



عنوان مقالات

ارزیابی مقاومت و پاسخ بیوشیمیایی ارقام مختلف جو در برهمکنش با نماتد ریشه‌گرهی (*Meloidogyne incognita*)..... ۴۰۱
میدیا احمدی - عصمت مهدیکhani مقدم - حمید روحانی - محسن مهرور

همسانه‌سازی و بررسی تبارزایی جدایه‌های ایرانی *narcissus latent virus* براساس ترادف نوکلئوتیدی ناحیه ۳' ژنوم..... ۴۱۵
زهره مرادی - محسن مهرور

رقابت درون‌گونه‌ای و ارتباط آن با برخی فاکتورهای بیولوژیکی زنبور *Habrobracon hebetor*
در کنترل پيله‌خوار نخود..... ۴۲۵
طیبه السادات مهدوی - حسین مددی

کارایی روش‌های شیمیایی و فیزیکی نرم‌سازی آب سخت در کاهش ناسازگاری کاتیون‌های
آب سخت با علف‌کش گلایفوسیت..... ۴۴۱
اکبر علی‌وردی - علی قنبری - محمدحسن راشد محصل - مهدی نصیری محلاتی - اسکندر زند

اثر رقم و روش‌های مدیریتی بر عملکرد و اجزاء عملکرد برنج..... ۴۵۵
مهدی اسماعیل تبار - فائزه زعفریان - شهرام نظری - رحمت عباسی

بررسی کارایی علف‌کش فورام‌سولفورون + یدوسولفورون (مایستر-ادی) بر کنترل علف‌هرز، رشد و عملکرد ذرت..... ۴۶۹
رویا بلخانی - سیدعبدالرضا کاظمینی - محسن عدالت

اثر تنش‌های شوری و خشکی بر رویش جوانه‌های ریزوم گیاه *Arundo donax* L. در شرایط دمایی مختلف..... ۴۹۱
محسن الهی نژاد - قربانعلی اسدی - رضا توکل افشاری

Contents

Evaluation of Resistance and Biochemical Responses of Different Barley Cultivars in
Interaction with *Meloidogyne incognita* 99
M. Ahmadi, E. Mahdikhani- Moghadam, H. Rouhani, M. Mehrvar

Cloning and Phylogenetic Analysis of Iranian Isolates of *Narcissus Latent Virus* Based on
Sequence of 3' Region of Genome..... 713
Z. Moradi, M. Mehrvar

Intraspecific Competition and its Relationship with some Biological Factors of
Habrobracon hebetor against *Heliothis virescens* 423
T.S. Mahdavi, H. Madadi

Efficiency of Chemical and Physical Hard Water Softening Methods to Reduce the
Incompatibility of Hard Water Cations with herbicide Glyphosate 439
A. Aliverdi, A. Ghanbari², M.H. Rashed-Mohassel, M. Nassiri-Mahallati, E. Zand

The Effect of Different Weed Control Managements on Yield and Yield Components of
Three Rice Cultivars..... 453
M. Smaeeltabar, F. Zaefarian, Sh. Nazari, R. Abbasi

Evaluation of Foramsulfuron + Idosulfuron (MaisTer OD) Herbicide Efficacy on
Weed Control, Growth and Yield of Maize 467
R. Polkhani, S.A. Kazemeini, M. Edalat

Effect of Salinity and Drought Stresses on Rhizome Bud Sprouting of Giant Reed
(*Arundo donax*) under Different Temperature Conditions..... 481
M. Elahinejad, Gh. Asadi, R. Tavakolafshari

نشریه پژوهش های حفاظت گیاهان ایران

(علوم و صنایع کشاورزی)

با شماره پروانه 21/2015 و درجه علمی - پژوهشی شماره 26524 از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
68/4/11 73/10/19

زمستان 1401

شماره 4

جلد 36

بر اساس مصوبه وزارت عتف از سال 1398، کلیه نشریات دارای درجه "علمی-پژوهشی" به نشریه "علمی" تغییر نام یافتند.

صاحب امتیاز: دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر مسئول: رضا ولی زاده استاد - تغذیه نشخوارکنندگان (دانشگاه فردوسی مشهد)

سرمدیر: راشد محصل، محمد حسن استاد - علوم علف های هرز (دانشگاه فردوسی مشهد)

اعضای هیئت تحریریه:

ایزدی دربندی، ابراهیم	استاد - علوم علف های هرز (دانشگاه فردوسی مشهد)
بقائی راوری، ساره	دانشیار - بیماری شناسی گیاهی (دانشگاه فردوسی مشهد)
پور جم، ابراهیم	استاد - بیماری شناسی گیاهی (دانشگاه تربیت مدرس تهران)
حسینی، مجتبی	دانشیار - حشره شناسی کشاورزی (دانشگاه فردوسی مشهد)
راشد محصل، محمد حسن	استاد - علوم علف های هرز (دانشگاه فردوسی مشهد)
راشد محصل، آرش	محقق، اکولوژی حشرات، تگزاس
راضی، هومن	دانشیار - ژنتیک مولکولی (دانشگاه شیراز)
رجائی، حسین	حشره شناس، مدیر کلکسیون بالهولکداران، موزه ایالتی تاریخ طبیعی اشتوتگارت (آلمان)
صادقی نامقی، حسین	استاد - حشره شناسی کشاورزی (دانشگاه فردوسی مشهد)
صبوری، علیرضا	استاد - حشره شناسی کشاورزی (دانشگاه تهران)
صحراگرد، احد	استاد - حشره شناسی کشاورزی (دانشگاه گیلان)
کریم مجنی، حسن	دانشیار - تولید و ژنتیک گیاهی (دانشگاه صنعتی اصفهان)
مرعشی، سید حسن	استاد - بیوتکنولوژی و به نژادی گیاهی (دانشگاه فردوسی مشهد)
مهدیخانی مقدم، عصمت	استاد - بیماری شناسی گیاهی (دانشگاه فردوسی مشهد)

ناشر: دانشگاه فردوسی مشهد

نشانی: مشهد - کد پستی 91775 صندوق پستی 1163

دانشکده کشاورزی - دبیرخانه نشریات علمی

پست الکترونیکی جهت مکاتبات: Jpp1@um.ac.ir نمابر: 0511-8787430

مقالات این شماره در سایت <https://jpp.um.ac.ir/> به صورت مقاله کامل نمایه شده است .

این نشریه به صورت فصلنامه (4 شماره در سال) چاپ و منتشر می شود.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مندرجات

- 401 ارزیابی مقاومت و پاسخ بیوشیمیایی ارقام مختلف جو در برهمکنش با نماتد ریشه‌گرهی (*Meloidogyne incognita*)
میدیا احمدی - عصمت مهدیخانی مقدم - حمید روحانی - محسن مهرور
- 415 همسانه‌سازی و بررسی تبارزایی جدایه‌های ایرانی *narcissus latent virus* براساس ترادف نوکلئوتیدی ناحیه '3 ژنوم
زهره مرادی - محسن مهرور
- 425 رقابت درون‌گونه‌ای و ارتباط آن با برخی فاکتورهای بیولوژیکی زنبور *Habrobracon hebetor* در کنترل پيله‌خوار نخود
طیبه السادات مهدوی - حسین مددی
- 441 کارایی روش‌های شیمیایی و فیزیکی نرم‌سازی آب سخت در کاهش ناسازگاری کاتیون‌های آب سخت با علف‌کش گلایفوسیت
اکبر علی‌وردی - علی قنبری - محمدحسن راشد محصل - مهدی نصیری محلاتی - اسکندر زند
- 455 اثر رقم و روش‌های مدیریتی بر عملکرد و اجزاء عملکرد برنج
مهدی اسماعیل تبار - فائزه زعفریان - شهرام نظری - رحمت عباسی
- 469 بررسی کارایی علف‌کش فورام‌سولفورون + یدوسولفورون (مایستر-ادی) بر کنترل علف‌هرز، رشد و عملکرد ذرت
رویا پلخانی - سیدعبدالرضا کاظمینی - محسن عدالت
- 491 اثر تنش‌های شوری و خشکی بر رویش جوانه‌های ریزوم گیاه *Arundo donax* L. در شرایط دمایی مختلف
محسن الهی نژاد - قربانعلی اسدی - رضا توکل افشاری



Evaluation of Resistance and Biochemical Responses of Different Barley Cultivars in Interaction with *Meloidogyne incognita*

M. Ahmadi¹, E. Mahdikhani-Moghaddam^{2*}, H. Rouhani³, M. Mehrvar⁴

Received: 04-05-2022

Revised: 15-08-2022

Accepted: 08-09-2022

Available Online: 15-02-2023

How to cite this article:

Ahmadi, M., Mahdikhani-Moghaddam, E., Rouhani, H., & Mehrvar, M. (2023). Evaluation of Resistance and Biochemical Responses of Different Barley Cultivars in Interaction with *Meloidogyne incognita*. *Journal of Iranian Plant Protection Research* 36(4): 399-411. (In Persian with English abstract)

DOI: [10.22067/jpp.2022.76935.1097](https://doi.org/10.22067/jpp.2022.76935.1097)

Introduction

Meloidogyne incognita is the most well-known root knot nematode, with more than 2000 host species. Integrated nematode management (INM) is recommended to manage the destructive plant parasitic nematode. Integrated management is generally performed by using the maximum available management methods (at least two methods) and the minimum use of chemical nematicides to bring the pathogen population below the economic threshold. The use of resistant cultivars is of particular importance in integrated management, due to environmental compatibility, economic efficiency, and sometimes the impossibility of implementing other methods, especially in developing countries. Therefore, it is necessary to evaluate the resistance of the important barley plant (*Hordeum vulgare*) to prevent damage and also to investigate nematode interactions with it.

Materials and Methods

In the current study, the resistance of different barley cultivars (i.e., Nik, Nimrouz, and Zarjow) was evaluated based on plant growth factors (length, fresh, and dry weight of aerial part and roots) and nematode gall index at 60 days post inoculation. Then the activity of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), and ascorbate peroxidase (APX) enzymes were measured on days 0, 1, 2, 3, and 4 days post inoculation.

Results and Discussion

Regarding the mean number of galls, the Nik cultivar showed a significant difference compared to Nimrouz and Zarjow cultivars ($P \leq 0.05$). However, no significant difference was observed between Nimrouz and Zarjow cultivars. Based on plant growth factors, *M. incognita* nematode was found to have a negative effect on the aerial part length and weight and a positive effect on root weight. Evaluation of the gall index showed Nik is moderately susceptible, and Nimrouz and Zarjow are moderately resistant cultivars. SOD enzyme in Nik, Nimrouz, and Zarjow showed maximum activity in 2.72, 1.91, and 2.15 U mg⁻¹ protein on the 4, 4, and 3 days post inoculation, respectively. The enzyme in Nik was determined to be 1.42 and 1.25 times higher than Nimrouz and Zarjow. There was a significant difference between 0, 1, and 2 with the 3 and 4 days of the infected samples in Nik ($P \leq 0.05$). In the other cultivars, enzyme activity increased with a slight slope. CAT enzyme peaked in Nik, Nimrouz, and Zarjow at 0.204, 0.09, and 0.11 $\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ protein on the fourth-day post inoculation. In the Nik cultivar, unlike the other two cultivars, the enzyme increased more and had a steep slope from the second to the fourth day. In infected plants of Nimrouz, despite the gradual increase of enzyme, no significant difference was found between any of the days. APX enzyme peaked at 0.26, 0.27, and 0.24 $\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ protein in Nik, Nimrouz, and Zarjow on the fourth day, respectively. The activity of the above enzyme had an increasing trend in three cultivars. The maximum activity of this enzyme was at Nimrouz, which was determined to be 1.03 and 1.1 times higher than Nik and Zarjow, respectively. In this cultivar, the upward trend

1 2, 3 and 4- PhD. Student, Professors and Associate Professor, Department of Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, respectively.

(*- Corresponding Author Email: mahdikhani-e@um.ac.ir)

was rapid, although there was a significant difference between all-time points at the level of 0.05. In the current research, it was found that the invasion of the root knot nematode *M. incognita* reduces the growth of length, fresh and dry weight in the aerial part, reduces the length of the root but increases the fresh weight of it.

Conclusion

The hallmark of inducing pathogenicity in the sedentary root knot nematodes is the formation of special feeding cells named giant cells, which require controlling the expression of host genes and manipulation of plant hormones like auxin and cytokinin hormones. It is obvious that during the invasion of root knot nematodes and the formation of giant cells in host roots, the plant is weakened due to impaired transport of water and nutrients, and the host growth factors, especially in the aerial part, are reduced. However, due to hormonal disorders and the formation of galls, the weight of the roots increases. The higher expression of antioxidant enzymes superoxide dismutase, catalase, and ascorbate peroxidase in Nik possibly has occurred due to the compatible interaction, as a result of lack of necrosis and programmed cell death and to tolerate stress (nematode invasion). Less expression of SOD, CAT, and APX enzymes in Nimrouz and Zarjow cultivars possibly have occurred due to their moderate resistance to *M. incognita* invasion.

Keywords: Antioxidant enzymes, Barley, Gall, Nematode, Resistance

مقاله پژوهشی

جلد ۳۶، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۱، ص. ۴۱۱-۳۹۹

ارزیابی مقاومت و پاسخ بیوشیمیایی ارقام مختلف جو در برهمکنش با نماتد ریشه‌گرهی (*Meloidogyne incognita*)

میدیا احمدی^۱ - عصمت مهدیخانی مقدم^{۲*} - حمید روحانی^۳ - محسن مهرور^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۰۹

چکیده

Meloidogyne incognita شناخته شده‌ترین نماتد ریشه‌گرهی است که بیش از ۲۰۰۰ گونه‌ی میزبانی دارد. در مدیریت نماتدها، استفاده از ارقام مقاوم به دلیل سازگاری با محیط زیست، صرفه‌ی اقتصادی و گاهی عدم امکان پیاده‌سازی سایر روش‌ها در کشورهای در حال توسعه، از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. از این رو، ارزیابی مقاومت گیاهان مهم اقتصادی از جمله جو (*Hordeum vulgare*) جهت جلوگیری از ایجاد خسارت و بررسی برخی تعاملات نماتد با این گیاه ضروری می‌نماید. طی این پژوهش، به ارزیابی مقاومت ارقام مختلف جو شامل نیک، نیمروز و زرجو بر پایه‌ی فاکتورهای رشدی گیاه (طول، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه) و شاخص گال نماتد در ۶۰ روز پس از مایه‌زنی پرداخته شد. سپس طی آزمون بیوشیمیایی، فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT) و آسکوربات پراکسیداز (APX) در روزهای صفر، یک، دو، سه و چهار روز پس از مایه زنی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که دو رقم نیمروز و زرجو با شاخص گال سه به عنوان نسبتاً مقاوم و رقم نیک با شاخص گال چهار به عنوان نسبتاً حساس تعیین شد. بر اساس فاکتورهای رشدی گیاه، نماتد تاثیر منفی بر طول و وزن اندام هوایی و طول ریشه و تاثیر مثبت بر وزن ریشه داشت. آنزیم SOD در ارقام نیک، نیمروز و زرجو به ترتیب در مقادیر ۲/۷۲، ۱/۹۱ و ۲/۱۵ واحد میلی گرم بر پروتئین در روزهای چهارم، چهارم و سوم پس از مایه زنی، فعالیت حداکثری نشان داد. فعالیت آنزیم فوق، در رقم نیک ۱/۴۲ و ۱/۲۵ برابر فعالیت بیشینه نیمروز و زرجو تعیین گردید. بین نقاط زمانی صفر، یک و دو با روزهای سوم و چهارم نمونه آلوده در رقم نیک، اختلاف معنی‌داری مشاهده گردید. در دو رقم دیگر، فعالیت آنزیم با شیبی ملایم افزایش یافت. آنزیم CAT در ارقام نیک، نیمروز و زرجو در مقادیر ۰/۲۰۴، ۰/۰۹ و ۰/۱۱ میکرومول بر دقیقه میلی گرم پروتئین در روز چهارم پس از مایه‌زنی به پیک رسید. در رقم نیک، برخلاف دو رقم دیگر آنزیم به میزان بیش‌تری افزایش یافته و از روز دو تا چهارم شیب تندی داشت. در گیاهان آلوده‌ی نیمروز، علیرغم افزایش تدریجی آنزیم، اختلاف معنی‌داری بین هیچ یک از روزها یافت نشد. آنزیم APX در مقادیر ۰/۲۷، ۰/۲۴ و ۰/۲۴ میکرومول بر دقیقه میلی گرم پروتئین به ترتیب در ارقام نیک، نیمروز و زرجو در روز چهارم به اوج رسید. فعالیت آنزیم نامبرده در سه رقم روند افزایشی داشت. حداکثر فعالیت این آنزیم در نیمروز بوده که به ترتیب ۱/۰۳ و ۱/۱ برابر نیک و زرجو تعیین گردید. در این رقم، روند افزایشی سریع بوده و بین همه نقاط زمانی اختلاف معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ وجود داشت. احتمالاً نماتد جهت تشکیل سلول غول‌آسا مانع از انتقال بهینه آب و مواد غذایی به اندام هوایی و در نتیجه کاهش رشد آن شده و به دلیل ایجاد گره، موجب افزایش وزن ریشه شده است. فعالیت بیش‌تر آنزیم‌های فوق در رقم نیک احتمالاً به دلیل برهمکنش سازگاری و ناتوانی گیاه در القای پاسخ فوق حساسیت علیه نماتد صورت گرفته است. بیان کم‌تر آنزیم‌ها در ارقام نیمروز و زرجو نیز احتمالاً به دلیل مقاومت نسبی به نماتد می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آسکوربات پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز، فاکتور تولید مثلی نماتد، کاتالاز، گال

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب دانشجوی دکتری، استادان و دانشیار گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

(*) نویسنده مسئول: (Email: mahdikhani-e@um.ac.ir)

مقدمه

نماتدهای انگل گیاهی بسیار متنوع بوده و با آلوده کردن تقریباً تمامی گیاهان کشت شده موجب ایجاد خسارت ۱۷۳ میلیارد دلاری در سال می‌شوند. در میان طیف وسیع این موجودات، نماتدهای ریشه گرهی (*Meloidogyne* spp.) کاملاً تکامل یافته بوده و با استقرار سلول‌های غذایی ویژه در ریشه گیاهان به نام سلول‌های غول آسا، در مقایسه با سایر نماتدها خسارت بیش‌تری به گیاهان وارد می‌کنند (Elling, 2013). این نماتدها با هدف قرار دادن ریشه، مانع از انتقال بهینه‌ی آب و مواد غذایی به سمت شاخ و برگ گیاهان می‌شوند (Roland and Maurice, 2015). در میان گونه‌های مختلف این جنس، نماتد *M. incognita* شناخته شده‌ترین گونه می‌باشد که علیرغم تولید مثل از نوع بکرزایی اجباری، بیش از ۲۰۰۰ گونه‌ی میزبانی دارد و بسیار مورد توجه محققین می‌باشد (Elling, 2013). به دلیل مشکلات فوق و خسارت بالای اقتصادی، مدیریت نماتدهای انگل گیاهی به ویژه نماتدهای ریشه گرهی ضروری است. تا پیش از سال ۱۹۸۷، موثرترین حربه علیه نماتدهای انگل گیاهی سموم تدخینی به ویژه متیل برماید محسوب می‌شد که از آن پس طی پروتکل مونترال، به جهت تخریب لایه‌ی اوزون منع گردید (Patric et al., 2013). این مهم تلنگر بزرگی به محققین وارد کرده و آن‌ها را به تجدید نظر و تمرکز ویژه بر هر کدام از روش‌های مدیریتی به منظور رفع نقایص و ارتقاء تمام گزینه‌های روی میز واداشت که در نهایت به بکارگیری چندین روش در قالب مدیریت تلفیقی نماتدها^۱ (INM) انجامید. مدیریت تلفیقی عموماً با به کارگیری حداکثری روش‌های مدیریتی در دسترس (حداقل دو روش) و حداقل استفاده از سموم شیمیایی به اجرا در می‌آید تا جمعیت بیمارگر به زیر آستانه‌ی اقتصادی برسد (Stenberg, 2017). در میان تمامی روش‌های موجود برای مدیریت نماتدها از جمله نماتدهای ریشه گرهی، مقاومت گیاهان یک روش مدیریتی بسیار حائز اهمیت است، بدون آن که اثر مخربی بر محیط زیست برجای بگذارد، از لحاظ اقتصادی به صرفه بوده و با سایر روش‌های مدیریتی نیز سازگاری دارد (Dong et al., 2007). استفاده از این نوع گیاهان، سازگار با محیط زیست بوده و از لحاظ اقتصادی به ویژه در کشورهای در حال توسعه به صرفه است. عموماً گیاهانی به عنوان مقاوم شناخته می‌شوند که نرخ تولید مثل نماتد در آن‌ها کم‌تر است (Molinari, 2011). لازم به ذکر است مقاومت به نماتدها عمدتاً بر پایه‌ی ژن مقاومت^۲ (R) است که این ژن‌ها معمولاً دارای موتیف مکان اتصال به نوکلئوتید/تکرارهای غنی از لوسین

(NBS-LRR)^۳ در انتهای کربوکسی هستند و اغلب در نواحی خاصی از کروموزوم قرار گرفته‌اند (Barbary et al., 2015). با شناسایی میزان مقاومت محصولات کلیدی از جمله جو (*Hordeum vulgare*) به عنوان چهارمین محصول غله‌ی مهم جهان پس از ذرت، برنج و گندم (Langridge, 2017)، می‌توان علاوه بر پیشگیری از خسارت اقتصادی، به بررسی تعاملات نماتد با این گیاه تک لپه‌ای پرداخت. برخی ارقام گیاهان به صورت طبیعی دارای مقاومت به نماتدهای انگل گیاهی هستند و شناسایی این ارقام و درک مکانیسم‌های دخیل، جالب توجه می‌باشد. به دلیل ضرورت شناسایی مقاومت محصولات مختلف نسبت به نماتدها، تاکنون پژوهش‌های فراوانی در این زمینه انجام شده است. کویسنبری و همکاران (۱۹۸۹) مقاومت شبدر قرمز نسبت به سه گونه‌ی نماتد ریشه گرهی *M. arenaria*، *M. incognita* و *M. javanica* بر اساس شاخص گال یا توده‌ی تخم را بررسی کرده و با گزینش متحمل‌ترین ارقام طی چند نسل مشخص شد، هنگام آلودگی گیاهان متحمل از تعداد گال و توده‌ی تخم نماتد کاسته می‌شود. بنا بر گزارش فسک و استار (۲۰۰۹)، در پنبه مقاومت علیه نماتد *M. incognita* بر پایه‌ی فاکتورهای پس از نفوذ نماتد بوده و موجب بلوغ دیر هنگام نماتدها و کاهش تخم/توده‌ی تخم و جمعیت نهایی نماتد گردید. در پژوهشی دیگر، بر پایه‌ی فاکتور تولید مثل نماتد و شاخص گال، مقاومت ارقام مختلف لوبیا چشم بلبلی نسبت به نماتد *M. incognita* به چهار دسته‌ی بسیار مقاوم، مقاوم، نسبتاً مقاوم و کمی مقاوم طبقه بندی شدند (Oliveira et al., 2012). مقایسه‌ی مقاومت ارقام مختلف بامیه بسیار حساس، حساس، نسبتاً حساس و نسبتاً مقاوم به نماتد *M. incognita* مشخص کرد که در رقم نسبتاً مقاوم از نرخ تولید مثل نماتد کاسته می‌شود (Hussain et al., 2014). دونگ و همکاران (Dong et al., 2007) جهت بهینه‌سازی پروتکل غربالگری مقاومت گیاهان بادام زمینی علیه نماتد ریشه گرهی *M. arenaria*، فاکتورهای مختلفی از جمله نوع مایه‌ی تلقیح (تخم/لارو مهاجم)، میزان آن‌ها و تاریخ مایه زنی را بررسی کردند. با افزایش مایه‌ی تلقیح، مقاومت ارقام زودتر مشخص شده، با این حال استفاده از تخم یا لارو مهاجم جهت مایه زنی نتایج مشابه نشان داد. چنان چه مایه‌زنی ۲۰-۱۰ روز پس از کشت صورت بگیرد، شناسایی مقاومت ارقام به درستی صورت می‌گیرد اما افزایش این زمان به ۴۰ روز موجب بروز اشتباه شد. در بررسی مقاومت محصولات گرامینه شامل ۱۴ رقم گیاه جو، هفت رقم گندم و چهار رقم یولاف نسبت به نماتد ریشه گرهی، مشخص شد که دو رقم جو و به ترتیب یک و سه رقم از گیاهان گندم و یولاف

1- Integrated Nematode Management

2- Resistance Gene

3- Nucleotide Binding Site-Leucine Rich Repeat Region

پراکسیداز طی روزهای صفر، یک، دو، سه و چهار روز پس از مایه زنی ارزیابی شد.

مواد و روش‌ها

تهیه جمعیت خالص نماتد (*M. incognita*) و بذور ارقام مختلف جو

به منظور بررسی مقاومت جو نسبت به نژاد ۲ نماتد *M. incognita*، بذور ارقام محلی جو شامل نیک، نیمروز و زرجو از ایستگاه تحقیقاتی نهال و بذر کرج تهیه گردید. جمعیت خالص نماتد نیز که از تکثیر متوالی و کشت خالص تک کیسه‌ی تخم این گونه، شناسایی ریخت‌شناسی و تایید ملکولی آن به دست می‌آید، از آزمایشگاه نماتدشناسی دانشگاه فردوسی مشهد دریافت گردید. به منظور حفظ و ازدیاد جمعیت نماتد، مقداری از آن به نشاهای چهار برگی حقیقی گوجه‌فرنگی، در شرایط گلخانه مایه زنی شد. برای تفریح لاروهای سن دو (مهاجم) مورد نیاز برای آزمون‌ها، از روش هوسی و بارکر (۱۹۷۳) استفاده گردید. لاروها با استفاده از تشتک پتری مدرج شمارش و تعداد لاروها به ازای هر سی‌سی آب محاسبه گردید.

کاشت بذور ارقام مختلف جو و مایه‌زنی آن‌ها

بذور ارقام مختلف نیک، نیمروز و زرجو در گلدان‌های حاوی یک کیلوگرم خاک استریل (با نسبت مساوی خاک، ماسه و خاک برگ) کشت گردید. گیاهان بر اساس مرحله‌ی رشدی ۱۲ زادوک (Zadoks, 1999)، ۱۲ روز پس از کشت با ۲۰۰۰ لارو سن دو نماتد برای یک کیلوگرم خاک گلدان مایه‌زنی شدند. گلدان‌های مربوطه در دمای ۳۳- ۲۴ درجه‌ی سانتی‌گراد و رطوبت پنجاه درصد در گلخانه‌ی گروه گیاه پزشکی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد نگهداری شدند. نمونه‌های تیمار شده با آب و نماتد به عنوان گیاهان آلوده به نماتد و نمونه‌های تیمار شده با آب نیز به عنوان گیاهان سالم در نظر گرفته شدند. به مدت ۶۰ روز، هر روز گیاهان از نظر شرایط مطلوب رشدی و کنترل آفات و بیماری بررسی می‌شدند. پس از گذشت زمان مذکور و تشکیل گال‌ها، گیاهان جو را با دقت از خاک بیرون آورده و ریشه‌ها به خوبی شست و شو داده شدند.

بررسی فاکتورهای رشدی جو و شاخص گال نماتد (*M. incognita*)

پس از گذشت ۶۰ روز، گیاهان جو از لحاظ فاکتورهای رشدی گیاه میزبان شامل طول و وزن (تر و خشک) در اندام هوایی و طول و وزن تر ریشه مورد ارزیابی قرار گرفتند (Wikes and Kirkpatrick, 2006).

نسبت به نماتد ایمن هستند. بقیه‌ی ارقام به جز دو رقم جو حساس و یک رقم متحمل گندم، مقاوم گزارش شدند (Karajeh, 2011). لینسل و همکاران (۲۰۱۳) جهت مطالعه‌ی مقاومت گیاهان گندم به نماتد مولد زخم ریشه (*Pratylenchus thornei*) گزارش دادند ارقام مقاوم با تولید ترکیبات بازدارنده موجب جلوگیری از مهاجرت، تخم گذاری، تفریح، بلوغ لاروها و تولید مثل نماتد شدند. در پژوهشی دیگر، مقاومت ۲۲ رقم مختلف یولاف، گندم و سورگوم نسبت به دو گونه نماتد ریشه‌گرهی شامل *M. incognita* و *M. javanica* بر اساس شاخص‌های گال و توده‌ی تخم و نیز فاکتور تولید مثلی نماتد در گیاهان آلوده ارزیابی شد. گیاهان یولاف و گندم مقاومت بیش‌تری نسبت به نماتد بروز داده، در حالی که ارقام مختلف سورگوم واکنش‌های متفاوتی نشان داده و از ده رقم مورد مطالعه سورگوم، تنها سه رقم این گیاه مقاوم معرفی شدند (De Brida et al., 2017).

از سوی دیگر، گیاهان در مواجهه با نماتدهای انگل گیاهی، گونه‌های فعال اکسیژن^۱ (ROS) تولید می‌کنند (Torres et al., 2006). گونه‌های فعال اکسیژن گروهی از رادیکال‌های آزاد، ملکول‌های واکنش‌پذیر و یون‌ها هستند که عمدتاً از اکسیژن مولکولی (O_2) مشتق شده‌اند. این گونه‌ها شامل رادیکال‌های آزاد مانند آنیون سوپراکسید (O_2^-) و رادیکال هیدروکسیل (OH) و از طرف دیگر شامل ملکول‌های غیر رادیکال از جمله پراکسید هیدروژن (H_2O_2)، اکسیژن (O_2) و غیره می‌باشد. با این حال، طی تهاجم بیمارگر ممکن است تعادل بین تولید و مهار گونه‌های فعال اکسیژن مختل شود که موجب افزایش سریع سطح گونه‌های فعال اکسیژن درونی می‌شود و با اکسید شدن لیپیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک، آسیب‌های جبران‌ناپذیری وارد می‌شود (Sharma et al., 2012). بنابراین گیاهان دارای سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی هستند تا غلظت گونه‌های فعال اکسیژن را تنظیم کنند (Sharma et al., 2012; Torres et al., 2006). آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT) و آسکوربات پراکسیداز (APX) از جمله مهم‌ترین اجزای آنزیمی سیستم تجزیه‌کننده‌ی گونه‌های فعال اکسیژن هستند که در هنگام مواجهه با تنش اکسیداتیو، به صورت هماهنگ پاسخ می‌دهند (Torres et al., 2006).

در این پژوهش، نخست مقاومت سه رقم نیک، نیمروز و زرجو از گیاه جو در حضور نژاد ۲ نماتد *M. incognita* بررسی شد. در این راستا، فاکتورهای رشدی گیاه جو (شامل طول، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه گیاه) و شاخص گال مورد بررسی قرار گرفت. در مرحله بعد به منظور بررسی نقش احتمالی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در بروز مقاومت، فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و آسکوربات

(Rao et al., 2002; 2020). برای تعیین مقاومت گیاهان مختلف نسبت به نماتد ریشه گریه از روش شاخص گال (GI) مختار و همکاران (۲۰۱۳) استفاده گردید. در این روش شاخص گال صفر: بدون گال (ایمن)، ۱: ۱-۲ گال (بسیار مقاوم)، ۲: ۳-۱۰ گال (مقاوم)، ۳: ۱۱-۳۰ گال (نسبتاً مقاوم)، ۴: ۳۱-۷۰ گال (نسبتاً حساس)، ۵: ۷۱-۱۰۰ گال (حساس) و ۶: بیش از ۱۰۰ گال را به عنوان بسیار حساس تعیین می‌کند.

بررسی فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز در گیاهان سالم و آلوده ارقام مختلف

پس از گذشت ۱۲ روز از کشت جو، میزان ۲۰۰۰ لارو سن دو به ازای هر کیلوگرم خاک، به گیاهان مایه‌زنی شده و نمونه‌برداری در پنج زمان مختلف (صفر، یک، دو، سه و چهار روز پس از مایه‌زنی) از نمونه‌های سالم (تیمار شده با آب) و آلوده (تیمار شده با آب و نماتد) انجام گرفت. آزمون در قالب طرح کاملاً تصادفی دو بار تکرار شده و در هر تکرار برای هر تیمار حداقل سه تکرار در نظر گرفته شد.

استخراج عصاره آنزیمی: میزان ۲۰۰ میلی گرم از نمونه‌های ریشه را به کمک ازن مایع پودر کرده، سپس سه میلی لیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی مولار (اسیدیته ۶/۸) به آن اضافه و مخلوط گردید. نمونه‌ها را به مدت ۱۵ دقیقه در سانتیفریوژ یخچال‌دار (۱۵۰۰۰ دور در دقیقه) قرار داده و با گذشت زمان مربوطه، مایع رویی (عصاره آنزیمی) به میکروتیوب دیگری انتقال داده شده و تا زمان شروع آزمایش در دمای ۲۰- نگهداری شدند (Kar and Mishra, 1976).

استخراج پروتئین کل به روش برادفورد (۱۹۷۶) انجام شد که طی آن غلظت پروتئین محلول با استفاده از آلبومین سرم گاوی^۱ (BSA) به عنوان استاندارد اندازه‌گیری شده و جذب آن در طول موج ۵۹۵ نانومتری با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری (Biowave II, vrw company, USA) ثبت شد.

بررسی فعالیت سوپراکسید دیسموتاز (SOD): مخلوط واکنش شامل متیونین ۰/۰۱۳ مولار، NBT^۲ (نیتروبلو تترازولیوم) ۶/۳ میکرومولار، ریوفلاوین ۶/۵ میکرومولار، EDTA ۰/۱ میلی مولار و بافر فسفات پتاسیم ۰/۰۵ مولار بوده که در طول موج ۵۶۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Wang et al., 2010).

بررسی فعالیت کاتالاز (CAT): برای این منظور، بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی مولار و پراکسید هیدروژن ۷۰ میلی مولار را در آب مقطر استریل ترکیب نموده و پس از افزودن عصاره‌ی پروتئینی، پس

از یک دقیقه میزان جذب در فواصل زمانی ۳۰ ثانیه در طول موج ۲۴۰ نانومتر ثبت گردید (Beers and Sizer, 1952).

بررسی فعالیت آسکوربات پراکسیداز (APX): از ترکیب ۸۵۰ میکرولیتر آسکوربیک اسید ۰/۵ میلی مولار با فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی مولار و پراکسید هیدروژن ۲ میلی مولار در آب مقطر، بافر مربوطه را ساخته، سپس با افزودن عصاره‌ی پروتئینی و گذشت یک دقیقه، میزان جذب به مدت ۱۸۰ ثانیه و به فواصل زمانی ۳۰ ثانیه در طول موج ۲۹۰ نانومتر سنجش و ثبت شد (Nakano and Asada, 1981).

آنالیز آماری

آزمون به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با حداقل سه تکرار (پنج تکرار برای آزمون مقاومت و سه تکرار برای آزمون بیوشیمیایی) از هریک از نمونه‌های سالم و آلوده‌ی ارقام نیک، نیمروز و زرجو انجام گرفت. آزمون دو بار تکرار شده و آزمون تجزیه واریانس (آنوا) داده‌های حاصله به وسیله‌ی آزمون توکی ($P \leq 0.05$) مقایسه شد. داده‌ها به صورت میانگین دو آزمون ارائه شدند. به منظور انجام آنالیزها، نرم افزار IBM SPSS Statistics 26 مورد استفاده قرار گرفت. تمامی نمودارها با استفاده از Excel 2016 رسم شدند.

نتایج و بحث

نتایج فاکتورهای رشدی گیاه

نتایج تغییرات فاکتورهای رشدی اندام هوایی در حضور

نماتد *M. incognita*

از لحاظ میانگین طول اندام هوایی، به ترتیب نمونه‌های آلوده‌ی نیک، نیمروز و زرجو نسبت به نمونه‌های سالم متناظر به میزان ۱/۲-، ۱/۸- و ۱۲- سانتی متر کاهش پیدا کردند. از نظر میانگین طول اندام هوایی گیاهان آلوده زرجو با نیک در سطح ۰/۰۵ اختلاف معنی‌دار نشان داده‌اند. در بین ارقام نیک، نیمروز و زرجو، تنها گیاهان آلوده زرجو نسبت به گیاهان سالم همان رقم اختلاف معنی‌داری داشتند. از نظر میانگین وزن تر، گیاهان آلوده ارقام نیک، از نظر میانگین وزن تر اندام هوایی گیاهان سالم ارقام نیک، نیمروز و تیمار به ترتیب نسبت به نمونه‌های آلوده به نماتد به میزان ۰/۱۵، ۰/۱۴ و ۰/۵۷ گرم کاهش پیدا کردند. به عبارت دیگر، نمونه‌های سالم ارقام نیک، نیمروز و زرجو به ترتیب ۱/۹۳، ۱/۸۲ و ۵/۷۵ برابر نمونه‌های آلوده متناظر تعیین شدند. در این مورد به غیر از وجود اختلاف معنی‌داری (در سطح ۰/۰۱) بین نمونه‌های سالم و آلوده‌ی هر رقم، بین نمونه‌های آلوده‌ی ارقام با یکدیگر اختلاف معنی‌دار مشاهده نگردید. از نظر میانگین وزن خشک اندام هوایی، گیاهان سالم ارقام نیک، نیمروز و زرجو نسبت به

1- Bovine Serum Albumin

2- Nitro Blue Tetrazolium

نمونه‌های سالم متناظر به ترتیب ۰/۰۳۸، ۰/۰۱۵ و ۰/۰۰۵ گرم کاهش نشان دادند. گیاهان آلوده رقم نیک با نیمروز و زرجو در سطح ۰/۰۵ اختلاف معنی‌دار داشته اما بین گیاهان آلوده دو رقم نیمروز و زرجو هیچ اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در این میان، بین نمونه‌های سالم و آلوده هر سه رقم در سطح ۰/۰۵ اختلاف معنی‌دار وجود داشت.

نتایج تغییرات فاکتورهای رشدی ریشه در حضور نماتد *M. incognita*

میانگین طول ریشه ارقام سالم نیک، نیمروز و زرجو نسبت به نمونه‌های آلوده کاهش ۸/۴، ۷/۶ و ۰/۴ سانتی‌متری نشان داد. گیاهان آلوده نیک و زرجو در سطح ۰/۰۱ اختلاف معنی‌دار نشان دادند. گیاهان آلوده نیمروز و زرجو نیز در سطح ۰/۰۵ اختلاف معنی‌دار نشان دادند. گیاهان آلوده نیک و زرجو در سطح ۰/۰۱ اختلاف معنی‌دار نشان دادند. از نظر طول ریشه بین نمونه‌های سالم و آلوده هر سه رقم در سطح ۰/۰۵ اختلاف معنی‌داری مشاهده گردید. از نظر میانگین وزن تر ریشه، نمونه‌های آلوده افزایش وزن نشان داده و نمونه‌های ارقام نیک، نیمروز و زرجو در حضور نماتد به ترتیب ۰/۰۱۱، ۰/۰۲۱ و ۰/۰۳۹ سانتی‌متر افزایش طول نشان دادند. گیاهان آلوده نیک با گیاهان آلوده نیمروز و زرجو اختلاف معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ نشان داد. از این نظر اختلاف معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ بین نمونه‌های سالم و آلوده نیک وجود نداشت اما بین نمونه‌های سالم و آلوده نیمروز و زرجو در سطح ۰/۰۵ اختلاف معنی‌دار مشاهده گردید. لازم به ذکر است ریشه این ارقام بسیار ظریف و کم وزن تر از ۰/۰۰۱ گرم بوده و جهت جلوگیری از بروز خطا حذف گردید.

نتایج فاکتورهای تولید مثلی نماتد

از نظر میانگین تعداد گال، رقم نیک اختلاف معنی‌دار نسبت به دو رقم نیمروز و زرجو نشان داد ($P \leq 0.05$). این در حالی است بین دو رقم نیمروز و زرجو اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید. بررسی شاخص گال مشخص نمود که دو رقم نسبتاً مقاوم و یک رقم نسبتاً حساس است.

نتایج بررسی فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز،

کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در ارقام نیک، نیمروز و زرجو

در نمونه‌های آلوده رقم نیک، فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز طی روزهای اول و دوم تقریباً روند ثابتی در پیش گرفته، از روز سوم به بعد رو به افزایش گذاشته و در روز چهارم با مقدار ۲/۷۲ واحد میلی گرم بر پروتئین به پیک رسید. بین نقاط زمانی صفر، یک و دو با روزهای سوم تا چهارم پس از مایه‌زنی در این رقم آلوده، اختلاف معنی‌داری (در سطح ۰/۰۵) مشاهده گردید. در نمونه‌های آلوده رقم نیمروز، فعالیت سوپراکسید دیسموتاز با شیبی ملایم افزایش پیدا کرده و با مقدار ۱/۹۱ واحد میلی گرم بر پروتئین به پیک رسید. در این رقم، روز چهارم پس از مایه‌زنی از نظر فعالیت سوپراکسید دیسموتاز اختلاف معنی‌داری با سایر نقاط زمانی داشت.

جدول ۱- میانگین طول، وزن تر و خشک اندام هوایی و طول و وزن تر ریشه در گیاهان جو سالم نسبت به گیاهان آلوده به نماتد *M. incognita* در ارقام نیک، نیمروز و زرجو

Table 1- Mean in aerial part length, fresh and dry weight and root length and fresh weight in non-infected plants to *M. incognita* infected plants in Nik, Nimroz and Zarjow barley cultivars

نمونه Sample	طول اندام هوایی Aerial part length (cm)	وزن تر اندام هوایی Aerial part fresh weight (g)	وزن خشک اندام هوایی Aerial part dry weight (g)	طول ریشه Root length (cm)	وزن تر ریشه Root fresh weight (g)
نیک شاهد (Nik-control)	27.2 ± 0.86	0.31 ± 0.01	0.054 ± 0.002	18 ± 0.83	0.016 ± 0.0007
نیک آلوده (Nik-inoculated)	26 ± 0.07	0.16 ± 0.02	0.016 ± 0.007	9.6 ± 0.87	0.027 ± 0.0007
نیمروز شاهد (Nomrouz-control)	29 ± 1.3	0.31 ± 0.1	0.057 ± 0.002	17.4 ± 0.92	0.014 ± 0.8
نیمروز آلوده (Nimrouz-inoculated)	27.2 ± 1.01	0.17 ± 0.004	0.042 ± 0.003	9.8 ± 0.58	0.035 ± 0.002
زرجو شاهد (Zarjow-control)	42.4 ± 0.92	0.69 ± 0.2	0.097 ± 0.004	14.2 ± 0.58	0.023 ± 0.6
زرجو آلوده (Zarjow-inoculated)	30.4 ± 0.92	0.12 ± 0.002	0.047 ± 0.001	13.8 ± 0.66	0.062 ± 0.009

نتایج به صورت میانگین و با آزمون توکی با خطای ۰/۰۵ بیان شده‌اند.

The results are expressed as mean and compared by Tukey's test at significant difference at 0.05

جدول ۲- میانگین تعداد گال‌های نماتد *M. incognita* در ریشه‌ی ارقام مختلف جو

(نتایج به صورت میانگین و با آزمون توکی با خطای ۰/۰۵ بیان شده‌اند.)

Table 2- The average number of galls of *M. incognita* in the root system of different cultivars
(The results are expressed as mean. Significant at the 0.05 level.)

رقم Cultivar	میانگین تعداد گال ^۱ Gall mean	شاخص گال GI	رتبه‌بندی مقاومت Resistance rating
Nik نیک	*38.4 ± 1.36	4	نسبتاً حساس (moderately susceptible)
Nimrouz نیمروز	12.8 ± 0.96	3	نسبتاً مقاوم (moderately resistant)
Zarjow زرجو	14 ± 1.14	3	نسبتاً مقاوم (moderately resistant)

۱: تعداد گال‌ها در گیاه، شاخص گال (GI) ارقام مختلف جو در برابر تهاجم نماتد *M. incognita*

1: number of galls, gall index (GI) in *M. incognita* inoculated genotypes

در رقم نیک با شدت بیش‌تر و ناگهانی صورت گرفت. فعالیت حداکثری آنزیم کاتالاز در نیک ۲/۲ و ۱/۸ برابر ارقام متناظر نیمروز و زرجو ثبت گردید.

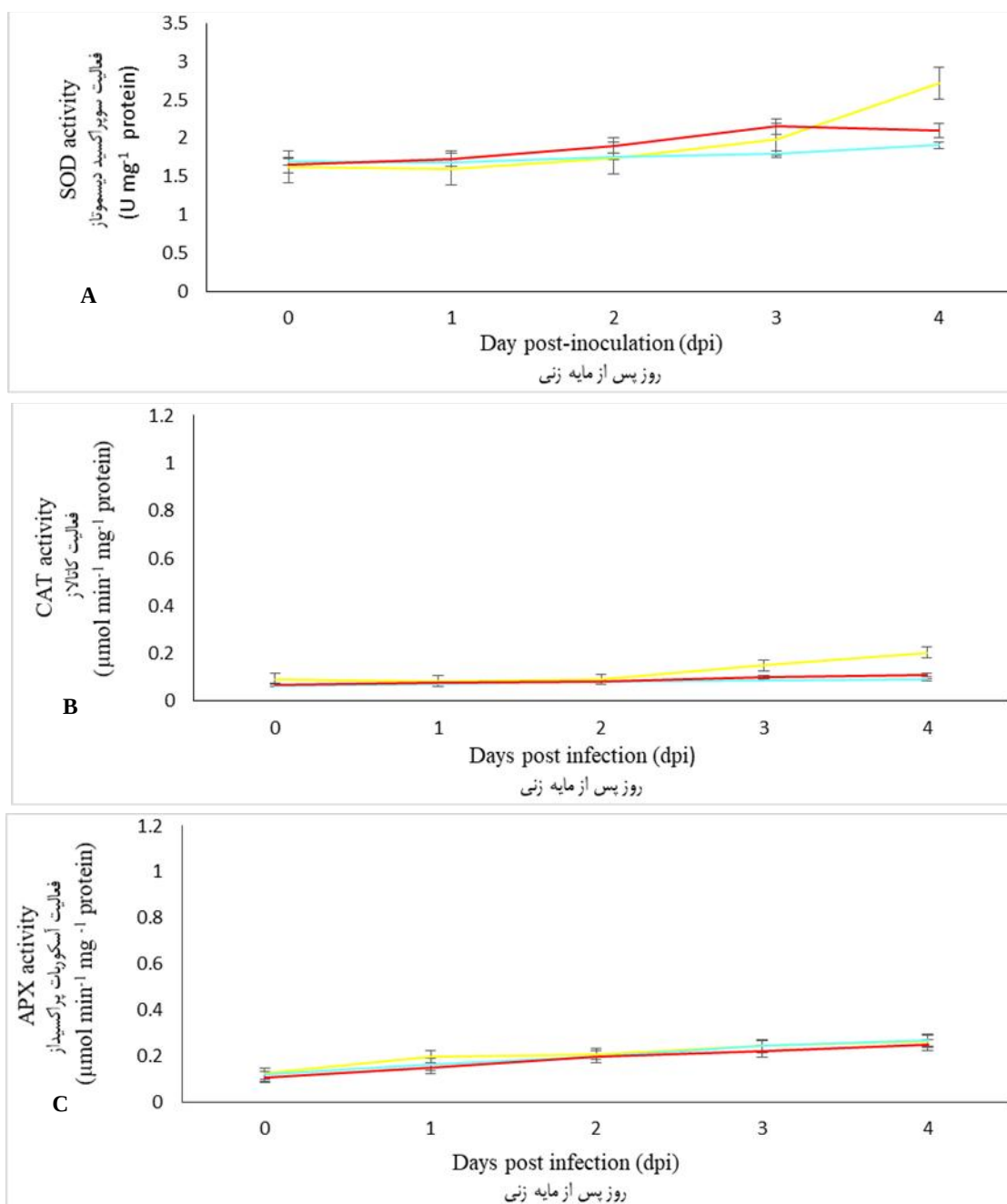
فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در ارقام نیک، نیمروز و زرجو

در رقم نیک، فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز طی روزهای صفر تا دو نوساناتی داشته، به دنبال آن روند صعودی در پیش گرفته و با مقدار ۰/۲۶ میکرومول بر دقیقه میلی گرم پروتئین در روز چهارم حداکثر فعالیت آن به ثبت رسید. به جهت افزایش ناگهانی فعالیت آنزیم پس از روز صفر، اختلاف معنی‌داری بین نقطه صفر با سایر نقاط زمانی یافت شد. به دنبال آن آنزیم علی‌رغم نوساناتی در روز دوم، روند صعودی داشت. به دلیل شیب بسیار تند و صعودی آنزیم بین تمام نقاط زمانی اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ مشاهده گردید. در گیاهان آلوده نیمروز، آنزیم آسکوربات پراکسیداز با شیبی تند روند صعودی داشته و با مقدار ۰/۲۷ میکرومول بر دقیقه میلی گرم پروتئین بیش‌ترین فعالیت آنزیم مربوطه در این رقم تعیین گردید. در این مورد نیز هر چند شیب آسکوربات پراکسیداز اندکی ملایم‌تر از نمونه‌های نیک بود، اما بین تمام نقاط زمانی اختلاف معنی‌داری وجود داشت. در نمونه‌های آلوده‌ی رقم زرجو نیز، روند فعالیت آنزیم افزایشی بوده و در مقدار ۰/۲۴ میکرومول بر دقیقه میلی گرم پروتئین به پیک رسید. فعالیت آنزیم فوق در سه رقم نیک، نیمروز و زرجو روند افزایشی داشت. حداکثر فعالیت این آنزیم در رقم نیمروز ثبت گردید که به ترتیب ۱/۰۳ و ۱/۱ برابر ارقام نیک و زرجو تعیین گردید.

در رقم زرجو برخلاف رقم نیک و نیمروز، فعالیت سوپراکسید دیسموتاز در روز سوم با مقدار ۲/۱۵ واحد میلی گرم بر پروتئین به اوج رسید و به دنبال آن در روز چهارم پس از مایه‌زنی کاهش نشان داده اما کماکان در سطح بالا قرار داشت. به غیر از نقاط زمانی صفر و یک، در سایر موارد اختلاف معنی‌دار مشاهده گردید. نتایج فوق نشان می‌دهد، به دنبال تهاجم نماتد میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در ارقام نیک، نیمروز و زرجو افزایش نشان داده، هر چند در مورد رقم زرجو در روز سوم و در مورد دو رقم دیگر پیک فعالیت آنزیم اندکی متفاوت بود. حداکثر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در رقم نیک ۱/۴۲ برابر فعالیت بیشینه در رقم نیمروز و ۱/۲۵ برابر در رقم زرجو تعیین گردید.

فعالیت آنزیم کاتالاز در ارقام نیک، نیمروز و زرجو

در گیاهان آلوده‌ی نیک، فعالیت آنزیم کاتالاز در ابتدا تقریباً یکنواخت بوده اما طی شیبی تند از روز دوم افزایش یافته و در روز چهارم با مقدار ۰/۲۰۴ میکرومول بر دقیقه میلی گرم پروتئین به پیک رسید. بیش‌ترین اختلاف معنی‌داری بین روز چهارم با روزهای صفر، یک و دو در سطح ۰/۰۱ و روز چهارم با روز سوم در سطح ۰/۰۵ تعیین گردید. فعالیت کاتالاز در رقم آلوده نیمروز با شیبی ملایم زیاد شده و در روز چهارم با مقدار ۰/۰۹ میکرومول بر دقیقه میلی گرم پروتئین به نقطه پیک رسید. با این حال در گیاهان آلوده‌ی این رقم، اختلاف معنی‌داری بین هیچ یک از روزها یافت نشد. در گیاهان آلوده‌ی زرجو نیز هر چند طی روزهای صفر، یک و دو، نوساناتی وجود داشت اما در دو روز آخر (روزهای سوم و چهارم) بر میزان فعالیت آنزیم افزوده و در روز چهارم با مقدار ۰/۱۱ میکرومول بر دقیقه میلی گرم پروتئین، به بیش‌ترین میزان رسید. طی روند افزایشی کاتالاز در رقم نامبرده، به جز در نقاط زمانی یک و دو، در سایر موارد با اختلاف معنی‌داری بر میزان فعالیت آنزیم افزوده شد. به طور کلی، به مرور زمان بر فعالیت آنزیم در سه رقم افزوده شد. هر چند که این تغییرات



شکل ۱- میزان تغییرات آنزیم‌های A. سوپراکسید دیسموتاز، B. کاتالاز و C. آسکوربات پراکسیداز در روزهای صفر، یک، دو، سه و چهار روز نمونه‌های سالم و آلوده ارقام مختلف نیک (رنگ زرد)، نیمروز (آبی) و زرجو (قرمز) در حضور نماتد ریشه‌گرهی نژاد ۲ *Meloidogyne incognita* Figure 1- A. superoxide dismutase (SOD), B. catalase (CAT), and C. ascorbate peroxidase activity in 0, 1, 2, 3, and 4 days post inoculation with root-knot nematode *Meloidogyne incognita* race 2 in Nik (yellow), Nimrouz (blue), and Zarjow (red)

ریشه اما افزایش وزن تر آن می‌گردد. مشخصه‌ی بارز القای بیماری زایی در نماتدهای ریشه‌گرهی تشکیل سلول‌های غذایی ویژه به نام

طی این پژوهش مشخص گردید که حضور نماتد *M. incognita* موجب کاهش رشد طول، وزن تر و خشک اندام هوایی، کاهش طول

سلول‌های غول آسا می‌باشد که این مهم نیازمند به کنترل درآوردن بیان ژن‌های میزبان و دستکاری هورمون‌های گیاهی است. بدیهی است که هنگام تهاجم نماتد ریشه گرهی و تشکیل سلول غول آسا، به دلیل اختلال در انتقال آب و مواد غذایی گیاه تضعیف شده و فاکتورهای رشدی میزبان به ویژه در اندام هوایی کاهش پیدا می‌کنند. با این حال به دلیل اختلال هورمونی و ایجاد گره، وزن ریشه افزایش می‌یابد (Hussain et al., 2014). برخی از هورمون‌ها نظیر اکسین برای القا سلول غول آسا ضروری بوده و برخی دیگر مانند سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید با فعال کردن سیستم دفاعی گیاه، علیه نماتدهای مهاجم نقش دارند. نماتدها به کمک فاکتورهایشان (پروتئین‌های بیماری‌زایی) هورمون رشدی اکسین را که در شاخ و برگ تولید می‌شود به طرف ریشه هدایت می‌کنند و با نگه داشتن آن، سلول غول آسا را تشکیل می‌دهند. سپس به کمک سیتوکینین گیاه، چرخه‌ی سلولی میزبان را به کنترل درآورده و حوضچه‌ی غذایی تشکیل می‌دهند. افزایش وزن ریشه را می‌توان به تجمع اکسین جهت تشکیل سلول غول آسا نسبت داد (Gheysen and Mitchum, 2019). تاکنون پژوهش‌های فراوانی در زمینه‌ی بررسی مقاومت گیاهان مختلف علیه نماتدهای انگل گیاهی و عمدتاً بر پایه‌ی خصوصیات نماتدها طراحی شده‌اند. طی بررسی‌های پیشین، محصولات مختلف گرامینه به عنوان حساس، نیمه حساس، متحمل، مقاوم و ایمن تعیین شده‌اند (De Brida et al., 2020; Yao et al., 2020; Karajeh, 2011; 2017). سه رقم نیک، نیمروز و زرجو طی بررسی بیوشیمیایی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز روند افزایشی با شیب زیاد یا کم نشان دادند. این سه آنزیم در هماهنگی با هم فعالیت کرده و با میزان کردن گونه‌های فعال اکسین، به تنش‌ها پاسخ مناسب می‌دهند. به این صورت که سوپراکسید دیسموتاز، آنیون سوپراکسید را به پراکسید هیدروژن تجزیه می‌کند که یکی از فرم‌های ابتدایی گونه‌های فعال اکسین است و سایر گونه‌های دیگر از آن مشتق می‌شوند (Shi et al., 2018). کاتالاز به دلیل قابلیت پخش شدن در غشا نقش مهمی در دفاع علیه بیمارگرها دارد (Bowler et al., 1992). این آنزیم می‌تواند با سرعت، اختصاصیت بالا و بدون مصرف انرژی سلولی پراکسید هیدروژن را به آب و اکسیژن کاهش دهد (Schatzman and Scandalios, 2005; Culotta, 2018). از سوی دیگر، آسکوربات پراکسیداز نیز قابلیت تجزیه‌ی پراکسید هیدروژن را داشته و نسبت به کاتالاز تمایل بسیار بالاتری نسبت به پراکسید هیدروژن دارند (Sharma et al., 2012). میزان فعالیت هر یک از آنزیم‌ها با تاثیر بر غلظت گونه‌های فعال اکسین، نوع واکنش گیاه به بیمارگر را مشخص می‌کند. پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهند که در ریشه‌ی گیاهان حساس به نماتد ریشه گرهی بر میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز افزوده شده، در حالی که در گیاهان مقاوم بر

غلظت سوپراکسید افزوده و فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز نیز کمتر شده است (Bowler et al., 1992; Du et al., 2021). به نظر می‌رسد فعالیت کمتر آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به گونه‌های وابسته به اکسیژن اجازه می‌دهد تا سلول‌های گیاهی را از طریق فرایندهایی مانند پراکسیداسیون لیپید از بین برده و منجر به بروز واکنش فوق حساسیت شود (Bowler et al., 2005). در حالی که در گیاهان حساس فعالیت بالای سوپراکسید دیسموتاز در گیاه موجب تجزیه اکسی رادیکال‌ها می‌شود در نتیجه هیچ مرگ موضعی در سلول‌ها اتفاق نمی‌افتد (Bowler et al., 1992). احتمالاً در گیاه حساس به منظور سیگنال دهی جهت مقابله با تنش، میزان فعالیت این آنزیم بیش‌تر می‌شود (Bowler Zacheo and Bleve-Zacheo, 1988; Korayem et al., 2012; Oliveira et al., 2012). به دنبال سوپراکسید دیسموتاز، آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز فعالیت خود را آغاز می‌کنند. گزارشات ضد و نقیضی در مورد نقش کاتالاز در واکنش سازگاری (بیماری) و ناسازگاری (مقاومت) وجود دارد. برخی پژوهشگران عنوان کرده‌اند که به دنبال تهاجم نماتد، فعالیت آنزیم کاتالاز در گیاه مقاوم رو به کاهش نهاده (Oliveira et al., 2012; Molinari et Mhamadi et al., 2010; al., 2014) و برخی دیگر نیز معتقدند رو به افزایش می‌گذارد (Korayem et al., 2014; Labudda et al., 2020). اولیویرا و همکاران (Oliveira et al., 2012) طی ارزیابی بیوشیمیایی دو رقم بسیار مقاوم و اندک مقاوم (مقاومت بر اساس توده‌ی تخم) گیاه لوبیا چشم بلبلی به نماتد ریشه گرهی *M. incognita*، افزایش سوپراکسید دیسموتاز و کاهش کاتالاز در رقم مقاوم را به دلیل تجمع پراکسید هیدروژن عنوان کردند. دو و همکاران نیز معتقدند پاسخ مقاومت موجب افزایش سوپراکسید دیسموتاز و مهار فعالیت کاتالاز می‌شود تا گونه‌های فعال اکسین توسعه پیدا کنند (Du et al., 2021). در مورد آنزیم آسکوربات پراکسیداز نیز مشخص شده میزان فعالیت آن در گیاهان مقاوم بیش‌تر از گیاهان حساس است (Simonetti et al., 2010) و در برخی موارد نیز گزارشی مبنی بر کاهش فعالیت آسکوربات پراکسیداز در نمونه‌های آلوده نسبت به نمونه‌های سالم وجود دارد. لابودا و همکاران (Labudda et al., 2020)، در بررسی واکنش بیوشیمیایی گیاه جو علیه نماتد *Heterodera filipjevi* گزارش کردند که آنیون سوپراکسید و آسکوربات پراکسیداز کاهش پیدا کرده اما پراکسید هیدروژن و کاتالاز افزایش یافتند. در این پژوهش همانند بررسی کورایم و همکاران (Korayem et al., 2012) افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز صورت گرفته که احتمالاً به دلیل برهمکنش حساسیت، در نتیجه عدم بروز نکروز و مرگ برنامه ریزی شده‌ی سلولی و جهت تحمل به تنش (تهاجم نماتد) صورت گرفته است. گیاه

حالی است که بیمارگرهای نکروتروف در بافت‌های آلوده گونه‌های فعال اکسیژن القا می‌کنند تا موجب مرگ سلولی بافت گیاهی شوند و راحت‌تر بتواند آلودگی ایجاد کند، از این رو اگر گیاه به بیمارگر نکروتروف مقاوم باشد از بروز مرگ سلولی جلوگیری می‌کند (Torres et al., 2006; Lightfoot et al., 2017).

نتیجه‌گیری

درک برهمکنش نماتد-گیاه از جمله اهداف کلیدی نماتد شناسی گیاهی است که تحقق این امر منجر به بهینه‌تر شدن مدیریت نماتدهای انگل گیاهی می‌شود. تنها در صورت روشن شدن مکانیسم بیماری‌زایی یا مقاومت در ارقام حساس یا مقاوم می‌توان به این مهم جامه‌ی عمل پوشاند. بدیهی است اولین گام در این راستا شناسایی ارقام مقاوم/حساس در گیاهان مهم اقتصادی می‌باشد. لذا طی این پژوهش به ارزیابی مقاومت ارقام مختلف گیاه اقتصادی جو طی برهمکنش به نژاد ۲ نماتد *M. incognita* پرداخته شد. مشخص گردید این نماتد توانایی ایجاد بیماری‌زایی در ارقام جو را داشته و بر بیش‌تر فاکتورهای رشدی گیاه به ویژه در اندام‌های هوایی مانند طول، وزن تر و خشک اندام هوایی تاثیر منفی گذاشته، با این حال احتمالاً به جهت تشکیل سلول‌های غول آسا موجب افزایش وزن ریشه‌ی گیاه میزبان گردید. نماتد در رقم نیک به خوبی گال‌های ریز را در سیستم ریشه تشکیل داد. از سوی دیگر، تهاجم نماتد موجب افزایش بیان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز گردید. بررسی بیماری‌زایی نماتد در جو نیازمند پژوهش‌های بیش‌تر به ویژه در زمینه‌ی ترانسکریپتوم و توالی‌یابی RNA نمونه‌های سالم و آلوده (ترجیحاً از گیاهان مقاوم و حساس سالم و آلوده) می‌باشد تا به خوبی روشن شود چه ژن‌هایی در مقاومت یا بیماری‌زایی نقش دارند و در مرحله بعد، به کمک مهندسی ژنتیک معکوس به ویژه خاموشی ژن (RNA interference) و ویرایش ژن (CRISPR/Cas9) عملکرد ژن‌ها در برهمکنش مشخص گردد.

بسیار هوشمند بوده، نوع بیمارگر (انگل اجباری یا نکروتروف) را تشخیص داده و علیه هر کدام مسیرها و هورمون‌های دفاعی خاصی را فعال می‌کند (Jones and Dangle, 2006). گیاهان واکنش‌های بیوشیمیایی متفاوتی را علیه بیمارگرهای انگل اجباری و نکروتروف القا می‌کنند. در صورتی که بیمارگر انگل اجباری (مانند نماتد ریشه گری) گیاه را آلوده کند، چنانچه نماتد ویروولانت (دارای قدرت بیماری‌زایی بالا) نباشد، گیاه تنها لایه مقاومت پایه (یا دفاع مبتنی بر بیمارگر، PTI)^۱ را فعال می‌کند که علیه تمام تنش‌های زیستی (نکروتروف یا انگل اجباری) و غیر زیستی به صورت یکسان عمل می‌کند. اگر گیاه دارای ژن مقاومت باشد و نماتد نیز ویروولانت باشد، میزبان فاکتورهای بیمارگر را شناسایی کرده و نوعی لایه‌ی دفاعی اختصاصی به نام پاسخ دهی دفاعی به نام ایمنی مرتبط با فاکتور (ETI)^۲ را القا می‌کند. در هر دو لایه‌ی دفاعی، کلسیم خارج سلولی به سیئوپلاسم وارد شده که همین منجر به فعال شدن مسیرهای سیگنال دهی، تولید گونه‌های فعال اکسیژن، نیتریک اکسید (NO) و جریانات آبشاری پس از ترجمه‌ی MAPK^۳، برنامه ریزی مجدد رونویسی^۴ و تولید ترکیبات ضد میکروبی می‌شود. چنانچه واکنش ناسازگاری^۵ بین نماتد ویروولانت و گیاه مقاوم رخ دهد، کینازهای پروتئینی فعال شونده توسط میتوزن (MAPK)^۶ و سالیسیلیک اسید بیش‌تری تولید می‌شود. غلظت ROS بالاتر رفته و با انفجار اکسیداتیو^۷، واکنش فوق حساسیت، مرگ برنامه ریزی شده‌ی سلولی همراه است. در مواردی نیز، مقاومت اکتسابی سیستمیک (SAR)^۸ فعال می‌گردد. ETI تنها علیه بیمارگرهای بیوتروف (نه نکروتروف) که نیازمند سلول زنده‌ی میزبان هستند، موثر است (Jones and Dangle, 2006). در واکنش ناسازگاری بین نماتد ویروولانت و گیاه مقاوم، میزبان، گونه‌های فعال اکسیژن بیش‌تری تولید می‌کند تا با القای انفجارهای اکسیداتیو و مرگ سلول‌های اطراف بیمارگر مانع از رشد و پیشروی بیش‌تر نماتد شود. لازمه‌ی این امر تولید کم‌تر آنزیم‌های آنتی اکسیدانی یا فعالیت کم‌تر آن‌هاست تا گونه‌های فعال اکسیژن افزایش یابند. اگر واکنش سازگاری بین نماتد و گیاه رخ دهد، گیاه از القای پاسخ بهینه ناتوان می‌ماند و تلاش می‌کند با افزایش نسبی آنزیم‌های آنتی اکسیدانی، حضور بیمارگر را تحمل کند. این در

- 1- Pathogen Triggered Immunity
- 2- Effector Triggered Immunity
- 3- Post-translational MAPK cascade
- 4- Transcriptional reprogramming
- 5- Incompatible interaction
- 6- Mitogen Associated Protein Kinase
- 7- Oxidative burst
- 8- Systemic Acquire Resistance

1. Barbary, A., Djian-Caporalino, C., Palloix, A., & Castagnone-Sereno, P. (2015). Host genetic resistance to root-knot nematodes, *Meloidogyne* spp., in solanaceae: from genes to the field. *Pest Management Science* 71: 1591–1598. <https://doi.org/10.1002/ps.4091>.
2. Beers, R.F., & Sizer, I.W. (1952). A spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase. *The Journal of Biological Chemistry* 195: 133–140.
3. Bowler, C., Montagu, M.V., & Inze, D. (1992). Superoxide dismutase and stress tolerance. *Physiology and Molecular Biology of Plants* 43: 83–116.
4. Bowler, C., Montagu, M.V., & Inze, D. (2005). Superoxide dismutase and abiotic stress tolerance. *Physiology and Molecular Biology of Plants* 11(2): 187–198.
5. Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry* 72: 248–254.
6. De Brida, A.L., Da Silva Correia, E.C.S., De Castro, E., Castro, B.M., Cola Zancunio, J., & Wilcken, S.R.S. (2017). Oat, wheat, and sorghum genotype reactions to *Meloidogyne incognita* and *Meloidogyne javanica*. *Journal of Nematology* 49(4): 386–389. <https://doi.org/10.21307/jofnem-2017-086>.
7. Dong, W., Holbrook, C.C., Timper, P., Brenneman, T.B., & Mullinix, B.G. (2007). Comparison of methods for assessing resistance to *Meloidogyne arenaria* in peanut. *Journal of Nematology* 39: 169–175.
8. Du, C., Shen, F., Li, Y., Zhao, Z., Xu, X., Jiang, J., & Li, J. (2021). Effects of salicylic acid, jasmonic acid and reactive oxygen species on the resistance of *Solanum peruvianum* to *Meloidogyne incognita*. *Scientia Horticulturae* 275. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109649>.
9. Elling, A.A. (2013). Major emerging problems with minor *Meloidogyne* species. *Phytopathology* 103: 1902–1102. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-01-13-0019-RVW>.
10. Gheysen, G., & Mitchum, M.G. (2019). Phytoparasitic nematode control of plant hormone pathways. *Plant Physiology* 179. <https://doi.org/10.1104/pp.18.01067>.
11. Hussain, M.A., Mukhtar, T., & Kayani, M.Z. (2014). Characterization of susceptibility and resistance responses to root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) infection in okra germplasm. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences* 51: 309–314. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.12.024>.
12. Hussey, R.S., & Barker, K.R. (1973). A comparison of methods of collecting inocula of *Meloidogyne* spp. including a new technique. *Plant Disease Reports* 57: 1025–1028.
13. Jones, J.D., & Dangl, J.L. (2006). The plant immune system. *Nature* 444(7117): 323–329. <https://doi.org/10.1038/nature05286>.
14. Kar, M., & Mishra, D. (1976). Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. *Plant Physiology* 57(2): 315–319.
15. Karajeh, M.R. (2011). Response of wheat, barley and oat cultivars and accessions to *Meloidogyne javanica*. *Nematologia Mediterranea* 39: 85–89.
16. Korayem, A.M., El-Bassioun, H.M.S., El-Monem, A.A.A., & Mohamed, M.M.M. (2012). Physiological and biochemical changes in different sugar beet genotypes infected with root-knot nematode. *Acta Physiologiae Plantarum* 34(5):1847–1861. <https://doi.org/10.1007/s11738-012-0983-1>.
17. Labudda, M., Tokarz, K., Tokarz, B., Muszynska, E., Gietler, M., Gorecka, M., Rozanska, E., Rybarczyk-Plonska, A., Fidler, J., Prabucka, B., Dababat, A.A., & Lewandowski, M. (2020). Reactive oxygen species metabolism and photosynthetic performance in leaves of *Hordeum vulgare* plants co-infested with *Heterodera filipjevi* and *Aceria tosichella*. *Plant Cell Reports* 39(12): 1719–1741. <https://doi.org/10.1007/s00299-020-02600-5>.
18. Langridge, P. (2017). *Economic and academic importance of barley*. Stein N., and Muehlbauer F. J. (2018). Springer International Publishing AG, part of Springer Nature. pp. 1–8. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-92528-8_1.
19. Lightfoot, D.J., Mcgrann, G.R.D., & Able, A.J. (2017). The role of a cytosolic superoxide dismutase in barley–pathogen interactions. *Molecular Plant Pathology* 18(3): 323–335. <https://doi.org/10.1111/mpp.12399>.
20. Mhamdi, A., Queval, G., Chaouch, S., Vanderauwera, S., Van Breusegem, F., & Noctor, G. (2010). Catalase function in plants: a focus on Arabidopsis mutants as stress-mimic models. *Journal of Experimental Botany* 61(15): 4197–4220. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq282>.
21. Molinari, S. (2011). Natural genetic and induced plant resistance, as a control strategy to plant-parasitic nematodes alternative to pesticides. *Plant Cell Reports* 30(3): 311–323.
22. Molinari, S., Fanelli, E., & Leonetti, P. (2014). Expression of tomato salicylic acid (SA)-responsive pathogenesis-related genes in Mi-1-mediated and SA-induced resistance to root-knot nematodes. *Molecular Plant Pathology* 15(3): 255–264. <https://doi.org/10.1111/mpp.12085>.
23. Nakano, Y., & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology* 22: 867–888.

24. Oliveira, J.T.A., Andrade, N.C., Martins-Miranda, A.S., Soares, A.A., Gondim, D.M.F., Araujo-Filho, J.H., Freire-Filho, F.R., & Vasconcelos, I.M. (2012). Differential expression of antioxidant enzymes and PR-proteins in compatible and incompatible interactions of cowpea (*Vigna unguiculata*) and the root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. *Plant Physiology and Biochemistry* 51: 145–152. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2011.10.008>.
25. Patric, P.J., Simon, R.W., Ivan, G.G., & Martin, C. (2013). *Chemical control of nematodes*. Plant nematology. Perry R., and Moens M. (2013). CAB International. pp. 459-479.
26. Quesenberry, K.H., Baltensperger, D.D., Dunn, R.A., Wilcox, C.J., & Hardy, S.R. (1989). Selection for tolerance to root-knot nematodes in red clover to evaluate. *Crop Science* 65: 62–65.
27. Roland, N.P., & Maurice, M. (2015). *Introduction to plant-parasitic nematodes; modes of parasitism. Genomics and molecular genetics of plant-nematode interactions*. Jones J., Gheysen G., and Fenoll C. Springer Science+Business Media B.V. pp. 1-17. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0434-3_1.
28. Rao, M.S.S., Bhagsari, A.S., & Mohamad, A.I. (2002). Fresh green seed yield and seed nutritional traits of vegetable soybean genotypes. *Crop Science* 42: 1950–1958. <https://doi.org/10.2135/cropsci2002.1950>.
29. Scandalios, J.G. (2005). Oxidative stress: molecular perception and transduction of signals. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* 38(7): 995–1014. <https://doi.org/10.1590/s0100-879x2005000700003>.
30. Schatzman, S.S., & Culotta, V.C. (2018). Chemical warfare at the microorganismal level: a closer look at the superoxide dismutase enzymes of pathogens. *ACS Infectious Diseases* 4: 893–903. <https://doi.org/10.1021/acsinfecdis.8b00026>.
31. Sharma, P., Jha, A.B., Dubey, R.S., & Pessarakli, M. (2012). Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *Journal of Botany* 2012: 1–26. <https://doi.org/10.1155/2012/217037>.
32. Shi, Q., Mao, Z., Zhang, X., Ling, J., Lin, R., Zhang, X., Liu, R., Wang, Y., Yang, Y., Cheng, X., & Xie, B. (2018). The novel secreted *Meloidogyne incognita* effector MiISE6 targets the host nucleus and facilitates parasitism in *Arabidopsis*. *Frontiers in Plant Science* 9: 1–16. <https://doi.org/10.1155/2012/217037>.
33. Simonetti, E., Alba, E., Montes, M.J., Delibes, A., & Lopez-Brana, I. (2010). Analysis of ascorbate peroxidase genes expressed in resistant and susceptible wheat lines infected by the cereal cyst nematode, *Heterodera avenae*. *Plant Cell Reports* 29(10): 1169–1178. <https://doi.org/10.1007/s00299-010-0903-z>.
34. Stenberg, J.A. (2017). A Conceptual framework for integrated pest management. *Trends in Plant Science* 22(9): 759–769. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2017.06.010>.
35. Torres, M.A., Jones, J.D.G., & Dangl, J.L. (2006). Reactive oxygen species signaling in response to pathogens. *Plant Physiology* 141(2): 373–378. <https://doi.org/10.1104/pp.106.079467>.
36. Wang, Y.C., Qu, G.Z., Li, H.Y., Wu, Y.J., Wang, C., Liu, G.F., & Yang, C.P. (2010). Enhanced salt tolerance of transgenic poplar plants expressing a manganese superoxide dismutase from *Tamarix androssowii*. *Molecular Biology Reports* 37: 1119–1124. <https://doi.org/10.1007/s11033-009-9884-9>.
37. Wikes, J.E., & Kirkpatrick, T.L. (2020). The effects of *Meloidogyne incognita* and *Heterodera glycines* on the yield and quality of edamame (*Glycine max* L.) in Arkansas. *Journal of Nematology* 52:1-15.
38. Yao, S., Huang, Y., & Yang, J-in. (2020). The Screening of Resistance against *Meloidogyne graminicola* in Oats. *Agriculture* 352: 1-10.
39. Zacheo, G., & Bleve-Zacheo, T. (1988). Involvement of superoxide dismutases and superoxide radicals in the susceptibility and resistance of tomato plants to *Meloidogyne incognita* attack. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 32(2): 313–322.
40. Zadoks, J.C., & Board, E. (1999). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14: 415-421.



Cloning and Phylogenetic Analysis of Iranian Isolates of *Narcissus Latent Virus* Based on Sequence of 3' Region of Genome

Z. Moradi¹, M. Mehrvar^{2*}

Received: 21-08-2022

Revised: 10-10-2022

Accepted: 12-10-2022

Available Online: 30-01-2023

How to cite this article:

Moradi, Z., & Mehrvar, M. (2023). Cloning and Phylogenetic Analysis of Iranian Isolates of *Narcissus Latent Virus* Based on Sequence of 3' Region of Genome. *Journal of Iranian Plant Protection Research* 36(4): 413-422. (In Persian with English abstract)

DOI: [10.22067/jpp.2022.78357.1101](https://doi.org/10.22067/jpp.2022.78357.1101)

Introduction

Iris spp. is reported to be affected by several viruses in the family *Potyviridae* including iris mild mosaic virus (IMMV), iris severe mosaic virus (ISMV), iris fulva mosaic virus, bean yellow mosaic virus (BYMV), turnip mosaic virus (TuMV), ornithogalum mosaic virus (OrMV), narcissus latent virus (NLV), butterfly flower mosaic virus (BFMV), and gladiolus mosaic virus (tentative name). *Narcissus latent virus* (NLV) is a member of the genus *Macluravirus* in the family *Potyviridae*. It has non-enveloped flexuous filamentous virions of 657 nm long and 13 nm wide, which encapsidate a single-stranded, positive-sense RNA molecule of approximately 8,000 nt long. NLV is distributed widely throughout the major planting areas of Japan, New Zealand, and European countries. It is one of the most common viruses infecting narcissus, iris, gladiolus, and nerine, causing significant yield losses and quality deterioration in their bulbs and flowers. Due to the presence of asymptomatic infection of NLV in iris and narcissus, the relevance of its infection in host plants may be severely underrated. As Khorasan Razavi province is one of the major producing areas of ornamental plants in Iran, identification of this virus is a concern. In this study, we attempted to identify NLV infecting iris plants and compare Iranian NLV isolates with other sequences from different geographical regions to provide the first detailed information of phylogenetic characterization of this virus in Iran.

Materials and Methods

Iris leaf samples showing virus-like symptoms of leaf chlorosis and mosaic were collected from field-grown plants in Khorasan Razavi province. Total RNA was extracted from the field samples using Promega SV Total RNA Isolation Kit (USA). Reverse-transcription polymerase chain reaction (RT-PCR) was performed using specific primer pair CPU-F (5'-CATTACACCCGACCTGGAAC-3') and CPU-R (5'-CCATTTTCAGGGCATTGGAGGA-3'), which were designed to amplify a 1066 bp fragment of the 3'-region of NLV genome (encompassing partial NIB (25 nt), complete CP (894 nt), and partial 3'UTR (147 nt)). PCR products and DNA ladder were separated by agarose gel electrophoresis, visualized using DNA Green viewer staining, and photographed with ultraviolet-illumination. Amplified fragments of the expected size were purified, cloned into pTG19-T vector and bi-directionally sequenced. Obtained sequences were phylogenetically compared with the corresponding isolates available in the GenBank after multiple alignments. The phylogenetic tree was constructed based on the nucleotide sequences of the CP-UTR using the neighbor-joining method by MEGA11.

Results and Discussion

Amplification product (1066 bp) was obtained from five infected samples, but not from healthy samples. The

1- Assistant Professor, Department of Plant Pathology, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

2- Associate Professor, Department of Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

(*- Corresponding Author Email: mehrvar@um.ac.ir)

most typical symptoms in positive samples were mosaic, and interveinal chlorosis. Three selected PCR positive samples were cloned into the pTG19-T vector and sequenced. BLASTn analysis of the sequenced data revealed that the PCR-amplified fragments belonged to NLV. Three selected isolates which are referred to as IR, IR2, and IR3 were deposited in GenBank. The previously identified and conserved amino acid sequence motifs described in CP of macluraviruses were present in Iranian CP sequences. The phylogenetic tree placed the NLV sequences into two distinct phylogroups I and II; the Iranian isolates clustered together with isolates from Poland, New Zealand, and United Kingdom into group II. Phylogenetic analysis showed that Iranian isolates shared 77.47 to 98.12% nucleotide sequence identity and 77.70-99.34% amino acid sequence identity with other isolates of NLV. Also, identity of these three isolates in the nucleotide and amino acid levels ranged between 97 to 97.84% and 97.38 to 99.02%, with each other, respectively. Iranian isolates showed the highest nucleotide sequence identity with NLV5_1 isolate (JX270766) from Poland (between 97.65 to 98.12 %) and the lowest with NLV3 isolate (JX270762) from Poland (between 77.47 to 77.95 %).

Conclusion

NLV is a major constraint to iris and narcissus production worldwide. The phylogenetic analysis showed a low correlation between genetic and geographic distances which further emphasizing the importance of the exchange and use of virus-free propagating organs in preventing the dissemination of this virus. It seems that contaminated vegetative organs from some European countries (e.g. Netherlands), which are the major producer and the largest exporters of flowers and ornamentals in the world, can play a significant role in the worldwide distribution of the virus. Identification and the use of more isolates are recommended for a better understanding of the genetic structure and variation of NLV populations on a large geographical scale. The data obtained in this study will be beneficial to improve control strategies for this virus in Iran.

Keywords: Cloning, CP-UTR, Iran, *Narcissus latent virus*, Phylogenetic analysis

همسانه‌سازی و بررسی تبارزایی جدایه‌های ایرانی *narcissus latent virus* براساس ترادف نوکلئوتیدی ناحیه ۳' ژنوم

زهره مرادی^۱ - محسن مهرور^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۰

چکیده

ویروس نهفته نرگس (*narcissus latent virus*, NLV) یکی از بیمارگرهای بسیار مهم و خسارت‌زای ارقام تجاری گیاه نرگس و زنبق در سراسر جهان می‌باشد. به منظور شناسایی این ویروس، گیاهان زنبق با علائم مشکوک ویروسی از شمال شرق کشور جمع‌آوری و ناحیه ۳' ژنوم آنها با استفاده از آغازگرهای اختصاصی با روش رونویسی معکوس و واکنش زنجیره‌ای پلی‌مراز (RT-PCR) تکثیر و همسانه‌سازی شد. ناحیه CP-UTR این جدایه‌ها (سه جدایه) به همراه تعدادی از ترادف‌های جدایه‌های موجود در بانک ژن (۲۴ جدایه) مقایسه و پس از انجام هم‌ردیف‌سازی چندگانه، مورد تجزیه و تحلیل فیلوژنتیکی قرار گرفتند. جدایه‌های مورد مقایسه در درخت فیلوژنتیکی در دو گروه جداگانه قرار گرفتند (I و II) و جدایه‌های ایرانی در کنار جدایه‌هایی از لهستان، نیوزیلند، و بریتانیا در گروه II قرار گرفتند. مقایسه درصد مشابهت ژنتیکی نشان داد که جدایه‌های ایرانی با سایر جدایه‌های NLV بین ۷۷/۴۷ تا ۹۸/۱۲ درصد در سطح نوکلئوتیدی مشابهت دارند که به ترتیب بیشترین میزان شباهت (بین ۹۷/۶۵ تا ۹۸/۱۲ درصد) با جدایه NLV5_1 (JX270766) از لهستان و کمترین (بین ۷۷/۴۷ تا ۷۷/۹۵ درصد) با جدایه NLV3 (JX270762) از لهستان بود. همچنین تشابه توالی نوکلئوتیدی و آمینواسیدی سه جدایه ایرانی با یکدیگر به ترتیب ۹۷-۹۷/۸۴ و ۹۷/۳۸-۹۹/۰۲ درصد تعیین گردید. میزان تنوع نوکلئوتیدی ناحیه-CP-UTR بین جدایه‌های NLV، ۰/۱۳۰ به دست آمد که نشان دهنده تنوع ژنتیکی بالای این ویروس در این ناحیه از ژنوم است. نتایج پژوهش حاضر می‌تواند در برنامه‌های به‌نژادی مولکولی برای تولید ارقام مقاوم به ویروس مفید بوده و خسارت ناشی از بیماری را کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی: آنالیز تبارزایی، ناحیه CP-UTR، ویروس نهفته نرگس، همسانه‌سازی، ایران

مقدمه

گونه‌های زنبق (*Iris* sp.) دارای توزیع جهانی هستند و به طور گسترده‌ای در سراسر دنیا در شرایط اقلیمی مختلف انتشار دارند. این گیاهان ارزش زینتی و دارویی زیادی دارند و پیکره رویشی و ریشه آنها برای رفع و تسکین بسیاری از بیماری‌ها موثر است (Rahmana et al., 2003). گونه‌های مختلف زنبق میزبان تعداد زیادی از ویروس‌های گیاهی هستند که برخی از آنها دارای اهمیت اقتصادی بوده و تعدادی دارای اهمیت بالقوه هستند. تاکنون چندین ویروس آلوده کننده گونه‌های زنبق از نقاط مختلف جهان گزارش شده است، از جمله: *iris severe mosaic virus*، *iris mild mosaic virus*، *turnip bean yellow mosaic virus*، *iris fulva mosaic virus*، *narcissus ornithogalum mosaic virus*، *mosaic virus gladiolus* و *butterfly flower mosaic virus latent virus*.

بیش از ۳۰۰ نوع زنبق وحشی در دنیا وجود دارد که از این تعداد حدود ۲۰ گونه و زیرگونه آن در ایران گزارش شده‌اند (Attari et al., 2016). *Iris* بزرگترین جنس از خانواده Iridaceae دارای بیش از ۲۶۰ گونه و زیرگونه علفی چندساله است (Naseri et al., 2022).

۱- استادیار گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۲- دانشیار گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

(*) - نویسنده مسئول (Email: mehrvar@um.ac.ir)

mosaic virus (Brunt, 1977; Kulshrestha et al., 2006a; Barnett and Alper, 1993; Van der Vlugt et al., 2006b; Inouye and Hammond et al., 1985; Barnett, 1991; 1977; Wylie et al., 2007; Wei et al., 2006; Mitsuhata, 1978; Asjes, 2019; Chen et al., 2008; Derks et al., 1985; 1979). *Narcissus latent virus* (NLV) متعلق به جنس *Macluravirus* از خانواده *Potyviridae* است. پیکره این ویروس رشته‌ای شکل، انعطاف‌پذیر، فاقد غشا و دارای طول ۶۵۷ و عرض ۱۳ نانومتر می‌باشد. ژنوم آن از یک مولکول اسید ریبونوکلیک تک‌رشته مثبت به طول تقریبی ۸۰۰۰ نوکلئوتید تشکیل شده است که در انتهای ۳' دارای polyA و در انتهای ۵' دارای vpg می‌باشد (King et al., 2012). NLV یکی از مهمترین ویروس‌های ارقام تجاری گیاه نرگس در سراسر جهان می‌باشد (Clark and Brunt, 1977; Guy, 2000) که باعث کاهش عملکرد قابل توجه و پایین آمدن کیفیت پیازها و گل‌های این گیاه می‌شود (Jin et al., 2017; Ohshima et al., 2016; Wylie and Jones, 2012). همچنین این ویروس بطور پراکنده در سایر گیاهان پیازدار مثل زنبق، گلابیول (*Gladiolus communis* L.) و نرین (*L. Nerine sarniensis*) نیز آلودگی ایجاد می‌کند (Derks et al., 1985; Wei Brunt, 1977; et al., 2007). ویروس مذکور از طریق مکانیکی و همچنین توسط چندین گونه شته از جمله *Acyrtosiphon pisum* و *Myzus persicae* با رابطه ناپایا منتقل می‌گردد (Brunt, 1977). NLV در آلودگی منفرد سبب ایجاد کلروز خفیف برگ یا کلروز موقت در نوک برگ ارقام حساس می‌شود، و در گیاهان نرگسی که به طور طبیعی آلوده شده‌اند، معمولاً باعث عفونت جزئی یا حتی بدون ایجاد نشانه خاصی خواهد شد. این گمان وجود دارد که این ویروس در آلودگی مخلوط با دیگر ویروسها، سبب تشدید علائم آنها می‌شود (Derks et al., 1985; Brunt, 1977). NLV برای اولین بار در سال ۱۹۶۶ از روی گیاهان نرگس در بریتانیا ردیابی و توصیف شد (Brunt and Atkey, 1967). پس از آن برانت در سال ۱۹۷۷ به توصیف برخی از میزبان‌های این ویروس پرداخت و ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیکوشیمیایی جدایه‌هایی از نرگس و پیاز زنبق آلوده را تعیین نمود (Brunt, 1977). برنیک و همکاران بخشی از ژنوم این ویروس را براساس تکنیک one-step RT-PCR تعیین نمودند (Berniak et al., 2013). گائو و همکاران در سال ۲۰۱۸ برای اولین بار ژنوم کامل این ویروس را از روی گیاه نرگس در هلند گزارش نمودند (Gao et al., 2018). این ویروس به طور وسیعی در سراسر مناطق اصلی کشت در کشورهای اروپایی، ژاپن، و نیوزیلند گسترش دارد (Berniak et al., 2013; Ohshima et al., 2016; Wei et al., 2007). اخیراً NLV در ایران برای اولین بار از روی گیاه زنبق در استان خراسان رضوی که یکی از مناطق عمده کشت و

تولید گیاهان زینتی در کشور می‌باشد، گزارش گردید (Moradi and Mehrvar, 2022). با در نظر داشتن حضور این ویروس در ایران و با فرض اینکه خصوصیات مولکولی جدایه‌های مختلف NLV متفاوت می‌باشد، شناخت جدایه‌ها و نژادهای این ویروس و بررسی تنوع ژنتیکی واریانتهای مختلف آن می‌تواند راهگشای درک تکامل و توسعه بیمارگر و در نتیجه ارائه راهکار موثر برای کنترل آن‌ها باشد. برای تشخیص و تعیین سویه‌های بسیاری از اعضای پوتیویریده، اغلب پژوهشگران دنیا از آنالیز ترادف نوکلئوتیدی ناحیه ۳' ژنوم، یعنی CP-UTR استفاده کرده‌اند (Moradi et Adams et al., 2005; al., 2017a; Farahbakhsh et al., 2013). آنالیزهای فیلوژنی جنس‌های خانواده پوتیویریده نشان داد که استفاده از توالی ناحیه 3'-UTR و پروتئین پوششی برای شناسایی گونه‌ها و استرین‌ها بسیار مناسب است (Berger et al., 1997). از آنجایی که تاکنون تحقیقات بسیار محدودی بر روی این ویروس انجام گرفته، لذا هدف از انجام پژوهش حاضر بررسی خصوصیات تبارزایی جدایه‌های ایرانی با استفاده از آنالیز مولکولی ناحیه CP-UTR و مقایسه آنها با سایر جدایه‌های دنیا و همچنین ارتباط احتمالی موجود بین تنوع ژنتیکی و مناطق جغرافیایی در جهت ارایه راه کارهای مناسب مدیریتی است.

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه‌های آلوده و استخراج RNA

نمونه‌برداری از بافت برگ گیاهان زنبق (*Iris versicolor* L.) مشکوک به آلودگی ویروسی از گلخانه‌ها و مناطق کاشت این گیاه براساس علائم بیان شده برای ویروس مذکور (از جمله موزاییک و رنگ پریدگی) انجام گردید. استخراج اسید ریبونوکلیک کل از بافت گیاهی آلوده با استفاده از کیت SV Total RNA Isolation System (Promega, USA) مطابق دستورالعمل شرکت سازنده انجام شد. تعیین غلظت و کیفیت RNA استخراجی با استفاده از بررسی نسبت جذب‌های نوری ۲۶۰ و ۲۸۰ نانومتر (A260/280) با استفاده از نانودراپ و نیز از طریق بارگذاری نمونه‌ها روی ژل آگارز یک درصد در الکتروفورز انجام گردید.

طراحی آغازگرهای اختصاصی و انجام واکنش زنجیره‌ای

پلیمرز با نسخه‌برداری معکوس (Reverse transcription-

polymerase chain reaction, RT-PCR)

طراحی آغازگرها با استفاده از نرم‌افزار Oligo 7 انجام و به کمک Primer-BLAST قابل دسترس از NCBI اختصاصیت آنها تایید گردید. آغازگرهای طراحی شده مستقیم CPU-F (5'-CATTACACCCGACCTGGAAC-3' و معکوس CPU-R (5'-CCATTTCAGGGCATTGGAGGA-3') قطعه ای به

نوترکیب با استفاده از Plasmid DNA isolation Kit (DENAzist, Iran) مطابق دستورالعمل شرکت استخراج شد. غلظت پلاسمید استخراج شده‌ی حاوی قطعه مورد نظر با استفاده از دستگاه نانودراپ اندازه‌گیری گردید. مقدار ۲۰ میکرولیتر پلاسمید با غلظت ۱۰۰ نانوگرم در میکرولیتر، جهت تعیین توالی با استفاده از آغازگرهای عمومی M13 به شرکت ماکروژن (کره جنوبی) ارسال گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

در ابتدا با شناسایی توالی مربوط به پلاسمید و هم‌ردیف‌سازی آن با توالی‌های به دست آمده، ناحیه مربوط به پلاسمید حذف و توالی‌ها خالص‌سازی شدند. سپس با برنامه BLASTn موجود در پایگاه اطلاعاتی NCBI صحت توالی‌ها، مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین هم‌ردیف‌سازی چندتایی توالی‌ها با یکدیگر و نیز با سایر جدایه‌های ثبت شده در بانک ژن، با استفاده از الگوریتم Muscle موجود در نرم‌افزار MEGA11 انجام شد. در این آنالیز، توالی ویروس نهفته آریشو (KF155694؛ Artichoke latent virus) به عنوان Outgroup بکار گرفته شد. ماتریس درصد شباهت بین جدایه‌های NLV با استفاده از نرم‌افزار Sequence Demarcation Tool (SDT) v. 1.2 ترسیم شد. به منظور بررسی امکان وقوع نوترکیبی از نرم‌افزار RDP استفاده گردید. فاصله ژنتیکی (Genetic distance) و تنوع نوکلئوتیدی (Nucleotide diversity, π) بین ترادف‌ها و گروه‌های فیلوژنتیک با مدل Kimura 2-parameter در نرم‌افزار MEGA11 محاسبه گردید. همچنین نسبت جانشینی نامترادف (Nonsynonymous substitution) بر جانشینی مترادف (Synonymous substitution) در آمینواسیدها، که تخمین مناسبی از فشار انتخاب (Selective pressure) در سطح پروتئین به دست می‌دهد با استفاده از همان نرم‌افزار تعیین گردید. درخت تبارزایی به روش Neighbor joining به وسیله برنامه MEGA11 و بر اساس ۱۰۰۰ تکرار (bootstrap) ترسیم گردید (Tamura et al., 2021). همچنین برای بررسی توالی‌های آمینواسیدی، توالی‌های نوکلئوتیدی به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار MEGA11 به توالی‌های آمینواسیدی تبدیل شد و سپس با استفاده از ابزار جستجوی Pfam در سایت EMBL-EBI نواحی حفاظت شده آمینواسیدی برای هر کدام از توالی‌ها جستجو شد.

نتایج و بحث

اندازه‌گیری طیف جذبی نمونه‌ها با نانودراپ نشان داد که RNA کل استخراج شده دارای غلظت مناسبی بین ۱۷۰ الی ۲۰۰ نانوگرم بر میکرولیتر بوده و نسبت جذب ۲۶۰ به ۲۸۰ نانومتر در آنها بین ۱/۹۵ الی ۲/۱۴ می‌باشد. واکنش RT-PCR با استفاده از آغازگرهای

طول ۱۰۶۶ جفت باز را که شامل ناحیه 3'-UTR، طول کامل ژن کدکننده پروتئین پوششی (CP)، بعلاوه بخشی از انتهای ۳' ژن N1b می‌باشد را تکثیر می‌کنند. برای ساخت رشته مکمل (cdNA)، سه میکرولیتر از آر. آن. ای. کل استخراج شده با دو میکرولیتر از آغازگر اختصاصی معکوس (CPU-R) و هشت میکرولیتر آب دیونیزه استریل مخلوط و میکروتیوب در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت پنج دقیقه قرار داده شد. سپس دو میکرولیتر مخلوط dNTPs (۱۰ میلی‌مولار)، چهار میکرولیتر بافر ۵X واکنش و یک میکرولیتر آنزیم نسخه‌بردار معکوس (MMuLV Reverse Transcriptase) (پارس‌توس، ایران) به مخلوط اضافه گردیده (حجم نهایی ۲۰ میکرولیتر) و میکروتیوب به مدت ۶۰ دقیقه در دمای ۴۷ °C ترموسایکلر قرار داده شد.

واکنش زنجیره‌ای پلی‌مرز با استفاده از آغازگرهای طراحی شده CPU-F و CPU-R و مخلوط آماده PCR (Taq DNA Polymerase Master Mix Red-Ampliqon) انجام شد. برای انجام این آزمون، سه میکرولیتر از cdNA ساخته شده به عنوان الگو، یک میکرولیتر از هر یک از آغازگرهای مستقیم و معکوس (هریک به غلظت ۱۰ پیکومول) و ۱۲/۵ میکرولیتر از مخلوط آماده Master PCR Mix Red با هم ترکیب شدند، در نهایت به وسیله آب مقطر استریل حجم نهایی به ۲۵ میکرولیتر رسید. چرخه دمایی واکنش زنجیره‌ای پلیمرز شامل یک چرخه در دمای ۹۴°C به مدت سه دقیقه و ۳۵ چرخه شامل دمای ۹۴°C به مدت ۳۰ ثانیه، ۵۵°C به مدت ۳۰ ثانیه و ۷۲°C به مدت ۹۰ ثانیه و در نهایت یک چرخه در دمای ۷۲°C به مدت هفت دقیقه با استفاده از ترموسایکلر انجام گردید. محصول PCR در ژل آگارز یک درصد حاوی دو میکرولیتر از Green viewer (سیناکلون، ایران)، الکتروفورز و در نهایت در دستگاه ژل داکيومنت (Syngene GeneFlash, UK) عکس‌برداری شد.

همسانه‌سازی و توالی‌یابی قطعات تکثیر شده

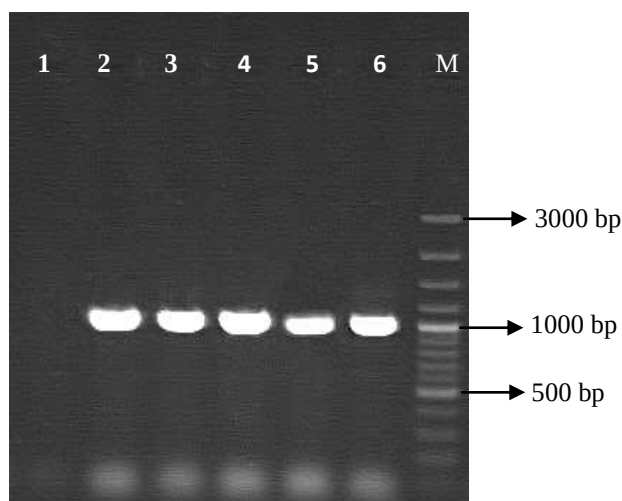
باند‌های تکثیر شده در واکنش زنجیره‌ای پلی‌مرز، قبل از همسانه‌سازی به درون ناقل، با استفاده از کیت Gel Extraction kit (DENAzist, Iran) مطابق دستورالعمل شرکت سازنده از ژل آگارز خالص‌سازی شدند. همسانه‌سازی با استفاده از pTG19-T PCR Cloning Vector (Vivantis, Malaysia) مطابق دستورالعمل شرکت سازنده در ناقل پلاسمیدی pTG19-T و استرین DH5α *Escherichia coli* به وسیله شوک حرارتی انجام شد.

پس از عمل انتقال، دو نوع پرگنه سفید و آبی رنگ بر روی محیط کشت تشکیل گردید. به منظور تشخیص و تایید همسانه‌های حاوی پلاسمید نوترکیب (پرگنه‌های سفید) واکنش Colony PCR با استفاده از آغازگرهای M13 انجام گرفت. دی. آن. ای پلاسمیدهای

دیگری بر صحت توالی‌های به دست آمده بود. قطعات تعیین ترادف شده شامل قسمتی از نیمه ۳' ژن Nib (۲۵ نوکلئوتید)، کل ژن CP (۸۹۴ نوکلئوتید)، و ناحیه ترجمه نشدنی ۳' (3'-UTR) (۱۴۷ نوکلئوتید) بود. ترادف نوکلئوتیدی ۱۰۶۶ جفت‌بازی سه جدایه NLV به نام‌های IR، IR2 و IR3 در بانک ژن با شماره‌های دسترسی OP056418، OM304330 و OP056419 ثبت شد.

اختصاصی، منجر به تکثیر قطعه‌ای به طول ۱۰۶۶ جفت‌باز در پنج نمونه آلوده شد در حالیکه در نمونه گیاه سالم هیچ باندی مشاهده نشد (شکل ۱).

نتایج حاصل از جستجو با ابزار BLAST در پایگاه داده‌های NCBI برای توالی‌های به دست آمده، صحت توالی‌های مذکور را نشان داد و تاییدکننده آلودگی گیاهان زنبق به ویروس نهفته نرگس بود. همچنین حضور موتیف‌های حفاظت شده در این توالی‌ها تایید



شکل ۱- الکتروفورز محصول RT-PCR (قطعه تکثیر شده ۱۰۶۶ جفت باز) در ژل آگارز یک درصد با جفت آغازگر اختصاصی (CPU-F/CPU-R) مربوط به جدایه‌های مختلف NLV (راهک‌های ۲ تا ۶)، راهک ۱: کنترل منفی با گیاه سالم، ستون M نشانگر DNA (۱۰۰bp) Figure 1- 1% agarose gel electrophoresis of RT-PCR products of NLV amplification using specific primers (CPU-F/CPU-R). Lane 1: healthy iris plant (negative control); Lane 2-6: NLV infected samples from Khorasan Razavi; M: 100bp DNA marker

مکان برش یافت می‌شوند (یعنی در موقعیت دو تا پنج توالی آمینواسیدی CP)، بنابراین احتمالاً بخشی از موتیف هپتاپپتیدی ذکر شده را تشکیل نمی‌دهند؛ همانطور که بگی و همکاران (Badge et al., 1997) به این موضوع اشاره نمودند.

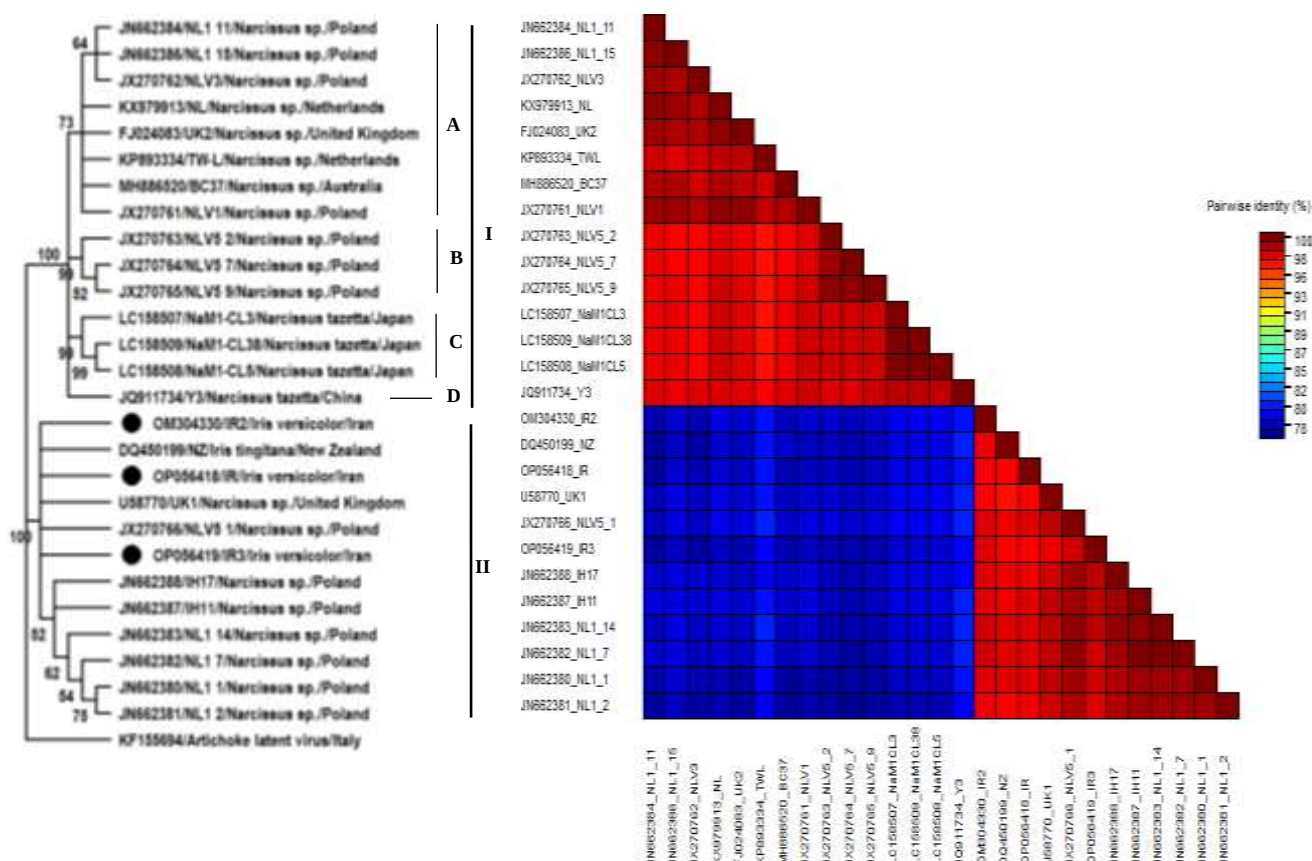
مطالعات گذشته نشان داده که یک جهش از DAG به DAE در پوتی ویروس‌هایی مثل Tobacco vein mottling virus یا Maclura mosaic virus باعث از دست رفتن قابلیت انتقال ویروس توسط ناقل شده؛ همچنین تبدیل DAG به DVG باعث کاهش چشمگیر عملکرد انتقال گردید (Aterya et al., 1990; 1995; Badge et al., 1997). تحقیقات دیگر نشان داد که چندین پوتی ویروسی که توسط شته‌ها منتقل می‌شوند حاوی موتیف DAG نیستند (Nigam et al., 2019; Wylie et al., 2002). از سوی دیگر، همه پوتی ویروس‌های دارای این موتیف الزاماً توسط شته قابل انتقال نیستند و تغییرات خاصی در DAG توسط ویروس تحمل می‌شود (Lopez-Moya et al., 1999; Johansen et al., 1996; Ateka et al., 2017; Flasiński and Cassidy, 1998). از اینرو قابلیت انتقال با شته در جدایه‌های NLV نیاز به بررسی آزمایشگاهی

کدون خاتمه چهارچوب خوانش (ORF) پلی پروتئین ویروس در انتهای ژن CP در سه جدایه ایرانی و نیز اکثر جدایه‌های مورد بررسی TGA و در تعدادی TAA بود. سایت برشی احتمالی CP با Nib، در جدایه‌های ایرانی و نیز اکثر جدایه‌های مورد بررسی TPDLELQ/M و در برخی TPSLELQ/M بود. پروتئین پوششی ویروس از ۲۹۷ آمینواسید تشکیل شده و موتیف‌های GTSP، WCANNGTSSE، QSKAAA، AFDY هستند در ترادف‌های به دست آمده از ژن CP جدایه‌های NLV مشاهده شدند (Moradi et al., 2017b). موتیف تری پپتیدی حفاظت شده DAG که در انتقال با شته دخالت دارد (Aterya et al., 1995) در جدایه‌های NLV وجود نداشت. به طور معمول موتیف DAG در یک بلوک هپتاپپتیدی در یا نزدیک انتهای آمینی (N-terminus) پروتئین پوششی پوتی ویروس‌های قابل انتقال با شته یافت می‌شود (Aterya et al., 1990). با این حال در جدایه‌های مورد بررسی NLV، دو موتیف شبیه به DAG یعنی DVG و DVE مستقیماً بعد از محل برش CP با Nib یافت شدند. با توجه به اینکه در تمام جدایه‌های NLV این دو تری پپتید مستقیماً پس از

دارد.

جدایه‌هایی از کشورهای اروپایی، شرق آسیا و استرالیا می‌باشد، به زیرگروه‌هایی تقسیم شده است. زیرگروه IA شامل جدایه‌هایی از لهستان، هلند، بریتانیا و استرالیا می‌باشد. زیرگروه‌های IB و IC به ترتیب شامل جدایه‌هایی از لهستان و ژاپن می‌باشند. همچنین یک جدایه از چین در زیرگروه ID قرار می‌گیرد. مشابهت نوکلئوتیدی در درون جدایه‌های گروه I بین ۹۶/۶۲٪ تا ۱۰۰ درصد و در درون جدایه‌های گروه II بین ۹۷ تا ۹۹/۹ درصد بود. میزان مشابهت نوکلئوتیدی بین این دو گروه ۷۷ تا ۷۹٪ محاسبه گردید.

هیچ نو ترکیبی مشخصی در بررسی ناحیه CP-UTR جدایه‌های ایرانی NLV در مقایسه با سایر جدایه‌های دنیا تشخیص داده نشد. رابطه تبارزایی جدایه‌های ویروس نهفته نرگس براساس تترادف نوکلئوتیدی ناحیه CP-UTR در شکل ۲ مشاهده می‌شود. مطالعات تبارزایی نشان داد که ۲۷ جدایه این ویروس در دو گروه اصلی جدا از هم (I, II) قرار گرفته و جدایه‌های ایران در کنار جدایه‌های نیوزیلند، بریتانیا و لهستان در گروه II قرار می‌گیرند. گروه I که شامل



شکل ۲- درخت تبارزایی که رابطه جدایه‌های ایرانی ویروس NLV را با سایر جدایه‌های دنیا نشان می‌دهد. این دندروگرام براساس تترادف نوکلئوتیدی ناحیه CP-UTR با روش Neighbor-joining در نرم‌افزار MEGA11 ترسیم شده است. اعداد روی شاخه‌ها نمایانگر درصد bootstrapping (براساس ۱۰۰۰ تکرار) هرکدام از آنهاست که گروه‌بندی را تایید می‌کند. مقادیر bootstrap کمتر از ۵۰ درصد فشرده شده‌اند. جدایه‌ها روی درخت براساس نام جدایه (شماره دسترسی، میزبان و کشور منشأ) مشخص شده‌اند. جدایه‌های مورد بررسی در این مطالعه علامت‌دار شده‌اند. ویروس نهفته آرتیشو (KF155694: Artichoke latent virus) به عنوان عضو برون‌گروه (Outgroup) استفاده شده است. در سمت راست پلات رنگی مقایسات دو به دو جدایه‌های NLV به منظور محاسبه درصد تشابه نوکلئوتیدی نشان داده شده است.

Figure 2- Phylogenetic tree illustrating the relationships of Iranian NLV with other NLV sequences deposited in the GenBank. The dendrogram was generated using the neighbor- joining method by MEGA11 from multiple alignment of CP-UTR sequences. The number of each branch indicates the percentage of bootstraps, which supports the grouping. Bootstrap values less than 50 were condensed. Isolates are indicated in the tree by isolate name (accession number, isolate name, host, and geographical origin of collection). Artichoke latent virus was used as an outgroup in this study. Two-dimensional pairwise sequence identity color plot of the NLV isolates was shown at right.

تنوع نوکلئوتیدی و متوسط تعداد تفاوت‌های نوکلئوتیدی (Average number of nucleotide differences) در بین تمامی جدایه‌ها به ترتیب برابر ۰/۱۳۰ و ۹۳/۲۹۶ بود. میانگین فاصله ژنتیکی که میزان تنوع ژنتیکی را مشخص می‌کند برای تمام جدایه‌های NLV برابر با ۰/۱۵ محاسبه گردید. میزان فاصله ژنتیکی بین دو گروه (۰/۲۶۷) بطور قابل توجهی بیشتر از میزان فاصله ژنتیکی درون هریک از گروه‌ها (۰/۰۲) بود، که تاییدی بر صحت گروه‌بندی تبارزایی است. مقایسه هم‌ردیف‌سازی چندگانه توالی نوکلئوتیدی و آمینواسیدی هر یک از جدایه‌های شناسایی شده در این مطالعه با سایر جدایه‌های موجود در دنیا نشان داد که بین دندروگرام تبارزایی و شباهت نوکلئوتیدی جدایه‌ها همخوانی وجود دارد. در سطح نوکلئوتیدی جدایه‌های ایرانی کمترین شباهت را با جدایه‌های گروه I (بین ۷۷/۴۷٪ تا ۷۹/۸۳٪) و بیشترین شباهت را با جدایه‌های گروه II (بین ۹۷/۲۸٪ تا ۹۸/۱۲٪) داشتند. جدایه NLV3 (JX270762) از لهستان کمترین میزان شباهت (بین ۷۷/۴۷ تا ۷۷/۹۵٪) و جدایه NLV5_1 (JX270766) از لهستان بیشترین میزان شباهت (بین ۹۷/۶۵ تا ۹۸/۱۲٪) را با جدایه‌های ایرانی نشان داد. در سطح آمینواسیدی جدایه‌های ایرانی کمترین شباهت را با جدایه NLV5_7 (JX270764) از لهستان (بین ۷۷/۷۰٪ تا ۷۸/۳۶٪) و بیشترین شباهت را با جدایه NL1_14 (JN662383) از لهستان (بین ۹۸/۳۶٪ تا ۹۹/۳۴٪) داشتند. همچنین تشابه توالی نوکلئوتیدی و آمینواسیدی سه جدایه ایرانی با یکدیگر به ترتیب بین ۹۷/۸۴-۹۷/۰۲ و ۹۷/۳۸ درصد تعیین گردید. نسبت جانشینی نامترادف (Nonsynonymous substitution) بر جانشینی مترادف (Synonymous substitution) در آمینواسیدها که با علامت ω نشان می‌دهند، تخمین مناسبی از فشار انتخاب در سطح پروتئین به دست می‌دهد (Moradi et al., 2018). در بررسی ناحیه ژنی CP تمام جدایه‌های NLV، جانشینی مترادف ($dS = 0.551$) نسبت به جانشینی نامترادف ($dN = 0.059$) بیشتر بوده و نسبت dN/dS کمتر از یک بود ($dN/dS = 0.107$) که این نشان‌دهنده حفاظت‌شدگی بالای پروتئین CP در سطح آمینواسیدی و نقش موثر انتخاب منفی در تنوع و تکامل این ویروس می‌باشد (Moradi et al., 2018).

در آنالیز تبارزایی و با مقایسه درصد شباهت ژنتیکی مشخص شد که قرابت تبارزایی (همگروه شدن) بعضی از جدایه‌ها از مناطق

منابع

مختلف جهان با یکدیگر انطباقی با قرابت جغرافیایی ندارند. به نظر می‌رسد این موضوع به دلیل تکثیر غیرجنسی زنبق و انتشار ویروس با اندام‌های غیرجنسی گیاه باشد. باتوجه به اینکه زنبق‌ها عمدتاً از اندام‌های تکثیر رویشی مانند پیازها یا ریزوم‌های خزنده که منبع مهمی برای ویروس هستند تکثیر می‌شوند (Van der Vlugt, 1994)، لذا برای جلوگیری از گسترش این ویروس، شناسایی آن در اندام‌های تکثیری گیاه قبل از کاشت ضروری است. در نمونه‌های مورد بررسی در این پژوهش، مطابق تحقیقات ناصری و همکاران (Naseri et al., 2022) حضور پوتی‌ویروس‌هایی مثل ISMV و IMMV که مهمترین و اصلی‌ترین عامل بیماری موزاییک زنبق در دنیا هستند نیز محرز شده بود. بنابراین تعیین آلودگی مخلوط NLV با این پوتی ویروس‌ها، از لحاظ به وجود آمدن هم‌افزایی و خسارت مضاعف توسط این ویروس‌ها در کشاورزی مهم است. از این‌رو پیشنهاد می‌شود مطالعات بیشتری در زمینه شناسایی بیشتر سویه‌ها و استرین‌های ویروس نهفته نرگس و تنوع ژنتیکی آن در یک منطقه و برهمکنش آن‌ها با دیگر ویروس‌ها صورت گیرد. همانطور که اشاره شد NLV در طبیعت توسط شته‌ها بصورت ناپایا نیز منتقل می‌شود، ولی کنترل مستقیم آن با مواد شیمیایی و یا کنترل شته‌های ناقل تاثیر چندانی ندارد، ضمن اینکه در گیاهان دارویی استفاده از سموم شیمیایی علیه ویروس‌ها و ناقلین آن‌ها مورد قبول نیست. از این‌رو کشت ارقام مقاوم و استفاده از اندام‌های تکثیری عاری از ویروس مؤثرترین راه کنترل آنها می‌باشد. با توجه به اینکه وجود این ویروس‌ها در مناطق کشت گیاهان نرگس و زنبق تهدیدی برای این گیاهان از نظر اقتصادی محسوب می‌شود، از این‌رو تشخیص به‌موقع آلودگی، شناسایی این ویروس‌ها در اندام‌های تکثیری و روابط آن‌ها با یکدیگر و اطلاعات مربوط به علائم و خصوصیات عامل بیماری‌زا به پیشگیری از این بیماری کمک می‌کند.

سپاسگزاری

نگارندگان مقاله از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری (کد طرح 01-1401-04) و دانشگاه فردوسی مشهد (کد طرح 48648) بدلیل حمایت از انجام پژوهش حاضر سپاسگزاری می‌کنند.

- Adams, M.J., Antoniow, J.F., & Fauquet C.M. (2005). Molecular criteria for genus and species discrimination within the family Potyviridae. *Archives of Virology* 150: 459–479. <https://doi.org/10.1007/s00705-004-0440-6>.
- Asjes, C.J. (1979). Viruses and virus diseases in Dutch bulbous irises (*Iris hollandica*) in the Netherlands. *Netherlands Journal of Plant Pathology* 85: 269–279.
- Attari, S., Shoor, M., Ghorbanzadeh Neghab, M., Tehranifar, A., & Malekzadeh Shafaroudi, S. (2016). Evaluation

- of genetic diversity of iris genotypes (*Iris* spp.) Using ISSR. *Journal of Horticultural Science* 30(3): 376-382. <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v30i3.28044>.
4. Atreya, C.D., Raccach, B., & Pirone, T.P. (1990). A point mutation in the coat protein abolishes aphid transmission of a potyvirus. *Virology* 178: 161-165. [https://doi.org/10.1016/0042-6822\(90\)90389-9](https://doi.org/10.1016/0042-6822(90)90389-9).
 5. Atreya, P.L., Lopez-Moya, J.J., Chu, M., Atreya, C.D., & Pirone, T.P. (1995). Mutational analysis of the coat protein N-terminal amino acids involved in potyvirus transmission by aphids. *Journal of General Virology* 76: 265-270. <https://doi.org/10.1099/0022-1317-76-2-265>.
 6. Ateka, E., Alicai, T., Ndunguru, J., Tairo, F., Sseruwagi, P., Kiarie, S., Makori, T., Kehoe, M.A., & Boykin, L.M. (2017). Unusual occurrence of a DAG motif in the Ipomovirus Cassava brown streak virus and implications for its vector transmission. *PLoS One* 12: e0187883. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187883>.
 7. Badge, J., Robinson, D.J., Brunt, A.A., & Foster, G.D. (1997). 3'-Terminal sequences of the RNA genomes of narcissus latent and maclura mosaic viruses suggest that they represent a new genus of the *Potyviridae*. *Journal of General Virology* 78: 253-257. <https://doi.org/10.1099/0022-1317-78-1-253>.
 8. Barnett, O.W. (1991). *Iris fulva mosaic virus*, AAB Descriptions of Plant Viruses No. 310. Association of Applied Biologists, Wellesbourne.
 9. Barnett, O.W., & Alper, M. (1977). Characterization of *Iris fulva mosaic virus*. *Phytopathology* 67: 448-454. <https://doi.org/10.1094/Phyto-67-448>.
 10. Berger, P.H., Wyatt, S.D., Shiel, P.J., Silbernagel, M.J., & Druffel, K. (1997). Phylogenetic analysis of the *Potyviridae* with emphasis on legume-infecting potyviruses. *Archives of Virology* 142: 1979±1999. <https://doi.org/10.1007/s007050050216>.
 11. Berniak, H., Komorowska, B., & Sochacki, D. (2013). Detection of Narcissus latent virus isolates using one-step RT-PCR assay. *Journal of Horticultural Research* 21: 11-14. <https://doi.org/10.2478/johr-2013-0002>.
 12. Brunt, A.A., & Atkey, P.T. (1967). *Rapid detection of narcissus yellow stripe and two other filamentous viruses in crude negatively- stained narcissus sap*. Report of the Glasshouse Crops Research Institute for 1966, pp. 155-159.
 13. Brunt, A.A. (1977). Some hosts and properties of narcissus latent virus, a carlavirus commonly infecting narcissus and bulbous iris. *Annals of Applied Biology* 87: 355-364. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1977.tb01900.x>.
 14. Chen, J., Shi, Y.H., Li, M.Y., Adams, M.J., & Chen, J.P. (2008). A new potyvirus from butterfly flower (*Iris japonica* Thunb.) in Zhejiang, China. *Archives of Virology* 153: 567-569. <https://doi.org/10.1007/s00705-007-0014-5>.
 15. Clark, V.R., & Guy, P.L. (2000). Five viruses in *Narcissus* spp. plants from New Zealand. *Australasian Plant Pathology* 29: 227-229. <https://doi.org/10.1071/AP00044>.
 16. Derks, A.F.L.M., Hollinger, T.H.C., & Vink-van den Abeele, J.L. (1985). Identification and symptom expression of four elongated viruses infecting bulbous irises. *Acta Horticulturae* 164: 309-318.
 17. Farahbakhsh, F., Masumi, M., Afsharifar, A.R., Izadpanah, K., & Rahpeyma Sarvestani, N. (2013). Genetic variation of Bermuda grass southern mosaic virus isolates based on sequence of 3' region of genome. *Iranian Journal of Plant Pathology* 49(1): 61-75. (In Persian with English abstract)
 18. Flasiński, S., & Cassidy, B.G. (1998). Potyvirus aphid transmission requires helper component and homologous coat protein for maximal efficiency. *Archives of Virology* 143: 2159±72. <https://doi.org/10.1007/s007050050449>.
 19. Gao, F., Shen, J., Liao, F., Cai, W., Lin, S., Yang, H., & Chen, S. (2018). The first complete genome sequence of narcissus latent virus from *Narcissus*. *Archives of Virology* 163(5): 1383-1386. <https://doi.org/10.1007/s00705-018-3741-x>.
 20. Hammond, J., Derks, A.F.L.M., Barnett, O.W., Lawson, R.H., Brunt, A.A., Inouye, N., & Allen, T.C. (1985). Viruses infecting bulbous iris: a clarification of nomenclature. *ISHS Acta Horticulturae* 164: 395-397.
 21. Inouye, N., & Mitsuhashi, K. (1978). Turnip mosaic virus isolated from *Iris*. *Nogaku Kenkyu* 57: 1-16. (In Japanese with English abstract)
 22. Jin, J., Shen, J.G., Cai, W., Xie, G.H., Liao, F.R., Gao, F.L., Ma, J.F., Chen, X.H., & Wu, Z.J. (2017). Narcissus yellow stripe virus and narcissus mosaic virus detection in *Narcissus* via multiplex TaqMan-based reverse transcription-PCR assay. *Journal of Applied Microbiology* 122: 1299-1309. <https://doi.org/10.1111/jam.13422>.
 23. Johansen, I.E., Keller, K.E., Dougherty, W.G., & Hampton, R.O. (1996). Biological and molecular properties of a pathotype P-1 and a pathotype P-4 isolate of pea seed-borne mosaic virus. *Journal of General Virology* 77: 1329-1333. <https://doi.org/10.1099/0022-1317-77-6-1329>.
 24. King, A.M., Lefkowitz, E., Adams, M.J., & Carstens, E.B. (2012). *Virus Taxonomy, Ninth Report of the International Committee on Taxonomy of Viruses*. Elsevier Academic Press, Amsterdam, pp 1272. ISBN: 978-0-12-384684-6.
 25. Kulshrestha, S., Hallan, V., Raikhy, G., Ram, R., Zaidi, A.A., & Garg, I.D. (2006a). Incidence of *Bean yellow mosaic virus* on *Iris*. *Acta Horticulturae* 722: 235-240. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.722.29>.
 26. Kulshrestha, S., Hallan, V., Raikhy, G., Ram, R., Garg, I.D., Haq, Q.M.R., & Zaidi, A.A. (2006b). Occurrence of iris mild mosaic potyvirus in cultivated iris in India. *Indian Journal of Biotechnology* 5: 94-98.

27. Lopez-Moya, J.J., Wang, R.Y., & Pirone, T.P. (1999). Context of the coat protein DAG motif affects potyvirus transmissibility by aphids. *Journal of General Virology* 80 (Pt 12): 3281±8. <https://doi.org/10.1099/0022-1317-80-12-3281>.
28. Moradi, Z., Mehrvar, M., Nazifi, E., & Zakiaghl, M. (2017a). Identification and molecular analysis of sugarcane mosaic virus (SCMV) in Mazandaran province. *Journal of Iranian Plant Protection Research* 30(4): 639-645. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jpp.v30i4.50484>.
29. Moradi, Z., Mehrvar, M., Nazifi, E., & Zakiaghl, M. (2017b). Iranian johnsongrass mosaic virus: the complete genome sequence, molecular and biological characterization, and comparison of coat protein gene sequences. *Virus Genes* 53: 77-88. <https://doi.org/10.1007/s11262-016-1389-8>.
30. Moradi, Z., Mehrvar, M., & Nazifi, E. (2018). Genetic diversity and biological characterization of sugarcane streak mosaic virus isolates from Iran. *VirusDisease* 29: 316–323. <https://doi.org/10.1007/s13337-018-0461-5>.
31. Moradi, Z., & Mehrvar, M. (2022). First report of Narcissus latent virus infecting iris in Iran. *New Disease Reports* 46(1): e12114. <https://doi.org/10.1002/ndr2.12114>.
32. Naseri, A., Moradi, Z., Mehrvar, M., & Zakiaghl, M. (2022) Genomic characterization and phylogenetic analysis of two potyviruses infecting iris in Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology* 24(5): 1233-1249.
33. Nigam, D., LaTourrette, K., Souza, P.F.N., & Garcia-Ruiz, H. (2019). Genome wide variation in potyviruses. *Frontiers in Plant Science* 10: 1439. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01439>.
34. Ohshima, K., Nomiya, R., Mitoma, S., Honda Y., Yasaka, R., & Tomimura, K. (2016). Evolutionary rates and genetic diversities of mixed potyviruses in Narcissus. *Infection. Genetics and Evolution* 45: 213–223. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2016.08.036>.
35. Rahmana, A., Nasima, S., Baig, I., Jalil, S., Orhan, I., Sener, B., & Choudhary, M.I. (2003). Anti-inflammatory isoflavonoids from the rhizomes of *Iris germanica*. *Journal of Ethnopharmacology* 86: 177-180. [https://doi.org/10.1016/s0378-8741\(03\)00055-2](https://doi.org/10.1016/s0378-8741(03)00055-2).
36. Tamura, K., Stecher, G., & Kumar, S. (2021). MEGA11: Molecular evolutionary genetics analysis version 11. *Molecular Biology and Evolution* 38: 3022–3027. <https://doi.org/10.1093/molbev/msab120>.
37. Van der Vlugt, C.I.M., Derks, A.F.L.M., Boonekamp, P.M., & Goldbach, R.W. (1993). Improved detection of Iris severe mosaic virus in secondarily infected iris bulbs. *Annals of Applied Biology* 122: 279–288. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1993.tb04033.x>.
38. Van der Vlugt, C.I.M. (1994). *Distribution and multiplication of iris severe mosaic potyvirus in bulbous Iris in relation to metabolic activity: implications for ISMV detection*, Ph.D. thesis. Bulb Research Centre Lisse, Dutch Flower Bulb Industry, The Netherlands.
39. Wei, T., Pearson, M.N., & Cohen, D. (2006). First report of ornithogalum mosaic virus and ornithogalum virus 2 in New Zealand. *Plant Pathology* 55: 820. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2006.01375.x>.
40. Wei, T., Pearson, M.N., & Cohen, D. (2007). First report of narcissus latent virus in New Zealand. *Plant Pathology* 56: 720. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2007.01579.x>.
41. Wylie, S.J., Kueh, J., Welsh, B., Smith, L.J., Jones, M.G.K., & Jones, R.A.C. (2002). A non-aphid-transmissible isolate of bean yellow mosaic potyvirus has an altered NAG motif in its coat protein. *Archives of Virology* 147: 1813–1820. <https://doi.org/10.1007/s00705-002-0846-y>.
42. Wylie, S.J., & Jones, M.G.K. (2012). Complete genome sequences of seven carlaviruses and potyvirus isolates from Narcissus and Hippeastrum plants in Australia, and proposals to clarify their naming. *Archives of Virology* 157: 1471–1480. <https://doi.org/10.1007/s00705-012-1319-6>.
43. Wylie, S.J., Tran, T.T., Nguyen, D.Q., Koh, S.H., Chakraborty, A., Xu, W., Jones, M.G.K., & Li, H. (2019). A virome from ornamental flowers in an Australian rural town. *Archives of Virology* 164: 2255–2263. <https://doi.org/10.1007/s00705-019-04317-7>.



Intraspecific Competition and its Relationship with some Biological Factors of *Habrobracon hebetor* against *Heliothis virescens*

T.S. Mahdavi¹, H. Madadi^{2*}

Received: 11-06-2022

Revised: 27-07-2022

Accepted: 24-08-2022

Available Online: 15-02-2023

How to cite this article:Mahdavi, T.S., & Madadi, H. (2023). Intraspecific Competition and its Relationship with some Biological Factors of *Habrobracon hebetor* against *Heliothis virescens*. *Journal of Iranian Plant Protection Research* 36(4): 423-438. (In Persian with English abstract)DOI: [10.22067/jpp.2022.77112.1098](https://doi.org/10.22067/jpp.2022.77112.1098)

Introduction

The competition for limited resources is a common ecological interaction among animals. In most of insect parasitoid communities, different species compete for specific resources both in larval and adult stages. Intraspecific competition play a role in the size, structure, stability of insect communities and even it determines the fitness of species. Moreover, understanding how competition influences on different insect species is essential for basic ecological studies and pest control issues. The outcome of competition between adult parasitoid insects depends on host finding, dispersal abilities, reproductive capacity, ability to fight, and physiological coordination with the host. While the outcome of competition in the larval stage can be influenced by differences in the growth rate of the parasitoid, the stage and physiological state of the attacked host, the order and the time intervals between oviposition and the evolutionary history of the species. Competition among larvae can affect the development of adult parasitoids because the surviving individual or winners might to pay high costs for competency due to quantitative and qualitative changes in host resources.

Materials and Methods

The current study was carried on to determine the effect of intraspecific competition on searching efficiency and oviposition strategy of *Habrobracon hebetor* Say on 4th instar larvae of *Heliothis virescens* (Lep.: Noctuidae) at seven competition and four adult density levels (1, 2, 3 and 4) of parasitoid wasps per the spring chickpea plant (c.v. Bivani). All plants were grown under controlled climate conditions (25 ± 1 °C, and a light period of 16: 8 hours). Then, 10 fourth instar larvae of *H. virescens* per plant were released and allowed to feed and establish prior starting the experiments (about three hours). Then, fertile female wasps with different densities (2, 3 and 4) in separate treatments and a competitor free control treatment (one fertile female wasp per plant) introduced to each microcosm unit and after 24 and 48 hours, the number of parasitized and oviposited larvae on each host plant recorded, but the number of eggs oviposited on each host larvae recorded at the end of 48 hours. All eggs laid at each competitive level were kept separately until the emergence of adults to record sex ratio and mortality rate.

Results and Discussion

The results showed that, the searching efficiency of *H. hebetor* decreased with increasing the level of competition, so that, the highest searching efficiency was recorded after 48 hours, in control treatment and at a

1 and 2- Ph.D. Student and Associate Professor of Agricultural Entomology in Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran, respectively.

(* - Corresponding Author Email: hmadadi@basu.ac.ir)

density of four parasitoid individuals as 0.178 ± 0.002 /hour and the lowest value at the level of 12 *H. hebetor* eggs per host larva and density of two parasitoid females as 0.023 ± 0.004 / hour. As the density levels of parasitoid increased, the searching efficiency was decreased to a density level of three, but then it increased at four individuals per chickpea plant. The interaction effect of density $\times$ competition was not significant, in other words, these two factors independently influenced on searching efficiency of *H. hebetor*. Time had a positive effect on searching efficiency so that, at all levels of competition and at different densities of parasitoid wasp, the difference was statistically significant. With increasing density of *H. hebetor* per plant, at all competition levels, the oviposition rate was increased, which means that the simultaneous presence of several parasitoid individuals does not have any negative effect on oviposition rate. Competition had a negative effect on the oviposition rate of *H. hebetor*, as the highest oviposition rate recorded at one individual and lowest competition level as 14.7 ± 2.1 eggs and the lowest rate occurred at four individuals per host plant and competition level of 12 parasitoid eggs as 6.4 ± 0.05 eggs. At all competition levels, regardless of density, sex ratio was not affected by competition and other factors sounds influential in this regard, however, the difference between the ratio of female to male population at competition levels of one and two was greater than other levels. Moreover, the mortality rate has been increased with increasing competition levels, so that the lowest mortality percentage occurred at the level of one and two and the highest at the competition levels of 10 and 12.

Conclusion

Given the significant differences in searching efficiency and other factors studied, it can be concluded that the number of competing larvae in a host affects the suitability and vigor of adult parasitoid wasps. However, it should be noted, that in some cases, competition does not directly affect searching capability, but instead, by reducing other factors, such as morphological characteristics (body size, ovary size, number and size of eggs, size of hind legs, wing size), and biological characteristics such as oviposition period will influence on the searching abilities of parasitoids indirectly. The study of *H. hebetor* parasitoid wasp foraging behavior showed that at high densities, it avoids competing with other conspecific individuals. Anyway, regarding the prevalence of competition among released natural enemies in greenhouses and fields, the study of this interaction from laboratory to fields is being recommended.

Keywords: Fitness, *Heliothis virescens*, Parasitoid, Searching efficiency

مقاله پژوهشی

جلد ۳۶، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۱، ص. ۴۳۸-۴۲۳

رقابت درون‌گونه‌ای و ارتباط آن با برخی فاکتورهای بیولوژیکی زنبور *Habrobracon hebetor* در کنترل پيله‌خوار نخود

طیبه السادات مهدوی^۱ - حسین مددی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۰۲

چکیده

رقابت نقش مهمی در اندازه، ساختار و پایداری جوامع حشرات دارد و به عنوان یک راهبرد تعیین کننده شایستگی عوامل بیولوژیک به کار می‌رود. در حشرات پارازیتوئید، گونه‌های مختلف می‌توانند در مراحل لاروی و بلوغ بر سر منابع خاص رقابت کنند. درک چگونگی تاثیر رقابت درون و بین گونه ای در پارازیتوئیدها برای مطالعات اساسی اکولوژیکی و در موضوع مهار زیستی آفات ضروری به نظر می‌رسد. پژوهش حاضر به تعیین اثر رقابت روی کارایی جستجویی و راهبرد تخم‌گذاری زنبور پارازیتوئید *Habrobracon hebetor* Say روی لارو سن چهار کرم پيله‌خوار نخود *Heliothis virescens* Hufnagel در هفت سطح رقابتی و نیز چهارسطح از تراکم (۱، ۲، ۳ و ۴) زنبور پارازیتوئید به ازای هر بوته نخود بهاره (رقم بی‌ونج) و در شرایط خُردسامانه یا میکروکاسم پرداخت. نتایج نشان داد که، با افزایش سطح رقابت از میزان کارایی جستجویی زنبور *H. hebetor* کاسته شده، به طوری که، بیشترین مقدار کارایی پس از ۴۸ ساعت در تیمار بدون رقابت و در تراکم ۴ زنبور به ازای هر بوته، 0.178 ± 0.002 بر ساعت و کمترین آن در سطح رقابت ۱۲ و تراکم ۲ زنبور، برابر با 0.023 ± 0.004 بر ساعت، محاسبه شد. با افزایش سطح تراکم زنبور تا سطح تراکم ۳ زنبور به ازای هر بوته، میزان کارایی کاهش یافت، اما، در تراکم ۴، مجدداً کارایی جستجو افزایش یافت. همچنین، اثر متقابل تراکم و رقابت معنی‌دار نبود، به عبارتی روند واکنش جستجویی برای تراکم‌های مختلف در سطوح مختلف رقابتی متفاوت نمی‌باشد و این دو عامل مستقل از یکدیگر اثر خود را روی کارایی جستجویی زنبور *H. hebetor* بروز داده‌اند. زمان اثر مثبت بر کارایی زنبور داشت، به طوری که در تمام سطوح رقابت و در تراکم‌های مختلف اختلاف از لحاظ آماری معنی‌دار شد. با افزایش تراکم زنبور به ازای هر بوته نخود، میزان تخم‌گذاری افزایش یافت و این بدان معنا است که، حضور همزمان چند زنبور پارازیتوئید اثر منفی روی میزان تخم‌گذاری ندارد، در حالی که رقابت اثر منفی بر میزان تخم‌گذاری زنبور ماده داشت، به این صورت که بیشترین میزان تخم‌گذاری در تراکم ۱ زنبور و سطح رقابت ۱ (شاهد) با 14.7 ± 2.1 تخم و کمترین آن در تراکم ۴ زنبور و سطح رقابت ۱۲ با 6.4 ± 0.5 عدد تخم به ازای هر بوته برآورد شد. در تمام سطوح رقابت صرف نظر از میزان تراکم، نسبت جنسی تحت تاثیر رقابت نبود، اما سهم افراد ماده نسبت به کل جمعیت در سطح رقابت ۱ از دیگر سطوح بیشتر بوده است. درصد تلفات با افزایش سطح رقابت افزوده شد، به این صورت که کمترین درصد تلفات در سطح رقابت ۱ و ۲ و بیشترین آن در سطح رقابت ۱۰ و ۱۲ رخ داده است. در نهایت با توجه نتایج این پژوهش، به نظر می‌رسد باید توجه بیشتری به نقش رقابت درون گونه‌ای در هنگام رهاسازی و تولید انبوه زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* برای استفاده در برنامه مدیریت تلفیقی کرم پيله‌خوار نخود داشت.

واژه‌های کلیدی: پارازیتوئید، توانمندی، کارایی جستجویی، *Heliothis virescens*

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دکتری حشره‌شناسی کشاورزی و دانشیار گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

(*) نویسنده مسئول: (Email: hmadadi@basu.ac.ir)

مقدمه

دشمنان طبیعی، شرایط نامساعد آب و هوایی، تغییرات فیزیولوژیک از قبیل کاهش زادآوری و کمبود مواد غذایی را باید از جمله عوامل بازدارنده افزایش نامحدود جمعیت آفات به حساب آورد. به علاوه، باید پذیرفت که در میان عوامل بازدارنده جمعیت، غذا به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع محدود کننده می‌تواند نقش بزرگی را در ایجاد تعادل از نظر تناسب بین تراکم جمعیت حشره و محیط اطراف داشته باشد. به بیان دیگر، عامل غذا می‌تواند در چارچوب رقابت افراد داخل یک گونه و یا بین گونه‌های مختلف به شکل یک عامل کلیدی عمل کند و اصولاً مهم‌ترین عاملی که سبب بروز رقابت می‌شود، غذا است. رقابت نقش مهمی در اندازه، ساختار و پایداری جوامع دشمنان طبیعی دارد و گاهی در حشرات به عنوان یک راه‌کار تعیین توانمندی^۱ به کار می‌رود (Mohseni et al., 2016). رقابت در تعریف، رابطه یا واکنش بین افراد است که بر سر نیاز مشترک به یک منبع با ذخیره محدود رخ می‌دهد و منجر به کاهش زنده‌مانی، رشد و نمو یا تولید مثل افراد رقیب می‌شود (Cusumano et al., 2016). رقابت خود انواع مختلفی دارد، که عبارتند از رقابت درون گونه‌ای و بین گونه‌ای. رقابت درون گونه‌ای عبارت است از رقابت اعضای یک گونه بر سر منابع محدود، در حالی که رقابت بین گونه‌ای، رقابت افراد گونه‌های مختلف بر سر منابع با ذخیره اندک است. در سال‌های اخیر نظریه‌ای که بین اکولوژیست‌ها طرفداران فراوانی پیدا کرده است، بیان می‌کند که در جوامع حشرات، رقابت درون گونه‌ای بدلیل مشابهت نیازمندی‌ها، نقش غالب‌تری نسبت به رقابت بین گونه‌ای دارد، در هر حال برتری نسبی رقابت درون گونه‌ای موضوع پیچیده‌ای است که همچنان مورد بحث است. از آنجا که پارازیتوئیدهای یک گونه از روش مشابهی برای فلج کردن و تغذیه از میزبان استفاده می‌کنند، از این رو رقابت درون گونه‌ای در بیشتر موارد شدیدتر از رقابت بین گونه‌های متفاوت پارازیتوئید خواهد بود (Denno et al., 1995; Harvey et al., 2013).

تمایز میزبان یا توانایی تشخیص میزبان سالم از انگلی شده، یک پدیده رایج در بین زنبورهای پارازیتوئید است و حشرات ماده از طریق عوامل داخلی و خارجی و یا هر دو برای شناسایی میزبان‌ها استفاده می‌کنند، با این حال اگر میزبان‌های غیر انگلی در دسترس نباشد، تخم‌ریزی روی میزبان‌های از قبل انگلی شده می‌تواند نوعی سازگاری و کمک به زنده‌مانی آنها باشد. زنبورهای پارازیتوئید اغلب دامنه میزبانی محدودی دارند و این امر منجر به برهمکنش‌های قوی

تکاملی بین پارازیتوئیدها و میزبان آنها می‌شود. در برهمکنش‌های پارازیتوئید - میزبان، بعضی از میزبان‌ها توسط بیش از یک فرد از زنبورهای ماده متعلق به یک گونه (سوپرپارازیتسم) یا گونه‌های متفاوت (مولتی پارازیتسم) انگلی می‌شوند (Harvey, 2005)، پدیده‌ای که منجر به بروز رقابت در بین مراحل پیش از بلوغ آنها می‌شود (Visser et al., 1992). سوپرپارازیتسم در گذشته با توجه اتلاف عواملی از جمله زمان و تخم به عنوان یک رفتار غیرسازگارکننده شناخته می‌شد اما، در بررسی‌های تکمیلی نشان داده شد که سوپرپارازیتسم می‌تواند در شرایطی از جمله عدم دسترسی به تعداد مناسب میزبان و افزایش خطر مرگ و میر، یک پدیده سازگارکننده و مطلوب محسوب شود، به این دلیل که حشره ماده با تخم‌گذاری در میزبان‌های از قبل انگلی شده، حداقل شانس، برای زنده ماندن نوزادهای خود ایجاد می‌کند. سازگاری این پدیده همچنین از این لحاظ که غلبه بر سیستم دفاعی میزبان را در مقایسه با میزبان‌های سالم تسهیل کرده و همچنین امکان تغذیه‌ی اضافی ناشی از خوردن سایر لاروهای رقیب را فراهم می‌کند حائز اهمیت است (Goubault et al., 2003). سازگار بودن سوپرپارازیتسم بیشتر از این نظر قوت می‌گیرد که این پدیده حتی در گونه‌های پارازیتوئیدی که قادر به تفکیک میزبان‌های سالم از انگلی شده می‌باشند، نیز دیده می‌شود. حتی در این ارتباط بعضی از گونه‌های زنبورهای پارازیتوئید به صورتی تکامل یافته‌اند که با تزریق زهر و فلج موقتی میزبان، توانایی تشخیص بین میزبان‌های محتوی تخم‌های خودشان و تخم‌های سایر ماده‌های هم‌گونه یا غیرهم‌گونه را نیز دارا می‌باشند (Hubbard et al., 1987).

نتیجه برهمکنش رقابت بین حشرات کامل پارازیتوئیدها می‌تواند به تفاوت در یافتن میزبان، توانایی پراکنش، اختلاف در ظرفیت تولید مثل (Mohamad et al., 2011)، توانایی مبارزه و هماهنگی فیزیولوژیکی با میزبان باشد (Wang et al., 2015)، در حالی که نتیجه رقابت در مرحله لاروی می‌تواند تحت تاثیر تفاوت‌ها در نرخ رشد پارازیتوئید (Agboka et al., 2002)، مرحله و وضعیت فیزیولوژیکی میزبان مورد تهاجم، ترتیب و فاصله زمانی بین تخم‌گذاری و سابقه تکاملی گونه‌ها باشد (Poelman et al., 2014; Wang et al., 2008). رقابت بین لاروها می‌تواند روی نمو پارازیتوئیدهای بالغ اثرگذار باشد، زیرا فرد زنده مانده به دلیل تغییرات کمی و کیفی منابع میزبان ممکن است هزینه‌های زیادی برای توانمندی پردازد (Harvey et al., 2009). رقابت در انتخاب ویژگی‌های تکاملی مختلف، رشد و نمو و باروری پارازیتوئیدها نقش دارد اما خود رقابت نیز تحت تاثیر عوامل مختلف می‌باشد. یکی از مهم‌ترین این عوامل مربوط به ویژگی‌های میزبان از قبیل کیفیت، سن، اندازه،

شیشه‌ای، به ابعاد $25 \times 25 \times 50$ سانتی‌متر که قسمت بالایی آن توسط توری پوشانده شده انتقال یافت. برای تخم‌گذاری و استراحت پروانه‌ها، برش‌هایی از کاغذ چین‌دار به صورت نواری در قسمت کناره‌های ظرف به حالت آویزان قرار داده و برای تغذیه پروانه‌ها از پنبه مرطوب آغشته به محلول آب عسل ۲۰ درصد و گرده ذرت استفاده شد. کاغذهایی که روی آن‌ها تخم‌گذاری شده بود، هر روز با دقت بریده و داخل ظروف پتری پلاستیکی تهویه‌دار به قطر ۸ و ارتفاع یک سانتی‌متر قرار می‌گرفت. به‌منظور تامین رطوبت مورد نیاز تخم‌ها، دور تا دور قسمت داخلی هر ظرف پتری به‌وسیله پنبه‌های مرطوب پوشیده شد. به دلیل اثر آنتی‌بیوتیک‌ها روی همزیست‌های حشرات در این مرحله پرورش، از هیچ آنتی‌بیوتیکی در رژیم غذایی استفاده نشد، اما به منظور جلوگیری از گسترش بیماری در جمعیت، لاروها به صورت انفرادی و در پتری‌های مجزا نگهداری شدند. پس از دو نسل پرورش از لاروهای سن چهارم پيله خوار نخود، به منظور انجام آزمایشات استفاده شد.

زنبورهای *H. hebetor* از مزارع نخود استان کرمانشاه، شهرستان هرسین، جمع‌آوری و به آزمایشگاه انتقال داده شد. این زنبورها روی لارو سن پنجم (لاروهای ۳۵ روزه) بید آرد *Ephestia kuehniella* Zeller که از قبل درون ژرمیناتور با شرایط دمای 25 ± 1 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 60 ± 10 درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی، با رژیم غذایی آرد گندم ۰/۵ کیلوگرم، سیوس گندم ۰/۵ کیلوگرم و ۳۰ گرم مخمر پرورش یافته بود، در پتری‌هایی به قطر ۸ سانتی‌متر رهاسازی شد. به این منظور ابتدا در هر پتری که از قبل منافذ تهویه روی درب آن تعبیه شده، ۱۰ عدد لارو سن پنجم بید آرد قرار داده و سپس پنج جفت زنبور به آن اضافه شد. برای تغذیه زنبورها در قسمت خارجی توری تهویه درب پتری، پنبه مرطوب آغشته به آب‌عسل ۲۰ درصد قرار داده شد. زنبورها روزانه به وسیله اسپیراتور، از پتری خارج و به پتری‌های جدیدی با همان شرایط منتقل و تخم‌های زنبور تا تبدیل شدن به حشرات کامل درون ژرمیناتور با همان شرایط ذکر شده در بالا قرار داده شدند.

روش انجام آزمایش

به منظور تامین زنبورهای *H. hebetor* آزمایشی دارای تجربه رقابت در دوران لاروی، از لارو بید آرد به عنوان میزبان برای پرورش این زنبورها و رهاسازی آن‌ها روی آفت اصلی (پيله خوار نخود) استفاده شد. به این منظور، درون هر پتری یک لارو بید آرد سن پنجم قرار داده و یک زنبور ماده بارور درون آن رهاسازی شد و پس از ۲۴ ساعت زنبور از محیط خارج و تیمارهای مورد نظر شامل شش سطح رقابت (۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ تخم زنبور به ازای یک لارو بید آرد) و سطح بدون رقابت یا شاهد (۱ تخم زنبور به ازای یک لارو بید آرد)

تراکم و مرحله زیستی که مورد تهاجم پارازیتوئید قرار می‌گیرد و نیز شرایط محیطی از جمله درجه حرارت می‌باشد (Harvey et al., 2013).

کرم پيله خوار نخود یا *Heliothis virescens* Hufnagel، یکی از آفات مهم و کلیدی مزارع نخود است و هر ساله خسارت بالایی به محصول نخود، به خصوص ارقام بهاره وارد می‌کند. امروزه در ایران در اکثریت استان‌های کشور از زنبور *Habrobracon hebetor* Say برای مهار این آفت استفاده می‌شود و هر ساله ادارات حفظ نباتات هر استان با توجه به میزان آلودگی اقدام به پرورش و رهاسازی این عامل بیولوژیک در مزارع نخود می‌نمایند (Anonymous, 2020). متأسفانه در مورد ویژگی‌های اکولوژیک زنبورهای *H. hebetor* رهاسازی شده و اثر عوامل مختلف محیط پرورش بر کارایی جستجوگری و نرخ تخم‌گذاری آن‌ها اطلاعات جامعی وجود ندارد.

با توجه به این‌که مسئله رقابت، مبحث مهمی در اکولوژی جمعیت حشرات است، اما در تحقیقات داخلی کمتر به آن پرداخته شده و محدود به چند پژوهش در مورد پارازیتوئیدها و حشرات شکارگر می‌باشد. هدف از این مطالعه، تعیین اثر رقابت بر کارایی جستجوگری و موفقیت بیولوژیکی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* در کنترل *H. virescens* می‌باشد. نتایج حاصل از این پژوهش، برای استفاده موثرتر از این عامل بیولوژیک، در رهاسازی علیه کرم پيله خوار نخود قابل استفاده خواهد بود.

مواد و روش‌ها

تهیه کلنی کرم پيله خوار نخود و زنبور *H. hebetor*

کلنی اولیه لاروهای پيله خوار نخود از مزارع نخود استان کرمانشاه، شهرستان هرسین، جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شد. پس از اطمینان از آلوده نبودن نمونه‌های جمع‌آوری شده، به زنبورهای پارازیتوئید متفرقه لاروها درون جعبه‌های پلاستیکی به ابعاد $10 \times 17 \times 23$ سانتی‌متر قرار داده شدند و برای تغذیه آن‌ها از غذای مصنوعی به فرمول روغن مایع (۵ گرم)، مخمر (۳۵ گرم)، آرد نخود خام (۱۱۳/۵ گرم)، اسید سوربیک (۱ گرم)، اسید آسکوربیک (۳ گرم)، پودر جوانه گندم (۴۰ گرم)، آگار (۱۵ گرم)، آب مقطر (۶۶۰ سی‌سی) استفاده شد (Hashemi Aghjeri, 1998). به منظور جلوگیری از آلودگی باکتریایی در جمعیت از تتراسایکلین (۱ گرم) در ترکیب فوق استفاده شد. غذای مصنوعی باید به نحوی باشد که نه خیلی سفت شود به طوری که لاروها نتوانند از آن تغذیه کنند و نه چنان نرم که لاروها در آن فرو روند. حالت پنبه‌ری بهترین حالت و فرم غذای مصنوعی است. برای جلوگیری از خشک شدن و یا کپک زدن، هر دو روز یک‌بار غذای مصنوعی داخل پتری‌ها تعویض گردید (Kahrarian et al., 2008). شفیقه‌های حاصل از این لاروها به یک آکواریوم

هر یک در ۱۰ تکرار تهیه گردید و تخم‌های اضافی حذف شدند. لازم به ذکر است که، علاوه بر تعداد تخم گذاشته شده، تعداد لارو زنبور در هر تیمار کنترل شد. در این رابطه، از آنجا که ممکن است در طی مراحل پیش از بلوغ زنبور پارازیتوئید تلفاتی بروز کند و در نتیجه روی میزان تاثیر رقابت خطا ایجاد نماید، بنابراین از زنبورهایی در آزمون‌ها استفاده شد که در آن واحد آزمایشی تلفات نداشتند، برای مثال برای آزمون اصلی سطح رقابت ۱۲ زنبورها از واحدهای آزمایشی انتخاب شد که هر ۱۲ تخم اولیه تبدیل به زنبور شده بود. آزمایش در محیط میکروکاسم یا خُردسامانه انجام شد. خُردسامانه شامل یک گیاه کامل نخود رقم بی‌ونج^۱ است، که وارد مرحله تشکیل دانه شده و درون یک قفس مکعبی به ابعاد ۴۰×۴۰×۷۰ سانتی‌متر محصور با تور حریر شیشه‌ای می‌باشد. این قفس‌ها درون اطاق رشد با شرایط کنترل شده با دمای ۲۵±۱ درجه سلسیوس و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی نگهداری شد. به ازای هر بوته ۱۰ لارو سن چهارم پیله خوار نخود رهاسازی شد و پیش از شروع آزمایش به آن‌ها فرصت داده شد (در حدود ۳ ساعت) تا به صورت طبیعی روی گیاه پراکنده شوند. پس از استقرار کامل لاروهای سن چهارم پیله خوار نخود، زنبورهای ماده بارور *H. hebetor* حاصل از هر تیمار رقابتی با تراکم‌های مختلف (۱، ۲، ۳ و ۴ زنبور بالغ به ازای هر بوته) به محیط خُردسامانه معرفی شدند. بعد از گذشت ۲۴ و ۴۸ ساعت تعداد لاروهای فلج شده و تخم‌گذاری شده روی هر میزبان شمارش شد، اما تعداد تخم‌های گذاشته شده روی هر میزبان در پایان ۴۸ ساعت با کمک استریومیکروسکوپ شمارش گردید. لازم به توضیح است که تعداد لارو میزبان و زنبور پارازیتوئید در طول آزمایش ثابت بوده و هر تیمار در ۱۰ تکرار انجام شد. همچنین، تمام تخم‌های گذاشته شده زنبور *H. hebetor* در هر سطح رقابتی، به منظور بررسی نسبت جنسی و درصد تلفات، تا ظهور حشرات کامل به صورت مجزا نگهداری شدند. کارایی جستجوگری به عنوان شاخصی برای ارزیابی میزان جستجوگری پارازیتوئیدها به کار برده می‌شود. مقدار این عامل با استفاده از معادله ۱ محاسبه می‌گردد (Cornin and Strong, 1999).

$$a = \frac{1}{P} \log \frac{N}{S} \quad \text{معادله (۱)}$$

در این معادله N تعداد اولیه لارو میزبان، S تعداد لاروهای سالم، P تعداد پارازیتوئید و a کارایی جستجوگری زنبور پارازیتوئید است.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

پس از اثبات نرمال بودن داده‌ها براساس آزمون Shapiro-Wilk، داده‌هایی که نرمال نبودند، ابتدا از طریق تبدیل ریشه‌ی دوم

نرمال شدند و سپس با استفاده از روش فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. به این ترتیب، در ارتباط با تعیین کارایی جستجو و میزان تخم‌گذاری (به عنوان متغیرهای وابسته) در ۴۸ ساعت و نظر به وجود دو متغیر مستقل سطح رقابت و تراکم زنبور به ازای هر بوته نخود، به منظور بررسی وجود تفاوت آماری بین تیمارها و نیز بررسی اثر متقابل بین سطوح رقابت و تراکم زنبور از آزمون تجزیه واریانس دو طرفه (Two-way Anova) استفاده شد. به دلیل مشابهت داده‌های مربوط به ۲۴ ساعت اول و عدم امکان نرمال نمودن توزیع داده‌های تراکم ۱ زنبور به ازای هر بوته نخود از طریق تبدیل‌های رایج داده‌ها، عملاً امکان استفاده از روش تجزیه واریانس دوطرفه (طرح فاکتوریل) وجود نداشت، بنابراین، برای تجزیه آماری میزان کارایی جستجوگری در سطوح مختلف رقابت به تفکیک هر تراکم زنبور پارازیتوئید با داده دارای توزیع نرمال، از آزمون تجزیه واریانس یک طرفه (One-way Anova) و برای تراکم ۱ زنبور به دلیل نرمال نشدن داده‌ها از آزمون غیرپارامتری Kruskal-Wallis، بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی استفاده شد. با توجه به اینکه کارایی جستجو در دو زمان متفاوت ۲۴ و ۴۸ ساعت محاسبه شد، به منظور مقایسه اثر زمان بر کارایی جستجو براساس سطوح رقابت به تفکیک هر تراکم زنبور در ۲۴ ساعت اول با مقدار متناظر آن در ۴۸ ساعت، از آزمون T-test و برای تیمارهایی که نرمال نبودند از آزمون Mann-Whitney U Static استفاده شد. آزمون‌های تجزیه و تحلیل آماری در محیط نرم‌افزار SAS 9.4 انجام و کلیه نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Sigmaplot 12 ترسیم شد.

نتایج

تاثیر رقابت و زمان بر کارایی جستجوگری و تخم‌گذاری

زنبور *H. hebetor* روی *H. virescens*

پس از معرفی زنبورهای ماده بارور حاصل از تیمارهای مختلف رقابتی در تراکم‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ زنبور در هر گلدان حاوی ۱۰ لارو پیله خوار نخود، همانطور که اشاره شد داده‌ها در دو مرحله جمع‌آوری شدند فاز اول، ۲۴ ساعت و فاز دوم ۴۸ ساعت پس از شروع آزمایش. بررسی‌ها نشان می‌دهد، رقابت درون گونه‌ای اثر منفی بر کارایی جستجوگری زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی *H. virescens* داشت. به طوری که، در ۲۴ ساعت اول آزمایش، میزان کارایی زنبور *H. hebetor* با افزایش سطح رقابت، کاهش می‌یابد (جدول ۲)، این اختلاف‌ها در تراکم ۱ (χ^2 -test, $P=0.0365$, $df=6$)، تراکم ۲ ($F=3.72$, $P=0.0365$, $df=6$)، تراکم ۳ ($F=5.75$, $P<0.0031$, $df=6$) و تراکم ۴ ($F=10.13$, $P<0.0001$, $df=6$) ($P<0.0001$) زنبور به ازای هر بوته نخود از لحاظ آماری معنی‌دار

است.

تیمارها به سه جدول ۱، ۲ و ۳ تقسیم شده است.

مقایسه میانگین داده‌ها در دو زمان ۲۴ و ۴۸ ساعت نشان از اثر مثبت زمان بر کارایی جستجوگری *H. hebetor* دارد. با گذشت زمان، زنبور *H. hebetor* فرصت بیشتری برای انگلی کردن لاروهای دیگر داشته و از طرف دیگر تعداد دفعات و نرخ بالای تخم‌گذاری آن، باعث شده میزبان‌های بیشتری را انگلی کرده و به تبع آن نرخ کارایی جستجوگری افزایش یابد (جدول ۴).

بر اساس شکل‌های ۱ تا ۴ با افزایش تراکم زنبور در هر بوته نخود بر تعداد لاروهای انگلی شده افزوده شده و لارو فلج شده و تخم‌گذاری نشده فقط در تراکم ۱ در سطوح رقابتی ۸، ۱۰ و ۱۲ تخم زنبور مشاهده شد و تعداد لارو پارازیت شده با وجود تفاوت میان سطوح رقابتی، فاقد اختلاف آماری بود (شکل ۱)، (Anova, F= 0.14, df = 6, P- value = 0.9907). در تراکم‌های ۲، ۳ و ۴ به ترتیب (Anova, F= 4.05, df = 6, P- value <0.0017)، (Anova, F= 3.94, df = 7, P- value <0.0001)، (Anova, F= 6.32, df = 6, P- value <0.0021) اختلاف در تعداد لارو پارازیت افزایش یافت و از لحاظ آماری معنی‌دار بود (اشکال ۲، ۳ و ۴). زنبور *H. hebetor* همانند دیگر زنبورهای پارازیتوئید دارای بار تخم است و در شرایط نبود میزبان و یا عدم دسترسی به میزبان‌های کافی بار تخم خود را در محیط رها می‌کند، به شکلی که درون پتری‌های فاقد لارو میزبان نیز تخم‌های زنبور مشاهده شد. در همه تراکم‌ها بیشترین تعداد لارو انگلی و تخم‌گذاری شده در سطوح رقابت ۱ و ۲ و کمترین آن در سطح رقابت ۱۰ و ۱۲ مشاهده شد.

در ۴۸ ساعت پس از شروع آزمایش همانند ۲۴ ساعت اول، کارایی جستجوی زنبور در تیمارهای رقابتی گوناگون دارای اختلاف معنی‌داری از نظر آماری بود (Anova, F= 9.89, df = 6, P- value <0.0001)، در مورد اثر تراکم زنبور بالغ برخلاف سطح رقابت، با افزایش سطح تراکم میزان کارایی تا سطح تراکم مشخص (تراکم ۳) کاهش یافت، اما بعد از آن مجدداً کارایی جستجو افزایش یافته است (Anova, F= 14.37, df = 3, P- value <0.0001)، به علاوه، اثر متقابل تراکم × رقابت معنی‌دار نبود (Anova, F= 0.67, df = 18, P- value = 0.843)، به عبارتی روند واکنش جستجوگری برای تراکم‌های مختلف زنبور در سطوح مختلف رقابتی متفاوت نمی‌باشد و این دو عامل مستقل از یکدیگر اثر خود را روی کارایی جستجوگری زنبور *H. hebetor* بروز داده‌اند (جدول ۱ و ۲).

به همین ترتیب، اثر رقابت و تراکم بر میزان تخم‌گذاری معنی‌دار بود، به ترتیب (Anova, F= 24.85, df = 6, P- value <0.0001) و (Anova, F= 211.82, df = 3, P- value <0.0001) (جدول ۱)، اما اثر متقابل آنها معنی‌دار نمی‌باشد (Anova, F= 0.6, df = 18, P- value = 0.895) (جدول ۳). به عبارت بهتر، با افزایش سطح رقابت از میزان تخم‌گذاری در تراکم‌های مختلف کاسته شده است، به صورتی که میزان تخم‌گذاری در سطح رقابتی ۱۲ لارو نسبت به سطح رقابتی ۱ لارو نزدیک به نصف بود در حالی که، با افزایش تراکم در کلیه سطوح رقابت، میزان تخم‌گذاری به ازای هر بوته افزایش یافته و این بدان معنا است که حضور همزمان چند زنبور پارازیتوئید اثر منفی روی میزان تخم‌گذاری یکدیگر ندارد (جدول ۱ و ۳). لازم به ذکر است جدول مقایسات میانگین به دلیل کثرت

جدول ۱- مقایسه میانگین (± خطای استاندارد) میزان تخم‌گذاری و کارایی جستجوگری *Habrobracon hebetor* روی لارو سن چهارم *Heliothis virescens* در ۴۸ ساعت

Table 1- Mean comparison (± standard error) of oviposition rate and searching efficiency of *Habrobracon hebetor* to 4th instar larvae of *Heliothis virescens* after 48 hours

منابع تغییرات Source of variation	سطوح رقابت و تراکم زنبور Competition and density Levels	کارایی جستجوگری ۴۸ ساعت Searching efficiency (48 hour)	میزان تخم‌گذاری Oviposition rate
سطوح رقابت Competition Levels	1	0.153±0.01 ^{a*}	32.35±2.48 ^a
	2	0.138±0.01 ^{ab}	31.0±2.45 ^a
	4	0.118±0.009 ^{abc}	27.27±2.2 ^{ab}
	6	0.102±0.009 ^{bcd}	25.4±2.11 ^{bc}
	8	0.096±0.008 ^{cd}	20.62±1.57 ^{cd}
	10	0.089±0.009 ^{cd}	19.57±1.58 ^d
	12	0.080±0.008 ^d	17.87±1.42 ^d
سطوح تراکم Density Levels	1	0.141±0.009 ^a	10.9±0.68 ^d
	2	0.084±0.006 ^b	20.4±0.75 ^c
	3	0.096±0.006 ^b	30.07±1.04 ^b
	4	0.122±0.007 ^a	38.1±1.63 ^a

* حروف کوچک متفاوت در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای مختلف در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند (آزمون توکی، سطح احتمال ۵٪).

* Means followed by different letters in each column are significantly different (Tukey test, P < 0.05)

جدول ۲- مقایسه میانگین ($\pm$ خطای استاندارد) کارایی جستجوگری *Habrobracon hebetor* روی لارو سن چهارم *Heliothis virescens* در دو زمان ۲۴ و ۴۸ ساعت

Table 2- Mean comparison ($\pm$ standard error) searching efficiency of *Habrobracon hebetor* to 4th instar larvae of *Heliothis virescens* after 24 and 48 hours

سطوح تراکم Density Levels	سطوح رقابت Competition Levels	کارایی جستجوگری Searching efficiency	
		۲۴ ساعت	۴۸ ساعت
		24 hours	48 hours
تراکم ۱ Density 1	1	0.071 $\pm$ 0.008 ^A	0.154 $\pm$ 0.024 ^{abcB}
	2	0.066 $\pm$ 0.008 ^A	0.151 $\pm$ 0.029 ^{abcB}
	4	0.071 $\pm$ 0.007 ^A	0.144 $\pm$ 0.026 ^{abcB}
	6	0.057 $\pm$ 0.012 ^A	0.137 $\pm$ 0.025 ^{abcdB}
	8	0.051 $\pm$ 0.008 ^A	0.137 $\pm$ 0.025 ^{abcdB}
	10	0.042 $\pm$ 0.011 ^A	0.132 $\pm$ 0.026 ^{abcdB}
تراکم ۲ Density 2	12	0.27 $\pm$ 0.007 ^A	0.129 $\pm$ 0.020 ^{abcdB}
	1	0.058 $\pm$ 0.009 ^{aA}	0.130 $\pm$ 0.014 ^{abcdB}
	2	0.046 $\pm$ 0.006 ^{abA}	0.108 $\pm$ 0.015 ^{abcdB}
	4	0.041 $\pm$ 0.006 ^{abA}	0.087 $\pm$ 0.013 ^{abcdB}
	6	0.034 $\pm$ 0.007 ^{abA}	0.072 $\pm$ 0.013 ^{bcdB}
	8	0.033 $\pm$ 0.004 ^{abA}	0.068 $\pm$ 0.012 ^{cdB}
تراکم ۳ Density 3	10	0.31 $\pm$ 0.005 ^{bA}	0.069 $\pm$ 0.014 ^{cdB}
	12	0.23 $\pm$ 0.004 ^{bA}	0.053 $\pm$ 0.009 ^{dB}
	1	0.061 $\pm$ 0.006 ^{aA}	0.149 $\pm$ 0.017 ^{abcB}
	2	0.059 $\pm$ 0.006 ^{abA}	0.127 $\pm$ 0.017 ^{abcdB}
	4	0.048 $\pm$ 0.005 ^{abcA}	0.115 $\pm$ 0.013 ^{abcdB}
	6	0.035 $\pm$ 0.006 ^{cdA}	0.093 $\pm$ 0.012 ^{abcdB}
تراکم ۴ Density 4	8	0.034 $\pm$ 0.006 ^{cA}	0.073 $\pm$ 0.012 ^{bcdB}
	10	0.032 $\pm$ 0.006 ^{cA}	0.062 $\pm$ 0.008 ^{cdB}
	12	0.026 $\pm$ 0.006 ^{cA}	0.056 $\pm$ 0.012 ^{dB}
	1	0.08 $\pm$ 0.009 ^{aA}	0.178 $\pm$ 0.022 ^{aB}
	2	0.082 $\pm$ 0.007 ^{aA}	0.166 $\pm$ 0.025 ^{abB}
	4	0.047 $\pm$ 0.006 ^{bA}	0.125 $\pm$ 0.017 ^{abcdB}
	6	0.043 $\pm$ 0.005 ^{bA}	0.108 $\pm$ 0.014 ^{abcdB}
	8	0.035 $\pm$ 0.006 ^{bA}	0.104 $\pm$ 0.011 ^{abcdB}
	10	0.034 $\pm$ 0.005 ^{bA}	0.092 $\pm$ 0.012 ^{abcdB}
	12	0.034 $\pm$ 0.007 ^{bA}	0.83 $\pm$ 0.010 ^{abcdB}

* حروف کوچک در هر ستون نشان دهنده تفاوت بین تیمارهای مختلف در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند (آزمون توکی، سطح احتمال ۵٪).

* حروف بزرگ در هر سطر نشان دهنده تفاوت بین کارایی جستجو در دو زمان ۲۴ و ۴۸ ساعت می‌باشد (آزمون T- test).

* Means followed by different letters in each column are significantly different (Tukey test, P < 0.05)

* Means followed by different capital letters in each row are significantly different (T- test, P < 0.05)

بحث

با توجه به نتایج بدست آمده، رقابت در مراحل نابالغ لارو زنبورها دارای اثر منفی معنی‌دار روی کارایی جستجو است در حالی که اثر تراکم‌های متفاوت زنبور روی کارایی جستجوگری روند مشخصی را نشان نداد و بیشترین کارایی جستجو در بالاترین تراکم زنبور (چهار زنبور به ازای هر بوته نخود) و کمترین آن در تراکم دو زنبور به ازای هر بوته دیده شد. براساس مشاهدات صحرایی و آزمایشگاهی، حضور همزمان چند زنبور ماده حین تخمگذاری روی یک میزبان می‌تواند دلیلی بر تغییر سطح کارایی جستجو در تراکم‌های بالاتر باشد.

اثر رقابت بر نسبت جنسی زنبور *H. hebetor*

بر اساس جدول ۵، در کلیه سطوح رقابت صرفنظر از میزان تراکم زنبور، نسبت جنسی تحت تاثیر رقابت نبوده و فاکتورهای دیگری در این زمینه اثرگذار بوده‌اند، البته، نسبت جمعیت ماده به نر در سطوح رقابت ۱ و تراکم ۱ از دیگر سطوح بیشتر بوده است (جدول ۵). درصد تلفات با افزایش سطح رقابت افزوده شده است، به این صورت که عموماً کمترین درصد تلفات در سطح رقابت ۱ و ۲ و بیشترین آن در سطح رقابتی ۱۲ رخ داده است (جدول ۵).

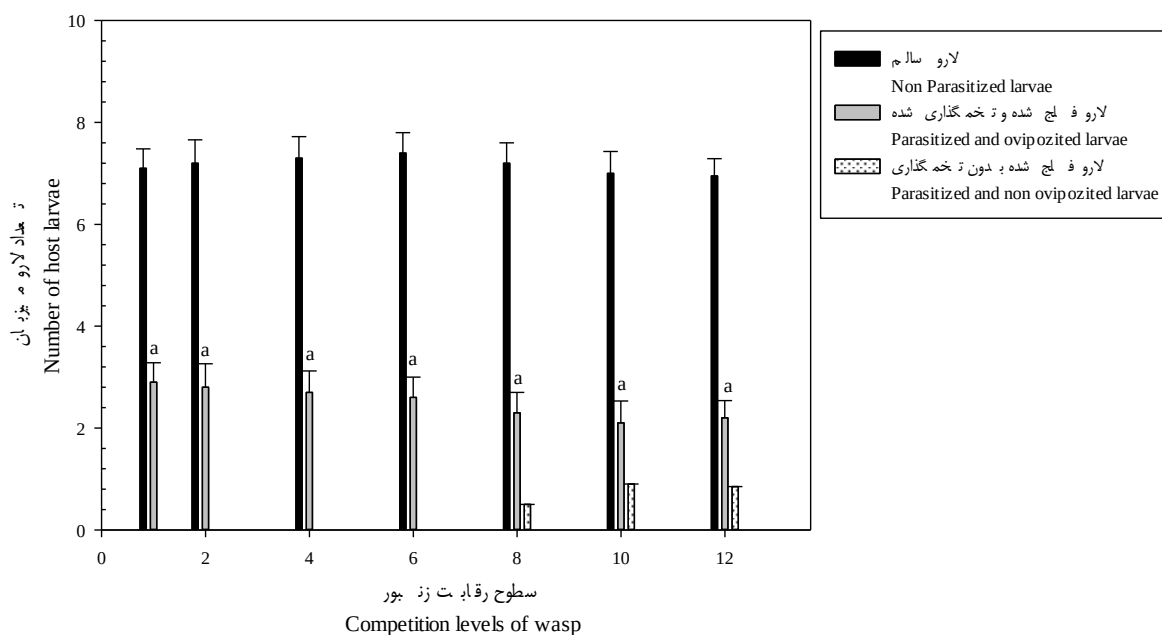
جدول ۳- مقایسه میانگین (± خطای استاندارد) نرخ تخمگذاری *Habrobracon hebetor* روی لارو سن چهارم *Heliothis virescens* در ۴۸ ساعت
Table 3- Mean comparison (± standard error) of oviposition rate of *Habrobracon hebetor* to 4th instar larvae of *Heliothis virescens* after 48 hours

سطوح تراکم Density Levels	سطوح رقابت Competition Levels	میزان تخمگذاری Oviposition rate
تراکم ۱ Density 1	1	14.7±2.1 ^{fhg}
	2	14.3±1.9 ^{fhg}
	4	13.2±1.4 ^{fhg}
	6	10.6±1.6 ^{hg}
	8	9±1.5 ^g
	10	7.8±1.2 ^g
	12	6.7±1.3 ^l
تراکم ۲ Density 2	1	25.7±1.8 ^{de}
	2	26.4±2 ^{cde}
	4	21.1±1.6 ^{ef}
	6	19±1.3 ^{efh}
	8	17.8±1.7 th
	10	17.2±1.6 th
	12	15.7±1.2 ^{defg}
تراکم ۳ Density 3	1	39.3±2.4 ^{bc}
	2	36.1±2.4 ^{bc}
	4	31.2±2.3 ^{cd}
	6	32.6±2 ^{cd}
	8	25±1.8 ^{de}
	10	22.9±1.6 ^{def}
	12	23.4±1.8 ^{efg}
تراکم ۴ Density 4	1	49.7±3.8 ^a
	2	47.2±5 ^a
	4	43.6±4.1 ^{ab}
	6	39.4±3.5 ^{bc}
	8	30.7±2.3 ^{cd}
	10	30.4±2.6 ^{cd}
	12	25.7±2 ^{de}

* حروف کوچک در هر ستون نشان دهنده تفاوت بین تیمارهای مختلف در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند (آزمون توکی، سطح احتمال ۵٪).
* Means followed by different small letters in each column are significantly different (Tukey test, P < 0.05)

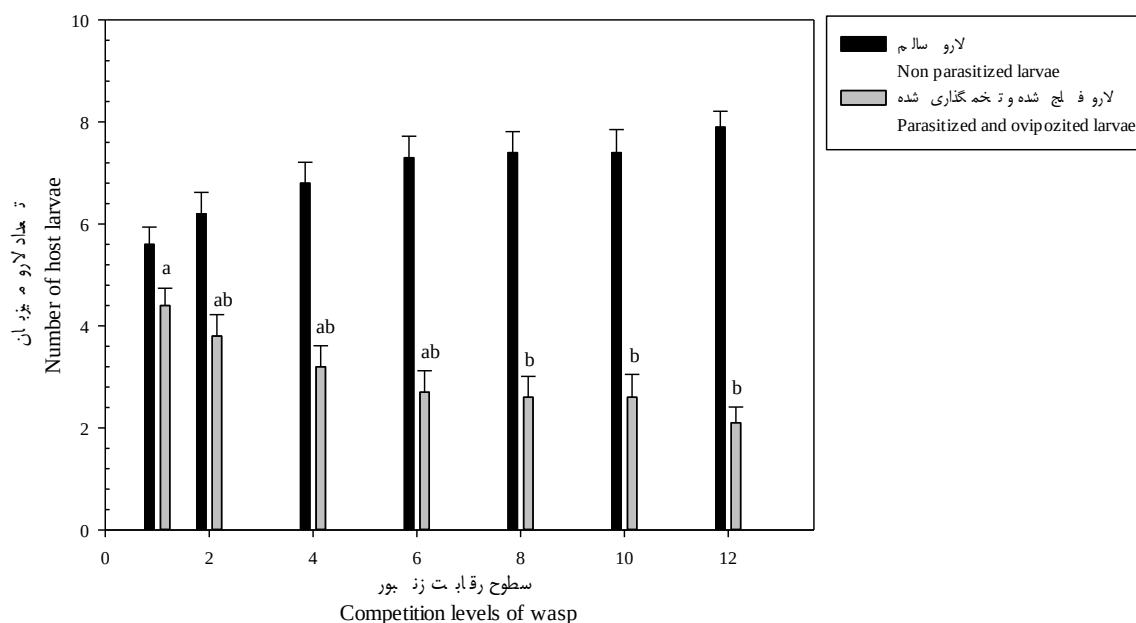
جدول ۴- آزمون T- test کارایی جستجوگری *Habrobracon hebetor* روی لارو سن چهارم *Heliothis virescens* در زمان‌های ۲۴ و ۴۸ ساعت
Table 4- T- test analysis of searching efficiency of *Habrobracon hebetor* on 4th instar larvae of *Heliothis virescens* at 24 and 48 hours

سطوح رقابت Competition levels	تراکم ۱ Density 1	تراکم ۲ Density 2	تراکم ۳ Density 3	تراکم ۴ Density 4
1	t= 3.26, df= 18, P-value= 0.0044	t= 4.37, df= 18, P-value= 0.004	t= 4.8, df= 18, P-value= 0.0001	t= 4.22, df= 18, P-value= 0.0005
2	t= 2.74, df= 18, P-value= 0.0134	t= 3.75, df= 18, P-value= 0.0015	t= 3.72, df= 18, P-value= 0.0016	t= 10.85, df= 18, P-value= 0.0015
4	t= 2.99, df= 18, P-value= 0.0078	t= 3.15, df= 18, P-value= 0.0055	t= 4.58, df= 18, P-value= 0.0002	t= 4.71, df= 18, P-value= 0.0002
6	t= 2.87, df= 18, P-value= 0.01	t= 2.56, df= 18, P-value= 0.0199	t= 4.34, df= 18, P-value= 0.0004	t= 4.2, df= 18, P-value= 0.0005
8	t= 3.22, df= 18, P-value= 0.0047	t= 2.79, df= 18, P-value= 0.0122	t= 2.97, df= 18, P-value= 0.0082	t= 5.57, df= 18, P-value= 0.0001
10	t= 3.12, df= 18, P-value= 0.006	t= 2.58, df= 18, P-value= 0.019	t= 2.96, df= 18, P-value= 0.0085	t= 4.35, df= 18, P-value= 0.0004
12	Mann- Whitney U static= 6, df= 19, P-value= 0.001	Mann- Whitney U static= 17, df= 19, P-value= 0.007	t= 2.33, df= 18, P-value= 0.0318	t= 3.81, df= 18, P-value= 0.0013



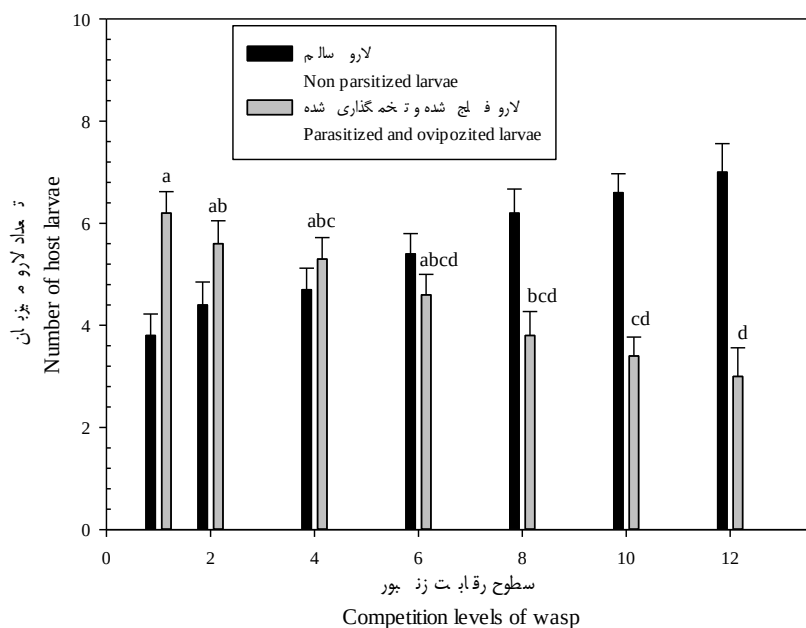
شکل ۱- میانگین $\pm$ خطای استاندارد لاروهای فلج شده و تخمگذاری شده و سالم *Heliothis virescens* در تراکم یک زنبور *Habrobracon hebetor* به ازای هر ۱۰ لارو پیله خوار روی بوته نخود

Figure 1- Mean $\pm$ standard error number of parasitized, oviposited and healthy larvae at density of one *Habrobracon hebetor* wasps per 10 larvae of *Heliothis virescens* on chickpea plant



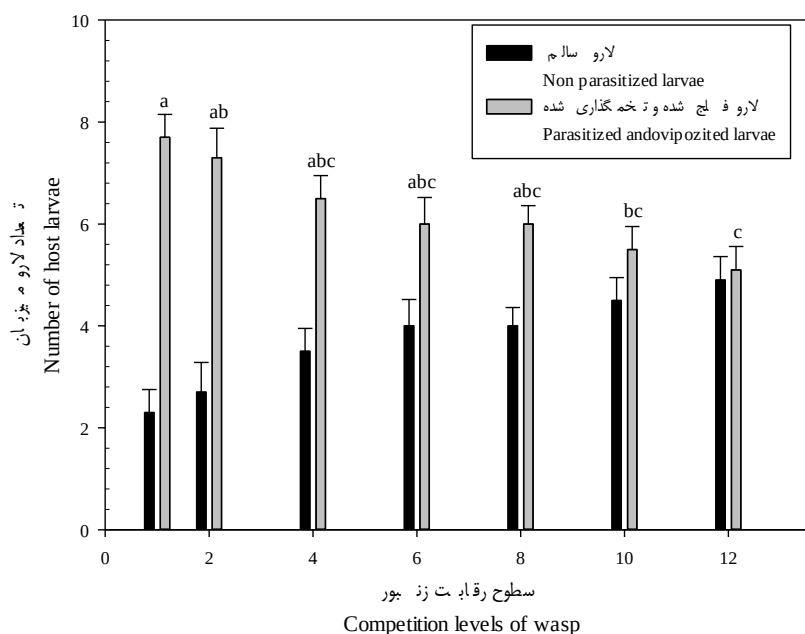
شکل ۲- میانگین $\pm$ خطای استاندارد لاروهای فلج شده و تخمگذاری شده و سالم *Heliothis virescens* در تراکم دو زنبور *Habrobracon hebetor* به ازای هر ۱۰ لارو پیله خوار روی بوته نخود

Figure 2- Mean $\pm$ standard error number of parasitized, oviposited and healthy larvae at density of two *Habrobracon hebetor* wasps per 10 larvae of *Heliothis virescens* on chickpea plant



شکل ۳- میانگین $\pm$ خطای استاندارد لاروهای فلج شده و تخمگذاری شده و سالم *Heliobacter viriplaca* در تراکم سه زنبور *Habrobracon hebetor* به ازای هر ۱۰ لارو پیله خوار روی بوته نخود

Figure 3- Mean $\pm$ standard error number of parasitized, oviposited and healthy larvae at density of three *Habrobracon hebetor* wasps per 10 larvae of *Heliobacter viriplaca* on chickpea plant



شکل ۴- میانگین $\pm$ خطای استاندارد لاروهای فلج شده و تخمگذاری شده و سالم *Heliobacter viriplaca* در تراکم چهار زنبور *Habrobracon hebetor* به ازای هر ۱۰ لارو پیله خوار روی بوته نخود

Figure 4- Mean $\pm$ standard error number of parasitized, oviposited and healthy larvae at density of four *Habrobracon hebetor* wasps per 10 larvae of *Heliobacter viriplaca* on chickpea plant

جدول ۵- نسبت جنسی (%) و درصد مرگ و میر *Habrobracon hebetor* در سطوح رقابتی و تراکم‌های مختلف
Table 5- Sex ratio (%) and mortality percentage of *Habrobracon hebetor* at different competition levels and densities

سطوح رقابت Competition levels	تراکم ۱ Density 1	تراکم ۲ Density 2	تراکم ۳ Density 3	تراکم ۴ Density 4
1	Sex ratio (%) 60.9	Sex ratio (%) 57.9	Sex ratio (%) 53.2	Sex ratio (%) 52.8
	Mortality (%) 6.1	Mortality (%) 14	Mortality (%) 4.8	Mortality (%) 8.2
2	Sex ratio (%) 56	Sex ratio (%) 50	Sex ratio (%) 54.5	Sex ratio (%) 60.2
	Mortality (%) 6.2	Mortality (%) 14	Mortality (%) 8	Mortality (%) 9.9
4	Sex ratio (%) 56.2	Sex ratio (%) 55.8	Sex ratio (%) 51.5	Sex ratio (%) 53.9
	Mortality (%) 8.3	Mortality (%) 14.2	Mortality (%) 4.2	Mortality (%) 8.9
6	Sex ratio (%) 53.2	Sex ratio (%) 48.4	Sex ratio (%) 50.8	Sex ratio (%) 50.7
	Mortality (%) 9.4	Mortality (%) 15.2	Mortality (%) 9	Mortality (%) 10.4
8	Sex ratio (%) 51.2	Sex ratio (%) 54.9	Sex ratio (%) 53.6	Sex ratio (%) 54.5
	Mortality (%) 8.8	Mortality (%) 19.1	Mortality (%) 10.7	Mortality (%) 12.7
10	Sex ratio (%) 54.9	Sex ratio (%) 50.7	Sex ratio (%) 51	Sex ratio (%) 47.6
	Mortality (%) 8.9	Mortality (%) 19.8	Mortality (%) 13.5	Mortality (%) 11.5
12	Sex ratio (%) 59	Sex ratio (%) 53.1	Sex ratio (%) 47.7	Sex ratio (%) 50.7
	Mortality (%) 16.4	Mortality (%) 18.5	Mortality (%) 11.2	Mortality (%) 16.3

نسبت جنسی به صورت نسبت تعداد ماده‌ها تقسیم بر کل تعداد افراد محاسبه شده است.

افزایش می‌یابد که تخم خود را درون پتری در مکانی که میزبان در مجاورت آن نبود رها می‌کند.

نظر به وجود اختلاف معنی‌دار در میزان کارایی و دیگر فاکتورهای بررسی شده، می‌توان نتیجه گرفت که تعداد لارو رقابت کننده روی یک میزبان می‌تواند توانمندی زنبورهای پارازیتوئید بالغ خارج شده را تحت تاثیر قرار دهد. البته رقابت به طور مستقیم بر کارایی تاثیر نمی‌گذارد، بلکه با کاهش در ویژگی‌های مرفولوژیکی (اندازه بدن، اندازه تخمدان، تعداد و اندازه تخمک)، تعداد تخم دارای جنین، اندازه ساق پای عقب، طول تخم‌ریز، اندازه بال‌ها، و ویژگی‌های زیستی، به صورت غیرمستقیم، تاثیر خود را روی کارایی بیولوژیکی پارازیتوئیدها خواهد گذاشت (Mohseni et al., 2016). در پژوهشی در مورد رقابت میان نژادهای جنسی و غیر جنسی *Lysiphlebus fabarum* Marshall مشخص شد که، زنبورهای ظاهر شده در شرایط پارازیتیسیم انفرادی در مقایسه با سوپر پارازیتیسیم، درشت‌تر بوده و اندازه تخمک بزرگتری داشتند، اما، سوپر پارازیتیسیم منجر به ظهور ماده‌های جنسی با تخمدان‌های کوچکتر و تعداد تخمک کمتر شد و این در حالی است که نوع نژاد لاروهای رقابت کننده و همچنین فاصله سنی بین آنها تاثیری روی این شاخص‌ها ندارد (Mohseni et al., 2016). در تحقیق حاضر، هر چند با افزایش تعداد زنبور در تراکم ۲ و ۳، از میزان کارایی جستجوگری نسبت به تراکم ۱ کاسته شده، اما افزایش حدود دو برابری تعداد لاروهای انگلی شده، این نقص را برطرف کرده و نشان می‌دهد که با افزایش نرخ رهاسازی پارازیتوئید نباید نگران اثرات منفی آن روی کارایی جستجوگری زنبورها بود. البته برای مفید بودن افزایش نرخ رهاسازی در مهار آفت هدف، باید ملاک‌هایی همچون هزینه تولید پارازیتوئید، تراکم آفت، شرایط محیطی و حضور عوامل بیولوژیک دیگر در مزرعه را نیز مدنظر قرار داد. کارایی جستجوگری یک پارازیتوئید علاوه بر نوع و تعداد میزبان

زنبور ماده برای اجتناب از درگیر شدن نتاجش در پدیده رقابت با لاروهای دیگر، به جستجوی میزبان‌های دیگر پرداخته و به تبع آن میزان کارایی جستجوگری افزایش می‌یابد. همچنین، مشاهده شد که زنبور ماده بیشتر تخم‌های خود را در سطح تحتانی (شکمی) لارو می‌گذارد، اما در تراکم‌های بالاتر زنبور زمانی که تعداد زنبور ماده به ازای هر بوته نخود بالاتر می‌رود (به شرط آنکه تعداد زنبور روی یک میزبان هم بالا باشد)، علاوه بر سطح شکمی، در قسمت‌های حاشیه‌ای بدن و در سطح بالایی (پشتی) لارو میزبان نیز تخم‌گذاری می‌کند. این موضوع شاید به این دلیل باشد که از ازدحام و رقابت بین لاروها که فضای کافی برای تغذیه ندارند، جلوگیری شود. لازم به توضیح است چنانچه لارو زنبور پارازیتوئید قبل از اتمام مراحل لاروی (سه مرحله لاروی) از بدن میزبان جدا شود دیگر قادر به تغذیه نخواهد بود و حتما خواهد مرد. در تراکم‌های ۱ و ۲ زنبور به ازای هر بوته نخود، با توجه به جثه بزرگ کرم پيله‌خوار این توانایی در میزبان وجود دارد که لاروهای بیشتری از آن تغذیه کنند (طبق مشاهدات آزمایشگاهی تا ۳۱ لارو *H. hebetor*) در نتیجه، زنبور بار تخم خود را تا حد امکان روی یک میزبان گذاشته و تعداد میزبان‌های کمتری را انگلی می‌کند، اما در تراکم‌های بالاتر زنبور، به دلیل وجود همزمان چند زنبور درحال تخمگذاری روی یک میزبان (در برخی واحدهای آزمایشی تا ۴ زنبور روی یک میزبان مشاهده شد)، زنبور ماده برای دوری از پدیده رقابت میان نوزادان، ناگزیر به جستجوی لاروهای دیگر پرداخته و در نتیجه کارایی آن در تراکم‌های بالاتر با افزایش مدت آزمایش، افزایش یافته است، البته لازم به توضیح است که این مسئله زمانی رخ می‌دهد که اولاً میزبان‌های دیگر در دسترس باشد و ثانياً بار تخم درون تخمدان ماده در حدی باشد که بتواند روی میزبان دیگری تخمگذاری کند. در زمان پرورش زنبورها در آزمایشگاه مشاهده شد که در برخی موارد چنان بار تخم درون تخمدان ماده

پیشتر اشاره شد که با توجه به اثرات منفی رقابت روی هر دو طرف درگیر در این برهم کنش، تا جایی که ممکن است حشرات و به ویژه پارازیتوئیدها سعی می‌کنند از آن اجتناب کنند. از آنجایی که در پارازیتوئیدها دسترسی به میزبان‌ها برای تولیدمثل حیاتی بوده، کمبود میزبان ممکن است منجر به افزایش رقابت‌های درون و بین گونه‌ای شود. اثرات منفی رقابت روی افراد پیروز منجر به کاهش اندازه بالغین و کاهش باروری آن‌ها و همچنین افزایش زمان رشد شده در حالی که بازنده این نبرد با کاهش تعداد نتاج و از دست رفتن زمان در دسترس برای جستجو مواجه خواهد شد (McBrien and Mackauer, 1991). بررسی‌ها نشان داده که فاصله زمانی بین پارازیتیسیم‌های متوالی نقش عمده‌ای در نتیجه‌ی رقابت بین لاروهای هم‌گونه یا بین گونه دارد. در رقابت بین لاروهای هم‌گونه، اولین لارو تفریخ شده از تخم، یک مزیت سنی داشته و به طور معمول با کشتن رقبای جوان‌تر زنده می‌ماند (De Moraes et al., 1999)، در حالی که، در رقابت بین گونه‌ای، لارو جوان‌تر یا مسن‌تر ممکن است بسته به وقفه‌های سنی، رفتار ویژه گونه‌ای، گونه میزبان و راهبرد تغذیه لارو پارازیتوئید پیروز این رقابت شود (Harvey et al., 2009). بنابراین تا زمانی که میزبان‌های انگلی نشده در دسترس هستند، پارازیتوئیدهای انفرادی باید از تخم‌گذاری در میزبان‌های قبلاً انگلی شده اجتناب کنند، رفتاری که باعث کاهش رقابت بین نتاج آن‌ها می‌شود.

هر چه فاصله زمانی بین دو تخم‌گذاری بیشتر باشد، اثر رقابت شدیدتر و روی زنده‌مانی و پارامترهای زیستی تخم دوم اثر گذار خواهد بود، همچنین در رقابت میان لاروهای یک میزبان هنگامی که لارو پارازیتوئید اضافی در مراحل اولیه حذف شود، فضای بیشتری برای تغذیه بازمانده‌ها فراهم خواهد شد (Baaren and Nenon, 1996). اندازه جثه میزبان شاخص مهمی برای تولید مثل و زنبورهای پارازیتوئید قوی‌تر می‌باشد، به طوری که زنبورهای بزرگ‌تر روی میزبان‌های بزرگ‌تر به وجود می‌آیند (Eliopoulos and Stathas, 2005)، از طرف دیگر، نرخ برخورد با میزبان بزرگ‌تر بیشتر بوده (Nouri Ganbalani et al., 2021) و هر اندازه تعداد لارو پارازیتوئید تغذیه کننده روی یک میزبان افزایش یابد، طول عمر و ذخیره تخم زنبورهای حاصل از این لاروها به نسبت کاهش می‌یابد (Tepa-Yotto et al., 2013). پذیرش یا رد میزبان مبتنی بر توانایی یک پارازیتوئید ماده برای تشخیص میزبان‌های سالم از انگلی است و بر اساس ترکیبی از ویژگی‌های اکولوژیکی (مانند ویژگی‌های زیستگاه مثل اندازه لکه میزبانی، ساختار و فراوانی میزبان) و فیزیولوژیکی (مانند بار تخم، سن، و سایر ویژگی‌های پارازیتوئیدهای ماده) است (Van Lenteren, 2012). با این حال، بسیاری از گونه‌های پارازیتوئید از تخم‌گذاری در میزبان‌هایی که قبلاً انگلی شده شده‌اند خودداری نمی‌کنند، و زمانی که این اتفاق افتاد، تعاملات متضاد به صورت بالقوه بین مراحل نابالغی که به دنبال انحصار منابع میزبان

هایی که به آنها برخورد می‌کند به تعداد تخمک‌های موجود در تخمدان و سایر عوامل فیزیولوژیکی نیز بستگی دارد (Godfray and Hunter, 1994) و با توجه به اینکه در تحقیق حاضر فقط از زنبورهای با طول عمر یک روز استفاده شد، بنابراین این امکان وجود دارد که، با افزایش سن زنبور (در زمان ۲۴ و ۴۸ ساعت آزمایش) ظرفیت رسیدن روزانه تخم‌ها و به تبع آن کارایی جستجوگری در ۴۸ ساعت افزایش یابد. برهمکنش‌های وابسته به تراکم بین افراد هم‌گونه می‌تواند علاوه بر قدرت جستجو و نرخ تخم‌ریزی دیگر جنبه‌های زیست‌شناسی پارازیتوئیدها مانند طول عمر را تحت تاثیر قرار دهد (Fathipour et al., 2006). در واقع از نتایج حاصل از این بررسی‌ها می‌توان علاوه بر شناخت سیستم میزبان-پارازیتوئید، در ارزیابی میزان کارایی دشمن طبیعی در کنترل آفت و همچنین افزایش کارایی تکنیک‌های پرورش انبوه عوامل بیولوژیک استفاده کرد، زیرا اگر تعداد زنبورهای موجود در پرورش انبوه زیاد باشد، احتمال رقابت بالاتر رفته و میزان موفقیت کاهش می‌یابد (Fathipour et al., 2004). بروز رقابت میان زنبورهای پارازیتوئید در محیط‌های آزمایشگاهی نمی‌تواند بیان کننده شرایط طبیعی آن باشد، زیرا تراکم‌های بالای آفت در مزرعه و نیز پیچیدگی محیط نسبت به محیط‌های ساده آزمایشگاهی می‌تواند زمینه را برای کاهش رقابت درون گونه‌ای و مزاحمت بین افراد پارازیتوئید فراهم سازد (Bayoumy and Michaud, 2012). دسترسی به منابع غذایی و اندازه محیط آزمایشی دو عاملی است که برهمکنش متقابل بین پارازیتوئیدها را تحت تاثیر قرار می‌دهد. (Nouri Ganbalani et al., 2021) (Bayoumy and Michaud, 2012).

داده‌های کمی نرخ زنده‌مانی و تولید مثل دشمنان طبیعی شاخص مناسبی برای تشخیص توانمندی طعمه در رژیم غذایی آنها است، از طرف دیگر، در حشرات پارازیتوئید به دلیل ارتباط مستقیم بین نرخ برخورد با میزبان و تولید نتاج فشار انتخابی شدیدی برای بهینه سازی راهبردهای جستجوی غذا وجود دارد. کمیت و کیفیت غذای خورده شده به وسیله نوزادان، بر فعالیت‌های آن‌ها مانند نرخ رشد، طول دوره زندگی، وزن بدن، پراکنش و احتمال زنده ماندن آن تاثیر می‌گذارد. علاوه بر این‌ها، کمیت و کیفیت غذای خورده شده به وسیله نوزادان، روی فعالیت‌های حشره کامل نیز موثر است، به عنوان مثال، وقتی که نوزادی در اثر کمیت یا کیفیت ناکافی غذا دچار کمبود رشد شود، حشره کاملی تولید خواهد شد که دارای وزن کمی بوده و باروری کمتری خواهد داشت. کمیت و کیفیت غذای خورده شده به وسیله افراد بالغ، بر فعالیت‌های آن مانند موفقیت در جفت‌گیری، تولید مثل، پراکندگی و زنده ماندن تاثیر خواهد گذاشت (Kalushkov and Hodek, 2010) در واقع می‌توان گفت که به منظور درک رفتار، زیست‌شناسی، اکولوژی و بهبود راهبردهای مدیریت آفات آگاهی از برهم کنش حشرات با منابع غذایی مورد نیازشان ضروری است.

خوار نخود، لاروهای زنبور قادر به تغذیه نبوده و از بین رفتند که می‌تواند به دلیل ضعف در خصوصیات مرفولوژیکی لارو زنبور باشد.

نتیجه‌گیری

رقابت درون‌گونه‌ای میان پارازیتوئیدها در اکولوژی پایه و کاربردی نقش بسزایی دارد. درک چگونگی رقابت و نقشی که میان حشرات کامل پارازیتوئید در مهار جمعیت آفات دارد به ندرت در زمینه کنترل بیولوژیک در نظر گرفته شده است. تحقیقات اندکی که در این زمینه در کشور صورت گرفته بیشتر در شرایط آزمایشگاهی انجام شده و به دلیل دشواری ارزیابی‌ها، تحقیقات صحرایی اندکی انجام شده است. این در حالی است که در شرایط طبیعی و حتی در گلخانه‌ها، عوامل بیولوژیک رهاسازی شده نه تنها خود درگیر رقابت درون‌گونه‌ای هستند؛ بلکه به دلیل وجود عوامل بیولوژیک دیگر رقابت بین گونه‌ای نیز رخ خواهد داد. بنابراین بهتر است این تحقیقات از آزمایشگاه شروع شده و در شرایط واقعی‌تر در مزرعه نیز دنبال شود. همچنین در شرایط مزرعه عوامل بسیاری مانند شرایط آب و هوایی، تراکم آفات، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی گیاهان، وجود گیاهان دارای شهد که ممکن است مورد تغذیه حشرات کامل قرار گیرند و عوامل دیگر می‌توانند روی نتیجه رقابت و به تبع آن کارایی جستجوگری عوامل بیولوژیک تاثیرگذار باشند.

هستند، به وجود می‌آید (Harvey et al., 2013).

مطالعه رفتار جستجوگری زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* نشان داد که این گونه در تراکم‌های بالا از رقابت با سایر افراد هم‌گونه خود اجتناب می‌کند. در تراکم ۲ و ۳ هر چند افزایش تراکم زنبور به ازای هر بوته منجر به کاهش کارایی جستجوی آن شده اما تعداد لاروهای انگلی شده نسبت به تراکم ۱ افزایش یافته است، بنابراین می‌توان انتظار داشت که افزایش نرخ رهاسازی تا سطح مشخص، سبب کاهش معنی‌داری در توانایی پارازیتسیم زنبور نشود.

لارو تفریخ شده از اولین تخمی که توسط پارازیتوئید روی میزبان گذاشته شده به دلیل تغذیه زود هنگام، مزیت نسبی نسبت به دیگر رقبا دارد، بنابراین، بالا رفتن درصد مرگ و میر لارو پارازیتوئید در سطوح رقابتی بالاتر می‌تواند ناشی از مهار فیزیولوژیکی توسط لاروهای اولیه باشد و حتی علاوه بر فرصت تغذیه بیشتر به ویژگی‌های مرفولوژیکی مورد استفاده - برای مثال آرواره‌های بالایی درشت - تر - لارو سن اول در رقابت فیزیکی مستقیم وابسته باشد (Wang et al., 2021) و از طرف دیگر با ازدحام لاروهای تغذیه کننده روی یک میزبان و حرکات زالویی لارو در حین تغذیه و برخورد لاروها با یکدیگر، موجب جدا شدن از بدن میزبان و متعاقباً مرگ لارو جدا شده خواهد شد. در تحقیق حاضر، در سطوح رقابت ۱۰ و ۱۲، نتاج تولید شده حاصل از زنبورهای بالغ تحت رقابت شدید به قدری ضعیف بود که حتی با وجود کافی بودن بستر تغذیه به دلیل جثه بزرگ کرم پيله-

منابع

- 1- Agboka, K., Schulthess, F., Chabi-Olaye, A., Labo, I., Gounou, S., & Smith, H. (2002). Self-, intra-, and interspecific host discrimination in *Telenomus busseolae* Gahan and *T. isis* Polaszek (Hymenoptera: Scelionidae), sympatric egg parasitoids of the african cereal stem borer *Sesamia calamistis* Hampson (Lepidoptera: Noctuidae). *Insect Behavior* 15: 1-12. <https://doi.org/10.1023/A:1014471826914>.
- 2- Anonymous. (2020). Statistics and information Ministry of Agriculture. <https://www.maj.ir/Dorsapax/userfiles/Sub65/amarnamehj2-1399-sh.pdf> (accessed 23 May 2022). (In Persian)
- 3- Baaren, J.V., & Nenon, J.P. (1996). Intraspecific larval competition in two solitary parasitoids, *Apoanagyrus* (Epidinocarsis) *lopezi* and *Leptomastix dactylopii*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 81: 325-333. <https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.1996.00103.x>.
- 4- Bayoumy, M.H., & Michaud, J.P. (2012). Parasitism interacts with mutual interference to limit foraging efficiency in larvae of *Nephus includens* (Coleoptera: Coccinellidae). *Biological Control* 62: 120-126. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2012.04.001>.
- 5- Cornin, J.T., & Strong, D.R. (1999). Dispersal-dependent oviposition and aggregation of parasitism. *The American Naturalist* 154: 23-36. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2012.04.001>.
- 6- Cusumano, A., Peri, E., & Colazza, S. (2016). Interspecific competition/facilitation among insect parasitoids. *Current Opinion in Insect Science* 191: 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2015.11.006>.
- 7- Demoraes, C.M., Cortesero, A.M., Stapel, J.O., & Lewis, W.J. (1999). Intrinsic and extrinsic competitive interactions between two larval parasitoids of *Heliothis virescens*. *Ecological Entomology* 24: 402-410. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2311.1999.00212.x>.
- 8- Denno, R.F., Mc Clure, M.S., & Ott, J.R., (1995). Interspecific interactions in phytophagous insects: competition reexamined and resurrected. *Annual Review of Entomology* 40: 297-331. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.40.010195.001501>.
- 9- Eliopoulos, P.A., & Stathas, G.J. (2005). Effects of temperature, host instar, and adult feeding on progeny production by the endoparasitoid *Venturia canescens* (Gravenhorst) (Hymenoptera: Ichneumonidae). *Environmental Entomology* 34: 14-21. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-34.1.14>.

- 10- Fathipour, Y., Hosseini GHaralari, A., & Talebi, A.A. (2004). Some behavioral characteristics of *Diaeretiella rapae* (Hym., Aphidiidae), parasitoid of *Brevicoryne brassicae* (Hom., Aphididae). *Iranian Journal of Agricultural Science* 35(2): 393-401. (In Persian with English abstract)
- 11- Fathipour, Y., Hosseini, A., Aalebi, A.A., & Moharamipour, S. (2006). Functional response and mutual interference of *Diaeretiella rapae* (Hymenoptera: Aohidiidae) on *Brevicoryne brassica* (Homoptera: Aphidiidae). *Entomologica Fennica* 17: 90-97. <https://doi.org/10.33338/ef.84293>.
- 12- Godfray, H.C.J., & Hunter, M.S. (1994). Heteronomous hyperparasitoids, sex ratios and adaptations: a reply. *Ecological Entomology* 19: 93-95. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.1994.tb00397.x>.
- 13- Goubault, M., Plantegenest, M., Poinso, D., & Cortesero, A.M. (2003), Effect of expected offsprings survival probability on host selection in a solitary parasitoid. *Etmologia Experimentalis et Applicata* 109: 123-131. <https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.2003.00101.x>.
- 14- Harvey, J.A. (2005). Factors affecting the evolution of development strategies in parasitoid wasps: the importance of functional constraints and incorporating complexity. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 117: 1-13. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2005.00348.x>.
- 15- Harvey, J.A., Gols, R., & Strand, M.R. (2009). Intrinsic competition and its effects on the survival and development of three species of endoparasitoid wasps. *Entomologia Experimentalis Applicata* 130: 238-248. <https://doi.org/10.1111%2Fj.1570-7458.2008.00816.x>.
- 16- Harvey, J.A., Poelman, E.H., & Tanaka, T. (2013). Intrinsic Inter- and Intraspecific competition in endoparasitoid wasps. *Annual Review of Entomology* 58: 333-351. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153622>.
- 17- Hashemi Aghajeri, M. (1998). *The biology of pod borer (Heliothis virescens) on rain-fed chickpea, in Urmia, Maragheh and Hashrood under different conditions*. M.Sc. Thesis, Urmia university, Urmia, Iran. 83 pp. (In Persian with English abstract)
- 18- Henne, D.C., & Johnson, S.J. (2010). Laboratory evaluation of aggregation, direct mutual interference, and functional characteristics of *Pseudacten tricuspis* (Diptera: Phoridae). *Biological Control* 55: 63-71. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2010.07.001>.
- 19- Hubbard, S.F., Marris, G., Reynolds, A., & Rowe, G.W. (1987). Adaptive patterns in the avoidance of superparasitism by solitary parasitic wasps. *Journal of Animal Ecology* 56: 387-401. <https://doi.org/10.2307/5055>.
- 20- Kahrarian, M., Ebadi, R., Seyedol-eslami, H., & Tohidi, M.T. (2008). Study on biology and behavior of pod borer, *Heliothis virescens* Hufn. (Lep., Noctuidae) in laboratory conditions. *Journal of Entomological Research Islamic Azad University, Arak Branch* 1(4): 309-317. (In Persian with English abstract)
- 21- Kalushkov, P., & Hodek, I. (2010). New essential aphid prey for *Anatis ocellata* and *Calvia quatuordecimguttata* (Coleoptera: Coccinellidae). *Biocontrol Science Technique* 11: 35-39. <https://doi.org/10.1080/09583150020029727>.
- 22- McBrien, H., & Mackauer, M. (1991). Decision to superparasitize based on larval survival: competition between aphid parasitoids *Aphidius ervi* and *Aphidius smithi*. *Entomologia Experimentalis Applicata* 59: 145-150. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1991.tb01497.x>.
- 23- Mohamad, R., Monge, J.P., & Goubault, M. (2011). Agonistic interactions and their implications for parasitoid species coexistence. *Behavior Ecology* 22: 1114-1122. <https://doi.org/10.1093/beheco/arr098>.
- 24- Mohseni, L., Rasekh, A., & Kocheili, F. (2016). Comparative effect of wasp density in unisexual and bisexual strains of *Lysiphlebus fabarum*, on superparasitism in the Black bean aphid, *Aphis fabae*. *Journal of Plant Protection* 30(2): 251-260. <http://dx.doi.org/10.22067/jpp.v30i2.42305>.
- 25- Nouri Ganbalani, G., Mottaghinia, L., Abedi, Z., & Nouri, A. (2021). Foraging behavior of *Venturia canescens* Gravenhorst on potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* Zeller Short title: Behavioral characteristics of *V. canescens*. *Iranian Journal of Plant Protection Science* 52(2): 37-39. (In Persian with English abstract). <http://doi.org/10.22059/IJPPS.2021.328323.1006976>.
- 26- Poelman, E.H., Gols, R., Gumovsky, A.V., Cortesero, A.M., Dicke, M., & Harvey, J.A. (2014). Food plant and herbivore host species affect the outcome of intrinsic competition among parasitoid larvae. *Ecological Entomology* 39: 693-702. <https://doi.org/10.1111/een.12150>.
- 27- Tepa-Yotto, G.T., Hofsvang, T., Godonou, I., Tchibo, I., & Sæthre, M.G. (2013). Host instar suitability of *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) for *Lysiphlebus testaceipes* (Hymenoptera: Braconidae) and parasitism effect on aphid life table. *Applied Entomology and Zoology* 48(4): 57-62. <https://doi.org/10.1007/s13355-013-0203-5>.
- 28- Van Lenteren, J.C. (2012). The state of commercial augmentative biological control: plenty of natural enemies, but a frustrating lack of uptake. *Biocontrol* 57(1):1-20. <http://dx.doi.org/10.1007/s10526-011-9395-1>.
- 29- Visser, M.E., Jacques, J., Van Alphen, M., & Nell, H.W. (1992). Adaptive superparasitism and patch time allocation in solitary parasitoids: An ESS Model. *Journal of Animal Ecology* 61(1): 93-101. <https://doi.org/10.2307/5512>.
- 30- Wang, X.G., Bokonon-Ganta, A.H., & Messing, R.H. (2008). Intrinsic inter- specific competition in a guild of tephritid fruit fly parasitoids: effect of co-evolutionary history on competitive superiority. *Biological Control* 44: 312-320. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2007.10.012>.
- 31- Wang, X.Y., Jennings, D.E., & Duan, J.J. (2015). Trade-offs in parasitism efficiency and brood size mediate

- parasitoid coexistence, with implications for biological control of the invasive emerald ash borer. *Applied Ecology* 52: 1255-1263. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12487>.
- 32- Wang, X., Ramadan, M.M., Guerrieri, E., Messing, H.M., Johnsonm, W., Daane, K.M., & Hoelmer, K.A. (2021). Early-acting competitive superiority in opiine parasitoids of fruit flies (Diptera: Tephritidae): Implications for biological control of invasive tephritid pests. *Biological Control* 162: 104-125. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104725>.



Efficiency of Chemical and Physical Hard Water Softening Methods to Reduce the Incompatibility of Hard Water Cations with herbicide Glyphosate

A. Aliverdi^{1*}, A. Ghanbari², M.H. Rashed-Mohassel³, M. Nassiri-Mahallati⁴, E. Zand⁵

Received: 10-02-2018

Revised: 20-05-2018

Accepted: 30-05-2018

Available Online: 15-02-2023

How to cite this article:

Aliverdi, A., Ghanbari, A., Rashed Mohassel, M.H., Nasiri Mahalati, M., & Zand, E. (2023). Efficiency of Chemical and Physical Hard Water Softening Methods to Reduce the Incompatibility of Hard Water Cations with herbicide Glyphosate. *Journal of Iranian Plant Protection Research* 36(4): 439-451. (In Persian with English abstract)

DOI: [10.22067/jpp.2021.32208.0](https://doi.org/10.22067/jpp.2021.32208.0)

Introduction

Water is the most frequently used carrier for herbicide applications. Thus, the physicochemical properties of water in spray mixture can affect the activity of herbicides. A high concentration of Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Fe³⁺ and other cations in hard water can decrease herbicide efficacy. Weak acid herbicides that have been antagonized by one or more of the above cations include sethoxydim, 2,4-D, 2,4-DB, clethodim, imazethapyr, tralkoxydim, and glufosinate and glyphosate. Approaches to minimize hard water antagonism have included decreasing the spray carrier volume and using water-conditioning additives that have proven effective at ameliorating cation-caused antagonism include ammonium sulfate, ammonium nitrate, potassium phosphate, and citric acid. Passing hard water containing Ca²⁺, Mg²⁺ or Na⁺ through an external magnetic device results in the nucleation and crystallization of the respective carbonates. As a result, hard water can be softened for a period. Considering that the hardness of Iranian agriculture is increasing and adding an adjuvant to spray solution is also considered to be more environmental contamination, therefore, the physical conversion of hard water to soft water via its passage through a magnetic field is definitely a good alternative. The objectives of this research were to investigate the effect of adding CaCO₃, MgCO₃, Na₂CO₃, K₂CO₃, or Fe₂(CO₃)₃ to distilled water on glyphosate efficacy to jimsonweed (*Datura stramonium* L.), and to compare the chemical hard water softening methods (ammonium sulfate, ammonium nitrate, citric acid and potassium phosphate) to a new physical hard water softening method (passing carrier through a magnetic field) to Reduce the incompatibility of hard water cations with glyphosate.

Materials and Methods

The seeds of jimsonweed were collected from plants in the fields of Qazvin city, Iran. They were stored in the dark at room temperature until use. Bioassays were conducted in a greenhouse located on the Ferdowsi University of Mashhad, Iran. To increase seed germination before starting the experiment, the seeds were washed every 1 hour for 7 days to remove seed germination inhibitors. Twenty-five seeds were sown at 0.5 cm depth in 2 L plastic pots filled with a mixture of sand, clay loam soil, and peat (1:1:1 by volume). At cotyledon-leaf stage, the seedlings were thinned to four per pot. The pots were irrigated every four days with tap water. Treatments were sprayed at the four-leaf stage. The experiment was arranged as a completely randomized design with four replications as a factorial design with factors of carrier type (distilled water alone or containing 0.5 g L⁻¹ of CaCO₃, MgCO₃, Na₂CO₃, K₂CO₃, or Fe₂(CO₃)₃) and hard water softening method (ammonium sulfate, ammonium nitrate, potassium phosphate, citric acid, and passing through a magnetic field) and glyphosate dose (0, 12.81, 25.62, 51.25, 102.5 and 205 g a.i. ha⁻¹). For magnetizing the carriers, it was passed 10 times through a magnetic treatment device modified from Rashed-Mohassel (30). The mixing order for treatment solutions was (i) adding CaCO₃, MgCO₃, Na₂CO₃, K₂CO₃, or Fe₂(CO₃)₃ to distilled water, then (ii) adding/using water

1, 2, 3 and 4- Ph.D. Graduated and Professors in Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively.

(*- Corresponding Author Email: a.aliverdi@basu.ac.ir)

5- Professor in Department of Weed Research, Plant Protection Research Institute, Tehran, Iran

conditioning method, and after 15 min (iii) adding glyphosate. Then, the solutions were sprayed after about 5 min using a calibrated moving boom sprayer at 180 L ha^{-1} at 200 kPa with 11002 flat-fan nozzle. Shoots were harvested four weeks after treatment, dried for 48 h at 70°C , and dry weight was determined. The data of shoot dry weight were subjected to a non-linear regression analysis for determination of ED_{50} values (herbicide dose needed to obtain 50% reduction in dry weight) using the following logarithmic logistic dose-response model. The relative potency (R), the horizontal displacement between the two curves, was also calculated.

Results and Discussion

As judged by the relative potency values given in Table 1, the hard water softening methods decreased the ED_{50} values when distilled water was used as the carrier. Therefore, the activity of glyphosate against jimsonweed was significantly increased in the presence of the hard water softening methods. There were significant differences in performance among hard water softening methods as ammonium sulfate was the most effective method. Glyphosate activity was not decreased when applied in a K_2CO_3 solution but it was decreased when applied in Na_2CO_3 , MgCO_3 , CaCO_3 or $\text{Fe}_2(\text{CO}_3)_3$ solutions. Except potassium phosphate which had only a significant effect at reducing the antagonism in the CaCO_3 carrier; all hard water softening methods could restore glyphosate activity in hard water contaminated carriers to efficacy levels comparable to glyphosate alone in distilled water. There was no statistical difference in response between the magnetized carrier and ammonium sulfate when they were used in Na_2CO_3 , MgCO_3 , or $\text{Fe}_2(\text{CO}_3)_3$ solutions. It is reported that hard water softening methods may adjust the spray solution pH so that more active ingredient can transport across the leaf surface into the plant via ion trapping phenomenon. Ammonium sulfate was the most successful method to ameliorate the decreased glyphosate activity due to antagonism with Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , or Fe^{3+} in the spray solution. By adding ammonium sulfate, the sulfate ion (SO_4^{2-}) conjugates with the hard water cations and removes free cations from solution by forming cation- SO_4 molecule, allowing ammonium ion (NH_4^+) to form glyphosate- NH_4 molecule. A glyphosate- NH_4 molecule diffuses across the cuticle easier and quicker. A mechanism for physical hard water softening method is illustrated in Fig. 2.

Conclusion

Although the physical hard water softening method was not effective as compared to some chemical hard water softening methods (ammonium sulfate and citric acid), from the point of view of economical and agricultural, applying the physical hard water softening method will be benefit because it needs no chemical.

Keywords: Adjuvants, Jimsonweed, Magnetic field

کارایی روش‌های شیمیایی و فیزیکی نرم‌سازی آب سخت در کاهش ناسازگاری کاتیون‌های آب سخت با علف‌کش گلایفوسیت

اکبر علی‌وردی^{۱*} - علی قنبری^۲ - محمدحسن راشد محصل^۳ - مهدی نصیری محلاتی^۴ - اسکندر زند

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۰۹

چکیده

وقتی آب حامل سم‌پاشی حاوی میزان بالایی از کاتیون‌های تک، دو و یا چند ظرفیتی باشد، کارایی علف‌کش‌های اسیدی ضعیف کاهش خواهد گرفت. در یک آزمایش دُز-پاسخی که در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در قالب طرح کاملاً تصادفی به صورت فاکتوریل اجرا گردید، شش مقدار از علف‌کش گلایفوسیت (مقادیر ۰، ۱۲/۸۱، ۲۵/۶۲، ۵۱/۲۵، ۱۰۲/۵ و ۲۰۵ گرم ماده مؤثره در هکتار) با حامل‌های پاشش آب مقطر و آب مقطر به همراه ۰/۵ گرم در لیتر از کربنات‌های پتاسیم، سدیم، کلسیم، منیزیم و آهن بر روی علف‌هرز تاتوره پاشیده شد. هر یک از این تیمارها با و بدون کاربرد سولفات آمونیوم، نیترات آمونیوم، اسید سیتریک و فسفات پتاسیم و میدان مغناطیسی بکار برده شدند. وقتی آب مقطر به عنوان حامل پاشش استفاده شد، کارایی گلایفوسیت با کاربرد هر یک از روش‌های نرم‌سازی آب سخت به طور معنی‌داری افزایش یافت. در این بین، سولفات آمونیوم مؤثرترین ترکیب مورد استفاده بود که باعث افزایش کارایی ۴/۰۳ برابری نسبت به آب سخت شد. کارایی گلایفوسیت در کنترل تاتوره که با حامل پاشش حاوی کربنات پتاسیم بکار برده شده بود کاهش نیافت، ولی کارایی این علف‌کش وقتی با حامل‌های پاشش حاوی کربنات کلسیم، منیزیم، سدیم و آهن بکار برده شده بود به طور معنی‌داری کاهش یافت. در بین انواع کاتیون‌ها، حامل پاشش حاوی کاتیون آهن بیشترین اثر منفی را بر کارایی گلایفوسیت داشت. بجز فسفات پتاسیم که فقط دارای تأثیر کمی در تقلیل اثرات ناسازگار حامل پاشش حاوی کربنات کلسیم داشت، سایر روش‌های نرم‌سازی آب سخت قادر بودند تا بر اثرات منفی حضور کاتیون‌ها در آب سخت به طور کامل فایده‌ای آیند. زمانی که از حامل‌های پاشش حاوی کربنات سدیم، منیزیم و آهن استفاده شد، تفاوت معنی‌داری بین عملکرد سولفات آمونیوم و میدان مغناطیسی در نرم‌سازی آب سخت مشاهده نشد.

واژه‌های کلیدی: تاتوره، مواد افزودنی، میدان مغناطیسی

مقدمه

عمدتاً، از آب به‌عنوان حامل پاشش برای کاربرد علف‌کش‌ها استفاده می‌شود. از این‌رو، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب مورد

استفاده در سم‌پاشی می‌تواند کارایی علف‌کش‌ها را تحت تأثیر قرار دهد (Shahverdi et al., 2010). محققان ثابت کرده‌اند که حضور مقادیر بالایی از کاتیون‌های سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، منگنز، روی و آهن در آب سم‌پاشی می‌تواند کارایی علف‌کش‌ها را کاهش دهد (Patton et al., 2016). در این رابطه، عمدتاً علف‌کش‌های

اسیدی ضعیف همچون ستوکسیدیم^۶ (Matysiak and Nalewaja, 1999)، کلتودیم^۷ (Nandula et al., 2007)، توفوردی^۸ (Roskamp

۱، ۲، ۳ و ۴- به‌ترتیب دانشجوی سابق دکتری و استادان گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۵- استاد موسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور، بخش تحقیقات علف‌های هرز،

تهران، ایران

(*)- نویسنده مسئول:

(Email: a.aliverdi@basu.ac.ir)

DOI: [10.22067/jpp.2021.32208.0](https://doi.org/10.22067/jpp.2021.32208.0)

6- Sethoxydim

7- Clethodim

8- 2,4-D

Chang and (۲۰۰۹) (Rashed-Mohassel et al., 2009)، چگالی^{۱۰} و (Weng, 2006)، تبخیرپذیری^{۱۱} (Toledo et al., 2008) و اسیدیته^{۱۲} (Fathi et al., 2006) رخ می دهد. تمامی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی مذکور در کارایی علف کش های شاخ و برگ مصرف تأثیرگذار هستند (Rao, 2000).

با توجه به اینکه به میزان سختی آب های کشاورزی ایران روز به روز افزوده می شود (Osati and Nahvinia., 2016) و نیز افزودن هر نوع ماده افزودنی به محلول سم به نوعی آلودگی بیشتر محیط زیست محسوب می شود (Rashed-Mohassel et al., 2009)، بنابراین، تبدیل فیزیکی آب سخت به آب نرم از طریق عبور دادن آن از بین میدان مغناطیسی قطعاً گزینه کاربردی مناسبی خواهد بود. در این تحقیق، علاوه بر ارزیابی شدت ناسازگاری هر یک از کاتیون های سدیم، پتاسیم، منیزیم، کلسیم و آهن موجود در آب سخت بر کارایی گلایفوسیت در کنترل تاتوره (*Datura stramonium* L.)، مقایسه ی بین روش های شیمیایی نرم سازی آب سخت (افزودن سولفات آمونیوم، نیترات آمونیوم، فسفات پتاسیم و اسید سیتریک) با روش فیزیکی نرم سازی آب سخت (عبور دادن حامل پاشش از میدان مغناطیسی) نیز انجام گرفت. علف هرز تاتوره گیاهی یکساله از تیره سیب زمینی است که به عنوان گیاهی مهاجم در طی چند سال اخیر در مزارع چغندر، حبوبات، سبزی و صیفی، پنبه و سویا و سایر دانه های روغنی محسوب می شود. گزارش ها نشان داده است که افزایش تراکم تاتوره از ۱ به ۳۲ بوته در ۹/۱ متر از ردیف، کاهش ۹۲ درصدی در تعداد غوزه پنبه را سبب می شود (Khanjani et al., 2010). از آنجایی که منشاء کاتیون های ناسازگار با علف کش ها ممکن است سطح برگ خود علف هرز باشد (Young et al., 2003) و براساس هال و همکاران (Hall et al., 2000) که بیان داشتند که سطح برگ تاتوره دارای میزان کلسیم پایینی است، از این رو، تاتوره صرفاً به عنوان یک گیاه محک برای درک وجود اثرات تیمارها انتخاب شد.

مواد و روش ها

کپسول های شکافته تاتوره از روی گیاهان مادری در مزارع اطراف شهر قزوین جمع آوری شدند. پس از تخلیه بذرها از کپسول ها، بذرها در تاریکی تا شروع آزمایش در دمای اتاق نگهداری شدند. آزمایش در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. به منظور یکنواختی و سهولت در جوانه زنی و سبز شدن گیاهچه های تاتوره، ابتدا بذرها در درون محلول هیپوکلریت سدیم ۵ درصد به مدت ۵ دقیقه قرار گرفتند و سپس با آب شرب شهری

و دایکمبا^۱ (Patton et al., 2016 et al., 2013a) و توفوردی بی^۲ (Somerville et al., 2012)، ایمازتاپیر^۳ (Aliverdi et al., 2014)، ترالکوکسیدیم^۴ (Devilliers et al., 2001)، گلیفوزینت آمونیوم^۵ (Soltani et al., 2011) و گلایفوسیت^۶ (Mahoney et al., 2014) حساسیت بسیار بالایی به حضور کاتیون های مذکور در آب سخت را نشان داده اند. به همین دلیل است که کاربرد مخلوط عناصر ریزمغذی منیزیم، منگنز، روی و آهن به همراه علف کش های اسیدی ضعیف توصیه نمی شود (Scroggs et al., 2009). استفاده از آب سخت به منظور سم پاشی می تواند به دلیل تشکیل کمپلکس کاتیون-توفوردی باعث ایجاد رسوب های سختی در درون اجزای مختلف سم پاش شود. در چنین وضعیتی، خسارت جبران ناپذیری به تجهیزات سم پاشی وارد خواهد شد چون رسوب زدایی بخش های داخلی سم پاش بسیار مشکل و گاهی غیر ممکن است (Somerville et al., 2012). راهکارهایی جهت کاهش ناسازگاری آب سخت با علف کش های اسیدی ضعیف ارائه شده است که عبارتند از کاهش حجم حامل پاشش (Wills et al., 1998) و افزودن مواد نرم کننده آب سخت (Devkota and Johnson, 2016). در تحقیقات قبلی، کارآمدی سولفات آمونیوم (Mahoney et al., 2014)، نیترات آمونیوم، فسفات پتاسیم (Wills et al., 1998) و اسید سیتریک (Thelen et al., 1995) به عنوان مواد افزودنی نرم کننده آب سخت در کاهش ناسازگاری کاتیون های آن با علف کش گلایفوسیت به اثبات رسیده است.

در منابع حوزه علوم پایه، محققان متعددی ثابت کرده اند که عبور دادن آب سخت حاوی آنیون کربنات و کاتیون های کلسیم (Madsen, 2004)، منیزیم و سدیم (Bin et al., 2011) از بین یک میدان مغناطیسی نسبتاً قوی باعث بلورسازی کربنات های نمکی مربوطه در درون محیط آب می شود. در نتیجه، آب سخت برای مدت زمانی در حدود ۲۰۰ ساعت به آب نرم تبدیل می شود (Coey and Cass, 2000). علاوه بر این، با عبور دادن آب از بین یک میدان مغناطیسی تغییرات معنی داری در ویژگی های فیزیکی و شیمیایی آب از جمله ظرفیت حل کنندگی^۷ (Moosa et al., 2015)، هدایت الکتریکی^۸ (Akopian and Aïrapetian, 2005)، کشش سطحی^۹

- 1- Dicamba
- 2- 2,4-DB
- 3- Imazethapyr
- 4- Tralkoxydim
- 5- Glufosinate-ammonium
- 6- Glyphosate
- 7- Solvent capacity
- 8- Conductivity
- 9- Surface tension

- 10- Viscosity
- 11- Evaporability
- 12- pH

کانال عبور قرار گرفت و سپس دو قطعه دیگر آهن‌ربا بر روی قطعات قبلی قرار داده شدند. همچنین، از آنجایی که با نزدیک کردن آهن رباهای دو طرف کانال عبور به یکدیگر شدت میدان مغناطیسی تقویت می‌شود؛ از اینرو، مقطع کانال عبور تا حد امکان باریک (۱ میلی‌متر در عرض) تهیه شد. شدت میدان مغناطیسی در درون کانال عبور ۰/۷ تسلا بود که با استفاده از تسلامتر لوپ‌دار مدل 1-ST AlphaLab اندازه‌گیری شد. دبی عبوری محلول از مقطع حدود ۱/۸ لیتر در دقیقه بود. علاوه بر این، از آنجایی که عبور پرتوهای مغناطیسی از فلز مس به خوبی انجام می‌گیرد (Gabrielli et al., 2001)؛ از این‌رو، از لوله‌ای از همین جنس برای تهیه کانال عبور استفاده شد.

چهار هفته پس از سمپاشی، گیاهان تیمار شده از سطح خاک برداشت شدند و وزن خشک آنها پس از ۴۸ ساعت قراردادی در درون آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد توزین شد. داده‌های بدست آمده تقسیم بر ۴ (تعداد بوته در هر گلدان) شدند. پاسخ وزن خشک علف-هرز تاتوره به تیمارها با تکنیک آنالیز رگرسیون غیرخطی با مدل چهار پارامتری لجستیک (معادله ۱) و با استفاده از نرم‌افزار R نسخه ۲٫۶٫۲ تجزیه و تحلیل شد (Ritz et al., 2015):

$$Y = \frac{C + (D - C)}{1 + \exp[B(\log X - \log ED)]} \quad \text{معادله ۱}$$

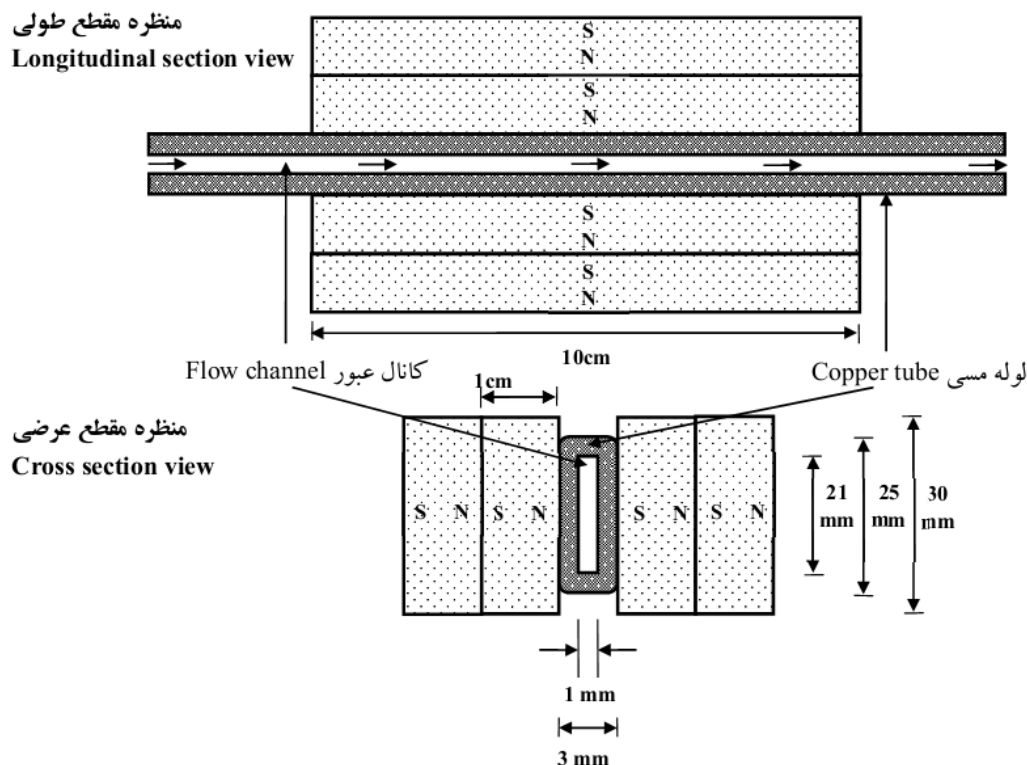
در این رابطه: Y بیانگر وزن خشک تاتوره، D و C حد مجانب بالا و پایین وزن خشک در مقادیر صفر و بی‌نهایت گلایفوسیت، ED₅₀ بیانگر مقدار علف‌کش لازم (x) برای کاهش ۵۰ درصدی در وزن خشک بین حد مجانب بالا و پایین است و B متناسب با شیب منحنی در محدوده ED₅₀ می‌باشد. از آنجایی که اهمیت پارامتر ED₅₀ در مطالعات بهینه‌سازی کارایی علف‌کش‌ها به روش دُر-پاسخ بیشتر از سایر پارامترها (مانند ED₁₀ و ED₉₀) است (Ritz et al., 2015)، از این‌رو؛ فقط نتایج مربوط به پارامتر ED₅₀ ارائه شد. پارامتر ED₅₀ بیانگر ویژگی موسوم به فعالیت ذاتی علف‌کش در گیاه است. به طوری که از نسبت آنها برای ارزیابی جابه‌جایی افقی منحنی در اثر افزودن مواد افزودنی استفاده می‌شود که به پتانسیل نسبی (R) موسوم است که براساس معادله ۲ محاسبه می‌شود (Ritz et al., 2015):

$$R = \frac{ED_{50a}}{ED_{50b}} \quad \text{معادله ۲}$$

در این رابطه: در صورت این کسر مقدار ED₅₀ علف‌کش بدون روش نرم‌سازی آب سخت و در مخرج این کسر مقدار ED₅₀ علف-کش با اعمال یک روش نرم‌سازی آب سخت قرار می‌گیرد. اگر R برابر یک باشد، اعمال روش نرم‌سازی هیچ تأثیر معنی‌داری ندارد. اگر پتانسیل نسبی بزرگتر از یک باشد، کارایی افزایش یافته و اگر پتانسیل نسبی کوچکتر از یک باشد، برعکس آن صادق است.

شستشو شدند. بذرها درون یخچال در دمای ۴ تا ۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری و در طول مدت ۷ روز هر یک ساعت با آب شرب شهری شستشو شدند. با این روش، مواد بازدارنده جوانه‌زنی موجود در پوسته بذرها (Andersen, 1968) از بین رفته و موجبات سبز شدن ۸۸ درصدی بذرها پس از کاشت فراهم شد. تعداد ۲۵ بذر در سطح خاک گلدان ۲ لیتری حاوی خاک، خاکبرگ و ماسه بادی با نسبت حجمی برابر قرار داده شدند. سپس، بر روی بذرها به اندازه ۰/۵ سانتی‌متر خاک ریخته شد. گلدان‌ها هر چهار روز یکبار آبیاری شدند. در مرحله برگ لپه‌ای، گیاهچه‌ها به حدود ۴ گیاهچه در هر گلدان تنک شدند. دمای گلخانه در مدت رشد، بین ۲۷ تا ۳۶ درجه سانتی‌گراد در طول روز و ۱۷ تا ۲۴ درجه سانتی‌گراد در طول شب در نوسان بود. گیاهان در مرحله ۴ برگی کامل با استفاده از سم‌پاش متحرک ریلی مجهز به نازل بادبزی معمولی ۱۱۰۰۲ با خروجی ۲۰۴ لیتر در هکتار با فشار ۲۰۰ کیلو پاسکال تحت تیمار قرار گرفتند. دما در حین سم‌پاشی ۳ ± ۲۶ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶ ± ۴۴ درصد بودند.

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار انجام گرفت. فاکتور غلظت علف‌کش گلایفوسیت (رانداب ۴۱٪ مایع قابل حل در آب، آریا شیمی، ایران) شامل غلظت‌های ۰، ۱۲/۸۱، ۲۵/۶۲، ۵۱/۲۵، ۱۰۲/۵ و ۲۰۵ گرم ماده مؤثره در هکتار، فاکتور حامل پاشش شامل آب مقطر و آب سخت حاوی هر یک از کاتیون‌های Na^+ ، K^+ ، Mg^{2+} ، Ca^{2+} ، Fe^{3+} و فاکتور روش نرم‌سازی آب سخت شامل کاربرد و عدم کاربرد سولفات آمونیوم، نیترات آمونیوم، اسید سیتریک، فسفات پتاسیم و میدان مغناطیسی بود. ترتیب مخلوط‌سازی مواد به این صورت بود که ابتدا، کربنات نمکی به آب مقطر افزوده شد؛ سپس، روش نرم‌سازی آب سخت اعمال شد؛ و در نهایت و پس از ۱۵ دقیقه انتظار، مقادیر علف‌کش افزوده شد (Aliverdi et al., 2014). براساس اطلاعات موجود، سولفات آمونیوم $[(NH_4)_2SO_4]$ ، نیترات آمونیوم $[NH_4NO_3]$ (Soltani et al., 2011)، اسید سیتریک $[C_6H_8O_7]$ (Thelen et al., 1995) و فسفات پتاسیم $[KH_2PO_4]$ (Wills et al., 1998) به میزان ۲۰ گرم برای هر لیتر محلول پاشش استفاده شد. برای تهیه آب سخت حاوی هر یک از کاتیون‌های Na^+ ، K^+ ، Mg^{2+} ، Ca^{2+} ، Fe^{3+} ، به‌طور جداگانه مقدار ۰/۵ گرم از نمک‌های کربناتی آهن $(Fe_2(CO_3)_3)$ ، کلسیم $(CaCO_3)$ ، منیزیم $(MgCO_3)$ ، پتاسیم (K_2CO_3) و سدیم (Na_2CO_3) به یک لیتر آب مقطر اضافه شد (Patton et al., 2016). با افزودن این نمک به آب مقطر، هر یک از حامل‌ها حاوی آنیون کربنات (CO_3^{2-}) و کاتیون‌های مذکور بودند. به‌منظور مغناطیسی‌سازی، حامل‌های پاشش را ۱۰ بار از میدان مغناطیسی عبور دادیم. آرایش میدان مغناطیسی و اندازه کانال عبور محلول پاشش و قطعات آهن‌ربا در شکل ۱ نمایش داده شده است. با اصلاح روش راشد‌محصل و همکاران (Rashed-Mohassel et al., 2009)، ابتدا دو قطعه از آهن‌ربا از سمت قطب‌های مخالفشان بر روی دو طرف



شکل ۱- ابزار تیمار مغناطیسی (با اصلاح روش راشدمحصل و همکاران (Pratt et al., 2003)

N و S به ترتیب نشان دهنده قطب های شمال و جنوب آهن ربا هستند. شدت میدان مغناطیسی برابر ۰/۷ تسلا بود.

Figure 1. Magnetic treatment device (modified from Rashed-Mohassel et al. (31))

N and S are the North and South poles, respectively. The strength of the magnetic field was 0.7 T.

نتایج و بحث

سیتریک (۲/۸۳) ≤ نیترات آمونیوم (۲/۳۷) < میدان مغناطیسی (۲/۱۱) ≤ فسفات پتاسیم (۱/۹۹) بود. هیچ گونه اختلاف معنی داری بین مقادیر پارامتر شیب (b) منحنی های دُز-پاسخ مشاهده نشد (داده ها نشان داده نشده است). به عبارتی دیگر، منحنی های علف کش تنها و همراه با روش های نرم سازی آب دارای شیب برابری هستند. براساس تحقیق کودسک و ماتیاسین (Kudsk and Mathiassen, 2007)، در زمانی که اختلاف معنی داری بین شیب منحنی ها وجود نداشته باشد، آنها را می توان موازی در نظر گرفت. در چنین وضعیتی، می توان نتیجه گیری کرد که روش های نرم سازی آب مورد استفاده در این تحقیق از نظر زیستی به خودی خود روی علف هرز تاتوره غیرفعال می باشند. پیش از این، محققان ثابت کرده اند که سولفات آمونیوم و نیترات آمونیوم موجب افزایش جذب و بهبود کارایی گلایفوسیت شده است. (Young et al., 2003; Mahoney et al., 2014)

کاربرد تمامی روش های نرم سازی آب شیمیایی (سولفات آمونیوم، نیترات آمونیوم، اسید سیتریک و فسفات پتاسیم) و فیزیکی (عبوردهی حامل از میدان مغناطیسی) موجب کاهش مقدار ED₅₀ گلایفوسیت در کنترل علف هرز تاتوره شد (جدول ۱). به طور کلی، مقادیر پتانسیل نسبی (R) زمانی که گلایفوسیت به همراه این روش های نرم سازی آب بکار برده شد از عدد ۱ بیشتر بود (جدول ۱)، که نشان دهنده افزایش قابل توجهی در کارایی این علف کش به وسیله این روش - هاست. براساس داده های پتانسیل نسبی، بیشترین و کمترین اثر به ترتیب مربوط به سولفات آمونیوم و فسفات پتاسیم بودند.

در این رابطه، بین فسفات پتاسیم و میدان مغناطیسی اختلاف معنی داری وجود نداشت. به منظور ایجاد درک مناسب از داده های پتانسیل نسبی، به عنوان نمونه باید ذکر شود که کارایی ۱ گرم در هکتار گلایفوسیت به همراه سولفات آمونیوم برابر کارایی ۴/۰۳ گرم در هکتار گلایفوسیت به تنهایی است. براساس داده های پتانسیل نسبی، رتبه بندی روش های نرم سازی آب در بهبود کارایی گلایفوسیت در کنترل علف هرز تاتوره به صورت: سولفات آمونیوم (۴/۰۳) < اسید

جدول ۱- مقادیر ED₅₀ برای گلایفوسیت پاشیده شده با آب مقطر در پاسخ به کاربرد روش‌های نرم‌سازی آب به منظور کنترل وزن خشک تاتوره

Table 1- ED₅₀ values of glyphosate applied with distilled water in response to water softening methods application to control the dry weight of jimsonweed

روش نرم‌سازی آب Water conditioner	ED ₅₀ (g a.e. ha ⁻¹)	R
شاهد Control	35.47 (4.31)	1.00
سولفات آمونیوم Ammonium sulfate	8.81 (1.71)	4.03
نیتрат آمونیوم Ammonium nitrate	14.98 (1.28)	2.37
اسید سیتریک Citric acid	12.53 (1.77)	2.83
فسفات پتاسیم Potassium phosphate	17.83 (1.78)	1.99
میدان مغناطیسی Magnetic field	16.76 (1.76)	2.11

اعداد داخل پرانتز خطای استاندارد هستند.
The standard errors are in parentheses.

محلول پاشش سبب تشدید مکانیسم تله یونی شده و از این طریق باعث بهبود کارایی گلایفوسیت در کنترل تاتوره شده است. افزایش کارایی علف‌کش‌های گلایفوسیت در کنترل تاتوره با استفاده از میدان مغناطیسی می‌تواند به دو دلیل باشد. اول اینکه، مغناطیسی‌سازی حامل سبب کاهش کشش سطحی آب (Amiri and Dadkhah, 2006) و محلول علف‌کش (Rashed-Mohassel et al., 2009) می‌شود. کاهش کشش سطحی، علاوه بر این که باعث نشست بیشتر قطره‌ها بر روی سطح برگ می‌شود، بلکه موجب کاهش زاویه تماس قطره با سطح برگ نیز می‌شود که این عمل باعث افزایش نفوذ کوتیکولی و روزنه‌ای می‌شود (Rashed-Mohassel et al., 2009). دوم اینکه، با کاهش اسیدیته محلول پاشش تحت اثر میدان مغناطیسی (Tai et al., 2008)، نفوذ علف‌کش‌های با خاصیت اسیدی ضعیف از عرض کوتیکول و غشاء سلول گیاهی به سبب تشدید مکانیسم تله یونی تسهیل و تسریع می‌شود. در مقایسه با حامل پاشش آب مقطر، حامل‌های پاشش آب مقطر حاوی نمک‌های کربناتی مختلف باعث افزایش معنی‌داری در مقدار گلایفوسیت برای کنترل ۵۰ درصدی تاتوره شدند (جدول ۲). به‌طور کلی، داده‌ها نشان می‌دهند که مقادیر پتانسیل نسبی (R) زمانی که علف‌کش با آب مقطر حاوی نمک‌های کربناتی بکار برده شده بود از عدد ۱ کمتر است، که نشان دهنده اثرات ناسازگار این کاتیون‌ها بر کارایی علف کش است.

افزودن سولفات آمونیوم و نیترات آمونیوم به محلول پاشش یون آمونیوم ایجاد می‌کند. این یون با تشدید مکانیسم تله یونی، موجب افزایش عبور علف‌کش‌های اسیدی ضعیف از غشاء سلول گیاهی شده و به بهبود کارایی آنها منجر می‌شود (Thelen et al., 1995). حالایت علف‌کش‌های دارای خاصیت اسیدی ضعیف (مانند گلایفوسیت) با اسیدیته محلول پاشش تغییر می‌کند. این نوع علف‌کش‌ها وقتی در محلولی با اسیدیته پایین قرار می‌گیرند (جایی که پروتون زیاد است)، تمایل به تجمع با پروتون داشته و این عمل سبب آبریزی و تسهیل و تسریع نفوذ آنها از عرض کوتیکول و غشاء سلولی می‌شود. این گونه علف‌کش‌ها در داخل سلول (جایی که پروتون به دلیل پمپاژ آن به بیرون سلول نسبتاً کمیاب است) پروتون از دست می‌دهند که این امر باعث آب‌دوستی یا حالایت آنها در آب درون سلولی می‌شود. بنابراین، علف‌کش‌های با خاصیت اسیدی ضعیف به این طریق در سلول (یا در آوندهای آبکش) به دام افتاده و تجمع می‌یابند (Thelen et al., 1995). علاوه بر این، ثابت شده است که کاربرد سولفات آمونیوم یا نیترات آمونیوم موجب کاهش اسیدیته محلول پاشش می‌شوند (Shahverdi et al., 2010). کاهش اسیدیته محلول پاشش به وسیله این مواد افزودنی نیز سبب تشدید مکانیسم تله یونی می‌شود (Thelen et al., 1995). پerner (2006) بیان داشت که سولفات آمونیوم و نیترات آمونیوم می‌توانند کشش سطحی محلول پاشش را نیز کاهش داده و از این طریق موجب نشست و نگهداشت بیشتر پاشش بر روی سطح برگ هدف می‌شوند. به نظر می‌رسد که اسید سیتریک نیز با کاهش اسیدیته

جدول ۲- مقادیر ED₅₀ برای گلایفوسیت پاشیده شده با آب مقطر یا آب مقطر حاوی نمک های کربناتی مختلف به منظور کنترل وزن خشک تاتوره
Table 2- ED₅₀ values of glyphosate applied with distilled water or distilled water + various carbonate salts to control the dry weight of jimsonweed

حامل پاشش Spray carrier	ED ₅₀ (g a.e. ha ⁻¹)	R
آب مقطر Distilled water	35.47 (4.31)	1.00
آب مقطر + کربنات پتاسیم Distilled water + K ₂ CO ₃	44.21 (5.36)	0.80
آب مقطر + کربنات سدیم Distilled water + Na ₂ CO ₃	55.08 (11.93)	0.64
آب مقطر + کربنات منیزیم Distilled water + MgCO ₃	70.12 (8.53)	0.50
آب مقطر + کربنات کلسیم Distilled water + CaCO ₃	65.32 (8.46)	0.54
آب مقطر + کربنات آهن Distilled water + Fe ₂ (CO ₃) ₃	89.49 (10.90)	0.39

اعداد داخل پرانتز خطای استاندارد هستند.

The standard errors are in parentheses.

به عبارتی دیگر، شدت اثر ناسازگار کاتیون های سه ظرفیتی (Fe³⁺) بیشتر از کاتیون های دو ظرفیتی (Ca²⁺ و Mg²⁺) و آنها نیز بیشتر از کاتیون های تک ظرفیتی (K⁺ و Na⁺) بود. احتمالاً این به آن دلیل است که هر سه عدد مولکول علف کش می تواند به وسیله یک کاتیون آهن خنثی شود. در حالی که هر یک عدد مولکول علف کش می تواند به وسیله یک کاتیون سدیم خنثی شود. این نتایج با یافته های نالواجا و ماتسیاک (Nalewaja and Matysiak, 1991) تطابق دارد.

به طور کلی، نتایج نشان داد که وقتی از روش های نرم سازی آب سخت (فیزیکی و شیمیایی) استفاده شد، به طور کارآمدی از اثرات منفی تمامی کاتیون های موجود در حامل پاشش بر کارایی گلایفوسیت در کنترل تاتوره جلوگیری به عمل آمد. به طوری که مقادیر ED₅₀ گزارش شده در جدول ۳ (بجز فسفات پتاسیم و میدان - مغناطیسی در ارتباط با کاربرد کربنات آهن) از مقدار ED₅₀ گزارش شده در جدول ۱ (۳۵/۴۷ گرم ماده مؤثره در هکتار) برای کاربرد گلایفوسیت تنها با حامل آب مقطر به طور معنی داری کمتر بود. براساس داده های پتانسیل نسبی (R)، کاربرد روش های نرم سازی آب سخت به طور معنی داری باعث غلبه بر اثرات منفی تمامی کاتیون ها بر کارایی گلایفوسیت شد (جدول ۳). به منظور غلبه بر اثرات منفی کاتیون پتاسیم بر کارایی گلایفوسیت کاربرد سولفات آمونیوم و فسفات پتاسیم به ترتیب مؤثرترین و کم اثرترین روش بودند. هر چند، بین روش های کاربرد فسفات پتاسیم، میدان مغناطیسی، اسید سیتریک و نیترات آمونیوم در این ارتباط اختلاف معناداری مشاهده نشد. به منظور غلبه بر اثرات منفی کاتیون سدیم بر کارایی گلایفوسیت کاربرد سولفات آمونیوم و فسفات پتاسیم به ترتیب مؤثرترین و کم اثرترین روش بودند. هر چند، بین روش های کاربرد

براساس داده های پتانسیل نسبی، اگرچه بین شدت اثر ناسازگار کاتیون های منیزیم، کلسیم و آهن و نیز بین شدت اثر ناسازگار کاتیون های پتاسیم و سدیم تفاوت معناداری مشاهده نشد، ولی بیشترین و کمترین اثر هم کاهی به ترتیب به وسیله کاتیون های آهن و پتاسیم مشاهده شد. براساس داده های پتانسیل نسبی، رتبه بندی کاتیون ها در کاهش کارایی گلایفوسیت در کنترل تاتوره به صورت: آهن ≤ منیزیم ≤ کلسیم < سدیم ≤ پتاسیم بود. تحقیقات قبلی نیز ثابت کرده اند که کاتیون های فلزی موجود در آب سخت سبب کاهش کارایی علف کش های اسیدی ضعیف می شوند (Soltani et al., 2011). به طوری که محققان گزارش کردند که کاتیون های کلسیم (Young et al., 2003)، منگنز (Bernards et al., 2005)، آهن، روی، منیزیم، سدیم و پتاسیم (Nalewaja and Matysiak, 1991) موجود در آب سخت باعث کاهش کارایی گلایفوسیت می شود. علف کش هایی که خاصیت اسید ضعیفی دارند، مثل گلایفوسیت، در محلول آب به بخش های آنیونی (یعنی جزء اسیدی آنها) و کاتیونی (یعنی یک پروتون) تفکیک می شوند. بخش آنیونی این علف کش ها با کاتیون های فلزی موجود در آب سخت پیوند برقرار کند. در نتیجه کمپلکس کاتیون - علف کش به وجود می آید (شکل ۲) که نسبت به مولکول علف کش نامحلول بوده و از طریق برگ گیاهان به خوبی جذب نمی شود (Penner, 2006). هافمن و همکاران (Hoffmann et al., 2008) نیز ثابت کردند که با افزایش سختی آب (حاوی کربنات کلسیم)، اندازه قطره های پاشش افزایش می یابد و این امر باعث کاهش نشست قطره ها روی برگ و متعاقباً موجب کاهش کارایی علف کش می شود. شدت اثر ناسازگار کاتیون ها بر فعالیت زیستی گلایفوسیت به ظرفیت کاتیونی آنها بستگی داشت (جدول ۲).

طور که قبلاً اشاره شد، ترکیباتی مانند سولفات آمونیوم و نیترات آمونیوم درون حامل پاشش تشکیل دو دسته یون می‌دهند. یون سولفات حاصل از افزودن سولفات آمونیوم و یون نیترات حاصل از افزودن نیترات آمونیوم می‌توانند با اتصال به کاتیون‌های کلسیم، منیزیم، روی، سدیم و آهن در آب سخت، از تأثیر ناسازگار این کاتیون‌ها بر فعالیت زیستی علف‌کش‌های اسیدی ضعیف جلوگیری می‌کنند (Thelen et al., 1995). یون آمونیوم حاصل از سولفات آمونیوم و نیترات آمونیوم نیز به مولکول علف‌کش اتصال می‌یابد. همان‌طور که قبلاً بیان شد، کمپلکس آمونیوم-علف‌کش قادر است از طریق تشدید مکانیسم تله اسیدی به سرعت و به میزان بالا از کوتیکول برگ نفوذ کند (Yoyng et al., 2003). فسفات پتاسیم نیز دو نوع یون درون حامل پاشش تشکیل می‌دهد. یون فسفات می‌تواند همانند یون‌های سولفات و نیترات عمل کند. یون پتاسیم با اتصال به مولکول علف‌کش سبب تشکیل کمپلکس پتاسیم-علف‌کش شود که گاهی اوقات اثرات هم‌گامی یا هم‌افزایی بسیار ناچیزی را بروز می‌دهد (Wills et al., 1998). افزودن اسید سیتریک نیز قادر است تا به طور مؤثری کاتیون‌های آب سخت را از محلول خارج نماید. افزودن اسید سیتریک، به سبب اینکه در محلول یون‌های هیدروژن آزاد می‌سازد، موجب کاهش اسیدیته محلول پاشش می‌شود (Bernards et al., 2005). اسیدی‌سازی محلول علف‌کش‌های اسیدی ضعیف باعث بهبود نفوذ گلایفوسیت از کوتیکول و بهبود انتقال آن از درون آوندهای آبکش می‌شود (Molin and Hirase, 2004).

نحوه عمل روش فیزیکی نرم‌سازی آب سخت با استفاده از میدان مغناطیسی در شکل ۲ پیشنهاد شده است. در مسیر شماره ۱، علف‌کش‌هایی با خاصیت اسید ضعیفی که درون آب به بخش‌های آبیونی و کاتیونی تفکیک می‌شوند، از طرف بخش آبیونی خود با کاتیون‌های آب سخت پیوند برقرار می‌کنند. در نتیجه، کمپلکس کاتیون-علف‌کش به وجود می‌آید که علی‌رغم اینکه نسبت به مولکول علف‌کش نامحلول بوده و به خوبی از طریق برگ‌های گیاهان جذب نمی‌شود (Penner, 2006)، بلکه تعداد مولکول علف‌کش کمی در محلول پاشش به طور آزاد وجود خواهد داشت تا به فعالیت زیستی خود بپردازد. در مسیر شماره ۲، عبور دادن آب سخت از میدان مغناطیسی (مغناطیسی‌سازی حامل) موجب تحریک فرآیند هسته‌زایی برای تولید بلور کربنات کلسیم می‌شود (Madsen, Coey and Cass, 2000)؛ قبلاً، فرآیند هسته‌زایی برای تولید بلور کربنات سدیم، کربنات کلسیم و کربنات منیزیم از آب سخت عبور کرده از میدان مغناطیسی به وسیله بین و همکاران (Bin et al., 2011) گزارش شده است.

سولفات آمونیوم، میدان مغناطیسی، اسید سیتریک و نیترات آمونیوم در این ارتباط اختلاف معناداری مشاهده نشد. به منظور غلبه بر اثرات منفی کاتیون منیزیم بر کارایی گلایفوسیت کاربرد سولفات آمونیوم و فسفات پتاسیم به ترتیب مؤثرترین و کم‌اثرترین روش بود. بین روش‌های کاربرد میدان مغناطیسی، اسید سیتریک و نیترات آمونیوم در این ارتباط اختلاف معناداری مشاهده نشد. همچنین، بین روش‌های فسفات پتاسیم و میدان مغناطیسی اختلاف معنی‌داری در این رابطه مشاهده نشد. در مورد کاربرد علف‌کش گلایفوسیت به همراه حامل حاوی کربنات کلسیم، نتایج نشان داد که کاربرد تمامی روش‌های نرم‌سازی آب سخت باعث غلبه بر اثرات منفی کاتیون کلسیم بر کارایی علف‌کش گلایفوسیت در کنترل علف‌هرز تاتوره شد. در این ارتباط نیز بهترین روش برای این منظور با کاربرد سولفات آمونیوم بدست آمد. هرچند، بین کاربرد سولفات آمونیوم و اسید سیتریک اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. اگرچه فسفات پتاسیم تأثیرگذار بود ولی تأثیر آن در مقایسه با دیگر روش‌ها کمترین بود. بین روش‌های کاربرد میدان مغناطیسی، اسید سیتریک و نیترات آمونیوم در این ارتباط اختلاف معناداری مشاهده نشد. در رابطه با کاربرد گلایفوسیت به همراه حامل حاوی کربنات آهن نتایج مشابهی با کاربرد آن به همراه حامل حاوی کربنات کلسیم بدست آمد. به طوری که کاربرد تمامی روش‌های نرم‌سازی آب سخت باعث غلبه بر اثرات منفی کاتیون آهن بر کارایی گلایفوسیت در کنترل تاتوره شد. در این ارتباط نیز بهترین روش برای این منظور با کاربرد سولفات آمونیوم بدست آمد. هرچند، بین کاربرد سولفات آمونیوم و کاربرد اسید سیتریک و نیترات آمونیوم اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. اگرچه فسفات پتاسیم تأثیرگذار بود ولی تأثیر آن در مقایسه با روش‌های دیگر کمترین بود. بین روش‌های کاربرد فسفات پتاسیم و میدان مغناطیسی در این ارتباط اختلاف معناداری مشاهده نشد. در تحقیقات متعدد قبلی، به حداقل‌رسانی اثرات ناسازگار کاتیون‌های فلزی موجود در آب سخت به وسیله روش‌های شیمیایی نرم‌سازی آب سخت بر کارایی علف‌کش‌های اسیدی ضعیف به خوبی مستند شده است. برای مثال، کاربرد روش‌های شیمیایی نرم‌سازی آب سخت قبل از افزودن علف‌کش‌های گلایفوسیت (Hajmohammadnia Ghalibaf et al., 2014) و گلیفوزینت آمونیوم (Soltani et al., 2011; Pratt et al., 2003)؛ ترالکوکسی‌دیم (Devilliers et al., 2001)؛ دایکمبا و توفوردی (Roskamp et al., 2013a)؛ سافلوفنیسیل^۱ (Roskamp et al., 2013b)؛ توفوردی + ام‌سی‌پی^۲ (Nosratti et al., 2012)؛ ایمازتاپیر (Aliverdi et al., 2014) به حامل آب سخت موجب غلبه بر اثرات منفی ناشی از کاتیون‌های موجود در حامل شده است. همان

جدول ۳- مقادیر ED_{50} برای گلافوسیت پاشیده شده با آب مقطر حاوی نمک های کربناتی مختلف در پاسخ به کاربرد روش های نرم سازی آب به منظور کنترل وزن خشک تاتوره
 Table 3- ED_{50} values of glyphosate applied with distilled water + various carbonate salts in response to water softening methods application to control the dry weight of jimsonweed

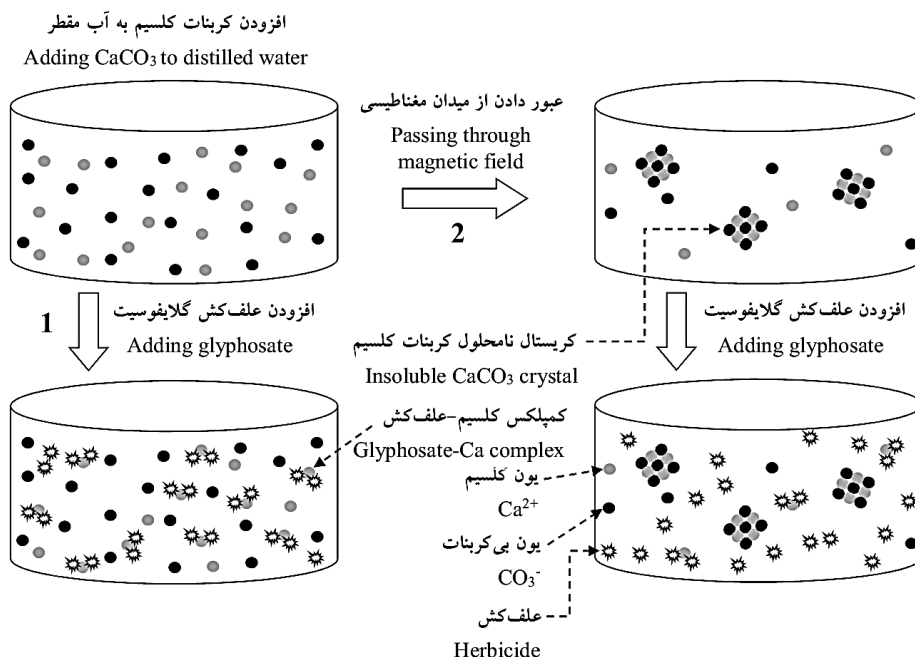
روش نرم سازی آب Water conditioner	حامل پاشش Spray carrier					
	آب مقطر + کربنات پتاسیم Distilled water + K_2CO_3	آب مقطر + کربنات سدیم Distilled water + Na_2CO_3	آب مقطر + کربنات منیزیم Distilled water + $MgCO_3$	آب مقطر + کربنات کلسیم Distilled water + $CaCO_3$	آب مقطر + کربنات آهن Distilled water + $Fe_2(CO_3)_3$	
	ED_{50} (g a.e. ha ⁻¹)	ED_{50} (g a.e. ha ⁻¹)	ED_{50} (g a.e. ha ⁻¹)	ED_{50} (g a.e. ha ⁻¹)	ED_{50} (g a.e. ha ⁻¹)	R
شاهد Control	44.21 (5.36)	55.08 (11.93)	70.12 (8.53)	65.32 (8.46)	89.49 (10.90)	1.00
سولفات آمونیوم Ammonium sulfate	14.30 (1.42)	18.44 (2.05)	18.32 (3.64)	17.82 (1.93)	28.66 (3.20)	3.12
نیترات آمونیوم Ammonium nitrate	22.66 (3.63)	21.37 (2.02)	23.11 (2.86)	27.21 (3.58)	30.99 (3.47)	2.89
اسید سیتریک Citric acid	22.98 (3.70)	19.90 (2.59)	22.07 (3.12)	22.91 (3.41)	30.37 (3.91)	2.95
فسفات پتاسیم Potassium phosphate	26.78 (2.77)	30.01 (4.04)	40.31 (4.93)	28.51 (3.46)	195.18 (8.01)	1.73
میدان مغناطیسی Magnetic field	21.68 (2.66)	21.10 (2.26)	28.80 (6.63)	26.10 (3.12)	128.55 (8.39)	2.12

اعداد داخل پرانتز خطای استاندارد هستند.

The standard errors are in parentheses.

افزودنی نرم‌کننده آب سخت استفاده شود. در این تحقیق مشخص شد که روش‌های نرم‌سازی آب سخت دارای کارایی مناسب در این جهت بوده‌اند. عملکرد سولفات آمونیوم و اسیدسیتریک در به حداقل رساندن واکنش کاتیون‌های مذکور با گلايفوسیت در مقایسه با دیگر روش‌های شیمیایی نرم‌سازی آب سخت بیشتر بود. اگرچه، روش فیزیکی نرم‌سازی آب سخت (میدان مغناطیسی) در مقایسه با فسفات پتاسیم و در برخی موارد از نیترات آمونیوم کارآمدتر ظاهر شد ولی در مقایسه با سولفات آمونیوم و اسید سیتریک دارای کارایی کمتری بود. از آنجایی که روش فیزیکی نهاده‌ی مصرف‌نشده‌ی است؛ لذا تقویت و بهینه‌سازی این روش دارای ارجحیتی در مقایسه روش‌های شیمیایی نرم‌سازی آب سخت، که نهاده‌ی مصرف‌نشده‌ی می‌باشد. از این‌رو، از نظر اکولوژیکی کاربرد روش فیزیکی نرم‌سازی آب سخت در مقایسه با روش‌های شیمیایی سالم‌تر و ایمن‌تر به نظر می‌رسد. به همین سبب، برای تقویت سودمندی روش فیزیکی نرم‌سازی آب سخت در تحقیقات آینده، پیشنهادات ذیل احتمالاً مؤثر واقع خواهند شد: الف) کاربرد مواد پارامغناطیس به منظور تسهیل هسته‌زایی و تحریک کریستال‌زایی سریع و بیشتر کربنات‌های نمکی در محیط آب و ب) کاربرد نانو-فیلتر در مسیر خروجی جریان محلول به منظور جداسازی کریستال‌های تشکیل شده.

همانطور که قبلاً ذکر شد، کربنات کلسیم در داخل آب تشکیل دو نوع یون می‌دهد که عبارتند از کاتیون کلسیم (Ca^{2+}) و آنیون کربنات (CO_3^{2-}). کاتیون‌ها و آنیون‌ها به ترتیب به وسیله قطب شمال و جنوب آهن‌ربا جذب می‌شوند (Rashed-Mohassel et al., 2009). این عمل باعث می‌شود که تحت اثر میدان مغناطیسی کاتیون کلسیم و آنیون کربنات به تهييج آمده و در درون محیط آب متحد شده و تشکیل کریستال موقت کربنات کلسیم دهند (Coey and Cass, 2000). بدین ترتیب، این فرآیند از طریق کریستال‌سازی کربنات کلسیم، از حضور آزادانه کاتیون کلسیم در حامل پاشش آب سخت برای تشکیل کمپلکس کلسیم-علف‌کش جلوگیری می‌نماید. در نتیجه، مولکول علف‌کش به طور آزادانه درون حامل پاشش باقی می‌ماند تا به فعالیت زیستی خود یعنی کشتن علف‌هرز، پردازد (شکل ۲). به عنوان جمع‌بندی نهایی، وقتی از آب سخت، که دارای مقادیر بالایی از کاتیون (مانند منیزیم، کلسیم، سدیم، پتاسیم و آهن) است، برای تهیه محلول علف‌کش گلايفوسیت استفاده شد، کارایی آن در کنترل تاتوره کاهش یافت. قدرت ناسازگاری کاتیون‌های مورد آزمایش به ترتیب به صورت آهن < کلسیم < منیزیم < سدیم < پتاسیم بود. به همین سبب توصیه می‌شود که به منظور بهینه‌سازی مصرف علف‌کش‌های اسیدی ضعیف در چنین شرایطی از مواد



شکل ۲- نحوه عمل پیشنهادی برای روش فیزیکی نرم‌سازی آب سخت با استفاده از یک میدان مغناطیسی

این مکانیسم در زمانی که از کربنات‌های سدیم، پتاسیم، منیزیم یا آهن برای تهیه آب سخت استفاده شود نیز قابل تعمیم است.

Figure 2- Proposed mechanism for hard water softening physical method by a magnetic field

This mechanism is generalized when K_2CO_3 , Na_2CO_3 , MgCO_3 , or $\text{Fe}_2(\text{CO}_3)_3$ is used to prepare hard water.

سپاسگزاری

کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد است. از خانم سمیه ابراهیم پور فرجی و آقای پرویز حسینی که در اجرای این تحقیق نقش مؤثری داشته‌اند تشکر و قدردانی می‌کنیم.

نتایج ارائه شده در این مقاله حاصل بخشی از رساله دکتری با شماره طرح: ۳/۲۳۲۹۳ در رشته علوم علف‌های هرز دانشکده

منابع

1. Akopian, S.N., & Aïrapetian, S.N. (2005). A study of specific electrical conductivity of water by the action of constant magnetic field, electromagnetic field, and low-frequency mechanical vibrations. *Biofizika* 50(2): 265–270.
2. Aliverdi, A., Ganbari, A., Rashed-Mohassel, M.H., Nassiri-Mahallati, M., & Zand, E. (2014). Overcoming the antagonistic effect from spray carrier minerals on imazethapyr activity. *Agronomy Journal* 106(5): 1569–1573. <https://doi.org/10.2134/agronj13.0514>.
3. Amiri, M., & Dadkhah, A. (2006). On reduction in the surface tension of water due to magnetic treatment. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 278(1-3): 252–255. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2005.12.046>.
4. Andersen, R.N. (1968). *Germination and establishment of weeds for experimental purposes*. Weed Science Society of America, Urbana, IL, USA.
5. Bernards, M.L., Thelen, K.D., & Penner, D. (2005). Glyphosate efficacy is antagonized by manganese. *Weed technology*, 19(1), 27-34. <https://doi.org/10.1614/WT-03-193R2>.
6. Bin, G.U.O., HAN, H.B., & Feng, C.H.A.I. (2011). *Influence of magnetic field on microstructural and dynamic properties of sodium, magnesium and calcium ions*. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 21, s494-s498. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(11\)61631-2](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(11)61631-2).
7. Chang, K.T., & Weng, C.I. (2006). The effect of an external magnetic field on the structure of liquid water using molecular dynamics simulation. *Journal of Applied Physics* 100(4): 043917. <https://doi.org/10.1063/1.2335971>.
8. Coey, J.M.D., & Cass, S. (2000). Magnetic Water Treatment. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 209(1-3): 71–74.
9. Devilliers, B.L., Kudsk, P., Smit, J.J., & Mathiassen, S.K. (2001). Tralkoxydim: adjuvant, MCPA and other effects. *Weed Research* 41(6): 547-556. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2001.00257.x>.
10. Devkota, P., & Johnson, W.G. (2016). Effect of carrier water hardness and ammonium sulfate on efficacy of 2,4-D choline and premixed 2,4-D choline plus glyphosate. *Weed Technology* 30(4): 878-887. <https://doi.org/10.1614/WT-D-16-00040.1>.
11. Fathi, A., Mohamed, T., Claude, G., Maurin, G., & Mohamed, B.A. (2006). Effect of a magnetic water treatment on homogeneous and heterogeneous precipitation of calcium carbonate. *Water Research* 40(10): 1941-1950. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.03.013>.
12. Gabrielli, C., Jaouhari, R., Maurin, G., & Keddad, M. (2001). Magnetic water treatment for scale prevention. *Water Research* 35(13): 3249-3259. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00010-0](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00010-0).
13. Hajmohammadnia Ghalibaf, K., Rashed Mohassel, M. H., Nassiri Mahallati, M., Zand, E., & Kudsk, P. (2014). Investigation on the influence of spray tank water quality on glyphosate performance and eliminate the adverse effects. *Weed Research Journal* 6(2): 105–120.
14. Hall, G.J., Hart, C.A., & Jones, C.A. (2000). Plants as sources of cations antagonistic to glyphosate activity. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science* 56(4): 351-358. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1526-4998\(200004\)56:4<351::AID-PS151>3.0.CO;2-A](https://doi.org/10.1002/(SICI)1526-4998(200004)56:4<351::AID-PS151>3.0.CO;2-A).
15. Hoffmann, W.C., Bagley, W.E., Fritz, B.K., Lan, Y., & Martin, D.E. (2008). Effects of water hardness on spray droplet size under aerial application conditions. *Applied Engineering in Agriculture* 24(1): 11-14.
16. Khanjani, M., Mahmoodi, S., & Jami-Al-Ahmadi, M. (2010). Effect of density and relative time of emergence of Jimsonweed (*Datura stramonium* L.) on yield and yield components of Chittibeen (*Phaseolus vulgaris* L.). *Electronic Journal of Crop Production* 3(2): 215–228.
17. Kudsk, P., & Mathiassen, S.K. (2007). Analysis of adjuvant effects and their interactions with variable application parameters. *Crop Protection* 26(3): 328-334. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2005.06.012>.
18. Madsen, H.E.L. (2004). Crystallization of calcium carbonate in magnetic field in ordinary and heavy water. *Journal of Crystal Growth* 267(1-2): 251-255. <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2004.03.051>.
19. Mahoney, K.J., Nurse, R.E., & Sikkema, P.H. (2014). The effect of hard water, spray solution storage time, and ammonium sulfate on glyphosate efficacy and yield of glyphosate-resistant corn. *Canadian Journal of Plant Science* 94(8): 1401-1405. <https://doi.org/10.4141/cjps-2014-13>.
20. Matysiak, R., & Nalewaja, J.D. (1999). Temperature, adjuvants, and UV light affect sethoxydim phytotoxicity. *Weed Technology* 13(1): 94-99. <https://doi.org/10.1017/S0890037X00044973>.

21. Molin, W.T., & Hirase, K. (2004). Comparison of commercial glyphosate formulations for control of prickly sida, purple nutsedge, morningglory and sicklepod. *Weed Biology and Management*, 4(3): 136-141. <https://doi.org/10.1111/j.1445-6664.2004.00130.x>.
22. Moosa, G.M., Khulaef, J.H., Khraib, A.C., Shandi, N.R., & Al-Braich, M.S.K. (2015). Effect of magnetic water on physical properties of different kind of water, and studying its ability to dissolving kidney stone. *Journal of Natural Sciences Research*, 5(18):85-94.
23. Nalewaja, J.D., & Matysiak, R. (1991). Salt antagonism of glyphosate. *Weed Science* 39(4): 622-628. <https://doi.org/10.1017/S0043174500088470>.
24. Nandula, V.K., Poston, D.H., Reddy, K.N., & Koger, C.H. (2007). Formulation and adjuvant effects on uptake and translocation of clethodim in bermudagrass (*Cynodon dactylon*). *Weed Science* 55(1): 6-11. <https://doi.org/10.1614/WS-06-024.1>.
25. Nosratti, I., Alizade, H., & Mashhadi, H.R. (2012). Effect of some adjuvants in reducing antagonistism of spray carrier water cations to 2, 4-D+MCPA efficacy on licorice (*Glycyrrhiza glabra* L.). *Annals of Biological Research* 3(6): 2631-2635.
26. Osati, K., & Nahvinia, M.J. (2016). Spatial variations of ground water quality in Birjand Plain for agriculture. *Environment and Water Engineering* 2(1): 25-36. (In Persian with English abstract)
27. Patton, A.J., Weisenberger, D.V., & Johnson, W.G. (2016). Divalent cations in spray water influence 2, 4-D efficacy on dandelion (*Taraxacum officinale*) and broadleaf plantain (*Plantago major*). *Weed Technology* 30(2): 431-440. <https://doi.org/10.1614/WT-D-15-00120.1>.
28. Penner, D. (2006). *Novel water conditioning agents for glyphosate*. In North Central Weed Science Society Proceedings (Vol. 61, p. 150).
29. Pratt, D., Kells, J.J., & Penner, D. (2003). Substitutes for ammonium sulfate as additives with glyphosate and glufosinate. *Weed Technology* 17(3): 576-581. [https://doi.org/10.1614/0890-037X\(2003\)017\[0576:SFASAA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0890-037X(2003)017[0576:SFASAA]2.0.CO;2).
30. Rao, V.S. (2000). *Principles of weed science*, 2nd ed. Science Publishers, Enfield, NH.
31. Rashed-Mohassel, M.H., Aliverdi, A., & Ghorbani, R. (2009). Effects of a magnetic field and adjuvant in the efficacy of cycloxydim and clodinafop-propargyl on the control of wild oat (*Avena fatua*). *Weed Biology and Management* 9(4): 300-306. <https://doi.org/10.1111/j.1445-6664.2009.00354.x>.
32. Ritz, C., Baty, F., Streibig, J.C., & Gerhard, D. (2015). Dose-response analysis using R. *PloS One* 10(12): e0146021. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146021>.
33. Roskamp, J.M., Chahal, G.S., & Johnson, W.G. (2013a). The effect of cations and ammonium sulfate on the efficacy of dicamba and 2,4-D. *Weed Technology* 27(1): 72-77. <https://doi.org/10.1614/WT-D-12-00106.1>.
34. Roskamp, J.M., Turco, R.F., Bischoff, M., & Johnson, W.G. (2013b). The influence of carrier water pH and hardness on saflufenacil efficacy and solubility. *Weed Technology* 27(3): 527-533. <https://doi.org/10.1614/WT-D-12-00154.1>.
35. Scroggs, D.M., Miller, D.K., Stewart, A.M., Leonard, B.R., Griffin, J.L., & Blouin, D.C. (2009). Weed response to foliar coapplications of glyphosate and zinc sulfate. *Weed Technology* 23(1): 171-174. <https://doi.org/10.1614/WT-08-103.1>.
36. Shahverdi, F., Montazeri, M., & Dianat, M. (2010). The effect of ammonium sulphate on efficacy of a few weak acidic herbicides. *Iranian Journal of Weed Science* 6(1): 113-121. (In Persian with English abstract)
37. Soltani, N., Nurse, R., Robinson, D., & Sikkema, P. (2011). Effect of ammonium sulfate and water hardness on glyphosate and glufosinate activity in corn. *Canadian Journal of Plant Science* 91(6): 1053-1059. <https://doi.org/10.4141/cjps2011-047>.
38. Somerville, A., Betts, G., Gordon, B., Green, V., Burgis, M., & Henderson, R. (2012). *Adjuvants: oils, surfactants and other additives for farm chemicals*. Grains Research and Development Corporation, Kingston, Australia.
39. Tai, C.Y., Chang, M.C., Shieh, R.J., & Chen, T.G. (2008). Magnetic effects on crystal growth rate of calcite in a constant-composition environment. *Journal of Crystal Growth* 310(15): 3690-3697. <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2008.05.024>.
40. Thelen, K.D., Jackson, E.P., & Penner, D. (1995). The basis for the hard-water antagonism of glyphosate activity. *Weed Science* 43(4): 541-548. <https://doi.org/10.1017/S0043174500081613>.
41. Toledo, E.J., Ramalho, T.C., & Magriotis, Z.M. (2008). Influence of magnetic field on physical-chemical properties of the liquid water: Insights from experimental and theoretical models. *Journal of Molecular Structure* 888(1-3): 409-415. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2008.01.010>.
42. Wills, G.D., Hanks, J.E., Jones, E.J., & Mack, R.E. (1998). Effect of oil adjuvants and nitrogen fertilizer on the efficacy of imazethapyr applied at conventional and ultralow spray volumes. *Weed Technology* 12(3): 441-445. <https://doi.org/10.1017/S0890037X00044110>.
43. Young, B.G., Knepp, A.W., Wax, L.M., & Hart, S.E. (2003). Glyphosate translocation in common lambsquarters (*Chenopodium album*) and velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) in response to ammonium sulfate. *Weed Science* 51(2): 151-156. [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2003\)051\[0151:GTICLC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2003)051[0151:GTICLC]2.0.CO;2).



The Effect of Different Weed Control Managements on Yield and Yield Components of Three Rice Cultivars

M. Smaeeltabar¹, F. Zaefarian^{2*}, Sh. Nazari³, R. Abbasi⁴

Received: 20-12-2021

Revised: 01-05-2022

Accepted: 05-05-2022

Available Online: 15-02-2023

How to cite this article:

Esmaeeltabar, M., Zaefarian, F., Nazari, Sh., & Abbasi, R. (2023). The Effect of Different Weed Control Managements on Yield and Yield Components of Three Rice Cultivars. *Journal of Iranian Plant Protection Research* 36(4): 453-466. (In Persian with English abstract)

DOI: [10.22067/jpp.2022.74285.1069](https://doi.org/10.22067/jpp.2022.74285.1069)

Introduction

Rice (*Oryza sativa* L.) is one of the world's most important food crops. Currently, more than one third of the human population relies on rice for their daily sustenance. Rice is predominantly grown by transplanting seedlings into puddled (conventional wet-tillage) soil and kept flooded for most part of the growing season. The puddled soil ensures good crop establishment, weed control with standing water, and reduces deep-percolation losses. However, the conventional method of rice crop establishment requires a large amount of water, labour, and energy, which are gradually becoming scarce and more expensive. Thus, reducing the profitability and sustainability of puddled transplanted rice. Dry direct seeded rice has shown promise under several ecologies and production systems to overcome these challenges, and is considered as potential alternative to puddled transplanted rice. Weed infestation in direct-seeded rice fields remains the single largest constraint limiting their productivity. An effective early weed management tactic is imperative for any direct-seeded rice production technology aiming at achieving higher productivity and profitability.

Materials and Methods

In order to investigate the effect of different weed managements on yield and yield components of rice in the direct crop system, an experiment was conducted in 2020 on farms located in Babolsar (Behnamir). The experiment was performed as a factorial based on randomized complete block design with three replications. Experimental factors include rice cultivars (Shiroudi, Khazar and Hashemi) as well as other treatments including weed control by increasing the competitiveness of rice seeds by coating and weed management at five levels including coating the seeds with CaCl₂ and KCl, weeding, chemical control (Council active) and control (no weeding).

Results and Discussion

Weed management by coating rice seeds with calcium chloride, potassium chloride, chemical control and weeding was reduced 26, 26, 23 and 63% dry weight of broadleaf weeds and 14, 27, 9 and 36% dry weight of narrow leaf weeds, respectively, compared to control treatment. The maximum emergence percentage in Shiroudi cultivar with 99, 97 and 95% was obtained under weeding, coating the seeds with CaCl₂ and KCl treatment, respectively. Also, the highest emergence rate was observed under the management of weeding and coating of potassium and calcium chloride seeds. Seed coating with CaCl₂ and KCl substantially improved the stand establishment under drought and well-watered conditions owing to early completion of pre-germination metabolic activities during priming. In general, the results of mean comparison showed that weed management improved rice height compared to the control treatment. The results of this study attributed the increase in height to the effect of pretreatment on increasing the rate of emergence and better establishment of seedlings due to

1, 2 and 4- M.Sc. Student, Associate Professor and Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, respectively.

(*- Corresponding Author Email: fa.zaefarian@sanru.ac.ir)

3- Research Assistant Professor, Department of Seed Improvement, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran

better plant use of related resources. The results showed that the maximum number of seeds per panicles with 137 were obtained in Khazar cultivar. The highest number of seeds per panicles with 127, 124 and 122 seeds was under weeding management and coating with CaCl_2 and KCl, respectively. The results of cultivar effect showed that the maximum 1000-seed weight with 23.83 g was observed in Shiroudi cultivar. Also, 1000-seed weight in Khazar and Hashemi cultivars were 22.1 and 21.09 g, respectively. The reason for the increase in the number of 1000-seed weight in Shiroudi cultivar can be attributed to the genetic potential and physiological quality of this cultivar. Also, the results of weed management effect showed that coating rice seeds with calcium chloride and potassium chloride, chemical control and weeding increased 14, 26, 4 and 33% of grain yield and 4, 14, 2 and 18% of biological yield compared to control treatment, respectively. Improved yield by seed coating in direct seeded rice might be the result of enhanced dry matter partitioning toward the panicles that resulted in improved kernel yield.

Conclusion

According to the results of this study, seed coating treatments with CaCl_2 and KCl in rice cultivars can increase rice yield by improving seedling characteristics. Therefore, farmers can be advised to use a simple and inexpensive crop management method to pretreated seeds with CaCl_2 and KCl.

Keywords: Emergence percentage, CaCl_2 , Grain yield, Harvest index, KCl

اثر رقم و روش‌های مدیریتی بر عملکرد و اجزاء عملکرد برنج

مهدی اسماعیل تبار^۱ - فائزه زعفریان^{۲*} - شهرام نظری^۳ - رحمت عباسی^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۱۵

چکیده

یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در سیستم کشت مستقیم برنج وجود علف‌های هرز می‌باشد. به منظور بررسی اثر مدیریت‌های مختلف علف هرز بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج در سیستم زراعی کشت مستقیم، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۹ در شهرستان بابلسر (پهنمیر) انجام شد. تیمارها شامل ارقام برنج (شیرودی، خزر و هاشمی) و روش‌های مدیریتی در پنج سطح شامل پوشش‌دار کردن بذر با کلرید کلسیم، پوشش‌دار کردن بذر با کلرید پتاسیم، وجین، کنترل شیمیایی و شاهد بود. نتایج نشان داد که روش‌های مدیریتی علف‌های هرز توانستند ۶۳-۲۳ درصد وزن خشک علف‌های هرز پهن برگ و همچنین ۳۶-۹ درصد نیز وزن خشک علف‌های هرز باریک برگ را نسبت به تیمار شاهد کاهش دهند. حداکثر درصد سبز شدن در رقم شیرودی با ۹۷، ۹۹ و ۹۵ درصد به ترتیب تحت تیمارهای وجین، پوشش‌دار کردن کلرید پتاسیم و کلرید کلسیم به دست آمد. همچنین بالاترین سرعت سبز شدن نیز تحت مدیریت وجین و پوشش‌دار کردن بذر با کلرید پتاسیم و کلسیم مشاهده شد. بیش‌ترین تعداد دانه در خوشه با ۱۲۷، ۱۲۴ و ۱۲۲ عدد به ترتیب تحت مدیریت‌های وجین، پوشش‌دار کردن بذر با کلرید پتاسیم و کلرید کلسیم بود. نتایج اثر مدیریت علف هرز نشان داد که پوشش‌دار کردن بذر برنج با کلرید کلسیم و کلرید پتاسیم، کنترل شیمیایی و وجین علف‌های هرز به ترتیب ۱۴، ۲۶، ۴ و ۳۳ درصد عملکرد دانه و به ترتیب ۴، ۱۴، ۲ و ۱۸ درصد عملکرد بیولوژیک را نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. به طور کلی نتایج نشان داد پیش‌تیمار با کلرید کلسیم و کلرید پتاسیم موجب بهبود کارکرد بذر و در نتیجه افزایش عملکرد در شرایط کشت مستقیم برنج می‌شود.

واژه‌های کلیدی: درصد سبز شدن، شاخص برداشت، عملکرد دانه، کلرید پتاسیم، کلرید کلسیم

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) به عنوان یکی از مهم‌ترین محصولات زراعی با سطح زیر کشت بیش از ۱۶۲ میلیون هکتار و مقدار تولید ۷۵۵ میلیون تن در جهان، نقش مهمی در تأمین نیاز غذایی جوامع بشری دارد (FAO, 2020). براساس پیش‌بینی‌ها نیاز به برنج تا سال‌های ۲۰۳۵ و ۲۰۵۰ به ترتیب ۲۶ و ۵۰ درصد افزایش خواهد یافت (IRRI, 2020). ایران نیز با سطح زیر کشت حدود ۸۵۵ هزار هکتار و مقدار تولید ۲/۹ میلیون تن در حال حاضر حدود ۳/۴ میلیون تن

مصرف برنج دارد که پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۵ مقدار مصرف به ۵/۱ میلیون تن برسد (FAO, 2020). کشت برنج در ایران اغلب به صورت نشایی است. روش آبیاری مورد استفاده در کشور به صورت غرقابی است که استفاده از این روش موجب مصرف آب بیش از اندازه و پائین بودن کارایی مصرف آن می‌گردد. محدودیت‌های متعددی که در کشت نشایی برنج وجود، یعنی مصرف بالای آب (۱۰۰۰-۲۰۰۰ میلی‌متر)، نیاز به انرژی فراوان (۸۴۴۸-۵۶۳۰ مگاژول در هکتار) و نیروی کار بیش‌تر (۲۰-۱۵ درصد) نسبت به سیستم زراعی کشت مستقیم، آن را برای بسیاری از کشاورزان به ویژه کشاورزان خرده پا که دارای زمین‌های کوچک و حاشیه‌ای دارند، غیرقابل قبول کرده است (Materu et al., 2018; Neog et al., Bhatt et al., 2016). از دیگر مشکلات کشت نشایی می‌توان به تخریب خاکدانه‌ها در نتیجه پادلینگ^۵ (گل‌خرابی)، ایجاد ذرات رس قابل انتشار

۱، ۲ و ۴- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار، گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
(*)- نویسنده مسئول: (Email: fa.zaefarian@sanru.ac.ir)

۳- استادیار پژوهش، بخش اصلاح و تهیه بذر، مؤسسه تحقیقات یرنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران

(DCP^۱) و تخریب ساختمان خاک اشاره کرد که در نتیجه سبب تشکیل هاردپن^۲ (لایه سخت) در عمق کم خاک می شود (Gallardo et al., 2001). بنابراین باتوجه به مشکلات ناشی از کشت نشایی برنج، لازم است استراتژی های جدیدی از جمله کشت مستقیم برنج در راستای مدیریت بهینه در خصوص کشت این محصول پرمصرف اتخاذ شود.

تکنیک کشت مستقیم برنج با تسریع آماده سازی زمین به ترتیب سبب کاهش ۲۰ و ۳۰ درصدی هزینه های کارگری و آب نسبت به نشایی می گردد (Du et al., 2019). اما علی رغم تأکید محققین متعدد بر مزیت های کشت مستقیم نسبت به کشت نشایی، هنوز این سیستم کشت برنج مقبولیت عمومی پیدا نکرده است (Farooq et al., 2011). از مهم ترین عوامل محدودکننده تولید در کشت مستقیم برنج، گسترش علف های هرز و عدم جوانه زنی و به تبع آن عدم رشد مطلوب برنج در مزرعه را می توان نام برد. به طوری که تخمین زده می شود عملکرد برنج آلوده به علف هرز تحت کشت مستقیم ۷۵ درصد کاهش می یابد، در حالی که هزینه های مربوط به مبارز با علف های هرز در این نوع سیستم زراعی تا ۳۰ درصد افزایش می یابد (Rao et al., 2007). هنگامی که کشاورزان سیستم تولید برنج خود را از کشت نشایی به کشت مستقیم تغییر می دهند، جمعیت علف های هرز (نوع و تعداد) به طور چشمگیری افزایش می یابد (Allard et al., 2005). وجین علف های هرز در مزارع برنج، رایج ترین و متداول ترین روش مبارزه با علف های هرز است. این روش از مؤثرترین روش های کنترل به خصوص کنترل علف های هرز یکساله محسوب می گردد و اثر سوء کمی بر محیط زیست دارد، اما به دلیل هزینه بسیار و مشکل تأمین کارگر، برای سطوح وسیع قابل استفاده نبوده و بیشتر توسط زارعی صورت می گیرد که زمین های کوچکی در اختیار دارند. کنترل علف های هرز شالیزارها در بسیاری از مناطق سنتی کشور غالباً با تلفیق مدیریت آبیاری و وجین دستی صورت می پذیرد، درحالی که امروزه به منظور کاهش نیازمندی به نیروی انسانی از شیوه نشایی به طریقه کاشت مستقیم بذور، روند گرایش به تغییر در سیستم های تولید برنج وجود دارد؛ لذا به تدریج از کارآمدی شیوه های سنتی مدیریت علف های هرز شالیزارها کاسته می گردد و نقطه اتکای شالیکاران منحصر بر کاربرد علف کش ها استوار می گردند (Shekhawat et al., 2020)، این در حالی است که مصرف مداوم علف کش ها، پیامدهایی نظیر مقاومت علف های هرز، تغییر گونه و ازدیاد جمعیت علف های هرز متحمل به علف کش را در پی دارد؛ لذا پایداری تولید در این محصول به مخاطره افتاده است. اما به نظر می رسد علاوه بر مشکلات ذکر شده، اثرات مخرب زیست محیطی فراوانی را نیز به دنبال دارد

(Mortimer et al., 2008). استفاده از تکنیک پوشش دار کردن بذر^۳ می تواند یکی از روش های مؤثر در جبران اثرات منفی رقابت علف های هرز با برنج در شرایط کشت مستقیم باشد. پوشش دهی بذر برنج ممکن است تغییرات ساختاری و فراساختاری را در بذر ارتقاء بخشد که منجر به یکنواخت شدن رویش گیاهچه و استقرار بهتر پایه ی گیاهچه این گیاه زراعی شوند (Nazari, 2018). طی پژوهشی نشان داده شد که تیمار بذر چغندرقد^۴ با پلی اتیلن گلایکول، کلرید سدیم و کلرید هیدروژن از طریق بهبود خصوصیات مورفولوژیکی سبب کاهش وزن خشک علف های هرز می گردند (Jalali and Salehi, 2013). در پژوهشی دیگر نشان داده شد که پوشش دار کردن دو رقم برنج با سرکه چوب^۵ و اسید جیبرلیک از طریق افزایش درصد سبز شدن و کاهش مدت زمان لازم جهت دستیابی به حداکثر سبز شدن، موجب کاهش ماده خشک علف های هرز گردید (Simma et al., 2017). این پژوهش با هدف ارزیابی ویژگی گیاهچه ای و اثر آن بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام شیروودی، خزر و هاشمی برنج در استان مازندران در واکنش به مدیریت های مختلف علف های هرز انجام پذیرفت.

مواد و روش ها

به منظور بررسی اثر مدیریت های مختلف کنترل علف هرز بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج در سیستم زراعی کشت مستقیم، آزمایشی در سال ۱۳۹۹ در مزرعه ای واقع در شهرستان بابلسر (بهمنیر)، با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۴۶ دقیقه شرقی به ارتفاع ۲۲ متر از سطح دریا انجام شد. متوسط بارندگی بلند مدت سالانه منطقه بیش از ۸۰۰ میلی متر و بیشینه و کمینه دمای سالانه نیز به ترتیب ۲۲/۸ و ۱۳/۴ درجه سلسیوس تعیین شده است. اقلیم منطقه براساس روش آمبرژه، معتدل می باشد. برخی خصوصیات خاک محل انجام آزمایش در جدول ۱ لحاظ شده است.

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. عامل اول شامل ارقام برنج (شیروودی، خزر و هاشمی) که بذور گواهی شده تولیدی سال ۱۳۹۸ معاونت مؤسسه تحقیقاتی برنج کشور بودند و عامل دوم روش های مدیریتی در پنج سطح شامل پوشش دار کردن بذر با کلرید کلسیم، پوشش دار کردن بذر با کلرید پتاسیم، وجین (مراحل ۴-۲ برگه، ساقه دهی و گلدهی)، کنترل شیمیایی (کانسیل اکتیو^۶) و شاهد (عدم اعمال هیچ گونه عامل

3- Seed coating

4- Beta vulgaris L.

5- Wood vinegar

6- Council Activ

1- Disperses Clay Particles

2- Hardpan

مدیریتی) بود. بذرهای کلیه تیمارهای مورد بررسی در این آزمایش جهت کشت مستقیم برنج ابتدا پیش‌تیمار شدند. جهت پیش‌تیمار، بذرهای برنج به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر در دمای ۲۰ درجه سلسیوس قرار داده شد و بعد از طی این مدت زمان، بذرهای شرایط آزمایشگاه خشک و سپس تیمارهای مربوط به پوشش‌دار کردن انجام و بلافاصله به همراه سایر بذور بدون اعمال پوشش‌دار کردن جهت کاشت در مزرعه آماده شد. برای پوشش‌دار کردن بذر، از چسب کربوکسی‌متیل سلولز استفاده گردید (Halmer, 2006). این ماده با

غلظت ۳ درصد در آب مقطر حل شد و به‌ازای هر ۱۰ گرم بذر، ۵ سی‌سی از محلول مورد نظر روی بذر ریخته شد (Taghi Zoghi et al., 2018). روکش‌دار کردن بذر به‌صورت دستی و با استفاده از جعبه چوبی انجام شد. به‌طوری‌که با حرکت دورانی این جعبه به‌مدت ۵ دقیقه لایه نازکی از کلرید کلسیم (CaCl_2)، جرم مولکولی ۱۱۰/۹۸ مول بر گرم) و کلرید پتاسیم (KCl)، جرم مولکولی ۷۴/۵۵ مول بر گرم) در اطراف هر بذر ایجاد شد.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد بررسی

Table 1- Some physical and chemical properties of examined soil

بافت خاک Soil texture	ماده آلی Organic matter (%)	نیتروژن Nitrogen (%)	پتاسیم قابل استفاده Available potassium (mg.kg^{-1})	فسفر قابل استفاده Available phosphorus (mg.kg^{-1})	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (ds.m)
لومی-رسی Clay-loam	1.4	0.15	254	19	7.1	1.39

اواخر اردیبهشت ماه پس از آماده‌سازی بستر کشت برای هر کرت، هشت ردیف به فاصله ۲۵ سانتی‌متر و با فاصله کاشت سه سانتی‌متر در روی ردیف در کرت‌هایی به ابعاد ۲×۳ متر مربع بذرپاشی انجام شد. تراکم کاشت برای هر یک از ارقام ۳۳ بوته در متر مربع بود. آبیاری در این تحقیق به‌دلیل کشت مستقیم برنج و با توجه به دمای هوا و خشکی خاک مزرعه به‌صورت موضعی (تیپ) انجام شد. مدیریت آب مزرعه در سه هفته اول بدون ایجاد رواناب و کاهش نفوذی عمقی آب به‌صورت غرقاب-خشک شدن متناوب انجام شد. پس از آن با افزایش ارتفاع گیاهچه‌ها، سطح آب مزرعه به‌دلیل نیاز بیشتر گیاه برنج، افزایش یافت. در این آزمایش ۱۵۰ کیلوگرم کود اوره و کودهای فسفر و پتاسیم به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار مصرف گردید. به‌طوری‌که، ۵۰ درصد کود اوره به‌صورت پایه و ۲۵ درصد آن در زمان طویل شدن ساقه و ۲۵ درصد دیگر نیز در زمان تشکیل خوشه مصرف شد. کود فسفر کامل به‌صورت پایه و کود پتاس نیز ۵۰ درصد پایه و ۵۰ درصد دیگر در زمان تشکیل خوشه به شکل سرک مصرف گردید. به‌منظور تعیین درصد و سرعت سبز شدن با بازدید روزانه از هر کرت، گیاهچه‌های سبز شده برنج در یک خط کاشت مشخص شمارش شد. نمونه‌برداری از علف‌های هرز در هر یک از ارقام مورد مطالعه در انتهای مرحله گلدهی، به‌وسیله کادرهای ۷۰×۷۰ سانتی‌متر و پس از حذف دو ردیف کناری هر کرت و نیم متر از ابتدا و انتهای ردیف‌های وسط به‌عنوان حاشیه انجام شد. وزن خشک علف‌های هرز در هر کادر براساس پهن برگ و باریک برگ ثبت شد. سپس نمونه‌های مربوط به هر کرت در داخل پاکت‌هایی قرار داده شد و به‌مدت ۷۲ ساعت در دمای ۸۰ درجه سلسیوس در آون نگهداری و

بعد از اتمام اعمال پوشش‌دار کردن جهت انتقال بذور به مزرعه، بذرهای از جعبه خارج و به مدت ۲۴ ساعت در محیط سایه و دمای اتاق نگهداری و خشک شدند، به‌طوری‌که رطوبت آن‌ها به میزان اولیه رسید. در این آزمایش برای اعمال تیمار کنترل شیمیایی از علف‌کش کانسیل اکتیو (تری‌فامون ۲۰٪+توکسی سولفورون ۱۰٪WG) در مرحله یک تا دو برگ علف‌های هرز استفاده شد. مقدار مصرف این علف‌کش ۱۵۰ گرم در هکتار به‌همراه ۸ لیتر آب می‌باشد. جهت سمپاشی از سمپاش پستی بدون موتور استفاده شد. علف‌کش کانسیل اکتیو از جدیدترین علف‌کش‌های معرفی شده برای شالیزار است. این علف‌کش، ترکیبی از دو گروه شیمیایی سولفونانیلیدها^۱ و سولفونیل-اوره‌ها^۲ است. این علف‌کش به وسیله شرکت بایر^۳ آلمان معرفی و توسعه پیدا کرده است و مکانیسم عمل آن، بازدارندگی از سنتز آنزیم استولاکتات سنتتاز (ALS) است. آزمایش‌های مزرعه‌ای نشان داده‌اند که این علف‌کش می‌تواند در کشت مستقیم و نشایی برنج مورد استفاده قرار گیرد (Pouramir et al., 2020).

جهت انجام تیمار وجین علف‌های هرز در مراحل ۲-۴ برگی، ساقه‌دهی و گلدهی در کرت‌های مورد نظر به‌صورت دستی انجام شد. همچنین در این بررسی از بذر تیمار نشده به‌عنوان شاهد استفاده شد. جهت آماده‌سازی زمین به جهت کشت مستقیم برنج، ابتدا در اواسط اردیبهشت ماه عملیات شخم بهاره انجام و سپس روتاری زده شد.

- 1- Sulfonanilide
- 2- Sulfonylurea
- 3- Bayer

توزین شد. یادداشت برداری های لازم جهت شمارش تعداد پنجه (۴۰-۳۰ روز بعد از کاشت) و ارتفاع بوته در انتهای خوشه دهی انجام شد. تعداد دانه در خوشه و وزن هزار دانه از طریق نمونه گیری تصادفی ۱۰ خوشه از هر کرت در زمان رسیدگی فیزیولوژیکی انجام گردید. عملیات برداشت برای تعیین عملکرد نهایی دانه و عملکرد بیولوژیک با برداشت ۲ متر مربع از هر کرت با رعایت اثر حاشیه ای انجام شد. عملکرد دانه در واحد سطح براساس رطوبت ۱۴ درصد محاسبه شد. همچنین شاخص برداشت از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک محاسبه شد. برای محاسبه درصد و سرعت سبز شدن بذور از برنامه Germin استفاده شد. این برنامه پارامترهای یاد شده را برای هر پلات از طریق درون یابی^۱ منحنی افزایش سبز شدن در مقابل زمان محاسبه می کند (Nazari, 2018). تجزیه و تحلیل آماری این طرح با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹/۱ و مقایسه میانگین ها براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

وزن خشک علف های هرز

ترکیب گونه ای علف های هرز موجود در مزرعه، شامل باریک برگ ها مانند اوپارسلام^۲، دم اسب^۳ و پهن برگ ها مانند آکالیفا^۴ و فرفیون^۵ بود. نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی رقم و مدیریت علف هرز بر وزن خشک علف های هرز پهن برگ و باریک برگ معنی دار بود (جدول ۱). نتایج اثر رقم بر وزن خشک علف های هرز نشان داد که رقم شیروودی نسبت به ارقام خزر و هاشمی در کنترل علف هرز برتری داشت. به طوری که وزن خشک علف های هرز پهن برگ و باریک برگ در رقم شیروودی به ترتیب ۳/۸ و ۲/۶۹ گرم در متر مربع بود؛ در حالی که در ارقام خزر به ترتیب ۴/۳۸ و ۳/۴۵ گرم در متر مربع و همچنین در رقم بومی هاشمی به ترتیب ۵/۴۸ و ۴/۲۶ گرم در متر مربع بود (جدول ۲). استفاده از ارقام برنج با توانایی رقابتی، راهبرد امیدبخشی برای مدیریت پایدار علف های هرز است. مشاهدات عینی حاکی از این بود که رقم شیروودی به دلیل رشد سریع قادر به سایه اندازی روی علف های هرز و به تبع آن کمک به کاهش تداخل علف های هرز گردید. نتایج اثر مدیریت علف هرز نشان داد که پوشش دار کردن بذر برنج با کلرید کلسیم و کلرید پتاسیم، کنترل شیمیایی و وجین به ترتیب ۲۶، ۲۳ و ۶۳ درصد وزن خشک علف های هرز پهن برگ و ۱۴، ۲۷ و ۹ و ۳۶ درصد وزن

خشک علف های هرز باریک برگ را نسبت به تیمار شاهد کاهش داد (جدول ۲). علت کاهش وزن خشک علف های هرز تحت مدیریت پوشش دار کردن بذر برنج را می توان به بهبود خصوصیات گیاهچه ای برنج نسبت داد. به عبارت دیگر، می توان ادعا کرد که پوشش دهی بذر برنج باعث می شود بوته های این گیاه نسبت به علف های هرز سریع تر رشد کرده و ذخیره مواد غذایی کافی در اندام های گیاهی را داشته باشد.

درصد و سرعت سبز شدن برنج

تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل رقم و مدیریت علف هرز بر درصد سبز شدن در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۱). روند کلی برهمکنش رقم و مدیریت علف هرز بر درصد سبز شدن برنج نشان داد که در هر سه رقم مورد مطالعه، مدیریت های مختلف علف هرز به خوبی توانستند درصد سبز شدن را افزایش دهند که در این بین مدیریت وجین و پوشش دار کردن بذر کاملاً ملموس تر بود. با این حال بالاترین درصد سبز شدن در رقم شیروودی با ۹۷، ۹۵ و درصد به ترتیب تحت تیمارهای وجین، پوشش دار کردن کلرید کلسیم و کلرید پتاسیم به دست آمد (جدول ۳). همچنین مقایسه درصد سبز شدن در این پژوهش حاکی از آن است که رقم شیروودی عکس العمل بهتری نسبت به ارقام خزر و هاشمی از خود نشان داد؛ بنابراین چنین استنباط می شود که رقم شیروودی نسبت به دو رقم دیگر دارای پتانسیل ژنتیکی و کیفیت فیزیولوژیکی بالایی است. شاید علت این اختلاف بین ارقام را می توان با کیفیت فیزیولوژیکی بذر توجیه کرد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که بکارگیری تکنیک پیش تیمار بذر در فرمولاسیون پوشش دهی باعث بهبود سبز شدن در شرایط رقابت با علف های هرز می گردد. علت افزایش درصد سبز شدن در تیمارهای بذور پوشش دار شده با کلرید پتاسیم و کلرید کلسیم را می توان به بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی نسبت داد. در همین رابطه در پژوهشی نشان داده شد که دلیل افزایش درصد سبز شدن تیمار بذر گیاهان زراعی با مواد مغذی به علت افزایش فعالیت آنزیم های آلفا و بتا آمیلاز، ایزوسیترات لیاز و ۳-فسفوگلیسرید است (Varier et al., 2010). همچنین کمترین درصد سبز شدن برنج با ۶۰ و ۶۳ درصد نیز به ترتیب در ارقام طارم هاشمی و خزر تحت تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۳). از آنجایی که در کشت مستقیم برنج این موقعیت در اختیار طیف وسیعی از علف های هرز قرار می گیرد که همزمان با سبز شدن این گیاه زراعی رشد کنند؛ به این ترتیب علف های هرز را می بایست یک مانع عمده در موفقیت سبز شدن برنج به حساب آورد (Sing et al., 2008).

- 1- Interpolation
- 2- *Cyperus rotundus*
- 3- *Equisetum arvensis*
- 4- *Acalypha hispida*
- 5- *Euphorbia amygdaloides*

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر رقم و مدیریت علف هرز و اثرات متقابل آن‌ها بر وزن خشک علف‌های هرز پهن‌برگ و باریک‌برگ، درصد و سرعت سبز شدن و ارتفاع بوته برنج (میانگین مربعات)

Table 2- Analysis of variance of the effects of cultivar and weed management and their interaction on dry weight of broadleaf and narrow leaf weeds, percentage and rate of emergence and plant height of rice (mean squares)

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی d.f	وزن خشک علف‌های هرز پهن‌برگ Dry weight of broadleaf weeds	وزن خشک علف‌های هرز باریک‌برگ Dry weight of narrow leaf weeds	درصد سبز شدن برنج Emergence percentage	سرعت سبز شدن برنج Emergence rate	ارتفاع بوته برنج Rice plant height
تکرار Replication	2	1.45	0.57	54.69	0.3×10^{-3}	29.35
رقم Cultivar (C)	2	10.92 **	9.18 **	874 **	0.02 **	4166 **
مدیریت علف هرز Weed management (W)	4	18.31 **	3.31 **	1022 *	$0.6 \times 10^{-3} **$	354 **
رقم × مدیریت علف هرز C × W	8	0.26 n.s	0.18 n.s	38.88 **	$0.5 \times 10^{-3} n.s$	15.11 n.s
خطا Error	28	0.34	0.18	10.21	0.5×10^{-3}	37.59
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	12.9	12.2	4.9	19.81	5.70

n.s, * و ** به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطوح پنج و یک درصد می‌باشند.

n.s, * and ** are non-significant, significance at 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر رقم و مدیریت علف هرز بر وزن خشک علف‌های هرز پهن‌برگ و باریک‌برگ و درصد سرعت سبز شدن و ارتفاع بوته برنج

Table 3- Mean comparison of cultivar and weed management effect on dry weight of broadleaf and narrow weeds and percentage of germination rate and plant height of rice

رقم Cultivar	وزن خشک علف‌های هرز پهن‌برگ Dry weight of broadleaf weeds (g m ⁻²)	وزن خشک علف‌های هرز باریک‌برگ Dry weight of narrow leaf weeds (g m ⁻²)	سرعت سبز شدن برنج Emergence rate (1.day ⁻¹)	ارتفاع بوته برنج Rice plant height (cm)
شیرودی Shiroudi	3.80 b	2.69 c	0.16 a	91 c
خزر Khazar	4.38 a	3.45 b	0.10 b	107 b
هاشمی Hashemi	5.48 a	4.26 a	0.09 b	124 a
LSD _{0.05}	0.59	0.43	0.04	6.19
مدیریت علف هرز Weed management				
شاهد Control	6.29 a	4.20 a	0.08 b	102 bc
پوشش‌دار کردن با کلرید کلسیم Coating with CaCl ₂	4.68 b	3.59 bc	0.12 a	108 b
پوشش‌دار کردن با کلرید پتاسیم Coating with KCl	4.63 b	3.07 cd	0.14 a	109 b
کنترل شیمیایی Chemical control	4.83 b	3.81 ab	0.09 b	101 c
وجین Weeding	2.32 c	2.67 d	0.14 a	116 a
LSD _{0.05}	0.76	0.55	0.05	7.99

در هر ستون میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، براساس آزمون LSD و در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column, means with at least one similar letter had no significant difference based on LSD at 1% of probability level.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و مدیریت علف هرز بر درصد سبز شدن برنج

Table 4- Mean comparison of interaction effect of cultivar and weed management on rice germination percentage

رقم Cultivar	مدیریت علف هرز Weed management	درصد سبز شدن Emergence percentage
شیرودی Shiroudi	شاهد Control	70 cd
	پوشش دار کردن با کلرید کلسیم Coating with CaCl ₂	97 a
	پوشش دار کردن با کلرید پتاسیم Coating with KCl	95 a
	کنترل شیمیایی Chemical control	72 cd
	وجین Weeding	99 a
	شاهد Control	63 ef
خزر Khazar	پوشش دار کردن با کلرید کلسیم Coating with CaCl ₂	80 b
	پوشش دار کردن با کلرید پتاسیم Coating with KCl	82 b
	کنترل شیمیایی Chemical contro	67 de
	وجین Weeding	82 b
	شاهد Control	60 f
	پوشش دار کردن با کلرید کلسیم Coating with CaCl ₂	76 bc
هاشمی Hashemi	پوشش دار کردن با کلرید پتاسیم Coating with KCl	79 b
	کنترل شیمیایی Chemical contro	67 de
	وجین Weeding	80 b
	شاهد Control	60 f
	پوشش دار کردن با کلرید کلسیم Coating with CaCl ₂	76 bc
	پوشش دار کردن با کلرید پتاسیم Coating with KCl	79 b
LSD _{0.05}		6.38

در هر ستون میانگین های با حداقل یک حرف مشترک، براساس آزمون LSD و در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی داری ندارند.
In each column, means with at least one similar letter had no significant difference based on LSD at 1% of probability level.

از نظر آماری اختلاف معنی داری بین آن ها وجود نداشت (جدول ۲). اثر مدیریت های مختلف علف هرز بر سرعت سبز شدن نشان داد که بالاترین سرعت سبز شدن در تیمارهای وجین و پوشش دار کردن بذر کلرید کلسیم و پتاسیم مشاهده شد (جدول ۳). بهبود سرعت سبز شدن در این تیمارها را می توان به کاهش علف های هرز در این تیمارها به واسطه بهبود خصوصیات رشدی توسط پوشش دار کردن بذر برنج ربط داد. در مطالعه ای علت تسریع سرعت سبز شدن در اثر تیمار بذر با ترکیبات اُسمزی را می توان به افزایش فعالیت های آنزیم های تجزیه کننده مانند آلفا آمیلاز، افزایش سطح شارژ انرژی زیستی در قالب افزایش مقدار ATP، افزایش سنتز RNA و DNA، افزایش تعداد و در عین حال ارتقاء عملکرد میتوکندری ها نسبت داد (Shivankar et al., 2003). همچنین در پژوهشی افزایش سرعت جوانه زنی در اثر تیمار بذر را به تنظیم بیان ژن و افزایش فعالیت چرخه سلولی و تقسیم سلولی نسبت دادند (Gallardo et al., 2001).

همچنین طی آزمایشی نشان داده شد که پیش تیمار بذر برنج با کلرید کلسیم و کلرید پتاسیم از طریق بهبود غشاء سیتوپلاسمی و در نتیجه کاهش اتلاف الکترولیت ها سبب افزایش درصد جوانه زنی شد (Hasan et al., 2016). در پژوهشی دیگر با بررسی پیش تیمار بذر برنج با کلرید پتاسیم، نیترات پتاسیم، کلرید سدیم، پلی اتیلن گلیکول، کلرید کلسیم و آب نشان داده شد که بالاترین درصد جوانه زنی در کلرید کلسیم و آب مشاهده شد (Subedi et al., 2015).
اثر رقم و مدیریت علف هرز بر سرعت سبز شدن برنج نیز در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین اثر رقم بر سرعت سبز شدن نشان داد که بالاترین سرعت سبز شدن با ۰/۱۶ در روز در رقم شیرودی مشاهده شد. علت افزایش سرعت سبز شدن در رقم شیرودی را می توان به کارآمدی این رقم در استفاده از منابع محیطی نسبت به علف های هرز نسبت داد. سرعت سبز شدن روزانه در ارقام خزر و هاشمی به ترتیب ۰/۱ و ۰/۰۹ بود که

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر رقم و مدیریت علف هرز و اثرات متقابل آن‌ها بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج (میانگین مربعات)
Table 5- Analysis of variance of the effects of cultivar and weed management and their interaction on yield and yield components of rice (mean squares)

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی d.f	تعداد پنجه در بوته Number of tillers per plant	تعداد دانه در خوشه per Number of grain panicle	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
تکرار Replication	2	4.07	2.02	3.48	24753	275928	2.35
رقم Cultivar (C)	2	93.60 **	3494 **	28.81 **	16466312 **	49872048 **	280 **
مدیریت علف هرز Weed management (W)	4	30.59 **	242 *	13.65 **	1701086 **	3522607 **	52.41 **
رقم × مدیریت علف هرز C × W	8	3.99 n.s	7.42 n.s	0.27 n.s	34538 n.s	302169 n.s	12.60 n.s
خطا Error	28	2.90	102	0.51	69025	596120	11.87
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	12.71	8.38	3.21	7.29	8.77	8.53

n.s, * و ** به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطوح پنج و یک درصد می‌باشند.

n.s, * and ** are non-significant, significance at 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

پیش‌تیمار کردن بذور با افزایش تعداد میان‌گره و یا افزایش فاصله بین گره‌ها موجب افزایش ارتفاع بوته گندم^۱ می‌شود (Tajbakhsh *et al.*, 2015). در همین راستا گزارش شد پوشش‌دهی بذر با کلرید پتاسیم، ۵۰ درصد ارتفاع گیاهچه برنج را نسبت به تیمار شاهد افزایش داد (Mhajan *et al.*, 2011). در پژوهشی دیگر نیز افزایش ارتفاع گیاه برنج را در اثر پوشش‌دهی با مواد آسمزی گزارش کردند (Farooq *et al.*, 2018). به‌نظر می‌رسد افزایش ارتفاع بوته برنج در اثر مدیریت علف هرز به علت افزایش سرعت ظاهر شدن و استقرار بهتر گیاهچه (جدول ۳ و ۴) به سبب استفاده بهتر گیاه از رطوبت خاک، مواد غذایی و نور خورشید مرتبط باشد که در نتیجه باعث افزایش ارتفاع گیاه می‌شود.

عملکرد و اجزای عملکرد برنج

تعداد پنجه در بوته

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی رقم و مدیریت علف هرز بر تعداد پنجه در بوته معنی‌دار بود (جدول ۵). بیش‌ترین تعداد پنجه در بوته با ۱۶/۲ در رقم شیروودی مشاهده شد و همچنین کم‌ترین مقدار با ۱۱/۴۰ در رقم هاشمی به‌دست آمد (جدول ۶). شاید علت این اختلاف بین ارقام را می‌توان با تفاوت در کیفیت فیزیولوژیکی بذر توجیه کرد. به دلیل اینکه دوام هر مرحله جذب آب وابسته به خواص توارثی از جمله ساختارهای شیمیایی بذر و

همچنین کم‌ترین سرعت سبز شدن نیز با ۰/۰۸ و ۰/۰۹ در روز در تیمارهای شاهد و کنترل شیمیایی نشان داده شد (جدول ۳). یکی دیگر از دلایل اصلی افزایش سرعت جوانه‌زنی با تیمارهای پیش‌تیمار، تکمیل مرحله متابولیسمی در جوانه‌زنی بذر، با اعمال پیش‌تیمار است. در واقع بذور پیش‌تیمار شده از لحاظ طی مراحل جوانه‌زنی نسبت به بذور پیش‌تیمار نشده یک گام جلوتر هستند. در همین راستا گزارشات متعددی مبنی بر افزایش درصد و سرعت سبز شدن برنج تحت پیش‌تیمار با ترکیبات آسمزی مختلف ارائه شده است (Du *et al.*, 2019; Farooq *et al.*, 2018; Hussain *et al.*, 2016; Neog *et al.*, 2015).

ارتفاع برنج

اثر رقم و مدیریت علف هرز بر ارتفاع بوته برنج در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). به‌طوری‌که ارتفاع برنج در ارقام شیروودی، خزر و هاشمی به‌ترتیب ۹۱، ۱۰۷ و ۱۲۴ سانتی‌متر به‌دست آمد (جدول ۳). به‌طور کلی نتایج مقایسه میانگین نشان داد مدیریت علف‌های هرز سبب بهبود ارتفاع برنج نسبت به تیمار شاهد گردید. نتایج اثر مدیریت علف هرز بر ارتفاع برنج نیز نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع بوته برنج با ۱۱۶ سانتی‌متر تحت مدیریت وجین علف هرز گزارش شد. همچنین ارتفاع بوته برنج در مدیریت پوشش‌دار کردن بذر برنج با کلرید کلسیم و کلرید پتاسیم به‌ترتیب ۱۰۸ و ۱۰۹ سانتی‌متر بود و کم‌ترین ارتفاع نیز در تیمار شاهد و کنترل شیمیایی علف‌های هرز به‌دست آمد (جدول ۳). در تحقیقی نشان داده شد

نفوذپذیری پوشش بذر است، چنین به نظر می رسد که این شرایط در رقم شیروودی بهتر بود. بررسی اثر مدیریت علف های هرز حاکی از آن است که بالاترین تعداد پنجه در بوته نیز تحت مدیریت علف هرز با پوشش دار کردن بذر برنج با کلرید پتاسیم و وچین علف هرز مشاهده شد (جدول ۶). به نظر می رسد مدیریت علف های هرز برنج تأثیر بسیار زیادی بر تسهیم ماده ی خشک گیاهی به مخازن اقتصادی بوته دارد، به طوری که موجب افزایش کارایی انتقال مواد فتوسنتزی شده و در نتیجه سبب افزایش تعداد پنجه در بوته می گردد. استفاده از تکنیک پوشش دار کردن بذر سبب تولید ساقه های قوی تر و ضخیم تر و سیستم ریشه ای گسترده می شود و نیز برگ ها به صورت عمودی تر

قرار گرفته که موجب کنترل مؤثرتر علف های هرز می گردد که به تبع آن سبب افزایش فتوسنتز برنج می شود که در این حالت تعداد پنجه و تعداد خوشه در متر مربع نیز افزایش می یابد (Musa et al., 2001). طی پژوهشی ثابت شد پوشش دار کردن بذر برنج با کلرید کلسیم و کلرید پتاسیم سبب افزایش قابل ملاحظه تعداد پنجه در واحد سطح گردید (Farooq et al., 2007). به نظر می رسد افزایش تعداد پنجه در اثر پوشش دهی بذر ناشی از جوانه زنی مطلوب و استقرار مناسب بوته حاصل از بذر تیمار شده باشد (جدول ۳ و ۴). در اثر این امر روند رشد رویشی و به تبع آن رشد زایشی گیاه از جمله تعداد خوشه بهبود می یابد.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر رقم و مدیریت علف هرز بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج

Table 6- Mean comparison of cultivar and weed management effect on yield and yield components of rice

شخص برداشت Harvest Index (%)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg ha ⁻¹)	عملکرد دانه Grain yield (kg ha ⁻¹)	وزن هزار دانه 1000-seed weight (gr)	تعداد دانه در خوشه per Number of grain panicle	تعداد پنجه در بوته Number of tillers per plant	رقم Cultivar
43.23 a	10757 a	4632 a	23.83 a	119 b	16.20 a	شیروودی Shiroudi
42.55 a	8513 b	3631 b	22.10 b	137 a	12.60 b	خزر Khazar
35.43 b	7145 c	2537 c	21.09 b	107 c	11.40 b	هاشمی Hashemi
3.48	779	265	0.72	10.21	1.71	LSD _{0.05}
مدیریت علف هرز Weed management						
37.53 b	8188 c	3117 c	20.56 b	114 b	11.44 c	شاهد Control
41.60 ab	8537 bc	3565 b	22.69 ab	122 ab	13.67 ab	پوشش دار کردن با کلرید کلسیم Coating with CaCl ₂
41.77 ab	9299 ab	3918 a	22.94 ab	124 ab	15.00 a	پوشش دار کردن با کلرید پتاسیم Coating with KCl
38.35 b	8372 bc	3253 bc	21.75 ab	118 ab	11.56 bc	کنترل شیمیایی Chemical contro
42.95 a	9630 a	4148 a	23.79 a	127 a	15.33 a	وچین Weeding
4.89	1006	342	0.93	13.19	2.22	LSD _{0.05}

در هر ستون میانگین های با حداقل یک حرف مشترک، براساس آزمون LSD و در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی داری ندارند.
In each column, means with at least one similar letter had no significant difference based on LSD at 1% of probability level.

تعداد دانه در خوشه

اثر رقم و مدیریت علف هرز بر تعداد دانه در خوشه برنج از نظر آماری معنی دار بود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین اثر رقم نشان داد که بیشترین تعداد دانه در خوشه نیز با ۱۳۷ عدد با در رقم خزر مشاهده شد (جدول ۶). نتایج جدول مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین تعداد دانه در خوشه با ۱۲۷، ۱۲۴ و ۱۲۲ عدد به ترتیب تحت مدیریت های وچین، پوشش دار کردن با کلرید پتاسیم و کلرید

کلسیم به دست آمد (جدول ۶). افزایش تعداد دانه در خوشه با پوشش دار کردن بذر برنج با کلرید کلسیم و پتاسیم را می توان به دلیل سبز شدن بهتر، رشد سریع گیاهچه، استقرار مناسب و در نهایت استفاده مطلوب از عوامل محیطی نور، رطوبت خاک و عناصر غذایی نسبت داد (Ashraf and Foolad, 2005).

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات رقم و مدیریت علف هرز

بر وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج اثر رقم نشان داد که بالاترین وزن هزار دانه با ۲۳/۸۳ گرم در رقم شیروودی مشاهده شد. همچنین وزن هزار دانه در ارقام خزر و هاشمی به ترتیب ۲۲/۱ و ۲۱/۰۹ گرم بود (جدول ۶). علت افزایش تعداد وزن هزار دانه در رقم شیروودی را می‌توان به پتانسیل ژنتیکی و کیفیت فیزیولوژیکی این رقم نسبت داد (Dastan et al., 2014). پتانسیل ژنتیکی ارقام در بهبود وزن دانه توسط سایر پژوهشگران نیز ثابت شده است (Tajbakhsh et al., 2015). نتایج اثر مدیریت علف هرز بر وزن هزار دانه نیز نشان داد بالاترین وزن هزار دانه با ۲۳/۷۹ گرم مربوط به مدیریت وجین علف‌های هرز می‌باشد. نتایج نشان داد که پوشش‌دار کردن بذر برنج با کلرید کلسیم و کلرید پتاسیم، وزن هزار دانه را نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۱۰ و ۱۲ درصد افزایش داد (جدول ۶). در پژوهشی ثابت شد پوشش‌دار کردن بذر با مواد اسمزی سبب افزایش پنج درصدی وزن هزار دانه نسبت به تیمار شاهد در گیاه زراعی برنج شد. آن‌ها همچنین افزایش وزن دانه به واسطه پیش تیمار را عمدتاً ناشی از افزایش طول دوره یا سرعت پر شدن نسبت دادند که در این مورد قدرت مخزن نقش کلیدی دارد (Nawaz et al., 2016). علی‌رغم برتری کم‌تر تیمار کنترل شیمیایی علف‌های هرز نسبت به سایر تیمارها در بهبود وزن هزار دانه برنج، مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد توانست ۱۵ درصد افزایش نشان دهد (جدول ۶).

عملکرد دانه و بیولوژیک

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرات رقم و مدیریت علف هرز بر عملکرد دانه و بیولوژیک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). بررسی عملکرد دانه و بیولوژیک در بین ارقام نشان داد که ارقام اصلاح شده شیروودی و خزر نسبت به رقم بومی هاشمی دارای عملکرد بالاتری می‌باشند (جدول ۶). همچنین نتایج اثر مدیریت علف هرز نشان داد که پوشش‌دار کردن بذر برنج با کلرید کلسیم و کلرید پتاسیم، کنترل شیمیایی و وجین علف‌های هرز به ترتیب ۱۴، ۲۶، ۴ و ۳۳ درصد عملکرد دانه و ۴، ۱۴، ۲ و ۱۸ درصد عملکرد بیولوژیک را نسبت به تیمار شاهد افزایش داد (جدول ۶). همانطور که نتایج نشان داد وجین علف‌های هرز کارآمدتر از سایر روش‌های مدیریتی در بهبود افزایش عملکرد دانه و بیولوژیک است، چرا که در شرایط وجین علف‌های هرز، گیاه برنج از رقابت کم‌تری با علف‌های هرز برخوردار بوده و در نتیجه مقدار بیش‌تری از مواد فتوسنتزی خود را به دانه و تولید ماده خشک اختصاص می‌دهد. در مقابل در مدیریت شیمیایی نشان داد علف‌های هرز به‌خوبی مهار نشدند و در این شرایط علف‌های هرز با سایه‌اندازی و نیز تخلیه مواد غذایی به نفع خود سبب کاهش عملکرد دانه و بیولوژیک شدند.

افزایش عملکرد دانه و بیولوژیک در تیمارهای پوشش‌دار کردن بذر برنج را می‌توان با بهبود خصوصیات گیاهچه‌ای برنج و به تبع آن تولید بوته‌های قوی در برنج مرتبط دانست. در همین راستا گزارش شد پوشش‌دهی بذر با کلرید پتاسیم و کلرید کلسیم سبب افزایش به‌ترتیب ۱۸ و ۱۵ درصدی عملکرد دانه در برنج می‌شود (Farooq et al., 2006). در پژوهشی افزایش عملکرد دانه بذرهای پیش تیمار شده را به بهبود ویژگی گیاهچه‌ای ناشی از افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده مثل آلفا آمیلاز، افزایش سطح انرژی به دلیل افزایش ATP، سنتز DNA و RNA، افزایش و همچنین ارتقاء عملکرد میتوکندری‌ها نسبت دادند (Farooq et al., 2007). خادمی و همکاران (Khademi et al., 2021) طی آزمایشی بیان داشتند پیش تیمار بذر برنج با کلرید کلسیم و کلرید پتاسیم با بهبود ویژگی‌های گیاهچه‌ای و فیزیولوژیکی سبب افزایش ۱۹-۱۴ درصدی عملکرد گیاه برنج شدند. طی پژوهشی گزارش شد فعالیت مخزن در گیاه نخود^۱ حاصل از بذرهای هیدروپرایم شده در مقایسه با شاهد بالاتر بود که این امر از طریق بالاتر بودن فعالیت آنزیم‌های درگیر در متابولیسم ساکارز نظیر ساکارز سنتتاز، اینورتازها و ساکارز فسفات سنتتاز مشخص گردید که در نهایت افزایش عملکرد ماده خشک را به دنبال داشت (Kaur et al., 2005). طی آزمایشی ثابت شد تیمار بذر با محلول سولفات روی و اوره سبب افزایش عملکرد دانه و بیولوژیک لوبیا^۲ می‌شود؛ که این افزایش عملکرد به افزایش درصد و سرعت ظهور گیاهچه نسبت داده شد (Latifzadeh et al., 2013).

شاخص برداشت

اثر اصلی رقم و مدیریت علف هرز بر شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین اثر رقم نشان داد که شاخص برداشت در ارقام شیروودی، خزر و هاشمی به ترتیب ۴۳/۲۳، ۴۲/۵۵ و ۳۵/۴۳ درصد بود (جدول ۶). همچنین اثر مدیریت علف هرز نشان داد که بالاترین شاخص برداشت با ۴۲/۹۵، ۴۱/۷۷ و ۴۱/۶ درصد به ترتیب تحت وجین، پوشش‌دار کردن بذر برنج با کلرید پتاسیم و کلرید کلسیم مشاهده شد. کم‌ترین شاخص برداشت نیز با ۳۷/۵۳ درصد نیز در تیمار شاهد به‌دست آمد (جدول ۶). تیمار بذر برنج با کلرید پتاسیم و کلرید کلسیم به دلیل بهبود وزن خوشه و دانه سبب افزایش به ترتیب ۱۴ و ۲۰ درصدی شاخص سطح برداشت نسبت به تیمار شاهد گردید (Farooq et al., 2006). در آزمایشی ثابت شد پوشش‌دهی بذر با کلرید پتاسیم سبب افزایش ۱۳ درصدی شاخص برداشت در گیاه ذرت^۳ می‌گردد (Rehman et al., 2011).

1- *Cicer arietinum*

2- *Phaseolus vulgaris*

3- *Zea mays* L.

شده شیروودی در کنترل علف های هرز باریک برگ و پهن برگ نسبت به ارقام خزر و هاشمی برتری داشت. همچنین نتایج حاکی از آن بود که بالاترین سرعت سبز شدن در تیمارهای وجین و پوشش دار کردن بذر با کلرید کلسیم و پتاسیم مشاهده شد. علاوه براین، بالاترین عملکرد در رقم اصلاح شده شیروودی و با مدیریت از طریق وجین و پوشش دار کردن بذر با کلرید پتاسیم به دست آمد. لذا، می توان به کشاورزان توصیه کرد که جهت حصول عملکرد بالا از ارقام اصلاح شده همراه با مدیریت زراعی ساده مانند پوشش دهی بذر و وجین برای کنترل علف های هرز در کشت مستقیم استفاده نمایند.

در پژوهشی افزایش شاخص سطح برداشت برنج در اثر پوشش دهی بذر را به توزیع ماده خشک تولیدی به سمت اندام های زایشی نسبت دادند (Nawaz et al., 2016). عرضه مواد پرورده از فتوسنتز جاری و مواد ذخیره ای در طول دوره پر شدن دانه تعیین کننده وزن دانه به هنگام برداشت است. به نظر می رسد افزایش شاخص برداشت در اثر پیش تیمار بذر ناشی از جوانه زنی مطلوب و استقرار مناسب بوته حاصل از بذر تیمار شده می باشد (جداول ۳ و ۴).

نتیجه گیری

به طور کلی نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که رقم اصلاح

منابع

- Allard, J.L., Kon, K.F., Morishima, Y., & Kotzian, R. (2005). *The crop protection industry's view on trends in rice crop establishment in Asia and their impact on weed management techniques*. In: Rice is Life: Scientific Perspectives for the 21st Century, Proceedings of the World Rice Research Conference, 4-7 November 2004, Tsukuba, Japan, Pp. 205-208.
- Ashraf, M., & Foolad, M.R. (2005). Pre-sowing seed treatment- A shot-gun approach to improve germination, plant growth and crop yield under saline and non-saline conditions. *Advances in Agronomy* 88: 223-271. [http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2113\(05\)88006-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2113(05)88006-X).
- Bhatt, R., Kukal, S.S., Busari, M.A., Arora, S., & Yadav, M. (2016). Sustainability issues on rice-wheat cropping system. *International Soil and Water Conservation Research* 4: 64-74. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.12.001>.
- Dastan, S., Noormohamadi, G., & Madani, H. (2014). Comparison of agronomical traits of four rice genotypes in cropping systems at Neka region. *Journal of Crops Improvement* 16(2): 231-246. (In Persian with English abstract)
- Du, B., Luo, H., He, L., Zheng, L., Liu, Y., Mo, Z., Pan, S., Tian, H., Duan, M., & Tang, X. (2019). Rice seed priming with sodium selenate: Effects on germination, seedling growth, and biochemical attributes. *Scientific Reports* 9(1): 4311. <https://doi.org/10.1002/pld3.378>.
- Farooq, M., Basra, S. M.A., Tabassum, R., & Afzal, I. (2006). Enhancing the performance of direct seeded fine rice by seed priming. *Plant Production Science* 9(4): 446-456. <https://doi.org/10.1626/pps.9.446>.
- Farooq, M., Basra, S. M. A., & Ahmad, N. (2007). Improving the performance of transplanted rice by seed priming. *Plant Growth Regulation* 51: 129-137. <https://doi.org/10.1007/s10725-006-9155-x>.
- Farooq, M., Siddique, K.H., Rehman, H., Aziz, T., Lee, D.J., & Wahid, A. (2011). Rice direct seeding: Experiences, challenges and opportunities. *Soil & Tillage Research* 111: 87-98. <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.10.008>.
- Farooq, M., Ullah, A., Rehman, A., Nawaz, A., Nadeem, A., Wakeel, A., Nadeem, F., & Siddique, K.H.M. (2018). Application of zinc improves the productivity and biofortification of fine grain aromatic rice grown in dry seeded and puddled transplanted production systems. *Field Crops Research* 216: 53-62. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.11.004>.
- Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database (FAOSTAT). 2020. Food and Agriculture Organization of the United Nations Database; Food and Agriculture Organization (FAO), Rome. Available online: <http://www.fao.org>.
- Gallardo, K., Job, C., Groot, S.P.C., Puype, M., Demol, H., & Job, D. (2001). Proteomic analysis of Arabidopsis seed germination and priming. *Plant Physiology* 126: 835-848. <https://doi.org/10.1104/pp.126.2.835>.
- Halmer, P. (2006). *Seed technology and seed enhancement*. In XXVII International Horticultural Congress-IHC August 13-19, 2006: International Symposium on Seed Enhancement and Seedling Production 771: 17-26.
- Hasan, M.N., Salam, M.A., Chowdhury, M.M.L., Sultan, M., & Islam, N. (2016). Effect of osmopriming on germination of rice seed. *Bangladesh Journal of Agricultural Research* 41(3): 451-460.
- Hussain, S., Khan, F., Cao, W., Wu, L., & Geng, M. (2016). Seed priming alters the production and detoxification of reactive oxygen intermediates in rice seedlings grown under sub-optimal temperature and nutrient supply. *Frontiers in Plant Science* 7: 1-14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00439>.
- International Rice Research Institute (IRRI). *International Rice Research Institute*. 2020. Available online:

- <http://www.irri.org> (accessed on 17 May 2020).
16. Jalali, A.M., & Salehi, F. (2013). Sugar beet yield as affected by seed priming and weed control. *Archives of Agronomy and Soil Science* 59(2): 281-288. <https://doi.org/10.1080/03650340.2011.608158>.
 17. Kaur, S., Gupta, A.K. & Kaur, N. (2005). Seed priming increases crop yield possibly by modulating Enzymes of sucrose metabolism in chickpea. *Journal of Agronomy and Crop Science* 191: 81-87. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2004.00140.x>.
 18. Khademi, M., Zaefarian, F., Nazari, S., & Esmaeili, M.A. (2021). Effect of osmotic and water priming on yield and yield components of two rice cultivars (*Oryza sativa* L.) in dry bed in Mazandaran climatic conditions. *Crop Physiology Journal* 49(13): 5-23. (In Persian with English abstract)
 19. Latifzadeh, M., Aboutalbani, M.A., & Rabiei, M. (2013). Effects of seed priming and sowing dates on seedling emergence, yield and yield components of a local genotype bean as a double crop in Rasht. *Iranian Journal of Field Crop Science* 44(1): 23-33. (In Persian with English abstract)
 20. Mahajan, G., Sarlach, R.S., Japinder, S., & Gill, M.S. (2011). Seed priming effects on germination, growth and yield of dry directed-seeded rice. *Journal of Crop Improvement* 25(4): 409-417. <https://doi.org/10.1080/15427528.2011.576381>.
 21. Materu, S.T., Shukla, S., Sishodia, R., Tarimo, A., & Tumbo, S. (2018). Water use and rice productivity for irrigation management alternatives in Tanzania. *Water* 10: 10-18. <https://doi.org/10.3390/w10081018>.
 22. Mortimer, A.M., Riches, C.R., Mazid, M., Pandey, S., & Johnson, D.E. (2008). *Issues related to direct seeding of rice in rainfed cropping systems in northwest Bangladesh*. In direct seeding of rice and weed management in the irrigated rice-wheat cropping system of the indo-gangetic plains; Singh, Y., Singh, V.P., Chauhan, B.S., Orr, A., Mortimer, A.M., Johnson, D.E., & Hardy, B., Eds.; International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines, and Directorate of Experiment Station, G.B. Pant University of Agriculture and Technology: Pantnagar, India, Pp. 272.
 23. Musa, A., Harris, D., Johansen, C., & Kumar, J. (2001). Short duration chick pea to replace fallow after a man-rice: the role of on farm seed priming in the High Barind Tract of Bangladesh. *Experimental Agriculture* 37(4): 509-521. <https://doi.org/10.1017/S0014479701000448>.
 24. Nazari, Sh. (2018). *Evaluation of seed priming potential for offsetting the effects of delayed sowing date of some winter rapeseed cultivars in Karaj*. PhD. Thesis in Agronomy Science the Field of Crop ecology. Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Iran, 222p. (In Persian)
 25. Nawaz, A., Farooq, M., Ahmad, R., Basra, S.M.A., & Lal, R. 2016. Seed priming improves stand establishment and productivity of no till wheat grown after direct seeded aerobic and transplanted flooded rice. *European Journal of Agronomy* 76: 130-137. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.02.012>.
 26. Neog, P., Dihingia, P., Sarma, P., Sankar, G.R., Sarmah, D., Rajbongshi, R., Chary, G., Rao, C.S., Mishra, P. (2015). Different levels of energy use and corresponding output energy in paddy cultivation in North bank plain zone of Assam, India. *Indian Journal of Dryland Agricultural Research and Development* 30(2): 84-92. <https://doi.org/10.5958/2231-6701.2015.00030.5>.
 27. Pouramir, F., Yaghoubi, B., & Aminpanah, H. (2020). Efficacy of new herbicides triafamone + ethoxysulfuron, flucetosulfuron and pyrazosulfuron-ethyl on paddy fields weed control. *Iranian Journal of Field Crop Science* 50(4): 127-136. (In Persian with English abstract)
 28. Rao, A., Johnson, D., Sivaprasad, B., Ladha, J., & Mortimer, A. 2007. Weed management in direct-seeded rice. *Advances in Agronomy* 93: 153-255. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(06\)93004-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(06)93004-1).
 29. Rehman, H.U., Basra, S. M.A., & Farooq, M. (2011). Field appraisal of seed priming to improve the growth, yield, and quality of direct seeded rice. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 35: 357-365. <https://doi.org/10.3906/tar-1004-954>.
 30. Shekhawat, K., Rathore, S.S., & Chauhan, B.S. (2020). Weed management in dry direct-seeded rice: a review on challenges and opportunities for sustainable rice production. *Agronomy* 10: 1-19. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091264>.
 31. Shivankar, R.S., Deore, D.B., & Zode, N.G. (2003). Effect of pre-sowing seed treatment on establishment and seed yield of sunflower. *Journal of Oilseeds Research* 20: 299-300. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plw074>.
 32. Simma, B., Polthance, A., Goggi, A.S., Siri, B., Promkhambut, A., & Caragea, C. (2017). Wood vinegar seed priming improves yield and suppresses weeds in dryland direct-seeding rice under rainfed production. *Agronomy for Sustainable Development* 37: 55-65. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0466-2>.
 33. Singh, S.J.K., Ladhav, R.K., Gupta, L., & Bhushana A.N. 2008. Weed management in aerobic rice systems under varying establishment methods. *Crop Protection* 27: 660-671. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2007.09.012>.
 34. Subedi, R., Maharjan, B.K., and Adhikari, R. (2015). Effect of different priming methods in rice. *Journal of Agricultural and Environmental* 16: 156-160. <https://doi.org/10.3126/aej.v16i0.19848>.
 35. Taghi Zoghi, Sh., Soltani, E., Allahdadi, I., & Sadeghi, R. (2018). The effects of seed coating treatments on seedling emergence and growth of rapeseed and the growth of pathogenic fungi. *Iranian Journal of Seed Science and Research* 5(3): 103-115. (In Persian with English abstract)

36. Tajbakhsh, M., Hasanzadeh, A., & Aghaii, R. (2015). The effect of different priming treatments on morphophysiological characteristics and yield of two wheat cultivars in optimal conditions and irrigation cut-off. *Applied Field Crops Research* 28(4): 74-84. (In Persian with English abstract)
37. Varier, A., Vari, A.K., & Dadlani, M. (2010). The subcellular basis of seed priming. *Current Science* 99: 450-456.



Evaluation of Foramsulfuron + Idosulfuron (MaisTer OD) Herbicide Efficacy on Weed Control, Growth and Yield of Maize

R. Polkhani¹, S.A. Kazemeini^{2*}, M. Edalat³

Received: 11-03-2022

Revised: 26-04-2022

Accepted: 01-05-2022

Available Online: 15-02-2023

How to cite this article:

Polkhani, R., Kazemeini, S.A., & Edalat, M. (2023). Evaluation of Foramsulfuron + Idosulfuron (MaisTer OD) Herbicide Efficacy on Weed Control, Growth and Yield of Maize. *Journal of Iranian Plant Protection Research* 36(4): 467-479. (In Persian with English abstract)

DOI: [10.22067/jpp.2022.75776.1083](https://doi.org/10.22067/jpp.2022.75776.1083)

Introduction

Maize (*Zea mays* L.) is the third most important cereal after rice and wheat, which is widely grown in the world and used as a primary staple food in many developing countries. The area and production under maize in the world in 2020 was 202 M ha with 1162352997 tonnes production and contributed almost 5% of the world's dietary energy supply. Recent projection indicates that by 2020 the demand of maize in all developing countries will overtake the demand of wheat and rice, with Asia accounting for nearly 60% of the global demand for maize. Chemical control can be very important because of the low efficiency and cost effectiveness of mechanical or other methods of weed control. Hence, it is necessary to provide information about the sulfonylurea herbicides and suitable doses. Sulfonylureas such as iodosulfuron, nicosulfuron, rimsulfuron, and foramsulfuron are effective group of herbicides for annual and perennial weed control in maize. These herbicides provide a new chance for weed management in maize. Their mode of action occurs through inhibiting acetolactate synthase (ALS), thereby interfering with the production of branched-chain amino acids, leucine, isoleucine, and valine. The objectives of this experiment were to evaluate the effect of different doses of MaisTer OD herbicide in comparison to the other herbicides on weeds control and growth and yield of corn.

Materials and Methods

In order to evaluate the effect of different herbicides on weeds control and growth and yield of corn, a field study carried out during 2015 growing seasons at Seydan, Marvdasht, Fars province, Iran. The experiment was conducted in a randomized complete block design with 3 replications. Treatments included different rates of MaisTer OD (1, 1.5 and 2 l ha⁻¹), Acetochlor (4.5, 5 and 6 l ha⁻¹), Cruz (1.5, 2 and 2.5 l ha⁻¹), Ultima (1, 2 and 3 l ha⁻¹) and 2,4-D+MCPA (1.5, 2 and 2.5 l ha⁻¹) herbicides and weed free and weedy control. The number and biomass of aboveground weeds parts were harvested within three fixed 1 × 1 m quadrats in every plot, separated by species, enumerated, oven-dried at 75 °C for 48 h, and then weighed. Then, percent weed density and biomass reductions were measured. The traits included ear length, row number per ear, grain number per ear, grain number per row, 1000 grain weight, grain yield, biological yield and yield loss percentage. Data were analyzed using SAS v. 9.1 software (SAS Institute 2003). When significant differences were observed among treatments, mean comparisons were made using Duncan's multiple range tests ($P < 0.05$). Correlation coefficients between different traits were also calculated.

Results and Discussion

Results showed that the application of herbicide could reduce density and biomass of weed. The lowest biomass of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*), lambsquarters (*Chenopodium album*), bindweed (*Convolvulus arvensis*), purple nutsedge (*Cyperus rotundus*) and foxtail millet (*Setaria italica*) was obtained, so that applying of MaisTer OD herbicide at 1.5 l ha⁻¹ could be cause 47.10 and 27.36%, 69.38 and 56.22%, 66.79 and 70.94%, 66.85 and 74.26% and 66.85 and 80.15% reduction in density and total biomass of weeds in

1, 2 and 3- M.Sc. Student, Professor and Associate Professor in Department of Plant Production and Genetics, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran, respectively.

(*- Corresponding Author Email: akazemeini@shirazu.ac.ir)

comparison with weedy control treatment, and grain yield increased by using MaisTer OD herbicide at 1.5 l ha⁻¹ in comparison to the other herbicides including Acetochlor (5 l ha⁻¹), Cruz (2 l ha⁻¹), Ultima (2 l ha⁻¹) and 2,4-D+MCPA (2 l ha⁻¹) by 53.3, 36.7, 5.7, and 56.7%, respectively. Grain yield and grain number per ear were reduced by weeds up to 60 and 50%, respectively. Highest row number per ear (16 and 15.30), grain number per row (41 and 41), grain number per ear (656 and 628.70), 1000 grain weight (286.33 and 276.33 g), grain yield (9.41 and 8.68 t ha⁻¹) and biological yield (20.12 and 18.74 t ha⁻¹) were obtained in weed free and MaisTer OD (1.5 l ha⁻¹) treatments. Applying MaisTer OD herbicide showed lowest yield loss percentage (6.63%) and highest grain yield as compared to the other herbicides for weed suppression.

Conclusion

It can conclude that MaisTer OD herbicide at 1.5 l ha⁻¹ showed the best performance for weed control, especially broadleaf weeds and were associated with the maximum corn grain yield. Therefore, due to the restricted use of herbicide in corn, the herbicide used in this experiment is not created serious injury in corn at the recommended rate while effectively controlling weeds. Hence, utilization of this herbicide could be a favorable option in contemporary weed control programs for local or regional corn growers.

Acknowledgements

We would like to thank the School of Agriculture, Shiraz University for their support, cooperation, and assistance throughout this research.

Keywords: Ear length, Grain yield, Weed biomass, Weed density

بررسی کارایی علف‌کش فورام‌سولفورون + یدوسولفورون (مایستر-ادی) بر کنترل علف‌هرز، رشد و عملکرد ذرت

رویا پلخانی^۱ - سیدعبدالرضا کاظمینی^{۲*} - محسن عدالت^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۱۱

چکیده

به منظور ارزیابی اثر علف‌کش مایستر-ادی بر کنترل علف‌های هرز، رشد و عملکرد ذرت ماکسیم، پژوهشی مزرعه‌ای در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در منطقه سیدان، مرودشت فارس اجرا شد. تیمارها شامل دزهای علف‌کش‌های فورام‌سولفورون + یدوسولفورون (مایستر-ادی، ۳/۱ درصد OD) به میزان ۱، ۱/۵ و ۲ لیتر ماده تجاری در هکتار، استوکلر (سورپاس، ۷۶ درصد EC) به میزان ۵، ۴/۵ و ۶ لیتر ماده تجاری در هکتار، نیکوسولفورون (کروز، ۴ درصد SC) به میزان ۱/۵، ۲ و ۲/۵ لیتر ماده تجاری در هکتار، نیکوسولفورون + ریم‌سولفورون (اولتیم، ۷۵ درصد DF) به میزان ۱، ۲ و ۳ لیتر ماده تجاری در هکتار و توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ (یو ۴۶ کمی، ۶۷/۵ درصد SL) به میزان ۱/۵، ۲ و ۲/۵ لیتر ماده تجاری در هکتار به همراه ۲ شاهد بدون علف‌هرز و آلوده به علف‌هرز بود. نتایج نشان داد که علف‌هرز باعث کاهش بیش از ۶۰ درصدی عملکرد دانه و ۵۰ درصدی تعداد دانه در بلال ذرت شد. کاربرد علف‌کش باعث کاهش تراکم و زیست توده علف‌های هرز شد و کمترین تراکم و زیست توده علف‌هرز تاج خروس ریشه قرمز، سلمه‌تره، پیچک صحرایی، اوبارسلام قرمز و ارزن دم روباهی در تیمار علف‌کش مایستر-ادی (۱/۵ لیتر در هکتار) به دست آمد و نسبت به تیمار شاهد آلوده به علف‌هرز به ترتیب باعث کاهش ۴۷/۱۰ و ۲۷/۳۶ درصد، ۶۹/۳۸ و ۵۶/۲۲ درصد، ۶۶/۷۹ و ۷۰/۹۴ درصد، ۶۶/۸۵ و ۷۴/۲۶ درصد و ۶۶/۸۵ و ۸۰/۱۵ درصد تراکم و زیست توده علف‌های هرز شد. عملکرد دانه در تیمار کاربرد علف‌کش مایستر-ادی به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار نسبت به علف‌کش‌های استوکلر (۵ لیتر در هکتار)، کروز (۲ لیتر در هکتار)، اولتیم (۲ لیتر در هکتار) و توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ (۲ لیتر در هکتار) به ترتیب به میزان ۵۳/۳، ۳۶/۷، ۵/۷ و ۵۶/۷ درصد افزایش یافت. بیشترین تعداد ردیف در بلال (۱۶ و ۱۵/۳۰)، تعداد دانه در ردیف (۴۱ و ۴۱)، تعداد دانه در بلال (۶۵۶ و ۶۲۸/۷۰)، وزن ۱۰۰۰ دانه (۲۸۶/۳۳ و ۲۷۶/۳۳ گرم)، عملکرد دانه (۹/۴۱ و ۸/۶۸ تن در هکتار) و عملکرد بیولوژیک (۲۰/۱۲ و ۱۸/۷۴ تن در هکتار) به ترتیب در تیمار شاهد بدون علف‌هرز و علف‌کش مایستر-ادی (۱/۵ لیتر در هکتار) بدست آمد. بطور کلی علف‌کش مایستر-ادی (۱/۵ لیتر در هکتار) نسبت به سایر تیمارهای علف‌کش در این مطالعه بطور معنی‌داری از کمترین درصد افت عملکرد (۶/۶۳ درصد) و بیشترین عملکرد دانه ذرت برخوردار بوده و لذا بر اساس نتایج این پژوهش در منطقه سیدان مرودشت و مناطقی با شرایط آب و هوایی مشابه قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: تراکم علف‌هرز، زیست توده علف‌هرز، طول بلال، عملکرد دانه

مقدمه

غلات مهم گرمسیری و معتدل جهان که از نظر تولید، رتبه اول و از نظر سطح زیرکشت، بعد از گندم رتبه دوم را در دنیا به خود اختصاص داده است (FAO, 2017). بعد از تنش‌های محیطی، علف‌های هرز از مهمترین مشکلات موجود بر سر راه تولید گیاهان زراعی چون ذرت می‌باشند (Riemens et al., 2022; Mehmeti et al., 2019) که از طریق تولید بذر فراوان، توانایی جوانه‌زنی بالا و تثبیت سریع، سرعت زیاد رشد و نمو، دوره خواب طولانی، حفظ قوه‌نامیه و

ذرت (*Zea mays*) گیاهی است یکساله از خانواده Poaceae و از

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استاد و دانشیار گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
(Email: akazemeini@shirazu.ac.ir)
(*)- نویسنده مسئول

سازگاری بالا برای انتشار و پراکنش به گیاه زراعی خسارت وارد می‌کنند (Khan et al., 2009; Gholami Golafshan et al., 2016). رقابت علف‌های هرز برای مواد غذایی، آب و نور، علت اصلی کاهش عملکرد در ذرت است (Mehmeti et al., 2019; Sharifziveh and Didehbaz Moghanlo, 2019). در ایران مهم‌ترین علف‌های هرز مزارع ذرت شامل چهار گونه باریک‌برگ یکساله، ۱۶ گونه پهن‌برگ یکساله و ۱۳ گونه علف هرز چندساله می‌باشد (Sasanfar et al., 2021). کنترل شیمیایی یکی از روش‌های مهم کنترل علف‌های هرز در گیاهان زراعی است که به دلیل هزینه پایین، تسهیل در کاربرد و تأثیر سریع آن، نسبت به سایر روش‌های مدیریت برتری دارد (Riemens et al., Khan et al., 2016, 2022).

علف‌کش‌های سولفونیل اوره (بازدارنده آنزیم استولاکتات سنتاز) مانند نیکوسولفورون، ریم‌سولفورون و فورام‌سولفورون موثرترین گروه علف‌کش‌ها جهت کنترل انتخابی علف‌های هرز پهن برگ و باریک برگ در مزارع ذرت به شمار می‌آیند (Chitband et al., 2021; Mariani et al., 2019) که به دلیل کنترل مناسب علف‌های هرز در مقادیر کم و سمیت پائین برای موجودات زنده از مقبولیتی زیادی برخوردارند (Lair and Redente, 2004). این علف‌کش‌ها مانع از عمل آنزیم استولاکتات می‌شوند که نقش حیاتی برای بیوسنتز اسیدآمین‌های زنجیره‌ای شاخه‌دار مانند والین، لوسین و ایزولوسین دارد و با جلوگیری از سنتز پروتئین‌ها و برخی مولکول‌های حیاتی دیگر از متابولیسم و تقسیم سلولی گیاه ممانعت می‌کنند (Zhang et al., 2013).

محققین گزارش کردند مصرف علف‌کش‌ها بدون خسارت به گیاه زراعی می‌توانند علف‌های هرز را بین ۸۰ تا ۱۰۰ درصد کنترل نماید (Sasanfar et al., 2021; Donald, 2007). گزارش گردیده که علف‌کش‌های فورام‌سولفورون و نیکوسولفورون به ترتیب با غلظت ۲/۵ و ۲ لیتر در هکتار توانستند علف‌های هرز باریک برگ و به خصوص قیاق را به صورت رضایت بخشی کنترل کنند و در مجموع پس از علف‌کش توفوردی+ام‌سی‌پی‌آ از نظر کنترل علف‌های هرز پهن برگ نیز کارایی نسبتاً مناسبی داشتند (Baghestani et al., 2006). در پژوهشی دیگر نیز مشخص شد که کاربرد علف‌کش نیکوسولفورون + ریم‌سولفورون باعث کاهش ۴۳ درصد علف‌های هرز شد در حالی که عملکرد دانه ذرت را در مقایسه با شاهد با علف هرز تا ۱۶ درصد افزایش نشان داد. علاوه براین، آنها دریافتند که کاربرد علف‌کش فورام‌سولفورون تراکم و زیست توده علف‌های هرز را به ترتیب ۷۶ و ۹۴ درصد کاهش و عملکرد دانه ذرت را ۱۷ درصد افزایش داد (Sikkema et al., 2007). شریفی‌زیوه و دیده‌باز قربانلو (Sharifziveh and Didehbaz Moghanlo, 2019) گزارش کردند که کاربرد علف‌کش یدوسولفورون متیل سدیم + فورام

سولفورون سدیم + تین کاربازون متیل + سایپروسولفامید به مقدار ۱ لیتر ماده تجاری در هکتار به صورت پس رویشی در زمان ۵-۲ برگی علف‌های هرز بیشترین کارایی را در کنترل علف‌های هرز ذرت داشت. ساسان‌فر و همکاران (Sasanfar et al., 2021) نیز عنوان کردند که در استان فارس بیشترین افزایش عملکرد ذرت به میزان ۲۱۱/۳ درصد در تیمار کاربرد علف‌کش نیکوسولفورون در مقایسه با شاهد بدست آمد. محققین همچنین بیان کردند که کاربرد علف‌کش نیکوسولفورون علف‌های هرز ارزن دم‌روباهی (*Setaria italica*)، علف هفت‌بند (*Polygonum aviculare*)، گاوپنبه (*Abutilon theophrasti*)، سلمه‌تره (*Chenopodium album*) و تاج خروس (*Amaranthus retroflexus*) را به ترتیب ۸۰، ۸۹، ۴۷، ۴۲ و ۴۶ درصد کنترل کرد ولی هیچ تأثیری بر روی علف هرز توق (*Xanthium strumarium*) نداشت (Bunting et al., 2005). لطفی و همکاران (Lotfi et al., 2010) نیز گزارش کردند که علف کش فورام سولفورون، نیکوسولفورون و توفوردی+ام‌سی‌پی‌آ به ترتیب باعث کاهش ۷۰/۱۴، ۵۸/۶۸ و ۵۰/۵۹ درصد علف‌های هرز مزارع ذرت شدند. نجفی و غدیری (Najafi and Ghadiri, 2012) گزارش کردند که کمترین زیست توده علف‌های هرز مزرعه ذرت در تیمار کاربرد علف‌کش‌های فورام سولفورون و آترازین با آلاکلر به دست آمد. آن‌ها دریافتند که کاربرد علف‌کش‌های فورام سولفورون و آترازین با آلاکلر به میزان ۰/۰۶ و ۱ و ۲/۴۴ و یا ۰/۰۳ و ۱/۵ و ۱/۹۲ کیلوگرم ماده موثره در هکتار باعث کاهش زیست توده علف هرز تاج خروس به میزان ۹۰ درصد شد. آنها دریافتند که بیشترین زیست توده علف‌های هرز تاج خروس و پیچک (*Convolvulus arvensis*) به ترتیب در تیمار کاربرد علف‌کش‌های ریم‌سولفورون، توفوردی+ام‌سی‌پی‌آ و ریم سولفورون، آترازین با آلاکلر مشاهده شد. علاوه بر این، آن‌ها نشان دادند که که تأثیر این علف‌کش‌ها بر کنترل علف هرز عروسک پشت‌پرده (*Physalis divaricata*) در مقایسه با سایر علف‌های هرز به مراتب کمتر بود (Najafi and Ghadiri, 2012).

هدف این پژوهش بررسی کارایی علف‌کش مایستر-ادی در دزهای مختلف با چهار علف‌کش کروز، اولتیم، استوکلر و توفوردی+ام‌سی‌پی‌آ و تعیین بهترین دز مصرفی آن در کنترل علف‌های هرز و رشد و عملکرد ذرت هیبرید ماکسیم بود.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر علف‌کش مایستر-ادی (فورام سولفورون+یدوسولفورون+ایمن‌ساز ایزوگزا‌دیفن) بر کنترل و مهار علف‌های هرز و ویژگی‌های رویشی و زراعی ذرت هیبرید ماکسیم، آزمایشی در منطقه سیدان شهرستان مرودشت، (طول جغرافیایی ۵۲°۴۶' شرقی و عرض جغرافیایی ۲۹°۷' شمالی و ارتفاع ۱۸۱۰ متر

ماده تجاری در هکتار و دو تیمار شاهد وجین علف هرز در تمام فصل رشد (بدون علف هرز) و آلوده به علف هرز بودند. مشخصات علف کش‌های تیمار شده در **جدول ۱** نشان داده شد. پیش از کشت گیاه در زمین، برای تعیین برخی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه آزمایشی، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه نمونه‌برداری انجام شد (**جدول ۲**).

از سطح دریا) در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل علف کش‌های استوکلر به مقدار ۴/۵، ۵ و ۶ لیتر ماده تجاری در هکتار، فورام‌سولفورون + یدوسولفورون به مقدار ۱، ۱/۵ و ۲ لیتر ماده تجاری در هکتار، نیکوسولفورون به مقدار ۱/۵، ۲ و ۲/۵ لیتر ماده تجاری در هکتار، نیکوسولفورون + ریم‌سولفورون به مقدار ۱، ۲ و ۳ لیتر ماده تجاری در هکتار، توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ به مقدار ۱/۵، ۲ و ۲/۵ لیتر

جدول ۱- مشخصات علف‌کش‌های استفاده شده در آزمایش

Table 1- Characteristics of herbicide treatments in the experiment

نام عمومی Common name	نام تجاری Trade name	فرمولاسیون
استوکلر Acetochlor	سورپاس Surpass	۷۶ درصد EC 76% EC
فورام‌سولفورون + یدوسولفورون Foramsulfuron + Idosulfuron	مایستر-ادی MaisTer OD	۳/۱ درصد OD 3.1% OD
نیکوسولفورون Nicosulfuron	کروز Cruz	۴ درصد SC 4% SC
نیکوسولفورون + ریم‌سولفورون Nicosulfuron+Rimsulfuron	اولتیما Ultima	۷۵ درصد DF 75% DF
توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ 2,4-D + MCPA	یو ۴۶ کمی U 46 Combi	۶۷/۵ درصد SL 67.5% SL

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری

Table 2- Physico-chemical properties of the soil in 0-30 cm depth

فسفر P (mg.kg ⁻¹)	ماده آلی O.M. (%)	نیتروژن کل Total N (%)	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)
12	1.08	0.09	20.32	57.62	16.32	0.73

مورد استفاده قرار گرفت)، مایستر-ادی، کروز، اولتیما، توفوردی + ام-سی‌پی‌آ (در زمان توصیه شده (ارتفاع ۳۰ سانتی‌متری ذرت معادل ۴ تا ۶ برگ)) با سمپاش پستی ۱۵ لیتری با نازل بادبزی تی‌جت و فشار ۲۵۰ کیلوپاسکال اعمال شد. سمپاش بر اساس میزان ۳۰۰ لیتر آب در هکتار کالیبره شد. در تیمار بدون علف هرز، کلیه علف‌های هرز واحد آزمایشی توسط وجین دستی حذف و در تیمار آلوده به علف هرز، کلیه علف‌های هرز واحد آزمایشی تا پایان مرحله رشد نگهداری شدند. چهار هفته پس از سمپاشی با استفاده از کوادرات ۱×۱ متر، نمونه برداری از علف‌های هرز هر کرت انجام و تراکم اندازه‌گیری شد و برای تعیین زیست توده نیز، نمونه‌ها در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی-گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک و توسط ترازوی دیجیتالی اندازه‌گیری شد. در پایان فصل رشد، از هر کرت، دو ردیف کناری و نیم متر از ابتدا و انتها به عنوان اثر حاشیه حذف و بقیه بوته‌ها ابتدا شمارش شده و سپس بلال‌ها به صورتی دستی برداشت و توزین شد. سپس ۱۰ عدد بلال بطور تصادفی از هر کرت انتخاب و صفات تعداد دانه در

عملیات تهیه زمین شامل شخم عمیق (۳۰ سانتی‌متر) با گاوآهن برگردان دار، دو دیسک عمود برهم، ۲ بار تسطیح زمین (لورلر)، ایجاد جوی و پشته، ایجاد نه‌رها و کرت بندی بود. کود فسفر به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپرفسفات تریپل به صورت پیش کاشت آمیخته با خاک و کود اوره به میزان ۴۵۰ کیلوگرم در هکتار در دو مرحله (۱/۳ قبل از کاشت و مابقی ۶۰ روز پس از کشت ذرت در مرحله ۶ برگ ذرت) استفاده گردید. بذر ذرت هیبرید ماکسیم، پس از ضدعفونی با قارچ‌کش کاربوکسی تیرام در تراکم بهینه (معادل ۸۰/۰۰۰ هزار بوته در هکتار) با دستگاه بذرکار ذرت در عمق ۵ سانتی‌متری از سطح خاک روی ردیف‌هایی به طول ۴ متر و فاصله ۷۵ سانتی‌متر با فاصله روی ردیف ۱۵ سانتی‌متر در اواسط خرداد ماه کشت شد. واحدهای آزمایشی (کرت) شامل چهار ردیف بودند. هر کرت توسط دو ردیف نکاشت (۱/۵ متر) از کرت بعدی جدا شد. دور آبیاری ۱۰ روز یکبار صورت گرفت. تیمارهای علف‌کش شامل علف کش‌های استوکلر (به صورت پیش رویشی و همزمان با خاک آب

ردیف، تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در بلال، وزن هزار دانه، طول بلال محاسبه شد و صفات عملکرد دانه بر اساس رطوبت ۱۲٪ و عملکرد بیولوژیک بوسیله توزین شدند. برای به دست آوردن زیست توده، نمونه‌ها در آون و در دمای ثابت ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت تا رسیدن به وزن ثابت قرار داده شدند. علاوه بر این، درصد افت عملکرد (YLP) Yield Loss Percentage از رابطه زیر محاسبه شد (Hassannejad et al., 2012).

$$YL = \frac{aNW}{1 + \frac{aNW}{m}}$$

در این رابطه NW: تراکم علف‌هرز (تعداد بوته در متر مربع)، a: میزان خسارت به ازای ورود اولین علف هرز و m: حداکثر افت نسبی عملکرد می‌باشد.

داده‌های مورد نظر با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.2 تجزیه و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. رسم نمودارها و جداول با نرم‌افزار Excel انجام شد.

ج

نتایج و بحث

تراکم و زیست توده علف‌های هرز

علف‌های هرز غالب در مزرعه محل انجام پژوهش حاضر شامل تاج‌خروس ریشه قرمز (*Amaranthus retroflexus*)، سلمه تره (*Chenopodium album*)، پیچک‌صحرایی (*Convolvulus arvensis*)، اویارسلام قرمز (*Cyperus rotundus*) و ارزن دم روباهی (*Setaria italica*) بود.

نتایج مقایسه میانگین درصد کاهش تراکم و زیست توده علف‌های هرز نشان داد که در پایان فصل رشد کاربرد علف‌کش مایستر-ادی به میزان ۱/۵ لیتر ماده تجاری در هکتار منجر به بیشترین درصد کاهش در تراکم و زیست توده علف‌های هرز تاج خروس ریشه قرمز، سلمه تره، اویارسلام و ارزن دم روباهی به ترتیب به میزان ۴۷/۱۰، ۲۷/۳۶، ۶۹/۳۸، ۵۶/۲۲، ۶۶/۸۵، ۷۴/۲۶ و ۶۶/۸۵ و ۸۰/۱۵ درصد در مقایسه با تیمار شاهد آلوده به علف هرز شد (جدول ۳). بیشترین درصد کاهش تراکم و زیست توده علف هرز پیچک به میزان ۸۹/۱۰ و ۷۰/۹۴ درصد در مقایسه با تیمار شاهد آلوده به علف هرز به ترتیب مربوط به کاربرد توفوردی+ام‌سی‌پی‌آ به میزان ۲/۵ لیتر ماده تجاری در هکتار و مایستر-ادی به میزان ۱/۵ لیتر ماده تجاری در هکتار بود (جدول ۳). محققین نیز بیان کردند که علف کش فورام‌سولفورون+یدوسولفورون+ایمن‌ساز ایزوگزا‌دیفن (مایستر-ادی) به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار توانست علف‌های هرز پهن برگ و برخی از باریک‌برگ‌ها را همانند دو تیمار نیکوسولفورون (کروز) و اولتیم‌آ به خوبی کنترل نماید (Baghestani et al., 2014).

بطور کلی زیست توده تاج خروس تحت تاثیر علف‌کش‌ها نشان

داد میان کاربرد علف‌کش مایستر-ادی با علف‌کش‌های استوکلر و کروز در سطح ۱ درصد و با علف‌کش‌های اولتیم‌آ و توفوردی+ام‌سی‌پی‌آ در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۴). کمترین زیست توده اندام هوایی علف هرز تاج خروس (۳۷۹/۰۵ گرم در مترمربع) در تیمار کاربرد علف‌کش مایستر-ادی مشاهده شد که نسبت به علف‌کش اولتیم‌آ و توفوردی+ام‌سی‌پی‌آ به ترتیب حدود ۷ و ۵ درصد کاهش داشت. علاوه بر این، کاربرد علف‌کش مایستر-ادی نسبت به علف‌کش‌های استوکلر، کروز، اولتیم‌آ و توفوردی+ام‌سی‌پی‌آ به ترتیب منجر به کاهش ۲۷، ۳۹، ۱۷ و ۱۲ درصدی تراکم علف هرز تاج خروس شد (جدول ۴).

براساس نتایج مقایسات گروهی علف‌کش‌ها مشخص شد که زیست توده سلمه تره نیز به طور معنی‌داری تحت تاثیر کاربرد علف‌کش مایستر-ادی با علف‌کش‌های استوکلر و کروز در سطح ۱ درصد و با علف‌کش اولتیم‌آ در سطح ۵ درصد قرار گرفت (جدول ۴). کمترین زیست توده علف هرز سلمه‌تره (۱۹۴ گرم در متر مربع) در تیمار کاربرد علف‌کش مایستر-ادی مشاهده شد که نسبت به علف‌کش‌های استوکلر، کروز، اولتیم‌آ و توفوردی+ام‌سی‌پی‌آ به ترتیب به میزان ۲۱، ۲۵/۴، ۱۰/۷۹ و ۶ درصد کاهش یافت. تراکم سلمه تره نیز تحت تاثیر کاربرد علف‌کش مایستر-ادی با علف‌کش‌های استوکلر، کروز و علف‌کش توفوردی+ام‌سی‌پی‌آ در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). کمترین تراکم علف هرز سلمه‌تره (۲/۲۷ بوته در متر مربع) در تیمار کاربرد علف‌کش مایستر-ادی مشاهده شد که نسبت به علف‌کش‌های استوکلر، کروز، اولتیم‌آ و توفوردی+ام‌سی‌پی‌آ به ترتیب به میزان ۲۸، ۳۴، ۲۹ و ۲۳ درصد کاهش یافت. شریفی‌زیوه و دیده‌باز مقانلو (Sharifziveh and Didehbaz Moghanlo., 2019) گزارش کردند که کاربرد علف‌کش مایستر-ادی با بیش از ۸۵ درصد کارایی، نقش مهمی در کنترل علف‌های هرز سلمه‌تره و سورف در ذرت داشت.

کاربرد علف‌کش مایستر-ادی با علف‌کش‌های استوکلر و کروز در سطح ۱ درصد و با علف‌کش‌های اولتیم‌آ و توفوردی+ام‌سی‌پی‌آ در سطح ۵ درصد بر زیست توده علف هرز پیچک اثر معنی‌دار داشت (جدول ۴). کمترین زیست توده علف هرز پیچک (۵۶/۱۸ گرم در متر مربع) در تیمار کاربرد علف‌کش مایستر-ادی مشاهده شد. میزان کاهش زیست توده علف هرز پیچک در تیمار مایستر-ادی نسبت به علف‌کش‌های استوکلر، کروز، اولتیم‌آ و توفوردی+ام‌سی‌پی‌آ به ترتیب ۴۰، ۴۲/۵، ۲۸ و ۱۸ درصد بود. میان کاربرد علف‌کش مایستر-ادی با علف‌کش کروز بر تراکم علف هرز پیچک در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود داشت. لکن، میان علف‌کش مایستر-ادی و علف‌کش‌های استوکلر، اولتیم‌آ و توفوردی+ام‌سی‌پی‌آ از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). میزان کاهش تراکم علف هرز پیچک در تیمار مایستر-ادی نسبت به علف‌کش‌های استوکلر،

کروز، اولتیم و توفوردی+ام‌سی‌پی‌آ به ترتیب ۱۹، ۳۲، ۱۳/۳ و ۱۳/۳ درصد بود.

نتایج مقایسات گروهی علف‌کش‌ها همچنین نشان داد زیست توده اویارسلام تحت تاثیر کاربرد علف‌کش مایستر-ادی با علف‌کش های استوکلر، کروز و توفوردی+ام‌سی‌پی‌آ در سطح ۱ درصد قرار گرفت. لکن، میان علف‌کش مایستر-ادی و اولتیم از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). کمترین زیست توده علف هرز اویارسلام (۴۵/۶ گرم در مترمربع) در تیمار علف‌کش مایستر-ادی بدست آمد که نسبت به علف‌کش اولتیم ۱۹/۸۷ درصد کاهش یافت. علف‌کش مایستر-ادی نسبت به علف‌کش‌های استوکلر، کروز و توفوردی+ام‌سی‌پی‌آ به ترتیب منجر به کاهش ۵۴/۴، ۴۶/۲ و ۵۸ درصدی زیست توده علف هرز اویارسلام شد. بطور کلی میان اثر کاربرد علف‌کش مایستر-ادی با علف‌کش استوکلر در سطح ۵ درصد و با علف‌کش توفوردی+ام‌سی‌پی‌آ در سطح ۱ درصد بر تراکم اویارسلام اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. لیکن، میان علف‌کش مایستر-ادی با علف‌کش کروز و اولتیم از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴). تراکم اویارسلام در تیمار مایستر-ادی نسبت به علف‌کش‌های استوکلر، کروز، اولتیم و توفوردی+ام‌سی‌پی‌آ به ترتیب به میزان ۲۶/۱، ۱۱، ۱۵ و ۳۹/۳ درصد کاهش یافت.

تغییرات زیست توده ارزن دم روباهی نیز در اثر کاربرد علف‌کش مایستر-ادی با علف‌کش‌های استوکلر در سطح ۱ درصد و با علف‌کش‌های کروز و توفوردی+ام‌سی‌پی‌آ در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). کمترین زیست توده علف هرز ارزن دم روباهی (۳۲/۴ گرم در متر مربع) در تیمار علف‌کش مایستر-ادی مشاهده شد. کاربرد علف‌کش مایستر-ادی نسبت به علف‌کش‌های استوکلر، کروز، اولتیم و توفوردی+ام‌سی‌پی‌آ به ترتیب منجر به کاهش ۴۲/۳، ۳۴/۵ و ۲۱/۵ درصد زیست توده علف هرز ارزن دم روباهی شد. کاربرد علف‌کش مایستر-ادی همچنین نسبت به علف‌کش‌های استوکلر، کروز، اولتیم و توفوردی+ام‌سی‌پی‌آ به ترتیب منجر به کاهش ۲۱، ۲۵، ۲۱ و ۴۰ درصدی تراکم علف هرز ارزن دم‌روباهی شد (جدول ۴).

به‌طورکلی کمترین زیست توده کل علف‌های هرز در تیمار کاربرد علف‌کش مایستر-ادی (۱۱۲۴/۱ گرم در متر مربع) به دست آمد. کاربرد علف‌کش مایستر-ادی نسبت به علف‌کش‌های استوکلر، کروز، اولتیم و توفوردی+ام‌سی‌پی‌آ به ترتیب بطور معنی‌داری منجر به کاهش ۲۵/۲، ۲۶/۴، ۱۲ و ۱۵/۷ درصد زیست توده کل علف‌های هرز شد. به‌نظر می‌رسد علف‌کش مایستر-ادی و اولتیم نسبت به علف‌کش‌های مورد مطالعه از کارایی بیشتری در کنترل و کاهش زیست توده و تراکم کل علف‌های هرز و پس از برخوردار هستند. بانتینگ و همکاران (Bunting et al., 2005) نشان دادند که کاربرد

علف‌کش نیکوسولفورن علف‌های هرز دم روباهی، علف هفت بند، گاوپنبه، سلمه تره و تاج خروس را به ترتیب ۸۰، ۸۹، ۴۷، ۴۲ و ۴۶ درصد کنترل کرد. باغستانی و همکاران (Baghestani et al., 2007) عنوان کردند که علف‌کش‌های فورام سولفورون و نیکوسولفورون به ترتیب با غلظت ۲/۵ و ۲ لیتر در هکتار توانستند علف‌های هرز باریک برگ را به صورت رضایت بخشی کنترل کنند و در مجموع پس از علف‌کش توفوردی+ام‌سی‌پی‌آ از نظر کنترل علف‌های هرز پهن‌برگ نیز کارایی نسبتاً مناسبی داشتند. زارع‌مهذبیه و غدیری (Zaremoahabieh and Ghadiri, 2011) نیز گزارش کردند که کاربرد علف‌کش فورام‌سولفورون به میزان ۰/۰۶ و ۰/۰۳ کیلوگرم ماده موثره در هکتار تراکم و تعداد بوته علف‌های هرز مزرعه ذرت شد. لیکن، دزهای ۰/۰۲ و ۰/۰۴ کیلوگرم ماده موثره در هکتار از علف‌کش توفوردی با ام‌پی‌سی‌آ زیست توده علف هرز باریک برگ را تحت تاثیر قرار نداد.

عملکرد و اجزای عملکرد ذرت

بیشترین طول بلال ذرت (۲۲/۵۶ سانتی‌متر) در تیمار شاهد بدون علف هرز مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد آلوده به علف هرز ۵۵/۶ درصد بیشتر بود (جدول ۵). در میان تیمارهای علف‌کش، بیشترین طول بلال ذرت (۱۹/۹۳ سانتی‌متر) در تیمار علف‌کش مایستر به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار به دست آمد که نسبت به طول بلال ذرت در تیمار شاهد آلوده به علف هرز ۳۷/۵ درصد افزایش نشان داد (جدول ۵). به نظر می‌رسد علف‌کش مایستر-ادی نسبت به سایر تیمارهای علف‌کش در کاهش تاثیر منفی علف‌های هرز بر طول بلال ذرت از کارایی بالاتری برخوردار بود که این امر می‌تواند ناشی از کارایی بهتر این علف‌کش در کنترل و کاهش رقابت علف‌های هرز و بهبود رشد رویشی و زایشی گیاه زراعی ذرت باشد. باغستانی و همکاران (Baghestani et al., 2014) نتایج مشابهی را در بهبود رشد رویشی و زایشی گیاه زراعی ذرت با کاربرد علف‌کش مایستر-ادی در مقایسه با سایر تیمارهای علف‌کش گزارش کردند. نجفی و غدیری (Najafi and Ghadiri, 2012) گزارش کردند که کمترین طول بلال ذرت در تیمار شاهد با علف هرز مشاهده شد. پس از آن کمترین طول بلال ذرت در تیمار علف‌کش توفوردی+ام‌سی‌پی‌آ به دست آمد. با توجه به تشدید رقابت بین گونه‌ای در شرایط آلوده به علف هرز و افزایش فشار زیست توده علف‌های هرز و کاهش نفوذ نور به بخش‌های پایین‌تر سایه‌انداز، فتوسنتز خالص گیاه زراعی ذرت کاهش یافته و این امر منجر به کاهش طول بلال ذرت شد (Bijanazadeh et al., 2006).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر تیمارهای علف کش بر درصد کاهش تراکم و زیست توده علف هرز درخت نسبت به شاهد آلوده به علف هرز

Table 3- Mean comparison of effects of herbicide treatments on percentage reduction of weed density and biomass of corn compared with weedy control.

علف کش Herbicide	میزان مصرف (l ha ⁻¹)	گونه‌های علف هرز Weed species											
		تاج خروس ریشه قرمز <i>Amaranthus retroflexus</i>			سلمه تره <i>Chenopodium album</i>			پیچک <i>Convolvulus arvensis</i>			اویارسلام <i>Cyperus rotundus</i>		
		تراکم Density (%)	زیست توده Biomass (%)	تراکم Density (%)	تراکم Density (%)	زیست توده Biomass (%)	تراکم Density (%)	تراکم Density (%)	زیست توده Biomass (%)	تراکم Density (%)	تراکم Density (%)	زیست توده Biomass (%)	تراکم Density (%)
مایستر-ادی MaisTer OD	1	23.65 ^d	15.83 ^g	46.29 ^e	41.24 ^h	33.43 ^e	30.15 ^h	58.67 ^b	51.70 ^e	41.84 ^d	43.12 ^h	43.12 ^h	41.84 ^d
	1.5	47.10 ^a	27.36 ^a	69.38 ^a	56.22 ^a	66.79 ^b	70.94 ^a	66.85 ^a	74.26 ^a	66.85 ^a	80.15 ^a	80.15 ^a	66.85 ^a
	2	35.44 ^b	25.17 ^b	61.76 ^b	54.32 ^b	55.73 ^c	68.52 ^b	58.55 ^b	73.82 ^b	66.79 ^d	74.30 ^b	74.30 ^b	66.79 ^d
استوکلر Acetochlor	4.5	11.76 ^f	10.95 ^m	38.59 ^d	27.51 ^o	44.77 ^d	13.34 ^o	33.64 ^e	60.47 ^d	41.83 ^d	38.36 ^f	38.36 ^f	41.83 ^d
	5	29.43 ^e	14.62 ^h	38.60 ^d	40.94 ⁱ	44.72 ^d	28.90 ^j	50.10 ^e	17.60 ^k	58.60 ^b	35.55 ^m	35.55 ^m	58.60 ^b
	6	17.77 ^j	14.07 ⁱ	23.19 ^f	36.43 ^j	55.69 ^e	20.29 ^j	41.85 ^d	13.10 ⁿ	58.58 ^b	41.05 ⁱ	41.05 ⁱ	58.58 ^b
کروز Cruz	1.5	5.93 ^g	4.36 ^o	38.67 ^d	28.64 ⁿ	11.43 ⁱ	15.47 ⁿ	33.52 ^e	17.90 ^j	41.85 ^d	37.11 ^k	37.11 ^k	41.85 ^d
	2	5.90 ^g	5.01 ⁿ	30.82 ^e	33.57 ^l	55.76 ^c	20.26 ^m	58.60 ^b	38.67 ^h	58.60 ^b	48.61 ^g	48.61 ^g	58.60 ^b
	2.5	17.77 ^j	13.66 ^k	30.79 ^e	31.98 ^m	55.82 ^c	29.44 ⁱ	58.48 ^b	39.82 ^g	50.08 ^c	50.94 ^f	50.94 ^f	50.08 ^c
اولتیم Ultima	1	17.80 ^j	13.31 ^l	15.57 ^g	35.58 ^k	44.77 ^d	23.11 ^k	33.69 ^e	48.51 ^f	50.10 ^c	53.86 ^e	53.86 ^e	50.10 ^c
	2	35.44 ^b	20.00 ^e	38.67 ^d	49.30 ^d	55.86 ^c	43.88 ^f	50.10 ^c	60.47 ^d	58.63 ^b	56.00 ^d	56.00 ^d	58.63 ^b
	3	23.60 ^d	18.72 ^f	38.53 ^d	47.47 ^f	55.74 ^c	45.10 ^e	58.54 ^b	61.58 ^c	50.09 ^c	57.76 ^e	57.76 ^e	50.09 ^c
توفوردی+امسیبی 2,4-D + MCPA	1.5	23.58 ^d	13.97 ^l	30.80 ^e	43.82 ^g	44.72 ^d	41.95 ^g	25.10 ^f	11.08 ^o	50.11 ^c	33.07 ^o	33.07 ^o	50.11 ^c
	2	29.43 ^e	20.74 ^d	38.67 ^d	48.61 ^e	55.75 ^c	46.09 ^d	33.53 ^e	15.35 ^l	33.60 ^c	34.04 ⁿ	34.04 ⁿ	33.60 ^c
	2.5	35.35 ^b	21.66 ^e	61.76 ^b	49.59 ^e	89.10 ^a	51.20 ^c	33.60 ^e	14.46 ^m	41.85 ^d	36.36 ^l	36.36 ^l	41.85 ^d

میانگین‌ها با حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند (LSD ≤ 0.05).

Means in each column followed by the similar letters are not significantly different at 5% probability level (LSD ≤ 0.05).

جدول ۴- مقایسه گروهی بین اثرات علف‌کش بر زیست توده و تراکم علف‌های هرز ذرت

Table 4- Comparison groups between the herbicide effects on weed biomass and density of corn									
صفات Traits	درجه آزادی df	مایستر-ادی در مقابل Maister OD vs Acetochlor	میانگین مربعات Means of squares	مایستر-ادی در مقابل Maister OD vs Cruz	میانگین مربعات Means of squares	مایستر-ادی در مقابل Maister OD vs Ultima	میانگین مربعات Means of squares	مایستر-ادی در مقابل Maister OD vs 2,4-D + MCPA	تفاوتی Differences
تاج خروس ریشه قرمز (<i>Amaranthus retroflexus</i>)									
زیست توده Biomass (g m ⁻²)	1	379.05	425.20	379.05	453.42	379.05	405.49	379.05	398.70
تراکم Density (1 m ⁻²)	1	2.22	3.05	2.22	3.63	2.22	2.69	2.22	2.52
سلمه نر (<i>Chenopodium album</i>)									
زیست توده (گرم در مترمربع) Biomass (g m ⁻²)	1	194	246	194	260	194	217	194	206
تراکم (در مترمربع) Density (1 m ⁻²)	1	2.27	3.16	2.27	3.44	2.27	3.19	2.27	2.94
پیچک صحرائی (<i>Convolvulus arvensis</i>)									
زیست توده (گرم در مترمربع) Biomass (g m ⁻²)	1	56.18	93.42	56.18	97.68	56.18	77.91	56.18	68.25
تراکم (در مترمربع) Density (1 m ⁻²)	1	1.3	1.6	1.3	1.9	1.3	1.5	1.3	1.5
لوباسلام (<i>Cyperus rotundus</i>)									
زیست توده (گرم در مترمربع) Biomass (g m ⁻²)	1	45.6	100.1	45.6	84.7	45.6	56.9	45.6	108.1
تراکم (در مترمربع) Density (1 m ⁻²)	1	1.7	2.3	1.7	1.9	1.7	2.0	1.7	2.8
ارزن دم رویاهی (<i>Setaria italica</i>)									
زیست توده (گرم در مترمربع) Biomass (g m ⁻²)	1	32.4	56.2	32.4	50.2	32.4	41.3	32.4	56.6
تراکم (در مترمربع) Density (1 m ⁻²)	1	1.5	1.9	1.5	2	1.5	1.9	1.5	2.5
کل علف‌های هرز									
زیست توده (گرم در مترمربع) Biomass (g m ⁻²)	1	1124.1	1502.6	1124.1	1526.8	1124.1	1277.4	1124.1	1334.0

ns و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح 0.05 و 0.01 و غیر معنی‌دار. ns, ** and ns: are significant at 0.05 and 0.01 probability levels and not significant, respectively.

بیشترین و کمترین تعداد ردیف دانه در بلال ذرت به ترتیب در تیمار شاهد بدون علف هرز (۱۶/۰۰) و تیمار شاهد آلوده به علف هرز (۱۱/۳۰) مشاهده شد. همچنین تعداد ردیف دانه در بلال ذرت در تیمارهای کاربرد علف‌کش‌های مایستر-ادی (۱/۵ لیتر در هکتار)، استوکلا (۵ لیتر در هکتار)، کروز (۲ لیتر در هکتار)، اولتیم (۲ لیتر در هکتار)، توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ (۲ لیتر در هکتار) به ترتیب به میزان ۳۵/۴، ۲۳/۹، ۲۴/۸، ۳۵/۴ و ۲۵/۷ درصد در مقایسه با شاهد آلوده به علف هرز افزایش یافت (جدول ۵). به عبارتی کاربرد علف‌کش‌ها منجر به کاهش رقابت و تاثیر منفی علف‌های هرز بر ویژگی‌های زایشی گیاه زراعی ذرت می‌شوند. در این میان، کاربرد علف‌کش مایستر-ادی و اولتیم به دلیل کارایی بیشتر در کنترل علف‌های هرز منجر به بهبود بیشتر رشد زایشی و افزایش تعداد ردیف دانه در بلال ذرت شدند که این امر نقش مهمی در افزایش عملکرد دانه ذرت داشت. در گذشته نیز گزارش شده است که تعداد ردیف دانه در بلال ذرت در تیمار کاربرد علف‌کش مایستر-ادی به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار نسبت به سایر تیمارهای علف‌کش از برتری محسوسی برخوردار بود (Baghestani et al., 2014).

علف‌های هرز بطور معنی‌داری تعداد دانه در ردیف بلال ذرت را کاهش داد و در مقایسه با تیمار شاهد بدون علف هرز به میزان ۴۱/۵ درصد کاهش یافت (جدول ۵). تیمار علف‌کش مایستر-ادی از کارایی نسبی بالاتری برخوردار بود بطوری که میان کاربرد ۱/۵ لیتر در هکتار علف‌کش مایستر-ادی و تیمار شاهد بدون علف هرز از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. لکن، تعداد دانه در ردیف بلال ذرت در تیمار شاهد آلوده به علف هرز در مقایسه با تیمار علف‌کش مایستر-ادی به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار ۵۶/۸ درصد کاهش یافت (جدول ۵). به نظر می‌رسد به دلیل تشدید تداخل علف‌های هرز با گیاه زراعی ذرت، کاهش شاخص سطح برگ و دسترسی کمتر گیاه به عناصر غذایی خاک، میزان فتوسنتز، انتقال و اختصاص مواد پرورده به قسمت‌های زایشی گیاه کاهش یافته و این امر منجر به کاهش تعداد دانه کمتری در ردیف‌های بلال ذرت می‌شود (Sharifiziveh and Uhart and Andrade, 1995 ; Didehbaz Moghanlo, 2019). از طرف دیگر کارایی بهتر علف‌کش مایستر-ادی در کنترل و سرکوب علف‌های هرز شرایط بهتری را برای رشد و تولید محصول در گیاه زراعی ذرت فراهم می‌کند (Baghestani et al., 2014). این شرایط منجر به افزایش عملکرد دانه ذرت در تیمار کاربرد علف‌کش مایستر-ادی در مقایسه با سایر تیمارهای علف‌کش می‌گردد.

علف هرز در رقابت با ذرت باعث کاهش ۵۸/۶ درصدی تعداد دانه در بلال ذرت نسبت به تیمار شاهد بدون علف هرز (۲۷۱/۳) در مقابل ۶۵۶ عدد شد (جدول ۵). میان تیمارهای علف‌کش، بیشترین تعداد دانه در بلال ذرت (۶۲۸/۷۰) در تیمار کاربرد علف‌کش مایستر-ادی به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار بدست آمد که نسبت به علف‌کش‌های استوکلا (۵ لیتر در هکتار)، کروز (۲ لیتر در هکتار)، توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ (۲ لیتر در هکتار) به ترتیب به میزان ۴۴، ۳۰ و ۴۶ درصد افزایش داشت (جدول ۵). به عبارتی هرچقدر تعداد ردیف در بلال و تعداد دانه در ردیف بلال بیشتر شود تعداد دانه در بلال ذرت افزایش بیشتری داشت. به نظر می‌رسد که تعداد دانه در بلال نقشی بسیار مهمی در تعیین عملکرد نهایی دانه ذرت دارد. ایوانز و همکاران (Evans et al., 2003) گزارش کردند که حساس‌ترین جزء عملکرد ذرت به تداخل علف‌های هرز تعداد دانه در بلال بود، به طوری که افزایش زمان تداخل علف‌های هرز موجب کاهش سیگموتیدی تعداد دانه در بلال شد. بنابراین کاربرد علف‌کش‌ها می‌تواند میزان رقابت علف‌های هرز را کاهش دهد. لکن، علف‌کش مایستر-ادی و اولتیم با کارایی بیشتری نسبت به سایر علف‌کش‌ها توانستند تاثیر منفی علف‌های هرز را بر گیاه زراعی ذرت را کاهش داده و در نتیجه با انتقال و اختصاص بیشتر مواد پرورده به قسمت‌های زایشی و تشکیل تعداد دانه بیشتر، نقش مهمی در افزایش عملکرد دانه داشته باشند (Bijanazadeh et al., 2006).

بیشترین وزن ۱۰۰۰ دانه ذرت (۲۸۶/۳۳ گرم) در تیمار شاهد بدون علف هرز مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد آلوده به علف هرز به میزان ۱۶/۷ درصد افزایش یافت. در میان تیمارهای علف‌کش، بیشترین وزن ۱۰۰۰ دانه (۲۷۶/۳۳ گرم) در تیمار علف‌کش مایستر-ادی به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار مشاهده شد که نسبت به تیمار علف‌کش اولتیم به میزان ۲ لیتر در هکتار ۲/۴۷ درصد افزایش داشت (جدول ۵). کاربرد علف‌کش با حذف و تضعیف علف‌های هرز منجر به استفاده موثرتر گیاه زراعی از منابع شده که نتیجه آن پر شدن بهتر دانه‌ها است. همچنین در شاهد با علف هرز، گیاهان به دلیل رقابت با علف‌های هرز مواد پرورده کافی جهت پر نمودن دانه‌ها در دسترس نداشته و وزن دانه به طور معنی‌داری کاهش یافت (Mehmeti et al., 2019 ; Rajcan and Swanton, 2001). ایوانز و همکاران (Evans et al., 2003) گزارش کردند که وزن ۱۰۰۰ دانه همبستگی منفی با مدت زمان تداخل علف‌های هرز و همبستگی مثبت با مدت زمان عاری از علف‌های هرز داشت.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر تیمارهای علف کش بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت

Table 5- Mean comparison for effects of herbicide treatments on yield and yield components of corn

علف کش Herbicide	میزان مصرف (l ha ⁻¹)	طول بلال Ear length (cm)	تعداد ردیف دانه Row number per ear	تعداد دانه row Grain number per ear	در بلال Grain number per ear	تعداد دانه Grain number per ear	وزن ۱۰۰۰ دانه 1000 grain weight (g)	عملکرد دانه Grain yield (t ha ⁻¹)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (t ha ⁻¹)	درصد افت عملکرد Yield loss percentage
مایستر-ادی MaisTer OD	1	18.60 ^{b-d}	14.60 ^{a-c}	37.60 ^{a-c}	554.00 ^{a-c}	264.33 ^{b-d}	7.34 ^{b-c}	16.31 ^{b-c}	20.53 ^{b-d}	
	1.5	19.93 ^b	15.30 ^{ab}	41.00 ^a	628.70 ^{ab}	276.33 ^{ab}	8.68 ^{ab}	18.74 ^{ab}	6.63 ^a	
	2	18.23 ^{b-e}	15.30 ^{ab}	36.30 ^{a-c}	558.70 ^{a-d}	266.66 ^{b-d}	7.44 ^{b-d}	16.55 ^{a-d}	20.14 ^{b-d}	
استوکلر Acetochlor	4.5	15.93 ^{gh}	12.60 ^{-e}	27.30 ^{-h}	349.3 ^{b-j}	255.66 ^{d-g}	4.47 ^{b-j}	10.86 ^{fi}	53.41 ^{g-i}	
	5	16.53 ^{gh}	14.00 ^{-d}	31.30 ^{-g}	436.70 ^{dh}	259.33 ^{-f}	5.66 ^{eh}	13.24 ^{dg}	39.67 ^{-g}	
	6	16.20 ^{-h}	13.30 ^{-e}	28.00 ^{-h}	369.30 ^{g-j}	255.33 ^{d-g}	4.71 ^{b-j}	10.94 ^{fi}	50.19 ^{fi}	
کروز Cruz	1.5	15.83 ^{gh}	12.60 ^{-e}	26.30 ^{-h}	333.30 ^{b-j}	255.33 ^{d-g}	4.25 ^{b-j}	10.11 ^{g-i}	54.39 ^{g-i}	
	2	18.93 ^{bc}	14.10 ^{ab-d}	34.60 ^{-d}	484.00 ^{-c-g}	263.33 ^{-e}	6.35 ^{-d-g}	14.51 ^{-e-f}	32.04 ^{ab-f}	
	2.5	16.53 ^{d-h}	13.30 ^{-e}	32.00 ^{-f}	425.30 ^{fi}	259.33 ^{-e}	5.52 ^{fi}	13.01 ^{dh}	41.03 ^{-h}	
اولتیم Ultima	1	17.83 ^{-f}	14.00 ^{-d}	36.00 ^{-e}	505.30 ^{-f}	264.00 ^{-e}	6.69 ^{-f}	14.84 ^{-e}	28.33 ^{-e}	
	2	19.56 ^b	15.30 ^{ab}	39.60 ^{ab}	608.70 ^{ab-c}	269.66 ^{bc}	8.21 ^{-b-c}	17.73 ^{-a-c}	12.58 ^{-e}	
	3	17.50 ^{-g}	12.60 ^{-e}	33.00 ^{-e}	426.00 ^{fi-h}	263.33 ^{-e}	5.59 ^{fi-h}	12.60 ^{-e-h}	41.48 ^{-h}	
توفوردی+مایستی-آ 2,4D + MCPA	1.5	15.56 ^{gh}	12.00 ^{de}	26.00 ^{-h}	310.00 ^{b-i}	252.00 ^{-g}	3.90 ^{ij}	9.51 ^{gi}	57.99 ^{g-i}	
	2	16.53 ^{d-h}	14.20 ^{ab-d}	31.00 ^{-g}	431.30 ^{-h}	257.33 ^{-d-g}	5.54 ^{fi}	13.18 ^{-d-g}	40.80 ^{-h}	
	2.5	15.23 ^h	12.00 ^{de}	24.60 ^{-g}	298.7 ^{ij}	248.66 ^g	3.70 ^j	9.25 ^{hi}	59.54 ^{hi}	
شاهد بدون علف هرز Weed free		22.56 ^a	16.00 ^a	41.00 ^a	656.00 ^a	286.33 ^a	9.41 ^a	20.12 ^a	-	
شاهد آلوده به علف هرز Weedy		14.50 ^h	11.30 ^e	24.00 ^h	271.30 ^j	245.33 ^g	3.32 ^j	8.37 ^j	64.21 ⁱ	

میانگین‌ها با حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند (LSD ≤ 0.05). Means in each column followed by the similar letters are not significantly different at 5% probability level (LSD ≤ 0.05).

تراکم علف‌های هرز گزارش کردند.

درصد افت عملکرد دانه ذرت نشان‌دهنده میزان درصد کاهش عملکرد به دلیل رقابت علف‌های هرز در مزرعه ذرت می‌باشد. بیشترین میزان درصد افت عملکرد دانه ذرت (۶۴/۲۱ درصد) در تیمار شاهد آلوده به علف هرز و کمترین میزان درصد افت عملکرد دانه ذرت در تیمار علف‌کش مایستر-ادی (۶/۶۳ درصد) به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار مشاهده شد (جدول ۵). کاربرد علف‌کش مایستر-ادی (۱/۵ لیتر در هکتار) نسبت به علف‌کش‌های استوکلر (۵ لیتر در هکتار)، کروز (۲ لیتر در هکتار)، اولتیم (۲ لیتر در هکتار) و توفوردی+ام‌سی پی‌آ (۲ لیتر در هکتار) به ترتیب منجر به کاهش ۸۳، ۷۹، ۴۷ و ۸۴ درصدی درصد افت عملکرد ذرت شد (جدول ۵). محققین گزارش کردند که رقابت گیاه زراعی در شرایط حضور علف‌های هرز با کاربرد علف‌کش‌ها کاهش یافت و این امر منجر به بهبود عملکرد دانه گیاه زراعی شد (Bijanazadeh et al., 2006). باغستانی و همکاران (Baghestani et al., 2014) گزارش کردند که با کاربرد علف‌کش مایستر میزان افت عملکرد گیاه زراعی در مقایسه با سایر تیمارهای علف‌کش کمتر بود. در میان علف‌کش‌ها مورد استفاده در این پژوهش علف‌کش مایستر-ادی و اولتیم بیشترین کنترل علف‌های هرز را فراهم کردند که در نتیجه بیشترین زیست توده ذرت در این تیمارها مشاهده شد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش با توجه به نقش بازدارندگی علف‌کش‌ها در کاهش ۶۰ درصدی عملکرد دانه ذرت به دلیل حضور و رقابت علف‌های هرز و کاهش ۴۰ درصدی زیست توده کل علف‌های هرز در نتیجه کاربرد علف‌کش مایستر-ادی و استفاده از دزهای کاهش‌یافته این علف‌کش و نهایتاً کاهش آلودگی محیط و رفع مشکلات ماندگاری علف‌کش‌ها در خاک، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که برای دستیابی به بهترین عملکرد دانه ذرت و کاهش رقابت علف‌های هرز و کمترین افت عملکرد، کاربرد علف‌کش مایستر-ادی با دز کاهش‌یافته به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار در مقایسه با سایر علف‌کش‌ها، قابل توصیه و حائز اهمیت می‌باشد.

کمترین عملکرد دانه ذرت (۳/۳۲ تن در هکتار) در تیمار شاهد آلوده به علف هرز به دست آمد که نسبت به تیمار شاهد بدون علف هرز به میزان ۶۴/۷ درصد کاهش یافت (جدول ۵). علف‌های هرز با تأثیر منفی بر ویژگی‌های زایشی گیاه زراعی ذرت در نهایت منجر به کاهش عملکرد دانه می‌شوند. بیشترین عملکرد دانه (۸/۶۸ تن در هکتار) در تیمار کاربرد ۱/۵ لیتر در هکتار علف‌کش مایستر-ادی به دست آمد که نسبت به علف‌کش‌های استوکلر (۵ لیتر در هکتار)، کروز (۲ لیتر در هکتار)، اولتیم (۲ لیتر در هکتار) و توفوردی+ام‌سی پی‌آ (۲ لیتر در هکتار) به ترتیب به میزان ۵۳/۳، ۳۶/۷، ۵/۷ و ۵۶/۷ درصد افزایش نشان داد (جدول ۵). به نظر می‌رسد کارایی علف‌کش مایستر-ادی در کنترل علف‌های هرز و بهبود شرایط رشد ذرت و در نتیجه افزایش عملکرد دانه به مراتب بالاتر از سایر علف‌کش‌های مورد استفاده در این پژوهش بود. زارع‌مهدیه و غدیری (Zaremohazabieh and Ghadiri, 2011) گزارش کردند که بیشترین میزان عملکرد و اجزاء عملکرد دانه ذرت در مقایسه با شاهد با علف هرز در تیمار کاربرد علف‌کش‌های فورام‌سولفورون (۲ لیتر در هکتار)، فورام‌سولفورون (۲/۵ لیتر در هکتار) و آترازین + آلاکلر (۱/۵ + ۱/۹۲ لیتر در هکتار) و آترازین + آلاکلر (۱ + ۲/۴۴ لیتر در هکتار) به دست آمد که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. علف‌های هرز عملکرد بیولوژیک ذرت را بطور معنی‌دار کاهش داد و نسبت به تیمار شاهد بدون علف هرز به میزان ۲/۴ برابر (۲۰/۱۲ در مقابل ۸/۳۷ تن در هکتار) کاهش یافت (جدول ۵). کاربرد علف‌کش مایستر-ادی به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار در مقایسه با استوکلر (۵ لیتر در هکتار)، کروز (۲ لیتر در هکتار)، اولتیم (۲ لیتر در هکتار) و توفوردی+ام‌سی پی‌آ (۲ لیتر در هکتار) عملکرد بیولوژیک را به ترتیب به میزان ۴۱/۵، ۲۹/۱، ۵/۷ و ۴۲/۲ درصد افزایش داد (جدول ۵). به نظر می‌رسد کاربرد علف‌کش‌ها با تأثیر منفی بر زیست توده و تراکم علف‌های هرز منجر به کاهش رقابت بین گونه‌ای علف‌های هرز و گیاه زراعی ذرت شده و در نهایت رشد رویشی گیاه زراعی ذرت افزایش یافته که این امر خود ناشی از بهبود فتوسنتز و اختصاص مواد پرورده بیشتر برای رشد اندام‌هوایی گیاه می‌باشد. نجفی و غدیری (Najafi and Ghadiri, 2012) نتایج مشابهی را در بهبود عملکرد بیولوژیک ذرت در نتیجه کاربرد علف‌کش‌ها و کاهش زیست توده و

منابع

1. Baghestani, M.A., Mamnoei, E., Ghezeli, F., Zand, E., & Lotfi Mavi, F. (2014). Evaluating the efficacy of MaisTer 3.1% OD (Foramsulfuron + Iodosulfuron + Isoxadifen-ethyl) in the control of different weeds in corn fields of Karaj, Jiroft and Fars Regions. *Journal of Iranian Plant Protection Research* 28(3): 313-324.
2. Baghestani, M.A., Zand, E., Soufizadeh, S., Eskandari, A., PourAzar, R., Veysi, M., & Nassirzadeh, N. (2007). Efficacy evaluation of some dual purpose herbicides to control weeds in maize (*Zea mays* L.). *Crop Protection* 26(7): 936-942. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2006.08.013>.

3. Bijanzadeh, E., & Ghadiri, H. (2006). Effect of seprate and combined treatments of herbicides on weed control and corn (*Zea mays* L.) yield. *Weed Technology* 20: 640-645. <https://doi.org/10.1614/WT-05-105R1.1>.
4. Bunting J., Sprague C.L., and Riechers D.E. 2005. Incorporating foramsulfuron into annual weed control systems for corn. *Weed Technology* 19: 160-167. <https://doi.org/10.1614/WT-04-063R1>
5. Chitband, A.A., Noghondar, M.N., & Sarabi, V. (2021). Yield of sweet corn varieties and response to sulfonylurea and mix herbicides. *Advances in Weed Science* 39: 1-11. <https://doi.org/10.51694/AdvWeedSci/2021;39:00018>.
6. Donald, W.W. (2007). Control of both winter annual and summer annual weeds in no-till corn with between-row mowing systems. *Weed Technology* 21: 591-601. <https://doi.org/10.1614/WT-05-141.1>.
7. Evans, S.P., Knezevic, Z., Lindquist, J.L., Shapiro, C.A., & Blankenship, E.E. (2003). Nitrogen application influences the critical period for weed control in corn. *Weed Science* 51: 408-417. [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2003\)051\[0408:NAITCP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2003)051[0408:NAITCP]2.0.CO;2).
8. FAO. Food and Agriculture Organization. (2017). <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>, Available at 11/05/2017.
9. Gholami Golafshan, M., Vazan, S., Paknejad, F., Oveisi, M., & Eliasi, S. (2009). Spatial relationships between weed seedbank and seedling and their population distribution models in corn. *Weed Research Journal* 1: 65-76.
10. Hassannejad, S., & Porheidar-Ghafarbi, S. (2012). Introducing new indices for weed flora studies. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 4(22): 1653-1659.
11. Khan, I.A., Hassan, G., Malik, N., Khan, R., Khan, H., & Khan, S.A. (2016). Effect of herbicides on yield and yield components of hybrid maize (*Zea mays*). *Planta Daninha* 34: 729-736. <https://doi.org/10.1590/s0100-83582016340400013>.
12. Lair, K., & Redente, E.F. (2004). Influence of auxin and sulfonylurea herbicides on seeded native communities. *Rangeland Ecology and Management* 57(2): 211-218. [https://doi.org/10.2111/1551-5028\(2004\)057\[0211:IOAASH\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2111/1551-5028(2004)057[0211:IOAASH]2.0.CO;2).
13. Lotfi, M.F., Shayestenia, A., Daneshian, J., & Moradi, A.A. (2010). Effect of three post-emergence herbicides and cultivation on weed management in silage corn fields. *Agroecology Journal* 6(19): 71-77.
14. Mariani, F., Sensemam, S.A., Vargas, L., Agostineto, D., Avila, L.A., & Santos, F.M. (2019). Enzymatic properties and ryegrass resistance mechanism to iodosulfuron-methyl-sodium herbicide. *Planta Daninha* 37:1-10. <https://doi.org/10.1590/s0100-83582019370100001>.
15. Mehmeti, A., Fetahaj, R., Demaj, A., Nishori, F., & Rracaj, V. (2019). Evaluation of pre-and post-emergence herbicides for weed control in maize (*Zea mays* L.). *Journal of Central European Agriculture* 20(1): 208-222. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/20.1.2393>.
16. Najafi, B., & Ghadiri, H. (2012). Weed control and grain yield response to nitrogen management and herbicides. *Journal Biological and Environmental Science* 6: 39-47.
17. Rajcan, I., & Swanton, C.J. (2001). Understanding maize-weed competition: resource competition, light quality and the whole plant. *Field Crops Research* 71: 139-150. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(01\)00159-9](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00159-9).
18. Riemens, M., Sønderkov, M., Moonen, A.C., Storkey, J., & Kudsk, P. (2022). An integrated weed management framework: A pan-european perspective. *European Journal of Agronomy* 133: 126443. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126443>.
19. Sasanfar, H., Zand, E., Jamali, M., Sabeti, P., Sharifziveh, P., Keshtkar, E., & Zamani, M.H. (2021). The efficacy of mesotrione+nicosulfuron (OD 10.5%) and bentazon+MCPA (SL 46%), two new herbicides, in comparison with some commonly used herbicides in the control of broad-leaved weeds of corn. *Iranian Journal of Weed Science* 17: 27-44. <https://doi.org/10.22092/IJWS.2021.343429.1372>.
20. Sharifziveh, P., & Didehbaz Moghanlo, G. (2019). Evaluation of Maister power OD a new herbicide in controlling weeds of corn in Moghan region. *Journal of Plant Ecophysiology* 10(35): 131-139.
21. Sikkema, P.H., Kramer, C.H., Vyn, J.D., Kells, J., Hillger, D.E., & Soltani, N. (2007). Control of Muhlenburgia frondosa with post-emergence sulfonylurea herbicides in maize (*Zea mays*). *Crop Protection* 26: 1585-1588. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2007.02.006>.
22. Uhart, S.A., & Andrade, F.H. (1995). Nitrogen deficiency in maize. I. Effects on crop growth, development to dry matter partitioning, and kernel set. *Crop Science* 35: 1376-1383. <https://doi.org/10.2135/cropsci1995.0011183X003500050020x>.
23. Zaremohazabieh, S., & Ghadiri, H. (2011). Effects of rimsulfuron, foramsulfuron and conventional herbicides on weed control and maize yield at three planting dates. *Journal Biological and Environmental Science* 5: 47-56.
24. Zhang, J., Zheng, L., Jäck, O., Yan, D., Zhang, Z., Gerhards, R., & Ni, H. (2013). Efficacy of four post-emergence herbicides applied at reduced doses on weeds in summer maize (*Zea mays* L.) fields in North China Plain. *Crop Protection* 52: 26-32. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.05.001>.



Effect of Salinity and Drought Stresses on Rhizome Bud Sprouting of Giant Reed (*Arundo donax*) under Different Temperature Conditions

M. Elahinejad¹, Gh. Asadi^{2*}, R. Tavakolafshari³

Received: 16-05-2022

Revised: 12-09-2022

Accepted: 13-09-2022

Available Online: 30-01-2023

How to cite this article:

Elahinejad, M., Asadi, GH., & Tavakolafshari, R. (2023). Effect of Salinity and Drought Stresses on Rhizome Bud Sprouting of Giant Reed (*Arundo donax*) under Different Temperature Conditions. *Journal of Iranian Plant Protection Research* 36(4): 481-498. (In Persian with English abstract)

DOI: [10.22067/jpp.2022.76744.1092](https://doi.org/10.22067/jpp.2022.76744.1092)

Introduction

The competition of different weed species with native species for ecosystem resources is a serious threat to reduce global biodiversity. Among the invasive species, *Arundo donax* is considered one of the most invasive invasive plant species in coasts, rivers and temperate regions. Knowing the relationship between changes in environmental conditions and climate change and *Arundo donax* with respect to the growth of native coastal species, as well as understanding the water wastage by this plant compared to native coastal plants, is vital to eliminate this plant in the current situation where there is drought in most areas.

Materials and Methods

In order to investigate the effect of drought and salinity treatment on the sprouting stages and growth time of rhizomes of *Arundo donax* an experiment was performed using rhizomes collected from Gorgan ecotype and in a completely randomized design with 4 replications in the growth chamber separately at 5 temperature levels (5, 10, 15, 20, 25 and 30 °C) at Ferdowsi University of Mashhad in 2020. Experimental treatments included different levels of drought stress {0 (distilled water), 0.4, -0.8 and -0.12 MPa} and different levels of salinity stress {0 (distilled water), 4, 8 and 12 dS. m}.

Results and Discussion

The general results of the experiment showed that increased levels of salinity and drought decreases the sprouting rate of rhizomes. The results also showed that sprouting of the rhizomes of the reed plant is possible from 5 °C to 30 °C, but the greatest sprouting rates occurred with the control treatment (no stress) at 15 °C (75%) and 20 °C (66%) respectively. The lowest sprouting percentage (4%) was observed with 15 and 30 °C under the maximum salinity and drought levels. Sprouting percentage and other corresponding indices decreased with decreasing temperature from 15 °C to 5 °C, the same trend was observed with increasing temperature from 20 °C to 30 °C, which shows that the best temperature for the growth of reed rhizome buds is between 15 and 20 °C. The effect of salinity and drought on sprouting at different temperatures showed that with increasing salinity and drought stress level, the sprouting rate decreases, but with increasing drought level, the sprouting percentage decreased more than the salinity level and decreased the growth of reed rhizome buds more. was affected by increasing soil dryness. The results of sprouting rate and sprouting percentage under environmental stresses also indicated that drought stress more than salinity stress can affect the growth of reed rhizome buds, in other words, this plant is more sensitive to drought stress. It is somewhat resistant to salinity stress, and perhaps this is why the abundance of this plant in the northern regions of Iran is higher than other regions. The triple interaction effect of salinity, dryness and temperature was significant in all parameters except the adjusted germination rate at the 99% probability level, which shows that the germination of the rhizome of *Arundo donax* plant is strongly affected by dryness, salinity and different temperatures and the existence of each of these

1, 2 and 3— Ph.D Student, Associate Professor and Professors in Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively.

(*- Corresponding Author Email: asadi@um.ac.ir)

treatments in natural conditions, it can disrupt its germination.

Conclusion

The results of the cultivation of *Arundo donax* rhizome at different temperatures and under salt and drought stress conditions showed that the growth of the rhizome of this plant was greatly affected by the stresses and the increase in the amount of stress led to a decrease in germination percentage. Also, rhizome cultivation at different temperatures led to determining the optimal germination temperature for the *Arundo donax* plant related to the ecotype in the northern regions of Iran and showed that the suitable temperature for the rhizome germination of this plant is 15 to 20 degrees Celsius. The results of the germination rate and the germination percentage under the applied environmental stresses also indicated that drought stress can affect the growth of *Arundo donax* rhizome buds more than salt stress, and in other words, this plant is more sensitive to drought stress and to some extent It is resistant to salt stress, and this is probably the reason why the abundance of this plant is more in the northern regions of Iran than in other regions. It grows best in well-drained soils where plenty of moisture is available and can spread from the water's edge to the shore far beyond the area previously occupied by woody coastal vegetation. It grows well in places where the water level is close to the soil surface or near it, which may be due to the sensitivity of this plant to drought stress, and on the other hand, small colonies of this plant can tolerate excessive salinity, but in conditions of widespread presence in one area, their tolerance to salinity decreases.

Keywords: Environmental stresses, Germination, Giant reed, Invasive plant

اثر تنش‌های شوری و خشکی بر رویش جوانه‌های ریزوم گیاه *Arundo donax* L. در شرایط دمایی مختلف

محسن الهی نژاد^۱ - قربانعلی اسدی^{۲*} - رضا توکل افشاری^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۲

چکیده:

به منظور بررسی اثر تیمار خشکی و شوری بر مراحل رشد و زمان آغازش ریزوم گیاه *Arundo donax* آزمایشی در سال ۱۳۹۹ در دانشگاه فردوسی مشهد با استفاده از ریزوم‌های جمع‌آوری شده از اکوتیپ گرگان و به صورت طرح کاملاً تصادفی در ۴ تکرار در اتاقک رشد در ۵ سطح دمایی (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد) به صورت جداگانه انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سطوح مختلف تنش خشکی {۰ (آب مقطر)، ۰۰۴، ۰۰۸ و ۱۰۲- مگاپاسکال} و سطوح مختلف تنش شوری {۰ (آب مقطر)، ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر} بود. نتایج کلی آزمایش نشان داد که با افزایش میزان شوری و خشکی، میزان جوانه‌زنی ریزوم‌ها کاهش پیدا می‌کند. همچنین نتایج نشان داد که جوانه‌زنی ریزوم گیاه قمیش از دمای ۵ درجه سانتی‌گراد تا دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد امکان‌پذیر است اما بیشترین میزان جوانه‌زنی به میزان ۷۴ درصد در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد اتفاق افتاد و پس از آن دمای ۲۰ درجه به مقدار ۶۶ درصد در تیمار شاهد جوانه‌زنی داشت. کمترین درصد جوانه‌زنی در بالاترین سطح شوری و خشکی در دمای ۱۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد به مقدار ۴ درصد مشاهده شد. درصد جوانه‌زنی و سایر شاخص‌های جوانه‌زنی با کاهش دما از ۱۵ درجه سانتی‌گراد به ۵ درجه سانتی‌گراد کاهش پیدا کرد. همین روند نیز با افزایش دما از ۲۰ درجه سانتی‌گراد به ۳۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد که نشان می‌دهد، بهترین دما برای رویش جوانه‌های ریزوم قمیش بین ۱۵ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. تأثیر میزان شوری و خشکی بر میزان جوانه‌زنی در دماهای مختلف نشان داد که با افزایش سطح تنش شوری و خشکی میزان جوانه‌زنی کاهش پیدا می‌کند، اما با افزایش سطح خشکی میزان کاهش درصد جوانه‌زنی بیش از سطح شوری بود و کاهش رویش جوانه‌های ریزوم قمیش بیشتر تحت تأثیر افزایش میزان خشکی خاک قرار گرفت. اثر متقابل سه‌گانه شوری، خشکی و دما در تمامی پارامترها به جز سرعت جوانه‌زنی تعدیل شده در سطح احتمال ۹۹٪ معنی‌دار بود که این امر نشان می‌دهد که جوانه‌زنی ریزوم گیاه قمیش به شدت تحت تیمار خشکی، شوری و دماهای مختلف قرار دارد و وجود هر یک از این تیمارها در شرایط طبیعی می‌تواند جوانه‌زنی آن را مختل نماید.

واژه‌های کلیدی: تنش‌های محیطی، جوانه‌زنی، گیاه مهاجم، قمیش

مقدمه

گیاهان، اندامهای رویشی و تکثیر شونده زیرزمینی آنها می‌باشد. علف‌های هرز چندساله هر فصل را با ذخایر کربوهیدراتی ذخیره شده آغاز می‌کنند که همین مسئله باعث وجود یک مزیت رقابتی بر علیه گیاهان زراعی می‌باشد (Holt and Orcutt, 1996).

رقابت گونه‌های مختلف علف هرز با گونه‌های بومی برای منابع اکوسیستم تهدیدی جدی برای کاهش تنوع زیستی جهانی به شمار می‌روند (Shea and Chesson, 2002). این گیاهان بیگانه همچنین می‌تواند آسیب‌های قابل توجه و زیانباری را به منابع زیستی و انسانی وارد کنند (Pimentel et al., 2005).

علف‌های هرز چندساله، به طور کلی مهمترین و مشکل سازترین علف‌های هرز و یکی از تنش‌های غیر زیستی کاهش‌دهنده تولیدات کشاورزی می‌باشند و مهمترین عامل دخیل در سختی کنترل این

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری تخصصی، دانشیار و استاد گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(Email: asadi@um.ac.ir)

(*)- نویسنده مسئول:

نیمه خشک قرار دارد، بحث خشکی و تنش حاصل از آن در گیاهان این مناطق دارای اهمیت بسیاری است. تنش خشکی از مهم ترین تنش ها است و سایر تنش ها به صورت مستقیم و غیرمستقیم از طریق تنش خشکی گیاه را تحت تأثیر قرار می دهد. تاکنون در مورد تأثیر منفی خشکی بر صفات جوانه زنی و رشد گیاهچه گیاهان مختلف مطالعات متعددی انجام شده است (Springer, 2005; Burke et al., 2003). هنگامی که رطوبت بهینه خاک فراهم باشد، مثل کشاورزی فاریاب، زمان ظهور علف های هرز چندساله از اندام های زیرزمینی به دمای خاک بستگی دارد (Kigel and Koller, 1985).

دما یکی از عوامل محیطی می باشد که هم نقش محرک (دمای کمینه تا بیشینه) و هم نقش بازدارنده (دمای بیشینه یا تنش گرمایی) در جوانه زنی علف های هرز دارد. از این رو درک صحیح از رفتار جوانه زنی علف هرز در پاسخ به دما، نقش به سزایی در اتخاذ روش هایی کارآمد برای مدیریت پایدار آن ها در محیط های زراعی دارد. در همین رابطه، دمای کمینه، دمای بهینه و دمای بیشینه سه دمای اصلی یا آستانه های دمایی هستند که فرآیند جوانه زنی نسبت به آن ها واکنش نشان می دهد. (Alvarado and Bradford, 2002).

در ایران سواحل دریای خزر (استان های گلستان، مازندران و گیلان) و همچنین بخش هایی از استان خوزستان و سیستان و بلوچستان آلوده به قمیش هستند. اما با این حال تاکنون هیچ گونه تحقیق و پژوهشی در مورد ژنوتیپ، نحوه ورود، خصوصیات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی و سایر موارد در مورد این گیاه در ایران انجام نشده است و چگونگی جوانه زنی، رشد و توسعه این گیاه مهاجم در ایران مجهول مانده است.

شناخت رابطه بین تغییرات شرایط محیطی و تغییر اقلیم و قمیش نسبت به رشد گونه های بومی ساحلی و همچنین درک هدر رفت آب توسط این گیاه در مقایسه با گیاهان بومی ساحلی برای حذف این گیاه در شرایط کنونی که خشک سالی در اکثر مناطق وجود دارد حیاتی است (Abichandani, 2007). در این شرایط شناخت چگونگی تأثیر عوامل مختلف محیطی مانند سطوح شوری، خشکی، دما، مواد مغذی، نور و آتش در رشد و تهاجم قمیش برای کنترل درازمدت و در مقیاس بزرگ ضروری است. هدف این پژوهش آن است تا در وهله اول اطلاعات ارزشمندی در مورد نحوه جوانه زنی اکوتیپ های موجود گیاه قمیش در ایران و تأثیر عوامل مختلف محیطی بر جوانه زنی، رشد و باروری این گیاه در جهت برنامه ریزی برای بازسازی طولانی مدت اکوسیستم های رودخانه ای به دست آید تا نحوه کنترل و مبارزه و یا استفاده بهینه از آن مشخص گردد.

مواد و روش ها

برای بررسی مراحل رشد و زمان آغاز ریزوم در گیاه قمیش

از میان گونه های مهاجم قمیش (*Arundo donax*) یکی از مهاجم ترین گونه های گیاه تهاجمی در سواحل، رودخانه ها و مناطق معتدل به شمار می رود. این گیاه غول پیکر، ارتفاعی تا حدود ۶ متر دارد، در بسیاری از مناطق مانند اقیانوسیه، آفریقا، آمریکا، اروپا و سواحل دریای خزر وجود دارد (Herrera and Dudley, 2003). که اغلب در مناطق ساحلی رشد و توسعه پیدا می کند (Wijte et al., 2017). این گیاه به عنوان یکی از بدترین گونه های بیگانه مهاجم ۱۰۰ کشور جهان است (ISSG, 2007). قمیش تهدیدی جدی برای زیستگاه های خشک و نیمه خشک است، زیرا پوشش گیاهی بومی در دسترسی به آب های خاک را از بین می برد. این گیاه از آب های بیشتری نسبت به گیاهان بومی استفاده می کند و سطح آب های زیرزمینی را کاهش می دهد. قمیش بسیار قابل اشتعال است و می تواند روند آتش سوزی را در مناطق تهاجم تغییر دهد (USDA-ARS, 2014).

تولید بذر توسط این گیاه در مدیترانه یا ایالات متحده آمریکا گزارش نشده است (Hardion et al., Johnson et al., 2006). اگرچه *A. donax* یک گل آذین تولید می کند که بدون دانه های زنده هستند (Johnson et al., 2006) اما به سرعت در حال گسترش در مناطق پایین دست است و آن به این علت است که هنگامی که قطعات کوچک گیاه توسط جریان های سیلابی به مناطق مختلف برده می شود، این قطعات بر روی زمین های مرطوب رشد کرده و توسعه پیدا می کنند (Bell, 1997; Else, 1996; Decruyenaere and Holt, 2005). از این رو داشتن اطلاعات در مورد شرایط محیطی که جوانه زنی اندام های رویشی را تنظیم می کنند در پیش بینی علف های هرز چندساله کمک خواهند کرد و می توانند راهبردهای کنترلی علف های هرز را بهبود ببخشند (Holt and Orcutt, 1996).

شوری یکی از مهمترین چالش های پیش روی تأمین غذا برای جمعیت جهان در آینده به شمار می آید، همچنین درجه و زمان قرار گرفتن در معرض استرس نیز میتواند این چالش را پررنگ تر یا کم رنگ تر نماید (Chavez et al, 2009). به دلیل شوری موجود در برخی از اراضی ایران، گیاهان جهت جوانه زنی با مشکلات زیادی روبه رو هستند. از این رو تحقیق در زمینه نحوه عکس العمل گیاهان در مراحل مختلف رشد از جمله مرحله جوانه زنی، تحت شرایط تنش شوری در این مناطق بیشتر ضروری به نظر می رسد. در زمینه تأثیر شوری بر شاخص های جوانه زنی، مطالعات زیادی انجام شده است که نشان می دهد در بسیاری از گیاهان با افزایش غلظت نمک، شاخص های جوانه زنی کاهش پیدا می کند (Guan et al., 2008). با توجه به اینکه بخش اعظمی از مراتع کشور در مناطق خشک و

تیمارها نیز از شاخص درصد جوانه‌زنی نهایی^۲ (SP) (معادله ۴) و سرعت جوانه‌زنی^۳ (GRI) (معادله ۵) محاسبه شد (Holt & Orcutt, 1996).

$$SP = \left(\frac{g}{N} \right) * 100 \quad \text{معادله (۴)}$$

در این معادله g تعداد جوانه‌های رویش پیدا کرده، N تعداد کل جوانه‌های موجود در هر پتری دیش است.

$$GRI = \sum_{i=1}^n \frac{Gi}{Di} \quad \text{معادله (۵)}$$

در این معادله Gi تعداد جوانه‌های رویش پیدا کرده در هر روز و Di تعداد روز شمارش تا روز n می‌باشد. به دلیل اینکه در این شاخص، جوانه‌زنی نهایی یا همان نسبت جوانه‌زنی (Gtotal.N) در سرعت جوانه‌زنی ضرب می‌شود، به نوعی به معادله وزن داده شده است از این رو به آن سرعت جوانه‌زنی وزنی^۴ (معادله ۶) گفته می‌شود (Steinmaus et al., 2000).

$$GRI = \left(\frac{G_{total}}{N} \right) * \sum_{i=1}^n \frac{Gi}{Di} \quad \text{معادله (۶)}$$

Gtotal تعداد کل جوانه‌های رویش پیدا کرده و N تعداد کل جوانه‌های موجود در هر پتری دیش می‌باشد.

همچنین به منظور بررسی اثر سطوح مختلف شوری و خشکی بر درصد رویش ریزوم قمیش از یک مدل لجستیک سه پارامتر (معادله ۷) استفاده شد (Chauhan et al., 2006):

$$RS(\%) = \frac{RS_{max}}{[1 + (x \cdot x_{50})^{RS_{rate}}]} \quad \text{معادله (۷)}$$

که در این معادله RS (%) درصد رویش ریزوم در سطح شوری یا خشکی X، RSmax حداکثر درصد رویش ریزوم، X50 سطح شوری یا خشکی لازم جهت ۵۰ درصد بازدارندگی حداکثر رویش ریزوم و RSrate نشانگر شیب کاهش رویش ریزوم در اثر افزایش سطوح شوری یا خشکی می‌باشد.

تجزیه واریانس آزمایش به صورت طرح کاملاً تصادفی و مقایسه میانگین با آزمون FLSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. همچنین برازش مدل‌ها با نرم‌افزار Sigma plot.14 انجام شد و نمودارها با نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۶ رسم گردید. مقایسه مدل‌ها بر اساس سنجه‌های R²adj و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE=Root mean square root) انجام شد.

تکثیر شده از طریق قطعات ریزوم، ریزوم هایی هم سن به طول ۵-۱۰ سانتی‌متر از بین بیش از ۵۰ بوته از حاشیه ۱۰ مزرعه مختلف از اکوتیپ منطقه کوهستانی و زراعی هزار پیچ گرگان جمع‌آوری شده و به صورت طرح کاملاً تصادفی در ۴ تکرار در اتاقک رشد کشت شد. تیمارهای آزمایش شامل سطوح مختلف تنش خشکی {۰ (آب مقطر)، ۰.۰۴، ۰.۰۸، ۰.۱۲، ۰.۱۶، ۰.۲۰، ۰.۲۴، ۰.۲۸، ۰.۳۲، ۰.۳۶، ۰.۴۰، ۰.۴۴، ۰.۴۸، ۰.۵۲، ۰.۵۶، ۰.۶۰، ۰.۶۴، ۰.۶۸، ۰.۷۲، ۰.۷۶، ۰.۸۰، ۰.۸۴، ۰.۸۸، ۰.۹۲، ۰.۹۶، ۱.۰۰} (معادله ۱) و سطوح مختلف تنش شوری {۰ (آب مقطر)، ۴، ۸، ۱۲ دسی زیمنس بر متر} با استفاده از نمک کلرید سدیم (NaCl) (معادله ۲) می‌باشد.

در این آزمایش از معادله (۱) برای محاسبه پتانسیل آب با استفاده از مقادیر ویژه PEG استفاده می‌شود:

$$\Psi_w = PEG = - (1.18 * 10^{-2}) C - (1.18 * 10^{-4}) C^2 + (2.67 * 10^{-4}) 18 CT + (8.39 * 10^{-7}) C^2 T \quad \text{معادله (۱)}$$

به طوری که C، غلظت PEG بر مبنای گرم در کیلوگرم آب و T، دمای محیط آزمایش بر حسب سانتی‌گراد می‌باشد.

$$EC (dS.m^{-1}) = TDS (mg.L^{-1}) \times 640 \quad \text{معادله (۲)}$$

ریزوم‌ها از عمق ۲۰ تا ۳۵ سانتیمتری خاک که با توجه به نحوه رویش گیاه و منابع تحقیقی بیشترین تراکم را دارند جهت انجام کار جمع‌آوری و غلاف دور ریزوم‌ها جدا شد. سپس ریزوم‌ها شسته شد و با محلول بنومیل^۱ ۰/۵ درصد به مدت ۱۵ دقیقه ضدعفونی گردید (Juneau and Tarasoff, 2013).

هر واحد آزمایشی شامل یک عدد پتری دیش به قطر ۲۰ سانتی‌متر بود که درون آن‌ها دو عدد کاغذ صافی واتمن به همراه ۱۰ عدد ریزوم ۵-۱۰ سانتی‌متری با قطر ۱۰-۲۰ میلی‌متری و دارای حداقل دو جوانه قرار گرفت و جهت جلوگیری از تبخیر آب نیز درب آن‌ها با پارافیلیم مسدود گردید.

واحدهای آزمایشی درون اتاقک رشد با شرایط دمایی (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰) درجه سانتی‌گراد و شرایط نوری ۸، ۱۶ ساعت (شب، روز) به صورت جداگانه قرار گرفت و شمارش رویش ریزوم‌ها ۲۴ ساعت بعد از شروع آزمایش به مدت ۱۴ روز در یک‌زمان مشخص صورت پذیرفت. رویش‌هایی با رشد بیش از ۱ سانتی‌متر به عنوان رویش پیدا کرده در نظر گرفته شد (Soerjani and Soemarwoto, 1969): درصد رویش ریزوم‌ها نیز با استفاده از معادله (۳) محاسبه گردید (Rahimian et al., 2006):

$$PG = \frac{n * 100}{N} \quad \text{معادله (۳)}$$

که در آن PG درصد رویش ریزوم، N تعداد کل جوانه‌های موجود و n تعداد جوانه‌های ریزوم که رویش پیدا کرده است. رویش هریک از

1- Sprouting Percentage

2- Germination Rate Index

3- Weighted Germination Rate Index

1- Benzimidazole, Benomyl

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس آزمایش (جدول ۱) نشان داد که اثرات ساده هر یک از تیمارها معنی دار بود و دما، خشکی و شوری هر یک به تنهایی موجب تغییرات در پارامترهای اندازه گیری شده گردید؛ اما اثر ساده تیمار دما و خشکی بر میزان درصد جوانه زنی در سطح ۹۹٪ معنی دار بود و اثر شوری در سطح ۹۵٪ معنی داری را نشان داد که این امر حکایت از آن دارد که تأثیر دما و خشکی بر پارامترهای جوانه زنی در گیاه قمیش بیش از تأثیر شوری است. اثرات متقابل هر ۳ تیمار نیز

معنی داری را نشان داد، باین وجود اثر متقابل دما و شوری برخلاف سایر اثرات متقابل در تمامی پارامترهای اندازه گیری شده در سطح ۹۵٪ معنی دار شد و در مقابل اثر متقابل سه گانه شوری، خشکی و دما در تمامی پارامترها به جز سرعت جوانه زنی تعدیل شده در سطح احتمال ۹۹٪ معنی دار بود که این امر نشان می دهد که جوانه زنی ریزوم گیاه قمیش به شدت تحت تیمار خشکی، شوری و دماهای مختلف قرار دارد و وجود هر یک از این تیمارها در شرایط طبیعی می تواند جوانه زنی آن را مختل نماید.

جدول ۱- جدول تجزیه واریانس آزمایش بررسی اثر تنش های شوری و خشکی بر رویش جوانه های ریزوم گیاه قمیش (*Arundo donax*) در شرایط دمایی مختلف

Table 1- Variance analysis of the effect of salinity and drought stresses on rhizome bud sprouting of Giant reed (*Arundo donax*) under different temperature conditions

منابع تغییر (Source)	F			
	درصد جوانه زنی SP	جوانه زنی روزانه GPD	سرعت جوانه زنی GRI	سرعت جوانه زنی تعدیل شده WGRI
تیمار (Treatment)				
دما (Temperature)	124.53**	97.42*	67.7*	59.42*
شوری (Salinity)	98.6*	88.12*	65.76*	60.23
خشکی (Drought)	102.36**	89.4**	73.6*	59.43*
دما*شوری (T*S)	235.89*	158.76*	102.46*	99.4*
دما*خشکی (T*D)	233.76**	169.4**	105.48*	93.46*
شوری*خشکی (S*D)	212.78**	171.31*	111.79*	97.56
دما*شوری*خشکی (T*S*D)	327.84**	234.67**	214.3**	137.48*

* And **: Significant at 5% and 1% of probability levels.

* و **: معنی دار در سطح پنج و یک درصد.

سانتی گراد به ۳۰ درجه سانتی گراد نیز مشاهده شد که نشان می دهد، بهترین دما برای رویش جوانه های ریزوم قمیش بین ۱۵ تا ۲۰ درجه سانتی گراد می باشد.

نتایج آزمایش جوانه زنی ریزوم های قمیش تحت تیمار شوری و خشکی در دمای ۵ درجه سانتی گراد (جدول ۲) نشان داد که با افزایش میزان سطح خشکی از ۰ مگا پاسکال (شاهد)، به ۱/۲- مگا پاسکال درصد جوانه زنی کاهش پیدا کرد. همین حالت برای درصد جوانه زنی روزانه نیز وجود داشت تا جایی که درصد جوانه زنی روزانه در تیمار خشکی ۱/۲- مگا پاسکال، یک سوم تیمار شاهد بود. شاخص سرعت جوانه زنی با افزایش میزان خشکی روند کاهشی داشت و تا جایی که این شاخص در سطح خشکی صفر مگا پاسکال، برابر ۱/۴ ریزوم در روز بود اما در سطح خشکی ۱/۲- مگا پاسکال این مقدار به ۰/۲ جوانه در روز تقلیل پیدا کرد. احمد و همکاران (۲۰۰۸) اعلام کردند که گیاه قمیش طیف گسترده ای از شرایط اکولوژیکی از جمله خشکی را تحمل می کند و گزارش شده است که در همه انواع خاک ها، از رس های سنگین گرفته تا ماسه های سست و خاک های شنی، رشد می کند.

نتایج کلی آزمایش نشان داد که با افزایش میزان شوری و خشکی، میزان رویش ریزوم ها کاهش پیدا می کند (جدول ۲ تا جدول ۷). همچنین نتایج نشان داد که رویش ریزوم گیاه قمیش از دمای ۵ درجه سانتی گراد تا دمای ۳۰ درجه سانتی گراد امکان پذیر است اما بیشترین میزان رویش به میزان ۷۴ درصد مربوط به تیمار شاهد در دمای ۱۵ درجه سانتی گراد (جدول ۴) و کمترین آن مربوط به تیمار حداکثر شوری و خشکی در دمای ۵ و ۳۰ درجه سانتی گراد به میزان ۴ درصد بود (جدول ۲ و جدول ۷). پس از آن دمای ۲۰ درجه سانتی گراد بهترین دما برای رویش جوانه های ریزوم قمیش بود به طوریکه در این دما بیشترین درصد جوانه زنی به مقدار ۶۶ درصد در تیمار شاهد بود که اختلاف غیر معنی داری با حداکثر درصد جوانه زنی تیمار شاهد در دمای ۱۵ درجه سانتی گراد داشت. همچنین کمترین درصد جوانه زنی در دمای ۱۵ درجه سانتی گراد نیز که مربوط به تیمار حداکثر شوری و خشکی می باشد نیز اختلاف معنی داری را با همین شرایط در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد نشان نداد. درصد جوانه و سایر شاخص های جوانه زنی با کاهش دما از ۱۵ درجه سانتی گراد به ۵ درجه سانتی گراد کاهش پیدا کرد، همین روند نیز با افزایش دما از ۲۰ درجه

جدول ۲- تأثیر سطوح مختلف شوری و خشکی بر درصد جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی روزانه، شاخص سرعت جوانه‌زنی و شاخص سرعت جوانه‌زنی تعدیل‌شده در کشت ریزوم‌های قمیش در شرایط دمایی ۵ درجه سانتی‌گراد

Table 2- Effect of different salinity and drought levels on Sprouting Percentage (SP), germination percentage day (GPD), germination rate index (GRI) and Weighted Germination Rate Index (WGRI) in cultivation of *A. donax* rhizomes at 5 °C

سطح خشکی Drought level(MPa)	سطح شوری Salinity level(dS.m)	درصد جوانه‌زنی (%) SP	درصد جوانه‌زنی روزانه (%) GPD	شاخص سرعت جوانه‌زنی GRI (seedling day ⁻¹)	شاخص سرعت جوانه‌زنی موزون شده WGRI (seedling day ⁻¹)
0	0	10 (1.21) ^a	1.0 (0.04) ^a	1.4 (0.04) ^a	0.14 (0.001) ^a
0	4	10 (1.16) ^a	0.9 (0.03) ^a	0.71 (0.03) ^a	0.071 (0.001) ^a
0	8	10 (1.20) ^a	0.72 (0.03) ^a	0.61 (0.03) ^b	0.061 (0.001) ^b
0	12	8 (0.91) ^b	0.57 (0.02) ^b	0.448 (0.02) ^c	0.03584 (0.001) ^d
0	16	6 (0.62) ^c	0.46 (0.02) ^{bc}	0.318 (0.02) ^d	0.01908 (0.001) ^f
0.4	0	10 (0.92) ^a	0.76 (0.03) ^a	0.61 (0.03) ^b	0.061 (0.001) ^b
0.4	4	10 (0.85) ^a	0.71 (0.04) ^a	0.6 (0.03) ^b	0.06 (0.001) ^b
0.4	8	8 (0.81) ^b	0.61 (0.03) ^b	0.432 (0.02) ^c	0.03456 (0.001) ^d
0.4	12	6 (0.76) ^c	0.46 (0.01) ^{bc}	0.318 (0.02) ^d	0.01908 (0.001) ^f
0.4	16	6 (0.66) ^c	0.42 (0.02) ^c	0.276 (0.01) ^{de}	0.01656 (0.001) ^f
0.8	0	8 (0.62) ^b	0.57 (0.03) ^b	0.432 (0.03) ^c	0.03456 (0.001) ^d
0.8	4	8 (0.73) ^b	0.57 (0.04) ^b	0.432 (0.03) ^c	0.03456 (0.001) ^d
0.8	8	6 (0.55) ^c	0.46 (0.04) ^{bc}	0.318 (0.02) ^d	0.01908 (0.001) ^f
0.8	12	4 (0.21) ^d	0.36 (0.02) ^{cd}	0.232 (0.02) ^e	0.00928 (0.001) ^g
0.8	16	4 (0.23) ^d	0.36 (0.01) ^{cd}	0.232 (0.02) ^e	0.00928 (0.001) ^g
1.2	0	6 (0.36) ^c	0.46 (0.03) ^{bc}	0.318 (0.04) ^d	0.01908 (0.001) ^f
1.2	4	6 (0.31) ^c	0.42 (0.03) ^c	0.312 (0.03) ^d	0.01872 (0.001) ^f
1.2	8	6 (0.33) ^c	0.42 (0.03) ^c	0.30 (0.02) ^d	0.018 (0.001) ^f
1.2	12	4 (0.28) ^d	0.33 (0.02) ^d	0.224 (0.01) ^e	0.00896 (0.001) ^g
1.2	16	4 (0.26) ^d	0.36 (0.02) ^{cd}	0.212 (0.01) ^e	0.00848 (0.001) ^g

میانگین‌های درون هر ستون که حروف متفاوت دارند، بر اساس آزمون FLSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری دارند. داده‌های داخل پرانتز خطای معیار میانگین می‌باشد.

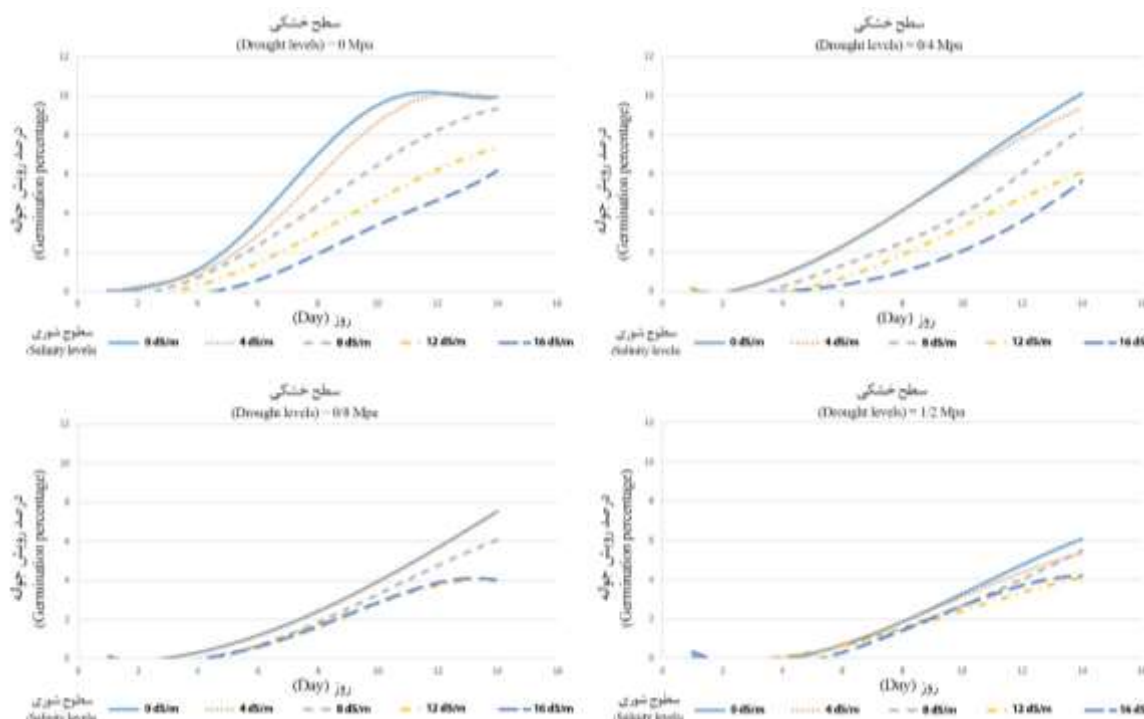
The means within the column followed by different letters differ significantly at $p \leq 0.05$ level (FLSD test). The values in parenthesis are standard error of the means.

بین سطوح شوری نیز غیر معنی‌دار می‌گردند، به معنی دیگر با افزایش خشکی معنی‌داری سطوح شوری کاهش پیدا می‌کند که این نشان می‌دهد رویش جوانه ریزوم قمیش نسبت به تنش خشکی بیشتر آسیب‌پذیر است. با توجه به اینکه ریزوم‌های استفاده‌شده در این آزمایش معمولاً ریزوم‌های جوان یک‌ساله بود، نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که قمیش می‌تواند به دلیل کمبود رطوبت در طول سال اول به‌طور جدی کاهش رشد را نشان دهد و تحت تأثیر تنش خشکی قرار گیرد، اما خشک‌سالی آسیب زیادی به ریزوم‌های دو تا سه‌ساله وارد نمی‌کند؛ نی قمیش در کوتاه مدت و در شرایط خشک‌سالی کاهش زیست توده را نشان می‌دهد (Haworth et al., 2017)، با این حال نی قمیش برخلاف سایر گیاهان رشد کرده در شرایط دیم که زیست توده کمتری را نسبت به گیاهان آبی تولید می‌کنند، اختلاف معنی داری را با تنش‌های جزئی خشکی در تولید زیست توده نشان نمی‌دهد (Haworth et al., 2017; Cosentino et al., 2016).

نتایج تأثیر سطوح مختلف شوری و خشکی بر رویش جوانه‌های ریزوم قمیش در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد (جدول ۳) نشان داد که در این دما نیز با افزایش میزان شوری و خشکی درصد رویش جوانه‌ها کاهش پیدا کرد.

نی قمیش اغلب در مجاورت رودخانه‌ها و مکان‌هایی که خاک‌هایی با قابلیت دسترسی بالا به آب رشد میکند و همین موجب میشود که این گونه گیاهان در معرض تنش‌های خشکی بیشتر آسیب ببینند (Valli et al., 2017). افزایش میزان خشکی همچنین منجر به کاهش شاخص سرعت جوانه‌زنی موزون شده شد. نتایج نشان داد که با افزایش شوری از مقدار صفر دسی‌زیمنس در تیمار شاهد به مقدار ۱۶ دسی‌زیمنس منجر به کاهش تمامی شاخص‌های اندازه‌گیری شده شد؛ این مقادیر با افزایش میزان خشکی نیز کاهش پیدا کرد اما در مقدار کم خشکی (تیمار شاهد) اختلاف بین بیشترین درصد جوانه‌زنی با کمترین آن ۴۰ درصد بود در حالیکه با افزایش سطح خشکی میزان اختلاف بین بیشترین درصد جوانه‌زنی و کمترین درصد جوانه‌زنی در سطوح مختلف شوری کاهش پیدا کرد. این نتیجه در سایر شاخص‌های اندازه‌گیری شده نیز وجود داشت و درصد جوانه‌زنی روزانه، شاخص سرعت جوانه‌زنی و شاخص سرعت جوانه‌زنی موزون شده نیز در سطوح کم خشکی اختلاف بیشتری را با افزایش میزان شوری نشان دادند.

روند درصد جوانه‌زنی ریزوم قمیش تحت تیمار شوری و خشکی در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد (شکل ۱) نشان داد که با افزایش میزان خشکی علاوه بر اینکه درصد جوانه‌زنی کاهش پیدا می‌کند، تفاوت



شکل ۱- تأثیر سطوح مختلف شوری و خشکی بر درصد جوانه زنی در کشت ریزوم های قمیش در شرایط دمایی ۵ درجه سانتی گراد

Figure 1: Effect of different salinity and drought levels on Sprouting Percentage (SP) in cultivation of *A. donax* rhizomes at 5°C

جدول ۳- تأثیر سطوح مختلف شوری و خشکی بر درصد جوانه زنی، درصد جوانه زنی روزانه، شاخص سرعت جوانه زنی و شاخص سرعت جوانه زنی تعدیل شده در کشت ریزوم های قمیش در شرایط دمایی ۱۰ درجه سانتی گراد

Table 3- Effect of different salinity and drought levels on Sprouting Percentage (SP), germination percentage day (GPD), germination rate index (GRI) and Weighted Germination Rate Index (WGRI) in cultivation of *A. donax* rhizomes at 10 °C

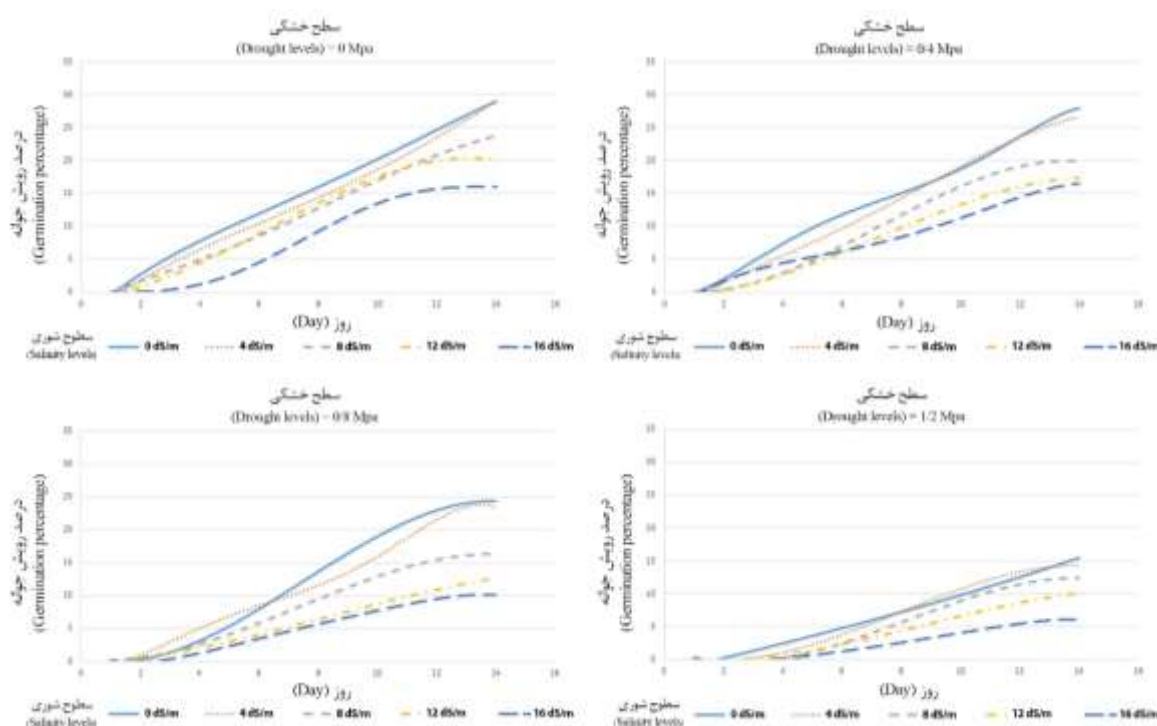
سطح خشکی Drought level(MPa)	سطح شوری Salinity level(dS.m)	درصد جوانه زنی (%) SP	درصد جوانه زنی روزانه (%) GPD	شاخص سرعت جوانه زنی GRI (seedling day ⁻¹)	شاخص سرعت جوانه زنی موزون شده WGRI (seedling day ⁻¹)
0	0	28 (3.2) ^a	2.15 (0.11) ^a	2.212 (0.02) ^a	0.61 (0.01) ^a
0	4	28 (3.3) ^a	2.15 (0.12) ^a	1.82 (0.02) ^b	0.5096 (0.01) ^b
0	8	24 (2.4) ^b	1.71 (0.09) ^b	1.992 (0.02) ^b	0.4776 (0.008) ^b
0	12	20 (2.1) ^c	1.81 (0.1) ^b	1.7 (0.02) ^{bc}	0.34 (0.007) ^c
0	16	16 (2.1) ^d	1.33 (0.09) ^c	0.96 (0.01) ^{de}	0.1536 (0.004) ^e
0.4	0	28 (2.5) ^a	2.0 (0.11) ^a	2.464 (0.02) ^a	0.68992 (0.003) ^a
0.4	4	26 (2.4) ^{ab}	2.0 (0.012) ^a	2.08 (0.02) ^a	0.5408 (0.002) ^b
0.4	8	20 (2.2) ^c	1.53 (0.08) ^{bc}	1.52 (0.01) ^c	0.304 (0.001) ^c
0.4	12	18 (2) ^{cd}	1.28 (0.07) ^c	1.332 (0.01) ^{cd}	0.23976 (0.001) ^d
0.4	16	16 (1.9) ^d	1.33 (0.07) ^c	1.378 (0.01) ^{cd}	0.2205 (0.001) ^d
0.8	0	24 (2.1) ^b	2.0 (0.09) ^a	1.752 (0.01) ^{bc}	0.42048 (0.003) ^{bc}
0.8	4	24 (2.1) ^b	1.71 (0.09) ^b	1.848 (0.02) ^b	0.44352 (0.004) ^{bc}
0.8	8	16 (2.1) ^d	1.33 (0.09) ^c	1.28 (0.01) ^d	0.2048 (0.002) ^d
0.8	12	12 (1.2) ^e	1.0 (0.05) ^d	0.936 (0.01) ^{de}	0.11232 (0.001) ^e
0.8	16	10 (1.1) ^{ef}	0.83 (0.04) ^{de}	0.72 (0.01) ^e	0.072 (0.001) ^f
1.2	0	16 (1.5) ^d	1.14 (0.08) ^{dc}	1.056 (0.02) ^{de}	0.16896 (0.001) ^e
1.2	4	14 (1.1) ^{ed}	1.16 (0.07) ^{dc}	0.952 (0.02) ^{de}	0.13328 (0.001) ^e
1.2	8	12 (1) ^e	1.09 (0.07) ^d	0.744 (0.01) ^e	0.08928 (0.001) ^f
1.2	12	10 (0.9) ^{ef}	0.76 (0.04) ^e	0.62 (0.01) ^{ef}	0.062 (0.001) ^f
1.2	16	6 (0.8) ^f	0.5 (0.02) ^{ef}	0.36 (0.01) ^g	0.0216 (0.001) ^{fg}

میانگین های درون هر ستون که حروف متفاوت دارند، بر اساس آزمون FLSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی داری دارند. داده های داخل پرانتز خطای معیار میانگین می باشد.

The means within the column followed by different letters differ significantly at $p \leq 0.05$ level (FLSD test). The values in parenthesis are standard error of the means.

که با افزایش سطح خشکی میزان کاهش جوانه‌زنی بین کمترین و بیشترین سطح شوری روند کاهشی داشت؛ در سطح خشکی ۰/۴ مگاپاسکال با افزایش میزان شوری، میزان جوانه‌زنی نیز ۵۷ درصد کاهش پیدا کرد و در سطوح خشکی ۰/۸ و ۱/۲ مگاپاسکال این مقدار به ترتیب ۴۱ و ۳۷/۵ درصد بود، این نتایج نشان می‌دهد که تأثیر شوری نسبت به خشکی بر درصد جوانه‌زنی در ریزوم قمیش در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد مشهودتر است.

با توجه به نتایج جدول ۳ در شرایطی که تیمار خشکی اعمال نشود (صفر مگاپاسکال) با افزایش میزان شوری درصد جوانه‌زنی کاهش پیدا می‌کند به نحوی که در شوری صفر دسی زیمنس در شرایط عدم وجود خشکی میزان جوانه‌زنی ۲۸ درصد می‌باشد و با افزایش میزان شوری این مقدار به ۱۶ درصد کاهش پیدا می‌کند به عبارتی میزان کاهش درصد جوانه‌زنی در این حالت ۵۷ درصد بود، این شرایط در سایر سطوح خشکی نیز به همین صورت بود با این تفاوت



شکل ۲: تأثیر سطوح مختلف شوری و خشکی بر درصد جوانه‌زنی در کشت ریزوم‌های قمیش در شرایط دمایی ۱۰ درجه سانتی‌گراد
Figure 2: Effect of different salinity and drought levels on Sprouting Percentage (SP) in cultivation of *A. donax* rhizomes at 10 °C

۷۴ درصد و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار حداکثر شوری و خشکی به میزان ۱۸ درصد بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای خشکی در شرایط ثابت بودن میزان شوری وجود دارد و با افزایش میزان خشکی، درصد جوانه کاهش پیدا می‌کند و این اختلاف بین تیمارها معنی‌دار است. همچنین برای تیمارهای شوری نیز در شرایط ثابت بودن میزان خشکی اختلاف معنی‌داری در میزان درصد جوانه‌زنی با افزایش میزان شوری وجود دارد. این نتایج نشان می‌دهد گیاه قمیش در دما ۱۵ درجه سانتی‌گراد برای رویش جوانه‌ها تحت تأثیر میزان خشکی و شوری خاک به یک‌میزان قرار می‌گیرد.

در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد درصد جوانه‌زنی ریزوم قمیش با افزایش تنش شوری کاهش پیدا کرد (شکل ۲) اما اختلاف بین تیمار شاهد و تیمار ۴ دسی‌زیمنس در سطوح مختلف تنش خشکی اختلاف معنی‌داری را به همدیگر نشان نداد در حالی که سایر سطوح تنش شوری اختلاف معنی‌داری را با یکدیگر در شرایط افزایش تنش خشکی نشان دادند؛ این امر نشان می‌دهد که ریزوم قمیش با افزایش میزان دمای محیط تا حدودی به تنش مختصر شوری مقاومت نشان می‌دهد در حالیکه نسبت به تنش خشکی حساس است.

با توجه به نتایج جدول ۴، رویش جوانه‌های ریزوم قمیش در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد بیشتر از سایر دماها اتفاق به‌نحوی که بیشترین میزان درصد جوانه مربوط به تیمار شاهد در این دما به میزان

جدول ۴- تأثیر سطوح مختلف شوری و خشکی بر درصد جوانه زنی، درصد جوانه زنی روزانه، شاخص سرعت جوانه زنی و شاخص سرعت جوانه زنی تعدیل شده درکشت ریزوم های قمیش در شرایط دمایی ۱۵ درجه سانتی گراد

Table 4- Effect of different salinity and drought levels on Sprouting Percentage (SP), germination percentage day (GPD), germination rate index (GRI) and Weighted Germination Rate Index (WGRI) in cultivation of *A. donax* rhizomes at 15 °C

سطح خشکی	سطح شوری	درصد جوانه زنی	درصد جوانه زنی روزانه	شاخص سرعت جوانه زنی	شاخص سرعت جوانه زنی
Drought level (MPa)	Salinity level (dS.m)	(%)	(%)	GRI (seedling day ⁻¹)	WGRI (seedling day ⁻¹)
0	0	74 (3) ^a	5.28 (0.1) ^a	5.254 (0.11) ^a	3.887 (0.009) ^a
0	4	70 (2.8) ^a	5.0 (0.08) ^{ab}	4.62 (0.1) ^b	3.234 (0.007) ^b
0	8	60 (2.1) ^b	4.28 (0.09) ^{bc}	3.78 (0.09) ^c	2.268 (0.006) ^{cd}
0	12	40 (2) ^c	2.85 (0.07) ^d	2.64 (0.06) ^d	1.056 (0.002) ^{ef}
0	16	30 (1.5) ^d	2.14 (0.06) ^{de}	1.86 (0.03) ^e	0.558 (0.001) ^f
0.4	0	70 (3.2) ^a	5.38 (0.12) ^a	4.848 (0.09) ^{ab}	3.393 (0.008) ^a
0.4	4	62 (2.6) ^b	4.42 (0.1) ^{bc}	4.278 (0.08) ^{bc}	2.652 (0.006) ^c
0.4	8	56 (2.2) ^{bc}	4.0 (0.09) ^c	3.649 (0.05) ^c	2.043 (0.003) ^d
0.4	12	36 (2) ^c	2.57 (0.03) ^d	2.415 (0.04) ^d	0.869 (0.001) ^{ef}
0.4	16	26 (1.9) ^d	2.0 (0.03) ^e	1.713 (0.02) ^e	0.445 (0.001) ^f
0.8	0	60 (2.7) ^b	4.61 (0.1) ^b	4.6 (0.07) ^b	2.76 (0.004) ^c
0.8	4	50 (2.1) ^c	3.84 (0.08) ^{cd}	3.645 (0.07) ^c	1.822 (0.002) ^{de}
0.8	8	36 (2) ^d	2.57 (0.04) ^d	2.617 (0.04) ^d	0.942 (0.001) ^{ef}
0.8	12	26 (1.8) ^e	2.0 (0.05) ^e	1.828 (0.02) ^e	0.475 (0.001) ^f
0.8	16	20 (1.5) ^{ef}	1.53 (0.03) ^{ef}	1.369 (0.01) ^f	0.273 (0.001) ^{fg}
1.2	0	50 (2.2) ^c	3.84 (0.05) ^{cd}	3.605 (0.04) ^c	1.802 (0.004) ^{de}
1.2	4	40 (2.1) ^c	3.07 (0.06) ^d	2.928 (0.03) ^{cd}	1.171 (0.003) ^{ef}
1.2	8	30 (2) ^d	2.14 (0.03) ^{de}	1.943 (0.02) ^e	0.582 (0.001) ^f
1.2	12	22 (1.3) ^e	1.69 (0.02) ^e	1.24 (0.01) ^f	0.272 (0.001) ^g
1.2	16	18 (1) ^f	1.38 (0.01) ^f	1.113 (0.01) ^{fg}	0.2 (0.001) ^g

میانگین های درون هر ستون که حروف متفاوت دارند، بر اساس آزمون FLSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی داری دارند. داده های داخل پرانتز خطای معیار میانگین می باشد.

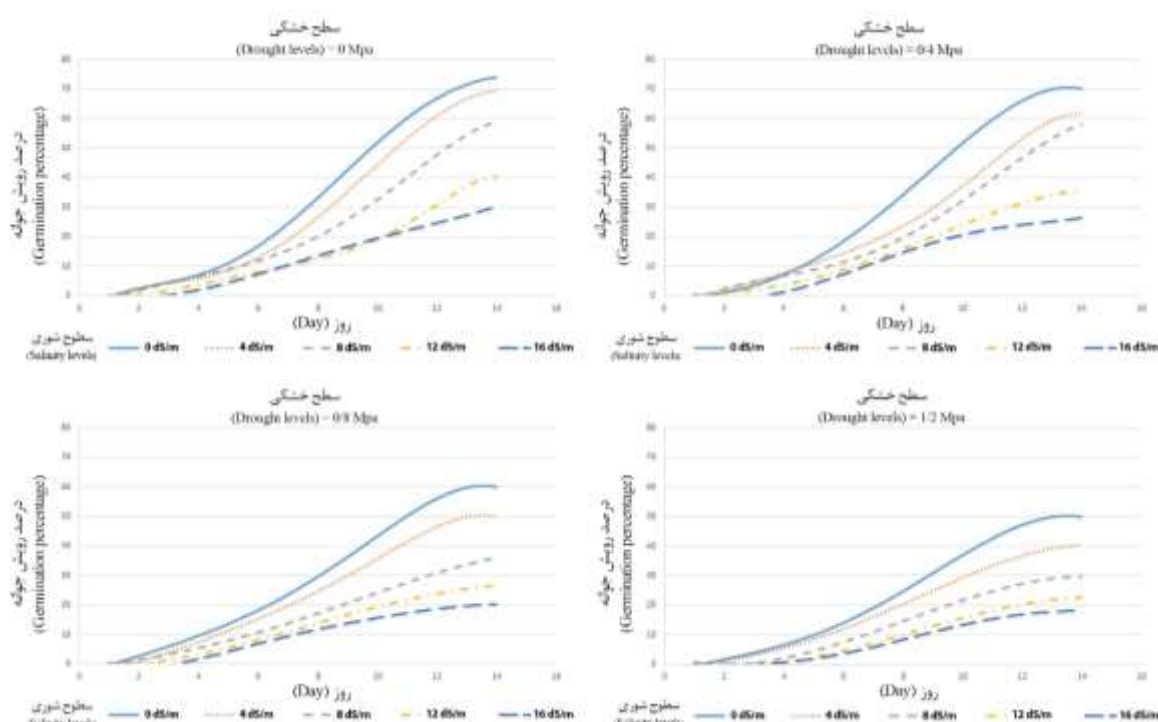
The means within the column followed by different letters differ significantly at $p \leq 0.05$ level (FLSD test). The values in parenthesis are standard error of the means.

تنش شدید شوری اختلاف زیادی را با سطح شاهد و ۴ دسی زمینس داشت. این روند بیانگر این موضوع خواهد بود که احتمالاً ریزوم قمیش با افزایش دمای خاک و در دمای بهینه جوانه زنی نسبت به تنش شوری مقاوم تر خواهد شد.

میزان رویش جوانه های ریزوم قمیش در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد و در شرایط وجود تنش شوری و خشکی نشان از کاهش درصد جوانه زنی، درصد جوانه زنی روزانه، سرعت جوانه زنی و شاخص سرعت جوانه زنی موزون شده داشت (جدول ۵-). در این شرایط دمایی بیشترین میزان جوانه زنی ۶۶ درصد بود که با جوانه زنی در شرایط دمایی ۱۵ درجه سانتی گراد اختلاف معنی داری را نشان نداد، همچنین در سایر سطوح تنش شوری و خشکی در شرایط دمایی ۲۰ درجه سانتی گراد اختلاف معنی داری با شرایط دمایی ۱۵ درجه سانتی گراد مشاهده نشد درحالی که با سایر شرایط دمایی اختلاف معنی داری داشت که این نشان می دهد دمای بهینه برای رویش جوانه های ریزوم قمیش بین ۱۵ تا ۲۰ درجه سانتی گراد می باشد. در همین رابطه آلود و بردفورد (۲۰۰۲)، اذعان کردند که دماهای کمینه (دمای پایه)، بیشینه (دمای سقف)، دماهایی هستند که به ترتیب پایین تر و بالاتر از آن ها جوانه زنی اتفاق نمی افتد، درحالی که دمای بهینه دمایی است که حداکثر سرعت جوانه زنی در آن اتفاق می افتد.

سرعت جوانه زنی ریزوم قمیش در دمای ۱۵ درجه سانتی گراد (جدول ۴) با افزایش میزان تنش ها کاهش یافت، اما روند کاهش این شاخص در تیمار خشکی بیشتر از تیمار شوری بود به نحوی که با افزایش تنش شوری در هر یک از سطوح تنش خشکی شاخص سرعت جوانه زنی به میزان تقریباً ۳۳ درصد کاهش پیدا کرد اما همین حالت با افزایش تنش خشکی در هر یک از سطوح تنش شوری تقریباً ۶۴ درصد بود. این آمار نشان می دهد که گیاه قمیش در دمایی که بیشترین رویش جوانه را دارد، افزایش تنش خشکی توانسته است با شدت بیشتری سرعت جوانه زنی آن را محدود نماید. توانایی قمیش برای تحمل یا حتی رشد خوب در شرایط خشک سالی شدید به دلیل ایجاد ریزوم های درشت و مقاوم به خشکی و ریشه های عمیق است که می توانند در عمق به رطوبت برسند. *A. donax* می تواند در دمای بسیار پایین در زمان خواب زنده بماند ولی با شروع جوانه زنی به شدت به خشکی و دما حساس می گردد و به راحتی جوانه زنی آن تحت تأثیر میزان آب در دسترس و دمای محیط است (Fuller and Barbe, 1985).

در دمای ۱۵ درجه سانتی گراد تیمار ۸ دسی زمینس سطح شوری در تیمار شاهد و تیمار ۰/۴ مگا پاسکال سطح خشکی اختلاف کمی با تیمار شاهد و ۴ دسی زمینس سطح شوری نشان داد (شکل ۳-). در حالیکه همین تیمار در دمای ۱۰ درجه سانتی گراد همچون سطوح



شکل ۳- تأثیر سطوح مختلف شوری و خشکی بر درصد جوانه‌زنی در کشت ریزوم‌های قمیش در شرایط دمایی ۱۵ درجه سانتی‌گراد

Figure 3- Effect of different salinity and drought levels on Sprouting Percentage (SP) in cultivation of *A. donax* rhizomes at 15 °C

جدول ۵- تأثیر سطوح مختلف شوری و خشکی بر درصد جوانه‌زنی، شاخص سرعت جوانه‌زنی، شاخص سرعت جوانه‌زنی و شاخص سرعت جوانه‌زنی

تعدیل‌شده در کشت ریزوم‌های قمیش در شرایط دمایی ۲۰ درجه سانتی‌گراد

Table 5- Effect of different salinity and drought levels on Sprouting Percentage (SP), germination percentage day (GPD), germination rate index (GRI) and Weighted Germination Rate Index (WGRI) in cultivation of *A. donax* rhizomes at 20 °C

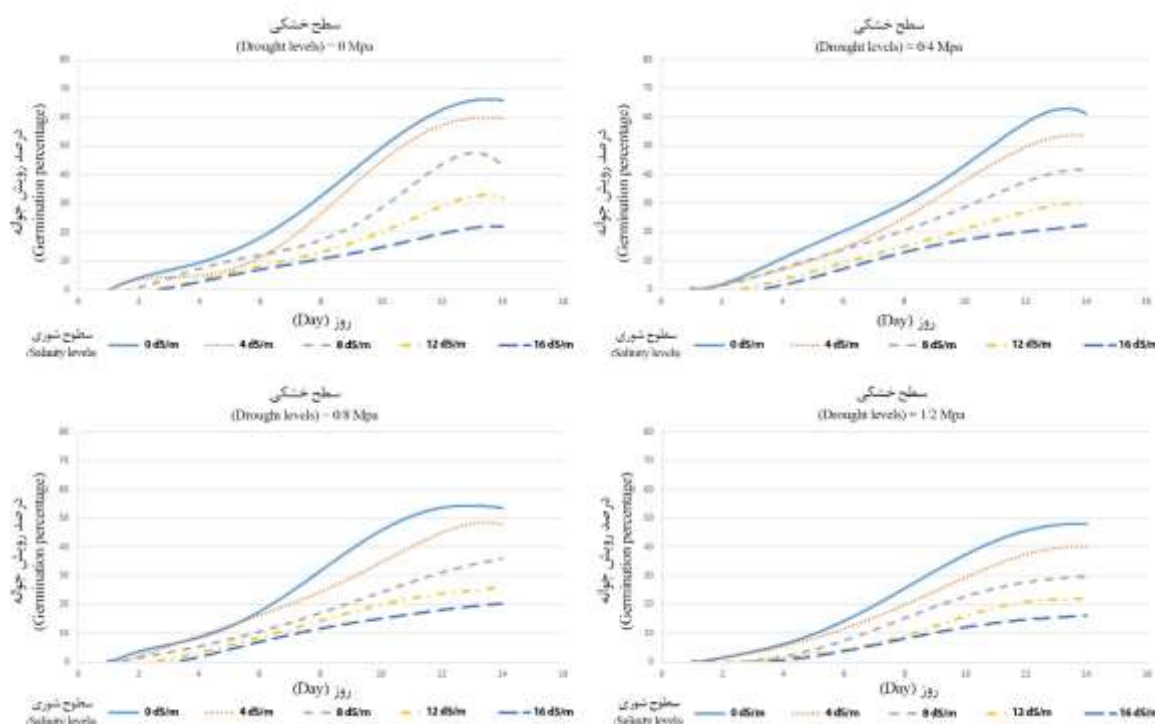
سطح خشکی Drought level (MPa)	سطح شوری Salinity level (dS.m)	درصد جوانه‌زنی (%) SP	درصد جوانه‌زنی روزانه (%) GPD	شاخص سرعت جوانه‌زنی GRI (seedling day ⁻¹)	شاخص سرعت جوانه‌زنی موزون شده WGRI (seedling day ⁻¹)
0	0	66 (3.1) ^a	5.07 (0.1) ^a	5.125 (0.12) ^a	3.382 (0.01) ^a
0	4	60 (3) ^{ab}	4.61 (0.1) ^{ab}	4.176 (0.11) ^b	2.505 (0.01) ^b
0	8	44 (2.4) ^{cd}	3.38 (0.08) ^{cd}	3.116 (0.1) ^c	1.371 (0.009) ^c
0	12	32 (2) ^{cd}	2.46 (0.06) ^d	2.079 (0.1) ^d	0.665 (0.008) ^d
0	16	22 (2) ^f	1.69 (0.04) ^e	1.497 (0.08) ^{de}	0.329 (0.003) ^e
0.4	0	62 (3.3) ^a	4.42 (0.09) ^{ab}	4.893 (0.11) ^a	3.034 (0.04) ^a
0.4	4	54 (3.1) ^b	3.85 (0.07) ^c	3.808 (0.09) ^b	2.056 (0.0) ^{bc}
0.4	8	42 (2.6) ^{cd}	3.0 (0.06) ^d	3.136 (0.09) ^c	1.317 (0.01) ^c
0.4	12	30 (2.3) ^e	2.3 (0.03) ^{de}	2.051 (0.08) ^d	0.615 (0.01) ^d
0.4	16	22 (2) ^f	1.69 (0.03) ^e	1.486 (0.04) ^{de}	0.327 (0.01) ^e
0.8	0	54 (3.4) ^b	4.15 (0.08) ^b	4.373 (0.08) ^b	2.361 (0.02) ^b
0.8	4	48 (3) ^c	3.69 (0.07) ^c	3.72 (0.07) ^{bc}	1.785 (0.01) ^{bc}
0.8	8	36 (2.7) ^{cd}	2.57 (0.06) ^d	2.815 (0.05) ^{cd}	1.013 (0.01) ^c
0.8	12	26 (2.2) ^e	2.0 (0.05) ^e	1.842 (0.03) ^d	0.479 (0.004) ^e
0.8	16	20 (2) ^f	1.53 (0.03) ^e	1.361 (0.01) ^{de}	0.272 (0.004) ^{ef}
1.2	0	48 (3) ^c	3.69 (0.07) ^c	3.516 (0.08) ^{bc}	1.687 (0.003) ^{bc}
1.2	4	40 (2.6) ^d	3.07 (0.07) ^d	2.922 (0.07) ^c	1.168 (0.003) ^{cd}
1.2	8	30 (2.1) ^e	2.14 (0.04) ^{de}	1.961 (0.05) ^d	0.588 (0.002) ^d
1.2	12	22 (1.8) ^f	1.69 (0.02) ^e	1.383 (0.03) ^e	0.304 (0.001) ^e
1.2	16	16 (1.3) ^{gf}	1.23 (0.02) ^f	1.013 (0.03) ^{ef}	0.162 (0.001) ^f

میانگین‌های درون هر ستون که حروف متفاوت دارند بر اساس آزمون FLSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری دارند. داده‌های داخل پرانتز خطای معیار میانگین می‌باشد.

The means within the column followed by different letters differ significantly at $p \leq 0.05$ level (FLSD test). The values in parenthesis are standard error of the means.

شده شود. با افزایش تنش خشکی در این دما میزان افت سرعت جوانه زنی و شاخص سرعت جوانه زنی به طور متوسط ۶۶ درصد کاهش را نشان داد ولی افزایش تنش شوری تنها توانست منجر به افت ۳۰ درصدی شاخص های اندازه گیری شده شود که این امر تأکید بر تأثیر بیشتر تنش خشکی بر جوانه زنی ریزوم این گیاه نسبت به تنش شوری در دمای بهینه جوانه زنی دارد.

نتایج حاصل از تأثیر تنش شوری و خشکی در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد (جدول ۵)، نشان از افت جوانه زنی با افزایش میزان تنش ها داشت و با افزایش تنش شوری و خشکی به صورت جداگانه، میزان شاخص های اندازه گیری شده کاهش پیدا کرد. با این حال در این دما، همانند دمای ۱۵ درجه سانتی گراد، افزایش تنش خشکی بیش از افزایش تنش شوری توانست منجر به افت شاخص های اندازه گیری



شکل ۴: تأثیر سطوح مختلف شوری و خشکی بر درصد جوانه زنی در کشت ریزوم های قمیش در شرایط دمایی ۲۰ درجه سانتی گراد
Figure 4: Effect of different salinity and drought levels on Sprouting Percentage (SP) in cultivation of *A. donax* rhizomes at 20 °C

(Mann et al., 2013). تنظیم رفتار فیزیولوژیکی روزنه برای بهینه سازی راندمان مصرف آب (WUE) تحت طیف وسیعی از شرایط رشد و اصلاح انتشار آنتی اکسیدان های محافظ مانند ترکیبات آلی فرار می باشد (Haworth et al., 2017).
افزایش دما بیش از دمای بهینه جوانه زنی منجر به کاهش میزان جوانه زنی می گردد. وقتی ریزوم های گیاه قمیش در شرایط دمایی ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی گراد قرار گرفتند، افت شدیدی را در میزان درصد جوانه زنی، سرعت جوانه زنی و دیگر شاخص های اندازه گیری شده نشان دادند (جدول ۶ و جدول ۷).

افزایش تنش شوری بر درصد جوانه زنی ریزوم قمیش در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد تأثیر منفی نشان داد (شکل ۴) و برخلاف دمای ۱۵ درجه سانتی گراد که حاکی از مقاومت نسبی ریزوم قمیش به تنش جزئی شوری بود در این دما با افزایش تنش شوری درصد جوانه زنی اختلاف معنی داری را در همه سطوح در شرایط افزایش تنش خشکی نشان داد. به عبارت دیگر ریزوم قمیش فقط در دمای بهینه جوانه زنی تا حدی به تنش شوری مقاومت نشان می دهد و افزایش دما تأثیر مثبتی بر این روند نخواهد داشت. حفظ عملکرد تولیدی *A. donax* در شرایط تنش خشکی ممکن است به یک سیستم ریشه گسترده مرتبط باشد که امکان دسترسی به آب در عمق خاک را فراهم می کند

جدول ۶- تأثیر سطوح مختلف شوری و خشکی بر درصد جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی روزانه، شاخص سرعت جوانه‌زنی و شاخص سرعت جوانه‌زنی تعدیل‌شده در کشت ریزوم‌های قمیش در شرایط دمایی ۲۵ درجه سانتی‌گراد

Table 6- Effect of different salinity and drought levels on Sprouting Percentage (SP), germination percentage day (GPD), germination rate index (GRI) and Weighted Germination Rate Index (WGRI) in cultivation of *A. donax* rhizomes at 25 °C

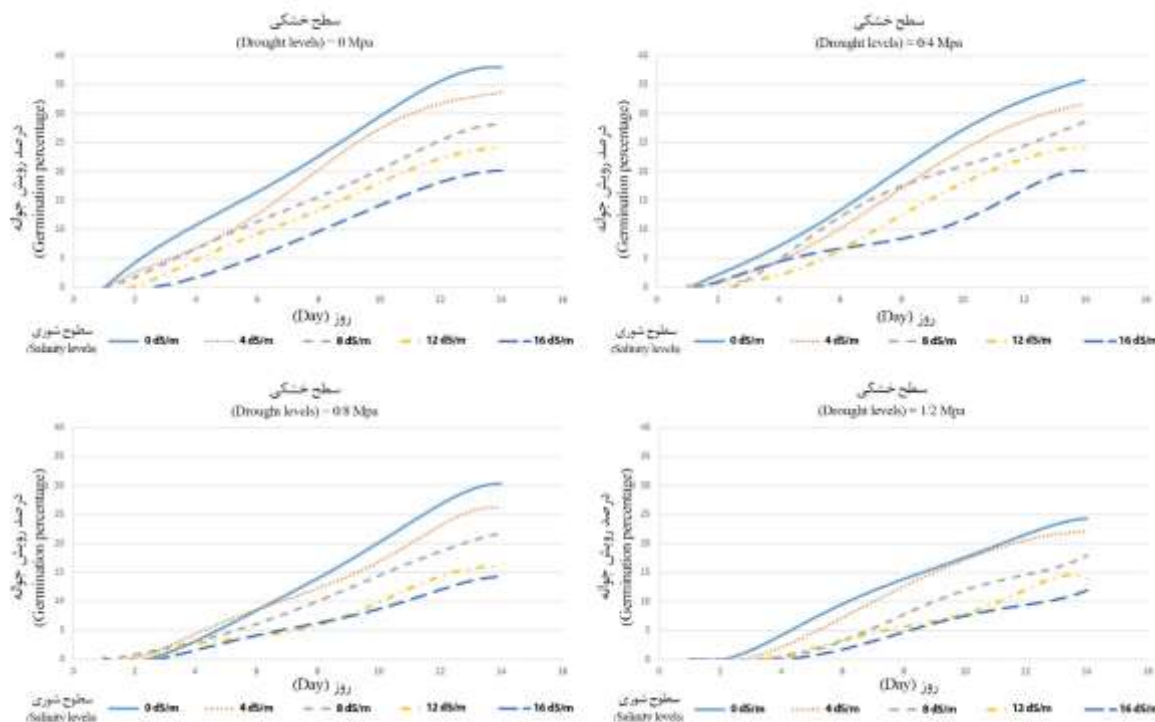
سطح خشکی Drought level(MPa)	سطح شوری Salinity level (dS.m)	درصد جوانه‌زنی (%) SP	درصد جوانه‌زنی روزانه (%) GPD	شاخص سرعت جوانه‌زنی GRI (seedling day ⁻¹)	شاخص سرعت جوانه‌زنی موزون شده WGRI (seedling day ⁻¹)
0	0	38 (2) ^a	2.92 (0.09) ^a	3.657 (0.11) ^a	1.389 (0.01) ^a
0	4	34 (1.8) ^{ab}	2.42 (0.06) ^b	2.903 (0.1) ^b	0.987 (0.008) ^b
0	8	28 (1.6) ^{bc}	2.15 (0.04) ^c	2.446 (0.1) ^c	0.685 (0.006) ^c
0	12	24 (1.5) ^c	1.84 (0.03) ^d	1.878 (0.08) ^d	0.45 (0.004) ^d
0	16	20 (1.4) ^{cd}	1.53 (0.03) ^e	1.322 (0.06) ^e	0.264 (0.003) ^e
0.4	0	36 (2.1) ^a	2.57 (0.08) ^{ab}	3.004 (0.1) ^{ab}	1.081 (0.009) ^b
0.4	4	32 (2) ^b	2.28 (0.07) ^{bc}	2.386 (0.09) ^c	0.763 (0.007) ^{bc}
0.4	8	28 (2) ^{bc}	2.15 (0.06) ^c	2.166 (0.07) ^{cd}	0.606 (0.006) ^c
0.4	12	24 (1.5) ^c	1.84 (0.04) ^d	1.684 (0.05) ^{de}	0.404 (0.004) ^d
0.4	16	20 (1.3) ^{cd}	1.53 (0.04) ^e	1.548 (0.04) ^{de}	0.309 (0.003) ^{de}
0.8	0	30 (1.9) ^b	2.3 (0.07) ^{ab}	2.031 (0.04) ^{cd}	0.609 (0.007) ^c
0.8	4	26 (1.6) ^c	2.0 (0.06) ^b	1.89 (0.03) ^d	0.491 (0.005) ^d
0.8	8	22 (1.2) ^{cd}	1.57 (0.04) ^e	1.559 (0.03) ^{de}	0.343 (0.003) ^e
0.8	12	16 (1) ^d	1.23 (0.04) ^{ef}	1.12 (0.02) ^e	0.179 (0.002) ^f
0.8	16	14 (0.8) ^{ed}	1.07 (0.03) ^f	0.921 (0.02) ^{ef}	0.129 (0.001) ^f
1.2	0	24 (1) ^c	1.84 (0.02) ^d	1.839 (0.02) ^d	0.441 (0.004) ^d
1.2	4	22 (1) ^{cd}	1.69 (0.02) ^{de}	1.532 (0.01) ^{de}	0.337 (0.003) ^{de}
1.2	8	18 (0.8) ^d	1.28 (0.01) ^{ef}	1.067 (0.01) ^{ef}	0.192 (0.001) ^f
1.2	12	14 (0.7) ^{ed}	1.07 (0.01) ^f	0.842 (0.01) ^f	0.117 (0.001) ^{fg}
1.2	16	12 (0.6) ^e	0.85 (0.01) ^g	0.675 (0.01) ^{fg}	0.081 (0.001) ^g

میانگین‌های درون هر ستون که حروف متفاوت دارند، بر اساس آزمون FLSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری دارند. داده‌های داخل پرانتز خطای معیار میانگین می‌باشد.

The means within the column followed by different letters differ significantly at $p \leq 0.05$ level (FLSD test). The values in parenthesis are standard error of the means.

نسبت به سایر سطوح در مدت‌زمان کمتری پس از کشت تکمیل گردید. لذا این امر نشان می‌دهد که با افزایش دما سرعت متابولیسم ریزوم علف‌های هرز در تکثیر غیرجنسی افزایش پیدا می‌کند و همین امر منجر به افزایش سرعت رویش آن‌ها و افزایش رقابت آن‌ها با گیاهان زراعی در کشت همزمان آنان دارد (Guan et al., 2008). آزمایش جوانه‌زنی ریزوم قمیش در شرایط وجود تنش شوری و خشکی در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد (جدول ۷) نشان از کاهش بسیار زیاد درصد جوانه‌زنی و سایر شاخص‌های مرتبط با جوانه‌زنی دارد و در این دما نیز همچون دمای ۵ درجه سانتی‌گراد ریزوم‌های گیاه به‌خوبی جوانه‌زنی انجام نداده‌اند. با توجه به اینکه نتایج نشان داد جوانه‌زنی ریزوم قمیش در دماهای بالاتر بیشتر خواهد بود، اما سرعت جوانه‌زنی و شاخص سرعت جوانه‌زنی موزون شده در این شرایط دمایی بسیار کم بود و این گیاه با سرعت خیلی کند، درصد رویش کمی را داشت.

با توجه به نتایج جدول ۶، جوانه‌زنی ریزوم قمیش با افزایش دما و افزایش تنش شوری و خشکی، کاهش پیدا کرد. سرعت جوان زنی و شاخص سرعت جوانه‌زنی موزون شده اختلاف معنی‌داری را نسبت به نتایج حاصل از شرایط دمایی پایین‌تر از دمای بهینه داشت؛ اختلاف معنی‌دار بین بیشینه و کمینه درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی در این دما از یک طرف و تفاوت سرعت جوانه‌زنی و شاخص سرعت جوانه‌زنی موزون شده از طرف دیگر نشان می‌دهد که رویش ریزوم قمیش در دماهای بالاتر از دمای بهینه بیشتر و با سرعت سریع‌تری نسبت به دماهای پایین از دمای بهینه انجام می‌شود، پس می‌توان گفت این گیاه دمای بالاتر خاک را برای افزایش جوانه‌زنی در شرایط وجود و عدم وجود تنش به دماهای پایین‌تر ترجیح می‌دهد. افزایش دمای خاک تأثیر مثبتی بر افزایش درصد جوانه‌زنی ریزوم قمیش نداشت اما توانست سرعت جوانه‌زنی آن را افزایش دهد (شکل ۵). در این دما ریزوم قمیش با سرعت بیشتری به حداکثر میزان جوانه‌زنی خود دست پیدا کرد و ۵۰ درصد حداکثر میزان جوانه‌زنی آن



شکل ۵- تأثیر سطوح مختلف شوری و خشکی بر درصد جوانه‌زنی در کشت ریزوم های قمیش در شرایط دمایی ۲۵ درجه سانتی‌گراد
Figure 5- Effect of different salinity and drought levels on Sprouting Percentage (SP) in cultivation of *A. donax* rhizomes at 25 °C

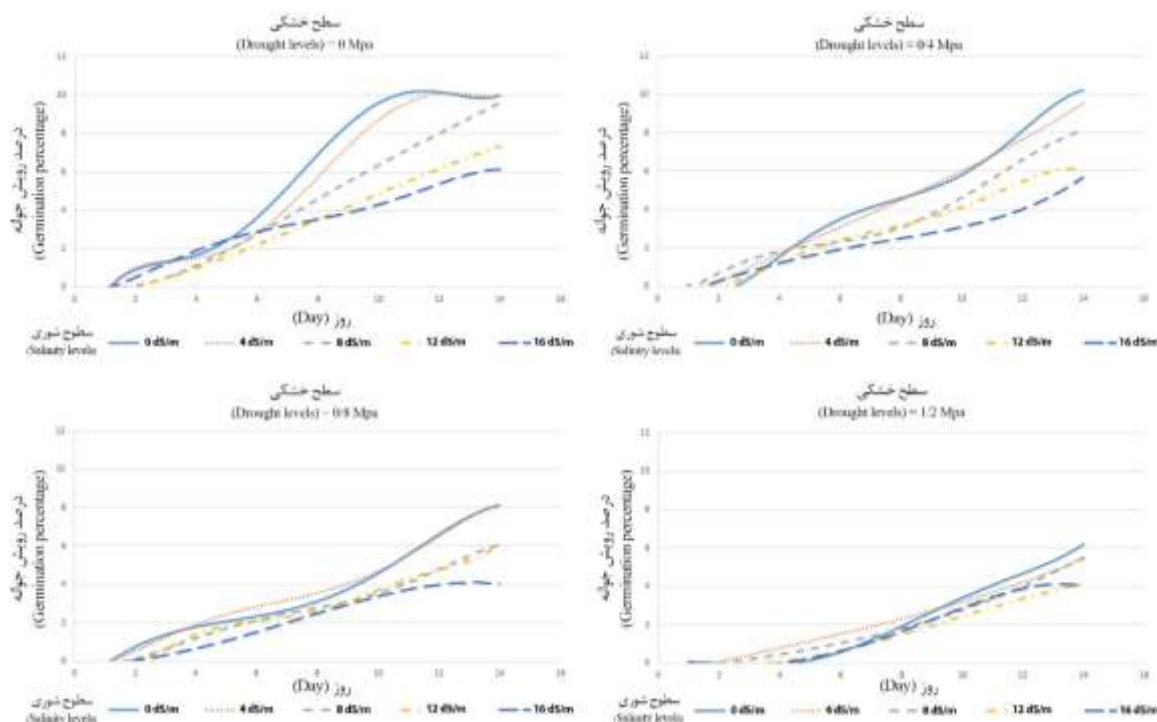
جدول ۷- تأثیر سطوح مختلف شوری و خشکی بر درصد جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی روزانه، شاخص سرعت جوانه‌زنی و شاخص سرعت جوانه‌زنی تعدیل شده در کشت ریزوم های قمیش در شرایط دمایی ۳۰ درجه سانتی‌گراد

Table 7- Effect of different salinity and drought levels on Sprouting Percentage (SP), germination percentage day (GPD), germination rate index (GRI) and Weighted Germination Rate Index (WGRI) in cultivation of *A. donax* rhizomes at 30 °C

سطح خشکی Drought level(MPa)	سطح شوری Salinity level(dS.m)	درصد جوانه‌زنی (%) SP	درصد جوانه‌زنی روزانه (%) GPD	شاخص سرعت جوانه‌زنی GRI (seedling day ⁻¹)	شاخص سرعت جوانه‌زنی وزن شده WGRI (seedling day ⁻¹)
0	0	10 (1) ^a	1 (0.11) ^a	0.725 (0.01) ^a	0.072 (0.001) ^a
0	4	10 (1) ^a	0.9 (0.1) ^a	0.803 (0.01) ^a	0.08 (0.001) ^a
0	8	10 (1) ^a	0.71 (0.08) ^b	0.666 (0.008) ^{ab}	0.066 (0.001) ^{ab}
0	12	8 (0.8) ^b	0.57 (0.07) ^c	0.505 (0.006) ^b	0.04 (0.001) ^c
0	16	6 (0.5) ^c	0.5 (0.05) ^c	0.559 (0.007) ^b	0.033 (0.001) ^d
0.4	0	10 (0.8) ^a	0.76 (0.07) ^b	0.688 (0.008) ^{ab}	0.068 (0.001) ^{ab}
0.4	4	10 (0.9) ^a	0.71 (0.07) ^b	0.682 (0.008) ^{ab}	0.068 (0.001) ^{ab}
0.4	8	8 (0.7) ^b	0.61 (0.06) ^c	0.626 (0.007) ^b	0.05 (0.001) ^c
0.4	12	6 (0.4) ^c	0.5 (0.05) ^c	0.458 (0.005) ^c	0.027 (0.001) ^d
0.4	16	6 (0.4) ^c	0.42 (0.04) ^d	0.421 (0.005) ^c	0.025 (0.001) ^d
0.8	0	8 (0.6) ^b	0.61 (0.05) ^c	0.626 (0.007) ^b	0.05 (0.001) ^c
0.8	4	8 (0.6) ^b	0.61 (0.06) ^c	0.644 (0.008) ^b	0.051 (0.001) ^c
0.8	8	6 (0.5) ^c	0.46 (0.05) ^d	0.438 (0.006) ^c	0.026 (0.001) ^d
0.8	12	6 (0.5) ^c	0.46 (0.05) ^d	0.438 (0.006) ^c	0.026 (0.001) ^d
0.8	16	4 (0.4) ^d	0.4 (0.04) ^d	0.30 (0.004) ^d	0.012 (0.001) ^{ef}
1.2	0	6 (0.6) ^c	0.46 (0.05) ^d	0.319 (0.004) ^d	0.019 (0.001) ^e
1.2	4	6 (0.5) ^c	0.42 (0.04) ^d	0.371 (0.005) ^{cd}	0.022 (0.001) ^{ed}
1.2	8	6 (0.4) ^c	0.42 (0.04) ^d	0.329 (0.004) ^d	0.019 (0.001) ^e
1.2	12	4 (0.3) ^d	0.33 (0.03) ^e	0.226 (0.003) ^e	0.009 (0.001) ^f
1.2	16	4 (0.3) ^d	0.36 (0.04) ^{ed}	0.233 (0.002) ^e	0.009 (0.001) ^f

میانگین‌های درون هر ستون که حروف متفاوت دارند، بر اساس آزمون FLSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری دارند. داده‌های داخل پرانتز خطای معیار میانگین می‌باشد.

The means within the column followed by different letters differ significantly at $p \leq 0.05$ level (FLSD test). The values in parenthesis are standard error of the means.



شکل ۶- تأثیر سطوح مختلف شوری و خشکی بر درصد جوانه‌زنی در کشت ریزوم‌های قمیش در شرایط دمایی ۳۰ درجه سانتی‌گراد
Figure 6- Effect of different salinity and drought levels on Sprouting Percentage (SP) in cultivation of *A. donax* rhizomes at 30 °C

شد. بر این اساس RS_{max} یا حداکثر درصد جوانه‌زنی با افزایش دما از ۵ درجه سانتی‌گراد به ۱۵ درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا کرد و پس از آن این روند تا رسیدن به دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد نزول پیدا کرد و بیشترین مقدار آن مربوط به دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد و پس از آن دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد بود که عدم تفاوت معنی‌داری این پارامتر در این دو دما نشان دهنده آن است که دمای بهینه برای رویش ریزوم قمیش دمای بین ۱۵ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

افزایش دمای کشت ریزوم قمیش (۳۰ درجه سانتی‌گراد) روند غیر متعارف و نامنظمی را در درصد جوانه‌زنی نشان داد (شکل ۶)؛ با این حال افزایش تنش خشکی منجر به این گردید که سطوح مختلف تنش شوری اختلاف غیر معنی‌داری را نسبت به یکدیگر نشان دهند که همین امر حساسیت رویش این گیاه را نسبت به تنش خشکی بیش از پیش نشان می‌دهد. نتایج برازش مدل لجستیک سه پارامتری، بررسی اثر سطوح مختلف شوری بر درصد رویش ریزوم قمیش در جدول ۸ نشان داده

جدول ۸- پارامترهای تأثیر سطوح مختلف شوری بر درصد رویش ریزوم قمیش بر اساس مدل لجستیک سه پارامتری در دماهای مختلف
Table 8- Parameters of the effect of different salinity levels on the percentage of *A. donax* rhizomes growth based on a three-parameter logistic model at different temperatures

دما Temperature	RS_{max} (%)	X_{50} (dS.m)	RS_{rate}	R^2_{adj}	RMSE
5	10 (1) ^f	13.2 (0.8) ^a	2.97	0.91	0.67
10	28 (2) ^{cd}	11.8 (0.6) ^{ab}	2.71	0.92	0.93
15	74 (4) ^a	10.1 (0.5) ^b	2.53	0.95	1.21
20	66 (4) ^a	9.2 (0.3) ^c	2.28	0.96	1.28
25	38 (3) ^c	11.4 (0.3) ^{ab}	1.92	0.92	0.98
30	10 (1) ^f	12.5 (0.4) ^a	1.89	0.88	0.76

میانگین‌های درون هر ستون که حروف متفاوت دارند، بر اساس آزمون FLSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری دارند. داده‌های داخل پرانتز خطای معیار میانگین می‌باشد.

The means within the column followed by different letters differ significantly at $p \leq 0.05$ level (FLSD test). The values in parenthesis are standard error of the means.

(Alvarado and Bradford, 2002).

سانچز و همکاران (Sánchez et al., 2017) در نتایج آزمایش تأثیر تنش شوری و خشکی بر شاخصه های رشد گیاه قمیش اعلام کردند افزایش شوری در محسط ریشه به علت افزایش اثر اسمزی باعث از دست رفتن آب سلولهای ریشه و ساقه می گردد و رشد گیاه را مختل می نماید؛ همچنین تنش خشکی نیز اثرات مشابهی را روی فیزیولوژی این گیاه می گذارد و منجر به کاهش رشد گیاه، تغییر نسبت ریشه به اندام هوایی و کاهش مصرف آب می گردد. این شرایط در حالتی که گیاه در دمای بهینه جوانه زنی و رشد باشد بیشتر نمود پیدا می کند و در سایر دماها گیاه تحت استرس دمایی نیز قرار می گیرد و محتوای سلولی گیاه تغییر پیدا می کند و اثرات متفاوتی از گیاه به نمایش در خواهد آمد.

پارامتر X_{50} یا مدت زمان رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر رویش ریزوم قمیش در شرایط تنش شوری در دماهای مختلف تفاوت معنی داری را به جز در دمای بهینه جوانه زنی (۱۵ تا ۲۰ درجه سانتی گراد) درجه سانتی گراد نشان نداد. به عبارتی با افزایش دما از ۵ درجه سانتی گراد تا رسیدن به دمای بهینه جوانه زنی سرعت جوانه زنی افزایش پیدا کرد و ریزوم های قمیش در مدت زمان کمتری به ۵۰ درصد حداکثر رویش خود دست پیدا کردند و پس از آن با افزایش دما دوباره مقدار این پارامتر افزایش پیدا کرد؛ نتایج تحقیقات نشان می دهد که علف های هرزی که از طریق اندام های غیرجنسی تکثیر می شوند در شرایط ایده آل برای جوانه زنی از جمله دما، رطوبت و نور چون دارای ذخیره غذایی در اندام تولید مثل می باشند و با این شرایط محیطی تطبیق پیدا کرده اند، لذا با سرعت بیشتری نسبت به گیاهانی که از طریق بذر تکثیر می شوند جوانه زده و رشد پیدا می کنند

جدول ۹- پارامترهای تأثیر سطوح مختلف خشکی بر درصد رویش ریزوم قمیش بر اساس مدل لجستیک سه پارامتری در دماهای مختلف

Table 9- Parameters of the effect of different drought levels on the percentage of *A. donax* rhizomes growth based on a three-parameter logistic model at different temperatures

دما Temperature	RS _{max} (%)	X ₅₀ (MPa)	RS _{rate}	R ² _{adj}	RMSE
5	12 (1) ^f	12.2 (0.8) ^a	1.29	0.90	0.58
10	26 (2) ^{cd}	10.8 (0.6) ^b	2.10	0.92	1.07
15	76 (5) ^a	9.1 (0.5) ^c	2.64	0.93	1.36
20	64 (4) ^a	9.8 (0.3) ^c	2.26	0.94	1.45
25	38 (3) ^c	11.6 (0.3) ^{ab}	1.73	0.88	0.99
30	10 (1) ^f	12.3 (0.4) ^a	1.19	0.85	0.84

میانگین های درون هر ستون که حروف متفاوت دارند، بر اساس آزمون FLSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی داری دارند. داده های داخل پرانتز خطای معیار میانگین می باشد.

The means within the column followed by different letters differ significantly at $p \leq 0.05$ level (FLSD test). The values in parenthesis are standard error of the means.

از ۵ درجه سانتی گراد تا رسیدن به دمای بهینه جوانه زنی سرعت جوانه زنی افزایش پیدا کرد و ریزوم های قمیش در مدت زمان کمتری به ۵۰ درصد حداکثر رویش خود دست پیدا کردند و پس از آن با افزایش دما دوباره مقدار این پارامتر افزایش پیدا کرد. کیوشی و هیوکوا (Q-Shi and Cao-Hu, 2012) در تحقیقات خود بیان داشتند که طول گیاهچه حاصل از ریزوم، سرعت رشد، سطح برگ، زیست توده و کلروفیل گیاهچه *A. donax* با کاهش محتوای آب خاک کاهش می یابد. محتوای آب خاک تأثیر قابل توجهی در زمان زنده ماندن *A. donax* دارد، و هنگامی که مقدار آب خاک کمتر یا برابر با ۲۷/۸٪ ظرفیت زراعی بود *A. donax* از بین رفت. نتایج همچنین نشان داد غوطه وری در خاک بهترین شرایط رطوبت خاک برای رشد *A. donax* نبود و محتوای آب خاک از ۳۸/۹٪ تا ۴۴/۴٪ شرایط مطلوب رشد این گیاه بود؛ بنابراین گیاه قمیش به شرایط تنش خشکی بسیار حساس است و کاهش میزان

نتایج برازش مدل لجستیک سه پارامتری، بررسی اثر سطوح مختلف خشکی بر درصد رویش ریزوم قمیش در جدول ۹ نشان داده شد. بر این اساس RS_{max} یا حداکثر درصد جوانه زنی همانند تأثیر تنش شوری بر جوانه زنی، با افزایش دما از ۵ درجه سانتی گراد به ۱۵ درجه سانتی گراد افزایش پیدا کرد و پس از آن این روند تا رسیدن به دمای ۳۰ درجه سانتی گراد نزول پیدا کرد و بیشترین مقدار آن مربوط به دمای ۱۵ درجه سانتی گراد و پس از آن دمای ۲۰ درجه سانتی گراد بود که عدم تفاوت معنی داری این پارامتر در این دو دما با دیگر نشان دهنده دمای بهینه برای رویش ریزوم قمیش است.

پارامتر X_{50} یا مدت زمان رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر رویش ریزوم قمیش در شرایط تنش خشکی در دماهای مختلف تفاوت معنی داری نشان داد به نحوی که در دمای بهینه جوانه زنی (۱۵ تا ۲۰ درجه سانتی گراد) اختلاف معنی داری بین این دو دما با یکدیگر وجود نداشت اما با سایر دماها اختلاف معنی دار بود. به عبارتی با افزایش دما

محتوای آب خام می‌تواند رشد و توسعه آن را مختل نماید.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از کشت ریزوم قمیش در دماهای مختلف و تحت شرایط تنش شوری و خشکی نشان داد که رویش ریزوم این گیاه به شدت تحت تأثیر تنش‌های وارده قرار گرفت و افزایش میزان تنش منجر به کاهش درصد جوانه‌زنی گردید. همچنین کشت ریزوم در دماهای مختلف منجر به تعیین دمای بهینه جوانه‌زنی برای گیاه قمیش مربوط به اکوتیپ موجود در نواحی شمال ایران گردید و نشان داد دمای مناسب برای جوانه‌زنی ریزوم این گیاه ۱۵ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. نتایج سرعت جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی تحت تنش‌های محیطی وارد شده نیز بیانگر این موضوع بود که تنش خشکی بیشتر از تنش شوری می‌تواند رویش جوانه‌های ریزوم قمیش را تحت تأثیر قرار دهد و به عبارات دیگر این گیاه به تنش خشکی

منابع

1. Abichandani, S.L. (2007). *The potential impact of the invasive species Arundo donax on water resources along the Santa Clara River: seasonal and diurnal transpiration*. University of California, Los Angeles P. 44.
2. Ahmad, R., Liow, P-S., Spencer, D.F., & Jasieniuk, M. (2008). Molecular evidence for a single genetic clone of invasive *Arundo donax* in the United States. *Aquatic Botany* 88: 113-120.
3. Alvarado, V., & Bradford, K.J. (2002). A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. *Plant, Cell and Environment* 25(8): 1061-1069. <http://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2002.00894.x>.
4. Bell, G.P. (1997). Ecology and management of *Arundo donax*, and approaches to riparian habitat restoration in Southern California. *Plant Invasions* 103-113.
5. Burke, I.C., Thomas, W.E., Spears, J.F., & Wilcur, J.W. (2003). Influence of environmental factor on after-ripened crowfootgrass (*Dactyloctenium aegyptium*) seed germination. *Indian Journal of Weed Science* 51: 342-347.
6. Chauhan, B.S., Gill, G., & Preston, C. (2006). Factors affecting seed germination of annual sowthistle (*Sonchus oleraceus*) in southern Australia. *Indian Journal of Weed Science* 54: 658-668.
7. Chaves, M.M., Flexas, J., & Pinheiro, C. (2009). Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany* 103: 551-560. <https://doi.org/10.1093/aob/mcn125>.
8. Cosentino, S.L., Patané, C., Sanzone, E., Testa, G., & Scordia, D. (2016). Leaf gas exchange, water status and radiation use efficiency of giant reed (*Arundo donax* L.) in a changing soil nitrogen fertilization and soil water availability in a semi-arid Mediterranean area. *European Journal of Agronomy* 72: 56-69.
9. Decruyenaere, J.G., & Holt, J.S. (2005). Ramet demography of a clonal invader, *Arundo donax* (Poaceae), in Southern California. *Plant Soil* 277: 41-52.
10. Else, J.A. (1996). *Post-flood establishment of native woody species and an exotic, Arundo donax, in a southern California riparian system*. MSc Thesis, San Diego State University, USA.
11. Fuller, T.C., & Barbe, G.D. (1985). The Bradley method of eliminating exotic plants from natural reserves. *Fremontia* 13(2): 24-26.
12. Guan, B., Zhou, D., Zhang, H., Tian, Y., & Wang, P. (2008). Germination responses of *Medicago ruthenica* seeds to salinity, alkalinity and temperature. *J. Arid Environmental* 73: 135-138.
13. Hardion, L., Verlaque, R., Baumel, A., Juin, M., Vila, B. (2012). Revised systematics of Mediterranean *Arundo* (Poaceae) based on AFLP fingerprints and morphology. *Taxon* 61: 1217-1226.
14. Haworth, M., Cosentino, S.L., & Marino, G. (2017). Physiological responses of *Arundo donax* ecotypes to drought: a common garden study. *GCB Bioenergy* 9: 132-143. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12348>.
15. Herrera, A.M., & Dudley, T.L. (2003). Reduction of riparian arthropod abundance and diversity as a consequence of giant reed (*Arundo donax*) invasion. *Biological Invasions* 5: 167-177.
16. Holt, J.S., & Orcutt, D.R. (1996). Temperature thresholds for bud sprouting in perennial weeds and seed germination in cotton. *Indian Journal of Weed Science* 44: 523-533.
17. ISSG. (2007). Global Invasive Species Database (GISD). *Invasive Species Specialist Group of the IUCN Species*

حساسیت بالاتری دارد و تا حدودی به تنش شوری مقاوم است و شاید به همین علت است که فراوانی این گیاه در نواحی شمالی ایران بیشتر از سایر مناطق است. این گیاه در خاک‌هایی با زهکشی خوب که رطوبت فراوان در دسترس است، بهترین رشد را دارد و می‌تواند از لبه آب به سمت سواحل و بسیار فراتر از منطقه‌ای که قبلاً توسط پوشش گیاهان چوبی ساحلی اشغال شده بود گسترش یابد (Springer, 2005). همچنین مشاهده شد که قمیش بیشتر در جاهایی که سطح آب نزدیک به سطح خاک یا در نزدیکی آن قرار دارد، به خوبی رشد می‌کند که شاید علت آن حساسیت این گیاه به تنش خشکی باشد و از طرفی کلونی‌های کوچک این گیاه می‌توانند شوری بیش از حد را تحمل کنند اما در شرایط حضور گسترده آن‌ها در یک منطقه میزان تحمل به شوری در آنان کاهش پیدا می‌کند (Zuniga et al., 1983).

- Survival Commission. Information website: <http://www.issg.org.database>.
18. Iverson, M.E. (1994). The impact of *Arundo donax* on water resources. In: Jackson, N.E., P.Frandsen, S. Douthit (eds.), November 1993 *Arundo donax* workshop proceedings: 19-25.
 19. Johnson, M., Dudley, T., & Burns, C. (2006). Seed production in *Arundo donax*. *Cal-IPC News* 14: 12-13
 20. Juneau, K.J., & Tarasoff, C.S., (2013). The seasonality of survival and subsequent growth of common reed (*Phragmites australis*) rhizome fragments. *Invasive Plant Science and Management* 6: 79- 86.
 21. Kigel, J., & D. Koller. (1985). *Asexual reproduction f weeds*. P 65-100 in S. O. Duke, ed. *Weed Physiology*. Vol. I. Reproduction and Ecophysiology. CRC Press, Inc., Boca Raton, FL.
 22. Michel, B.E., (1983). Evaluation of the water potentials of polyethylene glycol 8000 both in the absence and presence of other solutes. *Plant Physiology* 72: 66-70.
 23. Munns, R.M.T. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annu.Rev. Plant Biology* 59: 651- 681.
 24. Pimentel, D., Zuniga, R., & Morrison, D. (2005). Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. *Ecological Economics* 52: 273-288.
 25. Rahman, H.O. (2006). *Examining the biology, ecology and weed management licorice*. Project Report. Scientific Research Council 124p. (In Persian with English abstract)
 26. Sánchez, E., Scordia, D., Lino, G., Arias, C., Cosentino, S.L., & Nogués, S. (2017). Salinity and water stress effects on biomass production different *Arundo Donax*. *Journal of Experimental Botany* 52: 258-281.
 27. Shea, K., & Chesson, P. (2002). Community ecology theory as a framework for biological invasions. *Trends in Ecology and Evolution* 17: 170-176.
 28. Shi, Q.Y., & Cao, H.H. (2012). Effects of Drought Stress on Stalk Germination and Seedling Growth of *Arundo donax*. *Research of Soil and Water Conservation*. Information website: <http://en.cnki.com.cn>
 29. Soerjani, M., & Soemarwoto, O. (1969). Some factors affecting the germination of alangalang (*Imperata cylindrica*) rhizome buds. *Pacific Science Association* 3(15): 376-380.
 30. Springer, T.L. (2005). Germination and early seedling growth of chaffy-seeded grasses at negative water stress. *Crop Sciences* 45: 2075-2080.
 31. Steinmaus, S.J., Prather, T.S., & Holt, J.S. (2000). Estimation of base temperatures for nine weed species. *Journal of Experimental Botany* 51: 275-286. <https://doi.org/10.1093/jexbot/51.343.275>.
 32. Tester, M., & Davenport, R. (2003). Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Invasive Plant Science and Management Botany* 91: 503-512. <https://doi.org/10.1093/aob/mcg058>.
 33. USDA-ARS. (2014). Germplasm Resources Information Network (GRIN). Online Database. Beltsville, Maryland, USA: *National Germplasm Resources Laboratory*. Information website: <https://Npgsweb.ars-grin.gov.gringlobal.taxon.taxonomysearch.aspx>.
 34. Valli, F., Trebbi, D., Zegada-Lizarazu, W., Monti, A., Tuberosa, R., & Salvi, S. (2017). In vitro physical mutagenesis of giant reed (*Arundo donax* L.). *GCB Bioenergy* 9: 1380-1389. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12458>.
 35. Wijte, A.H.B.M., Mizutani, T., Motamed, E.R., Merryfield, M.L., & Alexander, D.E. (2005). Temperature and endogenous factors cause seasonal patterns in rooting by stem fragments of the invasive Giant Reed, *Arundo donax* (Poaceae). *International Journal of Plant Sciences* 166: 507-517.
 36. Zuniga, G.E., Argandona, V.H., Niemeyer, H.M., & Corcuera, L.J. (1983). Hydroxamic content in wild and cultivated Gramineae. *Phytochemistry* 22(12): 2665-2668.

Contents

Evaluation of Resistance and Biochemical Responses of Different Barley Cultivars in Interaction with <i>Meloidogyne incognita</i>	99
M. Ahmadi, E. Mahdikhani- Moghadam, H. Rouhani, M. Mehrvar	
Cloning and Phylogenetic Analysis of Iranian Isolates of <i>Narcissus Latent Virus</i> Based on Sequence of 3' Region of Genome	713
Z. Moradi, M. Mehrvar	
Intraspecific Competition and its Relationship with some Biological Factors of <i>Habrobracon habetor</i> against <i>Heliothis virescens</i>	423
T.S. Mahdavi, H. Madadi	
Efficiency of Chemical and Physical Hard Water Softening Methods to Reduce the Incompatibility of Hard Water Cations with herbicide Glyphosate	439
A. Aliverdi, A. Ghanbari ² , M.H. Rashed-Mohassel, M. Nassiri-Mahallati, E. Zand	
The Effect of Different Weed Control Managements on Yield and Yield Components of Three Rice Cultivars	453
M. Smaeeltabar, F. Zaefarian, Sh. Nazari, R. Abbasi	
Evaluation of Foramsulfuron + Idosulfuron (MaisTer OD) Herbicide Efficacy on Weed Control, Growth and Yield of Maize	467
R. Polkhani, S.A. Kazemeini, M. Edalat	
Effect of Salinity and Drought Stresses on Rhizome Bud Sprouting of Giant Reed (<i>Arundo donax</i>) under Different Temperature Conditions	481
M. Elahinejad, Gh. Asadi, R. Tavakolafshari	

Iranian Plant Protection Research

(AGRICULTURAL SCIENCES AND TECHNOLOGY)

Vol . 36

No. 4

2023

Published by: College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
Editor in charge: Valizadeh, R. (Ruminant Nutrition) Prof. Ferdowsi University of Mashhad.
General Chief Editor: Rashed- Mohassel, M.H. (Weed Science) Prof. Ferdowsi University of Mashhad.

Editorial Board:

Izadi Darbandi, E.	Weed Science	Prof. Ferdowsi University of Mashhad.
Baghaee Ravari ,S	Plant Pathology	Asso. Prof. Ferdowsi University of Mashhad.
Karim Mojeni ,H	Production and Plant Genetics	Asso. Prof. Isfahan University of Technology
Pourjam, E.	Plant Pathology	Prof. Tarbiat Modarres University.
Hosseini, M.	Agricultural Entomology	Asso. Prof. Ferdowsi University of Mashhad.
Rashed- Mohassel, M.H.	Weed Science	Prof. Ferdowsi University of Mashhad.
Rashed- Mohassel, A.	Insect Ecology	Post-Doctoral Research Associate ,Texas A&M AgriLife Extension Service
Razi, H.	Crop Production & Plant Breeding	Asso. Prof. Shiraz University
Rajaei, H.	Entomologist	Researcher and Curator of Lepidoptera collection, Department Entomology State Museum of Natural History Stuttgart, Germany
Saboori, A.	Agricultural Entomology	Prof. Tehran University
Sadeghi Namaghi, H.	Agricultural Entomology	Prof. Ferdowsi University of Mashhad.
Sahragard, A.	Agricultural Entomology	Prof. Guilan University.
Mahdikhani Moghadam, E	Plant Pathology	Prof. Ferdowsi University of Mashhad.
Marashi, S.H.	Biotechnology & Plant Breeding	Prof. Ferdowsi University of Mashhad.

Publisher: Ferdowsi University of Mashhad.
Address: College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
P.O.BOX: 91775- 1163
Fax: +98 -0511- 8787430
E-Mail: Jpp1@um.ac.ir
Web Site: <https://jpp.um.ac.ir/>