

## جایگاه منگنز در تولید و عملکرد زعفران

### The Role of Manganese in Saffron Production and Yield

مهدی زنگی آبادی<sup>۱\*</sup>، نجمه مظلوم<sup>۲</sup>، مجید فروهر<sup>۳</sup>

۱. استادیار پژوهش، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران. (نگارنده مسئول)
  ۲. محقق، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.
  ۳. استادیار پژوهش، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.
- تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۰۵ - شناسانه برنمود رقمی:

#### چکیده

زنگی آبادی، م.، مظلوم، ن.، فروهر، م. . جایگاه منگنز در تولید و عملکرد زعفران  
نشریه ترویجی زعفران و گیاهان دارویی، دوره ۶ - شماره ۱ - پیاپی ۸ - بهار و تابستان ۱۴۰۵ صفحه: ۲۱-۱۴

زعفران (*Crocus sativus* L.) به عنوان یکی از مهم ترین محصولات کشاورزی ایران، نقش مهمی در اقتصاد مناطق خشک و نیمه خشک کشور ایفا می کند. با وجود سهم زیاد ایران در تولید جهانی این محصول، عملکرد بسیاری از مزارع زعفران کمتر از ظرفیت بالقوه آن است که نشان دهنده وجود محدودیت های مدیریتی و تغذیه ای است. در سال های گذشته، تمرکز اصلی مدیریت مزارع بر آبیاری و مصرف کودهای پرمصرف نظیر نیتروژن، فسفر و پتاسیم بوده و نقش عناصر کم مصرف کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در این مطالعه، با تلفیق نتایج مطالعات میدانی، تحلیل های آماری پیشرفته و رویکردهای مبتنی بر هوش مصنوعی، نقش منگنز به عنوان یکی از عناصر مؤثر در رشد زعفران مورد بازنگری قرار گرفت. نتایج نشان داد که منگنز در مقایسه با سایر عناصر و خصوصیات خاکی، دارای دامنه تغییرات زیاد و اثر قابل توجه در ناهمگنی عمقی خاک است. همچنین، شواهد حاصل از مطالعات مبتنی بر شاخص های تغذیه ای گیاه، بیانگر نقش ویژه این عنصر در تعادل تغذیه ای زعفران است. با این حال، تفاوت میان شاخص های مبتنی بر خاک و گیاه نشان می دهد که ارزیابی وضعیت منگنز نیازمند رویکردی تلفیقی است. در مجموع، نتایج این مطالعه بر اهمیت توجه به منگنز در برنامه های مدیریت حاصلخیزی خاک و ضرورت استفاده از آزمایش خاک و تحلیل های دقیق برای بهبود عملکرد و پایداری تولید زعفران تأکید دارد.

واژه های کلیدی: تحلیل داده محور، حاصلخیزی خاک، زعفران، مدیریت تغذیه، منگنز

شمار می آید ( Rezvani Moghaddam et al., 2014).

بر اساس بررسی منابع موجود، بخش عمده‌ای از توصیه‌های فنی برای افزایش عملکرد زعفران در سال‌های گذشته بر مدیریت آبیاری و مصرف کودهای پرمصرف نظیر نیتروژن، فسفر و پتاسیم متمرکز بوده است (El Hajj et al., 2009; Hourani, 2022; Nehvi et al., 2024). هرچند این عناصر نقش اساسی در رشد و توسعه گیاه دارند، اما تمرکز صرف بر آنها نمی‌تواند به تنهایی افزایش پایدار عملکرد را تضمین کند. در این میان، عناصر کم‌مصرف، به‌ویژه منگنز، به دلیل نقش در فرآیندهایی نظیر فتوسنتز، فعال‌سازی آنزیم‌ها و افزایش تحمل به تنش‌های محیطی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Schmidt & Husted, 2019).

به دلیل آهکی و قلیایی بودن بسیاری از خاک‌های ایران، منگنز اغلب به شکل غیرقابل جذب تبدیل می‌شود. بنابراین، حتی در خاک‌هایی که دارای مقدار قابل توجهی منگنز کل هستند، امکان بروز کمبود در گیاه وجود دارد. کمبود منگنز در سطح وسیعی از خاک‌های آهکی ایران وجود دارد، اما به دلیل کمبود نسبی پتاسیم، آهن و روی در بیشتر مزارع جایی برای خودنمایی کمبود منگنز باقی نمانده است. با توجه به بررسی‌های به عمل آمده، میانگین حد بحرانی منگنز ۴/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک گزارش شده است (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۷). کمبود منگنز قابل جذب در خاک می‌تواند منجر به کاهش رشد، ضعف بنه و در نهایت افت عملکرد شود. با این حال، در

زعفران (*Crocus sativus* L.) یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی ایران است که علاوه بر ارزش اقتصادی قابل توجه، نقش بسزایی در اشتغال و توسعه مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور ایفا می‌کند. ایران طی دهه‌های اخیر با تولید بیش از ۸۵ تا ۹۰ درصد زعفران جهان، جایگاه نخست را در این زمینه به خود اختصاص داده و استان خراسان رضوی به عنوان قطب اصلی تولید این محصول شناخته می‌شود (آقایی و رضاقلیزاده، ۱۳۹۰). با وجود سابقه طولانی کشت این گیاه در ایران، میانگین عملکرد در بسیاری از مزارع زعفران همچنان کمتر از ظرفیت بالقوه آن است. این خلا عملکردی، لزوم بازنگری در شیوه‌های مدیریتی و شناسایی دقیق عوامل محدودکننده تولید را بیش از پیش آشکار می‌سازد. مطالعات انجام شده در کشورهای تولیدکننده زعفران، از جمله ایتالیا و اسپانیا، نشان داده است که بهبود عملکرد این گیاه به عواملی نظیر تغذیه متعادل، استفاده از بنه‌های درشت و سالم، کاشت صحیح، مدیریت مناسب مزرعه و برداشت اصولی وابسته است (Shajari et al., 2022). افزون بر این، هر عاملی که بتواند اثر تنش‌های محیطی را کاهش داده و نیازهای تغذیه‌ای گیاه را به‌طور کامل تأمین کند، می‌تواند نقش مؤثری در کاهش شکاف عملکردی ایفا نماید (Behdani & Fallahi, 2015). افزایش عملکرد زعفران از طریق بهبود مدیریت زراعی و انجام پژوهش‌های کاربردی، امری ضروری به

مبتنی بر شاخص‌های تغذیه‌ای، منگنز به عنوان یکی از عناصر مؤثر در تعادل تغذیه‌ای گیاه زعفران شناسایی شده و در اولویت کوددهی در مزارع زعفران خراسان رضوی قرار گرفته است (ذبیحی و همکاران، ۱۴۰۱). نتایج یک مطالعه میدانی گسترده بر روی ۳۲۸ نقطه نمونه برداری خاک در اراضی استان خراسان رضوی در دو عمق ۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر نیز نشان داد که مقدار منگنز بیشترین تغییرات را در اعماق مختلف خاک نسبت به سایر ویژگی‌های خاکی دارد (مظلوم و زنگی آبادی، ۱۴۰۴). این موضوع نشان می‌دهد که منگنز یکی از عواملی است که می‌تواند باعث تفاوت در حاصلخیزی خاک و در نهایت رشد گیاه در مزارع شود.

در این میان، باید توجه داشت که مدیریت منگنز در مقایسه با عناصر پرمصرف، پیچیدگی بیشتری دارد. به عنوان مثال، در خاک‌های آهکی و قلیایی که بخش عمده‌ای از اراضی ایران را شامل می‌شوند، منگنز به اشکال غیرقابل جذب تبدیل شده و در نتیجه، با وجود حضور آن در خاک، گیاه با کمبود مواجه می‌شود. از سوی دیگر، برخلاف تصور رایج هدف مدیریت تغذیه، تنها افزایش کمی عناصر نیست، بلکه ایجاد تعادل در دسترسی عناصر غذایی است. همان‌گونه که کمبود منگنز می‌تواند رشد گیاه را محدود کند، مقادیر بیش از حد آن نیز در برخی شرایط می‌تواند موجب بروز سمیت و اختلال در جذب سایر عناصر شود. بنابراین، مدیریت این عنصر باید بر اساس تأمین متعادل و هدفمند آن انجام گیرد.

بسیاری از مزارع، بدون انجام آزمایش خاک و آگاهی از وضعیت عناصر کم مصرف، از کودهای رایج و مطابق با عرف منطقه استفاده می‌شود که می‌تواند به عدم تعادل تغذیه‌ای و کاهش کارایی نهاده‌ها منجر شود. از سوی دیگر، مطالعات جدید مبتنی بر تحلیل داده و مدل‌های پیشرفته، نقش برخی عناصر کم مصرف را در محدودیت رشد زعفران برجسته کرده‌اند. بنابراین، شناسایی دقیق وضعیت منگنز در خاک و گیاه و ارائه راهکارهای مدیریتی مبتنی بر داده، می‌تواند نقش مهمی در کاهش شکاف عملکردی و بهبود بهره‌وری مزارع زعفران ایفا کند.

## معرفی دستاورد یا راهکار

### ۱. بررسی عوامل مؤثر بر عملکرد زعفران

نتایج مطالعات اخیر نشان می‌دهد که برخی عناصر کم مصرف، به ویژه منگنز، نقش تعیین‌کننده‌ای در رشد و پایداری تولید این گیاه دارند. در این میان، نتایج حاصل از مدل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی نشان داده‌اند که منگنز می‌تواند به عنوان یکی از متغیرهای اثرگذار در رشد زعفران مطرح باشد. نتایج یک مطالعه مدل‌سازی مبتنی بر هوش مصنوعی نشان داد که منگنز مهم‌ترین پارامتر خاکی مؤثر بر رشد زعفران است (کبیری سامانی و همکاران، ۱۴۰۴). این پژوهش در ۱۴۴ مزرعه شامل مزارع ۳ تا ۵ ساله زیر کشت زعفران در استان‌های مختلف از جمله خراسان رضوی، شمالی و جنوبی اجرا گردید. همچنین، در مطالعات

## ۲. الگوی توزیع و وضعیت منگنز در اراضی

### کشاورزی استان خراسان رضوی

نتایج بررسی ۳۲۸ نمونه خاک در اراضی استان خراسان رضوی نشان داد که منگنز یکی از متغیرترین عناصر کم‌مصرف در خاک‌های استان خراسان رضوی است. دامنه تغییرات این عنصر (مقدار قابل جذب) در لایه سطحی بین ۶/۱ تا ۲۹ و در لایه عمقی بین ۲/۱ تا ۲۶ میلی‌گرم در کیلوگرم بود که بیانگر ناهمگنی شدید در سطح مزرعه و منطقه است (شکل ۱). در این مطالعه، میانگین منگنز قابل جذب در لایه سطحی و عمقی به ترتیب ۶/۵ و ۵/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم بود که با در نظر گرفتن حد بحرانی معادل ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۷)، حدود ۳۲ درصد از خاک‌های لایه سطحی و ۵۳ درصد از خاک‌های لایه عمقی در محدوده کمبود قرار گرفتند (شکل ۲). در مجموع، حدود ۴۳ درصد از کل نمونه خاک‌های استان دارای کمبود منگنز بودند که بیانگر گستردگی این محدودیت تغذیه‌ای در اراضی مورد مطالعه است (مظلوم و زنگی آبادی، ۱۴۰۴). مقایسه عمقی نتایج نیز نشان داد که شدت کمبود منگنز در لایه‌های عمقی بیشتر از لایه سطحی است. این موضوع از یک‌سو نشان‌دهنده محدود بودن ذخایر قابل دسترس منگنز در خاک‌رخ و از سوی دیگر بیانگر وابستگی شدید تأمین این عنصر به لایه سطحی خاک است. این موضوع با ماهیت تجمعی عناصر کم‌مصرف در لایه‌های سطحی خاک و نقش ماده آلی و فعالیت زیستی در این بخش از خاک‌رخ قابل توجیه است. با

توجه به استقرار عمده سیستم ریشه‌ای زعفران در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر، این یافته اهمیت مدیریت هدفمند منگنز در لایه سطحی خاک را بیش از پیش برجسته می‌سازد.

همگرایی نتایج حاصل از مطالعات میدانی و تحلیلی، شواهد محکمی را در خصوص نقش کلیدی منگنز در تولید زعفران فراهم می‌کند. در مجموع، این نتایج تأیید می‌کند که منگنز می‌تواند به‌عنوان یکی از عوامل محدودکننده عملکرد زعفران در بخش قابل توجهی از مزارع عمل کند. با این حال، آگاهی محدود بهره‌برداران از اهمیت این عنصر و عدم توجه کافی به آزمایش خاک و گیاه، از جمله چالش‌های اصلی در مدیریت مزارع زعفران به شمار می‌رود.

### ۳. پیامدهای مدیریتی و راهکارهای کاربردی

#### برای بهبود وضعیت منگنز

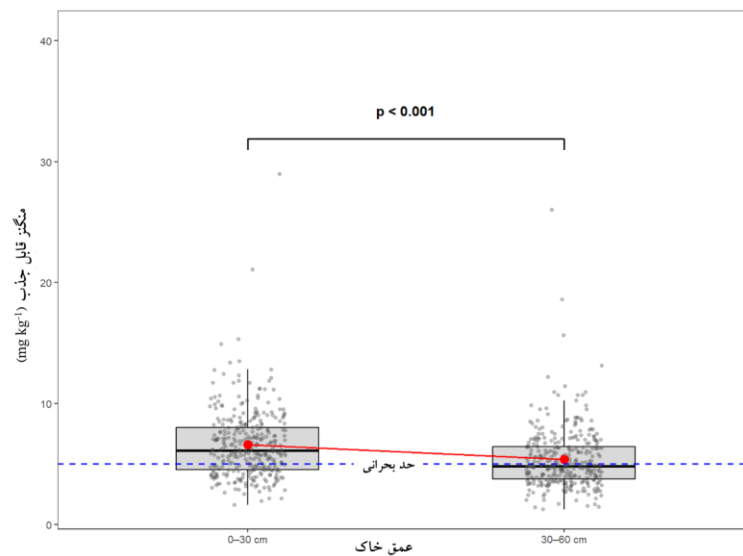
نتایج این مطالعه نشان داد که مدیریت منگنز باید از حالت توصیه‌های کلی خارج شده و به سمت مدیریت دقیق و مبتنی بر داده حرکت کند. در این راستا:

-انجام آزمون خاک به‌عنوان پایه تصمیم‌گیری ضروری است.

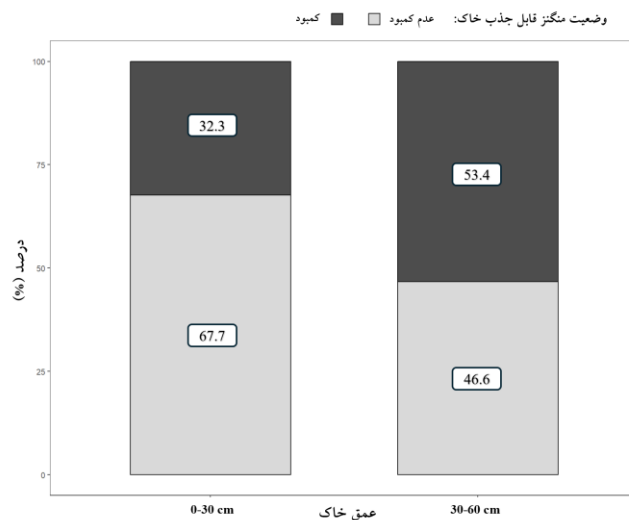
-اصلاح شرایط خاک (کاهش پ‌هاش و افزایش ماده آلی) می‌تواند دسترسی منگنز را افزایش دهد.

-در شرایط کمبود، استفاده هدفمند از کودهای منگنز مانند سولفات منگنز توصیه می‌شود.

-با توجه به ناهمگنی بالا، استفاده از مدیریت



شکل ۱- توزیع منگنز قابل جذب خاک در استان خراسان رضوی در دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ (مظلوم و زنگی آبادی، ۱۴۰۴)؛ جعبه‌ها نشان‌دهنده دامنه بین چارکی و خط وسط هر جعبه بیانگر میانه داده‌ها است. نقاط قرمز و خط چین آبی به ترتیب نشان‌دهنده میانگین منگنز قابل جذب در هر عمق و حد بحرانی منگنز در خاک‌های ایران هستند. نقاط پراکنده، داده‌های مشاهده‌شده در هر عمق را نمایش می‌دهند. مقدار p-value آزمون t زوجی در بالای شکل نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین دو عمق است.



شکل ۲- درصد خاک‌های دارای کمبود و عدم کمبود منگنز در دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری

خاک استان خراسان رضوی

ج. مصرف هدفمند کود و توجه به نیاز مزرعه در خاک‌های دارای کمبود، استفاده از کودهایی مانند سولفات منگنز به صورت خاکی یا محلول‌پاشی می‌تواند مؤثر باشد. در اراضی وسیع، به دلیل ناهمگنی خاک، یک نسخه کوددهی برای کل مزرعه مناسب نیست. در صورت امکان، از مدیریت تغذیه مکانی استفاده گردد. علاوه بر این لازم است به تفاوت مقادیر منگنز در لایه‌های سطحی و زیرسطحی توجه شود.

#### د. توجه به پایش دوره‌ای

وضعیت عناصر کم‌مصرف مانند منگنز باید هر چند سال یک بار بررسی شود تا از بروز کمبود یا عدم تعادل جلوگیری گردد.

تغذیه مکانی می‌تواند کارایی مصرف کود را افزایش دهد.

نتایج این مطالعه نشان داد که مدیریت منگنز در مزارع زعفران نمی‌تواند بر پایه یک عدد ثابت انجام شود. شرایط خاک، ویژگی‌های گیاه و عوامل محیطی همگی در تعیین وضعیت این عنصر نقش دارند. بنابراین، استفاده از آزمون خاک، توجه به شاخص‌های گیاهی و حد بحرانی منگنز و نیز بهره‌گیری از تحلیل‌های داده‌محور، می‌تواند به تصمیم‌گیری دقیق‌تر در مدیریت تغذیه کمک کند. توجه هدفمند به عناصر کم‌مصرف، به‌ویژه منگنز، در کنار سایر عوامل مدیریتی، می‌تواند نقش مهمی در افزایش بهره‌وری و پایداری تولید زعفران ایفا کند.

#### توصیه ترویجی

##### الف. ضرورت توجه به آزمون خاک

با توجه به اینکه حدود ۴۳ درصد از اراضی با کمبود منگنز مواجه هستند، توصیه می‌شود پیش از هرگونه مصرف کود، وضعیت این عنصر از طریق آزمون خاک بررسی شود تا از مصرف غیرهدفمند جلوگیری گردد.

##### ب. مصرف کود براساس توصیه کارشناسان

مقدار مناسب منگنز در همه خاک‌ها یکسان نیست. شرایط خاک، پهاش و نوع مزرعه تعیین‌کننده نیاز واقعی گیاه هستند. در خاک‌های آهکی و قلیایی، حتی اگر منگنز در خاک وجود داشته باشد، ممکن است برای گیاه قابل جذب نباشد. بنابراین اصلاح شرایط خاک (افزایش ماده آلی و بهبود پهاش) بسیار مهم است.

### فهرست منابع

1. آقایی، م. و رضاقلیزاده، م. (۱۳۹۰). بررسی مزیت نسبی ایران در تولید زعفران. مجله اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۲۵ (۱).
2. حسنزاده اول، ف.، رضوانی مقدم، پ.، بنایاناول، م. و خراسانی، ر. (۱۳۹۴). تأثیر وزن بنه مادری و محلولپاشی بر ویژگی‌های بنه دختری و عملکرد گل زعفران (*Crocus sativus* L.) در سال اول. پژوهش‌های زعفران. ۲ (۱)، ۷۳-۸۴.
3. ذبیحی، ح. ر.، عطاردی، ب.، آخوندزاده فاضلی، م.، پوزشی، ر.، اسمی، ر.، دانش، م.، موسوی نسب، س. م.، عطا حسینی سنگنقره، س. ا. و جواهری، س. (۱۴۰۱). شناخت وضعیت تغذیه‌ای زعفران در استان‌های خراسان. موسسه تحقیقات خاک و آب.
4. کبیری سامانی، پ.، صالحی، م. ح.، کاوه، ح.، شیرانی، ح. و یغمائیان مهابادی، ن. (۱۴۰۴). تعیین ویژگی‌های موثر بر عملکرد زعفران با استفاده از الگوریتم ترکیبی ژنتیک شبکه - عصبی مصنوعی، نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار (در دست انتشار).
5. مظلوم، ن. و زنگی آبادی، م. (۴۰۴۱). ارزیابی عمقی ویژگی‌های خاک با استفاده از رویکرد تلفیقی مبتنی بر اندازه اثر و تحلیل چندمتغیره (مطالعه موردی: خاک‌های استان خراسان رضوی). آب و خاک. ۹۳ (۶).
6. ملکوتی، م. ج.، کشاورز، پ. و کریمیان، ن. (۱۳۸۷). روش جامع تشخیص و توصیه بهینه کود برای کشاورزی پایدار. دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
7. Behdani, M., & Fallahi, H. (2015). Saffron: Technical knowledge based on research approaches. *University of Birjand Publication, Birjand, IR (In Persian)*.
8. El Hajj, A. K., Chamandy, A., Sayour, F., Jaber, S., & Oueidat, N. (2024). Optimizing saffron (*Crocus sativus*) yield and quality through nutrient inputs and timing. *Italian Journal of Agronomy*, 19(2), 100009.
9. Hourani, W. (2022). Effect of fertilizers on growth and productivity of saffron: a review.
10. Nehvi, F., Lone, A. A., Khan, M., & Maqhdoomi, M. (2009). *Comparative study on effect of nutrient management on growth and yield of saffron under temperate conditions of Kashmir*. Paper presented at the III International Symposium on Saffron: Forthcoming Challenges in Cultivation, Research and Economics 850.
11. Rezvani Moghaddam, P., Mohammadabadi, A., Fallahi, H., & Aghhavani Shajari, M. (2014). The effect of nutritional management on flower yield and corm growth in cultivated saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Horticultural Science*, 28(3), 427-434.

12. Schmidt, S. B., & Husted, S. (2019). The Biochemical Properties of Manganese in Plants. *Plants (Basel)*, 8(10). doi:10.3390/plants8100381
13. Shajari, M. A., Moghaddam, P. R., Ghorbani, R., & Koocheki, A. (2022). Does nutrient and irrigation managements alter the quality and yield of saffron (*Crocus sativus* L.) *Agricultural Water Management*, 267, 107629.