Journal of Iranian Plant Protection Research

https://jpp.um.ac.ir

Research Article
Vol. 37, No. 1, Spring 2023, p. 45-57

Improving the Efficiency of EPTC Herbicide in Tobacco Weed Control by Microcapsule Formulation and Herbicide Extender

A. Rahbari[1], E. Izadi Darbandi[2*], M.H. Rashed Mohassel[3], G. Zohuri[4], E. Zand[5]

Received: 07-01-2019
Revised: 15-02-2021
Accepted: 10-03-2021
Available Online: 10-03-2021

How to cite this article:
Rahbari, A., Izadi Darbandi, E., Rashed Mohassel, M.H., Zohuri, G., & Zand, E. (2023). Improving the efficiency of EPTC herbicide in tobacco weed control by microcapsule formulation and herbicide extender. *Journal of Iranian Plant Protection Research 37*(1): 45-57. (In Persian with English abstract). http://doi.org/10.22067/jpp.2021.32440.0

Introduction

The effectiveness of herbicides is influenced not only by the active ingredients and their toxicity but also by the formulation of the herbicide. Conventional herbicide formulations include wettable powder and emulsifiable concentrate (EC). EC formulations are prepared by mixing the active ingredient with solvents and surfactants. However, these formulations can have negative phytotoxic effects due to hazardous solvents and can be unsafe for operators during application. As an alternative to EC formulations, capsule suspension (CS) formulation has been considered. EPTC is a thiocarbamate herbicide used to control the growth of germinating annual weeds, including broadleaves, grasses, and sedges, in crops such as tobacco in Iran. EPTC acts by inhibiting cuticle formation during the early stages of seedling growth. It is available in formulated products such as emulsifiable concentrate (EC) liquids containing up to 87.8% active ingredient and granular (G) formulations containing up to 25% active ingredient. However, there have been few studies on the production of microcapsule formulations of this herbicide. This experiment aimed to evaluate the weed control effectiveness of EPTC microcapsule formulation, which was synthesized for the first time in Iran. Additionally, the study examined the effect of the herbicide extender, Ammonium thiosulfate, at different doses and application methods.

Materials and Methods

To investigate the effectiveness of different herbicide formulations and application methods, a three-way factorial experiment was conducted in Tirtash Research and Education Center in Mazandaran province, Iran, during the 2014 growing season. The experiment followed a randomized complete design (CRD) with three replications.

The factors studied in the experiment were:

1. Herbicide formulation:
    - Emulsifiable concentrate formulation (Eradicane® EC 82%)
    - Emulsifiable concentrate formulation with Ammonium thiosulfate
    - Microcapsule formulation
2. Herbicide dose:
    - 50% of the recommended active ingredient (2.46 kg a.i. ha-1)
    - 75% of the recommended active ingredient (3.69 kg a.i. ha-1)
    - 100% of the recommended active ingredient (4.92 kg a.i. ha-1)

1, 2 and 3- Ph.D. Student and Professors of Weed Sciences, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author. Email: e-izadi@um.ac.ir)
4- Professor of Chemistry, Department of Chemistry, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad
5- Professor of weed science, Iranian Research Institute of Plant Protection, Tehran, Iran
DOI: 10.22067/jpp.2021.32440.0

3. Herbicide application method:
    - Soil-incorporated pre-planting
    - Pre-planting

A control plot with no herbicide application was also included. Throughout the growing season, weed density, weed dry weight, and tobacco yield were measured. The relative weed control compared to the control treatment was used to evaluate the efficiency of the different treatments. The collected data was subjected to analysis of variance using Minitab (Version 18), and mean comparisons were performed using the honestly significant difference (HSD) test at a significance level of 0.05.

Results and Discussion

Based on the relative frequency of weeds, *Setaria viridis* L. and *Amaranthus retroflexus* L. were dominant species. The experimental results show the effects of formulation type, application dose and method of application on weed density and weed dry weight and tobacco yield were statistically significant difference. The microcapsule formulation increased weed control efficiency and tobacco yield significantly compared to EC formulation and the highest weed control performance and tobacco yield belong to the soil incorporated of microcapsule formulation with recommended dose.

Conclusions

The results indicated that the utilization of a microcapsule formulation allows for a 25% reduction in the application dose of the EPTC herbicide, without compromising weed control or tobacco yield. Consequently, there were no significant differences observed between applying 75% of the recommended dose using the microcapsule formulation and applying 100% of the recommended dose using the EC formulation, with or without the extender. Based on these findings, it is crucial to promptly mix the herbicide with the soil immediately after spraying in order to maintain the efficiency of EPTC. Furthermore, it was discovered that employing two-thirds of the recommended dose of the microcapsule formulation yields the same level of effectiveness as the recommended dose of other formulations. Additionally, incorporating the EPTC herbicide with soil in all formulations enhanced weed control efficacy. In contrast to previous research suggesting the positive impact of extender adjuvants such as ammonium thiosulfate on herbicide efficiency, this study did not observe similar effects. This discrepancy may be attributed to the varying soil and climatic conditions at the test site.

Keywords: Ammonium thiosulfate, Controlled release, Reduced dose, Tobacco, Weed

نشریه پژوهش‌های حفاظت گیاهان ایران
https://jpp.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۷، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲، ص. ۵۷-۴۵

بهینه‌سازی کارآیی علف‌کش ای‌پی‌تی‌سی در کنترل علف‌های‌هرز توتون با بهره‌گیری از فرمولاسیون میکروکپسول و ماده افزودنی تداوم‌بخش

احمد رهبری[۱]- ابراهیم ایزدی دربندی[۲*]- محمد حسن راشد محصل[۳]- غلامحسین ظهوری[۴]- اسکندر زند[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۱۷
تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۱/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۲۰

چکیده

کارایی علف‌کش‌ها در کنترل علف‌های‌هرز نه تنها به مادهٔ موثره و سمیت آنها بستگی دارد، بلکه به عواملی نظیر نوع فرمولاسیون وابسته است. این پژوهش در ادامه ساخت اولین فرمولاسیون میکروکپسول علف‌کش ای‌پی‌تی‌سی در ایران، با هدف بررسی کارایی فرمولاسیون میکروکپسول و تأثیر ماده افزودنی تداوم‌بخش تیوسولفات آمونیوم در مقادیر و روش‌های مختلف کاربرد بر کنترل علف‌های‌هرز و عملکرد توتون اجرا گردید. بدین ترتیب این آزمایش بصورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ در مرکز تحقیقات تیرتاش (استان مازندران) انجام شد. عوامل مورد بررسی شامل نوع فرمولاسیون در سه سطح، امولسیون (ارادیکان ۸۲ درصد)، امولسیون همراه ماده تداوم‌بخش و میکروکپسول، مقدار کاربرد در سه سطح، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد مادهٔ موثره توصیه‌شده (به ترتیب ۲/۴۶، ۳/۶۹ و ۴/۹۲ کیلوگرم مادهٔ موثره در هکتار) و روش کاربرد در دو سطح، اختلاط و عدم اختلاط با خاک. تراکم و وزن خشک علف‌های‌هرز در ۴۰ و ۶۰ روز پس از نشاکاری و عملکرد توتون پس از ۴ چین مورد سنجش قرار گرفت. در این آزمایش علف‌های‌هرز دم‌روباهی‌سبز و تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز به ترتیب با فراوانی نسبی ۲۲ و ۳۲ درصد به عنوان گونه‌های غالب تعیین شدند. نتایج نشان داد که کاربرد ۱۰۰ درصد دُز توصیه شده میکروکپسول موجب کاهش تراکم دم‌روباهی‌سبز و تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز به ترتیب ۹۲ و ۷۱ درصد و افزایش عملکرد توتون به میزان ۴/۸۲ تن در هکتار گردید. همچنین با استفاده از فرمولاسیون میکروکپسول می‌توان ضمن حفظ کارایی، دُز مصرفی را ۲۵ درصد کاهش داد. اختلاط علف‌کش با خاک جهت افزایش کارایی ضروری است.

واژه‌های کلیدی: توتون، تیوسولفات آمونیوم، دُز کاهش یافته، رهاسازی‌کنترل‌شده، علف‌هرز

مقدمه

پیشرفت‌های شگرف فناوری در قرن گذشته شیوه‌های نوینی در ساخت، فرمولاسیون و نحوه کاربرد آفت‌کش‌ها به ارمغان آورده است. به طوری که رویکرد هوشمند و علمی نسبت به دانش فرمولاسیون می‌تواند بهبود قابل توجهی در سودمندی آفت‌کش‌ها پدید آورد. نقش فناوری رهاسازی کنترل شده در بسیاری از این پیشرفت‌ها برجسته است و توانسته است ابزار منحصر به فردی را برای دستکاری آفت‌کش‌ها فراهم کند (Sabahi, 2009; Matthews, 2000). بدین لحاظ پژوهش‌ها بر روی فرمولاسیون‌هایی با رهاسازی کنترل شده افزایش یافته است (Ueji and Inao, 2001; Wilkins, 2003; Wilson, 2003; Zand *et al.*, 2008). مهمترین عامل تمایز فرمولاسیون‌هایی با رهاسازی کنترل شده در مقایسه با دیگر فرمولاسیون‌ها نظیر امولسیون، پودر وتابل، مایع قابل حل در

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری علوم علف‌های‌هرز و استادان، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: e-izadi@um.ac.ir
۴- استاد گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد
۵- استاد بخش تحقیقات علف‌های هرز، موسسه تحقیقات گیاه پزشکی کشور، تهران، ایران

DOI: 10.22067/jpp.2021.32440.0

آب[1]، گرانول قابل پخش در آب[2] و غیره، فرآیند آزادسازی تدریجی[3] است و به عبارتی می‌توان گفت فرمولاسیون‌هایی با رهاسازی کنترل شده دارای راندمان انتقال و رسانش[4] بیشتری به محل عمل هستند در حالی که در فرمولاسیون‌های متداول، ماده موثرهٔ در یک زمان و به طور کامل در محیط قرار گرفته (Wilkins, 2003; Sopeña *et al*., 2009) و به دلیل تلفات ناشی از جذب، تبخیر، تجزیه نوری، میکروبی و شیمیایی و همچنین آبشویی سموم مصرفی در محیط، مقدار کاربرد آنها بیش از آستانه حداقل غلظت[5] برای کنترل آفات است (Danielson *et* Buelk *et al*., 2005; Rashed Mohassel and Mousavi, 2007; *al*., 1961; Schreiber *et al*., 1978). مزایای فرمولاسیون میکروکپسول عبارتند از: رهاسازی کنترل شده مادهٔ موثر، افزایش کارآیی سم، کاهش مقدار سم مصرفی، کاهش روند کند شدن فعالیت مادهٔ موثره، کاهش بروز مقاومت، کاهش تلفات سم، امکان اختلاط آفت‌کش‌ها به خصوص ترکیبات ناسازگار، کاهش گیاه‌سوزی، کاهش خطرات سم برای سلامتی انسان، شستشوی راحت‌تر سمپاش، کاهش بوی نامطبوع، حذف برخی از حلال‌ها و بهبود حمل و نقل آفت‌کش‌ها (Cobb and Bernards *et al*., 2006; Reade, 2010; Coffman and Gentner, 1984; Kotoula-Syka *et al*., 1999; Ueji and Inao, 2001; Wilkins, 2003; Zand *et al*., 2008; Zhang and Rochefort, 2012).

در فرمولاسیون رهاسازی کنترل شده یا میکروکپسول معلقه[6] یا کپسول سوسپانسیونی[7] مادهٔ موثره علف‌کش با روکشی[8] از موادی همچون رزین محلول در آب، موم، لیپید، ژلاتین، آلبومین، نشاسته و ماتریکس پلی‌اوره – پلی‌آمید پوشیده شده (Sopeña *et al*., 2009; Williams, 1984) و هنگام اختلاط با حامل‌ها در مخزن سمپاش ایجاد سوسپانسیون می‌کند (Zand *et al*., 2008). آزادسازی آفت‌کش‌ها از فرمولاسیون میکروکپسول به روش‌های مختلفی از قبیل متلاشی شدن مواد ساختاری، آماس و ترکیدن، خشک شدن و ترک‌خوردن یا انتشار در محیط انجام می‌شود. تغییر در ساختار ظاهری میکروکپسول همچون جمع شدن یا ترک‌خوردگی ممکن است در اثر شرایط محیطی رخ دهد. در مجموع رهاسازی علف‌کش به مواد ساختاری میکروکپسول، محیط اطراف آن و خصوصیات علف‌کش وابسته است (Petersen and Shea, 1989). به طور مثال در مطالعه تأثیر نوع فرمولاسیون بر میزان جابجایی علف‌کش در خاک نشان داده شد که فرمولاسیون امولسیون نسبت به میکروکپسول علف‌کش‌های آلاکلر و استوکلر جابجایی بیشتری در خاک داشت. در این بررسی مشخص گردید که خصوصیات میکروکپسول و همچنین اسیدیته خاک بر میزان آزادسازی علف‌کش تأثیرگذار است (Wilkins, 2003).

یکی دیگر از راهکارهای کاهش تلفات علف‌کش در خاک، استفاده از افزودنی‌های تداوم‌بخش[9] است به طوری که وجود این مواد در خاک باعث می‌شود که میکروارگانیسم‌های خاک به طور ترجیحی ماده جایگزین را متابولیسم کنند و علف‌کش را به حال خود رها سازند. علاوه بر این ماده تداوم‌بخش ممکن است از حرکت علف‌کش به خارج از ناحیه هدف در داخل خاک و همچنین از تجزیه میکروبی علف‌کش در خاک جلوگیری نماید (Zand *et al*., 2008). نتایج تحقیقات نشان داده است که ترکیباتی همچون آمونیوم تیوسولفات[10] با مقدار ۲۵ میلی‌لیتر در هر ۱۰۰ کیلوگرم خاک موجب افزایش دوره کنترل علف‌های‌هرز به بیش از نُه هفته شد (Goos and Ahrens, 1991). کاربرد دی‌اتولیت[11] موجب کاهش تجزیه زیستی علف‌کش ای‌پی‌تی‌سی و افزایش کنترل ارزن[12] در اول و آخر فصل رشد (به ترتیب به مقدار ۴۲ و ۴۷ درصد) و افزایش عملکرد ذرت به مقدار ۴۰۶ کیلوگرم در هکتار گردید (Harvey *et al*., 1986). ترکیباتی همچون O،O–دی‌اتیل–O– فنول‌فسفروتیوآت[13] (Obrigawitch *et al*., 1982)، ان–متیل کاربامول اوکسی آنیلید[14] (Hyzak, 1983)، ایمینوفنیل ان–متیل کاربامات[15] (Hyzak, 1984) و اس–اتیل–ان، ان – بیس (۳– کلرآلیل) کارباموتیوات[16] (Harvey, 1990a; Harvey, 1990b) از دیگر مواد معرفی شده به عنوان تداوم‌بخش هستند. اگر چه ترکیبات تداوم‌بخش موجب افزایش دوام سم به دلیل کاهش تجزیه آن می‌شود اما بررسی‌ها نشان داده است که کاربرد مکرر تداوم‌بخش‌هایی همچون دی‌اتولیت و فونوفوس[17] با افزایش سازگاری میکروارگانیسم‌های خاکزی موجب افزایش تجزیه علف‌کش شده است (Harvey *et al*., 1986; Bean *et al*., 1990).

با توجه به موارد اشاره شده این پژوهش با هدف بررسی اثرات فرمولاسیون میکروکپسول ساخته شده و مادهٔ افزودنی تداوم‌بخش تیوسولفات آمونیوم در مقادیر و روش‌های مختلف کاربرد بر کارایی علف‌کش ای‌پی‌تی‌سی درکنترل علف‌های‌هرز و بر صفات زراعی گیاه توتون اجرا شد.

1- Soluble liquid
2- Water dispersible granule
3- Kinetics of release
4- Delivery
5- Minimum threshold concentration
6- Microencapsule or Microcapsule
7- Capsule suspension
8- Coat

9- Extender
10- Ammonium thiosulfate
11- Dietholate
12- *Panicum miliaceum*
13- O, O-diethyl-O-phenol phosphorothioate
14- N-Methylcarbamoyloxyanilides
15- Iminophenyl N-methylcarbamates
16- S-ethyl-N, N-bis (3-chloroallyl) carbamothioate
17- Fonofos

مواد و روش‌ها

پس از طراحی و ساخت چندین نمونه فرمولاسیون میکروکپسول توسط گروه شیمی مرکز تحقیقات و آموزش تیرتاش (مرکز) واقع در استان مازندران- بهشهر و محققین دانشگاه فردوسی مشهد، انتخاب نمونه برتر براساس اطلاعات دریافتی از تصاویر میکروسکوپ الکترونی SEM[1] و TEM[2] (به ترتیب با استفاده از میکروسکوپ‌های الکترونی کمبریج[3] و فیلیپس[4]مدل CM120)، خصوصیات فیزیکی و آزمون دُز- پاسخ در شرایط گلدانی انجام گرفت. در ادامه کارایی فرمولاسیون میکروکپسول علف‌کش ای‌پی‌تی‌سی در مزرعه تحقیقاتی مورد سنجش قرار داده شد.

بدین منظور آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ در مرکز واقع در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۴۴ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۱۴ متر از سطح دریا انجام گرفت. طبق آمار هواشناسی متوسط بارندگی ۳۰ ساله منطقه ۶۱۷ میلی‌متر است که به طور عمده در پاییز و زمستان اتفاق می‌افتد. خصوصیات خاکشناسی محل اجرای آزمایش در جدول ۱ آورده شده است. عوامل مورد بررسی در این آزمایش عبارت بودند از: نوع فرمولاسیون علف‌کش ای‌پی‌تی‌سی در سه سطح، فرمولاسیون امولسیون (علف‌کش تجاری ارادیکان EC 82% شرکت مشکفام فارس)، فرمولاسیون امولسیون همراه ماده افزودنی تداوم‌بخش تیوسولفات آمونیوم و فرمولاسیون میکروکپسول به عنوان عامل اول، مقدار کاربرد علف‌کش در سه سطح، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد مادهٔ موثره توصیه شده (به ترتیب ۲/۴۶، ۳/۶۹ و ۴/۹۲ کیلوگرم مادهٔ موثره در هکتار و یا ۳، ۴/۵ و ۶ لیتر در هکتار از علف‌کش ارادیکان) به عنوان عامل دوم، و عامل سوم نیز روش کاربرد علف‌کش در دو سطح، اختلاط و عدم اختلاط با خاک به همراه تیمار شاهد بدون کنترل علف‌های‌هرز. ماده افزودنی تداوم‌بخش تیوسولفات آمونیوم به نسبت ۱۲۱/۵ کیلوگرم به ازای یک هکتار به مخزن سمپاش اضافه و با علف‌کش ای‌پی‌تی‌سی مخلوط گردید. براساس نقشه و تیمارهای آزمایش، یک روز پیش از نشاکاری توتون (۱۳۹۳/۰۲/۲۵) اقدام به محلول پاشی با استفاده از سمپاش پشتی کتابی شارژی و با نازل تی‌جت با حجم آب مصرفی ۴۰۰ لیتر در هکتار در فشار ثابت ۲ بار گردید و در تیمارهای اختلاط علف‌کش با خاک، علف‌کش با رتیواتور متصل به تراکتور کوچک باغی با عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک مخلوط شد.

ابعاد کرت‌های آزمایش ۴ × ۵ متر (۶ ردیف کشت به طول ۴ متر)، فاصله بین کرت‌ها ۲ متر و فاصله بین بلوک‌ها ۳/۵ متر لحاظ گردید. جهت افزایش دقت آزمایش از شاهد متناظر به صورتی که هر واحد آزمایش (کرت) به دو نیمه تقسیم شده نیمه بالا به عنوان شاهد بدون سمپاشی و نیمه پایین کرت به عنوان تیمار در نظر گرفته شد. آبیاری بارانی به فواصل هر ده روز یکبار از تاریخ ۱۳۹۳/۰۳/۲۵ انجام گرفت. به منظور جلوگیری از ورود روانآب سطحی ناشی از بارندگی به کرت‌های بلوک بعدی، در بالا و پایین هر بلوک جوی سرتاسری حفر گردید. یک روز پس از اعمال تیمار اقدام به ایجاد جوی و پشته و نشاکاری توتون گرمخانه‌ای رقم کا ۳۲۶ به صورت دستی با فواصل بین ردیف ۱۰۰ سانتی‌متر و روی ردیف ۵۰ سانتی‌متر (تراکم ۲۰ هزار بوته در هکتار) شد. در شاهد وجین، کرت‌ها تا انتهای فصل رشد عاری از علف‌هرز نگه داشته شد. در اوایل اردیبهشت‌ماه پس از آماده‌سازی زمین و کوددهی تمامی تیمارها براساس توصیه کودی مرکز به میزان ۱۰۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم، ۱۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات‌تریپل و ۳۰۰ کیلوگرم سولفات‌پتاسیم در هکتار صورت گرفت. تراکم علف‌های‌هرز در هر کرت به تفکیک گونه در سطح ۰/۵ متر مربع در ۴۰ و ۶۰ روز پس از نشاکاری (به ترتیب در مرحله ۸ برگی و ۲۲ برگی گیاه توتون) و همچنین وزن‌تر و خشک علف‌های‌هرز ۶۰ روز پس از نشاکاری تعیین شد. به منظور تعیین وزن خشک، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت.

جهت محاسبه کارایی تیمارهای علف‌کشی از نسبت علف‌های‌هرز کنترل شده نسبت به شاهد متناظر بدون کنترل علف‌های‌هرز (معادله یک) استفاده شد (Somani, 1992). در این رابطه مقدار Y% درصد کنترل، $Y_{control}$ و $Y_{treated}$ به ترتیب تراکم یا وزن خشک علف‌هرز در شاهد و تیمار است. عملکرد توتون در هکتار پس از ۴ مرحله برداشت برگ‌های رسیده تعیین گردید. درصد تغییرات عملکرد توتون نیز با استفاده از معادله دو محاسبه شد. در این رابطهٔ Y'% درصد افزایش عملکرد و $Y'_{treated}$ و $Y'_{control}$ به ترتیب عملکرد در کرت تیمار شده و شاهد متناظر بدون کنترل علف‌های‌هرز است. آزمون نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد (آزمون توکی) با استفاده از نرم‌افزارهای Excel 2013 و Minitab 18 انجام شد.

معادله [۱]

معادله [۲]

1- Scanning Electron Microscopy
2- Transmission Electron Microscopy
3- Cambridge
4- Philips

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Table 1- The physical and chemical characteristics of the experimental field soil

عمق Depth (cm)	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH	نیتروژن Nitrogen (percent)	فسفر Phosphoru (PPM) s	پتاسیم Potassium ($mg.kg^{-1}$)	رس Clay (%)	سیلت Silt (percent)	شن Sand (%)
0-30	0.36	7.66	0.09	12.1	242	14	18	68

نتایج و بحث

ارزیابی کارایی تیمارها در کنترل علف‌های‌هرز

علف‌های‌هرز شناسایی شده در کرت‌های آزمایش عبارت بودند از آفتاب‌پرست[1]، آکالیفا[2]، اویارسلام[3]، پنجه‌مرغی[4]، پیچک[5]، تاج خروس‌ریشه‌قرمز، تاجریزی[6]، دم‌روباهی‌سبز، خارخسک[7]، خرفه[8]، سلمه‌تره[9]، قیاق[10] و گوش‌بره[11]. براساس فراوانی نسبی، علف‌های‌هرز دم‌روباهی‌سبز و تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز به عنوان گونه‌های غالب در نظر گرفته شدند (جدول ۲).

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) تأثیر نوع فرمولاسیون، مقدار کاربرد علف‌کش ای‌پی‌تی‌سی و همچنین روش کاربرد علف‌کش بر درصد کاهش تراکم و وزن خشک علف‌های‌هرز دم‌روباهی‌سبز و تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز طی ۴۰ و ۶۰ روز پس از نشاکاری معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) بود.

اثر متقابل نوع فرمولاسیون و دُز علف‌کش بر تراکم تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز ۴۰ روز پس از نشاکاری ($p \leq$ ۰/۰۵) و همچنین اثر متقابل نوع فرمولاسیون و روش کاربرد بر تراکم و وزن خشک دم‌روباهی‌سبز به ترتیب در سطح آماری پنج و یک درصد معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل دُز و روش کاربرد بر تراکم دم‌روباهی‌سبز و تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز ۴۰ روز پس از نشاکاری و وزن خشک تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز در سطح آماری یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳).

فرمولاسیون میکروکپسول بیشترین کارایی را در کنترل علف‌های‌هرز دم‌روباهی‌سبز و تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز داشت به طوری که با کاربرد این فرمولاسیون تراکم علف‌هرز دم‌روباهی‌سبز ۴۰ و ۶۰ روز پس از نشاکاری به ترتیب در حدود ۸۰ و ۶۹ درصد و تراکم علف‌هرز تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز ۴۰ و ۶۰ روز پس از نشاکاری به ترتیب در حدود ۶۸ و ۶۳ درصد کاهش یافت. همچنین وزن خشک علف‌های‌هرز دم‌روباهی‌سبز و تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز به ترتیب ۶۸ و ۶۰ درصد کاهش نشان داد. با این وجود کاربرد ماده تداوم بخش و فرمولاسیون امولسیون تاثیری بر صفات مذکور نداشتند (جدول ۴).

بدین لحاظ به نظر می‌رسد فرمولاسیون میکروکپسول با رهاسازی تدریجی مادهٔ موثره در محیط خاک موجب کاهش تلفات و افزایش ماندگاری علف‌کش شده است. نتایج مطالعات قبلی نیز مؤید این مطلب است به طوریکه در تحقیق انجام شده فرمولاسیون میکروکپسول علف‌کش آلاکلر نسبت به فرمولاسیون امولسیون کنترل بهتری بر علف‌های‌هرز سوروف[12]، پنجه کلاغی[13] و ارزن[14] در گیاهان زراعی ذرت[15] و سویا[16] داشته است (Doub *et al*., 1988). هر چند که در این تحقیق، افزودن مادهٔ تداوم‌بخش تأثیر معنی‌داری بر کارایی فرمولاسیون امولسیون علف‌کش ای‌پی‌تی‌سی نداشت، اما نتایج تحقیقات نشان داده است که ترکیباتی همچون آمونیوم تیوسولفات با مقدار ۲۵ میلی‌لیتر در هر ۱۰۰ کیلوگرم خاک موجب افزایش دوره کنترل علف‌های‌هرز به بیش از نُه هفته شده است (Goos and Ahrens, 1991). شاید بتوان علت این رفتار متفاوت را شرایط اقلیمی و ادافیکی موقعیت اجرای این آزمایش همچون میزان بالای نزولات جوی (۲۱۶ میلی‌متر در فصل زراعی) و امکان آبشویی آمونیوم تیوسولفات با توجه به حلالیت بالا (۱۷۳ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب) دانست.

بسته به نوع فرمولاسیون و نوع علف‌هرز، تأثیر تیمار اختلاط علف‌کش با خاک متفاوت بود به نحوی که اختلاط علف‌کش با خاک تأثیری بر افزایش کارایی فرمولاسیون میکروکپسول در کنترل علف‌هرز دم‌روباهی‌سبز نداشت. در حالی که در مورد علف‌هرز تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز اختلاط علف‌کش ای‌پی‌تی‌سی با خاک موجب

1- *Heliotropium europaeum* L.
2- *Acalypha* sp.
3- *Cyperus rotundus* L.
4- *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop.
5- *Convolvulus arvensis* L.
6- *Solanum nigrum* L.
7- *Tribulus terrestris* L.
8- *Portulaca oleracea* L.
9- *Chenopodium album* L.
10- *Sorghum halepense* (L.) Pers.
11- *Chrozophora tinctoria* (L.) A. Juss.
12- *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv.
13- *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop.
14- *Panicum dichotomiflorum* Michx.
15- *Zea mays* L.
16- *Glycine max* L.

افزایش کارایی کنترل این علف‌هرز ۴۰ و ۶۰ روز پس از نشاکاری گردید (جدول ۵).

به نظر می‌رسد بروز نتایج متفاوت در علف‌های‌هرز بدلیل تفاوت در اکولوژی و پراکنش بذور علف‌های‌هرز در لایه‌های خاک (Mandumbu *et al*., 2012; Nichols Ghorbani *et al*., 1999; *et al*., 2015) و همچنین وابستگی حداقل غلظت مؤثر به نوع علف‌های‌هرز (Cobb and Reade, 2010) باشد. اما با عنایت به تنوع علف‌های‌هرز و پراکنش بذور در لایه‌های مختلف خاک ضرورت دارد تا نسبت به اختلاط علف‌کش ای‌پی‌تی‌سی با خاک جهت افزایش کارایی اقدام شود.

جدول ۲- تراکم و وفور نسبی علف‌های‌هرز غالب موجود در مزرعه آزمایشی

Table 2- The density and frequency of the dominate weeds in the experimental field

نام Name	نام علمی Scientific name	تیره Family	تراکم Density (plant per m^{-2})		وفور نسبی Abundance (%)	
			40†	60†	40	60
دم‌روباهی‌سبز Green foxtail	*Setaria viridis* L.	Poaceae	25	18	21	24
تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز Redroot pigweed	*Amaranthus retroflexus* L.	Amaranthaceae	38	23	33	31

† روز پس از نشاکاری

† Day after transplanting

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر فرمولاسیون، مقدار کاربرد و روش کاربرد علف‌کش ای‌پی‌تی‌سی بر درصد کنترل تراکم و وزن خشک علف‌های‌هرز دم‌روباهی‌سبز و تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز طی ۴۰ و ۶۰ روز پس از نشاکاری

Table 3- Analysis of variance the effects of formulation, dose and application methods of EPTC herbicide green foxtail and redroot pigweed density and dry weight 40 and 60 days after tobacco transplanting

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares					
		دم‌روباهی‌سبز Green foxtail			تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز Redroot pigweed		
		40†	60†		40	60	
		تراکم Density	تراکم Density	وزن خشک Dry weight	تراکم Density	تراکم Density	وزن خشک Dry weight
بلوک Block	2	53.37	175.30	78.50	122.70	174.99	136.57
نوع فرمولاسیون (A) Formulation	2	4716.14**	3987.50**	2251.60**	3317.61**	2487.82**	1646.83**
مقدار علف‌کش (B) dose	2	12175.92**	8178.60**	8915.80**	4667.58**	1859.81**	2216.85**
روش کاربرد (C) Application method	1	404811**	3711.40**	8044.00**	851.86**	6526.70**	5812.15**
A×B	4	86.87	143.40	248.70	139.31*	22.56	35.96
A × C	2	305.08*	474.20*	628.60**	44.61	135.40	56.93
B × C	2	548.67**	333.20	8.50	275.16**	76.28	481.63**
A × B×C	4	92.88	109.90	193.50	39.61	2.28	138.18
خطا Error	34	83.34	114.00	102.20	40.50	77.42	82.06
ضریب تغییرات (%) Variation of coefficient (%)		15	20	18	12	14	18

* و ** به ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد معنی‌دار است.

† روز پس از نشاکاری

* and ** significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

† Day after transplanting

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر اصلی نوع فرمولاسیون علف‌کش ای‌پی‌تی‌سی بر درصد کنترل تراکم و وزن خشک علف‌های‌هرز دم‌روباهی‌سبز و تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز طی ٤٠ و ٦٠ روز پس از نشاکاری

Table 4- Mean comparison the main effect of EPTC formulation on green foxtail and redroot pigweed density and dry weight compare to weed infest control 40 and 60 days after tobacco transplanting

فرمولاسیون Formulation	درصد کنترل Control percent					
	دم‌روباهی‌سبز Green foxtail			تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز Redroot pigweed		
	40†	60†		40	60	
	تراکم Density	تراکم Density	وزن خشک Dry weight	تراکم Density	تراکم Density	وزن خشک Dry weight
امولسیون EC	54.00[b]	44.63[b]	49.43[b]	46.25[b]	43.54[b]	45.06[b]
امولسیون به همراه تیوسولفات آمونیوم EC + Ammonium thiosulfate	50.58[b]	41.89[b]	48.72[b]	42.85[b]	41.57[b]	42.84[b]
میکروکپسول MC	80.17[a]	68.93[a]	68.44[a]	67.88[a]	62.85[a]	60.41[a]
تفاوت حقیقی معنی‌دار Honestly significant difference	7.45	8.72	8.25	5.20	7.18	7.40

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح آماری پنج درصد با آزمون توکی است.

† روز پس از نشاکاری

Mean within a column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level according to Tukey test

† Day after transplanting

جدول ٥- مقایسه میانگین اثرات متقابل فرمولاسیون و روش کاربرد علف‌کش ای‌پی‌تی‌سی بر درصد کنترل تراکم و وزن خشک علف‌های‌هرز غالب دم‌روباهی‌سبز و تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز ٤٠ و ٦٠ روز پس از نشاکاری

Table 5- Mean comparison the interaction effect of formulation and application methods of EPTC on green foxtail and redroot pigweed density and dry weight compare to weed infest control 40 and 60 days after tobacco transplanting

فرمولاسیون Formulation	اختلاط	درصد کنترل Control percent					
		دم‌روباهی‌سبز Green foxtail			تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز Redroot pigweed		
		40†	60†		40	60	
		تراکم Density	تراکم Density	وزن خشک Dry weight	تراکم Density	تراکم Density	وزن خشک Dry weight
امولسیون EC	+	66.61[bc]	50.77[bc]	63.83[a]	58.50[b]	57.64[b]	56.40[b]
	-	41.39[d]	38.49[cd]	35.03[b]	34.00[c]	29.44[c]	33.72[c]
امولسیون به همراه تیوسولفات آمونیوم EC + Ammonium thiosulfate	+	59.55[c]	56.04[b]	65.42[a]	54.95[b]	50.48[b]	51.16[b]
	-	41.60[d]	27.75[d]	32.02[b]	30.76[c]	32.67[c]	34.52[c]
میکروکپسول MC	+	84.56[a]	73.51a	73.95[a]	77.33[a]	72.83[a]	71.87[a]
	-	75.78[ab]	64.35[ab]	62.93[a]	58.43[b]	52.87[b]	48.94[b]
تفاوت حقیقی معنی‌دار Honestly significant difference		12.99	15.19	14.38	9.05	12.52	12.89

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح آماری پنج درصد با آزمون توکی است.

† روز پس از نشاکاری

Mean within a column followed by the same letter are not significantly different at the 5% level according to Tukey test

† Day after transplanting.

نمودارهای اثر مقادیر کاربرد فرمولاسیون‌ها بر درصد کنترل تراکم و وزن خشک علف‌های‌هرز دم‌روباهی‌سبز و تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز ۴۰ و ۶۰ روز پس از نشاکاری (شکل‌های ۱ و ۲) نشان می‌دهد که کاربرد فرمولاسیون میکروکپسول موجب افزایش

کارایی در هر یک از سطوح مصرفی علف‌کش ای‌پی‌تی‌سی گردید. به طوری که مقدار کاهش تراکم علف‌هرز دم‌روباهی‌سبز ۶۰ روز پس از نشاکاری به ازای کاربرد ۲/۴۶، ۳/۶۹ و ۴/۹۲ کیلوگرم مادهٔ موثره در هکتار به ترتیب در حدود ۴۱، ۷۴ و ۹۲ درصد در فرمولاسیون میکروکپسول و ۲۲، ۵۰ و ۶۲ درصد در فرمولاسیون امولسیون بود. همچنین میزان کاهش تراکم علف‌هرز تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز در ۶۰ روز پس از نشاکاری به ازای کاربرد ۲/۴۶، ۳/۶۹ و ۴/۹۲ کیلوگرم مادهٔ موثره در هکتار به ترتیب در حدود ۵۰، ۶۷ و ۷۱ درصد در فرمولاسیون میکروکپسول و ۳۳، ۴۵ و ۵۲ درصد در فرمولاسیون امولسیون تعیین شد. بعبارتی کاربرد ۵۰ درصد دُز توصیه شده از فرمولاسیون میکروکپسول موجب کاهش تراکم این علف‌هرز در سطحی معادل ۱۰۰ درصد دُز توصیه شده از فرمولاسیون امولسیون گردید.

تحقیقات انجام شده نشان داده است که فرمولاسیون میکروکپسول علف‌کش ای‌پی‌تی‌سی و بوتیلات در مقایسه با فرمولاسیون امولسیون آهسته‌تر در محیط رها شده و فعالیت علف کشی طولانی‌تری را داشته است (Schreiber *et al.*, 1978). همچنین نتایج مطالعات صورت گرفته برروی فرمولاسیون‌های متفاوت علف‌کش تریفلورالین نشان داد که کاربرد ۲/۲ کیلوگرم در هکتار از فرمولاسیون میکروکپسول این علف‌کش در مقایسه با فرمولاسیون امولسیون در مقدار ۴/۴ کیلوگرم در هکتار دارای کارایی مشابه در کنترل علف‌هرز چچم[1] از هفته چهارم تا سیزدهم پس از کاربرد بوده است (Coffman and Gentner, 1984).

ارزیابی تأثیر تیمارها بر عملکرد توتون

براساس نتایج تجزیه واریانس، نوع فرمولاسیون، مقدار و نحوه کاربرد علف‌کش ای‌پی‌تی‌سی اثر معنی‌دار ($p \leq ۰/۰۱$) بر عملکرد و درصد افزایش عملکرد نسبت به شاهد بدون کنترل داشتند (جدول ۶). تمامی تیمارهای کاربرد علف‌کش سبب بهبود عملکرد نسبت به شاهد آلوده به علف‌های‌هرز (۲/۷۶ تن در هکتار) شدند و هیچ گونه علایم گیاهسوزی در تیمارهای آزمایشی مشاهده نگردید. بیشترین مقدار عملکرد در تیمار کاربرد ۱۰۰ درصد دُز توصیه شده فرمولاسیون میکروکپسول به صورت اختلاط با خاک با مقدار ۴/۸۲ تن در هکتار حاصل گردید.

اثر اصلی نوع فرمولاسیون علف‌کش ای‌پی‌تی‌سی بر درصد افزایش عملکرد توتون نسبت به شاهد عدم کنترل علف‌های‌هرز نشان داد که کاربرد فرمولاسیون میکروکپسول با افزایش حدوداً ۱۴۲ درصد در گروه بالاتری نسبت به فرمولاسیون‌های امولسیون و امولسیون همراه ماده افزودنی تیوسولفات آمونیوم به ترتیب با افزایش حدوداً ۱۲۴ و ۱۲۵ درصد قرار گرفت. همچنین کاربرد مقادیر ۷۵ و ۱۰۰ درصد از مادهٔ موثره توصیه شده تأثیر مشابهی بر افزایش عملکرد (به ترتیب ۱۴۱ و ۱۵۵ درصد) داشته و در یک گروه آماری قرار گرفتند. با توجه به مقایسه میانگین اثر اصلی روش کاربرد بر درصد افزایش عملکرد نسبت به شاهد عدم کنترل، اختلاط با خاک موجب افزایش بیشتر عملکرد نسبت به عدم اختلاط علف‌کش (به ترتیب حدوداً ۱۴۶ و ۱۱۴ درصد) گردید.

با توجه به اثر متقابل فرمولاسیون و مقدار کاربرد ای‌پی‌تی‌سی بر درصد افزایش عملکرد نسبت به شاهد عدم کنترل (شکل ۳)، کاربرد فرمولاسیون میکروکپسول با دُز ۷۵ درصد مادهٔ موثره توصیه شده (در حدود ۱۵۴ درصد) افزایش عملکردی همچون کاربرد دُز ۱۰۰ درصد فرمولاسیون امولسیون با و یا بدون ماده افزودنی تداوم بخش (به ترتیب در حدود ۱۴۷ و ۱۴۴ درصد) داشت و در یک گروه آماری قرار گرفت که با نتایج دریافتی از کنترل علف‌های‌هرز منطبق است.

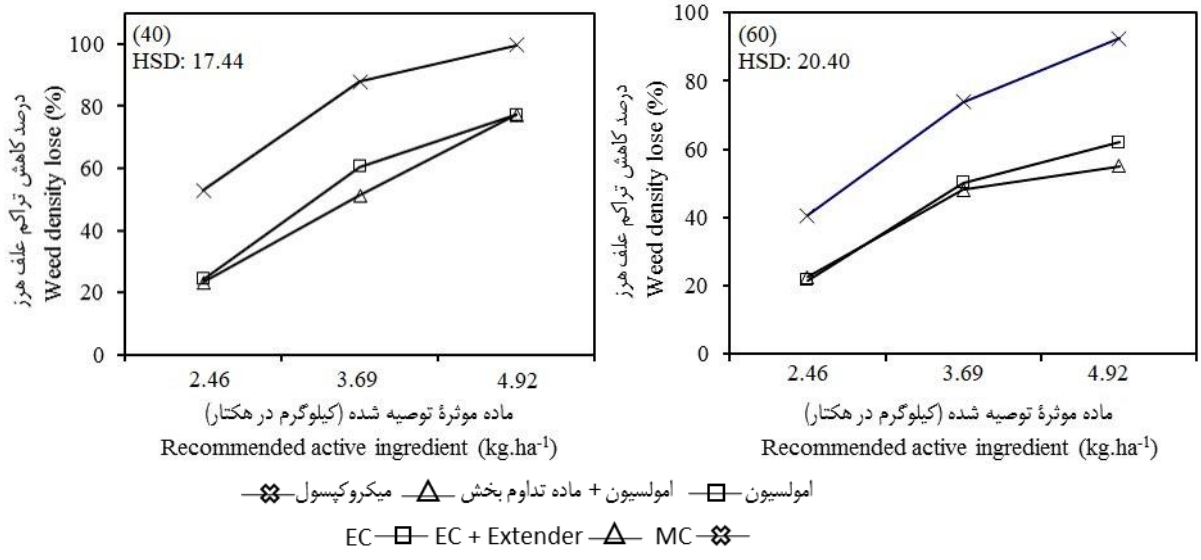
نتیجه‌گیری

متأسفانه سالانه مقادیر زیادی از سموم دفع آفات در کشور مصرف می شود که علاوه بر آثار مخرب زیست محیطی، مقادیر قابل توجهی از منابع ارزی کشور را به خود اختصاص می‌دهد. پر واضح است پژوهش در زمینه افزایش کارایی سموم همچون تکنولوژی رهاسازی تدریجی و بهره‌برداری از فرمولاسیون میکروکپسول گام بلندی در مدیریت مصرف سموم خواهد بود. در این تحقیق مشخص گردید با کاربرد دو سوم دُز توصیه شده فرمولاسیون میکروکپسول می‌توان به کارایی مشابه دُز کامل سایر فرمولاسیون‌ها دست یافت. همچنین اختلاط علف‌کش ای‌پی‌تی‌سی با خاک در تمامی انواع فرمولاسیون‌ها موجب افزایش کارایی کنترل علف‌های‌هرز گردید. برخلاف نتایج پژوهش‌های قبلی، مبنی بر تأثیر مثبت مواد افزودنی تداوم‌بخش همچون تیوسولفات آمونیوم بر افزایش کارایی علف‌کش‌ها، در این تحقیق اثرات مشابهی دریافت نگردید که به نظر می‌رسد شرایط متفاوت ادافیکی و اقلیمی محل اجرای آزمایش علت این امر باشد.

1- *Lolium* spp.

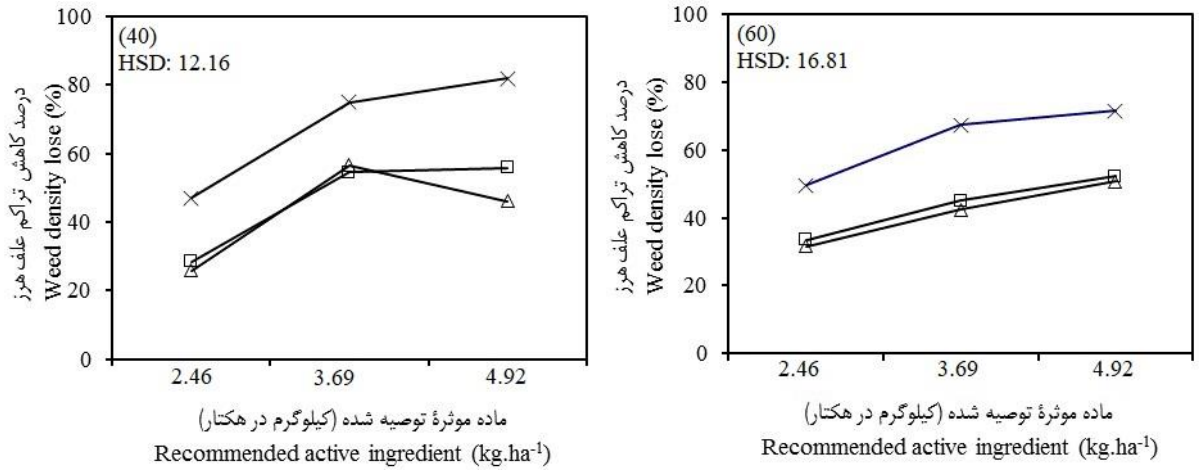
(الف)

(a)



(ب)

(b)

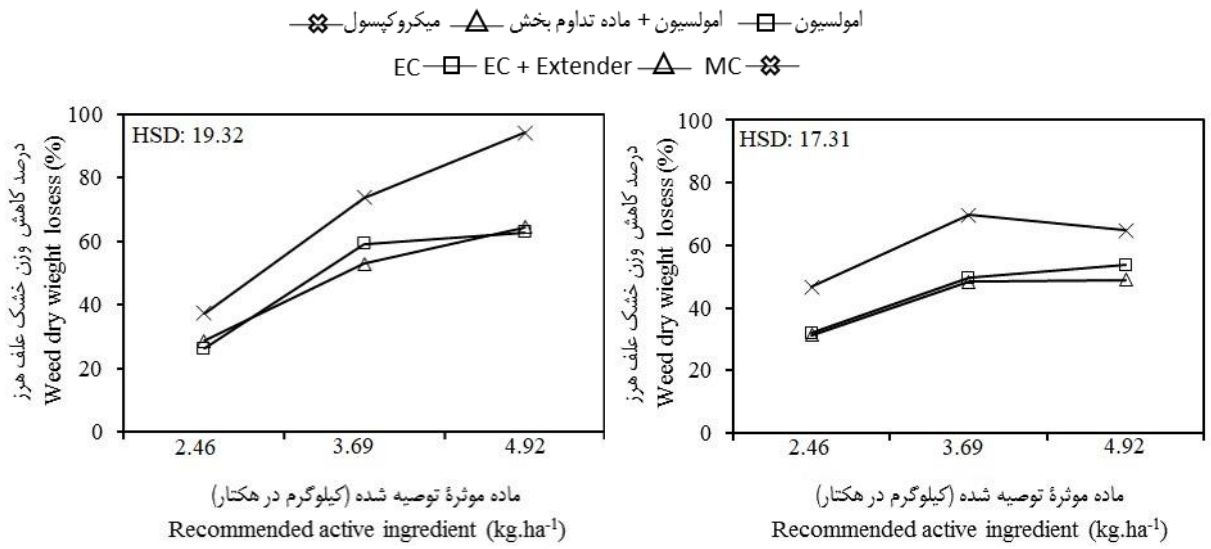


شکل ۱- اثرات متقابل تیمارهای فرمولاسیون و مقادیر علف‌کش ای‌پی‌تی‌سی بر درصد کاهش تراکم علف‌های هرز دم‌روباهی‌سبز (الف) و تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز (ب) نسبت به شاهد عدم کنترل در ۴۰ و ۶۰ روز پس از نشاکاری

HSD: حداقل اختلاف معنی‌دار

Figure 1- The interaction effect of EPTC doses and formulation on green foxtail (a) and redroot pigweed density (b) compare to weed infest control 40 and 60 days after tobacco transplanting

HSD: Honestly significant difference



شکل ۲- اثرات متقابل تیمارهای فرمولاسیون و مقدار کاربرد علف‌کش ای‌پی‌تی‌سی بر درصد کاهش وزن خشک علف‌های‌هرز دم‌روباهی‌سبز (سمت راست) و تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز (سمت چپ) نسبت به شاهد عدم کنترل در ۶۰ روز پس از نشاکاری

HSD: تفاوت حقیقی معنی‌دار

Figure 2- The interaction effect of EPTC doses and formulation on green foxtail (right) and redroot pigweed (left) dry weight compare to weed infest control 40 and 60 days after tobacco transplanting

HSD: Honestly significant difference

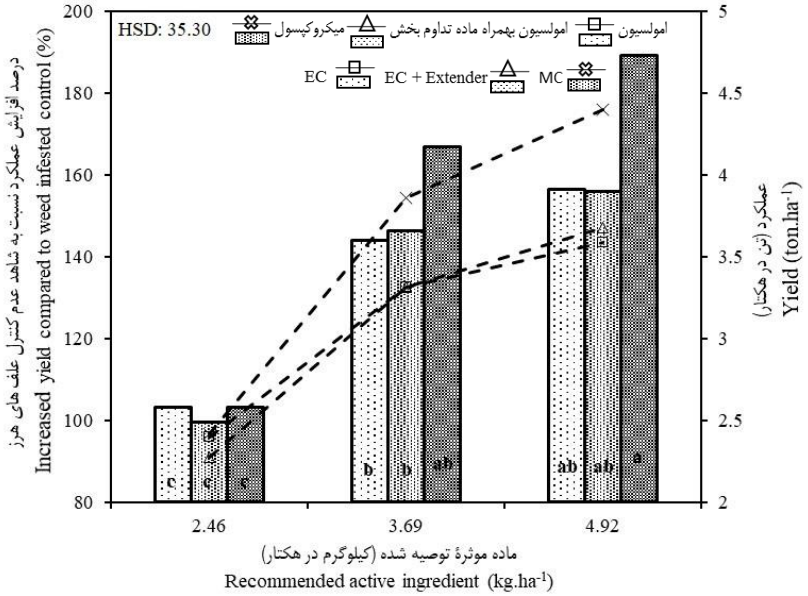
جدول ٦- نتایج تجزیه واریانس تأثیر فرمولاسیون، مقدار و روش کاربرد علف‌کش ای‌پی‌تی‌سی بر عملکرد و درصد افزایش عملکرد توتون نسبت به شاهد عدم کنترل

Table 6- Analysis of variance the effects of formulation, dose and application methods of EPTC herbicide on yield and the percentage of increasing yield of tobacco compare to infested control

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares	
		عملکرد Yield	درصد افزایش عملکرد Percentage of increasing yield
بلوک Block	2	0.04	11865.7
نوع فرمولاسیون (A) Formulation (A)	2	1.32**	1911.9**
مقدار علف‌کش (B) Dose (B)	2	13.12**	18359.6**
روش کاربرد (C) Application method (C)	1	10.13**	13827.5**
A×B	4	0.32	418.3
A × C	2	0.17	308.6
B × C	2	0.49	729.5
A × B×C	4	0.23	268.6
خطا Error	34	0.21	341.3
ضریب تغییرات (%) Variation of coefficient (%)		13	14

* و ** به ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد معنی‌دار است.

* and ** significant at 5% and 1% probability levels, respectively.



شکل ۳- اثرات متقابل فرمولاسیون و مقدار کاربرد ای‌پی‌تی‌سی بر عملکرد (نمودار ستونی) و درصد افزایش عملکرد نسبت به شاهد عدم کنترل (نمودار خطی)

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح آماری پنج درصد با آزمون توکی است.

HSD: حداقل اختلاف معنی‌دار

Figure 3- The interaction effect of EPTC doses and formulation on tobacco yield (bar chart) and the percentage of increasing tobacco yield compare to infested control (line chart)

HSD: Honestly significant difference

منابع

1. Bean, B.W., Roeth, F.W., Martin, A.R., & Wilson, R.G. (1990). Rotation and continuous use of dietholate, fonofos and SC-0058 on EPTC persistence in soil. *Weed Science* 38: 179-185. https://www.jstor.org/stable/4045048.
2. Bernards, M.L., Simmons, J.T., Guza, C.J., Schulz, C.R., Penner, D., & Kells, J.J. (2006). Inbred corn response to acetamide herbicides as affected by safeners and microencapsulation. *Weed Technology* 20: 458-465. https://doi.org/10.1614/WT-05-130R.1.
3. Buelk, S., Vendy, W.B., Colin, D.B., Mattew, M., & Allan, W. (2005). Evaluation of simplifying assumption on pesticide degradation in soil. *Journal of Environmental Quality* 34: 1933-1943. https://doi.org/10.2134/jeq2004.0460.
4. Cobb, A.H., & Reade, P.H. (2010). Herbicide and plant physiology. *Blackwell Science*. https://doi.org/10.1002/9781444327793
5. Coffman, C.B., & Gentner, W.A. (1984). Herbicidal activity of controlled release formulations of trifluralin. *Indian Journal of Agricultural Science 54*(2): 117-122. http://www.jstor.org/stable/4044606.
6. Danielson, L.L., Gentner, W.A., & Jansen, L.L. (1961). Persistence of soil-incorporated EPTC and other carbamates. *Weeds 9*(3): 463-476. https://www.jstor.org/stable/i386849.
7. Doub, J.P., Wilson, H.P., & Hatzios, K.K. (1988). Comparative efficacy of two formulations of alachlor and metolachlor. *Weed Science* 36: 221-226. https://www.jstor.org/stable/3989325.
8. Ghorbani, R., Seel, W., & Leifert, C. (1999). Effects of environmental factors on germination and emergence of *Amaranthus retroflexus*. *Weed Science* 47: 505-510. https://doi.org/10.1017/S0043174500092183.
9. Goos, R.J., & Ahrens, W.H. (1991). Ammonium thiosulfate as herbicide extender. Patent No.: EP0431863.
10. Gray, R.A. (1965). A vapor trapping apparatus for determining the loss of EPTC and other herbicides from soils. *Weed Science 13*(2): 138-141. https://doi.org/10.2307/4041155.
11. Harvey, R.G. (1990a). Biodegradation of butylate, EPTC and extenders in previously treated soils. *Weed Science* 38: 237-242. https://doi.org/10.1017/S0043174500056460.
12. Harvey, R.G. (1990b). *Systems allowing continued use of carbamothioate herbicides despite enhanced biodegradation*. p. 214-221. In K. Racke (ed.) Enhanced biodegradation of pesticides in the environment. ACS Symposium Series, American Chemical Socity, Washington DC. https://doi.org/10.1021/BK-1990-0426.

13. Harvey, R.G., Mcnevin, G.R., Albright, J.W., & Kozak, M.E. (1986). Wild proso millet (*Panicum miliaceum*) control with thiocarbamate herbicides on previously treated soils. *Weed Science* 34: 773-780. https://www.jstor.org/stable/3987102.
14. Hyzak, D.L. (1983). N-methylcarbamoyloxy anilides as herbicide extenders. Patent No.: US 4381195A.
15. Hyzak, D.L. (1984). Iminophenyl n-methylcarbamates as herbicide extenders. PatentNo.:US 4490166A.
16. Kotoula-Syka, E., Matsi, T., & Georgoulas, L. (1999). *Alachlor and acetochlor toxicity to corn and cotton seedlings and residual activity of the herbicides*. Proceedings of the 11th European Weed Research Society Symposium, 28 June - 1 July 1999. Basel – Switzerland.
17. Mandumbu, R., Twomlow, S.J., Jowah, P., Mashingaidze, N., Hove, L., & Karavina, C. (2012). Weed seed bank response to tillage and residue management in semi-arid Zimbabwe. *Archives of Phytopathology and Plant Protection* 1: 1-12. https://doi.org/10.1080/03235408.2012.722842.
18. Matthews, G.A. (2000). Pesticide application methods. *Blackwell Science*. Ltd. https://doi.org/10.1002/9780470760130.
19. Nichols, V., Verhulst, N., Cox, R., & Govaerts, B. (2015). Weed dynamics and conservation agriculture principles:A review. *Field Crops Research* 183: 56-68. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.07.012.
20. Obrigawitch, T., Roeth, F.W., Martin, A.R., & Wilson, R.G. (1982). Addition of R-33865 to EPTC for extended herbicide activity. *Weed Science 30*(4): 417-422. https://etd.ohiolink.edu/apexprod/rws_etd/send_file/send?accession=osu148759630735724&disposition=inline.
21. Petersen, B.B., & Shea, P.J. (1989). Microencapsulated alachlor and its behavior on wheat (*Triticum aestivum*) straw. *Weed Science 37*(5): 719-723. https://www.jstor.org/stable/4045135.
22. Rashed Mohassel, M.H., & Mousavi, S.K. (2007). *Weed management principles*. Ferdowsi University of Mashhad press. (In Persian)
23. Sabahi, G. (2009). *Optimising pesticide use*. University of Tehran press. (In Persian)
24. Schneider, M., Endo, S., & Goss, K.U. (2013). Volatilization of pesticides from the bare soil surface: Evaluation of the humidity effect. *Journal of Environmental Quality* 42: 844-851. https://doi.org/10.2134/jeq2012.0320.
25. Schreiber, M.M., Shasha, B.S., Ross, M.A., Orwick, P.L., & Edgecomb, D.W. (1978). Efficacy and rate of release of EPTC and butylate from starch encapsulated formulations under greenhouse conditions. *Weed Science* 26: 679-686. https://doi.org/10.1017/S0043174500064821.
26. Somani, L.L. (1992). *Dictionary of weed science*. Agrotech Publishing Academy (India).
27. Sopeña, F., Maqueda, C., & Morillo, E. (2009). Controlled release formulations of herbicides based on micro-encapsulation. *Ciencia eInvestigacion Agraria 35*(1): 27-42. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-16202009000100002.
28. Ueji, M., & Inao, K. (2001). Rice paddy field herbicides and their effects on the environment and ecosystems. *Weed Biology and Management* 1: 71-79. http://doi.org/10.1046/j.1445-6664.2001.00002.x.
29. Vasilakoglou, I.B., Eleftherohorinos, I.G., & Dhima, K.B. (2001). Activity, adsorption and mobility of three acetanilide and two new amide herbicides. *Weed Research* 41: 535-546. https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2001.00256.x.
30. Wilkins, R. (2003). *Controlled release formulations of pesticides*. In Encyclopedia of agrochemicals Eds Plimmer J.R., Gammon D.W. and Ragsdale N.N., Wiley-Interscience. https://doi.org/10.1002/047126363X
31. Williams, A. (1984). The controlled release of bioactive agents. *Chemical in Britain* 221-224. https://doi.org/10.1016/0167-7799(84)90007-6.
32. Wilson, M. (2003). Optimising pesticide use. John Wiley & Sons Ltd. https://doi.org/10.1002/0470871792
33. Zand, E., Baghestani, M.A., Mousavi, S.K., Oveisi, M., Ebrahimi, M., Rastgoo, M., & Labafi Hosseinabadi, M.R. (2008). *Weed management guide*. Jahad Daneshgahi of Mashhad press. (In Persian)
34. Zhang, Y., & Rochefort, D. (2012). Characterisation and applications of microcapsules obtained by interfacial polycondensation. *Journal of Microencapsulation* 1-14. https://doi.org/10.3109/02652048.2012.676092.