Plant Prod., 2026, 49(3), 429- 445
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2026.50829.2297
Received: 11 October 2025
Accepted: 14 February 2026

Plant Productions

Research Article

Effect of foliar application of smoke water on yield and seed germination of maize (*Zea mays* L.) in Kermanshah

Maryam Najafi [1], Hamidreza Chaghazardi [1*], Mahmud Khoramivafa [1], Saeid Jalali Honarmand [1]

1. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran

Citation: Najafi, M., Chaghazardi, H., Khoramivafa, M., & Honarmand, S.H. (2026). Effect of foliar application of smoke water on yield and seed germination of maize (*Zea mays* L.) in Kermanshah. *Plant Productions*, 49(3), 429- 445.

Abstract

Introduction

Maize (*Zea mays* L.) is one of the most important crops globally, for human consumption and livestock feed as well as production of bioethanol. The intensive use of synthetic fertilizers for increasing the yields of this crop has raised serious concerns regarding soil degradation, environmental pollution, and sustainability of agricultural. To secure sufficient food for the growing global population sustainable agriculture practices are increasingly required. We investigate the application of smoke water, a cheap and ecofriendly plant growth promoter consisting of high amounts of plant growth-promoting compounds such as karrikinolides. This study investigates the impact of foliar-applied smoke water on the growth and agronomic performance of maize under field conditions.

Materials and Methods

Field experiments were conducted during growing season of 2021 at the Research Farm of Razi University, Kermanshah, Iran. Research Farm of Razi University is located in a Mediterranean semi-arid region with mean annual rainfall of 455 mm, mean annual temperature of 13.4°C and altitude of 1,320 m above sea level. This experiment was carried out as 3 × 3 + 1 (control) factorial arranged in a randomized complete block design (RCBD) with three replications. Three different concentrations of the smoke water (1:1000, 2:1000, and 3:1000 v/v) were applied to three different stages of growth of maize (six-leaf stage, BBCH code 16; tasseling stage, BBCH code 51; and silking stage (BBCH 61). Distilled water was applied to the control plots. Smoke water was prepared from equal proportions of wheat straw and alfalfa residues. Foliar applications were carried out during the early morning using a calibrated backpack sprayer. The maize hybrid ‘Simon’ was sown on June 10, 2021. Appropriate pollination management was implemented using maternal (PL62) and paternal (PL97) lines. Each experimental plot consisted

* **Corresponding Author:** Hamidreza Chaghazardi
E-mail: h.chaghazardi@razi.ac.ir

© 2026 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.

of six rows, with 75 cm spacing between rows and 17–20 cm spacing between plants within rows. Irrigation was initially provided at weekly intervals during the early stages of crop development and was subsequently adjusted to every 10 days according to crop requirements. At physiological maturity, representative plant samples were collected to assess yield, yield components, grain quality, morphological characteristics, and germination-related traits. Measurements included biological yield, grain yield, yield components, crude protein content, harvest index, and selected morphological and seed germination characteristics.

Results and Discussion

Smoke-water application significantly influenced the majority of the measured traits compared with the control. The application of smoke water at a concentration of 2:1000 (v/v) at the tasseling stage (BBCH 51) resulted in the highest grain yield (7973.1 g m^{-2}), representing a 73.6% increase over the control (4592.8 g m^{-2}). This treatment also produced the highest values for several yield components, including the number of seeds per cob (335.9), cob weight (120.5 g), and biological yield (3482 g m^{-2}), corresponding to increases of 81.2%, 68.4%, and 36.6%, respectively, compared with the control. Application of smoke water at 2:1000 during the six-leaf stage (BBCH 16) resulted in the highest cob core weight (26.14 g) and harvest index (26.08%). In contrast, the 3:1000 concentration applied at the same growth stage produced the highest crude protein content (11.08%) and plant height (166.6 cm). Regarding seed germination characteristics, application of 3:1000 smoke water at the silking stage (BBCH 61) resulted in the greatest germination rate, root length (6.65 mm), and seedling vigor index, with these parameters increasing by approximately 3% relative to the control. Notably, all smoke-water treatments increased the germination percentage to 100%, compared with 96.66% in the control; however, no significant differences were observed among smoke-water concentrations, suggesting a consistent stimulatory effect of smoke water on seed germination. The number of cobs per plant was not significantly affected by smoke-water application, indicating that this trait may be relatively stable and strongly influenced by genetic factors. Morphological characteristics were also affected by smoke-water concentration and application timing. The 3:1000 concentration applied at the six-leaf stage (BBCH 16) resulted in the greatest plant height and cob core diameter (27.13 mm). In contrast, cob length did not differ significantly among treatments, suggesting that this trait may be predominantly determined by genetic factors and is less responsive to foliar smoke-water application.

Conclusion

Results indicated that foliar application of smoke water can significantly enhance various agronomic traits as well as improve seed quality in maize. The highest values for grain and biological yields, number of seeds per cob and cob weight were obtained with the 2:1000 (v/v) concentration of smoke water, applied at the tasseling stage (BBCH 51). The treatment with a 3:1000 concentration of smoke water at silking improved several germination-related traits of maize, including root length and seedling vigor. Overall, smoke water shows potential as an inexpensive and eco-friendly biostimulant for improving maize productivity and seed quality under semi-arid conditions. Further studies are needed to optimize its concentration and application timing under different environmental conditions.

Keywords: Growth stages, Harvest index, Plant height, Root length, Seed quality, Seed vigor

تولیدات گیاهی، ۱٤۰۵، ٤۹(۳)، ٤۲۹-٤٤۵
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2026.50829.2297
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۲۵

تولیدات گیاهی
مقاله پژوهشی

اثر محلول‌پاشی دودآب بر عملکرد و جوانه‌زنی ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.) در کرمانشاه

مریم نجفی[۱]، حمیدرضا چقازردی[۱*]، محمود خرمی وفا[۱]، سعید جلالی هنرمند[۱]

۱- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

چکیده

ذرت (*Zea mays* L.) به عنوان یکی از سه غلهٔ اصلی جهان، نقش اساسی در تأمین غذای انسان، خوراک دام و تولید سوخت‌های زیستی دارد. یکی از چالش‌های مهم در تولید ذرت، وابستگی شدید به کودهای شیمیایی است که استفاده بی‌رویه از آن‌ها موجب آسیب به سلامت خاک، تخریب محیط‌زیست و کاهش کیفیت محصولات می‌شود. از این رو، استفاده از مواد طبیعی و کم هزینه مانند دودآب به عنوان جایگزینی نوآورانه و دوست‌دار محیط‌زیست در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. این پژوهش با هدف بررسی اثر غلظت‌ها و زمان‌های مختلف محلول‌پاشی دودآب بر عملکرد دانه، اجزای عملکرد و شاخص‌های جوانه‌زنی ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.) در سال زراعی ۱٤۰۱ در مزرعه پژوهشی دانشگاه رازی کرمانشاه انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل و با سه غلظت دودآب (۱، ۲ و ۳ در هزار، حجمی/حجمی) و سه مرحله رشدی (٦ برگی، گل تاجی، کاکل‌دهی) به اضافه شاهد، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. صفات اندازه‌گیری شده شامل عملکرد دانه، تعداد دانه در بلال، وزن بلال، عملکرد زیستی، وزن صد دانه، درصد پروتئین، شاخص برداشت، ارتفاع بوته، قطر بلال و شاخص‌های جوانه‌زنی (درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، شاخص بنیه گیاهچه) بودند. نتایج نشان داد که محلول‌پاشی دودآب با غلظت ۲:۱۰۰۰ در مرحله گل تاجی باعث بهبود قابل توجهی در عملکرد دانه، تعداد دانه در بلال، وزن بلال و عملکرد زیستی ذرت شد. به‌طور ویژه، عملکرد دانه در این تیمار به ۷۹۷۳ کیلوگرم بر هکتار رسید که نسبت به شاهد (٤۵۹۲ کیلوگرم بر هکتار) افزایشی معادل ۷۳/٦ درصد داشت. همچنین تعداد دانه در بلال (۳۳۵ دانه)، وزن بلال (۱۲۰ گرم) و عملکرد زیستی (۳٤۸۲۲ گرم بر مترمربع) نیز به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. در غلظت ۳:۱۰۰۰ و در مرحله کاکل‌دهی، سرعت جوانه‌زنی و طول ریشه‌چه بهبود یافت؛ به ویژه طول ریشه‌چه به ٦/٦۵ میلی‌متر رسید که نسبت به شاهد افزایش چشمگیری داشت. این تیمار همچنین شاخص بنیه گیاهچه را حدود ۳ درصد نسبت به شاهد افزایش داد که نشان‌دهندهٔ بهبود کیفیت بذر و قابلیت استقرار گیاه در مزرعه بود. این روش نه تنها به ارتقای کیفیت و کارایی محصول کمک می‌کند، بلکه با هزینه کم و کاهش وابستگی به کودهای شیمیایی، راه‌حلی پایدار برای تولید ذرت ارائه می‌دهد. استفاده از دودآب می‌تواند به عنوان بخشی از راهبردهای کشاورزی پایدار، به ویژه در مناطق نیمه‌خشک مانند

نویسنده مسئول: حمیدرضا چقازردی
رایانامه: h.chaghazardi@razi.ac.ir

کرمانشاه، برای افزایش بهره‌وری و تولید بذرهای باکیفیت به کار رود. این نتایج بر لزوم انجام تحقیقات بیشتر برای بهینه‌سازی غلظت و زمان‌بندی استفاده از دودآب در سایر محصولات زراعی و شرایط اقلیمی مختلف تأکید می‌کند.

کلید واژه‌ها: ارتفاع بوته، شاخص بنیه، شاخص برداشت، طول ریشه‌چه، کیفیت بذر، مراحل رشدی.

مقدمه

ذرت (*Zea mays* L.)، سومین محصول مهم غلات جهان، به دلیل استفاده گسترده از کودهای شیمیایی برای تأمین نیازهای غذایی، با چالش‌هایی مانند تخریب محیط‌زیست و کاهش کیفیت محصول مواجه است. این محصول برای تأمین غذا، خوراک دام و بیواتانول کشت می‌شود و سطح زیر کشت آن در دهه‌های اخیر افزایش یافته است، به‌طوری‌که در سال ۲۰۲۰ حدود ۱۴ درصد اراضی زراعی جهان را شامل شده است (Mupambwa and Mnkeni, 2018). برای تأمین نیاز جمعیت ۹/۶ میلیاردی پیش‌بینی‌شده در سال ۲۰۵۰، تولیدات کشاورزی باید ۷۰ درصد افزایش یابد. با این حال، به دلیل نگرانی‌های زیست‌محیطی و سلامت، کشاورزی به سمت اهداف زیست‌محیطی و پایداری اکوسیستم‌ها سوق یافته است (Shah and Wu, 2019).

یکی از روش‌های مقرون به صرفه و سازگار با محیط‌زیست، استفاده از دودآب است که از سوختن منابع گیاهی مانند چوب و گیاهان به‌دست می‌آید. دودآب حاوی حدود ۴۰۰۰ ترکیب شیمیایی است که از میان آن‌ها کاریکین‌ها به عنوان محرک‌های رشد گیاه شناخته می‌شوند. این ترکیبات به بهبود فرآیندهای جوانه‌زنی، افزایش عملکرد و ارتقای کیفیت محصول کمک می‌کنند. این ترکیبات، که به‌صورت محلول آبی یا آئروسل استفاده می‌شوند، به عنوان تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی شناخته می‌شوند (Govindaraj *et al.*, 2016).

مطالعات نشان داده‌اند که دودآب با غلظت‌های مختلف رشد ریشه، ساقه و جوانه‌زنی را در گیاهانی مانند هویج وحشی، ذرت، کلزا و خار مریم بهبود می‌بخشد. به عنوان مثال، دودآب با غلظت ۱:۵۰۰ طول ساقه و ریشه را افزایش داد و درصد جوانه‌زنی ذرت را تا ۹۳ درصد بهبود بخشید (Aslam *et al.*, 2017).

در شرایط تنش شوری، پرایمینگ بذر برنج با دودآب و کاریکین‌ها موجب افزایش وزن تر و خشک، محتوای کلروفیل، کاروتنوئیدهای برگ، و همچنین پروتئین و نیتروژن دانه شد و به تعدیل کاهش این ویژگی‌ها در شرایط تنش شوری کمک کرد. علاوه بر این، دودآب در گیاهانی همچون گوجه‌فرنگی، بامیه، گندم و پاپایا باعث بهبود رشد مورفولوژیکی، افزایش تعداد برگ، ضخامت ساقه، عملکرد دانه و تجمع نیتروژن در گیاهان شد (Kulkarni *et al.*, 2008).

دودآب محتوای پرولین، رنگدانه‌های فتوسنتزی، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و عناصر غذایی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) را در گیاهانی مانند برنج، ذرت، گندم و جاتروفا افزایش داد (Malook *et al.*, 2017). در گندم، ترکیب دودآب (۱ درصد) و کود اوره (۳۶۰ کیلوگرم در هکتار) بیشترین عملکرد دانه در زیره سبز (۹۲۲ گرم در متر مربع) را داشت (Gholami-Ganja *et al.*, 2015).

این مطالعه برای نخستین بار اثر توأم غلظت و زمان کاربرد دودآب را بر ذرت هیبریدی دانه‌ای در شرایط مزرعه‌ای بررسی می‌کند. در این پژوهش، با بهره‌گیری از ترکیبات زیست‌فعال موجود در دودآب، به ویژه کاریکین‌ها، تلاش شده است تا بهینه‌ترین غلظت و زمان محلول‌پاشی برای بهبود جوانه‌زنی، رشد رویشی و عملکرد دانه ذرت شناسایی شود. این رویکرد نوین نه تنها می‌تواند وابستگی به کودهای شیمیایی را کاهش دهد، بلکه گامی مؤثر در جهت تحقق کشاورزی پایدار و تولید محصولی با کیفیت و سازگار با محیط‌زیست به شمار می‌آید.

هدف این پژوهش، بررسی اثر غلظت‌ها و زمان‌های مختلف محلول‌پاشی دودآب بر عملکرد دانه، اجزای عملکرد

و شاخص‌های جوانه‌زنی ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.) است تا راهکاری کم‌هزینه، پایدار و دوستدار محیط‌زیست برای بهبود تولید این محصول راهبردی ارائه شود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۱ در مزرعه پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه (طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۲۴ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی، ارتفاع ۱۳۲۰ متر از سطح دریا) با میانگین بارندگی سالانه ۴۵۵ میلی‌متر و میانگین دمای ۱۳/۴ درجه سانتی‌گراد (آب و هوای معتدل و نیمه‌خشک مدیترانه‌ای بر اساس روش آمبرژه) اجرا شد (شکل‌های ۱ و ۲). ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در جدول ۱ ارائه شده است.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل (۳×۳) به‌اضافه شاهد در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورها شامل غلظت دودآب (۱:۱۰۰۰، ۲:۱۰۰۰، ۳:۱۰۰۰ v/v) و زمان محلول‌پاشی در سه مرحله رشدی ذرت (۶ برگی: BBCH 16، گل تاجی: BBCH 51، کاکل‌دهی: BBCH 61) بودند، و تیمار شاهد محلول‌پاشی با آب مقطر بود. هر کرت شامل شش ردیف (چهار ردیف مادری و دو ردیف پدری) با فاصله ۷۵ سانتی‌متر بود. دودآب با استفاده از دستگاه استخراج ترکیبات بیواکتیو دود (شکل ۳) از سوختن کاه گندم، شاخه و برگ خشک یونجه (به نسبت مساوی) و عبور دود از آب مقطر تهیه شد (Noroozi Shahri *et al.*, 2018). محلول پایه پس از فیلتراسیون با کاغذ صافی به‌دست آمد و در غلظت‌های موردنظر رقیق شد. عملیات محلول‌پاشی دودآب بر روی گیاهان با استفاده از سمپاش پشتی شارژی در ساعات ۷ تا ۸ صبح در شرایط بدون باد اعمال شد. ویژگی‌های دودآب استفاده شده در آزمایش در جدول ۲ نشان داده شده است.

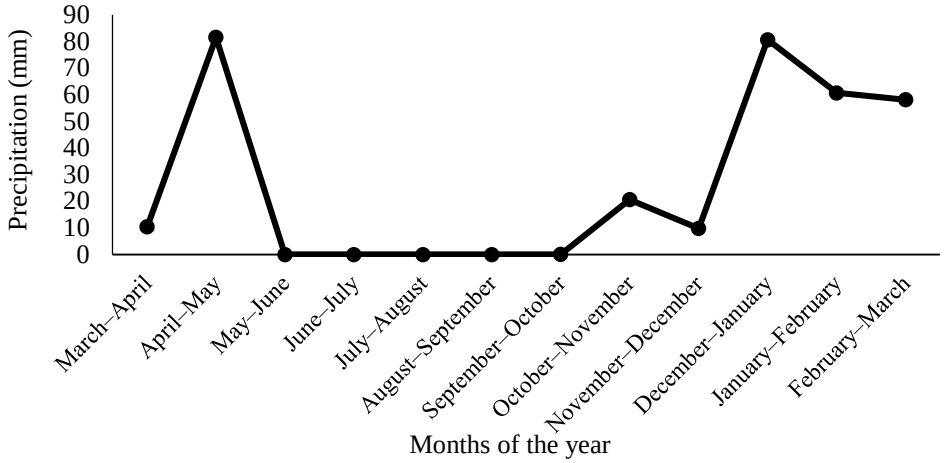
آماده‌سازی زمین شامل شخم با گاوآهن و دیسک‌زنی بود. بذور هیبرید ذرت (رقم سیمون) از لاین‌های مادری (PL62) و پدری (PL97) تهیه شد. کاشت در تاریخ ۲۰ خرداد ۱۴۰۱ با دستگاه پنوماتیک چهار ردیفه در عمق پنج سانتی‌متری و فاصله بوته‌ها ۱۷ تا ۲۰ سانتی‌متر انجام شد. لاین‌های پدری با تأخیر زمانی پس از سبز شدن لاین مادری کشت شدند. کنترل علف‌های هرز، آبیاری هفتگی (بارانی) تا ماه آخر (هر ۱۰ روز) و تاسل‌کشی لاین‌های مادری قبل از گرده‌افشانی انجام شد. پس از گرده‌افشانی، بوته‌های پدری حذف شدند.

برداشت در مرحله بلوغ فیزیولوژیک (ظاهر شدن لایه سیاه در محل اتصال دانه به چوب بلال) از سطح یک متر مربع انجام شد و نمونه‌ها برای اندازه‌گیری صفات به آزمایشگاه منتقل شدند. صفات اندازه‌گیری شده در این مطالعه شامل عملکرد دانه، تعداد دانه در بلال، وزن بلال، عملکرد زیستی، وزن صد دانه، درصد و عملکرد پروتئین دانه (با استفاده از روش کجلدال، (Mohsin *et al.*, 2014)، شاخص برداشت، ارتفاع بوته، قطر بلال و شاخص‌های جوانه‌زنی شامل درصد (Weston, 2003) و سرعت جوانه‌زنی (Aveling, 2014)، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه (Aveling, 2014)، شاخص بنیه گیاهچه (Aveling, 2014) بودند. این صفات با استفاده از ابزارهای دقیق مانند ترازو دیجیتال، کولیس دیجیتال و خط کش اندازه‌گیری و ثبت شدند. داده‌ها با استفاده از طرح فاکتوریل در مقابل شاهد تجزیه و تحلیل شد و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال خطای یک و پنج درصد انجام گرفت.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر

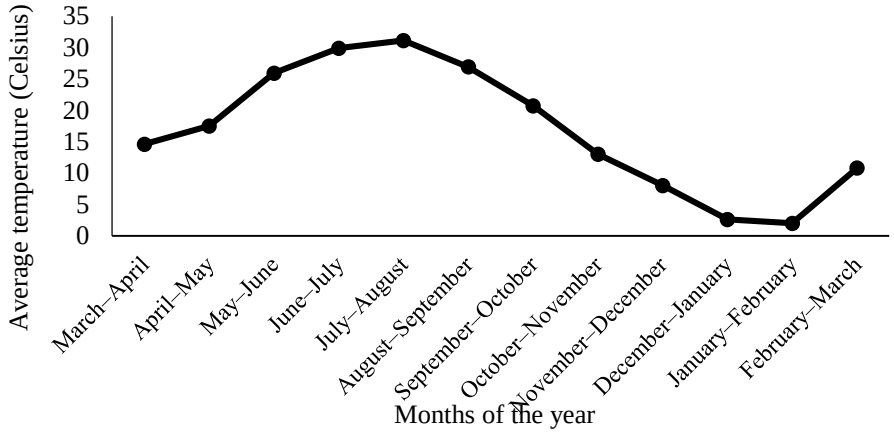
Table 1. Physical and chemical properties of soil at a depth of 0 to 30 cm

EC (dS m^{-1})	pH	Soil texture	Total Nitrogen	Organic matter	Available Phosphorus	Available Potassium
			%		mg kg^{-1}	
0.86	7.75	clay	0.12	1.16	20.6	440



شکل ۱- بارش ماهانه استان کرمانشاه

Figure 1. Monthly precipitation in Kermanshah province



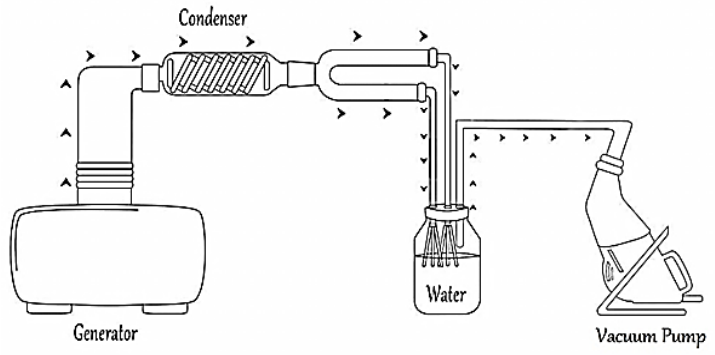
شکل ۲- متوسط دمای ماهانه استان کرمانشاه

Figure 2. Average monthly temperature of Kermanshah province

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی دودآب گیاهی

Table 2. Chemical properties of plant-derived smoke-water (Akbarzade Sharafi *et al*., 2024b**)**

Characteristic	ویژگی	Value	Characteristic	ویژگی	Value
Phosphorus	فسفر	110 mg l^{-1}	Fructose	فروکتوز	25 mg l^{-1}
Potassium	پتاسیم	200 mg l^{-1}	Glucose	گلوکز	71 mg l^{-1}
Calcium	کلسیم	2.4 mg l^{-1}	Tartaric acid	اسید تارتاریک	720 mg l^{-1}
Magnesium	منیزیم	0.53 mg l^{-1}	Nitrate	نیترات	2.96 mg l^{-1}
Manganese	منگنز	0.03 mg l^{-1}	Sulfate	سولفات	309.8 mg l^{-1}
Zinc	روی	0.52 mg l^{-1}	Ammonium	آمونیوم	6135 mg l^{-1}
Boron	بور	6.51 mg l^{-1}	pH	-	4.6
Fluorine	فلوئور	85.2 mg l^{-1}	EC	هدایت الکتریکی	2.17 mS cm^{-1}
Chlorine	کلر	12.1 mg l^{-1}	Free amino acids	آمینواسیدهای آزاد	0.392 µmol ml^{-1}
Total phenols	فنول کل	1471 mg l^{-1}	Soluble carbohydrates	کربوهیدرات‌های محلول	1.98%
Sucrose	ساکارز	42 mg l^{-1}	Ethylene	اتیلن	1.7 mole C_2H_4 ml^{-1} SW



شکل ۳- دیاگرام دستگاه استخراج ترکیبات بیواکتیو دود

Figure 3. Diagram of the smoke bioactive compound's extraction device (Noroozi Shahri *et al.*, 2018)

نتایج و بحث

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر فاکتوریل در مقایسه با شاهد بر عملکرد دانه ذرت در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین تیمارها حاکی از برتری تیمار دودآب با غلظت ۲:۱۰۰۰ (حجمی/حجمی) در مرحله گل تاجی بود که عملکرد دانه را به ۷۹۷۳ کیلوگرم بر هکتار رساند، در حالی که شاهد ۴۵۹۲ کیلوگرم بر هکتار عملکرد داشت (جدول ۴). دودآب به دلیل دارا بودن مواد مغذی مانند نیتروژن و عملکرد مشابه هورمون‌های گیاهی به عنوان تنظیم‌کننده رشد، با افزایش سرعت فتوسنتز به بهبود استقرار و عملکرد دانه کمک می‌کند (Jamil *et al.*, 2020). همچنین مرادی و همکاران (۱۳۹۸) افزایش ۴۵ درصدی عملکرد دانه گندم را با دودآب (غلظت ۱:۵۰۰) گزارش کردند. همچنین، تواضعی و همکاران (Tavazoee *et al.*, 2024a) اثر معنی‌دار دودآب (۱ لیتر در هکتار) بر عملکرد نخود را تأیید کردند. غلامی و همکاران (Gholami *et al.*, 2018) و نوروزی شهری و همکاران (Noroozi Shahri *et al.*, 2021) نیز نشان دادند که دودآب غلیظ‌تر همراه با کود اوره عملکرد دانه را در محصولات مختلف افزایش داد. این یافته‌ها نشان‌دهنده پتانسیل دودآب در بهبود عملکرد دانه از طریق تقویت فرآیندهای فیزیولوژیک و تأمین مواد مغذی است.

تعداد بلال، وزن بلال و چوب بلال در بوته

تعداد بلال در بوته تحت اثر فاکتوریل در مقایسه با شاهد قرار نگرفت (جدول ۳). در تجزیه واریانس صفت وزن بلال در بوته و وزن چوب بلال، اثر فاکتوریل در مقایسه با شاهد به ترتیب در سطح احتمال خطای یک و پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج نشان داد محلول پاشی دودآب با غلظت ۲:۱۰۰۰ (حجمی/حجمی) و در مرحله گل تاجی با میانگین ۱۲۰/۵۰ گرم بیشترین اثر را بر وزن بلال در بوته داشت و نسبت به سایر غلظت‌های دودآب برتری داشت. کمترین مقدار وزن بلال در تیمار شاهد با میانگین ۷۱/۵۴ گرم به دست آمد (جدول ۴). همچنین غلظت ۲:۱۰۰۰ (حجمی/حجمی) در مرحله ۶ برگی با میانگین ۲۶/۱۴ گرم با عث افزایش وزن چوب بلال شد و کمترین مقدار وزن چوب بلال در تیمار شاهد با میانگین ۲۳/۷۳ گرم به دست آمد (جدول ۴).

تعداد دانه در بلال

اثر فاکتوریل در مقایسه با شاهد بر صفت تعداد دانه در بلال ذرت در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که محلول‌پاشی دودآب با غلظت ۲:۱۰۰۰ (حجمی/حجمی) در مرحله رشد گل تاجی با میانگین ۳۳۵/۹۵ دانه در بلال، بیشترین اثر را بر تعداد دانه در بلال داشت، در حالی که تیمار شاهد با میانگین ۱۸۵/۳۴ دانه، کمترین مقدار را نشان داد. کمبود نیتروژن در این مرحله رشد،

عملکرد را کاهش می‌دهد و تعداد ردیف دانه در بلال، هرچند صفتی ژنتیکی است، کاهش می‌یابد. پتانسیل تعداد دانه در هر ردیف تقریباً یک هفته پیش از ظهور کاکل تعیین شده و به شدت تحت اثر تنش‌های محیطی قرار می‌گیرد (Mourtzinis *et al.*, 2013). محلول‌پاشی دودآب در مرحله گل تاجی با کاهش اثرات تنش‌های محیطی، تعداد دانه در بلال را افزایش می‌دهد.

تحقیقات نشان داده‌اند که فیتوهورمون‌های گیاهی مانند سیتوکنین، اکسین و جیبرلین نقش کلیدی در گل‌دهی و تنظیم ناباروری سنبلچه‌ها دارند (Ghorbani Javid *et al.*, 2011). دودآب به دلیل دارا بودن خواص فیتوهورمونی، با افزایش گلچه‌های بارور و جلوگیری از سقط آن‌ها، تعداد دانه در سنبله را افزایش می‌دهد (Aremu *et al.*, 2016). مطالعات دیگر نیز نشان داده‌اند که کاربرد دودآب با غلظت یک درصد بر تعداد دانه گندم (Moradi, 2019) و با دوز یک لیتر در هکتار در دو مرحله رشد بر تعداد دانه نخود (Tavazoee *et al.*, 2024b) اثر معنی‌دار دارد. همچنین مشاهده شده است که دودآب به دلیل تأمین نیتروژن در مرحله ظهور سنبله، از مرگ گلچه‌ها جلوگیری کرده و تعداد دانه و عملکرد گندم را افزایش می‌دهد (Akbarzade Sharafi *et al.*, 2024).

عملکرد زیستی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، صفت عملکرد زیستی ذرت تحت اثر فاکتوریل در مقایسه با شاهد قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که محلول‌پاشی دودآب با غلظت ۲:۱۰۰۰ (حجمی/حجمی) در مرحله گل تاجی با میانگین ۳۴۸۲۲ گرم بر مترمربع، بیشترین عملکرد زیستی را داشت، در حالی که تیمار شاهد با میانگین ۲۵۴۸۶ گرم بر مترمربع، کمترین مقدار را نشان داد. این نشان‌دهنده افزایش ۳۶ درصدی عملکرد زیستی در تیمار دودآب نسبت به شاهد و برتری آن نسبت به سایر غلظت‌ها بود. مطالعات متعدد نشان داده‌اند که دودآب با افزایش فتوسنتز، سبزی گیاه و فعالیت فیتوهورمون‌هایی مانند سیتوکنین، زیست‌توده گیاهان را افزایش می‌دهد (Demir *et al.*, 2012). دودآب باعث افزایش وزن خشک گندم (Aslam *et al.*, 2017) و سورگوم (Pirzada *et al.*, 2014) شد.

وزن صد دانه

تجزیه واریانس وزن صد دانه نشان داد که اثر فاکتوریل در مقایسه با شاهد در سطح احتمال خطای پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها حاکی از آن بود که محلول‌پاشی دودآب با غلظت ۲:۱۰۰۰ (حجمی/حجمی) در مرحله کاکل‌دهی وزن صد دانه را افزایش داد و با ۳۱/۶۶ گرم بیشترین اثر را داشت، که از نظر آماری با سایر غلظت‌ها و مراحل تفاوت معنی‌داری نداشت، اما نسبت به شاهد (۲۸/۶۶ گرم) برتری داشت (جدول ۴). تحقیقات روی برنج نشان داده‌اند که دودآب با افزایش تعداد برگ و عملکرد، از طریق ترکیبات فعال مانند کارکینولید، جذب نور و کلروفیل را بهبود می‌بخشد و در نتیجه فتوسنتز و وزن بذر را افزایش می‌دهد (Jamil *et al.*, 2014). همچنین کاربرد دودآب موجب افزایش وزن هزار دانه گندم شد (Moradi, 2019).

درصد و عملکرد پروتئین

اثر فاکتوریل در مقایسه با شاهد در سطح احتمال خطای یک درصد بر درصد پروتئین دانه ذرت معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که محلول‌پاشی دودآب با غلظت ۳:۱۰۰۰ (حجمی/حجمی) در مرحله ۶ برگی بیشترین درصد پروتئین را داشت و کمترین مقدار در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۴). دودآب با افزایش متابولیت‌های ثانویه، ترکیبات فنولیک با خواص آنتی‌اکسیدانی و پایداری غشا از طریق کاهش نشت الکترولیت و تولید رادیکال‌های آزاد، رشد و فتوسنتز را بهبود می‌بخشد (Aremu *et al.*, 2016). این ترکیبات، به ویژه بوتنولید، جذب مواد مغذی، بیوسنتز پروتئین، و پارامترهای بیوشیمیایی مانند رنگ‌دانه‌های

فتوسنتزی و نیتروژن کل را افزایش می‌دهند (Noroozi Shahri *et al.*, 2021). در یک مطالعه، دودآب همراه با نانو کود تیتانیوم باعث افزایش پروتئین در لوبیا شد (Rostami, 2021). در مورد عملکرد پروتئین، محلول‌پاشی دودآب با غلظت ۱:۱۰۰۰ (حجمی/حجمی) در مرحله ۶ برگی بیشترین عملکرد را داشت، که با غلظت‌های ۲:۱۰۰۰ (حجمی/حجمی) در مرحله کاکل‌دهی و ۳:۱۰۰ (حجمی/حجمی) در مرحله ۶ برگی تفاوت معنی‌داری نداشت، و کمترین عملکرد در شاهد ثبت شد (جدول ۴).

شاخص برداشت

شاخص برداشت ذرت تحت اثر فاکتوریل در مقایسه با شاهد در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که محلول‌پاشی دودآب با غلظت ۲:۱۰۰۰ (حجمی/حجمی) در مرحله ۶ برگی بیشترین شاخص برداشت (۲۶/۰۸ درصد) را داشت، که با غلظت ۳:۱۰۰۰ (حجمی/حجمی) در همان مرحله تفاوت معنی‌داری نداشت، در حالی که کمترین مقدار (۱۸/۰۲ درصد) در تیمار شاهد ثبت شد (جدول ۴). محلول‌پاشی دودآب باعث افزایش شاخص برداشت در گندم شد (Moosavi *et al.*, 2014). در مطالعه‌ای دیگر، اثر محلول‌پاشی دودآب در مراحل مختلف رشد بر شاخص برداشت گندم معنی‌دار بود (Akbarzade Sharafi *et al.*, 2024). همچنین دودآب با غلظت یک درصد باعث افزایش ۴۳ درصدی شاخص برداشت در بوته گندم شد (Noroozi Shahri *et al.*, 2021).

صفات مورفولوژیک

ارتفاع بوته

اثر فاکتوریل در مقایسه با شاهد در سطح احتمال خطای یک درصد بر ارتفاع بوته ذرت معنی‌دار بود (جدول ۵). محلول‌پاشی دودآب با غلظت ۳:۱۰۰۰ (حجمی/حجمی) در مرحله ۶ برگی با میانگین ۱۶۶/۶ سانتی‌متر بیشترین ارتفاع را داشت، در حالی که ارتفاع گیاه شاهد ۱۵۵/۳ سانتی‌متر بود (جدول ۶). دودآب با فعال‌سازی هورمون‌های جیبرلین و بوتنولید، کشش دیواره سلولی و رشد ساقه را افزایش می‌دهد (Wang *et al.*, 2017). مطالعه مشابه افزایش ۱۰/۶۷ درصدی ارتفاع گندم را گزارش کرد (Moradi, 2019).

طول و قطر بلال

تجزیه واریانس نشان داد که اثر فاکتوریل در مقایسه با شاهد بر طول بلال ذرت معنی‌دار نبود (جدول ۵). اثر فاکتوریل دودآب در مقابل شاهد در سطح یک درصد بر قطر بلال ذرت معنی‌دار بود (جدول ۵). محلول‌پاشی دودآب با غلظت ۲:۱۰۰۰ (حجمی/حجمی) در مرحله کاکل‌دهی بیشترین قطر بلال را داشت، در حالی که کمترین مقدار در شاهد ثبت شد (جدول ۶).

قطر چوب بلال

اثر فاکتوریل در مقایسه با شاهد در سطح احتمال خطای یک درصد بر قطر چوب بلال ذرت معنی‌دار بود (جدول ۵). محلول‌پاشی دودآب با غلظت ۳:۱۰۰۰ (حجمی/حجمی) در مرحله ۶ برگی با میانگین ۲۷/۱۳ میلی‌متر بیشترین قطر را داشت، که با غلظت ۲:۱۰۰۰ (حجمی/حجمی) در مرحله گل تاجی تفاوت معنی‌داری نداشت، در حالی که شاهد ۲۴/۵۰ میلی‌متر بود، نشان‌دهنده افزایش ۲/۶۳ میلی‌متری بود (جدول ۶).

۱

جدول ۳- تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد ذرت تحت اثر سطوح مختلف دودآب و مراحل رشدی

Table 3. Analysis of variance for the yield and yield components of maize under different levels of smoke-water and growth stages

S.O.V	df	Mean squares میانگین مربعات									
		Seed yield	Number of seeds in a cob	Cob weight	Number of cobs in a plant	Cob wood weight	100- Seed weight	Biological yield	Protein percentage	Protein yield	Harvest index
Block	2	6690 **	203.45 **	7.30 ^{ns}	0.00 ^{ns}	0.99 ^{ns}	0.53 ^{ns}	117820.6 **	0.05 ^{ns}	1.13 ^{ns}	0.40 ^{ns}
Treatment	9	353732 **	6136.78 **	745.36 **	0.00 ^{ns}	1.70 **	2.20 ^{ns}	2335827 **	8.01 **	325.73 **	19.85 **
Factorial vs. Control	1	1571210.5 **	11660.43 **	1680.00 **	2.26 ^{ns}	2.36 *	6.35 *	6679972.5 **	15.03 **	276.76 **	64.06 **
Smoke	2	5789.2 **	13404.54 **	2140.57 **	0.00 ^{ns}	1.22 ^{ns}	2.77 ^{ns}	124697.8 **	7.37 **	207.36 **	34.94 **
Growth Stage	2	623128.6 **	7358.69 **	218.09 **	0.00 ^{ns}	4.84 **	3.44 ^{ns}	1422253.8 **	12.65 **	512.71 **	9.47 **
Smoke × Growth Stage	4	54609.8 **	511.02 *	77..74 **	0.00 ^{ns}	0.20 ^{ns}	0.22 ^{ns}	507429.1 **	4.26 **	303.66 **	5.68 **
Error	18	1421.4	136.66	3.29	0.00 ^{ns}	0.42	1.27	17801.1	0.07	3.56	0.27
CV%		1.79	4.81	1.95	5.57	2.70	3.86	1.37	2.10	4.17	2.32

بلوک: Block، تیمار: Treatment، فاکتوریل در مقایسه با شاهد: Factorial vs. Control، دودآب: Smoke، مرحله رشدی: Growth Stage

** و * به ترتیب در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار و ns اختلاف معنی‌دار نیست.

** and * significant at 1% and 5% and ns, not significant respectively.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات سطوح مختلف دودآب و مراحل رشدی بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت

Table 4. Mean comparison of the effects of different smoke-water levels and growth stages on the yield and yield components of maize

Smoke	Growth stage	Seed yield	Number of seeds	Cob weight	Cob wood weight	100-Seed weight	Biological yield	Protein percentage	Protein yield	Harvest index
		g m^{-2}	-	g		g	g m^{-2}	%	g m^{-2}	%
1:1000	BBCH 16	5628.6 f	216.41 e	77.10 g	25.20 ab	30 ab	27558.8 d	9.60 b	54.31 a	20.42 d
	BBCH 51	5717.2 f	243.13 d	78.72 g	24.64 bc	29 b	29557.3 c	6.41 f	33.19 e	19.34 e
	BBCH 61	6794.0 e	220 e	86.13 f	23.90 c	30 ab	30279.4 c	9.22 bc	38.04 cd	22.44 c
2:1000	BBCH 16	7270.9 cd	260.83 cd	101.50 c	26.14 a	30.66 ab	27871.8 d	8.16 d	41.25 c	26.08 a
	BBCH 51	7973.1 a	335.94 a	120.50 a	24.97 abc	30 ab	34824.8 a	7.68 e	47.33 b	22.90 bc
	BBCH 61	7391.3 bc	289.86 b	112.38 b	24.11 bc	31.66 a	32196.8 b	9.35 bc	52.77 a	22.96 bc
3:1000	BBCH 16	7171.9 d	204.75 ef	93.83 e	24.93 bc	30.33 ab	28075.2 d	11.08 a	51.48 a	25.54 a
	BBCH 51	7531.9 b	269.35 c	98.06 d	24.27 bc	29.66 ab	31846.3 b	9.05 c	35.52 de	23.65 b
	BBCH 61	7566.2 b	219.27 e	100.17 cd	23.85 c	30.66 ab	31932.2 b	9.28 bc	47.71 b	23.69 b
Control		4592.8 g	185.34 f	71.54 h	23.73 c	28.66 b	25486.3 e	5.51 g	21.41 f	18.02 f

۶ برگی: BBCH 16، گل تاجی: BBCH 51، کاکل‌دهی: BBCH 61، شاهد: Control

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال خطای پنج درصد ندارند.

In each column, means with similar letters don’t have significantly different in probability level of 5%, from the Duncan's multiple range tests.

جدول ۵- تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک ذرت تحت اثر سطوح مختلف دودآب و مراحل رشدی

Table 5. Analysis of variance for morphological traits of maize under different levels of smoke-water and growth stages

S.O.V	df	Mean squares میانگین مربعات			
		Plant height	Cob length	Cob diameter	Cob core diameter
Block	2	15.63 ^{ns}	1.73 **	0.58 ^{ns}	0.04 ^{ns}
Treatment	9	43.72 **	0.88 ^{ns}	2.24 **	1.78 **
Factorial vs. Control	1	67.50 *	1.35 ^{ns}	6.50 **	7.97 **
Smoke	2	41.33 *	1.44 ^{ns}	1.57 ^{ns}	0.21 ^{ns}
Growth stage	2	92.11 **	0.00 ^{ns}	4.65 **	2.32 **
Smoke × Growth stage	4	14.77 ^{ns}	1.27 ^{ns}	0.31 ^{ns}	0.75 *
Error	18	9.41	0.40	0.47	0.18
CV%		1.95	4.34	1.82	1.73

بلوک: Block، تیمار: Treatment، فاکتوریل در مقایسه با شاهد: Factorial vs. Control، دودآب: Smoke، مرحله رشدی: Growth Stage

دار نیست. اختلاف معنیnsدار و ** و * به ترتیب در سطح یک و پنج درصد معنی

** and * significant at 1% and 5% and ns, not significant respectively.

جدول ٦- مقایسه میانگین اثرات سطوح مختلف دودآب و مراحل رشدی بر صفات مورفولوژیک ذرت

Table 6. Mean comparison of the effects of different smoke-water levels and growth stages on morphological traits of maize

Smoke	Growth stage	Plant height	Cob diameter	Cob core diameter
		cm	mm	
1:1000	BBCH 16	158.66 b	37.84 bc	26.26 bcd
	BBCH 51	157.66 b	38.65 ab	26 cde
	BBCH 61	157.33 b	38.23 abc	25.87 cde
2:1000	BBCH 16	166.66 a	37.87 bc	26.11 cde
	BBCH 51	158.66 b	39.42 a	26.88 ab
	BBCH 61	158.33 b	39.57 a	25.69 de
3:1000	BBCH 16	166.66 a	38.06 bc	27.13 a
	BBCH 51	160.33 b	39.55 a	26.64 abc
	BBCH 61	158.33 b	39.50 a	25.32 e
Control		155.33 b	37.20 c	24.50 f

۶ برگی: BBCH 16، گل تاجی: BBCH 51، کاکل‌دهی: BBCH 61، شاهد: Control

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال خطای پنج درصد ندارند.

In each column, means with similar letters don't have significantly different in probability level of 5%, from the Duncan's multiple range tests.

شاخص‌های جوانه‌زنی بذور برداشت شده

درصد جوانه‌زنی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر فاکتوریل (ترکیب غلظت‌های دودآب و مراحل رشدی) در مقایسه با شاهد در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار است (جدول ۷). مقایسه میانگین نشان داد که بین غلظت‌های مختلف دودآب در مراحل مختلف رشد اختلاف معنی‌داری وجود ندارد، اما همگی با شاهد اختلاف معنی‌دار داشتند (جدول ۸).

معنی‌داری اثر فاکتوریل در مقایسه با شاهد نشان‌دهنده اثر مثبت دودآب بر درصد جوانه‌زنی است. ترکیبات فعال زیستی موجود در دودآب، مانند کارکینولید، احتمالاً با تحریک فرآیندهای فیزیولوژیک نظیر تقسیم سلولی و افزایش فعالیت آنزیم‌های متابولیک، جوانه‌زنی بذور را بهبود می‌بخشند (Jamil *et al.*, 2014). عدم اختلاف معنی‌دار بین غلظت‌های مختلف دودآب ممکن است به این دلیل باشد که تمامی غلظت‌های مورد استفاده در محدوده‌ای قرار داشتند که اثر محرکی مشابهی ایجاد می‌کنند. این یافته با نتایج تحقیق دیگری که نشان داد دودآب از طریق افزایش سطح سیتوکینین‌ها، جوانه‌زنی را بهبود می‌بخشد، همخوانی دارد (Aremu *et al.*, 2016). برتری تیمارهای دودآب نسبت به شاهد، اهمیت کاربرد این ماده را در ارتقای کیفیت بذر تأیید می‌کند، به ویژه در شرایطی که هدف تولید بذرهایی با جوانه‌زنی بالا است (Gholami-Ganja *et al.*, 2015).

سرعت جوانه‌زنی

اثر فاکتوریل در مقایسه با شاهد در سطح احتمال خطای ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۷). مقایسه میانگین نشان داد که محلول‌پاشی دودآب با غلظت ۳:۱۰۰۰ (حجمی/حجمی) در مرحله کاکل‌دهی سرعت جوانه‌زنی را افزایش داد و از نظر آماری با همین غلظت در مرحله گل تاجی اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین سرعت جوانه‌زنی در تیمار شاهد با میانگین ۶/۷۵ جوانه در روز ثبت شد (جدول ۸). افزایش سرعت جوانه‌زنی در غلظت ۳:۱۰۰۰ (حجمی/حجمی) در مرحله کاکل‌دهی نشان‌دهنده اثر مثبت این تیمار در تسریع فرآیندهای متابولیکی مرتبط با جوانه‌زنی است. دودآب احتمالاً با تحریک انتقال مواد ذخیره‌ای به جنین و افزایش فعالیت آنزیم‌های هیدرولیتیک، زمان لازم برای جوانه‌زنی را کاهش می‌دهد (Taylor, 2020). مشابهت آماری بین مراحل کاکل‌دهی و گل تاجی در این غلظت نشان می‌دهد که مرحله رشد گیاه مادری در زمان کاربرد دودآب اثر محدودی بر این صفت دارد، اما غلظت بهینه دودآب نقش کلیدی ایفا می‌کند. کمترین سرعت جوانه‌زنی در شاهد، اهمیت استفاده از دودآب را برای بهبود کیفیت بذر و کاهش دوره جوانه‌زنی تأیید می‌کند (Bayat *et al.*, 2016).

جدول ۷- تجزیه واریانس شاخص‌های جوانه‌زنی بذور برداشت شده ذرت تحت اثر سطوح مختلف دودآب و مراحل رشدی

Table 7. Analysis of variance for germination indices of harvested maize seeds under different levels of smoke-water and growth stages

S.O.V	df	Mean squares				
		Germination percentage	Germination rate	Shoot length	Root length	Seedling vigor index
Block	2	0.36 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.0008 ^{ns}	0.003 ^{ns}	141.49 ^{ns}
Treatment	9	4.32 ^{ns}	0.11**	3.89 **	2.50 **	123937.03 **
Factorial vs. Control	1	25.77 **	0.68 **	14.27 **	7.18 **	462490.20 **
Smoke	2	1.64 ^{ns}	0.11**	5.76 **	0.00 ^{ns}	214301.21 **
Growth stage	2	1.64 ^{ns}	0.00 **	4.01 **	5.53 **	89416.21 **
Smoke × Growth stage	4	1.64 ^{ns}	0.03 **	0.31 **	0.39 **	11377.10 **
Error	18	2.84	0.006	0.002	0.001	298.83
CV%		1.69	1.10	0.88	0.73	1.64

بلوک: Block، تیمار: Treatment، فاکتوریل در مقایسه با شاهد: Factorial vs. Control، دودآب: Smoke، مرحله رشدی: Growth Stage

** و * به ترتیب در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار و ns اختلاف معنی‌دار نیست.

** and * significant at 1% and 5% and ns, not significant respectively.

طول ساقه‌چه

اثر فاکتوریل در مقایسه با شاهد در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۷). مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین طول ساقه‌چه (۷/۳۸ میلی‌متر) با غلظت ۳:۱۰۰۰ (حجمی/حجمی) در مرحله گل تاجی به‌دست آمد که نسبت به سایر غلظت‌ها و مراحل رشدی برتری داشت. کمترین مقدار در شاهد (۴۱/۳ میلی‌متر) با افزایش ۱۷ درصد در تیمار دودآب ثبت شد (جدول ۸). معنی‌داری اثر فاکتوریل و برتری غلظت ۳:۱۰۰۰ (حجمی/حجمی) در مرحله گل تاجی نشان‌دهنده اثر مثبت دودآب بر رشد ساقه‌چه است (جدول ۸). این اثر احتمالاً به دلیل افزایش فتوسنتز و تثبیت کربن در گیاه مادری است که منجر به تولید بذرهایی با ذخایر غذایی بیشتر می‌شود (Jain *et al*., 2008). ذخایر غذایی بیشتر در بذر، انرژی لازم برای رشد سریع‌تر ساقه‌چه را فراهم می‌کند. برتری مرحله گل تاجی ممکن است به زمان‌بندی مناسب کاربرد دودآب در این مرحله مرتبط باشد، که با دوره‌های حساس رشد گیاه مادری هم‌زمان است و امکان تجمع مواد محرک زیستی را فراهم می‌کند. افزایش ۱۷ درصدی طول ساقه‌چه نسبت به شاهد، نشان‌دهنده پتانسیل دودآب در بهبود بنیه گیاهچه و استقرار بهتر در مزرعه است (Allahdadi, 2020).

طول ریشه‌چه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر فاکتوریل در مقایسه با شاهد در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۷). کاربرد دودآب با غلظت ۳:۱۰۰۰ (حجمی/حجمی) در مرحله کاکل‌دهی بیشترین طول ریشه‌چه (۶/۶۵ میلی‌متر) را ثبت کرد، درحالی‌که کمترین مقدار در شاهد (۶۰/۳ میلی‌متر) بود (جدول ۸). برتری غلظت ۳:۱۰۰۰ (حجمی/حجمی) در مرحله کاکل‌دهی نشان می‌دهد که دودآب در این مرحله با تحریک تقسیم سلولی و رشد ریشه‌چه، عملکرد بذر را بهبود می‌بخشد. ترکیبات شبه‌سیتوکینینی دودآب احتمالاً با افزایش فعالیت هورمونی، رشد ریشه‌چه را تقویت می‌کنند (Aremu *et al*., 2016). مرحله کاکل‌دهی، که با فعالیت‌های تولیدمثلی گیاه هم‌زمان است، ممکن است زمان مناسبی برای اثر دودآب بر تجمع مواد مغذی در بذر باشد، که به رشد بهتر ریشه‌چه منجر می‌شود. کمترین طول ریشه‌چه در شاهد، اهمیت کاربرد دودآب را در بهبود این صفت تأیید می‌کند، که با یافته‌های محققات دیگر در مورد نقش سیتوکینین‌ها در تقویت رشد ریشه همخوانی دارد. رشد بهتر ریشه‌چه می‌تواند به جذب بهتر آب و مواد مغذی در مراحل اولیه رشد گیاهچه کمک کند (Jain *et al*., 2008).

جدول۸- مقایسه میانگین اثرات سطوح مختلف دودآب و مراحل رشدی بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذور برداشت شده ذرت

Table 8. Mean comparison of the effects of different smoke-water levels and growth stages on germination indices of harvested maize seeds

Smoke	Growth stage	Germination percentage	Germination rate	Shoot length	Root length	Seedling vigor index
		%		mm		-
1:1000	BBCH 16	100 a	7.25 bc	4.20 h	4.69 f	889.67 g
	BBCH 51	100 a	7.22 bc	5.50 e	4.79 e	1029.33 e
	BBCH 61	100 a	7.00 d	5.26 f	5.37 c	1040.10 de
2:1000	BBCH 16	100 a	7.15 c	5.12 g	4.50 h	963 f
	BBCH 51	100 a	7.25 bc	5.70 d	4.62 g	1032 f
	BBCH 61	100 a	7.30 ab	5.92 c	4.76 e	1068.33 cd
3:1000	BBCH 16	100 a	7.32 ab	5.53 e	5.25 d	1079.33 c
	BBCH 51	100 a	7.40 a	7.38 a	6.45 b	1383.67 a
	BBCH 61	100 a	7.40 a	6.80 b	6.65 a	1345.33 b
Control		96.66 b	6.75 e	3.41 i	3.60 i	678.54 h

۶ برگی: BBCH 16، گل تاجی: BBCH 51، کاکل‌دهی: BBCH 61، شاهد: Control

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال خطای پنج درصد ندارند.

In each column, means with similar letters don't have significantly different in probability level of 5%, from the Duncan's multiple range tests.

شاخص بنیه گیاهچه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر فاکتوریل در مقایسه با شاهد در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۷). غلظت ۳:۱۰۰۰ (حجمی/حجمی) در مرحله گل تاجی بیشترین اثر را داشت و شاخص بنیه گیاهچه را ۳ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۸). افزایش ۳ درصدی شاخص بنیه گیاهچه در غلظت ۳:۱۰۰۰ (حجمی/حجمی) در مرحله گل تاجی نشان‌دهنده اثر مثبت دودآب بر کیفیت کلی گیاهچه است. شاخص بنیه گیاهچه، که ترکیبی از رشد ساقه‌چه و ریشه‌چه است، به‌طور مستقیم تحت اثر ذخایر غذایی بذر قرار دارد (Gholami-Ganja *et al.*, 2015). دودآب با بهبود فتوسنتز و افزایش تثبیت کربن، بذرهایی با ذخایر غذایی غنی‌تر تولید می‌کند، که به رشد قوی‌تر گیاهچه منجر می‌شود (Jain *et al.*, 2008). برتری مرحله گل تاجی احتمالاً به دلیل هم‌زمانی این مرحله با دوره‌های بحرانی تجمع مواد مغذی در گیاه مادری است، که امکان تولید بذرهای باکیفیت‌تر را فراهم می‌کند (Wulff, 2017).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که محلول‌پاشی دودآب، به ویژه با غلظت ۲:۱۰۰۰ در مرحله گل تاجی، به‌طور معنی‌داری عملکرد دانه، تعداد دانه در بلال، وزن بلال، عملکرد زیستی و شاخص برداشت ذرت را بهبود بخشید. همچنین، غلظت ۳:۱۰۰۰ در مرحله کاکل‌دهی با افزایش سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و شاخص بنیه گیاهچه، کیفیت بذرهای برداشت‌شده را ارتقا داد. این روش نه تنها عملکرد و کیفیت محصول را بهبود می‌بخشد، بلکه به دلیل کم‌هزینه بودن و کاهش وابستگی به کودهای شیمیایی، راهکاری پایدار و دوست‌دار محیط‌زیست برای تولید ذرت ارائه می‌دهد. کاربرد دودآب می‌تواند به عنوان بخشی از استراتژی‌های کشاورزی پایدار، به ویژه در مناطق نیمه‌خشک مانند کرمانشاه، برای افزایش بهره‌وری و تولید بذرهای باکیفیت مورد استفاده قرار گیرد. این یافته‌ها بر ضرورت تحقیقات بیشتر برای بهینه‌سازی غلظت و زمان‌بندی کاربرد دودآب در سایر محصولات زراعی و شرایط محیطی مختلف تأکید دارد.

سپاس‌گزاری

بدین‌وسیله از همکاران مزرعه پژوهشی دانشگاه رازی که ما را در انجام این تحقیق یاری کردند صمیمانه تشکر می‌کنیم.

References

Akbarzade Sharafi, A., Jalali Honarmand, S., Chaghazardi, H., & 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. https://doi.org/10.22055/ppd.2024.44408.2114

Allahdadi, M. (2020). Effects of maternal plant nutrition on some seed germination characteristics and seedling growth of artichoke (*Cynara scolymus* L.). *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 8(2), 59–72. [In Persian].

Aremu, A.O., Plačková, L., Novák, O., Stirk, W.A., Doležal, K., & Van Staden, J. (2016). Cytokinin profiles in ex vitro acclimatized Eucomis autumnalis plants pre-treated with smoke-derived karrikinolide. *Plant cell reports*, 35(1), 227–238. https://doi.org/10.1007/s00299-015-1881-y

Aslam, M.M., Jamil, M., Khatoon, A., Hendawy, S., Al-Suhaibani, N.A., Malook, I., & Rehman, S. (2017). Physiological and biochemical responses of maize (*Zea mays* L.) to plant derived smoke solution. *Pakistan Journal of Botany*, 49(2), 435–443

Aveling, T.A. (2014). Global Standards in Seed Health Testing. Global Perspectives on the Health of Seeds and Plant Propagation Material, Springer: 17–28. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9389-6_2

Bayat, P., Ghobadi, M., Ghobadi, M., & Mohammadi, G.R. (2016). Evaluation of the ability of standard germination test to predict emergence and establishment of chickpea (*Cicer arietinum* L.) seedlings in field. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 5(1), 27–38. [In Persian].

Demir, I., Ozuaydın, I., Yasar, F., & Van Staden, 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 Botany*, (78)83–87. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2011.05.009

Gholami-Ganja, S., Salehi, A., & Moradi, A. (2015). Effects of maternal plant nutrition on the absorption of some nutritional elements and germination characteristicsof cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 4(1), 109–118.

Gholami, B., Noroozi shahri, F., Mondani, F., Jalali honarmand, S., & Saeidi, M. (2018). Evaluating some growth indices and grain yield in wheat in response to urea fertilizer and smoke-water. *Journal of Crops Improvement*, 20(3), 609–626. https://doi.org/10.22059/jci.2018.250390.1929

Ghorbani Javid, M., Sorooshzadeh, A., Modarres Sanavy, S.A.M., Allahdadi, I., & Moradi, F. (2011). Effects of the exogenous application of auxin and cytokinin on carbohydrate accumulation in grains of rice under salt stress. *Plant Growth Regulation*, 65(2), 305–313

Govindaraj, M., Masilamani, P., Albert, V.A., & Bhaskaran, M. (2016). Plant derived smoke stimulation for seed germination and enhancement of crop growth: a review. *Agricultural Reviews*, 37(2), 87–100. http://dx.doi.org/10.18805/ar.v37i2.10735

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(2), 327–331. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2007.10.008

Jamil, M., Jahangir, M., & Rehman, S.U. (2020). Smoke induced physiological, biochemical and molecular changes in germinating rice seeds. *Pakistan Journal of Botany*, 52(3), 865–871.

Jamil, M., Kanwal, M., Aslam, M.M., Khan, S.U., Malook, I., Tu, J., & ur Rehman, S. (2014). Effect of plant-derived smoke priming on physiological and biochemical characteristics of rice under salt stress condition. *Australian Journal of Crop Science*, 8(2), 159–170.

Kulkarni, M.G., Ascough, G.D., & Van Staden, J. (2008). Smoke-water and a smoke-isolated butenolide improve growth and yield of tomatoes under greenhouse conditions. *HortTechnology*, 18(3), 449–454. https://www.doi.org/10.21273/HORTTECH.18.3.449

Malook, I., Shah, G., Jan, M., Shinwari, K.I., Aslam, M.M., Rehman, S.U., & Jamil, M. (2017). Smoke priming regulates growth and the expression of myeloblastosis and zinc-finger genes in rice under salt stress. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 42(6), 2207–2215. https://doi.org/10.1007/s13369-016-2378-x

Mohsin, A., Ahmad, A., Farooq, M., & Ullah, S. (2014). Influence of zinc application through seed treatment and foliar spray on growth, productivity and grain quality of hybrid maize. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 24(5), 1494–1503.

Moosavi, S.S., Abdollahi, M.R., Mazahery laghb, H., & Mehrshad, B. (2014). Effect of plant-derived smoke extrat on some under- ground and above-ground traits of winter wheat. *Plant Productions*, 37(1), 81–92.

Moradi, Z. (2019). The effect of smoke-water and nitrogen fertilizer on the ecophysiological characteristics of irrigated wheat. Kermanshah, Iran., Razi University. Master's thesis.

Mourtzinis, S., Arriaga, F.J., Balkcom, K.S., & Ortiz, B.V. (2013). Corn grain and stover yield prediction at R1 growth stage. *Agronomy journal*, 105(4), 1045–1050. https://doi.org/10.2134/agronj2012.0393

Mupambwa, H.A., & Mnkeni, P.N.S. (2018). Optimizing the vermicomposting of organic wastes amended with inorganic materials for production of nutrient-rich organic fertilizers: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(11), 10577–10595. https://doi.org/10.1007/s11356-018-1328-4

Noroozi Shahri, F., Gholami, B., Jalali Honarmand, S., Mondani, F., & Saeedi, M. (2018). Evaluating the effect of smoke-water and nitrogen fertilizer on wheat (*Triticum aestivum* L.) ecophysiological traits.

Iranian Journal of Field Crops Research, 16(2), 459–475. https://doi.org/10.22067/gsc.v16i2.66520 [In Persian].

Noroozi Shahri, F., Jalali Honarmand, S., Saeidi, M., & Mondani, F. (2021). Evaluation of some biochemical characteristics of medicinal plant basil (*Ocimum basilicum* L.) under the application of growth phytohormones and phytohormones-like. *Plant Process and Function*, 10(42), 189–210.

Pirzada, K., Shafiq, U.R., Muhammad, J., Shahid, I., MA, W., Mudassar, A.M., Memoona, K., & Khan, S.S. (2014). Alleviation of boron stress through plant derived smoke extracts in Sorghum bicolor. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*, 10(3), 153–165.

Rostami, Z. (2021). Effect of humic acid application on yield and growth characteristics of green bean (*Phaseolus vulgaris* L.), Razi University. Master's thesis.

Shah, F. & Wu, W. (2019). Soil and crop management strategies to ensure higher crop productivity within sustainable environments. *Sustainability*, 11(5), 1485. https://doi.org/10.3390/su11051485

Tavazoee, S., Jalali Honarmand, S., & Rasaei, A. (2024a). Interaction of *rhizobium bacterium*, mycorrhiza fungus and smoke water solution on root traits and agrophysiological characteristics of chickpea. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 14(2), 47–65. https://doi.org/10.22069/ejsms.2024.21501.2109 [In Persian]

Tavazoee, S., Jalali Honarmand, S., & Rasaei, A. (2024b). Interaction of smoke water, arbuscular mycorrhizal fungus and *Rhizobium Bacterium* on yield and yield components of chickpea. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 34(3), 153–164. https://doi.org/10.22034/saps.2023.55351.3001 [In Persian].

Taylor, A.G. (2020). Seed storage, germination, quality, and enhancements. The Physiology of Vegetable Crops, CABI Wallingford UK: 1–30. https://doi.org/10.1079/9781786393777.0001

Wang, Y., Zhao, J., Lu, W., & Deng, D. (2017). Gibberellin in plant height control: old player, new story. *Plant cell reports*, 36(3), 391–398. https://doi.org/10.1007/s00299-017-2104-5

Weston, L. (2003). Bioactive root exudation in graminaceous species: localization, mode of action and gene regulation. *Acta Physiologiae Plantarum*, 25(3), 1–15.

Wulff, R.D. (2017). Environmental maternal effects on seed quality and germination. Seed Development and Germination, Routledge: 491–505.