



J Soil Plant Sci, 2025, 35(1): 15–29.

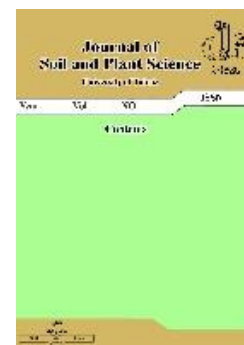
DOI: [10.22034/sps.2025.66086.1001](https://doi.org/10.22034/sps.2025.66086.1001)

Journal of Soil and Plant Science

Online ISSN: 3092-6106

<https://sps.tabrizu.ac.ir>

Research Article



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

Jalal Ghaderi¹✉, Shahrokh Fatehi², Ahmad Akhyani³, Kamal Khalkhal⁴

1-Corresponding Author, Soil and Water Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kermanshah, Iran. E-mail: ghaderijalal@gmail.com

2-Soil and Water Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kermanshah, Iran. E-mail: shahrokh.fathi@gmail.com

3-Soil and Water Research Department, Semnan (Shahrud) Agricultural and Natural Resources Research and Education Centre, AREEO, Shahrud, Iran. E-mail: ahmadakhyani@yahoo.com

4-Soil and Water Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kermanshah, Iran. E-mail: kamalkhalkhal@yahoo.com

Received: February 25, 2025

Revised: March 26, 2025

Accepted: April 18, 2025

Published: April 20, 2025

Extended Abstract

Background and Objectives

Sugar beet plays a key role as one of the important crops in the world's agricultural economy. After wheat and forage corn, sugar beet has the highest agricultural production in Iran. Understanding the nutritional status of plants is essential for enhancing both the quantity and quality of agricultural produce. In some cases, the soil test alone cannot show the problem of nutrient deficiency or nutritional imbalance. In such cases, analyzing plant tissue can provide clear insights into specific deficiencies. Several methods have been developed to determine the nutritional balance using the optimal concentration of nutrients as reference numbers (norms). One of the simple and effective methods for assessing the nutritional status of plants is the Deviation from Optimal Percentage (DOP) method. Various factors such as climatic conditions, variety, and nutrient management influence on the optimal concentration of nutrients. Therefore, for a more accurate understanding of the nutritional status of plants in each region, it is better to use appropriate norms for that region instead of using the optimal concentrations given in the literatures. In other words, the amount of nutrients in the high-yielding community can be used as the optimal limit of these elements in fertilizer recommendations, which is more favorable than those obtained for conditions different from the current ones. The DOP method serves as an essential and effective tool for evaluating the nutritional status of plants by using the ratio of different nutrients concentration compared to the reference concentration (C_{ref}), rather than relying on the absolute concentrations of nutrients. In this approach, the DOP index for each nutrient is calculated as the deviation percentage of its concentration from its optimal level in the plant. Due to its capability to accurately identify nutritional disorders, the DOP method is recognized as an effective tool in managing plant nutrition. This method enables farmers and researchers to assess the nutritional status of plants and determine appropriate fertilization patterns and optimize nutritional compositions. Thus, this research was conducted to evaluate the nutritional status of sugar beet and its optimal management using the DOP method over a two-year period in Semnan Province fields (Shahrud County), Iran.

Materials and Methods

This study was conducted on the sugar beet crop for two years (2018 and 2019) in Shahrud county, Semnan province, Iran. In each year, 30 fields with a range of different soil characteristics were selected. After selecting the fields, prior to planting and fertilizing the sugar beet, a composite soil sample was taken from each field, covering an area of one hectare and a depth of 0-30 cm. The physical and chemical properties of these samples were measured in the laboratory. Following the sugar beet planting in the first and second years, leaf sampling was performed to determine the concentration of nutrients. This sampling occurred approximately 90 to 120 days after planting, taking young, fully developed, and healthy

leaves (between the youngest leaves at the center of the plant and older leaves). The leaf samples were washed with the distilled water, dried in an oven at 70 degrees Celsius for 48 hours, and then ground using an electric mill to measure their nutrients concentration. To determine the DOP index at harvest time (from the mid-October to the end of the November), field visits were conducted to record the yield, and the fields were classified into two groups: high-yield and low-yield. The fields with high-yield were utilized as references for establishing norms (C_{ref}). In this study, the high-yield group in the sugar beet fields was differentiated using the DOP method through mathematical, statistical analysis and the application of cumulative distribution functions.

Results

The results of the soil analysis from the selected fields indicated a wide range of physical and chemical characteristics. The findings in this province revealed that 83.3% and 45% of the soils were deficient in phosphorus and potassium, respectively. Out of the 60 fields studied, 10 were categorized as high-yield and 50 as low-yield. The average yield across all fields was calculated to be 61.1 tons/ha, with a standard deviation of 20.61 tons/ha. The average yield of the high-yield fields was 86.9 tons/ha, while in the low-yield group, it was 39.1 tons/ha. Also, the differences between the yields of these communities were statistically significant ($p \leq 0.05$). Among the macronutrients in sugar beet, nitrogen (N) showed the highest deficiency (56%), followed by potassium (K) (52%) and phosphorus (P) (40%). Among the micronutrients, iron (Fe) (58%) and manganese (Mn) (56%) were the most deficient for the low-yield fields in comparison to their critical levels in the soil, followed by copper (Cu) (54%), zinc (Zn) (52%), and boron (B) (42%). The nutritional Balance Index (NBI) for sugar beet fields in, calculated from the absolute values of the DOP indices indicated a relative imbalance among the nutrients absorbed by this crop. This situation points to inadequate management of irrigation and fertilization in these fields.

Conclusion

The results indicated that one of the main reasons for the low-yield of sugar beet in the studied area of Semnan province is related to nutritional issues. The DOP method is well-suited for the unbalanced use of chemical fertilizers in Semnan province and can be utilized to assess nutrients status, diagnose nutritional disorders, improve fertilization recommendations, and enhance the quality of sugar beet in a practical manner in this province. According to the DOP method, to increase yield of sugar beet in Semnan province (Shahroud), special attention should be given to the application of nitrogen, phosphorus, iron, manganese, copper and zinc fertilizers.

Keywords: Fertilization management, Nutrients balance, Plant analysis, Soil fertility evaluation

Author Contributions

Conceptualization, J.Gh.; methodology, J.Gh. and Sh.F.; software, J.Gh. and K.Kh; validation, J.Gh., Sh.F., and K.Kh.; formal analysis, J.Gh and A.A.; investigation, J.Gh., Sh.F., A.A., and K.Kh.; resources, J.Gh.; data curation, J.Gh. and Sh.F.; writing—original draft preparation, K.Kh.; writing—review and editing, J.Gh., Sh.F., and A.A.; visualization, J.Gh., Sh.F., and A.A.; supervision, J.Gh.; project administration, J.Gh.; funding acquisition, J.Gh. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Data Availability Statement

Data is available on reasonable request from the authors.

Acknowledgements

The authors are thankful to the Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO) of Iran for financial supports.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Cite this article: 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 (Shahroud): Results of a two-year study. *Journal of Soil and Plant Science*, 35(1), 15–29.

<https://doi.org/10.22034/sps.2025.66086.1001>

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.



Copyright © 2025 The Authors.
Publisher: The University of Tabriz





مقاله پژوهشی

ارزیابی وضعیت تغذیه گیاه چغندر قند در استان سمنان (شاهرود) با روش انحراف از درصد بهینه (DOP): نتایج یک مطالعه دو ساله

جلال قادری^۱✉، شاهرخ فاتحی^۲، احمد اخیانی^۳، کمال خلخال^۴

- ۱- نویسنده مسئول، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: gghaderijalal@gmail.com
- ۲- بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: shahrokh.fathi@gmail.com
- ۳- بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شاهرود، ایران. رایانامه: ahmadakhiani@yahoo.com
- ۴- بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: kamalkhalkhal@yahoo.com

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۱/۰۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۰۷

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۱/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۹

چکیده

این پژوهش برای ارزیابی وضعیت تغذیه گیاه چغندر قند (*Beta vulgaris*) و مدیریت بهینه آن با روش انحراف از درصد بهینه (DOP) به مدت دو سال زراعی (۱۳۹۷ و ۱۳۹۸) در شهرستان شاهرود، استان سمنان اجرا شد. در هر سال، ۳۰ مزرعه که ویژگی‌های خاک متفاوتی داشتند، انتخاب شدند. نمونه‌برداری برگ چغندر قند حدود ۹۰ تا ۱۲۰ روز پس از کاشت و از برگ‌های جوان کامل و سالم انجام شد. در این پژوهش، گروه دارای عملکرد زیاد مزارع چغندر قند، در روش DOP از طریق ریا ضی، آماری و کاربرد تابع جمع‌ی متمایز شد. نتایج حاصل نشان داد که ۸۲/۳ درصد و ۴۵ درصد مزارع چغندر قند مورد مطالعه به‌ترتیب دارای کمبود فسفر و پتا سیم در خاک بودند. میانگین عملکرد چغندر قند در کل مزارع مورد مطالعه، ۶۱/۱ تن بر هکتار تعیین شد. فراوانی کمبود عناصر غذایی در مزارع مورد مطالعه برای عناصر غذایی پرمصرف نیتروژن ۵۶ درصد، پتاسیم ۵۲ درصد و فسفر ۴۰ درصد و برای عناصر غذایی کم‌مصرف آهن ۵۸ درصد، منگنز ۵۶ درصد، مس ۵۴ درصد، روی ۵۲ درصد و بور ۴۲ درصد بود. در روش DOP، محدودیت عناصر غذایی پرمصرف در مزارع با عملکرد کم به‌ترتیب $N > K > P$ و محدودیت عناصر غذایی کم‌مصرف به‌ترتیب $Fe > Mn > Cu > Zn > B$ بودند. شاخص تعادل تغذیه‌ای (NBI) که از مجموع قدر مطلق شاخص‌های DOP محاسبه شد، نشانگر عدم تعادل نسبی بین عناصر غذایی جذب شده به‌وسیله این گیاه در مزارع چغندر قند استان سمنان بود. این وضعیت ناشی از مدیریت نامناسب آبیاری و کوددهی در این مزارع بود. با توجه به نتایج روش DOP، برای افزایش عملکرد چغندر قند در این استان، باید به مصرف عناصر غذایی پرمصرف (نیتروژن و پتا سیم) و عناصر غذایی کم‌مصرف (آهن، منگنز، مس و روی) توجه ویژه‌ای شود.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی حاصلخیزی خاک، تجزیه گیاه، تعادل عناصر غذایی، مدیریت مصرف کود

استناد به این مقاله: قادری، ج.، فاتحی، ش.، اخیانی، ا. و خلخال، ک. (۱۴۰۴). ارزیابی وضعیت تغذیه گیاه چغندر قند در استان سمنان (شاهرود) با روش انحراف از درصد بهینه (DOP): نتایج یک مطالعه دو ساله. نشریه دانش خاک و گیاه، ۳۵(۱)، ۱۵-۲۹.

<https://doi.org/10.22034/sps.2025.66086.1001>

مقدمه

چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) در اقتصاد کشاورزی کشورهای مختلف به‌ویژه در قاره اروپا و آمریکای شمالی نقشی غیرقابل انکار دارد. طبق آمارنامه کشاورزی سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰، چغندر قند پس از ذرت علوفه‌ای و گندم، بالاترین مقدار تولید و در سال ۱۴۰۱-۱۴۰۲ رتبه چهارم میزان تولید (حدود ۶/۶۷ میلیون تن) را داشت. این محصول با تولید تقریبی ۷/۴۶ میلیون تن، حدود ۹/۴۸ درصد از کل تولید محصولات زراعی آبی را شامل می‌شود؛ در حالی‌که تنها ۲/۰۲ درصد از کل سطح کشت آبی کشور را تشکیل می‌دهد (Anonymous, 2022 & 2023). چغندر قند به عنوان یک منبع غنی از قند، فیبر و ویتامین‌ها، یکی از اجزای مهم رژیم غذایی انسان است و در تولید خوراک دام نیز کاربرد دارد. همچنین، از این محصول به‌دلیل تولید محصولاتی مانند الکل، رنگدانه‌ها و مواد شیمیایی صنعتی، در صنایع مختلف نیز استفاده می‌شود (McGrath & Townsend, 2015). بنابراین، آگاهی از وضعیت تغذیه گیاه چغندر قند برای افزایش کمیت و کیفیت محصول آن، کاری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است.

عناصر غذایی از عوامل کلیدی مؤثر بر رشد گیاهان هستند و هرگونه عدم تعادل غذایی سبب کاهش عملکرد و کیفیت محصول می‌شود. در برخی موارد، آزمایش خاک به‌تنهایی نمی‌تواند مشکل کمبود عناصر غذایی یا عدم تعادل تغذیه‌ای را نشان دهد. در این شرایط، تجزیه گیاه می‌تواند به شناسایی بهتر کمبود، تعیین غلظت عناصر غذایی و مقایسه آن با غلظت‌های مرجع برای تضمین رشد بهینه گیاهان کمک نماید (Abbasi-Karvaneh et al., 2024). برای تفسیر نتایج آزمایش‌های تجزیه گیاه و ارزیابی وضعیت تغذیه گیاهان زراعی و باغی، روش‌های متعددی وجود دارد که از جمله این روش‌ها می‌توان به روش سطح بحرانی (CL^1)، دامنه کفایت (SR^2)، سامانه تلفیقی تشخیص و توصیه ($DRIS^3$)، انحراف از حد بهینه (DOP^4) و تشخیص چندگانه عناصر غذایی (CND^5) اشاره کرد (Malakouti et al., 2008). هر یک از این روش‌ها دارای عیب‌ها و مزیت‌هایی هستند. یکی از مهمترین اشکالاتی که در این روش‌ها وجود دارد، فقدان اعداد مرجع است که بتوان با استفاده از آن، نتایج تجزیه برگ را با لحاظ مجموعه بیشتری از عوامل مؤثر تأثیرگذار برهم تفسیر کرد. روش‌های مبتنی بر یک عنصر CL و SR هر چند ساده هستند اما نارسایی بزرگ آن‌ها این است که اثرات متقابل عناصر غذایی در گیاه در نظر گرفته نمی‌شوند (Moriase et al., 2019).

در روش $DRIS$ با محاسبه شاخص تعادل تغذیه‌ای، می‌توان به شدت خروج از حالت تعادل پی برد و ناهنجاری‌های تغذیه‌ای را نیز شناسایی نمود (Miran & Samadi, 2013). اما روش $DRIS$ به‌دلیل در اختیار نداشتن معیارهای مرجع قابل اطمینان برای تعداد زیادی از گیاهان، بر خلاف کاربرد وسیع آن، استفاده از این روش را برای گیاهان محدود کرده‌است. همچنین، در روش $DRIS$ ، شاخص‌ها و اعداد محاسبه شده بر اساس معیارهای موجود، هیچ‌گاه به‌طور مطلق کمبود یا زیادبود عنصر غذایی خاصی را مشخص نمی‌کنند، بلکه تنها مشخص کننده آن هستند که عنصر مربوطه نسبت به سایر عناصر، زیر سطح بسندگی یا فراتر از آن قرار دارد (Noori et al., 2015). روش CND یک روش جدیدتری است و در این روش وضعیت هر عنصر غذایی نسبت به میانگین هندسی کلیه عناصر محاسبه و اثرات متقابل یک عنصر نسبت به کلیه عناصر سنجیده می‌شود (Khiari et al., 2001). در روش DOP ، به جای استفاده از غلظت مطلق عناصر غذایی، از نسبت غلظت عناصر مختلف در مقایسه با غلظت مرجع (C_{ref}) استفاده می‌شود. در این روش، از شاخصی استفاده می‌شود که نشانگر وضعیت تغذیه‌ای و کمبود و یا زیادی عناصر غذایی در گیاه است و بر اساس این شاخص، نیاز به عناصر غذایی برای گیاه اولویت‌بندی می‌شود. این رویکرد به پژوهشگران این امکان را می‌دهد که علاوه بر شناسایی کمبودها، به تعادل نرمال عناصر غذایی نیز توجه کنند (Ghoreyshi et al., 2024). (Dordipour et al., 2012).

¹-Critical Limit (CL)

²-Sufficiency Range (SR)

³-Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS)

⁴-Deviation from optimum percentage (DOP)

⁵-Compositional Nutrient Diagnosis (CND)

توصیه روش DOP، بیان کردند که DOP مدل جدید و آسانی در مقایسه با روش DRIS در تفسیر نتایج تجزیه برگی است. روش DRIS برای تعیین نرم‌های معتبر به اطلاعات وسیعی نیاز دارد و جمع‌آوری این اطلاعات در عمل هزینه بالایی دارد و به این دلیل روش ساده و کاربردی DOP پیشنهاد شده است. در این روش برای هر عنصر غذایی شاخص‌های مثبت، منفی یا صفر که به ترتیب بیانگر زیادی، کمبود یا غلظت مناسب عنصر غذایی در گیاه است، محاسبه می‌شود. در این صورت، عدد صفر بیانگر حالت تعادل و هر چه عدد بزرگتر شود، نشانگر انحراف بیشتر از حالت تعادل است (Dordipour et al., 2012).

عوامل مختلفی مانند شرایط آب و هوایی، ویژگی‌های گیاه و مدیریت عناصر غذایی بر غلظت بهینه عناصر غذایی تأثیر دارند. بنابراین، برای درک دقیق‌تر وضعیت تغذیه‌ای مزارع هر منطقه، بهتر است به جای استفاده از غلظت‌های بهینه مندرج در متون، از هنجارهای مناسب برای آن منطقه استفاده شود. به عبارت دیگر، مقدار عناصر غذایی در گروه پرمحصول را می‌توان به عنوان حد بهینه این عناصر در توصیه‌های کودی مورد استفاده قرار داد که نسبت به مواردی که برای شرایط متفاوت از شرایط فعلی به دست می‌آید، مطلوب‌تر است. از این رو، روش DOP یک ابزار کلیدی در تجزیه و تحلیل وضعیت تغذیه‌ای گیاهان است که به بهبود مدیریت منابع غذایی کشاورزی و افزایش عملکرد محصولات کمک می‌کند. Abbasi-Karvaneh et al. (2024) گزارش کردند که شاخص‌های تعادل عناصر غذایی (DOP، DRIS و CND) نشان دادند که آهن و فسفر محدودکننده‌ترین عناصر غذایی در برگ‌ها و میوه‌های هلو و شلیل در گروه کم‌بازده دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه بودند.

در پژوهشی دیگر که در استان خراسان جنوبی انجام شد، نتایج نشان داد که در بسیاری از مزارع زعفران، کمبود پتاسیم و منگنز به‌طور قابل‌توجهی بر عملکرد گیاه تأثیر منفی گذاشته است (Atarodi et al., 2022). از جمله پژوهش‌های دیگر در مورد روش DOP برای گیاهان زراعی و باغی مختلف، می‌توان به مزارع گندم (Geiklooi et al., 2018)، هندوانه (Ghoreshi et al., 2024)، نیشکر (Karimi et al., 2024) کدو (Sharifmand et al., 2019)، انگور سفید (Samadi & Majidi, 2010)، هلو (Dordipour et al., 2012) اشاره کرد. مطالعات در مورد چغندر قند در کشور محدود به مطالعه (Ghaderi et al., 2023) با روش DOP در مزارع استان کرمانشاه و مطالعه (Daryashenas & Saghafi, 2011) با روش CND است. چغندر قند به دلیل توانایی بالا در سازگاری با شرایط مختلف محیطی و خاکی، در مناطق مختلف کشور کشت می‌شود. با این حال، برای دستیابی به عملکرد بهینه و کیفیت مطلوب محصول، شناخت دقیق وضعیت تغذیه‌ای چغندر قند ضروری است. بنابراین، باتوجه به اهمیت و کشت چغندر قند و کمبود نرم‌های 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 پژوهش بر روی محصول چغندر قند از سال ۱۳۹۷ به مدت دو سال در شهرستان شاهرود استان سمنان انجام شد. در هر سال، حداقل ۳۰ مزرعه انتخاب شد که این مزارع در تمامی مناطق کشت چغندر قند به نسبت سطح زیر کشت آن منطقه توزیع شدند. همچنین، در این مزارع دامنه‌ای متنوع از ویژگی‌های خاک (با استفاده از مطالعات خاک و غیره) وجود داشت. پس از انتخاب مزارع، پیش از کشت و کوددهی چغندر قند، از هر مزرعه یک نمونه مرکب خاک از سطح یک هکتار و عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری تهیه شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی این نمونه‌ها در آزمایشگاه اندازه‌گیری شدند. برای تجزیه نمونه‌های خاک، کربن آلی به روش اکسایش تر (Nelson and Sommers, 1996)، pH با روش گل اشباع (McLean, 1982)، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک با دستگاه هدایت‌سنج (Rhoades, 1996)، درصد کلسیم کربنات معادل (Allison & Moodie, 1965)، فسفر قابل‌جذب به روش Olsen (Kuo, 1996)، پتاسیم قابل‌جذب به روش آمونیوم استات یک نرمال در pH برابر با ۸/۲ (Hanway & Heidel 1952) اندازه‌گیری شدند.

در هر دو سال آزمایش، 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) انجام شد. نمونه‌های برگ پس از شستشو با آب مقطر، در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت خشک و سپس با آسیاب برقی پودر شدند. برای تهیه 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 انادات) 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 آزمونین-اچ با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۲۰ نانومتر قرائت شد (Jones, 2001). حدود کفایت عنصر فسفر ۵۱-۰/۲۵، پتاسیم ۵۱-۳/۴، منیزیم ۰/۱-۱/۳ درصد و برای آهن ۲۰۱-۵۰، روی ۲۰۱-۲۰، منگنز ۲۵۱-۵ و بور ۸۶-۳۰ میلی گرم بر کیلوگرم برگ چغندر قند گزارش شده‌است (Pennsylvania State University, 1989).

برای تعیین شاخص DOP در زمان برداشت محصول (از اواسط مهر ماه تا پایان آبان ماه)، با بازدید از هر مزرعه، عملکردها ثبت و مزارع به دو گروه با عملکرد زیاد و کم تقسیم شدند. مزارع با عملکرد زیاد به عنوان مرجع برای تعیین نرم‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. برای تقسیم مزارع به دو گروه، از میانگین عملکرد و انحراف معیار به صورت زیر استفاده شد (Sharma et al., 2005).

$$(1) \quad (SD + \text{مزارع با عملکرد زیاد}) \geq \text{میانگین عملکرد}$$

$$(SD + \text{میانگین عملکرد}) \leq \text{مزارع با عملکرد متوسط}$$

$$(SD - \text{میانگین عملکرد}) \leq \text{مزارع با عملکرد کم}$$

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

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

در رابطه (۲)، C غلظت عنصر غذایی در نمونه برگ چغندر قند در هر مزرعه با عملکرد کم و C_{ref} غلظت مطلوب عنصر غذایی (بهینه) در برگ چغندر قند است.

در روش DOP، برای هر عنصر غذایی، یک شاخص محاسبه می‌شود که به صورت اعداد مثبت، منفی یا صفر مشخص می‌گردد که به ترتیب نشانگر زیادی، کمبود یا کفایت (حالت تعادل) غلظت عنصر غذایی در گیاه است. در این روش، منفی‌ترین شاخص به عنوان 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 نشانگر حالت تعادل و هر چه عدد بزرگ‌تر باشد، نشانگر انحراف بیشتر از حالت تعادل است. شاخص تعادل تغذیه‌ای (ΣDOP) از مجموع شاخص‌های DOP بدون در نظر گرفتن علامت آن‌ها به صورت زیر محاسبه شد (Montanes et al., 1993):

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

که در این رابطه، IA, IB, IC, ..., IN به ترتیب شاخص عناصر غذایی مختلف از A تا N هستند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه خاک

نتایج تجزیه خاک‌های مزارع انتخابی نشان داد که از نظر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها، دارای طیف و سببی از ویژگی‌ها بودند (جدول ۱). در اغلب مزارع، مقدار کربن آلی کمتر از ۱/۲ درصد بود. در بسیاری از مزارع، بر اساس سطح بحرانی عناصر غذایی در خاک، کمبود فسفر و در برخی مزارع، کمبود پتاسیم مشاهده شد، ولی در تمام ویژگی‌های مورد بررسی تفاوت زیادی بین مزارع وجود داشت که انحراف استاندارد بالا در جدول ۱، بیانگر این موضوع است. در مجموع، وسیع‌ترین کمبود در بین عناصر غذایی مطالعه شده، مربوط به کمبود فسفر و نیتروژن بود.

حدود ۵۰ درصد از مزارع مشکل شوری داشتند (میانگین ۴/۹۱ دسی‌زیمنس بر متر) و هدایت الکتریکی در خاک‌های مناطق مورد آزمایش بین ۰/۵۲ تا ۱۱/۴۵ دسی‌زیمنس بر متر متغیر بود (جدول ۱). pH خاک بین ۷/۱۲ تا ۸/۲ در نوسان بود و در محدوده کمی قلیایی قرار داشت. کربن آلی خاک بین ۰/۲۴ تا ۱/۲ درصد در نوسان بود (میانگین ۰/۶۲ درصد) که نشانگر آن است که مزارع به مصرف نیتروژن برای رشد نیازمند بودند. مقدار آهک بین ۱۱ تا ۴۵ درصد متغیر بود. فسفر قابل‌جذب خاک بین ۵ تا ۳۰/۷۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک تغییر کرد. غلظت بهینه فسفر در خاک برای اغلب گیاهان زراعی آبی بین ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک تعیین شده است (Malakouti & Ghaibi, 1997). نتایج نشان داد که ۸۳/۳ درصد مزارع، دارای فسفر قابل‌جذب کمتر از ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بودند. پتاسیم قابل‌جذب مزارع انتخابی بین ۱۳۰ تا ۶۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در نوسان بود. سطح بحرانی پتاسیم قابل‌جذب، برای اغلب گیاهان زراعی آبی ۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک تعیین شده است (Malakouti & Ghaibi, 1997). نتایج آزمایشگاهی، بیانگر بهینه بودن غلظت پتاسیم قابل‌جذب خاک در بیش از ۵۵ درصد خاک‌های مورد ارزیابی بود و ۴۵ درصد مزارع پتاسیم کمتر از حد بهینه داشتند.

جدول ۱- آماره‌های توصیفی نتایج تجزیه تعداد ۶۰ نمونه خاک مزارع چغندر قند مورد مطالعه در استان سمنان (شاهرود)

صفت مورد بررسی	واحد	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف استاندارد	فراوانی کمتر از سطح بحرانی	فراوانی بیشتر از سطح بحرانی
pH		۷/۱۲	۸/۲	۷/۷۶	۰/۲۱	-	-
EC	dS m ⁻¹	۰/۵۲	۱۱/۴۵	۴/۹۱	۲/۹	-	-
CCE	%	۱۱	۴۵	۲۷/۸	۷/۸	-	-
OC	%	۰/۲۴	۱/۲	۰/۶۲	۰/۲۱	-	-
Available-P	mg kg ⁻¹	۵	۳۰/۷۶	۱۱/۲۰	۵/۲	۸۳/۳	۱۶/۷
Available-K	mg kg ⁻¹	۱۳۰	۶۲۰	۲۷۸	۱۰۲/۱	۴۵	۵۵

CCE: کسیم کربنات معادل، OC: کربن آلی، EC: قابلیت هدایت الکتریکی

روش انحراف از درصد بهینه (DOP)

نرم‌ها و شاخص‌های انحراف از درصد بهینه

برای تعیین نرم‌ها و شاخص‌های DOP، کل جامعه مورد مطالعه بر اساس روش Sharma et al. (2005) به دو گروه عملکرد کم و زیاد تقسیم شدند. از ۶۰ مزرعه مورد مطالعه ۱۰ مزرعه در گروه با عملکرد زیاد و ۵۰ مزرعه در گروه با عملکرد کم

کم قرار گرفتند. میانگین عملکرد در کل مزارع ۶۱/۱ تن بر هکتار و انحراف معیار ۲۰/۶۱ محاسبه شد. میانگین عملکرد در مزارع با عملکرد بالا ۸۶/۹ تن بر هکتار و در جامعه با عملکرد کم ۳۹/۱ تن بر هکتار بود که تفاوت بین عملکرد این جوامع از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنادار بود. نتایج تجزیه واریانس و محاسبه‌های آماری عناصر غذایی برگ چغندر قند در مزارع با عملکرد زیاد و کم به ترتیب در جدول‌های ۲ و ۳ قابل مشاهده هستند.

جدول ۲- میانگین، انحراف استاندارد، حداقل، حداکثر و ضریب تغییرات غلظت عناصر غذایی در برگ چغندر قند در گروه با عملکرد زیاد در استان سمنان (شاهرود)

صفت مورد بررسی	واحد	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف استاندارد	ضریب تغییرات (%)
Tuber yield	t ha ⁻¹	۸۰	۹۶	۸۶/۹	۵/۹	۶/۷
N concentration	%	۲/۳۸	۵/۲۰	۳/۶۴	۱	۲۶/۸
P concentration	%	۰/۲۵	۰/۴۸	۰/۳۲	۰/۰۷	۲۰/۹
K concentration	%	۳/۲	۴/۱	۳/۶	۰/۳	۸/۴
Fe concentration	mg kg ⁻¹	۸۶	۱۹۳/۷	۱۳۵	۴۰	۳۱
Mn concentration	mg kg ⁻¹	۴۳/۱	۹۸/۱	۷۱/۳	۱۱/۳	۲۳
Zn concentration	mg kg ⁻¹	۱۴/۹	۲۳/۹	۱۹/۴	۳/۱	۱۶
Cu concentration	mg kg ⁻¹	۱۰/۶	۱۰/۵	۱۳/۹	۱/۵	۱۰/۸
B concentration	mg kg ⁻¹	۲۹/۶	۳۵/۹	۳۲/۲	۱/۹	۵/۹

جدول ۳- میانگین، انحراف استاندارد، کمینه، بیشینه و ضریب تغییرات غلظت عناصر غذایی برگ چغندر قند در گروه با عملکرد کم در استان سمنان (شاهرود)

صفت مورد بررسی	واحد	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف استاندارد	ضریب تغییرات (%)
Tuber yield	t ha ⁻¹	۳۰	۷۵	۵۶	۱۱/۵	۱۸/۸
N concentration	%	۱/۳۶	۶/۶۳	۳/۴۰	۱/۴	۴۰/۱
P concentration	%	۰/۱۷	۰/۵۰	۰/۳۱	۰/۰۷	۲۱/۵۱
K concentration	%	۲/۶۶	۵/۶۰	۳/۹۶	۰/۵	۱۳/۳
Fe concentration	mg kg ⁻¹	۷۳/۶	۲۶۹	۱۳۴/۳	۴۱/۹	۲۹/۸
Mn concentration	mg kg ⁻¹	۳۷/۹	۸۵/۴	۵۷/۴	۱۶/۴	۱۸/۹
Zn concentration	mg kg ⁻¹	۱۳/۷	۳۲/۷	۲۱/۴	۳/۷	۱۷/۵
Cu concentration	mg kg ⁻¹	۱۰/۵	۱۸/۴	۱۴/۷	۱/۸	۱۲/۲
B concentration	mg kg ⁻¹	۲۶/۵	۴۰	۳۲/۰۸	۲/۸۱	۸/۷۶

بررسی نتایج ضریب تغییرات غلظت عناصر در دو گروه مزارع با عملکرد بالا و کم نشان داد که در مزارع با عملکرد کم و متوسط عنصر نیتروژن دارای تغییرات نسبتاً زیاد بود، زیرا بر اساس روش طبقه‌بندی Wilding (1985) ویژگی‌های با ضریب تغییرات (C.V) بیش از ۳۵ درصد دارای تغییرپذیری زیاد هستند. به عبارت دیگر، شدت تغییرات این عنصر می‌تواند بر اثر دو دسته عامل شامل عوامل ذاتی مانند نوع خاک (رده)، کیفیت خاک، آب و اقلیم و یا عوامل مدیریتی همچون مدیریت کوددهی، آبیاری و غیره تغییر کند. البته با توجه به وسعت کم منطقه و یکنواختی نسبی عوامل کیفی خاک و اقلیم احتمالاً نقش عوامل مدیریتی بیشتر بوده است. برای محاسبه نرم‌های DOP، میانگین غلظت عناصر در گروه با عملکرد زیاد محاسبه و به عنوان مبنای مقایسه استفاده شد (جدول ۴). سپس شاخص‌های DOP در مزارع با عملکرد کم با استفاده از اعداد مرجع محاسبه شد.

جدول ۴- نرم‌های DOP در مزارع با عملکرد زیاد چغندر قند در استان سمنان (شاهرود)

عنصر غذایی	N	P	K	Fe	Mn	Zn	Cu	B
واحد	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
نرم	۳/۶۴	۰/۳۲	۳/۶	۱۳۵	۷۱/۳	۱۹/۴	۱۳/۹	۳۲/۲

با استفاده از این اعداد مرجع، شاخص‌های DOP برای ۵۰ مزرعه عملکرد کم در جدول ۵ نشان داده شده است. از لحاظ میانگین شاخص‌های روش DOP ترتیب نیاز غذایی در مزارع با عملکرد کم، برای عناصر غذایی پرمصرف به صورت $N > K > P$ و برای عناصر غذایی کم‌مصرف به صورت $Fe > Mn > Cu > Zn > B$ (جدول ۵). در بین عناصر غذایی پرمصرف، نیتروژن در ۵۶ درصد از مزارع مورد مطالعه، منفی‌ترین شاخص و فسفر در ۶۰ درصد از مزارع مورد بررسی، مثبت‌ترین شاخص را داشتند. با توجه به نقش نیتروژن در رشد رویشی، گل‌دهی و تشکیل و بزرگ شدن غده چغندر قند می‌توان گفت که در خاک‌های منطقه معمولاً ماندگاری مواد آلی خاک به سبب تجزیه سریع کم است و خاک‌های منطقه عمدتاً کربن آلی کمی دارند (جدول ۱) و 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 زیست‌فراهمی نیتروژن را برای چغندر قند بهبود دهد. بعد از نیتروژن، پتاسیم در ۵۲ درصد مزارع دارای شاخص منفی است. با توجه به آهکی بودن، تخلیه خاک‌ها از پتاسیم به علت عدم رعایت تناوب زراعی مناسب و کشت‌های مداوم در منطقه، خاک‌های منطقه مورد مطالعه، عمدتاً کمبود پتاسیم داشتند. بعد از پتاسیم، فسفر بیشترین کمبود را داشت (در ۴۰ درصد مزارع). به دلیل وجود شرایط آهکی و تثبیت فسفر به وسیله رس‌ها، فسفر با کلسیم به صورت فلوئور آپاتیت و هیدروکسی آپاتیت رسوب می‌کند (Bertrand et al., 2003; Najafi & Towfighi, 2013). نتایج این پژوهش متفاوت از گزارش Ghaderi et al. (2023) برای چغندر قند در استان کرمانشاه بود (نیاز غذایی برای عناصر غذایی پرمصرف به صورت $Mg > P > N > K > S$) که دلیل آن به حاصلخیزی خاک مخصوصاً میزان ماده آلی و اقلیم متفاوت این دو استان مربوط بود.

در بین عناصر غذایی کم‌مصرف، شاخص آهن در ۵۸ درصد مزارع و منگنز در ۵۶ درصد مزارع، منفی بودند که با نتایج Ghaderi et al. (2023) و Karimi et al. (2024) مطابقت داشت. شرایط آهکی خاک‌ها زیست‌فراهمی عناصر غذایی کم‌مصرف به‌ویژه آهن، منگنز و روی را از خاک به ریشه گیاهان با مشکل مواجه نموده است (Malakouti et al., 2008). با توجه به آهکی بودن و pH بالای اکثر خاک‌های منطقه مورد مطالعه و کمبود مواد آلی در آن‌ها، کمبود آهن امری شناخته شده است. البته عوامل دیگری همانند آبیاری سنگین و به‌دنبال آن تولید بی‌کربنات، عدم تهویه مناسب و مخصوصاً عدم رعایت مصرف بهینه کود و آب نیز در بروز کمبود آهن تأثیرگذار هستند (Marschner, 1995). بعد از آهن و منگنز، کمبود عنصر غذایی کم‌مصرف مس در مقام سوم قرار داشت که در مزارع مشاهده و شاخص آن منفی شد. همچنین در ۵۲ درصد مزارع، شاخص روی منفی شد. کمبود روی در اکثر خاک‌های کشاورزی ایران به دلایل متعددی از جمله آهکی بودن، pH بالا، بی‌کربنات فراوان در آب‌های آبیاری عمومیت دارد (Malakouti & Ghaibi, 1997). روی در واکنش‌های آنزیمی مختلفی نقش دارد و کاربرد کودهای بر پایه روی می‌تواند در بهبود کمیت و کیفیت محصول تأثیرگذار باشد (Marschner, 1995). همچنین، بور در ۴۲ درصد مزارع، دارای شاخص منفی بود. لذا، باید به مصرف کودهای حاوی بور در مزارع چغندر قند مورد مطالعه اولویت داده شود.

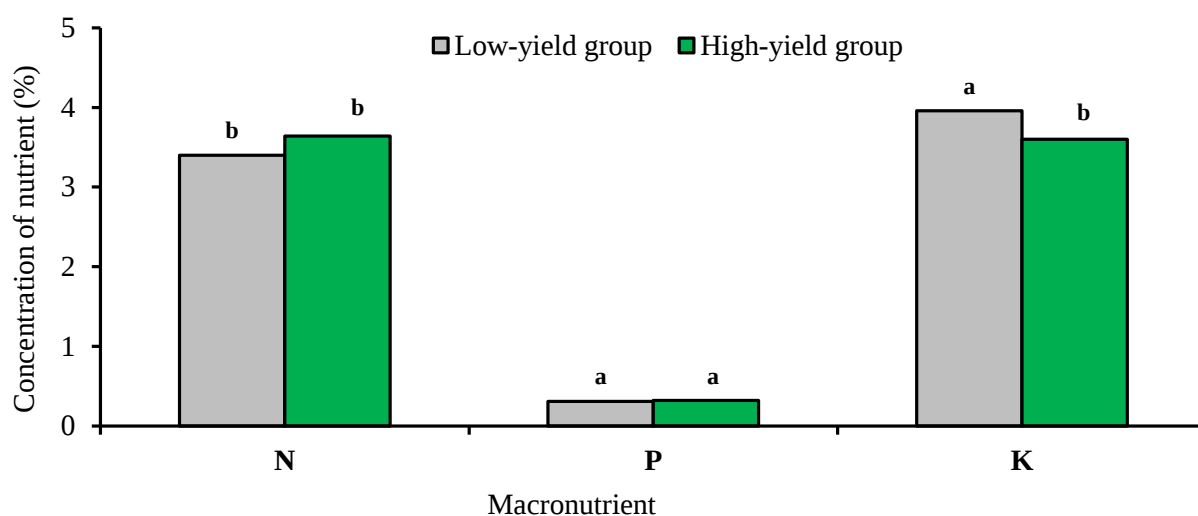
جدول ۵- عملکرد، شاخص‌های DOP و اولویت نیاز عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف در مزارع چغندر قند با عملکرد کم

Σ DOP	اولویت نیاز عناصر غذایی	شاخص‌های DOP								عملکرد (t ha ⁻¹)	شماره مزرعه
		B	Cu	Zn	Mn	Fe	K	P	N		
۱۴۹	N>K>P>Cu>Zn>Mn>Fe>B	۲۴/۶۹	۱۰/۷۱	۱۴/۹۵	۱۷/۰۷	۲۳/۷۵	-۶/۸۲	۹/۶۸	-۴۱/۷۶	۷۵	۱
۱۲۲	Zn>K>Cu>B>Mn>Fe>N>P	۱/۰۰	۰/۰۰	-۲۳/۸۳	۲/۰۹	۲۵/۸۴	-۱۴/۱۴	۲۹/۰۳	۲۶/۴۷	۷۵	۲
۱۲۶	K>N>B>P>Zn>Fe>Cu>Mn	-۳/۹۹	۲۵/۱۷	۳/۷۴	۴۸/۷۸	۱۶/۱۶	-۱۴/۱۴	۳/۲۳	-۱۱/۱۸	۷۴	۳
۱۲۶	N>K>P>Zn>Fe>Mn>B>Cu	۱۹/۷۰	۱۹/۷۳	۴/۲۱	۱۳/۵۹	۱۰/۲۰	-۱۶/۶۷	۳/۲۳	-۳۸/۲۴	۷۱	۴
۷۷	B>Fe>Zn>Mn>K>Cu>N>P	-۱۷/۳۹	۶/۱۲	-۰/۹۳	۲/۷۹	-۶/۱۸	۳/۵۴	۲۵/۸۱	۱۴/۷۱	۷۱	۵
۱۷۹	P>N>Fe>Cu>Mn>K>B>Zn	۱۵/۰۲	-۳/۰۶	۲۵/۷۰	۰/۱۷	-۳۸/۲۷	۱۱/۸۷	-۴۵/۱۶	-۴۰/۰۰	۷۰	۶
۱۹۲	K>Mn>B>Zn>Cu>P>Fe>N	-۹/۶۰	۲/۵۵	-۰/۴۷	-۲۰/۰۳	۴۲/۲۹	-۲۶/۷۷	۱۹/۳۵	۷۱/۱۸	۶۸/۳	۷
۲۰۱	N>Zn>Mn>Cu>P>K>B>Fe	۷/۸۶	-۲/۷۲	-۲۲/۹۰	-۸/۷۱	۱۰۰/۳۰	۶/۰۶	۰/۰۰	-۵۲/۹۴	۶۸	۸
۱۵۷	B>Mn>Fe>K>Zn>Cu>N>P	-۱۲/۷۲	۱۷/۳۵	۱۰/۲۸	-۶/۹۷	۰/۸۹	۶/۰۶	۵۸/۰۶	۴۵/۰۰	۶۷	۹
۶۸	Fe>Mn>Cu>Zn>B>K>P>N	۴/۱۱	-۲/۷۲	۳/۲۷	-۴/۱۸	-۴/۶۹	۸/۵۹	۱۹/۳۵	۲۰/۵۹	۶۶	۱۰
۱۶۰	N>Fe>P>Cu>Mn>B>K>Zn	۴/۱۱	-۱۶/۳۳	۱۸/۶۹	-۴/۸۸	-۳۶/۷۱	۶/۰۶	-۳۲/۲۶	-۴۱/۱۸	۶۶	۱۱
۱۶۷	Fe>B>Cu>K>Zn>P>Mn>N	-۱۶/۱۵	۱/۰۲	۵/۱۴	۱۶/۹۰	-۲۴/۶۵	۱/۲۶	۶/۴۵	۹۵/۰۰	۶۵	۱۲
۱۰۶	Zn>B>P>N>K>Fe>Cu>Mn	-۹/۶۰	۱۷/۶۹	-۱۱/۶۸	۳۹/۵۵	۱۳/۱۸	۲/۲۷	-۶/۴۵	-۵/۸۸	۶۵	۱۳
۹۲	Mn>Zn>Fe>B>Cu>K>P>N	-۰/۲۵	۴/۵۹	-۲/۸۰	-۱۰/۶۳	-۱/۸۶	۸/۸۴	۱۲/۹۰	۵۰/۰۰	۶۵	۱۴
۱۱۸	N>P>B>Zn>Cu>Fe>K>Mn	-۶/۴۸	-۲/۰۴	-۳/۷۴	۱۸/۶۴	۷/۳۷	۱۰/۳۵	-۹/۶۸	-۶۰/۰۰	۶۵	۱۵
۱۱۳	B>K>Zn>Cu>P>Mn>Fe>N	-۱۷/۳۹	-۸/۱۶	-۸/۴۱	۵/۰۵	۱۸/۳۹	-۱۶/۶۷	۳/۲۳	۳۵/۲۹	۶۴/۳	۱۶
۱۷۳	Fe>K>B>P>Cu>Zn>Mn>N	-۰/۲۵	۸/۱۶	۹/۳۵	۱۵/۵۱	-۴۱/۹۲	-۹/۰۹	۰/۰۰	۸۸/۲۴	۶۳	۱۷
۱۱۳	B>N>P>Fe>K>Zn>Cu>Mn	-۱/۱۸	۱۵/۸۲	۱۵/۴۲	۴۸/۶۱	۱۰/۹۵	۱۴/۶۵	۶/۴۵	۰/۰۰	۶۲/۵	۱۸
۱۸۸	N>Zn>Mn>K>P>Cu>B>Fe	۹/۷۳	۶/۶۳	-۲۲/۴۳	-۱/۲۲	۹۰/۱۷	۱/۲۶	۶/۴۵	-۵۰/۰۰	۶۲	۱۹
۱۸۹	Zn>Mn>Fe>K>Cu>P>B>N	۶/۶۱	-۲/۷۲	-۳۵/۹۸	-۳۱/۰۱	-۲۱/۰۷	-۹/۰۹	۰/۰۰	۸۲/۳۵	۶۱	۲۰
۱۱۴	Fe>P>K>Cu>Mn>N>B>Zn	۱/۶۲	-۸/۸۴	۴/۲۱	-۷/۳۲	-۴۱/۹۲	-۱۴/۱۴	-۳۵/۴۸	۰/۰۰	۶۱	۲۱
۱۳۰	N>Zn>B>P>K>Cu>Mn>Fe	-۵/۸۶	۶/۱۲	-۱۴/۰۲	۱۳/۵۹	۲۹/۵۶	-۱/۵۲	-۳/۲۳	-۵۵/۸۸	۵۹	۲۲
۷۹	Mn>B>Cu>Fe>P>N>K>Zn	-۱۶/۴۶	-۵/۴۴	۱۷/۷۶	-۲۸/۵۷	-۱/۷۱	۶/۰۶	۰/۰۰	۲/۹۴	۵۹	۲۳
۹۳	Mn>P>B>Fe>Cu>N>K>Zn	-۱۵/۸۴	-۱/۵۳	۲۴/۳۰	-۲۱/۲۵	-۵/۳۶	۸/۵۹	-۱۶/۱۳	۰/۰۰	۵۸/۴	۲۴
۱۲۹	Mn>N>Zn>P>B>K>Cu>Fe	۵/۳۶	۱۳/۲۷	-۷/۴۸	-۲۴/۰۴	۴۴/۹۷	۷/۳۲	-۶/۴۵	-۲۰/۰۰	۵۷/۵	۲۵
۱۸۵	N>Fe>P>K>Zn>Cu>B>Mn	۱۱/۲۸	-۱۰/۲۰	-۵/۱۴	۱۳/۵۹	-۳۶/۷۱	-۱۶/۶۷	-۳۵/۴۸	-۵۵/۸۸	۵۶	۲۶
۱۶۵	N>Fe>P>K>Zn>Cu>Mn>B	۱۸/۴۵	-۲/۵۵	-۲/۸۰	۹/۰۶	-۲۵/۸۲	-۱۰/۶۱	-۲۵/۴۸	-۵۰/۰۰	۵۵	۲۷
۱۶۴	Cu>Mn>K>Zn>B>P>N>Fe	۰/۳۷	-۲۲/۴۵	-۰/۴۷	-۲۱/۰۸	۵۶/۳۷	-۴/۰۴	۳/۲۳	۵۵/۸۸	۵۵	۲۸
۸۹	N>Fe>Cu>B>K>P>Mn>Zn	-۶/۱۷	-۱۴/۹۷	۱۰/۲۸	۹/۷۶	-۱۵/۱۲	-۴/۰۴	۳/۲۳	-۲۵/۲۹	۵۵	۲۹
۱۵۳	Fe>Zn>P>Mn>Cu>K>B>N	۱/۰۰	-۱۳/۲۷	-۳۰/۳۷	-۲۲/۱۳	-۴۵/۲۰	-۱/۵۲	-۲۹/۰۳	۱۰/۰۰	۵۴	۳۰
۱۰۱	N>Mn>P>B>Cu>K>Zn>Fe	-۷/۱۱	-۲/۷۲	۰/۰۰	-۲۱/۶۰	۲۵/۸۴	-۱/۵۲	-۹/۶۸	-۳۲/۳۵	۵۴	۳۱
۱۶۰	N>P>Cu>Fe>B>Mn>Zn>K	۱/۰۰	-۲۲/۴۵	۴۲/۰۶	۱/۹۲	-۲۱/۰۷	۱۳/۶۴	-۲۲/۵۸	-۳۵/۲۹	۵۳	۳۲
۲۴۳	Mn>Zn>Cu>B>P>K>Fe>N	۰/۰۶	-۸/۱۶	-۱۰/۲۸	-۳۲/۵۸	۷۱/۲۶	۳۱/۰۶	۹/۶۸	۸۰/۰۰	۵۲/۷	۳۳
۲۱۳	Mn>Zn>Fe>Cu>B>P>K>N	۲/۲۴	-۱۴/۲۹	-۳۰/۳۷	-۳۳/۹۷	-۲۴/۲۷	۱۰/۳۵	۶/۴۵	۹۱/۱۸	۵۲	۳۴
۱۱۳	Fe>N>B>K>Cu>Mn>Zn>P	-۲/۱۲	-۰/۶۸	۱۴/۹۵	۸/۰۱	-۲۱/۰۷	-۱/۵۲	۶۱/۲۹	-۲/۹۴	۵۲	۳۵
۱۲۸	P>Zn>Mn>Cu>N>B>Fe>K	۳/۸۰	-۱۰/۸۸	-۱۳/۰۸	-۱۲/۳۷	۵/۷۳	۴۱/۴۱	-۳۲/۲۶	-۸/۸۲	۴۹	۳۶
۱۷۷	N>Fe>P>Mn>B>Cu>K>Zn	۴/۴۳	۹/۶۹	۵۲/۸۰	-۱۴/۴۶	-۲۵/۹۱	۱۳/۱۳	-۱۶/۱۳	-۴۰/۰۰	۴۸	۳۷
۱۲۲	N>Zn>Fe>Cu>K>B>P>Mn	۱/۰۰	-۱/۵۳	-۱۶/۸۲	۴۰/۰۷	-۵/۷۳	-۱/۵۲	۲۵/۸۱	-۳۰/۰۰	۴۷/۵	۳۸
۱۶۴	N>Fe>P>Cu>B>K>Zn>Mn	-۳/۳۷	-۸/۱۶	۲۷/۵۷	۳۱/۵۳	-۱۹/۸۱	۳/۵۴	-۹/۶۸	-۶۰/۰۰	۴۷	۳۹
۱۳۱	K>Zn>Fe>Mn>P>B>Cu>N	۸/۷۹	۱۵/۳۱	-۷/۴۸	-۱/۹۲	-۶/۷۸	-۱۹/۴۴	۶/۴۵	۶۴/۷۱	۴۵	۴۰

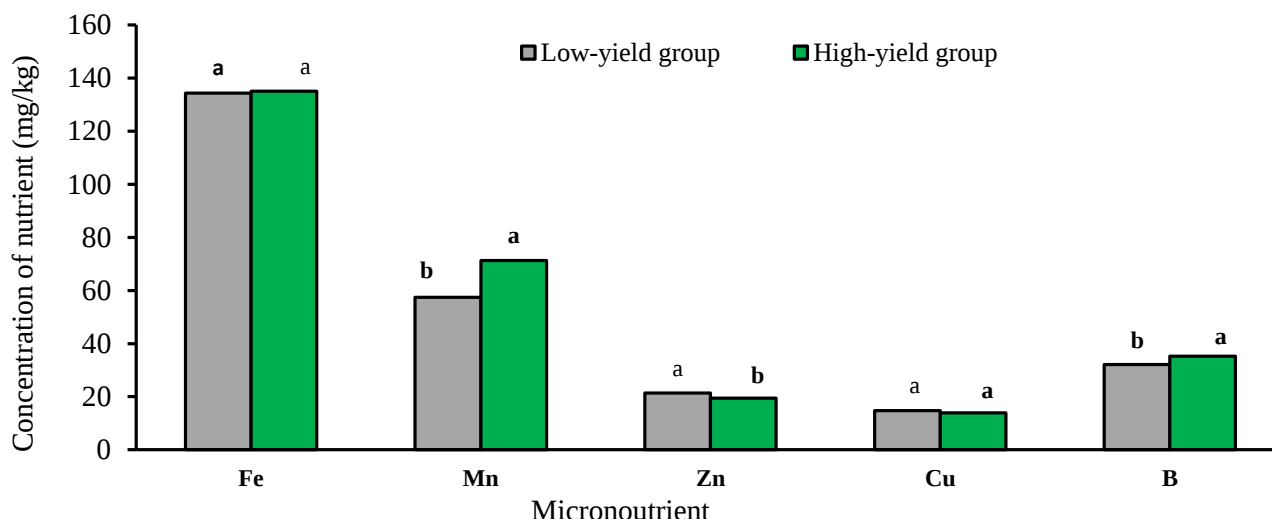
ادامه جدول ۵

ΣDOP	اولویت نیاز عناصر غذایی	شاخص‌های DOP								عملکرد (t ha ⁻¹)	شماره مزرعه
		B	Cu	Zn	Mn	Fe	K	P	N		
۸۳	N>B>Fe>Mn>K>Zn>P>Cu	-۹/۶۰	۲۲/۴۵	۱۲/۱۵	-۲/۴۴	-۶/۹۲	-۱/۵۲	۱۲/۹۰	-۱۴/۷۱	۴۳	۴۱
۱۲۲	Zn>Fe>K>Mn>P>B>Cu>N	۱/۰۰	۶/۱۲	-۲۱/۹۶	-۳/۶۶	-۱۶/۶۰	-۱۴/۱۴	۰/۰۰	۵۸/۸۲	۴۴	۴۲
۱۲۲	Cu>Zn>P>Mn>K>N>B>Fe	۴/۱۱	-۲۸/۵۷	-۲۵/۷۰	-۱۴/۱۱	۱۵/۴۱	-۹/۰۹	-۱۹/۳۵	-۵/۸۸	۴۳	۴۳
۹۵	Cu>Zn>Mn>K>P>Fe>B>N	۸/۷۹	-۲۸/۵۷	-۲۱/۹۶	-۱۹/۵۱	۵/۹۶	-۱/۲۶	۰/۰۰	۹/۱۲	۴۱	۴۴
۱۴۵	Fe>Mn>K>N>B>Zn>Cu>P	۴/۴۳	۱۰/۲۰	۹/۳۵	-۲۱/۶۰	-۳۶/۷۱	-۱۹/۱۹	۲۹/۰۳	-۱۴/۷۱	۳۹	۴۵
۱۲۰	N>Fe>B>Mn>P>K>Cu>Zn	-۱۷/۳۹	۱۴/۲۹	۲۱/۵۰	-۹/۲۳	-۲۶/۲۸	-۱/۵۲	-۳/۲۳	-۲۶/۴۷	۳۷/۲	۴۶
۱۴۷	Fe>N>B>K>Cu>Mn>zn>P	۲/۲۴	۱۷/۶۹	۲۷/۵۷	۲۳/۱۷	-۱۰/۸۰	۷/۳۲	۴۸/۳۹	-۱۰/۰۰	۳۶/۵	۴۷
۱۸۲	Fe>K>N>Mn>B>Zn>Cu>P	۰/۰۶	۲۱/۷۷	۱/۴۰	-۱۲/۲۰	-۳۵/۰۰	-۳۲/۸۳	۴۸/۳۹	-۳۰/۰۰	۳۶	۴۸
۱۲۵	P>Zn>Mn>N>Cu>Fe>B>K	۸/۷۹	-۹/۵۲	-۱۱/۲۱	-۱۰/۲۸	۸/۵۶	۳۷/۱۲	-۲۹/۰۳	-۱۰/۰۰	۳۵	۴۹
۱۴۲	N>Zn>Cu>Fe>P>B>K>Mn	-۲/۱۲	-۱۷/۰۱	-۲۱/۵۰	۴۶/۳۴	-۹/۹۰	۶/۰۶	-۶/۴۵	-۳۲/۳۵	۳۰	۵۰

همان‌گونه که در شکل ۱، مشخص است غلظت عناصر غذایی پرمصرف فسفر و پتاسیم در مزارع با عملکرد کم کمتر از مزارع با عملکرد زیاد و در مورد عنصر نیتروژن وضعیت برعکس بود. غلظت آهن و روی در مزارع با عملکرد کم بیشتر از مزارع با عملکرد زیاد، ولی در مورد عنصر بور برعکس بود (شکل ۲). تفاوت غلظت عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی و بور در بین مزارع با عملکرد زیاد و کم در سطح احتمال یک درصد معنادار بود، ولی تفاوت غلظت بین عناصر منگنز و مس در بین مزارع با عملکرد زیاد و کم مشاهده نشد و تفاوت معناداری وجود نداشت. Ghaderi et al. (2023) در یک پژوهش دیگر در مزارع چغندر قند کرمانشاه گزارش کردند که غلظت عناصر غذایی پرمصرف نیتروژن، فسفر و منیزیم در مزارع با عملکرد کم کمتر از مزارع با عملکرد زیاد بود و در مورد عناصر پتاسیم و گوگرد وضعیت کاملاً برعکس بود که ناشی بالا بودن غلظت پتاسیم و گوگرد قابل جذب خاک‌های منطقه بود.



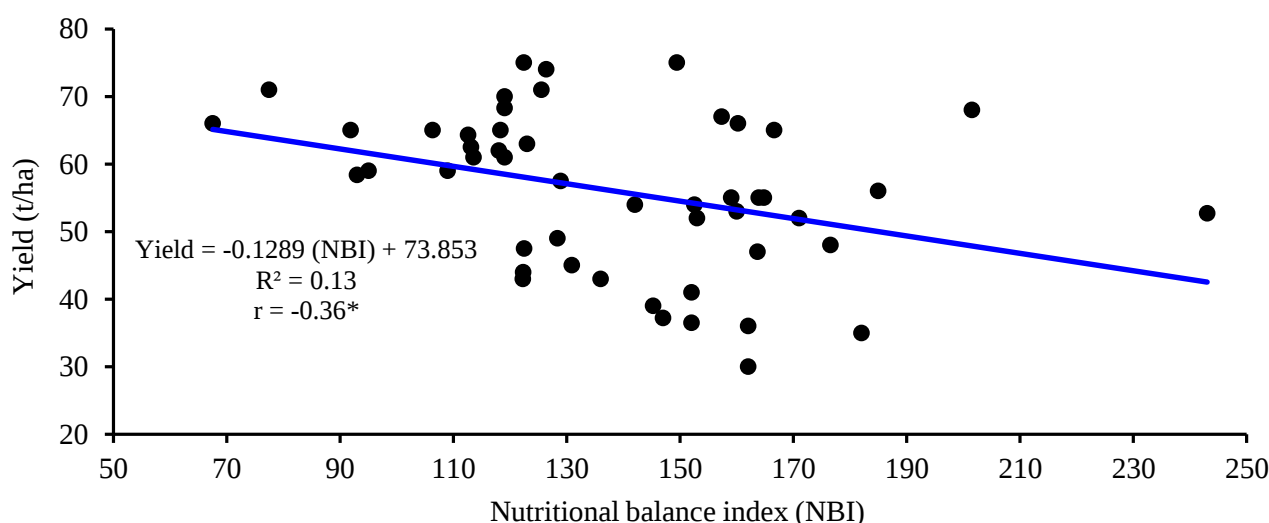
شکل ۱- مقایسه میانگین‌های غلظت عناصر غذایی پرمصرف برگ چغندر قند در مزارع با عملکرد زیاد و کم در استان سمنان (شاهرود)



شکل ۲- مقایسه میانگین‌های غلظت عناصر غذایی کم‌مصرف برگ چغندر قند در مزارع با عملکرد زیاد و کم در استان سمنان (شاهرود)

شاخص تعادل تغذیه‌ای

شاخص تعادل تغذیه‌ای^۶ (NBI یا ΣDOP) از مجموع قدر مطلق شاخص‌های DOP محاسبه شد. این شاخص معیاری برای ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای گیاه است و هر چه مجموع قدر مطلق شاخص‌های DOP (NBI) بیشتر شود، عدم تعادل تغذیه‌ای در گیاهان مورد مطالعه بیشتر خواهد بود (Montanes et al., 1993). مقدار شاخص تعادل تغذیه‌ای محاسبه شده در مزارع چغندر قند منطقه مورد مطالعه نشانگر عدم تعادل نسبی بین عناصر غذایی جذب شده به وسیله این گیاه بود که با نتایج Ghoreyshi et al. (2024) و Karimi et al. (2024) مطابقت داشت. ΣDOP برآورد شده در کلیه مزارع با عملکرد کم در محدوده ۶۸ تا ۲۴۳ به دست آمد که حاکی از عدم تعادل بین عناصر غذایی جذب شده بود. این وضعیت به مدیریت نامناسب آبیاری و کوددهی در این مزارع نسبت داده شد. با توجه به شکل ۳، رابطه معکوس معنادار در سطح احتمال ۵ درصد بین شاخص تعادل تغذیه‌ای و عملکرد چغندر قند در استان سمنان (شاهرود) وجود داشت.



شکل ۳- رابطه بین شاخص تعادل تغذیه‌ای (NBI) و عملکرد چغندر قند در استان سمنان

^۶-Nutritional balance index (NBI)

نتیجه‌گیری

روش DOP در مزارع استان سمنان توانست برای ارزیابی وضعیت عناصر غذایی، تشخیص مشکل‌های تغذیه‌ای و بهبود توصیه‌های کودی مناسب باشد. نتایج به دست آمده نشان داد که کمبود فسفر و پتاسیم به ترتیب در ۸۳/۳ و ۴۵ درصد خاک‌های مزارع چغندر قند منطقه مورد مطالعه وجود داشت. از ۶۰ مزرعه مورد مطالعه، ۱۰ مزرعه در گروه با عملکرد زیاد و ۵۰ مزرعه در گروه با عملکرد کم قرار گرفتند. میانگین عملکرد در کل مزارع، ۶۱/۱ تن بر هکتار، در مزارع با عملکرد بالا، ۸۶/۹ تن بر هکتار و در مزارع با عملکرد کم، ۳۹/۱ تن بر هکتار بود و تفاوت بین عملکرد این گروه‌ها از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنادار بود. در روش DOP، بین عناصر غذایی پرمصرف در چغندر قند، نیتروژن و در بین عناصر غذایی کم‌مصرف، منگنز و آهن بیشترین کمبود را در مزارع با عملکرد کم داشتند. مقدار شاخص تعادل تغذیه‌ای (NBI) برای مزارع چغندر قند در این استان نشانگر عدم تعادل تغذیه‌ای بود. این وضعیت به مدیریت نامناسب آبیاری و کوددهی در این مزارع نسبت داده شد. بنابراین، برای افزایش عملکرد چغندر قند در استان سمنان (شاهرود)، باید به مصرف کودهای عناصر غذایی پرمصرف (نیتروژن و فسفر) و عناصر غذایی کم‌مصرف (آهن، منگنز و روی) توجه ویژه‌ای مبذول شود.

منابع مورد استفاده

References

- Abbasi-Karvaneh, Z., Ranjbar, F., Beheshti-Alagha, A., Sharifi, R., & Chaghazardi, H. (2024). Improvement of iron chlorosis and nutrient balance in peach and nectarine trees under the integrated fertilization management using DOP, DRIS, and CND methods. *Scientia Horticulturae*, 338, 113697. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113697>
- Allison, L.E., & Moodie, C.D. (1965). Carbonates. Pp. 1379-1398. In: Black C.A. (Ed.). *Methods of Soil Analysis*. Part 2. *Chemical and Microbiological Properties*. Monograph No. 9, ASA, SSSA, Madison, WI, USA. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.c40>
- Anonymous. (1989). *The Penn State Agronomy Guide*. College of Agriculture Extension Service, Pennsylvania State University, USA.
- 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).
- Atarodi, B., Zabihi, H.R., & Zangiabdi M. (2022). Evaluation of nutritional status of saffron (*Saffron crocus* L.) in South Khorasan province by "Deviation from Optimum Percentage" (DOP) Method. *Saffron Agronomy & Technology*, (2), 117-127. <https://doi.org/10.22048/jsat.2022.315828.1443>
- 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.
- Buresh, R. J., Austin, E. R., and Craswell, E. T. (1982). Analytical methods in N-15 research. *Fertilizer Research*, 3, 37-62. <https://doi.org/10.1007/BF01053296>
- Daryashenas, A.M., & Saghaei, K. (2011). Compositional nutrient diagnosis in sugar beet. *Iranian Journal of Soil Research*, 25(1), 1-12. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/IJSR.2011.126454>
- Dordipour, A., Emami, P., & Daryashenas, A. (2012). Evaluation of nutritional balance in peach orchards using the deviation from optimal percentage method. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 2(1), 79-94. (in Persian with English abstract). <https://sid.ir/paper/209699/fa>

- Geiklooi, A., Reyhanitabar, A., & Najafi, N. (2018). Determination and validation of diagnosis norms of nutrients for wheat in Moghan region. *Iranian Journal of Soil Research*, 32(3), 319-329. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/IJSR.2018.117822>
- Ghaedri, J., Taherani, H., Fardin, H., Heydari, G., & Khalil, M. (2023). Evaluation of nutritional balance in sugar beet fields of Kermanshah province using deviation from optimal percentage (DOP) and Compositional Nutrient Diagnosis (CND) methods. *Soil Research*, 37(2), 95-115. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/IJSR.2023.359848.678>
- Ghoreshi, S. J., Sepehrmand, S., & Sharifmand, M. (2024). Evaluation of nutritional status of watermelon by Compositional Nutrient Diagnosis (CND) and its comparison with Deviation from Optimum Percentage (DOP). *Iranian Journal of Soil Research*, 38(3), 211-223. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/IJSR.2024.365484.744>
- Hanway, J.J., & Heidel, H. (1952). Soil analysis methods as used in Iowa state college soil testing laboratory. *Iowa Agriculture*, 57, 1-13.
- Jones, J. (2001). *Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis*. CRC Press, LLC. Boca Raton, Florida, USA.
- Karimi, Z., Safirzadeh, N., Noorazi, A., Ariz, A., & Afshin, A. (2024). Assessment of nutritional status of sugarcane using the deviation from optimal percentage (DOP) method in Khuzestan province. *Iranian Journal of Water and Soil Research*, 55(3), 449-466. (in Persian with English abstract).
- Khiari, L., Parent, L.E., & Tremblay, N. (2001). The phosphorus compositional nutrient diagnosis range for potato. *Agronomy Journal*, 93, 815-819. <https://doi.org/10.2134/agronj2001.934815x>
- Kuo, S. (1996). Phosphorus. Pp. 869-918. In: Sparks, D.L. (Ed.) *Methods of Soil Analysis*. Part 3-Chemical Methods. Book Series No. 5, SSSA and ASA, Madison, WI, USA.
- Malakouti, M.J., & Ghaebi, M.N. (1997). *Determination of critical limits for nutrient elements for strategic crops and proper fertilizer recommendations in the country*. Agricultural Education Publishing, Karaj, Iran. (in Persian).
- Malakouti, M.J., Keshavarz, P., & Karimian, N. (2008). *A comprehensive method for optimal fertilizer diagnosis and recommendation for sustainable agriculture*. Tarbiat Modares University Press, Tehran, Iran. (in Persian)
- Marschner, H. (1995). *Mineral nutrition of higher plants*. 2nd Ed. Academic Press, San Diego, USA, 880p.
- McGrath, J.M., & Townsend, B.J. (2015). Sugar beet, energy beet, and industrial beet. Pp. 81-99. In: Cruz, V.M.V., Dierig, D.A. (eds) *Industrial crops: Handbook of plant breeding*. Volume 9, Springer, New York, USA. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1447-0_5
- Mclean, E.O. (1982). Soil pH and lime requirement. Pp. 199-224. In: Page A.L., R.H. Miller, & D.R. Keeney (Eds). *Methods of soil analysis*. Part 2. *Chemical and microbiological properties*. Soil Science Society of America Book Series 5. Madison, WI, USA. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c12>
- Miran, N., & Samadi, A. (2013). Determination and use of DRIS norms for evaluating nutritional status of sugar beet in Western Azerbaijan province. *Water and Soil Science*, 24(1), 195-207. (In Persian with English abstract)
- 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, 1289-1308.
- Morais, T.C.B.D., Prado, R.M., Traspadini, E.I.F., Wadt, P.G.S., Paula, R.C., & Rocha, A.M.S. (2019). Efficiency of the CL, DRIS and CND methods in assessing the nutritional status of *Eucalyptus* spp. rooted cuttings. *Forests*, 10(9), 786. <https://doi.org/10.3390/f10090786>
- Najafi, N., & Towfighi, H. (2013). Effects of soil moisture regimes and phosphorus fertilizer on available and inorganic P fractions in some paddy soils, north of Iran. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 42(2), 257-269. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/ijswr.2012.24354>

- Noori, O., Taheri, M., & Tokasi, M. (2015). Evaluation of tarom olive orchards nutritional status using the deviation from optimum percentage method (DOP). *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 5(1), 79-95. <https://doi.org/20.1001.1.23221267.1394.5.1.5.6>
- Rhoades, J.D. (1996). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. Pp. 417-435. In: D.L. Sparks et al. (ed.) *Methods of soil analysis*. Part 3. *Chemical methods*. Soil Science Society of America (SSSA) and American Society of Agronomy (ASA), Book Series 5, Madison, WI, USA.
- Ryan, J.R., Stefan, G., & Rashid, A. (2001). *Soil and plant analysis laboratory manual*. Second Edition, ICARDA, Aleppo, Syria.
- Samadi, A., & Majidi, A. (2010). Determination of reference numbers for the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) method and its comparison with the deviation from optimal percentage (DOP) method in seedless white grape. *Iranian Journal of Soil Research*, 24(2), 89-105. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/ijsr.2010.126553>
- Sharifmand, M., Sepehr, I., & Baybordi, M. (2019). Evaluation of nutritional status of squash through Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) and Deviation from Optimum Percentage (DOP) methods in Khoy. *Water and Soil Science*, 29(3), 137-149. (in Persian with English abstract)
- 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. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36, 2823-2838. <https://doi.org/10.1080/00103620500305991>
- 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. Pp. 166-194. In: D.R. Nielsen and J. Bouma (Eds.). *Soil spatial variability*. Pudoc, Wagenigen, the Netherlands. <https://doi/full/10.5555/19851900446>