

A Review on Interpretation Methods of the Results of Plant Analysis and Introduction of Spectroscopy Method

Mahrokh Sharifmand¹ Ebrahim Sepehr^{*2}

(Received: August, 2024

Accepted: June, 2025)

Abstract

Increasing the yield and improving the quality of agricultural crops play important roles in the country's food security. Assessing soil fertility and making optimal fertilizer recommendations require diagnosing the nutritional status of plants. Leaf analysis and interpretation of its results is a suitable method for determining the nutritional balance of orchards and agricultural fields. Various methods exist for interpreting leaf analysis results; this article investigates several, including the critical level (CL), diagnosis and recommendation integrated system (DRIS), deviation from optimum percentage (DOP), compositional nutrient diagnosis (CND), and the imaging and spectroscopy method. The study results showed that each method has its own advantages and disadvantages. Although DRIS addresses the shortcomings of the CL method, DOP is a simpler and easier method compared to the more comprehensive DRIS for interpreting leaf analysis results. The CND method is more comprehensive than the others because it considers the mutual effects of all nutrients. With technological advancements, imaging and spectroscopic methods in the visible and near-infrared regions (Vis-NIR) are now used to determine the nutritional status of plants and prevent yield reduction. This method is inexpensive, fast, and non-destructive, as it does not require chemical analysis, and is applicable to large areas and large-scale management. In general, choosing a suitable method to determine the nutritional status of crops and orchards can contribute to increase the efficiency of fertilizer use, improve agricultural yields, and food security.

Key words: Leaf analysis, Plant nutrition, Spectrometry

Sharifmand M., Sepehr E. 2025. A Review on Interpretation Methods of the Results of Plant Analysis and Introduction of Spectroscopy Method. *Applied Soil Research*. 13(3): 1-21.

1. Researcher, Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

2. Professor, Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

* Corresponding Author Email: e.sepehr@urmia.ac.ir

مروری بر روش‌های تفسیر نتایج تجزیه گیاه و معرفی روش طیف‌سنجی

ماهرخ شریف‌مند^۱، ابراهیم سپهر^{۲*}

تاریخ پذیرش: 1404/03/27

تاریخ دریافت: 1403/۰۶/07

چکیده

افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصول‌های کشاورزی نقش مهمی در امنیت غذایی کشور ایفا می‌کند. ارزیابی حاصلخیزی خاک و ارائه توصیه کودی بهینه، مستلزم تشخیص وضعیت تغذیه‌ای گیاهان است. تجزیه برگ و تفسیر نتایج آن، روش مناسبی برای تعیین تعادل تغذیه‌ای باغ‌ها و مزارع کشاورزی است. روش‌های مختلفی برای تفسیر نتایج تجزیه برگ وجود دارد؛ این مقاله به بررسی چند مورد از این روش‌ها از جمله سطح بحرانی (CL)، سیستم تلفیقی تشخیص و توصیه (DRIS)، انحراف از حد بهینه (DOP)، تشخیص ترکیبی عناصر غذایی (CND)، و روش تصویربرداری و طیف‌سنجی می‌پردازد. نتایج مطالعه نشان داد که هر روش مزایا و معایب خاص خود را دارد. اگرچه DRIS کاستی‌های روش CL را برطرف می‌کند، اما DOP روشی ساده‌تر و آسان‌تری در مقایسه با روش جامع‌تر DRIS برای تفسیر نتایج تجزیه برگ است. روش CND به دلیل لحاظ نمودن اثرهای متقابل همه عناصر جامعیت بیشتری نسبت به روش‌های دیگر دارد. با پیشرفت تکنولوژی، اکنون از روش‌های تصویربرداری و طیف‌سنجی در ناحیه مرئی و مادون قرمز نزدیک (Vis-NIR) برای تعیین وضعیت تغذیه‌ای گیاهان و جلوگیری از کاهش عملکرد استفاده می‌شود. این روش به دلیل عدم نیاز به تجزیه شیمیایی، ارزان، سریع و غیرمخرب بوده و در مساحت‌های بزرگ و مدیریت‌های کلان کاربرد دارد. به‌طور کلی انتخاب روش مناسب برای تعیین وضعیت تغذیه‌ای گیاهان زراعی و باغی می‌تواند به افزایش کارایی مصرف کود، بهبود عملکرد محصولات کشاورزی و امنیت غذایی کمک نماید.

واژه‌های کلیدی: تجزیه برگ، تغذیه گیاه، طیف‌سنجی

شریف‌مند م، سپهر ا. ۱۴۰۴. مروری بر روش‌های تفسیر نتایج تجزیه گیاه و معرفی روش طیف‌سنجی. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۱۳، شماره ۳. صفحه: ۲۱-۱.

۱- پژوهشگر گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲- استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

*پست الکترونیک مکاتبه کننده: e.sepeher@urmia.ac.ir

مقدمه

تغذیه گیاه تابعی از اثرهای متقابل عناصر غذایی و شرایط محیطی است. شناخت وضعیت تغذیه‌ای روشی موثر برای شناسایی علل پایین بودن عملکرد محصول‌های کشاورزی در یک منطقه می‌باشد. عدم تعادل عناصر غذایی (به علت عوامل محدودکننده) می‌تواند موجب اختلالاتی در رشد گیاه شود. غلظت هر نوع ماده غذایی در گیاه به‌طور عمده به قابلیت دسترسی در خاک، میزان جذب آن توسط گیاه و هم چنین به نوع و مرحله رشد گیاه بستگی دارد (Velasco *et al.*, 2010).

گیاهان برای جوانه زدن، رشد رویشی و زایشی به عناصر غذایی نیاز دارند. در مجموع، گیاهان برای رشد بهینه به ۱۷ عنصر غذایی نیاز دارند که ۱۴ مورد از این عناصر را از خاک و سه عنصر باقیمانده را از آب و هوا تامین می‌کنند (Mahler, 2004). سه عنصر ضروری و پرمصرف اولیه برای رشد گیاه نیتروژن، فسفر و پتاسیم می‌باشند که به اختصار NPK نامیده می‌شود. این عناصر غذایی نقش‌های مختلف و حیاتی در رشد گیاه دارند. بنابراین، اطمینان از دریافت عناصر غذایی کافی گیاهان در طول کوددهی ضروری است (جدول ۱).

جدول ۱- عناصر ضروری برای رشد گیاه
Table 1. Essential nutrients for plant growth

Group	Elements	Symbol	Source	Function in Plants
Macronutrients/ primary nutrient	Carbon	C	Water and/or air	Constituent of organic compounds in plants
	Hydrogen	H		
	Oxygen	O		
	Nitrogen	N	Soil	Major component of proteins, hormones, chlorophyll, vitamins and enzymes, genetic material (nucleic acids), and essential for vegetative growth
	Phosphorus	P		As a component of ATP and essential for all energy-consuming processes, major ingredient in amino acids and a component of the cell membrane, phospholipids, RNA, and DNA, involved in seed germination, photosynthesis, protein formation, and flower and fruit formation
Macronutrients/ secondary nutrients	Potassium	K		Formation of sugars and starch in the plant, enzymes activation, protein synthesis, protection of electrical potential gradients in cell membranes, anion-cation balance, turgor regulation, and osmotic regulation, regulating the opening and closing of stomata and photosynthesis
	Calcium	Ca	Soil	Important structural component of cell walls, necessary for cell growth and division, and influences water movement in cells
	Magnesium	Mg		The central atom in the chlorophyll molecule, essential for photosynthesis and formation of carbohydrates, involved in enzymatic reactions and assists in generation of energy
	Sulfur	S		Structural component of protein (amino acids cysteine and methionine), plasma membrane (sulpholipid), Co-enzymes (biotin, thiamine and lipoic acid), and isothiocyanate (Aromatic oils that give odors in cabbage and onion families of plants)
Micronutrients/ trace elements	Iron	Fe	Soil	Chlorophyll development, electron transfer within the plant, plant respiration, and nitrogen fixation, constituent of certain enzymes and proteins
	Manganese	Mn		Photosynthesis and respiration, activating enzymes, sugar and protein synthesis
	Zinc	Zn		Constituent of some enzymes, carbonic anhydrase, alcohol dehydrogenase, phospholipase, carboxy peptidase, phosphatase, and RNA polymerase, auxin synthesis
	Copper	Cu		Involved in many physiological processes such as photosynthesis, respiration, protection against oxidative stress, cell wall lignification, and ethylene perception
	Boron	B		Cell wall formation, membrane integrity, translocation of sugars, cell division and germination of pollen grains

Chlorine	Cl	Important role in photosynthesis, anion-cation balance, opening of stomata, required for optimal enzyme activity of asparagine synthetase, amylase, and ATPase
Molybdenum	Mo	Component of nitrate-reductase and nitrogenase enzymes, ureide synthesis and purine catabolism in plants, oxidation-reduction reactions
Nickel	Ni	Function of urease (the sole nickel-specific enzyme), nitrogen-fixing symbionts through hydrogenase enzyme

سه معیار برای ضروری بودن عناصر غذایی وجود دارد (Kumar *et al.*, 2023):

(۱) بدون آن عنصر، گیاه نتواند چرخه زندگی خود را کامل کند.

(۲) نقش آن عنصر در گیاه غیر قابل جایگزین باشد و هیچ عنصر دیگری نتواند نقش آن را ایفا کند.

(۳) آن عنصر به‌طور مستقیم در تغذیه گیاه (شرکت در متابولیسم یا فعالیت آنزیم) نقش داشته باشد.

بافت‌های گیاهی همچنین حاوی عناصر دیگری (Na, Se, Co, Si, Rb, Sr, F, I) هستند که برای رشد و نمو طبیعی ضروری نیستند. ولی برخی از این عناصر مانند سدیم (Na)، سیلیسیم (Si) و کبالت (Co) را عناصر مفید می‌نامند. مثلاً Co برای گیاهان تثبیت کننده ازت، Si برای جلوگیری از ورس در گندم و Na در چغندر قند برای افزایش درصد قند مفید هستند. همه عناصر معدنی ضروری به جز عنصر بر به شکل یون جذب می‌شوند (جدول ۲).

جدول ۲- محدوده غلظت عناصر غذایی در گیاهان زراعی و شکل قابل جذب آن‌ها برای گیاهان

Table 2. Range of nutrient concentrations in crop plants and form available to plants

Remarks	Element	Atomic weight	Range of concentration	Mean of concentration	Form available to plants
Essential macronutrients	N	14.01	0.5 - 6.0 %	4.0 %	$\text{NH}_4^+ - \text{NO}_3^-$
	P	30.98	0.15 - 0.5 %	0.5 %	$\text{H}_2\text{PO}_4^{2-} - \text{HPO}_4^{2-}$
	K	39.10	0.8 - 8.0 %	4.0 %	K^+
	Ca	40.08	0.1 - 6.0 %	1 %	Ca^{2+}
	Mg	24.32	0.05 - 1.0 %	0.5 %	Mg^{2+}
	S	32.07	0.1 - 1.5 %	0.5 %	SO_4^{2-}
Essential micronutrients	Fe	55.85	20 - 600 ppm	200 ppm	Fe^{2+}
	Mn	54.94	10 - 600 ppm	200 ppm	Mn^{2+}
	Zn	65.38	10 - 250 ppm	30 ppm	Zn^{2+}
	Cu	63.54	2 - 50 ppm	10 ppm	$\text{Cu}^+ - \text{Cu}^{2+}$
	B	10.82	0.2 - 800 ppm	60 ppm	$\text{H}_2\text{BO}_3 - \text{H}_2\text{BO}_3^-$
	Mo	95.95	0.1 - 10 ppm	2 ppm	MoO_4^{2-}
	Cl	35.46	10 - 8000 ppm	3000 ppm	Cl^-
Essential But Not Applied	C	12.01		40 %	CO_2
	H	1.01	80 - 100 %	6 %	H_2O
	O	16.00		40 %	$\text{O}_2 - \text{H}_2\text{O}$

هزینه‌ها می‌گردد (Giovenzana *et al.*, 2015). در این مطالعه علاوه بر بررسی روش‌های تفسیر نتایج تجزیه برگ، روش طیف‌سنجی نور مرئی و مادون قرمز نزدیک (NIR^5) معرفی گردید تا با انتخاب روشی مناسب گامی موثر در راستای بهبود عملکرد محصولات زراعی و باغی برداشته شود.

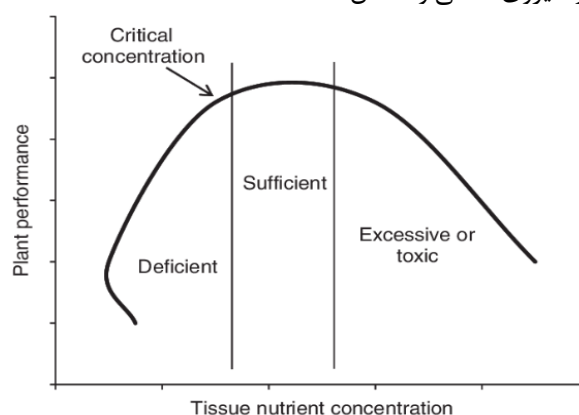
روش‌های تفسیر نتایج تجزیه برگ

روش سطح بحرانی (CL)

روش سطح بحرانی یکی از روش‌های پیشنهاد شده توسط اولریچ (Ulrich, 1952) برای ارزیابی وضعیت عناصر غذایی گیاهان زراعی می‌باشد که تاکنون به‌طور گسترده‌ای استفاده شده است. سطح بحرانی بخشی از منحنی عملکرد و غلظت عنصر غذایی می‌باشد که در آن غلظت عنصر غذایی گیاه از کمبود به کفایت تغییر می‌کند (شکل ۱). به دلیل تغییرات زیاد منطقه انتقالی بین غلظت‌های کمبود و کفایت عناصر غذایی، تعیین مقدار واقعی حد بحرانی مشکل می‌باشد، در نتیجه از دامنه غلظت بحرانی استفاده می‌شود که عبارت است از دامنه غلظت عناصر در مرحله خاصی از رشد گیاه که بالاتر از آن، محصول به خوبی با عناصر غذایی تغذیه شده و پایین‌تر از آن، محصول از نظر عنصر خاص دچار کمبود می‌شود (Kelling *et al.*, 2000). اوخی (Okhi, 1987) بیان کرد که سطح بحرانی عناصر غذایی سطحی است که ۱۰ درصد کاهش عملکرد اتفاق می‌افتد. این سطح هم چنین تحت عنوان سطح بحرانی کمبود (CDL^6) نیز نامیده می‌شود (Akhter, 2011).

مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و رعایت نکردن اصول علم کشاورزی، خسارات جبران ناپذیری به صنعت کشاورزی و خاک از نظر زیست محیطی و اقتصادی وارد می‌کند. ایجاد تعادل و رعایت نسبت مناسب عناصر غذایی در حاصلخیزی خاک اهمیت بسزایی دارد. وجود تعادل بین عناصر غذایی در تغذیه گیاه نیز بسیار مهم است و عملکرد کمی و کیفی محصول را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. یکی از اهداف اصلی تغذیه گیاه افزایش درآمد خالص از طریق مدیریت کارآمد کوددهی است. برای دستیابی به این هدف، در ابتدا لازم است تأثیر عوامل محدودکننده عملکرد به درستی تعیین شود. به منظور بهینه‌کردن مصرف کودها و تشخیص اختلالات تغذیه گیاهی از روش تجزیه گیاه استفاده می‌شود. توصیه کودی مناسب به تفسیر صحیح و دقیق تجزیه گیاه بستگی دارد. روش‌های مختلفی برای تفسیر نتایج تجزیه برگ وجود دارد از جمله روش سطح بحرانی (CL^1) (Ulrich, 1952)، روش تلفیقی تشخیص و توصیه ($DRIS^2$) (Beaufils, 1973)، روش انحراف از حد بهینه (DOP^3) (Montanes *et al.*, 1993)، روش تشخیص ترکیبی عناصر غذایی (CND^4) (Parent & Dafir, 1992).

هزینه‌بر بودن تجزیه تعداد زیادی نمونه و وقت‌گیر بودن انجام محاسبات آن‌ها از محدودیت‌های روش‌های مذکور می‌باشد. روش‌های طیف‌سنجی در تشخیص تنش‌های گیاهان به دلیل غیرمخرب بودن، سرعت بالا، حساسیت زیاد و اختصاصی بودن قابل اجرا هستند (Khaled *et al.*, 2018). همچنین این تکنیک منجر به ذخیره نیروی انسانی و کاهش



شکل ۱- روابط بین غلظت عنصر غذایی در گیاه و عملکرد محصول (McGrath *et al.*, 2014)
Figure 1. Relationship between nutrient concentration in plant and crop yield

⁴ Compositional nutrient diagnosis

⁵ Near infrared regions

⁶ Critical Deficiency Level

¹ Critical level

² Diagnosis and recommendation integrated system

³ Deviation from optimum percentage

مرجع می‌باشد، بنابراین یک بانک اطلاعاتی شامل عملکرد محصول و تجزیه شیمیایی بافت گیاهی تشکیل می‌شود. تحقیقات زیادی نشان داده است که انتخاب جامعه گیاهی مرجع، عامل مهم برای کارایی و موفقیت روش DRIS می‌باشد. مالواتا (Malavolta, 1989) اعلام نمود که گروه مرجع گروهی از جامعه گیاهی است که ۸۰ درصد حداکثر عملکرد را داشته باشد. معیار دیگر برای تقسیم مزارع به دو گروه با عملکرد بالا و پایین، استفاده از میانگین عملکرد و انحراف معیار است (Sharma et al., 2005).

در این روش با در نظر گرفتن A تا N عنصر فرمول‌های کالبراسیون برای تعیین شاخص عناصرها به شرح زیر قابل محاسبه است:

$$A \text{ index} = \frac{\left[f\left(\frac{A}{B}\right) + f\left(\frac{A}{C}\right) + f\left(\frac{A}{D}\right) \cdots + f\left(\frac{A}{N}\right) \right]}{z}$$

$$B \text{ index} = \frac{\left[-f\left(\frac{A}{B}\right) + f\left(\frac{B}{C}\right) + f\left(\frac{B}{D}\right) \cdots + f\left(\frac{B}{N}\right) \right]}{z}$$

$$C \text{ index} = \frac{\left[-f\left(\frac{A}{C}\right) - f\left(\frac{B}{C}\right) + f\left(\frac{C}{D}\right) \cdots + f\left(\frac{C}{N}\right) \right]}{z}$$

$$\vdots$$

توابع مربوطه در روابط فوق، به روش بیوفیلز (Beaufils, 1973) محاسبه می‌گردد:

$$\text{if } \frac{A}{B} > \frac{a}{b} \quad f\left(\frac{A}{B}\right) = \left(\frac{\frac{A}{B}}{\frac{a}{b}} - 1 \right) \cdot \frac{1000}{CV}$$

$$\text{if } \frac{A}{B} < \frac{a}{b} \quad f\left(\frac{A}{B}\right) = \left(1 - \frac{\frac{a}{b}}{\frac{A}{B}} \right) \cdot \frac{1000}{CV}$$

$$\text{if } \frac{A}{B} = \frac{a}{b} \quad f\left(\frac{A}{B}\right) = 0$$

که $\frac{A}{B}$ مقدار نسبت غلظت دو عنصر، $\frac{a}{b}$ مقدار بهینه (نرم) آن نسبت و CV ضریب تغییرات مربوط به داده‌های جامعه مرجع می‌باشد.

شاخص‌های DRIS میانگین حسابی توابع عنصر مورد نظر را نشان می‌دهند و اعداد مثبت و منفی آن به ترتیب نشان دهنده وضعیت کمبود و بیش‌بود عنصر غذایی می‌باشد (Walworth & Sumner, 1987). شاخص‌های DRIS با افزایش نسبی غلظت عناصر غذایی افزایش می‌یابد. به‌عنوان

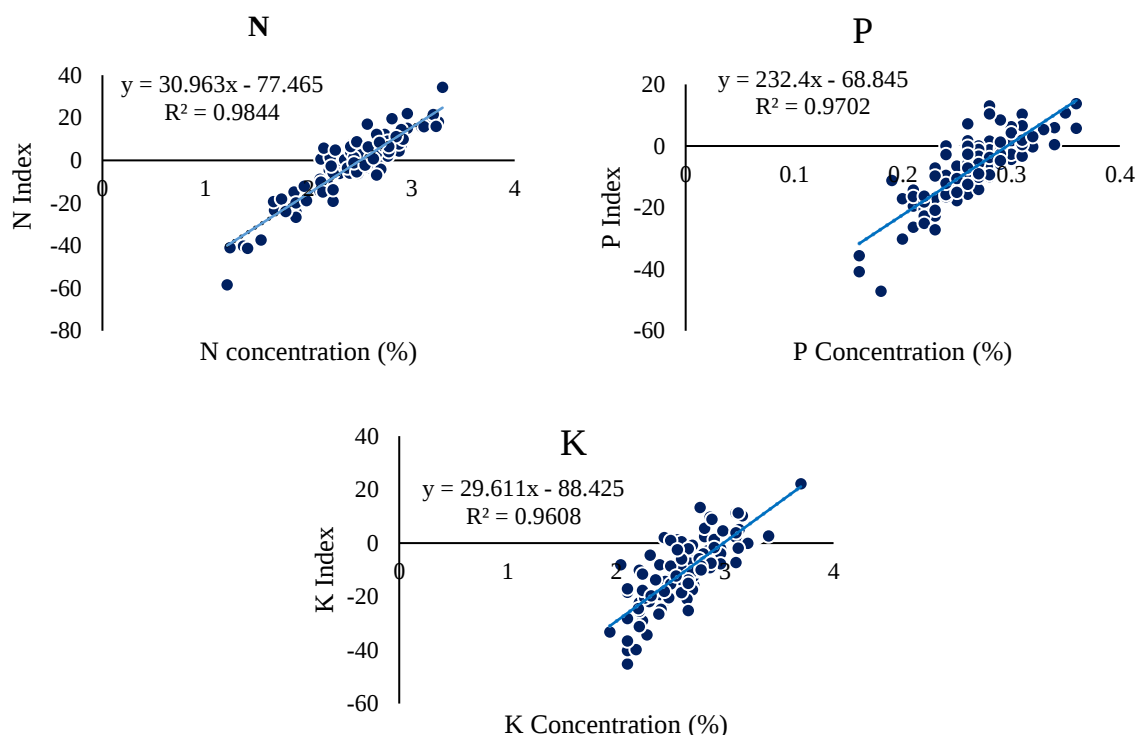
نتایج تحقیقات نشان داد که غلظت عناصر غذایی به‌طور قابل ملاحظه‌ای با سن گیاه تغییر می‌کند (Dow & Roberts, 1982). طبیعت پویای عناصر غذایی بافت گیاه محدودیت‌های شدیدی برای تجزیه برگی جهت کاربرد این روش در تشخیص کمبود عناصر غذایی ایجاد می‌کند (Boum, 1983). روش دامنه بحرانی عناصر غذایی معمولاً از طریق نرم‌های عناصر غذایی استخراج شده از بافت گیاه در سن مشخص، غلظت عنصر غذایی را به دو گروه دارای کمبود و بدون کمبود طبقه‌بندی می‌کند. تشخیص‌های مبتنی بر چنین استانداردهایی فقط برای نمونه‌های گیاهی نمونه‌برداری شده در مرحله خاصی از رشد گیاه به کار برده می‌شود. راهکار ارائه شده برای طبیعت پویای غلظت عناصر غذایی برگ، توسعه مقادیر استاندارد این عناصر برای مراحل مختلف رشد گیاه می‌باشد. از طرفی شرایط محیطی مانند نور و دما سبب تأخیر یا تسریع فرایندهای بلوغ می‌گردند که ممکن است بر روابط بین غلظت عنصر غذایی و مرحله رشد اثر بگذارد (Walworth & Sumner, 1987). همچنین این روش به دلیل در نظر نگرفتن اثرهای متقابل نیز مورد انتقاد قرار گرفته است (Parent & Dafir, 1992).

روش تلفیقی تشخیص و توصیه (DRIS)

روش تفسیر تجزیه برگ تحت عنوان سیستم تلفیقی تشخیص و توصیه (DRIS) توسط بیوفیلز (Beaufils, 1973) پیشنهاد گردید. در این روش به جای کاربرد روش‌های تک متغیره سطح بحرانی که هیچ اطلاعاتی در مورد تعادل عناصر غذایی ارائه نمی‌گردد، نسبت دوگانه بین زوج عناصر غذایی برقرار شد. اولین قدم در اجرای هر روش تشخیص تغذیه‌ای ایجاد ارقام مرجع یا نرم می‌باشد. غلظت عناصر غذایی در گیاهان با عملکرد زیاد متعادل است و این غلظت‌ها می‌توانند به عنوان معیاری برای ارزیابی رشد گیاهان و دستیابی به حداکثر عملکرد محسوب شوند. تفکیک دو گروه با عملکرد زیاد و کم در روش DRIS بر این اساس است که نمونه‌های دارای عملکرد زیاد دارای توزیع نرمال هستند و پارامترهای مربوط به این گروه نظیر غلظت عنصرها نیز توزیعی نرمال و همگن دارند. لذا متوسط عملکرد زارعین با مدیریت مناسب ملاک تفکیک دو گروه عملکردی قرار می‌گیرد (Walworth & Sumner, 1987). نرم‌های DRIS شامل میانگین و انحراف استاندارد نسبت-های دوگانه بین عنصرهای غذایی حاصل از جمعیت گیاهی

ایجاد محدودیت عملکرد نمی‌شود. این روش می‌تواند برای تعیین غلظت‌های بهینه عناصر جهت نیل به عملکرد حداکثر مورد استفاده قرار گیرد (Reis & Monnerat, 2002).

نمونه رابطه بین شاخص‌ها و غلظت عناصر NPK در برگ کدو در شکل ۲ نشان داده شده است (Sharifmand *et al.*, 2019). براساس مدل‌های برازش داده شده، نقاطی که در آن شاخص‌ها برابر صفر هستند غلظت عناصر غذایی باعث



شکل ۲- رابطه بین شاخص‌های DRIS و غلظت عناصر NPK

Figure 2. Relationship between DRIS indices and nutrients concentration (NPK)

این روش برای درختان انار در استان یزد تعیین کردند که می‌تواند برای تشخیص اختلالات تغذیه‌ای و اولویت‌بندی کمبودها و زیادبودهای درختان انار این استان و سایر مناطق استفاده شوند. لکزیان و همکاران (Lakzian *et al.*, 2012) نرم‌های DRIS را برای درختان چنار (*Platanus sp.*) تعیین و ترتیب نیاز غذایی عنصرها را به صورت $N > Fe = Zn = Mn > P = K > Cu$ به‌دست آوردند. صمدی و مجیدی (Samadi & Majidi, 2010) اعداد مرجع DRIS را برای انگور سفید بیدانه (*Vitis vinifera L.*) در تاکستان‌های استان آذربایجان غربی را تعیین و گزارش کردند براساس شاخص‌های این روش، در بین عناصر پرمصرف و کم‌مصرف به ترتیب عنصر منیزیم و روی بیشترین کمبود را داشتند. حدود کفایت عناصر غذایی در برگ باغ‌های هلو توسط امامی و همکاران (Emami *et al.*, 2012)، به روش DRIS

جمع جبری شاخص‌ها همیشه صفر است. این شاخص‌ها تعادل نسبی بین عناصر غذایی اندام‌های گیاهی را مشخص می‌کنند. شاخص تعادل عناصر غذایی (NBI^1) مجموع شاخص‌های DRIS، بدون در نظر گرفتن علامت می‌باشد. بزرگی مقدار عددی NBI نشان‌دهنده عدم تعادل شدید عناصر غذایی در گیاه می‌باشد و در نتیجه عملکرد نیز پایین‌تر خواهد بود. این شاخص هرچه کوچکتر باشد، وضعیت تغذیه گیاه متعادل‌تر (Elwali & Gascho, 1984) و تولید محصول بیشتر خواهد بود (جدول ۳).

در ایران با استفاده از روش DRIS، حد متعادل عناصر غذایی برای بسیاری از محصولات زراعی و باغی تعیین شده است. دریاشناس و دهقانی (Daryashenas & Dehghani, 2006) برای اولین بار نرم‌های استاندارد عناصر غذایی را با

¹Nutrient Balance Index

به دست آمد. سپس با استفاده از فرمول کالبراسیون DRIS، شاخص‌های ۹ عنصر غذایی در باغات با عملکرد کم تعیین و شاخص تعادل غذایی برای هر یک از این باغات محاسبه شد. نتایج نشان داد که ترتیب نیاز به عناصر غذایی به شرح: $Ca > P > Mg = Mn > K > Fe > Cu = Zn > N$ بود.

جدول ۳- تفسیر شاخص‌های DRIS توسط روش پاسخ بالقوه کاربرد عنصر غذایی (Serra et al., 2013)

Table 3. Interpretation of DRIS indicators by nutrient application potential response

Nutritional	Criteria	Nutrient application potential response
Deficiency	$< 0I_A \text{ DRIS}$ $ I_A \text{ DRIS} > NBI \text{ and } I_A$	Positive, with higher probability (p)
Deficiency-prone	$< 0I_A \text{ DRIS}$ $ I_A \text{ DRIS} > NBI$	Positive, with low probability (pz)
Sufficient	$ I_A \text{ DRIS} = NBI$	Null (z)
Excess-prone	$> 0I_A \text{ DRIS}$ $ I_A \text{ DRIS} > NBI$	Negative, with low probability (nz)
Excess	$> 0I_A \text{ DRIS}$ $ I_A \text{ DRIS} > NBI \text{ and } I_A$	Negative, with higher probability (n)

روش انحراف از درصد بهینه (DOP) مدل جدید و آسانی برای تفسیر نتایج تجزیه گیاهان است (Jimenez et al., 2007). در این روش به عدم تعادل عناصر در گیاه رتبه داده شده و یک ترتیب عدم تعادل برای عناصر مختلف به دست می‌آید که از جنبه مدیریت تغذیه‌ای بسیار مهم است (Montanes et al., 1993). ترتیب عدم تعادل عناصر غذایی با محاسبه شاخص DOP برای هر عنصر میسر می‌گردد. این شاخص به صورت درصد انحراف غلظت یک عنصر از مقدار بهینه خود در گیاه (مقدار مرجع یا نرم) تعریف می‌شود:

$$\text{DOP} = [(C \times 100) / C_{\text{ref}}] - 100 \quad (\text{رابطه ۱})$$

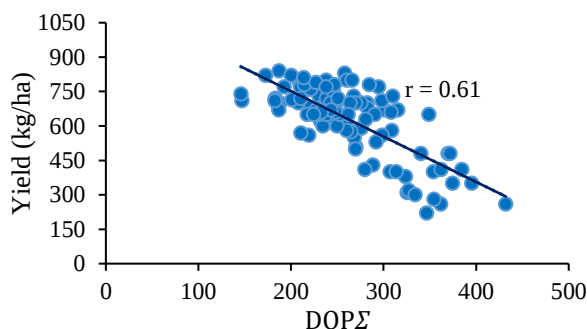
در این رابطه C غلظت عنصر و C_{ref} غلظت بهینه عنصر غذایی در نمونه برگ می‌باشد. شاخص تعادل تغذیه‌ای DOP (ΣDOP) نیز از مجموع شاخص‌های عناصر ($I_A, I_B, I_C, \dots, I_N$) بدون در نظر گرفتن علامت آن‌ها بدست می‌آید (رابطه ۲). در شکل ۳ نمونه‌ای از رابطه شاخص ΣDOP با عملکرد مزارع کدو نشان داده شده است (Sharifmand et al., 2020).

رابطه ۲)

$$\Sigma DOP = |I_A| + |I_B| + |I_C| + \dots + |I_N|$$

برای ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای باغ‌های لیموترش در استان هرمزگان نیز از روش DRIS استفاده گردید (Hoseini, 2016) و ترتیب نیاز به عناصر غذایی به صورت $Mn > Fe > N > K > P > B > Zn > Cu > Cl$ به دست آمد. آن‌ها پیشنهاد کردند مصرف عناصر کم مصرف همچون آهن، منگنز و عناصر پرمصرف نیتروژن و پتاسیم در اولویت مصرف در این باغ‌ها قرار گیرند. فیضی‌زاده و صمدی (Feyzizadeh & Samadi, 2016) با استفاده از شاخص‌های این روش ترتیب نیاز غذایی پیاز (*cepa L. Allium*) برای عناصر پر مصرف را به صورت $N > Mg > P > K > Ca$ و عناصر کم مصرف را به صورت $Fe > Zn > B > Mn > Cu$ برای مزارع با عملکرد کم بدست آوردند. وضعیت تغذیه‌ای مزارع کدو در منطقه خوی توسط شریف‌مند و همکاران (Sharifmand et al., 2019) ارزیابی شد. شاخص تعادل تغذیه‌ای DRIS در مزارع با عملکرد پایین بزرگتر از صفر به دست آمد که نشان‌دهنده عدم تعادل عناصر غذایی در این مزارع می‌باشد. طاهری و همکاران (Taheri et al., 2020) نیز برای تعیین شاخص‌های DRIS، درختان زیتون را براساس وزن ۱۰ میوه به دو گروه با عملکرد بالا و پایین تقسیم کردند. همه درختان زیتون با ارقام مختلف (روغنی، زرد، شنگه و مانزانیلا) دارای شاخص NBI بیشتر از صفر بودند که عدم تعادل تغذیه‌ای را در این باغات نشان می‌دهد.

شاخص انحراف از درصد بهینه (DOP)



شکل ۳- رابطه بین شاخص تعادل غذایی DOP و عملکرد مزارع کدو (Sharifmand *et al.*, 2020)
Figure 3. Relationship between nutritional balance index and squash yield

تعیین شد. آن‌ها گزارش کردند شاخص‌های تعادل تغذیه-ای DOP در مزارع با عملکرد پایین بزرگتر از صفر، بیانگر نبود تعادل عناصر غذایی در این مزارع می‌باشد. طاهری و نجفی (Taheri & Najafi, 2018) نیز، وضعیت تغذیه‌ای برخی رقم‌های پسته را با این روش بررسی کردند. براساس نتایج، ترتیب اهمیت عناصر غذایی رقم‌های پسته به دست آمد و رقم بادامی با بیشترین شاخص تعادل تغذیه‌ای DOP (۴۵۰) ضعیف‌ترین تعادل عناصر غذایی را نسبت به رقم‌های دیگر داشت. میران و صمدی (Miran & Samadi, 2014) علاوه بر ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای چغندر قند، دو روش DRIS و DOP را با هم مقایسه و بیان کردند هر دو روش در تفسیر نتایج تجزیه برگ، مشابه عمل می‌کنند.

روش تشخیص چندگانه عناصر (CND)

روش تشخیص چندگانه عناصر (CND) با در نظر گرفتن نسبت یک عنصر به همه عناصرها اثرات متقابل آنها را بیان می‌دارد (Parent & Dafir, 1992). همچنین در سامانه CND وضعیت هر عنصر غذایی نسبت به میانگین هندسی ($G(x)$) کلیه عناصر محاسبه می‌شود (رابطه ۳). این روش با کمک گرفتن از روش ریاضی و آماری و کاربرد تابع تجمعی نسبت واریانس عناصر غذایی (رابطه ۴)، گروه‌های عملکردی زیاد و کم را با دقت زیاد تفکیک کرده و امکان استفاده از بانک اطلاعاتی کوچک را فراهم می‌کند (Khiari *et al.*, 2001c). بدین معنی که تمایز جامعه عملکردی به دو گروه زیاد و کم براساس ترسیم تابع تجمعی بین عملکرد و نسبت واریانس شاخص‌های عناصر غذایی می‌باشد. تابع عملکرد و عنصر غذایی شکل کاوی (Concavity) دارد که در شکل ۴ این تابع برای عنصر کلسیم با $R^2 = 0.98$ جهت

روش DOP نیز همانند روش DRIS برای هر عنصر غذایی شاخصی را محاسبه و آنها را به صورت اعداد مثبت، منفی یا صفر مشخص می‌نماید که به ترتیب بیانگر زیادی، کمبود یا غلظت مناسب عنصر غذایی در گیاه می‌باشد. همچنین منفی‌ترین شاخص، عامل محدودکننده تغذیه گیاه می‌باشد و ترتیب نیاز از شاخص منفی به مثبت خواهد بود. با محاسبه مجموع قدرمطلق شاخص‌های انحراف از درصد بهینه، می‌توان به شدت خروج از حالت تعادل پی برد. در این صورت عدد صفر بیانگر حالت تعادل و هرچه عدد بزرگتر شود، نشان دهنده انحراف بیشتر از حالت تعادل می‌باشد (Dordipour *et al.*, 2012).

گودرزی (Ghodarzi, 2005) وضعیت تغذیه‌ای باغات انگور را در استان کهگیلویه و بویر احمد به روش DOP مورد ارزیابی قرار داد. نتایج نشان داد همه باغات با عملکرد پایین دچار عدم تعادل تغذیه‌ای بودند و بیشترین کمبود در عناصر پتاسیم، روی و آهن دیده شد. قریشی و همکاران (Ghoreyshi *et al.*, 2017) نیز از این روش برای تشخیص وضعیت تغذیه‌ای و تعیین اعداد مرجع در هندوانه استفاده کردند. دردی‌پور و همکاران (Dordipour *et al.*, 2012) با ارزیابی تعادل تغذیه‌ای درختان هلو با روش DOP، به کارگیری این روش را برای تعیین وضعیت تغذیه‌ای باغ‌های هلو توصیه کردند. آنها با تعیین غلظت عناصر غذایی و شاخص‌های DOP گزارش کردند که بین عناصر غذایی جذب شده به وسیله هندوانه تعادل نسبی وجود دارد که بیانگر عدم مدیریت صحیح و کوددهی نامتعادل در این مزارع می‌باشد.

وضعیت تغذیه‌ای مزارع کدو توسط شریف‌مند و همکاران (Sharifmand *et al.*, 2020) با استفاده از روش DOP

$$F_i = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} f_i(v_X)}{\sum_{i=1}^{n-3} f_i(v_X)} \times 100 \quad (\text{رابطه ۵})$$

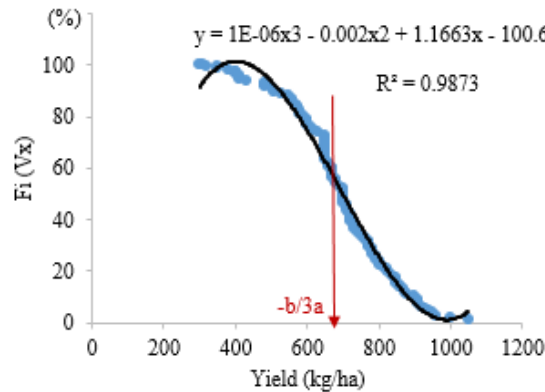
$$I_x = \frac{V_x - V_x^*}{SD_x^*} \quad (\text{رابطه ۶})$$

در رابطه ۶، V_x^* و SD_x^* به ترتیب میانگین و انحراف معیار نسبت لگاریتمی عناصر غذایی گروه با عملکرد بالا هستند و I_x شاخص عنصر غذایی می‌باشد.

تشخیص وضعیت تغذیه‌ای کدو نشان داده شده است (Sharifmand *et al.*, 2018)، با تعیین نقاط عطف منحنی $(-b/3a)$ می‌توان گروه‌های عملکردی را با دقت تفکیک نمود (رابطه ۵)، سپس شاخص عناصر غذایی با استفاده از رابطه ۶ تعیین می‌گردد.

$$Vi = \log[Xi/G(x)] \quad (\text{رابطه ۳})$$

$$f_i(v_X) = \frac{\text{واریانس } V_x \text{ برای } n1 \text{ مشاهده}}{\text{برای } n2 \text{ مشاهده}} \quad (\text{رابطه ۴})$$

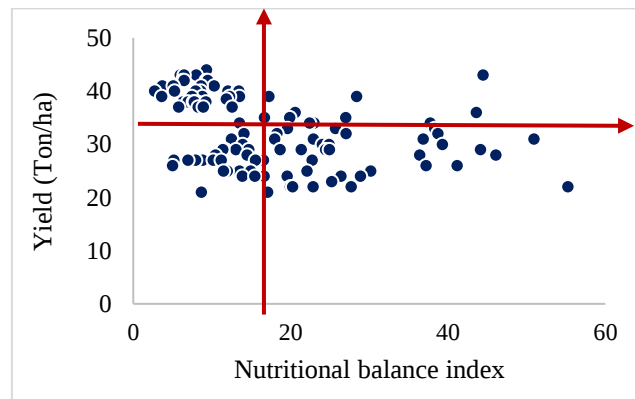


شکل ۴- رابطه تئوری بین عملکرد و تابع تجمعی نسبت واریانس (Sharifmand *et al.*, 2018)

Figure 4. Theoretical relationship between yield and the cumulative variance ratio function

تغذیه‌ای (r^2) همچنین با استفاده از روش کیت-نلسون و براساس تابع توزیع آماری کای اسکوتر (K^2) با درجه آزادی $d+1$ مشخص می‌شود. قریشی و همکاران (Ghoreyshi *et al.*, 2024) در مزارع هندوانه برای عملکرد ۳۶ تن در هکتار مقدار K^2 را ۱۷/۵ بدست آوردند (شکل ۵). تحلیل این نمودار نشان می‌دهد برای بدست آوردن عملکردهای ۳۶ تن به بالا مقدار r^2 باید کمتر از ۱۷/۵ باشد.

شاخص تعادل عناصر غذایی CND (r^2) از مجموع مربعات شاخص‌های عناصر غذایی قابل محاسبه است و اعداد صفر و یا بیشتر را به خود اختصاص می‌دهد. هر اندازه r^2 به عدد صفر نزدیک‌تر شود تعادل عناصر غذایی مطلوب‌تر خواهد شد. بنابراین برای هر نمونه برگی، از طریق بدست آوردن r^2 می‌توان میزان عدم توازن عناصر غذایی را تعیین کرد (Daryashenas & Saghafi, 2011). شاخص تعادل



شکل ۵- نمودار پراکنش و تعیین حد بحرانی شاخص تعادل تغذیه‌ای با روش کیت-نلسون (Ghoreyshi *et al.*, 2024)

Figure 5. Diagram of distribution and determination of critical limit of nutritional balance index using Keith-Nelson method

غذایی در مزارع و باغات مشخص شده که در جدول ۴ به آنها اشاره گردیده است.

تاکنون در ایران وضعیت تغذیه‌ای محصولات زراعی و باغی بسیاری با روش CND تعیین و ترتیب نیاز به عناصر

جدول ۴- ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای محصولات زراعی و باغی در ایران با روش CND

Table 4. Evaluation of the nutritional status of crops and garden products in Iran by CND method

Crop	Nutrient requirement rank	Reference
Sugar beet	-	(Daryashenas & Saghafi, 2011)
Orange	Mg>Zn>Fe>Ca>Cu>Mn>N>P>B>K	(Chakerolhosseini et al., 2016)
Khodabande vineyards	Zn>B>Cu>K>Fe>N>Mn>P	(Taheri, 2017)
Squash (<i>Lagenaria Vulgaris</i>)	Zn>Fe>B>Cu>Mn and K>P>N>Mg>Ca	(Sharifmand et al., 2018)
Orange (<i>Citrus sinensis</i> cv.)	Cu>Zn>B>Mn>Fe and K>P>Mg>N>Ca	(Basirat et al., 2019)
East Azarbaijan vineyards	Zn>Cu>B>Mn and P>Mg>K>N>Ca	(Mostashari et al., 2020)
Grape varieties	Oily: Fe>B>Mn>Cu>Zn>P>N>Rd>k	(Taheri et al., 2020)
	Yellow: Rd>Fe>Mn>Zn>N>P>B>Cu>k	
	Shenge: Cu>Zn>B>Mn>Rd>Fe>N>K>P	
Olive	Manzanilla: Zn>Cu>Mn>B>Rd>Fe>K>P>N	(Vahedi et al., 2020)
	Zn>B>Mn>Cu and Ca>Mg>N>P>K	
Apple (<i>Domestica Borkh</i>)	P>N>Mn>Zn>Ca>Cu>Mg>K>Fe	(Zandi et al., 2021)
Hazelnut	Zn>Fe>Cu>Mn and Mg>P>N>K>Ca	(Mohasses Mostashari et al., 2022)
Grape	K>Mn>Fe>N >Mg=Zn>Cu>Ca>B>P	(Motalebifard, 2022)
Tomato	K>N>B>Zn>Fe>Cu>P>Mg>Ca>Mn	(Zolfi Bavariani et al., 2022)
Quince (<i>Cydonia oblonga</i> Mill.)	Fe>Zn>Cu>B>Mn and K>N>P>Ca>Mg	(Gandomkar et al., 2023)
Sugar beet	Mn> Zn >Cu>B and Mg>P>N>K	(Ghaderi et al., 2023)

روش طیف‌سنجی

طیف سنجی یکی از تکنیک‌های پرکاربرد در کشاورزی مدرن و مدیریت کلان تغذیه گیاهی است که برای تجزیه و تحلیل خاک یا گیاه با استفاده از نور به کار می‌رود. با این روش اطلاعاتی درباره ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مانند محتوای آلی، pH، نیتروژن، فسفر، پتاسیم و وضعیت گیاهان به دست آورد. طیف نزدیک مادون قرمز (NIR) یک منطقه شناخته شده از طیف الکترومغناطیسی برای ارائه اطلاعاتی در مورد ترکیبات شیمیایی است. با این وجود، ناحیه مرئی در تجزیه و تحلیل وضعیت تغذیه‌ای به دلیل ویژگی‌های رنگی مختلف مربوط به علائم تنش مواد غذایی در گیاهان که می‌تواند بر الگوی طیفی تولید شده در این منطقه تأثیر بگذارد، رایج‌تر است (Zahir et al., 2024). از این رو، هر دو منطقه برای ارزیابی وضعیت عناصر غذایی مفید بوده و برای این منظور استفاده می‌شوند. مادون قرمز و ناحیه مرئی از طیف منطقه‌ای ۴۰۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر (ناحیه مرئی: ۴۰۰-۷۵۰ نانومتر) بوده و اطلاعاتی را در مورد خواص طیفی شامل رنگدانه‌های گیاهی مانند کلروفیل‌ها، آنتوسیانین و کاروتن‌ها ارائه می‌دهد، در حالی که منطقه

نزدیک به مادون قرمز (۷۸۰-۲۵۰۰ نانومتر) با اندازه‌گیری نوسان و ترکیبات ارتعاشات مولکولی مرتبط است. طیف‌سنجی Vis-NIR از طریق برهمکنش نور با نمونه‌های مورد مطالعه، در فرکانس‌های مختلف، ارتعاشات پیوندهای مختلف بین اتم‌ها را شناسایی می‌کند. مقدار نور جذب شده به غلظت مولکول‌ها، رنگ و زبری سطح نمونه بستگی دارد (Gomez et al., 2008). رنگدانه‌های گیاهی شامل کلروفیل‌ها، آنتوسیانین، کاروتنوئیدها و بتالین‌ها بر غلظت مواد مغذی در گیاه تأثیر می‌گذارد (Larcher, 2003). هر رنگدانه نور را با طول موج متفاوتی جذب می‌کند، به‌طوریکه نواحی قرمز و آبی معمولاً توسط کلروفیل جذب می‌شوند، در حالی که کاروتنوئیدها عموماً مناطق سبز-آبی و بنفش را جذب می‌کنند. بنابراین، تجزیه و تحلیل دقیق مناطق جذب مربوطه با توجه به هر نوع رنگدانه می‌تواند اطلاعات زیادی در مورد تنش عناصر غذایی گیاه ارائه دهد (Zahir et al., 2024). حاجی زاده و همکاران (Hajizadeh et al., 2024) گزارش کردند که میان تغییرات رنگ برگ درختان هلو و میزان آهن فعال موجود در آن همبستگی وجود دارد. این همبستگی می‌تواند به دلیل ارتباط بین رنگدانه کلروفیل و کلروز ناشی از کمبود آهن باشد. در سال‌های اخیر، کاربرد

طیف سنجی به عنوان یک روش غیرمخرب، به منظور ارزیابی کیفیت محصول‌های کشاورزی و عناصر غذایی به طور گسترده مورد توجه قرار گرفته است (جدول ۵).

جدول ۵- برخی از کارهای تحقیقاتی تجزیه و تحلیل عناصر غذایی براساس طیف سنجی Vis-NIR در گیاهان مختلف
Table 5. Some research on the analysis of nutrients based on Vis-NIR spectroscopy in different plants

گونه گیاهی	عنصر غذایی	طول موج	منبع
Plant Species	Nutrient	λ (nm)	References
Pear	N, P, K	900-1700	(Jin <i>et al.</i> , 2022)
Potato	N	350-2500	(Abutaleb & Aboud, 2021)
Sorghum	N	546-1700	(Zwiener <i>et al.</i> , 2021)
Soybean	P, K, Mg, S, Zn	350-2500	(Rodrigues <i>et al.</i> , 2020)
Sugarcane	N, P, K	220-1400	(Wang <i>et al.</i> , 2019)
Rice	N, P, S	350-2500	(Mahajan <i>et al.</i> , 2017)
Maize	N	350-1050	(Ramachandiran <i>et al.</i> , 2016)
Wheat	N, P, K, S	350-2500	(Mahajan <i>et al.</i> , 2014)
Oil seed rape	N, P, K	810-1500	(Zhang <i>et al.</i> , 2013)
Lettuce	N, P, K, Mg, Ca	350-1050	(Pacumbaba Jr and Beyl, 2011)
Orange	N, P, K	400-1000	(Menesatti <i>et al.</i> , 2010)
Straw	K, Na, Ca, Mg, Fe	400-2500	(Huang <i>et al.</i> , 2009)
Wood plants	N, P, Ca	1100-2500	(Petisco <i>et al.</i> , 2005)

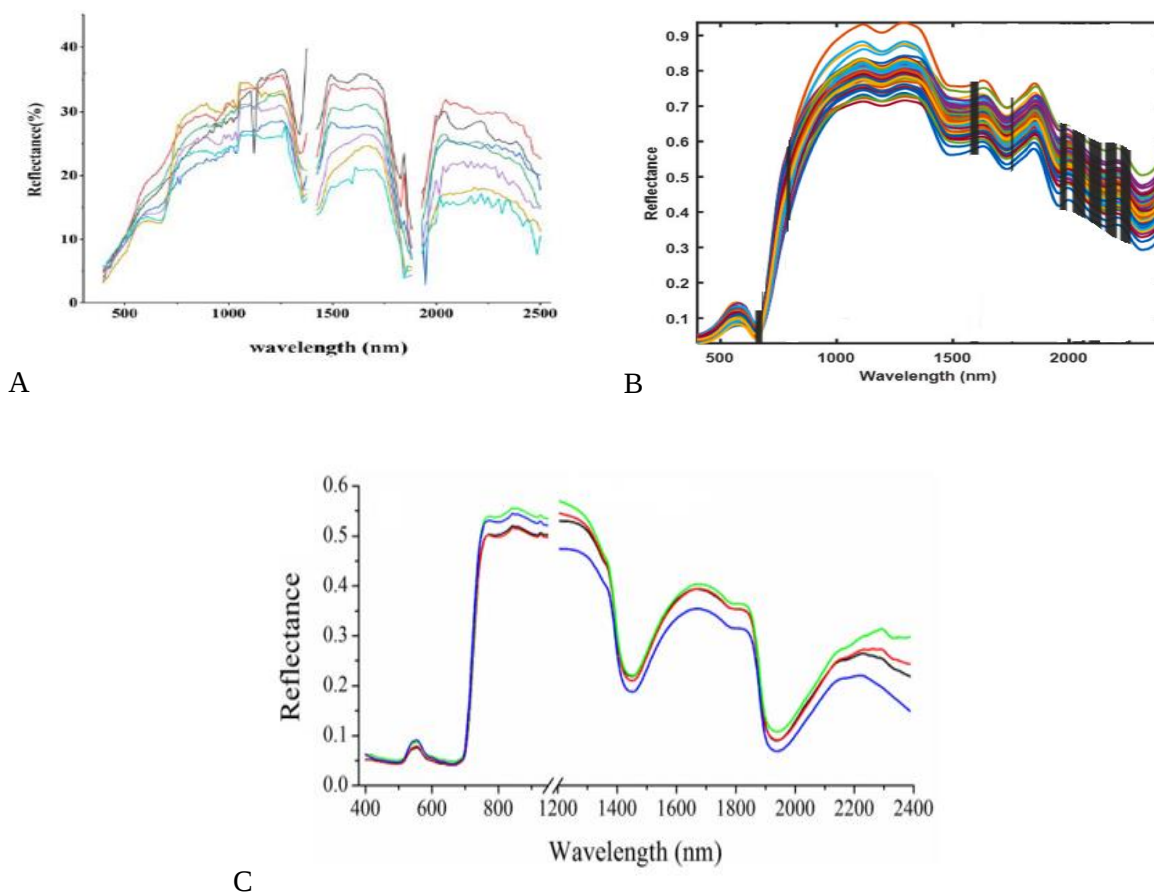
داد. طیف‌سنجی بازتاب مادون قرمز نزدیک (NIRS) برای پیش‌بینی غلظت مواد مغذی K، Na، Ca، Mg، Fe در ۲۲۲ نمونه نی در مناطق روستایی استان‌های چین مورد بررسی قرار گرفت (Huang *et al.*, 2009). آمار کالیبراسیون و اعتبارسنجی به‌دست‌آمده در این کار پتانسیل NIRS را برای پیش‌بینی مواد معدنی در نی نشان داد.

ارزانی و همکاران (Arzani *et al.*, 2020) ارزش غذایی علوفه را از طریق ارزیابی عناصر غذایی پرمصرف (Ca، Mg، Na، K و P) با کمک تکنولوژی طیف‌سنج NIR اندازه‌گیری کردند. آنها گزارش کردند بیشترین دقت اندازه‌گیری در این طیف مربوط به عنصر K و کمترین دقت آن مربوط به Mg و Na بود. نتایج ارزیابی عناصر معدنی علوفه با این روش طیف‌سنجی (NIR) توسط لاورنسیس و همکاران (Lavrenčič *et al.*, 2002) نشان داد عناصر کلسیم، فسفر، منیزیم و پتاسیم به ترتیب با ضریب تبیین ۹۶، ۸۸، ۸۹ و ۹۴ درصد برآورد شدند. آن‌ها عنصر کلسیم را به ترکیبات آلی و دیواره سلولی، منیزیم را به کلروفیل، فسفر را به فیتات‌ها، فسفولیپیدها، فسفوپروتئین‌ها و اسید نوکلئیک و پتاسیم را به اسیدهای آلی مثل ملات مرتبط دانستند. در این مطالعه عناصر سدیم، روی، منگنز و سلنیوم به ترتیب با ضریب تبیین ۵۲، ۶۴، ۴۳ و ۱۹ درصد دارای صحت بالایی نبودند. لاورنسیس و همکاران (Lavrenčič *et al.*,)

Jin و همکاران (۲۰۲۲) کمبود مواد مغذی برگ گلایی را با طیف بازتابی NIR پیش‌بینی کردند. همچنین طیف‌سنجی Vis-NIR برای پیش‌بینی عناصر ماکرو و میکرو در برگ‌های سویا ارزیابی شد (Rodrigues *et al.*, 2020). استخراج ویژگی‌های طیف‌سنجی در این مطالعه‌ها نشان داد که این روش سریع و مقرون به صرفه می‌تواند وضعیت تغذیه‌ای برگ را تشخیص دهد. در مطالعه دیگری برای تشخیص تنش مواد مغذی در گیاه کاهو طیف وسیعی از عناصر غذایی از جمله N، P، K، Ca و Mg ایجاد و سپس غلظت مواد مغذی بافت برگ با بازتاب طیفی مربوطه مقایسه شد (Pacumbaba Jr & Beyl, 2011). نتایج این پژوهش نشان داد که بازتاب طیفی به عنوان یک ابزار تشخیصی در پیش‌بینی کمبود مواد مغذی عمل می‌کند. توانایی سنجش از دور در بسیاری از محصولات زراعی برای نظارت بر N و در تعداد بسیار کمی از محصولات برای نظارت بر P و K سنجیده شده است. نظارت بر گوگرد نیز توسط Mahajan و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از روش سنجش از دور ابرطیفی محصول گندم بررسی شد. سپس طول موج‌های حساس N-P-S-K با استفاده از تحلیل همبستگی خطی شناسایی شدند. الگوریتم‌های طیفی توسعه‌یافته و تایید شده مخصوص N، P، S و K را می‌توان برای نظارت بر محصول گندم به منظور مدیریت مطلوب مورد استفاده قرار

فناوری سنجش از دور می‌توان روش‌های مدیریتی را بهبود بخشید. بنابراین در کشاورزی مدرن از داده‌های غیرتهاجمی برای تشخیص محتوای عناصر غذایی استفاده می‌شود. نظارت بر هرگونه کمبود تغذیه‌ای در گیاهان در حال رشد یک چالش برای فناوری کشاورزی دقیق است (Siedliska *et al.*, 2021). در شکل ۶ طیف جذب عناصر NPK نشان داده شده است.

(2002) بیان کردند طیف‌سنجی NIR، روش مفیدی برای پیش‌بینی دقیق کلسیم، فسفر و پتاسیم در برگ می‌باشد. یاقوتی و همکاران (Yaghouti *et al.*, 2018) نیز با ایجاد رابطه رگرسیونی بین عملکرد ارقام محلی و پرمحصول برنج و شاخص‌های مستخرج از تصاویر ماهواره لندست، در شالیزارهای شهرستان شفت، به این نتیجه رسیدند که با



شکل ۶- میانگین طیف بازتابی نیتروژن (A) (Zhang *et al.*, 2023)، پتاسیم (B) (Mishra *et al.*, 2021) و فسفر (C) (Siedliska *et al.*, 2021)

Figure 6. Average reflectance spectra of nitrogen (A), potassium (B), and phosphorus (C)

به‌عنوان متغیرهای بهینه در پیش‌بینی مقادیر نیتروژن در برگ انگور بودند. این روش غیرمخرب برای تجزیه و تحلیل مواد غذایی نیز مطلوب است. در این روش امکان انجام چندین آزمایش روی یک نمونه واحد، بدون تخریب نمونه پس از طیف‌سنجی وجود دارد (Hatami & Taghipour, 2021). میران و همکاران (Miran *et al.*, 2019) برای تعیین مقدار نیتروژن آسمانه گندم دیم از تصاویر ماهواره‌ای ETM⁺ در جنوب استان آذربایجان غربی استفاده و گزارش

توانایی روش طیف‌سنجی به‌عنوان روش غیر مخرب در برآورد نیتروژن و کلروفیل انگور توسط میرزائی و همکاران (Mirzaei *et al.*, 2021) بررسی شد. نتایج حاصل از پیش‌بینی مقادیر نیتروژن و کلروفیل در برگ انگور حاکی از توانایی زیاد طیف‌سنجی زمینی و تکنیک‌های آماری جهت برآورد این پارامترها بود. طول موج‌های ۲۴۰۲، ۹۴۶، ۴۴۶ و ۷۲۵ نانومتر به‌عنوان متغیرهای بهینه در پیش‌بینی مقادیر کلروفیل و طول موج‌های ۱۳۷۰، ۶۹۰، ۷۲۹ و ۳۶۶

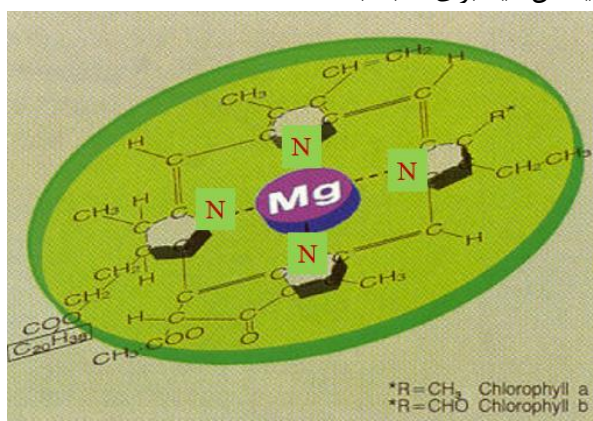
کاهش عملکرد در مزارع و باغات نقش کلیدی ایفا می‌کند. از این رو در سال‌های اخیر از ایزاری به نام کلروفیل متر برای تعیین کمبود آهن و نیتروژن در برگ‌های بسیاری از محصولات زراعی و باغی استفاده می‌گردد.

نیتروژن و آهن به عنوان عناصر ضروری در سنتز کلروفیل، در فرآیند فتوسنتز نقش دارند (Radhamani et al. 2016; Lemaire et al., 2008). به طوری که تقریباً ۷۰ درصد از نیتروژن برگ در کلروپلاست‌ها انباشته می‌شود (شکل ۷). بنابراین، برای فعالیت بهینه فتوسنتز، باید مقدار کافی نیتروژن و آهن فعال در برگ وجود داشته باشد. در صورت کمبود این دو عنصر به دلیل کاهش سنتز کلروفیل و در نتیجه کاهش فتوسنتز برگ‌ها و رشد ضعیف گیاه، کلروز در برگ‌های جوان و مسن رخ می‌دهد (Rustioni et al., 2017). با استفاده از دستگاه کلروفیل متر در زمان کوتاه و با صرف کمترین هزینه می‌توان مقدار نیتروژن و آهن فعال برگ را قبل از بروز کلروز تخمین زد تا از این طریق از کاهش کیفیت محصول و بروز خسارت جلوگیری کرد.

کردند داده‌های سنجش از دور می‌تواند برای مدیریت و پایش وضعیت نیتروژن و مدیریت کوددهی مزارع گندم دیم کشور استفاده شود.

دستگاه کلروفیل متر دستی (SPAD)

نیتروژن و آهن گیاه نقش کلیدی در عملکرد و کیفیت محصولات زراعی و باغی دارند. وضعیت این عناصرها اغلب از طریق تجزیه مخرب برگ ارزیابی می‌گردد که این روش‌ها پرهزینه و زمان‌بر هستند. در حالی که تشخیص به موقع کمبود عناصر غذایی از کاهش عملکرد محصول جلوگیری می‌کند (Deshpande et al., 2014). همچنین برآورد غیرمخرب مقدار عناصر غذایی در برگ به مدیریت محصولات کشاورزی کمک شایانی می‌کند. تعیین محتوای کلروفیل به عنوان رنگ‌دانه اصلی برگ و شاخصی از سلامت گیاه، بیانگر وضعیت تغذیه‌ای عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن و آهن است (Yadav et al., 2010). درک رابطه بین شاخص کلروفیل برگ و محتوای نیتروژن یا آهن گیاه برای مقابله با



شکل ۷- نیتروژن به عنوان یکی از اجزای تشکیل دهنده کلروفیل

Figure 7. Nitrogen as a constituent of Chlorophyll

502) وسیله‌ای قابل حمل^۱، راحت و ساده‌ای است که به‌طور غیرمستقیم میزان کلروفیل برگ و وضعیت نیتروژن و آهن گیاه را مورد ارزیابی قرار می‌دهد (شکل ۸).

امروزه برای تخمین آبی مقادیر آهن و نیتروژن برگ، بدون نیاز به مواد شیمیایی و اندازه‌گیری آزمایشگاهی از کلروفیل متر استفاده می‌شود. دستگاه کلروفیل متر (SPAD-



شکل ۸- دستگاه کلروفیل متر SPAD-502 دستی از Konica Minolta

Figure 8. SPAD-502 chlorophyll meter from Konica Minolta

وضعیت تغذیه‌ای محصولات زراعی و باغی ارزیابی می‌گردد و تصمیم‌گیری در مورد کوددهی موثر و کارآمد جهت افزایش عملکرد محصول و رفع اختلالات تغذیه‌ای را تسهیل می‌کند. به دلیل زمان‌بر بودن انجام آزمایشات و محاسبات در روش‌های تفسیر نتایج تجزیه برگ، امکان تشخیص زود هنگام اختلالات تغذیه‌ای و پیشگیری از افت محصول وجود ندارد. همچنین هزینه بالای تجزیه برگ در این روش‌ها، کاربرد آن‌ها را در مزارع یا باغات با مساحت زیاد با محدودیت مواجه کرده است. امروزه استفاده از روش‌های غیر مخرب مانند روش طیفسنجی و یا روش‌های تشخیص آنی مانند روش SPAD کمک شایانی به مدیریت تغذیه‌ای باغات و مزارع می‌نماید. روش SPAD نوعی فناوری ساده، آسان و مبنی بر حسگر نوری است که در تخمین مقادیر کمی و تعیین کمبود آهن و نیتروژن به ترتیب در برگ‌های جوان و مسن استفاده می‌شود. در روش طیفسنجی نیز با استفاده از طول موج‌های مربوط به هر عنصر می‌توان غلظت آن را به‌طور مستقیم در گیاه تخمین زد. عناصر غذایی با غلظت رنگدانه‌ها مطابقت دارند، به‌طوری‌که یک گیاه سالم و بدون تنش حاوی رنگدانه‌های بیشتری در مقایسه با گیاهی است که فاقد تعادل غذایی بوده و تنش را تجربه می‌کند. کاربرد طیفسنجی ناحیه مرئی (۴۰۰ تا ۷۵۰ نانومتر) و مادون قرمز نزدیک (۷۵۰ تا ۲۵۰۰) به‌عنوان روشی غیر مخرب و سریع، به‌طور گسترده برای پیش‌بینی کمبود عناصر غذایی معرفی می‌گردد. این تکنیک می‌تواند ابزاری مفید و مقرون به صرفه جهت شناسایی و تشخیص وضعیت تغذیه‌ای باغات یا مزارع در مقیاس‌های بزرگ مورد استفاده قرار گیرد و تصمیم‌گیران را برای مدیریت کودی منطقه‌ای کمک نماید.

کاربرد SPAD جهت تشخیص وضعیت نیتروژن در گیاهان متعددی از جمله برنج (Peng et al., 1995) و ذرت (Bredemeier, 2005) گزارش شده است، همچنین این دستگاه در تعیین کمبود آهن در محصولاتی مانند هلو (Igartua Arregui et al. 2000)، شلیل (Toselli et al. 2000) و بادام (Bouranis et al., 2001) استفاده شده است. در مطالعه‌ای محتوای آهن و نیتروژن حاصل از جذب اتمی و روش کج‌لدال با مقادیر بدست آمده از کلروفیل‌متر در برگ انگور مقایسه گردید و یافته‌ها نشان داد که بین محتوای نیتروژن کل و آهن و داده‌های SPAD همبستگی خطی و مثبت وجود دارد (Ateş & Kaya, 2021). Javaheri و همکاران (2012) نیز امکان استفاده از دستگاه SPAD را برای تعیین نیاز کودی نیتروژن در مزرعه تحقیقاتی چغندر قند بررسی کردند. بدین منظور در همان برگ‌هایی که قرائت کلروفیل‌متر صورت گرفته بود غلظت نیتروژن کل برگ به روش کج‌لدال اندازه‌گیری شد. نتایج آزمایش آن‌ها نشان داد که اعداد کلروفیل‌متر تحت تأثیر مراحل رشد، زمان نمونه‌برداری و میزان کود نیتروژن مصرفی قرار می‌گیرد و کمترین عدد قرائت شده از کلروفیل‌متر مربوط به تیمار عدم مصرف نیتروژن بود (Javaheri et al., 2012). براساس نتایج مطالعات اخیر SPAD می‌تواند به عنوان یک روش ساده، سریع و غیرتخریبی برای تخمین کمبود نیتروژن یا آهن و پیش‌بینی نیاز کودی این عناصر مورد استفاده قرار گیرد.

نتیجه‌گیری کلی

با استفاده از روش‌های تفسیر نتایج تجزیه برگ شامل DRIS، DOP، CND و روش طیفسنجی (Vis-NIR)،

Reference

- Abutaleb K., and Aboud F.S. 2021. Modeling potato yield response to different nitrogen application rates using hyperspectral data and PLS regression. *Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants*, 13(3): 301–310. <https://doi.org/10.5829/idosi.jhsop.2021.301.310>.
- Akhter N. 2011. Comparison of DRIS and critical level approach for evaluating nutrition status of wheat in District Hyderabad, Pakistan. Ph.D. thesis, University of Bonn.
- Arzani H., Tarnian F., Motamedi J., Shirmardi H., Aghajanloo F., Saedi K. et al., 2020. Evaluation of macro elements in forb's species using near-infrared reflectance spectroscopy. *Journal of Rangeland*, 14(1): 12-24. (In Persian)
- Ates F., and Kaya O. 2021. The Relationship between Iron and Nitrogen Concentrations Based on Kjeldahl Method and SPAD-502 Readings in Grapevine (*Vitis vinifera* L. cv. 'Sultana Seedless'). *Erwerbs-Obstbau*, 63 (Suppl 1), 53–59. <https://doi.org/10.1007/s10341-021-00580-8>.
- Basirat M., Ghasemi O., Shahabian M., and Mousavi S.M. 2019. Study of the Nutritional Status in Thomson navel sweet orange orchards from East of Mazandaran by using the Compositional Nutrient Diagnosis (CND) method. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 49 (4): 1003-1011. <https://doi.org/10.22059/ijhs.2018.239110.1297>. (In Persian)
- 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. Soil Science, Bull No. 1, University of Natal, Pietermaritzburg, South Africa, 132p.
- Boum D. 1983. Diagnosis of mineral deficiencies using plant tests. In: A. Lauchli and Bielecki, R.L. (eds.) *Encyclopedia of Plant Physiology. Inorganic Plant Nutrition*, 15: 120-146.
- Bouranis D.L., Chorianopoulou S.N., Zakynthinos G., Sarlis G., and Drossopoulos J.B. 2001. Flower analysis for prognosis of nutritional dynamics of almond tree. *Journal of Plant Nutrition*, 24 (4–5): 705–716.
- Bredemeier C. 2005. Leaf –induced chlorophyll fluorescence sensing as atool for site Specific nitrogen fertilizer evaluation under controlled environmental and field conditions in wheat and maize. Ph. D. Thesis. Technical Univer.
- Chakerolhosseini M.R., Khorassani R., Fotovat A., and 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. (In Persian)
- Daryashenas A., and Saghafi K. 2011. Compositional nutrient diagnosis for Sugar beet. *Journal of Soil Research Soil and Water Science*, 25(1): 1-12. (In Persian)
- Daryashenas M., and Dehghani F. 2006. Determination of DRIS reference norms for pomegranate in Yazd province. *Iranian Journal of Soil Research*, 20(1): 1-9. <https://doi.org/10.22092/IJSR.2006.127142>. (In Persian)
- Deshpande T., Sengupta S., and Raghuvanshi K. 2014. Grading & identification of disease in pomegranate leaf and fruit. *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 5: 4638-4645.
- Dordipour E., Emami P., and Daryashenas A.M. 2012. Evaluation of nutritional balance in peach orchards through deviation from optimum percentage (DOP) method. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 2(1): 79-94. (In Persian)
- Dow A.I., and Roberts S. 1982. Proposal: Critical nutrient ranges for crop diagnosis. *Agronomy Journal*, 74: 401-403.
- Elwali A.M.O., and Gascho G.J. 1984. Soil testing, foliar analysis, and DRIS as guides for sugarcane fertilization. *Agronomy Journal*, 76: 466-470.
- Emami P., Dordipour E., and Daryashenas A.M. 2012. Evaluation of nutritional balance through DRIS method in peach orchards of Golestan Province. *Journal of Water and Soil Conservation*, 20 (2): 161-177. (In Persian)
- Feyzizadeh M., and Samadi A. 2016. Comparing deviation from optimum percentage (DOP) method and diagnostic recommendation integrated system (DRIS) for nutritional balances of onion (*Allium cepa* L.). *Water and Soil Science*, 26(3): 271-286. (In Persian)
- 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): 281-293. <https://doi.org/10.22067/jsw.2023.79923.1231>. (In Persian)

- Ghaderi J., Tehrani M.M., Hamed F., and Heydari K. 2023. Evaluation of Nutritional Balance in Sugar Beet Fields through Deviation from Optimum Percentage (DOP) and Compositional Nutrient Diagnosis (CND) Methods. *Iranian Journal of Soil Research*, 37(2): 95-115. <https://doi.org/10.22092/ijsr.2023.359848.678>. (In Persian)
- Ghodarzi A.K. 2005. Nutritional balance evaluation of Sisakht region vineyard in Kohkiluyeh and Boyerahmad province by DOP method. *Soil and Water Science*, 19(1): 33-34. (In Persian)
- Ghoreyshi S.J., Sepehr E., and Samadi A. 2017. Evaluation of nutritional balance of watermelon by using diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) in Poldasht region, West-Azerbaijan province. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 7(3): 168-180. <https://doi.org/10.22069/ejsms.2017.11074.1652>. (In Persian)
- Ghoreyshi S.J., Sepehr E., and Sharifmand M. 2024. Evaluation of Nutritional Status of Watermelon (*Citrullus Vulgaris*) by Compositional Nutritional Diagnosis and Its Comparison with Deviation from Optimum Percentage. *Iranian Journal of Soil Research (Soil and Water Science.)*, 38 (3): 210-223. <https://doi.org/10.22092/IJSR.2024.365484.744>. (In Persian)
- Giovenzana V., Beghi R., Civelli R., and Guidetti R. 2015. Optical techniques for rapid quality monitoring along minimally processed fruit and vegetable chain. *Trends in Food Science & Technology*, 46(2): 331–338. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.10.006>.
- Gomez C., Rossel R.A.V., and McBratney A.B. 2008. Soil organic carbon prediction by hyperspectral remote sensing and field Vis-NIR spectroscopy: An Australian case study. *Geoderma*, 146(3-4): 403–411. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.06.011>.
- Hajizadeh N., Sepehr E., Maleki R., and Imani A. 2024. Detection of iron deficiency in peaches using image processing and artificial neural network model. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 55 (1): 69-81. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.367213.669597>. (In Persian)
- Hatami H., and Taghipour S. 2021. Methods of work and calibration by near NIR infrared spectroscopy in some food products. *Journal of New Approaches in Iranian Scientific Laboratories*, 5(2): 23-30. (In Persian)
- Hoseini Y. 2016. Application of Deviation from Optimum Percentage (DOP) to Determine the Nutritional Balance of Sour Lemon Gardens in Hormozgan Province. *Water and Soil Science*, 26(3-2): 243-255. (In Persian)
- Huang C., Han L., Yang Z., and Liu X. 2009. Exploring the use of near-infrared reflectance spectroscopy to predict minerals in straw. *Fuel*, 88 (1): 163–168. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2008.07.031>.
- Igartua Arregui E., Grasa R., Sanz Encinas M., Abadía Bayona A., and Abadía Bayona J. 2000. Prognosis of iron chlorosis from the mineral composition of flowers in peach. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 75: 111–118.
- Javaheri S., Abdollahian Noghabi M., Kashani A., Habibi D., and Noshad H. 2012. Using of chlorophyll meter for recognize nitrogen deficiency in sugar beet. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 7(4): 55. Magiran.com/p1657610. (In Persian)
- Jimenez S.J., Pinochet Y., Gogorcena J.A., and Betran M.A. 2007. Influence of different vigor cherry rootstocks on leaves and shoots mineral composition. *Scientia Horticulturae*, 112: 73-79.
- Jin X., Wang L., Zheng W., Zhang X., Liu L., Li S., Rao W., and Xuan J. 2022. Predicting the nutrition deficiency of fresh pear leaves with a miniature near-infrared spectrometer in the laboratory. *Measurement*, 188: 110553. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.110553>.
- Kelling K.A., Combs S.M., and Peters J.B. 2000. Using Plant Analysis as a Diagnostic Tool. *Fertilizer Dealer Meetings*, November 28 to December 7, 2000.
- Khaled A.Y., Abd Aziz S., Bejo S.K., Nawi N.M., and Seman I.A. 2018. Spectral features selection and classification of oil palm leaves infected by Basal stem rot (BSR) disease using dielectric spectroscopy. *Computers and Electronics in Agriculture*, 144: 297–309, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.11.012>.
- Khiari L., Parent L.E., and Tremblay N. 2001c. Selecting the high-yield subpopulation for diagnosing nutrient imbalance in crops. *Agronomy Journal*, 93: 802–808.
- Kumar K., Kumar V., and Malik J.K. 2023. Essential Nutrients for Plant Growth, Nutrient Functions and Deficiency Symptoms: A Review. *Dizhen Dizhi*, 15(2): 35-45.
- Lakzian A., Feiziasl V., Tehranifar A., Halajnia A., Rahmani H., Pakdel P., and Mohseni H. 2012. Determination of DRIS norms and evaluation of the nutritional status of plantain trees (*Platanus sp.*)

- in Mashhad. *Journal of Horticultural Science*, 26(1): 35-44. <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.12887>. (In Persian)
- Larcher W. 2003. *Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups*, Springer, Berlin.
- Lavrenčič A., Stefanon B., and Orešnik A. 2002. Estimation of mineral content in forages by near-infrared reflectance spectroscopy. *Biotehnilke fakultete Univerze v Ljubljani, Kmetijstvo. Zooteh*, 80: 41-49.
- Lemaire G., Jeuffroy M.H., and Gastal F. 2008. Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage Theory and practices for crop N management. *European Journal of Agronomy*, 28: 614-624.
- Mahajan G.R., Pandey R.N., Sahoo R.N., Gupta V.K., Datta S.C., and Kumar D. 2017. Monitoring nitrogen, phosphorus and sulphur in hybrid rice (*Oryza sativa* L.) using hyperspectral remote sensing. *Precision Agriculture*, 18 (5): 736–761. <https://doi.org/10.1007/s11119-016-9485-2>.
- Mahajan G.R., Sahoo R.N., Pandey R.N., Gupta V.K., and Kumar D. 2014. Using hyperspectral remote sensing techniques to monitor nitrogen, phosphorus, sulphur and potassium in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Precision Agriculture*, 15(5): 499-522. <https://doi.org/10.1007/s11119-014-9348-7>.
- Mahler R.L. 2004. *Nutrients plants require for growth*, University of Idaho, *College of Agricultural and Life Science*, CIS, 1124.
- Malavolta E., and Malavolta M.L. 1989. Diagnose foliar: princípios e aplicações. In *Interpretacao de análise química de solo e planta para fins de adubação*. Botucatu: Fepaf. Universidade Estadual Paulista, 227-308.
- McGrath J.M., Spargo J., and Penn C.J. 2014. *Soil Fertility and Plant Nutrition*. 2nd Ed. Neal Van Alfen, 166-184p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52512-3.00249-7>.
- Menesatti P., Antonucci F., Pallottino F., Rocuzzo G., Allegra M., Stagno F., and Intrigliolo F. 2010. Estimation of plant nutritional status by Vis–NIR spectrophotometric analysis on orange leaves [*Citrus sinensis* (L) Osbeck CV Tarocco]. *Biosystems engineering*, 105(4): 448–454, <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2010.01.003>.
- Miran N., and Samadi A. 2014. Determination and Use of DRIS Norms for Evaluating Nutritional Status of Sugar beet in Western Azerbaijan Province. *Water and Soil Science*, 24(1): 195-206. (In Persian).
- Miran N., Rasoulsiadaghiani M., Feiziasl V., Sepehr E., Rahmati M., and Mirzaee S. 2019. Evaluation of Canopy Nitrogen in Dryland Wheat using ETM+ Satellite Images in South of West Azerbaijan Province. *Water and Soil*, 33(5): 739-749. <https://doi.org/10.22067/jsw.v33i5.78811>. (In Persian).
- Mirzaei M., Marofi S., Solgi E., Abasi M., and Karimi R. 2021. Nondestructive estimation of leaf nitrogen and chlorophyll contents in grapes using field spectral data and support vector machines approach. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 34(1): 191-204. (In Persian)
- Mishra P., Herrmann I., and Angileri M. 2021. Improved prediction of potassium and nitrogen in dried bell pepper leaves with visible and near-infrared spectroscopy utilising wavelength selection techniques. *Talanta*, 225: 121971. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2020.121971>.
- 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. *Journal of Research in Horticultural Science*, 1: 123-134. <https://doi.org/10.22092/RHSJ.2022.128461>. (In Persian)
- Montanes L., Heras L., Abadia J., and Sanz M. 1993. Plant analysis interpretation based on a new index: deviation from optimum percentage (DOP). *Journal of Plant Nutrition*, 16: 1289-1308.
- Mostashari M., khosravinejad A., Tavasolee A.R., and Basirat M. 2020. Evaluation of Nutritional Status of Vineyards in East Azerbaijan Using DOP and CND Methods. *Iranian Journal of Soil Research*, 34(1): 17-28. <https://doi.org/10.22092/ijsr.2020.122099>. (In Persian)
- Motalebifard R. 2022. Evaluation of Nutritional Status of Hamedan Province Grape Fields by Compositional Nutrient Diagnosis Method. *Water and Soil*, 36(3): 365-375. <https://doi.org/10.22067/jsw.2022.74703.1137>. (In Persian)
- Okhi K. 1987. Critical nutrient levels related to plant growth and some physiological processes. *Journal of Plant Nutrition*, 10: 1583–90.
- Pacumbaba Jr R.O., Beyl C.A. 2011. Changes in hyperspectral reflectance signatures of lettuce leaves in response to macronutrient deficiencies. *Advances in Space Research*, 48 (1): 32–42, <https://doi.org/10.1016/j.asr.2011.02.020>.

- Parent L.E., and Dafir M. 1992. A theoretical concept of compositional nutrient diagnosis. *Journal of American Society for Horticultural Science*, 117: 239–24.
- Peng S., Laza R.C., Garcia F.V., and Cassunan K.G. 1995. Chlorophyll metre estimates leaf area-based N concentration of rice. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 26:927935.97.
- Petisco C., García-Criado B., Vázquez de Aldana B.R., Zabalgoitia I., and Mediavilla S. 2005. Use of near infrared reflectance spectroscopy in predicting nitrogen, phosphorus and calcium contents in heterogeneous woody plant species. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 382 (2): 458–465, <https://doi.org/10.1007/s00216-004-3046-7>.
- Radhamani R., Kannan R., and Rakkiyappan P. 2016. Leaf chlorophyll meter readings as an indicator for sugarcane yield under iron deficient typic Haplust. *Sugar Tech*, 18(1): 61–66.
- Ramachandiran K., Pazhanivelan S., Amanullah M.M., Geethalakshmi V., Sivasamy R., and Raja N.A. 2016. Quantifying the nitrogen and water stress of maize using spectral vegetation indices. *International Journal of Bio-resource Stress Manage*, 7 (1): 92–98, <https://doi.org/10.23910/IJBSM/2016.7.1.1367a>.
- Reis R.D.A., and Monnerat P.H. 2002. Sugarcane nutritional diagnosis with DRIS norms established in Brazil, South Africa, and the United States. *Journal of Plant Nutrition*, 25: 2831–2851.
- Rodrigues M., Nanni M.R., Cezar E., dos Santos G.L.A.A., Reis A.S., de Oliveira K.M., and de Oliveira R.B. 2020. Vis- NIR spectroscopy: from leaf dry mass production estimate to the prediction of macro and micronutrients in soybean crops. *Journal of Applied Remote Sensing*, 14(4): 044505. <https://doi.org/10.1117/1.JRS.14.044505>.
- Rustioni L., Grossi D., Brancadoro L., and Failla O. 2017. Characterization of iron deficiency symptoms in grapevine (*Vitis spp.*) leaves by reflectance spectroscopy. *Plant Physiology and Biochemistry*, 118: 342–347.
- Samadi A., and Majidi A. 2010. Norms Establishment of the Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) and Comparison with DOP Approach for Nutritional Diagnosis of Seedless Grape (Sultana, CV) in Western Azarbaijan Province Iran. *Iranian Journal of Soil Research*, 24(2): 89–105. <https://doi.org/10.22092/ijsr.2010.126553>. (In Persian)
- Serra A.P., Marchetti M.E., Bungenstab D.J., Gonçalves da Silva M.A., Serra R.P., Guimarães F.C.N., Conrad V.D.A., and Morais H.S. 2013. Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) to Assess the Nutritional State of Plants. In: Matovic M D. (eds) Biomass Now - Sustainable Growth and Use, Publisher: InTech, 129–146.
- Sharifmand M., Sepehr E., and 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): 1007–1013. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2018.225775.667619>. (In Persian)
- Sharifmand M., Sepehr E., and Bybordi A. 2019. Evaluation of Nutritional Status of Squash through Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) and Deviation from Optimum Percentage (DOP) Methods in Khoy. *Water and soil science*, 29 (3): 137–149. (In Persian)
- Sharifmand M., Sepehr E., and Bybordi A. 2020. Evaluation of Nutritional Status of Squash by Deviation from Optimum Percentage (DOP) Method in Khoy Region. *Applied Soil Research*, 8 (2): 15–21. (In Persian)
- 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. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36: 2823–2838.
- Siedliska A., Baranowski P., Pastuszka-Woźniak J., Zubik M., and Krzyszczak J. 2021. Identification of plant leaf phosphorus content at different growth stages based on hyperspectral reflectance. *BMC Plant Biology*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s12870-020-02807-4>.
- Taheri M. 2017. Evaluation of vineyards nutritional status using nutrition indices in Khodabande region. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 47(4): 703–715. <https://doi.org/10.22059/ijhs.2017.123762.764>. (In Persian)
- Taheri M., and Najafi M. 2018. Evaluation of nutritional status of some pistachio cultivars based on leaf analysis. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 49(1): 211–221. <https://doi.org/10.22059/ijhs.2017.220138.1124>. (In Persian)
- Taheri M., Vahedi S., and Abasi M. 2020. Comparison of Nutrient Status in Different Olive Varieties with Nutrition Indicators. *Pomology Research Scientific Journal*, 5(1): 44–59. [Magiran.com/p2259235](https://magiran.com/p2259235). (In Persian)

- Toselli M., Marangoni B., and Tagliavini M. 2000. Iron content in vegetative and reproductive organs of nectarine trees in calcareous soils during the development of chlorosis. *European Journal of Agronomy*, 13(4): 279–286.
- Ulrich A. 1952. Physiological bases for assessing the nutritional requirement of plants. *Annual Review of Plant Biology*, 207-228.
- Vahedi S., Beshsrat S., Davatgar N., and Taheri M. 2022. Effects of leaf nutrient contents on photosynthetic indices in Olives tree. *Iranian Journal of Horticultural Sciences*, 53(2): 309-320. (In Persian)
- Velasco R., Zharkikh A., Affourtit J., Dhingra A., Cestaro A., Kalyanaraman A., Fontana P., Bhatnagar S.K., Troggio M., and Pruss D. 2010. The genome of the domesticated apple (*Malus × domestica* Borkh.). *Nature Genetics*, 42: 833.
- Walworth J.L., and Sumner M.E. 1987. The Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS). *Advances in Soil Science*, 6: 149-188.
- Wang C., Li X., Wang L., Yang C., Chen X., Li M., and Ma S. 2019. Prediction of N, P, and K contents in sugarcane leaves by Vis-NIR spectroscopy and modeling of NPK interaction effects. *Transactions of the ASABE*, 62 (6): 1427–1433. <https://doi.org/10.13031/trans.13086>.
- Yadav S.P., Ibaraki Y., and Dutta Gupta S. 2010. Estimation of the chlorophyll content of micropropagated potato plants using RGB based image analysis. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 100: 183-188.
- Yaghouti H., Pazira E., Amir E., and Masihabadi M.H. 2018. Application of satellite imagery and remote sensing technology to estimate rice yield. *Water and Soil Resources Conservation*, 7(3): 55-69. (In Persian)
- Zahir S.A.D.M., Jamlos M.F., Omar A.F., Jamlos M.A., Mamat R., Muncan J., and Tsenkova R. 2024. Review – Plant nutritional status analysis employing the visible and near-infrared spectroscopy spectral sensor. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 304: 123-273.
- Zandi S., Fatemi A., Saiedi M., and Hamed F. 2021. Investigation of different fertilizer management effects on the nutritional status of apples by compositional nutrient diagnosis. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 11(2): 91-107. <https://doi.org/10.22069/ejsms.2021.18030.1951>. (In Persian)
- Zhang R., Cui J., Zhou W., Zhang D., Dai W., Guo H., and Zhao S. 2023. Estimation of the Total Soil Nitrogen Based on a Differential Evolution Algorithm from ZY1-02D Hyperspectral Satellite Imagery. *Agronomy*, 13: 1842. <https://doi.org/10.3390/agronomy13071842>.
- Zhang X., Liu F., He Y., and Gong X. 2013. Detecting macronutrients content and distribution in oilseed rape leaves based on hyperspectral imaging. *Biosystems Engineering*, 115(1): 56–65. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.02.007>.
- Zolfi Bavariani M., Ghaffari Nejad S.A., and Nowroozi M. 2022. Evaluation of Nutritional Status and Priority of Nutrients Requirement of Tomato by Compositional Nutrient Diagnosis Method in Bushehr Province. *Iranian Journal of Soil Research*, 36(1): 33-45. <https://doi.org/10.22092/ijsr.2022.126889>. (In Persian)
- Zwiener M. 2021. Phenotypic plasticity of diverse sorghum varieties in response to nitrogen deficit stress. Theses, Dissertations, and Student Research in Agronomy and Horticulture, 214.