

Effect of mesosulfuron methyl + iodosulfuron methyl herbicide in combination with salicylic acid on wild oat (*Avena fatua*)

Seyedeh Asieh khatami¹, Morteza Barmaki² and Mohammad Taghi Alebrahim^{2*}

1- Ph.D student of weed science, University of Mohaghegh Ardabili 2- Professor in department of plant production and genetics, University of Mohaghegh Ardabili

(Received: January 29, 2023 - Accepted: May 18, 2023)

ABSTRACT

Disruption in the photosynthetic system is one of the reasons of reducing in plant growth and chlorophyll fluorescence a measurement is one of the methods of these disorders investigation, which shows the photochemical qualification of the plant. In order to study the effect of the combination of salicylic acid (SA) with mesosulfuron methyl + iodosulfuron methyl herbicides on the physiological behavior of wild oat, a factorial experiment was conducted in a completely randomized design with four replications, in the greenhouse of the Faculty of Agriculture and Natural Resources of Mohaghegh Ardabili University in 2020. The results showed a decrease in maximum fluorescence (Fm) and maximum quantum yield of primary photochemistry (Fv/Fm) and an increase in minimum fluorescence (Fo). The fresh and dry weights of wild oat decreased in all treatments except the control treatment (no herbicide) and the chlorophyll index slowly reduced one days after herbicide application compared to the control treatment. According to the results, all concentrations of herbicide reduced the dry weight of wild oat by more than 40%, and salicylic acid application did not affect the effectiveness of herbicide in the mentioned weed control.

Keywords: Chlorophyll index, dry weight, fluorescence of chlorophyll a, hormone.

بررسی تأثیر علف‌کش مزوسولفورن متیل + یدوسولفورن متیل در ترکیب با اسید سالیسیلیک بر کنترل علف هرز یولاف‌وحشی (*Avena fatua*)

سیده آسیه خاتمی^۱، مرتضی برمکی^۲، محمدتقی آل‌ابراهیم^{۲*}

۱- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه محقق اردبیلی

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۹ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۲/۲۸)

چکیده

اختلال در سیستم فتوسنتزی، یکی از دلایل کاهش رشد رویشی می‌باشد و اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل a، یکی از روش‌های بررسی این اختلالات است که بازتاب وضعیت فتوشیمیایی گیاه می‌باشد. به‌منظور مطالعه اثر ترکیب اسید سالیسیلیک (SA) با علف‌کش مزوسولفورن متیل + یدوسولفورن متیل بر رفتار فیزیولوژیکی یولاف‌وحشی آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۹۹ انجام شد. نتایج آزمایش، نشان دهنده کاهش فلورسانس حداکثر (Fm) و حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II (Fv/Fm) و افزایش فلورسانس حداقل (Fo) بود. وزن تر و خشک یولاف‌وحشی در همه تیمارها به جز تیمار کنترل (عدم مصرف علف‌کش) کاهش یافت و شاخص کلروفیل از یک روز بعد از کاربرد علف‌کش، به‌صورت آهسته نسبت به تیمار کنترل کاهش نشان داد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، تمام غلظت‌های علف‌کشی، باعث کاهش بیش از ۴۰ درصد وزن خشک یولاف‌وحشی شدند و کاربرد اسید سالیسیلیک بر کارایی آن در کنترل علف هرز مذکور تأثیری نداشت.

کلمات کلیدی: شاخص کلروفیل، فلورسانس کلروفیل a، هورمون، وزن خشک.

مقدمه

کلروفیل برای بررسی عملکرد داخلی سیستم فتوسنتزی بسیار ارزشمند است. این روش، یکی از معمول‌ترین

یکی از دلایل فیزیولوژیکی کاهش رشد، اختلال در سیستم فتوسنتزی گیاه می‌باشد. اندازه‌گیری فلورسانس

* Corresponding author E-mail: m.t.alebrahim@gmail.com

عملکرد آن قابل اندازه‌گیری می‌باشد. تحت تنش‌های محیطی و استفاده از برخی علف‌کش‌ها روی گیاهان، زنجیره انتقال الکترون متوقف می‌شود؛ در این حالت، یکی از روش‌هایی که کلروفیل *a* برانگیخته برای بازگشت به حالت پایدار در پیش می‌گیرد، فلورسانس است؛ میزان فلورسانس کلروفیل *a* در شرایط تنش افزایش می‌یابد (Coob and Read, 2010).

علف‌های‌هرز از مهم‌ترین عوامل کاهش دهنده ارزش کیفی و کمی گیاهان زراعی می‌باشند و کنترل آن‌ها در سیستم‌های کشت، از مهم‌ترین اجزای زراعت به شمار می‌رود. استفاده از علف‌کش‌ها، روش غالب برای کنترل علف‌های‌هرز در تولید محصولات زراعی در سطح جهان هستند و به حمایت از عملکرد محصول و سود اقتصادی کمک می‌کنند (Heap, 2014). کاربرد علف‌کش، مهم‌ترین روش کنترل علف‌های‌هرز در کشاورزی است و در صورت استفاده از دوز و مرحله رشدی مناسب، کنترل اقتصادی علف‌های‌هرز را فراهم می‌کند (Khatami et al., 2017). خاصیت انتخابی علف‌کش‌ها به تعدادی عوامل از جمله مرحله رشدی گیاه، روش کاربرد و شرایط محیطی که مستقیماً بر جذب، متابولیسم و یا جابجایی علف‌کش‌ها تأثیر می‌گذارند، بستگی دارد (Zangouejad et al., 2019; Abdollahi et al., 2021; Alebrahim et al., 2021). بارباگالوا (Barbagallo et al., 2003) گزارش کرد برای تعیین متابولیسم تعدادی از علف‌کش‌ها که به صورت مستقیم روی فتوسنتز موثر نیستند نیز می‌توان از پارامترهای القای فلورسانس استفاده کرد. علف‌کش‌های سولفونیل‌اوره ممکن است به دستگاه فتوسنتزی نیز آسیب بزنند (Saja et al., 2016)، زیرا پروتئین‌های ALS گیاهی در پلاستیدها و کلروپلاست‌ها قرار دارند (Shimizu et al., 2008)؛ کاربرد تری‌بنورون متیل، میزان فتوسنتز و محتوای کلروفیل را تحت تأثیر قرار داد (Liu et al., 2017). قرار گرفتن برنج در معرض

روش‌ها برای تحقیقات فتوسنتزی است. شاخصه‌هایی که در زمانی کوتاه از این روش به دست می‌آیند، اطلاعات بسیار مفیدی از وضعیت و سلامت فرآیندهای متابولیسمی گیاه ارائه می‌کند (Maxwell and Johnson, 2000). شاخص Fv/Fm در بسیاری از مطالعات بررسی اثر تنش در گیاهان مورد استفاده قرار گرفته است. در حقیقت، مقدار فلورسانس کلروفیل، سالم بودن غشای تیلاکوئید و کارایی نسبی انتقال الکترون را از فتوسیستم II به فتوسیستم I نشان می‌دهد. Fv/Fm نشان دهنده بیشینه کارایی فتوسیستم II و معیاری از نحوه عملکرد فتوسنتز گیاهی است، به طوری که مقدار این پارامتر برای اکثر گونه‌های گیاهی در شرایط محیطی عادی ۰/۸۳ می‌باشد. زمانی که گیاه با تنش مواجه می‌شود، این مقدار کاهش پیدا می‌کند (Fracheboud, 2006). انرژی نوری جذب شده توسط مولکول‌های کلروفیل، به صورت‌های مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Soltani, 2004). ممکن است همه انرژی کلروفیل برانگیخته، در واکنش‌های فتوشیمیایی و فتوفیزیولوژیک مصرف شود و انرژی به صورت گرما ساطع شود و یا به صورت تشعشع گسیل شود. در این حالت، انرژی تشعشعی گسیل شده، دارای انرژی کمتر و طول موج بیشتری است. اگر انرژی مولکول برانگیخته به صورت انرژی گرمایی یا فلورسانس ساطع شود، انرژی برای واکنش‌های فتوشیمیایی کمتر می‌شود؛ در نتیجه تولید و ذخیره فرآورده‌های انتقال الکترون یعنی NADPH و ATP در واکنش‌های نوری فتوسنتز کاهش و یا عملکرد کوانتومی فتوسیستم II کاهش پیدا می‌کند (Eshghizadeh and Ehsanzadeh, 2009). برعکس، اگر همه انرژی یک مولکول رنگ دانه برانگیخته به واکنش‌های فتوشیمیایی راه یابد، هیچ فلورسانسی گسیل نخواهد شد. با توجه به این که طیف گسیل فلورسانس با طیف نور جذب شده متفاوت است،

اسید سالیسیلیک نقش مهمی در تنظیم مراحل مختلف رشد و تکامل گیاه، جذب یون، فتوسنتز و مقابله با تنش دارد (El-Tayeb, 2005). نقش اسید سالیسیلیک به عنوان یک مولکول پیام‌رسان در واکنش گیاه به انواع تنش‌ها تأیید شده است (Senaratna *et al.*, 2000). اسید سالیسیلیک با تأثیر بر پراکسید هیدروژن، گیاه را در برابر تنش محافظت می‌کند. کاهش خسارت به غشا ممکن است از طریق القا یکسری پروتئین‌های خاص و به دنبال آن تولید آنتی‌اکسیدانت‌ها باشد که اسیدهای چرب غیراشباع را افزایش و بر فرایند فیزیولوژی گیاه اثر می‌گذارد (Rademacher, 2015). تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در تکمیل فعالیت‌های نمو و واکنش گیاهان به محیط، به‌خصوص در شرایط تنش‌زا نقش مهمی دارند (Varhney *et al.*, 2015).

اکثر تحقیقات انجام شده در ارتباط با تأثیر اسید سالیسیلیک بر کاهش میزان تأثیر علف‌کش بر گیاه زراعی بوده است. با توجه به این که اسید سالیسیلیک نقش مهمی در کاهش تنش علف‌کشی در گیاهان زراعی (Lu *et al.*, 2015) دارد، به دلیل حضور علف‌های هرز در کنار گیاهان زراعی و کنترل شیمیایی آن‌ها، هدف از اجرای پژوهش حاضر، بررسی تأثیر علف‌کش مزوسولفورن متیل + یدوسولفورن متیل به تنهایی و همراه با اسید سالیسیلیک در کنترل علف‌هرز یولاف وحشی بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر علف‌کش مزوسولفورن متیل + یدوسولفورن متیل (آتلانتیس ۱/۲ درصد اُ-دی)^۱ با دز توصیه شده ۱۸ گرم ماده مؤثره در هکتار به تنهایی و در ترکیب با اسید سالیسیلیک^۲ بر یولاف وحشی (*Avena Fatua L.*)، آزمایشی به صورت فاکتوریل در

علف‌کش ایمازاتاپیر، به غشاهای لیپیدی آسیب رساند و بیان ژن‌های دخیل در فتوسنتز و متابولیسم قند را تحت تأثیر قرار داد (Qian *et al.*, 2011; Sun *et al.*, 2016). نتایج سان و همکاران (Sun *et al.*, 2016) نشان داد که در گیاهان تیمار شده با ایمازاتاپیر، سیستم PSII به شدت آسیب دید و بیان بسیاری از ژن‌های مرتبط با فتوسنتز کاهش یافت. به نظر می‌رسد که تخریب کلروپلاست‌ها و ناتوانی در فتوسنتز، اثرات اصلی تیمارهای تریبنورن متیل و سایر مهارکننده‌های ALS باشد (Baek *et al.*, 2010; Qian *et al.*, 2011; Liu *et al.*, 2017). تحقیقات زیادی وجود دارد که نشان می‌دهد، بسیاری از بازدارنده‌های فعالیت متابولیسم که به صورت مستقیم روی فرایندهای فتوسنتز تأثیر ندارند نیز می‌توانند باعث تغییر در فلورسانس کلروفیل شوند (Crudace, 2000; Theodoulou *et al.*, 2003). پارامترهایی مانند Fv/Fm, Fm, Fv (تغییرات نسبی فلورسانس در مرحله J) به عنوان پارامترهای مطلوب جهت بررسی اثرات علف‌کش با نحوه عمل متفاوت شناخته شده است (Christensen, 2003). در واقع، آنالیز فلورسانس می‌تواند خسارات ایجاد شده در گیاهان مورد نظر را قبل از بروز خسارت‌های قابل ارزیابی چشمی و یا هر نوع اندازه‌گیری رایج دیگر مانند وزن تر و خشک مشخص کند (Fai *et al.*, 2015; Chitband *et al.*, 2007). ریتمولر-هاگ (Riethmuller-Haage *et al.*, 2006) با اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل، موفق به تشخیص زود هنگام اثرات علف‌کشی در علف‌های هرز شد.

در مزرعه، رشد، نمو و تولید مثل گیاهان تحت تأثیر درجات مختلفی از عوامل زیستی و غیر زیستی قرار می‌گیرند. تنش گیاه اغلب نتیجه ترکیب عوامل زنده و غیر زنده است و با توجه به این که بر عملکرد گیاه تأثیر می‌گذارند، باید مورد توجه قرار گیرند (Pan, 2017).

^۲ Salicylic acid (SA)

^۱ Atlantis 1.2% OD

شد. اعمال تیمارهای اسید سالیسیلیک با غلظت‌های مختلف سه روز قبل از اسپری علف‌کش بود (Radwan, 2012).

به‌منظور اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل a توسط دستگاه فلورسانس کلروفیل^۱، در فواصل زمانی یک، سه، پنج و هفت روز بعد از سمپاشی، برگ‌های توسعه یافته بالای بوته‌ها انتخاب شدند (Yaghoobian, 2016) و با استفاده از کلیپس‌های مخصوص به مدت ۲۰ دقیقه در تاریکی قرار گرفتند تا تمام مراکز واکنش دستگاه فتوسنتزی باز شده و آماده انتقال الکترون شوند. سپس یک پالس نوری در طول موج ۶۵۰ نانومتر با شدت ۳۰۰۰ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه و به مدت چهار ثانیه به این برگ‌ها تابیده شد و شاخص‌های فلورسانس حداقل (Fo)، فلورسانس حداکثر (Fm) و حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II (Fv/Fm) مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند (Kheirizadeh Arough, 2016). شاخص کلروفیل با استفاده از دستگاه کلروفیل متر^۲ اندازه‌گیری شد. سه هفته بعد از اعمال تیمارهای مورد نظر، از هر گلدان دو بوته برداشت و وزن تر اندازه‌گیری شد و سپس به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سانتیگراد در آون قرار داده شدند و وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد. تجزیه داده‌ها با نرم افزار SAS 9.1 و مقایسه میانگین با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار^۳ (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. برای رسم منحنی و محاسبه معادلات رگرسیونی، از نرم افزار EXCEL 2013 برای مقایسه بین روند دز- پاسخ از نرم افزار Sigmaplot استفاده شد. توابع مورد استفاده عبارت بودند از:

$$(1) \text{ تابع لجستیک سه پارامتره } (y = \frac{a}{1+(x-x_0)^b})$$

$$(2) \text{ تابع سیگموئیدی سه پارامتره } (y = \frac{a}{1+e^{-\frac{x-x_0}{b}}})$$

قالب طرح کاملا تصادفی با چهار تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۹۹ اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل مقادیر مختلف علف‌کش (صفر، ۴/۵، ۱۸، ۳۶ و ۷۲ گرم ماده مؤثره در هکتار) و اسید سالیسیلیک (صفر، ۰/۵ و یک میلی‌مولار) بودند. بذرهای یولاف وحشی از مرکز تحقیقات کشاورزی مغان تهیه شد. به‌منظور شکست خواب، بذرهای یولاف وحشی به مدت دو دقیقه در اسید سولفوریک غلیظ ۹۸ درصد قرار گرفتند و سپس به مدت ۷۲ ساعت در دستگاه ژرمیناتور با شرایط دمایی ۲۵±۲ درجه سانتیگراد و شرایط فتوپریود ۱۶/۱۸ ساعت روشنایی/ تاریکی با شدت نور ۱۸۰۰۰ لوکس قرار گرفتند (Andersen, 1968). پس از ظهور ساقچه‌چه و ریشه‌چه بذرها، گیاهچه‌ها در گلدان‌های پلاستیکی به قطر دهانه ۱۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۸ سانتی‌متر حاوی خاک، خاکبرگ و ماسه بادی در عمق نیم سانتی‌متر کاشته شدند. خاک مورد استفاده از نقاط مختلف یکی از مزارع زراعی شهر اردبیل (عدم استفاده از آفت‌کش‌ها در مزرعه مذکور به مدت چند سال) به‌طور تصادفی برداشت و از ترکیب آن‌ها، نمونه نهایی تهیه شد. شرایط رشدی در گلخانه شامل ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی با دمای روزانه ۲۷ درجه سانتیگراد و دمای شبانه ۲۴ درجه سانتیگراد بود (Van Rensen and Vredenberg, 2009). پس از سبز شدن علف‌هرز، در هر گلدان سه بوته نگهداری و بقیه حذف شد.

تیمارهای آزمایشی در مرحله سه الی چهار برگی اعمال شد. مقدار علف‌کش آتلاتیس نسبت به سطح هر گلدان محاسبه و با مقدار مناسبی آب که برای اسپری سطح هر گلدان کافی باشد، مخلوط شد. سمپاشی در غروب و در دمای ۲۷ درجه سانتیگراد با یک سمپاش پستی مجهز به نازل بادبزی (تی جت) و با فشار دو تا ۲/۵ بار انجام

^۱ SPAD-502

^۲ Least Significant Difference

^۳ Chlorophyll fluorometer; Optic Science-OS-30p USA

نتایج و بحث

فلورسانس حداقل (Fo)

سطح احتمال یک درصد وجود داشت، درحالی‌که اثر محلول پاشی اسید سالیسیلیک و اثرات متقابل هر دو تیمار (محلول پاشی اسید سالیسیلیک و علف‌کش آتلاتیس) غیرمعنی‌دار بود (جدول ۱).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین غلظت‌های مختلف علف‌کش آتلاتیس، اختلاف معنی‌داری در

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) فلورسانس حداقل (Fo) یولاف‌وحشی طی یک، سه، پنج و هفت روز پس از کاربرد دزهای مختلف علف‌کش آتلاتیس به تنهایی و در ترکیب با سالیسیلیک اسید

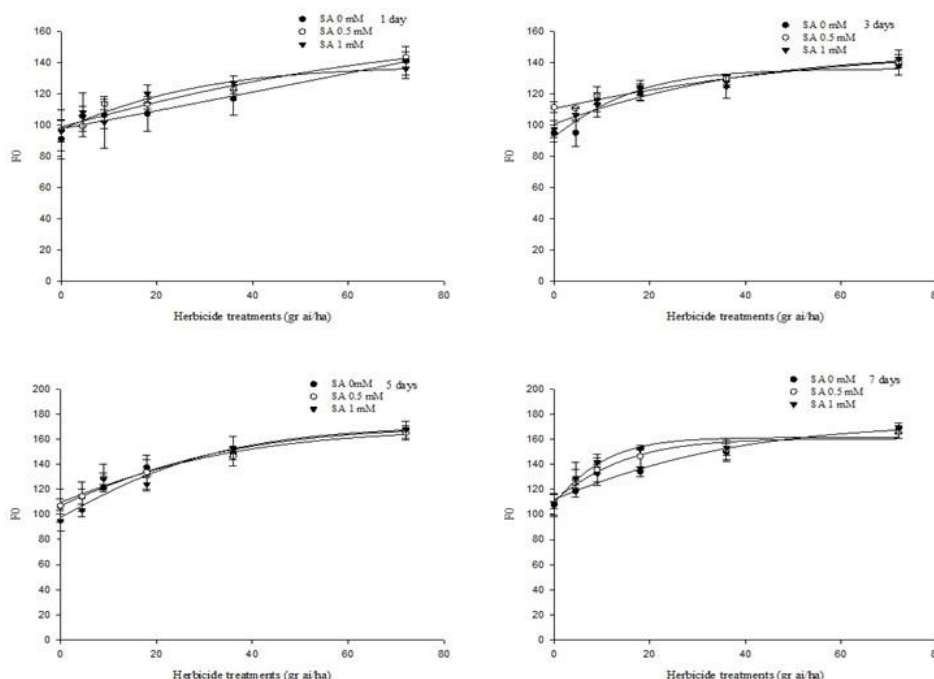
Table 1. Variance analysis (mean square) of *Avena fatua* L. minimal fluorescence (Fo) 1, 3, 5 and 7 days after the application of different doses of Atlantis herbicide alone and in combination with salicylic acid

Source of Variation (SOV)	Df	Sampling time			
		1 day	3 days	5 days	7 days
Salicylic Acid	2	225.1805 ^{ns}	203.656 ^{ns}	65.315 ^{ns}	296.774 ^{ns}
Herbicide	5	2882.711 ^{**}	2442.858 ^{**}	7651.255 ^{**}	5225.978 ^{**}
Salicylic Acid* Herbicide	10	86.488 ^{ns}	62.752 ^{ns}	150.095 ^{ns}	52.670 ^{ns}
Error	54	165.484	64.979	278.807	116.605
(%)CV		11.29	6.78	12.72	7.70

*, **, ns: به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد و عدم اختلاف معنی‌داری می‌باشد.

*, ** and ns: significant at 5% and 1% of probability levels and non-significant, respectively.

از روز اول بعد از تیمار بوته‌های یولاف‌وحشی با علف‌کش آتلاتیس، میزان Fo تفاوت معنی‌داری با تیمار کنترل (عدم کاربرد علف‌کش) داشت که بیشترین تفاوت برای تیمارهای ۱۸، ۳۶ و ۷۲ گرم ماده موثره در هکتار بود (شکل ۱).



شکل ۱- پاسخ فلورسانس حداقل (Fo) یولاف‌وحشی به مقادیر مختلف کاربرد علف‌کش آتلاتیس و اسید سالیسیلیک طی یک، سه، پنج و هفت روز پس از کاربرد علف‌کش. میله‌ها نشان دهنده انحراف معیار، بر اساس تکرارهای آزمایش هستند.

Figure 1. Response of *Avena fatua* L. minimum fluorescence (Fo) to different doses of Atlantis herbicide and salicylic acid during 1, 3, 5 and 7 days after herbicide application. Bars represent standard deviation based on the replications.

شاخص فلورسانس حداقل تأثیرگذار باشد. این روند به

با توجه به نتایج، SA نتوانست بر تأثیر علف‌کش بر

نتایج تحقیقی که توسط پورحیدر و همکاران (Porheidar Ghafarbi *et al.*, 2017) بر روی علف هرز سلمه تره انجام شد نشان داد که کاربرد اسید سالیسیلیک مانع افزایش F0 در تیمارهای علف‌کشی نشد. در واقع افزایش F0 در نتیجه کاربرد علف‌کش می‌تواند به دلیل کاهش فعالیت فتوسیستم II در اثر تخریب سیستم فتوستتزی باشد (Cobb and Read, 2010). به دنبال ممانعت از انتقال الکترون در فتوسیستم II، گونه‌هایی از اکسیژن فعال تولید می‌شود که این گونه‌های اکسیژن فعال، باعث پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی می‌شوند (Han and wang, 2002).

فلورسانس حداکثر (Fm)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین غلظت‌های مختلف علف‌کش اتلانتیس اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. اثر محلول پاشی اسید سالیسیلیک و اثرات متقابل هر دو تیمار (محلول پاشی اسید سالیسیلیک و علف‌کش اتلانتیس) در روز پنجم به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود ولی در بقیه مراحل غیر معنی‌دار شد (جدول ۲).

شکل ملموس‌تری در شکل ۱ رسم و با تابع سیگموئیدی سه پارامتره برازش داده شده است. بیشترین میزان F0 (۱۶۹ با افزایش ۵۶/۹۶ درصدی) هفت روز بعد از اسپری علف‌کش در تیمار ۷۲ گرم ماده مؤثره در هکتار و کمترین مقدار (۹۵ با افزایش ۰/۳۵ درصدی) در تیمار ۴/۵ گرم ماده مؤثره در هکتار، سه روز بعد از اسپری علف‌کش بود (شکل ۱). افزایش فلورسانس اولیه می‌تواند نشان‌دهنده تخریب مرکز واکنش فتوسیستم PSII، دگرگونی ساختار و تغییر در رنگدانه‌های فتوسیستم II در شرایط تنش باشد (Havaux and Niyogi, 1999). هنگامی که نور در سطح متوسط باشد، بخش غالب آن در فعالیت‌های فتوشیمیایی به مصرف فتوستتزی می‌رسد و بخش کمی از انرژی نورانی به صورت فلورسانس ساطع می‌گردد که به عنوان فلورسانس کمینه شناخته می‌شود (Rohacek *et al.*, 2008). افزایش F0 نشان از آسیب به زنجیره انتقال الکترون در اثر کاهش ظرفیت کوئینون آ (QA) و عدم اکسیداسیون کامل آن به دلیل جریان کند الکترون در طول مسیر فتوسیستم II و در مجموع غیرفعال شدن فتوسیستم II دارد (Zlatev and Yordanov, 2004).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) فلورسانس حداکثر Fm یولاف وحشی طی یک، سه، پنج و هفت روز پس از کاربرد دزهای مختلف علف‌کش اتلانتیس به تنهایی و در ترکیب با سالیسیلیک اسید

Table 2. Variance analysis (mean square) of *Avena fatua* L. maximum Fluorescence (Fm) 1, 3, 5 and 7 days after application of different doses of Atlantis herbicide alone and in combination with salicylic acid

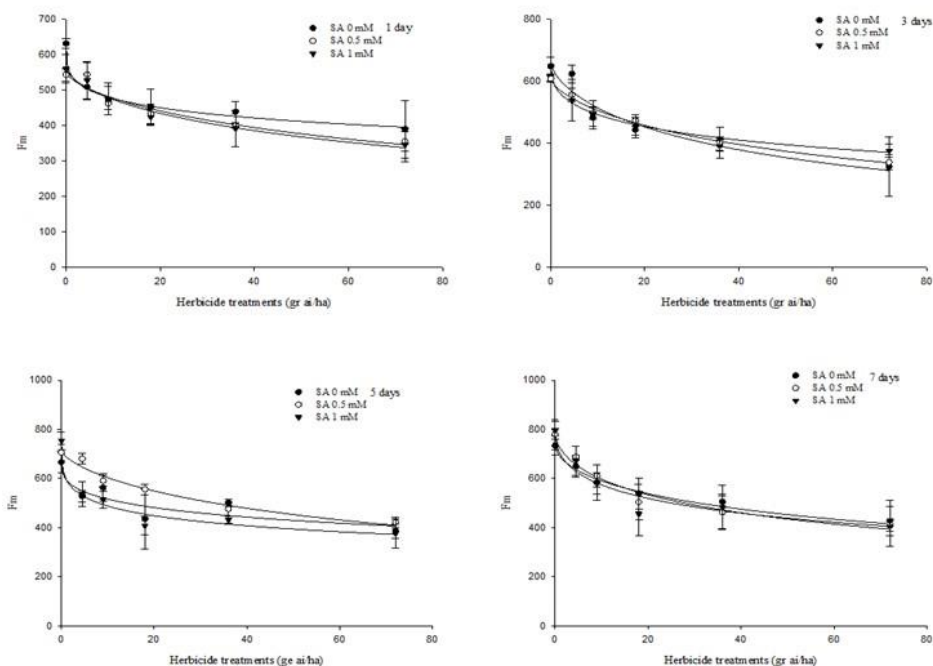
Source of Variation (SOV)	Df	Sampling time			
		MS			
		1 day	3 days	5 days	7 days
Salicylic Acid	2	2574.628 ^{ns}	2867.763 ^{ns}	27972.385 ^{**}	3811.572 ^{ns}
Herbicide	5	77887.39 ^{**}	152975.44 ^{**}	142348.691 ^{**}	141994.722 ^{**}
Salicylic Acid* Herbicide	10	2177.736 ^{ns}	5152.705 ^{ns}	8553.714 [*]	8748.402 ^{ns}
Error	54	3290.991	3294.591	4195.863	7774.383
CV(%)		12.31	11.87	12.18	15.03

** و ns: به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح یک درصد و عدم اختلاف معنی‌داری می‌باشد.

** and ns: significant at 1% of probability levels and non-significant, respectively.

فلورسانس حداکثر تأثیرگذار باشد. روند پاسخ به علف‌کش و اسید سالیسیلیک با تابع لجستیک سه پارامتره نشان داده شد (شکل ۲). در واقع Fm بیشترین واکنش را نسبت به کاربرد علف‌کش نشاده داد. کاهش شدید Fm در دزهای بالای علف‌کش نسبت به شاهد می‌تواند ناشی از کاهش فعالیت فتوسیستم II در اثر تخریب سیستم فتوستتزی باشد (Cobb and Read, 2010). مهتا و همکاران (Mehta et al., 2010) کاهش Fm در شرایط تنش را ناشی از کاهش فعالیت فتوسیستم II را گزارش کردند.

از روز اول، بعد از تیمار بوته‌های یولاف وحشی با علف‌کش آتلاتیس، میزان Fm تفاوت معنی‌داری با تیمار کنترل (عدم کاربرد علف‌کش) داشت و مقدار Fm در تیمار کنترل در روزهای پنجم و هفتم نسبت به دو زمان اول افزایش داشت. بیشترین (۶۸۷) با کاهش ۹۹/۳۸ درصدی) و کمترین (۳۲۴/۶۷) به ترتیب مربوط به تیمارهای ۴/۵ گرم ماده مؤثره در هکتار، هفت روز بعد از اسپری و ۷۲ گرم ماده مؤثره در هکتار، سه روز بعد از اسپری علف‌کش بودند (شکل ۲). با توجه به نمودارها، سالیسیلیک اسید نتوانست بر تأثیر علف‌کش بر شاخص



شکل ۲- پاسخ فلورسانس حداکثر (Fm) یولاف وحشی به مقادیر مختلف کاربرد علف‌کش آتلاتیس و اسید سالیسیلیک طی یک، سه، پنج و هفت روز پس از کاربرد علف‌کش. میله‌ها نشان دهنده‌ی انحراف معیار، بر اساس تکرارهای آزمایش هستند.

Figure 2. Response of *Avena fatua* L. maximum fluorescence (Fm) to different doses of Atlantis herbicide and salicylic acid 1, 3, 5 and 7 days after herbicide application. Bars represent standard deviation based on replications.

احتمال یک درصد معنی‌دار و در روزهای سوم و پنجم غیرمعنی‌دار بودند. اثرات متقابل هر دو تیمار (محلول پاشی اسید سالیسیلیک و علف‌کش آتلاتیس) در روزهای اول، سوم و پنجم غیرمعنی‌دار و در روز هفتم

حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm)

نتایج تجزیه واریانس اثر غلظت‌های مختلف علف‌کش آتلاتیس، بیان‌کننده اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد در همه مراحل بود. اثر محلول پاشی اسید سالیسیلیک در روزهای اول و هفتم در سطح

در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) حداکثر عملکرد کوانتومی (Fv/Fm) یولاف وحشی طی یک، سه، پنج و هفت روز پس از کاربرد دزهای مختلف علف‌کش آتلانتیس به تنهایی و در ترکیب با سالیسیلیک اسید

Table 3. Variance analysis (mean square) of *Avena fatua* L. maximum quantum yield of photochemistry (Fv/Fm), 1, 3, 5 and 7 days after application of different doses of Atlantis herbicide alone and in combination with salicylic acid

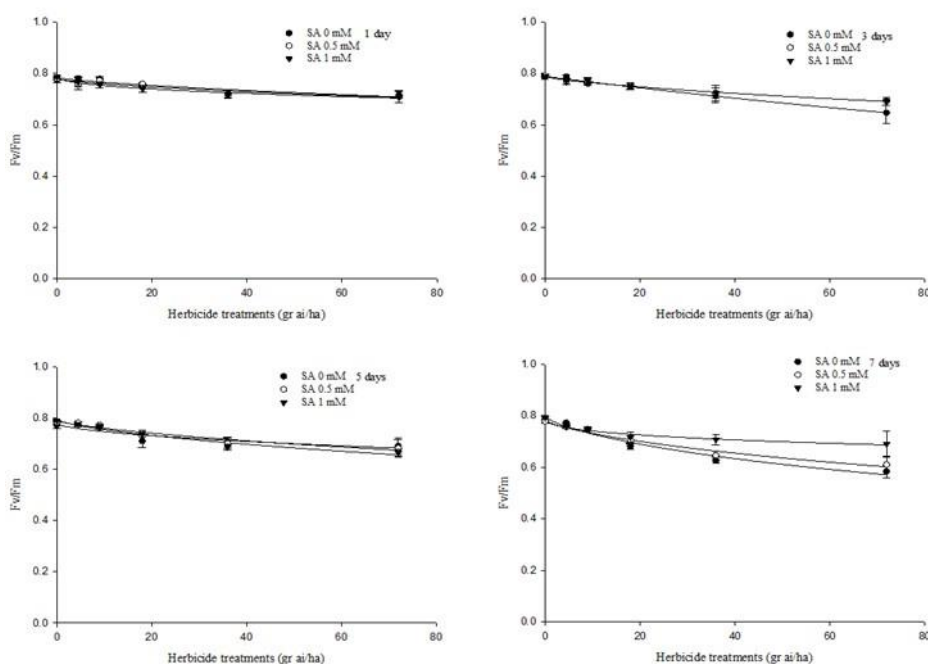
Source of Variation (SOV)	Df	Sampling time			
		MS			
		1 day	3 days	5 days	7 days
Salicylic Acid	2	**0.0033	0.00034 ^{ns}	0.00084 ^{ns}	0.00914 ^{**}
Herbicide	5	0.0086 ^{**}	0.0185 ^{**}	0.0231 ^{**}	0.04993 ^{**}
Salicylic Acid* Herbicide	10	0.00066 ^{ns}	0.00053 ^{ns}	0.00052 ^{ns}	0.00289 ^{**}
Error	54	0.00036	0.00068	0.00057	0.000959
CV (%)		2.53	3.49	3.25	4.34

*, **, ns: به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد و عدم اختلاف معنی‌داری می‌باشد.

*, ** and ns: significant at 5% and 1% of probability levels and non-significant, respectively.

بیشترین و کمترین مقدار Fv/Fm به ترتیب مربوط به تیمار ۴/۵ گرم ماده مؤثره در هکتار (۰/۷۸۱ با کاهش ۰/۵۸۳) با کاهش ۳۵/۲۹ درصدی) به ترتیب در پنج و هفت روز بعد از اسپری علف‌کش بود (شکل ۳)

بیشترین و کمترین مقدار Fv/Fm به ترتیب مربوط به تیمار ۴/۵ گرم ماده مؤثره در هکتار (۰/۷۸۱ با کاهش ۰/۳۸ درصدی) و دز ۷۲ گرم ماده مؤثره در هکتار



شکل ۳- پاسخ حداکثر عملکرد کوانتومی (Fv/Fm) یولاف وحشی به مقادیر مختلف کاربرد علف‌کش آتلانتیس و اسید سالیسیلیک طی یک، سه، پنج و هفت روز پس از کاربرد علف‌کش. میله‌ها نشان دهنده انحراف معیار، بر اساس تکرارهای آزمایش هستند.

Figure 3. Response of *Avena fatua* L. maximum quantum yield of photochemistry (Fv/Fm) to different doses of Atlantis herbicide and salicylic acid, 1, 3, 5 and 7 days after herbicide application. Bars represent standard deviation based on replications.

شکل ۳ رسم و با تابع لجستیک سه پارامتره برازش داده شده است. حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II در تیمارهای علف‌کشی در مقایسه با کنترل، با گذشت زمان

با توجه به نمودارها، اسید سالیسیلیک نتوانست بر تاثیر علف‌کش بر شاخص فلورسانس حداکثر تاثیرگذار باشد. روند پاسخ به علف‌کش و اسید سالیسیلیک در

فلورسانس کلروفیل a را تحت تأثیر قرار داد (Balabanova *et al.*, 2016). همچنین در مطالعات دیگری گزارش شده است که کاربرد علف‌کش‌های آسولام، بیفنوکس، توفوردی، گلایفوست، دیکلوفوپ متیل، ایمازاپیر، دایکامبا + توفوردی و ستوکسیدیم، با وجود این که تأثیر مستقیمی بر فتوسنتز ندارند، ولی روی فلورسانس کلروفیل a اثرگذار بودند (Avarseji *et al.*, 2012; Hammami *et al.*, 2014). در بررسی دیگری، کاهش نسبت Fv/Fm در نتیجه کاربرد علف-کش ستوکسیدیم (بازدارنده ACCase) بر روی یولاف، مشاهده شد (Hammami *et al.*, 2014).

شاخص کلروفیل برگ

نتایج تجزیه واریانس حاکی از تفاوت معنی‌دار بین غلظت‌های مختلف علف‌کش آتلاتیس در مراحل یک، سه، پنج و هفت روز بعد از کاربرد علف‌کش و عدم تفاوت معنی‌داری بین غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک و اثرات متقابل هر دو تیمار (محلول پاشی اسید سالیسیلیک و علف‌کش آتلاتیس) در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۴). در تیمار بدون کاربرد علف‌کش، شاخص کلروفیل برگ با گذشت زمان افزایش یافت، اما در تیمارهای علف‌کشی و با گذشت زمان، روند نزولی داشت. کاربرد اسید سالیسیلیک، شاخص کلروفیل برگ را در تیمار شاهد بهبود بخشید، ولی مانع کاهش آن در تیمارهای علف-کشی نشد. بیشترین میزان شاخص کلروفیل در تیمار کنترل (۲۴/۰۳ با کاهش ۰/۶۹ درصدی) و کمترین آن (۱۱/۱۳ با کاهش ۱۲۰ درصدی) در تیمار ۷۲ گرم ماده موثره در هکتار به ترتیب در پنج و هفت روز بعد از اسپری علف‌کش بود (شکل ۴). روند پاسخ به علف-کش و اسید سالیسیلیک در شکل ۴ رسم و با تابع لجستیک سه پارامتره برازش داده شده است. با گذشت زمان، حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II در

کاهش می‌یابد. در شرایط تنش، به دلیل کاهش انتقال الکترون از PSII به PSI و کاهش فعالیت فتوشیمیایی فتوسیستم II، بازده کوانتومی بیشینه PSII (Fv/Fm) کاهش می‌یابد (Habibi, 2017). نتایج حاصل از بررسی‌ها مؤید این مطلب است که پروتئین D1 (پلیپتید ساختمانی موجود در PSII)، کمپلکس آزاد کننده اکسیژن و مراکز واکنش PSII تحت تأثیر تنش تخریب می‌شوند (Sikder, 2015). بر اساس نتایج تحقیق حسن‌نژاد و همکاران (Hassannejad *et al.*, 2020)، Fv/Fm در علف‌هرز تونق تحت تأثیر علف‌کش نیکوسولفورون قرار نگرفت، در حالی که با کاربرد علف-کش بنتازون کاهش یافت. با افزایش زمان بعد از کاربرد علف‌کش، مقدار Fv/Fm به شدت کاهش یافت و کمترین مقدار در ۸۴ ساعت بعد از کاربرد علف‌کش به دست آمد. کاربرد علف‌کش‌های متریبوزین، هالوسولفورون و فلومیوکسازین در سیب زمینی، باعث اختلال در فعالیت فتوسیستم II از طریق کاهش حداکثر عملکرد کوانتومی (Fv/Fm) شد (Kakhoran *et al.*, 2021). کاربرد علف‌کش‌ها روی گیاه ممکن است سیستم فتوسنتزی را به طور مستقیم و یا غیر مستقیم، از طریق تأثیر بر هدایت روزنه‌ای، رنگدانه‌های فتوسنتزی، فرایندهای جذب نور و ... تحت تأثیر قرار دهد. حتی اگر سیستم فتوسنتزی، محل عمل اصلی علف‌کش نباشد، فتوسنتز و شاخص‌های مرتبط با آن، صفات مناسبی برای بررسی صدمات ایجاد شده توسط علف-کش‌ها می‌باشند (Dayan and Zaccaro, 2012). از این رو، با بررسی تغییرات به وجود آمده در فلورسانس کلروفیل a می‌توان به مطالعه اثرات علف‌کش‌هایی با مکانیسم عمل متفاوت پرداخت (Barbagallo *et al.*, 2003). با این که سیستم فتوسنتزی، محل هدف اصلی این علف‌کش نمی‌باشد، کاربرد علف‌کش ایمازاماکس در آفتابگردان (با مکانیسم بازدارندگی فعالیت استوهیدروکسی اسید سنتتاز (AHAS))، پارامترهای

آسیب رساند (Ella *et al.*, 2003). کاهش شاخص کلروفیل در اثر تنش می‌تواند ناشی از افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول باشد که این رادیکال‌ها موجب پراکسیداسیون و تجزیه این رنگدانه-ها می‌شوند (Schutz and Fangmier, 2001).

تیمارهای علف‌کشی در مقایسه با کنترل کاهش یافت. کاهش محتوای کلروفیل می‌تواند به عنوان یک علامت قابل مشاهده برای نظارت بر آسیب به رشد و نمو گیاهان استفاده شود. پراکسیداسیون لیپیدها می‌تواند با مهار سنتز کلروفیل و در نتیجه فتوسنتز، به کلروپلاست

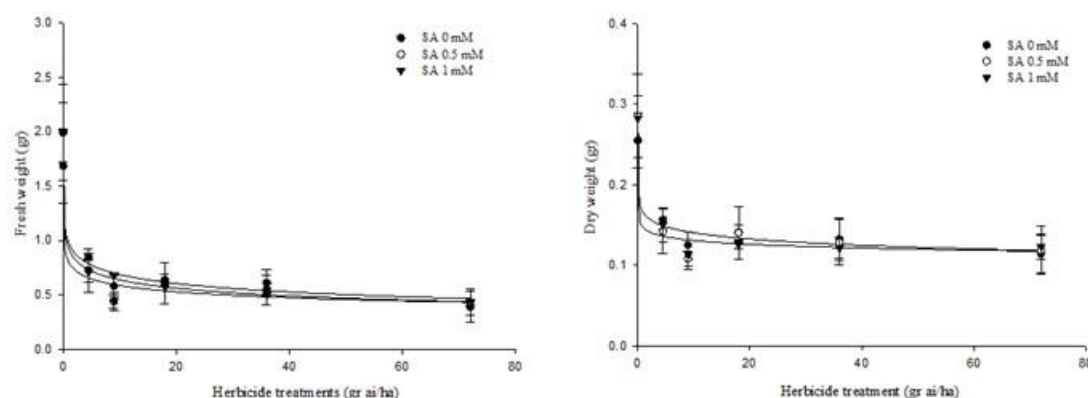
جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) شاخص کلروفیل یولاف وحشی طی یک، سه، پنج و هفت روز پس از کاربرد دزهای مختلف علف‌کش آتلانتیس به تنهایی و در ترکیب با سالیسیلیک اسید

Table 4. Variance analysis (mean square) of *Avena fatua* L. chlorophyll index, 1, 3, 5 and 7 days after application of different doses of Atlantis herbicide alone and in combination with salicylic acid

Source of Variation (SOV)	Df	Sampling time			
		MS			
		1 day	3 days	5 days	7 days
Salicylic Acid	2	0.0111 ^{ns}	0.1125 ^{ns}	0.4238 ^{ns}	5.5010 ^{ns}
Herbicide	5	0.6963 ^{**}	164.4831 ^{**}	173.8111 ^{**}	289.9182 ^{**}
Salicylic Acid* Herbicide	10	0.1064 ^{ns}	2.3381 ^{ns}	4.8117 ^{ns}	1.4247 ^{ns}
Error	54	0.1953	0.0633	7.8495	5.1694
CV (%)		10.38	10.12	13.91	12.27

*, **, ns: به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد و عدم اختلاف معنی‌داری می‌باشد.

*, **, and ns: significant at 5% and 1% of probability levels and non-significant, respectively.



شکل ۴- پاسخ شاخص کلروفیل یولاف وحشی به مقادیر مختلف کاربرد علف‌کش آتلانتیس و اسید سالیسیلیک طی یک، سه، پنج و هفت روز پس از کاربرد علف‌کش. میله‌ها نشان دهنده انحراف معیار، بر اساس تکرارهای آزمایش هستند.

Figure 4. Response of *Avena fatua* L. chlorophyll index to different doses of Atlantis herbicide and salicylic acid, 1, 3, 5 and 7 days after herbicide application. Bars represent standard deviation based on replications.

نهایت مرگ گیاه شود (Poor *et al.*, 2003; Fayez *et al.*, 2013). اسید سالیسیلیک به مقدار مناسب و بسته به گونه گیاه می‌تواند به عنوان تنظیم کننده رشد، باعث افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی آنزیم‌ها و افزایش تحمل گیاه به تنش‌های غیرزیستی شود (He *et al.*, 2002; Radwan, 2012).

تنش‌های محیطی باعث افزایش غلظت تنظیم کننده‌های رشد می‌شوند که محرک آنزیم کلروفیل‌از هستند و به این ترتیب، کلروفیل‌ها بر اثر این آنزیم‌ها تجزیه می‌شوند (Orabi *et al.*, 2010). بر اساس گزارشاتی که توسط محققین ارائه شده است، اسید سالیسیلیک در غلظت‌های بالا می‌تواند باعث کاهش محتوای کلروفیل و در

وزن تر و خشک

درصد بین غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک و عدم معنی‌داری اثرات متقابل هر دو تیمار (محلول پاشی اسید سالیسیلیک و علف‌کش آتلانتیس) بود (جدول ۵).

تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بین غلظت‌های مختلف علف‌کش آتلانتیس در مراحل یک، سه، پنج و هفت روز بعد از کاربرد علف‌کش و پنج

جدول ۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) وزن تر و خشک یولاف وحشی، سه هفته پس از کاربرد دزهای مختلف علف‌کش آتلانتیس به تنهایی و در ترکیب با سالیسیلیک اسید

Table 5. Variance analysis (mean square) of *Avena fatua* L. fresh and dry weight three weeks after application of different doses of Atlantis herbicide alone and in combination with salicylic acid

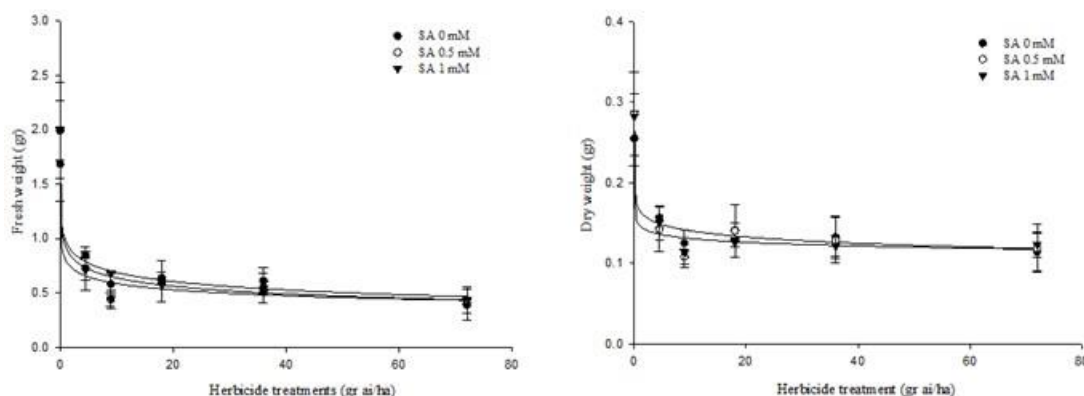
Source of Variation (SOV)	Df	Ms	
		Fresh weight	Dry weight
Salicylic Acid	2	0.08124*	0.00744*
Herbicide	5	0.8254**	0.02937**
Salicylic Acid* Herbicide	10	0.01619 ^{ns}	0.00204 ^{ns}
Error	54	0.0178	0.00221
CV (%)		15.71	12.31

*، ** و ns: به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد و عدم اختلاف معنی‌داری می‌باشد.

*, ** and ns: significant at 5% and 1% of probability levels and non-significant, respectively.

بنا بر گزارشات، استفاده از اسید سالیسیلیک در گیاه نخود فرنگی، باعث افزایش ارتفاع، سطح برگ، وزن خشک برگ و میزان فتوسنتز خالص برگ می‌شود (Martel and Qaderi, 2016). افزایش وزن تر و خشک زیست توده در فلفل شیرین با کاربرد هورمون رشدی در شرایط تنش گزارش شده است (Korkmaz, 2005). به نظر می‌رسد که افزایش وزن تر و خشک در اثر کاربرد اسید سالیسیلیک، به دلیل فعالیت آنتی اکسیدانی این ماده باشد. در واقع، تیمار با اسید سالیسیلیک باعث افزایش مقادیر لیگنین در دیواره سلولی می‌شود که این خود می‌تواند باعث افزایش وزن تر و خشک در تیمار شاهد (عدم مصرف علف‌کش) شود. همچنین افزایش وزن خشک، احتمالاً به دلیل تأثیر این ماده بر تثبیت بیشتر CO₂ و تأثیر در فرایندهای مختلف فتوسنتز برای تثبیت کربن و تولید بیشتر آسیمبالات باشد (Vafabakhsh et al., 2008).

وزن تر و خشک یولاف وحشی تحت تأثیر تیمارهای مختلف علف‌کشی در مقایسه با کنترل (عدم مصرف علف‌کش) کاهش یافت. وزن تر و خشک حتی در دزهای پایین‌تر از دز توصیه شده هم کاهش داشته است. اسید سالیسیلیک در تیمار بدون علف‌کش، باعث افزایش وزن تر و خشک یولاف وحشی شد، اگر چه این افزایش معنی‌دار نبود. روند پاسخ به علف‌کش و اسید سالیسیلیک در شکل ۵ رسم و با تابع لجستیک سه پارامتره برازش داده شده است. علف‌کش مذکور با ممانعت از فعالیت آنزیم استولاکتات سینتاز (ALS) به گیاه خسارت می‌زند. کاهش زیست توده و رشد در مواجهه با غلظت بالای علف‌کش می‌تواند ناشی از کاهش فتوسنتز گیاه به دلایل متعددی از قبیل ممانعت از ساخت یا تخریب رنگیزه‌های فتوسنتزی، اختلال در عمل روزنه‌ها، کاهش کارایی مصرف آب و کاهش تثبیت دی‌اکسید کربن باشد (Esperanza et al., 2016).



شکل ۵- پاسخ وزن تر و خشک یولاف وحشی به مقادیر مختلف کاربرد علف‌کش آتلاتیس و اسید سالسیلیک سه هفته پس از کاربرد علف‌کش. میله‌ها نشان دهنده انحراف معیار، بر اساس تکرارهای آزمایش هستند.

Figure 5. Response of *Avena fatua* L. fresh and dry weight to different doses of Atlantis herbicide and salicylic acid, three weeks after herbicide application. Bars represent standard deviation based on replications.

علف هرز یولاف وحشی، تأثیری در کارایی علف‌کش مذکور نداشت، به طوری که در غلظت‌های مختلف علف‌کشی نسبت به تیمار کنترل (عدم کاربرد علف-کش)، شاخص‌های F0 افزایش و Fv/Fm کاهش یافت. همچنین میزان شاخص کلروفیل در تیمارهای علف‌کشی از چند روز بعد از سمپاشی شروع به کاهش کرد. وزن تر و خشک علف هرز یولاف وحشی سه هفته بعد از سمپاشی نسبت به تیمار کنترل (عدم کاربرد علف‌کش) در همه تیمارها کاهش محسوسی داشت.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که کاربرد علف‌کش، باعث افزایش تولید اکسیژن واکنش‌پذیر (ROS) در گیاهان می‌شود. اسید سالسیلیک، اثرات کلیدی در پایداری غشاء دارد و احتمالاً با پاکسازی گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر، تا حدودی باعث حفظ پایداری غشاء در گیاهان تیمار شده با علف‌کش می‌شود. در مجموع، نتایج حاضر نشان داد که استفاده از اسید سالسیلیک قبل از علف‌کش آتلاتیس جهت کنترل

منابع

- Abdollahi, F., Alebrahim, M.T., Ngov, C., Lallemand, E., Zheng, Y., Villette, C., Zumsteg, J., André, F., Navrot, N., Werck-Reichhart, D. and Miesch, L. 2021. Innate promiscuity of the CYP706 family of P450 enzymes provides a suitable context for the evolution of dinitroaniline resistance in weed. *New Phytol.* 229: 3253–3268.
- Alebrahim, M.T., Majd, R., Abdollahi, F., Zangouejad, R., Dayan, F.E., Mathiassen, S.K. and Kudsk, P. 2021. Absorption and metabolism of foliar-applied rimsulfuron in potato (*Solanum tuberosum* L.), common lambsquarters (*Chenopodium album* L.) and redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.), *Potato Res.* 64: 635–648.
- Andersen, R.N. 1968. Germination and establishment of weeds for experimental purposes. *Weed Science Society of American*, Urbana IL: 26-27.
- Avarseji, Z., Rashedmohassel, M.H., Nezami, A., Abbaspoor, M. and Nassirimahallati, M. 2012. Dicamba + 2, 4-D affects the shape of the Kautsky curves in wild mustard (*Sinapis arvensis*). *Plant Knowl.* 1: 41-45.
- Baek, D., Pathange, P., Chung, J.S., Jiang, J., Gao, L., Oikawa, A., Hirai, M.Y., Saito, K., Pare, P.W. and Shi, H. 2010. A stress-inducible sulphotransferase sulphonates salicylic acid and confers pathogen resistance in *Arabidopsis*. *Plant Cell Environ.* 33:1383–92.
- Balabanova, D.A., Paunov, M., Goltsev, V., Cuypers, A., Vangronsveld, J. and Vassilev, A. 2014. Photosynthetic performance of the imidazolinone resistant sunflower exposed to single and combined treatment by the herbicide imazamox and an amino acid extract. *Front. Plant Sci.* 7: 1-10.
- Barbagallo, R.P., Oxborough, K., Pallett, K.E. and Baker, N.R. 2003. Rapid, non-invasive screening for

- perturbations of metabolism and plant growth using chlorophyll fluorescence imaging. *Plant Physiol.* 132: 485-493.
- Chitband, A.A., Ghorbani, R., Rashed Mohassel, M.A., Abbaspoor, M., and Abbasi, R. 2015a. Reduced dose of PSII + fatty acid inhibitors herbicides and clopyralid mixtures and their chlorophyll fluorescence evaluation to control important broadleaf weeds in Sugar beet (*Beta vulgaris* L.). Ph.D thesis. Department of Agonomy, Faculty of Agriculture: Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian with English summary).
- Christensen, M.G., Teicher, H.B., and Streibig, J.C. 2003. Linking fluorescence induction curve and biomass in herbicide screening. *Pest Manage. Sci.* 59: 1303-1310.
- Cobb, A.H and Reade, P.H.R. 2010. *Herbicides and Plant Physiology*, 2nd ed. Wiley Blackwell Publication. New York. 286 Pp.
- Crudace, A.J. 2000. The investigation of the in vivo behavior of a maize herbicide-Isoxaflutole. Ph.D thesis. University of Essex. Colchester, UK.
- Dayan, F.E. and Zaccaro M.L.M. 2012. Chlorophyll fluorescence as a marker for herbicide mechanisms of action. *Pest. Biochem. Physiol.* 102:189–197.
- Ella, E.S., Kawano, N. and Ito, O. 2003. Importance of active oxygen-scavenging system in the recovery of rice seedlings after submergence. *Plant Sci.* 165: 85-93.
- El-Tayeb, M.A. 2005. Response of barley gains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant Growth Regul.* 45: 215-224.
- Eshghizadeh, H.R. and Ehsanzadeh, P. 2009. Effect of different irrigation regimes on corn (*Zea mays* L.) genotypes, fluorescence chlorophyll, growth characteristics and seed yield. *Iran. J. Field Crop Sci.* 40(2): 135-144.
- Esperanza, M., Seoane, M., Rioboo, C., Herrero, C. and Cid, A. 2016. Early alterations on photosynthesis-related parameters in *Chlamydomonas reinhardtii* cells exposed to atrazine: A multiple approach study. *Sci. Total Environ.* 554: 237-245.
- Fai, P.B., Gant, A. and Reid, B. 2007. Chlorophyll a fluorescence as a biomarker for rapid toxicity assessment. *Environ. Toxicol. Chem.* 26: 1520–1531.
- Fayez, K.A., Radwan, D.E.M., Mohamed, K.A. and Abdelrahman, M.A. 2013. Alteration in protein contents and polypeptides of peanut plants due to herbicides and salicylic acid treatments. *J. Environ. Stud.* 11: 27–36.
- Fracheboud, Y. 2006. Using chlorophyll fluorescence to study photosynthesis. Institute of Plant Sciences ETH, Universitat strass 2, CH-8092. Zürich.
- Habibi, G. 2017. Physiological, photochemical and ionic responses of sunflower seedlings to exogenous selenium supply under salt stress. *Acta Physiol Plant.* 39: 213-225.
- Hammami, H., Rashed Mohassel, M.H., Parsa, M., Bannayan-Aval, M. and Zand, E. 2014. Behavior of sethoxydim alone or in combination with turnip oils on chlorophyll fluorescence parameter. *Not. Sci. Biol.* 6(1): 112-118.
- Hassannejad, S., Porheidarghafarbi, S. and Lotfi, R. 2020. How photosynthetic light phase of spiny cocklebur (*Xanthium spinosum* L.) changes during times after herbicide application. *J. Plant Physiol. Breed.* 10: 61-70.
- Havaux, M. and Niyogi, K.K. 1999. The violoxanthin cycle protects plants from photo-oxidative damage by more than one mechanism. *Proc. Nation. Aca. Sci.* 96: 8762- 8767.
- He, Y.L., Liu, Y.L., Chen, Q., and Bian, A.H. 2002. Thermo-tolerance related to antioxidation induced by salicylic acid and heat hardening in tall fescue seedlings. *J. Plant Physiol. Molcul. Biol.* 28: 89–95.
- Heap, I. 2014. Global perspective of herbicide-resistant weeds. *Pest. Manag. Sci.* 70: 1306–1315.
- Khatami, S.A., Alebrahim, M.T. and Majd, R. 2017. The effect of rimsulfuron application time and dose on weed control and potato (*Solanum tuberosum*) tuber yield. *Iran. J. Weed Sci.* 12: 185–198.
- Kheirizadeh Arough, Y., Seyed Sharifi, R., Sedghi, M. and Barmaki, M. 2016. Effect of zinc and bio fertilizers on antioxidant enzymes activity, chlorophyll content, soluble sugars and proline in Triticale under salinity condition. *Not. Bot. Hort. Cluj-Napoca.* 44: 116-124.
- Korkmaz, A. 2005. Inclusion of acetyl salicylic acid and methyl jasmonate into the priming solution improves low temperature germination and emergence of sweet pepper. *Hort Science.* 40:197-200.
- Liu, X.Q., Yu, C.Y., Dong, J.G., Hu, S.W. and Xu, A.X. 2017. Acetolactate synthase-inhibiting gametocide amidosulfuron causes chloroplast destruction, tissue autophagy, and elevation of ethylene release in rapeseed. *Front Plant Sci.* 8:1625.
- Lu, Y.C., Zhang, S.H. and Yang, H. 2015. Acceleration of the herbicide isoproturon degradation in wheat by

- glycosyltransferases and salicylic acid. *J. Hazard. Mater.* 283: 806–814.
- Martel, A.B. and Qaderi, M.M. 2016. Does salicylic acid mitigate the adverse effects of temperature and ultraviolet-B radiation on pea (*Pisum sativum*) plants? *Environ. Exp. Bot.* 122: 39–48.
- Maxwell, K., and Johnson, G.N. 2000. Chlorophyll fluorescence a practical guide. *J. Expt. Bot.* 51: 659-668.
- Mehta, P., Jajoo, A., Mathur, S. and Bharti, S. 2010. Chlorophyll a fluorescence study revealing effects of high salt stress on Photosystem II in wheat leaves. *Plant Physiol. Biochem.* 48: 16-20.
- Orabi, S.A., Salman, S.R. and Shalaby, A.F. 2010. Increasing resistance to oxidative damage in cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants by exogenous application of salicylic acid and paclobutrazol. *World J. Agric. Sci.* 6: 252- 259.
- Pan, D., Li, Q.X., Lin, Z., Chen, C., Tang, W., Pan, C., Tan, H. and Zeng, D. 2012. Interactions between salicylic acid and antioxidant enzymes tilting the balance of H₂O₂ from photorespiration in non-target crops under halosulfuron-methyl stress. *Pestic. Biochem. Physiol.* 143: 214–223.
- Poór, P., Gémes, K., Horváth, F., Szepesi, Á., Simon, M.L. and Tari, I. 2011. Salicylic acid treatment via the rooting medium interferes with stomata response, CO₂ fixation rate and carbohydrate metabolism in tomato, and decreases harmful effects of subsequent salt stress. *Plant Biol.* 13: 105–114.
- Porheidar Ghafarbi, S., Rahimian, H., Alizadeh, H. and Hassannejad, S. 2017. Study on the effect of salicylic acid (SA) mixture with some herbicides on chlorophyll a fluorescence and some morphological traits of common lambesquarts (*Chenopodium album*). *Iranian J. Weed Sci.* 13: 175-191.
- Qian, H., Wang, R., Hu, H., Lu, T., Chen, X., Ye, H., Liu, W. and Fu, Z. 2011. Enantioselective phytotoxicity of the herbicide imazethapyr and its effect on rice physiology and gene transcription. *Environ Sci Technol.* 45: 7036–43.
- Rademacher, W. 2015. Plant growth regulators: backgrounds and uses in plant production. *J. Plant Growth Regul.* 34: 845-872.
- Radwan, D.E.M. and Soltan, D.M. 2012. The negative effects of clethodim in photosynthesis and gas-exchange status of maize plants are ameliorated by salicylic acid pretreatment. *Photosynthetica.* 50: 171-179.
- Riethmuller-Haage, I., Lammert, B., Kropff, M.J., Harbinson, J. and Kempenaar, C. 2006. Can photosynthesis-related parameters be used to establish the activity of acetolactate synthase-inhibiting herbicides on weeds? *Weed Sci.* 54: 974–982.
- Rohacek, K., Soukupova, J. and Bartak, M. 2008. Chlorophyll fluorescence: A wonderful tool to study plantphysiology and plant stress. *Plant cell compartments selected topics. Research Signpost.* 41-104.
- Saja, D., Rys, M., Stawoska, I. and Skoczowski, A. 2016. Metabolic response of cornflower (*Centaurea cyanus* L.) exposed to tribenuron-methyl: one of the active substances of sulfonylurea herbicides. *Acta Physiol Plant.* 38:168.
- Samadi Kalkhoran, E., Alebrahim, M.T., Abad, H.R.M.C., Streibig, J.C., Ghavidel, A. and Tseng, T.M.P. 2021. The joint action of some broadleaf herbicides on potato (*Solanum tuberosum* L.) weeds and photosynthetic performance of potato. *Agriculture.* 11: 1103.
- Schutz, H. and Fangmier, E. 2001. Growth and yield responses of spring wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Minaret) to elevated CO₂ and water limitation. *Environ. Pollut.* 114: 187-194.
- Senaratna, T., Touchell, D., Bunn, E. and Dixon, K. 2000. Acetyl salicylic acid (Aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. *Plant Growth Regul.* 30: 157-161.
- Shimizu, M., Goto, M., Hanai, M., Shimizu, T., Izawa, N., Kanamoto, H., Tomizawa, K.I., Yokota, A. and Kobayashi, H. 2008. Selectable tolerance to herbicides by mutated acetolactate synthase genes integrated into the chloroplast genome of tobacco. *Plant Physiol.* 147: 1976–83.
- Sikder, S., Foulkes, J. and West, H. 2015. Evaluation of photosynthetic potential of wheat genotypes under drought condition. *Photosynthetica.* 53: 47-54.
- Soltani, A. 2004. Chlorophyll fluorescence and its application. Internal Press. University of Agricultural Science and Natural Resource, Gorgan, Iran. 19Pp.
- Sun, C., Chen, S., Jin, Y., Song, H., Ruan, S., Fu, Z., Asad, M.A. and Qian, H. 2016. Effects of the herbicide imazethapyr on photosynthesis in PGR5- and NDH-deficient *Arabidopsis thaliana* at the biochemical, transcriptomic, and proteomic levels. *J Agric. Food Chem.* 64: 4497–504.
- Theodoulou, F.L., Clark, I.M., He, X.L., Pallett, K.E., Cole, D.J. and Hallahan, D.L. 2003. Co-induction of glutathione-S-transferases and multidrug resistance associated protein by xenobiotics in wheat. *Pest Manage. Sci.* 59: 202-214.
- Vafabakhsh, J., Nassiri Mahallati, M., and Koocheki, A. 2008. Effects of drought stress on radiation use efficiency and yield of winter Canola (*Brassica napus* L.). *Iranian J. Field Crops Res.* 6(1): 193-204.

- Van Rensen, J.J.S. and Vredenberg, W.J. 2009. Higher concentration of QB nonreducing photosystem II centers in triazine-resistant *Chenopodium album* plants as revealed by analysis of chlorophyll fluorescence kinetics. *J. Plant Physiol.* 166: 1616-1623.
- Varhney, S., Khan, M.I.R., Masood, A., Per, T.S., Rasheed, F. and Khan, N.A. 2015. Contribution of plant growth regulators in mitigation of herbicidal stress. *J. Plant Biochem. Physiol.* 3: 2-12.
- Yaghoubian, Y., Siadat, S., Telavat, M.M. and Pirdashti, H. 2016. Quantify the response of purslane plant growth, photosynthesis pigments and photosystem II photochemistry to cadmium concentration gradients in the soil, *Russian J. Plant Physiol.* 63: 77-84.
- Zangouejad, R., Alebrahim, M.T. and Tseng, T.M. 2019. Evaluation of auxin tolerance in selected tomato germplasm under greenhouse and field conditions. *Weed Technol.* 33: 815-822.
- Zlatev, Z.S. and Yordanov, I.T. 2004. Effects of soil drought on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in bean plants. *Bulg. J. Plant Physiol.* 30: 3-18.