از مقاومت تا تحمل:
مرزبندی دو مفهوم کلیدی در واکنش گیاهان به علف‌کش‌ها

روزبه زنگوئی نژاد*[1]، اسکندر زند[2]
۱. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
۲. بخش تحقیقات علف‌های هرز، موسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
r.zangoueinejad@areeo.ac.ir
نامه علوم پایه شماره ۱۴، پاییز و زمستان ۱۴۰۳

چکیده

هم‌پوشانی و تداخل معانی برخی از واژگان در زمینه‌هایی از علوم، گاهی سبب دشواری در تمایز مفاهیم علمی نهفته در پس آن‌ها می‌شود. در زمینه علوم علف‌های هرز دو عبارت مقاومت به علف‌کش و تحمل به علف‌کش از جمله این واژگان هستند. این دو عبارت اگرچه در بسیاری از جوامع مرتبط با علوم کشاورزی به عنوان یک مفهوم واحد تلقی می‌شوند اما در واقعیت تفاوت عمیقی مابین این دو وجود دارد که اجازه نمی‌دهد و نباید آن دو را مابه‌ازای یکدیگر به کار گرفت. در واقع مفهوم مقاومت به علف‌کش اشاره به بروز یک وضعیت ویژه در جمعیت‌های علف‌هرز دارد که در طول زمان و در نتیجه کنش‌های انسانی از طریق کاربرد مکرر یک یا چند نوع علف‌کش خاص ایجاد می‌شود، در حالی که عبارت تحمل به علف‌کش بازتاب‌دهنده وجود یک صفت ذاتی در یک گونه خاص گیاهی است که مستقل از مداخلات بشری در بستر زمان، وجود داشته و خواهد داشت. بر این اساس علف‌های‌هرز مقاوم به علف‌کش، علف‌های‌هرز متحمل به علف‌کش، محصول مقاوم به علف‌کش و نهایتاً محصول متحمل به علف‌کش هر کدام پدیده‌هایی هستند که به طور مستقل قابل بررسی بوده، دارای اشتراک رخداد با یکدیگر نیستند. هر کدام از این‌ها اهمیت مختص به خود را در ساختارهای کشاورزی داشته، می‌توانند اثرات سازنده و مخرب کاملاً متفاوتی را برجای گذارند، که البته تا کنون تنها علف‌های‌هرز و محصولات مقاوم به علف‌کش‌ها سهم قابل توجهی از مباحث و موضوعات را در جوامع علمی و عملیاتی بخش کشاورزی به خود اختصاص داده‌اند. در مقاله جاری سعی شده است تا ضمن تبیین تفاوت دو پدیده مقاومت به علف‌کش و تحمل به علف‌کش مبتنی بر واقعیت‌های کاربستی آنها، اهمیت هرکدام در سازوکارهای نظام‌های کشاورزی مورد بررسی قرار گیرد.

کلید واژگان: مقاومت به علف‌کش، تحمل به علف‌کش، علف‌های‌هرز، محصولات زراعی.

تشریح واژگان «مقاومت» و «تحمل» به علف‌کش

از آن‌جایی که واژه‌ها به خودی خود بار معنایی ویژه‌ای دارند که القائ مفاهیم علمی جز از راه به‌کارگیری آن‌ها میسر نیست، لذا کاربرد واژه‌ها در موقعیت‌های مناسب در تناسب با معنای ماهوی آن‌ها می‌تواند راه‌گشای بسیاری از گره‌ها در مسیر بهینه‌سازی توصیف فرآیندهای علمی در ارتباط با حل مسائل پیش آمده در هر زمینه‌ای از علم باشد. گاهی اوقات مفاهیم علمی به دلیل نزدیک بودن معانی واژگان به‌کار گرفته جهت تشریح آن‌ها، چنان نزدیک به یکدیگر به نظر می‌رسند که اساساً جدا نمودن آن‌ها در طیفی از بی‌مورد تا غیرضروری قرار می‌گیرد. اما می‌بایست توجه داشت که هرگز نمی‌توان محدودیت در القای معنای واژگان را بستر پذیرفته شده‌ای جهت خلط نمودن مفاهیم علمی قرار داد. به بیان دیگر، حقیقت تفاوت رخدادها در هر زمینه‌ای از علم را نمی‌توان به دلیل محدودیت در ظرفیت واژگان نادیده گرفت به طوری که گاهی اوقات هم‌پوشانی‌ها یا تداخلاتی در معانی برخی از واژگان بیان کننده مفاهیم علمی وجود دارد که تمیز دادن آن‌ها حتی توسط افراد متخصص در آن موضوع علمی خاص نیز به سادگی میسر نیست. دو عبارت «مقاومت به علف‌کش[1]» و «تحمل به علف‌کش[2]» بر اساس تعاریف ارائه شده از سوی انجمن علف‌های هرز ایالات متحده[3] و کمیته اقدام مقاومت علف‌کش[4] در سال ۱۹۹۸، تصریحات روشن و توضیحات مشخصی دارند (۱). مقاومت به علف‌کش، توانایی توارثی گیاه برای زنده ماندن و تولید مثل پس از قرار گرفتن در معرض دوزی از یک علف‌کش است که معمولاً پیش از این برای آن گونه کشنده بوده است. در حال حاضر ۲۷۳ گونه از علف‌های‌هرز مقاوم به انواع علف‌کش‌ها، شامل ۱۵۶ گونه دولپه‌ای و ۱۱۷ گونه تک‌لپه‌ای در سرتاسر جهان گزارش شده‌اند. این گونه‌های علف‌هرز در مجموع به ۱۶۸ علف‌کش مختلف با ۲۱

1. Herbicide resistance
2. Herbicide tolerance
3. Weed Science Society of America; WSSA
4. Herbicide Resistance Action Committee

نحوه عمل متفاوت صفت مقاومت را بروز داده‌اند. همچنین شایان توجه است که گونه‌های علف‌هرز مقاوم شده در ۱۰۲ محصول و از ۷۵ کشور گزارش شده‌اند. در یک گیاه، مقاومت ممکن است به طور طبیعی رخ دهد یا توسط تکنیک‌هایی مانند مهندسی ژنتیک یا انتخاب از طریق کشت بافت یا جهش‌زایی ایجاد شود. گیاهانی که از طریق به کارگیری تکنیک‌های مهندسی ژنتیک امکان بروز صفت مقاومت به یک یا چند علف‌کش را می‌یابند، در اصطلاح گیاهان دست‌ورزی شده ژنتیکی نامیده می‌شوند. از جمله عمده‌ترین محصولات دست‌ورزی شده ژنتیکی که در سرتاسر جهان طی سال ۲۰۲۳ میلادی کشت شده‌اند، می‌توان به پنبه، سویا، ذرت، کلزا، چغندرقند، یونجه، نیشکر، برنج، گندم و بادمجان اشاره کرد (۲). بر اساس آخرین آمار در دسترس، در سال ۲۰۲۳ میلادی، محصولات دست‌ورزی شده ژنتیکی در سطحی معادل۲۰۶/۳ میلیون هکتار در ۷۶ کشور جهان کشت شده‌اند که در مقایسه با سال ۱۹۹۶ رشدی ۱۲۱ برابری نشان می‌دهد (۳).

اما از طرف دیگر، تحمل به علف‌کش به عنوان توانایی ذاتی یک گونه برای زنده ماندن و تولید مثل پس از تیمار شدن با یک علف–کش تلقی می‌شود. در واقع در این فرآیند هیچ گونه انتخاب یا دستکاری ژنتیکی دخیل نبوده، بلکه این گیاه به طور طبیعی می‌تواند در برابر نوع خاصی علف‌کش یا طیفی از علف‌کش‌ها صفت تحمل را بروز دهد. با توجه به نکات بیان شده می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در مورد مقاومت به علف‌کش اگرچه یک صفت قابل توارث در برخی از افراد جمعیت وجود دارد اما آن‌چه که سبب غالبیت بروز آن صفت در جمعیت خواهد شد ایجاد فشار انتخابی از طریق مصرف یک یا چند علف‌کش خاص در طول زمان جهت مهار یک گونه خاص علف‌هرزی است که نهایتاً با مهار نمودن افراد حساس در جمعیت، فضای کافی جهت استقرار افراد مقاوم در آن جمعیت مهیا خواهد شد. بنابراین بدون وجود تداخلات از جانب انسان‌ها اساساً امکان بروز صفت مقاومت به یک یا چند علف‌کش امکان‌پذیر نخواهد بود. اما زمانی که در مورد تحمل به علف‌کش صحبت می‌شود، موضوع کاملاً متفاوت است. در حقیقت اگرچه تحمل به یک یا چند علف‌کش نیز به صورت یک صفت قابل توارث بروز می‌کند اما این صفت به صورت غالب در یک جنس و گونه خاص گیاهی به طور ذاتی وجود دارد و بروز و ظهور آن صفت وابسته به وجود تداخلات انسانی از طریق برقراری فشار انتخابی جهت غالب شدن آن صفت در جمعیت گیاهی نیست. بنابراین، پدیده مقاومت به علف‌کش «رخ می‌دهد» در حالی که پدیده تحمل به علف‌کش «وجود دارد». به عبارت دیگر زمانی که در مقالات یا گزارش‌های علمی قصد ارائه مطالبی در ارتباط

فرهنگ واژگان

دست‌ورزی ژنتیکی (Genetically Modification): به دست‌کاری و تغییر مستقیم ماده ژنتیکی (DNA یا RNA) نوعی از انواع حیات برای رسیدن به هدفی خاص در بروز صفت یا صفاتی از طریق آن‌ها اطلاق می‌شود.

رقم (Cultivar): گیاهی که به طور هدفمند توسط انسان از طریق انتخاب، اصلاح یا دست‌ورزی ژنتیکی به وجود آمده تا ویژگی‌های خاصی را نشان دهد.

Herbicide target-site resistance

(مقاومت جایگاه هدف نسبت به علف‌کش):

مقاومت علف‌های هرز نسبت به محلل اثر علف‌کش زمانی رخ می‌دهد که جهش‌هایی در ژنی که آنزیم یا پروتئین هدفِ علف‌کش را کُد می‌کند به وجود آید. این جهش‌ها ساختار آن را تغییر می‌دهد و مانع اتصال مؤثر علف‌کش شده و در نتیجه علف‌هرز نسبت به آن مقاوم می‌شود.

Herbicide non-target-site resistance

(مقاومت غیر جایگاه هدف نسبت به علف‌کش):

به نوعی از مقاومت در علف‌های‌هرز نسبت به علف‌کش‌ها گفته می‌شود که به‌دلیل تغییر در جایگاه اثر علف‌کش ایجاد نمی‌شود، بلکه برخلاف مقاومت جایگاه هدف، ژن یا آنزیم هدف دچار جهش نشده است. در عوض، گیاه با سازوکارهای دیگری از اثر علف‌کش جلوگیری می‌کند. مهم‌ترین سازوکارهای مقاومت غیرجایگاه هدف عبارت‌اند از کاهش جذب علف‌کش، کاهش انتقال در داخل بافت‌ها و آوندهای گیاهی، متابولیسم یا تجزیه سریع‌تر علف‌کش به نحوی که گیاه علف‌کش را قبل از اینکه بتواند اثر بگذارد از طرقی تجزیه و بی‌اثر می‌کند و همچنین نگه داشتن علف‌کش در بخش‌های غیرحساس گیاه تا به نقاط حساس نرسد.

مقاومت چندگانه نسبت به علف‌کش‌ها (Multiple resistance):

به نوعی از مقاومت به علف‌کش‌ها گفته می‌شود که یک بیوتیپ یا جمعیتی از علف‌های–هر نسبت به دو یا چند علف‌کش با سازوکارهای اثر متفاوت مقاوم اند

شار ژنی (Gene flow): فرآیند انتقال ژن یا آلل‌ها از یک جمعیت گیاهی به جمعیت دیگر را شار ژنی می‌نامند.

اَبَر علف‌هرز (Super weed): به علف‌های هرزی اطلاق می‌شود که به چندین علف‌کش مختلف مقاوم شده و کنترل آن بسیار سخت شده است.

گیاهِ خودروی ناخواسته (Volunteer weed): گیاهی است که بدون کشت برنامه‌ریزی شده به خودی خود از طریق جوانه‌زنی بذرهای برجای مانده از سال زراعی گذشته جوانه زده و رشد می‌کند. جوانه‌زنی گندم در مزرعه کلزا مثال روشنی از این مفهوم را به نمایش می‌گذارد.

نحوه عمل علف‌کش (Herbicide mode of action): مسیر زیستی یا فرآیند ویژه‌ای در گیاه که علف‌کش آن را مختل می‌کند و در نهایت باعث مرگ یا توقف رشد گیاه می‌شود.

اکسشن (Accession): یک نمونه گردآوری‌شده از یک گونه گیاهی خاص است که از یک منبع مشخص مانند یک منطقه جغرافیایی یا یک جمعیت وحشی جمع‌آوری شده و با یک شماره اختصاصی ویژه در بانک ژن ثبت می‌شود تا همیشه قابل ردیابی باشد.

پیوستگی ژنی (Gene Linkage): به حالتی گفته می‌شود که دو یا چند ژن روی یک کروموزوم نزدیک به هم قرار داشته باشند و بنابراین با هم و به‌صورت گروهی [همبسته] در هنگام میوز و تشکیل گامت به ارث برسند.

1. International Herbicide-Resistant Weed Database. (2025). https://www.weedscience.org/Home.aspx

با «مقاومت به علف‌کش» وجود دارد بدون شک می‌بایست عنوان شود که «یک جمعیت خاص از علف‌های‌هرز» یا «یک رقم خاص گیاهی» به «یک علف‌کش خاص» به نحوی از انحائ «مقاوم شده است». اما زمانی که ارائه مطالب در هر دو صورت گزارشات مکتوب و شفاهی علمی در ارتباط با پدیده تحمل صورت می‌گیرد می‌بایست به این صورت بیان شود که «یک جنس و گونه خاص گیاهی» به یک علف‌کش خاص متحمل «بوده است»، که این گزاره به این معنی است که «آن جنس و گونه خاص گیاهی» (تا زمانی که ماهیت ذاتی ژنتیکی‌اش تغییر نیافته) به آن علف‌کش متحمل بوده، هست و خواهد بود. در جدول شماره ۱، توضیحاتی در ارتباط با هر دو دسته علف‌های‌هرز و محصولات مقاوم و متحمل به علف‌کش‌ها ارائه شده است. توجه به این مورد بسیار با اهمیت است که اصولاً مکانیسم‌های دخیل در هر دو رخداد مقاومت و تحمل به علف‌کش کاملاً یکسان‌اند (۷-۴). به بیان دیگر انواع مکانیسم‌های در ارتباط با جایگاه هدف و غیر جایگاه هدف به طور کاملاً مشابه مسبب ایجاد هر دو حالت مقاومت و تحمل به علف‌کش هستند (۱۱-۸). اما آنچه سبب ایجاد تمایز میان این دو پدیده می‌شود نحوه بروز و ظهور این صفات در یک گونه گیاهی در بستر زمان است (۵ و ۷). در حقیقت زمانی که پدیده تحمل به علف‌کش رخ داده باشد صفتی همزاد با یک گونه گیاهی بروز پیدا کرده است که به واقع حالتی غیرطبیعی در ارتباط با آن گونه گیاهی رخ نداده است. اما زمانی که پدیده مقاومت به علف‌کش در مورد گونه‌های علف‌هرزی مورد واکاوی قرار می‌گیرد از آنجایی که این صفت تنها در افراد بسیار محدودی از کل جمعیت وجود داشته است نشان می‌دهد که این توانمندی در این افراد ذیل تغییرات تکاملی طی زمان و به صورت محدود رخ داده است. به طوری‌که این وضعیت نشان می‌دهد که صفت مقاومت به علف‌کش حتی در همان افراد محدود در جمعیت، یک صفت (پیشینی) همزاد نبوده، تحت تاثیر تحولات تکاملی در بستر زمان ایجاد شده است. در ضمن، آن‌چنان که توضیح داده شد، ظهور جمعیت‌های مقاوم به علف‌کش نیز در واقع ذیل فشار انتخابی کاربرد علف‌کش یا علف‌کش‌ها به دلیل از بین رفتن افراد حساس جمعیت و خالی شدن فضا جهت اشغال شدن توسط افراد مقاوم رخ می‌دهد. بنابراین همچنان جمعیت‌هایی از آن گونه علف‌هرزی ممکن است در نقاط مختلف جغرافیایی دیگر وجود داشته باشند که یا فاقد افراد مقاوم به آن علف‌کش یا علف‌کش‌های خاص بوده باشند یا همچنان تعداد افراد مقاوم در آن جمعیت‌ها در فقدان فشار انتخابی کاربرد علف‌کش در حداقل باشد.

در مورد محصولات مقاوم به علف‌کش نیز که موضوع کاملاً روشن و واضح است به طوری که اساساً در این دسته از محصولات صفت مقاومت به علف‌کش طی فرآیندهایی آن‌چنان که در جدول ۱ مورد اشاره قرار گرفته است ایجاد می‌شود و بروز چنین صفتی در این دسته از گیاهان ذیل روندهای تکاملی دسته‌بندی نمی‌شود. بنابراین بر اساس واقعیت‌های علمی و انعکاس صحیح آن‌ها در قالب به کارگیری صحیح واژگان به هیچ وجه نمی‌توان دو پدیده «تحمل به علف‌کش» و «مقاومت به علف‌کش» را یکسان در نظر گرفت.

برمبنای توضیحات ارائه شده، آنچه که شگفت‌انگیز است این است که نه فقط در ادبیات عامه، بلکه حتی در جوامع علمی کشاورزی نیز تفاوت چندانی میان این دو پدیده «تحمل به علف‌کش» و «مقاومت به علف‌کش» قائل نشده و در بسیاری از موارد این دو پدیده، یکسان انگاشته می‌شود. طی یک تحقیق میدانی بر مبنای مصاحبه مستقیم که توسط زنگوئی نژاد و زند (منتشر نشده) صورت گرفته است، مشخص شد که از یک جامعه آماری ۲۰۰ نفری از کشاورزان بالغ بر ۱۰۰ درصد از آن‌ها اساساً امکان درک تفاوت‌های میان دو پدیده مقاومت به علف‌کش و تحمل به علف‌کش مبتنی بر اطلاعات زمینه‌ای خود را نداشتند. همچنین ۱۰۰ درصد از کشاورزان مصاحبه شونده اگرچه اذعان داشتند که با عبارت مقاومت به علف‌کش (به صورت لفظی) آشنا بوده‌اند اما هیچ گونه پیشینه علمی و حتی ذهنی در مورد عبارت تحمل به علف‌کش، تا لحظه انجام مصاحبه، نداشتند. از طرف دیگر، یک جمعیت آماری ۱۰۰ نفری از کارشناسان بخش کشاورزی که ۴۶، ۳۹ و ۱۵ نفر از آن‌ها به ترتیب دارای تحصیلات تا سطح کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری در گرایش‌های مختلف علوم کشاورزی بودند در ارتباط با دو عبارت مقاومت به علف‌کش و تحمل به علف‌کش مورد سوال قرار گرفتند.

نتایج حاصل نشان داد که تنها ۵ درصد از جمعیت مصاحبه شونده با دو عبارت مقاومت به علف‌کش و تحمل به علف‌کش به طور کلی ذیل تفاوت لفظی آشنا بودند و تنها ۱ درصد از مصاحبه شوندگان امکان توضیح تفاوت‌های میان این دو پدیده را به صورت علمی داشتند. نتایج پژوهش صورت گرفته، که همچنان در حال انجام و تکمیل است، نشان می‌دهد که اصولاً در جوامع مرتبط با امر کشاورزی چه در حیطه عملیاتی و چه در حیطه آکادمیک، هیچ گونه نگاه جدی تمایز دهنده‌ای بین دو پدیده مقاومت به علف-کش و تحمل به علف‌کش وجود ندارد که این مهم می‌تواند سر منشاء مشکلات عدیده بعدی باشد که خود محملی غیرقابل چشم پوشی در به هدر رفتن منابع خواهد بود که به تفصیل در بخش‌های بعدی به آن پرداخته می‌شود.

انعکاس عدم تمایز بین دو پدیده مقاومت به علف‌کش و تحمل به علف‌کش حتی در مقالات منتشر شده در نشریات طراز اول جهان نیز قابل ردیابی است. به عنوان مثال، در مقاله‌ای که تحت عنوان «The impact of glyphosate-tolerant crops on the use of other herbicides and on resistance management» در نشریه «*Pest Management Science*» به چاپ رسیده،

جدول ۱– دسته‌بندی علف‌های‌هرز و محصولات متحمل و مقاوم به علف‌کش‌ها (۲۱-۱۲).

ردیف	نوع	توضیحات
۱	علف‌هرز مقاوم به علف‌کش	به حالت یا وضعیتی اطلاق می‌شود که فرد یا افرادی از یک جمعیت خاص گونه‌ای از علف‌های‌هرز دارای ویژگی منحصر به فردی در سطح مولکولی، فیزیولوژیک و یا مورفولوژیک بوده که می‌توانند در مقابل یک دوز کشنده توصیه شده برای آن گونه خاص علف‌هرزی دوام آورده و بقا داشته باشند. در ضمن آن ویژگی منحصر به فرد قابلیت توارث به نسل‌های بعدی را خواهد داشت. این وضعیت زمانی بروز می‌نماید که فشار انتخابی ناشی از تداوم کاربرد یک علف‌کش خاص یا علف‌کش‌هایی با نحوه عمل یکسان ایجاد شده باشد.
۲	علف هرز متحمل به علف‌کش	به حالت یا وضعیتی اطلاق می‌شود که تمامی افراد یک جمعیت علف‌هرزی توانایی زنده‌مانی در برابر کاربرد یک دوز کشنده از علف‌کشی را دارند که توانایی از بین بردن جمعیت‌های دیگر از جنس‌های دیگر آن گونه خاص و یا گونه‌های هم‌خانواده آن را دارند. توانایی ویژه این جمعیت علف‌هرزی می‌تواند خصوصیتی در سطح مولکولی، فیزولوژیک و یا مورفولوژیک باشد که از نسلی به نسل دیگر به ارث می‌رسد و فراگیر بودن آن در جمعیت، تحت تاثیر از بین رفتن افراد حساس جمعیت به دلیل تداخل مکانیسم‌های بیرونی مانند فشار انتخابی کاربرد علف‌کش‌ها و نهایتاً جایگزینی تدریجی آن‌ها با افراد دارای قدرت خاص زنده‌مانی ایجاد نشده است، بلکه این توانمندی به طور ذاتی در تمامی افراد جمعیت وجود داشته، دارد و خواهد داشت.
۳	محصول مقاوم به علف‌کش	به حالت یا وضعیتی اطلاق می‌شود که یک گیاه محصول از یک جنس و گونه خاص که پیش از این در برابر کاربرد یک دوز کشنده از یک علف‌کش معین توانایی زنده‌مانی نداشته است به طرقی از قبیل کاربرد جهش، دست‌ورزی ژنتیکی و غیره دارای قابلیت دوام‌آوری در برابر آن دوز کشنده از آن علف‌کش معین شده است. توانایی ایجاد شده در این گونه از محصولات به هر کدام از طرق ذکر شده قابلیت توارث در نسل‌های بعدی را ندارد.
۴	محصول متحمل به علف‌کش	به حالت یا وضعیتی اطلاق می‌شود که جنس و گونه‌ای خاص از یک گیاه محصول توانایی زنده‌ماندن در برابر کاربرد یک دز کشنده از علف‌کشی را دارد که توانایی از بین بردن جنس‌های دیگر آن گونه خاص و یا سایر گونه‌های هم‌خانواده آن را دارند. توانایی ویژه این جنس و گونه خاص می‌تواند خصوصیتی در سطح مولکولی، فیزولوژیک و یا مورفولوژیک باشد که از نسلی به نسل دیگر به ارث می‌رسد و وجود آن نیازمند تداخل مکانیسم‌های بیرونی مانند فشار انتخابی از طریق کاربرد علف‌کش‌ها نیست، بلکه این توانمندی به طور ماهوی در این جنس و گونه خاص وجود داشته، دارد و خواهد داشت.

نگارنده به وضوح به محصولات متحمل به گلایفوسیت[1] اشاره می‌کند در حالی که مقصود این محقق محصولات مقاوم به گلایفوسیت است (۲۲). در مقاله دیگری با عنوان «Genetically Modified Herbicide-Tolerant Crops, Weeds, and Herbicides: Overview and Impact»، منتشر شده در نشریه Environmental management، در جایی که نگارنده می‌خواسته به محصولات مقاوم به علف‌کش که از طریق دست‌ورزی ژنتیکی ایجاد شده‌اند اشاره کند از عبارت «Genetically Modified Herbicide-Tolerant Crops» استفاده کرده است که در واقع اشاره به محصولات متحمل به علف‌کش دارد که از طریق مهندسی ژنتیک معرفی شده‌اند (۲۳). از این دست مثال‌ها که نشان دهنده کاربرد ناصحیح پدیده مقاومت به علف‌کش مابه‌ازای پدیده تحمل به علف‌کش است می‌توان به بسیاری از مقالات دیگر مانند مقاله «Engineering Herbicide Tolerance in Transgenic Plants» که در نشریه بسیار معتبر «Science» نشر یافته است و یا مقاله دیگری ذیل عنوان «for engineering Cytochromes P450 herbicide tolerance» منتشر شده در نشریه «Trends in plant science» اشاره کرد (۲۵-۲۴).

از این‌رو اهمیت آگاهی از تفاوت آشکار بین دو عارضه مقاومت به علف‌کش و تحمل به علف‌کش در سطوح مختلف افراد در جوامع مرتبط با کشاورزی کاملاً مشهود است و همین موضوع نگارندگان مقاله حاضر را بر آن داشت تا پس از تبیین تفاوت‌های میان این دو رخداد؛ مزایا، معایب، نگرانی‌های مرتبط و کاربردهای هر کدام از این دو پدیده را به طور مجزا مورد کنکاش قرار دهند.

ابعاد مدیریتی و عملکردی مقاومت و تحمل به علف‌کش‌ها

پدیده مقاومت به علف‌کش از دو بعد کلی قابل بررسی است. نخست، بروز جمعیت علف‌های‌هرز مقاوم به علف‌کش که این عارضه مخرب و غیرسازنده می‌نماید. به بیان دیگر ظهور چنین پدیده‌ای نشانه‌ای از عدم کارآیی گزینه‌های علف‌کشی است که تاکنون موجبات مهار گونه‌هایی از علف‌های‌هرز را پدید می‌آورده‌اند (۲۹-۲۶). والش و پولس (۳۰) دریافتند که نمونه‌هایی از جمعیت‌های علف‌هرز تربچه وحشی[2] که دارای مقاومت از نوع چندگانه به علف‌کش‌هایی از

1. Glyphosate-resistant crops

2. *Raphanus raphanistrum*

خانواده‌های علف‌کش‌های شبه‌اکسینی[1]، بازدارنده‌های فتوسنتز (فتوسیستم II)[2] و بازدارنده‌های غیراشباع کننده فایتوئن[3] بودند از مزارعی واقع بر روی کمربند گندم در نواحی شمال‌غربی استرالیا جمع‌آوری شده بودند که در این نواحی هفده فصل زراعی پی‌درپی یک الگوی ثابت از تعدادی علف‌کش استفاده شده بود.. چاندی و همکاران (۳۱) بیان داشتند که چچم ایتالیایی[4] مقاوم به مزوسولفورون[5]، پینوکسادن[6]، ایمازامکس[7] و پیروکسولام[8] در مزارع گندم جنوب غربی ایالت کارولینای شمالی واقع در نواحی شرقی کشور ایالات متحده به شدت گسترش یافته است. داویس و همکاران (۳۲) نخستین گزارش از مقاومت گونه‌ای از برروموس[9] به علف‌کش گلایفوسیت را ارائه نمودند. این محققین دریافتند که جمعیت‌های مشکوک به مقاومت در برابر علف‌کش گلایفوسیت (۵۴۰ گرم ماده موثره در هکتار) تنها حدود ۲۱ تا ۳۰ درصد مهار خواهند شد. در ایران نیز نخستین گزارش از بروز جمعیت‌های علف‌هرز مقاوم به علف‌کش در سال ۲۰۰۴ توسط زند و همکاران ارائه شد (۳۳). طی این پژوهش وجود جمعیت‌های علف‌هرز مقاوم به برخی علف‌کش‌های متعلق به خانواده‌های شیمیایی پیریدازینون[10]، فنیل–کاربامات[11] و تیوکاربامات‌ها[12] در چغندرقند گزارش شد. مین‌باشی معینی و همکاران (۳۴) گزارش نمودند که چند گونه علف‌هرزی شامل خونی‌واش[13]، یولاف وحشی[14] و چچم در برابر کاربرد دزهای توصیه شده چندین علف‌کش از خانواده بازدارنده سنتز استیل کوآنزیم آ کربوکسیلاز[15] مقاومت بروز داده و مهار نمی‌شوند. همچنین ساسانفر و همکاران (۳۵) مقاومت چندگانه را در علف‌هرز یولاف وحشی زمستانه[16] در برابر دزهای توصیه شده علف‌کش‌های دایکلوفوپ‌متیل، فنوکساپروپ‌اتیل و کلودینافوپ پروپارژیل[17] گزارش نمودند. بنابراین رخداد ظهور جمعیت‌های علف‌هرز مقاوم به علف‌کش، عرصه‌های زراعی و باغی را به چالش کشیده و موجب می‌شود که به تدریج پایداری نظام‌های تولید محصولات کشاورزی به دلیل قابلیت گسترش جهانی عارضه مقاومت به یک یا چند علف‌کش در گونه‌های علف‌هرز با تهدیدات جدی و چالش‌های جبران‌ناپذیری مواجه شود. از طرف دیگر بروز پدیده مقاومت به علف‌کش در جمعیت‌های علف‌هرز سبب هدر رفت هزینه‌های قابل توجهی در ارتباط با سموم علف‌کشی که پس از آن کارآیی خود را از دست داده‌اند شده و زمینه را برای هزینه کرد مبالغ بیشتر به منظور توسعه و معرفی گزینه‌های جایگزین می‌گشاید (۳۷–۳۶). اما نگاه دومی که می‌توان به پدیده مقاومت به علف‌کش داشت، زمانی است که این صفت در قالب یک گونه تجاری از محصولات بروز می‌یابد (۴۰–۳۸). محصولات مقاوم به علف‌کش که به طور عمده مبتنی بر مسیرهای اصلاحی مدرن با استفاده از تکنیک‌های بیوتکنولوژیک طی دهه‌های اخیر عرضه شده‌اند در کنار نقش بسیار قابل توجهی که در افزایش تولید محصولات با قیمت‌های مقرون به صرفه داشته‌اند موجبات ایجاد نگرانی‌های به‌جا و گاهاً نابجایی در جوامع بشری شده‌اند (۴۴–۴۱). از آن‌جایی که توسعه چنین ارقام تجاری معمولاً و در قاطبه موارد با انتقال یک ژن نامرتبط به گیاه هدف صورت می‌گیرد نگرانی‌های عدیده‌ای را سبب شده است. شار ژنی از جمله مواردی است که می‌تواند نگرانی صحیح و قابل اعتنایی در ارتباط با آن دسته از ارقام تجاری مقاوم به علف‌کش باشد که از طریق دست‌ورزی ژنتیکی ایجاد شده‌اند. رخداد شار ژنی که در واقع انتقال ژن مقاومت از گیاه دست‌ورزی شده به گونه‌های علف‌هرز با قرابت با آن محصول می‌باشد، در واقع می‌تواند زمینه بروز و توسعه گونه‌های اَبَر علف‌هرز را فراهم آورد که خود سبب به خطر افتادن تولید محصولات کشاورزی در سطحی بسیار بالا خواهد شد (۴۶–۴۵). شار ژنی مهم‌ترین خطر ناشی از محصولات تراریخته است و به سه نوع طبقه بندی می‌شود: درون‌گونه‌ای، بین‌گونه‌ای و بین محصولات تراریخته. البته شار ژنی در خود طبیعت جزئی از [جریان پیوسته و سازگار شونده] تغییرات تکاملی محسوب می‌شود، اما چون در مورد گیاهان تراریخته مقاوم به علف‌کش این تغییر در بستر فرآیندی غیر از روال طبیعی به وقوع می‌پیوندد، انتقال آن ژن هدف نیز به صورتی غیرطبیعی با احتمال بالا رخ خواهد داد (۴۷). یکی از نگران کننده‌ترین گیاهان زراعی در رابطه با شار ژنی، کلزا است که دارای نرخ دگرگشنی بالا بوده و تنوع گونه‌های خویشاوند قابل توجهی دارد. در مقابل، تواتر شار ژنی از طریق دگرگشنی در غلاتی مانند برنج، گندم و جو نسبتاً کم است، اما همچنان بروز شار ژنی امکان‌پذیر خواهد بود (۴۷). یکی دیگر از خطرات احتمالی و فوری در ارتباط با محصولات تراریخته مقاوم به علف‌کش‌ها، بروز علف‌های‌هرز داوطلب در کشت‌های بعدی است (۴۹–۴۸). به واقع با توسعه ارقام تجاری از محصولات مختلف مانند کلزا، جو، ذرت، پنبه، سویا، برنج و سایر محصولاتی از این دست که دارای مقاومت چندگانه به طیفی از علف‌کش‌های متنوع دارای نحوه عمل متفاوت هستند، زمینه برای تبدیل شدن آن‌ها به یک علف‌هرز بالقوه در زراعت‌های بعدی تحت عنوان علف‌های‌هرز

1. Auxin-like herbicides
2. Photosystem II
3. Phytoene desaturase (PDS)–inhibitors
4. *Lolium multiflorum*
5. Mesosulfuron
6. Pinoxaden
7. Imazamox
8. Pyroxulam
9. *Bromus sterilis*
10. Pyridazinone
11. Phenyl carbamate
12. Thiocarbamate
13. *Phalaris minor*
14. *Avena fatua*
15. Acetyl-CoA carboxylase (ACCase) synthesis inhibitors
16. *Avena ludoviciana*
17. Clodinafop-propargyl

داوطلب طی یک برنامه تناوب زراعی را به شدت پدید آورده است (۴۹). در نواحی شمالی ایالات متحده به دلیل توانایی بسیار بالای زنده‌مانی گیاهچه‌های باقی مانده کلزا از کشت‌های پیشین، ریزش بذر در حین یا پیش از برداشت محصول کلزا و خصوصیت خواب بذر ثانویه در ارقام تجاری مقاوم به علف‌کش کلزا، نهایتاً گیاهچه‌های کلزا می‌توانند در کشت‌های بعدی در تناوب مانند کتان و نخودفرنگی تداخل بسیار مخربی را ایجاد کنند (۴۹). اگرچه در بسیاری از کشورها در سطح جهان نگرانی‌های دیگری از جنس آسیب به سلامت انسان‌ها به موجب استفاده از محصولات دست‌ورزی شده ژنتیکی مطرح شده است اما هیچ‌کدام از این دست ادعاها تا کنون به صورت علمی ثابت نشده و بیشتر در سطح ادعا باقی مانده‌اند (۵۰). در نگاه عمومی، محصولات مقاوم به علف‌کش به دو دلیل مشکل ساز هستند: مهندسی ژنتیک جهت ایجاد این گونه از محصولات و استفاده از علف‌کش‌ها به میزان بیشتر نسبت به محصولات غیرمقاوم. در حقیقت این دو رویه سبب القاء میزان خطر قابل توجه در استفاده از این دست محصولات شده است. به بیان دیگر، این نگرانی در کسر قابل ملاحظه‌ای از مردم وجود دارد که خطرات استفاده از این گونه محصولات بر سودمندی کاربرد آن‌ها غلبه کند. همچنین استفاده از محصولات تراریخته ممکن است مسیر صحیحی جهت تثبیت کشاورزی پایدار نباشد از آن جهت که احتمالاً حق افراد برای انتخاب محصولات غیرتراریخته نقض خواهد شد. اگرچه باز هم تاکید می‌گردد همچنان قطعیت علمی در ارزیابی ریسک به‌کارگیری این گونه از محصولات قابل اتکا و ارجاع نیست (۵۴-۵۱). همچنین در مورد ادعای افزایش مصرف برخی از سموم علف‌کش مانند گلایفوسیت به سبب گسترش معرفی محصولات مقاوم به این ترکیب شیمیایی با استناد به آمارها به هیچ وجه نمی‌توان به چنین موردی به صورت جدی اعتنا نمود (۴۰، ۵۵ و ۵۶).

در ارتباط با پدیده تحمل به علف‌کش، موضوع در مقایسه با محصولات مقاوم به علف‌کش بسیار متفاوت است به نحوی که اصولاً بروز چنین عارضه‌ای اگر در ارتباط با جمعیت علف‌های‌هرز حادث شود نمی‌تواند به معنی ایجاد خلل در روندهای تولید محصول تلقی گردد. به عبارت دیگر، زمانی که تمامی اعضای جمعیت یک گونه علف‌هرز، سطحی از تحمل به یک گزینه علف‌کشی دارند، اصولاً آن علف‌کش از ابتدا در لیست مهارکننده‌های آن گونه قرار نخواهد گرفت و در نتیجه عدم مهار به کمک آن موجب ایجاد زیان اقتصادی -ازجمله با کاهش تولید محصول یا از دست رفتن یک گزینه شیمیایی- نخواهد شد. از طرف دیگر، اگر چنین عارضه‌ای در ارتباط با یک رقم تجاری و یا حتی در مورد یک رقم غیرتجاری از محصولات وجود داشته باشد، در حقیقت به مثابه یک مزیت بسیار ارزشمند تلقی خواهد شد. به عنوان مثال، زنگوئی نژاد و همکاران (۵۷) طی آزمایش‌های گلخانه‌ای و مزرعه‌ای نشان دادند که سه اکسشن وحشی گوجه‌فرنگی به نام‌های TOM199، TOM198 و TOM300 در برابر کاربرد دوز پراکنش[1] علف-کش دایکمبا[2] به میزان ۳ گرم از ماده موثره در هکتار صفت تحمل را بروز می‌دهند. نتایج این پژوهش نشان داد که این سه اکسشن وحشی گوجه‌فرنگی پس از تیمار با علف‌کش دایکمبا در دوز پراکنش کمتر از ۱۵ درصد دچار خسارت ظاهری شدند (۵۷). همچنین در مقایسه با دو رقم تجاری Better boy و Money maker به عنوان ارقام کاملاً حساس در برابر دوز پراکنش علف‌کش دایکمبا وضعیت جابجایی علف‌کش[3] در اکسشن‌های وحشی هیچ تفاوت معنی‌داری نداشت اگرچه میزان جذب در ارقام تجاری حساس به مراتب بیشتر از اکسشن‌های وحشی بود (۵۸). این محققان با توسعه آزمایشات، نتیجه گرفتند که یکی از دلایل میزان جذب کمتر سه اکسشن متحمل به دایکمبا به دلیل ویژگی‌های مرفولوژیک برگ‌های آن‌ها بوده است، به نحوی که اکسشن‌های وحشی دارای برگ‌های باریک‌تر با تراکم بالاتر کرک[4] در سطح برگ هستند (۵۸). در ضمن مطالعات با استفاده از نشانگرهای SSR[5] جهت بررسی دلایل بروز تحمل به علف‌کش دایکمبا در سطح مولوکلی نشان داد که احتمالاً این صفت در اکسشن‌های وحشی مورد مطالعه در ارتباط با یک ژن بیان شونده تحت تاثیر تنش خشکی به نام *1e16* است. علاوه بر این مشخص شد که بیان ژن *TIR1* از مجموعه ژن‌های F-box AFB/TIR1 در چهار بازه زمانی ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ساعت پس از تیمار علف‌کش در ارقام تجاری حساس در مقایسه با اکسشن‌های متحمل به طور معنی‌داری بیشتر بود (۵۹). این در حالی بود که در بیان دو ژن *AFB1* و *AFB2* تفاوت معنی‌داری میان اکسشن‌های وحشی و ارقام تجاری مشاهده نشد (۵۹). بررسی واکنش برخی اکسشن‌های وحشی خربزه‌های ایرانی به سه دز پراکنش شبیه‌سازی شده علف‌کش توفوردی شامل ۳/۷، ۱۱/۲ و ۱۱۲/۱ گرم ماده موثره در هکتار طی یک آزمایش دو ساله مزرعه‌ای مشخص نمود که اکسشن MEL-R1 با ثبت ۲۰ درصد خسارت ظاهری متحمل‌ترین و اکسشن MEL-D8 با ۹۰ درصد خسارت ظاهری حساس‌ترین اکسشن‌های مطالعه شده ۶ هفته پس از تیمار علف‌کش در سال ۲۰۱۹ بودند (۶۰). اما در سال ۲۰۲۰، ۶ هفته پس از تیمار علف‌کش توفوردی[6]، اکسشن MEL-S3 تنها ۲۰ درصد خسارت ظاهری را نشان داد و تفاوت معنی‌داری از این لحاظ با اکسشن MEL-R1 نداشت. ضمناً تنها اکسشن‌های MEL-R1 و MEL-S3 پس از اعمال علف‌کش توفوردی در دز ۱۱۲/۱ گرم در هکتار توانستند تولید

1. Drift dose
2. Dicamba
3. Herbicide translocation
4. Trichome
5. Simple Sequence Repeat/ STR (Simple Tandem Repeat)
6. 2,4-D

محصول را ثبت نمایند (۶۰). ماسیوناس (۶۱) تحمل برخی از ارقام گوجه‌فرنگی به علف‌کش ای‌سی فلورفن[1] پس از سبز شدن را طی آزمایش‌های گلخانه‌ای و مزرعه‌ای مورد بررسی قرار داد. در آزمایشات گلخانه‌ای ارقام Carmen, Petopride 2 و Heinz 1350 در مقابل کاربرد علف‌کش ای‌سی فلورفن (۱/۱ کیلوگرم ماده موثره در هکتار) متحمل بوده در حالی که ارقام Advantage و Red Plum حساس بودند. در آزمایشات مزرعه‌ای ارقام Heinz ۱۳۵۰ و Veeroma در برابر کاربرد علف‌کش ای‌سی فلورفن صفت تحمل را بروز دادند اما دو رقم Advantage و Red Plum کاملاً حساس بودند (۶۱). همچنین دیتمار و همکاران (۶۲) با انجام مطالعات گلخانه‌ای و مزرعه‌ای دریافتند که رقم تجاری گوجه‌فرنگی Amelia در برابر کاربرد خاک مصرف (از طریق سیستم آبیاری قطره‌ای) و پس‌رویشی علف‌کش‌های هالوسولفورون[2] (۱۳ گرم ماده موثره در هکتار)، ایمازوسولفورون[3] (۱۱۲ گرم ماده موثره در هکتار) و تری‌فلوکسی‌سولفورون[4] (۵ گرم ماده موثره در هکتار) متحمل است. علاوه بر این، دیتمار و همکاران (۶۳) نشان دادند که یک رقم تجاری فلفل دلمه، Heritage، توانایی بروز صفت تحمل در مقابل کاربرد خاک‌مصرف علف‌کش‌های هالوسولفورون (۱۳ گرم ماده موثره در هکتار)، ایمازوسولفورون (۱۱۲ گرم ماده موثره در هکتار) و تری‌فلوکسی‌سولفورون (۵ گرم ماده موثره در هکتار) به صورت پس‌رویشی هدایت شده[5] را دارد به طوری که به لحاظ عملکرد نهایی تولید محصول تفاوت معنی‌داری با کرت‌های شاهد مشاهده نشد. چنان که ذکر شد، تهدید شار ژنی که در مورد گیاهان مقاوم شده به علف‌کش‌ها با استفاده از تکنیک‌های مهندسی ژنتیک می‌تواند رخ دهد، در ارتباط با گیاهان متحمل به علف‌کش‌ها یا رخ نخواهد داد و یا احتمال بروز آن در بستر روندهای تکاملی طبیعی بسیار ناچیز خواهد بود. نتیجتاً ایجاد گونه‌های اَبَر علف‌هرز به دلیل به‌کارگیری ارقام تجاری متحمل به علف‌کش به میزان بسیار قابل توجهی در مقایسه با ارقام تجاری مقاوم به علف‌کش کاهش می‌یابد. همچنین به طور مطلق نگرانی‌های زیست‌محیطی و یا در ارتباط با سلامتی نوع بشر به دلیل مصرف چنین محصولاتی تحقیقاً در دامنه ناچیز تا صفر قرار خواهد گرفت زیرا هیچ‌گونه دست‌ورزی ژنتیکی در معرفی و توسعه چنین ارقامی دخیل نمی‌باشد.

بنابراین به وضوح می‌توان نتیجه گرفت که ظهور چنین پدیده‌ای در ارتباط با محصولات در حقیقت یک فرصت استثنایی و یک مزیت بسیار ارزشمند جهت بهبود و بلکه گسترش دادن راهبردهای مدیریت علف‌های‌هرز، بدون هزینه‌کرد مبالغ هنگفت جهت معرفی محصولات مقاوم به علف‌کش و عدم ایجاد نگرانی‌های زیست‌محیطی از هر نوعی است. لذا بر خلاف پدیده مقاومت به علف‌کش که چه در عرصه‌های کشاورزی و در بستر زمان به دلیل ایجاد فشار انتخابی به سبب مصرف مداوم یک علف‌کش خاص و یا مصرف علف‌کش‌هایی با نحوه عمل یکسان ایجاد شده باشد و چه از طریق به کارگیری تکنیک‌های اصلاحی کلاسیک و مدرن بروز یافته باشد، می‌تواند منشائ نگرانی‌های متعددی باشد، عارضه تحمل به علف‌کش در هیچ کدام از ابعاد خود حساسیت برانگیز نبوده و ایجاد کننده نقصان در نظام‌های کشاورزی در سطح جهان نخواهد بود.

فرصت‌ها و دورنمای
کاربردهای مقاومت و تحمل به علف‌کش‌ها

«طی ۵۰ سال آینده، کشاورزان و دامداران جهان برای تولید بیشتر مواد غذایی در مقایسه با حجم تولید انجام شده طی ۱۰۰۰۰ سال گذشته فراخوانده خواهند شد و شکل گرفتن این فرآیند می‌بایست با تکیه بر راهکارهای سازگار با محیط زیست صورت پذیرد.» نورمن بورلاگ، پدر انقلاب سبز طی نامه‌ای در سال ۲۰۰۸ خطاب به مجلس سنای ایالات متحده از محصولات مقاوم به علف‌کش‌ها حمایت کرد، زیرا از نظر این دانشمند ضمن افزایش تقاضا برای مواد غذایی هر چه بیشتر در سالیان پیش‌رو به دلیل محدود بودن منابع، این میزان تولید می‌باید در کنار حفظ منابع طبیعی انجام پذیرد. به بیان دیگر ایشان حتی علی‌رغم تمامی انتقادات و نگرانی‌ها در ارتباط با محصولات مقاوم به علف‌کش، به‌کارگیری چنین ارقامی را معقول و لازم می‌دانسته است (۴۰).

پدیده مقاومت طی بیش از سه دهه گذشته به خوبی معایب و مزایای خود را نشان داده است، گسترش جمعیت علف‌های‌هرز سخت مهار تا غیرقابل مهار و گسترش روزافزون طیفی از نگرانی‌های زیست محیطی به دلیل استفاده از ارقام تجاری مقاوم شده به برخی از علف‌کش‌ها در زمره معایب این رخداد قابل دسته‌بندی هستند. از سوی دیگر افزایش تولید محصولات مقرون به صرفه در ضمن کاهش مقدار مصرف علف‌کش‌ها از مزایای به کارگیری محصولات مقاوم به علف‌کش‌ها است، اگرچه هزینه اولیه توسعه این دست از محصولات ممکن است در برخی از موارد پیشبرد چنین پروژه‌هایی را با چالش‌های جدی روبرو سازد (۴۰).

اما در مورد پدیده تحمل به علف‌کش تا لحظه نگارش مقاله جاری به گواه استناد به تحقیقات انجام شده طی سالیان گذشته می‌توان با قطعیت گفت که به هیچ عنوان از پتانسیل این فرآیند طبیعی در هیچ کدام از عرصه‌های کشاورزی به شایستگی بهره‌برداری نشده است. وجود صفت تحمل به یک یا چند علف‌کش در یک گونه گیاهی به ویژه در مورد گیاهان زراعی و باغی می‌تواند سبب تسهیل فرآیند

1. Acifluorfen
2. Halosulfuron
3. Imazosulfuron
4. Trifloxysulfuron
5. Directed post-emergence

تولید در بخش کشاورزی و البته صورت دادن گستره‌ای از امور مهم دیگر در بخش‌های غیرکشاورزی شود. در گام نخست، انجام تست‌های غربالگری با استفاده از آزمایشات دز–پاسخ[1] در ارتباط با ارقام تجاری و در مرحله بعد ارقام بومی غیرتجاری می‌تواند اطلاعات بسیار ارزشمندی در مورد وجود گونه‌های متحمل به علف‌کش‌ها را به دست دهد (۶۳–۵۸). در صورتی که احیاناً ارقام تجاری صفت تحمل را بروز دهند، رویداد بسیار قابل اعتنایی خواهد بود. اما اگر صفت تحمل در ارقام غیرتجاری تشخیص داده شود در مراحل بعد می‌توان نه فقط با استفاده از روش‌های اصلاح مدرن[2] بلکه حتی با تکیه بر راهبردهای اصلاحی کلاسیک نیز مسیر را جهت معرفی ارقام تجاری توانمند در بروز صفت تحمل به علف‌کش‌ها هموار نمود. این مورد به دو دلیل بسیار عمده حائز اهمیت ویژه است؛ ابتدا این‌که توسعه ارقام تجاری از این طریق با هزینه‌های ناچیز امکان‌پذیر خواهد بود و همچنین نگرانی‌های ثانویه از هر لحاظ مانند شار ژنی، ایجاد بیماری در مصرف‌کننده‌ها و غیره را از بین خواهد رفت. به واقع چنین رخدادی در هر کدام از محصولات زراعی یا باغی می‌تواند فرصت‌های بی‌نظیری جهت تولید محصولات اقتصادی‌تر، سالم‌تر و کم–خطرتر از هر لحاظ را در سطح جهان پدید آورد.

از طرف دیگر بایستی توجه داشت، گونه‌های گیاهی با توانایی مقاومت در مقابل کاربرد برخی از علف‌کش‌ها، معمولاً می‌توانند با بروز صفات دیگری که مسیر را جهت تولید محصولات کشاورزی تسهیل کنند نیز نقش داشته باشند (۶۵–۶۴). دلیل این مهم وجود پیوستگی بین صفات این‌چنینی می‌باشد (۶۷–۶۶). بنابراین غربال نمودن اکسشن‌های وحشی، ارقام استاندارد و یا حتی ارقام تجاری می‌تواند زمینه‌ساز امکانات مناسبی جهت مدیریت تنش‌های رو به رشد غیرزیستی[3] مانند شوری منابع آب و خاک، همچنین تنش‌های دما و رطوبت ناشی از گسترش تغییرات اقلیمی و البته تنش‌های زیستی[4] مانند حساسیت به طیفی از آفات متنوع باشد. به بیان دیگر، از آن‌جایی که نخستین گام در برخورد با تنش‌های زنده و غیرزنده بهره‌گیری از ارقام متحمل به آن‌ها است، دسترسی داشتن به منبعی گسترده از ذخایر ژنتیکی کمک شایانی به مدیریت تسهیل شده‌تر و به صرفه‌تر چنین تنش‌هایی می‌باشد (۶۹–۶۸).

از طرف دیگر بین پیوستگی صفات مختلف یک رابطه دو طرفه وجود دارد، به این معنی که ممکن است اکسشن‌ها یا ارقامی که حتی به سایر تنش‌های غیرزنده یا زنده متحمل هستند، هم‌زمان صفت تحمل به یک یا چند علف‌کش را نیز بروز دهند (۷۲–۷۰). تقریباً در میان تمامی پایان‌نامه‌های دانشجویی که توسط دانشجویان رشته علوم‌علف‌های‌هرز در سطح ایران به انجام رسیده است، هیچ پایان‌نامه دانشجویی در زمینه گونه‌های گیاهی متحمل به علف‌کش صورت نگرفته است. همین مورد نشان می‌دهد که این شاخه مهم از علم علف‌های هرز اساساً به طور کامل مغفول مانده، از ظرفیت عظیم موجود در ذخایر ژنتیکی گیاهان کشور اعم از علف‌های‌هرز و محصولات کشاورزی از این بابت استفاده نشده است. ضمناً می‌بایست توجه داشت که اگرچه مطالعه گونه‌هایی گیاهی متحمل به علف‌کش‌ها به طور کلی از نظر دور مانده است اما در زمینه بررسی ارقام گیاهی متحمل به شوری و خشکی تحقیقات گسترده‌ای در سطوح مختلف در کشور انجام شده است (۸۲–۷۳). همین موضوع نشان می‌دهد که اگرچه اهمیت ارقام متحمل به تنش‌های غیرزنده در سطح کشور طی سالیان گذشته درک شده است اما متاسفانه در ارتباط با تحمل به علف‌کش‌ها تا کنون رویداد مثبتی رخ نداده است.

نتیجه‌گیری

اگرچه کشوری مانند ایران، با تنوع گسترده آب و هوایی و دارا بودن شمار گونه‌های گیاهی بومی قابل اعتنا، در واقع یک مخزن عظیم از تنوع ژنتیکی جهت توسعه دادن ارقام تجاری متحمل به طیفی از علف‌کش‌ها طی یک مسیر تسهیل شده می‌باشد، اما تا کنون تحقیقاً هیچ تلاش عملی جهت سامان‌دهی به چنین امر لازم و ضروری صورت نگرفته است. به بیان دیگر، در حالی که دسترسی کشور ایران به تکنولوژی‌های پیشرو در تولید بذر و دامنه قابل توجهی از ارقام تجاری به دلیل تنش‌های سیاسی، تحت لوای قوانین غیرعادلانه مختلف در سطح جهان محدود شده است، تا لحظه نگارش مقاله جاری هیچ گونه تلاش عملی به منظور معرفی ارقام تجاری متحمل به علف‌کش‌ها با استفاده تنوع ژنتیکی گیاهی موجود در سطح کشور صورت نپذیرفته است.

البته باید توجه داشت که در چند دهه گذشته مطالعات گسترده‌ای در ارتباط با ارقام متحمل به شوری و خشکی صورت گرفته است و حجم عظیمی از پایان‌نامه‌های دانشجویی نیز در ارتباط با این دو موضوع شکل گرفته است. اما چنان‌که ذکر شد در مورد ارقام متحمل به علف‌کش تقریباً هیچ گونه مطالعه‌ای رخ نداده است. بنابراین همین موضوع نشان می‌دهد که اهمیت ارقام گیاهی ذاتاً متحمل به نوعی از تنش‌های غیرزنده (و یا حتی زنده) درک شده است، لیکن در مورد گونه‌های متحمل به علف‌کش فعالیت تحقیقاتی چندانی صورت نگرفته است.

از این‌رو، ایجاد یک برنامه مطالعاتی جدی و پیشروانه در سطح مراکز دانشگاهی و تحقیقاتی از یک طرف و از سوی دیگر راه‌اندازی یک بانک از ذخایر ژنتیکی گیاهی دارای صفت تحمل به یک یا چند علف‌کش می‌تواند زمینه‌ساز پیشرفت قابل توجهی در مسیر معرفی و توسعه ارقام تجاری متحمل به علف‌کش در سطح

1. Dose–Response Experiments
2. Modern breeding approaches
3. Abiotic stresses
4. Biotic stresses

کشور باشد. شایان ذکر است که در سطح جهان شرکت‌های مطرح در زمینه تولید بذر همواره در هر زمان و مکان به دنبال گردآوری چنین منابع ژنتیکی به منظور تسهیل معرفی ارقام تجاری متحمل به علف‌کش‌ها می‌باشند. لذا فراهم‌آوری چنین منابع ژنتیکی علاوه بر ایجاد و تسهیل زمینه تولید ارقام متحمل به علف‌کش، می‌تواند منبع مناسبی جهت ارزآوری- در صورت ارائه آن‌ها به عنوان منبع خام ژنتیکی اولیه- در بازارهای جهانی باشد. در مجموع شکل‌گیری، تثبیت و تحکیم رویکردی متفاوت به پدیده تحمل به علف‌کش فراتر از پدیده مقاومت به علف‌کش می‌تواند تحول قابل ملاحظه‌ای را در عرصه‌های مختلف کشاورزی کشور ایجاد نماید.

منابع

1. [WSSA] Weed Science Society of America. (1998). Herbicide resistance and herbicide tolerance defined. *Weed Technology*, 12,789-790.
2. Cheng, X., Li, H., Tang, Q., Zhang, H., Liu, T., & Wang, Y. (2024). Trends in the global commercialization of genetically modified crops in 2023. *Journal of Integrative Agriculture*, 23(12),3943-3952.
3. Monitor, G. A. (2024). *Global GM Crop Area 2023 Review*.
4. Holt, J. S., Powles, S. B., & Holtum, J. A. (1993). Mechanisms and agronomic aspects of herbicide resistance. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 44(1),203-229.
5. Gressel, J. (2009). Evolving understanding of the evolution of herbicide resistance. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science,* 65(11),1164-1173.
6. Délye, C., Duhoux, A., Pernin, F., Riggins, C. W., & Tranel, P. J. (2015). Molecular mechanisms of herbicide resistance. *Weed Science*, 63(SP1), 91-115.
7. Délye, C., Jasieniuk, M., & Le Corre, V. (2013). Deciphering the evolution of herbicide resistance in weeds. *Trends in Genetics*, 29(11),649-658.
8. Yuan, J. S., Tranel, P. J., & Stewart, C. N. (2007). Non-target-site herbicide resistance: a family business. *Trends in Plant Science*, 12(1),6-13.
9. Yang, Q., Deng, W., Li, X., Yu, Q., Bai, L., & Zheng, M. (2016). Target-site and non-target-site based resistance to the herbicide tribenuron-methyl in flixweed (Descurainia sophia L.). *BMC Genomics*, 17,1-13.
10. Rey-Caballero, J., Menéndez, J., Osuna, M. D., Salas, M., & Torra, J. (2017). Target-site and non-target-site resistance mechanisms to ALS inhibiting herbicides in Papaver rhoeas. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 138,65-57.
11. Jugulam, M., & Shyam, C. (2019). Non-target-site resistance to herbicides: recent developments. *Plants*, 8(10),417.
12. Beckie, H. J. (2020). Herbicide resistance in plants. *Plants*, 9(4),435.
13. Gaines, T. A., Duke, S. O., Morran, S., Rigon, C. A., Tranel, P. J., Küpper, A., & Dayan, F. E. (2020). Mechanisms of evolved herbicide resistance. *Journal of Biological Chemistry*, 295(30),10307-10330.
14. Travlos, I., de Prado, R., Chachalis, D., & Bilalis, D. J. (2020). Herbicide resistance in weeds: Early detection, mechanisms, dispersal, new insights and management issues. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 8 ,213.
15. Matzrafi, M., Peleg, Z., & Lati, R. (2021). Herbicide resistance in weed management. *Agronomy*, 11(2),280.
16. Leon, R. G., Dunne, J. C., & Gould, F. (2021). The role of population and quantitative genetics and modern sequencing technologies to understand evolved herbicide resistance and weed fitness. *Pest Management Science,* 77(1),12-21.
17. Dong, H., Huang, Y., & Wang, K. (2021). The development of herbicide resistance crop plants using CRISPR/Cas-۹mediated gene editing. *Genes*, 12(6), 912.
18. Bourdineaud, J. P. (2022). Toxicity of the herbicides used on herbicide-tolerant crops, and societal consequences of their use in France. *Drug and Chemical Toxicology*, 45(2), 698-721.
19. Gosavi, G., Ren, B., Li, X., Zhou, X., Spetz, C., & Zhou, H. (2022). A new era in herbicide-tolerant crops development by targeted genome editing. *ACS Agricultural Science & Technology*, 2(2),184-191.
20. Jin, M., Chen, L., Deng, X. W., & Tang, X. (2022). Development of herbicide resistance genes and their application in rice. *The Crop Journal*, 10(1), 26-35.

21. Ofosu, R., Agyemang, E. D., Márton, A., Pásztor, G., Taller, J., & Kazinczi, G. (2023). Herbicide resistance: Managing weeds in a changing world. *Agronomy*, 13(6),1595.

22. Shaner, D. L. (2000). The impact of glyphosate-tolerant crops on the use of other herbicides and on resistance management. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*, 56(4),320-326.

23. Bonny, S. (2016). Genetically modified herbicide-tolerant crops, weeds, and herbicides: overview and impact. *Environmental management*, 57(1),31-48.

24. Shah, D. M., Horsch, R. B., Klee, H. J., Kishore, G. M., Winter, J. A., Tumer, N. E., ... & Fraley, R. T. (1986). Engineering herbicide tolerance in transgenic plants. *Science*, 233(4762),478-481.

25. Werck-Reichhart, D., Hehn, A., & Didierjean, L. (2000). Cytochromes P450 for engineering herbicide tolerance. *Trends in plant science*, 5(3),116-123.

26. Lee, L. J., & Ngim, J. (2000). A first report of glyphosate-resistant goosegrass (Eleusine indica (L) Gaertn) in Malaysia. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*, 56(4),336-339.

27. Francischini, A. C., Constantin, J., Oliveira Jr, R. S., Santos, G., Braz, G. B. P., & Dan, H. A. (2014). First report of Amaranthus viridis resistance to herbicides. *Planta Daninha*, 32 ,571-578.

28. Marchesi, C., & Saldain, N. E. (2019). First report of herbicide-resistant Echinochloa crus-galli in Uruguayan rice fields. *Agronomy*, 9(12),790.

29. Papapanagiotou, A. P., Abichou, A., Spanos, T., Livieratos, I., Menexes, G., Vasilakoglou, I., & Eleftherohorinos,I. G. (2025). Acetyl-CoA carboxylase herbicide resistance and fitness of spring milletgrass (Milium vernale) populations infesting winter cereal monoculture in Greece. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 53(1),14325.

30. Walsh, M. J., Powles, S. B., Beard, B. R., Parkin, B. T., & Porter, S. A. (2004). Multiple-herbicide resistance across four modes of action in wild radish (*Raphanus raphanistrum*). *Weed Science*, 52(1),8-13.

31. Chandi, A., York, A. C., Jordan, D. L., & Beam, J. B. (2011). Resistance to acetolactate synthase and acetyl Co-A carboxylase inhibitors in North Carolina Italian ryegrass (*Lolium perenne*). *Weed Technology*, 25(4) 659-666

32. Davies, L. R., Hull, R., Moss, S., & Neve, P. (2019). The first cases of evolving glyphosate resistance in UK poverty brome (*Bromus sterilis*) populations. *Weed Science*, 67(1),41-47.

33. Zand, E., Bazu Bandi, M., Fereydun Pur, M., Maknali, A., Hatami, S., Partovi, M., ... & Jamshidi, S. (2004). Investigation Of Resistance To Some Herbicides Of Pyridazinone, Phenyl-Carbamate And Thiocarbamates In Weeds Of Sugar Beet Fields And Efficacy Of The Localand Original Formulations.

34. Minbashi Moeini M, Baghestani MA, Ahmadi A, Abtali Y, Esfandiari H, Adim H, et al. (2008) Analytical approach to weed management of irrigated wheat fields of Iran. In: Proceedings of the 2nd National Weed Science Congress (Mashhad, Iran, 29–30 January 2008). Ferdowsi University of Mashhad Press, Mashhad, Iran, 1–28.

۳۵. حمیدرضا ساسان فر، اسکندر زند، محمدعلی باغستانی و محمدجواد میرهادی. (۲۰۰۹). بررسی مقاومت توده‌های علف هرز یولاف وحشی (*Avena ludoviciana*) به علف‌کش کلودینافوپ پروپارژیل در استان فارس. *فصلنامه علوم محیطی*، ۱۱۸-۱۰۹، (۱)۷.

36. Jabran, K., & Chauhan, B. S. (2015). Weed management in aerobic rice systems. *Crop Protection*,78,151-173.

37. Bourguet, D., & Guillemaud, T. (2016). The hidden and external costs of pesticide use. Sustainable Agriculture Reviews, (19), 35-120.

38. Green, J. M. (2007). Review of glyphosate and ALS-inhibiting herbicide crop resistance and resistant weed management. *Weed Technology*, 21(2),547-558.

39. Green, J. M., & Owen, M. D. (2011). Herbicide-resistant crops: utilities and limitations for herbicide-resistant weed management. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(111),5819-5829.

40. Green, J. M. (2012). The benefits of herbicide-resistant crops. *Pest Management Science*, 68(10),1323-1331.

41. Dale, P. J. (1999). Public concerns over transgenic crops. *Genome Research*, 9(12),1159-1162.

42. König, A. (2003). A framework for designing transgenic crops—science, safety and citizen›s concerns. *Nature Biotechnology*, 21(11),1274-1279.

43. Rani, S. J., & Usha, R. (2013). Transgenic plants: Types, benefits, public concerns and future. *Journal of Pharmacy Research*, 6(8),879-883.
44. Ricroch, A. E., Guillaume-Hofnung, M., & Kuntz, M. (2018). The ethical concerns about transgenic crops. *Biochemical Journal*, 475(4),803-811.
45. Beckie, H. J., Warwick, S. I., Nair, H., & Séguin-Swartz, G. (2003). Gene flow in commercial fields of herbicide-resistant canola (Brassica napus). *Ecological Applications*, 13(5),1276-1294.
46. Mallory-Smith, C., & Zapiola, M. (2008). Gene flow from glyphosate-resistant crops. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*, 64(4),428-440.
47. Kwon, Y. W., & Kim, D. S. (2001). Herbicide-resistant genetically-modified crop: its risks with an emphasis on gene flow. *Weed Biology and Management*, 1(1),42-52.
48. Peltonen-Sainio, P., Pahkala, K., Mikkola, H., & Jauhiainen, L. (2014). Seed loss and volunteer seedling establishment of rapeseed in the northernmost European conditions: potential for weed infestation and GM risks. *Agricultural and Food Science*, 23(4),327-339.
49. Jhala, A. J., Beckie, H. J., Peters, T. J., Culpepper, A. S., & Norsworthy, J. K. (2021). Interference and management of herbicide-resistant crop volunteers. *Weed Science*, 69(3),257-263.
50. Madsen, K. H., & Sandøe, P. (2005). Ethical reflections on herbicide-resistant crops. *Pest Management Science: Formerly Pesticide Science*, 61(3),318-325.
51. Frewer L. J., Howard, C., & Shepherd, R. (1995). Consumer perceptions of food risks. *Food Science and Technology* (9),212-216.
52. Madsen, K. H., & Sandøe, P. (2001). Herbicide resistant sugar beet–what is the problem?. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 14,161-168.
53. Lassen J, Madsen KH and Sandøe P, Ethics and genetic engineering—lessons to be learned from GM foods. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 24: 263-271 (2002).
54. Hansen, J., Holm, L., Frewer, L., Robinson, P., & Sandøe, P. (2003). Beyond the knowledge deficit: recent research into lay and expert attitudes to food risks. *Appetite*, 41: 111-121.
55. Duke, S. O. (2005). Taking stock of herbicide-resistant crops ten years after introduction. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*, 61(3),211-218.
56. Kniss, A. R. (2018). Genetically engineered herbicide-resistant crops and herbicide-resistant weed evolution in the United States. *Weed Science*, 66(2), 260-273.
57. Zangoueinejad, R., Alebrahim, M. T., & Tseng, T. M. (2019). Evaluation of auxin tolerance in selected tomato germplasm under greenhouse and field conditions. *Weed Technology*, 33(6),815-822.
58. Zangoueinejad, R., Alebrahim, M. T., & Tseng, T. M. (2020a). Absorption and translocation of dicamba in dicamba-tolerant wild tomato. *Canadian Journal of Plant Science*, 101(1),30-38.
59. Zangoueinejad, R., Alebrahim, M. T., & Tseng, T. M. (2020b). Molecular and physiological response to dicamba in dicamba-tolerant wild tomato. *Journal of Mississippi Academy of Sciences*, 65, 358-373.
60. Zangoueinejad, R., Sirooeinejad, B., Alebrahim, M. T., & Bajwa, A. A. (2021). The Response of iranian melon (Cucumis melo L.) accessions to 2 ,4-D drift. *Plants*, 10(11),2442.
61. Masiunas, J. B. (1989). Tomato (Lycopersicon esculentum) tolerance to diphenyl ether herbicides applied postemergence. *Weed Technology*, 3(4),602-607.
62. Dittmar, P. J., Monks, D. W., Jennings, K. M., & Booker, F. L. (2012). Tolerance of tomato to herbicides applied through drip irrigation. *Weed Technology*, 26(4),684-690.
63. Dittmar, P. J., Monks, D. W., & Jennings, K. M. (2016). Tolerance of bell pepper to herbicides applied through a drip irrigation system. *Weed Technology*, 30(2),486-491.
64. Hall, D., Tegström, C., & Ingvarsson, P. K. (2010). Using association mapping to dissect the genetic basis of complex traits in plants. *Briefings in Functional Genomics*, 9(2),157-165.
65. Ingvarsson, P. K., & Street, N. R. (2011). Association genetics of complex traits in plants. *New Phytologist*, 189(4),909-922.

66. Baucom, R. S. (2009). A herbicide defense trait that is distinct from resistance: the evolutionary ecology and genomics of herbicide tolerance. *Weedy and Invasive Plant Genomics*, 163-175.

67. Comont, D., MacGregor, D. R., Crook, L., Hull, R., Nguyen, L., Freckleton, R. P., ... & Neve, P. (2022). Dissecting weed adaptation: Fitness and trait correlations in herbicide-resistant Alopecurus myosuroides. *Pest Management Science*, 78(7),3039-3050.

68. Atkinson, N. J., & Urwin, P. E. (2012). The interaction of plant biotic and abiotic stresses: from genes to the field. *Journal of Experimental Botany*, 63(10),3523-3543.

69. Shivhare, R., & Lata, C. (2017). Exploration of genetic and genomic resources for abiotic and biotic stress tolerance in pearl millet. *Frontiers in Plant Science*, 7 ,2069.

70. Pywell, R. F., Bullock, J. M., Roy, D. B., Warman, L. I. Z., Walker, K. J., & Rothery, P. (2003). Plant traits as predictors of performance in ecological restoration. *Journal of Applied Ecology*, 40(1),65-77.

71. Breseghello, F., & Sorrells, M. E. (2006). Association analysis as a strategy for improvement of quantitative traits in plants. *Crop Science*, 46(3),1323-1330.

72. Roscher, C., Schumacher, J., Gubsch, M., Lipowsky, A., Weigelt, A., Buchmann, N., ... & Schulze, E. D. (2012). Using plant functional traits to explain diversity–productivity relationships. PloS One, 7(5), e36760.

۷۳. فرهاد قوامی، محمدعلی ملبوبی، محمدرضا قنادها، بهمن یزدی صمدی، جواد مظفری و محمدجعفر آقایی. (۲۰۰۴).بررسی واکنش ارقام متحمل گندم ایرانی به تنش شوری در مرحله جوانه زنی و گیاهچه. *مجله علوم کشاورزی ایران*. ۴۶۴-۴۵۳,(۲)۳۰.

۷۴. اعظم برزویی، محمد کافی، حمیدرضا خزاعی، علی خراسانی و عباس مجدآبادی. (۲۰۱۱). مطالعه خصوصیات فیزیولویک و فعالیت آنزیم سوپر اکسید دسموتاز دو رقم حساس و متحمل به شوری گندم در مراحل مختلف رشد در اثر آبیاری با آب شور. *پژوهش‌های زراعی ایران*. ۲۰۱-۱۹۰,(۲)۹.

۷۵. اسداله احمدی خواه، هدا شجاعیان، محدهادی پهلوانی و لیلا نیری پسند. (۲۰۱۴). شناسایی لاین‌های موتانت متحمل به شوری در برنج و انگشت نگاری آن‌ها با نشانگر. ISSR *ژنتیک نوین*. ۳۱۲-۲۹۹,(۳)۹.

۷۶. انسیه اشرفی, جمشید رزمجو و مرتضی زاهدی. (۲۰۱۵). بررسی اثر تنش شوری بر خصوصیات بیوشیمیایی گیاهچه‌ها و ارتباط آن با تحمل به شوری ارقام یونجه در شرایط مزرعه. *پژوهش‌های کاربردی زراعی*, ۵۶-۴۳,(۴)۲۸.

۷۷. راهله احمدپور، نظام آرمند، سعیدرضا حسین‌زاده و سمیه چاشیانی. (۲۰۱۶). گزینش ارقام متحمل به تنش خشکی در گیاه عدس (*Lens culinaris Medik.*) از طریق سنجش پارامترهای جوانه زنی. *علوم و تحقیقات بذر ایران*. ۸۷-۷۵.

۷۸. وحید اطلسی‌پاک. (۲۰۱۶). تاثیر تنش شوری بر رشد و توزیع یونی در ارقام متحمل و حساس گیاه کلزا. (*Brassica napus L.*). ۸۲-۷۱. *نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی*. ۸۲-۷۱.

۷۹. وحید اطلسی‌پاک. (۲۰۱۸). بررسی تجمع سدیم در برگ‌های ارقام حساس و متحمل به شوری گندم (*Triticum aestivum L.*). *تولیدات گیاهی* ۵۶-۴۳,(۱)۴۱.

۸۰. آتنا علاقمند، شهاب خاقانی، محمدرضا بی‌همتا، مسعود گماریان و منصور قربان‌پور. (۲۰۲۰). بررسی اثر کیتوزان و نانوکیتوزان بر خصوصیات زراعی و اسیدهای چرب امگا ۳، ۶ و ۹ در برخی ارقام گیاه دارویی (*Nigella sativa L.*) تحت تنش خشکی. *اکوفیتوشیمی گیاهان دارویی*, ۹۶-۸۳ ,(۴)۷.

۸۱. سکینه فرجی و ثریا کرمی. (۲۰۲۴). معرفی ارقام و ژنوتیپ‌های متحمل به کم‌آبی در انار. *مجله ترویجی انار*.

۸۲. روژین سهرابی، علیرضا پیرزاد، محسن نیازخانی و تورج میرمحمودی. (۲۰۲۵). تأثیر ۲۴-اپی براسینولید و عصاره گل کلم بر عملکرد دانه و برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی ارقام حساس و متحمّل به شوری کینوا. *پژوهش‌های زراعی ایران*.