تحقیقات آب و خاک ایران، دورهٔ ۴۸، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۶ (ص ۷۵-۶۳)

تأثیر سطوح مختلف پساب و آب مغناطیسی شده بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در آبیاری ذرت و برخی خصوصیات فیزیکی خاک

جعفر نیکبخت[1*]، الهام رضایی[2]

۱. دانشیار،گروه مهندسی آب دانشگاه زنجان

۲. دانش‌آموخته دوره کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب دانشگاه زنجان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۱۴- تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۴/۲)

چکیده

در پژوهش حاضر، اثر کاربرد سطوح متفاوت پساب و مخلوط آب و پساب مغناطیسی بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در گیاه ذرت رقم ماکسیما و هم چنین برخی خصوصیات فیزیکی خاک مورد بررسی قرار گرفت. تحقیق به صورت آزمایش فاکتوریل دو عاملی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار، از خرداد ماه تا مهر ماه سال ۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان انجام شد. پساب مورد نیاز از تصفیه‌خانه شهر زنجان تهیه شده و در ۵ سطح شامل صفر درصد (آب چاه به عنوان شاهد)، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد به کرت‌ها داده شد. تیمار مغناطیسی در دو سطح شامل عبور و عدم عبور اختلاط آب و پساب از میدان مغناطیسی بود. میدان مغناطیسی با استفاده از سیم لوله با شدت ۰/۱ تسلا ایجاد شد. بر اساس نتایج، سطوح متفاوت پساب بر سطح برگ گیاه و محتوای نسبی آب برگ اثر معنی‌دار نداشت. در بین تیمارهای سطوح پساب، بیش‌ترین وزن تر کل و بهره‌وری مصرف آب در وزن تر کل در تیمار ۱۰۰ درصد پساب حاصل شد که با تیمار شاهد به ترتیب ۲۳/۹ تن در هکتار و ۷/۶ کیلوگرم بر مترمکعب اختلاف داشت. این اختلاف در تیمارهای مخلوط آب و پساب مغناطیسی و غیرمغناطیسی به ترتیب ۱۴/۶ تن در هکتار و ۴/۷ کیلوگرم بر مترمکعب بود که از نظر آماری اختلاف‌ها معنی‌دار شد. در این پژوهش، تأثیر سطوح متفاوت پساب بر هیچ کدام از خصوصیات فیزیکی خاک در عمق ۳۰-۱۵ سانتی‌متر معنی‌دار نشد. تیمار مخلوط آب و پساب مغناطیسی فقط بر برخی مقادیر خصوصیات فیزیکی خاک در عمق ۱۵-۰سانتی‌متری اثر معنی‌دار داشت. بر اساس نتایج، در عمق ۱۵-۰سانتی‌متری خاک، مخلوط آب و پساب مغناطیسی باعث افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک، درصد رطوبت حجمی و درجه اشباع خاک و کاهش تخلخل خاک به میزان ۱۹، ۳، ۱۰ و ۸ درصد (به ترتیب) نسبت به تیمار غیرمغناطیسی شد.

واژه‌های کلیدی: مخلوط آب و پساب مغناطیسی، بهره‌وری مصرف آب، پساب تصفیه شده، خصوصیات فیزیکی خاک، ذرت رقم ماکسیما

مقدمه

در شرایط کنونی به دلیل رشد شهرنشینی، مصرف آب با کیفیت بالا نیز افزایش یافته است که نتیجه آن تولید حجم عظیمی از فاضلاب می‌باشد. به دنبال این مسئله دفع صحیح فاضلاب تولیدی، یکی از نگرانی‌های عمده زیست محیطی می‌باشد (Pescod, 1992; Ehsani and Khaledi, 2003; Singh and Agrawal, 2010). فاضلاب به دلیل دارا بودن مواد آلی و عناصر غذایی مورد نیاز برای رشد گیاه و نیز مواد آلی مورد نیاز برای حاصل‌خیزی و بهره‌وری خاک مخصوصاً در مناطق خشک می‌تواند پس از انجام تصفیه‌های لازم، در عملیات آبیاری گیاهان مورد استفاده قرار گیرد (Kiziloglu *et al*., 2008; Pescod, 1992; Singh and Agrawal, 2010; Pena, 2011). بنابراین استفاده مجدد از پساب فاضلاب‌های تصفیه شده، می‌تواند به عنوان یک منبع آب جدید، جبران‌کننده کسری منابع آب قابل دسترس بخش کشاورزی محسوب شود و نیز از اثرات سوء تخلیه بی‌رویه فاضلاب به محیط زیست و خسارات وارده به آن، جلوگیری به عمل آورد (Kiziloglu *et al*., 2008; Zolfagharan and Haghayeghimoghadam, 2008; Zolfaghari Karbasak *et al*., 2009; Singh *et al*., 2012). در نتیجه می‌توان آب‌های با کیفیت بالاتر (آب منابع تجدیدپذیر) را در مصارف با اهمیت‌تر مورد استفاده قرار داد (Pescod, 1992; Kiziloglu *et al*., 2008). در رابطه با کاربرد پساب در آبیاری گیاهان پژوهش‌ها و آزمایشات زیادی صورت گرفته است.

نتایج تحقیق صورت گرفته در اردن نشان داد آبیاری گیاه جو با پساب موجب تولید ۲۳۴۹ گرم بر مترمربع در خاک تحت

* نویسنده مسئول: Nikbakht.jaefar@znu.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

آبیاری با پساب به مدت پنج سال شد که نسبت به تیمار شاهد (۱۴۰۵ گرم بر مترمربع) حدود ۶۷ درصد بیش‌تر بود (Rusan *et al.*, 2007). در آزمایش صورت گرفته در مزرعه نمونه آستان قدس رضوی واقع در شرق مشهد، بیش‌ترین عملکرد کلزا (۲/۳۳۳ تن در هکتار) در تیمار آبیاری با پساب به دست آمد که نسبت به تیمار شاهد (۱/۴۶ تن در هکتار) حدود ۶۰ درصد افزایش را نشان داد (Zolfagharan and Haghayeghi moghadam, 2008). در تحقیق صورت گرفته در پژوهشکده کشاورزی دانشگاه زابل، بیش‌ترین عملکرد دانه گیاه ذرت (۸ تن در هکتار) در تیمار آبیاری با پساب و تأمین ۵۰ درصد نیاز کودی گیاه با کود شیمیایی و کم‌ترین عملکرد دانه (۲/۵ تن در هکتار) در تیمار شاهد (بدون کاربرد کود و آبیاری با آب چاه) مشاهده شد (Tavassoli *et al.*, 2010a). در آزمایشی ۳ ساله در بنگلادش (۲۰۰۷-۲۰۱۰) نتایج کاربرد توأم پساب و کود در کشت گندم نشان داد که وزن هزار دانه در دو تیمار I_2F_1 و I_3F_1 (I_2 و I_3 به ترتیب کاربرد ۷۵ و ۵۰ درصد پساب و F_1 تأمین نیاز کودی استاندارد گیاه) ۱۰/۳ درصد نسبت به تیمار شاهد (کاربرد آب چاه و بدون مصرف کود I_1F_0) بیش‌تر بود. در این پژوهش حداکثر عملکرد دانه (۴/۴۹ تن در هکتار) در تیمار I_5F_1 (۱۰۰ درصد پساب و کاربرد کود) حاصل شد که نسبت به تیمار شاهد ۴۸ درصد بیش‌تر بود (Mojid *et al.*, 2012).

کاربرد پساب و فاضلاب در عملیات آبیاری، تخلخل و خصوصیات هیدرولیکی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مواد معلق موجود در پساب باعث گرفتگی منافذ ریز و در نتیجه کاهش رطوبت قابل دسترس خاک و گرفتگی منافذ درشت و کاهش سرعت نفوذ آب در خاک می‌شود (Tunc and Sahin, 2015). نتایج بررسی تأثیر کاربرد پساب در آبیاری گیاه گوجه‌فرنگی در خاک با بافت لوم شنی در شرق سیسیل ایتالیا نشان داد تخلخل خاک (به دلیل باریک‌تر شدن منافذ) و در نتیجه نفوذپذیری و هدایت هیدرولیکی و ظرفیت نگهداری آب در لایه ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک کاهش یافت، در حالی که جرم مخصوص ظاهری افزایش نشان داد (Aiello *et al.*, 2007). نتایج پژوهش صورت گرفته در منطقه برخوار اصفهان نشان داد در مزارعی که به مدت ۱۵ سال از پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شمال اصفهان برای آبیاری استفاده کرده‌اند نسبت به مزارع آبیاری شده با آب چاه، میزان هدایت هیدرولیکی خاک برای دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری به میزان ۳/۸ و ۱/۶ برابر، سرعت نفوذ نهایی به میزان ۳/۲ و ۱/۶ برابر افزایش داشت در حالی که وزن مخصوص ظاهری خاک در عمق‌های فوق ۶/۴ و ۶/۱ درصد کاهش را نشان داد (Feizi *et al.*, 2010). در پژوهشی تغییرات خصوصیات فیزیکی خاک برای مدت ۴ ماه تحت تیمارهای کیفیت آب آبیاری (آب معمولی، فاضلاب خام و فاضلاب تصفیه شده)، بافت خاک (دو نمونه خاک لوم با خصوصیات اولیه شیمیایی متفاوت)، روش آبیاری (آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی) و حضور و عدم حضور گیاه (سورگوم دانه‌ای) بررسی شد. نتایج نشان داد میزان افزایش نگهداری آب خاک در روش آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی برای فاضلاب خام و تصفیه شده نسبت به آب معمولی یکسان بود. این افزایش در شرایط آبیاری قطره‌ای سطحی، بدون گیاه و مکش صفر تا یک بار، ۹ درصد در خاک لوم شماره ۱ و ۷ درصد در خاک لوم شماره ۲ بود. در شرایط وجود گیاه، مکش صفر تا ۱/۵ بار ۱۳ درصد در خاک لوم شماره ۱ و ۱۲ درصد در خاک لوم شماره ۲ بود. در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، بدون گیاه و مکش صفر تا یک بار، افزایش ۸/۵ درصد در خاک لوم شماره ۱ و ۱۱/۶ درصد در خاک لوم شماره ۲ و در شرایط وجود گیاه، مکش صفر تا ۱/۵ بار در خاک لوم شماره ۱، ۱۴/۵ درصد و در خاک لوم شماره ۲، ۹/۶ درصد حاصل شد (Masoudi Ashtiani *et al.*, 2011). نتایج پژوهش صورت گرفته در جنوب ورامین نشان داد کاربرد فاضلاب خام و تصفیه شده در آبیاری صیفی و سبزی باعث کاهش تخلخل خاک در عمق ۳۵-۰ سانتی‌متری به میزان ۲۳ و ۳/۵ درصد و هدایت هیدرولیکی اشباع به میزان ۳۰/۷ و ۱۵ درصد نسبت به تیمار شاهد (آب چاه) شد اما جرم مخصوص ظاهری این خاک‌ها ۱۷ و ۸/۶ درصد و تراکم خاک (مقاومت نفوذ) ۴۲ و ۱۵ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت (Azadegan, 2014).

به دلیل کمبود شدید آب، مدیریت آب آبیاری جهت استفاده حداکثر از آن امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. یکی از راه‌کارهایی که در این راستا در سال‌های اخیر مورد استفاده قرار گرفته، کاربرد آب مغناطیسی با عبور دادن آب آبیاری از میدان مغناطیسی ثابت می‌باشد (Mehrabi Delshad *et al.*, 2013; Nikbakht *et al.*, 2014). در نتیجه عبور آب از میدان مغناطیسی، در اثر نیروی القایی ناشی از میدان، خوشه‌های مولکول‌های آب شکسته شده و بخش‌های غیر همنام مولکول آب در یک راستا قرار می‌گیرند و مولکول‌های آب آزاد می‌شوند. این حالت سبب می‌شود که فضای کمتری توسط مولکول‌ها اشغال شود. در واقع میدان مغناطیسی روی خودِ مولکول‌های آب اثر می‌گذارد و آزادی و تحرک مولکول‌های آب را افزایش می‌دهد. با عبور آب از میدان مغناطیسی و شکسته شدن پیوند هیدروژنی و واندروالسی بین مولکول‌های آب، نیروی کشش سطحی آب کاهش می‌یابد (Ran *et al.*, 2009). در نتیجه

Archive of SID
www.SID.ir

سیالیت آب افزایش یافته و خاصیت ترکنندگی آن بیشتر می‌شود (Xiao Feng and Bo, 2008). بنابراین جذب آب مغناطیسی راحت‌تر صورت می‌گیرد و در مقایسه با آب مغناطیس نشده، گیاه به راحتی مقادیر بیشتری از آب مغناطیسی را جذب خواهد کرد. با افزایش جذب آب توسط گیاه می‌توان انتظار داشت املاح بیشتری نیز در اختیار گیاه قرار گیرد. لذا آبیاری با آب مغناطیسی سبب جذب راحت‌تر و بیشترِ آب از خاک شده که به دنبال آن جذبِ مواد غذایی و املاح نیز از خاک بهتر و بیش‌تر صورت خواهد گرفت که موجب افزایش رشد و در نهایت موجب افزایش عملکرد گیاه خواهد شد (Abdoul Qados and Hozayen, 2010). در زمینه تأثیر کاربرد آب مغناطیسی در عملیات آبیاری، نتایج آزمایش گلدانی صورت گرفته بر روی رشد بذر نخود نشان داد طول گیاهان آبیاری شده با آب مغناطیسی ۲/۶۷ سانتی‌متر بلندتر از گیاهان آبیاری شده با آب معمولی بود (Nasher, 2008). نتایج آزمایش گلدانی انجام گرفته در دهلی نشان داد قرار گرفتن بذرهای آفتابگردان در معرض میدان مغناطیسی با شدت‌های متفاوت (۵۰ تا ۲۵۰ میلی‌تسلا و به مدت ۴ ساعت) به طور قابل توجهی درصد جوانه‌زنی (۵ تا ۱۱ درصد) و ارتفاع کل گیاه (۱۲-۵۷ درصد) را نسبت به بذرهای شاهد افزایش داد (Vashisth and Nagarajan, 2010). بر اساس نتایج پژوهش انجام یافته در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه اهواز، آبیاری گیاهان ذرت با آب عبوری از میدان مغناطیسی با قدرت ۳ کیلوگاوس باعث افزایش ۳/۵ درصدی ارتفاع گیاه، ۲/۸ درصد وزن هزار دانه، ۳/۹ درصد وزن خشک، ۵/۶ درصد سطح برگ، ۴ درصد کلروفیل a و ۶ درصد کلروفیل b نسبت به تیمار شاهد شد (Karmollachaab, 2012). مغناطیسی کردن آب شور با سطوح شوری صفر (شاهد)، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار نمک NaCl به ترتیب سبب جوانه‌زنی بذرهای چغندرقند به میزان ۸۶/۳، ۷۰/۱، ۴۵، ۳۸/۳ و ۸/۸ درصد شد در حالی که جوانه‌زنی بذر در تیمار آب غیرمغناطیسی در سطوح شوری مذکور به ترتیب ۷۵، ۶۷، ۴۲/۱، ۳۱/۲ و ۵/۷ درصد به دست آمد (Panahi *et al*., 2011). کاربرد آب مغناطیسی برای آبیاری گیاه ذرت در خاکی با بافت رس سیلتی، باعث کاهش مقدار سدیم و کلسیم خاک در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری به میزان ۱۰/۲۷ و ۲۹ درصد (به ترتیب) و در عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متری، به میزان ۹/۳۳ و ۲۲ درصد (به ترتیب) نسبت به آب معمولی شد (Assareh *et al*., 2012). کاربرد آب مغناطیسی حاصل از عبور آب از میان یک آهنربای دائمی قوی با شدت ثابت در عملیات آبیاری در مزرعه آزمایشی فاقد گیاه در مقایسه با آب غیرمغناطیسی باعث کاهش سدیم خاک به میزان ۳۴ درصد (به طور متوسط) گردید که این اختلاف معنی‌دار بود (Khoshravesh *et al*., 2012). بر اساس نتایج پژوهش گلدانی صورت گرفته، گیاهان ذرت تحت تیمار آب مغناطیسی، ۹/۵ درصد سطح برگ، ۱۰/۶۸ درصد محتوای کلروفیل برگ، ۸/۳۰ درصد وزن تر کل و ۹ درصد بهره‌وری مصرف آب را نسبت به تیمار آب معمولی افزایش داد (Nikbakht *et al*., 2014).

با توجه به نتایج پژوهش‌های بررسی شده فوق می‌توان به اثر مثبت کاربرد آب مغناطیس شده و هم چنین مخلوط آب و پساب بر عملکرد گیاه و خصوصیات خاک پی برد. ولی بر اساس جستجوهای صورت گرفته در پایگاه‌های اطلاعات علمی قابل دسترس، پژوهشی که در آن اثر مخلوط آب و پساب مغناطیس شده بر گیاه و خاک مورد بررسی قرار گرفته باشد، یافت نشد. بنابراین هدف از پژوهش حاضر، بررسی اثر سطوح متفاوت پساب غیرمغناطیسی و مغناطیسی بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در گیاه ذرت رقم ماکسیما و هم چنین برخی خصوصیات فیزیکی خاک بود. با کاربرد پساب در تأمین کل یا بخشی از نیاز آبی و غذایی گیاه کشت شده، علاوه بر کاهش فشار بر منابع آب قابل دسترس، هزینه‌های تولید نیز کاهش می‌یابد. هم چنین از مشکلات دفع آن به منابع طبیعی و مسائل زیست محیطی جلوگیری به عمل می‌آید. کاربرد پساب با تغییر خصوصیات فیزیکی خاک، میزان آب قابل دسترس گیاه را می‌تواند افزایش دهد. بنابراین در حالت کلی مجموع این عوامل موجب پایداری استفاده از منابع آب و خاک در کشاورزی می‌گردد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به صورت آزمایش فاکتوریل دو عاملی (میزان پساب و میدان مغناطیسی) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار از خرداد ماه تا مهر ماه سال ۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان با موقعیت جغرافیایی ′۲۴ °۴۸ طول شرقی و′۴۱ °۳۶ عرض شمالی و ارتفاع ۱۵۷۰ متر از سطح دریا بر روی گیاه ذرت رقم ماکسیما (Zea mays Cv. Mv 524 Maxima) انجام شد. کرت‌های آزمایش دارای ۲/۵ متر عرض و ۴ متر طول بود. فاصله ردیف‌های کشت از یکدیگر ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بذرها بر روی هر ردیف کشت ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (Zamanian and Najafi, 1993). خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در جدول (۱) ذکر شده است. بافت خاک با روش هیدرومتری، مقدار ماده آلی از روش والکی و بلک، میزان پتاسیم و سدیم خاک با دستگاه فلیم

Archive of SID
www.SID.ir

فتومتر مدل Jenway PFPV، کلسیم توسط دستگاه جذب اتمی، نیتروژن به روش کجلدال، هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک با دستگاه EC متر مدل Jenway 4310 و اسیدیته خاک با دستگاه pH متر مدل Metrohm 691 اندازه‌گیری شد. همان طور که در جدول (۱) مشاهده می‌شود بافت خاک مزرعه مورد آزمایش لوم‌رسی بود.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه.

رس (٪)	سیلت (٪)	شن (٪)	بافت خاک	ماده آلی (٪)	پتاسیم ($g\ kg^{-1}$)	سدیم ($g\ kg^{-1}$)	کلسیم ($g\ kg^{-1}$)	نیتروژن (٪)	EC ($dS.m^{-1}$)	pH
۳۷	۳۸	۲۵	لوم رسی	۰/۹۴	۰/۲۰	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۰۷	۱/۴۹۲	۷/۴۲

تیمارهای آزمایش شامل میزان پساب در ۵ سطح صفر درصد (آب چاه به عنوان شاهد)، ۲۵ درصد (۷۵ درصد بقیه آب چاه)، ۵۰ درصد، ۷۵ درصد و ۱۰۰ درصد و آب مغناطیسی در دو سطح عبور یافته و عدم عبوری از میدان مغناطیسی بود. به منظور آبیاری کرت‌ها از نوارهای آبیاری که در کنار ردیف‌های کشت در سطح زمین قرار داده شد، استفاده به عمل آمد. نوارهای مورد استفاده از نوع بغل دوخت با قطر خارجی ۱۶/۵ میلی‌متر، فشار کارکرد ۱-۰/۶ بار، آبدهی ۱/۸ لیتر در ساعت و فاصله قطره‌چکانها ۲۰ سانتی‌متر از یکدیگر بود. پساب مورد استفاده از خروجی تصفیه‌خانه شهر زنجان تهیه شد. تصفیه‌خانه شهر زنجان در ۶ کیلومتری غرب شهر احداث شده است. فاز اول تصفیه‌خانه با جمعیت تحت پوشش ۱۲۵۰۰۰ نفر در آذر ماه سال ۱۳۸۶ با ظرفیت بهره‌برداری ۲۶۲۸۰۰۰ مترمکعب در سال و با روش تصفیه لجن فعال به بهره‌برداری رسید (anonymous, 2010). به منظور تهیه اختلاط آب چاه و پساب با سطوح متفاوت جهت توزیع در کرت‌های هر تیمار، از ۵ عدد مخزن ۵۰۰ لیتری (هر مخزن برای یک تیمار) که در ابتدای مزرعه تعبیه شده بود استفاده گردید. در هر نوبت آبیاری، حجم آب مورد نیاز کرت‌های هر تیمار محاسبه و از مخزن مربوط به همان تیمار تأمین می‌شد. به منظور توزیع آب در سطح کرت‌ها، از یک عدد الکتروپمپ یک طبقه مدل PRA ساخت شرکت EBARA استفاده شد. جهت ممانعت از گرفتگی خروجی نوارهای آبیاری، از یک عدد فیلتر دیسکی ۲ اینچ (با ظرفیت فیلترسازی ۲۰ مترمکعب در ساعت آب) بعد از پمپ استفاده به عمل آمد. به منظور ایجاد میدان مغناطیسی از دستگاه الکترومغناطیس مدل MVR/100 سری MEG1300 ساخت گروه مهندسی مهرآب استفاده شد. سیم پیچ دستگاه دور لوله با قطر ۲ اینچ پیچیده شده بود و قدرت میدان مغناطیسی ایجاد شده، ۰/۱ تسلا بود (شکل ۱). دستگاه در ابتدای مسیر لوله‌های آبیاری به سیستم متصل شد. تیمار آبیاری (سطح پساب و مغناطیس) از ابتدای آزمایش اعمال شد. بعد از آماده‌سازی زمین با ادوات کشاورزی و قبل از انجام کشت، عملیات مبارزه با علف‌های هرز با استفاده از علف کش رانداپ (گلای فوزیت، Roundup SL 41%) انجام گردید. در طول مدت رشد گیاه، عملیات مبارزه با علف‌های هرز به صورت مکانیکی (به کمک بیل و بیلچه و دست) انجام پذیرفت.

شکل ۱- دستگاه الکترومغناطیس مورد استفاده در آزمایش

در این پژوهش نیاز آبی گیاهان کلیه تیمارها با یکدیگر برابر بوده و با استفاده از میانگین بلند مدت پارامترهای هواشناسی ایستگاه سینوپتیک زنجان و بر اساس روش فائو (رابطه ۱) استخراج شد. مقادیر تبخیر-تعرق گیاه مرجع بر اساس روش فائو-پنمن-مانتیث ۵۶ (رابطه ۲) محاسبه شد. بر اساس نتایج پژوهش لایسیمتری صورت گرفته در شهرکرد، دقت روش فائو-پنمن-مانتیث ۵۶ در بین روش‌های تجربی مورد بررسی در مقایسه با مقادیر واقعی بیش‌تر بود (Ebrahimipak and Ghalebi, 2014). دور آبیاری در نظر گرفته شده در این پژوهش ۳ روزه بود. بنابراین با تجمیع نیاز آبی روزانه گیاه، نیاز آبیاری در هر دور محاسبه می‌شد.

$$ET_c = K_c.ET_0 \quad \text{(رابطه ۱)}$$

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{(T+273)} u_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad \text{(رابطه ۲)}$$

در این رابطه ET_0: تبخیر-تعرق گیاه مرجع (چمن) (mm/day)؛ Rn: تشعشع خالص در سطح گیاه ($MJ/m^2/d$)؛ G:

Archive of SID

www.SID.ir

جریان گرمایی خاک ($MJ/m^2/d$)؛ T: متوسط درجه حرارت هوا در ارتفاع ۲ متری (^oC)؛ U_2: سرعت باد اندازه‌گیری شده در ارتفاع ۲ متری (m/sec)؛ $e_a–e_d$: کمبود فشار بخار اندازه‌گیری شده در ارتفاع دو متری (kpa)، Δ: شیب منحنی فشار بخار ($kpa/^oC$)، γ: ثابت سایکرومتری ($kpa/^oC$)، ۹۰۰: ضریبی برای گیاه مرجع ($kJ^{-1}kg^oKd^{-1}$)، ۰/۳۴: ضریب باد برای گیاه مرجع (sec/m)، ETc: تبخیر-تعرق گیاه (mm/day)، ET_0: تبخیر-تعرق گیاه مرجع (چمن) (mm/day)، Kc: ضریب گیاهی (Vaziri *et al*., 2009).

صفات اندازه‌گیری شده در این پژوهش شامل صفات گیاهی و خاک بود. محتوای نسبی آب برگ (RWC)[1] ۶۰ روز پس از کشت، اندازه‌گیری شد. در انتهای دوره رشد، زمانی که محتوای دانه ذرت در اوایل مرحله خمیری بود، از هر کرت سه بوته به تصادف از محل طوقه جدا شده (پس از حذف گیاهان اثر حاشیه) و به آزمایشگاه انتقال یافت. سپس ارتفاع بوته‌ها تا نوک گل نر با کمک متر، سطح کل برگ‌ها به روش اسکن، وزن تر و وزن خشک کل گیاه (پس از خشک شدن بوته‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون الکتریکی با دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد) با کمک ترازوی دقیق اندازه‌گیری و ثبت گردید. هم چنین مقدار بهره‌وری مصرف آب و پساب مصرفی در طول دوره رشد گیاه، از رابطه ۳ محاسبه شد.

$$\text{بهره‌وری مصرف آب} = \frac{M.W.}{W.U.} \qquad \text{(رابطه ۳)}$$

در رابطه (۳)، M.W. (Mass Weight) وزن تر ماده تولید شده بر حسب کیلوگرم و W.U. (Water Used) مقدار آب و پساب مصرفی برای تولید یک کیلوگرم ماده تولید شده بر حسب مترمکعب می‌باشد (Vaziri *et al*., 2009). به منظور تعیین میزان عملکرد تر گیاه در هر هکتار از میانگین وزن تر تولیده شده در هر کرت استفاده شد. هم چنین از تجمیع حجم آب داده شده به هر کرت در طول دوره رشد، کل حجم آب داده شده به کرت محاسبه و برای هر هکتار تعمیم داده شد.

پس از اتمام نمونه‌برداری گیاهی، به کمک استوانه‌های نمونه‌برداری، از هر کرت، دو نمونه خاک دست نخورده از عمق‌های ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متری از وسط دو ردیف میانی گیاهان ذرت کشت شده، برداشت شد. سپس وزن نمونه‌های خاک در شرایط مرطوب و خشک (پس از خشک شدن در آون الکتریکی با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت) با ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد. ابعاد استوانه نمونه‌برداری با کمک کولیس اندازه‌گیری شد. با کمک روابط (۴ تا ۶) جرم مخصوص ظاهری، رطوبت وزنی و رطوبت حجمی خاک محاسبه شد.

$$\rho_b = \frac{M_s}{V_t} \qquad \text{(رابطه ۴)}$$

$$\theta_m = \frac{M_w}{M_s} \times 100 \qquad \text{(رابطه ۵)}$$

$$\theta_v = \rho_b . \theta_m \times 100 \qquad \text{(رابطه ۶)}$$

ρb: جرم مخصوص ظاهری (g/cm^3)؛ Ms : وزن خاک خشک شده در آون (g)؛ Vt: حجم کل (حجم استوانه نمونه‌برداری) (Cm3)؛ Θm: رطوبت وزنی (g/g)؛Mw : وزن آب (g)؛Θv: رطوبت حجمی (g/g) (Reynolds et al., 2009).

در این تحقیق جرم مخصوص حقیقی نمونه‌های خاک با کمک روش پیکنومتری اندازه‌گیری شد (Blake and Hartge, 1986). در نهایت پس از تعیین مقادیر جرم مخصوص ظاهری و حقیقی نمونه‌های خاک، با استفاده از روابط (۷ و ۸)، تخلخل و درجه اشباع هر نمونه محاسبه شد.

$$f = (1 - \frac{\rho_b}{\rho_s}) \times 100 \qquad \text{(رابطه ۷)}$$

$$\theta_{vs} = \frac{\theta_v}{f} \times 100 \qquad \text{(رابطه ۸)}$$

f: تخلخل (درصد)؛ρ_s : جرم مخصوص حقیقی (g/cm^3)؛ Θ_{vs}: درجه اشباع (g/g) (Reynolds *et al*., 2009). در انتها، تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش از طریق نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۳ انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت گرفت.

نتایج و بحث

جدول (۴) نتایج تجزیه واریانس میانگین مربعات صفات اندازه‌گیری شده در ذرت رقم ماکسیما را نشان می‌دهد. با توجه به جدول (۴)، اثر سطوح مختلف پساب در وزن خشک در سطح یک درصد و در صفات وزن تر، بهره وری مصرف آب وزن تر و ارتفاع بوته در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد، اما در دو صفت سطح برگ و محتوای نسبی آب برگ در هیچ سطح آماری اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای آزمایش مشاهده نشد. تأثیر تیمار عبور مخلوط آب و پساب از میدان مغناطیسی بر صفات وزن تر، وزن خشک، بهره وری مصرف آب وزن تر و ارتفاع بوته در سطح یک درصد معنی‌دار شد، اما همانند تیمار سطوح پساب در دو صفت سطح برگ و محتوای نسبی آب برگ، اختلاف‌ها در

1. Relative Water Content

Archive of SID

www.SID.ir

هیچ سطح آماری معنی‌دار نشد. عدم معنی‌دار شدن واریانس میانگین مربعات را می‌توان به عدم اعمال تنش آبی به گیاهان مورد آزمایش مربوط دانست. پاسخ فیزیولوژیک گیاه در مواقع بروز تنش آبی جهت حفظ میزان آب در داخل اندام‌ها، کاهش سطح برگ می‌باشد که این مسئله از طریق کاهش آماس سلولی و پتانسیل فشاری در برگ (کاهش مقدار RWC) صورت می‌گیرد تا از این طریق، میزان تعرق خود را کاهش دهد (Nikbakht *et al*., 2014). با توجه به جدول (۴) تأثیر متقابل سطوح پساب و اختلاط آب و پساب مغناطیسی در هیچ کدام از صفات اندازه‌گیری شده در هیچ سطح آماری معنی‌دار نشد.

جدول ۲- نتایج تجزیه شیمیایی آب چاه مورد استفاده

pH	EC ($dS.m^{-1}$)	سدیم ($mg\ L^{-1}$)	پتاسیم ($mg\ L^{-1}$)	کلسیم ($mg\ L^{-1}$)	منیزیم ($mg\ L^{-1}$)	کلر ($mg\ L^{-1}$)	کربنات ($mg\ L^{-1}$)	بی‌کربنات ($mg\ L^{-1}$)
۶/۵	۲/۳۵	۵۰/۰	۰/۰	۲۵۸/۴۵	۱۰۳/۷	۵۸۲/۲	۰/۰	۱۹۵/۲

جدول ۳- نتایج تجزیه شیمیایی پساب مورد استفاده

PH	EC ($dS.m^{-1}$)	نیتروژن نیتراتی ($mg\ L^{-1}$)	نیتروژن نیتریتی ($mg\ L^{-1}$)	فسفر (فسفات) ($mg\ L^{-1}$)	کلر ($mg\ L^{-1}$)	آهن ($mg\ L^{-1}$)	روی ($mg\ L^{-1}$)	مس ($mg\ L^{-1}$)	BOD_5 ($mg\ L^{-1}$)	COD ($mg\ L^{-1}$)
۸/۷	۴/۱	۱۷	۰/۰۱	۱۶/۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۱۲	۰/۰۵	۲۲	۳۲

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس میانگین مربعات صفات اندازه‌گیری شده در ذرت رقم ماکسیما.

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن تر	وزن خشک	بهره وری مصرف آب وزن تر	ارتفاع بوته	سطح برگ	RWC
تکرار	۲	۱/۲۴۱۳۳$^{n.s}$	۰/۰۰۶۳$^{n.s}$	۰/۱۲۲۳$^{n.s}$	۱۱۵۷/۵۳۳$^{n.s}$	۵۳۸۳۹/۸۹۹$^{n.s}$	۱۰/۱۵۰۳۳$^{n.s}$
سطح پساب	۴	۵۸۳/۷۳۲**	۲۰/۰۳۵**	۵۸/۸۰۸**	۱۵۳۰/۷۳۳*	۱۲۳۶۲۰۱/۰۱۳$^{n.s}$	۱۷/۵۰۰۸۳$^{n.s}$
اختلاط آب و پساب مغناطیسی	۱	۱۶۱۳/۳۳**	۵۵/۴۸۸**	۱۶۲/۸۶۷**	۷۳۹۱/۵۶۰۳**	۵۱۷۳۷۴/۵۳۶$^{n.s}$	۱۰/۹۲۰۳۳$^{n.s}$
سطح پساب* اختلاط آب و پساب مغناطیسی	۴	۵۳/۵۸۸$^{n.s}$	۰/۱۹۵$^{n.s}$	۵/۴۳۸$^{n.s}$	۱۰۶۵/۶۳۲$^{n.s}$	۲۷۹۵۷۰/۵۰۲$^{n.s}$	۹/۸۱۱۱۶۷$^{n.s}$
خطا	۱۸	۱۴۸/۳۱۸	۳/۳۶۵۲۲	۱۴/۹۶۰۸	۴۰۶/۳۴۸۹۳	۱۳۹۲۴۴/۲۱۶	۱۰/۶۹۴۰۴
ضریب تغییرات	--	۱۹/۸۸	۲۰/۶۸	۱۹/۸۵	۱۲/۲۱۰۳۷	۹/۷۰۸۷۳۹	۳/۵۳۴۶۸

*، ** و ns به ترتیب نشان دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۵ درصد و یک درصد و عدم معنی‌دار می‌باشد؛ RWC محتوای آب نسبی برگ

نتایج مقایسه میانگین‌های صفات اندازه‌گیری شده در ذرت رقم ماکسیما با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد در جدول (۵) نشان داده شده است. با توجه به جدول (۵)، بیش‌ترین وزن تر کل (۷۱/۰ تن در هکتار) در تیمار ۱۰۰ درصد پساب و کم‌ترین وزن تر کل (۴۷/۱ تن در هکتار) در تیمار شاهد حاصل شد که با یکدیگر دو رده آماری اختلاف معنی‌دار (رده a و c) داشت. کاربرد ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد پساب در آب آبیاری، سبب افزایش در وزن تر کل بوته در مقایسه با تیمار شاهد به میزان ۵، ۱۴، ۳۳ و ۵۱ درصد (به ترتیب) شد. با عنایت به عدم استفاده از کود در طول دوره رشد گیاه و نیز وجود مواد آلی و معدنی مورد نیاز رشد گیاه در فاضلاب، افزایش عملکرد تر گیاه تحت تیمار پساب را می‌توان به تأمین بخشی از عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان توسط پساب مربوط دانست. این حالت به وضوح از نتایج جدول (۵) نیز مشهود است به طوری که با افزایش میزان پساب مورد استفاده، به دلیل افزایش عناصر غذایی موجود در آب آبیاری، عملکرد تر گیاه نیز افزایش یافت. افزایش عملکرد علوفه ذرت تحت آبیاری با پساب، می‌تواند به دلیل وجود عناصر غذایی موجود در پساب باشد که در چرخه‌های فتوسنتزی و ساختمان سیتوکروم‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، بنابراین میزان فتوسنتز افزایش می‌یابد(Fereidooni *et al*., 2014). با توجه به نتایج جدول (۵)، چنین می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از پساب به عنوان آب آبیاری، علاوه بر امکان کاهش برداشت از منابع آبی با کیفیت بالا برای استفاده در عملیات آبیاری، هزینه‌های مصرف کود (شیمیایی و آلی) در تولید محصول را نیز کاهش می‌دهد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۵- نتایج میانگین صفات اندازه‌گیری شده در ذرت رقم ماکسیما.

		وزن تر (Ton/ha)	وزن خشک (Ton/ha)	بهره‌وری مصرف آب (Kg/m^3)	ارتفاع بوته (Cm)
سطح پساب	۱۰۰ پساب	۷۱/۰^{a}	۱۱/۴^{a}	۲۲/۶^{a}	۱۷۹/۸^{a}
	۷۵ پساب	۶۲/۵^{ab}	۸/۸^{b}	۱۹/۹^{ab}	۱۶۵/۲^{a}
	۵۰ پساب	۵۳/۸^{bc}	۷/۶^{b}	۱۷/۱^{bc}	۱۷۰/۵^{a}
	۲۵ پساب	۴۹/۶^{bc}	۷/۲^{b}	۱۵/۸^{bc}	۱۷۱/۸^{a}
	صفر پساب	۴۷/۱^{c}	۶/۹^{b}	۱۵/۰^{c}	۱۳۸/۱^{b}
مغناطیس	اختلاط آب و پساب مغناطیس شده	۶۴/۱^{a}	۹/۸^{a}	۲۰/۴^{a}	۱۸۰/۸^{a}
	اختلاط آب و پساب مغناطیس نشده	۴۹/۵^{b}	۷/۰^{b}	۱۵/۷^{b}	۱۴۹/۴^{b}

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

نتایج پژوهش حاضر با نتایج پژوهش سایر محققین هم‌خوانی داشت. Jenkins *et al*., (1994) گزارش کردند عملکرد ذرت آبیاری شده با پساب سه برابر عملکرد ذرت آبیاری شده با آب معمولی بود. Tavassoli *et al*., (2010b) گزارش کردند عملکرد علوفه تازه در ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ در خاکی با بافت لوم شنی، تحت آبیاری با پساب همراه با مقادیر مختلف کودهای دامی و شیمیایی، ۷۱۳۴/۷ کیلوگرم بر هکتار (۸/۲۵ درصد) در مقایسه با آب معمولی افزایش داشت.

با توجه به جدول (۵)، بین متوسط وزن تر کل گیاهان ذرت آبیاری شده با مخلوط آب و پساب مغناطیسی و غیرمغناطیسی از نظر آماری اختلاف معنی‌دار وجود داشت به طوری که میانگین وزن تر کل گیاهان ذرت آبیاری شده با مخلوط آب و پساب مغناطیسی (۶۴/۱ تن در هکتار) نسبت به تیمار آب چاه (۴۹/۵ تن در هکتار) به میزان ۱۴/۷ تن در هکتار (۳۰ درصد) بیش‌تر بود. عبور آب از میدان مغناطیسی سبب شکسته شدن پیوندهای هیدروژنی و واندروالسی بین مولکول‌های آب می‌شود. در نتیجه کشش سطحی آب کاهش می‌یابد. در این حالت تحرک و آزادی حرکت مولکول‌های آب و سیالیت آن افزایش می‌یابد. هم‌چنین حلالیت مواد در آب نیز افزایش می‌یابد (Ran *et al*., 2009). مجموعه‌ی عوامل فوق باعث می‌شود تا جذب آب و مواد غذایی حل شده در آن افزایش یابد. با افزایش جذب آب و مواد غذایی محلول توسط ریشه، توانایی گیاه برای فتوسنتز و تولید ماده‌ی غذایی افزایش یافته و در نهایت عملکرد و وزن تر گیاه افزایش می‌یابد (Nikbakht *et al*., 2014). افزایش عملکرد گیاهان تحت تیمار آب مغناطیسی نسبت به تیمار غیرمغناطیسی در پژوهش سایر محققین نیز گزارش شده است. نتایج پژوهش گلخانه‌ای نشان داد وزن تر نخود آبیاری شده با آب مغناطیسی ۱۳ درصد افزایش داشت (Hozayn and Abdul Qados, 2010). در آزمایشی وزن دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک گندم نان تحت تیمار آب مغناطیسی حدود ۳۱، ۲۵ و ۲۸ درصد بیش‌تر از آب غیرمغناطیسی به دست آمد (Mahmoud and Amira, 2010). بر اساس نتایج حاصل، وزن تر گندم تحت میدان مغناطیسی با شدت‌های ۲/۲ و ۱۹/۸ میلی‌تسلا به ترتیب ۲۵ و ۳۴ درصد بیش‌تر از تیمار شاهد بود (Alikamanoglu and Sen, 2011). آزمایش گلخانه‌ای نشان داد آبیاری مغناطیسی گیاه ریحان وزن تر آن را ۳۳ درصد نسبت به آبیاری غیرمغناطیسی افزایش داد (Banejad *et al*., 2013). نتایج پژوهش گلخانه‌ای انجام گرفته بر روی گیاه ذرت رقم ماکسیما نشان داد وزن کل گیاهان ذرت آبیاری شده با آب مغناطیسی در مقایسه با تیمار شاهد به میزان ۸/۳ درصد بیش‌تر بود (Nikbakht *et al*., 2014). در پژوهش گلخانه‌ای دیگر، افزایش ۶۰ درصدی وزن تر باقلا تحت تیمار آب مغناطیسی گزارش گردید (El Sayed, 2014).

نتایج مقایسه میانگین‌های بهره‌وری مصرف آب وزن تر کل ذرت رقم ماکسیما تحت تیمار سطوح متفاوت پساب در جدول (۵) نشان داده شده است. بیش‌ترین بهره‌وری مصرف آب در عملکرد تر کل (۲۲/۶ کیلوگرم در مترمکعب) در تیمار در۱۰۰درصد پساب حاصل شد که نسبت به تیمار آب خالص (۱۵/۰ کیلوگرم در مترمکعب) ۵۱ درصد بیش‌تر بود. با مقایسه نتایج وزن تر و بهره‌وری مصرف آب وزن تر، نتیجه می‌شود که روند تغییرات نتایج در این دو صفت در تیمارهای مختلف با هم یکسان بود به طوری که بیش‌ترین مقدار این صفت در تیمار ۱۰۰ درصد پساب بود و کم‌ترین مقدار در تیمار شاهد مشاهده شد. این مسئله به دلیل کاربرد حجم ثابت آب در آبیاری تمام تیمارها بود. بنابراین استفاده از پساب در تأمین آب مورد نیاز گیاهان ذرت مورد آزمایش موجب گردید مقدار تولید محصول به ازای حجم آب مصرفی ثابت، افزایش یابد. بر اساس نتایج تحقیق صورت گرفته، آبیاری گیاهان آفتابگردان با پساب تصفیه

Archive of SID

www.SID.ir

شده شهری، بهره‌وری مصرف آب را ۴۰ درصد نسبت به تیمار آب چاه افزایش داد (Badalians Gholikandi *et al*., 2015). هم چنین نتایج آزمایش صورت گرفته نشان داد آبیاری دو رقم متفاوت سیب‌زمینی (مارفونا و نویتا) با پساب با روش قطره‌ای زیرسطحی (عمق ۳۰ سانتی‌متری) در مقایسه با شاهد بهره‌وری مصرف آب را به ترتیب ۷/۸۴ و ۳/۸۴ کیلوگرم بر مترمکعب افزایش داد (Najafi *et al*., 2005).

با توجه به جدول (۵)، روند تغییرات میانگین بهره‌وری مصرف آب تحت تیمار مغناطیسی همانند عملکرد تر بود که علت آن بیان شد. با توجه به جدول (۵)، میانگین بهره‌وری مصرف آب در تیمار مخلوط آب و پساب مغناطیسی ۴/۷ کیلوگرم در مترمکعب (۳۰ درصد) از تیمار شاهد بیش‌تر شد (اختلاف معنی‌دار). امروزه به دلیل محدودیت منابع آب قابل دسترس، هر فن‌آوری که بتواند میزان تولید محصول را به ازای کاربرد حجم آب معین افزایش دهد، می‌تواند به عنوان یک راه‌کار مدیریتی مؤثر در استفاده بهینه از منابع آب محدود در بخش کشاورزی به حساب آید. با توجه به نتایج پژوهش حاصل و هم چنین پژوهش‌های مشابه، عبور آب از میدان مغناطیسی، چنین شرایطی را ایجاد می‌کند. نتایج آزمایش گلخانه‌ای نشان داد عبور آب با شوری ۱۵۰۰ و ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و پساب تصفیه شده از میدان مغناطیسی باعث افزایش بهره‌وری مصرف آب در گیاه کرفس به میزان ۱۱، ۲۴ و ۱۲ درصد (به ترتیب) نسبت به تیمار شاهد شد (Maheshwari and Grewal, 2009). در پژوهش گلخانه‌ای دیگر، بهره‌وری مصرف آب در گیاه ذرت تحت تیمار آب مغناطیسی ۱/۲۸ کیلوگرم در مترمکعب نسبت به تیمار غیرمغناطیسی افزایش داشت Nikbakht *et al*., (2014).

با توجه به نتایج جدول (۵)، بیش‌ترین میانگین ارتفاع گیاه مشاهده شده در این پژوهش (۱۷۹/۸ سانتی‌متر) در تیمار ۱۰۰ درصد پساب و کم‌ترین میانگین ارتفاع گیاه (۱۳۸/۱ سانتی‌متر) در تیمار شاهد بود. هم چنین با توجه به جدول (۵)، اختلاف میانگین ارتفاع بین تیمارهای ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد پساب با یکدیگر از نظر آماری معنی‌دار نبود ولی با تیمار شاهد معنی‌دار شد. اعمال ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد پساب، به ترتیب ۲۴، ۲۴، ۲۰ و ۳۰ درصد میانگین ارتفاع کل گیاه را نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. افزایش ارتفاع گیاه در تیمارهای پساب به دلیل تأمین مواد غذایی مورد نیاز برای رشد گیاه از طریق پساب بود. فاضلاب‌های شهری معمولاً حاوی سطوح بالایی از مواد مغذی گیاهی به ویژه نیتروژن و فسفر است که برای رشد محصولات کشاورزی ضروری می‌باشد (Asgharipour *et al*., 2013). در آزمایش Alizadeh *et al*., (2001) بیش‌ترین ارتفاع گیاه ذرت (۲/۶۲ متر) در تیمار پساب حاصل شد که ۲۲ سانتی‌متر از تیمار شاهد (آب چاه) بیش‌تر بود. یافته‌های Asgharipour *et al*., (2013) نشان داد ارتفاع ساقه ارزن دم‌روباهی آبیاری شده با فاضلاب خام (رقیق نشده) ۱۹ درصد بیش‌تر از تیمار آبیاری شده با آب رودخانه بود. Mousavi and Shahsavari (2014) گزارش کردند بیشترین ارتفاع گیاه ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴، در تیمار ۷۵ درصد پساب حاصل شد که نسبت به تیمار شاهد ۶۲/۲ سانتی‌متر بیش‌تر بود. Badalians Gholikandi *et al*., (2015) مشاهده کردند آبیاری با پساب تصفیه شده شهری، ارتفاع گیاه آفتابگردان را ۱۴ درصد نسبت به تیمار آب چاه افزایش داد.

همانند سایر صفات مورد بررسی، با توجه به نتایج جدول (۵)، آبیاری گیاهان ذرت رقم ماکسیما با مخلوط آب و پساب مغناطیسی موجب شد میانگین ارتفاع گیاه به طور متوسط ۳۱/۴ سانتی‌متر (۲۱ درصد) نسبت به تیمار شاهد افزایش یابد (اختلاف معنی‌دار). احتمالاً با افزایش جذب آب در شرایط آبیاری با مخلوط آب و پساب مغناطیسی، آماس سلولی و در نتیجه پتانسیل فشاری آب در سلول افزایش می‌یابد که این امر سبب افزایش تقسیم سلولی در بافت‌های گیاهی می‌گردد که این مسئله موجب افزایش ارتفاع گیاه می‌گردد. Nasher, (2008) افزایش ارتفاع بوته گیاهان نخود به میزان ۲/۶۷ سانتی‌متر در تیمار آب مغناطیسی را گزارش کرد. Hozayn and Abdul Qados (2010) گزارش کردند میانگین ارتفاع نخود در تیمار آب مغناطیسی ۱۲ درصد در مقایسه با آب معمولی افزایش یافت. در آزمایش Alikamanoglu and Sen (2011) ارتفاع گندم تحت تأثیر میدان مغناطیسی با شدت‌های ۲/۲ و ۱۹/۸ میلی‌تسلا در مقایسه با شاهد به ترتیب ۲۱ و ۳۰ درصد افزایش نشان داد. نتایج پژوهش El Sayed (2014) حاکی از افزایش ۲۷/۳۹ درصدی ارتفاع بوته باقلا نسبت به تیمار آب غیرمغناطیسی بود.

نتایج تجزیه واریانس میانگین مربعات خصوصیات فیزیکی خاک در عمق‌های ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متری در جداول (۶ و ۷) نشان داده شده است. با توجه به جداول (۶ و ۷)، اثر سطوح مختلف پساب در هیچ کدام از خصوصیات فیزیکی برای دو عمق اندازه‌گیری معنی‌دار نشد. دلیل این مسئله را می‌توان به کوتاه بودن دوره اعمال تیمار و بررسی (یک فصل زراعی) مربوط دانست، چنانچه Masoudi Ashtiani *et al*., (2011)، نیز در پژوهش خویش به چنین نتیجه‌ای رسیدند. تأثیر تیمار عبور مخلوط آب و پساب از میدان مغناطیسی بر جرم مخصوص ظاهری، رطوبت حجمی و درجه اشباع در عمق ۱۵-۰

Archive of SID
www.SID.ir

سانتی‌متری خاک در سطح یک درصد و در تخلخل در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد اما در دو خصوصیت جرم مخصوص حقیقی و رطوبت وزنی اختلاف‌ها در هیچ سطح آماری معنی‌دار نشد. تأثیر این تیمار در عمق ۳۰-۱۵ سانتی‌متری خاک بر هیچ یک از خصوصیات فیزیکی معنی‌دار نشد. با توجه به نتایج جداول (۶ و ۷)، اثر متقابل تیمار سطوح متفاوت پساب و مخلوط آب و پساب مغناطیسی بر هیچ کدام از خصوصیات فیزیکی اندازه‌گیری شده در دو عمق مورد بررسی معنی‌دار نشد.

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس میانگین مربعات خصوصیات فیزیکی خاک در عمق ۰-۱۵ سانتی‌متر.

منابع تغییرات	درجه آزادی	جرم مخصوص ظاهری	جرم مخصوص حقیقی	رطوبت وزنی	رطوبت حجمی	تخلخل	درجه اشباع
تکرار	۲	۰/۰۲۱ $^{n.s}$	۰/۰۰۰۵ $^{n.s}$	۴/۳۹ $^{n.s}$	۴/۶۵۶ $^{n.s}$	۳۵/۴۶۱ $^{n.s}$	۳۹ $^{n.s}$
سطح پساب	۴	۰/۰۲۴ $^{n.s}$	۰/۰۰۵۹ $^{n.s}$	۳/۵۹ $^{n.s}$	۱۰/۸۲۸ $^{n.s}$	۴۳/۱ $^{n.s}$	۹۳/۶۸ $^{n.s}$
مخلوط آب و پساب مغناطیسی	۱	۰/۳۰۶ **	۰/۰۰۰۰۰۳ $^{n.s}$	۰/۰۲۱ $^{n.s}$	۵۹/۰۸ *	۴۸۰/۸ **	۸۰۳/۹۴ **
سطح پساب* مخلوط آب و پساب مغناطیسی	۴	۰/۰۰۸ $^{n.s}$	۰/۰۰۶ $^{n.s}$	۲/۰۱۳ $^{n.s}$	۵/۱۳۳ $^{n.s}$	۱۳/۶۱۵ $^{n.s}$	۴۷/۰۸ $^{n.s}$
خطا	۱۸	۰/۰۲	۰/۰۰۵۴	۳/۹۹۷	۱۱/۴۸	۲۸/۹۹۴	۷۶/۸۲
ضریب تغییرات	--	۱۱/۹۹	۲/۸۵۰۸	۱۴/۲۵۳	۲۰/۳۵	۹/۹۷	۲۷/۵

جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس میانگین مربعات خصوصیات فیزیکی خاک در عمق ۳۰-۱۵ سانتی‌متر.

منابع تغییرات	درجه آزادی	جرم مخصوص ظاهری	جرم مخصوص حقیقی	رطوبت وزنی	رطوبت حجمی	تخلخل	درجه اشباع
تکرار	۲	۰/۰۱ $^{n.s}$	۰/۰۰۱ $^{n.s}$	۰/۶۷۶ $^{n.s}$	۵/۷ $^{n.s}$	۲۰/۷۷۶ $^{n.s}$	۲۰/۶۴ $^{n.s}$
سطح پساب	۴	۰/۰۴۲ $^{n.s}$	۰/۰۰۶ $^{n.s}$	۱/۷۲ $^{n.s}$	۱۹/۷۷۹ $^{n.s}$	۸۳/۹۹۸ $^{n.s}$	۳۳۴/۴۹ $^{n.s}$
مخلوط آب و پساب مغناطیسی	۱	۰/۰۹۷ $^{n.s}$	۰/۰۰ $^{n.s}$	۳/۰۰۸ $^{n.s}$	۵/۷۲ $^{n.s}$	۱۵۶/۴۰۸ $^{n.s}$	۳۹۵/۳۰۷ $^{n.s}$
سطح پساب* مخلوط آب و پساب مغناطیسی	۴	۰/۰۲۲ $^{n.s}$	۰/۰۰۶ $^{n.s}$	۴/۰۸ $^{n.s}$	۱۱/۱۲۵ $^{n.s}$	۴۹/۳۱۳ $^{n.s}$	۲۴۸/۳۱۶ $^{n.s}$
خطا	۱۸	۰/۰۳۵	۰/۰۰۵	۴/۳۸۸	۱۰/۶۵۷	۵۴/۸۴۵	۱۶۴/۸۳۷
ضریب تغییرات	--	۱۵/۲۶۲	۲/۸۵۱	۱۳/۷۱۸	۱۷/۵۹۸	۱۴/۰۵۹	۳۴/۶۴

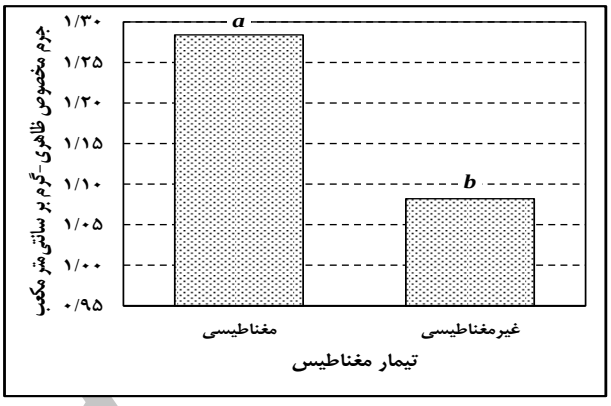
عدم معنی‌دار شدن کلیه خصوصیات فیزیکی در عمق ۳۰-۱۵ سانتی‌متری تحت دو تیمار مورد ارزیابی را می‌توان اول همان طور که بیان شد به کوتاه بودن دوره آزمایش و دوم به دور و روش آبیاری مربوط دانست. همان طور که بیان شد در این پژوهش، روش آبیاری، قطره‌ای نواری و دور آبیاری ۳ روزه بود. تناوب بالای عملیات آبیاری، عمق آب داده شده به خاک را کاهش می‌دهد. در این شرایط عمق توسعه ریشه نیز کاهش یافته و سطحی می‌گردد. بنابراین مجموع عوامل فوق موجب گردید تا کلیه فعل و انفعالاتی که در خاک می‌توانست تحت تأثیر تیمارهای آزمایش حاصل گردیده و موجب معنی‌داری در خصوصیات مورد ارزیابی برای خاک در عمق ۳۰-۱۵سامتی‌متر شود، مشاهده نگردد.

شکل (۲) نتایج مقایسه میانگین‌های جرم مخصوص ظاهری خاک در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد در تیمار مخلوط آب و پساب مغناطیسی را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۲) نتیجه می‌شود جرم مخصوص ظاهری خاک در نمونه‌های آبیاری شده با مخلوط آب و پساب مغناطیسی (۱/۲۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب) در مقایسه با نمونه‌های آبیاری شده با آب چاه (۱/۰۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب) به میزان ۱۹/۰ درصد (۰/۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب) افزایش داشت و این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار بود. افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک در مخلوط آب و پساب مغناطیسی در نتیجه تشکیل خاکدانه و افزایش جرم خاک در واحد حجم آن می‌باشد. با عبور مخلوط آب و پساب از میدان مغناطیسی سیالیت آن افزایش یافته در نتیجه خاصیت ترکنندگی آن نیز افزایش می‌یابد. بنابراین به سهولت به ذرات کلوئیدی رس خاک چسبیده و مانند رابطی بین ذرات رس و مواد آلی موجود در خاک عمل نموده که در نتیجه خاکدانه تشکیل می‌شود. هم

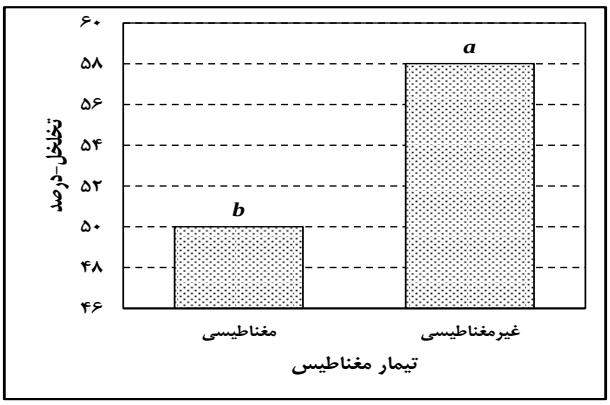
Archive of SID
www.SID.ir

چنین در اثر عبور مخلوط آب و پساب از میدان مغناطیسی موجب ایجاد رسوبات کلسیم از نوع آراگونیت سوزنی شکل می‌گردد که به مرور زمان باعث نرم‌تر شدن رسوبات آهکی خاک شده و خاک نرم‌تر و پوک‌تر می‌شود (Nikbakht *et al*., 2011).

نتایج مقایسه میانگین‌های تخلخل خاک و جرم مخصوص ظاهری تحت تیمار مخلوط آب و پساب مغناطیسی در عمق ۱۵- ۰سانتی‌متری با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد در شکل (۳) نشان داده شده است. با توجه به شکل (۳)، میانگین تخلخل تیمارهای مخلوط آب و پساب مغناطیسی (۵۰ درصد) در مقایسه با تیمار شاهد (۵۸ درصد) ۸ درصد کمتر شد. این کاهش به دلیل افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک تیمار مخلوط آب و پساب مغناطیسی قابل توجیه می‌باشد.

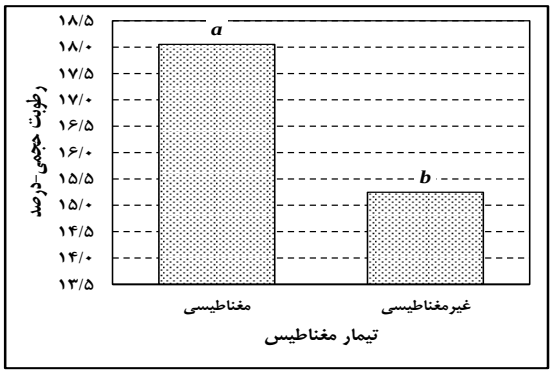


شکل ۲- نتایج مقایسه میانگین‌های جرم مخصوص ظاهری خاک در عمق ۱۵- ۰سانتی‌متری با آزمون دانکن.

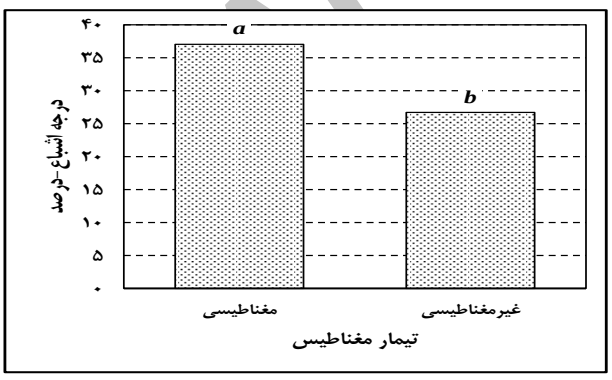


شکل ۳- نتایج مقایسه میانگین‌های تخلخل خاک در عمق ۱۵- ۰ سانتی‌متری با آزمون دانکن.

همانند نتایج مقایسه میانگین‌های جرم مخصوص ظاهری خاک، در این پژوهش میانگین دو خصوصیت رطوبت حجمی و درجه اشباع خاک در عمق ۱۵-۰سانتی‌متری تحت تیمار مخلوط آب و پساب مغناطیسی بیش‌تر از تیمار غیرمغناطیسی شد (شکل‌های ۴ و ۵). با توجه به شکل (۴) میانگین رطوبت حجمی تیمار مخلوط آب و پساب مغناطیسی ۳ درصد بیش‌تر از تیمار غیرمغناطیسی و با توجه به شکل (۵)، میانگین درجه اشباع خاک تیمار مخلوط آب و پساب مغناطیسی ۱۰ درصد بیش‌تر از تیمار غیرمغناطیس شد. با توجه به تعاریف رطوبت حجمی و درجه اشباع خاک و ارتباط آن‌ها با دو خصوصیت جرم مخصوص ظاهری و تخلخل خاک و در نظر گرفتن افزایش جرم مخصوص ظاهری (شکل ۲) و کاهش تخلخل خاک (شکل ۳) در مخلوط آب و پساب مغناطیسی، افزایش این دو خصوصیت در تیمار مغناطیسی قابل توجیه می‌باشد.



شکل ۴- نتایج مقایسه میانگین‌های رطوبت حجمی خاک در عمق ۱۵- ۰ سانتی‌متری با آزمون دانکن



شکل ۵- نتایج مقایسه میانگین‌های درجه اشباع خاک در عمق ۱۵- ۰ سانتی‌متری با آزمون دانکن

نتیجه‌گیری کلی

هدف از این پژوهش بررسی اثر سطوح متفاوت پساب مغناطیس شده بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در ذرت رقم ماکسیما و هم چنین برخی خصوصیات فیزیکی خاک بود. پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل دو عاملی در قالب بلوک‌های کاملا تصادفی در ۱۰ تیمار و ۳ تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان در سال ۱۳۹۳ انجام گرفت. نتایج نشان داد که تأثیر

www.SID.ir

سطوح متفاوت پساب بر سطح برگ و RWC معنی‌دار نبود. بر اساس نتایج، بیش‌ترین وزن تر کل (۷۱ تن در هکتار)، وزن خشک کل (۱۱/۴ تن در هکتار)، بهره‌وری مصرف آب وزن تر کل (۲۲/۶ کیلوگرم در مترمکعب) و ارتفاع گیاه (۱۷۹/۸ سانتی‌متر) در تیمار ۱۰۰ درصد پساب و کم‌ترین وزن تر کل (۴۷/۱ تن در هکتار)، وزن خشک کل (۶/۹ تن در هکتار)، بهره‌وری مصرف آب وزن تر کل (۱۵/۰ کیلوگرم در مترمکعب) و ارتفاع گیاه (۱۳۸/۱ سانتی‌متر) در تیمار شاهد (آب چاه) حاصل شد. در تیمار مغناطیس، اختلاف بین میانگین وزن تر کل، وزن خشک کل، بهره‌وری مصرف آب در وزن تر کل و ارتفاع گیاه مخلوط آب و پساب مغناطیسی با تیمار غیرمغناطیسی به ترتیب ۱۴/۶ تن در هکتار، ۲/۸ تن در هکتار، ۴/۷ کیلوگرم بر مترمکعب و ۳۱/۴ سانتی‌متر شد که این اختلاف‌ها از نظر آماری معنی‌دار بود.

به دلیل کوتاه بودن دوره آزمایش (یک فصل زراعی)، تأثیر سطوح متفاوت پساب بر هیچ کدام از خصوصیات فیزیکی اندازه‌گیری شده در عمق ۳۰-۱۵ سانتی‌متری خاک معنی‌دار نشد. مخلوط آب و پساب مغناطیسی فقط بر برخی خصوصیات فیزیکی خاک در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری اثر معنی‌دار داشت. بر اساس نتایج، عبور مخلوط آب و پساب از میدان مغناطیسی باعث افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک (۱۹ درصد)، رطوبت حجمی (۳ درصد) و درجه اشباع خاک (۱۰ درصد) و کاهش تخلخل خاک (۸ درصد) نسبت به تیمار غیرمغناطیسی در عمق ۱۵-۰سانتی‌متری شد (اختلاف معنی‌دار).

REFERENCES

Abdul Qados, A.M.S. and Hozayn, M. (2010). Response of growth, yield, yield components and some chemical constituents of Flax for irrigation with magnetized and tap water. World Applied Sciences Journal, 8(5): 630-634.

Aiello, R., Cirelli, G.L. and Consoli, S. (2007). Effects of reclaimed wastewater irrigation on soil and tomato fruits: A case study in Sicily (Italy). Agricultural Water Management, 93, 65-72.

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

Alizadeh, A., Bazari, M.E., Velayati, S., Hasheminia, M. and Yaghmai, A. (2001). Using reclaimed municipal wastewater for irrigation of corn. ICID International Workshop on Wastewater Reuse Management, Seoul.

Anonymous, 2010. Consistent information of Zanajn wastewater treatment plant. Available on: http://www.znabfa.ir.

Asgharipour, M.R., Ghanbari Bonjar, A., Azizmoghadam, H., Sirousmehr, A.R. and Heidari, M. (2013). Effects of Irrigation With Treated Municipal Sewage Effluent and Micro-Nutrients Foliar Spray on Foxtail Millet Growth and Nutrients Uptake in Zabol. Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources, Soil and Water Sciences, 16(62): 35-47. (In Farsi).

Assareh, A., Bagheri, R. and Ansari, N. (2012). Effect of magnetic water using on irrigation water quality changes and soil acidity under maize cropping. In: 6th National Conference New Ideas in Agriculture, 1-2 March, Khorasgan University, Esfahan, Iran. (In Farsi).

Azadegan, B. (2014). Effect of irrigation with sewage effluent on some soil physical properties. In: 6th National Conference on watershed management and soil and water resources management, 1-2 February, Kerman, Iran, pp. 1-6. (In Farsi).

Badalians Gholikandi; G., Jamshidi; SH. and Abrishami, A. (2015). Impact Assessment of Cultivating Sunflower (Helianthus annus L.) by Treated Municipal Wastewater on Growth, Yield and Soil Properties. Journal of Water Reuse, 2(1): 27-40. (In Farsi).

Banejad, H., Mokari Gahroodi, E., Esnaashari, M. and Liaghat, A.M. (2013). Assessment of the Interaction of Magnetic Water and Salinity on Yield and Components of Basil Plant. Iranian Journal of lrrigation and Drainage, 7(2): 178-183. (In Farsi).

Blake, G. R., and Hartge. K. H. (1986). Particle density. In A. Klute (Ed.). Methods of soil analysis: Part.I. Physical and mineralogical methods (2nd ed.). Madison, Wisconsin, USA. Agronomy Society of America and Soil Science Society of American. Agronomy Monograph (9), 377-382.

Ebrahimipak, N.A. and Ghalebi, S. (2014). Determination of crop evapotranspiration and corp coefficient (Kc) with lysimeters at sugar beet and comparison with experimental methods. Journal of Sugar Beet, 30(1), 49-70.

Ehsani, M. and Khaledi, H. (2003). Water productivity in agriculture. Iranian national committee on irrigation and drainage, Tehran. (In Farsi).

El Sayed, H.S.A. (2014). Impact of magnetic water irrigation for improvethe growth, chemical composition and yield production of Broad bean (Vicia faba L.) Plant. American Journal of Experimental Agriculture 4(4): 476-496.

Feizi, M., Shayan Jozi, M. and Ghorbani, H. (2010). Impact of wastewater using in agriculture on some soil physical properties. In: The second national seminar on the status of water recycling and waste water management, water resources, Mashhad, Iran, pp. 1-6. (In Farsi).

Fereidooni, M.J., Farajee, H. and Owliae, H.R. (2014). Effect of treated urban sewage and nitrogen on absorption of mineral nutrients in sweet corn.

Archive of SID

www.SID.ir

Journal of Water Research in Agriculture, 27(4): 487-501. (In Farsi).

Hozayn, M. and Abdul Qados, A.M.S. (2010). 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.

Jenkins, C.R., Papadopoulos, I. and Stylianou, Y. (1994). Pathogens and wastewater use for irrigation in Cyprus. International Conference on Land and Water Resources Management in the Mediterranean Region, Italy, 979-989.

Karmollachaab, A. (2012). Effect of Magnetic Water application on growth, yield and yield components of Maize. In: 6th National Conference New Ideas in Agriculture, 1-2 March, Khorasgan University, Esfahan, Iran. (In Farsi).

Khoshravesh, M., Mostafazadehfard, B., Kiani, A., Mousavi, F. and Kamyab, F. (2012). Effect of magnetic water on soil sodium in different level of irrigation water salinity. In: The abstracts of international workshop and conference on desalination of brackish, seawater and wastewater treatment, 19-21 June., University of Water and Power Industry, Tehran, Iran, pp. 1-7. (In Farsi).

Kiziloglu, F.M., Turan, M., Sahin, U., Kuslu, Y. and Dursun, A. (2008). Effects of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties of cauliflower (Brassica olerecea L.var. botrytis) and red cabbage (Brassica olerecea L. var. rubra) grown on calcareous soil in Turkey. Agricultural Water Management, 95, 716-724.

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

Mahmoud, H. and Amira, M.S. (2010). Magnetic water application for improving wheat (Triticum aestivum L.) crop production. Agriculture and Biology Journal of North America, 1(4): 677-682.

Masoudi ashtiani, S., Parsinejad, M. and Abbasi, F. (2011). Effect of Applying Urban Wastewater in Irrigation of Sorghum on Some Soil Physical Properties. Iranian Journal of Soil Research (Soil and Water Sciences), 25(3): 243-253. (In Farsi).

Mehrabi Delshad, M., Kouchakzadeh, M. and Ebrahimi, K. (2013). Laboratory Study of magnetic effect on saline water. In: 9th International River Engineering Conference, 22-24 January, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran. (In Farsi).

Mojid, M.A., Biswas, S.K. and Wyseure, G.C.L. (2012). Interaction effects of irrigation by municipal wastewater and inorganic fertilizers on wheat cultivation in Bangladesh. Field Crops Research, 134, 200-207.

Mousavi, S.R. and Shahsavari, M. (2014). Effects of treated municipal wastewater on growth and yield of maize (Zea mays). Biological Forum-An International Journal, 6(2): 228-233.

Najafi, P., Mousavi, S.F. and Faizi, M. (2005). Effects of using municipal wastewater in irrigation of potato. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 12(1): 61-70. (In Farsi).

Nasher, S.H. (2008). The effect of magnetic water on growth of chick-pea seeds. Engineering and Technology Journal, 26(9), 1125-1130.

Nikbakht, J., Khandeh Rouyan, M., Tavakoli, A. and Tahheri, M. (2014). The effect of magnetic water deficit on yield and water use efficiency of corn. Journal of Water Research in Agriculture, 24(4), 551-563. (In Farsi).

Nikbakht, J., Khandeh-Rouyan, M. and Tavakkoli, A. (2011). Water magnetizing, an effective and new technology for applying of uncommon water in irrigation. The 2nd Iranian National Conference on Applied Research in Ware Resources, Zanjan. (In Farsi).

Panahi, M., Farboodi, M., Faramarzi, A. and Shahrokhi, Sh. (2011). Investigation of magnetic water usability for increasing of sugar bean seed germination at different level of water salinity. In: 2th National Conference on Science and Technology Seed, 26-27 October, Islamic Azad university, Mashhad, Iran, pp. 1288-1292. (In Farsi).

Pena, F. (2011). Social problems with the agricultural use of urban wastewater. Chapter 10, part II: Water Resources in Mexico, 145-154.

Pescod, M.B. (1992). Wastewater treatment and use in agriculture. FAO, Irrigation and Drainage paper, No. 47, Rome, Italy.

Ran, C., Hongwei, Y., Jinsong, H. and Wanpeng, Z. (2009). The effects of magnetic fields on water molecular hydrogen bonds. Journal of Molecular Structure, 938:15-19.

Reynolds, W.D., Drury, C.F., Fox, C.A. and Yang, X.M. (2009). Use of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. Geoderma, 152, 252-263.

Rusan, M.J.M., Hinnawi, S. and Rousan, L. (2007). Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. Desalination, 215, 143-152.

Singh, P.K., Deshbhratar, P.B. and Ramteke, D.S. (2012). Effects of sewage wastewater irrigation on soil properties, crop yield and environment. Agricultural Water Management, 103, 100-104.

Singh, R.P. and Agrawal, M. (2010). Variations in heavy metal accumulation, growth and yield of rice plants grown at different sewage sludge amendment rates. Ecotoxicology and Environmental Safety, 73, 632-641.

Tavassoli, A., Ghanbari, A., Amiri, E. and Paygozar, Y. (2010b). Effect of municipal with manure and fertilizer on yield and quality characteristics of forage in corn. African Journal of Biotechnology, 9(17): 2515-2520.

Tavassoli, A., Ghanbari, A., Heydari, M., Paygozar, Y. and Esmaeelian, Y. (2010a). Effect of Treated Wastewater Combined with Various Amounts of Manure and Chemical Fertilizers on Nutrient Content and Yield in Corn. Journal of water and wastewater, 21(3), 37-44. (In Farsi).

www.SID.ir

Tunc, T. and Sahin, U. (2015). The changes in the physical and hydraulic properties of a loamy soil under irrigation with simpler-recalimed wastewaters. Agricultural Water Management, 158, 213-224.

Vashisth, A. and Nagarajan, S. (2010). Effect on germination and early growth characteristics in sunflower (Helianthus annuus) seeds exposed to static magnetic field. Journal of Plant Physiology, 167: 149-156.

Vaziri, j., Salamat, A.R., Entesari, M.R., Moschi, M., Heydari, N. Dehghani Sanich, H. (2009). Evapotranspiration (water consumption required instructions in Plants). Iranian national committee on irrigation and drainage, Tehran, Iran. (In Farsi).

Xiao-feng, P. and Bo, D. (2008). The changes of macroscopic features and microscopic structures of water under influence of magnetic field. Physica B, 403: 3571-3577.

Zamanian, M. and Najafi, E. 1993. Effect of row spacing and plant density on silage yield and morphological characteristics of maize cv. 704. Seed and Plant Improvement Journal, 18(2): 200-214.

Zolfagharan, A. and Haghayeghimoghadam, A. (2008). Impact of domestic wastewater on canola yield and soil properties in surface irrigation. In: 2th seminar on strategies for improving irrigation systems, 22 May, Karaj, Iran. (In Farsi).

Zolfaghari Karbasak, F., Moghaddamnia, A., Jabari, M. and Noori, R. (2009). Surveying importance of recycling and using of wastewater in supplying water resources. In: Proceedings of the regional conference on drought management and exploitation of unconventional water in agriculture, Bushehr, Iran, pp. 502-510. (In Farsi).

Archive of SID

www.SID.ir