

<https://dx.doi.org/10.22034/arpp.2023.16644>

ارزیابی شایستگی و توان رقابت خردل وحشی *Sinapis arvensis* حساس و دارای مقاومت چندگانه به علفکش‌های تری بنورون متیل و توفوردی+ام‌سی‌پی آ در رقابت با گندم

بهاره خمانی، ایرج نصرتی[✉]، علیرضا باقری

گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. Irajnosratti@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۰۹ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۰/۱۴ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۶

چکیده

این مطالعه جهت بررسی شایستگی نسبی در بیوتیپ‌های حساس و مقاوم خردل وحشی جمع آوری شده از مزارع گندم شهرستان گیلانغرب واقع در استان کرمانشاه در سال ۱۳۹۷ انجام گرفت. مزارعی که سابقه‌ی استفاده طولانی مدت از علفکش‌های رایج پهن برگ کش را داشتند و کشاورزان از تأثیر علفکش‌ها ناراضی بودند، انتخاب شدند. علفکش‌ها مورد استفاده شامل: تری بنورون متیل (گرانستار) و توفوردی+ام‌سی‌پی آ (46 u کمی فلویید) بودند. نتایج نشان داد که یک بیوتیپ دارای مقاومت چندگانه به هر دو علفکش، تری بنورون متیل (گرانستار) و توفوردی+ام‌سی‌پی آ و یک بیوتیپ مقاوم به گرانستار بود. آزمایشات شایستگی نسبی در دو مرحله در گلخانه انجام شد. در بخش اول روند تغییرات وزن خشک اندام هوایی، سطح برگ و ارتفاع بیوتیپ‌های مقاوم با بیوتیپ حساس در شرایط عدم رقابت با گندم بررسی شد و در بخش دوم رشد بیوتیپ‌های حساس و مقاوم علف هرز خردل وحشی در رقابت با گندم بررسی شد. نتایج این مطالعه نشان داد که در شرایط عدم رقابت با گندم، بیوتیپ حساس از نظر صفات مورد بررسی نسبت به بیوتیپ‌های مقاوم دارای برتری بود و این بیوتیپ دارای وزن خشک، ارتفاع و سطح برگ بیشتری نسبت به بیوتیپ‌های مقاوم بود. مشابه با حالت بدون رقابت؛ در شرایط رقابت با گندم بیوتیپ حساس نسبت به بیوتیپ‌های مقاوم از نظر رشد برتری داشت و گندم در رقابت با بیوتیپ‌های حساس نسبت به بیوتیپ مقاوم رشد کمتری داشت. در مجموع نتایج این مطالعه نشان داد که بروز مقاومت سبب کاهش شایستگی نسبی خردل وحشی مقاوم در مقایسه با بیوتیپ حساس شد.

کلمات کلیدی: بیوتیپ حساس، بیوتیپ مقاوم، عدم رقابت و شرایط رقابت

Evaluation the fitness and competitive ability of wild mustard *Sinapis arvensis* susceptible and with multiple resistance to Tribenuron Methyl and 2,4-D+MCPA with wheat

Bahare Khamani, Iraj Nosratti[✉], and Alireza Bagheri¹Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran.

✉Irajnosratti@gmail.com

Received: 31 August 2022

Revised: 4 January 2023

Accepted: 6 January 2023

Abstract

This study was carried out to determine the resistance and relative fitness of susceptible and resistant mustard biotypes collected from wheat fields of the Gilane-gharb region in Kermanshah province. Weeds had a long history of exposure to common broadleaf herbicides during the last five years. The herbicides studied included thribenurone methyl (Granstar) and 2,4-D+ MCPA. The result of preliminary studies identified one biotype had multiple resistance to both herbicides Granstar and 2,4-D+ MCPA and one biotype had resistance to Granstar only. Fitness studies were performed in two parts in the greenhouse. In the first part, plant dry matter, leaf area and plant height change of resistant and susceptible biotypes were compared under no competition with wheat condition and in the second part, the growth of susceptible and resistant biotypes of wild mustard weed in competition with wheat. Dry weight and height were measured in both plants. According to the results, the susceptible biotype was superior to the resistance biotypes in terms of the studied traits under no competition with wheat and susceptible biotype had higher dry weight, height, and leaf area rather than the resistant biotypes. Similarly, the susceptible biotype was superior to resistant biotypes in terms of growth under competition condition and, wheat had less growth in competition with susceptible biotype rather than resistant ones. Overall, the results of this study indicated that the emergence of resistance reduced the fitness of resistant wild mustard compared to the sensitive biotype.

Keywords: Competition conditions, lack of competition, resistant biotype, sensitive biotype

How to cite:

Khamani B, Nosratti I, Bagheri A, 2023. Evaluation the fitness and competitive ability of wild mustard *Sinapis arvensis* susceptible and with multiple resistance to Tribenuron Methyl and 2,4-D+MCPA with wheat. *Journal of Applied Research in Plant Protection* 12 (3): 273-284.

مقدمه

از آنجا که گیاهان برای اولین بار حدود ده هزار سال قبل اهلی شدند، گیاهان زراعی در معرض آلودگی‌های مکرر، توسط علف‌های هرز قرار گرفته‌اند (Nosratti & Muhammadyari 2020; Nosratti *et al.* 2019). مقاومت علف هرز خردل وحشی به علفکش‌های بازدارنده استولاکتات سینتتاز ALS، برای اولین بار در استرالیا در سال ۱۹۹۶ گزارش شده است. در نتیجه خردل وحشی مقاوم به بازدارنده‌های ALS، شناسایی شد و پس از آن در امریکا، ایتالیا، ترکیه، اسپانیا و کانادا نیز گزارش گردید (Heap 2018). خردل وحشی با داشتن قدرت رقابت بالا در جذب نور و کسب مقدار زیاد اسید اروسیک، نسبت به گونه‌های دیگر علف‌های هرز، نامطلوب‌تر به شمار می‌رود (Dhima & Eleftherohorinos 2011; Naderi & Ghadiri 2005). در نیمه دوم قرن بیستم مدیریت پیشرفته علف‌های هرز از طریق مصرف علفکش‌ها، منجر به افزایش تولید محصولات کشاورزی در کشورهای پیشرفته شد (Vats 2015). با وجود این، مصرف بیش از حد و مکرر علفکش‌ها، منجر به پدیدار شدن بیوتیپ‌های علف‌های هرز مقاوم به علفکش‌ها گردید که باعث افزایش هزینه کنترل می‌شوند (Shaner 2014; Karimi-Mordagh *et al.* 2023).

علفکش‌های بازدارنده ALS به‌طور گسترده در سیستم‌های کشاورزی در سراسر جهان به‌دلیل ویژگی‌های مفید آن‌ها از نظر کارایی بالای علفکش، انتخاب گسترده محصول و میزان سمیت کم برای پستانداران استفاده می‌شوند (Whitcomb 1999). مقاومت به علفکش عبارت است از توانایی ارثی گیاه برای رشد و نمو و تکثیر بعد از قرار گرفتن در معرض علفکشی که می‌توانست منجر به مرگ تمامی یا بخشی از جمعیت سابق گیاه شود (Moss *et al.* 2019). آنزیم استولاکتات سینتتاز (Acetolactate Synthase) یا استوهیدروکسی اسید سینتتاز (AHAS) در مسیر بیوسنتز اسیدهای آمینه زنجیره‌ای شاخه‌دار مثل لوسین، ایزولوسین و والین نقش دارد. به‌طور کلی این اسیدهای آمینه برای رشد و نمو گیاه لازم هستند و از این رو، جلوگیری از تشکیل و سنتز آن‌ها برای گیاهان کشنده است. به علفکش‌هایی که استولاکتات سنتاز، را مهار می‌کنند، علفکش‌های مهارکننده ALS گفته می‌شود (Tranel & Wright 2002).

مکانیزم عمل ایجاد مقاومت به بازدارنده‌های ALS تغییر در جایگاه فعال آنزیم ALS و افزایش متابولیسم علفکش‌ها گزارش شده است. علفکش‌های بازدارنده ALS به صورت انتخابی برای کنترل علف‌های هرز پهن برگ و باریک برگ مصرف می‌شوند

(Peterson *et al.* 2018). این گروه علفکش بالاترین تعداد علف‌های هرز مقاوم به علفکش را در سابقه خود دارد (Heap 2018). گزارش شده است که علف هرز خردل وحشی دارای توانایی ایجاد مقاومت به علفکش‌های بازدارنده ALS را دارد (Heap 2022).

براساس نظریه تکاملی، مقاومت به علفکش، به عنوان یک مکانیسم دفاعی سازگار فرض شده است که اغلب با هزینه‌ی شایستگی همراه شده است. بنابراین انتظار می‌رود که در صورت عدم وجود فشار انتخاب، ناشی از کاربرد علفکش، فراوانی آلل‌های مقاوم در بین جمعیت کاهش یابد (Neve 2007). تفاوت در شایستگی گونه‌های علف‌هرز مقاوم و حساس عامل مهمی جهت پیش‌بینی تکامل مقاومت به علفکش می‌باشد. در صورت حذف فشارانتخاب علفکش، در صورتی که شایستگی گیاهان مقاوم نسبت به گیاهان حساس کمتر باشد، با گذشت زمان گیاهان حساس یک جمعیت جایگزین گیاهان مقاوم می‌شوند (Stoltenberg & Wiederholt, 1996). بر اساس پیش‌بینی تئوری‌های تکامل و اکولوژی انتظار می‌رود که برخی از گونه‌های گیاهی مقاوم به علفکش در مقایسه با گونه‌های حساس به علفکش در غیاب فشار انتخابی علفکش، شایستگی کمتری داشته باشند (Keshtkar *et al.*, 2019, Vila-Aiub *et al.*, 2009). تمرکز بر روی مقایسه توده‌های مقاوم و حساس این علف هرز در غیاب کاربرد علفکش‌ها، می‌تواند در یافتن نقاط ضعف و قوت آن، جهت بکارگیری در برنامه‌های مدیریتی موثر باشد. بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی هزینه شایستگی و توان رقابت خردل وحشی (*Sinapis arvensis*) حساس و دارای مقاومت چندگانه به علفکش‌های تری بنورون متیل و آمیخته علفکشی توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ در شرایط رقابت و عدم رقابت با گندم انجام گردید.

مواد و روش

جمع‌آوری بذره‌های خردل

بذور علف هرز خردل وحشی مشکوک به مقاومت در اواخر بهار و اوایل تابستان سال ۱۳۹۷، از مزارع گندم گیلانغرب که سابقه استفاده طولانی به مدت حداقل پنج سال از علفکش‌های رایج پهن برگ را داشتند جمع‌آوری شد و بذور بیوتیپ حساس نیز از مناطقی که سابقه هیچ گونه مدیریت شیمیایی نداشتند جمع‌آوری گردید.

آزمایش غلظت تفکیک (غلظت توصیه شده برای کاربرد علفکش در مزرعه)

گلدان‌های پلاستیکی با قطر دهانه‌ی ۲۵ سانتی‌متر و محتوی مخلوط کود دامی، ماسه و خاک (با نسبت مساوی) در سال ۹۸-۱۳۹۷ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی کشت گردید. پس از اطمینان از استقرار بوته‌ها تعداد آن‌ها به سه بوته در هر گلدان کاهش داده شد و گلدان‌ها به میزان نیاز آبیاری شدند. اولین برداشت در مرحله سه‌الی چهار برگی علف هرز خردل وحشی انجام گرفت و چهار مرحله برداشت بعدی هر دو هفته یکبار صورت گرفت. برای هر مرحله برداشت سه گلدان در نظر گرفته شد و به‌طور کلی ۱۵ گلدان برای هر بیوتیپ کشت گردید. صفات اندازه‌گیری شده برای گیاه خردل وحشی در هر مرحله شامل ارتفاع بوته، سطح برگ و وزن خشک اندام هوایی بود. برای اندازه‌گیری وزن خشک خردل وحشی ابتدا بوته‌های خردل وحشی برداشت شده و سپس به مدت ۷۲ ساعت در آن با دمای هفتاد و پنج درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و سپس وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد. سطح برگ گیاه توسط نرم افزار جی میکروژن اندازه‌گیری شد. برای مطالعه روند تغییرات ماده خشک تولیدی و ارتفاع بوته در طول زمان از مدل سیگموئیدی سه پارامتره (۱) استفاده شد (Nosratti & Muhammadyari 2019).

(۱)

$$Y = \frac{a}{10 + e^{-\frac{x-x_0}{b}}}$$

پارامترهای معادله شامل: Y = ماده خشک تولیدی یا ارتفاع بوته در هر زمان a = حداکثر میزان ماده تولیدی یا ارتفاع بوته و X = روزهای پس از کاشت X_0 = زمان تغییر انحنای منحنی b = شیب منحنی در نقطه‌ای که انحنای منحنی تغییر می‌کند. همچنین جهت بررسی روند تغییرات سطح برگ علف هرز در طی زمان از رابطه (۲) استفاده شد.

(۲)

$$Y = at^{-0.05\left(\frac{x-x_0}{b}\right)^2}$$

Y = سطح برگ گیاه در هر زمان x = روزهای پس از کاشت b = ضریب معادله x_0 = زمان رسیدن به ۵۰ درصد سطح برگ t = زمان جهت بررسی شایستگی نسبی بیوتیپ‌های مقاوم و حساس خردل وحشی در شرایط رقابت با گندم. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی در سه تکرار در گلخانه پردیس کشاورزی دانشگاه رازی اجرا شد. تیمارهای آزمایش عبارتند از: عامل اول، بیوتیپ‌های مختلف مقاوم و حساس خردل وحشی و عامل دوم نسبت گونه‌ای شامل پنج نسبت خردل-گندم بود. در این آزمایش از روش سری‌های جایگزینی در تراکم

این آزمایش در گلخانه پردیس کشاورزی دانشگاه رازی صورت گرفت. به‌منظور انجام این بخش از مطالعات، بذور خردل وحشی شامل هفت بیوتیپ مشکوک به مقاومت و یک بیوتیپ حساس بود. جهت انجام آزمایش غلظت تفکیک، از هر بیوتیپ تعدادی بذر پس از جوانه‌زنی در تشتک پتری دیش، در گلدان‌های پلاستیکی با قطر دهانه ۲۵ سانتی‌متر و محتوی مخلوط کود دامی، ماسه و خاک (با نسبت مساوی) در محیط گلخانه کشت شدند. برای هر بیوتیپ ۳۰ گلدان و در مجموع ۲۴۰ گلدان کشت گردید و همچنین برای هر بیوتیپ سه گلدان به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. علفکش‌های مصرفی در این مطالعه ۱- تری بنورون متیل با نام تجاری گرانستار (Granstar %75 DF) ۲- توفوردی+ام سی پی (U 46 combi fluid 67.5% SL) بود. غلظت تفکیک هر کدام از علفکش‌های گرانستار و توفوردی+ام سی پی آ که به ترتیب ۲۵ گرم و ۱۵۰۰ سی سی از ماده تجاری در هکتار بود (Nosratti & Muhammadyari 2019).

از مجموع تمام گلدان‌های کشت شده برای هر بیوتیپ یک دوم آن به سم‌پاشی با گرانستار و یک دوم دیگر به سم‌پاشی با توفوردی+ام سی پی اختصاص پیدا کرد. عملیات سم‌پاشی در مرحله دو‌الی چار برگی علف هرز خردل وحشی انجام گردید. پس از گذشت چهار الی هفت روز از سم‌پاشی، بوته‌هایی سالم در مقایسه با بوته شاهد که از بین نرفته بودند مشاهده گردید و فرض بروز مقاومت در مورد آن‌ها ایجاد شد و بیوتیپ‌هایی که به عنوان حساس کشت شده بودند به‌طور کامل بعد از سم‌پاشی از بین رفتند. از میان هفت بیوتیپ مشکوک به مقاومت دو بیوتیپ دارای بوته‌های مقاوم بودند که یک بیوتیپ مقاوم به هر دو علفکش (R1) و یک بیوتیپ تنها دارای مقاومت به گرانستار (R) بود. در این مرحله گلدان‌هایی که مقاوم بودند همراه با گلدان‌های شاهد و بیوتیپ حساس (S) به بیرون از گلخانه منتقل شدند که رشد خود را در شرایط و محیط طبیعی ادامه دهند. پس از رشد و گلدهی در مرحله بلوغ بذور آن‌ها برداشت شد و برای ادامه آزمایشات در پاکت‌های کاغذی نگهداری شدند.

آزمایش شایستگی نسبی

به‌منظور بررسی شایستگی نسبی علف هرز خردل وحشی مقاوم و حساس به علفکش‌های گرانستار و توفوردی+ام سی پی آ در شرایط غیررقابتی آزمایشی به‌صورت طرح کاملا تصادفی با سه تکرار و در محیط گلخانه اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل بیوتیپ‌های مقاوم R1 و R2 و بیوتیپ S بودند. بذورهای هر کدام از بیوتیپ‌ها پس از جوانه‌دار شدن به تعداد ۱۰ عدد در

به ذکر است که در هنگام تجزیه داده‌ها توسط نرم افزار SAS، هنگامی که تجزیه داده‌های مربوط به خردل وحشی در این بخش از آزمایش انجام گرفت از نسبت صفر درصد خردل وحشی-۱۰۰٪ گندم به علت عدم وجود خردل صرف نظر شد و بالعکس هنگام تجزیه داده‌های مربوط به گندم از نسبت ۱۰۰ درصد خردل وحشی- صفر درصد گندم به علت عدم وجود گندم نیز صرف نظر شد.

نتایج و بحث

بررسی شایستگی نسبی در شرایط عدم رقابت با گندم ماده خشک

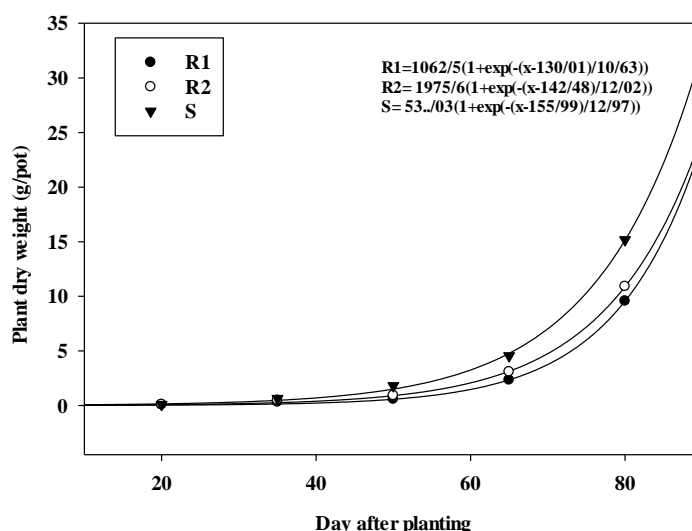
بر اساس نتایج در طی فصل رشد، وزن خشک بیوتیپ‌های مقاوم و حساس افزایش پیدا کرد و در تمام مراحل رشدی وزن خشک بیوتیپ حساس بیشتر از وزن خشک بیوتیپ‌های مقاوم بود و برتری بیوتیپ حساس نسبت به بیوتیپ‌های مقاوم کاملاً محسوس بود (شکل ۱). در اوایل فصل رشد تفاوت معنی‌داری بین وزن خشک بیوتیپ حساس و بیوتیپ‌های مقاوم وجود نداشت و در اواسط مراحل رشدی تا آخرین مرحله برداشت وزن خشک بیوتیپ حساس به‌طور معنی‌داری از وزن خشک بیوتیپ دارای مقاومت چندگانه و بیوتیپ مقاوم به گرانستار بالاتر بود و همچنین بیوتیپ مقاوم به گرانستار نسبت به بیوتیپ دارای مقاومت چندگانه از تولید ماده خشک بالاتری برخوردار بود.

کل ثابت شش بوته در هر گلدان به قطر ۲۵ سانتی‌متر استفاده شد، که نسبت‌های گونه‌ای عبارت بودند از: ۱- صفر درصد خردل وحشی- ۱۰۰٪ گندم (شش بوته)، ۲- ۲۵٪ خردل وحشی (دو بوته)- ۷۵٪ گندم (چهار بوته)، ۳- ۵۰٪ خردل وحشی (سه بوته)- ۵۰٪ گندم (سه بوته)، ۴- ۷۵٪ خردل وحشی (چهار بوته)- ۲۵٪ گندم (۲ بوته)، ۵- ۱۰۰٪ خردل وحشی (شش بوته)- صفر درصد گندم، بود.

در این آزمایش رقابت میان دو بیوتیپ مقاوم (R1 و R2) و یک بیوتیپ حساس (S) خردل وحشی با گندم بود که برای هر بیوتیپ ۱۵ گلدان و در مجموع ۴۵ گلدان کشت شد. برای حصول اطمینان از تراکم مورد نظر، در هر گلدان ۱۰ عدد بذر گندم و ۱۰ عدد بذر خردل وحشی مقاوم و حساس کشت شد و سپس بعد از استقرار گیاهچه‌ها، بوته‌های اضافی تنک شدند. رقم گندم مورد استفاده پیش‌تاز بود. در مرحله انتهایی رشد گندم که با سفت شدن دانه همراه بود، صفات ارتفاع بوته و وزن خشک اندام هوایی در دو گیاه گندم و همچنین بیوتیپ‌های مقاوم و حساس خردل وحشی اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تمام نتایج این آزمایش‌ها با استفاده از نرم افزار SAS ver. 12 تجزیه و تحلیل شد و برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون حداقل اختلاف معنی‌داری ($P \leq 0/05$) استفاده شد و نمودارهای مربوطه توسط نرم‌افزار Sigmaplot ver. 12.3 رسم گردید. لازم



شکل ۱. روند تغییرات ماده خشک بوته در بیوتیپ‌های خردل وحشی مقاوم (R1, R2) و حساس (S) به علفکش‌های و توفوردی+ام‌سی‌پی‌آ طی روزهای پس از کاشت.

Figure 1. Plant dry matter change of wild mustard resistant (R1, R2) and susceptible (S) to tribenuron Methyl and 2-4-D + MCPA herbicides during days after planting.

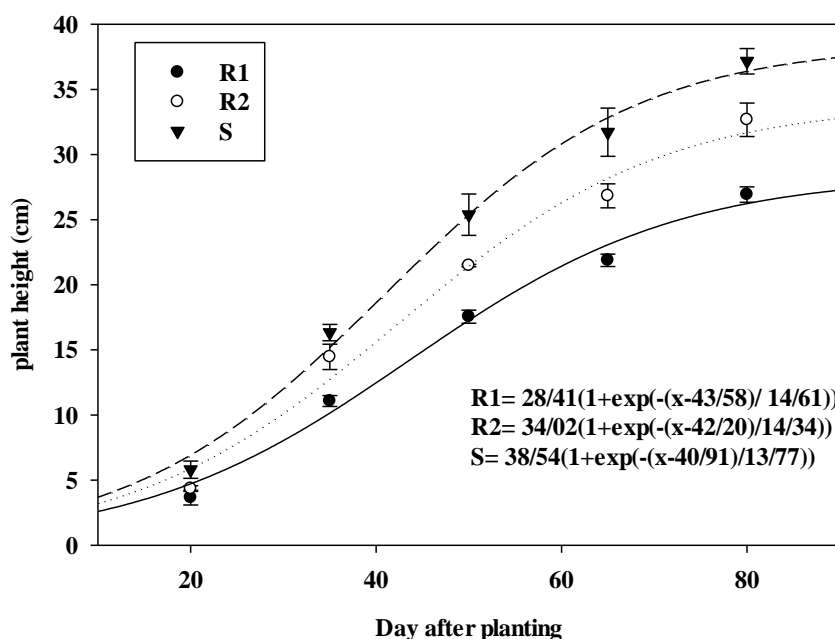
تمام مراحل رشد ارتفاع بیوتیپ حساس به‌طور معنی‌داری از ارتفاع بیوتیپ‌های مقاوم بیشتر بود و همچنین ارتفاع بیوتیپ مقاوم به گرانستار بیشتر از بیوتیپ دارای مقاومت چندگانه بود. به‌طور کلی بیوتیپ حساس در تمام مراحل رشد نسبت به بیوتیپ‌های مقاوم برتری داشت (شکل ۲).

مشابه با نتایج بدست آمده از این مطالعه، در بررسی (2019) Tseng *et al.* مشاهده شد که ارتفاع بیوتیپ حساس چمن یکساله (*Poa annua* L.) بیشتر از ارتفاع بیوتیپ مقاوم بود اما در مراحل انتهایی رشد اختلاف آن‌ها معنی‌دار نشد. همچنین در نتایج حاصل از یک مطالعه ارتفاع خردل وحشی حساس در تمام مراحل رشد بیشتر از ارتفاع بیوتیپ مقاوم بود (Lotfifar *et al.* 2015). به‌طور کلی ارتفاع گیاه بر میزان نوری عبوری از گیاهان تأثیر می‌گذارد و پیامدهای قابل توجهی برای پتانسیل رقابتی دارد (Falster & Westoby 2003).

بر خلاف نتایج این مطالعه، نتایج حاصل از یک مطالعه نشان داد در طی فصل رشد تفاوت معنی‌داری بین وزن خشک بیوتیپ‌های مقاوم و حساس چچم (*Lolium rigidum* Guad) مشاهده نشد (Sabet Zangeneh *et al.* 2018). Ghanizadeh & Harrington (2019) گزارش کردند که در گیاه سلمه تره (*Chenopodium album* L.) در طول فصل رشد بیوتیپ‌های حساس وزن خشک بیشتری نسبت به بیوتیپ‌های مقاوم داشتند. بر اساس نتایج مطالعات Mithila *et al.* (2011) علف هرز خردل وحشی حساس از میزان وزن خشک بالاتری نسبت به بیوتیپ مقاوم برخوردار بود.

ارتفاع

نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش مراحل رشدی علف هرز خردل وحشی، ارتفاع هرسه بیوتیپ افزایش پیدا کرد. در



شکل ۲. روند تغییرات ارتفاع بوته در بیوتیپ‌های خردل وحشی مقاوم (R1, R2) و حساس (S) به علفکش‌های تری‌بنورون متیل و توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ طی روزهای پس از کاشت

Figure 2. Plant height change of wild mustard resistant (R1, R2) and susceptible (S) to tribenuron Methyl and 2-4-D + MCPA herbicides during days after planting.

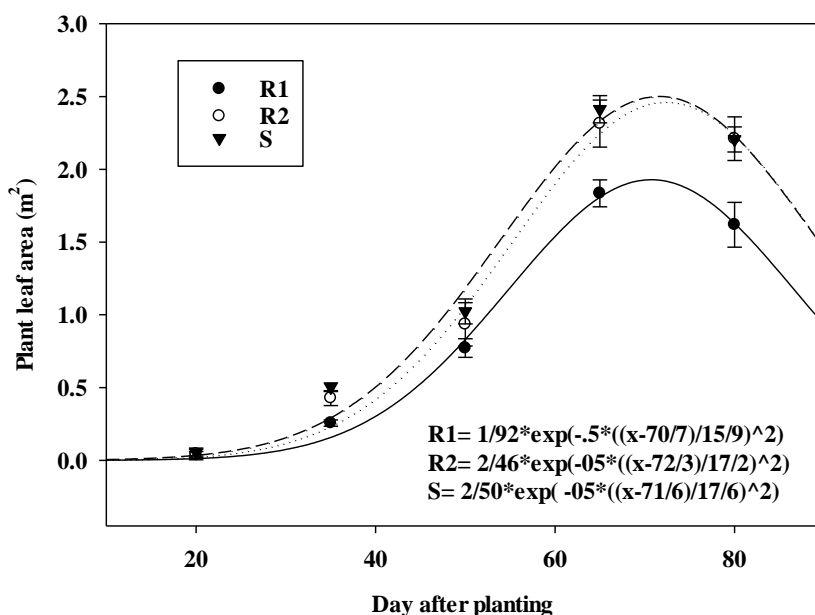
پیدا کرد و پس از آن سطح برگ هر سه بیوتیپ کاهش یافت اما همچنان سطح برگ بیوتیپ حساس بیشتر بود. بین بیوتیپ‌های مقاوم چندگانه و بیوتیپ مقاوم به گرانستار در مراحل انتهایی رشد اختلاف معنی‌داری وجود داشت و سطح برگ بیوتیپ مقاوم چندگانه کمتر از بیوتیپ مقاوم به گرانستار بود. نتایج یک مطالعه نشان داد که در مراحل اولیه رشد از نظر

سطح برگ

بین بیوتیپ حساس و بیوتیپ مقاوم به گرانستار با وجود اینکه سطح برگ بیوتیپ حساس بیشتر بود اما در هیچ مرحله‌ای اختلاف معنی‌داری بین این دو بیوتیپ مشاهده نشد (شکل ۳). سطح برگ بیوتیپ‌های مقاوم و حساس در روزهای اولیه پس از کشت تا مرحله چهار برداشت (۶۵ روز پس از کشت) افزایش

سازگاری زیست محیطی و رقابت با سایر گونه‌ها و تأثیر گذاشتن بر مدیریت، استفاده می‌شود (Mohler *et al.* 2001). Abdollahipour *et al.* (2016) نشان دادند که بیوتیپ‌های مقاوم به علفکش خردل وحشی نسبت به بیوتیپ‌های حساس برتری داشتند و سطح برگ، ارتفاع و وزن خشک بیوتیپ مقاوم بیشتر از بیوتیپ حساس بود.

سطح برگ تفاوت معنی‌داری میان بیوتیپ‌ها مشاهده نشد اما در ۴۰ تا ۶۰ روز پس از زمانی که حداکثر سطح برگ ایجاد شد، بیوتیپ حساس سطح برگ بالاتری از بیوتیپ مقاوم داشت (Bonow *et al.* 2018). گیاهانی با شاخص سطح برگ بالاتر که در قسمت فوقانی کانوپی متمرکز شده اند ممکن است مزایای رقابت را از آن جا بدست آورند. از آنجا که سطح برگ نشانگر اهمیت زیای برای فتوسنتز و رقابت گیاه است، برای بررسی



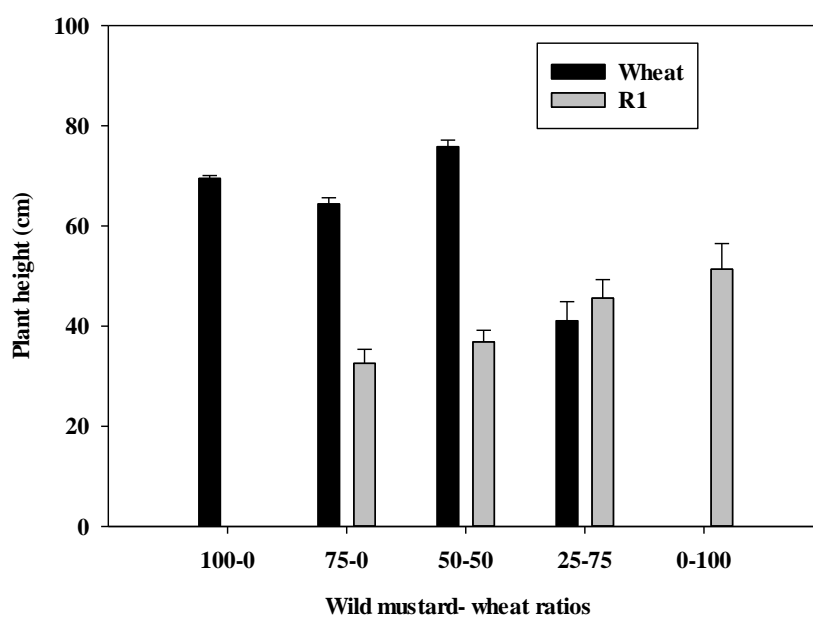
شکل ۳. روند تغییرات سطح برگ بوته در بیوتیپ‌های خردل وحشی مقاوم (R1, R2) و حساس (S) به علفکش‌های ت و توفوردی+ ام‌سی‌پی‌آ طی روزهای پس از کاشت.

Figure 3. Leaf area change of wild mustard resistant (R1, R2) and susceptible (S) to tribenuron Methyl and 2-4-D + MCPA herbicides during days after planting.

باتوجه به نتایج مطالعات انجام شده زمانی که بیوتیپ‌های مقاوم و حساس در شرایط رقابت با گندم کشت شدند، وزن خشک و ارتفاع شان به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار گرفت. در شرایط رقابتی، با افزایش تراکم گندم میزان ارتفاع بیوتیپ‌های خردل وحشی مقاوم چندگانه و مقاوم به گرانستار در همه‌ی نسبت‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد (شکل ۴ و ۵) و این کاهش ارتفاع در بیوتیپ مقاوم چندگانه به‌توفوردی+ ام‌سی‌پی‌آ و گرانستار بیشتر از بیوتیپ مقاوم به گرانستار بود. در رقابت گندم با بیوتیپ‌های مقاوم در همه‌نسبت‌های خردل- گندم ارتفاع گندم بیشتر از ارتفاع خردل بود بجز در نسبت ۷۵-۲۵ خردل- گندم که ارتفاع خردل وحشی مقاوم چندگانه و خردل وحشی مقاوم به گرانستار بیشتر از ارتفاع گندم بود.

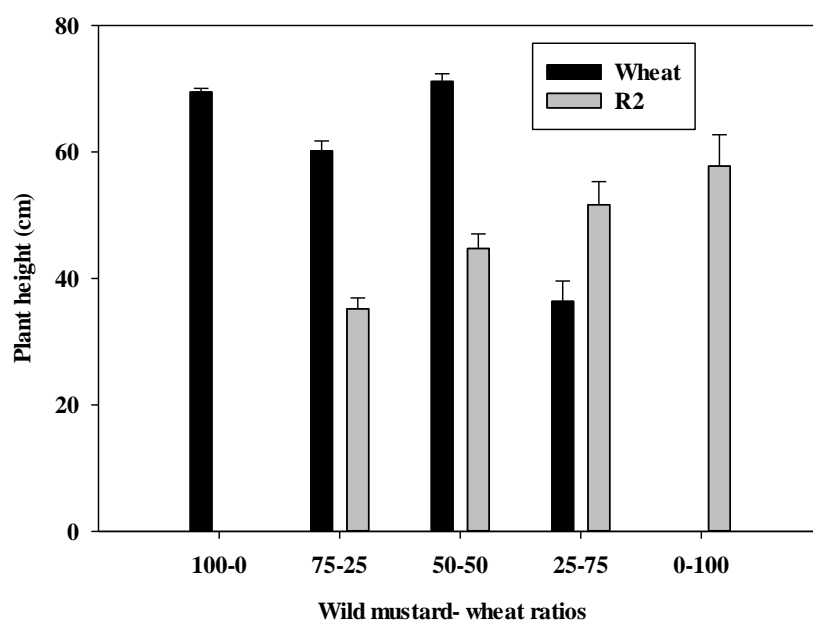
در مجموع نتایج حاصل از بررسی شایستگی نسبی در شرایط عدم رقابت با گندم پیشنهاد می‌کنند که به احتمال خیلی زیاد خردل وحشی حساس با داشتن تاج پوشه گسترده و مرتفع توانایی بالایی در جذب نور در مقایسه با بیوتیپ مقاوم دارند. با این حال، به‌دلیل کاربرد مکرر علفکش در مزارع کشاورزی این توازن به نفع بیوتیپ مقاوم بهم می‌خورد و عملاً این بیوتیپ در مزرعه غالب می‌شود. این نتیجه‌گیری به‌خوبی گویای این نکته است که رشد شاخساره و تاج‌پوشه سازوکار اصلی برتری بیوتیپ حساس خردل وحشی در مزرعه است.

بررسی شایستگی نسبی در شرایط رقابت با گندم
ارتفاع گندم و خردل وحشی



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل ارتفاع گندم و بیوتیپ دارای مقاومت چندگانه (R1) در نسبت‌های خردل وحشی- گندم.

Figure 4. Comparison of the mean interaction effect of wheat and multiple resistant biotype (R1) in wild mustard-wheat ratios.

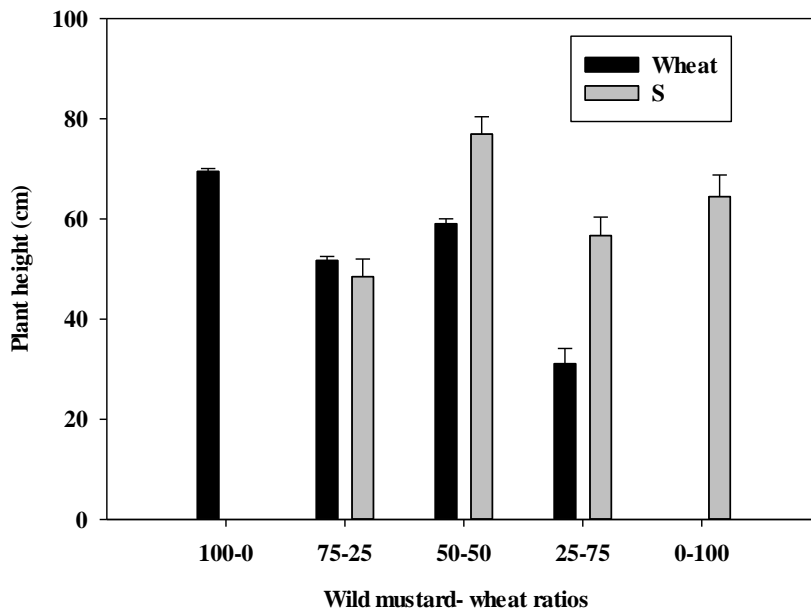


شکل ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل ارتفاع گندم و بیوتیپ مقاوم چندگانه (R2) در نسبت‌های خردل وحشی- گندم.

Figure 5. Comparison of the mean interaction effect of wheat and multiple resistant biotype (R2) in wild mustard-wheat ratios.

گندم میزان نور در بالای کانوپی بیوتیپ‌ها کاهش یافت و براساس این نتایج در شرایط رقابت با گندم بیوتیپ‌های مقاوم نسبت به بیوتیپ حساس رقیب ضعیف‌تری هستند. بیوتیپ‌های مقاوم نسبت به بیوتیپ حساس کارایی کمتری دارند و اثرات رقابتی گندم بر روی بیوتیپ‌های مقاوم نسبت به حساس اثر منفی بیشتری دارد.

در شرایط رقابت گندم با بیوتیپ حساس با افزایش تراکم گندم میزان ارتفاع خردل وحشی در همه‌ی نسبت‌ها کاهش پیدا کرد بجز در تراکم ۵۰-۵۰ که ارتفاع خردل وحشی حساس بالاتر از ارتفاع گندم بود و همچنین در تراکم ۲۵-۷۵ ارتفاع خردل وحشی بالاتر از ارتفاع گندم بود (شکل ۶). بیوتیپ حساس نسبت به بیوتیپ‌های مقاوم رقابتی‌تر می‌باشد. در واقع با افزایش تراکم

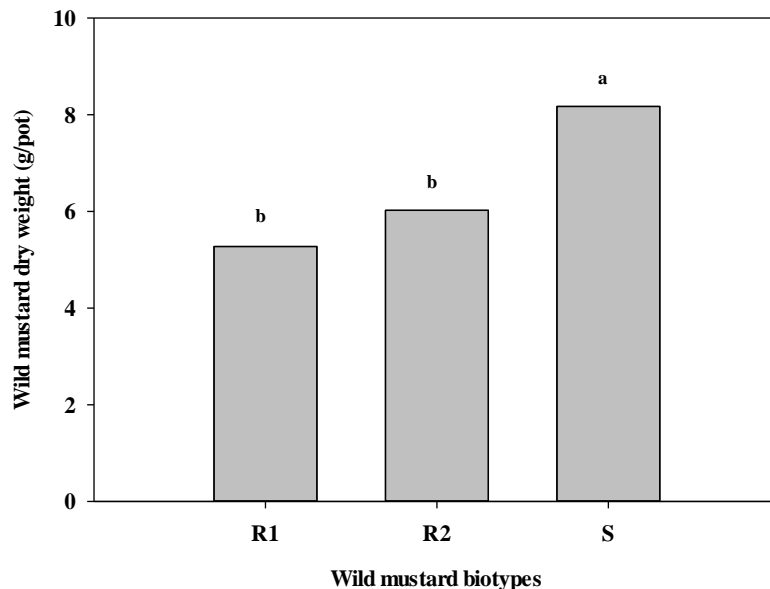


شکل ۶. مقایسه میانگین اثر متقابل ارتفاع گندم و بیوتیپ حساس (S) در نسبت‌های خردل وحشی- گندم.

Figure 2. Comparison of the mean interaction effect of wheat and multiple resistant biotype (S) in wild mustard-wheat ratios.

ارتفاع گندم در شرایط رقابت با بیوتیپ حساس خردل وحشی کمتر از ارتفاع آن در شرایط رقابت با بیوتیپ‌های مقاوم بود. در واقع بیوتیپ مقاوم چندگانه و بیوتیپ مقاوم به گرانتار در شرایط رقابت با گندم نسبت به بیوتیپ حساس خسارت کمتری وارد کردند.

در شرایط رقابت با گندم بیوتیپ‌های حساس و مقاوم خردل وحشی اثرات متفاوتی ایجاد کردند، به طوری‌که با افزایش تراکم گندم میزان ارتفاع بیوتیپ‌های خردل وحشی کاهش پیدا کرد. در این شرایط ارتفاع بیوتیپ حساس از سایر بیوتیپ‌ها بالاتر بود و بیوتیپ مقاوم چندگانه دارای کمترین ارتفاع بود. همچنین



شکل ۷. مقایسه میانگین اثر بیوتیپ‌های مقاوم و حساس بر وزن خشک خردل وحشی.

Figure 7. Comparison of the mean effect of resistant and susceptible biotypes on dry weight of wild mustard.

وزن خشک بیوتیپ حساس بالاترین مقدار را داشت که نشان

وزن خشک گندم و خردل وحشی

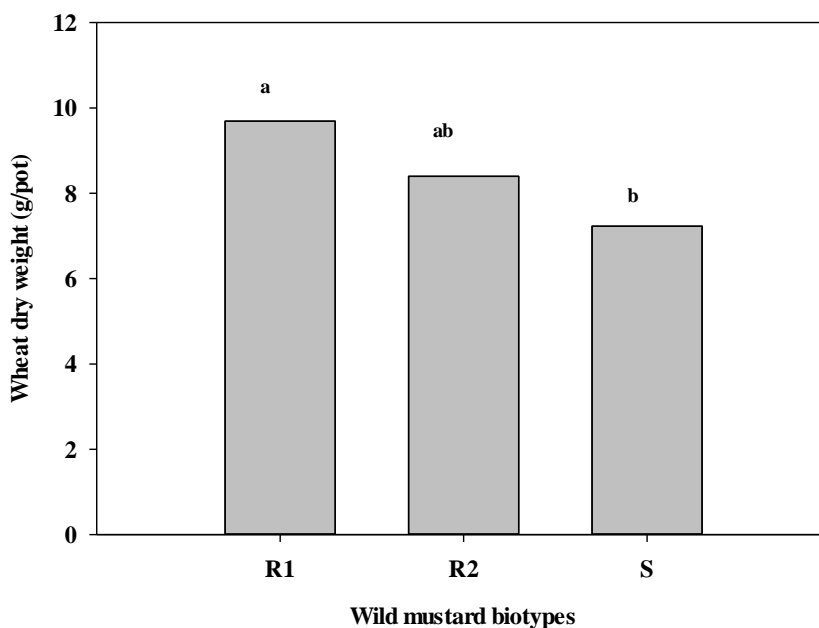
با توجه به نتایج در رقابت گندم با علف هرز خردل وحشی،

تراکم گندم میزان وزن خشک بیوتیپ‌های مقاوم و حساس به-طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد.

در شرایط رقابت با گندم، بیوتیپ‌های حساس به وضوح واکنش رقابتی تری نسبت به بیوتیپ‌های مقاوم نشان دادند که منجر به کاهش بیشتر ماده خشک گندم شد. تحمل متفاوت به سطوح پایین منابع می‌تواند منجر به واکنش‌های رقابتی مختلف بین بیوتیپ‌های حساس و مقاوم شود.

این توانایی بالقوه بیوتیپ حساس برای ادامه رشد محدودیت منابع ممکن است در شرایطی ظاهر شود که رقابت شدیدی برای منابع وجود دارد. به عنوان مثال، اثرات رقابتی گندم بر روی بیوتیپ‌های مقاوم در مقایسه با بیوتیپ حساس بیشتر بود. نشانه‌های آن را می‌توان در اثرات رویشی واندام‌های تولید مثل بیوتیپ‌های مقاوم در مقایسه با بیوتیپ حساس مشاهده کرد.

می‌دهد رقابت برون گونه‌ای در بیوتیپ حساس بیشتر از بیوتیپ‌های مقاوم است. میزان ماده خشک بیوتیپ مقاوم به گرانستار بیشتر از بیوتیپ مقاوم چندگانه بود و میان هر دو بیوتیپ مقاوم تفاوت معنی‌دار وجود نداشت. تنها میان بیوتیپ‌های مقاوم و حساس تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (شکل ۷). بر اساس نتایج وزن خشک بیوتیپ مقاوم چندگانه کمترین مقدار را داشت و بیوتیپ حساس بالاترین مقدار ماده خشک را تولید کرده است. در شرایط رقابت گندم با بیوتیپ دارای مقاومت چندگانه به تو فور دی-ام سی پی آ و گرانستار، گندم دارای بالاترین میزان ماده خشک تولیدی بود. و در شرایط رقابت با بیوتیپ حساس گندم کمترین میزان ماده خشک را داشت (شکل ۸). در این شرایط تنها میان وزن خشک گندم در شرایط رقابت با بیوتیپ حساس و بیوتیپ مقاوم چندگانه اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. (Keshtkar et al. (2017). گزارش کردند که در علف هرز دم روباهی کشیده *Alopecurus myosuroides* huds با افزایش



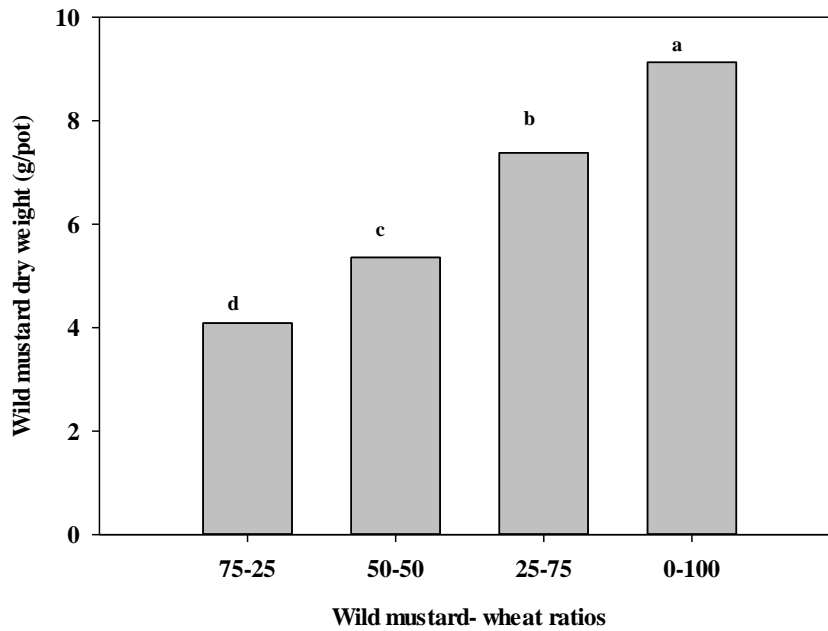
شکل ۸. مقایسه میانگین اثر بیوتیپ‌های مقاوم و حساس بر وزن خشک گندم.

Figure 8. Comparison of the mean effect of resistant and susceptible biotypes on dry weight of wheat.

بوده است.

با افزایش میزان تراکم گندم، ماده خشک تولیدی در همه بیوتیپ‌های علف هرز خردل وحشی کاهش پیدا کرد و در همه نسبت‌های خردل-گندم میان وزن خشک بیوتیپ‌های خردل وحشی تفاوت معنی‌داری وجود داشت (شکل ۹).

بر اساس این نتایج یک رابطه معکوس بین افزایش تولید وزن خشک گندم و میزان تولید وزن خشک علف هرز وجود دارد. با توجه به اینکه میزان وزن خشک تولیدی گندم در رقابت با بیوتیپ مقاوم چندگانه نسبت به بیوتیپ مقاوم به گرانستار و بیوتیپ حساس دارای بالاترین مقدار بود، بنابراین بیوتیپ مقاوم چندگانه نسبت به سایر بیوتیپ‌ها در برابر گندم رقیب ضعیف‌تری

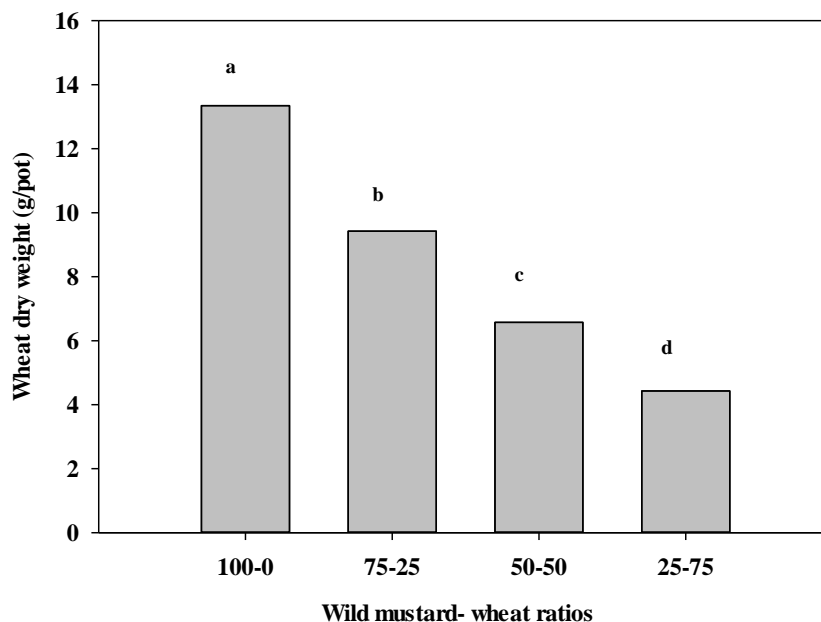


شکل ۹. مقایسه میانگین اثر نسبت‌های خردل وحشی- گندم بر وزن خشک خردل وحشی.

Figure 9. Comparison of the mean effect of mustard- wheat ratios on dry weight of wild mustard.

افزایش پیدا کرده است و در همه نسبت‌های خردل- گندم میان وزن ماده خشک گندم تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (شکل ۱۰). در نتایج مطالعات Ghanizadeh & Harrington (2019) وزن خشک و ارتفاع بیوتیپ مقاوم و حساس با افزایش تراکم گندم کاهش یافت.

براساس نتایج Haghghi *et al.* (2019) در شرایط رقابت گندم با خردل وحشی با کاهش نسبت خردل وحشی، میزان تولید ماده خشک آن در هردو بیوتیپ مقاوم و حساس به طور معنی‌دار افزایش پیدا کرده است. با افزایش تراکم گندم، میزان ماده خشک تولیدی در گندم



شکل ۱۰. مقایسه میانگین اثر نسبت‌های خردل وحشی- گندم بر وزن خشک گندم.

Figure 10. Comparison of the mean effect of wild mustard-wheat ratios on dry weight of wheat.

(Aiub *et al.* 2009). توانایی رقابت و رشد بیوتیپ‌های حساس و مقاوم بر اساس نوع علفکش‌های مورد استفاده درگونه‌های

تفاوت در میزان ماده خشک تولیدی می‌تواند منجر به کاهش توانایی بیوتیپ مقاوم چندگانه در تحمل به رقابت شود (Vila-

عامل مهمی برای پیش‌بینی تکامل مقاومت به علفکش است. در صورت حذف علفکش، اگر شایستگی گیاهان مقاوم کمتر از گیاهان حساس باشد که در این مطالعه این مساله به اثبات رسید، با گذشت زمان بوته‌های حساس غالب می‌شوند در این صورت مدیریت بلند مدت گیاهان مقاوم نیازمند اتخاذ راهبردهایی است که موجب کاهش کاربرد علفکش که برای گیاهان مقاوم مطلوب است و همچنین تلفیق راهبردهای مدیریتی دیگر است.

References

- Abdollahipour M, Gherekhloo J, Bagherani N, Taghvaei MR, 2016. Effects relative fitness of susceptible and tribenuron methyl resistant biotypes of wild mustard (*Sinapis arvensis* L.). *Scinzer Journal of Agricultural and Biological Sciences* 2(1): 15-23.
- Bonow J, Lamego F, Andres A, Avila L, Teló G, Egewarth K, 2018. Resistance of *Echinochloa crusgalli* var. *mitis* to imazapyr+ imazapic herbicide and alternative control in irrigated rice. *Planta Daninha* 36: e017168627
- Dhima K, Eleftherohorinos I, 2005. Wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) competition with three winter cereals as affected by nitrogen supply. *Journal of Agronomy and Crop Science* 191(4): 241-248.
- Falster DS, Westoby M, 2003. Leaf size and angle vary widely across species: what consequences for light interception? *New Phytologist* 158(3): 509-525.
- Ghanizadeh H, Harrington KC, 2019. Ecological evidence for the fitness trade-off in triazine resistant *Chenopodium album* L. can we exploit the cost of resistance? *Agronomy* 9(9): 523.
- Haghighi A, Mohamaddoust CHamanabad H, Zand E, Biabani A, Asghari A, 2019. Ecological Fitness of Tribenuron Methyl (Als-Inhibitor Herbicide) Susceptible and Resistant Biotypes of Wild Mustard in Competition with Wheat. *Applied Ecology & Environmental Research* 17(3): 6227-6240.
- Heap, I. 2022. The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. [http:// www.weedscience.com](http://www.weedscience.com). Accessed: March 28.
- Karimi-Mordagh S, Mokhtassi-Bidgoli A, Yaghoobi SR, 2023. Role of surfactant and nitrogen for improving the efficacy of tribenuron methyl herbicide in wild mustard, *Sinapis arvensis* control. *Journal of Applied Research in Plant Protection* 12 (2): 227-237.
- Keshtkar E, Abdolshahi R, Sasanfar H, Zand E, Beffa R, et al., 2019. Assessing fitness costs from a herbicide-resistance management perspective: A review and insight. *Weed Science* 67(2): 137-148.
- Keshtkar E, Mathiassen SK, Kudsk P, 2017. No vegetative and fecundity fitness cost associated with acetyl-coenzyme a carboxylase non-target-site resistance in a black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds) population. *Frontiers in Plant Science* 8: 2011-2018.
- Lotfifar O, Allahdadi I, Zand E, Akbari GA, Mottaghi S, 2015. Study Fitness of Resistant and Susceptible Biotypes of Wild Mustard (*Sinapis arvensis*) Biotypes to Acetolactate Synthase (ALS) Inhibitor in Competition and Non-Competition with Wheat. *Iranian Journal of Weed Science* 11 (2): 61-76.
- Mithila J, Hall JC, Johnson WG, Kelley KB, Riechers DE, 2011. Evolution of resistance to auxinic herbicides: historical perspectives, mechanisms of resistance, and implications for broadleaf weed management in agronomic crops. *Weed Science* 59(4): 445-457.
- Mohler CL, Liebman M, Staver C, 2001. Enhancing the competitive ability of crops. *Ecological Management of Agricultural Weeds*: 269-321.
- Moss S, Ulber L, den Hoed I, 2019. A herbicide resistance risk matrix. *Crop Protection* 115: 13-19.
- Naderi R, Ghadiri H, 2011. Competition of wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) densities with rapeseed (*Brassica napus* L.) under different levels of nitrogen fertilizer. *Journal of Agricultural Science and Technology* 13(1):45-51.
- Neve P, 2007. Challenges for herbicide resistance evolution and management: 50 years after Harper.

Weed Research 47(5): 365–369.

- Nosratti I, Muhammadyari A, 2019. First report of multiple resistance in *Galium aparine* to ALS-inhibiting and auxin analog herbicides in Kermanshah, Iran. *Planta Daninha* 37 :e019187358
- Nosratti I, Sabeti P, Chaghamirzaee G, Heidari H, 2020. Weed problems, challenges, and opportunities in Iran. *Crop Protection* 134: 104371.
- Peterson MA, Collavo A, Ovejero R, Shivrain V, Walsh MJ, 2018. The challenge of herbicide resistance around the world: a current summary. *Pest Management Science* 74(10): 2246–2259.
- Sabet Zangeneh H, Mohammaddust Chamanabad HR, Zand E, Alcántara-de la Cruz R, Travlos IS, De Prado R, Taghi Alebrahim M, 2018. Clodinafop-propargyl resistance genes in *Lolium rigidum* Guad. populations are associated with fitness costs. *Agronomy* 8(7): 106.
- Shaner DL, 2014. Lessons learned from the history of herbicide resistance. *Weed Science* 62(2): 427–431.
- Tranel PJ, Wright TR, 2002. Resistance of weeds to ALS-inhibiting herbicides: what have we learned? *Weed Science* 50(6): 700–712.
- Tseng T-M, Shrestha S, McCurdy JD, Wilson E, Sharma G, 2019. Target-site mutation and fitness cost of acetolactate synthase inhibitor-resistant annual bluegrass. *HortScience* 54(4): 701–705.
- Vats S, 2015. Herbicides: history, classification and genetic manipulation of plants for herbicide resistance. *Sustainable Agriculture Reviews*: 153–192.
- Vila-Aiub MM, Neve P, Powles SB, 2009. Fitness costs associated with evolved herbicide resistance alleles in plants. *New Phytologist* 184(4): 751–767.
- Whitcomb CE, 1999. An introduction to ALS-inhibiting herbicides. *Toxicology & Industrial Health* 15(1-2): 232–240.
- Wiederholt, R.J. and Stoltenberg, D.E. 1996. Absence of differential fitness between giant foxtail (*Setaria faberi*) accessions resistant and susceptible to acetl coenzyme A carboxylase inhibitors. *Weed Science* 44:18–24.



This is an open access article under the CC BY NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>)