پژوهش‌های محیط‌زیست، سال ۷، شماره ۱٤، پاییز و زمستان ۱۳۹۵، از صفحه ۸۱ تا ۹۰

پهنه‌بندی خاک‌های متاثر از آبیاری با فاضلاب با استفاده از روش درون‌یابی (IDW) (مطالعه موردی: جنوب شهرستان ری)

علی کیانیان[۱]، نغمه مبرقعی دینان*[۲]، حسین هاشمی[۳]

۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد آلاینده‌های محیطزیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی تهران
۲ استادیار گروه برنامه‌ریزی و طراحی محیط، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی تهران
۳ استادیار گروه آلاینده‌های محیطزیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۲۰؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۱۱/۰۴)

چکیده

کمبود آب و لزوم استفاده از آب‌های نامتعارف برای تامین بخشی از نیازهای آبی، از جمله مباحثی است که در سال‌های اخیر به شدت مود توجه قرار گرفته است. بنابراین، عدم رعایت استانداردهای مورد نیاز منجر به بروز آلودگی خاک و کاهش عملکرد خواهد شد. پژوهش حاضر، با هدف تهیه نقشه‌های پراکنش مکانی عناصر خاک شامل: pH، فسفر، نیترات، کربن آلی و هدایت الکتریکی و تعیین مناطق خارج از استاندارد متعارف، به انجام رسید. جهت تهیه نقشه‌های پراکنش مکانی از ۵۷ نقطه در دو براساسه مختلف عمقی (۰ تا ۳۰ سانتی‌متری و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری) با مساحت ۱۲۰۰ هکتار نمونه‌برداری به روش سیستماتیک- تصادفی صورت گرفت. جهت تهیه نقشه‌های پراکنش مکانی از نرم‌افزار GIS V. 9.3 استفاده شد. نتایج پهنه‌بندی میزان pH در دو عمق نشان می‌دهد که براساس استانداردهای موسسه تحقیقات خاک و آب، منطقه مورد مطالعه دارای محدودیت قلیاییت به نسبت زیاد و زیاد می‌باشد. نتایج حاصل از نقشه توزیع مکانی فسفر نیز نشان می‌دهد ۳۶۰ هکتار از منطقه در براساسه یک عمقی و ۳۳۰ هکتار در براساسه دو عمقی، دارای غلظت فسفر بیش از ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده است که بر اساس استانداردهای موسسه تحقیقات خاک و آب بیش از حد مجاز می‌باشد. نتایج حاصل از نقشه توزیع مکانی نیترات خاک در دو عمق نیز نشان می‌دهد: غلظت این عنصر در منطقه فراتر از حد مجاز نیست، اما غلظت آن از شمال منطقه به سمت جنوب، افزایش یافته است. نقشه پهنه‌بندی روند تغییرات درصد کربن آلی نیز نشان هم می‌دهد، مقدار این فاکتور در دو عمق بر اساس استانداردهای موسسه تحقیقات خاک و آب دارای وضعیت مطلوبی است. نتایج حاصل از بررسی میزان هدایت الکتریکی نیز نشان می‌دهد که میزان این پارامتر در تمام سطح منطقه در هر دو عمق به جز در نواحی کوچکی فراتر از حد مجاز نیست.

کلیدواژه‌ها: پهنه‌بندی، GIS، ویژگی‌های حاصلخیزی خاک، حد مجاز، جنوب شهرستان ری

*نویسنده مسئول: Email: n_mobarghei@yahoo.com

سرآغاز

وجود تغییرات مکانی در ویژگی‌های خاک امری معمول بوده و شناخت این تغییرات به ویژه در اراضی کشاورزی جهت برنامه‌ریزی دقیق و مدیریت امری ضروری است. آگاهی از این مساله برای افزایش سود و دستیابی به بهره‌برداری پایدار ضرورت دارد (ایوبی و همکاران، ۱۳۸۶). تغییرات مکانی یا یکنواخت نبودن ناشی از تفاوت‌های مکانی در خواص مشاهده شده خاک، شامل دو جزء نظام‌دار یا ساختاری و تصادفی یا غیرساختاری می‌باشد (Mohamadi, 2006; Saldana et al., 1998). این تغییرات، نتیجه هر دو فرایند ذاتی (عوامل تشکیل‌دهنده خاک) و مدیریتی (مانند مصرف کود، آبیاری، تناوب زراعی و نوع کشت) در هر دو مقیاس مکانی و زمانی است (Castrignano and et al., 2000). یکی از مهم‌ترین عوامل تعیین نیاز کودی و مطالعات ارزیابی اراضی کشاورزی، نقشه‌های حاصلخیزی خاک می‌باشد. تهیه این نوع نقشه‌ها به روش معمول به دلیل نیاز به تعداد زیاد نمونه‌برداری و آنالیزهای فیزیکی و شیمیایی بسیار هزینه بر بوده و در مقیاس وسیع بسیار مشکل است. عناصر غذایی، مهم‌ترین و اساسی‌ترین راه حفظ و اصلاح شرایط حاصلخیزی خاک و افزایش میزان عملکرد محصولات کشاورزی هستند (ملکوتی، ۱۳۷۸). از طرفی، بیشتر مواد شیمیایی که در خاک آلوده کننده هستند، منشای زراعی دارند (ملکوتی و غیبی، ۱۳۷۶) از جمله مواد غذایی مانند نیترات و فسفر. در نتیجه مصرف زیاد ازت، ازت نیتراتی مازاد از خاک شسته شده و موجب آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌شود. همچنین، موجب تجمع نیترات در گیاهان و سبزی‌ها شده و موجب ضرر به سلامتی انسان می‌شود. آگاهی از سرشت تغییرپذیری خاک در مزارع و اراضی می‌تواند در تعیین نیاز کودی خاک به کار رود. هماهنگی مدیریت مصرف کود در خاک بر اساس تفاوت‌های ویژه خاک در مزارع از اصول مهم کاهش آلودگی‌های محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه کود از راه عملیات کوددهی و آبیاری با آب‌های حاوی این مواد به شمار می‌رود. به دلیل پیچیدگی توزیع مکانی و بالا بودن تغییرات در خاک، استفاده از روش‌های برآوردی مبتنی بر زمین آمار برای برآورد پارامترها و ویژگی‌های خاکی در نقاطی که نمونه‌برداری نشده‌اند، ضروری به نظر می‌رسد که در این رابطه می‌توان از روش‌های زمین آماری شامل برآوردگرهای آماری غیر پارامتری مانند روش میانگین متحرک وزنی و یا روش‌های پارامتری که رایج‌ترین آن‌ها برای درون‌یابی در تحقیقات کشاورزی روش کریجینگ و فاصله معکوس وزن‌دهی استفاده کرد (Kravchenko & Bullock, 1999). توسعه روش‌های زمین آمار در سال‌های اخیر تحولات زیادی در تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی در محیط GIS ایجاد کرده است. درون‌یابی داده‌ها در تجزیه و تحلیل مکانی به کمک GIS از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. زیرا، بسیاری از نقشه‌های مورد استفاده در عملیات GIS و پهنه‌بندی خاک‌ها و اراضی حاصل روش‌های درون‌یابی می‌باشند. از روش‌های مورد استفاده در آمار مکانی می‌توان به کریجینگ و وزن‌دهی عکس فاصله (IDW) اشاره نمود (نجاتی جهرمی و همکاران، ۱۳۸۸).

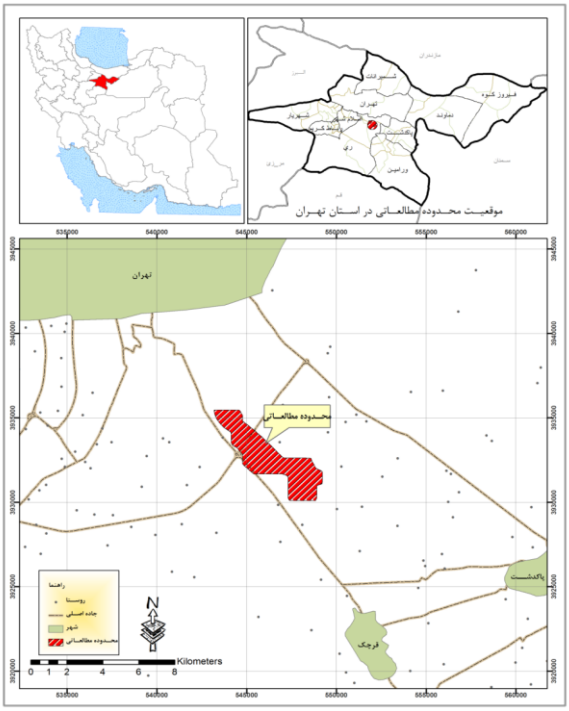
تغییرات مکانی کربن آلی را با استفاده از روش وزن‌دهی عکس فاصله مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که دقت پیش‌بینی کربن آلی با افزایش مقادیر توان روش وزن‌دهی عکس فاصله افزایش می‌یابد و از ضریب تغییرات به عنوان عاملی موثر برای تعیین مقادیر توان نام بردند (Gotway and et al., 1996). تغییرات مکانی عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم را در باغی در مالزی با استفاده از روش‌های زمین آماری و با کمک نرم‌افزار GS^+ مورد بررسی قرار دادند (Isimail & Junusi, 2009). نقشه‌های حاصل از میان یابی نشان داد که مناطقی از این باغ با کمبود نیتروژن روبه‌رو است در حالی که مقادیر فسفر و پتاسیم در حد کافی می‌باشد. این محققان استفاده از این نقشه‌ها را برای مدیریت کودی کارآمدتر در این باغ توصیه کردند. به منظور ارزیابی تغییرات مکانی غلظت نیترات در شهر قونیه در ترکیه، از روش کریجینگ معمولی استفاده کردند. براساس نقشه حاصل از میان‌یابی نیترات، آلودگی نیتراتی سفره‌های آب زیرزمینی، بیشتر در مرکز شهر مشاهده شد(Uyan & Cay, 2010).

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی در جنوب شهرستان ری در استان تهران واقع شده است که از شمال به شهرک اسلام‌شهر، از جنوب به روستای قلعه‌نو، از شرق به روستاهای کوره فرنگی، زمان‌آباد و از غرب به روستاهای ده‌خیر و فیروزآباد محدود می‌شود. مختصات جغرافیایی آن شامل ۵۴۳۱۸ الی ۵۴۹۲۲۲ طول جغرافیایی و عرض جغرافیایی ۳۹۳۰۱۰۳ الی ۳۹۳۵۴۸۶ می‌باشد. مساحت

کل منطقه مطالعاتی ۱۲۰۰ هکتار می‌باشد. کاربری منطقه کشاورزی بوده و محصولاتی مانند برنج، ذرت، یونجه، انواع سبزی (نعناع، شوید، تربچه، تره، ریحان، کاهو)، کلم برگ، گل کلم، گندم و جو در آن کشت می‌شود. بنابراین، با توجه به نقشی که این منطقه در تامین مواد غذایی استان دارد، می‌توان با به‌کارگیری سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و با انجام تحلیل‌های مکانی، به اطلاعات سودمندی از وضعیت مکانی عوامل خاکی و روند تغییرات آن‌ها دست یافت و وضعیت این عوامل را به صورت نقشه ارایه نمود. در شکل (۱) نقشه جانمایی منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه ایران و استان تهران نشان داده شده است. از جمله راه‌های دسترسی به منطقه می‌توان جاده تهران- قرچک، جاده تهران- پاکدشت و جاده خاوران- امام رضا را نام برد.



شکل (۱): نقشه جانمایی منطقه مورد مطالعه

روش پژوهش

نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌های خاک

به منظور تهیه نقشه‌های رقومی ویژگی‌های خاک اراضی کشاورزی منطقه مورد مطالعه، اطلاعات و داده‌های خام ۵۷ نقطه از منطقه جمع‌آوری شد. محل نقاط نمونه‌برداری در داخل شبکه‌های ترسیمی مشخص و مختصات جغرافیایی هر کدام از آن‌ها به صورت UTM وارد دستگاه GPS شد تا در امر ناوبری جهت تعیین موقعیت دقیق محل نمونه‌برداری به‌کار گرفته شود. جهت رعایت تناسب، نمونه‌برداری به صورت یک در میان و به روش سیستماتیک تصادفی صورت گرفت. برای نمونه‌برداری اطلاعات مکانی منطقه مطالعاتی ابتدا در محیط نرم‌افزاری 9.3 GIS به صورت رقومی درآمد. در مرحله بعدی، اقدام به فراهم‌سازی اطلاعات مورد نیاز جهت تعیین محل حفر پروفیل‌ها و تهیه نمونه‌های خاک به صورت شبکه‌بندی منطقه در ابعاد ۳۳۵×۳۳۵ مترمربع اقدام شد. پس از حفر پروفیل‌ها نمونه‌برداری از دو عمق خاک صورت گرفت. نمونه‌های خاک پس از اختلاط مناسب در ورقه‌های آلومینیومی ریخته و پس از بسته‌بندی در کیسه‌های پلی‌اتیلنی قرار داده شدند. در نهایت، پس از ثبت مشخصات نمونه‌های هر نقطه بر روی کیسه‌های نمونه‌برداری، نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شد. نمونه‌های خاک در هوا خشک شد و پس از آماده‌سازی، پارامترهای موردنظر مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. روش‌های مورد استفاده جهت اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک در این پژوهش برگرفته از مجموعه روش‌های مرکز تحقیقات بین‌المللی کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک (ICARDA) می‌باشد (Ryan et al., 2001). جدول (۱)، روش‌های به‌کار گرفته شده برای اندازه‌گیری هر یک از پارامترها را نشان می‌دهد.

جدول (۱): روش‌های اندازه‌گیری پارامترهای مورد بررسی

ردیف	پارامتر	واحد	روش
۱	بافت خاک	-	Soil and Plant Analysis Laboratory Manual, NO: 4.2
۲	هدایت الکتریکی	µs/cm	Soil and Plant Analysis Laboratory Manual, NO: 5.2
۳	پ هاش	-	Soil and Plant Analysis Laboratory Manual, 5.1
۴	نیتروژن نیتراتی	mg/kg	Soil and Plant Analysis Laboratory Manual, NO: 6.1.4
۵	فسفات	mg/kg	Soil and Plant Analysis Laboratory Manual, NO: 6.2
۶	کربن آلی	mg/kg	Soil and Plant Analysis Laboratory Manual, NO: 5.4

جهت بررسی توزیع مکانی فاکتورهای مورد بررسی در منطقه، موقعیت هر نقطه با دستگاه GPS ثبت شد. پس از نمونه‌گیری از ۵۷ نقطه از دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری مقادیر فاکتورهای مورد بررسی اندازه‌گیری شدند. کلیه مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده در هر دو عمق ۳۰-۰، ۶۰-۳۰ سانتی‌متری به صورت نقطه‌ای در محل‌های حفر پروفیل یادداشت شد. جهت برآورد مقادیر مجهول بین فواصل نمونه‌برداری، امکانات درون‌یابی موجود در نرم‌افزار Arc GIS 9.3 مورد استفاده قرار گرفت.

جهت تهیه نقشه‌های پراکنش سطحی و عمقی فاکتورهای مورد مطالعه مراحل زیر انجام شد:

۱. انتقال نتایج آنالیز نمونه‌های خاک به سیستم اطلاعات جغرافیایی
۲. تهیه نقشه‌های پراکنش موقعیت نقاط نمونه‌برداری شده خاک
۳. تهیه نقشه توزیع مکانی برای فاکتورهای مورد بررسی در خاک‌های منطقه مطالعاتی
۴. تهیه نقشه پراکنش سطحی و عمقی فاکتورهای مورد بررسی

از راه روش درون‌یابیIDW، با استفاده از نرم‌افزارArc GIS.

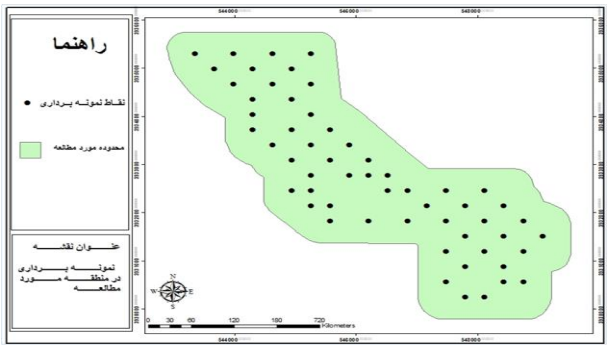
روش درون‌یابی (IDW) بر این فرض استوار است که تاثیر پدیده موردنظر با افزایش مسافت کاهش می یابد. به بیانی دیگر، پدیده پیوسته در نقاط اندازه‌گیری نشده، بیشترین شباهت را به نزدیک‌ترین نقاط برداشت شده دارد. بنابراین، برای برآورد نقاط مجهول، نمونه‌های اطراف باید مشارکت بیشتری نسبت به آنهایی که در فاصله دورتر قرار دارند، داشته باشند. در این مدل از فاصله به عنوان وزن متغیر معلوم در پیش بینی نقاط اندازه‌گیری نشده استفاده می شود. زیرا، نقش متغیر پیوسته در تأثیرگذاری با فاصله از مکان نقطه مجهول کاهش می‌یابد. بنابراین هر چه فاصله داده معلوم از نقطه مجهول افزایش می‌یابد، لازم است وزن‌ها بر اساس فاصله کاهش یابد. بنابراین، فاصله‌ها معکوس می‌شود به بیان دیگر از معکوس فاصله به عنوان وزن نقاط اندازه‌گیری شده در پیش‌بینی نقاط مجهول استفاده می‌شود. به همین دلیل است که این مدل Inverse Distance Wighted نام گرفته است. از طرف دیگر، تأثیر شدت وابستگی مکانی در داده‌ها را با استفاده از توان در معکوس فاصله می‌توان اعمال نمود. وزن محاسبه شده برای هر نقطه در درون یاب IDW وابسته به توان اعمال شده بر اساس معادله (۱) می‌باشد (Karczwarczyk & Renman 2011).

(۱)

$$W_i = 1/|Xi - Xo|^{\beta}$$

که در آن Wi وزن مربوطه به هر نقطه، |Xi – X0 | اختلاف فاصله تا نقطه مورد نظر، ß توان مربوطه است.

وضعیت پراکنش نقاط نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه در شکل (۲) در زیر نشان داده شده است.

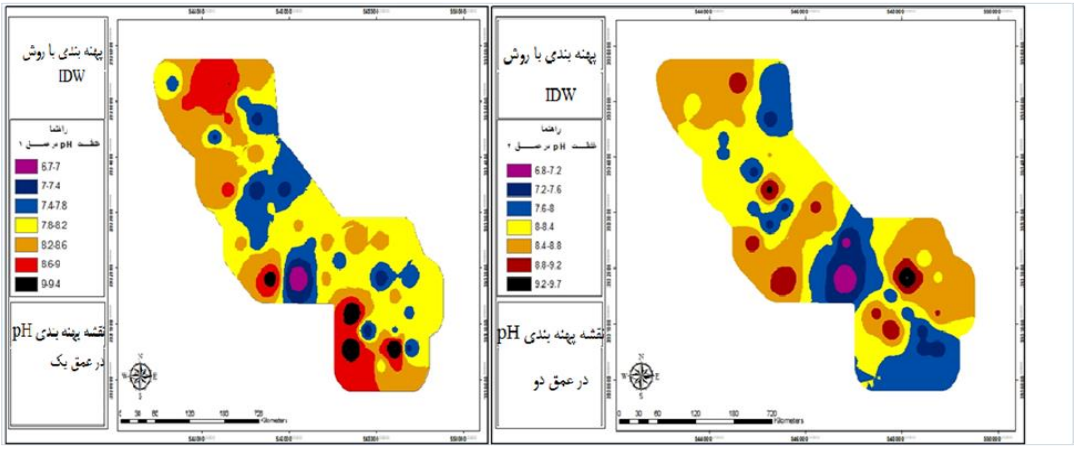


شکل (۲): پراکنش نقاط نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه

یافته‌ها

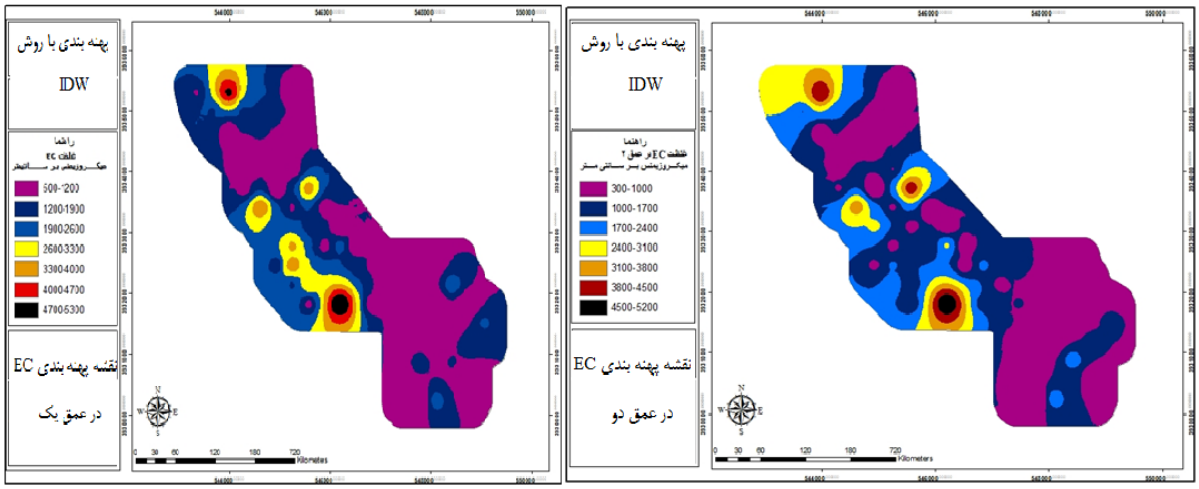
تغییرات میزان پارامترهای اندازه‌گیری شده در دو عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری و ۳۰ تا۶۰ سانتی‌متری در شکل (۳ الی ۷)، ترسیم شده است. نقشه پهنه‌بندی میزان pH در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری نشان می‌دهد که از مجموع ۱۲۰۰ هکتار از اراضی مطالعه شده ۹۶۰ هکتار (۸۰ درصد) دارای pH بالای ۸ می‌باشد. از این مقدار، ۵۰۰ هکتار (۴۱/۶۳ درصد) از اراضی دارای pH ۸/۴ تا ۹/۵ می‌باشد که براساس استانداردهای موسسه تحقیقات خاک و آب (ملکوتی و همکاران، ۱۳۷۹)، دارای محدودیت قلیاییت به نسبت زیاد و زیاد می‌باشد. همچنین، نقشه پهنه‌بندی pH در عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متری نشان می‌دهد که از مجموع ۱۲۰۰ هکتار از اراضی مورد مطالعه ۸۶۶ هکتار (۷۲/۲۴ درصد) دارای pH بالاتر از ۸ می‌باشد که از این مقدار ۴۸۴ هکتار (۴۰ درصد) دارای pH ۸/۴ تا ۹/۵ می‌باشد که دارای محدودیت قلیاییت به نسبت زیاد و زیاد می‌باشد. میزان pH در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری در شمال منطقه بیشتر می‌باشد و به تدریج به سمت جنوب منطقه کاهش پیدا می‌کند و در جنوبی‌ترین بخش منطقه مجدداً افزایش می‌یابد. در عمق ۳۰ تا۶۰ سانتی‌متری نیز

بیشترین مقدار pH در شمال منطقه بوده و به تدریج به سمت جنوب کاهش می‌یابد هر چند در این عمق نوسانات pH کمتر از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری است. از مقایسه میانگین مقدار pH در دو عمق نیز این یافته تایید می‌شود.



شکل (۳): نقشه پهنه‌بندی pH، سمت راست عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری سمت چپ عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متری

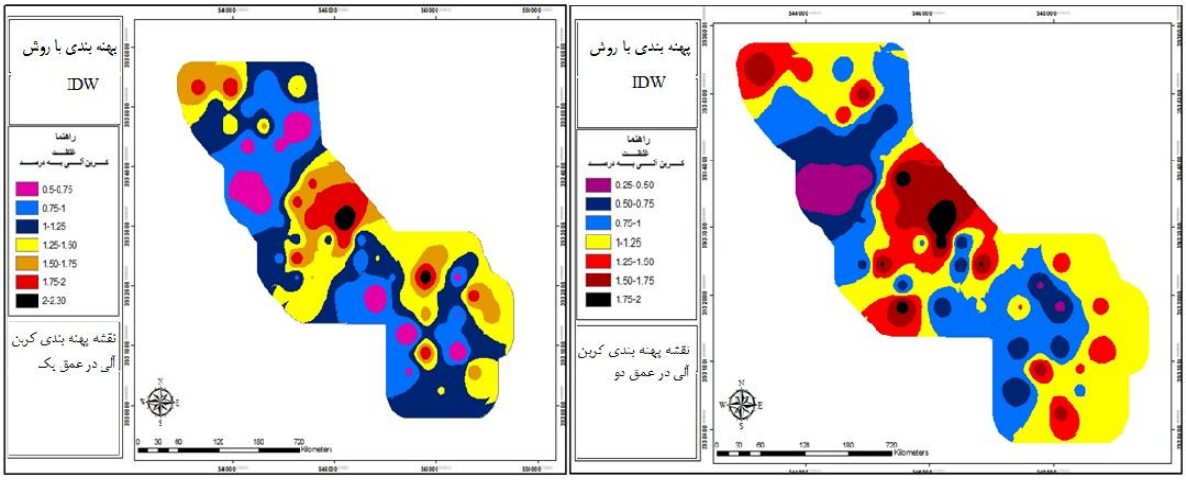
شکل (۴)، نقشه پهنه‌بندی هدایت الکتریکی خاک را در دو عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری نشان می‌دهد. نقشه‌های پهنه‌بندی نشان می‌دهند که منطقه از لحاظ هدایت الکتریکی وضعیت مطلوبی داشته و فقط در قسمت‌های بسیار کوچکی از نواحی میانی هدایت الکتریکی بالاتر از ۴۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر است.



شکل (۴): نقشه پهنه‌بندی هدایت الکتریکی، سمت راست عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری سمت چپ عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متری

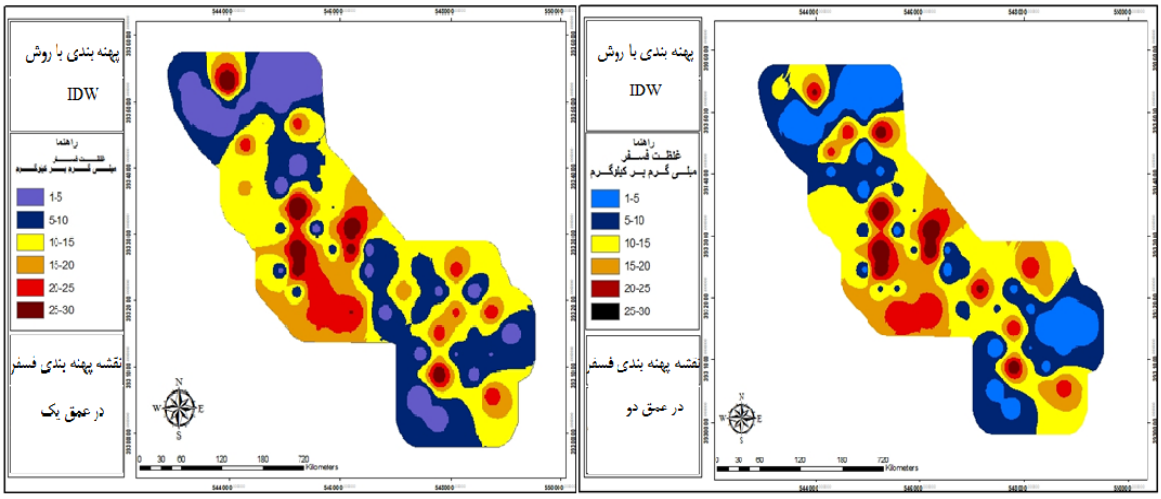
شکل (۵)، نحوه پراکنش کربن آلی را در اراضی مورد مطالعه در دو عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری نشان می‌دهد. روند تغییرات درصد کربن آلی نشان می‌دهد که مقدار این فاکتور در دو عمق دارای وضعیت مطلوبی می‌باشد و در قسمت میانی منطقه، افزایش غلظت این فاکتور به دلیل ورود میزان بیشتری از فاضلاب خامی است که کشاورزان برای آبیاری استفاده می‌کنند. این امر، منجر به افزایش غلظت این فاکتور در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک منطقه می‌شود. به همین دلیل، میانگین غلظت کربن در عمق ۱ حدود ۰/۱۵ درصد بیشتر از عمق ۲ می‌باشد.

شکل (۶)، پراکنش مکانی فسفر را در منطقه نشان می‌دهد. نتایج حاصل از نقشه توزیع مکانی فسفر در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری نشان می‌دهد که از مجموع ۱۲۰۰ هکتار منطقه



شکل(۵): نقشه‌های پهنه‌بندی کربن آلی، سمت راست عمق ۰-۳۰ سمت چپ عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متری

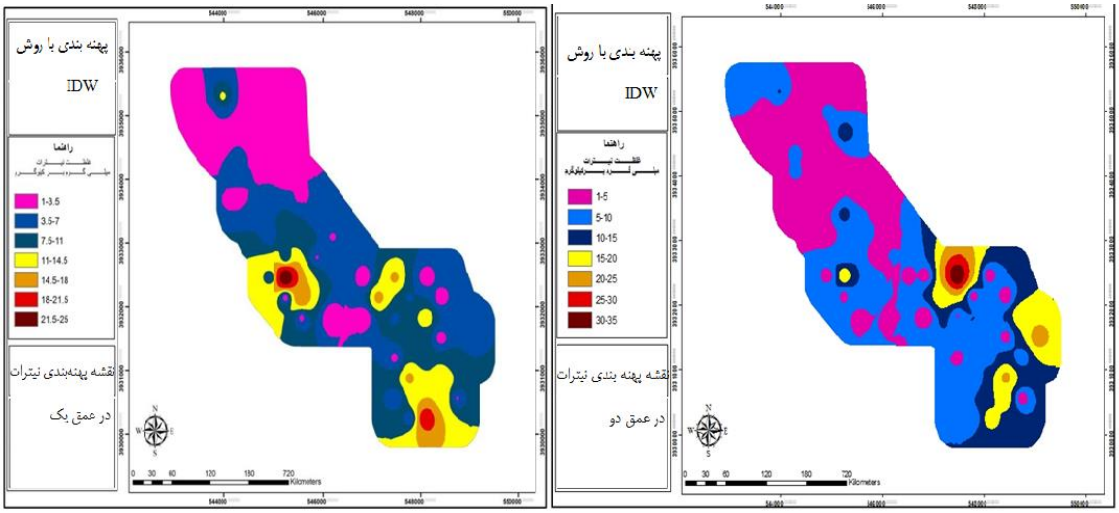
مورد مطالعه ۳۶۰ هکتار (۳۰ درصد) دارای غلظت فسفر بیش از ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد و بر اساس استانداردهای موسسه تحقیقات خاک و آب بیش از حد مجاز می‌باشد. همچنین، بیشترین غلظت فسفر در قسمت میانی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. نقشه توزیع مکانی فسفر قابل جذب خاک در عمق ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری نیز نشان می‌دهد: از مجموع ۱۲۰۰ هکتار منطقه مورد مطالعه ۳۳۰ هکتار (۲۸ درصد) خاک منطقه در عمق ۲ دارای غلظت فسفر بیش از ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد و بر اساس استانداردهای موسسه تحقیقات آب و خاک فراتر از حد مجاز می‌باشد. همچنین، بیشترین غلظت فسفر در قسمت میانی منطقه مورد مطالعه اندازه‌گیری شد. در خاک‌های قلیایی تشکیل فسفات‌های کلسیم که حلالیت بسیار کم داشته موجب کاهش قابلیت دسترسی به فسفر می‌شود و مقدار آن در خاک افزایش می‌یابد. از مقایسه غلظت فسفر در دو عمق مشاهده می‌شود که قسمت بیشتری از منطقه در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری دارای غلظت فسفر بالاتر از حد مجاز (۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) می‌باشد.



شکل (۶): نقشه‌های پهنه‌بندی فسفر، سمت راست عمق ۰-۳۰ سمت چپ عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متری

شکل (۷)، توزیع مکانی نیترات را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. نتایج حاصل از نقشه توزیع مکانی نیترات خاک در دو عمق نشان می‌دهد که غلظت نیترات از شمال منطقه به سمت جنوب افزایش یافته است. دلیل این امر، حلالیت بالای نیترات

در آب است که تحت تأثیر شیب منطقه همراه با رواناب‌های کشاورزی به قسمت جنوبی منطقه آبشویی شده و غلظت آن در نواحی جنوب منطقه افزایش یافته است. همچنین، مقایسه نتایج پهنه‌بندی نیترات در دو عمق نشان می‌دهد که میانگین غلظت نیترات در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری حدود ۰/۳۳درصد بیشتر از عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متری است.



شکل (۷): نقشه‌های پهنه‌بندی نیترات، سمت راست عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری سمت چپ عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متری

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش، متغیرهای شیمیایی pH، هدایت الکتریکی، نیترات، فسفات و کربن آلی جهت بررسی پراکنش مکانی مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج حاصل از پهنه‌بندی متغیرهای شیمیایی مربوط به ۵۷ نقطه نمونه‌برداری در دو عمق (صفر تا ۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متر) نشان داد که زمین‌های کشاورزی منطقه از نظر برخی از پارامترهای شیمیایی (pH، فسفر، نیترات) خارج از حد استاندارد قرار دارند و این آلودگی در عمق اول (صفر تا ۳۰ سانتی‌متری) بیشتر از عمق دوم (۳۰-۶۰ سانتی‌متری) است. با توجه به آثار مخرب تغییر کمیت این پارامترها فراتر از حد استاندارد روی خاک و گیاهان، افزایش میزان پارامترهای اشاره شده در بالا در لایه سطحی می‌توانند آثار مخربی را روی گیاهان زراعی کشت شده در منطقه داشته باشد و میزان محصول و کیفیت تولید زراعی را تحت تأثیر قرار دهد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری و پهنه‌بندی فسفر نشان می‌دهد که قسمت میانی منطقه در هر دو عمق از نظر عنصر فسفر دارای آلودگی بیشتری نسبت به سایر قسمت‌های منطقه بوده و بیشترین غلظت فسفر در این قسمت اندازه‌گیری شد. با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی این عنصر (شکل ۶)، در هر دو عمق مشاهده می‌شود که افزایش غلظت فسفر در قسمت میانی روی داده است. حداکثر غلظت فسفر خاک ۳۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در این قسمت اندازه‌گیری شده است که دلیل آن را می توان به ورود بیشتر فاضلاب خام به خاطر افزایش کانال‌های آب آبیاری با این نوع آب‌ها در این بخش از منطقه نسبت داد. (نصرت‌پور و همکاران، ۱۳۸۹) با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی به بررسی توزیع مکانی برخی عناصر غذایی در اراضی شهرستان مراغه پرداختند. نتایج حاصله از پژوهش آنها نشان داد که مقدار فسفر در ۷۰/۳۵ درصد اراضی مورد مطالعه در حد زیاد یا سمیت بوده است. آنها بیان کردند که احتمالاً کاربرد کودهای فسفاته در این بر اساس آزمون خاک نبوده است و در صورتی که این روند متوقف نشود، سبب تجمع بیشتر این عنصر در خاک‌های زراعی خواهد شد. (Karczwarczyk & Renman, 2011) نیز با استفاده از روش پهنه‌بندی الگوی تجمع فسفر در زمینی باتلاقی حاصل از فاضلاب بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که غلظت عنصر فسفر در ارتباط با آلومینیوم، آهن و کلسیم روند افزایش داشته است. زیادی فسفر در خاک، رشد گیاه را به طور غیر مستقیم تحت

تأثیر قرار می‌دهد. برای مثال علایم کمبود روی در گیاه را می‌توان به زیادی فسفر ربط داد که پیامد ناگوار آن گسترش علائم کمبود روی در انسان است (علیزاده، ۱۳۷۴). به دلیل ظرفیت بالای خاک برای جذب فسفر، تحرک آن در خاک در مقایسه با سایر عناصر غذایی پایین است. بنابراین، تمام عنصر اضافه شده به خاک در زمان مصرف مورد استفاده گیاه قرار نمی‌گیرد (جلالی و کلاه‌چی، ۱۳۸۴)، که این امر می‌تواند تجمع فسفر در خاک توسط منابع انسانی را تشدید کند. میزان فسفر در خاک رابطه معنی‌داری با مقدار pH در خاک دارد (دادگر و همکاران، ۱۳۹۰). این عنصر حساس‌ترین عنصر غذایی نسبت به pH خاک است. در محدوده اسیدی $H_2PO_4^-$ یا یون ارتوفسفات اولیه غالب بوده و در pHهای کمتر از ۵/۵، یون‌های آهن و آلومینیوم با فسفات ترکیب شده است و به صورت رسوبات نامحلول در می‌آیند. در محدوده قلیایی $H_2PO_4^-$ یا یون ارتوفسفات ثانویه فراوان بوده و در pH های بالاتر از ۷ که عموما یون‌های کلسیم و منیزیم فراوانی وجود دارند، ترکیبات نامحلول فسفات‌های کلسیم و منیزیم به وجود می‌آید. از آن جا که خاک‌های ایران عمدتا آهکی می‌باشند، مورد اخیر اهمیت بیشتری دارد (ملکوتی و همایی، ۱۳۷۳). نقشه پهنه‌بندی نیترات شیب ملایمی از افزایش غلظت این عنصر از شمال به جنوب منطقه را نشان می‌دهد. حداکثر غلظت نیترات ۳۳/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم در جنوب منطقه اندازه‌گیری شد که این امر احتمالاً به دلیل حلالیت بالای نیترات در آب است که تحت تأثیر شیب منطقه همراه با روا ناب‌های کشاورزی به قسمت جنوبی منطقه آبشویی شده و غلظت آن در نواحی جنوب منطقه افزایش یافته است. (Aishah et al, 2010) پهنه‌بندی برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک منطقه شالیزاری سلانگور در مالزی را با استفاده از ۱۳۸ نمونه انجام دادند. نقشه‌های حاصل از پهنه‌بندی نشان داد که بخش وسیعی از منطقه دارای نیتروژن اضافی است. اگرچه نیترات به عنوان یکی از عناصر غذایی مهم در افزایش تولید محصولات کشاورزی نقش به‌سزایی دارد، ولی افزایش غلظت این عنصر بیشترین نگرانی‌ها را در زمینه آلودگی منابع آب زیرزمینی دارد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری کربن آلی و نقشه‌های پهنه‌بندی این عنصر نشان داد که میزان کربن آلی در خاک منطقه مورد مطالعه به طور تقریبی دارای وضعیت مطلوبی است. این امر، احتمالا به دلیل مواد آلی اضافه شده توسط آب آبیاری و باقی‌مانده‌های محصولات کشاورزی است. با وجود این، در قسمت میانی منطقه غلظت کربن آلی به دلیل افزایش منابع وارد کننده این عنصر به خاک افزایش یافته است. (Bhunia and et al., 2016) توزیع مکانی کربن آلی خاک در زمین‌های تحت کاربری‌های مختلف در منطقه‌ای در غرب بنگال در کشور هند را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که بخش کوچکی از مرکز منطقه مورد مطالعه و بخش وسیعی از شمال غربی آن بیشترین میزان کربن آلی را داشته است که این قسمت از منطقه تحت پوشش جنگلی بوده است. از طرفی حداقل مقدار کربن آلی خاک در شرق و شمال شرقی منطقه اندازه‌گیری شد که آیش بوده است. (شکوری کیتگری و همکاران، ۱۳۹۰) به ارزیابی کارایی روش‌های درون‌یابی مکانی در پهنه‌بندی کربن آلی و جرم مخصوص ظاهری خاک‌های شالیزاری گیلان پرداختند. نتایج آنها نشان داد که مقدار کربن آلی در قسمت‌های جنوبی منطقه دارای بالاترین مقدار می باشد. آنها یکی از دلایل اصلی تجمع کربن آلی را در این نواحی وجود شیب شمال به جنوب و در نتیجه غرقابی بودن در بیشتر فصل‌های سال عنوان کردند. به علاوه، وجود درصد بالای رس در قسمت های جنوب غربی و غرب منطقه را نیز از دیگر عوامل تأثیر گذار بر بالا بودن کربن آلی و جرم مخصوص ظاهری خاک دانستند. (پشت مساری و همکاران، ۱۳۹۱)، با استفاده از روش‌های زمین آماری عناصر غذایی پر مصرف اولیه را در برخی از اراضی کشاورزی استان گلستان پهنه‌بندی کردند. نتایج پهنه‌بندی آنها نشان داد که غلظت این عناصر در بخش‌های شمالی استان کمتر از مناطق جنوبی بوده است و دلیل آن را افت منابع خاکی از نظر کیفی بر اساس با کاهش نزولات جوی از قسمت جنوبی استان به سمت شمال عنوان کردند. نتایج حاصل از پهنه‌بندی pH خاک نشان می‌دهد که میزان این پارامتر وضعیت نامطلوبی دارد و باید مورد توجه قرار گیرد. افزایش pH خاک منجر به عدم رشد مطلوب نباتات می‌شود که ناشی از در دسترس قرار نگرفتن عناصر غذایی کم مصرف مانند Fe، Mg، Zn

می‌باشد (Allhands, 1995) میزان هدایت الکتریکی نیز در تمام سطح منطقه در هر دو عمق تقریبا متعادل است. و فقط در قسمت‌های بسیار کوچکی از منطقه مطالعاتی هدایت الکتریکی بالاتر از ۴۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر می‌باشد در کل، نتایج حاصل از اندازه‌گیری و پهنه‌بندی پارامترهای مورد بررسی (هدایت الکتریکی، pH، نیترات، فسفات و کربن آلی) نشان داد که در عمق یک (صفر تا ۳۰ سانتی‌متری)، منطقه دارای میزان بیشتری فسفر، کربن آلی و pH است و جنوب منطقه نیترات بیشتری نسبت به شمال منطقه دارد. در عمق دو (۶۰-۳۰ سانتی‌متری) بیشترین تمرکز فسفر، کربن آلی و pH در مرکز منطقه می‌باشد. pH خاک در مرکز و قسمت‌هایی از شمال و جنوب منطقه از مقدار بیشتری برخوردار است. با استفاده از نتایج این مطالعه، می توان توصیه‌های صحیح کودی بر مبنای مناطق همگون بر روی نقشه برای زمین‌های زراعی مورد نظر انجام داد تا از اتلاف سرمایه بر اثر مصرف نامتعادل و غیر ضروری کود و نیز از آلودگی محیط زیست جلوگیری کرد. به طورکلی، با استفاده از روش‌های برآورد می‌توان نقشه‌های کیفی خاک‌ها را برای استفاده در مدیریت خاص مزرعه‌ای فراهم نمود. زیرا، تغییرات به قالبی پیوسته از اطلاعات تبدیل می‌شوند (Adriana, 2007). از دیگر ویژگی‌های مهم نقشه‌های پهنه‌بندی در این پژوهش ، فراهم آوردن امکان پایش تغییرات پارامترهای حاصلخیزی خاک است. به طورکلی، می‌توان گفت که پارامترهای شیمیایی در زمین‌های کشاورزی به دلیل استفاده طولانی مدت از فاضلاب خام و همچنین، کودهای شیمیایی و آلی که توسط کشاورزان مورد استفاده قرار گرفته است، به شدت افزایش یافته است و خطرات زیادی سلامت کشاورزان و افراد مصرف کننده‌ی محصولات کشاورزی را تهدید می‌کند. بنابراین، طرح ریزی یک برنامه مدیریتی کارا به منظور کنترل این پارامترها در زمین‌های کشاورزی این منطقه و همچنین، جایگزینی آب مورد استفاده در آبیاری با منبع آبی مناسب‌تر، ضروری است.

فهرست منابع

ایوبی، ش.؛ محمد زمانی، س. و خرمالی، ف. ۱۳۸۶. «برآورد مقدار ازت کل خاک به کمک مقدار ماده آلی و با استفاده از روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ- رگرسیون در بخشی از اراضی سرخنکلاته استان گلستان». مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. (۴)۴: ۲۳-۳۳.

جلالی، م. و کلاه‌چی، ز. ۱۳۸۴. «فراهمی فسفر خاک در اثر افزودن مقادیر مختلف کود فسفری در خاک‌های استان همدان»، مجله علوم خاک و آب. (۱)۱۹.

دادگر، م.؛ علیها، م. و فرامرزی، س. ا. ۱۳۹۰. «بررسی رابطه بین فسفر قابل جذب و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در مراتع و اراضی ناحیه آبسرد (شهرستان دماوند)»، فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران. (۲)۱۸: ۴۹۸-۵۰۴.

علیزاده، ا. ۱۳۷۴. «استفاده از پساب تصفیه شده خانگی در آبیاری سبزیجاتی که به صورت خام مصرف می‌شوند»، معاونت امور آب و فاضلاب شهری، گزارش نهایی طرح پژوهشی، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، تهران.

کاظمی پشت مساری، ح.؛ طهماسبی سروستانی، ز.؛ کامکار، ب.؛ شتایی، ش. و صادقی، س. ۱۳۹۱. «ارزیابی روش‌های زمین آمار جهت برآورد و پهنه‌بندی عناصر غذایی پر مصرف اولیه در برخی اراضی کشاورزی استان گلستان»، نشریه دانش آب و خاک. (۱)۲.

ملکوتی، م. ج. و غیبی، م. ن. ۱۳۷۶. «تعیین حد بحرانی عناصر غذایی محصولات استراتژیک و توصیه صحیح کودی در کشور». کرج: نشر آموزش کشاورزی.

ملکوتی، م. ج. و همایی، م. ۱۳۷۳. «حاصلخیزی خاک‌های مناطق خشک (مشکلات و راه‌حل‌ها)». انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، جلد اول.

ملکوتی، م. ۱۳۷۸. «کشاورزی پایدار و افزایش عملکرد با بهینه‌سازی مصرف کود در ایران». انتشارات دانشگاه تهران، جلد دوم.

نصرت‌پور، س.؛ اردلان، م.؛ فرجنیا، ا. و اسمعلی عوری. ۱۳۸۹. بررسی توزیع مکانی برخی عناصر غذایی و عوامل مؤثر بر حاصلخیزی خاک در اراضی شهرستان مراغه با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی. مجله پژوهش‌های آبخیزداری، ش ۸۷.

نجاتی جهرمی، ز.؛ چیت سازان، م. و میرزایی، ی. ۱۳۸۸. «بررسی زمین آماری توزیع نیترات در آبخوان آبرفتی دشت عقیلی در محیط GIS»- همایش ژئوماتیک، تهران.

شکوری کیتگری، م.؛ شعبان‌پور، م.؛ اسدی، ح.؛ دواتگر، ن. و بابازاده، ش. ۱۳۹۰. ارزیابی کارایی روش‌های درون‌یابی مکانی در پهنه‌بندی کربن آلی و جرم مخصوص ظاهری خاک‌های کشاورزی گیلان. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. (۲) ۱۸.

Aishah, A.W.; Zauyah, S.; Ahuar, A. R. & Fauziah, C.I. 2010. Spatial variability of selected chemical characteristics of paddy soils in SawashSempadon, Seleanger, Malaysiaa. Malaysian Journal of soil science. 14: 27-39.

Adriana, L. D. 2007. On the use of soil hydraulic conductivity function in the field. Soil Sci. 93: 162-170.

Allhands, M.N. 1995. Municipal water reuse at Tallasa, Florida.Transacions of the ASAE. 38: 411-418.

Bhunia, G. S.; Kumar Shit, P. & Maiti, R. 2016. Spatial variability of soil organic carbon under different land use using radial basis function (R B F). Earth syst. Environ. 2 (17).

Castrignano, A.; Giugliarini, L.; Risaliti, R. & Martinelli, N. 2000. Study of spatial relationships among some soil physic- chemical properties of a field in central Italy using multivariate geostatistics. Geoderma. 97: 39-60.

Gotway, C. A.; Ferguson, R. B.; Hergert, G. W. & Peterson, T. A. 1996. Comparison of kriging and distance methods for mapping soil parameters. Am. J. Soil. Sci. 60: 1237- 1247.

Isimail, M. H. & Junusi, R. 2009. Determining and mapping soil nutrient content using geostatiscal technique in a Durian orchard in Malaysia. Journal of Agricultural Sceince. 1: 86-91.

Karczwarczyk, G. & Renman, A. 2011. Phosphorus accumulation Pattern in a subsurface constructed wetland treating residential wastewater. Water. 3: 146-156.

Kravchenko, A. & Bullock, D.G. 1999. A comparative study of interpolation methods for mapping soil properties.Agron. 91: 393-400.

Mohammadi, J. 2006. Spatial statistics (Geostatistics- part 2). Pelk publication Tehran, 435p. (Inpersian).

Ryan, J.; Estefan, G. & Rashid, A. 2001. Soil and plant Analysis Laboratory manual. Second Edition. International center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA) and the national Agricultural Research center (NARC), Aleppo. Syria, 172 pp.

Saldana, A.; Stein, A. & Zinck, J.A. 1998. Spatial variability of soil properties at different scales within three terraces of the Henares river (spain). Catena. 33: 139-153.

Uyan, M. & Cay, T. 2010. Geostatistical method for mapping ground water nitrate concentrations. Proceedings of the 3 International conference on conference on Catography and GIS. Nessebar, Bulgaria. Pp. 1-7.