نشریه حفاظت گیاهان (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۱، بهار ۱۳۹۵، ص. ۱۳-۷

Journal of Plant Protection
Vol. 30, No. 1, Spring 2016, P. 7-13

مقایسه سمیت گیاهی مت سولفورون متیل، تربوتیلازین و ۳، ۵- دی کلروفنل با استفاده از آزمون عدسک آبی (*Lemna minor* L.)

مجید عباس پور[۱]*

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۵/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۸/۱۲

چکیده

به منظور مقایسه سمیت مت سولفورون متیل، تربوتیلازین و ۳، ۵- دی کلروفنل با نحوه عمل متفاوت و مسیر متابولیک مختلف در عدسک آبی، با استفاده از آزمون سم شناسی گیاهی استاندارد عدسک آبی (Lemna Test)، آزمایشی با هشت غلظت مختلف از ماده موثره (تکنیکال) هر یک از علف‌کش‌های فوق، در طرح کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۱ در دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. غلظت های مورد استفاده برای علف کش مت سولفورون متیل در بازه ۰/۰۸ تا ۱۰ میکروگرم در لیتر، برای علف کش تربوتیلازین در بازه ۱۰ تا ۱۵۰۰ میکروگرم در لیتر و برای علف کش ۳، ۵- دی کلروفنل در بازه ۲۳۰ تا ۳۰۰۰۰ میکروگرم در لیتر بود. ارزیابی سمیت براساس بازدارندگی سرعت رشد نسبی سطح برگ و تعداد جوانه های عدسک آبی بعد از چهار روز بودند. نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که تمام علف‌کش‌های مورد کاربرد رشد عدسک آبی را تحت تأثیر قرار دادند. مقادیر EC50 حاصل از معادلات لگاریتم لجستیک برازش داده شده بر روی سرعت رشد نسبی سطح برگ و سرعت رشد نسبی تعداد جوانه های عدسک آبی نشان داد که مت سولفورون متیل سمیت بیشتری از تربوتیلازین و ۳، ۵- دی کلروفنل داشت و کاهش معنی داری را در سرعت رشد نسبی سطح برگ و سرعت رشد نسبی تعداد جوانه عدسک آبی در میزان علف‌کش بسیار کمتری از دو علف‌کش دیگر ایجاد کرده است. دی کلروفنل کمترین سمیت را نسبت به دو علف‌کش دیگر بر روی عدسک آبی از خود نشان داد.

واژه های کلیدی: رشد نسبی سطح برگ، سم شناسی اکولوژیک، عدسک آبی، معادله لگاریتم لجستیک

مقدمه

از میان گونه‌های آبزی، گونه‌های عدسک آبی[۲] با نام علمی *Lemna minor* L. از خانواده Lemnaceae از مهمترین گونه مورد استفاده در آزمایشات سم شناسی است که به دلیل حساسیت بالا به مواد سمی در تحقیقات سم شناسی گیاهی، سم شناسی اکولوژیک، بررسی اختلاط آفت‌کش ها و ارزیابی میزان سمیت ترکیبات گوناگون سمی آلی و معدنی بطور گسترده ای مورد استفاده قرار می‌گیرند (۴، ۹ و ۱۱). عدسک آبی گیاهی بسیارکوچک است که می‌تواند در محیط های ایزوله طبیعی تحت شرایط استریل رشد کند، و این ویژگی آن را برای ارزیابی سمیت‌های گیاهی در آزمایشات زیست سنجی ممتاز می سازد. کایولا و همکاران (۴)؛ لویس (۱۱)؛ هیلمن (۹) بیان نمودند که آزمایشات عدسک آبی بعنوان یک روش استاندارد برای ارزیابی سمیت های گیاهی است. عدسک آبی از گیاهان آوندی، آبزی شناور، ساقه برگ‌دار به شکل کروی کوچک یا مستطیلی شکل و ممکن است به صورت مسطح یا به ندرت به شکل محدّب باشد که بطور غالب در آبهای شیرین، استخرها و جویها زندگی می‌کند. عدسک آبی معمولاً بدون برگ و یا دارای برگ‌های فلس مانند کوچکی است که شفاف بوده و در انتهای ساقه برگی شکل دیده می‌شود. عدسک آبی دارای ریشه ای نخی شکل و باریک است که بدون تار کشنده و حتی دستگاه آوندی است ولی دارای کلاهکی مشخص می باشد. این گیاهان غالباً کم‌گل، گل‌ها یک‌جنسی، یک پایه، عاری از پوشش و واقع در یک براکته کوچک (اسپات) که کاملاً رشد نیافته است قرار دارند. گل‌های نر دارای یک پرچم (به‌ندرت دو عدد) و گل‌های ماده شامل مادگی بطری شکل، با خامه‌ای کوتاه و کلاله‌ای منفرد، تخمدان یک‌خانه‌ای، شامل ۱ تا ۶ تخمک راست، نیمه واژگون (در جنس *Lemna*) و یا واژگون (در جنس *Spirodela*) دیده می‌شود. میوه این گیاهان فندقه از نوع اتریکول، ناشکوفا و دارای ۱ تا ۶ بذر است (۲).

عدسک آبی به دو طریق جنسی و غیر جنسی تکثیر می‌یابد اما روش غالب تولید مثل آن روش غیرجنسی (جوانه‌زنی ساقه‌های برگی) است به این صورت که گیاهان جوان از گیاه مادری بصورت جوانه

۱- استادیار بخش تحقیقات گیاه پزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: Majidabbaspoor2009@gmail.com)
2- Duck weed

(Budding) تکثیر می شوند این جوانه ها ابتدا به گیاه مادری متصل هستند و سرانجام از آن جدا می‌شوند. این جوانه های جدا شده ابتدا به درون آب غوطه ور می شوند ولی مجدداً به سطح می‌آیند و تولید ورقه سبز رنگی می‌کنند که ساقه برگی اولیه گیاه است. بدین ترتیب گیاه جدید از گیاه مادری جوانه می زند و رشد می‌کند و بنابراین به لحاظ تکاملی دارای ترکیب ژنتیکی یکسانی هستند (۲ و ۹).

در شرایط آزمایشگاهی دو برابر شدن تعداد و سطح برگ عدسک آبی در هر روز اتفاق می افتد و بنابراین می‌تواند به سرعت تکثیر شده و سطح آب را بپوشاند. این خصوصیت به همراه توانایی این گیاه در جذب و ذخیره سازی یون‌های معدنی، آن را به گیاه ایده آل جهت آزمایشات مربوط به متابولیسم مواد آلاینده ماکروفیتهای گیاهی و مطالعات سم شناسی تبدیل کرده است (۸ و ۱۳). ابوالخیر و همکاران (۱) گزارش دادند که گیاه عدسک آبی کارایی بسیار خوبی در تصفیه فاضلاب‌ها و حذف آلاینده‌هایی چون فیتوپلانکتون‌ها، اکسیژن محلول بیوشیمیایی، اکسیژن محلول شیمیایی، نیترات، آمونیاک، ارتوفسفات، مس، سرب، قلع و کادمیوم پس از هشت روز دارد. این محققین همچنین خاطرنشان کردند که عدسک آبی در آبهای حاوی مواد غذائی، قادر است این مواد را به پروتئین تبدیل کرده که در نهایت این مواد پروتئینی تولید شده درگیاه را می‌توان به مصرف غذایی حیوانات رساند و یا به صورت کود جامد مورد استفاده قرار داد. این گیاه قادر است در بازه وسیعی از pH (۳/۵-۱۰/۵) رشد کند. عدسک آبی به بسیاری از مواد شیمیایی شامل موادشیمیایی صنعتی، علف کش‌ها، مواد افزودنی و فلزات سنگین حساسیت نشان می‌دهد و بنابراین بخوبی و به طور گسترده جهت تشخیص آلودگی به مواد سمی به عنوان یک آزمون استاندارد در دنیا مورد استفاده قرار می گیرد (۹ و ۱۴). مهمترین شاخص رشد مورد بررسی در این گیاه سرعت رشد نسبی (RGR) برای مولفه‌های سطح برگ، تعداد جوانه ها، وزن تر و وزن خشک، و میزان رنگدانه (کلروفیل a، b و کاروتنوئید) است (۵).

با وجود برخی مشکلات زیست محیطی علف کش‌ها، این ترکیبات به عنوان یکی از اجزای مهم مدیریت تلفیقی علف‌های‌هرز مورد استفاده قرار می گیرند و بخش قابل توجهی از عملکرد محصولات در کشورهای پیشرفته مرهون مصرف علف کش‌ها است. بطوریکه در طی ۲۰ سال گذشته همواره سهم فروش علف‌کش‌ها از کل سموم آفت‌کش فروخته شده در دنیا بیشتر بوده است (۱۶). علف‌کش‌ها به دلیل کارایی و صرفه اقتصادی، نقش محوری در مدیریت علف‌های هرز ایفا می‌کنند و امروزه به طور گسترده ای مورد استفاده قرار می گیرند. در ایران نیز میزان مصرف علف کش‌ها بالا بوده به طوریکه در فاصله سالهای ۱۳۸۶تا ۱۳۹۰ به میزان ۷۹۹۴ تن علف‌کش مورد استفاده قرار گرفته است (۱۷).

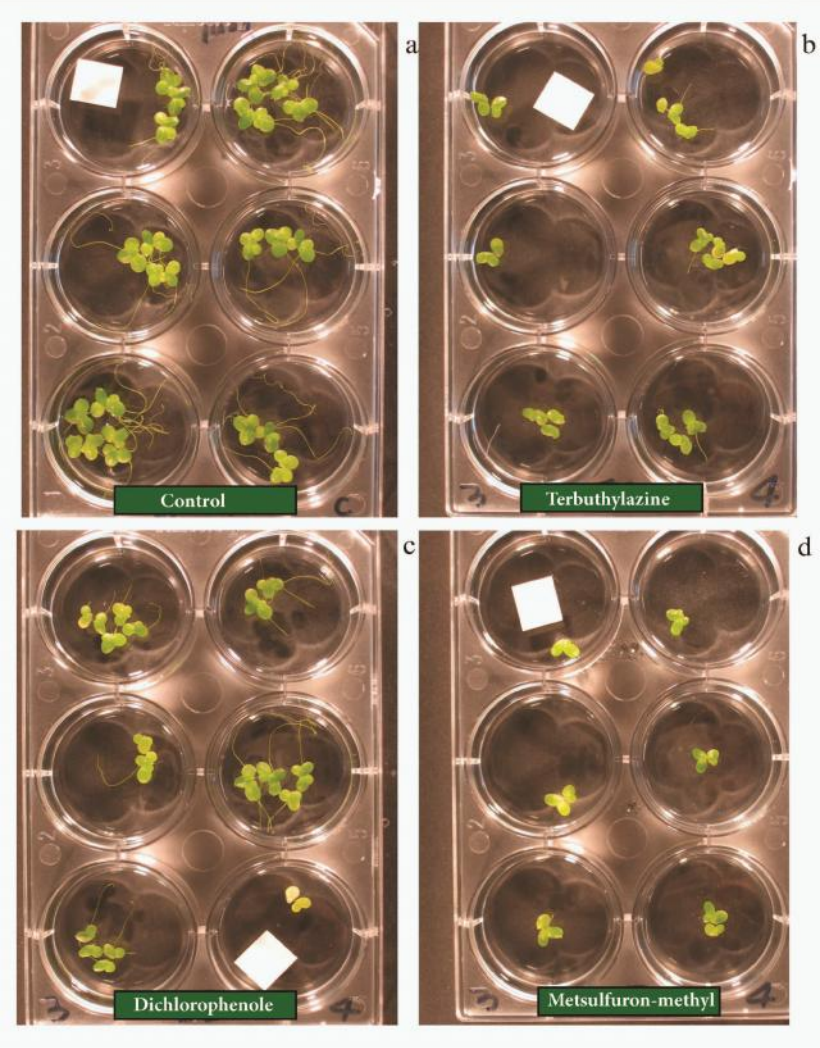
تربوتیلازین از بازدارنده‌های فتوسیستم دو و اختلال کننده در چرخه انتقال الکترون است. این دسته از علف‌کش‌ها از طریق اتصال به پروتئین های پیوندی Q_B، بجای Q_B ناقل الکترون، باعث جلوگیری از فتوسنتز، کاهش مقدار انرژی و در نهایت کاهش مقدار تولید کربوهیدرات می‌شوند. درواقع این بازدارنده ها مانع از انتقال فیزیکی الکترون‌های پرانرژی از فتوسیستم دو به کمپلکس سیتوکروم b_6/f می‌شوند (۵، ۶، ۷ و ۱۱). مت سولفورون متیل بازدارنده عمل آنزیم ALS است، که مانع از بیوسنتز اسیدهای آمینه‌های شاخه‌دار یعنی والین، لوسین و ایزولوسین و در نهایت متابولیسم گیاه می‌شود (۳ و ۱۵). ۳، ۵- دی کلروفنل علف‌کشی است سیستمیک، که برای کنترل انتخابی علف های هرز پهن برگ در مزارع باریک برگ بکار می‌رود. علف‌کش‌های فوق جزو پرمصرف ترین علف‌کش‌ها هستند (۸ و ۱۲).

هدف از این تحقیق بررسی میزان سمیت سه علف‌کش مت سولفورون متیل، تربوتیلازین و ۳، ۵- دی کلروفنل با استفاده از آزمایش عدسک آبی و تاثیر آن بر روی سرعت رشد نسبی سطح برگ و تعداد جوانه عدسک آبی بود.

مواد و روش‌ها

یک کلون عدسک آبی (*Lemna minor* L.) از دانشگاه واترلو[1] کانادا خریداری گردید. در ابتدا کلونی عدسک آبی (*Lemna minor* L.) با هیپرکلراید ۰/۱ مولار به مدت ۱ دقیقه استریل شده و سپس دو هفته قبل از انجام آزمایش به محیط کشت حاوی منابع غذایی مورد نیاز عدسک آبی (شامل KH_2PO_4، KNO_3، $Ca(NO_3)_2$، $MgSO_4$، EDTA به میزان ۵۰ گرم در لیتر) منتقل شد (۶). در شروع آزمایش، یک لیتر از محلول رشد عدسک آبی تهیه شد. سپس هشت غلظت مختلف از هر علف‌کش بسته به مقادیر EC_{50} هر یک از علف‌کش ها که در پیش آزمایش انجام شده تعیین شده بود، (بصورت محلول رقیق شده (Dilution) از محلول با بالاترین غلظت) تهیه شد. مت سولفورون متیل در مقادیر ۱۰، ۵، ۲/۵، ۰/۷۵، ۰/۳۲، ۰/۱۶، ۰/۰۸ میکرو گرم در لیتر از ماده تکنیکال (شرکت دوپانت با خلوص ۹۵٪)، تربوتیلازین در مقادیر ۱۵۰۰، ۷۵۰، ۳۲۰، ۱۶۰، ۸۰، ۴۰، ۲۰ و ۱۰ میکرو گرم در لیتر از ماده تکنیکال (شرکت سینجنتا با خلوص ۹۹٪) و ۳، ۵- دی کلروفنل در مقادیر ۳۰۰۰۰، ۱۵۰۰۰، ۷۵۰۰، ۳۲۵۰، ۱۱۸۰، ۹۲۰، ۴۶۰ و ۲۳۰ میکرو گرم در لیتر از ماده تکنیکال (شرکت سیگما-آلدریچ با خلوص ۹۷٪) استفاده شد. ظروف کشت بافت دارای شش چاهک با گنجایش ۱۰ میلی لیتر در هر محفظه بطور خوانا شماره گذاری شد به طوریکه در هنگام عکس برداری خوانا باشد. ۱۰ میلی لیتر از محلول رشد حاوی غلظت‌های مختلف و نیز محلول رشد به تنهایی (شاهد) به چاهک‌ها افزوده شد.

1- Waterloo University



شکل ۱- نمای وضعیت رشد عدسک آبی در محلول رشد بدون علف کش (a)، غلظت های ۱۶۰ و ۳۲۰ میکروگرم در لیتر از تربوتیلازین (b)، ۳۲۵۰ و ۷۵۰۰ میکروگرم در لیتر از دی کلروفنل (c) و ۰/۷۵ و ۲/۵ میکروگرم در لیتر از مت سولفورون متیل (d) چهار روز پس از تیمار. سه چاهک سمت راست در تصویر مربوط به هر علف کش مربوط به غلظت پایین تر و سه چاهک سمت چپ مربوط به غلظت بالاتر است

Figure 1- A view of duckweed (*Lemna minor* L.) growth condition in a nutrient solution containing no herbicides (control) (a), a nutrient solution containing terbuthylazine in 160 (b-three right wells) and 320 µg $^{-1}$ (b-three left wells), dichlorophenole in 3250 (c-three right wells) and 7500 µg $^{-1}$ (c-three left wells) and metsulfuron-methyl in 0.75 (d-three right wells) and 2.5 µg $^{-1}$ (d-three left wells)

سپس یک گیاه (جوانه) عدسک آبی به هریک از چاهک‌ها انتقال داده شد و سپس ظروف کشت به اتاقک رشد در دمای ۲۴ $^{\circ}$C و شدت نور مداوم ۸۵–۱۲۰ میکرومول فوتون بر مترمربع در ثانیه منتقل شدند. در ابتدای آزمایش پس از انتقال عدسک آبی به چاهک ها از ظروف کشت در تیمارهای مختلف با یک دوربین دیجیتال از زاویه عمودی (بالا) عکس برداری شد. یک سطح استاندارد (سطح مقوایی به ابعاد 1cm × 1cm) در هر ظرف کشت در سطح محلول رشد قرار داده شد تا برای تبدیل سطح دیجیتال به سطح واقعی بعنوان یک شاخص استفاده شود. پس از چهار روز گیاهان دوباره عکس برداری شدند و تعداد پیکسل تصاویر آنها در برنامه پردازشگر تصویری فتوشاپ نسبت به سطح استاندارد مقایسه و به سطح واقعی تبدیل شد. مقادیر رشد نسبی سطح برگ مخصوص گیاهان نیز با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید.

جدول ۱- مقادیر پارامترهای آنالیز رگرسیون منحنی های لگاریتم لجستیک دز-پاسخ سرعت رشد نسبی (RGR) سطح برگ ($cm^2\ cm^{-2}\ d^{-1}$) (افزایش سانتی متر مربع سطح برگ به ازا هر سانتی متر مربع سطح برگ اولیه در هر روز) و تعداد جوانه ($n\ n^{-1}\ d^{-1}$) (افزایش تعداد جوانه عدسک آبی به نسبت هر واحد جوانه اولیه در هر روز) عدسک آبی (*Lemna minor* L.).

Table 1- Parameter estimates derived from log-logistic dose-response curves for RGR of frond area ($cm^2\ cm^{-2}\ d^{-1}$) and frond number ($n\ n^{-1}\ d^{-1}$) of duckweed (*Lemna minor* L.).

علف‌کش/ عامل مورد بررسی Herbicide /End point	D [1]	C [2]	b [3]	EC_{50} [4]
مت سولفورون متیل/ RGR سطح برگ Metsulfuron-methyl / RGR frond area	0.387 (0.01)[6]	0.014 (0.011)	3.16 (0.699)	3.09 (0.267)
تربوتیلازین/ RGR سطح برگ Terbuthylazine / RGR frond area	0.375 (0.019)	0. 042 (0.009)	1.63 (0.33)	124 (18)
دی کلروفنل/ RGR سطح برگ Dichlorophenole / RGR frond area	0.365 (0.024)	0.027 (0.011)	3.11 (1.09)	5700 (817)
مت سولفورون متیل/ RGR تعداد جوانه Metsulfuron-methyl / RGR frond number	0.321 (0.024)	- 5	1.072 (0.273)	3.675 (0.96)
تربوتیلازین/ RGR تعداد جوانه Terbuthylazine / RGR frond number	0.314 (0.024)	0.013 (0.016)	2.247 (1.184)	99 (27)
دی کلروفنل/ RGR تعداد جوانه Dichlorophenole / RGR frond number	0.424 (0.019)	-	1.43 (0.62)	8906 (5170)

[1] حد بالای منحنی وقتی غلظت علف‌کش صفر است، [2] حد پایین منحنی وقتی غلظت علف‌کش حداکثر است، [3] شیب منحنی، [4] غلظتی (میکروگرم در لیتر) که باعث کاهش ۵۰٪ پاسخ (سرعت رشد نسبی سطح برگ و تعداد جوانه) می شود، [5] برازش لگاریتم لجستیک سه پارامتره، [6] خطای استاندارد در پرانتز نشان داده شده است

[1]Upper limit, when herbicide concentrations are zero, [2] Lower limit, when herbicide concentrations are maximum, [3] Slop around EC_{50}, [4] The concentration causes 50% decrease in response (i.e. frond number and/or frond area), [5] Log logistic dose response curve with three parameters was fitted, [6] Standard errors are shown in parenthesis

$$(\ln A_T - \ln A_0)/T$$

که در این فرمول A_T: سطح برگ در پایان آزمایش (بعد از چهار روز)، A_0 : سطح برگ در شروع آزمایش و T: زمان انجام آزمایش (روز) است. سرعت رشد نسبی عدسک آبی نسبت به غلظتهای هر علف‌کش (تیمارها) با معادله غیر خطی لگاریتم لجستیک با چهار پارامتر و در صورت لزوم با سه پارامتر (Log-logistic dose-response curve) (معادله ۱) به وسیله نرم افزار SAS (9.2) برازش داده شدند و پارامترهای معادله بویژه EC_{50} (غلظتی از ماده سمی که باعث ۵۰٪ کاهش در پاسخ از قبیل سرعت رشد نسبی سطح برگ و تعداد جوانه عدسک آبی شود) تعیین شدند.

$$U = C + \frac{D-C}{1+\exp[b(\log(z)-\log(EC_{50}))]} \qquad (۱)$$

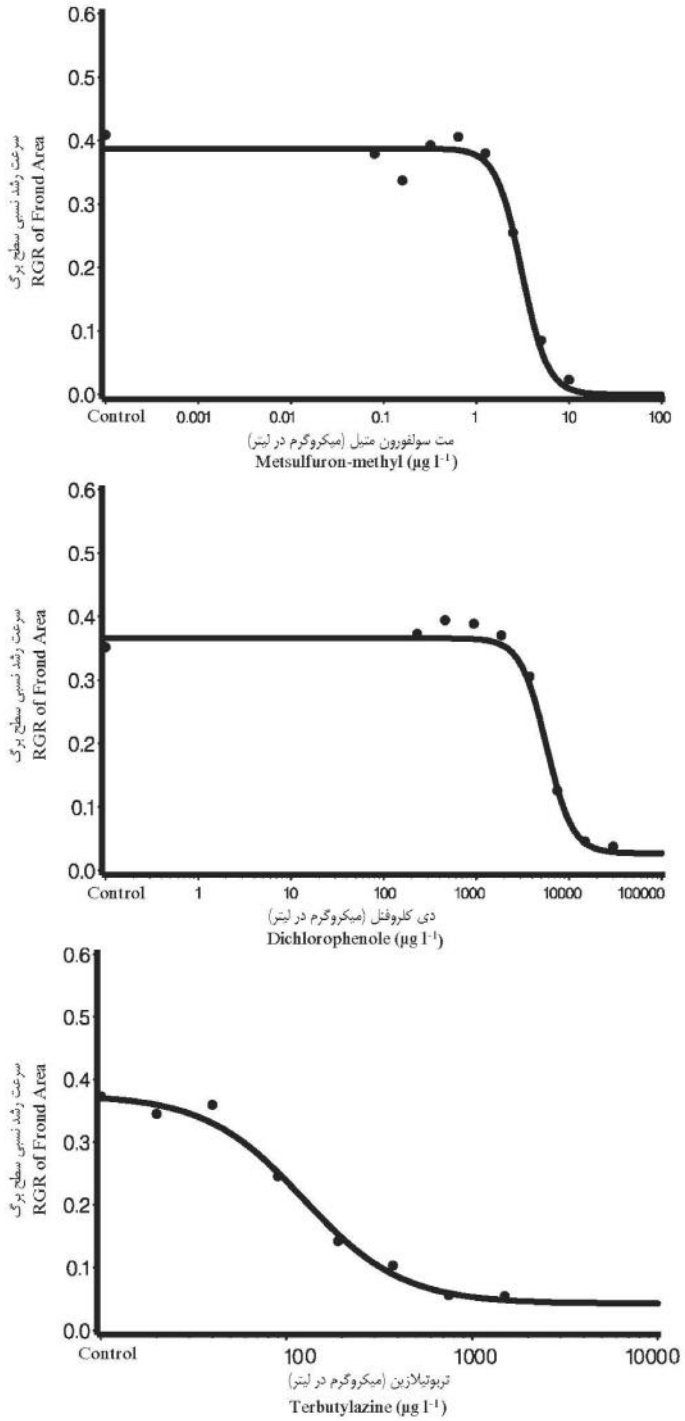
در معادله ۱ پارامترها به قرار زیرند: b- شیب منحنی در محدوده EC_{50}، C- حد پایین منحنی (پاسخ وقتی که میزان علف‌کش حداکثر است)، EC_{50}[1]- غلظتی از علف کش که سبب ۵۰٪ کاهش در مقدار پاسخ می‌شود، D- حد بالایی منحنی (پاسخ وقتی که غلظت علف‌کش صفر است)، z- غلظت علف‌کش (Dose)، U- پاسخ (سرعت رشد نسبی سطح برگ یا سرعت رشد نسبی تعداد جوانه عدسک آبی). (۱۵).

نتایج و بحث

شکل ۱ نمایی از میزان تاثیر علف کش های مورد استفاده در غلظتهای مختلف را بر روی میزان رشد عدسک آبی نشان می دهد. منحنی های دز-پاسخ (لگاریتم لجستیک) مربوط به سرعت رشد نسبی سطح برگ عدسک آبی در شکل ۲ و مقادیر پارامترهای حاصل از برازش معادلات در جدول ۱ آورده شده است. همانطوریکه در جدول ۱ مشاهده می‌شود بالاترین و پایین ترین مقادیر EC_{50} به ترتیب مربوط به علف کش‌های ۳، ۵- دی کلروفنل و مت سولفورون متیل بود که نشان دهنده میزان تاثیر متفاوت هریک از آنهاست. در واقع مت سولفورون متیل سمیت بیشتری از تربوتیلازین و ۳، ۵- دی کلروفنل داشته و کاهش معنی داری را در میزان سرعت رشد نسبی عدسک آبی در مقادیر بسیار کمتری از دو علف‌کش دیگر ایجاد کرد.

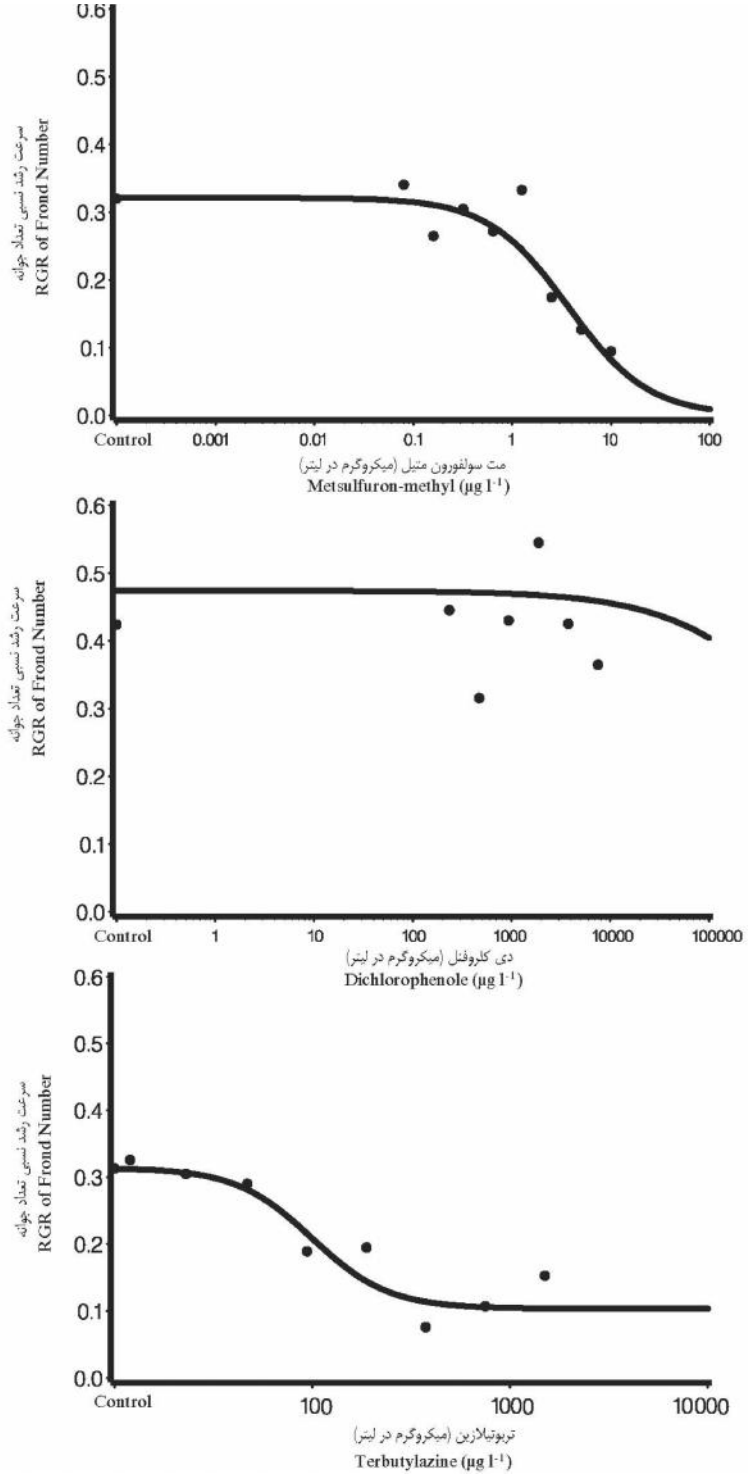
منحنی های دز-پاسخ (لگاریتم لجستیک) مربوط به سرعت رشد نسبی تعداد جوانه (گیاه) عدسک آبی در شکل ۳ و مقادیر پارامترهای حاصل از برازش معادلات در جدول ۱ آورده شده است. همانطوریکه در جدول ۱ مشاهده می‌شود بالاترین و پایین ترین مقادیر EC_{50} به ترتیب مربوط به علف کش‌های ۳، ۵- دی کلروفنل و مت سولفورون متیل بود.

1- Effective Concentration



شکل ۲- منحنی‌های لگاریتم لجستیک دز-پاسخ برای سرعت رشد نسبی (RGR) سطح برگ عدسک آبی ($cm^2\ cm^{-2}\ d^{-1}$) (افزایش سانتی متر مربع سطح برگ به ازا هر سانتی متر مربع سطح برگ اولیه در هر روز) در مقادیر مختلف علفکش‌های مت سولفورون متیل، دی کلروفنل و تربوتیلازین

Figure 2- Log-logistic dose-response curves for RGR of frond area of duckweed (*Lemna minor* L.) in different concentrations of metsulfuron-methyl, dichlorophenole and terbuthylazine



شکل ۳- منحنی‌های لگاریتم لجستیک دز-پاسخ برای سرعت رشد نسبی (RGR) تعداد جوانه عدسک آبی ($n\ n^{-1}\ d^{-1}$) (افزایش تعداد جوانه عدسک آبی به نسبت هر واحد جوانه اولیه در هر روز) در مقادیر مختلف علفکش‌های مت سولفورون متیل، دی کلروفنل و تربوتیلازین

Figure 3- Log-logistic dose-response curves for RGR of frond number ($n\ n^{-1}\ d^{-1}$) of duckweed (*Lemna minor* L.) in different concentrations of metsulfuron-methyl, dichlorophenole and terbuthylazine

که نتایج مربوط به سرعت رشد نسبی تعداد جوانه عدسک آبی تایید کننده نتایج حاصل از آنالیز منحنی‌های لگاریتم لجستیک سرعت رشد نسبی سطح برگ بود. که مت سولفورون متیل بالاترین سمیت و تربوتیلازین و دی کلروفنل به ترتیب پایین ترین سمیت را دارا بودند.

کودسک و همکاران (۱۰) طی آزمایشاتی بیان نمودند که مت سولفورون کارایی بسیار بیشتری در مقایسه با توفوردی در کنترل علف‌های هرز پهن برگ دارد. منک گارد و همکاران (۱۲) طی انجام آزمایشاتی بر روی گیاه عدسک آبی یافتند که مت سولفورون متیل با مقدار ۰/۵۱±۰/۰۲ = EC_{50} سمیت بسیار بیشتری در مقایسه با تربوتیلازین با مقدار ۱۵۷±۱۸ = EC_{50} در کاهش سرعت رشد نسبی این گیاه داشته است. سدرگرین (۵) بیان نمود که علف کش مت سولفورون با مقدار ۱/۰±۰/۹ = EC_{50} کارایی بسیار بیشتری در کاهش وزن خشک گیاه جو در مقایسه با علف کش تربوتیلازین با مقدار ۱۶±۶= EC_{50} داشته است. دی کلروفنل با مقدار ۵/۷±۰/۸۲ = EC_{50} کمترین سمیت را در مقایسه با دو علف کش دیگر بر روی عدسک آبی از خود نشان داد و تربوتیلازین با مقدار۰/۱۲۴±۰/۰۲ = EC_{50} دارای سمیت متوسطی بر روی کاهش رشد نسبی عدسک آبی داشت.

دلیل سمیت بالای مت سولفورون متیل بر روی عدسک آبی را می‌توان به نحوه عمل این علف‌کش نسبت داد. بطور کلی سولفونیل اوره ها در مقادیر بسیار کمتری از سایر علف کش‌ها مصرف می‌شوند و احتمالا دلیل آن باید عدم قابلیت تجزیه و عدم سمیت زدایی این علف‌کش‌ها در گیاه عدسک آبی باشد. بنظر می رسد میزان سمیت بالای مت سولفورون متیل نسبت به تربوتیلازین و دی کلروفنل بیش از آنکه تحت تاثیر غلظت این علف کش باشد تحت تاثیر نحوه عمل آن قرار دارد.

منابع

1- Abouel-Kheir W., Ismail G., Abouel-Nour F., Tawfik T., and Hammad D. 2007. Assessment of the efficiency of Duckweed (*Lemna gibba*) in wastewater treatment. International Journal of Agricultural Biology, 9:681-687.
2- Anonymous. 2003. Water quality- Determination of toxic effect of water constituents and waste water to duckweed (*Lemna minor*)-duckweed growth inhibition test. ISO/Dis 20079.
3- Ashrafi Z.Y., Rahnavard A., and Sadeghi S. 2010. Study of respond wheat (*Triticum aestivum* L.) to rate and time application Chevalier. Journal of Agricultural Technology, 6:533-542.
4- Cayuela M.L., Millner P., Slovin J., and Roig A. 2007. Duck weed (*Lemna gibba*) growth inhibition bioassay for evaluating the toxicity of olive mill wastes before and during composting. Chemosphere, 68:1985–1991.
5- Cedergreen N., Abbaspoor M., Sorensen H., and Streibig J.C. 2007. Is mixture toxicity measured on a biomarker indicative of what happens on a population level? A study with *Lemna minor*. Ecotoxicol and Environmental Safety, 67:323–332.
6- Cedergreen N., Andersen L., Olesen C.F., Spliid H.H., and Streibig, J.C. 2005. Does the effect of herbicide pulse exposure on aquatic plants depend on K_{ow} or mode of action? Aquatic Toxicology, 71:261–271.
7- Cedergreen N., Kamper A., and Streibig, J.C. 2006. Is prochloraz a potent synergist across aquatic species? A study on bacteria, daphnia, algae and higher plants. Aquatic Toxicology, 78:243–252.
8- Ensley H.E., Barber J.T., Polite M.A., and Oliver H. 1994. Toxicity and metabolism of 2, 4-Dichlorophenol by the aquatic angiosperm *Lemna* sp. Environment Toxically Chemistry, 13:325-331.
9- Hillman W.S. 1961. The Lemnaceae, or Duckweeds: A review of the descriptive and experimental literature. Botanical Review, 27:221-289.
10- Kudsk P., and Mathiassen S.K. 2004. Joint action of amino acid biosynthesis-inhibiting herbicides. Weed Research, 44:313–322.
11- Lewis M.A. 1995. Use freshwater plants for Phytotoxicity testing: A review. Environment Pollution, 87:319-336.
12- Munkegaard M., Abbaspoor M., and Cedergreen N. 2008. Organophosphorous in secticides as herbicide synergists on the green algae *Pseudokirchneriella subcapitata* and the aquatic plant *Lemna minor*. Ecotoxicology, 17:29–35.
13- Pascal-Lorber S., Rathahao E., Cravedi J.P., and Laurent F. 2004. Metabolic fate of [^{14}C]-2, 4-dichlorophenol in macrophytes. HChemosphere, 56:275-284.
14- Scarabel L., Varotto S., and Sattin M. 2007. A European biotype of *Amaranthus retroflexus* cross-resistant to ALS inhibitors and response to alternative herbicides. Weed Research, 47:527–533.
15- Sobye K.W., Streibig J.C., and Cedergreen N. 2011. Prediction of joint herbicide action by biomass and chlorophyll a fluorescence. Weed Research, 51:23–32.
16- Zand E., Baghestani M.A., Bitarafan M., and Shimi P. 2007. A Guideline for Herbicides in Iran. Jahad Daneshgahi Mashhad Press, Mashhad. (in Persian).
17- Zand E., Baghestani M.A., Shimi P., Nezamabadi N., Mousavi M.R. and Mousavi S.K. 2012. Chemical Weed Control Guideline for Major Crops of Iran. Jahad Daneshgahi Mashhad Press, Mashhad. (in Persian).