تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد ششم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۳، ص ۲۲۱-۲۰۳

مقاله پژوهشی

# تأثیر سالیسیلیک اسید بر عملکرد کمی و برخی خصوصیات بیوشیمیایی سه رقم جو در رژیم های مختلف آبیاری

**مجتبی شعاع[۱]، فرهاد مهاجری[۲*]، محمدرحیم اوجی[۲]، علیرضا باقری[۳]**

۱- دانشجوی دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فسا، فسا، ایران

۲- دانشگاه آزاد اسلامی واحد فسا، فسا، ایران

۳- دانشگاه آزاد اسلامی واحد اقلید، اقلید، ایران

* مسئول مکاتبه: fmohajeri1397@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۱ **DOI: 10.22034/CSRAR.2024.414576.1372**

**چکیده**

به منظور بررسی محلول پاشی اسیدسالیسیلیک در سه مرحله رشدی بر عملکرد، اجزای عملکرد دانه و برخی پارامترهای بیوشیمیایی سه رقم جو در رژیم‌های مختلف آبیاری، آزمایشی به صورت اسپیلت پلات - فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در دو سال زراعی در شهرستان نی‌ریز اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل رژیم‌های آبیاری در سه سطح یک، دو و چهار مرتبه آبیاری به عنوان عامل اصلی و عوامل فرعی شامل ارقام جو (ریحان، نصرت و خاتم) و محلول پاشی اسیدسالیسیلیک با غلظت یک میلی مولار، در سه مرحله انتهای پنجه‌زنی، اواسط ساقه روی و ظهور پنجاه درصدی برگ پرچم به همراه عدم تیمار مصرف بودند که به صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد یک و دو نوبت آبیاری در مقایسه با چهار نوبت آبیاری اثر منفی بر شاخص برداشت، رطوبت نسبی و مقادیر کلروفیل a و b در برگ‌ها داشت و پرولین برگ افزایش یافت. کمترین واکنش به کاهش دفعات آبیاری مربوط به وزن هزار دانه با ۲۲/۱ درصد کاهش بود. اسیدسالیسیلیک در شرایط کاهش دفعات آبیاری اثر معنی‌داری بر وزن هزار دانه و تعداد دانه در سنبله نداشت، اما موجب بهبود سایر صفات در هر سه رژیم آبیاری شد. میزان افزایش عملکرد توسط اسیدسالیسیلیک نسبت به شاهد در خاتم (۹/۵٪)، ریحان (۱۰/۷٪) و نصرت (۱۰/۸٪) بود. در نهایت، اسیدسالیسیلیک، به ویژه هنگامی که در پایان پنجه‌زنی اعمال شد، با بهبود ویژگی‌های بیوشیمیایی، تحمل جو به خشکی را بهبود بخشید و عملکرد را افزایش داد.

**واژه‌های کلیدی:** پرولین، تنش خشکی، سطوح آبیاری، شاخص برداشت، هورمون‌های گیاهی

## مقدمه

ایران به دلیل موقعیت خاص جغرافیایی، از نظر میزان و پراکنش نامناسب نزولات آسمانی در بسیاری مناطق با چالش کم آبی مواجه است که با استفاده از ارقام مناسب منطقه و روش‌های متنوع آبیاری می‌توان از کاهش عملکرد گیاهان زراعی جلوگیری نمود (Naseri *et al*., 2016).

جو زراعی با سابقه ۱۰ هزار ساله، از محصولات پایه گذار کشاورزی جهان قدیم است (Badr *et al*., 2000) و از جمله مهمترین گیاهان زراعی است که سازگاری زیادی با تنوع گسترده‌ای از آب و هوا و محیط دارد، تا آنجا که به عنوان "محصول تغییر اقلیم" شناخته می‌شود و وفق‌پذیری آن با تنش‌های رطوبتی، جو را تبدیل به محصول منتخب زارعان در مناطق خشک نموده است (Bouhlal *et al*., 2021). جو از نظر سطح زیر کشت در ایران پس از گندم مقام دوم را دارد و در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ از سطح زیر کشت ۱/۶۶ میلیون هکتاری، ۳/۸۷ میلیون تن محصول برداشت شده است (Ahmadi *et al*., 2021).

غلات زمستانه در اکثر اقلیم‌های مدیترانه‌ای -از جمله جنوب ایران- که با بارش‌های زمستانی و تنش خشکی انتهایی شناخته می‌شوند (Carter *et al*., 2019) بیشتر در مراحل گرده‌افشانی، گل‌دهی و پر شدن دانه در بهار با کمبود آب مواجه هستند. خشکی با اثر بر تنظیم عملکرد پروتئین و ژن‌ها، موجب وقوع تغییرات مخرب مورفولوژیکی، بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی و مولکولی متعددی در گیاهان می‌گردد (Dubey *et al*., 2021) و از آنجا که خشک‌سالی در سرتاسر جهان جدی‌ترین محدودیت زیست محیطی تأثیرگذار بر تولید محصولات کشاورزی بوده (Bandurska, 2022) و طبق پیش بینی‌ها، سختی و شدت خشک‌سالی‌ها در آینده نزدیک افزایش نیز خواهد داشت

(Dubey *et al*., 2021)، لذا می‌باید علاوه بر اقدامات مرسوم مانند گزینش ارقام مقاوم به خشکی به دنبال راهکارهای سریع‌تری نیز بود و بنا به اظهار محققین یک رویکرد کمی متفاوت و غیر ژنتیکی برای بهبود تحمل محصول به خشکی، کاربرد برون‌زای متابولیت‌ها و هورمون‌های گیاهی است (Bandurska, 2022). هورمون اسیدسالیسیلیک که به عنوان یک مولکول سیگنال‌دهی شناخته می‌شود، با تنظیم بیان ژن‌ها و پروتئین‌های حیاتی در مسیر دفاع در مقابل تنش‌های زیستی و غیرزیستی در گیاهان نقش کلیدی دارد (Ding and Ding, 2020). در شرایط خشکی، اسیدسالیسیلیک از طریق تجمع املاح سازگار کننده، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (Malaga *et al*., 2020) تولید کل قندها، فنولیک‌ها، اسیدهای آمینه آزاد، کلروفیل، کاروتنوئیدها (Dubey *et al*., 2021) و حفظ نفوذپذیری غشا و القای پروتئین‌های استرس (Khalvandi *et al*., 2021) وضعیت آب گیاه و تحمل به تنش خشکی را در گندم

جو (khalvani *et al*., 2021; Amin *et al*., 2008) (El-Samad *et al*., 2019; Abdelaal., 2020; Malaga *et al*., 2020)، کلزا (Rehman and Khalil, 2018) و بسیاری دیگر از گیاهان بهبود می‌بخشد. یافتن راه کاری برای تولید اقتصادی جو با حداقل مصرف آب آن‌هم در شرایطی که کشور دچار خشک‌سالی‌های مستمر بوده و به شدت نیازمند علوفه برای تعلیف دام‌ها می‌باشد، ضرورتی انکار ناپذیر است و از آنجا که اثرات تنش خشکی به میزان و طول دوره آن، مرحله رشدی گیاه، ظرفیت ژنوتیپی گونه‌ها و بر همکنش عوامل محیطی بستگی دارد (Haddadin, 2015).

در این شرایط کم آبی، بهبود راندمان مصرف آب و صرفه‌جویی در حجم آب آبیاری در محصولات کشاورزی ضرورتی انکار ناپذیراست. کم آبیاری به عنوان راهکاری برای مدیریت آب به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک برای به حداکثر رساندن راندمان مصرف آب تعریف می‌شود که در آن به صورت هدفمند با اجازه دادن و پذیرش اندکی کاهش عملکرد، بدون ایجاد آسیب جدی به گیاه در مصرف آب آبیاری صرفه‌جویی می‌شود (Fereres and Soriano, 2007) در تحقیقات انجام شده بر روی گیاه جو اگر چه اعمال تیمارهای کم آبیاری باعث کاهش عملکرد شد، ولی در تمامی موارد با افزایش کارآیی مصرف آب در این گیاه همراه بوده است (Ramezan *et al*., 2009) و لذا چگونگی اعمال مدیریت کم آبیاری برای افزایش کارآیی مصرف آب و حفظ عملکرد اقتصادی امری ضروری بنظر می‌رسد و با توجه به عدم وجود منابع کافی پژوهشی در رابطه با اثر متقابل کم آبیاری و زمان کاربرد اسیدسالیسیلیک در ژنوتیپ‌های جو مورد بررسی در منطقه محل آزمایش، پژوهش حاضر برای پاسخ به نیاز زارعان به اجراء در آمده است.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت اسپلیت‌پلات - فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ای خصوصی واقع در شهرستان نی‌ریز با عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۱۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۶۳۲ متر از سطح دریا در سال‌های زراعی ۱۳۹۹ - ۱۳۹۸ و ۱۴۰۰ - ۱۳۹۹ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل رژیم‌های مختلف آبیاری در سه سطح یک مرحله آبیاری پس از کاشت، دو مرحله آبیاری و چهار مرحله آبیاری به عنوان عامل اصلی و سه رقم جو شش ردیفه (ریحان، نصرت و خاتم) رایج در منطقه محل آزمایش و محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک با غلظت یک میلی‌مولار در سه مرحله انتهای دوره پنجه‌زنی، اواسط ساقه رفتن و ظهور پنجاه درصدی برگ پرچم به همراه تیمار عدم مصرف به عنوان عامل فرعی بودند که بصورت فاکتوریل در کرت اصلی خرد شدند.

خاک محل آزمایش دارای بافت سیلتی رسی بود (جدول ۱) و آب مورد استفاده برای آبیاری نیز دارای pH= ۸/۰۲ و $dS.m^{-1}$ EC= ۰/۲۰۴۶۸۶ [1] بود. آمار ایستگاه هواشناسی شهرستان نی‌ریز طی دو سال انجام آزمایش در جدول ۲ آورده شده است. هر کرت آزمایشی شامل هشت ردیف با فاصله بین ردیف ۲۰ سانتی‌متر و تراکم ۳۵۰ بذر در متر مربع با ابعاد ۱/۶ × ۴/۵ (۴/۵ متر طول و ۱/۶ متر عرض) بود. فاصله بین کرت‌های اصلی ۱/۵ متر و فاصله بین کرت‌های فرعی ۰/۵ متر در نظر گرفته شد. بر اساس نتایج آزمون خاک مقادیر ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره (بصورت تقسیط سه مرحله‌ای قبل از کاشت، مرحله پنجه‌زنی و شروع ساقه رفتن)، ۶۵ کیلوگرم کود سولفات پتاسیم و ۱۰۰ کیلوگرم کود سوپرفسفات در هکتار قبل از کاشت

مصرف گردید. کشت به روش دستی و در عمق ۳ سانتی‌متری در تاریخ دهم آذر ماه انجام شد. اسیدسالیسیلیک مصرفی (۲-اسید هیدروکسی بنزوئیک با جرم مولکولی ۱۳۸/۱۲ و چگالی ۱/۴۴۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب) تولید شرکت مرک آلمان بود.

**جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری**

**Table 1- The results of soil analysis at the experimental sites (soil depth 0–30 cm)**

| سال Year | هدایت الکتریکی | اسیدیته | کربن آلی | نیتروژن | فسفر | پتاسیم | آهن | روی | منگنز | مس | شن | سیلت | رس |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Ec | pH | OC | N | P | K | Fe | Zn | Mn | Cu | Sand | Silt | Clay |
| | ($dS.m^{-1}$) | (%) | | | (PPM) | | | | | | (%) | | |
| -2019۱۳۹۸ | 2.5 | 7.52 | 0.44 | 0.02 | 13.4 | 349 | 7.2 | 1.53 | 19.75 | 1.52 | 31.6 | 45.1 | 23.8 |
| -2020۱۳۹۹ | 3 | 7.60 | 0.46 | 0.01 | 13.4 | 338 | 7.1 | 1.4 | 19.8 | 1.50 | 33 | 43.2 | 23.8 |

## صفات مورد بررسی

برای اندازه‌گیری مقدار پرولین برگ پرچم همزمان با مرحله شروع پرشدن دانه (Pirasteh-Anoshe *et al.*, 2017) نمونه برداری و استخراج پرولین صورت گرفت و با استفاده از رابطه ۱ بر حسب میلی‌مول بر کیلوگرم وزن خشک بیان شد (Bates *et al.*, 1973).

Mmol/kgDW = (µmol prolin/lit) ×173/ DW(mg) (۱)

کلروفیل برگ پرچم در مرحله پرشدن دانه، استخراج و غلظت کلروفیل a و b آنها بر اساس روابط ۲ و ۳ بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر محاسبه گردید (Arnon, 1972).

$a = 12.7(A_{663}) - 2.69(A_{645}) \times v/1000\times w$ (۲)

$b = 22.9(A_{645}) - 4.69(A_{663}) \times v/1000\times w$ (۳)

وزن‌تر نمونه= w  حجم نمونه استخراج شده = v

برای اندازه‌گیری محتوی نسبی آب برگ پرچم در اواسط دوره پرشدن دانه (Ahmadi Lahijani and Emam, 2013) تعداد ۱۰ نمونه از هر واحد آزمایشی انتخاب و بلافاصله برگ‌ها به صورت کامل وزن شدند و وزن‌تر اولیه برگ‌ها (FW) ثبت گردید. به منظور تعیین وزن آماس، برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در داخل آب مقطر قرار داده شدند و پس از اندازه گیری وزن آماس (TW) به مدت ۴۸ ساعت در آون ۸۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و وزن خشک (DW) آن ها نیز اندازه‌گیری گردید و با استفاده از معادله شماره ۴ میزان RWC محاسبه شد (Hayat et al., 2005).

$RWC = (FW-DW) / (TW-DW) \times 100$ (۴)

برداشت نهایی جو در موقع رسیدگی کامل گیاه در دهه اول خرداد ماه از مساحت یک متر مربع در مرکز هر کرت با کف‌بر کردن بوته‌ها صورت گرفت. در این مرحله، صفات عملکرد بیولوژیک (وزن کل بخش هوایی برداشت شده هر واحد آزمایشی)، عملکرد دانه، شاخص برداشت (از نسبت عملکرد دانه به عملکرد زیستی محاسبه شد)، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه (با نمونه‌گیری تصادفی از عمکرد دانه در هر کرت و شمارش تعداد ۱۰۰۰ دانه در سه نوبت و توزین به آن‌ها) اندازه‌گیری شد.

تجزیه داده‌ها بعد از انجام آزمون بارتلت و اثبات همگن بودن واریانس خطای آزمایش و با در نظر گرفتن سال به عنوان متغییر تصادفی انجام شد. تجزیه واریانس داده‌ها بر اساس امید ریاضی منابع تغییر با استفاده از نرم‌افزار SAS Ver.9.1 به صورت مرکب و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

## نتایج و بحث

### تعداد دانه در سنبله

نتایج تجزیه واریانس نشان داد به جز اثر سه‌گانه آبیاری ×رقم× استفاده از محلول‌پاشی در مراحل رشدی و اثر سال در آبیاری ×رقم× و محلول‌پاشی در مراحل مختلف رشدی، سایر اثرات متقابل دو گانه معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد تعداد سنبله در سال اول آزمایش ۴/۰۴ درصد بیشتر از سال دوم بود (جدول ۴). در تطابق با این نتیجه، برخی محققین در مطالعه خود روی ژنوتیپ‌های گندم در شرایط تنش، تأثیر معنی‌داری را روی عملکرد دانه و اجزای عملکرد دانه مشاهده و کاهش تعداد دانه در سنبله در اثر خشکی، را به دلیل کاهش تعداد دانه در سنبلچه گزارش نموده‌اند (Dastfal *et al.*, 2011).

جدول ۲- اطلاعات هواشناسی محل اجرای آزمایش طی دو سال

Table 2- Meteorological information of the place where the experiment was carried out during two years

| | میزان بارندگی Precipitation (mm) | | میانگین دما Mean temperature (C°) | | میانگین رطوبت نسبی Mean relative humidity (%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ۱۳۹۸-۹۹ 2019-20 | ۱۳۹۹-۱۴۰۰ 2020-21 | ۱۳۹۸-۹۹ 2019-20 | ۱۴۰۰-۱۳۹۹ 2020-21 | ۱۳۹۸-۹۹ 2019-20 | ۱۴۰۰-۱۳۹۹ 2020-21 |
| آذر Nov. | 1.66 | 47 | 5.1 | 8.11 | 49 | 51 |
| دی Dec. | 6.59 | 5.3 | 8 | 4.7 | 50.5 | 28 |
| بهمن Jan. | 8.41 | 5.14 | 8.8 | 9.11 | 41 | 23 |
| اسفند Feb. | 2.13 | 5.17 | 14 | 15 | 28 | 33.5 |
| فروردین Mar. | 127 | 1.7 | 1.15 | 5.2 | 52 | 19 |
| اردیبهشت Apr. | 8.46 | 0 | 5.21 | 24 | 31.5 | 19.5 |
| خرداد May. | 1.2 | 0 | 5.28 | 9.29 | 16.5 | 8.5 |

به طور میانگین بیشترین تعداد دانه در سنبله از محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک در انتهای پنجه‌زنی به دست آمد (۳۳/۰۱ عدد در سنبله). مطابق نتایج این آزمایش، گزارش هایی وجود دارد که غلظت‌های ۱ و ۱/۵ میلی مولار اسیدسالیسیلیک موجب افزایش معنی‌دار تعداد دانه در سنبله شده است (Pakar *et al*., 2015).

در نتایج برخی از پژوهش‌ها افزایش نسبت تسهیم مواد پرورده به سنبله‌های گندم را به دنبال کاربرد اسیدسالیسیلیک گزارش شده (Amin *et al* 2008) که درنتیجه آن تعداد دانه‌های تشکیل یافته بیشتر گردید. در پژوهشی که بر روی جو تیمار شده با اسیدسالیسیلیک و پرولین تحت تنش خشکی انجام شد مشخص شد این هورمون موجب بهبود صفت تعداد دانه در سنبله می‌گردد (Abdelaal *et al*., 2020) که با نتایج آزمایش حاضر تطابق دارد.

با توقف آبیاری پس از پنجه‌زنی تعداد دانه در سنبله نسبت به تیمار چهار نوبت آبیاری در ارقام خاتم، ریحان و نصرت به ترتیب ۳۶/۳۴، ۳۳/۵۵ و ۳۹/۲۲ درصد کاهش یافت که نشان داد رقم نصرت بیشترین واکنش به تنش خشکی را در بین این ارقام از خود نشان داده است (جدول ۵).

تأثیر مثبت محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک بر تعداد دانه در سنبله در تیمار یک نوبت آبیاری نسبت به چهار نوبت آبیاری کمتر بود درتیمار بدون آبیاری تعداد دانه در سنبله در کلیه تیمارهای محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک بدون اختلاف معنی‌دار در یک گروه آماری قرار گرفت. اظهار شده است که کاهش سطح جذب کننده اسیدسالیسیلیک (ریشه‌ها و اندام هوایی) باعث کاهش تأثیر این هورمون و درنتیجه کاهش تعداد دانه در سنبله می‌باشد (Hayat *et al*., 2010).

تیمارهای محلول‌پاشی در انتهای پنجه‌زنی و مرحله ظهور ۵۰ درصد ساقه در هریک از تیمارهای آبیاری بدون اختلاف معنی‌دار آماری تأثیر مشابه بر تعداد دانه در سنبله داشت. بیشترین تعداد دانه در سنبله از تیمار برهم کنش چهار نوبت آبیاری و محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک درانتهای پنجه‌زنی به دست آمد (جدول ۶).

محلول‌پاشی در انتهای پنجه‌زنی در کلیه ارقام بیشترین تأثیر را بر تعداد دانه در سنبله داشته است. رقم ریحان بیشترین واکنش را به محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک نشان داده است.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح آبیاری، رقم و زمان محلول پاشی اسید سالیسیلیک بر عملکرد دانه، تعداد دانه سنبله، وزن هزار دانه، شاخص برداشت، رطوبت نسبی برگ، عملکرد زیستی، کلروفیل a, b و پرولین طی دو سال آزمایش

**Table 3- Results of analysis of variance of the effect of levels irrigation, variety and time of salicylic acid foliar application on grain yield, number of grains spike, 1000- kernel weight, harvest index, relative water content (RWC), biological yield, chlorophyll a, b and proline of during two years of testing**

| منابع تغییر Sources of variations | درجه آزادی DF | رطوبت نسب برگ RWC | کلروفیل a Chlorophyll a | کلروفیل b Chlorophyll b | پرولین Proline | دانه در سنبله Grain in spike | وزن هزاردانه 1000-Kernel weight | عملکرد زیستی Biological yield | عملکرد دانه Grain yield | شاخص برداشت Harvest index |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| سال Year | 1 | 1219.18 ** | 0.1296 ** | 0.368 ** | 2.2735 ** | 91.00 ** | 0.19 ns | 171760.6 ** | 8957260.2 ** | 735.86 ** |
| تکرار × سال R/Y | 4 | 0.20 | 0.0005 | 0.0003 | 0.0061 | 0.21 | 0.11 | 45.2 | 197.3 | 22.00 |
| آبیاری Irrigation | 2 | 9960.59 * | 3.8834 * | 1.8546 ** | 713.2713** | 3796.53** | 1348.65 ** | 10985868.3 ** | 452554228.7** | 19547.1** |
| سال × آبیاری Y×I | 2 | 468.01 ** | 0.2037 ** | 0.0093 ** | 0.4360 ** | 9.57 ** | 0.21 ns | 28797.2 ** | 715622.3 ** | 548.42 ** |
| تکرار×سال × آبیاری R×Y×I | 8 | 0.18 | 0.0003 | 0.0001 | 0.0063 | 0.21 | 0.12 | 43.6 | 699.4 | 22.00 |
| رقم Cultivar (C) | 2 | 135.53 * | 0.4526 ns | 0.0228 ns | 252.9313** | 161.28 * | 123.07 * | 122386.8 * | 3180166.5 ** | 58.55 ** |
| سال × رقم Y×C | 2 | 1.47 ** | 0.0335 ** | 0.0038 ** | 0.2450 ** | 4.71 ** | 5.96 ** | 2496.8 ** | 401415.3 ** | 63.09 ** |
| آبیاری× رقم Y×I | 4 | 21.20 * | 0.1008 * | 0.1098 ** | 58.0469 ** | 29.67 ** | 15.01 ** | 30454.5 * | 1068303.0 * | 13.39 ** |
| سال × آبیاری× رقم Y× I×C | 4 | 2.68 ** | 0.0150 ** | 0.0033 ** | 0.2954 ** | 6.25 ** | 0.63 ** | 2097.0 ** | 151209.3 ** | 17.24 ** |
| سالیسیلیک اسید SA | 3 | 38.63 ** | 0.0182 ns | 0.0072 ** | 6.1836 ** | 13.24 * | 0.47 ** | 17474.2 ** | 1239667 ** | 24.32 ** |
| سال × سالیسیلیک اسید SA ×Y | 3 | 0.39 ** | 0.0047 ** | 0.0002 ns | 0.1745 ** | 0.81 ** | 0.72 ** | 213.0 * | 7237 ** | 0.12 ns |
| آبیاری× سالیسیلیک اسید SA×I | 6 | 3.90 ** | 0.0068 * | 0.0005 ns | 33.1210 ** | 0.42 ns | 1.95 * | 2726.3 ** | 241933 ** | 2.75 ** |
| سال × آبیاری× سالیسیلیک SA×I ×Y | 6 | 3.30 ** | 0.0013 ** | 0.0005 ** | 0.2861 ** | 0.41 * | 0.45 * | 267.6 ** | 5536 ** | 0.17 ns |
| رقم× سالیسیلیک اسید SA×C | 6 | 1.69 ns | 0.0027 ns | 0.0004 * | 2.1420 ** | 1.34 ** | 0.19 ns | 168.2 ns | 20706 ** | 1.42 ** |
| سال ×رقم× سالیسیلیک اسید SA×C×Y | 6 | 3.19 ** | 0.0040 ** | 0.0001 ns | 0.0767 ** | 0.38 * | 0.40 ** | 314.9 ** | 2464 ** | 0.34 ns |
| آبیاری ×رقم× سالیسیلیک اسید SA×C ×I | 12 | 2.42 ** | 0.0016 ns | 0.0002 ns | 3.0706 ** | 0.14 ns | 0.18 ns | 138.3 ns | 5224 ns | 0.68 * |
| سال × آبیاری ×رقم× سالیسیلیک اسید SA×C ×I ×Y | 12 | 0.51 ** | 0.0016 ** | 0.0004 ** | 0.2402 ** | 0.20 ns | 0.28 ** | 354.5 ** | 2635 ** | 0.25 ns |
| خطا Error | 132 | 0.08 | 0.0002 | 0.0001 | 0.0090 | 0.16 | 0.12 | 57.1 | 307.7 | 0.3 |
| ضریب تغییر C.V.% | | 15.0 | 8.3 | 6.2 | 11.6 | 12.2 | 10.5 | 18.3 | 15.0 | 8.7 |

*، ** و ns به ترتیب بیانگر معنی داری در سطح پنج درصد، یک درصد و عدم معنی داری

*,** and ns represent significant at of 5% and 1% probability level and not significant, respectively

## وزن هزاردانه

مقایسه میانگین‌ها نشان داد وزن هزاردانه تحت تأثیر سال و تغییر شرایط آن قرار نگرفته است (جدول ۵) با افزایش تعداد دفعات آبیاری وزن هزاردانه به‌طور معنی‌دار افزایش یافت (به ترتیب ۲۱/۶ و ۲۸/۴ درصد افزایش نسبت به شاهد در تیمارهای دو و چهار نوبت آبیاری)(جدول ۵). فقدان آب درون‌سلولی و آسیب به فرآیندهای متابولیکی و فیزیولوژیکی در گیاه از دلایل کاهش وزن هزاردانه می‌تواند باشد و از سوی دیگر تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه موجب تسریع در رسیدن دانه و کاهش طول مدت انتقال مواد حاصل از فتوسنتز جاری به دانه‌ها شده که این عامل به سبب تأثیر بر روابط منبع و مخزن منجر به لاغر شدن دانه‌ها و کاهش وزن هزاردانه می‌شود (Ghabooli and Hosseini, 2021).

زمان محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک بر وزن هزاردانه تأثیر معنی‌دار نداشت. پیش از این برخی پژوهشگران در مطالعات خود دریافتند که وزن هزاردانه در اثر تیمار با اسیدسالیسیلیک بدون تغییر می‌ملند که ناشی از رقلبت بین تعداد پنجه و وزن هزاردانه برای دریافت مواد فتوسنتزی است (Sainio, 2001) هرچند که در برخی از بررسی‌ها گزارش شده است که کاربرد اسیدسالیسیلیک باعث افزایش وزن دانه‌های گندم (Sharma *et al.*, 2017) و جو (Abdelaal *et al.*, 2020) می‌شود.

چون وزن دانه به عنوان مهم‌ترین مقصد فیزیولوژیک در گیاهان زراعی در نظر گرفته می‌شود لذا افزایش وزن هزاردانه اثر مستقیم بر عملکرد دانه دارد، در این بررسی رقم نصرت از این نظر پتانسیل بیشتری برای ازدیاد عملکرد دلنه دارد. محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک در شرایط یک آبیاری و دو مرحله آبیاری تأثیر معنی‌داری بر وزن هزاردانه نداشت (جدول ۶). در تیمار چهار نوبت آبیاری محلول‌پاشی در انتهای پنجه‌زنی بیشترین وزن هزاردانه را داشت (۳۷/۸ گرم) که در مقایسه با تیمارهای محلول‌پاشی در مراحل ظهور ۵۰ درصد ساقه و انتهای ظهور برگ پرچم بدون اختلاف معنی‌دار بدون اختلاف معنی‌دار در بالاترین سطح در بین تیمارهای مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۶). در هر یک از ارقام مورد بررسی محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک تأثیر معنی‌داری بر وزن هزاردانه نداشت (جدول ۳).

**جدول ۴- مقایسه میانگین‌های عملکرد دانه، تعداد دانه سنبله، وزن هزاردانه، رطوبت نسبی برگ، عملکرد زیستی، شاخص برداشت، کلروفیل a, b و پرولین طی دو سال آزمایش**

**Table 4-Comparison of averages on grain yield, number of grains spike, 1000- kernel weight, relative water content (RWC), chlorophyll a, b and proline of during two years of testing harvest index, biological yield,**

| سال Year | رطوبت نسبی برگ RWC (%) | کلروفیل a Chlorophyll a ( mg $g^{-1}$) | کلروفیل b Chlorophyllb ( mg $g^{-1}$) | پرولین Proline (mg/g $fw^{1}$) | تعداد دانه در سنبله Grain in spike | وزن هزاردانه 1000-Kernel weight (g) | عملکرد زیستی Biological yield (kg $h^{-1}$) | عملکرد دانه Grain yield (kg $h^{-1}$) | شاخص برداشت Harvest index (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱۳۹۸-۱۳۹۹ 2019-20 | a 61.5 | 0.96 a | 0.41 a | 8.1 b | 33.1 a | 34.06 a | 9389.9 a | 3729.6 a | 35.8 a |
| ۱۳۹۹-۱۴۰۰ 2020-21 | 56.75 b | 0.91 b | 0.39 b | 8.3 a | 31.8 b | 34.0 b | 8825.9 b | 3322.3 b | 32.11 b |

در هر ستون سطوح تیماری که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند.

In each column, there is no significant difference between treatments with common letters according to Duncan test.

## عملکرد دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان دهنده اثر ساده و متقابل کلیه عوامل مورد بررسی بر عملکرد دانه جو بود (جدول ۳). عملکرد دانه در سال اول آزمایش (۹۹-۱۳۹۸)، ۶/۴ درصد بیشتر از سال دوم بود (جدول ۴). عوامل متغیر متعددی ازجمله شرایط محیطی، تغذیه و بافت خاک بر روی تغییرات عملکرد دانه در سال‌های مختلف تأثیر می‌گذارند. با توجه به کاهش این عوامل در طراحی و اجرای آزمایش، به نظر می‌رسد علت اصلی افزایش عملکرد در سال اول آزمایش مربوط به تغییرات شرایط آب و هوایی خصوصاً بارندگی بوده است.

گیاه جو در شرایط تنش خشکی پس از گرده‌افشانی، بیشترین آسیب را در سرعت پرشدن دانه و در نتیجه آن کاهش

عملکرد دانه متحمل می‌شود (Poureisa *et al*., 2019) و کاهش عملکرد بسته به شدت و زمان تنش خشکی می‌تواند در نتیجه محدودیت مبدأ (کاهش فتوسنتز، تسریع پیری و زوال برگ‌ها) یا محدودیت مقصد فیزیولوژیک (کاهش اندازه مقصد) باشد (Abbass *et al*., 2022). از میان سه رقم مورد بررسی عملکرد دانه در رقم ریحان از سایر ارقام بیشتر بود بر اساس نتایج پژوهشی دیگر گزینش ژنوتیپ‌ها بر اساس صفات روز تا رسیدگی و تعداد دانه در سنبله، به‌طور غیرمستقیم در هر دو شرایط آبیاری مناسب و تنش آخر فصل به گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا منتج می‌شود (Mohammadi, 2014).

محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک در انتهای پنجه‌زنی، مرحله ظهور ساقه و انتهای ظهور برگ پرچم به ترتیب ۱۰/۴، ۸ و ۴/۲ درصد عملکرد دانه را نسبت به شاهد بدون محلول‌پاشی افزایش داد. اگرچه به‌طورکلی اسیدسالیسیلیک موجب افزایش عملکرد دانه می‌شود ولی این اثر مثبت به‌شدت با زمان محلول‌پاشی آن همبستگی داشت. نتایج آزمایشی بروی گندم نیز نشان داد که محلول پاشی اسیدسالیسیلیک در مرحله پنجه‌زنی موجب افزایش عملکرد دانه گندم می‌گردد (Shoaa and Miri, 2012) و پژوهشگران دیگری نیز بیان نموده‌اند که کاربرد اسیدسالیسیلیک باعث افزایش عملکرد دانه می‌شود (Pakar *et al*., 2015).

افزایش تعداد دفعات آبیاری به چهار نوبت عملکرد دانه را در ارقام خاتم، ریحان و نصرت به ترتیب ۷/۹، ۸ و ۷/۲ برابر افزایش داد که نشان‌دهنده تحمل بیشتر رقم نصرت به تنش خشکی می‌باشد (جدول ۵). هرچند که تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عامل‌هایی است که می‌تواند رشد و شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد با این‌حال واکنش گیاهان به تنش خشکی به عوامل متعددی ازجمله ژنوتیپ گیاه بستگی دارد (Bray, 1997). در کلیه تیمارهای آبیاری با محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک در انتهای پنجه‌زنی بیشترین عملکرد دانه به دست آمد و بیشترین عملکرد در هر تیمار محلول‌پاشی متعلق به تیمار برهم‌کنش با تیمار چهار مرحله آبیاری بود (جدول ۵).

به عبارتی دیگر هیچ یک از تیمارهای محلول‌پاشی نتوانست کاهش عملکرد در اثر کاهش دور آبیاری را جبران نماید.

بیشترین عملکرد دانه در بررسی حاضر از برهم‌کنش سه‌گانه محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک در انتهای پنجه‌زنی بر روی رقم ریحان با چهار نوبت آبیاری (۶۲۴۶ کیلوگرم در هکتار) و کمترین آن از تیمار بدون محلول‌پاشی در رقم خاتم و بدون آبیاری (۶۲۵ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد (جدول ۵).

## عملکرد زیستی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان دهنده تأثیر معنی‌دار اثر سال بر عملکرد زیستی گیاه زراعی بود. اثر ساده و متقابل کلیه عوامل مورد بررسی بر عملکرد ماده زیستی معنی‌دار بود (جدول ۳). عملکرد زیستی در سال اول مورد بررسی ۱۲/۲ درصد بیشتر از سال دوم آزمایش بود (جدول ۴) با توجه به شرایط مشابه تغذیه و خاک مزرعه آزمایشی به نظر می‌رسد متفاوت بودن عوامل جوی خصوصاً بارندگی عامل این افزایش عملکرد در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ باشد.

بر اساس مطالعات محققین تنش خشکی توان فتوسنتزی گیاه را کاهش داده و این امر موجب کاهش تولیدات فتوسنتزی و در نهایت کاهش ماده خشک کل می‌گردد (Ghabooli, 2021; Abdelaal *et al*., 2020). در مطابقت با این بررسی‌ها افزایش تعداد دفعات آبیاری در آزمایش حاضر باعث افزایش معنی‌دار عملکرد ماده زیستی گیاه شد. بیشترین ماده خشک تولیدی در بین ارقام مورد بررسی متعلق به رقم ریحان با متوسط ۹۴۹۰/۰۳ کیلوگرم در هکتار بود ارقام نصرت و خاتم پس از این تیمار بیشترین متوسط وزن عملکرد زیستی را در بین ارقام مورد بررسی داشتند (جدول ۵).

محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک باعث افزایش متوسط عملکرد زیستی نسبت به شاهد بدون محلول‌پاشی شد. محققین معتقدند که استفاده از اسیدسالیسیلیک، از طریق گسترش سیستم ریشه‌ای و حفظ سلامت آن‌ها، سبب جذب بیشتر آب و مواد غذایی می‌شود و در نتیجه با افزایش فتوسنتز در برگ‌ها نقش مثبتی در افزایش عملکرد بیولوژیک گیاه ایفا می‌کند.

در شرایط کم‌آبی، اسیدسالیسیلیک از طریق تأثیر بر بیوسنتز اتیلن، پیری برگ‌ها را به تأخیر انداخته و از این طریق مدت زمان دوام سطح برگ را افزایش می‌دهد و به دنبال آن فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی به مخازن افزایش می‌یابد درنتیجه موجب بهبود عملکرد بیولوژیک گیاه می‌شود (Shakirova and Bezrukova, 1997) کاربرد اسیدسالیسیلیک پس

از پایان پنجه‌زنی، مدت زمان کافی برای اعمال تأثیرات مثبت بر گیاه یا توانایی گیاه در پاسخ‌گویی به تأثیرات مثبت این ماده را نداشت، به‌طوری که در عملکرد دانه و بیولوژیک گیاه، تأثیر مثبت اسیدسالیسیلیک در مراحل بعد از انتهای پنجه‌زنی کاهش یافت هرچند که نسبت به تیمار بدون محلول‌پاشی باعث افزایش عملکرد دانه و زیستی گیاه شد.

**جدول ۵- تأثیر برهم کنش تیمارهای مختلف آبیاری، زمان های مختلف محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و ارقام جو بر تعداد دانه سنبله، وزن هزاردانه، عملکرد دانه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت**

**Table 5- The interaction effect of different irrigation treatments, different times of salicylic acid foliar spraying and barley cultivars on the studied traits on number of grains spike, 1000- kernel weight, grain yield, biological yield, harvest index**

| آبیاری Irrigation | رقم Cultivar | زمان اعمال تیمار Treatment time | دانه در سنبله Grain in spike | | وزن هزاردانه 1000-Kernel weight (g) | | عملکرد زیستی Biological yield (kg ha⁻¹) | | عملکرد دانه Grain yield (kg ha⁻¹) | | شاخص برداشت Harvestindex (%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I 3 | ریحان Reihan | T1 | 38.10 | c | 35.03 | hi | 11191.6 | g | 4800 | j | 44.34 | e |
| | | T2 | 38.90 | b | 35.50 | h | 11716.6 | ef | 5236 | h | 46.45 | a |
| | | T3 | 38.80 | b | 35.19 | h | 11616.6 | f | 5179 | h | 45.66 | b |
| | | T4 | 38.63 | bc | 35.23 | h | 11341.6 | g | 5063 | i | 45.14 | bcd |
| | نصرت Nosrat | T1 | 38.70 | b | 37.94 | de | 12733.3 | c | 5651 | e | 45.06 | cd |
| | | T2 | 40.53 | a | 38.66 | abc | 13428.3 | a | 6246 | a | 46.75 | a |
| | | T3 | 40.20 | a | 38.37 | bcd | 13073.3 | b | 6031 | b | 47.02 | a |
| | | T4 | 39.13 | b | 38.28 | cd | 12861.6 | bc | 5808 | d | 45.59 | bc |
| | خاتم Khatam | T1 | 35.66 | fgh | 38.41 | bcd | 11871.6 | e | 5355 | g | 42.85 | fg |
| | | T2 | 36.88 | d | 39.24 | a | 12650.0 | c | 5919 | c | 44.64 | de |
| | | T3 | 36.70 | d | 38.98 | ab | 12293.3 | d | 5789 | d | 44.56 | de |
| | | T4 | 36.06 | ef | 38.63 | abc | 12128.3 | d | 5535 | f | 44.56 | de |
| I 2 | ریحان Reihan | T1 | 35.83 | fg | 33.76 | k | 9730.0 | o | 3875 | r | 39.03 | n |
| | | T2 | 36.83 | d | 34.41 | ijk | 10146.6 | lm | 4281 | o | 41.17 | kl |
| | | T3 | 36.83 | d | 34.13 | k | 9976.6 | mn | 4260 | o | 41.40 | jk |
| | | T4 | 36.48 | de | 34.32 | jk | 9785.0 | no | 4145 | pq | 40.66 | l |
| | نصرت Nosrat | T1 | 34.00 | ij | 34.87 | hij | 10465.0 | jk | 4090 | q | 42.00 | ij |
| | | T2 | 35.33 | gh | 35.25 | h | 10836.6 | h | 4569 | l | 42.86 | fg |
| | | T3 | 35.16 | h | 35.44 | h | 10720.0 | hi | 4443 | m | 43.12 | f |
| | | T4 | 33.83 | j | 35.09 | h | 10513.3 | ij | 4256 | o | 42.01 | ij |
| | خاتم Khatam | T1 | 33.20 | k | 36.73 | g | 10266.6 | kl | 4158 | p | 39.78 | m |
| | | T2 | 34.53 | i | 37.42 | ef | 10846.6 | h | 4657 | k | 42.16 | hi |
| | | T3 | 34.26 | ij | 37.26 | fg | 10545.0 | ij | 4556 | l | 42.68 | fgh |
| | | T4 | 33.93 | j | 36.92 | fg | 10365.0 | jkl | 4366 | n | 42.32 | ghi |
| I 1 | ریحان Reihan | T1 | 24.20 | o | 28.85 | mn | 4596.6 | q | 625 | v | 14.88 | r |
| | | T2 | 24.76 | n | 28.34 | n | 4723.3 | pq | 665 | uv | 15.40 | qr |
| | | T3 | 24.60 | no | 28.48 | n | 4633.3 | q | 651 | v | 15.46 | qr |
| | | T4 | 24.76 | n | 28.55 | n | 4595.0 | q | 636 | v | 14.86 | r |
| | نصرت Nosrat | T1 | 25.86 | m | 29.43 | lm | 4776.6 | pq | 719 | tu | 15.92 | pq |
| | | T2 | 26.83 | l | 28.48 | n | 4885.0 | p | 764 | st | 16.55 | o |
| | | T3 | 26.93 | l | 28.73 | n | 4801.6 | pq | 750 | st | 16.51 | op |
| | | T4 | 25.73 | m | 29.68 | l | 4788.3 | pq | 721 | tu | 16.13 | op |
| | خاتم Khatam | T1 | 21.93 | pq | 30.02 | l | 4723.3 | pq | 761 | st | 13.46 | S |
| | | T2 | 22.43 | p | 29.61 | l | 4810.0 | pq | 808 | s | 13.84 | S |
| | | T3 | 22.10 | pq | 29.74 | l | 4736.6 | pq | 789 | s | 13.88 | S |
| | | T4 | 21.83 | q | 30.05 | l | 4711.6 | pq | 769 | st | 13.71 | S |

سطوح آبیاری: $I_1$ یک مرحله آبیاری، $I_2$ دو مرحله آبیاری و $I_3$ چهار مرحله آبیاری - زمان های محلول پاشی سالیسیلیک اسید: $T_1$ شاهد(بدون کاربرد سالیسیلیک اسید) ، $T_2$ در انتهای پنجه زنی، $T_3$ مرحله ظهور ۵۰٪ ساقه و $T_4$ انتهای ظهور برگ پرچم

Irrigation levels: I1 one irrigation stage, I2 two irrigation stages and I3 four irrigation stages - different times of salicylic acid foliar spraying: In each column, the means with common letters do not have a statistically significant different. T1 control (without the use of salicylic acid), T2 tillering end, T3 50% emergence of stem and T4 flag leaf emergence leaves

در هر ستون میانگین های دارای حروف مشترک اختلاف آماری معنی داری ندارند.

In each column, the means with common letters do not have a statistically significant difference.

**جدول ۶- تأثیر برهم کنش تیمارهای مختلف آبیاری، زمان های مختلف محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و ارقام جو بر ، کلروفیل a, b ، پرولین و رطوبت نسبی برگ**

**Table 6- The interaction effect of different irrigation treatments, different times of salicylic acid foliar spraying and barley cultivars on chlorophyll a, b, proline, relative water content (RWC)**

| آبیاری | رقم | زمان اعمال تیمار | رطوبت نسبی برگ | | کلروفیل a | | کلروفیل b | | پرولین | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Irrigation | Cultivar | Treatment time | RWC(%) | | Chlorophyll a( mg g⁻¹) | | Chlorophyll b( mg g⁻¹) | | Proline (mg/g fw) | |
| I 3 | ریحان Reihan | T1 | 66.36 | f | 0.91 | l | 0.50 | fgh | 4.11 | qrs |
| | | T2 | 69.07 | bcd | 0.96 | jkl | 0.51 | dg | 7.03 | kl |
| | | T3 | 68.46 | de | 0.95 | jkl | 0.50 | dh | 6.18 | m |
| | | T4 | 68.03 | e | 0.92 | kl | 0.50 | eh | 4.72 | opq |
| | نصرت Nosrat | T1 | 70.57 | a | 1.01 | ghi | 0.48 | h | 3.01 | u |
| | | T2 | 69.91 | ab | 1.08 | def | 0.52 | def | 7.55 | k |
| | | T3 | 69.67 | ab | 1.09 | cde | 0.49 | gh | 4.96 | op |
| | | T4 | 69.16 | bcd | 1.06 | efg | 0.49 | h | 3.13 | tu |
| | خاتم Khatam | T1 | 67.97 | e | 1.03 | fgh | 0.52 | de | 3.72 | st |
| | | T2 | 69.96 | ab | 1.14 | bc | 0.57 | ab | 4.44 | pqr |
| | | T3 | 69.40 | bc | 1.10 | cde | 0.55 | bc | 4.05 | rs |
| | | T4 | 68.50 | cde | 1.06 | efg | 0.53 | cd | 3.80 | s |
| I 2 | ریحان Reihan | T1 | 58.96 | m | 1.00 | hij | 0.56 | ab | 11.36 | de |
| | | T2 | 62.58 | hij | 0.97 | ijk | 0.58 | a | 8.20 | j |
| | | T3 | 61.74 | jk | 0.97 | ijk | 0.56 | ab | 9.40 | fg |
| | | T4 | 60.37 | l | 0.99 | hij | 0.55 | bc | 11.38 | de |
| | نصرت Nosrat | T1 | 61.77 | jk | 1.12 | bcd | 0.39 | l | 12.48 | c |
| | | T2 | 65.83 | f | 1.17 | ab | 0.42 | jk | 8.97 | ghi |
| | | T3 | 64.62 | g | 1.16 | ab | 0.40 | jkl | 10.77 | e |
| | | T4 | 62.98 | h | 1.13 | bc | 0.40 | kl | 10.77 | e |
| | خاتم Khatam | T1 | 61.60 | k | 1.20 | a | 0.40 | jkl | 6.91 | l |
| | | T2 | 63.18 | h | 1.15 | ab | 0.45 | i | 5.11 | no |
| | | T3 | 62.82 | hi | 1.15 | ab | 0.42 | ij | 5.59 | mn |
| | | T4 | 61.97 | ijk | 1.17 | ab | 0.42 | jk | 6.18 | m |
| I 1 | ریحان Reihan | T1 | 43.18 | s | 0.60 | p | 0.19 | no | 11.64 | d |
| | | T2 | 44.83 | r | 0.65 | o | 0.19 | n | 8.40 | ij |
| | | T3 | 43.87 | s | 0.62 | op | 0.18 | no | 9.96 | f |
| | | T4 | 43.14 | s | 0.61 | op | 0.17 | o | 10.95 | e |
| | نصرت Nosrat | T1 | 46.32 | q | 0.76 | n | 0.25 | m | 15.08 | a |
| | | T2 | 46.90 | pq | 0.82 | m | 0.27 | m | 12.79 | c |
| | | T3 | 46.83 | pq | 0.82 | m | 0.27 | m | 14.08 | b |
| | | T4 | 46.29 | q | 0.76 | n | 0.26 | m | 14.00 | b |
| | خاتم Khatam | T1 | 47.33 | op | 0.60 | p | 0.19 | no | 9.11 | gh |
| | | T2 | 48.69 | n | 0.64 | op | 0.20 | n | 7.46 | kl |
| | | T3 | 48.20 | no | 0.61 | op | 0.19 | no | 8.45 | ij |
| | | T4 | 47.37 | op | 0.59 | p | 0.19 | no | 8.68 | hij |

سطوح آبیاری: I1 یک مرحله آبیاری، I2 دو مرحله آبیاری و I3 چهار مرحله آبیاری - زمان های محلول پاشی سالیسیلیک اسید: T1 شاهد(بدون کاربرد سالیسیلیک اسید) ، T2 در انتهای پنجه زنی، T3 مرحله ظهور ۵۰٪ ساقه و T4 انتهای ظهور برگ پرچم

Irrigation levels: I1 one irrigation stage, I2 two irrigation stages and I3 four irrigation stages - different times of salicylic acid foliar spraying: In each column, the means with common letters do not have a statistically significant different. T1 control (without the use of salicylic acid), T2 tillering end, T3 50% emergence of stem and T4 flag leaf emergence leaves

در هر ستون میانگین های دارای حروف مشترک اختلاف آماری معنی داری ندارند.

In each column, the means with common letters do not have a statistically significant difference.

در تمام شـــرایط آبیاری عملکرد زیســـتی در رقم ریحان بیشـــترین و در رقم خاتم از ســـایر تیمارها کمتر بود. عملکرد زیستی در کلیه ارقام مورد بررسی با کاهش تعداد دفعات آبیاری کاهش یافت و وزن ماده خشـک در ارقام خاتم، ریحان و نصرت در تیمار بدون آبیاری نسبت به شرایط حداقل تنش (چهار نوبت آبیاری) به ترتیب ۵۹/۶، ۶۳/۱ و ۶۱/۲ درصـــد کاهش یافت که

نشان‌دهنده تحمل بیشتر رقم خاتم به تنش خشکی می‌باشد (جدول ۵). در برهم‌کنش سه گانه آبیاری، رقم و زمان محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک بیشترین عملکرد زیستی متعلق به محلول‌پاشی در انتهای پنجه‌زنی رقم ریحان در چهار نوبت آبیاری بود (۱۳۴۲۸/۳ کیلوگرم در هکتار) (جدول ۵).

## شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس نشان دهنده معنی‌دار بودن اثر مستقل سال و اثر متقابل آن با اثر مستقل آبیاری و رقم و اثر دو گانه آبیاری و رقم در سطح یک درصد بودند. اثر متقابل سال با اثر مستقل اسیدسالیسیلیک معنی‌دار نبود (جدول ۳). بیشترین شاخص برداشت از سال اول آزمایش با متوسط ۳۵/۸ درصد به دست آمد (جدول ۴)، که میزان بارندگی در سال اول عامل این افزایش بوده است. افزایش تعداد دفعات آبیاری باعث افزایش شاخص برداشت شد. بالاترین میزان شاخص برداشت در بررسی حاضر، از تیمار چهار مرحله آبیاری به دست آمد (جدول ۵). صفات مرتبط با افزایش دسترسی به آب در طول پر شدن دانه، یا تغییر در مدت زمان کشت با شاخص برداشت بیشتر و عملکرد دانه مرتبط است (Carter *et al.*, 2019). کاهش شاخص برداشت در اثر تنش کمبود آب را می‌توان به کاهش عملکرد دانه نسبت داد و دلیل کاهش عملکرد دانه را کاهش سطح برگ و عملکرد زیستی برشمرد.

میزان شاخص برداشت در تیمارهای محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک در مرحله انتهای پنجه‌زنی و ظهور پنجاه درصد ساقه در بالاترین گروه آماری قرارگرفت (جدول ۵). سایر بررسی‌ها نیز نشان دهنده افزایش بیشتر عملکرد دانه نسبت به ماده خشک گیاهی در اثر مصرف اسیدسالیسیلیک می‌باشند که نهایتاً منجر به افزایش شاخص برداشت می‌شود (Abdi *et al.*, 2022). محققین گزارش نمودند که مصرف اسیدسالیسیلیک در شرایط مطلوب رطوبتی و تنش ملایم، شاخص برداشت را کاهش ولی در شرایط آبیاری معادل ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، شاخص برداشت را افزایش داد که با نتایج تحقیق حاضر، مطابقت ندارد (Jiriaie *et al.*, 2009). شاخص برداشت در هر تیمار محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک، با افزایش میزان آبیاری افزایش یافت. مصرف اسیدسالیسیلیک در شرایط بدون آبیاری در ظهور ۵۰ درصد ساقه و انتهای پنجه‌زنی، بالاترین درصد شاخص برداشت را داشتند اما در تیمار دو مرحله آبیاری، بیشترین میزان شاخص برداشت متعلق به تیمار محلول‌پاشی مرحله ظهور ۵۰ درصد ساقه بود. در تیمار چهار مرحله آبیاری، محلول‌پاشی در انتهای پنجه‌زنی و ظهور ۵۰ درصد ساقه اختلاف معنی‌داری در شاخص برداشت ایجاد نکرد. بررسی واکنش شاخص برداشت در ارقام مورد مطالعه بیانگر حصول بیشترین شاخص برداشت از محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک در انتهای پنجه‌زنی و ظهور ۵۰ درصد ساقه در رقم نصرت بود. در رقم خاتم، محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک شاخص برداشت را نسبت به تیمار بدون محلول‌پاشی افزایش داد اما زمان محلول‌پاشی تغییر معنی‌داری در شاخص برداشت ایجاد نکرد. در رقم ریحان، اختلاف محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک درانتهای پنجه‌زنی و ظهور ۵۰ درصد ساقه معنی‌دار نبود (جدول ۵).

برخی از محققین بیان کردند که صفت شاخص برداشت توسط عوامل ژنی و محیطی کنترل می‌گردد، اما نقش عوامل ژنی در کنترل این صفت بیشتر بوده و از آنجاکه شاخص برداشت بیانگر درصد انتقال مواد آلی ساخته شده از منبع به مخزن می‌باشد (Zecevic and Knezevic, 2005) و گیاهان با شاخص برداشت بالا، قادرند کربوهیدرات بیشتری را از اندام‌های سبز به دانه‌ها منتقل کنند و به همین دلیل عملکرد بالایی را از خود نشان دهند. بین عملکرد دانه و وضعیت آبی گیاه و شاخص برداشت رابطه وجود دارد و ژنوتیپ‌هایی که بتوانند وضعیت آبی بالاتر و سرعت تعرق بیشتری در طول پر شدن دانه داشته باشند، به‌طور کارآمدتری ماده خشک را به دانه رسانده و عملکرد بهتری نشان می‌دهند (Merah, 2001).

## رطوبت نسبی برگ پرچم

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان دهنده اثر ساده و متقابل کلیه عوامل مورد بررسی بر رطوبت نسبی برگ پرچم بود (جدول ۳) با افزایش تعداد دفعات آبیاری رطوبت نسبی برگ پرچم به طور معنی‌دار افزایش یافت (جدول ۶). این نتایج در تطابق با نتایج تحقیقات دیگری مبنی بر کاهش محتوای نسبی آب برگ در اثر تنش خشکی می‌باشد (Jiang and Huang, 2002) و نیز محققین دیگری نیز گزارش داده‌اند که رطوبت نسبی برگ در جو با آبیاری نرمال از همه بالاتر و در تنش از

همه کمتر بود (Abdelaal *et al*., 2020). در بین ارقام مورد بررسی محتوای نسبی آب برگ پرچم در رقم ریحان نسبت به سایر ارقام برتری داشت (۶۰/۰۷ درصد). پس از این رقم بیشترین محتوای نسبی آب برگ در ارقام نصرت (۵۹/۵۵ درصد) و خاتم (۵۷/۵۵ درصد) ثبت شد (جدول ۶).

علت کاهش محتوای رطوبت نسبی برگ را می‌توان به دلیل کاهش جذب آب از ریشه‌ها در شرایط خشک تفسیر نمود به علاوه کاهش در محتوای نسبی آب در گیاهان تحت تنش‌هایی نظیر خشکی و شوری، ممکن است به دلیل از دست رفتن فشار تورگر (تورژسانس) که در نتیجه محدود شدن دسترسی آب برای سلول است باشد (Colom and Vazzana, 2003; El-Khallal *et al*., 2005).

محتوای نسبی آب برگ با محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک به طور معنی‌دار افزایش یافت. این افزایش در انتهای پنجه‌زنی ۳/۲ درصد، ظهور ۵۰ درصد ساقه ۲/۲ درصد و در انتهای ظهور برگ پرچم ۰/۷ درصد نسبت به تیمار شاهد بدون محلول‌پاشی بود (جدول ۶).

گزارش‌های دیگری هم وجود دارد که نشان می‌دهد تیمار گندم با اسیدسالیسیلیک میزان محتوای رطوبت نسبی برگ را افزایش می‌دهد (Agarwal *et al*., 2005).

در شرایط بدون آبیاری بیشترین محتوای رطوبت نسبی آب برگ متعلق به رقم نصرت بود (۴۶/۵۹ درصد)، اما با افزایش دفعات آبیاری در دو و چهار نوبت بیشترین میزان رطوبت نسبی برگ پرچم به رقم ریحان اختصاص داشت. میزان رطوبت نسبی با کاهش دفعات آبیاری کاهش یافت. این میزان کاهش در تیمار شاهد نسبت به چهار نوبت آبیاری به ترتیب برای ارقام خاتم، ریحان و نصرت، ۳۵/۶، ۳۳/۳ و ۳۰/۵ درصد بود. این نتایج نشان‌دهنده بیشترین حساسیت به تنش خشکی در رقم خاتم نسبت به سایر ارقام مورد بررسی می‌باشد (جدول ۶).

برهم‌کنش ارقام مورد بررسی و محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک حاکی از بیشترین رطوبت نسبی برگ در محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک در انتهای پنجه‌زنی کلیه ارقام بود بیشترین میزان رطوبت نسبی برگ پرچم از تیمار محلول‌پاشی در انتهای پنجه‌زنی در رقم ریحان به دست آمد. محلول‌پاشی در این مرحله رشدی نسبت به شاهد بدون محلول‌پاشی در ارقام خاتم، ریحان و نصرت به ترتیب رطوبت نسبی را ۴/۷، ۲/۲ و ۲/۸ درصد افزایش داد؛ که نشان‌دهنده بهترین واکنش به محلول‌پاشی در رقم خاتم می‌باشد (جدول ۶). بالاترین رطوبت نسبی برگ پرچم از برهم‌کنش سه‌گانه محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک در انتهای پنجه‌زنی در چهار نوبت آبیاری در رقم ریحان با متوسط ۷۰/۵۷ درصد به دست آمد. محلول‌پاشی در رقم خاتم در انتهای پنجه‌زنی و عدم محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک در همین رقم بدون آبیاری کمترین رطوبت نسبی برگ را در بین تیمارهای مورد بررسی داشتند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک در هیچ یک از ارقام مورد بررسی نتوانست جبران کاهش رطوبت نسبی برگ پرچم در اثر تنش را نماید (جدول ۶). به نظر می‌رسد اسیدسالیسیلیک از طریق تجمع اسمولیت‌ها در داخل سلول، بالا بردن نسبت ریشه به ساقه، تحریک تولید اسیدآبسیزیک و کاهش هدایت روزنه‌ای، رطوبت نسبی گیاه را در شرایط تنش خشکی بهبود می‌بخشد (kadioglu *et al*., 2011).

## محتوای کلروفیل a و b برگ پرچم

بررسی نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات نشان دهنده اثر معنی‌دار کلیه عوامل ساده مورد بررسی بر روی کلروفیل a و b اندازه‌گیری شده بود. اثرات متقابل و سه‌گانه بر کلروفیل a و b در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین میزان کلروفیل a از تیمارهای دو و چهار نوبت آبیاری به دست آمد با افزایش سطح تنش حاصل از کاهش دفعات آبیاری میزان این شاخص کاهش یافت در بالاترین سطح تنش (تیمار بدون آبیاری) میزان کلروفیل a نسبت به چهار نوبت آبیاری ۳۴/۳ درصد کاهش یافت. روند تغییرات کلروفیل b نیز نشان‌دهنده تأثیر کاهنده تنش خشکی به میزان ۵۸/۰۲ درصد بر این شاخص در تیمار بدون آبیاری نسبت به ۴ نوبت آبیاری بود (جدول ۶) بیشترین غلظت کلروفیل a و b متعلق به تیمار محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک در انتهای پنجه‌زنی بود. با محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک در این مرحله از رشد گیاه غلظت کلروفیل a (۴/۳ درصد) و b (۶/۳ درصد) در گیاه شد. اثر مثبت اسیدسالیسیلیک در افزایش محتوای کلروفیل a در جو (El-Tayeb, 2005; Pirasteh- Anosheh., 2016) گزارش شده است. این اثر می‌تواند به نقش اسیدسالیسیلیک در افزایش سبزمانی گیاه و جلوگیری از

تخریب کلروپلاست ها نسبت داده شود (Pirasteh-Anosheh, 2017).

بیشترین میزان کلروفیل a در رقم ریحان و بیشترین میزان کلروفیل b در رقم خاتم اندازه‌گیری شد. میزان کلروفیل b در ارقام ریحان و نصرت بدون اختلاف معنی‌دار آماری در یک گروه قرار گرفت (جدول ۶). در برهم‌کنش ارقام و تعداد دفعات آبیاری بیشترین میزان کلروفیل a از اثر متقابل تیمار دو نوبت آبیاری و ارقام ریحان و نصرت به دست آمد. در هر یک تیمارهای دو و چهار نوبت آبیاری میزان کلروفیل a در این دو رقم اختلاف معنی‌دار نداشت. بیشترین میزان کلروفیل b از رقم خاتم در شرایط دو نوبت آبیاری با متوسط ۰/۵۷ میکروگرم بر گرم به دست آمد (جدول ۷). به نظر می‌رسد کاهش کلروفیل در شرایط تنش خشکی به افزایش رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول مربوط می‌شود. این رادیکال‌های آزاد باعث پراکسیداسیون و تجزیه می‌شوند و با کاهش کلروفیل، تغییرات قابل توجهی در گیاهان ایجاد می‌کنند (Moeini *et al*., 2022).

## محتوای پرولین برگ پرچم

غلظت پرولین در گیاه تحت تأثیر اثرات ساده سال و عوامل مورد بررسی و هم‌چنین اثرات متقابل آن‌ها در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴).

غلظت پرولین در سال اول آزمایش به طور معنی‌دار نسبت به سال دوم کمتر بود. پرولین در همه لندام‌های گیاه در طی تنش خشکی تجمع می‌یابد ولی سریع‌ترین انباشت را در برگ‌ها دارد (Fahmideh *et al*., 2021) افزایش غلظت پرولین در تنش خشکی ممکن است نشان‌دهنده نقش احتمالی این اسیدآمینه در تنظیم اسمزی باشد (Podlesakova, 2019) و به عبارت دیگر در شرایط استرس، برخی از اسمولیت‌ها از جمله پرولین، گلیسین بتائین، قندهای محلول و اسپرمین در داخل سلول‌های گیاهی تجمع می‌کنند تا پتانسیل اسمزی سلول را حفظ کنند (Dubey *et al*., 2021).

نتایج نشان داد با افزایش سطح تنش و کاهش تعداد نوبت آبیاری غلظت پرولین افزایش یافت. در پژوهشی بر روی ارقام جو مشخص شد که جوهای تحت تنش خشکی میزان افزایش تجمع پرولین در اندام هوایی نسبت به ریشه با افزایش بیش از ۳۰ درصد داشت (Frimpong *et al*., 2021). بیشترین غلظت پرولین در رقم ریحان که نشان دهنده تحمل بیشتر این رقم به تنش خشکی می‌باشد (جدول ۶).

محققی گزارش نموده که میزان پرولین در برگ‌های جو تحت تنش دو برابر افزایش داشت که نشان‌دهنده مقاومت به کم‌آبی است و ارقام مقاوم میزان پرولین بیشتری داشتند (El-Tayeb, 2005).

هرچند که رقم نصرت دارای سطح کلروفیل بالاتری نسبت به رقم خاتم بود اما غلظت پرولین در رقم خاتم نسبت به این رقم افزایش یافت. به نظر می رسد سازوکار تحمل به تنش خشکی در رقم خاتم به واسطه افزایش غلظت پرولین بوده و دلیل متحمل بودن به تنش خشکی در رقم نصرت به واسطه حفظ غلظت کلروفیل این رقم تحت شرایط کم‌آبی و در نتیجه حفظ سطح فتوسنتز مورد نیاز گیاه باشد.

محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک در کلیه مراحل رشد باعث کاهش غلظت پرولین نسبت به شاهد بدون محلول‌پاشی شد. محلول‌پاشی در مراحل انتهای پنجه‌زنی، ظهور ۵۰ درصد ساقه و ظهور برگ پرچم به ترتیب ۳۸/۵، ۲۴/۹ و ۱۳/۲ درصد غلظت پرولین را افزایش داد (جدول ۶). و نتایج پژوهشی در جو نشان داد که استرس خشکی در برگ میزان پرولین را ۱۲۶ درصد افزایش داد اما محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک در حالت تنش خشکی موجب تعدیل این افزایش تجمع گردید و میزان پرولین در شرایط نرمال ۲۳ درصد بود (Zulfiqar *et al*., 2021).

در کلیه تیمارهای آبیاری محلول‌پاشی در انتهای پنجه‌زنی به‌طور معنی‌دار باعث افزایش میزان پرولین نسبت به سایر تیمارهای محلول‌پاشی شد و کمترین میزان غلظت پرولین در تمامی شرایط آبیاری برای تیمار عدم محلول‌پاشی به دست آمد.

در هر یک از مراحل محلول‌پاشی بیشترین غلظت پرولین مربوط به رقم ریحان بود. واکنش ارقام مورد بررسی به محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک در رابطه با تجمع پرولین در گیاه متفاوت بود. در رقم ریحان با تأخیر در زمان محلول‌پاشی غلظت پرولین کاهش یافت، اما این روند برای ارقام خاتم و نصرت افزایشی بود.

در نتایج مطالعه‌ای گزارش شده که تحت شرایط تنش خشکی سالسیلیک‌اسید با القاء آنزیم سنتزکننده پرولین و مهار آنزیم سنتزکننده اتیلن آمینوسیکلوپروپان کربوکسیلیک اسید ACCسنتتاز باعث افزایش تولید پرولین در خردل می‌شود

(Nazar *et al*., 2015) که با نتایج حاضر مطابقت دارد.

## نتیجه‌گیری کلی

نتایج این مطالعه نشـــان داد که تنش خشـــکی (یک دور آبیاری) به طور قابل‌توجهی باعث کاهش رشـــد گیاه، عملکرد، رنگدانه‌های فتوسـنتزی، محتوای نسـبی آب و شـاخص برداشـت شـد. محلول‌پاشـی اسـیدسـالیسـیلیک در انتهای پنجه‌زنی کلیه شـــاخص‌های مربوط به عملکرد را نســـبت به ســـایر تیمارهای محلول‌پاشـــی افزایش داد. که می‌توان آن را به افزایش شـــاخص سطح برگ در کلیه مراحل رشد نسبت داد. اما محلول‌پاشی این هورمون در شـــرایط یـک آبیـاری و دو مرحلـه آبیـاری تـأثیر معنی‌داری بر وزن هزاردانه نداشـت و در هیچ یک از ارقام مورد بررسـی و در هیچ مرحله رشـدی نتوانسـت باعث جبران کاهش تعداد دانه در سـنبله در اثر تنش خشـکی شـود. عملکرد زیسـتی و شـاخص برداشـت عوامل بسـیار مهم و تأثیرگذاری بر عملکرد دانه بودند و از آنها می‌توان به عنوان صفات اصلی برای انتخاب ارقام با عملکرد بالا در شـرایط نرمال و تنش خشـکی اسـتفاده کرد. گرچه به طور کلی اســـیدســـالیســـیلیک موجب افزایش عملکـــــرد دانه می‌شـــود ولی این اثر مثبت به شـــدت با زمان محلول‌پاشی آن همبستگی داشـــــت. و در شرایط آب و هوایی مشابه محل آزمایش و بویژه در شـرایط خشـک‌سالی رقم ریحان قابل توصیه به کشاورزان می‌باشد.

## تعارض منافع

نویسـندگان اظهار می‌نمایند که هیچ‌گونه تعارض منافعی در رابطه با نشر این مقاله وجود ندارد.

**References**


Abbass, K., Qasim, M.Z. and Song, H., 2022. A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. *Environmental Science and Pollution Research*, *29*, pp.42539–42559. **doi: 10.1007/s11356-022-19718-6**

Abdelaal, K.A.A., Kot b, A., Salman, F., Alamery, M.M., El-Afry, A. I., Ghazy, D.S., Al-Doss, A.A., El-Sayed, E., El-Shawy, A., Abu-Elsaoud, M. and Hafez, Y.M., 2020. Exogenous application of proline and salicylic acid can mitigate the injurious impacts of drought stress on barley plants associated with physiological and histological characters. *Sustainability*, *12*(5), pp.1736. **doi: 10.3390/su12051736**

Abd El-Samad, H.M.A., Shaddad, M.A.K. and Ragaey, M.M., 2019. Drought strategy tolerance of four barley cultivars and combined effect with salicylic acid application. *American Journal of Plant Sciences*, *10*, pp.512-535.

Abdi, N., Van Biljon, A., Steyn, C. and Labuschagne, M.T., 2022. Salicylic acid Improves growth and physiological attributes and salt tolerance differentially in two bread wheat cultivars. *Plants*, *11*(14), pp.1853-1865. **doi: 10.3390/plants11141853**

Agarwal, S., Sairam, R.K., Srivastava, G.C. and Meena, R.C., 2005. Changes in antioxidant enzymes activity and oxidative stress by abscisic acid and salicylic acid in wheat genotypes. *Biologia Plant*, *49*(4), pp.541-550.

Ahmadi, K., Abadzadeh, H.R., Hatami, F., Mohammad Nia Afrozi, SH., Esfandiaripur, E. and AbbasTaghani, R., 2021. Agricultural statistics for the crop year 2018-2019, volume one: crops . Ministry of Agricultural Jihad, Vice President of Planning and Economy. *Information and Communication Technology Center*, *97* pages. [In Persian].

Ahmadi Lahijani, M.J. and Emam, Y., 2013. Response of Wheat Genotypes to Terminal Drought Stress Using Physiological Indices. *Journal of Crop Production and Processing*, *9*, pp.163-176. [In Persian]

Amin, A.A., Rashad, E.M.S. and Gharib, F.A.E., 2008. Changes in morphological, physiological and reproductive characters of wheat plants as affected by foliar application with salicylic acid and ascorbic acid. *Australian Journal of Basic and Applied Science, 2*, pp.252-261.

Ashraf, M.A., Ashraf, M. and Qasim, A., 2010. Response of tow genetically diverse wheat cultivars to salt stress at differnt growth stages: leaf lipid peroxidation and phenolic contents. *Pakistan Journal of Botany, 42*(1), pp.559-565.

Badr, A., Muller, K., Schafer, P., Rabey, EL.H., Effgen, S., Ibrahim, H.H., Pozzi, C., Rohde, W. and Salamini, F., 2000. On the origin and domestication history of barley (*Hordeum vulgare*). *Molecular Biology and Evolution, 17*(4), pp.499–510.

Bandurska, H., 2022. Drought stress responses: coping strategy and resistance. *Plants, 11*(7), pp.922.

Bates, I.S., Waldern, R.P. and Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil, 39*, pp.205-207.

Bouhlal, O., Affricot, J.R., Puglisi, D., El-Baouchi, A., El Otmani, F., Kandil, M., Hafidi, A.L., Keser, M., Sanchez-Garcia, M. and Visioni, A., 2021. Malting quality of ICARDA Elite winter barley (*Hordeum vulgare* L.) germplasm grown in moroccan middle atlas .*Journal of The American Society of Brewing Chemists*, pp.1-12. **doi: 10.1080/03610470.2021.1978036**

Bray, E.A., 1997. Plant responses to water deficit. *Trends in Plant Science*, *2*, pp.48-54.

Carter, A., Hawes, M. and Ottman, M.J., 2019. Drought-tolerant barley: I. field observations of growth and development. *Agronomy*, *9*(221), pp.1-19. **doi: 10.3390/agronomy9050221**

Colom, M.R. and Vazzana, C., 2003. Photosynthesis and PSII functionality of drought- resistant and drought-sensitive weeping lovegrass plants. *Environment and Experimental Botany*, *49*, pp.135-144.

Dastfal, M.V., Barati, Y., Emam, Y., Haghighatnia, H. and Ramazanpour, M., 2011. Evaluation of grain yield and Its components in wheat genotypes under terminal drought stress conditions in darab region. *Seed and Plant Production Journal*, *27*(2), pp.195-217. [In Persian].

Ding, P. and Ding, Y., 2020. Stories of salicylic acid: a plant defense hormone. *Trends Plant Sci*, *25*, pp.549–565. **doi: 10.1016/j.tplants.2020.01.004**

Dubey, A., Kumar, A., Malla, M.A., Chowdhary, K., Singh, G., Gudasalamani, R., Satyawati, S., Santamaria, Z.S., Menéndez, E. and Dames, J.F., 2021. Approaches for the amelioration of adverse effects of drought stress on crop plants. *Frontiers in Bioscience-Landmark*, *26*(10), pp.928-947. **doi: 10.52586/4998**

El-Khallal, S.M., Hathout, T.A.A., El-Raheim, A., Ashou, A. and Kerrit, A.A., 2005. Brassinolide and salicylic acid induced growth, biochemical an activities and productivity of maize plants growth under salt stress. *Journal of Agricultural and Biological Sciences*, *5*, pp.380–390.

El-Tayeb, M.A., 2005. Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant Growth Regul*, *45*, pp.215–224.

Fahmideh, L., Mazarie, A., Madadi, Sh. and Pahlevan, P., 2021. Comparison between of photosynthetic Pigments, osmotic regulators and antioxidant enzymes of nimroz and nomar barley cultivars of sistan region under

drought stress. *Journal of Crop Breeding*; *13*(37), pp.51-62. [In Persian]. doi: 10.52547/jcb.13.37.51

Fereres, E., Soriano, M.A., 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use, *Journal of Experimental Botany*, *58*, pp.147–159. **doi.org/10.1093/jxb/erl165**

Frimpong, F., Anokye, M., Windt, C.W., Naz, A.A., Frei, M., Dusschoten, D.V. and Fiorani, F., 2021. Proline-mediated drought tolerance in the barley (*Hordeum vulgare* L.) isogenic line is associated with lateral root growth at the early seedling stage. *Plants*, pp.1-21. **doi: 10.3390/plants10102177**

Ghabooli, M. and Hosseini, A., 2021. Piriformospora indica promotes some morphophysiological traits, yield and ion homeostasis of barley (*Hordeum Vulgare* L.) under drought stress. *Iranian Journal of Plant Biology*, *13*(1), pp. 1-18. [In Persian]. **doi: 10.22108/ijpb.2021.123339.1219**

Haddadin, M., 2015. Assessment of drought tolerant barley varieties under water stress. *International Journal of Agriculture and Forestry*, *5*(2), pp.131-137.

Hayat, S., Fariduddin, Q., Ali, B. and Ahmad, A., 2005. Effect of salicylic acid on growth and enzyme activities of wheat seedlings. *Acta Agronomica Hungarica*, *53*, pp. 433-437.

Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, M. and Ahmad, A., 2010. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. *Environmental and Experimental Botany*, *68*(1), pp.14-25.

Jiang, Y. and Huang, B., 2002. Drought and heat stress injury to two coolseason turfgrasses in relation to antioxidant metabolim and lipid peroxidation. *Crop Science*,*41*, pp. 436-442.

Jiriaie, M., Sajedi, N.A., Madani, H. and Sheikhi, M., 2009. Effect of PGPR and water deficit on agronomical traits of wheat (cv. Shahriar). *New Finding in Agriculture*, *3*(4), pp.333-343. [In Persian].

Kadioglu, A., Saruhan, N., Saglam, A., Terzi, R. and Acet, T., 2011. Exogenous salicylic acid alleviates effects of long term drought stress and delays leaf rolling by inducing drought stress and delays leaf rolling by inducing antioxidant system. *Plant Growth Regulation*, *64*, pp.27-37.

Khalvandi, M., Siosemardeh, A., Roohi, E. and Keramati, S., 2021. Salicylic acid alleviated the effect of drought stress on photosynthetic characteristics and leaf protein pattern in winter wheat. *Heliyon*, *7*. e05908, pp.1-11. **doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e05908**

Malaga, S., Janeczko, A. and Janowiak, F., 2020. Involvement of homocastasterone, salicylic and abscisic acids in the regulation of drought and freezing tolerance in doubled haploid lines of winter barley. *Plant Growth Regul*, *90*, pp.173–188.

Mehrabian, N., Arvin, M., Khajavinejad, R. and Maghsoodi, K., 2011. Effect of salicylic acid on growth and forage and grain yield of maize under drought stress. *Seed Plant Improvement Journal*, *27*, pp.41-55. [In Persian]

Merah, O., 2001. Potential importance of water status traits for durum wheat improvement under Mediterranean conditions. *Journal of Agricultural Science Cambridge*, *137*, pp.139-145.

Moeini, A.R., Neshat, A., Yazdanpanah, N. and Pasandi Pour, A., 2022. Effect of super absorbent polymer and soil texture affecting the physiological response of maize (*Zea mays* L.) under water deficit stress. *Journal of Crop Ecophysiology*, *16*(1), pp.43-60. [In Persian].

Mohammadi, S., 2014. Evolution of grain yield and its components relationships in bread wheat genotypes under

full irrigation and terminal water stress conditions using multivariate statistical analysis. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *12*(1), pp.99-109. [In Persian].

Naseri, R., Barary, M., Zarea, M.J., Khavazi, K. and Tahmasebi, Z., 2016. Studying root morphological characteristi of seminal roots systems of durum and bread wheat cultivars. *Journal of Crop Ecophysiology*, *10*(2), pp.477-492. [In Persian]. **doi: 10.22067/gsc. v17i1.69147**.

Nazar, R., Umar, S., Khan, N.A. and Sareer, O., 2015. Salicylic acid supplementation improves photosynthesis and growth in mustard through changes in proline accumulation and ethylene formation under drought stress. *South African Journal Botany*, *98*, pp.84-94. **doi: 10.1016/j.sajb.2015.02.005**

Pakar, N., Anosheh, H.P. and Emam, Y., 2015. The effect of different concentrations of salicylic acid on qualitative and quantitative characteristics of barley under salt stress conditions. *Journal of Crop Production and Processing*, *4*(14), pp.191-202. [In Persian].

Pirasteh-Anosheh, H., Emam, Y., Rousta, M.J. and Hashemi, S.E., 2017. Effect of salicylic acid on biochemical attributes and grain yield of barley (*Horedum vulgare* L. cv. Nosrat) under saline conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*,*18*(3), pp.232-244. [In Persian].

Podlesaková, K., Ugena, L., Spíchal, L., Doležal, K. and De Diego, N., 2019. Phytohormones and polyamines regulate plant stress responses by altering GABA pathway. *New Biotechnology*, *48*, pp.53-65. **doi: 10.1016/j.nbt.2018.07.003**

Poureisa, M., Nabipour, M. and Meskabashi, M., 2019. Evaluation of grain filling rate and stem soluble carbohydrate remobilization in barley cultivars under terminal drought. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *12*(4), pp.1129-1139. [In Persian].

Ramezani, H., Nazari, B., Tavakoli, A., Parsinejad, M. 2009. Evaluation of cropwat model in deficit irrigation management of wheat and barley in Karaj. *Water and Soil*, *23*(1). [In Persian]. **doi: 10.22067/jsw.v0i0.1540**

Rehman, A. and Khalil, S.K., 2018. Effect of exogenous application of salicylic acid, potassium nitrate and methanol on canola growth and phenology under different moisture regimes. *Sarhad Journal of Agriculture, 34*(4), pp.781-789.

Ritchie, S.W., Nguyen, H.T. and Haloday, A.S., 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, *30*, pp.105-111.

Sainio, P.P. and Rajala, A., 2001. Chlormequat chloride and ethephon affect growth and yield medison. *Agricultural and Food Science*, pp.29-43.

Shakirova, F.M. and Bezrukova, M.V., 1997. Induction of wheat resistance against environmental salinization by salicylic acid. *Biology Bulletin*, *24*, pp.109-112.

Sharma, M., Gupta, S.K., Majumder, B., Maurya, V.K., Deeba, F., Alam, A. and Pandey, V., 2017. Salicylic acid mediated growth, physiological and proteomic responses in two wheat varieties under drought stress. *Journal of Proteomics*, *163*, pp.28-51. **doi: 10.1016/j.jprot.2017.05.011**

Shoaa, M. and Miri, H.R., 2012. Reducing detrimantal effects of salt stress on morphophysiological characteristics of wheat by application of salicylic acid. *Journal of Crop Production*, *5*(1), pp.71-88. [In Persian].

Zecevic, V. and Knezevic, D., 2005. Variability and components of variance for harvest index in wheat (*Triticum aestivum* L). *Genetica*, *37*, pp.173-179.

Zulfiqar, F., Chen, J., Finnegan, P.M., Younis, A., Nafees, M., Zorrig, W. and Hamed, K.B., 2021. Application of trehalose and salicylic acid mitigates drought stress in sweet basil and improves plant growth. *Plants*, *10*(1078), pp.1-14. **doi: 10.3390/plants10061078**

**Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 6, Issue 4, Winter 2024, P. 203-221**

# Effects of salicylic acid on quantitative yield and some biochemical traits of three barley varieties under different irrigation regimes

**Mojtaba Shoaa[1], Farhad Mohajeri[2*], Mohammad Rahim Owji[2], Alireza Bagheri[3]**

[1] Ph.D Student, Fasa Branch, Islamic Azad University, Fasa, Iran
[2] Fasa Branch, Islamic Azad University, Fasa, Iran
[3] Eghlid Branch, Islamic Azad University, Eghlid, Iran
[*]Corresponding Author: fmohajeri1397@gmail.com

Received: 8 September 2023 Accepted: 10 February 2024 **DOI: 10.22034/CSRAR.2024.414576.1372**

## Abstract

**Introduction**: In the tropical and subtropical regions of Iran, the growth and yield of cereals decreases due to the presence of drought stress caused by the increasing decrease of water resources. At the same time, barley is one of the most suitable crops for such conditions. Today, the use of plant growth regulators such as salicylic acid has made plants resistant to environmental stresses such as drought. Due to the water limitation in Iran and the widespread use of barley in animal feeding, this research was carried out to evaluate the effects of different salicylic acid application times on some morphological traits and grain yield of this crop under drought stress. Due to the water limitation in Iran and the widespread use of barley in animal feeding, this research was carried out to evaluate the effects of different salicylic acid application times on some morphological traits and grain yield of this crop under drought stress.

**Materials and Methods:** A field experiment was conducted as a factorial split- plot on a randomized complete block design with three replications were carried out during two cropping years 2019-2020 and 2020-2021in Neyriz city.The experimental factors include the number of times of irrigation in three levels of one, two and four times as the main factor, Six-Rowed barley varieties Reihan, Nosrat and Khatam, the sub factor and the spraying of salicylic acid hormone with a concentration of one mM, in four levels with water (cotrol), tillering end, 50% emergence of stem, and end of flag leaf emergence leaves were as the sub-sub factor. Therefore, the experiment included 36 treatments and the whole experiment included 108 experimental units (plots). Each experimental plot consisted of eight rows, and the spacing of rows was 20 cm and a density of 350 grains per square meter with dimensions of 1.6 x 4.5 (4.5 meters long and 1.6 meters wide). The interval between the primary plots was 1.5 meters, and the subplot spacing was 0.5 meters. The soil of the experiment site had a silty clay texture, and the water used for irrigation had pH=8.02 and EC=0.2686 dS.m-1. The parameters measured included the number of Grain in spike, ChlorophyllA, ChlorophyllB, Proline, Relative water content, weight of 1000 seeds, biological yield and Grain yield. Data were analyzed after Bartlett's test, proving the homogeneity of test error variance and considering the year as a random variable. Variance analysis of the data was done based on the mathematical expectation of change sources using SAS Ver.9.1 software. The means were compared using Tukey's test at the five percent probability level.

**Results and Discussion:** The results showed that the independent effects of low irrigation treatments, variety and salicylic acid had a significant effect on the content of chlorophyll a and b, proline concentration, number of seeds per spike, biological yield, seed yield and also plant height**.** Based on the results Compared with normal conditions, drought stress had a negative effect on the indicators: RWC, chlorophyll a and b, other components related to yield and grain, and also increased proline content. The lowest response to the reduction of irrigation frequency was related to the weight of 1000 seeds with a decrease of 22.1%. Spraying salicylic acid solution in drought stress conditions did not have a significant effect on the weight of 1000 seeds and the number of seeds per spike, but it improved other studied traits in both stress and normal conditions. that these positive effects were strongly correlated with the time of foliar spraying and the highest efficiency of salicylic acid

application was related to foliar spraying at the end of tillering and results show the highest sensitivity to lack of irrigation in Khatam variety compared to other investigated varieties.
**Conclusion:** Among the barley cultivars, Rehan variety had the best performance in the experimental treatments, and in general, spraying salicylic acid solution, especially at the end of the tillering stage, was effective in reducing the effects of drought stress, and under similar water and soil conditions, its use in barley is recommended.

**Keywords:** Drought stress, Harvest index, Irrigation levels, Plant hormones, Proline