

توزیع مکانی نیتروژن خاک در بسترهای خشک‌شده دریاچه ارومیه

سامان جلال‌زاده^۱، میرحسن رسولی صدقیانی^{۲*}، حسین خیرفام^۳، حبیب خداوردیلو^۲، فرخ اسدزاده^۴

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۱۴)

چکیده

بحران خشکی دریاچه ارومیه منجر به پیدایش بسترهای خشک‌شده و حساس به فرسایش بادی شده است. از این‌رو، ایجاد و تسریع در احیای طبیعی و مصنوعی پوشش گیاهی برای تثبیت کانون‌های ریزگرد بسترهای خشک‌شده دریاچه ارومیه ضروری می‌باشد. از این‌رو، پژوهش حاضر با هدف اندازه‌گیری و تهیه نقشه توزیع مکانی محتوای نیتروژن آلی کل بسترهای خشک‌شده دریاچه ارومیه به‌عنوان یکی از عناصر ضروری در احیای پوشش گیاهی بر مبنای نمونه‌برداری میدانی برنامه‌ریزی شد. برای انجام پژوهش حاضر، ۱۹۲ نمونه خاک از تمام بسترهای دریاچه ارومیه در تابستان ۱۳۹۹ برداشت شد. سپس نیتروژن آلی کل به‌عنوان ویژگی مهم خاک نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از روش کریجینگ معمولی مقادیر نیتروژن در مکان‌های بدون نمونه‌برداری از طریق مقادیر نقاط نمونه‌برداری شده میان‌یابی و نقشه آن تهیه شد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که حداقل، حداکثر و میانگین مقادیر نیتروژن آلی کل در بسترهای خشک‌شده دریاچه ارومیه به‌ترتیب ۰/۰۱۰، ۰/۲۹۷ و ۰/۱۴۳ درصد بود. غالب محتوای درصد نیتروژن کل حاشیه‌های دریاچه ارومیه کم (۰/۱۱۷ تا ۰/۱۵۳ درصد) و بسیار ناچیز بود که در قسمت‌های شمال، شمال غربی، غرب، شرق و به‌ویژه جنوب شرقی دریاچه ارومیه مشاهده شد. با این حال، بیش‌ترین مقدار درصد نیتروژن در بخش‌های محدودی از جنوب تا جنوب‌غربی دریاچه ارومیه و به میزان ۰/۱۸۹ الی ۰/۲۹۷ درصد بود. بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر، اجرای اقدامات مدیریتی و فنی در راستای بهبود محتوای نیتروژن بخش وسیعی از بسترهای خشک‌شده و اراضی بایر پیرامون دریاچه ارومیه برای دستیابی به احیای موفقیت‌آمیز پوشش گیاهی ضروری می‌باشد. هرچند، اندازه‌گیری و تهیه نقشه توزیع مکانی سایر مؤلفه‌های خاک نیز برای پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: احیای اراضی، بوم‌سازگان‌های نوپدید، زمین آمار، کریجینگ، ویژگی‌های خاک

سامان جلال‌زاده، میرحسن رسولی صدقیانی، حسین خیرفام، حبیب خداوردیلو، فرخ اسدزاده. ۱۴۰۲. توزیع مکانی نیتروژن خاک در بسترهای خشک‌شده دریاچه ارومیه. تحقیقات کاربردی خاک، جلد ۱۱، شماره ۳. صفحه: ۱۷-۲۸.

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲- استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۳- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۴- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

*پست الکترونیک: m.rsadaghiani@urmia.ac.ir

مقدمه

حال، دستیابی به اهداف یادشده نیازمند برخورداری خاک این مناطق از محتوای کافی از عناصر غذایی است. عنصر نیتروژن یکی از عناصر غذایی مهم و پرمصرف محتوای خاک بوده (Zingore *et al.*, 2003) که در مناطق خشک و نیمه‌خشک نیتروژن به‌همراه ماده آلی به‌عنوان عنصر غذایی محدودکننده خاک بوده که جامعه میکروبی و پوشش گیاهی به آن وابسته می‌باشد (Hernandez *et al.*, 2002). به‌دلیل عدم وجود پوشش گیاهی در این مناطق، بازگشت بقایای گیاهی به خاک کم و در نتیجه در خاک کمبود مواد آلی و به‌همراه آن کمبود نیتروژن وجود خواهد داشت. در این بین، نیتروژن خاک به‌دلیل نقش ساختاری در تشکیل پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک از مهم‌ترین عامل‌های اثرگذار بر فعالیت جامعه میکروبی خاک بوده (Kheirfam *et al.*, 2017) که در رشد، بقاء و تکامل ریزموجودات خاک‌زی نقش به‌سزایی دارد (Liu *et al.*, 2014). با توجه به اهمیت جامعه میکروبی خاک در تشکیل پوسته‌های زیستی و احیای بسترهای خشک‌شده، نقش زنجیره‌ای بین مقدار نیتروژن خاک و جمعیت ریزموجودات خاک‌زی حائز اهمیت می‌باشد (Hadas *et al.*, 2004). لذا آگاهی از محتوا و تغییرات نیتروژن خاک در مناطق مدنظر برای اقدامات مدیریتی نقش مؤثری در اجرای راهکارهای متناسب و سازگار دارد. با این حال، تغییرات مکانی محتوای نیتروژن خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک و به‌ویژه بوم‌سازگان‌های نوظدید از جمله بسترهای خشک‌شده تالاب‌ها و دریاچه‌ها، ضرورت تعیین پراکنش محتوای نیتروژن را اجتناب‌ناپذیر کرده است (Wang *et al.*, 2010). بررسی پیشینه پژوهشی نشان می‌دهد که نیتروژن خاک تغییرات مکانی قابل توجهی داشته که آگاهی از محتوای نیتروژن در مناطق مختلف در بهینه‌سازی اقدامات مدیریتی ضروری است (Wang *et al.*, 2009). عوامل متعددی از قبیل شرایط اقلیمی، بافت خاک، مدیریت اعمال شده بر خاک‌ها و توپوگرافی بر تغییرات مکانی نیتروژن مؤثر هستند (Jaiver *et al.*, 2011). علاوه بر موارد ذکر شده تحقیقات نشان داده‌است نوع کاربری اراضی و آب و هوای محیط نیز در تغییر مقادیر نیتروژن خاک دخیل هستند (Shuai *et al.*, 2018). هم‌چنین، اثرات مقادیر مختلف رطوبت و pH خاک به‌عنوان فاکتورهای مؤثر در تغییرات مکانی عناصر پرمصرف از جمله نیتروژن به اثبات رسیده است (Cong *et al.*, 2019). در سال‌های اخیر نیز تحقیقات انجام شده نشان

امروزه بیش از ۴۰ درصد از سطح کره زمین Torres-Cruz *et al.*, 2018) و ۸۵ درصد از سطح ایران (Esmailion *et al.*, 2021) از مناطق خشک و نیمه‌خشک تشکیل شده است که بوم‌سازگان‌های این مناطق شرایط شکننده و حساسی به عوامل تخریب‌زا دارند (Stutter *et al.*, 2004). خاک مناطق خشک و نیمه‌خشک حاوی مقادیر محدودی از عناصر غذایی بوده و لذا تکامل خاک، کیفیت خاک، توسعه پوشش گیاهی و فعالیت میکروبی ناچیز می‌باشد (Cui *et al.*, 2019). از این‌رو، شرایط برای تخریب خاک توسط عوامل فرساینده (آب و باد) فراهم بوده و فرآیند بیابان‌زایی نیز فعال می‌باشد. هم‌راستا با مناطق خشک و نیمه‌خشک، اخیراً بهره‌برداری مازاد و غیراصولی از منابع آب منجر به پیدایش بحران خشکی تالاب‌ها و دریاچه‌های داخلی در تمام دنیا و به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه واقع در مناطق خشک و نیمه‌خشک از جمله ایران شده است (Kheirfam & Roohi, 2020). به‌عبارتی، با خشک‌شدن دریاچه‌های داخلی، بسترهای لخت و بدون پوشش گیاهی ظاهر شده که قبلاً در زیر آب بوده‌اند. از این‌رو، بوم‌سازگان نوظدید و ناپایداری تشکیل شده که در مراحل اولیه توالی قرار داشته و به‌دلیل عدم برخورداری از جامعه زیستی فعال، شرایط بسیار ناپایدار و حساس به عوامل تخریب به‌ویژه فرسایش بادی دارند (Kheirfam & Asadzadeh, 2020). فرسایش بادی در بسترهای خشک‌شده دریاچه‌ها و هم‌چنین مناطق بیابانی منجر به پراکنش ریزگردها به بوم‌سازگان‌های پیرامون شده که امکان تخریب جوامع گیاهی، جانوری و انسانی را در پی خواهد داشت (Ahmadi-Birgani *et al.*, 2018). از این‌رو، راهکارهای متعددی در راستای تسریع در شروع و ادامه توالی بوم‌سازگان‌های نوظدید با هدف تثبیت و بهبود وضعیت اکولوژیکی آن‌ها مورد توجه قرار گرفته است (Visser *et al.*, 2019). یافته‌های پژوهش‌های پیشین حاکی از ضرورت اجرای اقدامات مدیریتی برای بهبود مؤلفه‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک برای دستیابی به اهداف متصوره در احیاء و ارتقای بوم‌سازگان‌ها است (Hagmann *et al.*, 2015; Kheirfam *et al.*, 2017). در این بین، افزایش جمعیت و فعالیت میکروبی و سپس ظهور و توسعه پوشش گیاهی یک‌ساله از اهداف اصلی و اولیه در راستای تسریع در توالی بوم‌سازگان‌های نوظهور می‌باشد (Liu *et al.*, 2013). با این

غذایی از جمله محتوای نیتروژن خاک و تغییرات مکانی آن می‌باشد. از این‌رو، پژوهش حاضر با هدف اندازه‌گیری محتوای نیتروژن کل در تمام بسترهای خشک‌شده دریاچه ارومیه و تعیین پراکنش مکانی آن در مناطق مختلف جغرافیایی دریاچه ارومیه برنامه‌ریزی شد

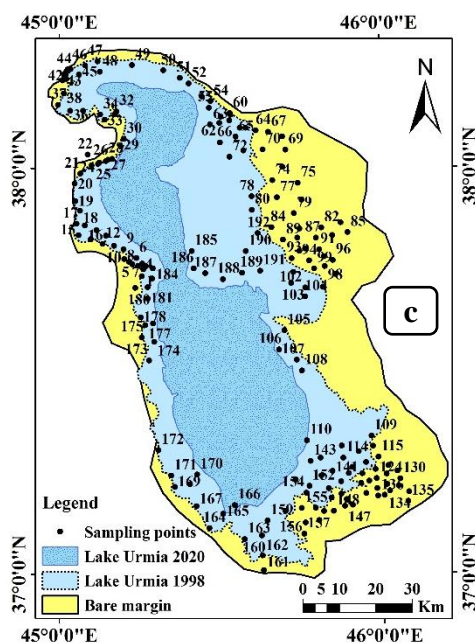
مواد و روش‌ها

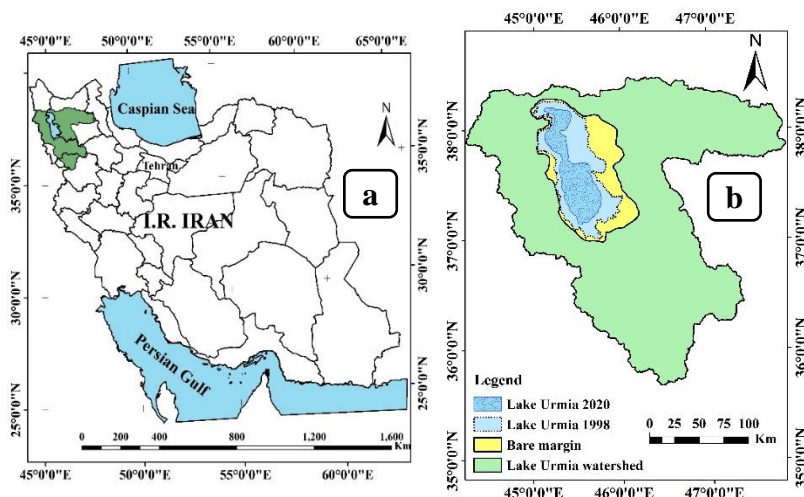
منطقه مورد مطالعه

خاک مورد مطالعه از تمامی بسترها و حاشیه‌های خشک-شده دریاچه ارومیه انتخاب شد. دریاچه ارومیه به عنوان ششمین دریاچه شور دنیا (بین ۱۴۰ تا ۳۸۰ گرم بر لیتر) شناخته می‌شود (Zeinodini *et al.*, 2009) که در بین دو استان آذربایجان غربی و شرقی و در شمال غربی ایران واقع شده است (شکل ۱). در حال حاضر، بیش از ۷۰ درصد از این دریاچه به دلایلی از جمله انبوه ساخت غیراصولی سد، بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی برای اهداف کشاورزی خشک شده است (Danesh-Yazdi & Ataie-Ashtiani, 2020). امروزه بسترهای خشک‌شده و حاشیه‌های بدون پوشش گیاهی دریاچه ارومیه (حدود ۳۵۰۰ کیلومترمربع) به عنوان یک بوم‌سازگان ناپایدار و شور تازه پدیدار شده شناخته می‌شود که شدیداً تحت تأثیر فرآیندهای فرسایش بادی قرار دارند (شکل ۱).

می‌دهد پارامترهای فیزیکی از جمله مقدار آب قابل دسترس، جرم ویژه ظاهری خاک، تخلخل خاک (Qing *et al.*, 2021) و اقدامات مدیریتی از جمله کوددهی و تغییر و تبدیلات اشکال مختلف نیتروژن، وجود مقادیر مختلف ماده آلی (Jiaxin *et al.*, 2022) و همچنین تأثیر پوشش گیاهی منطقه و جمعیت زیست توده میکروبی (Xiuying *et al.*, 2022) در مقادیر مختلف نیتروژن و پراکنش مکانی این عنصر در خاک نقش داشته که شناخت این عوامل و بررسی اثرات آن‌ها در اقدامات مدیریتی برای احیاء و بهبود وضعیت خاک بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

بحران خشکی دریاچه ارومیه و پیدایش بسترهای خشک‌شده به‌عنوان یکی از نمودهای تغییر بوم‌سازگان‌ها ناشی از اثرات سوء فعالیت‌های انسانی می‌باشد (Kheirfam & Roohi, 2020). به سبب ظهور کانون‌های تولید ریزگرد و تأثیرپذیری بوم‌سازگان‌های پیرامون از آن، اقدامات متعددی در راستای تثبیت بسترهای خشک‌شده دریاچه ارومیه از طریق راهکارهای اکولوژیکی مورد توجه قرار گرفته است (Kheirfam & Asadzadeh, 2020). با این‌حال، اقدامات صورت‌گرفته وسیع نبوده و صرفاً در بخش‌های محدودی اجرا شده‌اند. لذا به‌منظور توسعه اقدامات اکولوژیکی از قبیل توسعه پوشش گیاهی، نیازمند آگاهی از وضعیت بسترهای خشک‌شده دریاچه ارومیه از نظر برخورداری از عناصر





شکل ۱- موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه برداری در نقشه ایران (الف) حوزه آبخیز و (ب) بسترهای خشک شده دریاچه ارومیه (ج)
Figure 1 The location of the soil collection site in Iran (a), watershed (b), and the dried-up beds of Lake Urmia (c).

به آن اضافه شد. در مرحله تقطیر، عصاره ها به بالن های تقطیر منتقل و به آن ها ۲۰ میلی لیتر سدیم هیدروکسید ۱۰ نرمال اضافه شد. گاز آمونیاک خارج شده از بالن تقطیر وارد محلول قرمز رنگ اسیدبوریک (۲۵ میلی لیتر) به همراه معرف برمکرزول (دو قطره) شده که با متصاعد شدن حدود ۹۰ تا ۹۲ درصد آمونیاک، رنگ محلول به رنگ سبز تغییر یافت. در نهایت، تیتراسیون با استفاده از اسیدسولفوریک ۰/۰۱ درصد نرمال تا مشاهده رنگ قرمز پررنگ انجام و بر اساس رابطه ۱ درصد نیتروژن کل خاک محاسبه شد.

$$TN (\%) = \frac{(A - B) \times N \times (0.014) \times 100}{M_s} \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن (A) حجم مصرفی اسیدسولفوریک بر نمونه خاک (میلی لیتر)، (B) درصد کربن آلی حجم مصرفی اسیدسولفوریک بر نمونه شاهد (میلی لیتر)، (N) مقدار نرمالیت اسیدسولفوریک، (M_s) وزن خاک خشک (گرم) و (TN) نیتروژن آلی کل (درصد) می باشد.

تهیه نقشه پراکنش مکانی محتوای نیتروژن خاک در بسترهای خشک شده دریاچه ارومیه

از آن جایی که بسترهای خشک شده دریاچه ارومیه دارای ماهیت و ساختار مکانی هستند، لذا در این پژوهش، با استفاده داده های نقاط نمونه برداری اقدام به برآورد مقادیر نیتروژن آلی کل برای نقاط فاقد داده یا به عبارتی برای تمام سطوح خشک شده دریاچه ارومیه شد. برای این منظور از

نمونه برداری خاک

برای انجام پژوهش حاضر ابتدا با استفاده از آخرین تصاویر Google Earth تمام حاشیه های دریاچه ارومیه بررسی و تمام نقاط برداشت نمونه برداری شناسایی و مشخص شد. پس از تهیه نقشه، نمونه برداری صحرائی در مجموع حدود ۱۹۲ نمونه از عمق صفر تا ۱۰ سانتی متری از سطح تمام بسترهای شمال، شمال غرب، غرب، جنوب غرب، جنوب، جنوب شرق، شرق و شمال شرق دریاچه ارومیه انجام شد (شکل ۱). در این راستا نمونه های برداشت شده در داخل نایلون های پلی اتیلنی به آزمایشگاه منتقل و هوا خشک شده و سپس در یخچال های نمونه برداری تحت دمای ۴- درجه سلسیوس تا قبل از انجام آزمایش های پژوهش نگه داری شدند.

اندازه گیری نیتروژن کل

در این پژوهش، نیتروژن کل نمونه های برداشت شده از بسترهای خشک شده دریاچه ارومیه با روش کجلدال اندازه گیری شد (Kjeldahl, 1883). در این روش ابتدا یک گرم خاک به لوله های مخصوص هضم ریخته شده و سپس سه میلی لیتر اسیدسولفوریک غلیظ، دو میلی متر آب مقطر و ۱/۱ گرم مخلوط سولفات ها به آن اضافه شد. پس از گذشت ۲۴ ساعت، ابتدا به مدت یک ساعت لوله های هضم در داخل دستگاه بلوک هضم با دمای ۲۷۰ درجه سلسیوس و سپس به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۳۸۰ درجه سلسیوس تا مشاهده شفافیت کامل در عصاره نمونه ها قرار داده شدند. پس از سرد شدن لوله های حاوی عصاره، ۱۲ میلی لیتر آب مقطر

در آن، X_O داده‌های مشاهداتی، X_E داده‌های تخمینی توسط روش کریجینگ معمولی و n تعداد مشاهدات (نمونه‌های برداشت‌شده) است. هر چه مقادیر معیاره‌های آماری BIAS و RMSE کم‌تر باشد نشان از کارایی بالای معیارهای مذکور و یا به عبارتی تخمین با کم‌ترین خطا برای نقاط بدون نمونه‌برداری توسط روش میان‌یابی استفاده‌شده خواهد بود.

در نهایت پس از ارزیابی میزان دقت روش میان‌یابی کریجینگ، اقدام به تهیه نقشه مقادیر نیتروژن آلی برای تمام بسترهای خشک‌شده دریاچه ارومیه شد (Oliver & Webster, 2014). در پژوهش حاضر چهار محدوده حوزه آبخیز دریاچه ارومیه، بسترهای خشک و بدون پوشش گیاهی (اراضی بایر) حاشیه دریاچه ارومیه، محدوده دریاچه ارومیه برای تابستان سال ۱۳۷۷ و محدوده آبی و کنونی دریاچه ارومیه برای تابستان سال ۱۳۹۹ برای تهیه نقشه مدنظر قرار گرفت. با این حال، به سبب اهمیت اراضی بدون پوشش گیاهی (بایر) که قبلاً نیز زیر آب دریاچه ارومیه نبوده‌اند نیز به محدوده بسترهای خشک دریاچه ارومیه اضافه شدند. از طرفی برای محدوده کنونی دریاچه ارومیه (۱۳۹۹) و حوزه آبخیز دریاچه ارومیه، نقشه‌ای تهیه نشد.

نتایج و بحث

محتوای نیتروژن کل بسترهای خشک‌شده دریاچه ارومیه نتایج اندازه‌گیری محتوای نیتروژن کل به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عناصر ضروری در احیای پوشش گیاهی در مناطق خشک و نیمه‌خشک و هم‌چنین بسترهای خشک‌شده تالاب‌ها و دریاچه‌ها نشان داد که نیتروژن کل در بسترهای خشک‌شده دریاچه ارومیه بین ۰/۰۱ تا ۰/۲۹۷ درصد و با میانگین ۰/۱۴۳ درصد متغیر بوده که ضریب تغییرات داده‌های اندازه‌گیری‌شده نیز ۴۵/۲۰ درصد بود (جدول ۱). ارزیابی کارایی و دقت روش میان‌یابی کریجینگ معمولی در تخمین درصد نیتروژن کل برای تمام بسترهای خشک‌شده دریاچه ارومیه با مقادیر BIAS و RMSE به ترتیب ۰/۰۰۱ و ۰/۰۶۸ درصد (نیتروژن کل) قابل قبول بود (جدول ۲)

رویکرد زمین‌آمار^۱ استفاده شد (Webster & Oliver, 2007). در پژوهش حاضر، ابتدا اقدام به بررسی نرمالیتیه مقادیر محاسبه‌شده نیتروژن آلی شد. پس از تأیید نرمال بودن داده‌ها، اقدام به ترسیم واریوگرام (تغییرنما)^۲ برای داده‌های پژوهش شد (Oliver & Webster, 2014). ترسیم تغییرنما امکان تشخیص تغییرپذیری مکانی متغیر اندازه‌گیری‌شده را فراهم کرد که منجر به استخراج پیوستگی مکانی متغیر (محدوده تحت تأثیر داده‌های برداشت‌شده یا دامنه تأثیر^۳، سقف یا آستانه تغییرنما^۴ و اثر قطعه‌ای^۵ شد (Oliver & Webster, 2014). پس از ترسیم تغییرنما برای نیتروژن آلی، اقدام به تطبیق و شناسایی مدل‌های تغییرنما (کروی^۶، نمایی^۷ و یا توانی^۸) شد (Oliver & Webster, 2014). پس از بررسی ریخت‌شناسی هر یک از مدل‌های تغییرنما، مناسب و منطبق‌ترین مدل (در این پژوهش مدل توانی بود) انتخاب شد. پس از شناخت مناسب‌ترین مدل فضایی متغیر از طریق ترسیم تغییرنما، اقدام به تخمین مقادیر نیتروژن آلی در مکان‌های بدون نمونه‌برداری از طریق مقادیر نقاط نمونه‌برداری‌شده (میان‌یابی^۹)، گردید (AbdelRahman et al., 2021). در این راستا، روش‌های مختلف میان‌یابی زمین‌آمار مرسوم (کریجینگ معمولی^{۱۰}، کوکریجینگ^{۱۱} و نسبت عکس فاصله^{۱۲}) برای تخمین متغیرها در تمام بسترهای خشک‌شده دریاچه ارومیه اجرا شده و بر اساس شاخص‌های آماری اریب^{۱۳} و ریشه میانگین مربعات خطا^{۱۴} (به ترتیب روابط ۲ و ۳) دقت آن‌ها محاسبه و ارزیابی شد (AbdelRahman et al., 2021). در نهایت، روش میان‌یابی کریجینگ معمولی به‌عنوان روش با حداقل خطا برای تهیه نقشه پویایی مکانی نیتروژن آلی در بسترهای خشک‌شده دریاچه ارومیه انتخاب و استفاده شد.

$$\text{BIAS} = \left(\frac{X_O - X_E}{X_O} \right) \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_O - X_E)^2}{n}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

9. Interpolation
10. Ordinary kriging
11. Cokriging
12. Inverse distance weights
13. BIAS
14. Root Mean Square Error (RMSE)

1. Geostatistics
2. Variogram
3. Range of influence
4. Sill
5. Nugget Effect
6. Spherical model
7. Exponential model
8. Power function

جدول ۱- مقادیر محتوای نیتروژن کل خاک نقاط نمونه برداری در بسترهای خشک شده دریاچه ارومیه

Table 1. Values of the soil total nitrogen of the sampling points in the dried-up beds of Lake Urmia.

No	Latitude	Longitude	Nitrogen (%)	No	Latitude	Longitude	Nitrogen (%)	No	Latitude	Longitude	Nitrogen (%)
1	37.75	45.26	0.140	50	38.24	45.33	0.134	99	37.75	45.79	0.273
2	37.76	45.27	0.071	51	38.22	45.38	0.172	100	37.74	45.73	0.092
3	37.76	45.25	0.123	52	38.21	45.40	0.060	101	37.71	45.82	0.177
4	37.77	45.26	0.149	53	38.18	45.45	0.137	102	37.70	45.76	0.125
5	37.76	45.23	0.127	54	38.17	45.47	0.251	103	37.72	45.72	0.126
6	37.78	45.24	0.149	55	38.15	45.47	0.235	104	37.68	45.76	0.182
7	37.77	45.22	0.180	56	38.10	45.58	0.030	105	37.60	45.70	0.023
8	37.78	45.20	0.109	57	38.10	45.56	0.166	106	37.55	45.68	0.144
9	37.80	45.20	0.189	58	38.13	45.50	0.193	107	37.53	45.74	0.106
10	37.81	45.17	0.174	59	38.13	45.53	0.156	108	37.50	45.75	0.150
11	37.83	45.15	0.141	60	38.14	45.53	0.104	109	37.34	45.96	0.166
12	37.81	45.13	0.108	61	38.12	45.53	0.148	110	37.33	45.77	0.140
13	37.83	45.10	0.097	62	38.11	45.50	0.102	111	37.31	45.87	0.122
14	37.85	45.12	0.136	63	38.11	45.47	0.247	112	37.31	45.97	0.160
15	37.84	45.06	0.191	64	38.09	45.61	0.138	113	37.30	45.93	0.223
16	37.86	45.08	0.033	65	38.08	45.55	0.077	114	37.28	45.88	0.020
17	37.86	45.05	0.297	66	38.06	45.50	0.140	115	37.29	45.99	0.125
18	37.90	45.06	0.241	67	38.09	45.65	0.026	116	37.27	45.95	0.268
19	37.92	45.05	0.179	68	38.08	45.70	0.071	117	37.26	45.90	0.272
20	37.96	45.05	0.165	69	38.04	45.71	0.212	118	37.26	46.02	0.125
21	37.99	45.07	0.155	70	38.05	45.63	0.070	119	37.26	45.98	0.079
22	38.03	45.09	0.131	71	38.04	45.57	0.192	120	37.25	45.94	0.140
23	38.01	45.10	0.068	72	38.03	45.53	0.220	121	37.25	45.89	0.105
24	38.01	45.12	0.152	73	38.00	45.70	0.260	122	37.25	46.04	0.066
25	38.01	45.13	0.109	74	37.97	45.66	0.092	123	37.24	46.01	0.166
26	38.02	45.15	0.249	75	37.96	45.74	0.010	124	37.23	45.98	0.109
27	38.02	45.15	0.108	76	37.92	45.75	0.091	125	37.23	45.96	0.192
28	38.02	45.17	0.177	77	37.93	45.68	0.189	126	37.21	46.05	0.061
29	38.05	45.19	0.094	78	37.93	45.60	0.180	127	37.20	46.02	0.128
30	38.07	45.20	0.160	79	37.89	45.73	0.105	128	37.19	46.00	0.209
31	38.13	45.17	0.180	80	37.90	45.60	0.092	129	37.22	45.93	0.253
32	38.14	45.18	0.078	81	37.86	45.88	0.079	130	37.23	46.05	0.279
33	38.12	45.14	0.169	82	37.85	45.82	0.133	131	37.22	46.01	0.145
34	38.13	45.13	0.073	83	37.85	45.75	0.188	132	37.21	45.98	0.175
35	38.14	45.07	0.134	84	37.85	45.66	0.160	133	37.20	45.95	0.143
36	38.14	45.03	0.137	85	37.84	45.90	0.146	134	37.20	46.08	0.152
37	38.16	45.00	0.229	86	37.83	45.85	0.156	135	37.18	46.08	0.030
38	38.18	45.01	0.021	87	37.83	45.80	0.086	136	37.19	45.98	0.130
39	38.22	45.01	0.270	88	37.83	45.74	0.126	137	37.17	45.91	0.061
40	38.22	45.02	0.189	89	37.82	45.70	0.287	138	37.18	45.89	0.061
41	38.23	45.02	0.284	90	37.80	45.76	0.164	139	37.20	45.87	0.081
42	38.24	45.02	0.164	91	37.80	45.81	0.203	140	37.23	45.87	0.176
43	38.24	45.04	0.127	92	37.79	45.75	0.252	141	37.25	45.84	0.159
44	38.24	45.03	0.108	93	37.78	45.72	0.140	142	37.28	45.81	0.100
45	38.23	45.06	0.127	94	37.77	45.78	0.219	143	37.28	45.78	0.060
46	38.25	45.08	0.159	95	37.78	45.82	0.130	144	37.24	45.81	0.135
47	38.26	45.12	0.015	96	37.77	45.85	0.216	145	37.21	45.83	0.196
48	38.24	45.13	0.102	97	37.74	45.86	0.081	146	37.19	45.84	0.132
49	38.25	45.23	0.140	98	37.76	45.83	0.145	147	37.17	45.88	0.071

ادامه جدول ۱- مقادیر محتوای نیتروژن کل خاک نقاط نمونه برداری در بسترهای خشک شده دریاچه ارومیه

Continued Table 1. Values of the soil total nitrogen of the sampling points in the dried-up beds of Lake Urmia.

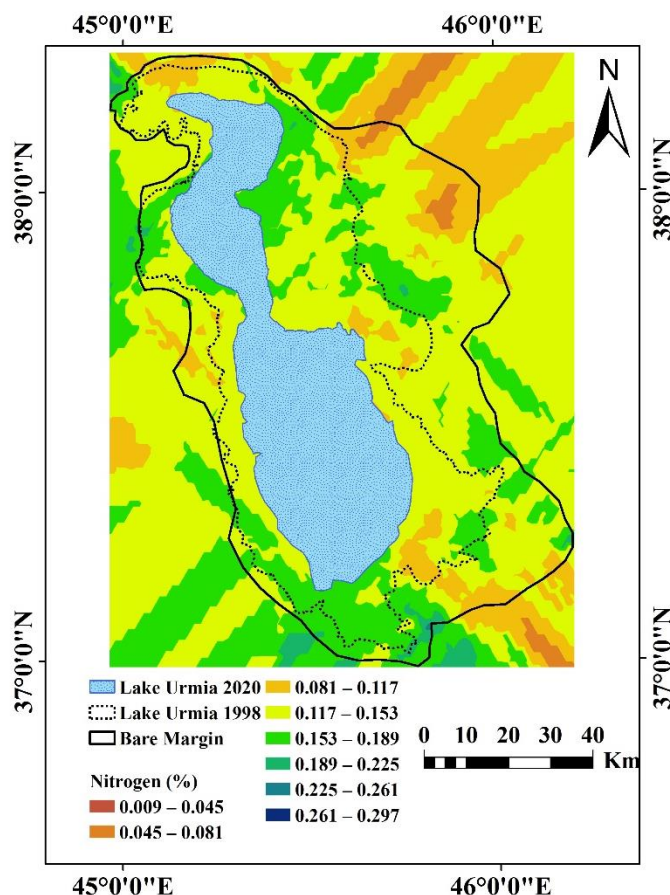
No	Latitude	Longitude	Nitrogen (%)	No	Latitude	Longitude	Nitrogen (%)	No	Latitude	Longitude	Nitrogen (%)
148	37.15	45.85	0.135	163	37.09	45.57	0.233	178	37.63	45.25	0.070
149	37.15	45.82	0.089	164	37.11	45.46	0.120	179	37.68	45.28	0.189
150	37.13	45.80	0.277	165	37.15	45.51	0.266	180	37.71	45.24	0.104
151	37.16	45.79	0.035	166	37.17	45.54	0.242	181	37.71	45.27	0.116
152	37.22	45.77	0.020	167	37.17	45.42	0.110	182	37.73	45.29	0.104
153	37.23	45.73	0.090	168	37.22	45.40	0.110	183	37.73	45.26	0.084
154	37.20	45.76	0.054	169	37.21	45.36	0.182	184	37.75	45.29	0.142
155	37.16	45.75	0.198	170	37.24	45.43	0.188	185	37.80	45.41	0.173
156	37.13	45.76	0.210	171	37.24	45.35	0.193	186	37.75	45.42	0.130
157	37.10	45.76	0.268	172	37.31	45.31	0.209	187	37.74	45.45	0.189
158	37.15	45.70	0.261	173	37.53	45.28	0.030	188	37.73	45.51	0.213
159	37.13	45.64	0.060	174	37.57	45.29	0.155	189	37.74	45.57	0.102
160	37.09	45.62	0.050	175	37.58	45.26	0.130	190	37.79	45.58	0.099
161	37.01	45.63	0.140	176	37.62	45.29	0.030	191	37.75	45.62	0.090
162	37.04	45.63	0.190	177	37.61	45.27	0.166	192	37.84	45.62	0.180
Minimum (%)							0.010				
Maximum (%)							0.297				
Average (%)							0.143				
Coefficient of variation (%)							45.20				

جدول ۲- دقت و کارایی روش کریجینگ معمولی در میان یابی درصد نیتروژن آلی کل خاک در بسترهای خشک شده دریاچه ارومیه
Table 2. Efficiency of Ordinary kriging technique to interpolate soil organic total nitrogen content in the dried-up beds of Lake Urmia.

Statistical index	Error value (%Nitrogen)
BIAS	0.001
RMSE	0.068

بودند (شکل ۲). مقادیر متوسط و متوسط به بالای درصد نیتروژن کل حاشیه‌های دریاچه ارومیه (۰/۱۵۳) الی (۰/۱۸۹) در بخش‌های جنوب (بالستان، وزنه، یادگارلو، قلعه بزرگ تا تپه‌رش و فسندوز)، شمال شرقی (روستای قبقاق) و شمال غربی (روستاهای باری، آبگرم و بهله از توابع سلماس) توزیع یافته‌اند. بیش‌ترین مقدار درصد نیتروژن به‌میزان بسیار ناچیزی در جنوب دریاچه ارومیه (مسیر زرینه‌رود تا للکلو و بخش‌هایی از قلعه بزرگ و تپه‌رش) و بخش‌های بسیار محدود در غرب دریاچه ارومیه (حداصل روستای گل‌تپه تا کهریز) به میزان ۰/۱۸۹ الی ۰/۲۹۷ درصد قابل رویت بود.

تحلیل نقشه زمین آماری (توزیع مکانی) درصد نیتروژن کل حاصل از کریجینگ معمولی (شکل ۲) نشان داد که غالب محتوای درصد نیتروژن کل حاشیه‌های دریاچه ارومیه کم (۰/۱۱۷ تا ۰/۱۵۳) و بسیار ناچیز بود که در قسمت‌های شمال دریاچه (محدوده روستای شرفخانه تا توپچی) در شمال غربی دریاچه ارومیه (قالقچی و گورچین قلعه شهرستان ارومیه)، بخش‌های وسیع‌تری در غرب دریاچه ارومیه (شامل پل میانگذر به‌سمت ارومیه، روستاهای گلباران، تپه مکی، پیرعلی و اسلام‌آباد)، بخش‌هایی از شرق (روستا و جزیره گمیچی) و جنوب شرقی دریاچه ارومیه (روستای قبادلو تا رحمانلو از توابع عجب شیر) قابل رویت



شکل ۲- پراکنش مکانی مقادیر نیتروژن آلی کل (درصد) خاک در بسترهای خشک‌شده و اطراف دریاچه ارومیه

Figure 2. Spatial distribution map of the soil organic total nitrogen (%) in the dried-up beds and bare margin of Lake Urmia

نیتروژن در بخش‌های مذکور بسترهای خشک‌شده دریاچه ارومیه نسبت به سایر بخش‌ها می‌باشد (Shi & Schulin, 2018). از دیگر علل بالابودن مقدار نیتروژن در بخش‌های جنوبی دریاچه ارومیه، نوع کاربری اراضی بوده که در فواصل درختان باغی، زراعت یونجه انجام می‌شود. لذا به سبب هم‌زیستی گیاهان خانواده بقولات با باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، تثبیت نیتروژن توسط ریزموجودات خاک‌زی در محدوده ریشه گیاهان این منطقه از حوزه آبخیز دریاچه ارومیه بیشتر می‌باشد (Aasfar *et al.*, 2021). همچنین مقدار نیتروژن خاک تابعی از بافت خاک بوده (Hamdi *et al.*, 2019) و خاک‌های رسی دارای درصد نیتروژن بالاتری نسبت به خاک‌های با بافت درشت‌تر می‌باشند. به عبارتی در خاک‌های رسی، مواد آلی با ذرات رس تولید ترکیب‌های آلی-معدنی کرده که در برابر فرآیند اکسیداسیون به وسیله ریزموجودات مقاومت زیادی دارند (Hernandez *et al.*, 2002; Li *et al.*, 2019). مقادیر کم محتوای نیتروژن در بسترهای وسیعی از بخش‌های

نیتروژن کل موجود در خاک نقش اساسی در بهبود وضعیت خاک (Roman *et al.*, 2018)، افزایش عملکرد ریزموجودات خاک‌زی و تأثیر در احیا و شکوفایی پوشش گیاهی دارد (Song *et al.*, 2021). تحلیل توزیع مکانی محتوای نیتروژن کل در بسترهای خشک‌شده دریاچه ارومیه نشان داد که مقادیر بالای آن در محل و دلتای ورود رودخانه‌های عبوری از دشت‌های با توسعه زیاد کشاورزی مشاهده شد (شکل ۲). مقادیر بالای نیتروژن کل خاک دقیقاً منطبق با رودخانه زرینه رود میان‌دوآب (جنوب دریاچه ارومیه)، آذرشهر (محدوده بین شرق تا جنوب‌شرقی دریاچه ارومیه)، شهرستان شبستر (محدوده بین شرق و شمال‌شرقی دریاچه ارومیه) و انتهای دشت‌های شهرستان سلماس (شمال‌غربی دریاچه ارومیه) است. لذا شست‌وشوی نیتروژن از اراضی کشاورزی و مرتعی طی فرآیند فرسایش دامنه‌ای و هم‌چنین ورود پساب‌های کشاورزی ناشی از مصرف کودهای نیتراته به رودخانه‌ها و در نتیجه انتقال و رسوب‌گذاری آن در دلتا و انتهای مصب رودخانه‌ها از عوامل بالا بودن محتوای

سطحی برای افزایش محتوای نیتروژن خاک مورد تأیید قرار گرفته است (Kheirfam *et al.*, 2017; Kheirfam *et al.*, 2020). هم‌چنین غنی‌سازی پوسته‌های زیستی خاک با تلقیح سیانوباکتری‌ها به‌عنوان روشی کاملاً زیستی و با صرفه اقتصادی در تثبیت بسترهای خشک‌شده و حساس به فرسایش بادی دریاچه ارومیه نیز توسط (Kheirfam & Roohi (2020 گزارش شده است.

نتیجه‌گیری کلی

پژوهش حاضر با هدف تعیین و تهیه نقشه توزیع مکانی محتوای نیتروژن آلی کل خاک در بسترهای خشک‌شده و پیرامون دریاچه ارومیه با نمونه‌برداری میدانی و استفاده از رویکرد زمین آمار انجام شد. محتوای نیتروژن آلی نمونه‌های برداشت‌شده از بسترهای خشک‌شده دریاچه ارومیه کم و حاکی از بسترهایی با فقر عناصر غذایی بوده از نمایه‌های بوم‌سازگان‌های نوپدید می‌باشد. نتایج پژوهش حاضر نشان‌دهنده پراکنش غیریکنواخت محتوای نیتروژن خاک در بسترهای دریاچه ارومیه بوده که ناشی از اثرگذاری عوامل درونی از قبیل بافت خاک و عوامل محیطی به‌ویژه نوع کاربری اراضی منتهی ورودی رودخانه‌ها به دریاچه می‌باشد. بر اساس نقشه توزیع مکانی، جنوب شرقی و شرق بسترهای خشک‌شده و پیرامون بدون پوشش گیاهی دریاچه ارومیه دارای فقر بالایی از نیتروژن بوده که احیای طبیعی و مصنوعی پوشش گیاهی در مناطق مذکور را با چالش مواجه کرده و ضرورت اجرای اقدامات مدیریتی و فنی زیست‌پایه را اجتناب‌ناپذیر کرده است. هرچند اندازه‌گیری و تهیه نقشه توزیع مکانی سایر مؤلفه‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در راستای ارائه نقشه جامعی از وضعیت کیفیت خاک بسترهای خشک‌شده دریاچه ارومیه به‌عنوان یک بوم‌سازگان نوپدید برای پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود.

خشک‌شده و پیرامون دریاچه ارومیه می‌تواند ناشی از بافت شنی و تهویه بالای این مناطق بوده که با تأثیرپذیری از فرآیند تناوبی خشکی و مرطوب‌شدگی منجر به تسریع در آزادشدگی نیتروژن می‌شود (Karamina & Fikrinda, 2020).

با توجه به ضرورت احیای بسترهای خشک‌شده دریاچه ارومیه از طریق توسعه و تسریع در ظهور پوشش گیاهی و نقش اساسی محتوای نیتروژن خاک در این راستا، شناسایی مناطق با محدودیت عنصر نیتروژن منجر به اولویت‌بندی صحیح برای اجرای اقدامات مدیریتی می‌شود. لذا، افزایش محتوای نیتروژن در بسترهای خشک‌شده دریاچه ارومیه با مقادیر کم نیتروژن از طریق اقدامات فنی و مدیریتی از قبیل کودهای نیتروژنه، استفاده از افزودنی‌های آلی، کاربرد اصلاح‌گرهای زیستی و هم‌چنین اقدامات مدیریتی به‌ویژه اعمال قرق قابل انجام خواهد بود (Fernandez *et al.*, 2010; Jeddi & Chaieb, 2008). هم‌زمان با خشک‌شدن بسترهای دریاچه ارومیه و ظهور پوشش گیاهی در پیرامون دریاچه، چرای بی‌رویه توسط دام‌های اهلی به‌عنوان یکی از عوامل ایجاد ناپایداری در بسترها شده که منجر به کاهش و حذف پوشش گیاهی و در نهایت افزایش تابش مستقیم نور خورشید به سطح و افزایش تبخیر از سطح خاک شده است. از این‌رو، اقدام مذکور منجر به تغییر میکرواقلیم خاک (کاهش رطوبت، بالارفتن دمای خاک و افزایش تراکم خاک) و در نهایت کاهش معدنی شدن نیتروژن شده است (Abdpour *et al.*, 2016). از طرفی، در کنار و هم‌زمان با اعمال قرق، استفاده از راهکارهای زیستی دیگر از قبیل افزایش مصنوعی جمعیت ریزموجودات خاک‌زی از طریق تلقیح راه‌کار دوست‌دار محیط زیست بوده که اخیراً مورد توجه قرار گرفته است (Kheirfam *et al.*, 2017). در این راستا، افزایش جمعیت ریزموجودات خاک‌زی به‌ویژه باکتری‌ها و سیانوباکترهای تثبیت‌کننده نیتروژن از طریق

References

- Aasfar A., Bargaz A., Yaakoubi K., Hilali A., Bennis I., Zeroual Y. and Meftah Kadmiri I. 2021. Nitrogen fixing Azotobacter species as potential soil biological enhancers for crop nutrition and yield stability. *Frontiers in Microbiology*, 12: 628379.
- AbdelRahman M.A., Zakarya Y.M., Metwaly M.M. and Koubouris G. 2021. Deciphering soil spatial variability through geostatistics and interpolation techniques. *Sustainability*, 13(1), 194.
- Abdpour A., Heidari Sareban V. and Torabi N. 2016. Investigating economic and social factors influencing farmers' interest in accepting organic garlic cultivation in Hamadan Province. *Journal of Research and Rural Planning*, 5(1): 33-48 (In Persian)

- Ahmady-Birgani H., Agahi E., Ahmadi S.J., Erfanian M. 2018. Sediment source fingerprinting of the Lake Urmia sand dunes. *Scientific Reports*, 8(1): 206.
- Cong H., Feng L., Yonghong X., Zhengmiao D., Zhiyong H. and Xu L. 2019. Spatial distribution and stoichiometry of soil carbon, nitrogen and phosphorus along an elevation gradient in a wetland in China. *European Journal of Soil Science*, 70: 1128–1140.
- Cui Y., Fang L., Guo X., Han F., Ju W., Ye L., Wang X., Tan W. and Zhang X. 2019. Natural grassland as the optimal pattern of vegetation restoration in arid and semi-arid regions: Evidence from nutrient limitation of soil microbes. *Science of the Total Environment*, 648: 388-397.
- Danesh-Yazdi M. and Ataie-Ashtiani B. 2019. Lake Urmia crisis and restoration plan: Planning without appropriate data and model is gambling. *Journal of Hydrology*, 576: 639-651.
- Esmailion F., Ahmhenadi A., Hoseinzadeh S., Aliehyaei M., Makkeh S.A. and Astiaso Garcia D. 2021. Renewable energy desalination; a sustainable approach for water scarcity in arid lands. *International Journal of Sustainable Engineering*, 14(6): 1916-1942.
- Fernandez D.P., Neff J.C. and Reynolds R.L. 2008. Biogeochemical and ecological impacts of livestock grazing in semi-arid southeastern Utah, USA. *Journal of Arid Environments*, 72(5): 777-791.
- Jeddi K. and Chaieb M. 2010. Changes in soil properties and vegetation following livestock grazing exclusion in degraded arid environments of South Tunisia. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 205(3): 184-189.
- Hadas A., Kautsky L., Mustafa G. and Kara E.E. 2004. Rates of decomposition of plant residues and available nitrogen in soil, related to residue composition through simulation of carbon and nitrogen turnover. *Soil Biology and Biochemistry*, 36: 255–266.
- Hagmann D.F., Goodey N.M., Mathieu C., Evans J., Aronson M.F.J., Gallagher F. and Krumins J.A. 2015. Effect of metal contamination on microbial enzymatic activity in soil. *Soil Biology*, 91: 291–297.
- Hamdi H., Hechmi S., Khelil M.N., Zoghlami I.R., Benzarti S., Mokni-Tlili S., Hassen A. and Jedidi N. 2019. Repetitive land application of urban sewage sludge: Effect of amendment rates and soil texture on fertility and degradation parameters. *Catena*, 172: 11-20.
- Hernandez T., Moral R., Espinosa A.P., Caselles, J.M., Murcia M.D. and Garcia C. 2002. Nitrogen mineralization potential in calcareous soils amended with sewage sludge. *Bioreesource Technology*, 83: 213-219.
- Jaiver D., Sanchez T. Gustavo, A., Ligarreto M. and Fabi R.L. 2011. Spatial variability of soil chemical properties and its effect on crop yield a case study in maize (*Zea mays* L.) on the Bogota plateau. *Journal of Agronomia Colombiana*, 29: 265- 274.
- Jiixin L., Yan L., Yiming Z., Sijie T., Xuechen Z., Ying Z., Wei Z., Bingnian Z., Zhaohui W., Xucheng Z., Ziyang L. and Kazem Z. 2022. The spatial and temporal distribution of nitrogen flow in the agricultural system and green development assessment of the Yellow River Basin. *Agricultural Water Management*, 263: 107425.
- Karamina H. and Fikrinda W., 2020. Soil amendment impact to soil organic matter and physical properties on the three soil types after second corn cultivation. *AIMS Agriculture and Food*, 5(1): 150-169.
- Kheirfam H. and Asadzadeh F. 2020. Stabilizing sand from dried-up lakebeds against wind erosion by accelerating biological soil crust development. *European Journal of Soil Biology*, 98: 103189.
- Kheirfam H., Sadeghi S.H.R. and Zarei Darki B. 2020. Soil conservation in an abandoned agricultural rain-fed land through inoculation of cyanobacteria. *Catena*, 187: 104341.
- Kheirfam H., Sadeghi S.H.R., Homae M. and Zarei Darki B. 2017. Quality improvement of an erosion-prone soil through microbial enrichment. *Soil and Tillage Research*, 165: 230-238.
- Kheirfam H. and Roohi M. 2020. Accelerating the formation of biological soil crusts in the newly dried-up lakebeds using the inoculation-based technique. *Science of the Total Environment*, 76: 136036.
- Kjeldahl J. 1883. A new method for the determination of nitrogen in organic matter. *Zeitschrift für Analytische Chemie*, 22: 366-382.
- Li Z., Tian D., Wang B., Wang J., Wang S., Chen H.Y., Xu X., Wang C., He N. and Niu S. 2019. Microbes drive global soil nitrogen mineralization and availability. *Global Change Biology*, 25(3): 1078-1088.

- Liu C.W., Sung Y., Chen B.C. and Lai H.Y. 2014. Effects of nitrogen fertilizers on the growth and nitrate content of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(4): 4427-4440.
- Liu Y., Lv J., Zhang B. and Bi J. 2013. Spatial multi-scale variability of soil nutrients in relation to environmental factors in a typical agricultural region, Eastern China. *Science of the Total Environment*, 450: 108-119.
- Oliver M.A. and Webster R. 2014. A tutorial guide to geostatistics: Computing and modelling variograms and kriging. *Catena*, 113: 56-69.
- Qing Q., Dongjie Z., Mingye Z., Shouzheng T., Wuehong W. and Yu A. 2021. Spatial distribution of soil organic carbon and total nitrogen in disturbed *Carex* tussock wetland. *Ecological Indicators*, 120: 106930.
- Román J.R., Roncero-Ramos B., Chamizo S., Rodríguez-Caballero E. and Cantón Y. 2018. Restoring soil functions by means of cyanobacteria inoculation: importance of soil conditions and species selection. *Land Degradation & Development*, 29(9): 3184-3193.
- Shi P. and Schulin R. 2018. Erosion-induced losses of carbon, nitrogen, phosphorus and heavy metals from agricultural soils of contrasting organic matter management. *Science of the Total Environment*, 618: 210-218.
- Shuai W., Kabindra A., Qiubing Wa., Xinxin J. and Hongdan L. 2018. Role of environmental variables in the spatial distribution of soil carbon (C), nitrogen (N), and C:N ratio from the northeastern coastal agroecosystems in China. *Ecological Indicators*, 84: 263-272.
- Song X., Zhang J., Peng C. and Li D. 2021. Replacing nitrogen fertilizer with nitrogen-fixing cyanobacteria reduced nitrogen leaching in red soil paddy fields. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 312: 107320.
- Stutter M.I., Deeks L.K. and Billett. M.F. 2004. Spatial variability in soil ion exchange chemistry in a granitic upland catchment. *Soil Science Society of America Journal*, 68: 1304-1314.
- Torres-Cruz T.J., Howell A.J., Reibold R.H., McHugh T.A., Eickhoff M.A. and Reed S.C. 2018. Species-specific nitrogenase activity in lichen-dominated biological soil crusts from the Colorado Plateau, USA. *Plant and Soil*, 429(1): 113-125.
- Visser S., Keesstra S., Maas G. and De Cleen M. 2019. Soil as a basis to create enabling conditions for transitions towards sustainable land management as a key to achieve the SDGs by 2030. *Sustainability*, 11(23): 6792.
- Wang D.D., Shi X.Z., Lu X.X., Wang H.J., Yu D.S., Sun, W.X. and Zhao Y.C. 2010. Response of soil organic carbon spatial variability to the expansion of scale in the uplands of Northeast China. *Geoderma*, 154: 302-310.
- Wang Y., Zhang X. and Huang C. 2009. Spatial variability of soil total nitrogen and soil total phosphorus under different land uses in a small watershed on the Loess Plateau, China. *Geoderma*, 150: 141-149.
- Webster R. and Oliver M.A. 2007. *Geostatistics for environmental scientists*. John Wiley & Sons.
- Xiuying Y., Dandan Y., Jingtai L., Yao L., Yufeng S., Siying X. and Zhaoqing L. 2022. Spatial Distribution of Soil Organic Carbon and Total Nitrogen in a Ramsar Wetland, Dafeng Milu National Nature Reserve. *Water*, 14: 197.
- Zeinoddini M., Tofighi M.A. and Vafae F. 2009. Evaluation of dike-type causeway impacts on the flow and salinity regimes in Urmia Lake, Iran. *Journal of Great Lakes Research*, 35: 13-22.
- Zingore S., Mafongoya P., Nyamugafata P. and Giller K.E. 2003. Nitrogen mineralization and maize yields following application of tree prunings to a sandy soil in Zimbabwe. *Agroforestry Systems*, 57: 199-211.

Spatial Distribution of Soil Organic Nitrogen in the Dried-up Beds of Lake Urmia

Saman Jalalzadeh ¹, Mirhasan Rasouli Sadaghiani ^{2*}, Hossein Kheirfam ³, Habib Khodaverdilou ², Farrokh Asadzadeh ⁴

(Received: August, 2022 Accepted: December, 2022)

Abstract

The drought crisis of Urmia Lake has led to the emergence of dried-up and wind-erosion-prone beds. Therefore, it is necessary to create and accelerate the natural and artificial revitalization of vegetation to stabilize the dried-up beds of Urmia Lake. Hence, this study was planned to measure and prepare the spatial distribution map of the organic nitrogen content of the dried-up beds of Urmia Lake based on field sampling as one of the essential nutrients for the revitalization of vegetation. To this end, 192 soil samples were taken from all dried-up beds of Urmia Lake during the Summer of 2020. We then measured the organic nitrogen content of the soil samples. Then, using the ordinary Kriging method, the content of nitrogen in non-sampled beds was estimated through the values of sampled points, and its spatial variability map was prepared. The minimum, maximum, and average nitrogen content in the dried-up beds of Urmia Lake was 0.010, 0.297, and 0.143%, respectively. The nitrogen content was low (0.117 to 0.153%), and very insignificant in most of the dried-up beds and margins of Lake Urmia, which was observed in the north, northwest, west, east and especially southeast parts of the lake. Whereas, the highest nitrogen percentage was in limited parts from the south to the southwest of Lake Urmia and was 0.189 to 0.297. Based on the findings, the implementation of managerial and technical measures in order to improve the nitrogen content of a large part of the dried beds and barren lands around Lake Urmia is necessary to achieve a successful revitalization of vegetation. However, measuring and preparing the spatial distribution map of other soil components is also suggested for future research.

Keywords: Geostatistics, Kriging, Land reclamation, New-born ecosystems, Soil properties

Jalalzadeh S., Rasouli Sadaghiani M.H., Kheirfam H., Khodaverdilou H., Asadzadeh F. 2023. Spatial distribution of soil organic nitrogen in the dried-up beds of Lake Urmia. *Applied Soil Research*. 11(3):17-28.

1. Ph.D. student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

2. Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

3. Assistant Professor, Rangeland and Watershed Department, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Iran

4. Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

*Corresponding Author E-mail: m.rsadaghiani@urmia.ac.ir