



Print ISSN: 2251-7480
Online ISSN: 2251-7400

Journal of
Water and Soil
Resources Conservation
(WSRCJ)

Web site:

<https://wsrcj.srbiau.ac.ir>

Email:

iauwsrj@srbiau.ac.ir
iauwsrj@gmail.com

Vol. 15
No. 2 (58)

Received:
2025-03-10

Accepted:
2025-09-15

Pages: 69-76

Investigation the Effects of Magnetic Field Intensity and Duration on Physiological Traits of Tomato Seedlings

Khadijeh Keley¹, Ali Gholami^{*2}, Ebrahim Panahpour³ and Mehdi Nourzadeh Hadad⁴

- 1) Ph.D Student of Soil Science, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
 - 2) Department of Soil Science, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.
 - 3) Department of Soil Science, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
 - 4) Nuclear Agriculture Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, Karaj, Iran.
- *Corresponding author emails: aligholami20@iau.ac.ir

Abstract:

Introduction: Climate changes have led to decreased food security indices and soil fertility, significantly impacting the agricultural sector. Given that a large part of Iran is covered by arid climate, the country's food security needs face serious challenges amid climate change. On the other hand, repeated and excessive use of chemical fertilizers in recent years has caused environmental problems such as water pollution and degradation of valuable soil resources. Therefore, the use of new and environmentally friendly techniques can be considered as adaptation strategies to these conditions and improvements in environmental conditions. One such novel method is the use of magnetic fields in agriculture. Previous research has shown that exposing seeds and plants to magnetic fields induces effects on the plant's metabolic processes. Accordingly, this study was conducted to investigate the effects of magnetic field intensity and duration on the germination and physiological traits of tomato plants.

Materials and Methods: The experiment was conducted in a research greenhouse located in Isfahan. The study was designed as a completely randomized design in a split-plot arrangement. Treatments included exposing seeds to a constant magnetic field intensity of 120, 80, 40, 20, 15, and 240 millitesla for durations of 20, 15, 10, and 5 minutes per intensity, alongside a control (no magnetic exposure). Measured traits included total seedling length, stem diameter, root length, leaf chlorophyll content, fresh and dry weights of the whole seedling, root, and stem.

Results and Discussion: Results showed that magnetic field intensity and exposure duration significantly (at 1% probability level) affected the traits studied. Treatment T10B240 caused a sharp decrease in dry stem weight, while T15B40 significantly increased this trait by more than 34% compared to the control. Additionally, the highest fresh and dry root weights were observed in treatments T15B40 and T10B240, respectively. Performance of treatment T20B15 was similar to T15B40, indicating that increasing exposure time with lower magnetic field intensity can yield comparable improvements in root conditions. Seedling length was 24.32 cm and 22.4 cm in treatments T15B40 and T20B15, respectively, compared to 13.83 cm for T10B240 and 17.66 cm in the control. Stem diameter measurements for treatments T15B40, T20B15, T10B240, and control were 2.91 mm, 2.75 mm, 0.227 mm, and 1.95 mm, respectively. Chlorophyll content showed variable results depending on magnetic field intensity and duration, with the best increases observed in T15B40 and T20B15, and the lowest values under 240 millitesla exposure for more than 5 minutes.

Conclusion: The findings indicate that magnetic field intensities above 40 millitesla did not produce favorable results; notably, at 240 millitesla, many physiological traits of tomato seedlings decreased significantly compared to the control. Therefore, applying a magnetic field of low intensity at 15 minutes exposure can act as a non-invasive and non-destructive growth stimulant for tomato plants.

Keywords: Tomato seedling, plant growth, magnetic field intensity and duration, physiological traits, seedling



شاپا چاپی: ۷۴۸۰-۲۲۵۱
شاپا الکترونیکی: ۷۴۰۰-۲۲۵۰

نشریه حفاظت منابع آب و خاک

آدرس تارنما:

<https://wsrj.srbiau.ac.ir>

پست الکترونیک:

iauwsrj@srbiau.ac.ir
iauwsrj@gmail.com

سال پانزدهم

شماره ۲ (۵۸)

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۱۲/۲۰

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۴/۰۶/۲۴

صفحات: ۷۶-۶۹

بررسی تاثیر زمان و شدت میدان مغناطیسی بر صفات فیزیولوژیک نهال گیاه گوجه فرنگی

خدیجه کلی^۱، علی غلامی^{۲*}، ابراهیم پناه پور^۳ و مهدی نورزاده حداد^۴

(۱) دانشجوی دکتری خاکشناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
(۲) دانشیار گروه خاکشناسی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.
(۳) دانشیار گروه خاکشناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
(۴) پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی، کرج.
* ایمیل نویسنده مسئول: aligholami20@iau.ac.ir

چکیده:

مقدمه: تغییرات آب و هوایی باعث کاهش شاخص امنیت غذایی و حاصل‌خیزی خاک شده و تأثیر قابل توجهی بر بخش کشاورزی دارد. با توجه به اینکه بخش بزرگی از ایران تحت پوشش آب و هوای خشک قرار دارد، نیازهای امنیت غذایی کشور در بحبوحه تغییرات اقلیمی با چالش‌های جدی مواجه است. از سویی دیگر استفاده مکرر و زیاد از کودهای شیمیایی در سال‌های اخیر منجر به بروز مشکلات زیست محیطی همچون آلودگی منابع آب و تخریب منابع ارزشمند خاکی شده است. بر همین اساس استفاده از تکنیک‌های نوین و سازگار با محیط زیست می‌تواند از راهکارهای سازگاری با این شرایط و بهبود شرایط زیست محیطی قلمداد گردد. یکی از روش‌های نوینی که می‌تواند به این منظور مورد استفاده قرار گیرد، استفاده از میدان مغناطیسی در کشاورزی است. تحقیقات گذشته نشان داده که در معرض قرار دادن بذور و گیاهان با میدان مغناطیسی حاکی از بروز اثراتی در فرایندهای متابولیکی گیاه می‌باشد. در این راستا و به منظور بررسی اثر شدت و مدت میدان مغناطیسی بر روی جوانه‌زنی و ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه گوجه فرنگی تحقیق حاضر انجام شد.

روش بررسی: این تحقیق در یک گلخانه تحقیقاتی واقع در اصفهان انجام شد. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی و به صورت اسپیل پلات اجرا شد. تیمارها شامل: قرار دادن بذرها در میدان مغناطیسی ثابت ۱۵، ۲۰، ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ و ۲۴۰ میلی تسلا و مدت زمان در معرض قرار گرفتن بذرها برای هر شدت شامل ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ دقیقه و شاهد (بدون در معرض قرار دادن بذرها) بودند. طول کل گیاهچه، قطر ساقچه، طول ریشه‌چه، میزان کلروفیل برگ، وزن تر و خشک کل گیاهچه، وزن تر و خشک ریشه‌چه، وزن تر و خشک ساقچه چه اندازه گیری شد.

نتایج و بحث: نتایج نشان داد که تیمارهای شدت و مدت میدان مغناطیسی بطور معنی‌داری (سطح احتمال یک درصد) بر صفات مورد ارزیابی تأثیر داشتند. بطوریکه تیمار $T_{10}B_{240}$ منجر به کاهش شدید وزن خشک ساقچه شده ولی تیمار $T_{15}B_{40}$ سبب افزایش معنی‌دار این ویژگی تا بیش از ۳۴ درصد نسبت به تیمار شاهد شده است. همچنین بیشترین وزن تر و خشک ریشه‌چه به ترتیب در تیمارهای $T_{15}B_{40}$ و $T_{10}B_{240}$ اندازه‌گیری شد. بر اساس نتایج به دست آمده عملکرد تیمار $T_{20}B_{15}$ نیز مشابه تیمار $T_{15}B_{40}$ بوده است که مبین آن است که با افزایش زمان و کاهش شدت میدان مغناطیسی می‌توان نتایج مشابهی در بهبود شرایط ریشه گیاه گرفت. بر اساس نتایج به دست آمده طول گیاه در تیمارهای $T_{15}B_{40}$ و $T_{20}B_{15}$ به ترتیب ۲۴/۳۲ و ۲۲/۴ سانتیمتر و در تیمار $T_{10}B_{240}$ این مقدار ۱۳/۸۳ سانتیمتر و در تیمار T_0B_0 طول گیاه ۱۷/۶۶ سانتیمتر اندازه‌گیری شد. مقادیر قطر ساقه اندازه‌گیری شده برای تیمارهای $T_{15}B_{40}$ ، $T_{20}B_{15}$ ، $T_{10}B_{240}$ و T_0B_0 به ترتیب ۲/۹۱، ۲/۷۵، ۰/۲۲۷ و ۱/۹۵ میلیمتر بود. بر اساس اندازه‌گیری‌های صورت گرفته میزان کلروفیل گیاه با اعمال میدان مغناطیسی در زمان‌ها و شدت‌های مختلف نتایج متفاوتی داشته است. به نحوی که بهترین عملکرد در افزایش میزان کلروفیل گیاه مربوط به تیمارهای $T_{15}B_{40}$ و $T_{20}B_{15}$ و کمترین میزان کلروفیل مربوط به تیمارهای با شدت میدان مغناطیسی ۲۴۰ میلی‌تسلا و زمان‌های بیش از ۵ دقیقه بوده است.

نتیجه‌گیری: نتایج این تحقیق نشان داد که در شدت‌های بالاتر از ۴۰ میلی‌تسلا نتایج مطلوبی حاصل نشد به طوری که در تیمارهای با شدت مغناطیسی ۲۴۰ میلی‌تسلا ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه گوجه‌فرنگی در بسیاری موارد نسبت به تیمار شاهد کاهش قابل ملاحظه‌ای داشت. بر همین اساس می‌توان اذعان نمود که اعمال میدان مغناطیسی با شدت کم و زمان ۱۵ دقیقه برای گیاه گوجه‌فرنگی می‌تواند به عنوان یک عامل محرک رشد غیر تهجمی و غیر مخرب استفاده گردد.

کلید واژه‌ها: جوانه گوجه فرنگی، رشد گیاه، زمان و شدت میدان مغناطیسی، صفات فیزیولوژیک، گیاهچه

مقدمه

افزایش روزافزون جمعیت و تقاضا برای تولید غذا و فشار بر منابع آب و خاک از یکسو و پیشرفت در صنایع مرتبط با تولید محصولات کشاورزی از سویی دیگر، ضرورت استفاده از فناوری-های صنعتی در بخش کشاورزی را نشان می‌دهد (Nourzadeh et al. 2017). در سال‌های اخیر توجه بیشتر به محیط زیست و کاهش آلودگی‌های مرتبط با فرآیندهای تولیدات کشاورزی موجب شده تا محققان به روش‌های نوین افزایش تولید محصولات روی بیاورند (Hozayn et al. 2021). به همین دلیل روش‌هایی همچون یونیزه نمودن، اشعه لیزر، اشعه ماوراء بنفش، میدانهای مغناطیسی و الکتریکی و نظایر آن بیش از پیش مورد استفاده قرار می‌گیرد (Zhang et al. 2021). بر اساس نتایج تحقیقات گذشته می‌توان گفت که میدان مغناطیسی روی محتوای یاخته‌ای گیاه تأثیرگذار است. از آنجائی که بذر تحت تاثیر عوامل محیطی مختلف همانند دما، رطوبت، سطح اکسیژن، میزان روشنایی قرار می‌گیرد که هر کدام به‌نحوی روی مواد درونی یاخته اثر می‌گذارد، مغناطیس زمین نیز از عواملی است که روی اندام‌های زنده تأثیر می‌گذارد (Youssef et al. 2021). برای فهم این مطلب که میدان مغناطیسی چه تأثیری روی رشد و تندش بذر گیاهان دارد آزمایش‌های متفاوتی صورت گرفته که نشان می‌دهد میدان مغناطیسی بر روی بذر درختانی همچون افرا و چنار و سبزی‌هایی همانند کلم، هویج و خیار تأثیر دارد و یکنواختی در سبز شدن آن‌ها مشاهده شده است (Vashisth et al. 2021). نحوه تأثیر میدان مغناطیسی روی یاخته‌های زنده به روشنی مشخص نشده است، اما احتمال می‌رود که میدان مغناطیسی روی فعالیت آنزیم‌ها و ترکیبات پروتئینی تأثیر می‌گذارد و باعث تغییر شکل پروتئین‌ها می‌شود. به نظر می‌رسد که این تأثیر از طریق تغییر در توالی اسیدهای نوکلئیک که کدهای سازنده پروتئین‌ها هستند ایجاد می‌گردد (Alattar et al. 2019). پژوهش‌های سال‌های اخیر نشان داده‌اند که میدان‌های مغناطیسی تأثیرات زیادی بر تکثیر، تمایز سلولی و فعالیت‌های زیستی جانداران دارند (Anand et al. 2012; Lu et al. 2016; Zhou et al. 2021). در گیاهان تغییر جوانه‌زنی بذرها، تسریع یا تاخیر جوانه‌زنی آنها، تغییر در مقدار زی‌توده، تغییر زمان گلدهی و پیری از پدیده‌های رشد و نمو هستند که تحت تأثیر میدان‌ها قرار می‌گیرند. اثر این امواج در افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های دمایی و شوری گزارش شده است (Bashasha et al. 2021). تحریک گیاهان با استفاده از میدانهای مغناطیسی به-عنوان راهی جهت افزایش کمیت و کیفیت عملکرد مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین جایگزینی کودها و مکمل‌های شیمیایی با تیمارهای فیزیکی، میزان سموم را در مواد خام گیاهی کاهش داده و باعث افزایش سلامت غذا و محیط می‌گردد (El-Kholy et

al. 2015). اثرات مثبت میدان مغناطیسی در بیوسنتز پروتئین‌ها، تکثیر سلول، فعالیت‌های بیوشیمیایی، میزان تنفس، فعالیت آنزیم‌ها، میزان اسیدنوکلئیک و دوره رشد و نمو مشاهده شده است (Da Silva and Dobr-Anszki, 2016). گزارش شده است که اثرات مثبت تیمار میدان مغناطیسی ممکن است به خواص پارامغناطیسی اتمها در سلول‌های گیاهی و رنگدانه‌ها نظیر کلروپلاست‌ها در ارتباط باشد. در تحقیقی مشخص شد که قرارگرفتن بذر ذرت در معرض میدان مغناطیسی کم (۵۰ میلی تسلا) اثر تحریک کنندگی بر مراحل اولیه رشد، وزن تر، رنگدانه-هایی نظیر کلروفیل، میزان اسید نوکلئیک و افزایش طول گیاهچه داشت، اما میدان مغناطیسی قوی‌تر (بین ۱۰۰ تا ۲۵۰ میلی تسلا) اثر بازدارندگی روی صفات ذکر شده داشته است (Selim and Selim 2019). همچنین گزارش شده است که میدان‌های مغناطیسی هم فعالیت یون‌ها و هم قطبیت دوقطبی‌ها را در سلول‌های زنده تحت تأثیر قرار می‌دهد (Shahedi et al. 2020). اغلب تحقیقات اثرات مثبت میدان مغناطیسی را در جوانه زنی و سرعت جوانه زنی بذور پیش تیمار شده گزارش نموده‌اند. محققین زیادی اثر آب مغناطیسی بر گیاهان زراعی را بررسی نموده‌اند. در یک مطالعه Basir و همکاران (۲۰۲۱) مشخص نمودند که آب زهکش مغناطیسی تأثیر مثبت قابل توجهی بر رشد گیاه، ترکیب شیمیایی، فعالیت آنزیم‌ها و کیفیت محصول گوجه فرنگی دارد و استفاده ترکیبی از آب مغناطیسی باعث کاهش استرس و افزایش تولید گیاه گوجه فرنگی شده است. در این زمینه Baiery و همکاران (۲۰۲۳) نیز تأثیر مغناطیسی کردن آب آبیاری بر رشد و کیفیت گوجه فرنگی را بررسی نمودند و مشخص نمودند که آب مغناطیسی باعث افزایش رشد، ضخامت ساقه و افزایش قابل توجه محصول در درصدهای مختلف آبیاری (۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۵۰ درصد نیاز آبی) شد. همچنین Adorio و همکاران (۲۰۲۴) با بررسی تأثیر آب مغناطیسی بر رشد و محصول گوجه فرنگی در سیستم آکوپونیک اذعان داشتند که استفاده از آب مغناطیسی باعث افزایش ارتفاع گیاه، تعداد گل و میوه و وزن میوه‌ها تا ۶۴ درصد نسبت به کنترل شد. همچنین Putti و همکاران (۲۰۲۴) اثر آب مغناطیسی در کاهش تنش شوری و بهبود رشد و محصول گوجه فرنگی را بررسی و مشخص نمودند که استفاده از آب مغناطیسی باعث کاهش شوری خاک، کنترل pH، افزایش رشد گیاه، افزایش عملکرد و بهبود اندازه میوه-های گوجه فرنگی می‌شود.

با توجه به اینکه اثرات میدان مغناطیسی برای بسیاری از گیاهان زراعی دقیقاً مشخص نیست، هدف از این تحقیق بررسی اثر شدت و مدت میدان مغناطیسی بر ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه گوجه فرنگی شامل وزن تر و خشک گیاهچه، ساقه‌چه، ریشه‌چه، طول و قطر گیاهچه و ساقه‌چه و میزان کلروفیل کل گیاه بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش گلخانه‌ای در قالب طرح کاملاً تصادفی و بصورت اسپیلت پلات در شهرخوارسگان استان اصفهان (۳۲،۶۴۴۷ درجه شمالی، ۵۱،۷۶۲۵ درجه شرقی) اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل شدت و مدت زمان‌های مختلف میدان مغناطیسی بودند. واحد آزمایشی شامل سینی نشا بود و عمل ضد عفونی کردن بذرها با استفاده از محلول هیپوکلریت سدیم ۱۰ درصد (به مدت ۶۰ ثانیه) انجام شد. پس از ضد عفونی کردن، بذرها سه مرتبه با آب مقطر شستشو داده شدند. سپس بذرهای خشک را به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر قرار گرفتند و بعد در میدان مغناطیسی قرار داده شده و پس از آن در سینی نشا با بستر کشت کوکوپیت کشت داده شدند. شدت میدان مغناطیسی شامل قرار دادن بذرها در میدان مغناطیسی ثابت ۲۴۰،۱۲۰،۸۰،۴۰،۲۰،۱۵ میلی تسلا و مدت زمان در معرض قرار گرفتن بذرها برای هر شدت شامل ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ دقیقه بودند. نام اختصاری و ویژگی هر یک از تیمارها در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. نام اختصاری و ویژگی‌های تیمارهای مورد آزمایش

نام اختصاری تیمار	ویژگی تیمار
T ₀ B ₀	شاهد
T ₅ B ₁₅	شدت میدان مغناطیسی ۱۵ میلی تسلا و زمان ۵ دقیقه
T ₁₀ B ₁₅	شدت میدان مغناطیسی ۱۵ میلی تسلا و زمان ۱۰ دقیقه
T ₁₅ B ₁₅	شدت میدان مغناطیسی ۱۵ میلی تسلا و زمان ۱۵ دقیقه
T ₂₀ B ₁₅	شدت میدان مغناطیسی ۱۵ میلی تسلا و زمان ۲۰ دقیقه
T ₅ B ₂₀	شدت میدان مغناطیسی ۲۰ میلی تسلا و زمان ۵ دقیقه
T ₁₀ B ₂₀	شدت میدان مغناطیسی ۲۰ میلی تسلا و زمان ۱۰ دقیقه
T ₁₅ B ₂₀	شدت میدان مغناطیسی ۲۰ میلی تسلا و زمان ۱۵ دقیقه
T ₂₀ B ₂₀	شدت میدان مغناطیسی ۲۰ میلی تسلا و زمان ۲۰ دقیقه
T ₅ B ₄₀	شدت میدان مغناطیسی ۴۰ میلی تسلا و زمان ۵ دقیقه
T ₁₀ B ₄₀	شدت میدان مغناطیسی ۴۰ میلی تسلا و زمان ۱۰ دقیقه
T ₁₅ B ₄₀	شدت میدان مغناطیسی ۴۰ میلی تسلا و زمان ۱۵ دقیقه
T ₂₀ B ₄₀	شدت میدان مغناطیسی ۴۰ میلی تسلا و زمان ۲۰ دقیقه
T ₅ B ₈₀	شدت میدان مغناطیسی ۸۰ میلی تسلا و زمان ۵ دقیقه
T ₁₀ B ₈₀	شدت میدان مغناطیسی ۸۰ میلی تسلا و زمان ۱۰ دقیقه
T ₁₅ B ₈₀	شدت میدان مغناطیسی ۸۰ میلی تسلا و زمان ۱۵ دقیقه
T ₂₀ B ₈₀	شدت میدان مغناطیسی ۸۰ میلی تسلا و زمان ۲۰ دقیقه
T ₅ B ₁₂₀	شدت میدان مغناطیسی ۱۲۰ میلی تسلا و زمان ۵ دقیقه
T ₁₀ B ₁₂₀	شدت میدان مغناطیسی ۱۲۰ میلی تسلا و زمان ۱۰ دقیقه
T ₁₅ B ₁₂₀	شدت میدان مغناطیسی ۱۲۰ میلی تسلا و زمان ۱۵ دقیقه
T ₂₀ B ₁₂₀	شدت میدان مغناطیسی ۱۲۰ میلی تسلا و زمان ۲۰ دقیقه
T ₅ B ₂₄₀	شدت میدان مغناطیسی ۲۴۰ میلی تسلا و زمان ۵ دقیقه
T ₁₀ B ₂₄₀	شدت میدان مغناطیسی ۲۴۰ میلی تسلا و زمان ۱۰ دقیقه
T ₁₅ B ₂₄₀	شدت میدان مغناطیسی ۲۴۰ میلی تسلا و زمان ۱۵ دقیقه
T ₂₀ B ₂₄₀	شدت میدان مغناطیسی ۲۴۰ میلی تسلا و زمان ۲۰ دقیقه

جهت اعمال میدان مغناطیسی از دستگاه ایجاد کننده میدان مغناطیسی که شامل یک جفت آهنربای قوی با قابلیت تنظیم فاصله از همدیگر و جریان الکتریکی، استفاده شد. دو آهنربا طوری در دستگاه جاسازی شد که همدیگر را جذب کنند به عبارتی قطب‌های غیر همنام (یکی قطب S و دیگری قطب N) در مقابل همدیگر قرار گرفته بودند. شدت میدان الکترومغناطیسی در فواصل مختلف دو قطب مگنت‌ها توسط دستگاه تسلا متر در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد (Hamid et al. 2024; Samad et al. 2025).

وقتی جوانه گیاه به مرحله ۵ برگی رسید، طول کل گیاهچه از ریشه تا برگچه‌ها (cm) و قطر ساقه‌چه از محل بن گیاهچه (mm) و طول ریشه‌چه (cm) با استفاده از متر اندازه‌گیری شد. میزان کلروفیل با دستگاه کلروفیل متر (مدل CCM-200) اندازه‌گیری و سپس وزن تر و خشک (پس از قرار دادن در آون با دمای ۷۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت) کل گیاهچه و ریشه‌چه و ساقه‌چه با ترازو به طور جداگانه تعیین شدند (Xu et al. 2023).

نتایج و بحث

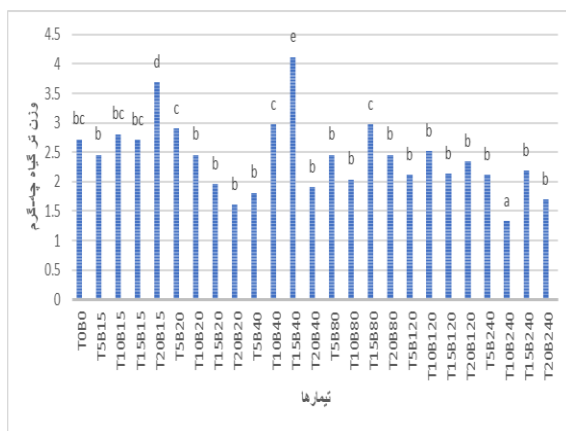
نتایج نشان داد که تیمارهای شدت و مدت میدان مغناطیسی بطور معنی داری بر صفات مورد ارزیابی تاثیر داشته است. همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود تفاوت میانگین وزن تر، خشک گیاهچه، ریشه‌چه، میانگین وزن تر و خشک ساقه‌چه، طول گیاهچه و میزان کلروفیل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شده است.

جدول ۲. جدول تجزیه واریانس صفات فیزیولوژی نهال گیاه گوجه فرنگی

متغیر	میانگین مربعات	F
وزن تر کل گیاه	بین گروهها	۰/۹۲
	درون گروهها	۰/۰۵۸
وزن خشک کل گیاه	بین گروهها	۰/۰۰۸
	درون گروهها	۰/۰۰۳
وزن تر ساقه‌چه	بین گروهها	۲/۳۶۴
	درون گروهها	۱/۴۷۳
وزن خشک ساقه‌چه	بین گروهها	۰/۰۰۴
	درون گروهها	۰/۰۰۲
وزن تر ریشه‌چه	بین گروهها	۰/۶۶۵
	درون گروهها	۰/۱۵۲
وزن خشک ریشه‌چه	بین گروهها	۰/۰۰۱
	درون گروهها	۰/۰۰۰
طول گیاهچه	بین گروهها	۱۸/۰۷۷
	درون گروهها	۳/۸۸
قطر ساقه‌چه	بین گروهها	۱/۷۹۷
	درون گروهها	۰/۰۷۷
کلروفیل	بین گروهها	۲۹۰/۰۷۹
	درون گروهها	۲/۰۷۷

در افزایش میزان کلروفیل گیاه مربوط به تیمارهای $T_{15}B_{40}$ در درجه اول و $T_{20}B_{15}$ در درجه دوم بوده است. همچنین کمترین میزان کلروفیل مربوط به تیمارهای با شدت میدان مغناطیسی ۲۴۰ میلی-تسلا و زمان‌های بیش از ۵ دقیقه (تیمارهای $T_{10}B_{240}$ ، $T_{15}B_{240}$ و $T_{20}B_{240}$) بوده است.

این نتایج با یافته‌های سایر محققان همخوانی دارد به نحوی که گزارش شده که اعمال میدان مغناطیسی سبب افزایش وزن تر گیاه، توسعه بیشتر ریشه های جانبی، افزایش جذب مواد غذایی و رشد بیشتر شاخساره شده است (El-Kholy et al. 2015). از طرفی افزایش وزن تر بوته‌ها تحت تاثیر سطح برگ و کارایی فتوسنتز گیاه نیز قرار گرفته و رابطه مستقیمی بین افزایش وزن تر ریشه و شاخساره و افزایش سطح فتوسنتزی دیده شد (Adorio et al. 2024). همچنین Baiery و همکاران (۲۰۲۳) نتایج مشابهی در خصوص تاثیر مثبت شدت میدان مغناطیسی کمتر از ۶۰ میلی‌تسلا بر تولید گیاه گوجه‌فرنگی با ساقه بلندتر و قطورتر و نیز محصول با کیفیت‌تر را گزارش نمودند. اعمال میدان مغناطیسی بر آب گیاهان سبب بهبود ویژگی‌های ساقه، ریشه و قدرت فتوسنتزی آنها شده و به همین سبب موجب مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی مثل شوری نیز می‌گردد (Bashasha et al. 2021). بر اساس نتایج به دست آمده در این تحقیق افزایش زمان قرار گرفتن در معرض میدان مغناطیسی در شدت‌های پایین میدان مغناطیسی می‌تواند بر ویژگی‌های گیاه تاثیر مفید داشته باشد ولی با افزایش شدت میدان مغناطیسی بیشتر از ۴۰ میلی تسلا این تاثیر منفی خواهد بود. بطوریکه با اعمال میدان مغناطیس قوی ۲۴۰ میلی تسلا، صفات فیزیولوژیک گیاه را بشدت تضعیف نموده به صورتی که این ویژگی‌ها در گیاه شاهد به مراتب بهتر گزارش شده است. این نتایج با نتایج گزارش شده تحقیقی دیگر که توسط دیگر محققان انجام شده بود مطابقت داشت (Selim and Selim, 2019).



شکل ۱. تاثیر تیمارهای مختلف بر وزن تر گیاهچه

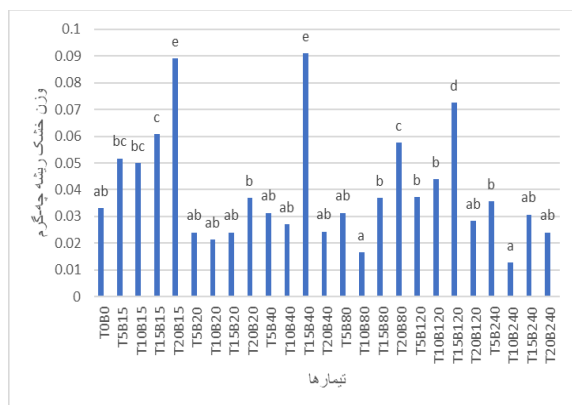
همانطور که در شکل‌های ۱ تا ۹ مشهود است افزایش شدت و مدت میدان مغناطیسی بدون هیچگونه نظم مشخصی بر ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری در این تحقیق موثر بوده است. نتایج (شکل ۱) نشان داد که وزن تر گیاه با اعمال میدان مغناطیسی با شدت ۴۰ میلی‌تسلا و در زمان ۱۵ دقیقه (تیمار $T_{15}B_{40}$)، بیشترین افزایش را نسبت به تیمار شاهد داشته است به نحوی که وزن تر گیاه نسبت به تیمار شاهد بیش از ۵۴ درصد افزایش یافته است. همچنین تیمار $T_{20}B_{15}$ وزن تر گیاه را حدود ۳۶ درصد نسبت به تیمار شاهد (T_0B_0) افزایش داده است. بر اساس نتایج به دست آمده وزن تر گیاه در سایر تیمارها اثر معنی‌داری در افزایش وزن تر گیاه نسبت به شاهد نداشته است به نحوی که در تیمار $T_{10}B_{240}$ وزن تر گیاه نسبت به تیمار شاهد بیش از ۵۰ درصد کاهش داشته است (شکل ۲). این نتایج در خصوص وزن خشک گیاه مشابه بود به نحوی که تیمار $T_{15}B_{40}$ بیشترین افزایش وزن خشک را نسبت به تیمار T_0B_0 داشته و در مقابل تیمار $T_{10}B_{240}$ وزن خشک گیاه را بیش از ۷۰ درصد کم کرده است.

همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود اعمال تیمار میدان مغناطیسی بر وزن تر ساقه‌چه روند یکسانی نداشته و در بسیاری از تیمارها تفاوت معنی‌داری در افزایش این ویژگی ایجاد نکرده است ولی در تیمار $T_{10}B_{240}$ کمترین میزان آن اندازه‌گیری شده است که به شکل معنی‌داری از تیمار شاهد کمتر است. علی‌رغم اینکه تیمار $T_{10}B_{240}$ منجر به کاهش شدید وزن خشک ساقه‌چه شده ولی تیمار $T_{15}B_{40}$ سبب افزایش معنی‌دار این ویژگی تا بیش از ۳۴ درصد نسبت به تیمار شاهد شده است (شکل ۴).

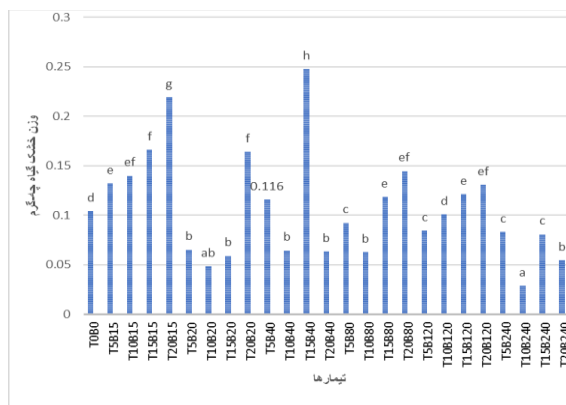
بیشترین وزن تر و خشک ریشه‌چه به ترتیب در تیمارهای $T_{15}B_{40}$ و $T_{10}B_{240}$ اندازه‌گیری شد. بر اساس نتایج به دست آمده عملکرد تیمار $T_{20}B_{15}$ نیز مشابه تیمار $T_{15}B_{40}$ بوده است که مبین آن است که با افزایش زمان و کاهش شدت میدان مغناطیسی می‌توان نتایج مشابهی در بهبود شرایط ریشه گیاه گرفت (شکل‌های ۵ و ۶).

نتایج مشابهی در افزایش طول و قطر ساقه به دست آمد (شکل-های ۷ و ۸) به نحوی که تیمارهای $T_{15}B_{40}$ و $T_{20}B_{15}$ بیشترین افزایش و تیمار $T_{10}B_{240}$ کمترین میزان این ویژگی‌ها را نسبت به تیمار T_0B_0 ثبت نمودند. بر این اساس طول گیاه در تیمارهای $T_{15}B_{40}$ و $T_{20}B_{15}$ به ترتیب ۲۴/۳۲ و ۲۲/۴ سانتیمتر و در تیمار $T_{10}B_{240}$ این مقدار ۱۳/۸۳ سانتیمتر و در تیمار T_0B_0 طول گیاه ۱۷/۶۶ سانتیمتر اندازه‌گیری شد. مقادیر قطر ساقه اندازه‌گیری شده برای تیمارهای $T_{15}B_{40}$ ، $T_{20}B_{15}$ ، $T_{10}B_{240}$ و T_0B_0 به ترتیب ۲/۷۵، ۲/۲۷ و ۱/۹۵ میلی‌متر بود. در شکل ۱۰ تاثیر اعمال تیمارهای برتر این تحقیق ($T_{15}B_{40}$ و $T_{20}B_{15}$) بر ویژگی‌های ظاهری گیاهچه را نسبت به تیمار شاهد (T_0B_0) نشان می‌دهد.

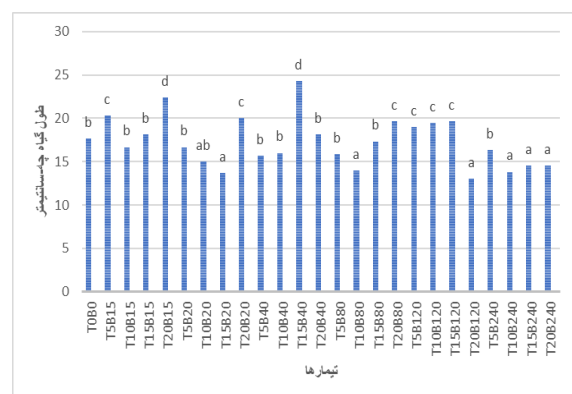
بر اساس نتایج به دست آمده و اندازه‌گیری‌های صورت گرفته میزان کلروفیل گیاه با اعمال میدان مغناطیسی در زمان‌ها و شدت‌های مختلف نتایج متفاوتی داشته است. به نحوی که بهترین عملکرد



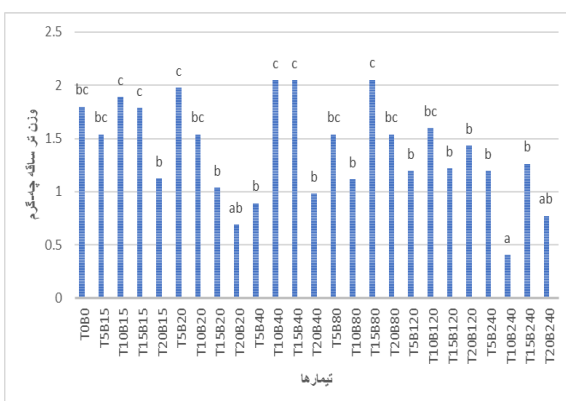
شکل ۶. تاثیر تیمارهای مختلف بر وزن خشک ریشه‌چه



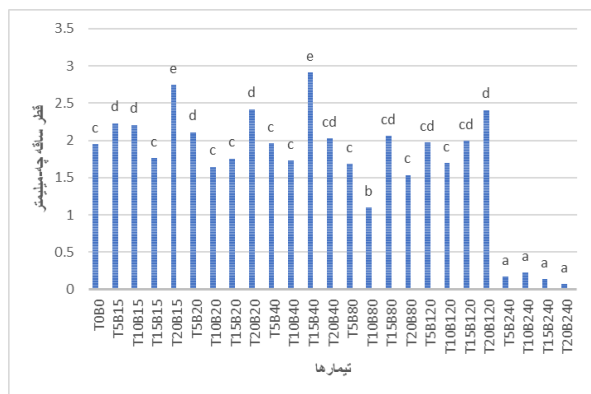
شکل ۲. تاثیر تیمارهای مختلف بر وزن خشک گیاهچه



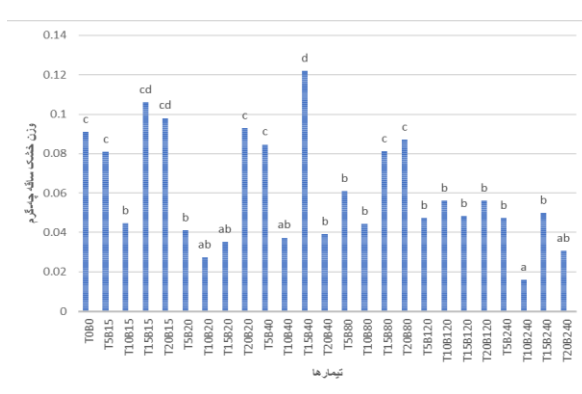
شکل ۷. تاثیر تیمارهای مختلف بر طول گیاه



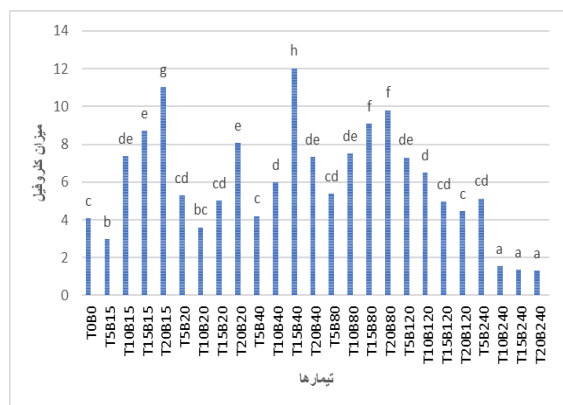
شکل ۳. تاثیر تیمارهای مختلف بر وزن تر ساقه‌چه



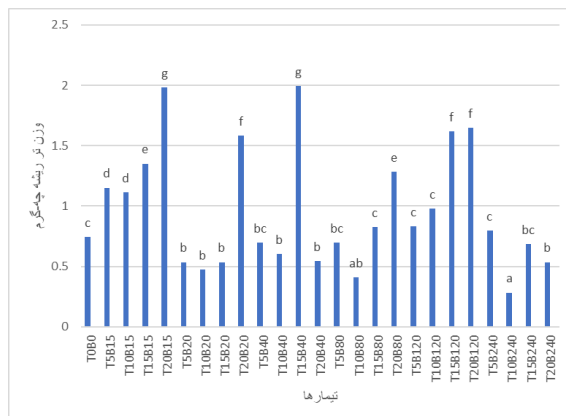
شکل ۸. تاثیر تیمارهای مختلف بر قطر ساقه‌چه



شکل ۴. تاثیر تیمارهای مختلف بر وزن خشک ساقه‌چه



شکل ۹. تاثیر تیمارهای مختلف بر میزان کلروفیل گیاه



شکل ۵. تاثیر تیمارهای مختلف بر وزن تر ریشه‌چه



شکل ۱۰. اثر شدت و مدت میدان مغناطیسی بر تیمارهای برتر (T₁₅B₄₀ و T₂₀B₁₅) نسبت به تیمار شاهد (T₀B₀)

نتیجه گیری

داشتند. بنابراین، میدان مغناطیسی به عنوان یک عامل محرک رشد غیر تهاجمی و غیر مخرب برای گیاه می تواند به کار رود. این روش علاوه بر اینکه با کاهش هزینه های کوددهی و کاهش اثرات منفی آن به بهبود شرایط زیست محیطی کمک می کند و می تواند باعث افزایش کارایی تولید محصول گردد. از طرفی اعمال میدان مغناطیسی به بذور گیاهان هزینه قابل توجهی برای زارع ندارد. با توجه به اینکه تاثیر این روش بر میزان تولید نهایی محصول گوجه فرنگی تاکنون بررسی نشده است، مطالعات تکمیلی در این خصوص ضروری به نظر می رسد.

بر اساس نتایج بدست آمده استفاده از میدان مغناطیسی جهت تحریک رشد اولیه گیاهچه حاصل از بذورهای گوجه فرنگی امکان پذیر است. وزن تر و خشک گیاهچه، ساقه چه، ریشه چه، طول و قطر ساقه و میزان کلرفیل بطور معنی داری در اثر تیمار میدان مغناطیسی افزایش یافت و تیمار میدان مغناطیسی با شدت ۴۰ میلی تسلا نسبت به دیگر تیمارها برتری نسبی نشان داد، اما در بین زمانهای در معرض قرار گرفتن بذرها با میدان مغناطیسی، بهترین زمان ۱۵ دقیقه بدست آمد (T₁₅B₄₀) و به نظر می رسد که زمان های کم تا متوسط تأثیر بیشتری بر بذرها

Reference:

- Adorio, M. D., Galvan, J. P. D., Simon, M. R. A. C., & Razote, R. P. (2024). Effect of magnetically treated water on the growth and yield of tomato (*Solanum lycopersicum*) in aquaponics system. *Indian Journal of Science and Technology*, 17(47), 5010–5015. <https://doi.org/10.17485/IJST/v17i47.3509>
- Abd El-Basir, E. (2021). Tomato production using magnetized agriculture drainage water. *Journal of Plant Production*, 12(3), 231–241. <https://doi.org/10.21608/jpp.2021.155641>
- Abdos, M., & Yazdani, M. R. (2024). Effect of irrigation with magnetic water on growth and yield of maize and roselle tea in arid areas. *Journal of Water Research in Agriculture*, 38(2), 171–183. <https://doi.org/10.22092/jwra.2024.364592.1028>
- Aghamir, F., Bahrami, H., Eshghi, S., & Malakouti, M. J. (2019). The effect of applied magnetics water on nutrients uptake by bean plants in salt conditions. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 49(6), 1419–1431. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2018.226045.667625>
- Alattar, E. M., Elwasife, K. Y., Radwan, E. S., & Abuassi, W. A. (2019). Influence of magnetized water on the growth of corn (*Zea mays*) seedlings. *Romanian Journal of Biophysic*, 29, 39–50.
- Baiyeri, M. R., Yusuf, K. O., Obalolu, R. O., Saad, G., & Banjoko, I. K. (2023). Impact of magnetization of irrigation water on growth, yield and nutritional qualities of tomato under deficit irrigation. *Notulae Scientiae Biologicae*, 15(1), 11360. <https://doi.org/10.55779/nsb15111360>
- Bashasha, J., El-Mugrbi, W., & Imryed, Y. (2021). Effect of magnetic treatment in improve growth of three wheat cultivars irrigated with seawater. *Journal of Surface Engineered Materials and Advanced Technology*, 1, 24–32.
- Da Silva, J. A. T., & Dobránszki, J. (2016). Magnetic fields: How is plant growth and development impacted? *Protoplasma*, 253(2), 231–248.
- El-Kholy, M. F., Samia, S., & Farag, A. A. (2015). Effect of magnetic water and different levels of NPK on growth, yield and fruit quality of Williams banana plant. *Alexandria Science Exchange Journal*, 40, 604–617.

- Fernando Ferrari Putti, B., Arruda, B., Festozo Vicente, E., Nunes Chaves, P. P., Bueno Nogueira, B., Leoti Zanetti, W. A., Orika Ono, E., Rodrigues dos Reis, A. (2024). Magnetic technology to reduce the effects of saline stress on tomato plants. *Environmental Technology & Innovation*, 34, 103544. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103544>
- Hosseini, S., Rafeiolhossain, M., & Roshandel Parto. (2018). Effect of magnetic field on seed germination of *Guizotia abyssinica* under drought stress conditions. *Iranian Journal of Seed Research*, 5(1), 33–52.
- Hozayn, M., Elaoud, A., Abd El-Monem, A. A., & Salah, N. B. (2021). Effect of magnetic field on growth and yield of barley treated with different salinity levels. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(8), 1–10.
- Khoshravesh, M., Erfanian, F., & Pourgholam-Amiji, M. (2021). The effect of irrigation with treated magnetic effluent on yield and yield components of maize. *Water Management in Agriculture*, 8(1), 115–128.
- Lu, W., Jian-yao, G., Xiu-mei, L., Hong, Z., Hua-tian, W., Ying, W., Xiao, W., Feng-Yun, M., & Feng-wei, Z. (2016). Effects of magnetized water irrigation on growth and quality of *Ziziphus jujuba* 'Dongzao'. *Acta Horticulturae Sinica*, 43(4), 653.
- Nourzadeh Hadad, M., Hasani, A., & Karami Moghadam, M. (2017). Comparison the efficiency of Aquasorb and Accepta superabsorbent polymers in improving physical, chemical, and biological properties of soil and tomato under greenhouse condition. *Journal of Water and Soil (Agricultural Science and Technology)*, 31(1), 156–167. [In Persian]
- Safarizadehsani, A., Banejad, H., & Jamali, S. (2021). The effects of irrigation with magnetized water on growth and yield properties of Marigold under different soil textures. *Iranian Water Research Journal*, 15(1), 75–85.
- Samad, A., Rehman, S., Abbas, T., et al. (2025). Synergistic effects of magnetic water treatment and mulching on tomato growth under saline conditions. *Scientific Reports*, 15(1), Article 12345.
- Selim, A. F. H., & Selim, D. A. (2019). Physio-treatment of water on evapotranspiration of biochemical behaviour, water use efficiency and productivity of wheat plants exposed to magnetic field. *Journal of Plant Production*, 10(2), 185–191.
- Shahedi, B., Banejad, H., Goldani, M., & Gholizadeh, M. (2021). Evaluation of the effect of magnetic water on seed germination and growth characteristics of spinach (*Spinacia oleracea*) under deficit irrigation conditions. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 14(5), 1538–1549.
- Vashisth, A., Meena, N., & Krishnan, P. (2021). Magnetic field affects growth and yield of sunflower under different moisture stress conditions. *Bioelectromagnetics*, 42(6), 473–483. <https://doi.org/10.1002/bem.22354>
- Xu, L., Zhang, Y., & Zhang, Y. (2023). Performance of different magnetic and electromagnetic water treatments on tomato growth under deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 279, 108291.
- Youssef, E. A., & Taha, S. S. (2016). Effect of moisture stress and magnetized water on growth parameters and yield characteristics of onion plants. *International Journal of Pharm Technology Research*, 9(9), 104–111.
- Zhang, J., Wei, K., Wang, Q., Sun, Y., & Mu, W. (2021). Effects of magnetized fresh water on seed germination and seeding growth of cotton. *Water Supply*, 21(6), 2863–2874. <https://doi.org/10.2166/ws.2021.051>
- Zhou, B., Yang, L., Chen, X., Ye, S., Peng, Y., & Liang, C. (2021). Effect of magnetic water irrigation on the improvement of salinized soil and cotton growth in Xinjiang. *Agricultural Water Management*, 248, 106784.