

Evaluation of the Supply Status of NPK and some Chemical Properties in a Number of Agricultural Soils in the Ivriq Region of Ardabil

Morteza Khanzadeh¹, Esmail Goli^{2*}, Hossein Shahab³, Mahnaz Alizadeh⁴

(Received: July, 2024

Accepted: November, 2024)

Abstract

Evaluation of soil fertility status and chemical characteristics plays a significant role in fertilizer application management, impacting the quality and quantity of products, preserving the environment and sustaining agricultural production. The objectives of this research were to evaluating the NPK status and chemical characteristics of soils in the Ivriq region of Ardabil and to prepare their zoning maps. Therefore, 100 soil samples (0-30 cm depth) were randomly collected from agricultural lands, and their geographic coordinates were recorded using GPS. After air drying and passing through sieve, important soil chemical properties such as organic carbon (Walkly & Black) and pH and electrical conductivity were measured in 1:5 soil-to-water extract. Plant available cations and phosphorus were measured using 1 N ammonium acetate and the Olsen method, respectively. Soil total nitrogen content was calculated from organic carbon data. The results showed that organic carbon and plant available phosphorus were less than 1% and 15 mg kg⁻¹ in 76 and 71% of samples, respectively. This suggests that Ivriq soils are suffering from organic carbon and plant available phosphorus deficiency. The electrical conductivity was lower than four dS m⁻¹ and there was no restriction in case of soil pH. The amount of plant available sodium, calcium, magnesium and potassium were within the optimal range but the ratio of sodium to potassium was 0.82, close to 1. Furthermore, the total nitrogen content in 72 % and 28 % of soils was classified as very low and low state, respectively. Based on these finding and owing to organic carbon, N and P deficiency in most parts of the region, the application of organic and chemical fertilizers containing N and P is recommended according to soil testing data for ameliorating deficiencies and sustaining production.

Key words: macronutrient supply status, soil chemical properties, soil fertility evaluation, spatial zoning map

Khanzadeh M., Goli E., Shahab H. and Alizadeh M. 2025. Evaluation of the supply status of NPK and some chemical properties in a number of agricultural soils in Ivriq region of Ardabil. *Applied Soil Research*, 13(1): 1-18.

1. Master Student, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agricultural and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili

2. Associate Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agricultural and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili

3. Associate Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agricultural and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili

4. Master Student, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agricultural and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili

* Corresponding Author Email: goli@uma.ac.ir

ارزیابی وضعیت عناصر غذایی پرمصرف (NPK) و برخی ویژگی‌های شیمیایی در تعدادی از خاک‌های زراعی منطقه ایوریک اردبیل

مرتضی خان‌زاده ایوریک^۱، اسماعیل گلی کلانپا^{۲*}، حسین شهاب آرخازلو^۳، مهناز علیزاده^۴

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۰۹)

چکیده

ارزیابی وضعیت حاصلخیزی خاک به ویژه از نظر عناصر غذایی پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم و ویژگی‌های شیمیایی خاک نقش بسیار مهمی در مدیریت مصرف کود و در نتیجه تولید محصول با کمیت و کیفیت بالا، حفظ محیط‌زیست و کشاورزی پایدار دارد. این پژوهش، با هدف ارزیابی وضعیت عرضه عناصر غذایی پرمصرف (NPK) و خصوصیات شیمیایی و تهیه نقشه پراکنش آن‌ها در خاک‌های منطقه ایوریک اردبیل انجام شد. به این منظور، تعداد ۱۰۰ نمونه خاک از زمین‌های کشاورزی روستای ایوریک به صورت تصادفی از عمق ۰-۳۰ cm تهیه و مختصات جغرافیایی نمونه‌ها با GPS ثبت گردید. پس از هوا خشک و عبور دادن از الک، ویژگی‌های شیمیایی مهم خاک مانند pH و هدایت الکتریکی در عصاره ۱:۵ آب مقطر به خاک، فسفر و کاتیون‌های قابل استفاده گیاه و کربن آلی اندازه‌گیری و میزان نیتروژن کل از روی کربن آلی محاسبه گردید. نتایج نشان داد که میزان کربن آلی و فسفر قابل استفاده گیاه به ترتیب در ۷۶ و ۷۱ درصد از خاک‌ها کمتر از ۱ درصد و ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. این امر نشان می‌دهد که از نظر کربن آلی و فسفر قابل استفاده گیاه، خاک‌های منطقه وضعیت مطلوبی ندارد. میزان هدایت الکتریکی زیر 4 dS m^{-1} بوده و pH خاک نیز محدودیتی ایجاد نمی‌کند. میزان سدیم، کلسیم، منیزیم و پتاسیم قابل استفاده گیاه در محدوده حد بهینه قرار داشتند اما نسبت سدیم به پتاسیم قابل استفاده گیاه $0/82$ است که نزدیک ۱ می‌باشد. میزان نیتروژن در ۷۲ درصد نمونه‌ها در وضعیت بسیار پایین و در ۲۸ درصد نیز در وضعیت پایین قرار داشت. با توجه به اطلاعات به دست آمده و نظر به کمبود مواد آلی و عناصر فسفر و نیتروژن در اکثریت خاک‌های منطقه، پیشنهاد می‌شود کودهای آلی و شیمیایی حاوی نیتروژن و فسفر بر اساس آزمون خاک برای رفع کمبود و تولید پایدار مصرف شود.

واژه‌های کلیدی: وضعیت عناصر پرمصرف، خصوصیات شیمیایی خاک، ارزیابی حاصلخیزی خاک، نقشه توزیع مکانی

خان‌زاده م.، گلی ا.، شهاب ح.، علیزاده م. ۱۴۰۴. ارزیابی وضعیت عناصر غذایی پرمصرف (NPK) و برخی ویژگی‌های شیمیایی در تعدادی از خاک‌های زراعی منطقه ایوریک اردبیل. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۱۳، شماره ۱. صفحه ۱-۱۸.

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی (مکاتبه کننده)
۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
۴- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
* پست الکترونیک: goli@uma.ac.ir

مقدمه

حاصلخیزی خاک توصیف کننده‌ی توانایی و قابلیت خاک در عرضه عناصر غذایی به منظور ایجاد شرایط رشد پایا، بهینه و مطلوب گیاه است. نیتروژن، فسفر و پتاسیم بیش از سایر عناصر غذایی ضروری مورد توجه بوده و کمبود آن‌ها زودتر از سایر عناصر احساس می‌شود (Marschner & Rengel, 2023).

نیتروژن و کربن آلی دو پارامتر بسیار مهم و تأثیرگذار در حاصلخیزی خاک به حساب می‌آیند. نیتروژن نقش بسیار مهمی در رشد و تولید محصول بازی می‌کند. این عنصر، به دلایل متعدد از جمله پویایی و تحرک بالای شکل‌های قابل جذب توسط گیاه (نیترات و آمونیوم) و در نتیجه مقادیر پایین آن‌ها در خاک و همچنین میزان بالای آن در بافت‌های گیاهی (۶-۱٪) بعد از آب محدود کننده رشد بوده و علائم کمبود آن زودتر ظهور می‌کند (Asadian et al, 2022). این موضوع در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلایل متعدد از جمله فقر پوشش گیاهی بیشتر مشهود است.

فسفر در تشکیل بذر نقش اساسی داشته و در میوه و بذر به مقدار زیادی یافت می‌شود. فسفر به‌ویژه در غلات عامل زودرسی محصولات است. در بیشتر اراضی کشاورزی جهان به علت واکنش فسفر با کاتیون‌هایی نظیر آلومینیوم، جذب سطحی و نامحلول شدن یا رسوب، فسفر از دسترس گیاه خارج می‌شود و این خاک‌ها اکثراً با کمبود فسفر مواجه می‌باشند. رسوب فسفات‌های کلسیم در خاک‌های آهکی، در کاهش قابلیت جذب فسفر در خاک به عنوان عامل اصلی شناخته می‌شود (Yazdanpanah & Motlabifard, 2016). پتاسیم برای رشد و نمو گیاهان ضروری بوده و بعد از نیتروژن دومین عنصر پرمصرف در گیاهان می‌باشد. اگرچه پتاسیم در ساختار سلول به شکل کمپلکس‌های آلی و ترکیبات غیر یونی وجود ندارد اما این عنصر وظایف متابولیسمی بسیار زیادی را در گیاه ایفا می‌کند. به دلیل نقشی که پتاسیم در انتقال و سنتز فرآورده‌های حاصل از فتوسنتز به اندام‌های ذخیره‌ای و زایشی گیاهان و به علاوه در مرحله بعدی تبدیل آن‌ها به چربی‌ها، کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و سایر ترکیبات دارد در خصوصیات کیفی محصولات زراعی تأثیر زیادی دارد (Fatemi Qomsheh, 2010).

کربن آلی به عنوان یکی از مهمترین خصوصیات حاصلخیزی خاک در نظر گرفته می‌شود. کربن آلی با برخی خواص خاک نظیر نفوذ و ظرفیت نگهداری آب، دسترسی به مواد غذایی، جرم مخصوص ظاهری، فعالیت جانوری و میکروبی، فرسایش پذیری و عملکردهای مربوط به حاصلخیزی خاک ارتباط دارد (Ahmadnia et al, 2024).

عامل کلیدی و اصلی در ناپایداری حاصلخیزی خاک در اراضی زراعی ایران فقر کربن آلی شناخته شده است (Asghari et al, 2021). بنابراین حفظ و افزایش کربن آلی خاک نقش بسیار مهمی در انتخاب مدیریت بهینه حاصلخیزی خاک دارد (Moshiri & Samawat, 2016). اندازه‌گیری کربن آلی در ۲۳۷۰۰ نمونه از خاک‌های مزارع کشاورزی ایران نشان می‌دهد که در ۶۱/۶ درصد نمونه‌ها، کربن آلی خاک در محدوده کلاس کم تا خیلی کم بوده و کمتر از ۱ درصد است (Balali & Ghafarinejad, 2018).

خصوصیات شیمیایی خاک از جمله pH، هدایت الکتریکی، کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و ... نقش بسیار مهمی در عرضه عناصر غذایی ضروری به گیاه دارند. شیمی نیتروژن در ارتباط نزدیک با کربن آلی بوده و تحت تأثیر این خصوصیت شیمیایی قرار دارد. مواد آلی موجود در خاک با توجه به محتوای آن‌ها که شامل عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم نیز می‌شود در تأمین این عناصر برای گیاهان نقش غیرقابل انکاری بازی می‌کنند (Qadir et al, 2001).

مواد آلی به دلیل دارا بودن منابع کربن با زیست فراهمی بالا، بعد از اضافه شدن به محیط خاک منجر به افزایش تشدید فعالیت میکروبی شده و بنابراین موجب افزایش معدنی شدن کربن و نیتروژن می‌شود. با در نظر گرفتن نقش ترکیبات آلی در افزایش خصوصیت قابلیت نگهداری آب در خاک، استفاده از ترکیبات آلی در شرایط وجود تنش‌های محیطی مانند شوری می‌تواند شرایط را برای افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک فراهم کند (Moradi et al, 2017).

علاوه بر اندازه‌گیری و اطلاع از وضعیت عناصر غذایی پرمصرف، تهیه نقشه و توزیع پراکنش جغرافیایی این عناصر غذایی از اقدامات مهم در زمینه مدیریت حاصلخیزی خاک می‌باشد که در چند دهه اخیر بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. یکی از اهداف عمده‌ی مؤسسات توصیه‌ی فرمول‌های کودی در هر منطقه، توجه

به خصوصیات خاک می‌باشد و استفاده از چنین توصیه‌هایی که بر اساس مشخصات خاک است، مستلزم انجام تجزیه‌های آزمایشگاهی خاک مزارع مختلف می‌باشد. لذا برای شرایط ویژه کشت و کار در کشور نتایج تحقیقات آب، خاک و کود بایستی برحسب شرایط ویژه و خاص هر ناحیه باشد. بنابراین تهیه نقشه‌های حاصلخیزی خاک یا نقشه‌های پهنه بندی عناصر غذایی، کمک‌های بسیار بزرگی در انجام توصیه‌های کودی خواهد نمود. با تهیه نقشه حاصلخیزی خاک، امکان تغذیه متعادل خاک و گیاه فراهم می‌گردد (Razzagian, 2019).

برای مدیریت مطلوب حاصلخیزی خاک و مصرف بهینه و متعال کود، وضعیت عرضه عناصر غذایی از خاک و همچنین خصوصیات شیمیایی خاک باید ارزیابی و نقشه پراکنش جغرافیایی آنها تهیه شود. این موضوع، نظر پژوهشگران مختلفی در دنیا و ایران را به خود جلب کرده است که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌شود.

نتایج مطالعات شهبازی و بشارتی (Shahbazi & Basharti, 2012) در ۳۰ استان کشور با ۵۰ هزار نمونه خاک نشان می‌دهد که میزان فسفر و پتاسیم به ترتیب در ۷۱/۸ و ۲۱/۰ درصد خاک‌های کشور کمتر از حد بحرانی می‌باشد. میزان کربن آلی در ۶۳/۲ درصد خاک‌های کشور کمتر از ۱٪ اندازه‌گیری شد که عدد بسیار پایینی می‌باشد. در بین عناصر کم مصرف کمبود آهن و روی بیشترین خسارت را می‌تواند به محصولات کشاورزی وارد سازد بطوری که ۵۶ و ۴۰ درصد از اراضی کشاورزی به ترتیب کمتر از ۰/۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی و ۴/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم آهن قابل استفاده دارند. اکثر خاک‌های ایران متأثر از کربنات کلسیم بوده و بیش از ۸۷ درصد اراضی کشاورزی بیشتر از ۵ درصد کربنات کلسیم معادل دارند. اسیدیته ۸۳٪ خاک‌ها ۸/۵-۷/۵ بوده و ۹۷٪ خاک‌ها حالت قلیایی (pH بزرگتر از ۷) دارند.

در پژوهشی که توسط پولاکشی و همکاران (Pulakshi et al, 2012) در روستای مانتاگانی در منطقه کارناتا^۱ کشور هندوستان به منظور تهیه نقشه وضعیت عناصر غذایی خاک با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) انجام شد، نتایج نشان داد که این مناطق از مقادیر ماده آلی کمی برخوردار بوده و دارای pH کمی اسیدی تا قلیایی می

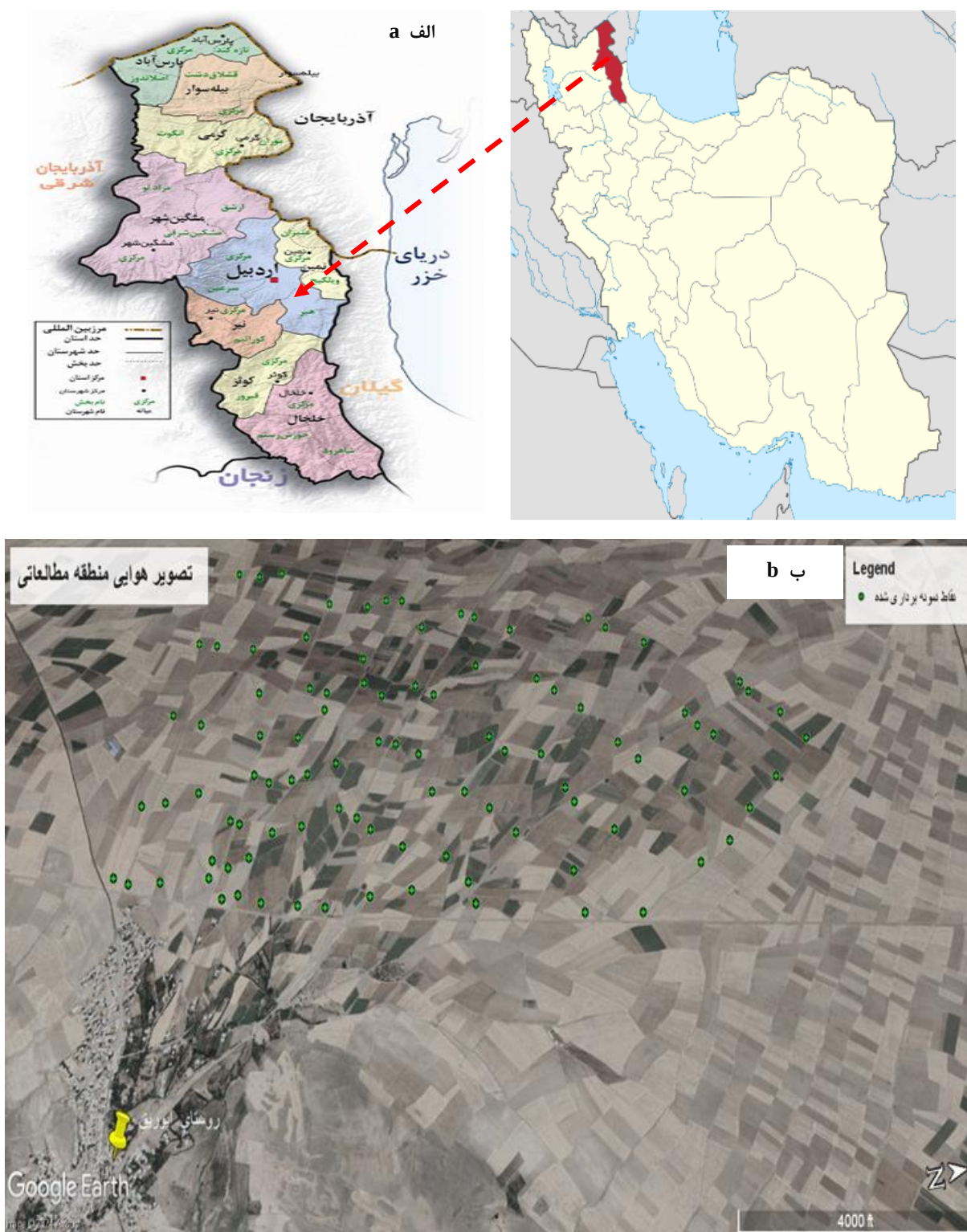
باشند. همچنین این اراضی دچار کمبود نیتروژن و فسفر بوده و پتاسیم در حد کفایت و میزان گوگرد در برخی مناطق در حد کفایت و در برخی مناطق دیگر در حد کمبود بود؛ کمبود عناصر ریزمغذی روی و آهن و میزان عناصر منگنز و مس از کم تا زیاد متفاوت مشاهده شد. طبق پژوهش‌های انجام شده در سطح کشور کمبود حداقل یک عنصر غذایی در اکثر زمین‌های زراعی کشور موجب کاهش رشد و عملکرد محصولات زراعی شده است (Moshiri et al, 2022).

علی‌رغم اهمیت بالای ارزیابی وضعیت عرضه عناصر غذایی پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم در تولید محصول، مدیریت پایدار حاصلخیزی خاک، مدیریت مصرف کود و در نهایت امنیت غذایی و حفظ محیط‌زیست، اطلاعات منتشر شده‌ای درباره قابلیت استفاده عناصر غذایی پرمصرف و ویژگی‌های مهم شیمیایی خاک‌های منطقه ایوریک وجود ندارد. همچنین، نقشه پراکنش جغرافیایی عناصر غذایی پرمصرف و خصوصیات شیمیایی در خاک‌های منطقه مورد مطالعه نیز تهیه نشده است. این در حالی است که منطقه‌ی ایوریک یکی از مناطق با وسعت بالای اراضی کشاورزی بوده و عملکرد مورد انتظار در آن محقق نمی‌شود. بنابراین، این پژوهش با هدف ارزیابی وضعیت نیتروژن، فسفر و پتاسیم، بررسی برخی خصوصیات شیمیایی خاک و تهیه نقشه پراکنش عناصر مذکور در خاک‌های منطقه ایوریک استان اردبیل انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در اراضی زراعی روستای ایوریک شهرستان هیر (با موقعیت جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۳۱ دقیقه شرقی) انجام شد. کل این منطقه تحت کاربری کشاورزی است. مناطق شمالی فاریاب بوده و غالباً زیر کشت گندم و سیب‌زمینی می‌باشد و مناطق جنوبی غالباً زیر کشت دیم بوده و محصولات نظیر جو کشت می‌شود. مساحت منطقه مورد مطالعه در حدود ۷۰۰ هکتار (۷ کیلومتر مربع) با استفاده از نرم افزار گلوبال میپ^۲ برآورد شد.



شکل ۱- موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه (الف) و توزیع مکانی نقاط نمونه برداری (ب)
Figure 1. Location of the study area (a) and spatial distribution of sampling points (b)

طیف گسترده‌ای از داده‌های اندازه‌گیری شده را شامل می‌شود، تخمین زده شد (Webovo & Casno, 2021):

$$\begin{aligned} \text{Total N (\%)} &= 0.0786 * \text{OC (\%)} \\ &+ 0.02303 \end{aligned} \quad (1)$$

$$R^2 = 0.8007$$

$$\begin{aligned} \text{Total N (\%)} &= 0.0805 * \text{OC (\%)} \\ &+ 0.0198 \end{aligned} \quad (2)$$

$$R^2 = 0.8098$$

رابطه‌های فوق بیان می‌کند که با استفاده از کربن آلی، نیتروژن کل را با ۸۰ درصد اطمینان می‌توان تخمین زد. نتایج هر دو معادله تقریباً شبیه بود و اختلاف معنی‌داری با هم نداشت.

داده‌های به دست آمده با استفاده از نرم افزار اکسل تجزیه و تحلیل شد و پارامترهایی نظیر میانگین، مد، ماکزیمم و مینیمم و... محاسبه گردید سپس فراوانی داده‌ها در گروه-های مختلف محاسبه شده و نمودار توزیع فراوانی در هر کدام از گروه‌بندی‌های انجام شده برای داده‌ها ترسیم شد.

یکی از اهداف مهم این پژوهش، تهیه نقشه پراکنش عناصر غذایی پرمصرف و خصوصیات مهم شیمیایی خاک به ویژه کربن آلی است. لذا، با توجه به استفاده کریجینگ از ساختار فضایی و کارایی بالاتر آن در تخمین‌های زمین آماری، نقشه‌ی پراکنش عناصر و ویژگی‌های خاک با درون‌یابی به روش کریجینگ در محیط نرم افزار Arc GIS³ ترسیم و سپس مورد کلاس‌بندی قرار گرفت.

نتایج و بحث

بیشینه، کمینه، میانگین و مد ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در نمونه‌های خاک منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است.

نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها

برای انجام این پژوهش، تعداد ۱۰۰ نمونه خاک دست خورده به صورت تصادفی از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر تهیه و مختصات جغرافیایی آن‌ها به وسیله دستگاه GPS ثبت گردید. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه هوا خشک شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند.

اندازه‌گیری برخی خصوصیات شیمیایی، فیزیکی و حاصلخیزی خاک

رطوبت جرمی به روش توزین، فراوانی نسبی ذرات خاک به روش هیدرومتری (Gee et al., 1986)، کربن آلی به روش والکلی و بلک^۱ (Nelson & Sommers, 1982) pH خاک (اسیدیته خاک) و هدایت الکتریکی (EC) در عصاره ۱:۲/۵ آب به خاک به ترتیب به وسیله دستگاه pH متر و هدایت‌سنج (Rhoades, 1982) و کربنات کلسیم معادل به روش خنثی سازی با اسید (Nelson, 1982) اندازه‌گیری شد. با توجه به اهمیت کربنات و بی‌کربنات محلول در تغذیه گیاه و تاثیر آن بر جذب عناصر غذایی، غلظت آن‌ها به روش تیتراسیون با اسید نیز اندازه‌گیری شد. فسفر قابل استفاده گیاه به روش بی‌کربنات سدیم ۰/۵ نرمال در pH=8.5 استخراج (Olsen & Sommers, 1982) و شدت رنگ آبی کمپلکس فسفو آمونیوم مولیبدات توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Cecil 1400 قرائت شد. پتاسیم قابل استفاده گیاه در خاک به روش استات آمونیوم ۱ نرمال در pH برابر ۷ در نسبت ۱:۱۰ با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر مدل JenWay اندازه‌گیری گردید. از آنجا که در این روش، علاوه بر پتاسیم سایر یون‌های مهم تبادلی (سدیم، کلسیم و منیزیم) نیز استخراج می‌شود، غلظت سدیم و کلسیم توسط فلیم فتومتری و مجموع کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون با EDTA^۲ اندازه‌گیری شد. از کسر غلظت کلسیم تبادلی اندازه‌گیری شده توسط فلیم فتومتر از مجموع کلسیم و منیزیم، میزان منیزیم تبادلی محاسبه گردید. با استفاده از این اطلاعات، فراوانی نسبی یون‌های مذکور مورد بررسی قرار گرفت.

میزان نیتروژن کل در خاک رابطه بسیار خوبی با کربن آلی خاک دارد. در این پژوهش، میزان نیتروژن کل خاک با استفاده از رابطه‌های تجربی زیر که از نظر میزان کربن آلی

3- Geographic Information System

1- Walkly and Blak

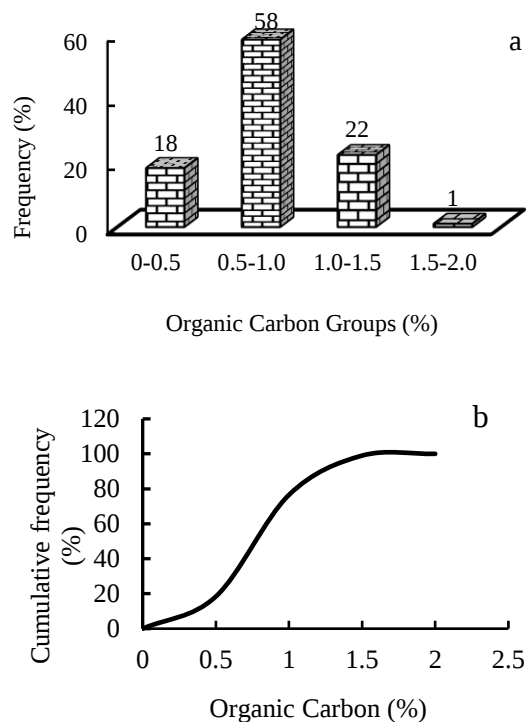
2- Ethylen diamine tetra acetic acid

جدول ۱- آمار توصیفی پارامترهای اندازه‌گیری شده در اراضی مورد مطالعه

Table 1. Descriptive statistics of measured parameters in the studied lands

parameters	unit	average	Mode	maximum	Minimum
θ_m	%	5.33	6.04	6.87	3.73
Clay	%	26	29	36	15
Silt	%	35	—	53	20
Sand	%	38	34	64	23
OC	%	0.79	0.59	1.56	0.04
pH	—	6.77	6.77	7.65	6.18
EC	dS m ⁻¹	0.10	0.07	0.24	0.04
CCE	%	4.59	6.01	8.16	0.31
HCO ₃ ⁻	mg L ⁻¹	147	146	268	24
Na _{ex}	mg kg ⁻¹	604	634	1670	285
Ca _{ex}	mg kg ⁻¹	5528	5364	7350	3774
Mg _{ex}	mg kg ⁻¹	984	694	1536	256
N _{total}	%	0.09	0.07	0.15	0.03
Olsen-P	mg kg ⁻¹	12	—	36	1
NH ₄ OAc-K	mg kg ⁻¹	736	553	1210	409

شده بود که بر اساس اظهارات نامبردگان در ۳۱/۸ درصد نمونه‌های بررسی شده میزان کربن آلی کمتر از ۱ درصد بود. با توجه به این نتایج، سهم کربن آلی در خاک‌های منطقه ایوریک کمتر از میانگین استان اردبیل بوده و لازم است در این زمینه دقت بیشتری اعمال شود.



شکل ۲- توزیع فراوانی گروه‌های کربن آلی (a) و درصد فراوانی تجمعی آن (b) در خاک‌های منطقه ایوریک

Figure 2. Organic carbon groups frequency (a) and its cumulative frequency percentage (b) in soils of Ivrig region

کربن آلی خاک

میزان کربن آلی در خاک‌های مورد مطالعه در دامنه ۱/۵۶-۰/۰۴ درصد قرار داشت. میانگین و مد داده‌ها به ترتیب برابر ۰/۷۹ و ۰/۵۳ درصد به دست آمد (جدول ۱). میزان کربن آلی در ۴ گروه شامل ۰/۵-، ۰/۵-۱، ۱-۱/۵ و ۱/۵-۲ درصد طبقه‌بندی شد (شکل ۲). فراوانی کربن آلی در هرکدام از این گروه‌ها به ترتیب برابر ۱۸، ۵۸، ۲۲ و ۱ درصد بود. به عبارتی، میزان کربن آلی در ۷۶ درصد از خاک‌های منطقه ایوریک کمتر از ۱ درصد بوده و تنها در ۲۳ درصد این منطقه بیش از ۱ درصد است. به بیان دیگر، کربن آلی در ۵۳۹/۵ هکتار از خاک‌های منطقه کمتر از یک درصد و تنها در ۱۶۰/۵ هکتار از منطقه بیش از یک درصد بود. آمار فوق نشان دهنده کمبود شدید کربن آلی در اراضی مورد مطالعه می‌باشد (Behtari et al, 2022).

شهبازی و بشارتی (Shahbazi & Basharti, 2012) با جمع‌آوری اطلاعات طیف گسترده‌ای از داده‌های حاصلخیزی خاک از استان‌های مختلف کشور بیان کردند که در حدود ۶۳/۲ درصد خاک‌های کشور میزان کربن آلی کمتر از ۱ درصد می‌باشد. همان‌طوری که در شکل ۲ نشان داده شده است میزان کربن آلی در ۷۶ درصد خاک‌های مورد مطالعه کمتر از ۱ درصد است که نسبت به میانگین کشوری درصد بیشتری از اراضی منطقه ایوریک دچار فقر کربن آلی است. در مطالعه شهبازی و بشارتی (Shahbazi & Basharti, 2012)، ۲۴۱ داده از استان اردبیل بررسی

(Farani et al, 2008) در مطالعات اولیه‌ای که با نمونه برداری از ۶۰ نقطه از مناطق اطراف اردبیل صورت گرفت بیان کردند که pH خاک‌های این مناطق در محدوده ۸/۰-۷/۲۴ می‌باشد.

میزان هدایت الکتریکی در نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده ۰/۰۴-۰/۲۴ دسی‌زیمنس در متر قرار داشت. با انطباق داده‌ها با میزان هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع، مشخص شد که در ۹۷ درصد خاک‌های مورد مطالعه میزان شوری زیر ۲ دسی‌زیمنس در متر و تنها در ۳ درصد از این منطقه بین ۲ الی ۴ دسی‌زیمنس در متر قرار داشت. چنین شوری مشکلی برای رشد گیاه ایجاد نمی‌کند و خاک‌های مورد مطالعه محدودیت شوری نداشته و جزو خاک‌های نرمال طبقه‌بندی می‌شوند (Dadivar et al, 2021).

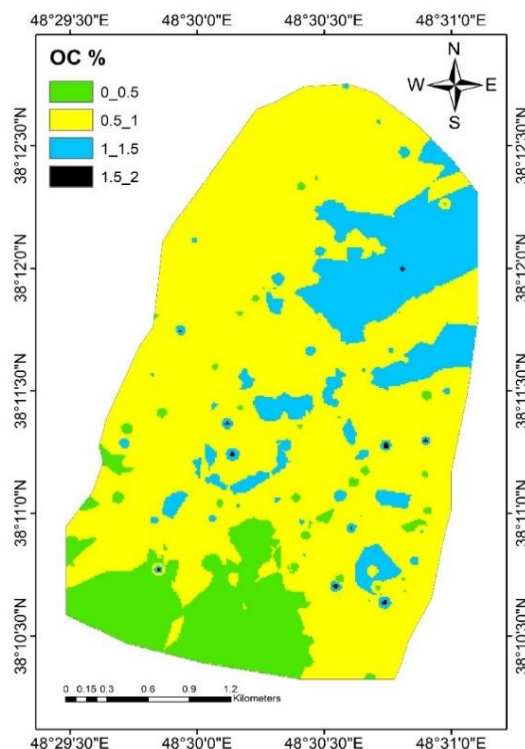
کربنات کلسیم معادل خاک (CCE)

میزان کربنات کلسیم معادل خاک در خاک‌های مورد مطالعه در دامنه ۸/۱۶-۰/۳۱ با میانگین ۴/۵ درصد قرار داشت. معمولاً خاک‌هایی که میزان کربنات کلسیم آنها بالای ۵ درصد باشد، خاک آهکی نامیده می‌شود (Mosleh & Azadi, 2023). لذا، میزان کربنات کلسیم معادل خاک‌های مورد مطالعه در ۲ گروه شامل ۰-۵ و ۵-۱۰ درصد طبقه‌بندی شد. میزان فراوانی در این گروه‌ها به ترتیب برابر ۶۳/۳ و ۳۶/۷ درصد بود.

شهبازی و بشارتی (Shahbazi & Basharti, 2012) با جمع آوری اطلاعات کربنات کلسیم معادل به تعداد ۵۰ هزار نمونه بیان کردند که در بیش از ۸۷ درصد خاک‌های کشور، میزان این خصوصیت بیشتر از ۵ درصد می‌باشد. همچنین یافته‌ها نشان می‌دهد که در حدود ۵۸ درصد اراضی کشور ۱۰-۴۰ درصد کربنات کلسیم معادل وجود دارد. با توجه به این نتایج، میزان کربنات کلسیم معادل در حدود ۳۷٪ منطقه هیر کربنات کلسیم معادل بیش از ۵٪ دارند که نسبت به میانگین کشوری درصد کمتری از اراضی منطقه ایوریک دچار مشکلات ناشی از آهک می‌باشد.

کربنات و بی‌کربنات محلول

کربنات و بی‌کربنات محلول از روش‌های مختلفی بر رشد و عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی تاثیر می‌گذارد. میزان کربنات و بی‌کربنات در عصاره ۱:۵ آب به خاک اندازه‌گیری شد. با توجه به اینکه میزان واکنش خاک (pH) در خاک‌های مورد مطالعه کمتر از ۸ بود، آنیون کربنات



شکل ۳- نقشه پراکنش جغرافیایی کربن آلی خاک

Figure 3. Geographical distribution map of soil organic carbon

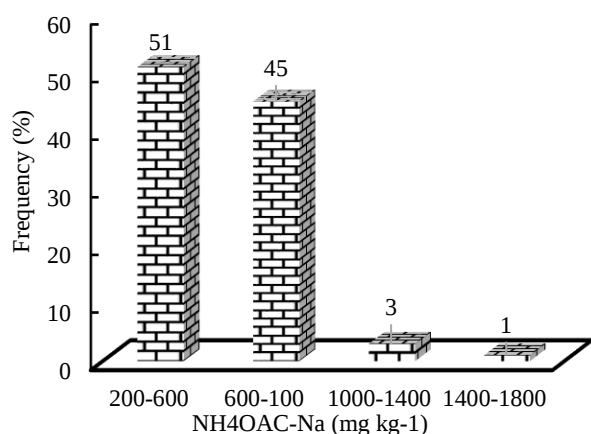
نقشه پراکنش جغرافیایی کربن آلی در شکل ۳ ارائه شده است. بر این اساس، خاک‌های با فقر شدید کربن آلی در جنوب، غرب و شمال قرار داشت و تنها در بخش محدودی از شمال شرقی (نقاط آبی) میزان کربن آلی از ۱ درصد بیشتر بود. احتمالاً برگشت پایین بقایای گیاهی به خاک و تجزیه و تخریب بیشتر بقایای گیاهی در مناطق جنوبی به دلیل دیمی بودن کشت منجر به کاهش کربن آلی در این منطقه شده است.

واکنش (pH) و هدایت الکتریکی (EC) خاک

میزان pH در عصاره ۱:۲/۵ خاک‌های مورد مطالعه در دامنه ۶/۷-۱۸/۶۵ با میانگین و مد برابر ۶/۷۷ قرار داشت. مقادیر pH در خاک‌های مورد مطالعه در ۴ گروه شامل ۶/۵-۷، ۶/۵-۷، ۷-۷/۵ و ۷/۵-۸ طبقه‌بندی شد. میزان فراوانی در این گروه‌ها به ترتیب برابر ۱۲، ۷۵، ۱۲ و ۱/۱ درصد بود که نشانگر مطلوب بودن pH خاک برای رشد گیاه و میکروارگانیسم‌ها است. هر چند روش‌های اندازه‌گیری در میزان واکنش خاک می‌تواند موثر باشد، اما تفاوت بارز دیده نخواهد شد. محمدی فرانی و همکاران (Mohammadi

۵۱، ۴۵، ۳ و ۱ درصد بود. همان طوری که در شکل ۵ نیز نشان داده شده است در ۹۶ درصد از منطقه مطالعاتی میزان سدیم زیر ۱۰۰۰ میلی گرم در کیلوگرم یا ۴/۳۵ سانتی مول سدیم در کیلوگرم خاک قرار داشت.

میانگین پتاسیم قابل استفاده گیاه در خاک‌های مورد مطالعه ۷۳۷ میلی گرم در کیلوگرم است که از میانگین سدیم قابل استفاده گیاه حدود ۱۳۳ میلی گرم در کیلوگرم بیشتر است. نسبت سدیم به پتاسیم قابل استفاده گیاه ۰/۸۲ است که نزدیک ۱ می‌باشد. بنابراین، در مواردی ممکن است سدیم در جذب پتاسیم توسط گیاه اختلال ایجاد کند (Moshiri et al, 2022).



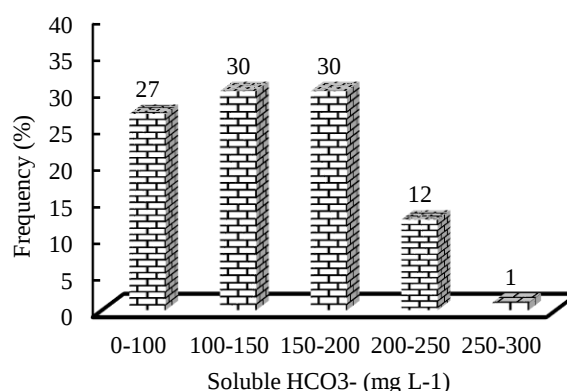
شکل ۵- توزیع فراوانی سدیم قابل استخراج توسط استات آمونیوم در خاک‌های مورد مطالعه

Figure 5. NH₄OAc exchangeable sodium frequency in the studied soils

میزان منیزیم قابل استخراج توسط استات آمونیوم در خاک‌های مورد مطالعه در دامنه ۱۵۳۶-۲۵۶ میلی گرم در کیلوگرم خاک قرار داشت. میانگین و مد داده‌ها به ترتیب برابر ۹۸۴ و ۶۹۴ میلی گرم در کیلوگرم به دست آمد. میزان منیزیم در ۳ گروه شامل ۷۰۰-۲۵۰، ۱۱۵۰-۷۰۰ و ۱۶۰۰-۱۱۵۰ میلی گرم در کیلوگرم طبقه‌بندی شد (شکل ۶a). میزان فراوانی در این گروه‌ها به ترتیب برابر ۱۷، ۵۲ و ۳۱ درصد بود.

میزان کلسیم قابل استخراج توسط استات آمونیوم در خاک‌های مورد مطالعه در دامنه ۷۳۵۰-۳۷۷۴ میلی گرم در کیلوگرم خاک قرار داشت. میانگین و مد داده‌ها به ترتیب برابر ۵۵۲۸ و ۵۳۶۴ میلی گرم در کیلوگرم به دست آمد. میزان کلسیم در ۳ گروه شامل ۵۰۰-۳۵۰۰، ۶۵۰۰-۵۰۰۰ و ۸۰۰۰-۶۵۰۰ میلی گرم در کیلوگرم طبقه‌بندی

(CO₃²⁻) در محلول خاک‌های مورد مطالعه مشاهده نشد. میزان بی‌کربنات در خاک‌های مورد مطالعه در دامنه ۲۶۸-۲۴ میلی گرم در لیتر قرار داشت. میانگین و مد داده‌ها به ترتیب برابر ۱۴۷ و ۱۴۶ میلی گرم در لیتر بدست آمد. میزان بی‌کربنات موجود در خاک در ۵ گروه شامل ۱۰۰-۱۵۰، ۱۵۰-۲۰۰، ۲۰۰-۲۵۰ و ۲۵۰-۳۰۰ میلی گرم در لیتر طبقه‌بندی شد (شکل ۴). میزان فراوانی در این گروه‌ها به ترتیب برابر ۲۷، ۳۰، ۳۰، ۱۲ و ۱ درصد بود. با توجه به اینکه این غلظت‌ها در نسبت ۱:۵ آب به خاک اندازه‌گیری شده است، غلظت آن در عصاره گل اشباع بسیار بیشتر خواهد بود. غلظت‌های بالای ۵۰۰ میلی گرم در لیتر بی‌کربنات می‌تواند برای گیاهان مشکلاتی را ایجاد کند.

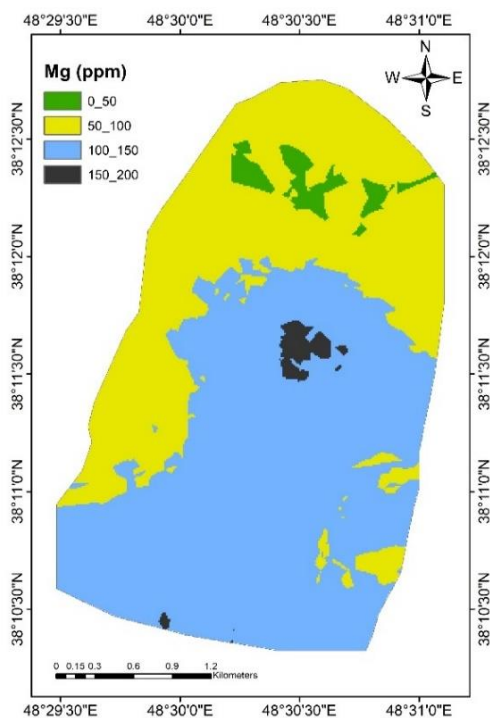


شکل ۴- توزیع فراوانی بی‌کربنات محلول در خاک‌های مورد مطالعه

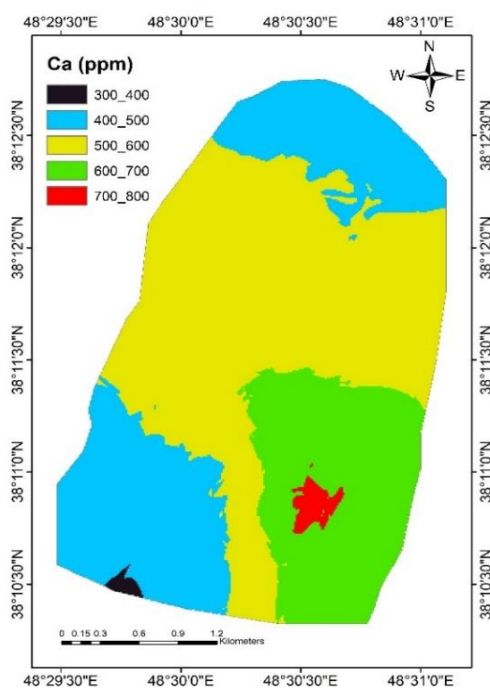
Figure 4. Bicarbonate frequency in the studied soils

سدیم، کلسیم و منیزیم قابل استخراج با استات آمونیوم ۱ نرمال

هر چند سدیم عنصر غذایی ضروری برای گیاه نیست، اما وجود آن در مقادیر زیاد می‌تواند ضمن ایجاد سمیت برای گیاه، تعادل عناصر غذایی ضروری مثل پتاسیم، منیزیم و کلسیم که به شکل کاتیون جذب گیاه می‌شوند را مختل کند (Jahanbazi et al, 2024). میزان سدیم قابل استخراج توسط استات آمونیوم در خاک‌های مورد مطالعه در دامنه ۱۶۷۰-۲۸۵ میلی گرم در کیلوگرم خاک قرار داشت. میانگین داده‌ها برابر ۶۰۴ و مد نیز برابر ۶۳۴ میلی گرم در کیلوگرم به دست آمد. میزان سدیم قابل استخراج با استات آمونیوم در ۴ گروه شامل ۶۰۰-۲۰۰، ۱۰۰۰-۶۰۰، ۱۴۰۰-۱۰۰۰ و ۱۸۰۰-۱۴۰۰ میلی گرم در کیلوگرم طبقه‌بندی شد (شکل ۵). میزان فراوانی در این گروه‌ها به ترتیب برابر

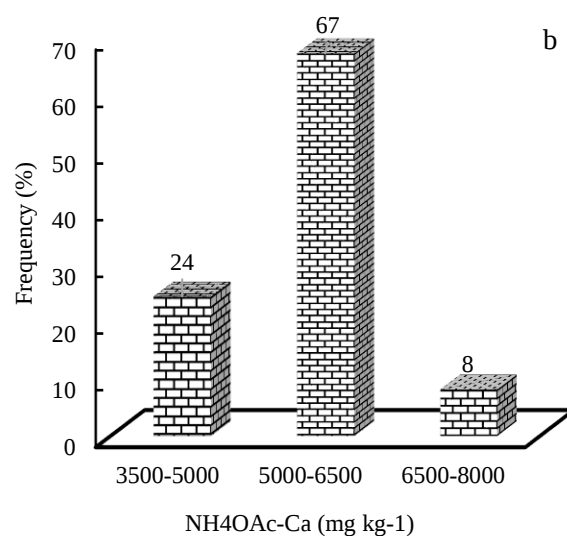
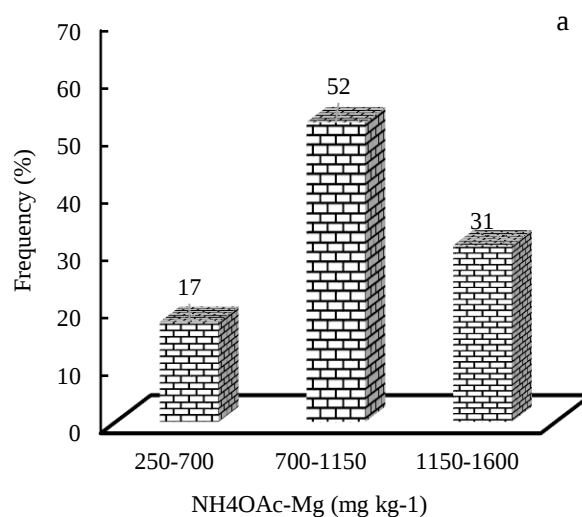


شکل ۷- نقشه کلاس‌بندی منیزیم در خاک‌های مورد مطالعه
Figure 6. Classification map of Mg in the studied soils



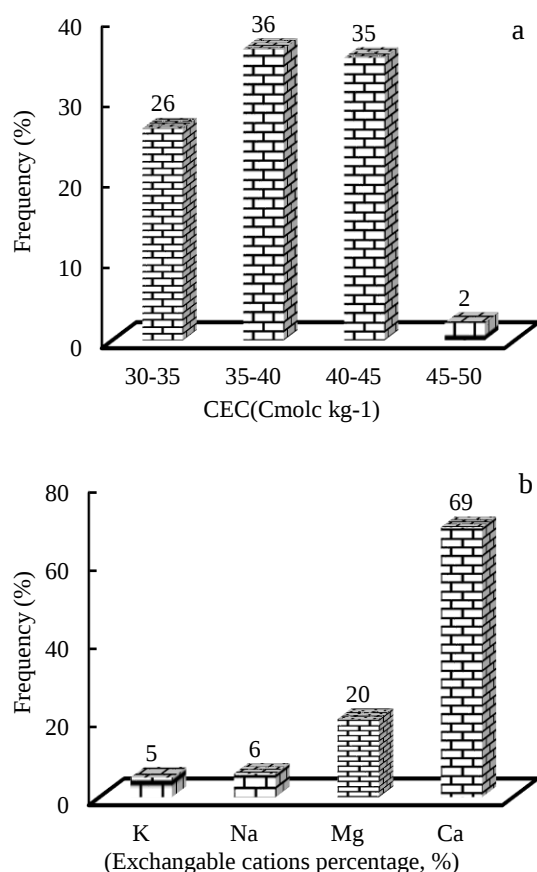
شکل ۸- نقشه کلاس‌بندی کلسیم در خاک‌های مورد مطالعه
Figure 8. Classification map of Ca in the studied soils

شد (شکل ۶b). میزان فراوانی در این گروه‌ها به ترتیب برابر ۲۴، ۶۷ و ۸ درصد بود.



شکل ۶- توزیع فراوانی منیزیم (a) و کلسیم قابل استخراج توسط استات آمونیوم (b) در خاک‌های مورد مطالعه
Figure 6. NH₄OAc exchangeable Magnesium (a) and Calcium (b) frequency in the studied soils

این گروه‌ها به ترتیب برابر ۲۶، ۳۶، ۳۵ و ۲ درصد بود (شکل ۹a).



شکل ۹- توزیع فراوانی درصد کاتیون‌های تبادلی در خاک‌های مورد مطالعه

Figure 9. Frequency distribution percentage of exchangeable cations in the studied soils

خزائی (Khazaei, 2014) در پژوهشی با هدف ارزیابی تغییرات مکانی عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در اراضی کشت و صنعت شریف آباد قزوین با استفاده از زمین آمار و GIS که با جمع آوری ۶۰۰ نمونه خاک از این اراضی به انجام رسید میزان ظرفیت تبادل کاتیونی در ۴ گروه شامل کمتر از ۱۰، ۱۰-۲۰، ۲۰-۳۰ و بیشتر از ۳۰ میلی اکی والان طبقه بندی شد. میزان فراوانی در این گروه‌ها به ترتیب برابر صفر درصد، ۱۳/۱ درصد، ۴۴/۶ درصد و ۴۲/۳ درصد به دست آمد. با مقایسه داده‌های مربوط به CEC روستای ایبریق با داده های CEC اراضی کشت و صنعت شریف آباد قزوین می‌توان نتیجه گرفت که مقدار CEC در اراضی منطقه هیر بیشتر از شریف آباد قزوین می‌باشد.

نقشه پراکنش جغرافیایی کلسیم و منیزیم در شکل ۷ و ۸ ارائه شده است. همان‌طوری که قابل مشاهده است میزان عناصر کلسیم و منیزیم در تمامی گستره‌ی منطقه مورد مطالعه در حد بهینه قرار داشته و خاک‌های این منطقه از لحاظ این دو عنصر به شدت مهم برای رشد و نمو گیاهان در وضعیت بسیار مناسبی قرار دارند.

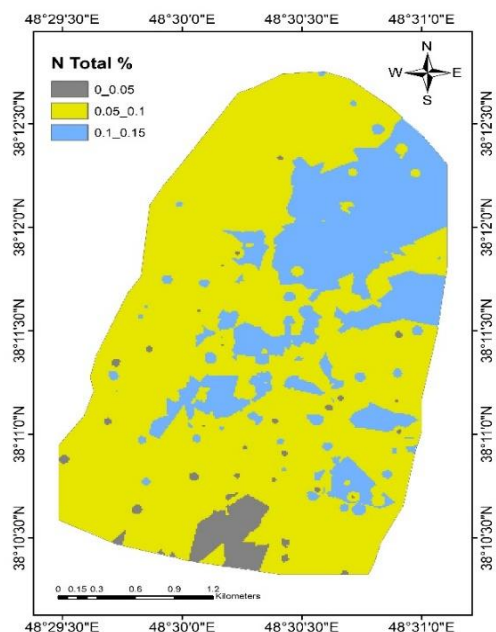
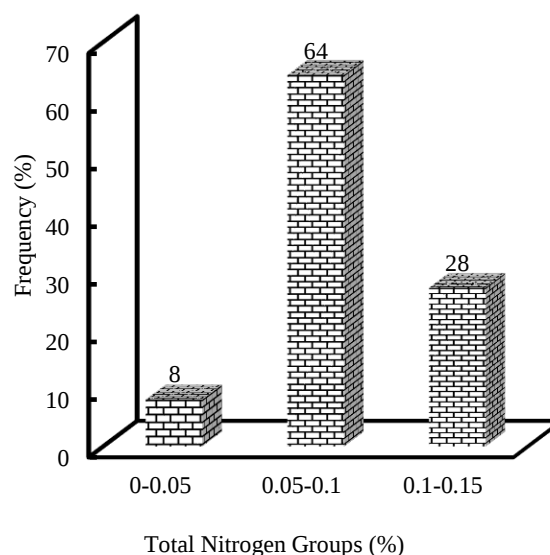
فراوانی نسبی کاتیون‌های قابل استخراج با استات آمونیوم
میانگین فراوانی نسبی کاتیون‌های قابل استخراج با استات آمونیوم به واحد سانتی‌مول در کیلوگرم خاک برای کل منطقه محاسبه و نسبت آن‌ها در مکان‌های تبادلی محاسبه شد (شکل ۹b). نتایج نشان داد که کلسیم و پتاسیم به ترتیب با ۶۹ و ۵ درصد بیشترین و کمترین مقدار را در مکان‌های تبادلی به خود اختصاص داده‌اند. منیزیم ۲۰ درصد و سدیم نیز ۶ درصد مکان‌های تبادلی را اشغال کرده است. نسبت کلسیم به منیزیم در مکان‌های تبادلی برابر ۳/۴۵ و نسبت سدیم به پتاسیم برابر ۱/۲ می‌باشد. کلسیم نقش سازنده و سدیم و منیزیم نقش مخرب در ساختمان خاک دارند.

ظرفیت تبادل کاتیونی خاک یکی از مهمترین عوامل موثر در حاصلخیزی خاک است که اندازه گیری آن به روش استات سدیم پرهزینه، وقت‌گیر و دشوار بوده و اطلاعات دیگری نیز در اختیار قرار نمی‌دهد. استفاده از مدل‌ها و معادلات مختلف یکی از ساده‌ترین، ارزانه‌ترین و سریع‌ترین روش‌های ارزیابی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک است (Bayat et al, 2022).

از آنجا که در این پژوهش کاتیون‌های قابل استخراج توسط استات آمونیوم اندازه‌گیری شده بودند، میزان ظرفیت تبادل کاتیونی نیز با فرض اینکه ۴ کاتیون سدیم، پتاسیم و کلسیم و منیزیم کاتیون غالب تبادلی باشند، از روی داده‌های اندازه‌گیری تخمین زده شد. با توجه به اینکه، استات آمونیوم کاتیون‌های محلول و تبادلی را توانم استخراج می‌کند، سهم یون‌های محلول کسر گردید تا سهم کاتیون‌های تبادلی محاسبه گردد. میزان ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) در خاک‌های مورد مطالعه در دامنه ۳۰-۴۷ سانتی مول بار در کیلوگرم خاک قرار داشت. میانگین داده‌ها نیز برابر ۳۸ سانتی مول در کیلوگرم به دست آمد. میزان CEC در ۴ گروه شامل ۳۵-۴۰، ۴۰-۴۵، ۴۵-۵۰ و ۴۵ سانتی مول بر کیلوگرم طبقه‌بندی شد. میزان فراوانی در

نیتروژن کل خاک

نتایج نیتروژن کل محاسبه شده با رابطه شماره ۱ نشان داد که میزان نیتروژن کل در خاک‌های مورد مطالعه پایین می‌باشد. میزان نیتروژن در خاک‌های مورد مطالعه در دامنه ۰/۰۳-۰/۱۵ با میانگین ۰/۰۹ درصد قرار داشت. مد داده‌ها برابر ۰/۰۷ درصد بدست آمد که از میانگین کمتر است. میزان نیتروژن کل در سه گروه ۰/۰۵-۰/۱، ۰-۰/۰۵ و ۰/۰۵-۰/۱۵ طبقه‌بندی شد (شکل ۱۰). همان‌طوری که در شکل نشان داده شده است در ۸ درصد خاک‌ها میزان نیتروژن کل از ۰/۰۵ درصد کمتر بود. در ۶۴ درصد نمونه‌های خاک میزان نیتروژن کل در محدوده ۰/۰۵-۰/۱ درصد و در ۲۸ درصد نیز در محدوده ۰/۱۰-۰/۱۵ درصد قرار داشت. به عبارت دیگر، در ۷۲ درصد از نمونه‌ها میزان نیتروژن کل در وضعیت بسیار پایین (معادل ۵۰۴/۲ هکتار) و در ۲۸ درصد نیز در وضعیت پایین (معادل ۱۹۵/۸ هکتار) قرار داشت. نیتروژن در گیاهان با عنوان گلوگاه رشد شناخته می‌شود و با توجه به کمبود این عنصر در تمامی اراضی مورد مطالعه، در صورت عدم برطرف نمودن این کمبود در رشد و عملکرد و بخصوص رشد رویشی گیاهان در این منطقه اختلال ایجاد خواهد شد (Khazaei, 2014).



شکل ۱۰- توزیع فراوانی و نقشه کلاس‌بندی نیتروژن کل در خاک‌های مورد مطالعه

Figure 10. Frequency distribution and classification map of total N in the studied soils

نقشه پراکنش جغرافیایی نیتروژن کل در شکل ۱۰ ارائه شده است. بر اساس این شکل، توزیع مکانی نیتروژن به دلیل محاسبه آن از روی کربن آلی، مشابه نقشه پراکنش کربن آلی می‌باشد. با حرکت از قسمت‌های شمالی به سمت جنوب منطقه مورد مطالعه میزان نیتروژن کاهش پیدا کرده و در مناطق جنوبی به کمترین مقدار نیتروژن یافت می‌شود. علت احتمالی این امر را می‌توان به زیر کشت دیم بودن اکثر اراضی جنوبی این منطقه، بازگشت کم بقایای گیاهی به خاک، عدم استفاده از کودهای حیوانی توسط زارعین و مدیریت نامناسب نسبت داد. اقلیم حدود ۹۰ درصد از اراضی ایران خشک و نیمه خشک بوده و دارای پوشش گیاهی ناچیزی می‌باشد همین امر موجب بازگشت مقادیر پایین بقایای گیاهی به محیط خاک شده و در نتیجه این عمل فقر مواد آلی و بالطبع آن کاهش نیتروژن در اکثر اراضی زراعی کشور قابل مشاهده است (Eneji et al, 2002).

خزائی (Khazaei, 2014) در پژوهشی با هدف ارزیابی تغییرات مکانی عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در اراضی کشت و صنعت شریف آباد قزوین با استفاده از زمین آمار و GIS که با جمع آوری ۶۰۰ نمونه خاک از این اراضی به انجام رسید میزان نیتروژن در ۴ گروه شامل کمتر از

استفاده گیاه در خاک در نظر بگیریم، میزان فسفر در ۷۰ درصد از خاک‌های مورد مطالعه کمتر از حد بحرانی است (Gahramani, 2014).

شهبازی و بشارتی (Shahbazi & Basharti, 2012) با جمع آوری اطلاعات طیف گسترده‌ای از داده‌های فسفر قابل استفاده گیاه از استان‌های مختلف کشور به تعداد ۵۰ هزار نمونه بیان کردند که میزان فسفر اولسن در ۵۱/۳ درصد از خاک‌های کشور و ۴۷/۶ درصد از خاک‌های استان اردبیل کمتر از ۱۵ میلی گرم در کیلوگرم خاک بود. همان‌طوری که در شکل ۱۱ نشان داده شده است میزان فسفر در ۷۰ درصد خاک‌های منطقه ایوریک کمتر از ۱۵ میلی گرم در کیلو گرم است که نسبت به میانگین کشوری و استانی درصد بیشتری از اراضی منطقه ایوریک دچار فقر فسفر است. سیلسپور (Silispor, 2007) در پژوهشی با هدف تعیین حد بحرانی فسفر در خاکهای تحت کشت گندم که در ۶۰ هزار هکتار از اراضی دشت ورامین به انجام رسید بیان کرد که میزان متوسط فسفر در این اراضی برابر ۹/۷ میلی گرم در کیلوگرم خاک می‌باشد. ایشان با در نظر گرفتن عدد ۸ میلی گرم در کیلوگرم فسفر به عنوان حد بحرانی بیان کرد، میزان فسفر در ۴۰ درصد اراضی مورد مطالعه زیر حد بحرانی بوده و نیاز به مصرف کودهای فسفره می‌باشد. با مقایسه داده‌های آزمایشگاهی فسفر روستای ایوریک با داده های مربوط به فسفر اراضی دشت ورامین می‌توان نتیجه گرفت که مقدار فسفر در اراضی منطقه هیر پایین تر از اراضی دشت ورامین می‌باشد. خزائی (Khazaei et al, 2017) در پژوهشی با هدف ارزیابی تغییرات مکانی عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در اراضی کشت و صنعت شریف آباد قزوین با استفاده از زمین آمار و GIS که با جمع آوری ۶۰۰ نمونه خاک از این اراضی به انجام رسید میزان فسفر در ۴ گروه شامل کمتر از ۱۲، ۱۲-۲۴، ۲۴-۳۶ و بیشتر از ۳۶ میلی گرم در کیلوگرم طبقه بندی شد. میزان فراوانی در این گروه‌ها به ترتیب برابر صفر درصد، ۷/۸ درصد، ۴۸/۴ درصد و ۴۳/۳ درصد به دست آمد. با مقایسه داده‌های آزمایشگاهی فسفر روستای ایوریک با داده های مربوط به فسفر اراضی کشت و صنعت شریف آباد قزوین می‌توان نتیجه گرفت که مقدار فسفر در اراضی منطقه هیر بسیار پایین تر از شریف آباد قزوین می‌باشد.

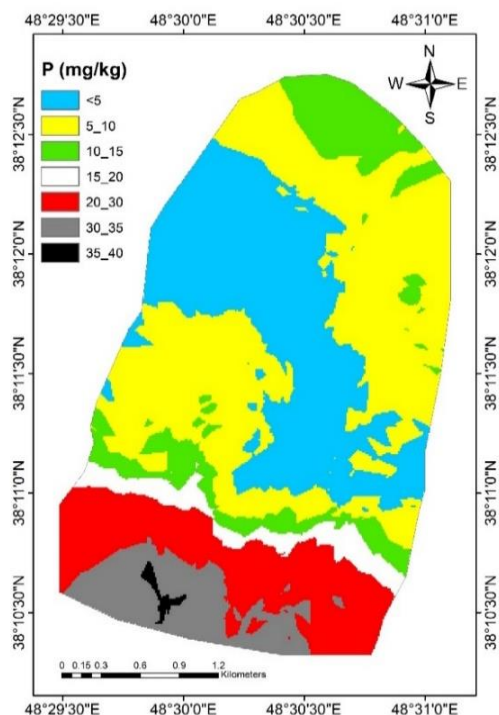
فسفر جزو عناصر پرمصرف گیاه بوده و نقش مهمی در تولید محصول بازی می‌کند. پایین بودن فسفر در خاک‌های

۰/۱ درصد، ۰/۱-۰/۲ درصد، ۰/۲-۰/۳ درصد و بیشتر از ۰/۳ درصد طبقه بندی شد. میزان فراوانی در این گروه‌ها به ترتیب برابر صفر درصد، ۳/۵ درصد، ۷۴/۳ درصد و ۲۲/۲ درصد به دست آمد. با مقایسه داده‌های نیتروژن روستای ایوریک با داده های نیتروژن اراضی کشت و صنعت شریف آباد قزوین می‌توان نتیجه گرفت که مقدار نیتروژن در اراضی منطقه هیر بسیار پایین تر از شریف آباد قزوین می‌باشد.

با استفاده از داده‌های کربن آلی و نیتروژن کل، نسبت کربن به نیتروژن کل (C:N) خاک نیز محاسبه شد. میزان این نسبت در ۸۱ درصد نمونه‌های زیر ۱۰ و در ۱۹ درصد داده‌ها بین ۱۵-۱۰ قرار داشت. نسبت کربن به نیتروژن بیانگر تعادل یا عدم تعادل بین این دو عنصر ضروری و همچنین رابطه بین حاصلخیزی خاک و تجزیه و تخریب مواد آلی است. مقدار نسبت C:N در خاک‌های زراعی مناطق معتدل (اپی‌پدون مالیک) بین ۱۰ الی ۱۲ قرار دارد که اندکی از خاک‌های جنگلی بیشتر است. در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک این نسبت اندکی کمتر است (Smit et al, 1997). که در خاک‌های مورد مطالعه نیز در ۸۱ درصد نمونه نسبت C:N کمتر از ۱۰ بود. این موضوع، بیانگر تجزیه و تخریب سریع مواد آلی در خاک‌های مورد مطالعه است. علاوه بر این، پایین بودن این نسبت به مقادیر پایین هر دو عنصر در خاک‌های مورد مطالعه نیز برمی‌گردد. همان‌طوری که اشاره شد میزان کربن آلی در ۷۱ درصد این منطقه زیر ۱ درصد بود.

فسفر قابل استفاده گیاه (فسفر اولسن)

میزان فسفر قابل استفاده گیاه در خاک‌های مورد مطالعه در دامنه ۱-۳۶ میلی گرم در کیلوگرم خاک قرار داشت. میانگین داده‌ها برابر ۱۲ میلی گرم در کیلوگرم به دست آمد. میزان فسفر در ۷ گروه شامل ۰-۵، ۵-۱۰، ۱۰-۱۵، ۱۵-۲۰، ۲۰-۳۰، ۳۰-۳۵، ۳۵-۴۰ میلی گرم در کیلوگرم طبقه‌بندی شد (شکل ۱۱). میزان فراوانی در این گروه‌ها به ترتیب برابر ۲۲، ۳۲، ۱۴، ۸، ۱۷، ۴ و ۱ درصد بود. همان‌طوری که در شکل ۱۱ نشان داده شده است میزان فسفر قابل استفاده گیاه در ۷۰ درصد خاک‌های مورد مطالعه (معادل ۴۸۸/۳ هکتار) کمتر از ۱۵ میلی گرم در کیلوگرم و تنها در ۳۰ درصد نمونه‌ها (معادل ۲۱۱/۷ هکتار) بیش از ۱۵ میلی گرم در کیلوگرم است. اگر میزان فسفر اولسن ۱۵ میلی گرم در کیلوگرم را به عنوان حد بحرانی فسفر قابل



شکل ۱۲- نقشه کلاس بندی فسفر قابل استفاده گیاه در خاک های مورد مطالعه

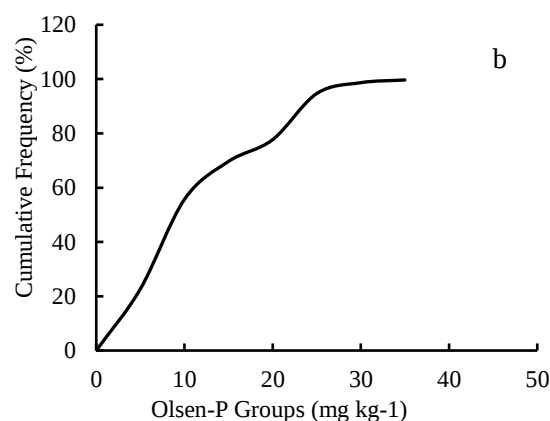
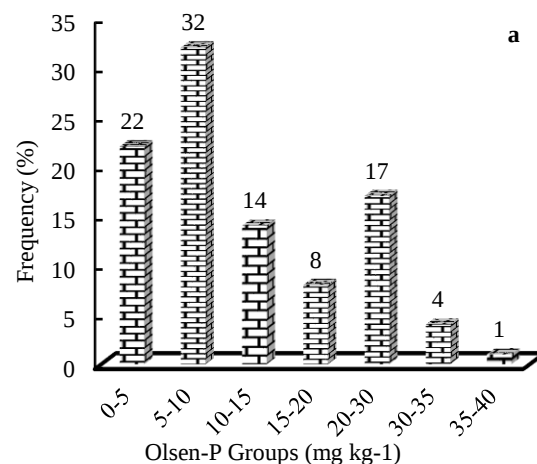
Figure 12. Classification map of plant available P in the studied soils

نقشه پراکنش جغرافیایی فسفر قابل استفاده گیاه در شکل ۱۲ ارائه شده است. بر این اساس، خاک‌های با فقر شدید فسفر به ترتیب در مناطق مرکزی و شمالی این منطقه قرار داشت و تنها در بخش محدودی از مناطق جنوبی (نقاط سفید، قرمز، توسی و سیاه) میزان فسفر بالاتر از حد بهینه ۱۵ میلی گرم در کیلوگرم قرار داشت. یکی از دلایل احتمالی این امر را می‌توان به فاریاب بودن مناطق شمالی و برداشت بیشتر فسفر به دلیل کشت گیاهان پرتوقع همچون سیب‌زمینی و کلزا و عدم مصرف مناسب کود در مقابل برداشت زیاد فسفر نسبت داد.

پتاسیم قابل استفاده گیاه

میزان پتاسیم قابل استفاده گیاه در خاک‌های مورد مطالعه در دامنه ۱۲۱۰-۴۰۹ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک قرار داشت. میانگین داده‌ها برابر ۷۳۶ میلی گرم در کیلوگرم به دست آمد. میزان پتاسیم در ۵ گروه شامل ۴۰۰-۵۰۰، ۵۰۰-۶۰۰، ۶۰۰-۷۰۰، ۷۰۰-۸۰۰ و ۸۰۰-۱۵۰۰ میلی-گرم در کیلوگرم طبقه‌بندی شد (شکل ۱۳) میزان فراوانی در این گروه‌ها به ترتیب برابر ۸، ۲۲، ۱۵، ۲۱ و ۳۶ درصد بود. همان طوری که در شکل ۱۳ نشان داده شده است

ایوریک رشد گیاه و عملکرد را تحت تاثیر می‌گذارد و لازم است برای نیل به عملکرد مطلوب سطح فسفر خاک به ۱۵ میلی گرم در کیلوگرم افزایش داده شود. به نظر می‌رسد برداشت فسفر توسط گیاه طی کشت در سالیان مختلف و متوالی، عدم مصرف مناسب کود فسفاته برای جبران فسفر برداشت شده و همچنین فرسایش پذیری بالای خاک‌های مورد مطالعه منجر به کاهش فسفر قابل استفاده گیاه شده است.



شکل ۱۱- توزیع فراوانی (a) و فراوانی تجمعی (b) فسفر در خاک های مورد مطالعه

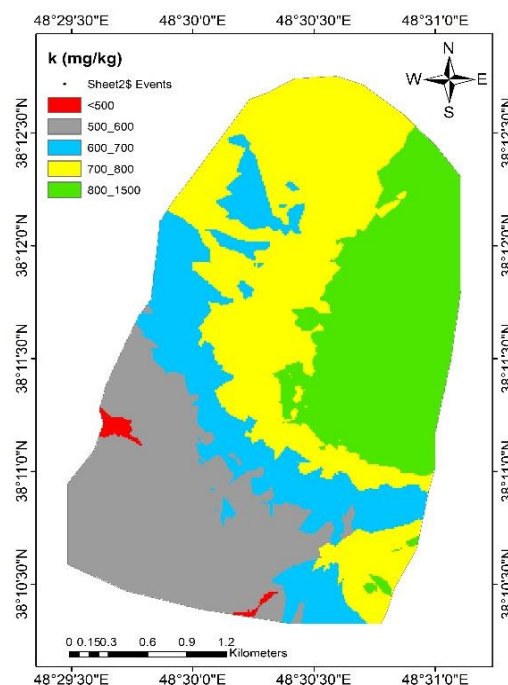
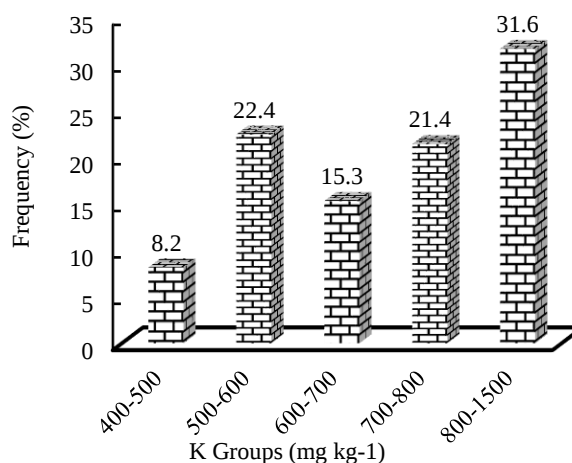
Figure 11. Frequency distribution (a) and accumulative frequency of P in the studied soils

نقشه پراکنش جغرافیایی پتاسیم در شکل ۱۳ ارائه شده است. همانطوری که قابل مشاهده است میزان پتاسیم در تمامی گستره‌ی منطقه مورد مطالعه بیشتر حد بهینه ۲۷۰ میلی گرم در کیلوگرم قرار داشته و خاک‌های این منطقه از لحاظ عنصر ضروری پتاسیم به شدت غنی می‌باشند. به نظر می‌رسد به دلیل کشت سیب‌زمینی در مناطق شمالی، کشاورزان کودهای پتاسه مصرف کرده‌اند و همچنین ممکن است به دلیل فاریاب بودن این اراضی پتاسیم در طی سالیان متمادی از طریق آب آبیاری وارد شده است.

شهبازی و بشارتی (Shahbazi & Basharti, 2012) با جمع آوری اطلاعات طیف گسترده‌ای از داده‌های حاصلخیزی خاک از استان‌های مختلف کشور به تعداد ۵۰ هزار نمونه بیان کردند که در حدود ۲۱ درصد خاک‌های کشور میزان پتاسیم قابل استفاده گیاه کمتر از حد بحرانی ۲۸۰ میلی گرم در کیلوگرم بوده و از نظر پتاسیم دچار کمبود می‌باشند. همان‌طوری که در شکل ۱۳ نشان داده شده است میزان پتاسیم در ۱۰۰ درصد خاک‌های مورد مطالعه بیشتر از حد بحرانی پتاسیم بوده که نسبت به میانگین کشوری منطقه مطالعاتی وضعیت مناسب‌تری از لحاظ پتاسیم دارد. سیل‌سپور (Silispur, 2007) در پژوهشی با هدف تعیین حد بحرانی پتاسیم در خاک‌های تحت کشت گندم که در ۶۰ هزار هکتار از اراضی دشت ورامین به انجام رسید، بیان کرد که میزان متوسط پتاسیم در این اراضی برابر ۲۷۷ میلی گرم در کیلوگرم خاک می‌باشد. با در نظر گرفتن عدد ۲۷۰ میلی گرم در کیلوگرم پتاسیم به عنوان حد بحرانی، میزان پتاسیم در ۴۵ درصد این اراضی زیر حد بحرانی بوده و نیاز به مصرف کودهای پتاسیمی می‌باشد.

خزائی (Khazaei, 2014) در پژوهشی با هدف ارزیابی تغییرات مکانی عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در اراضی کشت و صنعت شریف آباد قزوین با استفاده از زمین آمار و GIS که با جمع آوری ۶۰۰ نمونه خاک از این اراضی به انجام رسید میزان پتاسیم در ۴ گروه شامل کمتر از ۲۵۰، ۲۵۰-۴۰۰، ۴۰۰-۶۰۰ و بیشتر از ۶۰۰ میلی گرم در کیلوگرم طبقه بندی شد. میزان فراوانی در این گروه‌ها به ترتیب برابر صفر درصد، ۴/۶ درصد، ۷۲ درصد و ۲۳/۴ درصد به دست آمد. با مقایسه داده‌های آزمایشگاهی پتاسیم روستای ایوریک با داده‌های نیتروژن اراضی کشت و صنعت شریف آباد قزوین می‌توان نتیجه گرفت که میزان

میزان پتاسیم قابل استفاده گیاه در ۱۰۰ درصد خاک‌های مورد مطالعه بیشتر از ۲۷۰ میلی گرم در کیلوگرم (حد بحرانی پتاسیم) است. با در نظر گرفتن میزان ۱۸۰ میلی گرم در کیلوگرم پتاسیم قابل استفاده گیاه به عنوان حد بحرانی پتاسیم می‌توان نتیجه گرفت که میزان پتاسیم در ۱۰۰ درصد از خاک‌های مورد مطالعه بیشتر از حد بحرانی است و از نظر عنصر پتاسیم کمبودی در اراضی مورد مطالعه مشاهده نمی‌شود.



شکل ۱۳- توزیع فراوانی و نقشه کلاس‌بندی پتاسیم در خاک- های مورد مطالعه

Figure 13. Frequency distribution and Classification map of K in the studied soils

عنصر پتاسیم در اراضی منطقه هیر در وضعیت بهتری نسبت به دشت شریف آباد شریف آباد قزوین می‌باشد. پتاسیم علاوه بر نقشی که در رشد و تکامل گیاهان دارد به عنوان عنصر کیفیت شناخته می‌شود و نقش بسیار ویژه‌ای در افزایش کیفیت محصولات زراعی نظیر مقاومت گیاهان در برابر آفات و بیماری‌ها، افزایش عمر انبارداری محصولات زراعی، خاصیت پوست کنی، کیفیت حمل و نقل و تأثیر مستقیم در طعم، رنگ و عطر محصولات زراعی و... دارد، بنابراین بالا بودن میزان پتاسیم در خاکهای مورد مطالعه از نظر تولیدات کشاورزی و باغبانی می‌تواند منافع بسیار زیادی برای کشاورزان داشته باشد.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش، برخی از ویژگی‌های حاصلخیزی، شیمیایی و فیزیکی خاک‌های اراضی زراعی روستای ایوریق شهرستان هیر بررسی و نقشه پراکنش جغرافیایی آن‌ها تهیه شد. نتایج حاصل را می‌توان در حالت کلی به صورت زیر جمع‌بندی کرد:

میزان کربن آلی در ۷۶ درصد از خاک‌های این منطقه کمتر از ۱ درصد بوده و با توجه به نقش بسیار زیاد کربن آلی در خصوصیات شیمیایی، حاصلخیزی، فیزیکی و زیستی خاک، استفاده از کودهای آلی در این منطقه بسیار ضروری می‌باشد. پارامترهای pH، EC و کربنات کلسیم معادل خاک که به ترتیب در ۱۳/۱، ۳، ۳۶/۷ درصد از این منطقه تنها اندکی از حد نرمال بالا بوده‌اند و در اکثر اراضی این منطقه در وضعیت مساعدی قرار دارند.

میزان سدیم، کلسیم، منیزیم و پتاسیم قابل استفاده گیاه در این منطقه در محدوده حد بهینه قرار داشتند. اما، نسبت سدیم به پتاسیم قابل استفاده گیاه ۰/۸۲ است که نزدیک ۱ می‌باشد. بنابراین، در مواردی ممکن است سدیم در جذب پتاسیم توسط گیاه اختلال ایجاد کند.

میزان نیتروژن کل در ۷۲ درصد خاک‌های این منطقه در وضعیت بسیار پایین و در ۲۸ درصد نیز در وضعیت پایین قرار داشت. میزان فسفر در ۷۰ درصد خاک‌های این منطقه کمتر از حد بحرانی ۱۵ میلی گرم در کیلوگرم است که نسبت به میانگین کشوری و استانی درصد بیشتری از اراضی این منطقه دچار کمبود فسفر است. میزان پتاسیم با در نظر گرفتن ۲۷۰ میلی گرم در کیلوگرم پتاسیم قابل استفاده گیاه به عنوان حد بحرانی پتاسیم، در ۱۰۰ درصد از خاک‌های مورد مطالعه بیشتر از حد بحرانی است و از نظر عنصر پتاسیم کمبودی در این اراضی مشاهده نشد. با توجه به اطلاعات به دست آمده از خاک‌های منطقه و نظر به کمبود مواد آلی و عناصر فسفر و نیتروژن در اکثریت منطقه، پیشنهاد می‌شود کودهای آلی و شیمیایی حاوی نیتروژن و فسفر بر اساس آزمون خاک برای رفع کمبود و تولید پایدار مصرف شود.

تعارض منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تضاد منافی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

References

- Ahmadnia F., Ebadi A., Hashemi M., Qovidel A., and Al Ebrahim M. 2024. The effect of cover crops oat (*Avena sativa* L.) and white radish (*Raphanus sativus* var. *Longipinnatus*) on some soil properties. *Applied Soil Research*, 12(2), 1-17.
- Asadian M., Hojjati S.M., Mohammadzadeh M., and Nadi M. 2022. Changes in carbon, soil nitrogen and soil grain stability under the influence of different land uses. *Forest research and development*. 10.30466/JFRD.2021.53919.1577. (In Persian)
- Asghari S. H., Hatamvand M., and Hasanpour Kashani M. 2021. Estimating wet aggregate stability from easily available soil properties in north west of lake urmia. *Applied Soil Research*, 9(2): 102-115. (In Persian)
- Balali M.R., and Ghafarinejad S.A. 2018. Analysis of the state of soil fertility in the country from the point of view of integrated management (challenges and strategies). *Proceedings of the 16th Congress of Soil Sciences of Iran*. University of Zanjan. 8-5 September 2018. https://issc.areeo.ac.ir/article_36843.html. (In Persian)

- Bayat H., Sahibi Hamra Sh., and Ebrahimi I. 2022. Evaluation of the effect of grouping based on different characteristics on the performance of functions in estimating soil cation exchange capacity. *Journal of water and soil research in Iran*. 10.22059/IJSWR.2024.364953.669566. (In Persian)
- Behtari M., Naderi Khorasgani M., and Karimi A. 2022. Investigating the spatial distribution of soil organic carbon in Fandoglu area of Ardabil province. *Scientific Journal of Soil Research*. 10.22092/IJSR.2023.359807.677. (In Persian)
- Dadivar M., Forohar M., and Matabi R. 2021. Investigating the status of nutrients and crop yield in Razavi Khorasan potato fields. *Applied Potato Science*. https://pem.areeo.ac.ir/article_124260_123a546de1a32f1b8e2a48d3ad5ee6de.pdf. (In Persian)
- Eneji A.E., Honna T., Yamamoto S., Saito T., and Masuda T. 2002. Nitrogen transformation in four Japanese soils following manure+urea amendment. *Commun. Soil Sci. plant Anal.* 33(182):53-66.
- Fatemi Qomsheh A. 2010. Investigating the status of soil potassium supply and the effect of soil properties on it in different provinces of the country. Ph. D thesis. Tarbiat Modares University. (In Persian)
- Gahramani V. 2014. Investigating soil phosphorus components in relation to phosphorus absorption and spring wheat plant performance in the soils of Ardabil plain and the effect of fertilization on them. Master's thesis. Mohaghegh Ardabili University. (In Persian)
- Gee G.W., Baud J.W., and Klute A. 1986. Particle-size analysis. Methods of soil analysis. In: Page A.L. and Mille R.H. (Ed.), *Methods of Soil Analysis Part 1. Physical and mineralogical methods*, American Society of Agronomy, Madison, WI, pp, 383-411.
- Jahanbazi L., Mirkhani R., Heydari A., and Ghavami M.S. 2024. Monitoring spatial-temporal changes in salinity using remote sensing (case study: Rudasht, Isfahan). *Applied Soil Research*, 12(2), 64-78.
- Khazaei E. 2014. Evaluation of spatial changes of nitrogen, phosphorus and potassium elements in agricultural and industrial lands of Sharif Abad Qazvin using geostatistics and GIS. Master's thesis. Faculty of Agricultural Sciences. Shahed University. (In Persian)
- Khazaei E., Bustani A.A., Davatgar N. 2017. Spatial changes of nitrogen, phosphorus and potassium and the cation exchange capacity of soil in the lands of Sharif Abad Agricultural Company of Qazvin. *Soil research*. 10.22092/IJSR.2017.113101. (In Persian)
- Maghsoudi M., Reyhani Tabar A., and Najafi N. 2014. Kinetics of phosphorus release and correlation of its parameters with some soil properties and corn growth in several calcareous soils of East Azerbaijan province. *Applied Soil Research*, 2(2), 119-134.
- Marschner P., and Rengel Z. 2023. Nutrient Availability in Soils. In: Z. Rengel, I. Cakmak, & P. J. White (Eds.), *Marschner's Mineral Nutrition of Plants Mineral Nutrition of Plants*. Academic press pp. 499-522
- Mohammadi Farani T., Hashemi-Majd K., and Kalbasi M. 2008. Investigating the effect of acid-forming substances on the chemical properties and usability of nutrients in the soil. Master's thesis. Department of Soil Science and Engineering. Mohaghegh Ardabili University. (In Persian)
- Mokrram M., and Negahban S. 2017. Determining soil fertility using a multi-criteria decision-making model in Tarbar-Darian basin in Fars province. *Applied Soil Research*, 6(3), 37-48. SID. <https://sid.ir/paper/261919/fa>. (In Persian)
- Mokrram M., and Shahabi S. 2017. Determining soil fertility using a multi-criteria decision making model in Tarbar-Darian basin in Fars province. *Applied soil research*. (In Persian)
- Moradi S., Rasouli Sedkiani M.H., Sepehr I., Khodawardilo H., and Barin M. 2017. The role of organic carbon in the mineralization of nitrogen, carbon and the concentration of some nutrients in a saline soil. *Journal of soil management and sustainable production*. Volume 9, Number 3, 2018. DOI: 10.22069/ejsms.2020.16174.1865. (In Persian)
- Moshiri F., and Samawat S. 2016. Management of soil organic carbon in agricultural lands of Iran, challenges and solutions. *Collection of papers of the 15th Congress of Soil Sciences of Iran*. Isfahan University of Technology. https://issc.areeo.ac.ir/article_34027.pdf. (In Persian)
- Moshiri F., Balali M.H., Rejali F., and Sadaqat A. 2022. Integrated management framework of soil fertility and plant nutrition in Iran. *Scientific journal of land management*. Volume 10. <https://doi.org/10.22092/lmj.2022.124054><https://civilica.com/doc/1458826>. (In Persian)
- Mosleh Z., and Azadi A. 2023. Evaluation of the accuracy of the Latin hypercube method in order to select the location of study points for preparing a digital map of soil characteristics. *Water and soil scientific journal*. 10.22067/JSW.2024.86936.1388. (In Persian)

- Nelson D.W., and Sommers L.E. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. *In*: Page A.L. and Mille R.H. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Micro Biological Properties*, American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 595-579.
- Olsen S.R., and Sommers J.F. 1982. Phosphorus. *In*: Page A.L. and Mille R.H. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Micro Biological Properties*, American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 403-430.
- Nelson R.E. 1982. Carbonate and gypsum. *In*: Page A.L. and Mille R.H. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Micro Biological Properties*, American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 181-197.
- Pulakeshi H.B., Patil P.L., Dasog G.S., Radder B.M., Bidari B.I., and Mansur C.P. 2012. Mapping of nutrients status by geographic information system (GIS) in Mantagani village under northern transition zone of Karnataka. Department of soil science and agricultural chemistry university of agricultural sciences, Dharwad - 580 005, India. *Karnataka J. Agric. Sci.*, 2012. 25 (3) : (332-335).
- Qadir M., Ghafoor A., and Murtaza G. 2001. Use of saline-sodic waters through phytoremediation of calcareous salinesodic soils. *Agricultural Water Management*. 50: 197-210.
- Razzagian A.H. 2019. Preparation of soil fertility map of Fahraj region in Yazd province in order to develop agricultural lands. Master's thesis. Yazd University. (In Persian)
- Rhoades J.D. 1982. Soluble salts. *In*: Page A.L. and Mille R.H. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Micro Biological Properties*, American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 167-179.
- Shahbazi K., and Basharti H. 2012. An overview of soil fertility in Iran. *Journal of land management*. 10.22092/lmj.2013.100072 Volume 1. Number 1. 2013. (In Persian)
- Silispur M. 2007. Determining the critical limit of phosphorus and potassium in soils under wheat cultivation in Varamin. *Proceedings of the 10th Congress of Soil Sciences of Iran*, Karaj, 4-6 September 2007. <https://civilica.com/doc/24232/>. (In Persian)
- Smith P., Powlson D., Glendining M., and Smith J.O. 1997. Potential for carbon sequestration in European soils: preliminary estimates for five scenarios using results from long-term experiments. *Global Change Biology*. 3: 67-79.
- Yazdanpanah A., and Motlabifard R. 2016. Effects of poultry manure and potassium fertilizer on yield and uptake of nitrogen, phosphorus, potassium, zinc and copper in potatoes. *Applied Soil Research*, 4(2), 60-71.