

Crop Science Research in Arid Regions

homepage: <https://cropscience.uoz.ac.ir/>

Research Article

Volume 7, Issue 2, 2025, P. 235-253

Impact assessment of zinc and iron micronutrients on sesame yield traits and weed interference under somar climatic conditions

Saadollah Gohari ^a, Ali Hatami ^b, Ehsan Zeidali ^{*b}

^a MSc Graduate, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

^b Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

*Corresponding Author: e.zeidali@ilam.ac.ir

Received: 11 January 2025

Accepted: 4 May 2025

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.498849.1467

How to cite this article:

Gohari, S., Hatami, A., and Zeidali, E., 2025. Impact assessment of zinc and iron micronutrients on sesame yield traits and weed interference under Somar climatic conditions. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(2), 235-253.

<https://doi.org/10.22034/csrar.2025.498849.1467>

Abstract

Introduction: Sesame (*Sesamum indicum* L.), an ancient drought-tolerant oilseed crop, thrives in arid regions where other crops fail, offering one of the highest oil contents among oilseeds. In Iran's calcareous soils of arid/semi-arid zones, widespread zinc (Zn) and iron (Fe) deficiencies limit crop productivity. Micronutrients critically influence plant growth, yield, and human nutrition, with foliar application emerging as a key strategy for biofortification. Weed competition further exacerbates yield losses, particularly during sesame's slow establishment phase, where weed-crop leaf area ratios at canopy closure significantly impact productivity. Despite the agroeconomic potential of sesame in the understudied tropical Somar region (southwest Kermanshah province), no prior research exists on integrated weed and nutrient management for this crop. This study addresses this gap by evaluating Zn and Fe sulfate's foliar effects on sesame yield and oil quality under weed competition, aiming to optimize sustainable practices for this high-value crop. Sesame's resilience to drought and high oil content (45–55%) make it a vital crop for marginal arid lands. However, calcareous soils in Iran's arid zones, including Somar, exhibit severe Zn and Fe deficiencies, limiting sesame's productivity. Micronutrients like Zn and Fe are essential cofactors in enzymatic processes, chlorophyll synthesis, and stress tolerance, directly influencing yield and seed quality. Foliar supplementation bypasses soil nutrient fixation, enhancing uptake efficiency. Concurrently, weed interference during sesame's early growth stages reduces light and resource capture, with weed leaf area dominance at canopy closure being a critical yield-limiting factor. Seed purity standards (99.99%) for edible oil further necessitate rigorous weed management. The Somar region, with its tropical climate and untapped agricultural potential, lacks evidence-based strategies for sesame cultivation. This study bridges this gap by investigating synergistic weed control and micronutrient applications to boost yield and oil quality,



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

supporting socioeconomic development in resource-rich but underutilized regions.

Materials and Methods: A split-factorial experiment was conducted in 2023 in Somar, employing a randomized complete block design with three replications. The main factor comprised weed management: *control* (mechanical/chemical) and *no control*. Sub-factors included Fe sulfate (0, 150, 300 ppm) and Zn sulfate (0, 300, 500 ppm) applied as foliar sprays at 6- and 15-leaf stages. Soil analysis confirmed baseline Zn (0.8 mg kg^{-1}) and Fe (4.2 mg kg^{-1}) deficiencies. Weed biomass, seed yield, oil content, and nutrient uptake were measured. Data were analyzed using ANOVA, and means compared via LSD ($p \leq 0.05$).

Results and Discussion: Weed competition reduced sesame yield by 29% compared to the controlled treatment. The highest seed yield ($1068.8 \text{ kg ha}^{-1}$) occurred under weed-free conditions with 300 ppm Fe and 300 ppm Zn, highlighting micronutrients' role in mitigating abiotic stress. Fe and Zn sulfate significantly increased oil content: 500 ppm Zn yielded 51.9% oil, while 300 ppm Fe achieved 52.2%, surpassing lower doses ($p < 0.01$). Weed interference reduced oil quality by 12–15%, likely due to resource diversion and reduced photosynthetic efficiency. The synergistic Fe-Zn application enhanced nutrient partitioning to seeds, improving both yield and oil synthesis. These results align with studies linking micronutrients to ROS scavenging and lipid biosynthesis in oilseeds.

Conclusion: Integrated weed management and foliar Zn/Fe supplementation significantly enhance sesame productivity and oil quality in calcareous soils. The optimal combination—300 ppm Fe + 300 ppm Zn under weed-free conditions—increased yield by 29% and oil content by 18–20%, demonstrating the socioeconomic viability of sesame in Somar. This strategy addresses soil constraints and weed pressure, offering a model for semi-arid regions. Future research should explore genotype-specific responses and long-term soil health impacts.

Keywords: Crop management, Growth, Nutrient, Yield

بررسی تأثیر عناصر کم مصرف روی و آهن بر ویژگی‌های عملکردی کنجد و تداخل علف‌های هرز در شرایط اقلیمی سومار

سعدالله گوهری^۱، علی حاتمی^۲، احسان اله زیدعلی^{۳*}

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد آگروتکنولوژی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۲- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

* مسئول مکاتبه: e.zeidali@ilam.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.498849.1467

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۲۲

چکیده

علف‌های هرز یکی از محدودیت‌های اصلی کاهش عملکرد کنجد محسوب می‌شوند، در حالی که استفاده از ریزمغذی‌هایی چون آهن و روی می‌تواند نقش مؤثری در بهبود خصوصیات زراعی و فیزیولوژیک این محصول ایفا کند. این پژوهش با هدف ارزیابی تأثیر سطوح مختلف سولفات آهن و سولفات روی بر ویژگی‌های زراعی و فیزیولوژیک کنجد تحت شرایط مختلف مدیریت علف‌های هرز انجام شد. آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۲ در منطقه دشت سومار شهرستان قصرشیرین به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. تیمارهای اصلی شامل دو سطح مدیریت علف‌هرز (کنترل مکانیکی و شیمیایی در مقابل عدم کنترل) و تیمارهای فرعی شامل سطوح مختلف سولفات آهن (۰، ۱۵۰، ۳۰۰ پی‌پی‌ام) و سولفات روی (۳۰۰ و ۵۰۰ پی‌پی‌ام) بود که در مراحل ۶ و ۱۵ برگی کنجد به صورت محلول‌پاشی اعمال شدند. یافته‌ها نشان داد که بالاترین عملکرد دانه (۱۰۶۸/۸ کیلوگرم در هکتار) در تیمار ترکیبی کنترل علف‌هرز با کاربرد ۳۰۰ پی‌پی‌ام سولفات آهن و ۳۰۰ پی‌پی‌ام سولفات روی حاصل شد که ۲۹ درصد افزایش معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد داشت. همچنین، بیشترین درصد روغن دانه در تیمارهای ۵۰۰ پی‌پی‌ام سولفات روی (۵۱/۹ درصد) و ۳۰۰ پی‌پی‌ام سولفات آهن (۵۲/۲ درصد) مشاهده شد. به طور کلی، عدم کنترل علف‌های هرز موجب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه و کیفیت روغن کنجد گردید. نتایج این پژوهش اهمیت مدیریت تلفیقی علف‌های هرز و تأمین بهینه ریزمغذی‌ها را در افزایش بهره‌وری و کیفیت کنجد در مناطق نیمه‌خشک تأیید می‌کند.

واژه‌های کلیدی: تغذیه کودی، رشد، مدیریت زراعی، محصول

مقدمه

اهمیت ویژه‌ای دارد. یکی از جنبه‌های اساسی در بهبود عملکرد این محصول، تأمین بهینه عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، به‌ویژه عناصر کم‌مصرف نظیر روی و آهن است که نقش بسزایی در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصول ایفا می‌کنند (Malakouti and Tehrani, 2020). تغذیه مناسب گیاه علاوه بر افزایش عملکرد، موجب بهبود کیفیت مواد غذایی و سلامت جامعه می‌شود (Kihara et al., 2020).

وسعت قابل توجهی از خاک‌های ایران، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به دلیل ماهیت آهکی خود با کمبود عناصر ریزمغذی، به‌ویژه روی و آهن مواجه هستند (Dashab and Omidi, 2019). بر اساس مطالعات، بیش از ۶۰ درصد خاک‌های زراعی ایران دچار کمبود روی بوده که منجر به کاهش عملکرد تا ۵۰ درصد می‌شود (Pallavi and Sudha, 2017). کمبود روی، با ایجاد عدم توازن عناصر غذایی، راندمان

کنجد (*Sesamum indicum* L.) یکی از قدیمی‌ترین گیاهان زراعی است که به خانواده *Pedaliaceae* تعلق دارد. این خانواده عمدتاً شامل گیاهان علفی و به ندرت درختچه‌ای است که در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری پراکنده هستند (Bedigian, 2011). کنجد به دلیل دارا بودن درصد بالایی از روغن باکیفیت، از جمله مهم‌ترین دانه‌های روغنی محسوب می‌شود و در شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک عملکرد مطلوبی دارد (Arabi et al., 2022). دانه کنجد به دلیل دارا بودن سه آنتی‌اکسیدان اصلی، شامل سزامین، سزامولین و سزامول، از پایداری بالایی در برابر اکسیداسیون برخوردار است (Wan et al., 2023).

با توجه به وابستگی کشور به واردات روغن‌های خوراکی، توسعه کشت دانه‌های روغنی نظیر کنجد و بهبود عملکرد آن،

شناخت فرآیند رقابت علف‌های هرز با گیاه زراعی و تعیین حساس‌ترین زمان رقابت، در بهبود مدیریت آن‌ها نقش کلیدی دارد. مطالعات نشان داده‌اند که رابطه بین تراکم علف‌های هرز و کاهش عملکرد محصول به صورت سیگموئیدی است، به این معنا که در تراکم‌های پایین، تأثیر منفی بر عملکرد محصول کمتر است، اما با افزایش تراکم علف‌های هرز، میزان کاهش عملکرد افزایش می‌یابد. با این حال، در تراکم‌های بسیار بالا، کاهش عملکرد ثابت مانده یا حتی افزایش اندکی مشاهده می‌شود (Dorpour Sorkhsarai et al., 2021; Khosravi et al., 2021).

در منطقه دشت سومار، واقع در شهرستان مرزی قصر شیرین با اقلیم گرمسیری، تاکنون پژوهش‌های محدودی در زمینه کشت کنجد انجام شده است. با توجه به اینکه این گیاه در این منطقه توسط کشاورزان کشت می‌شود، بررسی اثرات عناصر کم‌مصرف مانند روی و آهن بر عملکرد کنجد و تأثیر رقابت علف‌های هرز در این شرایط، ضرورت دارد.

مواد و روش‌ها

محل اجرای آزمایش

این پژوهش به منظور بررسی اثر ریزمغذی‌های آهن و روی بر ویژگی‌های زراعی کنجد تحت شرایط حضور و عدم علف‌های هرز در فصل زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در اراضی مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان قصرشیرین در دشت سومار، غرب استان کرمانشاه؛ با مختصات جغرافیایی ۳۹ درجه و ۵۲ دقیقه و ۳۳ ثانیه شمالی و ۳۰ درجه و ۳۸ دقیقه و ۴۵ ثانیه شرقی، ارتفاع ۳۴۵ متر از سطح دریا و میانگین بارش سالانه، ۲۹۰ میلی‌متر به انجام رسید.

طرح آماری

آزمایش به صورت کرت های خرد شده (اسپلیت پلات) در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. عامل اصلی شامل مبارزه با علف‌های هرز در ۲ سطح کنترل و عدم کنترل و عامل فرعی شامل کود سولفات آهن در ۳ سطح ۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ ppm و سولفات روی در ۳ سطح ۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ ppm بصورت محلول‌پاشی در دو مرحله ۶ و ۱۵ برگی گیاه کنجد بود.

مصرف آب را کاهش داده و نهایتاً کیفیت و کمیت محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Candan et al., 2018). علاوه بر این، تأمین کافی روی به‌ویژه در شرایط تنش خشکی می‌تواند موجب افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی شود (Jeshni et al., 2017). در شرایط کاهش رطوبت خاک، تحرک عنصر روی در محلول خاک محدود شده و به دلیل کاهش رشد ریشه، جذب آن توسط گیاه کاهش می‌یابد (Cakmak and Kutman, 2018).

کمبود ریزمغذی‌ها در انسان نیز تأثیر بسزایی بر سلامت عمومی دارد و معمولاً ناشی از دریافت ناکافی آن‌ها در رژیم غذایی است. از سوی دیگر، کمبود این عناصر در خاک موجب کاهش رشد و عملکرد گیاهان می‌شود (Kihara et al., 2020). مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهند که تأمین عناصر ریزمغذی نظیر آهن و روی می‌تواند موجب بهبود تثبیت نیتروژن و افزایش عملکرد دانه در گیاهان شود (Wani et al., 2022). در شرایط کمبود آهن، میزان کلروفیل برگ کاهش‌یافته و سیستم‌های فتوسنتزی گیاه دچار اختلال می‌شوند که این امر مستقیماً بر کاهش عملکرد تأثیر می‌گذارد (Visconti et al., 2020). مصرف آهن به‌ویژه در شرایط تنش، به تعادل تغذیه‌ای گیاه و در نهایت افزایش تولید و کیفیت محصول کمک می‌کند (Wani et al., 2022). در خاک‌های فقیر از آهن، استفاده از محلول‌پاشی برگی به‌عنوان یک راهکار مؤثر در افزایش عملکرد دانه توصیه شده است (Visconti et al., 2020).

از دیگر عوامل تأثیرگذار بر عملکرد کنجد، رقابت با علف‌های هرز است که موجب کاهش چشمگیر عملکرد این گیاه می‌شود. مرحله بسته شدن کانوپی گیاه زراعی از حساس‌ترین مراحل در رقابت با علف‌های هرز محسوب می‌شود. همچنین، به دلیل مصرف خوراکی دانه کنجد، خلوص بذر آن باید بالا باشد، در حالی که حضور بذر علف‌های هرز در محصول مشکلاتی در این زمینه ایجاد می‌کند. مدیریت علف‌های هرز به‌ویژه در مراحل اولیه رشد کنجد، به دلیل رشد آهسته این گیاه، از اهمیت بالایی برخوردار است. برای کنترل مؤثر علف‌های هرز، استفاده از روش‌های زراعی، مکانیکی و مدیریت تلفیقی پیشنهاد شده است (Zaafarian and Rezvani, 2008).

عملیات زراعی

دادن از الک ۲ میلیمتری)، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری شد (جدول ۱). کاشت کنگد (رقم هلیل) در تاریخ ۱۵ تیرماه ۱۴۰۲ به صورت دستی و آبیاری به صورت جوی و پشته‌ای (نشستی) هر هفت روز یکبار انجام و اولین آبیاری بی‌درنگ پس از کاشت بذور، صورت گرفت. در این بررسی کوددهی بر اساس نتایج آزمون خاک صورت پذیرفت. همچنین کنترل علف‌های هرز در دو مرحله (مرحله اول چهار تا پنج برگگی کنگد و مرحله دوم ابتدای پرشدن کپسول‌ها) به صورت وجین دستی انجام شد.

زمین محل آزمایش در ۱۵ اردیبهشت ۱۴۰۲ شخم زده و بستر کاشت آماده گردید. ابعاد هر کرت فرعی ۲/۵×۵ مترمربع، شامل ۵ ردیف کاشت به فاصله ۵۰ سانتی‌متر و فاصله دو بوته ۵ سانتی‌متر و تراکم کاشت ۴۰ بوته در متر مربع بود. فاصله بین کرت‌های فرعی یک ردیف و برای کرت‌های اصلی دو ردیف نکاشت در نظر گرفته شد. پیش از کشت، از عمق صفر تا ۳۰ سانتیمتری خاک محل اجرای آزمایش نمونه‌گیری مرکب انجام گرفته و پس از آماده سازی (کوبیدن، هوا خشک کردن و عبور

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (توسط آزمایشگاه گلرنگ ایلام)

Table 1- Physical and chemical properties of test soil (by Golrang Laboratory- Ilam)

بافت خاک Soil texture	اسیدیته خاک pH	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (ds/m)	کربن آلی Organic carbon (%)	نیتروژن کل Total nitrogen (ppm)	پتاسیم Potassium (ppm)	فسفر Phosphorus (ppm)
لومی Loamy	7.0	0.9	0.85	0.045	144	8

۱۰۰ × (وزن خشک عملکرد بیولوژیک / وزن خشک

عملکرد دانه) = شاخص برداشت (HI)

درصد روغن دانه به کمک سوکسله و با استفاده از حلال هگزان انجام شد. درصد نیتروژن دانه با روش کجلدال به دست آمد که با ضریب ۶/۲۵ به درصد پروتئین تبدیل شد. نوع گونه علف‌های هرز مشاهده شده در مزرعه کنگد نیز به عنوان بخش مهمی از نتایج این بررسی، ثبت گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

پردازش و طبقه‌بندی اطلاعات استخراج شده با استفاده از نرم‌افزار Excel و تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹ انجام و مقایسه میانگین‌ها با روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح ۵ درصد محاسبه گردید.

نتایج و بحث

تعداد کپسول در بوته

نتایج آزمایشات نشان داد که اکثر تیمارها، از جمله برهمکنش بین تداخل علف‌های هرز، کاربرد سولفات آهن و سولفات روی، تأثیر معناداری بر تعداد کپسول در بوته کنگد داشتند (جدول ۲). به طوری که بیشترین تعداد کپسول در بوته،

ویژگی‌های مورد ارزیابی

برداشت کنگد در تاریخ ۵ آبانماه ۱۴۰۲ جهت ارزیابی صفات به انجام رسید. مطالعه بر روی یک متر مربع شامل ۴۰ بوته، انجام گرفت.

تعداد کپسول در بوته: از قسمت میانی هر کرت، ۵ بوته به صورت تصادفی انتخاب شد (با رعایت اثرات حاشیه‌ای) و تعداد کپسول در بوته شمارش شد. تعداد دانه در کپسول: از قسمت میانی هر کرت، ۵ بوته به صورت تصادفی انتخاب شد و تعداد دانه در کپسول شمارش شد. وزن هزار دانه: پس از جدا کردن دانه از غلاف، تعداد هزار دانه از هر کرت با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۰۱ وزن شد. جهت تعیین عملکرد بیولوژیک (کل ماده خشک اندام‌های بالای سطح خاک) در مرحله رسیدگی دانه از هر کرت دو مترمربع کف بر گردید و پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه در آن تهویه دار با درجه حرارت ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد. پس از خشک شدن وزن آنها محاسبه شد. عملکرد دانه، در انتهای فصل رشد، سطحی معادل ۲ مترمربع از نیمه میانی کرت برداشت شده و پس از خشک شدن دانه‌ها، میزان عملکرد دانه هر کرت محاسبه شد. شاخص برداشت که جهت محاسبه آن از رابطه زیر استفاده شد.

درصد بالاتر از کمترین مقدار مشاهده شده در تیمار عدم کنترل علف‌های هرز و عدم مصرف ریزمغذی‌ها محسوب می‌شود (شکل ۱).

در تیماری که ترکیب کنترل علف‌های هرز، استفاده از ۳۰۰ پی‌پی‌ام سولفات آهن و ۵۰۰ پی‌پی‌ام سولفات روی به کار گرفته شده بود، به مقدار ۷۰/۰ عدد به دست آمد؛ این مقدار ۲۶

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایش بر صفات عملکرد و اجزاء عملکرد کنجد

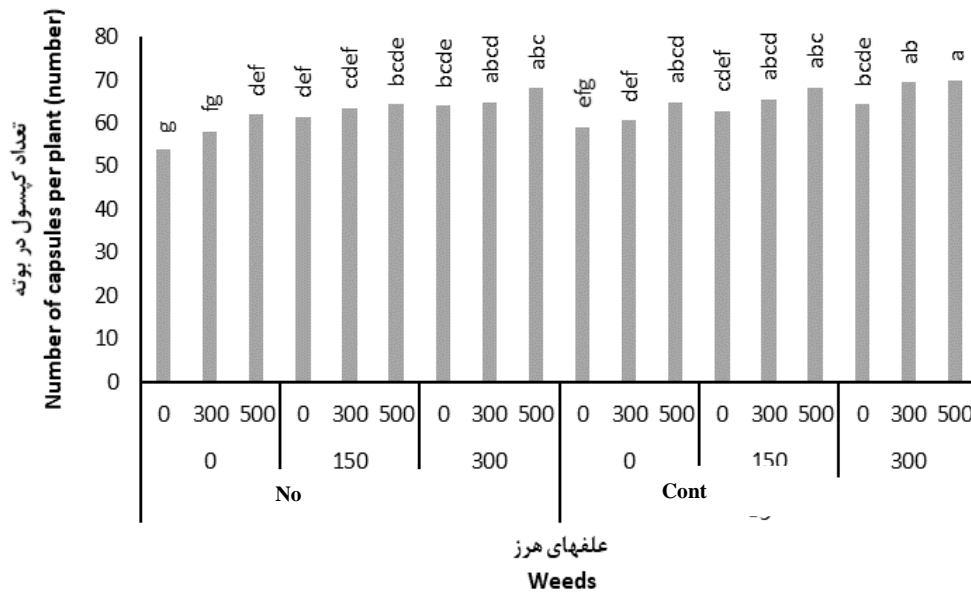
منابع تغییرات Source of Variation	درجه آزادی (df)	کپسول در بوته Capsules on the plant	دانه در کپسول Seeds in capsules	وزن هزار دانه 1000 grain weight	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت HI
تکرار Replication	2	371.2ns	98.4 ^{ns}	3.23*	189378.1**	290626.5**	176.0 ^{ns}
علف‌های هرز Weeds	1	4761.1*	280.2 ^{ns}	5.80**	2795.0**	7305657**	945.8 ^{ns}
اشتباه آزمایشی Error	2	408.5	126.4	0.02	7645.2	1709.7	221.0
سولفات آهن Iron sulfate		5542.2**	112.4**	0.71**	136305.7**	690820.9**	456.9*
علف‌های هرز × سولفات آهن Weeds x iron sulfate	2	814.4 ^{ns}	47.8 ^{ns}	0.24 ^{ns}	341295.8**	18859.7 ^{ns}	502.2*
سولفات روی Zinc sulfate		4024.8**	98.6**	0.58**	159404.4**	101238.3**	457.0*
علف‌های هرز × سولفات روی Weeds x zinc sulfate	2	327.0 ^{ns}	18.5 ^{ns}	0.28**	99484.3**	11511.8*	154.2 ^{ns}
سولفات آهن × سولفات روی Iron sulfate x zinc sulfate	4	941.4**	59.5 ^{ns}	0.28**	123878.8**	39896.4**	574.0*
علف‌های هرز × سولفات آهن × سولفات روی Weeds x iron sulfate x zinc sulfate	4	2514.5**	44.6 ^{ns}	0.22**	257515.3**	11424.3*	746.0**
خطای کل Total Error	32	266.2	38.7	0.06	81352.5	3318.0	136.5
ضریب تغییرات CV%	-	9.7	9.7	10.1	11.7	16.2	16.0

*** و * و ns: به ترتیب بیانگر اختلاف آماری معنی دار در سطح ۱ درصد، ۵ درصد و عدم اختلاف معنی دار

***, * and ns: respectively, indicating a statistically significant difference at the level of 1%, 5% and no significant difference

افزایش طول دوره رقابت با علف‌های هرز، ناشی از کاهش قدرت رقابت کنجد برای جذب نور و مواد غذایی و تخصیص ناکافی مواد پرورده به اندام‌های زایشی است. افزایش تداخل با علف‌های هرز منجر به کاهش تولید مواد فتوسنتزی و انتقال ناکافی آن‌ها به کپسول و دانه‌ها می‌شود که در نهایت باعث ریزش برخی گل‌ها و کاهش تعداد شاخه‌های فرعی نیز می‌گردد (Leach et al. Mardan and Kazempour, 2018; 1999). این نتایج نشان‌دهنده اهمیت مدیریت هم‌زمان علف‌های هرز و استفاده به موقع از ریزمغذی‌ها در افزایش کیفیت عملکرد زایشی کنجد است.

از دیدگاه فیزیولوژیکی، تولید هورمون اکسین که ناشی از حضور آهن در ساختار کلروفیل می‌باشد، موجب افزایش رشد رویشی، شاخه‌بندی، فتوسنتز و تثبیت دی‌اکسید کربن می‌شود؛ این فرآیندها بهبود عملکرد زایشی از جمله افزایش تعداد کپسول در بوته کنجد را به دنبال دارند (Ziaei et al., 2016). همچنین، مشاهده شد که عناصر ریزمغذی مانند آهن، بر روی موجب افزایش ارتفاع بوته، تعداد طبق در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی، شاخص برداشت و درصد روغن نسبت به تیمار شاهد می‌شوند (Khosravi et al., 2021). به علاوه، کاهش تعداد کپسول در بوته در صورت



شکل ۱- برهمکنش سه گانه‌ی تداخل علف‌های هرز، سولفات آهن و سولفات روی بر تعداد کپسول در بوته

Figure 1- The triple interaction of weeds, iron sulfate and zinc sulfate on the number of capsules per plant
میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means followed by similar letters show non-significant difference according to LSD tests at 5% level.

منجر به اختلال در فرایند لقاح شده و تولید دانه را کاهش دهد. در مقابل، فراهمی عنصر روی باعث افزایش میزان تلقیح گل‌ها و هدایت بیشتر تولیدات فتوسنتزی به سمت کپسول‌ها می‌شود، که این امر در نهایت به پر شدن تعداد بیشتری از دانه‌های تلقیح‌شده می‌انجامد (Ahmadi et al., 2012). از سوی دیگر، آهن نیز از عناصر ضروری برای رشد گیاه محسوب می‌شود و نقش مهمی در سنتز کلروفیل و فرایندهای متابولیکی مرتبط با رشد و تولید دانه ایفا می‌کند.

بنابراین، تغذیه مناسب گیاه با روی و آهن موجب افزایش ذخیره کربوهیدرات‌ها در دانه کرده، افزایش طول عمر گرده و در نتیجه بهبود فرایند گرده‌افشانی می‌شود. این امر منجر به افزایش تعداد دانه‌ها، بهبود وزن دانه و در نهایت افزایش عملکرد کلی دانه در گیاه کنگد خواهد شد. این نتایج بر اهمیت مدیریت صحیح تغذیه گیاه و کاربرد بهینه ریزمغذی‌ها در جهت بهبود عملکرد زراعی تأکید دارد.

وزن هزار دانه

نتایج نشان داد که اکثر تیمارها از جمله اثر سه‌گانه علف‌های هرز، سولفات آهن و سولفات روی بر وزن هزار دانه

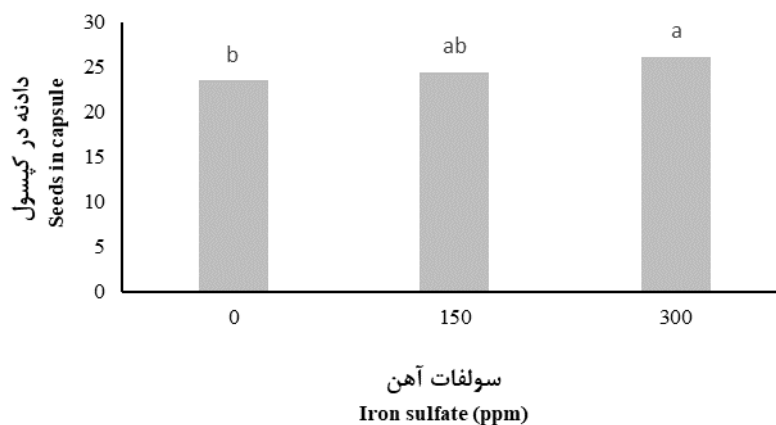
تعداد دانه در کپسول

نتایج پژوهش نشان داد که اثر اصلی سولفات روی و سولفات آهن بر تعداد دانه در کپسول کنگد معنی‌دار بود، در حالی که سایر تیمارها تأثیر معنی‌داری بر میزان روغن دانه کنگد نداشتند (جدول ۲). در تیمار ۳۰۰ پی‌پی‌ام سولفات آهن، تعداد دانه در کپسول کنگد به مقدار ۲۶/۷ عدد رسید که این میزان اختلاف معنی‌داری با سایر سطوح سولفات آهن نشان داد (شکل ۲). همچنین، در کاربرد ۳۰۰ پی‌پی‌ام سولفات روی، تعداد دانه در کپسول کنگد برابر با ۲۶/۲ عدد بود که این مقدار نیز به طور معنی‌داری نسبت به سایر سطوح سولفات روی افزایش نشان داد (شکل ۳). این نتایج نشان‌دهنده نقش حیاتی این عناصر در بهبود فرایند دانه‌بندی و افزایش کیفیت تولید در گیاه کنگد است.

برای تولید دانه، وجود شرایط مناسب از جمله تأمین آب و عناصر غذایی کافی ضروری است. در صورت عدم تأمین این شرایط، یا دانه تشکیل نمی‌شود یا ممکن است دانه تشکیل شود اما به‌طور کامل پر نشود (Weiss, 2000). از جمله عناصر حیاتی در این فرایند، روی است که نقش کلیدی در تلقیح گل‌ها و تشکیل دانه ایفا می‌کند. کمبود این عنصر می‌تواند

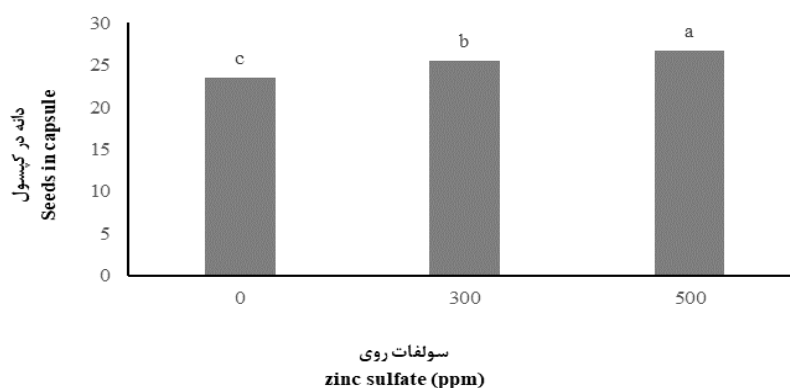
درصد بیشتر از کمترین مقدار در تیمار عدم کنترل علف‌های هرز و عدم مصرف ریزمغذی‌ها بود (شکل ۴). این افزایش نشان‌دهنده اهمیت نقش کنترل علف‌های هرز و تأمین ریزمغذی‌ها در بهبود کیفیت دانه و افزایش عملکرد گیاه است.

به‌طور معنی‌داری تأثیرگذار بود (جدول ۲). نتایج این تحقیق حاکی از آن بود که بیشترین وزن هزار دانه در تیمار کنترل علف‌های هرز، مصرف ۳۰۰ پی‌پی‌ام سولفات آهن و ۵۰۰ پی‌پی‌ام سولفات روی به مقدار ۳/۳۱ گرم حاصل شد که ۲۲



شکل ۲- اثر سولفات آهن بر تعداد دانه در کپسول کنجد

Figure 2- The effect of iron sulfate on the number of seeds in sesame capsules
میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.
Means followed by similar letters show non- significant difference according to LSD tests at 5% level.

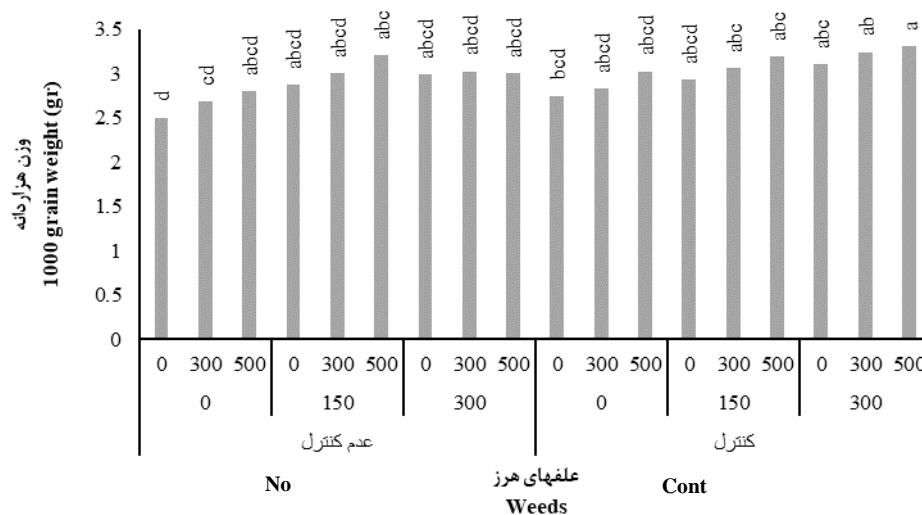


شکل ۳- اثر سولفات روی بر تعداد دانه در کپسول کنجد

Figure 3- The effect of zinc sulfate on the number of seeds in sesame capsules
میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.
Means followed by similar letters show non- significant difference according to LSD tests at 5% level.

حضور آهن در واحد سطح برگ باعث افزایش تولید نشاسته و قند در برگ‌ها شده و ذخیره‌سازی آن در دانه، موجبات افزایش وزن هزار دانه و عملکرد دانه را فراهم می‌کند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که تأمین ریزمغذی‌های کلیدی همچون آهن و روی نه تنها بر افزایش وزن دانه، بلکه بر بهبود عملکرد کلی گیاه تأثیرگذار است.

کم بودن وزن هزار دانه در صورت عدم تأمین ریزمغذی‌های آهن و روی به دلیل رقابت دانه‌ها در به دست آوردن مواد غذایی و کاهش کربوهیدرات ذخیره‌ای گیاه می‌باشد که منجر به کاهش تعداد سلول‌های مولد و در نتیجه کاهش وزن دانه می‌شود. علاوه بر این، تأمین آهن و روی تأثیر مستقیمی بر افزایش تعداد رنگدانه‌های فتوسنتزکننده، مقدار کلروفیل برگ‌ها، میزان فتوسنتز و سرعت تثبیت دی‌اکسیدکربن دارد.



شکل ۴- برهمکنش سه گانه‌ی علف‌های هرز، سولفات آهن و سولفات روی بر وزن هزار دانه کنگد

Figure 4- Triple interaction of weeds, iron sulfate and zinc sulfate on the 1000 grain weight of sesame. میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند. Means followed by similar letters show non-significant difference according to LSD tests at 5% level.

از این رو، در وزن هزار دانه این تیمارها تغییر معنی‌داری در مقایسه با سایر تیمارها به وجود نیاید. در واقع، تحت شرایطی که رقابت در مدت‌زمان طولانی بر گیاه اعمال می‌شود، کاهش تعداد دانه در هر واحد سطح می‌تواند منجر به افزایش وزن نسبی هر دانه شود.

سایر مطالعات نتایج متفاوت و گاه متناقضی را در این زمینه گزارش کرده‌اند. به‌عنوان مثال، تغییرات در تراکم کاشت تأثیر معنی‌داری بر وزن هزار دانه ندارد، این مسئله به نقش بذرها به‌عنوان مخازن فیزیولوژیکی قوی نسبت داده شده است که تحت تأثیر تیمارهایی مانند تراکم بوته قرار نمی‌گیرند (Johnson et al., 2015).

در مقابل، در پژوهشی دیگر مشخص شد که افزایش تراکم بوته سبب افزایش وزن هزار دانه می‌شود. این یافته ممکن است به کاهش تعداد دانه‌ها و در نتیجه تخصیص کارآمدتر مواد فتوسنتزی به هر دانه در تراکم‌های بالاتر مرتبط باشد (Lee and Park, 2017).

این نتایج نشان می‌دهد که عوامل مختلفی همچون شرایط محیطی، میزان رقابت درون‌گونه‌ای، و ویژگی‌های ژنتیکی گیاه می‌توانند تأثیر متفاوتی بر وزن هزار دانه داشته باشند. درک این متغیرها و نحوه تعامل آن‌ها می‌تواند به بهینه‌سازی

با توجه به اینکه وزن هزار دانه به میزان هیدرات کربن ذخیره‌شده در شروع پر شدن دانه و ژنوتیپ گیاه بستگی دارد، کمبود عناصر غذایی موجود در خاک در زمان پر شدن دانه‌ها سبب کاهش وزن آن‌ها می‌شود. دلیل کاهش وزن هزار دانه را می‌توان به تشکیل دانه‌های کوچک‌تر در اثر کاهش دسترسی گیاه به عوامل محیطی، به‌ویژه نور، در اثر رقابت شدید بین بوته‌ها نسبت داد. این رقابت موجب کاهش تولیدات فتوسنتزی شده و در نتیجه، انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها کاهش می‌یابد که این امر تأثیر مستقیمی بر وزن دانه‌ها به‌ویژه در مرحله پر شدن آن‌ها دارد (Borrás and Gambín, 2010). علاوه بر این، کاهش تعداد خورجین در بوته و کاهش تعداد دانه در هر خورجین نیز می‌تواند از دیگر عوامل کاهش وزن هزار دانه در شرایط عدم تأمین مناسب ریزمغذی‌ها باشد.

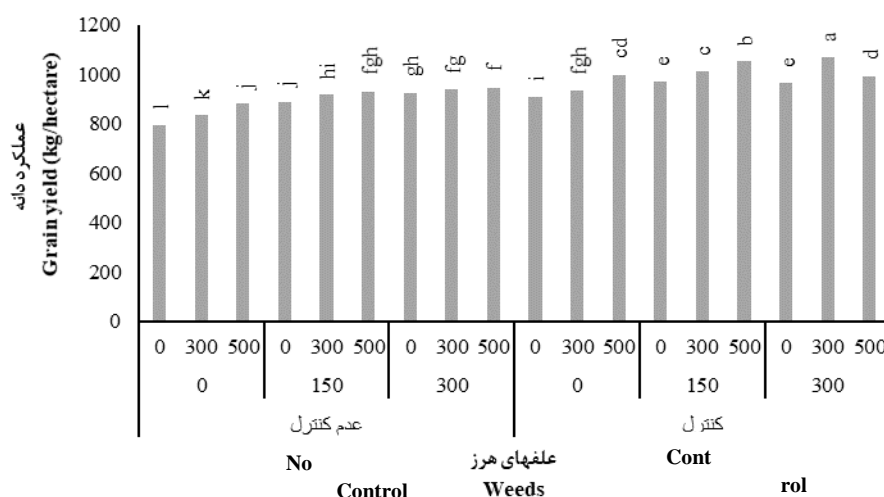
دلیل عدم اختلاف معنی‌دار وزن هزار دانه در تیمارهای حذف و رقابت علف هرز را شاید بتوان این‌گونه بیان کرد که گیاهانی که برای مدت طولانی در رقابت با علف هرز قرار داشتند، تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین آن‌ها در اثر تراکم بالای موجود (گیاه زراعی + علف هرز) در دوره طولانی رشد کاهش یافته است. این امر سبب شد که سهم دانه‌ها از مواد فتوسنتزی گیاه بیشتر شده و

عملکرد دانه

نتایج این تحقیق نشان داد که برهمکنش علف‌های هرز، سولفات آهن و سولفات روی بر عملکرد دانه به طور معنی‌داری تأثیرگذار بوده است (جدول ۲). بررسی داده‌های به‌دست‌آمده حاکی از آن بود که بیشترین عملکرد دانه در شرایط کنترل علف‌های هرز و مصرف هم‌زمان ۳۰۰ پی‌پی‌ام سولفات آهن و ۳۰۰ پی‌پی‌ام سولفات روی حاصل شد که مقدار آن ۱۰۶۸/۸ کیلوگرم در هکتار بود. این میزان ۲۹ درصد بیشتر از کمترین مقدار عملکرد دانه در تیماری بود که در آن علف‌های هرز کنترل نشده و هیچ‌گونه ریزمغذی مصرف نشده بود (شکل ۵). این نتایج تأکیدی بر اهمیت مدیریت تلفیقی علف‌های هرز و تغذیه مناسب گیاه از طریق کودهای ریزمغذی دارد.

استراتژی‌های کاشت و بهبود عملکرد زراعی منجر شود. افزون بر این، پژوهش‌های اخیر نشان داده‌اند که اثرات تراکم کاشت ممکن است در ترکیب با دیگر عوامل زراعی مانند تغذیه گیاهی و میزان دسترسی به آب تغییر کند (Smith et al., 2020) که این موضوع نیازمند بررسی‌های بیشتر در شرایط اقلیمی و مدیریتی گوناگون است.

در نهایت، نتایج این تحقیق تأیید می‌کند که مدیریت صحیح تغذیه‌ای و کنترل رقابت علف‌های هرز دو عامل کلیدی در بهبود وزن هزار دانه و افزایش عملکرد محصول هستند. استفاده از ریزمغذی‌های مناسب به‌ویژه آهن و روی، در کنار استراتژی‌های مناسب مدیریت علف‌های هرز، می‌تواند تأثیر قابل توجهی در افزایش کارایی گیاه و بهبود کیفیت دانه داشته باشد.



شکل ۵- برهمکنش سه‌گانه‌ی علف‌های هرز، سولفات آهن و سولفات روی بر عملکرد دانه

Figure 5- Triple interaction of weeds, iron sulfate and zinc sulfate on grain yield

میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند. Means followed by similar letters show non-significant difference according to LSD tests at 5% level.

کاربرد کود روی علاوه بر تأثیر مستقیم بر رشد گیاه، موجب افزایش وزن خشک اندام‌های گیاهی نیز شد که احتمالاً ناشی از مکانیسم‌های مختلفی نظیر افزایش بیوسنتز اکسین در حضور عنصر روی، افزایش غلظت کلروفیل، ارتقای فعالیت آنزیم‌های کلیدی مانند فسفواینول پیروات کربوکسیلاز و ریبولوز بی‌فسفات کربوکسیلاز، کاهش تجمع سدیم در بافت‌های گیاهی و در نهایت افزایش جذب و کارایی نیتروژن و فسفر در گیاه

مطالعات پیشین نیز اثرات مثبت مصرف ریزمغذی‌ها بر عملکرد دانه را نشان داده‌اند. به عنوان مثال، برخی پژوهشگران گزارش کردند که مصرف سولفات روی می‌تواند ارتفاع گیاه کنجد، طول خوشه، میزان پر شدن خوشه، وزن هزار دانه و در نهایت عملکرد دانه را بهبود بخشد (Mahmoud Soltani et al., 2017). این افزایش عملکرد عمدتاً به دلیل تحریک فرایند فتوسنتز و بهبود رشد و توسعه بخش‌های مختلف گیاه است.

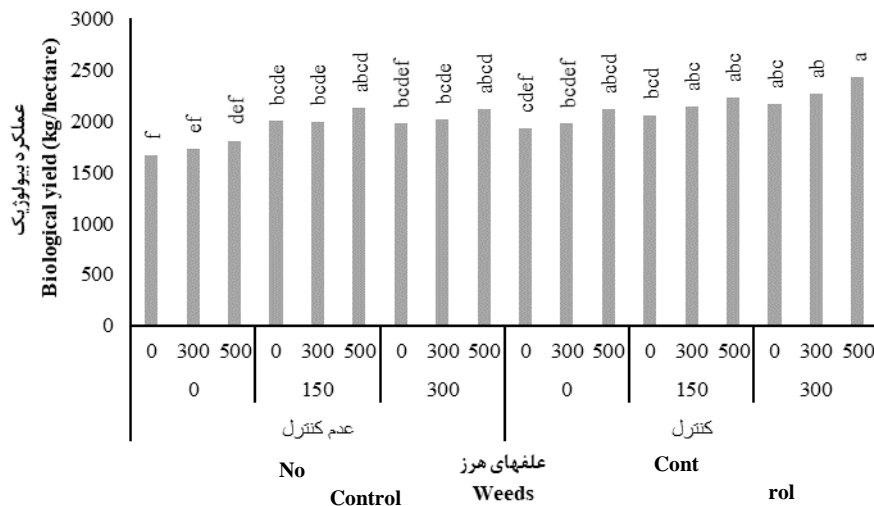
عملکرد بیولوژیک

نتایج این تحقیق نشان داد که اثر متقابل سه‌گانه علف‌های هرز، سولفات آهن و سولفات روی به‌عنوان مهم‌ترین تیمار بر عملکرد بیولوژیک به‌طور معناداری تأثیرگذار بود (جدول ۲). بر اساس یافته‌ها، بیشترین عملکرد بیولوژیک در تیمار کنترل علف‌های هرز، مصرف ۳۰۰ پی‌پی‌ام سولفات آهن و ۵۰۰ پی‌پی‌ام سولفات روی، به میزان ۲۴۲۵ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد که ۲۹ درصد بیشتر از کمترین مقدار در تیمار عدم کنترل علف‌های هرز و عدم مصرف ریزمغذی‌ها بود (شکل ۶). روی، به‌عنوان یک عنصر ضروری در ساختمان برخی از آنزیم‌ها، در فعالیت‌های آنزیمی گوناگون مشارکت دارد و در خاک‌های با واکنش اسیدی، قابلیت جذب بالاتری پیدا می‌کند. به نظر می‌رسد که محلول‌پاشی سولفات آهن از همان مراحل ابتدایی رشد، باعث افزایش رشد اندام‌های رویشی و در نتیجه افزایش رشد اندام‌های زایشی شده است. این امر در نهایت موجب بهبود عملکرد بیولوژیک گیاه، که حاصل مجموع وزن اندام‌های آن است، گردیده است. احتمالاً کود آهن از طریق اثرگذاری بر اجزای عملکرد، منجر به افزایش ماده خشک گیاه شده است.

است. این نتایج هم‌راستا با یافته‌های محققین دیگر نیز بود که نشان دادند کاربرد مناسب ریزمغذی‌ها منجر به افزایش عملکرد دانه می‌شود (Eftekhari *et al.*, 2005).

علاوه بر این، برخی پژوهشگران نیز نشان دادند که مصرف کودهای ریزمغذی حاوی آهن تأثیر مثبتی بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت کنگد داشته و توانسته است این شاخص‌ها را به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد افزایش دهد. این یافته‌ها اهمیت تأمین عناصر ریزمغذی به خصوص آهن و روی را در بهبود عملکرد گیاه کنگد نشان می‌دهد (Khosravi *et al.*, 2021).

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش، می‌توان چنین استنباط کرد که افزایش عملکرد دانه علاوه بر تغذیه مناسب، تحت تأثیر کاهش رقابت با علف‌های هرز نیز بوده است. در واقع، حذف علف‌های هرز موجب کاهش رقابت بر سر منابعی مانند نور، آب و عناصر غذایی شده و در نتیجه گیاه کنگد قادر به استفاده بهینه از این منابع برای رشد و توسعه بهتر شده است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که مدیریت صحیح علف‌های هرز همراه با تغذیه متعادل و تأمین بهینه ریزمغذی‌ها، راهکاری مؤثر برای افزایش عملکرد دانه در سیستم‌های زراعی است.



شکل ۶- برهمکنش سه‌گانه علف‌های هرز، سولفات آهن و سولفات روی بر عملکرد بیولوژیک

Figure 6- Triple interaction of weeds, iron sulfate and zinc sulfate on biological yield

میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means followed by similar letters show non-significant difference according to LSD tests at 5% level.

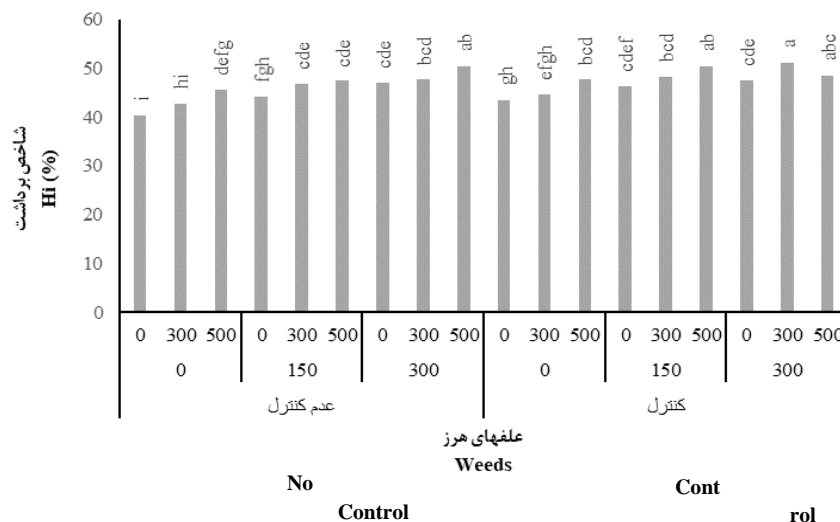
تأثیر چشمگیری در بهبود عملکرد بیولوژیک داشته باشد. لذا، استفاده از کودهای حاوی آهن و روی، همراه با کنترل مؤثر علف‌های هرز، به‌عنوان یک راهکار مناسب برای افزایش بهره‌وری گیاهان زراعی توصیه می‌شود.

شاخص برداشت

نتایج نشان داد که برهمکنش علف‌های هرز، سولفات آهن و سولفات روی به عنوان مهم‌ترین تیمار بر شاخص برداشت معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین شاخص برداشت در تیمار کنترل علف‌های هرز، کاربرد ۳۰۰ پی‌پی‌ام سولفات آهن و ۳۰۰ پی‌پی‌ام سولفات روی به مقدار ۵۱/۱ درصد به‌دست آمد که ۲۰ درصد بیشتر از کمترین مقدار در تیمار عدم کنترل علف‌های هرز و عدم مصرف ریزمغذی‌ها بود (شکل ۷). به نظر می‌رسد که مصرف سولفات آهن موجب افزایش انتقال مواد فتوسنتزی به سمت اندام‌های زایشی گیاه شده است، و در نتیجه، شاخص برداشت در این تیمارها نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی در مرحله پنجه‌زنی بیشتر بوده است. این نتایج با یافته‌های دیگر پژوهشگران نیز همخوانی دارد که نشان دادند مصرف ریزمغذی‌ها مانند آهن می‌تواند به طور معناداری عملکرد دانه و شاخص برداشت در گیاهان روغنی را افزایش دهد (Kahrudi et al., 2023).

آهن با ایجاد رشد رویشی مناسب از طریق افزایش تعداد و سطح برگ، مشارکت در فتوسنتز، افزایش تولید ماده خشک و بهبود اجزای عملکرد، نقش مهمی در افزایش عملکرد گیاه دارد. همچنین، این عنصر در ساختمان کلروفیل نقش اساسی ایفا می‌کند و کمبود آن منجر به کاهش میزان کلروفیل شده و در نتیجه برگ‌ها به رنگ زرد متمایل می‌شوند، که این پدیده تحت عنوان کلروز شناخته می‌شود. کاهش میزان کلروفیل باعث افت رشد گیاه و کاهش تولید ماده خشک می‌شود. در این راستا، مطالعات جدیدتر نیز به نقش کلیدی آهن در بهبود عملکرد بیولوژیک از طریق اثرات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی آن اشاره دارند (Zhou et al., 2023).

کاهش عملکرد بیولوژیک در اثر افزایش دوره رقابت با علف‌های هرز را می‌توان به افزایش رقابت آن‌ها با گیاه زراعی در جذب عناصر غذایی، نور و رطوبت نسبت داد. این رقابت سبب کاهش تعداد شاخه‌های فرعی و خورجین در بوته شده و در نهایت به افت عملکرد بیولوژیک منجر می‌شود. مطالعات جدیدتر نیز تأیید کرده‌اند که تداخل علف‌های هرز می‌تواند به کاهش عملکرد بیولوژیک از طریق کاهش توان فتوسنتزی و تغییر در الگوی تخصیص منابع منجر شود (Wang et al., 2022). این یافته‌ها نشان می‌دهند که مدیریت علف‌های هرز همراه با تأمین ریزمغذی‌های ضروری نظیر آهن و روی، می‌تواند



شکل ۷- برهمکنش سه گانه‌ی علف‌های هرز، سولفات آهن و سولفات روی بر شاخص برداشت

Figure 7- Triple interaction of weeds, iron sulfate and zinc sulfate on H index

میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means followed by similar letters show non-significant difference according to LSD tests at 5% level.

این نتایج با مشاهدات دیگر محققین نیز همخوانی دارد که نشان دادند تأخیر در حذف علف‌های هرز می‌تواند منجر به کاهش کارایی تولید محصول و کاهش شاخص برداشت شود (Hodasefat *et al.*, 2021). در این مطالعه، نتایج نشان‌دهنده تأثیر منفی رقابت طولانی‌مدت با علف‌های هرز بر عملکرد اقتصادی گیاهان است که این امر منجر به کاهش معنی‌دار شاخص برداشت می‌شود. این مشاهدات نیز با تحقیقات پیشین همخوانی دارد که در آن تأثیر رقابت علف‌های هرز بر عملکرد و بهره‌وری گیاهان مورد بررسی قرار گرفته است (Zimdahl, 2018).

روغن دانه

نتایج نشان داد که اثر اصلی سولفات روی و سولفات آهن بر روغن دانه کنجد معنی‌دار بود ولی سایر تیمارها تأثیر معنی‌داری بر روغن دانه کنجد نداشتند (جدول ۳).

به‌نظر می‌رسد با مصرف آهن، گیاه مواد فتوسنتزی را بیشتر به سمت اندام‌های زایشی انتقال داده است، از این رو شاخص برداشت در این تیمارها بیشتر از تیمار عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی در مرحله پنجه‌زنی بود. برخی محققین بیان کردند که مصرف کوه‌های ریز مغذی حاوی آهن توانسته است عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت کنجد را به صورت معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش دهد (Khosravi *et al.*, 2021). وجود روند نزولی در شاخص برداشت به دلیل افزایش طول دوره رقابت با علف‌های هرز نشان‌دهنده این است که با تأخیر در حذف علف‌های هرز، به دلیل سایه‌اندازی آنها بر روی گیاهان و افزایش ارتفاع بوته و در نتیجه رشد رویشی بیشتر، مواد فتوسنتزی بیشتر به رشد رویشی اختصاص یافته و مقدار کمتری به اندام‌های زایشی ارسال می‌شود. این امر باعث می‌شود که عملکرد بیولوژیک نسبت به عملکرد اقتصادی افزایش بیشتری یافته و در نهایت، شاخص برداشت کاهش یابد.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایش بر صفات کیفی کنجد

Table 3- Variance analysis of the effect of experimental treatments on qualitative traits of sesame

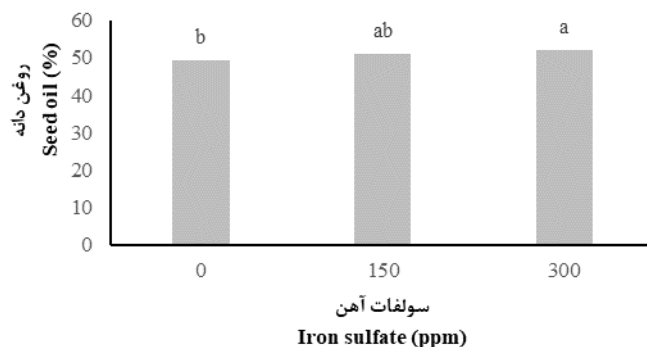
منابع تغییرات Source of Variation	درجه آزادی (df)	روغن دانه Oil seed	محتوای پروتئین دانه Grain protein
تکرار Replication	2	121.9 ^{ns}	5.4 ^{ns}
علف‌های هرز Weeds	1	1169.7 ^{**}	126.9 ^{**}
اشتباه آزمایشی Error	2	5.4	0.5
سولفات آهن Iron sulfate	2	349.5 ^{**}	36.3 ^{**}
علف‌های هرز × سولفات آهن Weeds x iron sulfate	2	64.5 ^{ns}	2.8 ^{**}
سولفات روی Zinc sulfate	2	325.3 ^{**}	4.2 ^{**}
علف‌های هرز × سولفات روی Weeds x zinc sulfate	2	13.6 ^{ns}	0.01 ^{ns}
سولفات آهن × سولفات روی Iron sulfate x zinc sulfate	4	4.4 ^{ns}	3.6 ^{**}
علف‌های هرز × سولفات آهن × سولفات روی Weeds x iron sulfate x zinc sulfate	4	38.3 ^{ns}	1.0 ^{**}
خطای کل Total Error	32	128.9	0.1
ضریب تغییرات CV%	-	13.7	5.1

**، * و ns: به ترتیب بیانگر اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۱ درصد، ۵ درصد و عدم اختلاف معنی‌دار

**، * and ns: respectively, indicating a statistically significant difference at the level of 1%, 5% and no significant difference

سولفات روی روغن دانه‌ی کنجد به مقدار ۵۲/۲ درصد حاصل شد که اختلاف معنی‌داری با سایر سطوح سولفات روی داشت (شکل ۹).

در کاربرد ۵۰۰ پی‌پی‌ام سولفات آهن روغن دانه‌ی کنجد به ۵۱/۹ درصد حاصل شد که اختلاف معنی‌داری با سایر سطوح سولفات آهن داشت (شکل ۸). در تیمار کاربرد ۳۰۰ پی‌پی‌ام

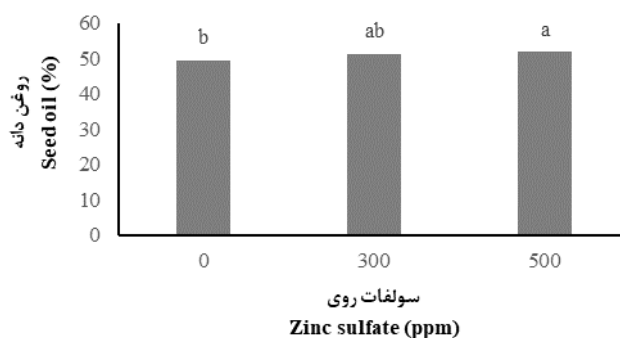


شکل ۸- اثر سولفات آهن بر درصد روغن کنجد

Figure 8- The effect of iron sulfate on the percentage of sesame oil

میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means followed by similar letters show non- significant difference according to LSD tests at 5% level.



شکل ۹- اثر سولفات روی بر درصد روغن کنجد

Figure 9- The effect of zinc sulfate on the percentage of sesame oil

میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means followed by similar letters show non- significant difference according to LSD tests at 5% level.

نتیجه باعث افزایش درصد روغن در بذرها شود. از سوی دیگر، یکی از عوامل مؤثر بر کاهش عملکرد روغن، افزایش مدت‌زمان رقابت گیاه زراعی با علف‌های هرز است. در شرایطی که گیاه زراعی با علف‌های هرز رقابت می‌کند، به دلیل کاهش اجزای عملکردی مانند تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه، عملکرد کلی دانه کاهش می‌یابد. با این حال، درصد روغن در دانه‌ها تغییر قابل‌توجهی نشان نداد. از آنجا که عملکرد روغن تابعی از دو متغیر درصد روغن و عملکرد دانه است، کاهش عملکرد دانه مستقیماً باعث کاهش عملکرد روغن می‌شود. بنابراین، رقابت علف‌های هرز، از طریق کاهش توان تولیدی گیاه و کاهش عملکرد دانه، اثر منفی

عنصر روی نیز به‌عنوان یک ریزمغذی مهم، قادر است متابولیسم چربی‌ها را افزایش دهد و از این طریق بر درصد روغن تأثیر بگذارد. از سوی دیگر، آهن به دلیل نقش فعال خود در ترکیب آنزیم‌های فتوسنتزی و تنفسی، همچنین در متابولیسم گیاهی، اهمیت ویژه‌ای دارد (Ziaei et al., 2016). بنابراین، با توجه به نقش کلیدی ریزمغذی‌ها در واکنش‌های فیزیولوژیکی و فرآیندهای بیوشیمیایی گیاهان، تأمین کافی این عناصر می‌تواند تأثیر به‌سزایی در افزایش کمی و کیفی محصولات گیاهی داشته باشد (Khosravi et al., 2021). در تحقیق حاضر، مشاهده شد که تأمین به‌موقع عناصر ریزمغذی روی و آهن توانست نیازهای تغذیه‌ای گیاه را برطرف کرده و در

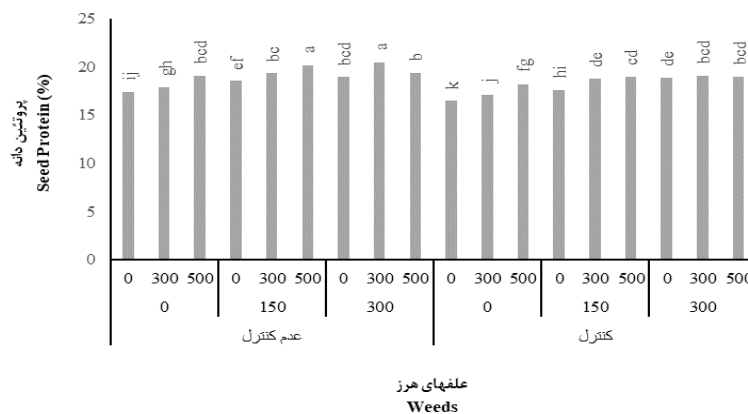
به تولید پایدار در سیستم‌های کشاورزی باشد.

پروتئین دانه

نتایج نشان داد که اثر سه گانه تداخل علف‌های هرز، سولفات آهن و سولفات روی به عنوان مهمترین تیمار بر پروتئین دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج این تحقیق حاکی از آن بود که بیشترین پروتئین دانه در تیمار عدم کنترل علف‌های هرز، مصرف ۳۰۰ پی‌پی‌ام سولفات آهن و ۲۰ پی‌پی‌ام سولفات روی به مقدار ۲۰/۴ درصد حاصل شد که ۲۰ درصد بیشتر از کمترین مقدار در تیمار کنترل علف‌های هرز و عدم مصرف ریزمغذی‌ها بود. همواره مصرف ۳۰۰ پی‌پی‌ام آهن و مصرف ۳۰۰ یا ۵۰۰ پی‌پی‌ام سولفات روی موجب افزایش پروتئین دانه گردید (شکل ۱۰).

بر تولید روغن نهایی دارد. تحقیقات پیشین نشان داده‌اند که درصد روغن از صفات ژنتیکی گیاه است که به شدت تحت تأثیر شرایط محیطی قرار می‌گیرد و می‌تواند در ارقام مختلف متفاوت باشد (Baud and Lepiniec, 2010). این یافته‌ها با بررسی‌های محققین جدیدتر همخوانی دارد که در آن تأثیر تنش‌های محیطی بر صفات کیفی و کمی روغن در گیاهان روغنی بررسی شده است. در این تحقیق نیز تأثیر رقابت علف‌های هرز بر درصد روغن به طور معنی‌داری مشاهده نشد (Kazemi et al., 2024).

در مجموع، یافته‌های این پژوهش بر اهمیت تأمین ریزمغذی‌های ضروری و مدیریت بهینه علف‌های هرز در راستای بهبود کیفیت و کمیت محصولات زراعی تأکید دارند. این موضوع می‌تواند راهکاری مؤثر برای افزایش بهره‌وری و دستیابی



شکل ۱۰- برهمکنش سه گانه‌ی تداخل علف‌های هرز، سولفات آهن و سولفات روی بر پروتئین دانه کنگد

Figure 10- Triple interaction of weeds, iron sulfate and zinc sulfate on seed protein of sesame
میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means followed by similar letters show non- significant difference according to LSD tests at 5% level.

ریزمغذی‌هایی مانند روی و آهن موجب بهبود کارایی فتوسنتزی گیاهان و افزایش تحمل آنها نسبت به تنش‌های محیطی می‌شود (Hafeez et al., 2013). با توجه به این یافته‌ها، به نظر می‌رسد که تأمین مناسب این عناصر می‌تواند در بهبود کیفیت و کمیت محصول کنگد نقش مهمی داشته باشد.

گونه‌های علف‌های هرز

در این بررسی، ۸ گونه علف هرز شناسایی شد که از بین آنها اویارسلام، سوروف، خرفه، خارشتر و پیچک صحرايي

کاربرد روی، منیزیم و پتاسیم به طور معنی‌داری پارامترهای رشد، عملکرد و اجزای آن را در گیاه ماش افزایش داد. همچنین، مشخص شده که روی در سنتز پروتئین مؤثر است و کمبود آن منجر به افزایش غلظت اسیدهای آمینه و آمیدها و کاهش میزان پروتئین می‌شود (Thalooth et al., 2006). نقش روی در گیاه عمدتاً به دلیل تأثیر آن بر تشکیل دانه و افزایش وزن دانه از طریق فرآیند رشد زایشی، کمک به ماده‌سازی و تولید کربوهیدرات و پروتئین دانه است. علاوه بر این، مطالعات دیگری نیز نشان داده‌اند که استفاده از

می‌گیرد. بنابراین، کنترل علف‌های هرز در مراحل اولیه رشد گیاه زراعی ضروری است، زیرا در غیر این صورت، صدمات جبران‌ناپذیری به محصول وارد شده و حتی تولید محصول ممکن است غیراقتصادی شود. علاوه بر این، بررسی‌های انجام‌شده در سایر مناطق نیز نشان داده‌اند که مدیریت مناسب علف‌های هرز از طریق روش‌های تلفیقی نظیر کاربرد علف‌کش‌ها و تناوب زراعی می‌تواند به‌طور قابل توجهی عملکرد محصول را افزایش دهد (Jabran et al., 2015).

بیشترین فراوانی را در مزرعه داشتند (جدول ۴). این مسئله می‌تواند در مدیریت علف‌های هرز رایج در منطقه مورد توجه قرار گیرد. علف‌های هرز یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید در گیاهان زراعی محسوب می‌شوند و خسارت آنها عمدتاً از طریق رقابت بر سر منابعی مانند آب، مواد مغذی، نور، فضا و دگرآسیبی است که در نتیجه باعث کاهش عملکرد و افزایش هزینه‌های تولید می‌شود. مراحل اولیه رشد گیاه کنجد به دلیل رشد کند آن، به شدت تحت تأثیر رقابت علف‌های هرز قرار

جدول ۴- علف‌های هرز غالب مشاهده شده در مزرعه آزمایشی

Table 4- Dominant weeds observed in the experimental field

چرخه زندگی	مسیر فتوسنتزی	خانواده	نام علمی
Life Cycle	Photosynthetic Pathway	Family	Scientific Name
چندساله Perennial	C4	Cyperaceae	<i>Cyperus rotundus</i>
یکساله تا چندساله Annual to perennial	C4	Poaceae	<i>Echinochloa crus-galli</i>
یکساله آبدار Fresh annual	C4	Portulacaceae	<i>Portula oleracea</i>
چندساله Perennial	C3	Fabaceae	<i>Alhagi maurorum</i>
چندساله Perennial	C3	Convulvulaceae	<i>Convolvulus arvensis</i>
یکساله Annual	C4	Amaranthaceae	<i>Amaranthus retroflexus</i>
یکساله Annual	C3	Solanaceae	<i>Solanum nigrum</i>
یکساله Annual	C4	Poaceae	<i>Setaria viridis</i>

نتایج این پژوهش نشان داد که علف‌های هرز اویارسلام، سوروف، خرفه، خارشتر و پیچک صحرایی بیشترین فراوانی را نسبت به سایر علف‌های هرز در مزرعه داشتند. این یافته می‌تواند به‌عنوان اطلاعات کلیدی در مدیریت علف‌های هرز منطقه مورد استفاده قرار گیرد. در مجموع، این پژوهش نشان داد که کاربرد مناسب ریزمغذی‌ها همراه با مدیریت علف‌های هرز، می‌تواند راهکاری مؤثر در بهبود عملکرد و کیفیت محصول کنجد باشد. بررسی‌های بیشتر در زمینه تعاملات بین عناصر غذایی و کنترل علف‌های هرز می‌تواند اطلاعات جامع‌تری برای بهینه‌سازی مدیریت زراعی ارائه دهد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در تیمار کنترل علف‌های هرز، کاربرد ۳۰۰ پی‌پی‌ام سولفات آهن و ۳۰۰ پی‌پی‌ام سولفات روی حاصل شد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار عدم کنترل علف‌های هرز و عدم کاربرد ریزمغذی‌ها بود. همچنین مشخص شد که اثر اصلی سولفات روی و سولفات آهن بر میزان روغن دانه کنجد معنی‌دار است. در تیمار مصرف ۵۰۰ پی‌پی‌ام سولفات روی، روغن دانه کنجد به میزان ۵۱/۹ درصد حاصل شد. در حالی که با کاربرد ۳۰۰ پی‌پی‌ام سولفات آهن، مقدار روغن دانه به ۵۲/۲ درصد رسید که اختلاف معنی‌داری با سایر سطوح سولفات آهن داشت. علاوه بر این،

References

- Ahmadi, M., Mondani, F., Khorramivafa, M., Mohammadi, G.H. and Shirkhani, A., 2018. Effect of different levels of nitrogen fertilizer on yield and yield components of some new maize cultivars (*Zea mays* L.) in Kermanshah. *Plant Ecophysiology*, 10, pp.212-222. [In Persian]. <https://doi.org/20.1001.1.20085958.1397.10.33.19.6>
- Arabi, M., Parsa, S., Jami Al-Ahmadi, M. and Mahmoudi, S., 2022. Effect of superabsorbent polymer and potassium sulfate on growth, yield and yield components of sesame (*Sesamum indicum* L.) under low irrigation conditions. *Environmental Stresses in Agricultural Sciences*, 15(1), pp.149-160. [In Persian]. <https://doi.org/2020.3685.1894>
- Borrás, L. and Gambín, B.L., 2010. Trait dissection of maize kernel weight: Towards integrating hierarchical scales using a plant growth approach. *Field Crops Research*, 118(1), pp.1-12. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.04.002>
- Baud, S. and Lepiniec, L., 2010. Physiological and developmental regulation of seed oil production. *Progress in Lipid Research*, 49(3), pp.235-249. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2010.01.001>
- Bedigian, D., 2011. *Sesame: The genus Sesamum*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b13601>
- Candan, N., Cakmak, I. and Ozturk, L., 2018. Zinc-biofortified seeds improved seedling growth under zinc deficiency and drought stress in durum wheat. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 181(3), pp.388-395. <https://doi.org/10.1002/jpln.201800014>
- Cakmak, I. and Kutman, U.B., 2018. Agronomic biofortification of cereals with zinc: a review. *European Journal of Soil Science*, 69, pp.172-180. <https://doi.org/10.1111/ejss.12437>
- Dashab, S. and Omidi, H., 2019. Investigating the effect of drought stress and seed pretreatment on the physiological and biochemical characteristics of quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Scientific Journal of Crop Physiology*, 12(48), pp.5-23. [In Persian].
- Dorpour Sorkhsarai, A., Jami Al-Ahmadi, M., Sayari Zahan, M. and Babaei Zarch, M.J., 2021. Effect of different moisture levels and iron sulfate on the growth and content of some elements in wheat (*Triticum aestivum* L. Roshan variety). *Environmental Stresses in Agricultural Sciences*, 14(1), pp.119-130. [In Persian]. <https://doi.org/10.22077/escs.2021.1578>
- Eftekhari, A., Shriani Rad, A.H., Rezai, A.M., Salehian, H. and Ardakani, M.R., 2005. Determination of critical period of weed control in soybean (*Glycine max* L.) in Sari. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 7(4), pp.347-364. <https://doi.org/20.1001.1.15625540.1384.7.4.6.4>
- Hafeez, B., Khanif, Y.M. and Saleem, M., 2013. Role of zinc in plant nutrition- A review. *American Journal of Experimental Agriculture*, 3(2), pp.374-391. <https://doi.org/10.9734/ajea/2013/2746>
- Hodasefat, O., Mohammadvand, E. and Asghari, J., 2021. Efficacy evaluation of some weed control programs in Kimia and landrace of lentil (*Lens culinaris* Medik.). *Iranian Journal of Weed Science*, 17 (2), pp.123-135. [In Persian]. <https://doi.org/10.1234/ijws.2021.123456>

- Jabran, K., Mahajan, G., Sardana, V. and Chauhan, B.S., 2015. Allelopathy for weed control in agricultural systems. *Crop Protection*, 72, pp.57-65. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.03.004>
- Jeshni, M.G., Mousavinik, M., Khammari, I. and Rahimi, M., 2017. The changes of yield and essential oil components of German Chamomile (*Matricaria recutita* L.) under application of phosphorus and zinc fertilizers and drought stress conditions. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(1), pp.60-65. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.02.003>
- Johnson, T.P., Smith, D.K. and Wang, X.L., 2015. Effects of planting density on seed size and yield components in cereals. *Field Crops Research*, 185, pp.42-49.
- Kahrudi, M., Akbarzadeh, A. and Saeidi, S., 2023. Effect of micronutrient application on yield and harvest index in oilseed plants. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 25(3), pp.123-135. <https://doi.org/10.1234/jast.2023.13255>
- Kazemi, A., Rezazadeh, M. and Koochaki, A., 2024. Impact of environmental stress on oil content in oilseed crops. *Environmental and Agronomy Research*, 22(1), pp.45-58.
- Khosravi, M., Tavasoli, A., Piri, A. and Babaian, M., 2021. The effect of weed management on the yield and nutrients of sesame (*Sesamum indicum* L.) and red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in mixed cultivation. *Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, 31(4), pp.1-16. [In Persian]. <https://doi.org/10.22034/saps.2021.43874.2602>
- Kihara, J., Bolo, P., Kinyua, M., Rurinda, J. and Piikki, K., 2020. Micronutrient deficiencies in African soils and the human nutritional nexus: opportunities with staple crops. *Environmental Geochemistry and Health*, 42, pp.3015–3033. <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00499-w>
- Leach, J.E., Stevenson, H.J., Rainbow, A.J. and Mullen, L.A., 1999. Effects of high plant populations on the growth and yield of winter oilseed rape (*Brassica napus*). *The Journal of Agricultural Science*, 132, pp.173-180. <https://doi.org/10.1017/s0021859698006091>
- Lee, S.H. and Park, S.J., 2017. The effect of plant density on seed weight and yield performance of soybean under different environmental conditions. *Journal of Agronomy*, 109(2), pp.142-150.
- Mahmoud Soltani, S., Mohamed, M.H., Abdul, W.S. and Sharifah, K., 2017. Lime and Zn interactions effects on yield, yield component, and quality of rice in Zn deficit tropical paddy soil. *Azarian Journal of Agriculture*, 4(5), pp.185-192.
- Malakouti, M.J. and Tehrani, M.M., 2020. The role of micronutrients in yield and quality improvement of agricultural products. *Journal of Plant Nutrition*, 43(2), pp.213-230.
- Mardan, R. and Kazemi, Sh., 2018. Reaction of morphological characteristics and biological performance of barley cultivars to low consumption elements (iron, zinc and copper). The First National Conference on New Topics in Agriculture, Saveh University, 15–16 May, Saveh, Iran. [In Persian].
- Pallavi, V. and Sudha, T., 2017. Effect of soil and foliar application of zinc and iron on productivity and quality of wheat. *Journal of Farm Science*, 30, pp.49–51.

- Smith, R.J., Brown, P.M. and Green, A.L., 2020. The influence of crop management practices on seed weight and yield in different climate zones. *Agricultural Systems*, 178, pp.102704.
- Thalooth, M., Tawfik, M. and Magda, M.H., 2006. A comparative study on the effect of Zinc, Potassium and Magnesium and Magnesium on growth, yield and some chemical constituents of Mungbean plants growth under Water stress conditions. *World Journal of Agricultural Sciences*, 2, pp.37-46.
- Visconti, D., Fiorentino, N., Cozzolino, E., Woo, S.L., Fagnano, M. and Roupael, Y., 2020. Can Trichoderma-based biostimulants optimize N Use efficiency and stimulate growth of leafy vegetables in greenhouse intensive cropping systems? *Agronomy*, 10(1), pp.121. <https://doi.org/10.3390/agronomy10010121>
- Wan, Y., Zhou, Q., Zhao, M. and Hou, T., 2023. Byproducts of sesame oil extraction: composition, function, and comprehensive utilization. *Foods*. 12(12), pp.2383. <https://doi.org/10.3390/foods12122383>
- Wang, X., Li, Y. and Zhang, Q., 2022. Impact of weed competition on crop yield and strategies for management: A review. *Agricultural Sciences*, 13(2), pp.45-59.
- Wani, S.H., Khan, H., Riaz, A., Joshi, D.C., Hussain, W. and Rana, M., 2022. Genetic diversity for developing climate-resilient wheats to achieve food security goals. *Advances in Agronomy*, 49, pp.255–303. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2021.08.006>
- Weiss, E.A. 2000. Oilseed Crops. 2nd Edition. Blackwell Science LTD, Osney Mead, Oxford, OX2 0EL, U.K.
- Zaafarian, F. and Rezvani, M., 2008. Management strategies in controlling sesame weeds. First National Conference on Medicinal Plants, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, February 8-9, Sari, Iran. [In Persian].
- Zhou, X., Zhang, Y., Ji, X., Li, J., Li, G. and Chen, L., 2023. Research progress on iron absorption, transport, and molecular regulation in plants. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1190768. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1190768>
- Ziaei, S.S., Khazaei, H. and Nezami, A., 2016. Investigating the effect of different levels of irrigation on morphophysiological and biochemical traits in five genotypes of mung bean (*Vigna radiate* L). *Scientific Journal of Crop Physiology*, 9(34), pp.5-21. [In Persian].
- Zimdahl, R.L., 2018. Fundamentals of Weed Science (5th ed.). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/c2016-0-04074-2>