دانش
کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 36, Issue 1, 2026, Pages 151-167

Journal URL: https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir
Online ISSN: 2476-4329

The Effect of Magnetic Water on Growth, Essential Oil Yield, and Some Phytochemical Properties of two Dill populations (*Anethum graveolens* L.)

Sepideh Houshmand[1], Saeideh Alizadeh- Salteh[2*], Sahebali Bolandnazar[2]

Received: 18 July 2024	Accepted: 28 November 2024

1-PhD. of Horticulture, University of Tabriz of Agricultural Science, Department of Horticultural Science, Tabriz Iran.
2- Assoc., Prof., and Prof., Dept. of Horticultural Science, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
Corresponding Author E-mail: s.alizadeh@tabrizu.ac.ir

Abstract

Background & Objectives: Nowadays, stimulating plants using magnetic fields is considered a method to enhance the quantity and quality of agricultural products. Therefore, the magnetic properties of water were utilized to treat the medicinal plant dill, reducing the use of chemical fertilizers. This method is scientific, simple, and organic.

Materials and Methods: The effect of magnetized water at two magnetic field intensities (0.1 and 0.2 Tesla) and a control treatment, in four replications, was evaluated on two populations of dill (Tabriz and Varamin).

Results: Magnetized water significantly increased the vegetative and reproductive traits of dill. It had a significant impact on the number of umbels, umbellules, secondary branches, leaves and also the length and diameter of the root and stem, resulting in a 20% increase in root diameter. Additionally, the suitable water quality and solubility of elements in water enhanced the fresh and dry weight of the root and stem. The magnetic water treatment significantly increased the levels of flavonoids, total phenols, anthocyanins, vitamin C, and protein. Furthermore, considering the importance of essential oil in this medicinal plant, magnetic water increased the weight and volume of essential oil.

Conclusion: Our results indicated that using magnetic water as a physical treatment can be an effective tool to enhance the nutritional and medicinal value of dill. It offers a natural method to improve growth and stimulate. The increase in biological performance, given the enhanced vegetative growth and production of secondary metabolites without the use of fertilizers and pesticides, makes the economic performance justifiable.

Keywords: Magnetic Water, Performance Enhancement, Essential Oil, *Anethum graveolens* L., Secondary Metabolites

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2026 Saeideh Alizadeh- Salteh E-mail: s.alizadeh@tabrizu.ac.ir
https://doi.org/10.22034/saps.2024.62545.3254

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵، صفحات ۱۶۷-۱۵۱

دانش کشاورزی و تولید پایدار

تأثیر آب مغناطیسی بر رشد، عملکرد اسانس و برخی خصوصیات فیتوشیمیایی دو توده شوید *Anethum graveolens* L.

سپیده هوشمند[۱]، سعیده علیزاده سالطه[۲]*، صاحبعلی بلند نظر[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۲۸	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۰۸

۱-دانشجوی دکترا گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۲-دانشیار و استاد گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز ، تبریز، ایران.

چکیده

مقدمه و اهداف: امروزه تحریک گیاهان با استفاده از میدان‌های مغناطیسی راهی جهت افزایش کمیت و کیفیت محصولات می‌باشد. بنابراین از خاصیت مغناطیسی کردن آب برای تیمار گیاه دارویی شوید استفاده شد تا تاثیر آن بر بهبود عملکرد کمی و کیفی گیاه و همچنین کاهش مصرف کودهای شیمیایی به عنوان روشی علمی، ساده و ارگانیک مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها: اثر آب مغناطیسی شده در دو میدان مغناطیسی با شدت‌های ۰/۱ و ۰/۲ تسلا و تیمار شاهد، در چهار تکرار بر دو توده شوید (تبریز و ورامین) مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: آب مغناطیسی باعث افزایش معنی‌داری در صفات رویشی و زایشی شوید گردیده. به‌طوری که بر تعداد چتر، چترک، تعداد شاخه فرعی، تعداد برگ همچنین بر طول و قطر ریشه و ساقه تأثیر معنی‌داری داشته و باعث افزایش ۲۰ درصدی قطر ریشه گردید. همچنین کیفیت مناسب آب و حلالیت عناصر در آب و جذب باعث افزایش وزن‌تر و خشک ریشه و ساقه گردیده است. این تیمار موجب افزایش معنی‌داری در میزان فلاونوئید، فنل کل، آنتوسیانین، ویتامین ث، پروتئین و وزن و حجم اسانس گردید.

نتیجه‌گیری: استفاده از آب مغناطیسی به‌عنوان یک تیمار فیزیکی می‌تواند ابزاری مؤثری برای افزایش ارزش غذایی و دارویی شوید باشد و به عنوان روشی طبیعی، رشد گیاه و تولید ترکیبات دارویی را بهبود بخشد. این روش با افزایش رشد رویشی و تولید متابولیت های ثانویه، بدون نیاز به استفاده از کودها و سموم شیمیایی، منجر به افزایش قابل توجه عملکرد اقتصادی می شود.

واژه های کلیدی: آب مغناطیسی، افزایش عملکرد، اسانس، شوید، متابولیت های ثانویه

مقدمه

شوید (*Anethum graveolens* L.) گیاهی علفی معطر با خواص دارویی از تیره چتریان Apiaceae، دیپلوئید (۲n=۲۰) و یک‌ساله است. شوید دارای مصارف غذایی و دارویی است کـه از مـواد مؤثره آن در درمان درد معده، سرما خوردگی، سرفه، مشکلات ادراری، نفخ، تشنج و اسپاسم استفاده می‌شود (الصنافی ۲۰۱۴).

ترکیبات غالب در اسانس برگ شوید، آلفافلاندرون[1] به میزان ۳۶٪ و لیمونن[2] به میزان ۳۱٪ می‌باشد؛ اما ترکیب غالب در بذر همین گیاه متفاوت بوده و شامل ۵۸ درصد کاروون[3] و ۳۷ درصد لیمونن[4] است (کروتو و همکاران ۲۰۰۰، دوکی ۲۰۰۱) که بیش از ۹۰ درصد کل اسانس را شامل می‌شوند (کوبسکا ۲۰۰۲). اثر ضد قارچی و ضد باکتری اسانس بذر شوید (جیرویتز ۲۰۰۳؛ دلاگویز ۲۰۰۲) و عصاره‌ی استونی بذر آن (سینگ ۲۰۰۵) به اثبات رسیده است. بذر شوید محتوی ۴-۲/۵ درصد اسانس می‌باشد که مقدار آن بر اساس منطقه جغرافیایی و فصل تغییر کرده و تا ۷/۷ درصد هم می‌رسد. اسانس سرشاخه‌های هوایی شوید که از سرشاخه‌های تازه آن به روش تقطیر با بخار آب به دست می‌آید شامل ۲۸- ۴۵ درصد ترکیبات کتونی مثل کاروون می‌باشد. از سوی دیگر میزان آب در دسترس و مراحل رشد اثرات معنی داری روی کمیت و کیفیت اسانس دارد. به طور کلی درصد و عملکرد اسانس سرشاخه های گلدار و دانه ها بیشتر از برگ ها گزارش گردیده است(عندلیبی و همکاران ۲۰۱۱).

روغن‌های فرار شوید اثرات ضد اسپاسم (یزدانی ۲۰۰۴) ضد نفخ و کاهش اسیدیته معده دارند (بخردی ۲۰۰۴). عمدتاً متابولیت های ثانویه موجود در گیاهان نقش مؤثری در بهبود، درمان، پیش‌گیری از بیماری‌ها و نهایتاً سلامت انسان و دام دارند که با نام ماده‌ی مؤثره بیان می‌گردند. امروزه بیشتر تحقیقات در زمینه‌ی اثرات عوامل اکولوژیکی، ژنتیکی و مدیریتی، بر میزان کیفیت و کمیت مواد مؤثره گیاهان دارویی انجام می‌پذیرد؛ که یکی از عوامل مدیریتی مهم، کیفیت آب آبیاری می‌باشد (آقاسی زاده و همکاران ۲۰۲۲).

با توجه به اینکه آب یکی از عوامل محیطی مهم در تولید متابولیت های ثانویه محسوب می شود و با توجه به خشک‌سالی‌های اخیر و تقاضای شدید آب در کشور ایران، فشار زیادی بر منابع آبی وارد شده است. در این شرایط، حفظ کمیت و کیفیت آب و اعمال مدیریت مناسب برای کاهش ریسک تأمین آب در آینده ضروری است تا بهره وری محصول به ازای هر واحد آب مصرفی افزایش یابد. یکی از این روش‌های نوین در این زمینه عبور دادن آب از یک میدان مغناطیسی قبل ازآبیاری است که می‌تواند کارایی آب را بهبود بخشد. زمانی‌که آب در یک میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد، برخی از ویژگی‌های آن مثل چگالی، رسانایی الکتریکی، قابلیت حل نمک‌ها، سرعت ته‌نشین شدن ذرات جامد و سرعت تبخیر ممکن است تغییر کنند و درنتیجه کیفیت آب آبیاری ارتقا یابد. این تغییرات وابسته به سرعت جریان آب از میدان مغناطیسی و پارامترهای شیمیایی مثل سختی و pH آب است (شعبانی و همکاران ۲۰۱۸). به نظر می‌رسد این فرآیند باعث افزایش بهره‌وری آب و درنهایت بهبود رشد گیاهان می شود (لی و همکاران ۲۰۰۷). از آنجا که تحریک گیاهان با استفاده از میدان‌های مغناطیسی به‌عنوان راهی برای بهبودکمیت و کیفیت محصولات موردتوجه قرارگرفته است، جایگزینی کودها و مکمل‌های شیمیایی با تیمارهای فیزیکی می تواند میزان سموم در محصولات گیاهی را کاهش داده و منجربه افزایش سلامت غذا و محیط زیست شود (آلاجاجیان ۲۰۰۷). همچنین، آب مغناطیسی شده باعث افزایش تحرک مواد مغذی در خاک می‌شود که این امرمنجر به افزایش استخراج و جذب عناصری مانند فسفر، پتاسیم، نیتروژن و آهن توسط گیاهان می‌شود (هوزاین و همکاران ۲۰۱۰).

در سال‌های اخیر، استفاده از آب مغناطیسی به‌عنوان روشی برای بهبود بهره‌وری آب و افزایش عملکرد محصولات کشاورزی مورد توجه قرار گرفته است. تیمار

[1] alfa- phelandrene
[2] limonene
[3] carvone
[4] limonene

آب مغناطیسی می‌تواند با تأثیر بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب و همچنین بر فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه، رشد و عملکرد گیاهان را بهبود بخشد. به‌عنوان‌مثال، تحقیقات نشان داده‌اند که آب مغناطیسی باعث افزایش جذب مواد مغذی، بهبود فتوسنتز و رشد ریشه‌ها می‌شود. (زارعی و همکاران ۲۰۲۰). مطالعات مختلف تأثیر مثبت آب مغناطیسی بر صفات مورفولوژیکی گیاهان مانند افزایش حجم ریشه، تعداد گل، وزن‌تر و خشک گیاه، و همچنین ارتفاع گیاه را نشان داده‌اند(نیکبخت و همکاران ۲۰۱۷). پژوهش‌هایی که بر روی گیاهانی مانند ریحان، استویا(احمدی و همکاران ۲۰۱۶)، زنیان(مرغابی زاده و همکاران ۲۰۱۵) و پروانش (هاشم‌آبادی ۲۰۱۵) انجام شده، همگی افزایش عملکرد و بهبود ویژگی‌های رشدی و کیفی گیاهان را در پی استفاده از آب مغناطیسی گزارش کرده‌اند. برای مثال، نتایج مطالعه بانژاد (۲۰۱۳) نشان داد که استفاده از آب مغناطیسی در ریحان باعث افزایش ۳۳ درصدی در وزن‌تر و ۲۳ درصدی در وزن خشک گیاه شد.

علاوه بر این، افزایش سطوح فسفر همراه با تیمار آب مغناطیسی، تأثیرات مثبتی بر ویژگی‌های رشدی و رویشی گیاهان داشته و در برخی موارد به تحریک تولید ترکیبات دارویی نیز منجر شده است. این موارد نشان می‌دهد که استفاده از آب مغناطیسی می‌تواند به‌عنوان یک روش مؤثر و طبیعی برای بهبود رشد و کیفیت محصولات کشاورزی، به‌ویژه گیاهان دارویی مورد استفاده قرار گیرد (شعبانی و همکاران ۲۰۱۸).

ازاین‌رو، مطالعه حاضر برای اولین بار در کشور به ارزیابی تأثیر آب مغناطیسی بدون استفاده از کود های شیمیایی بر کمیت و کیفیت متابولیت های ثانویه گیاه دارویی شوید پرداخته است تا نتایج این پژوهش بتواند به‌عنوان یک راهکار جدید و مؤثر در بهبود عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی در ایران مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در ایستگاه تحقیقاتی خلعت پوشان وابسته به دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز در قطعه گیاهان دارویی واقع در شرق تبریز (عرض جغرافیایی ۳۸/۰۲ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۴۶/۲۷ درجه شرقی و با ارتفاع ۱۵۶۷ متر از سطح دریا) در طی بهار و تابستان انجام گرفت. این منطقه جزو اقلیم‌های نیمه استپی و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. بر اساس آمار هواشناسی، این منطقه دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم می‌باشد. دارای میانگین دمای ۹/۸۸ و میانگین‌های حداقل و حداکثر آن به ترتیب ۲/۵۱ و ۱۵/۸ درجه سانتی‌گراد بوده است. خاک محل اجرای آزمایش شنی لومی است. میزان رس سطح خاک حدود ۱۰/۵ درصد است که در لایه‌های پایین روند افزایشی دارد. مقدار سیلت در محدوده ۲۰ الی ۲۵ درصد و میزان شن در حدود ۶۰ الی ۷۰ درصد نوسان دارد. حداکثر هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع (EC) معادل ۲۲۰ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر است. مقدار مواد آلی خاک ناچیز و در حدود ۰/۸ درصد است.

در بررسی حاضر از بذرهای دو توده گیاه شوید، توده تبریز و ورامین استفاده شد. بذرها به‌صورت کشت مستقیم در کرت‌های به ابعاد چهار مترمربع با فاصله کشت ۱۵ سانتی‌متر به‌صورت فاکتوریل با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار کشت شد. از زمان کاشت تا مرحله پایان ۲ برگی آبیاری توسط آب معمولی انجام شد و پس از این مرحله تیمارها اعمال گردید. آبیاری یک روز در میان به‌طور منظم انجام شد. از تیمار آب مغناطیسی در سه سطح (صفر، ۰/۱ و ۰/۲ تسلا تائید شده توسط دانشکده فیزیک) در بررسی حاضر استفاده شد.

در مراحل رشد، عملیات داشت شامل وجین علف‌های هرز به‌صورت مرتب انجام گرفت. جهت اندازه‌گیری صفات مورفولوژیکی، از هر کرت در زمان گلدهی کامل که حدودا ۴۰ روز بعد از کاشت می باشد، به تعداد ۱۰ عدد بوته برداشت گردید. طول ساقه توسط خط کش از طوقه تا انتهای چتر و قطر ساقه از بخش نزدیک طوقه با کولیس اندازه گرفته شد به همین صورت طول ریشه از طوقه تا انتهای ریشه توسط خط کش و قطر آن از سمت طوقه توسط کولیس دیجیتال اندازه‌گیری شد. وزن‌تر ریشه و قسمت هوایی توسط ترازو یادداشت شده و پس از قرارگیری در آون ۷۰ درجه (موریس ۱۹۶۵) تا رسیدن به وزن ثابت، مجدداً توزین و وزن خشک به دست آمد و

میانگین آن‌ها برای هر کرت ثبت شد. سپس تعداد چتر، چترک، شاخه فرعی و برگ شمارش گردید.

برای به دست آوردن درصد ماده خشک، نمونه‌های برگ تازه پس از توزین، داخل ظروف آلومینیمی قرار داده‌شده، سپس درون آون در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد (اوزلیمن و همکاران ۲۰۲۱) به مدت ۷۲ ساعت قرار گرفت و پس از ثابت شدن وزن، با ترازوی دیجیتالی مجدداً توزین شد. درصد ماده خشک گیاه با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید.

$M_2/M_1 \times 100$=درصد ماده خشک

در این فرمول M1= وزن‌تر نمونه و M2= وزن خشک نمونه می‌باشد.

جهت اندازه‌گیری میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی، عصاره استونی تهیه شده و سپس با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج‌های ۶۶۱/۶، ۶۴۴/۸ و ۴۷۰ نانومتر قرائت‌ها انجام شد و با استفاده از فرمول‌های زیر مقادیر کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید محاسبه شد (لیکچن هالر ۲۰۰۱).

$C_a\ (\mu g/ml) = 11.24\ A_{661.6} - 2.04\ A_{644.8}$

$C_b\ (\mu g/ml) = 20.13\ A_{644.8} - 4.19\ A_{661.6}$

$(1000\ A_{470} - 1.90\ C_a - 63.14 C_b) / 214\ C_{(X+C)}\ (\mu g/ml) =$

C_a= a کلروفیل C_b= b کلروفیل $C_{(X+C)}$= کارتنوئیدها (گزانتوفیل+ کاروتن)

مقدار ترکیبات آنتوسیانین با استفاده از روش تغییر pHتعیین گردید. ابتدا دو میلی‌لیتر از عصاره استخراج‌شده گیاهی با ۲۵ میلی‌لیتر محلول بافر با pH=۱ که شامل مخلوطی از پتاسیم کلرید ۰/۲ مولار و کلریدریک اسید ۰/۲ مولار تهیه شده بود به حجم رسانده شد. سپس ۲ میلی‌لیتر دیگر از عصاره استخراج شده گیاهی با محلول بافر دارای pH=۴/۵ که شامل مخلوط سدیم استات یک مولار و کلردیک اسید یک مولار بود به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده و جذب در طول موج ۵۱۰ و ۷۰۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید (گیوستی ۱۹۹۸).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره متانولی، از طریق خنثی‌کنندگی رادیکال آزاد DPPH (۲ و ۲ دی فنیل ۱- پیکریل هیدرازیل) در طول موج ۵۱۷ نانومتر تعیین شد (کولوا و همکاران ۲۰۰۲).

محتوای ترکیبات فنلی در عصاره متانولی با استفاده از روش Folin-Ciocalteu و محتوای فلاونوئید کل با استفاده از معرف آلومینیوم کلرید به روش رنگ سنجی بر اساس روش (چانگ و همکاران ۲۰۰۲) اندازه‌گیری شد.

ارزیابی میزان پروتئین محلول موجود در عصاره با استفاده از روش برادفورد (۱۹۷۶) انجام گرفت.

اندازه‌گیری ویتامین ث به روش تیتراسیون با محلول رنگی دی کلرو فنول ایندوفنول انجام پذیرفت. از رابطه زیر مقدار اسید آسکوربیک محاسبه و برحسب میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن‌تر سبزی بیان گردید (آریا و همکاران ۲۰۰۰).

$$\text{مقدار آسکوربیک اسید} = \frac{e \times d \times b}{c \times a}$$

a= وزن نمونه

b= حجم ایجادشده با متافسفریک اسید (۱۰۰ میلی‌لیتر)

c= حجم برداشت شده برای تیتراسیون (۱۰ میلی‌لیتر)

d= فاکتور رنگ

e= عدد قرائت شده برای تیتراسیون هر نمونه

به‌منظور استخراج اسانس بذرهای رسیده گیاه در مرحله رسیدگی کامل برداشت شده و در شرایط آزمایشگاه به مدت ۵-۴ روز خشک گردید. مقدار ۵۰ گرم از هر نمونه‌ی گیاهی پودر و همراه با ۳۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر داخل بالون ۱ لیتری به حجم رسانده شد. سپس بالون به کلونجر وصل شده و به مدت ۳ ساعت روی هیتر قرار گرفت. اسانس جمع آوری و بازده اسانس محاسبه گردید (قناتی و همکاران ۲۰۰۷).

تست نرمال بودن و تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SPSS 24 انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excell 2013 صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس درجدول ۱ نشان داد که اثر میدان مغناطیسی بر قطر و طول ساقه (قسمت هوایی)، ریشه و تعداد چتر، چترک، شاخه فرعی ($P\leq0.01$) و میانگین تعداد برگ ($P\leq0.05$) معنادار بود. تیمار با آب مغناطیس ۰/۲ تسلا ۳۳/۶۱ درصد و تیمار ۰/۱ تسلا باعث افزایش ۱۸/۸۴ درصدی تعداد چتر در گیاه شوید گردید. با توجه به مطالب فوق به نظر می‌رسد به دلیل آبیاری باکیفیت آب مناسب که منجر به رشد رویشی بهتر، برگ بیشتر می‌شود به دنبال آن رشد زایشی هم بهبود می‌یابد. در پژوهشی که روی گیاه پروانش انجام شد گزارش کردند که استفاده از تیمار آب مغناطیسی منجر به افزایش معنی‌دار تعداد شاخه و گل این گیاه گردید (هاشم‌آبادی ۲۰۱۵)؛ بنابراین بخش زایشی (تعداد چتر و چترک) در گیاه به میزان زیادی به عواملی که برای رشد سریع گیاه مانند عناصر غذایی و رطوبت کافی مناسب هستند، وابسته است. با توجه به افزایش کارایی مصرف آب در تیمار با آب مغناطیسی تعداد چتر در گیاه شوید افزایش یافت از سوی دیگر آب مغناطیسی شده به علت کشش سطحی کمتر، حلالیت بالای دارد، درنتیجه قدرت جذب عناصر تغذیه‌ای توسط گیاهان آبیاری شده با آب مغناطیس بیشتر می‌شود (مرغابی زاده و همکاران ۲۰۱۴). بر اساس جدول تجزیه واریانس ۱ طول ساقه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردید که در تیمار ۰/۱ تسلا ۱۴/۵۳ درصد و در تیمار ۰/۲ تسلا ۲۴/۶۹ درصد افزایش نسبت به شاهد نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد این نتایج به دلیل آبیاری با آب باکیفیت مناسب و قابل‌جذب راحت‌تر توسط گیاه می‌باشد که باعث افزایش رشد رویشی، بخصوص طول ساقه گردیده است. طبق یافته‌های هاشم‌آبادی (۲۰۱۷) دوره‌های آبیاری تأثیر بسزایی در بهبود صفات رویشی و زایشی داشتند، پژوهشگران بر این باورند که استفاده از میدان مغناطیسی با کاهش هدایت الکتریکی، موجب شکستن ساختار مولکولی آب شده و با کاهش کشش سطحی آب موجب آزادی و تحرک بیشتر مولکول‌های آب شده است و جذب آب و همچنین حلالیت عنصرهای قابل‌دسترس برای گیاه بیشتر می‌شود؛ درنتیجه با افزایش جذب آب و مواد غذایی توسط ریشه، توان گیاه برای فتوسنتز و تولید مواد غذایی افزایش می‌یابد؛ این عامل‌ها موجب افزایش رشد رویشی و زایشی و عملکرد گیاهان می‌شود (نشیر ۲۰۰۵، ران و همکاران ۲۰۰۹، نیکبخت و همکاران ۲۰۱۳).

همچنین طبق بررسی‌های هوازین و همکاران (۲۰۱۰) آب مغناطیسی باعث افزایش عملکرد رویشی و رشد گردید، این امر به دلیل عبور آب از یک میدان مغناطیسی که موجب بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب می‌شود. بدین ترتیب با افزایش حلالیت عنصرهای غذایی خاک و دسترسی بیشتر گیاه به مواد غذایی موجب افزایش فتوسنتز و رشد رویشی و افزایش عملکرد می‌شود.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر آب مغناطیسی بر صفات رویشی دو توده شوید تبریز و ورامین

		میانگین مربعات							
منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد چتر	تعداد چترک	طول ساقه	طول ریشه	قطر ساقه	قطر ریشه	تعداد شاخه فرعی	تعداد برگ
بلوک	۳	۵/۷۵۶ ns	۲۳۶۴/۵۴ ns	۴۲/۴۵ ns	۸/۶۸۸**	۰/۴۶۵ ns	۰/۶۶ ns	۱/۵۱ ns	۳/۷۸**
توده	۱	۰/۱۷۳ ns	۱۰۶/۶۳۵ ns	۲۱۹/۴۱ ns	۰/۲۳۲ ns	۰/۴۴ ns	۰/۱۴۷ ns	۰/۰۱۱ ns	۶/۹۲ ns
مغناطیس	۲	۱۴۴/۹۵**	۵۶۰۹۷/۶۲**	۷۴۹۳/۱۳**	۲۲/۸۶**	۱۴/۴۷**	۱۹/۹۶**	۱۵۳/۷۲**	۲۸/۵۱*
توده×مغناطیس	۲	۰/۳۷۰ ns	۱۳۷/۶۸۶ ns	۱۸/۰۰۴ ns	۰/۳۶۶ ns	۰/۴۹۴ ns	۰/۳۹ ns	۰/۸۱ ns	۰/۶۳ ns
ضریب تغییرات(٪)	-	۲۰/۰۹	۲۵/۰۶	۱۲/۷۲	۹/۶۸	۱۹/۱۳	۲۰/۲۹	۲۵/۸۸	۵۴/۷۳

ns غیر معنی‌دار، *، ** به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵٪ و ۱٪ است.

طول ریشه نیز با توجه به جدول واریانس ۱ در سطح احتمال ۱٪ معنادار می‌باشد. بر اساس مطالعات پژوهشگران، به‌احتمال گیرنده‌های مغناطیسی در استاتوسیت ها قرار دارند و مغناطیس روی اندامک‌های آمیلوپلاست تأثیر می‌گذارد. استاتوسیت ها دیامگنت های قوی‌تری نسبت به سیتوپلاسم هستند.با حذف یا جابجایی آمیلوپلاست ها ساقه گیاه زمین‌گرایی منفی نشان می‌دهد، همچنین مشاهده شده که جهش‌یافته‌های بدون نشاسته آرابیدوپسیس در میدان مغناطیسی خمش حاصل نمی‌کنند، بنابراین اندامک‌های حاوی نشاسته برای دریافت اثرات میدان مغناطیسی ضروری هستند. دانه‌های نشاسته نیروی مغناطیسی را حس می‌کنند و به ته یاخته کشیده می‌شوند. همچنان که ریشه رشد می‌کند و شکل گوه‌ای به خود می‌گیرد به سمت شیب مغناطیسی حرکت می‌کند و دانه‌های نشاسته نیز به سمت این شیب رانده می‌شوند و باعث می‌شود که ریشه‌ها به سمت حرکت دانه‌های نشاسته خم شوند. به همین دلیل در آزمایش حاضر نیز تیمار با آب مغناطیسی شده باعث افزایش طول ریشه گردیده است. ریشه‌های گیاهان در جهتS-N موازی با سطح افق و مغناطیس زمین قرارمی گیرند و رشد ریشه‌ها در این جهت افزایش عملکرد را سبب می‌شود به این دلیل که رشد ریشه‌ها در جهتی است که مواد غذایی بین ردیف‌های کشت به میزان بیشتری یافت می‌شود (بولی و همکاران ۲۰۱۲).

تیمار آب مغناطیسی در سطح ۱٪ بر روی قطر ریشه و ساقه معنی‌دار بود. تیمار آب مغناطیسی در سطح ۰/۱ تسلا ۱۴/۸۰ درصد بر روی قطر ریشه و ۱۴/۵ درصد بر روی قطر ساقه تأثیر مثبت داشت و در سطح ۰/۲ تسلا نیز باعث افزایش ۲۳/۷۷ درصدی قطر ریشه و ۲۳/۰۵ درصدی قطر ساقه گردید. بر اساس پژوهش اربابیان و همکاران (۲۰۱۰) روی گیاه سویا، مشخص شد که میدان‌های الکترومغناطیسی حتی در شدت‌های کم می‌توانند بر پدیده‌های زیستی گیاه مؤثر باشد و به‌عنوان یک عامل تنش‌زا موجب القای ژن‌های درگیر در تشکیل بافت‌های استحکامی گردند که نتیجه عملکرد آن‌ها به‌صورت افزایش بافت کلانشیم و اسکلرانشیم در ساقه‌ها دیده می‌شود. تغییر در سیستم آوندی و افزایش قطر دهانه آوندهای چوبی نیز پاسخی در همین جهت و برای جریان سریع‌تر و مناسب‌تر آب و نمک‌های کانی به بخش‌های فعال گیاه هست. چوبی شدن و ایجاد بخش اسکلرانشیم نیز می‌تواند عاملی برای افزایش قطر در گیاه شوید باشد.

تعداد شاخه فرعی در سطح ۱٪ با افزایش ۲۰/۲۲ درصدی در سطح ۰/۱ و ۳۵/۶۱ درصدی در سطح ۰/۲ تسلا معنی‌دار می‌باشد (جدول ۳). از سوی دیگر تعداد برگ در سطح ۵٪ و اثر بلوک‌ها در سطح ۱٪ معنی‌دار گردید. تیمار آب مغناطیسی در سطح ۰/۱ تسلا ۴/۹۴ درصد و در سطح ۰/۲ تسلا باعث افزایش ۱۰/۵۱ درصدی تعداد برگ در شوید نسبت به شاهد گردید (جدول ۳). در راستای پژوهش حاضر، مالکی و تاج بخش (۲۰۱۷) بیشترین تعداد برگ را در تیمار آب مغناطیس روی تاج خروس به دست آوردند.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر آب مغناطیسی و توده شوید بر وزن‌تر و خشک ساقه و ریشه گیاه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		وزن‌تر ریشه	وزن خشک ریشه	وزن‌تر ساقه	وزن خشک ساقه
بلوک	۳	۰/۱۰۳ ns	۰/۰۲۷ ns	۱۲/۰۱ ns	۰/۶۰۲ ns
توده	۱	۰/۰۰۷ ns	۰/۰۱ ns	۲/۰۳ ns	۰/۳۳۳ ns
مغناطیس	۲	۱۵/۲۱**	۲/۲۳**	۳۱۲/۳۷**	۲۱/۶۹**
توده×مغناطیس	۲	۰/۰۱۰ ns	۰/۰۰۰ ns	۴/۰۷ ns	۰/۱۱۹ ns
ضریب تغییرات(٪)	–	۲۷/۲۶	۳۷/۹۳	۴۰/۳۲	۲۶/۶۷

ns غیر معنی‌دار، *، ** به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵٪ و ۱٪ است.

آب مغناطیسی در سطح ۱٪ اثر معنی‌داری بر روی وزن‌تر و خشک ساقه و ریشه داشته است. با توجه به جدول (۳) نشان‌دهنده افزایش ۲۹/۲۱ درصدی تیمار ۰/۱ تسلا و ۵۰/۵۶ درصدی تیمار ۰/۲ تسلا در وزن‌تر ریشه و افزایش ۲۳/۳۶ درصدی تیمار ۰/۱ تسلا و ۳۴/۷۴ درصدی تیمار ۰/۲ تسلا در وزن‌تر ساقه گردید. همچنین افزایش ۴۱/۴۷ درصدی تیمار ۰/۱ تسلا و ۵۰/۶۴ درصدی تیمار ۰/۲ تسلا در وزن خشک ریشه و افزایش ۲۵/۴۰ درصدی تیمار ۰/۱ تسلا و ۳۸/۲۶ درصدی تیمار ۰/۲ تسلا در وزن خشک ساقه گردید.

به نظر می‌رسد افزایش ماده خشک گیاهی به دلیل اثر میدان مغناطیسی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب و تأثیر آن بر روند توسعه سیستم ریشه‌ای و بهبود جذب آب و عناصر غذایی توسط گیاه و افزایش سیستم دفاعی گیاه میزبان مرتبط است (سونگ ۲۰۰۵). نیرپور و همکاران (۲۰۲۱) در بررسی تأثیر آب مغناطیس شده روی گیاه دارویی مرزه گزارش کردند که استفاده از آب مغناطیسی در آبیاری گیاه، باعث افزایش وزن‌تر و نیز وزن خشک اندام هوایی و ارتفاع گیاه نسبت به آبیاری گیاه با آب معمولی شد. قدمی و همکاران (۲۰۱۶) بیان داشتند که در گیاه سویا، مقدار عملکرد دانه، بیوماس، ارتفاع گیاه، درصد روغن و درصد پروتئین در تیمار آب مغناطیسی شده بیشتر از آب غیرمغناطیسی است. آب مغناطیسی به‌طور متوسط باعث افزایش ۷۷ /۱۰ درصد در عملکرد دانه و افزایش ۱۱/۳۱ درصد بیوماس نسبت به آب غیر مغناطیس شده است. به‌طور متوسط تیمار آب مغناطیسی باعث افزایش ۶/۸ درصدی ارتفاع گیاه سویا نسبت به تیمار آب غیرمغناطیسی شد. با توجه به این که آب مغناطیسی باعث افزایش قدرت حل‌کنندگی آب‌شده و درنتیجه فتوسنتز و رشد بذرهای آبیاری شده با آب مغناطیسی به دلیل جذب مواد غذایی بیشتر از خاک، افزایش می‌یابد. با افزایش فتوسنتز، ماده غذایی بیشتری در گیاه تولید می‌شود که این امر تجمع ماده خشک گیاه را افزایش خواهد داد. آن‌ها نشان دادند که وزن دانه از دو منبع فتوسنتز جاری و انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای در گیاه تأمین‌شده و آبیاری با آب مغناطیسی باعث افزایش فتوسنتز جاری و نهایتاً انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای بیشتر در گیاه می‌شود. با توجه به نتایج پژوهش قدمی و همکاران (۲۰۱۶) در شرایط کمبود آب، استفاده از آب مغناطیسی سبب افزایش بهره‌وری مصرف آب‌شده و درنتیجه می‌تواند سبب جذب آسان‌تر آب توسط ریشه‌ها در شرایط کم آبیاری شود. در این حالت، آب بیشتری در اختیار گیاه قرارگرفته و به همان نسبت، عملکرد گیاه افزایش می‌یابد.

مطالعات انجام شده روی گیاهان مختلف نشان داد که آبیاری با آب مغناطیسی شده رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و رشد، وزن‌تر و خشک، تعداد برگ، طول و تعداد شاخساره و میزان ریشه دهی نسبت به گیاهانی که با آب معمولی آبیاری می‌شوند افزایش می‌یابد. تیمار آب مغناطیسی ارتفاع گیاه، وزن‌تر و خشک افزایش می‌یابد که این نتایج را به نقش آب مغناطیسی در افزایش جذب و تجمع مواد غذایی و متعاقب آن افزایش رشد نسبت داده‌اند؛ همچنین تیمار با آب مغناطیسی تأثیر مطلوبی روی رشد شاخه‌ها در مراحل اولیه دارد. با مغناطیسی کردن آب پارامترهای رشد، هورمون‌های رشد و کارایی انتقال مواد غذایی بهبود می‌یابد. از سوی دیگر تیمار با آب مغناطیسی سیتوکینین نیز افزایش پیدا می‌کند. سیتوکینین برعکس اسید آبسیزیک که بازدارنده رشد است، در تقسیم میتوز نقش دارد و رشد ساقه را افزایش می‌دهد (دسوزا و همکاران ۲۰۰۶، هوزاین و عبدوالگادوس ۲۰۱۰، آلاجاجیان ۲۰۰۲).

با توجه به اینکه در جداول اختلافی بین توده ها مشاهده نشد می توان بیان داشت که توده‌ها از یک منبع ژنتیکی می باشند، در صورتی که هیچ متغیر دیگری بین توده‌ها تغییر نکرده باشد (مثل نوع خاک، آب، کود یا سایر عوامل محیطی)، اختلاف خاصی نیز بین آنها دیده نمی‌شود. در صورتی که شرایط محیطی و کشت یکسان باشد (مثل نوع خاک، آب، کود و نور)، گیاهان با ژنتیک مشابه عملکرد مشابهی نشان می‌دهند و تفاوت قابل‌توجهی بین توده‌های مختلف مشاهده نمی‌شود. اینپژوهش به‌طور خاص اشاره می‌کند که اگر هیچ تغییری در عوامل مؤثر محیطی نباشد، توده‌های مشابه از لحاظ ژنتیکی نیز واکنش‌های یکسانی خواهند داشت.

جدول (۳) مقایسه میانگین اثر آب مغناطیسی بر صفات رویشی و زایشی گیاه دارویی شوید در سطوح مختلف آب مغناطیسی (P≤0.01)

	شاهد	مغناطیسی ۰/۱ تسلا	مغناطیسی ۰/۲ تسلا
تعداد برگ	۱۰/۱۱^{b}	۱۱/۸۸^{ab}	۱۳/۸۸^{a}
تعداد چتر	۳/۹۶^{c}	۸/۶۷^{b}	۱۲/۳۶^{a}
تعداد چترک	۴۲/۵۶^{c}	۱۲۶/۹۵^{b}	۲۱۰/۰۳^{a}
تعداد شاخه فرعی	۳/۶۱^{c}	۸/۵۷^{b}	۱۲/۳۵^{a}
طول ریشه	۸/۳۰^{c}	۱۰/۴۴^{b}	۱۱/۶۴^{a}
طول ساقه	۴۹/۹۵^{c}	۸۵/۷۹^{b}	۱۱۰/۸۴^{a}
قطر ریشه	۲/۶۹^{c}	۴/۶۴^{b}	۵/۸۲^{a}
قطر ساقه	۲/۴۰^{c}	۴/۰۷^{b}	۵/۰۶^{a}
وزن‌تر ریشه	۰/۳۶^{c}	۱/۹۵^{b}	۳/۱۱^{a}
وزن‌تر ساقه	۴/۹۹^{c}	۱۳/۲۸^{b}	۱۷/۲۳^{a}
وزن خشک ریشه	۰/۰۵^{b}	۰/۸۶^{a}	۱/۰۴^{a}
وزن خشک ساقه	۱/۰۲^{c}	۳/۱۷^{b}	۴/۲۵^{a}

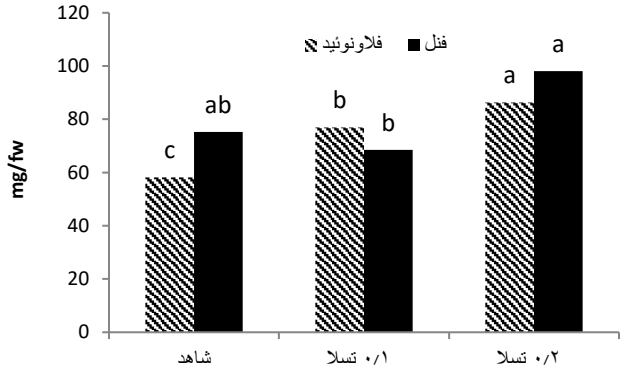
حروف مشابه در هر ردیف نشان‌گر عدم تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد.

جدول تجزیه واریانس ۴ نشان می‌دهد که میدان مغناطیسی تأثیر معنی‌داری بر خصوصیات بیوشیمیایی شوید در مقایسه با شاهد داشته است. استفاده از میدان مغناطیسی به‌طور معنی‌داری در سطح ۵٪ سبب افزایش مقادیر فنل و فلاونویید کل گردید. به‌طوری‌که طبق نمودار ۱ فلاونوئید در تیمار ۰/۱ تسلا ۱۴/۷۷ درصد و در تیمار ۰/۲ تسلا آب مغناطیس ۱۲/۹۵ درصد افزایش نشان می‌دهد. فنل نیز بر اساس نمودار ۱ در تیمار ۰/۲ تسلا افزایش ۲۲/۴۲ درصدی را نسبت به شاهد نشان می‌دهد.

جدول (۴) تجزیه واریانس اثر آب مغناطیسی و توده شوید بر فلاونوئید، فنل، آنتوسیانین، آنتی‌اکسیدان، ویتامین ث و پروتئین گیاه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		فلاونوئید	فنل کل	آنتوسیانین	آنتی اکسیدان	ویتامین ث	پروتئین
بلوک	۳	۹۰/۹۹ ^{ns}	۳۲/۰۱ ^{ns}	۱۰۳/۰۰۷ ^{ns}	۶۴/۶۰ ^{ns}	۳/۲۲ ^{ns}	۰/۰۰۹ ^{ns}
توده	۱	۱۶۲۲/۹۵ ^{ns}	۲۸/۷۷ ^{ns}	۲۰۳/۰۰۹ ^{ns}	۵۵۳/۵۵ ^{ns}	۴۸/۳۹ ^{ns}	۰/۰۱۴ ^{ns}
مغناطیس	۲	۱۶۴۷/۴۲*	۱۹۳۳/۳۸*	۱۵۲۸/۰۳۴**	۱۰۲/۰۵ ^{ns}	۱۳۴/۶۷**	۰/۰۵۱**
توده×مغناطیس	۲	۶۶۰/۲۸ ^{ns}	۱۴۸۵/۵۰ ^{ns}	۳۲۷/۰۹ ^{ns}	۴۳۳/۵۰ ^{ns}	۵۶/۷۱ ^{ns}	۰/۰۶۳ ^{ns}
ضریب تغییرات(٪)	–	۳/۹۸	۵/۵۱	۸/۱۳	۳/۴۶	۵/۱۸	۴/۹۲

ns غیر معنی‌دار، * ، ** به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵٪ و ۱٪است.



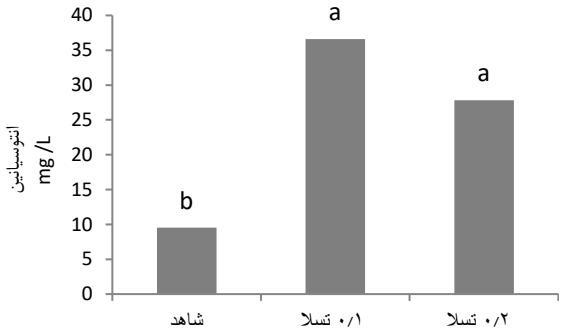
نمودار ۱- نمودار میانگین فنل و فلاونوئید شوید در دو میدان مغناطیسی با شدت‌های ۰/۱ و ۰/۲ تسلا و تیمار شاهد ($P\leq 0.01$)

یکی از متنوع‌ترین و بزرگ‌ترین گروه ترکیب‌های ثانویه در گیاهان، ترکیب‌های فنلی است. عوامل ژنتیکی و اکولوژیکی و اثرات متقابل این عوامل بر بیوسنتز این نوع ترکیبات مؤثر هستند. در شرایط تنش، گیاهان به طور طبیعی تولید ترکیبات فنلی و فلاونوئیدها را افزایش می‌دهند، زیرا این ترکیبات نقش کلیدی در محافظت گیاهان از آسیب‌های ناشی از تنش دارند. ترکیبات فنلی در طی رشد و نمو با هدایت عوامل ژنتیکی و در پاسخ به محرکه‌ای محیطی ساخته می‌شوند که از میان آن‌ها می‌توان به لیگنین ها، لیگنان ها، فنل‌های ساده و اسیدهای فنلی و فلاونوئیدها اشاره کرد که امروزه با توجه به خاصیت آنتی‌اکسیدانی قوی و ضد سرطانی، بسیار موردتوجه هستند (حقیقت و همکاران ۲۰۱۴). به نظر می‌رسد که تیمارهای مغناطیسی شرایطی مشابه استرس را برای شوید ایجاد می‌کنند و در نتیجه متابولیت‌های ثانویه بیشتری مانند ترکیبات فنلی برای تحمل این شرایط تولید می‌کنند. آب مغناطیسی شوید با تحریک بیوسنتز ترکیب فنلی می تواند گیاه را با این متابولیت های ارزشمند غنی کند.

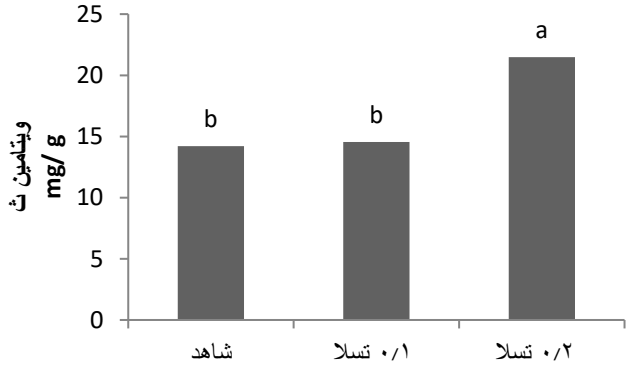
اکسیداسیون لیپیدها می‌تواند توسط ترکیبات آنتی‌اکسیدانی به تأخیر انداخته‌شده و یا مهار شود (ولیگلو ۱۹۹۸). اثر آنتی‌اکسیدانی غالباً مربوط به ترکیبات فنلی مانند اسید فنلیک ها، فلاونویید ها و دی ترپن های فنلی می‌باشد. این اثر عمدتاً به علت خواص بازدارندگی آن‌ها است که می‌تواند نقش حیاتی در جذب و خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد، دفع کردن اکسیژن تک و سه‌گانه و یا تجزیه پراکسیدها داشته باشد (جوانمردی و همکاران ۲۰۰۳). یکی از فرضیه‌های دخیل در بیان اثرات احتمالی میدان‌های مغناطیسی، تولید رادیکال‌های آزاد هنگام قرار گرفتن در معرض میدان است. این رادیکال‌ها می‌توانند نقش دوگانه‌ای داشته باشند. به‌طوری‌که ازیک‌طرف باعث تخریب در سلول شده و از طرف دیگر خود به‌عنوان مولکول نشانه باعث به راه افتادن مکانیسم‌های دفاعی در سلول شوند (قناتی و همکاران ۲۰۰۷). جاروب کردن و سم‌زدایی ترکیبات ROS توسط فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی (به‌عنوان‌مثال ترکیبات فنلی) و آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی (مانند کاتالاز، پراکسیداز، پلی فنول اکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسایددیسموتاز) انجام می‌گیرد و سبب محافظت سلول‌های گیاهی از تنش‌های اکسیداتیو می‌شود (ملاولی و همکاران ۲۰۱۶). از سوی دیگر تنش‌های غیرزیستی (مانند تیمار آب مغناطیسی شده) منجر به تولید گونه‌های فعال اکسیژن می‌شوند (حسن زمان و همکاران ۲۰۲۰، عسگری و همکاران ۲۰۲۰، احمد و همکاران ۲۰۲۰، ذوالفقار و همکاران ۲۰۲۱).

میدان مغناطیسی منجر به افزایش آنزیم PAL در گیاه توتون شده است (تربی و همکاران ۲۰۰۷) و با توجه به اینکه این آنزیم در مسیر فنیل پروپانوئیدی جهت تولید ترکیبات فلاونوئیدی نقش دارد، به نظر می‌رسد احتمالاً تیمار آب مغناطیسی شده منجر به افزایش آنزیم PAL در گیاه دارویی شوید گردید و نهایتاً منجر به افزایش سنتز ترکیبات فلاونوئیدی در این گیاه شده است..

بررسی‌ها نشان می‌دهد، امواج الکترومغناطیس ۸۵ درصد باعث افزایش ترکیبات فنولیک در ذرت شده است که افزایش سیستم آنتی‌اکسیدانی غیر آنزیمی مثل فنل و فلاونوئید از مکانیسم‌های دفاعی گیاهان در برابر تنش امواج الکترومغناطیسی است. امواج الکترومغناطیسی باعث افزایش سنتز اسید سیامیک و فعال شدن مسیر فنیل پروپنوئید می‌شود که مسیر سیستم مقاومت آنتی‌اکسیدانی مؤثر در برابر تنش‌های گیاهان می‌باشند. در بررسی اثر آب مغناطیسی و آب لوله (بدون اثر مغناطیس) بر رشد نخودفرنگی نشان داده شد که آب مغناطیس باعث افزایش در پارامترهای بیوشیمیایی از قبیل کلروفیل، کارتنوئید و فنل کل می‌شود (هوزاین و همکاران ۲۰۱۱). تغییر بار الکتریکی مولکول‌های آب (کاتیون‌ها و آنیون‌ها) در میدان‌های مغناطیسی باعث تشکیل مولکول‌های کوچک‌تر آب، افزایش قدرت حلالیت آب و کاهش درجه سختی آب می‌شود (فیشر و همکاران ۲۰۰۴).



نمودار ۲- میانگین آنتوسیانین در دو میدان مغناطیسی با شدت‌های ۰/۱ و ۰/۲ تسلا و تیمار شاهد (P≤0.01)

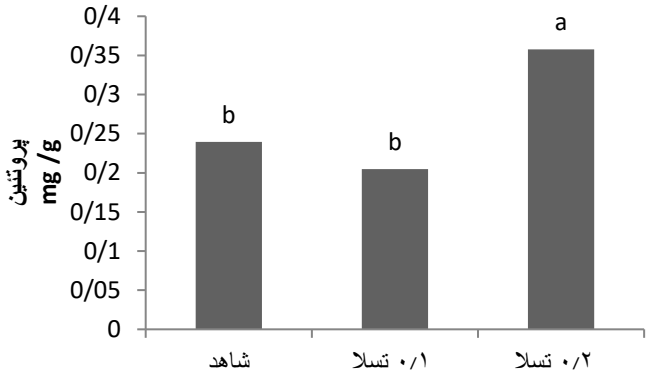


نمودار ۳- نمودار میانگین ویتامین ث شوید در دو میدان مغناطیسی با شدت‌های ۰/۱ و ۰/۲ تسلا و تیمار شاهد (P≤0.01)

طبق مندرجات جدول ۴ آنتوسیانین، ویتامین ث و پروتئین در سطح ۱٪ معنی‌دار شده است ولی فعالیت آنتی‌اکسیدانی اثر معنی‌داری نداشت. توده بذری، بلوک و اثر متقابل توده بذری و تیمار نیز معنی‌دار نشده است.

هوازین و همکاران (۲۰۱۰) نیز گزارش دادند که در اثر آبیاری با آب مغناطیسی، ۷ باند پروتئینی جدید در گیاه تشکیل شد. همچنین نتایج ابراهیمی و همکاران (۲۰۰۹) بیان می‌دارد که آنتوسیانین در گل محمدی توسط تیمار آب مغناطیسی افزایش‌یافت. ازآنجایی‌که

آنتوسیانین ها زیر گروهی از فلاونوئید ها می‌باشند و با توجه به نمودار (۱) فلاونوئید ها در اثر تیمار آب مغناطیس افزایش‌یافته‌اند، طبق نتایج به‌دست‌آمده و فرضیات، آنتوسیانین نیز دارای افزایش چشم‌گیری در این آزمایش بود.

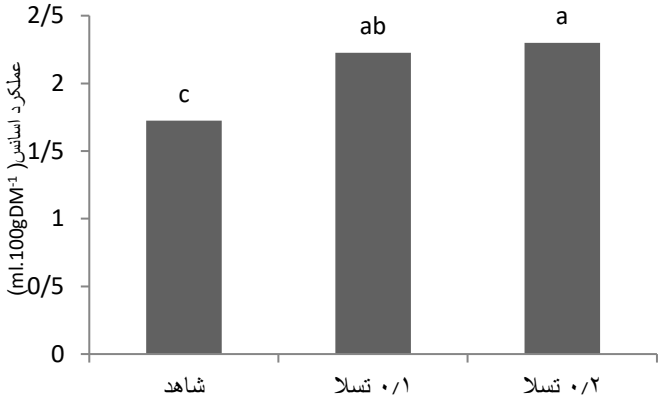


نمودار ۴- نمودار میانگین پروتئین شوید در دو میدان مغناطیسی با شدت‌های ۰/۱ و ۰/۲ تسلا و تیمار شاهد ($P\leq0.01$)

جدول ۵- تجزیه واریانس اسانس شوید توده تبریز و ورامین

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		حجم اسانس	وزن اسانس
توده	۱	۰/۰۱۰ ns	۰/۰ ns
بلوک	۳	۰/۰۵۷ ns	۰/۰۲۴۹ ns
تیمار	۲	۰/۰۹۵**	۰/۴۲۹*
توده*تیمار	۲	/۰۶۲۰ ns	۰/۰۳۰ ns
خطا	۱۵	۰/۰۱۵	۰/۰۹۳

ns غیر معنی‌دار، *، ** به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵٪ و ۱٪ است.



نمودار ۵- میانگین عملکرد اسانس در ۱۰۰ گرم ماده خشک شوید در دو میدان مغناطیسی با شدت‌های ۰/۱ و ۰/۲ تسلا و تیمار شاهد

بر اساس جدول ۵ حجم اسانس در سطح ۱٪ و وزن اسانس در سطح ۵٪ معنادار می‌باشد. طبق یافته‌های هوزین و همکاران (۲۰۲۰) نتایج تجزیه و تحلیل اسانس ریحان فرانسوی نشان داد که بیشترین مقدار لینالول جزء

اصلی اسانس با قرارگیری در معرض آب مغناطیسی نسبت به شاهد افزایش تولید داشت. افزایش در تولید اسانس در مورد عملکرد بیشتر با مصرف آب کمتر، بهره‌وری آب بالاتری را به همراه داشته است.

اسانس‌ها ترکیباتی فرار هستند که اجزا متشکله و ترکیب شیمیایی آن‌ها توسط فاکتورهای زراعی (دسترسی عناصر غذایی کم‌مصرف و پرمصرف، رژیم آبیاری و کودی)، شرایط رشد (تولید گلخانه‌ای، سیستم‌های کشت بدون خاک و زیستگاه‌های طبیعی)، شرایط جغرافیایی و آب و هوایی (دسترسی آب، ویژگی‌ها خاک، کمیت و کیفیت نور و دما) مسائل بیوشیمیایی و ژنتیکی (هیبریداسیون طبیعی و زیرگونه‌ها) تحت تأثیر قرار می‌گیرد (حسن‌پور و همکاران ۲۰۱۰). با توجه به اینکه تیمار با آب مغناطیسی موجب افزایش جذب عناصر بدون استفاده از کودهای شیمیایی می‌گردد (نیرپور و همکاران ۲۰۲۱) و مغناطیسی کردن آب به عنوان تنش غیرزیستی و فیزیکی شناخته می‌شود، لذا به نظر می‌رسد همین امر منجر به افزایش اسانس در گیاه دارویی شوید شد با توجه به اینکه ترکیبات عمده موجود در این اسانس، سبب کاهش رادیکال‌های آزاد در بدن موجودات زنده می‌شود و با این مکانیسم، به‌عنوان یک ماده آنتی‌اکسیدان شناخته می‌شود (بهرامی کیا ۲۰۰۹).

نتیجه‌گیری

نتیجه‌گیری حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از آب مغناطیسی برای آبیاری می‌تواند یک راهکار مؤثر برای افزایش بهره‌وری آب و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی باشد. آب تحت تأثیر میدان مغناطیسی، به عنوان یک تیمار فیزیکی، می‌توانند منجر به افزایش ترکیبات شیمیایی و افزایش فعالیت‌های متابولیکی در گیاه شوند.

آزمایش‌های انجام‌شده بر روی گیاه شوید نشان داد که استفاده از آب مغناطیسی منجر به افزایش پارامترهای رشد، تولید متابولیت‌های ثانویه و کیفیت اسانس گیاه شده است. این تغییرات نه‌تنها باعث بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی محصول شدند، بلکه . تولید این متابولیت‌ها نه تنها خواص دارویی و درمانی گیاهان را افزایش می‌دهد، بلکه به مقاومت آن‌ها در برابر تنش‌های محیطی، بیماری‌ها و آفات بدون نیاز به استفاده از سموم شیمیایی کمک می‌کند. به‌طور خاص، تیمار آب مغناطیسی باعث افزایش طول گیاه، وزن‌تر و خشک، و نیز بهبود فرایند فتوسنتز شد.

بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که آب مغناطیسی به‌عنوان یک روش نوین و مؤثر در مدیریت منابع آب و بهبود تولیدات کشاورزی، به‌ویژه در مناطق با مشکلات آب آبیاری، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. این روش نه‌تنها بهره‌وری آب را افزایش می‌دهد، بلکه با کاهش نیاز به مواد شیمیایی و بهبود سلامت گیاهان، به حفظ محیط‌زیست نیز کمک می‌کند.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از دست‌اندرکاران مجموعه ایستگاه آموزشی و تحقیقاتی خلعت پوشان و جناب آقای دکتر زارع کمال تشکر را داریم.

منابع مورد استفاده

Aghasizadeh Shaarbaf M, Payamnoor V and Rezaei Asl A. 2022. The effect of magnetic field on vitality, betulinic acid and antioxidant properties in birch (*Betula pendula* Roth.). Journal of Wood and Forest Science and Technology, 29(2): 39-57. doi: 10.22069/jwfst.2022.19601.1946

Ahmad S, Su W, Kamran M, Ahmad I, Meng X, Wu X, Javed T and Han Q. 2020. Foliar application of melatonin delays leaf senescence in maize by improving the antioxidant defense system and enhancing photosynthetic capacity under semi-arid regions. Protoplasma, 257, 1079–1092. https://doi.org/10.1007/s00709-020-01491-3

Ahmadi M, Ghasemnezhad A, Sadeghi Mahoonak A and Rezaie Asl A. 2016. Effect of magnetized and saline water on the biomass yield of Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni.). Advances in Bioresearch, 7(1): 158-166. (In Persian). DOI:10.15515/abr.0976- 4585.7.1.158-166

Aladjadjiyan A. 2007. The use of physical methods for plant growing stimulation in Bulgaria. Journal of Central European Agriculture, 8: 369-380.

Al-Snafi A E. 2014. The pharmacological importance of *Anethum graveolens*–A review. International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences, 6(4): 11-13.

Andalibi B, Zehtab Salmasi S, Ghassemi Gholezani K and Saba J. 2011. Changes in essential oil yield and composition at different parts of dill (*Anethum graveolens* L.) under limited irrigation conditions. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 21(2): 11-24. (In Persian). DOI : 10.29252/fsct.18.0 6.0 3

Arbabian S, Majd A and Salaripour S. 2010. The effects of electromagnetic field (EMF) on vegetative organs, pollen development, pollen germination and pollen tube growth of *Glycine max* L. Journal of Cell and Tissue, 1(1): 35-42. doi: 10.52547/JCT.1.3.35

Arya S P, Mahajan M and Jain P. 2000. Non-spectrophotometric methods for the determination of Vitamin C. Analytica Chimica Acta, 417(1): 1-14. https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)00909-0

Asghari B, Khademian R and Sedaghati B. 2020. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) confer drought resistance and stimulate biosynthesis of secondary metabolites in pennyroyal (Mentha pulegium L.) under water shortage conditions. Scince Horticultre, 263: 109-132. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109132

Bahramikia S, Ardestani A and Yazdanparast R. 2009. Protective effects of four Iranian medicinal plants against free radical-mediated protein oxidation. Journal of Food Chemistry, 115: 37–42. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.11.054

Banejad H, Mokari Gahroodi, E, Esnaashari M and Liaghat AM. 2013. Assessment of the interaction of magnetic water and salinity on yield and components of Basil plant. Iranian Journal of irrigation and Drainage, 7(2): 178-183. (In Persian).

Bewley J D and Black M. 2012. Physiology and biochemistry of seeds in relation to germination: volume 2: viability, dormancy, and environmental control. Springer Science & Business Media

Bradford M B. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry, 72: 248–254.

Chang C C, Yang M H, Wen H M and Chern J C. 2002. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. Journal of Food and Drug Analysis, 10: 178-182. https://doi.org/10.38212/2224-6614.2748

Croteau R, Kutchan T M and Lewis N G. 2000. Natural products. In: Natural products (Secondary metabolites). (Eds. Buchanan, B. Gruissem, W. Jones, R). American Society of Plant Physiologists, 1250-1318.

De Souza A, Gani P, Sueiro L, Gilart F, Porras E and Licea L. 2006. Pre-Sowing magnetic treatment of tomato seeds increase the growth and yield of plants. Bioelectromagnetics, 27: 247-257. https://doi.org/10.1002/bem.20206

Delaquis P J, Stanich K, Girard B and Mazza G. 2002. Antimicrobial activity of individual and mixed fractions of dill, cilantro, coriander and eucalyptus essential oils. International Journal of Food Microbiology, 74: 101–109. https://doi.org/10.1016/S0168-1605(01)00734-6

DukeJ A. 2001. Handbook of Medicinal Herbs. CRC Press LLC, USA, p 42.

Ebrahimzadeh M A, Nabavi S F and Nabavi S M. 2009. Antioxidant activity of leaves and inflorescence of *Eryngium caucasicum* Trautv at flowering stage. Pharmacognosy Research, 1: 435-439.

Fisher G, Tausz M, Kock M and Grill D. 2004. Effects of weak 16 Hz magnetic fields on growth parameters of young sunflower and wheat seedlings. Bioelectromagnetics, 25: 638-641. https://doi.org/10.1002/bem.20058

Ghadami firouzabadi A, Khoshravesh M, Shirazi P and Zare H. 2016. Effect of irrigation with magnetized water on the yield and biomass of soybean var. DPX under water deficit and salinity stress. Journal of Water Research in Agriculture, 30(1): 131-143. https://dorl.net/dor/20.1001.1.22287140.1395.30.1.1.12.7.3

Ghanati F, Abdolmaleki P, Vaezzadeh M, Rajabbeigi E and Yazdani M. 2007. Application of magnetic field and iron in order to change medicinal products of *Ocimum basilicum*. Environmentalist, 27: 429–434. https://doi.org/10.1007/s10669-007-9079-7

Giusti MM. Rodriguez Soana LF, Baggett JR, Reed GL, Durst RW and wrolestad RE. 1998. Anthocyanin pigment composition of red radish cultivars as potential food colorants. Journal of Science, 47: 4631-4637.

Haghighat N, Abdolmaleki P, Ghanati F, Behmanesh M and Payez A. 2014. Modification of catalase and MAPK in *Vicia faba* cultivated in soil with high natural radioactivity and treated with a static magnetic field. Journal of Plant Physiology, 171: 99-103. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.10.019

Hasanuzzaman M, Bhuyan M B, Zulfiqar F, Raza A, Mohsin S M, Al Mahmud J, Fujita M and Fotopoulos V. 2020. Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress, Revisiting the crucial role of a universal defense regulator. Antioxidants, 9: 681.

Hashemabadi D. 2017. The activity of superoxide dismutase and peroxidase enzymes under the influence of water and irrigation intervals to ornamental periwinkle. Iranian Journal of Horticultural Science, 48(1): 49-59. https://doi.org/10.22059/ijhs.2017.128181.805

Hashenmabadi D, zaredost F and solimandarabi j. 2015. The effect of magnetic water and irrigation intervals on the amount of the nutrient elements in soil and aerial part of previwikel (*Catarantus roseus* L.).Journal of Ornamental Plants, 5(3): 2251-6441. (In Persian).

Hozayn M and Abdul Qados A M S. 2010. Irrigation with magnetized water enhances growth, chemical constituent and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Agriculture and Biology Journal of North America, 32: 2151-7525.

Hozayn M, Ali H M H, Marwa M A and El-Shafie A F. 2020. Influence of magnetic water on French basil (*Ocimum basilicum* L. var. Grandvert) plant grown under water stress conditions. Plant Archives, 20(1): 3636-3648.

Javanmardi J, Stushonoff C, Locke E and Vivanco J M. 2003. Antioxidant activity and total phenolic content of Iranian *Ocimum accessions*. Food Chemistry, 83(4): 547-550. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00151-1

Jirovetz L, Buchbauer G, Stoyanova AS, Georgiev EV and Damianova ST. 2003.Components, quality control and antimicrobial activity of the essential oil of longtime stored dill *Anethum graveolens* L. seeds from Bulgaria. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51(13): 3854-7. https://doi.org/۱۰/۱۰۲۱/jf۰۳۰۰۰۴y

Koleva II, van Beek TA, Linssen J P H, de Groot A and Evstatieva L N. 2002. Screening of plant extracts for antioxidant activity: A comparative study on three testing methods. Phytochemical Analysis, 13: 8-17. https://doi.org/10.1002/pca.611

Kubeczka KH. 2002 .Essential oils Analysis by Capillary Gas Chromatography and Carbon – 13 NMR Spectroscopy. John wiley & Sins LTD. Englad, 461.

Lichtenthaler, H and Buschmann C. 2001. Current Protocols in Food Analytical Chemistry. Unit F4.3.1-F4.3.8.

Maleki khezerlu S and Tajbakhsh M. 2017. Study of morphological characteristics and forage quality of *Amaranthus hypochondriacus* L. under some Seed priming, Iranian Journal of Field Crops Research, 15(1): 103-112. https://doi.org/10.22067/gsc.v15i1.43478

Marghabeizadeh GH, Gharineh MH, Fathi GH, Abdali AR and Farbod M. 2015. Effect of ultrasound waves and magnetic field on germination, growth and yield of *Carum copticum* (L.)C. B. Clarke in lab and field conditions. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 30(4): 539-560. (In Persian). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2014.9834

Marghaeezadeh G, Gharineh M, Fathi G, Abdali A and Farbod M. 2014. Effects of ultrasound waves and magnetic field on growth and yield of *Curum copticum* in field conditions. Applied Field Crops Research, 27(104): 142-151. https://doi.org/10.22092/aj.2014.101822

Mollavali M, Bolandnazar S A, Schwarz D, Rohn S, Riehle P and Zaare Nahandi F. 2016. Flavonol glucoside and antioxidant enzyme biosynthesis affected by mycorrhizal fungi in various cultivars of onion (*Allium cepa* L.). Journal of Agriculture Food Chemistry, 64: 71-77. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b04791

Morris J K. 1965. A formaldehyde glutaraldehyde fixative of high osmolality for use in electron microscopy. Journal of Cell Biology, 27: 1A-149A.

Nashir S. H. 2008. The effect of magnetic water on growth of chickpea. Engineering and Technology, 26(9): 16-20.

Nayyer poor Dizaj A, Alizadeh Salteh S and Zaare Nahandi F. 2021. The effect of magnetic water on some morphological characteristics, yield and essential oil composition of savory (*Satureja hortensis* L.). Journal of agricultural science and sustainable production, 31(1): 163-176. (In Persian).https://dorl.net/dor/20.1001.1.24764310.1400.31.1.10.8

Nikbakht J and Rezaee E. 2011. Effect of different levels of magnetized wastewater on yield and water use efficiency in Maize and some of soil physical properties. Iranian Journal of Soil and Water Research, 48(1):63-75. (In Persian). https://doi.org/10.22059/ijswr.2017.61341

Nikbakht J, Khande royan M, Tavakoli A and Taheri M. 2013. The effect of low irrigation with magnetic water on yield and water use efficiency of corn. Journal of Agricultural Research in Water, 27(4): 551-563.

Ozliman S, Yaldiz G, Camlica M and Ozsoy N. 2021. Chemical components of essential oils and biological activities of the aqueous extract of *Anethum graveolens* L. grown under inorganic and organic conditions. Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 8: 1-16. https://link.springer.com/article/10.1186/s40538-021-00224-9

Ran C, Hongwei Y, Jinsong H and Wanpeng Z. 2009. The effects of magnetic fields on water molecular hydrogen bonds. Journal of Molecular Structure, 938: 15-19. https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2009.08.037

Shabani E, Bolandnazar S, Tabatabaei S.J, Najafi N, Alizadeh-Salteh S and Rouphael Y. 2018. Stimulation in the movement and uptake of phosphorus in response to magnetic P solution and arbuscular mycorrhizal fungi in *Ocimum basilicum*. Journal of plant nutrition, 41(13):1662-1673. https://doi.org/01904167.2018.1458872/10.1080

Singh G, Maurya S and Catalan C. 2005. Chemical constituent's antimicrobial investigations and antioxidant potentials of *Anethum graveolens* essential oil and acetone extract. Journal of Food Science, 70: 208-15. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb07190.x

Song H. 2005. Effects of VAM on host plant in condition of drought stress and its mechanisms Electronic. Journal of Biology, 1(3): 44-48.

Trebbi G, Borghini F, Lazzarato L, Torrigiani P, Calzoni GL and Betti L. 2007. Extremely low frequency weak magnetic fields enhance resistance of NN tobacco plants to tobacco mosaic virus and elicit stress-related biochemical activities. Bio-electromagnetics, 28: 214–223. https://doi.org/10.1002/bem.20296

Velioglu Y.S, Mazza G, Gao L and Oomah B.D. 1998. Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. Journal of Agricultural Food and Chemistry, 46: 4113–4117. https://doi.org/10.1021/jf9801973

Yazdani D, Jamshidi A, Rezazadeh S, Mojab F and Shahnazi S. 2004. Changes in percent and volatile oil components in different stages of Dill growing. Journal of Herbal drugs, 3(11): 38-41.

Yazdani M, Shahryari M and Hamedi B. 2004. Preparation Foeniculum officinalis and Recucita control group (without drug) on dysmenorrheal and pms. Journal of Hormozgan University of Medical Sciences, 8(1): 57-61.

Zarei S, Kasraei M and Nematollahi M. A. 2020. Investigating the Impact of the magnetized water on the growth and germination of five wheat grain seeds. Journal of Agricultural Machinery, 10(2): 289-298. https://doi.org/10.22067/jam.v10i2.76707

Zulfiqar F and Ashraf M. 2021. Bioregulators, Unlocking their potential role in the regulation of the plant oxidative defense system. Plant Molecular Biology, 105: 11-41. https://doi.org/10.1007/s11103-020-01077-w