۶۹۴	۰/۶۲۵۵	۰/۵۴۱۶	۰/۶۱۴۳	۰/۸۷۳۰	logsig	۹-۲-۱		



شکل ۴-۲۹- پراکندگی مقادیر اندازه‌گیری و تخمینی مربوط به برآورد سرعت نفوذ نهایی (شکل A)، پارامترهای A (شکل B) و S (شکل C) از مدل فیلیپ و همچنین پارامترهای I_0 (شکل D)، I_c (شکل E) و K (شکل F) از مدل هورتون توسط بهترین شبکه‌های عصبی مصنوعی مورد مطالعه

کارایی شبکه عصبی برای برآورد پارامترهای نفوذ مورد مطالعه، در مدل فیلیپ برای پارامتر A و در مدل هورتون برای پارامتر I_c بیش تر بود (جدول ۴-۳۱). در برآورد پارامترهای مدل فیلیپ، شبکه‌های با نه پارامتر ورودی بهترین عملکرد را داشته‌اند. در برآورد پارامتر A با توابع محرک tansig و logsig به ترتیب شبکه‌های با معماری ۹-۱۳-۱ و ۹-۱۱-۱ دارای کم‌ترین خطای شبیه‌سازی (به ترتیب ۰/۰۶۱۴ و ۰/۰۶۶۹) و بیش‌ترین ضریب تبیین (به ترتیب ۰/۸۴۲۵ و ۰/۸۱۲۹) بوده است. برآورد پارامتر S نیز با دو تابع محرک tansig و logsig به ترتیب شبکه‌های با معماری ۹-۷-۱ و ۹-۲-۱ دارای کم‌ترین خطای شبیه‌سازی (به ترتیب ۰/۰۸۶۸ و ۰/۰۸۴۰) و بیش‌ترین ضریب تبیین (به ترتیب ۰/۶۳۸۹ و ۰/۶۶۲۲) بوده است. برای هر دو پارامتر A و S ضرایب تبیین برای مراحل آموزش و آزمون نشان‌دهنده موفقیت نسبی شبکه‌های مذکور بوده است. شکل ۲۹-۴-B و ۲۹-۴-C نیز بیان‌کننده پراکنش مناسب داده‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده توسط شبکه‌های مذکور به ترتیب برای برآورد پارامتر A و S بوده که بر کارایی مناسب شبکه طراحی شده در پیش‌بینی این پارامترها تأکید می‌نماید.

در برآورد پارامتر I_0 مدل هورتون با توابع محرک tansig و logsig به ترتیب شبکه‌های با معماری ۹-۱۱-۱ و ۷-۱۱-۱ دارای کم‌ترین خطای شبیه‌سازی (به ترتیب ۰/۰۶۸۴ و ۰/۰۸۳۸) و بیش‌ترین ضریب تبیین (به ترتیب ۰/۷۵۷۱ و ۰/۶۳۵۹) بوده است. در برآورد پارامتر i_c نیز با دو تابع محرک tansig و logsig به ترتیب شبکه‌های با معماری ۹-۹-۱ و ۹-۵-۱ دارای کم‌ترین خطای شبیه‌سازی (به ترتیب ۰/۰۴۲۵ و ۰/۰۳۹۲) و بیش‌ترین ضریب تبیین (به ترتیب ۰/۸۲۰۹ و ۰/۸۴۷۵) بود. همچنین در برآورد پارامتر k با توابع محرک tansig و logsig به ترتیب شبکه‌های با معماری ۵-۹-۱ و ۹-۲-۱ دارای کم‌ترین خطای شبیه‌سازی (به ترتیب ۰/۰۶۰۹ و ۰/۰۶۹۴) و بیش‌ترین ضریب تبیین (به ترتیب ۰/۷۱۱۶ و ۰/۶۲۵۵) بوده است. برای هر سه پارامتر I_0 ، i_c و k ضرایب تبیین برای مراحل آموزش و آزمون نیز نشان‌دهنده موفقیت نسبی شبکه‌های مذکور بوده است (جدول ۴-۳۱). شکل ۲۹-۴-D، ۲۹-۴-E و ۲۹-۴-F نیز بیان‌کننده پراکنش مناسب داده‌های اندازه‌گیری شده و

شبیه‌سازی شده توسط شبکه‌های مذکور به ترتیب برای برآورد پارامتر I_0 ، i_c و k بوده که بر کارایی مناسب شبکه طراحی شده در پیش‌بینی این پارامترها تأکید می‌نماید.

۴-۴- ماشین بردار پشتیبان

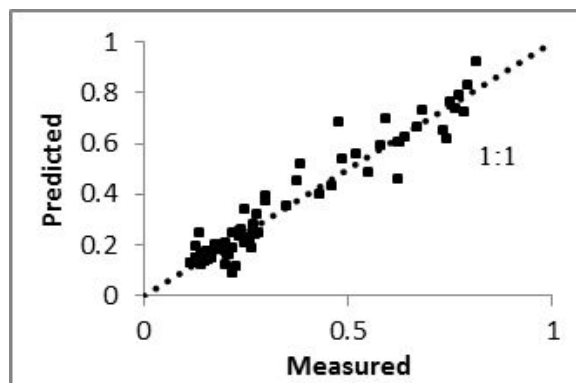
در این تحقیق برای برآورد سرعت نفوذ نهایی آب در خاک به کمک مدل ماشین بردار پشتیبان از همان نه ورودی شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. برای هر الگوی ورودی با تغییر ε ، c و σ به صورت آزمون و خطا شبکه‌های مختلفی ساخته و آموزش داده شد و در نهایت ساختاری که دارای کمترین خطا و بیشترین دقت بود به عنوان مناسب‌ترین الگو انتخاب شد. جدول ۴-۳۲ شاخص‌های آماری مربوط به نتایج حاصل از کاربرد مدل SVM را برای برآورد سرعت نفوذ نهایی آب در خاک نشان می‌دهد.

عملکرد SVM در برآورد سرعت نفوذ نهایی آب در خاک در هر سه مرحله آموزش، آزمون و شبیه‌سازی مناسب بوده‌است. خطای شبیه‌سازی در مدل مذکور $0/05$ و ضریب تبیین $0/92$ بوده است (جدول ۴-۳۲). شکل ۴-۳۰ نمودار پراکندگی مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی توسط بهترین حالت مدل SVM نشان می‌دهد.

مقایسه دو مدل شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان در برآورد سرعت نفوذ نهایی نشان داد که مدل SVM با خطای شبیه‌سازی $0/05$ و ضریب تبیین $0/92$ نسبت به بهترین مدل شبکه عصبی با معماری ۱-۴-۹ و تابع محرک tansig با ضریب تبیین $0/88$ عملکرد بهتری داشته است.

جدول ۴-۳۲- نتایج مدل ماشین بردار پشتیبان در پیش‌بینی سرعت نفوذ نهایی آب در خاک

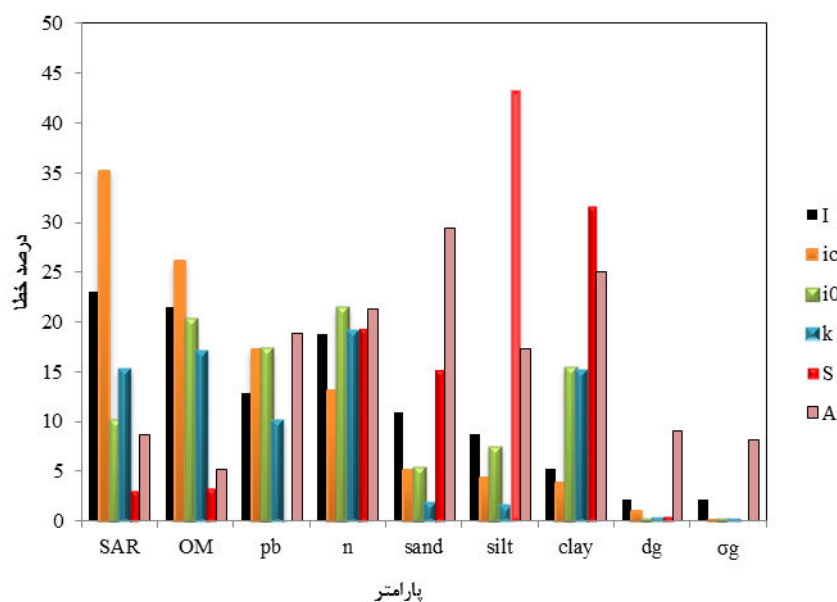
پارامتر	E	c	σ	MSRE	R^2
I (آزمون)	۵	۰/۰۵۰	۴/۳۱۰	۰/۰۴۱	۰/۹۶۱
I (تست)	۴	۰/۰۶۰	۲/۲۱۰	۰/۰۵۴	۰/۹۳۴
I	۴	۰/۰۶۰	۲/۲۱۰	۰/۰۵۷	۰/۹۲۵



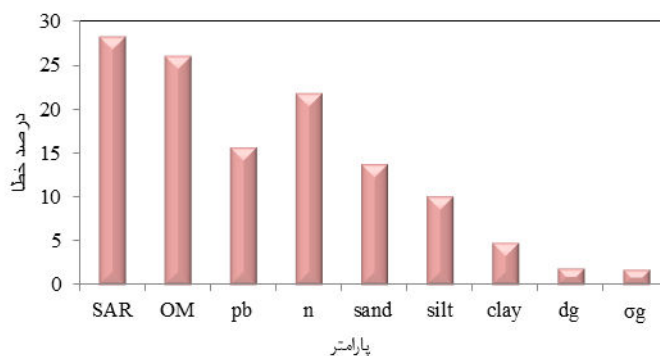
شکل ۴-۳۰- پراکندگی مقادیر اندازه‌گیری و تخمینی سرعت نفوذ نهایی در بهترین حالت مدل SVM

۴-۵- آنالیز حساسیت مدل‌های مورد مطالعه

نتایج آنالیز حساسیت نشان می‌دهد که حساسیت بهترین مدل شبکه عصبی نسبت به نسبت جذب سدیم و ماده آلی بیشتر از هفت فاکتور دیگر در شبیه‌سازی سرعت نفوذ بوده است. در شبیه‌سازی فاکتور I_c در مدل هورتون، بیش‌ترین حساسیت مدل نسبت به دو پارامتر نسبت جذب سدیم و ماده آلی و در درجه دوم نسبت به چگالی ظاهری و تخلخل بوده است. همچنین در شبیه‌سازی پارامتر I_0 و K در مدل هورتون نیز بیش‌ترین حساسیت به پارامترهای تخلخل و ماده آلی خاک بوده است. به علاوه در شبیه‌سازی پارامترهای نفوذ در مدل فیلیپ نیز، بیش‌ترین حساسیت مدل نسبت به فراوانی نسبی ذرات خاک و در درجه دوم نسبت به چگالی ظاهری و تخلخل خاک بوده است (شکل ۴-۳۱). همچنین نتایج آنالیز حساسیت مدل SVM نیز نشان می‌دهد که حساسیت این مدل به نسبت جذب سدیم و ماده آلی و تخلخل بیشتر از شش فاکتور دیگر در شبیه‌سازی سرعت نفوذ نهایی بوده است (شکل ۴-۳۲).



شکل ۴-۳۱- آنالیز حساسیت مدل شبکه عصبی



شکل ۴-۳۲- آنالیز حساسیت مدل SVM

با افزایش نسبت جذب سدیم تشکیل سله در خاک‌ها افزایش یافته و مقدار پایداری خاکدانه‌ها کمتر شده که این امر بر مقدار نفوذ آب درون خاک تاثیر قابل توجهی خواهد داشت. افزایش ماده آلی خاک، بهبود ساختمان و تخلخل را در پی داشته است (امداد، ۲۰۰۷). همچنین ماده آلی خاک به واسطه جرم ویژه پایین و توانایی‌اش در افزایش پایداری خاکدانه‌ها باعث بالا رفتن سرعت نفوذ آب در خاک می‌شود (قیومی محمدی و همکاران ۱۳۹۲). اندازه ذرات خاک نیز از پارامترهای مهم و تأثیر

گذار در جذب پذیری آب در خاک و هدایت هیدرولیکی آن می باشد. اثر منفی افزایش نسبت جذب سدیم و چگالی ظاهری و اثر مثبت ماده آلی و تخلخل در بهبود وضعیت ساختمانی خاک و در نتیجه بر نفوذ آب به داخل خاک در مطالعات گذشته گزارش شده است.

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۵-۱- نتیجه گیری

باتوجه به آزمایشات انجام شده در منطقه نتایج زیر حاصل گردید:

شوری خاک در منطقه مورد آزمایش بسیار زیاد بوده که از دلایل آن به ورود آبهای فاضلاب به فضای سبز و از همه مهمتر آبیاری فضای سبز منطقه مورد آزمایش با آب شور می‌توان اشاره نمود. میزان ماده آلی در اکثر قسمت‌های منطقه مورد آزمایش در محدوده خوب و خیلی خوب بوده که از دلایل آن به اضافه نمودن کودهای دامی به فضای سبز توسط کارگرهای شهرداری می‌توان اشاره نمود.

میزان آهک خاک در منطقه مورد آزمایش زیاد بوده و خاک این منطقه در گروه خاک‌های آهکی قرار دارد.

باتوجه به آبیاری با املاح بالا میزان کلسیم، منیزیم و سدیم خاک و همچنین نسبت جذب سدیم خاک نیز به طبع آن زیاد بوده است.

میزان نفوذپذیری آب در خاک در بعضی نقاط بسیار کم بوده که از علل آن می‌توان به نزدیکی سنگ بستر به سطح خاک (باتوجه به مشاهدات صحرایی) و ایجاد سله در لایه‌های میانی خاک اشاره کرد.

در مجموع خاک منطقه با توجه به قرارگیری در منطقه خشک و نتایج به دست آمده، از دسته خاک‌های شور-سدیمی بوده و ایجاد و حفظ فضای سبز در این منطقه با توجه به عدم دسترسی کافی به آب شیرین نیازمند توجه ویژه به گیاهان شوری پسند می‌باشد. همچنین مشکل نفوذ در بخش‌های مرکزی منطقه مورد مطالعه بیشتر مشاهده شد که با توجه به الگوی سایر پارامترها و مشاهدات صحرایی، علت اصلی آن عمق کم خاک و نزدیکی به سنگ بستر بوده است.

معماری بهترین شبکه MLP برای برآورد سرعت نفوذ نهایی به صورت ۱-۴-۹ و با تابع آستانه tansig بوده است. همچنین شبکه MLP توانایی خوبی در برآورد پارامترهای نفوذ هر دو مدل هوتون و فیلیپ داشته است.

مقایسه دو مدل شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان در برآورد سرعت نفوذ نهایی نشان داد که مدل SVM با خطای شبیه‌سازی ۰/۰۵ و ضریب تبیین ۰/۹۲ نسبت به بهترین مدل شبکه عصبی با معماری ۹-۴-۱ و تابع محرک tansig با ضریب تبیین ۰/۸۸ عملکرد بهتری داشته است.

۵-۲- پیشنهادها

با توجه به مشاهدات و نتایج حاصل شده پیشنهاد می‌گردد:

با توجه به بالا بودن املاح خاک و نیز منیزیم، کلسیم، سدیم و آهک توصیه می‌شود از آب با املاح بالا برای آبیاری منطقه استفاده نشود، چراکه باعث شوری بیشتر و تجمع املاح بیشتری در منطقه مورد آزمایش می‌گردد.

با توجه به محدودیت منابع آب شیرین و همچنین شور و سدیمی بودن خاک منطقه، پیشنهاد می‌شود مطالعاتی در برای جایگزینی گیاهان فضای سبز شهری با گونه‌های شور پسند انجام گیرد. با توجه به نزدیکی سنگ بستر در برخی نقاط اختصاص یافته به فضای سبز توصیه می‌شود یک آمایش جدی در برای شناسایی این مناطق صورت گرفته و کاربری‌های مناسب با این مشکل توصیه گردد.

با توجه به پایین بودن ضریب کارایی در برخی از پارامترها توصیه می‌شود در پژوهش‌های آتی از تعداد نمونه‌های بیشتر و نرم افزارهای متفاوت برای بالا بردن ضریب کارایی و تهیه نقشه‌های با کیفیت بالاتر استفاده گردد.

منابع:

- ابراهیمی، ک. نایب لویی، ف. ۱۳۸۸. تخمین نفوذپذیری نهایی خاک‌ها با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک (علوم کشاورزی و منابع طبیعی)، ۱۶(۱): ۳۷-۵۷.
- اسفندیارپور، ع. و باقری، م. ۱۳۸۵. شناسایی و نقشه برداری خاک. انتشارات پلک.
- اعمی ازغدی، ع. خراسانی، ر. مکرم، م. و معزی، ع. ۱۳۸۹. ارزیابی حاصلخیزی خاک بر اساس فاکتورهای فسفر، پتاسیم و مواد آلی برای گندم با استفاده از تکنیک فازی- AHP و GIS. نشریه آب و خاک، ۲۴(۵): ۹۷۳-۹۸۴.
- اکبرپور، ا. و برزنونی، س. ۱۳۸۸. مکان‌یابی مناطق مناسب تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی با استفاده از GIS (مطالعه موردی: دشت بیرجند). دهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان.
- ایوبی، ش. محمدزمانی، س. و خرمالی، ف. ۱۳۸۶. برآورد مقدار ازت کل خاک به کمک مقدار ماده آلی و با استفاده از روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و کریجینگ-رگرسیون در بخشی از اراضی زراعی گلستان. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۴(۴): ۷۳-۸۴.
- ایوبی، م. سکوتی، م. و ملکوتی، م.ج. ۱۳۹۴. بررسی و پیش‌بینی تغییرات مکانی ماده آلی و عناصر فسفر و پتاسیم خاک، مطالعه موردی: دشت شمالی ارومیه. نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۲۰(۷۶): ۱۷۷-۱۸۷.
- تاچگران، ت. ایوبی، ش. خرمالی، ف. و شتابی، ش. ۱۳۸۶. بررسی تغییرپذیری مکانی و همبستگی برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک سطحی به کمک تکنیک زمین‌آمار (مطالعه موردی: بخشی از اراضی شمال آق قلا). دهمین کنگره علوم خاک ایران، کرج.
- سکوتی اسکوتی، ر. مهدیان، م.ج. محمودی، ش. و قهرمان، ا. ۱۳۸۶. مقایسه کارایی برخی روش‌های زمین‌آمار برای پیش‌بینی پراکنش مکانی شوری خاک، مطالعه موردی دشت ارومیه. پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی. ۲۰(۱): ۹۰-۹۸.

سکوتی اسکوئی، ر. و مهدیان، م.ح. ۱۳۸۹. کاربرد زمین‌آمار و سیستم اطلاعات جغرافیایی در مدیریت توزیع منطقه‌ای کود، مطالعه موردی: دشت ارومیه. اولین کنگره چالش‌های کود در ایران، تهران.

قربانی دشتکی، ش. همایی، م. و مهدیان، م.ح. ۱۳۸۸. برآورد پارامترهای نفوذ با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۳(۱): ۱۹۸-۱۸۵.

زمانی، س. ایوبی، ش. و خرماالی، ف. ۱۳۸۶. بررسی تغییرات مکانی خصوصیات خاک و عملکرد گندم در بخشی از اراضی زراعی سرخنکلاته استان گلستان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۱(۴۰): ۷۹-۹۱.

روشنی، ق. ۱۳۹۲. تهیه نقشه رقومی حاصلخیزی خاک برای مراکز خدمات کشاورزی سازمان جهاد کشاورزی استان گلستان برای بهینه‌سازی مصرف کودهای شیمیایی در برنامه عملیات الگوی کشت. موسسه تحقیقات پنبه کشور. شماره ۴۴۲۵.

ذوالفقاری، ع. و حاج‌عباسی، م. ۱۳۸۷. تاثیر تغییر کاربری اراضی بر خصوصیات فیزیکی و آبگریزی خاک در مراتع فریدون شهر و جنگل‌های لردگان. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۲(۲): ۲۵۱-۲۶۱.

صالحی، م.ح. و خادمی، ح. ۱۳۸۷. مبانی نقشه‌برداری خاک. انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی اصفهان.

قربانی دشتکی، ش. و همایی، م. ۱۳۸۱. برآورد پارامتریک توابع هیدرولیکی بخش غیراشباع خاک با استفاده از توابع انتقالی. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۳(۱۲): ۱-۱۶.

کاشی، ح. امامقلی‌زاده، ص. قربانی، ه. و هاشمی، ع.ا. ۱۳۹۲. برآورد نفوذپذیری خاک توسط شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی در اراضی کشاورزی بکر. مجله پژوهش‌های فرسایش محیطی، ۳(۱): ۱۹-۳۴.

منهاج، م. ۱۳۸۱. مبانی شبکه‌های عصبی مصنوعی. جلد اول، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.

نصرت پور، س. ۱۳۹۰. تهیه نقشه قابلیت حاصلخیزی خاک با استفاده از GIS روشی مناسب و کاربردی برای بهینه سازی مصرف کود. مجله زیتون، سال ۳۱.

هزارجریبی، ا. نصرتی کاریزک، ف. عبدالله نژاد، ک. و قربانی، خ. ۱۳۹۲. بررسی امکان پیش‌بینی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک با استفاده از پارامترهای زودیافت خاک. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۷ (۴): ۷۱۲-۷۱۹.

Avery, B.W. 1987. Soil Survey method: A review. Technical Monograph No. 18. Silsoe: Soil Survey & Land Resource Center. 86 p.

Bilgili, M., Sahin, B. and Sangun, L. 2013. Estimating soil temperature using neighboring station data via multi-nonlinear regression and artificial neural network models. Environmental Monitoring and Assessment, 185: 347-358.

Blake, R. O., Bell, D. E, Mathews, J. T., Mc Namara, R. S. and McPherson, M. P. 1994. Feeding 10 billion people in 2050: The key role of the CGIAR'S IARC'S A report by the action group on food. World Resources Instiute. Washington. D.C.

Cambardella, C. A., Moorman, T. B., Novak, J. M., Parkin, T. B., Karlen. D. L., Turco. R. F. and Konopka. A. E. 1994. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. Soil Science Society of America Journal, 58: 1501-1511.

Carter M.R. 1993. Soil Sampling and Methods of Analysis. CRC Press. Boca Raton.

Doran, J. W. and Sarantonio, M. A. 1996. Soil Heath land Sustainability. In: Sparks, L. (Ed.) Advances in Agronomy. Vol 56. Academic Press, San Diago, CA. 1-54 P.

Fisher, C. A. and Baker. D. E. 1990. Soil and Land Suitability of the Mutdapilly Research Station [Queensland]. Bransban. QLD (Australia) Department of Primary Industries . 83 pp.

Gandhimathi, A. and Meenambal, T. 2012. Analysis of heavy metal for soil in Coimbatore by using ANN model. European Journal of Scientific Research, 68(4): 462-474.

George, D. and Mallery, P. 2010. SPSS for Windows Step by Step: A Simple Guide and Reference 17.0 Update. 10th Edition, Pearson, Boston.

Hem, J. D. 1989. Study and Interpolation of chemical characteristics of Natural Water, Third Edition. U.S. Geological Survey Water-Supply paper 2254 Washington, D.C.USA. 263p.

Issaks, E.H. and Srivastava, R.M. 1989. An introduction to applied geostatistics. Oxford University Press, New York, pp. 540-565.

Jing, J. W., Xu, Y.F., Ye, H. C., Shen, C. Y. and Huang, Y. F. 2011. Effect of land use and soil management practices on soil fertility quality in North China cities urban fringe. African Journal of Agricultural Research Academic Journal, 69: 2059- 2065.

Lamorski, K., Pachepsky Y., Slawinski C. and Walczak R.T. 2008. Using support vector machines to develop pedotransfer functions for water retention of soils in Poland. Soil Science Society of America Journal, 72: 1243-1247.

Lamsal, S., Bliss C. M. and Graetz, D. A. 2009. Geospatial mapping of soil nitrate-nitrogen distribution under a mixed-land use system. Pedosphere, 19 (4): 434-445

Leij, F., Schaap, M.G. and Arya, L. M. 2002. Water retention and storage: Indirect methods. p. 1009–1045. In Dane J.H. and Topp G.C. (Ed.) Methods of Soil Analysis. Part 4. SSSA Book Ser. No. 5. SSSA, Madison.

Liao, K., Xu, S., Wu, J., Zhu, Q. and An L. 2014. Using support vector machines to predict cation exchange capacity of different soil horizons in Qingdao City, China. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 177 (5): 775-782.

Mahler, P.J. 1979. Manual of multipurpose land classification. Ministry of Agriculture. Soil Institute of Iran. Pub. No. 212, 81pp.

Minasny, B. and McBratney. A.B. 2002. The Neuro-m method for fitting neural network parametric pedotransfer functions. Soil Science Society of America Journal, 66: 352-361

Neshat, A. and Parehkar, M., 2007, The comparison of methods for determining the vertical infiltration rate. Agriculture and Natural Resources Journal, 14(3): 186-195.

Pachepsky, Y. A., Timilin, D. and Varallyay, G. 1996. Artificial neural networks to estimate soil water retention from easily measurable data. Soil Science Society of America Journal, 60: 727-733

Parasuraman, K., Elshorbagy, A. and Si, B.C. 2006. Estimating saturated hydraulic conductivity in spatially variable field using neural network ensembles. *Soil Science Society of America Journal*, 70: 1851-1859.

Robinson T.P. and metternicht G. 2006. Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. *computer and electronic in agricultur*, 50: 97-108.

Sarmadian, F., A. Keshavarzi and A. Malekian. 2010. Continuous mapping of topsoil calcium carbonate using geostatistical techniques in a semi-arid region. *Australian Journal of Crop Science*. 48: 603-608.

Schaap, M.G. and Leij. F.J. 1998. Using neural networks to predict soil water retention and soil hydraulic conductivity. *Soil and Tillage Research*, 47: 37-42.

Shirazi, M.A. and Boersma. L. 1984. A unifying quantitative analysis of soil texture. *Soil Science Society of America Journal*. 48: 142-147.

Sun, B. S., L. Zhou. and Zhao, Q. G. 2003. Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China. *Geoderma*, 115(1): 85-99.

Twarakavi N. K. C., Simunek J. and Schaap M. G. 2009. Development of pedotransfer functions for estimation of soil hydraulic parameters using support vector machines. *Soil Science Society of America Journal*, 73: 1443-1452.

Walkley, A. and Black I. A. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of chromic acid in soil analysis. *Soil science society of America journal*, 79: 459-465.

Zinck , A.1992. *Soil survey: perspective and strategies for the 21st century*. ITC publication. No.21.

Abstract

The importance of proper utilization of limited resources of water and soil is clear to everybody. Soil as one of the most vital elements plays an important role in the life of organisms. In recent decades, following the massive growth of the world's population, human use of natural resources, especially agricultural lands, is not based on their ability and talent. This study was conducted to investigate the spatial pattern of soil physical and chemical properties in green space of Abarkouh city in Yazd province, using geographic information system (GIS), and also the possibility of predicting the parameters of the Phillip and Horton parameters and final water infiltration rate using artificial neural network and support vector machine (SVM). To conduct this research, 100 points were selected in urban green space. In all studied areas, soil is collected from a depth of 0-30 cm of soil surface and some physical and chemical properties of soil including texture, electrical conductivity, acidity, organic matter and calcium carbonate using was measured standard laboratory method. The results showed that the kriging interpolation method was better than the inverse weight method. The multilayer perceptron neural network (MLP) with 4 different scenarios including 3, 5, 7 and 9 inputs and SVM with 9 inputs were analyzed for infiltration parameters and final water infiltration rate prediction. The results showed that the network with 9 inputs had the greatest R^2 and the lowest error in Phillip and Horton parameters prediction. The sensitivity analysis showed that the designed nets had the highest sensitivity to soil sodium adsorption ratio and the organic matter among studied inputs. The SVM model had better ability in soil water infiltration rate prediction compared to ANN model.

Keywords: Spatial distribution, Soil fertility, Multilayer perceptron neural network, Support vector machine.



Shahrood University of Technology
Faculty of Agriculture
M.Sc. Thesis in soil Chemistry and Fertility

**Zoning some soil characteristics in Abarkuh city and estimation of
soil permeability by artificial neural network**

Neda Sattar-Feizabadi

Supervisors:

Dr. A. Abbaspour

Dr. V. Dorostkar

Advisors:

Dr. M.H. Movahednezhad

Dr. R. Moazenzadeh

August 2018