

بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان گیاه ذرت (*Zea mays L.*) پس از آبیاری با آب مغناطیده

مریم سلیمانی، فائزه قناتی*، سمیه محمد علیخانی، حسن زارع مایوان

بخش علوم گیاهی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

*E.mail: ghangia@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۶/۴/۲۰

تاریخ دریافت: ۹۶/۲/۲۷

چکیده

گرچه مکانیسم اصلی اثر میدان‌های مغناطیسی بر گیاهان هنوز به طور کامل مشخص نیست، اما شواهد موجود حاکی از دخالت این میدان‌ها در افزایش مقدار گونه‌های فعال اکسیژن و نیز فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدان‌ها در سلول‌های گیاهی است. در این تحقیق، تأثیر میدان مغناطیسی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب و اثر آبیاری با آب مغناطیده (پس از عبور از یک میدان مغناطیسی ۱۱۰ میلی‌تسلا) بر فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدان گیاه ذرت (*Zea mays L.*) بررسی شد. طیف‌های رامان و FTIR آب قبل و بعد از قرار گرفتن در معرض میدان مغناطیسی مقایسه شد. طیف رامان آب مغناطیده با گروه کنترل تفاوتی نداشت، اما طیف‌های FTIR آن افزایش شدت جذب را نشان داد. نتایج نشان می‌دهد که میدان مغناطیسی با افزایش درجه‌ی آزادی پیوندهای هیدروژنی سبب کاهش کشش سطحی شده‌است. در نتیجه، میزان حلالیت آب افزایش یافته‌است. نتایج با افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز و نیز افزایش میزان آنتوسیانین‌ها در گیاهان تیمار شده با آب مغناطیده، نسبت به گروه شاهد معنی‌دار بود. افزایش فعالیت این دو آنزیم و افزایش آنتوسیانین همراه با عدم تغییر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز که خود سبب تولید هیدروژن پراکسید می‌کند، سبب ممانعت از آسیب رسیدن به غشا و کاهش پراکسیداسیون لیپیدهای آن می‌شود. عدم افزایش آنزیم پراکسیداز نیز با حفظ انعطاف پذیری دیواره‌ها سبب حفظ توان رشد در سلول‌های گیاهان تیمار شده با آب مغناطیده شد.

کلیدواژه‌ها: آب مغناطیده، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، طیف رامان، گیاه ذرت، میدان‌های مغناطیسی

۱- مقدمه

در اطراف آن ناحیه‌ای به نام کمر بند «وان‌آلن» است که خاصیت مغناطیسی داشته و میدان الکتریکی نیز بین زمین و ابرها وجود دارد [۱]. بنابراین، میدان‌های الکترومغناطیسی به هردو صورت طبیعی و مصنوعی

همه‌ی موجودات زنده در روی زمین از جمله گیاهان، در معرض میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی قرار دارند؛ چراکه زمین یک مغناطیس بزرگ است

گزارش شده است [۱۲].

مطالعات انجام شده، اثرهای مثبت آب مغناطیده بر رشد، میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی، فنل کل و تولید محصول گندم را نشان داده است [۱۳]. شواهد نشان می‌دهد که گیاهان نخود آبیاری شده با آب مغناطیده، قدی بلندتر و دارای بیومس بیشتری از گیاهان آبیاری شده با آب معمولی است [۱۴].

تنش‌های غیر زیستی منجر به تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) می‌شوند. در همه‌ی سلول‌های زنده به طور طبیعی ROS به عنوان محصول فرعی واکنش‌های مختلف متابولیسمی در اندامک‌های کلروپلاست، میتوکندری و پراکسی زوم‌ها تولید می‌شوند. در شرایط طبیعی، مولکول‌های ROS با سیستم آنتی‌اکسیدان خنثی می‌شوند. اما تعادل بین تولید و جمع‌آوری مولکول‌های ROS در سلول با تنش‌های مختلف زیستی و غیر زیستی به هم می‌خورد که می‌تواند باعث صدمه‌های جبران ناپذیری به سلول شود. برهم خوردن ساختار غشاها، آسیب به پروتئین‌ها و در نهایت صدمه به DNA از جمله اثر مخرب گونه‌های فعال اکسیژن است. یکی از تاثیرهای منفی میدان‌های مغناطیسی بر موجودات زنده تنش اکسیداتیو است که در نتیجه‌ی افزایش تولید ROSها به وجود می‌آید. تنش اکسیداتیو بر ساختار غشای سلولی و رشد سلولی مؤثر است و امکان‌دارد به مرگ سلول منجر شود [۱۵]. بدین منظور سلول‌ها از طریق ساز و کارهای آنزیمی یا غیر آنزیمی رادیکال‌ها را حذف کرده و یا اثرات مخرب آن‌ها را کاهش می‌دهند. یکی از مکانیسم‌های اصلی مقابله با رادیکال‌های آزاد جاروب شدن آنها توسط آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان می‌باشد. اولین آنزیم آنتی‌اکسیدان SOD است که با دیسموته کردن آنیون‌های سوپراکسید به اکسیژن و هیدروژن پراکسید آسیب را به حداقل

نتیجه‌ای از فناوری بشر امروزی است که در زندگی روزمره حضور داشته و همواره جزو ثابتی از زندگی انسان و سایر موجودات زنده را در بر می‌گیرد [۲]. میدان‌های مغناطیسی در ابعاد وسیعی بر گیاهان تأثیر می‌گذارد. تحریک گیاهان با استفاده از میدان‌های مغناطیسی به‌عنوان راهی جهت افزایش کمیت و کیفیت عملکرد محصولات زراعی مورد توجه است [۳]. آب نیز به عنوان یک مولکول دیامغناطیسی و به سبب وجود پیوندهای هیدروژنی بین مولکول‌های خود می‌تواند تحت تأثیر میدان‌های الکتریکی، مغناطیسی و الکترومغناطیسی قرار گیرد [۴].

از آنجایی که آب بیش‌ترین و مهم‌ترین مولکول تشکیل دهنده‌ی سلول زنده است و همه‌ی واکنش‌های بیوشیمیایی سلول در آب صورت می‌گیرد، بررسی ویژگی‌های آبی که مورد استفاده سلول است، می‌تواند به درک متابولیسم سلولی تحت میدان مغناطیسی کمک کند [۵]. امروزه آزمایش‌های مختلف نشان داده که آب در حضور میدان مغناطیسی، مغناطیده می‌شود و برخی ویژگی‌های فیزیکی آن تغییر می‌کند. تغییرات ایجاد شده در آب مغناطیده شامل تغییر در ویژگی‌های اپتیک، ترمودینامیک و ویژگی‌های مکانیکی آب شامل چگالی، نیروی کشش سطحی، نقطه ذوب و انجماد و هدایت الکتریکی است [۶-۱۰]. تغییر ویژگی‌های آب هنگام عبور از میدان مغناطیسی و تولید آب مغناطیده برای کارهای مختلف از اهمیت بالایی برخوردار است و می‌تواند کاربردهای وسیعی در کشاورزی، دامپروری، صنعت و پزشکی داشته باشد [۱۱]. به عنوان مثال، استفاده از آب مغناطیده اثرهای فراوانی بر رشد، تولید محصول و ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاهان آبیاری شده با آن دارد. به طوری که افزایش ۱۳ الی ۲۳ درصدی محصول برنج آبیاری شده با آب مغناطیده

یک مزرعه‌ی آزمایشی به ابعاد $10 \times 3/5$ متر پس از شخم زدن و کلوخ کوب شدن به دو کرت تقسیم بندی شد. این دو کرت با یک تیغه‌ی سیمانی از هم جدا شدند. پهنای این تیغه ۴۰ سانتی متر و فاصله‌ی دو کرت از هم $1/5$ متر بود. به طور تصادفی یکی از این کرت‌ها با آب مغناطیده و دیگری با آب معمولی آبیاری شدند. ویژگی‌های شیمیایی نمونه‌های آب قبل و بعد از مغناطیده شدن تعیین شد.

پس از یک هفته از گیاهان کشت شده در مرحله دانه رست، نمونه برداری انجام شد. سپس، نمونه‌ها با آب مقطر شست و شو داده شده و برای انجام بررسی‌های بیوشیمیایی در نیتروژن مایع تثبیت و در فریزر با دمای منهای ۸۰ درجه سانتی گراد نگهداری شد. آنالیزهای بیوشیمیایی شامل سنجش برخی آنزیم‌های شاخص سیستم آنتی‌اکسیدانی و آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی و سنجش میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی با ۳ تکرار مستقل و هریک با ۳ نمونه انجام شد.

سنجش میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان

استخراج و سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دسموتاز (SOD)

برای این کار، ۰/۱ گرم نمونه منجمد در ۳ میلی‌لیتر بافر HEPES-KOH با $\text{PH}=7/8$ حاوی EDTA ۰/۱ میلی مولار عصاره‌گیری شد. همگنای حاصل در ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفوژ شد. بخش شناور رویی حاصل برای سنجش فعالیت سوپراکسید دسموتاز به کار رفت. ترکیب واکنش در حجم نهایی ۳ میلی‌لیتر شامل بافر HEPES-KOH، ۵ میلی مولار Na_2CO_3 با $\text{PH}=7/8$ حاوی EDTA ۰/۱ میلی مولار،

می‌رساند. افزایش SOD منجر به بالارفتن H_2O_2 و در پی آن OH می‌شود. جاروب کردن و سم زدایی H_2O_2 تولید شده توسط SOD می‌تواند با آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی دیگر نظیر کاتالاز و انواع پرواکسیدازها و ترکیبات آنتی‌اکسیدان غیر آنزیمی نظیر ترکیبات فنلی (فلاونوئید، آنتوسیانین، فنل و...) کامل شود [۱۵]. ذرت با نام علمی (*Zea mays* L.)، نام انگلیسی Corn و نام فرانسوی گیاهی یکساله، تک لپه‌ای از تیره غلات (Poaceae) با مسیر فتوسنتزی C4 است. ذرت یک محصول استراتژیک زراعی است که در جهان، بعد از گندم بزرگترین سطح زیر کشت را اشغال می‌کند و تولید محصول آن بعد از گندم و برنج قرار دارد. [۱۶].

هدف از این پژوهش، بررسی اثر میدان مغناطیسی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب و تأثیر آبیاری با آب مغناطیده بر فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانی در گیاه ذرت در فاز رویشی است. بدین منظور، از گیاه ذرت که یکی از غلات پرمصرف است استفاده شد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و طرح آزمایش

به منظور مغناطیده نمودن آب، از دستگاه تولید کننده‌ی آب مغناطیسی به نام همزن یون مغناطیس با شدت ۱۱۰ میلی‌تسلا استفاده شد. آب‌های معمولی و مغناطیده پس از خروج از دستگاه مذکور با دستگاه‌های اسپکتروفتومتر رامان (UK Nicolet Omega XRThermo) در محدوده‌ی 4200 cm^{-1} - 100 باتوانتفکیک 4 cm^{-1} و دستگاه طیف‌سنجی FTIR (NICOLET IR 100, Thermo, UK) در محدوده $3750-7800 \text{ cm}^{-1}$ باتوانتفکیک $128-4 \text{ cm}^{-1}$ انجام گرفت.

دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفوژ شد. بخش شناور رویی برای سنجش فعالیت آسکوربات پراکسیداز به کار رفت. ترکیب واکنش در حجم نهایی ۳ میلی‌لیتر شامل بافر Na-Phosphate ۵ میلی‌مولار حاوی کلیه ترکیبات بالا به علاوه آسکوربات ۵ میلی‌مولار، H_2O_2 ۴۴ میکرومولار و عصاره آنزیمی به مقدار مناسب انتخاب شد. فعالیت آنزیمی APX به وسیله‌ی کاهش در جذب در طول موج ۲۹۰ نانومتر با استفاده از ضریب ثابت $\epsilon = 2.8 M^{-1}C^{-1}$ و به ازای هر میلی‌گرم پروتئین در عصاره آنزیمی محاسبه شد [۱۷].

استخراج و سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT)

نمونه‌های منجمد به میزان ۰/۱ گرم در ۳ میلی‌لیتر بافر Na-Phosphate ۶۰ میلی‌مولار با $PH=7/8$ عصاره‌گیری شد. همگنای حاصل در ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفوژ شد. از بخش شناور رویی برای سنجش فعالیت بخش محلول پراکسیداز استفاده شد. ترکیب واکنش در حجم نهایی ۳ میلی‌لیتر شامل، بافر Na-Phosphate ۶ میلی‌مولار با $PH=6/8$ ، Gaiacol، ۲۸ میلی‌مولار، H_2O_2 ۵ میلی‌مولار و عصاره آنزیمی به مقدار مناسب انتخاب شد. فعالیت آنزیمی به صورت افزایش جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر در دقیقه به ازای هر میلی‌گرم پروتئین در عصاره آنزیمی محاسبه شد [۱۸].

آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی

اندازه‌گیری آنتوسیانین کل

برای اندازه‌گیری آنتوسیانین ۰/۱ گرم نمونه‌های برگگی در ۱۰ میلی‌لیتر محلول متانول اسیدی (شامل متانول و هیدروکلریک اسید به نسبت ۹۹ به ۱) خوب

میلی مولار با $PH=10/2$ ، L-methionine ۵ میلی‌مولار، Nitro Blue Tetrazolium ۷۵ میکرومولار، ریپوفلاوین ۱ میکرومولار و عصاره آنزیمی به مقدار مناسب انتخاب شد. یک واحد فعالیت SOD به عنوان مقدار آنزیمی در نظر گرفته شد که منجر به مهار ۵۰ درصدی نیتروبلوتترازولیوم (NBT) در ۵۶۰ نانومتر انجام شد. میزان جذب مخلوط واکنش با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر GBC cintra6 ساخت استرالیا اندازه‌گیری شد [۱۷].

استخراج و سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT)

برای این منظور، ۰/۱ گرم بافت منجمد در ۳ میلی‌لیتر بافر فسفات سدیم ۲۵ میلی‌مولار با $PH=6/8$ عصاره‌گیری شد. همگنای حاصل در ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفوژ شد [۹]. بخش شناور رویی برای سنجش فعالیت کاتالاز مورد استفاده قرار گرفت. ۳ میلی‌لیتر مخلوط واکنش حاوی بافر فسفات سدیم ۲۵ میلی‌مولار با $PH=6/8$ ، ۱۰ میلی‌مولار و عصاره آنزیمی به مقدار مناسب انتخاب شد. تجزیه با کاهش در جذب در طول موج ۲۴۰ نانومتر دنبال شد و به ازای هر میلی‌گرم پروتئین در عصاره آنزیمی محاسبه شد [۱۷].

استخراج و سنجش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز

(APX)

مقدار ۰/۱ گرم بافت منجمد در ۳ میلی‌لیتر بافر Na-Phosphate ۵۰ میلی‌مولار با $PH=7/8$ حاوی Dithiothritol (DTT) ۵ میلی‌مولار، EDTA ۵ میلی‌مولار، NaCl ۱۰۰ میلی‌مولار و (PVP) Polyvinylpyrrolidon ۲ درصد عصاره‌گیری شد. همگنای حاصل در ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵

سنجش میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی
 صد میلی گرم از نمونه در ۳ میلی لیتر محلول ۱۰٪
 (حجم/ وزن) تری کلرواستیک اسید عصاره گیری شد.
 سپس، نمونه‌ها با ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲۰
 دقیقه سانتریفیوژ شد. به ۱ میلی لیتر از بخش شناور
 حاصل، ۱ میلی لیتر تیوباربیتوریک اسید ۰/۵٪ افزوده
 شد و به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب ۱۰۰ درجه
 سانتی گراد قرار گرفت. پس از سرد شدن لوله‌ها، جذب
 آن‌ها در طول موج‌های ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر تعیین شد.
 میزان مالون دی‌آلدهید به عنوان محصول نهایی
 پراکسیداسیون لیپیدهای غشا با استفاده از ضریب ثابت
 $\epsilon = 155 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ با استفاده از اسپکتروفتومتر
 (Cintra6, GBC, Australia) محاسبه شد [۲۲].

آنالیزهای آماری

در این پژوهش، بررسی سه گروه تکراری و طرح
 کاملاً تصادفی صورت گرفت. رسم نمودارها با کمک
 نرم‌افزار Excle 2007 و آنالیزهای آماری با کمک
 برنامه آماری SPSS (version 16) انجام شد. بررسی
 معنی‌دار بودن داده‌ها با کمک آزمون LSD و در سطح
 $P \leq 0/05$ صورت گرفت.

نتایج

نتایج طیف‌سنجی رامان و FTIR

نتایج حاصل از طیف‌سنجی FTIR (شکل ۱) نشان
 داد که شدت پیک‌های جذبی آب مغناطیده افزایش
 یافت، ولی مکان یا فرکانس آنها تغییری نکرد. این
 افزایش شدت میزان جذب در این طول موج، نمایانگر
 افزایش درجه‌ی آزادی پیوندهای هیدروژنی است.
 افزایش درجه‌ی آزادی می‌تواند میزان کشش سطحی
 را کاهش دهد و نیز میزان حلالیت را بالا ببرد. با

سائیده و عصاره حاصل در ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه به
 مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. محلول رویی پس از
 صاف شدن به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی قرار گرفت.
 جذب این ماده در طول موج ۵۵۰ نانومتر انجام شد.
 برای محاسبه غلظت آنتوسیانین‌ها از ضریب خاموشی
 $33000 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ استفاده شد. غلظت آنتوسیانین
 براساس میلی مول بر گرم وزن تر نمونه بیان شد [۱۹].

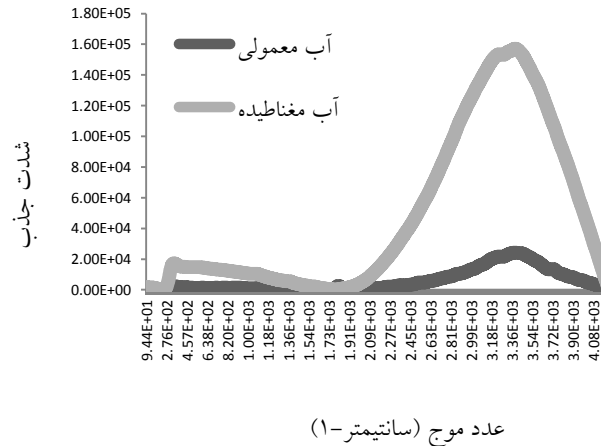
اندازه‌گیری فلاونوئید کل

برای سنجش این پارامتر ۰/۱ گرم نمونه‌های برگی
 را برداشته و در ۱۰ میلی لیتر اتانول اسیدی (که شامل
 الکل اتیلیک و اسید استیک به نسبت ۹۹ به ۱ بود)
 خوب ساییده و سپس عصاره در ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه
 به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. محلول بالای به
 مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب گرم با دمای ۸۰ درجه
 سانتی‌گراد حرارت داده شد. پس از سرد شدن، میزان
 جذب آن در طول موج ۵۵۰ نانومتر قرائت شد. میزان
 فلاونوئید با ضریب خاموشی معادل $33000 \text{ cm}^{-1} \text{ M}^{-1}$
 محاسبه شد [۲۰].

سنجش ترکیبات فنلی محلول

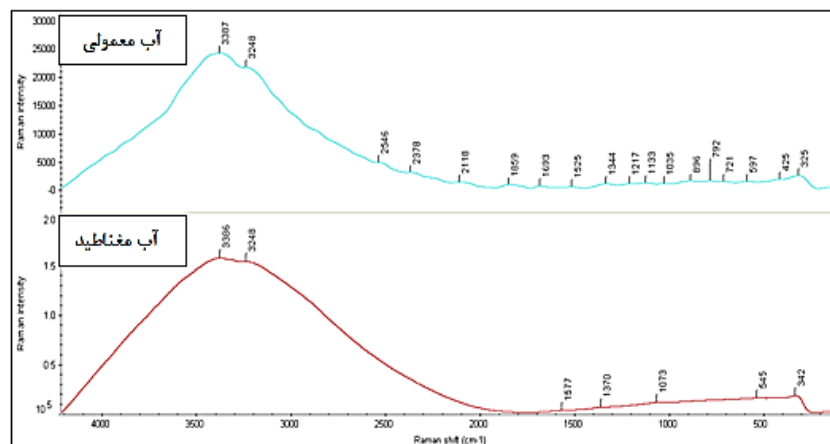
به ۰/۵ میلی لیتر از عصاره‌های متانولی گیاهان ۰/۵
 میلی لیتر معرف فولین ۰/۱ مولار اضافه و بعد از ۵
 دقیقه یک میلی لیتر سدیم کربنات ۲۰ درصد نیز به آن
 اضافه و ۱۰ دقیقه در دمای اتاق قرار گرفت. بعد از این
 مرحله، محلول حاصل به مدت ۸ دقیقه و با ۱۲۰۰۰
 دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. میزان ترکیبات فنلی با
 قرائت جذب در طول موج ۷۳۰ نانومتر و براساس
 منحنی استاندارد از گالیک اسید در غلظت‌های ۰،
 ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر تعیین شد
 [۲۱].

بررسی طیف رامان آب مغناطیده و آب معمولی دیده نشد (شکل ۲). تفاوت معنی‌داری در شدت جذب و فرکانس پیک‌ها



عدد موج (سانتیمتر-۱)

شکل (۱) - مقایسه میزان شدت جذب آب مغناطیده و آب معمولی در IR



شکل (۲) - طیف رامان گرفته شده از آب مغناطیده و آب معمولی

بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب

بررسی ویژگی‌های آب قبل و بعد از مغناطیده شدن (جدول ۱) نشان داد که محتوی کلسیم و گچ محلول در آب مغناطیده نسبت به آب معمولی به ترتیب ۱۲/۵٪ و ۱۳/۴٪ کاهش یافت. هم‌چنین همان‌گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، سختی کلسیم و سختی کل آب مغناطیده نیز در مقایسه با آب معمولی کاهش

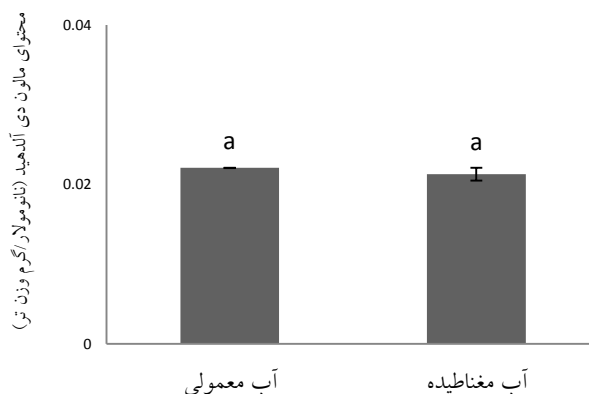
یافته‌است. در سایر ویژگی‌ها از جمله pH و هدایت الکتریکی (EC) تفاوت چشم‌گیری بین دو نمونه آب دیده نشد.

سنجش میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشا

پراکسیداسیون لیپید توسط تشکیل مالون دی‌الدهید (MDA)، (محصول نهایی پراکسیداسیون لیپید غشا)

سنجش میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان در شکل ۴ تأثیر تیمار آب مغناطیده بر فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان در اندام هوایی دانه رست‌های ذرت را نشان می‌دهد

مشخص می‌شود که توسط روش (TBA) Thiobarbituric acid تخمین زده شد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که تیمار آب مغناطیسی، اثر تخریبی بر غشای سلول‌های اندام هوایی دانه رست‌های ذرت نداشته است و تفاوت معنی‌داری در میزان MDA در مقایسه با نمونه‌ی شاهد دیده نشد (شکل ۳).



شکل ۳- محتوای مالون دی آلدئید (MDA) در دانه رست‌های ذرت. داده‌ها میانگین ۳ تکرار هستند. در هر گروه حروف غیر یکسان نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح $p \leq 0.05$ است.

جدول (۱) - آنالیز شیمیایی آب قبل و بعد از عبور از میدان مغناطیسی*

هدایت الکتریکی (ds/m)	PH	کربنات CO_3 (me/L)	بیکربنات HCO_3 (me/L)	کلر CL (me/L)	سولفات SO_4 (me/L)	کلسیم Ca (me/L)	منیزیم Mg (me/L)	سدیم Na (me/L)
آب مغناطیده	۱/۸	ندارد	۲/۲	۲/۱	۶/۰	۴/۱	۸/۰	۶۲/۰
آب معمولی	۱/۸	ندارد	۲۵/۲	۱/۱	۸/۰	۶/۱	۸/۰	۶۳/۰

نسبت جذب سدیم	نیترات	بورون	گچ	آهک	سختی کلسیم	سختی منیزیم	سختی کل	قلیائیت کل
(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
آب مغناطیده	۵۹/۰	۰/۸۰	۱۲۰/۴	۷۰	۷۰	۴۰	۱۱۰	۱۶۱
آب معمولی	۵۷۷/۰	۰/۵۵	۱۳۹	۴۰	۸۰	۴۰	۱۲۰	۱۶۴

* داده‌ها میانگین سه تکرار است. به سبب محدودیت در اندازه جدول، انحراف معیار نشان داده نشده است اما در تمامی موارد انحراف معیار کم‌تر از نیم درصد میانگین است.

جذب داشته باشد، باید با ارتعاش دادن مولکول تغییری در گشتاور قطبی آن پدید آید. به عکس در طیف‌سنجی رامان ارتعاش‌های مورد بررسی بسیار متقارن هستند و در نتیجه در گشتاور قطبی در کل، تغییر اندکی ایجاد می‌شود. به جای آن معیار انتخاب برای جذب رامان تغییر در قطبیت‌پذیری مولکولی است. با توجه به این نکته، در مولکولی که یک مرکز تقارن دارد ارتعاش‌های آن حول این مرکز تقارن است و در رامان فعال و در زیرقرمز غیرفعال خواهد بود. این موضوع استفاده مضاعف دارد. بدین معنی که دو نوع طیف مکمل یکدیگر هستند [۲۵]. با توجه به این مطالب، به نظر می‌رسد که میدان مغناطیسی با تأثیر بر نوع ارتعاش‌های مولکولی آب باعث تغییر در برخی خواص فیزیکی آن می‌شود. با توجه به نتایج حاصل از طیف‌سنجی FTIR در این تحقیق، نشان می‌دهد که احتمالاً میدان مغناطیسی با افزایش درجه‌ی آزادی پیوندهای هیدروژنی سبب کاهش کشش سطحی شده‌است، در نتیجه میزان حلالیت آب افزایش می‌یابد. امروزه به کارگیری میدان‌های مغناطیسی برای بهبود سختی آب به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک کاربرد فراوانی دارد. در این روش، یک میدان مغناطیسی مناسب، سبب تغییر کنفورماسیون در مولکول‌های آب و بار الکتریکی آن می‌شود، درحالی که چیزی به آب اضافه نمی‌شود [۲۶]. یکی از عوامل سختی آب وجود یون‌ها و املاح رسوب‌گذار در آن، همانند کربنات کلسیم (CaCO_3) است. کلسیتوآرگونیت دوشکل طبیعی از کربنات کلسیم هستند. کلسیت معمولاً با تشکیل جرم سخت همراه است و رسوبی سخت و پیچیده به جا می‌گذارد. درحالی که آرگونیت کم‌تر تشکیل رسوب می‌دهد و در متداول‌ترین فرم خود نرم و غیرچسبنده است [۲۷، ۲۸]. در آب مغناطیده

همان طور که مشاهده می‌شود فعالیت آنزیم‌های کاتالاز (شکل ۴، A) و آسکوربات پراکسیداز (شکل ۴، B) در گروه تحت تیمار آب مغناطیده نسبت به گروه کنترل به طور معنی‌داری افزایش یافت، ولی میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز (شکل ۴، C) و سوپر اکسید دسموتاز (شکل ۴، D) تغییرات چشم‌گیری نداشت.

میزان آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی

محتوای آنتوسیانین کل

در مقایسه با گروه کنترل محتوای آنتوسیانین‌ها در گیاهان آبیاری شده با آب مغناطیده به طور قابل توجهی افزایش یافت (شکل ۵).

محتوای فلاونوئید کل

میزان فلاونوئیدها در گیاهان آبیاری شده با آب مغناطیسی در مقایسه با گروه کنترل تغییرات چندانی نداشت (شکل ۶).

میزان فنل کل

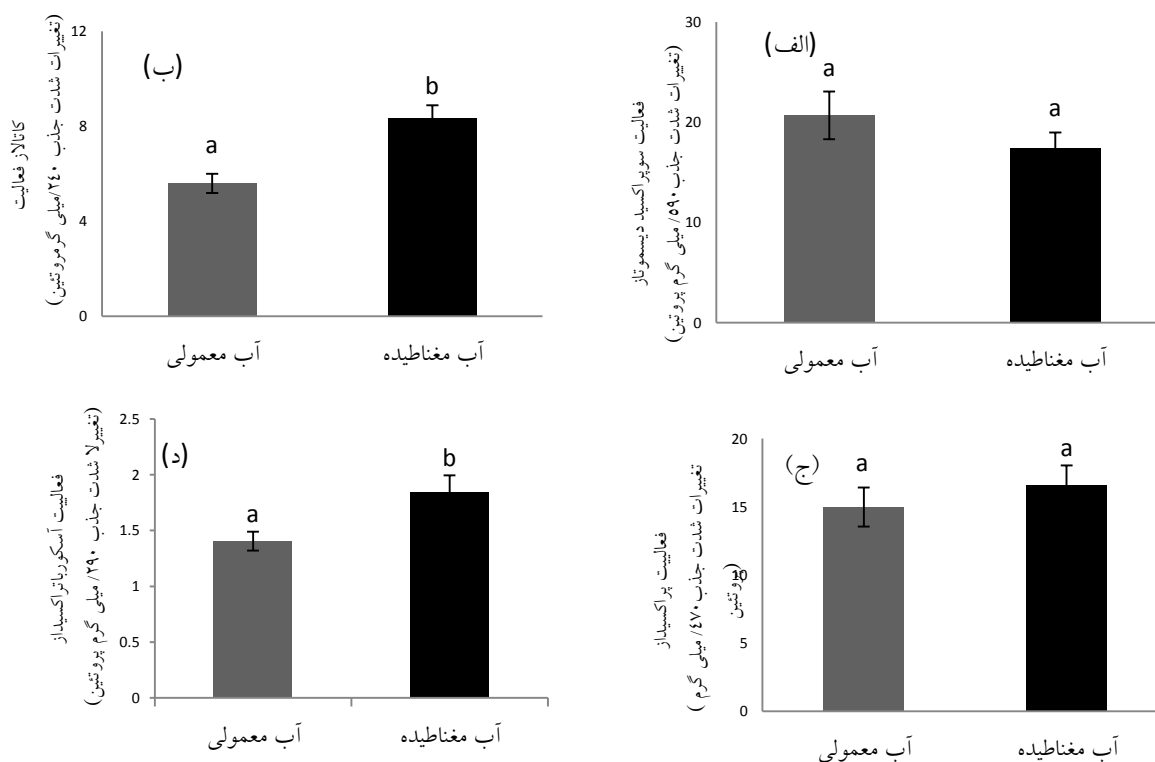
مطابق شکل ۷ در مقایسه با گروه کنترل که با آب معمولی آبیاری شدند، آبیاری با آب مغناطیده اثری بر محتوای فنل کل در دانه رست‌های ذرت نداشت.

بحث

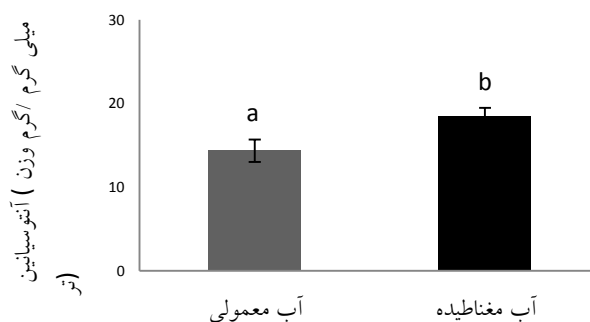
طیف جذبی آب بسیار پیچیده است. مولکول آب اشکال مختلف جنبشی دارد. برای مثال، در فاز گازی این حرکت‌ها شامل حرکات ارتعاشی متقارن (ν_1)، نامتقارن (ν_3) و خمیدگی (ν_2) باندهای کووالانسی است. این در حالی است که در فاز مایع این چرخش‌ها تا حدودی مغلوب باندهای هیدروژنی می‌شوند [۲۳، ۲۴]. برای اینکه یک مولکول در IR

نیز این فرضیه را تأیید می‌کند، به طوری که آبیاری مزرعه با آب مغناطیسی سبب کاهش قابل ملاحظه‌ای در سختی آب شد. هم‌چنین استفاده از آب مغناطیسه نیز اثر چشم‌گیری بر فاکتورهای رشدی، تولید محصول و ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاهان آبیاری شده با آن داشت.

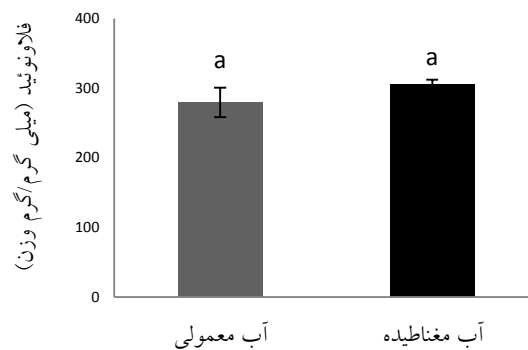
فرم آرگونیت بیشتر از کلسیت است و عبور آب از میدان مغناطیسی سبب تبدیل کمپلکس کلسیت به آرگونیت می‌شود [۲۹، ۳۰]. بنابراین، تیمار مغناطیسی سختی آب را کاهش می‌دهد و مانع از تشکیل رسوب بی‌کربنات‌ها در سطح خاک و روی ریشه شود و ازین طریق آبیاری با آب مغناطیسه می‌تواند راندمان آب و خاک را افزایش دهد [۳۱]. نتایج حاصل از این تحقیق



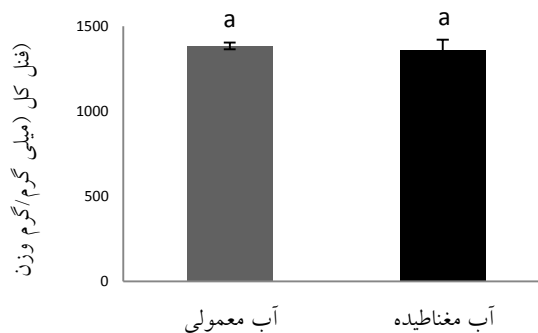
شکل (۴) - مقایسه فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در اندام هوایی دانه رست‌های ذرت، الف) میزان فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز، ب) میزان فعالیت آنزیم کاتالاز، ج) میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز و د) میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز. داده‌ها میانگین ۳ تکرار هستند. در هر گروه حروف غیر یکسان نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح $p \leq 0.05$ است.



شکل (۵) - محتوای آنتوسیانین کل در دانه رست‌های ذرت. داده‌ها میانگین ۳ تکرار هستند. در هر گروه حروف غیر یکسان نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح $p \leq 0.05$ است.



شکل (۶) - محتوای فلاونوئید کل در دانه رست‌های ذرت. داده‌ها میانگین ۳ تکرار هستند. در هر گروه حروف غیر یکسان نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح $p \leq 0.05$ است.



شکل (۷) - میزان فنل کل در دانه رست‌های ذرت آبیاری شده با آب مغناطیده. داده‌ها میانگین ۳ تکرار هستند. در هر گروه حروف غیر یکسان نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح $p \leq 0.05$ است.

شدن غشا سلولی مالون دی آلدئید است. سطح MDA می‌تواند درجه‌ی آسیب اکسیداتیو به غشای زیستی را تا اندازه‌ای نشان دهد. بدین منظور، سلول‌ها از طریق سازوکارهای آنزیمی یا غیرآنزیمی رادیکال‌ها را حذف کرده و یا اثر مخرب آن‌ها را کاهش می‌دهند. مهم‌ترین آنزیم‌های مؤثر در این فرایند عبارتند از: اسکوربات پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، پراکسیداز [۳۳]. یکی از مکانیسم‌های اصلی مقابله با رادیکال‌های آزاد افزایش فعالیت آنزیم SOD است که با کاتالیز و دیسموته کردن آنیون‌های سوپراکسید به اکسیژن و هیدروژن پراکسید، آسیب را به حداقل می‌رساند. اما از سوی دیگر، افزایش فعالیت SOD منجر به افزایش

یکی از فرضیه‌های مؤثر در بیان اثر احتمالی میدان‌های مغناطیسی تولید رادیکال‌های آزاد هنگام قرارگرفتن در معرض میدان مغناطیسی است. این رادیکال‌ها می‌توانند نقش دوگانه‌ای داشته باشند. به طوری که از یک طرف باعث تخریب در سلول شده و از طرف دیگر خود به عنوان مولکول علامت، باعث به راه افتادن مکانیسم‌های دفاعی در سلول شود [۳۲]. در واقع در شرایط تنش رادیکال‌های آزاد فاکتور اصلی بروز پراکسیداسیون، غشای سلولی است و در شرایط معمولی پراکسیداسیون غشای سلولی یک فرآیند متابولیکی است. پراکسید شدن غشا نتیجه‌ی احتمالی پاسخ سریع به تنش است. یکی از محصولات پراکسید

می‌توان در مورد کاربرد آب مغناطیده برای آبیاری گیاهان این طور نتیجه گرفت که آبیاری با آب مغناطیده به علت افزایش حلالیت، از یک سو با تأثیر بر املاح محلول در خاک و افزایش جذب این املاح توسط گیاه و از سوی دیگر با افزایش فعالیت سیستم‌های آنتی‌اکسیدان که خود می‌تواند معیاری از رشد تلقی شود، منجر به بهبود ویژگی‌های رشد گیاهی می‌شود. با توجه به اینکه برخی از دانشمندان معتقدند که قرن حاضر، عصر کاربرد روش‌های بیوفیزیک و تأثیر عوامل فیزیکی روی موجودات زنده خواهد بود، این نتایج، محققان را امیدوار می‌سازد که بتوانند با استفاده از روش‌های فیزیکی و بدون دست‌کاری ژنتیکی در گیاهان باعث بهبود رشد و افزایش تولید محصول شوند. گرچه در مورد اثر آب مغناطیده بر سلول‌های گیاهی، به دلیل پیچیدگی سیستم‌های گیاهی و انعطاف پذیری آن‌ها در مقابل تغییر فاکتورهای محیطی نمی‌توان هنوز اظهار نظر قطعی کرد. با این وجود، از دیدگاه کشاورزی و اقتصادی، استفاده از آب مغناطیده می‌تواند مفید باشد به طوری که می‌تواند جایگزینی برای کودها و مکمل‌های شیمیایی قرار گیرد. بدین صورت، میزان سموم را در مواد خام گیاهی کاهش داده و باعث افزایش سلامت غذا و بهداشت محیط شود.

منابع

- [1] Balouchi H R., Sanavy A. 2009, MElectromagnetic field impacton annual medics and dodder seed germination. *IntAgrophys*, 23: 111-115.
- [2] Belyavskaya N A. 2004, Biological effects due to weak magnetic field on plants. *Adv space Res*, 1566-1574.
- [3] Aladjadjiyan A. 2007, The use of physical methods for plant growing stimulation in Bulgaria. *J Central EurAgric*, 8: 369-380.

تولید می‌شود. در پی آن، رادیکال هیدروکسیل (OH°) را طی واکنش هابر و وایس تولید می‌کند. جاروب کردن و سم‌زدایی H_2O_2 تولید شده توسط SOD می‌تواند با آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی مثل کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز کامل شود.

نتایج مطالعات، اثر میدان‌های مغناطیسی را بر تغییر فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدان در سطح آنزیمی و غیرآنزیمی نشان داده‌است. به عنوان مثال، در سطح آنزیمی مشخص شده که میدان مغناطیسی منجر به افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پلی فنل اکسیداز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز می‌شود [۳۴]. در تحقیق دیگری نشان داده شده که کاربرد میدان مغناطیسی، سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت از جمله CAT، SOD و APX در برگ‌های گیاه موسیر می‌شود [۳۵]. در این تحقیق، برای اولین بار، اثر آبیاری با آب مغناطیده بر فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدان در گیاه ذرت مورد ارزیابی قرار گرفته‌است. در مرحله دانه رست، به نظر می‌رسد که آب مغناطیسی باعث ایجاد تنش اکسیداتیو و تولید H_2O_2 شده که H_2O_2 تولید شده توسط آنزیم‌های CAT و APX و نیز افزایش بیوستز آنتوسیانین به عنوان یک آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی، جمع شده‌است. به طوری که غشا تمامیت خود را به دلیل عدم تغییر پراکسیداسیون لیپیدهایش حفظ کرده‌است. افزایش فعالیت این دو آنزیم همراه با عدم تغییر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز که خود سبب تولید هیدروژن پراکسید می‌شود سبب ممانعت از آسیب رسیدن به غشا و کاهش پراکسیداسیون لیپیدهای آن شد. عدم افزایش آنزیم پراکسیداز نیز با حفظ انعطاف پذیری دیواره‌ها سبب حفظ توان رشد در سلول‌های گیاهان تیمار شده با آب مغناطیده شد. بنابراین، به طور کلی

- [4] Montagnier L., Aïssa J., Ferris S., Montagnier J -L., Lavallée C. 2009, Electromagnetic signals are produced by aqueous nanostructures derived from bacterial DNA sequences. *Inter discip Sci Comput Life Sci*, 1: 81-90.
- [5] Taiz L., Zeiger E. 2002, *Plant physiology*, 3rd edn, Sinauer Associates, Sunderland, Mass.
- [6] Ohata R., Tomita N., Ikada Y. 2004, Effect of a static magnetic field on ion transport in a cellulose membrane. *J Colloid InterfSci*, 270: 413-416.
- [7] Bour P. 2002, Cluster model of liquid water and its IR spectroscopic response. *Chem Phys Lett*, 365: 82-88.
- [8] Ji A C., Xie X C., Liu W M. 2007, Quantum magnetic dynamics of polarized light in arrays of microcavities. *Phys Rev Lett*, 99: 183602-183605.
- [9] Li Z. D., Li Q. Y., Li L. 2007, Soliton solution for the spin current in ferromagnetic nanowire. *Phys Rev E*, 76: 026605-026610.
- [10] Chang K. T., Weng C. I. 2006, The effect of an external magnetic field on the structure of liquid water using molecular dynamics simulation. *J Appl Phys*, 100: 043917-043922.
- [11] Toledo E. J. L., Ramalho T. C. 2008, Magriotis Z. M., Influence of magnetic field on physical-chemical properties of the liquid water. insights from experimental and theoretical models *J MolStruct*, 888: 409-425.
- [12] Tian WX. Kuang YL., Mei ZP. 1991, Effect of magnetic water on seed germination, seedling growth and grain yeild of rice. *Field Crop Abstracts*.
- [13] Hozayn M., Abdul Qados A. M. S. 2010, Magnetic water application for improving wheat (*Triticumaestivum L.*) crop production. *AgricBiol J N Am*, 1: 677-682.
- [14] Hozayn M., Abdul Qados A. M. S. 2010, Irrigation with magnetized water enhances growthchemical constituent and yield of chickpea (*Cicer arietinum L.*). *Agric Biol J N Am*, 1: 671-676.
- [15] Banu M. N. A., Hoque A. 2009, Watanabe-Sugimoto M., Matsuoka K., Nakamura Y., Shimoishi Y., Murata Y., Proline and glycinebetaine induce antioxidant defense gene ex p resion and suppress cell death in cultured tobacco cells under salt stress. *J Plant Physiol*, 166: 146-156.
- [16] Lee, C., 2013. *Corn Growth Stages*. Special Report No. 48; Iowa State. Http: //maize. Agron. Iastate. Edu/cornngrows. Html.
- [17] Sahebamei H., Abdolmaleki P., Ghanati F. 2007, Effects of magnetic field on the antioxidant enzyme activities of suspension cultured tobacco cells. *Bioelectromagnetics*, 28: 42-47.
- [18] Abdolmaleki P., Ghanati F., Sahebamei H., Sabet Sarvestani A. 2007, Peroxidase activity, lignifications and promotion of cell death in tobacco cells exposed to static magnetic field. *Environmentalist*, 27: 435-440.
- [19] Masukasu H., Karin O., Kyoto H. 2003, Enhancement of anthocyanin biosynthesis by sugar in radish (*Raphanussativus*) hypocotyls. *Plant Sci*, 164: 259-265.
- [20] Krizek D. T., Kramer G. F. 1993, Upadyaya A., Mirecki R. M., UV-B response of cucumber seedling grown under metal halide and high pressure sodium/deluxe lamps. *Physiol Plant*, 88: 350-358.
- [21] Bemani E., Ghanati F., Rezaei A., Jamshidi M. 2013, Effect of phenylalanine on Taxol production and antioxidant activity of extracts of suspension-cultured hazel (*Corylusavellana L.*) cells. *J Nat Med*, 67:446-451.
- [22] Hajnoruzi A., Vaezzadeha M., Ghanati F., Jamnezhad H., Nahidian B. 2011, Growth promotion and a decrease of oxidative stress in maize seedlings by a combination of geomagnetic and weak electromagnetic fields. *J of Plant Physiology*, 168: 1123-1128.
- [23] Lemus R. 2004, Vibrational excitations in H₂O in the framework of a local model. *J. Mol. Spectrosc*, 225: 73-92.
- [24] Janca A., Tereszchuk K., Bernath P. F., Zobov N. F., Shirin S. V., Polyansky O. L., Tennyson J. 2003, Emission spectrum of hot HDO below 4000 cm⁻¹. *J. Mol, Spectrosc*, 219: 132-135.
- [25] Kawamoto T., Ochiai S., Kagi H. 2004, Changes in the structure of water deduced from the pressure dependence of the Raman OH frequency. *J. Chem, Phys*, 120: 5867-5870.

- [26] Ashrafi S. F., Behzad M., Naseri A., Ghafarian Malmiri H. 2012, The study of improvement of dispersive soil using Magnetic field. *J Struct Engin Geotech*, 2: 49-54.
- [27] McMahon C. 2009, Investigation of the quality of water treated by magnetic fields. University of Southern Queensland Faculty of Engineering and Surveying, Undergraduate thesis.
- [28] Gryta M. 2011, The influence of magnetic water treatment on CaCO₃ scale formation in membrane distillation process. *Sep and Purif Technol*, 80: 293-299.
- [29] Coey J. M. D., Cass S. 2000, Magnetic water treatment. *Magn Magn Mater*, 209: 71-74.
- [30] Liburkin V. G., Kondratev B. S., Pavlyukova T. S. 1986, Action of magnetic treatment of water on structure formation of gypsum. *Glass Ceram*, 1: 101-105.
- [31] Nasher S. H. 2008, The effect of magnetic water on growth of Chick-Pea seeds. *Eng Tech*, 26.
- [32] Ghanati F., Abdolmaleki P., Vaezzadeh M., Rajabbeigi, E., Yazdani M. 2007, Application of magnetic field and iron in order to change medicinal products of *Ocimumbasilicum*. *Environmentalist*, 27: 429-434.
- [33] Sinha S., Saxena R. 2006, Effect of iron on lipid peroxidation, and enzymatic and non-enzymatic antioxidants and bacoside-A content in medicinal plant *Bacopamonneri* L. *Chemosphere*, 62:1340-1350.
- [34] Pandolfini T., Gabbriellir R., Comparing C. 1992, Nickel toxicity and peroxidase activity in seedlings of *Triticumaestivum* L. *Plant Cell & Environ*, 15(6) 719-725.
- [35] Turgay Cakmak, Zeynep E. Cakmak, Rahmi Dumlupinar, Turgay Tekinay. 2012, Analysis of apoplastic and symplastic antioxidant system in shallot leaves: Impacts of weak static electric and magnetic field. *J Plant Physiol*, 1066-1073.

