فصلنامه علوم محیطی، دوره شانزدهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷

۲۱۷-۲۳۲

# اثر آب شور مغناطیسی‌شده بر جذب عناصر غذایی ضروری به‌وسیله گیاه ذرت

**فاطمه آقامیر[۱]* و حسینعلی بهرامی[۲]**

[۱] گروه اگرواکولوژی، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

[۲] گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۱۰

**آقامیر، ف. و ح. بهرامی. ۱۳۹۷.** اثر آب شور مغناطیسی‌شده بر جذب عناصر غذایی ضروری به‌وسیله گیاه ذرت. فصلنامه علوم محیطی. ۱۶ (۲): ۲۱۷-۲۳۲.

**سابقه و هدف:** جمعیت روبه‌رشد به غذا و آب بیشتری نیاز دارد که با کاهش منابع آبی متعارف، افزایش بهره‌وری عناصر غذایی در سامانه‌های متعارف ضروری خواهد بود. ایران در بخش میانی کمربند خشک کره زمین واقع شده، زمین‌های خشک و نیمه‌خشک بیش از ۶۰ درصد مساحت آن را پوشانده و در نتیجه آب مهمترین فاکتور محدودکننده در فعالیت‌های کشاورزی و بیولوژیکی است. کاربرد آب‌های نامتعارف در کشاورزی امری اجتناب‌ناپذیر بوده و در شرایط کشور ما نیز اهمیت زیادی دارد. آب‌های نامتعارف آب‌هایی هستند که قابلیت استفاده به‌صورت عادی و مستقیم را نداشته و برای استفاده باید اصلاحاتی از جمله حذف آلاینده‌های زیستی، فلزات سنگین، اصلاح شوری و pH روی آنها انجام شود. هدف این پژوهش ارزیابی اثر آب مغناطیسی بر جذب عناصر غذایی ضروری به وسیله گیاه ذرت (*Zea mays*) در شرایط شور بود.

**مواد و روش‌ها:** برای تهیه آب مغناطیسی از دستگاه الکترومغناطیسی با شدت میدان ۸ تا ۱۰ میلی‌تسلا استفاده شد. این آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور آب و شوری اجرا شد. تیمارهای آزمایشی از ترکیب دو سطح آب، غیرمغناطیسی (نرمال) و مغناطیسی و سه سطح شوری، ۸۰۰، ۱۳۰۰ و ۲۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر NaCl، با سه تکرار تشکیل شد. ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی خاک از جمله بافت، کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، قابلیت هدایت الکتریکی، pH، کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم محلول و تبادلی، نیترات، سولفات، کلر، فسفر، بُر، آهن، روی، منگنز و مس و همچنین عناصر موجود در گیاه از جمله نیتروژن کل، فسفر، بر، پتاسیم، سدیم، کلسیم، منیزیم، آهن، روی، منگنز و مس با استفاده از روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد.

**نتایج و بحث:** نتایج تجزیه شیمیایی آب نشان داد که میدان الکترومغناطیسی اثر معنی‌داری بر ویژگی‌های شیمیایی آب ندارد. با توجه به ویژگی‌های خاک پیش و پس از برداشت محصول، آب مغناطیسی فقط بر غلظت‌های سدیم محلول و تبادلی، کلر، کلسیم و منیزیم محلول اثر معنی‌دار داشت. همچنین با افزایش شوری، جذب عناصر غذایی پرمصرف و درصد پروتئین کاهش و جذب عناصر غذایی کم‌مصرف و سدیم افزایش یافته است. بررسی مقایسه میانگین تیمارهای آزمایشی نشان داد که آب مغناطیسی جذب تمامی عناصر غذایی و درصد

*Corresponding Author. *E-mail Address*: aghamirsoil@gmail.com

پروتئین را در برگ و دانه ذرت افزایش داده اما در مورد ریشه تغییر معنی‌داری مشاهده نشد. نتایج این پژوهش نشان داد که آب مغناطیسی در گیاه ذرت سبب کاهش تجمع سدیم و در نتیجه پیامدهای مخرب آن در اندام زایشی شده و با تجمع سدیم در ریشه و ساقه افزایش مقاومت گیاه به تنش شوری را سبب شده است.

**نتیجه‌گیری:** در نواحی خشک و نیمه‌خشک ایران، با کاهش کیفیت آب مناسب در بخش کشاورزی، به نظر می‌رسد استفاده از آب مغناطیسی می‌تواند منجر به بهبود عملکرد و بهره‌وری آب شود؛ بنابراین انجام پژوهش‌های بیشتری در این زمینه پیشنهاد می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** آب مغناطیسی، پروتئین، شوری، ذرت، عناصر غذایی.

## مقدمه

مدیریت بهینه آب می‌تواند در تامین عناصر غذایی ضروری گیاه از محلول خاک و کاهش آب‌شویی و هدررفت آنها نقش بسزایی داشته باشد. با توجه به اینکه منابع تجدیدپذیر آب جهان در حال کاهش بوده و ایران نیز در بخش میانی کمربند خشک کره زمین واقع شده (Modarres and da Silva, 2007)، کاربرد آب‌های نامتعارف در کشاورزی امری اجتناب‌ناپذیر بوده و در شرایط کشور ما نیز اهمیت زیادی دارد. آب‌های نامتعارف آب‌هایی هستند که قابلیت استفاده به صورت عادی و مستقیم را نداشته و برای استفاده باید اصلاحاتی از جمله حذف آلاینده‌های زیستی، فلزات سنگین، اصلاح شوری و pH روی آنها انجام شود. این آب‌ها شامل دو گروه عمده پساب‌ها و آب‌های شورند که استفاده مستقیم از آنها، مشکلات محیط زیستی و آلودگی خاک را سبب می‌شود؛ بنابراین یافتن راه‌های سریع‌تر و ارزان‌تر برای اصلاح این آب‌ها بسیار با اهمیت است و به همین دلیل استفاده از فناوری‌های نوین از جمله فناوری‌های نانو، هسته‌ای، مغناطیسی و کاربرد روش‌های زیستی برای تصفیه فاضلاب و نمک‌زدایی می‌تواند بسیار مفید باشد (Li *et al.*, 2012).

آبی که در اثر عبور از میدان مغناطیسی در ویژگی‌های آن تغییراتی ایجاد می‌شود آب مغناطیسی نامیده می‌شود که مدت زمان اثر مغناطیس از چند ساعت تا چند روز است. آب مغناطیسی نسبت به آب معمولی، کشش سطحی کمتر و قابلیت نفوذ و حلالیت بیشتری داشته و افزایش فعالیت آنزیم‌ها، پروتئین‌ها، کلروفیل، رنگدانه، اسید نوکلئیک و قطبی شدن ملکول‌ها در سلول‌های زنده گیاهان را به دنبال دارد (Sueda *et al.*, 2007; Karimi *et al.*, 2012). نتایج نشان داده که فعالیت عناصر غذایی موجود در خاک در زمان‌ها و فواصل مختلف از منبع آب مغناطیسی متغیر بوده و رفتار آب مغناطیسی نیز در انتقال عناصر غذایی در خاک مانند آب معمولی نیست (Al-Khazan *et al.*, 2011). سازوکار پیامدهای سودمند آب مغناطیسی بر رشد گیاهان هنوز مشخص نبوده و ممکن است این پیامدها با تغییرهای ساختاری آب و فیزیولوژی گیاه و سلول ارتباط داشته باشد (Mohamed and Ebead, 2013). به عقیده برخی از پژوهشگران میدان مغناطیسی تضعیف یا شکستگی پیوندهای هیدروژنی را سبب شده و با تشکیل مولکول‌های آب تک‌واحدی و نفوذ بیشتر در سلول‌های زنده، افزایش رشد گیاهان را سبب می‌شود (Evelyn *et al.*, 2008).

اثر میدان مغناطیسی بر ویژگی‌های آب بسیار پیچیده بوده و مدل موفقی در توصیف آب مغناطیسی و پیامدهای سودمند آن ارایه نشده است؛ زیرا از یک طرف تجزیه شیمیایی آب مغناطیسی نشان می‌دهد که هیچ تغییری در ویژگی‌های شیمیایی آب صورت نگرفته (Anonymous, 2003) و از طرف دیگر تغییر پایداری کلوییدهای خاک (کربنات کلسیم، گچ و سیلیکات‌ها) و یون‌های مختلف به دلیل اثر میدان مغناطیسی بر

ویژگی‌های آب، بسیار متفاوت است. بنابراین سازوکار برهمکنش بین میدان مغناطیسی با یون‌ها، مولکول‌های قطبی، زوج یونی، رادیکال‌های آزاد و کانی‌های خاک هنوز مشخص نبوده و بررسی پیامد آب مغناطیسی بر فعالیت عناصر غذایی در خاک و گیاه نیز با ابهاماتی همراه است (Lipus *et al.*, 2001).

آب مغناطیسی جذب عناصر غذایی را در باقلا به طور معنی‌داری افزایش داده است (El Sayed, 2014). همچنین در پژوهشی بیان شده است که آب مغناطیسی سبب افزایش نفوذ آب به غشای سلولی و جذب بیشتر آب و عناصر غذایی در سلول‌های ریشه شده است (Algozari and Yao, 2006). آب مغناطیسی سطح برگ لوبیا چشم‌بلبلی (Sadeghipour and Aghaei, 2013) و سطح برگ باقلا را به طورمعنی‌داری افزایش داده که با این افزایش سطح برگ، سطح برخورد نور بیشتر شده و در نتیجه سرعت فتوسنتز افزایش می‌یابد (El Sayed, 2014). همچنین علت اثر آب مغناطیسی می‌تواند مربوط به رشد ریشه و هدایت روزنه‌ای باشد که جذب عناصر غذایی را افزایش داده است (Sadeghipour and Aghaei, 2013).

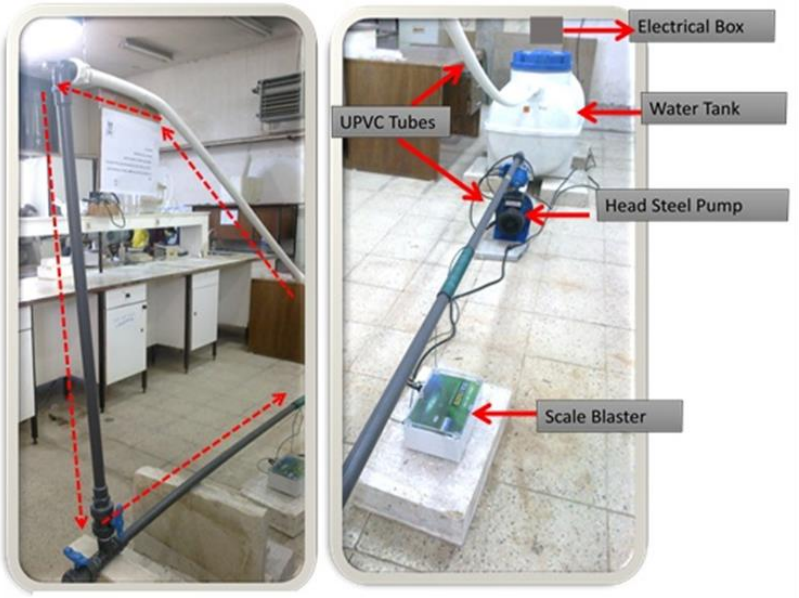
از آنچه گفته شد می‌توان نتیجه‌گیری کرد که با وجود بررسی‌های گسترده در این زمینه، هنوز نتایج به‌دست‌آمده در توصیف عملکرد آب مغناطیسی ناتوان است، زیرا نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد که اثر میدان مغناطیسی و در نتیجه آب مغناطیسی بر سیستم‌های زنده بسیار پیچیده بوده و دلیلی برای چگونگی اثر آب مغناطیسی بر تغییر غلظت عناصر غذایی ضروری در گیاه گزارش نشده است. از آنجاکه شوری خاک یکی از مشکلات مهم در کشاورزی ایران است، بررسی اثر آب مغناطیسی در شوری‌های مختلف ضروری است. در این پژوهش چگونگی اثر آب مغناطیسی بر انتقال و جذب عناصر غذایی در خاک و قابلیت دسترسی آنها به وسیله گیاه ذرت بررسی شد.

## مواد و روش‌ها

در این پژوهش به‌منظور بررسی اثر آب مغناطیسی بر قابلیت دسترسی عناصر غذایی در خاک و جذب آن به وسیله گیاه، آزمایش فاکتوریل روی گیاه ذرت (*Zea mays*) در گلخانه با کرت‌های چهار متر مربعی و ۱۶ عدد ذرت در هر کرت، دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد اجرا شد. مقدار آب برای بوته‌های ذرت در هر کرت، بر اساس نیاز آبی و رطوبت ظرفیت زراعی محاسبه و با کنتر به هر کرت داده شد. این آزمایش‌ها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور آب (دو سطح آب مغناطیسی (M) و غیرمغناطیسی (N)) و شوری (S) (سه سطح ۸۰۰، ۱۶۰۰ و ۲۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نمک NaCl) در سه تکرار انجام شد. به‌منظور تولید آب مغناطیسی از دستگاه Scale Blaster، مدل SB-150، ساخت شرکت Water Clear آمریکا استفاده شد. اجزاء سیستم تولید آب مغناطیسی مخزن سه لایه ۳۰۰ لیتری، لوله‌های اتصال (UPVC)، پمپ Head Steel، دستگاه Scale Blaster و Control Box را شامل می‌شد که تعداد گردش جریان آب در آن قابل تنظیم و محاسبه بود (شکل ۱). قطر خارجی لوله‌های اتصال ۲ سانتی‌متر بود که سیم با جریان الکتریکی متناوب ۱۲۰ دور در ثانیه اطراف آن پیچیده شده بود. سیم‌پیچ سولونوئیدی، ارتعاشی با فرکانس ۲۰۰۰ تا ۲۴۰۰۰ هرتز ایجاد می‌کرد و سرعت جریان آب در سیستم ۴ متر بر ثانیه بود. شار مغناطیسی ناشی از آهن‌ربای الکتریکی داخل سیم لوله بسیار متراکم‌تر از خارج آن بوده، به‌ویژه در نقاط دورتر از لبه به‌طور تقریبی موازی و هم‌فاصله بوده که نشان‌دهنده یکنواختی میدان مغناطیسی درون سیم لوله است. در صورتی که شعاع سیم لوله در مقایسه با طول کوچک و حلقه‌های آن خیلی به هم نزدیک باشد، میدان مغناطیسی داخل سیم لوله از رابطه (۱) به دست می‌آید:

$$B = \mu(\frac{N}{2R})I \qquad (۱)$$

که در این رابطه I شدت جریان (A)، N تعداد کل دورهای سیم لوله، R شعاع لوله (m)، $\mu$ ضریب تراوایی مغناطیسی خلا و برابر با $\pi 4\times10^{-7}$ ($T\ m\ A^{-1}$) و B چگالی شار مغناطیسی (T) است. بر اساس این رابطه و ویژگی‌های دستگاه تولید آب مغناطیسی، چگالی شار مغناطیسی بین ۸۰ تا ۱۰۰ گوس (۸ تا ۱۰ میلی‌تسلا) محاسبه شد.




**شکل۱- سیستم تولید آب معناطیسی**
**Fig. 1. Magnetic water production system**

در این پژوهش نمونه‌برداری خاک پیش و پس از کشت گیاهان انجام و ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی آنها با استفاده از روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری بافت خاک با روش هیدرومتری (Page *et al.*, 1996)، کربن آلی خاک به روش والکلی و بلک[۱] ظرفیت تبادل کاتیونی به روش چاپمن[۲]، قابلیت هدایت الکتریکی و واکنش خاک به ترتیب به روش‌های هدایت‌سنجی و پتانسیومتری، در عصاره گل اشباع و نسبت ۱:۱ (Donald, 1996)، کربنات کلسیم با روش تیتراسیون، کربنات و بی‌کربنات خاک با روش تیتراسیون اسید و باز و با استفاده از معرف‌های مضاعف فنل فتالئین و متیل اورانژ، کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم محلول و تبادلی به ترتیب در عصاره اشباع خاک (Gupta, 2009) و عصاره استات آمونیم ۱ نرمال و با روش‌های جذب اتمی و فلیم‌فتومتری (pH=7) (Benton Jones, 2001)، نیترات خاک با روش رنگ‌سنجی سدیم سالسیلات و اسپکتروفوتومتری (Cataldo *et al.*, 1975)، سولفات خاک با روش کدورت‌سنجی سولفات باریم و اسپکتروفوتومتر، کلر خاک با استفاده از روش تیتراسیون موهر[۳]، فسفر خاک با روش اولسن[۴] و رنگ‌سنجی آمونیم مولیبدات-آسکوربیک اسید آبی رنگ، با روش استخراج آب داغ و روش رنگ‌سنجی آزومتین H و اسپکتروفوتومتری (Gupta, 2009) و آهن، روی، منگنز و مس در عصاره کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار و با استفاده از دستگاه جذب اتمی انجام شد (Benton Jones, 2001).

طبق اصول نمونه‌برداری گیاهی نمونه‌ها برداشت، شست‌وشو، خشک و آسیاب شده و پس از عبور از الک بسته‌بندی شد. در آزمایشگاه هضم تر نمونه‌های گیاهی با استفاده از اسید سولفوریک و پراکسید هیدروژن و هضم خشک نیز با استفاده از کوره الکتریکی و اسید هیدروکلریک انجام شد. سپس نیتروژن کل با استفاده از دستگاه کجلدال[۵]، فسفر با روش رنگ‌سنجی مولیبدات وانادات زردرنگ و بُر با روش رنگ‌سنجی

آزومتین H و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. پتاسیم و سدیم با دستگاه فلیم‌فتومتر و کلسیم، منیزیم، آهن، روی، منگنز و مس با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد (Gupta, 2009).

پس از اندازه‌گیری‌های لازم، داده‌های به‌دست‌آمده از این پژوهش با استفاده از نرم‌افزارهای Excel، MiniTab و SPSS آنالیز شد.

## نتایج و بحث

در این پژوهش برای ارزیابی کیفیت آب آبیاری، pH، غلظت کل یون‌ها و نمک‌های محلول، قابلیت هدایت الکتریکی، نسبت جذبی سدیم، سختی کل و کربنات سدیم باقیمانده اندازه‌گیری شد و داده‌های به‌دست‌آمده پیش و پس از اعمال میدان الکترومغناطیسی به ترتیب در جدول‌های (۱ و ۲) ارایه شده است.

**جدول ۱- تجزیه شیمیایی آب آبیاری تیمارنشده**

**Table 1. Chemical analysis of irrigation water before being in the electromagnetic field**

| ویژگی Property | pH | EC ($dS\ m^{-1}$) | $Na^+$ ($mg\ L^{-1}$) | $K^+$ ($mg\ L^{-1}$) | $Ca^{2+}$ ($mg\ L^{-1}$) | $Mg^{2+}$ ($mg\ L^{-1}$) | $SO_4^{2-}$ ($mg\ L^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| مقدار Amount | 7.98 | 0.593 | 81 | 0.5 | 40 | 4.8 | 96 |

| ویژگی Property | $Cl^-$ ($mg\ L^{-1}$) | TA ($mg\ L^{-1}$) | $NO_3^-$ ($mg\ L^{-1}$) | TDS ($mg\ L^{-1}$) | Hardness Total ($mg\ L^{-1}$) | Born ($mg\ L^{-1}$) | SAR | RSC ($mg\ L^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| مقدار Amount | 49 | 120 | 21.3 | 388 | 120 | 0.034 | 3.2 | 1.3 |

**جدول ۲- تجزیه شیمیایی آب آبیاری مغناطیسی**

**Table 2. Chemical analysis of irrigation water after being in the electromagnetic field**

| ویژگی Property | pH | EC($dS\ m^{-1}$) | $Na^+$($mg\ L^{-1}$) | $K^+$($mg\ L^{-1}$) | $Ca^{2+}$($mg\ L^{-1}$) | $Mg^{2+}$($mg\ L^{-1}$) | $SO_4^{2-}$($mg\ L^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| مقدار Amount | 7.96 | 0.633 | 81.03 | 0.51 | 39.98 | 4.82 | 96.02 |

| ویژگی Property | $Cl^-$ ($mg\ L^{-1}$) | TA ($mg\ L^{-1}$) | $NO_3^-$ ($mg\ L^{-1}$) | TDS ($mg\ L^{-1}$) | Total Hardness (mg $L^{-1}$) | Born ($mg\ L^{-1}$) | SAR | RSC ($mg\ L^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| مقدار Amount | 49.02 | 120 | 21.2 | 387 | 119 | 0.034 | 3.2 | 1.3 |

EC: Electrical Conductivity, RSC: Residual Sodium Carbonate, SAR: Sodium Adsorption Ratio ,TDS: Total Dissolved Solids, TA: Total Acidity.

همان‌طور که مشاهده می‌شود اعمال میدان الکترومغناطیسی بر غلظت کاتیون‌های سدیم، پتاسیم، منیزیم و کلسیم و آنیون‌های سولفات، کلر، بی‌کربنات بر آب اثر نداشته است. این نتایج، یافته‌های پژوهشگران مبنی بر تغییر نکردن ویژگی‌های شیمیایی آب چاه در اثر میدان مغناطیسی را تایید می‌کند (Ahmad Aali *et al.*, 2009). pH آب به مدت ۱۲ ساعت اندازه‌گیری شد و نتایج نشان داد که pH آب در اثر اعمال میدان الکترومغناطیسی تغییری نداشته است. این نتایج با یافته‌های دیگر پژوهشگران نیز مطابقت داشت (McMahon, 2009). با اعمال میدان الکترومغناطیسی قابلیت هدایت الکتریکی آب آبیاری افزایش یافت اما این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نبود. پژوهشگران نشان داده‌اند که تغییرات قابلیت هدایت الکتریکی در اثر میدان الکترومغناطیسی در دما، فشار و ترکیب شیمیایی ثابت محلول، نشانه تغییر در فعالیت الکتروشیمیایی و ترمودینامیک آب‌پوشی ویژه یون‌ها در محلول و برهمکنش‌های آبپوشی یون‌ها و مولکول‌های آب است (Schwierz *et al.*, 2010).

نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های شیمیایی خاک پیش و پس از اعمال تیمارهای مورد نظر انجام شد. جدول (۳) نشان می‌دهد که تیمارهای اعمال شده بر ویژگی‌های شیمیایی خاک شامل pH، نیترات، فسفر، پتاسیم محلول و تبادلی، کلسیم و منیزیم تبادلی اثر معنی‌دار نداشته است؛ همچنین بر قابلیت هدایت الکتریکی، درصد کربنات

کلسیم، بی‌کربنات، سولفات و بُر نیز اثر معنی‌دار نداشته است؛ علاوه بر این میزان شوری و نوع آب بر غلظت عناصر غذایی کم‌مصرف آهن، منگنز، روی و مس در خاک تاثیر معنی‌دار نداشته است. با وجود اینکه سطوح شوری و نوع آب بر غلظت‌های سدیم محلول و تبادلی، کلر، کلسیم و منیزیم محلول اثر معنی‌دار داشته اما اثر متقابل آنها بی‌تاثیر بوده است. بدیهی است که با افزایش شوری غلظت سدیم محلول و تبادلی روند افزایشی داشته باشد. با آبیاری مغناطیسی در شوری‌های یکسان، در غلظت سدیم محلول روند مشخصی مشاهده نشده در صورتی که غلظت سدیم تبادلی روند کاهشی داشته و این کاهش در سطوح شوری‌های بالاتر بیشتر بوده است. با افزایش شوری بدیهی است که غلظت آنیون کلر افزایش می‌یابد و با اعمال میدان مغناطیسی بر آب روند افزایش غلظت کلر مشاهده شده و این افزایش در شوری‌های بالاتر بیشتر بوده است. با افزایش شوری و اعمال نوع آب غلظت کلسیم محلول در خاک روند مشخصی نداشته است؛ علاوه بر این با افزایش شوری غلظت منیزیم محلول افزایش یافته و با اعمال تیمار مغناطیسی در تمام سطوح شوری، روند افزایشی مشاهده شده است.

مطالعه اثر تیمارهای آزمایشی بر جذب عناصر غذایی ریشه، برگ و دانه گیاه ذرت به ترتیب در جدول‌های (۴، ۵ و ۶) نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود اثر تیمارهای آزمایشی بر جذب عناصر غذایی در ریشه و برگ ذرت (به جز سدیم) از نظر آماری معنی‌دار نبود (شکل ۲). این در صورتی است که اثر تیمارهای شوری و آب مغناطیسی و همچنین اثر متقابل آنها در جذب تمامی عناصر غذایی در دانه ذرت اثر معنی‌دار داشته است. در شکل (۳) مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر جذب عناصر غذایی در دانه ذرت نشان می‌دهد که با افزایش شوری، جذب عناصر غذایی پرمصرف در تمام تیمارهای آزمایشی کاهش یافته اما جذب عناصر غذایی کم‌مصرف و سدیم افزایش یافته است؛ همچنین بررسی مقایسه میانگین تیمارهای آزمایشی نشان می‌دهد که آب مغناطیسی جذب تمامی عناصر غذایی و درصد پروتئین را در دانه ذرت افزایش داده است.

**جدول ۳- تجزیه واریانس ویژگی‌های شیمیایی خاک تحت‌تاثیر آب مغناطیسی و شوری‌های مختلف**

**Table 3. Variance analysis of soil chemical properties under magnetic water and different salinity levels**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات (Mean Squares) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sources of changes | df | pH | $NO_3^-$ | P | $K_{sol}$ | $K_{exch}$ | $Ca_{sol}$ | $Ca_{exch}$ | $Mg_{sol}$ |
| شوری(Salt) | 2 | $0.01^{ns}$ | $310^{ns}$ | $48^{ns}$ | $0.004^{ns}$ | $0.13^{ns}$ | $0.1^{**}$ | $232^{ns}$ | $0.04^{**}$ |
| آب(Water) | 1 | $0.05^{ns}$ | $870^{ns}$ | $64.5^{ns}$ | $0.005^{ns}$ | $0.05^{ns}$ | $0.5^{**}$ | $0.13^{ns}$ | $0.02^{*}$ |
| شوری×آب | 2 | $0.001^{ns}$ | $759^{ns}$ | $83.5^{ns}$ | $0.002^{ns}$ | $0.04^{ns}$ | $0.01^{ns}$ | $35^{ns}$ | $0.0001^{ns}$ |
| خطا(Error) | 12 | 0.02 | 688 | 116 | 0.003 | 0.2 | 0.01 | 103 | 0.003 |

| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات (Mean Squares) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sources of changes | df | $Mg_{exch}$ | $CaCO_3$ | $Na_{sol}$ | $Na_{exch}$ | CEC | $HCO_3^-$ | $SO_4^{2-}$ | $Cl^-$ |
| شوری(Salt) | 2 | $0.54^{ns}$ | $1.2^{ns}$ | $0.28^{**}$ | $2.8^{**}$ | $98^{ns}$ | $2.3^{ns}$ | $86975^{ns}$ | $0.02^{**}$ |
| آب(Water) | 1 | $1.7^{ns}$ | $0.06^{ns}$ | $0.18^{*}$ | $1.2^{*}$ | $239^{ns}$ | $0.12^{ns}$ | $500231^{ns}$ | $0.13^{**}$ |
| شوری×آب | 2 | $0.64^{ns}$ | $0.06^{ns}$ | $0.0^{ns}$ | $0.28^{ns}$ | $224^{ns}$ | $0.04^{ns}$ | $8109^{ns}$ | $0.005^{ns}$ |
| خطا(Error) | 12 | 0.44 | 0.5 | 0.04 | 0.28 | 193 | 2.6 | 22869 | 0.002 |

| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات (Mean Squares) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S.O.V | df | $Fe^{2+}$ | $Mn^{2+}$ | $Zn^{2+}$ | $Cu^{2+}$ | $H_3BO_3$ | EC |
| شوری(Salt) | 2 | $0.41^{ns}$ | $0.05^{ns}$ | $0.001^{ns}$ | $0.04^{ns}$ | $0.004^{ns}$ | $4.1^{**}$ |
| آب(Water) | 1 | $1.8^{ns}$ | $0.9^{ns}$ | $0.0^{ns}$ | $0.006^{ns}$ | $0.0005^{ns}$ | $0.01^{ns}$ |
| شوری×آب | 2 | $3.01^{ns}$ | $1.3^{n}s$ | $0.004^{ns}$ | $0.0^{ns}$ | $0.001^{ns}$ | $0.16^{ns}$ |
| خطا(Error) | 12 | 5.6 | 0.28 | 0.03 | 0.04 | 0.003 | 0.24 |

ns: عدم معنی‌داری، *: معنی‌دار در سطح ۵ درصد، **: معنی‌دار در سطح ۱ درصد.

ns: no significant, *,**:significant ($p<0.05$), and ($p<0.01$), respectively

**جدول ۴- تجزیه واریانس عناصر ریشه گیاه ذرت تحت‌تاثیر آب مغناطیسی و شوری‌های مختلف**

**Table 4. Variance analysis of maize root elements under magnetic water and different salinity levels**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات (Mean Squares) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sources of changes | df | N | K | Na | Ca | Mg | Fe | Cu | Zn | Mn |
| شوری(Salt) | 2 | $0.06^{ns}$ | $0.01^{ns}$ | $0.018^{**}$ | $0.14^{ns}$ | $0.0^{ns}$ | $338101^{ns}$ | $6.7^{ns}$ | $19.4^{ns}$ | $10746^{ns}$ |
| آب(Water) | 1 | $0.1^{ns}$ | $0.004^{ns}$ | $0.007^{**}$ | $0.04^{ns}$ | $0.0^{ns}$ | $30689^{ns}$ | $2.4^{ns}$ | $23^{ns}$ | $1142^{ns}$ |
| شوری×آب | 2 | $0.01^{ns}$ | $0.001^{ns}$ | $0.0^{**}$ | $0.1^{ns}$ | $0.0^{ns}$ | $41344^{ns}$ | $20.6^{ns}$ | $8.7^{ns}$ | $940^{ns}$ |
| خطا(Error) | 12 | 0.03 | 0.01 | 4.5E-5 | 0.03 | 0.0 | 20064 | 18.6 | 35.7 | 3086 |

ns: عدم معنی‌داری، *: معنی‌دار در سطح ۵ درصد، **: معنی‌دار در سطح ۱ درصد.

ns: no significant, *,**:significant (p<0.05), and (p<0.01), respectively

**جدول ۵- تجزیه واریانس عناصر برگ گیاه ذرت تحت‌تاثیر آب مغناطیسی و شوری‌های مختلف**

**Table 5. Variance analysis of maize leaf elements under the influence of magnetic water and various salinity levels**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات (Mean Squares) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sources of changes | df | N | P | K | Ca | Mg | Fe | Cu | Mn |
| شوری(Salt) | 2 | $0.34^{ns}$ | $0.00^{ns}$ | $0.013^{ns}$ | $0.66^{ns}$ | $0.002^{ns}$ | $125708^{ns}$ | $0.08^{ns}$ | $0.53^{ns}$ |
| آب(Water) | 1 | $0.07^{ns}$ | $0.002^{ns}$ | $0.04^{ns}$ | $0.11^{ns}$ | $0.001^{ns}$ | $21687^{ns}$ | $0.27^{ns}$ | $0.27^{ns}$ |
| شوری×آب | 2 | $0.65^{ns}$ | $0.0^{ns}$ | $0.004^{ns}$ | $0.01^{ns}$ | $0.0^{ns}$ | $6052^{ns}$ | $0.59^{ns}$ | $0.04^{ns}$ |
| خطا(Error) | 12 | 0.28 | 0.0 | 0.004 | 0.026 | 0.0 | 14925 | 0.005 | 0.002 |

| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات (Mean Squares) | | |
|---|---|---|---|---|
| Sources of changes | df | Zn | $HBO_3$ | Na |
| شوری(Salt) | 2 | $500^{ns}$ | $8536^{ns}$ | $0.001^{**}$ |
| آب(Water) | 1 | $3.03^{ns}$ | $575^{ns}$ | $0.001^{**}$ |
| شوری×آب | 2 | $291^{ns}$ | $11779^{ns}$ | $6.8E\text{-}5^{**}$ |
| خطا(Error) | 12 | 71.8 | 1508 | 3.6E-6 |

ns: عدم معنی‌داری، *: معنی‌دار در سطح ۵ درصد، **: معنی‌دار در سطح ۱ درصد.

ns: no significant, *,**:significant (p<0.05), and (p<0.01), respectively

**جدول ۶- تجزیه واریانس عناصر دانه گیاه ذرت تحت‌تاثیر آب مغناطیسی و شوری‌های مختلف**

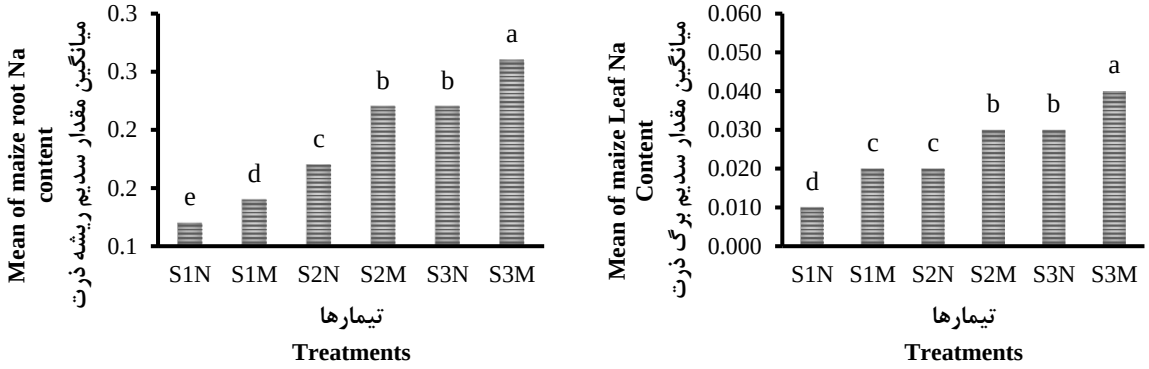
**Table 6. Variance analysis of maize seed elements under the influence of magnetic water and various salinity levels**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات (Mean Squares) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sources of changes | df | N | P | K | Ca | Mg | Fe | Cu | Mn |
| شوری(Salt) | 2 | $0.68^{**}$ | $0.001^{**}$ | $0.014^{**}$ | $3.8^{**}$ | $0.002^{**}$ | $807917^{**}$ | $692^{**}$ | $290^{**}$ |
| آب(Water) | 1 | $1.1^{**}$ | $4.6E\text{-}5^{*}$ | $0.04^{**}$ | $0.73^{**}$ | $0.002^{**}$ | $84913^{**}$ | $655^{**}$ | $1957^{**}$ |
| شوری×آب | 2 | $0.05^{*}$ | $0.0^{**}$ | $0.01^{**}$ | $0.89^{**}$ | $0.002^{**}$ | $237331^{**}$ | $79^{**}$ | $297^{**}$ |
| خطا(Error) | 12 | 0.01 | 5.3E-6 | 3E-5 | 0.02 | 8.9E-5 | 2981 | 12.8 | 28.8 |

| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات (Mean Squares) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Sources of changes | df | Zn | $HBO_3$ | Na | Protein |
| شوری(Salt) | 2 | $0.07^{**}$ | $0.65^{**}$ | $2.1E\text{-}5^{*}$ | $19.9^{**}$ |
| آب(Water) | 1 | $0.01^{*}$ | $1.5^{**}$ | $6.7E\text{-}6^{*}$ | $31.8^{**}$ |
| شوری×آب | 2 | $0.01^{*}$ | $0.28^{**}$ | $4.4E\text{-}5^{**}$ | $1.5^{*}$ |
| خطا(Error) | 12 | 0.002 | 0.002 | 8.3E-7 | 0.34 |

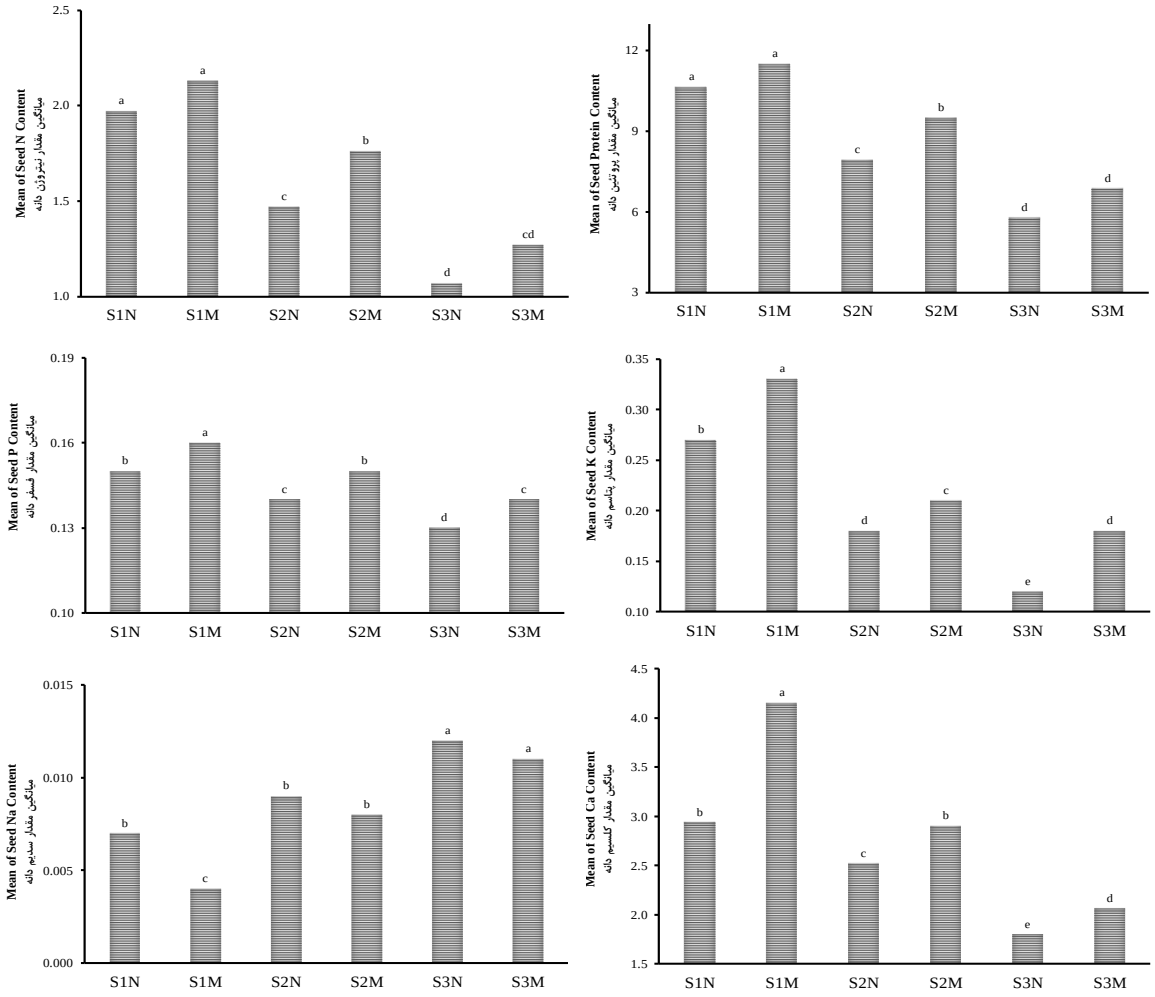
ns: عدم معنی‌داری، *: معنی‌دار در سطح ۵ درصد، **: معنی‌دار در سطح ۱ درصد.

ns: no significant, *,**:significant (p<0.05), and (p<0.01), respectively




**شکل ۲- اثر آب شور مغناطیسی‌شده بر جذب سدیم در ریشه و برگ ذرت (M، N و S به ترتیب نشان‌دهنده تیمارهای آب مغناطیسی، نرمال و شوری)**

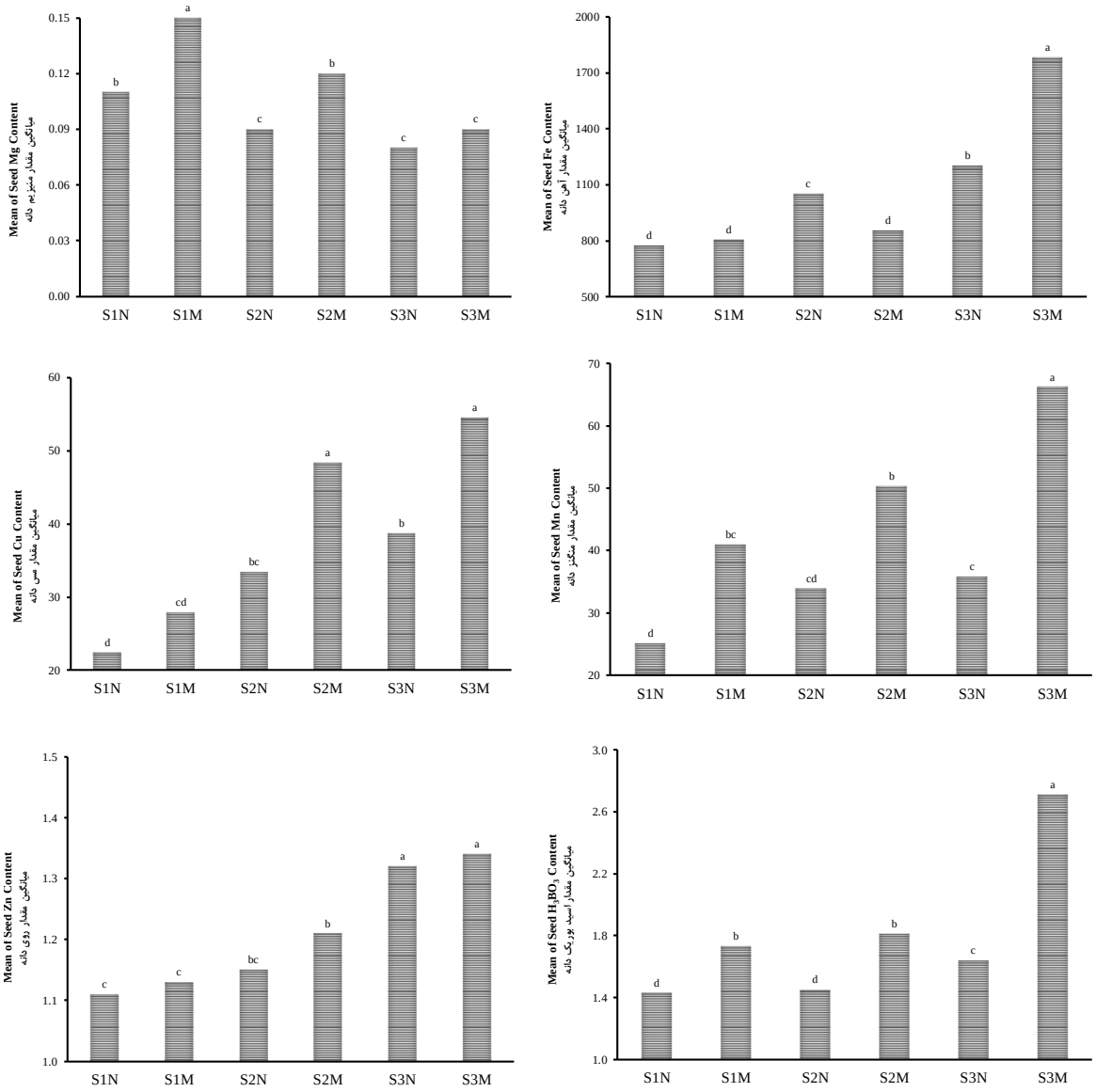
**Fig. 2- The effect of magnetized salt water on sodium absorption in maize root and leaf (M, N, and S indicate magnetic, normal and saline treatments, respectively)**




**شکل ۳- اثر آب شور مغناطیسی‌شده بر جذب عناصر غذایی در دانه ذرت**

**(M، N و S به ترتیب نشان‌دهنده تیمار آب مغناطیسی، نرمال و شوری)**

**Fig. 3- The effect of magnetized salt water on the absorption of nutrients in maize seeds**




**ادامه شکل ۳- اثر آب شور مغناطیسی‌شده بر جذب عناصر غذایی در دانه ذرت**

**(M، N و S به ترتیب نشان‌دهنده تیمار آب مغناطیسی، نرمال و شوری)**

**Fig. 3- The effect of magnetized salt water on the absorption of nutrients in maize seeds**

در این پژوهش اثر آب مغناطیسی بر تیمارهای مختلف شوری نشان داد که آب مغناطیسی جذب عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم را در اندام‌های زایشی گیاه ذرت (دانه) به‌طور معنی‌داری افزایش داده است. این یافته با نتایج دیگر پژوهشگران مبنی بر افزایش جذب نیتروژن و پتاسیم در گندم، گیاهچه‌های دو رقم مختلف لوبیا و اندام هوایی لوبیا در اثر کاربرد آب مغناطیسی مطابقت داشت (Alikamanoglu and Sen, 2011; Grewal and Maheshwari, 2011; Mohamed and Ebead, 2013). همچنین آب مغناطیسی جذب فسفر را در گندم، فلفل شیرین و اندام‌های مختلف باقلا افزایش داده است (Alikamanoglu and Sen, 2011; Ahamed *et al.*, 2013; El Sayed and El Sayed, 2014). در پژوهشی

افزایش غلظت فسفر در تیمار آب شور مغناطیسی نسبت به آب شور غیرمغناطیسی در اندام هوایی لوبیا گزارش شده است (Mohamed and Ebead, 2013). همچنین آب مغناطیسی غلظت فسفر را در اندام هوایی کرفس و غلاف لوبیا چشم‌بلبلی به‌طور معنی‌داری افزایش داده است (Maheshwari and Grewal, 2009).

پژوهش‌ها نشان داده که آب مغناطیسی باعث افزایش جذب پتاسیم در گیاه نخود فرنگی و اندام هوایی گوجه‌فرنگی شده (Sadeghipour and Aghaei, 2013; Mohamed, 2013) و پتاسیم موجود در ریشه، ساقه، برگ و دانه باقلا را به طور معنی‌داری افزایش داده است (El Sayed and El Sayed, 2014). همچنین اثر آب مغناطیسی بر عناصر غذایی گیاهچه لوبیا چشم‌بلبلی نشان داد که تیمار آب مغناطیسی غلظت پتاسیم گیاه را افزایش داده است (Grewal and Maheshwari, 2011). اثر آب مغناطیسی در رطوبت‌های مختلف (۳۰، ۵۰ و ۷۰ درصد ظرفیت نگهداری آب خاک) بر عناصر غذایی گیاه جوجوبا (*Simmondsia chinesis*) در شرایط آزمایشگاهی، افزایش معنی‌دار پتاسیم و منیزیم و کاهش غلظت سدیم را نشان داده است (Al-Khazan *et al*., 2011). آب مغناطیسی کلسیم موجود در ریشه، ساقه، برگ و دانه باقلا را به‌طور معنی‌داری افزایش داده است (El Sayed and El Sayed, 2014). همچنین اثر آب مغناطیسی بر عناصر غذایی گیاهچه دو رقم مختلف لوبیا نشان داده که در تیمار آب مغناطیسی، غلظت کلسیم و منیزیم افزایش یافته است (Grewal and Maheshwari, 2011). آب مغناطیسی شور (۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) سبب افزایش معنی‌دار غلظت کلسیم و منیزیم و کاهش غلظت سدیم در غلاف لوبیا چشم‌بلبلی و اندام هوایی کرفس شده است (Maheshwari and Grewal, 2009).

بررسی غلظت سدیم در اندام گیاه ذرت نشان داده که تیمارهای شوری، آب مغناطیسی و اثر متقابل آنها بر غلظت سدیم در ریشه، ساقه، برگ و دانه ذرت اثر معنی‌داری داشته است. بر اساس مقایسه میانگین داده‌های آزمایشی، تیمار شوری غلظت سدیم را در تمامی اندام‌های گیاه ذرت افزایش داده است. همچنین تیمار آب مغناطیسی غلظت سدیم را در ریشه، ساقه و برگ گیاه ذرت افزایش و در دانه آن کاهش داده است. از جمله سازوکارهای ضروری مقاومت به تنش شوری تنظیم انتقال و توزیع عناصر در اندام‌های مختلف گیاه و سلول‌ها است (Patil, 2012). با افزایش سطوح شوری نمک NaCl، غلظت $Na^+$ در تمام اندام‌های گیاه افزایش یافته و تجمع آن در ریشه بیشتر از ساقه بوده است (Abbas *et al*., 1991). بر اساس گزارش پژوهشگران در اثر تنش شوری، در ریشه غلظت $Na^+$ افزایش و در ساقه و دمبرگ غلظت آن کاهش می‌یابد و در نتیجه در برگ‌های جوان $Na^+$ کمتری تجمع یافته و همچنین از برگ‌های پیرتر $Na^+$ به ریشه انتقال می‌یابد (Jeschke and Pate, 1991). رقم‌های گیاهان مقاوم به تنش شوری NaCl دارای توانایی بیشتری در تجمع $Na^+$ در ریشه بوده و سبب کاهش تجمع سدیم در اندام هوایی در حال رشد می‌شوند. گیاهان حساس به تنش شوری غلظت $Na^+$ بیشتری در برگ و کمتر در ریشه داشته، در نتیجه سبب کاهش تعداد برگ و مقدار آب کمتر در برگ شده‌اند (Assimakopoulos *et al*., 2015). انتقال سدیم از اندام هوایی به ریشه از مهمترین مکانیسم‌های مقاومت به تنش شوری در رقم‌های مقاوم گیاهی است (Yasar *et al*., 2006; Gama *et al*., 2007). در پژوهشی آب مغناطیسی سبب کاهش غلظت سدیم در دو رقم گیاهچه لوبیا شده است (Grewal and Maheshwari, 2011)؛ همچنین آب مغناطیسی غلظت سدیم را در ریشه، ساقه، برگ و دانه باقلا به‌طور معنی‌داری کاهش داده است (El Sayed and El Sayed, 2014). گزارش شده که سدیم عنصر پارامغناطیس با بار مثبت و اندازه کوچک بوده و در نتیجه تحت‌تاثیر میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد در صورتی که دیگر عناصر دیامغناطیس بوده و از میدان مغناطیسی دفع می‌شوند (Nave, 2008).

در این پژوهش اثر آب مغناطیسی بر تیمارهای مختلف شوری نشان داد که آب مغناطیسی جذب آهن، منگنز، روی و مس را در اندام‌های زایشی گیاه ذرت (دانه) به‌طور معنی‌داری افزایش داده که این یافته با نتایج دیگر پژوهشگران مبنی بر افزایش غلظت آهن، منگنز و روی در اثر کاربرد آب مغناطیسی در دو رقم گیاهچه لوبیا چشم‌بلبلی مطابقت داشته است (Grewal and Maheshwari, 2011). آب مغناطیسی در مقایسه با آب غیرمغناطیسی غلظت آهن و منگنز در گیاهان گندم، جو و تریتیکاله (*X Triticosecale witmack*) را به ترتیب ۷۹ و ۲۸/۵۷، ۲۲/۸، ۴۸/۶۱، ۵، ۱۴/۹۳ درصد افزایش داده است (Selim, 2008)؛ همچنین آب مغناطیسی غلظت روی را در دو رقم گیاهچه لوبیا چشم‌بلبلی افزایش داده است (Grewal and Maheshwari, 2011). آب مغناطیسی در مقایسه با آب غیرمغناطیسی غلظت روی را در گیاهان گندم، جو و تریتیکاله به ترتیب ۵۰ و ۲۲ و ۲۰ درصد افزایش داده است (Selim, 2008).

## نتیجه‌گیری

تجزیه شیمیایی آب نشان داد که میدان مغناطیسی اثر معنی‌داری بر ویژگی‌های شیمیایی آب ندارد. با توجه به ویژگی‌های خاک پیش و پس از برداشت محصول، آب مغناطیسی فقط بر غلظت‌های سدیم محلول و تبادلی، کلر، کلسیم و منیزیم محلول اثر معنی‌دار داشته است. بر پایه یافته‌های این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که آب مغناطیسی در گیاه ذرت سبب کاهش تجمع سدیم و پیامدهای مخرب آن در اندام زایشی شده و با تجمع سدیم در ریشه و ساقه سبب افزایش مقاومت گیاه به تنش شوری شده است. در نواحی خشک و نیمه‌خشک ایران، آب با کیفیت مناسب برای کاربردهای کشاورزی در حال کاهش بوده و به همین دلیل استفاده از آب مغناطیسی در راستای بهبود کیفیت آب و عملکرد گیاه نظر برخی از کارشناسان بخش آب و کشاورزی را به خود جلب کرده است. جذب عناصر غذایی در گیاهان در تنش شوری از موضوعات پیچیده است، در نتیجه اثر آب مغناطیسی بر قابلیت دسترسی عناصر غذایی در خاک و جذب آن در گیاه در تنش شوری با پیچیدگی‌های بیشتری روبه‌رو است. بنابراین اثر همزمان آنها قابل توصیف نبوده و پیشنهاد می‌شود آزمایش‌ها در سیستم‌های ساده‌تر انجام گیرد. با توجه به ناشناخته بودن چگونگی اثر میدان مغناطیسی بر آب و گسترش روزافزون استفاده از آن در کاهش رسوب‌زدایی در سیستم انتقال آب و افزایش عملکرد گیاه، بهره‌وری آب و غلظت عناصر غذایی در گیاه، ضروری است که قبل از کاربرد آن در مزرعه پژوهش‌های بیشتری صورت گیرد. با پیدایش روش نوین آب مغناطیسی در افزایش عملکرد گیاه بدیهی است که باید اثرات زیست‌محیطی و تاثیر آب مغناطیسی و محصولات آن بر موجودات زنده و مشارکت عناصر غذایی در ترکیبات آلی حاصل از متابولیسم گیاه بررسی شود.

## پی‌نوشت‌ها

[1] Walkley and Black
[2] Chapman
[3] Mohr
[4] Olsen
[5] Kjeldahl

## منابع

Ahamed, M.E.M., Elzaawely, A.A. and Bayoumi, Y.A., 2013. Effect of magnetic field on seed germination, growth and yield of sweet pepper *(Capsicum annuum* L.). Asian Journal of Crop Science. 5(3), 286-294.

Abbas, M.A., Younis, M.E. and Shukry, W.M., 1991. Plant growth, metabolism and adaptation in relation to stress conditions: XIV. Effect of salinity on the internal solute concentrations in Phaseolus vulgaris. Journal of Plant Physiology. 138(6), 722-727.

Ahmad Aali, K., Liaghat, A. and Dehghanisanij, H., 2009. The effect of acidification and magnetic field on emitter clogging under saline water application. Journal of Agricultural Science. 1(1), 132-141.

Alikamanoglu, S. and Sen, A., 2011. Stimulation of growth and some biochemical parameters by magnetic field in wheat (*Tritium aestivum* L.) tissue cultures. African Journal of Biotechnology. 10(53), 10957-10963.

Algozari, H. and Yao, A., 2006. Effect of the magnetizing of water and fertilizers on the some chemical parameters of soil and growth of maize. MS.c. Thesis. University of Baghdad, Baghdad, Iraq.

Al-Khazan, M., Mohamed Abdullatif., B. and Al-Assaf N., 2011. Effects of magnetically treated water on water status, chlorophyll pigments and some elements content of Jojoba (Simmondsia chinensis L.) at different growth stages. African Journal of Environmental Science and Technology. 5(9), 722-731.

Anonymous, 2003. The health benefits of magnetic water. Life Sources Inc., California, 1-13.

Assimakopoulos, D., Oshri, I. and Pandza, K., 2015. Managing Emerging Technologies for Socio-Economic Impact. Cheltenham: E. Elgar.

Benton Jones Jr, J., 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRC Press LLC.

Cataldo, D.A., Maroon, M., Schrader, L.E. and Youngs, V.L., 1975. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 6(1), 71-80.

Donald, L.S., 1996. Methods of Soil Analysis. Part III. Chemical Methods, ASA. SA, Madison, WI, pp. 961-1010.

El Sayed, H.A. and El Sayed, A., 2014. Impact of magnetic water irrigation for improve the growth, chemical composition and yield production of broad bean (*Vicia faba* L.) plant. American Journal of Experimental Agriculture. 4(4), 476-496.

Evelyn, J.L.T., Ramalho, T.C. and Magriotis, Z.M., 2008. Influence of magnetic field on physical–chemical properties of the liquid water: Insights from experimental and theoretical models. Journal of Molecular Structure. 888: 409-415.

Gama, P.B.S., Inanaga, S., Tanaka, K. and Nakazawa, R., 2007. Physiological response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings to salinity stress. African Journal of Biotechnology. 6, 79-88.

Grewal, H.S. and Maheshwar, B.L., 2011. Magnetic treatment of irrigation water and snow pea and chickpea seeds enhances early growth and nutrient contents of seedlings. Journal of. Bioelectromagnet. 32, 58-65.

Gupta, P.K. (2009). Soil, plant, water and fertilizer analysis. College of Agriculture, Rajasthan Agricultural University, Bikaner.

Jeschke, W.D., and Pate, J.S. 1991. Cation and chloride partitioning through xylem and phloem within the whole plant of *Ricinus communis* L. under conditions of salt stress. Journal of Experimental Botany.42, 1105-1116.

Karimi, S., Hojat, S., Eshghi, S., and Rahimi, N.M., 2012. Magnetic exposure improves tolerance of fig Sabz explants to drought stress induced in vitro. Scientia Horticulturae. 137, 95-99.

Li, S.Q., Wang, M.F., Zhu, Z.A., Wang, Q., Zhang, X., Song, H.Q. and Cong, D.Q., 2012. Application of

superconducting HGMS technology on turbid wastewater treatment from convertor. Journal of Separation and Purification Technology. 84, 56-62.

Lipus, L., Krope, J., and Crepinsek, L., 2001. Dispersion destabilization in magnetic water treatment. Journal of Colloid and Interface Science. 236, 60-66.

Maheshwari, B.L., and Grewal, H.S., 2009. Magnetic treatment of irrigation water: Its effects on vegetable crop yield and water productivity. Agricultural Water Management Journal. 96, 1229-1236.

McMahon, C.A., 2009. Investigation of the quality of water treated by magnetic fields. Dissertation. University of Southern Queensland Faculty of Engineering and Surveying. Ph.D. dissertation.

Modarres, R., and da Silva, V., 2007. Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran. Journal of Arid Environments. 70, 344-355.

Mohamed, A.I., 2013. Effects of magnetized low quality water on some soil properties and plant growth. International Journal of Research in Chemistry and Environment. 3(2), 140-147.

Mohamed, A.I., and Ebead, B.M. (2013). Effect of irrigation with magnetically treated water on faba bean growth and composition. International Journal of Agricultural Policy and Research. 1(2), 024-040.

Nave, C.L., 2008. Magnetic Properties of Solids. Hyper Physics. 15, 11-23.

Page, A.L., Miller, R.H. and Keeney, D.R., 1996. Methods of Soil Analysis, Part II, Physical properties, ASA, SA, Madison, WI.

Patil, N.M., 2012. Adaptation in response to salinity in safflower Cv. Bhima. Asian Journal of Crop Science. 4(2), 50-62.

Sadeghipour, O., and Aghaei, P., 2013. Improving the growth of cowpea (*Vigna unguiculata L. Walp.*) by magnetized water. Journal of Biodiversity and Environmental Sciences. 3(1), 37-43.

Schwierz, N., Horinek, D., and Netz, R.R., 2010. Reversed anionic hofmeister series: The interplay of surface chargeand surface polarity. Langmuir. 26(10), 7370-7379.

Selim, M.M., 2008. Application of magnetic technologies in correcting underground brackish water for irrigation in arid and semi-arid ecosystem. The 3rd International Conference on Water Resources and Arid Environments, and the 1st Arab water Forum, pp. 11-21.

Sueda, M., Katsuki, A., Nonomura, M., Kobayashi, R. and Tanimoto, Y., 2007. Effects of high magnetic field on water surface phenomena. The Journal of Physical Chemistry C. 111,14389-14393.

Yasar, F., Uzal, O., Tufenkci, S., and Yildiz, K., 2006. Ion accumulation in different organs of green bean genotypes grown under salt stress. Plant, Soil and Environment, 52:476-480.

Environmental Sciences Vol.16 / No.2 / Summer 2018

**217-232**

# Impact of magnetized salt water on the essential nutrient uptake by maize

**Fatemeh Aghamir[1*] and Hosseinali Bahrami[2]**

[1] Department of Agroecology, Environmental Science Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

[2] Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

**Received:** 2018.03.06 **Accepted:** 2018.07.01

**Aghamir, F. and Bahrami, H., 2018.** Impact of magnetized salt water on the essential nutrient uptake by maize. Environmental Sciences. 16 (2), 217-232.

**Introduction:** A growing population demands more food and water; with the reduction of conventional water resources, it will be essential to increase the efficiency of nutrient use in conventional systems. Iran is located in the mid-latitude belt of arid and semi-arid regions of the Earth and such arid and semi-arid regions cover more than 60% of the country. As a result, water is the most important limiting factor for biological and agricultural activities and the use of unconventional water in agriculture is inevitable and important under our country's conditions. Unconventional waters are not directly usable and must be adapted for use, including the removal of biological contamination, heavy metals, salinity and pH amendment. The aim of this study was to evaluate the effect of magnetic water on the essential nutrients uptake by maize (*Zea mays*) in saline conditions.

**Materials and methods:** Magnetic water was supplied by a magnetic device with an electromagnetic field intensity varying from 8 to 10 mT. The experimental design was two factors factorial (2x3) arranged in a randomized complete block design. The combinations of the treatments were at two levels of water - non-magnetic (normal) and magnetic - and three levels of salinity (800, 1300 and 2100 ppm NaCl) with three replications. Soil physicochemical properties including texture, organic carbon, cation exchange capacity, electrical conductivity, pH, nitrate, sulfate, chlorine, phosphorous, iron, zinc, manganese, copper, and soluble and exchangeable calcium, magnesium, sodium and potassium, as well as elements present in the plant, including total nitrogen, phosphorus, potassium, sodium, calcium, magnesium, iron, zinc, manganese and copper, were all measured using standard methods.

**Results and discussion:** The results of chemical water analysis showed that the electromagnetic field had no significant effect on its chemical properties. Regarding soil properties before and after harvest, magnetic water had a significant effect on soluble and exchangeable sodium, chlorine, calcium and magnesium. The results, also showed that with increasing salinity, macronutrients uptake and protein percentage were reduced, while micronutrient uptake and sodium levels increased; moreover, comparisons of treatment means showed that

[*] Corresponding Author. *E-mail Address*: aghamirsoil@gmail.com

magnetic treatment increased uptake of all the nutrients and the protein percentage in leaves and seeds of maize plants, but no significant changes were observed in their roots and shoots. The results showed that magnetic water reduces sodium accumulation and its destructive effects on the reproductive organs of maize plant. Due to the accumulation of sodium in roots and stems, the plant's resistance to salt stress increased.

**Conclusion:** Due to the poor water quality in the agricultural section, it appears that utilization of magnetic water in arid and semi-arid regions of Iran can lead to improved yield and water productivity; therefore, it is recommended that further research be undertaken in this areas.

**Keywords:** Essential nutrients, Magnetic water, Maize, Protein, Salt.