

اثر آبیاری با سطوح مختلف پساب شهری بر کارایی مصرف آب و عملکرد ذرت

عباس ملکی^{۱*} و افسانه عالی نژادبان بیدآبادی^۲

^{۱*} نویسنده مسئول، استادیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان

^۲ استادیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان

تاریخ پذیرش: ۹۴/۳/۲۳

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۷

چکیده

از آنجا که چالش بزرگ بخش کشاورزی تولید غذای بیشتر از آب کمتر است که با افزایش کارایی مصرف آب دست یافتنی است، نیاز به افزایش کارایی مصرف آب و استفاده‌ی صحیح از منابع آبی مخصوصاً در نواحی خشک ضروری می‌باشد. تحقیق حاضر با هدف تأثیر آبیاری با پساب شهری بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت، در اراضی کشاورزی جنوب غرب شهرکرد در قالب کرت‌های خرد شده با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با پنج فاکتور اصلی (۱۰۰ درصد آب چاه (M₁)، ۲۵ درصد پساب + ۷۵ درصد آب چاه (M₂)، ۵۰ درصد آب چاه + ۵۰ درصد پساب (M₃)، ۷۵ درصد پساب و ۲۵ درصد آب چاه (M₄) و ۱۰۰ درصد پساب (M₅)) و چهار فاکتور فرعی (سطوح مختلف کاربرد آب، پساب و یا نسبت‌های اختلاط آب و پساب با نیاز آبی مختلف (L₁) ۵۰، (L₂) ۸۵، (L₃) ۱۰۰ و (L₄) ۱۰۰ درصد نیاز آبی در سه تکرار اجرا گردید. در تیمارهای نوع آب، تیمار ۲۵ درصد آب چاه + ۷۵ درصد پساب (M₄) بیشترین عملکرد کل ماده خشک را نشان داد. عملکرد بیوماس، دانه و کارایی مصرف آب بر اساس کل ماده‌ی خشک نیز در تیمار M₄ (تیمار ۲۵ درصد آب چاه + ۷۵ درصد پساب) بیشترین مقدار را داشت و کمترین کارایی مصرف آب بر اساس کل ماده خشک در تیمار ۱۰۰ درصد پساب (M₅) به دست آمد. در تیمارهای مقادیر مختلف آب، بیشترین عملکرد ماده خشک، بیوماس، دانه و کارایی مصرف آب بر اساس عملکرد کل ماده خشک در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه (L₄) بدست آمد و تیمار ۸۵ درصد نیاز آبی گیاه (L₃) بیشترین کارایی مصرف آب را بر اساس عملکرد بیوماس نشان داد. با توجه به نتایج، از نظر میزان کل ماده خشک، بیوماس و عملکرد دانه، تیمار ۷۵ درصد پساب با ۲۵ درصد آب چاه مناسب‌ترین اختلاط آب معمول آبیاری و پساب شهری برای آبیاری در منطقه‌ی مورد مطالعه را نشان داد. از طرفی به علت دارا بودن عناصر غذایی در پساب و در شرایط کنونی کم آبی حاکم در کشور حتی بدون مصرف کود می‌توان از پساب در این منطقه استفاده و در مصرف آب و کود صرفه‌جویی نمود.

کلید واژه‌ها: پساب شهری، عملکرد ذرت، کارایی مصرف آب ذرت، کل ماده خشک.

The Effect of Different Levels of Municipal Effluent Irrigation on Maize Water Use Efficiency and Yield

A. Maleki^{1*} and A. Alinezhadian Bidabadi²

^{1*} - Assistance Professor, Faculty of Agriculture, Water Engineering Department. Lorestan University, Khorramabad, Iran.

² - Assistance Professor, Faculty of Agriculture, Soil Science Department. Lorestan University, Khorramabad, Iran.

Received: 28 December 2014

Accepted: 13 June 2015

Abstract

The main challenge facing the agriculture sector is producing more food while using less water so it is needed to increase water use efficiency and optimal use of water resources, especially in arid areas. The main goal of this research is to study the effect of irrigation with municipal wastewater effluent and water use efficiency of maize in farms located in south-west of Shahr-e-kord. All of treatments were used in randomized complete block design with split plots and three applications with five factors including 100% well water (M₁), 25% wastewater + 75% well water (M₂), 50% wastewater + 50% well water (M₃), 75% wastewater + 25% well

ملکی و عالی نژادیان بیدآبادی: اثر آبیاری با سطوح مختلف پساب شهری...

water and 100 % wastewater (M_5) and four sub treatment factors according to the different amounts of water, wastewater and mixture of water and wastewater on the basis of water requirements (50% (L_1), 65% (L_2), 85% (L_3) and 100% (L_4)). In the different treatment types of water, M_4 (25% well water and 75% wastewater) had dry matter yield. Regarding to total dry matter, the yield of biomass, grain and water use efficiency were more in M_4 treatment and the less water use efficiency was determined in 100% wastewater treatment (M_5). In different amounts of water treatments on the basis of total dry matter, the most total dry matter yield, biomass, grain and water use efficiency were determined in 100% crop water requirement treatment (L_4). On the basis of biomass yield, 85% crop water requirement treatment (L_3) had more water use efficiency. The results show that for total dry matter, biomass and grain yield 75% wastewater + 25% well water was the best treatment in irrigation of considered area. On the other hand, wastewater contains nutrients and can be used without fertilizer consumption in this area, so it is useful in saving water and fertilizer.

Keywords: Municipal, wastewater, Maize yield, Maize water use efficiency, Total dry matter.

آبیاری محسوب گردد که این راه حلی برای کاهش تقاضای آب تازه برای آبیاری و همچنین اجتناب از آلودگی منابع آبی می‌باشد. البته باید توجه داشت که برای بهره‌گیری دوباره از آب نیاز است که از کیفیت آن آگاهی داشته و برای کاربرد آن در بخش‌های گوناگون روال درستی در نظر گرفته شود. از فاضلاب‌های شهری و صنعتی پس از تصفیه و رساندن آن به مرز استاندارد و بالا بردن سطح آگاهی بنیادی از پیامدهای استفاده از فاضلاب می‌توان در آبیاری کشتزارها، پارک‌ها، جنگل‌ها و مصارف صنعتی بهره‌برداری نمود (روتکاسکی و همکاران^۲، ۲۰۰۶).

تولید غذا و استفاده از آب با یکدیگر مرتبط هستند و افزایش جهانی تقاضا برای آب و محدودیت این منبع حیاتی محققین را بر آن داشته که به فکر غذای بیشتر از آب کمتر باشند. کارایی مصرف آب گیاه بر مبنای نسبت تولید و عملکرد اقتصادی به تبخیر-تعرق گیاه، بر مبنای نسبت عملکرد تولید شده به عمق آب آبیاری فصلی وارد شده به مزرعه (تناکون و میلوری^۳، ۲۰۰۳) و بر مبنای نسبت عملکرد دانه قابل فروش به مقدار آب کاربردی (مجموع باران و آبیاری) برای گیاه تعریف شده است (اود و همکاران^۴، ۲۰۰۱). کارایی مصرف آب می‌تواند به وسیله عملیات کم آبیاری، بهبود روش آبیاری، برنامه‌ریزی آبیاری، بهبود عملیات کشاورزی و استفاده از ارقام گیاهی اصلاح شده که منجر به بالا رفتن عملکرد می‌شود، افزایش یابد. افزایش کارایی مصرف آب در کشاورزی تحت آبیاری با هدف تولید بیشتر به ازای واحد مصرف آب کمتر به عنوان یکی از گزینه‌های راهبردی موثر در مدیریت آبیاری و بهبود کشاورزی تحت شرایط کم آبی قلمداد می‌گردد و نقش مهمی را در حفظ امنیت غذایی ایفا می‌کند (دنج و همکاران^۵، ۲۰۰۶).

مقدمه

ایجاد پایداری در سیستم‌های زراعی یکی از اهدافی است که توسط محققین دنبال می‌شود که برای رسیدن به این هدف راهکارهای متفاوتی ارائه شده است. استفاده از ارقام گیاهی کارآمد، بهره‌برداری مناسب از منابع آبی موجود، استفاده صحیح از آب‌های نامتعارف از مهمترین اقدامات لازم به حساب می‌آید.

تولید ذرت نقش مهمی را در کشاورزی جهان دارد و در بسیاری از کشورها بعد از گندم و برنج رتبه سوم را دارا می‌باشد (عبدالواحد و علی^۱، ۲۰۱۳) و سطح زیر کشت آن در دنیا حدود ۱۵۹ میلیون هکتار با میانگین عملکرد ۵/۱۲ تن در هکتار در سال ۲۰۰۸ گزارش شده است (بی‌نام، ۲۰۰۸).

دسترسی به آب کافی یکی از نیازهای اولیه گیاهان برای رشد و تولید محصول می‌باشد. در اغلب مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا از جمله اراضی وسیعی از ایران (بیش از ۸۰ درصد) مسئله بحران آب به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین معضلات در مسیر ایجاد کشاورزی پایدار مطرح است. با توجه به محدودیت آب در کشور و روند روبه‌رشد مصرف آب در سال‌های اخیر، به‌خصوص در بخش کشاورزی که بیش‌ترین سهم مصرف آب را به خود اختصاص داده، استفاده از منابع آبی با کیفیت پایین به‌عنوان راه حلی برای رفع نیاز آبی بخش کشاورزی مورد توجه قرار گرفته است. در خصوص تعریف آب‌های با کیفیت پایین، نمی‌توان تعریف جامع و قابل قبول عمومی ارائه داد، زیرا بسته به مورد استفاده آن و با توجه به ویژگی‌های مشخص مورد مصرف، تعاریف آن متفاوت خواهد بود. فاضلاب شهری نیز به دلیل آن که مصرف آن در آبیاری از لحاظ بهداشتی با مخاطراتی همراه است، به عنوان یک آب با کیفیت پایین مطرح است (عابدی و نجفی، ۱۳۸۰).

در اغلب کشورهایی که با کمبود آب مواجه هستند استفاده‌ی مجدد فاضلاب می‌تواند به دلیل غنی بودن از نظر عناصر مورد نیاز گیاه ارزان‌ترین و قابل دسترس‌ترین منبع تأمین آب و کود برای

2- Rutkowski *et al.*

3- Tennakoon and Milory

4- Oad *et al.*

5- Deng *et al.*

1- Abd-El-Wahed and Ali

سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ در کشت ذرت به ترتیب ۱/۲۷ و ۱/۲۸ کیلوگرم بر متر مکعب در تیماری با تأمین ۱۰۰ درصد آب آبیاری و کمترین مقدار را در این دو فصل به ترتیب ۱/۱۱ و ۱/۱۳ کیلوگرم بر متر مکعب در تیمار ۷۰ درصد آب آبیاری گزارش کردند. این پژوهشگران مقادیر بالای کارایی مصرف آب را تحت تأمین ۱۰۰ درصد آب آبیاری، عملکرد بالای به دست آمده از هر واحد آب مصرف شده در دو فصل زراعی بیان نمودند.

لام و همکاران^۵ (۱۹۹۷) در یک سیستم آبیاری قطره‌ای زیرزمینی با مصرف شش سطح کود ازته به صورت کود - آبیاری چنین نتیجه گرفتند که کارایی مصرف آب با افزایش مصرف کود ازته و به دنبال آن افزایش عملکرد، روند افزایشی نشان داده است، به گونه‌ای که تغییرات کارایی آب مصرفی بین ۰/۷ تا ۱/۹۸ کیلوگرم بر متر مکعب بود. نتایج بررسی واعظی و همکاران (۱۳۸۲) بر روی ذرت علوفه‌ای به روش کود آبیاری بارانی نشان داد که با افزایش میزان کود در کود - آبیاری کارایی مصرف آب به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است.

نتایج مطالعات پانندی و همکاران^۶ (۲۰۰۰) میانگین عملکرد بیوماس در تیمارهای کودی مصرف ازت را ۸۱۵۳-۶۰۱۶ کیلوگرم در هکتار نشان دادند که بیشترین عملکرد بیوماس در تیمار کودی ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار ازت گزارش شد. تاماتسیدیس و همکاران^۷ (۲۰۰۹) در بررسی خود بیان کردند که آبیاری با فاضلاب همراه با کود به طور مؤثری باعث افزایش عملکرد ذرت و شبدر گردید هرچند تفاوت معنی‌دار بین عملکردها با آب چاه همراه کود دیده نشد و در زمان مصرف نکردن کود به همراه فاضلاب، میزان عملکرد ذرت ۷۳/۹۵ درصد افزایش نشان داد.

با توجه به محدودیت منابع آب نوآوری‌های جدیدی نیاز است تا کارایی مصرف آب آبیاری و صرفه‌جویی آب موجود را مخصوصاً در نواحی خشک افزایش دهد. راهکارهایی مانند بهبود روش‌های آبیاری، برنامه‌ریزی مؤثر آبیاری و استفاده مجدد منابع غیر مرسوم و غیر متعارف آب ممکن است برای استفاده مؤثر از آب‌های محدود، مفید و منطقی باشد (کاپرا و سیوبون^۸، ۲۰۰۴). کارایی مصرف آب کشاورزی که وضع استفاده بهینه از آب را در تولید مشخص می‌کند در حال حاضر در کشور ۰/۷ کیلوگرم بر متر مکعب است (صادق زاده و کشاورز، ۱۳۷۹). در شرایط کنونی با توجه به تغییر اقلیم جهانی و به دنبال آن تغییر الگوهای بارندگی و افزایش روز افزون جمعیت، در بیشتر کشورهای خشک و نیمه خشک جهان از جمله ایران استفاده از آب‌های نامتعارف از جمله فاضلاب‌های تصفیه شده شهری در تولید محصولات کشاورزی به عنوان یک منبع مطمئن اجتناب ناپذیر می‌نماید چرا که این آب‌ها غنی از عناصر غذایی متنوع هستند و جایگاه خاصی را در تأمین نیازهای آینده تولید غذا دارا می‌باشند (رضوانی مقدم و

ایستانبولوگلو و همکاران^۱ (۲۰۰۲) در پژوهش خود بیشترین و کمترین کارایی مصرف آب را برای گیاه ذرت به ترتیب ۱۰/۱۹ کیلوگرم بر هکتار میلی‌متر و ۳۴/۸ کیلوگرم بر هکتار میلی‌متر در تیمارهای آبیاری با پساب در مرحله‌ی رویشی و آبیاری در مرحله‌ی رویشی، گلدهی و دانه بستن در شرایط آب و هوایی ترکیه گزارش کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که بعد از یک مقدار معین آب آبیاری و رطوبت در خاک، تولید محصول نمی‌تواند افزایش یابد و ذرت در کل مراحل رشد به طور یکسان از آب استفاده می‌کند. مطالعاتی که زوارت و باستیانسن^۲ (۲۰۰۴) بر روی کارایی مصرف آب محصولات مختلف انجام دادند نشان داد که کارایی مصرف آب دارای دامنه تغییرات گسترده‌ای برای گیاهان مختلف است. آن‌ها کارایی مصرف آب ذرت را بین ۲/۷-۱/۱ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش کردند. آن‌ها علت تفاوت را به شرایط محیطی و خصوصیات اقلیمی هر منطقه مربوط دانستند. حسن لی و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی تأثیر پساب شهری بر عملکرد ذرت و کارایی مصرف آب در مرودشت شیراز گزارش کردند که آبیاری با پساب باعث افزایش بیشتر کارایی مصرف آب در مقایسه با آب تازه گردید اما تفاوت آن‌ها معنی‌دار نبود. کاریزان (۱۳۹۰) در بررسی خود بر روی ذرت علوفه‌ای رقم سینگل کراس (۷۰۴) کمترین کارایی مصرف آب را با مقادیر ۲/۳۱ و ۲/۲۶ کیلوگرم بر مترمکعب در آبیاری کامل و کم آبیاری سنتی (۸۰ درصد آب مورد نیاز گیاه) با استفاده از آب چاه و بیشترین کارایی مصرف آب را به ترتیب در تیمارهای اختلاط ۵۰ درصد آب و ۵۰ درصد پساب شهری با ۸۰ درصد و ۶۰ درصد نیاز آبی با آبیاری بخشی با مقادیر ۳/۳۶ و ۳/۳ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آورد. رضوانی مقدم و میرزایی نجم آبادی (۱۳۸۸) تفاوت معنی‌دار بین نسبت‌های مختلف آب چاه و فاضلاب بر عملکرد علوفه‌ی خشک ذرت به دست آوردند و همچنین نتیجه گرفتند که با افزایش میزان فاضلاب عملکرد علوفه‌ی خشک ذرت افزایش نشان داد که این بیانگر نقش فاضلاب در تأمین مواد غذایی مورد نیاز گیاهان می‌باشد.

گارسیا و همکاران^۳ (۲۰۱۰) با بررسی بر چهار رقم سویا تحت رژیم‌های مختلف آبیاری، نتیجه گرفتند که در بین همه ارقام، بین آب کاربردی (مجموع باران و آبیاری) و عملکرد دانه رابطه‌ی قوی وجود داشت و متوسط کارایی مصرف آب سویا را ۰/۷۴ کیلوگرم دانه به ازای مصرف هر متر مکعب آب در هکتار به دست آوردند. دگدلی و همکاران^۴ (۲۰۰۶) کارایی مصرف آب ذرت را ۲/۳ - ۱/۵۹ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش کردند. آن‌ها بیشترین کارایی را در تیمار ۷۰ درصد آبیاری و کمترین آن را در تیماری که بیشترین تنش آبیاری را داشت گزارش نمودند. عبدالواحد و علی (۲۰۱۳) بیشترین مقادیر کارایی مصرف آب را در فصول زراعی

5- Lamm *et al.*6- Pandey *et al.*7- Tamoutsidis *et al.*

8- Capra and Sciobone

1- Istanbuluoglu *et al.*

2- Zwart and Bastiaanssen

3- Garcia *et al.*4- Dagdelen *et al.*

برای ذرت، هر هفت روز یکبار از آب چاه و پساب ریخته شده در مخزن قرار داده شده در نزدیکی زمین مورد نظر، آب آبیاری با سیستم لوله کشی بسته تا سر کرت‌ها انتقال و حجم مشخص آب با کنتور حجمی متصل به شیلنگ‌های انتقال آب در هر کرت به صورت سطحی و یکنواخت توزیع گردید. برنامه ریزی آبیاری برای کشت مورد نظر در جدول (۱) ارائه شده است.

تیمارهای آزمایش به تعداد ۲۰ تیمار شامل نسبت‌های ۱۰۰ درصد آب چاه با کود شیمیایی مورد نیاز خاک (M_1)، ۲۵ درصد پساب + ۷۵ درصد آب چاه (M_2)، ۵۰ درصد پساب + ۵۰ درصد آب چاه (M_3)، ۷۵ درصد پساب + ۲۵ درصد آب چاه (M_4) و ۱۰۰ درصد پساب (M_5) در کرت‌های اصلی و سطوح مختلف کاربرد آب، پساب و یا نسبت‌های اختلاط آب و پساب با نیاز آبی مختلف ۵۰ (L_1)، ۶۵ (L_2)، ۸۵ (L_3) و ۱۰۰ (L_4) نیاز آبی محاسبه شده در کرت‌های فرعی و با سه تکرار قرار گرفتند. به عنوان مثال تیمارهای آبیاری با ۱۰۰ درصد پساب شهری شامل M_5L_1 ، M_5L_2 ، M_5L_3 ، M_5L_4 و M_5L_5 به ترتیب شامل (۵۰، ۶۵، ۸۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی محاسبه شده با روش کمبود رطوبتی خاک) بودند.

قبل از انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای نمونه‌های مرکب خاک از اعماق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک از هر بلوک (تکرار) جمع‌آوری، هوا خشک و پس از کوبیده شدن با چکش پلاستیکی از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند و برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی اندازه‌گیری شدند. نتایج برخی پارامترهای شیمیایی و فیزیکی خاک و همچنین تجزیه شیمیایی آب و پساب مورد استفاده در جدول‌های (۲) و (۳) نشان داده شده است.

کیفیت شیمیایی پساب خروجی تصفیه‌خانه با استانداردهای توصیه شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست ایران از جنبه کاربرد آن در کشاورزی هم‌خوانی داشت.

در انتهای فصل کشت پس از تعیین اجزای عملکرد و مقدار آب مصرفی، کارایی مصرف آب با استفاده از رابطه زیر به دست آمد:

$$WUE_i = \frac{D_i}{W} \quad (3)$$

در این معادله D_i : مقدار ماده خشک تولیدی هر یک از اجزای گیاه (کیلوگرم در هکتار)، W : مقدار آب مصرفی توسط گیاه (مترمکعب در هکتار) و WUE_i : کارایی مصرف آب در هر یک از اجزای گیاه (کیلوگرم بر مترمکعب) می‌باشد.

تیمارهای مورد آزمایش (آب چاه و پساب) با استفاده از نرم افزار SPSS در قالب کرت‌های خرد شده با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با پنج فاکتور اصلی و چهار فاکتور فرعی در سه تکرار اجرا گردید (شکل ۱). میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح پنج درصد مقایسه شدند. برای ترسیم نمودارها از نرم افزار اکسل و در نمودارها از حروف، برای مشخص نمودن تفاوت بین میانگین‌ها استفاده گردید.

میزبانی نجوم آبادی، (۱۳۸۸). لذا این تحقیق با هدف بررسی تأثیر نسبت‌های مختلف آب و پساب با اعمال نیازهای آبی مختلف برای یافتن بهترین نسبت اختلاط و مقدار آب مصرفی مورد نیاز گیاه، بر عملکرد و کارایی مصرف آب در ذرت صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در اراضی کشاورزی جنوب غرب شهرکرد در تابستان ۱۳۹۲ بر روی ذرت اجرا گردید. پساب به کار برده شده از تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب شهری شهرکرد تهیه گردید. عمل تصفیه در تصفیه‌خانه شهری شهرکرد به صورت لجن فعال با هوادهی گسترده می‌باشد. آب و هوای منطقه‌ی مورد مطالعه طبق طبقه‌بندی آمبرژه خشک سرد است و بارش سالیانه آن ۳۱۹ میلی‌متر، حداکثر درجه حرارت مطلق آن ۴۲ درجه سلسیوس و حداقل دمای مطلق آن ۳۲- درجه سلسیوس می‌باشد.

قبل از کاشت جهت آماده‌سازی، زمین توسط تراکتور شخم زده شد و در اوایل اردیبهشت ماه ۱۳۹۲ مساحت حدود ۱۵۰۰ متر مربع از زمین مورد نظر که تا آن زمان توسط پساب آبیاری نشده بود انتخاب گردید و پس از آماده‌سازی زمین مورد نظر، عملیات کاشت ذرت رقم سینگل کراس (۷۰۴) توسط کارگر و به صورت خطی صورت گرفت. مقدار آب مورد نیاز ذرت با استفاده از تخلیه رطوبتی خاک محاسبه گردید به این صورت که یک روز قبل از هر آبیاری توسط مته ماریپیچی (وسیله نمونه‌برداری از عمق خاک) در منطقه عمق توسعه ریشه نمونه خاک برداشته و به مدت ۲۴ ساعت در گرمخانه در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس گذاشته شد و بعد از این مدت رطوبت جرمی خاک از رابطه زیر به دست آمد:

$$\theta_m = (M_w - M_s) / M_s \quad (1)$$

که در رابطه‌ی فوق M_w : جرم خاک مرطوب، M_s : جرم خاک خشک بعد از ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس و θ_m : رطوبت جرمی است و بعد از به دست آوردن رطوبت جرمی خاک با استفاده از رابطه زیر مقدار آب مورد نیاز برای هر دور آبیاری محاسبه گردید:

$$d_n = \frac{(\theta_{FC} - \theta_i)}{100} \times \rho_b \times D \quad (2)$$

که در معادله‌ی فوق θ_{FC} : درصد جرمی رطوبت در ظرفیت زراعی (رطوبت مطلوب برای جذب گیاه که در مکش یک سوم اتمسفر با دستگاه صفحه فشاری قابل اندازه‌گیری است)، θ_i : درصد رطوبت جرمی موجود در خاک در زمان نمونه‌برداری و قبل از آبیاری، ρ_b : جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، D : عمق توسعه ریشه بر حسب سانتی‌متر و قابل اندازه‌گیری با خطکش در گودال حفر شده در حاشیه کرت و d_n : عمق خالص آب آبیاری بر حسب سانتی‌متر است.

با توجه به سطح کرت (۹ مترمربع) حجم آب مورد نیاز در هر دور آبیاری بر حسب لیتر به دست آمد. با توجه به عرف آبیاری منطقه

جدول ۱- تاریخ و مقادیر آب آبیاری

نوبت آبیاری	عمق آب آبیاری (mm)	تاریخ آبیاری
۱	۳۳	۲۲ اردیبهشت
۲	۳۵	۲۹ اردیبهشت
۳	۳۸	۵ خرداد
۴	۳۹	۱۲ خرداد
۵	۴۲	۱۹ خرداد
۶	۴۴	۲۶ خرداد
۷	۴۵	۲ تیر
۸	۴۹	۹ تیر
۹	۵۳	۱۶ تیر
۱۰	۵۴	۲۳ تیر
۱۱	۵۵	۳۰ تیر
۱۲	۵۵	۶ مرداد

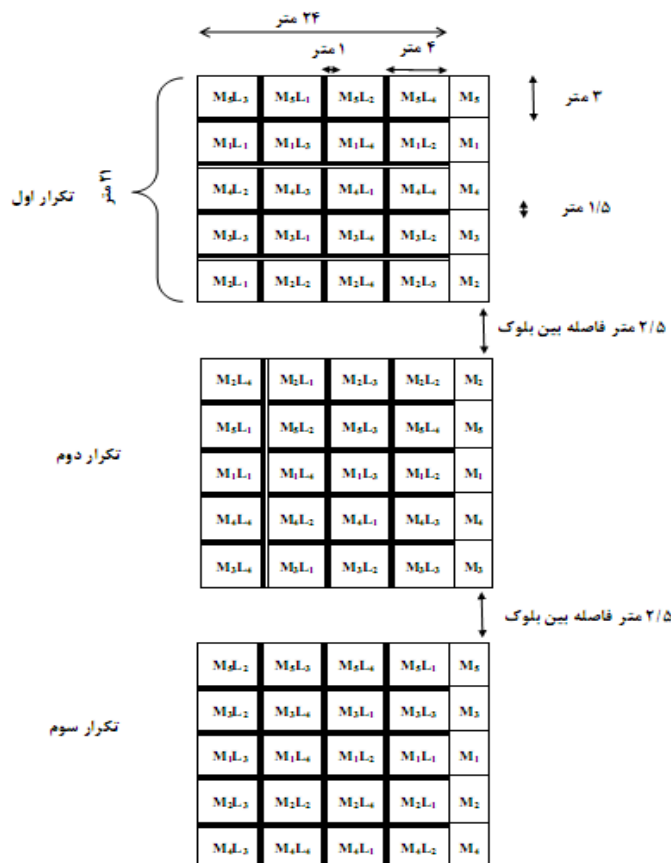
جدول ۲- برخی از مشخصات اصلی خاک منطقه مورد مطالعه

مقدار	پارامترها
۰-۳۰	عمق خاک (cm)
۷/۵۱	pH
۰/۹۸	درصد مواد آلی
۰/۸۸	هدایت الکتریکی در عصاره اشباع خاک (dS/m)
۴۰	درصد کربنات کلسیم معادل
۱۱/۸	فسفر قابل جذب (mg/kg)
۳۰۵	پتاسیم قابل جذب (mg/kg)
۱۵۲۳	کلسیم (mg/kg)
۱۰۱۰	منیزیم (mg/kg)
۱/۱۹	جرم مخصوص ظاهری (g/cm ³)
رسی	بافت خاک

جدول ۳- تجزیه شیمیایی آب چاه و پساب شهری مورد استفاده

معیار اندازه گیری شده	آب چاه	پساب	مرز استاندارد آلوده کننده ها در پساب برای مصارف کشاورزی
pH	۷/۲۵	۷/۹۲	۶-۸/۵
هدایت الکتریکی (dS/m)	۰/۸۰	۰/۷۵	۲/۹۷
کلسیم (mg/l)	۶۲/۸۳	۴۱/۵۰	-
منیزیم (mg/l)	۶/۵۲	۲۳/۹۸	۱۰۰
نیترژن نیتراتی (mg/l)	۳۲	۳۵/۶۵	۵۰
نیترژن نیتریتی (mg/l)	۰/۰۲۰	۱/۳۸	-
فسفر فسفات (mg/l)	۰/۱۴	۵/۷۶	۶
پتاسیم (mg/l)	۰/۸۹	۲۵	-
منگنز (mg/l)	۰/۰۰۸	۰/۰۱۶	۱
آهن (mg/l)	۰/۰۱۵	۰/۰۲۸	۳
روی (mg/l)	۰/۳۷	۰/۰۴	۲
مس (mg/l)	۰/۰۶۲	۰/۰۲	۰/۲
(mg/l) BOD ₅	-	۹	۱۰۰
(mg/l) COD	-	۳۲/۳۰	۲۰۰

ملکی و عالی نژادیان بیدآبادی: اثر آبیاری با سطوح مختلف پساب شهری...



شکل ۱- نقشه‌ی طرح آزمایشی اجرا شده

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اجزای عملکرد و کارآیی مصرف آب ذرت

منابع تغییر	درجه آزادی	کل ماده خشک	بیوماس	عملکرد دانه	کارآیی مصرف آب
تکرار	۲	۰/۰۹ns	۰/۳۹ns	۱/۱۲ns	۰/۱۹ns
نوع آب (A)	۴	۱۶/۳۸**	۱۵/۰۴**	۶/۸**	۱۸/۰۹**
خطای a	۸	۰/۶۴	۰/۵۳	۱/۸۵	۰/۵۹
مقدار آب (B)	۳	۵۹/۱۱**	۵۰/۲۱**	۴۰/۹۶**	۱/۴۶ns
اثر متقابل A×B	۱۲	۰/۷۵ns	۰/۸۰ns	۰/۷۹ns	۰/۷۵ns
خطای b	۲۴				
کل	۵۳				

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های تیمار مقادیر مختلف آب و نوع آب بر اجزای عملکرد

عملکرد (kg/ha)			
تیمار	کل ماده خشک	بیوماس	دانه
L ₁	۱۴۳۳۹/۱D	۱۲۵۴۳/۴D	۱۷۹۶/۹C
L ₂	۱۷۰۰۷/۱C	۱۴۷۰۲/۷C	۲۳۰۵/۴B
L ₃	۱۹۷۹۲/۳B	۱۷۴۰۸/۸B	۲۳۸۴/۵B
L ₄	۲۲۱۳۲/۲A	۱۸۹۲۹/۵A	۳۲۰۳/۴A
M ₁	۱۹۸۷۸/۸AB	۱۶۹۸۳/۹B	۲۸۹۵/۷A
M ₂	۲۱۰۱۸/۴A	۱۸۱۱۰/۱A	۲۹۰۸/۵A
M ₃	۱۸۶۴۲/۹B	۱۶۲۰۳/۵B	۲۴۳۹/۹AB
M ₄	۲۰۷۱۹/۵A	۱۷۷۸۹/۱A	۲۹۳۰/۹A
M ₅	۱۸۸۸۴/۹A	۱۶۰۰۱/۴B	۲۸۸۳/۴A

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد فاقد تفاوت معنی‌دار هستند.

جدول ۶- مقایسه میانگین‌های تیمار مقادیر مختلف آب و نوع آب بر کارایی مصرف آب

کارایی مصرف آب (kg/m ³)			
تیمار	کل ماده خشک	بیوماس	دانه
L ₁	۳/۰۶AB	۲/۷۸AB	۰/۳۹B
L ₂	۳/۱۲AB	۲/۷۸AB	۰/۴۳AB
L ₃	۳/۱۵B	۲/۸۸A	۰/۳۹B
L ₄	۳/۲۴A	۲/۷۷AB	۰/۴۷A
M ₁	۳/۳A	۲/۸۱B	۰/۴۷A
M ₂	۳/۳۴A	۲/۹۹A	۰/۴۸A
M ₃	۳/۱۵AB	۲/۶۸B	۰/۴۰B
M ₄	۳/۳۷A	۲/۹۴A	۰/۴۸A
M ₅	۲/۹۲B	۲/۶۴B	۰/۴۷A

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد فاقد تفاوت معنی‌دار هستند.

تیمار L₃ بیشترین کارایی مصرف آب را بر اساس عملکرد بیوماس به ازای آب مصرف شده نشان دادند. بر اساس عملکرد دانه، تیمار L₄ با ۰/۴۷ کیلوگرم بر متر مکعب و تیمار L₁ و L₃ با ۰/۳۹ کیلوگرم بر متر مکعب به ترتیب بیشترین و کمترین کارایی مصرف آب را نشان دادند. بنابراین با توجه به عدم تفاوت معنی‌دار بین سطوح مختلف آب به کار برده شده برای کارایی مصرف آب در نواحی که دچار کمبود آب هستند می‌توان پیشنهاد نمود تا با کاربرد آب کمتر در ذخیره‌ی آب بهره برد.

در این تحقیق در تیمار آبیاری کامل (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) بیشترین کارایی مصرف آب بر اساس کل ماده‌ی خشک ۳/۲۴ و ۰/۴۷ کیلوگرم بر مترمکعب به ترتیب بر اساس عملکرد ماده خشک و عملکرد دانه به دست آمد. برای بیوماس بیشترین کارایی مصرف آب با مقدار ۲/۸۸ در تیمار L₃ (۸۰ درصد تأمین نیاز آبی) به دست آمد که با تیمار L₄ تفاوت معنی‌دار نداشت. نتایج حاصل از این پژوهش با یافته‌های یازار و همکاران^{۱۴} (۱۹۹۹) که بیشترین کارایی مصرف آب را بر اساس عملکرد دانه

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس در جدول (۴) نشان می‌دهد که عملکرد کل ماده خشک، عملکرد دانه، زیست توده و کارایی مصرف آب آبیاری تحت تأثیر مقدار آب آبیاری و نوع آب قرار گرفته است.

تأثیر مقادیر مختلف آب و نوع آب بر اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب

مقایسه میانگین تیمارهای نوع و مقدار آب آبیاری بر عملکرد کل ماده خشک، دانه، بیوماس و کارایی مصرف آب بر اساس آزمون (دانکن) در سطح پنج درصد در جدول‌های (۵) و (۶) نشان داده شده است.

اثر تیمارهای مقادیر آب بر کارایی مصرف آب

نتایج نشان داد که تیمارهای مقادیر آب در سطح پنج درصد اثر معنی‌دار بر کارایی مصرف آب بر اساس عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک و بیوماس دارند. در بین تیمارهای مقادیر مختلف آب، تیمار L₄ (۱۰۰ نیاز آبی گیاه) با ۳/۲۴ کیلوگرم بر متر مکعب بیشترین کارایی مصرف آب را بر اساس عملکرد ماده خشک و

در اختیار گیاه قرار گیرد و عملکرد رابطه‌ی نزدیکی با قابلیت دسترسی آب دارد. از نظر تولید ماده خشک ذرت یک گیاه مصرف‌کننده آب با بازده خوب است به طوری که در میان غلات دارای بالاترین میزان عملکرد دانه می‌باشد (دورنباس و کاسام^{۱۵}، ۱۹۷۹). در این تحقیق تنش آبیاری عملکرد ذرت را به طور معنی‌دار تحت تأثیر قرار داده است به طوری که در تیمارهای مورد مطالعه مقدار مصرف آب از ۴۶۸ تا ۶۸۳ میلی‌متر در هکتار و عملکرد دانه از ۱۷۹۶ تا ۳۲۰۳ کیلوگرم در هکتار در تیمارهای آبیاری به دست آمد. روند تغییرات عملکرد دانه ذرت در این تحقیق با مطالعات دگدن و همکاران (۲۰۰۶) هم‌خوانی دارد.

اثر نوع آب بر اجزای عملکرد

تیمار M_4 (۲۵ درصد آب چاه + ۷۵ درصد پساب) با ۲۰۷۱۹/۵ کیلوگرم در هکتار و تیمار M_3 (۵۰ درصد آب چاه با ۵۰ درصد پساب) با ۱۸۶۴۲/۲ کیلوگرم در هکتار به ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد کل ماده خشک را نشان دادند. عملکرد بیوماس و عملکرد دانه نیز در تیمار M_2 و M_4 بیشترین و در تیمار M_3 کمترین مقدار را داشت، اما عملکرد دانه در سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد نشان نداد. همچنین نتایج بیانگر این است که استفاده از پساب شهری (M_4) سبب افزایش عملکرد دانه ذرت گردیده است. وجود مقادیر مناسب عناصر غذایی همانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم در پساب می‌تواند بر افزایش عملکرد دانه تأثیر مثبتی داشته باشد. البته باید خاطر نشان کرد که در تیمار دریافت‌کننده ۱۰۰ درصد پساب (M_5) ممکن است به علت شوری خاک و تأثیر متقابل ایجاد شده بین پساب و خاک، عملکرد گیاه تا حدی (۱/۵ درصد) نسبت به تیمار دریافت‌کننده ۷۵ درصد پساب و ۲۵ درصد آب چاه (M_4) کاهش عملکرد داشته است. ولی نژاد و همکاران (۱۳۸۱) در بررسی خود نتایج مشابهی را در افزایش عملکرد دانه ذرت دانه‌ای تحت آبیاری با پساب شاهین شهر گزارش کرده‌اند

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده از نظر میزان ماده خشک، بیوماس و عملکرد دانه، تیمار ۷۵ درصد پساب با ۲۵ درصد آب چاه مناسب‌ترین اختلاط آب معمول آبیاری و پساب شهری برای آبیاری در منطقه‌ی مورد مطالعه را نشان داد. با توجه به استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست ایران، پساب مورد آزمایش در محدوده‌ی قابل استفاده برای کشاورزی قرار دارد اما با کاربرد مستمر پساب شوری خاک اراضی کشاورزی رخ خواهد داد که باید خاک از این نظر مورد بررسی مداوم قرار گیرد اما با این حال با توجه به دارا بودن عناصر غذایی در پساب و در شرایط کنونی کم آبی حاکم در کشور حتی بدون مصرف کود می‌توان از پساب در این منطقه استفاده و در مصرف آب و کود صرفه‌جویی نمود.

(۱/۴۲ کیلوگرم بر متر مکعب) در تیمار آبیاری کامل (۷۸۶ میلی‌متر) گزارش کردند، مطابقت دارد.

در این پژوهش نتایج کارایی مصرف آب بر اساس کل ماده خشک در مقادیر مختلف آب بین ۲/۸۸-۳/۱۰ کیلوگرم بر متر مکعب به دست آمد که مقادیر به دست آمده مطلوب می‌باشد. در این تحقیق مقدار کارایی مصرف آب بر اساس کل ماده‌ی خشک به دست آمده در تیمار آبیاری کامل (۳/۲۴ کیلوگرم بر متر مکعب)، با یافته‌های پژوهش کاریزان (۱۳۹۰) که کارایی مصرف آب در تیمار کامل آبیاری را گزارش می‌کند، هم‌خوانی دارد.

اثر تیمارهای مقادیر نوع آب بر کارایی مصرف آب

تیمارهای نوع آب نیز اثر معنی‌دار در سطح پنج درصد بر کارایی مصرف آب بر اساس عملکرد کل ماده خشک، بیوماس و عملکرد دانه نشان دادند (جدول ۵). در تیمارهای نوع آب بیشترین کارایی مصرف آب بر اساس کل ماده‌ی خشک به ترتیب در تیمار M_4 با ۳/۳۷ کیلوگرم بر متر مکعب و کمترین کارایی مصرف آب در تیمار M_5 با ۲/۹۲ کیلوگرم بر متر مکعب به دست آمد. در این تحقیق تیمارهای دریافت‌کننده پساب دارای مقادیر بالاتری از کارایی مصرف آب نسبت به تیمار دریافت‌کننده آب چاه می‌باشند که با یافته‌های حسن لی و همکاران (۲۰۰۹) که در پژوهش خود مقدار کارایی مصرف آب آبیاری را در آبیاری قطره‌ای سطحی ذرت با پساب ۱/۶۹ و با آب معمولی ۰/۶۲ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش کردند، هم‌خوانی دارد.

در تیمار M_5 تولید عملکرد با توجه به وجود عناصر غذایی بیشتر در پساب نسبت به برخی از تیمارهای دیگر نوع آب، کمتر به دست آمد. هر چند استفاده از پساب تا حدی با برطرف نمودن نیاز غذایی گیاهان می‌تواند منجر به افزایش تولید گردد ولیکن به سبب بالا بودن غلظت دو یون سدیم و کلر در این دسته از آب‌ها می‌تواند تا حدی باعث بروز تأثیر شوری در گیاهان و تداخل در جذب سایر عناصر در گیاه می‌گردد. احتمالاً به همین علت میزان کارایی مصرف آب در این تیمار نسبت به سایر تیمارهای حاوی پساب کم است.

اثر مقادیر آب بر عملکرد

نتایج بیانگر این است که بیشترین عملکرد ماده خشک (۲۲۱۳۲/۲ کیلوگرم در هکتار)، بیشترین عملکرد بیوماس (۱۸۹۲۹/۵ کیلوگرم در هکتار) و بیشترین عملکرد دانه (۳۲۰۴/۳ کیلوگرم در هکتار) در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه (L_4) به دست آمد که اختلاف آن با تیمارهای ۵۰، ۶۵، ۸۵ درصد نیاز آبی گیاه در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه (L_1) با ۱۴۳۳۹/۱ کیلوگرم در هکتار کل ماده خشک، ۱۲۵۴۳/۴ کیلوگرم در هکتار بیوماس و ۱۷۹۶/۹ کیلوگرم در هکتار دانه کمترین عملکرد را نشان داد. بنابراین، نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که برای دست‌یابی به عملکرد بالای ذرت باید آب کافی

منابع

- ۱- رضوانی مقدم، م. و م. میرزایی نجم آبادی. ۱۳۸۸. تأثیر نسبت‌های مختلف آب چاه و فاضلاب تصفیه شده بر خصوصیات مورفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت، سورگوم و ارزن علوفه‌ای. مجله‌ی پژوهش‌های زراعی ایران، ۷ (۱): ۶۳-۷۵.
- ۲- صادق‌زاده، ک. و ع. کشاورز. ۱۳۷۹. توصیه‌هایی بر بهینه‌سازی کارایی مصرف آب در اراضی زراعی کشور. انتشارات سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، معاونت ترویج، ۳۲ صفحه.
- ۳- عابدی، م. ج. و پ. نجفی. ۱۳۸۰. استفاده از فاضلاب‌های تصفیه شده در کشاورزی. انتشارات کمیته آبیاری و زهکشی ایران، ۲۷۰ صفحه.
- ۴- کاریزان، م. م. ۱۳۹۰. استفاده از تکنیک‌های کم‌آبیاری (DI و PRD) در آبیاری با پساب شهری شهرکرد در گیاه ذرت تحت آبیاری قطره‌ای - نواری (T-Tape). پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.
- ۵- واعظی، ع.، همایی، م. و م. ج. ملکوتی. ۱۳۸۲. اثر کود - آبیاری بر کارایی مصرف کود و آب در ذرت علوفه‌ای. مجله‌ی علوم خاک و آب، ۱۶ (۲): ۱۶۰-۱۵۲.
- ۶- ولی‌نژاد، م.، مصطفی‌زاده، ب. و س. ع. م. میرمحمدی میدی. ۱۳۸۱. اثر فاضلاب تصفیه شده شاهین شهر و خصوصیات زراعی و شیمیایی ذرت تحت سیستم‌های آبیاری بارانی و سطحی. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، سال نهم، (۱): ۱۱۵-۱۰۳.
- 7- Abd-El-Wahed, M. H. and E. A. Ali. 2013. Effect of irrigation systems, amounts of irrigation water and mulching on corn yield, water use efficiency and net profit. *Journal of Agricultural Water Management*, 120: 64-71.
- 8- Anonymous. 2008. *FAO Statistical yearbook, World Food and Agriculture*, Rome, Italy.
- 9- Capra, A. and B. Sciobone. 2004. Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation. *Journal of Agricultural Water Management*, 98(2):135-149.
- 10-Dagdelen, N., Yilmaz, E., Sezgin, F. and T. Gurbuz. 2006. Water-yield relation and water use efficiency of cotton (*Gossypium hirsutum L.*) and second crop corn (*Zea mays L.*) in western Turkey. *Journal of Agricultural Water Management*, 82:63-85.
- 11-Deng, X. P., Shan, L., Zhang, H. and N. C. Turner. 2006. Improving agricultural water use efficiency in arid and semi-arid areas of china. *Journal of Agricultural Water Management*, 80:23-40.
- 12-Doorenbos, J. and A. H. Kassam. 1979. Yield response to water FAO. *Irrigation and drainage paper No. 33*, FAO, Rome, Italy, 193 pp.
- 13-Garcia, A., Persson, T., Guerra, L. C. and G. Hoogenboom. 2010. Response of soybean genotypes to different irrigation regimes in a humid region of the southeastern USA. *Journal of Agriculture Water Management*, 97: 981-987.
- 14-Hassanli, A. M., Ebrahimzadeh, M. A. and S. Beecham. 2009. The effect of irrigation methods with effluent and irrigation scheduling on water use efficiency and corn yields in an arid region. *Journal of Agricultural Water Management*, 96:93-99.
- 15-Istanbulluoglu, A., Kocaman, I. and F. Konukcu. 2002. Water use-production relationship of maize under Tekirdag conditions in Turkey. *Pakistan Journal Biology Science*, 5:287-291.
- 16-Lamm, F. R., Schlegel, A. J. and G. A. Clark. 1997. Nitrogen fertigation for corn using SDI: ABMP. Presented at the 1997 International Annual Meeting of the American Society of Agriculture Engineers, Minneapolis, MN, August 10-14, 1997. Paper No. 972174 from ASAE, St. Joseph Michigan. 17 pp.
- 17-Oad, F. C., Soomro, A., Oad, N. L., Abro, Z. A., Issani, M. A. and A. W. Gandahi. 2001. Yield and water use efficiency of sunflower crop under moisture depletions and bed shapes in saline soil. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 1:5.361-362.

ملکی و عالی نژادیان بیدآبادی: اثر آبیاری با سطوح مختلف پساب شهری...

- 18-Pandey, R. K., Mranville, J. W. and A. Admou. 2000. Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment. I. Grain yield and yield components. *Journal of Agricultural Water Management*, 46:1-13.
- 19-Rutkowski, T., Rashid-Sally, L. and S. Buechler. 2006. Wastewater irrigation in the developing world. Two case studies from the Kathmandu valley in Nepal. *Journal of Agriculture Water Management*, 88:83-91.
- 20-Tamoutsidis, E., Lazaridou, M., Papadopoulos, I., Spanos, T., Papathanasiou, F., Tomoutsidou, M., Mitlianga, P. and G. Vasiliou. 2009. The effect of treated urban wastewater on soil properties, plant tissue composition and biomass productivity in berseem clover and corn. *Journal Food, Agriculture and Environment*, 7(3&4):782-786.
- 21-Tennakoon, S. B. and S. P. Milory. 2003. Crop water use and water use efficiency on irrigated cotton farms in Australia. *Agriculture Water Management*, 61: 179-194.
- 22-Yazar, A., Howell, T. A., Dusek, D. A. and K. S. Copeland. 1999. Evaluation of crop water stress index fro LEPA irrigated corn. *Irrigation Science Journal*, 18:171-180.
- 23-Zwart, S. J. and W. G. M. Bastiaanssen. 2004. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Journal of Agricultural Water Management*, 69(2):115-133.