



Original Article

The effect of ionic and nonionic surfactants at different pH levels on the efficacy of sulfosulfuron in controlling wild barley (*Hordeum spontaneum* C. Koch)

Siavash Hamed¹, Ali Mokhtassi Bidgoli², Saeed Reza Yaghoobi^{*3} 

¹ Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

² Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

³ Faculty of Agricultural Science, Technical and Vocational University, Tehran, Iran.

Article Info

Received:

March 25, 2025

Accepted:

May 31, 2025

First published online:

June 22, 2025

Corresponding Author:

Saeed Reza Yaghoobi

Email:

sr-yaghoobi@tvu.ac.ir

Key words:

Weed,
Anionic, Nonionic,
Effective dose, pH.

Abstract

To investigate the effect of anionic and nonionic surfactants at different pH levels on the efficacy of sulfosulfuron in controlling wild barley, an experiment was conducted in a CRD as a factorial arrangement with four replications. The first factor was the application of sulfosulfuron herbicide (WG 75%) at four doses of 0, 13.3, 26.6, and 35 g ha⁻¹. The second factor included the application of 10 types of surfactants that were sprayed on wild barley in mixtures with sulfosulfuron in solutions with pHs of 5, 7, and 9. There was no wild barley spike when sulfosulfuron was applied at 26.6 g ha⁻¹ combined with SLS at pH 5 and 7 and KECO10 at pH 7 and 9, while in the control treatment without surfactant, spike dry weights exceeded 300 g m⁻² at all pH levels. The minimum dry weights of wild barley were recorded at the mentioned sulfosulfuron dose combined with SLS at pH 5 and 7 and KECO10 at pH 7 and 9, which were 299, 438, 334, and 356 g m⁻² respectively. In contrast, in the control without surfactants, the dry weight of wild barley exceeded 1000 g m⁻² across all pH levels. Furthermore, the lowest effective doses for 90% control (ED90) were 13.9, 19.2, 15, and 12.7 g ha⁻¹ for the respective treatments, compared to 35 g ha⁻¹ in the control. The application of surfactants at different acidity levels, alone or together with sulfosulfuron, had no significant effect on total dry weight or leaf area in wheat cultivars Sivand, Bahar, and Sirvan. Although the use of all surfactants increased the efficacy of sulfosulfuron in controlling wild barley, the pH of the final solution can play a significant role in the performance of both the surfactant and the herbicide.

Cite this article: Hamed, S., Mokhtassi Bidgoli, A. & Yaghoobi, S.R. (2025). The effect of ionic and nonionic surfactants at different pH levels on the efficacy of sulfosulfuron in controlling wild barley (*Hordeum spontaneum* C. Koch). Iran. J. of Weed Sci. 21(1): 121-143. DOI: [10.22034/ijws.2026.370950.1498](https://doi.org/10.22034/ijws.2026.370950.1498)





مقاله پژوهشی

تأثیر سورفکتانت‌های آنیونی و غیر یونی در pHهای مختلف بر کارایی علف کش سولفوسولفون در کنترل علف‌هرز جودره (*Hordeum spontaneum* C. Koch)

سیاوش حامدی^۱، علی مختصی بیدگلی^۲، سعیدرضا یعقوبی^{۳*}

^۱ گروه تولیدات گیاهی و ژنتیک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

^۲ گروه زراعت، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

^۳ دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران.

چکیده

به منظور بررسی تأثیر سورفکتانت‌های آنیونی و غیر یونی در اسیدیته‌های مختلف بر کارایی علف کش سولفوسولفون در کنترل علف هرز جودره، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی به صورت فاکتوریل با چهار تکرار در دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس در سال ۱۳۹۸ انجام شد. فاکتور اول کاربرد علف کش سولفوسولفون (۷۵٪ WG) در چهار دز صفر، ۱۳/۳، ۲۶/۶ و ۳۵ گرم در هکتار بود. فاکتور دوم شامل کاربرد ۱۰ نوع سورفکتانت بود که در اختلاط با سولفوسولفون در محلول‌هایی با اسیدیته‌های پنج، هفت و نه روی بوته‌های جودره سم پاشی شدند. در دز ۲۶/۶ گرم در هکتار سولفوسولفون، وزن خشک خوشه جودره در SLS در اسیدیته ۵ و ۷ و KECO10 در اسیدیته ۷ و ۹، صفر به دست آمد در صورتی که در شاهد بدون سورفکتانت در تمامی مقادیر اسیدیته، بالاتر از ۳۰۰ گرم در مترمربع به دست آمد. کمترین وزن خشک جودره نیز در دز یاد شده در SLS با اسیدیته ۵ و ۷ و KECO10 در اسیدیته ۷ و ۹، به ترتیب ۲۹۹، ۴۳۸، ۳۳۴ و ۳۵۶ گرم در مترمربع در مقایسه با شاهد بدون سورفکتانت در تمامی مقادیر اسیدیته، بالاتر از ۱۰۰۰ گرم در مترمربع به دست آمد. همچنین در تیمارهای یاد شده کمترین مقادیر ED (۹۰) به همان ترتیب ۱۳/۹، ۱۹/۲، ۱۵ و ۱۲/۷ گرم در هکتار در مقایسه با شاهد ۳۵ گرم در هکتار به دست آمد. کاربرد سورفکتانت در اسیدیته‌های مختلف به تنهایی یا همراه با سولفوسولفون تأثیر معنی داری بر وزن خشک کل و سطح برگ در سه رقم سیوند، بهار و سیروان گندم نداشت. طبق نتایج هر چند کاربرد تمامی سورفکتانت‌ها باعث افزایش کارایی سولفوسولفون در کنترل جودره شد؛ ولی اسیدیته محلول نهایی می‌تواند نقش مؤثری در عملکرد و کارایی سورفکتانت و علف کش داشته باشد.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت:

۱۴۰۴/۰۱/۱۵

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۴/۰۳/۱۰

تاریخ انتشار برخط:

۱۴۰۴/۰۴/۰۱

نویسنده مسئول:

سعیدرضا یعقوبی

ایمیل:

sr-yaghoobi@tvu.ac.ir

واژه‌های کلیدی: علف هرز،

آنیونی، غیر یونی، دز مؤثر، اسیدیته.

استناد: حامدی، س.، مختصی بیدگلی، ع.، یعقوبی، س.ر. (۱۴۰۴). تأثیر سورفکتانت‌های آنیونی و غیر یونی در pHهای مختلف بر کارایی علف کش سولفوسولفون در کنترل علف‌هرز جودره (*Hordeum spontaneum* C. Koch). دانش علف‌های هرز ایران، ۲۱(۱): ۱۴۳-۱۲۱.

DOI: 10.22034/ijws.2026.370950.1498



مقدمه

امروزه استفاده از علف‌کش‌ها به‌عنوان یک روش پرکاربرد در کنترل علف‌های هرز شناخته شده است. برای کاهش هزینه کاربرد شدید علف‌کش‌ها و آلودگی محیط زیست و افزایش اثربخشی بیولوژیکی، یک روش مؤثر کاربرد مواد افزودنی یا آدجوانت می‌باشد (Idziak et al., 2023). تمامی علف‌کش‌های پس‌رویشی جدای از سیستمیک یا تماسی بودن با هر مکانیسم عمل، ابتدا باید توسط اندام گیاه جذب شوند. نفوذ علف‌کش‌ها به برگ‌های گیاه تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله خواص فیزیکوشیمیایی، ویژگی‌های کوتیکول گیاه و شرایط محیطی قرار دارند. کوتیکول گیاه که خارجی‌ترین لایه آن به شکل لایه‌ای مومی روی سطح برگ وجود دارد، مهم‌ترین مانعی است که در برابر نفوذ آفت‌کش‌ها عمل می‌کند (Dowgiallo & Guenther, 2019).

سورفکتانت‌ها، آدجوانت‌های فعال‌کننده‌ای^۱ هستند که امولسیون‌کنندگی^۲، پراکندگی^۳، پخش^۴ و خیساندن^۵ را تسهیل و تشدید می‌کنند و به‌صورت کاربرد در فرمولاسیون علف‌کش یا اختلاط در مخزن سم‌پاش به کار می‌روند (Singh & Rana, 2019).

استفاده از سورفکتانت‌ها به‌واسطه توانایی آنها در کاهش کشش سطحی و افزایش خیس‌کنندگی قطرات در سطح برگ، برای افزایش جذب

علف‌کش توسط اندام‌های سبز گیاه، گزینه مناسبی می‌باشد (Karimi-Merdogh et al., 2023)؛ ولی باید در نظر داشت که میزان عملکرد آنها در افزایش کارایی علف‌کش به خواص فیزیکوشیمیایی علف‌کش و سورفکتانت‌های مورد استفاده بستگی دارد (Demirkurt et al., 2025).

سورفکتانت آنیونی دارای سر آب‌دوست با بار منفی می‌باشد و در آب یونیزه شده و مولکول‌هایی دارای بار منفی ایجاد می‌شود که آپوشی می‌گردند (Sagir et al., 2020). اعتقاد بر این است سورفکتانت‌های آنیونی جدای از توانایی آنها در کاهش کشش سطحی، می‌توانند لایه مومی کوتیکول سطح برگ را انعطاف‌پذیر کرده و مسیرهایی را برای عبور علف‌کش از آن ایجاد کنند (Damato et al., 2017).

یکی از مواردی که تأثیر مستقیم در کارایی علف‌کش‌ها دارد، میزان اسیدی یا قلیایی بودن محلول علف‌کش در مخزن سم‌پاش می‌باشد (Grzanka et al., 2021). افزایش pH بیشتر از pK_a باعث یونیزه شدن مولکول علف‌کش اسید ضعیف و تبدیل به آنیونی می‌شود. هر چند این فرایند باعث افزایش انحلال علف‌کش می‌شود ولی ممکن است میزان نفوذ آن در لایه چربی دوست کوتیکول و غشاء و دیواره سلولی که دارای بار منفی می‌باشند را دشوارتر کند (Green & Hale, 2005). اعتقاد بر این است که تغییر pH محلول مخزن سم‌پاش به جز

¹ Activator adjuvants

² Emulsifying

³ Dispersing

⁴ Spreading

⁵ Wetting

آزمایش اول: جودره

این آزمایش به صورت فاکتوریل دو عاملی در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس در سال ۱۳۹۸ اجرا گردید. فاکتور اول کاربرد علف کش سولفوسولفورون (75% WG) در چهار دز صفر، ۱۳/۳، ۲۶/۶ و ۳۵ گرم در هکتار بود که از شرکت گلسم گرگان تهیه گردید. فاکتور دوم شامل کاربرد ۱۰ نوع سورفکتانت با مشخصات ذیل بودند (جدول ۱) که در اختلاط با سولفوسولفورون در محلول‌هایی با اسیدیته‌های پنج، هفت و نه روی بوته‌های جودره سم‌پاشی شدند. در متن برای سهولت در بیان اسیدیته، از حرف A برای اسیدیته ۵، N برای اسیدیته ۷ و B برای اسیدیته ۹ استفاده گردید. سورفکتانت‌های مذکور از شرکت کوپلیمر اصفهان و شرکت کیمیاگران امروز تهیه شدند.

کارایی علف کش (Grzanka et al., 2021) روی عملکرد سورفکتانت (Belhaj et al., 2020) نیز اثر می‌گذارد. سولفوسولفورون^۱ علف کش انتخابی و دومنظوره مزارع گندم از خانواده شیمیایی سولفونیل اوره می‌باشد که به واسطه اختلال در عملکرد آنزیم استولاکتات سنتاز (ALS)^۲، مانع تولید اسیدهای آمینه لوسین، ایزولوسین و والین و در نهایت مرگ علف هرز می‌شود. این علف کش برای کنترل علف هرز جودره^۳ مورد استفاده قرار می‌گیرد (Hosseini et al., 2021). هدف از پژوهش حاضر ارزیابی کارایی سورفکتانت‌های آنیونی و غیریونی در شرایط مختلف اسیدی و قلیایی بر کارایی سولفوسولفورون در کنترل علف هرز جودره می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در قالب دو آزمایش در سال ۱۳۹۷ در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، انجام شد.

جدول ۱. مشخصات سورفکتانت‌های مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Properties of surfactants used in the experiment

No	Surfactant	Abbreviation	Polarity
1	Diocetyl sodium sulfosuccinate	DOSS	Anionic
2	Sodium lauryl ether sulfate	SLS	Anionic
3	Nonylphenol Ethoxylate	NPE9	Nonionic
4	Ethoxylated castor oil	COE40	Nonionic
5	Lauryl alcohol ethoxylated	LAE7	Nonionic
6	Alkyl aryl polyglycol ethylene	AAPE	Nonionic
7	Oleic acid polyethylene glycol ester	KEOL9	Nonionic
8	Coconut fatty acid Polyethylene Glycol Ester	KECO10	Nonionic
9	Polyethylene glycol ether fatty alcohol	PEGFA	Nonionic
10	Control	-	-

شد. بذرها به مدت چند هفته در یخچال در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و سپس اقدام به

بذور علف هرز جودره از مزارع گندم آلوده به جودره در شهرستان ورامین استان تهران جمع‌آوری

¹ Sulfosulfuron

² Acetolactate Synthase

³ *Hordeum spontaneum* C. Koch

برای اندازه‌گیری حجم ریشه، ابتدا خاک ریشه‌ها بطور کامل تمیز شده و سپس درون حجم مشخصی آب در استوانه مدرج غوطه‌ور گردید. از طریق اختلاف حجم ایجاد شده در آب قبل و بعد از غوطه‌ور سازی، حجم ریشه‌ها محاسبه شدند.

آزمایش دوم: گندم

در آزمایش دوم، اثر ترکیبات تیماری برگزیده در آزمایش اول شامل COE، LAE، NPE، DOSS و KECO10 بر ارقام گندم سیروان، سیوند و بهار در اختلاط با سولفوسولفورو طبق شرایط آزمایش اول ارزیابی شدند. بذور ارقام گندم از مرکز تحقیقات نهال و بذر تهیه شد. بذور در گلدان‌های دو لیتری حاوی مخلوط با نسبت مساوی خاک زراعی و خاکبرگ پر شده، کشت گردید. گیاهچه‌ها در مرحله دو برگی، به پنج گیاهچه سالم و یکنواخت تنک شدند و در مرحله پنجه دهی به روش آزمایش اول اعمال تیمار گردیدند.

برای اندازه‌گیری ارتفاع بوته، در مرحله رسیدگی گندم میانگین ارتفاع پنج بوته در هر تکرار از کف گلدان تا نوک سنبله توسط خط کش با دقت یک دهم سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. برای تعیین وزن خشک بوته ابتدا قسمت هوایی گیاه از سطح خاک کف‌بر شده و در پاکت گذاشته شده و به مدت ۴۸ ساعت در آون الکتریکی در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از خشک شدن با ترازوی با دقت ± 0.01 توزین شدند. میانگین وزن پنج بوته به عنوان وزن خشک بوته آن تکرار در نظر گرفته شد.

روش تجزیه آماری داده‌ها: به‌منظور

تجزیه آماری داده‌ها از نرم‌افزار SAS استفاده

کاشت مستقیم بذور جودره در گلدان‌های دو لیتری حاوی مخلوط با نسبت مساوی خاک زراعی و خاکبرگ پر شده، گردید. گیاهچه‌های جودره در مرحله دو برگی، به پنج گیاهچه سالم و یکنواخت تنک شدند و در مرحله چهار تا شش برگی جودره اقدام به اعمال تیمار شد.

برای اعمال تیمارها، محلول علف‌کش همراه با ترکیبات تیماری، با استفاده از سم‌پاش پستی ۱۶ لیتری Hecht با نازل تی جت و با فشار سه بار انجام شد. پیش از اعمال تیمارها، سم‌پاش برای ایجاد خروجی نازل حدود ۳۰۰ لیتر در هکتار کالیبره گردید.

برای ساخت هر یک از محلول‌های تیماری، ابتدا سورفکتانت‌ها با غلظت ۰/۳ درصد در یک لیتر آب مقطر حل شده و سپس علف‌کش سولفوسولفورو در دزهای ذکر شده به محلول اضافه گردید. برای تنظیم pH محلول به‌صورت تیمارهای یاد شده از تعدیل‌کننده‌های اسیدی و قلیایی به ترتیب اسید سیتریک و منواتانول‌آمین استفاده شد. پیش از ساخت محلول‌های تیماری، تست اختلاط در تیمارهای یاد شده انجام گردید.

برای ارزیابی صفات در زمان رسیدگی بذر، ارتفاع بوته‌ها در هر گلدان با استفاده از خط‌کش از سطح خاک گلدان تا سنبله انتهایی، برحسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. سپس برای ارزیابی وزن خشک کل و وزن خشک خوشه ابتدا قسمت هوایی گیاه از سطح خاک کف‌بر شده و پس از جداسازی اندام‌ها، در پاکت گذاشته شده و به مدت ۴۸ ساعت در آون الکتریکی در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و پس از خشک شدن، توزین گردیدند.

وزن خشک گیاه می‌شود و c حد بالای منحنی (حداکثر زیست‌توده، زمانی که مقدار کاربرد علف کش صفر است)، هستند. برای محاسبه ED_{10} و ED_{90} به ترتیب فرمول‌های زیر به جای ED_{50} در معادله فوق قرار گرفت.

$$\exp\left(\ln(EC10) - \left(\frac{1}{b}\right) * \ln\left(\frac{1}{9}\right)\right)$$

$$\exp\left(\ln(EC90) - \left(\frac{1}{b}\right) * \ln(9)\right)$$

برای بررسی دقت مدل‌ها از R^2 ، RMSE استفاده

شد که از روابط زیر محاسبه می‌شوند. در این روابط،

SSE مجموع مربعات خطای آزمایشی، SST مجموع

مربعات کل، MSe میانگین مربعات خطای آزمایشی

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad \text{است.}$$

$$RMSE = \sqrt{MSe}$$

نتایج و بحث

تأثیر برهمکنش علف کش و سورفکتانت در

جودره

اثر علف کش‌ها بر تراکم علف‌های هرز طی چین

اول معنی‌دار بود (جدول تجزیه واریانس ارائه نشده

است).

گردید. قبل از تجزیه واریانس داده‌ها، تست نرمالیتی روی باقیمانده‌ها انجام گرفته و پس از اطمینان از حالت توزیع نرمال باقیمانده‌ها، تجزیه واریانس از طریق مدل خطی تعمیم‌یافته (GLM) انجام شد. برای مقایسه میانگین تیمارها از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح پنج درصد استفاده شد. نمودارها به کمک نرم‌افزار Exel ترسیم گردید.

تجزیه رگرسیون داده‌ها پس از برازش معادله چهار پارامتری لوگ لجستیک به زیست‌توده خشک گیاهان (Y) در مقابل غلظت علف کش (x) با استفاده از رویه NLIN نرم‌افزار (9.2) SAS انجام شد. مقدار علف کش لازم برای ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد کاهش ماده خشک گیاهان (ED_{10} ، ED_{50} و ED_{90}) محاسبه و در تحلیل نتایج آزمایش به کار گرفته شد.

$$Y = a + \frac{(c-a)}{(1 + \exp(b * (\ln(x) - \ln(EC50))))}$$

در این معادله b ، شیب منحنی در نقطه ED_{50} ، a ،

حد پایین منحنی تلفات ماده خشک (تلفات

زیست‌توده وقتی که مقدار کاربرد علف کش

حداکثر است و تقریباً برابر صفر است)، ED_{50} ،

مقداری از علف کش که سبب کاهش ۵۰ درصد

جدول ۲. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر سورفکتانت‌ها در اسیدیته‌های مختلف در دز علف کش سولفوسولفورون بر جودره

Table 2. Analysis of variance (mean squares) of the effects of surfactants at different pH levels and sulfosulfuron doses on wild barley

SOV	df	Spike dry weight	Total dry weight	Plant height	Relative dry weight	Root volume
Herbicide dose	3	7021334**	12414367**	274339**	41890**	2.097**
Surfactant	29	151922**	543058**	488**	1832**	2.564**
Herbicide dose × surfactant	87	20938**	115144**	103**	388**	2.771**
Error	360	4970	22715	30.6	76.6	2.097
CV	-	30.6	16.9	12.4	16.4	13.8

* و ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد احتمال، MS غیر معنی‌دار است.

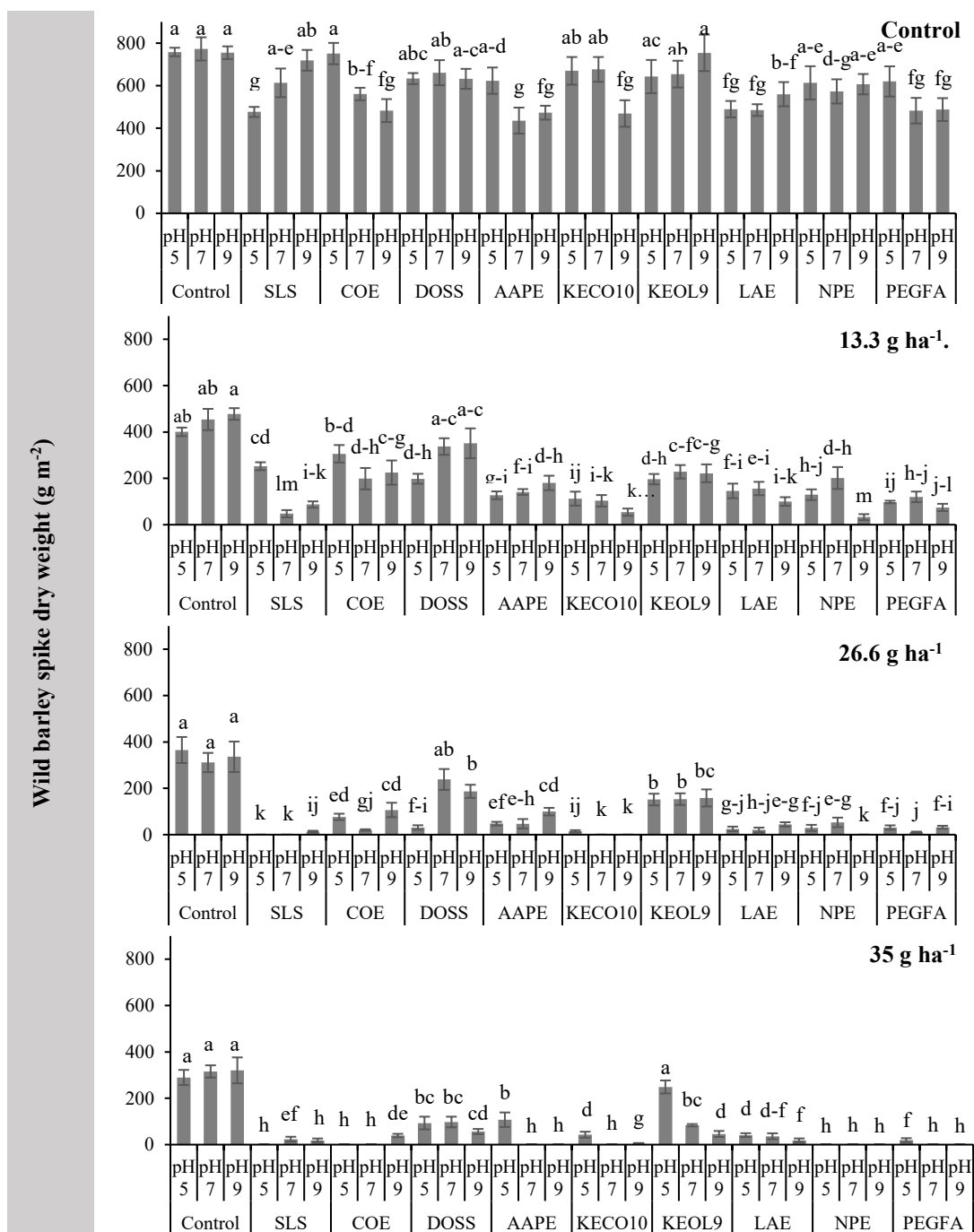
* and ** indicate significance at the 5% and 1% probability levels, respectively; ns: non-significant.

وزن خشک خوشه جودره

نتایج آزمایش نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری در کاربرد و عدم کاربرد سورفکتانت در اسیدیته‌های مختلف در شاهد بدون علف‌کش در وزن خشک خوشه جودره بود. در سورفکتانت‌های $SLS-A^9$ ، $COE-B$ ، $COE-N$ ، $AAPE-N$ ، $AAPE-B$ ، $KECO10-N$ ، LAE در هر سه اسیدیته، $NPE-B$ ، $PGEFA-B$ و $PGEFA-N$ در صفت وزن خشک خوشه تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد و تیمار بدون سورفکتانت دارند (شکل ۱). در تیمار SLS اسیدیته A با میزان وزن خشک خوشه پایین، دارای تفاوت معنی‌داری با اسیدیته‌های B و N است، در حالی که در تیمار COE این حالت برعکس SLS بوده و تیمار اسیدیته B و N با میزان وزن خشک خوشه پایین، تفاوت معنی‌داری با اسیدیته A دارند. در تیمار $DOSS$ و $KEOL9$ هیچ تفاوت معنی‌داری در سطح اسیدیته‌ها مشاهده نشد. در تیمار $AAPE$ تفاوت معنی‌داری بین اسیدیته B و N مشاهده نشد؛ ولی این اسیدیته‌ها دارای تفاوت معنی‌داری با A هستند. در سورفکتانت $KECO10$ اسیدیته N دارای وزن خشک خوشه پایین و تفاوت معنی‌دار با دو اسیدیته A و B است. در سورفکتانت‌های LAE و NPE با توجه به کاهش وزن خشک خوشه، تفاوت معنی‌داری در سطوح اسیدیته مشاهده نشد. در سورفکتانت $PGEFA$ بین اسیدیته A با B و N تفاوت معنی‌دار مشاهده شده است. سورفکتانت $AAPE-B$ دارای کمترین وزن خشک خوشه بود و تفاوت معنی‌داری با اکثر تیمارها دارد (شکل ۱). با

کاربرد دز $13/3$ گرم علف‌کش سولفوسولفورون در هکتار، به غیر از تیمارهای $COE-A$ ، $DOSS-N$ ، $DOSS-B$ ، تمام سورفکتانت‌ها در تمام سطوح اسیدیته از نظر وزن خشک خوشه اختلاف معنی‌داری با تیمار بدون سورفکتانت داشتند. در سورفکتانت‌های SLS و $DOSS$ تفاوت معنی‌داری بین اسیدیته B و N با اسیدیته A وجود داشت. در سورفکتانت $KECO10$ تفاوت معنی‌داری در اسیدیته A با N وجود دارد، در حالی که بین اسیدیته B و N تفاوت معنی‌دار وجود ندارد. سورفکتانت NPE تفاوت معنی‌داری در سطح اسیدیته N با وزن خشک خوشه پایین، با B و A مشاهده شد. در هر کدام از سورفکتانت‌های $PGEFA$ ، COE ، $AAPE$ ، $KEOL9$ و LAE هیچ تفاوت معنی‌داری از نظر اسیدیته مشاهده نشد. تیمار $NPE-N$ ، $KECO10-N$ و $SLS-B$ موثرترین تیمارها در دز $13/3$ در کاهش وزن خشک خوشه بوده است. که دارای تفاوت معنی‌داری با تیمار بدون سورفکتانت است. با کاربرد دز $26/6$ علف‌کش سولفوسولفورون در هکتار نیز به غیر از تیمارهای $DOSS-B$ بقیه سورفکتانت‌ها در تمام سطوح اسیدیته از نظر وزن خشک خوشه، اختلاف معنی‌داری با تیمار بدون سورفکتانت دارند. در سورفکتانت SLS در اسیدیته N نسبت A و B که وزن خشک خوشه صفر داشتند، تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. در سورفکتانت COE بین اسیدیته B با وزن خوشه پایین، با N و A اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. همچنین تفاوت معنی‌داری بین اسیدیته A با B و N در سورفکتانت $DOSS$ دیده شد.

⁹ در متن برای سهولت در بیان pH از حرف A برای pH ۵، N برای pH ۷ و B برای pH ۹ استفاده گردید.



شکل ۱. برهمکنش سورفکتانت‌ها در اسیدیته های مختلف و دزهای علف کش سولفوسولفورون بر وزن خشک خوشه جودره است. سدیم لاریل اتر سولفات (SLS)، کاستر اوایل اتوکسیلات (COE)، دی اکتیل سولفوسوکسینات سدیم (DOSS)، الکیل آریل پلی گلیکول اتیل (AAPE)، کوکونات فتی اسید پلی اتیلن گلیکول استر (KECO10)، اولینک اسید پلی اتیلن گلیکول استر (KEOL9)، لوریل الکل اتوکسیلات (LAE)، نونیل فنول اتوکسیلات (NPE)، پلی گلیکول اتر فتی الکل (PEGFA). حروف مشابه نشان دهنده عدم معنی داری در سطح ۵ درصد احتمال می‌باشند. میله‌ها نشان دهنده خطای معیار هستند.

Figure 1. Interaction effects of surfactants at different pH levels and sulfosulfuron doses on wild barley spike dry weight. Sodium lauryl ether sulfate (SLS), Ethoxylated castor oil (COE), Dioctyl sodium sulfosuccinate (DOSS), Alkyl aryl polyglycol ethylene (AAPE), Coconut fatty acid polyethylene glycol ester (KECO10), Oleic acid polyethylene glycol ester (KEOL9), Nonylphenol ethoxylate (NPE), Lauryl alcohol ethoxylated (LAE), Polyethylene glycol ether fatty alcohol (PEGFA). Similar letters indicate no significant difference at the 5% probability level. Bars indicate standard error.

شده است. در هر کدام از سورفکتانت KECO10 و KEOL9 تفاوت معنی‌داری بین تمام سطوح اسیدیته مشاهده شد. در سورفکتانت LAE اسیدیته تفاوت معنی‌داری بین اسیدیته A با N وجود داشت. سورفکتانت NPE در تمام اسیدیته دارای وزن خشک خوشه صفر است و تفاوت معنی‌داری با هم ندارند. اسیدیته B و N در سورفکتانت PGEFA با وزن خشک خوشه صفر دارای تفاوت معنی‌دار با اسیدیته A است. سورفکتانت NPE-N، KECO10-B، SLS-B و SLS-A با وزن خشک خوشه صفر دارای بالاترین کاهش وزن خشک خوشه و تفاوت معنی‌دار با تیمار بدون سورفکتانت، تأثیر زیادی در افزایش کارایی علف‌کش داشته‌اند (شکل ۱).

افزایش دز علف‌کش باعث کاهش وزن خشک خوشه جودره شده است به‌طوری‌که در دز ۲۶/۶ تیمارهای آزمایشی SLS-A، SLS-B، KECO10-N، KECO10-B، COE-A، COE-B، AAPE-N، AAPE-B، NPE-A، NPE-B، NPE-N، PEGFA-A و PEGFA-B باعث عدم تولید خوشه در علف هرز جودره شد (شکل ۱).

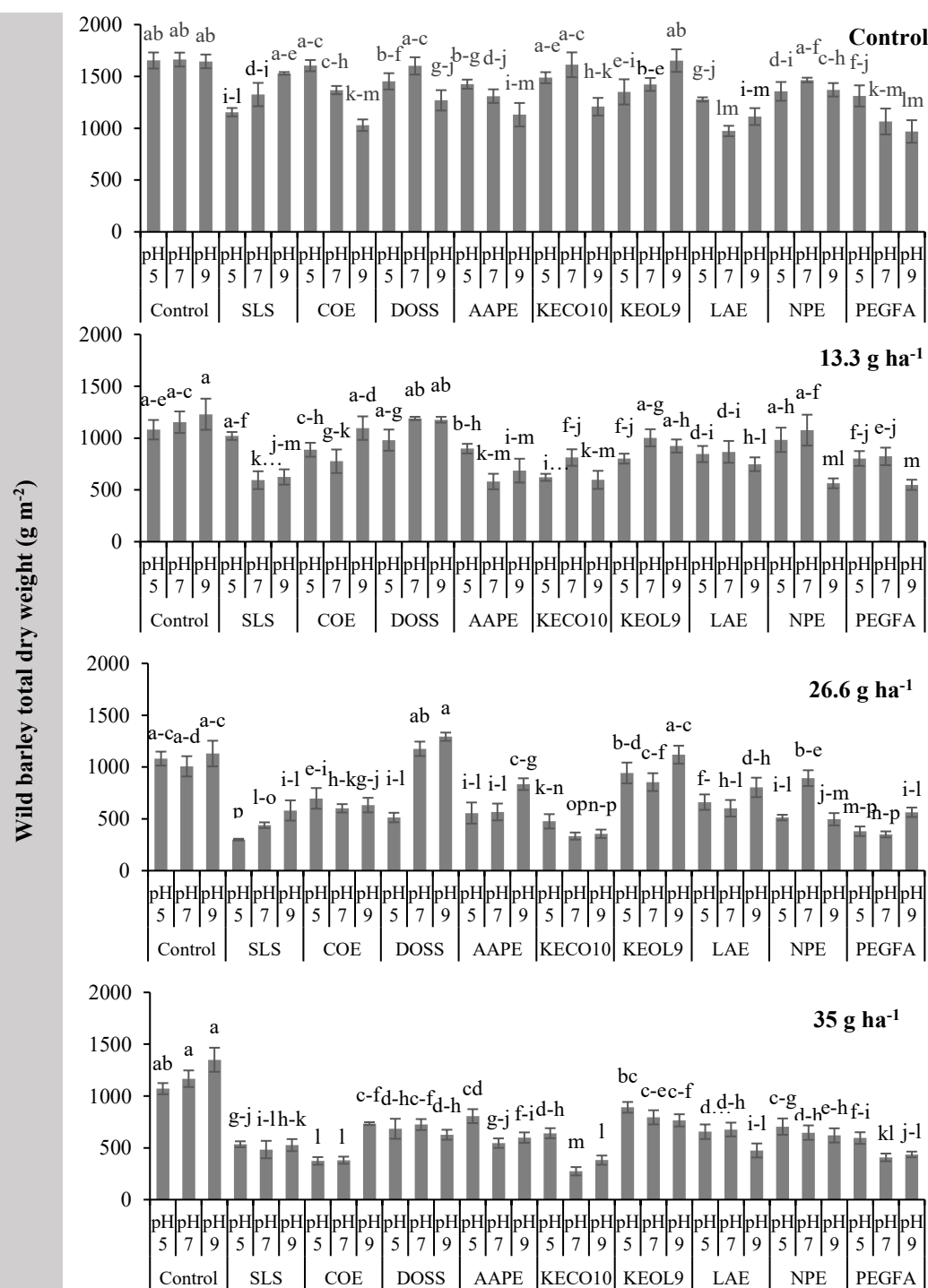
وزن خشک کل جودره

با کاربرد سورفکتانت‌های SLS-A، SLS-B، COE-B، COE-A، DOSS-A، DOSS-N، KECO10-N، KEOL9-A، KEOL9-B، LAE، PGEFA، NPE و AAPE در هر سه اسیدیته تفاوت معنی‌داری در صفت وزن خشک کل با تیمار شاهد و تیمار بدون سورفکتانت مشاهده شد (شکل ۲). در تیمار سورفکتانت SLS تفاوت

تفاوت معنی‌داری نیز بین اسیدیته B و A با وزن خشک خوشه پایین نسبت به N در سورفکتانت AAPE مشاهده شده است. در سورفکتانت KECO10 تفاوت معنی‌داری بین اسیدیته N و B با وزن خشک خوشه صفر، نسبت به اسیدیته A مشاهده شده است. در سورفکتانت LAE اسیدیته B و A با وزن خشک خوشه پایین نسبت به N دارای تفاوت معنی‌دار با آن است. سورفکتانت NPE در اسیدیته N دارای تفاوت معنی‌داری با اسیدیته A و B است. اسیدیته B در سورفکتانت PGEFA دارای تفاوت معنی‌دار با اسیدیته A و N است. در هر کدام از تیمار سورفکتانت KEOL9 و بدون سورفکتانت تفاوت معنی‌داری در سطح اسیدیته مشاهده نشد (شکل ۱). سورفکتانت NPE-N، KECO10-N، B-KECO10، SLS-B و SLS-A با وزن خشک خوشه صفر دارای بالاترین کاهش وزن خشک خوشه و تفاوت معنی‌دار با تیمار بدون سورفکتانت، تأثیر زیادی در افزایش کارایی علف‌کش داشته‌اند. در دز ۳۵ گرم علف‌کش سولفوسولفورون در هکتار، به غیر از تیمارهای KEOL9-A بقیه سورفکتانت‌ها در تمام سطوح اسیدیته از نظر وزن خشک خوشه، اختلاف معنی‌داری با تیمار بدون سورفکتانت ندارند. سورفکتانت SLS در اسیدیته A تفاوت معنی‌داری با N و B داشت. در سورفکتانت COE بین اسیدیته B و A با وزن خشک خوشه صفر با اسیدیته N اختلاف معنی‌داری مشاهده شد، همچنین تفاوت معنی‌داری بین اسیدیته N با B و A در سورفکتانت DOSS دیده شد. تفاوت معنی‌داری نیز بین اسیدیته B و N با وزن خشک خوشه صفر با تیمار اسیدیته A در سورفکتانت AAPE مشاهده

معنی‌داری بین اسیدیته A و B با وزن خشک کل پایین، در مقایسه با اسیدیته N وجود دارد. سورفکتانت COE در هر سه اسیدیته تفاوت معنی‌دار با هم دارند که تیمار اسیدیته N دارای وزن خشک پایینی نسبت به اسیدیته‌های دیگر است. در سورفکتانت‌های AAPE، DOSS و KECO10 کمترین مقدار وزن خشک مربوط به اسیدیته N است که تفاوت معنی‌داری با اسیدیته‌های A و B دارند. در سورفکتانت KEOL9 اسیدیته B و A دارای وزن خشک پایین و تفاوت معنی‌دار با تیمار اسیدیته N است. اسیدیته‌های B و N در تیمار سورفکتانت LAE دارای تفاوت معنی‌دار با اسیدیته A هستند. در سورفکتانت PGEFA نیز تفاوت معنی‌دار در اسیدیته N و B نسبت به A وجود دارد. در تیمارهای بدون سورفکتانت و NPE تفاوت معنی‌دار در سطوح اسیدیته مشاهده نشد. تیمارهای PGEFA-N و LAE-B با وزن خشک کل پایین، موثرترین تیمارها دز بدون استفاده از علف کش بودند (شکل ۲). با کاربرد دز ۱۳/۳ علف کش سولفوسولفورون همراه سورفکتانت‌های SLS-N، SLS-B، COE-B، AAPE-B، B، AAPE-N، LAE-N، NPE-N، PGEFA-A، KECO10 و PGEFA-N در هر سه اسیدیته، تفاوت معنی‌داری در صفت وزن خشک کل با تیمار شاهد و تیمار بدون سورفکتانت مشاهده شد (شکل ۲). در سورفکتانت SLS اسیدیته B و N با وزن خشک پایین، دارای تفاوت معنی‌داری با اسیدیته A است. اسیدیته B و A در سورفکتانت COE با اسیدیته N تفاوت معنی‌داری دارد. در سورفکتانت AAPE بین اسیدیته N و B که دارای وزن خشک کل پایین هستند با اسیدیته A تفاوت معنی‌داری مشاهده شده است. سورفکتانت

PEGEFA و NPE در اسیدیته N با وزن خشک کل پایین نسبت به اسیدیته B و N دارای تفاوت معنی‌داری با آن است. در سورفکتانت‌های DOSS، KECO10، KEOL9، LAE تفاوت معنی‌داری در وزن خشک کل در اسیدیته مشاهده نشد. کمترین وزن خشک کل مربوط به تیمار PEGFA-N بود که به جزء تیمارهای NPE-N، KECO10-N، KECO10، A، AAPE-B، AAPE-N، SLS-N و SLS-B با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری دارد. کاربرد دز ۲۶/۶ گرم علف کش سولفوسولفورون در هکتار، در بین تیمارها آزمایشی به غیر از تیمارهای DOSS-A، AAPE-A، AAPE-B، LAE-A، LAE-B، NPE-N، NPE-A و در سورفکتانت‌های SLS، COE، PGEFA و KECO10 در هر سه اسیدیته، تفاوت معنی‌داری در صفت وزن خشک کل با تیمار بدون سورفکتانت مشاهده شد. در سورفکتانت SLS تفاوت معنی‌داری بین اسیدیته A با وزن خشک کل پایین با اسیدیته B و N وجود دارد (شکل ۲). همچنین تفاوت معنی‌داری در سورفکتانت DOSS بین اسیدیته A با B و N مشاهده شد. در سورفکتانت AAPE تفاوت معنی‌داری در بین اسیدیته A و B با وزن خشک کل پایین با اسیدیته N وجود دارد. تیمار KECO10 در اسیدیته B تفاوت معنی‌داری با اسیدیته A دارد. در تیمار NPE نیز تفاوت معنی‌داری بین اسیدیته A و N با اسیدیته B وجود دارد. سورفکتانت PEGFA در اسیدیته A و B دارای تفاوت معنی‌دار با اسیدیته N است. در سورفکتانت‌های COE، KEOL9 و LAE تفاوت معنی‌داری در بین اسیدیته‌ها مشاهده نشد.



شکل ۲. برهمکنش سورفکتانت‌ها در اسیدیته‌های مختلف و دزهای علف‌کش سولفوسولفورون بر وزن خشک کل جو دره است. سدیم لاریل اتر سولفات (SLS)، کاستر اوایل اتوکسیلات (COE)، دی اکتیل سولفوسوکسینات سدیم (DOSS)، الکیل آریل پلی‌گلیکول اتیل (AAPE)، کوکونات فتی اسید پلی اتیلن گلیکول استر (KECO10)، اولئیک اسید پلی اتیلن گلیکول استر (KEOL9)، لوریل الکل اتوکسیلات (LAE)، نونیل فنول اتوکسیلات (NPE)، پلی گلیکول اتر فتی الکل (PEGFA). حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح ۵ درصد احتمال می‌باشند. میله‌ها نشان‌دهنده خطای معیار هستند.

Figure 2. Interaction effects of surfactants at different pH levels and sulfosulfuron doses on wild barley total dry weight. Sodium lauryl ether sulfate (SLS), Ethoxylated castor oil (COE), Dioctyl sodium sulfosuccinate (DOSS), Alkyl aryl polyglycol ethylene (AAPE), Coconut fatty acid polyethylene glycol ester (KECO10), Oleic acid polyethylene glycol ester (KEOL9), Nonylphenol ethoxylate (NPE), Lauryl alcohol ethoxylated (LAE), Polyethylene glycol ether fatty alcohol (PEGFA). Similar letters indicate no significant difference at the 5% probability level. Bars indicate standard error.

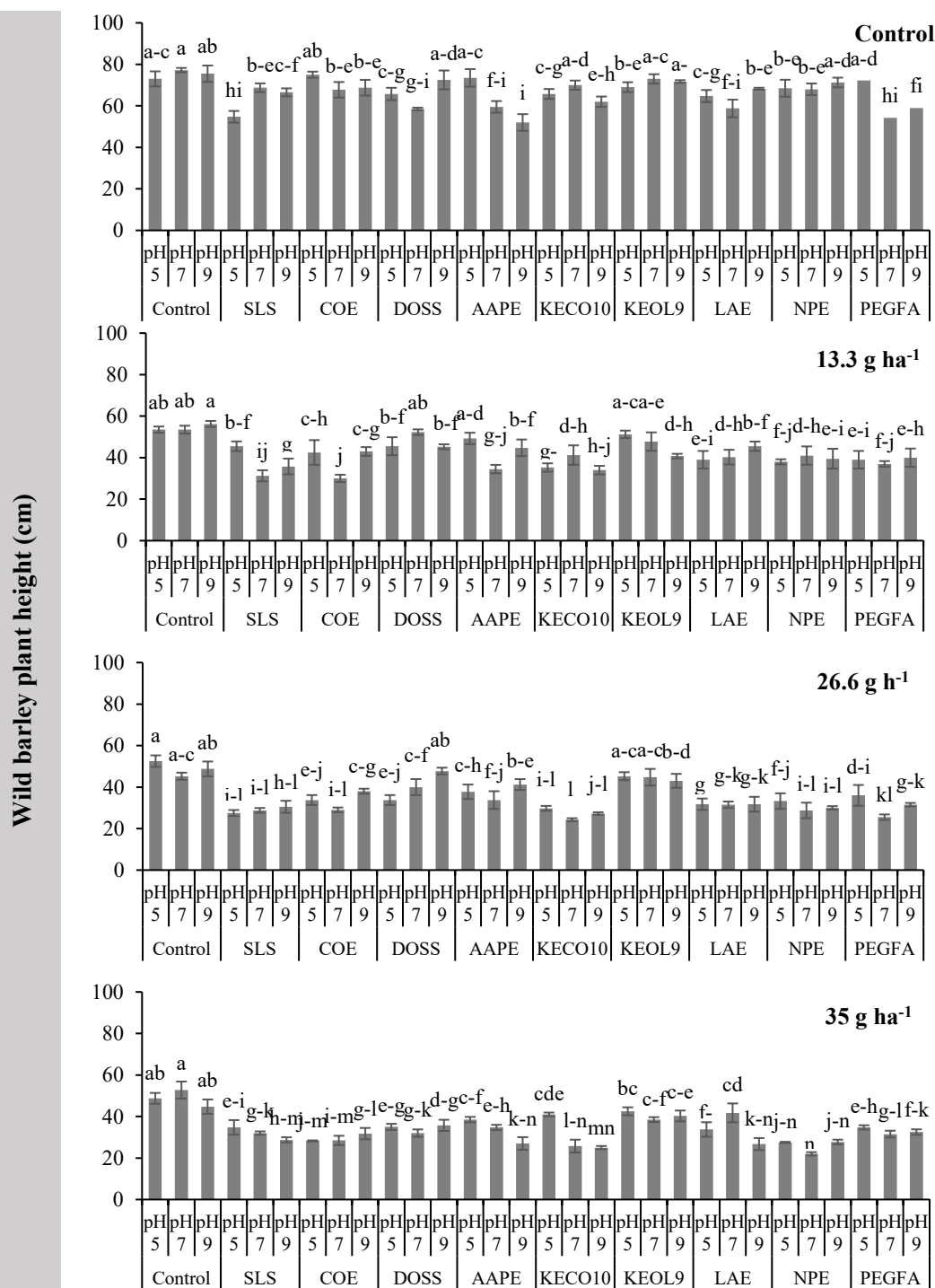
تیمارهای سورفکتانت و تیمار بدون سورفکتانت است.

ارتفاع بوته جودره

شکل ۳، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری در بین تیمار سورفکتانت‌ها و عدم کاربرد سورفکتانت در دز صفر علف‌کش سولفوسولفورون از نظر ارتفاع بوته است، در سورفکتانت‌های SLS-A، DOSS-A، DOSS-B، LAE-A، PGEFA-B، PGEFA-N، KECO10-N و LAE-B، AAPE-N و AAPE-B تفاوت معنی‌داری در صفت ارتفاع بوته با تیمار شاهد و تیمار بدون سورفکتانت مشاهده شد. در سورفکتانت SLS اسیدیته A با کمترین وزن خشک نسبت به دو اسیدیته B و N تفاوت معنی‌داری با آن دارد. تیمار اسیدیته A و B در تیمار DOSS دارای تفاوت معنی‌داری با تیمار A است. در سورفکتانت AAPE اسیدیته B و N با ارتفاع بوته کمتر نسبت به تیمار A دارای تفاوت معنی‌داری در صفت ارتفاع بوته هستند. در سورفکتانت LAE تفاوت معنی‌داری در اسیدیته B با ارتفاع بوته کمتر نسبت به دو اسیدیته A و N وجود دارد. اسیدیته N و B در سورفکتانت PEGFA با ارتفاع بوته پایین، دارای تفاوت معنی‌داری با اسیدیته A است. در تیمارهای COE، KECO10، KEOL9 و NPE تیمار بدون سورفکتانت در هیچ کدام از اسیدیته تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. تیمارهای SLS-A، PEGFA-B، LAE-B و AAPE-N دارای کمترین ارتفاع بوته هستند که با سایر تیمارهای سورفکتانت و بدون سورفکتانت تفاوت معنی‌داری دارند.

سورفکتانت SLS-A دارای کمترین وزن خشک کل علف هرز بوده و با تمام سورفکتانت‌ها به غیر از تیمارهای KECO10-B، KECO10-N، PEGFA-A و PEGFA-B تفاوت معنی‌داری دارد (شکل ۲).

با کاربرد دز ۳۵ گرم سولفوسولفورون در هکتار سورفکتانت‌های DOSS-A، AAPE-A، AAPE-، LAE-A، LAE-B، NPE-N، NPE-A و در سورفکتانت‌های SLS، COE، PEGFA و KECO10 در هر سه اسیدیته، تفاوت معنی‌داری در صفت وزن خشک کل با تیمار بدون سورفکتانت مشاهده شد. در سورفکتانت COE تفاوت معنی‌داری بین اسیدیته A و B با وزن خشک کمتر نسبت به اسیدیته N وجود دارد. در تیمار AAPE کمترین وزن خشک علف هرز مربوط به تیمار اسیدیته B و N است که تفاوت معنی‌داری با اسیدیته A دارد. در تیمار KECO10 تفاوت معنی‌داری در هر سه اسیدیته وجود دارد که به ترتیب اسیدیته B، N و A دارای کمترین و بیشترین وزن خشک در این سورفکتانت هستند. سورفکتانت LAE در اسیدیته N با وزن خشک کل پایین دارای تفاوت معنی‌داری با B و A است. در تیمار PEGFA در اسیدیته‌های N و B با وزن خشک کل پایین تفاوت معنی‌داری با اسیدیته A مشاهده شد. در سورفکتانت‌های NPE، KEOL9، DOSS، SLS و بدون سورفکتانت تفاوت معنی‌داری در تیمارهای اسیدیته مختلف مشاهده نشد. کمترین وزن خشک کل مربوط به تیمار KECO10-B است که دارای تفاوت معنی‌داری با تمام



شکل ۳. برهمکنش سورفکتانت‌ها در اسیدیته‌های مختلف و دزهای علف‌کش سولفوسولفورون بر ارتفاع بوته جو دره است. سدیم لاریل اتر سولفات (SLS)، کاستر اوایل اتوکسیلات (COE)، دی اکتیل سولفوسوکسینات سدیم (DOSS)، الکیل آریل پلی‌گلیکول اتیل (AAPE)، کوکونات فنی اسید پلی اتیلن گلیکول استر (KECO10)، اولئیک اسید پلی اتیلن گلیکول استر (KEOL9)، لوریل الکل اتوکسیلات (LAE)، نونیل فنول اتوکسیلات (NPE)، پلی گلیکول اتر فنی الکل (PEGFA). حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی داری در سطح ۵ درصد احتمال می‌باشند. میله‌ها نشان‌دهنده خطای معیار هستند.

Figure 3. Interaction effects of surfactants at different pH levels and sulfosulfuron doses on wild barley height. Sodium lauryl ether sulfate (SLS), Ethoxylated castor oil (COE), Dioctyl sodium sulfosuccinate (DOSS), Alkyl aryl polyglycol ethylene (AAPE), Coconut fatty acid polyethylene glycol ester (KECO10), Oleic acid polyethylene glycol ester (KEOL9), Nonylphenol ethoxylate (NPE), Lauryl alcohol ethoxylated (LAE), Polyethylene glycol ether fatty alcohol (PEGFA). Similar letters indicate no significant difference at the 5% probability level. Bars indicate standard error.

شکل ۳، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری در بین تیمار سورفکتانت‌ها و عدم کاربرد سورفکتانت در دز ۱۳/۳ علف‌کش سولفوسولفورون از نظر ارتفاع بوته است، بغیر از تیمارهای *SLS-A*، *DOSS-A*، *DOSS-B*، *KEOL9-A*، *KEOL9-B*، *AAPE-A*، *AAPE-N* و *LAE-N* سایر تیمارهای آزمایشی دارای تفاوت معنی‌داری در صفت ارتفاع بوته بوده با تیمار بدون سورفکتانت بودند. در تیمار سورفکتانت *SLS* تفاوت معنی‌دار بین اسیدیته *B* و *N* با ارتفاع بوته کمتر، با اسیدیته *A* مشاهده شد. اسیدیته *B* در سورفکتانت *COE* دارای تفاوت معنی‌داری با اسیدیته *A* و *N* است. در تیمار *AAPE* اسیدیته *B* با ارتفاع بوته کمتر دارای تفاوت معنی‌داری با تیمار اسیدیته *A* و *N* است. اسیدیته *N* در سورفکتانت *KEOL9* دارای تفاوت معنی‌دار با *B* و *A* است. در تیمارهای *DOSS*، *KECO10*، *LAE*، *NPE* و *PEGFA* تیمار بدون سورفکتانت تفاوت معنی‌داری در اسیدیته‌های مختلف وجود ندارد. تیمارهای *COE-B*، *SLS-B*، *AAPE-B*، *KECO10-B*، *NPE-A* و *PEGFA-B* تیمارهای دارای کمترین ارتفاع بوته هستند که دارای تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها هستند.

در شکل ۳ با کاربرد دز ۲۶/۶ گرم علف‌کش سولفوسولفورون در هکتار، به‌غیر از تیمارهای *COE-N*، *DOSS-N*، *DOSS-B*، *AAPE-A*، *AAPE-N* و *KEOL9* در هر سه اسیدیته سایر تیمارهای آزمایشی دارای تفاوت معنی‌داری در صفت ارتفاع بوته بوده با تیمار بدون سورفکتانت بودند. در تیمار *COE* اسیدیته *B* با ارتفاع بوته کمتر،

دارای تفاوت معنی‌داری با اسیدیته *N* و *A* است. اسیدیته *A* و *B* در تیمار *DOSS* دارای تفاوت معنی‌دار با *N* است. در سورفکتانت *AAPE* اسیدیته *B* دارای تفاوت معنی‌داری با اسیدیته *N* است. اسیدیته *B* با ارتفاع بوته کمتر دارای تفاوت معنی‌دار با تیمار *A* است. در تیمار *SLS*، *KECO10*، *KEOL9*، *LAE*، *NPE* و تیمار بدون سورفکتانت تفاوت معنی‌داری در اسیدیته‌های مختلف وجود ندارد. تیمارهای *PEGFA-B*، *COE-B*، *NPE-B*، *NPE-N* و تیمارهای *SLS* و *KECO10* در هر سه اسیدیته دارای کمترین ارتفاع بوته و تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها هستند.

در شکل ۳ کاربرد دز ۳۵ گرم علف‌کش سولفوسولفورون در هکتار، بغیر از تیمارهای *LAE-B* و *KEOL9-A* سایر تیمارهای آزمایشی دارای تفاوت معنی‌داری در صفت ارتفاع بوته بوده با تیمار بدون سورفکتانت داشتند. در تیمار *AAPE* اسیدیته *N* با ارتفاع بوته کمتر، دارای تفاوت معنی‌دار با اسیدیته *A* و *B* است. اسیدیته *B* و *N* در تیمار *KECO10* با ارتفاع بوته کمتر دارای تفاوت معنی‌دار با اسیدیته *A* است. در تیمار *LAE* تفاوت معنی‌دار در هر سه اسیدیته وجود داشت، به‌طوری‌که به ترتیب اسیدیته *N*، *A* و *B* دارای ارتفاع بوته کمتر هستند. در تیمار *NPE* نیز تفاوت معنی‌دار بین اسیدیته *B* با اسیدیته *N* و *A* وجود دارد. در تیمارهای *SLS*، *COE*، *PEGFA*، *DOSS* و *KEOL9* در اسیدیته‌های مختلف تفاوت معنی‌داری ندارد. تیمار *NPE-B* دارای کمترین ارتفاع بوته است که تفاوت

سولفوسولفورون کارایی این علف‌کش را در کاهش رشد ریشه جودره به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش داده‌است (شکل ۴).

مدل چهار پارامتری لوگ- لجستیک در جودره

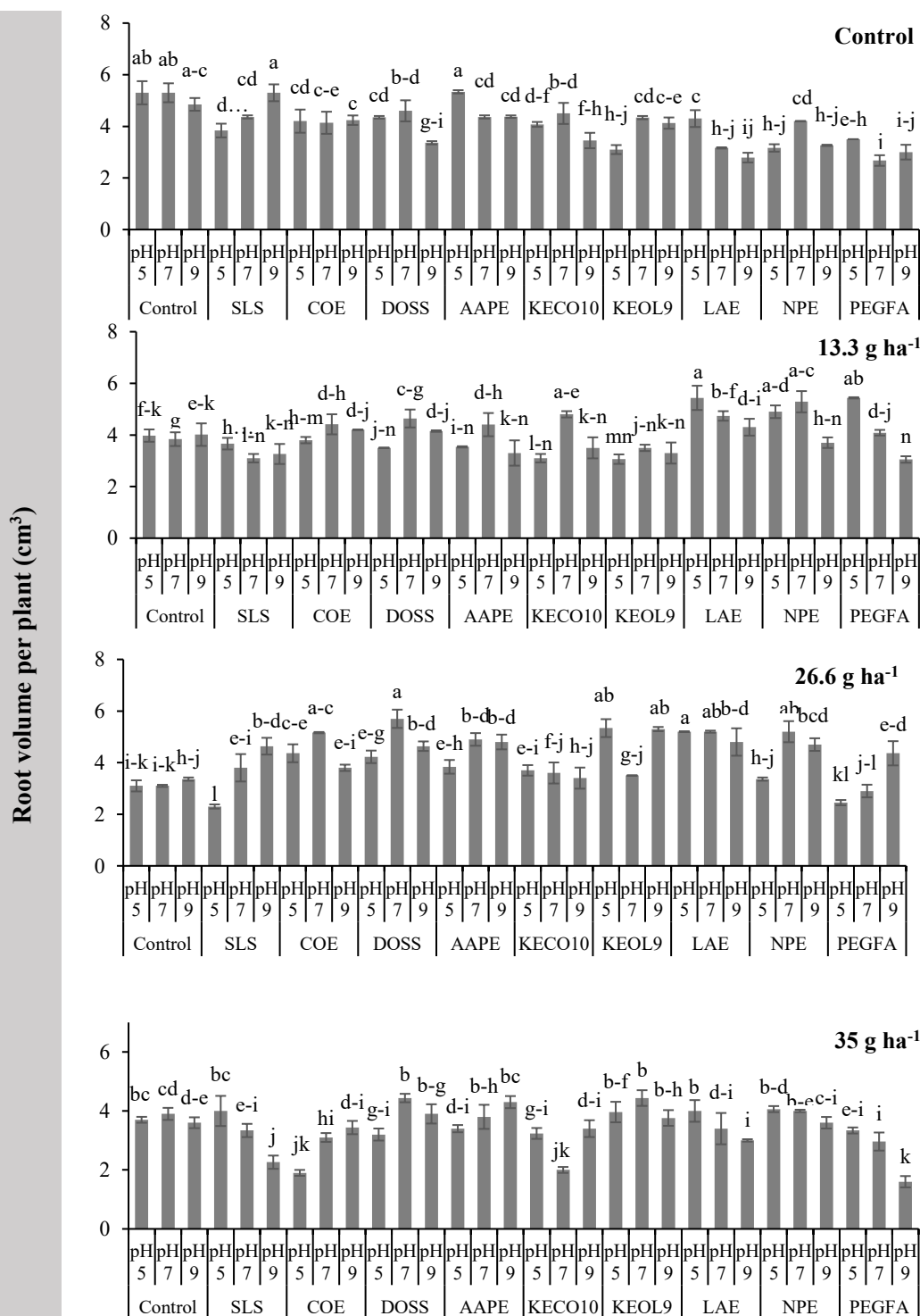
مدل لوگ- لجستیک چهار پارامتره بادقت بالا (ضریب تبیین بالا و ریشه میانگین مربعات خطایی پایین) اثر دزهای علف‌کش سولفوسولفورون با و بدون سورفکتانت در اسیدیت‌های مختلف را برازش داد و براساس مقایسه پارامترهای برآورد شده توسط این مدل برای وزن خشک نسبی مشاهده شد که حد پایین کشندگی منحنی (پارامتر c) اختلاف معنی‌داری با هم دارند.

در شرایط بدون سورفکتانت، تغییر اسیدیت تأثیری در مقدار برآورد شده ED90 نداشت و دز سولفوسولفورون ۳۵ گرم در هکتار به‌دست آمد. مقدار برآورد شده ED90 در تمامی اسیدیت‌ها برای سورفکتانت LEOL9، اسیدیت ۷ و ۹ برای سورفکتانت DOSS و ۵ و ۹ COE، ۳۵ به‌دست آمد. کمترین ED90 مربوط به کاربرد سورفکتانت KECO10 در اسیدیت ۵، SLS در اسیدیت ۹ و NPE در اسیدیت ۷ به ترتیب ۱۲/۷، ۱۳/۹ و ۱۴/۷ به‌دست آمد (ضمیمه ۱).

معنی‌داری با سایر سورفکتانت‌ها به‌غیر از LAE-N، KECO10-B، KECO10-N و AAPE-N دارد.

حجم ریشه جودره

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل دز علف‌کش سولفوسولفورون و سورفکتانت‌ها در شرایط مختلف اسیدیت بر حجم ریشه جودره در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که افزایش دز علف‌کش به‌طور کلی منجر به کاهش معنی‌دار حجم ریشه گردید، به‌طوری که در بالاترین دز (۳۵ گرم در هکتار) حجم ریشه در اغلب تیمارها به کمتر از چهار سانتی متر مکعب رسید، در حالی که در شاهد بدون علف‌کش حجم ریشه بیش از پنج سانتی متر مکعب اندازه‌گیری شد (شکل ۴). کمترین حجم ریشه جودره در شرایط کاربرد ۲۶ گرم سولفوسولفورون در هکتار همراه با PEGFA در اسیدیت قلیایی، KECO10 در اسیدیت اسیدی کمتر از دو سانتی متر مکعب برای هر بوته به‌دست آمد. به نظر می‌رسد استفاده از سورفکتانت‌های غیریونی نسبت به سورفکتانت‌های آنیونی تأثیر بیشتری در کاهش حجم ریشه داشت. این موضوع نشان‌دهنده آن است که سورفکتانت‌ها با افزایش نفوذ و جذب علف‌کش در گیاه، موجب اختلال بیشتر در سیستم ریشه‌ای جودره شدند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که افزودن سورفکتانت‌های غیریونی به محلول



شکل ۴. برهمکنش سورفکتانت‌ها در اسیدیته‌های مختلف و دزهای علف کش سولفوسولفورون بر حجم ریشه بوته جو دره است. سدیم لاریل اتر سولفات (SLS)، کاستر اوایل اتوکسیلات (COE)، دی اکتیل سولفوسوکسینات سدیم (DOSS)، الکیل آریل پلی‌گلیکول اتیل (AAPE)، کوکونات فتی اسید پلی اتیلن گلیکول استر (KECO10)، اولئیک اسید پلی اتیلن گلیکول استر (KEOL9)، لوریل الکل اتوکسیلات (LAE)، نونیل فنول اتوکسیلات (NPE)، پلی گلیکول اتروفتی الکل (PEGFA). حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی داری در سطح ۵ درصد احتمال می‌باشند. میله‌ها نشان‌دهنده خطای معیار هستند.

Figure 4. Interaction effects of surfactants at different pH levels and sulfosulfuron doses on wild barley root volume. Sodium lauryl ether sulfate (SLS), Ethoxylated castor oil (COE), Dioctyl sodium sulfosuccinate (DOSS), Alkyl aryl polyglycol ethylene (AAPE), Coconut fatty acid polyethylene glycol ester (KECO10), Oleic acid polyethylene glycol ester (KEOL9), Nonylphenol ethoxylate (NPE), Lauryl alcohol ethoxylated (LAE), Polyethylene glycol ether fatty alcohol (PEGFA). Similar letters indicate no significant difference at the 5% probability level. Bars indicate standard error.

تأثیر برهمکنش علف‌کش و سورفکتانت در گندم

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش دز علف‌کش، سورفکتانت و رقم گندم در وزن خشک

کل و سطح برگ گندم در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳).

جدول ۳. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر سورفکتانت‌ها در اسیدیته‌های مختلف در دز علف‌کش سولفوسولفورون بر گندم.

Table 3. Analysis of variance (mean squares) of the effects of surfactants at different pH levels and sulfosulfuron doses on wheat.

SOV	df	Total dry weight	Leaf area
Variety	2	1487472**	1440**
Herbicide dose	3	2317962**	9111**
Variety × herbicide dose	6	420887**	1381**
Surfactant	9	194289**	580*
Variety × surfactant	18	93906**	488*
Herbicide dose × surfactant	27	196691**	770**
Variety × herbicide dose × surfactant	54	85699*	351*
Error	360	57225	269
CV	-	15.9	21.7

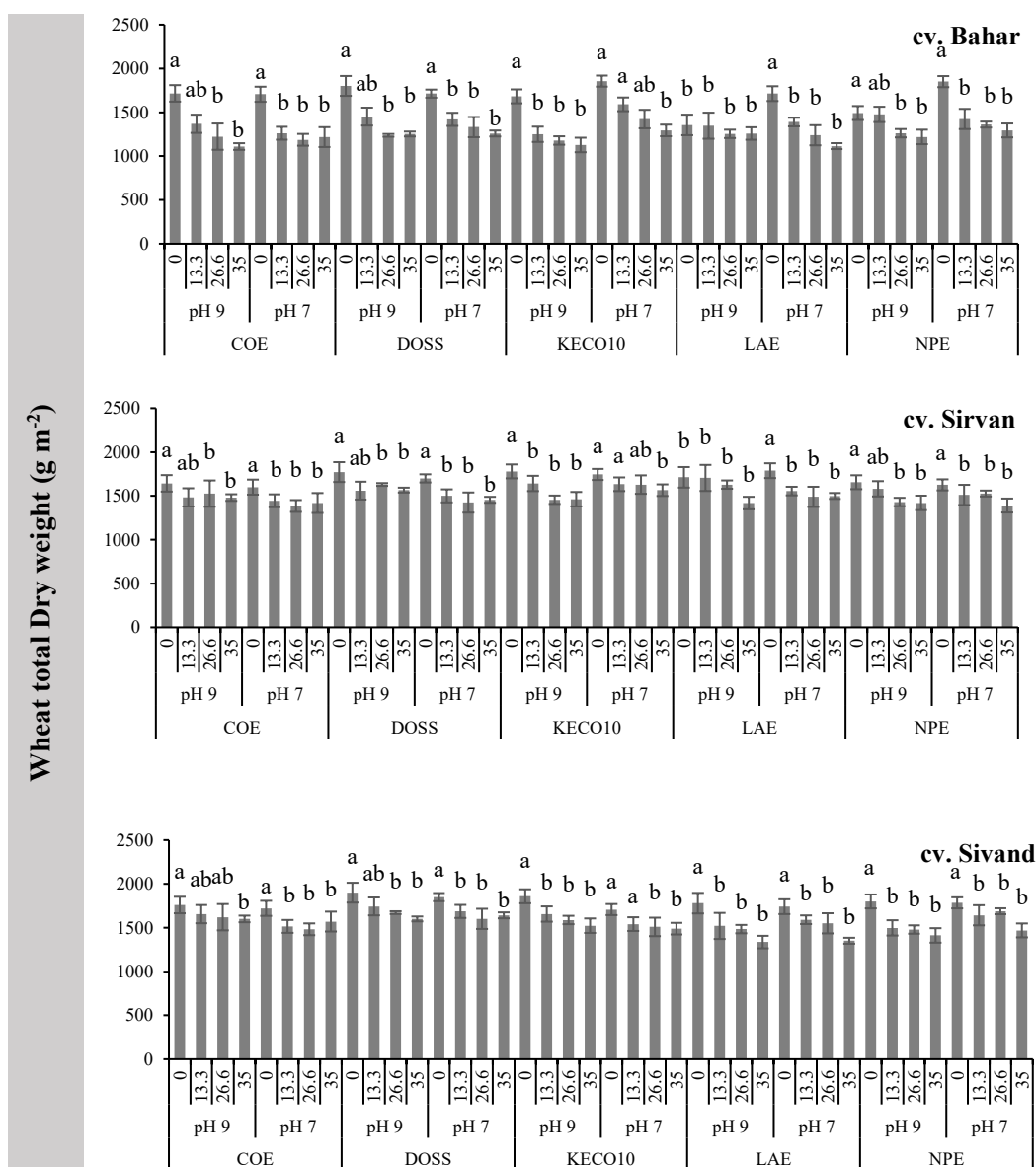
* و ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد احتمال، ns غیرمعنی‌دار است.

* and ** indicate significance at the 5% and 1% probability levels, respectively; ns: non-significant.

نتایج نشان داد هر چند تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای آزمایشی وجود دارد ولی طبق نتایج شکل ۵ بین در ماده خشک کل گندم به‌دست آمده تحت تأثیر دزهای مختلف علف‌کش در اختلاط با سورفکتانت در اسیدیته‌های مختلف در تمامی تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود ندارد در صورتی که در ماده خشک به‌دست آمده بین تیمار عدم کاربرد سورفکتانت در اسیدیته‌های مختلف به‌تنهایی و اختلاط سورفکتانت در اسیدیته‌های مختلف با دزهای مختلف علف‌کش اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. میزان اختلاف بین تیمارها در ماده خشک کل گندم در رقم بهار از ارقام سیروان و سیوند بیشتر بود.

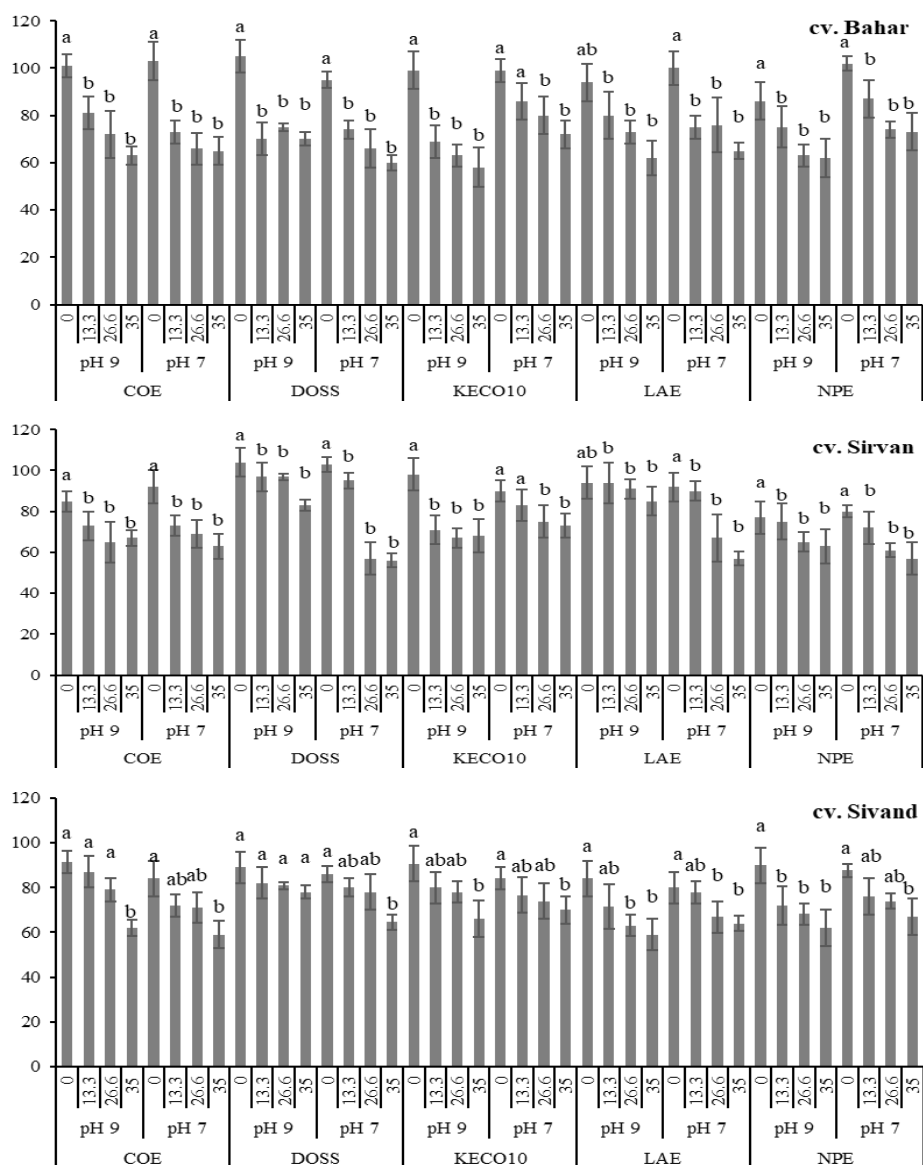
مشابه صفت ماده خشک کل گندم، سطح برگ گندم نیز به صورت معنی‌داری تحت تأثیر اختلاط سورفکتانت‌ها در اسیدیته‌های مختلف و دزهای

مختلف علف‌کش قرار گرفت. سطح برگ گندم در شرایط بدون کاربرد علف‌کش، بین سورفکتانت‌ها در اسیدیته‌های مختلف اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۶). همچنین سطح برگ گندم در اختلاط سورفکتانت در اسیدیته‌های مختلف و دزهای مختلف علف‌کش اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. اختلاف معنی‌دار در سطح برگ گندم بین تیمارهای اختلاط علف‌کش و عدم اختلاط با سورفکتانت در اسیدیته‌های مختلف بود که در شرایط سورفکتانت بدون علف‌کش مقدار سطح برگ گندم ۱۰۰ سانتی متر مربع در بوته به دست آمد در صورتی که در اختلاط سورفکتانت با دزهای مختلف علف‌کش مقدار سطح برگ گندم به کمتر از ۸۰ سانتی متر مربع در هر بوته در رقم بهار رسید. در ارقام سیوند و سیروان این تغییرات با شدت کمتری اتفاق افتاد (شکل ۶).



شکل ۵. برهمکنش سورفکتانت‌ها در اسیدیته‌های مختلف و دزهای علف‌کش سولفوسولفورون بر وزن خشک کل گندم است. سدیم لاریل اتر سولفات (SLS)، کاستر اول اتوکسیلات (COE)، دی اکتیل سولفوسوکسینات سدیم (DOSS)، الکیل آریل پلی‌گلیکول اتیل (AAPE)، کوکونات فنی اسید پلی اتیلن گلیکول استر (KECO10)، اولئیک اسید پلی اتیلن گلیکول استر (KEOL9)، لوریل الکل اتوکسیلات (LAE)، نونیل فنول اتوکسیلات (NPE)، پلی گلیکول اترفنی‌الکل (PEGFA). حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح ۵ درصد احتمال می‌باشند. میله‌ها نشان‌دهنده خطای معیار هستند.

Figure 5. Interaction effects of surfactants at different pH levels and sulfosulfuron doses on total dry weight of wheat. Sodium lauryl ether sulfate (SLS), Ethoxylated castor oil (COE), Dioctyl sodium sulfosuccinate (DOSS), Alkyl aryl polyglycol ethylene (AAPE), Coconut fatty acid polyethylene glycol ester (KECO10), Oleic acid polyethylene glycol ester (KEOL9), Nonylphenol ethoxylate (NPE), Lauryl alcohol ethoxylated (LAE), Polyethylene glycol ether fatty alcohol (PEGFA). Similar letters indicate no significant difference at the 5% probability level. Bars indicate standard error.

Wheat leaf area (cm² plant⁻¹)

شکل ۶. برهم‌کنش سورفکتانت‌ها در اسیدیته‌های مختلف و دزهای علف‌کش سولفوسولفورون بر سطح برگ گندم است. سدیم لاریل اتر سولفات (SLS)، کاستر اوایل اتوکسیلات (COE)، دی‌اکتیل سدیم سولفوسکینات سدیم (DOSS)، الکیل آریل پلی‌گلیکول اتیل (AAPE)، کوکونات فنی اسید پلی اتیلن گلیکول استر (KECO10)، اولئیک اسید پلی اتیلن گلیکول استر (KEOL9)، لوریل الکل اتوکسیلات (LAE)، نونیل فنول اتوکسیلات (NPE)، پلی‌گلیکول اتر فنی الکل (PEGFA). حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح ۵ درصد احتمال می‌باشند. میله‌ها نشان‌دهنده خطای معیار هستند.

Figure 6. Interaction effects of surfactants at different pH levels and sulfosulfuron doses on wheat Leaf area. Sodium lauryl ether sulfate (SLS), Ethoxylated castor oil (COE), Dioctyl sodium sulfosuccinate (DOSS), Alkyl aryl polyglycol ethylene (AAPE), Coconut fatty acid polyethylene glycol ester (KECO10), Oleic acid polyethylene glycol ester (KEOL9), Nonylphenol ethoxylate (NPE), Lauryl alcohol ethoxylated (LAE), Polyethylene glycol ether fatty alcohol (PEGFA). Similar letters indicate no significant difference at the 5% probability level. Bars indicate standard error.

۱۵ و ۳۵ به‌دست آمد. نتایج پژوهش‌های متعددی نشان داده‌است کاربرد سورفکتانت‌ها باعث افزایش کارایی علف‌کش‌ها می‌شود (Karimi *et al.*, 2023; Heydari *et al.*, 2023; Dehghani *et al.*, 2021).

تغییر اسیدیته آب سم‌پاش به‌عنوان روشی در

در پژوهش حاضر کاربرد سورفکتانت‌ها باعث افزایش کارایی سولفوسولفورون در کنترل علف هرز جودره گردید. در شرایط اسیدیته خنثی کمترین مقدار ED90 برای سورفکتانت‌های NPE و KECO10 در مقایسه با شاهد به‌ترتیب مقادیر ۱۴/۷،

افزایش کارایی علف‌کش‌ها معرفی گردیده است. اسیدیته اسیدی یا قلیایی آب سم‌پاش می‌تواند با تأثیر بر حلالیت، هیدرولیز، تفکیک یا تجزیه شیمیایی مولکول علف‌کش، بر اثربخشی علف‌کش تأثیر بگذارد (Roskamp & Johnson, 2013). کارایی علف‌کش‌های اسید ضعیف مانند گلیفوسیت، گلو فوسینات، کلتودیم، ستوکسیدیم، بنتازون و توفوردی با اسیدیته اسیدی آب بهبود می‌یابد؛ ولی بر کارایی علف‌کش‌های خانواده شیمیایی سولفونیل اوره تأثیر منفی داشته است (Daramola et al., 2022). در مقابل در اسیدیته خنثی یا قلیایی حلالیت علف‌کش‌های خانواده شیمیایی سولفونیل اوره افزایش یافته و کنترل علف‌های هرز بهبود می‌یابد (Sarmah & Sabadie, 2002). در پژوهش حاضر در شرایط بدون کاربرد سورفکتانت، هر چند تغییر اسیدیته باعث ایجاد تفاوت معنی‌داری در هیچ‌کدام از دزهای سولفوسولفورون در وزن خشک خوشه (شکل ۱)، وزن خشک کل (شکل ۲) و ارتفاع (شکل ۳) جودره نگردید؛ ولی مقادیر صفات یاد شده در اسیدیته ۹ از اسیدیته ۷ و ۵ بیشتر بودند. این نتایج در مدل پارامترهای برآورد شده توسط مدل چهار پارامتری نیز مشهود بود (جدول ۳). هر چند نتیجه یک پژوهش نشان داد کارایی سولفوسولفورون در کنترل علف هرز دمو باهی هنگام استفاده در آب سم‌پاش قلیایی (اسیدیته ۸/۲ - ۷/۴) در مقایسه با شرایط اسیدی (اسیدیته ۵/۷ - ۴/۰) به میزان قابل توجهی افزایش یافت (Woznica et al., 2001).

با اضافه شدن سورفکتانت به همراه سولفوسولفورون، تغییرات معنی‌داری در مقادیر صفات اندازه‌گیری شده مشاهده گردید. در دز ۱۰ گرم در هکتار سولفوسولفورون، سورفکتانت‌های NPE، KECO10 و SLS در اسیدیته ۹ باعث بیشترین کاهش در وزن خشک خوشه جودره شدند که با بالاتر رفتن دز علف‌کش به ۲۶ گرم در هکتار، سایر سورفکتانت‌ها نیز کاهش چشمگیر در وزن خشک خوشه را نشان دادند (شکل ۱). روند مشابهی در وزن خشک کل جودره مشاهده گردید (شکل ۲). با توجه به یافته‌های پیشین تغییر اسیدیته آب سم‌پاش نه تنها بر علف‌کش تأثیر می‌گذارد (Woznica et al., 2001) بلکه بر ماهیت خود سورفکتانت نیز مؤثر می‌باشد. نتیجه یک آزمایش نشان داد علت افزایش کارایی سولفوسولفورون همراه با کاربرد سورفکتانت‌های الکلی اتوکسیلات به واسطه افزایش اسیدیته، تغییر در HLB سورفکتانت بود به‌طوری‌که در شرایط بدون و همراه بافر از ۸/۳ به ۱۷/۴ افزایش یافت (Woznica et al., 2001). از دیدگاه شیمی، سورفکتانت‌های غیریونی در سر آبدوست خود بار الکتریکی ندارند و به همین دلیل، اسیدیته محلول تأثیر مستقیمی بر آن‌ها نمی‌گذارد (Purohit et al., 2012) ولی سورفکتانت‌های آنیونی بار منفی دارند و راحت‌تر از سورفکتانت‌های غیریونی تحت تأثیر شرایط محلول قرار می‌گیرند (Bagheri, 2020). طبق نتایج پژوهش حاضر، هم سورفکتانت‌های آنیونی و غیریونی باعث افزایش ED90 سولفوسولفورون گردیدند. سورفکتانت SLS آنیونی بوده ولی KECO10 و NPE غیریونی

می‌باشد و شاید کاربرد ترکیبی از آنها باعث کارایی بیشتر علف‌کش گردد.

طبق نتایج کاربرد در همه ارقام گندم هیچ یک از سورفکتانت‌ها به تنهایی تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک گندم نداشت و مقدار آن بین ۱۷۰۰ تا ۱۸۵۰ گرم در متر مربع به‌دست آمد (شکل ۵). کاربرد سولفوسولفورون همراه با سورفکتانت در اسیدیت‌های مختلف باعث کاهش معنی‌داری در وزن خشک کل (شکل ۵) و سطح برگ (شکل ۶) گندم گردید و وزن خشک کل گندم در تمامی تیمارهای دارای علف‌کش بین ۱۲۰۰ تا ۱۶۰۰ گرم در متر مربع به‌دست آمد. با افزایش دز سولفوسولفورون همراه با کاربرد سورفکتانت‌ها، تغییر معنی‌داری در وزن خشک کل و سطح برگ ارقام بهار، سیوند و سیروان گندم ایجاد نشد. طبق نتایج این آزمایش علت کاهش وزن خشک کل و سطح برگ گندم به دلیل کاربرد علف‌کش انتخابی سولفوسولفورون بوده‌است که با افزایش دز آن نیز کاهش بیشتری مشاهده شد ولی کاربرد سورفکتانت در اسیدیت‌های مختلف به تنهایی یا همراه با سولفوسولفورون تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک کل و سطح برگ در سه رقم سیوند، بهار و سیروان گندم نداشت.

از دیدگاه تفسیر زیستی و بحث مکانیزمی می‌توان گفت که کارایی علف‌کش سولفوسولفورون در حضور سورفکتانت‌ها به شدت تحت تأثیر اسیدیت‌های محلول قرار می‌گیرد که می‌توان آن را براساس سازوکارهای فیزیکوشیمیایی مرتبط با رفتار مولکول علف‌کش، ویژگی‌های سورفکتانت و نفوذ از کوتیکول گیاه تبیین کرد. سولفوسولفورون به‌عنوان یک علف‌کش اسید ضعیف، در

اسیدیت‌های مختلف درجات متفاوتی از یونیزاسیون را تجربه می‌کند. در اسیدیت قلیایی، افزایش یونیزاسیون موجب افزایش حلالیت در فاز آبی می‌شود؛ اما در عین حال عبور مولکول از لایه‌های لیپوفیلیک کوتیکول برگ را محدود می‌کند. در مقابل، در شرایط اسیدی‌تر، سهم مولکول‌های غیر یونیزه افزایش می‌یابد که تمایل بیشتری به نفوذ از کوتیکول مومی دارند. بنابراین، کارایی علف‌کش نتیجه تعادل بین حلالیت، پایداری شیمیایی و قابلیت نفوذ از سد کوتیکولی است. از طرفی دیگر سورفکتانت‌ها با کاهش کشش سطحی، پخش‌شدگی قطرات روی سطح برگ را افزایش داده و تماس مؤثر با کوتیکول را بهبود می‌بخشند. همچنین تشکیل ساختارهای میسلی می‌تواند انتقال علف‌کش به سطح کوتیکول را تسهیل کند. برخی سورفکتانت‌ها قادرند ساختار مومی کوتیکول را به‌طور موقت انعطاف‌پذیر کرده و نفوذ مولکول را افزایش دهند. این سازوکارها در گونه‌هایی با کوتیکول ضخیم مانند جودره اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. اسیدیت محلول علاوه بر تأثیر مستقیم بر یونیزاسیون علف‌کش، می‌تواند رفتار سورفکتانت را نیز تغییر دهد. تغییر اسیدیت ممکن است بر تعادل آب‌دوستی - چربی‌دوستی (HLB) سورفکتانت اثر گذاشته و در نتیجه اندازه و پایداری میسل‌ها، ترشوندگی سطح برگ و توان نفوذ را دگرگون کند. این موضوع می‌تواند توضیح دهد که چرا برخی ترکیب‌های خاص سورفکتانت - pH در این مطالعه باعث کاهش چشمگیر ED90 شدند. به بیان دیگر، اثر مشاهده‌شده احتمالاً ناشی از برهم‌کنش هم‌افزایانه بین حالت شیمیایی علف‌کش، رفتار بین‌سطحی

سورفکتانت و ویژگی‌های فیزیکی کوتیکول برگ بوده است. در مجموع، نتایج نشان می‌دهد که کارایی علف‌کش نه تنها تابع دز مصرفی می‌باشد بلکه به شرایط فیزیکوشیمیایی محلول کاربردی نیز وابسته است. بهینه‌سازی همزمان pH و نوع سورفکتانت می‌تواند نفوذ، جذب و در نهایت پاسخ زیستی علف‌کش را تقویت کند، بدون آن‌که نیاز به افزایش دز باشد.

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق هر چند سورفکتانت‌های آنیونی و غیریونی در برخی اسیدیت‌ها باعث افزایش کارایی

علف‌کش سولفوسولفورون شدند؛ ولی ارزیابی تأثیر مثبت و یا حتی منفی اسیدیت محلول بر کارایی سورفکتانت بر سولفوسولفورون نیاز به انجام آزمایش عملی دارد. پژوهش حاضر نشان داد برای ارزیابی کارایی علف‌کش به جز تأثیر سورفکتانت، باید تأثیر اسیدیت محلول بر خصوصیات علف‌کش و سورفکتانت نیز مدنظر قرار گیرد. طبق نتایج این آزمایش کاربرد سورفکتانت KECO10 در اسیدیت‌های خنثی و قلیایی و SLS در اسیدیت‌های اسیدی در اختلاط با سولفوسولفورون بهترین کارایی را در کنترل جودره داشتند.

منابع

- Bagheri, A. 2020. Interfacial and micellization properties of pure surfactants with similar hydrocarbon chain length (C16H33) and different polar head in aqueous medium. App. Chem. Today. 15: 55-64.
- Belhaj, A.F., Elraies, K.A., Mahmood, S.M., Zulkifli, N.N., Akbari, S., Hussien, O.S. 2020. The effect of surfactant concentration, salinity, temperature, and pH on surfactant adsorption for chemical enhanced oil recovery: a review. J. Pet. Explor. Prod. Technol. 10: 125-137.
- Demirkurt, B., Klein, M., Bonn, D. 2025. Influence of Surfactant HLB Values and Agricultural Adjuvants on Pesticide Penetration in Plant Leaves. BioRxiv. 2025: 1-11.
- Damato, T.C., Carrasco, L.D., Carmona-Ribeiro, A.M., Luiz, R.V., Godoy, R., Petri, D.F. 2017. The interactions between surfactants and the epicuticular wax on soybean or weed leaves: Maximal crop protection with minimal wax solubilization. Crop prot. 91: 57-65.
- Daramola, O.S., Johnson, W.G., Jordan, D.L., Chahal, G.S., Devkota, P. 2022. Spray water quality and herbicide performance: a review. Weed Technol. 36: 758-767.
- Dehghani, M., Mokhtassi Bidgoli, A., Yaghoobi, S.R. 2021. Effects of some adjuvants on 2,4-D+MCPA, bromoxynil octanoate + MCPA + ethylhexyl ester, tribenuron methyl, bentazone + dichlorprop efficacy in dandelion (*Taraxacum officinale*) control in bermuda grass lawn (*Cynodon dactylon*). Iranian J. Weed Sci. 17(2): 175-185.
- Dowgiallo, A.M., & Guenther, D.A. 2019. Determination of the limit of detection of multiple pesticides utilizing gold nanoparticles and surface-enhanced Raman spectroscopy. J. Agric. Food Chem. 67: 12642-12651.
- Green, J.M., & Hale, T. 2005. Increasing and decreasing pH to enhance the biological activity of nicosulfuron. Weed Technol., 19(2), 468-475.
- Grzanka, M., Sobiech, L., Skrzypczak, G., Piechota, T. 2021. Herbicides efficacy against volunteer oilseed rape as influenced by spray solution pH. Agron. 11: 887.
- Heydari, Z., Mokhtassi Bidgoli, A., Yaghoobi, S.R. 2023. Response of an invasive weed, *Lepyrodictis holosteoides* Fenzl., and wheat to nitrogen and auxinic herbicides applied in pre and tank mix with photosynthetic inhibitors. Gesunde Pflanzen. 75: 747-755.
- Hosseini, M., Ghorbani, R., Rashed Mohassel, M.H., Yassaie, M. 2021. Wild Barely (*Hordeum spontaneum* Koch.) populations response to sulfosulfuron herbicide. Iranian J. Weed Sci. 17: 1-16.
- Idziak, R., Sobczak, A., Waligora, H., Szulc, P. 2023. Impact of multifunctional adjuvants on efficacy of sulfonylurea herbicide applied in maize (*Zea mays* L.). Plants. 12: 1118.
- Karimi-Merdogh, S., Mokhtassi-Bidgoli, A., Yaghoobi, S.R. 2023. Role of surfactant and nitrogen for improving the efficacy of tribenuron methyl herbicide in wild mustard, *Sinapis arvensis* control. J. Appl. Res. Plant Prot. 12: 227-237.
- Purohit, P.S., Kulkarni, R.S., Somasundaran, P. 2012. Investigation of colloidal properties of modified silicone polymers emulsified by non-ionic surfactants. J. Colloid Interface Sci. 383: 49-54.
- Roskamp, J.M. & Johnson, W.G. 2013. The influence of adjusting spray solution pH on the efficacy of saflufenacil. Weed Technol. 27: 445-447.

- Sagir, M., Mushtaq, M., Tahir, M.S., Tahir, M.B., Shaik, A.R., 2020. Surfactants for enhanced oil recovery applications (pp. 65-87). Berlin/Heidelberg, Germany: Springer.
- Sarmah, A.K. & Sabadie, J. 2002. Hydrolysis of sulfonylurea herbicides in soils and aqueous solutions: a review. J. Agric. Food Chem. 50: 6253-6265.
- Singh, S. & Rana, M. 2019. A review on adjuvants: A herbicide activator. Int. J. Res. Anal. Rev. 6: 60-63.
- Woznica, Z., Nalewaja, J.D., Messersmith, C.G. 2001, January. Sulfosulfuron efficacy is affected by surfactants, pH of spray mixture, and salts. In *Pesticide Formulations and Application Systems: A New Century for Agricultural Formulations, Twenty First Volume* (pp. 11-22). ASTM International.