

The Effect of Salinity and Magnetic Water on Yield and Water Use Efficiency of Cumin (Case Study: Kashmar Region)

MEYSAM ABEDINPOUR^{1*}, EBRAHIM ROUHANI²

1. Assistant Professor, Water Engineering Department, Education Center of Kashmar, Kashmar, Iran

2. Laboratory Expert, Water Engineering Department, Education Center of Kashmar, Kashmar, Iran

(Received: Oct. 20, 2018- Revised: Dec. 21, 2018- Accepted: Dec. 29, 2018)

ABSTRACT

In order to study the effect of magnetic field and different levels of saline irrigation water on cumin yield, a factorial experiment with a completely randomized block design with three replications was carried out in Kashmar Higher Education Institute in 2016. In this experiment, four salinity levels of irrigation water; 0.5 (S₁) as control, 6 (S₂), 8 (S₃), and (S₄) 10 dS m⁻¹, and two levels of magnetic field; magnetic water (M₁) and non-magnetic water (M₂) were used. The results showed that the magnetized water increased the yield of cumin compared with non-magnetized water. So that the maximum grain yield of cumin (1085 kg ha⁻¹) was corresponded to S₁M₁ treatment and the lowest one (530 kg ha⁻¹) was corresponded to S₄M₂ treatment. Also, the maximum and the minimum biological yields (2215 and 1295 kg ha⁻¹) were corresponded to the same treatments (S₁M₁ and S₄M₂) respectively. The yield reduction rates for 6, 8 and 10 dS m⁻¹ saline waters were calculated to be 7.8, 14.7 and 32%, respectively for the magnetic field and 6, 15.7 and 44.5%, respectively for the non-magnetic field as compared to the control treatment. In addition, the average water use efficiencies of saline and magnetic water treatments (0.5, 6, 8 and 10 dS m⁻¹) were estimated to be 8.8, 6.5, 10.3 and 17.4% greater than the ones of saline and non-magnetic water treatments, respectively. Therefore, the use of magnetic water can increase the yield of cumin under salt stress conditions.

Keywords: Salinity stress, Cumin, Kashmar, Magnetic field

تأثیر شوری و آب مغناطیسی بر عملکرد و کارایی مصرف آب گیاه زیره سبز (مطالعه موردی: منطقه کاشمر)

میثم عابدین پور^{۱*}، ابراهیم روحانی^۲

۱. استادیار، گروه مهندسی آب، مرکز آموزش عالی کاشمر، کاشمر، ایران

۲. مدرس و کارشناس آزمایشگاه، گروه مهندسی آب، مرکز آموزش عالی کاشمر، کاشمر، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۷/۲۸ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۹/۳۰ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۱۰/۸)

چکیده

به منظور بررسی تأثیر میدان مغناطیسی و سطوح مختلف شوری آب آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب زیره سبز، آزمایشی بصورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کاملاً تصادفی و با سه تکرار در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در مرکز آموزش عالی کاشمر انجام شد. در این آزمایش تیمار اصلی سطوح مختلف شوری آب شامل: (S₁) ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر به عنوان شاهد، (S₂) ۶ دسی‌زیمنس بر متر، (S₃) ۸ دسی‌زیمنس بر متر و (S₄) ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر و تیمار فرعی میدان مغناطیسی (M₁) و بدون مغناطیس (M₂) در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که آبیاری با آب مغناطیس باعث افزایش عملکرد زیره در مقایسه با تیمارهای بدون استفاده از آب مغناطیسی شد، به طوری که حداکثر عملکرد دانه زیره سبز در تیمار (S₁M₁) به میزان ۱۰۸۵ کیلوگرم در هکتار و حداقل عملکرد در تیمار (S₄M₂) به میزان ۵۳۰ کیلوگرم حاصل گردید. همچنین حداقل مقدار عملکرد بیولوژیک در تیمار (S₄M₂) به میزان ۱۲۹۵ و حداکثر آن در تیمار (S₁M₁) به میزان ۲۲۱۵ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. میزان کاهش عملکرد در شوری‌های آب آبیاری ۶، ۸ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر و در شرایط آب مغناطیس به ترتیب ۷/۸، ۱۴/۷ و ۳۲ درصد و در شرایط آب غیر مغناطیس به ترتیب ۶، ۱۵/۷ و ۴۴/۵ درصد نسبت به شاهد حاصل گردید. به علاوه، متوسط مقدار کارایی مصرف آب تیمارهای آب شور ۰/۵، ۶، ۸ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر و مغناطیس شده به ترتیب ۸/۸، ۶/۵، ۱۰/۳ و ۱۷/۴ درصد بیشتر از تیمارهای شور مشابه ولی غیر مغناطیس شده بود. بنابراین آب مغناطیس شده می‌تواند باعث افزایش عملکرد زیره سبز در شرایط استفاده از آب شور به عنوان منبع آب آبیاری گردد.

واژه‌های کلیدی: تنش شوری، زیره سبز، کاشمر، میدان مغناطیسی

مقدمه

زیره سبز با نام علمی (*Cuminum cyminum*) گیاهی است یک ساله از خانواده جعفری و ارتفاع آن با توجه به شرایط محیطی از ۱۵ تا ۵۰ سانتی‌متر تغییر می‌کند. سه قطب اصلی کشت زیره سبز ایران در استان‌های خراسان، اصفهان و کرمان می‌باشد و سطح زیر کشتی بالغ بر ۵۰۰۰۰ هکتار را شامل می‌شود (Salami et al., 2005). زیره سبز در نواحی خشک و نیمه‌خشک در شرایط کمبود آب، به دلیل ویژگی‌های شکل برگ‌ها، کوتاه بودن بوته‌ها، فصل رشد کوتاه دارای ارزش اقتصادی بالایی بوده و صادرات آن می‌تواند ارزآوری قابل توجهی داشته باشد (Pirzad et al., 2017).

دوره رشد زیره سبز کوتاه در حدود ۱۲۰ تا ۱۴۰ روز است. این گیاه دارای خواص معرق، محرک اشتها، تقویت معده، ضد نفخ، ضد اسهال و ضد انگل می‌باشد. (Nezami et al., 2009)، pH مناسب خاک برای زیره سبز را ۶/۸ تا ۸/۳ برآورد نمودند. این

گیاه در طول مرحله گلدهی و تشکیل میوه به آب کمتری احتیاج داشته و می‌تواند شوری تا ۵ دسی‌زیمنس بر متر را تحمل کند و دارای نیاز آبی حدود ۳۵۰ میلی‌متر یا ۳۵۰ مترمکعب در هکتار می‌باشد (Jabbari et al., 2011). به دلیل فصل مناسب رشد زیره سبز که در اواخر پاییز تا اواسط بهار می‌باشد، بیشتر نیاز آبی این گیاه از نزولات جوی تأمین می‌گردد (Kafi, 2002). Rahimian Mashhadi (1991) در تحقیقی در رابطه با تاریخ کاشت و رژیم آبیاری بر رشد و عملکرد زیره سبز در منطقه مشهد نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در تیمار رژیم آبیاری کامل به‌دست آمد. شوری یکی از تنش‌های محیطی است که تغییرات زیادی در رشد، فیزیولوژی و عملکرد گیاهان ایجاد می‌کند. به‌طور کلی در جهان ۹۵ میلیون هکتار اراضی شور وجود دارد و در ایران نیز حدود نیمی از اراضی قابل‌کشت تحت تأثیر شوری هستند و هرساله میلیون‌ها تن نمک از طریق آب آبیاری به اراضی زارعی افزوده می‌شود. رشد گیاهان در شرایط شوری به دلیل پتانسیل

خاک و همچنین بافت‌های گیاهی می‌شود. علت افزایش حلالیت آب به این صورت است که با مغناطیس شدن آب، مولکول‌های آب از حالت بی‌نظمی به صورت مرتب درآمده و نوع پیوند اکسیژن-هیدروژن از حالت مثلثی به شکل یک خط تغییر می‌کند. در این شرایط هیدروژن‌های مثبت دارای نیروی بیشتری شده و ضمن تشکیل مولکول‌های کوچک‌تر از آب، سبب افزایش تعداد مولکول‌های آب در واحد حجم و همچنین افزایش قدرت حلالیت آب می‌شود (Leather wood, 2005). وقتی آب از میان میدان مغناطیسی ثابت یا متغیر عبور می‌کند، موجب تغییر در آرایش بلورین کربنات کلسیم شده و ماهیت آن از حالت کلسیت چسبنده به آراگونیت که قدرت چسبندگی ندارد، تبدیل می‌شود. اصطلاحاً آب از حالت یونی خارج شده و به صورت ذرات معلق میکرونی درمی‌آید. آراگونیت با سیستم تبلور ارتورومبیک دارای ساختار منشوری یا تیغه‌ای کریستالی با مقطع عرضی شش‌ضلعی و قدرت چسبندگی کم می‌باشد. در مقابل، کلسیت با سیستم تبلور شش‌وجهی خاصیت چسبندگی بسیار بالایی دارد و باعث افزایش میزان Ca^{2+} و Mg^{2+} می‌گردد. در این شرایط با افزایش میزان Ca^{2+} و Mg^{2+} نسبت جذب سدیم (SAR) کاهش یافته که باعث افزایش نفوذپذیری خاک می‌گردد.

Maleki et al. (2015) تأثیر میدان الکترومغناطیسی و امواج فراصوت را بر میزان جوانه‌زنی بذر زیره سبز مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها دریافتند که اثر متقابل میدان الکترومغناطیسی و زمان بر درصد و سرعت جوانه‌زنی، میانگین مدت جوانه‌زنی، وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه و نسبت وزن و طول ریشه‌چه به ساقه-چه معنی‌دار بود. Sadeghipour and Aghaei (2014) اثر تنش خشکی و کاربرد آب مغناطیسی را بر عملکرد ماش مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که آبیاری با آب مغناطیسی در هر دو شرایط عدم تنش و وجود تنش موجب افزایش صفات اندازه‌گیری شده گردید. همچنین Mohammadian et al. (2016) اثر دو سطح آب (مغناطیسی و غیر مغناطیسی) و شوری در سه سطح ۰/۳، ۲/۴ و ۳/۲ دسی زیمنس بر متر را بر عملکرد و اجزای عملکرد فلفل سبز بررسی نمودند. نتایج این بررسی افزایش ۱۲، ۱۹ و ۳۳ درصدی عملکرد کل میوه به ترتیب در آب شور مغناطیسی با شوری ۰/۳، ۲/۴ و ۳/۲ $dS.m^{-1}$ را نشان داد. Podleony et al. (2005) اثر میدان مغناطیسی را روی بذور لوبیا قبل از کاشت بررسی کردند. جوانه‌زنی در مقایسه با تیمار شاهد دو تا سه روز زودتر اتفاق افتاد و جوانه‌ها در مقایسه با تیمار شاهد منظم‌تر و یکدست‌تر بودند. آن‌ها افزایش میزان محصول را به میدان مغناطیسی نسبت دادند. Hozayn and Qados (2010) گزارش کردند که میدان مغناطیسی خصوصیات زیادی از گیاه

اسمزی پایین و اختلال در جذب برخی عناصر غذایی کاهش می‌یابد (Omran et al., 2014). همچنین، Nabi zadeh (2002) در بررسی اثرات سطوح مختلف شوری بر عملکرد دانه و شاخص‌های رشدی زیره سبز اعلام نمود که با افزایش شوری آب از ۶ دسی-زیمنس بر متر، عملکرد و اجزای عملکرد به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. Kafi et al. (2011) با اعمال تنش‌های شوری و خشکی بر عملکرد دانه و بیولوژیک دو رقم مختلف زیره سبز نشان دادند که آبیاری با آب شور ۵ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب ۱۴ و ۲۱ درصد عملکرد دانه و بیولوژیک را نسبت به آب معمولی کاهش می‌دهد. Salami et al. (2005)، اثر تنش شوری بر خصوصیات مورفولوژی زیره سبز و سنبل‌الطیب را مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیقات نشان داد که با افزایش غلظت‌های شوری، درصد جوانه‌زنی، طول ریشه، طول ساقه، وزن خشک ریشه، وزن خشک ساقه و بیوماس گیاهان زیره سبز و سنبل‌الطیب کاهش می‌یابد. بررسی جوانه‌زنی بذر زیره سبز در برابر تنش اسمزی نشان داد که بهترین شرایط برای جوانه‌زنی، خیساندن بذر به مدت سه روز قبل از کاشت در آب می‌باشد (Tawfik and Noga, 2001). در این راستا Guo and Tang (1999)، دریافتند که عملکرد زی‌توده زیره سبز در محیط شور به علت اثرات منفی و مضر عناصر با سمیت یونی ویژه و اختلالات جذب آب و املاح کاهش می‌یابد. hadami firozabadi et al. (2016) در تحقیقی اثر آب مغناطیس را در شرایط تنش شوری و خشکی بر گیاه سویا در منطقه گرگان مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق نشان داد که با مغناطیس کردن آب آبیاری مقدار عملکرد، بیوماس، ارتفاع گیاه و درصد روغن در تمامی تیمارهای خشکی و شوری، به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. به‌طوری که متوسط مقدار کاهش عملکرد در تیمارهای آب با شوری ۵ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب برابر ۸/۴۴ و ۲۴/۶۸ درصد نسبت به تیمار شاهد بود. در شرایط تنش شوری، یکی از روش‌های مدیریتی برای کاهش اثرات آن، استفاده از میدان مغناطیسی قبل از عبور دادن آب از میدان مغناطیسی و نفوذ آب به خاک می‌باشد که می‌تواند کارایی مصرف آب را افزایش دهد. کاربرد آب مغناطیسی، برخی از خصوصیات شیمیایی و فیزیکی آب از جمله، هدایت الکتریکی، pH، حلالیت‌پذیری، پیوندهای هیدروژنی و چگالی را تغییر داده، به‌طوری که این تغییرات می‌تواند رشد گیاهان را نیز تحت تأثیر قرار دهد (Grewal and Maheshwari, 2011). هنگام عبور آب از یک میدان مغناطیسی باندهای هیدروژنی تغییر کرده یا از هم جدا می‌شوند و این جدا شدن مستلزم جذب انرژی بوده که باعث کاهش میزان ارتباط باندهای آب شده که در نتیجه باعث حل شدن بلورهای نمک و شکستن آن‌ها به کوچک‌ترین جزء و سهولت نفوذ آن‌ها به اعماق

دشت کاشمر، کمبود منابع آب، افزایش سطح زیر کشت زیره سبز در استان (۱۲ هزار هکتار (Hashemi Nia *et al.*, 2012) و لزوم استفاده از آب‌های نامتعارف نظیر آب‌های شور و پساب‌ها در کشاورزی، استفاده از روش‌هایی که بتواند اثرات شوری بر عملکرد گیاهان، خاک و محیط زیست را کاهش دهد، ضروری به نظر می‌رسد. لذا در این تحقیق جهت رسیدن به این هدف استفاده از میدان مغناطیسی جهت کاهش اثرات شوری آب آبیاری و افزایش عملکرد و اجزاء عملکرد زیره سبز مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در مرکز آموزش عالی کاشمر با طول جغرافیایی "۲۰' ۲۸' ۵۸" شرقی، عرض جغرافیایی "۱۵' ۳۵' ۳۵" و ارتفاع از سطح دریا ۱۱۰۹ در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در محل مزرعه آزمایشی مرکز صورت گرفت. شهر کاشمر در جنوب غربی استان خراسان رضوی واقع شده که از نگاه زمین‌شناسی - ژئومورفولوژی جزئی از حوضه‌ی آبریز دشت کاشمر محسوب می‌شود. این دشت در شمال حوضه‌ی کویر نمک واقع شده و بخشی از منطقه زمین‌شناسی ایران مرکزی است. منطقه مورد مطالعه براساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن در بازه زمانی (۱۳۶۵-۱۳۹۵)، دارای اقلیم خشک بیابانی معتدل، زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم بوده و متوسط بارندگی سالانه ۲۰۰ میلی‌متر می‌باشد (Zandi, 2016). داده‌های هواشناسی در طول دوره کشت (۱۳۹۴-۹۵) از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک کاشمر با فاصله ۶۵۰ متری از محل آزمایش جمع‌آوری و در جدول (۱) نشان داده شده است.

شامل جوانه‌زنی، سرعت رشد گیاهچه، سرعت رشد ریشه و عملکرد را تحت تأثیر قرار می‌دهد. (Aladjadjiyan, 2007) گزارش کرد که میدان مغناطیسی می‌تواند باعث تعدیل اثرات منفی تنش خشکی و گرما و افزایش تحمل به شوری گیاه شده و فرآیند پیری را به تأخیر بیندازد. (Abedinpour and Roohani 2018) در تحقیقی اثر آب مغناطیسی و سطوح مختلف شوری را بر روی گیاهچه پنبه بررسی کردند. نتایج نشان داد که کاربرد آب مغناطیسی نتایج مثبتی بر روی شاخص جوانه‌زنی گیاهچه پنبه دارد.

در استان خراسان رضوی هر ساله به‌طور متوسط ۶ درصد از ظرفیت آب دهی چاه‌ها کاسته می‌شود. پیشروی آب‌های شور در استان خراسان رضوی یکی از مهم‌ترین چالش‌های کیفیت آب در این استان است. چراکه به دلیل افت سفره‌های زیرزمینی و کاهش منابع آب تجدید پذیر شاهد حرکت آب‌های شور به سمت آب‌های شیرین و کاهش کیفیت آب‌ها هستیم. برداشت بیش‌ازحد آب‌های زیرزمینی جهت مصارف مختلف به‌ویژه آبیاری باعث پایین رفتن سطح آب زیرزمینی شده و کسری آب مخزن را پدید آورده است (CSS, 2016). افت سطح آب زیرزمینی، سبب می‌شود که آب بخش عمیق آبخوان‌ها، به‌طرف بالا حرکت نموده و به تدریج سبب شور شدن آبخوان شود. به‌دلیل رابطه مستقیم بین افت سطح آب زیرزمینی و مقدار کلر موجود در آب، هر قدر مقدار افت سطح آب زیرزمینی بیشتر می‌شود، مقدار یون کلر آب نیز که عمدتاً به یون سدیم متصل بوده و نشان‌دهنده شوری آب است، افزایش می‌یابد (Voigt, 1990). بنابراین با توجه به وضعیت بحرانی منابع آب در دشت‌های استان خراسان رضوی به‌ویژه

جدول ۱- داده‌های هواشناسی در محل آزمایش در طول دوره رشد گیاه

ماه	دمای هوا (°C)			رطوبت نسبی (%)			بارندگی (mm)
	کمینه	بیشینه	میانگین	کمینه	بیشینه	میانگین	
دی	۲	۱۲/۸	۷/۴	۳۳	۷۳	۵۳	۱۸
بهمن	۱/۵	۱۳/۷	۷/۶	۲۵	۶۷	۴۴	۲۷
اسفند	۹/۱	۲۸	۱۵	۲۶	۶۱	۴۰	۱۰
فروردین	۱۱	۲۱/۹	۱۶/۴	۲۷	۶۹	۴۸	۲۵
اردیبهشت	۱۸	۳۰/۸	۲۳/۷	۱۹	۵۱	۳۵	۸

(M₂) انتخاب و در ۳ تکرار اجرا شد. بنابراین تعداد ۲۴ کرت به ابعاد ۲×۱/۵ متر و در زمینی به مساحت ۱۳۰ متر مربع ایجاد گردید. تکرارها به‌وسیله نهرهای ۱ متری از هم جدا و با پلاستیک ایزوله شدند (شکل ۱)

برای انجام آزمایش، طرحی به‌صورت فاکتوریل در قالب کرت‌های کاملاً تصادفی که در آن سطوح مختلف شوری آب آبیاری به‌عنوان تیمار اصلی شامل: تیمار شاهد یا آب معمولی ۰/۵ (S₁)، ۶ (S₂)، ۸ (S₃) و ۱۰ (S₄) دسی‌زیمنس بر متر و تیمار فرعی شامل: میدان مغناطیسی (M₁) و بدون مغناطیس

تکرار ۱	S ₁ M ₁	S ₂ M ₂	S ₁ M ₂	S ₃ M ₁	S ₂ M ₁	S ₄ M ₁	S ₃ M ₂	S ₄ M ₂
تکرار ۲	S ₃ M ₁	S ₄ M ₁	S ₃ M ₂	S ₂ M ₂	S ₄ M ₂	S ₁ M ₂	S ₁ M ₂	S ₂ M ₁
تکرار ۳	S ₄ M ₁	S ₂ M ₁	S ₃ M ₁	S ₁ M ₂	S ₂ M ₂	S ₁ M ₁	S ₄ M ₂	S ₃ M ₂

شکل ۱- نحوه چینش کرت‌های آزمایشی

برای اعمال تیمارهای مربوط به ایجاد میدان مغناطیسی از دو عدد آهن ربای مغناطیسی قوی با قدرت ۲۵۰۰ گوس استفاده شد. همچنین نتیجه تجزیه کیفی آب آبیاری در شوری‌های مختلف و در شرایط مغناطیس و غیر مغناطیس در جدول شماره (۳) نشان داده شده است.

تیمار آب شور از ترکیب CaCl₂+NaCl و به نسبت مولی ۱:۵ تهیه شد. برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل طرح از ۵ نقطه مختلف و اعماق ۱۰-۰، ۲۰-۱۰، ۳۰-۲۰ و ۴۰-۳۰ سانتی متری نمونه برداری و به آزمایشگاه انتقال داده شد که نتایج آزمایش‌ها در جدول (۲) ارائه شده است. در این آزمایش

جدول ۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

FC (%) (v/v)	PWP (%) (v/v)	Ba (g.cm ⁻³)	EC (dS.m ⁻¹)	pH	N (%)	P (ppm)	بافت خاک	لایه خاک (cm)
۴۰/۵	۲۱/۴	۱/۳۵	۰/۶۵	۷/۱۸	۰/۰۸	۱۸/۳۳	لوم رسی-سیلتی	۱۰-۰
۴۱	۲۱/۲	۱/۳۵	۰/۶۶	۷/۲۰	۰/۰۸	۱۸/۴۷	لوم رسی-سیلتی	۲۰-۱۰
۳۹/۵	۱۹/۸	۱/۳۶	۰/۷۱	۷/۲۰	۰/۰۸	۱۸/۵۱	لوم رسی	۳۰-۲۰
۳۸/۵	۱۸/۶	۱/۳۷	۰/۷۰	۷/۱۹	۰/۰۸	۱۸/۵۱	لوم رسی	۴۰-۳۰

شوری عصاره اشباع: EC, وزن مخصوص ظاهری خاک: Ba, نقطه پژمردگی دائم: PWP, ظرفیت زراعی: FC

جدول ۳- کیفیت آب آبیاری در شوری‌های مختلف تحت اثر مغناطیس و بدون مغناطیس

تیمار	EC (dS.m ⁻¹)	SAR	pH	Na ⁺ (mg.l ⁻¹)	K ⁺ (mg.l ⁻¹)	Ca ²⁺ (mg.l ⁻¹)	Mg ²⁺ (mg.l ⁻¹)	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
بدون مغناطیس: M ₂										
S ₁	۰/۵۱	۱/۹	۷/۱	۱/۸	۲/۱۹	۰/۸۴	۰/۹۳	۱/۰۱	۲/۴	۰/۱۸
S ₂	۶	۱۹/۵	۷/۶	۲۱/۳	۲/۴۳	۱/۱۲	۱/۲۶	۱۴/۸	۶/۶	۵/۱
S ₃	۸	۲۳/۴	۷/۹	۳۴/۵	۲/۵۶	۱/۴۶	۲/۰۹	۲۴/۱	۹/۸	۵/۲
S ₄	۱۰	۲۵/۹	۸/۳	۴۱/۷	۲/۶۴	۲/۰۸	۳/۱۲	۲۸/۲	۱۱/۱	۱۰/۹
مغناطیس شده: M ₁										
S ₁	۰/۴۷	۱/۴	۶/۸۵	۱/۳	۲/۱۳	۰/۹۱	۰/۸۸	۱/۶	۱/۹	۰
S ₂	۵/۷۱	۱۷/۶	۷/۳	۱۹/۵	۲/۴۳	۱/۱۶	۱/۳	۱۱/۷	۵/۴	۳/۸
S ₃	۷/۷۵	۲۳/۵	۷/۷	۳۱/۸	۲/۵۶	۱/۴۹	۲/۱۷	۲۰/۵	۷/۶	۵
S ₄	۹/۶	۲۳/۶	۷/۹	۳۸/۶	۲/۶۴	۲/۱۴	۳/۲۳	۲۵/۳	۸/۵	۸/۹

کرت ۴ خط کشت و با تراکم ۲۰ بوته ایجاد شد. در این طرح روش آبیاری کرتی انتخاب و اجرا گردید. اندازه‌گیری رطوبت خاک قبل از هر آبیاری توسط دستگاه رطوبت‌سنج PMS-714 کالیبره شده، صورت پذیرفت. تعیین زمان و مقدار آب آبیاری بر اساس کمبود رطوبت خاک (SMD) و تخلیه رطوبت مجاز خاک (MAD)

بذر زیره سبز با قوه نامیه ۹۶ درصد و درجه خلوص ۸۵ درصد انتخاب شد و کشت در تاریخ ۲۶ بهمن‌ماه ۱۳۹۴ به صورت دستی انجام شد. بذور ابتدا با ماسه نرم مخلوط و سپس توسط دست با فواصل ۳۵ سانتی‌متر و در شیارهایی به عمق ۰/۵ سانتی-متر به میزان ۳ کیلوگرم در هکتار کاشته شدند. در مجموع در هر

۵۰ درصد و رساندن رطوبت به حد ظرفیت زراعی با استفاده از رابطه (۱) صورت پذیرفت.

$$SMD = (\Theta_{FC} - \Theta_i) \times D_{rz} \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن:

SMD: کمبود رطوبت خاک، میلی‌متر، Θ_{FC} : درصد رطوبت حجمی خاک در حد ظرفیت زراعی، Θ_i : درصد رطوبت حجمی خاک قبل از آبیاری، D_{rz} : عمق مؤثر ریشه، میلی‌متر برای اندازه‌گیری کارایی مصرف آب (WUE) برای هر تیمار میزان کل آب مصرف‌شده (مجموع آب آبیاری و بارندگی) و با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد.

$$WUE = \frac{Y_a}{W_{CU}} \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن:

WUE: کارایی مصرف آب، کیلوگرم بر مترمکعب در هکتار، Y_a : عملکرد دانه، کیلوگرم در هکتار، W_{CU} : مقدار آب مصرفی (مترمکعب در هکتار)

همچنین شاخص برداشت (HI) به‌عنوان یک خصوصیت برای نشان دادن کارایی گیاه در توزیع ماده خشک به طرف دانه است و یکی از اهداف برنامه‌های اصلاحی شناسایی ارقام با شاخص برداشت بالا است، در این آزمایش شاخص برداشت نیز از رابطه (۳) محاسبه گردید.

$$HI = \frac{G_y}{B_y} \times 100 \quad (\text{رابطه ۳})$$

که در آن:

G_y عملکرد دانه و B_y عملکرد بیولوژیک می‌باشد. به‌منظور برداشت نهایی محصول، در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک (مصادف با ۲۸ خرداد ماه)، از هر کرت تعداد ۱۰ بوته برداشت و اجزای عملکرد بوته‌ها، از قبیل تعداد چتر در هر بوته و وزن هزار دانه اندازه‌گیری شد. همچنین برای تعیین میزان عملکرد دانه و وزن بیولوژیک در هر کرت پس از حذف حاشیه‌ها (دو ردیف کنار)، بوته‌های دو ردیف وسط را برداشت کرده و پس از خشک شدن و بوجاری، وزن دانه‌ها و بوته تعیین شد. تجزیه واریانس در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار آماری MSTAT-C و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون دانکن در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد صورت پذیرفت.

یافته‌ها و بحث

عملکرد دانه

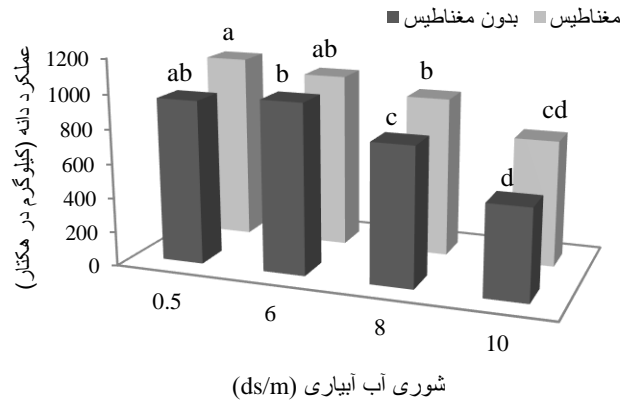
نتایج نشان داد که تیمارهای شوری و آب مغناطیس اثر معنی‌داری ($P < 0.05$) بر عملکرد دانه زیره سبز داشتند (جدول ۴).

بیشترین مقدار عملکرد دانه در تیمار شاهد (S_1) و شوری حد آستانه تحمل گیاه به شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر در شرایط آب مغناطیسی و کمترین آن در تیمار حداکثر مقدار شوری آب آبیاری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر و در شرایط بدون آب مغناطیس حاصل گردید (جدول ۵). همچنین کاربرد آب مغناطیس نسبت به آب غیر مغناطیس در تمام سطوح شوری، عملکرد دانه را افزایش داد. به‌طوری‌که بیشترین عملکرد دانه به میزان ۱۰۴۰ کیلوگرم در هکتار در تیمار آب مغناطیس با شوری ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر حاصل شد. علت این است که عبور آب از میدان مغناطیس، سبب شکسته شدن پیوندهای هیدروژنی و واندروالسی بین مولکول‌های آب شده و در نتیجه کشش سطحی آب کاهش و حلالیت آب افزایش می‌یابد. در نتیجه املاح معدنی مورد نیاز گیاه در آب به خوبی حل شده و باعث افزایش کمیت محصول می‌شود (Fischer *et al.*, 2004; Pang and Dang, 2008). همچنین آب مغناطیسی باعث افزایش قدرت حل‌کنندگی آب شده و در نتیجه 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. Allahyari (2005) در بررسی برهمکنش سطوح شوری و دفعات آبیاری بر زیره سبز نشان داد که بیشترین عملکرد دانه از تیمار ۲ بار آبیاری با آب شیرین حاصل شد. به‌طوری‌که شوری باعث کاهش تعداد چتر در بوته و دانه در چتر گردید. نتایج تحقیق Kafi *et al.*, (2011) نشان داد که آبیاری با آب با شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر حدود ۱۴ درصد عملکرد دانه زیره سبز را کاهش می‌دهد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر مغناطیس و شوری آب آبیاری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۴)، به‌طوری‌که حداکثر عملکرد دانه زیره سبز به ترتیب در تیمار آب مغناطیس و شاهد (S_1M_1) به میزان ۱۰۴۰/۴ کیلوگرم در هکتار و حداقل عملکرد در تیمار آب غیر مغناطیس با حداکثر میزان شوری (S_4M_2) به میزان ۶۳۲/۴ کیلوگرم حاصل گردید (شکل ۲).

نتایج این تحقیق با نتایج دیگر تحقیقات مطابقت و همخوانی دارد. برای مثال، نتایج تحقیق Ghadami firozabadi *et al.*, (2016) نشان داد که کاربرد آب مغناطیسی باعث افزایش ۱۰/۸۶ درصدی مقدار عملکرد دانه گیاه سویا در تیمارهای مختلف شوری شده است، به‌طوری‌که بیشترین عملکرد گیاه در تیمار مغناطیس در شوری ۰/۷ دسی‌زیمنس بر متر و کمترین عملکرد در شرایط بدون مغناطیس و در شوری آب آبیاری ۱۰ دسی

مغناطیسی ۴۰۰۰، ۵۰۰۰ و ۶۰۰۰ گوس بر گیاهان کلزا و کتان باعث افزایش عملکرد این تیمارها نسبت به تیمار شاهد شده است.

زیمس بر متر حاصل شد. همچنین نتایج تحقیق Sadeghi (2010) نشان داد که اثر آب مغناطیسی با شدت میدان‌های



شکل ۲- میزان عملکرد دانه زیره سبز در شوری‌های مختلف در شرایط با و بدون مغناطیس

جدول ۴ - نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر سطوح شوری آب آبیاری و مغناطیس بر صفات زیره سبز

منابع	درجه آزادی df	میانگین مربعات		شاخص برداشت (%)
		عملکرد	کارایی مصرف آب	
		بیولوژیک	دانه	
تکرار	۲	۷۸۶۸/۳۷۵	۷۵۱/۰۴۲	۰/۰۰۲
شوری	۳	۷۴۰۵۹۵/۲۶*	۱۸۲۹۲۰/۴۸*	۰/۰۳ ^{ns}
مغناطیس	۱	۱۸۳۲۲۵/۳۷*	۹۳۱۲۶/۰۴*	۰/۰۱ ^{ns}
شوری × مغناطیس	۱۲	۳۱۰۳۶۴/۸۳ ^{ns}	۱۵۳۲/۶۲*	۰/۰۰۴ ^{ns}
خطای آزمایشی		۱۶۰۴۷/۰۳۴	۱۱۸۷/۲۴	۰/۰۰۳
ضریب تغییرات C.V (%)		۸/۵	۶/۲	۵/۶

ns و * : به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد

جدول ۵- اثرات سطوح شوری آب آبیاری در شرایط با و بدون مغناطیس بر صفات مورد مطالعه زیره سبز

تیمار	عملکرد دانه (Kg.ha ⁻¹)	عملکرد بیولوژیک (Kg.ha ⁻¹)	کارایی مصرف آب (Kg.m ⁻³)	شاخص برداشت	تعداد چتر در بوته
تنش شوری					
۰/۵	۱۰۴۰/۴ ^a	۲۱۳۵ ^a	۰/۳۲ ^a	۴۸ ^b	۵۴ ^a
۶	۹۷۵/۱ ^{ab}	۱۹۷۴ ^a	۰/۳۰۵ ^{ab}	۴۹/۴ ^a	۵۲ ^a
۸	۸۶۷/۸ ^b	۱۶۹۵ ^b	۰/۲۷ ^b	۵۱ ^a	۴۸ ^b
۱۰	۶۳۲/۴ ^c	۱۳۴۰ ^c	۰/۲۰ ^c	۵۰ ^a	۴۴ ^c
نوع آب آبیاری					
مغناطیس	۹۳۷/۸ ^a	۲۱۸۰ ^a	۰/۳۳ ^a	۴۹ ^a	۵۳ ^a
غیرمغناطیس	۸۱۹/۹ ^b	۱۷۶۵ ^b	۰/۲۳ ^b	۴۹ ^a	۴۹ ^b

در هر ستون، اعداد دارای حداقل یک حرف مشابه دارای تفاوت معنی دار می‌باشند.

تیمارهای S₃ و S₄ نسبت به شاهد به ترتیب برابر با ۱۴/۷ و ۳۲/۳ درصد حاصل گردید. همچنین در شرایط آبیاری با آب غیرمغناطیس به طور متوسط مقدار کاهش عملکرد دانه در تیمار

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که با افزایش مقدار شوری، میزان عملکرد دانه زیره سبز کاهش می‌یابد. به طور متوسط مقدار کاهش عملکرد دانه در تیمار شوری S₂ برابر ۷/۸ درصد و در

بر متر به ترتیب برابر ۱۳/۵ و ۲۷/۹ درصد به دست آمد (جدول ۶). نتایج این تحقیق با یافته‌های Hashemi Nia *et al.*, (2012) که نشان دادند شوری بیشتر از ۸ دسی‌زیمنس بر متر به‌طور معنی‌داری باعث کاهش عملکرد دانه زیره سبز شد، مطابقت دارد. همچنین نتایج این تحقیق با یافته‌های Padleoni *et al.*, (2005) که افزایش غلاف و عملکرد لوبیا را در شرایط آب مغناطیس گزارش نمودند، شباهت دارد.

با شوری آب S₂ بدون تغییر و در تیمارهای S₃ و S₄ به ترتیب ۱۵/۷ و ۴۴/۵ درصد بود. عملکرد دانه در تیمار آب مغناطیسی با شوری ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به آب غیر مغناطیس با همان شوری ۸/۴ درصد افزایش یافت. افزایش عملکرد دانه زیره سبز به ترتیب به میزان ۵ درصد در تیمار آب مغناطیس نسبت به غیرمغناطیس در شوری یکسان با آب آبیاری S₂ حاصل گردید. همچنین میزان افزایش عملکرد دانه در تیمار آب مغناطیس نسبت به آب غیر مغناطیس در شوری‌های ۸ و ۱۰ دسی‌زیمنس

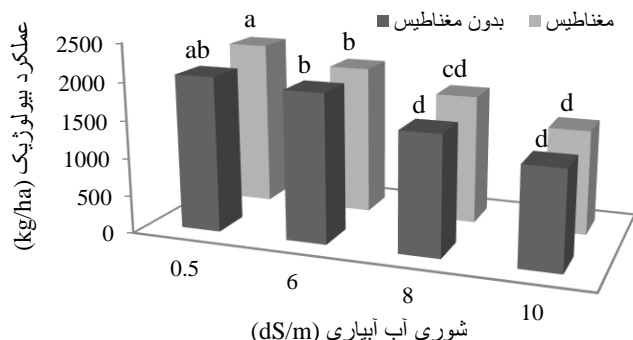
جدول ۶- مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه در برهمکنش سطوح مختلف شوری و مغناطیس

شوری	نوع آب	عملکرد دانه (Kg.ha ⁻¹)	عملکرد بیولوژیک (Kg.ha ⁻¹)	مقدار آب مصرفی (mm)	کارآیی مصرف آب (Kg.m ⁻³)	شاخص برداشت (درصد)	تعداد چتر در بوته
۰/۵	مغناطیس	^a ۱۰۸۵/۷	^a ۲۲۱۵	۳۲۰	^a ۰/۳۴	^b ۰/۴۹	^a ۵۶
	غیرمغناطیس	^{ab} ۹۹۵/۱	^{ab} ۲۰۵۵	۳۲۰	^{ab} ۰/۳۲	^b ۰/۴۸	^a ۵۵
۶	مغناطیس	^{ab} ۱۰۰۰/۲	^b ۱۹۸۷/۶	۳۲۰	^{ab} ۰/۳۲	^b ۰/۵۱	^{ab} ۵۳
	غیرمغناطیس	^b ۹۵۰	^b ۱۹۶۰/۴	۳۲۰	^b ۰/۳۰	^b ۰/۴۹	^{ab} ۵۲
۸	مغناطیس	^b ۹۳۰/۳	^c ۱۷۱۵	۳۲۰	^b ۰/۲۹	^a ۰/۵۴	^b ۴۹
	غیرمغناطیس	^c ۸۰۴/۹	^d ۱۵۷۵/۳	۳۲۰	^c ۰/۲۶	^b ۰/۵۱	^c ۴۷
۱۰	مغناطیس	^{cd} ۷۳۵/۱	^d ۱۳۸۵	۳۲۰	^c ۰/۲۳	^a ۰/۵۳	^d ۴۵
	غیرمغناطیس	^d ۵۲۹/۵	^d ۱۲۹۵/۶	۳۲۰	^d ۰/۱۷	^c ۰/۴۱	^d ۴۳

عملکرد بیولوژیک

نتایج نشان داد که تیمارهای شوری و آب مغناطیس اثر معنی‌داری ($P < 0.05$) بر عملکرد بیولوژیک زیره سبز داشتند (جدول ۴). بیشترین مقدار عملکرد بیولوژیک در تیمار شاهد و شوری حد آستانه تحمل گیاه به شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر و کمترین آن در تیمار ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر حاصل گردید (جدول ۵). همچنین در برهمکنش اثرات تنش شوری با مغناطیس و غیر مغناطیس در تمام سطوح شوری عملکرد بیولوژیک بیشتری از کاربرد آب مغناطیسی نسبت به غیر مغناطیس حاصل شد، به‌طوری‌که بیشترین میزان عملکرد

بیولوژیک در تیمار آب مغناطیس با شوری ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر حاصل شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر مغناطیس و شوری آب آبیاری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). به‌طوری‌که حداکثر عملکرد بیولوژیک زیره سبز به ترتیب در تیمار شاهد و آب مغناطیس (S₁M₁) به میزان ۲۲۱۵ کیلوگرم در هکتار و حداقل عملکرد در تیمار آب غیر مغناطیس با حداکثر میزان شوری، (S₄M₂) به میزان ۱۲۹۵/۶ کیلوگرم حاصل گردید (شکل ۳). در این راستا، نتایج تحقیق Kafi *et al.*, (2011) نشان داد که آبیاری با آب شور ۵ دسی‌زیمنس بر متر حدود ۲۱ درصد عملکرد بیولوژیک زیره سبز را کاهش می‌دهد.



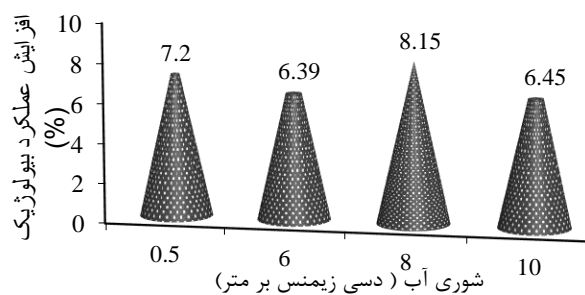
شکل ۳- میزان عملکرد بیولوژیک زیره سبز در شوری‌های مختلف در شرایط با و بدون مغناطیس

تحقیق (2011) Jabbari *et al.* که نیاز آبی گیاه زیره سبز را حدود ۳۵۰ میلی‌متر یا ۳۵۰ مترمکعب در هکتار برآورد نمودند، مطابقت دارد. نتایج نشان داد که تیمارهای شوری و آب مغناطیس اثر معنی‌داری بر کارایی مصرف آب زیره سبز داشتند (جدول ۴). بیشترین مقدار کارایی مصرف آب در تیمار بدون شوری (شاهد) و شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر (حد آستانه تحمل گیاه به شوری) و کمترین آن در تیمارهای ۸ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر حاصل گردید (جدول ۵). بیشترین میزان کارایی مصرف آب در تیمار آب مغناطیس با شوری ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر حاصل شد، به طوری که حداکثر کارایی مصرف آب گیاه زیره سبز به ترتیب در تیمار آب مغناطیس بدون شوری (S₁M₁) به میزان ۰/۳۴ و حداقل کارایی مصرف آب در تیمار آب غیر مغناطیس با حداکثر میزان شوری (S₄M₂) به میزان ۰/۱۹ کیلوگرم بر مترمکعب حاصل گردید (جدول ۶). با افزایش شوری از ۰/۵ به ۶ دسی‌زیمنس بر متر در تیمار آب غیر مغناطیس، میزان کارایی مصرف آب ۳/۲ درصد کاهش یافت. این روند کاهشی به میزان ۱۵/۶ و ۳۷/۵ درصد به ترتیب در شوری‌های ۸ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به آب معمولی مشاهده گردید. در شرایط آب مغناطیسی به طور متوسط مقدار کاهش در کارایی مصرف آب در تیمار شوری آب ۶ دسی‌زیمنس بر متر، ۶/۵ درصد و در تیمارهای ۸ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به آب معمولی به ترتیب برابر با ۱۰/۳ و ۱۷/۴ درصد حاصل گردید (شکل ۵).

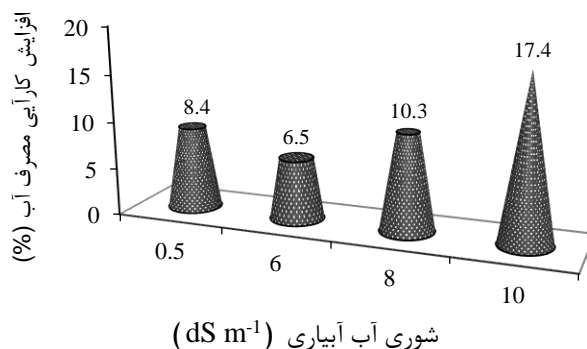
نتایج تحقیق نشان داد که با افزایش مقدار شوری، میزان عملکرد بیولوژیک زیره سبز کاهش می‌یابد. در شرایط آب مغناطیسی به طور متوسط مقدار کاهش عملکرد بیولوژیک در تیمار شوری آب S₂ برابر ۱۰/۲۶ درصد و در تیمارهای S₃ و S₄ نسبت به شاهد به ترتیب برابر با ۲۲/۶ و ۳۷/۵ درصد حاصل گردید. همچنین در شرایط آبیاری با آب غیرمغناطیس به طور متوسط مقدار کاهش عملکرد بیولوژیک در تیمار با شوری آب S₂ برابر ۴/۶ درصد و در تیمارهای S₃ و S₄ به ترتیب ۲۳/۳ و ۳۷ درصد نسبت به شاهد بود. عملکرد بیولوژیک در تیمار آب مغناطیسی با شوری ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به آب غیر مغناطیس با همان شوری ۷/۲ درصد افزایش یافت. افزایش عملکرد بیولوژیک زیره سبز به ترتیب به میزان ۶/۴ درصد در تیمار آب مغناطیس نسبت به غیرمغناطیس در شوری با آب آبیاری S₄ حاصل گردید. که این افزایش در تیمارهای شوری S₃ و S₄ نسبت به شاهد به ترتیب برابر ۸/۱۵ و ۶/۵ درصد حاصل گردید (شکل ۴).

کارایی مصرف آب

عمق آب آبیاری برای همه تیمارها به صورت یکسان و به مقدار یکسان و به میزان ۲۵۵ میلی‌متر محاسبه و اعمال شد. مقدار باران مؤثر ۸۰ درصد کل باران (۸۸ میلی‌متر) در طول دوره رشد گیاه یا حدود ۷۰ میلی‌متر بود. بنابراین میزان کل آب مصرفی گیاه در طول دوره رشد برابر ۳۲۵ میلی‌متر برآورد گردید که با نتایج



شکل ۴- درصد افزایش عملکرد بیولوژیک در شرایط آب مغناطیس نسبت به غیر مغناطیس در شوری‌های مختلف



شکل ۵- افزایش کارایی مصرف آب در شرایط آب مغناطیس نسبت به غیر مغناطیس در شوری‌های مختلف حسب درصد

نتیجه گیری

نتایج آزمایش نشان داد که عملکرد بیولوژیک و دانه زیره سبز با افزایش شوری آب آبیاری به طور معنی داری کاهش می یابد. در شرایط آب مغناطیس میزان کاهش عملکرد دانه در شوری های آب آبیاری ۶، ۸ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۷/۸، ۱۴/۷ و ۳۲ درصد حاصل گردید. در شرایط آبیاری با آب غیرمغناطیس، کاهش عملکرد دانه به طور متوسط در تیمار با شوری ۶ دسی زیمنس بر متر به میزان ۶ درصد و در تیمارهای ۸ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر به ترتیب برابر ۱۵/۷ و ۴۴/۵ درصد

نسبت به تیمار شاهد مشاهده گردید. نتایج مشابه برای عملکرد بیولوژیک و کارایی مصرف آب زیره سبز نیز مشاهده شد. در نتیجه مغناطیسی نمودن آب تأثیر مفیدی بر عملکرد بیولوژیک و دانه زیره سبز دارد و با نصب تجهیزات آن روی لوله های توزیع آب می توان از بهبود نسبی عملکرد، به ویژه در شرایطی که آب آبیاری از نظر شوری دارای محدودیت است، برخوردار باشد. بنابراین می توان با انجام تحقیقات تکمیلی، این روش را در جهت افزایش تولید اقتصادی محصولات کشاورزی در شرایط آبیاری با آب های نامتعارف و در مناطق خشک و نیمه خشک توصیه نمود.

REFERENCES

- Abedinpour, M. and Rohani, E. (2018). Investigating the effect of magnetic water and different salinity levels on emergence of cotton seedling in Varamin cultivar in Kashmar, *Iranian Journal of Cotton Research*, 5(2), 75-90.
- Aladjadjiyan, A. (2007). The use of physical methods for plant growing stimulation in Bulgaria, *J. of Central European Agriculture*, 8, 369-380.
- Allahyari, S. (2005). Effect of salinity levels and irrigation frequencies on growth and yield and percentage of essential oil of cumin. M.Sc. dissertation, University of Zabol, Zabol. (In Farsi)
- Fischer, 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. *Bioelectro magnetic*, 25: 638-641.
- Ghadami firoozabadi, A., Khoshrovesh, M., Shirazi, P. and zare abyaneh. (2016). Effect of Irrigation with Magnetized Water on the Yield and Biomass of Soybean var. DPX under Water Deficit and Salinity Stress, *J. of Water Res. in Agriculture*, 30(1), 131-143. (In Farsi)
- Grewal, H. S. and Maheshwari, B.L. (2011). Magnetic treatment of irrigation water and snow pea and Chickpea seeds enhances early growth and nutrient contents of seedlings. *Bioelectromagnetics*, 32(1), 58-65.
- Guo, F.O. and Z.C. Tang. (1999). Reduced Na⁺ and k⁺ permeability of K⁺ channel in plasma membrane isolated from roots of salt tolerant mutant of wheat. 41:217-220.
- Hashemi Nia S.M., Nassiri Mahallati, M. and Keshavarzi A. (2012). Determining the threshold salinity and appropriate temperature, and their combined effects on germination of Cuminum cyminum. *Iranian J. Field Crop Res.* 7, 303-310. (In Farsi)
- Hozayn, M., A.M. S.A. Qados. (2010). Irrigation with magnetized water enhances growth, chemical constituent and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Agriculture and Biology J. of North America*, 1(4), 671-676.
- Jabbari, R., Amini Dehaghi, M., Ganji Arjenaki, F. and Agahi, K. (2011). How duration and methods of priming may affect the germination of cumin seeds (*Cuminum cyminum* L.). *Journal of Agricultural Science*, 2 (4), 23-30. (In Farsi)
- Kafi, M. (2002). Cuminum, Production and processing technology, Scientific field of special crops, (1th ed.), Ferdowsi University of Mashhad. (In Farsi)
- Kafi, M. and Kashmiri, I. (2011). Study of Yield and Yield Components of Indigenous and Indigenous Cuminum Cyminum in Drought and Salinity Conditions, *Journal of Horticultural Science*, 25(3), 327-334. (In Farsi)
- Leather Wood, W.R. (2005). Influence of salt stress on germination, root elongation and carbohydrate content of five salt tolerant and sensitive taxa. MSc. dissertation, Department of Horticultural Science, North Carolina State University, pp:254.
- Maleki Farahani, S., Alireza Reza zadeh, A. and Aghighi Shahverdi, M.A. (2015). Effects of Electromagnetic Field and Ultrasonic Waves on Seed Germination of Cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Iranian Journal of Seed Research*, 2(1), 109-118. (In Farsi)
- Mohammadian, M., Fatahi, R. and Nouri Emamzadei, M.R. (2016). Investigation the Effect of Magnetic Salt Water on Yield and Yield Components of Green Pepper. *Journal of Irrigation Science and Engineering*, 39(1), 121-130. (In Farsi)
- Omran, W.M., Mansour, M.F. and Fayez, K.A. (2014). Magnetized water improved germination, growth and tolerance to salinity of cereal crops. *International J. of Advanced Res.* 2(5), 301-308.
- Pang, X. and Deng, B. (2008). Investigation of changes in properties of water under the action of a magnetic field. *Chinese Science Journal*, 51(11): 1621-1632.
- Rahimian Mashhadi, H. (1991). Effect of planting date and irrigation regime on growth and yield of cumin, *Iranian Scientific and Industrial Research Organization*, Khorasan Center. (In Farsi)
- Sadeghi, H. (2010). Design, Manufacture and Evaluation of Magnetic Water Supply Machine for Agricultural Use. MSc. dissertation, University of Tehran, Tehran. (In Farsi)

Sadeghipour, O. and Aghaei, P. (2014). Investigation the Effect of Drought Stress and Magnetized Water on Yield and Yield Components of Mung Bean, *J. of crop production research*, 6(1), 79-87.

Salami, M.R., Safarnejad, A. and Hamidi, H. (2005). Effect of Salinity Stress on Morphological Characters of (Cuminum Cyminum) and

Valeriana Officials. *Pajouhesh & Sazandegi*, 72, 77-83. (In Farsi)

Tawfik, A. and Noga. M. (2001). Priming of Cumin seeds and its effects of germination, emergence and storability. *J. Applied Botany*. 75, 216-220.

Voigt, .H.J. (1990) *Hydrogeochemie*, Leipzig: Springer-Lehrbuch.