نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۸، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۳، ص. ۲۵۱-۲۴۵
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

Journal of Horticultural Science
Vol. 28, No. 2, Summer 2014, P. 245-251
ISSN: 2008 - 4730

# کاهش خسارت تنش خشکی با کاربرد ۵–آمینولوولونیک اسید درگیاه فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annuum* L. cv. Red Bell Pepper)

زهرا خزائی[۱*]- محمد سیاری[۲]- مهدی صیدی[۳]

تاریخ دریافت:۱۳۹۱/۱۱/۱۵
تاریخ پذیرش:۱۳۹۲/۹/۵

## چکیده

خشکی از جمله تنش‌های محیطی مهم است که بر رشد و نمو گیاهان اثر منفی می‌گذارد. جهت کاهش خسارت تنش خشکی و شناخت فیزیولوژی مقاومت به تنش گیاه فلفل دلمه‌ای قرمز (*Capsicum annuum* L.cv. Red Bell Pepper) در شرایط گلخانه، آزمایشی با اعمال تنش خشکی در سه سطح (آبیاری در حد ۱۰۰، ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی خاک) و کاربرد ۵–آمینولوولونیک اسید در چهار غلظت (۰، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) با چهار تکرار در یک آزمایش فاکتوریل ۳×۴ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام اجرا گردید. در پایان آزمایش، پارامترهایی چون فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل، محتوای مالون‌دی‌آلدئید، آسکوربیک اسید، محتوای نسبی آب، ارتفاع گیاه و تعداد جوانه جانبی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از آزمایش نشان داد با افزایش شدت تنش خشکی پارامترهای رشدی کاهش اما فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل، محتوای مالون‌دی‌آلدئید و میزان آسکوربیک اسید افزایش یافت. درحالی‌که محلول‌پاشی برگی ۵–آمینولوولونیک‌اسید باعث کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدئید و بهبود سایر صفات مورد ارزیابی شد. کاربرد برگی ۵–آمینولوولونیک اسید از طریق کاهش محتوای مالون دی آلدئید و پراکسیداسیون چربی‌ها از غشای سلولی محافظت می‌کند. هم‌چنین با افزایش فعالیت آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل و آسکوربیک اسید موجب بهبود صفات فیزیولوژیکی گیاهان گردید و مقاومت گیاهان را در شرایط تنش خشکی افزایش داد.

**واژه‌های کلیدی:** آسکوربات پراکسیداز مالون‌دی‌آلدئید، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای نسبی آب

## مقدمه

فلفل دلمه‌ای جایگاه ویژه‌ای در بین سبزی‌ها دارد به‌طوری‌که میزان آسکوربیک‌اسید موجود در آن بعد از جعفری بیشترین مقدار را در سبزیجات داراست (۷). آسکوربیکاسید، ترکیبات فنلی و فلاونوئیدها موجود در سبزی‌ها به‌عنوان آنتی‌اکسیدان در درمان سرماخوردگی و کاهش علائم تب عمل می‌کنند (۱). تنش خشکی تولید بیشتر محصول‌ها از جمله فلفل دلمه‌ای را تهدید می‌کند و بازده استفاده از مناطق خشک را کاهش می‌دهد. طیف وسیعی از اختلالات مولکولی که منجر به ایجاد آسیب‌های فیزیولوژیکی در گیاهان تحت تنش خشکی می‌شوند را می‌توان ناشی از تولید رادیکال‌های فعال و مخرب اکسیژن دانست. این رادیکال‌ها واکنش‌هایی را هدایت می‌کنند که سبب نابودی DNA، پراکسیداسیون چربی‌ها، تخریب پروتئین‌های غشایی و ماکروپروتئین‌ها در سلولاز جمله رنگیزه‌های کلروفیل و آنزیم‌ها می‌شوند. فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در سلول‌های گیاهی غالباً در مواجه گیاه با تنش‌های محیطی افزایش یافته و از این طریق گیاهان قادرند از خسارت‌های رادیکال‌های آزاد اکسیژن ایجاد شده بکاهند (۱۰). کلروپلاست و میتوکندری سلول‌های گیاهی از مهم‌ترین تولیدکننده‌های گونه‌های فعال اکسیژن مثل سوپراکسید، پراکسید هیدروژن و رادیکال هیدروکسیل می‌باشند. اینگونه‌های اکسیژن سمی و بسیار واکنش‌پذیرند و در غیاب مکانیسم‌های حفاظتی می‌توانند متابولیسم طبیعی سلول را به میزان زیادی مختل کنند. این رادیکال‌ها ازطریق پراکسیداسیون چربی‌ها منجر به تخریب غشاء و از طریق غیرفعال کردن آنزیم‌ها منجر به خسارات جدی به ساختارهای سلولی و گیاه می‌گردند .گیاهان در مقابله با تنش خشکی مکانیسم‌های حفاظتی متفاوتی را در پیش می‌گیرند که از آن جمله می‌توان به تجمع اسمولیت‌ها و مکانیسم‌های آنزیمی و غیرآنزیمی در برابر تنش اکسیداتیو ناشی از خشکی اشاره کرد (۹).

۵–آمینولوولونیک اسید[۴] (ALA) از مواد طبیعی گیاهی بوده و در رشد و نمو و پاسخ‌های دفاعی گیاهی نقش مهمی را ایفا می‌کند. ALA پیش ماده کلیدی در بیوسنتز همه ترکیبات پورفیرینی

۱ و ۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و استادیار گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام
(*- نویسنده مسئول: Email: Zahrakhazaei55@yahoo.com)
۲- استادیار گروه باغبانی دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینای همدان

4- 5-aminolevulinic acid (ALA)

است و پتانسیل کاربردی زیادی در کشاورزی دارد. غلظت‌های بالای ALA به‌عنوان علف‌کش یا حشره‌کش به کار برده می‌شوند و غلظت‌های کم ALA بیوسنتز کلروفیل و محصولات فتوسنتز را افزایش می‌دهد. بنابراین ALA رشد و نمو مطلوب گیاهان را تنظیم می‌کند و عملکرد محصولات را افزایش می‌دهد (۲۷).

مطالعات نشان داد که کاربرد خارجی ALA در غلظت‌های کم، سیستم دفاعی نشاهای شلغم (*Brassica rapa*) تحت تنش خشکی را فعال کرده، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و رشد نشاها را افزایش داده و باعث افزایش عملکرد محصول شد (۲۱). تا کنون گزارشی در خصوص اثر ۵-آمینولوولونیک اسید در کاهش تنش خشکی در گیاه فلفل دلمه‌ای منتشر نشده است. بنابراین در این مطالعه جهت کاهش خسارت‌های تنش خشکی در گیاه فلفل دلمه‌ای، اثر ۵-آمینولوولونیک اسید مورد مطالعه قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر از آبان ماه ۱۳۸۹ تا خرداد ماه سال ۱۳۹۰ در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام با متوسط دمای حداقل ۱۷/۸۲ و حداکثر ۳۶/۵درجه سانتی‌گراد، میزان رطوبت نسبی بین۲۲ تا ۳۱ درصد و شدت نور تقریبا ۱۰۰۰۰ لوکس در سطح گیاه به اجرا در آمد. فاکتورهای آزمایش شامل ALA در چهار غلظت (۰، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) و تنش خشکی در سه سطح (آبیاری در حد ۱۰۰، ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) بودند. خاک مورد استفاده ترکیبی از ماسه، خاکزراعی و مواد آلی به نسبت ۱:۱:۱ بود. ابتدا گلدان‌ها را وزن و سپس آبیاری شدند. روی گلدان‌ها پلاستیک کشیده شد و ۲۴ ساعت بعد (پس از خروج آب ثقلی) گلدان‌ها را توزین شدند. اختلاف وزن آن‌ها بیان‌گر میزان آب قابل نگهداری خاک در حد ظرفیت زراعی بود. قطر دهانه و ارتفاع گلدان به‌ترتیب ۲۰ و ۲۳ سانتی‌متر بود که به‌منظور فراهم‌کردن زهکش مناسب ابتدا با مقداری شن درشت و سپس با مخلوط خاکی پر شدند. اول تیر ۱۳۹۰ ماه زمانی که تقریباً در تمام بوته‌ها میوه‌ها تشکیل شده بودند، از برگ‌های جوان گیاهان هر سه گلدان نمونه برگی تهیه گردید و به آزمایشگاه منتقل شدند و اندازه‌گیری تمام صفات از مجموع نمونه‌های برگی هر سه گلدان انجام گردید.

### اندازه‌گیری صفات

برای سنجش آنزیم آسکوربات پراکسیداز از روش ناکادو و آساد (۱۹۸۱) و جهت تعیین محتوای نسبی آب از روش ودرلی (۱۹۸۰) استفاده شد. برای اندازه‌گیری محتوای مالون‌دی‌آلدئید که بیان‌گر میزان پراکسیده‌شدن چربی‌های غشاءسلولی است، از روش دهیندسا (۱۹۸۱) و برای اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل از روش کولکارینی و آرادهی (۲۰۰۵) استفاده شد. آسکوربیک‌اسید نیز با استفاده از روش ماجدی (۱۳۷۳) اندازه‌گیری شد.

### طرح آماری و تجزیه داده‌ها

این آزمایش شامل ۱۲تیمار و هر تیمار شامل چهار تکرار و هر تکرار حاوی سه گلدان (در مجموع ۱۴۴ گلدان) به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد ارزیابی قرار گرفت. تجزیه واریانس داده‌ها و مقایسه میانگین تیمارها توسط نرم‌افزار SAS با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام گردید.

## نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که سطوح مختلف ۵-آمینولوولونیک اسید بر میزان مالون‌دی‌آلدئید، محتوای نسبی آب، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل، آسکوربیک اسید و فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز اثر مثبتی داشته و تاثیر خشکی نیز بر روی صفات فوق‌الذکر معنی‌دار بوده‌است. اما بر همکنش ۵-آمینولوولونیک اسید و تنش خشکی بر مالون دی‌آلدئید، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل، آسکوربیک‌اسید، فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز، ارتفاع و جوانه جانبی اثر معنی‌داری داشته‌است (جدول۱).

**جدول۱- تجزیه واریانس اثر ۵- آمینولولونیک اسید (ALA) و تنش خشکی بر برخی صفات بیوشیمیایی و رویشی فلفل‌دلمه‌ای رقمRed Bell Pepper**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل | آسکوربیک‌اسید | آسکوربات پراکسیداز | مالون‌دی‌آلدئید | محتوای نسبی آب برگ | تعداد جوانه جانبی | ارتفاع |
| AlA | ۳ | ۶۱۷/۸۳$^{***}$ | ۸۱۱۵/۶۴$^{***}$ | ۴/۵۷$^{***}$ | ۰/۰۵$^{***}$ | ۱۴۱/۱۹$^{***}$ | ۱۴/۴۵$^{***}$ | ۲۲/۳۰$^{***}$ |
| خشکی | ۲ | ۱۱۴۴/۲۹$^{***}$ | ۱۳۴۵/۶۴$^{***}$ | ۰/۶۱$^{***}$ | ۱/۳۶$^{***}$ | ۱۳۷/۰۳$^{***}$ | ۱۶۴/۵۳$^{***}$ | ۳۵۳/۶۳$^{***}$ |
| خشکی×ALA | ۶ | ۱۸۲/۴۰$^{***}$ | ۲۷/۳۶$^{*}$ | ۱/۵۷$^{***}$ | ۰/۰۵$^{***}$ | ۹/۳۰$^{ns}$ | ۲/۴۳$^{*}$ | ۱/۳۵$^{*}$ |
| خطای آزمایشی | | ۱۳/۴ | ۱۰/۹۷ | ۰/۰۸ | ۰/۰۱ | ۲۴/۵۹ | ۰/۹۸ | ۰/۴۷ |
| C.V (درصد) | | ۷/۷۴ | ۶ | ۱۷/۳۹ | ۱۲/۸۰ | ۷/۶۳ | ۹/۲۷ | ۲/۶۱ |

ns- عدم معنی‌داری، * - معنی‌دار در سطح۵ درصد، **- معنی‌دار در سطح ۱ درصد، ***- بسیار معنی دار در سطح ۰/۰۰۱ درصد

**جدول۲- مقایسه میانگین اثر ۵- آمینولوولونیک اسید و تنش خشکی بر برخی صفات بیوشیمیایی و رویشی فلفل دلمه‌ای رقم Red Bell Pepper**

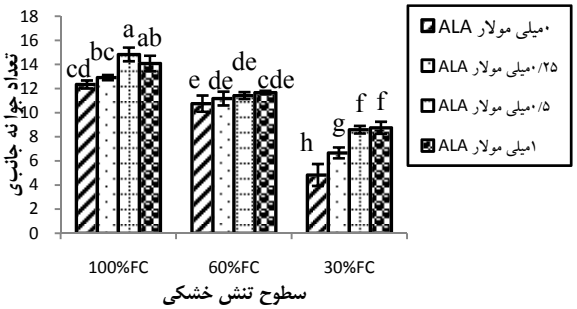
| تیمارهای آزمایش | ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل (٪) | آسکوربیک اسید (میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب میوه) | آسکوربات پراکسیداز ($Umg^{-1}protein$) | مالون‌دی‌آلدئید (نانومول بر گرم وزن تر) | محتوای نسبی آب برگ (٪) | تعداد جوانه جانبی | ارتفاع (سانتی‌متر) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۵- آمینولولونیک اسید (میلی‌مولار) | | | | | | | |
| ۰ | ۴۱/۴۹ c | ۲۲/۴۱ d | ۰/۸۰۶ d | ۰/۸۸ a | ۶۰/۸۱ c | ۹/۳۱ c | ۲۴/۳۶ d |
| ۰/۲۵ | ۴۱/۹۱ c | ۵۰/۰۴ c | ۱/۴۶۲ c | ۰/۸۱ ab | ۶۴/۱۸ bc | ۱۰/۲۵ b | ۲۵/۴۷ c |
| ۰/۵ | ۴۹/۰۱ b | ۶۳/۶۳ b | ۱/۸۰۶ b | ۰/۷۶ b | ۶۵/۹ ab | ۱۱/۶۱ a | ۲۷/۱۲ b |
| ۱ | ۵۶/۷ a | ۸۴/۴۵ a | ۲/۲۷۱ a | ۰/۷۳ b | ۶۹/۰۴ a | ۱۱/۵ a | ۲۸/۳۵ a |
| تنش خشکی | | | | | | | |
| بدون تنش | ۴۰/۹ c | ۴۶/۱۸ c | ۱/۳۶ b | ۰/۵۳ c | ۶۸/۱۷ a | ۱۳/۵۴ a | ۳۰/۶۱ a |
| تنش متوسط (۶۰ درصدظرفیت مزرعه) | ۴۴/۰۴ b | ۵۴/۷۲ b | ۱/۶۹ a | ۰/۷۶ b | ۶۴/۳۵ b | ۱۱/۲۵ b | ۲۶/۹۹ b |
| تنش شدید (۳۰ درصدظرفیت مزرعه) | ۵۶/۸۷ a | ۶۴/۵ a | ۱/۷ a | ۱/۱۱ a | ۶۲/۴۲ b | ۷/۲۱ c | ۲۰/۳۸ c |

حروف یکسان در هر ستون نشانه‌ی عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد در آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد.

در جدول ۲، اختلاف بین مالون‌دی‌آلدئید، محتوای نسبی آب، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل، آسکوربیک‌اسید، فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز، ارتفاع و جوانه جانبی نشان داده شده‌است.

### تعداد جوانه جانبی

اثر ساده خشکی و ALAبر تعداد جوانه جانبی در سطح احتمال بسیار معنی‌دار، معنی‌دار بود (جدول ۱). تجزیه آماری نشان داده‌است که با افزایش سطح خشکی تعداد جوانه جانبی سیر نزولی معنی‌داری پیدا کرده‌بود به‌طوری‌که گیاهان تحت شرایط فاقد تنش (شاهد) بیشترین تعداد و در شرایط تنش شدید خشکی کم‌ترین تعداد جوانه جانبی را دارا بودند (جدول۲). کاهش تعداد جوانه جانبی به دلیل سازگاری گیاه به تنش خشکی بوده‌است که با نتایج به‌دست‌آمده در گل مکزیکی (*Agastache foeniculum*) مطابقت می‌کند (۳). در تحقیق اخیر کاربرد ALA سبب افزایش تعداد جوانه جانبی در گیاه فلفل دلمه‌ای شد (جدول۲). از طرفی اثر ساده ALA نشان داد تیمار ۰/۵ میلی‌مولار ALA در هر بوته مناسب‌ترین غلظت استفاده شده در این آزمایش بود. بررسی تاثیرات متقابل ALA و تنش خشکی نشان داد که بیشترین تعداد جوانه جانبی در شرایط فاقد تنش و تیمار ۰/۵میلی‌مولار ALA و کم‌ترین تعداد جوانه جانبی در شرایط تنش شدید و تیمار (شاهد) صفرمیلی‌مولار ALA وجود داشت (شکل۱)،که این با نتایج به‌دست آمده در انگور (*Vitis vinifera*) مطابقت دارد (۲۸).

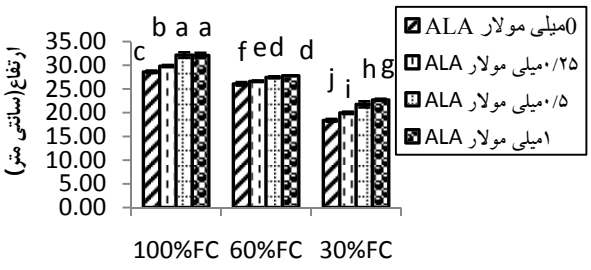



**شکل۱- اثر متقابل ۵-آمینولوولونیک اسید (ALA) و تنش خشکی بر تعداد جوانه جانبی گیاه فلفل دلمه‌ای رقمRed Bell Pepper**

### ارتفاع

نتایج مربوط به ارتفاع نشان داد بین سطوح متفاوت خشکی و هم‌چنین غلظت‌های مختلف ALA اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول۱). از سوی دیگر بر همکنش خشکی و ALA نیز بر ارتفاع در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. با افزایش تنش خشکی ارتفاع گیاه کاهش یافت (جدول۲) که با نتایج به‌دست آمده در بادنجان (*Solanum melongena*) (۱۸) و کلزا (*Brassicanapus*) (۵) مطابقت دارد. کاهش آب موجب کاهش تورژسانس سلولی شده و در نهایت کاهش رشد و توسعه سلولی به خصوص در ساقه و برگ‌ها را به‌دنبال خواهد داشت (۱۲). با کاهش یافتن رشد سلول‌ها اندازه اندام نیز محدود می‌شود و به‌همین دلیل است که اولین اثر محسوس کم‌آبی روی گیاه رامی‌توان از روی کاهش ارتفاع یا اندازه کوچک‌تر

برگ‌ها تشخیص داد (۴). در این بررسی کاربرد ALA سبب افزایش ارتفاع گیاهان تحت تیمار ALA نسبت به شاهد شد (جدول ۲). از طرفی اثر ساده ALA نشان داد تیمار یک میلی‌مولار ALA در هر بوته مناسب‌ترین غلظت مورد استفاده بوده است (جدول۲) که با نتایج به‌دست آمده در جو (*Hordeum vulgare*) مطابقت می‌کند (۱۱). بررسی برهمکنش ALA و تنش خشکی نشان داد که بیشترین ارتفاع در شرایط فاقد تنش و تیمار ۰/۵میلی‌مولار ALA و کم‌ترین ارتفاع در شرایط تنش شدید و تیمار (شاهد) صفر میلی‌مولار ALAوجود داشت (شکل۲). به‌نظر می‌رسد که کاربرد ALA به‌واسطه نقشی که در تجمع قندها دارد و قندها به‌عنوان تثبیت‌کننده اسمزی عمل می‌کنند سبب بهبود پتانسیل آب و رشد گیاهان و افزایش ارتفاع گیاه می‌شود. در دانش ما تاکنون گزارشی از اثر ALA بر وزن میوه منتشر نشده است.

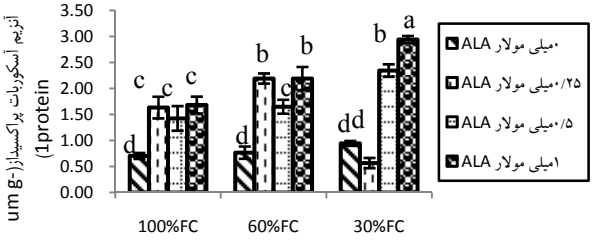



سطوح مختلف تنش خشکی

**شکل۲- اثر متقابل ۵-آمینولوولونیک اسید (ALA) و تنش خشکی بر ارتفاع گیاه فلفل دلمه‌ای رقمRed Bell Pepper**

### فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز

در این تحقیق با افزایش تنش خشکی، فعالیت آسکوربات‌پراکسیداز برگ افزایش یافت (جدول۲)، که با نتایج ارائه شده برای گیاه آفتابگردان (*Helinthus annuu*)که تنش خشکی سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گردید، مطابقت دارد (۶). کاربرد ۵- آمینولوولونیک اسید در این تحقیق سبب افزایش فعالیت آسکوربات پراکسیداز نسبت به شاهد شد (جدول۲)،که با نتایج گزارش شده از ۵- آمینولوولونیک اسید در اسفناج (*Sipinaciaoleracea*) مطابقت می‌کند (۲۴). بررسی اثر متقابل نشان داد که بیشترین و کم‌ترین میزان فعالیت آسکوربات‌پراکسیداز به‌ترتیب در شرایط تنش شدید و تیمار یک میلی‌مولار ۵- آمینولوولونیک اسید، و فاقد تنش و تیمار صفر میلی‌مولار ۵- آمینولوولونیک اسید مشاهده شده است (شکل۳). تحمل گیاهان به تنش را می‌توان به توانایی آن‌ها در از بین بردن رادیکال‌های فعال دانست، و آسکوربات پراکسیداز به‌عنوان آنزیم کلیدی در چرخه‌های گلوتاتیون- اسکوربات می‌باشد (۲) و با تجزیه رادیکال آزاد پراکسیدهیدروژن گیاه را در برابر تنش محافظت می‌کند و سبب بهبود سیستم دفاعی گیاه می‌گردد (۱۵).




سطوح مختلف تنش خشکی

**شکل۳ - اثر متقابل ۵-آمینولوولونیک اسید (ALA) و تنش خشکی بر فعالیت آسکوربات پراکسیداز گیاه فلفل دلمه‌ای رقمRed Bell Pepper**

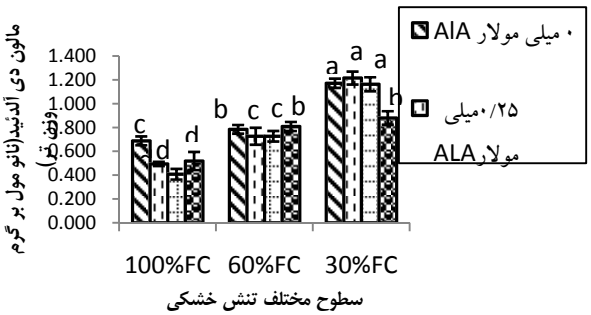
### محتوای نسبی آب برگ

در این تحقیق با افزایش تنش خشکی محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت (جدول۲)، که با نتایج گزارش شده در گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum*) (۳۲) و بادنجان (*Solanum melongena*) (۲۵) مطابقت دارد. با توجه به این امر که تحت تنش خشکی پتانسیل آب گیاه کاهش می‌یابد، بنابراین گیاه در طی روز با بسته نگاه داشتن روزنه‌ها، تا حدی محتوای نسبی آب راکنترل می‌نماید. بین محتوای نسبی رطوبت برگ و میزان رطوبت خاک رابطه مستقیم وجود دارد و با کاهش رطوبت خاک و ایجاد تنش، درصد نسبی رطوبت برگ نیز کاهش پیدا می‌کند. کاربرد ۵- آمینولوولونیک اسید در این آزمایش سبب افزایش محتوای نسبی آب نسبت به شاهد شد (جدول۲). که با نتایج گزارش شده از ۵- آمینولوولونیک اسید در گیاهان کلزا (*Brassica napus*) تحت تنش شوری (۲۲) و سویا (*Glycina max*) تحت تنش سرما (۱۷) مطابقت دارد. بر همکنش دو عامل مورد بررسی بر میانگین محتوای نسبی آب معنی دار نشد (جدول۱). با توجه به این که در تحقیقات گذشته دلیل افزایش محتوای نسبی آب برگ در گیاهان در اثر کاربرد ۵- آمینولوولونیک اسید ذکر نشده است، به نظر می‌رسد که ۵- آمینولوولونیک اسید احتمالا با افزایش املاح سازگار و در نتیجه افزایش پتانسیل اسمزی گیاهان که سبب افزایش قدرت جذب آب در محیط‌های نامساعد می‌شود، باشد.

### محتوای مالون دی‌آلدئید

مالون دی‌آلدئید در نتیجه تجزیه اسیدهای چرب اشباع نشده حاصل می‌شود و به‌عنوان نشان‌گر زیستی برای تشخیص پراکسیداسیون چربی‌هامحسوب می‌شود (۱۶). در این تحقیق در اثر

تنش خشکی میزان مالون‌دی‌آلدئید نسبت به شاهد افزایش یافته بود (جدول۲)، که با نتایجی که بر روی گیاه گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) صورت گرفته است، مطابقت دارد (۹ و ۳۲). کاربرد ۵- آمینولوولونیک اسید در این تحقیق سبب کاهش مالون دی‌آلدئید نسبت به شاهد شد (جدول۲)، که با نتایج گزارش شده از ۵-آمینولوولونیک اسید در گیاه کلزا (*Brassica napus*) تحت تنش شوری مطابقت دارد (۲۴). با توجه به اثر متقابل بیشترین و کمترین خشکی و ۵- آمینولوولونیک اسید میزان مالون دی‌آلدئید به ترتیب در شرایط تنش شدید و تیمار ۰ میلی مولار ۵- آمینولوولونیک اسید، و فاقد تنش و تیمار یک میلی مولار ۵- آمینولوولونیک اسید مشاهده شده است (شکل۴).با افزایش تنش، رادیکال‌های فعال نیز افزایش می‌یابند که باعث پراکسیده شدن چربی‌ها و افزایش مالون دی‌آلدئید شده که ۵ -آمینولوولونیک اسید از طریق افزایش آنتی اکسیدان‌هایی چون آسکوربات پراکسیداز باعث کاهش رادیکال‌های فعال و در نهایت کاهش مالون دی‌آلدئید در گیاهان می‌گردد.

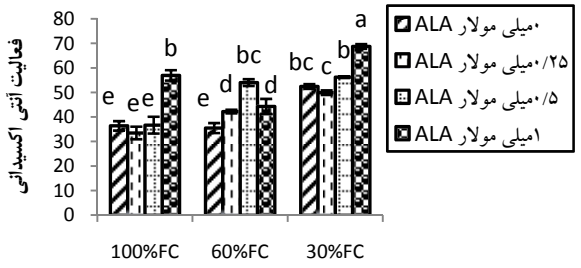



**شکل٤- اثر متقابل ۵-آمینولوولونیک اسید (ALA) و تنش خشکی بر میزان مالون دی‌آلدئید گیاه فلفل دلمه‌ای رقمRed Bell Pepper**

### ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل

رادیکال‌های آزاد در اثر تنش افزایش می‌یابند، آنتی‌اکسیدان‌ها ترکیباتی هستند که از واکنش رادیکال‌ها با مولکول‌هایی چون پروتئین، اسیدآمینه و DNA جلوگیری‌کرده و آسیب‌های وارده به سلول‌ها را کاهش می‌دهند (۱۱). در این تحقیق در اثر تنش خشکی میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول۲) که با نتایج به‌دست آمده در فلفل دلمه‌ای(*Capsicum annuum*) مطابقت دارد (۱۳ و ۲۶).

کاربرد ۵-آمینولوولونیک اسید در این تحقیق سبب افزایش میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل نسبت به شاهد شد (جدول۲)،که با نتایج گزارش شده از ۵-آمینولوولونیک اسید در کلزا (*Brassica napus*) مطابقت می‌کند (۲۲). با توجه به اثر متقابل آن‌ها، بیشترین و کم‌ترین میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی به‌ترتیب در شرایط تنش شدید و تیمار یک میلی‌مولار ۵- آمینولوولونیک اسید و فاقد تنش و تیمار صفرمیلی‌مولار ۵- آمینولوولونیک اسید مشاهده شده‌است (شکل۵). افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل را می‌توان این‌گونه تفسیر کرد که ۵- آمینولوولونیک اسید پیش ماده ضروری بیوسنتز هم می‌باشد، بنابراین کاربرد خارجی ۵- آمینولوولونیک اسید فعالیت مولکول‌های زیستی وابسته به هم از جمله آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را افزایش می‌دهد که با افزایش آن‌ها ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل افزایش می‌یابد (۲۲).




**شکل۵- اثر متقابل ۵-آمینولوولونیک اسید (ALA) و تنش خشکی بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل گیاه فلفل دلمه‌ای رقمRed Bell Pepper**

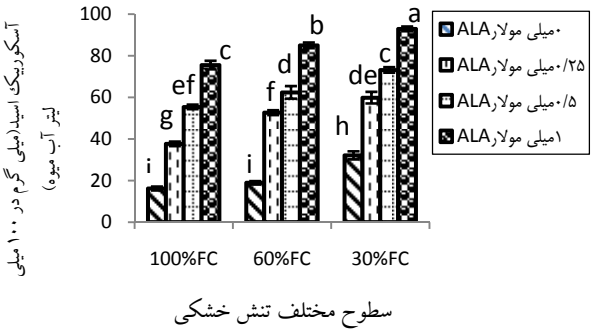
### آسکوربیک اسید

این آنتی‌اکسیدان توانایی واکنش مستقیم با رادیکال‌های فعال اکسیژن نظیر سوپراکسید وهیدروکسیل را داشته و آن‌ها را جمع آوری می‌کند. در این تحقیق در اثر تنش خشکی آسکوربیک اسید نسبت به شاهد افزایش یافته‌بود (جدول۲) که با نتایج به‌دست آمده در خیار (*Cucumis sativus*) مطابقت می‌کند (۲۰). کاربرد ۵-آمینولوولونیک اسید در این تحقیق سبب افزایش آسکوربیک اسیدنسبت به شاهد شد (جدول۲)،که با نتایج گزارش شده از ۵-آمینولوولونیک اسید مطابقت می‌کند (۳۱ و۳۰). با توجه به اثر متقابل تیمارها بیشترین و کم‌ترین میزانآسکوربیک اسید به‌ترتیب در شرایط تنش شدید و تیمار یک میلی‌مولار ۵- آمینولوولونیک اسید و فاقد تنش و تیمار صفر میلی‌مولار ۵- آمینولوولونیک اسید مشاهده شده‌است (شکل۶).

محتوای بالای آسکوربیک اسید در برگ‌هایی که با ۵-آمینولوولونیک اسید تیمار شده بودند ممکن است در اثر افزایش مسیرهای بیوسنتز و یا کاهش تجزیه آن از طریق تجمع دی هیدروآسکوربات می‌باشد. هر دوی این تغییرات منجر به تغییر آسکوربیک اسید از فرم اکسید شده به فرم کاهش یافته گردید که برای از بین بردن رادیکال‌های آزاد حاصل از تنش خشکی مود نیاز می‌باشد (۱۵).

## نتیجه‌گیری

تنش خشکی سبب ایجاد تغییرات بیوشیمیایی در گیاه شد و سیستم دفاعی گیاه با افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی نیز به این تنش پاسخ داد. هم‌چنین ۵-آمینولوولونیک اسید به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان اثرهای مضر حاصل از تنش خشکی را کاهش داد و سبب بهبود رشد گیاه در شرایط تنش گردید. ازاینرو می‌توان پیشنهاد نمود که مصرف این ماده در گیاهان تحت تنش عاملی برای کاهش اثرات سوء تنش و به دنبال آن افزایش عملکرد می‌شود که کاربرد برگی آن در گیاهان تحت تنش قابل توصیه است.




**شکل٦- اثر متقابل ۵-آمینولوولونیک اسید (ALA) و تنش خشکی بر آسکوربیک اسیدگیاه فلفل دلمه‌ای رقمRed Bell Pepper**

## منابع


۱- ابراهیم‌زاده م.، محمودی م.، سعیدنیا س.، پورمراد ف. و سلیمی ا. ۱۳۸۵. بررسی اثر ضد درد و ضد التهاب عصاره‌های هگزان، اتیل استات و متانولی بخش‌های مختلف گیاه پلم *(Sambucus ebulus)*. مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران ۵۴: ۴۲-۳۵.

۲- اسفندیاری ع.، محبوب س.ع.،شکیبا م.ر. و آلیاری ه. ۱۳۸۸. نقش حجم خزانه آنتی‌اکسیدان‌های محلول در آب و پرولین در محافظت از غشاهای سلولی در تنش خشکی. مجله دانش کشاورزی ۲:۱۴۷-۱۳۹.

۳- امید بیگی ر. و محمودی سورستانی م. ۱۳۸۹. اثر تنش خشکی بر برخی صفات مرفولوژی، میزان و عملکرد اسانس گیاه گل مکزیکی *Agastache foeniculum* [Pursh] Kuntze. مجله علوم باغبانی ایران ۴۱(۲): ۱۶۱- ۱۵۳.

۴- بابایی ک.، امینی دهقی م.، مدرس ثانوی س.ع.م. و جباری ر .۱۳۸۹. اثر تنش خشکی بر صفات مورفولوژیک، میزان پرولین و درصد تیمول در (*Thymusvulgaris* L.). فصلنامهٔ علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران۲۶ (۲):۲۵۱-۲۳۹.

۵- شعبانی ع.، کامگار ع.ا.، سپاسخواه ع.ر.، امام ی. و هنر ت. ۱۳۸۸. اثر تنش آبی بر ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه کلزا. مجله علوم آب و خاک ۴۹: ۴۲-۳۱.

۶- عمان ع.، حبیبی د.، بوجار م. و خدابنده ن.۱۳۸۴. آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت به عنوان شاخصی جهت انتخاب ژنوتیپ‌های مختلف آفتابگردان برای تحمل به خشکی. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد. دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج. ۱۲۰ صفحه.

۷- کاشی ع. ۱۳۶۶. جزوه سبزیکاری خصوصی. قسمت دوم. دانشگاه صنعتی اصفهان. ۱۵۰ صفحه .

۸- ماجدی م. ۱۳۷۳. روش‌های آزمون شیمیایی مواد غذایی. انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه تهران. ۱۰۸ صفحه.

۹- نصیبی ف.، منوچهری‌کلانتری خ. و خداشناس م. ۱۳۸۸. اثر پیش تیمار سدیم نیتروپروساید (SNP) بر برخی عوامل بیوشیمیایی گیاهچه گوجه فرنگی (*Lycopersicun esculentum*) تحت تنش خشکی. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی۱۶ (۲):۱۴-۱.

۱۰- همراهی س.، حبیبی د.، مدنی ح. و بوجار م. ا. ۱۳۸۷. اثر سایکوسل و عناصر ریزمغذی بر میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت به عنوان شاخص های مقاومت به تنش خشکی در کلزا. یافته‌های نوین کشاورزی۳: ۳۲۹-۳۱۶.

11- AL-Khateeb S.A. 2006. Promotive effect of 5-aminolevulinic acid on growth, yield and gas exchange capacity of barley (*Hordeum vulgare* L.) grown under different irrigation regimes. King Faisal University, Al-Hassa Saudi Arabia, 18(2): 103-111.

12- Cabuslay G.S., Ito O. and Alejal A.A. 2002. Physiological evaluation of responses of rice (*Oryza sativa* L.) to water deficit. Plant Science, 63: 815–827.

13- Deep N., Kaur Ch., Singh B. and Kapoor H.C. 2006. Antioxidant activity in some red sweet pepper cultivars. Food Composition andAnalysis,19: 572- 578.

14- Dhindsa R.S., Pulmb-Dhindsa P. and Thorpe T.A. 1981. Leaf senescence: correlatedwith increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation anddecreased levels of superoxide dismutase and catalase. Experimental Botany, 32: 93–101.

15- Feng X., Chang J., Chang Sh., Yuan Zh., Jun L., Ling L., Wang Y. and Cheng H. 2009. Promotive effect of 5-aminolevulinic acid on the antioxidant system in ginkgo biloba leaves. African Jornal of Biotecnology, 8 (16).

3769-3776.
16- Gunes A., Inal A., Bagci EG., Coban S. and Pilbeam D.J. 2007. Silicon mediates changes to some physiological and enzymatic parameters symptomatic for oxidative stress in spinach (*Spinacia oleracea* L.) grown under B toxicity. Scientia Horticulturae, 113: 113-119.
17- Karina B., Balestrassea M.L., Tomaroa A.B. and Guillermo O.N. 2010. The role of 5-aminolevulinicacidin the response to cold stress in soybeanplants. Phytochemistry, 71 (17-18): 2038–2045.
18- Kirnak H., Kaya C., Ismail T. and Higgs D. 2001. The influence of water deficit on vegetative growth, physiology, fruit and quality in eggplants. Plant Physiology, 27 (3-4): 34-46.
19- Kulkarni A.P. and Aradhya S.M. 2005. Chemical changes and antioxidant activity in pomegranate arils during fruit derelopment. Food chemistry, 93: 319-324.
20- Liu Z.J., Zhang X.L., Bai J.G., Suo B.X., Xu P.L. and Wang L. 2009. Exogenous paraquat changes antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation in drought stressed cucumber leaves. Scientia Horticulturae, 121: 138-143.
21- Liu D., Pei Z.F., Naeem M.S., Ming D.F., Liu H.B., Khan F. and Zhou W.J. 2011. 5-aminolevulinic acid activates antioxidative defense system and seedling growth in *Brassica napus* L. under water-deficit stress. Agronomy and Crop Science, 197: 284–295.
22- Naeem M.S., Rasheed M., Liu D., Jin Z. L., Ming D. F., Yoneyama K., Takeuchi Y. and Zhou W.J. 2011. 5-aminolevulinic acid ameliorates salinity- induced metabolic, water- related and biochemical changes in *Brassica napus* L. Acta Physiologiae Plantarum, 33: 517- 528**.**
23- Nakano Y. and Asada K. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplasts. Plant and Cell Physiology, 22: 867–880.
24- Nishihara E., Kondo K., Masud Parvez M., Takahashi K., Watanabe K. and Tanaka K. 2003. Role of 5-aminolevulinic acid (ALA) on activeoxygen-scavenging system in NaCl-treated spinach (*Spinacia oleracea*). Plant Physiology, 160:1085–1091.
25- Sarker B.C., Hara M. and Uemura M. 2005. Proline synthesis, physiological responses and biomass yield of eggplants during and after repetitive soil moisture stress. Scientia Horticulturae, 103 (4): 387-402.
26- Serrano M., Zapata P.J., Castillo S., Guillen F., Martinez- Romero D. and Valera D. 2010. Antioxidant and nutritive constituents during sweet pepper development and ripening are enhanced by nitrophenolate treatments. Food chemistry, 118: 497- 503.
27- Sun Y.P., Zhang Z.P. and Wang L.J. 2009. Promotion of 5-aminolevulinic acid treatment on leaf photosynthesis is related with increase of antioxidant enzyme activity in watermelon seedlings grown under shade condition. Photosynthetica, 47: 347–354.
28- Watanabe K., Nishihara E., Watanabe S., Tanaka T., Takahashi K. and Takeuchi Y. 2006. Enhancement of growth and fruit maturity in 2- year- old grapevines cv. Delaware by 5-aminolevulinic acid. Plant Growth Regulation, 49: 35-42.
29- Weatherley P.E. 1950. Some aspects of water relations. Advance Botay Research, 3: 171-206.
30- Xu F., Jie C., Shui Y., Cheng J., Zhu L. L., Li Yan W. and Hua C. 2009.Promotive effect of 5-aminolevulinic acid on the antioxidant system in *Ginkgo biloba* leaves. Biotechnology, 8 (16): 3769-3776.
31- Xu F., Jun Zh., Shuyuan C., Weiwei Zh. and Yan Wang. 2010. Effect of 5-aminolevulinic acid on photosynthesis, yield, nutrition and medicinal values of kudzu (*Pueraria phaseoloides*). Tropical Grasslands, 44: 260–265.
32- Yan G.F., J C.G., L Z., S B., ZH L. P. N. and W Q.M. 2010. Effect of brassinosteroids on drought resistance and abscisic acid concentration in tomato under water stress. Scientia Horticulturae, 126: 103- 108.