



Original Article

Comparative Evaluation of Cyhalofop+Penoxsulam and Conventional Herbicides for Weed Control and Yield Improvement in Rice under Transplanted and Dry-Seeded Conditions

Hossein Sabet Zangeneh^{*1} , Bijan Yaghoubi²

¹ Plant Protection Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research Center (AREEO), Ahwaze, Iran.

² Research Professor, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran.

Article Info

Received:
March 02, 2025

Accepted:
May 31, 2025

First published online:
June 22, 2025

Corresponding Author:
Hossein Sabet Zangeneh

Email:
hosseinsbt@gmail.com

Key words:
Barnyardgrass, Bulrush,
Weed control,
Cultivation method,
Premixed herbicide.

Abstract

A two-year field study (2020-2021) was conducted in Gilan and Khuzestan provinces, Iran, to evaluate the efficacy of a new herbicide premix, penoxsulam + cyhalofop-butyl (Bernovid), against major weeds and its effect on rice yield in transplanted and direct-seeded systems. The experiment compared six rates of the premix (0, 60, 120, 180, 240, and 300 mL a.i. ha⁻¹) with the recommended doses of standard herbicides: cyhalofop-butyl (250 mL a.i. ha⁻¹), penoxsulam (30 and 60 mL a.i. ha⁻¹), bispyribac-sodium (40 mL a.i. ha⁻¹), pretilachlor (875 mL a.i. ha⁻¹), and a mixture of pretilachlor + bensulfuron-methy (875+36 g a.i. ha⁻¹). Results in Khuzestan showed that application rates of 120–300 mL of the premix reduced the density and dry weight of key weeds, including *Echinochloa colonum* and *Physalis divaricata*, by 60–90%, whereas the efficacy of common herbicides ranged from only 23% to 57%. Furthermore, grain yield and biomass of rice treated with the premix were 30–75% higher than with cyhalofop-butyl, penoxsulam, or bispyribac-sodium alone. In Gilan, the premix demonstrated superior efficacy. All doses above 60 mL a.i. ha⁻¹ reduced the biomass of dominant weeds, *Paspalum distichum* and *Echinochloa crus-galli*, by ≥90%, significantly outperforming standard post-emergence herbicides. Paddy yield and weed control at the optimal dose of 150 mL a.i. ha⁻¹ and higher rates were statistically similar. For effective and sustainable weed management, the premixed herbicide penoxsulam + cyhalofop-butyl is recommended at application rates of 150 and 240 mL a.i. ha⁻¹ for transplanted rice fields in Gilan and for direct-seeded rice fields in Khuzestan.

Cite this article: Sabet Zangeneh, H. & Yaghoubi, B. (2025). Comparative evaluation of cyhalofop+penoxsulam and conventional herbicides for weed control and yield improvement in rice under transplanted and dry-seeded conditions. *Iran. J. of Weed Sci.* 21(1): 144-169. DOI: [10.22034/ijws.2026.370612.1495](https://doi.org/10.22034/ijws.2026.370612.1495)





مقاله پژوهشی

مقایسه کارایی سای‌هالوفوپ + پنو کسولام و علف‌کش‌های مرسوم در کنترل علف‌های هرز و افزایش عملکرد برنج در شرایط نشاکاری و خشکه‌کاری

حسین ثابت زنگنه^{۱*}، بیژن یعقوبی^۲

^۱ محقق بخش تحقیقات گیاهپزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران.

^۲ استاد پژوهشی موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

آزمایش مزرعه‌ای در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ در گیلان و خوزستان، کارایی علف‌کش جدید پنو کسولام + سای‌هالوفوپ بوتیل (برنووید) را در کنترل علف‌هرز و عملکرد برنج در دو سیستم کشت نشایی و مستقیم ارزیابی کردند. تیمارها شامل دزهای صفر تا ۳۰۰ میلی‌لیتر ماده مؤثره در هکتار پنو کسولام + سای‌هالوفوپ بوتیل در مقایسه با دز توصیه‌شده علف‌کش‌های سای‌هالوفوپ بوتیل (۲۵۰ میلی‌لیتر)، پنو کسولام (۳۰ و ۶۰ میلی‌لیتر)، بیس‌پایریاک‌سدیم (۴۰ میلی‌لیتر)، پرتیلاکلا (۸۷۵ میلی‌لیتر) و پرتیلاکلا (۸۷۵ میلی‌لیتر) + بن‌سولفون‌متیل (۳۶ گرم) ماده مؤثره در هکتار و همچنین شاهد علف‌هرز و شاهد وجین دستی بررسی شد. نتایج نشان داد که دزهای ۱۲۰ تا ۳۰۰ میلی‌لیتر پنو کسولام + سای‌هالوفوپ بوتیل، تراکم و وزن خشک علف‌های هرز مهم درنه سرخه و عروسک پشت‌پرده را در خوزستان، بین ۶۰ تا ۹۰ درصد کاهش داد، درحالی‌که کارایی علف‌کش‌های رایج بین ۲۳ تا ۵۷ درصد بود. همچنین، عملکرد اقتصادی و زیست‌توده برنج تحت تیمار پنو کسولام + سای‌هالوفوپ بوتیل ۳۰ تا ۷۵ درصد بیشتر از علف‌کش‌های سای‌هالوفوپ بوتیل، پنو کسولام و بیس‌پایریاک‌سدیم بود. کارایی علف‌کش پنو کسولام + سای‌هالوفوپ بوتیل در گیلان بیشتر از خوزستان بود و به جز دز ۶۰ میلی‌لیتر در هکتار، دزهای بالاتر زیست‌توده علف‌های هرز کلیدی پیروز و سوروف را $\leq 90\%$ درصد کاهش دادند که به‌طور معنی‌داری بیشتر از علف‌کش‌های برگ‌پاش رایج بود. عملکرد شلتوک و نیز کنترل علف‌های هرز در دز بهینه ۱۵۰ میلی‌لیتر در هکتار و دزهای بالاتر در گیلان از نظر آماری مشابه بود. برای کنترل مؤثر علف‌های هرز، علف‌کش پنو کسولام + سای‌هالوفوپ بوتیل به ترتیب دزهای ۱۵۰ و ۲۴۰ میلی‌لیتر در هکتار برای شالیزارهای نشایی گیلان و مزارع خشکه‌کاری خوزستان توصیه می‌شود.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۱۲/۱۲

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۴/۰۳/۱۰

تاریخ انتشار برخط:

۱۴۰۴/۰۴/۰۱

نویسنده مسئول:

حسین ثابت زنگنه

ایمیل:

hosseinsbt@gmail.com

واژه‌های کلیدی:

سوروف، علف‌کش پیش‌آمیخته،

روش کشت، کنترل.

استناد: ثابت زنگنه، ح.، یعقوبی، ب. (۱۴۰۴). مقایسه کارایی سای‌هالوفوپ + پنو کسولام و علف‌کش‌های مرسوم در کنترل علف‌های هرز و افزایش عملکرد

برنج در شرایط نشاکاری و خشکه‌کاری. دانش علف‌های هرز ایران، ۲۱(۱): ۱۴۴-۱۶۹. DOI: 10.22034/ijws.2026.370612.1495



مقدمه

مدیریت علف‌های‌هرز در شالیزار یکی از چالش‌های اصلی این زراعت است. تغییر فلور و پیدایش گونه‌های سمج سازگار به این اکوسیستم و متحمل به علف‌کش‌های رایج، نیاز به ترکیبات جدید با مکانیزم عمل متفاوت را ضروری ساخته است. سای‌هالوفوپ‌بوتیل (از گروه ۱ (A)، خانواده Aryloxyphenoxy propionate، بازدارنده ACCase) و پنوکسولام (از گروه ۲ (B)، خانواده Triazolopyrimidine sulfonamide، بازدارنده ALS) دو علف‌کش سیستمیک و پس‌رویشی هستند که در دهه اخیر برای کنترل علف‌های‌هرز برنج معرفی شده‌اند. سای‌هالوفوپ‌بوتیل اختصاصی باریک‌برگ‌ها و پنوکسولام علاوه بر باریک‌برگ‌ها در کنترل علف‌های‌هرز پهن‌برگ و جگن‌ها نیز مؤثر است (Larelle et al., 2003; Mallory Smith & Retzinger, 2003; Senseman, 2007).

از آنجایی که هر علف‌کشی مکانیزم عمل مشخصی دارد، استفاده به‌صورت تکی از علف‌کش‌ها، به‌طور نسبی طیف محدودی از علف‌های‌هرز را کنترل خواهد کرد؛ بنابراین اختلاط علف‌کش‌های با مکانیسم عمل متفاوت، می‌تواند یکی از راهکارهای امیدبخش برای مدیریت علف‌های‌هرز متنوع در اکوسیستم شالیزار باشد. چنین ترکیباتی می‌توانند دامنه کنترل علف‌هرز را افزایش و از تغییر فلور و طغیان گونه‌های جدید خسارت‌زا جلوگیری نمایند. افزون براین، این استراتژی نقش مهمی در کاهش و مدیریت مقاومت علف‌های‌هرز در برابر علف‌کش‌ها ایفا می‌کند.

نتایج بررسی‌های انجام‌شده در مصر نشان داد که کارایی کنترل علف‌های‌هرز علف‌کش پیش‌آمیخته پنوکسولام + سای‌هالوفوپ‌بوتیل دارای برتری بر علف‌کش‌های انفرادی و حتی وجین دستی بود. این ترکیب، با کنترل مؤثرتر علف‌های‌هرز به افزایش عملکرد دانه منجر گردید. آنها این ترکیب جدید را پاسخی کارآمد به چالش‌های موجود در مدیریت علف‌های‌هرز برنج گزارش کردند (El-Ghannam et al., 2024).

اثربخشی ترکیب پنوکسولام + سای‌هالوفوپ‌بوتیل در مدیریت علف‌های‌هرز برنج در شرایط مختلف کشت و اقلیم‌های مختلف به‌طور گسترده‌ای گزارش شده است. مطالعات میدانی در کشورهای مختلف از جمله آرژانتین نشان داده که این ترکیب در هر دو سیستم کشت مستقیم و نشایی موجب کاهش معنادار تراکم و زیست‌توده علف‌های‌هرز و در نهایت افزایش عملکرد دانه می‌شود (Gómez et al., 2024). پژوهش‌های انجام شده در هند، حاکی از آن بود که استفاده از این ترکیب پیش‌آمیخته حتی در دُز پایین (۱۳۵ گرم ماده مؤثر در هکتار) در مقایسه با کاربرد انفرادی سای‌هالوفوپ‌بوتیل و پنوکسولام، دارای برتری واضحی در کنترل علف‌های‌هرز بوده و عملکرد برنج را به ۵/۴ تا ۵/۵ تن در هکتار افزایش می‌دهد. نکته حائز اهمیت، عدم مشاهده گیاه‌سوزی حتی در دُزهای بالا (۶۰۰ گرم در هکتار) و نیز باقیمانده ناچیز این ترکیب در خاک و دانه است که آن را به گزینه‌ای ایمن تبدیل می‌کند (Yadav et al., 2018). زمانبندی صحیح مصرف نقش کلیدی در

ریزوسفر را تحت تأثیر قرار دهند. پژوهش ها در چین نشان می دهد که بیوتیپ های سوروف مقاوم به پنو کسولام قادر به تغییر ترکیب میکروبی ریزوسفر هستند و این تغییرات بالقوه می توانند بر رشد برنج و پایداری سیستم زراعی تأثیر بگذارند. بنابراین، انتخاب ترکیب علف کش مناسب نه تنها برای کنترل علف هرز؛ بلکه برای حفظ تعادل اکوسیستم خاک ضروری است (Zhang et al., 2023).

هدف از این پژوهش، مطالعه کارایی علف کش پیش آمیخته جدید پنو کسولام+ سای هالوفوپ بوتیل در کنترل علف های هرز در کشت نشایی و خشکه کاری برنج در مقایسه با علف کش های رایج بود.

مواد و روش ها

این مطالعه در سال ۱۳۹۹ در مزارع پژوهشی مؤسسه تحقیقات برنج کشور (رشت) و در سال ۱۴۰۰ در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان (ایستگاه تحقیقاتی کشاورزی شاوور) اجرا شد. گونه های هرز غالب و مورد بررسی در این پژوهش در دو منطقه متفاوت بود که در جدول (۱) آمده است.

کارایی این ترکیب دارد؛ به طوری که کاربرد آن در مرحله اولیه رشد علف هرز (دو برگگی) دارای ۹۷ درصد و تأخیر در مصرف (مرحله ۴ تا ۶ برگگی) دارای ۵۰ تا ۶۰ درصد کارایی بود (Bond et al., 2007). همچنین، استفاده از ادجوانت هایی نظیر روغن ها می تواند اثرگذاری این علف کش را بهبود بخشد (Jha et al., 2010). در پژوهش های متعددی برتری پنو کسولام+ سای هالوفوپ بوتیل نسبت به علف کش های رایج بیس پیریپاک سدیم، پنو کسولام و غیره در کنترل طیف وسیعی از علف های هرز و افزایش مؤثر اجزای عملکرد و عملکرد دانه برنج گزارش شده است (Chauhan, 2012; Chauhan & Abugho, 2013; Raj & Syriac, 2015).

با وجود کارایی قابل توجه علف کش ها، نگرانی از اثرات زیست محیطی آن ها به ویژه بر سلامت خاک حائز اهمیت است. مطالعات در شرق هند نشان داده که مصرف انفرادی پنو کسولام، استعمار قارچ های مفید میکوریزای ریشه برنج را کاهش می دهد، درحالی که ترکیب آن با سای هالوفوپ بوتیل این اثر منفی را ندارد (Ray et al., 2022). علاوه بر این، علف کش ها می توانند ساختار جامعه میکروبی

جدول ۱. علف های هرز غالب موجود در مزارع آزمایشی استان های گیلان و خوزستان

Table 1. Dominant weed species in the experimental fields of Guilan and Khuzestan provinces

Site	Scientific name	English name	Persian name	Category	Life cycle
Guilan	<i>Bolboschoenus planiculmis</i>	Bulrush	پیزور	Sedge	Perennial
Guilan	<i>Echinochloa crus-galli</i>	Cockspur grass	سوروف	Grasses	Annual
Khuzestan	<i>Echinochloa colinum</i>	Jungle rice	درنه سرخه	Grasses	Annual
Khuzestan	<i>Physalis divaricata</i>	Ground cherry	عروسک پشت پرده	Broadleaf	Annual

آزمایش در کشت نشایی برنج در گیلان (مؤسسه تحقیقات برنج کشور)، آماده‌سازی زمین شامل دو مرحله شخم در فروردین و اردیبهشت و گل‌خراپی یا پیش‌کاول (پادلینگ^۱) یک روز قبل از نشاکاری بود. ابعاد کرت‌های آزمایشی ۲۵ مترمربع در نظر گرفته شد. نشاکاری برنج با استفاده از گیاهچه‌های ۳ تا ۴ برگی پرورش‌یافته در خزانه و با تراکم ۲۵ کپه در مترمربع و هر کپه شامل سه گیاهچه در اواخر اردیبهشت‌ماه انجام شد. مصرف

کودهای NPK بر اساس نتایج آزمایش خاک صورت گرفت (جدول ۲)، به‌طوری‌که تمامی ۵۰ کیلوگرم کود پتاسیم و ۵۰ کیلوگرم کود سوپرفسفات تریپل به همراه یک‌سوم کود اوره (۵۰ کیلوگرم) قبل از کشت مصرف شد و باقیمانده اوره (۱۰۰ کیلوگرم) در دو مرحله پنجه‌زنی و ظهور خوشه تقسیط گردید. سایر عملیات زراعی از جمله آبیاری، مبارزه با بیماری بلاست و کرم ساقه‌خوار برنج، مطابق با روش متداول در منطقه انجام شد.

جدول ۲. اطلاعات خاک شناسی مربوط به مناطق مختلف اجرای آزمایش

Table 2. Soil characteristics at different experimental locations

Location	OC (%)	pH	EC (dSm ⁻¹)	Soil texture	N (%)	K (mg/kg)	P (mg/kg)
Guilan	2.04	7.44	1.06	Clay	0.18	274	8.6
Khuzestan	0.95	7.1	3.6	Silty clay loam	0.12	317	8.4

تیمارهای آزمایش شامل علف‌کش پیش‌آمیخته پنو کسولام + سای‌هالوفوپ‌بوتیل (برنوئید OD 6%) در دزهای صفر، ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰، ۲۴۰ و ۳۰۰ میلی‌لیتر ماده مؤثره در هکتار در مقایسه با دز توصیه‌شده علف‌کش‌های سای‌هالوفوپ‌بوتیل (۲۵۰ میلی‌لیتر در هکتار)، پنو کسولام (۳۰ و ۶۰ میلی‌لیتر در هکتار)، بیس‌پایریباک‌سدیم (۴۰ میلی‌لیتر در هکتار)، پرتیلاکلر (۸۷۵ میلی‌لیتر در هکتار) و پرتیلاکلر (۸۷۵ میلی‌لیتر در هکتار) + بن‌سولفورون‌متیل (۳۶ گرم در هکتار) و همچنین شاهد علف‌هرز و شاهد وجین دستی بود (جدول ۳). زمان مصرف علف‌کش‌های برگ‌پاش در مرحله ۲

۴ برگی علف‌های هرز، سه هفته پس از نشاکاری و علف‌کش‌های خاک‌پاش پرتیلاکلر و پرتیلاکلر + بن‌سولفورون‌متیل سه روز پس از نشاکاری و در کرت‌های غرقاب بود. به منظور اعمال علف‌کش‌های برگ‌پاش، ۲۴ ساعت قبل از اجرای تیمارها، آب کرت‌ها تخلیه شد و ۴۸ ساعت پس از سمپاشی، غرقاب مجدد انجام گرفت. کرت‌ها به عمق ۳ تا ۵ سانتیمتر تا حدود ۱۰ روز قبل از برداشت به حالت غرقاب نگهداری شدند. علف‌کش‌ها با استفاده از سمپاش پشتی ماتابی مجهز به نازل شریای با فشار ۲ تا ۲/۵ بار به کار برده شدند. سمپاش براساس ۳۰۰ لیتر آب در هکتار کالیبره شد

¹ Puddling

جدول ۳. تیمارهای آزمایش

Table 3. Experimental treatments

Common name of herbicide (Brand name)	Formulation	Field rate (g ai ha ⁻¹)	Commercial material (ha ⁻¹)	Mechanism of action	Application time	Spraying date	
						Guilan	Khuzestan
Penoxsulam(Target)	OD 20%	30 mm	150 mm	ALS	Post-emergence	2020.06.09	2021.07.26
Cyhalofop-butyl (Clean gear)	OD 10%	60 mm	300 mm	ACCase	Post-emergence	"	"
		250 mm	2.5 Lit		Post-emergence	"	"
		60 mm	1 Lit		Post-emergence	"	"
Penoxsulam+ Cyhalofop-butyl (Premixed)	OD 6%	120 mm	2 Lit	ACCase	Post-emergence	"	"
		180 mm	3 Lit			"	"
		240 mm	4 Lit			"	"
		300 mm	5 Lit			"	"
		300 mm	5 Lit			"	"
Penoxsulam+ Cyhalofop-butyl (Physical mixing)	OD 10% + OD 20%	250 mm +30 mm	2.5 lit+150 mm	ALS + ACCase	Post-emergence	"	"
Bispyribac-sodium (Cleanweed)	SC 40%	40 mm	100 mm	ALS	Post-emergence	"	"
Pretilachlor+ Bensulfuron-methyl (Rifit+londax)	EC 50%+ DF 60%	875 mm+ 36 mm	1.75 lit+ 60 mm	VLCFA+ALS	Pre-emergence	2020.05.22	2021.07.06
Pretilachlor (Rifit)	EC 50%	875 mm	1.75 lit	VLCFA	Pre-emergence	-	2021.07.06
Weed-infested control	-	-	-	-	-	-	-
Hand-weeded control	-	-	-	-	-	-	-

برای اندازه گیری زیست توده و تراکم گیاه زراعی و علف هرز در ۵ و ۱۲ هفته پس از نشاکاری به ترتیب از سطح ۰/۲۵ و یک مترمربع از مساحت هر تیمار نمونه برداری انجام شد که برای این منظور تمام گیاهان از سطح زمین کف بر و پس از ۲۴ ساعت آفتاب خشک در مزرعه به آزمایشگاه منتقل شد. جداسازی و شمارش نمونه ها انجام و در آون ۷۵ درجه سانتیگراد قرار داده شدند و پس از حصول وزن ثابت توزین شدند. عملکرد شلتوک با محاسبه وزن شلتوک (با رطوبت ۱۴ درصد) حاصل از نیمه دوم کرت های آزمایشی محاسبه گردید.

همچنین آزمایش در سال ۱۴۰۰ در ایستگاه تحقیقاتی کشاورزی شاوور خوزستان و به روش کشت مستقیم برنج به روش خشکه کاری اجرا گردید. عملیات آماده سازی زمین در خردادماه با توالی یک مرحله شخم (چیزل پاکور)، دو مرحله دیسک و یک مرحله تسطیح (لولر) انجام پذیرفت. رقم مورد استفاده نجفی (عنبربو پاکوتاه)، از ارقام

بومی منطقه، و عملیات کشت با دستگاه ردیف کار همدانی صورت گرفت. کرت های آزمایشی به ابعاد ۱۰×۲ متر (۲۰ مترمربع) در نظر گرفته شد و مقدار بذر مصرفی ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. کوددهی شامل دو بخش بود: سوپرفسفات تریپل به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار که به صورت پایه و قبل از کاشت داده شد، و نیتروژن به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره که به صورت سرک و در سه مرحله (مرحله کاشت، پنجه زنی و آبستنی) اعمال گردید. کاشت در تاریخ ۱۳۹۹/۰۴/۰۷ انجام شد و در همان روز اولین آبیاری صورت گرفت.

کاربرد علف کش های برگ پاش با استفاده از سم پاش پستی شارژی با فشار ثابت ۲ بار و نازل شره ای انجام شد. سمپاش با حجم محلول ۵۰۰ لیتر در هکتار کالیبره شد. تیمارهای پیش رویی در نه روز پس از کاشت و تیمارهای پس رویی در ۲۸ روز پس از کاشت اعمال شدند. هر کرت آزمایشی شامل دو بخش بود؛ نیمه بالایی کرت به عنوان شاهد

بدون سم‌پاشی و نیمه پایینی کرت محل اعمال تیمار بود. به منظور جلوگیری از اختلاط احتمالی علف‌کش‌ها، برای هر بلوک جوی زهکش جداگانه در نظر گرفته شد.

نمونه‌برداری از علف‌های هرز در ۳۰ روز پس از سمپاشی با علفکش‌های پس رویشی و قبل از برداشت برنج انجام شد. تراکم علف‌های هرز با استفاده از کوادرات 50×50 سانتی‌متر اندازه‌گیری و سپس نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه در آون با دمای 74°C درجه سانتی‌گراد به مدت دو روز خشک و توزین شدند. کارایی مهار علف‌هرز (ECW) با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید:

$$ECW = (A - B) / A \times 100 \quad (1)$$

که در آن A و B به ترتیب مقادیر مربوط به قسمت سمپاشی نشده و سمپاشی شده هستند (Chauhan and Johnson, 2011).

در پایان فصل رشد، از مساحت یک مترمربع برداشت به عمل آمد و صفات عملکرد بیولوژیک، عملکرد شلتوک، شاخص برداشت (رشت) و وزن هزاردانه (شاوور) اندازه‌گیری شدند. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SAS 9.2 و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد انجام گرفت.

برای تعیین دُز بهینه علفکش جدید در سیستم نشاکاری، منحنی‌های پاسخ به دُز^۲ برای پارامترهای مورد مطالعه (مانند درصد کنترل علف‌هرز، زیست‌توده و ...) با استفاده از معادله لجستیک

چهارپارامتری (رابطه ۲) برازش شدند. برازش منحنی و برآورد پارامترهای کلیدی شامل دُز مؤثر 50% (ED_{50}) و دُز مؤثر 95% (ED_{95}) با کمک نرم‌افزار SigmaPlot نسخه ۱۲.۳ انجام پذیرفت (Streibig, 1998). دُز بهینه عملیاتی بر اساس بالاترین سطح کنترل (نزدیک به ED_{90}) همراه با حداقل اثر فنوتیپی قابل مشاهده بر گیاه برنج تعیین گردید.

$$Y = C + (D - C) / (1 + (x / ED_{50})^b) \quad (2)$$

در این معادله، Y متغیر وابسته (طول ساقه‌چه یا تعداد یا وزن خشک گیاهان زنده باقی‌مانده به صورت درصدی از شاهد بدون علف‌کش)، x غلظت علف‌کش، C پایین‌ترین حد واکنش (طول ساقه‌چه یا تعداد یا درصد وزن خشک گیاهان زنده باقی‌مانده مربوط به یک توده)، D بالاترین حد واکنش (تعداد یا درصد وزن خشک گیاهان زنده باقی‌مانده مربوط به یک توده)، b شیب خط و ED_{50} دُزی از علف‌کش که باعث کاهش ۵۰ درصد وزن خشک یا تعداد نسبت به شاهد می‌شود.

نتایج و بحث

تأثیر علف‌کش بر زیست‌توده پیزور، سوروف و برنج (رشت)

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد که اثر تیمارهای علف‌کشی بر زیست‌توده دو گونه علف‌هرز غالب منطقه یعنی پیزور و سوروف و همچنین بر زیست‌توده گیاه زراعی برنج در هر دو زمان ارزیابی (۵ و ۱۲ هفته پس از مصرف علف‌کش)، معنی‌دار بود ($P \leq 0.01$).

² Dose-Response

جدول ۴. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) بررسی تأثیر تیمارهای علف کشی بر زیست توده علف های هرز پیروز و سوروف و گیاه زراعی برنج در دو تاریخ ارزیابی-گیلان

Table 4. Analysis of variance (mean squares) of the effects of surfactants at different pH levels and sulfosulfuron doses on wild barley

Degrees of freedom	Sources of variation	Bulrush		Barnyardgrass		Rice	
		5-WAT	12-WAT	5-WAT	12-WAT	5-WAT	12-WAT
Block	2	18.50 ^{na}	136.10 ^{ns}	2.30 ^{ns}	719.90 ^{ns}	640.30*	233.50 ^{ns}
Treatment	12	7862.70**	12142.70**	8353.70**	37952.70**	3161.70**	19796**
Error	24	63.30	71.60	133.80	276.30	145	1017.20
C.V (%)	-	20.80	23.70	19.40	18.40	13.80	19.60

WAT: Weeks After Treatment

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

نتایج مقایسه میانگین ها نشان داد که زیست توده پیروز به طور معنی داری تحت تأثیر تیمارهای مختلف قرار گرفت (جدول ۵). بیشترین مقدار زیست توده پیروز در تیمار کاربرد انفرادی علف کش سای هالوفوپ بوتیل به میزان حدود ۱۸۱ گرم در مترمربع مشاهده شد. در تیمار شاهد آلوده به علف هرز، زیست توده پیروز حدود ۶۰ گرم در مترمربع بود که نشان دهنده کاهش حدود ۶۷ درصدی زیست توده پیروز نسبت به تیمار سای هالوفوپ بوتیل است. علف کش سای هالوفوپ بوتیل به عنوان علف کش اختصاصی کنترل کننده گونه های باریک برگ، با کنترل مؤثر سوروف موجب افزایش دسترسی پیروز به منابع رشد و در نتیجه تجمع بیشتر ماده خشک در این گیاه شد. کاربرد علف کش پنو کسولام و نیز اختلاط فیزیکی پنو کسولام + سای هالوفوپ بوتیل به ترتیب با میانگین ۷۱ و ۸۲ گرم زیست توده پیروز در مترمربع، سبب کاهش ۵۵ و ۶۱ درصدی زیست توده پیروز نسبت به کاربرد انفرادی سای هالوفوپ بوتیل شدند. در مقابل، پاسخ وابسته به دُز مشاهده شده در تیمار پنو کسولام که با افزایش دُز از ۱۵۰ به ۳۰۰ میلی لیتر در هکتار موجب کاهش چشمگیر ۷۴ درصدی زیست توده شد؛ بیانگر توان بالقوه این علف کش در سرکوب

مؤثر پیروز در سطوح مصرف بالاتر است. علف کش پیش آمیخته جدید پنو کسولام + سای هالوفوپ بوتیل در دزهای یک و دو لیتر در هکتار به ترتیب دارای ۸۳ و ۸۸ درصد کارایی و در دزهای سه لیتر و بیشتر دارای ۹۴ تا ۹۸ درصد کارایی در کاهش زیست توده پیروز بود. همچنین، اختلاط فیزیکی دو علف کش پیش رویی پرتیلاکلر و بن سولفورون متیل موجب کاهش حدود ۹۹ درصدی زیست توده سوروف گردید که بیشترین کارایی را نشان داد و از نظر تأثیر مشابه تیمار وجین دستی بود.

در دومین نمونه برداری نیز بیشترین زیست توده پیروز در تیمار کاربرد انفرادی علف کش سای هالوفوپ بوتیل به دست آمد که از نظر آماری با شاهد آلوده به علف هرز تفاوت معنی داری نداشت. تیمارهای اختلاط فیزیکی دو علف کش برگ پاش پنو کسولام + سای هالوفوپ بوتیل و اختلاط فیزیکی دو علف کش خاک پاش پرتیلاکلر + بن سولفورون متیل نیز با حدود ۱۵ گرم زیست توده پیروز در مترمربع معادل ۸۵ درصد کنترل از ناکارا ترین تیمارها محسوب شدند، در حالی که سایر تیمارها دارای بیش از ۹۰ درصد کارایی در کنترل پیروز بودند (جدول ۵).

تیمار پرتیلاکلر+ بن سولفورون متیل که در مرحله ارزیابی نخست، برترین تیمار از میان علف‌کش‌های بررسی شده بود، در این مرحله کاهش کارایی نشان داد. رویش مجدد علف‌های هرز در این تیمار بیانگر دوره دوام نسبتاً کوتاه این علف‌کش در خاک است. با توجه به این که پیزور دارای دوره رشد کوتاه‌تری نسبت به برنج است و معمولاً در زمان برداشت محصول اندام‌های هوایی آن خشک و از بین می‌رود، به نظر می‌رسد نمونه‌برداری در طول دوره رشد، شاخص مناسب‌تری برای ارزیابی کارایی علف‌کش‌ها در کنترل این علف‌هرز نسبت به نمونه‌برداری در زمان برداشت محصول باشد (Aminpanah & Yaghoubi, 2018).

کارایی ترکیب پیش‌آمیخته پنوکسولام+ سای‌هالوفوپ‌بوتیل به‌طور معنی‌داری بالاتر از کاربرد انفرادی هر یک از این علف‌کش‌ها و همچنین اختلاط فیزیکی آن‌ها بود. این اختلاف بیانگر آن است که اثر هم‌افزای (سینرژیستی) واقعی میان دو ماده مؤثره تنها در قالب فرمولاسیون پیش‌آمیخته بروز می‌کند (Green & Hale, 2018). یکی از دلایل احتمالی بروز این اثر هم‌افزا، تفاوت در مکانیسم اثر دو علف‌کش است؛ به گونه‌ای که پنوکسولام بازدارنده آنزیم استولاکتات سنتاز (ALS) و سای‌هالوفوپ‌بوتیل مهارکننده آنزیم استیل‌کوآنزیم A کربوکسیلاز (ACCase) است. کاربرد هم‌زمان این دو ترکیب با مکانیسم‌های

بیوشیمیایی متفاوت می‌تواند موجب اختلال هم‌زمان در مسیرهای متابولیکی سنتز اسیدهای آمینه و لیپیدها در گیاه هدف شود و در نتیجه اثر کنترل علف‌های هرز را به‌طور قابل‌توجهی افزایش دهد (Cobb et al., 2010).

علت اصلی بروز اثر سینرژیستی قوی‌تر در فرمولاسیون پیش‌آمیخته را می‌توان در بهینه‌سازی فرآیند فرمولاسیون جستجو کرد. افزون بر تفاوت مکانیسم‌زیستی، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی متمایز هر ماده مؤثره و نیز وجود افزودنی‌ها و حامل‌های اختصاصی در فرمولاسیون پیش‌آمیخته، موجب بهبود نفوذ، افزایش جذب سطحی، پایداری محلول و توزیع یکنواخت‌تر مواد روی سطح برگ‌ها می‌شود (Shaner, 2014; Hazen, 2000). در مقابل، در اختلاط فیزیکی ساده، چنین هماهنگی و بهینه‌سازی در ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و زیستی مواد مؤثره وجود ندارد و به همین دلیل، اثر سینرژیستی بالقوه آن‌ها در محلول تانک به‌طور کامل محقق نمی‌شود.

در مجموع، می‌توان نتیجه گرفت که افزایش کارایی ترکیب پیش‌آمیخته نسبت به کاربرد انفرادی و اختلاط فیزیکی ناشی از ترکیب هم‌زمان مکانیسم‌های متفاوت اثر و نقش مؤثر فرمولاسیون در بهبود کارایی زیستی مواد مؤثره است. این یافته‌ها بر اهمیت طراحی هدفمند فرمولاسیون‌های علف‌کش با اثر سینرژیستی بالا در برنامه‌های مدیریت تلفیقی علف‌های هرز تأکید دارند.

جدول ۵. مقایسه میانگین ماده خشک (گرم در مترمربع) پیروز، سوروف و برنج در ۵ و ۱۲ هفته پس از اعمال علف‌کش در گیلان

Table 5. Comparison of mean dry matter (g/m²) of bulrush, barnyardgrass, and rice at 5 and 12 weeks after herbicide application in Guilan

Treatment	Rate ha ⁻¹	Bulrush		Barnyardgrass		Rice	
		5 WAT	12 WAT	5 WAT	12 WAT	5 WAT	12 WAT
Weed-infested control	-	60.30 ^c	175a	85.40 ^{cd}	197.50 ^c	35.20 ^d	32.40 ^h
Hand-weeded control	-	1.50 ^f	1.50d	1.60 ^g	5.80 ^e	73.90 ^c	270.80 ^{ab}
Penoxsulam	30 mm	82.40 ^b	12.70cd	110.30 ^b	274.30 ^a	83.80 ^c	55.40 ^h
Penoxsulam	60 mm	21.30 ^{de}	17.60bc	58.10 ^{ef}	52.80 ^d	91.20 ^{bc}	181 ^{de}
Cyhalofop-butyl (OD 10%)	250 mm	181.20 ^a	179.90a	144.70 ^a	291.10 ^a	43 ^d	72.70 ^{gh}
Penoxsulam+cyhalofop-butyl	60 mm	31.60 ^d	2.80d	134.50 ^a	12.70 ^e	87.60 ^c	138 ^{ef}
Penoxsulam+cyhalofop-butyl	120 mm	21.40 ^{de}	2.30d	68.50 ^{de}	10.20 ^e	109.70 ^{ab}	138.40 ^{ef}
Penoxsulam+cyhalofop-butyl	180 mm	7.70 ^f	2d	43.10 ^f	8.70 ^e	120 ^a	167.60 ^{def}
Penoxsulam+cyhalofop-butyl	240 mm	5.10 ^f	1.80d	13.20 ^g	6.40 ^e	118.80 ^a	203.30 ^{cd}
Penoxsulam+cyhalofop-butyl	300 mm	10.20 ^{ef}	1.40d	7.10 ^g	5.50 ^e	91 ^{bc}	242.30 ^{bc}
Penoxsulam+cyhalofop-butyl (Physical mixture)	250 mm +30 mm	71.20 ^{bc}	26.20bc	3.40 ^g	28.10 ^{de}	125.50 ^a	187.30 ^{de}
Bispyribac-sodium	40 mm	2.40 ^f	12.30cd	104.30 ^{bc}	227.80 ^b	118.50 ^a	123.70 ^{fg}
Pretilachlor+bensulfuron-methyl	875 mm+36 mm	1 ^f	28.20b	0 ^g	51.70 ^d	35 ^d	301.30 ^a

*اعداد دز، بیانگر میزان مصرف علف‌کش بر حسب درصد نسبت به دز توصیه شده می‌باشد.

میانگین‌های هر ستون و هر صفت که دارای حروف متفاوت هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ درصد ($P \leq 0.01$) با یکدیگر تفاوت معنی‌دار دارند.

*The dose values represent the herbicide application rate as a percentage of the recommended dose.

Within each column and trait, means with different letters are significantly different based on Duncan's multiple range test at $P \leq 0.01$.

بالای پیش‌آمیخته پنوکسولام+ سای‌هالوفوپ‌بوتیل (۴ و ۵ لیتر در هکتار) تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۵).

کاربرد انفرادی پنوکسولام در دز توصیه شده و دو برابر دز توصیه شده به ترتیب دارای ۲۴ و ۶۰ درصد کارایی در کاهش زیست‌توده سوروف بود، در حالی که بیس‌پایریباک‌سدیم تنها ۲۹ درصد کارایی نشان داد. این در حالی است که در زمان ثبت این دو علف‌کش، کارایی آن‌ها در کنترل سوروف بیش از ۹۰ درصد گزارش شده بود (MaaziKajal, 2012; Yaghubi, 2012). کاهش چشم‌گیر کارایی علف‌کش‌های اختصاصی باریک‌برگ‌کش شامل سای‌هالوفوپ‌بوتیل، بیس‌پایریباک‌سدیم و پنوکسولام در کنترل سوروف، یا احتمال توانایی بازایی رشد این علف‌هرز پس از استرس

زیست‌توده سوروف در تیمارهای مختلف از صفر تا حدود ۱۴۵ گرم در مترمربع متغیر بود (جدول ۵). بیشترین مقدار زیست‌توده سوروف در تیمار کاربرد انفرادی علف‌کش سای‌هالوفوپ‌بوتیل با حدود ۱۴۵ گرم در مترمربع مشاهده شد. زیست‌توده سوروف در این تیمار حدود ۶۹ درصد بیشتر از تیمار شاهد آلوده به علف‌هرز بود.

تیمار پیش‌آمیخته پنوکسولام+ سای‌هالوفوپ‌بوتیل (برنوید) در دز یک لیتر در هکتار دارای هفت درصد و در دزهای ۲، ۳، ۴ و ۵ لیتر در هکتار به ترتیب دارای ۵۳، ۷۰، ۹۰ و ۹۵ درصد کارایی در کاهش زیست‌توده سوروف بود. اختلاط فیزیکی پنوکسولام و سای‌هالوفوپ‌بوتیل نیز با کاهش حدود ۹۸ درصدی زیست‌توده سوروف از نظر آماری با تیمار وجین دستی و همچنین با دزهای

علف‌کشی، یافته‌ای نگران‌کننده است و نیاز به مطالعات تکمیلی در زمینه بررسی پدیده مقاومت یا تحمل فیزیولوژیکی سوروف به این علف‌کش‌ها را نشان می‌دهد.

نتایج مشابهی در نمونه‌برداری بعدی و در زمان برداشت (12 WAT) مشاهده شد. در این مرحله، زیست‌توده سوروف در تیمارهایی که در نمونه‌برداری قبلی ناکارآمد بودند افزایش یافت، درحالی که کارایی تیمارهای مؤثر در مرحله قبل در این زمان نیز حفظ شد. زیست‌توده سوروف در تمامی دزهای علف‌کش پیش‌آمیخته پنوکسولام + سای‌هالوفوپ‌بوتیل در این مرحله کمتر از مرحله پیشین (4 WAT) بود که نشان‌دهنده اثر سیستمیک تدریجی این ترکیب است. پنوکسولام به‌عنوان یکی از اجزای فعال این علف‌کش پیش‌آمیخته، دارای دوام نسبی در خاک بوده و از طریق ریشه نیز قابلیت جذب دارد؛ این ویژگی می‌تواند در تداوم و پایداری اثر کنترل‌کننده این ترکیب نقش مهمی ایفا کند. به‌طور کلی، نتایج حاصل از این مرحله تأییدکننده یافته‌های قبلی بوده و بیانگر ناکافی بودن کارایی علف‌کش‌های

بیس‌پایرباک‌سدیم و پنوکسولام در دزهای توصیه‌شده برای کنترل سوروف است. کاهش کارایی ترکیب پرتیلاکلر + بن‌سولفورون‌متیل در این مرحله می‌تواند ناشی از تناوب جوانه‌زنی سوروف و ظهور دیر هنگام برخی بیوتیپ‌های این علف‌هرز و نیز نیمه‌عمر نسبتاً کوتاه این ترکیب در خاک به‌دلیل تجزیه و کاهش تدریجی غلظت مؤثر آن باشد.

بر اساس نتایج، مکانیسم اثر برتر ترکیب پیش‌آمیخته پنوکسولام + سای‌هالوفوپ‌بوتیل را می‌توان ناشی از اثر سینرژیستی میان دو ماده مؤثره با جایگاه عمل متفاوت دانست. پنوکسولام با مهار آنزیم استولاکتات سنتاز (ALS) و سای‌هالوفوپ‌بوتیل با مهار آنزیم استیل‌کوآنزیم A کربوکسیلاز (ACCase)، به‌طور همزمان مسیرهای بیوشیمیایی سنتز اسیدهای آمینه شاخه‌دار و اسیدهای چرب را مختل می‌کنند (Shimizu et al., 2002; Délye, 2005). این اختلال متابولیک دوگانه، شدت و گستره آسیب را در گیاه هدف افزایش می‌دهد. با این حال، دستیابی به این اثر هم‌افزا به نظر می‌رسد مستلزم دستیابی به غلظت آستانه کافی از هر دو ماده در بافت گیاه باشد، که این امر نیاز به استفاده از دُز نسبتاً بالاتر (حداقل ۴ لیتر در هکتار) این فرمولاسیون را برای دستیابی به کنترل رضایت‌بخش در شرایط مزرعه توجیه می‌نماید.

در مقابل، تیمار پرتیلاکلر + بن‌سولفورون‌متیل در تمامی مراحل ارزیابی، بالاترین کارایی را در کنترل سوروف نشان داد. برتری این ترکیب را نیز می‌توان به مکانیسم اثر مکمل و دوگانه آن نسبت داد: پرتیلاکلر (بازدارنده سنتز اسیدهای چرب با زنجیره بسیار بلند VLCFA) و بن‌سولفورون‌متیل (بازدارنده ALS) به‌طور همزمان به دو مسیر بیوشیمیایی مستقل و حیاتی برای رشد سلول و تقسیم سلولی حمله می‌کنند (Kunst & Samuels, 2002; Tranel & Wright, 2003). این حمله چندوجهی، احتمال بقا، ترمیم و بازروی علف‌هرز را به حداقل می‌رساند. چنین راهبردی نه‌تنها کارایی

کنترلی فوری را به حداکثر می‌رساند؛ بلکه با ایجاد یک سد انتخابی چندگانه، یک راهکار کلیدی برای مدیریت پایدار جمعیت سوروف و به تأخیر انداختن ظهور مقاومت در برابر علفکش‌ها فراهم می‌آورد (Norsworthy et al., 2012).

زیست‌توده برنج در تیمار خاک‌پاش پرتیلاکلر+ بن‌سولفورون‌متیل با حدود ۳۵ گرم در مترمربع کمترین مقدار را داشت و از نظر آماری مشابه شاهد آلوده به علف‌هرز بود، که ۵۳ درصد کمتر از شاهد وجین دستی بود. کاهش زیست‌توده در تیمار شاهد بیانگر رقابت شدید علف‌های هرز بر منابع برنج است؛ اما کاهش مشابه در تیمار خاک‌پاش پرتیلاکلر + بن‌سولفورون‌متیل که تقریباً علف‌های هرز را پیش از رویش کنترل کرده بود، تأثیر سمی این ترکیب بر گیاهچه‌های برنج را نشان می‌دهد. تیمار سای هالوفوپ‌بوتیل منفرد از ناکارآمدترین تیمارها در کنترل علف‌های هرز بود و زیست‌توده برنج در این تیمار با ۴۳ گرم در مترمربع، دارای کاهش ۴۲ درصدی بود. سایر تیمارهای برگ‌پاش عملکرد انتخابی خوبی داشتند و زیست‌توده برنج در تمام این تیمارها بیشتر از وجین دستی بود. بیشترین زیست‌توده برنج در تیمار اختلاط فیزیکی پنو کسولام+ سای هالوفوپ‌بوتیل به دست آمد که ۷۰ درصد بالاتر از شاهد وجین دستی بود. همچنین، برنج در تیمار پیش‌آمیخته پنو کسولام+ بیس‌پایریباک‌سدیم (برنوید) تا دز چهار لیتر تحمل نشان داد و افزایش دز به پنج لیتر موجب کاهش اندک زیست‌توده شد.

در این مرحله، زیست‌توده برنج در تیمار شاهد وجین دستی ۲۴۱ گرم در مترمربع بود که از تمام

تیمارها به جز خاک‌پاش پرتیلاکلر+ بن‌سولفورون‌متیل بیشتر بود. زیست‌توده در تیمار پرتیلاکلر+ بن‌سولفورون‌متیل ۱۱ درصد بالاتر از شاهد وجین دستی بود که نشان‌دهنده اثربخشی پیش‌رویشی این ترکیب و حذف رقابت اولیه از علف‌های هرز است. تیمار شاهد بدون وجین ۸۸ درصد کاهش زیست‌توده داشت و کمترین زیست‌توده در بین تیمارهای برگ‌پاش مربوط به پنو کسولام منفرد در دز توصیه‌شده (۵۵ گرم در مترمربع و کاهش ۸۰ درصدی) بود. این کاهش اغلب ناشی از ناکارآمدی پنو کسولام در کنترل پیروز و مصرف منابع توسط این علف‌هرز در اوایل فصل است. اثر تیمارهای پیش‌آمیخته برنج نسبت به ترکیب پنو کسولام+ سای هالوفوپ‌بوتیل تحمل بالایی نشان داد و افزایش دز تا دو برابر دز توصیه‌شده باعث افزایش زیست‌توده برنج شد. این تحمل، ناشی از مکانیسم اثر متفاوت دو جزء این علف‌کش و اثر سینرژیستی آن است و می‌تواند در جبران ناکارآمدی تک‌جزئی‌ها مانند بیس‌پایریباک‌سدیم، پنو کسولام یا سای هالوفوپ‌بوتیل مؤثر باشد.

در هر دو مرحله، بیشترین زیست‌توده برنج در تیمارهای وجین دستی و پرتیلاکلر + بن‌سولفورون‌متیل مشاهده شد. عملکرد برتر این تیمارها ناشی از کنترل پیش‌رویشی علف‌های هرز و حذف رقابت برای نور، آب و مواد غذایی است. تیمار شاهد بدون کنترل و سای هالوفوپ‌بوتیل منفرد کمترین زیست‌توده را داشتند. همچنین، پیش‌آمیخته پنو کسولام+ سای هالوفوپ‌بوتیل در دزهای ۳ تا ۵ لیتر در هکتار توانست زیست‌توده برنج را به سطح

وجین دستی برساند و اهمیت انتخاب دز مناسب برای دستیابی به بیشترین کارایی و بهره‌وری برنج را نشان داد.

به‌طور خلاصه، کنترل مؤثر علف‌های هرز پیش از رویش یا در مراحل اولیه رشد به‌طور مستقیم باعث افزایش زیست‌توده و بهره‌وری برنج می‌شود. ترکیب پیش‌رویشی خاک‌پاش پرتیلاکلر + بن‌سولفورون‌متیل به‌عنوان راهکار شیمیایی پایدار و مؤثر و فرمولاسیون پیش‌آمیخته پنوکسولام + سای‌هالوفوپ‌بوتیل به‌عنوان تیمار جایگزین کارآمد

توصیه می‌شوند و می‌توانند وابستگی به وجین دستی را به‌طور قابل توجهی کاهش دهند.

عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه (اقتصادی)

و شاخص برداشت برنج در گیلان

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای مورد بررسی اثر معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت داشتند ($P \leq 0.01$). علاوه بر این، ضریب تغییرات (CV) کمتر از ۱۳ درصد بیانگر دقت مناسب و یکنواختی مطلوب داده‌ها در آزمایش بود (جدول ۶).

جدول ۶. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) بررسی تأثیر تیمارهای علف‌کشی بر عملکرد بیولوژیک، عملکرد اقتصادی و شاخص برداشت برنج در ۱۲ هفته پس از اعمال علف‌کش در گیلان

Table 6. Analysis of variance (mean squares) of the effects of herbicide treatments on biological yield, economic yield, and harvest index of rice at 12 weeks after herbicide application in Guilan

Sources of variation	Degrees of freedom	Biological yield	Grain yield	Harvest index
Block	2	0.140 ^{ns}	0.160*	0.002*
Treatment	12	11.04**	3.150**	0.01**
Error	24	0.18	0.03	0.0008
C.V (%)		12	12.70	6.90

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

عملکرد دانه (شلتوک) در تیمارهای مختلف از ۰/۲ تا ۳/۷ تن در هکتار متغیر بود. کمترین عملکرد مربوط به تیمار شاهد آلوده به علف‌هرز و بیشترین آن به اختلاط فیزیکی علف‌کش‌های پرتیلاکلر + بن‌سولفورون‌متیل اختصاص داشت، که نشان‌دهنده حدود ۹۵ درصد خسارت ناشی از علف‌های هرز در تیمار شاهد است. این نتایج با گزارش‌های اخیر در کشت نشایی برنج مطابقت دارد که خسارت بیش از ۹۰ درصدی علف‌های هرز را نشان داده‌اند (عاشوری و همکاران، ۱۴۰۴). در تیمار وجین دستی عملکرد دانه ۲/۶ تن در هکتار بود که حدود ۳۰ درصد کمتر از تیمار خاک‌پاش پرتیلاکلر + بن‌سولفورون‌متیل بود و با عملکرد تیمار پیش‌آمیخته پنوکسولام +

سای‌هالوفوپ‌بوتیل در دز ۵ لیتر در هکتار مشابهت داشت. به‌طور کلی، وجین دستی و دزهای بالای پیش‌آمیخته پنوکسولام + سای‌هالوفوپ‌بوتیل پس از تیمار خاک‌پاش پرتیلاکلر + بن‌سولفورون‌متیل بیشترین عملکرد دانه را نشان دادند. کاهش عملکرد در تیمار وجین دستی نسبت به تیمار پیش‌رویشی خاک‌پاش، ناشی از مصرف منابع توسط علف‌های هرز قبل از حذف آن‌ها بود. کاهش عملکرد در سایر تیمارها بین ۳۸ تا ۸۶ درصد متغیر بود؛ کمترین کاهش مربوط به دوزهای مختلف پیش‌آمیخته پنوکسولام + سای‌هالوفوپ‌بوتیل (برنوید) و بیشترین کاهش مربوط به علف‌کش‌های رایج بیس‌پایریاک‌سدیم، سای‌هالوفوپ‌بوتیل و

پنو کسولام با ۸۴ تا ۸۶ درصد کاهش عملکرد بود (جدول ۷).

جدول ۷. مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک، عملکرد اقتصادی و شاخص برداشت برنج در گیلان

Table 7. Comparison of the mean biological yield, economic yield, and harvest index of rice in Guilan

Treatments	Application rate (per hectare)	Biological yield (t/ha)	Grain yield (ton/ha)	Harvest Index (%)
Weed-infested control	-	0.50 ⁱ	0.20 ^h	0.34 ^e
Hand-weeded control	-	5.30 ^b	2.60 ^b	0.50 ^b
Penoxsulam	30 mm	1.10 ^{hi}	0.50 ^{gh}	0.47 ^{bc}
Penoxsulam	60 mm	3.40 ^{ef}	1.60 ^e	0.46 ^{bc}
Cyhalofop-butyl (OD 10%)	250 mm	1.30 ^{gh}	0.50 ^g	0.42 ^{cd}
Penoxsulam+cyhalofop-butyl	60 mm	3.80 ^{de}	1.20 ^f	0.31 ^e
Penoxsulam+cyhalofop-butyl	120 mm	4.20 ^{cd}	1.80 ^{de}	0.44 ^{bcd}
Penoxsulam+cyhalofop-butyl	180 mm	4.80 ^{bc}	2.10 ^{cd}	0.43 ^{cd}
Penoxsulam+cyhalofop-butyl	240 mm	5 ^b	2.12 ^{cd}	0.41 ^d
Penoxsulam+cyhalofop-butyl	300 mm	5.20 ^b	2.30 ^{bc}	0.44 ^{bcd}
Penoxsulam+cyhalofop-butyl (Physical mixture)	250 mm +30 mm	2.70 ^f	0.80 ^g	0.30 ^e
Bispyribac-sodium	40 mm	1.90 ^g	0.60 ^g	0.33 ^e
Pretilachlor+bensulfuron-methyl	875 mm+ 36 mm	6.70 ^a	3.70 ^a	0.60 ^a

میانگین های هر ستون و هر صفت که دارای حروف متفاوت هستند، بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۱ درصد ($P \leq 0.01$) با یکدیگر تفاوت معنی دار دارند.

Within each column and trait, means with different letters are significantly different based on Duncan's multiple range test at $P \leq 0.01$.

اثر تیمار پیش آمیخته پنو کسولام+ سای هالوفوپ بوتیل (برنوید) به شدت به دوز مصرفی وابسته بود. در دزهای پایین (۱-۲ لیتر در هکتار) عملکرد زیست توده و دانه پایین تر از شاهد وجین دستی بود؛ زیرا کنترل همزمان علف های هرز باریک برگ و جگن ناقص بود. با افزایش دز به ۳-۵ لیتر، زیست توده از ۴/۸ تا ۵/۲ تن در هکتار و عملکرد دانه از ۲/۱ تا ۲/۳ تن در هکتار افزایش یافت، که نشان دهنده تحمل خوب برنج و اثر سینرژیستی دو مؤلفه فعال (*ALS* و *ACCase*) است. تیمار اختلاط فیزیکی پنو کسولام+ سای هالوفوپ بوتیل عملکرد دانه ای پایین تر از دزهای بالای پیش آمیخته داشت، اما می تواند به عنوان جایگزین در شرایط عدم دسترسی یا قیمت بالای ترکیب پیش آمیخته مورد استفاده قرار گیرد. الگوی شاخص برداشت مشابه عملکرد دانه بود. در تیمارهای برتر مانند پرتیلاکلر+ بن سولفورون متیل و پیش آمیخته پنو کسولام+ سای هالوفوپ بوتیل (دز

روند تغییرات عملکرد بیولوژیک مشابه عملکرد دانه بود. بیشترین عملکرد بیولوژیک (۶/۷ تن در هکتار) در تیمار پرتیلاکلر+ بن سولفورون متیل مشاهده شد و کمترین مقدار (۰/۵ تن در هکتار) مربوط به تیمار شاهد آلوده به علف هرز بود که نشان دهنده حدود ۹۳ درصد کاهش عملکرد است. تیمار شاهد وجین دستی با ۵/۳ تن در هکتار عملکردی مشابه دزهای سه لیتر و بالاتر پیش آمیخته پنو کسولام+ سای هالوفوپ بوتیل داشت (جدول ۷). کمترین عملکرد بیولوژیک بین تیمارهای علف کشی آزمایش مربوط به کاربرد انفرادی پنو کسولام، سای هالوفوپ بوتیل و بیس پایریباک سدیم بود که به ترتیب کاهش عملکرد ۸۴، ۸۱ و ۷۲ درصدی نشان دادند. این نتایج ضعف کنترل علف های هرز و کاهش توان رقابتی گیاه برنج را تأیید می کند، زیرا علف کش های با یک مکانیزم اثر معمولاً قادر به کنترل کامل طیف وسیعی از علف های هرز غالب، به ویژه در تراکم بالا، نیستند.

بالا) شاخص برداشت بالا (۴۰-۴۵٪) بود، که نشان‌دهنده تخصیص بهینه مواد فتوسنتزی به اندام‌های زایشی و کاهش رقابت علف‌های هرز در مراحل بحرانی رشد برنج است. در مقابل، شاخص برداشت پایین (۳۵٪) در تیمارهای شاهد و علف‌کش‌های کم اثر بیانگر تسلط رشد رویشی غیرمولد و مصرف منابع توسط علف‌های هرز است (Swanton et al., 2015; Zimdahl, 2018).

مطالعات پیشین نشان داده‌اند که شاخص برداشت برنج می‌تواند تحت تأثیر رقابت با علف‌های هرز کاهش معنی‌داری پیدا کند (Heafele et al., 2004)، در حالی که برخی گزارش‌ها بیان کرده‌اند که شاخص برداشت تحت تأثیر رقابت با علف‌های هرز قرار نمی‌گیرد (Zhao et al., 2006).

نتایج این مطالعه، همسو با اصول کلاسیک مدیریت علف‌هرز، نشان داد که کنترل مؤثر و زود هنگام علف‌های هرز، رابطه‌ای مستقیم و معنادار با افزایش عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت برنج دارد. این یافته تأیید می‌کند که رقابت در مراحل اولیه رشد، به‌ویژه در دوره بحرانی کنترل علف‌هرز، سبب کاهش غیرقابل جبران در جذب منابع و نهایتاً تخصیص نامطلوب ماده خشک می‌شود. (Zimdahl, 2018; Swanton et al., 2015) در بین تیمارها، ترکیب پیش‌رویشی پرتیلاکلو + بن‌سولفورون‌متیل با ثبت بالاترین مقادیر در این شاخص‌ها، به‌عنوان بهترین گزینه شناسایی شد. برتری این ترکیب را می‌توان ناشی از حمله هم‌زمان به دو مسیر متابولیکی حیاتی و مستقل (بیوسنتز اسیدهای چرب با زنجیره بسیار بلند و

اسیدهای آمینه شاخه‌دار) دانست که منجر به ایجاد یک "سد انتخابی چندگانه" علیه علف‌های هرز، به ویژه سوروف، می‌شود. چنین راهبردی نه تنها کارایی کنترلی فوری را به حداکثر می‌رساند، بلکه به عنوان یک راهکار کلیدی در مدیریت مقاومت علف‌های هرز شناخته می‌شود، زیرا احتمال انتخاب و بقای بیوتیپ‌های مقاوم را به شدت کاهش می‌دهد (Norsworthy et al., 2012).

در مورد گزینه پیش‌رویشی، نتایج نشان داد که فرمولاسیون پیش‌آمیخته پنوکسولام + سای‌هالوفوپ‌بوتیل تنها در دُزهای بالاتر از سه لیتر در هکتار می‌تواند به عنوان جایگزین مؤثری برای وجین دستی معرفی شود. این وابستگی به دُز، لزوم دستیابی به غلظت آستانه کافی از هر دو ماده مؤثره در بافت گیاه برای تحقق اثر سینرژیستی مطلوب را تأیید می‌کند (Green & Hale, 2018). برتری این فرمولاسیون نسبت به اختلاط تانک، همچنین نقش حیاتی بهینه‌سازی فیزیکی‌وشیمیایی در فرآیند فرمولاسیون (همگنی، پایداری و بهبود جذب) را در دستیابی به حداکثر پتانسیل سینرژیستی برجسته می‌سازد (Hazen, 2000). در مقابل، کاربرد انفرادی هر یک از این علف‌کش‌ها به دلیل محدودیت طیف کنترلی و افزایش خطر انتخاب برای مقاومت توصیه نمی‌شود. در شرایطی که امکان کنترل پیش‌رویشی فراهم نباشد، این فرمولاسیون پیش‌آمیخته در دُز توصیه شده می‌تواند یک راهکار جایگزین کارآمد باشد، مشروط بر آنکه در قالب یک برنامه مدیریت تناوبی با سایر گروه‌های شیمیایی به کار رود تا از

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای آزمایشی اثر معنی داری بر تراکم درنه سرخه (*Echinochloa colonum*)، تراکم عروسک پشت پرده (*Physalis divaricata*)، تراکم کل علف های هرز و همچنین بر وزن خشک آنها داشتند (جدول ۸).

افزایش فشار انتخاب و خطر مقاومت جلوگیری شود.

نتایج تراکم و وزن خشک علف های هرز در خوزستان

جدول ۸. تجزیه واریانس میانگین مربعات درصد کنترل علف های هرز بر مبنای تغییر تراکم و وزن خشک نسبت به شاهد در پاسخ به تیمارهای مختلف علف کش در خوزستان

Sources of variation	Degrees of freedom	Mean square						
		First sampling				Second sampling		
		Barnyardgrass		Ground cherry		Total weeds [#]		barnyardgrass
Block	2	Density	Dry weight	Density	Dry weight	Density	Dry weight	Dry weight
Treatment	9	68.7 ^{ns}	299.2 ^{ns}	903.5 ^{**}	1265.7 ^{**}	443 ^{**}	1154.6 ^{**}	85.4 ^{ns}
Error	18	1919.9 ^{**}	2575.4 ^{**}	183.4 ^{**}	287.4 [*]	697.8 ^{**}	1525.4 ^{**}	1793 ^{**}
C.V (%)	-	123	109.5	45.3	92.9	68.7	128	128.3
		17	17.7	7.3	10.7	10.9	17.1	23.7

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

[#]Total weeds include: barnyardgrass, Chinese lantern, jute mallow, purslane, field bindweed, and Asian spiderflower.

بررسی علاوه بر دوزهای ۴ و ۵ لیتر پنو کسولام+ سای هالوفوپ بوتیل دزهای ۲ و ۳ لیتر این علف کش نیز در مقایسه با علف کش های قدیم رایج از کارایی بهتری برخوردار بودند. کمترین کارایی در کاهش تراکم درنه سرخه مربوط به علف کش های رایج پنو کسولام، بیس پایریاک سدیم، و پرتیلاکلر بود که به ترتیب ۱۸ درصد، ۲۴ درصد و ۲۷ درصد تراکم این علف هرز را کاهش دادند در یک لیتر پنو کسولام+ بیس پایریاک سدیم و تیمار بن سولفورون متیل + پرتیلاکلر بودند (جدول ۹).

مقایسه میانگین ها نشان داد که حداکثر تراکم درنه سرخه در تیمار شاهد ۶۵ گیاهچه در مترمربع بود که از نظر آماری با تیمارهای علف کشی قدیم رایج (پرتیلاکلر، بیس پایریاک سدیم و پنو کسولام) مشابه بود و نشانه ناکارآمدی علف کش های رایج است. بیشترین کارایی در کنترل درنه سرخه در دزهای ۴ و ۵ لیتر علف کش جدید پنو کسولام+ بیس پایریاک سدیم به دست آمد که به ترتیب ۷۸ و ۸۸ درصد تراکم این علف هرز را کاهش دادند و از نظر آماری مشابه شاهد وجین دستی با ۱۰۰ درصد کارایی بودند. در مقایسه بین علف کش های مورد

جدول ۹. نتایج مقایسه میانگین تراکم و وزن خشک علف هرز سوروف، عروسک پشت پرده و مجموع علف‌های هرز در پاسخ به تیمارهای مختلف علف‌کش در خوزستان

Table 9. Results of the comparison of mean density and dry weight of barnyardgrass, jimsonweed, and total weeds in response to different herbicide treatments in Khuzestan

Treatment	Application rate per hectare	First sampling				Second sampling	
		Barnyardgrass		Ground cherry		Total weeds	
		Density (m ⁻²)	Dry weight (g m ⁻²)	Density (m ⁻²)	Dry weight (g m ⁻²)	Density (m ⁻²)	Dry weight (g m ⁻²)
Weed-infested control	-	65.32 ^a	122.6 ^a	56.00 ^a	42.56 ^a	130.7 ^a	171.48 ^a
Hand-weeded control	-	0.00 ^c	0.00 ^d	1.32 ^b	2.12 ^b	4.00 ^c	14.32 ^d
Penoxsulam	60 mm	53.32 ^{ab}	88.68 ^{ab}	8.00 ^b	4.28 ^b	66.72 ^b	117.04 ^b
Penoxsulam+ cyhalofop-butyl	60 mm	46.68 ^b	98.84 ^{ab}	0.00 ^b	0.00 ^b	48.0 ^{bc}	105.32 ^b
Penoxsulam + cyhalofop-butyl	120 mm	38.68 ^{bc}	88.20 ^{ab}	0.00 ^b	0.00 ^b	42.7 ^{bd}	95.4 ^b
Penoxsulam + cyhalofop-butyl	180 mm	28.00 ^{cd}	67.84 ^{bc}	0.00 ^b	0.00 ^b	32.0 ^{bc}	72.64 ^{bc}
Penoxsulam + cyhalofop-butyl	240 mm	14.68 ^{de}	33.76 ^{cd}	0.00 ^b	0.00 ^b	17.3 ^{cc}	37.64 ^{cd}
Penoxsulam + cyhalofop-butyl	180 mm	8.00 ^c	25.08 ^d	0.00 ^b	0.00 ^b	9.32 ^d	25.96 ^d
Bispyribac-sodium	300 mm	49.32 ^{ab}	93.56 ^{ab}	5.32 ^b	3.08 ^b	58.68 ^b	98.84 ^b
Pretilachlor	875 mm	48.00 ^{ab}	85.2 ^{ab}	1.32 ^b	0.20 ^b	52.00 ^{bc}	91.12 ^b
Pretilachlor+bensulfuron-methyl	875 mm +36 mm	41.32 ^{bc}	77.12 ^b	1.32 ^b	0.28 ^b	48.0 ^{bc}	81.68 ^b

میانگین‌های هر ستون و هر صفت که دارای حروف متفاوت هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ درصد ($P \leq 0.01$) با یکدیگر تفاوت معنی‌دار دارند.

Within each column and trait, means with different letters are significantly

راهبردی مؤثر و تثبیت‌شده در سطح جهانی برای افزایش طیف کنترل علف‌های هرز، ارتقای کارایی علف‌کش‌ها و به تأخیر انداختن ظهور مقاومت در جمعیت‌های علف هرز به‌شمار می‌رود. دیگر محققین نیز به بهره‌گیری از این استراتژی جهت مدیریت علف‌های هرز و جلوگیری از مقاومت تأکید کرده‌اند (Beckie et al., 2021).

تراکم علف‌هرز عروسک پشت‌پرده در تیمار شاهد علف‌هرز ۵۶ گیاهچه در مترمربع بود که کمتر از سوروف با تراکم ۶۵ گیاهچه در متر مربع بود. بطورکلی علف‌هرز عروسک پشت‌پرده به تمام تیمارهای علف‌کشی مورد بررسی دارای حساسیت زیادی بود و به‌استثنای پنوکسولام با ۸۶ درصد دیگر تیمارها دارای ۹۱ تا ۱۰۰ درصد کارایی در کنترل این علف‌هرز بودند (جدول ۹). علف‌کش جدید پنوکسولام+ سای‌هالوفوبوتیل در تمام دزهای مورد بررسی دارای ۱۰۰ درصد کارایی در کنترل این علف‌هرز بود.

زیست‌توده در بین تیمارهای علف‌کشی از ۲۵/۰۸ تا ۱۲۲/۶ گرم در مترمربع متغیر بود (جدول ۹). کارایی تیمارهای در کاهش زیست‌توده از ۱۹ تا ۱۰۰ درصد متغیر بود که به‌ترتیب در پایین‌ترین دز پنوکسولام+ سای‌هالوفوبوتیل و شاهد وجین دستی ثبت شد. دزهای ۴ و ۵ لیتر پنوکسولام+ سای‌هالوفوبوتیل به‌ترتیب با ۷۲ و ۸۰ درصد کنترل درنه سرخه از نظر آماری مشابه تیمار شاهد وجین دستی بودند. دز سه لیتر این علف‌کش دارای ۴۵ درصد کارایی در کاهش زیست‌توده این علف‌هرز بود. علف‌کش‌های رایج دارای کمتر از ۳۷ درصد کارایی در کاهش زیست‌توده درنه سرخه بودند.

نتایج این پژوهش با توصیه‌های دیگر محققین مطابقت دارد که بر استفاده از مخلوط‌های علف‌کشی با مکانیسم‌های عمل مختلف جهت افزایش طیف کنترل و کاهش خطر مقاومت تأکید می‌ورزند (Mohanty et al., 2024). همچنین به‌کارگیری ترکیباتی با مکانیسم‌های عمل متفاوت،

زیست توده این علف هرز نیز دارای واکنش مشابه تراکم آن بود و در تیمار شاهد ۴۲/۵۶ گرم در مترمربع بود و در تیمارهای علف کشی به شدت کاهش پیدا کرد (جدول ۹). ناکارآمدی پنو کسولام در کنترل علف های هرز شالیزار در دیگر منابع نیز گزارش شده است.

شایان ذکر است که حساسیت متفاوت گونه های علف هرز به تیمارها، یکی از یافته های کلیدی این تحقیق بود. به طور مشخص، گونه عروسک پشت پرده (*Physalis divaricata*) حساسیت بیشتری به اغلب تیمارهای علف کشی نشان داد؛ به طوری که به جز تیمار پنو کسولام، سایر تیمارها توانستند تراکم این گونه را حداقل ۹۰ درصد کاهش دهند. در مقابل، کنترل درنه سرخه (*Echinochloa colonum*) نیازمند علف کش تخصصی تر بود. این نتایج به وضوح تأکید می کند که شناسایی دقیق جامعه علف های هرز مزرعه پیش از انتخاب علف کش، عاملی حیاتی در موفقیت برنامه مدیریت تلفیقی علف های هرز است (Zimdahl, 2018).

در همین راستا، عملکرد نسبتاً ضعیف تیمار پرتیلاکلر+ بن سولفورون متیل در کنترل درنه سرخه (کاهش ۳۹ درصدی تراکم) را می توان به عدم وجود یک علف کش قوی و اختصاصی برای کنترل پسررویشی علف های هرز باریک برگ در این فرمولاسیون نسبت داد. این موضوع با یافته های پژوهش های مشابه همسو است که نشان می دهد کنترل علف های هرز یک ساله و مقاوم مانند درنه سرخه اغلب مستلزم استفاده از ترکیبات اختصاصی یا برنامه های چند گانه علف کشی است (Green & Owen., 2011).

در خصوص مجموع علف های هرز که علاوه بر درنه سرخه و عروسک پشت پرده شامل بقیه علف های هرز آزمایش سوروف (*Echinochloa crus-galli*، طحله *Corchorus olitorius*، خرفه *Portulaca oleracea*، پیچک صحرایی *Convolvulus arvensis*، کنجد شیطان *Cleome viscos* بودند (نیز، تیمارهای پنو کسولام+ سای هالوفوپ بوتیل (برنوید) با دُزهای ۴ و ۵ لیتر در هکتار به ترتیب ۹۲ و ۸۷ درصد کاهش تراکم ایجاد کردند. این بازدهی بالا را می توان به اثر هم افزایی (سینرژیسم) این دو ماده مؤثر نسبت داد که طی آن، پنو کسولام (عامل کنترل علف های هرز پهن برگ) و سای هالوفوپ بوتیل (عامل کنترل علف های هرز باریک برگ) طیف وسیعی از گونه های هرز را پوشش داده و کارایی یکدیگر را تقویت می کنند. چنین ترکیباتی می توانند به عنوان یک راهبرد کارآمد و به صرفه در سیستم های کشاورزی پایدار مطرح باشند، چرا که ضمن کاهش تعداد کاربرد علف کش، فشار انتخابی برای ظهور بیوتیپ های مقاوم را نیز کاهش می دهند (Kudsk & Mathiassen., 2020; Heap, 2025).

از نظر شاخص وزن خشک به عنوان معیاری نهایی از عملکرد بیولوژیک علف های هرز، تیمار ترکیبی پنو کسولام+ سای هالوفوپ بوتیل مؤثرترین تیمار بود. این ترکیب در دُز ۵ لیتر در هکتار باعث کاهش ۸۰ درصدی وزن خشک علف هرز درنه سرخه و کاهش ۸۵ درصدی وزن خشک کل علف های هرز شد. دُز ۴ لیتر در هکتار این ترکیب نیز با کاهش ۷۲/۵ درصدی وزن خشک درنه سرخه و ۷۸ درصدی کل علف های هرز، عملکرد بسیار

مطلوبی داشت. نکته قابل توجه این بود که به جز این تیمار ترکیبی در دُزهای ۳، ۴ و ۵ لیتر در هکتار، سایر تیمارها نتوانستند کاهشی بیش از ۵۰ درصد در وزن خشک درنه سرخه ایجاد کنند که نشان‌دهنده برتری واضح این ترکیب خاص است (جدول ۹).

زیست‌توده کل علف‌های هرز در زمان برداشت از حدود ۱۱۰ گرم (مترمربع) در تیمار شاهد وجین دستی تا ۴۵۱ گرم در تیمار شاهد علف‌هرز متغیر بود (جدول ۹). تمام تیمارهای علف‌کشی موجب کاهش زیست‌توده شدند که از ۱۱ درصد برای پنو کسولام تا ۷۶ درصد در تیمار شاهد وجین‌دستی متغیر بود. دزهای بالای علف‌کش جدید پنو کسولام + سای‌هالوفوپ‌بوتیل (۳، ۴ و ۵ لیتر در هکتار) به ترتیب با ۵۶، ۶۴ و ۷۲ درصد کنترل علف‌های هرز فاقد اختلاف آماری با شاهد وجین‌دستی بودند. زیست‌توده علف‌های هرز در

تیمارهای شاهد علف‌هرز، پنو کسولام، پرتیلاکتر، بیس‌پایریباک‌سدیم و دز یک لیتر پنو کسولام + سای‌هالوفوپ‌بوتیل از نظر آماری ناکارآمد و مشابه بود که فقط ۱۱ تا ۲۲ درصد کاهش زیست‌توده را موجب شدند. پنو کسولام در این آزمایش در دز دو برابر میزان توصیه شده مورد بررسی قرار گرفت که ناکارآمدترین علف‌کش بود و نشانه مدیریت و پایش این علف‌کش در صورت تداوم مصرف است.

عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه برنج و وزن هزاردانه در خوزستان

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای آزمایشی دارای اثر معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه برنج در سطح یک درصد و وزن هزاردانه در سطح ۵ درصد داشتند (جدول ۱۰).

جدول ۱۰. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) درصد تغییرات عملکرد بیولوژیک و اجزای عملکرد دانه برنج در پاسخ به تیمارهای مختلف علف‌کش در خوزستان

Table 10. Analysis of variance (mean squares) for percentage changes in biological yield and yield components of rice in response to different herbicide treatments in Khuzestan

Sources of variation	Degrees of freedom	Mean square		
		Biological yield	Economic yield	Thousand-grain weight
Block	2	52819.5*	9310.3 ^{ns}	1.18**
Treatment	9	59559.2**	1757.3**	0.28*
Error	18	9146.2	3082.2	0.11
C.V (%)		34.1	35.6	4.9

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

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که حداکثر عملکرد بیولوژیک برنج (۴/۶۸ تن در هکتار) در کرت‌های تیمار شده با علف‌کش سای‌هالوفوپ‌بوتیل + پنو کسولام با دُز ۴ لیتر در هکتار مشاهده شد. این مقدار از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با عملکرد بیولوژیک کرت شاهد وجین دستی (۴/۶۱ تن در

هکتار) و کرت‌های تیمار شده با دُز ۳ لیتر سای‌هالوفوپ‌بوتیل + پنو کسولام نداشت. کمترین عملکرد بیولوژیک (۱/۰۶ تن در هکتار) در کرت شاهد عدم کنترل علف‌های هرز ثبت شد که نشان‌دهنده کاهش ۷۷ درصدی عملکرد بر اثر رقابت تمام فصل علف‌های هرز در مقایسه با شاهد وجین

دستی است. همچنین، تیمار علف کشی خاک پاش پرتیلاکلر + بن سولفورون متیل دارای اختلاف معنی داری با شاهد عدم کنترل نبود (جدول ۱۱).

جدول ۱۱. مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک، عملکرد اقتصادی و شاخص برداشت برنج در خوزستان

Table 11. Comparison of the mean biological yield, economic yield, and harvest index of rice in Khuzestan

Treatment	Application rate (ha ⁻¹)	Biological yield (t ha ⁻¹)	Grain yield (t ha ⁻¹)	Thousand-grain weight (g)
Weed-infested control	-	1.06 ^f	0.85 ^{ef}	22.77 ^{ab}
Hand-weeded control	-	4.61 ^a	2.68 ^a	20.73 ^c
Penoxsulam	30 mm	1.61 ^{de}	0.72 ^{fg}	20.57 ^c
Penoxsulam + cyhalofop-butyl	60 mm	1.90 ^{cd}	1.09 ^e	22.57 ^{ab}
Penoxsulam + cyhalofop-butyl	250 mm	3.48 ^b	1.94 ^c	23.10 ^a
Penoxsulam + cyhalofop-butyl	60 mm	4.60 ^a	2.21 ^b	21.63 ^{ac}
Penoxsulam + cyhalofop-butyl	120 mm	4.68 ^a	2.63 ^a	22.20 ^{ac}
Penoxsulam + cyhalofop-butyl	180 mm	3.62 ^b	2.45 ^a	21.13 ^{bc}
Bispyribac-sodium (SC 40%)	40 mm	2.05 ^c	1.55 ^d	21.47 ^{ac}
Pretilachlor	875 mm	1.87 ^{cd}	0.93 ^{ef}	20.53 ^c
Pretilachlor+bensulfuron-methyl	875 mm +36 mm	1.39 ^{ef}	0.61 ^g	20.50 ^c

میانگین های هر ستون و هر صفت که دارای حروف متفاوت هستند، بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۱ درصد ($P \leq 0.01$) با یکدیگر تفاوت معنی دار دارند.

Within each column and trait, means with different letters are significantly different based on Duncan's multiple range test at $P \leq 0.01$.

دو اقلیم علف کش جدید پیش آمیخته پنو کسولام+ سای هالوفوپ بوتیل (برنووید) بیشترین کارایی را در کنترل علف های هرز نشان داد و از سوی دیگر تیمار ترکیب فیزیکی بن سولفورون متیل+ پرتیلاکلر که بهترین تیمار در گیلان بود در خوزستان فاقد کارایی بود، که احتمالاً به دلیل غرقاب نبودن اراضی در خوزستان است. نکته حائز اهمیت اینکه علف کش های رایج بیس پایریاک سدیم و پنو کسولام در هر دو مکان فاقد کارایی بوده و نیازمند معرفی جایگزین هستند. تفاوت عملکرد بن سولفورون متیل+ پرتیلاکلر در دو مکان می تواند ناشی از شرایط آبیاری و عدم امکان غرقاب پیوسته در خوزستان باشد، چرا که غرقاب مداوم شرط لازم برای اثر بخشی علف کش های خاک پاش است. عملکرد ضعیف و هشدار دهنده این تیمار که تفاوتی با شاهد علف هرز نداشت، یک یافته حائز اهمیت برای کشاورزی منطقه است. این نتیجه به خوبی نشان می دهد که انتقال یک توصیه تکنیکی بدون در نظر

عملکرد دانه از ۰/۶۱ تا ۲/۶۸ تن در هکتار متغیر بود (جدول ۱۱) که به ترتیب در تیمار اختلاط فیزیکی دو علف کش خاک پاش پرتیلاکلر + بن سولفورون متیل و تیمار شاهد وجین دستی ثبت شد. در بین تیمارهای علف کشی بیشترین عملکرد مربوط به علف کش جدید پیش آمیخته پنو کسولام+ سای هالوفوپ بوتیل و دوزهای ۴ و ۵ لیتر در هکتار) این علف کش حاصل شد که به ترتیب ۲ و ۹ درصد کمتر از شاهد وجین دستی بود ولی از نظر آماری فاقد اختلاف معنی دار بودند. عملکرد دانه در دزهای ۱، ۲ و ۳ لیتر (در هکتار) پنو کسولام+ سای هالوفوپ بوتیل به ترتیب ۵۹، ۲۸ و ۱۸ درصد کمتر از شاهد وجین دستی بود. عملکرد در تیمارهای علف کشی رایج بیس پایریاک سدیم، پرتیلاکلر و پنو کسولام به ترتیب ۴۲، ۶۵ و ۷۳ درصد کمتر از شاهد وجین دستی است.

نتایج استان خوزستان دارای تفاوت ها و تشابهات تأمل برانگیزی با نتایج گیلان است. از یک سو در هر

گرفتن شرایط زیست بوم منطقه‌ای می‌تواند به شکست کامل بینجامد. دلیل این شکست، همان‌طور که اشاره شد، به احتمال زیاد به عدم امکان ایجاد غرقاب دائم در مزارع برنج خوزستان مرتبط است. علف‌کش‌های خاک‌پاش مانند پرتیلاک‌لر برای فعال شدن و ایجاد لایه حفاظتی در سطح خاک به رطوبت یکنواخت وابسته هستند. در شرایط آبیاری غرقاب متناوب که در بسیاری از مناطق خوزستان رایج است، این علف‌کش‌ها نمی‌توانند کارایی خود را نشان دهند.

با این حال، نکته بسیار کلیدی، تفاوت بین عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه است. اگرچه تیمار ترکیبی در عملکرد بیولوژیک برتر بود؛ اما حداکثر عملکرد اقتصادی همچنان در تیمار وجین دستی ثبت شد. این شکاف کوچک اما معنادار می‌تواند نشان‌دهنده این مهم باشد که اگرچه علف‌کش ترکیبی رقابت علف‌هرز را به‌خوبی حذف کرده؛ اما ممکن است استرس فیزیولوژیک جزئی ناشی از حضور باقیمانده علف‌کش یا اثرات غیرهدفمند آن، تخصیص کامل مواد فتوسنتزی به دانه (شاخص برداشت) را تحت تأثیر قرار داده باشد. این موضوع اهمیت سنجش شاخص برداشت را در ارزیابی نهایی کارایی علف‌کش‌ها پررنگ می‌کند. این شکاف بین عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه می‌تواند گویای وجود استرس فیزیولوژیک جزئی ناشی از علف‌کش بر روی گیاه زراعی باشد. برخی از علف‌کش‌ها از طریق اختلال در فرآیندهای تقسیم سلولی و سنتز پروتئین، رشد ریشه و ساقه را محدود می‌کنند و گیاه را مستعد تنش‌های دیگر

می‌سازند (Ramel et al., 2009). این شرایط می‌تواند بر تخصیص مجدد مواد فتوسنتزی به اندام‌های زایشی (عملکرد دانه) بیش از توده‌ی کل گیاه (عملکرد بیولوژیک) تأثیر منفی بگذارد، که در نهایت سبب کاهش شاخص برداشت می‌گردد. بنابراین، شاخص برداشت یک معیار حساس‌تر و نهایی‌تر نسبت به عملکرد بیولوژیک برای ارزیابی کارایی واقعی علف‌کش‌ها محسوب می‌شود. نتایج مطالعه لی و همکاران (۲۰۲۲) نشان می‌دهد که علف‌کش نیکوسولفورون، علاوه بر اختلال در سیستم آنتی‌اکسیدانی، به طور مستقیم ظرفیت فتوسنتزی گیاه را کاهش می‌دهد. این اثرات شامل کاهش محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی، آسیب به عملکرد دستگاه فتوسیستم II، و کاهش نرخ خالص فتوسنتز است. اختلال در فتوسنتز به وضوح می‌تواند منبع مواد فتوسنتزی (source strength) را محدود کرده و به طور مستقیم به کاهش عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت منجر شود. این نتایج بر اهمیت شناسایی و پایش استرس در گیاهان (که می‌تواند ناشی از باقیمانده‌ی علف‌کش باشد) و ضرورت گنجاندن شاخص برداشت در ارزیابی‌های جامع مدیریت تلفیقی علف‌های هرز تأکید می‌کند.

وزن هزار دانه به‌طور کلی از حدود ۲۱ تا ۲۳ گرم متغیر بود (جدول ۱۱). تیمار علف‌کشی خاک‌پاش و اختلاط فیزیکی پرتیلاک‌لر + بن‌سولفورون دارای کمترین و دز دو لیتر در هکتار پنوکسولام + سای‌هالوفوپ‌بوتیل دارای بیشترین وزن هزاره دانه بودند. اگرچه تیمارهای دارای عملکرد دانه کمتر دارای وزن هزار دانه کمتری بودند؛ ولی

به طور کلی اختلاف آماری بین تیمارهای مختلف برای این صفت بر خلاف دیگر صفات مورد بررسی قابل توجه نبود. در بررسی های دیگران نیز وزن هزار دانه در تیمارهای علف کشی مختلف تفاوت قابل توجهی نشان نداد. برخی منابع وزن هزار دانه را صفتی ژنتیکی گزارش نموده و تأثیر مدیریت مزرعه را بر آن ناچیز گزارش کرده اند (Hay & Porter, 2006).

برآورد دُز مناسب از علف کش پنو کسولام+ سای هالوفوپ بوتیل برای توصیه مصرف در مزارع

دُز بهینه علف کش پنو کسولام+ سای هالوفوپ بوتیل برای کنترل مؤثر علف های هرز سوروف و پیزور و همچنین دستیابی به حداکثر عملکرد شلتوک و عملکرد بیولوژیک، با برازش مدل های رگرسیونی بر روی داده های صفت های مزرعه ای تعیین شد (جدول ۱۲). با توجه به این که این داده ها از آزمایش های مزرعه ای با آلودگی شدید به علف های هرز کلیدی شالیزار حاصل شده است، اعتبار نتایج به لحاظ عملیاتی و توصیه ای بالاست. این اطلاعات می تواند مبنای ارائه توصیه های دقیق به کشاورزان برای استفاده بهینه از علف کش ها باشد.

با توجه به نتایج حاصل از برازش مدل های رگرسیونی بر داده های مزرعه ای در شرایط آلودگی شدید، تعیین دوز بهینه علف کش پنو کسولام+ سای هالوفوپ بوتیل نه تنها کنترل مؤثر علف های هرز

سوروف و پیزور را تضمین می کند، بلکه نقطه تعادل حیاتی بین حداکثر عملکرد شلتوک، صرفه اقتصادی و کاهش فشار اکولوژیک را مشخص می سازد. این دوز بهینه، که پایین تر از حد حداکثر کنترل است، به عنوان هسته مرکزی یک راهبرد مدیریت تلفیقی عمل کرده و با جلوگیری از مصرف بی رویه، از تسریع پیدایش مقاومت در علف های هرز می کاهد، باقی مانده سم را کاهش می دهد و پایداری بلندمدت سیستم زراعی را ارتقا می بخشد. بنابراین، تبدیل این یافته به توصیه های عملیاتی و منطقه ای برای کشاورزان، گامی اساسی به سوی کشاورزی دقیق تر، مقرون به صرفه تر و سازگارتر با محیط زیست است.

روند تغییرات زیست توده پیزور و سوروف در تیمار با دُزهای مختلف پنو کسولام+ سای هالوفوپ بوتیل

با افزایش دُز علف کش پنو کسولام+ سای هالوفوپ بوتیل، زیست توده علف هرز پیزور روندی کاهشی و معنی دار نشان داد. در تیمار شاهد، برتری رقابتی پیزور و سوروف نسبت به برنج مشهود بود. زیست توده پیزور در پنج و دوازده هفته پس از نشاکاری در شاهد به ترتیب ۶۰ و ۱۷۵ گرم اندازه گیری شد. دُز لازم برای کاهش ۵۰ درصدی زیست توده پیزور (ED_{50}) در این زمان ها به ترتیب ۶۸ و ۳۳ گرم ماده مؤثره در هکتار برآورد گردید (جدول ۱۲ و شکل ۱).

جدول ۱۲. پارامترهای تجزیه رگرسیون برازش مدل سیگموئیدی لجستیک بر روند کاهش زیست‌توده پیروز و سوروف در گیلان

Table 12. Regression analysis parameters of the fitted logistic sigmoid model describing the trend of biomass decline in bulrush and barnyardgrass in Guilan

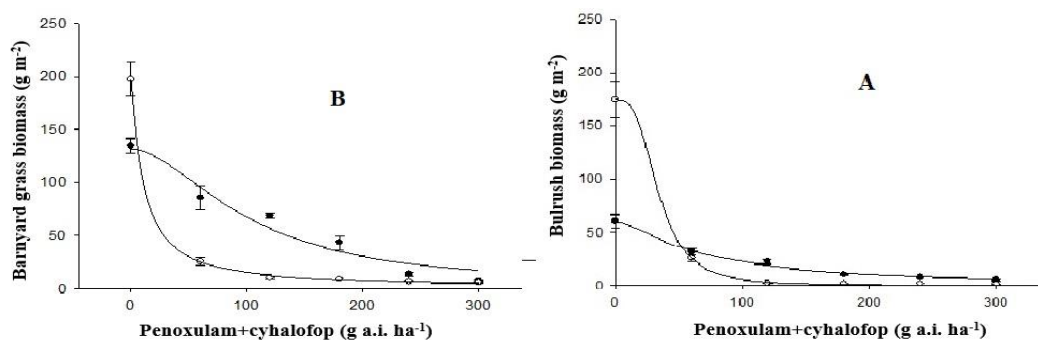
Type of weed	Sampling time	a	b	ED ₅₀	ED ₉₅	R ² (adj)
Bulrush	5 WAHA	60 (2.2)	1.4 (0.2)	68 (6.8)	-	0.98
	12 WAHA	175 (1.3)	3.1 (0.5)	33 (3.5)	86.7 (5.6)	0.99
Barnyardgrass	5 WAHA	131 (12.2)	1.7 (0.4)	102.4 (11.8)	-	0.92
	12 WAHA	197 (1.3)	1.4 (0.5)	10.8 (2.2)	76.2 (6.8)	0.99

a = maximum biomass, b = slope parameter of the model at ED₅₀, ED₅₀ and ED₉₅ are the required dose (g a.i. ha⁻¹) for 50 and 95 percent reduction in the trait under study, respectively.

WAHA: weeks after herbicide application

توصیه شده (۱۵۰ گرم) است (جدول ۱۲ و شکل ۱). نتایج کلی نشان می‌دهد که ترکیب علف‌کشی مذکور گزینه‌ای مؤثر و اقتصادی برای کنترل پیروز و سوروف در سیستم نشاکاری برنج بوده و می‌تواند در مدیریت پایدار علف‌های هرز نقش کلیدی ایفا کند.

زیست‌توده سوروف نیز با افزایش دُز علف‌کش به‌طور معنی‌داری کاهش یافت ED₅₀. برای سوروف در هفته پنجم بیشتر از هفته دوازدهم بود که نشان‌دهنده اثر تدریجی این علف‌کش است. دُز لازم برای کاهش ۹۵ درصدی زیست‌توده (ED₉₅) سوروف در زمان برداشت حدود ۷۶ گرم ماده مؤثره در هکتار تعیین شد که به‌مراتب کمتر از حداکثر دُز



شکل ۱. روند تغییرات زیست‌توده پیروز و سوروف در دُزهای مختلف علف‌کش پنوکسولام + سای‌هالوفوپ‌بوتیل (● پنج هفته پس از نشاکاری، ○ ۱۲ هفته پس از نشاکاری در گیلان)

Figure 1. Changes in bulrush and barnyardgrass biomass at different application rates of the herbicide penoxsulam + cyhalofop-butyl (● five weeks after transplating; ○ 12 weeks after transplating) in Guilan

عملکرد شلتوک در دُز ۱۵۰ گرم و دُزهای بالاتر مشاهده نشد. بنابراین، مصرف ۱۵۰ گرم ماده مؤثره در هکتار (معادل ۲/۵ لیتر فرمولاسیون تجاری) به‌عنوان دُز بهینه برای کنترل علف‌های هرز شالیزار قابل توصیه است. نتایج نشان داد اگرچه حداکثر عملکرد بیولوژیک در دُز ۲۳۵ گرم حاصل شد و این

بررسی اثر دُزهای مختلف پنوکسولام + سای‌هالوفوپ‌بوتیل بر عملکرد بیولوژیک و شلتوک

حداکثر عملکرد شلتوک و عملکرد بیولوژیک به‌ترتیب ۳۸/۲ و ۳۸/۵ تن در هکتار در دُزهای ۲۵۰ و ۲۳۵ گرم ماده مؤثره در هکتار به‌دست آمد (جدول ۱۳ و شکل ۲). با این حال، اختلاف معنی‌داری بین

مقدار از نظر آماری نسبت به دُزهای پایین تر برتری داشت، اما افزایش زیست توده لزوماً به بهبود عملکرد شلتوک منجر نشد. این موضوع نشانه آن است که شاخص عملکرد اقتصادی محصول، بیش از زیست توده کل، معیار مناسبی برای تعیین دُز بهینه علف کش است.

جدول ۱۳. پارامترهای تجزیه رگرسیون برازش مدل سیگموئیدی گوسین بر روند عملکرد بیولوژیک و عملکرد اقتصادی در گیلان

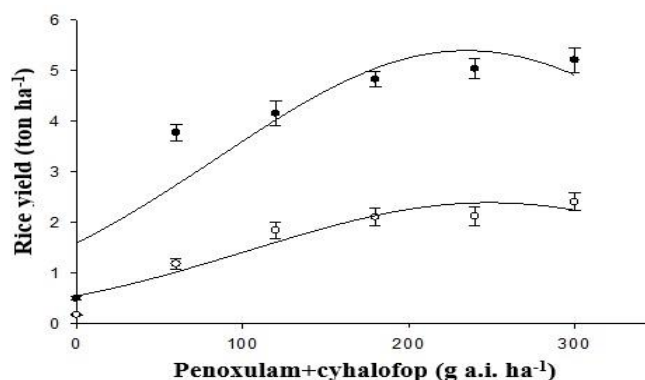
Table 13. Regression analysis parameters of the fitted Gaussian sigmoid model describing the trend of biological and economic yield in Guilan

Yield type	a	b	X ₀	R ² (adj)
Biological yield	5.38 (0.58)	150 (15)	235 (36)	0.84
Economic yield	2.38 (0.2)	144 (25)	249 (35)	0.90

a = maximum yield, b = slope parameter of the model at X₀, and X₀ is the herbicide dose (g a.i. ha⁻¹) at which maximum yield is obtained.

نتایج آزمایش نشان می دهد که اگرچه حداکثر عملکرد بیولوژیک (۳۸/۵ تن در هکتار) و حداکثر عملکرد شلتوک (۳۸/۲ تن در هکتار) به ترتیب در دوزهای ۲۳۵ و ۲۵۰ گرم ماده مؤثره در هکتار حاصل شدند؛ اما از نظر آماری تفاوت معنی داری بین عملکرد شلتوک در دوز ۱۵۰ گرم و دوزهای بالاتر مشاهده نشد. این یافته کلیدی نشان می دهد که افزایش دوز علف کش، اگرچه ممکن است زیست توده کل گیاه را افزایش دهد، لزوماً منجر به

تبدیل کارآمدتر این زیست توده به دانه (شلتوک) نشده و بنابراین از نظر اقتصادی توجیه پذیر نیست. در نتیجه، دوز ۱۵۰ گرم ماده مؤثره در هکتار (معادل ۲/۵ لیتر فرمولاسیون تجاری) به عنوان دوز بهینه توصیه می شود، چرا که در این سطح، کنترل مؤثر علف های هرز با حداکثر بازده اقتصادی و حداقل مصرف سم محقق شده و اصل کشاورزی پایدار از طریق کاهش بار آلودگی شیمیایی رعایت می گردد.



شکل ۲. روند تغییرات عملکرد برنج در دُزهای مختلف علف کش پنوکسولام+ سای هالوفوب (● عملکرد بیولوژیک، ○ عملکرد دانه) در گیلان

Figure 2. Trend of rice yield changes under different doses of the herbicide penoxsulam + cyhalofop (● biological yield; ○

نتیجه گیری کلی

میلی لیتر + ۶۰ گرم در هکتار) به عنوان یک گزینه برتر قابل پیشنهاد است. این ترکیب با ایجاد کنترل زود هنگام و مؤثر از طریق مکانیزم های بیوشیمیایی متفاوت، رقابت علف های هرز را به حداقل رسانده و بالاترین عملکرد اقتصادی (۳/۷ تن در هکتار) و

با توجه به نتایج این پژوهش، برای مدیریت علف های هرز پیزور و سوروف و دستیابی به حداکثر عملکرد برنج در استان گیلان، استفاده از تیمار ترکیبی پرتیلاکلو+ بن سولفورون متیل (با دُز ۱۷۵۰

هکتار به عنوان گزینه برتر جهت کنترل علف‌های هرز برنج پیشنهاد می‌شود. این تیمار با ایجاد کنترل همه‌جانبه (بیش از ۹۰ درصد کاهش تراکم علف‌هرز) و هم‌ارزی عملکردی با وجین دستی، بالاترین عملکرد بیولوژیک (۴/۶۸ تن در هکتار) و عملکرد اقتصادی قابل قبول (۲/۴۵ تن در هکتار) را فراهم کرد. ناکارآمدی علف‌کش‌های رایج بیس‌پایریاک‌سدیم، پنوکسولام و سای‌هالوفوپ‌بوتیل حتی گاه در دو برابر دز توصیه شده (پنوکسولام) بیانگر ارزیابی جدی در خصوص کارایی توصیه‌های موجود جهت مدیریت علف‌های هرز است.

شاخص برداشت (۶۰ درصد) را به همراه داشت. در صورت تمایل به استفاده از یک گزینه جایگزین، پیش‌آمیخته پنوکسولام + سای‌هالوفوپ‌بوتیل (برنووید) با دُز حدود ۲/۵ تا ۳ لیتر در هکتار دارای کارایی مشابه ترکیب پرتیلاکلر + بن‌سولفورون‌متیل بود، اما با توجه به اینکه، این تیمار علف‌های هرز را پس از رویش کنترل کرد، کاهش عملکرد غیرقابل اجتناب است. در خوزستان با شرایط اقلیمی و مدیریتی متفاوت که غرقاب دائم مزرعه ممکن نبود، تیمار پرتیلاکلر + بن‌سولفورون‌متیل برای این استان قابلیت توصیه نداشته و علف‌کش پیش‌آمیخته پنوکسولام + سای‌هالوفوپ‌بوتیل با دُز ۴ لیتر در

منابع

- عاشوری، مریم؛ یعقوبی، بیژن؛ رستمی، مددعلی (۱۴۰۴). کنترل علف‌های هرز برنج نشایی توسط پهپاد در سیستم‌های مختلف آبیاری. نشریه دانش گیاهپزشکی، ایران، ۵۵(۲)، ۴۳۷-۴۱۱. <https://doi.org/10.22059/ijpps.2025.400526.1007090>
- Aminpanah, H. & Yaghoubi, B. 2018. Efficacy of some herbicides in controlling the bulrush (*Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla) in rice fields in northern Iran. *Journal of Plant Protection*, 32(2), 245-255.
- Beckie, H.J., Busi, R., Lopez-Ruiz, F.J., Umina, P.A. 2021. Herbicide resistance management strategies: how do they compare with those for insecticides, fungicides and antibiotics? *Pest Management Science*. 2021;77(7):3049-3056. doi:10.1002/ps.6395
- Bond, J.A., Walker, T.W., Webster, E.P., Buehring, N.W., Dustin, L.H. 2007. Rice cultivar response to penoxsulam. *Weed Technology*. 21, 961-965.
- Chauhan, B.S. 2012. Weed management in direct-seeded rice systems. International Rice Research Institute, Pp. 25.
- Chauhan, B.S., & Abugho, S.B. 2013. Weed Management in Mechanized-Sown, Zero-Till Dry-Seeded Rice. *Weed Technology*. 27, 28-33.
- Chauhan, B.S., & Johnson, D.E. 2011. Growth response of direct-seeded rice to oxadiazon and bispyribac-sodium in aerobic and saturated soils. *Weed Science*. 59(1), 119-122.
- Chauhan, B.S., & Opeña, J. 2012. Effect of tillage systems and herbicides on weed emergence, weed growth, and grain yield in dry-seeded rice systems. *Field Crops Research*. 137, 56-69.
- Cobb, A.H., & Reade, J.P.H. 2010. Herbicides and plant physiology. 1-286.
- Délye, C. 2005. Weed resistance to acetyl coenzyme A carboxylase inhibitor: an update. *Weed Science*. 53(5), 728-746.
- El-Ghannam, A.M., Abdallah, M.E., Shalaby, E.M. 2024. Evaluation of penoxsulam + triclopyr-butotyl mixture for weed control in transplanted rice. *Journal of Plant Protection Research*.
- Gómez, L., Pérez, M., & Fernandez, R. 2024. Weed management in transplanted and direct-seeded rice using penoxsulam. *Agronomy Journal*. 116(2), 815-826.
- Green, J.M., & Hale, T. 2018. Increasing the utility of herbicide mixtures for proactive weed resistance management. *Weed Technology*. 32(3), 235-242.
- Green, J.M., & Owen, M.D.K. 2011. Herbicide-resistant crops: utilities and limitations for herbicide-resistant weed management. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 59(11), 5819-5829.
- Hay, R., & Porter, J. 2006. The physiology of crop yield, 2nd edn. *Annals of Botany* 100: 889-891, 2007. Available online at www.aob.oxfordjournals.org. doi:10.1093/aob/mcm186.

- Hazen, J.L. 2000. Adjuvants — Terminology, Classification, and Mode of Action. *Weed Technology*, 14(4), 773-784.
- Heafele, S.M. Johnson, D.E. M'Bodj, D., Wopereis, M.C.S., Miezan, K.M. 2004. Field screening of diverse rice genotypes for weed competitiveness in irrigated lowland ecosystems. *Field Crops Research*. 88, 39-56.
- Heap, I. 2025. The International Herbicide-Resistant Weed Database. Retrieved from www.weedscience.org.
- Jha, P., Norsworthy, J.K., Scott, R.C. 2010. Cyhalofop application timing and adjuvant selection for *Echinochloa crus-galli* control in rice. *Crop Protection*. 29(8), 820-823.
- Kudsk, P., & Mathiassen, S.K. 2020. Synergy between herbicides: trends and perspectives. *Pest Management Science*, 76(10), 3360-3369.
- Kunst, L., & Samuels, A.L. 2003. Biosynthesis and secretion of plant cuticular wax. *Progress in lipid research*, 42(1), 51-80.
- Larelle, D., Man, R., Cavamna, S., Bemes, R., Duriatti, A., Mavrotas, C. 2003. Penoxsulam, a new broad spectrum rice herbicide for weed control in European Union ayhalo. In: Congress Proceedings of the BCPC International Congress —Crop Science and Technology. Glasgow, Scotland, November 10-12, 2003. British Crop Protection Council, Bracknell, Berks, 1, 75-80.
- Li, X. F., Riaz, M., Song, B. Q., Liu, H.J. 2022. Phytotoxicity response of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) seedlings to herbicide fomesafen in soil. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 239, 113628. doi: 10.1016/j.ecoenv.2022.113628
- MaaziKajal, V., Yaghoubi, B., Farahpour, A., Mehrpouyan, M. & Vahedi, A. 2012. Comparison of the efficacy of penoxsulam with some common paddy rice herbicides. *Cereal Research*, 2(3), 223-235.
- Mallory-Smith, C.A., & Retzinger, E.J. 2003. Revised classification of herbicides by site of action for weed resistance management strategies. *Weed Technol.* 17, 605-619.
- Mohanty, A.S., Singh, P., Nistala, S., Mohanty, K. 2024. Understanding the environmental fate and removal strategies of phenylurea herbicides: A comprehensive review. *Journal of Hazardous Materials Advances*. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2024.100496>
- Norsworthy, J.K., Ward, S.M., Shaw, D.R., Llewellyn, R.S., Nichols, R.L., Webster, T.M., ..., Barrett, M. 2012. Reducing the risks of herbicide resistance: best management practices and recommendations. *Weed Science*, 60(sp1), 31-62.
- Raj, S.K., & Syriac, E.K. 2015. Bio-efficacy of penoxsulam+ ayhalofop butyl 6% OD, a new pre-mix herbicide mixture for weed control in direct seeded puddled irrigated rice (*Oryza sativa* L.). *Research on Crops*, 16(3), 406.
- Ramel, F., Sulmon, C., Cabello-Hurtado, F., Taconnat, L., Martin-Magniette, M.L., Renou, J.P., El Amrani, A., Couée, I., Gouesbet, G., 2007. Genome-wide interacting effects of sucrose and herbicide-mediated stress in *Arabidopsis thaliana*: novel insights into atrazine toxicity and sucrose-induced tolerance. *BMC Genomics*, 8, 450.
- Ray, S., Maiti, D., Adak, T. 2022. Post-emergence herbicides alter arbuscular mycorrhizal fungal colonization in rice rhizosphere. *Applied Soil Ecology*, 174, 104396
- Senseman, S.A. 2007. Herbicide handbook (No. 632.954 W394h9). Lawrence, US: Weed Science Society of America.
- Shaner, D.L. (Ed.). 2014. Herbicide Handbook (10th Ed.). Weed Science Society of America.
- Shimizu, T., Nakayama, I., Nagayama, K., Miyazawa, T., and Nezu, Y. 2002. Acetolactate synthase inhibitors. In *Herbicide classes in development: mode of action, targets, genetic engineering, chemistry* (pp. 1-41). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Shivalika, Sharma, G.D., Manuja, S., Sankhyani, N.K., Pooja. 2025. Herbicide Formulations and their Importance. *Vigyan Varta*, 6(4), 76-80.
- Streibing, J.C. 1988. Herbicide bioassay. *Weed Research*, 28, 479-484.
- Swanton, C.J., Nkoa, R., Blackshaw, R.E. 2015. Experimental methods for crop-weed competition studies. *Weed Science*, 63(sp1), 2-11.
- Tranel, P.J., & Wright, T.R. 2002. Resistance of weeds to ALS-inhibiting herbicides: what have we learned? *Weed Science*, 50(6), 700-712.
- Yadav, D.B., Singh, N., Duhan, A., Yadav, A., Punia, S.S. 2018. Penoxsulam + ayhalofop-butyl (premix) evaluation for control of complex weed flora in transplanted rice and its residual effects in rice-wheat cropping system. *Indian Journal of Weed Science*. 50 (4), 333-339.
- Yaghoubi, B. 2017. Final report on study the efficacy of bispyribac sodium SC 10% (Nominee) in paddy field weed control. Rasht, Iran: Rice Research Institute of Iran, Agriculture Research, Education and Extension Organization.
- Zhang, Y., Liu, W., Wang, J. 2023. Resistant barnyard grass biotypes shape rhizosphere microbial communities under penoxsulam stress. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(12), 4671-4682.
- Zhao, D.L., Atlin, G.N., Bastiaans, L., Spiertz, J.H.J. 2006. Comparing rice germplasm for growth, grain yield, and weed-suppressive ability under aerobic soil conditions. *Weed Research*. 46, 444-452.
- Zimdahl, R. L. (2018). Fundamentals of weed science. Academic Press.