تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۹، شماره ۳، مرداد و شهریور ۱۳۹۷ (ص ۵۱۴-۵۰۵) DOI: 10.22059/ijswr.2017.214907.667531

اثر کم آبیاری با فاضلاب تصفیه شده شهری بر عملکرد محصول ذرت (مطالعه موردی کرج)

ریحانه زارع میرک آباد[۱]، تیمور سهرابی[۲]، بابک متشرع‌زاده[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران

۲- استاد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاوزی، دانشگاه تهران

۳- دانشیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۴/ ۶/ ۱۳۹۵- تاریخ بازنگری: ۱۷/ ۸/ ۱۳۹۶- تاریخ تصویب: ۲۱/ ۸/ ۱۳۹۶)

چکیده

بحران آب یکی از مسائل اساسی در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران است. بنابراین استفاده از منابع آب نامتعارف، در جایی که آب با کیفیت مناسب در دسترس نیست، رو به فزونی است. یکی از این منابع، فاضلاب تصفیه شده شهری است که علاوه بر تأمین آب می‌تواند نیاز غذایی گیاه را نیز تأمین کند. این پژوهش با استفاده از طرح فاکتوریل در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی بر روی گیاه ذرت با دو تیمار نوع آب آبیاری (فاضلاب تصفیه شده شهری و آب معمولی) و چهار سطح مقدار آب آبیاری شامل آبیاری کامل و کم‌آبیاری ۸۰، ۶۰ و ۴۰٪ نیاز آبی گیاه و در سه تکرار انجام شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که آبیاری با فاضلاب تصفیه شده شهری و آب معمولی تأثیر معنی‌دار بر وزن تر و خشک کل اندام هوایی محصول، وزن بلال، وزن تر و خشک ریشه، ارتفاع و قطر گیاه داشت، یعنی میزان رشد گیاه کاملاً وابسته به نوع آب برای آبیاری و احتمالاً حضور مواد مغذی و آلی در پساب است. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد آبیاری با فاضلاب تصفیه شده شهری سبب افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه گیاه نسبت به آب معمولی شد. هم‌چنین با کاهش مقدار آب آبیاری وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه کاهش پیدا کرد ولی در مقایسه با آب معمولی این کاهش کمتر بوده است. وزن تر و خشک اندام‌هوایی ذرت آبیاری شده تحت تیمار ۱۰۰٪ فاضلاب تصفیه شده شهری به ترتیب با ۸۷۴/۳ و ۳۰۶ گرم بیشترین میزان بود و نسبت به تیمار ۴۰٪ آب معمولی به ترتیب ۴۵/۵ و ۵۹/۲٪ افزایش را نشان داد. بنابراین کم‌آبیاری با فاضلاب نسبت به کم‌آبیاری با آب معمولی سبب افزایش معنی‌دار عملکرد این محصول شد. استفاده از منابع فاضلاب در کنار پایش دائمی کیفیت آن‌ها توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ذرت، فاضلاب شهری، قطر ساقه، عملکرد

مقدمه

ایران کشوری با اقلیم خشک و نیمه‌خشک، با آب و هوای مدیترانه‌ای و متوسط بارندگی بلندمدت سالانه‌ی ۲۴۰ میلی‌متر و با پراکندگی نامتناسب سبب محدودیت آب برای فعالیت‌های کشاورزی در بسیاری از مناطق کشور به خصوص در زمان‌های مورد نیاز شده است. در چنین وضعیتی تولید محصول در طی ماه‌های تابستان متکی بر آبیاری است و از سوی دیگر تأمین آب، عامل محدودکننده تولید است (Sepaskhah and Khajehabdollahi, 2005).

کاربرد فاضلاب و پساب در کشاورزی به علت نیاز روزافزون به آب و قابل اطمینان بودن پساب به عنوان منبع آب در سال‌های خشک و کم‌باران، بویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران و در کل به دلیل بالا بودن مواد مغذی همچون نیتروژن، فسفر و پتاسیم برای رشد گیاهان، روز به روز مورد توجه بیشتر است (Moradmand and Begay Harchegani., 2009. Torabiyan and matlabi 2003). به شرط آن‌که استفاده اصولی از آن به همراه تصفیه مناسب پساب باشد (Abedi Koupai *et al*., 2003). هم‌چنین علاوه بر کاهش مصرف آب و وجود مواد مغذی در پساب، به کارگیری پساب و اختلاط آن با سایر منابع آب موجود مانند آب زیرزمینی زمینه‌ساز ارتقای کیفی زراعی و بازده محصولات می‌شود (Al-khamisi *et al*., 2013). تنش به معنای فشار شدید اثرات منفی برخی نیروهاست که منجر به توقف عملکرد نظام‌های طبیعی می‌شود. به عبارتی، تنش به عنوان کاهش رشد کمی یا کیفی یک گیاه خاص تعریف می‌شود که در اثر تغییرات خارج از دامنه مطلوب عوامل محیطی ایجاد می‌شود (Kafi and Damghani., 2002; Levitt, 1980). کمبود آب در نوع و مقدار عناصر معدنی گیاه مؤثر است. به طور کلی، تأمین رطوبت برای گیاه شرایط را برای

نویسنده مسئول: reyhanehzare2013@gmail.com

جذب عناصر معدنی مهم فراهم می‌سازد. اثر تنش رطوبت بر رشد گیاه بیشتر از اثر آن بر جذب عناصر معدنی می‌باشد (Fanaei *et al*., 2009). به طور مثال، در شرایط کمبود رطوبت جذب فسفر کاهش می‌یابد. البته خاک‌های مختلف به علت توانایی متفاوتی که از نظر تثبیت فسفر دارند از این نظر متفاوت می‌باشند. هم‌چنین در زمانی‌که رطوبت مساعد باشد ممکن است درصد پتاسیم در بافت‌های گیاه کاهش یابد و در اثر تنش خشکی میزان جذب سدیم و پتاسیم در گیاه افزایش می‌یابد و آن به دلیل تنظیم فشار اسمزی و نقش یون پتاسیم در کنترل روزنه است (Kochaki *et al*., 2003).

در جنوب مراکش با عنوان اثر کم‌آبیاری با فاضلاب تصفیه شده بر روی گیاه ذرت شیرین و شبیه‌سازی با مدل SALTMED تأثیر استفاده از فاضلاب تصفیه شده و اعمال کم-آبیاری بر روی عملکرد، بهره‌وری آب، ماده خشک و هم‌چنین رطوبت در دسترس خاک بررسی شد. نتایج مدل‌سازی تجربی و مدل‌سازی با SALTMED نشان می‌دهد که اعمال کم‌آبیاری کنترل شده در طول مرحله رشد رویشی، ریشه را توسعه می‌دهد که این مسئله باعث افزایش جذب آب و مواد غذایی و به تبع آن افزایش عملکرد گیاه می‌شود. در استفاده از مواد آلی، در تیماری که آبیاری کامل صورت گرفته است، عملکرد مقداری افزایش یافته بود، اما در تیمارهایی که در آن‌ها کم‌آبیاری صورت گرفته بود، ماده آلی اثر نسبتاً کمی داشت (Hirich *et al*., 2013). در جزیره سیسیل در حوضه مدیترانه با شرایط آب و هوایی نیمه‌خشک نیز نتایج ارزیابی تأثیر آبیاری گوجه‌فرنگی و بادمجان با فاضلاب تصفیه شده نشان داد افزایش ۲۰ درصدی در عملکرد محصول قابل دسترسی است (Cirelli *et al*., 2012). در پژوهشی به منظور بررسی میزان عملکرد و اجزای عملکرد علوفه و نیز تجمع عناصر سنگین در برگ و ساقه سورگوم تحت تأثیر شیوه‌های مختلف آبیاری با پساب تصفیه شده انجام شد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین عملکرد و اجزای عملکرد علوفه از تیمار آبیاری با پساب و آب معمولی به صورت یک در میان و آبیاری با پساب در کل دوره رشد به دست آمد. آبیاری با پساب در کل دوره رشد و پس از آن در تیمار یک در میان باعث تجمع بیشترین میزان عناصر سنگین در اندام‌های گیاه گردید. عملکرد علوفه تحت تأثیر آبیاری با پساب در کل دوره رشد و آبیاری با آب معمولی به صورت یک در میان در مقایسه با آبیاری با آب معمولی و کاربرد کودهای NPK، به ترتیب ۳۸/۹۶ و ۵۱/۹۵ درصد افزایش یافت. بر اساس نتایج حاصل، به منظور استفاده از پساب تولیدی در زراعت سورگوم، شیوه آبیاری با پساب به صورت یک در میان با آب معمولی قابل توصیه می‌باشد (Jalali *et al*., 2009). در پژوهشی اثر کم‌آبیاری متناوب بر عملکرد، اجزا عملکرد و بهره‌وری آب در ذرت دانه‌ای سینگل کراس ۷۰۴ در مزرعه تحقیقاتی پردیس ابوریحان-دانشگاه تهران واقع در شهرستان پاکدشت اجرا گردید. تیمارهای آبیاری شامل تیمار A (آبیاری کامل)، تیمار B (آبیاری متناوب با یک دور آبیاری کامل و دور بعد با ۸۵ درصد آبیاری کامل تا پایان رشد گیاه)، تیمار C و تیمار D مانند تیمار B اما با اعمال ۶۵ و ۵۰ درصد آبیاری کامل تا پایان رشد گیاه اجرا شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کم‌آبیاری متناوب بر صفات وزن خشک بوته، وزن بلال، عملکرد دانه و بهره‌وری آب اثر معنی‌داری داشت. برای رسیدن به بهره‌وری آب، ارتفاع بوته، عملکرد زیست‌توده، وزن بلال و عملکرد دانه‌ی بیش‌تر، نیازی به آبیاری کامل نیست و با آبیاری به صورت تیمار B می‌توان به مقدار عملکرد حداکثر رسید. هم‌چنین بر اساس همبستگی صفات مشخص شد که وزن بلال بیش‌ترین همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح یک درصد با عملکرد دانه داشت. هدف از این پژوهش بررسی اثرات کم-آبیاری با فاضلاب تصفیه شده شهری و آب معمولی بر عملکرد گیاه ذرت می‌باشد(Masoumi *et al*., 2014).

مواد و روش‌ها

اندازه‌گیری داده‌های مزرعه‌ای

تحقیق حاضر به صورت آزمایش گلدانی در یک فصل زراعی در سال ۱۳۹۴ در مزرعه‌ی پژوهشی مرکز تحقیقات آب و خاک گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران، واقع در کرج به انجام رسید. این مزرعه از نظر موقعیت جغرافیایی دارای طول جغرافیایی ′۵۹ °۵۰ شرقی، عرض جغرافیایی ′۴۸ °۳۵ شمالی و ارتفاع ۱۳۳۷ متر از سطح دریا، دارای اقلیم نیمه‌خشک با زمستان نسبتاً سرد و تابستان نسبتاً معتدل می‌باشد. این مطالعه در قالب طرح آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با هشت تیمار و سه تکرار (در ۲۴ گلدان) انجام شد. مساحت هر گلدان ۷۰۶ سانتی‌متر مربع (قطر ۳۰ سانتی‌متر) و ارتفاع هر کدام ۴۰ سانتی‌متر بود که تا ارتفاع ۳۶ سانتی‌متر خاک ریخته شد. برای جلوگیری از ایجاد شرایط احیایی، انتهای گلدان با یک لایه سنگریزه درشت و ماسه پوشش داده شد. به‌منظور حذف اثر حاشیه‌ای بر تبخیر تعرق، در اطراف گلدان‌های مورد مطالعه، ردیف‌های حاشیه نیز کشت گردید. فاصله بین ردیف‌های کاشت حاشیه ۷۵ سانتی‌متر، عمق کاشت دو تا سه سانتی‌متر و فاصله کاشت بذور در هر ردیف ۲۰ سانتی‌متر بود. تیمارهای این مطالعه شامل:

آبیاری کامل با فاضلاب تصفیه شده شهری (۱۰۰٪ نیاز آبی گیاه) در کل دوره رشد ذرت (W_1D_0)، ۲۰٪ کم‌آبیاری با فاضلاب تصفیه شده شهری (۸۰٪ نیاز آبی گیاه) در کل دوره رشد ذرت (W_1D_1)، ۴۰٪ کم‌آبیاری با فاضلاب تصفیه شده شهری (۶۰٪ نیاز آبی گیاه) در کل دوره رشد ذرت (W_1D_2)، ۶۰٪ کم‌آبیاری با فاضلاب تصفیه شده شهری (۴۰٪ نیاز آبی گیاه) در کل دوره رشد ذرت (W_1D_3)، آبیاری کامل با آب معمولی (۱۰۰٪ نیاز آبی گیاه) در کل دوره رشد ذرت (W2D0)، ۲۰٪ کم‌آبیاری با آب معمولی (۸۰٪ نیاز آبی گیاه) در کل دوره رشد ذرت (W2D1)، ۴۰٪ کم‌آبیاری با آب معمولی (۶۰٪ نیاز آبی گیاه) در کل دوره رشد ذرت (W2D2)، ۶۰٪ کم‌آبیاری با آب معمولی (۴۰٪ نیاز آبی گیاه) در کل دوره رشد ذرت (W2D3) می‌باشند که W معرف نوع آب آبیاری؛ شامل فاضلاب تصفیه شده (W1) و آب معمولی (آب شهری) (W2) می‌باشد و D بیانگر تنش خشکی در چهار سطح؛ آبیاری کامل (D0)، ۲۰٪ کم‌آبیاری (D1)، ۴۰٪ کم‌آبیاری (D2) و ۶۰٪ کم‌آبیاری (D3) است.

جهت انجام تحقیق از گیاه ذرت با نام علمی Zea mays .L از گونه زراعی و رقم هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ استفاده شد. کشت بذر در داخل گلدان‌ها در تاریخ ۱۲ تیرماه ۱۳۹۴ به صورت دستی انجام شد. برای اطمینان از سبز شدن صد در صد دانه‌ها تعداد چهار عدد دانه در هر گلدان کاشته شد. پس از رسیدن بوته‌های ذرت به پنج تا شش برگی، به یک گیاه برتر تنک گردید. به منظور تطبیق بیشتر شرایط کشت با شرایط مزرعه (از نظر هم‌سطح بودن خاک گلدان‌ها با خاک مزرعه و تبخیر یکسان از آن‌ها) گودالی به عمق ۴۵ سانتی‌متر و طول و عرض ۳۰۰ و ۱۵۰ سانتی‌متر حفر گردید و گلدان‌ها در سه ردیف (سه تکرار) به فاصله ۵۵ سانتی‌متر کنار هم قرار داده شدند.

فاضلاب تصفیه شده شهری از تصفیه خانه شهرک مسکونی اکباتان که یکی از تصفیه خانه‌های شهر تهران جهت تصفیه فاضلاب انسانی است تهیه گردید. مشخصات کیفی پساب آنالیز شد و مقادیر میانگین آن‌ها در جدول (۱) ارائه شده است. در طول دوره داشت، کیفیت فیزیکی و شیمیایی فاضلاب مورد آنالیز قرار گرفت تا تغییر معنی‌داری نداشته باشد. خاک استفاده شده دارای کلاس بافت لوم با pH ۸/۱، قابلیت هدایت الکتریکی ۲/۱۱ دسی‌زیمنس بر متر و جرم مخصوص ظاهری ۱/۲۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب (با تراکمی معادل ۱۴۰۰-۱۲۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب) می‌باشد. برخی مشخصات مهم فیزیکی و شیمیایی خاک پیش از اعمال تیمارهای آبیاری در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۱. مشخصات کیفی پساب تصفیه شده

پارامتر	واحد	فاضلاب تصفیه شده شهری	آب معمولی
pH	-	۷/۵۳	۷/۶
EC	dS/m	۰/۷۳۵	۱/۱۵
BOD	mg/L	۵/۷۳	-
COD	mg/L	۱۶/۶۴	-
TSS	mg/L	۱۷/۲۴	-
نیترات	mg/L	۴۲/۹	-
فسفات	mg/L	۸/۹	-
سولفات	meq/L	۰	۴/۱
کلر	meq/L	۲/۵۷	۳/۶
بی‌کربنات	meq/L	۳	۳/۸
منیزیم	meq/L	۴	۲/۵
سدیم	meq/L	۲/۶۷	۱/۱۴
پتاسیم	meq/L	۰/۳۲	۰/۰۶
کلسیم	meq/L	۳/۱	۸/۱
نسبت جذب سدیم	-	۱/۴۱۷	۰/۵

جدول ۲. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک استفاده شده قبل از اعمال تیمارهای آبیاری

کلاس بافت خاک	رس (٪)	سیلت (٪)	شن (٪)	نقطه ظرفیت زراعی (درصد حجمی)	نقطه پژمردگی دائم (درصد حجمی)	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	پتاسیم mg/kg	فسفر mg/kg	نیتروژن کل (٪)
لوم	۲۸	۴۳	۲۹	۲۹/۶	۱۴/۶	۱/۲۱	۲۶۳	۷/۲	۰/۱

آبیاری

بیلان آب خاک

جهت تعیین مقدار آبیاری مورد نیاز گلدان‌ها از روش بیلان آب خاک به شرح رابطه (۱) استفاده شد:

$$ET = I + P - RO - DP + CR \pm \Delta SF \pm \Delta SW \quad \text{(رابطه ۱)}$$

که در آن I مقدار آب آبیاری، P میزان بارندگی، DP مقدار آب خروجی از زهکش، RO میزان رواناب، CR مقدار صعود مویینه از سطح ایستابی، ΔSF تغییرات آب زیرزمینی وΔSW تغییر مقدار آب خاک می‌باشد.

در این آزمایش به دلیل استفاده از گلدان به‌عنوان محیط کنترل شده و محاسبه دقیق مقدار آب مورد نیاز گیاه به کمک

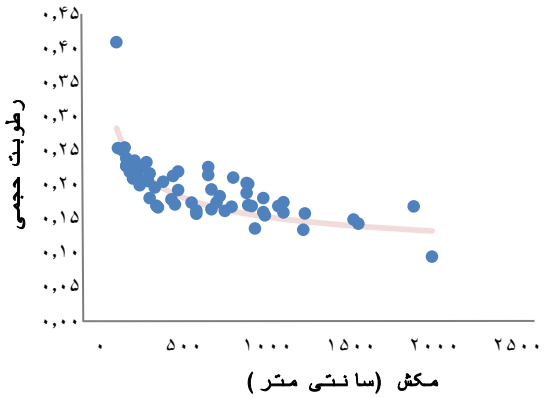
حسگر واترمارک، از دو پارامتر رواناب و نفوذ عمقی صرف‌نظر شد. در عمل تنها عوامل خارج کننده آب‌خاک دو پارامتر تبخیر و تعرق بودند که در یک پارامتر تحت عنوان تبخیر- تعرق گنجانده شدند. دو عامل تأمین کننده آب ورودی نیز شامل آبیاری و بارندگی بود.

حسگرهای واترمارک از نوع حسگرهای مقاومت الکتریکی ساخت شرکت ایرومیتر هستند که مکش آب خاک را اندازه-گیری می‌کنند. این حسگرها شامل یک جفت الکترود مقاوم در برابر خوردگی هستند و به گونه‌ای طراحی شده‌اند که بتوان آن-ها را به‌طور دائمی در خاک قرار داد و هر زمان لازم بود اقدام به قرائت آن‌ها نمود. حسگرهای واترمارک مکش محیط اطراف سلول را برحسب سانتی‌بار یا کیلوپاسکال قرائت می‌کنند. از آن-جا که تغییر رطوبت خاک باعث تغییر در مقاومت الکتریکی آن می‌شود، این حسگرها به‌خوبی می‌توانند نشانگر وضعیت مکش آب خاک و رطوبت آن باشند.

نصب حسگر واترمارک و واسنجی و اعتبارسنجی آن

برای نصب حسگرها، با آگر حفره‌های لازم در عمق مورد نظر (۳۰ سانتی‌متری) در گلدان‌ها ایجاد گردید و حسگرها در حفره-های مورد نظر قرار گرفتند. سپس با همان خاک گلدان‌ها، حفره‌های ایجاد شده پر شدند تا در حد امکان خاک دست-نخورده باقی بماند.

از آن‌جایی که در این آزمایش به رطوبت حجمی محیط خاک نیاز بود اقدام به کالیبره کردن حسگرها برای خاک گلدان‌ها شد. کالیبره کردن حسگرها طی ۷ روز (دو بار آبیاری) انجام شد، به گونه‌ای که هر روز پس از قرائت حسگرها رطوبت گلدان‌ها به روش وزنی اندازه‌گیری شد، سپس رطوبت وزنی به کمک چگالی ظاهری خاک که برابر با ۱/۲۱ گرم بر سانتی‌مترمکعب بود به رطوبت حجمی تبدیل گردید. سپس منحنی ون گنوختن به روش حداقل مربعات غیرخطی به کمک نرم‌افزار اکسل به نقاط مکش و رطوبت حجمی برازش داده شد (شکل ۱).



شکل ۱. برازش منحنی ون گنوختن به نقاط مکش و رطوبت حجمی

رابطه به‌دست‌آمده به شکل رابطه (۲) است که h برحسب سانتی‌متر و θ رطوبت حجمی است.

$$\theta = 0/027 + \left(\frac{0/352}{(1+(10\times 0.027\times h)^{1/46})^{(1-(\frac{1}{1/46}))}}\right) \quad \text{(رابطه ۲)}$$

در ادامه جهت اعتبارسنجی منحنی و فرمول به‌دست آمده از واسنجی، همان روش قبلی صورت گرفت.

اندازه‌گیری میزان آب آبیاری

به منظور اندازه‌گیری عمق آبیاری در هر نوبت (دور آبیاری سه روز یکبار) باید تغییرات رطوبت با دقت سنجش شود و بعد از آن کمبود رطوبتی خاک محیط ریشه تا نقطه ظرفیت زراعی (FC) برابر با ۲۹/۶ درصد حجمی) توسط آبیاری برطرف گردد. برای سنجش تغییرات رطوبتی و محاسبه میزان تبخیر- تعرق از ۱۵ حسگر واترمارک برای همه تیمارها استفاده شد که در عمق ۳۰ سانتی‌متری گلدان‌ها به گونه‌ای که بتوانند برآورد دقیقی از تغییرات رطوبت خاک داخل گلدان ارائه دهند، جانمایی شدند. قبل از هر آبیاری، برای محاسبه حجم آب آبیاری قرائت حسگرها صورت گرفت. مقادیر خوانده شده توسط حسگرها به کمک رابطه (۲) به رطوبت حجمی تبدیل شد. در هر آبیاری برای رساندن رطوبت خاک گلدان‌ها به نقطه ظرفیت زراعی، اختلاف رطوبت میانگین به‌دست‌آمده در عمق ۳۰ سانتی‌متر با رطوبت حجمی نقطه ظرفیت زراعی خاک گلدان، محاسبه و با ضرب کردن در ارتفاع خاک داخل گلدان و مساحت گلدان حجم آب آبیاری برای رساندن ناحیه ریشه به نقطه ظرفیت زراعی محاسبه شد. این عمل در هر آبیاری برای تمامی گلدان‌ها انجام شد.

در ابتدای فصل تا ۶-۵ برگی شدن ذرت (۲۵ روز بعد ازکاشت) آبیاری تمام گلدان‌ها با آب معمولی و به صورت کامل انجام شد تا گیاه بتواند شکل بگیرد و برای اعمال تنش آماده گردد. بعد از ۶ برگی شدن (روز ۲۵ام بعد ازکاشت)، تنش‌های آبی به این صورت اعمال شدند که برای همه گلدان‌ها ابتدا حجم آب آبیاری برای رساندن رطوبت ناحیه ریشه به نقطه ظرفیت زراعی محاسبه شد. سپس متناسب با نوع کم‌آبیاری که شامل ۸۰٪، ۶۰٪ و ۴۰٪ ظرفیت زراعی بود آبیاری گلدان‌ها انجام شد.

اندازه‌گیری پارامترهای گیاهی

در پایان فصل کشت (۱۰۴ روز بعد از کاشت در تاریخ ۲۳ مهرماه ۱۳۹۴)، برداشت اندام هوایی گیاه انجام شده و بلافاصله پس از برداشت، وزن تر اندام هوایی با ترازوی دیجیتالی اندازه-گیری شد و هم‌چنین قطر ساقه و ارتفاع گیاهان نیز در طول نمونه‌برداری اندازه‌گیری شد. بعد از آن نمونه‌های گیاهی درون پاکت‌های مخصوص گذاشته شده و برای خشک شدن، در آون

۷۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند. پس از ۷۲ ساعت نگه‌داری در آون، بلافاصله بعد از خروج از آون، وزن خشک گیاه و بلال، توسط ترازوی دقیق دیجیتالی اندازه‌گیری شد. ریشه ذرت در انتهای فصل مورد بررسی قرار گرفت و وزن تر و خشک آن با ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد.

این پژوهش بر پایه طرح آزمایشی فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی تعریف شده است. در پردازش داده‌ها از نرم‌افزار SAS9.2 و برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار اکسل استفاده شد. ابتدا تجزیه واریانس ساده برای صفات اندازه‌گیری شده انجام گرفت و سپس میانگین صفات مورد مطالعه با استفاده از آزمون مقایسه‌ای میانگین دانکن در سطح ۵٪ مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

مقایسه شاخص‌های عملکرد گیاه ذرت تحت تیمارهای مختلف

پس از برداشت، به منظور مشخص کردن تفاوت هر کدام از تیمارها از تجزیه واریانس استفاده شد و نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در گیاه در تیمارهای مختلف در جدول (۳) آورده شده است.

با توجه به جدول (۳)، ملاحظه می‌شود که وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه گیاه ذرت نسبت به نوع آب آبیاری در سطح ۱٪ معنی‌دار هستند؛ یعنی این‌که کیفیت آب آبیاری بر عملکرد محصول مؤثر بوده و هم‌چنین وزن خشک بلال، ارتفاع و قطر گیاه در سطح ۵٪ معنی‌دار می‌باشند. به عبارت دیگر تأثیر کاربرد فاضلاب بر صفات رشدی گیاه شامل وزن تر، وزن خشک اندام‌هوایی و بلال و ارتفاع معنی‌دار بود.

هم‌چنین با توجه به جدول (۳) مشاهده می‌شود که تیمار آبیاری بر وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، ارتفاع و قطر گیاه و هم‌چنین وزن خشک بلال ذرت در سطح ۱٪ معنی‌دار شده است. این نتیجه بیانگر مؤثر بودن تنش آبی بر وزن تر و خشک گیاه می‌باشد، به طوری که تحت شرایط آبیاری کامل میزان عملکرد گیاه ذرت حداکثر است.

جدول ۳. تجزیه واریانس پارامترهای گیاهی

		میانگین مربعات						
عامل	درجه آزادی	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک بلال	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	ارتفاع گیاه	قطر ساقه
نوع آب آبیاری	۱	۱۸۵۱/۸**	۷۱۵۵/۳**	۱۰۰۸/۸*	۶۸۷۲۹/۳**	۲۵۸۲۰/۱**	۳۰۱/۰۴*	۲۱/۳*
رژیم آبیاری	۳	۱۳۶۶/۹**	۲۶۷۱۸/۱**	۶۵۴۹/۲**	۷۱۷۹۲/۶**	۱۰۲۹۹/۷**	۲۳۱۳/۸**	۲۵/۸**
نوع آب*آبیاری	۳	۱۸۴۳/۵^{ns}	۸۱۴/۲*	۴۳/۰۶^{ns}	۱۰۵۷۷/۴^{ns}	۲۷۶۱/۵^{ns}	۱۵/۵۹^{ns}	۲/۹^{ns}
خطا	۱۶	۱۵۳۳/۳	۱۹۱/۸	۱۳۸/۷	۵۷۱۲/۲	۱۳۲۹/۸	۳۷/۰۴	۲۶/۳۹
ضریب تغییرات		۵/۶۳	۶/۴۵	۱۱/۶	۱۸/۰۴	۲۹/۸	۳/۴۶	۱۱/۳۱

ns اختلاف معنی‌دار نیست، * در سطح ۵٪ معنی‌دار است، ** در سطح ۱٪ معنی‌دار است.

نتایج نشان داد که با افزایش تنش آب آبیاری، تفاوت معنی‌دار در کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه و وزن خشک بلال و هم‌چنین ارتفاع گیاه وجود دارد (جدول ۴). بیشترین مقدار وزن تر و خشک اندام هوایی که به ترتیب برابر با ۸۷۴/۳ و ۳۰۶ گرم می‌باشد، مربوط به تیمار آبیاری کامل با فاضلاب تصفیه شده شهری (W1D0) است که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار دارد. بیشترین مقدار وزن تر ریشه نیز مربوط به تیمار W1D0 و برابر با ۶۳۳/۷ گرم می‌باشد. یعنی میزان رشد گیاه کاملاً وابسته به کیفیت آب برای آبیاری و احتمالاً حضور مواد مغذی و آلی موجود در پساب است.

کمترین میزان وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه و وزن خشک بلال مربوط به تیمار ۶۰٪ کم‌آبیاری با آب معمولی (W2D3) و به ترتیب برابر با ۴۵/۵، ۵۹/۲، ۶۹/۸، ۸۵/۷ و ۶۳/۳٪ کاهش نسبت به تیمار W1D0 مشاهده شد. این کاهش وزن مربوط به نوع آب آبیاری و کاهش آب آبیاری می‌باشد.

با توجه به مقادیر وزن تر و خشک اندام هوایی در تیمار W1D0 و مقایسه آن با تیمار W2D0، مشاهده می‌شود در حالتی که گیاه با آب معمولی آبیاری شده، وزن تر از ۸۷۴/۳ گرم در تیمار W1D0 به ۸۰۲/۳ گرم در تیمار ۱۰۰٪ نیاز آبی گیاه با آب معمولی رسیده و به میزان ۸/۲٪ کاهش یافته است و هم‌چنین وزن خشک تیمارW2D0 نیز نسبت به تیمار W1D0به میزان ۱۷/۴٪ کاهش یافته است. زمانی که ۲۰٪ کم‌آبیاری با فاضلاب تصفیه شده صورت گرفته است، وزن تر و خشک گیاه به ترتیب به ۷۷۹/۱ و ۲۶۷/۹ گرم رسیده است و مقایسه آن با تیمار W2D1، به ترتیب ۴/۱ و ۱۵٪ کاهش را نشان داده است. وزن تر و خشک گیاه در تیمار ۴۰٪ کم‌آبیاری با فاضلاب تصفیه شده (W1D2) و مقایسه آن با تیمار ۴۰٪ کم-

آبیاری با آب معمولی (W2D2)، به ترتیب ۱۳/۱ و ۱۹/۳٪ افزایش را نشان می‌دهد. در تیمار ۶۰٪ کم‌آبیاری با فاضلاب تصفیه شده شهری (W1D3) وزن تر و خشک گیاه در مقایسه با تیمار ۶۰٪ کم‌آبیاری با آب معمولی (W2D3) به ترتیب ۴/۴ و ۰/۵٪ افزایش را نشان داده است (جدول ۴). کاهش عملکرد خشک بوته بر اثر کم‌آبیاری در این تحقیق با نتایج سایر تحقیقات کم‌آبیاری هماهنگ است (Rezai Astkhrvsyh, *et al*., 2012. Oktem *et al*., 2003). تحقیقات نشان داده است که کاهش عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر کم‌آبیاری در سطح یک درصد معنی‌دار است.

همچنین مقدار وزن خشک بلال از ۱۴۰/۹ گرم در تیمار W1D0 به ۱۲۱ گرم در تیمار W2D0 تنزل یافته یا به عبارتی به میزان ۱۴/۱٪ کاهش یافته است. وزن خشک بلال در تیمار۲۰٪ کم‌آبیاری با فاضلاب تصفیه شده ۱۲۵/۵۶ گرم بود که نسبت به تیمار ۲۰٪ کم‌آبیاری با آب معمولی ۵/۶٪ بیشتر بود. هم‌چنین وزن خشک بلال در تیمار ۴۰٪ کم‌آبیاری با فاضلاب تصفیه شده در مقایسه با تیمار W2D2 به میزان ۱۳/۴٪ افزایش داشت. در تیمار ۶۰٪ کم‌آبیاری با فاضلاب تصفیه شده شهری نیز در مقایسه با تیمار W2D3، ۱۷/۸٪ افزایش عملکرد مشاهده شده است (جدول ۴). به عبارت دیگر تیمارهایی که با فاضلاب آبیاری شدند نسبت به تیمارهایی که با آب معمولی آبیاری شدند افزایش عملکرد را نشان دادند که احتمالاً وجود مقادیر زیاد نیترات در فاضلاب تصفیه شده خانگی باعث افزایش عملکرد گیاه شده است. در مورد وزن بلال بین تیمارهای کم-آبیاری، اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد وجود دارد که با نتایج سایر محققین هماهنگ است (Hirich *et al*., 2013). Ansari *et al*. (2006) گزارش کردند که در سطوح مختلف آبیاری با کاهش میزان آب داده شده، عملکرد ذرت کاهش محسوسی را نشان داد.

بیشترین میزان ارتفاع گیاه (۲۰۵ سانتی‌متر) در تیمار W1D0 مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها داشت. کمترین میزان ارتفاع (۱۵۰/۳ سانتی‌متر) با ۲۶/۷٪ کاهش مربوط به تیمار W2D3 بود که ناشی از تنش خشکی و فقر مواد غذایی بود (جدول ۴). افزایش ارتفاع در تیمارهایی که با فاضلاب آبیاری شدند نشان داد ارتفاع گیاه تحت تأثیر عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و میزان آب آبیاری قرار می‌گیرد. در تحقیقی دیگر گزارش شد که وزن خشک ریشه و ارتفاع گیاه نسبت به تیمار شاهد با افزایش تنش خشکی، کاهش یافته است (Mohammadi *et al*., 2012).

بیشترین قطر ساقه مربوط به تیمار آبیاری کامل با فاضلاب تصفیه شده شهری با میانگین ۱۵/۵۹ میلی‌متر و کمترین آن مربوط به تیمار ۶۰ % کم‌آبیاری با آب معمولی با میانگین ۸/۵۲ میلی‌متر می‌باشد (جدول ۴) که با نتایج سایر محقیق هماهنگ است (Rezvani Moghaddam and Mirzaei Najmabadi, 2009). در حقیقت تنش آبی اعمال شده بیشتر از کیفیت آب بر روی صفات اندازه‌گیری شده اثر منفی داشته است.

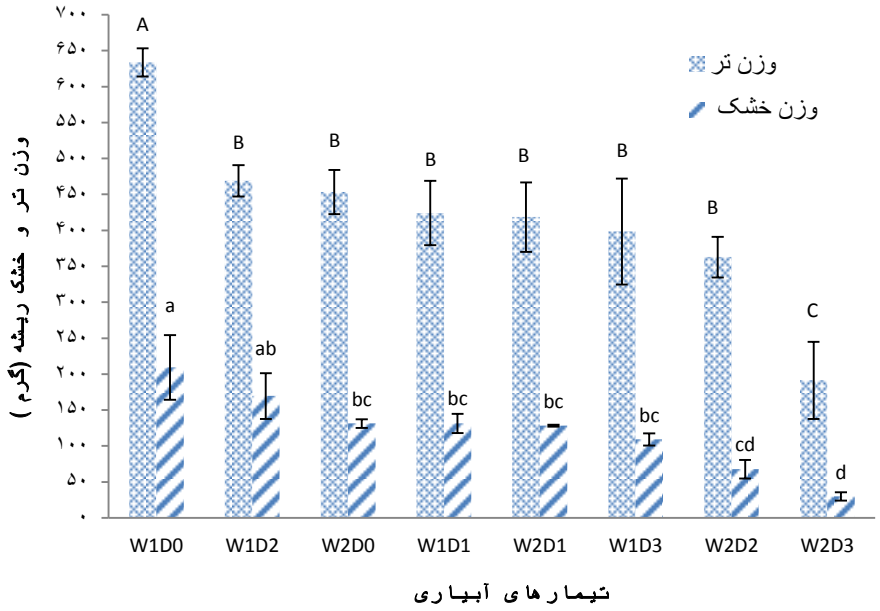
جدول ۴. اثرات متقابل سطوح نوع آب آبیاری و رژیم آبیاری بر وزن محصول ذرت

تیمارها		وزن تر اندام هوایی (گرم)	وزن خشک اندام هوایی (گرم)	وزن خشک بلال (گرم)	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	قطر ساقه (میلی متر)
W1	D0	۸۷۴/۳±۲۰/۰۶a	۳۰۶±۳/۹۹a	۱۴۰/۹±۹/۴۶a	a۵/۵۶±۲۰۵	۱۵/۵۹±۰/۹۷a
	D1	۷۷۹/۱±۵۱/۸۹b	۲۶۷/۹±۱۷/۰۴b	۱۲۵/۵±۴ab	۱۸۳/۶±۹/۰۷bc	۱۳/۳۴±۱/۵۶b
	D2	۷۳۹/۶±۱۶/۶۹b	۲۲۸±۸/۰۵c	۱۰۲/۵±۱۴/۵۶bc	۱۷۲±۵/۵۶de	۱۰/۳۳±۰/۵۶cd
	D3	۴۹۸/۳±۵۶/۲۹d	۱۲۵/۵±۱۷e	۶۲/۹±۹/۰۷d	۱۵۵/۳±۱۰/۵۶gf	۹/۹±۱/۱۱cd
w2	D0	۸۰۲/۳±۶۴/۰۸b	۲۵۲/۶±۲۵/۳۱bc	۱۲۱/۰۳±۷/۱۳ab	۱۹۳/۳±۱/۱۵b	۱۲/۳±۲/۵۴bc
	D1	۷۴۷/۵±۲۵/۱۲b	۲۲۷/۸±۰/۹c	۱۱۸/۵±۴/۶۶b	۱۷۹±۱cd	۱۰/۶۵±۰/۷۸dc
	D2	۶۴۲/۸±۱۸/۸۴c	۱۸۴±۱۳/۳d	۸۸/۸±۱۵/۶۵c	۱۶۵±۵/۱۹ef	۱۰/۱۶±۰/۶۶dc
	D3	۴۷۶/۵±۲۵/۰۸d	۱۲۴/۹±۷/۵e	۵۱/۷±۱۹/۸d	۱۵۰/۳±۱/۵۲g	۸/۵۲±۰/۸۴d

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری ندارند (دانکن ۵٪).

با توجه به مقادیر وزن تر و خشک ریشه در تیمار W1D0 و مقایسه آن با تیمار W2D0، مشاهده می‌شود وزن تر و خشک ریشه به ترتیب از ۶۳۳/۷ و ۲۰۹/۲ گرم در تیمار W1D0 به ۴۵۳/۲ و ۱۳۱/۲ گرم در تیمار ۱۰۰٪ نیاز آبی گیاه با آب معمولی رسیده و به میزان ۲۸/۵ و ۳۷/۳٪ کاهش یافته است و زمانی که ۲۰٪ کم‌آبیاری با فاضلاب تصفیه شده صورت گرفته

است، وزن تر و خشک ریشه به ترتیب به ۴۲۴/۱ و ۱۳۱/۵ گرم رسیده و در مقایسه با تیمار W2D1 به ترتیب ۱/۳٪ و ۲/۶٪ افزایش یافته است. هم‌چنین در تیمار ۴۰٪ کم‌آبیاری با آب معمولی و مقایسه آن با تیمار W1D2 مشاهده می‌شود که وزن تر و خشک ریشه به ترتیب ۱۵ و ۶۰٪ کاهش یافته است. وزن تر و خشک ریشه در تیمار ۶۰٪ کم‌آبیاری با فاضلاب تصفیه شده شهری (W1D3) نیز در مقایسه با تیمار W2D3 به ترتیب ۴۷/۳ و ۵۵/۸٪ افزایش یافته است (شکل ۲).



شکل ۲. مقایسه میانگین وزن تر و خشک ریشه ذرت در تیمارهای مختلف

اثر نوع آب آبیاری بر عملکرد ذرت

مقایسه میانگین وزن تر و خشک اندام هوایی ذرت و وزن خشک بلال در دو تیمار فاضلاب تصفیه شده (W1) و آب معمولی (W2) در جدول (۵) نشان داده شده است. بر طبق این جدول اختلاف معنی‌داری بین این دو تیمار وجود دارد. وزن تر اندام هوایی گیاه در تیمارهای آبیاری شده با فاضلاب تصفیه شده (W1) و آب معمولی (W2) به‌ترتیب ۷۲۲/۸ و ۶۶۷/۳ گرم بود. اختلاف بین دو تیمار ۷/۷ درصد بود به این معنی که آبیاری با فاضلاب باعث افزایش وزن تر کل گیاه شد. این امر به علت وجود مواد مغذی در فاضلاب می‌باشد.

آبیاری با فاضلاب تصفیه شده شهری سبب شده که مقدار وزن خشک اندام هوایی و بلال گیاه به ترتیب به میزان ۱۴/۹ و ۱۲٪ نسبت به تیمار آب معمولی افزایش معنی‌داری پیدا کنند.

Mont and Esousa (1992) با بررسی اثر فاضلاب بر عملکرد گیاهان ذرت، سورگوم و آفتابگردان گزارش کردند که عملکرد گیاهان با آب فاضلاب در مقایسه با آب چاه همراه با کودهای شیمیایی بیشتر بوده است.

مقایسه میانگین ارتفاع و قطر ساقه ذرت در تیمارهای فاضلاب تصفیه شده شهری و آب معمولی در جدول (۵) نشان می‌دهد که ارتفاع ذرت در تیمارهای آبیاری شده با فاضلاب تصفیه شده شهری نسبت به تیمارهای آب معمولی افزایش معنی‌داری پیدا کرده به‌طوری‌که ارتفاع از ۱۷۱/۹ سانتی‌متر در تیمار W2 به ۱۷۹ سانتی‌متر در تیمار W1 رسیده است. قطر ساقه نیز از ۱۲/۲۹ میلی‌متر در تیمار W1 به ۱۰/۴۱ میلی‌متر در تیمار W2 رسیده که حدود ۱۵ درصد کاهش یافته است. بوته‌های ذرتی که با آب معمولی آبیاری شدند ارتفاع و قطر کمتری نسبت به ذرت‌هایی که با آب فاضلاب آبیاری شدند داشتند که این امر به علت دارا بودن عناصر غذایی نیتروژن و فسفر در فاضلاب بود.

همچنین بین وزن تر و خشک ریشه ذرت در تیمارهای فاضلاب تصفیه شده و آب معمولی تفاوت معنی‌داری مشاهده می‌شود (جدول ۵). وزن تر و خشک ریشه در تیمارهایی که با فاضلاب آبیاری شده‌اند، نسبت به تیمارهایی که با آب معمولی آبیاری شده‌اند به ترتیب از ۴۷۲/۳ و ۱۵۴/۸ گرم در تیمار W1 به ۳۶۵/۳ و ۸۹/۲ گرم در تیمار W2 رسیده است (جدول ۵). وجود مواد مغذی در فاضلاب تصفیه شده روی وزن تر و خشک ریشه ذرت نیز تأثیر گذاشته و باعث افزایش وزن ریشه ذرت شده است.

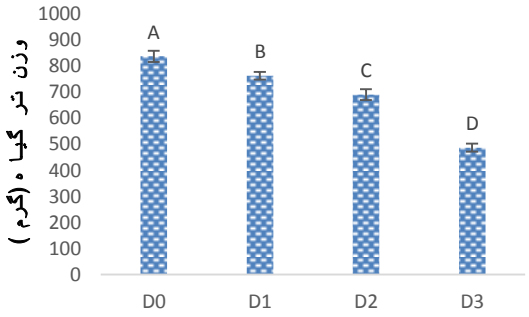
جدول ۵. مقایسه اثر ساده نوع آب آبیاری در دو نوع فاضلاب تصفیه شده و آب معمولی

منابع تغییرات	ارتفاع گیاه	وزن تر کل گیاه	وزن خشک کل گیاه	میانگین وزن خشک بلال	میانگین وزن تر ریشه	میانگین وزن خشک ریشه	میانگین قطر ساقه
فاضلاب تصفیه شده (W1)	۱۷۹[a]	۴۴/۰۹[a]	۱۴/۱۴[a]	۶/۵۸[a]	۴۷۴/۰۹[a]	۱۵۵/۹۶[a]	۱۲/۲۹[a]
آب معمولی (W2)	۱۷۱/۹۱[b]	۴۰/۷[b]	۱۲/۰۳[b]	۵/۷۹[b]	۳۶۹/۷۴[b]	۸۶/۸۶[b]	۱۰/۴۱[b]

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشند.

اثر تیمارهای آبیاری بر عملکرد ذرت

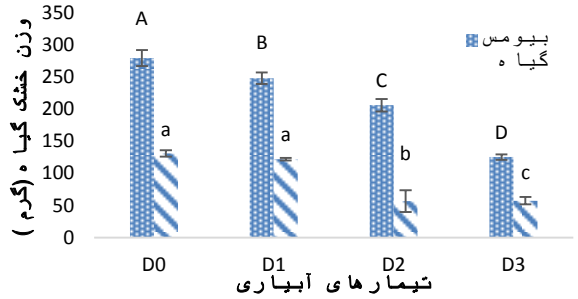
مقایسه میانگین وزن تر ذرت در تیمارهای مختلف آبیاری در شکل (۳) نشان داده شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود وزن تر اندام هوایی در حالتی که ۱۰۰٪ نیازآبی گیاه تأمین شده است (D0) به‌ترتیب ۸/۹، ۱۷/۵ و ۴۱/۸ درصد بیشتر از حالتی است که گیاه ۸۰٪، ۶۰٪ و ۴۰٪ نیازآبی خود را دریافت کرده باشد. کم‌آبیاری باعث کاهش وزن تر ذرت شد و کمبود آب سبب کاهش توسعه تاج پوشش، خصوصیات مورفولوژیکی گیاه ذرت و در نهایت رشد محصول شده است (Ston *et al.*, 2001).



شکل ۳۰. مقایسه میانگین وزن تراندام هوایی ذرت در تیمارهای آبیاری

با توجه به شکل (۴) که مقایسه میانگین وزن خشک تولید شده گیاه ذرت را در تیمارهای مختلف آبیاری نشان می‌دهد، مشاهده می‌شود که در تیمارهای آبیاری کامل مقدار ماده خشک تولیدی به صورت معنی‌داری افزایش پیدا کرده است. تنش‌های خشکی ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه به ترتیب سبب کاهش معنی‌دار ماده خشک اندام هوایی گیاه از ۲۷۹/۳ گرم در تیمار ۱۰۰٪ نیاز آبی به ۲۴۷/۸، ۲۰۶ و ۱۲۵/۲ گرم شده است.

همچنین با توجه به شکل (۴) وزن خشک بلال در تیمارهایی که ۱۰۰٪ نیاز آبی خود را دریافت کرده‌اند با میانگین ۱۳۰/۹ گرم بیش‌ترین وزن خشک بلال را داشته و با تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه در یک سطح قرار گرفته است. تیمارهای کم‌آبیاری ۶۰٪ و ۴۰٪ به‌ترتیب با مقدار ۹۵/۶ و ۵۷/۳ گرم کم‌ترین میزان وزن خشک بلال را دارا می‌باشند. Karam *et al.* (2003) اشاره کردند که تنش آبی به صورت معنی‌داری سبب کاهش ماده خشک گیاه ذرت شده است و عملکرد دانه با توجه به کاهش ۱۸٪ در وزن دانه و ۱۰٪ در تعداد دانه، به میزان ۳۷٪ کاهش یافته پیدا کرده است. وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن خشک بلال نسبت به شرایط تنش عکس‌العمل منفی نشان دادند و به نسبت کاهش میزان آب آبیاری کاهش عملکرد را نسبت به تیمار شاهد (۱۰۰٪ نیاز آبی گیاه) نشان دادند.

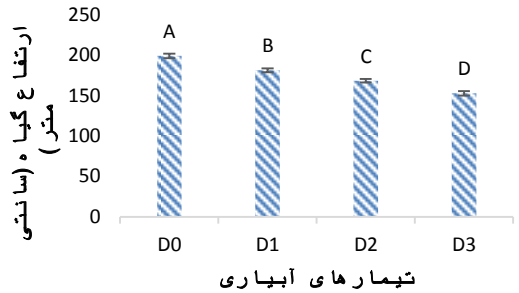


شکل ۴. مقایسه میانگین وزن خشک اندام هوایی و بلال ذرت در تیمارهای آبیاری

ارتفاع ذرت در تیمارهای کم‌آبیاری کاهش معنی‌داری پیدا کرده و از ۱۹۹/۱ سانتی‌متر در تیمار D0، با ۸/۹، ۱۵/۴ و ۲۳/۳٪ کاهش در تیمارهای D1، D2 و D3 به ترتیب به ۱۸۱/۳، ۱۶۸/۵ و ۱۵۲/۸ سانتی‌متر رسیده است (شکل ۵). ارتفاع گیاه که نشان‌دهنده میزان رشد گیاه می‌باشد تحت تأثیر تنش آبی کاهش معنی‌داری داشته است. در تحقیقی با بررسی اثر تنش آبی در مراحل مختلف رشد رویشی و زایشی ذرت نتیجه‌گیری شد که تنش آبی سبب کاهش ارتفاع گیاه می‌گردد Cakir, (2004). این صفت به شدت به محیط رشد وابسته است. از آنجا که پدیده رشد حاصل فعالیت‌های حیاتی در شرایطی است که گیاه بایستی آب کافی در اختیار داشته باشد، عدم تأمین آب مورد نیاز منجر به کاهش فشار تورژسانس سلول‌های در حال رشد و طول سلول‌ها و در نتیجه کاهش ارتفاع گیاه می‌شود (Ahmadi and Biker.,2000).

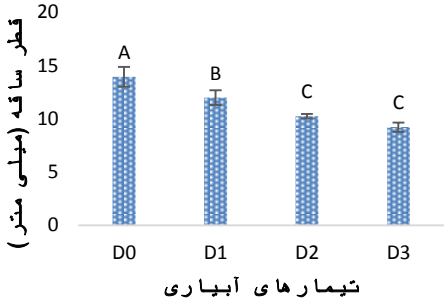
در شرایط تنش خشکی ارتفاع گیاه و تعداد برگ کم شده و در نتیجه وزن خشک اندام هوایی کاهش می‌یابد. بعضی از

محققان بین عملکرد دانه و تولید ماده خشک در شرایط تنش همبستگی بالایی گزارش کرده‌اند (Leport *et al*., 1999؛ Seraj *et al*. 2004).



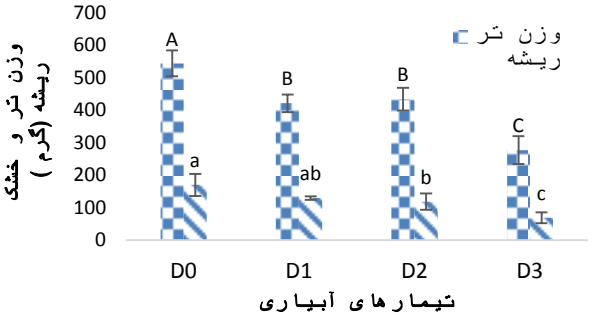
شکل ۵. مقایسه میانگین ارتفاع ذرت در تیمارهای آبیاری

شکل (۶) نشان می‌دهد که قطر ساقه ذرت در شرایط کم‌آبیاری کاهش معنی‌داری پیدا کرده و از ۱۳/۹۴ میلی‌متر در تیمار D0، با ۱۴، ۲۶/۵ و ۳۳/۹٪ کاهش در تیمارهای D1، D2 و D3 به ترتیب به ۱۱/۹۹، ۱۰/۲۵ و ۹/۲۱ میلی‌متر رسیده است.



شکل ۶. مقایسه میانگین قطر ساقه ذرت در تیمارهای آبیاری

مقایسه میانگین وزن تر و خشک ریشه ذرت در تیمارهای مختلف آبیاری نشان می‌دهد که وزن تر ریشه ذرت در تیمار آبیاری کامل (D0) نسبت به تیمارهای کم‌آبیاری ۸۰، ۶۰ و ۴۰٪ به ترتیب ۲۰/۲، ۲۲/۵ و ۴۹ درصد بیشتر شده است. این افزایش در وزن خشک ریشه گیاه نیز به‌ترتیب ۲۳/۷، ۳۰/۳ و ۵۹/۱ درصد بوده است (شکل ۷). تنش آبی کاهش وزن ریشه را بدنبال داشت. به‌طوری‌که وزن ریشه ذرت در تیمار۴۰٪ نیاز آبی، حدوداً نصف وزن ریشه در تیمار شاهد بود. در تنش‌های خشکی، به دلیل عدم وجود رطوبت کافی در محیط ریشه، انتقال عناصر غذایی به دلیل عدم وجود آب کافی میسر نمی‌باشد که این امر سبب کاهش وزن گیاه می‌گردد (Temouri *et al*., 2010).



شکل ۷. مقایسه میانگین وزن تر و خشک ریشه ذرت در تیمارهای آبیاری

نتیجه‌گیری

در این پژوهش هدف بررسی عملکرد محصول ذرت تحت تنش آبی با دو کیفیت آب معمولی و فاضلاب تصفیه شده شهری بود. عملکرد گیاه ذرت در آبیاری با فاضلاب تصفیه شده به علت دارا بودن عناصر غذایی نیتروژن و فسفر به‌طور معنی‌داری بیشتر بود و بنابراین فاضلاب تصفیه شده به‌عنوان یک منبع با ارزش در افزایش عملکرد محصول ذرت محسوب می‌شود. ارتفاع بوته در تیمار ۱۰۰% فاضلاب بیش‌ترین مقدار را داشت. تیمارهایی که تحت تنش آبی قرار گرفتند به نسبت کاهش مقدار آب آبیاری کاهش عملکرد را نشان دادند به طوری که تیمار ۴۰٪ نیاز آبی گیاه با آب معمولی کمترین میزان عملکرد را داشت. تیمارهایی که تحت تنش آبی با فاضلاب تصفیه شده شهری قرار گرفتند نسبت به تیمارهای آب معمولی عملکرد بهتری را نشان دادند ولی در تنش آبی شدید ۴۰٪، این افزایش زیاد نبود. بنابراین استفاده از منابع فاضلاب در کنار پایش دائمی کیفیت آن‌ها توصیه می‌شود.

REFERENCES

Abedi Koupai, J., Afyoni, M., Mousavi, F. Mostafazadeh, B & Bagheri, M. (2003). The impact sprinkler irrigation and Surface irrigation with treated wastewater on the Soil Salinity. *Water and Wastewater*. 45, 2-11.

Ahmadi, A., Biker, D. A. (2000). Stomatal and non-stomatal factors limiting photosynthesis in wheat under drought stress. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*. 31 (4), pp 813-825.

Al-khamisi, S., Prathapar S. A., Ahmed, M. (2013). "Conjunctive use of reclaimed water and groundwater in crop rotations" *Agricultural Water Management*, 116,228-234.

Ansari, H., Mirlatify, M., Farshi, A. (2006). The effect of deficit irrigation on corn yield and water use efficiency premature. *Journal of Soil and Water Sciences*, 20, 338-348.

Cakir, R. (2004). Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops*

Research. 89, 1-16.

Cirelli, G.L., Consoli, S., Licciardello, F., Aiello, R., Giuffrida, F., Leonardi, C. (2012). Treated municipal wastewater reuse in vegetable production. Agricultural Water Management, 104: 163-170.

Fanaei, H. R., Alavi, M. G., Kafi, M. & Ghanbari Bonjar, A. (2009). Amelioration of water stress by potassium fertilizer in two oilseed species. *International Journal of plant producion.* 3(2) 41-54.

Hirich, A.; Ragab; R., R.Choukr and A.Rami. (2013). The of deficit irrigation with treated wastewater on sweet corn: experimental and modeling study using SALTMED model. *Irrigation Scince,* 32, 205-219.

Jalali, A., Galoy, M., Ghanbari, A., Ramroudi, M., Yousef Elahi, M. (2009). Effect of irrigation with treated wastewater on yield and uptake of heavy metals in sorghum forage. Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, water and soil sciences. Fourteenth year, No. 52, pp. 15-24.

Kafi, M and Damghani, A. (2002). Resistance mechanisms of plants to environmental stresses (Translation). University of Mashhad.

Karam, F., Breidy, J., Stephan, C., Rouphael, J. (2003). Evapotranspiration, yield and water use efficiency of drip irrigated corn in the Bekaa Valley of Lebanon. *Agricultural Water Management*. 63(2), 125-137.

Kochaki, A., Soltani, A., Azizi, M. (2003). Plant Ecophysiology (Translation). Publications University of Mashhad.

Leport, L., Turner, N. C., French, R. J., Barr, M. D., Duda, R., Davies, S. L., Tennant, D., siddique, K. H. M. (1999). Physiological responses of chickpea genotypes to terminal drought in a Mediterranean-type environment. *European Journal of Agronomy*. 11,279-291.

Levitt, J. (1980). Response of Plants to Environmental Stresses. vol.2.Water, Radiation, Salt and other Stresses. Academic Press.

Masoumi, T., Rahimikhoob, A., Ghorbani javid, M., Nazarifar, M. (2014). Effects of intermittent deficit irrigation on yield, yield components and water efficiency in corn single cross--704. Journal of Irrigation and Drainage Volume 8, No. 4. pp. 810-816.

Mohammadi, M., Lighat, A., Molavi, H. 2012. The combined effects of salinity and drought stress on tomato yield in field conditions. Journal of Science and Engineering in Water Ahvaz.

Mont, H. M. and Esousa, M. S. (1992). Effects on crops of irrigation with effluent water. *Sci. Tech*, 26, 1603-1613.

Moradmand, M., Begay Harchegani, H. (2009). Effect of irrigation with treated wastewater on distribution in the limbs of lead and nickel Green peppers and soil. *Journal of Water Research.* 3(5), 63 - 70.

Oktem,A., Simsek, M and Oktem, A.G. 2003. Deficit irrigation effects on sweet corn (Zea ays saccharata Sturt) with drip irrigation system in a semi-arid region1.Water-yield relationship. *Journal of Agricultural Water Management*.61, 63-74.

Rezai Astkhrvsyh, A., Hoshmand, A., Boroomandnasab, S. And the khanjani, M. (2012). The effect of deficit irrigation and partial root zone drying on yield, yield components and water use efficiency of maize single cross. *Journal of Soil and Water* 704. 26(6), 1-9.

Rezvani Moghaddam, P. and Mirzaei Najmabadi, M. (2009). The effect of different water and wastewater on morphological characteristics, yield and yield components of maize, sorghum and millet forage. *Iranian agricultural research complex*, 7 (1), 63-75.

Sepaskhah A.R. and Khajehabdollahi M. H. (2005). Alternative furrow irrigation with different irrigation intervals for maize (Zea mays L.). *Plant Production Science*, 8,592-600.

Seraj R., Krishnamurthy L., Kashiwagi J., Kumar J., Chandra S & Crouch J. H. (2004). Variation in root traits of chickpea (Cicer arietinum L.) grown under terminal drought. Field Crops Research. 88, 115-127

Ston, P. J., Wilson, D. R., Reid, J. B., Gillespie, R. N. (2001). Water deficit effects on sweet corn. I. Water use, radiation use efficiency, growth, and yield. *Australian Journal of Agricultural Research*. 52, 103-113.

Torabiyan, A., Matlabi, M. 2003. reuse management plan of treated wastewater (case study: Ekbatan). *Ecology*. 29(32), 57-62.