

## ارزیابی مقایسه‌ای خطرات زیست‌محیطی علف‌کش‌های اراضی گندم و جو با استفاده از آزمون عدسک، *Lemna minor* در اکوسیستم‌های آبی

علی اصغر چیت‌بند<sup>۱\*</sup>، محمدعلی باغستانی<sup>۲</sup> و محبوبه نبی‌زاده نُنقدر<sup>۳</sup>

۱. دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران. ۲. موسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. ۳. مدیریت شعب بانک کشاورزی خراسان رضوی، مشهد، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱/۱۹

تاریخ پذیرش: ۹۹/۷/۱۵

### چکیده:

امروزه آلودگی‌های ناشی از کاربرد آفت‌کش‌ها در اکوسیستم‌های آبی، به یک معضل بزرگ در بخش کشاورزی تبدیل شده است. به‌منظور بررسی سمیت ده ترکیب علف‌کش تجاری مورد استفاده در اراضی گندم و جو کشور روی گیاه عدسک آبی، آزمون سم‌شناسی گیاهی استاندارد (Lemna Test)، به‌صورت دز-پاسخ و در قالب طرح کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل هشت غلظت مختلف از ماده مؤثر هر یک از علف‌کش‌های کلودینافوپ-پروپارژیل، پینوکسادن، پینوکسادن + کلودینافوپ-پروپارژیل، دیکلوفوپ-متیل، فنوکسپروپ-پی-اتیل، مزوسولفورون-متیل + یدوسولفورون سولفورون-متیل سدیم، مت‌سولفورون-متیل + سولفوسولفورون، 2,4-D، بروموکسینیل + ام‌سی‌پی‌ای و شاهد بدون مصرف علف‌کش بود. ارزیابی کارآیی، براساس بازدارندگی سرعت رشد نسبی سطح برگ (RGR) عدسک آبی، بعد از هفت روز انجام شد. نتایج مقادیر  $EC_{50}$  ترکیبات مورد مطالعه روی گیاه عدسک آبی در محیط کشت حاصل از برازش معادلات لگاریتم لجستیک، نشان داد علف‌کش بروموکسینیل + ام‌سی‌پی‌ای با  $EC_{50}$  ۰/۵۱ میکروگرم بر لیتر، بیش‌ترین کاهش را در سرعت رشد نسبی سطح برگ عدسک آبی در مقایسه با سایر علف‌کش‌ها ایجاد کرده است. سمیت بالای بروموکسینیل + ام‌سی‌پی‌ای را می‌توان به خصوصیات فیزیکوشیمیایی و جذب سریع آن به درون سلول گیاهی نسبت داد. 2,4-D با  $EC_{50}$  ۸۷/۹۷ میکروگرم بر لیتر، کم‌ترین کارآیی را روی عدسک آبی از خود نشان داده است. میزان سمیت ده علف‌کش مورد بررسی به این ترتیب است: بروموکسینیل + ام‌سی‌پی‌ای < مزوسولفورون-متیل + یدوسولفورون سولفورون-متیل سدیم < پینوکسادن < پینوکسادن + کلودینافوپ-پروپارژیل < دیکلوفوپ-متیل < مت‌سولفورون-متیل + سولفوسولفورون < کلودینافوپ-پروپارژیل < فنوکسپروپ-پی-اتیل < 2,4-D. اطلاعات به دست آمده از نتایج مطالعه حاضر می‌تواند برای اتخاذ ضوابط لازم جهت مدیریت اکوسیستم آبی مفید باشد.

**واژه‌های کلیدی:** آلودگی آفت‌کش، ارزیابی سمیت، رشد نسبی سطح برگ، غلظت مؤثر، مدیریت اکوسیستم آبی.

## مقدمه:

(RGR) برای مؤلفه‌های تراکم، وزن تر و وزن خشک، سطح برگ و میزان رنگدانه (کلروفیل و کاروتنوئید) است (Cedergreen *et al.*, 2004; 2005).

از آنجایی که ماده موثره‌های آفت‌کشی برای قابل مصرف شدن فرموله می‌شوند، سوالی که مطرح می‌شود این است که آیا نوع فرمولاسیون علف‌کش می‌تواند باعث افزایش سمیت آن بر روی گیاهان غیرهدف آبی شود یا خیر؟ سمیت آبی ترکیبات مختلف به‌جز جایگاه هدف بیوشیمیایی خاص آن‌ها، می‌تواند تحت تأثیر حلالیت چربی‌دوست-آب‌دوست ( $\log(K_{ow})$ ) (Logarithm K Oil-Water partition coefficient =) آن‌ها نیز قرار گیرد. از این‌رو، ترکیبات چربی‌دوست افزوده شده به فرمولاسیون می‌تواند منجر به افزایش سمیت ترکیبات فعال از طریق برهم‌کنش فیزیکی یا بیوشیمیایی شود. بنابراین برای ترکیبات با جایگاه عمل خاص مانند علف‌کش‌ها، سمیت آبی آن‌ها هم به جایگاه عمل علف‌کش و هم به مقادیر  $K_{ow}$  آن‌ها وابسته است (Mohan and Hosetti, 1999; Ziegler *et al.*, 2016).

تاکنون ۳۰ علف‌کش برای اراضی گندم و جو به ثبت رسیده است که در این بین، پهن‌برگ‌کش‌ها دارای تنوع بیش‌تری در مقایسه با باریک‌برگ‌کش‌ها هستند. علف‌کش‌های بازدارنده ACCase عمدتاً برای کنترل پس‌رویشی علف‌های هرز کشیده برگ یکساله و چندساله در گیاهان زراعی باریک‌برگ و پهن‌برگ به‌کار برده می‌شوند. این علف‌کش‌ها با ممانعت از فعالیت استیل‌کوآنزیم آکربوکسیلاز از سنتز اسیدهای چرب جلوگیری کرده که این امر موجب توقف سنتز غشاء سلولی می‌شود (Khalghani, 2010). 2,4-D و ام‌سی‌پی‌ای از علف‌کش‌های انتخابی اکسین‌ها و متعلق به گروه فنوکسی استیک اسید (اکسین) هستند که به‌صورت آپوسیمپلاستیک درون گیاه انتقال یافته و برای کنترل طیف وسیعی از پهن‌برگ‌های یکساله و چندساله در

درحال حاضر مصرف آفت‌کش‌ها در اراضی کشاورزی به‌علت عدم آگاهی کشاورزان، مصرف سموم ارزان و بی‌کیفیت و وجود فروشگاه‌های غیرمجاز و غیرمتخصص در کشور افزایش یافته است. علف‌کش‌ها در ایران همانند سایر نقاط جهان جزو پرمصرف‌ترین آفت‌کش‌ها محسوب می‌شوند.

اگرچه تمامی اکوسیستم‌ها در برابر اثرات سمیت علف‌کش‌ها حساس هستند اما این حساسیت در اکوسیستم‌های آبی به مراتب بیشتر است و اثرات زیان‌بار این آلودگی‌ها، منجر به ایجاد آسیب‌های جدی در پایه‌های اصلی زنجیره‌ی غذایی یعنی فیتوپلانکتون‌ها و زئوپلانکتون می‌شوند (Cedergreen *et al.*, 2004; 2005). در بین گروه‌های فیتوپلانکتونی، عدسک آبی (*Lemna minor* L.) از خانواده Lemnaceae، گیاهی آبی است که در شرایط محیطی آب‌های راکد و جاری در تولید اکسیژن و مواد آلی نقش اساسی داشته و در فراهم‌شدن غذا و پناهگاه برای بسیاری از موجودات آبی و ماهیان حائز اهمیت هستند. این ماکروفیت آبی قادر است مواد معدنی را به سرعت از آبی که در آن شناور است برای رشد و تغذیه لازم خود جدا کند. عدسک‌های آبی از طریق سایه‌اندازی موجب کاهش طغیان جلبک‌های فوتوتوتروف می‌شوند.

روزانه در شرایط آزمایشگاهی، سطح برگ عدسک آبی دو برابر می‌شود بنابراین به سرعت تکثیر و سطح آب را می‌پوشاند. از طرف دیگر، عدسک آبی به طیف وسیعی از آلاینده‌های آبی از جمله علف‌کش‌ها حساس است؛ از این‌رو، می‌تواند در مطالعات سم‌شناسی (اکوتوکسیکولوژیک) برای آزمون‌های حاد و مزمن، جهت ارزیابی سمیت مواد شیمیایی و پساب‌ها در آب‌های سبک و سخت مورد استفاده قرار گیرد (Wang, 1990; Mohan and Hosetti, 1999). مهم‌ترین شاخص رشد مورد بررسی در این گیاه میزان رشد نسبی

کلروپلاست، از انتقال الکترون بین کوئینون‌های اولیه و ثانویه فتوسیستم ۲ ( $Q_B$  و  $Q_A$ ) ممانعت به عمل می‌آورند. سپس، انتقال الکترون فتوستنتری قطع و منجر به بازدارندگی همزمان از تولید ATP و تثبیت کربن خواهد شد. در نتیجه، استرس اکسیداتیو القا شده نوری منجر به تشکیل اکسیژن اکسیداتیو در نزدیکی مرکز فتوسیستم ۲ شده (Reactive Oxygen Species (ROS)) و در نهایت منجر به پراکسیده شدن و پروتئولیز لیپید و گسیختگی کمپلکس پیگمان‌های پروتئین فتوسیستم ۲ و مرگ گیاه خواهد شد (Hess, 2000; Strasser and Stirbet, 2001).

از آنجایی که اغلب اکوسیستم‌های آبی در مجاورت اراضی قابل کشت زراعی بوده و در معرض علف‌کش‌ها قرار می‌گیرند، بنابراین شناخت اثرات مضر ترکیبات سمی بر گونه‌های آبی آن‌ها بسیار حائز اهمیت است. علی‌رغم وجود این مسئله در اکثر نقاط کشور، مطالعات کمی جهت بررسی اثرات علف‌کش‌های قابل کاربرد در اراضی گندم و جو بر فلورهای آبی انجام شده است. بنابراین، این تحقیق با هدف بررسی و مقایسه خطرات زیست محیطی نه علف‌کش مورد کاربرد در اراضی گندم و جو کشور بر عدسک آبی، به‌عنوان گیاه آبی غیرهدف، انجام شد.

### مواد و روش‌ها:

آزمون عدسک آبی (*Lemna minor* L.) مطابق با سازمان استاندارد بین‌المللی (International Organization for Standardization (Anonymous, 2004)، به‌صورت دز-پاسخ در طرح کامل تصادفی با چهار تکرار در دانشگاه لرستان در سال ۱۳۹۸ مورد استفاده قرار گرفت. جوانه‌های خریداری شده عدسک آبی به‌صورت کلون از دانشگاه واترلو کانادا (University of Waterloo) با هیپرکلراید ۰/۱ مولار به مدت ۱ دقیقه استریل و سپس دو هفته قبل از انجام آزمایش به محیط کشت حاوی منابع غذایی مورد نیاز عدسک آبی

اراضی گندم و جو مورد استفاده قرار می‌گیرند (Fairchild *et al.*, 2009; Weerakoon *et al.*, 2018). براساس گزارش انتشار یافته از سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA, 2002) 2,4-D در رده سموم کم خطر و غیرسرطانزا برای انسان معرفی شده است. طی آزمایشی مشخص شده است که گونه *Lemna* به برخی از علف‌کش‌ها با نحوه عمل خاص مانند بازدارندگان سنتز اکسین و اسیدهای چرب حساسیتی ندارد (Maltby *et al.*, 2010). با این حال علف‌کش‌های با نحوه عمل یکسان می‌توانند دارای الگوهای متفاوت تأثیر بر گونه *Lemna* باشند (Mohammad *et al.*, 2008; 2010). سولفونیل اوره‌ها گروهی از علف‌کش‌ها می‌باشند که دارای پتانسیل آسیب‌رسانی بر فلورهای آبی هستند. از زمان کشف این دسته از علف‌کش‌ها در حدود سه دهه گذشته، میزان مصرف آنها به‌طور چشم‌گیری افزایش یافته است. آن‌ها بازدارنده آنزیم استولاکتات سینتاز (ALS) هستند که مانع از بیوسنتز اسیدآمین‌های زنجیری شاخه‌دار می‌شوند. این علف‌کش‌ها اسیدهای ضعیفی بوده که در خاک‌های خنثی و آلکالین جذب ضعیفی دارند و دارای پتانسیل آبشویی بالایی هستند و بنابراین سولفونیل اوره‌ها را می‌توان در لایه‌های زیر ۵۰ سانتی‌متر خاک یافت کرد. مطالعات دیگر نشان می‌دهد که حتی دزهای کم‌تر از یک درصد مقادیر پیشنهاد شده می‌تواند تأثیر معنی‌داری بر رشد، مورفولوژی و تکثیر گیاهان غیرهدف بگذارد. بنابراین اگر سولفونیل اوره‌ها به محیط‌های آبی برسد، حتی در دزهای کم هم می‌تواند بر فلورهای آبی تأثیرگذار باشد (Boutin *et al.*, 2000). تحقیقات انجام شده در ژاپن نشان داد که علف‌کش‌های سولفونیل اوره سمیت زیادی بر *Lemna* sp. دارد (Mohammad *et al.*, 2008). علف‌کش‌های بروموکسینیل از بازدارندگان فتوستنتری هستند که پس از نفوذ کوتیکول و ورود به درون سلول و کلروپلاست، از طریق اتصال با جایگاه  $Q_B$  و گرفتن الکترون از  $Q_A$  در

۱۲/۶۴، ۲۵/۲۸، ۵۰/۵۶، ۱۰۱/۱۳، ۲۰۲/۲۵، ۴۰۴/۵ و ۸۰۹ میکروگرم در لیتر، 2,4-D در مقادیر ۹/۰۶، ۱۸/۱۳، ۳۶/۲۵، ۷۲/۵، ۱۴۵، ۲۹۰ و ۵۸۰ میکروگرم در لیتر و بروموکسینیل + ام‌سی‌پی‌ای در مقادیر ۰/۱۶، ۰/۳۱، ۰/۶۳، ۱/۲۵، ۲/۵، ۵ و ۱۰ میکروگرم در لیتر بود. برخی از ویژگی‌های مهم علف‌کش‌های مورد استفاده در آزمایش در جدول (۱) آورده شده است.

ظروف کشت بافت دارای شش چاهک با گنجایش ده میلی لیتر در هر محفظه به‌طور خوانا شماره‌گذاری شد طوری که در هنگام عکس‌برداری خوانا باشد. ده میلی لیتر از محلول رشد حاوی غلظت‌های مختلف و نیز محلول رشد به تنهایی (شاهد) به چاهک‌ها افزوده شد. یک گیاه (جوانه) عدسک آبی به هر یک از چاهک‌ها انتقال یافته و سپس ظروف کشت به اتاقک رشد در دمای ۲۴°C و شدت نور مداوم ۸۵-۱۲۰ میکرومول مترمربع در ثانیه منتقل شدند. در ابتدای آزمایش پس از انتقال عدسک آبی به چاهک‌ها از ظروف کشت در تیمارهای مختلف با یک دوربین دیجیتال از زاویه عمودی (بالا) عکس‌برداری 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 به‌عنوان یک شاخص استفاده شود. پس از هفت روز گیاهان دوباره عکس‌برداری شدند و تعداد پیکسل تصاویر آنها در برنامه پردازشگر تصویری فتوشاپ نسبت به سطح استاندارد مقایسه و به سطح واقعی تبدیل شدند. مقادیر رشد نسبی سطح برگ در تیمار شاهد و سایر تیمارها با استفاده از معادله (۱) و (۲) محاسبه گردید.

$$\mu_{ij} = \frac{\ln A_j - \ln A_i}{t_j - t_i} \quad (1) \text{ معادله}$$

در این معادله (۱)  $\mu_{ij}$  متوسط سرعت رشد در تیمار شاهد (روز)،  $i = 0$ ،  $j = 7$ ،  $A$  سطح برگ گیاه عدسک آبی و  $t$  زمان انجام آزمایش (روز) است.

$$(\ln A_7 - \ln A_0) / T \quad (2) \text{ معادله}$$

(EDTA،  $MgSO_4$ ،  $Ca(NO_3)_2$ ،  $KNO_3$ ،  $KH_2PO_4$ ) به میزان ۵۰ گرم در لیتر) منتقل شدند (Landolt and Kandler, 1987). محیط کشت گیاهان (Stock culture) درون ارلن آزمایشگاهی با درپوش پنبه‌ای منتقل و در اتوکلاو با دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه استریل شد. سپس ارلن‌ها به اتاقک رشد در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد با شدت نوری مداوم ۱۲۰-۸۵ میکرومول بر مترمربع در ثانیه انتقال یافت (Cedergreen et al., 2004; 2005). هر هفته تعدادی از جوانه‌های سالم و کامل عدسک با استفاده از پنس آزمایشگاهی به محیط کشت استریل شده‌ی جدید انتقال داده می‌شدند. در شروع آزمایش، یک لیتر از محلول رشد عدسک آبی که شامل مقدار مساوی از محیط کشت حاوی منابع غذایی ذکر شده، تهیه شد. سپس بسته به مقادیر  $EC_{50}$  (غلظت مؤثر = غلظت مورد نیاز برای کاهش ۵۰ درصد پاسخ گیاه عدسک آبی) برآورد شده هر یک از علف‌کش‌ها، ۸ غلظت مختلف از هر علف‌کش (به‌صورت محلول رقیق شده (Dilution) از محلول با بالاترین غلظت) تهیه شد. غلظت مورد استفاده هر یک از علف‌کش‌های اراضی گندم و جو شامل ترکیب تجاری علف‌کش کلودینافوپ-پروپازریل در مقادیر ۲۳/۵، ۴۶/۸، ۹۳/۸، ۱۸۷/۵، ۳۷۵، ۷۵۰ و ۱۵۰۰ میکروگرم در لیتر، پینوکسادن در مقادیر ۱/۵۶، ۳/۱۳، ۶/۲۵، ۱۲/۵، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میکروگرم در لیتر، پینوکسادن + کلودینافوپ-پروپازریل در مقادیر ۳/۱۳، ۶/۲۵، ۱۲/۵، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکروگرم در لیتر، دیکلوفوپ-متیل در مقادیر ۱۷/۵، ۳۵، ۷۰، ۱۴۰، ۲۸۰، ۵۶۰ و ۱۱۲۰ میکروگرم در لیتر، فنوکساپروپ-پی-اتیل در مقادیر ۱۳/۴۳، ۲۵/۸۶، ۵۰/۱۷۲، ۱۰۰/۳۴۵، ۲۰۰/۶۹۰، ۴۰۰/۱۳۸۰ و ۲۷۶۰ میکروگرم در لیتر، مزوسولفورون-متیل + یدوسولفورون سولفورون-متیل سدیم در مقادیر ۱/۱۷، ۲/۳۴، ۴/۶۹، ۹/۳۸، ۱۸/۷۵، ۳۷/۵ و ۷۵ میکروگرم در لیتر، مت‌سولفورون-متیل + سولفوسولفورون در مقادیر

در این معادله (۲)  $A_T$ : سطح برگ در پایان آزمایش (بعد از هفت روز)،  $A_0$ : سطح برگ در شروع آزمایش و  $T$ : زمان انجام آزمایش (روز) است (Cedergreen *et al.*, 2004; 2005).

جدول ۱- نام و ویژگی‌های علف‌کش‌های مورد استفاده در آزمایش.

Table 1. Name and properties of herbicides used in experiment.

Common name (Trade name)	Formulation	Recommended dose	Company name
Clodinafop-propargyl (Topic)	8% EC	0.6-0.8 L.ha <sup>-1</sup>	Syngenta
Pinoxaden (Axial)	5% EC	25 L.ha <sup>-1</sup> .1	Syngenta
Pinoxaden+ Clodinafop- propargyl (Traxos)	5% EC	1.5 L.ha <sup>-1</sup>	Syngenta
Diclofop- methyl (Illoxan)	36% EC	2.5 L.ha <sup>-1</sup>	Ghazalshimi
Fenoxaprop-P-ethyl (Pomasuper)	7.5% EW	0.8-1 L.ha <sup>-1</sup>	Afrasam
Mesosulfuron-methyl+ Iodosulfuron-methyl sodium (Atlantis)	1.2% OD	1.5 L.ha <sup>-1</sup>	Afrasam
Metsulfuron-methyl+ sulfosulfuron (Total)	75+5% WG	40-50 gr.ha <sup>-1</sup>	GhazalShimi
2,4-D	72% SL	1.5 L.ha <sup>-1</sup>	Afrasam
Bromoxynil +MCPA (Bromicide MA)	40% EC	1.5 L.ha <sup>-1</sup>	GhazalShimi

که در معادله (۳) RGR سرعت رشد نسبی سطح برگ عدسک آبی،  $d$ - حد بالایی منحنی (حد بالای پاسخ عدسک آبی در غلظت صفر از علف‌کش مورد نظر است)،  $b$ - شیب منحنی در محدوده  $EC_{50}$ ،  $x$ - غلظت علف‌کش،  $EC_{50}$ - غلظتی از علف‌کش که سبب ۵۰ درصد کاهش در مقدار پاسخ گیاه عدسک آبی می‌شود. با پارامترگذاری مجدد در معادله (۳)، پارامتر  $EC_{50}$  می‌تواند با هر مقداری از پارامتر  $EC$  یعنی،  $EC_{10}$  و یا  $EC_{90}$  جایگزین و مقدار پاسخ گیاه عدسک آبی برای

جهت بررسی غلظت‌های هر علف‌کش (تیمارها) بر سرعت رشد نسبی عدسک آبی از معادله غیر خطی لگاریتم لجستیک سه پارامتری (Log-logistic dose-response curve) با استفاده از نرم افزار R و محیط گرافیکی آن (RStudio) (R Core Team, 2014) و افزوده شدن بسته *drc* (Ritz and Streibig, 2005) (معادله ۳) برازش داده شدند و مقادیر هر یک از پارامترهای سمیت  $EC_{10}$ ،  $EC_{50}$  و  $EC_{90}$  تعیین شدند:

$$RGR = \frac{d}{1 + \left(\frac{x}{EC_{50}}\right)^p} \quad \text{معادله (۳)}$$

آزمون عدم برازش در سطح ۵ درصد برای این مدل (لگاریتمی لجستیک سه پارامتری) در این آزمایش معنی دار نبود (جدول ۲)، این امر حاکی از یکسان بودن آنالیز رگرسیون غیرخطی بر تجزیه واریانس و نشان‌دهنده برازش خوب مدل لجستیک سه پارامتری برای داده‌ها بوده است. شکل ۱ نمایشی از میزان تأثیر علف‌کش بروموکسینیل + ام‌سی‌پی‌ای را در دو غلظت مورد بررسی بر میزان رشد عدسک آبی نشان می‌دهد. هر یک از شاخص‌های  $EC_{10}$ ،  $EC_{50}$  و  $EC_{90}$  برای عدسک آبی، برمبنای سرعت رشد نسبی سطح برگ آن تعیین شده است. منحنی‌های غلظت-پاسخ (لگاریتم لجستیک) مربوط به سرعت رشد نسبی سطح برگ عدسک آبی در شکل ۲ و مقادیر پارامترهای حاصل از برازش مدل لگاریتمی لجستیک سه پارامتری شامل میانگین و خطای استاندارد در جدول ۲ نشان داده شده است.

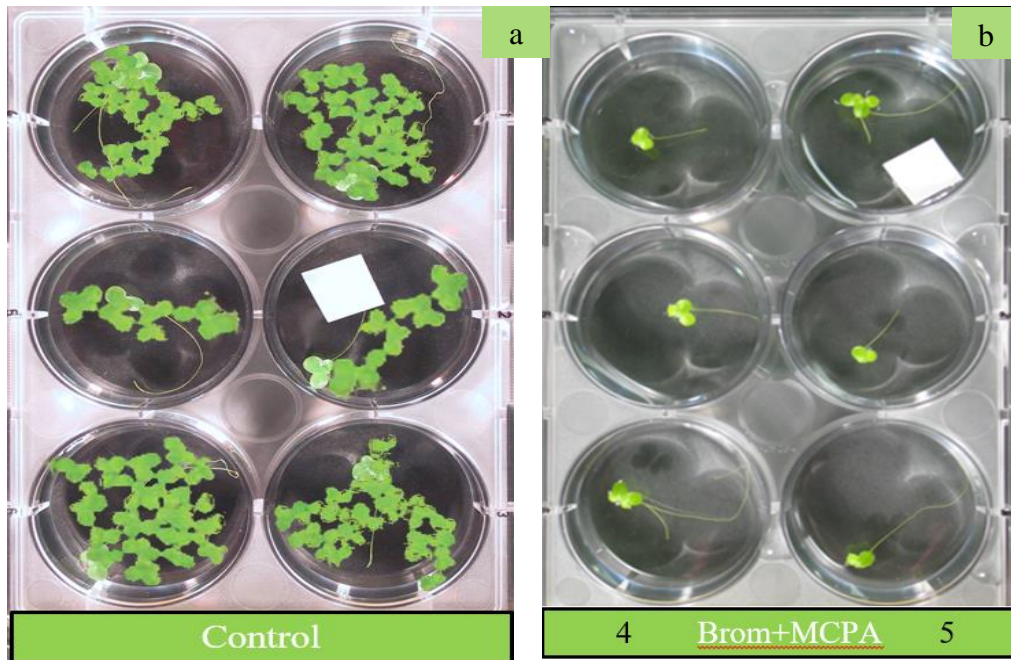
نتایج آزمایش نشان داد که غلظت‌های به کار رفته کلیه‌ی علف‌کش‌های مورد آزمایش توانستند سرعت رشد نسبی سطح برگ عدسک آبی را تحت تأثیر قرار دهند به طوری که مقدار رشد نسبی سطح برگ عدسک آبی در هر چاهک ظروف کشت با افزایش غلظت کاربرد علف‌کش‌ها، کاهش یافت. مقادیر هر یک از حد مجاز (No Observable Effect Concentration = NOEC)،  $EC_{10}$  (Lowest Observable Effect Concentration = )،  $EC_{50}$  و  $EC_{90}$  (LOEC Highest Observable Effect)، برای تمامی علف‌کش‌ها در جدول ۲ و شکل ۳ آمده است. همچنین شکل ۳ مقایسه مقادیر شاخص‌های EC برای کاهش یا نابودی سرعت رشد نسبی سطح برگ عدسک آبی را نشان می‌دهد.

آن‌ها محاسبه شود (Ritz and Streibig, 2005; Chitband et al., 2012). در این آزمایش برازش داده‌های حاصل از تیمارهای علف‌کشی با مدل لگاریتم لجستیک چهار و سه پارامتری و انجام آزمون عدم برازش (Lack of fit test) انجام گرفت. در صورت معنی‌دار نشدن این آزمون از مدل لگاریتم لجستیک سه پارامتری و در صورت معنی‌دار شدن آن از مدل لگاریتم لجستیک چهار پارامتری استفاده شد (Ritz and Streibig, 2005; Chitband et al., 2012). هم‌چنین داده‌های حاصل از سرعت رشد نسبی (RGR) سطح برگ عدسک آبی (*Lemna minor*) (L. تحت تأثیر غلظت‌های مختلف علف‌کش‌های مورد استفاده در اراضی گندم و جو با استفاده از نرم‌افزار 9.4 SAS مورد آنالیز قرار گرفتند. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد و رسم نمودار با نرم‌افزار EXCEL انجام شد.

## نتایج:

### ارتباط زیست‌سنجی غلظت-رشد

برازش مدل لگاریتم لجستیک با چهار و سه پارامتر برای داده‌های مربوط به میزان رشد عدسک آبی در غلظت‌های مختلف کاربرد گروه‌های مختلف علف‌کشی نشان داد که آزمون عدم برازش (Lack of fit test) بر مبنای آزمون ANOVA در سطح احتمال ۵ درصد بین این دو مدل برای تمامی علف‌کش‌ها معنی‌دار نیست (جدول ۲). بنابراین داده‌های حاصل از میزان رشد عدسک آبی تحت تأثیر علف‌کش‌های مختلف با مدل لگاریتم لجستیک سه پارامتری برازش داده شد. هم‌چنین



شکل ۱- نمای وضعیت رشد عدسک آبی در محلول رشد بدون علف‌کش (a)، غلظت‌های کاربردی شماره ۴ و ۵ (غلظت‌های ۱/۲۵ و ۲/۵ میکروگرم در لیتر) از علف‌کش بروموکسینیل + ام‌سی‌پی‌ای (b) هفت روز پس از تیمار. غلظت بکار رفته بالاتر علف‌کش بروموکسینیل + ام‌سی‌پی‌ای در سه چاهک سمت راست و غلظت پایین‌تر آن در سه چاهک سمت چپ نشان داده شده است.

Fig. 1. A view of duckweed (*Lemna minor* L.) growth condition in a nutrient solution containing no herbicides (control) (a), The applied concentrations with numbers in 4 and 5 (concentrations of 1.25 and 2.5  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) consists of a nutrient solution containing Bromoxynil +MCPA (b) at 7 days after treatment. The higher and lower of Bromoxynil +MCPA concentration used are showed in three right wells and three left wells, respectively.



جدول ۲- پارامترهای حاصل از برازش مدل لجستیک سه پارامتره به داده‌های سرعت رشد نسبی (RGR) سطح برگ (cm<sup>2</sup> cm<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) (افزایش سانتی متر مربع سطح برگ به ازاء هر سانتی متر مربع سطح برگ اولیه در هر روز) عدسک آبی (*Lemna minor* L.) تحت تأثیر غلظت‌های مختلف علف‌کش‌های مورد استفاده در اراضی گندم و جو.

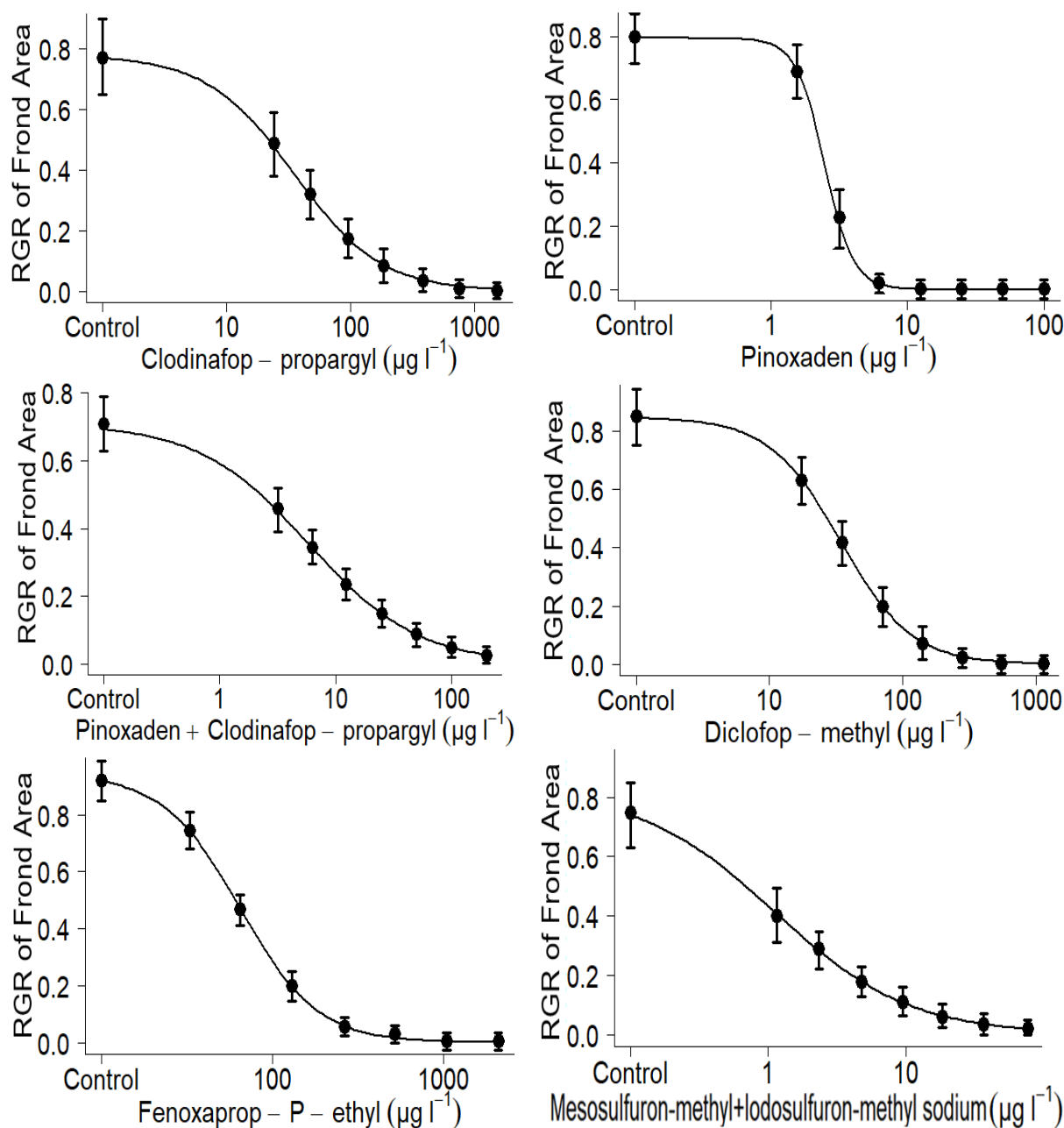
Table 2. Parameter estimates derived from log-logistic dose-response curves for RGR of frond area (cm<sup>2</sup> cm<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) (n n<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) of duckweed (*Lemna minor* L.) were affected by different concentration of herbicides used in wheat and barley field.

Herbicide name	(D <sup>1</sup> )	(b <sup>2</sup> )	Effective Concentration (µg. L <sup>-1</sup> )				Lack of Fit test <sup>7</sup>
			(NOEC <sup>3</sup> )	EC <sub>10</sub> (LOEC <sup>4</sup> )	EC <sub>50</sub> <sup>5</sup>	EC <sub>90</sub> (HOEC <sup>6</sup> )	
Clodinafop-propargyl (Topic)	7783.38(604.91)**	1.24(0.25)**	3.49(0.81)*	5.91(3.13)**	34.92(8.11)**	206.23(63.41)**	0.15 <sup>ns</sup>
Pinoxaden (Axial)	7944.07(390.18)**	4.11(0.95)**	0.25(0.02)*	1.45(0.23)*	2.47(0.16)**	4.22(0.50)**	0.31 <sup>ns</sup>
Pinoxaden+ Clodinafop-propargyl (Traxos)	7096.45(392.80)**	0.92(0.12)**	0.59(0.12)*	0.53(0.25)**	5.87(1.19)**	64.70(17.73)**	0.06 <sup>ns</sup>
Diclofop- methyl (Illoxan)	12466(775.91)**	1.28(0.26)**	1.87(0.36)*	3.33(1.62)*	18.66(3.59)**	104.59(30.27)**	0.71 <sup>ns</sup>
Fenoxaprop-P-ethyl (Pomasuper)	9434.42(361.49)**	1.92(0.21)**	6.49(0.92)**	20.60(3.61)*	64.90(9.16)**	204.50(24.22)**	0.49 <sup>ns</sup>
Mesosulfuron-methyl + Iodosulfuron-methyl sodium (Atlantis)	8263.66(539.12)**	0.88(0.17)**	0.11(0.03)*	0.09(0.04)**	1.12(0.33)**	13.45(4.63)**	0.25 <sup>ns</sup>
Metsulfuron-methyl+ sulfosulfuron (Total)	8096(424)**	0.742(0.09)**	2.95(0.65)**	1.53(0.78)*	29.47(6.51)**	569.25 (180.77)**	0.41 <sup>ns</sup>
2,4-D	7925.61(75.13)**	14.54(2.11)**	8.80(1.13)**	75.63(10.69)*	87.97(11.32)**	102.31(29.02)**	0.35 <sup>ns</sup>
Bromoxynil +MCPA (Bromicide MA)	7359.54(620.34)**	0.94(0.18)**	0.05(0.01)*	0.05(0.03)**	0.51(0.15)**	5.26(1.96)**	0.13 <sup>ns</sup>

مقادیر داخل پرانتز، خطای استاندارد هر پارامتر هستند. <sup>۱</sup>حد بالای منحنی وقتی غلظت علف‌کش صفر است، <sup>۲</sup>شیب منحنی، <sup>۳</sup>No Observable Effect Concentration = غلظتی (میکروگرم در لیتر) که منجر به کاهش یا نابودی (کاهش یا نابودی) مقادیر داخل پرانتز، خطای استاندارد هر پارامتر هستند. <sup>۴</sup>حد بالای منحنی وقتی غلظت علف‌کش صفر است، <sup>۵</sup>شیب منحنی، <sup>۶</sup>Highest Observable Effect Concentration = غلظتی (میکروگرم در لیتر) که منجر به کاهش ۹۰٪ (حداکثر سرعت رشد نسبی سطح برگ) پاسخ می‌شود. <sup>۷</sup>غلظتی (میکروگرم در لیتر) که منجر به کاهش ۵۰٪ (سرعت رشد نسبی سطح برگ) پاسخ نمی‌شود. <sup>۸</sup>غلظتی (میکروگرم در لیتر) که منجر به کاهش ۱۰٪ (حداقل سرعت رشد نسبی سطح برگ) پاسخ می‌شود. <sup>۹</sup>غلظتی (میکروگرم در لیتر) که منجر به کاهش ۵۰٪ (سرعت رشد نسبی سطح برگ) پاسخ می‌شود. <sup>۱۰</sup>غلظتی (میکروگرم در لیتر) که منجر به کاهش ۹۰٪ (حداکثر سرعت رشد نسبی سطح برگ) پاسخ می‌شود. <sup>۱۱</sup>آزمون عدم برازش، ns، \* و \*\* به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ هستند.

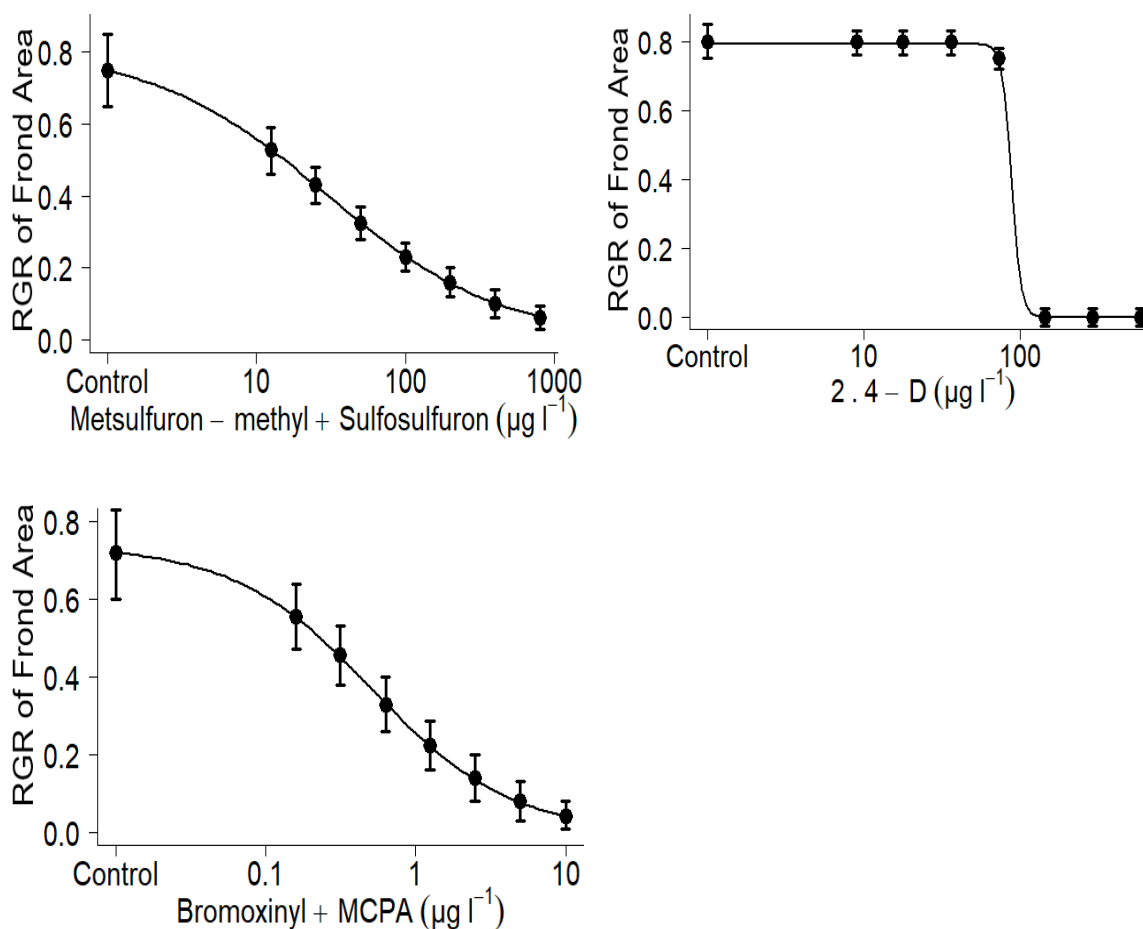
Standard errors are shown in parenthesis.<sup>1</sup>Upper limit, when herbicide concentrations are zero, <sup>2</sup>Slop around, <sup>3</sup>No Observable Effect Concentration, <sup>4</sup>Lowest Observable Effect Concentration, <sup>5</sup>EC<sub>50</sub>: The concentration causes 50% decrease in response (i.e. RGR frond area), <sup>6</sup>Highest Observable Effect Concentration: The concentration causes 90% decrease in response (i.e. RGR frond area), <sup>7</sup>Lack of Fit test, ns, \* and \*\*; Non Significant, Significant at 5% and 1% levels of probability respectively.





شکل ۲- منحنی‌های لگاریتم لجستیک غلظت-پاسخ (Dose-response) برای سرعت رشد نسبی (RGR) سطح برگ عدسک آبی ( $\text{cm}^2 \text{d}^{-1}$ ) (افزایش سانتی‌متر مربع سطح برگ به ازاء هر سانتی‌متر مربع سطح برگ اولیه در هر روز) در مقادیر مختلف شش علف‌کش کلودینافوب-پروپارژیل، پینوکسادن، پینوکسادن + پینوکسادن-پروپارژیل، دیکلوفوب-متیل، فنوکسaproپ-پ-اتیل، مزوسولفورون-متیل + یدوسولفورون سولفورون-متیل سدیم مورد استفاده در اراضی گندم و جو.

Figure 2- Log-logistic concentration-response curves for RGR of frond area of duckweed (*Lemna minor* L.) in different concentrations of six herbicides used of clodinafop-propargyl, pinoxaden, pinoxaden+ clodinafop-propargyl, diclofop-methyl, fenoxaprop-p-ethyl and mesosulfuron-methyl + iodosulfuron-methyl sodium in wheat and barley field



ادامه شکل ۲- منحنی‌های لگاریتم لجستیک غلظت-پاسخ (Dose-response) برای سرعت رشد نسبی (RGR) سطح برگ عدسک آبی ( $\text{cm}^2 \text{cm}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) (افزایش سانتی متر مربع سطح برگ به ازاء هر سانتی متر مربع سطح برگ اولیه در هر روز) در مقادیر مختلف چهار علف کش مت سولفورون-متیل + سولفوسولفورون، توفوردی و بروموکسینیل + ام‌سی‌پی‌ای مورد استفاده در اراضی گندم و جو. Fig. 2 continue. Log-logistic concentration-response curves for RGR of frond area of duckweed (*Lemna minor* L.) in different concentrations of four herbicides used of metsulfuron-methyl+ sulfosulfuron, 2,4-D and bromoxynil+ MCPA in wheat and barley field.

میزان سرعت رشد نسبی عدسک آبی ایجاد کرد. بالاترین اثر سمیت تیمارهای علف کشی پس از بروموکسینیل + ام‌سی‌پی‌ای در مزوسولفورون-متیل + یدوسولفورون-متیل سدیم با مقدار  $EC_{50} = 1/12 \pm 0/33$  مشاهده شد که نشان دهنده سمیت بیش تر آن در مقایسه با سایر تیمارهای علف کشی بود. تیمار علف کشی پینوکسادن نیز سمیت بالایی روی عدسک آبی داشت به طوری که با مقدار  $EC_{50} = 2/47 \pm 0/16$  سمیت

مقادیر  $EC_{50}$  تمامی علف کش‌ها دارای روندی متفاوت از ۰/۵۱ تا ۸۷/۹۷ میکروگرم بر لیتر بود به طوری که بیش ترین  $EC_{50}$  مربوط به کاربرد علف کش توفوردی با مقدار  $EC_{50} = 87/97 \pm 11/32$  و کم ترین آن در تیمار بروموکسینیل + ام‌سی‌پی‌ای با  $EC_{50} = 0/51 \pm 0/15$  مشاهده شد. در واقع مقادیر بسیار کمتری از بروموکسینیل + ام‌سی‌پی‌ای، سمیت بیش تری نسبت به سایر علف کش‌ها نشان داد و کاهش معنی داری را در

کاربردی هفت و هشت علف‌کش‌ها سرعت رشد نسبی سطح برگ عدسک آبی کاملاً متوقف شد (جدول ۴).

#### علائم سمیت کاربرد علف‌کش‌ها

براساس نتایج بدست آمده، هر یک از علف‌کش‌های مورد بررسی در غلظت ۲/۵ میکروگرم بر لیتر از بروموکسینیل + ام-سی‌پی‌ای، ۴/۶۹ میکروگرم بر لیتر از مزوسولفورون-متیل + یدوسولفورون-متیل سدیم، ۳/۱۳ میکروگرم بر لیتر از پینوکسادن، ۲۵ میکروگرم بر لیتر از پینوکسادن + کلودینافوپ-پروپارژیل، ۷۰ میکروگرم بر لیتر از دیکلوفوپ-متیل، ۲۰۲/۲۵ میکروگرم بر لیتر از مت‌سولفورون-متیل + سولفوسولفورون، ۴۶/۸ میکروگرم بر لیتر از کلودینافوپ-پروپارژیل، علف‌کش فنوکساپروپ-پی-اتیل در غلظت ۶۹۰ میکروگرم بر لیتر و ۳۶/۲۵ میکروگرم بر لیتر از توفوردی منجر به بروز خسارت‌های قابل مشاهده‌ای در عدسک آبی شدند. کلروز (پیشرفت رنگ سبز جوانه‌های عدسک آبی به رنگ زرد) و گسیختگی جوانه‌ها (جدا شدن جوانه‌ها از کلونی‌ها) از علائم سمیت مشاهده شده در عدسک آبی در زمان شروع آزمایش به گروه‌های مختلف علف‌کشی بود. در انتهای زمان تیمار با کلیه علف‌کش‌های به کار رفته جوانه‌ها علائم نکروز شدن را نشان دادند. بروموکسینیل + ام‌سی‌پی‌ای، مزوسولفورون-متیل + یدوسولفورون-متیل سدیم، پینوکسادن و پینوکسادن + کلودینافوپ-پروپارژیل سمیت بسیار زیادی بر عدسک آبی داشتند به طوری که پس از ۲۴ ساعت علائم کلروز و زرد شدن را در گیاه عدسک حتی در دزهای اولیه ایجاد کرده و منجر به گسیختگی جوانه‌های عدسک آبی شدند (شکل ۱). 2,4-D سمیت کم‌تری بر عدسک آبی داشت به طوری که علائم سمیت آن (رنگ زرد روشن و گسیختگی جوانه‌ها) در بالاترین دزهای کاربردی آن ایجاد شده بود.

بیش‌تری نسبت به تمامی علف‌کش‌ها به جز بروموکسینیل + ام‌سی‌پی‌ای و مزوسولفورون-متیل + یدوسولفورون-متیل سدیم نشان داد.

ترکیبی از دو علف‌کش پینوکسادن و کلودینافوپ-پروپارژیل با نام تجاری تراکسوس نیز سمیت بالایی روی عدسک آبی ایجاد کرده بود به طوری که اثر سمیت آن بیش‌تر از کاربرد خالص کلودینافوپ-پروپارژیل و کم‌تر از پینوکسادن به تنهایی بود ( $EC_{50} = 5/87 \pm 1/19$ ). مقدار  $EC_{50}$  در علف‌کش دیکلوفوپ-متیل  $18/3 \pm 66/59$  بود. مقدار  $EC_{50}$  به دست آمده برای علف‌کش مت‌سولفورون-متیل + سولفوسولفورون  $29/6 \pm 47/51$  بود. علف‌کش کلودینافوپ-پروپارژیل دارای مقدار  $34/92 \pm 8/11 = EC_{50}$  بود. سمیت گیاهی علف‌کش فنوکساپروپ-پی-اتیل با  $EC_{50} = 64/90 \pm 9/16$  پس از کلودینافوپ-پروپارژیل قرار گرفت. کم‌ترین سمیت گیاهی در کاربرد علف‌کش 2,4-D با مقدار  $87/97 \pm 11/32 = EC_{50}$  مشاهده شد.

نتایج تجزیه واریانس کاربرد غلظت‌های مختلف نه علف‌کش مورد استفاده در اراضی گندم و جو بر سرعت رشد نسبی (RGR) سطح برگ عدسک آبی (Lemna minor L. در جدول (۳) آورده شده است. مطابق جدول (۳) اثر کاربرد غلظت‌های مختلف علف‌کشی بر سرعت رشد نسبی (RGR) سطح برگ عدسک آبی معنی‌دار بود ( $P < 0.01$ ). نتایج مقایسه میانگین بین غلظت‌های مختلف تیمارهای علف‌کشی نشان داد که در غلظت تیمار شاهد (بدون علف‌کش) و دو یا سه غلظت اولیه حداقل کاهش رشد در سطح برگ عدسک آبی مشاهده شد و با افزایش غلظت کاربرد علف‌کش‌ها شدت اثر علف‌کش‌ها بیش‌تر شد، به طوری که دو غلظت

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (ANOVA) سرعت رشد نسبی (RGR) سطح برگ (cm<sup>2</sup> cm<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) (افزایش سانتی متر مربع سطح برگ به ازاء هر سانتی متر مربع سطح برگ اولیه در هر روز) عدسک آبی (*Lemna minor L.*) تحت تأثیر میانگین غلظت‌های مختلف هر یک از علف‌کش‌های مورد استفاده در اراضی گندم و جو.

Table 3. Results of analysis of variance for RGR of frond area (cm<sup>2</sup> cm<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) (n n<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) of duckweed (*Lemna minor L.*) affected by different concentrations average of nine herbicides used in wheat and barley field.

Source of variation	df	SS	MS	F <sub>s</sub>
Treatment	7	17493390.7	24990561.5**	625.18**
Error	16	636519.9	39782.5	
Total	23	175570450.6		
CV (%)	6.75			

ns, \* و \*\* به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ هستند.

ns, \* and \*\*; Non Significant, Significant at 5% and 1% levels of probability respectively.

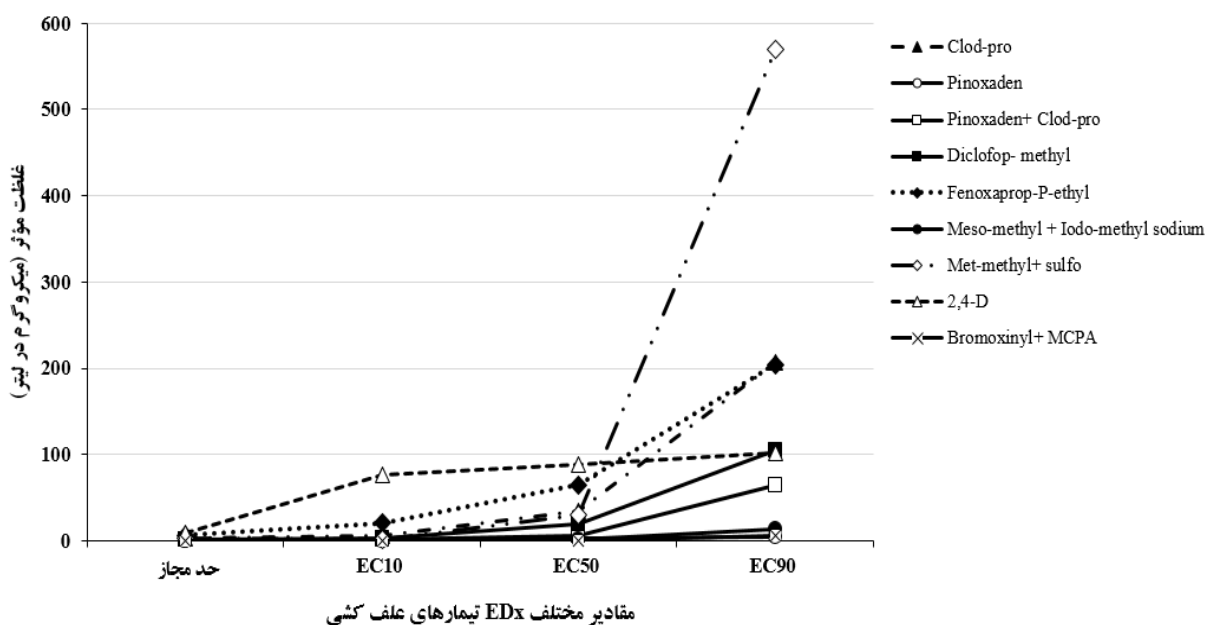
جدول ۴- نتایج مقایسه میانگین سرعت رشد نسبی (RGR) سطح برگ (cm<sup>2</sup> cm<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) (افزایش سانتی متر مربع سطح برگ به ازاء هر سانتی متر مربع سطح برگ اولیه در هر روز) عدسک آبی (*Lemna minor L.*) تحت تأثیر غلظت‌های مختلف هر یک از علف‌کش‌های مورد استفاده در اراضی گندم و جو.

Table 4. Mean comparison of the RGR of frond area (cm<sup>2</sup> cm<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) (n n<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) of duckweed (*Lemna minor L.*) affected by different concentrations average of nine herbicides used in wheat and barley field.

Treatment	Clodinafop-propargyl (Topic)	Pinoxaden (Axial)	Pinoxaden+ Clodinafop-propargyl (Traxos)	Diclofop-methyl (Illoxan)	Fenoxaprop-P-ethyl (Pomasuper)	Mesosulfuron-methyl + Iodosulfuron-methyl sodium (Atlantis)	Metsulfuron-methyl+sulfosul furon (Total)	2,4-D	Bromoxynil +MCPA (Bromici de MA)
Concentration 1	7920.3 <sup>a</sup>	7826.3 <sup>a</sup>	7207.7 <sup>a</sup>	8493.0 <sup>a</sup>	8964.0 <sup>a</sup>	8346.0 <sup>a</sup>	8174.7 <sup>a</sup>	8385.7 <sup>a</sup>	7593.0 <sup>a</sup>
Concentration 2	4186.3 <sup>b</sup>	7074.3 <sup>b</sup>	4025.7 <sup>b</sup>	6361.3 <sup>b</sup>	5275.3 <sup>b</sup>	3626.0 <sup>b</sup>	5217.7 <sup>b</sup>	7856.3 <sup>b</sup>	5018.3 <sup>b</sup>
Concentration 3	4031.0 <sup>b</sup>	1997.0 <sup>b</sup>	3553.0 <sup>bc</sup>	3737.3 <sup>c</sup>	4543.3 <sup>bc</sup>	3209.0 <sup>b</sup>	3744.0 <sup>c</sup>	7787.0 <sup>bc</sup>	4278.3 <sup>bc</sup>
Concentration 4	2091.7 <sup>c</sup>	1121.0 <sup>bc</sup>	3054.3 <sup>c</sup>	2935.3 <sup>c</sup>	4145.3 <sup>cd</sup>	3135.0 <sup>b</sup>	3364.3 <sup>cd</sup>	7677.3 <sup>bc</sup>	3793.0 <sup>bc</sup>
Concentration 5	0.0 <sup>d</sup>	0.0 <sup>c</sup>	1730.7 <sup>d</sup>	0.0 <sup>d</sup>	3367.3 <sup>d</sup>	0.0 <sup>c</sup>	3269.0 <sup>c</sup>	7477.3 <sup>c</sup>	3287.7 <sup>c</sup>
Concentration 6	0.0 <sup>d</sup>	0.0 <sup>c</sup>	332.7 <sup>e</sup>	0.0 <sup>d</sup>	816.0 <sup>e</sup>	0.0 <sup>c</sup>	2087.7 <sup>d</sup>	0.0 <sup>d</sup>	766.7 <sup>d</sup>
Concentration 7	0.0 <sup>d</sup>	0.0 <sup>c</sup>	0.0 <sup>e</sup>	0.0 <sup>d</sup>	0.0 <sup>e</sup>	0.0 <sup>c</sup>	0.0 <sup>e</sup>	0.0 <sup>d</sup>	0.0 <sup>d</sup>
Concentration 8	0.0 <sup>d</sup>	0.0 <sup>c</sup>	0.0 <sup>e</sup>	0.0 <sup>d</sup>	0.0 <sup>e</sup>	0.0 <sup>c</sup>	0.0 <sup>e</sup>	0.0 <sup>d</sup>	0.0 <sup>d</sup>

تیمارهایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند دارای اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ نیستند

Treatments have at least one common letter are not significantly difference at 5% level



شکل ۳- مقایسه مقادیر بدست آمده شاخص‌های EC برای کاهش یا نابودی سرعت رشد نسبی سطح برگ عدسک آبی در حضور علف‌کش‌های اراضی گندم و جو. Clod-pro = کلودینافوپ-پروپارژیل، Meso-methyl + Iodo-methyl sodium = مزوسولفورون-متیل + یدوسولفورون-متیل، Met-methyl+ sulfo = مت سولفورون-متیل + سولفوسولفورون.

Fig. 3. Comparison of EC values obtained for RGR reducing or eliminating of frond area of duckweed (*Lemna minor* L.) in presence of wheat and barley herbicides. Clod-pro = Clodinafop-propargyl, Meso-methyl + Iodo-methyl sodium = mesosulfuron-methyl + iodosulfuron-methyl sodium, Met-methyl+ sulfo = metsulfuron-methyl+ sulfosulfuron.

بروموکسینیل + ام‌سی‌پی‌ای را می‌توان به نحوه عمل این علف‌کش نسبت داد. محققان زیادی گزارش کردند که علف‌کش‌های بازدارنده فتوسنتز در مقایسه با سایر گروه‌های علف‌کشی، دارای سمیت بیشتری بر ماکریت‌های آبی هستند (Solomon *et al.*, 1996; Kersting and Van Wijngaarden, 1999; Van Geest *et al.*, 1999; Chitband *et al.*, 2018). استراتون (Stratton, 1984) همچنین گزارش کرد کاربرد علف‌کش آترازین در مقایسه به مشتقات آن مانند هیدروکسی آترازین<sup>۱</sup>، دی‌آمینو آترازین<sup>۲</sup>، دی‌اتیلیت آترازین<sup>۳</sup> سمیت بیشتری بر جلبک‌های آبی - سبز (*Anabaena inaequalis, variabilis*) و جلبک‌های سبز

## بحث:

بر اساس نتایج بدست آمده، شاخص  $EC_{50}$  که به‌عنوان بهترین شاخص ارزیابی در مقایسه با دیگر شاخص‌های  $EC_{10}$  و  $EC_{90}$  در آزمایشات اکوتوکسیکولوژیک (سم‌شناسی محیطی) محسوب می‌شود در علف‌کش بروموکسینیل + ام‌سی‌پی‌ای نسبت به سایر علف‌کش‌ها کم‌تر بود. به‌عبارت دیگر، علف‌کش بروموکسینیل + ام‌سی‌پی‌ای دارای حداکثر پتانسیل آسیب‌رسانی بر عدسک آبی در اکوسیستم‌های آبی است. نتایج تحقیق انجام شده در دانشگاه روهونا سریلانکا نشان داد کاربرد غلظت‌های حداقل ۱۰ میکروگرم بر لیتر علف‌کش ام‌سی‌پی‌ای منجر به کاهش رشد، کاهش محتوی پیگمان‌های کلروپلاستی و ایجاد استرس اکسیداتیو در ماکریت آبی *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle (Weerakoon *et al.*, 2018). دلیل احتمالی اثر مخرب زیاد علف‌کش

<sup>1</sup> 2-hydroxy-4-ethylamino-6-isopropylamino- 1,3,5-triazine

<sup>2</sup> 2-chloro-4,6-diamino, 1,3,5-triazine

<sup>3</sup> 2-chloro-4-ethylamino-6-amino- 1,3,5-triazine

<sup>4</sup> 2-chloro-4-amino-6-isopropylamino- 1,3,5-triazine

سمیت بیش تری بر جلبک آبی *Chlorella vulgaris*، *Scenedesmus obliquus* و *Chlorella pyrenoidosa* در مقایسه با مشتق هیدرولیز شده آن یعنی دیکلوفوپ (Cai et al., 2007; 2008). دلیل سمیت بیش تر دیکلوفوپ-متیل در مقایسه با فرم هیدرولیز شده آن را می توان به ویژگی های فیزیکوشیمیایی ترکیبات نسبت داد به طوری که دیکلوفوپ-متیل با داشتن فرم استری، حلالیت و فشار بخار پایین و نیز طبیعت آب گریزی شدید منجر به نابودی غشا سلول و جذب فراوان مواد شیمیایی به درون سلول های جلبک ها می شود. این مواد به سادگی با مواد فعال بیولوژیکی درون سلول برهم کنش می دهند و در نهایت موجب اختلال در فعالیت بیولوژیکی سلول ها می شوند. این برهم کنش ها باعث زوال رشد جلبکی شده و به طور مشابهی افزایش سمیت دیکلوفوپ-متیل را در پی خواهد داشت. در گزارش انتشار یافته از اتحادیه حفاظت محیط زیست آمریکا (US Environment Protection Agency) (EPA, 2000) مشخص شده است که علف کش دیکلوفوپ-متیل دارای سمیت بالایی بر ماهی های آب های شیرین و مهره داران است. مطالعات دیگری نیز نشان داد که دیکلوفوپ-متیل مختل کننده غدد درون ریز بوده که در نهایت منجر به بروز سرطان خواهد شد (Petit et al., 1997; Palut et al., 2001). براساس مقدار  $EC_{50}$ ، سمیت علف کش مت-سولفورون متیل + سولفوسولفورون بر رشد عدسک آبی قابل ملاحظه بود. در تحقیق انجام شده در دانمارک بر روی گیاه عدسک آبی مشخص شد که مت-سولفورون با مقدار  $EC_{50} = 0.51 \pm 0.02$  سمیت بسیار بیش تری در مقایسه با تربوتیلازین با مقدار  $EC_{50} = 157 \pm 18$  در کاهش رشد نسبی این گیاه داشته است (Munkegaard et al., 2008). علف کش مت-سولفورون متیل با مقدار

(*Scenedesmus quadricauda*, *Chlorella pyrenoidosa*) دارد. ام-سی پی ای در رده ی سموم با درجه سمیت پایین برای بی مهرگان و جلبک های آبی و با سمیت پایین تا متوسط برای ماهی ها و گیاهان آبی قرار می گیرد (Morton et al., 2019). مقادیر  $EC_{50}$  آن برای جلبک آبی بین  $32/9$  تا  $392$  میلی گرم بر لیتر گزارش شده که بسته به نوع گونه متفاوت است. این مقدار برای یکی از گونه های رایج گیاهان آبی (*Lemna gibba*)  $152$  میکروگرم بر لیتر گزارش شده است (Morton et al., 2019). به نظر می رسد که در علف کش بروموکسینیل + ام-سی پی ای همانند سایر علف کش های مخلوط دس مدیفام + فن مدیفام + اتوفومیست (Vidal et al. 2009)، اضافه شدن یک گروه ام-سی پی ای به ترکیب بروموکسینیل موجب افزایش کارایی آن بر گیاهان هدف شده و از طرفی میزان سمیت آن بر گونه های غیرهدف نیز افزایش می یابد. علف کش های بازدارنده فرآیند انتقال الکترون فتوسنتزی نظیر دس مدیفام + فن مدیفام + اتوفومیست پتانسیل کشندگی بیش تری بر طیف گسترده ای از گونه های غیرهدف ماکروفیت ها و ریزجلبک ها به عنوان تولیدکنندگان اولیه دارند (Vidal et al., 2009). مزوسولفورون-متیل + یدوسولفورون-متیل سدیم نیز سمیت بالایی بر عدسک آبی داشت. در گزارش انتشار یافته از اتحادیه ثبت ملی استرالیا (Anonymous, 2003) مشخص شد که مزوسولفورون-متیل + یدوسولفورون-متیل سدیم دارای سمیت زیادی بر گونه عدسک آبی *Lemna gibba* با مقدار  $EC_{50} = 5/6$  میکروگرم بر لیتر و نیز جلبک سبز آب های شیرین *Pseudokirchneriella* با مقدار  $EC_{50} = 0.18$  میلی گرم بر لیتر دارد. هم چنین مقادیر EC حاصل از کاربرد ترکیب دو علف کش پینوکسادن و کلودینافوپ-پروپارژیل و دیکلوفوپ-متیل حاکی از بالا بودن سمیت این علف کش ها بر رشد عدسک آبی است. مطالعات نشان داده است که دیکلوفوپ-متیل با  $EC_{50} = 0.42 - 2.23$  میلی گرم بر لیتر

کاهش سمیت آن بر گیاه عدسک آبی می‌شود (Jing et al., 2016). کم‌ترین میزان سمیت عدسک آبی در کاربرد علف‌کش 2,4-D دیده شد. طی گزارشی در هلند مشخص شد که کاربرد علف‌کش 2,4-D فاقد اثر سمیتی و یا دارای سمیت متوسط بر گونه‌ای از عدسک آبی *L. trisulca* بوده است. به طوری که مقدار  $EC_{50}$  در حدود ۳۰۰۰ میکروگرم بر لیتر به دست آمده است (Belgers et al., 2007). سایر محققان نیز به نتیجه‌ای مشابه در این زمینه دست یافته بودند به طوری که مقدار  $EC_{50}$  به دست آمده از تحقیقات آن‌ها برای گونه‌های مختلف عدسک آبی *Lemna spp.* بین ۵۰۰ تا ۶۰۰۰ میکروگرم بر لیتر گزارش شده بود (Swanson et al., 1991; Fairchild et al., 1999; Michel et al., 2004). به نظر می‌رسد تک سلولی بودن جلبک‌ها و کنترل نشدن رشد آنها توسط هورمون‌های گیاهی مانند اکسین‌ها می‌تواند دلیل عدم حساسیت آن‌ها نسبت به اکسین‌های مصنوعی باشد (Salisbury and Ross, 1985). براساس نتایج این تحقیق نیز علف‌کش 2,4-D دارای سمیت متوسط تا ضعیف در مقایسه با سایر علف‌کش‌های انتخابی گندم بر عدسک آبی است.

به غیر از نحوه عمل علف‌کش‌ها، شدت تاثیر هر یک از آن‌ها می‌تواند تحت تاثیر ویژگی‌های فیزیوشیمیایی متفاوت آن‌ها نیز قرار گیرد (Mohammad et al., 2008)، به طوری که بروموکسینیل + ام‌سی‌پی‌ای با داشتن ضریب نسبی اکتانول-آب  $\log(K_{ow})$  برابر با ۵/۹۰ (جدول ۱) دارای اثر مستقیم بر فتوسنتز بوده در حالی که توفوردی با داشتن  $\log(K_{ow}) = ۲/۸۱$  و داشتن فرمولاسیون قابل حل در حلال‌های قطبی شدت اثر کمتری دارد (Cedergreen et al., 2004; 2005). گزارش شده است که کارآیی فتوسنتز گیاهان متأثر از علف‌کش بستگی به مقدار  $\log(K_{ow})$  علف‌کشی آن‌ها دارد (Horgan and Zabkiewicz, 2008). به عبارت دیگر، سرعت جذب و انتشار ترکیبات لیپوفیلک ملکول

$EC_{50} = ۰/۰ \pm ۸۰/۱۵$  سمیت بالایی در کنترل ماکروفیت آبی *Lemna minor* داشته است (Cedergreen 2004). خاصیت اسیدی ضعیف علف‌کش مت-سولفورون متیل ممکن است نقش اساسی در عبور مولکول علف‌کش از پلاسما داشته باشد. این محققان هم‌چنین بیان کردند که اختلاف در سرعت جذب برگی و متابولیسم گیاه می‌تواند عامل اصلی حساسیت عدسک آبی به علف‌کش‌های گروه سولفونیل اوره باشد. از طرف دیگر، حساسیت یگ گونه به علف‌کش می‌تواند وابسته به برخی از ویژگی‌های آن گونه نیز باشد که این خود مرتبط با مقادیر  $EC_{50}$  و نیز RGR و سطح قرارگیری گیاه در معرض علف‌کش است. به طوری که گونه‌ای مانند عدسک آبی با سرعت رشد بیشتر، حساسیت بالاتری نسبت به علف‌کش مت‌سولفورون متیل، به دلیل سرعت جذب علف‌کشی بالاتر آن و نیز عدم توانایی در متابولیسم علف‌کش، دارد. علف‌کش‌های کلودینافوپ-پروپارژیل و فنوکساپروپ-پی-اتیل دارای سمیت متوسطی بر رشد نسبی عدسک آبی بودند. هم‌چنین تحقیقات نشان داده است که عدسک آبی به برخی از علف‌کش‌های بازدارنده اکسین مانند فلوروکسی پیر و بازدارندگان سنتز اسیدهای چرب همانند کلودینافوپ-پروپارژیل، حساسیت ضعیفی دارد (Maltby et al., 2010). دلیل سمیت ضعیف علف‌کش فنوکساپروپ-پی-اتیل را می‌توان به تجزیه و تبدیل سریع این علف‌کش بلافاصله پس از یک روز از فرم اصلی به فرم فعال متابولیت‌های خود یعنی (فنوکساپروپ-پی (Fenoxaprop (FA)، اتیل-۲-(۴-هیدروکسی فنوکسی) پروپانوآت (Ethyl-2-(4-hydroxyphenoxy) propanoate (EHPP)؛ ۲-(۴-هیدروکسی فنوکسی) پروپانوئیک اسید (2-(4-hydroxyphenoxy)propanoic acid (HPPA) و ۶-کلرو-۲- و ۳-دی هیدروبنزنوکسازول-۲-۱ (6-chloro-2,3-dihydro benzoxazol-2-one (CDHB) دانست که منجر به



نتایج این تحقیق، در تایید آزمایشات قبلی، نشان داد که گیاه عدسک آبی می‌تواند به‌عنوان یک ابزار بیولوژیکی کم هزینه و سریع جهت بررسی سمیت بسیاری از آفت‌کش‌ها در محیط‌های آبی مورد استفاده قرار گیرد (Wang, 1990; Mohan and Hosetti, 1999). نتایج هم‌چنین حاکی از تنوع زیاد بین تیمارهای شاهد و شیمیایی بود و گونه عدسک آبی به‌شدت تحت تأثیر علف‌کش‌های بروموکسینیل + ام‌سی‌پی‌ای، مزوسولفورون-متیل + یدوسولفورون-متیل سدیم، پینوکسادن و پینوکسادن + کلودینافوپ-پروپارژیل قرار گرفته است. دلیل سمیت بالا و اختلاف در پاسخ رشدی سطح برگ گیاه عدسک آبی به این علف‌کش‌ها را می‌توان به نحوه عمل آنها، عدم قابلیت متابولیسم، تجزیه و سمیت‌زدایی آن‌ها در گیاه عدسک آبی نسبت داد (Cedergreen *et al.*, 2004; 2005). به‌طوری‌که میزان سمیت زیاد بروموکسینیل + ام‌سی‌پی‌ای، مزوسولفورون-متیل + یدوسولفورون-متیل سدیم، پینوکسادن و پینوکسادن + کلودینافوپ-پروپارژیل در مقایسه با سایر علف‌کش‌های مورد استفاده در این تحقیق بیش از آن که تحت تأثیر غلظت این علف‌کش‌ها باشد، تحت تأثیر نحوه عمل آن‌ها قرار می‌گیرد. هم‌چنین خصوصیات فیزیکوشیمیایی علف‌کش از جمله ضریب نسبی اکتانول-آب ( $\log(K_{ow})$ ) و حلالیت علف‌کش نیز می‌تواند حائز اهمیت باشد. از این‌رو، نتایج حاصل از این تحقیق پیشنهاد می‌کند که هر گونه کاربرد غیراصولی و نادرست علف‌کش‌ها جهت کنترل علف‌های هرز منجر به بروز پیامدهای شدیدی بر گونه‌های آبی و در نهایت بر سطوح غذایی بالاتر خواهد شد، از این‌رو لازم است تا در مصرف آن‌ها در برنامه‌های مدیریتی کشاورزی دقت زیادی به‌کار برده شود.

علف‌کش به درون سلول گیاهی خیلی بیش‌تر از ترکیبات هیدروفیلیک است. هم‌چنین علف‌کش‌های بازدارنده فتوسنتز به‌علت قطع انتقال الکترون فتوسنتزی و تولید اکسیژن اکسیداتیو در نزدیکی مرکز فتوسیستم II (ROS) منجر به افزایش سمیت علف‌کشی شده و نهایتاً مرگ سریع گیاه را به همراه خواهد داشت (Cedergreen *et al.*, 2005). بنابراین علف‌کش بروموکسینیل + ام‌سی‌پی‌ای با داشتن ضریب  $\log(K_{ow})$  بالا و نیز خواص بازدارندگی در فتوسیستم II، دارای بالاترین کاهش در سرعت رشد عدسک آبی بود، درحالی‌که ترکیب توفوردی با داشتن ضریب  $\log(K_{ow})$  پایین (ثابت اسیدی  $pK_a = 2/73$ ) تحت شرایط pH محیطی بیش‌تر به فرم یونی وجود داشته و سمیت کم‌تری روی عدسک آبی ایجاد کرده بود. بنابراین امکان انتقال توفوردی به درون سیستم‌های بیولوژیک مانند عدسک آبی، به دلیل داشتن فرم هیدروفیلیک و حلالیت در آب، در مقایسه با ترکیبی چون بروموکسینیل + ام‌سی‌پی‌ای سخت‌تر خواهد بود. از این‌رو فرم هیدروفیلی، قابلیت تجزیه و مقدار رسانش ماده موثر یک ترکیب به جایگاه هدف، به‌عنوان فاکتورهای کلیدی در میزان سمیت آن ترکیب مطرح هستند (Sinclair and Boxall, 2003). براساس گزارش منتشر شده از اتحادیه حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA, 2002) توفوردی در رده سموم کم خطر و غیر سرطان‌زا برای انسان معرفی شده است. مقدار  $EC_{50}$  گزارش شده برای فرم اسیدی توفوردی جهت بازدارندگی از رشد ماکروفیت آبی عدسک آبی (*L. gibba*) ۵۸ میلی‌گرم بر لیتر بوده است. هم‌چنین گزارش شده است که گونه آبی *Myriophyllum sibiricum* حساسیت بیش‌تری در مقایسه با گونه‌های عدسک آبی نسبت به کاربرد توفوردی دارند و دارای مقدار  $EC_{50} = 13$  بوده است (Roshon *et al.*, 1999).

## References:

- Anonymous. 2003.** National registration authority for agricultural and veterinary chemicals; Evaluation of the new active mesosulfuron-methyl in the product Atlantis selective herbicide, NRA, Canberra. <http://www.nra.gov.au>.
- Anonymous. 2004.** International organization for standardization; Water quality-Duckweed growth inhibition. ISO/WD 20079, International Organization for Standardization, Geneva.
- Belgers, J. D. M., Van Lieverloo, R. J., Van der Pas, L. J. T. and Van den Brink, P. J. 2007.** Effects of the herbicide 2,4-D on the growth of nine aquatic macrophytes. *Aquatic Botany*. (86): 260-268.
- Boutin C., Lee, H. B., Peart, E. T., Batchelor, P. S. and Maguire, R. J. 2000.** Effects of the sulfonylurea herbicide metsulfuron-methyl on growth and reproduction of five wetland and terrestrial plant species. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 19(10): 2532-2541.
- Cai, X. Y., Liu, W. P. and Sheng, G. Y. 2008.** Enantioselective degradation and ecotoxicity of the chiral herbicide diclofop in three freshwater alga cultures. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. (56): 2139-2146.
- Cai, X. Y., Liu, W. P., Jin, M. Q. and Lin, K. D. 2007.** Relation of diclofop-methyl toxicity and degradation in algae cultures. *Environmental Toxicology and Chemistry*. (26): 970-975.
- Cedergreen, N. Ritz, C. and Streibig, J. C. 2005.** Improved empirical models describing hormesis. *Environmental Toxicology and Chemistry*. (24): 3166-3172.
- Cedergreen, N. Streibig, J. C. and Spliid, N. H. 2004.** Sensitivity of aquatic plants to the herbicide metsulfuron-methyl. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. (57): 153-161.
- Chitband, A. A., Abbaspoor, M. and Nabizade, M. 2012.** Utilizing drc package in R software for dose-response studies: The concept and data analysis. 12<sup>th</sup> Iranian Crop Sciences Congress, 4-6 September, Islamic Azad University, Karaj. Iran, p. 1-4. [In Persian with English Summary].
- Chitband, A. A., Sadeghi, A. A. and Nabizade, M. 2018.** Risk assessment of the most current usable herbicides in Iran. 15<sup>th</sup> National & 3<sup>rd</sup> International Iranian Crop Science Congress, 4-6 September, Seed and Plant Improvement Institute, Karaj. Iran, p. 1-4. [In Persian with English Summary].
- Environment Protection Agency US. 2000.** EFED Red chapter for diclofop-methyl. <http://www.epa.gov/REDS>.
- EPA US. 2002.** Clopyralid; Pesticide Tolerance. 40 CFR Part 180. Office of Pesticide Programs. Washington DC.
- Fairchild, J. F., Allert, A. L., Feltz, K. P., Nelson, K. J. and Valle, J. A. 2009.** An ecological risk assessment of the acute and chronic effects of the herbicide clopyralid to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. (57): 725-731.
- Fairchild, J. F., Sappington, L. C. and Ruessler, D. S., 1999.** An ecological risk assessment of the potential for herbicide impacts on primary productivity of the lower Missouri river. pp: 323-330. *In: Morganwalp, D. W. and Buxton, H. T. (eds.), Geological survey toxic substances hydrology program-proceedings of the technical meeting. Charleston, SC, March 8-12. Contamination of Hydrologic Systems and Related Ecosystems, U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 99-4018B.*
- Hess, F. D. 2000.** Light-dependent herbicides: an overview. *Weed Science*. (48): 160-170.
- Horgan, D. B. and Zabkiewicz, J. A. 2008.** Fluorescence decline ratio: comparison with quantum yield ratio for plant physiological status and herbicide treatment response. *New Zealand Plant Protection*. (61): 169-173.
- Jing, X., Yao, G., Liu, D., Liu M., Wang, P. and Zhou, Z. 2016.** Environmental fate of chiral herbicide fenoxaprop-ethyl in water-sediment microcosms. *Scientific Reports*. (6): 1-7.
- Kersting, K. and Van Wijngaarden, R. P. A. 1999.** Effects of a pulsed treatment with the herbicide afalon (Active ingredient linuron) on macrophyte-dominated mesocosms I. Responses of ecosystem metabolism. *Environmental Toxicology and Chemistry*. (18): 2859-2865.
- Khalghani, J. 2010.** Research Strategic Plan for Weed Management. Ministry of Jihad-e-Agriculture Agricultural Research, Extension and Education. Organization Iranian Research Institute of Plant Protection. 461 pp. [In Persian with English Summary].
- Landolt, E. and Kandeler, R., 1987.** Physiological characteristics. pp: 54-113. *In: Landolt, E. and Kandeler, R. (eds.). The Family of Lemnaceae-A Monographic Study. Stiftung Ru" bel, Zu" rich.*

- Maltby, L., Arts, G., Heimbach, F., Davies, J., Poulsen, V., Pickl, C. and Poulsen, V. 2010.** Aquatic macrophyte risk assessment for pesticides. SETAC Europe Workshop AMRAP, Wageningen Netherlands. CRC Press, USA. 135 pp.
- Michel, A., Johnson, R. D., Duke, O. and Scheffler, B. E. 2004.** Dose-response relationships between herbicides with different modes of action and growth of *Lemna paucicostata*: an improved ecotoxicological method. Environmental Toxicology and Chemistry. (23): 1074-1079.
- Mohammad, M., Itoh, K. and Suyama, K. 2008.** Comparative effects of different families of herbicides on recovery potentials in *Lemna* sp. Journal of Pesticide Science. (33): 171-174.
- Mohammad, M., Itoh, K. and Suyama, K. 2010.** Effects of herbicides on *Lemna gibba* and recovery from damage after prolonged exposure. Archives of Environmental Contamination and Toxicology. (58): 605-612.
- Mohan, B. S. and Hosetti, B. B. 1999.** Aquatic plants for toxicity assessment (Review). Environmental Research Section A. (81): 259-274.
- Morton, P. A., Fennell, C., Cassidy, R., Doody, D., Fenton, O., Mellander, P-E. and Jordan, P. 2019.** A review of the pesticide MCPA in the land-water environment and emerging research needs. WIREsWater. 7(1): 1-16.
- Munkegaard, M., Abbaspoor, M. and Cedergreen, N. 2008.** Organophosphorous insecticides as herbicide synergists on the green algae *Pseudokirchneriella subcapitata* and the aquatic plant *Lemna minor*. Ecotoxicology. (17): 29-35.
- Palut, D., Ludwicki, J. K., Kostka, G., Kopeć-Szłęzak, J., Wiadrowska, B. and Lembowicz, K. 2001.** Studies of early hepatocellular proliferation and peroxisomal proliferation in Wistar rats treated with herbicide diclofop. Toxicology. (158): 119-126.
- Petit, F., Goff, L. G., Cravéde, J. P., Valotaire, Y. and Pakdel, F. 1997.** Two complementary bioassays for screening the estrogenic potency of xenobiotics: recombinant yeast for trout estrogen and trout hepatocyte cultures. Journal of Molecular Endocrinology. 19: 321-335.
- R Core Team. 2014.** R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Ritz, C. and Streibig J. C. 2005.** Bioassay analysis using R. Journal of Statistical Software. (12): 1-22.
- Roshon, R. D., Mccann, J. H., Thompson, D. G. and Stephenson, G. R. 1999.** Effects of seven forestry management herbicides on *Myriophyllum sibiricum*, as compared with other nontarget aquatic organisms. Canadian Journal of Forest Research. 29(7): 1158-1169.
- Salisbury, F. B. and Ross, C. W. 1985.** Plant physiology. Wadsworth Publishing Company, Belmont, CA, 540 pp.
- Sinclair, C. J. and Boxall, A. B. A. 2003.** Assessing the ecotoxicity of pesticide transformation products. Environmental Science and Technology. (37): 4617-4625.
- Solomon, K. R., Baker, D. B., Richards, R. P., Dixon, D. R., Klaine, S. J., LaPoint, T. W., Kendall, R. J., Weisskopf, C. P., Giddings, J. M., Giesy, J. P., Hall, L. W. and Williams, W. M. 1996.** Ecological risk assessment of atrazine in North American surface waters. Environmental Toxicology and Chemistry. (15): 31-74.
- Strasser, R. J. and Stirbet, A. D. 2001.** Estimation of the energetic connectivity of PSII centres in plants using the fluorescence rise O-J-I-P; fitting of experimental data to three different PSII models. Mathematics and Computers in Simulation. (56): 451-461.
- Swanson, S. M., Rickard, C. P., Freemark, K. E. and Macquarrie, P. 1991.** Testing for pesticide toxicity to aquatic plants: recommendations for test species. pp. 77-97. In: Gorsuch, J. W., Lower, W. R., Wang, W. and Lewis, M. A. (eds.), Plants for toxicity assessment. ASTM STP 1115. American Society for Testing and Materials, Pennsylvania.
- Van Geest, G. J., Zwaardemaker, N. D., Van Wijngaarden, R. P. A. and Cuppen, J. G. M. 1999.** Effects of a pulsed treatment with the herbicide afalon (Active ingredient linuron) on macrophyte dominated mesocosms II. Structural responses. Environmental Toxicology and Chemistry. (18): 2866-2874.
- Vidal, T., Goncalves, A., Pardal, M., Azeiteiro, U. and Goncalves, F. 2009.** Assessing the toxicity of Betanal® on growth and sensitiveness of five freshwater planktonic species. Fresenius Environmental Bulletin. (18): 585-589.
- Wang, W. 1990.** Literature Review on Duckweed Toxicity Testing (Rev.). Environmental Research. (52): 7-22.

- Weerakoon, H. P. A. T., Atapaththu, K. S. S. and Asanthi, H. B. 2018.** Toxicity evaluation and environmental risk assessment of 2-methyl-4-chlorophenoxy acetic acid (MCPA) on non-target aquatic macrophyte *Hydrilla verticillata*. Environmental Science and Pollution Research. 2 (30): 463-474.
- Zand, E., Baghestani, M. A., Nezam Abadi, N., MinBashi, M. and Hadizadeh, M. H. 2009.** A review on the last list of herbicides and the most important weeds of Iran. Weed Research Journal. 1(2): 83-100. [In Persian with English Summary].
- Ziegler, P., Sree, K. S. and Appenroth, K. J. 2016.** Duckweeds for water remediation and toxicity testing. Toxicological and Environmental Chemistry. 9(10): 1127-1154.

## Comparative Environmental Risk Assessment of Herbicides Used in Wheat and Barley Fields by Duckweed, *Lemna minor*, Test in Aquatic Ecosystems

Chitband, A. A.\*<sup>1</sup>, Baghestani, M. A.<sup>2</sup> and Nabizade Noghondar, M.<sup>3</sup>

1. Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Lorestan, Iran. 2. Department of Herbicide Research, Iranian Institute of Plant Protection, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. 3. Agricultural Bank Branches Management, Mashhad, Iran.

Received: Apr, 7, 2020

Accepted: Oct, 6, 2020

### Abstract:

Nowadays, the pollution in aquatic ecosystems caused by the application of pesticides has become a serious problem. To evaluate the phytotoxicity of ten herbicides used in wheat and barley fields by duckweed (*L. minor*) test, a dose-response experiment was carried out in completely randomized design with four replications. The treatments consisted of eight different concentrations of various active ingredients of herbicides including clodinafop-propargyl, pinoxaden, pinoxaden + clodinafop-propargyl, diclofop- methyl, fenoxaprop-p-ethyl, mesosulfuron-methyl + iodosulfuron-methyl sodium, metsulfuron-methyl+ sulfosulfuron, 2,4-D and bromoxynil + MCPA with herbicide-free control treatment. Toxicity assessment index was based on inhibition of the relative leaf surface growth rates (RGR) of the plants after seven days. The EC<sub>50</sub> values which were derived by fitting the log-logistic curves, showed that bromoxynil + MCPA with EC<sub>50</sub> equal to 0.51 microgram/l had the highest effect in reduction of the relative leaf surface growth rate of Lemna compared with other herbicides. This high toxicity probably is attributed to its physicochemical properties and rapid uptake by the plant cells. 2,4-D with EC<sub>50</sub> equal to 87.97 µg/l showed the lowest toxicity on Lemna. The phytotoxicity of the nine herbicides tested could be ranked as follows: Bromoxynil +MCPA > Mesosulfuron-methyl + iodosulfuron-methyl sodium > Pinoxaden > Pinoxaden + Clodinafop-propargyl > Diclofop- methyl > Metsulfuron-methyl+ sulfosulfuron > Clodinafop-propargyl > Fenoxaprop-P-ethyl > 2,4-D. The information obtained from the results of the present study can be useful for adopting the necessary criteria for aquatic ecosystem management.

**Keywords:** Aquatic ecosystem management, effective concentration, pesticide contamination, relative leaf area growth rate (RGR), toxicity assessment.

---

\* Corresponding author: Ali Asghar Chitband, Email: [a.a.chitband@gmail.com](mailto:a.a.chitband@gmail.com)