

Assessment of Nutritional Status in Sugar Beet Fields Using the Deviation from Optimum Percentage (DOP) Method in Khorasan Razavi Province

Jalal Ghaderi^{1*}, Masoud Dadivar², Kamal Khalkhal³

(Received: January 2025

Accepted: October 2025)

Abstract

Sugar beet is the third most widely produced crop in Iran after forage corn and wheat, making it a strategically important agricultural commodity. This study used the Deviation from Optimum Percentage (DOP) method to assess nutritional status and optimize fertilizer management in sugar beet fields across Khorasan Razavi Province during two agricultural years (2018–2020). The research covered 61 fields (30 in the first year and 31 in the second year), representing the region's diverse soil conditions. Leaf samples were collected in both years to determine nutrient concentrations. To establish DOP thresholds and indices, the entire sample population was divided into two groups based on yield performance: low-yield and high-yield fields. The results showed that 67%, 52.5%, 82%, 62%, 59%, and 53% of the fields had phosphorus, potassium, iron, manganese, zinc, and copper deficiencies in the soil, respectively. The average yield across all fields was 5.58 tons per hectare. According to the DOP method, the priority of macronutrient deficiencies in low-yield fields was phosphorus (75%) > potassium (71%) > nitrogen (37%), while for micronutrients it was boron (69%) > manganese (58%) > zinc (54%) > copper (46%) > iron (42%). The Nutritional Balance Index (NBI) calculated for sugar beet fields in Khorasan Razavi (273.36) indicated a relative imbalance among the nutrients absorbed by the crops, highlighting inadequate fertilization management in these fields. Therefore, the DOP approach can serve as a valuable tool for assessing nutrient status, diagnosing nutritional disorders, and improving fertilizer recommendations for sugar beet cultivation in this region.

Keywords: Deviation from Optimum Percentage (DOP), Tissue analysis, Nutritional balance, Sugar beet.

Ghaderi, J., Dadivar, M., Khalkhal, K. 2025. Assessment of Nutritional Status in Sugar Beet Fields Using the Deviation from Optimum Percentage (DOP) Method in Khorasan Razavi Province. *Applied Soil Research*. 14(2): 59-73

1- Corresponding Author, Assistant Prof., Soil and Water Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Iran.

2- Research Instructor, Soil and Water Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Iran.

3- Researcher Expert of Soil and Water Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Iran.

* Corresponding Author: ghaderij@yahoo.com

ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای مزارع چغندر قند با روش انحراف از درصد بهینه (DOP) در استان خراسان رضوی

جلال قادری^{۱*}، مسعود دادپور^۲، کمال خلخال^۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۰۷

چکیده

چغندر قند پس از ذرت علوفه‌ای و گندم، سومین محصول پرتولید در ایران است که آن را به یک کالای کشاورزی استراتژیک تبدیل می‌کند. هدف از این تحقیق، ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای چغندر قند و بهینه‌سازی مصرف کود با روش DOP در استان خراسان رضوی به مدت دو سال زراعی (۱۳۹۷-۹۹) است. در سال اول ۳۰ مزرعه و در سال دوم ۳۱ مزرعه با دامنه متفاوتی از خصوصیات خاک، انتخاب گردیدند. در سال‌های اول و دوم، نمونه‌برداری از برگ‌ها برای تعیین غلظت عناصر غذایی انجام شد. در این پژوهش، برای تعیین اعداد مرجع و شاخص‌های DOP، کل جامعه مورد مطالعه به دو گروه عملکرد پایین و بالا تقسیم شدند. نتایج نشان داد که ۶۷، ۵۲/۵، ۸۲، ۶۲، ۵۹ و ۵۳ درصد مزارع به ترتیب دچار کمبود فسفر، پتاسیم، آهن، منگنز، روی و مس در خاک و میانگین عملکرد در کل مزارع ۵۸/۵ تن بر هکتار بود. در روش DOP، ترتیب نیاز غذایی برای عناصر غذایی پرمصرف برای مزارع با عملکرد پایین به صورت $N (37\%) > K (71\%) > P (75\%)$ و برای عناصر کم‌مصرف به صورت $B (69\%) > Fe (42\%) > Cu (46\%) > Zn (54\%) > Mn (58\%)$ بودند. شاخص تعادل غذایی (NBI) محاسبه شده برای مزارع چغندر قند استان خراسان رضوی (۲۷۳/۳۶) نشان‌دهنده عدم تعادل نسبی بین عناصر غذایی جذب شده توسط این گیاه است. این وضعیت به مدیریت نامناسب کوددهی در این مزارع اشاره دارد. بنابراین، روش DOP می‌تواند برای ارزیابی وضعیت عناصر غذایی، تشخیص اختلالات تغذیه‌ای، بهبود توصیه‌های کودی محصول چغندر قند در این استان مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: انحراف از درصد بهینه، تجزیه گیاه، تعادل تغذیه‌ای، چغندر قند.

قادری ج.، دادپور م.، خلخال ک. ۱۴۰۵. ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای مزارع چغندر قند با روش انحراف از درصد بهینه (DOP) در استان خراسان رضوی. جلد ۱۴، شماره ۲. ص: ۵۹-۷۳.

۱- استادیار پژوهشی بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.
۲- مربی پژوهشی بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، مشهد، ایران.
۳- کارشناس محقق بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه. سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، کرمانشاه، ایران.

* پست الکترونیک: ghaderij@yahoo.com

مقدمه

چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) به عنوان یکی از محصولات زراعی مهم در جهان و ایران، نقش بسزایی در تأمین قند و سایر مواد مغذی دارد. طبق آمارنامه کشاورزی سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰، چغندر قند پس از ذرت علوفه‌ای و گندم، بالاترین مقدار تولید آبی و در سال ۱۴۰۲-۱۴۰۱ رتبه چهارم میزان تولید (حدود ۶/۶۷ میلیون تن که ۸/۸۳ درصد از کل میزان تولید) محصولات زراعی آبی را به خود اختصاص داده است. این محصول با تولید تقریبی ۷/۴۶ میلیون تن، حدود ۹/۴۸ درصد از کل تولید محصولات زراعی آبی را شامل می‌شود. در حالی که تنها ۲/۰۲ درصد از کل سطح کشت آبی کشور را تشکیل داده است (Anonymous, 2022 & 2023). اما گندم با تولید ۸/۸۱ میلیون تن، ۳۶/۵۲ درصد از سطح زیر کشت آبی را به خود اختصاص داد که مساحت خیلی زیادی است

این گیاه به دلیل توانایی‌اش در تبدیل قندهای موجود در خاک به قند قابل برداشت، در کشاورزی حوزه قند اهمیت ویژه‌ای دارد. چغندر قند به عنوان یک گیاه چندساله و مقاوم در برابر شرایط مختلف اقلیمی، در بسیاری از نقاط جهان کشت می‌شود و نقشی کلیدی در تأمین قند برای مصرف انسانی و صنعتی ایفا می‌کند (McGrath & Townsend, 2015). به طور کلی، کشت چغندر قند نیازمند مدیریت دقیق تغذیه‌ای است. این گیاه به عناصر غذایی مختلفی نظیر نیتروژن، فسفر و پتاسیم نیاز دارد که برای رشد بهینه و تولید قند حائز اهمیت هستند. عدم تعادل در تغذیه می‌تواند تأثیر منفی بر عملکرد و کیفیت محصول داشته باشد. به دلیل نیاز زیاد این گیاه به عناصر غذایی، پژوهش‌های متعددی در بهینه‌سازی مدیریت تغذیه و مدیریت کوددهی مناسب انجام شده است (Bahar et al., 2020). بنابراین، بهینه‌سازی مدیریت عناصر غذایی می‌تواند

تأثیر زیادی بر کیفیت و کمیت محصولات داشته باشد. یکی از روش‌های نوین و مؤثر در ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای گیاهان، روش انحراف از درصد بهینه است. این روش به بررسی و تجزیه و تحلیل نسبت غلظت عناصر غذایی در گیاه نسبت به مقادیر بهینه یا اعداد مرجع می‌پردازد و به تعیین عدم تعادل‌های تغذیه‌ای کمک می‌کند (Montanes et al., 1993; Laibarra et al., 2014). روش DOP به طور خاص بر اساس مقایسه غلظت‌های عناصر غذایی اندازه‌گیری شده با مقادیر استاندارد و بهینه طراحی شده است. در این روش، شاخص DOP برای هر عنصر غذایی به صورت درصد انحراف غلظت آن از مقدار بهینه‌اش در گیاه محاسبه می‌شود (Pereira et al., 2011). روش DOP به دلیل توانایی‌اش در شناسایی دقیق اختلالات تغذیه‌ای، به عنوان یک ابزار مؤثر در مدیریت تغذیه گیاه شناخته شده است. این روش به کشاورزان و محققان این امکان را می‌دهد که با ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای گیاهان، الگوهای صحیح کوددهی و بهینه‌سازی ترکیبات غذایی را مشخص کنند (Francis et al., 2022). به علاوه، این روش در مطالعات مختلف بر روی گیاهان مختلف زراعی از جمله نیشکر و چغندر قند مورد استفاده قرار گرفته و نتایج مثبتی به دست آمده است (da Silva et al., 2020; Qadri et al., 2023). به دلیل پیچیدگی‌های مربوط به تعادل عناصر غذایی و نیازهای متغیر گیاهان در مراحل رشد مختلف، این روش به ویژه در کشت‌های مانند نیشکر و چغندر قند بسیار کارآمد است. پژوهش‌های اخیر نشان داده که استفاده از روش DOP می‌تواند اطلاعات دقیقی درباره نیازهای غذایی گیاهان ارائه دهد و در شناسایی عناصر غذایی محدودکننده عملکرد کمک کند. به عنوان مثال، قریشی و همکاران (Ghoreyshi et al., 2017) گزارش کردند که یکی از علل مهم پایین بودن عملکرد

هندوانه در استان آذربایجان غربی، مشکل تغذیه‌ای می‌باشد و در بین عناصر پرمصرف، نیتروژن و پتاسیم به ترتیب در ۹۵ درصد و ۹۳ درصد مزارع دارای شاخص منفی و در بین عناصر کم‌مصرف روی و آهن با ۸۴ درصد و ۷۲ درصد بیشترین شاخص منفی را داشتند. همچنین کریمی و همکاران (Karimi et al., 2024) گزارش کردند که ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای نیشکر با استفاده از روش DOP نشان داد از میان عناصر غذایی پرمصرف در مزارع کشت جدید و بازرویی اول، کمبود پتاسیم و در مزارع بازرویی دوم کمبود فسفر و پتاسیم و همچنین از میان عناصر غذایی کم مصرف، کمبود آهن و روی (هم در مزارع کشت جدید و هم در مزارع بازرویی)، از عوامل تغذیه‌ای محدودکننده عملکرد نیشکر در مزارع کشت و صنعت حکیم فارابی خوزستان بودند. روش DOP با فراهم کردن یک چارچوب علمی برای ارزیابی و تفسیر وضعیت تغذیه‌ای گیاهان، به کشاورزان و محققان این امکان را می‌دهد که با اتخاذ تصمیم‌های بهینه در زمینه کوددهی و مدیریت تغذیه، به افزایش بهره‌وری و پایداری کشاورزی کمک کنند. در سال‌های اخیر، کاهش شدید عملکرد در برخی مزارع چغندر این منطقه می‌تواند به دلیل عدم تعادل عناصر غذایی باشد. با توجه به عدم وجود تحقیقات تغذیه‌ای در مورد چغندر قند استان خراسان و کمبود اعداد مرجع تغذیه‌ای برای این محصول مهم، این پژوهش با هدف بررسی وضعیت تغذیه‌ای مزارع چغندر قند با استفاده از روش DOP و شناسایی عناصر غذایی محدود کننده انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق بر روی محصول چغندر قند به مدت دو سال (۱۳۹۷-۹۹) در استان خراسان رضوی انجام شد. در هر سال، حداقل ۳۰ مزرعه انتخاب گردید که این مزارع در تمامی مناطق کشت چغندر قند به نسبت سطح زیر کشت

آن منطقه توزیع شدند. برای افزایش قابلیت تعمیم نتایج، داده‌های دو سال با هم ترکیب شدند تا از تأثیر نوسانات اقلیمی یا مدیریتی سالانه کاسته شود. همچنین، در این مزارع دامنه‌ای متنوع از خصوصیات خاک (با استفاده از مطالعات خاک و غیره) وجود داشت. پس از انتخاب مزارع، قبل از کشت از هر مزرعه یک نمونه مرکب خاک از سطح یک هکتار و عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری تهیه شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی این نمونه‌ها در آزمایشگاه اندازه‌گیری گردید. برای تجزیه نمونه‌های خاک، بافت به روش هیدرومتری (Bouyoucos, 1962)، کربن آلی به روش والکلی و بلک (Walkley & Black, 1934) pH با روش گل اشباع (McLean, 1982)، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع با دستگاه هدایت‌سنج (Black et al., 1965)، درصد کربنات کلسیم معادل خاک (Page et al., 1982)، فسفر قابل جذب به روش اولسن (Olsen., 1964) و پتاسیم قابل استفاده با عصاره‌گیری با استات آمونیوم یک نرمال (Knudsen et al., 1982) اندازه‌گیری شدند. همچنین منیزیم، کلسیم و پتاسیم به روش استات آمونیوم یک نرمال در pH برابر با ۸/۲ (Hanway, 1952)، آهن، روی، منگنز و مس قابل استفاده خاک با عصاره‌گیر DTPA (Lindsay & Norvell, 1978) اندازه‌گیری گردید. بور قابل جذب به روش آب داغ (Berger & Truog, 1939) و گوگرد به روش منوکلسیم فسفات (Fox et al., 1964) اندازه‌گیری شدند.

در سال‌های اول و دوم، نمونه‌برداری از برگ‌ها برای تعیین غلظت عناصر غذایی انجام شد. این نمونه‌برداری حدود ۹۰ تا ۱۲۰ روز پس از کاشت و از برگ‌های جوان کامل و سالم (بین جوان‌ترین برگ‌ها در مرکز بوته و برگ‌های مسن‌تر) صورت گرفت. نمونه‌های برگ پس از شستشو با آب مقطر، در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شده و سپس با آسیاب برقی پودر شدند. برای تهیه

(SD - میانگین عملکرد) $\geq$ مزارع با عملکرد متوسط

(SD + میانگین عملکرد) تا

(SD - میانگین عملکرد) $\leq$ مزارع با عملکرد پایین

در رابطه (۱)، SD انحراف معیار عملکرد مزارع است. شاخص DOP برای تشخیص وضعیت تغذیه‌ای مزارع چغندر قند از رابطه ریاضی زیر محاسبه شد:

$$DOP = [(C \times 100) / C_{ref}] - 100 \quad (2)$$

در رابطه (۲)، C غلظت عنصر غذایی در نمونه برگ مزارع چغندر قند با عملکرد پایین و C_{ref} غلظت مطلوب عنصر غذایی (بهینه) در برگ چغندر قند است. در این روش برای هر عنصر غذایی یک شاخص DOP محاسبه می‌شود که به صورت اعداد مثبت، منفی یا صفر مشخص می‌گردد که به ترتیب نشان‌دهنده زیاد بودن، کمبود یا غلظت مناسب عنصر غذایی در گیاه (حالت تعادل) است. در این روش، منفی‌ترین شاخص به‌عنوان عامل محدودکننده در تغذیه گیاه شناخته می‌شود و ترتیب نیاز از شاخص منفی به مثبت خواهد بود (Montanes *et al.*, 1993). همچنین با محاسبه مجموع قدر مطلق شاخص‌های انحراف از درصد بهینه، می‌توان شدت خروج از حالت تعادل را ارزیابی کرد. در این حالت عدد صفر نشان‌دهنده حالت تعادل و هرچه عدد بزرگ‌تر باشد، نشان‌دهنده انحراف بیشتر از حالت تعادل است (Montanes *et al.*, 1993). شاخص تعادل تغذیه‌ای (ΣDOP) از مجموع شاخص‌های DOP بدون در نظر گرفتن علامت آن‌ها به‌دست می‌آید. این شاخص معیاری برای ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای گیاه است. در این شاخص تعادل تغذیه‌ای هرچه مجموع قدر مطلق شاخص‌ها DOP بیشتر شود، عدم تعادل تغذیه‌ای بیشتر خواهد شد (Montanes *et al.*, 1993):

$$\Sigma DOP = |IA| + |IB| + |IC| + \dots + |IN| \quad (3)$$

IA, IB, IC, ..., IN به ترتیب شاخص عناصر غذایی مختلف می‌باشند.

عصاره، از روش هضم تر استفاده شد. مقدار ۰/۵ گرم از نمونه آسیاب شده، با ۳/۸ میلی‌لیتر محلول مخلوط (سولفوریک اسید، سالیسیلیک اسید و آب اکسیژنه) کاملاً مخلوط شد و روی اجاق الکتریکی ابتدا در دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس حرارت داده شد. بعد از خنک شدن و افزودن ۵ قطره آب اکسیژنه دو بار تا ۲۸۰ درجه سلسیوس حرارت داده شد. نیتروژن کل به روش کج‌دال (Buresh *et al.*, 1982)، فسفر به روش طیف‌سنجی (روش زرد مولیبدات و نادات) با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر، پتاسیم با دستگاه فلیم فتومتر، گوگرد به روش کدوری‌سنجی با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۱۰ نانومتر، منیزیم، آهن، روی، منگنز و مس کل به روش خشک‌سوزانی (دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۶ ساعت و عصاره‌گیری با هیدروکلریک اسید ۲ مولار) با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شدند (Ryan *et al.*, 2001). بور نیز به روش آزومتین-اچ با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۲۰ نانومتر قرائت شد (Jones, 2001). حدود کفایت عنصر فسفر ۰/۵۱-۰/۲۵، پتاسیم ۴/۵۱-۳، منیزیم ۱/۰۱-۰/۳ درصد و برای آهن ۵۰-۲۰۱، روی ۲۰-۲۰۱، منگنز ۵-۲۵۱ و بور ۸۶-۳۰ میلی گرم بر کیلوگرم برگ چغندر قند گزارش شده‌است (Pennsylvania State University, 1989).

به منظور تعیین شاخص DOP در زمان برداشت محصول (از اواسط مهرماه تا پایان آبان‌ماه)، با بازدید از هر مزرعه، عملکردها ثبت و مزارع به دو گروه با عملکرد بالا و پایین تقسیم شدند. مزارع با عملکرد بالا به‌عنوان مرجع برای تعیین اعداد مرجع مورد استفاده قرار گرفتند. برای تقسیم مزارع به دو گروه، از میانگین عملکرد و انحراف معیار استفاده شد (Sharma *et al.*, 2005).

(۱)

(SD + میانگین عملکرد) $\geq$ مزارع با عملکرد بالا

نتایج و بحث

کمی از مزارع کمبود پتاسیم و مس مشاهده شد. در تمام ویژگی‌های مورد بررسی اختلاف زیادی بین مزارع وجود داشت که انحراف استاندارد بالا در جدول ۱، نشان دهنده این موضوع است. در مجموع، وسیع‌ترین کمبود در بین عناصر غذایی مربوط به کمبود آهن بود و بعد از آن عناصر فسفر، منگنز، روی، مس و پتاسیم قرار داشتند.

نتایج تجزیه خاک‌های مزارع انتخابی نشان داد که از نظر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها دارای طیف وسیعی از خصوصیات بودند (جدول ۱). مزارع عمدتاً از نظر کربن آلی زیر ۱/۶۶ درصد بودند. در بسیاری از مزارع فسفر، آهن، روی و تا حدودی منگنز در مقایسه با سطح بحرانی عناصر غذایی در خاک، جزو کمبودهای شاخص بود، ولی در تعداد

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک‌های مزارع چغندر قند در استان خراسان رضوی (۶۱ مزرعه)

Table 1. Soil analysis results of sugar beet fields in Khorasan Razavi province, Iran (61 fields)

Variable	unit	Min	Max	Mean	SD	Abundance less than critical (%)	Abundance more than critical (%)
pH		7.5	8.2	7.9	0.11	-	-
EC	dS.m ⁻¹	0.6	11.1	2.5	0.21	-	-
CaCO ₃	%	6.1	37	19.7	6.4	-	-
OC	%	0.18	1.66	0.81	0.41	-	-
Available P	mg.kg ⁻¹	3.6	56.4	14.6	10.8	67	33
Available K	mg.kg ⁻¹	67	780	276	139.7	52.5	47.5
Available Fe	mg.kg ⁻¹	0.46	13.6	3.16	3.10	82	18
Available Mn	mg.kg ⁻¹	1.9	70.4	8.6	7.1	62	38
Available Zn	mg.kg ⁻¹	0.26	6.2	1.06	0.01	59	41
Available Cu	mg.kg ⁻¹	0.28	3	1.1	0.64	53	47

جدول ۲- نتایج تجزیه خاک‌های مزارع با عملکرد بالا چغندر قند در استان خراسان رضوی (۱۳ مزرعه)

Table 2. Soil analysis results of sugar beet fields in Khorasan Razavi province (13 fields)

Variable	unit	Min	Max	Mean	SD	Abundance less than critical (%)	Abundance more than critical (%)
pH		7.6	8.2	7.6	0.18	-	-
EC	dS.m ⁻¹	0.7	5.5	2.4	1.6	-	-
CaCO ₃	%	12.7	35	21.8	6.7	-	-
OC	%	0.37	0.66	1.03	0.5	100	-
Available P	mg.kg ⁻¹	4.4	56.4	23.4	18.2	61.5	38.5
Available K	mg.kg ⁻¹	133	656	339	175.2	38.5	61.5
Available Fe	mg.kg ⁻¹	0.5	13.6	3.3	3.7	84.5	15.5
Available Mn	mg.kg ⁻¹	1.9	29.6	6.6	12.1	69	31
Available Zn	mg.kg ⁻¹	0.5	2.2	1.1	0.09	31	69
Available Cu	mg.kg ⁻¹	0.4	2.8	1.1	0.7	0.46	0.54

کربن آلی خاک بین مقادیر ۰/۱۸ تا ۱/۶۶ درصد در نوسان بود که نشان دهنده آن است که مزارع به مصرف نیتروژن برای رشد نیازمند بودند. مقدار آهک بین مقادیر ۶/۱ الی ۳۷ درصد متغیر و فسفر قابل جذب خاک بین مقادیر ۳/۶

برخی از مزارع مشکل شوری داشتند و هدایت الکتریکی در سطح خاک‌ها بین مقادیر ۰/۶ تا ۱۱/۱ دسی زیمنس بر متر متغیر بود. واکنش شیمیایی یا pH خاک بین ۷/۵ الی ۸/۲ در نوسان بوده و در محدوده کمی قلیایی قرار داشت.

الی ۵۶/۴ میلی گرم در کیلوگرم خاک متغیر بود. نتایج نشان داد ۶۷ درصد مزارع بررسی شده دارای فسفر قابل جذب کمتر از ۱۵ میلی گرم بر کیلوگرم بودند. پتاسیم قابل جذب مزارع انتخابی بین مقادیر ۶۷ الی ۷۸۰ میلی گرم بر کیلوگرم در نوسان بود.

سطح بحرانی پتاسیم قابل جذب خاک برای اغلب گیاهان زراعی آبی ۲۵۰ میلی گرم در کیلوگرم تعیین شده است (Malakooti & Ghaibi, 1997). نتایج آزمایشگاهی بیانگر بهینه بودن غلظت پتاسیم قابل جذب خاک در بیش از ۴۸/۵ درصد خاک‌های مورد ارزیابی و ۵۲/۵ درصد مزارع دارای پتاسیم کمتر از حد بهینه بودند. غلظت آهن قابل جذب در عمق ۰-۳۰ سانتی متری خاک در اراضی تحت کشت در محدوده ۰/۴۶ الی ۱۳/۶ میلی گرم بر کیلوگرم خاک متغیر بود. با توجه به سطح بحرانی ۵-۶ میلی گرم در کیلوگرم آهن در خاک (Malakooti & Ghaibi, 1997)، ۸۲ درصد مزارع بررسی شده دچار کمبود آهن قابل جذب بودند.

حداقل و حداکثر منگنز قابل جذب خاک‌ها در محدوده ۱/۹ الی ۷۰/۴ میلی گرم بر کیلوگرم خاک قرار داشت و با توجه به سطح بحرانی ۶ میلی گرم در کیلوگرم منگنز در خاک (Malakooti & Ghaibi, 1997)، حدود ۳۸ درصد خاک‌های مورد آزمایش مقدار منگنز قابل جذب آن‌ها در حد مطلوب بود، ولی ۶۲ درصد خاک‌ها دارای منگنز کمتر از ۶ میلی گرم بر کیلوگرم منگنز قابل جذب بودند که بیانگر کمبود نسبی منگنز در حدود دوسوم اراضی تحت کشت چغندر قند بود (جدول ۱). همانطور که در جدول ۱، قابل

مشاهده است غلظت روی در خاک مزارع بین مقادیر ۰/۲۶ الی ۶/۲۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک در نوسان بود. سطح بحرانی روی براساس روش DTPA در خاک ۱ میلی گرم در کیلوگرم تعیین شده است (Shahbazi & Besharati, 2013). نتایج نشان داد حدود ۵۹ درصد خاک‌های مورد بررسی دچار کمبود شدید روی قابل جذب بودند. همچنین، نتایج نشان داد ۵۳ درصد مزارع کمبود مس وجود دارد. سطح بحرانی مس در خاک ۱ میلی گرم در کیلوگرم تعیین شده است (Malakooti & Ghaibi, 1997; Shahbazi & Besharati, 2013).

روش انحراف از درصد بهینه (DOP)

اعداد مرجع و شاخص‌های انحراف از درصد بهینه برای تعیین اعداد مرجع و شاخص‌های DOP، کل جامعه مورد مطالعه براساس روش شرما و همکاران (Sharma et al., 2005) به دو گروه عملکرد کم و زیاد تقسیم شدند. از ۶۱ مزرعه مورد مطالعه، ۱۳ مزرعه در گروه با عملکرد بالا و ۴۸ مزرعه در گروه با عملکرد پایین قرار گرفتند (جدول ۲).

میانگین عملکرد در کل مزارع ۵۸/۵ تن بر هکتار و انحراف معیار ۲۰/۶۱ محاسبه گردید. میانگین عملکرد در مزارع با عملکرد بالا ۸۵/۲ تن در هکتار و در جامعه با عملکرد پایین ۵۱/۷ تن بر هکتار بود که اختلاف بین عملکرد این جوامع از لحاظ آماری معنی دار بود ($P \leq 0/05$).

نتایج تجزیه واریانس و محاسبات آماری عناصر غذایی برگ چغندر قند در مزارع با عملکرد بالا و پایین به ترتیب در جدول‌های ۳ و ۴ آورده شده است.

جدول ۳- میانگین، انحراف استاندارد، حداقل، حداکثر و ضریب تغییرات غلظت عناصر غذایی در برگ چغندر قند در جامعه با

عملکرد بالا در استان خراسان رضوی

Table 3. Summary statistics of sugar beet yield and leaf nutrient concentration data for high-yielding fields in Khorasan Razavi province

Variable	Unit	Min	Max	Mean	SD	CV (%)
Root Yield	Mg.ha ⁻¹	80	96	85.2	6.12	10.41
N	%	3.22	5.34	4.28	0.73	17.02
P	%	0.18	0.52	0.26	0.08	26.9
K	%	1.61	3.95	2.54	0.81	28.52
Fe	mg.kg ⁻¹	51	290	161	80.8	49.84
Mn	mg.kg ⁻¹	54	205	114.2	50.34	44.1
Zn	mg.kg ⁻¹	14	34	23	6.06	26.33
Cu	mg.kg ⁻¹	4	15	10.7	3.09	28.91
B	mg.kg ⁻¹	31	101	60.9	23.85	32.94

جدول ۴- میانگین، انحراف استاندارد، کمینه، بیشینه و ضریب تغییرات غلظت عناصر غذایی برگ چغندر قند در جامعه با عملکرد پایین

در استان خراسان رضوی

Table 4. Summary statistics of sugar beet yield and leaf nutrient concentration data for low-yielding fields in Khorasan Razavi province

Variable	Unit	Min	Max	Mean	SD	CV (%)
Root Yield	Mg.ha ⁻¹	15	78	51.7	17.07	33.03
N	%	3.08	5.81	4.38	0.7	15.89
P	%	0.1	0.52	0.31	0.08	31.58
K	%	0.91	5.44	2.84	1.07	42.27
Fe	mg.kg ⁻¹	25	410	192	99.42	51.78
Mn	mg.kg ⁻¹	30	310	114.6	54.81	47.03
Zn	mg.kg ⁻¹	5	189	28.1	26.68	94.6
Cu	mg.kg ⁻¹	4	18	11.2	3.26	29.08
B	mg.kg ⁻¹	26	141	72.4	25.41	41.72

مثل مدیریت کودی، آبیاری و ... تحت تاثیر قرار گیرند که البته با توجه به وسعت کم منطقه و یکنواختی نسبی عوامل کیفی خاک و اقلیم احتمالاً نقش عوامل مدیریتی بیشتر بوده است. برای محاسبه اعداد مرجع DOP، میانگین غلظت عناصر غذایی در جامعه گیاهی با عملکرد بالا محاسبه و به عنوان مبنای مقایسه مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۵). سپس شاخص‌های DOP در مزارع پایین با استفاده از اعداد مرجع محاسبه شد.

بررسی نتایج ضریب تغییرات غلظت عناصر در مزارع با عملکرد نسبی پائین نشان داد، پتاسیم، آهن، منگنز، روی و بور دارای تغییرات نسبتاً زیاد بودند. بر اساس روش طبقه بندی ویلدینگ^۱ (Wilding, 1985)، خصوصیات با ضریب تغییرات (C.V)، بیش از ۳۵ درصد، دارای تغییر پذیری زیاد می‌باشند. به عبارت دیگر، شدت تغییرات این عناصر می‌تواند بر اثر دو دسته عامل شامل عوامل ذاتی مثل نوع خاک (رده)، کیفیت خاک و آب، اقلیم و یا عوامل مدیریتی

جدول ۵- اعداد مرجع DOP در مزارع با عملکرد بالا چغندر قند در استان خراسان رضوی

Table 5. DOP norms in high-yielding sugar beet fields in Khorasan Razavi province

B	Cu	Zn	Mn	Fe	K	P	N	nutrient
mg.kg ⁻¹					%			
72.4	10.7	23	114.2	161	2.84	0.31	4.28	Norm

¹ -Wilding

با استفاده از این اعداد مرجع، شاخص‌های DOP در ۴۸ مزرعه با عملکرد پایین محاسبه شدند که در جدول ۶ نشان داده شده است. از لحاظ میانگین شاخص‌های روش DOP ترتیب نیاز غذایی برای عناصر غذایی پرمصرف به صورت $P > K > N$ و برای عناصر کم مصرف به صورت $B > Mn > Zn > Cu > Fe$ برای مزارع با عملکرد پایین به دست آمد (جدول ۶). این نتایج تا حدودی مغایر با نتایج قادری و همکاران (Ghaderi et al., 2023) در استان کرمانشاه (ترتیب نیاز غذایی برای عناصر غذایی پرمصرف به صورت $Mg > P > N > K > S$) برای چغندر قند بود. در بین عناصر پرمصرف، عناصر فسفر و پتاسیم به ترتیب در ۷۵ و ۷۱ درصد از مزارع منفی‌ترین شاخص و عنصر نیتروژن در ۶۳ درصد از مزارع مورد بررسی مثبت‌ترین شاخص را دارا بودند. به عبارت دیگر، عنصر فسفر، بیشترین کمبود را به خود اختصاص داد. به دلیل وجود شرایط آهکی، فسفر با کلسیم به صورت فلوئورآپاتیت و هیدروکسی آپاتیت رسوب می‌کند (Bertrand et al., 2003).

بعد از فسفر، با توجه به آهکی بودن و تخلیه خاک‌ها از پتاسیم به علت عدم رعایت تناوب زراعی مناسب و کشت‌های مداوم، خاک‌های منطقه عمدتاً با کمبود پتاسیم مواجه است. با توجه به نقش نیتروژن در رشد رویشی، گلدی و تشکیل و درشت شدن غده، می‌توان گفت که در خاک‌های منطقه، معمولاً ماندگاری مواد آلی خاک به سبب تجزیه سریع کم و در نتیجه خاک‌های منطقه عمدتاً دارای مواد آلی پایین می‌باشند (جدول ۱). چون بخشی از نیتروژن مورد نیاز گیاه از طریق مواد آلی خاک تأمین می‌شود، ممکن است نیتروژن برای مدت زمان کمتری در دسترس محصول باشد. بنابراین، برنامه مدیریتی خاک و زراعتی می‌تواند مقدار ماده آلی خاک را افزایش دهد و قابلیت استفاده نیتروژن را در چغندر قند تغییر دهد. در بین عناصر کم مصرف شاخص بور در ۶۹ درصد از مزارع

منفی بودند. در بیش از ۶۹ درصد از خاک‌های منطقه کمبود بور وجود داشت، لذا باید به مصرف آن در مزارع چغندر قند اولویت داده شود. بعد از بور، منگنز دومین عنصر کم‌مصرف بود که در ۵۸ درصد مزارع کمبود آن مشاهده و شاخص آن منفی شد. روی سومین عنصر کم‌مصرف بود که در ۵۴ درصد مزارع کمبود آن مشاهده گردید. روی در واکنش‌های آنزیمی مختلفی نقش دارد و کاربرد کودهای بر پایه روی می‌تواند در بهبود کمی و کیفی محصول تأثیرگذار باشد (Marschner, 1995). کمبود روی در اکثر خاک‌های کشاورزی ایران به دلایل متعددی از جمله آهکی بودن، pH بالا، بی‌کربنات فراوان در آب‌های آبیاری عمومیت دارد (Malakooti & Ghaibi, 1997). کمبود مس در ۴۶ درصد مزارع مورد آزمایش مشاهده و شاخص آن منفی شد. با توجه به آهکی بودن و pH بالای اکثر خاک‌های منطقه و کمبود مواد آلی در این خاک‌ها، کمبود آهن امر شناخته شده‌ای است. البته، عوامل دیگری همانند آبیاری سنگین و به دنبال آن تولید بی‌کربنات، عدم تهویه مناسب و به خصوص عدم رعایت مصرف بهینه کود و آب نیز در بروز کمبود آهن تأثیرگذار هستند (Marschner, 1995). بر اساس نتایج بدست آمده حدود ۴۲ درصد مزارع مورد آزمایش، دارای کمبود آهن بودند. قادری و همکاران (Ghaderi et al., 2025) با به‌کارگیری روش DOP در ارزیابی وضعیت تغذیه گیاه چغندر قند در استان سمنان (شهرستان شاهرود) گزارش کردند که کمبود آهن با سهم ۵۸ درصد و منگنز با ۵۶ درصد، بیشترین شدت را در مزارع کم بازده نسبت به سطوح بحرانی خاک سمنان داشتند. پس از آن، عناصر مس (۵۴ درصد)، روی (۵۲ درصد) و بور (۴۲ درصد) نیز به‌عنوان عناصر کم مصرف با کمبود قابل توجه مطرح شدند. مطالعه‌ای دیگر در استان کرمانشاه نیز نشان داد که ترتیب شدت کمبود عناصر کم‌مصرف در مزارع با عملکرد

پایین به صورت آهن، روی و به دنبال آن منگنز، بور و در نهایت مس بوده است ($\text{Fe}=\text{Zn} > \text{Mn} > \text{B} > \text{Cu}$) (Ghaderi *et al.*, 2023). با توجه به اینکه در هر منطقه شدت کمبود عناصر مختلف متفاوت است (مثلاً اولویت دادن به کودهای بور در خراسان رضوی و به آهن یا منگنز در سمنان و کرمانشاه)، مدیریت مصرف کود باید به صورت هدفمند و بر پایه اطلاعات علمی و محلی صورت گیرد تا هم هزینه‌ها بهینه شود و هم اثرگذاری تغذیه‌ای حداکثر گردد.

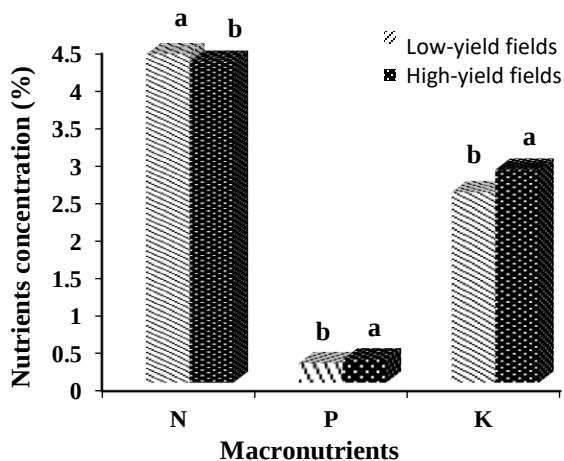
جدول ۶- عملکرد، شاخص‌های DOP و اولویت نیاز عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف در مزارع چغندر قند با عملکرد پایین

Table 6- Yield, DOP indices and priority of nutrient requirements for low-yielding sugar beet fields.

Yield	Indices								Priority of nutrient requirements	ΣDOP
	N	P	K	Fe	Mn	Zn	Cu	B		
78	4.21	2.72	-43.4	5.59	-30.82	-17.39	-6.45	18.78	K>Mn>Zn>Cu>P>N>Fe>B	129.36
77	2.57	-9.68	-37.26	60.87	22.59	-13.04	12.25	-11.6	K>Zn>B>P>N>Cu>Mn>Fe	169.86
77	3.5	4.24	-10.92	29.81	53.24	4.35	2.9	-15.75	B>K>Cu>N>P>Zn>Fe>Mn	124.71
75	-3.88	-16.13	-30.59	54.04	28.72	52.17	30.96	24.31	K>P>N>B>Mn>Cu>Zn>Fe	240.8
75	-24.30	-50.59	-3.87	91.93	-27.32	43.48	-15.81	-43.47	P>B>Mn>N>Cu>K>Zn>Fe	300.77
72	8.57	-3.23	-58.97	6.21	-15.06	-4.35	-15.81	-21.27	K>B>Cu>Mn>Zn>P>Fe>N	133.47
72	4.91	-17.32	-10.21	-61.49	-54.47	-17.39	-40.32	16.02	Fe>Mn>Zn>P>K>N>B>Cu	222.13
70	17.94	16.13	14.89	42.24	37.48	21.74	21.61	-47.51	B>K>P>N>Cu>Zn>Mn>Fe	219.54
70	-12.38	-54.5	-10.92	154.66	-57.97	-13.04	30.96	-39.23	Mn>P>B>Zn>N>K>Cu>Fe	373.66
70	7.24	-26.66	42.01	-77.64	-69.35	-78.26	-43.78	-64.09	Zn>Fe>Mn>B>Cu>P>N>K	409.03
68	16.82	-29.54	-47.56	-37.89	-44.83	-30.43	40.32	22.93	K>Mn>Fe>Zn>P>N>B>Cu	270.32
67	9.44	-25.81	91.42	-75.16	-73.73	-78.26	2.9	-58.56	Zn>Fe>Mn>B>P>Cu>N>K	415.28
66	-25.33	-32.77	-46.48	14.91	-6.3	-17.39	-34.52	-22.65	K>Cu>P>N>B>Zn>Mn>Fe	200.35
65	-17.29	-24.11	-3.98	119.88	71.63	52.17	12.25	65.75	P>N>K>Cu>Zn>B>Mn>Fe	367.06
61	11.87	-35.48	-20.76	92.55	61.12	-13.04	2.9	17.4	P>K>Zn>Cu>N>B>Mn>Fe	255.12
61	11.54	61.29	5.63	-41.61	-9.81	-13.04	-25.16	-35.08	Fe>B>Cu>Zn>Mn>K>N>P	203.16
60	15.47	9.68	-7.39	115.53	27.85	-17.39	21.61	-58.56	B>Zn>K>P>N>Cu>Mn>Fe	273.48
60	-22.43	-22.43	-30.63	63.98	-3.68	247.83	40.32	-35.08	B>K>N>P>Mn>Cu>Fe>Zn	466.38
55	35.75	17.15	-24.06	-15.53	26.09	-34.78	12.25	38.12	Zn>K>Fe>Cu>P>Mn>N>P	203.73
55	-4.67	-20.71	2.87	-29.19	-12.43	17.39	12.25	13.26	Fe>P>Mn>N>K>Cu>B>Zn	112.77
55	9.91	6.45	-54.68	-25.47	-50.96	-8.7	40.32	94.75	K>Mn>Fe>Zn>P>N>Cu>B	291.24
55	8.2	6.45	-33.8	55.28	-38.7	21.74	49.67	-30.94	Mn>K>B>N>P>Zn>Cu>Fe	244.78
55	-0.75	-22.58	15.14	27.95	-32.57	47.83	-62.58	-26.8	Cu>Mn>B>P>N>K>Fe>Zn	236.2
54	20.12	-3.23	26.41	-40.37	41.86	-39.13	-6.45	-37.85	Fe>Zn>B>Cu>P>N>K>Mn	215.42
53	-22.9	-28.69	-30.63	42.24	36.6	-30.43	68.38	-39.23	B>K>Zn>P>N>Mn>Fe>Cu	299.1
52	14.74	25.81	42.19	142.24	10.33	78.26	30.96	-37.85	B>Mn>N>P>Cu>K>Zn>Fe	382.38
52	-28.04	-42.11	-30.63	37.33	-11.56	30.43	-25.16	-10.22	P>K>N>Cu>Mn>B>Fe>Zn	215.48
50	-18.88	-25.81	-3.98	-0.62	-42.21	721.74	12.25	27.07	Mn>P>N>K>Fe>Cu>B>Zn	852.56
50	17.8	6.45	-27.46	60.87	-64.97	4.35	-6.45	-55.8	Mn>B>K>Cu>Zn>P>N>Fe	244.15
48	9.35	-46.52	-15.85	-42.24	8.58	-13.04	-34.52	-26.8	P>Fe>Cu>B>K>Zn>Mn>N	196.9
48	-13.79	-10.7	56.85	-49.07	-34.33	-65.22	12.25	-40.61	Zn>Fe>B>Mn>N>P>Cu>K	282.82
45	21.31	0.00	14.89	86.34	-20.32	0.00	-25.16	-41.99	B>Cu>Mn>P>Zn>K>N>Fe	210.01

ادامه جدول ۶.

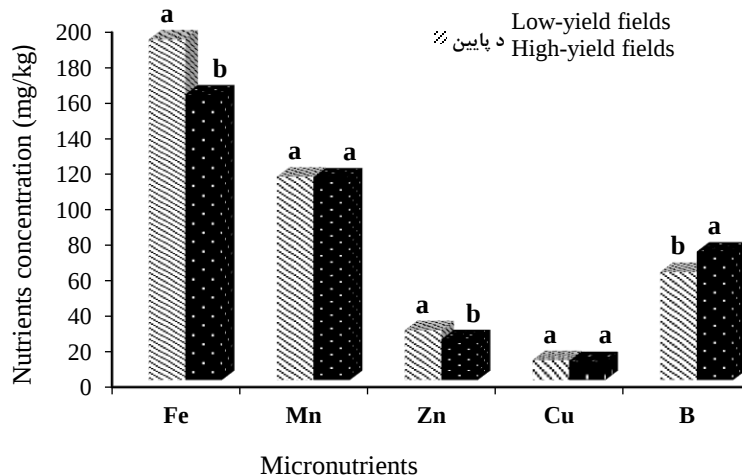
Yield	Indices								Priority of nutrient requirements	ΣDOP
	N	P	K	Fe	Mn	Zn	Cu	B		
45	0.72	-35.48	-27.46	-24.84	-11.56	4.35	49.67	-61.33	B>P>K>Fe>Mn>N>Zn>Cu	215.41
44	21.03	-24.96	-65.14	32.92	47.11	-26.09	-25.16	-10.22	K>Zn>Cu>P>B>N>Fe>Mn	252.63
43	-18.15	-35.48	75.85	-84.47	-42.21	-26.09	-34.52	-50.28	Fe>B>Mn>P>Cu>Zn>N>K	367.05
41	1.73	-22.58	-67.96	84.47	75.13	-43.38	-6.45	-19.89	K>Mn>P>B>Cu>N>Mn>Fe	321.59
40	4.21	-18.00	-50.35	104.97	-4.55	-34.87	-43.87	-1.93	K>Cu>Zn>P>Mn>B>N>Fe	262.75
38	-27.73	-49.41	-40.23	13.04	5.08	147.83	-25.16	21.55	P>K>Cu>N>Mn>Fe>B>Zn	330.03
36	18.9	-12.9	-49.69	-12.42	-29.95	60.87	12.25	13.26	K>Mn>P>Fe>Cu>B>N>Zn	210.24
34	-8.41	-37.9	-8.10	-68.32	-22.94	13.04	-25.16	-30.94	Fe>P>B>Cu>Mn>N>K>Zn	214.81
30	16.82	68.1	79.72	-44.10	117.16	-17.39	68.38	6.35	Fe>Zn>B>N>P>Cu>K>Mn	418.02
30	15.42	-11.9	42.19	98.76	-1.93	52.17	40.32	-46.13	B>P>Mn>N>Cu>K>Mn>Fe	308.82
30	-0.23	-10.00	-30.59	38.51	0.70	78.26	21.61	38.12	K>N>P>Mn>Cu>B>Fe>Zn	218.02
28	10.7	-16.1	14.89	52.8	23.47	-4.35	12.25	-61.33	B>P>Zn>N>Cu>K>Mn>Fe	195.89
20	35.79	-12.9	-43.31	38.51	-20.32	-17.39	30.96	-43.37	B>K>Mn>Zn>P>Cu>N>Fe	242.55
18	-23.60	-52.6	-11.97	-32.92	-41.33	17.39	-6.45	-30.94	P>Mn>Fe>B>N>K>Cu>Zn	217.2
18	-13.53	-45.2	-49.69	-19.25	26.09	26.09	-15.81	9.12	K>P>Fe>Cu>N>B>Mn=Zn	204.78
15	14.04	-67.6	-0.35	-58.39	171.45	-13.04	-25.16	-29.56	P>Fe>B>Cu>Zn>K>N>Mn	379.59
Mean of DOP Indices										
51.69	104.33	-777.14	-503.92	927.44	16.1	1056.5	142.84	-760.1	P>B>K>Mn>N>Cu>Fe>Zn	273.36
Nutrient Deficiency Based on Abundance										
	N	P	K	Fe	Mn	Zn	Cu	B		
	37.50	75.00	70.83	41.67	58.33	54.17	45.83	68.75	P>K>B>Mn>Zn>Cu>Fe>N	



شکل ۱- مقایسه میانگین مزارع با عملکرد بالا و پایین برای عناصر غذایی پر مصرف در برگ چغندر قند در استان خراسان رضوی

Figure 1. Mean comparison of macronutrients concentration in the leaves of sugar beet in the low and high yielding fields in Khorasan Razavi province

همانگونه که در شکل ۱ مشخص است غلظت عناصر غذایی پرمصرف فسفر و پتاسیم در مزارع با عملکرد پایین کمتر از مزارع با عملکرد بالا و برای عنصر نیتروژن وضعیت کاملاً برعکس بود. غلظت عناصر آهن و روی در مزارع با عملکرد پایین بیشتر از مزارع با عملکرد بالا، ولی در مورد عنصر بور برعکس بود (شکل ۲). تفاوت غلظت عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی و بور در بین مزارع با عملکرد بالا و پایین در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. در حالی که، تفاوت غلظت بین عناصر منگنز و مس در بین مزارع با عملکرد بالا و پایین مشاهده نشد و اختلاف معنی داری وجود نداشت.

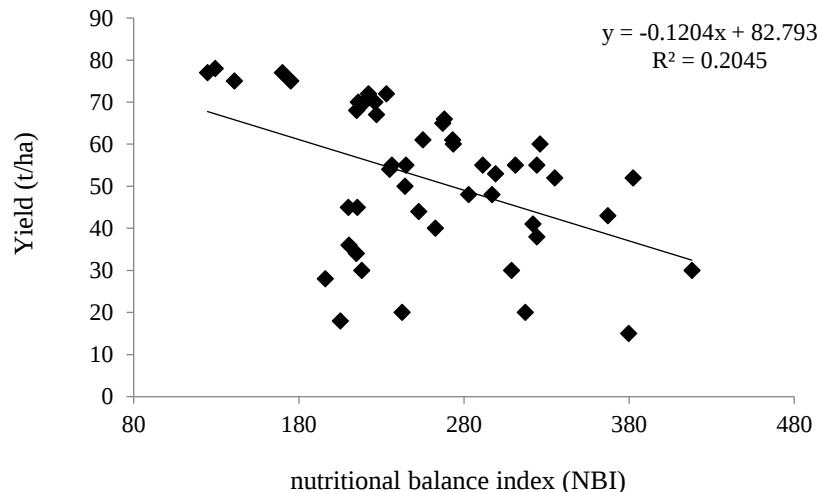


شکل ۲- مقایسه میانگین مزارع با عملکرد بالا و پایین برای عناصر غذایی کم مصرف در برگ چغندر قند در استان خراسان رضوی
Figure 2. Mean comparison of micronutrients concentration in the leaves of sugar beet in the low and high yielding fields in Khorasan Razavi province

شاخص تعادل تغذیه‌ای DOP

شاخص تعادل غذایی (NBI) یا ΣDOP برای مزارع چغندر قند برای این استان محاسبه و نشان‌دهنده عدم تعادل نسبی بین عناصر غذایی جذب شده توسط این گیاه بود که مطابق با نتایج قریشی و همکاران (Ghoreyshi *et al.*, 2024) است. ΣDOP برآورد شده در کلیه مزارع با عملکرد پایین در محدوده ۱۱۲/۸ الی ۸۵۲/۶ به دست آمد که حاکی از عدم تعادل تغذیه شدید بین عناصر غذایی جذب شده است. این احتمالاً به وضعیت به مدیریت نامناسب آبیاری و کوددهی در این مزارع اشاره دارد. با توجه به شکل ۳، رابطه معکوس بین شاخص تعادل غذایی و عملکرد چغندر قند در

استان خراسان رضوی وجود داشت. با افزایش مقدار شاخص تعادل غذایی (ΣDOP)، عملکرد چغندر قند کاهش می‌یابد. که به صورت یک روند نزولی در نمودار قابل مشاهده است (شکل ۳). به عبارت دیگر، مزارعی که تعادل تغذیه‌ای بهتری دارند (ΣDOP پایین‌تر)، عملکرد بالاتری نشان می‌دهند. برخی مزارع با ΣDOP بسیار بالا (مثلاً بالای ۴۰۰) عملکرد بسیار پایینی داشتند (زیر ۳۰ تن در هکتار). این موارد احتمالاً به دلیل کمبودهای شدید عناصر کلیدی مانند فسفر، پتاسیم، یا بور و همچنین سمیت احتمالی برخی عناصر (مانند آهن یا روی) است.



شکل ۳- رابطه بین شاخص تعادل غذایی و عملکرد چغندر قند در استان خراسان رضوی
Figure 3. Relationship between sugar beet yield and nutritional balance index (NBI)

نتیجه گیری

در مزارع با عملکرد پایین بودند. شاخص تعادل غذایی (NBI) برای مزارع چغندر قند در این استان نشان‌دهنده عدم تعادل تغذیه‌ای شدید است. این وضعیت به مدیریت نامناسب کوددهی در این مزارع اشاره دارد. بنابراین، برای افزایش عملکرد در استان خراسان رضوی، باید توجه ویژه‌ای به مصرف کودهای فسفاته و پتاسه و کودهای ریزمغذی حاوی عناصر بور، منگنز و روی شود.

روش DOP در مزارع این استان توانست برای ارزیابی وضعیت عناصر غذایی، تشخیص اختلالات تغذیه‌ای و بهبود توصیه‌های کودی مناسب باشد. در روش DOP بین عناصر غذایی پرمصرف در چغندر قند، فسفر و پتاسیم و در بین عناصر کم مصرف بور، منگنز و روی دارای بیشترین کمبود

References

- Anonymous. (2022). Statistical year book of agriculture. Center for Statistics, Information Technology and Communications, Deputy of Economic Planning, Ministry of Agriculture-Jihad, Tehran, Iran. (In Persian).
- Anonymous. (2023). Statistical year book of agriculture. Center for Statistics, Information Technology and Communications, Deputy of Economic Planning, Ministry of Agriculture-Jihad, Tehran, Iran. (In Persian).
- Askegaard, M., Hansen, H. C., & Schjorring, J. K. (2005). A cation exchange resin method for measuring long-term potassium release rates from soil. *Plant and Soil*, 271(1-2), 63-74.
- Bahar, A., Karam, A., & Makhdoom, U. (2020). Nutritional management of sugar beet: An integrated approach. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 183(4), 443-455.
- Bertrand, I., Holloway, R. E., Armstrong, R. D., & McLaughlin, M. J. (2003). Chemical characteristics of phosphorus in alkaline soils from southern Australia. *Australian Journal of Soil Research*, 41, 61-76.
- Black, C. A., Evans, D. D., & Dinauer, R. C. (1965). *Methods of Soil Analysis*. American Society of Agronomy.
- Buresh, R. J., Austin, E. R., & Craswell, E. T. (1982). Analytical methods in N-15 research. *Fertilizer Research*, 3(1), 37-62.
- da Silva, A. G., Ribeiro, V. Q., & Costa, K. M. (2020). Evaluating nutrient balance in sugarcane: A case study. *Brazilian Journal of Agricultural Research*, 55(2), 200-210.

- Dovlati, B., Oustan, S. H., & Samadi, A. (2008). Forms of potassium and Q/I relationship for sunflower growing soils in Khoy region. *Journal of Agricultural Science and Technology and Natural Resources*, 12(46), 623-636. (In Persian)
- Fox, R. L., Alson, R. A., & Rhoades, H. F. (1964). Evaluating the sulfur status of soils by plants and soil tests. *Soil Science Society of America*, 21(3), 287-292.
- Francis, J., Perera, J., & Carrillo, D. (2022). Assessing nutritional status in sugarcane: The role of DOP. *Journal of Soil and Water Research*, 17(3), 123-135.
- Ghaderi, J., Tehrani, M. M., Hamed, F., & Heydari, K. (2023). Evaluation of nutritional balance in sugar beet fields through deviation from optimum percentage (DOP) and compositional nutrient diagnosis (CND) methods. *Iranian Journal of Soil Research*, 37(2), 95-115. (In Persian)
- Ghaderi, J., Fatehi, S., Akhyani, A., & Khalkhal, K. (2025). Evaluation of nutritional status of sugar beet plant by deviation from optimum percentage (DOP) method in Semnan province (Shahrud): Results of a two-year study. *Journal of Soil and Plant Science*, 35(1), 15-29. (In Persian)
- Ghoreyshi, S., Sepehr, E., & Sharifmand, M. (2024). Evaluation of Nutritional Status and watermelon by Compositional Nutrient Diagnosis (CND) and its comparison with Deviation from Optimum Percentage (DOP) in west Azarbaijan. *Iranian Journal of Soil Research*. (In Persian)
- Ghoreyshi, S. J., Sepehr, E., & Samadi, A. (2017). Evaluation nutritional status of watermelon (*Citrullus vulgaris*) by deviation from optimum percentage (DOP) method in Poldasht, west Azerbaijan. *Applied Soil Research*, 5(2), 40-51. (In Persian)
- Hanway, J. J. (1952). Soil analysis methods as used in Iowa State College soil testing laboratory. *Iowa Agriculture Experiment Station*, 57, 1-13.
- Jones, J. (2001). *Laboratory Guide for Conducting Soil Test and Plant Analysis*. CRC Press.
- Karimi, A., Zakavi, N., Safirzadeh, S., Noroozi, H., & Ariz, A. (2024). Evaluation of sugarcane nutritional status by deviation from optimum percentage (DOP) method in Khuzestan province. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 55(3), 449-466. (In Persian)
- Laibarra, F., Fernández-Cornejo, J., & Rus, A. (2014). Nutritional balance in crops: Evaluation methods. *Field Crops Research*, 15(15), 1-12
- Lindsay, W. L., & Norvell, W. A. (1978). Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America*, 42(4), 421-428.
- Malakooti, M. J., & Ghaibi, M. N. (1997). Determining the Critical limit of Nutrients for Strategic Crops and Correct Fertilizer Recommendations in the Country. *Agricultural Education Publication*. (In Persian)
- Marschner, H. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants* (2nd ed.). Academic Press.
- McGrath, J. M., & Townsend, B. J. (2015). Sugar beet, energy beet, and industrial beet. In V. M. V. Cruz & D. A. Dierig (Eds.), *Industrial crops: Handbook of plant breeding* (Vol. 9, pp. 81-99). Springer.
- McLean, E. O. (1982). Soil pH and lime requirement. In A. L. Page, R. H. Miller, & D. R. Keeney (Eds.), *Methods of soil analysis, part 2: Chemical and microbiological properties* (pp. 199-224). *Soil Science Society of America*.
- Montanes, L., Heras, L., Abadia, J., & Sanz, M. (1993). Plant analysis interpretation based on a new index: deviation from optimum percentage. *Journal of Plant Nutrition*, 16(9), 1289-1308.
- Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S., & Dean, L. A. (1954). Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. *USDA Circular 939*. US Government Printing Office.
- Page, A. L., Miller, R. H., & Keeney, D. R. (1982). Chemical and microbiological properties. In *Methods of soil analysis, part 2* (2nd ed., pp. 443-444). *American Society of Agronomy*.
- Pereira, B. F., Stoffella, P. J., & Melfi, A. J. (2011). Reclaimed wastewater: Effects on citrus nutrition. *Agricultural Water Management*, 98, 1828-1833.
- Reig, G., Gallego, J., Spruill, C. A., & Ferreira, J. (2018). Nutritional indices for sustainable management of crops. *Crop Management*, 12(4), 45-57.
- Ryan, J. R., Stefan, G., & Rashid, A. (2001). *Soil and Plant Analysis Laboratory Manual* (2nd ed.). *International Center for Agricultural Research in the Dry Areas*.
- Shahbazi, K., & Besharti, H. (2013). Overview of Soil Fertility Status in Iranian Agriculture. *Journal of Land Management*, 1(1), 1-15. (In Persian)

- Sharma, J., Shikhamany, S. D., Singh, R. K., & Raghupathi, H. B. (2005). Diagnosis of nutrient imbalance in Thompson seedless grape grafted on Dog Ridge rootstock by DRIS common. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 36(20), 2823-2838.
- Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1), 29-38.
- Wilding, L. P. (1985). Spatial variability its documentation, accommodation and implication to soil survey. In D. R. Nielsen & J. Bouma (Eds.), *Soil Spatial Variability* (pp. 166-194). Pudoc.