

The effect of foliar applications of Fe and salicylic acid in sesame (*Sesamum indicum* L.). under water deficit conditions

Mohammad Behzad Amiri^{1,2*}, Mohammad Sepehri Bimorghi³, Atefeh Mirzaeian⁴

1- Associate professor, Department of Plant Production, Faculty of Agriculture, University of Gonabad, Iran.

amiri@gonabad.ac.ir, dr.amiri.ug@gmail.com

2- Associate Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

3- Graduated Student of Medicinal Plants and Drugs Research Institute, Beheshti University of Tehran, Iran

4- Ph.D. Student, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Introduction

Sesame, with the scientific name *Sesamum indicum* L., is a member of the Pedaliaceae family. It is one of the oldest and most popular oilseeds known in the world and has the highest oil and seed protein content among oilseed plants (Wei *et al.*, 2015). This plant is typically cultivated as a drought-resistant plant in arid and semi-arid regions, however, there have been reports of a significant effect of deficit irrigation on sesame yield and a decrease in the number of capsules per plant, number of seeds per plant, thousand-seed weight, grain yield, and biological yield under drought stress compared to full irrigation (Ayobizadeh, Laei, Amini Dehghani, Sinaki, & Rezvan, 2020).

Plants are constantly exposed to various stresses, and drought stress is the most important factor limiting crop yield in many parts of the world (Arvin, Vafa bakhsh, & Mazaheri, 2018). Given that most of Iran's oil needs are imported (Atarodi, Irannezhad, Shiranirad, Amir, & Amiri, 2011) and the limited water resources, the development of water-resistant oilseed crops is essential (Kazemi, Khajehosseini, Nezami, & Eskandari, 2016). The application of micronutrients through foliar application can improve plant growth under stress conditions (Rezaeichiane, Khoramdel, Molodi, & Rahimi, 2017). Among the micronutrients, Fe is particularly important for many metabolic activities in plants; therefore, plants require sufficient amounts of this element to continue their growth. Fe deficiency causes a significant reduction in the yield and quality of the crop (Pandey, Sanjay, & Yadav, 2010; Heydari *et al.*, 2016).

Salicylic acid is a plant regulator that is effective in increasing plant tolerance to stresses such as drought and plays a fundamental role in regulating plant physiological processes. Increased germination, induction of flowering, improved growth and development,

increased yield and fruit yield, inhibition of ethylene synthesis, and effects on plant activities including stomatal opening and closing, water relations, membrane stability, nutrient absorption, and activation of disease resistance factors are some of the cases attributed to the use of salicylic acid (Hafeez *et al.*, 2017; Ghassemi, Ghassemi-Golezani, & Zehtab Salamis, 2019).

Considering the arid and semi-arid climate of Iran and the importance of sesame as a special crop in tropical and subtropical regions and its numerous applications in various food and cosmetic industries, and since few studies have been conducted on reducing the effects of drought stress in sesame cultivation using ecological inputs, this study aimed to investigate the effects of foliar application of Fe and salicylic acid on the growth characteristics and yield of sesame under deficit irrigation conditions.

Materials and methods

In order to investigate the response of sesame to drought stress, and especially the effect of foliar spraying with iron and salicylic acid, an experiment was conducted as a factorial split-plot in a randomized complete block design with three replications at the research farm of the Faculty of Agriculture, Gonabad University in 2020-2021. Three different irrigation levels (full irrigation, cut-off irrigation at the podding stage, and cut-off irrigation at the flowering stage) were applied to the main plots and a factorial combination of foliar spraying and non-foliar spraying of salicylic acid and Fe (iron) was applied to the subplots.

At the end of the growing season, with the beginning of the seed ripening stage and the drying of the plant's aerial parts, plants of 0.1 m² from each experimental plot were randomly selected and traits such as plant height, aerial dry weight, number of pods per plant, number of seeds per pod, number of seeds per plant, seed weight per plant, and 1,000-seed weight were measured. To determine the seed yield, biological yield, and harvest index, after removing the marginal effect, plants from the entire experimental plot were harvested and their total and seed weights were determined.

Data analysis of variance (ANOVA) and graphing were performed using Ver. SAS 9.4 and MS Excel Ver. 11 and comparison of treatment means was performed using Duncan's multiple range test at a probability level of 5%.

Results and discussion

The maximum plant height was observed under the combined application of salicylic acid and Fe with full irrigation (82.66 cm), while the minimum plant height was recorded in the treatment without salicylic acid and Fe application under cut-off irrigation at the flowering stage (42.66 cm).

The highest number of seeds per capsule was obtained in the treatment with combined foliar application of salicylic acid and Fe under cut-off irrigation at the podding stage (56.66), whereas the lowest value for this trait was observed in the absence of salicylic acid and Fe application under cut-off irrigation at the flowering stage (22.77 seeds per capsule). Cut-off irrigation at the podding and flowering stages led to a reduction in seed yield by 39% and 55%, respectively, compared to full irrigation. Foliar application of iron increased seed yield by 18% compared to the non-application of Fe. The treatment involving cut-off irrigation at the podding stage, combined foliar application of salicylic acid and Fe, and separate foliar application of salicylic acid and Fe increased the harvest index by 16%, 7%, and 6%, respectively, compared to the non-application of foliar treatments.

Conclusions

In general, it appears that foliar application of 1 mM salicylic acid and 5 in 1000 Fe mitigated the adverse effects of cut-off irrigation at podding and flowering stages in sesame.

Keywords: Harvest index, Micronutrients, Organic acid, Seed yield, Cut of irrigation.

اثر محلول پاشی آهن و اسید سالیسیلیک بر خصوصیات رشدی و عملکرد کنگد (*sesamum*

indicum L. در شرایط کم آبیاری

محمد بهزاد امیری^۱ و^۲، محمد سپهری بیمرغی^۳ و عاطفه میرزائیان^۴

۱- دانشیار گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی مجتمع آموزش عالی گناباد*

dr.amiri.ug@gmail.com

۲- دانشیار مأمور آموزشی گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد*

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد، پژوهشکده گیاهان و مواد اولیه دارویی، دانشگاه شهید بهشتی تهران

۴- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

یکی از اثرات تنش خشکی بر هم زدن تعادل تغذیه‌ای در گیاهان است. کاربرد عناصر غذایی مانند آهن به صورت محلول پاشی به دلیل تأثیر در افزایش مقاومت به تنش‌های غیر زیستی می‌تواند در کاهش خسارت ناشی از کمبود آب مؤثر باشد. اسید سالیسیلیک یکی از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی است که در افزایش تحمل گیاهان به تنش‌هایی هم چون خشکی مؤثر است. به منظور بررسی واکنش کنگد به خشکی به‌ویژه تأثیر محلول پاشی با آهن و اسید سالیسیلیک آزمایشی در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه مجتمع آموزش عالی گناباد با سه تکرار انجام شد. سه سطح مختلف آبیاری (آبیاری کامل، قطع آبیاری از مرحله گلدهی و از مرحله کپسول‌دهی تا انتهای فصل رشد) در کرت‌های اصلی، و محلول پاشی

(یک میلی مولار) و عدم محلول پاشی اسید سالیسیلیک و ریزمغذی آهن (۳ در هزار) به صورت فاکتوریل در کرت های فرعی قرار گرفتند. بیشترین ارتفاع بوته در شرایط کاربرد همزمان اسید سالیسیلیک و آهن در آبیاری کامل (۸۲/۶۶ سانتی متر) و کمترین ارتفاع بوته در تیمار عدم کاربرد اسید سالیسیلیک و آهن و شرایط قطع آبیاری در مرحله گلدهی (۴۲/۶۶ سانتی متر) مشاهده شد. بیشترین تعداد دانه در کپسول در تیمار کاربرد همزمان محلول پاشی اسید سالیسیلیک و آهن در تیمار قطع آبیاری در مرحله کپسول دهی (۵۶/۶۶) و کمترین مقدار این صفت در شرایط عدم کاربرد اسید سالیسیلیک و آهن و تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی (۲۲/۷۷) دانه در کپسول) به دست آمد. با قطع آبیاری در مرحله کپسول دهی و گلدهی عملکرد دانه به ترتیب ۳۹ و ۵۵ درصد نسبت به آبیاری کامل کاهش یافت و محلول پاشی آهن باعث افزایش عملکرد دانه به میزان ۱۸ درصد نسبت به عدم مصرف آهن شد. تیمار قطع آبیاری در مرحله کپسول دهی، محلول پاشی همزمان اسید سالیسیلیک و آهن و محلول پاشی جداگانه اسید سالیسیلیک و آهن شاخص برداشت را به ترتیب ۱۶، ۷ و ۶ درصد نسبت به عدم کاربرد محلول پاشی افزایش داد. به طور کلی، به نظر می رسد که محلول پاشی یک میلی مولار اسید سالیسیلیک و ۵ در هزار آهن اثرات منفی قطع آبیاری در مرحله گلدهی و کپسول دهی در کنجد را کاهش داد.

واژه های کلیدی: اسید آلی، شاخص برداشت، عملکرد دانه، عناصر ریزمغذی، قطع آبیاری.

مقدمه

کنجد با نام علمی (*Sesamum indicum* L.) از تیره کنجدیان^۱، یکی از قدیمی ترین و پر طرفدارترین دانه های روغنی شناخته شده دنیاست و در بین گیاهان دانه روغنی، دارای بالاترین میزان روغن و پرتتین دانه می باشد (Wei et al., 2015). کنجد حاوی کلیه اسیدهای آمینه و اسیدهای چرب ضروری بوده و سرشار از ویتامین ها و مواد معدنی مانند کلسیم و فسفر می باشد (Saudy, Eb-). این گیاه به طور معمول به عنوان یک گیاه مناطق خشک و نیمه خشک و مقاوم به کم آبی کشت می شود، با این حال گزارش هایی مبنی بر تأثیر معنی دار آبیاری محدود، بر عملکرد کنجد و کاهش تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد کل تحت تأثیر تنش خشکی نسبت به آبیاری کامل گزارش شده است (Ayobizadeh, Laei, Amini Dehghani, Sinaki, & Rezvan, 2020). گیاهان تحت شرایط طبیعی و زراعی به طور مداوم در معرض تنش های مختلف قرار می گیرند و در این بین تنش خشکی مهم ترین عامل محدود کننده عملکرد گیاهان زراعی در بسیاری از نقاط جهان می باشد (Arvin, Vafa bakhsh, & Mazaheri, 2018). مطابق با گزارش سالانه واردات روغن نباتی گمرک جمهوری اسلامی ایران، میزان واردات روغن نباتی کشور در سال ۱۴۰۱ حدود ۱/۲ میلیون تن برآورد شده که مؤید این مطلب است که قسمت اعظم روغن مورد نیاز کشور از خارج وارد می شود (IRICA, 2020) و نظر به محدودیت منابع آب، توسعه کشت دانه های روغنی مقاوم به کمبود آب ضروری است (Kazemi, Khajehosseini, Nezami, & Eskandari, 2016).

یکی از اثرات مهم تنش خشکی برهم زدن تعادل تغذیه ای در گیاه (از طریق کاهش حلالیت و کاهش جذب عناصر) است (Heydari, Gelich, Gorbani, & Baradaran Firozabadi, 2016). با کاربرد عناصر غذایی کم مصرف از طریق محلول پاشی

می‌توان وضعیت رشد گیاه را در شرایط تنش بهبود بخشید (Rezaeichiane, Khoramdel, Molodi, & Rahimi, 2017). در بین عناصر کم‌مصرف، آهن برای انجام بسیاری از فعالیت‌های سوخت‌وسازی گیاهان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ بنابراین گیاهان برای ادامه رشد خود نیاز به میزان کافی از این عنصر دارند. کمبود آهن بسته به عامل‌های پر شمار خاکی، محیطی و ژنتیکی گیاهان، سبب کاهش قابل ملاحظه عملکرد و کیفیت محصول می‌شود و تأمین کافی آهن از طریق بهبود فرآیندهای متابولیکی و افزایش کارایی فتوسنتز و سیستم آنتی‌اکسیدانی تحمل گیاه به شرایط خشکی را افزایش می‌دهد (Pandey, Sanjay, & Yadav, 2010; Heydari *et al.*, 2016). آهن در تنظیم باز و بسته شدن روزنه‌ها مؤثر است؛ در شرایط تنش خشکی گیاه برای کاهش از دست دادن آب، روزنه‌ها را می‌بندد، ولی بسته ماندن طولانی‌مدت روزنه‌ها، جذب دی‌اکسید کربن و در نتیجه فتوسنتز را کاهش می‌دهد و محلول‌پاشی آهن، هدایت روزنه‌ای را بهبود بخشیده و منجر به افزایش جذب دی‌اکسید کربن می‌شود (Mahmoodi Sourestani, Moghadam, & Farrokhan Firoozi, 2016). ایوب زاده و همکاران (Ayobizadeh *et al.*, 2020) بیان داشتند که بیشترین تعداد کپسول، تعداد دانه، وزن هزار دانه، عملکرد کل و عملکرد دانه و عملکرد کل کنگد در تیمار محلول‌پاشی نانو کلات آهن به همراه اسید فولیک حاصل شد. در پژوهشی دیگر، محلول‌پاشی ۰/۱۵ درصد نانواکسید آهن تعداد کپسول در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد کل و شاخص برداشت کنگد را تحت تنش خشکی به‌طور معنی‌داری بهبود بخشید (Karamian Hasan Abadi, Eisvand, Danehvar, & Akbarpour, 2021). حیدری و همکاران (Heydari *et al.*, 2016) اظهار داشتند با کاربرد نانو اکسید آهن عملکرد دانه در کنگد افزایش یافت. اثرات مثبت محلول‌پاشی آهن در کاهش خسارات ناشی از تنش خشکی در گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) (Shokri, Soheili- Movahhed, Khomari, Sheikhzadeh, & Alizadeh, 2020) و گندم (*Triticum aestivum* L.) (Hooshmand, Golabi, Alemzade, & Struve 2022) نیز گزارش شده است. اسید سالیسیلیک یکی از تنظیم‌کننده‌های گیاهی است که در افزایش تحمل گیاهان به تنش‌هایی هم چون خشکی مؤثر بوده و در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه دارای نقش اساسی می‌باشد. افزایش جوانه‌زنی، القای گلدهی، بهبود رشد و نمو، افزایش میزان محصول و عملکرد میوه، بازدارندگی ستر اتیلن و تأثیر در فعالیت‌های گیاهی از جمله باز و بسته شدن روزنه‌ها، روابط آبی، پایداری غشا، جذب عناصر غذایی و فعال شدن عامل ایجاد مقاومت به بیماری از مواردی است که به کاربرد اسید سالیسیلیک نسبت داده می‌شود (Salamis, 2019 Hafeez *et al.*, 2017; Ghassemi, Ghassemi-Golezani, & Zehtab). اسید سالیسیلیک با کاهش پراکسیداسیون لیپیدها و حفظ یکپارچگی غشاهای سلولی، از آسیب به سلول‌ها در شرایط تنش خشکی جلوگیری می‌کند (Khan, Fatma, Per, Anjum, & Khan, 2015). این اسید با تأثیر بر کانال‌های یونی و پمپ‌های پروتونی در سلول‌های محافظ روزنه و کلر در شرایط تنش خشکی باعث تغییر در پتانسیل غشای سلولی و خروج یون‌های پتاسیم از سلول‌های محافظ روزنه شده و در نهایت باعث بسته شدن روزنه‌ها می‌گردد (Miura & Tada, 2014). در یک پژوهش، کاربرد ۲۰۰ پی‌پی‌ام اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی منجر به تولید بیشترین عملکرد دانه در کنگد شد (Ahmed & Ali, 2024). در پژوهشی دیگر، در شرایط تنش خشکی بهره‌وری آب آبیاری تحت‌تأثیر کاربرد یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک ۳۶ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (Jahan, Javadi, Hesami, & Jahan, 2024).

(Amiri, 2021). کاربرد ۲۵ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک افزایش معنی دار تعداد کپسول در بوته، وزن خشک کپسول، وزن هزار دانه و عملکرد دانه کنجد را در مقایسه با تیمار شاهد در پی داشت (Alizadeh, Balouchi, & Yadavi, 2016). بهبود عملکرد دانه با محلول پاشی اسید سالیسیلیک در سویا (*Glycine max* L.) (Razmi, Ebadi, Daneshian, & Jahanbakhsh, 2017)، ارزن (*Panicum miliaceum* L.) (Kolupaev, Yastreb, Karpets, & Miroshnichenko, 2011) و آفتابگردان (*Helianthus* L.) (Hussain et al, 2009) گزارش شده است.

از آنجایی که کنجد عمدتاً در مناطق خشک و نیمه خشک که با محدودیت منابع آبی روبرو هستند کشت می شود و به منظور ارزیابی مقاومت گیاه به کم آبی در مراحل حساس رشد (گلدهی و کپسول دهی)، این پژوهش با هدف بررسی محلول پاشی آهن و اسید سالیسیلیک بر ویژگی های رشدی و عملکرد کنجد در شرایط کم آبیاری انجام شد.

مواد و روش ها

به منظور بررسی اثر محلول پاشی اسید سالیسیلیک و آهن بر برخی خصوصیات رشدی و عملکرد کنجد در شرایط کم آبیاری، آزمایشی در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مزرعه آموزشی تحقیقاتی مجتمع آموزش عالی گناباد با عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۴۵ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۰۶۰ متر از سطح دریا، به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. سه سطح مختلف آبیاری (آبیاری کامل، قطع آبیاری از مرحله گلدهی و از مرحله کپسول دهی تا انتهای فصل رشد) در کرت های اصلی و کاربرد و عدم کاربرد اسید سالیسیلیک (یک میلی مولار) (Jahan & Amiri, 2018) و ریزمغذی آهن (۵ در هزار) (Ahmadi, Seyfi, & Amini, 2013) به صورت فاکتوریل در کرت های فرعی قرار گرفتند. ابعاد کرت های اصلی ۸×۲ متر، ابعاد کرت های فرعی ۲×۲ متر، فاصله بین کرت ها ۰/۵ متر و فاصله بین بلوک ها ۱ متر در نظر گرفته شد. به منظور حفظ پایداری خاک، جهت آماده سازی زمین تنها عملیات دیسک زنی با تأکید بر خاک ورزی حداقل مدنظر قرار گرفت و کلیه مراحل بعدی توسط کارگر و با بیل دستی انجام شد. قبل از شروع آزمایشات مزرعه ای، به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری خاک نمونه برداری انجام گرفت (جدول ۱). اطلاعات هواشناسی منطقه مورد پژوهش در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه ای آزمایشی

Table 1- Physiochemical properties of experimental soil

بافت خاک Soil texture	نیتروژن کل Total Nitrogen (%)	فسفر Phosphorus (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم Potassium (mg.kg ⁻¹)	کربن آلی Organic carbon (%)	اسیدیته pH	شوری EC (ds.m ⁻¹)
شنی لومی Loam-sand	0.018	8	101	22.3	8.1	4.5

جدول ۲- اطلاعات هواشناسی منطقه مورد پژوهش

Table 2- Meteorological information of research area

فروردین April	اردیبهشت May	خرداد June	تیر July	مرداد August	شهریور September
------------------	-----------------	---------------	-------------	-----------------	---------------------

Rainfall (mm) بارندگی	0	49.5	0.5	0.5	0	0
Mean temperature in month (°C) متوسط دما ماهیانه	19.2	23.5	30.5	30.9	29.7	26.8
Maximum temperature in month (°C) حداکثر دمای ماهیانه	26.4	36.5	42.4	42.8	39.7	38.8
Minimum temperature in month (°C) حداقل دمای ماهیانه	3.3	13	18.9	17.2	16.7	15.4
Evaporation and transpiration (mm) میزان تبخیر و تعرق	259.4	282.1	460.3	434.2	404.2	348.1

بذرهای کنجد با منشاء توده محلی از مزارع شهرستان گناباد تهیه و ۲۰ اردیبهشت‌ماه ۱۴۰۰ در ردیف‌هایی به فاصله‌ی ۵۰ سانتی‌متر و با فاصله‌ی روی ردیف ۵ سانتی‌متر (تراکم کاشت ۴۰ بوته در مترمربع) از یکدیگر کشت شد. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت به‌روشن نشتی انجام شد و آبیاری‌های بعدی به فاصله هر ۷ روز یک‌بار تا آخر فصل رشد بسته به تیمارهای آبیاری اعمال گردید. گلدهی و کپسول‌دهی در کنجد به‌ترتیب در تاریخ‌های ۲۰ تیرماه و ۲۰ مردادماه سال ۱۴۰۰ به وقوع پیوست و قطع آبیاری از مرحله گلدهی و کپسول‌دهی تا انتهای فصل رشد به‌ترتیب به مدت ۶۰ و ۳۰ روز در شرایطی اعمال گردید که بر اساس جدول اطلاعات هواشناسی (جدول ۲)، هیچ‌گونه بارندگی طی این مدت رخ نداد و خاک محل آزمایش از رطوبت چندانی برخوردار نبود. محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و آهن در مرحله ۶ تا ۷ برگی (حدود ۳۰ روز پس از کاشت) (Jahan & Amiri, 2018) انجام شد. برای رسیدن به تراکم مناسب پس از رسیدن گیاه به مرحله‌ی ۴ برگی عملیات تنک کردن صورت گرفت. به‌منظور کنترل علف‌های هرز، چندین نوبت وجین دستی (به ترتیب ۱۵،۳۰ و ۴۵ روز پس از کاشت) انجام شد. برای آماده‌سازی زمین و در طول دوره‌ی رشد (حدود ۱۲۰ روز)، هیچ‌گونه علف‌کش، آفت‌کش و قارچ‌کش شیمیایی استفاده نشد.

در اواخر فصل رشد (۲۰ شهریورماه ۱۴۰۰)، با آغاز مرحله‌ی رسیدگی دانه‌ها و خشک شدن اندام هوایی گیاه، بوته‌های یک‌دهم مترمربع از هر کرت آزمایشی به‌طور تصادفی انتخاب و صفاتی نظیر ارتفاع بوته، وزن خشک اندام هوایی، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، تعداد دانه در بوته، وزن دانه در بوته و وزن هزار دانه اندازه‌گیری شد. برای تعیین وزن خشک اندام هوایی، بوته‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و سپس وزن آن‌ها برآورد شد و وزن دانه در بوته و وزن هزار دانه نیز تعیین گردید. جهت تعیین عملکرد دانه، عملکرد کل و شاخص برداشت، پس از حذف اثر حاشیه‌ای، بوته‌های تمام سطح کرت‌های آزمایشی برداشت و وزن کل و دانه آن‌ها تعیین گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها (ANOVA) و ترسیم نمودارها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS Ver. 9.4 و MS Excel Ver. 11 و مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته و وزن خشک بوته

ارتفاع بوته در تیمارهای قطع آبیاری و عدم کاربرد اسید سالیسیلیک و آهن به‌طور معنی‌داری با تیمار آبیاری کامل در شرایط کاربرد و عدم کاربرد اسید سالیسیلیک و آهن تفاوت داشت (جدول ۳)؛ بیشترین ارتفاع بوته در شرایط کاربرد همزمان اسید سالیسیلیک و آهن در آبیاری کامل (سانتی‌متر ۸۲/۶۶) و کمترین ارتفاع بوته در شرایط عدم کاربرد اسید سالیسیلیک و آهن و تیمار قطع آبیاری در مرحله

گلدهی (سانتی متر ۴۲/۶۶) به دست آمد (جدول ۴). در هر دو شرایط قطع آبیاری در مرحله گلدهی و کپسول دهی کمترین مقدار ارتفاع بوته زمانی حاصل شد که از محلول پاشی اسید سالیسیلیک و آهن استفاده نشد (جدول ۴). کاربرد عنصر ریزمغذی آهن به طور معنی داری باعث افزایش ۱۴ درصدی وزن خشک بوته نسبت به تیمار عدم استفاده از این عنصر شد (جدول ۵). وزن خشک بوته در تیمار قطع آبیاری در مرحله کپسول دهی تحت تأثیر محلول پاشی اسید سالیسیلیک قرار گرفت و محلول پاشی باعث افزایش ۳۰ درصدی وزن خشک بوته نسبت به عدم کاربرد آن شد (جدول ۶).

تنش خشکی باعث ایجاد رقابت بیش از حد بین بوته ها برای به دست آوردن آب می شود که این امر در نهایت منجر به کاهش تخصیص مواد فتوسنتزی به ساقه و کوتاهی گیاه می شود (Kalantari, Armin, & Marvi, 2021). احتمالاً محلول پاشی اسید سالیسیلیک از طریق تأثیر بر آنزیم های کاتالاز و پروکسیداز (این آنزیم ها گونه های فعال اکسیژن را به آب و اکسیژن تجزیه نموده و مانع تجمع پراکسید هیدروژن می شوند و تنش اکسیداتیو ناشی از تنش خشکی را کاهش می دهند) و سایر تنظیم کننده های اسمزی نظیر پرولین، گلیسین و بتائین (این ترکیبات به عنوان اسمولیت عمل نموده و منجر به حفظ ساختار پروتئین ها و غشاهای سلولی در شرایط خشکی شده و فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی را افزایش می دهند) توانسته آثار ناشی از تنش خشکی را کاهش داده (Azhdar Afshari, Shekari, Afsahi, & Azikhani, 2016) و در نهایت منجر به افزایش ارتفاع بوته و وزن خشک در کنگد شد. به نظر می رسد افزایش ارتفاع بوته و وزن خشک بوته در تیمارهای قطع آبیاری با محلول پاشی آهن احتمالاً به دلیل نقش اصلی آهن در متابولیسم کلرفیل باشد. آهن به عنوان کوفاکتور در بسیاری از آنزیم های دخیل در فعالیت های سلولی از قبیل فتوسنتز، تنفس و تمایز سلولی شرکت دارد و کارایی اندامک های فتوسنتزی را افزایش می دهد (Bybordy & Mamedov, 2010). هیلو و همکاران (Hailu, Unga, Sori, Borona, & Tufa, 2018) نیز نشان دادند کاهش میزان آب آبیاری بعد از گلدهی در کنگد سبب کاهش ارتفاع بوته شد. نتایج پالوی و همکاران (Pallavi, Reena, Surabhi, & Sahu, 2022) نشان داد که کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط کم آبی باعث افزایش خصوصیات مورفولوژیکی مانند ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته، وزن برگ تر، تعداد کل برگ در نخود سبز (*Pisum sativum*) (L. شد.

جدول ۳- تجزیه واریانس برخی خصوصیات رشدی و عملکرد کنگد تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و محلول پاشی آهن و اسید سالیسیلیک

Table 3. Analysis of variance of some growth characteristics and yield in sesame effected by irrigation treatments and Fe and salicylic acid spraying

منابع تغییرات Source of variance	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	وزن خشک بوته Plant dry weight	تعداد کپسول در بوته Number of Capsule per Plant	تعداد دانه در کپسول Number of Seed in per capsule	عملکرد دانه Seed Yield	عملکرد کل Total Yield	شاخص برداشت Harvest Index
بلوک Block	2	48.68 ^{ns}	128.36 ^{ns}	125.79 ^{ns}	45.66 ^{ns}	96773.01 ^{ns}	1785132.78 ^{ns}	0.29 ^{ns}
آبیاری Irrigation	2	521.99 ^{**}	3885.36 ^{**}	4673.36 ^{**}	247.89 [*]	3600789.13 ^{**}	17263124.74 ^{**}	319.53 ^{**}
خطای اصلی Main error	4	104.94	30.69	56.89	55.51	194194.10	3391967.24	0.05

اسید سالیسیلیک Salicylic Acid	1	718.53 ^{**}	367.36 ^{**}	840.96 ^{**}	1238.64 ^{**}	296552.85 ^{ns}	3357140.12 ^{ns}	15.08 ^{**}
آهن Fe	1	1429.26 ^{**}	684.69 ^{**}	1768.62 ^{**}	116.76 ^{ns}	498388.93 [*]	3351516.60 ^{ns}	16.40 ^{**}
آبیاری×اسید سالیسیلیک Irrigation×Salicylic Acid	2	133.12 ^{**}	216.19 [*]	214.18 ^{ns}	168.09 ^{ns}	72366.15 ^{ns}	868450.14 ^{ns}	2.98 ^{**}
آبیاری×آهن Irrigation × Fe	2	40.07 ^{ns}	71.02 ^{ns}	52.63 ^{ns}	125.64 ^{ns}	291375.28 [*]	3621879.34 ^{ns}	0.65 ^{**}
اسید سالیسیلیک×آهن Salicylic Acid ×Fe	1	140.68 [*]	8.02 ^{ns}	143.98 ^{ns}	31.79 ^{ns}	101963.13 ^{ns}	3931560.89 ^{ns}	2.10 ^{**}
آبیاری×اسید سالیسیلیک×آهن Irrigation×Salicylic Acid×Fe	2	177.63 ^{**}	7.52 ^{ns}	27.64 ^{ns}	252.83 [*]	43958.02 ^{ns}	949640.06 ^{ns}	0.01 ^{ns}
خطای فرعی Sub error	18	25.158	38.95	93.84	55.73	86568.56	1204939.19	0.09
ضریب تغییرات (%) CV	-	7.37	14.01	25.77	16.10	24.24	21.68	1.32

*, **, ns به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم اختلاف معنی‌دار

* are **, are Significant at the probability levels of 5 and 1% and non-significant, respectively

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل آبیاری و محلول پاشی اسید سالیسیلیک و آهن بر برخی خصوصیات کمی کنگد

Table 4- Mean comparison of interaction effect of irrigation and salicylic acid spraying and Fe spraying on some quantitative characteristics of sesame

			ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد دانه در کپسول Seed number per capsule
آبیاری کامل Full irrigation	اسید سالیسیلیک salicylic acid	آهن Fe	82.66 ^a	52.77 ^{ab}
		عدم آهن Non Fe	68.00 ^{bc}	48.50 ^{ab}
	عدم اسید سالیسیلیک Non salicylic acid	آهن Fe	76.50 ^{ab}	39.22 ^b
		عدم آهن Non Fe	71.66 ^{abc}	51.22 ^{ab}
قطع آبیاری در مرحله گلدهی Cut-off irrigation at the flowering stage	اسید سالیسیلیک salicylic acid	آهن Fe	72.44 ^{abc}	49.77 ^{ab}
		عدم آهن Non Fe	63.66 ^c	52.66 ^{ab}
	عدم اسید سالیسیلیک Non salicylic acid	آهن Fe	67.33 ^{bc}	39.66 ^b
		عدم آهن Non Fe	42.66 ^d	22.77 ^c
قطع آبیاری در مرحله کپسول دهی Cut-off irrigation at the podding stage	اسید سالیسیلیک salicylic acid	آهن Fe	75.16 ^{abc}	56.66 ^a
		عدم آهن Non Fe	72.66 ^{abc}	52.88 ^{ab}
	عدم اسید سالیسیلیک Non salicylic acid	آهن Fe	71.50 ^{bc}	50.77 ^{ab}
		عدم آهن Non Fe	51.33 ^d	39.22 ^b

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند

In each column, means with at least one similar letter are not significantly different at the 5% probability level

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات ساده تیمارهای آبیاری، محلول پاشی آهن و اسید سالیسیلیک روی برخی خصوصیات کمی کنگد

Table 5- Mean comparison of effect of irrigation treatments, Fe and salicylic acid spraying on some quantitative characteristics of sesame

	وزن خشک بوته Plant dry weight (g)	تعداد کپسول در بوته Capsule number per plant	عملکرد کل Total Yield (Kg.h ⁻¹)
آبیاری Irrigation			
آبیاری کامل Full irrigation	64.16 ^a	60.08 ^a	6389.24 ^a
قطع آبیاری در مرحله گلدهی Cut-off irrigation at the flowering stage	28.83 ^c	23.20 ^b	4054.40 ^b
قطع آبیاری در مرحله کپسول دهی Cut-off irrigation at the podding stage	40.58 ^b	29.45 ^b	4745.20 ^{ab}
اسید سالیسیلیک Salicylic acid			
کاربرد Application	47.72 ^a	42.41 ^a	5368.32 ^a
عدم کاربرد Non-application	41.33 ^b	32.75 ^b	4757.57 ^a
آهن Fe			
کاربرد Application	48.88 ^a	44.59 ^a	5368.07 ^a
عدم کاربرد Non-application	40.16 ^b	30.57 ^b	4757.83 ^a

در هر ستون و برای هر اثر ساده، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند

In each column and for each simple effect, means with at least one similar letter are not significantly different at the 5% probability level

جدول ۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل آبیاری و محلول پاشی اسید سالیسیلیک (قسمت بالا) و آبیاری و محلول پاشی آهن (قسمت پایین) بر برخی خصوصیات کمی کنجد

Table 6- Mean comparison of interaction effect of irrigation and salicylic acid spraying (up part) and irrigation and Fe spraying (down part) on some quantitative characteristics of sesame

		ارتفاع بوته Plant height (cm)	وزن خشک بوته Plant dry weight (g)	شاخص برداشت Harvest Index
آبیاری کامل Full irrigation	کاربرد اسید سالیسیلیک Application of salicylic acid	75.33a	62.83a	28.30a
	عدم کاربرد اسید سالیسیلیک Non- application of salicylic acid	74.38ab	65.50a	28.08a
قطع آبیاری در مرحله گلدهی Cut-off irrigation at the flowering stage	کاربرد اسید سالیسیلیک Application of salicylic acid	68.05ab	32.66c	18.61e
	عدم کاربرد اسید سالیسیلیک Non- application of salicylic acid	55.00c	25.00c	17.33f
قطع آبیاری در مرحله کپسول دهی Cut-off irrigation at the podding stage	کاربرد اسید سالیسیلیک Application of salicylic acid	73.91ab	47.66b	24.36c
	عدم کاربرد اسید سالیسیلیک Non- application of salicylic acid	61.41bc	33.50c	22.18d
آبیاری کامل Full irrigation	کاربرد آهن Application of Fe	79.58a	71.33a	28.70a
	عدم کاربرد آهن Non- application of Fe	69.83ab	57.00b	27.68a
قطع آبیاری در مرحله گلدهی Cut-off irrigation at the flowering stage	کاربرد آهن Application of Fe	69.88ab	31.66df	18.45d
	عدم کاربرد آهن Non- application of Fe	53.16c	26.00f	17.30e
دهی قطع آبیاری در مرحله کپسول Cut-off irrigation at the podding stage	کاربرد آهن Application of Fe	73.33ab	43.66c	24.21b
	عدم کاربرد آهن Non- application of Fe	62.00bc	37.50cd	22.33c

در هر ستون و برای هر قسمت (بالا و پایین)، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند
In each column and for each part (up and down), means with at least one similar letter are not significantly different at the 5% probability level

تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول

تعداد کپسول در بوته، تحت تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری، محلول پاشی اسید سالیسیلیک و آهن قرار گرفت (جدول ۳). تیمارهای قطع آبیاری به‌طور معنی‌داری باعث کاهش تعداد کپسول در بوته نسبت به آبیاری کامل شد. میانگین تعداد کپسول در قطع آبیاری در مرحله گلدهی ۳۶/۸۸ عدد و میانگین تعداد کپسول در قطع آبیاری در مرحله کپسول دهی ۳۰/۶۳ عدد نسبت به میانگین تعداد کپسول در آبیاری کامل کاهش نشان داد (جدول ۵). با وجود کاهش تعداد کپسول در تیمارهای قطع آبیاری (جدول ۵)، با کاربرد اسید سالیسیلیک تفاوت معنی‌داری از نظر تعداد کپسول در بوته در تیمارهای مختلف آبیاری مشاهده نشد (جدول ۶).

پس از بررسی اثر متقابل محلول پاشی اسید سالیسیلیک و عنصر ریز مغذی آهن با تیمار آبیاری مشخص شد که بیشترین تعداد دانه در کپسول در تیمار کاربرد همزمان محلول پاشی اسید سالیسیلیک و آهن در تیمار قطع آبیاری در مرحله کپسول دهی (۵۶/۶۶) و کمترین مقدار این صفت در شرایط عدم کاربرد اسید سالیسیلیک و آهن و تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی (۲۲/۷۷) دانه در کپسول) به دست

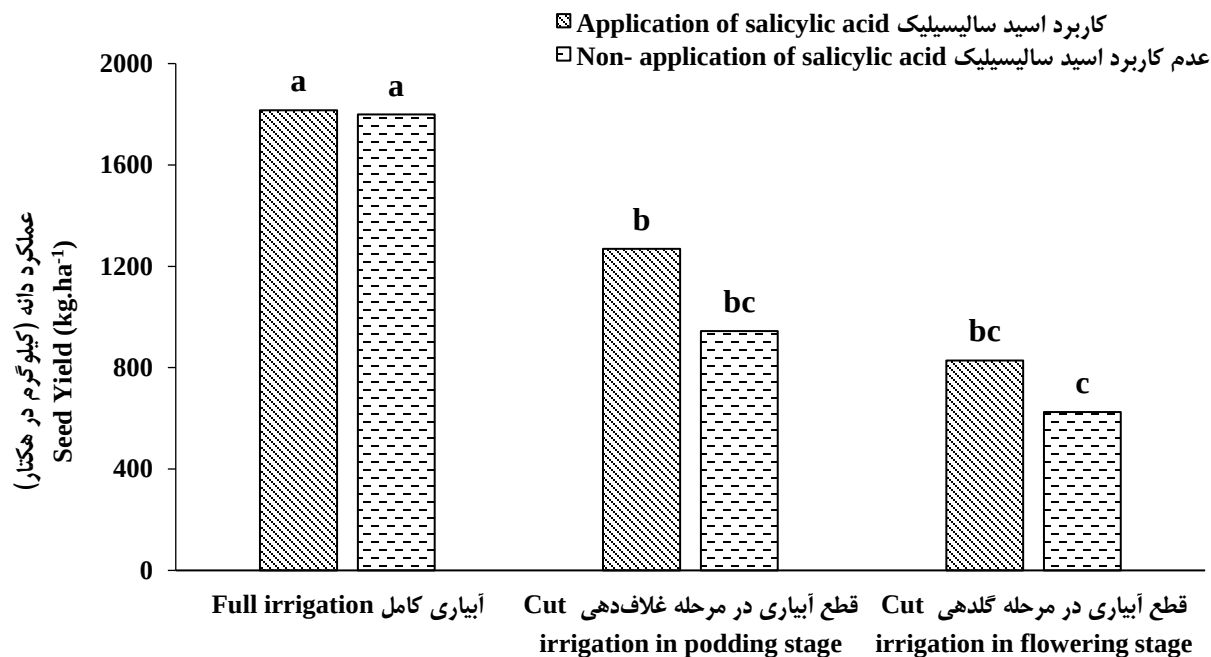
آمد (جدول ۴).

کاهش تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در بوته با اعمال تنش خشکی با یافته‌های کریمیان و همکاران (Karamian Hasan, 2021) مطابقت داشت که دلیل آن را به نقش تنش خشکی در کاهش تولید مواد فتوسنتزی، کاهش رشد رویشی و تولید شاخه‌های اصلی و فرعی و افزایش ریزش کپسول بوته مرتبط دانستند. اعمال تیمارهای تنش خشکی روی گیاه، موجب کاهش هدایت روزنه‌ای و به تبع آن کاهش تثبیت دی‌اکسید کربن و سرعت فتوسنتز می‌گردد. این عوامل باعث کاهش پارامترهای رشدی می‌شوند که ممکن است به دلیل کاهش جریان آب در آوندهای چوبی رخ داده و در نهایت منجر به کاهش تقسیم سلولی، رشد و نمو، کاهش محتوای کلروفیل و پراکسیداز لیپیدها در غشای سلول‌ها می‌شود (Pallavi, Reena, Surabhi, & Sahu, 2022). نقش اصلی اسید سالیسیلیک در بهبود خصوصیات رشدی ممکن است به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان که گیاه را از خسارت تنش اکسیداتیو حفظ می‌کند (Pallavi et al., 2022) یا کاهش سطوح (ROS) و پراکسیداسیون چربی‌ها مثل نشت یون (Nazar, Iqbal, Syeed, & Khan, 2011) باشد. ایوبی زاده و همکاران (Ayobizadeh et al., 2017) گزارش کردند که کاربرد نانو کلات آهن موجب افزایش تعداد کپسول در بوته کنگد شد. همچنین گزارش شده است که نانو اکسید آهن تعداد کپسول در بوته کنگد را ۳۵/۰۷ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (Karimian HassanAbadi et al., 2021). به نظر می‌رسد دلیل افزایش تعداد دانه در کپسول به نقش آهن در بهبود رشد و نمو، ارتفاع بوته و فراهمی مواد فتوسنتزی مرتبط باشد (Karimian HassanAbadi et al., 2021; Ayobizadeh et al., 2017). تعداد دانه در کپسول تحت‌تأثیر زمان قطع آبیاری قرار گرفت، به‌طوری که قطع آبیاری در مرحله گلدهی به میزان بیشتری باعث کاهش تعداد دانه در کپسول شد. به نظر می‌رسد کم بودن تعداد دانه در بوته در مرحله گلدهی به دلیل کاهش تعداد کپسول‌ها در بوته تحت تأثیر تیمار اعمال تنش باشد و با قطع آبیاری در مرحله گلدهی، چون گیاه از ابتدای رشد زایشی با تنش کم‌آبی مواجه شده احتمالاً مکانیسم خودتنظیمی گیاه بر پایه تعداد محدودی دانه در کپسول بنا شده (Kalantari et al., 2021) و در نهایت تعداد دانه در بوته کاهش یافته است. حیدری و همکاران (Heydari et al., 2016) اظهار داشتند با کاربرد نانو اکسید آهن عملکرد دانه در کنگد افزایش یافت. افزایش تعداد دانه در بوته می‌تواند به نقش ریزمغذی آهن در بهبود صفات وابسته به عملکرد همچون تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول مرتبط باشد (Ayobizadeh et al., 2017). کاربرد اسید سالیسیلیک موجب بهبود کلیه صفات مورد بررسی نه تنها در شرایط آبیاری کامل که در تنش‌های آبیاری شد. اسید سالیسیلیک به کاهش خسارت ناشی از تنش‌های غیرزیستی در گیاه کمک می‌کند (Ayobizadeh et al., 2017; Pallavi et al., 2022).

عملکرد کل و عملکرد دانه

با توجه به جدول تجزیه واریانس عملکرد کل تحت‌تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین عملکرد کل در تیمار آبیاری کامل (۶۳۸۹/۲۴ کیلوگرم در هکتار) و کمترین مقدار آن در تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی (۴۰۵۴/۴۰ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد (جدول ۵). محلول‌پاشی آهن و تیمارهای آبیاری به‌طور معنی‌داری بر عملکرد دانه تأثیر داشتند (جدول ۳)، به‌طوری که با قطع آبیاری در مرحله کپسول‌دهی و گلدهی عملکرد دانه به‌ترتیب ۳۹ و ۵۵ درصد نسبت به آبیاری کامل کاهش یافت (جدول ۵). محلول‌پاشی آهن باعث افزایش عملکرد دانه به میزان ۱۸ درصد نسبت به عدم مصرف آهن شد (جدول ۵). همان‌طور که در شکل ۱

مشاهده می‌شود، بیشترین عملکرد دانه در تیمار آبیاری کامل و کاربرد اسید سالیسیلیک (۱۸۱۵/۱۹ کیلوگرم در هکتار) و کمترین مقدار آن در تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی و عدم کاربرد اسید سالیسیلیک (۶۲۵/۵۷ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد. کاربرد عنصر ریزمغذی آهن نیز در شرایط آبیاری کامل عملکرد دانه را نسبت به شاهد افزایش داد (شکل ۲).

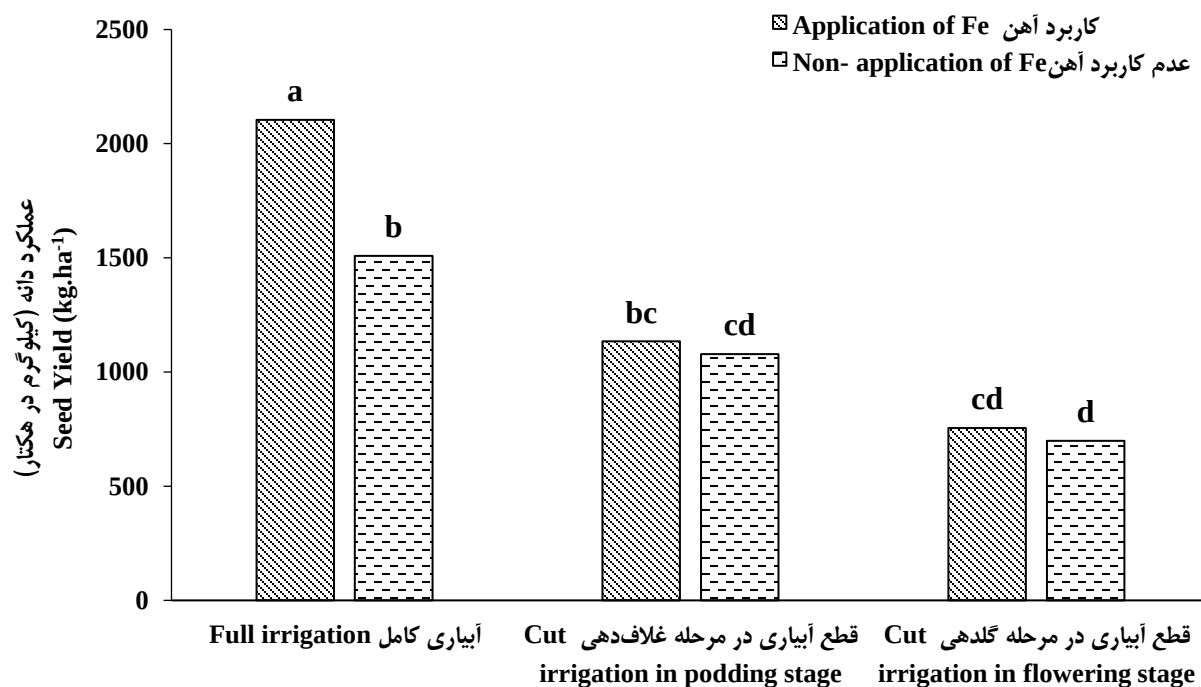


شکل ۱- اثرات متقابل آبیاری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر عملکرد دانه کنجد

Figure 1- Interaction effect of irrigation and salicylic acid spraying on seed yield of sesame

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند

Means with at least one similar letter are not significantly different at the 5% probability level



شکل ۲- اثرات متقابل آبیاری و محلول پاشی آهن بر عملکرد دانه کنجد

Figure 2- Interaction effect of irrigation and Fe spraying on seed yield of sesame

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند

Means with at least one similar letter are not significantly different at the 5% probability level

در شرایط تنش خشکی عملکرد دانه و عملکرد کل کاهش یافت. فرحبخش و فرحبخش (Farahbakhsh & Farahbakhsh, 2014) گزارش کردند که تنش خشکی در مرحله گلدهی و کپسول‌دهی کنجد به‌ترتیب باعث کاهش ۵۶ و ۴۵ درصدی عملکرد دانه نسبت به آبیاری کامل شد و کاهش عملکرد کل تحت تنش خشکی نیز در پژوهش اسکندری و همکاران (Eskandari *et al.*, 2010) گزارش شده است.

در پژوهش‌های دیگری کاهش عملکرد کل (Mehrabi & Ehsanzadeh, 2011) و دانه (Gholinezhad & Darvishzadeh, 2015) تحت شرایط تنش خشکی گزارش شده است. در یک پژوهش، کاربرد نانو کلات آهن و نانو اکسید آهن باعث بهبود معنی‌دار عملکرد کل و عملکرد دانه شد (Karimian HassanAbadi *et al.*, 2021) و علت این اثرات مثبت به نقش عنصر آهن در فعالیت فتوسنتزی، افزایش شاخه‌های فرعی، افزایش تعداد کپسول، تعداد دانه در بوته و متعاقب آن افزایش وزن خشک بوته ارتباط داده شد. تأثیر اسید سالیسیلیک به‌عنوان یک ماده ضد تعرق، منجر به بهبود شاخص‌های تحمل به تنش شد. اسید سالیسیلیک با ممانعت از باز شدن روزنه‌ها، مقاومت گیاه را نسبت به تنش خشکی افزایش می‌دهد و این ماده احتمالاً از طریق تأثیر بر آنزیم‌های کاتالاز و پروکسیداز آثار ناشی از تنش خشکی را کاهش داده (Bayat, Sepehri Zare, Abyaneh, & Abdollahi, 2010; Jahan & amiri, 2019) لذا بهبود شاخص‌های تحمل به تنش در شرایط استفاده از این نهاده مورد انتظار است. افزایش عملکرد دانه با محلول پاشی اسید سالیسیلیک در سویا (Razmi, Ebadi, Daneshian, & Jahanbakhsh, 2017)، ارزن (Kolupaev, Yastreba, Karpets, & Miroshnichenko, 2011) و آفتابگردان (Hussain *et al.*, 2009) گزارش شده است.

شاخص برداشت

کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط آبیاری کامل تأثیر چندانی در بهبود شاخص برداشت نداشت، ولی در هر یک از شرایط تنش خشکی قطع آبیاری در مرحله کپسول‌دهی و گلدهی شاخص برداشت تحت تأثیر این اسید به‌ترتیب ۹ و ۷ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۶). در شرایط تنش خشکی کاربرد محلول پاشی آهن سبب افزایش معنی‌دار شاخص برداشت نسبت به عدم کاربرد آهن شد، به‌طوری که در تیمارهای قطع آبیاری در مرحله کپسول‌دهی و گلدهی، محلول پاشی آهن سبب افزایش ۸ و ۶ درصدی شاخص برداشت نسبت به عدم کاربرد آهن در تیمارهای مذکور شد (جدول ۶).

نتایج نشان داد تنش خشکی منجر به کاهش شاخص برداشت کنجد شد که با نتایج سایر محققین مطابقت داشت (Ayobizadeh *et al.*, 2017)؛ اما در چنین شرایطی کاربرد نانو اکسید آهن به‌طور متوسط ۳/۸۶ درصد این صفت را نسبت به شاهد افزایش داد (Karimian HassanAbadi *et al.*, 2021). به نظر می‌رسد علت کاهش شاخص برداشت در شرایط تنش خشکی احتمالاً به دلیل تأثیر بیشتر کمبود رطوبت بر فرآیندهای زایشی در مقایسه رشد رویشی باشد (Ayobizadeh *et al.*, 2017). عنصر ریزمغذی آهن به

یک میزان بر عملکرد دانه و کل مؤثر نبود، به طوری که با کاربرد آهن افزایش بیشتری در عملکرد دانه (۱۷ درصد) نسبت به عملکرد کل (۱۱ درصد) مشاهده شد و نقش به سزایی در افزایش شاخص برداشت کنگد داشت که با نتایج کریمیان و همکاران (Karimian, 2021) و بحرانی و پوررضا (Bahrani & Pourreza, 2015) مطابقت داشت. با توجه به نقش اسید سالیسیلیک در بهبود ویژگی‌های رشدی گیاه احتمالاً میزان فتوسنتز و به تبع آن شیره پروده گیاه و توان تولید متابولیت‌های ثانویه گیاه افزایش پیدا کرده (Heydarnejadiyan, Maleki, & Babaei, 2021) و در نتیجه خصوصیات رشدی و عملکرد کنگد بهبود یافته است. تأثیر بیشتر تیمار محلول‌پاشی همزمان اسید سالیسیلیک و آهن بر صفت شاخص برداشت ممکن است به اثرات مثبت اسید سالیسیلیک بر جذب عناصر غذایی (Heydarnejadiyan et al., 2021) مرتبط باشد.

نتیجه‌گیری کلی

کاربرد آهن و اسید سالیسیلیک سبب افزایش ارتفاع بوته، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در بوته، عملکرد کل، عملکرد دانه و شاخص برداشت در شرایط قطع آبیاری شدند. قطع آبیاری در مرحله گلدهی خسارت شدیدی به گیاه وارد کرد که منجر به کاهش در صفات اقتصادی کنگد شد. با وجود خسارات وارده به گیاه با قطع آبیاری در مرحله کپسول‌دهی با کاربرد آهن و اسید سالیسیلیک به صورت مجزا و همزمان اکثر صفات بهبود یافت. با توجه به نتایج، عنصر ریزمغذی آهن باعث بهبود اکثر صفات مورد بررسی در شرایط قطع آبیاری شد، به طوری که اکثر صفات با محلول‌پاشی آهن تحت شرایط خشکی با آبیاری کامل از نظر آماری تفاوت معنی‌داری نداشتند. کاربرد اسید سالیسیلیک نیز علاوه بر تأثیر مثبت بر صفات اقتصادی کنگد در شرایط آبیاری کامل باعث بهبود صفات در شرایط قطع آبیاری شد. علاوه بر اثر مثبت اسید سالیسیلیک و آهن به صورت جداگانه روی خصوصیات مورفولوژیک کنگد، کاربرد همزمان آن‌ها در کلیه تیمارهای قطع آبیاری سبب افزایش چشمگیری در اکثر صفات شد. با توجه به تأثیر مثبت اسید سالیسیلیک و آهن بر صفاتی چون ارتفاع بوته، تعداد کپسول در گیاه، تعداد دانه در کپسول، عملکرد دانه، عملکرد کل و شاخص برداشت کنگد در شرایط قطع آبیاری در مرحله کپسول‌دهی و گلدهی، به نظر می‌رسد در اقلیم خشک و نیمه‌خشک ایران می‌توان با کاهش میزان آبیاری در کنار محلول‌پاشی با عناصر ریزمغذی همچون آهن و اسید سالیسیلیک علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف آب کشاورزی از ضرر اقتصادی ناشی از تنش خشکی جلوگیری کرد و میزان تولید این محصول ارزشمند را بهبود بخشید.

References

1. Ahmadi, J., Seyfi, M. M., & Amini, M. (2013). Effect of spraying micronutrients Fe, Zn and Ca on grain and oil yield of sesame (*Sesemum indicum* L.) varieties. *Crop Production*, 5(3), 115-130. (In Persian) <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2008739.1391.5.3.7.0>
2. Ahmed, N. J., & Ali, K. A. (2024). Influence of Salicylic Acid under Different Levels of Drought Stress on Growth, Yield, and Chemical Content in Sesame Crop. *Passer Journal of Basic and Applied Sciences*, 6(2), 344-350. <https://doi.org/10.24271/psr.2024.448491.1537>
3. Alizadeh, M., Balouchi, H. R., & Yadavi, A. (2016). The Effect of Priming and Irrigation Water Quality on Seed and Oil yield and Yield Components of Two Sesames (*Sesamum indicum* L.). *Plant Productions*, 39(2), 115-125. <https://doi.org/10.22055/ppd.2016.12051>
4. Arvin, P., Vafabakhsh, J., & Mazaheri, D. (2017). Study of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) and drought on physiological traits and ultimate yield of cultivars of oilseed rape (*Brassica* spp.). *Journal of Agroecology*, 9(4), 1208-1226. (In Persian with English Summary) <https://doi.org/10.22067/jag.v9i4.61808>
5. Atarodi, H., Irannejad, H., Shirani Rad, A. H., Amiri, R., & Akbari, G. (2011). Assessment of drought stress and planting date effects applied on original plant, on its seed electrical conductivity rate. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 9(2), 242-247.
6. Ayobizadeh, N., Laei, G., Amini Dehaghi, M., Masood Sinaki, J., & Bidokhti, S. R. (2017). Effect of nanoFe and folic acid foliar application on yield and yield components of sesame varieties after wheat cultivation under drought stress conditions. *Journal of Crop Production Research*, 9, 283-312. (In Persian with English Summary)
7. Ayoubizadeh, N., Laei, G., Amini Dehaghi, M., Masoud Sinaki, J., & Rezvan Bidokhti, S. (2020). Effect of drought stress and foliar nutrition of Fe nano-chelate and fulvic acid on grain yield and fatty acids composition in seed oil of two sesame cultivars. *Journal of Crops Improvement*, 22(2), 231-243. <https://doi.org/10.22059/jci.2020.281730.2220>
8. Afshari, M. A., Shekari, F., Afsahi, K., & Azimkhani, R. (2016). Effect of floral applied salicylic acid on dry weight, harvest index, yield and yield components of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) under water deficit stress. *EnvFemental Stresses in Crop Sciences*, 9(1), 51-58. (In Persian). <https://doi.org/10.22077/escs.2016.299>
9. Bahrani, A., & Pourreza, J. (2015). Effect of some micro and macro nutrients on seed yield and oil content of rapeseed (*Brassica napus* L.). *International Journal of Chemical, EnvFemental and Biological Sciences*, 3(1), 71-74.
10. Bayat, S., Sepehri Zare, A., Abyaneh, H., & Abdollahi, M. R. (2010). Effect of salicylic acid and paclobutrazol on some growth characteristics and yield of maize in conditions of drought stress. *Journal of Crops Ecophysiology*, 2, 34-41. (In Persian).
11. Bybordi, A., & Mamedov, G. (2010). Evaluation of application methods efficiency of zinc and Fe for canola (*Brassica napus* L.). *Notulae Scientia Biologicae*, 2(1), 94-103.
12. Eskandari, H., & Kazemi, K. (2019). Evaluation of the effect of irrigation levels and soil fertility management on sesame seed and oil yield (*Sesamum indicum* L.). *EnvFemental Stresses in Crop Sciences*, 12, 111-122. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22077/escs.2018.1254.1256>

13. Eskandari, H., Zehtab Salmasi, S., & Ghasemi-Golezani, K. (2010). Evaluation of water use efficiency and grain yield of sesame cultivars as a second crop under different irrigation regimes. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 20(1), 39-51. (In Persian).
14. Farahbakhsh, S., & Farahbakhsh, H. (2015). Effect of drought stress on yield and yield components of sesame cultivars under Kerman conditions (*Sesamum indicum* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 12(4), 776-783. (In Persian)
15. Ghassemi, S., Ghassemi-Golezani, K., & Salmasi, S. Z. (2019). Changes in antioxidant enzymes activities and physiological traits of ajowan in response to water stress and hormonal application. *Scientia Horticulturae*, 246, 957-964. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.086>
16. Gholinezhad, E., & Darvishzadeh, R. (2015). Effect of mycorrhizal fungi on yield and yield components of sesame (*Sesamum indicum* L.) landraces under different irrigation levels. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 25(3), 119-135. (In Persian)
17. Hafeez, Y., Iqbal, S., Jabeen, K., Shahzad, S., Jahan, S., & Rasul, F. (2017). Effect of biochar application on seed germination and seedling growth of *Glycine max* (L.) Merr. Under drought stress. *Pakistan Journal of Botany*, 49(51), 7-13.
18. Hailu, E. K., Urga, Y. D., Sori, N. A., Borona, F. R., & Tufa, K. N. (2018). Sesame yield response to deficit irrigation and water application techniques in irrigated agriculture, Ethiopia. *International Journal of Agronomy*, 2018(1), 5084056. <https://doi.org/10.1155/2018/5084056>
19. Heidari, M., Goleg, M., Ghorbani, H., & Baradarn Firozabad, M. (2016). Effect of drought stress and foliar application of Fe oxide nanoparticles on grain yield, ion content and photosynthetic pigments in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*, 46(4), 619-628. (In Persian) <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2015.56811>
20. Heydarnejadiyan, H., Maleki, A., & Babaei, F. (2021). Effects of zinc nanofertilizer and salicylic acid on yield and yield components of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 37(1), 145-161. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2021.351603.2853>
21. Hussain, M. A. M. M., Malik, M. A., Farooq, M., Khan, M. B., Akram, M., & Saleem, M. F. (2009). Exogenous glycinebetaine and salicylic acid application improves water relations, allometry and quality of hybrid sunflower under water deficit conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 195(2), 98-109. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2008.00354.x>
22. IRICA. (2021). Annual statistics. <https://irica.ir/index.php>
23. Jahan, M., & Amiri, M. B. (2018). Effective Factors on Water Use Efficiency in Sesame, Maize and Common Bean in Response to Salicylic Acid under Deficit Irrigation Condition. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 28(1), 249-266. (In Persian)
24. Jahan, M., & Amiri, M. B. (2019). Effect of water superabsorbent levels, nutrition management and salicylic acid on soil characteristics, water use efficiency and morphological characteristics and yield of bean (*Phaseolous vulgaris* L.) in drought stress. *Journal of Crop Production*, 12(3), 1-20. (In Persian) <https://doi.org/10.22069/ejcp.2019.14761.2108>

25. Jahan, M., Javadi, M., Hesami, E., & Amiri, M. B. (2021). Nutritional management improved sesame performance and soil properties: a function-based study on sesame as affected by deficit irrigation, water superabsorbent, and salicylic acid. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(4), 2702-2717. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00557-2>
26. Kalantari, E., Armin, M., & Marvi, H. (2021). Effects of irrigation cut-off in different stages on yield and yield components of sesame cultivars. *Crop Science Research in Arid Regions*, 3(1), 151-162. (In Persian) <https://doi.org/10.22034/csrar.2021.262665.1073>
27. Karamian Hasan Abadi, Z., Eisvand, H. R., Daneshvar, M., & Akbarpour, O. (2021). Study the effect of drought stress and Fe oxide nanoparticle foliar application on quantitative and qualitative traits of sesame (*Sesamum indicum* L.). *EnvFemental Stresses in Crop Sciences*, 14(2), 375-386. (In Persian with English Summary) <https://doi.org/10.22077/escs.2019.2645.1687>
28. Khan, M. I. R., Fatma, M., Per, T. S., Anjum, N. A., & Khan, N. A. (2015). Salicylic acid-induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants. *Frontiers in plant science*, 6, 462. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00462>
29. Kazemi, K., Khajehosseini, M., Nezami, A., & Eskandari, H. (2016). The effect of seed priming on germination, yield and the quality of sesame gains under deficit irrigation. *Agricultural Crop Management*, 18(2), 373- 388. (In Persian)
30. Kolupaev, Y., Yastreb, T. O., & Miroshnichenko, N. N. (2011). Influence of salicylic and succinic acids on antioxidant enzymes activity, heat resistance and productivity of *Panicum miliaceum* L. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 7(2), 154-163.
31. Mahmoodi Sourestani, M., Moghadam, E., & Firoozi, A. F. (2016). The effect of foliar application of iron on some biochemical and photosynthetic characteristics of holy basil (*Ocimum sanctum*). *Iranian Journal of Horticultural Science*, 47(3), 543-552. (In Persian) <https://doi.org/10.22059/ijhs.2016.59816>
32. Mehrabi Zadeh, Z., & Ehsan Zade, P. (2012). A study on physiological attributes and grain yield of sesame cultivars under different soil moisture regimes. *Journal of Crops Improvement*, 13(2), 75-88. (In Persian) <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.83372008.1390.13.2.7.3>
33. Miura, K., & Tada, Y. (2014). Regulation of water, salinity, and cold stress responses by salicylic acid. *Frontiers in plant science*, 5, 4. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00004>
34. Nazar, R., Iqbal, N., Syeed, S., & Khan, N. A. (2011). Salicylic acid alleviates decreases in photosynthesis under salt stress by enhancing nitrogen and sulfur assimilation and antioxidant metabolism differentially in two mungbean cultivars. *Journal of plant physiology*, 168(8), 807-815. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2010.11.001>
35. Pallavi, S., Reena, N., Surabhi, J., & Sahu, R.K. (2022). Morphological responses of pea (*Pisum sativum* L. Var. Kashi Nandni) to exogenous application of salicylic acid under water deficit stress condition. *Biological Forum–An International Journal*, 14(1), 1384-1388.
36. Pandey, A. C., S. Sanjay, S., & S. Yadav, R. (2010). Application of ZnO nanoparticles in influencing the growth rate of *Cicer arietinum*. *Journal of Experimental nanoscience*, 5(6), 488-497. <https://doi.org/10.1080/17458081003649648>

37. Rajaie, M. (2022). Improving yield, yield components and the absorption of nutrients of wheat by growth stimulants under normal irrigation and drought stress. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 20, 147-162. (In Persian with English summary). <https://dx.doi.org/10.22067/jcesc.2022.72226.1083>
38. Razmi, N., Ebadi, A., Daneshian, J., & Jahanbakhsh, S. (2017). Salicylic acid induced changes on antioxidant capacity, pigments and grain yield of soybean genotypes in water deficit condition. *Journal of Plant Interactions*, 12(1), 457-464. <https://doi.org/10.1080/17429145.2017.1392623>
39. Rezaeichiane, A., Khorramdel, S., Movludi, A., & Rahimi, A. (2017). Effects of nano chelated zinc and mycorrhizal fungi inoculation on some agronomic and physiological characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 15(1), 168-184. (in Persian).
40. Saady, H. S., El-Samad, G. A. A., El-Temseh, M. E., & El-Gabry, Y. A. E. G. (2022). Effect of iron, zinc, and manganese nano-form mixture on the micronutrient recovery efficiency and seed yield response index of sesame genotypes. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00681-z>
41. Shokri, S., Hooshmand, A., Golabi, M., Alemzade Ansari, N., & Struve, D. (2022). Effect of silica nanoparticles on yield of Cucumber (*Cucumis sativus* L.) in Ahvaz region. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 32(1), 279-292. <https://doi.org/10.22034/saps.2021.44312.2624>
42. Soheili Movahhed, S., Khomari, S., Sheikhzadeh, P., & Alizadeh, B. (2019). Effects of Drought Stress and Foliar Application of Boron and Zinc on Yield and Some Agronomic and Morphological Traits of Spring Type Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Agroecology*, 11(4), 1275-1291. <https://doi.org/10.22067/jag.v11i4.72028>
43. Wei, X., Liu, K., Zhang, Y., Feng, Q., Wang, L., Zhao, Y., Li, C., Zhao, Q., Zhu, X. and Zhu, X. 2015. Genetics discovery for oil production and quality in sesame. *Nature Communications*, 6:1-8.
44. Wei, X., Liu, K., Zhang, Y., Feng, Q., Wang, L., Zhao, Y., Li, D., Zhao, Q., Zhu, X., Zhu, X., & Li, W. (2015). Genetic discovery for oil production and quality in sesame. *Nature communications*, 6(1), 8609. <https://doi.org/10.1038/ncomms9609>