



انتخاب موثرترین محرک رشد برای بهبود عملکرد کلزا بر اساس تصمیم‌گیری چندمعیاره

محمد پسندیده^۱ فریدون نورقلیپور^۲، ساناز توحیدلو^۳ و رضا محمدی کیا^۴

۱- استادیار بخش تحقیقات شیمی و حاصلخیزی خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، کرج، ایران mpassandideh@yahoo.com

۲- استادیار، بخش تحقیقات حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۳- محقق، بخش تحقیقات حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۴- محقق، بخش تحقیقات آبیاری، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

چکیده: کلزا یکی از محصولات استراتژیک کشاورزی ایران محسوب می‌شود که کاربرد محرک‌های رشد در کشت آن موجب بهبود چندبعدی شاخص‌های کیفی و کمی می‌گردد. انتخاب تیمار بهینه زمانی که تأثیرات چندگانه به صورت همزمان مورد توجه قرار گیرند، صرفاً از طریق تحلیل آماری امکان‌پذیر نیست و نیازمند روش‌های تکمیلی می‌باشد. برای رسیدن به این هدف، این آزمایش در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان) در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار به مدت یکسال زراعی انجام گرفت. تیمارهای کودی عبارت بودند از: ۱- شاهد، ۲- اسید آمینه، ۳- اسید هیومیک، ۴- اسید فولویک و ۵- عصاره جلبک دریایی که در دو مرحله رشدی خروج از روزت و شروع گلدهی اعمال شدند. رقم کلزای کشت شده رقم آزادگرده افشان دلگان بود. کارایی مصرف آب، عملکرد کمی و درصد روغن و بعد از برداشت اندازه‌گیری شده و انتخاب تیمار برتر با تکنیک ترجیح‌سنجی (TOPSIS^۱) انجام شد. نتایج نشان داد که هیچ تیمار واحدی در همه شرایط برتر نیست. در اولویت یکسان برای معیارهای ارزیابی، ترتیب برتری محرک‌های رشد به صورت اسید هیومیک (۰/۵۳۳) < عصاره جلبک دریایی (۰/۵۲۹) < اسید آمینه (۰/۵۳۷) < اسید فولویک (۰/۵۲۶) < شاهد (۰/۵۲۰) بود.

کلمات کلیدی: تصمیم‌گیری چندمعیاره، درصد روغن، عملکرد دانه

مقدمه: کلزا به دلیل دارا بودن اسیدهای چرب غیراشباع و کیفیت بالای روغن آن، یکی از مهم‌ترین گیاهان روغنی محسوب می‌شود. در ایران، کلزا به عنوان یک محصول استراتژیک شناخته شده است. یکی از راهکارهای مؤثر در افزایش عملکرد این محصول، استفاده از محرک‌های رشد گیاه است. از جمله این مواد می‌توان به اسیدهای آمینه، هیومیک، فولویک و عصاره جلبک دریایی اشاره نمود.

بررسی منابع بیانگر این است که انتخاب محرک‌های رشد بدون در نظر گرفتن همزمان یکسری اولویت‌ها (مانند عملکرد دانه در مقابل درصد روغن) نمی‌تواند به یک توصیه علمی واحد منجر شود. لذا ضروریست که با استفاده از روش‌های ترجیح‌سنجی همچون TOPSIS تفسیر نتایج به طور کامل انجام گیرد. از این مدل، بیشتر برای تفسیر نتایج شاخه‌های دیگر کشاورزی از جمله آبیاری و محیط زیست استفاده شده و نتایج جالبی به همراه داشته‌اند. به طور خاص، در یکی از این مطالعات، مدل TOPSIS فازی به طور مؤثری برای ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی استفاده شده و معیارهایی مانند pH، هدایت الکتریکی، کدورت، اکسیژن محلول و مواد جامد معلق هم‌زمان تحلیل شده است (Mohammadi & Alavi, 2018). در تحقیق دیگر، این مدل در ارزیابی کیفیت آب مخازن بزرگ استان لیائونینگ چین به کار گرفته شده و پیش‌بینی دقیقی از کیفیت آب ارائه داده است (Liu et al., 2025). همچنین، از TOPSIS برای ارزیابی کیفیت هوای شهری در چین

1 - Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution



استفاده شده که باعث رتبه‌بندی شهرها بر اساس آلاینده‌ها و وضعیت سلامتی شده است (Zhang, et al., 2020). با توجه به اهمیت کلزا در تأمین روغن گیاهی و همچنین چالش‌های مرتبط با انتخاب محرک‌های رشد بهینه، این پژوهش با هدف ارائه راهکارهای علمی تکمیلی برای انتخاب تیمار برتر انجام شد.

مواد و روش‌ها: آزمایش در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و با پنج تیمار کودی انجام شد. تیمارهای کودی در دو مرحله رشدی خروج از روزت و شروع گلدهی با غلظت پنج در هزار اعمال شدند.

۱: شاهد (بدون محرک رشد) مصرف کود شیمیایی مطابق آزمون خاک، ۲: تیمار اول + محلول پاشی اسید آمینه، ۳: تیمار اول + کود آبیاری اسید هیومیک (۵ کیلوگرم در هکتار)، ۴- تیمار اول + محلول پاشی اسید فولویک و ۵- تیمار اول + محلول پاشی عصاره جلبک دریایی.

قبل از اعمال تیمارها، غلظت ترکیبات مواد محرک رشد استفاده شده در آزمایشگاه مؤسسه تحقیقات خاک و آب تعیین گردید. نمونه اسید هیومیک استفاده شده دارای ۵۲/۹۵ درصد اسید هیومیک، اسید فولویک استفاده شده دارای ۲۲/۱ درصد اسید فولویک، اسید آمینه حاوی ۳۶/۷۹ درصد اسید آمینه آزاد و عصاره جلبک دریایی استفاده شده دارای ۱۰ درصد اسید آلجینیک بود. کلزای رقم مورد استفاده در این آزمایش رقم آزادگرده افشان دلگان بود که در ۱۵ مهر ماه کشت شد. ابعاد هر کرت ۵×۲/۴ متر با چهار ردیف کاشت بود. در تیمار سوم در هر کدام از کرت‌ها (تکرارها)، مقادیر ۰/۰۰۶ کیلوگرم اسید هیومیک به شکل کود آبیاری در دو مرحله رشدی خروج از روزت و شروع گلدهی مصرف شده بود.

برای تعیین برترین تیمار کودی از تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) با استفاده از روش تاپسیس (TOPSIS) بهره گرفته شد (Mohammadi & Alavi, 2018). این روش به دلیل توانایی در ارزیابی همزمان چندین معیار با واحدهای مختلف و وزن‌دهی متفاوت، ابزاری مناسب برای انتخاب بهینه‌ترین گزینه در مسائل کشاورزی محسوب می‌شود.

مراحل اجرای روش تاپسیس به شرح زیر است:

۱. تعیین گزینه‌ها و معیارها: گزینه‌های مورد بررسی شامل شش تیمار کودی مختلف بود. معیارهای ارزیابی نیز عبارتند بودند از: عملکرد دانه، درصد روغن، کارایی مصرف آب، میزان آب نسبی موجود در گیاه بودند که همگی به عنوان معیار مثبت در نظر گرفته شدند.

۲. تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری: داده‌های حاصل از آزمایش‌های مزرعه‌ای یا گلخانه‌ای در قالب یک ماتریس تصمیم‌گیری تنظیم شدند که در آن سطرها نشان‌دهنده تیمارهای کودی و ستون‌ها بیانگر معیارهای ارزیابی هستند.

۳. نرمال‌سازی ماتریس تصمیم: به دلیل متفاوت بودن واحدهای معیارها، ماتریس تصمیم با استفاده از روش‌های نرمال‌سازی (مانند روش اویلی یا نرمال‌سازی خطی) بی‌بعد شد تا مقایسه معیارها امکان‌پذیر گردد.

۴. تعیین وزن معیارها: با استفاده از روش‌هایی مانند AHP (فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی) یا آنتروپی شانون، وزن هر معیار تعیین می‌شود تا اهمیت نسبی آن در تصمیم‌گیری مشخص گردد.

۵. محاسبه راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی: - راه‌حل ایده‌آل مثبت (A^+): بهترین مقدار هر معیار در بین تمام گزینه‌ها. - راه‌حل ایده‌آل منفی (A^-): بدترین مقدار هر معیار در بین تمام گزینه‌ها.

۶. محاسبه فاصله هر گزینه از ایده‌آل مثبت و منفی: با استفاده از معیار فاصله اقلیدسی، فاصله هر تیمار کودی از A^+ و A^- محاسبه می‌شود.

۷. محاسبه ضریب تشابه (شاخص نزدیکی نسبی): برای هر گزینه، ضریب تشابه (C_i) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$C_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}$$

فاصله از ایده‌آل منفی: d_i^- فاصله از ایده‌آل مثبت: d_i^+

۸. رتبه‌بندی گزینه‌ها: گزینه‌ها بر اساس مقدار C_i از بیشترین به کمترین رتبه‌بندی می‌شوند. تیماری که بیشترین مقدار C_i را داشته باشد، به‌عنوان بهترین گزینه انتخاب می‌شود (Mohammadi & Alavi, 2018).



نتایج و بحث: در جدول (۱) کودهای مورد بررسی براساس عملکرد دانه، درصد روغن و کارایی مصرف آب در شرایط آبیاری مختلف به روش ترجیح سنجی (TOPSIS) اولویت‌بندی شده است. این روش بر اساس نزدیکی به راه‌حل ایده‌آل (بهترین حالت) و دوری از راه‌حل ضد ایده‌آل (بدترین حالت) عمل می‌کند. شاخص شباهت (اعداد داخل پرانتز) نشان‌دهنده میزان نزدیکی هر تیمار به حالت ایده‌آل است، به طوری که عدد بالاتر نشان‌دهنده عملکرد بهتر است.

انتخاب کود برتر در اولویت یکسان برای عملکرد دانه، درصد روغن و کارایی مصرف آب: ترتیب برتری محرک‌های رشد به صورت اسید هیومیک (۰/۵۳۳) < عصاره جلبک دریایی (۰/۵۲۹) < اسید آمینه (۰/۵۲۷) < اسید فولویک (۰/۵۲۶) < شاهد (۰/۵۲۰) بود.

انتخاب کود برتر در حالت‌های خاص وزن‌دهی: انتخاب محرک رشد برتر در شرایط و اهداف مختلف با استفاده از جدول ۱ قابل دستیابی است که به دو مورد اشاره می‌شود:

عملکرد دانه (۱۰۰٪)، درصد روغن (صفر٪) و کارایی مصرف آب (صفر٪): ترتیب برتری محرک‌های رشد به صورت اسید هیومیک (۰/۵۱۱) < عصاره جلبک دریایی (۰/۵۱۰) = اسید فولویک (۰/۵۱۰) = اسید آمینه (۰/۵۱۰) < شاهد (۰/۵۰۹) بود. در شرایط تنش خشکی، اسید آمینه با مکانیسم اختصاصی همچون تنظیم اسمز (مانند تجمع پرولین) از ترکیبات هیومیک پیشی می‌گیرد. همچنین ترکیبات هیومیک و عصاره جلبک دریایی برای فعال‌سازی مکانیسم‌ها به آب نیاز دارند که در شرایط تنش از این منظر با محدودیت روبرو می‌شوند.

عملکرد دانه (۵۰٪)، درصد روغن (۲۵٪) و کارایی مصرف آب (۲۵٪): ترتیب برتری محرک‌های رشد به صورت اسید هیومیک (۰/۵۳۵) < عصاره جلبک دریایی (۰/۶۳۴) = اسید آمینه (۰/۵۳۴) < اسید فولویک (۰/۵۳۲) < شاهد (۰/۵۳۰) بود.

نتیجه‌گیری: در کل می‌توان نتیجه‌گیری گرفت: کلیه تیمارهای محرک رشد نسبت به تیمار شاهد، عملکرد بهتری را در زمینه عملکرد دانه، درصد روغن و کارایی مصرف آب نشان دادند. این یافته حاکی از تأثیر مثبت این مواد در بهبود شاخص‌های مورد بررسی است. تفاوت معنادار در نتایج تیمارها ناشی از تعامل چندگانه بین نوع تیمار محرک رشد و معیار ارزیابی (عملکرد دانه، درصد روغن یا کارایی مصرف آب) بود. نتایج این مطالعه معیارهای روشنی را در اختیار کشاورزان و محققان قرار می‌دهد تا بر اساس شرایط خاص مزرعه و اهداف تولیدی مورد نظر، مناسب‌ترین تیمار محرک رشد را انتخاب نمایند.

جدول (۱) رتبه‌بندی تیمارهای محرک رشد به روش TOPSIS

شاخص شباهت	اولویت بندی	ردیف	شاخص شباهت	اولویت بندی	ردیف
رتبه اول: اسید هیومیک (۰/۵۰۴) - رتبه دوم: عصاره جلبک دریایی - (۰/۵۰۱) = اسید فولویک (۰/۵۰۱) - رتبه سوم: اسید آمینه (۰/۵۰۰) - رتبه چهارم: شاهد (۰/۴۹۸)	۲۵٪ عملکرد دانه، ۲۵٪ روغن دانه، ۵۰٪ کارایی مصرف آب	۵	رتبه اول: اسید هیومیک (۰/۵۳۳) - رتبه دوم: عصاره جلبک دریایی (۰/۵۲۹) - رتبه سوم: اسید آمینه (۰/۵۲۷) - رتبه چهارم: اسید فولویک (۰/۵۲۶) - رتبه پنجم: شاهد (۰/۵۲۰)	اولویت یکسان ۳۳٪ عملکرد دانه، صفر٪ روغن دانه، صفر٪ کارایی مصرف آب	۱
رتبه اول: اسید هیومیک (۰/۵۵۳) رتبه دوم: عصاره جلبک دریایی (۰/۵۵۱) = اسید فولویک (۰/۵۵۱) رتبه سوم: اسید آمینه (۰/۵۴۹) رتبه چهارم: شاهد (۰/۵۴۵)	۲۵٪ عملکرد دانه، ۵۰٪ روغن دانه، ۲۵٪ کارایی مصرف آب	۶	رتبه اول: اسید هیومیک (۰/۵۱۱) - رتبه دوم: عصاره جلبک دریایی (۰/۵۱۰) = اسید فولویک (۰/۵۱۰) = اسید آمینه (۰/۵۱۰) - رتبه سوم: شاهد (۰/۵۰۹)	۱۰۰٪ عملکرد دانه، صفر٪ روغن دانه، صفر٪ کارایی مصرف آب	۲
رتبه اول: اسید هیومیک (۰/۵۳۵) رتبه دوم: عصاره جلبک دریایی (۰/۵۳۴) = اسید آمینه (۰/۵۳۴) - رتبه سوم: اسید فولویک (۰/۵۳۲)	۵۰٪ عملکرد دانه، ۲۵٪ روغن دانه، ۵۰٪ کارایی مصرف آب	۷	رتبه اول: اسید هیومیک (۰/۵۰۸) = اسید آمینه (۰/۵۰۸) = عصاره جلبک دریایی (۰/۵۰۸) - رتبه دوم:	صفر٪ عملکرد دانه، ۱۰۰٪ روغن دانه، صفر٪ کارایی مصرف آب	۳



رتبه چهارم: شاهد (۰/۵۳۰)			اسید فولویک (۰/۵۰۷) = شاهد (۰/۵۰۷)		
			رتبه اول: اسید هیومیک (۰/۴۹۶) رتبه دوم: اسید آمینه (۰/۴۹۵) = عصاره جلبک دریایی (۰/۴۹۵) = اسید فولویک (۰/۴۹۵) - رتبه سوم: شاهد (۰/۴۹۴)	صفر٪ عملکرد دانه، صفر٪ روغن دانه، ۱۰۰٪ کارایی مصرف آب	۴

فهرست منابع

- Liu, Z., Li, J., & Wang, S. (2025). Water quality assessment of large reservoirs in Liaoning province using the TOPSIS model. *Environmental Monitoring and Assessment*, 197(2), 25-37. <https://doi.org/10.1007/s10661-025-10145-x>
- Liu, Z., Li, J., & Wang, S. (2025). Water quality assessment of large reservoirs in Liaoning province using the TOPSIS model. *Environmental Monitoring and Assessment*, 197(2), 25-37. <https://doi.org/10.1007/s10661-025-10145-x>
- Mohammadi, A., & Alavi, A. (2018). Fuzzy TOPSIS model for groundwater quality assessment. *Environmental Earth Sciences*, 77(10), 415-426. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7564-0>

Selecting the most effective growth stimulant to improve rapeseed yield based on multi-criteria decision making

Mohammad Passandideh^{1*}, Feridoun Nourgolipoor², Sanaz Tohidlou³ and Reza Mohammadikia⁴

- *Corresponding Author: Assistant Professor, Soil Fertility and Plant Nutrition Research Department, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran (Email:)
- Assistant Professor, Soil Fertility and Plant Nutrition Research Department, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran
- Researcher, Soil Fertility and Plant Nutrition Research Department, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran
- Researcher, Irrigation Research Department, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran

Abstract: Canola is considered as a key agricultural commodity of Iran, where the use of growth stimulants in its cultivation leads to multidimensional improvements in qualitative and quantitative indicators, including increased yield, enhanced seed oil content, and optimized water use efficiency. Determining the optimal treatment when multiple effects must be considered simultaneously requires methods beyond conventional statistical analysis. In such cases, multi-criteria decision-making (MCDM) methods. To achieve this goal, this experiment was conducted at the Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Ardabil Province (Moghan) in a randomized complete block design with three replications for one crop year. The fertilizer treatments were: 1-control, 2-amino acid, 3-humic acid, 4-fulvic acid, and 5-seaweed extract, which were applied in two growth stages of rosette emergence and flowering. The cultivated rapeseed cultivar was the open-pollinated Delgan cultivar. Water use efficiency, quantitative yield, and oil percentage were measured after harvest, and the superior treatment was selected using the TOPSIS technique. The results showed that no single treatment was superior in all conditions. In the same priority for the evaluation criteria, the order of precedence of growth stimulants was as follows: humic acid (0.533) > seaweed extract (0.529) > amino acid (0.537) > fulvic acid (0.526) > control (0.520). **Keywords:** Drought stress, Multi-criteria decision-making, Oil percentage, Seed yield, TOPSIS, Water use efficiency.

Keywords: Multi-criteria decision making, oil percentage, grain yield