

## تأثیر آب مغناطیسی بر عملکرد و جذب برخی از عناصر در ذرت در شرایط مزرعه

هادی حبیبی<sup>۱</sup>، سید علیرضا موحدی نائینی<sup>۲\*</sup>، مجتبی خوش‌روش<sup>۳</sup> و علیرضا صابری<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری فیزیک و حفاظت خاک، گروه علوم خاک، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۲- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

۴- استادیار پژوهش بخش تحقیقات زراعی و باغی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران.

### تاریخچه مقاله

### چکیده

دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۲۸

پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۱۰/۳۰

### کلمات کلیدی:

آب مغناطیسی،

آهن،

پتاسیم،

ذرت،

روی،

عملکرد

افزایش عملکرد و به دنبال آن افزایش غلظت عناصر پر مصرف و کم مصرف در گیاه یکی از جنبه‌های مهم کشاورزی است. یکی از راهکارهای جدیدی که می‌تواند در این زمینه مورد استفاده قرار گیرد استفاده از آب مغناطیسی است. آب مغناطیسی بواسطه عبور آب از یک میدان مغناطیسی بدست می‌آید. بدین منظور آزمایشی در قالب فاکتوریل با دو تیمار اصلی اضافه کردن و اضافه نکردن کود پتاسیمی و روی و پنج تیمار فرعی (شدت‌های مختلف میدان مغناطیسی شامل ۰/۴، سیم پیچ، ۰/۳ آهنربا، ۰/۳ سیم پیچ، ۰/۱ سیم پیچ و تیمار شاهد) در چهار تکرار (n=۴۰) در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان صورت پذیرفت. نتایج نشان داد که تمام کورت‌هایی که بوسیله آب مغناطیسی آبیاری شده بودند دارای بوته‌های با ارتفاع بیشتر و همچنین عملکرد بیشتری بودند. همچنین بوته‌هایی که بوسیله آب مغناطیسی آبیاری شده بودند دارای غلظت بالاتری ( $P < 0.01$ ) از روی و آهن در بلال خود بودند. در بین تیمارهای آب مغناطیسی، شدت ۰/۴ تسلا بیشترین تأثیر را بر عملکرد و ارتفاع ذرت و همچنین غلظت روی و آهن در بلال داشت ( $P < 0.01$ ). عملکرد ذرت در تیمارهای ۰/۴ سیم پیچ، ۰/۳ آهنربا، ۰/۳ سیم پیچ و ۰/۱ سیم پیچ که کود پتاسیمی و روی به آنها اضافه شده بود نسبت به تیمار شاهد افزایش نشان داد. این نتایج نشان می‌دهد که راهکار مغناطیس نمودن آب می‌تواند به عنوان یک گزینه مناسب برای افزایش غلظت عناصر غذایی، کمیت و کیفیت عملکرد ذرت علوفه‌ای مورد استفاده قرار گیرد.

\* عهده‌دار مکاتبات

Email: Salirezam@yahoo.com

میدان‌های مغناطیسی و یا عبور دادن آب مورد استفاده برای آبیاری آنها از یک میدان مغناطیسی و پاسخ متفاوت گیاهان به شدت‌های مختلف امواج الکترومغناطیسی می‌تواند راهی جهت افزایش کیفیت آب، کمیت و کیفیت محصول باشد. مطالعات انجام شده توسط محققانی همچون آمایا و همکاران<sup>۱</sup> (۱۹۹۶)، پادلوننی و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۰۴) و فلورز و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۷) تأثیر مطلوب میدان مغناطیسی بر مراحل از رشد گیاه مانند سرعت جوانه‌زنی، درصد سبز شدن و افزایش سرعت طویل شدن گیاهچه گندم را گزارش نموده است. صادقی (۱۳۸۹) اثر آب مغناطیسی با شدت‌های مختلف میدان مغناطیسی (۴۰۰۰، ۵۰۰۰، ۶۰۰۰ گوس) بر روی گیاهان کلزا و کتان را مطالعه نمود و گزارش نمود که عملکرد گیاهان کشت شده تحت این تیمارها نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌داری نشان داده است. همچنین گریول و ماهشواری (۲۰۱۱) تأثیر میدان مغناطیسی را روی عملکرد گیاهان نخود، کرفس و لوبیا در شرایط کشت گلخانه‌ای مورد مطالعه قرار دادند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که آب مغناطیسی محصول کرفس را ۱۲ و ۲۳ درصد و بهره‌وری آب را ۱۲ و ۲۴ درصد افزایش داده است. در لوبیا نیز افزایش عملکرد محصول و بهره‌وری آب در تیمار آب مغناطیسی نسبت به تیمار شاهد مشاهده گردید. کیانی (۲۰۰۷) گزارش کرد که آب مغناطیسی با افزایش حلالیت آب، باعث آبسویی خاک و افزایش عملکرد گیاهان می‌شود.

هدف از انجام این تحقیق بررسی تأثیر آب مغناطیسی و الکترومغناطیس بر عملکرد ذرت علوفه‌ای و حلالیت عناصری همچون پتاسیم، روی و آهن موجود در خاک و جذب آنها توسط ذرت علوفه‌ای می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### مقدمه

ذرت علوفه‌ای به عنوان گیاهی با توانایی تولید و سازگاری بالا در بیشتر مناطق کشور کشت می‌شود و یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی است که به دلیل عملکرد سیلویی بالا، مواد قندی و نشاسته، یکی از بهترین گیاهان علوفه‌ای برای تولید علوفه برای تغذیه دام است (۱۲). بهبود غلظت عناصری همچون پتاسیم، روی و آهن در خاک می‌تواند باعث افزایش عملکرد این گیاه و به دنبال آن افزایش غلظت این عناصر در گیاه شود. افزایش غلظت عناصر در این گیاه علوفه‌ای می‌تواند در بهبود سلامت دام و در نتیجه انسان موثر واقع گردد.

یکی از راه‌هایی که بوسیله آن می‌توان مقدار کل آب مصرفی برای آبیاری را کاهش داد بکارگیری روش‌هایی است که عملکرد محصول در واحد حجم آب مصرفی (یعنی راندمان مصرف آب) را افزایش دهد. برخی از محققین تأثیر مطلوب میدان مغناطیسی بر عملکرد محصولات زراعی و بهره‌وری آب در گیاهان زراعی را گزارش کرده‌اند (۱۳). عبور آب از یک میدان مغناطیسی، برخی ویژگی‌های آن مانند آرایش بارهای الکتریکی مولکول‌های آب، چگالی، کشش سطحی و سرعت تبخیر آب را دستخوش تغییراتی می‌کند (۸). به عبارت دیگر، عبور آب از یک میدان مغناطیسی باعث تغییر بعضی از ویژگی‌ها فیزیکی و شیمیایی آب مانند کشش سطحی، قابلیت حل نمک‌ها، تغییر ساختار خوشه‌ای، زنجیره پیوند هیدروژنی ملکول‌ها، افزایش اثرات دوقطبی ملکول‌های آب و تغییر در ضریب شکست نور و اسیدیته آب می‌شود (۱۷). این تغییرات بوجود آمده بواسطه عبور آب از یک میدان مغناطیسی به عوامل بسیاری مانند شدت میدان مغناطیسی، جهت میدان، مدت زمان قرار گرفتن در معرض میدان مغناطیسی، نرخ جریان محلول، کیفیت آب و pH آب بستگی دارد (۱۶). از اینرو، قرار گرفتن گیاهان در

1- Amaya et al.

2- Podleoeny et al.

3- Florez et al.

در نتیجه بار الکتریکی ذرات معلق از آن گرفته شده و به صورت پدیده دانه برفی در آمده و در آب به صورت شناور باقی می ماند (۱۷).

### آماده سازی زمین و آبیاری

ابعاد کرت های آزمایشی  $2 \times 2/5$  متر بود. برخی از ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ ارائه شده است. پس از آماده نمودن بستر بذری، بذور گیاه ذرت با فاصله روی ردیف ۱۵ سانتی متر و بین ردیف ۷۰ سانتی متر کشت شدند. آب مغناطیس شده توسط یک شیلنگ از وسط میدان مغناطیسی ایجاد شده عبور داده شد و سپس برای آبیاری کرت های آزمایشی مورد استفاده قرار گرفت. آبیاری تا زمان برداشت و خشک شدن گیاه ادامه یافت و فواصل زمانی آبیاری بر اساس آزمون رطوبت خاک تعیین شد. بوسیله سیلندرهای استوانه ای از خاک کرت ها نمونه برداری انجام می گرفت و پس از توزین و خشک کردن در آون، رطوبت حجمی خاک محاسبه می شد. زمانی که رطوبت حجمی خاک به کمتر از ۲۵ درصد وزنی در عمق ۱۰ سانتی متری می رسید، کرت ها آبیاری می شدند.

### اندازه گیری های آزمایشگاهی

نمونه برداری از خاک در سه مرحله شامل زمان کاشت، زمان گلدهی و قبل از برداشت و از گیاه در دو مرحله شامل زمان گلدهی و زمان برداشت صورت گرفت و برای انجام آنالیزهای مربوطه به آزمایشگاه منتقل گردیدند. نمونه های حاکی از عمق ۰ تا ۱۵ سانتی متری به صورت مرکب در زمان های یاد شده در بالا برداشته شدند. به منظور برداشت نمونه های گیاهی در زمان گلدهی و برداشت محصول، ابتدا پنج بوته در هر کرت به طور تصادفی انتخاب شدند و سپس برگ ها و بلال از ساقه جدا و به طور جداگانه با هم ترکیب شدند تا یک نمونه شاخص بدست آید. سپس در آون در دمای ۶۵ درجه سانتیگراد به مدت ۴۸ ساعت در آون خشک گردیدند تا وزن خشک آنها بدست آید و سپس برای انجام آنالیزهای مربوطه آسیاب شدند. یک نمونه هم از

به منظور بررسی تاثیر آب مغناطیسی بر عملکرد و غلظت برخی از عناصر در گیاه ذرت یک طرح کاملاً تصادفی در قالب فاکتوریل با دو تیمار اصلی افزودن کود پتاسیم و روی (+K, +Zn) و اضافه نکردن کود پتاسیم و روی (-K, -Zn)، پنج تیمار فرعی شامل اعمال میدان مغناطیسی با شدت ۰/۴ تسلا به وسیله سیم پیچ<sup>۱</sup> (0.4 EC)، شدت ۰/۳ تسلا به وسیله آهنربا<sup>۲</sup> (0.3 M)، شدت ۰/۳ تسلا به وسیله سیم پیچ (0.3 EC)، شدت ۰/۱ تسلا به وسیله سیم پیچ (0.1 EC) و تیمار شاهد و در چهار تکرار (n=۴۰) در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام پذیرفت.

### نحوه مغناطیس نمودن آب

به منظور مغناطیس نمودن آب از یک سیم پیچ که توسط محقق ساخته شده بود برای ایجاد شدت های ۰/۴، ۰/۳ و ۰/۱ و همچنین یک آهنربا برای ایجاد شدت ۰/۳ تسلا استفاده شد. برای ایجاد میدان مغناطیسی در سیستم آبیاری از دو روش استفاده شد. روش اول استفاده از آهنربای دائمی است. در این روش مگنت هایی به دور لوله غیر فلزی و در خروجی منبع آب نصب می شوند. مگنت های مورد استفاده مغناطیس هایی از جنس سرامیک دائم بوده که با اعمال میدان مغناطیسی با قدرت مناسب، با جهت تحریک معین، ساختار سیال را تغییر داده و خواص فیزیکی آن را دگرگون می سازد. روش دیگر استفاده از جریان الکتریسته برای تولید میدان مغناطیسی است. بر طبق قانون آمپر هنگام عبور جریان الکتریسته از یک سیم، میدان مغناطیسی در اطراف آن ایجاد می شود. با توجه به این قانون فیزیکی هنگام عبور جریان الکتریسته از یک رشته سیم پیچ شده به دور یک هسته فلزی، میدان مغناطیسی متناسب با جریان الکتریسته، جنس هسته و تعداد دور سیم پیچ در هسته های فلزی ایجاد می شود. بر اثر اعمال نیروی القایی بر سیال و با توجه به قطبی بودن آب، کاتیون ها و آنیون ها به لرزش در آمده و به یکدیگر نزدیک شده و به هم می چسبند.

1- Electric coil  
2- Magnet

افزایش داد (شکل ۱). بیشترین عملکرد بیولوژیکی ذرت علوفه‌ای در تیمار دارای شدت ۰/۴ تسلا مشاهده گردید. اثر متقابل افزودن کود پتاسیمی و روی بر عملکرد بیولوژیکی ذرت علوفه‌ای در شدت‌های مختلف میدان مغناطیسی در شکل شماره ۲ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود بین تیمارهای افزودن کود پتاسیمی و روی و تیمارهای اضافه نکردن کود پتاسیمی و روی در شدت‌های مختلف میدان مغناطیسی اختلاف معنی‌داری وجود دارد. تیمارهایی که به آنها کود پتاسیم و روی اضافه شده بود دارای عملکرد بیولوژیکی بیشتری بودند.

همچنین اندازه‌گیری ارتفاع بوته ذرت در زمان‌های ۳۰، ۶۰ و ۹۰ روز پس از آبیاری اندازه‌گیری گردید. اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری بین بوته‌هایی که با آب مغناطیسی آبیاری شده بودند و تیمار شاهد وجود داشت (جدول ۲). کرت‌هایی که با تیمار ۰/۴ تسلا آبیاری شده بودند بوته‌هایی با بیشترین ارتفاع را دارا بودند. همچنین از لحاظ ارتفاع بوته ذرت اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای اضافه کردن و نکردن کود پتاسیمی و روی وجود داشت و تیمارهایی که به آنها کود پتاسیم و روی اضافه شده بود دارای ارتفاع بوته بزرگتری بودند.

اندازه‌گیری غلظت عناصر روی و آهن در خاک در دو مرحله گلدهی و برداشت ذرت نشان داد که در تیمارهایی که از آب مغناطیسی برای آبیاری کرت‌ها استفاده شده بود غلظت این عناصر در خاک اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد داشتند (جدول ۲). بیشترین غلظت این عناصر در تیمار ۰/۴ تسلا مشاهده گردید. همچنین غلظت عناصر روی و آهن در خاک برای تیمارهایی که به آنها کود پتاسیم و روی اضافه شده بود به جز در تیمار شاهد بیشتر بود. غلظت روی برای تیمار شاهد در حد متوسط و آهن نیز در حد کم از لحاظ کفایت برای گیاه طبقه‌بندی می‌شوند.

دانه گیاه ذرت به منظور تعیین غلظت عناصر موجود در آن در زمان برداشت محصول تهیه گردید. برای اندازه‌گیری غلظت روی در اندام‌های گیاهی، از روش سوزاندن در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۴ ساعت و هضم بوسیله اسید کلریدریک ۲ نرمال استفاده شد و غلظت روی توسط دستگاه جذب اتمی پرکین المر مدل ۳۰۳۰ تعیین شد. غلظت روی قابل دسترس خاک با استفاده از محلول ۰/۰۰۵ DTPA (DTPA) دارای کلرید کلسیم ۰/۰۱ نرمال و محلول تری اتانول آمین با pH برابر با ۷/۲ استفاده شد. به این صورت که عصاره‌گیری از خاک توسط محلول ۲:۱ DTPA و خاک صورت گرفت و پس از ۲ ساعت تکان دادن، نمونه‌ها توسط کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف گردید و غلظت روی در عصاره توسط دستگاه جذب اتمی پرکین المر<sup>۱</sup> مدل ۳۰۳۰ تعیین گردید. عصاره‌گیری فسفر نیز به روش السن (به نقل از خوشگفتارمنش، ۱۳۸۶) صورت گرفت و غلظت آن در عصاره توسط دستگاه طیف‌سنج مدل RAY LEIGHT UV-1601 تعیین شد.

برای اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیکی در واحد هکتار، ابتدا کل بوته‌های موجود در هر کرت برداشته و توزن شدند. سپس وزن در واحد کرت با اندازه مشخص به واحد تن در هکتار تبدیل شد.

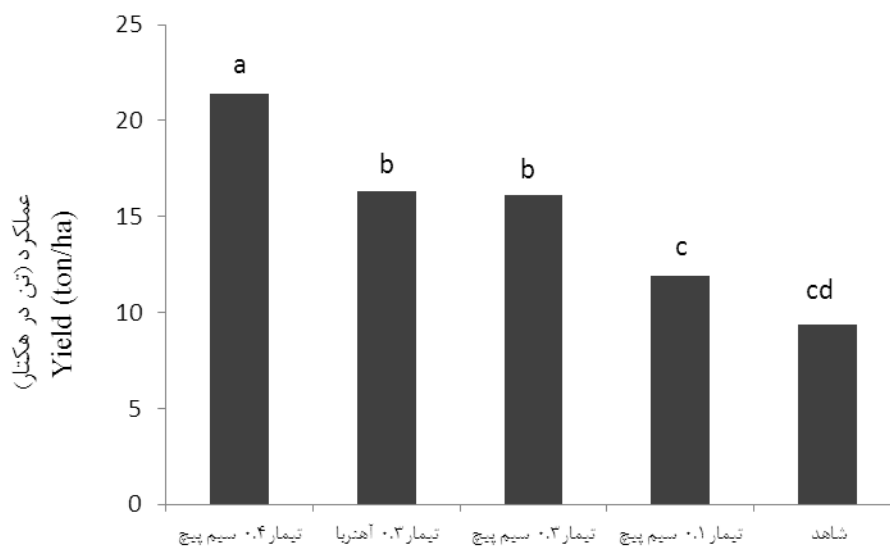
تجزیه و تحلیل نتایج با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام گردید. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) و در سطح ۵ درصد انجام گرفت. همبستگی دو به دو بین داده‌ها نیز به کمک نرم‌افزار SAS محاسبه شد.

### نتایج

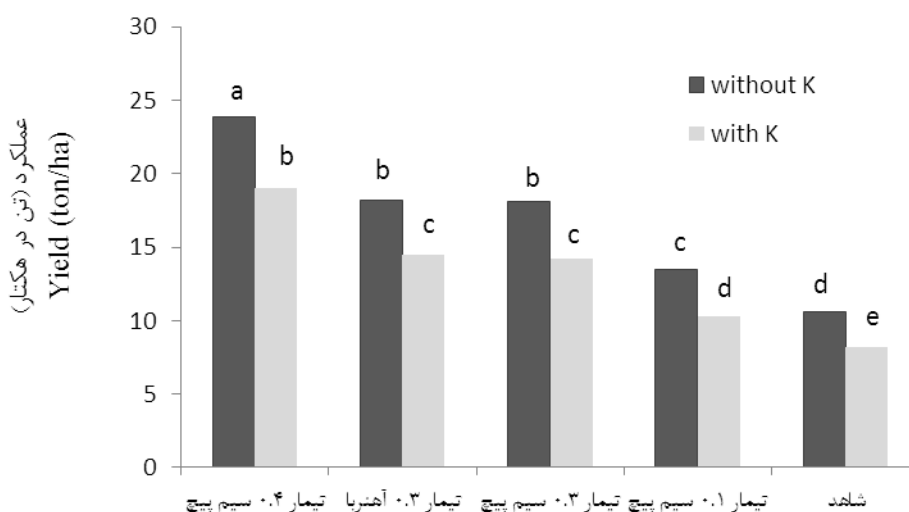
تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از این مطالعه نشان داد که تیمارهای مغناطیس نمودن آب در تمام سطوح (۰/۱، ۰/۳ و ۰/۴ تسلا) نسبت به تیمار شاهد عملکرد بیولوژیکی ذرت علوفه‌ای را از لحاظ آماری در سطح یک درصد

جدول (۱) برخی از ویژگی‌های آب محل اجرای آزمایش  
**Table (1) Some properties of the used water in this experiment.**

نسبت جذب سدیم	منیزیم	کلسیم	سدیم	اسیدیته	هدایت الکتریکی
(میلی اکی والان در لیتر)					(دسی‌زیمنس بر متر)
۰/۷۶	۲/۴	۳/۲	۱/۸	۷/۴	۰/۶۶



شکل (۱) عملکرد ذرت در شدت‌های مختلف میدان مغناطیسی  
**Figure (1) Yield of corn in different strength of magnetic field**



شکل (۲) اثر متقابل افزودن کود پتاسیمی و روی بر عملکرد ذرت علوفه‌ای در شدت‌های مختلف میدان مغناطیسی  
**Figure (2) Interaction effect of adding K and Zn fertilizers on the yield of corn in different strength of magnetic field**

حییبی و همکاران: تأثیر آب مغناطیسی بر عملکرد و...

جدول (۲) ارتفاع بوته ذرت علوفه‌ای در زمان‌های ۳۰، ۶۰ و ۹۰ روز پس از کاشت  
Table (2) Height of corn plants at 30, 60 and 90 days after planting

ارتفاع بوته cm			تیمار treatment
۹۰ روز 90 days	۶۰ روز 60 days	۳۰ روز 30 days	
176 c	122 cd	17.2 c	+K, +Zn
126 e	111 d	15.75 c	-K, -Zn
189 b	133.75 b	22.07 b	+K, +Zn
161.5 d	127.5 bc	17.7 c	-K, -Zn
187 bc	132.75 bc	21.37 b	+K, +Zn
149.75 d	124.5 bc	17.72 c	-K, -Zn
223.5 a	147 a	26.9 a	+K, +Zn
186 bc	145 a	21.92 b	-K, -Zn
125.75 e	99.5 e	11.87 d	+K, +Zn
104.5 f	85 f	11.85 d	-K, -Zn

EC: سیم پیچ، M: آهنربای دائمی

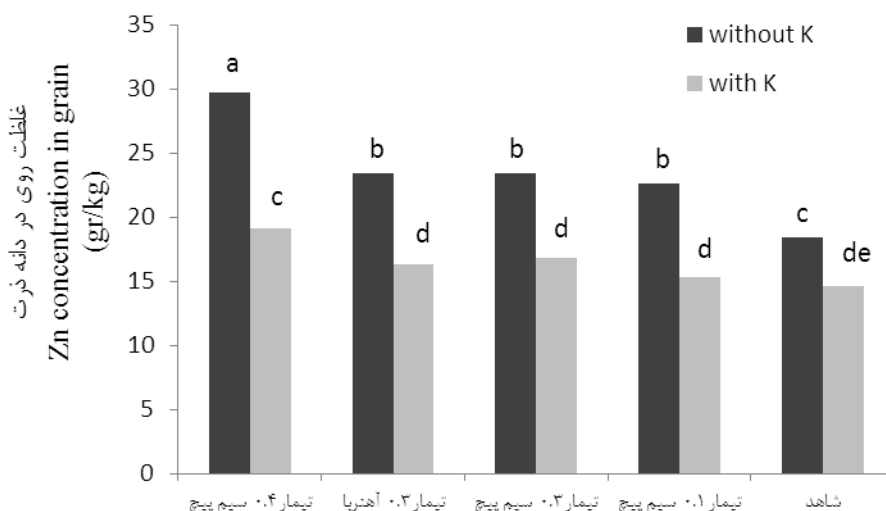
جدول (۳) غلظت عناصر روی و آهن در زمان گلدهی و برداشت در خاک  
Table (3) The concentration of Zn and Fe at flowering and harvest stages

غلظت در خاک ppm Concentration in soil				تیمارها Treatments
آهن Fe		روی Zn		
زمان برداشت At harvest	زمان گلدهی At flowering	زمان برداشت At harvest	زمان گلدهی At flowering	
2.88 <sup>b</sup>	3.11 <sup>b</sup>	0.71 <sup>b</sup>	0.83 <sup>c</sup>	+K, +Zn
2.51 <sup>d</sup>	2.95 <sup>c</sup>	0.36 <sup>d</sup>	0.44 <sup>f</sup>	-K, -Zn
3.12 <sup>ab</sup>	3.29 <sup>b</sup>	0.81 <sup>ab</sup>	0.94 <sup>b</sup>	+K, +Zn
2.63 <sup>c</sup>	3.18 <sup>b</sup>	0.40 <sup>d</sup>	0.52 <sup>e</sup>	-K, -Zn
3.05 <sup>ab</sup>	3.34 <sup>b</sup>	0.79 <sup>ab</sup>	0.90 <sup>b</sup>	+K, +Zn
2.74 <sup>c</sup>	3.11 <sup>b</sup>	0.35 <sup>d</sup>	0.49 <sup>e</sup>	-K, -Zn
3.29 <sup>a</sup>	3.72 <sup>a</sup>	0.87 <sup>a</sup>	1.02 <sup>a</sup>	+K, +Zn
2.95 <sup>b</sup>	3.61 <sup>a</sup>	0.45 <sup>cd</sup>	0.60 <sup>d</sup>	-K, -Zn
2.41 <sup>d</sup>	2.84 <sup>c</sup>	0.55 <sup>c</sup>	0.59 <sup>d</sup>	+K, +Zn
2.54 <sup>d</sup>	2.72 <sup>c</sup>	0.34 <sup>d</sup>	0.39 <sup>f</sup>	-K, -Zn

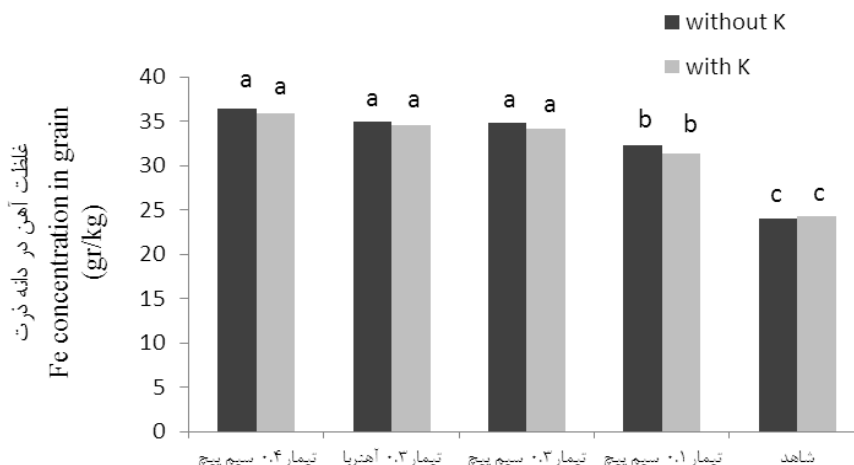
EC: سیم پیچ، M: آهنربای دائمی

شد. این افزایش از لحاظ آماری در سطح یک درصد معنی دار بود. بیشترین غلظت این عناصر در تیمارهای ۰/۴ تسلا و کمترین در تیمار شاهد مشاهده گردید.

در تیمارهایی که از آب مغناطیسی برای آبیاری مزرعه استفاده شده بود غلظت روی (شکل ۳) و آهن (شکل ۴) در مقایسه با تیمار شاهد تفاوت معنی داری نشان داد و باعث افزایش غلظت این عناصر در دانه ذرت



شکل (۳) اثر متقابل افزودن کود پتاسیمی و روی بر غلظت روی در دانه ذرت در شدت‌های مختلف میدان مغناطیسی  
 Figure (3) Interaction effects of adding K and Zn fertilizers on Zn concentration in grains in different strengths of magnetic field



شکل (۴) اثر متقابل افزودن کود پتاسیمی و روی بر غلظت آهن در دانه ذرت در شدت‌های مختلف میدان مغناطیسی  
 Figure (4) Interaction effects of adding K and Zn fertilizers on Fe concentration in grains in different strengths of magnetic field

(۲۰۱۰) گزارش نمودند که آبیاری با آب مغناطیسی باعث افزایش ارتفاع و وزن خشک درخت کتان شد. پانگ و دنک (۲۰۰۸) بیان داشتند که آب مغناطیسی نسبت به آب معمولی دارای کشش سطحی کمتری است که می‌تواند باعث سهولت در جذب آب از خاک شود. در واقع آب مغناطیسی با سهولت بیشتری توسط گیاه جذب می‌گردد. همچنین می‌تواند بواسطه افزایش حلالیت عناصر موجود در خاک و افزایش قابلیت جذب

### نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که آبیاری نمودن ذرت با آب مغناطیسی باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع ذرت نسبت به تیمار شاهد گردید (جدول ۲). این افزایش می‌تواند بواسطه راحتی جذب آب توسط ذرت و در نتیجه افزایش رشد رویشی باشد. آمیرا و همکاران<sup>۱</sup>

1- Amira et al.

مغناطیسی باشد. در واقع آب مغناطیسی توانسته است حلالیت و در نتیجه قابلیت جذب عناصر روی را در خاک افزایش دهد. کاهش یافتن کشش سطحی در نتیجه مغناطیس نمودن آب، قدرت حلالیت آب را افزایش داده و درجه سختی را کاهش می‌دهد (۱۱). بررسی خواص میکروسکوپی و ماکروسکوپی آب نشان داد که میدان مغناطیسی زاویه تماس آب را کاهش داده و در نتیجه شناوری مواد جامد را افزایش می‌دهد (۱۷). این امر را می‌توان بوسیله افزایش غلظت پتاسیم و روی در کرت‌های آبیاری شده توسط آب مغناطیسی نسبت به تیمار شاهد مشاهده نمود. با مغناطیس نمودن آب آبیاری به دلیل افزایش مولکول‌های آب در واحد حجم، حلالیت آن افزایش یافته و در نتیجه توانایی آب برای جذب کاتیون‌ها و آنیون‌ها افزایش می‌یابد و مقدار بیشتری از عناصر توسط گیاه جذب می‌شوند. با افزایش جذب املاح معدنی، عناصر موجود در آب و خاک، می‌توان کود کمتری مصرف نمود. افزایش جذب عناصر در گیاهان بواسطه کاربرد آب مغناطیسی توسط اسپتکن و توران (۲۰۰۴) و همچنین مون و چانگ (۲۰۰۰) نشان داده شده است.

همچنین مشاهده می‌شود که با افزایش شدت میدان مغناطیسی ارتفاع گیاه و همچنین عملکرد افزایش یافته است. در بین تیمارهای مغناطیسی، بیشترین ارتفاع ذرت در تیمار ۰/۴ تسلا و کمترین آن در تیمار ۰/۱ تسلا مشاهده شد. احتمالاً جذب بهتر عناصر از خاک بواسطه کاربرد آب مغناطیسی باعث رشد بهتر بوته‌های ذرت گردیده است. همچنین افزایش جذب عناصر غذایی توسط گوجه فرنگی بواسطه تیمار مغناطیس نمودن آب توسط دوآرت دیاز و همکاران<sup>۲</sup> (۱۹۹۷) و ماهشواری و گروال (۲۰۰۹) نیز مشاهده شد. آمایا و همکاران (۱۹۹۶) و پادلتونی و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند که شدت‌های

آنها توسط گیاه باشد. در یک مطالعه نشان داده شد که آب مغناطیسی غلظت برخی از عناصر همانند کلسیم و منیزیم و سدیم در اندامهای هوایی کرفس را افزایش داده است. این افزایش می‌تواند بواسطه تغییر برخی از ویژگی‌های خاک همانند pH خاک، قابلیت هدایت الکتریکی خاک و ... باشد (۲۱). آلا دجاجیان (۲۰۰۲) و یوکاتانی و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۱) نشان داد که آب مغناطیسی رشد اندام هوایی و طول آنها را در ذرت افزایش داد. کاهش کشش سطحی با آب مغناطیسی و افزایش سرعت تورم و تعادل پتانسیل اسمزی لایه دوگانه پخشیده الکتریکی با محلول خاک موجب افزایش پتاسیم قابل عصاره گیری با تترافیل بران سدیم شد (جلیوند، ۱۳۹۴ و پرسنده خیال، ۱۳۹۵). احتمالاً روی قابل جذب نیز با همین مکانیزم افزایش می‌یابد.

نتایج نشان داد که عملکرد بیولوژیکی گیاه (شکل ۱) در کرت‌های آبیاری شده با آب مغناطیسی در سطح یک درصد نسبت به تیمار شاهد به طور معنی‌داری افزایش یافته است. این افزایش در عملکرد در کرت‌های آبیاری شده با آب مغناطیسی دارای شدت ۰/۴ تسلا نسبت به دیگر تیمارها بیشتر بود. افزایش عملکرد برخی از محصولات بواسطه کاربرد آب مغناطیسی در برخی از مطالعات نشان داده شده است (۱۴، ۱۰، ۱۹). نتایج پرسنده خیال (۱۳۹۵) نشان داد که با افزایش کشش شدت الکترومغناطیس، کشش سطحی آب کاهش بیشتری پیدا می‌کند. برخی از مطالعات نشان داده‌اند که تعداد گل‌ها و عملکرد کل میوه توت فرنگی و گوجه فرنگی بوسیله کاربرد آب مغناطیسی افزایش یافته است (۴ و ۵). همچنین تیمارهایی که کود پتاسیمی و روی به آنها اضافه شده بود دارای عملکرد بیشتری نسبت به سایر تیمارهایی بودند که کود پتاسیمی و روی به آنها اضافه نشده بود. دلیل این امر می‌تواند افزایش حلالیت کودهای پتاسیمی و روی اضافه شده به خاک بواسطه کاربرد آب



است. هیلال و همکاران (۲۰۰۲) دریافتند که حلالیت عناصر غذایی در محدوده ریشه مرکبات نسبت به کاربرد آب مغناطیسی متفاوت است و کاربرد آب مغناطیسی باعث افزایش بیشتر غلظت آهن و روی شد و غلظت آهن تا حدود ۹ برابر و غلظت روی تا حدود ۵ برابر نسبت به تیمار کنترل افزایش نشان دادند.

با افزایش شدت میدان مغناطیسی غلظت عناصر روی و آهن در بلال ذرت افزایش یافت. بیشترین غلظت این عناصر در تیمارهایی مشاهده گردید که از آب مغناطیسی دارای شدت ۰/۴ تسلا برای آبیاری استفاده گردید. می-توان نتیجه گرفت که شدت‌های بالاتر میدان مغناطیسی تاثیر بیشتری بر حلالیت عناصر در خاک و جذب آنها توسط گیاه دارند. در نتیجه راهکار مغناطیس نمودن آب می‌تواند به منظور افزایش عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی چه در سطح گلخانه و چه در سطح مزرعه مورد استفاده قرار گیرد. پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی رشد ریشه گیاهان با کاربرد آب مغناطیسی اندازه-گیری شود زیرا آب مغناطیسی با کاهش کشش سطحی ممکن است سرعت افزایش تعادل اسمزی بین محیط ریشه و خاک را افزایش دهد که نتیجه آن علاوه بر افزایش سرعت جذب آب، افزایش رشد ریشه و در نتیجه افزایش همه عناصر موجود در خاک از جمله عناصر غیر تبادل‌ی باشد. قابلیت جذب عناصر تبادل‌ی (پتاسیم، روی و منگنز) با آب مغناطیسی در اثر افزایش سرعت تعادل اسمزی بین لایه دوگانه پخشیده الکتریکی و محلول خاک با ورود این عناصر به محلول خاک افزایش می‌یابد.

مختلف برای تیمار مغناطیس نمودن آب رشد گیاه و عملکرد دانه لوبیا را افزایش داد (۲ و ۱۸).

در اشکال ۳ و ۴ مشاهده می‌شود که غلظت عناصر روی و آهن در دانه ذرت در کرت‌های آبیاری شده بوسیله آب مغناطیسی نسبت به تیمار شاهد بیشتر می‌باشند. این امر می‌تواند به این دلیل باشد که آب مغناطیسی توانسته است قابلیت حلالیت این عناصر را در خاک افزایش دهد و بدینوسیله جذب این عناصر توسط گیاه افزایش یافته است و گیاه توانسته غلظت بیشتری از این عناصر را به بلال خود منتقل و ذخیره سازد. گروال و ماهسواری (۲۰۱۱) نشان دادند که تیمار مغناطیس نمودن آب آبیاری منجر به افزایش غلظت عناصری همچون پتاسیم، کلسیم، منیزیم، روی، آهن، گوگرد و منگنز در اندام‌های هوایی گیاه شده است. افزایش غلظت عناصر در دانه ذرت در کرت‌هایی که به آنها کود پتاسیم و روی اضافه شده بود نسبت به تیمارهایی که کود پتاسیمی و روی به آنها اضافه نشده بود بیشتر بود. آب مغناطیسی با افزایش سرعت تعادل اسمزی، قابلیت عناصری را که به صورت تبدالی به مقدار زیاد در لایه دوگانه پخشیده الکتریکی نگهداری می‌شوند را افزایش می‌دهد (همانند پتاسیم، روی و منگنز). اما فسفر بصورت تبدالی در لایه دوگانه پخشیده الکتریکی نگهداری نمی‌شود. غلظت فسفر در دانه تیمارهای آبیاری شده با آب مغناطیسی با تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت (نتایج ارائه نشده-اند). هوزاین و ابدالقدوس (۲۰۱۰) گزارش نمودند که حلالیت و تحرک عناصر موجود در کودهای شیمیایی در خاک بواسطه کاربرد آب مغناطیسی افزایش یافته

## منابع

1. Aladjadjiyan, A. 2002. Study of the influence of magnetic field on some biological characteristics of Zea mais. J. Cent. Eur. Agric., 3(20): 89-94.
2. Amaya, J.M., Carbonell, M.V., Martinez, E., Raya, A. 1996. Effects of stationary magnetic fields on germination and growth of seeds. Hort. Abst. 68, 1363.

3. Amira MS, Hozayn M. 2010. Magnetic water technology, a novel tool to increase growth, yield and chemical constituents of lentil (*Lens esculenta*) under greenhouse condition. *J. Agric. & Environ. Sci.*, 7(4): 457-462.
4. Danilov, V., Bas., T., Eltez, M., Rizakulyeva, A. 1994. Artificial magnetic field effects on yield and quality of tomatoes. *Acta Hort.* 366, 279-285.
5. Esitken, A., Turan, M. 2004. Alternating magnetic field effects on yield and plant nutrient element composition of strawberry (*Fragaria X ananassa* cv. Camarosa). *Acta Agric. Scand., Sect. B, Soil Plant Sci.* 54, 135-139.
6. Florez M, Victoria M, Martinez E. 2007. Exposure of maize seeds to stationary magnetic field: effects of germination and early growth. *Environmental and experimental botany* 59: 68-75.
7. Grewal SH, 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.
8. Hilal MH, SM, Shata, Abdel-Dayem AA, Hillal MM. 2002: Application of magnetic technologies in desert agriculture. III- Effect of Magnetized Water on yield and uptake of certain elements by citrus in relation to nutrients mobilization in soil. *Egypt J. Soil Sci.* 42(1), 43-55.
9. Hozayn, M., Abdul Qados, A.M.S. 2010. Irrigation with magnetized water enhances growth, chemical constituent and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Agric. Biol. J. North Am.* 1, 671-676.
10. Kahrizi D., Cheghamirza K., Akbari L., Rostami-Ahmadvandi H. 2013. Effects of magnetic field on cell dedifferentiation and callus induction derived from embryo culture in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Mol. Biol. Rep.* 40: 1651-1654.
11. Kiani A.R. 2007. Magnetized water, new to increase water productivity. *Zeiton scientific and specific monthly in agriculture*, No 183:1-9. (in Persian).
12. Khodabandeh, N. 1995. *Cereals*. Fourth edition. Tehran University publishing.
13. Maheshwari, B.L., Grewal, H.S. 2009. Magnetic treatment of irrigation water: its effects on vegetable crop yield and water productivity. *Agric. Water Manage.* 96, 1229-1236.
14. Mahmood S., Esmam M. 2014. Consequences of magnetized water application on maize seed emergence in sand culture. *J. Agr. Sci. Tech.* 16: 47-55.
15. Moon JD Chung HS. 2000. Acceleration of germination of tomato seed by applying AC electric and magnetic fields. *J Electrostatics* 48:103-114.
16. Mukheibir, P. 2008. Water resources management strategies for adaptation to climate-induced impacts in South Africa. *Water Resources Management*, 22:1259-1276.

17. Pang X.F., Deng B. 2008. Investigation of changes in properties of water under the action of a magnetic field. *Sci. China Ser. G: Phys. Mech. Astro.*51: 1621–1632.
18. Podleoeny, J., Pietruszewski, S., Podleoena, A., 2004. Efficiency of the magnetic treatment of broad bean seeds cultivated under experimental plot conditions. *Int. Agrophys.* 18, 65–71.
19. Radhakrishnan R., Kumari B.D.R. 2013. Influence of pulsed magnetic field on soybean (*Glycine maxL.*) seed germination, seedling growth and soil microbial population. *Indian J. Biochem. Biophys.*50: 312–317.
20. Sadeghi, H. 2010. Designing, constructing and evaluating of making magnetic water for agricultural use. MSc. Thesis, Faculty of agricultural biosystem engineering, Tehran University, 120 pp.
21. Teixeira da Silva, J.A., Dobránszki, J. 2014. Impact of magnetic water on plant growth. *Environ. Exp. Biol.* 12, 137–142.
22. Yokatani KT, Hashimoto H, Yanagisawa M, Nakamura T, Hasegawa K, Yamashita M . 2001. Growth of *Avena* seedlings under a low magnetic field. *Biol. Sci. in Space* 15: 258-259.