بررسی اثرات استفاده از آب شور مغناطیسی بر خصوصیات شیمیایی و نفوذپذیری خاک و رشد و عملکرد درختان پسته

ناصر صداقتی[۱*]، سید جواد حسینی‌فرد و محمدرضا نیکویی دستجردی

استادیار پژوهش، پژوهشکده پسته، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رفسنجان، ایران.
nsedaghati2010@gmail.com

استادیار پژوهش، پژوهشکده پسته، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رفسنجان، ایران.
hosseinifard@gmail.com

کارشناس ارشد باغبانی، پژوهشکده پسته، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رفسنجان، ایران.
nikouei2008@yahoo.com

چکیده

برداشت بی‌رویه از منابع آب کشاورزی در استان کرمان، باعث شده تا سطح آب زیرزمینی در این مناطق سالانه به‌طور متوسط حدود یک متر افت داشته باشد. افت سطح آب‌های زیرزمینی علاوه بر کاهش منابع آبی، شورشدن تدریجی آن‌ها را نیز سبب شده است. بنابراین، باید با انجام پژوهش‌های کاربردی علاوه بر افزایش بهره‌وری مصرف آب، به‌دنبال راهکارهای جدیدی در راستای استفاده از آب‌های شور بود. براین اساس، پژوهشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد که شامل دو نوع آب آبیاری (آب‌شور معمولی و مغناطیسی با شوری ۱۸/۷ dS/m) و دو میزان آب آبیاری (۸۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی درخت پسته) بود. تیمارها با یک تیمار مخلوط آب‌شور و شیرین به عنوان شاهد (با شوری ۶/۵ dS/m) مقایسه شد. دور آبیاری هر ۳۰ روز یک‌بار (منطبق با دور آبیاری قطعه آزمایشی قبل از انجام پژوهش)، در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که بین میانگین صفات رویشی و کمی و کیفی محصول در تیمارهای مختلف آب‌شور در هر دو حالت آب مغناطیسی و معمولی، در اغلب موارد تفاوت معنی‌داری (P<0.05) وجود نداشت. در موارد خاصی هم که تفاوت معنی‌دار شد، روند مشخصی مشاهده نشد. از سویی، تیمار مخلوط آب‌شور و شیرین (شاهد)، نسبت به تیمارهای آب‌شور معمولی و مغناطیسی، در تمام موارد وضعیت بهتری داشت و این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار (P<0.05) بود. درمجموع، استفاده از آب‌شور در هردو حالت معمولی و مغناطیسی، نسبت به تیمار شاهد، باعث کاهشی در حدود ۲۰ سانتی‌متر مربع در سطح برگ، کاهش ۱۰ درصدی تشکیل جوانه زایشی، کاهش رشد طولی و قطری شاخه‌ها به‌ترتیب به‌میزان پنج سانتی‌متر و ۱/۵ میلی‌متر، کاهش ۰/۵ کیلوگرم پسته خشک در هر درخت، افزایش هفت درصد پوکی، کاهش ۱۰ درصدی خندانی و افزایش ۱/۵ واحدی در انس پسته شد. ضمن این‌که استفاده از آب شور باعث کاهش ۱۲۰ گرمی میزان محصول خشک تولیدی به ازای هر مترمکعب آب مصرفی (بهره‌وری مصرف آب) شد. مغناطیسی‌کردن آب هیچ‌گونه تأثیری بر بهبود وضعیت شیمیایی خاک ازنظر شوری و نسبت جذبی سدیم نداشت. در تمام تیمارهای آب‌شور در هر دو حالت آب معمولی و مغناطیسی، سرعت نفوذ نهایی آب در خاک در انتهای سال دوم آزمایش، تا ۳۱/۶ درصد کاهش یافت، درحالی‌که در تیمار شاهد تغییری نکرد. کاهش نفوذپذیری در تیمارهای آب‌شور با میزان آب مصرفی ۱۰۰ درصد نیاز آبی نسبت به تیمارهای با میزان آب ۸۵ درصد، شدیدتر بود. به نظر می‌رسد با افزایش میزان آب آبیاری، سدیم بیشتری وارد خاک شده و نهایتاً سرعت نفوذ بیشتر کاهش‌یافته است. این نتایج نشان داد که دستگاه‌های مغناطیسی‌کننده آب مورد استفاده در این پژوهش هیچ‌گونه تأثیر مثبتی در کاهش اثرات منفی آب‌شور بر درختان پسته و خاک نداشتند. چنین به نظر می رسد که اثر آب مغناطیسی بر گیاهان چندساله، نیاز به بررسی‌های طولانی‌تر (۵ تا ۱۰ ساله) داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: سرعت نفوذ نهایی، شوری، کارایی مصرف آب.

---

۱ – آدرس نویسنده مسئول: رفسنجان، گروه تحقیقات فنآوری و مدیریت تولید پژوهشکده پسته.

* – دریافت: خرداد ۱۳۹٦ و پذیرش: شهریور ۱۳۹٦

مقدمه

در حال حاضر، آب شیرین به‌عنوان یک کالای اقتصادی، نقش اساسی در تولیدات کشاورزی، صنعتی و تامین نیازهای بهداشتی و شرب در سطح جهان ایفاء می‌کند. در بخش کشاورزی به‌عنوان محور توسعه، سرمایه‌گذاری-های معتنابهی به کار گرفته‌شده تا تمامی پتانسیل منابع آب قابل استحصال کشور در چرخه تولید وارد شود و در این راستا مدیریت موثر عرضه و تقاضا و مصرف آب برای افزایش بهره‌وری از این منابع قابل‌دسترس، نقش کلیدی خواهد داشت. بخش کشاورزی به لحاظ راندمان آبیاری پایین، به تنهایی بیشتر آب قابل استحصال در کشور را مصرف می‌کند. لذا، ضروری است تا به هر وسیله ممکن، هم راندمان آبیاری در بخش کشاورزی را افزایش داد و هم به دنبال راهکارهایی در راستای استفاده از آب‌های شور و با کیفیت نامناسب، برای آبیاری محصولات کشاورزی بود.

ازجمله راهکارهای مهم در بحث افزایش راندمان آبیاری می‌توان به بهینه‌سازی روش‌های آبیاری سنتی رایج در منطقه و توسعه اصولی سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار اشاره نمود؛ اما با توجه به خشکسالی‌های چند سال اخیر و افت کمی و کیفی منابع آبی در استان کرمان، امکان استفاده از سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار نظیر آبیاری قطره‌ای در تمام شرایط امکان‌پذیر نبوده، بطوریکه شوری‌های بالای آب در این مناطق، استفاده از این سامانه‌ها را محدود می‌کند. آب مغناطیسی یکی از روش‌های نوین است که در سال‌های اخیر در خصوص مزایای آن در زمینه‌های مختلف کشاورزی، صنعت و حتی بهداشتی بحث می‌شود و بعنوان روشی مفید در راستای استفاده از آب‌های شور و نامناسب معرفی می‌شود.

در زمینه تأثیر میدان مغناطیسی آب بر تولید محصول و بهره‌وری آب، برخی از شرکت‌های خدمات کشاورزی و آبیاری، تجربیات صحرایی کسب کرده‌اند که کمتر به‌صورت یک گزارش علمی ثبت‌شده است. برخی مطالعات نشان دادند که در اثر آبیاری با آب مغناطیسی، افزایش در تعداد گل‌ها، زودرسی محصول و افزایش تعداد کل میوه در توت‌فرنگی و گوجه‌فرنگی مشاهده شده است (دانیلوو و همکاران ۱۹۹٤ و اسیتکن و توران ۲۰۰٤). فیضی و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهشی، تأثیر شدت و مدت زمان‌های مختلف میدان مغناطیسی را بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر گندم رقم پیشتاز (*Triticum aestivum L.*)، بررسی نمودند. نتایج نشان داد که میدان مغناطیسی به‌طور معنی‌داری ($P<0.05$) بر متوسط زمان جوانه‌زنی تأثیر داشت. بیشترین سرعت جوانه‌زنی در تیمار مغناطیسی ۱۰۰ میلی‌تسلا و مدت ۲۰ دقیقه به دست آمد به‌طوریکه متوسط زمان جوانه‌زنی نسبت به تیمار شاهد، ٤۳ درصد کاهش داشت. کمترین سرعت جوانه‌زنی نیز مربوط به میدان مغناطیسی ۱۵۰ میلی‌تسلا و در زمان‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه بود. رشد ساقه‌چه نسبت به رشد ریشه‌چه، بیشتر تحت تأثیر میدان مغناطیسی قرار گرفت و به‌طور متوسط طول ساقه‌چه نسبت به تیمار شاهد، ۲۷ درصد افزایش داشت. ضمن اینکه تیمارهای میدان مغناطیسی بر درصد جوانه‌زنی اثر معنی‌داری ($P<0.05$) نداشت. در مطالعه دیگری فیضی و همکاران (۱۳۹۱)، اثر میدان مغناطیسی و خیساندن بذر را بر جوانه‌زنی بذر گوجه‌فرنگی بررسی نمودند. نتایج نشان داد کاربرد میدان مغناطیسی با شدت سه میلی‌تسلا به‌صورت دائم و شدت ۲۵ میلی‌تسلا به مدت پنج دقیقه، بهترین وضعیت را داشته و به ترتیب باعث افزایش طول ریشه‌چه به میزان ۲۹ و ۲۵ درصد نسبت به تیمار شاهد شد.

صحابی و همکاران (۱۳۹۰)، تأثیر شدت و زمان‌های میدان مغناطیسی بر جوانه‌زنی بذر و رشد گیاه‌چه رازیانه را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که درصد جوانه‌زنی تحت تأثیر میدان مغناطیسی قرار نگرفت. کمترین متوسط زمان جوانه‌زنی در تیمارهای با شدت ۱۵ میلی‌تسلا و در زمان‌های ۱۵ و ۲۵ دقیقه به دست آمد که نسبت به تیمار شاهد، به ترتیب ۱۳ و هشت درصد کاهش نشان داد.

بیش‌ترین طول ریشه‌چه نیز در تیمار با شدت ۱۵ میلی‌تسلا و زمان ۲۵ دقیقه به دست آمد که نسبت به تیمار شاهد، ٤٦ درصد افزایش داشت. زنگنه یوسف‌آبادی و همکاران (۱۳۹۱) نیز در تحقیقی تأثیر استفاده از آب مغناطیسی با شدت‌های ٦۵۰۰ و ۸۰۰۰ گوس (٦۵۰ و ۸۰۰ میلی‌تسلا) را بر میزان آبشویی کاتیون‌ها و آنیون‌های خاک شور در شرایط آزمایشگاهی، بررسی نمودند. نتایج نشان داد میزان آبشویی سدیم، پتاسیم، کلر و سولفات در تیمارهای مغناطیسی به‌طور معنی‌داری ($P<0.05$) بیشتر از شاهد بود، ولی تیمارهای مختلف اثر معنی‌داری بر آبشویی منیزیم و بی‌کربنات نداشتند. ضمن اینکه آبشویی کلسیم به‌طور معنی‌داری در تیمارهای مغناطیسی، کمتر از تیمار شاهد بود. در مطالعه دیگری اثر آب مغناطیسی بر شاخص‌های رشد گندم در شرایط شور توسط رنجبر و همکاران (۱۳۹۱) بررسی شد. در این پژوهش، از مگنت ثابت مدل MAG 4000 و بر اساس توصیه شرکت واردکننده آن از کشور روسیه استفاده شد. نتایج نشان داد، برهمکنش شوری و میدان مغناطیسی، تأثیری بر هیچ‌کدام از شاخص‌های رشد گندم نداشت.

قادوس و هوزاین (۲۰۱۰) در مصر، آزمایشی در شرایط گلخانه در طول دو سال زراعی انجام دادند تا تأثیر آبیاری مغناطیسی را بر میزان رشد، کمیت و کیفیت و ترکیبات شیمیایی در گیاه عدس مورد بررسی قرار دهند. نتایج نشان داد که آبیاری با آب مغناطیسی پارامترهای موردنظر را در مقایسه با آبیاری معمولی افزایش داد. به‌طور متوسط در طول دو فصل زراعی، در اثر آبیاری مغناطیسی، به ترتیب افزایش ۲۱/۷۵، ۱۸/۱۸، ۱۵/۰۵ و ۱/۳۷ درصد در ارتفاع بوته، وزن تر و وزن خشک بوته و درصد آبِ گیاه مشاهده شد. همچنین، هوزاین و قادوس (۲۰۱۰b) آزمایش مشابهی را بر روی گندم انجام دادند، نتایج نشان داد آبیاری مغناطیسی، برخی پارامترهای رشد، کمیت و کیفیت و ترکیبات شیمیایی محصول را در مقایسه با آبیاری معمولی افزایش داد. در اثر آبیاری مغناطیسی، تعداد باندهای پروتئینی در گیاه افزایش یافت و افزایش تعداد دانه، میزان کاه و میزان محصول بیولوژیکی هر بوته نسبت به آبیاری با آب معمولی به ترتیب ۳۱/۳۳، ۲٤/۵٦ و ۲۸/۲٤ درصد مشاهده شد. پژوهش مشابه دیگری توسط هوزاین و قادوس (۲۰۱۰a)، با شرایط یادشده بر روی کمیت و کیفیت محصول گیاه نخود صورت گرفت و نتایج نشان داد که آبیاری مغناطیسی تأثیرات معنی‌دار مثبتی ($P<0.05$) بر تمامی پارامترهای موردمطالعه نظیر کاروتنوئید، رنگدانه کل، ایندولِ کل، میزان فنولِ کل و پروفیل پروتئین و میزان تولید محصول نشان داد. در اثر آبیاری مغناطیسی، درصد افزایش تعداد دانه، میزان کاه و میزان محصول بیولوژیکی نسبت به آبیاری با آب معمولی به ترتیب ۳۹/٦٤، ٤۱/۰۳ و ۳۹/۸۵ درصد بود.

اگرچه میدان مغناطیسی بر خواص شیمیایی آب تاثیری نداشته و از این جهت بحث‌های زیادی را درباره تأثیر میدان مغناطیسی مطرح کرده است (لاهورتازامورا و همکاران ۲۰۰۸)، اما در برخی از موارد، بر میزان تولید محصول و بهره‌وری آب تأثیر مثبت داشته است. بنابراین، این احتمال هست که ابهامات در مورد تأثیر میدان مغناطیسی بر خواص فیزیکی و شیمیایی آب و نتایج غیرقابل انتظاری که گاهی در مورد تأثیر میدان مغناطیسی مطرح هست، تنها مربوط به مبحث آبیاری مغناطیسی نباشد، بلکه موضوع اصلی در تأثیر میدان مغناطیسی در کشاورزی، بیشتر به چگونگی مکانیسم جذب آب به‌وسیله انواع گیاهان و محیط خاک بستگی داشته باشد. برخی از پژوهشگران گزارش کرده‌اند که تأثیر میدان مغناطیسی در آب‌هایی با غلظت بیش از ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر و اسیدیته بزرگ‌تر از ۷/۲، بیشتر است (بوگاتین و همکاران ۱۹۹۹)، در زمینه تأثیر میدان مغناطیسی بر روی کاهش رسوبات کربنات کلسیم پژوهش‌های زیادی صورت گرفته است (کوب و همکاران ۲۰۰۱ و کنز و پوهار، ۲۰۰۵، گابریلی و همکاران ۲۰۰۱، علیمی و همکاران ۲۰۰۹) که نتیجه آن‌ها نشان‌دهنده تأثیر میدان مغناطیسی بر کاهش رسوب کربنات کلسیم است. ضمن این‌که نتایج یک تحقیق

آزمایشگاهی نشان داد که وجود ذرات کلوئیدی در کاهش رسوب کربنات کلسیم ضرورتی ندارد (علیمی و همکاران ۲۰۰٦). در پژوهش، دیگری سلطانی و همکاران در سال ۲۰۰۷ اثر نیروی مغناطیسی را بر جوانه‌زنی بذور ریحان و نیز رشد نهال‌های آن‌ها بررسی نمودند. در این پژوهش، دو غلظت نیترات پتاسیم (دو و سه گرم در لیتر) در دو حالت بذور معمولی و نیز بذور مغناطیسی شده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بذور مغناطیسی شده خیلی سریع‌تر جوانه زدند. تعداد بذور جوانه‌زده، طول ریشه‌چه و طول ساقه اولیه نیز نسبت به تیمار شاهد بیشتر بود. همچنین، شروع رشد ریشه‌های جانبی و میزان رشد کلی نهال‌ها نیز، به‌طور معنی‌داری ($P<0.05$) در تیمارهای مغناطیسی‌شده با تیمار شاهد تفاوت داشت.

اگرچه پژوهش‌های صورت‌گرفته، برخی تأثیرات مثبت میدان مغناطیسی بر روی رشد گیاه را نشان می‌دهد، اما هنوز مکانیسم این تأثیرات به‌روشنی مشخص نیست (هوزاین و قادوس، ۲۰۱۰). با توجه به این‌که اغلب پژوهش‌های صورت گرفته در خصوص اثرات آب مغناطیسی در کشاورزی، بیشتر معطوف به گیاهان زراعی و عموماً یک‌ساله بوده و کمتر به اثرات آن روی درختان و گیاهان چندساله پرداخته شده است، در این پژوهش به بررسی کارایی نمونه‌ای از دستگاه‌های مغناطیسی‌کننده آب، به منظور کاهش اثرات منفی استفاده از آب‌های شور در باغ‌های پسته پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به مدت دو سال (۱۳۹۳-۱۳۹۲)، در یک باغ پسته با رقم اکبری و سن تقریبی ۱۲ سال و فاصله کاشت ۱×٦ متر (حدود ١٦٦٧ اصله درخت در هکتار)، در روستای احمدآباد شهرستان انار، اجرا شد. پژوهش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، با پنج تیمار و در سه تکرار اجرا شد (شکل ۱). تیمارها شامل: تیمار آبیاری با آب‌شور معمولی و میزان آب ۱۰۰٪ نیاز آبی (T_1)، تیمار آبیاری با آب‌شور مغناطیسی و میزان آب ۱۰۰٪ نیاز آبی (MT_1)، تیمار آبیاری با آب‌شور معمولی و میزان آب ۸۵٪ نیاز آبی (T_2)، تیمار آبیاری با آب‌شور مغناطیسی و میزان آب ۸۵٪ نیاز آبی (MT_2) و تیمار آبیاری با آب مخلوط شور و شیرین و میزان ۱۰۰٪ نیاز آبی (T_3) بودند که در شکل (۱) نحوه استقرار آن‌ها در بلوک‌های آزمایشی آمده است.

بلوک ۱	T_3	T_1	T_2	MT_2	MT_1
بلوک ۲	MT_1	T_2	MT_2	T_3	T_1
بلوک ۳	T_3	T_1	MT_2	T_2	MT_1

شکل ۱- قالب آماری طرح و نحوه استقرار تیمارها

تیمار مخلوط آب‌شور و شیرین (T_3)، حاصل اختلاط حدود ۲۵ لیتر بر ثانیه آب شیرین و ۱۵ لیتر بر ثانیه آب‌شور مورداستفاده در تیمارهای آب‌شور بود که قبل از اجرای این پروژه به این صورت یعنی با نسبت اختلاط پنج به سه به درختان قطعه آزمایشی داده می‌شد و لذا به‌عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شد. دور آبیاری ۳۰ روز یکبار بر اساس دور آبیاری قطعه آزمایشی قبل از اجرای طرح، در نظر گرفته شد. تعداد دو دستگاه مغناطیسی‌کننده آب از نوع MAG 3000 (شکل ۲) با شار مغناطیسی ۳۰۰۰ گوس (۳۰۰ میلی‌تسلا)، به فاصله ۱/۵ متر، در مسیر خط لوله آبیاری برای تأمین آب مغناطیسی نصب شد. انتخاب نوع دستگاه و تعداد آن بر اساس نتایج تجزیه آب و خاک محل

اجرای پژوهش، به توصیه شرکت وارد کننده آن از کشور روسیه انجام شد.

شکل ۲- نمونه دستگاه مغناطیسی‌کننده آب مورد استفاده در این پژوهش و وضعیت استقرار آن در مسیر جریان آب

میزان آب آبیاری با توجه به نیاز آبی محاسبه‌شده برای درخت پسته در کتاب برآورد آب موردنیاز گیاهان زراعی و باغی (فرشی و همکاران، ۱۳۷٦) به تیمارها داده شد. بر این اساس تیمارهای ۱۰۰ و ۸۵ درصد نیاز آبی، به ترتیب حجم آبی معادل ۷۳۳۰ و ٦۲۳۰ مترمکعب در هکتار در هشت ماه فصل رشد، دریافت کردند.

با توجه به اثرات مطرح‌شده در بررسی منابع برای آب مغناطیسی بر شوری آب و خاک، در انتخاب منبع آب از آب‌های با کیفیت نامتعارف و با شوری‌های بالا استفاده شد. نتایج تجزیه آب‌های مورد استفاده در این پژوهش (آب‌شور و آب مخلوط شور و شیرین) و خاک قطعه آزمایشی، در جدول‌های (۱) و (۲) آمده است. سایر عملیات مدیریت باغی نظیر تغذیه، مبارزه با آفات و بیماری‌ها، دفع علف‌های هرز برای تمام تیمارها به‌طور یکسان و بر اساس عرف باغدار انجام شد.

در انتهای هر فصل رشد، صفات کمی محصول نظیر میزان محصول تر و خشک و صفات کیفی آن مانند درصد پوکی، درصد خندانی و تعداد میوه در یک انس (۲۸/۳۵ گرم) پسته اندازه‌گیری شد. بهره‌وری مصرف آب[1] (WUP) نیز با استفاده از میزان محصول خشک تولیدی و حجم آب آبیاری مصرفی مشخص شد. برای بررسی خصوصیات رویشی و زایشی درختان در تیمارهای مختلف از هر تیمار سه درخت انتخاب‌شده و روی هر درخت در چهار جهت اصلی جغرافیایی چهار شاخه اتیکت‌گذاری شد. از بین صفات رویشی، میزان رشد طولی و قطری شاخه‌ها، سطح برگ، تعداد جوانه‌های تشکیل‌شده، درصد جوانه گل ریزش‌کرده و باقیمانده و درصد جوانه رویشی، اندازه‌گیری شد. میزان رشد طولی شاخه به‌وسیله خط‌کش، میزان قطر وسط و ابتدای شاخه به‌وسیله کولیس تعیین شد. تعداد جوانه‌های گل تشکیل‌شده، تعداد جوانه‌های گل ریزش‌کرده و تعداد جوانه‌های رویشی نیز، روی هر شاخه شمارش شد. این اندازه‌گیری‌ها در فصل زمستان صورت گرفت.

در اواخر خرداد ماه تعداد ۲۰ عدد برگ کامل، بطور تصادفی از هر تیمار برداشت شده و سطح برگ بوسیله دستگاه مساحت سنج مدل ADC Bioscientific LTD اندازه‌گیری شد. برگ‌ها از شاخه‌های بدون بار و از قسمت میانی شاخه رشد کرده در سال جاری برداشت شدند. آب معمولی و آب مغناطیسی پس از نمونه‌برداری مورد تجزیه شیمیایی قرارگرفته و تغییرات احتمالی آن مورد بررسی قرار گرفت. از طریق نمونه‌برداری خاک در وسط سایه‌انداز درختان و در چهار عمق ۳۰-۰، ٦۰-۳۰، ۹۰-٦۰ و ۱۲۰-۹۰ سانتی‌متر و تجزیه آزمایشگاهی آن‌ها در انتهای هر فصل رشد، تغییرات خصوصیات شیمیایی خاک نظیر pH، ECe،

[1] - Water Use Productivity

SAR، آنیون‌ها و کاتیون‌های محلول بررسی شد. برای بررسی و تعیین تغییرات نفوذپذیری خاک در طول فصل، از روش استوانه مضاعف استفاده شد (لای و رن، ۲۰۰۷). اندازه‌گیری نفوذپذیری در انتهای هرسال انجام شد. با رسم منحنی سرعت نفوذ آب در خاک نسبت به زمان، سرعت نهایی نفوذ آب در خاک به دست آمد. زمان گل‌دهی و رسیدگی محصول نیز به‌طور مشاهده‌ای موردبررسی قرار گرفت. درنهایت داده‌های به‌دست آمده با نرم‌افزار آماری MSTATC و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ($P<0.05$) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس دوساله آزمایش به تفکیک شاخص‌های رویشی و کمی و کیفی محصول و همچنین بهره‌وری مصرف آب در جدول‌های (۳) و (٤) ارائه شده‌است.

جدول ۱- نتایج تجزیه آب‌های مورد استفاده در آبیاری قطعات آزمایشی

مشخصات نمونه	هدایت الکتریکی EC (dSm^{-1})	اسیدیته pH	غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها (meq/l)						نسبت جذب سدیم S.A.R.
			کربنات CO_3^{-2}	بیکربنات $CO3H^-$	کلر Cl^-	کلسیم Ca^{+2}	منیزیم Mg^{+2}	سدیم Na^+	
مخلوط آب‌شور و شیرین	۶/۵	۷/۶	–	۱/۰	۶۱/۳	۲۴	۱۵/۵	۲۶/۰	۵/۹
آب‌شور معمولی	۱۸/۷	۷/۶	–	۰/۶	۱۸۶/۳	۵۸	۴۷	۸۰/۳	۱۱/۱
آب‌شور مغناطیسی	۱۸/۵	۷/۷	–	۰/۶	۱۸۷/۲	۵۹/۵	۴۵/۵	۸۵/۸	۱۱/۹

جدول ۲- نتایج تجزیه خاک قطعه آزمایشی قبل از اجرای تحقیق (آبیاری‌شده با آب مخلوط شور و شیرین)

عمق (cm)	هدایت الکتریکی (dSm^{-1})	واکنش گل اشباع pH	نسبت جذب سدیمی SAR	پتاسیم قابل‌جذب (mg/kg)	فسفر قابل‌جذب (mg/kg)	کاتیون‌های محلول (meq/L) کلسیم منیزیم سدیم			درصد رس %Clay	درصد سیلت %Silt	درصد شن %Sand	بافت خاک Texture
						Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+				
۰–۴۰	۶/۴	۷/۹	۷/۹	۴۲۲	۱۲	۱۷/۵	۱۵/۰	۳۱/۷	۱۰	۲۱/۳	۶۸/۷	لومی شنی
۴۰–۸۰	۷/۵	۸/۱	۸/۳	۴۵۲	۱۷	۲۰/۰	۱۸/۵	۳۶/۳	۷	۱۳/۳	۷۹/۷	شنی لومی
۸۰–۱۲۰	۶/۷	۷/۹	۶/۷	۳۸۲	۱۲	۱۶/۵	۲۱/۵	۲۹/۴	۷	۱۱/۳	۸۱/۷	شنی لومی

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های رویشی و زایشی درختان پسته

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات شاخص‌های مورد مطالعه							
		سطح برگ (سانتی‌متر مربع)	تعداد کل جوانه	جوانه رویشی (درصد)	جوانه زایشی (درصد)	جوانه زایشی ریزش‌کرده (درصد)	رشد طولی شاخه سال جاری (سانتی‌متر)	قطر ابتدای شاخه (میلی‌متر)	قطر انتهای شاخه (میلی‌متر)
سال	۱	۲۵۱۶/۸۰۲ **	۱۵/۷۶۹ **	۹۴۱/۶۹۶ **	۵۳۳/۹۹۹ **	۵۷/۳۸۱ ns	۱۲۷۱/۹۲۴ **	۷۷/۳۱۳ **	۶۷/۴۷۰ **
خطا	۴	۳۵/۸۱۲	۰/۴۸۱	۲۲/۱۰۸	۱۰/۷۴۵	۷/۹۳۲	۰/۹۷۲	۰/۱۷۹	۰/۵۸۰
تیمار (نوع آب)	۴	۷۵۷/۸۳۲ **	۴/۸۹۷ **	۱۹/۱۸۸ ns	۱۱۷/۵۱۱ **	۲۱۱/۳۹۷ **	۴۲/۹۱۴ **	۲/۸۱۲ **	۲/۳۷۹ **
تیمار در سال	۴	۴۵/۳۹۷ ns	۱/۶۱۷ ns	۴۴/۶۰۱ **	۱۱۱/۰۴۵ **	۲۱/۷۲۸ ns	۳۴/۹۵۵ **	۰/۴۲۴ ns	۰/۲۶۳ ns
خطای کل	۱۶	۱۴۸/۲۹۷	۰/۹۷۸	۸/۴۳۶	۱۴/۸۹۰	۱۳/۰۷۶	۳/۹۲۸	۰/۱۸۸	۰/۲۹۵
ضریب تغییرات (٪)		۱۱/۴۳	۱۰/۱۵	۸/۶۶	۱۲/۱۶	۱۰/۴۱	۸/۰۹	۴/۵۷	۷/۳۷

*، ** و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪، ۱٪ و عدم معنی‌داری را نشان می‌دهند.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های کمی و کیفی محصول و بهره‌وری مصرف آب درختان پسته

منابع تغییر	درجه آزادی	شاخص‌های مورد مطالعه					
		محصول تر (کیلوگرم بر درخت)	محصول خشک (کیلوگرم بر درخت)	درصد پوکی	درصد خندانی	انس میوه پسته (تعداد در ۲۸/۳ گرم پسته)	بهره‌وری مصرف آب (kg/m^3)
سال	۱	۱۱۱۲۶۴۲۹/۸۵۱ **	۱۰۰۲۷۲۰/۱۸۳ **	۴/۸۱۶ ns	۱۱۰۲/۰۷۲ **	۷/۳۴۱ **	۰/۰۸۲ **
خطا	۴	۷۰۳۳۰/۱۸۲	۳۸۱۴/۵۷۵	۲/۲۶۸	۱۰/۶۹۵	۰/۱۶۹	۰/۰۰۰۰۱
تیمار (نوع آب)	۲	۲۱۰۳۵۵۳/۸۵۴ **	۲۷۱۶۳۶/۳۹۶ **	۵۸/۴۶۵ **	۱۴۴/۴۹۰ **	۷/۶۹۶ **	۰/۰۱۹ **
تیمار در سال	۲	۶۶۲۷۸۸/۲۹۷ **	۱۱۷۹۲۵/۰۷۱ **	۴/۱۳۴ ns	۱۰/۰۳۲ ns	۰/۸۷۲ ns	۰/۰۰۸ **
خطای کل	۸	۱۰۷۲۰۶/۵۸۴	۷۷۷۷/۴۹۲	۴/۴۴۸	۱۲/۲۱۶	۰/۶۶۶	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات (٪)		۲۷/۴۴	۲۴/۵۸	۱۳/۹۵	۴/۲۹	۳/۰۶	۲۵/۴۹

* و ** و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪، ۱٪ و عدم معنی‌داری را نشان می‌دهند.

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات رویشی درختان پسته

تیمار آبیاری	شاخص‌های رویشی مورد مطالعه							
	سطح برگ (cm^2)	تعداد کل جوانه	جوانه ریزش کرده (٪)	جوانه رویشی (٪)	جوانه زایشی (٪)	طول رشد شاخه سال جاری (cm)	قطر ابتدای شاخه (mm)	قطر انتهای شاخه (mm)
MT_1	۱۰۴/۴ b	۹/۵ b	۴۰/۰ a	۳۱/۸ b	۲۸/۲ c	۲۴/۳ b	۹/۳ b	۷/۲ b
T_1	۱۰۳/۰ b	۹/۵ b	۳۷/۱ ab	۳۲/۹ ab	۳۰/۰ bc	۲۴/۴ b	۹/۲ b	۶/۹ b
MT_2	۱۰۰/۱ b	۹/۱ b	۳۶/۷ ab	۳۴/۳ ab	۲۹/۰ bc	۲۲/۸ b	۹/۲ b	۷/۱ b
T_2	۹۸/۸ b	۹/۳ b	۳۵/۴ b	۳۲/۴ b	۳۲/۲ b	۲۲/۱ b	۹/۲ b	۷/۱ b
T_3	۱۲۶/۲ a	۱۱/۳ a	۲۴/۶ c	۳۶/۳ a	۳۹/۲ a	۲۸/۹ a	۱۰/۷ a	۸/۵ a

* در هر ستون، میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند، با یکدیگر اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد ندارند.

جدول ۶- مقایسه میانگین شاخص‌های کمی و کیفی محصول و بهره‌وری مصرف آب درختان پسته

تیمار آبیاری	شاخص‌های موردمطالعه					
	محصول تر (kg/tree)	محصول خشک (kg/tree)	پوکی (٪)	خندانی (٪)	انس میوه پسته (تعداد در ۲۸/۳۵ گرم)	بهره‌وری مصرف آب (kg/m^3)
MT_1	۰/۸۱۰ c*	۰/۲۲۶ c	۱۷/۰ a	۷۸/۵ b	۲۷/۹ a	۰/۰۶۱ b
T_1	۰/۹۳۰ bc	۰/۲۵۷ bc	۱۷/۲ a	۷۸/۵ b	۲۷/۲ ab	۰/۰۷۰ b
MT_2	۰/۹۷۰ b	۰/۲۷۳ b	۱۶/۰ a	۷۹/۵ b	۲۷/۱ ab	۰/۰۸۷ b
T_2	۱/۰۱۳ b	۰/۳۰۲ b	۱۵/۸ a	۸۰/۷ b	۲۶/۵ b	۰/۰۹۷ b
T_3	۲/۲۴۴ a	۰/۷۳۶ a	۹/۶ b	۹۰/۱ a	۲۴/۹ c	۰/۲۰۱ a

* در هر ستون، میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند، با یکدیگر اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد ندارند.

اثر تیمارهای مختلف آب آبیاری بر صفات رویشی درختان پسته

نتایج مقایسه میانگین صفات رویشی اندازه‌گیری‌شده در تیمارهای مختلف آزمایشی در جدول (۵) آمده است. نتایج نشان داد، در تیمارهای آب‌شور، تفاوت معنی‌داری بین اغلب پارامترها در دو حالت آب معمولی و آب مغناطیسی وجود ندارد و تنها تیمار مخلوط آب‌شور و شیرین (T_3)، تقریباً در تمام صفات رویشی اندازه‌گیری شده با دیگر تیمارها اختلاف معنی‌دار و فاحشی داشته و بهترین وضعیت را دارا است. در مواردی هم که تیمارهای آب‌شور با تیمار مخلوط آب‌شور و شیرین اختلاف معنی‌داری نداشتند، روند مشخصی مشاهده نشد، به طوریکه امکان انتخاب بهترین تیمار وجود نداشت و حتی در بعضی از صفات نظیر درصد جوانه گل ریزش‌کرده و زایشی، تیمارهای آب‌شور معمولی نسبت به تیمارهای مشابه خود در حالت آب مغناطیسی وضعیت بهتری داشتند. در مورد تغییر در میزان آب آبیاری هم به نظر می‌رسد با توجه به شوری بالای آب آبیاری، در بعضی از صفات (درصد جوانه ریزش کرده و جوانه زایشی)، تیمارهایی که مقدار آب‌شور کمتری (۸۵ درصد نیاز آبی) دریافت کرده بودند، وضعیت بهتری داشتند. درمجموع، استفاده از آب‌شور در هردو حالت معمولی و مغناطیسی، نسبت به تیمار مخلوط آب‌شور و شیرین (T_3)، باعث کاهشی در حدود ۲۰ سانتی‌متر مربع در سطح برگ، افزایش ۱۰ درصدی جوانه گل ریزش‌کرده (کاهش ۱۰ درصدی جوانه زایشی)، کاهش رشد طولی و قطری شاخه‌ها به ترتیب به میزان ۵ و ۱/۵ میلی‌متر شد.

اثر تیمارهای مختلف آب آبیاری بر صفات کمی و کیفی محصول

در جدول (٦) نتایج مقایسه میانگین شاخص‌های کمی و کیفی محصول و بهره‌وری مصرف آب درختان پسته، در تیمارهای مختلف آزمایشی آمده است. نتایج نشان داد، در مورد این صفات نیز همانند صفات رویشی، تیمار مخلوط آب‌شور و شیرین ($T_۳$)، نسبت به بقیه تیمارها اختلاف معنی‌داری ($P<0.05$) داشته و از وضعیت بسیار مطلوب‌تری برخوردار بود. سایر تیمارها نیز در برخی از صفات نظیر درصد پوکی، خندانی و بهره‌وری مصرف آب با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند و در بقیه صفات (وزن محصول تر و خشک و تعداد دانه در انس پسته) نیز، روند مشخصی مشاهده نشد.

در مورد این صفات نیز مانند صفات رویشی، تیمارهایی که مقدار آب‌شور کمتری (۸۵ درصد نیاز آبی) دریافت کرده بودند ($MT_۲$ و $T_۲$)، نسبت به تیمارهای آب‌شور با میزان آب کاربردی ۱۰۰ درصد نیاز آبی ($MT_۱$ و $T_۱$)، وضعیت بهتری داشتند. درمجموع، در مورد این صفات نیز استفاده از آب‌شور در هردو حالت معمولی و مغناطیسی، نسبت به تیمار مخلوط آب‌شور و شیرین ($T_۳$)، باعث کاهش ۰/۵ کیلوگرم پسته خشک در هر درخت، افزایش هفت درصدی پوکی، کاهش ۱۰ درصدی خندانی و افزایش ۱/۵ واحدی در انس پسته شد. همچنین، اینکه استفاده از آب‌شور باعث کاهش ۱۲۰ گرمی میزان محصول خشک تولیدی به ازای هر مترمکعب آب مصرفی (بهره‌وری مصرف آب) شد. ضمن اینکه بین تیمارهای آب‌شور مغناطیسی و معمولی، هیچ تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. رنجبر و همکاران (۱۳۹۱) نیز که در تحقیق خود روی گیاه گندم از همین نوع مگنت استفاده کرده بودند، نشان دادند که برهمکنش شوری و میدان مغناطیسی، تاثیری بر هیچکدام از شاخص‌های رشد و عملکرد گندم نداشت که منطبق با نتایج این تحقیق است.

اثر تیمارهای مختلف آب آبیاری بر خصوصیات شیمیایی خاک

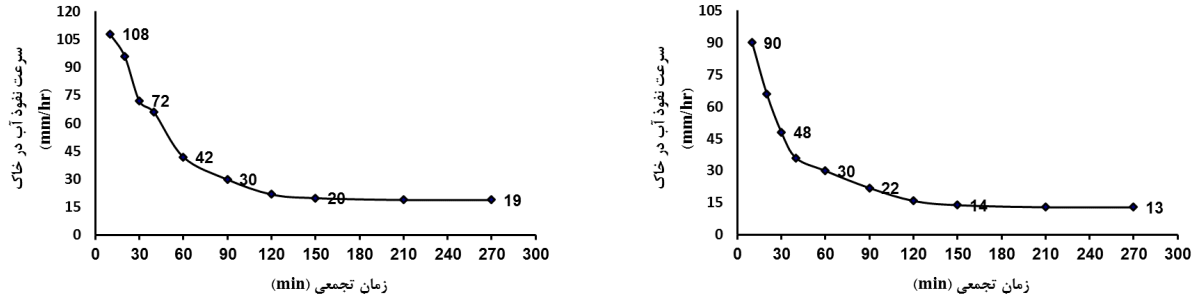
نتایج تجزیه شیمیایی خاک قطعات مختلف آزمایشی در جدول (۷) آمده است. قبل از اجرای پژوهش، در تیمار مخلوط آب‌شور و شیرین ($T_۳$)، میزان شوری و نسبت جذبی سدیم خاک به ترتیب در حدود هفت دسی‌زیمنس بر متر و ۱۰ بود. با انجام آبیاری با آب‌شور، این پارامترها در تیمارهای آزمایشی، به ترتیب به ۱٦/۷ دسی‌زیمنس بر متر و ۱۷/۳ رسید. از سویی، بین مقادیر شوری و نسبت جذب سدیمی خاک در تیمارهای آب‌شور معمولی و مغناطیسی، تفاوتی مشاهده نشد. این نتایج با یافته‌های زنگنه یوسف‌آبادی و همکاران (۱۳۹۱) که کاربرد آب مغناطیسی را باعث افزایش آبشویی نمک‌های سدیم، پتاسیم، کلر و سولفات دانستند، تطابق نداشت.

بین مقادیر آب آبیاری، تفاوت در مقدار شوری و نسبت جذبی سدیم خاک، مشهودتر بود. به‌طوریکه در تیمارهای با میزان آب آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی ($MT_۱$ و $T_۱$)، نسبت به تیمارهای ۸۵ درصد نیاز آبی ($MT_۲$ و $T_۲$)، شوری خاک تا حدود ۲/٦ دسی زیمنس بر متر افزایش یافت. نسبت جذب سدیمی نیز تا ٤/۲ واحد افزایش نشان داد. در مورد سایر پارامترهای اندازه‌گیری شده، تفاوت محسوس و مشخصی بین تیمارها مشاهده نشد. فقط میزان فسفر قابل‌جذب در دو عمق ۳۰-۰ و ٦۰-۳۰ تیمار مخلوط آب‌شور و شیرین (شاهد)، نسبت به سایر تیمارها وضعیت مناسب‌تری داشت.

اثر تیمارهای مختلف آب آبیاری بر نفوذپذیری خاک

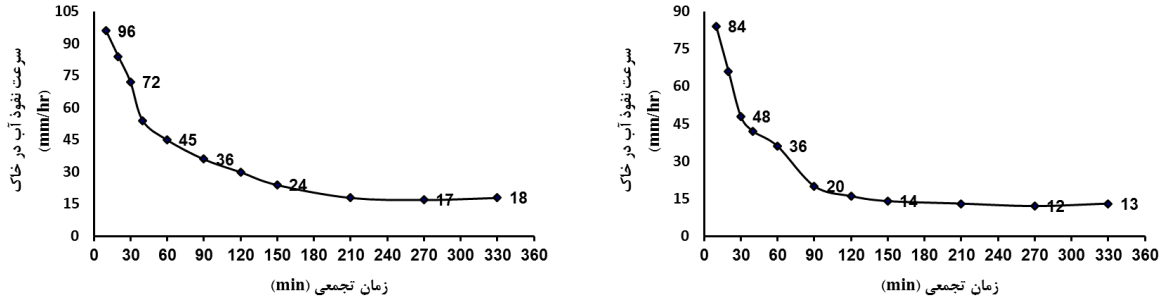
نتایج اندازه‌گیری سرعت نفوذ آب به روش استوانه مضاعف، در خاک قطعات مختلف آزمایشی، در پایان هرسال، در شکل‌های (۳) تا (۷) آمده است. همان‌طور که مشخص است، در تمام تیمارهای آزمایشی آب‌شور، سرعت نفوذ نهایی خاک در پایان سال دوم نسبت به سال

قبل، کاهش‌یافته است. ولی سرعت نفوذ نهایی در تیمار مخلوط آب‌شور و شیرین (T_3)، در طی دو سال اجرای آزمایش، تغییری نکرده است. از سویی، بین تیمارهای آب‌شور معمولی و مغناطیسی، تفاوت محسوسی مشاهده نشد. خوش‌روش و کیانی (١٣٩٤) نشان دادند که مغناطیسی کردن آب باعث افزایش نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ آب در خاک می‌شود، اما در این تحقیق چنین نتیجه‌ای حاصل نشد که شاید به دلیل شوری بالای آب مورد استفاده (١٩ دسی‌زیمنس بر متر) باشد. تیمارهای آب‌شور با میزان آب آبیاری ٨٥ درصد نیاز آبی (MT_2 و T_2)، نسبت به تیمارهای مشابه در میزان آب ١٠٠ درصد نیاز آبی (MT_1 و T_1)، نفوذپذیری بیشتری داشتند. به نظر می‌رسد به دلیل شوری بالای آب آبیاری در این تیمارها، با افزایش میزان آب آبیاری، سدیم بیشتری وارد خاک شده و نهایتاً سرعت نفوذ را بیشتر کاهش داده است. نتایج تجزیه خاک نیز در جدول (٧)، حصول چنین نتیجه‌ای را تایید می‌کند، چراکه میزان شوری و SAR در تیمارهای آب‌شور نسبت به تیمار T_3، افزایش معنی‌داری را نشان می‌دهد و از سویی، این مقادیر در تیمارهای آب‌شوری که با میزان ١٠٠ درصد نیاز آبی، آبیاری شدند، از تیمارهای ٨٥ درصد نیاز آبی، بیشتر بود که همین موضوع می‌تواند دلیل کاهش نفوذپذیری خاک در این تیمارها باشد. خوش‌روش و کیانی (١٣٩٤) نیز نشان دادند که استفاده از آب شور با شوری ٥ و ١٠ دسی‌زیمنس بر متر در هر دو حالت مغناطیسی و معمولی، متوسط نفوذ تجمعی آب در خاک را نسبت به تیمار شاهد با شوری آب ٠/٥٨ دسی‌زیمنس بر متر، به ترتیب ٦/٤ و ١٣/٩٥ درصد کاهش داد که این موضوع، نتایج بدست‌آمده در این تحقیق را تایید می‌کند.



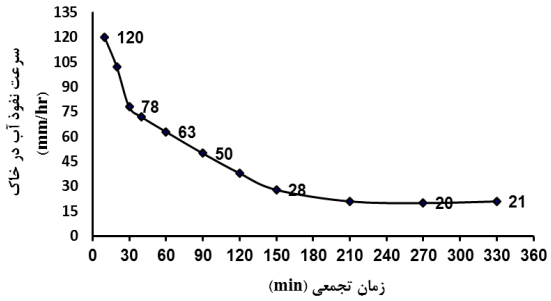
پایان سال اول　　پایان سال دوم

شکل ٣- نفوذپذیری خاک تیمار آبیاری شده با آب شور مغناطیسی و میزان آب ١٠٠٪ نیاز آبی (MT_1)

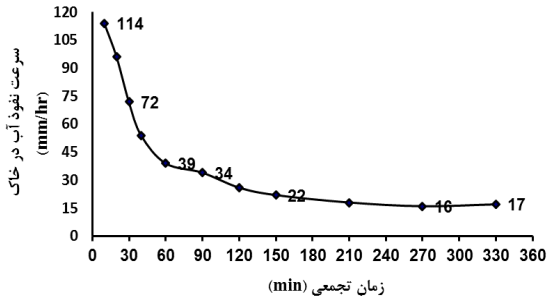


پایان سال اول　　پایان سال دوم

شکل ۴- نفوذپذیری خاک تیمار آبیاری شده با آب شور معمولی و میزان آب ١٠٠٪ نیاز آبی (T_1)

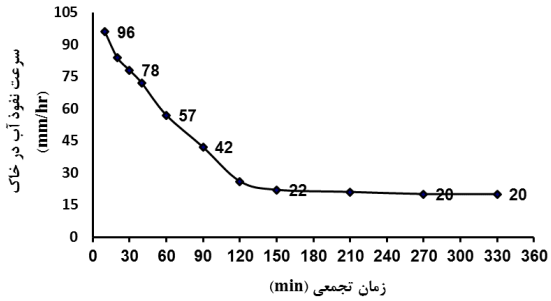


پایان سال اول

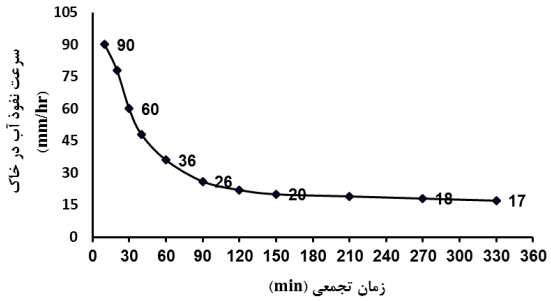


پایان سال دوم

شکل ۵- نفوذپذیری خاک تیمار آبیاری‌شده با آب‌شور مغناطیسی و میزان آب ۸۵٪ نیاز آبی (MT_2)

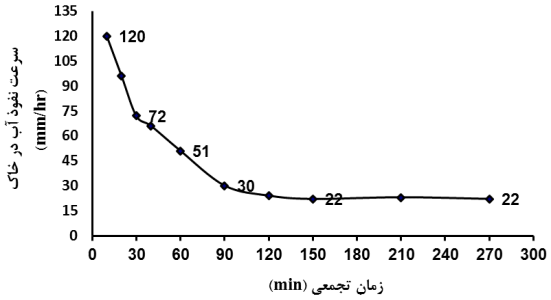


پایان سال اول

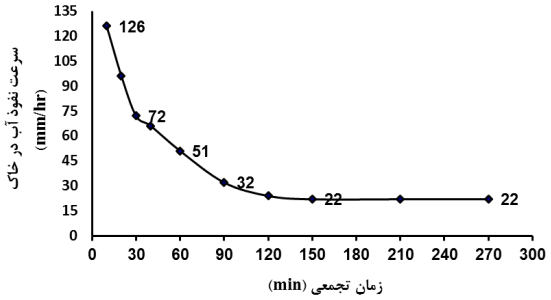


پایان سال دوم

شکل ۶- نفوذپذیری خاک تیمار آبیاری‌شده با آب‌شور معمولی و میزان آب ۸۵٪ نیاز آبی (T_2)



پایان سال اول



پایان سال دوم

شکل ۷- نفوذپذیری خاک تیمار آبیاری‌شده با آب مخلوط شور و شیرین (T_3)

جدول ۷- نتایج تجزیه خاک قطعات مختلف تیمارهای آزمایشی پس از اجرای تحقیق

تیمار آبیاری	عمق (cm)	هدایت الکتریکی (dSm^{-1})	واکنش گل اشباع (pH)	نسبت جذبی سدیم (SAR)	پتاسیم قابل‌جذب (mg/kg)	فسفر قابل‌جذب (mg/kg)	کاتیون‌های محلول (meq/l)		
							Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}
MT_1	۰–۳۰	۱۵/۷	۷/۴	۱۶/۷	۳۶۳	۱۲	۳۷/۰	۲۵/۵	۹۳/۲
	۳۰–۶۰	۱۵/۷	۷/۵	۱۶/۴	۳۵۳	۷	۳۴/۵	۲۴/۰	۸۸/۸
	۶۰–۹۰	۱۶/۷	۷/۶	۱۶/۴	۳۱۲	۵	۴۰/۰	۳۱/۰	۹۷/۸
	۹۰–۱۲۰	۱۶/۴	۷/۵	۱۶/۹	۳۵۳	۳	۳۷/۰	۲۹/۵	۹۷/۴
T_1	۰–۳۰	۱۵/۱	۷/۶	۱۶/۳	۴۱۳	۱۱	۳۲/۵	۲۸/۵	۸۹/۹
	۳۰–۶۰	۱۵/۸	۷/۶	۱۶/۵	۴۴۳	۶	۳۶/۰	۲۸/۵	۹۳/۹
	۶۰–۹۰	۱۵/۵	۷/۵	۱۷/۳	۳۰۲	۸	۳۵/۵	۲۶/۵	۹۶/۴
	۹۰–۱۲۰	۱۶/۴	۷/۴	۱۶/۷	۴۷۳	۷	۳۵/۰	۳۳/۵	۹۷/۸
MT_2	۰–۳۰	۱۴/۶	۷/۶	۱۴/۱	۳۸۳	۹	۳۹/۰	۲۶/۵	۸۰/۸
	۳۰–۶۰	۱۴/۸	۷/۵	۱۴/۰	۴۰۴	۱۰	۳۷/۵	۲۳/۵	۷۷/۱
	۶۰–۹۰	۱۴/۱	۷/۵	۱۵/۳	۴۰۳	۹	۲۹/۵	۲۸/۵	۸۲/۴
	۹۰–۱۲۰	۱۴/۶	۷/۶	۱۵/۱	۳۸۳	۷	۳۱/۰	۳۰/۵	۸۳/۹
T_2	۰–۳۰	۱۴/۳	۷/۵	۱۳/۴	۴۱۴	۹	۴۰/۵	۲۶/۰	۷۷/۱
	۳۰–۶۰	۱۴/۴	۷/۷	۱۲/۳	۳۸۳	۸	۴۰/۵	۳۰/۵	۷۳/۱
	۶۰–۹۰	۱۴/۶	۷/۶	۱۴/۷	۴۰۳	۱۲	۳۵/۵	۲۷/۵	۸۲/۴
	۹۰–۱۲۰	۱۵/۴	۷/۵	۱۵/۳	۳۸۳	۱۳	۳۷/۵	۲۷/۵	۸۷/۴
T_3	۰–۳۰	۶/۱	۷/۵	۹/۹	۴۴۲	۲۱	۱۵/۰	۱۰/۵	۳۵/۴
	۳۰–۶۰	۶/۸	۷/۴	۸/۳	۴۲۲	۱۶	۱۹/۵	۱۵/۰	۳۴/۴
	۶۰–۹۰	۶/۴	۷/۶	۸/۰	۴۱۳	۹	۲۱/۰	۱۱/۰	۳۱/۹
	۹۰–۱۲۰	۶/۶	۷/۶	۷/۹	۳۸۳	۱۱	۱۷/۵	۱۵/۵	۳۱/۹

نتیجه‌گیری

درمجموع، نتایج مقایسه میانگین صفات رویشی و کمی و کیفی محصول در تیمارهای مختلف آب‌شور در هر دو حالت آب مغناطیسی و معمولی، در اغلب موارد تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. در موارد خاصی هم که تفاوت معنی‌دار شد، روند مشخصی مشاهده نشد. از سویی، تیمار مخلوط آب‌شور و شیرین (T_3) نسبت به تیمارهای آب‌شور معمولی و مغناطیسی، در تمام موارد وضعیت بهتری داشت و این تفاوت کاملا معنی‌دار بود. در مورد غلظت عناصر غذایی خاک، تفاوت محسوسی بین هیچ‌کدام از تیمارها، حتی تیمار مخلوط آب‌شور و شیرین، مشاهده نشد. نتایج اندازه‌گیری سرعت نفوذ نهایی آب در خاک تیمارهای مختلف نیز نشان داد که در تمام تیمارهای آب‌شور در هر دو حالت آب معمولی و مغناطیسی، سرعت نفوذ نهایی آب در خاک در انتهای سال دوم آزمایش نسبت به سال اول کاهش یافت. ولی این کاهش در مورد تیمارهایی که میزان آب ۱۰۰ درصد نیاز آبی را دریافت می‌کردند (MT_1 و T_1)، نسبت به تیمارهای با میزان آب کاربردی ۸۵ درصد (MT_2 و T_2)، شدیدتر بود. به نظر می‌رسد به دلیل شوری بالای آب آبیاری در این تیمارها، با افزایش میزان آب آبیاری، سدیم بیشتری وارد خاک شده و نهایتاً سرعت نفوذ را بیشتر کاهش

داده است. کاهش میزان نفوذپذیری در انتهای سال دوم نسبت به سال اول در تیمارهای آب‌شور با ۱۰۰ و ۸۵ درصد میزان آب کاربردی به ترتیب از ۲۰ به ۱۳ و ۱۷ میلی‌متر بر ساعت رسید. درحالی‌که در تیمار T_3، میزان سرعت نفوذ نهایی آب در خاک در حدود ۲۲ میلی‌متر بر ساعت باقی ماند. بنابراین، نتایج نشان داد، استفاده از دستگاه‌های مغناطیسی کننده آب مورداستفاده در این پژوهش، هیچ‌گونه تأثیر مثبتی در کاهش اثرات منفی آب‌شور بر درختان پسته و خاک نداشت. درمجموع، نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق حاکی از عدم تطابق با نتایج به‌دست‌آمده در برخی مطالعات گذشته است که می‌توان دلایل آن را به‌صورت زیر تشریح نمود:

برخی از مطالب ارائه‌شده در خصوص اثرات مثبت استفاده از آب مغناطیسی بر رشد و عملکرد گیاهان، صرفاً تبلیغات شرکت‌های واردکننده این دستگاه‌ها و یا نتایج مشاهدات صحرایی آن‌ها بوده که فاقد تجزیه و تحلیل آماری بوده و از درجه علمی بالایی برخوردار نیستند.

مطالعاتی که از درجه علمی بالایی نیز برخوردارند، اغلب روی گیاهان زراعی و یک‌ساله انجام شده و اثر آب مغناطیسی بر درصد جوانه‌زنی و یا مراحل اولیه رشد این گیاهان بررسی‌شده است.

این احتمال وجود دارد که اثر آب مغناطیسی بر گیاهان چندساله، نیاز به بررسی‌های طولانی‌تر (۵ تا ۱۰ ساله) داشته باشد. در مطالعات محدود یادشده نیز اغلب، شوری آب آبیاری کم (۷-۲ دسی‌زیمنس بر متر) بوده به‌طوری‌که بسیار کمتر از شوری آب آبیاری مورداستفاده در تیمارهای آب‌شور در این تحقیق (حدود ۱۹ دسی‌زیمنس بر متر) است.

در مطالعات گذشته، نوع دستگاه‌های مورداستفاده برای مغناطیسی کردن آب، اعم از مگنت‌های ثابت روی لوله، دستگاه‌های الکترومغناطیس با سیم‌پیچ‌های دور لوله نیز متفاوت بوده و در بسیاری از موارد نیز مشخص نیست از چه نوع آن‌ها استفاده‌شده است.

پیشنهادها

در تحقیق دیگری، کارایی دستگاه‌های مختلف مغناطیسی‌کننده آب با یکدیگر مقایسه شوند.

اثر آب مغناطیسی بر جوانه‌زنی بذر و رشد نهال‌های پسته در گلخانه موردمطالعه قرار گیرد.

کارایی این دستگاه‌ها با استفاده از آب آبیاری با شوری‌های کمتر روی درختان پسته بررسی شود.

کارایی این دستگاه‌ها در بررسی‌های دراز مدت (۵ تا ۱۰ ساله) نیز مورد ارزیابی قرار گیرد.

فهرست منابع

۱. خوش‌روش، م و کیانی، ع. ۱۳۹٤. اثر آب شور مغناطیسی‌شده بر نفوذپذیری و هدایت الکتریکی بافت‌های مختلف خاک. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. شماره ٤، جلد ۹، صفحات ٦٥٤-٦٤٦.

۲. رنجبر، غ. روستا، م. ج و چراغی، س. ع. م. ۱۳۹۱. بررسی اثر آب مغناطیسی بر شاخص‌های رشد گندم در شرایط شور. مجله پژوهش آب در کشاورزی. جلد ۲٦، شماره ۳، صفحات ۲۷٤-۲٦۳.

۳. زنگنه یوسف‌آبادی، ا. بهزاد، م و برومندنسب، س. ۱۳۹۱. تأثیر استفاده از آب مغناطیسی بر میزان آبشویی کاتیون‌ها و آنیون‌های خاک شور در شرایط آزمایشگاهی. نشریه آب‌وخاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲٦، شماره ۳، صفحات ٦۸۹-٦۸۰.

٤. عالمی، محمدحسن. ۱۳۷۱. طراحی دستگاه‌های آبیاری. نشر دانش و فن. ۳۸٤ صفحه.

۵. فرشی، ع. ا. شریعتی، م. ر. جارالهی، ر. قائمی، م. ر. شهابی فر، م و تولایی، م. م. ۱۳۷٦. برآورد آب موردنیاز گیاهان عمده زراعی و باغی، جلد دوم، گیاهان باغی- موسسه پژوهشهای خاک و آب کشور. نشر آموزش کشاورزی، ٦۳۰ صفحه.

٦. فیضی، ح. رضوانی، م. پ. صحابی، ح و امیر مرادی، ش. ۱۳۹۱. تحریک جوانه‌زنی بذر و ریشه گیاه‌چه گوجه‌فرنگی با استفاده از میدان مغناطیسی و خیساندن بذر. نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)، دانشگاه فردوسی مشهد. جلد ۲٦، شماره ۳، صفحات ۳٤۹-۳٤۳.

۷. فیضی، ح. رضوانی، م. پ. کوچکی، ع. شاه‌طهماسبی، ن و فتوت، ا. ۱۳۹۰. تأثیر شدت و زمان‌های مختلف میدان مغناطیسی بر رفتار جوانه‌زنی و رشد گیاهچه گندم (*Triticum aestivum L.*). نشریه بوم‌شناسی کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد. جلد ۳، شماره ٤، صفحات ٤۹۰-٤۸۲.

8. Algarra, R. M., Zamora, L. L., Fos, G. A., and López, P. A. 2008. Magnetized Water: Science or Fraud? Journal of Chemical Education, 85(10), 1416.
9. Alimi, F., Tlili, M. M., Amor, M. B., Maurin, G., and Gabrielli, C. 2009. Effect of magnetic water treatment on calcium carbonate precipitation: Influence of the pipe material. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 48(8):1327-1332.
10. Bogatin, J., Bondarenko, N. P., Gak, E. Z., Rokhinson, E. E., and Ananyev, I. P. 1999. Magnetic treatment of irrigation water: Experimental results and application conditions. Environmental science and Technology, 33(8):1280-1285.
11. Danilov, V., Bas,, T., Eltez, M. and Rizakulyeva, A. 1994. Artificial magnetic field effects on yield and quality of tomatoes. Acta Hortic. 366:279–285.
12. Esitken, A. and 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
13. Fathi, A., Mohamed, T., Claude, G., Maurin, G., and Mohamed, B. A. 2006. Effect of a magnetic water treatment on homogeneous and heterogeneous precipitation of calcium carbonate. Water Research, 40(10):1941-1950.
14. Gabrielli, C., Jaouhari, R., Maurin, G., and Keddam, M. 2001. Magnetic water treatment for scale prevention. Water Research, 35(13):3249-3259.
15. Hozayn, M., and Qados, A. A. 2010a. Irrigation with magnetized water enhances growth, chemical constituent and yield of chickpea (Cicer arietinum L.). Agriculture and Biology Journal of North America, 1(4):671-676.
16. Hozayn, M., and Qados, A. A. 2010b. Magnetic water application for improving wheat (Triticum aestivum L.) crop production. Agriculture and Biology Journal of North America, 1(4): 677-682.
17. Knez, S., and Pohar, C. 2005. The magnetic field influence on the polymorph composition of $CaCO_3$ precipitated from carbonized aqueous solutions. Journal of Colloid and Interface Science, 281(2):377-388.
18. Kobe, S., Dražić, G., McGuiness, P. J., and Stražišar, J. 2001. The influence of the magnetic field on the crystallisation form of calcium carbonate and the testing of a magnetic water-treatment device. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 236(1):71-76.
19. Lai, J., & Ren, L. 2007. Assessing the size dependency of measured hydraulic conductivity using double-ring infiltrometers and numerical simulation. Soil Science Society of America Journal, 71(6), 1667-1675.
20. Qados, A. A., and Hozayn, M. 2010. Magnetic water technology, a novel tool to increase growth, yield and chemical constituents of lentil (Lens esculenta) under greenhouse

condition. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science, 7(4:457-462.

21. Soltani, F., Kashi, A., and Arghavani, M. 2006. Effect of Magnetic Field on Ocimum basilicum Seed Germination and Seedling Growth. In International Symposium on the Labiatae: Advances in Production, Biotechnology and Utilisation, 723:279-282.