تأثیر آب مغناطیسی بر خصوصیات جوانه زنی بذر و ظهور گیاهچه گل آهار (*Zinnia elegans* L.)

علیرضا هوشمندزاده[۱]، سعید برومندنسب[۲*]، محمد الباجی[۳] و ناصر عالم زاده انصاری[۴]

۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آب- آبیاری و زهکشی

۲*- نویسنده مسئول، استاد تمام و عضو هیات علمی گروه آبیاری و زهکشی دانشگاه شهید چمران اهواز. boroomand@scu.ac.ir

۳- دانشیار و عضو هیات علمی گروه آبیاری و زهکشی دانشگاه شهید چمران اهواز.

۴- دانشیار و عضو هیات علمی گروه باغبانی دانشگاه شهید چمران اهواز.

دریافت: بازنگری: پذیرش: انتشار:

چکیده

فضای سبز شهری یکی از شاخصه های توسعه یافتگی جوامع بوده و اهدافی چون مزایای زیست محیطی، کارکرد تفریحی، کارکرد بهداشت روان، کارکرد ارتباطی و ... را در پی دارد. در این راستا بهبود گیاهان فضای سبز در بستر علوم نظزی و تجربی از اهمیت بالایی برخوردار است. به‌همین منظور در تحقیق حاضر اقدام به بررسی تأثیر اعمال میدان مغناطیسی در محدوده ۰/۳ تسلا و با تیمارهای A0 (بدون آهنربا- شاهد)، A2 (دو آهنربا) ، A4 (چهار آهنربا) و A8 (هشت آهنربا) در پیرامون لوله ۱۶ میلیمتری و با آبیاری قطره‌ای بر جوانه زنی و ظهور گیاهچه گل آهار شد. نتایج نشان داد که اغلب شاخص‌های جوانه زنی و ظهور گیاهچه با بالا رفتن توان مغناطیسی افزایش معنی‌داری از خود نشان داده‌اند. معیارهای جوانه‌زنی از قبیل شاخص سرعت جوانه‌زنی با ۲۲ درصد افزایش تیمار A8 نسبت به تیمار شاهد، متوسط جوانه زنی روزانه با ۹۰ درصد افزایش، شاخص جوانه زنی با ۴۳ درصد، درصد جوانه‌زنی با ۱۷ درصد و سرعت جوانه‌زنی با بیش از ۱۰۰ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد روبه‌رو شدند. معیارهای ظهور گیاهچه نیز شامل درصد ظهور نهایی گیاهچه‌ها با ۱۰ درصد افزایش تیمار A8 نسبت به تیمار شاهد و میانگین زمان لازم برای ظاهر شدن گیاهچه با ۵/۲ درصد افزایش مشاهده شد. با این تفاسیر، می‌توان استفاده از آب مغناطیسی را به‌عنوان روشی مؤثر و زیست‌سازگار برای افزایش درصد جوانه‌زنی و بهبود استقرار اولیه گیاهان در فضای سبز و کشاورزی توصیه نمود.

کلید واژه ها: میدان مغناطیسی، فضای سبز، محیط زیست، آهنربا.

مقدمه

بحران آب یکی از بزرگترین چالش‌های زیست‌محیطی قرن حاضر، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان از جمله ایران است. با توجه به افزایش جمعیت، تغییرات اقلیمی و کاهش منابع آبی، مدیریت پایدار آب بیش از هر زمان دیگری اهمیت یافته است (IPCC, 2021). ایران به‌عنوان کشوری با میانگین بارش سالانه کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر، با کمبود شدید منابع آب شیرین و افزایش شوری آب‌های زیرزمینی و خاک دست و پنجه نرم می‌کند FAO (2020)، این موضوع زمانی اهمیت پیدا می کند که بدانیم در سال آبی ۱۴۰۴-۱۴۰۳ میانگین بارش کشور مقدار پایین ۱۴۷.۷ بوده است (Iranian Water Resources Management Company, 2025). این وضعیت به‌طور مستقیم بر بخش کشاورزی، که بیش از ۹۰ درصد از منابع آبی کشور را مصرف می‌کند، تأثیر گذاشته و امنیت غذایی و زیست‌محیطی را به خطر انداخته است (Ministry of Energy, Iran, 2022). در مناطق جنوبی کشور، مانند اهواز، چالش شوری خاک و آب به‌دلیل نزدیکی به خلیج فارس و برداشت بی‌رویه از سفره‌های آب زیرزمینی تشدید شده است، که این امر رشد بسیاری از گیاهان زراعی و زینتی را محدود می‌سازد (Saeedi et al., 2019).

یکی از رویکردهای نوین در مدیریت منابع آب و بهبود بهره‌وری کشاورزی، استفاده از آب مغناطیسی است. آب مغناطیسی به آبی گفته می‌شود که از یک میدان مغناطیسی با شدت و مدت زمان مشخص عبور داده شده است. مطالعه‌ها نشان می‌دهند که عبور آب از میدان مغناطیسی می‌تواند باعث تغییر در ساختار پیوندهای هیدروژنی مولکول‌های آب شده، که نتیجه آن کاهش کشش سطحی و افزایش حلالیت اکسیژن و مواد معدنی است (Pang and Deng, 2013). این تغییرات فیزیکی در آب، به‌طور بالقوه می‌تواند به بهبود جذب آب و عناصر غذایی توسط گیاهان به‌ویژه در شرایط تنش آبی یا شوری کمک کند. پژوهش‌های متعدد حاکی از اثرات مثبت آب مغناطیسی بر جوانه‌زنی، رشد و عملکرد گیاهان هستند. برای مثال، در مطالعه‌ای بر روی ذرت، استفاده از آب مغناطیسی منجر به افزایش ۱۵ تا ۲۰ درصدی در نرخ جوانه‌زنی و ۱۰ تا ۲۵ درصدی در زیست‌توده گیاه شده است (Hozayn and Qoura, 2010). این فناوری به ویژه در شرایط شوری آب و خاک، با افزایش مقاومت گیاه و کاهش اثرات سمی نمک‌ها، نویدبخش

بوده است (Al-Zahrani et al., 2024). با این حال، اثربخشی این تکنولوژی به پارامترهای مختلفی از جمله شدت میدان مغناطیسی، مدت زمان تیمار و تعداد آهنرباها بستگی دارد (Mahajan et al., 2020). از سوی دیگر با توجه به کمبود تحقیقات میدانی در مناطق خشک و نیمه‌خشک و نیاز به یافتن راهکارهای مقرون به صرفه برای بهبود رشد گیاهان زینتی در شرایط تنش محیطی، در این مطالعه به بررسی تأثیر تعداد آهنرباهای متفاوت (صفر، دو، چهار و هشت عدد) بر خصوصیات جوانه‌زنی و سبز شدن گل آهار پرداخته شد. نتایج این پژوهش می‌تواند به تعیین بهینه‌ترین تعداد آهن‌ربا برای تولید آب مغناطیسی مؤثر و کمک به توسعه فضای سبز شهری مقاوم در مناطق مشابه کمک کند. گل آهار (*Zinnia elegans* L.) از جمله گیاهان زینتی یک‌ساله و بومی آمریکای شمالی است که به‌دلیل تنوع رنگ، سهولت کشت و تحمل نسبی به شرایط محیطی، به‌طور گسترده‌ای در فضای سبز شهری و باغچه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این‌حال، این گیاه نیز مانند بسیاری از گیاهان، در مراحل حساس جوانه‌زنی و سبز شدن به شوری خاک و آب حساس است (Al-Zahrani et al., 2024). از این رو، بررسی تأثیر آب مغناطیسی بر جوانه‌زنی و رشد اولیه گل آهار در منطقه‌ای با چالش‌های اقلیمی مانند اهواز می‌تواند داده‌های ارزشمندی را برای توسعه فضای سبز پایدار و مقاوم فراهم کند.

پیشینه تحقیق

نخستین پژوهش‌ها در زمینه کاربرد میدان مغناطیسی برای تولید سیمان، آجر و سرامیک در سال ۱۹۶۲ در کشور شوروی سابق به انجام رسید. در ابتدا این روش به‌منظور تولید بلوک‌های بتنی با مقاومت بالا به‌منظور استفاده در باند پرواز فرودگاه‌های نظامی، ساخت وساز در سواحل و برای ساخت تجهیزات جنگی به کار برده شد. در ادامه صنایع دیگری از قبیل کارخانه‌های، پتروشیمی و کشاورزی نیز وارد حیطه تحقیقات آب مغناطیسی شدند. Adorio et al (2024) در زمینه تحقیقات آب مغناطیسی تأثیر آب مغناطیسی در سه سطح بدون مغناطیس، تعداد شش آهن‌ربا و تعداد ۱۲ آهن‌ربا به‌صورت چیدمان متناوب در سه تکرار بر عملکرد گوجه-فرنگی را مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که گوجه‌فرنگی در شاخص‌های عملکردی رشد مناسبی داشته و به‌عنوان نمونه ارتفاع بوته و وزن میوه‌ها به‌ترتیب با ۴۱ و ۱۲ درصد رشد از خود نشان داده است.

Liu et al., (2024) در پژوهشی در چین، اثر آبیاری با آب مغناطیسی با شدت‌های ۰، ۱۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ میلی‌تسلا (mT) بر جوانه‌زنی و رشد نهال‌های پنبه بررسی شد. نتایج نشان داد که استفاده از آب مغناطیسی باعث کاهش ۷/۳ درصد تا ۱۰/۵ درصد در کشش سطحی آب و افزایش ۸/۸ درصد تا ۱۲/۷ درصد در غلظت اکسیژن محلول شد. شاخص‌های قدرت و توان جوانه‌زنی به ترتیب ۱۶/۸ درصد تا ۲۲/۴ درصد و ۴۷/۴ درصد تا ۷۸ درصد افزایش یافتند. همچنین، نرخ فتوسنتز خالص و کارایی مصرف آب به‌طور معناداری افزایش یافتند، درحالی‌که مقدار محدودیت روزنه‌ای کاهش یافت. در مجموع، استفاده از آب مغناطیسی با شدت‌های ۳۰۰ تا ۵۰۰ میلی تسلا باعث افزایش معنادار در بیوماس نهال‌های پنبه شد. در مطالعه‌ای در برزیل در سال ۲۰۲۳ توسط پوتی و همکاران، اثر آبیاری با آب مغناطیسی بر رشد، جذب مواد مغذی و عملکرد کاهو بررسی شد. آب با عبور از میدان مغناطیسی با شدت ۰/۲۹ تسلا (T) مغناطیسی شد. نتایج نشان داد که استفاده از آب مغناطیسی باعث افزایش غلظت نیتروژن و فسفر در برگ‌ها شد که به نوبه خود منجر به افزایش تعداد برگ‌ها، وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه گردید. این یافته‌ها نشان می‌دهد که آب مغناطیسی می‌تواند وضعیت تغذیه‌ای و عملکرد کاهو را بهبود بخشد. در مطالعه ای دیگر در برزیل اثر آبیاری با آب مغناطیسی با شدت‌های ۰/۰۲۹، ۰/۲۲۹ و ۰/۲۸ تسلا بر جوانه‌زنی و رشد ذرت بررسی شد. نتایج نشان داد که استفاده از آب مغناطیسی باعث افزایش معنادار در درصد جوانه‌زنی، طول ریشه و ساقه، و وزن تر و خشک گیاه شد. بالاترین نتایج در شدت میدان مغناطیسی ۰/۲۸ تسلا مشاهده گردید.(Barcelos et al., 2022).

مواد و روش‌ها

این پژوهش در خردادماه سال ۱۴۰۴ در شهر اهواز در فضای سبز منازل مسکونی شرکت فولاد خوزستان به‌منظور بررسی تأثیر آب مغناطیسی بر جوانه‌زنی و سبز شدن گل آهار انجام شد. بر اساس داده‌های اخذ شده از سازمان هواشناسی استان خوزستان، آزمایش در بازه ۱۰ روزه از سه الی ۱۲ خرداد ماه با میانگین حداکثر دمای ۳۹ تا ۴۳، میانگین حداقل دمای ۲۹ تا ۳۳، میانگین دمای کل ۳۶/۹ درجه سلسیوس، میانگین رطوبت نسبی در محدوده ۲۴ درصد انجام شد. آزمایش جوانه‌زنی بذر در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با نصب جفت آهن‌ربا با قدرت ۲۵۰۰ گاوس در مرکز و ۳۱۰۰ گاوس در جناحین (اندازه گیری با استفاده از گاوس متر لوترون مدل MG-3003SD بوده است) پیرامون لوله ۱۶ میلیمتری در چهار تیمار صفر، دو، چهار و هشت آهن‌ربا و با خروجی قطره چکان زانویی (با تنظیم دبی دو لیتر در ساعت) و در محیط ظروفی از جنس پلاستیک به ابعاد ۱۴ در نه سانتی‌متر در بستر پنبه و در بین دو عدد کاغذ صافی آزمایشگاهی و در سه تکرار انجام شد (شکل ۱). در تیمارهای چهار و هشت آهن‌ربا فاصله آهن‌رباها در طول لوله یک سانتیمتر و از قطره چکان چهار سانتیمتر بود. پیش از شروع آزمایش در ابتدا بذرها به مدت یک دقیقه در آب ژاول ضدعفونی و با آب مقطر شستشو داده شد. تعداد ۵۰ بذر در هر ظرف حاوی کاغذ صافی قرار داده شد و به هرکدام از آن‌ها ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد. ظروف به مدت ۱۰ روز با تناوب نوری ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی و در دمای ۲۵ درجه سلسیوس قرار گرفتند و شمارش بذرهای جوانه زده به‌صورت روزانه انجام شد و در انتها صفات درصد جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی

روزانه، متوسط جوانه‌زنی روزانه و شاخص سرعت جوانه‌زنی محاسبه شد.

درصد جوانه‌زنی از رابطه زیر محاسبه شد (Salimi and Ghorbani, 2001).

$$PG=\frac{Ni}{N}\ X\ 100 \qquad (۱)$$

که در آن PG درصد جوانه‌زنی، Ni تعداد بذر جوانه زده در روز آخر شمارش و N تعداد کل بذرها است.

سرعت جوانه‌زنی GR (Germination rate) از روش خان و یونگار (Khan and Ungar) به‌دست آمد (Mirzapour, 2021):

$$GR=\boldsymbol{\Sigma}(Ni/Di) \qquad (۲)$$

که در این رابطه Ni تعداد بذرهای جوانه زده در هر روز و Di تعداد روز برای هر شمارش می باشد.

برای محاسبه شاخص جوانه زنی GI (Germination index) از فرمول زیر زیر استفاده شد (Scott et al, 1984):

$$GI=\frac{\Sigma TiNi}{S} \qquad (۳)$$

در این رابطه Ti زمان شمارش، Niتعداد بذور جوانه زده در هر شمارش و S کل بذرهای کاشته شده است.

متوسط جوانه زنی روزانه MDG (Mean daily germination) از رابطه زیر محاسبه شد (Scott et al., 1984):

$$MDG=\frac{FGP}{d} \qquad (۴)$$

که در آن FGP درصد جوانه زنی نهایی و d تعداد روز تا رسیدن به حداکثر جوانه زنی است.

برای محاسبه سرعت جوانه زنی روزانه DGS (Daily germination speed) از فرمول زیر استفاده شد (Shamsaie et al., 2017):

$$DGS=\frac{1}{MDG} \qquad (۵)$$

و ضریب سرعت جوانه‌زنی CVG (Coefficient of germination rate) از رابطه زیر محاسبه شد (Scott et al, 1984):

$$CVG=\frac{\Sigma Ni}{\Sigma TiNi} \qquad (۶)$$

که در آن Ti تعداد روز بعد از کاشت و Ni تعداد بذور جوانه زده در روز i است.

آزمایش ظهور گیاهچه هم در چهار تیمار صفر، دو ، چهار و هشت آهن‌ربا در سه تکرار در بستر ظروف نشاکاری به تعداد سلول ۱۰۵ عدد با خاک مخلوط کوکوپیت و پرلیت انجام شد. طرح آماری این آزمایش طرح فاکتوریل و شوری آب آبیاری ۲/۹-۲/۶۵ دسی زیمنس بر متر بود. برای آزمایش سبز شدن آبیاری در حد رساندن خاک به حالت اشباع و خروج آب از انتهای سلول‌ها انجام می شد. آبیاری به‌صورت روزانه و از منبع آب رودخانه کارون جدول (۱) انجام شد تا بذرها به‌طور پیوسته مرطوب باقی بمانند. معیارهای زیر برای بررسی تأثیرپذیری گیاهچه از آب مغناطیسی به‌کار گرفته شد:

درصد ظهور گیاهچه FEP (Final seedling field emergence percentage) حاصل تقسیم تعداد گیاهچه‌های ظاهر شده بر تعداد بذور کاشته شده است ضربدر ۱۰۰ است (Anonymous, 2003).

میانگین زمان لازم برای ظاهر شدن گیاهچه MTE (Mean time of Seedling field emergence): این شاخص معیاری از سرعت ظاهر شدن گیاهچه است (Anonymous, 2003).

$$MTE=\frac{\Sigma nd}{\Sigma n} \qquad (۷)$$

که در آن n تعداد گیاهچه ظاهر شده در d روز، d تعداد روز و **Σ**n تعداد کل گیاهچه های ظاهر شده است.

میانگین ظاهر شدن روزانه گیاهچه در مزرعه MDE (Mean daily Seedling field emergence): معیاری از سرعت و تعداد گیاهچه ظاهر شده است که حاصل تقسیم درصد ظاهر نهایی گیاهچه (FEP) بر طول دوره آزمایش می باشد (Anonymous, 2003).

$$MDE=\frac{\boldsymbol{\Sigma} nt}{\boldsymbol{\Sigma} n} \qquad (۸)$$

که در آن n تعداد ظهور گیاهچه در هر روز و t عدد روز برای هر شمارش

سرعت ظاهر شدن روزانه گیاهچه DES (Daily Seedling field emergence rate): این شاخص عکس میانگین ظاهر شدن روزانه است و بیان کننده مدت زمان لازم برای ظاهر شدن گیاهچه ها است و هرچه کمتر باشد سرعت ظاهرشدن گیاهچه بالاتر است(Anonymous, 2003).

$$DES=\frac{1}{MDE} \qquad (۹)$$

درصد ظهور گیاهچه نیز حاصل تقسیم تعداد گیاهچه ظاهر شده تقسیم بر تعداد بذر کشت شده است (Anonymous, 2003).

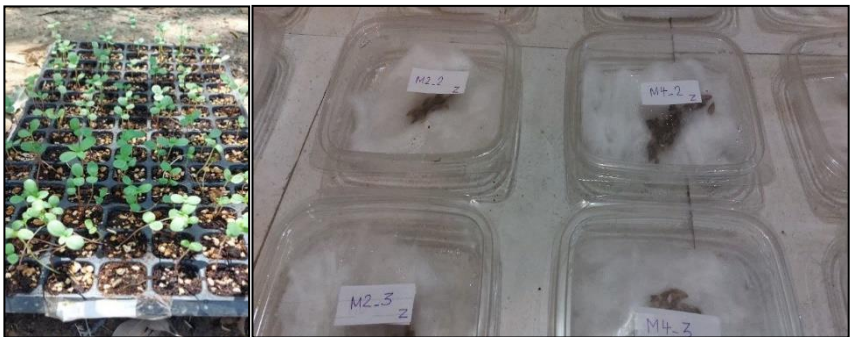


Fig. 1- View of the germination and seedling emergence experiment

شکل ۱- نمایی از آزمایش جوانه زنی و ظهور گیاهچه

جدول ۱- خصوصیات آب آبیاری

Table1- Irrigation water characteristics

Parameter	EC(dS/m)	SAR	pH	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	DO(%)
Amount	2.65-2.9	1.05	7.2	2.73	0.08	8.2	4.67	89.6

سرعت ظهور گیاهچه SER (Seedling Emergence Rate) با توجه به تاریخ نخستین آبیاری به‌عنوان تاریخ کاشت و با استفاده از رابطه زیر محاسبه می شود (Orchard, 1977).

$$SER = \frac{FEP}{D} \qquad (۱۰)$$

که در آن FEP درصد ظهور نهایی گیاهچه و D تعداد روز از کاشت تا پایان یادداشت برداری می‌باشد.

پس از جمع آوری داده‌ها با توجه به برقرار بودن پیش فرض‌های نرمال بودن و تساوی واریانس‌ها، از روش تجزیه واریانس یکطرفه برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و با استفاده از نرم‌افزار SPSS استفاده شد و میانگین تیمارها با کمک آزمون دانکن مقایسه شد.

نتایج

با عبور آب از میدان مغناطیسی برای هر تیمار، تأثیر چندانی بر پارامترهایی از قبیل EC، pH و DO (Dissolved Oxygen) مشاهده نگردید و به‌ترتیب با میزان حدود ۲/۷ دسی زیمنس بر متر، ۷/۰۷ و اکسیژن محلول ۹۰/۴ درصد تغییراتی در محدوده کمتر از دو درصد مشاهده شد. با توجه به اینکه تحقیق حاضر با هدف تحلیل رفتار گیاه در مرحله جوانه زنی و ظهور گیاهچه بوده است لذا به ارائه نتایج حاصل به‌صورت مبسوط پرداخته شده است.

جوانه‌زنی

به‌طورکلی، کاربرد آب مغناطیسی به‌عنوان یک فناوری پایدار و کم‌هزینه، پتانسیل بالایی برای ارتقای عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی دارد و می‌تواند به‌عنوان راهکاری مؤثر در مدیریت منابع آب و افزایش بهره‌وری در شرایط مختلف محیطی مورد توجه قرار گیرد. این اثرات عمدتاً به‌دلیل افزایش جذب آب توسط بذر، تحریک فعالیت آنزیمی و بهبود انتقال مواد مغذی رخ می‌دهد (Tidke et al, 2025). یکی از فرضیه‌های احتمالی برای توضیح اثرات مثبت مشاهده شده از میدان مغناطیسی را می‌توان در خواص پارامغناطیسی برخی اتم‌های سلول‌های گیاهی یافت که اعمال میدان مغناطیسی خارجی به این اتم‌ها موجب چرخش آن‌ها در راستای میدان مغناطیسی می‌شود. خواص مغناطیسی مولکول‌ها و توانایی آن‌ها در جذب و سپس تغییر انرژی میدان مغناطیسی به انواع دیگر انرژی و انتقال این انرژی به ساختارهای دیگر سلول‌های گیاهی، منجر به فعال شدن آن‌ها می‌شود (Fallah, 2008). در تحقیق حاضر نرمال بودن داده‌ها با استفاده از رابطه شاپیرو–ویلک (Shapiro-Wilk) تأئید شد و نیز آنالیز واریانس بر شاخص های جوانه‌زنی تأثیر مثبت و معنی‌داری در سطح یک درصد با اعمال آب مغناطیسی در معیارهای مقایسه نشان داد (جدول ۲). آزمون اندازه اثر (Effect size) هم نشان داد که به‌ترتیب شاخص‌های DGS و MDG با مقادیر ۰/۹۴۲ و ۰/۹۲۹ بیشترین اثر را داشته‌اند.

با مشاهده نمودارهای مقایسه میانگین، می‌توان گفت که ضریب سرعت جوانه‌زنی (CVG) به‌طورکلی با افزایش تعداد جفت آهن‌ربا، به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد و در تیمار هشت آهنربا به بالاترین حد خود یعنی ۰/۴۶ می‌رسد و افزایش ۳۲ درصدی نسبت به تیمار شاهد داشته است (شکل ۲). این بهبود به معنای آن است که بذرها در مدت زمان کوتاه‌تری جوانه می‌زنند و استقرار اولیه گیاهچه‌ها یکنواخت‌تر و سریع‌تر انجام می‌شود و نه تنها موجب کاهش زمان لازم برای ظهور گیاهچه‌ها می‌شود، بلکه یکنواختی سبز شدن مزرعه را نیز افزایش می‌دهد و در نهایت می‌تواند به استقرار بهتر گیاه و افزایش عملکرد نهایی منجر شود (Zhang et al, 2022). در همین راستا Al-Akhras et al (2024) طی

مطالعه‌ای که به بررسی تأثیر آب مغناطیسی بر جوانه‌زنی و رشد اولیه گندم و جو پرداخته است گزارش کردند که اعمال میدان مغناطیسی با شدت ۰/۱۵ تسلا به بذرها باعث تسریع در جوانه‌زنی و افزایش ضریب سرعت جوانه‌زنی شده است. نتایج نشان داد که تیمار با آب مغناطیسی می‌تواند سرعت جوانه‌زنی را به‌طور میانگین تا ۲۵ درصد افزایش دهد. لازم به ذکر است که در شاخص CVG با وجود اینکه تیمار A2 درصد جوانه‌زنی بالاتری نسبت به تیمار شاهد داشت، مقدار کمتر نسبت به تیمار شاهد از خود نشان داد که علت آن کمتر بودن درصد جوانه‌زنی در روزهای ابتدایی شروع آبیاری بوده و در روزهای انتهایی درصد جوانه‌زنی آن رشد بیشتری داشته است.

در متوسط جوانه‌زنی روزانه (MDG) تیمارهای شاهد، دو و چهار آهنربا اختلاف معنی داری نداشته ولی در تعداد هشت آهن‌ربا اختلاف معنی دار در سطح یک درصد نشان داد و با عددی معادل ۲۲، افزایشی ۹۰ درصدی نسبت به تیمار شاهد (۱۱/۶) دارد (شکل ۳). این شاخص بیانگر تعداد بذرهای جوانه‌زده در هر روز به طور میانگین است و این افزایش نشان از تسریع فرآیند سبز شدن و استقرار اولیه گیاهان دارد. در آزمایشی که بذرهای سورگوم تحت تیمار آب مغناطیسی قرار گرفتند، ، مقدار MDG نسبت به شاهد افزایش معناداری داشت؛ به‌طوری که مقدار MDG ۲۱/۸۵ درصد افزایش داشت. این نتایج نشان‌دهنده تأثیر مثبت آب مغناطیسی بر متوسط روزانه جوانه‌زنی است (Lazim et al, 2025).

مقایسه میانگین‌ها در شکل (۴) برای شاخص سرعت جوانه‌زنی روزانه (DGS) بین سه تیمار شاهد، A2 و A4 با مقادیر به‌ترتیب ۰/۰۸۷، ۰/۰۸۳ و ۰/۰۸۷تغییر معنی‌داری نشان نداد اما در تیمار A8 اختلاف معنی‌داری نشان داد و به پایین‌ترین حد خود یعنی ۰/۰۴۶ رسید.

شاخص جوانه‌زنی (GI) در تیمارهای A8 و A2 بیشترین مقادیر را داشته (به‌ترتیب ۰/۴۸ و ۰/۴۶) و اختلاف معنی‌داری با تیمارهای A4 و به خصوص شاهد از خود نشان دادند. در شاخص جوانه‌زنی هر چه عدد به یک نزدیک‌تر باشد شرایط مطلوب‌تری وجود خواهد داشت کما اینکه تیمار A8 افزایش ۴۳ درصدی در شاخص جوانه‌زنی نسبت به تیمار شاهد دارد (شکل ۵).

درصد جوانه‌زنی در تیمار شاهد به مراتب کمتر از تیمارهای مغناطیسی بود و اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها داشت به‌طوری که با رشد بیش از ۱۷ درصد از ۸۱ به ۹۴ درصد در تیمار A8 رسید و به وضوح درصد جوانه‌زنی و تراکم با افزایش قابل ملاحظه‌ای روبه‌رو شد که این امر می‌تواند در کاهش مصرف بذر در مزارع و بهبود تراکم کشت حائز اهمیت باشد (شکل ۶). نتایج به‌دست آمده در این زمینه با اکثر تحقیقات پیشین همخوانی داشته به‌طوری که Rasteagar و Sadeghi Lari (2015) افزایشی بین ۱/۷ تا ۴/۸ درصدی در درصد جوانه‌زنی گیاه نخود با اعمال تیمار آب مغناطیسی گزارش کردند. جالب آنکه در برخی تحقیقات از جمله Faizi و Salari (2012) که با به‌کارگیری شدت‌های مغناطیس مختلف، از تیمار شاهد تا تیمار ۱۲۰ میلی تسلا، تغییری در درصد جوانه‌زنی گیاه زیره سبز مشاهده نشده است.

مقایسه میانگین‌ها در سرعت جوانه‌زنی (GR) اختلاف معنی داری در سطح یک درصد بین تیمار A8 و سایر تیمارها از خود نشان داد و افزایش بیش از ۱۰۰ درصدی نسبت به تیمار شاهد داشت (شکل ۷). این افزایش سرعت جوانه‌زنی به معنای کاهش زمان لازم برای ظهور گیاهچه‌ها و یکنواختی بیشتر در سبز شدن مزرعه است که می‌تواند به استقرار بهتر گیاهان و افزایش رقابت آن‌ها با علف‌های هرز منجر شود. Gaewsondee et al (2025) نیز با دستگاهی با آهن‌ربای دائم ۱۵۰ میلی‌تسلا افزایش معنی‌دار سرعت جوانه‌زنی را از ۸۳/۳۳ در تیمار شاهد تا ۹۴/۶۷ در تیمار آب مغناطیسی برای بذر برنج گزارش کردند.

از سوی دیگر همان‌طور که در جدول (۳) مشاهده می‌شود اغلب شاخص‌ها دارای همبستگی بوده و فقط FGP با دو شاخص GI، CVG و GR به‌ترتیب با مقادیر پایین ۰/۳۳، ۰/۲۲ و ۰/۴۱۹ از خود همبستگی نشان نداد و بیشترین همبستگی‌ها را شاخص GR با مقادیر بالای ۰/۸ و ۰/۹ داشته که با شاخص‌های CVG و MDG همبستگی مثبت و با شاخص‌های GI و PG همبستگی منفی دارد.

جدول ۲- آنالیز واریانس برای جوانه زنی

Table2- Variance analysis of germination

Var	df	CVG	MDG	DGS	GI	PG	GR
rep	2	12.05	2.14	0.00003	0.002	6.58	0.85
Magnet's factor	3	274.6**	78.04**	0.0013**	1.05**	101.45**	38.64**
Er	6	12.7	2.99	0.00004	.005	8.36	1.4
C.V		11	17	9	14	16	13

**significant difference(P<0.01)

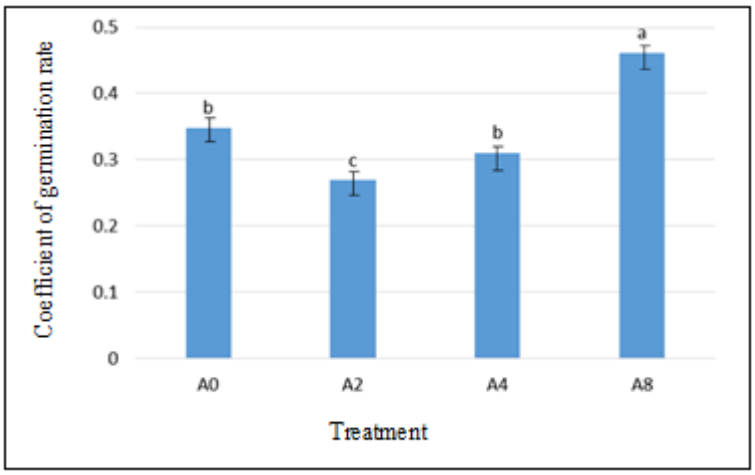


Fig. 2- Means for Coefficient of germination rate (CVG)

شکل ۲- مقایسه میانگین ها در ضریب سرعت جوانه زنی (CVG)

A0: Control, A2: Two magnets, A4: Four magnets And A8: Eight magnets

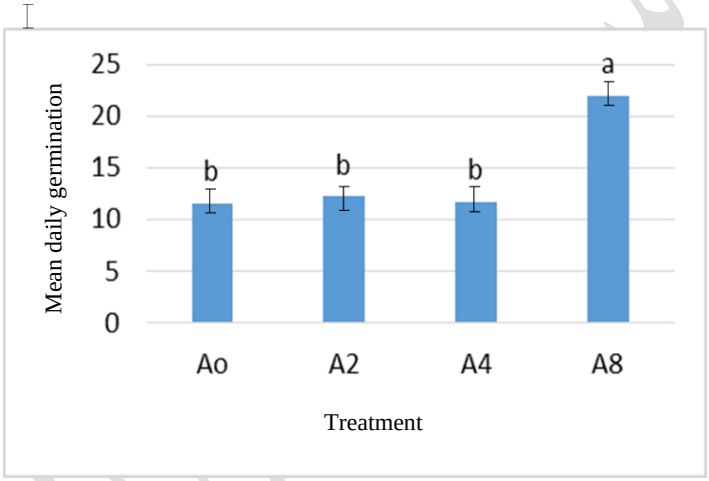


Fig. 3- Means for Mean daily germination (MDG)

شکل ۳ - مقایسه میانگین ها در شاخص متوسط جوانه زنی روزانه (MDG)

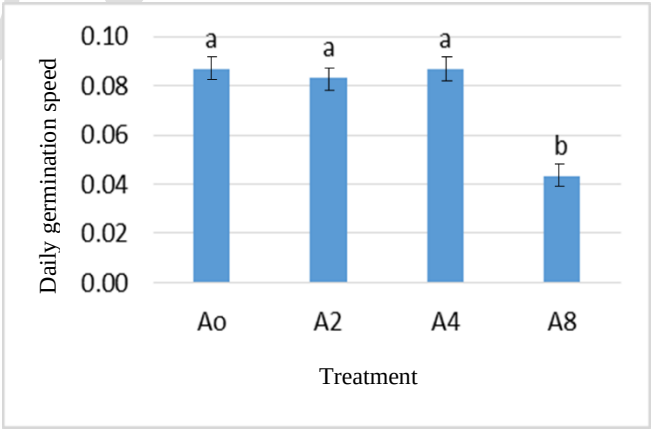


Fig. 4- Means for Daily germination speed (DGS)

شکل ٤- مقایسه میانگین ها در شاخص سرعت جوانه زنی روزانه (DGS)

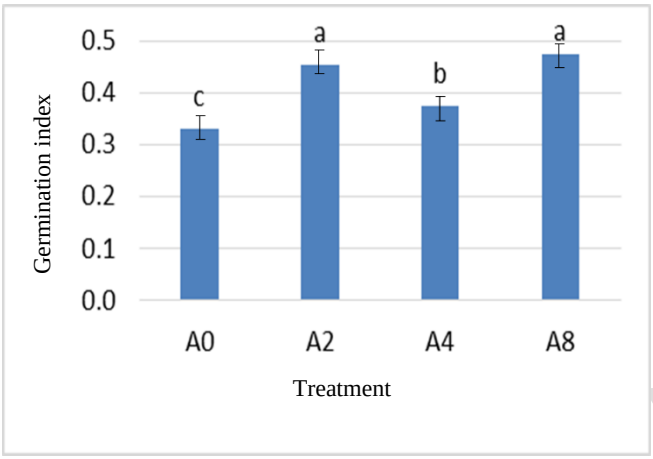


Fig. 5- Means for Germination index (GI)
شکل ۵- مقایسه میانگین ها در شاخص جوانه زنی (GI)

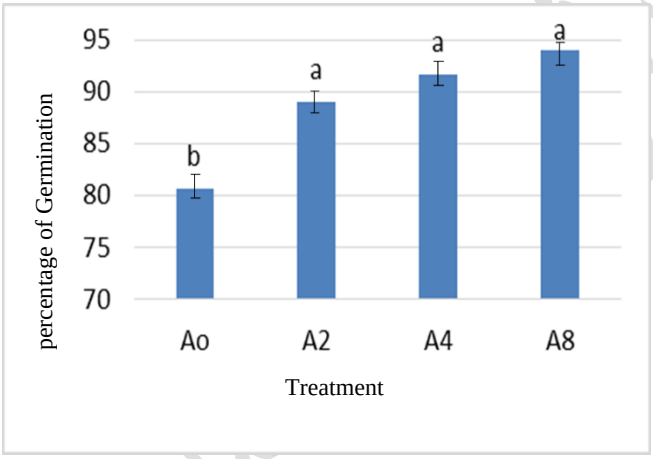


Fig. 6- Means for percentage of Germination (PG)
شکل ٦ - مقایسه میانگین ها در درصد جوانه زنی(PG)

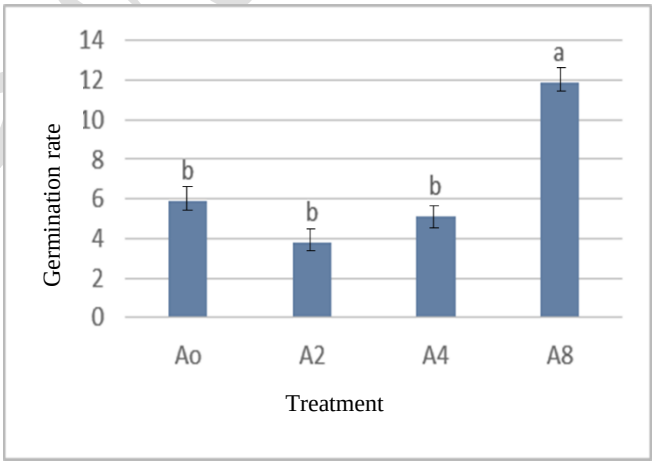


Fig. 7- Means for Germination rate (GR)
شکل ۷- مقایسه میانگین ها در سرعت جوانه زنی (GR)

جدول ۳- ضریب همبستگی پیرسون برای شاخص های جوانه زنی

Table 3- Pearson Correlation of Germination Index

	CVG	MDG	DGS	GI	PG	GR
CVG	1 0					
MDG	.692* .013	1 0				
DGS	-.670* .017	-.977** .000	1 0			
GI	-.886** .000	-.654* .021	.653* .021	1 0		
PG	.224 .484	.594* .042	-.612* .034	.033 .918	1 0	
GR	.877** .000	.947** .000	-.913** .000	-.826** .001	.419 .176	1 0

ظهور گیاهچه

تحقیقات انجام شده بیان‌گر آن است که آبیاری با آب مغناطیسی تنش های غیرزیستی ناشی از تغییرات اقلیمی از جمله خشکسالی و شوری را کاهش می دهد (Tidke et al, 2025). در تأیید نظرات مشابه، Zhang et al (2022) عنوان کردند که آب مغناطیسی تحمل بذرها به شرایط تنش زای شوری را افزایش داده و در نتیجه تولید گیاهچه و درصد جوانه زنی را افزایش می‌دهد. همانطور که El Sayed و El Sayed (2014) گزارش دادد که آبیاری با آب مغناطیسی به طور قابل توجهی رشد، خصوصیات شیمیایی و تولید گیاهچه باقلا را بهبود می‌بخشد. در تحقیق حاضر نیز رشد گیاهچه با بررسی معیارهای مختلف، با افزایش توان مغناطیسی بهبود یافته است. جدول (۴) نشان می دهد که در معیارهای درصد ظهور نهایی گیاهچه، میانگین زمان لازم برای ظاهر شدن گیاهچه و میانگین روزانه ظاهر شدن گیاهچه اختلاف معنی‌دار وجود دارد و در معیارهای سرعت ظهور گیاهچه و میانگین سرعت ظاهر شدن روزانه گیاهچه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

شکل (۸) در بررسی درصد ظهور نهایی گیاهچه ها (FEP) نشان از افزایش معنی‌دار این معیار برای تولید گیاهچه دارد و از ۸۷ درصد در تیمار شاهد به ۹۶ درصد در تیمار A8 رسیده است (رشد ۱۰ درصدی) و دو تیمار A2 و A4 در یک سطح معنی داری قرار دارند. این شاخص بیانگر درصد بذرهایی است که موفق به سبز شدن و ظهور در سطح خاک شده‌اند و افزایش آن به معنای موفقیت بیشتر در جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه‌ها می‌باشد و در نهایت به افزایش تراکم گیاهی می‌انجامد. در پژوهشی در سال ۲۰۲۴ روی بذر آکاسیا نیز، تیمار آب مغناطیسی با شدت ۸۵۰ گاوس، درصد ظهور نهایی گیاهچه را به ۶۰ درصد رساند، در حالی که تیمار شاهد کمترین درصد ظهور (۳۷/۷۷ درصد) را داشت (Alsawaf et al, 2024). در معیارهای سرعت ظهور گیاهچه (SER) در چهار تیمار اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و لذا گیاهچه ها به لحاظ معیار ذکر شده در سطح یکسانی قرار دارند(شکل ۹).

به لحاظ معیار میانگین زمان لازم برای ظاهر شدن گیاهچه (MTE)، بین تیمار شاهد و تیمار A8 اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد مشاهده شد و از میزان ۲/۸۸ به ۳/۰۳ رسید (افزایش ۵/۲ درصدی) و تیمارهای A2 و A4 هم اختلاف معنی‌داری با تیمارهای دیگر نداشتند (شکل۱۰). علت این امر آن است که در تیمار با تعداد هشت آهن‌ربا در همان روزهای ابتدایی درصد ظهور گیاهچه به حد بالایی رسید و در چند روز انتهایی ظهور گیاهچه با تعداد اندک ادامه داشت به‌طوری‌که در تیمار شاهد پس از پنج روز و در تیمار A8 پس از هفت روز ظهور گیاهچه متوقف شد. در میانگین روزانه ظاهر شدن گیاهچه (DES) نیز در چهار تیمار اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۱۱).

میانگین روزانه ظاهر شدن گیاهچه (MDE) با اعمال توان‌های مغناطیسی مختلف، اختلاف معنی‌دار نشان داد و از از میزان ۱۷/۴۷ تا ۱۴/۴۸ کاهش معنی‌داری از خود نشان داد (شکل ۱۲). اما مطابق نتایج علمی- نظری افزایش میانگین روزانه ظاهر شدن گیاهچه با استفاده از آب مغناطیسی نشان‌دهنده بهبود قابل توجه در سرعت و یکنواختی استقرار گیاهچه‌ها است، حال آنکه این معیار به تنهایی برای تحلیل وضعیت سبز شدن گیاه کافی نمی‌باشد؛ به این دلیل که در تحقیق حاضر همان‌طور که در شکل (۱۳) مشاهده می‌شود درصد ظهور گیاهچه تا پایان روز چهارم برای تیمار شاهد میزان ۸۶ درصد بوده است در حالی که برای تیمار A8 به ۹۱ درصد رسیده است اما چون در روزهای بعد برای تیمار A8 هنوز جوانه زنی ادامه داشته و برای تیمار شاهد از روز بعد متوقف شده است لذا شاخص MDE برای تیمار شاهد عدد بزرگتری را نشان داده است.

جدول ٤- آنالیز واریانس برای ظهور گیاهچه

Table2- Variance analysis of seedling emergence

Var	df	FEP	SER	MTE	MDE	DES
rep	2	10.75	1.900	0.024	9.11	.00015
Magnet's factor	3	39.55**	1.51 ns	0.015**	5.35**	.00009ns
Er	6	0.31	1.21	0.004	1.89	.00004
C.v		15	8	19	12	16

**significant difference(P<0.01), ns: Not Significant

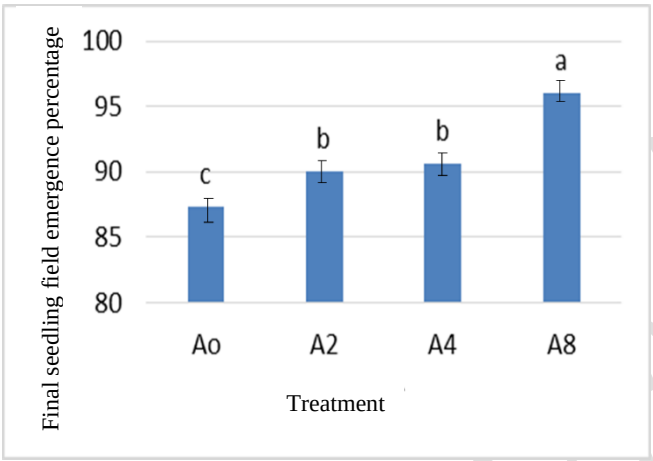


Fig. 8- Means for Final seedling field emergence percentage (FEP)

شکل ۸- مقایسه میانگین ها در درصد ظهور نهایی گیاهچه(FEP)

A0: Control, A2: Two magnets, A4: Four magnets And A8: Eight magnets

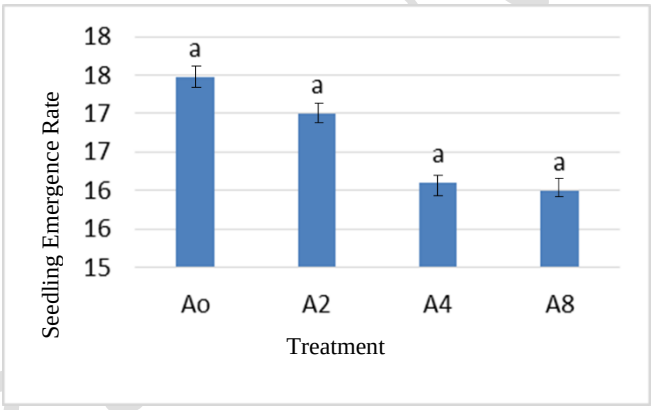


Fig. 9- Means for Seedling Emergence Rate (SER)

شکل ۹- مقایسه میانگین ها در سرعت ظهور گیاهچه(SER)

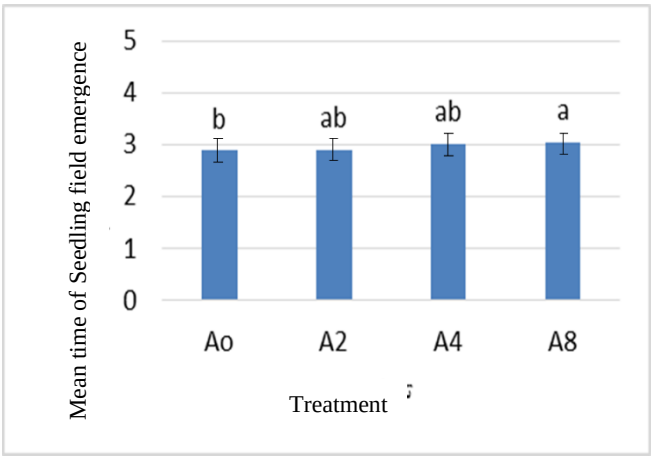


Fig 10- Means for Mean time of Seedling field emergence (MTE)
شکل ۱۰- مقایسه میانگین ها در میانگین زمان لازم برای ظاهر شدن گیاهچه (MT)

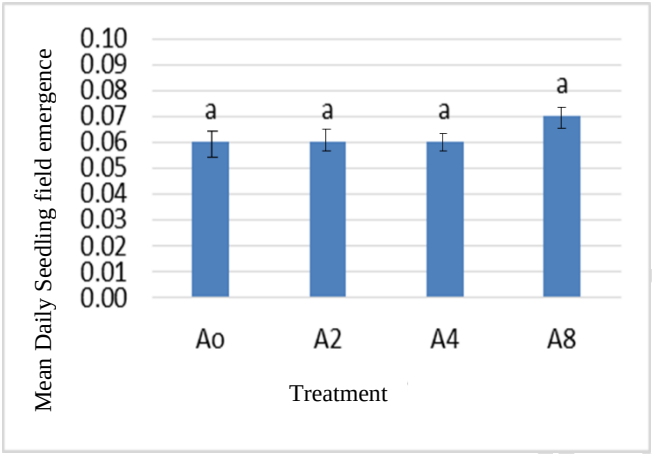


Fig 11- Means for Mean Daily Seedling field emergence rate (DES)
شکل ۱۱- مقایسه میانگین ها در میانگین روزانه ظاهر شدن گیاهچه (DES)

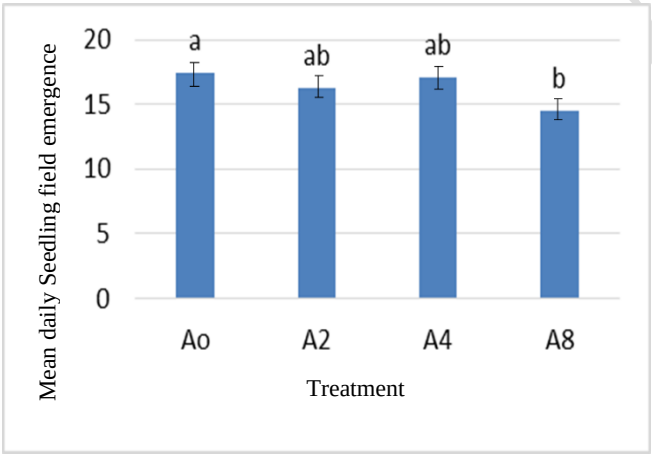


Fig 12- Means for Mean daily Seedling field emergence (MDE)
شکل ۱۲- مقایسه میانگین ها در میانگین روزانه ظاهر شدن گیاهچه (MDE)

تحلیل روند ظهور گیاهچه

سبز شدن گیاهچه‌ها برای همه تیمارها از روز اول مشاهده شد و با رابطه نمایی با همبستگی بالای ۹۶ درصد برای همه تیمارها به مرحله ظهور نهایی گیاهچه رسیدند. همان‌طور که در شکل (۱۳) مشاهده می‌شود تعداد روز لازم برای رسیدن به ظهور نهایی گیاهچه تفاوت چندانی نداشته و تیمار شاهد پس از گذشت شش روز به حد ظهور نهایی خود یعنی ۸۷ درصد رسید و تیمار A2 با ۹۰ درصد پس از هفت روز، تیمار A4 با ۹۱ درصد پس از شش روز و تیمار A8 با ۹۶ درصد پس از هفت روز به ظهور نهایی گیاهچه رسیدند.

تحلیل روند جوانه‌زنی

همانطور که در شکل (۱۴) مشاهده می‌شود درصد جوانه‌زنی روندی نمایی را طی می‌کند. در روزهای ابتدائی روند افزایشی شیب تندتری داشته و در ادامه روزها شیب روند کاهش می یابد. در این شکل‌ها رابطه‌ای با ضریب اطمینان بالا برای تخمین رابطه درصد جوانه‌زنی با گذر زمان برای هر تیمار ارائه گردیده است. بالا بودن این ضریب برای تیمارها، نشان دهنده وجود همبستگی بالا بین درصد جوانه زنی تجمعی و روزهای سپری شده از شروع آبیاری است. تیمار A8 تا پایان روز چهارم جوانه زنی خود را تا ۹۴ درصد تکمیل کرده در حالی‌که تیمار شاهد در پایان روز هفتم در ۸۱ درصد، تیمار A2 تا پایان روز هفتم در ۸۹ درصد و تیمار A4 تا پایان روز هشتم در ۹۲ درصد جوانه زنی خود را تکمیل کرده اند.

همان‌طور که در جدول (۵) مشاهده می‌شود شاخص FEP با هیچکدام از شاخص‌ها همبستگی معنی‌دار نداشته و بیشترین همبستگی‌ها در شاخص DES با شاخص های SDR و MDE به‌ترتیب با همبستگی معکوس ۰/۷۰۷ و و ۰/۹۹۷ و با شاخص MTE با همبستگی مثبت ۰/۶۷۲ وجود دارد.

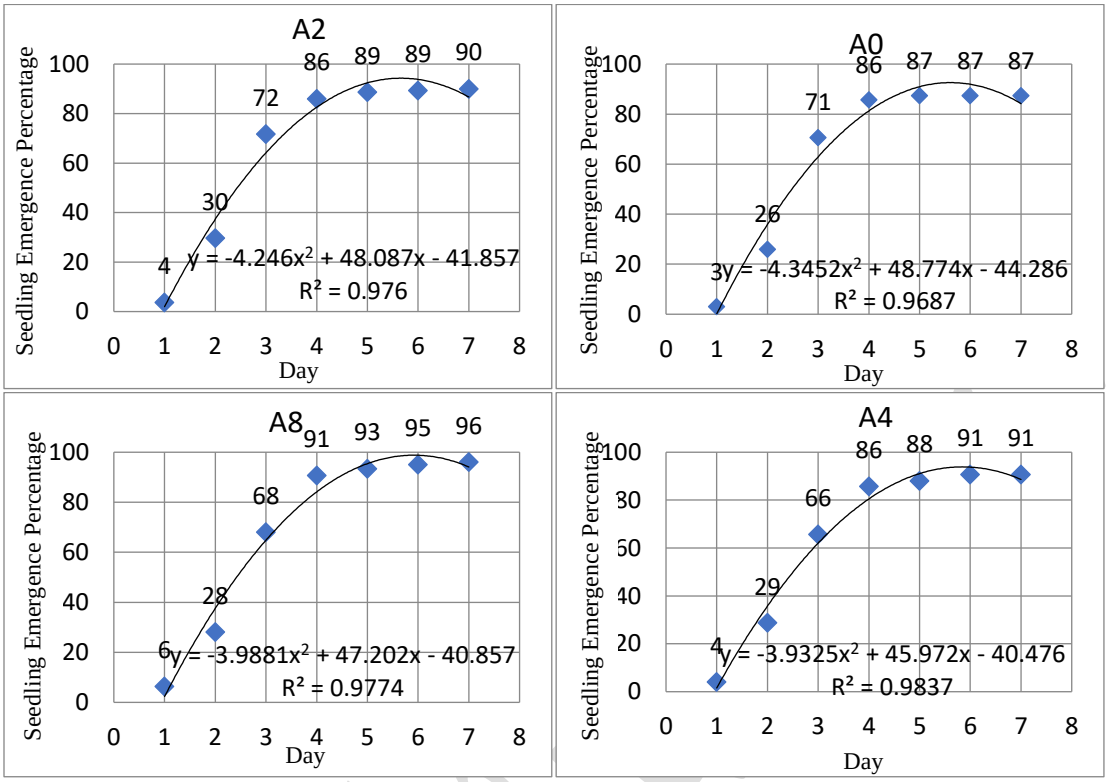
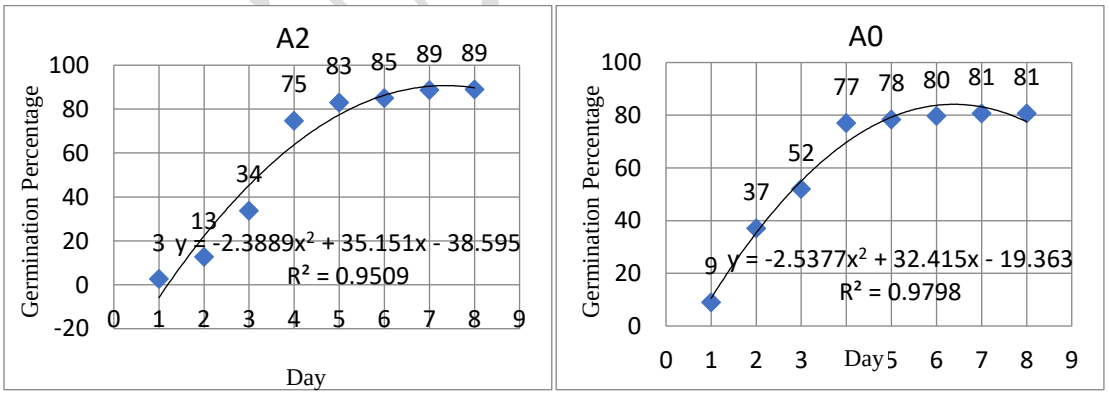


Fig. 13 - Daily trend of Zinnia elegans seedling in different treatments

شکل ۱۳- روند روزانه ظهور گیاهچه گیاه آهار در تیمارهای مختلف (درصد تجمعی)

A0: Control, A2: Two magnets, A4: Four magnets And A8: Eight magnets



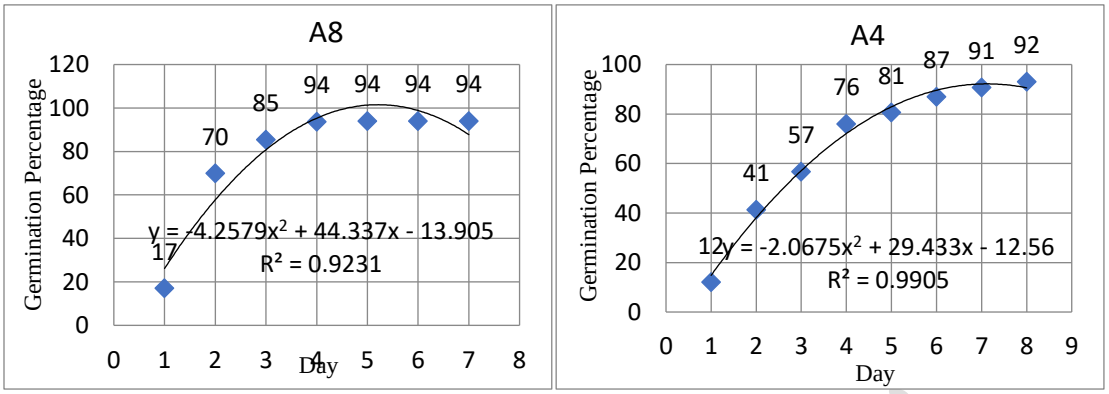


Fig. 14- Daily trend of Zinnia elegans germination in different treatments

شکل ١٤- روند روزانه جوانه زنی گیاه آهار در تیمارهای مختلف (درصد تجمعی)

A0: Control, A2: Two magnets, A4: Four magnets And A8: Eight magnets

جدول ٥- ضریب همبستگی پیرسون برای شاخص های ظهور گیاهچه

Table 5- Pearson Correlation of Seedling Emergence

	FEP	SER	MTE	MDE	DES
FEP	1 0				
SER	-.422^{ns} .171	1 0			
MTE	.502 ^{ns} .097	-.887** .000	1 0		
MDE	-.398 ^{ns} .200	.708* .010	-.688* .013	1 0	
DES	.396 ^{ns} .202	-.707* .010	.672* .017	-.997** .000	1 0

نتیجه گیری

نتایج نشان داد که با افزایش توان مغناطیسی، شاخص‌های جوانه زنی و ظهور گیاهچه بهبود یافته و در تیمار با تعداد هشت آهن‌ربا (A8) به بالاترین حد خود می رسد به‌طوری‌که درصد جوانه‌زنی نهایی در تیمار A8 بیش از ١٧ درصد و درصد ظهور نهایی گیاهچه هم ١٠ درصد افزایش از خود نشان داد؛ همچنین در تیمارهای A2 و A4 نیز شاخص‌های جوانه‌زنی و ظهور گیاهچه نسبت به شاهد افزایش معنی دار نشان داد. همچنین روند تکمیل جوانه‌زنی از هشت روز در تیمار شاهد تا چهار روز در تیمار A8 کاهش داشت ولی برای ظهور گیاهچه تغییرات چندانی در طول دوره تکمیل ظهور نهایی مشاهده نشد. به هر حال این افزایش در شاخص‌های جوانه‌زنی و ظهور گیاهچه را می‌توان به تغییر در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب پس از مغناطیسی شدن آن نسبت داد که باعث کاهش کشش سطحی، افزایش اکسیژن محلول و بهبود قابلیت نفوذ آب به داخل بذر می‌شود (Zhou et al, 2025). بنابراین، استفاده از آب مغناطیسی برای آبیاری گل آهار در شرایط صورت گرفته، می‌تواند به‌عنوان روشی مؤثر و زیست‌سازگار برای افزایش درصد جوانه‌زنی و بهبود استقرار اولیه گیاهان توصیه شود.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

منابع مالی

نویسندگان هیچ گونه حمایت مالی برای تحقیق، تالیف و انتشار این مقاله دریافت نکردند.

دسترسی به داده‌ها

مجموعه داده‌های تولید شده و یا تحلیل شده در طول مطالعه حاضر، در صورت درخواست معقول، از نویسنده مسئول در دسترس هستند.

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

اعلامیه هوش مصنوعی مولد و فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در فرایند نگارش

نویسندگان در مقاله خود از هوش مصنوعی مولد و فناوریهای کمکی هوش مصنوعی استفاده نکرده‌اند.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: علیرضا هوشمندزاده، اجرای عملی تحقیق، نگارش و تجزیه و تحلیل داده‌ها.

نویسنده دوم: سعید برومندنسب، بررسی نتایج و تحلیل داده‌ها.

نویسنده سوم: محمد الباجی، بررسی و تحلیل داده‌ها.

نویسنده چهارم: ناصر عالم زاده انصاری، تعریف معیارها و بررسی داده‌ها.

تقدیر و تشکر

مقاله فاقد تقدیر و تشکر است.

Refrences

1- Adorio, M. Galvan, J. Ann, M. Razote1, R. 2024. Effect of Magnetically Treated Water on the Growth and Yield of Tomato (Solanum lycopersicum) in Aquaponics System. Indian Journal of Science and Technology, 47(17), pp. 5010-5015. DOI: 10.17485/IJST/v17i47.3509.

2- Al-Akhras, M.A.H. Al-Quraan, N.A. Abu-Aloush, Z.A. Mousa, T. M.S. AlZoubi, Makhadmeh, G.N. Donmez ,O. 2024. Impact of magnetized water on seed germination and seedling growth of wheat and barley Results. Results in Engineering, 22(1), pp. 101991-101102. DOI:10.1016/j.rineng.2024.101991.

3- Alsawaf, M.S.I, Mahmood, B.S, Ahmed, M.A, Ayoub, S.F. 2024. Effect of electrocution with magnetized water on seed germination and growth traits of Acacia cyanophylla L.. SABRAO J. Breed. Genet, 56(4), pp. 1720-1727. Doi:10.54910/sabrao2024.56.4.37.

4- Al-Zahrani, R. A., Al-Hammadi, M. M., Al-Ghamdi, A. A., Al-Harbi, L. N., & Al-Amri, S. M. 2024. Effect of magnetic treatment on water properties and growth of tomato (Solanum lycopersicum L.) under saline conditions. *Plant Growth Regulation*, *101*(2), pp. 523–534.

5- Anonymous. 2003. Hand Book for Seedling Evaluation (3rd. ed.). *International Seed Testing Association (ISTA), Zurich, Switzerland*.

6- Barcelos de Sousa, M., da Silva Júnior, J. J., Ribeiro, S. A., & Alves, M. G. 2022. Evaluation of the germination of corn seeds treated and irrigated with magnetized water. *Water, Special Edition.* Doi:10.14294/WATER.2022.S9.

7- El Sayed, H And El Sayed,A,. 2014. Impact of magnetic water irrigation for improve the growth, chemical composition and yield production of broad bean (Vicia faba L.). *American Journal of Experimental Agriculture*, *4*(4), pp. 476–496. DOI:10.9734/AJEA/2014/7468.

8- Faizi, H., And Salari, A. 2012. The effect of seed treatment with magnetic field on germination characteristics of (*Cuminum ciminum*) at different salinity levels. *Iranian Scientific Research Journal of Irrigation and Water Engineering*. Spring 2012, Year 12. Doi:10.22125/iwe.2022.146411. (In Persian).

9- Fallah, S. 2008. Magnetic irrigation and its various applications. *Eshgh Danesh Publications.* (In Persian).

10- FAO. 2020. The state of the world's land and water resources for food and agriculture – Systems at breaking point. *FAO Publications*.

11- Gaewsondee, T., Chiawchanwattana, C., Khaengkan, P., Laohavanich, J., Vipattanaporn, C., & Yangyuen, S. 2025. Influence of dynamic magnetic field exposure duration on the germination and

growth of khao dawk mali 105 rice seed. *Agronomy*, *15*(7), pp. 1630-1642. Doi:10.3390/agronomy15071630.

12- Hozayn, M., & Qoura, A. 2010. Impact of Magnetic Water on Productivity and Water Use Efficiency of Wheat in Sandy Soil. *Journal of American Science*, *6*(12), pp. 154-162.

13- IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Cambridge University Press.*

14- Lazim, Samir. 2025. Evaluation of Germination and Seedling Growth Traits of Sorghum (Sorghum bicolor L. Moench) Seeds Using Microwave and Magnetized Water Priming. *Scholars Journal of Agriculture and Veterinary Sciences*. *4*(12), pp. 158-164. DOI:10.36347/sjavs.2025.v12i04.003.

15- Liu, J., Li, M., Huang, Y., Wang, Q., & Zhang, Y. 2024. Magnetized water irrigation improves soil water-salt distribution, germination, growth and photosynthetic traits of cotton seedlings in saline soil. *BMC Plant Biology*, *24*(9), pp. 674-689.

16- Mahajan, B. T., Rane, S. L., & Shinde, M. L. 2020. Magnetic Water Treatment in Agriculture: A Review of Principles and Applications. *Agricultural Reviews*, *41*(2), pp. 126-136. DOI:10.33794/qjas.2021.170229.

17- Ministry of Energy, Iran. 2022. Iran's Water Sector: Current Situation and Challenges. *Water Resources Management Company Publications.* (In Persian).

18- Mirzapour, R. 2021. The role of gibberellic acid pretreatment in the germination of vetch (*Vicia sativa*) under the influence of salt stress. thesis. *University of Mohaghegh Ardabili*. (In Persian).

19- Pang, X., & Deng, B. 2013. The effects of magnetic field on water properties and structures. *Journal of Water Process Engineering*, *1*(2), pp. 25-30.

20- Rasteagar,S. And Sadeghi Lari, A., 2015. Effect of magnetized water on seed germination and early growth characteristics of Tomato. *Journal of Water Research in Agriculture. 29*(3), pp. 409-417. (In Persian).

21- Saeedi, M., Moghaddasi, M., Ghasemian, E., & Amiri, M. J. 2019. Salinity and sodicity problems of soil in Ahwaz Plain, Iran. *International Journal of Environmental Science and Technology*, *16*(6), pp. 2697–2706.

22- Salimi, H. & Ghorbani, M. 2001. A study on seed germination of avena ludoviciana and the effective factors in seed dormancy breaking. *Rostaniha* , *2*(1-4), pp. 37-40.

23- Scott, S. J., Jones, R. A. & Willams, W. A. 1984. Review of data analysis methods for seed germination. *Crop Science*, *24*(11), pp. 1192-1199. Doi:10.2135/cropsci1984.0011183X002400060043x.

24- Shamsaie,M. , Sodaei zadeh,H. and Tajamolian,M. 2017. Evaluation of the effects of drought stress of mother plants on some seed germination indices of Satureja hortensis. *Desert Management*, *4*(8), pp. 27-35. DOI: 10.22034/jdmal.2017.24659 .(In Persian).

25- Tidke, S.D., Kedar, P.D., Chambhare, M.R. 2025. The influence of magnetic fields and magnetized water on the growth and physio-biochemical parameters of soybean. *Discover Plants*, *2*(1), pp.168-187. DOI:10.1007/s44372-025-00227-y.

26- Water Resources Management Company of Iran. 2025. Summary of the country's rainfall and dams report. 20th sep 2025. (In Persian).

27- Zhang, J., Wang, Q., Wei, K., Guo, Y., Mu, W., & Sun, Y. 2022. Magnetic water treatment: an eco-friendly irrigation alternative to alleviate salt stress of brackish water in seed germination and early

seedling growth of cotton (*Gossypium hirsutum L.*). *Plants, 11*(11). Pp. 1397-1415. Doi:10.3390/plants11111397.

28- Zhou, Y., Li, X., Wang, J., & Chen, H. 2025. Effect of magnetically treated water on seed germination and seedling growth of wheat. *Journal of Plant Physiology, 11*(6), pp. 11273-11289.

پذیرش نهایی- قبل از چاپ

EXTENDED ABSTRACT

Effect of magnetized water on seed germination and seedling emergence characteristics of *Zinnia elegans*

Alireza Hooshmandzadeh[1], Saeed Boroomand Nasab[2*], Mohammad Albaji[3], Naser Alamzadeh Ansari[4]

1- phD Student of Water Science and Engineering - Irrigation and Drainage
(a.hooshmandzadeh1988@gmail.com)
2*- Professor of Irrigation and Drainage Department of Shahid Chamran University of Ahvaz
3- Associate Professor of Irrigation and Drainage Department of Shahid Chamran University of Ahvaz
4- Associate Professor of Horticulture Department of Shahid Chamran University of Ahvaz

ARTICLE INFO

Artlcle history:
Received:
Revised:
Accepted:
Available online:

Keywords:
magnetic field, landscape, environment, Magnets.

TO CITE THIS ARTICLE:

Abstract

Urban landscape is one of the indicators of societal development and carries objectives such as environmental benefits, recreational use, mental health, communicative use, and more. Therefore, improving landscape plants through both theoretical and practical sciences is very important. Accordingly, the present study examined the effect of applying a magnetic field of 0.3 tesla with treatments A0 (no magnet — control), A2 (two magnets), A4 (four magnets), and A8 (eight magnets) around a 16 mm pipe with drip irrigation on seed germination and seedling emergence of Zinnia elegans. The results showed that most germination and seedling emergence indices demonstrated significant increases as magnetic strength rose. Germination criteria such as the germination speed index increased by 22% in treatment A8 compared to the control, mean daily germination increased by 90%, the germination index by 43%, germination percentage by 17%, and germination rate by more than 100% relative to the control. Seedling emergence criteria included final seedling field emergence percentage, which increased by 10% in A8 compared to the control, and mean time of Seedling field emergence, which increased by 5.2%. Given these findings, the use of magnetized water can be recommended as an effective and environmentally compatible method for increasing germination percentage and improving initial plant establishment in landscape and agriculture.

Introduction

The water crisis is one of the greatest environmental challenges of present century, especially in arid and semi-arid regions of the world, including Iran. Due to the increasing population, climate change, and decreasing water resources, sustainable water management has become more important than ever (IPCC, 2021). As a country with an average annual rainfall of less than 250 mm, Iran is struggling with a severe shortage of freshwater resources and increasing salinity of groundwater and soil (FAO, 2020), this issue becomes important when we know that in the water year 1403-1404 AH, the country's average rainfall was a low 147.7 (Iranian Water Resources Management Company, 2025). This situation has directly affected the agricultural sector, which consumes more than 90 percent of the country's water resources, and has jeopardized food and environmental security (Ministry of Energy, Iran, 2022). In the southern regions of the country, such as Ahvaz, the challenge of soil and water salinity has been exacerbated due to proximity to the Persian Gulf and excessive extraction of groundwater aquifers, which limits the growth of many agricultural and ornamental plants (Saeedi et al., 2019). One of the new approaches in water

resource management and improving agricultural productivity is the use of magnetized water. Magnetized water is water that has been passed through a magnetic field of a specific intensity and duration.

Methodology

This research was conducted in 2025 in Ahvaz city in the Khuzestan Steel Company to investigate the effect of magnetic water on the germination and seedling emergence of *Zinnia elegans*. The statistical arrangement of this experiment was factorial and the salinity of the irrigation water was 2.65-2.9 dS/m. The seed germination experiment was conducted by installing a pair of magnets around a 16 mm tube in four treatments of 0, 2, 4, and 8 magnets and with a dripper outlet and in plastic containers measuring 14 x 9 cm on a cotton bed and between two pieces of laboratory filter paper and in three replications. Before starting the experiment, the seeds were first washed for one minute in sterile water and distilled water. 50 seeds were placed in each container containing filter paper and 10 ml of distilled water was added to each of them. The containers were placed for 10 days with a light cycle of 14 hours of sunlight and 10 hours of darkness at a temperature of about 25 degrees Celsius. Germinated seeds were counted daily, and finally the following traits were calculated: final germination percentage (PG), germination index (GI), germination rate (GR), daily germination speed (DGS), mean daily germination (MTG), and coefficient of velocity of germination(CVG).

The seedling emergence experiment was also conducted in four treatments of 0, 2, 4 and 8 magnets in three replications in transplanting containers with 105 cells in a mixture of cocopeat and perlite. For the seedling test, irrigation was applied until the soil was saturated. Irrigation was done daily from the Karun River water source Table (1) to keep the seeds constantly moist. The following criteria were used to assess the seedling's susceptibility to magnetized water (Table 2).

Table1- Irrigation water characteristics

Parameter	EC(ds/m)	SAR	pH	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)
Amount	2.65-2.9	1.05	7.2	2.73	0.08	8.2	4.67

Table2- Germination and seedling presence Formulas

Formula No.	Formula Name	Formula	Information
1	Percent of germination	$PG = \frac{Ni}{N} \text{ X } 100$	Ni: number of Seed germination N: total seeds
2	Germination rate	GR=$\boldsymbol{\Sigma}$(Ni/Di)	Ni: number of Seed germination Di: day after start
3	Germination index	$GI = \frac{\boldsymbol{\Sigma} TiNi}{S}$	T: counting day Ni: number of Seed germination S: total seeds
4	Mean daily germination	$MDG = \frac{FGP}{d}$	FGP: final germination percent d: total days
5	Daily germination speed	$DGS = \frac{1}{MDG}$	
6	Coefficient of germination rate	$CVG = \frac{\boldsymbol{\Sigma} Ni}{\boldsymbol{\Sigma} NiTi}$	Ti: counting day Ni: number of Seed germination
7	Mean time of Seedling field emergence	$MTE = \frac{\boldsymbol{\Sigma} nd}{\boldsymbol{\Sigma} n}$	n: the number of Seedling presence d: the number of days from sowing
8	Mean daily Seedling field emergence	$MDE = \frac{\boldsymbol{\Sigma} nt}{\boldsymbol{\Sigma} n}$	n: the number of newly emerged seeds at time t: the number of days from sowing
9	Daily Seedling field emergence rate	$DES = \frac{1}{MDE}$	
10	Seedling Emergence Rate	$SER = \frac{FEP}{D}$	FEP: final germination percent D: total days

Results and Discussion

In this study, analysis of variance showed a positive and significant effect on germination indices at the 1% level with the application of magnetic water. The CVG generally increased

significantly with increasing number of magnet pairs and reached its highest value of 0.46 in the 8-magnet treatment, and have had 32% increase compared to the control treatment. There was no significant difference in MDG of the control, two and four magnet treatments, but in the 8 magnets treatment, a significant difference was shown at the 1% level with a value equal to 22, it has a 90% increase compared to the control treatment (11.6). Comparison of the means for the DGS index between the three treatments control, A2 and A4 with values of 0.087, 0.083 and 0.087 respectively did not show significant change, but in treatment A8 it showed a significant difference and reached its lowest level of 0.046. GI in treatments A8 and A2 had the highest values (0.48 and 0.46, respectively) and showed a significant difference with treatments A4 and especially the control. The PG in the control treatment was much lower than in the magnetic treatments and had a significant difference with the other treatments, so that it increased by more than 17 percent from 81 to 94 percent in the A8 treatment. Comparison of means in GR showed a significant difference at the 1% level between treatment A8 and other treatments, and an increase of more than 100% compared to the control treatment (Table3).

Examination of FEP of seedlings shows a significant increase in this criteria for seedling production, reaching from 87% in the control treatment to 96% in the A8 treatment (10% growth), and the two treatments A2 and A4 are at an equal level. No significant differences were observed in the criteria of SER and DES in the four treatments, and therefore the seedlings are at the same level in terms of the mentioned criteria. In terms of the MTE, a significant difference was observed between the control treatment and the A8 treatment at the 1% level, from 2.88 to 3.03 (an increase of 5.2%), and the A2 and A4 treatments did not differ significantly from the other treatments. The MDE showed a significant difference with the application of different magnetic strengths and showed a significant decrease from 17.47 to 14.48 (Table3).

Table 3- Means for criteria

Factors	Germination						Seedling				
	CVG	MDG	DGS	GI	PG	GR	FEP	SER	MTE	MDE	DES
Ao	0.35^{b}	11.5^{b}	0.087^{a}	0.34^{c}	80^{b}	3.77^{b}	87.3^{b}	17.5^{a}	2.88^{b}	17.5^{a}	0.057^{a}
A2	0.28^{c}	11.6^{b}	0.083^{a}	0.46^{a}	89^{a}	5.12^{b}	90^{b}	17^{a}	2.91^{ab}	16.3^{ab}	0.062^{a}
A4	0.31^{b}	12.2^{b}	0.087^{a}	0.38^{b}	91^{a}	5.9^{b}	90.7^{b}	16.1^{a}	2.99^{ab}	17.1^{ab}	0.059^{a}
A8	0.46^{a}	22^{a}	0.043^{b}	0.48^{a}	94^{a}	11.9^{a}	96^{a}	16^{a}	3.02^{a}	14.5^{b}	0.07^{a}

Conclusions

The results showed that with increasing magnetic strength, germination and seedling emergence indices improved and reached their highest level in the treatment with 8 magnets (A8), so that the percentage of germination in the A8 treatment increased by more than 17% and the final emergence percentage increased by 10%. Also, in the A2 and A4 treatments, germination and seedling emergence indices showed a significant increase compared to the control. Therefore, the use of magnetized water can be recommended as an effective method to increase the germination percentage and improve the initial establishment of plants in landscape and agriculture.

Conflict of Interest

The authors declared no potential conflicts of interest concerning the research, authorship, and publication of this article. Confirmation.

Funding

The authors received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

Data Availability Statements

The datasets generated and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, and plagiarism, and any form of misconduct. Confirmation.

Declaration of Generative AI and AI-assisted technologies in the writing process

The authors state that they have not used generative AI or AI-assisted technologies in their manuscript

Authors' contribution

First Author: Alireza Hooshmandzadeh, Practical execution of the research, writing, and data analysis
Second Author: Saeed Boroomand Nasab, Examination of results and data analysis
Third Author: Mohammad Albaji, Data examination and analysis
Forth Author: Naser Alamzadeh Ansari, Defining criteria and reviewing data

Acknowledgment

The article lacks an acknowledgments section.

References

1- FAO. 2020. The state of the world's land and water resources for food and agriculture – Systems at breaking point. *FAO Publications*.

2- IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

3- Ministry of Energy, Iran. 2022. Iran's Water Sector: Current Situation and Challenges. Water Resources Management Company Publications. (In Persian).

4- Saeedi, M., Moghaddasi, M., Ghasemian, E., & Amiri, M. J. 2019. Salinity and sodicity problems of soil in Ahwaz Plain, Iran. International Journal of Environmental Science and Technology, 16(6), pp. 2697–2706.

5- Water Resources Management Company of Iran. 2025. Summary of the country's rainfall and dams report. 20th sep 2025. (In Persian).