Publisher: Soil Science Society of Iran

Journal of Soil Research

(Soil and Water Sci.)

https:// srjournal.areeo.ir/

Application of the Compositional Nutrient Diagnosis (CND-clr) Method in Assessing the Nutritional Status of Tang-Siyab Pomegranate Orchards (Case Study: Kuhdasht, Lorestan Province, Iran)

Mostafa Chorom[a], Samad Abdi[b*], Ahmad Yarmohamadian[a], and Heidar Ghafari Goosheh[a]

[a] Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

[b] Soil and Water Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Khorramabad, Lorestan, Iran.

Article Info

Article Type
Research Article

Received
August 08, 2026
Revised
October 04, 2026
Accepted
October 07, 2026
Published online
November 16, 2026

Keywords
Nutrient balance
Calcareous soil
Leaf analysis
Soil analysis

[*]**Corresponding author's email**
sabdi1100@yahoo.com

Extended Abstract

Background and Objectives: Paying attention to the nutritional status of orchards through a coherent and precise management program plays an important role in producing high-quality and high-yielding products. Pomegranate production plays a vital role in the economy and employment of the Tang-Siyab region in Kuhdasht, Lorestan Province. However, to date, no research has been conducted on the nutritional status of pomegranate orchards in this region. The lack of reference norms for each region makes it difficult to assess the condition of fruit trees; therefore, it is necessary to determine reference numbers for each fruit type in each region using scientific methods. For this purpose, the Compositional Nutrient Diagnosis (CND-clr) method was used to assess the nutritional status of these orchards.

Materials and Methods: In this study, 50 orchards were selected in the study area. To assess the nutritional status of the orchard soil, composite soil sampling was carried out from two depths of 0–30 and 30–60 cm. Simultaneous composite sampling of orchard leaves was also performed in late July. The measured soil element values were compared with the critical limit table of soil nutrients for pomegranate, and the interpretation of the leaf analysis results was performed using the CND-clr method.

Results: The results of soil analysis showed that, in addition to low organic matter content, the concentrations of phosphorus, zinc, iron, and manganese were below the critical limit in most orchards. The leaf analysis results using the CND-clr method showed that the potassium index was negative in 36% of the orchards, phosphorus in 32%, nitrogen in 60%, copper in 46%, zinc in 52%, iron in 56%, manganese in 60%, and the residual compounds index in 62%. Therefore, the order of element requirements in the studied orchards is first residual compounds, followed by nitrogen, manganese, iron, zinc, copper, potassium, and phosphorus, respectively. The standard norms for a yield of above 37 tons per hectare were obtained as follows: V*Mn = -3.39 ± 0.15, V*Cu = -2.95 ± 0.09, V*Zn = -4.25 ± 0.21, V*Fe = -1.15 ± 0.21, V*K = 3.65 ± 0.19, V*P = -0.99 ± 0.28, V*N = 2.78 ± 0.11. The assessment of the balance status of low-yielding orchards showed that for orchards with a balanced status, the balance order is: K (88.1%) > Fe (76.2%) > P (54.8%) > Mn (52.4%) > N (50%) > Cu (33.3%) > Zn (31%). In orchards with an unbalanced status, the imbalance order is: Zn (69%) > Cu (66.7%) > N (50%) > Mn (47.6%) > P (45.2%) > Fe (23.8%) > K (11.9%).

Conclusion: A study of pomegranate orchard soils in the Tang-Siyab region of Kuhdasht showed that organic carbon content at both studied depths was low in most orchards. To increase available nitrogen in this area, attention should be paid to the use of organic fertilizers. Furthermore, phosphorus, zinc, iron, and manganese were below the critical limit in most orchards. The interpretation of

leaf analysis using the CND-clr method showed that the order of element requirements in unbalanced orchards is Zn (69%) > Cu (66.7%) > N (50%) > Mn (47.6%) > P (45.2%) > Fe (23.8%) > K (11.9%). To increase the yield and quality of pomegranate fruit in the studied orchards, it is recommended to apply nitrogen fertilizer in split doses and correct other deficient elements through fertilization.

Cite this article: Chorom, M., Abdi, S., Yarmohammadian, A., Ghafari Gosheh, H., 2026. Application of the Compositional Nutrient Diagnosis (CND-clr) Method in Assessing the Nutritional Status of Tang-Siyab Pomegranate Orchards (Case Study: Kuhdasht, Lorestan Province, Iran). Research Article, *Journal of Soil Research*, 40 (3), pp 469-482.

DOI: https://doi.org/ 10.22092/IJSR.2026.373831.832

Publisher: Soil Science Society of Iran

Publisher: Soil Science Society of Iran

نشریه پژوهش‌های خاک

(علوم خاک و آب)

https:// srjournal.areeo.ir/

کاربرد روش تشخیص چندگانه عناصرغذایی (CND-clr) در ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای باغ‌های انار تنگ سیاب (مطالعه موردی: کوهدشت، استان لرستان، ایران)

مصطفی چرم[۱]، صمد عبدی[۲*]، احمد یارمحمدیان مقدم[۱] و حیدر غفاری گوشه[۱]

[۱] گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

[۲] بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، خرم آباد، لرستان، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۵/۱۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۷/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۷/۱۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۸/۲۵

واژه‌های کلیدی

تجزیه برگ

تجزیه خاک

خاک آهکی

تعادل عناصر غذایی

***ایمیل نویسنده مسئول**

sabdi1100@yahoo.com

چکیده

بهبود وضـــعیت تغذیه ای باغ‌ها در قالب برنامه‌های مدیریتی منســـجم و دقیق، نقش مهمی در افزایش تولید محصـــول باکیفیت دارد. محصول انار نقش مهمی در تولید اشتغال منطقه تنگ سیاب کوهدشت (استان لرستان) ایفا می‌کند. با این وجود، تاکنون تحقیقی در زمینه وضـــعیت تغذیه‌ای باغات انار این منطقه انجام نشـــده اســـت. بدین منظور روش ارزیابی ویژگی‌های خاک و روش تشـــخیص چندگانه عناصـــر غذایی (CND-clr) برای ارزیابی وضـــعیت تغذیه‌ای این باغ‌ها مورد استفاده قرار گرفت. برای انجام این تحقیق ۵۰ باغ در منطقه مورد مطالعه انتخاب گردید. به‌منظور ارزیابی وضعیت عناصر غذایی در خاک باغات، نمونه‌برداری خاک به‌صورت مرکب از دو عمق ۳۰- ۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متر انجام گرفت. همچنین، به‌طور همزمان، نمونه‌برداری مرکب از برگ درختان در اواخر تیرماه انجام شد. مقادیر عناصر اندازه گیری شده در خاک با جدول حد بحرانی عناصر غذایی در خاک برای انار مقایسه گردید و تفسیر نتایج تجزیه برگ با استفاده از روش CND-clr انجام شد. نتایج تجزیه خاک نشان داد که علاوه بر پایین بودن ماده آلی در خاک، غلظت عناصر فسفر، روی، آهن و منگنز در اکثر باغ‌ها زیر حد بحرانی بود. نرم‌های اســـتاندارد با روش CND-clr برای عملکرد بالای ۳۷ تن در هکتار به‌ترتیب برای عناصر مختلف به صورت: V*Mn = -3.39 ± 0.15، V*Cu = -2.95 ± 0.09، V*Zn = -4.25 ± 0.21، V*Fe = -1.15 ± 0.21، V*K = 3.65 ± 0.19، V*P = -0.99 ± 0.28، V*N = 2.78 ± 0.11 به دست آمد. نتایج همچنین نشان داد که برای باغات با وضعیت متعادل، ترتیب تعادل عنصری به‌صورت K (88.1%) > Fe (76.2%) > P (54.8%) > Mn (52.4%) > N (50%) > Cu (33.3%) > Zn (31%) بود. در باغات با وضـــعیت نامتعادل ترتیب عدم تعادل به صـــورت Zn (69%) > Cu (66.7%) > N (50%) > Mn (47.6%) > P (45.2%) > Fe (23.8%) > K (11.9%) است.

استناد: چرم، م.، عبدی، ص.، یارمحمدیان مقدم، ا.، غفاری گوشه، ح.، ۱۴۰۵. کاربرد روش تشخیص چندگانه عناصرغذایی (CND-clr) در ارزیابی وضعیت تغذیه ای باغات انار تنگ سیاب (مطالعه موردی: کوهدشت، استان لرستان، ایران). مقاله پژوهشی، *نشریه پژوهش‌های خاک*، (۳) ۴۰، ص ۴۶۵-۴۸۲.

DOI: https://doi.org/ 10.22092/IJSR.2026.373831.832

مقدمه

دستیابی به ترکیب های کودی مناسب برای تولید محصول پایدار و با کیفیت در باغات میوه یکی از برنامه‌های به باغی است که به بررسی و پژوهش‌های گسترده نیاز دارد. در این زمینه، هرساله بخش درخور توجهی از کودهای شیمیایی در زمان نامناسب به باغات داده می‌شوند که گاهی نه تنها سبب افزایش تولید محصول باکیفیت نمی‌شوند، هزینه‌های بسیاری را به باغداران تحمیل می‌کنند و موجب آلودگی و شوری خاک و محصول می‌شوند (Karimi, 2020). بنابراین، توجه به وضعیت تغذیه‌ای باغات در قالب برنامهٔ مدیریتی منسجم و دقیق، یکی از گزینه‌هایی است که نقش مهمی در تولید محصول باکیفیت و دارای عملکرد زیاد دارد. هرساله ضمن برداشت میوه و طی انجام هرس، بخش درخور توجهی از عناصر تغذیه‌ای از باغات حذف می شوند در حالی که کوددهی پیش از سرگیری رشد در اواخر زمستان به ندرت انجام می‌شود (Karimi, 2017). متاسفانه در کشور به دلیل عدم شناخت واقعی از نوع کمبودها، آهکی بودن خاک‌ها، بی‌کربناته بودن آب آبیاری، میزان حساسیت درختان به عناصر غذایی و منحصر دانستن مصرف کودهای شیمیایی در باغات به نیتروژن و فسفر تغذیه متعادل رعایت نشده و باعث بروز ناهنجاری‌های تغذیه‌ای در باغات می‌شود (Moshathari Mohasses and Golmohammadi, 2012). ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای در درختان میوه با استفاده از تجزیه برگ نسبت به آزمون خاک از اهمیت بالاتری برخوردار است، از سوی دیگر، عواملی مانند نوع رقم، مرحله رشد، مدیریت اعمال شده بر میانگین غلظت عناصر در برگ اثر گذار است (Malakooti, 2008). نبود اعداد مرجع برای هر منطقه ارزیابی وضعیت درختان میوه را با مشکل مواجه می‌کند و بنابراین لازم است اعداد مرجع برای هرنوع میوه در هر منطقه با روش‌های علمی تعیین شود (Daryashenas and Saghafi, 2011). روش‌های متعددی برای تفسیر نتایج تجزیه گیاه وجود دارد که هرکدام مزایا و معایب خاص خود را دارد این روش‌ها شامل دامنه کفایت(SRA[1])، غلظت بحرانی (CVA[2])، روش انحراف از حد بهینه (DOP[3])، روش تلفیقی تشخیص و توصیه (DRIS[4]) و تشخیص چندگانه عناصر غذایی (CND[5]) می‌باشند (Basirat *et al*., 2016). از بین این روش‌ها روش تشخیص چندگانه اخیرا در بسیاری از تحقیقات علمی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش وضعیت هر عنصر غذایی نسبت به میانگین هندسی کلیه عناصر محاسبه می‌شوند و اثرات متقابل یک عنصر نسبت به کلیه عناصر سنجیده می‌شود به علاوه در این روش نسبت به روش های دیگر به داده های کمتری نیاز است و هزینه نمونه برداری تا حد زیادی کاهش می یابد. این روش قابلیت تعیین اعداد مرجع برای عملکردهای مطلوب را دارد و میتوان این اعداد را به عنوان مرجعی برای پتانسیل مطلوب منطقه مورد مطالعه در نظر گرفت (Khiari *et al*., 2001a). این روش یکی از بهترین راه‌ها برای بیان تعادل، کمبود یا بیشبود مواد مغذی در بافت گیاه محسوب می‌شود و مزایایی نسبت به روش‌های مقدار بحرانی تک متغیره (CV) یا سیستم یکپارچه تشخیص و توصیه دو متغیره (DRIS) دارد. این روش توسط پژوهش‌گران زیادی به منظور ارزیابی وضعیت تغذیه ای گیاهان مختلف به کار گرفته شده است. لسبوا و همکاران (Lisboa *et al*., 2024) با استفاده از روش تشخیص چندگانه عناصر غذایی وضعیت تغذیه‌ای گیاه Yerba Mate(*Ilex paraguariensis*)[6] در برزیل را استفاده کردند و نتایج تحقیق آنها نشان داد در منطقه سمیت عنصر بور وجود دارد و در یک چهارم نمونه‌ها کمبود مس و پتاسیم وجود دارد. یوسف و همکاران (Yousuf *et al*., 2024) روش تشخیص چندگانه را برای بررسی وضعیت تغذیه ای گیاه پیاز در بنگلادش مورد استفاده قرار دادند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که عنصر بور محدودکننده‌ترین عنصر برای رشد گیاه پیاز در این منطقه است. Rozane و همکاران (۲۰۲۰) روش تشخیص چندگانه عناصر غذایی را برای ارزیابی وضعیت تغذیه ای باغات انگور در جنوب برزیل به کار بردند نتایج تحقیق آنها نشان داد این روش سطح بحرانی و باندهای کفایت مواد مغذی را با دقت بیشتری نسبت به توصیه‌های فعلی برای انگور تعیین می کند. در پژوهش دیگری Gandomkar و همکاران (۲۰۲۳) وضعیت تغذیه ای باغات به در استان اصفهان را با روش تشخیص چندگانه عناصر غذایی مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش آنها نشان داد در بین عناصر غذایی پرمصرف پتاسیم و نیتروژن و در بین عناصر غذایی کم‌مصرف آهن و روی منفی‌ترین شاخص را به خود اختصاص دادند و بیشترین الویت نیاز غذایی متعلق به آن‌ها بود. مجموع مربع شاخص تعادل تغذیه‌ای (r^2) در باغات با عملکرد کم (۲۰/۸۵) بسیار بزرگتر از صفر بود که نشان دهنده عدم تعادل تغذیه‌ای در این باغات است. Moshathari Mohasses و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه روی وضعیت تغذیه ای باغات فندق در استان قزوین با استفاده از روش تشخیص چندگانه عناصر غذایی دریافتند بیشتر باغ‌های فندق این شهرستان از لحاظ میزان عنصر آهن، روی، منیزیم و فسفر با کمبود رو به رو هستند.

[1] Sufficiency Range Approach
[2] Critical Value
[3] Deviation from Optimum Percentage
[4] Diagnosis and Recommendation Integrated System
[5] Compositional Nutrient Diagnosis

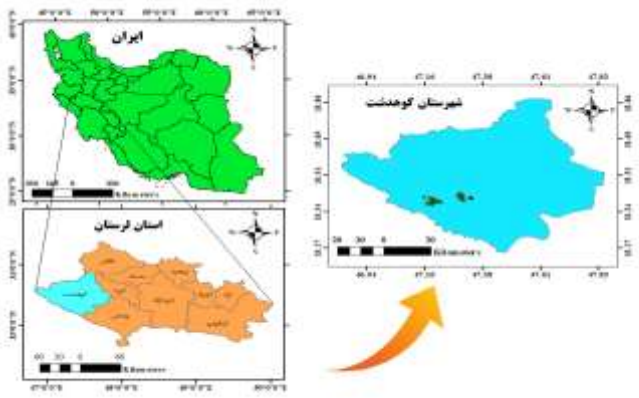
[6] نوعی گونه درختی شبیه چای که از برگهای آن یک نوشیدنی تهیه می‌شود

براساس آمارنامه کشاورزی سال ۱۴۰۱ در استان لرستان ۲۹۶۰ هکتار باغات انار وجود دارد که قسمت عمده این باغات در منطقه تنگ سیاب شهرستان کوهدشت متمرکز است و این محصول نقش بسیار زیادی در تولید و اشتغال این استان دارد. با توجه به بازرسی‌های متعدد مرکز تحقیقات کشاورزی لرستان و انجام آزمایشات خاک و برگ، کمبود عناصر غذایی در این محصولات مشهود است و تاکنون ارزیابی دقیقی از وضعیت همه عناصر غذایی صورت نگرفته است بنابراین ضروری است که وضعیت عناصر غذایی در باغات انار این استان مورد بررسی قرار گرفته و برنامه‌های اجرایی برای رفع این ناهنجاری‌ها تدوین شود تا از کاهش عملکرد و کیفیت این محصولات جلوگیری شود.

مواد و روش

منطقه مورد مطالعه

منطقه تنگ سیاب شهرستان کوهدشت در طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی با ارتفاع متوسط ۱۱۹۵ متر از سطح دریا قرار دارد. آب‌وهوای منطقه معتدل و نیمه‌خشک است و حداکثر دمای هوا ۴۲ درجه سانتی‌گراد، حداقل دما منفی ۷ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالانه حدود ۴۵۰ میلی‌متر گزارش شده است. سطح زیر کشت انار در این منطقه حدود ۱۶۰۰ هکتار است و به‌عنوان بزرگ‌ترین انارستان متمرکز کشور شناخته می‌شود. این منطقه در فاصله ۵۰ کیلومتری شهر کوهدشت واقع شده است (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه.
Figure 1. Location of the study area.

انتخاب باغات مورد مطالعه

انتخاب باغات بر اساس معیارهایی شامل سن درختان، شیوه مدیریت تغذیه‌ای (سنتی یا علمی)، موقعیت مکانی (بالادست یا پایین‌دست منطقه) و رقم غالب انجام گردید. درنهایت ۵۰ باغ به عنوان باغات نهایی انتخاب گردید.

نمونه‌برداری خاک و اندازه‌گیری عناصر ماکرو و میکرو در نمونه‌های خاک

نمونه‌برداری خاک به‌صورت مرکب از دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری انجام گرفت. از هر باغ، ۵ نقطه مختلف دریک سوم انتهایی سایه‌انداز درختان انتخاب شد، نمونه برداشت و پس از ترکیب و تهیه نمونه مرکب، به‌عنوان نمونه نماینده باغ به آزمایشگاه منتقل شد. نمونه‌های خاک در سایه خشک، نرم و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. ماده آلی با روش اکسیداسیون تر، فسفر قابل دسترس خاک به روش اولسن، پتاسیم قابل دسترس خاک با استات آمونیم عصاره‌گیری و با فلیم‌فتومتر قرائت شد، مقدار آهن، مس، روی و منگنز با DTPA عصاره‌گیری و با اسپکتروسکوپی جذب اتمی اندازه‌گیری شد(Ehyaei *et al*., 1993).

نمونه برداری برگ و اندازه‌گیری عناصر ماکرو و میکرو در نمونه‌های برگ

نمونه‌برداری از برگ باغات به صورت مرکب انجام شد. به این صورت که با ازاء هر هکتار ۵ درخت انتخاب به صورت تصادفی انتخاب و از بخش میانی شاخه‌های یک‌ساله نمونه برگ برداشت گردید. برگ‌های بیمار، آسیب‌دیده یا تغییر رنگ یافته حذف شدند. نمونه‌ها بلافاصله در کیسه‌های کاغذی تمیز و تهویه‌دار قرار گرفته و به آزمایشگاه منتقل شدند. در

آزمایشگاه، برگ‌ها با آب مقطر شسته، خشک و سپس در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت تا رسیدن به وزن ثابت خشک شدند. پس از خشک شدن، نمونه‌ها با آسیاب آزمایشگاهی پودر گردیدند. هضم نمونه‌های گیاهی به روش اکسیدا سیون تر و حل کردن در ا سیدکلریدریک ۲ نرمال انجام شد. نیتروژن کل با دستگاه کجلدال، فسفر با دستگاه اسپکتروفتومتر، پتاسیم با دستگاه فلیم فوتومتر و عناصر میکرو با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. نمونه‌برداری برگ و خاک به‌طور همزمان در اواخر تیرماه انجام شد.

تفسیر نتایج تجزیه خاک

به منظور ارزیابی وضعیت عناصر غذایی در خاک باغات، مقادیر عناصر اندازه گیری شده با جدول حد بحرانی عناصر غذایی در خاک برای انار مقایسه گردید (جدول ۱). (Tadayon, 2015).

جدول ۱- مقادیر حد بحرانی عناصر غذایی در خاک.

Table 1. Critical level of nutrient elements in soil.

عنصر Element	کربن Carbon	نیتروژن Nitrogen	فسفر Phosphorous	پتاسیم Potassium	آهن Iron	منگنز Manganese	روی Zinc	مس Copper
	درصد(٪)				Mg/kg			
مقدار قابل جذب Available value	بیش از ۱ More than 1	بیش از ۰/۵ More than 0.5	15	220	6	5	1.5	1

تفسیر نتایج تجزیه برگ

به منظور تفسیر نتایج تجزیه برگ از روش تشخیص چندگانه عناصرغذایی (CND-clr) استفاده شد. در این روش از داده‌های غلظت عناصر غذایی در برگ و عملکرد اندازه‌گیری شده برای باغات به منظور تعیین اعداد مرجع عناصر غذایی استفاده شد. روش تشخیص چندگانه عناصر غذایی اولین بار توسط پرنت و دفیر ارائه شد (Parent and Dafir,1992). در این روش ترکیبات گیاهی به صورت یک سادک[7] (Sd) حاوی عناصر غذایی (N,P,K,…) و یک بخش باقیمانده عناصر (Rd) به صورت روابط ۱ و ۲ در نظر گرفته می‌شوند (Daryashenas and Saghafi, 2011). مجموع معادله برابر ۱۰۰ و در محاسبات غلظت همه عناصر ماکرو و میکرو بر حسب درصد بیان می‌شود.

رابطه (۱)
$$]S_d = [(N, P, K, \ldots, R_d): N > 0, P > 0, K > 0, \ldots R_d > 0 \;\; N + P + K = 100$$

رابطه (۲)
$$R_d = 100 - (N + P + K + \ldots)$$

در معادلات بالا d نشان دهنده تعداد عناصر مورد بررسی است. در این روش CND-clr ابتدا عملکردهای اندازه گیری شده در باغات از زیاد به کم مرتب می شود و میانگین هندسی عناصر غذایی با (رابطه ۳) محاسبه می‌شود:

رابطه (۳)
$$G = \left[N, P, K \ldots . R_d\right]^{\frac{1}{d+1}}$$

نسبت لگاریتم طبیعی عناصر غذایی به میانگین هندسی از طریق (رابطه ۴) محاسبه می‌شود:

رابطه (۴)
$$Z_i = \log\left[x_i / g(x)\right]$$

نسبت لگاریتم طبیعی هر عنصر به کل ترکیبات گیاهی (عناصر+ باقیمانده) به صورت (رابطه ۵) نشان داده می‌شود.

رابطه (۵)
$$V_N = \ln\left(\frac{N}{G}\right), \quad V_P = \ln\left(\frac{p}{G}\right), \; V_K = \ln\left(\frac{K}{G}\right), \ldots . V_{Rd} = \ln\left(\frac{R_d}{G}\right)$$

در روابط ۵ و۶ ، V_N بیانگر نسبت لگاریتم طبیعی برای نیتروژن نسبت به کل ترکیبات (عناصر+ باقیمانده) می‌باشد و برای سایر عناصر نیز بطور مشابه محاسبه می‌گردد. رابطه‌ی شش، درستی محاسبات را تأیید می‌کند. براساس این تعریف، مجموع ترکیبات گیاهی بر مبنای عدد ۱۰۰ است و مجموع نسبت لگاریتم طبیعی عناصر با احتساب مقدار لگاریتم طبیعی باقیمانده ترکیبات (R_d) برابر صفر خواهد بود (رابطه ۶).

رابطه (۶)
$$V_N + V_P + V_K + \ldots . V_{Rd} = 0$$

[7] Simplex

VX برای عناصری مانند N، P، K،...Rd فرم بیانی از وضعیت و نسبت عناصر غذائی در گیاه بوده که مقدار آن در جامعه‌ی با عملکرد بالا بیانگر غلظت مطلوب برای تأمین عملکرد بالا می‌باشد و به عنوان اعداد مرجع در این روش محسوب می‌گردند. این پارامتر برای عناصر مختلف معمولاً با V*N، V*P، V*K و $V*R_d$ نشان داده می‌شود. در نتیجه اگر غلظت هر عنصر غذایی گیاه مورد مطالعه را با غلظت ایده‌آل یا همان اعداد روش تشخیص چندگانه، استاندارد شود شاخص عناصر غذایی روش تشخیص چندگانه یا (IN) بدست خواهد آمد که برای عناصر N، P، K، و ...Rd به شرح ذیل محاسبه می‌شوند:

$$I_N = \frac{V_N - V_N^*}{SD_N^*} \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$I_p = \frac{V_p - V_p^*}{SD_p^*} \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$I_k = \frac{V_k - V_k^*}{SD_k^*} \quad \text{رابطه (۹)}$$

$$I_{Rd} = \frac{V_{Rd} - V_{Rd}^*}{SD_{Rd}^*} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

در این روابط V*N، V*P، V*K، V*Rd، SD*V، SD*P، SD*K، SD*Rd به ترتیب میانگین و انحراف معیار نسبت لگاریتم طبیعی عناصر غذایی هستند که بعنوان اعداد مرجع CND محسوب می‌شوند. VN، VP، VKو VR_d نسبت لگاریتمی مربوط به نمونه‌ی مطالعاتی می‌باشند. IN، IP، IK و IR_d به ترتیب شاخص عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم و عناصر باقیمانده هستند. شاخص تعادل عناصر غذایی با این روش از طریق رابطه هشت قابل محاسبه است. که در این معادله r^2 مجموع مربعات شاخص‌های عناصر غذایی بوده و همیشه می‌تواند اعداد صفر و بیشتر را به خود اختصاص دهد. از نظر تئوری هر اندازه r^2 به عدد صفر نزدیک‌تر شود عناصر غذایی در شرایط متعادل‌تری خواهند بود.

$$r^2 = I^2_N + I^2_P + I^2_K + \ldots + I^2_{Rd} \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

بنابراین برای هر نمونه‌ی مشخص گیاهی می‌توان وضعیت عناصر غذایی را بررسی کرد. با توجه به اینکه شاخص‌های عناصر غذایی متغیری مستقل و نرمال[8] هستند بنابراین مجموع این شاخص‌ها یعنی r^2 از یک توزیع مربع کای با درجه آزادی d+1 تبعیت می‌کند (Ross,1987).

به منظور تفکیک گروه‌های به دو گروه عملکردی کم و زیاد از یکدیگر، بعد از مرتب‌سازی عملکردها به صورت نزولی، براساس ترسیم تابع تجمعی بین عملکرد و نسبت واریانس شاخص های عناصر غذایی انجام شد. برای این کار ابتدا واریانس مقادیر (V_X) برای هر عملکرد محاسبه شد. سپس نسبت واریانس مقادیر عملکردها بر اساس (رابطه ۱۲) به دست آمد:

$$Fi(Vx) = \frac{Vxn1}{Vxn2} \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

تابع تجمعی نسبت واریانس محاسبه (رابطه ۱۳) و رابطه تابع تجمعی نسبت واریانس با عملکرد (رابطه ۱۱) ترسیم شد. این رابطه یک معادله درجه ۳ است که با حل معادله حاصل از مشتق دوم آن (رابطه ۱۴ و رابطه ۱۵) نقطه عطف منحنی (-b/3a) یا همان عملکرد حد واسط برای هر عنصر غذایی بین گروه عملکردی کم و زیاد به دست آمد. این پارامتر برای d+1 عنصر قابل محاسبه است (Khiari *et al*., 2001b).

$$F_i^c = \frac{\sum_{i=1}^{n1-1} Fi(Vx)}{\sum_{i}^{n-3} Fi(Vx)} \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

$$F\,i\,c\,(V\,X\,) = a\,Y\,3 + b\,Y\,y\,2 + c\,Y + d \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

$$\frac{\partial^2 F_i^c(Vx)}{dY^2} = 6ay + 2b = 0 \quad \text{رابطه (۱۵)}$$

سپس، معادلات ریاضی مدل تشخیص چندگانه‌ی عناصر غذایی در محیط نرم‌افزار اکسل وارد و با ثبت داده‌های عناصر غذایی شاخص‌های عناصر غذایی به روش گام به گام تعیین می‌شود (Khiari *et al*., 2001a ; Khiari *et al*., 2001b).

نتایج و بحث

وضعیت عناصر غذایی در خاک باغات مورد مطالعه

در (جدول ۲) خلاصه آماری ویژگی های فیزیکی و شیمیایی نمونه های خاک مورد مطالعه در دو عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری آورده شده است. خاک‌های مورد مطالعه در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری دارای میانگین pH برابر با ۷٫۷۲ (دامنه ۷٫۴۳-۷٫۹۶)، هدایت الکتریکی (EC) برابر با ۱٫۵۷ دسی‌زیمنس بر متر (دامنه ۰٫۴۳-۵٫۳۶)، کربن آلی (OC)برابر با ۱٫۳۰ درصد (دامنه ۰٫۱۵-۳٫۵۳)، فسفر قابل جذب برابر با ۷٫۴۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم (دامنه ۳٫۲۰-۱۴٫۸۰) و پتاسیم قابل جذب برابر با ۳۱۶٫۹۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم (دامنه ۱۴۸-۶۴۰) می‌باشند. بافت خاک عمدتاً رسی-لومی با میانگین

[8] Unit-Normal

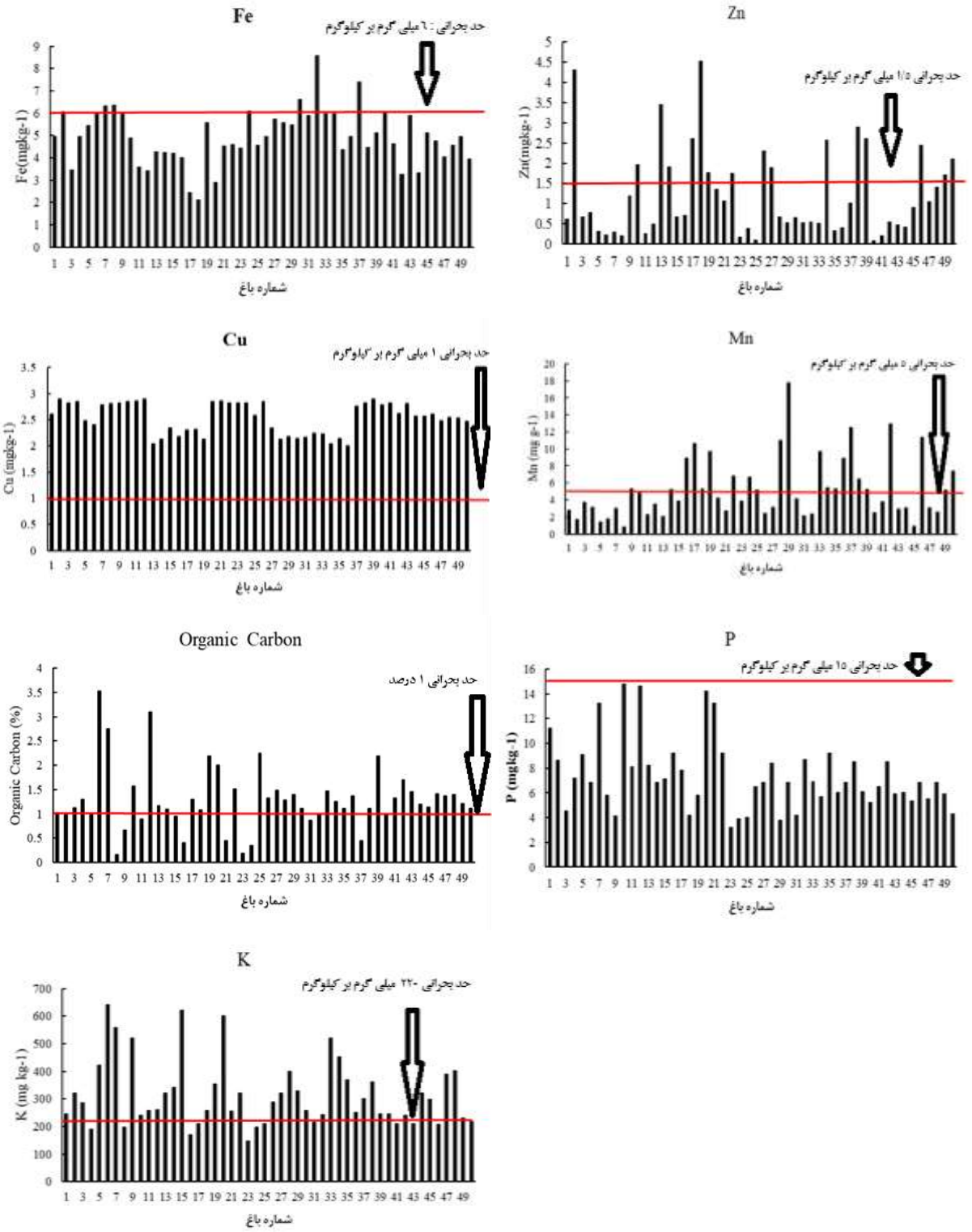
درصد رس ۴۴,۷۳، سیلت ۴۷,۵۶ و شن ۷,۷۱ می باشد. در عمق ۶۰-۳۰ سانتی متری، میانگین pH برابر با ۷,۷۲ (دامنه ۷,۰۰-۷,۹۸)، EC برابر با ۱,۵۵ دسی‌زیمنس بر متر (دامنه ۰,۴۰-۵,۴۷)، OC برابر با ۰,۷۴ درصد (دامنه ۰,۰۶-۳,۲۲)، فسفر قابل جذب برابر با ۴,۱۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم (دامنه ۱,۹۰-۹,۵۰) و پتاسیم قابل جذب برابر با ۲۵۸,۶۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم (دامنه ۱۵۵-۶۰۰) می‌باشد. بافت در این عمق نیز عمدتاً رسی-لومی است با افزایش اندک درصد رس نسبت به لایه سطحی.

جدول ۲- خلاصه آماری ویژگی های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک مورد مطالعه در عمق‌های ۰-۳۰ و ۶۰-۳۰ سانتی متری.

Table 2- Summary statistics of physical and chemical properties of soil samples in 0-30 Cm and 30-60 cm depths.

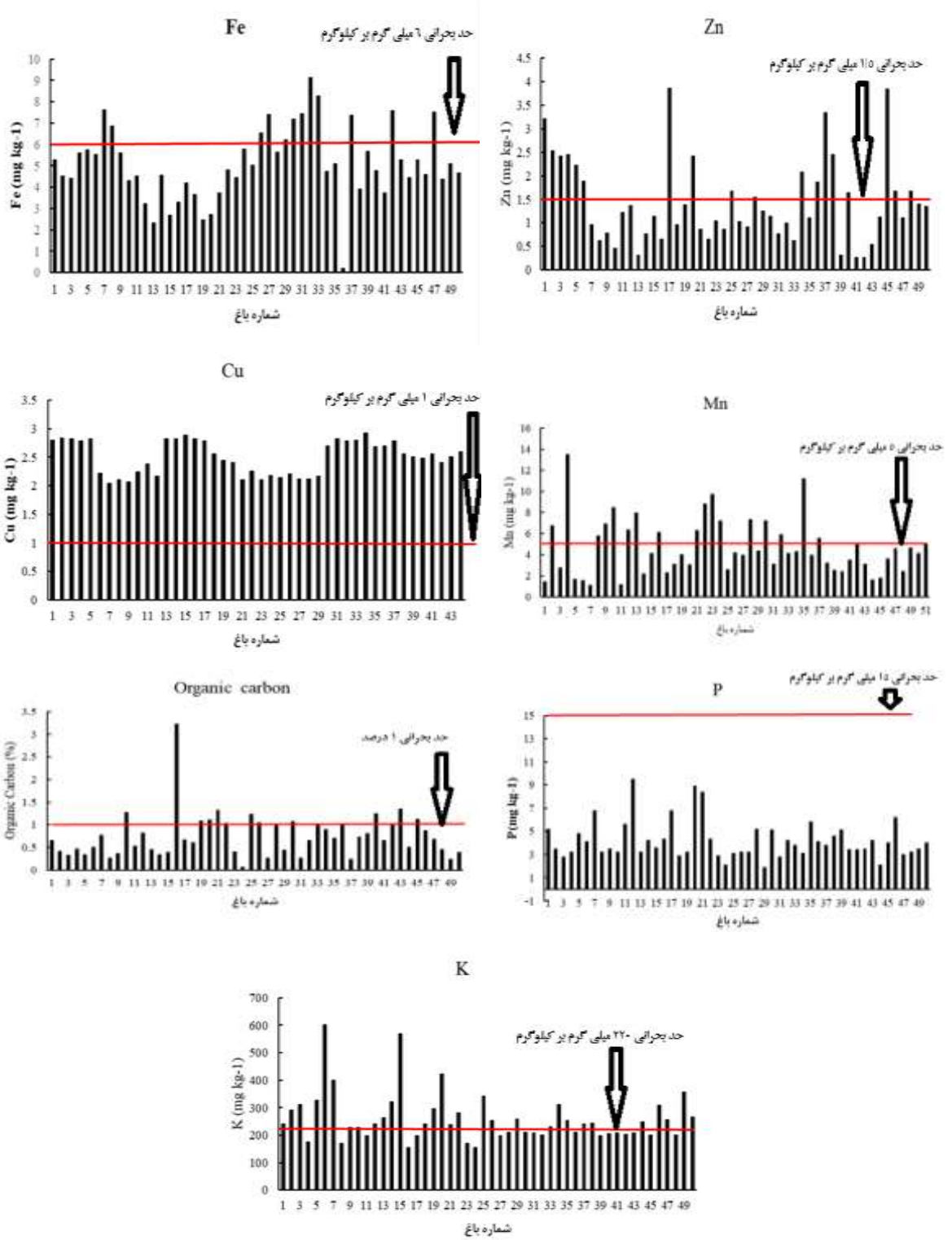
		حداقل Minimum	حداکثر Maximum	میانگین Mean	انحراف معیار Standard Deviation
عمق ۳۰-۰ سانتی متری	pH	7.43	7.96	7.72	0.13
	EC (dSm^{-1})	0.43	5.36	1.57	0.77
	OC (%)	0.15	3.53	1.30	0.67
	K($mgkg^{-1}$)	148	640	316.9	121.3
	P($mgkg^{-1}$)	3.2	14.8	7.41	2.85
	Fe ($mgkg^{-1}$)	2.12	8.56	4.95	1.24
	ZN($mgkg^{-1}$)	0.08	4.52	1.17	1.1
	Cu($mgkg^{-1}$)	2	2.90	2.53	0.30
	Mn($mgkg^{-1}$)	0.86	17.76	5.17	3.66
	sand (%)	2.0	21.0	7.71	5.03
	silt (%)	34.0	56.0	47.56	4.03
	clay (%)	35.0	56.0	44.73	4.38
	OM (%)	0.26	6.09	2.23	1.15
	TNV (%)	9.5	35	18.1	6.43
		حداقل Minimum	**حداکثر Maximum**	**میانگین Mean**	**انحراف معیار Standard Deviation**
عمق ۶۰-۳۰ سانتی متری	pH	7.0	7.98	7.72	0.17
	EC (dSm^{-1})	0.4	5.47	1.55	0.79
	OC (%)	0.06	3.22	0.74	0.49
	K($mgkg^{-1}$)	155	600	258.6	89
	P($mgkg^{-1}$)	1.9	9.5	4.19	1.63
	Fe ($mgkg^{-1}$)	0.18	9.14	5.1	1.74
	Zn($mgkg^{-1}$)	0.26	3.86	1.41	0.89
	Cu($mgkg^{-1}$)	2.04	2.92	2.52	0.29
	Mn($mgkg^{-1}$)	1.1	13.4	4.64	2.74
	sand (%)	2.0	28.0	7.26	5.18
	silt (%)	40.0	55.0	48.06	3.37
	clay (%)	32.0	54.0	44.68	4.63
	OM (%)	0.1	5.55	1.28	0.85
	TNV (%)	12.5	43.7	28.39	8.73

در (شکل ۲ و ۳) وضعیت عناصر غذایی پرمصرف و کم مصرف در دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری نشان داده شده است. خط افقی در هر نمودار نشان دهنده حد بحرانی هر عنصر است. همان طور که مشاهده می‌شود در عمق ۳۰-۰ سانتی متری در همه باغات مورد مطالعه میزان فسفر زیر حد بحرانی است و در مورد عناصر آهن ۸۶ درصد، عنصر روی۶۸ درصد، عنصر منگنز ۵۴ درصد و پتاسیم ۲۰ درصد باغات زیر حد بحرانی قرار دارد و این روند در عمق ۶۰-۳۰ سانتی متری نیز مشاهده می شود. کمبود عنصر مس نیز در دو عمق مشاهده نمی‌شود. میزان کربن آلی در دو عمق زیر یک درصد قرار دارد که لازم است نسبت به مصرف کودهای آلی در منطقه نیز توجه شود. با توجه به حد بحرانی عناصر لازم است در زمان چالکود درختان در فصل زمستان نسبت به رفع کمبود عناصر در خاک بخصوص عنصر فسفر اقدام شود.



شکل ۲- وضعیت عناصر غذایی ماکرو و میکرو در عمق ۳۰-۰ سانتی متری خاک باغات مورد مطالعه با استفاده از روش حد بحرانی (خط افقی قرمز نشان دهنده حد بحرانی عناصر غذایی).

Figure 2. Status of macro and micro nutrients at a depth of 0-30 cm in the studied orchard soil using the critical limit method (the red horizontal line indicates the critical limit of nutrients.



شکل ۳- وضعیت عناصر غذایی ماکرو و میکرو در عمق ۶۰-۳۰ سانتی متری خاک باغات مورد مطالعه با استفاده از روش حد بحرانی (خط افقی قرمز نشان دهنده حد بحرانی عناصر غذایی).

Figure 3 - Status of macro and micro nutrients at a depth of 30-60 cm in the studied orchard soil using the critical limit method ..(the red horizontal line indicates the critical limit of nutrients).

تفسیر نتایج تجزیه برگ به روش تشخیص چندگانه (CND-clr)

دامنه غلظت عناصر غذایی در برگ باغات مورد مطالعه در (جدول ۳) آمده است.

جدول ۳- آمار توصیفی غلظت عناصر غذایی در برگ درختان انار در منطقه مورد مطالعه.
Table 3- Descriptive statistics of nutrient concentration in pomegranate tree leaves in the study area.

	حداقل Minimum	حداکثر Maximum	میانگین Mean	انحراف معیار Std. Deviation
پتاسیم(درصد) Potassium (%)	3.50	5.50	4.5	.50
فسفر(درصد) Phosphorous(%)	.03	0.1	.05	.01
نیتروژن(درصد) Nitrogen(%)	1.43	2.31	1.88	.22
مس(میلی گرم بر کیلوگرم) Copper (mgkg-1)	41.50	93.00	67.39	12.67
روی(میلی گرم بر کیلوگرم) Zinc (mgkg-1)	4	36.00	16.07	6.55
آهن(میلی گرم بر کیلوگرم) Iron (mgkg-1)	157.50	371.00	278.2	68.73
منگنز(میلی گرم بر کیلوگرم) Manganese (mgkg-1)	27.00	104.00	48.4	16.19

نمودارهای تابع تجمعی نسبت واریانس با عملکرد برای عناصر غذایی مختلف در (شکل ۴) و نقاط عطف برآورد شده از مشتق دوم رابطه تابع تجمعی نسبت واریانس با عملکرد (-b/3a) برای ۷ عنصر غذایی و ترکیبات باقیمانده در (جدول ۴) نشان داده شده است. این نقاط عطف در واقع همان عملکرد حدواسط برای عناصر مختلف هستند که مقدار آنها در (جدول ۴) نشان داده شده است. همه معادلات درجه سه تابع تجمعی نسبت واریانس عناصر غذایی به عملکرد معنی‌دار هستند. بیشترین میانگین عملکرد مربوط به ترکیبات باقیمانده و کمترین میانگین عملکرد مربوط به عنصر پتاسیم است.

جدول ۴- برآورد عملکرد حد واسط (نقطه عطف منحنی) براساس روش توابع تجمعی نسبت واریانس عناصر غذایی.
Table 4- Estimation of intermediate yield (Inflection curve) based on the cumulative function method of nutrient variance ratio.

عناصر غذایی Nutrient elements	معادله $F_i^c(V_X) = aY^3 + bYy^2 + cY + d$	R^2	نقطه عطف (-b/3a) (ton ha^{-1})
N	$y = -0.0017x^3 + 0.2629x^2 - 13.256x + 223.9$	0.97	51.54
P	$y = -0.0023x^3 + 0.2991x^2 - 12.513x + 173.02$	0.84	43.35
K	$y = 0.0003x^3 + 0.0273x^2 - 5.6729x + 170.66$	0.96	30.33
Fe	$y = -0.0016x^3 + 0.2033x^2 - 8.514x + 116.09$	0.61	42.35
Zn	$y = -0.0016x^3 + 0.2587x^2 - 13.541x + 230.43$	0.96	53.89
Cu	$y = -0.0018x^3 + 0.2703x^2 - 12.896x + 202.13$	0.98	50.05
Mn	$y = -0.0017x^3 + 0.2345x^2 - 10.779x + 165$	0.94	45.98
Rd	$y = -0.001x^3 + 0.1754x^2 - 10.227x + 195.3$	0.96	58.46
Mean			46.99

با توجه به اینکه در این روش تعداد باغات به دست آمده در گروه با عملکرد بالا کم است (تنها چهار باغ در گروه عملکردی بالا قرار گرفت)، از روش شارما برای تعیین عملکرد حدواسط به منظور تفکیک دو گروه با عملکرد بالا و پایین استفاده شد. در این روش به صورت زیر عمل می‌شود.

باغهای با عملکرد پایین ≥ میانگین عملکرد – انحراف معیار
باغهای با عملکرد متوسط ≥ (میانگین عملکرد – انحراف معیار) تا (میانگین عملکرد + انحراف معیار)
باغهای با عملکرد بالا > میانگین عملکرد+ انحراف معیار

در این مطالعه باغهای با عملکرد متوسط هم در گروه با عملکرد پایین قرار داده شد. (Sharma *et al*., 2005).

براساس محاسبات انجام شده به روش شارما، میانگین عملکرد درجامعه با عملکرد بالا ۳۷/۱۶ تن بر هکتار، میانگین عملکرد در جامعه با عملکرد متوسط بین ۱۴/۰۶ تا ۳۷/۱۶ تن بر هکتار و عملکرد در جامعه با عملکرد پایین کمتر از ۱۴/۰۶ بدست آمد. با توجه به عملکردهای محاسبه شده ۸ باغ در گروه عملکردی بالا،

۳۶ باغ در گروه عملکرد متوســـط و ۶ باغ در گروه عملکردی پایین قرار گرفتند.

تفکیک گروههای عملکردی نشان داد که درصد بالایی از باغات در گروه با عملکرد کم (۸۴ درصد) و ۱۶ درصد در گروه با عملکرد بالا قرار دارند. قرار گرفتن درصد بالایی از باغات در گروه عملکرد کم را میتوان عدم تعادل عناصر غذائی و کم بودن غلظت عناصر غذایی مطلوب در باغات دانست (Gandomkar *et al*., 2023).

غلظت عناصر در گروه با عملکرد زیاد در روش تشخیص چندگانه (CND-clr) به عنوان اعداد مرجع یا نرم‌ها یا همان حد بهینه در نظر گرفته می‌شوند(Khiari *et al*., 2001a). در (جدول ۵) میانگین غلظت مطلوب عناصر غذایی (V^*x) برای باغات با عملکرد بالا آورده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود مقادیر برخی از اعداد مرجع مثبت و برخی منفی محاسبه شده است و مجموع اعداد مرجع صفر می‌شود که این موضوع درستی محاسبات را نشان می‌دهد(Chakerolhosseini *et al*., 2016).

جدول ۵- اعداد مرجع روش تشخیص چندگانه (CND-clr) و میانگین غلظت مطلوب عناصر غذایی در باغات انار با عملکرد بالا.

Table 5 – Compositional Nutrient Diagnosis (CND-clr) reference numbers and average optimal nutrient concentrations in high-yielding pomegranate orchards.

عناصر غذایی Nutrients elements	نرم‌های تشخیص چند گانه عناصر غذایی CND-Clr Norm	میانگین نرم‌های تشخیص چند گانه عناصر غذایی Mean of CND-clr Norm	انحراف معیار نرم‌های تشخیص چند گانه عناصر غذایی Standard deviation of CND-clr Norm	میانگین غلظت مطلوب Mean optimum concentration	انحراف معیار غلظت مطلوب Standard deviation of optimum concentration
N(%)	V^*_N	2.78	0.11	1.9	0.195
P(%)	V^*_P	-0.99	0.28	0.05	0.014
K(%)	V^*_K	3.65	0.19	4.6	0.66
Fe(mgkg-1)	V^*_{Fe}	-1.15	0.21	268.5	0.006
Zn(mgkg-1)	V^*_{Zn}	-4.25	0.21	17.12	0.0003
Cu(mgkg-1)	V^*_{Cu}	-2.95	0.09	61.81	0.0007
Mn(mgkg-1)	V^*_{Mn}	-3.39	0.15	40.31	0.0008
Rd	V^*Rd	6.67	0.07		

براساس جدول (۶) میانگین غلظت مطلوب برای عنصر نیتروژن ۱/۹ درصد به دست آمد. این درحالیست که دامنه تغییرات غلظت نیتروژن در باغات مورد مطالعه بین ۱/۴۳ تا ۲/۳۱ درصد می باشد. بررسی غلظت نیتروژن در ۵۰ باغ مورد مطالعه نشان می دهد در ۲۷ باغ (۵۴ درصد) مقدار نیتروژن برگ کمتر از میانگین غلظت مطلوب آن است. کمبود نیتروژن نقش کلیدی در کاهش عملکرد دارد. این عنصر تعیین کننده رشد رویشی درختان است و همچنین در گلدهی، تشکیل میوه و رسیدگی و عملکرد محصول نقش دارد(Manouchehri, 2005). مطالعه Taghavi (۲۰۰۰) اثر بخشی مصرف نیتروژن به صورت تقسیط در افزایش عملکرد در ختان انار را نشان داد.

میانگین غلظت مطلوب برای عنصر فسفر ۰/۰۵ درصد به دست آمد. دامنه تغییرات غلظت این عنصر در باغات مورد مطالعه ۰/۰۳ تا ۰/۰۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم می باشد. در ۱۲ باغ (۲۴ درصد) مقدار فسفر برگ کمتر از میانگین غلظت مطلوب آن است.

میانگین غلظت مطلوب برای عنصر پتاسیم ۴/۶ درصد به دست آمد. دامنه تغییرات غلظت این عنصر در باغات مورد مطالعه ۳/۵ تا ۵/۵ درصد می باشد. در ۳۲ باغ (۶۴ درصد) مقدار پتاسیم برگ کمتر از میانگین غلظت مطلوب آن است.

میانگین غلظت مطلوب برای عنصر آهن ۲۶۸/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد. دامنه تغییرات غلظت این عنصر در باغات مورد مطالعه ۱۵۴/۵ تا ۳۷۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم می باشد. در ۱۹ باغ (۳۸ درصد) مقدار آهن برگ کمتر از میانگین غلظت مطلوب آن است. نکته‌ای که بایستی به آن توجه داشت این است که در خاکهای آهکی در بسیاری از موارد دیده شده است که غلظت آهن در بافتهای گیاهان مبتلا به کمبود آهن بسیار بیشتر از گیاهان سالم است. که باعث اشتباه در تشخیص و توصیه کود آهن می شود. در واقع زیادی غلظت یون بیکربنات در شیره سلولی موجب کاهش فعالیت پمپ هیدروژنی در سیتوپلاسم می‌گردد و در نتیجه آهن سه ظرفیتی در خارج غشاء سیتوپلاسمی سلول تجمع نموده و وارد سیتوپلاسم نمی‌گردد و به تبع آن آهن در گیاه بصورت غیرفعال باقی می‌ماند و علیرغم بالا بودن غلظت آهن کل در گیاه، علائم کمبود آهن در برگها مشاهده می‌شود(Daryashenas *et al*., 2006 ; Chaney, 1984).

میانگین غلظت مطلوب برای عنصر روی ۱۷/۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد. دامنه تغییرات غلظت این عنصر در باغات مورد مطالعه ۴ تا ۳۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم می باشد. در ۲۸ باغ (۵۶ درصد) مقدار روی برگ کمتر از میانگین غلظت مطلوب آن است. .روی برای ساخت تریپتوفان که ماده

پیشساز برای تشکیل هورمون رشد IAA است لازم است و کمبود آن باعث کاهش فاصله میان گره‌ها و سطح برگ می شود. روی رشد و باردهی را تنظیم می‌کند و نقش مهمی در رشد لوله دانه گرده دارد (Malkooti et al., 2005). Sobhi Rostami and Golchin (۲۰۱۱) در مطالعه خود بر روی باغات انار شهرستان بهشهر دریافتند با مصرف ۱۵۰ گرم سولفات رویی برای هر درخت به صورت چالکود عملکرد، تعداد میوه و درصد اسیدیته قابل تیتراسیون افزایش می‌یابد.

میانگین غلظت مطلوب برای عنصر مس ۶۱/۸۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد. دامنه تغییرات غلظت این عنصر در باغات مورد مطالعه ۴۱/۵ تا ۹۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم می باشد. در ۱۶ باغ (۳۲ درصد) مقدار مس برگ کمتر از میانگین غلظت مطلوب آن است.

میانگین غلظت مطلوب برای عنصر منگنز ۴۰/۳۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد. دامنه تغییرات غلظت این عنصر در باغات مورد مطالعه ۲۷/۵ تا ۱۰۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم می باشد. در ۲۴ باغ (۴۸ درصد) مقدار منگنز برگ کمتر از میانگین غلظت مطلوب آن است. با توجه به اینکه عنصر منگنز در واکنش های انتقال الکترون در گیاه نقش دارد برای تولید کلروفیل ضروری است و با عث افزایش فتوسنتز می شود همچنین این عنصر در گلدهی و تشکیل میوه نقش دارد بنابراین در خاکهای دارای کمبود تامین این عنصر می تواند باعث افزایش عملکرد و کیفیت میوه شود(Malkoti, 1996).

Balakrishnan و همکاران (۱۹۹۶) عنوان نمودند که محلولپاشی با سولفات روی، سولفات آهن و سولفات منگنز با غلظت ۰/۲۵ درصد همراه با اسید بوریک با غلظت ۰/۱۵ درصد، عملکرد میوه انار را از ۱۸/۵ کیلوگرم برای هر درخت در تیمار شاهد به ۲۶/۳۷ کیلوگرم در هر درخت و میزان آب میوه را از ۶۵/۶ درصد به ۷۴/۸ درصد افزایش می‌دهد.

با استفاده از اعداد مرجع محاسبه شده و روابط مربوطه شاخص عناصر غذایی CND یا Ix در باغات مورد مطالعه به دست آمد. شاخص‌های CND نشان دهنده انحراف از حد بهینه و وضعیت تغذیه ای در باغات هستند.

در روش تشخیص چندگانه اعداد مرجع حاصل اثرات متقابل عناصر و تحت شرایط محیطی متفاوت بوده و شاخص‌های عناصر غذایی در این روش متغیری مستقل و نرمال هستند. مقدار شاخص بحرانی عناصر غذایی I^2x با استفاده از مقادیر شاخص عناصر غذایی CND (Ix) محاسبه شد و در (جدول ۶) آمده است. مقدار شاخص تعادل عناصر غذایی از مجموع شاخص بحرانی عناصر غذایی به دست می‌آید و در ستون آخر (جدول۶) آمده است.

جدول ۶-شاخص بحرانی عناصر غذایی CND در باغات مورد مطالعه.

Table 8. Critical index of CND nutrients in the studied orchards.

	عملکرد Yeild	I^2_K	I^2_P	I^2_N	I^2_{Cu}	I^2_{Zn}	I^2_{Fe}	$I2_{Mn}$	I^2_{Rd}	CND-r^2
24	65	0	1.12	1.18	0.2	0	0.16	1.77	0.8	5.23
9	50	1.33	0.84	0.98	1.29	0.37	1.33	0.03	1.54	7.71
19	50	0.01	0.42	0.36	0.2	0.66	1.35	1.2	0.53	4.72
25	50	1.65	0.62	0.48	1.31	1.97	0.16	0	0.14	6.34
2	44	6.72	0.19	0.18	2.5	0.44	0.12	0.42	0.05	10.62
20	40	0.92	2.69	0.06	0.03	0.04	1.03	0.86	3.02	8.65
23	40	11.1	0.28	0.3	0.4	0.38	7.1	0.48	0.04	20.09
10	37.14	18.89	0.77	5.59	0.11	0.95	20.79	1.13	4.04	52.27
30	33.33	1.53	0.07	0.32	1.36	0.89	21.64	0	1.44	27.25
35	31.33	0.01	3.41	2.77	0	6.85	10.47	4.56	0.58	28.66
1	30	8.9	1.28	0	3.15	0.13	0.17	0.07	0.73	14.43
6	30	0.04	0.46	0.2	4.89	0.42	0.24	0.54	0.02	6.82
15	30	0.65	0.36	4.29	6.94	0.25	0.06	2.73	9.81	25.08
48	30	4.49	0.57	0.2	8.69	0.17	6.48	1.41	1.46	23.46
36	27	0	0.02	0.25	2.7	10.39	0.26	7.15	0.01	20.78
26	26.92	0.01	0.02	0.02	0.7	2.72	7.53	16.28	2.51	29.79
7	26.67	0.07	0.16	0.06	4.21	3.58	24.21	0.23	1.77	34.29
38	26.67	2.12	0.01	0.87	0.17	0.63	0.01	0.12	0.27	4.18
17	26	3.83	1.53	0	0.49	0.05	2.44	0.05	0.12	8.51
11	25	6.13	1	0.01	6.88	0.14	4.09	0.05	1.46	19.75
16	25	0.42	1.05	0.05	1.26	0.26	1.06	3.53	2.72	10.34
21	25	0.45	0.91	6.41	2.41	0.46	7.82	0.39	0	18.85
31	25	13.39	0.06	5.62	0.01	7.76	0.44	0.03	9.6	36.92
39	25	0.33	0.7	0.53	4.19	8.5	1.06	0.08	0.01	15.41
41	25	0.02	2.41	4.46	8.61	20.11	3.24	0.25	3.61	42.72
42	25	11.58	0.75	6	4.63	7.28	0.35	0.02	4.67	35.27
43	25	0.06	0	7.41	4.06	2.62	1.64	3.6	0.24	19.63
18	24	0.68	0.73	0.17	0.4	2.13	1.03	0.74	8.03	13.9
28	23.08	1.96	2.02	0.26	0	1.86	0.68	0.68	1.14	8.6
29	23.08	0	1.88	1.6	0.95	0	1.42	1.51	0.01	7.37
5	20	0.57	0.36	0.32	0.5	0.91	0	0.01	0.25	2.93

13	20	0.05	2.67	8.27	22.46	0.86	0.56	2.28	3.05	40.18
14	20	0.47	0.06	10.2	6.58	0.97	0.34	1.63	3.65	23.91
40	20	0.54	1.97	0.46	4.46	6.13	1	2.71	0.99	18.26
47	20	0.05	0.45	0.25	8.24	0.8	2.38	0.37	0.03	12.57
27	19.23	1.2	2.46	0.01	0.68	2.6	7.9	4.65	5.23	24.74
44	18.75	11.15	0.04	5.19	12.06	24.42	0.05	1.82	2.51	57.24
46	18.75	0.05	0.96	5.74	6.12	1.17	0.97	0.29	1.06	16.35
37	18.67	0.53	0.91	0.51	0.21	0.05	0.05	1.76	6.07	10.09
8	17.14	0.27	1.73	1.28	0.42	0.15	19.82	19.07	1.23	43.96
50	16	2.18	0.13	4.07	2	6.01	0.49	2.28	6.43	23.58
22	15	1.46	1.1	10.29	1.43	0.81	0.31	0.58	0.29	16.26
32	15	0.07	0.77	1.32	1.64	0.84	1.56	1.24	2.49	9.93
33	15	2.22	0.83	2.23	0.13	8.91	5.25	0.35	0.89	20.8
49	14	1.49	0.68	1.69	6.62	0.56	1.71	1.33	3.16	17.24
45	12	0.43	0.01	0.95	3.95	0.28	0.12	1.89	1.52	9.15
3	10	0.01	0.83	4.99	6.1	0.98	0.93	0.97	3.44	18.25
4	10	0.15	1.24	3.44	0.19	1.74	3.38	0.04	0.8	10.97
12	10	4.24	1.09	2.28	2.04	1.34	0.78	0.61	7.79	20.18
34	6.67	1.6	1.56	0.22	0.16	1.95	0.52	0.2	4.12	10.34
Mean		2.52	0.92	2.29	3.17	2.87	3.53	1.89	2.31	19.49

ارزیابی وضعیت تعادل تغذیه ای باغات انار مورد مطالعه

برای ارزیابی وضعیت تعادل عناصر غذایی در باغات مورد مطالعه از میانگین شاخص بحرانی (جدول ۸) برای هر عنصر غذایی در جمعیت با عملکرد مطلوب استفاده شد. حدود بحرانی بالا و پایین با استفاده از ریشه دوم میانگین شاخص بحرانی برای هر عنصر غذایی در جمعیت با عملکرد بالا تعیین شد (جدول ۷).

در روش CND-clr منفی بودن شاخص عناصر غذایی (مثلا IN یا IP و ....) الزاما دلیل بر کمبود آن عناصر نیست. ممکن است یک شاخص عناصر غذایی منفی باشد ولی در محدوده بین حد پایین بحرانی و حد بالای بحرانی قرار گیرد که در این صورت بیانی از حالت تعادل است. با این ارزیابی سه حالت متعادل کافی و نامتعادل کمبود و نامتعادل بیشبود برای هر هر عنصر به دست می‌آید(Daryashenas and Saghafi., 2011).

جدول ۷- مقدار شاخص بحرانی و محدوده بحرانی عناصر غذایی مورد بررسی در باغات مورد مطالعه.

Table 7. Critical index value and critical range of nutrients studied in the studied orchards.

حد بحرانی بالا Upper critical limit	حد بحرانی پایین Lower critical limit	I^2X بحرانی Critical I^2X	عملکرد بحرانی (تن در هکتار) Critical Yeild (ton $hectar^{-1}$)	
1.07	-1.07	1.14	51.54	I^{2N}
0.93	-0.93	0.87	43.35	I^{2P}
2.26	-2.26	5.1	30.33	I^{2K}
2	-2	4	42.35	I^{2Fe}
0.77	-0.77	0.6	53.89	I^{2Zn}
0.87	-0.87	0.75	50.05	I^{2Cu}
0.86	-0.86	0.74	45.98	I^{2Mn}

در (جدول ۸) وضعیت تعادل هر یک از عناصر غذایی برای باغات با عملکرد پایین آورده شده است.

جدول ۸- وضعیت تعادل تغذیه ای باغات با عملکرد پایین در باغات انار مورد مطالعه (درصد).

Table 8. Nutritional balance status of low-yielding orchards in the studied pomegranate orchards (percentage).

IMn	ICu	IZn	IFe	IK	IP	IN	وضعیت عناصر غذایی Nutrients statue
52.4	33.3	31	76.2	88.1	54.8	50	متعادل Balanced
14.3	23.8	45.2	21.4	11.9	9.5	35.7	نامتعادل کمبود Unbalanced-shotrage
33.3	42.9	23.8	2.4	0	35.7	14.3	نامتعادل بیشبود Unbalanced- excess
47.6	66.7	69	23.8	11.9	45.2	50	نامتعادل Unbalanced

همان طور که از (جدول ۱۰) مشاهده می شود عناصر به ترتیب زیر دارای وضعیت متعادل و نامتعادل هستند:

وضعیت متعادل:

K(88.1%)>Fe(76.2%)>P(54.8%)>Mn(52.4%)>N(50%)>Cu(33.3%)>Zn(31%)

وضعیت نامتعادل:

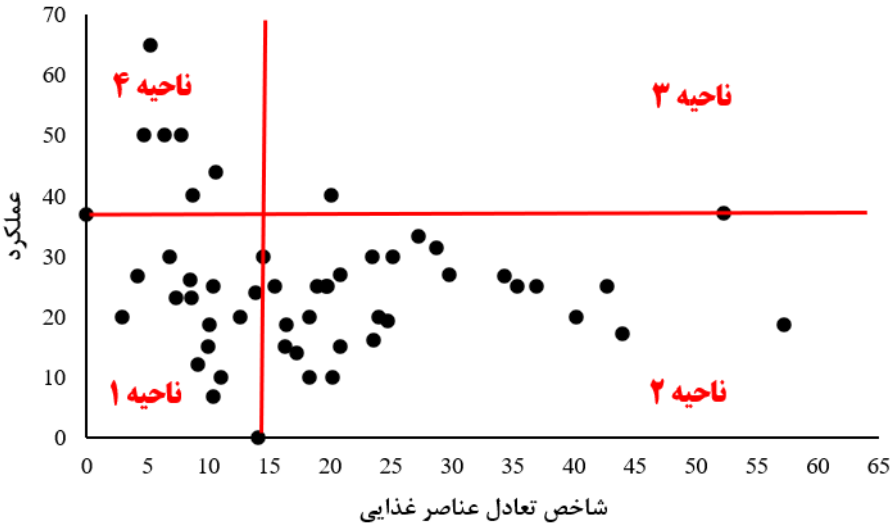
Zn(69%)>Cu(66.7%)>N(50%)>Mn(47.6%)>P(45.2%)>Fe(23.8%)>K(11.9%)

باید در نظر داشت هنگامی که وضعیت یک عنصر غذایی نامتعادل است به معنی کمبود آن نیست و ممکن است آن عنصر دارای بیشبود باشد (Ghaderi *et al.*, 2025). وجود همزمان کمبود و بیشبود در باغات نامتعادل نشان می دهد در باغات دارای بیشبود نیاز به مصرف کود نیست و برای هر باغ مدیریت اختصاصی لازم است. بنابراین روش CND-clr با درنظر گرفتن متعادل و نامتعادل بودن وضعیت تغذیه‌ای و همچنین بیشبود و کمبود عناصر مربوطه، ضمن توصیه کودی مناسب، جلوگیری از آلودگی خاک، از هدررفت کود و منابع مالی نیز جلوگیری می‌کند. بنابراین، کوددهی بایستی با دقت و براساس شاخص‌های CND صورت گیرد.

رابطه بین شاخص تعادل عناصر غذایی و عملکرد

رابطه بین شاخص تعادل عناصر غذایی ($r^2=\Sigma I^2x$) و عملکرد در شکل ۶ نشان داده شده است. شاخص r^2 برای ارزیابی وضعیت تعادل تغذیه ای استفاده می شود و مقادیر ان می تواند صفر و بزرگتر از صفر باشد. هر چه شاخص تعادل به صفر نزدیکتر باشد بیانگر وجود شرایط تعادل تغذیه ای مناسب است و هرچه از صفر بزرگتر باشد عدم تعادل تغذیه ای بیشتر می شود. شاخص تعادل تغذیه‌ای رابطه معکوسی با عملکرد دارد که در شکل ۴ این رابطه مشهود است.

شاخص تعادل عناصر غذایی به روش کیت– نلسون محاسبه و مقدار آن برابر ۱۴/۱ برای عملکرد ۳۷/۱۴ تن به دست آمد. همان طور که مشاهده می شود براساس روش ترسیمی کیت –نلسون برای عملکردهای بیشتر از ۳۷/۱۴ تن مقدار شاخص تعادل تغذیه ای از ۱۴/۱ به طرف صفر میل می کند (ناحیه ۴) و برای عملکردهای کمتر از ۳۷ تن این شاخص از صفر بیشتر شده و به مقادیر بیشتر از ۱۴/۱ میل می‌کند (ناحیه ۲). بهترین قسمت بندی آن است که بیشتر نقاط در نواحی ۲ و ۴ قرار گیرند.



شکل ۴- رابطه بین عملکرد و شاخص تعادل عناصر غذایی ($CND\text{-}r^2$).

Figure 5. Relationship between yield and nutrient balance index ($CND\text{-}r^2$).

طبق پژوهش Zandi و همکاران (۲۰۲۱) چنانچه شاخص تعادل تغذیه ای بیشتر از یک باشد نشان دهنده عدم تعادل عناصر غذایی در مدیریت کوددهی است. مقدار شاخص تعادل عناصر غذایی در همه مدیریت‌های کودی بیش از یک بود که نشان دهنده عدم تعادل عناصر غذایی در مدیریت‌های کودی مختلف بود. پژوهشگران دیگری نیز در رابطه با استفاده از شاخص تعادل تغذیهای به نتایج مشابهی دست یافتند (Sharifmand *et al.*, 2018).

نتیجه‌گیری

مطالعه خاک باغات انار منطقه تنگ سیاب کوهدشت نشان داد میزان کربن آلی در دو عمق مطالعه شده در اکثر باغات پایین است و به منظور افزایش نیتروژن قابل دسترس خاک در این منطقه به مصرف کودهای آلی توجه شود. علاوه بر این در خاک باغات مورد مطالعه عناصر فسفر، روی، آهن و منگنز در اکثر باغات زیر حد بحرانی بود. نتایج تفسیر تجزیه برگر به روش تشخیص چندگانه نشان داد در باغات با وضعیت تغذیه ای نامتعادل ترتیب نیاز عناصر Zn(69%)>Cu(66.7%)>N(50%)>Mn(47.6%)>P(45.2 %)>Fe(23.8%)>K(11.9%) است. به منظور افزایش عملکرد و کیفیت میوه انار در باغات مورد مطالعه توصیه می شود نتایج CNDنشان می‌دهد که مدیریت تغذیه‌ای باغ‌ها، به‌ویژه در ارتباط با N ، Zn وCu ، نیازمند توجه بیشتر است و این یافته‌ها می‌تواند مبنایی برای طراحی آزمون‌های کوددهی و توصیه‌های اختصاصی منطقه باشد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از زحمات پرسنل آزمایشگاه بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان قدردانی می‌نمایند.

تعارض منافع

این مقاله هیچ گونه تعارض منافع ندارد.

References

1. Balakrishnan K., Vekatesan K., and Sambandamurthis S. 1996. Effect of foliar application of Zn, Fe, Mn and B on yield quantity of pomegranate, cv. Ganesh. Orissa J. Hort., 24: 33-35.
2. Basirat, M. , akhyani, A. and Daryashenas, M. (2016). Estimating Sufficiency Norms in Compositional Nutrient Diagnosis (CND1) Method for Shahroudi Table Grape. Iranian Journal of Soil Research, 30(1), 1-11. DOI: 10.22092/ijsr.2016.106306 (In persian).
3. Chakerolhosseini, M.R., Khorassani, R., Fotovat, A., & Basirat, M. (2016). Determination of norms and limitation of nutrients for orange by the compositional nutrient diagnosis method. Journal of Soil Management and Sustainable Production, 6(3),161-172. DOI:10.22069/ejsms.2017.9987.1590 (In Persian).
4. Chaney, R. L (1984) Diagnostic practices to indentify Iron deficiency in higher plants. J. Plant Nutr. 7: 47-67. DOI.org/10.1080/01904168409363174
5. Daryashenas, A. M. and Dehghani, F. (2006). Determination of DRIS Refrence Norms for Pomegranate in Yazd Province. *Iranian Journal of Soil Research*, *20*(1), 1-9. (In Persian).
6. Daryashenas, M. and Saghafi, K. (2011). Compositional Nutrient Diagnosis in Sugar Beet. *Iranian Journal of Soil Research*, *25*(1), 1-12. DOI:10.22092/ijsr.2011.126454 (In persian).
7. Ehyaei, A., Behbahanizadeh, M., and Behbahanizadeh, A.A. (1993). Soil chemical analysis method. Manual No 893. Soil and water research institute. (In persian).
8. Ghaderi, J., Akhyani, A., & Khalkhal, K. (2025). Nutritional status analysis of sugar beet in Shahroud county using the compositional nutrient diagnosis (CND) method. Iranian Journal of Soil Research, 38(4),315-330. DOI:10.22092/ijsr.2025.368423. (In Persian).
9. Gandomkar, A., Khanmohammadi, Z. and Basirat, M. (2023). Evaluation of Nutritional Status of Quince Trees (Cydonia oblonga Mill.) by Compositional Nutrient Diagnosis Method (CND) in Isfahan Province. *Water and Soil*, *37*(2), 281293.https://doi.org/10.22067/jsw.2023. 79923.1231 (In persian).
10. Karimi, R. (2017) Potassium-induced freezing tolerance is associated with endogenous abscisic acid, polyamines an d soluble sugars changes in grapevine. Scientia Horticulturae 215: 184-194. DOI:10.1016/j.scienta.2016.12.018
11. Karimi, R. (2020). The effect of early season nutrition of calcium and zinc on yield, sugar content and enzymatic and non-enzymatic antioxidant capacity of grape. *Journal of Plant Biological Sciences*, *12*(1), 1-22. DOI: 10.22108/ijpb.2019.117399.1157 (In persian).
12. Khiari, L., Parent, L.E., & Tremblay, N. (2001a). Critical compositional nutrient indexes for sweet corn at early growth stage. Agronomy Journal, 93, 809-814. DOI: https://doi.org/10.2134/agronj2001. 934809x
13. Khiari, L., Parent, L.E., & Tremblay, N. (2001b). The Phosphorus compositional nutrient diagnosis range for potato. Agronomy Journal, 93, 815-819. DOI:
14. https://doi.org/10.2134/agronj2001.9348
15. Lisboa, B.B., Abichequer, A.D., de São José, J.F.B., Moura-Bueno, J.M., Brunetto, G., Vargas, L.K. (2024**).** Compositional Nutrient Diagnosis Methodology and Its Effectiveness to Identify Nutrient Levels in Yerba Mate (*Ilex paraguariensis*). *Agriculture*, *14*, 896. DOI:https://doi.org/10.3390/agriculture14 060896
16. Malakooti, M. J. (2008). Comprehensive method for identifying and the necessity of optimal use of fertilizers for sustainable agriculture. Tarbiat Modares University Publications, Tehran, Iran. (In persian).
17. Malkooti M.J., Karimian N. and Keshavarz P. 2005. Methods for diagnosing nutrient deficiencies and recommending fertilizers. Scientific Works Publishing House, Modares University of Education, Tehran, Iran. (In Persian).
18. Malkoti M.J.B. (1996). Identifying nutritional abnormalities in fruit trees and providing executive solutions to increase production and improve fruit quality up to ISO global standards. Faqi Journal, No. 13, Agricultural Education Publication, affiliated with the Education and Human Resources Development Department of the TAT Organization, Ministry of Agricultural Jihad, Karaj, Iran. (In Persian).
19. Manouchehri S. 2005. Signs of deficiency and excess of essential nutrients in garden

plants. Agricultural Education Publication, Agricultural Research and Education Organization, Deputy for Education and Human Resources Development. (In Persian).

20. Ministry of Agricultural Jihad, Agricultural Statistics for the year 2022. August 2023. Deputy for Statistics, Information and Communication Technology Center
21. Mohasses Mostashari, M., khosravinejad, A., Asgari, A. and Ghasemi, M. (2022). Recognizing Nutritional Status of Hazelnut Orchards in Qazvin Province using Multiple Nutrient Recognition Methods. *Research in Horticultural Sciences*, *1*(1), 123-134. DOI: 10.22092/rhsj.2022.128461 (In persian).
22. Moshathari Mohasses, M. & Golmohammadi, M. (2012). Management of optimal use of organic and chemical fertilizers in olive orchards. Extension Publication, Extension Coordination Management. (In persian).
23. Motalebifard, R. (2022). Evaluation of nutritional status of Hamedan province grape fields by compositional nutrient Diagnosis Method. *Journal of Water and Soil,* *36*(3), 365-375. DOI:https://doi.org/10.22067/jsw.2022.74703.1137 (In Persian).
24. Parent, L.E., & Dafir, M. (1992). A theoretical concept of compositional nutrient diagnosis. Journal of American Society Horticulture Science, 117, 239-242. DOI: 10.21273/JASHS.117.2.239
25. Ross, S.M. (1987). Introduction to probability and statistics for engineers and scientists. John Wiley & Sons. New York.
26. Rozane, D.E.; Paula, B.V.; Melo, G.W.B.; Santos, E.M.H.; Trentin, E.; Marchezan, C.; Silva, L.O.S.; Tassinari, A., Dotto, L., Oliveira, F.N. (2020). Compositional nutrient diagnosis (CND) applied to grapevines grown in subtropical climate region. Horticulturae. 6, 56. DOI:https://doi.org/10.3390/horticulturae6030056
27. Sharifmand, M., Sepehr, E., & Bybordi, A. (2018). Evaluation of nutritional status of squash by Compositional nutrient diagnosis (CND) method in Khoy region. Iranian Journal of Soil and Water Research, 48(5), 10071013.DOI:10.22059/ijswr.2018.225775.667619 (In Persian).
28. Sharma, J., Shikhamany S.D., Singh, R.K. and Raghupathi, H.B. (2005). Diagnosis of nutrient imbalance in Thompson seedless grape grafted on Dog Ridge rootstock by DRIS. Soil Science and Plant Analysis36: 2823-2838. DOI: https://doi.org/10.1080/00103620500305991
29. Sobhi Rostami, F. and Golchin, A. (2011). The Effects of Different Rates of N, Mn and Zn on Yield and Quality of Pomegranate Fruit in Mazandaran Province. *Journal of Horticultural Science*, *25*(2), 234-242. DOI:https://doi.org/10.22067/jhorts4.v1390i0.10001 (In Persian).
30. Tadayon, M.S. 2015. Technical Guidelines for Pomegranate Nutrition. Manual No. 2. Soil and Water Research Institute (In persian).
31. Tadayon, M.S. Saghafi, K. Sadeghi, S. (2023). Applying the compositional nutrient diagnosis (CND) to pomegranate (Punica granatum cv. 'Rabab') under saline and calcareous soil condition. J. Plant Nutr., 46, 1–16.DOI: https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2067762
32. Taghavi G.R. (2000). The effects of macronutrients and foliar application of zinc sulfate on the yield and quality of pomegranate. In:" proc.the 2nd National Conference on the Optimum Untilization of Chemical Fertilizers and Pesticides in Agriculture", PP: 230-231, January 24-26,2000, Karaj, Islamic Republic of Iran. (In Persian).
33. Yousuf, M. N., Akter, S., Haque, M. I., Mohammad, N. and Zaman, M.S. (2024). Compositional nutrient diagnosis (cnd) of Onion (allium cepa l.). Bangladesh J. Agril. Res. 38(2): 271 -287, DOI: 10.3329/bjar.v38i2.15890
34. Zandi, S., Fatemi, A., Saiedi, M., & Hamedi, F. (2021). Investigation of different fertilizer management effect on nutritional status of apple by compositional nutrient diagnosis. Journal of Soil Management and Sustainable Production, 2(11), 91-107. DOI: 10.22069/ejsms.2021.18030.1951. (In Persian).