

بررسی رابطه بین میزان نیتروژن کل و برخی ویژگی‌های خاک در منطقه زرین‌شهر

نیلوفر پیرستانی، مژگان احمدی ندوشن*، محمدهادی ابوالحسنی، رسول زمانی احمد محمودی

دانشجوی دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران؛ niloofar.pirestani@yahoo.com

استادیار، گروه محیط‌زیست، مرکز تحقیقات پسماند و پساب، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان،

ایران؛ m.ahmadi1984@gmail.com

استادیار گروه محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران؛ Hadi.mha2001@yahoo.com

دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران؛ zamani@nres.sku.ac.ir

«مقاله پژوهشی»

دریافت: ۱۴۰۱/۴/۲۰ و پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۲۱

چکیده

هدف از این پژوهش بررسی تأثیر اسیدپته خاک، هدایت الکتریکی و کربن آلی بر میزان نیتروژن کل در خاک منطقه زرین‌شهر با استفاده از آنالیزهای آماری (تحلیل خط مرزی و رگرسیون گام‌به‌گام) بود. در منطقه زرین‌شهر، به مدت یک سال در هر فصل، با استفاده از GPS تعداد ۶۰ نقطه پلات‌هایی به طول، عرض و ارتفاع $50 \times 50 \times 20$ سانتی‌متر در اراضی کشاورزی، درختکاری و خاک لخت منطقه با متوسط فاصله‌ی ۵۴۶ متر انتخاب گردید و در هر یک از نمونه‌های خاک، ویژگی‌های ذکر شده اندازه‌گیری شد. سپس، با استفاده از آنالیز خط مرزی حداکثر واکنش یک فرآیند بیوژئوشیمیایی به یک عامل محیطی معین، مشخص شد. بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه، هدایت الکتریکی خاک در فصول گرم سال مقادیر بیشتری نسبت به سایر فصول بود به طوری که در تابستان، حداکثر مقدار این پارامتر در حدود ۱۵۸۷ دسی زیمنس بر متر بود حال آنکه در زمستان به حدود ۱۱۴۰ دسی زیمنس بر متر نیز رسید. تحلیل مقادیر اسیدپته خاک نیز نشان داد که خاک‌های مطالعه شده عموماً در بخش خاک‌های قلیایی قرار دارند. درصد مواد آلی و کربن آلی خاک نیز تغییرپذیری مشهودی در بین فصول سال نشان دادند به صورتی که در پاییز و زمستان مقادیر این دو پارامتر نسبتاً کم (بین $0.04 - 0.52$) و در تابستان و بهار افزایش چشمگیری داشت (بین $0.12 - 0.39$). در این پژوهش، تحلیل خط مرزی برای بررسی روابط درونی بین متغیرها و همچنین مقادیری از شاخص‌هایی که باعث افزایش حداکثری نیتروژن خاک شد استفاده شد و مشاهده گردید که دو متغیر درصد کربن آلی و درصد نیتروژن خاک در کلیه کاربری‌ها رابطه خطی معنی‌داری داشتند به شکلی که با افزایش درصد کربن آلی، مقدار نیتروژن کل در خاک نیز افزایش پیدا کرد. رابطه رگرسیون گام‌به‌گام نشان داد که از بین متغیرهای مورد مطالعه، درصد نیتروژن کل در خاک را می‌توان بر اساس تأثیر دو پارامتر هدایت الکتریکی و درصد کربن آلی شناسایی کرد. بر اساس نتایج، آنالیز خط مرزی و رگرسیون گام‌به‌گام روش مناسبی برای تعیین تأثیر فاکتورهای مؤثر بر میزان نیتروژن موجود در خاک است.

واژه‌های کلیدی: کربن آلی، تحلیل خط مرزی، رگرسیون گام‌به‌گام

* - آدرس ایمیل نویسنده مسئول: m.ahmadi1984@gmail.com

بیولوژیک و بیوشیمیایی قرار می‌گیرد. تغییر برخی از ویژگی‌های خاک همچون pH و EC بر روی نیتروژن در خاک اثر می‌گذارد، همچنین می‌تواند حلالیت و رسوب عناصر کم‌مصرف را تغییر دهد (کاشی‌ساز و همکاران، ۱۳۹۴). یکی از روش‌هایی که حداکثر واکنش یک فرآیند بیوژئوشیمیایی به یک عامل محیطی معین را ارائه می‌دهد، آنالیز خط مرزی است. در تجزیه و تحلیل خط مرزی، یک پاسخ بیولوژیکی (عملکرد محصول یا محتوای نیتروژن خاک) تابعی از یک متغیر (غلظت مواد مغذی و کربن خاک) در نظر گرفته می‌شود که پاسخ را فقط به برخی زیرمجموعه مشاهدات محدود می‌کند زیرا سایر عوامل محدودکننده نیز اعمال می‌شوند؛ بنابراین تابع پاسخ به صورت مرز بالایی از نمودار پاسخ در برابر متغیر بیان می‌شود. این مدل به طور فراوان در شاخه‌های مختلف علوم مورد استفاده قرار می‌گیرد (لارک و همکاران، ۲۰۲۰). یکی از روش‌های دیگری که برای کمی کردن خلأ عملکرد استفاده می‌شود روش رگرسیون گام‌به‌گام است (حجاریپور و همکاران، ۲۰۱۱). با استفاده از این روش محدودیت‌های اصلی عملکرد و توابع کمی شده برای خلأ عملکرد تعیین می‌شوند. در روش رگرسیون گام‌به‌گام محدودیت‌های عملکرد و در نهایت مدل تولید تعیین می‌شود. با استفاده از مدل تولید و مقادیر پارامترهای مدل سهم هر یک از محدودیت‌ها در ایجاد خلأ عملکرد مشخص می‌شود (نوبتیانی و همکاران، ۱۴۰۱).

در مطالعه انجام شده توسط نوبتیانی و همکاران (۱۴۰۱) بررسی و تعیین سهم کودهای شیمیایی ماکرو و خصوصیات خاک بر خلأ عملکرد گندم (*Triticum aestivum L.*) در شهرستان کلاله با استفاده از روش آنالیز خط مرزی انجام شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که آنالیز خط مرزی به عنوان یک روش مناسب، به نحو مطلوبی تأثیر عوامل مختلف در خلأ عملکرد گندم را نشان داد و به نظر می‌رسد که با اصلاح این عوامل محدودکننده، می‌توان اختلاف بین عملکرد قابل حصول و عملکرد واقعی را کاهش داد. مطالعه دیگری توسط مدبنسکی و همکاران

در بوم نظام‌های زراعی پایدار، خاک به عنوان یک بخش زنده در نظر گرفته می‌شود و حفظ پویایی آن در طول زمان از لحاظ فعالیت ریز جانداران و همچنین چرخه ی مواد غذایی، از نکات بسیار مهم در دستیابی به پایداری است (آلتیری، ۲۰۱۸). خاک حاصلخیز، حاکی است که خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آن در سطح مطلوب باشد (زارعی، ۲۰۱۹). از این رو، یافتن روش‌های ساده‌تر و کم‌هزینه‌تر برای آگاهی از تغییرات ویژگی‌های خاک، می‌تواند سبب تسریع دستیابی به اهداف کشاورزی پایدار شود. گزارش‌هایی مبنی بر وجود همبستگی بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک ارائه شده است. به عنوان مثال می‌توان به وجود همبستگی بین هدایت الکتریکی و مقدار نیتروژن خاک، هدایت الکتریکی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و همبستگی بین هدایت الکتریکی و میزان ماده آلی خاک اشاره کرد (شیدای کرکچ و همکاران، ۱۳۹۶). نیتروژن بعد از کربن یکی از مهم‌ترین عناصر مورد نیاز گیاهان و جانوران است که نقش بسیار مهمی در تغذیه گیاه دارد. این عنصر در ساختمان کلروفیل جزء ترکیب ساختمانی نوکلئیک اسیدها (DNA و RNA) و در ساختمان پروتئین نقش‌های عمده‌ای دارد (زارعی، ۲۰۱۹). مقدار نیتروژن در گیاهان مختلف بین ۱ تا ۱۰ درصد متغیر است و بنابراین می‌توان کمبود نیتروژن را محدودیت عمده‌ای برای عملیات اصلاح و احیای طبیعی در مناطق آسیب‌دیده محسوب کرد (لسزینسکی و همکاران، ۲۰۲۱). عوامل مؤثر در میزان نیتروژن معدنی خاک شامل رطوبت و دمای خاک، پوشش گیاهی، عملیات زراعی و مقدار مواد آلی خاک می‌باشند. شکل دیگر نیتروژن در خاک نیتروژن آلی است که ۹۰ تا ۹۵٪ از نیتروژن کل خاک را تشکیل می‌دهد و به اشکال اسیدهای آمینه، قندهای آمینه، بازهای آلی، لیگنین و غیره است (کاشی‌ساز و همکاران، ۱۳۹۴). فرم قابل جذب نیتروژن برای گیاهان نیتروژن معدنی یا نیترات و آمونیوم است (دهنوی و همکاران، ۱۳۹۲). نیتروژن در خاک تحت تأثیر واکنش‌های شیمیایی،

نمونه‌های خاک از لایه ۰-۲۰ سانتی‌متری با استفاده از بیل و بیلچه جمع‌آوری و با استفاده از آنالیزهای آماری (آنالیز خط مرزی و روش رگرسیون گام‌به‌گام) بررسی شد.

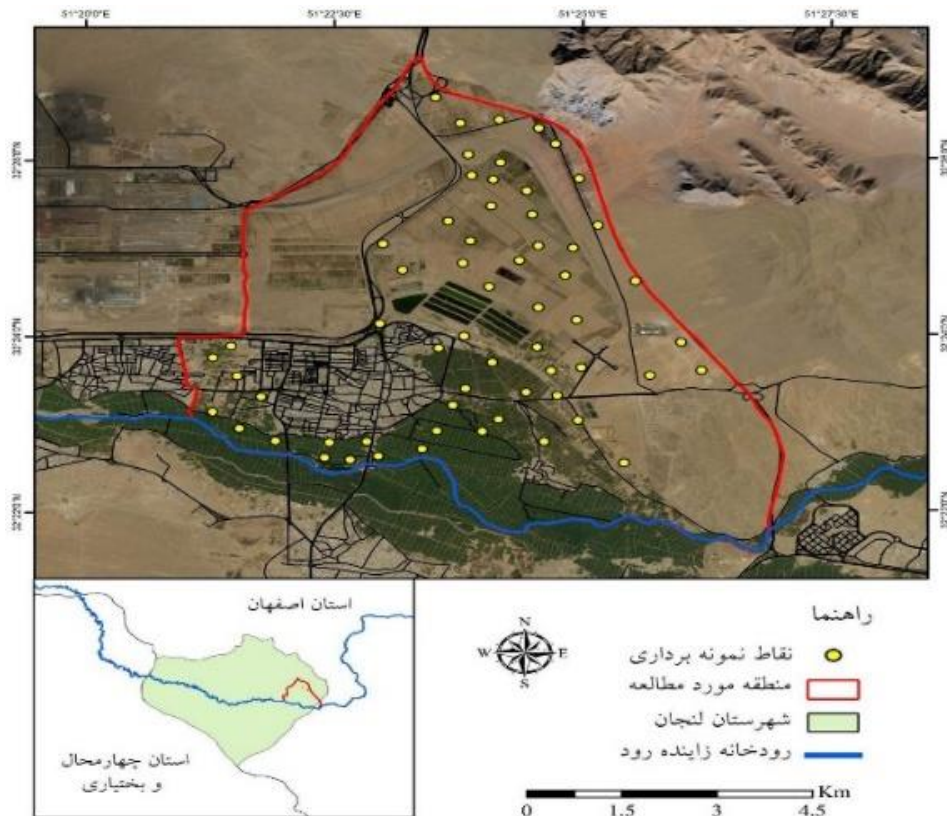
مواد و روش

منطقه مورد مطالعه

شهرستان لنگان به مرکزیت زرین‌شهر با وسعت ۱۱۷۰ کیلومتر مربع در فاصله ۳۵ کیلومتری جنوب غربی اصفهان و در موقعیت ۵۱ درجه و ۱۸ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۲ درجه و ۲۴ دقیقه عرض جغرافیایی قرار دارد. ارتفاع این شهر از سطح دریا ۱۷۶۸ متر است. بالاترین و پایین‌ترین میانگین درجه حرارت منطقه به‌موجب آمار اندازه‌گیری شده عبارت از ۲۷ و ۴ درجه سانتی‌گراد و متوسط درجه حرارت سالانه ۱۴ درجه سانتی‌گراد است. این منطقه دارای رژیم حرارتی ترمیک و رژیم رطوبتی اریدیک و اکوئیک است. متوسط بارندگی سالانه در آن ۱۶۰ میلی‌متر، میانگین رطوبت نسبی ۲۸ درصد و تعداد روزهای یخبندان ۹۳ روز است. کاربری‌های مختلف اراضی در منطقه شامل کشاورزی (عمدتاً کشت گندم و برنج)، شهری، صنعتی و زمین‌های بایر و کشت نشده است (الوندی و همکاران، ۱۳۹۷). برای انتخاب نقاط نمونه‌برداری، در ابتدا نواحی نفوذناپذیر (ساختمان و آسفالت) از محدوده‌ی جستجو حذف گردیدند، سپس تعداد ۶۰ نقطه مطالعاتی به‌صورت یکنواخت در یک شبکه نمونه‌برداری منظم و بافاصله نقاط ۵۴۶ متر انتخاب شد. منظور از اراضی درختی شامل ۱۵ نقطه از اراضی منابع طبیعی محل مطالعه بودند که اراضی جنگلی طبیعی و دست‌کاشت کنار جاده‌ها را شامل می‌شد که دارای پوشش درختی از نوع کاج می‌شدند. ۱۸ نقطه زمین‌های لخت و بایر بودند و ۲۷ مورد شامل اراضی کشاورزی زراعی و باغی می‌باشند. به‌منظور انتخاب این نقاط از روش بلوک کاملاً تصادفی استفاده شد و مقایسه میانگین داده‌های به‌دست‌آمده به روش دانکن انجام گرفت. پراکنشی مکانی این نقاط در شکل (۱) نشان داده شده است.

(۲۰۱۰) بر روی تأثیر خصوصیت محدودکننده خاک بر میزان غنای گونه توسط تجزیه و تحلیل آنالیز خط مرزی در چندین زیست‌بوم در جنوب غربی آفریقا انجام شد. نتایج این تحقیق نشان داد، غنای گونه‌ای در محدوده یکسانی از یک ویژگی خاص خاک ممکن است تحت تأثیر برهم‌کنش خواصی از خاک باشد که به‌طور هم‌زمان در جهات مختلف عمل می‌کنند. الگوهای مشاهده‌شده لزوماً اثرات یک ویژگی خاص خاک را نشان نمی‌دهند، بلکه ممکن است نشان‌دهنده همبستگی بین چندین ویژگی خاک باشند. اشمیت و همکاران (۲۰۰۰) تحقیقی بر روی استفاده از آنالیز خط مرزی برای تجزیه و تحلیل داده‌های انتشار N_2O از خاک‌های کشاورزی انجام دادند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که خطوط مرزی مشخص شده در این مطالعه با مفاهیم نظری موجود و همچنین نتایج تجربی به‌دست‌آمده در شرایط کنترل‌شده و میدانی که در پژوهش گزارش شده است، مطابقت دارد؛ بنابراین، رویکرد خط مرزی می‌تواند برای بهبود مدل‌های تجربی برای پیش‌بینی انتشار N_2O مورد استفاده قرار گیرد. رویکرد خط مرزی مبتنی بر این فرضیه است که این خط وابستگی عملکردی بین دو متغیر را نشان می‌دهد. برای تعیین این خطوط مرزی از روش جدیدی استفاده شد. تابعی که بهترین رابطه بین انتشار N_2O و دمای خاک را نشان می‌دهد حداکثر بالای ۲۳ درجه سانتی‌گراد و تابعی که بین انتقال N_2O و فضای منافذ پر از آب (WFPS)، برای نشان دادن محتوای آب) تعریف شد، حداکثر در ۷۲٪ WFPS داشت. در محدوده ۰ تا ۲۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم، رابطه بین شار N_2O و نیترات در خاک با یک تابع خطی به‌بهترین وجه توصیف شد.

هدف از این مطالعه، بررسی تأثیر برخی ویژگی‌های خاک مانند pH، EC، CEC، بافت خاک، کربن آلی و رطوبت بر میزان نیتروژن کل در خاک اراضی کشاورزی، درختی و اراضی بایر منطقه زرین‌شهر بود که در هر یک،



شکل ۱- پراکنش مکانی نقاط نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه

نمونه‌برداری و انجام تجزیه‌های شیمیایی و فیزیکی خاک از هر نقطه مطالعاتی به مدت یک سال در فصول مختلف نمونه‌برداری خاک انجام شد. در هر زمان برای نمونه‌برداری از هر نقطه مطالعاتی، تعداد پنج نقطه تابعه یکی در مرکز و چهار نقطه در اطراف مرکز به فاصله ۰/۵ متری از آن در جهت‌های اصلی جغرافیایی انتخاب شدند. نمونه‌های خاک از لایه ۲۰-۰ سانتی‌متری سطح خاک از پنج نقطه یک پلات (پلات‌هایی به طول، عرض و ارتفاع ۵۰×۵۰×۲۰ سانتی‌متر) با استفاده از بیل و بیلچه نمونه‌برداری و مخلوط شدند. سپس نمونه مخلوط حدود سه کیلوژی به‌عنوان نماینده پلات تهیه و در نایلون زیپدار مجزا جمع‌آوری و شماره‌گذاری شدند. خشک شدن نمونه‌ها در دمای اتاق و با زیرورو کردن نمونه‌ها انجام شد. نمونه خاک خشک از الک با منافذ ۲ میلی‌متر عبور داده شد و خصوصیات pH، EC، ظرفیت تبادل کاتیونی، بافت خاک، کربن آلی، رطوبت و نیتروژن کل در آن‌ها اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری میزان نیتروژن کل از روش کج‌لدال

استفاده شد، برای این منظور ابتدا نمونه در هاضم مدل HACH هضم و سپس با روش تیتراسیون اندازه‌گیری شد (برمنر، ۱۹۹۶). برای اندازه‌گیری کربن آلی از روش احتراق‌تر (wet ashing) استفاده گردید. در این روش مواد آلی خاک در حضور اسیدسولفوریک و بی‌کربنات پتاسیم اکسید می‌گردند. در ادامه، باقی‌مانده بی‌کربنات پتاسیم با محلول فرو آمونیوم سولفات تیترومی‌گردد. در این فرآیند، حجم مصرفی بی‌کربنات پتاسیم در واکنش اکسیداسیون خاک را می‌توان به کربن آلی خاک نسبت داد. در این فرآیند، کربن آلی خاک در اثر واکنش اکسیداسیون به کربن دی‌اکسید (CO₂) تبدیل شده و از محلول متصاعد می‌گردد و در نتیجه حجم بی‌کربنات پتاسیم مصرف‌شده میزان کربن آلی خاک را به دست می‌دهد. برای اندازه‌گیری pH و EC در ابتدا سوسپانسیون از نمونه خاک به نسبت ۱:۱۰ وزن به حجم (خاک به آب مقطر) تهیه و به مدت ۴۰ دقیقه هم‌زده شد و در نهایت توسط دستگاه pH متر و EC متر قرائت شد (بورت، ۲۰۰۴). رطوبت خاک به روش وزنی و از

نیترژن کل خاک است. در رگرسیون گام‌به‌گام، تعدادی متغیر مستقل وارد مدل می‌شوند و مرتبه ورود آن‌ها توسط معیار آماری که به‌وسیله روش گام‌به‌گام حاصل می‌شود، تعیین می‌گردد (نه‌بندانی و همکاران، ۱۳۹۶).

نتایج و بحث

نتایج اندازه‌گیری خصوصیات کیفی در نمونه‌های خاک مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده شامل هدایت الکتریکی خاک، اسیدیته، نیترژن کل، مواد آلی و کربن آلی در جدول (۱) و جدول (۲) نشان داده شده است. بر اساس یافته‌های جدول (۱)، بیشترین مقدار هدایت الکتریکی خاک به ترتیب در فصل پاییز، زمستان، بهار و تابستان برابر با ۴۲۳۴، ۲۵۱۰، ۵۰۶۴ و ۴۴۰۰ دسی زیمنس بر متر و کمترین مقدار آن در فصول گفته شده برابر با ۸۲، ۱۱۰، ۹۵ و ۱۰۰ دسی زیمنس بر متر بود. مطابق جدول (۲) میانگین هدایت الکتریکی خاک در فصل تابستان با اختلاف معنی‌داری نسبت به سایر فصول بیشترین مقدار بود ($0/10 \pm$ ۱۵۸۷) و کمترین مقدار آن نیز با اختلاف معنی‌داری نسبت به سایر فصول در فصل زمستان به مقدار $0/1 \pm$ ۱۱۴۰ دسی زیمنس بر متر به ثبت رسید. طبق جدول (۱) اسیدیته خاک محدوده‌ی بزرگی از قلیایی تا اسیدی را در بر گرفته بود. در فصل پاییز، اسیدی‌ترین نمونه با pH برابر با ۵/۵۱ و قلیایی‌ترین نمونه با pH برابر با ۸/۹۵ تعیین گردید. pH در فصل پاییز به‌طور متوسط در محدوده‌ی قلیایی قرار داشت ($0/51 \pm$ ۷/۶۴). در فصل زمستان نیز خاک‌های منطقه به‌طور متوسط دارای pH برابر با ۷/۹۳ و در محدوده قلیایی بودند. بیشترین مقدار pH نمونه‌های خاک در فصل زمستان که در بین کلیه فصول نیز بیشترین بود، برابر با ۹/۰۷ به ثبت رسید و کمترین مقدار pH نمونه‌های خاک در فصل زمستان برابر با ۵/۹ بود که البته این دو مقدار تفاوت معنی‌داری با سایر فصول نداشتند. در دو فصل بهار و تابستان نیز خاک‌های منطقه در محدوده قلیایی قرار داشتند. در فصل بهار، pH اسیدی‌ترین نمونه به مقدار ۵/۱۸ و برای قلیایی‌ترین نمونه برابر ۸/۶ بود. همچنین اسیدی‌ترین نمونه اندازه‌گیری شده در فصل تابستان pH برابر با ۵/۳ و قلیایی‌ترین نمونه در

طریق خشک کردن نمونه در دستگاه آون الکتریکی با درجه حرارت ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد تعیین شد. دمای خاک نیز با استفاده از دستگاه دماسنج اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری ظرفیت تبادل کاتیونی از روش چاپمن استفاده شد (چاپمن، ۱۹۶۵). برای اندازه‌گیری بافت خاک نیز از روش هیدرومتری استفاده شد (بویوکوس، ۱۹۶۲).

آنالیز خط مرزی

اگرچه پروتکل توافق شده‌ای برای آنالیز خط مرزی وجود ندارد و در مواردی محققین به‌صورت کاملاً اختیاری خط مرزی را به داده‌ها برازش می‌دهند، با این حال در این آزمایش به روش حجاریپور و همکاران (۱۳۹۴) پنج مرحله زیر برای آنالیز خط مرزی انجام شد: ۱- بررسی نمودار پراکنش داده‌ها؛ بین نیترژن به‌عنوان متغیر وابسته و خصوصیات خاک به‌عنوان متغیرهای مستقل یک نمودار پراکنده‌گی نقاط رسم شد. ۲- دسته‌بندی و گروه‌بندی نقطه داده‌ها؛ در این مرحله با توجه به پراکنش نقاط و همچنین با کمک گرفتن از متخصصین ذیربط و اطلاعات قبلی، متغیر مستقل بسته به نظر متخصص و کیفیت داده‌ها، به گروه‌هایی با فواصل منظم و یا غیرمنظم تقسیم شد. ۳- حذف داده‌های پرت؛ در این مرحله با استفاده از اطلاعات قبلی و نظر متخصص، داده‌های خارج از محدوده کنار گذاشته شد. ۴- تشخیص بالاترین بازدهی در هر زیرگروه؛ بالاترین عملکردها در هر گروه انتخاب شد. از گروه‌هایی که حاوی داده‌هایی با مقادیر غیرقابل قبول بودند صرف‌نظر گردید. ۵- برازش یک تابع مناسب؛ با توجه به نحوه چیدمان داده‌ها، با استفاده از نرم‌افزار SAS، یک تابع بر لبه‌ی بالایی پراکنش داده‌ها برازش داده شد با توجه به نتایج مرحله ۵ و نحوه چیدمان داده‌ها، تابع مناسب (دوتکه‌ای و یا سه‌تکه‌ای) انتخاب می‌شود.

روش رگرسیون گام‌به‌گام

برای تعیین رابطه میان متغیر پاسخ نیترژن و متغیرهای مستقل، روش رگرسیون گام‌به‌گام با استفاده از نرم‌افزار SAS، بکار گرفته شد. در این مطالعه متغیر وابسته

۲/۳۹٪ محاسبه گردید. مطابق با جدول (۲) نیز میانگین درصد کربن آلی خاک در فصل بهار با اختلاف معنی‌داری نسبت به سایر فصول بیشترین مقدار بود ($0/10 \pm 1/16$) و کمترین مقدار آن نیز با اختلاف معنی‌داری نسبت به سایر فصول در فصل زمستان به مقدار $0/1 \pm 0/90$ درصد به ثبت رسید. مطابق با جدول (۲) از نظر درصد مواد آلی خاک نیز مشابه با درصد کربن آلی خاک بیشترین مقدار متوسط در فصل بهار و برابر با $0/11 \pm 2/01$ به دست آمد. کمترین مقدار درصد مواد آلی خاک در بین نمونه‌های خاک و فصول مورد مطالعه در فصل زمستان و برابر با $0/01 \pm 1/55$ به دست آمد. به‌طور کلی بر اساس جدول (۲) فصل بهار دارای بیشترین مقدار درصد کربن آلی، درصد مواد آلی خاک و کل نیتروژن بوده است. هدایت الکتریکی خاک در فصل تابستان در بیشترین مقدار و در فصل زمستان در کمترین مقدار قرار داشته است. مقدار اسیدیته خاک نیز در فصل بهار در نزدیک‌ترین مقدار به حالت خنثی مشاهده شد. همچنین ترانسکتی از شمال به جنوب در نظر گرفته شد و نتایج آنالیز میزان کل کربن آلی، میزان اسیدیته و میزان نیتروژن بررسی شد. نتایج نشان داد میزان کربن آلی در کاربری جنگل < کاربری کشاورزی > زمین‌های بایر و بدون پوشش است. میزان نیتروژن در کاربری کشاورزی < کاربری جنگل > زمین‌های بایر و بدون پوشش است. میزان pH در زمین‌های بدون پوشش بیشتر از اراضی جنگلی و کشاورزی بوده است و میزان pH در اراضی جنگلی کمتر از اراضی کشاورزی است.

فصل تابستان pH برابر با نه داشتند. با توجه به جدول (۲) میانگین pH خاک در فصل پاییز نسبت به سایر فصول دارای بیشترین مقدار بود که البته اختلاف معنی‌داری با دیگر فصل‌ها نداشت ($0/01 \pm 7/64$) و کمترین میانگین فصول نیز در فصل بهار به مقدار $0/10 \pm 7/47$ دسی زیمنس بر متر به ثبت رسید که این مقدار هم اختلاف معنی‌داری با دیگر فصل‌ها نداشت. به‌صورت کلی به‌جز مواردی که pH خاک در محدوده اسیدی شدید قرار داشت (مانند یک نمونه در فصل تابستان)، خاک‌های منطقه را می‌توان در pH خنثی و کمی قلیایی در نظر گرفت. از نظر مقادیر نیتروژن کل، خاک‌های منطقه در بین خاک‌های فقیر قرار دارند. مطابق جدول (۱) حداکثر مقدار نیتروژن به ثبت رسیده در منطقه در فصل تابستان و برابر با $0/28$ ٪ بوده و کمترین آن مربوط به فصل بهار به مقدار $0/04$ ٪ بوده است. همچنین طبق جدول (۲) میانگین نیتروژن خاک در فصل بهار با اختلاف معنی‌داری نسبت به سایر فصول دارای بیشترین مقدار بود ($0/01 \pm 0/103$) و کمترین مقدار آن نیز با اختلاف معنی‌داری نسبت به سایر فصول در فصل زمستان به مقدار $0/01 \pm 0/082$ به ثبت رسید. مطابق جدول (۱) مقدار کربن آلی خاک در فصل پاییز بین محدوده $0/04$ ٪ و $2/52$ ٪ اندازه‌گیری شد. در فصل زمستان نیز درصد کربن آلی خاک با اندکی کاهش نسبت به فصل پاییز در محدوده بین $0/08$ ٪ و $1/92$ ٪ قرار گرفت. بیشترین مقدار درصد کربن آلی خاک در فصل بهار به مقدار $2/65$ ٪ و کمترین مقدار آن به میزان $0/13$ ٪ به ثبت رسید. حداقل و حداکثر درصد کربن آلی خاک در فصل تابستان به ترتیب برابر با $0/12$ ٪ و

جدول ۱- آماره‌های توصیفی خصوصیات خاک در فصول مختلف سال

پارامتر				آماره	فصل
%O.C	%N	pH	EC(micro S/cm)		
۰/۰۴	۰/۰۱	۵/۵۱	۸۲	حداقل	پاییز
۲/۵۲	۰/۲	۸/۹۵	۴۲۳۴	حداکثر	
۱/۰۶	۰/۰۸	۷/۶۴	۱۴۲۲	متوسط	
۰/۰۱۰	۰/۰۱۱	۰/۰۱	۰/۱	انحراف استاندارد	
۰/۰۸	۰/۰۱	۵/۹	۱۱۰	حداقل	زمستان
۱/۹۲	۰/۱۸	۹/۰۷	۲۵۱۰	حداکثر	
۰/۹	۰/۰۸	۷/۵۹	۱۱۴۰	متوسط	
۰/۱۰	۰/۰۱	۰/۴۹	۰/۱	انحراف استاندارد	
۰/۱۳	۰/۰۰۴	۵/۱۸	۹۵	حداقل	بهار
۲/۶۵	۰/۲۴	۸/۶	۵۰۶۴	حداکثر	
۱/۱۶	۰/۱۶	۷/۴۷	۱۴۹۲	متوسط	
۰/۱	۰/۰۰۱	۰/۱	۰/۰۱	انحراف استاندارد	
۰/۱۲	۰/۰۱	۵/۳	۱۰۰	حداقل	تابستان
۲/۳۹	۰/۲۸	۹	۴۴۰۰	حداکثر	
۱/۰۴	۰/۰۹	۷/۵۷	۱۵۸۷	متوسط	
۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱	۰/۱	انحراف استاندارد	

جدول ۲- مقایسه میانگین خصوصیات اندازه‌گیری شده در نمونه‌های خاک در فصول مختلف

پارامتر/فصل	پاییز	زمستان	بهار	تابستان
EC(micro S/cm)	۱۴۲۲ ± ۰/۱ ^b	۱۱۴۰/± ۰/۱ ^a	۱۴۹۲ ± ۰/۰۱ ^c	۱۵۸۷/± ۰/۱۰ ^d
pH	۷/۶۴ ± ۰/۰۱ ^a	۷/۵۹ ± ۰/۴۹ ^a	۷/۴۷ ± ۰/۱۰ ^a	۷/۵۷ ± ۰/۱ ^a
%O.C	۱/۰۶۰ ± ۰/۰۱۰ ^b	۰/۹۰ ± ۰/۱۰ ^a	۱/۱۶ ± ۰/۱۰ ^b	۱/۰۴ ± ۰/۰۱ ^b
%N	۰/۰۸۸ ± ۰/۰۱۱ ^b	۰/۰۸۲ ± ۰/۰۱۰ ^a	۰/۱۰۳ ± ۰/۰۱ ^c	۰/۰۹۵ ± ۰/۰۱۰ ^b

نتایج تحلیل خط مرزی

نتایج حاصل از تحلیل خط مرزی برای یافتن مقادیر بهینه نیتروژن کل در جدول (۳) و شکل (۲) برای درصد کربن آلی، شکل (۳) برای اسیدیته و شکل (۴) برای هدایت الکتریکی نشان داده شده است. روابط رگرسیونی خط مرزی کربن آلی به صورت معادله‌های درجه اول و به صورت یک سطحی برای کلیه فصول سال و همچنین برای کلیه مقادیر به دست آمد. بر اساس نمودار مشاهده شده در شکل (۲) مقدار کربن آلی در فصل پاییز در مقادیری که بالای خط نمودار باشد مقدار نامناسب و در مقادیر پایین خط نمودار به صورت مناسب برای میزان

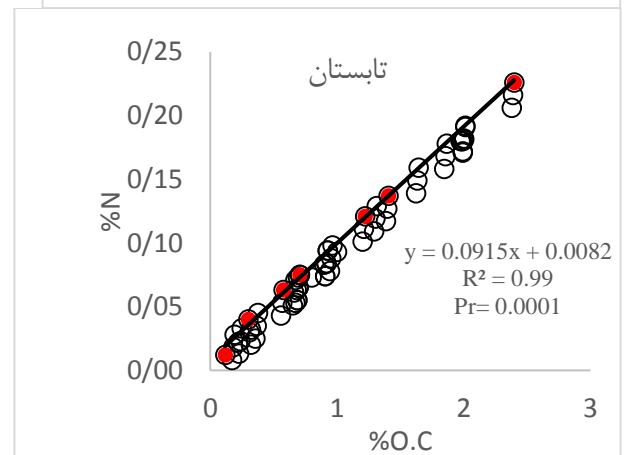
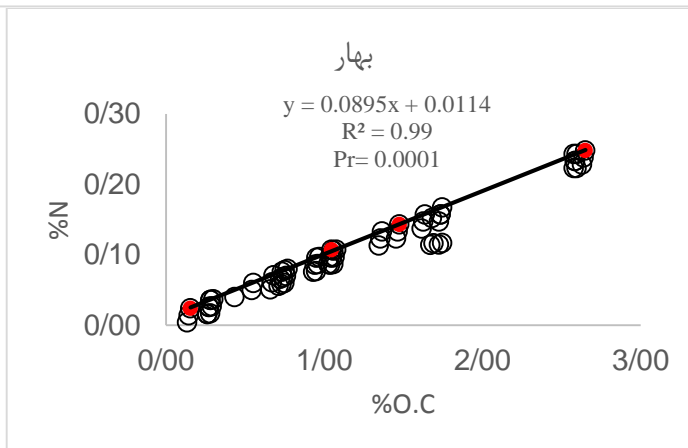
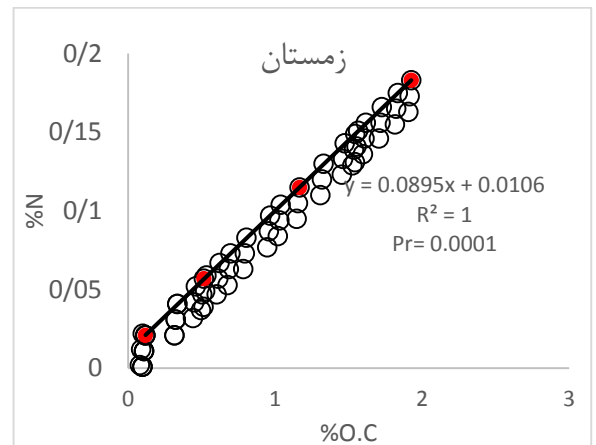
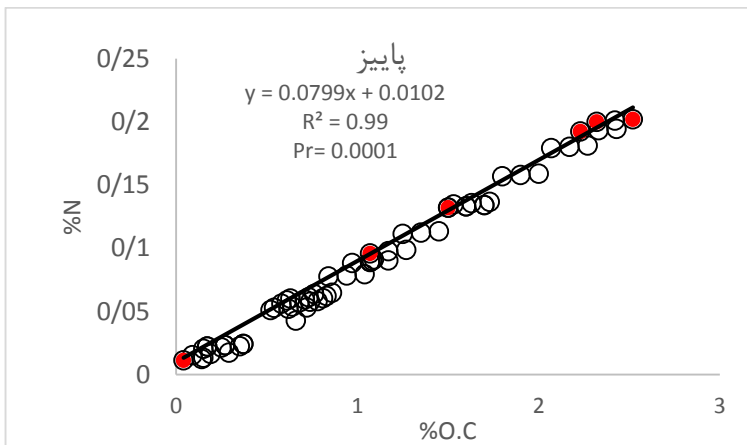
نیتروژن است. نتایج نشان می‌دهد که به‌طور کلی با در نظر گرفتن کلیه داده‌های این چهار فصل، رابطه نیتروژن کل با کربن آلی از معادله $(y = 0.0888x + 0.0123)$ پیروی می‌نماید. برای روابط کربن آلی با نیتروژن کل در فصول مختلف، عرض از مبدأ در محدوده عددی بین ۰/۰۰۸۲ و ۰/۱۲۳، همچنین شیب خط رگرسیون بین ۰/۷۹۹ و ۰/۹۱۵ به دست آمد. ضریب تشخیص کلیه مدل‌های مربوط به کربن آلی خاک نیز بیش از ۰/۹۹ به دست آمد که نشان از دقت بالای تحلیل خط مرزی برای این دو پارامتر است. همان‌طور که در نمودارهای شکل (۳) مشاهده شد، مقادیر pH پایین‌تر از خط منحنی نمودارها

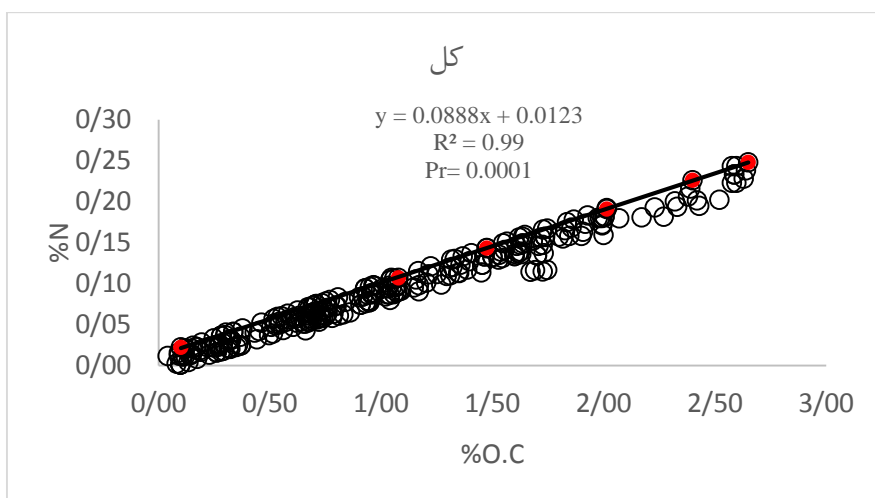
معادله ($y=0.1636x$; if $x \leq 2090$) پیروی می‌نماید. در فصل بهار دو معادله در مقادیر EC کمتر و بیشتر از ۲۵۰۱ دسی زیمنس بر متر ارائه گردیده و برای روابط این دو در فصل تابستان در مقادیر EC بیشتر از ۱۳۹۱ و کمتر از آن از دو معادله متفاوت پیروی می‌نمایند. به‌طور کلی با در نظر گرفتن کلیه داده‌های مربوط به EC، رابطه آن با نیتروژن کل در صورتی که EC بیشتر از ۲۰۶۰ دسی زیمنس بر متر باشد از معادله ($y=-0.2945x-0.00003$; if $x > 2060$) و در صورتی که کمتر از ۲۰۶۰ دسی زیمنس بر متر باشد از معادله ($y=0.2327x$; if $x \leq 2060$) پیروی می‌نمایند. برخلاف درصد کربن آلی و pH که از یک معادله درجه یک در کل گستره تغییرپذیری اعداد استفاده شد، در مدل عملکرد نیتروژن کل در برابر هدایت الکتریکی، تغییرپذیری نمونه‌ها در مرز پراکنش در ابتدا به صورت یک خط افقی با شیب صفر درجه و در مقادیر هدایت الکتریکی بین ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ دسی زیمنس بر متر به صورت کاهشی تعیین گردید جدول (۳). در بین ضریب تعیین مدل‌های به دست آمده، عملکرد خط مرزی اسیدیته خاک از دقت به مراتب پایین‌تری نسبت به هدایت الکتریکی و سپس درصد کربن آلی برخوردار بود. کمترین صحت به دست آمده در بین فصول مربوط به عملکرد نیتروژن در برابر اسیدیته در فصل زمستان برابر با ۰/۸۰ و به صورت کلی کمترین مقدار عملکرد مربوط به کارایی اسیدیته با ضریب تعیین برابر با ۰/۷۴ به دست آمد. به صورت کلی بر اساس نتایج حاصل از تحلیل خط مرزی می‌توان چنین استنباط کرد که مقادیر بهینه نیتروژن خاک (محدوده‌ی عددی ۰/۲۰ تا ۰/۲۵ درصد) در منطقه مورد مطالعه با افزایش مقدار درصد کربن آلی خاک در اسیدیته‌های بین هفت تا هشت و شوری کمتر از ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ دسی زیمنس بر متر حاصل می‌شود.

مناسب و مقادیر بالای خط منحنی نامناسب می‌باشند و به‌طور کلی با در نظر گرفتن کلیه داده‌ها در فصول مختلف، رابطه بین pH خاک و نیتروژن کل از معادله ($y = -0.0568x^2 + 0.8187x - 2.678$) پیروی می‌کند. ملاحظه می‌گردد که ارتباط بین این دو در فصول مختلف سال از یک معادله درجه ۲ با مقدار ضریب x^2 منفی (۰/۰۴۴-) تا (۰/۰۷۷-) و ضریب x مثبت (۰/۶۶۳ تا ۱/۰۶۷) پیروی می‌کند. چنانچه در شکل (۳) نشان داده شده است، خط مرزی عملکرد نیتروژن در برابر اسیدیته با افزایش مقدار pH تا محدوده‌های خشتی برای تمام فصول روند صعودی و در نهایت با عبور pH از محدوده خشتی به سمت محدوده قلیایی، مقدار نیتروژن کل روند کاهشی را خواهد داشت. به عبارت دیگر حداکثر مقدار نیتروژن در برابر مقادیر متفاوت pH را می‌توان در محدوده‌های خشتی مشاهده کرد که بافاصله گرفتن از این محدوده به سمت pH قلیایی و یا اسیدی، این مقدار به شدت کاهش می‌یابد (تا کمتر از ۰/۱). با این حال، حداکثر مقدار بهینه در دو فصل زمستان و تابستان به سمت محدوده‌های قلیایی دارای اریب (چولگی) است که اثر آن را می‌توان در نمودار کلی عملکرد نیتروژن کل در برابر pH به خوبی مشاهده کرد. بر اساس نمودارهای مشاهده شده در شکل (۴) که به صورت دوتکه‌ای است، در فصل پاییز روابط بین هدایت الکتریکی و درصد نیتروژن در خاک‌های با EC کمتر از ۱۶۵۲ دسی زیمنس بر متر و بیشتر از آن از دو معادله متفاوت پیروی می‌نمایند. تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد در فصل زمستان، مرز تفاوت روند تبعیت نیتروژن کل خاک از EC در ۲۰۹۰ دسی زیمنس بر متر بود به نحوی که برای مقادیر هدایت الکتریکی بیشتر از ۲۰۹۰ دسی زیمنس بر متر از معادله ($y=-0.2054x-0.00002$; if $x > 2090$) و در صورتی که از ۲۰۹۰ دسی زیمنس بر متر کمتر باشد از

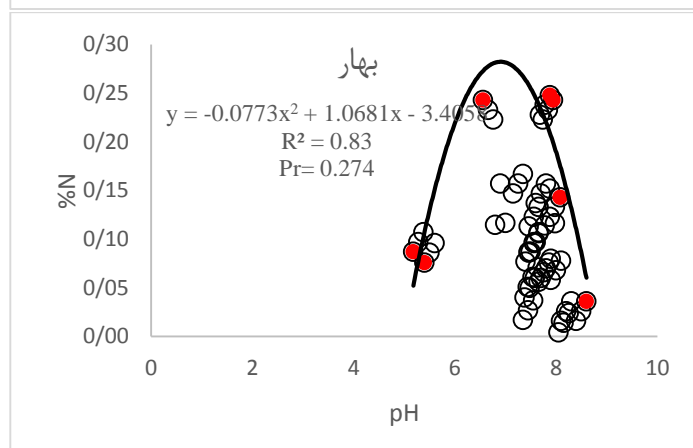
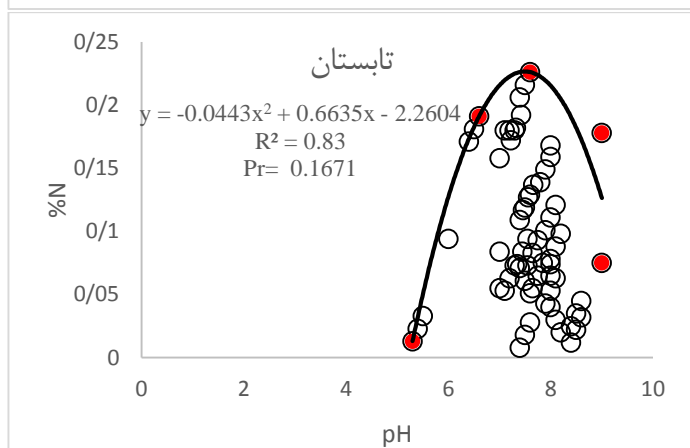
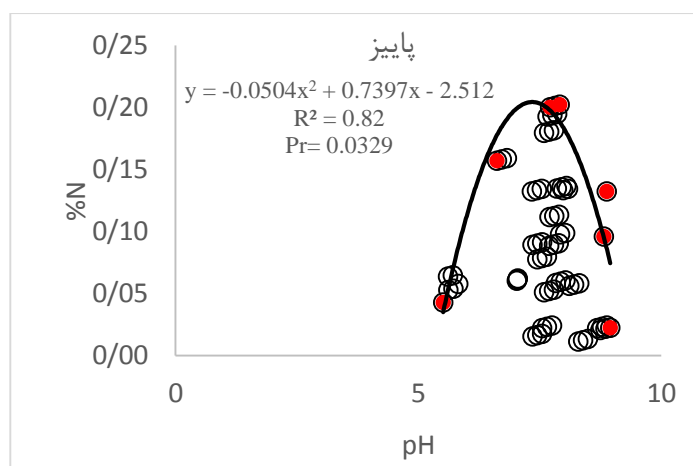
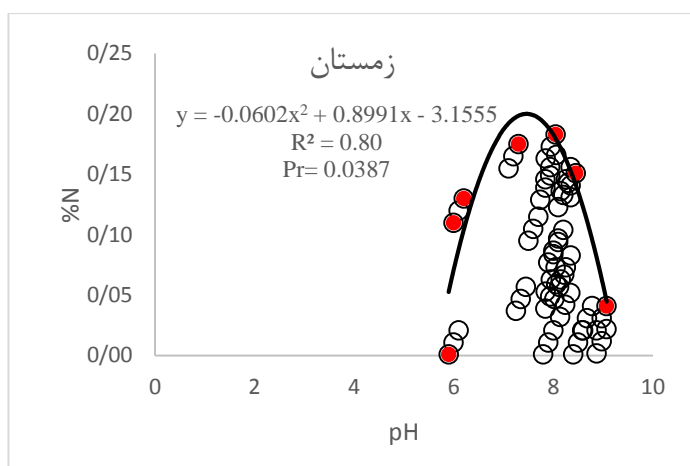
جدول ۳- معادلات عملکرد خط مرزی نیتروژن در برابر کربن آلی، اسیدیته و هدایت الکتریکی

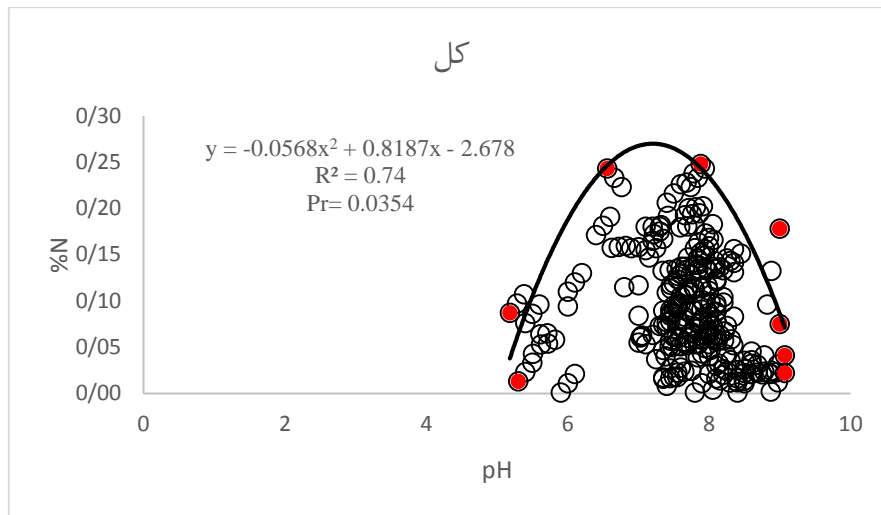
پارامتر	فصل	معادله	R ²	Pr
%O.C	پاییز	$y = 0.0799x + 0.0102$	۰/۹۹	۰/۰۰۰۱
	زمستان	$y = 0.0895x + 0.0106$	۱	۰/۰۰۰۱
	بهار	$y = 0.0895x + 0.0114$	۰/۹۹	۰/۰۰۰۱
	تابستان	$y = 0.0915x + 0.0082$	۰/۹۹	۰/۰۰۰۱
	کل	$y = 0.0888x + 0.0123$	۰/۹۹	۰/۰۰۰۱
pH	پاییز	$y = -0.0504x^2 + 0.7397x - 2.512$	۰/۸۲	۰/۰۳۳۹
	زمستان	$y = -0.0602x^2 + 0.8991x - 3.1555$	۰/۸۰	۰/۰۳۸۷
	بهار	$y = -0.0773x^2 + 1.0681x - 3.4058$	۰/۸۳	۰/۲۷۴
	تابستان	$y = -0.0443x^2 + 0.6635x - 2.2604$	۰/۸۳	۰/۱۶۷
	کل	$y = -0.0568x^2 + 0.8187x - 2.678$	۰/۷۴	۰/۰۳۵
EC(dS/m)	پاییز	$y = -0.2853x - 0.00006$ if $x > 1652$ $y = 0.18618$ if $x \leq 1652$	۰/۹۴	۰/۰۰۳
	زمستان	$y = -0.2054x - 0.00002$ if $x > 2090$ $y = 0.1636$ if $x \leq 2090$	۰/۹۶	۰/۰۰۴
	بهار	$y = -0.37x - 0.00005$ if $x > 2501$ $y = 0.24495$ if $x \leq 2501$	۰/۹۹	۰/۰۰۱
	تابستان	$y = -0.259x - 0.00004$ if $x > 1391$ $y = 0.20337$ if $x \leq 1391$	۰/۹۷	۰/۰۰۱
	کل	$y = -0.2945x - 0.00003$ if $x > 2060$ $y = 0.2327$ if $x \leq 2060$	۰/۹۷	۰/۰۰۱



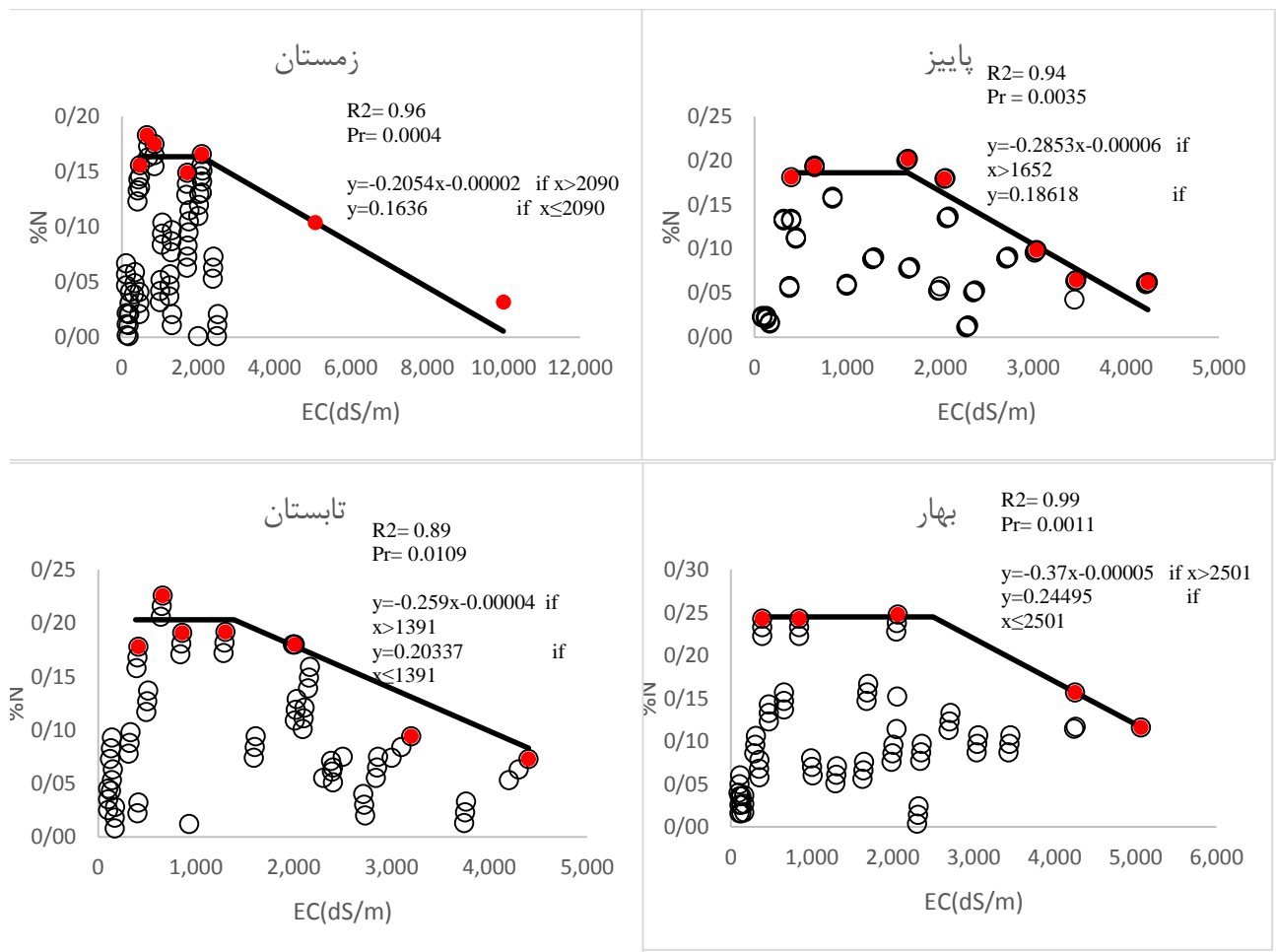


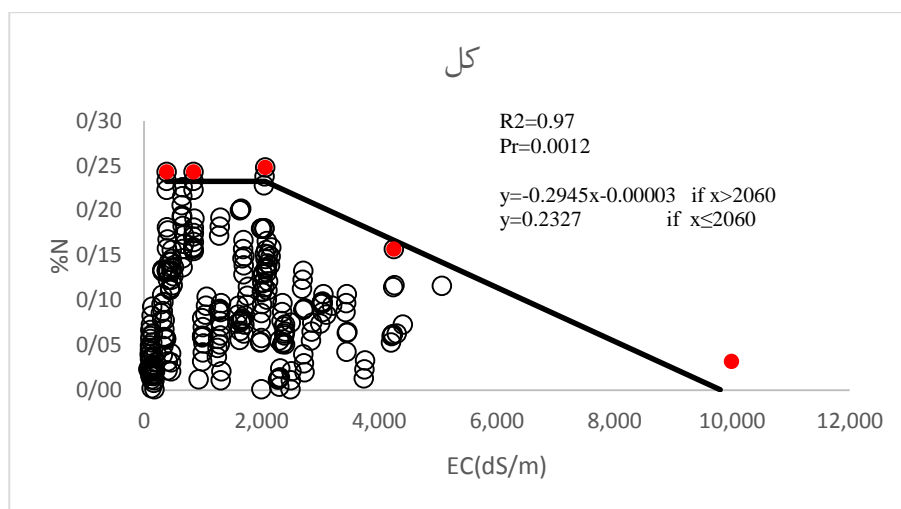
شکل ۲- خط مرزی نیتروژن کل در برابر کربن آلی خاک





شکل ۳- خط مرزی نیترژن کل در برابر اسیدیته خاک





شکل ۴- خط مرزی نیتروژن کل در برابر هدایت الکتریکی خاک

جدول ۴- نتایج رگرسیون گام‌به‌گام بین متغیر وابسته نیتروژن و متغیرهای مستقل EC، pH و OC

VIF	مقدار معنی‌داری	T	ضریب استاندارد	خطای معیار	ضریب استاندارد نشده	عرض از مبدأ
	۰/۰۰۲	۳/۱۱۶		۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	o.c
۱/۰۰۳	۰/۰۰۰	۱۰۶/۷۷۷	-۰/۹۸۹	۰/۰۰۱	۰/۰۸۷	Ec
۱/۰۰۳	۰/۰۲۳	-۲/۲۸	-۰/۰۲۱	۰/۰۰۰	-۰/۰۰۰۰۱۱	
ADJ. R ² =0.977		R ² =0.977		R = 0.988		

نتایج تحلیل رگرسیون گام‌به‌گام

نتایج حاصل از تحلیل رگرسیون گام‌به‌گام در جدول (۴) نشان داده شده است. ابتدا همبستگی بین متغیرهای مستقل شامل هدایت الکتریکی، اسیدیته و کربن آلی خاک بررسی شد. نتایج رگرسیون گام‌به‌گام بر اساس نتایج خروجی حاصل شده نشان می‌دهد که دو متغیر هدایت الکتریکی و کربن آلی حدود ۹۷ درصد از تغییرپذیری میزان نیتروژن کل را با توجه به مقدار R Square و R ADJ که برابر با ۰/۹۷ است، بیان می‌کند. متغیر اسیدیته خاک نتوانست از معیار موردنظر (سطح معنی‌داری) عبور کند و از مدل حذف شد. ب؛ بر این متغیر کربن آلی و هدایت الکتریکی بیشترین تأثیر را بر نیتروژن کل خواهند داشت.

بحث

بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه، هدایت الکتریکی خاک در فصول گرم سال دارای مقادیر بیشتری نسبت به سایر فصول بود به طوری که در فصل تابستان، حداکثر مقدار این پارامتر در حدود ۱۵۸۷ دسی زیمنس بر

متر قرار داشت حال آنکه در فصل زمستان مقادیر این پارامتر به نزدیک ۱۱۴۰ دسی زیمنس بر متر نیز رسید. این نتایج را می‌توان با استفاده از یافته‌های برویک و همکاران (۲۰۰۶) و فریدمن (۲۰۰۵) تفسیر نمود. چنانچه این محققان در مطالعه خود نشان دادند، میزان هدایت الکتریکی خاک رابطه مستقیمی با میزان رطوبت و دمای خاک دارد و این دو پارامتر می‌تواند موجب افزایش چشمگیر میزان هدایت الکتریکی در خاک شود؛ با توجه به این مشاهدات این گونه استنتاج می‌گردد که با افزایش میزان رطوبت خاک، حجم سیال موردنیاز (آب، الکترولیت) برای حرکت بیشتر یون‌های موجود در خاک بیشتر شده و در نتیجه باعث افزایش هدایت الکتریکی خاک می‌گردد. با این حال در مناطق خشک و بیابانی همچون منطقه زرین‌شهر، رطوبت خاک به طور میانگین تغییرات چشمگیری را از خود نشان نمی‌دهد. در این گونه موارد به نظر می‌رسد عامل دما بیشترین نقش فعال را در میزان EC خاک ایفا کند، زیرا به صورت یک قانون علمی پذیرفته شده، افزایش دما موجب افزایش تحرک یونی و

در نتیجه افزایش هدایت الکتریکی می‌گردد. تحلیل مقادیر اسیدیت خاک در نقاط نمونه‌برداری نیز نشان داد که خاک‌های منطقه مورد مطالعه عموماً در بخش خاک‌های قلیایی قرار دارند. مطالعات قبلی نیز که در این ناحیه انجام شد (ایوبی و همکاران، ۲۰۱۴)، خاک‌های این ناحیه و مناطق هم‌جوار آن را در محدوده خاک‌های قلیایی با قلیانیت بیشتر از هفت طبقه‌بندی کردند. با مقایسه نتایج حاصل از محاسبه نیتروژن کل با مطالعاتی از قبیل نهبندانی و همکاران (۲۰۱۷) که در سایر نواحی ایران انجام شده است، می‌توان خاک‌های منطقه مورد مطالعه را در طبقه خاک‌های فقیر از لحاظ نیتروژن خاک قرارداد، به طوری که درصد نیتروژن اندازه‌گیری شده در نمونه‌های خاک برداشته شده از منطقه به‌طور میانگین کمتر از ۰/۱ درصد بود. از منظر تغییرات زمانی نیز بیشترین مقدار نیتروژن خاک در فصل تابستان و برابر با ۰/۲۸ درصد به دست آمد. این الگوی تغییرات زمانی درصد نیتروژن کل در مطالعاتی از قبیل است (۲۰۱۵) و سونگ و همکاران (۲۰۰۶) نیز مشاهده گردید. درصد کربن آلی خاک نیز تغییرپذیری مشهودی در بین فصول سال نشان دادند به صورتی که در فصل پاییز و زمستان مقادیر این دو پارامتر نسبتاً کم (بین محدوده ۰/۰۴ - ۲/۵۲) و در فصول تابستان و بهار افزایش چشمگیری را داشته است (بین محدوده ۰/۱۲ - ۲/۳۹). فصل بهار از جنبه پارامترهای مورد بررسی دارای بالاترین مقدار در صد کربن آلی، در صد مواد آلی و همچنین مقدار نیتروژن کل بوده است. تاکنون مطالعات بسیاری به تفسیر پارامترهای مؤثر بر این تغییرپذیری درصد مواد آلی و کربن آلی خاک و افزایش مقادیر آن‌ها در فصول بهار و تابستان نسبت به پاییز و زمستان پرداخته‌اند. همسو با نتایج این تحقیق، یوان و همکاران (۲۰۱۳) و کاهومبا (۲۰۱۸) نیز نشان دادند که مواد آلی خاک در فصول گرم سال افزایش معنی‌داری نسبت به فصول سرد سال بخصوص زمستان دارند. چاپاگین (۲۰۱۶) این تغییرات را به بالاتر بودن شار خورشیدی مرتبط می‌داند که در فصول گرم سال بالاتر بوده و

برافزایش در صد ترکیبات کربنی خاک مؤثر است. در این مطالعه، تحلیل خط مرزی برای بررسی روابط درونی بین متغیرها و همچنین مقادیری از شاخص‌هایی که باعث افزایش حداکثری نیتروژن خاک می‌شوند مورد استفاده قرار گرفت و مشاهده گردید، دو عامل درصد کربن آلی و درصد نیتروژن خاک دارای رابطه خطی معنی‌داری هستند به صورتی که با افزایش در صد کربن آلی، مقدار نیتروژن کل در خاک نیز افزایش پیدا می‌کند. این ارتباط علاوه بر مکان در طول زمان نیز صادق است به این معنی که تغییرات درصد کربن آلی در خاک در هر فصل با تغییرات درصد نیتروژن کل در آن فصل نیز دارای رابطه همبستگی مستقیم و معنی‌دار است. تحقیقات بسیاری بر ارتباط خطی مثبت و معنی‌دار این دو متغیر صحه گذاشته‌اند که از جمله آن‌ها می‌توان به مطالعات الزینی و اففات (۲۰۱۹)، بارروس و همکاران (۲۰۱۰) و تاجیک و همکاران (۲۰۲۰) اشاره کرد. در تفسیر این نتایج باید توجه داشت که این رابطه تنها برای مقادیر درصد کربن آلی کمتر از سه درصد و برای پیش‌بینی مقدار نیتروژن کمتر از ۰/۳ درصد صادق است. همچنین ارتباط مشابهی بین درصد مواد آلی خاک و درصد نیتروژن کل وجود دارد. علیرغم این یافته، تحلیل خط مرزی عملکرد نیتروژن در برابر اسیدیت نشان داد که با کاهش و افزایش مقدار اسیدیت از حالت خنثی، میزان درصد نیتروژن کل خاک روند کاهشی را خواهد داشت به صورتی که در مقادیر اسیدیت بیشتر از هشت و کمتر از شش، مقدار نیتروژن خاک به پایین‌ترین حد ممکن و در برخی از موارد به مقدار صفر نزدیک می‌شود. در خاک‌های قلیایی، مطالعاتی از قبیل شارما و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که با افزایش قلیانیت خاک، مقدار نیتروژن خاک کاهش چشمگیری خواهد داشت و رابطه همبستگی منفی معنی‌داری بین آن‌ها وجود دارد. به‌طور عکس، ژائو و همکاران (۲۰۰۶) نیز نشان دادند که در خاک‌های اسیدی، رابطه بین اسیدیت و درصد نیتروژن کل خاک مثبت و معنی‌دار است.

نتیجه‌گیری

و از معادلات رگرسیونی متفاوتی پیروی می‌کنند. به صورتی که افزایش مقدار نیتروژن خاک با اسیدیته دارای الگوی سهموی با بیشترین عملکرد در اسیدیته خنثی بود، حال آنکه برای درصد کربن آلی (مواد آلی) روندی خطی و مثبت و برای هدایت الکتریکی روندی منفی داشت. این تحقیق نشان داد رابطه خطی معنی‌داری بین مقادیر کربن آلی و نیتروژن کل خاک در خاک‌های با کاربری متفاوت (درختکاری، کشاورزی و باپر) برقرار است. در استفاده از این نتایج باید توجه داشت که روابط یافت شده برای مناطقی با درصد نیتروژن و کربن آلی ناچیز در خاک صادق است و برای مناطقی با محتوای بالاتر نیتروژن کل اجرای آنالیز خط مرزی لازم و ضروری است.

در این تحقیق بررسی تأثیر برخی ویژگی‌های خاک بر میزان نیتروژن کل در منطقه زرین شهر با استفاده از آنالیزهای خط مرزی و روش تحلیل مقایسه کارکرد پرداخته شد و با بررسی چند خصوصیت مهم خاک حداقل‌های مطلوب لازم از هر عامل برای دست یافتن به بهترین میزان نیتروژن خاک به‌وسیله آنالیز خط مرزی مشخص شدند. نتایج این تحقیق نشان از تغییرپذیری بالای هدایت الکتریکی، اسیدیته و درصد کربن آلی خاک در فصول مختلف سال در خاک‌های این منطقه داشت نتایج حاصل از آنالیز خط مرزی نیز نشان داد که عملکرد نیتروژن کل در مقادیر مختلف این پارامترها متفاوت است

فهرست منابع

۱. الوندی، ا. د. فروتن و م. دهمرده قلعه نو. ۱۳۹۷. مدل‌سازی تناسب زمین برای توسعه شهری با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه و GIS مطالعه موردی: حوضه آبخیز زیارت استان گلستان. فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر»، ۲۶(۱۰۱): ۸۱-۱۶۹.
۲. حجارپور، ا. ا. سلطانی و ب. ترابی. ۱۳۹۴. استفاده از آنالیز خط مرزی در مطالعات خلأ عملکرد: مطالعه موردی گندم در گرگان مجله تولید گیاهان زراعی، ۸(۴): ۱۸۳-۲۰۱.
۳. دهنوی، ا. س. متین خواه، و ن. نوربخش. ۱۳۹۲. بررسی نقش داغداغان "Celtis caucasica" به‌عنوان درخت تثبیت‌کننده نیتروژن بر خصوصیات خاک زیراشکوب در ذخیره‌گاه جنگلی اردسته دهقان-اصفهان. تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۲۱(۴): ۶۴۳-۶۵۳.
۴. سیاهمرگویی، آ. ب. ترابی، ر. سهرابی، و س. م. عالیمقام. ۱۳۹۷. بررسی خلأ عملکرد ناشی از علف‌های هرز و عوامل مدیریتی بر عملکرد سویا در شهرستان کلاله. به زراعی کشاورزی، ۲۰(۲): ۵۶۳-۵۷۶.
۵. شیدای کرکج، ا. ع. سپهری، ح. بارانی و ج. معتمدی. ۱۳۹۶. ارتباط ذخیره کربن آلی خاک با برخی ویژگی‌های خاک در مراتع آذربایجان شرقی. مرتع، ۱۱: ۱۲۵-۱۳۷.
۶. کاشی‌ساز، م. ص. عبدالامیر، و آ. لطفعلی. ۱۳۹۴. بررسی روند تغییرات غلظت آمونیم و نترات در نیمرخ خاک، در سه نوع تناوب‌زراعی. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار، ۵(۲): ۱۴۹-۱۶۳.
۷. نوبتیانی، م. ش. راحمی کاریزکی، ع. بیابانی، و ر. منصوری. ۱۴۰۱. بررسی و تعیین سهم کودهای شیمیایی ماکرو و خصوصیات خاک بر خلأ عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) در شهرستان کلاله با استفاده از روش آنالیز خط مرزی. مجله تولید گیاهان زراعی، ۱۳(۴): ۱-۴.
۸. نه‌بندانی، ع. ر. ا. سلطانی، ا. زینلی، و ف. حسینی. ۱۳۹۶. تحلیل عوامل محدودکننده عملکرد سویا در شرایط گرگان و علی‌آبادکتول با استفاده از روش CPA، ۷(۱): ۱۰۹-۱۲۳.

10. Ayoubi, S., Amiri, S., and Tajik, S., 2014. Lithogenic and anthropogenic impacts on soil surface magnetic susceptibility in an arid region of Central Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 60 (10), 1467-1483.
11. Barros, G. V., Martinelli, L. A., Novais, T. M. O., Ometto, J. P. H., Zuppi, G. M. 2010. Stable isotopes of bulk organic matter to trace carbon and nitrogen dynamics in an estuarine ecosystem in Babitonga Bay (Santa Catarina, Brazil). *Science of the Total Environment*. 408 (10): 2226-2232.
12. Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agron. J*. 56: 464-465.
13. Bremner JM. 1996. Nitrogen-total. *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods*. 1(5): 1085-121.
14. Brevik, Eric C., Thomas E. Fenton, and Andreas Lazari. "Soil electrical conductivity as a function of soil water content and implications for soil mapping." *Precision Agriculture* 7 (2006): 393-404.
15. Chapagain, N. P. 2016. Total ozone content over Kathmandu from TOMS observations. *Int. J. Eng. Res. Appl.* 6: 69-80.
16. Chapman, H. D. 1965. Cation-exchange capacity. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties (methods of soil analysis)*. Monograph. 9(2): 891-901.
17. El-Zeiny, A. M., Effat, H. A. 2019. Environmental analysis of soil characteristics in El-Fayoum Governorate using geomatics approach. *Environmental Monitoring and Assessment*. 191 (7): 1-20.
18. Friedman, Shmulik P. "Soil properties influencing apparent electrical conductivity: a review." *Computers and electronics in agriculture* 46.1-3 (2005): 45-70.
19. Kahumba, A. 2018. Assessment of the impact of land use practices on vegetation, soil and carbon-nitrogen sequestration potential in Mopane rangelands of central Northern Namibia.
20. Lark, R. M., Gillingham, V., Langton, D. Marchant, B. P. 2020. Boundary line models for soil nutrient concentrations and wheat yield in national-scale datasets. *European Journal of Soil Science*. 71 (3): 334-351.
21. Leszczyński, J. 2021. Removal of Ammonium Ions from Aqueous Solutions Using Weathered Halloysite. *Materials*. 14(16): 4359-4371.
22. Medinski, T. V., Mills, A. J., Esler, K. J., Schmiedel, U., & Jürgens, N. (2010). Do soil properties constrain species richness? Insights from boundary line analysis across several biomes in south western Africa. *Journal of Arid Environments*, 74(9), 1052-1060.
23. Rhoades, J.D. 1982. *Chemical and microbiological Properties*. Agronomy Monograph no. 9. 2nd ed. SSSA and ASA, Madison. 2: 167-179.
24. Sharma, G., Sharma, R., Sharma, E. 2009. Impact of stand age on soil C, N and P dynamics in a 40-year chronosequence of alder-cardamom agroforestry stands of the Sikkim Himalaya. *Pedobiologia*. 52 (6): 401-414.
25. Song, Z., Zheng, Z., Li, J., Sun, X., Han, X., Wang, W. Xu, M. 2006. Seasonal and annual performance of a full-scale constructed wetland system for sewage treatment in China. *Ecological engineering*. 26 (3): 272-282.
26. Schmidt, U., Thöni, H., & Kaupenjohann, M. (2000). Using a boundary line approach to analyze N₂O flux data from agricultural soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 57, 119-129.
27. Tajik, S., Ayoubi, S., Lorenz, N. 2020. Soil microbial communities affected by vegetation, topography and soil properties in a forest ecosystem. *Applied Soil Ecology*. 149: 103-114.
28. West, N. 2015. Determination of the baseline levels of key chemical parameters in a proposed aquaculture development zone.

29. Yuan, D., Yang, D., Pu, G., Zhang, Q., Chen, X., Peng, W., Sun, J., Xiong, S., Li, J. 2013. Fertility dynamics of three types of tea garden soils in Western Sichuan, China. *Pak. J. Agri. Sci.* 50 (1): 29-35.
30. Zarei, A. 2019. Sustainable Agriculture. Day System.
31. Zhao, H. L., Yi, X.Y., Zhou, R.L., Zhao, X.Y., Zhang, T.H., Drake, S., 2006. Wind erosion and sand accumulation effects on soil properties in Horqin Sandy Farmland, Inner Mongolia. *Catena.* 65 (1): 71-79.

Investigating the Relationship between the Amount of Total Nitrogen and Some Soil Characteristics in Zarin Shahr Region

N. Pirastani , M. Ahmadi Nodooshan*, M .Abolhassani, and R. Zamani

Ahmad Mahmoudi

PhD student, Islamic Azad University, Isfahan Branch (Khorasgan), Isfahan, Iran; Niloofar.pirestani@yahoo.com
Assistant Professor, Department of Environment, Waste and Wastewater Research Center, Isfahan Branch (Khorasgan),
Islamic Azad University, Isfahan, Iran; m.ahmadi1984@gmail.com

Assistant Professor, Department of Environment, Islamic Azad University, Isfahan Branch (Khorasgan), Isfahan, Iran;
Hadi.mha2001@yahoo.com

Associate Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University,
Shahrekord, Iran; zamani@nres.sku.ac.ir

Received: July11, 2022 and Accepted: September12, 2023

Abstract

The purpose of this research was to investigate the impact of pH, EC, and organic carbon (OC) on the amount of total nitrogen in the soil of the Zarin Shahr Region using statistical analyses (borderline analysis and step-by-step regression). In the Zarinshahr region, a comprehensive study was conducted for a duration of one year across all four seasons. The study employed GPS technology to select a total of 60 points in agricultural, tree plantations, and bare soil areas while ensuring an average distance of 546 meters between each point. The plots areas were 50x50x20 cm in length, width, and height. The various soil samples collected from these plots were analyzed. Then, the maximum reaction of a biogeochemical process to a certain environmental factor was determined using borderline analysis. According to the findings, the soil's EC exhibited higher readings during the hotter seasons of the year, in comparison to other seasons. Specifically, during the summer, the maximum value of this parameter was approximately 1587 dS/m, while in the winter, the values were nearly 1140 dS/m. Also, pH levels of the soil was generally alkaline. The seasonal variations in soil OC and organic matter percentage were evident, with notably lower values (ranging from 0.04-2.52) in the autumn and winter, followed by a marked increase during the summer and spring (0.12-2.39). Boundary line analysis was used to investigate the relationships between variables and the values of indicators that caused the maximum increase in soil nitrogen. It was ascertained that OC percentage and soil nitrogen percentage exhibited a significant linear correlation in all land uses. Hence, increase in OC percentage resulted in an increase in the total nitrogen content in the soil. The step-by-step regression analysis in a systematic manner revealed that, within the variables under investigation, the percentage of total nitrogen in the soil can be determined based on the impact of two key parameters, namely, EC and the percentage of OC. The results suggest that use of boundary line analysis and step-by-step regression represent a viable approach for determining the effects of the significant factors on the levels of nitrogen content in the soil.

Keywords: Organic carbon, Boundary line analysis, Regression analysis

*. Corresponding author's email: m.ahmadi1984@gmail.com