

## اثر ۵- آمینولولونیک اسید بر پاسخ‌های فیزیولوژیکی گیاه گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) تحت تنش خشکی

فردین قنبری<sup>۱</sup>، محمد سیاری<sup>۲\*</sup>، مهدی صیدی<sup>۳</sup> و علی اشرف امیری نژاد<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام

۲- نویسنده مسوول: استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا (m.sayyari@basu.ac.ir)

۳- استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۲/۲۳

تاریخ دریافت: ۹۰/۹/۱۹

### چکیده

در این مطالعه اثر ۵-آمینولولونیک اسید (ALA)، پیش ماده کلیدی در بیوستز پورفیرین‌ها و تنظیم کننده جدید رشد گیاهی، بر برخی پاسخ‌های فیزیولوژیکی گیاه گشنیز تحت تنش خشکی مورد مطالعه قرار گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور تنش خشکی در سه سطح (آبیاری در حد ۱۰۰، ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت مزرعه) و ALA در چهار سطح (۰، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام در سال ۱۳۸۹ اجرا گردید. نتایج حاصل از تجزیه آماری داده‌ها نشان داد تنش خشکی و کاربرد ALA اثر معنی‌داری بر پارامترهای فیزیولوژیکی گیاه شامل محتوای نسبی آب برگ، بازده مصرف آب، میزان پرولین، کلروفیل و محتوای مالون دی آلدهید دارد. در شرایط تنش خشکی میزان کلروفیل و محتوای نسبی آب کاهش یافت اما محتوای مالون دی آلدهید، بازده مصرف آب و پرولین افزایش پیدا کرد. کاربرد ALA به طور معنی‌داری سبب افزایش محتوای نسبی آب، بازده مصرف آب، محتوای پرولین و کلروفیل و همچنین کاهش تجمع مالون دی آلدهید گردید. در این تحقیق تیمار ALA با افزایش کلروفیل و تجمع پرولین و با کاهش تجمع مالون دی آلدهید سبب کاهش آثار سوء تنش بر گیاه گشنیز شد.

**کلید واژه‌ها:** گشنیز، بازده مصرف آب، کلروفیل، محتوای نسبی آب، پرولین، مالون دی آلدهید

### مقدمه

افزودن برخی مواد افزودنی به خاک نظیر بقایای گیاهی، کود دامی، کمپوست، و مواد معدنی مانند زئولایت و مواد پلی‌مری سوپرجاذب که قابلیت جذب و نگهداری آب زیادی دارند (منتظر، ۱۳۸۷) و استفاده از برخی قارچ‌های همزیست (عبدول و اسا و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۱) و مواد تنظیم کننده رشد گیاهی (باجگوز و هیات<sup>۲</sup>، ۲۰۰۹) می‌تواند راهکارهای منطقی به منظور مقابله با آثار سوء تنش خشکی بر گیاهان باشد. تنظیم کننده های رشد گیاهی<sup>۴</sup> (PGRs) به طور وسیع در محصولات کشاورزی

در کشاورزی نوین برخی راهکارهای مقابله با آثار سوء تنش خشکی بر گیاهان شامل انتخاب ژنوتیپ‌های مقاوم، شناسایی و انتقال ژن‌های مقاومت به گیاهان به وسیله روش‌های مهندسی ژنتیک، شیوه‌های صحیح کشاورزی از جمله جذب، حفاظت و توزیع صحیح آب-های موجود، سیستم تناوب کشت، خاک‌ورزی حفاظتی، استفاده از خاکپوش و بادشکن‌ها، انتخاب درست ارقام و محصولات، تراکم و تاریخ کاشت مناسب و... می‌باشد (وارایچ و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۱). علاوه بر موارد ذکر شده

2- Abdul-Wasea *et al.*

3- Bajguz & Hayat

4- Plant Growth Regulators (PGRs)

1- Waraich *et al.*

غلظت های بالا (بالتر از ۵ میلی مولار) اثر علف کشی (ریبز و همکاران<sup>۱۷</sup>، ۱۹۸۴) و حشره کشی (ریبز و همکاران، ۱۹۸۸) از ALA گزارش شده است. کاربرد خارجی ALA در غلظت های پایین (۱ تا ۱ میلی گرم در لیتر) سبب افزایش وزن تر شاخساره و محتوای کلروفیل و کاهش مالون دی آلدهید (MDA)<sup>۱۸</sup> در گیاه کلزا تحت تنش خشکی گردیده است (لیو و همکاران<sup>۱۹</sup>، ۲۰۱۱). پیشنهاد شده که این ماده به عنوان یک ماده داخلی غیر سمی ممکن است پتانسیل کاربردی زیادی در تولید محصولات کشاورزی داشته باشد (هوتا و همکاران، ۱۹۹۷).

گشنیز با نام علمی *Coriandrum sativum* L. گیاهی است یکساله و از خانواده چتریان<sup>۲۰</sup> به ارتفاع ۶۰ تا ۱۰۰ سانتی متر و با طول دوره رشد ۱۰۰ تا ۱۲۰ روز، که در بسیاری از کشورها به عنوان گیاهی بهاره و در برخی کشورهای حاشیه مدیترانه و جنوب شرقی آسیا به صورت گیاهی زمستانه کشت می شود. گیاهی است گرمادوست و در انواع خاک ها می روید (امیدبگی، ۱۳۷۶). علی آبادی فراهانی و همکاران (۱۳۸۶) نشان دادند که تنش خشکی در گیاه گشنیز بر راندمان مصرف آب، محتوای نسبی آب بافت و میزان پرولین به طور معنی داری تاثیر دارد. بالاترین راندمان مصرف آب و میزان پرولین تحت شرایط تنش و بالاترین محتوای نسبی آب بافت در شرایط بدون تنش به دست آمد. همچنین سارکادی و همکاران<sup>۲۱</sup> (۲۰۰۶) در تحقیق خود بر روی گیاه دارویی گشنیز نشان دادند که تنش خشکی موجب افزایش پرولین در این گیاه شده است. اثرات تنش رطوبتی خاک بر روی گیاه گشنیز نشان داد که این شرایط منجر به کاهش محتوای نسبی آب بافت و افزایش پتانسیل آب برگ می شود. همچنین در این مطالعه تنش

جهت بهبود عملکرد محصولات بکار برده می شوند. گزارش های موفقی از کاربرد برخی از این مواد مانند میکوات کلراید<sup>۱</sup> (احمد و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۹)، براسینواستروئیدها<sup>۳</sup> (باجگوز و هیات، ۲۰۰۹)، پلی آمین-ها<sup>۴</sup> (ساروهان و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۰۶)، کاروناتین<sup>۶</sup> (آی و همکاران<sup>۷</sup>، ۲۰۰۸)، سالیسیلیک اسید<sup>۸</sup> (سناراتنا و همکاران<sup>۹</sup>، ۲۰۱۱)، آبسزیک اسید<sup>۱۰</sup> (اکتاس و همکاران<sup>۱۱</sup>، ۲۰۰۷) و جاسموناتها<sup>۱۲</sup> (ونگ<sup>۱۳</sup>، ۱۹۹۹) در مقابله با اثرات نامطلوب تنش خشکی بر گیاهان ارائه شده است. ۵- آمینولولونیک اسید (ALA)<sup>۱۴</sup> که پیش- ماده کلیدی در بیوسنتز تمام ترکیبات پورفیرینی از قبیل کلروفیل، هم و فیتوکروم می باشد اثر تنظیم کنندگی بر رشد و نمو گیاهی داشته و باعث افزایش بیوسنتز کلروفیل و فتوسنتز شده و در نتیجه افزایش عملکرد محصولات را سبب می شود (هوتا و همکاران<sup>۱۵</sup>، ۱۹۹۷). در رابطه با شناخت اثرات ALA در محصولات کشاورزی گزارشات بسیار اندکی منتشر شده است. تیمار گیاهان برنج، جو، سیب زمینی و سیر در مراحل اولیه رشد با غلظت مناسب ALA باعث افزایش رشد و میزان فتوسنتز و به تبع آن افزایش قابل توجه عملکرد در این گیاهان شد (هوتا و همکاران، ۱۹۹۷). همچنین ALA به کار رفته در غلظت های پایین سبب افزایش مقاومت گیاهان به تنش های سرما (هوتا و همکاران، ۱۹۹۸) و شوری (واتانابه و همکاران<sup>۱۶</sup>، ۲۰۰۰) شده است. در

1-Mepiquat Chloride

2- Ahmed *et al.*

3-Brassinosteroids

4- Polyamines

5- Saruhan *et al.*

6-Caronatine

7- Ai *et al.*

8- Salisylic acid

9- Senaratna *et al.*

10-Abcsicic acid

11- Aktas *et al.*

12-Jasmonates

13- Wang

14- 5-aminolevolinic acid

15- Hota *et al.*16- Watanabe *et al.*17- Rebeiz *et al.*

18- Malondialdehyde (MDA)

19- Liu *et al.*

20- Apiaceae

21- Sarkadi *et al.*

استفاده قرار گرفت. ۴۸ ساعت پس از اعمال تیمار ALA، تیمار تنش خشکی شروع شد و تا پایان فصل رشد ادامه یافت، بدین صورت که پس از پر کردن گلدان‌ها جهت تعیین ظرفیت زراعی، آبیاری گلدان‌ها به صورت کامل و در حد اشباع انجام شد. ۲۴ ساعت بعد از آبیاری و خروج آب ثقیلی، نمونه‌های خاکی از گلدان‌ها گرفته و بلافاصله توزین گردیدند. سپس جهت تعیین درصد رطوبت وزنی، نمونه‌ها به آون الکتریکی با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت منتقل گردیدند و بدین وسیله وزن خاک خشک نیز مشخص گردید (حسینی، ۱۳۸۵). درصد رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت زراعی معادل ۳۲ درصد تعیین شد. پس از مشخص شدن درصد رطوبت خاک در ظرفیت زراعی، میزان رطوبت مورد نیاز برای اعمال تیمارهای خشکی نیز مشخص گردید، با توجه به وزن اولیه خاک گلدان‌ها (۷ کیلوگرم) به ترتیب ۲۲۴۰، ۱۳۴۴ و ۶۷۲ گرم (میلی-لیتر) آب نیاز بود تا میزان رطوبت خاک گلدان‌ها در حد ۱۰۰، ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت مزرعه باشد.

بدون تنش:  $FC_{100} = (0.32 \times 7000) / 2240$

تنش ملایم:  $FC_{60} = (0.60 \times 2240) / 1344$

تنش شدید:  $FC_{30} = (0.30 \times 2240) / 672$

تیمارهای آبیاری با توزین روزانه گلدان‌ها و اضافه نمودن آب مصرفی بر اثر تبخیر و تعرق (میزان کاهش وزن گلدان‌ها) اعمال شد. حدود دو ماه پس از شروع اعمال تنش خشکی و در مرحله‌ای که اکثر بوته‌ها در مرحله گلدهی بودند صفات زیر مورد ارزیابی قرار گرفت:

برای تعیین محتوای نسبی آب (RWC)<sup>۵</sup> از روش دیازپرز و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۰۶) استفاده شد. ابتدا ۱۰ برگ رسیده و جوان از هر نمونه انتخاب و جدا گردید و بلافاصله نمونه‌ها در محیط آزمایشگاهی بوسیله ترازو (با دقت ۰/۰۰۱ گرم) توزین شدند (FW). سپس به مدت ۲۴

آبی سبب کاهش کلروفیل و افزایش محتوای پرولین و مالون دی آلدهید شد (آنجالی و کاله<sup>۱</sup>، ۲۰۰۷).

با توجه به موارد شرح داده شده و لزوم استفاده از مواد و ترکیبات جدید به منظور مقابله با تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی بر گیاهان در کشور، مطالعه حاضر جهت ارزیابی فیزیولوژیکی نقش ALA در بهبود مقاومت به تنش خشکی در گیاه گشنیز انجام شده است.

### مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۸۹ به منظور بررسی اثر ALA بر گیاه گشنیز تحت تنش خشکی در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل شامل سه سطح تنش خشکی شامل: شرایط بدون تنش (رطوبت خاک در حد ظرفیت مزرعه<sup>۲</sup>)، تنش ملایم (رطوبت خاک در حد ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه) و تنش شدید (رطوبت خاک در حد ۳۰ درصد ظرفیت مزرعه) و ۴ غلظت ALA؛ ۰، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار با ۴ تکرار و برای هر تکرار ۳ گلدان (در مجموع ۱۴۴ گلدان) اجرا گردید. گلدان‌ها (ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر و قطر دهانه ۲۳ سانتی‌متر) با نسبت‌های مساوی از خاک مزرعه، ماسه بادی و کود دامی پوسیده و به میزان ۷ کیلوگرم پر شده، سپس بذور (تهیه شده از شرکت پاکان بذر اصفهان) در آن‌ها کشت گردید. نتایج آزمایش خاک مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است. تا شروع اعمال تیمارها رطوبت خاک گلدان‌ها در حد ظرفیت مزرعه نگهداری شد. پس از چند مرحله عمل تنک، در هر گلدان ۱۰ گیاه حفظ و در مرحله ۶ تا ۸ برگی تیمار ALA (تهیه شده از شرکت مرک آلمان) به صورت محلول پاشی برگی در آن‌ها بکار رفت. در گلدان‌های شاهد تنها آب مقطر اسپری شد. در هر محلول چند قطره توین ۲۰<sup>۳</sup> به عنوان سورفاکتانت<sup>۴</sup> نیز مورد

1- Anjali & Kale

2- Field Capacity (FC)

3- Tween-20

4- Surfactant

5- Relative Water Content (RWC)

6- Diaz-Perz et al.

$$\text{Chlorophyll } a \mu(\text{g/ml}) = 12/21(A_{663}) - 2/81(A_{666})$$

$$\text{Chlorophyll } b \mu(\text{g/ml}) = 20/13(A_{666}) - 5/03(A_{663})$$

سنجش پرولین با استفاده از روش بیئتس و همکاران<sup>۴</sup> (۱۹۷۳) صورت گرفت. در این روش ۰/۵ گرم از ماده تر گیاهی با ۱۰ میلی لیتر محلول ۳ درصد اسید سولفوسالیسیلیک ساییده گردید. از مخلوط حاصل پس از صاف کردن، ۲ میلی لیتر برداشته شد، و پس از افزودن ۲ میلی لیتر معرف اسید ناین هیدرین<sup>۵</sup> و ۲ میلی لیتر اسید استیک خالص در بن ماری با دمای ۱۰۰ درجه سانتی-گراد به مدت یک ساعت قرار داده شد. سپس لوله ها را در حمام آب یخ گذاشته و پس از اضافه کردن ۴ میلی-لیتر تولوئن، مقدار جذب در طول موج ۵۲۰ نانومتر خوانده شد و مقدار پرولین با استفاده از منحنی استاندارد آن به دست آمد.

میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء بر اساس تشکیل کمپلکس مالون دی آلدئید ایجاد شده با تیوباری تیوریک اسید<sup>۶</sup> سنجیده شد. اندازه گیری مقدار مالون دی دی آلدئید با استفاده از روش استیوارت و بیولی<sup>۷</sup> (۱۹۸۰) در دو طول موج ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفوتومتر صورت گرفت.

به منظور انجام محاسبات آماری از نرم افزارهای SAS و MSTAT-C استفاده گردید و مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن انجام گرفت.

## نتایج

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده ها نشان داد که سطوح مختلف تنش خشکی و همچنین کاربرد ALA بر تمامی صفات مورد ارزیابی در سطح ۱ درصد آماری تاثیر معنی دار داشتند. (جدول ۲). مقایسه میانگین اثرات ساده تنش خشکی نشان داد که بالاترین میزان محتوای نسبی آب (۸۱/۲۰ درصد) و کلروفیل a (۳/۹۰ میکرو

ساعت در آب مقطر (جهت آب گیری کامل) قرار گرفته و در این مدت در محیط آزمایشگاهی با دمای تقریبی ۲۲ درجه سانتیگراد نگهداری شده و پس از خشک شدن آب سطحی مجدداً توزین شدند (TW). پس از آن برگ ها به مدت ۴۸ ساعت و در دمای ۷۵ درجه سانتی-گراد در داخل آون الکتریکی قرار داده شدند. پس از این مدت نمونه ها توزین تا وزن خشک (DW) به دست آید. از رابطه زیر محتوای نسبی آب برگ محاسبه گردید.

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

به منظور اندازه گیری بازده مصرف آب<sup>۱</sup> در هر بار آبیاری میزان آب داده شده به گلدانها ثبت گردید. در پایان دوره رشد عملکرد ماده خشک در هر گلدان نیز یادداشت شد. روشی که به عنوان متداولترین روش اندازه گیری بازده مصرف آب معمول است از تقسیم عملکرد ماده خشک (بر حسب کیلوگرم) به آب از دست رفته از طریق تبخیر و تعرق (بر حسب متر مکعب) به دست می آید (کلین<sup>۲</sup>، ۲۰۰۷).

برای اندازه گیری کلروفیل از روش لیشتن تالر و ولبورن<sup>۳</sup> (۱۹۸۳) استفاده شد. در این روش ابتدا مقدار ۰/۲۵ گرم برگ تازه را با استفاده از ۵ میلی لیتر آب مقطر در هاون چینی کاملاً ساییده تا توده یکنواختی به دست آید. مخلوط حاصل را به یک فالدکون منتقل کرده و حجم آن به وسیله آب مقطر به ۱۲/۵ میلی لیتر رسانده شد. سپس ۰/۵ میلی لیتر از عصاره نمونه برداشته و با ۴/۵ میلی لیتر استون ۸۰ درصد مخلوط کرده و محلول حاصل به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس محلول رویی را برداشته و در طول موج های ۶۶۳ و ۶۴۶ نانومتر و با استفاده از اسپکتروفوتومتر طول موج جذبی (A) قرائت، و کلروفیل بر اساس فرمول های زیر (لیشتن تالر و ولبورن، ۱۹۸۳) محاسبه شد.

4- Battes *et al.*

5- Ninhydrine acid

6-Thiobarbituric acid

7- Stewart & Bewley

1- Water Use Efficiency (WUE)

2- Cline

3- Lichtenthaler & Wellburn

نسبت به شاهد شد. بیشترین بازده مصرف آب با میانگین  $0/341$  کیلوگرم بر متر مکعب در شرایط تنش شدید و تیمار  $1$  میلی مولار ALA به دست آمد. همچنین کمترین میزان این صفت با میانگین  $0/202$  کیلوگرم بر متر مکعب در شرایط بدون تنش و  $0$  میلی مولار ALA به دست آمد که از لحاظ آماری اختلاف معنی داری با شرایط تنش ملایم و تیمار صفر میلی مولار ALA (شاهد) و همچنین شرایط بدون تنش و  $0/25$  میلی مولار ALA نداشت. اثر متقابل تنش خشکی و  $5$ -آمینولولونیک اسید بر میزان پرولین در سطح  $1$  درصد آماری معنی دار شد (جدول ۲)، به طوری که کاربرد  $1$  میلی مولار این ماده به ترتیب در شرایط بدون تنش، تنش ملایم و تنش شدید باعث افزایش  $144/60$ ،  $140/42$  و  $186/02$  درصدی میانگین این صفت نسبت به شاهد شد. بیشترین میزان تجمع پرولین در برگ‌ها با میانگین  $30/95$  میکرومول بر گرم وزن تر در شرایط تنش شدید و  $0/5$  میلی مولار ALA به دست آمد که از لحاظ آماری اختلاف معنی داری با شرایط تنش شدید و  $1$  میلی مولار ALA نداشت. همچنین کمترین میزان این صفت با میانگین  $6/94$  میکرومول بر گرم وزن تر برگ در شرایط بدون تنش و تیمار صفر میلی مولار ALA به دست آمد که از لحاظ آماری اختلاف معنی داری با شرایط تنش ملایم و صفر میلی مولار، بدون تنش و  $0/25$  میلی مولار، بدون تنش و  $0/5$  میلی مولار ALA نداشت. اثر متقابل تنش خشکی و  $5$ -آمینولولونیک اسید بر میزان مالون دی آلدئید در سطح  $1$  درصد آماری معنی دار شد (جدول ۲)، به طوری که کاربرد  $1$  میلی مولار این ماده به ترتیب در شرایط بدون تنش، تنش ملایم و تنش شدید باعث کاهش  $224$ ،  $202$  و  $191$  درصدی میانگین مالون دی آلدئید نسبت به شاهد شد. بیشترین میزان مالون دی آلدئید با میانگین  $8/10$  نانومول بر گرم وزن تر در شرایط تنش شدید و تیمار صفر میلی مولار ALA (شاهد) به دست آمد. همچنین کمترین میزان این صفت با میانگین  $2/76$  نانومول بر گرم وزن تر در شرایط بدون تنش و تیمار  $1$  میلی مولار ALA

گرم بر میلی لیتر) و کلروفیل b ( $2/06$  میکرو گرم بر میلی لیتر) در شرایط بدون تنش، و بالاترین بازده مصرف آب ( $0/251$  کیلو گرم بر متر مکعب)، پرولین ( $27/12$  میکرو مول بر گرم وزن تازه) و مالون دی آلدئید ( $5/60$  نانومول بر گرم وزن تازه) در شرایط تنش شدید به دست آمد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات ساده ALA نشان داد که بالاترین محتوای نسبی آب ( $78/33$  درصد)، بازده مصرف آب ( $0/320$  کیلو گرم بر متر مکعب)، کلروفیل a ( $3/93$  میکرو گرم بر میلی لیتر) و کلروفیل b ( $2/10$  میکرو گرم بر میلی لیتر) و پرولین ( $19/03$  میکرو مول بر گرم وزن تازه) در تیمار  $1$  میلی مولار ALA و بالاترین میزان تجمع مالون دی آلدئید ( $6/81$  نانومول بر گرم وزن تازه) در تیمار شاهد (صفر میلی مولار ALA) به دست آمد (جدول ۴). اثر متقابل تنش خشکی و  $5$ -آمینولولونیک اسید بر محتوای نسبی آب برگ در سطح  $5$  درصد آماری معنی دار شد (جدول ۲)، به طوری که کاربرد  $1$  میلی مولار این ماده به ترتیب در شرایط بدون تنش و تنش ملایم با وجود افزایش  $106/75$  و  $105/37$  درصدی این صفت نسبت به شاهد معنی دار نشد در حالی که در شرایط تنش شدید با افزایش  $132/29$  درصدی نسبت به شاهد دارای اختلاف معنی داری بود. بیشترین میزان محتوای نسبی آب برگ با میانگین  $84/87$  درصد در شرایط بدون تنش و تیمار  $1$  میلی مولار ALA به دست آمد که از لحاظ آماری اختلاف معنی داری با شرایط بدون تنش و صفر میلی مولار، تنش ملایم و  $0/25$  میلی مولار، بدون تنش و  $0/5$  میلی مولار و تنش ملایم و  $1$  میلی مولار ALA نداشت. کمترین میزان این صفت با میانگین  $53/78$  درصد در شرایط بدون تنش و تیمار  $1$  میلی مولار ALA به دست آمد. اثر متقابل تنش خشکی و  $5$ -آمینولولونیک اسید بر بازده مصرف آب در سطح  $1$  درصد آماری معنی دار شد (جدول ۲)، به طوری که کاربرد  $1$  میلی مولار این ماده به ترتیب در شرایط بدون تنش، تنش ملایم و تنش شدید باعث افزایش  $150/49$ ،  $144/23$  و  $145/72$  درصدی این صفت

قنبری و همکاران: اثر ۵- آمینولولونیک اسید بر پاسخ های فیزیولوژیکی...

به دست آمد که از لحاظ آماری اختلاف معنی داری با (جدول ۵).  
شرایط تنش ملایم و تیمار ۱ میلی مولار ALA نداشت

**جدول ۱- برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در گلدان ها**

ظرفیت زراعی (%)	شن (%)	رس (%)	سیلت (%)	بافت خاک	pH	EC (دسی زیمنس بر متر)	فسفر (میلی گرم در کیلوگرم)	پتاسیم (میلی گرم در کیلوگرم)	کربن (%)	نیتروژن (%)
۳۲	۲۲	۱۱	۷۷	لوم-سیلتی	۷/۳	۰/۷	۳۷/۴	۳۳۳/۶	۰/۴۲۳	۰/۰۴

**جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد بررسی در گیاه گشنیز تحت تاثیر تنش خشکی ۵- آمینولولونیک اسید (ALA)**

منابع تغییرات	درجه آزادی	محتوای نسبی آب	بازده مصرف آب	کلروفیل a	کلروفیل b	پروکلین	مالون دی آلدئید
بلوک	۳	۲/۴۸۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۱۳۴ *	۰/۰۶۱ *	۱/۶۹۴ <sup>ns</sup>	۰/۱۰۴۲ <sup>ns</sup>
خشکی	۲	۱۳۹۸/۰۷۴ **	۰/۰۰۶۷ **	۰/۴۸۸ **	۰/۲۰۳ **	۱۵۵۲/۷۱۷ **	۸/۷۸۷ **
۵- آمینولولونیک اسید	۳	۱۶۲/۸۱۸ **	۰/۰۲۲۹ **	۰/۴۹۶ **	۰/۱۷۴ **	۱۰۰/۴۵۵ **	۲۵/۶۸۸ **
خشکی ۵- آمینولولونیک اسید	۶	۵۹/۰۳۷ *	۰/۰۰۰۶ **	۰/۰۰۸ <sup>ns</sup>	۰/۰۱۰ <sup>ns</sup>	۱۴/۳۲۵ **	۰/۷۵۲ **
خطای آزمایشی	۳۳	۲۱/۲۷۰	۰/۰۰۰۱	۰/۰۳۹	۰/۰۲۰	۲/۸۲۲	۰/۱۶۷
ضریب تغییرات	-	۶/۲۱	۴/۶۶	۵/۲۹	۷/۱۷	۱۰/۶۱	۸/۵۷

\*\* معنی دار در سطح ۱٪، \* معنی دار در سطح ۵٪، ns: عدم اختلاف معنی دار.

**جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات ساده تنش خشکی بر صفات مورد مطالعه**

تیمار خشکی	محتوای نسبی آب (%)	بازده مصرف (کیلو گرم ماده خشک در متر مکعب)	کلروفیل a (میکرو گرم در میلی متر)	کلروفیل b (میکرو گرم در میلی متر)	پروکلین (میکرو گرم در گرم تازه)	مالون دی آلدئید (نانومتر در گرم تازه)
بدون تنش (۱۰۰ ظرفیت مزرعه)	۸۱/۲۰ <sup>a</sup>	۰/۲۵۱ <sup>c</sup>	۳/۹۰ <sup>a</sup>	۲/۰۶ <sup>a</sup>	۹/۰۲ <sup>c</sup>	۴/۱۸ <sup>c</sup>
تنش متوسط (۶۰ درصد ظرفیت مزرعه)	۷۷/۷۵ <sup>b</sup>	۰/۲۷۱ <sup>b</sup>	۳/۷۴ <sup>b</sup>	۱/۹۹ <sup>a</sup>	۱۱/۳۲ <sup>b</sup>	۴/۵۳ <sup>b</sup>
تنش شدید (۳۰ درصد ظرفیت مزرعه)	۶۳/۵۶ <sup>c</sup>	۰/۲۹۲ <sup>a</sup>	۳/۵۵ <sup>c</sup>	۱/۸۴ <sup>b</sup>	۲۷/۱۲ <sup>a</sup>	۵/۶۰ <sup>a</sup>

میانگین هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی داری بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ می باشند.

**جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات ساده ۵- آمینوولونیک اسید (ALA) بر صفات مورد مطالعه**

تیمار ALA (میلی مولار)	محتوای نسبی آب (%)	بازده مصرف (کیلو گرم ماد خشک در متر مکعب)	کلروفیل a (میکرو گرم در میلی متر)	کلروفیل b (میکرو گرم در میلی متر)	پرویلین (میکرو گرم در گرم وزن تازه)	مالون دی آلدئید (نانومتر در گرم وزن تازه)
صفر	۶۹/۴ <sup>c</sup>	۰/۲۱۸ <sup>d</sup>	۳/۴۶ <sup>c</sup>	۱/۸۳ <sup>c</sup>	۱۲/۳۶ <sup>d</sup>	۶/۸۱ <sup>a</sup>
۰/۲۵	۷۳/۹۹ <sup>b</sup>	۰/۲۵۸ <sup>c</sup>	۳/۷۱ <sup>b</sup>	۱/۹۲ <sup>bc</sup>	۱۴/۷۴ <sup>c</sup>	۴/۳۵ <sup>b</sup>
۰/۵	۷۴/۹۷ <sup>ab</sup>	۰/۲۹۱ <sup>b</sup>	۳/۸۲ <sup>ab</sup>	۲/۰۲ <sup>ab</sup>	۱۷/۱۴ <sup>b</sup>	۴/۵۹ <sup>b</sup>
۱	۷۸/۳۳ <sup>a</sup>	۰/۳۲۰ <sup>a</sup>	۳/۹۳ <sup>a</sup>	۲/۱۰ <sup>a</sup>	۱۹/۰۳ <sup>a</sup>	۳/۳۴ <sup>c</sup>

میانگین هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی داری بر اساس آزمون دانکن در سطح ۰.۵٪ می باشد.

**جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی و ۵- آمینوولونیک اسید (ALA) بر صفات مورد مطالعه**

تیمارها	محتوای نسبی آب (%)	بازده مصرف (کیلو گرم ماد خشک در متر مکعب)	کلروفیل a (میکرو گرم در میلی متر)	کلروفیل b (میکرو گرم در میلی متر)	پرویلین (میکرو گرم در گرم وزن تازه)	مالون دی آلدئید (نانومتر در گرم وزن تازه)
۰ میلی مولار ALA	۷۹/۵۰ <sup>abc</sup>	۰/۲۰۲ <sup>e</sup>	۳/۶۱ <sup>cd</sup>	۱/۸۶ <sup>cd</sup>	۶/۹۴ <sup>g</sup>	۶/۱۹ <sup>b</sup>
۰/۲۵ میلی مولار ALA	۷۷/۰۵ <sup>bcd</sup>	۰/۲۲۱ <sup>de</sup>	۳/۸۶ <sup>abc</sup>	۲/۰۸ <sup>abc</sup>	۷/۵۸ <sup>g</sup>	۴/۱۰ <sup>de</sup>
۰/۵ میلی مولار ALA	۸۳/۴۰ <sup>ab</sup>	۰/۲۷۷ <sup>c</sup>	۴/۰۰ <sup>ab</sup>	۲/۰۸ <sup>abc</sup>	۸/۶۵ <sup>fg</sup>	۳/۶۹ <sup>e</sup>
۱ میلی مولار ALA	۸۴/۸۷ <sup>a</sup>	۰/۳۰۴ <sup>b</sup>	۴/۱۳ <sup>a</sup>	۲/۲۲ <sup>a</sup>	۱۲/۹۱ <sup>de</sup>	۲/۷۶ <sup>f</sup>
۰ میلی مولار ALA	۷۴/۹۲ <sup>cd</sup>	۰/۲۱۷ <sup>de</sup>	۳/۵۰ <sup>de</sup>	۱/۸۷ <sup>cd</sup>	۹/۱۱ <sup>fg</sup>	۶/۱۵ <sup>b</sup>
۰/۲۵ میلی مولار ALA	۸۰/۲۶ <sup>abc</sup>	۰/۲۷۶ <sup>c</sup>	۳/۶۸ <sup>bcd</sup>	۱/۹۰ <sup>bcd</sup>	۱۰/۶۱ <sup>ef</sup>	۴/۴۰ <sup>d</sup>
۰/۵ میلی مولار ALA	۷۶/۸۶ <sup>bcd</sup>	۰/۲۷۹ <sup>c</sup>	۳/۸۶ <sup>abc</sup>	۲/۰۸ <sup>abc</sup>	۱۱/۸۲ <sup>de</sup>	۴/۵۶ <sup>d</sup>
۱ میلی مولار ALA	۷۸/۹۵ <sup>abc</sup>	۰/۳۱۳ <sup>c</sup>	۳/۹۲ <sup>abc</sup>	۲/۱۱ <sup>ab</sup>	۱۳/۷۲ <sup>d</sup>	۳/۰۲ <sup>f</sup>
۰ میلی مولار ALA	۵۳/۷۸ <sup>f</sup>	۰/۲۳۴ <sup>d</sup>	۳/۲۵ <sup>e</sup>	۱/۷۴ <sup>d</sup>	۲۱/۰۵ <sup>c</sup>	۸/۱۰ <sup>a</sup>
۰/۲۵ میلی مولار ALA	۶۴/۶۶ <sup>e</sup>	۰/۲۷۶ <sup>c</sup>	۳/۶۰ <sup>cd</sup>	۱/۷۷ <sup>d</sup>	۲۶/۰۴ <sup>b</sup>	۴/۵۶ <sup>d</sup>
۰/۵ میلی مولار ALA	۶۴/۶۷ <sup>e</sup>	۰/۳۱۶ <sup>b</sup>	۳/۶۱ <sup>cd</sup>	۱/۸۹ <sup>bcd</sup>	۳۰/۹۵ <sup>a</sup>	۵/۵۳ <sup>c</sup>
۱ میلی مولار ALA	۷۱/۱۵ <sup>de</sup>	۰/۳۴۱ <sup>a</sup>	۳/۷۴ <sup>bcd</sup>	۱/۹۷ <sup>bcd</sup>	۳۰/۴۴ <sup>a</sup>	۴/۲۴ <sup>de</sup>

میانگین هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی داری بر اساس آزمون دانکن در سطح ۰.۵٪ می باشد.

از محققان معتقدند که کاهش میزان محتوای نسبی آب برگ در اثر تنش کم آبی در ارتباط با کاهش میزان رطوبت خاک می باشد که تداوم این شرایط سبب بسته شدن روزنه ها شده تا از اتلاف بیشتر آب جلوگیری شود (چاوز و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۲). در تحقیق حاضر با افزایش سطوح تنش و کاهش آب قابل دسترس برای گیاه میزان آب در پیکره گیاه نیز کاهش یافت به طوری

## بحث

### محتوای نسبی آب برگ

اندازه گیری وضعیت آب گیاه، به عنوان یک شاخص مهم در شناسایی پاسخ گیاه به تنش خشکی مطرح است. یکی از شاخص های نشان دهنده وضعیت آب گیاه محتوای نسبی آب بافت گیاهی می باشد. در این تحقیق با افزایش تنش خشکی محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت (جدول ۳)، که با نتایج علی آبادی فراهانی و همکاران (۱۳۸۶) در گیاه گشنیز مطابقت دارد. بسیاری

عملکرد به میزان تبخیر و تعرق گیاه به دست می آید. بر همین اساس هر عاملی که عملکرد را افزایش دهد یا تبخیر و تعرق را کاهش دهد، کارایی مصرف آب را بالا می برد. به نظر می رسد که کاربرد ALA به واسطه نقشی که در افزایش محتوای کلروفیل و فتوسنتز دارد سبب افزایش عملکرد گیاه می شود، و افزایش عملکرد، افزایش بازده مصرف آب را به دنبال دارد. در تحقیق حاضر نیز ALA سبب افزایش کلروفیل هم در شرایط تنش و هم در شرایط بدون تنش شد (جدول ۵)، بنابراین تاثیر مثبت این ماده در افزایش بازده مصرف آب می تواند به نقش آن در افزایش رنگیزه های فتوسنتزی و در نتیجه افزایش فتوسنتز و عملکرد گیاه نسبت داده شود. در دانش ما تاکنون گزارشی از اثر ALA بر بازده مصرف آب منتشر نشده است.

### کلروفیل

از علائم تنش های محیطی در گیاهان کاهش میزان کلروفیل است که این کاهش به ژنوتیپ گیاه بستگی دارد (کلوم و وازانا، ۲۰۰۱). گزارشات مشابهی در مورد کاهش میزان کلروفیل در اثر تنش در گیاهان آفتابگردان (نورانی آزاد و چوبینه، ۱۳۸۷) و بابونه (آرزمجو و همکاران، ۱۳۸۸) وجود دارد. میزان کلروفیل در گیاهان زنده یکی از فاکتورهای مهم حفظ ظرفیت فتوسنتزی به شمار می رود. در این حالت با توجه به شدت، مدت و مرحله رشدی، تاثیر تنش بر هر کدام از مقادیر کلروفیل a، b و کل در گیاهان متفاوت خواهد بود (آرزمجو و همکاران، ۱۳۸۸). کاهش کلروفیل برگ می تواند به علت اختلال در جذب عناصر غذایی ضروری در سنتز کلروفیل باشد (نورانی آزاد و چوبینه، ۱۳۸۷). اسمیرنوف<sup>۱</sup> (۱۹۹۳) اعلام کرد که تنش خشکی موجب افزایش تولید انواع اکسیژن واکنش گر می شود و کاهش میزان کلروفیل، نشان دهنده وسعت آسیب های اکسیداتیو است. این کاهش می تواند به دلیل بازدارندگی مراحل

که شرایط تنش شدید (۳۰ درصد ظرفیت زراعی) باعث کاهش ۲۲ درصدی میانگین محتوای نسبی آب برگ نسبت به شرایط بدون تنش (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) شد.

با افزایش غلظت ALA محتوای نسبی آب برگ افزایش یافت (جدول ۴). کاربرد ۱ میلی مولار این ماده به ترتیب در شرایط بدون تنش و تنش ملایم با وجود افزایش ۱۰۶/۷۵ و ۱۰۵/۳۷ درصدی این صفت نسبت به شاهد معنی دار نشد در حالی که در شرایط تنش شدید با افزایش ۱۳۲/۲۹ درصدی نسبت به شاهد دارای اختلاف معنی داری بود که نشان دهنده تاثیر مثبت آن در شرایط تنش شدید می باشد (جدول ۵). که با نتایج گزارش شده از این ماده در گیاهان کلزا تحت تنش شوری (نعیم و همکاران، ۲۰۱۰) و فلفل تحت تنش سرما (کورکماز و همکاران، ۲۰۱۰) مطابقت دارد. هر چند که در مطالعات گذشته دلیل افزایش محتوای رطوبت نسبی برگ در گیاهان در اثر کاربرد ۵-آمینولولونیک اسید ذکر نشده است، به نظر می رسد که دلیل احتمالی آن افزایش محلول های سازگار و در نتیجه کاهش پتانسیل اسمزی گیاهان که سبب افزایش قدرت جذب آب در محیط های نامساعد می شود، باشد.

### بازده مصرف آب

با افزایش تنش خشکی بازده مصرف آب افزایش یافت (جدول ۳). علی آبادی فراهانی و همکاران (۱۳۸۶) در تحقیقات خود بر روی گیاه گشنیز به این نتیجه رسیدند که تنش خشکی سبب افزایش بازده مصرف آب می شود، زیرا وقتی که آب برای گیاه کم باشد، گیاه با کاهش اندام های تعرق کننده و افزایش طول ریشه، میزان جذب آب و تولید مواد را بالا برده و از هدر رفتن آب جلوگیری نموده و از آب به طور بهینه استفاده می نماید که در نتیجه مواد فتوسنتزی بیشتری ساخته و بازده مصرف آب افزایش می یابد.

راندمان مصرف آب ارزیابی محصول تولید شده به ازای میزان آب مصرف شده می باشد و از طریق میزان

1- Colom & azzan

2- Smirnoff



جلوگیری از تخریب آنزیم‌ها و پاک کردن رادیکال‌های هیدروکسیل، بردباری و تحمل گیاهان را در برابر تنش‌ها افزایش می‌دهد (کوزنتسوف و شویکووا<sup>۳</sup>، ۱۹۹۹).

کاربرد ۵-آمینولولونیک سبب افزایش تجمع پرولین در گیاهان کلزا (نعیم و همکاران، ۲۰۱۰) و فلفل (کورکماز و همکاران، ۲۰۱۰) شده است. در این تحقیق نیز تیمار ALA سبب افزایش تجمع پرولین در برگ‌ها در شرایط تنش و بدون تنش شد (جدول ۵). با افزایش غلظت ALA تجمع پرولین در برگ‌ها نیز افزایش نشان داد، به طوری که بالاترین تجمع پرولین در غلظت ۱ میلی‌مولار ALA مشاهده شد (جدول ۴). هر چند که برخی محققان (دل‌اسردا و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۰۳) انباشت پرولین در گیاهان را وابسته به افزایش خسارت ناشی از تنش می‌دانند، اما تجمع پرولین در گیاهان تحت تنش با توجه به مطالب ذکر شده در بالا می‌تواند موجب افزایش مقاومت گیاه در برابر صدمات ناشی از تنش خشکی شود. در مطالعات گذشته به روشنی مکانیسم افزایش پرولین در اثر کاربرد خارجی ALA ذکر نشده است. بر اساس یک فرضیه در حضور ALA خارجی سنتز ALA داخلی ممکن است کاهش یابد و شرایط برای شرکت بیشتر گلوتامیک اسید در سنتز پرولین مهیا شود (آورینا و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۱۰).

#### مالون دی آلدهید (MDA)

کمبود آب مانند سایر شرایط نامساعد محیطی، تنش اکسیداتیو ایجاد می‌کند و از طریق بسته شدن روزنه‌ها و در نتیجه کمبود CO<sub>2</sub>، باعث مهار فتوسنتز شده و منجر به تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن<sup>۶</sup> در کلروپلاست می‌شود که باعث آسیب به غشا در اثر پراکسیداسیون لیپیدی می‌گردد (ماسچر و همکاران<sup>۷</sup>، ۲۰۰۵). در این تحقیق افزایش تجمع مالون دی آلدهید در شرایط تنش خشکی

مختلف بیوسنتز کلروفیل نیز باشد (نورانی آزاد و چوبینه، ۱۳۸۷).

با توجه به این که ALA پیش ماده اولیه بیوسنتز کلروفیل می‌باشد و بیوسنتز این ترکیب در گیاهان مرحله محدود کننده بیوسنتز ترکیبات پورفیرینی از جمله کلروفیل است. بنابراین فهمیدن این نکته ساده به نظر می‌رسد که کاربرد خارجی ALA سبب افزایش کلروفیل در گیاهان تیمار شده شود. نتایج این تحقیق به درستی این مطلب را تأیید کرد. به طوری که این ماده در شرایط تنش و بدون تنش سبب افزایش کلروفیل a و b شد (جدول ۵). افزایش در محتوای کلروفیل گیاهان تیمار شده با ALA در چندین مطالعه دیگر به اثبات رسیده است (کورکماز و همکاران، ۲۰۱۰؛ لیو و همکاران، ۲۰۱۱ و تاناکا و همکاران<sup>۱</sup>، ۱۹۹۲).

#### پرولین

با افزایش تنش خشکی میزان تجمع پرولین در برگ‌ها افزایش یافت (جدول ۳). که با نتایج سارکادی و همکاران (۲۰۰۶) و علی آبادی فراهانی و همکاران (۱۳۸۶) که گزارش کردند تجمع پرولین در گیاه گشنیز تحت تنش خشکی افزایش می‌یابد مطابقت دارد. گیاهان در تنش‌های محیطی از قبیل خشکی، شوری، گرما و غیره با ذخیره مواد تنظیم‌کننده اسمزی با این تنش‌ها مقابله می‌کنند. مواد تنظیم‌کننده فشار اسمزی بیشتر شامل اسیدهای آمینه، قندها و برخی از یون‌های معدنی، هورمون‌ها و پروتئین‌ها هستند. پرولین یکی از اسیدهای آمینه فعال در پدیده تنظیم اسمزی می‌باشد که در ایجاد و حفظ فشار اسمزی درون گیاه نقش به‌سزایی دارد (مجیدی هروان، ۱۳۷۲). افزایش غلظت این اسید آمینه که به تنظیم اسمزی کمک می‌کند، ناشی از چند عامل گزارش شده است از جمله: ممانعت از تجزیه پرولین، جلوگیری از ورود پرولین به پروتئین و یا افزایش تجزیه پروتئین (کائو<sup>۲</sup>، ۲۰۰۵). پرولین از طریق تنظیم اسمزی،

3- Kuznetsiv & Shevykova

4- De-Lacerda *et al.*

5- Averina *et al.*

6- Reactive Oxygen Species (ROS)

7- Mascher *et al.*

1- Tanaka *et al.*

2- Kao

عنوان مثال کاربرد ۱ میلی مولار ALA در شرایط تنش شدید باعث کاهش تقریباً ۵۰ درصدی MDA شد. (جدول ۵)، که با نتایج لیو و همکاران (۲۰۱۱) و نعیم و همکاران (۲۰۱۰) همخوانی داشت.

### نتیجه گیری

نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که کاربرد ۵- آمینولولونیک اسید (ALA) می تواند تا حدی از بروز اثرهای سوء تنش خشکی بر گیاهان بکاهد. این اثرات ALA مرتبط با تاثیر مثبت مصرف آن بر پارامترهای فیزیولوژیک همانند کلروفیل و میزان تجمع پرولین بود. هر سه غلظت ALA به کار رفته در این تحقیق موثر بود، ولیکن با افزایش غلظت اثربخشی آن نیز افزایش یافت، به طوری که بالاترین اثر در غلظت ۱ میلی مولار مشاهده شد. همچنین کاربرد ALA با افزایش عملکرد، باعث افزایش بازده مصرف آب گردید که با توجه به شرایط خشک کشور ایران، و اثرات مثبت این ماده، استفاده از آن را توجیه پذیر می کند.

مشاهده شد (جدول ۳)، که نشان دهنده افزایش پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی و میزان آسیب وارد شده به گیاه در شرایط تنش خشکی است. افزایش تجمع مالون دی آلدئید در گیاهان تحت تنش خشکی در چندین مطالعه به خوبی نشان داده شده است (لیو و همکاران، ۲۰۱۱).

به طور کلی سازگاری به خشکی به این بستگی دارد که مقادیر گونه های اکسیژن فعال توسط سیستم آنتی اکسیدانی، در سطح پایینی نگه داشته شود (ماسچر و همکاران، ۲۰۰۵). به نظر می رسد رادیکال های واکنش-گر تولید شده در اثر تنش می توانند باعث افزایش واکنش پراکسیداسیون و در نتیجه باعث افزایش MDA در گیاه گشینهز تحت تنش خشکی شود. ALA به واسطه اثری که بر سیستم دفاعی آنتی اکسیدانی دارد، می تواند باعث کاهش آسیب به غشاهای سلولی و در نتیجه کاهش مالون دی آلدئید شود (لیو و همکاران، ۲۰۱۱). نتایج این تحقیق به خوبی این مطلب را تأیید کرد. به

### منابع

- آرزمجو، ا.، حیدری، م. و قنبری، ا. ۱۳۸۸. بررسی تنش خشکی و سه نوع کود بر عملکرد گل، پارامترهای فیزیولوژیک و جذب عناصر غذایی در گیاه دارویی بابونه (*Matricariachamomilla L.*). فصل نامه علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۲۵ (۴): ۴۸۲-۴۹۴.
- امید بیگی، ر. ۱۳۷۶. رهیافت های تولید و فرآوری گیاهان دارویی. جلد ۲، انتشارات طراحان نشر، ۳۴۹ ص.
- حسینی، ع. ۱۳۸۵. بررسی تاثیر تنش کم آبی بر رشد، عملکرد و میزان اسانس گیاه دارویی با درشبو (*Dracocephalummodavica*). فصل نامه علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۲۲ (۳): ۲۵۶-۲۶۱.
- علی آبادی فراهانی، ح.، لباسچی، م. ح.، شیرانی راد، ا. ح.، ولدآبادی، س. ع.، حمیدی، ا. و علی زاده سهزایی، ع. ۱۳۸۶. تاثیر قارچ *Glomus hoi*، سطوح مختلف سفر و تنش خشکی بر تعدادی از صفات فیزیولوژیکی گشینهز (*CoriandrumsativumL.*). فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۲۳ (۳): ۴۰۵-۴۱۵.
- مجیدی هروان، ا. ۱۳۷۲. مکانیزم فیزیولوژیکی مقاومت به تنگناهای محیطی. چکیده مقالات اولین کنگره زراعت و اصلاح نباتات ایران، دانشگاه تهران، ۱۳۳-۱۳۴.

۶. منتظر، ع. ا. ۱۳۸۷. بررسی تاثیر پلیمر سوپر جاذب بر زمان پیشروی و پارامترهای نفوذ خاک در روش آبیاری جویچه‌ای، مجله علمی- پژوهشی علوم و صنایع کشاورزی (در آب و خاک)، ۲۲: ۳۴۱-۳۵۷.
۷. نورانی آزاد، ح. و چوبینه، د. ۱۳۸۷. مطالعه تنش آبی بر بیوماس، قندهای محلول، پرولین، آنزیم‌ها و یونها در گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.). فصلنامه علمی- پژوهشی دانش زیستی ایران، ۳(۲): ۱۹-۲۶.
8. Abdul-Wasea, A., Asrar. K., and Elhindi, M. 2011. Alleviation of drought stress of marigold (*Tagetes erecta*) plants by using Arbuscularmycorrhizal fungi. Saudi Journal of Biological Sciences, 18: 93-98.
9. Ahmed, M. A., Magda, A., Shalaby, F., and Afifi, M. H. 2009. Alleviation of water stress effects on maize by Mepiquat Chloride. Modern Journal of Applied Biological Sciences, 3: 1-8.
10. Ai, L., Li, Z.H., Xie, Z.X., Tian, X.L., Eneji, A.I., and Duan, L. S. 2008. Caronatine alleviate polyethylene glycol-induced water stress in two rice (*Oriza sativa* L.) cultivars. Journal of Agronomy and Crop Science. 194: 360-368.
11. Aktas, L.Y., Turkyilmaz, B., and Salih, H.K. 2007. Role of Abscisic acid and proline treatment on induction of antioxidant enzyme activities and drought tolerance responses of *Laurusnobilis* L. seedlings. Fen BilimeriDergisi, 28: 14-27.
12. Anjali, S., and Kale, P.B. 2007. Response and recovery of *Coriandrum sativum* L. variety indoori exposed to soil moisture stress. Indian Journal of Plant Physiology, 12: 266-270.
13. Averina, N.G., Gritskevich, E.R., Vershilovskaya, I.V., Usatov, A.V., and Yaronskaya, E.B. 2010. Mechanism of salt stress tolerance development in barley plant under the influence of 5-aminolevolinic acid. Russian Journal of Plant Physiology, 57:792-798.
14. Bajguz, A., and Hayat, S. 2009. Effects of brassinosteroids on the plant responses to environmental stresses. Plant Physiology and Biochemistry, 47: 1-8.
15. Battes, L.S., Waldren R.P., and Teare, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil, 29: 205-207.
16. Chaves, M.M., Pereira, J.S., Maroco, J.P., Rodrigues, M.L., Ricardo, C.P., Osorio, M.L., Carvalho, I., Faria, T., and Pinheiro, C. 2002. How plants cope with water stress in the field: photosynthesis and growth. Annuals of Botany, 89: 907-916.
17. Cline, H. 2007. Higher water use efficiency needed for profitable cotton production. Journal of Ornamental Horticulture- New Series, 3(2): 87-90.
18. Colom, M.R., and Vazzana, C. 2001. Drought stress effect on three cultivars of *Eragrostiscurvula*: photosynthesis and water relation. Journal of Plant Growth Regulation, 34: 195-202.

19. De- Lacerda, C.F., Cambraia, J., Oliva, M.A., Ruiz, H.A., and Prisco, J.T. 2003. Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. *Environmental and Experimental Botany*, 49:107-120.
20. Diaz-Perez, J.C., Shckel, K.L., and Sutter, E.G. 2006. Relative water content. *Annals of Botany*, 97: 85-96.
21. Hotta, Y., Tanaka, T., Bingshan, L., Takeuchi, Y., and Konnai, M. 1998. Improvement of cold resistance in rice seedling by 5-aminolevulinic acid. *Journal of Pesticide Science*, 23: 29-33.
22. Hotta, Y., Tanaka, T., Takaoka, H., Takeuchi, Y., and Konnai, M. 1997. Promotive effect of 5-aminolevulinic acid on the yield of several crops. *Plant Growth Regulation*, 22: 109-114.
23. Kao, C.H. 2005. Senescence of rice leaves. Comparative study of the metabolic changes of senescing turgid and water-stressed excised leaves. *Plant and Cell Physiology*, 22: 683-685.
24. Korkmaz, A., Korkmaz, Y., and Demirkiran, A.R. 2010. Enhancing chilling stress tolerance of pepper seedling by exogenous application of 5-aminolevulinic acid. *Environmental and Experimental Botany*, 67:495-501.
25. Kuznetsov, V.I., and Shevykova, N. I. 1999. Proline under stress: Biological role, metabolism, and regulation. *Russian Journal of Plant Physiology*, 46: 274-287.
26. Lichtenthaler, H.K., and Wellburn, A.R. 1983. Determination of total carotenoides and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 11: 591-592.
27. Liu, D., Pie, Z.F., Naeem, M.S., Ming, D.F., Liu, H.B., Khan, F., and Zhou, W.J. 2011. 5-aminolevulinic acid activates antioxidative defence system and seedling growth in *Brassica napus* L. under water-deficit stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 1-12.
28. Mascher, R., Nagy, E., Lippmann, B., Hornlein, S., Fischer, S., Scheiding, W., Neagoe, A., and Bergmann, H. 2005. Improvement of tolerance to paraquat and drought in barley (*Hordeum vulgare* L.) by exogenous 2-aminoethanol: effect of superoxide dismutase activity and chloroplast ultra-structure. *Plant Science*, 168: 691-698.
29. Naeem, M. S., Rashed, M., Liu, D., Jin, Z. L., Ming, D. F., Yoneyama, K., Takeuchi, Y., and Zhou, W. J. 2010. 5-aminolevulinic acid ameliorates salinity-induced metabolic, water-related and biochemical changes in *Brassica napus* L. *Acta Physiologiae Plantarum*, 1-12.
30. Rebeiz, C. A., Juvik, J. A., and Rebeiz, C. C. 1988. Porphyrin insecticides. *Concept and Phenomenology: Enzyme Microb Technology*, 30: 11-27.

31. Rebeiz, C.A., Montazer, Z.A., Hopen, H., and Wu, S.M. 1984. Photodynamic herbicides. Concepts and Phenomenology: Enzyme Microb Technology, 6: 390-401.
32. Sarkadi, S.L., Kocsy, G., Varhegyi, A., Galiba, G., and Deronde, J.A. 2006. Effects of drought stress at supra optimal temperature on polyamine concentrations in transgenic Coriander with increased proline levels. Indian Journal of Medical Research, 61: 833-839.
33. Saruhan, N., Turgut-Terzi, R., and Kadioglu, A. 2006. The effects of exogenous polyamines on some biochemical changes during drought stress in *Ctenanthesetosa* (Rosc.) Eichler. Acta Biological Hung, 57: 221-229.
34. Senaratna, T., Touchell, D., Bunn, E., and Dixon, K. 2011. Acetyl salisylic acid (Aspirin) and salisylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plant. Plant Growth Regulation, 30: 157-161.
35. Smirnoff, N. 1993. The role active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation. New Phytologist, 125: 27-28.
36. Stewart R.R.C., and Bewley, j.D. 1980. Lipid peroxidation associated with accelerated aging of soybean axes. Plant Physiology, 65: 245-248.
37. Tanaka, y., Tanaka, A., and Tsuji, H. 1992. Stabilization of Apoproteins of light-harvesting chlorophyll a/b-protein complex by feeding 5-aminolevolinic acid under intermittent illumination. Plant Physiology and Biochemistry, 30: 365-370.
38. Wang, S. 1999. Methyl jasmonate reduces water stress in strawberry. Journal of Plant Growth Regulation, 18: 127-134.
39. Waraich, E.A., Ahmad, R., Saifullah, M.Y., and Ashraf, E. 2011. Role of mineral nutrition in alleviation of drought stress in plant. Australian Journal of Crop Science, 5: 764-777.
40. Watanabe, K., Tanaka, T., Hotta, Y., Kuramochi, H., and Takeuchi, Y. 2000. Improving salt tolerance of cotton seedling with 5-aminolevolinic acid. Plant Growth Regulation, 32: 99-103.