

## اثر لوماکس به تنهایی و در اختلاط با روغن کرچک روی فلورسانس کلروفیل *a* توق (*Xanthium strumarium* L.)

سیروس حسن‌نژاد<sup>۱\*</sup> و سهیلا پورحیدرغفاری<sup>۲</sup>

۱- دانشیار گروه اکوفیزیولوژی گیاهی دانشگاه تبریز، ۲- دکتری علوم علف‌های هرز  
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۳/۳ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۳/۸)

### چکیده

با هدف مطالعه اثر اختلاطی روغن کرچک با دزهای مختلف علف‌کش لوماکس (مزوتریون + اس-متالاکلر + تربوتیلازین) بر صفات فیزیولوژیکی توق (*Xanthium strumarium* L.)، آزمایشی گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز در سال ۱۳۹۶ اجرا شد. نتایج نشان داد که با افزایش دز علف‌کش، مساحت منحنی بین حداقل و حداکثر فلورسانس، فلورسانس حداکثر، فلورسانس متغیر، حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم دو (Fv/Fm)، فعالیت کمپلکس تجزیه کننده آب در بخش الکترون دهنده فتوسیستم دو و جریان انتقال الکترون در هر مرکز واکنش، به ترتیب ۳۵، ۱۵/۶، ۲۳/۶، ۱۱، ۴۳ و ۸۳ درصد کاهش یافت درحالی‌که فلورسانس حداقل و تغییر در هدررفت گرمایی در گیرنده‌های فتوسیستم دو، به ترتیب ۱۴ و ۶۰/۴ درصد افزایش یافت. روغن کرچک، اثر سینرژیستی روی لوماکس داشت و باعث افزایش کارایی آن روی توق شد. در این تحقیق، رابطه خوبی بین پارامتر Fv/Fm ارزیابی شده در دو روز بعد از سمپاشی، با وزن خشک محاسبه شده در ۲۸ روز بعد از سمپاشی مشاهده شد. یافته‌های این آزمایش نشان داد که ارزیابی فلورسانس کلروفیل *a*، روشی مناسب، غیرتخریبی و سریع، برای بررسی اثر لوماکس، کمی بعد از سمپاشی و قبل از مشاهده علائم ظاهری در گونه علف‌هرز تیمار شده است.

**کلمات کلیدی:** انتقال الکترون، تجزیه آب، فتوشیمیایی، کارایی کوانتومی، هدررفت گرمایی

## The effect of Lomax alone or in combination with castor oil on chlorophyll *a* fluorescence of common cocklebur (*Xanthium strumarium* L.)

Sirous Hassannejad<sup>1\*</sup> and Soheila Porheidar<sup>2</sup>

1- Associate Professor, Department of Plant Ecophysiology, University of Tabriz, 2- PhD of Weed Science

(Received: May 24, 2018- Accepted: May 29, 2019)

### ABSTRACT

To study the effect of castor oil combination with different doses of Lumax (mesotrion + s-metolachlor + terbuthylazine) on physiological behavior of common cocklebur (*Xanthium strumarium* L.), a greenhouse factorial experiment was conducted in randomized complete block design with 3 replications in Agricultural Faculty of University of Tabriz in 2017. Results showed that by increasing the herbicide doses, area above the OJIP curve between minimum and maximum fluorescence, maximum Fluorescence, variable fluorescence, maximum quantum yield of photochemistry (Fv/Fm), water-splitting complex on the donor side of PSII and maximum electron transport flux per PSII reaction center, decreased 35, 15/6, 23/6, 11, 43 and 83%, respectively and minimum fluorescence and thermal dissipation quantum yield increased 14 and 60%, respectively. Castor oil had synergistic effect on Lomax and enhanced its efficacy on *X. strumarium*. A good relationship was observed between Fv/Fm parameter evaluated 2 days after herbicide spraying (DAHS) and dry weight measured 28 DAHS. The finding of this study showed that evaluating chlorophyll *a* fluorescence is a good, non-destructive and fast to survey the effect of Lomax, soon after spraying and before the visual symptoms appear in treated weed species.

**Keywords:** Electron flow, Photochemistry, quantum yield, thermal dissipation, water-splitting

\* Corresponding author E-mail: [sirous\\_hassannejad@tabrizu.ac.ir](mailto:sirous_hassannejad@tabrizu.ac.ir)

## مقدمه

فلورسانس انجام می‌دهد (Kalaji & Gue, 2008). میزان فلورسانس کلروفیل  $a$  در شرایط عادی حدود ۰/۳ تا ۳ درصد کل انرژی دریافتی است که این میزان در شرایط تنش افزایش می‌یابد (Coob & Read, 2010). بنابراین، برای ارزیابی تغییرات فتوشیمیایی و غیرفتوشیمیایی دستگاه فتوسنتزی گیاه، از شاخص‌های متفاوتی استفاده می‌شود که فلورسانس کلروفیل  $a$  یکی از مهم‌ترین آن‌ها می‌باشد (Pandani *et al.*, 2006). در واقع فلورسانس کلروفیل  $a$  به عنوان شاخص فیزیولوژیکی بسیار حساس، به سادگی ارزیابی می‌شود و اطلاعات مهمی از دستگاه فتوسنتزی را ارائه می‌دهد (Barbagallo *et al.*, 2003). از این شاخص می‌توان برای تعیین نوع برهم‌کنش یک ماده اضافه شده به ترکیب بازدارنده فتوسنتز (Norsworthy *et al.*, 1999) و تشخیص کارایی علف‌کش روی گیاه استفاده نمود (Riethmuller-*et al.*, 2006). بالابانوا و همکاران (Balabanova *et al.*, 2016) در پی کاربرد علف‌کش ایمازاماکس (بازدارنده ALS) در آفتابگردان، شاهد افزایش  $F_0$ ، هدررفت گرمایی در گیرنده‌های فتوسیستم دو (Fo/Fm)، هدررفت انرژی در هر مرکز واکنش فتوسیستم دو (Dio/RC)، کاهش حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم دو ( $\phi_{po} = F_v/F_m$ ) و شاخص عملکرد فتوسنتزی ( $PI_{ABS}$ ) شدند. این محققین، علت این تغییرات را در ناتوانی رنگدانه‌های فتوسنتزی در استفاده از انرژی نورانی دریافتی برای انتقال الکترون به جفت کلروفیل  $a$  واقع در مرکز واکنش گزارش نمودند (Balabanova *et al.*, 2016). حمامی و همکاران (Hammami *et al.*, 2014) در بررسی اثر علف‌کش ستوکسیدیم (از بازدارنده‌های ACCase) روی یولاف وحشی (*Avena ludoviciana* Durieu)،

علف‌کش‌ها به دلیل سهولت در مصرف و کارایی بالا در کنترل علف‌های هرز، از مؤثرترین ابزارهای کشاورزی در مبارزه با علف‌های هرز هستند و در سال‌های اخیر، مصرف آن‌ها از به ویژه در کشورهای دارای سیستم کشاورزی پیشرفته، از رشد قابل توجهی برخوردار بوده است (Sheibani & Ghadiri, 2012). خطر بروز و گسترش مقاومت به علف‌کش‌ها و آلودگی‌های زیست محیطی در پی مصرف مداوم این ترکیبات شیمیایی باعث شده است تا محققان به دنبال یافتن روش‌های کمکی از جمله استفاده از مواد افزودنی در راستای کاهش دز مصرفی علف‌کش و افزایش کارایی آن باشند. مواد افزودنی، ترکیباتی هستند که به فرمولاسیون علف‌کش یا به مخزن سمپاش اضافه می‌شوند تا ویژگی‌های کاربردی علف‌کش را بهبود بخشند (Rashed-Mohassel *et al.*, 2006). در بین مواد افزودنی، روغن‌ها متنوع‌ترین فعال‌کننده‌هایی هستند که با بهبود انتقال ماده موثر از سطح گیاه هدف به بافت‌های درونی آن، باعث نرمی یا حل شدن موم کوتیکول و افزایش نفوذ علف‌کش می‌شوند (Hall *et al.*, 1995).

برای بررسی دقیق و سریع اثرات علف‌کش در گیاهان و شناسایی مکانیسم‌های عمل آن‌ها، استفاده از روش‌های غیر تخریبی و با سرعت بالا ضروری است (Mehta *et al.*, 2010). ارزیابی فلورسانس کلروفیل  $a$  روشی سریع و غیر تخریبی و دقیق، برای مطالعه تنش‌های مختلف از جمله تنش علف‌کشی در گیاهان است (Avarseji *et al.*, 2012; Freitas *et al.*, 2016; Hunge *et al.*, 2012). تحت تنش‌های محیطی و استفاده از برخی علف‌کش‌ها روی گیاهان به دلیل آسیب دستگاه فتوسنتزی، زنجیره انتقال الکترون متوقف شده، کلروفیل  $a$  برای برگشت به حالت پایدار

صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز در سال ۱۳۹۶ اجرا شد.

بذرهای تونق از مزرعه تحقیقاتی دانشگاه تبریز، واقع در اراضی کرکج جمع‌آوری شدند و به مدت سه ماه در طول زمستان، در فضای آزاد قرار داده شدند تا خواب آن‌ها برطرف شود. کشت بذرها در داخل گلدان‌هایی به قطر ۱۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۰ سانتی-متر که با پرلیت بافت متوسط پر شده بود صورت گرفت. در طول آزمایش، از محلول غذایی هوگلند برای تغذیه گیاهان استفاده شد. شرایط رشدی شامل ۱۴ ساعت روشنایی (با نور طبیعی) و ۱۰ ساعت تاریکی، با دمای روزانه ۲۷ درجه سانتی‌گراد و دمای شبانه ۲۴ درجه سانتی‌گراد بود. بعد از سبز شدن علف‌های هرز، در هر گلدان سه بوته نگهداری و بقیه حذف شدند و در مرحله پنج برگی، تیمارهای آزمایشی اعمال شدند. مقدار علف‌کش، نسبت به سطح هر گلدان محاسبه شد و سمپاشی در دمای ۲۷ درجه سانتی‌گراد، با یک سمپاش پشتی مجهز به نازل شرف‌ای و با فشار دو تا ۲/۵ بار انجام شد. سمپاشی در ساعت شش عصر انجام شد و ارزیابی پارامترهای مختلف فلورسانس کلروفیل *a*، با استفاده از دستگاه Handy-PEA (Hansatech, Kings Lynn, UK)، ۱۲ ساعت بعد از کاربرد علف‌کش شروع شد و نمونه برداری اول و دوم، با فاصله زمانی ۱۲ ساعت و نمونه‌برداری‌های سوم تا پنجم با فاصله زمانی ۲۴ ساعت انجام شد ولی با توجه به این‌که بیشترین تغییرات در روز دوم (۴۸ ساعت بعد از سمپاشی) مشاهده شد و بعد از آن، به دلیل تخریب دستگاه فتوسنتزی گیاه، تغییرات معنی‌داری در پارامترهای مورد مطالعه مشاهده نشد، تنها از داده‌های روز دوم استفاده شد. کلیپس‌های مربوط به دستگاه فلورومتر، به مدت ۲۰ دقیقه روی برگ‌های گیاهان تونق قرار

شاهد کاهش حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم دو ( $\phi_{\text{po}} = F_v/F_m$ ) بودند. این محققین، استفاده از پارامترهای فلورسانس کلروفیل *a* نسبت به برخی صفات مورفولوژیک را مناسب گزارش کردند و به این نتیجه رسیدند که با ارزیابی پارامترهای فلورسانس می‌توان زودتر از تاثیرگذاری یا عدم تاثیرگذاری علف‌کش با خبر شد.

علف‌کش ترکیبی مزوتریون + اس‌متالاکلر + تربوتیلازین با نام تجاری لوماکس، یک علف‌کش انتخابی پیش‌رویشی و پس‌رویشی برای کنترل علف‌های هرز باریک برگ و پهن برگ مزارع ذرت و نیشکر است (Armel et al., 2005). این علف‌کش از ترکیب سه علف‌کش با نحوه عمل متفاوت تشکیل شده است که در آن، مزوتریون از سنتز رنگدانه و اس‌متالاکلر از تقسیم سلولی جلوگیری می‌کنند و تربوتیلازین به عنوان بازدارنده فتوسنتز در فتوسیستم II عمل می‌کند (Armel et al., 2005).

هدف از این آزمایش، ارزیابی فلورسانس کلروفیل *a* علف‌هرز تونق (*Xanthium strumarium* L.)، برای درک سریع پاسخ علف‌هرز به دزهای مختلف علف‌کش لوماکس به تنهایی و در ترکیب با روغن کرچک به عنوان ماده افزودنی است تا مشخص شود که حاصل اضافه شدن روغن کرچک به ترکیب علف‌کش لوماکس، اثر سینرژیسمی، آنتاگونیسمی یا افزایشی دارد و این‌که آیا می‌توان با استفاده از روغن کرچک از دز مصرفی علف‌کش لوماکس کم کرد.

## مواد و روش‌ها

برای ارزیابی فلورسانس کلروفیل *a* در علف هرز تونق در پاسخ به دزهای ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد دز توصیه شده (۴/۵ لیتر در هکتار) علف‌کش لوماکس به تنهایی و در ترکیب با روغن کرچک، آزمایشی به

$y_0+ax$  (y<sub>0</sub> نشان دهنده عرض از مبدا و a شیب خط) به داده‌ها براش داده شد.

### نتایج و بحث

#### حجم خزانه کوئینون‌های گیرنده الکترون (Area)

حجم خزانه کوئینون‌های گیرنده الکترون (QA و QB) با شاخص سطح (Area) نشان داده می‌شود (Goncalves, et al., 2007) که کاهش چشمگیر آن، نشان دهنده بسته شدن مسیر انتقال الکترون از مراکز واکنش به استخر کوئینون است (Kalaji & Guo, 2008). علف‌کش لوماکس در دز ۱۰۰ درصد (در غیاب روغن کرچک) در مقایسه با شاهد، باعث کاهش ۳۶ درصدی حجم کوئینون‌های گیرنده الکترون شد (شکل ۱). اضافه شدن روغن کرچک به علف‌کش، بر شدت این کاهش افزود طوری که میزان افت این پارامتر در دز ۱۰۰ درصد در مقایسه با شاهد، به ۸۵ درصد رسید. افزودن روغن کرچک به ترکیب علف‌کش، EC<sub>50</sub> علف‌کش را در مقایسه با کاربرد علف‌کش به تنهایی، کاهش داد (جدول ۱).

#### فلورسانس حداقل (F<sub>0</sub>) و فلورسانس حداکثر (F<sub>m</sub>) کلروفیل a

دو روز بعد از تیمار علف‌کشی، نتایج نشان از افزایش ۲۸ درصدی F<sub>0</sub> در دز ۱۰۰ درصد علف‌کش لوماکس و افزایش ۳۵ درصدی در دز ۱۰۰ درصد لوماکس + روغن کرچک داشت (شکل ۲، جدول ۱). تمامی مراکز واکنش موجود در فتوسیستم II در F<sub>0</sub> کاملاً اکسیده شده‌اند و آماده پذیرش الکترون هستند (Kalaji et al., 2011). از این رو، با افزایش F<sub>0</sub> در پی اختلاط علف‌کش لوماکس با روغن کرچک، می‌توان گفت که بخش عمده‌ای از مراکز واکنش بسته مانده‌اند و از کارایی فتوسیستم II در انتقال الکترون کاسته شده است. با افزایش دز علف‌کش، پارامتر F<sub>m</sub> نیز روندی نزولی داشت و اضافه شدن روغن کرچک به ترکیب

گرفتند و در این مدت، با بستن گیره کلیپس به مدت ۲۰ دقیقه، آن نقطه در تاریکی قرار داده شد تا فتوستنز متوقف شود. سپس فلش نوری با شدت ۳۰۰۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه، توسط دستگاه فلورومتر و سه دیود تابنده نور، به برگ‌ها تابانیده شده و پارامترهای مورد نظر، یادداشت شدند. ۲۸ روز بعد از کاربرد علف‌کش، بوته‌های علف‌هرز، از گلدان خارج شدند و ارتفاع و زیست توده آن‌ها محاسبه شد.

تجزیه داده‌ها با نرم‌افزار آماری SAS انجام شد و مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد صورت گرفت. نمودارها با SigmaPlot 11.0 ترسیم شدند. به منظور به دست آوردن منحنی‌های دز پاسخ در ارتباط با پارامترهای مختلف فلورسانس کلروفیل a، از معادله لجستیک سه پارامتری (معادله ۱) و معادله سیگنوییدی سه پارامتری (معادله ۲) استفاده شد.

$$Y = \max / 1 + (\text{Dose} / \text{EC}_{50})^b \quad \text{معادله ۱}$$

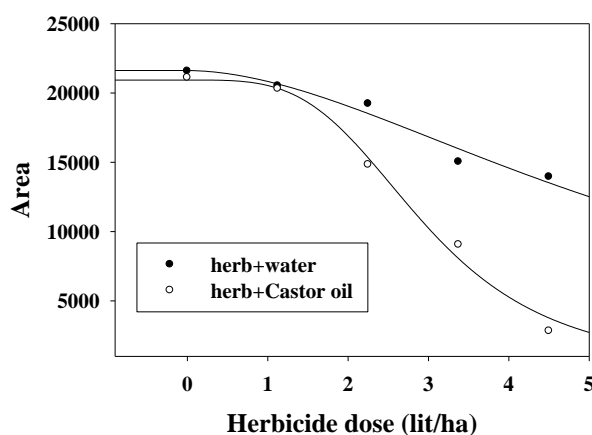
که در این معادله، Y: نشان دهنده‌ی متغیر وابسته، max: بالاترین حد واکنش، Dose: غلظت علف‌کش، EC<sub>50</sub>: دزی از علف‌کش که باعث دستیابی به ۵۰ درصد شاخص مورد مطالعه می‌شود و b شیب خط است.

$$f = a / (1 + \exp(-(x-x_0)/b)) \quad \text{معادله ۲}$$

که در این معادله، f: نشان دهنده متغیر وابسته، a: بالاترین حد واکنش، x: غلظت علف‌کش، x<sub>0</sub>: دزی از علف‌کش که باعث دستیابی به ۵۰ درصد شاخص مورد مطالعه می‌شود و b شیب خط است.

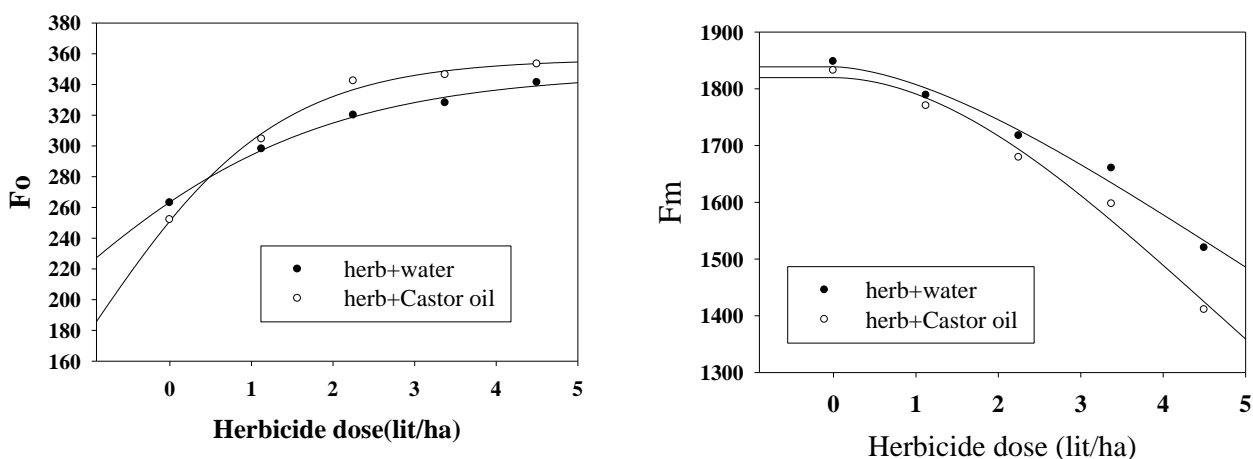
در ادامه برای نمایش همبستگی بین حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو (F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>) با پارامترهای مورفولوژیک وزن خشک و ارتفاع علف‌هرز توق، خطوط رگرسیون با استفاده از معادله خطی  $Y =$

علف‌کش، بر شدت این کاهش افزود (شکل ۲). فتوسیستم II است (Mehta et al., 2010). کاهش Fm، نشان دهنده بروز تنش و کاهش فعالیت



شکل ۱- اثرات دزهای مختلف لوماکس به تنهایی و در ترکیب با روغن کرچک بر مساحت منحنی بین فلورسانس حداقل و حداکثر (Area) علف‌هز توق (*Xanthium strumarium* L.) دو روز پس از کاربرد علف‌کش (LSD 5%=4638.8).

Fig 1. Effects of different doses of Lomax, alone and in combination with castor oil on curve area between minimum and maximum fluorescence (Area) of common cocklebur (*Xanthium strumarium* L.) (LSD5%=4638.8), two days after herbicide application



شکل ۲- اثرات دزهای مختلف علف‌کش لوماکس به تنهایی و در ترکیب با روغن کرچک بر حداقل فلورسانس (F0) (LSD 5%=38.2) و حداکثر فلورسانس (Fm) توق (*Xanthium strumarium* L.) دو روز پس از کاربرد علف‌کش (LSD 5%=247.7)

Fig 2. Effects of different doses of Lomax, alone and in combination with castor oil on minimum fluorescence (F0) (LSD5%=38.2) and maximum fluorescence (Fm) of common cocklebur (*Xanthium strumarium* L.) (LSD 5%= 247.7), two days after herbicide application)

علف‌کش، بر شدت این کاهش افزود (شکل ۳، جدول ۱). فلورسانس متغیر، از تفاضل فلورسانس حداکثر و فلورسانس حداقل محاسبه می‌شود و بالا بودن آن، نشان از عملکرد خوب مکانیسم فلورسانس

فلورسانس متغیر (Fv) و حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm)

با افزایش دز علف‌کش، فلورسانس متغیر (Fv) کاهش یافت و اضافه شدن روغن کرچک به ترکیب

کلروفیل *a* در شرایط تنش و کاهش سرعت واکنش‌های فتوشیمیایی دارد ( Baker & Rosenqvist, 2004).

جدول ۱- تخمین پارامترهای منحنی‌های دز- پاسخ

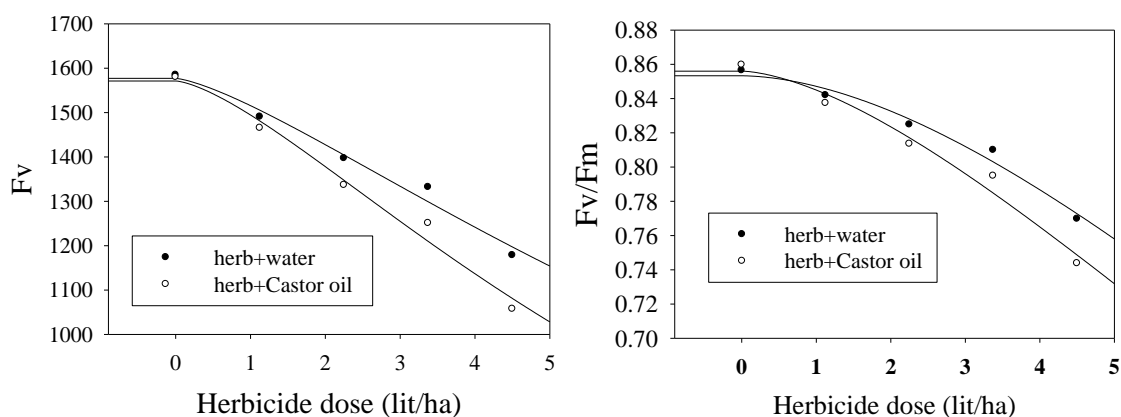
Table 1. Estimation of dose- Response parameters

Herbicide + Caster oil			Herbicide alone			Equation	Chlorophyll <i>a</i> fluorescence Parameters
R2	p	Parameters estimates	R2	p	Parameters estimates		
	0.0001	max= 20933.5	0.0001		Max= 21619.8		
0.99	0.0001	EC <sub>50</sub> = 2.965	0.96	0.0026	EC <sub>50</sub> = 5.94	Y= max/1+(Dose/EC 50)b	Area
	0.0031	b= 3.635		0.037	B= 1.836		
	0.0001	A= 356.523		0.0001	a= 347.747		
0.99	0.0022	x0= 0.996	0.99	0.0061	x0= 2.0317	f= a/(1+exp(-(x-x0)/b))	F0
	0.0017	b= 1.147		0.0118	B= 1.7831		
	0.0001	max= 1819.658	0.0001		Max= 1838.79		
0.98	0.0020	EC <sub>50</sub> = 6.854	0.98	0.0166	EC <sub>50</sub> = 10.09	Y= max/1+(Dose/EC 50)b	Fm
	0.0063	b= 1.893		0.0153	B= 1.626		
	0.0001	max= 1571.16	0.0001		Max= 1577.07		
0.98	0.0015	EC <sub>50</sub> = 6.770	0.98	0.0117	EC <sub>50</sub> = 9.41	Y= max/1+(Dose/EC 50)b	Fv
	0.005	b= 1.448		0.0146	B= 1.367		
	0.0001	max= 0.856	0.0001		max= 0.8533		
0.97	0.0215	EC <sub>50</sub> = 9.2	0.97	0.0051	EC <sub>50</sub> = 10.12	Y= max/1+(Dose/EC 50)b	Fv/Fm
	0.0106	b= 1.591		0.0283	B= 1.771		
	0.0001	max= 6.33	0.0001		max= 6.145		
0.97	0.0039	EC <sub>50</sub> = 4.266	0.97	0.0165	EC <sub>50</sub> = 7.12	Y= max/1+(Dose/EC 50)b	Fv/Fo
	0.011	b= 0.854		0.0217	B= 0.867		
	0.0001	max= 0.0672	0.0001		max= 0.0691		
0.98	0.0031	EC <sub>50</sub> = 1.381	0.96	0.0015	EC <sub>50</sub> = 2.758	Y= max/1+(Dose/EC 50)b	Sm/Tfm
	0.0125	b= 1.725		0.0152	b= 1.74		
	0.0001	max= 13.637	0.0001		max= 14.497		
0.99	0.0001	EC <sub>50</sub> = 3.62	0.97	0.0001	EC <sub>50</sub> = 5.4	Y= max/1+(Dose/EC 50)b	Sm
	0.0012	b= 4.485		0.0168	b= 3.945		
	0.0001	max= 30.474	0.0001		max= 30.917		
0.99	0.0001	EC <sub>50</sub> = 3.349	0.95	0.0028	EC <sub>50</sub> = 6.233	Y= max/1+(Dose/EC 50)b	N
	0.0022	b= 4.804		0.051	B= 2.799		
	0.0001	max= 1.145	0.0001		max= 1.217		
0.99	0.0012	EC <sub>50</sub> = 1.144	0.98	0.0006	EC <sub>50</sub> = 1.489	Y= max/1+(Dose/EC 50)b	ET0/RC
	0.0048	b= 1.781		0.0028	b= 1.763		
	0.0001	max= 0.461	0.0001		max= 0.5747		
0.99	0.0001	EC <sub>50</sub> = 0.714	0.99	0.0002	EC <sub>50</sub> = 1.308	Y= max/1+(Dose/EC 50)b	Φeo
	0.0094	b= 1.006		0.0008	B= 1.521		

انرژی شیمیایی است (Kocheva *et al.*, 2004) و کاهش آن، نشان دهنده آسیب‌های وارده به مراکز واکنش فتوسیستم II می‌باشد و افزایش آن، بیانگر

نسبت فلورسانس متغیر (Fv) به فلورسانس حداکثر (Fm) یعنی Fv/Fm، بیانگر حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II برای تبدیل انرژی نورانی جذب شده به

زمان کوتاهی بعد از سمپاشی دانسته‌اند (Hammami *et al.*, 2014). در این آزمایش نیز مشاهده شد که در پی اضافه شدن روغن کرچک به علف‌کش، حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II به شدت کاهش می‌یابد (شکل ۳). کاهش حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II، نتیجه خسارت به مراکز واکنش فتوسیستم II است (Baker & Rosenqvist, 2004). تاثیر روغن کرچک بر پارامترهای Fv/Fm و Fv در دزهای بالای علف‌کش، چشمگیرتر از دز ۲۵ درصد بود.



شکل ۳- اثرات دزهای مختلف علف‌کش لوماکس به تنهایی و در ترکیب با روغن کرچک بر فلورسانس متغیر (Fv) (LSD5%=277.67) و حداکثر عملکرد کوانتومی فتوشیمیایی (Fv/Fm) توق (*Xanthium strumarium* L.) (LSD5%=0.062) دو روز پس از کاربرد علف‌کش.

Fig 3. Effects of different doses of Lomax, alone and combination with castor oil on variable fluorescence (Fv) (LSD 5%=277.67) and maximum quantum yield of photochemistry (Fv/Fm) of common cocklebur (*Xanthium strumarium* L.) (LSD 5%=0.062), two days after herbicide application

کاهش در دزهای کاهش یافته (۷۵ و ۵۰) نیز در مقایسه با دز ۱۰۰ درصد قابل توجه بود (شکل ۴، جدول ۱).

میانگین اکسایش- کاهش کوئینون A در فاصله زمانی T<sub>0</sub> تا T<sub>FM</sub> (Sm/Tfm) که نشان دهنده متوسط مراکز واکنش بازی است که در طی این مدت زمان، لازم است که کاملاً بسته شوند (Kalaji *et al.*, 2011). این پارامتر نیز با افزایش دز علف‌کش به شدت کاهش یافت و بیشترین کاهش آن، در دزهای ۷۵ و ۱۰۰

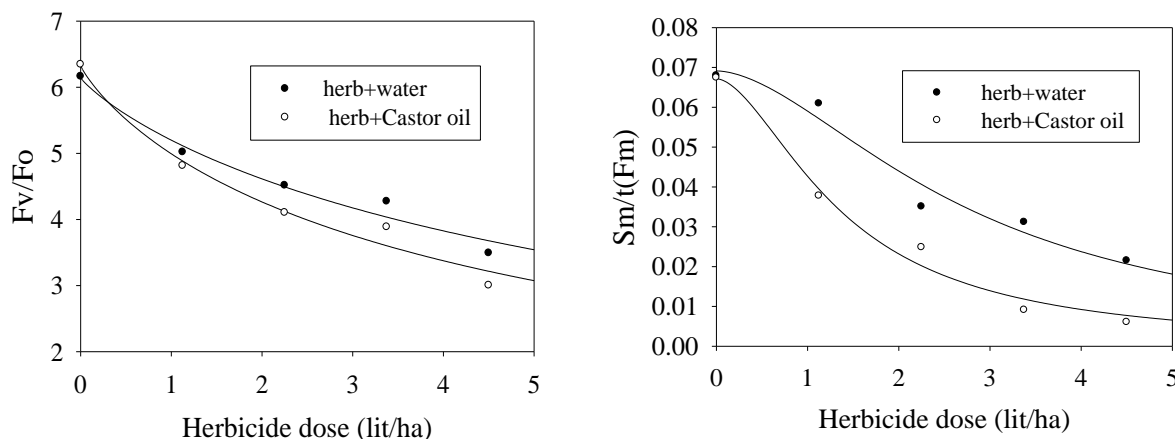
کارایی بالای فتوسیستم II است. مقدار Fv/Fm هرگز به عدد یک نمی‌رسد چراکه در هر شرایطی، Fv نمی‌تواند با Fm برابر شود (Björkman & Demmig, 1987). در پی کاهش نوسانات و آزاد شدن گرما، همواره مقداری از انرژی جذب شده از مولکول‌های برانگیخته شده با انرژی نورانی تلف می‌شود. کاهش نسبت Fv/Fm اغلب برای تشخیص بازدارندگی نوری در پاسخ به تنش‌های مختلف به کار می‌رود (Brestič *et al.*, 2015; Zivcak *et al.*, 2014). برخی محققین، پارامتر حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) را مناسب ارزیابی اثرات علف‌کش در مدت

فعالیت کمپلکس تجزیه کننده آب (Fv/F<sub>0</sub>) و متوسط دفعات اکسیداسیون- احیاء کوئینون A (Q<sub>A</sub>) در فاصله زمانی T<sub>0</sub> تا T<sub>FM</sub> (Sm/Tfm)

با بالا رفتن دز علف‌کش، کارایی کمپلکس تجزیه کننده آب به عنوان دهنده الکترون به فتوسیستم II یعنی Fv/F<sub>0</sub> روندی نزولی داشت و این کاهش با اضافه شدن روغن کرچک به علف‌کش تشدید شد؛ به عبارتی روغن کرچک با اثر سینرژیست روی علف‌کش، بر فراهمی الکترون جهت استفاده در فتوسیستم II اثر منفی گذاشت (شکل ۴). شدت

دز ۱۰۰ درصد علف‌کش، ۷۰ درصد و در دز ۱۰۰ درصد علف‌کش + روغن کرچک، به ۹۰ درصد رسید (شکل ۴، جدول ۱).

درصد مشاهده شد (شکل ۴، جدول ۱). روغن کرچک در ترکیب با علف‌کش، اثر سینرژیستی نشان داد و باعث تشدید کاهش اکسیداسیون و احیاء کوئینون A در فاصله زمانی مذکور شد به طوری که این کاهش در



شکل ۴- اثرات دزهای مختلف علف‌کش لوماکس به تنهایی و در ترکیب با روغن کرچک بر کمپلکس تجزیه کننده آب در طرف دهنده الکترون فتوسیسستم II ( $F_v/F_0$ ) ( $LSD5\%=1.2$ ) و متوسط دفعات اکسیداسیون-احیاء کوئینون A در فاصله زمانی بین  $T_0$  تا  $T_{fm}$  ( $S_m/T_{fm}$ ) ( $LSD5\%=0.012$ ) توتق (*Xanthium strumarium* L.) دو روز پس از کاربرد علف‌کش.

Fig 4. Effects of different doses of Lomax, alone and combination with water-splitting complex on the donor side of PSII ( $LSD5\%=1.2$ ) ( $F_v/F_0$ ) and average redox state of  $Q_A$  in the time span from  $T_0$  to  $T_{fm}$  ( $S_m/T_{fm}$ ) ( $LSD5\%=0.012$ ) of common cocklebur (*Xanthium strumarium* L.), two days after herbicide application

به علف‌کش، به شدت باعث کاهش شد به طوری که در دزهای ۷۵ و ۱۰۰ درصد دز توصیه شده علف‌کش، به ترتیب از ۱۵ و ۳۲ درصد کاهش در تیمار تکی علف‌کش نسبت به شاهد، به ۴۵ و ۸۱ درصد کاهش در تیمار علف‌کش + روغن کرچک رسید (شکل ۵).

جریان انتقال الکترون از کوئینون A در هر مرکز واکنش ( $ET_0/RC$ ) و عملکرد کوانتومی انتقال الکترون برانگیخته از کوئینون A به پلاستوکوئینون ( $\phi_{EO}$ )

با افزایش دز علف‌کش لوماکس، انتقال الکترون در هر مرکز واکنش از کوئینون A به پلاستوکوئینون ( $ET_0/RC$ ) و عملکرد کوانتومی انتقال الکترون از کوئینون A به پلاستوکوئینون ( $\phi_{EO}$ ) به طور چشمگیری کاهش یافت و روغن کرچک در ترکیب با

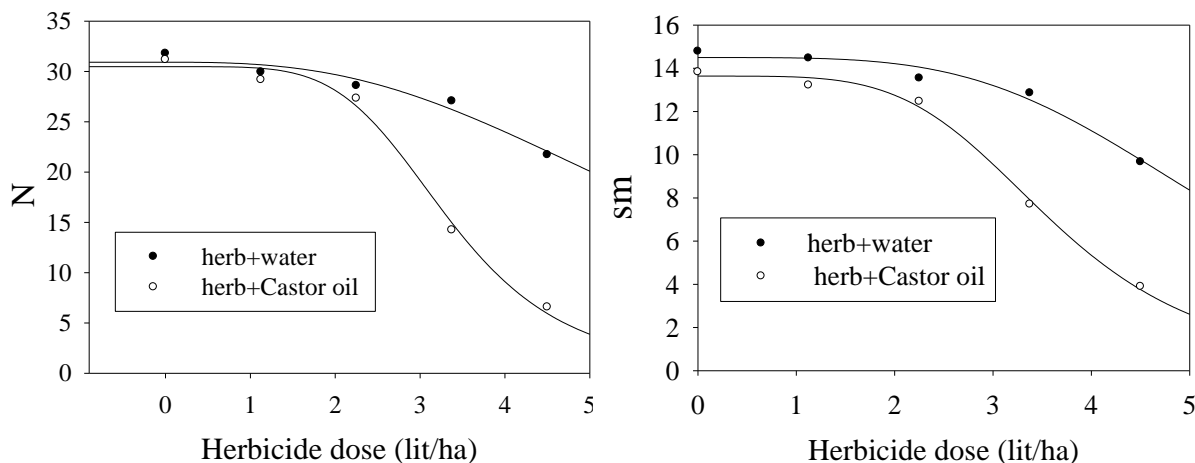
انرژی لازم برای بسته شدن مراکز واکنش (Sm) تعداد دفعات اکسیداسیون و احیاء کوئینون A (N)

Sm، سطح نرمال بالای منحنی OJIP است که نشان دهنده انرژی لازم برای بسته شدن تمام مراکز واکنش است (Kalaji et al., 2011)؛ علف‌کش لوماکس توانست Sm را کاهش دهد. این کاهش در دز ۱۰۰ درصدی علف‌کش نسبت به شاهد، ۳۵ درصد بود (شکل ۵). روغن کرچک در این مورد نیز با لوماکس اثر سینرژیستی داشت و اضافه شدن آن به ترکیب علف‌کش، بر شدت این کاهش افزود و آن را به ۷۴ درصد در مقایسه با شاهد رساند (شکل ۵، جدول ۱). N، نشان دهنده تعداد دفعات اکسیداسیون و احیاء کوئینون A ( $Q_A$ ) برای رساندن فلورسانس به حداکثر مقدار ممکن (Fm) است. اضافه شدن روغن کرچک



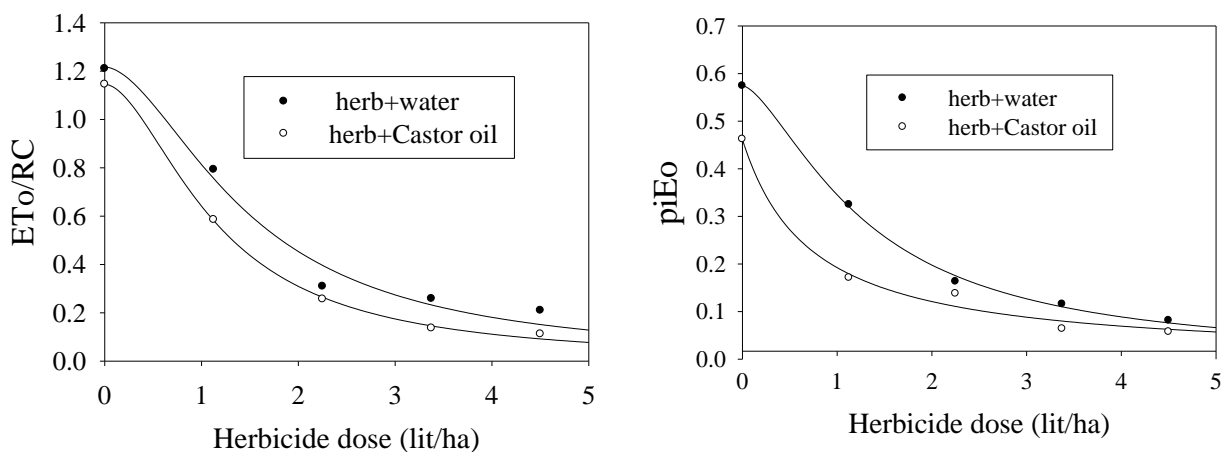
A احیاء شده به  $Q_B$ ، پارامترهای  $ET_0/RC$  و  $\phi_{E_0}$  به شدت کاهش یافتند.

علف‌کش، با ایجاد اثر سینرژیست، بر شدت این کاهش افزود (شکل ۶، جدول ۱) چراکه با بسته شدن مسیر انتقال الکترون و عدم انتقال الکترون از کوئینون



شکل ۵- اثرات دزهای مختلف علف‌کش لوماکس به تنهایی و در ترکیب با روغن کرچک بر سطح نرمال شده ( $Sm$ ) ( $LSD5\%=2.8$ ) و تعداد اکسیداسیون- احیاء کوئینون A قبل از رسیدن به Fm ( $N$ ) ( $LSD5\%=6.49$ ) توتق (*Xanthium strumarium* L.) دو روز پس از کاربرد علف‌کش

Fig 5. Effects of different doses of Lomax, alone and combination with castor oil on normalized area ( $Sm$ ) ( $LSD5\%=2.8$ ) and number of QA redox turnovers until Fm is reached ( $N$ ) ( $LSD5\%=6.5$ ) of common cocklebur (*Xanthium strumarium* L.), two days after herbicide application



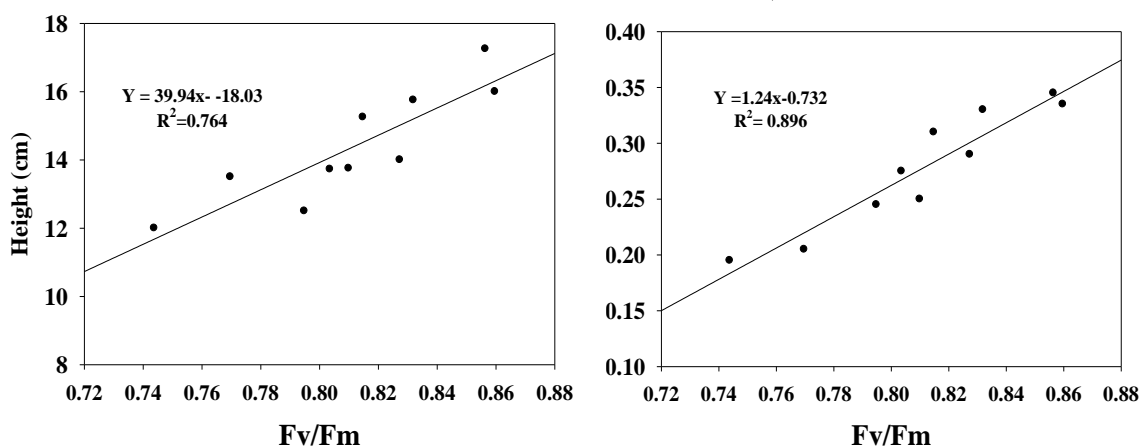
شکل ۶- اثرات دزهای مختلف علف‌کش لوماکس به تنهایی و در ترکیب با روغن کرچک بر حداکثر انتقال الکترون از کوئینون A در هر مرکز واکنش ( $ET_0/RC$ ) ( $LSD5\%=0.099$ ) و عملکرد کوانتومی انتقال الکترون برانگیخته از کوئینون A به پلاستوکوئینون ( $\phi_{E_0}$ ) ( $LSD5\%=0.046$ ) توتق (*Xanthium strumarium* L.) دو روز پس از کاربرد علف‌کش.

Fig 7. Effects of different doses of Lomax, alone and combination with castor oil on maximum electron transport flux (further than QA-) per PSII reaction center ( $ET_0/RC$ ) ( $LSD5\%=0.046$ ) and electron transport yield ( $\phi_{E_0}$ ) ( $LSD5\%=0.099$ ) of common cocklebur (*Xanthium strumarium* L.), two days after herbicide application

نمونه برداری غیرتخریبی و سریع با زیست توده و ارتفاع حاصل از نمونه برداری تخریبی و گند علف هرز توق می تواند به ارزیابی سریع اثر علف کش روی علف هرز کمک نماید. محققان دیگر نیز به وجود رابطه بین برخی پارامترهای فلورسانس و وزن خشک اشاره کرده اند ( Abbaspoor & Streibig, 2005; Abbaspoor & Streibig, 2007; Hammami *et al.*, 2014).

### ارتباط حداکثر عملکرد کوانتومی (Fv/Fm) با وزن خشک و ارتفاع علف هرز توق

بررسی ارتباط بین حداکثر عملکرد کوانتومی (Fv/Fm) محاسبه شده دو روز پس از کاربرد علف کش با زیست توده و ارتفاع بوته های علف هرز توق در فاصله ۲۸ روز پس از کاربرد علف کش، نشان دهنده وجود رابطه ای خطی بین Fv/Fm و زیست توده و ارتفاع بود (شکل ۷). وجود چنین رابطه ای بین حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II حاصل از



شکل ۷- ارتباط بین حداکثر عملکرد کوانتومی فتوشیمیایی (Fv/Fm)، دو روز بعد از کاربرد علف کش با زیست توده و ارتفاع ارزیابی شده، ۲۸ روز پس از کاربرد علف کش روی توق (*Xanthium strumarium L.*)

Figure 8. The relationship between maximum quantum yield of photochemistry (Fv/Fm) parameter, 2 days after herbicide spraying (DAHS) and dry weight, 28 DAHS on common cocklebur (*Xanthium strumarium L.*)

های شاهی گوش موشی  
 (*Arabidopsis thaliana*)، تحت تاثیر علف کش  
 آسولام، بیفنوکس، گلايفوسیت، یو ۴۶ دی،  
 دیکلوفوپ- متیل، و ایمازاتاپیر نیز گزارش شده است  
 (Barbagallo *et al.*, 2003). نتایج این آزمایش نشان  
 داد که با افزایش دز علف کش لوماکس، حجم خزانه  
 کوئینون های گیرنده الکترون (Area)، انرژی لازم برای  
 بسته شدن تمام مراکز واکنش (Sm)، فلورسانس  
 حداکثر (Fm)، فلورسانس متغیر (Fv) و حداکثر  
 کارایی کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm)، فعالیت  
 کمپلکس تجزیه کننده آب (Fv/Fo)، انرژی لازم برای

فلورسانس کلروفیل *a* شاخص فیزیولوژیکی معتبری  
 برای مشخص نمودن تغییرات القا شده در دستگاه  
 فتوسنتزی است و می تواند تحت تاثیر عوامل متعددی  
 که غیرمستقیم در فتوسنتز درگیرند، تغییر یابد (Mehta  
*et al.*, 2010). بررسی ها نشان می دهد که علف کش-  
 های آسولام، بیفنوکس، توفوردی، گلايفوست،  
 دیکلوفوپ- متیل، ایمازاتاپیر، دایکامبا + توفوردی، و  
 ستوکسیدیم، با این که تاثیر مستقیمی روی فتوسنتز  
 ندارند، روی فلورسانس کلروفیل *a* تاثیرگذار هستند  
 (Barbagallo *et al.*, 2003; Hammami *et al.*, 2014).  
 تغییر پارامترهای فلورسانس کلروفیل *a* در گیاهچه-

در کنترل علف قناری، به دلیل حل شدگی سریع تر موم کوتیکول رویی برگ‌های علف‌هرز توسط روغن زیتون، کارایی این دو علف‌کش را بهبود بخشید (Rashed-Mohassel *et al.*, 2014). روغن‌های گیاهی و معدنی، باعث افزایش میزان کنترل علف‌های هرز یولاف وحشی و چچم، توسط علف‌کش کلودینافوپ- پروپازیل می‌شوند (Stagnari & Onofri, 2006). بنا به گزارش کارگر و همکاران (Kargar *et al.*, 2013)، کارایی علف‌کش مزوسولفورون و یدوسولفورون در کنترل علف هرز علف قناری، با افزودن سیتوگیت و روغن کرچک افزایش یافت.

### نتیجه‌گیری

با توجه به ارزیابی سریع و غیرتخریبی فلورسانس کلروفیل *a* در فاصله زمانی بسیار کوتاه بعد از سمپاشی (دو روز بعد از کاربرد علف‌کش در این آزمایش) و وجود ارتباط قوی بین حداکثر عملکرد کوانتومی (Fv/Fm) با ارتفاع و زیست‌توده علف‌هرز توق محاسبه شده ۲۸ روز بعد از کاربرد علف‌کش، می‌توان از ارزیابی فلورسانس کلروفیل *a* به عنوان روشی سریع و غیرتخریبی برای مطالعه‌ی کارایی علف‌کش‌ها استفاده نمود و مدت زمان لازم برای مطالعه اثر و کارایی علف‌کش‌ها را کاهش داد.

بسته شدن تمام مراکز واکنش (Sm) و تعداد دفعات اکسیداسیون و احیاء کوئینون A (QA) (N)، میانگین اکسیداسیون- احیاء QA در فاصله زمانی T<sub>0</sub> تا T<sub>FM</sub> (Sm/Tfm)، جریان انتقال الکترون از QA<sup>-</sup> در هر مرکز واکنش (ET<sub>0</sub>/RC)، عملکرد کوانتومی انتقال الکترون القاء شده نوری از QA<sup>-</sup> به پلاستوکوئینون (φ<sub>EO</sub>)، به شدت کاهش یافت و فلورسانس حداقل (Fo) و هدررفت گرمایی گیرنده‌های فتوسیستم II (Fo/Fm) افزایش یافت و در پی اضافه شدن روغن کرچک به ترکیب علف‌کش، بر شدت این تغییرات افزوده شد. در ارزیابی اثرات علف‌کش ستوکسیدیم (بازدارنده ACCase) بر علف‌هرز یولاف وحشی، نسبت Fv/Fm کاهش یافت (Hammani *et al.*, 2014). با توجه به نتایج بدست آمده از اضافه شدن روغن کرچک به علف‌کش در این آزمایش و بررسی تحقیقات سایر محققین می‌توان گفت روغن‌ها، دسته-ای از مویان‌ها هستند که با حل کردن کوتیکول و بهبود نفوذ سم، کارایی علف‌کش را افزایش می‌دهند (Hazem, 2000). راشد محصل و همکاران (Rashed-Mohassel *et al.*, 2010) در بررسی‌های خود، به افزایش کارایی علف‌کش‌های دیکلوفوپ- متیل و سیکلوکسیدیم در کنترل علف‌های هرز یولاف وحشی و علف قناری، در پی اختلاط با روغن‌های گیاهی زیتون و کرچک اشاره نمودند. اضافه شدن روغن زیتون به علف‌کش‌های دیکلوفوپ- متیل و کلتودیوم

### منابع

- Abbaspoor, M. and Streibig, J.C. 2007. Monitoring the efficacy and metabolism of phenylcarbamates in sugar beet and black nightshade by chlorophyll fluorescence parameters. *Pest Manag. Sci.* 63:576-585.
- Abbaspoor, M. and Streibig, J.C. 2005. Clodinafop changes the chlorophyll fluorescence induction curve. *Weed Sci.* 53: 1-9
- Armel, G.R., Hall, G.J., Wilson, and Cullen. 2005. Mesotrion plus atrazin mixture for control of Canada thistle (*Cirsium arvense*). *Weed Sci.* 53: 202-211.
- 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
- Baker, N.R. and Rosenqvist, E. 2004. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an

- examination of future possibilities. *Exp. Bot.* 55: 1607–1621.
- Barbaggio, 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.
- Brestic, M., Zivcák, M., Kunderlikova, K., Sytar, O., Shao, H., Kalaji, H.M. and Allakhverdiev, S.I. 2015. Low PSI content limits the photo protection of PSI and PSII in early growth stages of chlorophyll b - deficient wheat mutant lines. *Photosynth. Res.* 125, no. 1–2: 151– 166.
- Björkman, O. and Demmig, B. 1987. Photon yield of O<sub>2</sub> evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. *Planta.* 170 (4): 489– 504.
- Cobb, A.H., and Reade, J.P.H. 2010. *Herbicides and plant physiology* (Second Edition). Wiley-Blackwell Publication. 295 Pp.
- Freitas, I.L., Rodrigues, W.P., Freitas, S., Freitas, J.A., Amim, R.T., Junior, A.T. and Acampostrini, E. 2016. Physiological aspects of corn plants related to mesotrione herbicide selectivity. *Aust. J. Crop Sci.* 10(8): 1158-1163.
- Goncalves, J.F.C., Santos, U.M., Nina, A. and Chevreuil, L.R. 2007. Energetic flux and performance index in copaiba (*Copaifera multijuga* Hayna) and mahogany (*Swietenia macrophylla* King) seedling grown under two irradiance environments. *Braz. J. Plant Physiol.* 19: 171-184.
- Balabanova, D.A., Paunov, M., Goltsev, V., Cuyper, A., Vangronsveld, J. and Vassile, A. 2016. Photosynthetic Performance of the imidazolinon resistant sunflower exposed to single and combined treatment by the herbicide imazamox and an amino acid extract. *Front. Plant Sci.* 1-10.
- Hall F.R., Chapple A.C., Downer R.A., Kirchner L.M. and Thacker J.R.M. 1993. Pesticide application as affected by spray modifiers. *Pestic. Sci.* 38: 123-133.
- 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.
- Hazen J.L. 2000. Adjuvants terminology, classification & chemistry. *Weed Technol.* 14: 773-784.
- Huang, Y., Thomson, S.J., Molin, W.T., Reddy, K.N. and Yao, H. (2012). Early detection of soybean plant injury from glyphosate by measuring chlorophyll reflectance and fluorescence. *Agric. Sci.* 4: 117-122.
- Kalaji, H.M. and Guo, P. 2008. Chlorophyll fluorescence: a useful tool in barley plant breeding programs (Chapter 12). *Photochem. Res. Prog.* 447-471.
- Kalaji, H.M., Govindjee, B., Bosac, K., Koscielniak, J. and Zuk-Golaszewska, K. 2011. Effects of salt stress on photosystem II efficiency and CO<sub>2</sub> assimilation of two Syrian barley landraces. *Environ. Exp. Bot.* 73: 64–72.
- Kargar, M., Rashed-Mohassel, M.H., Nezami, A. and Izedi Darbandi, A. 2013. Evaluation effect of adjuvant on mesosulfuron+iodosulfuron herbicide performance on littleseed canarygrass (*Phalaris minor* Retz) control. *J. Plant Protec.* 29(3): 295-303. (In Persian with English summary).
- Kocheva, K., Lambrev, P., Georgiev, G., Goltsev, V. and Karabaliev, M. 2004. Evaluation of chlorophyll fluorescence and membrane injury in the leaves of barley cultivars under osmotic stress. *Bioelectrochemistry.* 63: 121-124.
- 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.
- Mousavi, S.K., Zand, E. and Saremi, H. 2005. *Physiological function and application.* University of Zanjan Press. 378 Pp.
- Norsworthy, J.K., Talbert, R.E. and Hoagland, R.E. 1999. Chlorophyll fluorescence evaluation of agrochemical interactions with propanil on propanil-resistant barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*). *Weed Sci.* 47: 13-19
- Pandan, D., Rao, D.N., Sharma, S.G., Strasser, R.J. and Sarkar, R.K. 2006. Submergence effects on rice genotypes during seedling stage: probing of submergence driven changes of photosystem II by chlorophyll a fluorescence induction O-J-I-P transient. *Photosynthetica.* 44, 69-75.
- Rashed-Mohassel, M.H., Rastgo, M., Mousavi, S.K., Valiollahpor, R. and Hagigi, A. 2006. *Principle of Weed Management.* University of Mashhad Press. 367 Pp. (Translation).
- Rashed-Mohassel, M.H., Aliverdi, A. and Ghorbani, R. 2009. Effects of a magnetic field and adjuvant in the efficacy of cycloxydim and clodinafop propargyl on the control of wild oat (*Avena fatua*). *Weed Biol. Manag.* 9: 306–300.

- Rashed-Mohassel, M.H., Aliverdi, A., Hamami, H. and Zand, E. 2010. Optimizing the performance of diclofopmethyl, cycloxydim, and clodinafop-propargyl on littleseed canarygrass (*Phalaris minor*) and wild oat (*Avena ludoviciana*) control with adjuvants. *Weed Biol. Manag.* 10: 57-63.
- Riethmuller-Haage, I., Bastiaans, L., 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.
- Sheibani, S. and Ghadiri, H. 2012. Effect of split nitrogen fertilization and herbicide application on soil weed seed bank in wheat (*Triticum aestivum* L.) and oilseed rape (*Brassica napus* L.) rotation. *Biol. Environ. Sci.* 6(16): 25-33.
- Stagnari, F. and Onofri, A. 2006. Influence of vegetable and mineral oils on the efficacy of some post-emergence herbicides for grass weed control in wheat. *Pestic. Sci. Soc. Japan.* 31: 339-343.
- Xia, X.J., Huang, Y.Y., Wang, L., Huang, L.F. and Yu, Y.L. (2006). Pesticides-induced of photosynthesis was alleviated by 24-epibrassinolide pretreatment in *Cucumis sativus* L. *Pestic. Biochem. Physiol.* 86: 42-48.
- Zivčák, M., Brestič, M. and Kalaji, H. M. 2014. Photosynthetic responses of sun-and shade-grown barley leaves to high light: Is the lower PSII connectivity in shade leaves associated with protection against excess of light? *Photosynth. Res.* 3: 339- 354.