

# Effect of surfactant type and concentration on the properties of spray drop and solution of haloxyfop-R-methyl and its efficacy on wild barley (*Hordeum spontaneum* K. Koch)

Zohreh Younesi<sup>1</sup>, Akbar Aliverdi<sup>2\*</sup>, Goudarz Ahmadvand<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Master's degree in Agrotechnology - Weed Science, Department of Plant Production and Genetics, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

<sup>2</sup> Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

## Introduction

Wild barley is an annual and winter weed belonging to the family Poaceae. It can occupy a wide range of habitats and its damage to some crops, especially wheat and rapeseed, has been reported. One of Iran's most widely used herbicides is haloxyfop-R-methyl, used against narrow-leaved weeds such as wild barley in rapeseed, sugar beet, and orchard fields. Haloxyfop-R-methyl inhibits the activity of the enzyme acetyl-coenzyme A carboxylase in the fatty acid biosynthesis pathway, resulting in a disrupted membrane structure and killing treated weeds. Increasing reliance on herbicides, metabolic damage to crops, and the environmental consequences of herbicides have left no choice but to reduce consumption. One of the methods of reducing the consumption of herbicides is the use of surfactants. The purpose of this study was (1) to determine the most compatible surfactant type and concentration among three surfactants: cationic frigate, anionic dioctyl, and nonionic PCgate for use with haloxyfop-R-methyl against wild barley, (2) to determine their mechanism of action.

## Materials and Methods

In a dose-response experiment conducted in the autumn of 2012 in the research greenhouse of Bu-Ali Sina University, the compatibility of adding 7 concentrations (0, 0.025, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, and 0.8% by volume) of 3 types of surfactants (nonionic PCgate, cationic frigate, and anionic dioctyl) to spray solutions containing 7 doses of haloxyfop-R-methyl (0, 3.375, 6.75, 13.5, 27, 54, and 108 g a.i. ha<sup>-1</sup>) against wild barley was investigated. At the same time, the solutions containing the maximum dose of herbicide were also sprayed on moisture-sensitive paper. Moreover, the solutions containing the maximum dose of herbicide (108 g a.i. ha<sup>-1</sup>) along with 7 concentrations (0, 0.025, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, and 0.8% v/v) of 3 types of the surfactants above were prepared to measure their surface tension by the hanging drop method, and the contact angle of the drop with the leaf surface, the wetted area of the leaf, and the duration of drop evaporation by placing a 5 µL drop of the solutions on wild barley's upper and lower leaf surfaces, which were fixed horizontally.

## Results

The critical micelle concentration of the surfactants was determined to be 0.1% v/v. The addition of surfactants to the spray solution caused a decrease in the droplet contact angle with the leaf surface, an increase in the wetted leaf area, a decrease in the droplet evaporation time, an increase in the spray coverage on the moisture-sensitive paper, a decrease in the spray droplet size, and an increase in the efficacy of haloxyfop-R-methyl against wild barley, all of which were dependent on the surfactant concentration. Surfactants at all concentrations significantly reduced the surface tension of the spray solutions. A negative relationship was observed between the efficacy of haloxyfop-R-methyl and the surface tension of the spray solution ( $R^2 = 0.68$ ). Without surfactant, 25.39 g a.i. ha<sup>-1</sup> was required to control 50% of wild barley (ED<sub>50</sub>). Among the treatments, the lowest ED<sub>50</sub> (18.4 g a.i. ha<sup>-1</sup>) was observed when dioctyl was added at 0.2% v/v to the spray solution. Without surfactant, 68 drops cm<sup>-2</sup> were deposited on the moisture-sensitive paper. The highest droplet density (83 drops cm<sup>-2</sup>) was observed when dioctyl was added at 0.4% v/v to the spray solution. Except at 0.8% v/v, at other concentrations, the efficacy of PCgate and dioctyl in increasing the droplet density deposited on the moisture-sensitive paper was equal, and the efficacy of frigate in this regard was lower than the other two surfactants. Except at 0.8% v/v, the efficacy of frigate was lower than that of the other two surfactants in wetting the moisture-sensitive paper, and there was no difference between PCgate and dioctyl. Leaf surface (anterior and posterior) had no significant effect on the measured characteristics and did not interact with surfactant type and concentration. The lowest droplet contact angle (30°) was observed when dioctyl at 0.4 and 0.8% v/v to the spray solution. The droplet containing PCgate at 0.4 and 0.8% v/v (12.3 and 12.5 mm<sup>2</sup>, respectively) resulted in the highest

leaf-wetted area. The droplet containing dioctyl evaporated faster than the droplet containing PCgate, and the droplet containing PCgate evaporated faster than the droplet containing frigate.

## Conclusions

The results of the present study indicate that PCgate, dioctyl, and frigate are compatible with haloxyfop-R-methyl, even at high concentrations (up to 0.8% v/v). However, a concentration of 0.2% v/v of the surfactants is recommended to avoid additional costs. The ability of the surfactants to improve haloxyfop-R-methyl efficacy against wild barley is as follows: dioctyl > PCgate > frigate. Therefore, dioctyl is a better choice for addition to the haloxyfop-R-methyl spray solution. In this study, it was proven that the surfactants improve the efficacy of the haloxyfop-R-methyl by increasing the spray deposition by reducing the size of the spray droplets and increasing the spread of the droplets on the leaf surface of wild barley. In addition, it seems that PCgate has moisture-absorbing properties that reduce the droplet evaporation time, increasing the duration of herbicide absorption.

**Keywords:** critical micelle concentration, dose-response, herbicide, surface tension.

## تأثیر نوع و غلظت مویان بر ویژگی قطره و محلول پاشش هالوکسی فوپ-آر-متیل و کارایی آن بر جو دره (*Hordeum spontaneum* K. Koch)

زهرة یونسی<sup>۱</sup>، اکبر علی وردی<sup>۲\*</sup> و گودرز احمدوند<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۱/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۷

۱- فارغ التحصیل اگروتکنولوژی گرایش علوم علف‌های هرز، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه

بوعلی سینا، همدان

۲- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

[alahbareruca@gmail.com](mailto:alahbareruca@gmail.com)

<http://doi.org/10.22067/jpp.2025.91240-.1213>

## چکیده

آزمایشی در پاییز ۱۴۰۱ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه بوعلی سینا اجرا شد تا تاثیر افزودن ۷ غلظت (صفر، ۰/۰۲۵، ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ درصد حجمی) از ۳ نوع مویان (پی‌سی‌گیت، فریگیت و دی‌اکتیل) به محلول‌های پاشش حاوی ۷ دز هالوکسی فوپ-آر-متیل (صفر، ۳/۳۷۵، ۶/۷۵، ۱۳/۵، ۲۷، ۵۴ و ۱۰۸ گرم در هکتار) بر جو دره بررسی شود. همزمان، تیمارها با حداکثر دز علف‌کش روی کاغذ حساس به رطوبت نیز پاشیده شدند. همچنین، ضمن اندازه‌گیری کشش سطحی آن‌ها، با قرار دادن قطره ۵ میکرولیتری از آن‌ها روی دو سطح رویی و پشتی برگ، زاویه تماس قطره با سطح برگ، مساحت خیس شده برگ با قطره و مدت زمان تبخیر قطره نیز اندازه‌گیری شود. غلظت میسل بحرانی مویان‌ها ۰/۱ درصد حجمی بود. مویان‌ها سبب کاهش کشش سطحی محلول پاشش، کاهش زاویه تماس قطره با سطح برگ، افزایش مساحت خیس شده برگ، کاهش

مدت زمان تبخیر قطره از سطح برگ، کاهش اندازه قطرات پاشش، افزایش پوشش پاشش روی کاغذ حساس به رطوبت و افزایش کارایی علف‌کش شد که وابسته به غلظت مویان‌ها بودند. بدون مویان، ۲۵/۳۹ گرم علف‌کش در هکتار برای کنترل ۵۰ درصدی جودره (ED<sub>50</sub>) لازم بود. کاربرد علف‌کش به همراه دی‌اکتیل در غلظت ۰/۲ درصد حجمی سبب کمترین ED<sub>50</sub> (۴/۱۸ گرم علف‌کش در هکتار) شد. بدون مویان، ۶۸ قطره در سانتی‌متر مربع روی کاغذ حساس نشست. بیشترین تراکم قطره (۸۳ قطره در سانتی‌متر مربع) با کاربرد دی‌اکتیل در غلظت ۰/۴ درصد حجمی مشاهده شد. بجز در غلظت ۰/۸ درصد حجمی، توان پی‌سی‌گیت و دی‌اکتیل در افزایش تراکم قطرات پاشش برابر ولی توان فریگیت در این رابطه از دو مویان دیگر کمتر بود. بجز غلظت ۰/۸ درصد حجمی، توان فریگیت در مقایسه با دیگر مویان‌ها در خیساندن کاغذ حساس به رطوبت کمتر بود. تاثیر سطح رویی و پشتی برگ بی‌معنی بود و با نوع و غلظت مویان نیز اثرمتقابل نداشت. کمترین زاویه تماس قطره با سطح برگ (۳۰ درجه) با کاربرد غلظت‌های ۰/۴ و ۰/۸ درصد حجمی از دی‌اکتیل مشاهده شد. بیشترین مساحت خیس شده برگ با قطره حاوی پی‌سی‌گیت در غلظت‌های ۰/۴ و ۰/۸ درصد حجمی (به ترتیب ۱۲/۳ و ۱۲/۵ میلی‌متر مربع) مشاهده شد. قطره حاوی دی‌اکتیل سریعتر از قطره حاوی پی‌سی‌گیت، و قطره حاوی پی‌سی‌گیت نیز سریعتر از قطره حاوی فریگیت تبخیر شد. در این پژوهش، توان مویان‌ها براساس بهبود کارایی علف‌کش به صورت دی‌اکتیل < پی‌سی‌گیت < فریگیت رتبه‌بندی شد.

## واژه‌های کلیدی: دز-پاسخ، علف‌کش، غلظت میسل بحرانی، کشش سطحی

### مقدمه

روش کنترل شیمیایی علف‌های هرز در مقایسه با سایر روش‌های کنترل علف‌های هرز راحت، ارزان و سریع محسوب می‌شود. این ویژگی‌ها اتکاء روزافزون کشاورزان به کاربرد علف‌کش‌ها را به همراه داشته است. از طرفی دیگر، کاربرد گسترده علف‌کش‌ها پیامدهای محیط زیستی متعددی داشته است؛ از جمله آلودگی آب‌های زیرزمینی، بقایای سموم در غذا، تاثیر بر موجودات غیر هدف و شیوع علف‌های هرز مقاوم به علف‌کش‌ها دامن می‌زند (Mohammadi *et al.*, 2019). از اینرو، با بهینه‌سازی کاربرد و استفاده منطقی علف‌کش‌ها می‌توان ضمن دستیابی به کاهش مصرف آن‌ها و متعاقباً کاهش پیامدهای محیط زیستی ناشی از آن‌ها، امنیت غذایی سالم را نیز برای جامعه تضمین کرد (Aliverdi and Karami, 2020).

علف‌هرز جودره (*Hordeum spontaneum* K. Koch) گیاهی یکساله و زمستانه از خانواده گندم است. این علف‌هرز دامنه وسیعی از زیستگاه‌های مختلف را می‌تواند اشغال کند. به طوری که پراکنش آن در اکثر مناطق ایران مشاهده شده است و خسارت آن بر گیاهان زراعی فصل سرد، بویژه گندم و کلزا، گزارش شده است (Mousavi, 2020). یکی از علف‌کش‌های پرکاربرد در ایران هالوکسی‌فوپ-آر-متیل است که بر علیه علف‌های هرز باریک برگی مانند جودره در مزارع کلزا، چغندرقلند و

باغات استفاده می‌شود. هالوکسی‌فوپ-آر-متیل از فعالیت آنزیم استیل کوآنزیم آ کربوکسیلاز در مسیر ساخت اسیدهای چرب ممانعت به عمل می‌آورد. به سبب ایجاد اختلال در ساختار غشاء، علف‌های هرز تحت تیمار از بین می‌روند. علی‌رغم تحمل گیاهان زراعی مذکور به هالوکسی‌فوپ-آر-متیل، آن‌ها نیز متحمل آسیب‌هایی از نظر متابولیسم از سوی این علف‌کش هستند که با کاهش در رشد نمایان می‌شود. با توجه به آسیب‌های متابولیسمی هالوکسی‌فوپ-آر-متیل به گیاهان زراعی، لازم است به دنبال راهکارهایی برای کاهش این اثرات از طریق کاهش مصرف باشیم. یکی از روش‌های کاهش مصرف علف‌کش‌ها استفاده از مویان‌ها است (Aliverdi and Karami, 2023).

در فرآیند پاشش محلول بر روی گیاهان، قطره‌هایی که به سطح برگ برخورد می‌کنند یا روی آن باقی می‌مانند و یا پرتاب شده و به شکل قطره‌های کوچک‌تر پراکنده می‌شوند و این قطره‌های کوچک‌تر می‌توانند در برخوردی ثانویه روی سطح برگ قرار گیرند یا کلاً به هدر روند. عوامل کلیدی برای نگهداشت قطره روی سطح برگ شامل عوامل ریخت‌شناسی سطح برگ، انرژی جنبشی قطره (که شامل اندازه قطره و مجذور سرعت آن است) و کشش سطحی قطره می‌باشند. مویان‌ها ویژگی فیزیکی (و یا حتی گاهی ویژگی شیمیایی) محلول پاشش را به گونه‌ای تغییر می‌دهند که نشست و پخش قطرات پاشش بر روی سطح برگ و متعاقباً نفوذ و جذب ماده مؤثره علف‌کش افزایش یابد (Aliverdi and Malmir, 2023). از این‌رو، امکان کاهش مصرف علف‌کش‌ها فراهم می‌گردد. با کاهش مصرف علف‌کش‌ها، ضمن کاهش اثرات مخرب محیط زیستی، می‌توان به کنترل مطلوب علف‌های هرز با هزینه کمتر دست یافت.

تأثیر مویان‌ها بر ظرفیت جذب علف‌کش‌ها توسط برگ گیاهان اولین بار توسط (Freed and Montgomery, 1958) مورد بررسی قرار گرفت. آن‌ها مشاهده کردند که مویان‌های بدون بار و با بار الکتریکی منفی در ساختار مولکولیشان باعث افزایش جذب و انتقال علف‌کش ۳-آمینو-۴،۲،۱-تریازول<sup>۱</sup> (در حال حاضر این علف‌کش به دلیل سرطان‌زا بودن منسوخ شده است) در برگ‌های لوبیا سیاه شدند زیرا هم کشش سطحی محلول پاشش را کاهش دادند و هم سازگاری مطلوب بین مویان و علف‌کش نیز وجود داشت. در کل، تمامی مویان‌ها باعث کاهش کشش سطحی محلول پاشش علف‌کش‌ها می‌شوند. این مواد باعث تولید قطرات کوچک‌تر و بهبود نشست پاشش بر روی سطوح علف‌های هرز می‌شوند، در نتیجه یکی از دلایلی که مویان‌ها کارایی علف‌کش‌ها را افزایش می‌دهند مربوط به بهبود نشست و افزایش خیس‌پذیری از طریق کاهش کشش سطحی است. علاوه بر این، مویان‌ها از بلوره‌شدن ماده مؤثره علف‌کش بر روی سطح برگ جلوگیری می‌کنند و نیز با از بین بردن لایه هوای بین قطره و سطح برگ سبب کاهش زاویه تماس قطره با سطح برگ می‌شوند. این خصوصیات مویان باعث جذب ماده مؤثره بیشتر هم از طریق روزنه و هم از طریق کوتیکول برگ می‌شود (Penner, 2000).

مویان‌ها فرمولاسیون محلول پاشش را به گونه‌ای تغییر می‌دهند که نشست و پخش قطرات پاشش و متعاقباً جذب ماده مؤثره علف‌کش و کارایی آنرا افزایش می‌دهند (Kargar et al., 2015; Hammami et al., 2017). کاربرد یک مویان غیریونی همراه با توفوردی مقدار علف‌کش لازم برای کنترل علف‌های هرز چمن را در مقایسه با تیمار شاهد بدون مویان تا

<sup>1</sup> 3-Amino-1,2,4-riazole

۲۵ درصد کاهش داد (Maxwell et al., 2018). اگرچه کارایی علف‌کش‌های شاخ و برگ مصرف به مقدار زیادی تحت‌تأثیر کاربرد مویان‌ها قرار می‌گیرد، ولی کاربرد هر مویانی اثر هم‌افزایی بر کارایی علف‌کش‌ها ندارد. به عبارتی دیگر، هیچ مویانی وجود ندارد که بتواند جذب هر نوع علف‌کشی را افزایش دهد؛ حتی در برخی شرایط کاربرد مویان‌ها موجب کاهش کارایی علف‌کش شده است. به عنوان مثال، ناسازگاری یک مویان کاتیونی بر کارایی گلايفوسیت علیه دو گونه علف‌هرز کوکا<sup>۱</sup> گزارش شده است (Collins and Helling, 2002). همچنین، کاربرد یک مویان غیریونی موجب کاهش کنترل علف‌هرز اوپارسلام بنفش به وسیله علف‌کش‌های اکسی‌فلوروفن و آمونیوم گلیفوسینات شده است (Devendra et al., 2004). بنابراین، سازگاری مویان‌ها برای هر نوع علف‌کشی باید مورد آزمایش قرار گیرد. غلظت مویان عامل دیگری است که بر کارایی علف‌کش‌ها تأثیر می‌گذارد. به طوری که کاربرد مویان در غلظت بالا می‌تواند اثر منفی بر جذب علف‌کش‌ها بگذارد. به عنوان مثال، برهم‌کنش حجم پاشش و غلظت مویان‌های ارگانوسیلیکونی پریک-ترو اس ۲۳۳ و ۲۴۰ بر کارایی دیکلوفوپ-متیل گزارش شده است (Aliverdi and Karami, 2023). هرچه غلظت مویان افزایش پیدا کند کشش سطحی محلول پاشش علف‌کش کاهش پیدا می‌کند تا به حدی که به نقطه غلظت میسل بحرانی مویان نزدیک شود و بعد از آن افزایش غلظت مویان تأثیری بر کشش سطحی محلول پاشش ندارد. تعداد مویان‌هایی که بین مولکول‌های آب در سطح آب قرار می‌گیرند محدودیت دارد. افزودن مقادیر بیشتر مویان تنها سبب تشکیل میسل می‌شود بدون اینکه تأثیری بر کشش سطحی آب بگذارد. محققان نشان دادند که افزودن غلظت مویان بالاتر به خودی خود خیس شدن بیشتر سطح برگ را تضمین نمی‌کند (Zhu and Lin., 2016). در برخی مویان‌ها، غلظت بالای مویان می‌تواند مدت زمان تبخیر قطره را کوتاه کند (Zhou et al., 2018). از اینرو، غلظتی که در مزرعه توصیه می‌شود همین غلظت میسل بحرانی است ولی متأسفانه، کشاورزان تمایل برای کاربرد مویان‌ها در مقادیر بالاتری از غلظت میسل بحرانی دارند.

هدف از انجام این آزمایش تعیین نوع و غلظت مویان سازگارتر از بین سه مویان‌های کاتیونی فریگیت، آنیونی دی‌اکتیل و غیریونی پی‌سی‌گیت برای کاربرد با علف‌کش هالوکسی‌فوپ-آر-متیل علیه علف‌هرز جودره بود.

## مواد و روش‌ها

### آزمایش واکنش جودره به مقدار علف‌کش

این آزمایش به صورت سه فاکتوریلی ( $3 \times 7 \times 7$ ) در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار انجام گرفت. فاکتور اول شامل نوع مویان (پی‌سی‌گیت، دی‌اکتیل و فریگیت)، فاکتور دوم شامل غلظت مویان (صفر، ۰/۰۲۵، ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ درصد حجمی) و فاکتور سوم شامل هفت مقدار از علف‌کش هالوکسی‌فوپ-آر-متیل (صفر، ۳/۳۷۵، ۶/۷۵، ۱۳/۵، ۲۷، ۵۴ و ۱۰۸ گرم ماده مؤثره در هکتار) بود. پی‌سی‌گیت با فرمولاسیون ۱۰۰ درصد آلکیل آریل پلی‌گلیکول اتر (شرکت پرتونار)، دی‌اکتیل با فرمولاسیون ۷۰ درصد سدیم دی‌اکتیل سولفوسوکیانات (شرکت بهاور شیمی)، فریگیت با فرمولاسیون

1- *Erythroxylum coca* and *E. novogranatense*

2- Break-Thru® S 233 and 240

۴۱ درصد آمین های چرب با زنجیره بلند اتوکسیله (شرکت توسعه صنعت سم آذربایجان) و هالوکسی فوپ-آر-متیل با فرمولاسیون ۱۰/۸ درصد مایع امولسیون شونده (شرکت آریا شیمی) استفاده شد.

سنبله‌های جودره در خرداد ۱۴۰۱ از محوطه دانشگاه بوعلی سینا جمع‌آوری شدند. اوایل پاییز ۱۴۰۱ لمای بذرهای جودره از آنها جدا شد تا مانع جوانه‌زنی نشود. بذرها با محلول هیپوکلریت سدیم ۵ درصد به مدت یک دقیقه ضدعفونی و با آب شستشو شدند. سپس، بذرها از سمت شیاردار بر روی یک لایه کاغذ صافی داخل پتری‌دیش‌های پلاستیکی با قطر ۱۰ سانتی‌متر حاوی ۵ میلی‌لیتر از محلول ۲ گرم در لیتر نیترات پتاسیم قرار داده شدند. پتری‌دیش‌ها به مدت دو روز در تاریکی در درون یخچال در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و سپس به مدت دو روز در دمای آزمایشگاه در تاریکی نگهداری شدند (Taheri *et al.*, 2024). پتری‌دیش‌ها به گلخانه تحقیقاتی دانشگاه بوعلی سینا منتقل و تعداد پنج بذر جوانه‌زده در هر گلدان دو لیتری پلاستیکی قهوه‌ای رنگ با مقطع مربعی کشت شدند. عمق کاشت ۲ سانتی‌متر بود. گلدان‌ها هفته‌ای یکبار به‌طور یکنواخت و برابر آبیاری شدند. سمپاشی گلدان‌ها در مرحله چهار برگی بوته‌های جودره (سه هفته پس از کاشت) با سمپاش دستی فشاری مجهز به نازل بادبزی لبه یکنواخت ۱۱۰۰۲ تحت فشار پاشش ۳۰۰ کیلوپاسکال و حجم پاشش ۲۲۰ لیتر در هکتار در دمای هوای ۲۰ الی ۲۳ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۱۸ الی ۲۱ درصد انجام شد. چهار هفته پس از سم‌پاشی، بوته‌های درون گلدان‌ها از سطح خاک برداشت و به مدت دو روز در آون در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت تا وزن خشک آنها اندازه‌گیری شود. داده‌های به‌دست‌آمده تقسیم بر پنج (تعداد بوته در هر گلدان) شدند و سپس در تجزیه و تحلیل آماری با روش رگرسیون غیرخطی در محیط نرم‌افزار **R-2.1.0** استفاده شدند (Ritz *et al.*, 2015). براساس آزمون عدم برازش  $(p\text{-value} > 0.05)$ ، مدل لگ لجستیک چهار پارامتری،  $Y = ((D - C) + C / (1 + \exp(B(\log X) - \log E)))$ ، برای برازش روی داده‌ها مناسب تشخیص داده شد. همچنین، با بررسی نمودار باقیمانده‌ها، توزیع مستقل، تصادفی و یکنواخت آنها محرز گردید. در این مدل، مولفه  $Y$  بیانگر وزن خشک تک بوته جودره، مولفه‌های  $D$  و  $C$  به ترتیب بیانگر حد مجانب بالا و پایین وزن خشک جودره در مقادیر صفر و بی‌نهایت هالوکسی فوپ-آر-متیل، مولفه  $ED_{50}$  بیانگر مقدار هالوکسی فوپ-آر-متیل لازم ( $X$ ) برای کاهش ۵۰ درصدی وزن خشک جودره بین  $D$  و  $C$  و مولفه  $B$  بیانگر شیب منحنی در محدوده‌ی  $ED_{50}$  است.

### آزمایش کشش سطحی محلول پاشش

این آزمایش به صورت دو فاکتوریلی ( $3 \times 7$ ) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در محیط آزمایشگاه با دمای هوای ۲۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۱۵ درصد انجام شد. فاکتور اول شامل نوع مویان (پی‌سی‌گیت، دی‌اکتیل و فریگیت) و فاکتور دوم شامل غلظت مویان (صفر، ۰/۰۲۵، ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ درصد حجمی) بود که به محلول پاشش با مقدار ۱۰۸ گرم هالوکسی فوپ-آر-متیل در هکتار اضافه شده بودند. برای اندازه‌گیری کشش سطحی محلول‌ها از روش قطره آویزان با کمک دستگاه اندازه‌گیری کشش سطحی مدل ژیکان CAG-20 استفاده شد (Ellis *et al.*, 2001). داده‌ها دارای توزیع نرمال بودند و در محیط نرم افزار SAS تجزیه واریانس شدند و میانگین‌ها آنها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شد. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل استفاده شد.

### آزمایش پاشش روی کاغذ حساس به رطوبت

این آزمایش، همزمان با آزمایش واکنش جودره به مقدار علف‌کش، به صورت دو فاکتوریلی ( $3 \times 7$ ) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور اول شامل نوع مویان (پی‌سی‌گیت، دی‌اکتیل و فریگیت) و فاکتور دوم شامل

غلظت مویان (صفر، ۰/۰۲۵، ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ درصد حجمی) بود که به محلول پاشش با مقدار ۱۰۸ گرم هالوکسی فوپ-آر-متیل در هکتار اضافه شده بودند. از کاغذهای حساس به رطوبت (شرکت WSPAPER، برزیل) با ابعاد ۲۶ × ۷۶ میلی‌متر که به صورت افقی بر روی سطح زمین در مسیر حرکت نازل قرار داده شدند استفاده شد. کاغذ حساس به رطوبت دارای یک سطح زرد رنگ است که پس از برخورد قطرات پاشش به آن به رنگ پایدار آبی در می‌آید. کاغذها پس از سم‌پاشی به طور جداگانه اسکن و تصویر آن‌ها در محیط نرم‌افزار Image J پردازش شد تا تراکم قطرات و درصد مساحت آبی رنگ شده کاغذها به عنوان درصد پوشش برآورد شود. سپس، داده‌ها به روش ذکر شده در بالا تجزیه واریانس شدند.

### آزمایش تبخیر، زاویه و سطح تماس قطره با برگ جودره

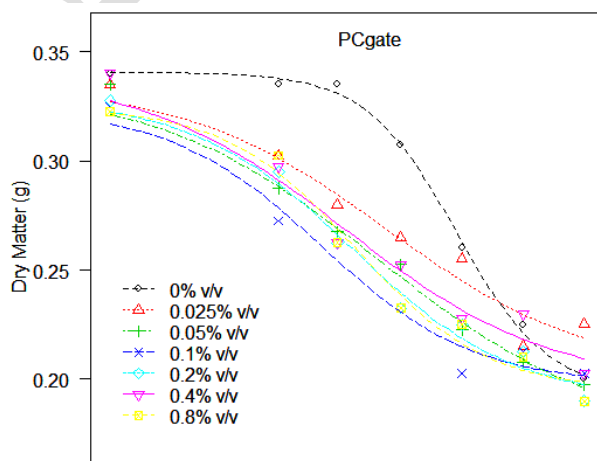
این آزمایش به صورت سه فاکتوری (۳ × ۷ × ۲) در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در محیط آزمایشگاه با دمای هوا ۲۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۱۵ درصد انجام شد. فاکتور اول شامل نوع مویان (پی‌سی‌گیت، دی‌اکتیل و فریگیت)، فاکتور دوم شامل غلظت مویان (صفر، ۰/۰۲۵، ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ درصد حجمی) و فاکتور سوم سطح برگ (زیرین و روین) بود. از برگ سوم جودره چهار برگ شده در این آزمایش استفاده شد. مقدار هالوکسی فوپ-آر-متیل در تمام محلول‌ها ثابت و برابر غلظت نهایی در آزمایش گلخانه‌ای در نظر گرفته شد. به منظور بررسی تأثیر نوع و غلظت مویان بر زاویه و سطح تماس قطره با برگ جودره از روش تجزیه و تحلیل تصاویر استفاده شد. برای این کار، روی لبه میز آزمایشگاه چسب دوطرفه نصب شد. قطعاتی از برگ با طول حدوداً ۳ سانتی‌متری روی چسب دوطرفه نصب شد؛ به صورتی که سطح رویی برگ نمایان باشد. سپس، با کمک میکروسرنگ یک قطره ۵ میکرولیتری از محلول‌ها به آرامی روی قطعات برگ قرار داده شد. سپس، با استفاده از دوربین عکس‌برداری، تصویر قطره از نمای جانبی و بالایی به ترتیب به منظور برآورد زاویه و سطح تماس قطره با سطح برگ برداشته شد. تصاویر در محیط نرم‌افزار Image J پردازش شدند (Chen et al., 2018). علاوه بر این، به منظور بررسی تأثیر نوع و غلظت مویان بر سرعت تبخیر قطره، به قطرات قرار گرفته بر روی قطعات برگ فرصت داده شد تا خشک و ناپدید شوند. باید توجه داشت که فرآیند ناپدید شدن قطرات شامل تبخیر به هوا و جذب توسط بافت گیاهی است. داده‌ها به همان روش ذکر شده در آزمایش قبلی تجزیه واریانس شدند.

### نتایج و بحث

#### تأثیر مویان‌ها بر کارایی هالوکسی فوپ-آر-متیل

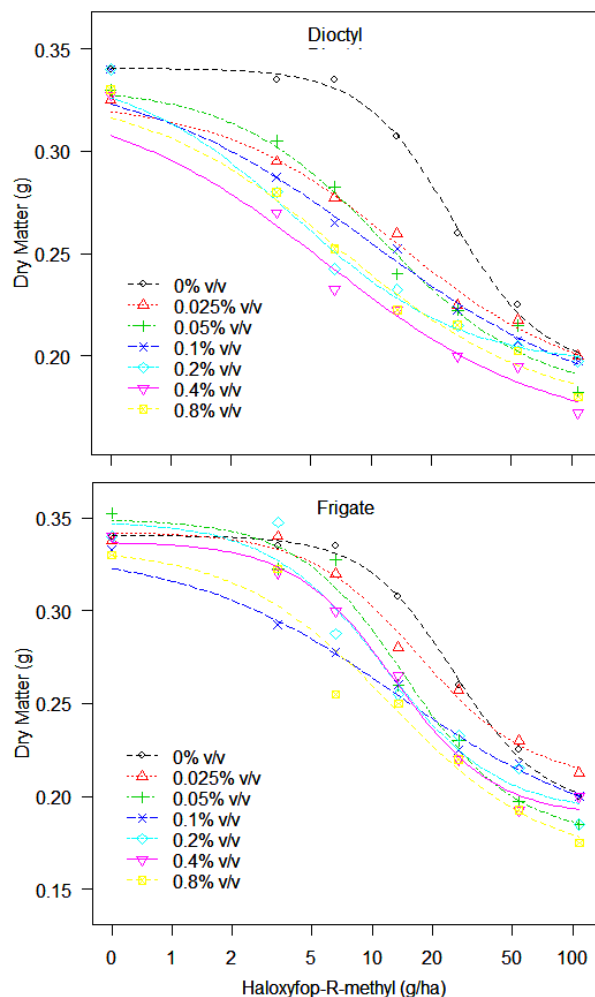
منحنی‌های واکنش وزن خشک جودره به مقادیر مختلف هالوکسی فوپ-آر-متیل پاشیده شده با غلظت‌های مختلف مویان‌های پی‌سی‌گیت، دی‌اکتیل و فریگیت در شکل ۱ نمایش داده شده است. مقادیر حد پایین، حد بالا و شیب خط آن منحنی‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. تحت شرایط بدون مویان (شاهد)، مقدار هالوکسی فوپ-آر-متیل لازم برای کنترل ۵۰ درصدی جودره (ED<sub>50</sub>) برابر ۲۵/۳۹ گرم ماده مؤثره در هکتار برآورد شد (شکل ۲). کاربرد هر سه مویان دی‌اکتیل، فریگیت و پی‌سی‌گیت در تمامی غلظت‌ها باعث کاهش معنی‌دار ED<sub>50</sub> شد که نشان دهنده بهبود کارایی هالوکسی فوپ-آر-متیل علیه جودره است. کمترین ED<sub>50</sub> (۴/۱۸) گرم ماده مؤثره در هکتار با کاربرد هالوکسی فوپ-آر-متیل به همراه مویان دی‌اکتیل در غلظت ۰/۲ درصد حجمی مشاهده شد. تأثیر کاربرد غلظت ۰/۴ درصد حجمی مویان دی‌اکتیل تفاوت معنی‌داری با تأثیر کاربرد غلظت ۰/۲ مویان دی‌اکتیل نداشت. اما کاربرد غلظت ۰/۸ درصد حجمی مویان دی‌اکتیل موجب افزایش ED<sub>50</sub> در مقایسه با

کاربرد غلظت ۰/۲ درصد حجمی مویان دی اکتیل شد که نشان دهنده کاهش کارایی هالوکسی فوپ-آر-متیل با کاربرد غلظت-های بالاتر مویان دی اکتیل است. در مویان پی سی گیت، اگرچه کمترین ED<sub>50</sub> (۷/۸۹ گرم ماده مؤثره در هکتار) با کاربرد غلظت ۰/۲ درصد حجمی مشاهده شد ولی بین غلظت‌های ۰/۵ تا ۰/۸ درصد حجمی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. به طور مشابه، در مویان فریگیت نیز کمترین ED<sub>50</sub> (۱۱/۴۷ گرم ماده مؤثره در هکتار) با کاربرد غلظت ۰/۲ درصد حجمی مشاهده شد و بین غلظت‌های ۰/۵ تا ۰/۸ درصد حجمی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. براساس اینکه پایین‌ترین مقادیر ED<sub>50</sub> با کاربرد غلظت ۰/۲ درصد حجمی مویان‌ها بدست آمد، می‌توان کارایی مویان‌ها را در بهبود کارایی هالوکسی فوپ-آر-متیل علیه جودره را به صورت دی اکتیل < پی سی گیت > فریگیت در نظر گرفت. ممنوعی و همکاران (Mamnoie et al., 2014) گزارش کردند که افزودن مویان دی اکتیل با غلظت ۰/۲ درصد حجمی به محلول پاشش نیکوسولفورون توانسته است وزن خشک علف‌های هرز تاج خروس ریشه قرمز، سلمه‌تره و سوروف را به ترتیب به میزان ۸۰، ۴۴ و ۶۰ درصد در مقایسه با شاهد کاهش داد. این در حالی بود که افزودن مویان پی سی گیت با ۰/۲ درصد حجمی وزن خشک تاج خروس را ۷۸ درصد، سلمه‌تره را ۴۴ درصد و سوروف را ۵۹ درصد کاهش داد. لذا، آنها کارایی مویان‌های دی اکتیل و پی سی گیت را در بهبود کارایی نیکوسولفورون علیه علف‌های هرز تاج خروس ریشه قرمز<sup>۱</sup>، سلمه‌تره<sup>۲</sup> و سوروف<sup>۳</sup> برابر گزارش کردند. مهرآذین و همکاران (Mehr Azin et al., 2023) گزارش کردند که با افزودن مویان کاتیونی تالوآمین اتوکسیلات<sup>۴</sup> در غلظت ۰/۲ درصد حجمی به محلول پاشش گلایفوسیت وزن تر علف هرز عروسک پشت پرده<sup>۵</sup> به میزان ۷۸ درصد کاهش پیدا کرد و با افزودن مویان غیریونی کوکونات فتی اسید دی اتانول آمید در غلظت ۰/۲ درصد حجمی وزن تر این علف هرز به میزان ۷۶ درصد کاهش پیدا کرد که نشان دهنده تأثیر برابر عملکرد مویان‌های مذکور بر بهبود کارایی گلایفوسیت بر عروسک پشت پرده است.



- 1- *Amaranthus retroflexus* L.
- 2- *Chenopodium album* L.
- 3- *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv.
- 4- Tallow amine ethoxylate
- 5- *Physalis alkekengi* L.





شکل ۱- منحنی‌های واکنش وزن خشک جو دره به مقادیر مختلف هالوکسی فوپ-آر-متیل پاشیده شده با غلظت‌های مختلف مویان‌های پی‌سی‌گیت، دی‌اکتیل و فریگیت

Figure 1- The response curves of the dry weight of wild barely to different doses of Haloxypop-R-methyl sprayed with different concentrations of PCgate, Dioctyl, and Frigate.

جدول ۱- مقادیر حد پایین، حد بالا و شیب خط منحنی‌های واکنش وزن خشک جو دره به تیمارهای علفکشی نمایش داده شده در شکل ۱.

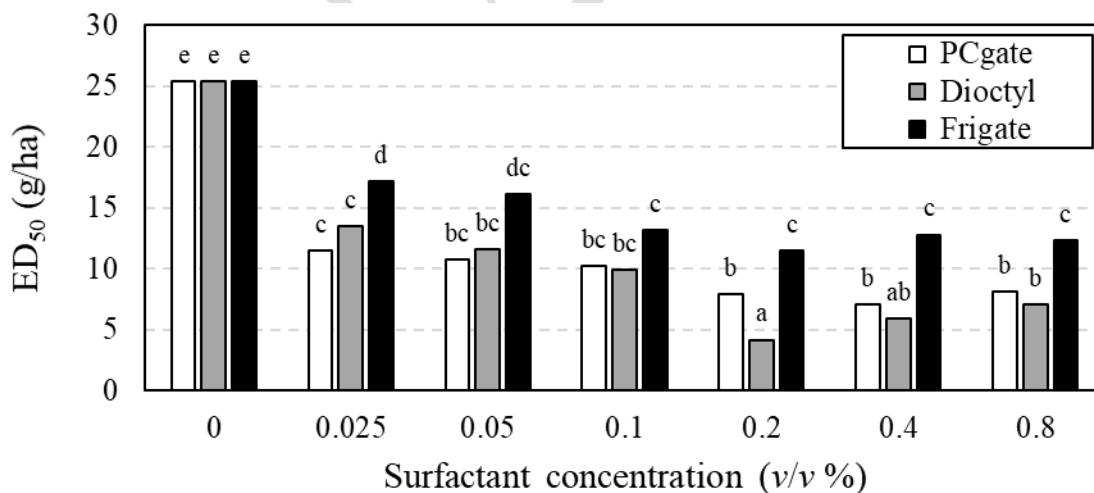
Table 1 - Values of the lower limit, upper limit, and slope for the dry weight response curves of wild barely to herbicide treatments are shown in Figure 1.

Surfactant	Concentration (v/v)	Lower Limit	Upper Limit	Slope	p-value
Control	0	0.19(0.01)	0.34(0.005)	1.95(0.44)	0.81
Dioctyl	0.025	0.18(0.01)	0.32 (0.005)	0.97(0.18)	0.30
	0.05	0.18 (0.01)	0.33 (0.007)	1.14(0.32)	0.17
	0.1	0.17(0.01)	0.33 (0.003)	0.73(0.10)	0.12

	0.2	0.19(0.006)	0.34(0.004)	1.04(0.20)	0.10
	0.4	0.16(0.02)	0.32(0.007)	0.79(0.29)	0.30
	0.8	0.17(0.01)	0.33(0.006)	0.87( 0.23)	0.19
Frigate	0.025	0.20(0.01)	0.33(0.007)	0.87(0.25)	0.05
	0.05	0.17(0.02)	0.33(0.007)	0.77(0.22)	0.81
	0.1	0.15(0.02)	0.32(0.009)	0.86(0.27)	0.78
	0.2	0.18(0.01)	0.32(0.006)	1.09(0.31)	0.18
	0.4	0.19(0.02)	0.34(0.008)	0.86 (0.33)	0.16
	0.8	0.19 (0.01)	0.32(0.01)	1.34(0.62)	0.57
PCgate	0.025	0.20(0.01)	0.34(0.007)	1.57(0.41)	0.54
	0.05	0.16(0.01)	0.34(0.01)	1.95 (0.76)	0.10
	0.1	0.17(0.02)	0.33(0.006)	0.83(0.21)	0.51
	0.2	0.19(0.01)	0.34(0.01)	1.52(0.46)	0.07
	0.4	0.18(0.007)	0.33(0.006)	1.72(0.32)	0.35
	0.8	0.16(0.02)	0.33(0.01)	1.13(0.35)	0.06

اعداد داخل پرانتز خطای استاندارد مقادیر هستند. P-value آزمون عدم برازش بالای ۰,۰۵ نشان می‌دهد که مدل لجستیک ۴ پارامتری برای برازش داده‌ها مناسب است.

The numbers in parentheses are the standard error of the values. A P-value of the lack of fit test above 0.05 indicates that the 4-parameter logistic model is suitable for fitting the data.

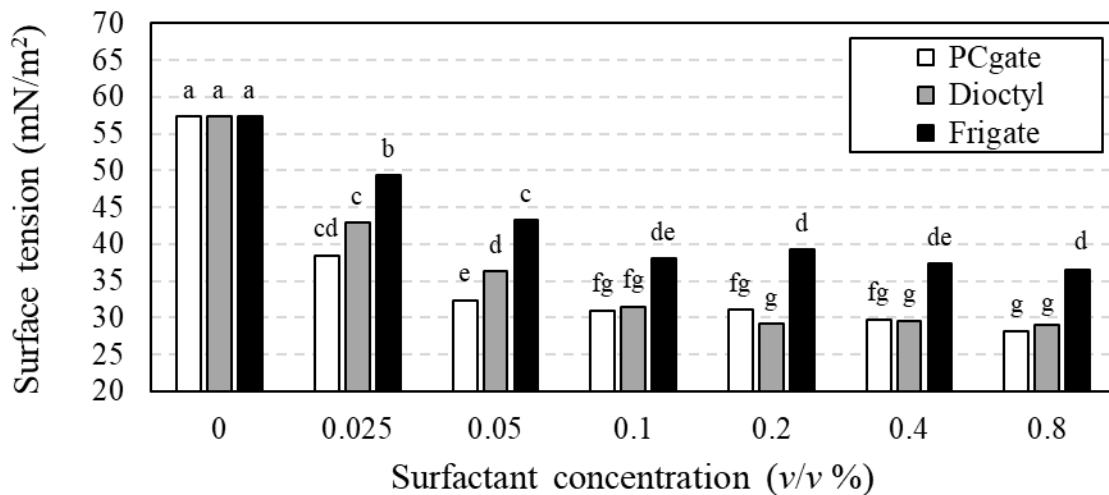


شکل ۲- تأثیر نوع و غلظت مویان بر مقدار هالوکسی‌فوپ-آر-متیل لازم برای کاهش ۵۰ درصدی وزن خشک جو دره (ED<sub>50</sub>). مقادیر دارای حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۰/۰۵ تفاوت معنی‌داری ندارند.

Figure 2- The effect of surfactant type and concentration on the dose of haloxyfop-R-methyl required to reduce 50% of the dry matter of wild barley (ED<sub>50</sub>). The values with the same letters are not different at  $\alpha = 0.05\%$ .

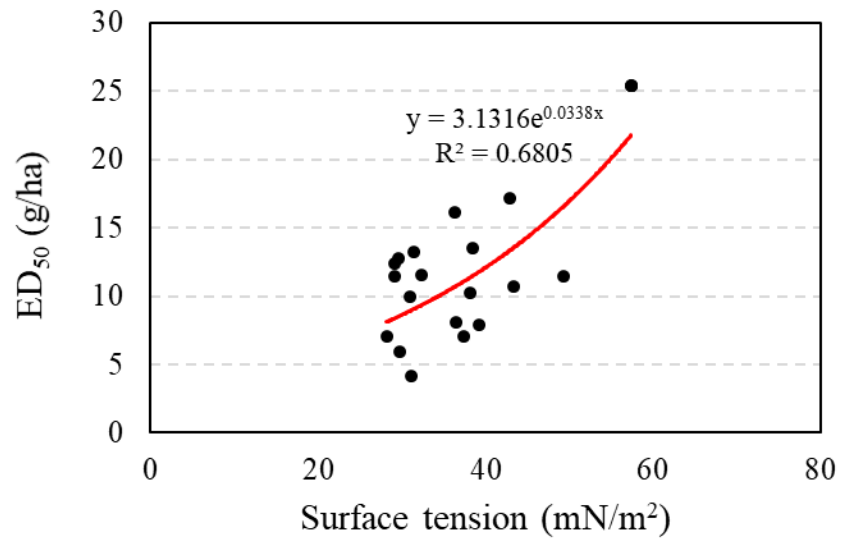
## تأثیر مویان‌ها بر کشش سطحی محلول پاشش

نتایج تجزیه و واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده نوع و غلظت مویان و اثر متقابل بین آنها در سطح احتمال یک درصد بر کشش سطحی محلول پاشش هالوکسی‌فوپ-آر-متیل معنی‌دار بود (جدول ۲). تمامی مویان‌ها در تمام غلظت‌های آزمایش شده باعث کاهش معنی‌دار کشش سطحی محلول پاشش هالوکسی‌فوپ-آر-متیل شدند (شکل ۳). در تمامی غلظت‌های آزمایش شده، مویان فریگیت در کاهش کشش سطحی محلول پاشش هالوکسی‌فوپ-آر-متیل ناتوان‌تر از مویان‌های پی‌سی‌گیت و دی‌اکتیل ظاهر شد. تنها در غلظت ۰/۰۵ درصد حجمی، مویان پی‌سی‌گیت (۳۲/۴ میلی نیوتن بر مترمربع) توان بیشتری برای کاهش کشش سطحی محلول پاشش هالوکسی‌فوپ-آر-متیل در مقایسه با مویان دی‌اکتیل (۳۶/۳ میلی نیوتن بر مترمربع) نشان داد ولی در سایر غلظت‌ها، بین دو مویان مذکور تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. از آنجایی که در هر سه مویان آزمایش شده، با افزودن غلظت‌های ۰/۱ تا ۰/۸ درصد حجمی به محلول پاشش هالوکسی‌فوپ-آر-متیل تفاوت معنی‌داری در کشش سطحی محلول پاشش ایجاد نشد، غلظت ۰/۱ درصد حجمی را می‌توان به عنوان غلظت میسل بحرانی در نظر گرفت. در گزارش‌های قبل نیز غلظت میسل بحرانی برای مویان فریگیت و سیتوگیت به ترتیب برابر ۰/۱ و ۰/۱۵ درصد حجمی با روش لوله مویین اندازه‌گیری شده بود (Aliverdi *et al.*, 2009). همچنین، غلظت میسل بحرانی برای مویان دی‌اکتیل برابر ۰/۱ درصد حجمی با روش لوله مویین اندازه‌گیری شده بود (Aliverdi and Malmir, 2023). از سوی دیگر، مشابه با تحقیقات قبل (Maxwell *et al.*, 2018)، در این پژوهش نیز یک رابطه منفی نسبتاً قوی بین کارایی علف‌کش هالوکسی‌فوپ-آر-متیل علیه جودره با کشش سطحی محلول پاشش مشاهده گردید (شکل ۴).



شکل ۳- تأثیر نوع و غلظت مویان بر کشش سطحی محلول پاشش هالوکسی‌فوپ-آر-متیل. مقادیر دارای حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۰/۰۵ تفاوت معنی‌داری ندارند.

Figure 2- The effect of surfactant type and concentration on the surface tension of haloxyfop-R-methyl spray solution. The values with the same letters are not different at  $\alpha = 0.05\%$ .



شکل ۴- رابطه بین مقدار هالوکسی فوپ-آر-متیل لازم برای کنترل ۵۰ درصدی جو دره و کشش سطحی محلول پاشش.  
 Figure 9- The relationship between haloxyfop-R-methyl required for 50% control of wild barley and spray solution surface tension.

جدول ۲- نتایج آنالیز واریانس (میانگین مربعات) تأثیر نوع و غلظت مویان بر زاویه تماس، سطح پخش و زمان تبخیر قطره محلول علف کش روی سطح رویی و پشتی برگ جودره (آزمایش تبخیر، زاویه و سطح تماس قطره با برگ جودره). همچنین، نتایج آنالیز واریانس تأثیر نوع و غلظت مویان بر کشش سطحی محلول هالوکسی فوپ-آر-متیل (آزمایش کشش سطحی)، تراکم قطره و پوشش پاشش هالوکسی فوپ-آر-متیل (آزمایش پاشش روی کاغذ حساس به رطوبت).

Table 2- The results of variance analysis (mean square) of the effect of surfactant type and concentration on the contact angle, wetted surface, and evaporation time of the drop of haloxyfop-R-methyl spray solution on the adaxial and abaxial leaf surface of wild barely (from study of drop evaporation time, angle and contact surface with the leaf of wild barely). Also, the results of the analysis of variance (mean square) of the effect of surfactant type and concentration on the surface tension of haloxyfop-R-methyl spray solution (from the study of surface tension), drop density and spray coverage of haloxyfop-R-methyl (from the study of spray on water-sensitive paper).

S.O.V	df	Contact angle	Wetted area	Evaporation time	df	Drop density	Spray coverage	Surface tension
Leaf surface (L)	1	0.007ns	0.0003ns	0.007ns				
Surfactant type (S)	2	1885.16**	65.96**	117.8**	2	32.90**	103.64**	121.12**
Surfatant concentration (C)	6	1523.88**	62.46**	211.73**	6	154.43**	374.8**	205.76**
L × S	2	0.007ns	0.003ns	0.03ns				
L × C	6	0.008ns	0.004ns	0.02ns				
S × C	12	165.14**	4.26**	4.87**	12	2.94**	8.71**	4.77**
L × S × C	12	0.006ns	0.001ns	0.02ns				
Error	84	4.84	0.10	0.70	42	1.0	1.15	0.94
CV (%)	-	4.61	3.64	4.96	-	1.33	2.94	2.06

ns و \*\* به ترتیب نشان دهنده غیرمعنی داری و معنی داری در سطح احتمال یک درصد است.

ns and \*\* indicates non-significance and significance at  $\alpha = 0.01\%$  , respectively.

## تأثیر مویان‌ها بر تراکم قطرات پاشش و پوشش آن روی کاغذ حساس به رطوبت

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده نوع و غلظت مویان و اثر متقابل بین آنها بر تراکم قطرات پاشش هالوکسی‌فوپ-آر-متیل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بجز در مورد غلظت ۰/۰۲۵ درصد حجمی مویان پی‌سی‌گیت، تمامی مویان‌ها در تمام غلظت‌های بکار رفته به طور معنی‌داری باعث افزایش تراکم پاشش قطرات روی کاغذ حساس به رطوبت شدند (شکل ۵). به طور کلی، افزایش غلظت مویان‌ها در محلول پاشش منجر به افزایش تراکم قطرات پاشش شد که نشان دهنده کاهش اندازه قطرات پاشش به واسطه افزایش غلظت مویان می‌باشد. به طوری که تحت شرایط بدون مویان، تعداد ۶۸ قطره در سانتی‌متر مربع بر روی کاغذ حساس نشست کرد. بالاترین تراکم قطرات پاشش (۸۳ قطره در سانتی‌متر مربع) با افزودن غلظت ۰/۴ درصد حجمی از مویان دی‌اکتیل به محلول پاشش مشاهده شد. در غلظت ۰/۸ درصد حجمی، تفاوت معنی‌داری در توان مویان‌ها از نظر تراکم قطره پاشش وجود نداشت (۸۰-۸۱ قطره در سانتی‌متر مربع). در سایر غلظت‌ها، توان مویان‌های پی‌سی‌گیت و دی‌اکتیل در افزایش تراکم قطرات پاشش برابر بود و توان مویان فریگیت در این رابطه از دو مویان دیگر کمتر بود.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده نوع و غلظت مویان و اثر متقابل بین آنها بر درصد پوشش کاغذ حساس به رطوبت به وسیله قطرات پاشش در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که افزودن هر یک از مویان‌ها در هر غلظتی باعث افزایش معنی‌دار درصد پوشش پاشش شد (شکل ۵). به طور کلی، با افزایش غلظت مویان‌ها در محلول پاشش یک روند افزایشی در درصد پوشش کاغذ حساس به رطوبت به وسیله قطرات پاشش مشاهده شد. در تمامی غلظت‌ها، بین توان مویان‌های پی‌سی‌گیت و دی‌اکتیل در درصد پوشش پاشش تفاوتی وجود نداشت. همچنین، بجز در مورد غلظت ۰/۸ درصد حجمی، توان مویان فریگیت در مقایسه با مویان‌های دیگر در پوشاندن کاغذ حساس به رطوبت با قطرات پاشش کمتر بود. همانطور که قبلاً به تصویر کشیده شده است (Rick and Bonn, 2020)، کاهش کشش سطحی محلول پاشش به واسطه افزودن مویان‌ها موجب می‌شود که ورقه پاشش نازل سریعتر و راحتتر پاره پاره شود و قطرات کوچکتری حاصل گردید که منجر به پوشش بیشتر سطح می‌شود. در تحقیقات قبلی، کاهش اندازه قطرات پاشش با افزودن مویان به محلول پاشش گزارش شده است (Miller and Ellis., 2000; Ellis et al., 2001; Kooij et al., 2018). با این وجود، به بی‌تاثیری مویان بر اندازه قطرات پاشش (Kooij et al., 2018; Rick and Bonn, 2020) و حتی افزایش اندازه قطرات پاشش (Oliveira et al., 2013; Al Heidary et al., 2014) در تحقیقات قبلی اذعان شده است که نتایج این تحقیقات اثبات کننده نقش نوع مویان بر اندازه قطرات پاشش است.

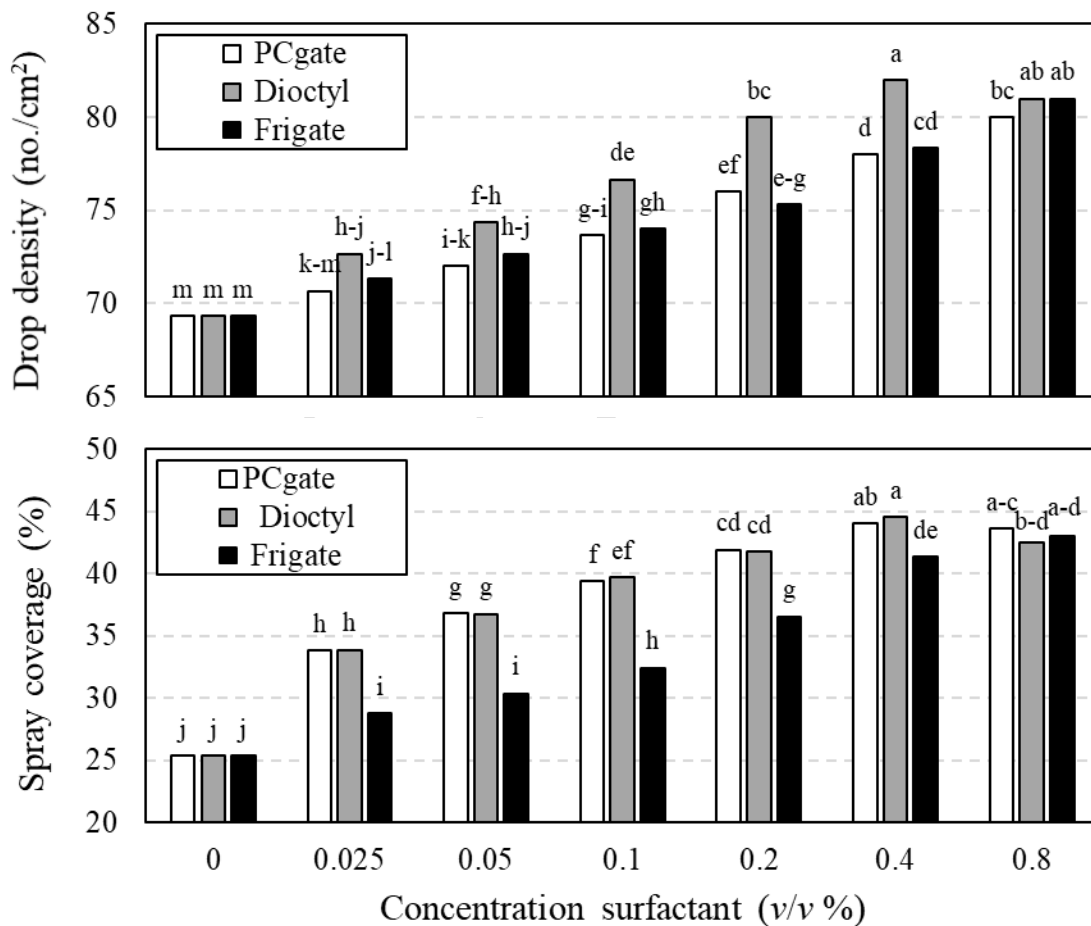
## تأثیر مویان‌ها بر زاویه تماس و سطح پخش قطره قرار گرفته روی سطح برگ جو دره

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده سطح برگ (زیرین و روپین) بر زاویه تماس قطره، سطح پخش شده آن و نیز زمان تبخیر آن غیر معنی‌دار بود. همچنین، اثر متقابل سطح برگ با نوع و غلظت مویان نیز غیر معنی‌دار بود (جدول ۲). در مقابل، اثر ساده نوع و غلظت مویان و اثر متقابل بین آنها بر سه صفت اندازه‌گیری شده مذکور در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود.

تحت شرایط بدون مویان، زاویه قطره با سطح برگ جو دره برابر ۶۴ درجه اندازه‌گیری شد. کاربرد همه مویان‌ها در غلظت‌های آزمایش شده توانست زاویه قطره را با سطح برگ جو دره به طور معنی‌داری کاهش دهد (شکل ۶). به طور کلی، با افزایش غلظت مویان در محلول پاشش زاویه تماس قطره با سطح برگ جو دره به طور پیوسته کاهش یافت. کمترین زاویه

تماس قطره با سطح برگ جو دره (۳۰ درجه) به واسطه افزودن مویان دی‌اکتیل با غلظت‌های ۰/۴ و ۰/۸ درصد حجمی به محلول پاشش مشاهده شد. در غلظت ۰/۰۲۵ درصد حجمی، توان مویان پی‌سی‌گیت در کاهش زاویه تماس قطره با سطح برگ جو دره در مقایسه با دیگر مویان‌ها (که توان برابری داشتند) بیشتر بود. این درحالی بود که در غلظت‌های ۰/۰۵ تا ۰/۸ درصد حجمی، توان مویان‌ها در کاهش زاویه تماس قطره با سطح برگ جو دره بدین صورت بود: دی‌اکتیل < پی‌سی‌گیت < فریگیت.

تحت شرایط بدون مویان، مساحت ۵/۶ میلی‌متر مربع از سطح برگ جو دره به وسیله قطره ۵ میکرولیتری از محلول پاشش خیس شد (شکل ۶). افزودن هر یک از مویان‌ها در هر غلظتی به محلول پاشش توانست مساحت خیس شده سطح برگ با قطره را به طور معنی‌داری افزایش دهد که نشان دهنده افزایش پخش شدگی قطره روی سطح برگ می‌باشد. به طور کلی، با افزایش غلظت مویان در محلول پاشش مساحت خیس شده سطح برگ به وسیله قطره افزایش یافت. بیشترین میزان



شکل ۵- تأثیر نوع و غلظت مویان بر تراکم قطرات حاصل از پاشش هالوکسی‌فوپ-آر-متیل و پشش آن روی کاغذ حساس به رطوبت. مقادیر دارای حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۰/۰۵ تفاوت معنی‌داری ندارند.

Figure 4- The effect of surfactant type and concentration on the drop density from spraying of haloxyfop-R-methyl and its spray coverage on water-sensitive paper. The values with the same letters are not different at  $\alpha = 0.05\%$ .

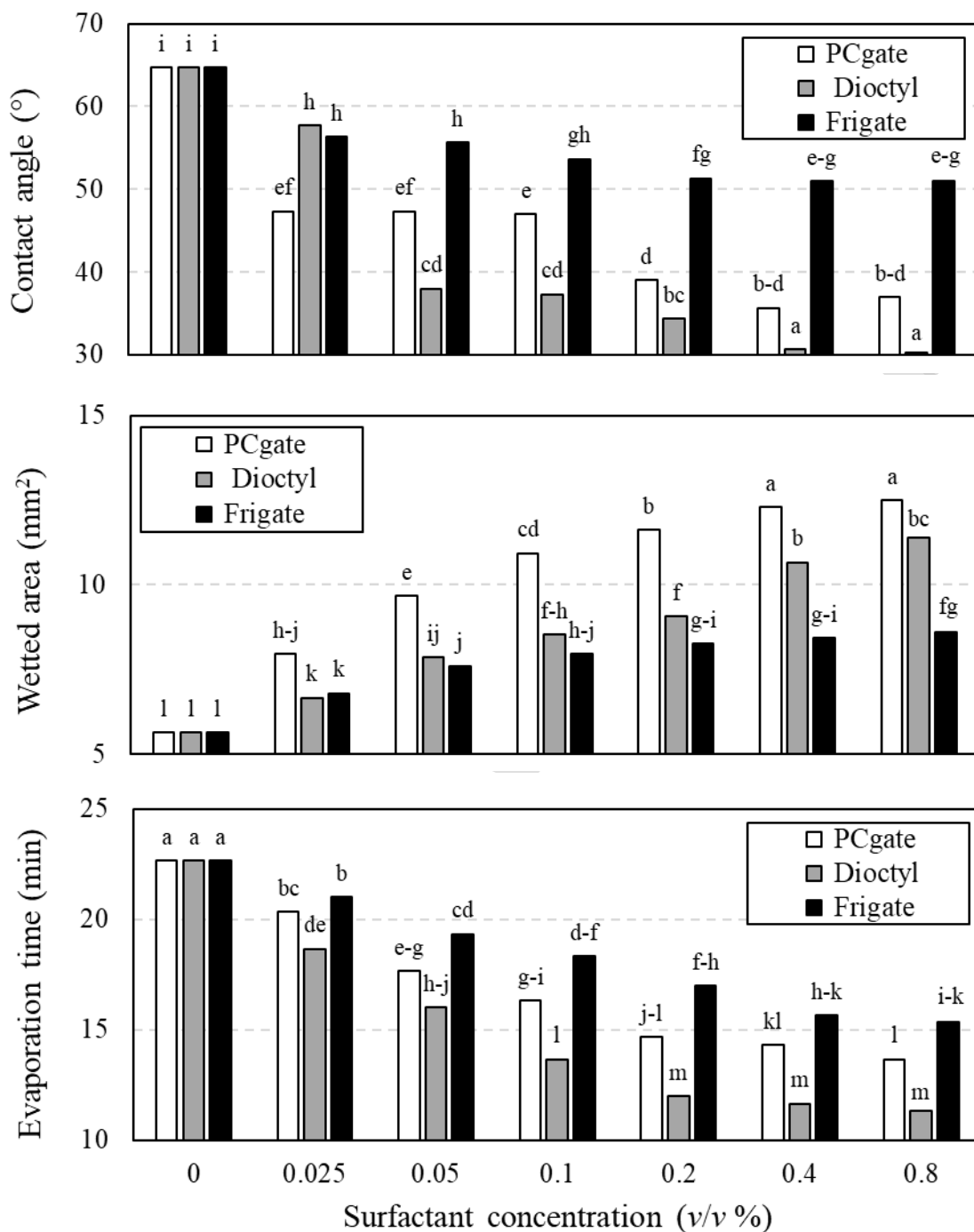
خیس شدگی در تیمارهای پی‌سی‌گیت با غلظت‌های ۰/۴ و ۰/۸ درصد حجمی به ترتیب با مساحت ۱۲/۳ و ۱۲/۵ میلی‌متر مربع مشاهده شد. در تمام غلظت‌ها، توان مویان پی‌سی‌گیت در خیساندن سطح برگ جوهره بیشتر از بیشتر از سایر مویان‌ها بود. در غلظت‌های ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ درصد حجمی، توان مویان‌های دی‌اکتیل و فریگیت در خیساندن سطح برگ برابر بود ولی در سایر غلظت‌ها، توان دی‌اکتیل در خیساندن برگ بیشتر فریگیت بود.

تحت شرایط بدون مویان، قطره ۵ میکرولیتری از محلول پاشش در مدت زمان ۲۲ دقیقه پس از قرارگیری روی سطح برگ جوهره ناپدید شد (شکل ۶). تمامی تیمارهای مویانی موجب تبخیر سریعتر قطره از سطح برگ شدند. به طور کلی، افزایش غلظت مویان‌ها در محلول پاشش نیز باعث کاهش زمان تبخیر قطره شد. همچنین، قطره حاوی دی‌اکتیل سریعتر از قطره حاوی پی‌سی‌گیت، و قطره حاوی پی‌سی‌گیت نیز سریعتر از قطره حاوی فریگیت تبخیر شد. در بین تیمارها، قطره حاوی دی‌اکتیل در غلظت‌های ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ درصد حجمی سریعترین تبخیر قطره به نمایش گذاشت (۱۲ دقیقه). مدت زمان تبخیر کوتاه‌تر در قطره حاوی مویان به دلیل پخش شدن بیشتر آن روی سطح برگ باشد. به واسطه پخش شدن بیشتر قطره روی سطح برگ و ایجاد لایه نازک‌تر از مایع روی سطح برگ دو سرنوشت را می‌توان برای قطرک متصور شد: ۱) جذب سریعتر قطره به بافت گیاه و ناپدید شدن سریعتر آن و ۲) تبادل حرارتی سریعتر قطره با هوا و خشک شدن سریع‌تر آن. هر چه لایه مایع روی سطح برگ نازک‌تر باشد، تبادل حرارتی آن با هوا سریع‌تر بوده و لذا سریع‌تر نیز تبخیر می‌شود. از طرف دیگر، هر چه لایه مایع روی سطح برگ نازک‌تر باشد، مساحتی از سطح برگ که خیس می‌شوند نیز بیشتر شده و لذا فرصت بیشتری را برای جذب مایع توسط بافت گیاه ایجاد می‌شود. با این حال، سهم تبادل حرارت و جذب گیاه در تبخیر قطرات ناشناخته است و باید در آینده بیشتر مورد مطالعه قرار گیرد (Gimenes et al. 2013). در آزمایش حاضر، قطره حاوی مویان فریگیت در مقایسه با سایر مویان‌ها دیرتر تبخیر شد. این در حالی است که مساحت شده خیس شده با قطره حاوی پی‌سی‌گیت بیشتر از فریگیت بود. به نظر می‌رسد که مویان پی‌سی‌گیت ویژگی جاذب رطوبتی نیز داشته باشد که علی‌رغم پخش شدن بیشتر قطره حاوی آن روی سطح برگ ولی در مقایسه با قطره حاوی مویان فریگیت دیرتر تبخیر شده است.

## جمع‌بندی نهایی

نتایج پژوهش حاضر نشان دهنده سازگاری مویان‌های پی‌سی‌گیت، دی‌اکتیل و فریگیت با علف‌کش هالوکسی‌فوپ-آر-متیل حتی در غلظت‌های بالا (تا ۰/۸ درصد حجمی) بود. با این وجود، به منظور جلوگیری از هزینه‌های اضافی غلظت ۰/۲ درصد حجمی مویان‌ها برای کاربرد توصیه می‌گردد. توان مویان‌ها در بهبود کارایی علف‌کش هالوکسی‌فوپ-آر-متیل علیه علف‌هرز جوهره بدین صورت است: دی‌اکتیل < پی‌سی‌گیت < فریگیت. لذا، از بین سه مویان مذکور، مویان دی‌اکتیل بهترین انتخاب برای افزودن به محلول پاشش هالوکسی‌فوپ-آر-متیل می‌باشد. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، مویان‌ها قادرند با افزایش نشست پاشش از طریق کاهش اندازه قطرات پاشش و افزایش پخش شدگی قطره روی سطح برگ موجب بهبود کارایی هالوکسی‌فوپ-آر-متیل می‌شوند. همچنین، به نظر می‌رسد که مویان پی‌سی‌گیت ویژگی جاذب رطوبتی نیز داشته باشد که باعث کاهش سرعت تبخیر قطره و افزایش طول دوره جذب علف‌کش می‌شود.





شکل ۶- تأثیر نوع و غلظت مویان بر زاویه تماس قطره ۵ میکرولیتری از محلول پاشش هالوکسی فوپ-آر-متیل و سطح خیس شده آن با سطح برگ چودره و زمان تبخیر آن. مقادیر دارای حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۰/۰۵ تفاوت معنی داری ندارند.

Figure 6- The effect of surfactant type and concentration on the contact angle and the wetted area of 5 ml drop of haloxyfop-R-methyl spray solution with leaf surface of wild barley and its evaporation time. The values with the same letters are not different at  $\alpha = 0.05\%$ .

## References

1. Al Heidary, M., Douzals, J.P., Sinfort, C., & Vallet, A., (2014). Influence of spray characteristics on potential spray drift of field crop sprayers: A literature review. *Crop protection*, 63, 120-130. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.05.006>
2. Aliverdi, A., & Karami, S., (2020). The effect of type and size of single, twin, and triplet flat fan nozzles on the activity of cycloxydim against wild barley (*Hordeum spontaneum* Koch.). *Journal of Iranian Plant Protection Research*, 33(4), 465-474. <https://doi.org/10.22067/jpp.v33i4.81208>
3. Aliverdi, A., & Karami, S., (2023). The interaction of organosilicon surfactant type and spray volume on diclofop-methyl efficacy in control of winter wild oat. *Journal of Iranian Plant Protection Research*, 37(3), 315-325. <https://doi.org/10.22067/jpp.2023.79032.1108>
4. Aliverdi, A., & Malmir, M., (2023). The effect of surfactant type and its concentration on the efficacy of the selective herbicide of sugar beet (Betanal Progress O.F.). *Journal of Sugar Beet*, 38(1), 109-122. <https://doi.org/10.22092/jsb.2023.359185.1308>
5. Aliverdi, A., Rashed Mohassel, M.H., Zand, E., & Nassiri Mahallati M., (2009). Increased foliar activity of clodinafop-propargyl and/or tribenuron-methyl by surfactants and their synergistic action on wild oat (*Avena ludoviciana*) and wild mustard (*Sinapis arvensis*). *Weed Biology and Management*, 9(4), 292-299. <https://doi.org/10.1111/j.1445-6664.2009.00353.x>
6. Chen, H., Muros-Cobos, J.L., & Amirfazli, A., (2018). Contact angle measurement with a smartphone. *Rev Sci Instrum*, 89, 035117. <https://doi.org/10.1063/1.5022370>
7. Collins, R.T., & Helling, C.S., (2002). Surfactant enhanced control of two Erythroxylum species by glyphosate. *Weed Technology*. 16(4), 851-859. [https://doi.org/10.1614/0890-037X\(2002\)016\[0851:SECOTE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0890-037X(2002)016[0851:SECOTE]2.0.CO;2)
8. Devendra, R., Umamahesh, V., Prasad, T.V.R., Prasad, T.G., Asha, S.T., & Ashok., (2004). Influence of surfactants on efficacy of different herbicides in control of *Cyperus rotundus* and *Oxalis latifolia*. *Current Science*. 86(8), 1148-1151. Ellis, M.B., & Tuck, C.R., (1999). How adjuvants influence spray formation with different hydraulic nozzles. *Crop Protection*, 18, 101-109. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(98\)00097-0](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(98)00097-0)
9. Ellis, M.B., Tuck, C.R., & Miller, P.C.H., (2001). How surface tension of surfactant solutions influences the characteristics of sprays produced by hydraulic nozzles used for pesticide application. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 180, 267-276. [https://doi.org/10.1016/S0927-7757\(00\)00776-7](https://doi.org/10.1016/S0927-7757(00)00776-7)
10. Freed, V.H., & Montgomery, M., (1958). The effect of surfactants on foliar absorption of 3-Amino-1,2,4-Triazole. *Weeds*, 6, 386-389.
11. Gimenes, M.J., Zhu, H., Raetano, C.G., & Oliveira, R.B., (2013). Dispersion and evaporation of droplets amended with adjuvants on soybeans. *Crop Protection*, 44, 84-90. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.10.022>
12. Hammami, H., Ghorbani, R., & Aliverdi, A., (2017). Evaluation the effect of cationic and nonionic surfactants on als-inhibitor herbicides efficacy on wild oat (*Avena ludoviciana*) control. *Journal of Iranian Plant Protection Research*, 31(2), 223-231. <https://doi.org/10.22067/jpp.v0i0.48272>
13. Kargar, M., Rashed Mohassel, M.H., Nezami, A., Izedi Darbandi, E., (2015). Evaluation effect of adjuvant on mesosulfuron+iodosulfuron herbicide performance on littleseed canarygrass control. *Journal of Iranian Plant Protection Research*, 29(3), 295-303. <https://doi.org/10.22067/jpp.v29i3.22452>

14. Kooij, S., Sijs, R., Denn, M., Villermaux, E., & Bonn, D., (2018). What determines the drop size in sprays? *Physical Review X*, 8, 031019. <https://doi.org/10.1016/j.jnnfm.2022.104813>
15. Mamnoie, E., Yazidi Darbandi, E., Rastgo, M., Baghestani, M.A., & Hassanzadeh Khayat, M., (2014). Investigation of the effect of additives in improving the effectiveness of nicosulfuron herbicide in the control of red root cockroach (*Amaranthus retroflexus*), leek (*Chenopodium album*), and *Echinochloa crus-galli*. The 6th Iranian Weed Science Conference. Birjand.
16. Maxwell, P.J., Gannon, T.W., & Cooper, R.J., (2018). Nonionic surfactant affects dislodgeable 2,4-D foliar residue from turfgrass. *Weed Technology*, 32(5), 557-563. <https://doi.org/10.1017/wet.2018.47>
17. Mehr Azin, F., Keshtkar, I., Yaqoubi, S., & Mokhdesi Bidgoli, A., (2023). Effect of additives on the efficiency of glyphosate to control *Physalis divaricata* L. The 10th Iranian National Weed Science Conference, Hamadan.
18. Miller, P.C.H., & Ellis, M.C.B., (2000). Effects of formulation on spray nozzle performance for applications from ground-based boom sprayers. *Crop Protection*, 19, 609-615. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(00\)00080-6](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(00)00080-6)
19. Mohammadi, S., Rastgoo, M., Baghestani, M.A., Vafaie Tabar, M., & Izadi Darbandi, E., (2019). Evaluation of using time effect of total (metsulfuron-methyl 25% + sulfosulfuron 75%) herbicide on some traits of spontaneous barley (*Hordeum spontaneum* K. Koch) ecotypes. *Journal of Iranian Plant Protection Research*, 32(3), 373-384. <https://doi.org/10.22067/jpp.v31i4.54436>
20. Mousavi S.K., (2020). The effect of cutting off the wild barley (*Hordeum spontaneum* C. Koch) spike in wheat on its population in chickpea under a crop rotation system. *Journal of Iranian Plant Protection Research*, 33(4), 441-451. <https://doi.org/10.22067/jpp.v33i4.73370>
21. Oliveira, R.B., Antuniassi, U.R., Mota, A.A.B., & Chechetto, R.G., (2013). Potential of adjuvants to reduce drift in agricultural spraying. *Engenharia Agricola*, 33, 986-992. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162013000500010>
22. Penner, D., (2000). Activator adjuvants. *Weed Technology*, 14(4), 785-791. [https://doi.org/10.1614/0890-037X\(2000\)014\[0785:AA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0890-037X(2000)014[0785:AA]2.0.CO;2)
23. Rick, S., Bonn, D., (2020). The effect of adjuvants on spray droplet size from hydraulic nozzles. *Pest Management Science*, 76, 3487-3494. <https://doi.org/10.1002/ps.5742>
24. Ritz, C., Baty, F., Streibig, J.C. & Gerhard, D., (2015). Dose-response analysis using R. *PLoS One*, 10, e0146021. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146021>
25. Taheri, Sh., Aliverdi, A., & Ahmadvand, G., (2024). The effect of pH and light on the efficacy of spray solution stored of haloxyfop-r-methyl, fluazifop-p-butyl, and sethoxydim against wild barley (*Hordeum spontaneum* K. Koch). *Journal of Iranian Plant Protection Research*, 37, 425-439. <https://doi.org/10.22067/jpp.2023.80667.1128>
26. Zhou, Z., Cao, C., Cao, L., Zheng, L., Xu, J., Li, F., & Huang Q., (2018) Effect of surfactant concentration on the evaporation of droplets on cotton (*Gossypium hirsutum* L.) leaves. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 167, 206-212. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2018.04.018>
27. Zhu, H., & Lin, J., (2016). Coverage area and fading time of surfactant-amended herbicidal droplets on cucurbitaceous leaves. *Transactions of the ASABE*. 59, 829-838. <https://doi.org/10.13031/trans.59.11427>