Research Paper

Germination Percentage Enhancement of Cumin Seed by Cold Plasma Treatment[1]

Nader Mahdizadeh[2] , Matin Jami Moeini [3] and Pejman Khorshid[4]

Received: 2022.09.12
Revised: 2023.02.03
Accepted: 2023.03.08

Abstract

This paper investigates the effects of cold plasma radiation on the percentage, velocity, average germination per day, germination index, and prose and growth of green cumin roots. A factorial experiment was performed in a randomized design in 5 repetitions. Test factors included pretreatment of cold plasma irradiation time at 0, 3, 6, 9, and 12 minutes by 7 and 14 kV and 800 Hz plasma generators. The results of this work showed that the treatment time and the applied voltage of cold plasma significantly affect the percentage, velocity, average of germination per a day, germination index, and prose and root of the green cumin seed. Among all treatments, a dose of treatment with time of 6 minutes at a peak voltage of 14 kV had the greatest effect on the referred characteristics, except increasing root in which plasma treatment with a dose of 3 minutes has the most effect. Cold plasma has been generated with a dielectric barrier discharge (DBD) is a hand-made and designed in on desk dimensions, in which air is used as plasma active gas.

Keywords: *Cold (Non-Thermal) Plasma, Dielectric Barrier Discharge (DBD), Green Cumin, Seed Germination, Medical plants.*

[1] DOI: 10.22051/ijap.2023.41751.1297

[2] Assistant Professor, Department of Physics, Sabzevar Branch, Islamic Azad University, Sabzevar, Iran. (Corresponding Author). Email: mahdizadeh@iaus.ac.ir.

[3] Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Sabzevar Branch, Islamic Azad University, Sabzevar, Iran. Email: mat_jami@iaus.ac.ir.

[4] Associate Professor, Dept. of Physics, Faculty of Science, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran. Email: khorshid@mshdiau.ac.ir

مقالهٔ پژوهشی

افزایش درصد جوانه‌زنی بذر زیره به وسیله تیمار با پلاسمای سرد[1]

نادر مهدی زاده*[2]، متین جامی معینی[3] و پژمان خورشید[4]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۲۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۷

فصلنامهٔ علمی فیزیک کاربردی ایران
دانشکدهٔ فیزیک، دانشگاه الزهرا
سال سیزدهم، پیاپی ۳۳، تابستان ۱۴۰۲
صص ۷۳ - ۸۷

چکیده:

در این مقاله اثرات تابش پلاسمای سرد اتمسفری بر روی درصد، سرعت، میانگین جوانه‌زنی روزانه، شاخص جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه بذر زیره سبز مورد بررسی قرار گرفته است. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با پنج تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمون شامل پیش‌تیمار با پلاسمای سرد اتمسفری در صفر، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ دقیقه با استفاده از مولد پلاسمای ۷ و ۱۴ کیلو ولت و فرکانس ۸۰۰ هرتز بودند. نتایج این کار نشان داد که دوز زمانی و ولتاژ اعمالی پلاسمای سرد جهت تیمار بذر زیره سبز پیش از کاشت به صورت قابل توجهی بر روی درصد، سرعت جوانه‌زنی، میانگین جوانه‌زنی روزانه، شاخص جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه تاثیر می‌گذارد. در بین تمام نمونه‌ها، بیشترین تأثیر را تیمار با ولتاژ قلّه ۱۴ کیلو ولت و دوز زمانی ۶ دقیقه بر ویژگی‌های مورد بررسی داشت، به جز رشد طول ساقه چه که تیمار با دوز زمانی ۳ دقیقه بیشترین افزایش را نسبت به باقی نمونه‌ها داشت. پلاسمای سرد در این آزمایش با کمک یک مولد تخلیه سد دی‌الکتریک دست‌ساز در ابعاد رومیزی تولید شده و از هوا به عنوان ماده فعال پلاسما استفاده شده است.

واژگان کلیدی: *پلاسمای سرد (غیرحرارتی)، تخلیه سد دی‌الکتریک (DBD)، زیره سبز، جوانه‌زنی بذر، گیاهان دارویی.*

---

[1] DOI: 10.22051/ijap.2023.41751.1297

[2] استادیار، گروه فیزیک، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران. (نویسندهٔ مسئول). Email: mahdizadeh@iaus.ac.ir

[3] استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران. Email: mat_jami@iaus.ac.ir

[4] دانشیار، گروه فیزیک، دانشکده علوم، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران. Email: khorshid@mshdiau.ac.ir

۱. مقدمه

زیره سبز با نام علمی *Cuminum cyminum* L. گیاه بومی خاورمیانه است که دارای بذور معطر و دارویی می باشد. زیره سبز دارای موادی مانند کلسیم، فسفر، پتاسیم، منیزیم و مقدار کمی روی و آهن است. بیشتر ویژگی‌های آن با زیره سیاه یکسان می‌باشد، به جز ترکیباتی چون کاروتن و لیمونن که فقط در اسانس زیره سیاه وجود دارد. در مجموع سالانه به صورت میانگین ۲۰۰۰۰ تن از این محصول در کشورمان ایران برداشت می‌شود، که این برای پاسخگویی به تقاضای فزاینده مصرف جهانی کافی نیست. کشورهای هندوستان، ایران و سوریه به ترتیب مقام‌های اول تا سوم را در تولید زیره سبز دارند. زیره سبز به صورت آبی و دیم کاشته می‌شود. بذرهای زیره سبز دارای جداره‌های نفوذ ناپذیری هستند که در نتیجه جوانه‌زنی ضعیف، زمان جوانه‌زنی طولانی شده و یکنواختی جوانه‌زنی نیز کاهش می‌یابد که این امر منجر به تولید کمتر می‌شود.

تیمار با پلاسمای سرد روشی پیشرفته و نو می‌باشد، که برای افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی بذور، ماندگاری در برابر آفات و همچنین استریلیزاسیون در حوزه‌های مختلف ازجمله کشاورزی، پزشکی و صنایع غذایی به کار گرفته می‌شود. از روش‌های دیگر برای دستیابی به اهداف یاد شده می‌توان به تیمار نمونه‌ی مورد نظر با تابش اشعه گاما، پرتوهای الکترونی، اشعه ماوراءبنفش، میدان الکتریکی پالسی و فشار هیدرواستاتیک بالا اشاره کرد [۱]. در برخی از روش‌های بیان شده، از جمله در روش فشار هیدرواستاتیک بالا، هرچند مواد غذایی از نظر شیمیایی سالم می‌مانند، اما نیازمند سرمایه اولیه بسیار بالایی می‌باشند. از بین روش‌های یاد شده، روش تیمار با پلاسمای سرد، نه تنها روشی سریع و اقتصادی، بلکه، روشی بدون آلودگی نیز می‌باشد [۲]. روش‌های فیزیکی (تصفیه مغناطیسی، خیساندن با آب گرم) و روش‌های شیمیایی نیز تا حدودی جوانه‌زنی را تقویت می‌کنند، اگرچه این روش‌ها به زمان بیشتری نیاز دارند و بقایای شیمیایی نیز تولید می‌کنند. با استفاده از روش‌های نوین می‌توان افزون بر ثابت نگه‌داشتن نیروی انسانی، مزارع و حتی مصرف کمتر آب برای محصولات آبی، تولید را به میزان قابل توجهی افزایش داد.

یک پلاسما اغلب مجموعه‌ای از پروتون‌ها، الکترون‌ها، رادیکال‌های آزاد و یون‌های با چگالی به اندازه کافی کم است، به صورتی که برهمکنش‌های دوتایی (کوتاه برد) در آن قابل صرف‌نظرکردن و برهمکنش‌های دوربرد غالب می‌باشند. پلاسماها ویژگی‌های بسیار جالب و متنوعی دارند، که اغلب آن‌ها در شرایط غیرتعادلی رخ می‌دهند [۳]. تیمار با پلاسما می‌تواند متابولیسم فیزیولوژیکی گیاه، چون فعالیت دهیدروژناز، فعالیت‌های سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز، رنگدانه‌های فتوسنتزی، کارایی فتوسنتزی و فعالیت نیترات ردوکتاز را بهبود بخشد. همچنین سبب کاهش میزان

تکثیر باکتری‌های بذر، تغییر ساختار پوشش، افزایش نفوذپذیری پوشش، تحریک جوانه‌زنی و رشد گیاهچه می‌شود. این پدیده در گیاهانی مانند: نخود، *Chenopodium album*، *Oryza sativa*، *Triticum aestivum*، *Lycopersicon esculentum* و *Solanum melongena* نشان داده شده است [۹-۴].

شتاب بوشهری و همکارانش، تاثیر آب فعال شده با پلاسما بر درصد و سرعت جوانه‌زنی و رشد اولیه ساقه‌چه بذر تربچه را بررسی کردند. آن‌ها تفاوت معناداری در سرعت و درصد جوانه‌زنی در تیمار بذرهای تربچه‌ی آب فعال شده با پلاسما را در مدت زمان‌های ۱۵ و ۳۰ دقیقه در مقایسه با شاهد یافتند [۱۰]. سازوکار حاکم بر افزایش جوانه‌زنی، فعالیت آنزیمی و رشد جوانه‌ی بذر برنج با استفاده از تیمار به کمک پلاسمای تولید شده با تخلیه سد دی‌الکتریک با گاز فعال هوا و آرگون توسط بیلاه و همکارانش بررسی شده است [۱۱]. ژائو و همکارانش، اثرات تیمار با میکرو پلاسما با گازهای اکسیژن، اتمسفر، آرگون و نیتروژن بر روی تعداد جوانه‌زنی و رشد جوانه‌های بذر لوبیا را بررسی کردند [۱۲]. آن‌ها دریافتند که انتخاب نوع گاز فعال در محیط پلاسما و مدت زمان پرتوتابی اثر بسیار زیادی بر روی فرایند بیان شده دارد. به عنوان مثال، بکارگیری گازهای خالص مانند نیتروژن، اکسیژن یا هلیوم در مقایسه با هوا در فشار اتمسفری موثرتر می‌باشند. در این حالت برهم‌کنش‌های بین عناصر فعال تولید شده از پلاسما همچون پراکسید هیدروژن و گاز نیتروژن با جداره بذر سبب افزایش سرعت جوانه‌زنی و طول ساقه‌چه می‌شود. این نتیجه در شکل (۶- الف) در مرجع [۱۱] دیده می‌شود. گوا و همکارانش، نیز شادابی و تازگی بذر گندم را به روش تیمار با پلاسمای سرد تولید شده با تخلیه سد دی‌الکتریک بهبود بخشیدند. آن‌ها کار پژوهشی را در شش ولتاژ بالای متفاوت انجام دادند. در هر ولتاژ پنجاه عدد بذر گندم در معرض پلاسمای اتمسفری با آهنگ شار ۱/۵ lit/min به مدت زمان ۴ دقیقه بر روی هر نمونه قرار گرفت و برای هر تیمار سه بار تکرار شد [۱۳]. همچنین بیلاه و همکارانش، اثر تیمار با پلاسمای سرد تولید شده با تخلیه سد دی‌الکتریک را روی افزایش رشد و جوانه‌زنی بذر black gram یا vigna mungo بررسی نمودند. آن‌ها آزمایش را با پلاسمای اتمسفری در فشار ۴۰۰ tor بر روی رشد ساقه‌چه و فعالیت آنزیم آنتی اکسیدان انجام دادند. فاصله بین الکترودها ۶ cm، ولتاژ ۵ kv، فرکانس اعمالی ۴/۵ kHz، دما ۳۱۰ K و توان را روی ۴۵ w تنظیم کرده بودند. نتیجه کار آن‌ها افزایش جوانه زنی و رشد ساقه‌چه را به ترتیب به میزان ۱۳/۶ درصد و ۳۷/۱ درصد نشان می‌داد [۱۴].

دابینوف و همکارانش، اثر تخلیه پلاسمای اتمسفری را بر روی بذر دانه‌های غلات بررسی کرده‌اند [۱۵]. با این حال، گزارشات در مورد اثرات پلاسمای سرد بر بذر زیره سبز بسیار محدود است. به

تازگی رسولی و همکارانش، اثر پلاسمای سرد بر روی ویژگی‌های فیزیولوژیک بذر زیره سبز را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها تیمار با پلاسما را در دو تکرار ۵ و ۱۰ دقیقه در ولتاژ ثابت برای بررسی تغییر فعالیت کاتالز، پروکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و همچنین مالون دی الدئید بکار بردند [۱۶]. ما در اینجا اثرات تیمار با پلاسمای سرد را بر روی جوانه‌زنی بذر، رشد ریشه و ساقه‌چه زیره سبز بررسی می‌کنیم، که کاری کاملاً نوآورانه و جدید است. در ادامه ابتدا به بیان مواد و روش‌ها می‌پردازیم و سپس بخش سوم به یافته‌ها و بخش پایانی به نتیجه‌گیری اختصاص داده شده است.

۲. مواد و روش‌ها

مولدهای پلاسما در الگوهای مختلف ساخته شده و مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای مثال بعضی از آن‌ها عبارتند از: تخلیه درخشان پلاسمای اتمسفری، پلاسمای چرخان بسامد رادیویی کم فشار، پلاسمای مغناطیده، پلاسمای ریزموج کم فشار، پلاسمای اتمسفری سد تخلیه دی‌الکتریک (الگوی مورد استفاده در این آزمایش)، و پلاسمای سرد اتمسفری بسامد رادیویی، که علاقمندان لیست کامل آن‌ها را می‌توانند در منبع [۱] و منابع موجود در آن مشاهده کنند. در هریک از الگوهای یاد شده نوع گاز تزریقی متفاوت است، به عنوان مثال، گاز موجود در محیط فعال پلاسمای غیرتعادلی ممکن است: اتمسفر، آرگون، مخلوطی از آرگون، نیتروژن و اکسیژن یا هر یک از این گازها به صورت خالص و حتی خلاء باشد. دستگاه از قسمت‌هایی چون منبع تغذیه، مدار الکتریکی نوسان‌ساز ولتاژ بالا و قسمت انتهایی این دستگاه از دو صفحه موازی آلومینیومی ۸×۲۰ سانتی متری تشکیل شده است. یک طرف آن‌ها با پلی تترا فلوئور اتیلن[1] به ضخامت ۱ میلی‌متر پوشانده شده اند. فاصله بین دو الکترود ۳ میلی‌متر است که می‌تواند بنا به ابعاد نمونه به دلخواه تغییر کند. الکترودها به یک منبع ولتاژ متناوب با فرکانس ۸۰۰ هرتز متصل هستند که در ولتاژهای کاری ۷ و ۱۴ کیلو ولت فعال است. از هوا در فشار محیط به عنوان گاز در محیط فعال پلاسما استفاده شده است (شکل ۱).

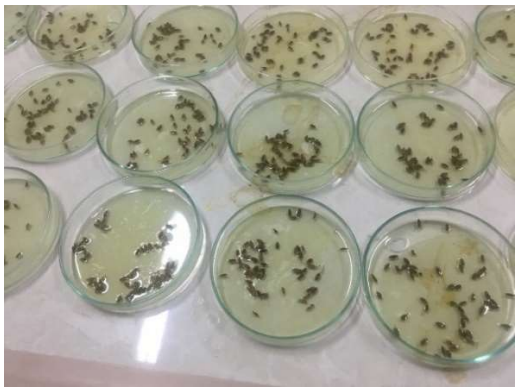
شکل ۱ دستگاه مولد پلاسمای سرد (تخلیه سد دی الکتریک) واقع در آزمایشگاه فیزیک.

[1] Polytetrafluoroethylene (PTFE)

بذر زیره‌ی سبز از مزارع سبزوار برداشت شده و به صورت تازه مورد استفاده قرار گرفت. پنجاه عدد از آن‌ها هریک با وزن تقریبی ۵ گرم را مطابق شکل (۲) جدا نموده و سپس بوسیله پلاسمای سرد جوی با دوزهای تابشی در مدت زمان صفر، ۳، ۶ ، ۹و ۱۲ دقیقه در دمای استاندارد و ولتاژهای ۷ و ۱۴ کیلو ولت تیمار شدند. این کار در آزمایشگاه‌های فیزیک و زراعت دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار در قالب طرح کاملاً تصادفی به صورت فاکتوریل با پنج تکرار انجام شده است.

شکل ۲ بذر زیره سبز قرار داده شده بر روی صفحه عایق جهت پرتو دهی. (تعداد دانه‌های بذر در هر گروه دلخواه است).

سپس بذرها مطابق شکل (۳) روی کاغذ صافی قرار گرفتند. در نهایت به مقدار لازم آبیاری شدند و به ژرمیناتور در دمای محیط (۲۵ درجه سلسیوس) منتقل شدند. سعی شد با این کار محیط کشت در آزمایشگاه ایجاد شود. در مقیاس هرچند کمتر ولی کاملاً تصادفی، اثر تیمار با پلاسمای سرد اتمسفری بر روی جوانه‌زنی و رشد ساقه‌چه و سایر ویژگی‌های بذر زیره سبز قبل از کشت در مزرعه بررسی شود.



شکل ۳ بذر زیره سبز تیمارشده با پلاسما.

(الف) نمونه (۱) تیمار شده با پلاسما در ولتاژ 7kv و مدت زمان 6min.

(ب) نمونه (۲) تیمار شده با پلاسما در ولتاژ 7kv و مدت زمان 6min.

(پ) نمونه (۳) تیمار شده با پلاسما در ولتاژ 7kv و مدت زمان 6min.

(ت) نمونه (۱) تیمار شده با پلاسما در ولتاژ 7kv و مدت زمان 9min.

(ث) نمونه (۲) تیمار شده با پلاسما در ولتاژ 7kv و مدت زمان 9min.

(ج) نمونه (۳) تیمار شده با پلاسما در ولتاژ 7kv و مدت زمان 9min.

(چ) نمونه (۱) تیمار شده با پلاسما در ولتاژ 14kv و مدت زمان 9min.

(ح) نمونه (۲) تیمار شده با پلاسما در ولتاژ 14kv و مدت زمان 9min.

(خ) نمونه (۳) تیمار شده با پلاسما در ولتاژ 14kv و مدت زمان 9min.

شکل ۴ برخی از نمونه‌های تیمار شده با پلاسما. شکل‌های (الف) تا (پ): سه نمونه‌ی تیمار شده با دوز 7kV و 6min،

شکل‌های (ت) تا (ج): سه نمونه‌ی تیمار شده با دوز 7kV و 9min و شکل‌های (چ) تا (خ): سه نمونه‌ی تیمار شده با دوز 14kV و 9min.

(الف) نمونه (۱) تیمار شده با پلاسما در ولتاژ 14kv و مدت زمان 3min.

(ب) نمونه (۲) تیمار شده با پلاسما در ولتاژ 14kv و مدت زمان 3min.

(پ) نمونه (۳) تیمار شده با پلاسما در ولتاژ 14kv و مدت زمان 3min.

(ت) نمونه (۱) تیمار شده با پلاسما در ولتاژ 14kv و مدت زمان 6min.

(ث) نمونه (۲) تیمار شده با پلاسما در ولتاژ 14kv و مدت زمان 6min.

(ج) نمونه (۳) تیمار شده با پلاسما در ولتاژ 14kv و مدت زمان 6min.

(چ) نمونه (۱) تیمار شده با پلاسما در ولتاژ 14kv و مدت زمان 3min دو هفته بعد از کشت.

(ح) نمونه (۲) تیمار شده با پلاسما در ولتاژ 7kv و مدت زمان 6min دو هفته بعد از کشت.

(خ) نمونه(۳) تیمار شده با پلاسما در ولتاژ 14kv و مدت زمان 6min دو هفته بعد از کشت.

شکل ۵ برخی از نمونه‌های تیمار شده با پلاسما. شکل‌های (الف) تا (پ): سه نمونه تیمار شده با دوز 14kV و 3min ، یک هفته بعد از کشت؛ شکل‌های (ت) تا (ج): سه نمونه تیمار شده با دوز 14kV و 6min ؛ شکل‌های (چ) تا (خ): سه نمونه تیمار شده با دوز 14kV و 3min ، دو هفته بعد از کشت.

تعداد بذرهای جوانه زده روزانه شمارش شدند و ۲ میلی‌متر طول بذر و ۱ میلی‌متر طول ریشه به عنوان جوانه‌زنی و ریشه بذر در نظر گرفته شدند. چند شکل از نمونه بذرهای تیمارشده با پلاسما با ولتاژ 7kV در مدت زمان ۶ و ۹ دقیقه و 14kVدر مدت زمان ۹ دقیقه، یک و دو هفته بعد از کشت در شکل‌های (۴) و (۵) نشان داده شده‌اند.

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با پنج تکرار و تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SAS انجام شد، میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد مقایسه شدند.

۳. یافته‌ها

در اینجا اثر تیمار بذر زیره سبز با استفاده از پلاسمای سرد با متغیرهای زمان (شکل ۶) و ولتاژ (شکل ۷) بر روی ویژگی‌های مختلف از جمله تعداد و سرعت جوانه‌زنی روزانه، همچنین میانگین، شاخص جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه بررسی شده‌اند. در جدول (۱): تجزیه واریانس (میانگین مربعات) درصد، سرعت، میانگین جوانه‌زنی روزانه، شاخص جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه مشاهده می‌شود. زمان تیمار بر روی شاخص درصد، سرعت و میانگین جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی دار نبود. ولی، اثرات ولتاژ و ولتاژ ضرب‌در زمان بر روی درصد، سرعت، میانگین، شاخص جوانه‌زنی، و طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه تا سطح احتمال یک درصد معنادار بودند.

جدول ۱ تجزیه واریانس (میانگین مربعات) درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، میانگین جوانه‌زنی روزانه، شاخص جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه.(** نشاندهنده معناداری در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد.)

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	میانگین جوانه‌زنی روزانه	شاخص جوانه‌زنی	طول ریشه‌چه	طول ساقه‌چه
ولتاژ	۳	۱۷۰۹/۳۳**	۰/۵۴۲**	۴/۳۳**	۳۰/۲۳**	۳۱۳/۴۹**	۱۲۳/۶۸**
مدت زمان تیمار	۱	۲/۶۷	۰/۰۳۵	۰/۰۰۷	۴/۲۵**	۳۰۱/۰۴**	۵۲/۵۱**
ولتاژ × مدت زمان تیمار	۳	۲۳۰/۲۲**	۰/۰۵۷**	۰/۶۳۸**	۲/۱۳**	۲۰۷/۲۶**	۳۸/۰۱**
خطای آزمایشی	۱۶	۱۵/۳۷	۰/۰۱۱	۰/۰۹۷	۰/۲۹	۲/۶۱	۰/۵۵
ضریب تغییرات	٪	۸/۹۸	۱۴/۰۴	۱۳/۳۹	۱۱/۶۳	۱۲/۳۲	۸/۴۳

جدول ۲ اثر تیمار با پلاسما در زمان‌های متفاوت بر روی درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، میانگین جوانه‌زنی روزانه، شاخص جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه بذر زیره سبز در ولتاژ ثابت.

زمان تیمار (دقیقه)	میانگین					
	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی (تعداد بذر در روز)	میانگین جوانه‌زنی روزانه (درصد)	شاخص جوانه‌زنی	طول ریشه‌چه (میلی‌متر)	طول ساقه‌چه (میلی‌متر)
شاهد	۲۲/۶۷ c	۰/۳۵ c	۱/۲۹ c	۱/۶۱ c	۳/۰۰ d	۲/۳۳ d
۳	۴۴/۰۰ b	۰/۷۲ b	۲/۳۲ b	۴/۶۳ b	۱۹/۶۷ a	۹/۳۳ c
۶	۶۴/۰۰ a	۱/۰۸ a	۳/۳۷ a	۷/۰۲ a	۱۶/۵۰ b	۱۲/۷۵ a
۹	۴۴/۰۰ b	۰/۷۷ b	۲/۳۱ b	۵/۱۹ b	۱۳/۳۳ c	۱۰/۸۳ b

جدول ۳ اثر تیمار با پلاسما در ولتاژهای متفاوت بر روی درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، میانگین جوانه‌زنی روزانه، شاخص جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه بذر زیره سبز در زمان ثابت.

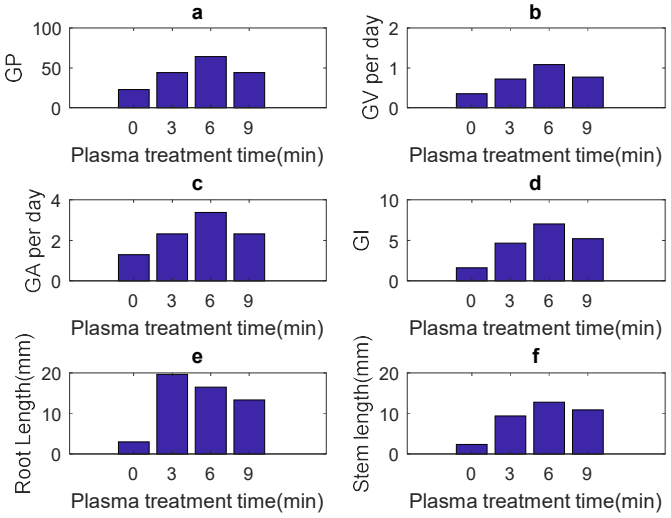
ولتاژ (کیلو ولت)	میانگین					
	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی (تعداد بذر در روز)	میانگین جوانه‌زنی روزانه (درصد)	شاخص جوانه‌زنی	طول ریشه‌چه (میلی‌متر)	طول ساقه‌چه (میلی‌متر)
۷	۴۳/۳۳ a	۰/۶۹ a	۲/۳۰ a	۴/۱۹ b	۹/۵۸ b	۷/۳۳ b
۱۴	۴۴/۰۰ a	۰/۷۷ a	۲/۳۴ a	۵/۰۳ a	۱۶/۶۷ a	۱۰/۲۹ a

همانطور که در جدول‌های (۱) تا (۳) دیده می‌شود، ویژگی‌های مورد شمارش یا اندازه‌گیری‌شده در بذر زیره سبز تیمار شده با پلاسما در تمام دوزهای زمانی بیشتر از شاهد است (بیشتر از نمونه‌ای که با پلاسما تیمار نشده بود). به کمک اطلاعات بدست آمده از اندازه‌گیری‌های روزانه و تجزیه و تحلیل آن‌ها با نرم‌افزار SAS، نمودارهای ستونی جهت مقایسه‌ی بهتر نمونه‌های بذر زیره سبز تیمار شده با پلاسما و شاهد در شکل‌های (۶) و (۷) رسم شدند. شکل (a-۶) اثر تیمار بر روی درصد جوانه‌زنی، شکل (b-۶) اثر تیمار بر روی سرعت جوانه‌زنی، شکل (c-۶) اثر تیمار بر روی میانگین جوانه‌زنی در روز و همچنین شکل (d-۶) اثر تیمار بر روی شاخص جوانه‌زنی بذر زیره سبز را نشان می‌دهد. اثر تیمار بر روی رشد طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه در روز به ترتیب در شکل‌های (e-۶)

و (f-۶) دیده می‌شود. همانطور که مشاهده می‌شود، تیمار بذر زیره سبز با پلاسمای سرد در مدت زمان ۶ دقیقه بیشترین اثر بر درصد، سرعت، میانگین جوانه‌زنی روزانه، شاخص جوانه‌زنی و همچنین طول ساقه‌چه دارد. اثر تیمار با پلاسما بر روی این ویژگی‌ها در دو مدت زمان تابش ۳ و ۹ دقیقه کمابیش یکسان است. درحالی که رشد طول ساقه‌چه بذر زیره سبز در مدت زمان ۳ دقیقه در تیمار با پلاسمای سرد بیشترین تاثیر را داشت. اثر گذشت زمان بر میانگین تعداد جوانه‌های بذر زیره سبز در تمام نمونه‌ها افزایش یکنواخت داشت و کمابیش مستقل از ولتاژ اعمالی بود، که این مورد در شکل‌ها نشان داده نشده است. با توجه به جدول‌های (۲) و (۳) اندیس‌های a، b و c بالای ستون‌ها نوشته نشده‌اند، ولی به سادگی دیده می‌شود که در تیمار با دوز زمانی ۳ و ۹ دقیقه اغلب ویژگی‌ها رشد یکسانی داشته‌اند و به همین خاطر اندیس‌های جدول مشابه یکدیگر می‌باشند. در بقیه دوزهای زمان تیمار که با هم تفاوت معناداری دارند، با اندیس‌های متفاوتی از یکدیگر مشخص شده‌اند.

همانطور که در شکل (a-۶) دیده می‌شود، در شاهد درصد جوانه زنی ۲۲/۶۷ درصد می‌باشد. درحالی‌که برای نمونه‌ی بذر تیمارشده با پلاسما در مدت زمان ۶ دقیقه این میزان تا ۶۴ درصد افزایش می‌یابد، یعنی تقریبا سه برابر شده است. سرعت جوانه‌زنی در شاهد برابر ۰/۳۵ است، در صورتی‌که با تیمار بذر به کمک پلاسمای سرد در تمام دوزهای یاد شده افزایش چشمگیری مشاهده می‌شود. برای این ویژگی نیز بیشترین تاثیر را تیمار در مدت زمان ۶ دقیقه نمایش می‌دهد، که برابر با ۱/۰۸ می‌باشد. سرعت جوانه‌زنی نیز در تیمار با پلاسما سه برابر افزایش می‌یابد. میانگین جوانه‌زنی در شاهد ۱/۲۹ می‌باشد، درحالی‌که در تیمار با پلاسما به مدت زمان ۶ دقیقه این میزان به ۳/۳۷ افزایش می‌یابد، که کمابیش سه برابر شده است و این تاثیر در شکل (c-۶) دیده می‌شود. شاخص جوانه‌زنی در شاهد برای بذر زیره سبز برابر با ۱/۶۱ می‌باشد، این در حالی است که تیمار با دوز زمانی ۶ دقیقه در ولتاژ ثابت این ویژگی بیشترین افزایش را داشته و برابر با ۷/۰۲ می‌باشد. لازم به یادآوری است که اندازه‌گیری روزانه ریشه‌ها با وسایل مکانیکی و آبیاری نمونه‌ها نیز به صورت دستی انجام می‌شد و در صورت استفاده از ابزارهای پیشرفته‌تر، احتمال یافتن نتایج دقیق‌تری افزایش می‌یافت. در این آزمایش میانگین طول ریشه چه در شاهد برابر ۳ میلی‌متر بدست آمد، درحالی‌که برای حالت تیمار با پلاسمای سرد در دوز زمانی ۳ دقیقه این مقدار ۱۹/۶۷ میلی‌متر گزارش شد. برخلاف سایر ویژگی‌ها که در دوز زمانی ۶ دقیقه بیشترین افزایش را داشتند، میانگین طول ریشه‌چه بیشترین افزایش را در دوز زمانی ۳ دقیقه داشت. در نهایت تاثیر پلاسمای سرد بر ویژگی دیگری که در این آزمایش مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت، افزایش طول ساقه‌چه زیره سبز بود. اینجا نیز همانطور

که در شکل (f-۶) دیده می‌شود، رشد ساقه‌چه در شاهد از همه تیمارها با دوزهای مختلف کمتر است. رشد ساقه‌چه در شاهد ۲/۳۳ میلی‌متر می‌باشد. درحالی‌که در تیمار با دوز زمانی ۶ دقیقه، این مقدار به ۱۲/۷۵ میلی‌متر می‌رسد، که بیشترین افزایش را نشان می‌دهد. تاثیر پلاسمای سرد بر روی همه ویژگی‌های مورد مطالعه در این آزمایش هماهنگی بسیار خوبی را با یکدیگر نشان می‌دهند.

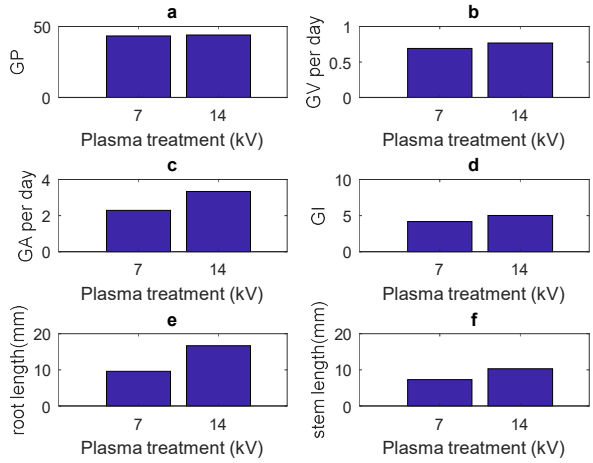


شکل ۶ مقایسه (a) درصد جوانه‌زنی، (b) سرعت جوانه‌زنی، (c) میانگین جوانه‌زنی روزانه، (d) شاخص جوانه‌زنی، (e) طول ریشه‌چه و (f) طول ساقه‌چه به ازای زمان‌های مختلف تیمار با پلاسمای سرد در ولتاژ ثابت.

در شکل (۷) اثر تیمار بذر زیره سبز با پلاسمای سرد در دو ولتاژ متفاوت و دوز زمانی ثابت بر روی ویژگی‌های یاد شده نمایش داده شده است. در شکل (a-۷) اثر تیمار با پلاسما بر روی درصد جوانه‌زنی نشان داده شده و با هم مقایسه شده‌اند. همچنین شکل (b-۷)، اثر تیمار بر روی سرعت جوانه‌زنی روزانه، شکل (c-۷)، اثر تیمار بر روی میانگین جوانه‌زنی روزانه، شکل (d-۷) اثر تیمار بر روی شاخص جوانه‌زنی بذر زیره سبز در دو ولتاژ ۷ kV و ۱۴ kV را نشان می‌دهد. اثر تیمار بذر زیره سبز با پلاسمای سرد بر روی رشد روزانه‌ی طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه نیز به ترتیب در شکل‌های (e-۷) و (f-۷) دیده می‌شوند.

همانطور که مشاهده می‌شود، تیمار بذر زیره سبز با پلاسمای سرد با ولتاژ ۱۴ kV اثر بیشتری بر درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، میانگین جوانه‌زنی روزانه، شاخص جوانه‌زنی و همچنین طول ساقه‌چه در دوز زمانی مشابه دارد. همانطور که دیده می‌شود، تفاوت معناداری بین تاثیر تیمار بذر

زیره سبز با پلاسما در ولتاژهای ۷ kV و ۱۴ kV بر روی درصد جوانه‌زنی دیده نمی‌شود. درحالی‌که در اثر تیمار با پلاسمای سرد در دو ولتاژ یاد شده با دوز زمانی ثابت بر روی سایر ویژگی‌ها تفاوت بیشتری مشاهده می‌شود. تفاوت درصد جوانه‌زنی در تیمار با پلاسما در دو ولتاژ ۷ kV و ۱۴ kV برابر ۰/۶۷ درصد (کمتر از یک درصد) است، ولی بیشترین اختلاف افزایش در تیمار با پلاسما مربوط به طول ریشه‌چه هست. بر اثر تیمار بذر زیره سبز با پلاسمای سرد در ولتاژهای کاری kV ۱۴ و ۷ kV بیشترین اختلاف طول ریشه‌چه در دو دوز مشاهده می‌شود. تیمار بذر با پلاسمای سرد در ولتاژ کاری ۱۴ kV افزایشی کمابیش ۱/۷ برابری نسبت به حالت kV ۷ را نشان می‌دهد. همچنین، دوز زمانی ۶ دقیقه بیشترین تاثیر را بر روی ویژگی‌های یاد شده دارد، که با نتایج بدست آمده از منبع [۱۶] مطابقت خوبی دارد.



شکل ۷ مقایسه (a) درصد جوانه‌زنی، (b) سرعت جوانه‌زنی، (c) میانگین جوانه‌زنی روزانه، (d) شاخص جوانه‌زنی، (e) طول ریشه‌چه و (f) طول ساقه‌چه به ازای ولتاژهای مختلف تیمار با پلاسمای سرد در زمان ثابت.

٤. نتیجه‌گیری

در این کار اثر تیمار با پلاسمای سرد با دو متغیر زمان و ولتاژ بر روی ویژگی‌های مختلف بذر زیره سبز از جمله: درصد، سرعت، میانگین جوانه‌زنی روزانه، شاخص جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه مورد مطالعه قرار گرفت. توانایی افزایش آن‌ها به این روش تایید شد. هرچند سازوکار دقیق اثرات فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی و بیوشیمایی پلاسما بر روی تندش بذور به صورت کامل شناخته

نشده است، ولی، به صورت کلی می‌توان گفت دلایل افزایش درصد، سرعت، میانگین جوانه‌زنی روزانه، شاخص جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه بذر (در اینجا زیره سبز) عبارتند از:

۱) در نتیجه‌ی بمباران یونی و الکترونی ساختار پوسته‌ی بذر تغییر می‌یابد، به صورتی که سبب افزایش نفوذپذیری و به پیروی از آن افزایش جذب آب یا آبدوستی بذر می‌شود [۲].

۲) تغییر زاویه تماس با توجه به نوع بذر، برای مثال از ۱۱۵ درجه به صفر درجه یا ۷۰ درجه به ۲۰ درجه، که این تغییر ایجاد شده نیز موجب افزایش آبدوستی بذور می‌شود [۴].

۳) به خاطر فرآیند به اصطلاح حکاکی، که در سطح بذر اتفاق می افتد و با توجه به نوع گاز به کار گرفته شده منجر به تغییر زبری سطح در مقیاس نانو می‌شود.

۴) افزایش جذب آب به دلیل تغییر ویژگی‌های فیزیکی و شمیایی بذر می‌باشد، که با طیف‌سنجی و مشاهده قلّه‌های ایجاد شده در گروه‌های عاملی هیدروکسیلی این امر تایید می‌شود [۱۷].

با روش تیمار بذر توسط پلاسمای سرد (غیرحرارتی) می‌توان تولید زیره سبز را افزایش داد. این روش نوین بدون آلودگی و مقرون به صرفه‌تر از سایر روش‌ها است. در این کار پژوهشی مشاهده شد، تیمار با پلاسمای سرد با دوز زمانی ۶ دقیقه در ولتاژ اعمالی ۱۴ کیلوولت بیشترین تأثیر را بر درصد، سرعت، میانگین جوانه‌زنی روزانه، شاخص جوانه‌زنی و طول ساقه‌چه بذر زیره سبز دارد. بیشترین افزایش طول ریشه‌چه نیز در همان ولتاژ اعمالی (۱۴ kV)، ولی در مدت زمان ۳ دقیقه مشاهده شد. این کار در زمان شیوع ویروس کووید ۱۹ با شرایط محدودیت حضور انجام شد. در کار بعدی قصد داریم، امکان افزایش مقاومت بذر زیره سبز را در برابر شوری آب و همچنین امکان افزایش فعالیت آنزیم‌های هیدرولیتیکی بوسیله تیمار با پلاسمای سرد با گاز کاری اتمسفر و آرگون بررسی نماییم.

۵. تقدیر و تشکر

از حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار، همچنین از مسئولین مجله فیزیک کاربردی ایران تقدیر و تشکر می شود. از داوران گرامی نیز به خاطر ارائه رهنمودهای ارزشمند، سپاس گزاریم.

منابع

[1] Nikkhah, Sh. (2014). Cold plasma technology and its applications in food industry. *The first national conference on modern harvesting and post-harvest technologies of agricultural products, Mashhad, Iran.* 619-625 (in Persian).

[2] Adhikari, B., Adhikari, M., & Park, G. (2020). The effects of plasma on plant growth, development, and sustainability, *Applied Sciences*, (10)17, 6045. https://doi.org/10.3390/app10176045.

[3] Krall. N. A., & Trivelpiece, A. W. (1973). *Principles of plasma physics*, McGraw-Hill, New York, **1**, 2-5.

[4] Ling. L., Jiafeng. J., Jiangang. L., Minchong. S., Xin. H., Hanliang. S., & Yuanhua. D. (2014). Effects of cold plasma treatment on seed germination and seedling growth of soybean, *Scientific reports,* (**4)**5859, 1-7. https://doi.org/10.1038/srep05859.

[۵] Šerá, B., Šerý, M., Štrañák, V., Špatenka, P., & Tichý, M. (2009). Does cold plasma affect breaking dormancy and seed germination? A study on seeds of Lamb's quarters, *Plasma Sci. Technol.*, (۱۱) ۱۰, 750–754. DOI 10.1088/1009-0630/11/6/22.

[۶] Meiqiang, Y., Mingjing, H., Buzhou, M., & Tengcai, M. (2005). Stimulating effects of seed treatment by magnetized plasma on tomato growth and yield. *Plasma Sci. Technol. (***7)6**, 3143–3147. DOI 10.1088/1009-0630/7/6/017.

[7] Misra, N. N., Yong, H. I., Phalak, R., & Jo, Ch. (2018). Atmospheric pressure cold plasma improves viscosifying and emulsion stabilizing properties of xanthan gum, *Food Hydrocolloids*. **82**, 29-33. DOI:10.1016/j.foodhyd.2018.03.031.

[8] Jampala, S. N., Manoloche, S., Gunasekaran, S., & Denes, F. S. (2005). Plasma-enhanced modification of xanthan gum and its effect on rheological properties, *Journal of agricultural and food chemistry*. (**9**)53, 3618-3625. DOI: 10.1021/jf0479113.

[9] Šerá, B., Špatenka, P., Šerý, M., Vrchotova, N., & Hruskova, I. (2010). Influence of plasma treatment on wheat and oat germination and early growth, *IEEE Trans. Plasma Sci*., (7) ۳۸, 2963–2967. https://doi.org/10.1109/TPS.2010.2060728.

[10] Shetab Bushehri, S. M., Abbaszadeh, R., & Sarami, Sh. (2018). The effect of plasma activated water on the percentage and speed of seed germination and early stem growth. 7th Plasma Engineering and Physics Conference, Shahroud, Iran, 101-104 (in Persian).

[11] Billah, M., Karmakar. S., Mina, F. B., Haque, M. N., Rashid, M. M., Hasan, M. F. Acharjee, U. K., & Talukder, M. R. (2020). Investigation of mechanisms involved in seed germination enhancement, enzymatic activity and seedling growth of rice (Oryza Sativa L.) using LPDBD (Ar+Air) plasma, *Archives of Biochemistry and Boiphysics* . DOI: 10.1016/j.abb.2020.108726.

[12] Zhou, R., Zhou, R., Zhang, X., Zhang, J., Yang, S., Bazakia, K., & Ostrikov, K. (2016). Effects of Atmospheric-Pressure N_2, He, Air, and O_2 Microplasmas on Mung Bean Seed Germination and Seedling Growth, *Scientific Reports*,6, 32603. DOI: 10.1038/srep32603.

[13] Guo, Q., Meng, Y., Qu, G., Wang, T., Yang, T., Liang, D., & Hu, Sh. (2018). Improvement of wheat seed vitality by dielectric barrier discharge plasma treatment, *Bioelectromagnetics,* 39(2):120-131. DOI: .\10.1002/bem.22088.

[14] Billah , M., Sajib, S. A.,Roy, N. C., Rashid, M. M.,Reza, M. A., Hasan, M. M., & Talukder, M. R. (2020). Effects of DBD air plasma treatment on the enhancement of black gram (Vigna mungo l.) seed germination and growth, *Archives of Biochemistry and Boiphysics*, 15; 681:108253. DOI: 10.1016/j.abb.2020.108253.

[15] Dubinov, A., Lazarenko, E., & Selemir, V. (2000). Effect of glow discharge air plasma on grain crops seed, *IEEE Trans. Plasma Sci.*, (۲۸) ۱, 180–183. DOI:10.1109/27.842898.

[16] Rasooli, Z., Barzin, G., Mahabadi, T. D., Entezari, M., & Piriaei. D. (2020). Plasma seed priming in green cumin: physiological and developmental study. *Iranian journal of plant physiology*. 11 (1). DOI:10.30495/ijpp.2020.677266.

[17] Sadhu, S., Thirumdas, R., Deshmukh, R.R., & Annapure U.S. (2017). Influence of cold plasma on the enzymatic activity in germinating mung beans (*Vigna radiate*). *Food Science and Technology*. **78**, 97–104 . https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.12.026.

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).