Plant Prod., 2025, 48(3), 439 - 454
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2025.48524.2241
Received: 6 December 2024
Accepted: 2 March 2025

Plant Productions

Research Article

Investigating the balance of sugarcane nutrients using the DRIS model in the fields of north Khuzestan

Adel Neisi[1], Mostafa Chorom[2*], Heydar Ghafari[3], Jafar Alekasir[4]

1. PhD Student, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
2. Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
3. Assistant Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
4. Researcher of Khuzestan Sugarcane Research and Training Institute, Ahvaz, Iran

Citation: Neisi, A., Chorom, M., Ghafari, H., Alekasir, J. (2025). Investigating the balance of sugarcane nutrients using the DRIS model in the fields of north Khuzestan. *Plant Productions*, 48(3), 439 - 454.

Abstract

Introduction

Plant nutrition, as a very effective factor in plant yield, is a function of the interaction effects of nutrients. Fertilization management based on soil test results has not led to optimal crop yield in many cases in plant cultivation because it does not show the synergistic and antagonistic effects of nutrients in the soil and their absorption by the plant. By using leaf analysis, examining the status of its nutrients and interpreting the results correctly and accurately, very good information about the nutritional status of the plant is obtained. Diagnosis and Recommendation Integrated System Method: A bivariate method is proposed as a diagnostic tool to express the concept of nutritional balance and to minimize limitations in interpreting the nutritional status of plants. Sugarcane, scientifically known as Saccharum officinarum, is a perennial plant from the cereal family and is an important agricultural crop that is cultivated in many tropical and subtropical regions of the world. Recently, many studies have been conducted in the country on the management of nutrients in various agricultural and horticultural plants using the DRIS method. However, no research has been conducted in the country so far on the status of nutritional balance of sugarcane using this method. Therefore, the purpose of this study is to investigate the nutritional balance and determine the priority of nutrient requirements in ratoon sugarcane farms of the Imam Khomeini Agro-Industry Company in northern Khuzestan Province, with the aim of identifying and eliminating critical nutrient levels or ranges that limit sugarcane yield. This research will contribute to the identification of nutritional disorders, the prioritization of nutrient

* **Corresponding Author:** Mostafa Chorom
E-mail: m.chorom@scu.ac.ir

© 2025 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

needs, the determination of their optimal ranges in the plant, and the improvement of fertilization management strategies.

Materials and Methods

This research was conducted in the north of Khuzestan province, in the Shoaibieh region, in the sugarcane farms of Imam Khomeini Agricultural and Industrial Company located at 31°39' to 31°55' North and 48°39' to 48°48' East. In order to investigate the nutritional balance of sugarcane using the Integrated Diagnosis and Recommendation System (DRIS) method, a database was prepared using sampling and chemical analysis of sugarcane leaves and farm performance. In this research, 25 ratoon (regrowth) sugarcane farms of the CP69-1062 variety with an area of 550 hectares were selected and leaf-soil tissue sampling was carried out. Thus, a composite sample of plant leaves including 10 fully visible and developed leaf samples (third leaf from the top) from each of the ten designated locations in each field and soil samples from a depth of 0-30 cm, totaling 750 samples, was collected. Including three replicate composite samples of 10 samples for each field.

Results and Discussion

Farm classification based on Sharma method, considering the yield of 112 ton. ha^{-1} as the median yield, out of 25 studied ratoon sugarcane farms, 5 farms were in the high-yield group and 20 farms were in the low-yield group. The average sugarcane yield in the high-yield group and in the low-yield group was 117.05 and 94.18 ton. ha^{-1}, respectively. According to the results of DRIS nutritional indices, it was determined that in the low-yield sugarcane farms studied, potassium was the most negative among the high-yield elements and zinc was the most negative among the low-yield elements. The relative distribution of sugarcane nutritional status based on nutrient indices showed that 65 percent of the farms in the low-yield group had |IK |>NBIa and IK <0. This indicates a severe deficiency of ratoon sugarcane farms. Prioritization of nutritional needs in the studied farms was determined into two high-yield and low-yield categories as follows: K>Ca>P>N>Mg and Zn>Mn>Fe>Cu.

Conclusion

Using the DRIS method, it was found that the nitrogen index in 30% of the studied farms was positive and higher than the average value of the nutrient balance index |IN |>NBIa and IN>0, which indicates the high consumption of fertilizers containing this element and should be considered. The DRIS index for the nutrient element potassium was the most negative index among the most consumed elements, which indicates the low absorbable form in the soil and the lack of application of potassium fertilizer at the time of first cultivation, and the sugarcane plant's need for this element should be met from potash fertilizer sources in subsequent years (ratoon).

Keywords: Leaf decomposition, Nutrient balance index, Nutrient detection, Ratoon sugarcane, Yield

تولیدات گیاهی، ۱٤۰٤، ٤۸(۳)، ٤۳۹ - ٤٥٤
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2025.48524.2241
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۲

تولیدات گیاهی
مقاله پژوهشی

بررسی تعادل عناصر غذایی نیشکر با استفاده از مدل DRIS در مزارع شمال خوزستان

عادل نیسی[۱]، مصطفی چرم[۲*]، حیدر غفاری[۳]، جعفر آل کثیر[٤]

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۲- استاد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۳- استادیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۴- محقق مؤسسه تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر و صنایع جانبی خوزستان، اهواز، ایران

چکیده

روش سیستم یکپارچه تشخیص و توصیه (Diagnosis and Recommendation Integrated System) یک روش دو متغیره، به عنوان ابزار تشخیص جهت به حداقل رساندن محدودیت‌ها و بیانگر مفهوم تعادل تغذیه‌ای در تفسیر وضعیت تغذیه‌ای گیاهان است که برای شناسایی محدودیت‌های عناصر غذایی که با تحلیل نتایج آزمون خاک تشخیص داده نمی‌شوند، پیشنهاد شده است. بررسی وضعیت تعادل عناصر غذایی با کمک روش DRIS با به دست آوردن اعداد مرجع براساس مزارع دارای عملکرد مطلوب صورت می‌گیرد. پژوهشی به منظور بررسی وضعیت تعادل تغذیه‌ای نیشکر به روش سیستم یکپارچه تشخیص و توصیه (DRIS)، با انتخاب ۲۵ مزرعه به مساحت کل ۵۵۰ هکتار از مزارع نیشکر راتون کشت و صنعت امام خمینی واقع در شمال استان خورستان با انجام نمونه برداری از برگ گیاه شامل ۱۰۰ نمونه برگ کامل (سومین برگ از بالا) از ده نقطه مشخص در هر مزرعه و نمونه-برداری خاک از عمق ۰-۳۰ سانتی متری شامل ۳۰ نمونه برای هر مزرعه در سال زراعی ۱٤۰۱-۱٤۰۲ اجرا گردید. در این بررسی عملکرد ۱۱۲/۳۱ تن در هکتار نیشکر به عنوان عملکرد بحرانی یا حدواسط به دست آمد که براساس آن از بین ۲۵ مزرعهٔ نیشکر مورد ارزیابی، ۵ مزرعه در گروه مزارع با عملکرد زیاد و ۲۰ مزرعه در گروه مزارع با عملکرد کم قرار گرفتند. میانگین عملکرد نیشکر در گروه مزارع با عملکرد زیاد و در گروه مزارع با عملکرد کم به ترتیب ۱۱۷/۰۵ و ۹٤/۱۸ تن در هکتار بود. نتایج نشان داد که با توجه به شاخص تعادل غذایی DRIS (NBI) عنصر پتاسیم از میان عناصر پرمصرف، منفی‌ترین شاخص و از میان عناصر کم مصرف، عنصر روی منفی‌ترین شاخص بود. براساس توزیع فراوانی نسبی و مقدار میانگین شاخص تعادل غذایی (NBI_a) از نظر عنصر پتاسیم، ٦۵ درصد مزارع دارای کمبود شدید، از نظر عنصر نیتروژن، ۳۰ درصد مزارع دارای بیش‌بود، از نظر عناصر منگنز، آهن و کلسیم، ۱۰۰ درصد مزارع در حد بهینه و همچنین از نظر عنصر فسفر، ۹۵ درصد مزارع در حد بهینه تشخیص داده شد. شاخص تعادل غذایی برای عنصر مس برخلاف عنصر روی در کل مزارع مثبت بود که به عنوان مثبت‌ترین شاخص در میان عناصر کم مصرف شناسایی شد و نشان دهندهٔ بیش‌بود این عنصر است که بایستی مورد توجه قرار گیرد. اولویت بندی نیاز عناصر غذایی در مزارع مورد مطالعه به تفکیک عناصر پرمصرف و

نویسنده مسئول: مصطفی چرم
رایانامه: m.chorom@scu.ac.ir

کم مصرف بدین ترتیب مشخص شد (Zn>Mn>Fe>Cu و K>Ca>P>N>Mg). رابطهٔ رگرسیونی و همبستگی بالای منفی و معنی‌دار (P<0.01) بین شاخص تعادل عناصر غذایی و عملکرد نیشکر در مزارع مورد مطالعه برقرار بود که نشان‌دهندهٔ مثبت بودن بررسی وضعیت عناصر غذایی با این روش است بنابراین می‌تواند در جلوگیری از کاهش عملکرد نیشکر مؤثر باشد.

کلید واژه‌ها: تجزیهٔ برگ، تشخیص عناصر غذایی، شاخص تعادل غذایی، عملکرد، نیشکر راتون

مقدمه

تغذیهٔ بهینهٔ گیاه برای افزایش کمیت و کیفیت محصول ضروری است. نه تنها تأمین هر ماده مغذی در مقادیر کافی، بلکه حفظ تعادل و نسبت‌های مناسب بین تمام مواد مغذی بسیار مهم است (Malakouti and Homaei, 2004). تغذیهٔ گیاه به عنوان یک عامل بسیار مؤثر در عملکرد گیاه، تابعی از اثرات متقابل عناصر غذایی می‌باشد. مدیریت کوددهی براساس نتایج آزمون خاک در خیلی از موارد در کشت گیاهان منجر به عملکرد مطلوب محصول نشده است، زیرا اثرات سینرژیستی و آنتاگونیسمی عناصر غذایی در خاک و جذب آن توسط گیاه را نشان نمی‌دهد. با استفاده از تجزیهٔ برگ، بررسی وضعیت عناصر غذایی آن و تفسیر صحیح و دقیق نتایج، اطلاعات بسیار خوبی از وضعیت تغذیه‌ای گیاه به دست می‌آید (de Lima Neto *et al.*, 2022). بنابراین تعیین دقیق مقدار، ترتیب و اولویت نیاز عناصر غذایی هر گیاه نیازمند روش علمی مبتنی بر اندازه‌گیری و تفسیر صحیح است تا بتوان اختلالات تغذیه‌ای گیاه را شناسایی نمود (da Silva *et al.*, 2022). در تغذیهٔ صحیح گیاه، نه تنها باید هر عنصر غذایی به اندازه کافی در دسترس گیاه قرار گیرد، بلکه باید تعادل میان نسبت مناسب همه عناصر غذایی در گیاه برقرار باشد (Sumner, 1997). به عبارت دیگر، اگر گیاه در شرایطی باشد که از میان همه عناصر غذایی مورد نیاز، تنها یک عنصر غذایی به مقدار کافی در دسترس گیاه نباشد، در این شرایط افزایش سایر عناصر غذایی اثر چندانی در رشد گیاه ندارد اما با افزایش عنصر غذایی محدود کننده، رشد گیاه به صورت چشم‌گیری افزایش می‌یابد (de Mello Prado and Rosen, 2020). از آنجایی که حفظ اراضی موجود و افزایش کمی و کیفی عملکرد محصول در واحد سطح از هدف‌های اساسی مدیریت منابع کشاورزی می‌باشد و مصرف بهینهٔ کود و رعایت تناسب بین عناصر غذایی در افزایش کمی و کیفی محصول اهمیت زیادی دارد، بر این اساس تغذیهٔ صحیح گیاه برای بهبود کیفیت و کمیت محصولات کشاورزی بسیار مهم است. نه تنها حصول اطمینان از این که تمام عناصر لازم به اندازهٔ کافی در دسترس گیاهان هستند، بلکه حفظ تعادل و نسبت مناسب بین تمام عناصر غذایی ضروری نیز مهم است. این تعادل برای دستیابی به رشد و نمو مطلوب گیاه، افزایش جذب عناصر غذایی و در نهایت بهبود کیفیت کلی محصولات برداشت شده ضروری است (Hosseini fard *et al.*, 2019; Afarnejadi *et al.*, 2020). در حالت عدم تعادل تغذیه‌ای، افزودن مقدار معینی از عناصر غذایی نه تنها باعث بهبود عملکرد گیاه نمی‌شود، بلکه می‌تواند رشد گیاه را مختل کرده و در نهایت منجر به کاهش بهره‌وری شود. حفظ تعادل مناسب عناصر غذایی برای سلامت و بهره‌وری مطلوب گیاه مهم است (Malkooti *et al.*, 2008).

روش سیستم یکپارچه تشخیص و توصیه، (Diagnosis and Recommendation Integrated System(DRIS)، یک روش دو متغیره، به عنوان یک ابزار تشخیص، بیانگر مفهوم تعادل تغذیه‌ای و برای به حداقل رساندن محدودیت‌ها، در تفسیر وضعیت تغذیه‌ای گیاهان پیشنهاد شده است (Beaufils 1973). در مواردی محدودیت‌های عناصر غذایی در کشت محصولات کشاورزی با تحلیل نتایج آزمون خاک

تشخیص داده نمی‌شوند (Nziguheba *et al.*, 2009) لذا بررسی وضعیت تغذیه با روش DRIS می‌تواند کارآمد باشد و بر روی محصول، مدیریت و ویژگی های گیاه منعکس شود (Ribeiro *et al.*, 2020). اندازه‌گیری و تعیین حد نرمال عناصر معدنی ضروری گیاهان (جذب شده) با کمک روش DRIS به تعیین قدرت حاصلخیزی خاک و رابطهٔ آن با افزایش عملکرد می‌پردازد (Behera *et al.*, 2016; Franco-Hermida *et al.*, 2017). در این روش سعی شده است از تمام شرایط اکولوژیکی مانند خاک ، آب و هوا استفاده شود. در روش DRIS برای تشخیص تغذیه‌ای در یک محصول، لازم است نرم‌ها یا استانداردهای DRIS را که می‌توان برای بافت گیاهی و یا خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک به دست آورد، ایجاد کرد (Pereira da Silva and Justino Chiaia, 2021). بهترین استانداردها از یک پایگاه داده بزرگ برای یک ژنوتیپ خاص در یک منطقهٔ کشاورزی اکولوژیکی خاص، که در آن متغیرهای اقلیمی، آب و هوا، شیوه‌های مدیریت یکپارچه محصول، عملکرد محصول، غلظت عناصر غذایی در گیاه و متغیرهای شیمیایی و فیزیکی خاک به رابطه خاک - محیط - گیاه مرتبط است (Franco-Hermida *et al.*, 2020; Herrera, 2015; Landriscini *et al.*, 1997). در سال‌های گذشته، مطالعات متعددی با هدف توسعهٔ استانداردهای تغذیه از جمع آوری داده های محصولات تجاری با استفاده از DRIS انجام شده است (McCray *et al.*, 2006; Politi *et al.*, 2013)، اما محدود به شرایط اکوفیزیولوژیکی یا مدیریتی خاص است (Dias *et al.*, 2017). با این حال، به دست آوردن استانداردهای منطقه‌ای می‌تواند به استفاده منطقی از نهاده-ها و دستاوردهای بهره‌وری تولید محصولات کشاورزی کمک کند (McCray *et al.*, 2015). روش DRIS برای مناطقی که مصرف کوددهی نامتعادل می‌باشد، بسیار مفید است (Calheiros *et al.*, 2018). این روش از غلظت عناصر غذایی در گیاهان با عملکرد بالا به عنوان معیاری برای بررسی رشد گیاه و دستیابی به حداکثر عملکرد استفاده می‌کند. در روش DRIS، جداسازی گروه‌های با عملکرد بالا و پایین براساس میانگین عملکرد مزارع منتخب است، بدین ترتیب که مزارع دارای عملکرد کمتر از میانگین را در گروه عملکرد پایین و مزارع دارای عملکرد بیشتر از میانگین را در گروه عملکرد بالا دسته بندی می‌کنیم. براساس این فرض که نمونه‌های با کارایی بالا دارای توزیع مرجع و همگن در غلظت عناصر غذایی هستند (Walworth and Sumner, 1987). در این روش برای هر عنصر شاخص تعادل غذایی (NBI) محاسبه می‌شود که می‌تواند مثبت و منفی باشد و هرچه به عدد صفر نزیک تر باشد بهترین حالت برای تعادل خواهد بود (da Silva, *et al.*, 2021; Beaufils, 1973). اولین پژوهش‌هایی که در کشور از روش DRIS نیز در تعیین حد بهینهٔ اعداد مرجع عناصر غذایی محصولاتی چون سیب زمینی، ذرت، چغندرقند، پسته و توت (Daryashenas, 2011) گندم آبی استان آذربایجان شرقی (Faizi and Baybordi, 2005) و تاکستان های استان کهگیلویه و بویر احمد (Godarzi and Hosseini Farhi, 2008) استفاده شده است.

در سال‌های اخیر پژوهش‌هایی به منظور بررسی وضعیت عناصر غذایی نیشکر در جهان انجام شده است از جمله این مطالعات، da Silva(*et a.l* (2021 برروی عناصر غذایی نیشکر در ایالت سائوپائولو برزیل نشان داد که سطح کم نیتروژن و سطوح بیش از حد مس موجب کاهش بهره‌وری نیشکر گردید. مطالعهٔ دیگری توسط Calheiros *et al.* (2018) برروی تعادل عناصر غذایی نیشکر در شمال شرقی ایالت آلاگواس، برزیل، بیش از حد بودن نیتروژن و محدودیت‌های کلسیم، منیزیم، پتاسیم، منگنز، مس، روی و بور را در نیشکر شناسایی کردند.

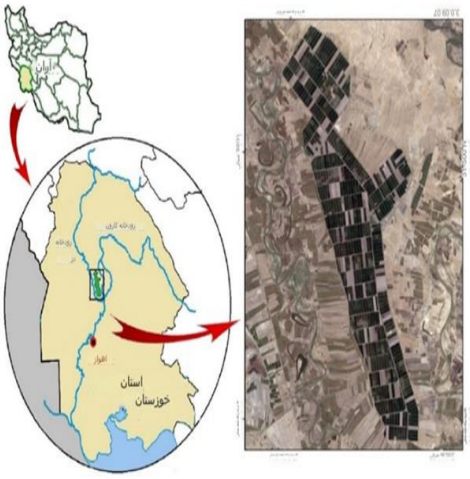
نیشکر با نام علمی *Saccharum officinarum* L. گیاهی چند ساله از تیرهٔ غلات یک محصول کشاورزی مهم است که در بسیاری از مناطق گرمسیری و نیمه

گرمسیری جهان کشت می‌شود (Salman *et al.*, 2023). نیشکر مساحتی بالغ بر ۲۶/۹ میلیون هکتار را در بیش از ۱۰۹ کشور اشغال می‌کند (Choudhary *et al.*, 2016). این گیاه به عنوان محصولی طبقه‌بندی می‌شود که به عناصر غذایی فراوانی از خاک نیاز دارد و برای تولید ۱۰۰ تن در هکتار، ورودی ۱۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۴ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۳۳۲ کیلوگرم در هکتار پتاسیم برآورد می‌شود (Bokhtiar *et al.*, 2001; Dotaniya *et al.*, 2016). اخیراً مطالعات زیادی در مورد مدیریت عناصر غذایی در گیاهان مختلف زراعی و باغی با روش DRIS در کشور انجام شده است (Daryashenas and Rezaei, 2010; Hosseini, 2016; Giklovi *et al.*, 2019; Taheri *et al.*, 2019; Mashtari *et al.*, 2020; Mashtari *et al.*, 2021). اما در مورد بررسی وضعیت تعادل عناصر غذایی نیشکر با این روش تاکنون پژوهشی در کشور انجام نشده است. بنابراین هدف از این مطالعه بررسی وضعیت تعادل تغذیه‌ای و تعیین اولویت نیاز به عناصر غذایی مزارع نیشکر راتون در منطقهٔ شعیبیه در شمال استان خوزستان می‌باشد که سطوح بحرانی یا محدوده‌های بحرانی عناصر غذایی محدود کنندهٔ عملکرد نیشکر را مشخص و برطرف نماید. بنابراین این بررسی می‌تواند در شناسایی اختلالات تغذیه‌ایی، اولویت بندی نیاز عناصر غذایی و تعیین محدودهٔ بهینهٔ آن‌ها در گیاه و اصلاح مدیریت کوددهی کمک نماید.

مواد و روش ها

این تحقیق در منطقهٔ شعیبیه واقع در شمال خوزستان مزارع نیشکر شرکت کشت و صنعت امام خمینی واقع در ۳۱ درجه و ۳۹ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۵۵ دقیقهٔ شمالی و ۴۸ درجه و ۳۹ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۴۸ دقیقه شرقی انجام شد (شکل ۱). مدیریت کوددهی مرسوم در کشت و صنعت نیشکری شمال خوزستان بدین صورت که در سال اول کشت ۱- کود فسفاته (سوپرفسفات تریپل) ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار به صورت جامد در خاک ۲- کود آلی کمپوست (بقایای نیشکر) ۳۵-۴۰ تن در هکتار و ۳- کود ازته (اوره) – ۴۰۰ کیلوگرم درهکتار به صورت کود آبیاری بوده اما در سال‌های بعدی (بازروئی) فقط از کود ازته (اوره) – ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار کود آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرد. آبیاری مزارع نیشکر توسط لوله‌های هیدروفلوم کم فشار به صورت جوی ته بسته انجام می‌شود. به منظور بررسی وضعیت تعادل تغذیه‌ای نیشکر به روش سیستم یکپارچه تشخیص و توصیه (DRIS)، بانک اطلاعاتی با استفاده از نمونه‌برداری و تجزیهٔ شیمیایی برگ‌های کامل نیشکر و عملکرد مزارع تهیه گردید.

در این پژوهش ۲۵ قطعهٔ زراعی از مزارع نیشکر راتون با واریتهٔ CP69-1062 به مساحت کل ۵۵۰ هکتار انتخاب و نمونه‌برداری بافت برگ براساس روش نمونه‌برداری ارائه شده توسط مؤسسهٔ تحقیقات و آموزش کشاورزی دانشگاه فلوریدا (McCray and Mylavarapu, 2020) انجام شد. در این روش نمونه‌های برگ نیشکر در هفتهٔ اول شهریور پس از گذشت دورهٔ رشد حداکثری گیاه نیشکر تهیه گردید. در این روش جهت نمونه‌برداری برگ، در هر مزرعه ۱۰ نقطه مکان تعیین شد و از هر نقطه مکان، ۱۰ نمونهٔ برگ کامل قابل مشاهده و توسعه یافته (سومین برگ از بالا) گرفته شد که در پایان یک نمونهٔ مرکب برگ (تعداد ۱۰۰ برگ) برای هر مزرعه تهیه شد و در مجموع ۲۵۰۰ برگ برای ۲۵ مزرعه جمع‌آوری گردید. به منظور حذف ذرات خاک، ابتدا نمونه‌های برگ با آب مقطر شستشو داده شدند و پس از هواخشک نمودن آن‌ها، حدود ۲۰ سانتی متر از قسمت میانی نمونه برگ‌ها را جدا کرده و رگبرگ اصلی آن‌ها حذف شد. سپس درون آون در دمای ۶۵ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده تا خشک شدند و در مرحلهٔ بعد با دستگاه آسیاب گیاه، آسیاب شدند. به منظور آنالیز شیمیایی سطوح نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیوم، مس، آهن، منگنز و روی با توجه به روش توصیف شده توسط باتاگالیا و همکاران (Bataglia *et al.*, 1983) انجام شد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

Figure 1. Location of the study area

در فصل برداشت مزارع نیشکر راتون، عملکرد مزارع مورد نظر جمع آوری و به پایگاه داده اضافه گردید.

مدل DRIS

بررسی وضعیت تعادل عناصر غذایی با کمک روش DRIS با به دست آوردن اعداد مرجع براساس مزارع دارای عملکرد مطلوب صورت می‌گیرد (Sumner, 1997). در این پژوهش جداسازی مزارع مورد مطالعه براساس عملکرد و به دست آوردن عملکرد بحرانی براساس شارما وهمکاران (Sharama *et al.*, 2005) صورت گرفت و مزارع با عملکرد زیاد جهت تعیین اعداد مرجع مشخص شدند. بدین شیوه که با محاسبهٔ میانگین و انحراف معیار عملکرد کل مزارع مورد مطالعه، تقسیم بندی یا گروه بندی مزارع انجام شد (روابط ۱ و ۲).

رابطه (۱) $(SD + M) \leq A$

رابطه (۲) $(SD + M) > B$

که در این روابط SD و M ، A و B به ترتیب بیانگر انحراف معیار و میانگین عملکرد مزارع، گروه مزارع با عملکرد زیاد و گروه مزارع با عملکرد کم است.

به منظور محاسبه توابع نسبت دوگانه عناصر غذایی براساس روش داسیلوا و همکاران (۲۰۲۱) عمل شد:

$$f\left(\frac{N}{P}\right) = \left[\frac{\frac{N}{P}}{\frac{n}{p}} - 1\right]\left(\frac{1000}{CV}\right) \qquad N/P > n/p \text{ اگر} \qquad (3)$$

$$f\left(\frac{N}{P}\right) = \left[1 - \frac{\frac{n}{p}}{\frac{N}{P}}\right]\left(\frac{1000}{CV}\right) \qquad N/P < n/p \text{ اگر} \qquad (4)$$

$$f\left(\frac{N}{P}\right) = 0 \qquad \frac{N}{P} = n/p \text{ اگر} \qquad (5)$$

در این روابط توابع f با توجه به شروط موجود بر اساس یکی از روابط ۳ تا ۵ محاسبه شده و در رابطه شاخص DRIS (معادلات ۶ و ۷) به کار رفت. در روابط ۳ ، ۴ و ۵، N/P مرجع انتخابی بین عناصر N و P در نمونه برگ محصول با عملکرد پایین، n/p اعداد مرجع بین عناصر N و Pدر میانگین نمونه برگ محصول با عملکرد بالا و CV ضریب تغییرات مرجع عناصر در محصول با عملکرد بالا است.

گام بعدی محاسبه شاخص تعادل برای تک تک عناصر مورد بررسی بود. بدین ترتیب که این شاخص‌ها به طور مثال برای عناصر P و N با استفاده از روابط ۶ و ۷ تعیین شد. در این روابط Z برابر تعداد عناصر مورد بررسی و B معادل تک تک دیگر عناصر غذایی مورد بررسی مزارع با عملکرد کم است.

$$I(N) = \frac{\sum_{i=1}^{n} f\left(\frac{N}{B}\right) - \sum_{i=1}^{m} f\left(\frac{B}{N}\right)}{n + m = z} \qquad (6)$$

$$I(P) = \frac{\sum_{i=1}^{n} f\left(\frac{P}{B}\right) - \sum_{i=1}^{m} f\left(\frac{B}{P}\right)}{n + m = z} \qquad (7)$$

در نهایت، شاخص تعادل تغذیه‌ای (NBI) که مجموع قدر مطلق شاخص‌های DRIS همه عناصر است، محاسبه می‌شود این شاخص مربوط به عملکرد محصول است و تعادل عمومی عناصر غذایی درگیر در تغذیه گیاه را تعیین می‌کند (Chacón-Pardo *et al.*, 2013). شاخص تعادل تغذیه ای میانگین (NBI_a) که از تقسیم شاخص NBI بر تعداد شاخص های عناصر غذایی مورد بررسی ، محاسبه می‌شود .این شاخص درجهٔ کفایت هر عنصر غذایی را نشان می‌دهد (Herrera Pena, 2015;López-Montoya *et al.*, 2018).

برای تفسیر کلی در مورد نتایج شاخص NBI و NBI_a از روابط ۸ تا ۱۰ استفاده می‌شود (Akhtar, 2011). برای تحلیل شاخص NBI_a با تغییرات شاخص DRIS هر یک از عناصر، یکی از حالت‌های زیر استفاده می‌شود. برای مثال برای شاخص DRIS عنصر N:

(۸) اگر $|I_N| > NBI_a$ و $I_N < 0$ کمبود این عنصر وجود دارد.

(۹) اگر $|I_N| \leq NBI_a$ در حد بهینه موجود است.

(۱۰) اگر $|I_N| > NBI_a$ و $I_N > 0$ بیش‌بود این عنصر وجود دارد.

شاخص‌های عناصر مورد مطالعه مثبت یا منفی بوده و نظر به اینکه تفاوت نسبی غلظت عناصر را از حد متعادل (نرم تعیین شده) نشان می دهد، بنابراین جمع کلیه شاخص‌ها معادل صفر خواهد بود. هر قدر شاخص عنصری بزرگتر باشد نیاز گیاه به آن عنصر کمتر است.

به منظور بررسی وضعیت حاصلخیزی خاک و توانایی آن در تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه نیشکر و مطابقت با نتایج بررسی وضعیت تعادل عناصر غذایی با استفاده از روش DRIS، برای تهیهٔ نمونه یکنواخت، نمونه‌برداری از خاک در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری در سه تکرار انجام شد و برای هر مزرعه، ۱۰ نقطه مکان نمونه‌برداری مشخص گردید. در مجموع، ۷۵۰ نمونه خاک از ۲۵ مزرعهٔ مورد مطالعه جمع‌آوری شد که امکان انجام سه آزمایش برای هر مشخصه را فراهم کرده و میانگین هر پارامتر گزارش شد. نمونه‌های خاک، هواخشک شده و به منظور تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، کوبیده شده و از الک دو میلیمتری عبور داده شدند، سپس ویژگی‌های شیمیایی خاک شامل قابلیت هدایت الکتریکی خاک در عصارهٔ گل اشباع (Corwin, 2020) برای به دست آوردن بافت خاک از روش هیدرومتر استفاده شد (Gee, 1986). مقدار کربن آلی با استفاده از روش اکسیداسیون تر اندازه گیری شد (Nelson and Sommers, 1996). نیتروژن کل به روش کجلدال (Bremner and Mulvaney, 1982) و غلظت فسفر قابل جذب خاک به روش استخراج با بیکربنات سدیم (Olsen *et al.*, 1954) عصاره گیری و غلظت آن به روش رنگ سنجی (Murphy and Riley, 1962) و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (HACH DR 3900) اندازه گیری شد. درصد کربنات کلسیم معادل به روش خنثی سازی با اسید و تیتراسیون اندازه‌گیری شد (Marzi *et al.*, 2024). غلظت پتاسیم قابل جذب خاک به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم (Helmke and Sparks, 1996) و با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر (BWB Technologies) همچنین غلظت عناصر غذایی کم مصرف (آهن، منگنز، روی و مس) به روش عصاره‌گیری با DTPA ۰/۰۰۵ مولار و با استفاده از دستگاه طیف سنج جذبی AAS اندازه گیری شد (Lindsay and Norvell, 1978). رسم نمودار با Excel و رگرسیون با نرم افزار SPSS انجام شد.

نتایج و بحث

طبقه بندی مزارع براساس عملکرد میانی: با توجه به میانگین عملکرد کل مزارع مورد مطالعه (۹۸/۷۵ تن درهکتار) و انحراف معیار آن‌ها (۱۳/۵۵) همچنین براساس محاسبات انجام شده روابط ۱ و ۲ مدل DRIS عملکرد حدواسط مبنای تقسیم بندی برابر با ۱۱۲/۳۱ تن در هکتار به دست آمد که تقریباً برابر با میانگین عملکرد مزارع نیشکر راتون (۱۱۰ تن در هکتار) است که به طور معمول با مدیریت مطلوب تر و صحیح‌تر به دست می‌آید. بنابراین از بین ۲۵ مزرعه نیشکر راتون مورد بررسی، ۵ مزرعه در گروه مزارع با عملکرد زیاد و ۲۰ مزرعه در گروه مزارع با عملکرد کم قرار گرفتند. میانگین عملکرد نیشکر در گروه مزارع با عملکرد زیاد و در گروه مزارع با عملکرد کم به ترتیب ۱۱۷/۰۵ و ۹۴/۱۸ تن در هکتار بود.

غلظت عناصر غذایی گروه مزارع با عملکرد زیاد به عنوان اعداد مرجع جهت بررسی عناصر غذایی در مزارع نیشکر راتون در نظر گرفته شد. بررسی نتایج محاسبات نشان داد که در مزارع گروه عملکرد زیاد، غلظت آهن، روی، مس و منگنز و کلسیم بیشتر از غلظت این عناصر در مزارع گروه عملکرد کم می‌باشد. در مورد سایر عناصر غذایی مورد بررسی تفاوت زیادی مشاهده نشد (جدول ۱).

با توجه به نتایج شاخص‌های عناصر غذایی DRIS مشخص شد که در مزارع نیشکر راتون مورد مطالعه گروه با عملکرد کم، عنصر پتاسیم از میان عناصر پرمصرف، منفی ترین شاخص و از میان عناصر کم مصرف، عنصر روی منفی ترین شاخص بود (شکل ۲). توزیع نسبی وضعیت تغذیه‌ای نیشکر براساس شاخص‌های عناصر غذایی نشان داد که ۶۵ درصد مزارع با گروه عملکرد کم $|I_K| > NBI_a$ و $I_K < 0$ بود. که کمبود شدید در مزارع نیشکر راتون را تداعی می‌کند. همچنین در ۳۰ درصد مزارع، عنصر نیتروژن دارای شاخص مثبت بوده و مقدار آن بزرگ‌تر از میانگین شاخص تعادل غذایی NBI_a است که نشان دهندهٔ بیش‌بود آن می‌باشد. سومین شاخص منفی مربوط به عنصر منگنز بوده اما مقدار قدر مطلق آن در ۱۰۰ درصد مزارع از NBI_a کمتر بوده بنابراین در حد بهینه قرار می‌گیرد. مقدار قدر مطلق شاخص عناصر آهن و کلسیم نیز در ۱۰۰ درصد مزارع از NBI_a کمتر بوده و در حد بهینه قرار گرفتند. در ۹۵ درصد مزارع عنصر فسفر در حد بهینه بوده که شاخص آن مثبت و از مقدار NBI_a کمتر است. شاخص عنصر مس در کل مزارع با گروه عملکرد کم مثبت بوده و برخلاف عنصر روی به عنوان مثبت‌ترین شاخص شناسایی شد که نشان دهندهٔ بیش‌بود است و بایستی مورد توجه قرار گیرد (شکل ۴). اولویت بندی نیاز عناصر غذایی در مزارع مورد مطالعه به تفکیک عناصر پرمصرف و کم مصرف بدین ترتیب مشخص شد K>Ca>P>N>Mg و Zn>Mn>Fe>Cu (شکل ۳).

نتایج ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزارع مورد مطالعه که از میانگین سه تکرار آزمایش به دست آمده است نشان داد از میان عناصر پرمصرف، میانگین غلظت عنصر پتاسیم در مزارع با گروه عملکرد زیاد و کم به ترتیب ۱۸۵/۳۳ و ۱۲۸/۱۵ درصد است و از میان عناصر کم مصرف، میانگین غلظت عنصر روی در مزارع با گروه عملکرد زیاد و کم به ترتیب ۹/۳۴ و ۷/۱۷ میلی گرم بر کیلوگرم بود که با کمبود آن در تجزیهٔ برگ این مزارع مطابقت دارد و در مزارعی که خاک دچار کمبود نبوده، عملکرد مطلوب بوده است. مقدار درصد کربن آلی خاک (معادل با ۱/۷۲۴ درصد ماده آلی) در خاک مزارع مورد مطالعه، با توجه به حد بحرانی کربن آلی در بیشتر تحقیقات انجام شده در ایران کمتر از یک درصد در نظر گرفته شده، کمتر از حد مطلوب نشان داد. حد بحرانی کربن آلی خاک یک درصد در نظر گرفته شده است (Dewan and Famouri, 1964). در برخی منابع خاک‌هایی با کربن آلی کمتر از ۲ درصد را بیثبات از جنبه فیزیکی و خاکدانه معرفی کرده‌اند (Angers and kay, 1999). میزان کربن آلی در۶۱/۶ درصد از اراضی کشاورزی ایران کمتر از یک درصد بوده که حکایت از ناپایداری حاصلخیزی خاک‌ها دارد (Belali *et al.*, 2014). همچنین کمپر و کوچ (Kemper and Koch 1966) نشان دادند که اگر کربن آلی خاک کمتر از ۲ درصد باشد، بسیاری از خاک‌ها در غرب ایالات متحده و کانادا دچار کاهش قابل توجهی در پایداری ساختاری می‌شوند. به طور مشابه، گرینلند و همکاران (Greenland *et al.*, 1975) به این نتیجه رسیدند که خاک‌های انگلستان و ولز با کمتر از ۲ درصد کربن آلی مستعد تخریب ساختاری هستند (جدول ۲).

از طرفی دیگر کمبود پتاسیم در مزارع با عملکرد کم نیز می‌تواند به رقابت یونی و عدم تعادل آن با کاتیون‌های کلسیم و منیزیم در خاک ارتباط داشته باشد که عدم توانایی گیاه در جذب آن را به دلیل عدم تعادل بودن غلظت آن با سایر کاتیون ها را تأیید می‌نماید (Rhodes *et al.*, 2018). Olsen (1972) به سازوکارهای ممکن برای توضیح روابط متضاد اشاره کرد. برهم‌کنش فسفر و روی در خاک موجب کاهش نرخ انتقال روی از ریشه به قسمت هوایی می‌شود. بنابراین کمبود روی احتمالاً به دلیل مصرف زیاد کودهای فسفره باشد. اثر رقت ساده بر محتوای روی در قسمت هوایی به دلیل رشد در پاسخ به جذب فسفر اضافی و اختلالات متابولیک در سلول‌های گیاهی، مربوط به عدم تعادل بین روی و فسفر است. کاربرد کودهای فسفره در زراعت نیشکر و عدم توجه به مقدار آن در خاک همچنان نیاز فیزیولوژیکی روی را در گیاه به دلیل اثر آنتاگونیستی افزایش می‌دهد، عمدتاً به دلیل وقوع مساعد بودن رشد ریشه به دلیل در دسترس بودن بیشتر فسفر در خاک که می‌تواند با عدم تعادل

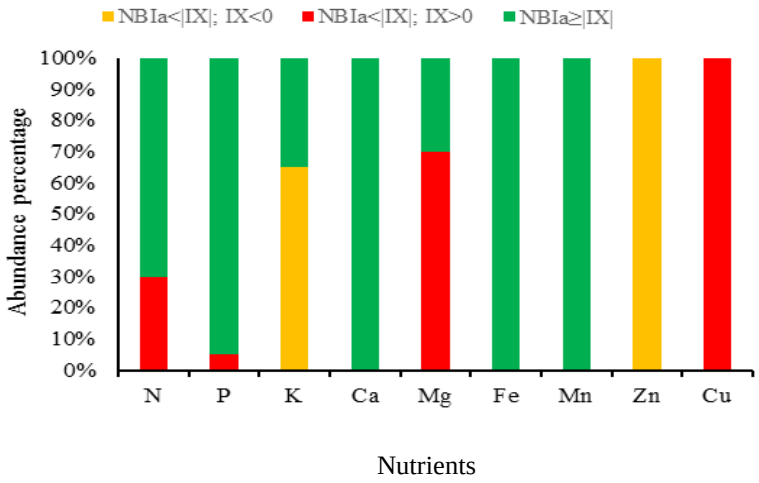
بین فسفر و روی تشدید شود (Bull *et al.*, 2008). در مطالعه‌ای نشان داده شد که مس اضافی در بافت گیاهی احتمالاً می‌تواند در محصولاتی که از سموم آفت کش استفاده می‌کنند، اتفاق بیفتد (March *et al.*, 2013). تغییرات فیزیولوژیک ناشی از مس اضافی در بافت تا حدودی به توانایی آن در حذف سایر یون‌ها، به ویژه آهن، به موقعیت آن‌ها نسبت داده می‌شود، به طوری که سمیت مس شبیه کمبود آهن است. علاوه بر این، عرضه بیش از حد مس از رشد ریشه جلوگیری می‌کند (Mengel & Kirkby, 1987).

رابطهٔ رگرسیونی و همبستگی بالای منفی و معنی‌دار ($P<0.01$) بین شاخص تعادل عناصر غذایی (NBI) و عملکرد نیشکر در مزارع مورد مطالعه برقرار بود که نشان دهندهٔ مثبت بودن بررسی وضعیت عناصر غذایی با این روش است که می‌تواند در جلوگیری از کاهش عملکرد نیشکر مؤثر باشد (شکل ۴).

جدول ۱- نتایج غلظت عناصر غذایی در برگ مزارع نیشکر راتون (میانگین ± انحراف معیار و درصد ضریب تغییرات)

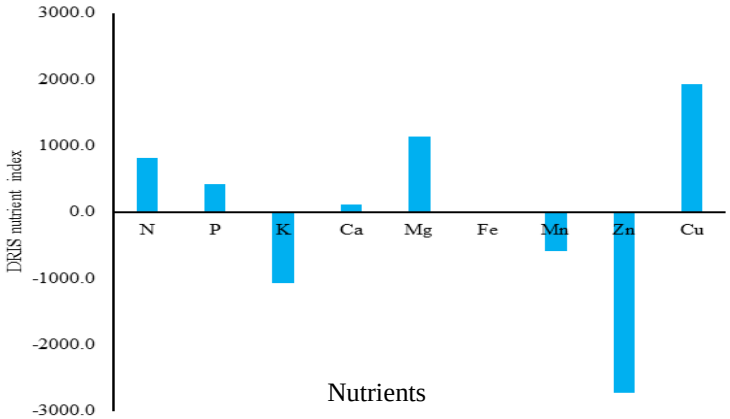
Table 1. The results of the concentration of nutrients in the leaves of ratoon sugarcane farms (mean ± Standard deviation and percentage coefficient of variation)

ratoon sugarcane farms	Average ± Standard deviation		Percentage coefficient of variation (CV)	
Variable	Low yielding farms	High-yielding farms	Low yielding farms	High-yielding farms
Yield (tons ha^{-1})	94.18±10.93	117.05±3.38	0.12	0.03
Nitrogen (%)	1.65±0.14	1.70±0.14	0.08	0.08
Phosphorus (%)	0.26±0.03	0.27±0.01	0.12	0.05
Potassium (%)	1.27±0.12	1.26±0.06	0.10	0.05
Calcium (%)	0.61±0.05	0.67±0.04	0.08	0.05
Magnesium (%)	0.3±0.05	0.33±0.02	0.16	0.05
Iron (mg/kg)	143.24±16.69	165.80±4.38	0.12	0.03
Zinc (mg kg^{-1})	15.33±2.90	20.56±0.62	0.19	0.03
Copper (mg kg^{-1})	6.73±1.44	8.68±0.15	0.21	0.02
Manganese (mg kg^{-1})	24.85±2.14	28.04±1.22	0.09	0.04



شکل ۲- فراوانی توزیع نسبی وضعیت تغذیه‌ای نیشکر بر اساس میانگین شاخص تعادل تغذیه‌ای (NBIa) و شاخص‌های عناصر غذایی نیشکر(IX)

Figure 2. The frequency of the relative distribution of sugarcane nutritional status based on the average nutritional balance index (NBIa) and sugarcane nutritional elements indices (IX)



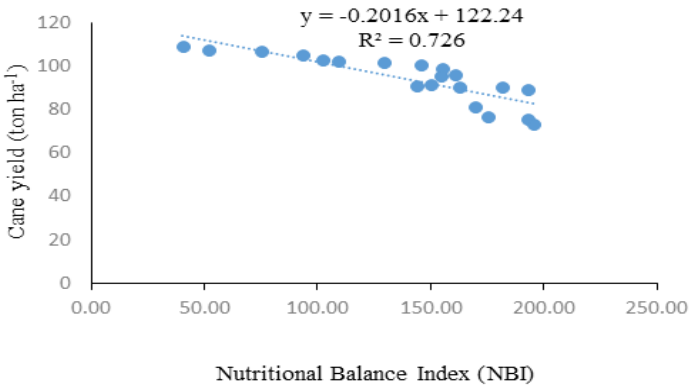
شکل ۳- میانگین شاخص‌های عناصر غذایی DRIS در مزارع مورد مطالعه

Figure 3. Average indicators of DRIS nutrients in the studied farms

جدول۲- میانگین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزارع مورد مطالعه

Table 2. The average physical and chemical characteristics of the soil of the studied fields

Property	Unit	High-yielding farms	Low yielding farms
EC	dS. m^{-1}	1.39	1.58
pH	-	7.64	7.60
N	%	0.08	0.08
P	mg. kg^{-1}	8.97	8.50
K		185.33	128.15
Ca	meq. l^{-1}	4.83	4.59
Mg		6.23	6.86
$CaCO_3$	%	35.50	35.38
O.C		0.87	0.85
Clay		42.67	41.22
Silt		47.67	47.30
Sand		9.67	11.80
Fe	mg. kg^{-1}	20.09	15.84
Zn		9.34	7.17
Cu		3.57	2.97
Mn		29.83	24.63



شکل ٤- رابطه رگرسیونی بین شاخص تعادل غذایی و عملکرد نیشکر

Figure 4. Regression relationship between food balance index and cane yield

نتیجه گیری

با استفاده از روش DRIS مشخص شد که شاخص نیتروژن در ۳۰ درصد مزارع مورد مطالعه مثبت و بیشتر از مقدار میانگین شاخص تعادل عناصر غذایی $|I_N| > NBI_a$ و $I_N > 0$ بود که نشان دهندهٔ مصرف زیاد کودهای حاوی این عنصر است و بایستی مورد توجه قرار گیرد. شاخص DRIS برای عنصر غذایی پتاسم منفی‌ترین شاخص در بین عناصر پرمصرف بود که نشان دهندهٔ کم بودن شکل قابل جذب آن در خاک و عدم کاربرد کود پتاسیم در زمان کشت اول است و ضروری است که نیاز گیاه نیشکر به این عنصر از منابع کودی پتاسه در سال‌های بعدی (راتون) تأمین گردد. در میان عناصر ریز مغذی که در محدودیت تغذیه‌ای نیشکر برجسته بودند، بیش‌بود مس است. منفی بودن شاخص روی در بین عناصر کم مصرف در کل مزارع به دلیل کافی نبودن شکل قابل جذب این عنصر در خاک و عدم کاربرد کودهای حاوی آن در کشت نیشکر است که بایستی به آن در برنامه مدیریت کوددهی توجه شود. بنابراین براساس نتایج باید: ۱- عنصر پتاسیم از میان عناصر پرمصرف و عنصر روی از میان عناصر کم مصرف در الگوی مدیریت کودی گنجانده شود. ۲- به میزان مصرف کود فسفر دقت کرده تا تعادل مناسبی بین فسفر و روی در خاک ایجاد شود. ۳- درصورت کاربرد سموم آفت کش برای کنترل آفات مزارع نیشکر به میزان عنصر همراه (مس) در انتخاب سم توجه ویژه‌ای شود. ۴- به برقرای تعادل در مصرف کودهای حاوی نیتروژن و پتاسیم در مدیریت تغذیه توجه ویژه شود. ۵- با توجه به این که خاک از نظر مادهٔ آلی در وضعیت نسبتاً ضعیف تا متوسط قرار دارد، بنابراین مقدار کود آلی کمپوست متناسب با آن در برنامهٔ مدیریت کودی قرار گیرد. ۶- در تنظیم برنامهٔ کودی مزارع به حفظ میزان شوری خاک در محدودهٔ ریشه گیاه توجه ویژه شود تا تعادل غلظت عناصر در خاک حفظ و رقابت یونی موجب اختلال در جذب برخی عناصر توسط گیاه نشود.

این مطالعه از طریق تجزیه و تحلیل جامع نمونه های بافت برگ، اهمیت نظارت بر مواد مغذی کلیدی مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم و ریز مغذی‌های ضروری را برجسته کرده است. یافته ها نشان می دهد که اجرای مدیریت مواد مغذی مبتنی بر DRIS می تواند منجر به بهبود قابل توجهی در عملکرد و کیفیت نیشکر شود و بهره‌وری کلی کشاورزی را افزایش دهد. علاوه بر این، ادغام روش DRIS در شیوه‌های معمول کشاورزی، کشاورزی پایدار را با ترویج استفاده کارآمد از مواد مغذی و کاهش اثرات زیست محیطی کود دهی بیش از حد تسهیل می کند. موفقیت این رویکرد در مناطق مختلف جغرافیایی بر تطبیق پذیری و کاربرد آن در زمینه‌های کشاورزی متنوع تأکید دارد. در نتیجه، روش DRIS ابزار ارزشمندی برای تولیدکنندگان نیشکر است که به دنبال افزایش عملکرد و پایداری محصول هستند. تحقیقات آتی باید بر پالایش پارامترهای DRIS و گسترش استفاده از آن برای ترکیب فناوری های نوظهور کشاورزی متمرکز شود و اطمینان حاصل شود که کشت نیشکر در مواجه با تغییر شرایط محیطی و افزایش تقاضای جهانی قابل دوام و مولد باقی می‌ماند.

سپاس گزاری

از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه(پژوهانه SCU.AS1403.692) و از مدیریت محترم شرکت توسعهٔ نیشکر و صنایع جانبی، کشت و صنعت امام خمینی به دلیل حمایت مالی و در اختیار قرار دادن تمام امکانات نمونه‌برداری از مزارع نیشکر سپاسگزاری می-شود.

References

Akhter, N. (2011). Comparison of DRIS and critical level approach for evaluating nutrition status of wheat in District Hyderabad, Pakistan. Thesis at Faculty of Agriculture, University of Bonn, p. 115. https://hdl.handle.net/20.500.11811/5092

Bataglia, O. C., Furlani, A. M. C., Teixeira, J. P. F., Furlani, P. R., & Gallo, J. R. (1983). Métodos de análise química de plantas. Campinas, Instituto Agronômico. (*Boletim Técnico*, 78). https://agris.fao.org/search/en/providers/123819/records/64735a912c1d629bc97bb0e8

Beaufils, E.R. (1973). Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS), A general scheme for experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition, 132. Pietermararitzburg, University of Natal. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19750729943

Behera, S. S., & Ray, R. C. (2016). Solid state fermentation for production of microbial cellulases, recent advances and improvement strategies. *International Journal of Biological Macromolecules*, 86, 656-669. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.10.090

Moshiri, F., Balali, M. R., Rejali, F., & Sedaghat, A. (2022). Integrated management framework for soil fertility and plant nutrition in Iran. *Land Management*, 10(1), 17-35. https://sid.ir/paper/961874/fa [In Persian]

Bokhtiar, S. M., Paul, G. C., Rashid, M. A., & Mafizur Rahman, A. B. M. (2001). Effect of press mud and organic nitrogen on soil fertility and yield of sugarcane grown in high Ganges River flood plain soils of Bangladesh. *Indian Sugar*, 51 (4), 235-240. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20013163951

Bremner, J. M., & Mulvaney, C. S. (1982). Nitrogen-total. Methods of soil analysis, part 2 Chemical and Microbiological Properties, 9, 595-624. https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c31

Bull, L. T., Novello, A., Corrêa, J. C., & Bôas, R. L. V. (2008). Doses de fósforo e zinco na cultura do alho em condições de casa de vegetação. Bragantia, 67, 941-949. https://doi.org/10.1590/S0006-87052008000400017

Calheiros, L. C., Freire, F. J., Moura Filho, G., Oliveira, E. C., Moura, A. B., Costa, J. V., & Rezende, J. S. (2018). Assessment of nutrient balance in sugarcane using DRIS and CND methods. *Journal of Agricultural Science*, 10 (9), 164-79. https://doi.org/10.5539/jas.v10n9p164

Chacón-Pardo, E., Camacho-Tamayo, J. H., & Arguello, O. (2013). Establishment of DRIS norms for the nutritional diagnosis of rubber (*Hevea brasiliensis* Muell Arg.) clone RRIM 600 on the Eastern Plains of Colombia. *Agronomía Colombiana*, 31(2), 215-222.

Choudhary, R. L., Wakchaure, G. C., Minhas, P. S., & Singh, A. K. (2016). Response of ratoon sugarcane to stubble shaving, off-barring, root pruning and placement of basal fertilizers with a multipurpose drill machine. *Sugar Tech*, 19 (1), 33-40. https://doi.org/10.1007/s12355-016-0438-x

Corwin, D. L., & Yemoto, K. (2020). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. *Soil science Society of America Journal*, 84(5), 1442-1461. https://doi.org/10.1002/saj2.20154

da Silva, G. P., Wadt, P. G. S., Prado, R. D. M., Caione, G., & Moda, L. R. (2022). Accuracy of plant response potential to fertilization in nutritional diagnoses for phosphorus in sugarcane. *Journal of Plant Nutrition*, 45(11), 1702-1711. https://doi.org/10.1080/01904167.2021.2014869

da Silva, L. C., Freire, F. J., Filho, G. M., de Oliveira, E. C., Freire, M. B. G. D. S., Moura, A. B., & Rezende, J. S. (2021). Nutrient balance in sugarcane in Brazil, diagnosis, use and application in modern agriculture. *Journal of Plant Nutrition*, 44 (14), 2167-2189. https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1889591

Daryashenas, A., & Rezaei, H. (2011). Determination of DRIS reference standards (DRIS) for sugar beet in Khuzestan province, *Sugar Beet Journal*, 26 (2), 185-204. https://civilica.com/doc/943925 [In Persian]

de Lima Neto, A. J., Natale, W., Rozane, D. E., de Deus, J. A. L., & Rodrigues Filho, V. A. (2022). Establishment of DRIS and CND standards for fertigated 'Prata'banana in the northeast, Brazil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(1), 765-777. http://dx.doi.org/10.1007/s42729-021-00687-7

de Mello Prado, R., & Rozane, D. E. (2020). Leaf analysis as diagnostic tool for balanced fertilization in tropical fruits. *Fruit Crops*, 131-143. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818732-6.00011-3

Dewan, M.L. & Famouri, J. (1964). The Soils of Iran. FAO.

Dias, J. R. M., Wadt, P. G. S., Partelli, F. L., Espindula, M. C., Perez, D. V., Souza, F. R., Bergamin, A. C., Delarmelinda, E. A. (2017). Normal nutrient ranges and nutritional monitoring of 'Pera' Orange trees based on the CND method in different fruiting stages. *Pesquisa Agropecu aria Brasileira*, 52 (9), 776–785. https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017000900010

Dotaniya, M. L., Datta, S. C., Biswas, D. R., Dotaniya, C. K., Meena, B. L., Rajendiran, S., & Lata, M. (2016). Use of sugarcane industrial by-products for improving sugarcane productivity and soil health. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 5 (3), 185-194. https://doi.org/10.1007/s40093-016-0132-8

Emami, A. (1996). Methods of plant analysis (1). Technical Journal No. 982. Soil and Water Research Institute. Tehran, Iran. 128-128, (982). https://sid.ir/paper/422970/fa [In Persian]

Feizi Asl, V., & Baybordi, A. (2005). Determination of Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) norms for diagnosis of nutrient situation and study of nutrients balance for irrigated wheat crop in East Azarbayjan. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 7(4), 298-309. http://agrobreedjournal.ir/article-1-308-en.html [In Persian]

Franco-Hermida, J. J., Quintero, M. F., Cabrera, R. I., & Guzman, J.M. (2017). Determination of diagnostic standards on saturated soil extracts for cut roses grown in greenhouses. *PloS One*, 12(5), e0178500. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178500

Franco-Hermida, J. J., Quintero-Castellanos, M. F., Guzmán, A. I., Guzmán, M., & Cabrera, R. I. (2020). Validating integrative nutrient diagnostic norms for greenhouse cut-roses. *Scientia Horticulturae*, 264, 109094. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109094

Gee, G. W. (1986). Particle size analysis. Methods of soil analysis/ASA and SSSA. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c15

Giklovi, A., Reyhani Tabar, A., & Najafi, N. (2019). Determination and validation of references for the detection of nutritional elements for wheat in the Moghan region. *Journal of Soil Research*, 32 (30), 330-319. https://doi.org/10.22092/ijsr.2018.117822 [In Persian]

Goodarzi, K., & Hosseini Farhi, M. (1999). Evaluation of nutritional balance in vineyards of Kohgiluyeh and Boyer Ahmad provinces using the DRIS method. *Journal of Horticultural Sciences and Technologies*. 9(1), 48-58. https://sid.ir/paper/393707/fa [In Persian]

Greenland, D. J., Rimmer, D., & Payne, D., 1975. Determination of the structural stability class of English and Welsh soils, using a water coherence test. *Journal of Soil Science*, 26, 294-303. https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1975.tb01953.x

Helmke, P. A., & Sparks, D. L. (1996). Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium. Methods of soil analysis, Part 3 Chemical methods, 5, 551-574. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c19

Herrera Peña, G. E. (2015). Obtención del sistema integrado de diagnóstico y recomendación integral (DRIS) en el cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia). https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/54819

Hosseini Fard, S. J., Heydarinejad, A., Mohammadi M. A., Sedaghati, N., Heydari, M., & Nikoei Dastjerdi, M. (2019). Determination of DRIS norms and nutrients deficiency diagnosis in Owhadi cultivar of pistachio (*Pistacia vera* L.) trees. *Pistachio Science and Technology*, 4(7), 148-163. https://pistachio.vru.ac.ir/article_103984.html [In Persian]

Hosseini. (2016). Application of the Dris method to assess the nutritional status of lime orchards in Hormozgan province. *Soil Research*, 30(4), 379-390. https://doi.org/10.22092/ijsr.2017.109257 [In Persian]

Jafarnejadi, A., Meskini Vishkaei, F., Mousavi Fadl, M., Ayneh, G., & Behbahani, L. (2020). Study of the effect of trace elements iron and zinc on the quantitative and qualitative yield of wheat under salt stress in the Khuzestan climate, *Agricultural Engineering*, 44 (4), 381-367. https://doi.org/10.22055/agen.2022.39694.1625 [In Persian]

Kay, B. D., & Angers, D. A. (1999). Soil Structure. In: Handbook of Soil Science. Sumner, M.E. pp. 229-276. CRC Press, Boca Raton, USA.

Kemper, W. D., & Koch, E. J. (1966). Aggregate stability of soils from Western United States and Canada. USDA Technical Bulletin No. 1355, Washington, DC, USA

Landriscini, M. R., Galantini, J. A., Rosell, R. A., NORMS, U. S. R. W., (1997). Determinación de normas para la aplicación del sistema DRIS en el cultivo de trigo de la región semiárida Bonaerense. *Ciencia del Suelo*, 15(1), 17-21. https://doi/full/10.5555/19980711059

Lindsay, W. L., & Norvell, W. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42(3), 421-428. https://doi.org/10.2136/sssaj1978.03615995004200030009x

López-Montoya, J., Fernández-Paz, J. A., Vásquez, H. D. & Menjivar-Flores, J. C. (2018). Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS) para piña (*Ananas comosus*), variedad Oro Miel (MD-2). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas,* 12(2), 319- 328. https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i2.7387

Malkouti, M. J., & Homaei, M. (2004). Soil fertility of arid and semi-arid regions "Problems and solutions", Tarbiat Modares University Press, Tehran, Iran, 467-469. [In Persian]

Malkouti, M. J., Keshavarz, P., & Karimian, N. A. (2008). Comprehensive methods for diagnosing and recommending optimal fertilizer for sustainable agriculture. Tarbiat Modares University Press, Tehran, Iran, 652-658. [In Persian]

March, S., S. É. Parent, J. P. & Del, L. É. (2013). Nutrient signature of quebec (Canada) cranberry (*Vaccinium macrocarpon* AIT.). *Revista Brasileira De Fruticultura,* 35, 199-209. https://doi.org/10.1590/S0100-29452013000100034

Marzi, M., Shahbazi, K., Glasshoff, S., Ferguson, R., & Beheshti, M. (2024). The optimization and comparison of calcimetry and back titration methods for determination of calcium carbonate equivalent in calcareous soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1-14. https://doi.org/10.1080/00103624.2024.2334257

Mashtari, M., Khosravinejad, A., Tavassoli, A., & Basirat, M. (2020). Assessment of the nutritional status of nutrients in East Azerbaijan vineyards using the deviation from the optimal percentage and combined nutritional detection method. *Soil Research*, 34 (1), 28-17. https://10.22092/ijsr.2022.126886 [In Persian]

McCray, J. M., & Mylavarapu, R. (2020). Sugarcane Nutrient Management Using Leaf Analysis, SS-AGR-335/AG345, 2/2020. EDIS, 2020(11). https://10.0.126.217/edis-ag345-2010

McCray, J. M., Newman, P. R., Rice, R. W., & Ezenwa, I. V. (2015). Sugarcane leaf tissue sample preparation for diagnostic analysis. IFAS Extension, 1-4. https://doi.org/10.32473/edis-sc076-2005

McCray, J. M., Rice, R. W., Ezenwa, I. V., Lang, T. A., & Baucum, L. (2006). Sugarcane plant nutrient diagnosis. Florida Sugarcane Handbook. Agronomy Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. https://doi.org/10.32473/edis-sc075-2006

Mengel, K. & Kirkby, E.A. (1987) Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute, Worblaufen-Bern, Switzerland.

Murphy, J. A. M. E. S., & Riley, J. P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 27, 31-36. https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)88444-5

Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. Methods of soil analysis, Part 3 Chemical methods, 5, 961-1010. https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c29

Nziguheba, G., Tossah, B. K., Diels, J., Franke, A. C., Aihou, K., Iwuafor, E. N. O., Nwoke, C., & Merckx, R. (2009). Assessment of nutrient deficiencies in maize in nutrient omission trials and long-term field experiments in the West African Savanna. *Plant and Soil*, 314 (1–2), 143-57. https://doi.org/10.1007/s11104-008-9714-1.

Olsen, S. R. (1972). Micronutrient interactions. In micronutrients in agriculture, ed. J. J. Mortvedt, P. M. Giordano, & W. L. Lindsay, 243-64. Madison, SSSA.

Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, E. S., & Dean, L. A. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *United States Department of Agriculture Circular*, 939, 1-18.

Pereira da Silva, G., & Justino Chiaia, H. L. (2021). Limitation due to nutritional deficiency and excess in sugarcane using the Integral Diagnosis and Recommendation System (DRIS) and Nutritional Composition Diagnosis (CND). *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 52(12), 1458-1467. https://doi.org/10.1080/00103624.2021.1885690

Politi, L. S., Flores, R. A., Silva, J. A. S., Wadt, P. G. S., Pinto, P. A. C., & Prado, R. M. (2013). Estado nutricional de mangueiras determinados pelos métodos DRIS e CND. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17 (1), 11-18. https://doi.org/10.1002/saj2.20154

Rhodes, R., Miles, N., & Hughes, J. C. (2018). Interactions between potassium, calcium and magnesium in sugarcane grown on two contrasting soils in south Africa. *Field Crops Research*, 223, 1-11. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.01.001

Ribeiro, F. O., Fernandes, A. R., Galvão, J. R., de Matos, G. S. B., Lindolfo, M. M., dos Santos, C. R. C., & Pacheco, M. J. B. (2020). DRIS and geostatistics indices for nutritional diagnosis and enhanced yield of fertirrigated acai palm. *Journal of Plant Nutrition*, 43(12), 1875-1886. http://dx.doi.org/10.1080/01904167.2020.1750643

Salman, M., Inamullah, J. A., Mihoub, A., Saeed, M. F., Radicetti, E., & Pampana, S. (2023). Composting sugarcane filter mud with different sources differently benefits sweet maize. *Agronomy*, 13 (3), 748. https://doi.org/10.3390/agronomy13030748

Sharama, V. K. (2005). A preliminary study on fertilizer management in buckwheat. *Fagopyrum*, 22, 95-97.

Sumner, M. E. (1977). Use of the DRIS system in foliar diagnosis of crops at high yield levels. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 8, 251-268. https://doi.org/10.1080/00103627709366718

Taheri, M., Vahedi, S., & Abbasi, M. (2019). Comparison of nutrient status in different olive cultivars using nutritional indices, *Fruit Research*, 5 (1), 44-59. https://journal.urmia.ac.ir/article_120946.html [In Persian]

Walworth, J. L., & Sumner, M. E. (1987). The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). In Advances in soil science (pp. 149-188). New York, NY, Springer New York. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4612-4682-4_4.