Plant Prod., 2024, 46(4), 523-537
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2024.44408.2114
Received: 26 July 2023
Accepted: 03 February 2024

Plant Productions
Research Article

The role of foliar application of plant-derived smoke on yield and growth characteristics of wheat (*Triticum aestivum* L.)

Amene Akbarzade Sharafi[1], Saeid Jalali Honarmand[2*], Hamidreza Chaghazardi[3], Mohammad Eghbal Ghobadi[4]

1. Ph.D. Student of Agronomy, Department of Plant Production and Genetics, faculty of Agricultural Science and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran.
2. 2*. Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, faculty of Agricultural Science and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran.
3. Assistant professor, Department of Plant Production and Genetics, faculty of Agricultural Science and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran.
4. Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, faculty of Agricultural Science and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran.

Citation: Akbarzade Sharafi, A., Jalali Honarmand, S., Chaghazardi, H.R., & Ghobadi, M.E. (2024) The role of foliar application of plant-derived smoke on yield and growth characteristics of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Productions*, 46(4), 523-537

Abstract

Introduction

Food security concerns have necessitated the increase in agricultural production due to the ever-increasing world population, projected to exceed 9.6 billion people by 2050. It has been reported that various physicochemical contents of plants are increased by the solution of plant smoke. The biologically active compounds of smoke are soluble in water and in very low concentrations, they cause significant physiological responses in plants. These compounds can be used in the form of aqueous extract under the name of water smoke, by designing a device based on previous research in this field. Through various studies, it has been reported that the smoke enhancing activity is due to the presence of karrikin compounds (KARs).

Materials and methods

This research was carried out in a factorial experiment in base of randomized complete block design (RCBD) in three replications in the research farm of the Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, in the crop years 2019-2020 and 2020-2021. The factors included irrigated wheat cultivars (Mihan and Sirvan) and foliar application with a concentration of one liter per hectare in the phenological growth stages of wheat at eleven levels including no application (control), application in the stages of double ridge, second node detectable, ear emergence, anthesis, double ridge + second node detectable, double ridge + ear

* **Corresponding Author:** Saeed Jalali Honarmand
E-mail: sjhonarmand@razi.ac.ir

© 2024 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

emergence, double ridge + anthesis, second node detectable + ear emergence, second node detectable + anthesis, ear emergence + anthesis. The studied traits in this research include seed yield, biological yield, harvest index, seed per spike, 1000-seed weight, seed filling duration and seed filling speed.

Result and discussion

The results of this study showed that the maximum seed filling speed in foliar application at the stage of second node detectable was average (1.38 mg. day^{-1}) in both Mihan and Sirvan cultivars, and the maximum weight of 1000-seed weight (48.93 g) in Mihan cultivar in foliar application at the stage of ear emergence was obtained, also foliar application in the stage of double ridge + second node detectable had the highest harvest index with average (45.79%) and seed filling duration with average (48.51 days) All of which were in the Mihan cultivar. Foliar application in the stages of double ridge + second node detectable and anthesis caused the highest seed yield with average (6.02 t. ha^{-1}). The maximum number of seeds per spike with average (55.83) and biological yield with average (15.61 t. ha^{-1}) was related to foliar application at the stage of double ridge + ear emergence in Mihan cultivar.

Conclusion

Smoke water has the necessary potential to increase the quantity of wheat. If the results of this research are confirmed in other researches, it can be recommended to use water smoke as a practical and low-cost technology, especially for poor farmers in developing countries.

Key word: Growth regulator, Harvest index, Karrikin, Seed filling speed.

تولیدات گیاهی، ۱۴۰۲، ٤٦(٤)، ۵۲۳-۵۳۷
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 110.22055/ppd.2024.44408.2114
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۴

تولیدات گیاهی
مقاله پژوهشی

نقش محلول‌پاشی دود مشتق شده از گیاه بر عملکرد و خصوصیات رشدی ارقام گندم نان (*Triticum aestivum* L.)

آمنه اکبرزاده شرفی[۱]، سعید جلالی هنرمند[۲*]، حمیدرضا چقازردی[۳]، محمداقبال قبادی[٤]

۱- دانشجوی دکتری زراعت، گرایش فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
۲- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
۳- استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
۴- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

چکیده

نگرانی‌های مربوط به امنیت غذایی، افزایش تولید محصولات کشاورزی را به دلیل افزایش روزافزون جمعیت جهان با پیش‌بینی بیش از ۹/٦ میلیارد نفر تا سال ۲۰۵۰ الزامی کرده‌است. گزارش شده‌است که محتویات مختلف فیزیکوشیمیایی گیاهان توسط محلول دود حاصل از گیاه افزایش می‌یابد. ترکیبات زیستی فعال دود در آب محلول بوده و در غلظت‌های خیلی پایین پاسخ‌های فیزیولوژیک قابل توجهی را در گیاهان ایجاد می‌کنند. این ترکیبات را می‌توان در شکل عصاره آبی تحت عنوان دودآب، با طراحی دستگاهی بر مبنای پژوهش‌های پیشین در این زمینه مورداستفاده قرار داد. از طریق مطالعات مختلف ثابت شده‌است که فعالیت تقویت‌کننده دود به دلیل وجود ترکیب کاریکین (KAR_s) است. به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی برگی دودآب بر برخی از شاخص‌های رشد، عملکرد و اجزای عملکرد دانه گندم، پژوهشی در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، طی دو سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ و ۱٤۰۰-۱۳۹۹ به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی(RCBD) با سه تکرار انجام شد. فاکتورها شامل ارقام گندم آبی(میهن و سیروان) و محلول‌پاشی دود آب با غلظت یک لیتر در هکتار در مراحل فنولوژیک رشدی گندم در یازده سطح شامل عدم کاربرد (شاهد)، کاربرد در مراحل برجستگی دوگانه، تشکیل گره دوم، ظهور سنبله، گرده‌افشانی، برجستگی دوگانه + تشکیل گره دوم، برجستگی دوگانه + ظهور سنبله، برجستگی دوگانه + گرده‌افشانی، تشکیل گره دوم + ظهور سنبله، تشکیل گره دوم + گرده‌افشانی، ظهور سنبله + گرده‌افشانی بود. صفات مورد مطالعه در این تحقیق شامل عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی، شاخص برداشت، دانه در سنبله، وزن هزار دانه، طول پرشدن دانه و سرعت پرشدن دانه بود.

* **نویسنده مسئول:** سعید جلالی هنرمند
رایانامه: sjhonarmand@razi.ac.ir

نتایج این مطالعه نشان داد بیش‌ترین سرعت پرشدن دانه با محلول‌پاشی دود آب در مرحله‌ی تشکیل گره دوم با متوسط (۱/۳۸ میلی‌گرم در روز) در هر دو رقم میهن و سیروان بود و بیش‌ترین وزن هزار دانه با متوسط (۹۳/ ۴۸ گرم) در رقم مهین در محلول‌پاشی در مرحله‌ی ظهور سنبله بدست آمد، همچنین محلول‌پاشی در مرحله‌ی برجستگی دوگانه + تشکیل گره دوم بیش‌ترین شاخص برداشت با متوسط (۴۵/۷۹ درصد) و طول پرشدن دانه با متوسط (۴۸/۵۱ روز) که همگی در رقم میهن بود. محلول‌پاشی در مراحل برجستگی دوگانه + تشکیل گره دوم و گرده افشانی بیش‌ترین عملکرد دانه با متوسط (۶/۰۲ تن در هکتار) را موجب شد. بیش‌ترین تعداد دانه در سنبله با متوسط (۵۵/۸۳) و عملکرد بیولوژیک با متوسط (۱۵/۶۱ تن در هکتار) مربوط به محلول‌پاشی در مرحله‌ی برجستگی دوگانه + ظهور سنبله در رقم میهن بود. دودآب دارای پتانسیل لازم برای افزایش کمیت گندم می‌باشد. در صورت تأیید نتایج این پژوهش در تحقیقات دیگر، می‌توان استفاده از دودآب را به عنوان یک فناوری کاربردی و کم هزینه توصیه کرد.

کلیدواژه‌ها: تنظیم‌کننده رشد، سرعت پرشدن دانه، شاخص برداشت، کاریکین.

مقدمه

کشاورزان در سراسر جهان به‌طور سنتی از آتش و دود برای خشک کردن غلات استفاده می‌کنند (Govindaraj *et al.*, 2016). ترکیبات فعال موجود در دود، بوتنولید معروف به کاریکین (KAR) و سیانوهیدرین هستند (Khatoon *et al.*, 2020). کاریکین‌ها مواد شیمیایی آلی کوچک با ترکیبات زیستی فعال شناخته شده‌است که به ماده شیمیایی 3-methyl-2H-furo [2,3-c]pyran-2-one مربوط می‌شوند (Smith and Li, 2014; Nelson *et al.*, 2012). کاریکین‌ها از طریق تجزیه در اثرحرارت کربوهیدرات‌های ساده مانند زایلوز، گلوکز یا سلولز تولید می‌شوند (Nelson *et al.*, 2009). پنج آنالوگ KAR_1(KAR$_2$–KAR$_6$) که به عنوان کاریکین شناخته می‌شوند، تا به امروز با استفاده از روش سنتز شیمیایی از محلول دود کشف و تأیید شده‌است (Flematti *et al.*, 2009). کاریکین از نظر ساختاری با استریگولاکتون(SL) –یک هورمون درون‌زای گیاهی- شباهت دارد (Nelson *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2018).

دودآب دارای فعالیت شبه سایتوکینینی می‌باشد (Jain *et al.*, 2008). هرچند مکانیسم این عمل هنوز مشخص نیست لیکن دودآب موجب افزایش سطح سایتوکینین درون گیاه می‌شود (Aremu *et al.*, 2016)، دودآب علاوه بر ترکیبات بیواکتیو و ترکیبات فنولیک، حاوی عناصر زیادی از جمله نیتروژن در شکل‌های نیترات و آمونیوم می‌باشد که می‌توانند به تامین نیتروژن گیاه کمک کنند و علاوه براین، سنتز سایتوکینین به وسیله نیترات تنظیم می‌شود (Takei *et al.*, 2004). این فناوری نسبتاً جدید کاربرد دود، پتانسیل بالایی را از نظرکشاورزی متداول و ارگانیک ارائه می‌دهد.

گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از مهم‌ترین محصولات غلات در جهان است زیرا اکثر جمعیت جهان (۴۰درصد) برای برآوردن نیازهای غذایی خود به گندم وابسته هستند (Gupta *et al.*, 2008; Liu *et al.*, 2017). از طرفی جمعیت جهان همچنان در حال افزایش بوده و همین عامل منجر به افزایش تقاضا برای غذا شده‌است (Nguyen *et al.*, 2020).

در گندم اولین بار فعالیت زیستی یک ترکیب بوتنولیدی به‌نام 5-alkoxy-3-methyl-2(5H)-furanones در کلئوپتیل مورد مطالعه قرارگرفته‌است و پاسخ‌های تنظیم‌کنندگی رشدی وابسته به غلظت مشاهده شده‌است (Pepperman and Cutler, 1991). دود حاصل از سوختن جزئی مواد گیاهی در تیمار بذرهای گندم باعث افزایش رشد مورفولوژیکی شده‌است

(Igbal *et al.*, 2018). نتیجه محلول‌پاشی دودآب و مصرف کود اوره برای گندم نشان داده‌است که کاربرد دودآب به صورت محلول‌پاشی روی گندم موجب افزایش وزن خشک کل، عملکرد دانه و شاخص برداشت شده‌است (Noroozi Shahri *et al.*, 2017). در شرایطی که کود اوره کمتری مصرف شده‌است، اثردودآب بر افزایش تجمع زیست توده و عملکرد دانه بیشتر بوده‌است و توانسته است مقداری از افت عملکرد ناشی از کمبود کود اوره را جبران کند (Gholami *et al.*, 2017). براساس نتایج بدست‌آمده، اثر محلول‌پاشی برگی دودآب بر صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت گندم معنی‌دار شده‌است (Moradi, 2018).

این پژوهش به‌منظور بررسی نقش دود مشتق شده از سوختن بقایای گیاهی بر برخی از ویژگی‌های آگرونومیک و فیزیولوژیک گندم در مراحل مختلف رشد با هدف یافتن بهترین زمان برای کاربرد این محلول و تاثیر آن بر افزایش عملکرد مهم‌ترین غله‌ی جهان می‌باشد.

مواد و روش ها

این مطالعه در سال‌های زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ تحت شرایط آبیاری به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی (طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۹ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۱۹ متر) انجام شد. فاکتورها شامل ارقام گندم آبی میهن و سیروان و محلول‌پاشی دود آب با غلظت یک لیتر در هکتار در مراحل فنولوژیک رشدی گندم در یازده سطح شامل عدم کاربرد (شاهد)، کاربرد در مراحل برجستگی دوگانه (13 ZGS[1])، تشکیل گره دوم (32 ZGS)، ظهور سنبله (50 ZGS)، گرده افشانی (65 ZGS)، برجستگی دوگانه + تشکیل گره دوم، برجستگی دوگانه + ظهور سنبله، برجستگی دوگانه + گرده افشانی، تشکیل گره دوم + ظهور سنبله، تشکیل گره دوم + گرده افشانی، ظهور سنبله + گرده افشانی بود. زمین محل آزمایش دارای خاکی با بافت لومی رسی بود که برخی از مشخصات فیزیکوشیمیایی آن در جدول شماره ۱ آورده شده‌است.

در ابتدای پاییز آماده‌سازی مزرعه شامل خاک‌ورزی اولیه و سپس دیسک‌زنی و هموارسازی زمین صورت گرفت. به دلیل ابعاد کم کرت‌ها کشت به صورت دستی با ایجاد شیار توسط خطی‌کار گندم بین خطوط به فاصله ۲۵ سانتی‌متر انجام شد. اندازه پلات‌ها ۲×۴ متر با ۸ خط کشت و فاصله بین بلوک ۲ متر و تراکم حدود ۳۰۰ بذر در مترمربع بود. در این تحقیق مقدارکودهای مصرفی با توجه به نتایج آزمون خاک انجام گرفت، میزان کربن آلی و فسفر قابل جذب خاک به میزان ۱۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل، ۵۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم و ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار در نظرگرفته شد. تمامی کود فسفره و پتاسه و یک دوم اوره زمان کشت به خاک محل آزمایش اضافه شد یک دوم باقی مانده از کود اوره در ابتدای مرحله ساقه رفتن مصرف شد.

تاریخ کاشت در هر دو سال نیمه دوم آبان ماه انجام شد. دراین آزمایش برای تهیه دودآب دستگاهی برمبنای مطالعات پیشین (VanStaden *et al.*, 2004) به‌صورت تغییر یافته طراحی شده‌است. تغییر این دستگاه به‌منظور کاهش اتلاف دود حاصل از گیاهان، افزایش مدت زمان ورود دود به آب، کاهش بیشتر دمای دود حاصل از سوخت جهت افزایش انحلال‌پذیری آن، افزایش سطح تماس ذرات دود با آب و به‌طورکلی افزایش دقت تولید محلول پایه دودآب صورت گرفت. با استفاده از این دستگاه، دود ناشی از سوختن ترکیب گیاه گندم و یونجه به شکل خشک شده با نسبت مساوی و ۵

1- Zadox growth stage

کیلوگرم به ازای هر لیتر آب مقطر با کمک یک ژنراتور، مُبَرِد و پمپ مکنده ابتدا از دو مخزن هر یک حاوی آب مقطر تا زمان سوختن کامل ماده گیاهی عبور داده‌شد. به‌طوری‌که آب مقطر به رنگ تیره و چگال درآمد. محلول حاصل پس از عبور از کاغذ صافی نمره یک واتمن به‌عنوان محلول پایه در نظرگرفته‌شد و سپس براساس بررسی پژوهش‌های پیشین (Demir *et al.*, 2012) با استفاده ازآب مقطر در غلظت مورد نظر رقیق شد و جهت اعمال تیمار در مراحل مختلف رشد به کاربرده‌شد. غلظت تیمار دودآب در این مطالعه به میزان یک لیتر در هکتار و محلول‌پاشی توسط سمپاش دستی به صورت برگ مصرف روی اندام‌های هوایی انجام گرفت.

برای اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد، بعد از این که رطوبت دانه در سنبله به حدود 14 درصد رسید، با حذف حاشیه‌ها، از یک مترمربع هر پلات نمونه‌ی گیاهی برداشت و تعداد دانه در سنبله (ده سنبله در هر پلات) شمارش شد. پس از خرمن کوبی وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه برای هر کرت محاسبه شد.

شاخص برداشت به کمک رابطه زیر محاسبه شد (Karam *et al.*, 2007):

$$HI=\frac{GY}{BY}\times 100$$

HI: شاخص برداشت، GY: عملکرد دانه، BY: عملکرد زیست توده.

به‌منظور ارزیابی دوره مؤثر و سرعت پرشدن دانه در زمان ظهور سنبله اقدام به علامت‌گذاری ۵۰ بوته در هر کرت آزمایشی گردید. برای بررسی رشد دانه، پانزده روز بعد از مرحله آغاز ظهور سنبله، نمونه‌برداری هر ۷ روز یک‌بار از ساقه اصلی روی ۵ بوته انجام شد، به این صورت که با حذف سنبلچه‌های بالا و پایین سنبله اصلی، دانه‌های سنبلچه‌های وسطی برداشت و وزن خشک آن‌ها پس از خشک شدن در آون با دمای۷۲ درجه سلسیوس به‌دست‌آمد. نمونه‌برداری‌ها تا پایان دوره رسیدگی انجام گرفت. سرعت پرشدن دانه (b) از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$b=\frac{\Sigma xy-\frac{\Sigma x.\Sigma y}{n}}{\Sigma x^2-\frac{(\Sigma x)^2}{n}}$$

که در آن b: سرعت پرشدن دانه، x: تعداد روز از زمان گرده‌افشانی تا رسیدن فیزیولوژیک و y: میانگین وزن تک دانه، طول پرشدن دانه از رابطه زیر محاسبه شد(Mosanna and Khalilvand, 2015):

$$\text{طول پرشدن دانه}=\frac{\text{وزن نهایی دانه}}{\text{سرعت پرشدن دانه}}$$

به‌منظور انجام تجزیه واریانس و مقایسات میانگین سطوح تیمارها، از نرم افزارSAS 9.1 استفاده شده‌است. تست یکنواختی واریانس خطای سال بر اساس آزمون بارتلت انجام و با توجه به همگنی واریانس خطای آزمایشی، داده ها به صورت تجزیه مرکب آنالیز شده‌است. آزمون بکار برده‌شده جهت مقایسات میانگین داده‌های بدست آمده از اندازه‌گیری صفات، آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد بود.

Table1. physic-chemical properties of the experimental soil

Texture	Soil Depth (cm)	Organic Carbon	Silt	Sand	Clay	N	k	p	Soluble Solutes	PH
		(%)					(ppm)		(dS/m)	
Silty Clay	0-30	1.50	44	13.7	43.3	0.13	282	6.2	0.56	7.31

نتایج و بحث

عملکرد و اجزای عملکرد

عملکرد دانه

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که محلول‌پاشی دودآب در مراحل مختلف رشد و ارقام گندم به طور معنی‌دار (P≤٪۱) عملکرد دانه را تحت تاثیر قرار داد، این صفت به طور معنی‌دار (P≤٪۵) متاثر از اثر متقابل تیمارهای مذکور بود (جدول۲). بیش‌ترین عملکرد دانه رقم میهن (۶/۰۲ تن در هکتار) در محلول‌پاشی در مراحل برجستگی دوگانه + تشکیل گره دوم و گرده افشانی، برای رقم سیروان (۵/۶۸ تن در هکتار) در محلول‌پاشی در مرحله‌ی برجستگی دوگانه + تشکیل گره دوم بود که نسبت به شاهد (بدون محلول‌پاشی)رقم میهن و سیروان به ترتیب ۱۳ و ۱۹ درصد افزایش داشت (جدول۳). با توجه به نتایج بدست آمده و مقایسه نسبت به شاهد احتمال می‌رود در مراحل برجستگی دوگانه و تشکیل گره دوم که هنوز رشد سریع گیاه آغاز نشده، محلول‌پاشی دودآب می‌تواند موجب افزایش تعداد پنجه و همچنین کمک به فراهمی آسمیلات‌ها جهت هر چه بهتر طی شدن آغازش سنبلچه‌های بارور شود. در بررسی عملکرد دودآب، سایتوکینین و اکسین مشاهده شده‌است که اثر دودآب بر سرعت رشد کالوس سویا مانند سایتوکینین بوده‌است (Jain *et al.*, 2008)، بنابراین ممکن است دودآب دارای توانایی تحریک گلدهی یا بقای گلچه در گیاهان زراعی نیز باشد که می‌تواند موجب کاهش درصد مرگ گلچه‌ها و در نتیجه افزایش عملکرد دانه باشد. نتایج بررسی Noroozi Shahri *et al.*, (2017) نشان داده‌است که در محلول‌پاشی بوته‌های گندم با دودآب در غلظت یک درصد بیش‌ترین عملکرد دانه (۶۸۸ گرم در مترمربع) بدست آمده‌است، که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

عملکرد بیولوژیک

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که عملکرد بیولوژیک به طور معنی‌دار (P≤٪۱) تحت تاثیر محلول‌پاشی دودآب در مراحل مختلف رشد، ارقام گندم و اثر متقابل این دو تیمار قرارگرفت، همچنین بررسی اثر متقابل محلول‌پاشی دودآب در مراحل مختلف رشد و سال بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار (P≤٪۵) شد (جدول۲). بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک رقم میهن (۱۵/۶۱ تن در هکتار) در محلول‌پاشی در مرحله‌ی برجستگی دوگانه + ظهور سنبله و برای رقم سیروان (۱۴/۵۹ تن در هکتار) در محلول‌پاشی در مرحله‌ی تشکیل گره دوم + ظهور سنبله بود که نسبت به شاهد (بدون محلول‌پاشی) رقم میهن و سیروان به ترتیب ۱۲ و ۱۷ درصد افزایش داشت (جدول۳). در سال اول بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک (۱۴/۸ تن در هکتار) محلول‌پاشی در مرحله‌ی تشکیل گره دوم + ظهور سنبله در سال دوم (۱۶/۲۶ تن در هکتار) در محلول‌پاشی در مرحله‌ی گرده‌افشانی بود (جدول ۴).افزایش عملکرد بیولوژیک ممکن است ناشی از اثر فیتوهورمونی دودآب بر به‌تأخیر انداختن پیری برگ باشد که با افزایش دوام سطح برگ میزان انتقال مواد و تولید بیشتر فتوسنتز خالص در طی فصل رشد و در نتیجه میزان رشد نیز به دلیل بالا بودن فتوسنتز بیشتر خواهدبود. عدم ریزش برگ‌ها می‌تواند در میزان عملکرد بیولوژیک گندم تاثیرگذار باشد و از این رو با افزایش سطح برگ و عدم ریزش برگ وزن بوته نیز افزایش خواهدیافت.(Gholami *et al.*, (2017 افزایش وزن خشک کل در گندم در اثر استفاده از دودآب را گزارش کردند. محلول‌پاشی گیاه گندم با غلظت یک درصد دودآب بیش‌ترین عملکرد وزن خشک کل (۱۵۷۹ گرم برمترمربع) و محلول‌پاشی گیاه با آب مقطر به عنوان شاهد کم‌ترین آن (۱۴۸۸ گرم برمتر مربع) را موجب شد (Noroozi Shahri *et al.*,2017).

شاخص برداشت

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که محلول‌پاشی دودآب در مراحل مختلف رشد، ارقام گندم و اثر متقابل این دو تیمار به طور معنی‌دار (P≤٪۱) شاخص برداشت را تحت تاثیر قرار داد (جدول۲). بیش‌ترین شاخص برداشت رقم میهن (۴۵/۷۹ درصد) و سیروان (۴۲/۳۵ درصد) در محلول‌پاشی در مرحله‌ی برجستگی دوگانه + تشکیل گره دوم بود که نسبت به شاهد (بدون محلول‌پاشی) رقم میهن و سیروان به ترتیب ۱۶ و ۱۱ درصد افزایش داشت (جدول۳). صفت شاخص برداشت چگونگی توزیع آسمیلات‌های فتوسنتزی را بین بخش رویشی و زایشی گیاه نشان می‌دهد. بنابراین، هر عاملی که این توزیع را متأثر نماید، بر شاخص برداشت نیز اثر خواهدداشت (Majidiian *et al.*, 2008). بررسی‌ها نشان داده کاربرد دودآب باعث افزایش شاخص برداشت در گندم شده‌است (Mousavi*et al.*, 2014). در محلول‌پاشی گندم با غلظت یک درصد دودآب شاخص برداشت به میزان ۴۳ درصد افزایش داشته که نسبت به غلظت‌های کمتر و شاهد اختلاف معنی‌داری داشته‌است، اما از لحاظ آماری بین سایر غلظت‌های محلول‌پاشی با دودآب اختلاف معنی‌داری مشاهده نشده‌است (Noroozi Shahri *et al.*, 2017). Moradi (2018) بیان کرده‌است که شاخص برداشت در شرایط محلول‌پاشی دودآب گیاه گندم با غلظت یک درصد موجب ایجاد تفاوت معنی‌داری با شاهد شده است.

دانه در سنبله

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که تعداد دانه در سنبله به طور معنی‌دار (P≤٪۱) تحت تاثیر محلول‌پاشی دودآب در مراحل مختلف رشد، ارقام گندم و اثر متقابل این دو تیمار قرار گرفت (جدول۲). بیش‌ترین تعداد دانه در سنبله‌ی رقم میهن (۵۵/۸۳) در محلول‌پاشی در مرحله‌ی برجستگی دوگانه + ظهور سنبله و در رقم سیروان (۴۱/۶۵) در محلول‌پاشی در مرحله‌ی برجستگی دوگانه + تشکیل گره دوم بود که نسبت به شاهد (بدون محلول‌پاشی) رقم میهن و سیروان به ترتیب ۲۴ و ۱۱ درصد افزایش داشت (جدول۳). احتمال می‌رود محلول‌پاشی دودآب با فعالیت شبه سایتوکینی در مرحله‌ی برجستگی دوگانه و تشکیل گره دوم به آغازش سنبلچه‌های بارور کمک می‌کند و همچنین به دلیل دارا بودن نیتروژن (کاهش رقابت برای جذب آسمیلات‌های سنتز شده) در مرحله ظهور سنبله نیز با جلوگیری از مرگ گلچه‌ها می‌تواند اثر مثبتی بر این صفت داشته‌باشد که نهایتا اثر موثر آن بر عملکرد است. در بررسی Gholami *et al.*, (2017) بیان شده‌است که مصرف دودآب در سطح ۳۰۰ کیلوگرم کود اوره موجب شد که تولید تعداد دانه در سنبله به‌طور معنی‌دار بیش از مصرف ۳۶۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار و محلول‌پاشی با آب مقطر شود که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که محلول‌پاشی دودآب در مراحل مختلف رشد، ارقام گندم و اثر متقابل تیمارهای مذکور به‌طور معنی‌دار (P≤٪۱) وزن هزار دانه را تحت تاثیر قرار داد (جدول۲). بیش‌ترین وزن هزار دانه در رقم میهن (۴۸/۹۳ گرم) در محلول‌پاشی در مرحله‌ی ظهور سنبله و در رقم سیروان (۴۸/۷۱ گرم) در محلول‌پاشی در مرحله تشکیل گره دوم بود که نسبت به شاهد (بدون محلول‌پاشی) در رقم میهن و سیروان به ترتیب ۸ و ۱۶ درصد افزایش داشت (جدول۳). به‌نظر می‌رسد دودآب با افزایش تقسیم سلولی در سطح مخزن فیزیولوژیک، باعث افزایش تعداد سلول‌های آندوسپرم، اندازه مخزن، قدرت مخزن و تقاضا جهت دریافت آسیمیلات‌ها شد. دودآب موجب افزایش دوره فعال رشد دانه و وزن هزار دانه شد که این نتایج با یافته‌های Moradi (2018) مطابقت داشت.

Table2.The combined analysis of variance for yield and yield components

S.O.V	df	Mean of Squares				
		Seed Yield	Biological Yield	Harvest Index	Seeds/ Spike	1000- Seeds Weight
Year	1	0.003	0.233	2.71	6.69	0.13
Erorr	4	0.112	0.170	12.09	4.23	4.53
Foliar Application	10	1.257**	7.576**	37.26**	79.84**	25.52**
Cultivar	1	4.481**	6.376**	76.67**	5626.12**	524.80**
Foliar Application×Year	10	0.038	0.669*	6.04	5.06	2.92
Cultivar× Year	1	0.009	0.780	2.19	0.15	3.32
Foliar Application×Cultivar	10	0.119*	2.360**	14.37**	27.92**	23.03**
Foliar Application×Cultivar×Year	10	0.042	0.250	3.26	3.81	1.35
Erorr	84	0.056	0.353	5.47	3.42	2.90
C.V. (%)	–	8.64	8.90	11.40	4.12	3.78

* = Significant at 5% level

** = Highly Significant at 1% level

Table3. Comparison of the average effect of cultivar and foliar application in different stages of growth on yield and yield components

Foliar Application	Cultivar	Seed Yield (t. ha^{-1})	Biological Yield (t. ha^{-1})	Harvest Index (%)	Seeds/ Spike	1000-Seed Weight (g)
Control	Sirvan	4.58±0.09	12.14±0.18	37.76±1.00	37.09±0.32	40.73±0.41
	Mihan	5.23±0.12	13.63±0.47	38.51±1.29	42.55±0.41	45.11±0.79
Double Ridge	Sirvan	5.64±0.10	14.39±0.16	39.22±1.05	38.66±0.71	46.12±0.51
	Mihan	5.93±0.13	14.42±0.24	41.21±1.26	53.73±0.65	46.97±0.71
Second Nodedetectable	Sirvan	5.57±0.09	13.20±0.25	42.27±0.62	38.34±0.95	48.71±1.03
	Mihan	5.64±0.10	13.11±0.16	43.01±0.66	51.57±0.67	47.74±0.60
Ear Emergence	Sirvan	4.83±0.08	12.30±0.26	39.31±0.52	37.83±0.50	42.02±0.85
	Mihan	5.38±0.09	12.13±0.21	44.40±0.97	53.63±0.41	48.93±0.87
Anthesis	Sirvan	5.36±0.08	13.42±0.15	39.98±0.83	38.01±1.21	41.67±0.70
	Mihan	6.02±0.08	14.18±0.27	42.54±1.27	54.32±1.15	46.18±1.01
Double Ridge+Second Node Detectable	Sirvan	5.68±0.07	13.43±0.27	42.35±0.72	41.65±0.46	44.84±0.84
	Mihan	6.02±0.12	13.16±0.20	45.79±1.30	55.29±1.01	46.38±0.29
Double Ridge+Ear Emergence	Sirvan	5.48±0.12	13.06±0.19	41.97±0.88	41.42±0.73	41.22±0.75
	Mihan	5.94±0.12	15.61±0.33	38.17±1.07	55.83±1.61	46.98±0.94
Double Ridge +Anthesis	Sirvan	4.99±0.07	12.52±0.37	39.95±1.02	38.17±0.60	40.21±0.62
	Mihan	5.30±0.11	13.00±0.22	40.80±1.11	49.31±0.91	47.97±0.64
Second Node Detectable +Ear Emergence	Sirvan	5.49±0.09	14.59±0.28	37.70±0.88	36.76±0.52	43.64±0.41
	Mihan	5.58±0.07	14.14±0.25	39.53±1.11	51.78±0.57	46.85±0.57
Second Node Detectable +Anthesis	Sirvan	5.48±0.09	13.25±0.16	41.35±0.76	37.01±0.65	40.77±0.67
	Mihan	5.74±0.09	13.38±0.24	42.95±0.48	48.41±0.58	47.68±0.13
Ear Emergence + Anthesis	Sirvan	4.97±0.05	12.10±0.21	41.16±0.96	36.92±0.22	43.21±0.25
	Mihan	5.35±0.08	12.48±0.08	42.88±0.63	49.07±0.79	46.22±0.49
LSD (5%)	-	0.27	0.68	2.68	2.12	1.95
LSD (1%)		0.36	0.90	3.56	2.81	2.59

The standard error of each treatment reported. The difference between two treatments is greater than or equal to the LSD number, it is significant, and it is smaller, it is non-significant.

Table4. Comparison of the average effect of the year and foliar applicationin different stages of growth on biological yield

Year	Foliar Application	Biological Yield (t. ha^{-1})
First year	Control	12.40±0.39
	Double Ridge	14.22±0.17
	Second Node Detectable	13.12±0.21
	Ear Emergence	12.39±0.24
	Anthesis	13.66±0.24
	Double Ridge + Second Node Detectable	13.11±0.20
	Double Ridge + Ear Emergence	14.21±0.54
	Double Ridge + Anthesis	12.88±0.32
	Second Node Detectable + Ear Emergence	14.80±0.16
	Second Node Detectable + Anthesis	13.30±0.17
	Ear Emergence + Anthesis	12.27±0.21
Second year	Control	13.38±0.48
	Double Ridge	14.59±0.20
	Second Node Detectable	13.18±0.21
	Ear Emergence	12.05±0.22
	Anthesis	13.95±0.30
	Double Ridge + Second Node Detectable	13.48±0.26
	Double Ridge + Ear Emergence	14.45±0.71
	Double Ridge + Anthesis	12.64±0.32
	Second Node Detectable + Ear Emergence	13.93±0.25
	Second Node Detectable + Anthesis	13.33±0.24
	Ear Emergence + Anthesis	12.31±0.12
LSD (5%)		0.68
LSD (1%)		0.90

The standard error of each treatment reported. The difference between two treatments is greater than or equal to the LSD number, it is significant, and if it is smaller, it is non-significant.

طول پرشدن دانه

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که محلول‌پاشی دودآب در مراحل مختلف رشد، ارقام گندم و اثر متقابل این دو تیمار به طور معنی‌دار (P≤۰/۱) طول پرشدن دانه را تحت تأثیر قرار داد (جدول۵). بیش‌ترین روز برای طول پرشدن دانه به عبارتی طول رشد یا طول سبزمانی گندم در محلول‌پاشی در مرحله‌ی برجستگی دوگانه + تشکیل گره دوم برای رقم میهن (۵۱/ ۴۸ روز) و برای رقم سیروان (۶/ ۴۴ روز) بود که نسبت به شاهد به ترتیب ۱۲ و ۷ روز به عبارتی ۲۴ و ۱۶ درصد افزایش نشان داد (جدول۶). احتمالاً یکی از دلایل اصلی افزایش عملکرد دانه همانطور که نتایج این پژوهش نشان می‌دهد، می‌تواند افزایش طول پرشدن دانه باشد که بیش‌ترین مقدار هر دو صفت (عملکرد دانه و طول پرشدن) در محلول‌پاشی دودآب در مرحله‌ی برجستگی دوگانه +تشکیل گره دوم حاصل شد. افزایش طول پرشدن دانه پتانسیل انتقال مواد فتوسنتزی به سمت دانه را افزایش می‌دهد. به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی دودآب با طولانی کردن زمان تقسیم سلولی به‌منظور افزایش تعداد سلول‌های آندوسپرم، مدت زمان پرشدن دانه، اختصاص مواد فتوسنتزی بیشتر به دانه و به تبع آن وزن دانه‌ها را افزایش داد که با توجه به اثرات شبه سایتوکینی دودآب نتایج این پژوهش با نتایج گزارش شده در مورد کاربرد سایتوکینین در گندم هم‌خوانی دارد(Saeidi *et al*., 2006; Alizadeh *et al*., 2010; Jalali Honarmand *et al*., 2016; Hosseini *et al*., 2022).

سرعت پرشدن دانه

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که محلول‌پاشی دودآب در مراحل مختلف رشد و اثر متقابل محلول‌پاشی در رقم به طور معنی‌دار (P≤۰/۱) سرعت پرشدن دانه را تحت تأثیر قرار داد،

همچنین اثر متقابل رقم در سال برای صفت مذکور معنی‌دار (P≤٪۵) شد (جدول۵). بیش‌ترین سرعت پرشدن دانه در محلول‌پاشی در مرحله ی تشکیل گره دوم برای هر دو رقم (۱/۳۸ میلی گرم در روز) بود نسبت به شاهد (بدون محلول‌پاشی) رقم میهن و سیروان به ترتیب ۲۱ و ۱۹ درصد افزایش داشت (جدول۶). بیش‌ترین میزان این صفت در سال اول سرعت پرشدن دانه در هر دو رقم میهن و سیروان ۱/۲۴ میلی‌گرم در روز و در سال دوم در رقم میهن ۱/۲۶ میلی‌گرم در روز و در رقم سیروان ۱/۲۳ میلی‌گرم بود (جدول۷). سرعت پرشدن دانه به‌طور مثبت با وزن نهایی دانه مرتبط بوده و به‌طور غیرمستقیم ازطریق افزایش وزن دانه سبب افزایش عملکرد می‌گردد. بررسی سرعت پرشدن دانه و وزن هزار دانه نشان می‌دهد بیش‌ترین میزان این صفات در محلول‌پاشی در مرحله تشکیل گره دوم می‌باشد که بیان کننده ارتباط این دو صفت می‌باشد (Zhang *et al.*, 2010; Asgari *et al.*, 2013) به نظر می‌رسد دودآب با تاثیر بر روی افزایش تقسیم سلولی موجب افزایش سرعت پرشدن دانه شد.

Table5. The combined analysis of variance for seed filling duration and seed filling speed

S.O.V	df	Mean of Squares	
		Seed Filling Duration	Seed Filling Speed
Year	1	0.097	0.002
Erorr	4	0.466	0.002
Foliar Application	10	87.107**	0.088**
Cultivar	1	447.23**	0.008*
Foliar Application× Year	10	2.331	0.003
Cultivar× Year	1	7.381	0.007*
Foliar Application× Cultivar	10	12.24**	0.016**
Foliar Application× Cultivar× Year	10	2.790	0.003
Erorr	84	3.206	0.002
C.V. (%)	-	8.70	7.90

* = Significant at 5% level
** = Highly Significant at 1% level

Table6. Comparison of the average effect of the cultivar and foliar application on seed filling duration and seed filling speed

Foliar Application	Cultivar	Seed Filling Duration (day)	Seed Filling Speed ($mg.day^{-1}$)
Control	Sirvan	37.37±0.69	1.12±0.02
	Mihan	36.76±0.51	1.09±0.02
Double Ridge	Sirvan	41.69±0.78	1.27±0.02
	Mihan	43.10±0.54	1.23±0.02
Second Node Detectable	Sirvan	40.01±0.88	1.38±0.02
	Mihan	43.79±0.36	1.38±0.01
Ear Emergence	Sirvan	36.05±0.35	1.07±0.02
	Mihan	40.23±0.60	1.15±0.02
Anthesis	Sirvan	37.31±0.39	1.22±0.02
	Mihan	40.15±0.66	1.14±0.02
Double Ridge + Second Node Detectable	Sirvan	44.60±0.56	1.26±0.03
	Mihan	48.51±0.54	1.36±0.04
Double Ridge + Ear Emergence	Sirvan	41.76±0.35	1.17±0.02
	Mihan	45.80±0.64	1.34±0.01
Double Ridge + Anthesis	Sirvan	37.48±1.09	1.34±0.02
	Mihan	42.00±0.84	1.33±0.03
Second Node Detectable + Ear Emergence	Sirvan	38.30±0.90	1.29±0.02
	Mihan	45.19±1.05	1.27±0.01
Second Node Detectable + Anthesis	Sirvan	40.01±0.68	1.22±0.02
	Mihan	43.62±0.81	1.21±0.02
Ear Emergence + Anthesis	Sirvan	38.10±0.93	1.23±0.01
	Mihan	44.04±0.70	1.24±0.01
LSD (5%)		2.06	0.06
LSD (1%)		2.72	0.07

The standard error of each treatment reported. The difference between two treatments is greater than orequal to the LSD number, it is significant, and it is smaller, it is non-significant

Table7. Comparison of the average effect of the year and cultivar on seed filling speed

Year	Cultivar	Seed Filling Speed ($mg.day^{-1}$)
First Year	Sirvan	1.24±0.02
	Mihan	1.24±0.02
Second Year	Sirvan	1.23±0.02
	Mihan	1.26±0.02
LSD (5%)		0.01
LSD (1%)		0.01

The standard error of each treatment reported. The difference between two treatments is greater than or equal to the LSD number, it is significant, and it is smaller, it is non-significant

نتیجه گیری

برطبق نتایج بدست آمده از این پژوهش کاربرد دودآب می‌تواند اثرات مفیدی بر خصوصیات مورد بررسی گیاه گندم داشته باشد به گونه‌ای که صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، اجزای عملکرد (وزن هزار دانه، دانه در سنبله)، طول پر شدن دانه و سرعت پرشدن دانه تحت تاثیر محلول‌پاشی دودآب قرار گرفته‌است. ترکیبات زیستی فعال دودآب که بعنوان خانواده جدید تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی شناخته می‌شوند دارای اثرات شبه هورمونی است به نظر می‌رسد با تامین آسمیلات‌های مورد نیاز گیاه موجب افزایش تمامی صفات مورد بررسی در این پژوهش شد. بر طبق نتایج بدست آمده موثرترین زمان استفاده از دودآب در این مطالعه محلول‌پاشی در مرحله برجستگی دوگانه +

تشکیل گره دوم است که موجب بهبودی عملکرد گندم (در رقم میهن و سیروان به ترتیب با ۱۳ و ۲۳ درصد افزایش نسبت به شاهد) و شاخص برداشت (در رقم میهن و سیروان به ترتیب با ۱۶ و ۱۱ درصد افزایش نسبت به شاهد) شد و نشان می‌دهد دودآب پتانسیل لازم را برای افزایش کمیت گندم دارد. در صورت تأیید نتایج این پژوهش در تحقیقات دیگر می‌توان استفاده از دودآب را به عنوان یک فناوری کاربردی و کم هزینه بخصوص برای کشاورزان فقیر در کشورهای در حال توسعه توصیه کرد.

سپاس گزاری

شرایط اجرای پژوهش حاضر توسط پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی فراهم شده‌است، بدین‌وسیله از حمایت‌های دانشگاه رازی سپاسگزاری می‌شود.

Reference

Asgari, K., Dastan, S. Ajamnorouzi, H. & Ghanbari Malidre, A. (2013). Effect of grain growth components and yield components on grain yield of wheat cultivarsin the weather conditions of Golestan province, *Quarterly Journal of Plant Agronomy Science*, 6(2), 33-41.

Alizadeh, O., Jafari Haghighi, B. & Ordookhani, K. (2010). The effects of exogenous cytokinin application on sink size in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *African Journal of Agricultural Research*, 5(21), 2893-2898.

Aremu, O., Plackova, L. Novak, O. Strik, W.A. Dolezal, K. & VanStaden, J. (2016). Cytokinin profiles in ex vitro acclimatized Eucomisautumnalis plants pre-treated with smoke-derived karrikinolide. *Plant Cell Reports*, 35, 227-238.

De Lange, J.H. & Boucher, C. (1990). Autecological studies on *Audouinia Capitata* (Bruniaceae). I. Plant-derived smoke as aseed germination cue. *South African Journal of Botanv*, 56,700-703.

Demir, I., Ozuaydin, F. Yasar, J. & VanStaden, J. (2012). Effect of smoke-derived butenolide priming treatment on pepper and salvia seeds in relation to transplant quality and catalase activity. *South African Journal of Biotechnology*, 78, 83-87.

Flematti, G.R., Ghisalberti, E.L. Dixon, K.W. & Trengrove, R.D. (2009). Identification of alkyl substituted 2H-furo [2,3-c] pyran-2-ones as germination stimulants present in smoke. *Journal of Agricutural and food chemistry*, 57, 9475–9480.

Gholami, B., Noroozi Shahri, F. Mondani, F. Jalali Honarmand, S. & saeedi, M. (2017). Evaluation of some growth indices and grain yield in the wheat in response to urea fertilizer and smoke-water. *Agronomy*, 20(3), 609-626. [In Persian]

Govindaraj, M., Masilamani, P. Alex Albert, V. & Bhaskaran, M. (2016). Plant derived smoke stimulation for seed germination and enhancement of crop growth: A review. *Agricultural Reviews*, 37(2), 87-100.

Gupta, P.K., Mir, R.R. Mohan, A. & Kumar, J. (2008). Wheat genomics: present status and future prospects. International Journal of plant Genomic, Volume 2008, 36 p.

Hosseini, M. S., Salek Mearaji, H. Tavakoli, A. & Fotovat, R. (2022). The influence of foliar application of cytokinin on wheat cultivars' physiological traits and yield. *Journal of Crop Science Research in Arid Regions*, 4(1), 1-17. [In Persia]

Iqbal, M., Asif, S. Ilyas, N. Hassan, F. Raja, N.I. Hussain, M. Ejaz, M. & Saira, H. (2018). Smoke produced from plants waste material elicits growth of wheat (*Triticum aestivum L.*) by improving morphological, physiological and biochemical activity. *Biotechnology Reports*, 17, 35-44.

Jain, N., Stirk, W.A. & Van Staden, J. (2008). Cytokinin-and auxin-like activity of a butenolide isolated from plant-derived smoke. *South African Journal of Botany*, 74, 327-331.

Jalali Honarmand, S., Rasaei, A. Saeidi, M. Ghobadi, M. & Khanizadeh, S. (2016). Impact of foliar application of growth hormones at stages of yield components formation of two wheat cultivars under dry-land conditions. *Crop Physiology Journal*, 8(29), 43-57. [In Persian]

Karam, F., Lahoud, R. Masaad, R. Kabalan, R. Breidi, J. Chalita, C. & Rouphael, Y. (2007). Evapotranspiration, seed yield and water use efficiency of drip irrigated sunflower under full and deficit irrigation conditions. *Agricultural Water Management*, 90(3), 213-223.

Khatoon, A., Rehman, SH.U. Aslam, M.M. Jamil, M. & Komatsu, S. (2020). Plant-derived smoke affects biochemical mechanism on plant growth and seed germination. International Journal of Molecular Sciences. 21: 7760: 1-25.

Liu, T., Hou G.G. Cardin, M. Marquart, L. & Dubat, A. (2017). Quality attributes of whole-wheat flour tortillas with sprouted whole-wheat flour substitution. *Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie*, 77, 1–7.

Majidiian, M., Ghalavand, A. Karimian, N. & Kamgar Haghighi, A.A. (2008). Effects of moisture stress, nitrogen fertilizer, Manure and integrated nitrogen and manure fertilizer on yield, yield components and water use efficiency of SC704 corn. *Journal Science Technology Agriculture Natural Resource*, 45, 417-432.

Moradi, J. (2018). The effect of using water vapor and nitrogen fertilizer on ecological and physiological characteristics of irrigated wheat. M.Sc. Thesis of Agronomy. Razi University of Kermanshah. Kermanshah. [In Persian]

Mosanna, R. & Khalilvand Behrouzyar, E. (2015). Zinc nano-chelate foliar and soil application on maize (*Zea mays* L.) physiological response at different growth stages. *International Journal of Advanced Life Sciences*, 8(1), 85-89.

Mousavi, S.S., Abdullahi, M.R. Mazaheri Qaqeb, H.A. & Mehrshad, B. (2014). The effect of aqueous extract of plant smoke on some above-ground and below-ground traits of winter wheat. *Plant production (agricultural scientific journal)*, 37(1), 81-91. [In Persian]

Nelson, D.C., Flematti, G.R. Ghisalberti, E.L. Dixon, K. & Smith, S.M. (2012). Regulation of Seed Germination and Seedling Growth by Chemical Signals from Burning Vegetation. Annual Review of Plant Biology. 63. 107–130.

Nelson, D.C., Riseborough, J.A. Flematti, G.R. Stevens, J. Ghisalberti, E.L. Dixon, K.W. & Smith, S.M. (2009). Karrikins Discovered in Smoke Trigger Arabidopsis Seed Germination by a Mechanism Requiring Gibberellic Acid Synthesis and Light. Plant Physiologist. 149. 863–873.

Nelson, D.C., Scaffidi, A. Dun, E.A. Waters, M.T. Flematti, G.R. Dixon, K.W. Beveridge, C.A. Ghisalberti, E.L. & Smith, S.M. (2011). F-box protein MAX2 has dual roles in karrikin and strigolactone signaling in Arabidopsis thaliana. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 108. 8897–8902.

Nguyen, H.N., Perry, L. Kisiala, A. Olechowski, H & Emery, R.N. (2020). Cytokinin activity during early kernel development corresponds positively with yield potential and later stage ABA accumulation in field-grown wheat (*Triticum aestivum* L.). Planta, 252(5): 1-16.

Noroozi Shahri, F., Gholami, B. Jalali Honarmand, S. Mondani, F. & Saeedi, M. (2017). The effect of smoke-water and nitrogen fertilizer on wheat (*Triticum aestivum* L.) ecophysiological traits. *Iranian Agricultural Research Journal*, 16(2), 459-475. [In Persian]

Pepperman, A.B. & Cutler, H.G. (1991). Plant-growth-inhibiting properties of some 5- alkoxy-3-methyl 2(5h)-furanones related to strigol. *ACS Symposium Series*, 443, 278-287.

Saeidi, M., Moradi, F. Ahmadi, A. Poostini, K. & Najafian, G. (2006). Effect of exogenous application of ABA and CK at different stages of grain development on some physiological aspects of source and sink relationship in two bread wheat cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 8(3), 268-282. [In Persia]

Smith, S.M., & Li, J.Y. (2014). Signalling and responses to strigolactones and karrikins. Current Opinion in Plant Biology. 21. 23–29.

Takei, K., Ueda, N. Aok, K. Kuromori, T. Hirayama, T. Shinozaki, K. Yamaya, T. & Sakakibara, H. (2004). AtIPT3 is a key determinant of nitrate-dependent cytokinin biosynthesis in Arabidopsis. *Plant and Cell Physiology*, 45, 1053-1062.

VanStaden, J., Jager, A.K. Light, M.E. Burger, B.V. (2004). Isolation of the major germination cue from plant-derived smoke. *South African Journal of Botany*, 70(4), 654-659.

Wang, L., Waters, M.T. & Smith, S.M. (2018). Karrikin-KAI2 signalling provides Arabidopsis seeds with tolerance to abiotic stress and inhibits germination under conditions unfavourable to seedling establishment. New Phytologist. 219. 605–618.

Zhang, H., Chen, T. Wang, Z. Yang, J.C. & Zhang, J.(2010). Involvement of cytokinins in the grain filling of rice under alternate wetting and drying irrigation. *Journal of Experimental Botany*, 61(13), 3719-3733.