

بررسی اثرات کاربرد پساب تصفیه شده و کودهای شیمیایی بر عملکرد کلم بروکلی

مصطفی رجبی سرخنی^۱ و علی اصغر قائمی^{۲*}

(E-mail: ghaemi@shirazu.ac.ir)

(تاریخ دریافت: ۹۱/۰۲/۰۴ - تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۲/۱۹)

چکیده

امروزه به دلیل کمبود منابع آب استفاده مجدد از پساب فاضلاب‌ها در کشاورزی مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته است. هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی اثر کاربرد پساب تصفیه شده شهری و کودهای شیمیایی بر عملکرد کمی و کیفی گیاه کلم بروکلی و میزان تجمع عناصر مختلف در اندام‌های گیاه بود. در پژوهش حاضر، از شش تیمار کیفیت آب آبیاری (شامل آب چاه، آب چاه به همراه کود شیمیایی، پساب تصفیه شده شهری، پساب تصفیه شده شهری به همراه کود شیمیایی، آب چاه به همراه پساب و کود شیمیایی) هر یک در سه تکرار تحت سیستم آبیاری میکرو در کلم بروکلی استفاده شد. برای بررسی عملکرد و میزان تجمع عناصر در گیاه، از هر تیمار نمونه گیاهی برداشت و تجزیه شیمیایی شدند. تیمارهای پساب تصفیه شده سبب افزایش معنی‌دار وزن تر اندام هوایی، عملکرد بیولوژیک، عناصر پتاسیم، کلسیم، فسفر و کلر در سطح پنج درصد در مقایسه با آب چاه شد. غلظت فلزات سنگین (سرب، نیکل و کادمیوم) تحت تأثیر کیفیت آب آبیاری اختلاف معنی‌دار ندارد اما تجمع عناصر آهن، مس، بور، منگنز و روی افزایش معنی‌داری در تیمارهای پساب تصفیه شده در سطح پنج درصد داشتند. در تیمارهای پساب تصفیه شده افزایش معنی‌داری نیز در درصد انباشت ویتامین‌های B₆ و ث و پروتئین به میزان قابل توجهی دیده شد.

کلمات کلیدی: پساب، فلزات سنگین، کلم بروکلی، کود، عملکرد

۱ - دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز - ایران

۲ - دانشیار، بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز - ایران (نویسنده مسئول مکاتبات *)

مقدمه

کمبود آب مهمترین تهدید برای بقای بشر، اکوسیستم طبیعی و تکوین تمدن‌ها است. امنیت غذایی، بهداشت و اقتصاد کلان تحت تأثیر کمبود آب به شدت صدمه می‌بینند. عواملی نظیر افزایش جمعیت، توسعه شهرنشینی، رشد درآمد و تغییر الگوی مصرف غذایی نیز سبب افزایش مصرف سرانه آب و تشدید بحران کم‌آبی گردیده است. اقلیم خشک و نیمه‌خشک و توزیع نامتناسب بارندگی از نظر مکانی و زمانی نیز سبب افزایش دوچندان اثر منفی کمبود منابع آب در کشور ایران شده است. از این‌رو، استفاده از منابع آبی غیرمتعارف (از جمله پساب تصفیه‌خانه‌ها) که منجر به کاهش فشار بر منابع آب شیرین می‌شود، روز به روز از اهمیت بیشتری برخوردار می‌گردد (۴، ۹، ۱۴ و ۳۴). در واقع در اغلب کشورهای که با کمبود آب مواجه هستند، پساب ضمن غنی بودن از نظر مواد غذایی، قابل دسترس‌ترین منبع تأمین آب جهت آبیاری است (۱، ۲، ۱۶، ۱۹، ۲۱ و ۲۲). این واقعیت را نیز نباید از نظر دور داشت که استفاده از پساب جهت آبیاری می‌تواند به عنوان برهم‌زننده اکوسیستم نیز عمل کند. بنابراین تصمیم‌گیری در مورد کاربرد فاضلاب باید براساس ویژگی‌های آب، خاک، گیاه و محیط هر محل استوار باشد (۱ و ۵). تحقیقات گذشته نشان داده است که آبیاری سبزیجات (نظیر گوجه‌فرنگی، کاهو، هویج و خیار) با پساب تصفیه شده باعث افزایش عملکرد آنها در مقایسه با آب معمولی می‌شود (۲، ۶، ۷، ۸، ۱۲ و ۳۷). تحقیقات نشان داد که استفاده از پساب تصفیه شده شهری هیچ‌گونه اثر سوئی در ارتباط با جذب عناصر سنگین در چغندر قند و ذرت علوفه‌ای نداشت (۴). عملکرد گیاهان گوجه‌فرنگی و کاهو را در تیمارهای کاربرد پساب شهری تصفیه شده بیشتر از تیمار شاهد به‌دست آمد (۶). مطالعات گذشته تجمع عناصر سنگین در اثر کاربرد پساب شهری در آبیاری محصولات کشاورزی در بازه مجاز گزارش نموده‌اند (۱۰، ۱۳، ۱۷، ۱۸، ۲۰، ۲۳، ۲۷، ۲۸، ۲۹ و ۳۸). لذا باتوجه به اهمیت استفاده از پساب‌های تصفیه شده و نیز با عنایت به وجود منبع پساب تصفیه شده شهری در شهرستان شیراز و کشت متداول کلم بروکلی در این شهر استفاده از پساب

امری ضروری است. بررسی اثر کاربرد پساب تصفیه شده شهر شیراز بر عملکرد کمی و کیفی و عملکرد بیولوژیک کلم بروکلی و نیز بررسی جذب برخی عناصر شیمیایی در اندام‌های هوایی کلم بروکلی از اهداف پژوهش حاضر می‌باشند.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در خاک رسی شنی سری دانشکده در دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز واقع در منطقه باجگاه استان فارس انجام شد. منطقه باجگاه در موقعیت جغرافیایی ۲۹° و ۳۶' دقیقه عرض جغرافیایی شمالی و ۵۲° و ۲۲' طول جغرافیایی شرقی و ارتفاع منطقه ۱۸۱۰ متر بالاتر از سطح دریا واقع شده است. جهت بررسی تأثیر پساب شهری بر عملکرد کمی و کیفی کلم بروکلی از پساب تصفیه شده شهرستان شیراز که خصوصیات شیمیایی آن در جدول (۱) آمده است، استفاده گردید. فرایند تصفیه این پساب با استفاده از روش هوادهی گسترده و در سه مرحله مجزا انجام می‌شود. مرحله اول شامل آشغال‌گیری، دانه‌گیری و پمپاژ، مرحله دوم شامل هوادهی از نوع گسترده و مرحله سوم شامل ته‌نشینی یا زلال‌سازی است (طی بازدید و توضیحات مدیر تصفیه‌خانه).

آماده‌سازی زمین موردنظر برای کاشت گیاه شامل شخم، دیسک و دیگر عملیات مورد نیاز بر روی خاک سری دانشکده در بهار سال ۱۳۸۹ انجام گردید. برای آبیاری و تأمین آب مورد نیاز گیاه از روش آبیاری قطره‌ای استفاده و دو منبع با ظرفیت ۱۰۰۰ لیتر یکی برای ذخیره آب چاه و دیگری برای ذخیره پساب در کنار کنترل مرکزی سیستم نصب شدند. برای تأمین فشار سیستم آبیاری تحت فشار از یک پمپ گریز از مرکز استفاده شد و جهت تزریق یکنواخت کودهای شیمیایی فسفات، نترات و پتاسیم (کود کامل محلول)، یک ونتوری در مسیر جریان ورودی به‌کار برده شد. در اولین آبیاری به‌منظور اطمینان از کافی بودن رطوبت جهت جوانه‌زنی بذر، آبیاری تا عمق ۵۰ سانتی‌متر و تا حد رسیدن رطوبت به حد ظرفیت مزرعه انجام شد.

جدول ۱ - خصوصیات شیمیایی پساب تصفیه شده شهر شیراز

پارامتر	میزان	واحد	پارامتر	میزان	واحد
کربنات (CO_3^{2-})	۱/۵	meq/L	کبالت (Co)	۰/۰۰۱	ppm
بی کربنات (CO_3H^+)	۳/۵	meq/L	کادمیم (Cd)	۰/۰۰۰۲	ppm
کلسیم (Ca^{2+})	۹	meq/L	سرب (Pb)	۰/۰۰۳	ppm
منیزیم (Mg^{2+})	۶	meq/L	کروم (Cr)	۰/۰۰۲	ppm
نیتريت (NO_2)	۰/۰۹	ppm	سدیم (Na)	۱۸۶/۲۴	mg/L
بر (B)	۰/۵۵	ppm	پتاسیم (K)	۱۹/۹۴	mg/L
سختی کل	۷۵۰	ppm	کلر (Cl)	۱۶۱/۰۰	mg/L
آهن (Fe)	۰/۰۵	ppm	سولفات (SO_4^{2-})	۲۵۵/۰۰	mg/L
مس (Cu)	۰/۰۳	ppm	فسفر (P)	۲/۰۹	mg/L
منگنز (Mn)	۰/۰۰۲	ppm	نترات (NO_3^-)	۲/۶۰	mg/L
جیوه (Hg)	۰/۰۰۲	ppm	BOD	۲۸/۲۳	mg/L
آلومینیوم (Al)	۰	ppm	COD	۶۰/۸۰	mg/L
آرسنیک (As)	۰/۰۰۱	ppm	TDS	۱۰۱۶	mg/L
روی (Zn)	۰/۰۲۴	ppm	pH	۷/۷۰	-
نیکل (Ni)	۰/۰۰۲	ppm	EC	۲/۲۱	mmhos/cm

نرفت. جهت کاشت کلم ابتدا بذرها به خزانه منتقل و از نشاء جهت کشت در مزرعه استفاده شد. نشاءها به مدت یک ماه در خزانه در شرایط گلخانه رشد نمود و آماده انتقال به زمین کاشت شد. قبل از انتقال نشاءها به زمین مورد نظر به مدت سه الی چهار روز این نشاءها در معرض هوای بیرون گلخانه قرار گرفت تا در اثر جابه‌جایی دچار استرس نشوند. پس از طی این مراحل، نشاءها آماده انتقال به زمین موردنظر گردید. فاصله نشاءها روی ردیف ۵۰ سانتی‌متر و فاصله ردیف‌ها از یکدیگر ۱۰۰ سانتی‌متر بود. جهت آبیاری در هر تیمار سیستم قطره‌ای آب را از منبع ذخیره مستقیماً به لوله نیمه اصلی و از آنجا به لاترال‌ها که در کرت‌های موردنظر نصب شده بودند، انتقال می‌داد. لاترال‌ها با قطر ۱۶ میلی‌متر و به فواصل یک متر از

آزمایش براساس طرح پایه کرت‌های خرد شده (اسپلیت پلات) در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در شش تیمار و سه تکرار، مطابق شکل (۱) و به صورت، تیمار ۱: آبیاری با آب چاه (W)، ۲: آبیاری با آب چاه همراه کود شیمیایی (W-F)، ۳: آبیاری با پساب تصفیه شده شهری (TS)، ۴: آبیاری با پساب تصفیه شده شهری همراه کود شیمیایی (TS-F)، ۵: آبیاری با آب چاه همراه پساب تصفیه شده شهری (به نسبت ۵۰ درصد از هر یک) همراه کود شیمیایی (W-TS-F) و ۶: آبیاری با آب چاه همراه پساب تصفیه شده (W-TS) هر یک به نسبت ۵۰ درصد در نظر گرفته شد. برای بررسی تأثیر کودهای شیمیایی بر روی محصول گیاه از کود N-P-K در سه تیمار استفاده شد (TS-F، W-F و TS-W-F) و در سه تیمار دیگر هیچ نوع کودی به کار

(طول موج ۲۲۰ و ۲۷۵)، برای مقادیر نترات، کربنات، بی‌کربنات، کلر و کلسیم از روش تیتراسیون و مقادیر سه پارامتر ویتامین C، ویتامین B₆ و پروتئین در بخش خوراکی کلم بروکلی در آزمایشگاه خارج از دانشکده کشاورزی اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری ویتامین‌های C و B₆ مرحله استخراج نمونه به وسیله آب مقطر دبل صورت گرفته و پس از شفاف‌سازی و عبور از فیلتر توسط دستگاه HPLC با استفاده از دکتور DAD و ستون C₁₈ و فاز حامل بافری میزان جذب ویتامین C و B₆ اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری پروتئین ابتدا هضم نمونه در اسید سولفوریک، سولفات پتاسیم، سولفات مس و دی‌اکسید سلنیوم با استفاده از حرارت تا رسیدن به محلول سبز شفاف صورت گرفت. سپس به نمونه هضم شده تا حدی سود غلیظ اضافه شد که محتوای بالن قهوه‌ای رنگ شده و طی سیستم تقطیر میزان ازت جمع‌آوری شده در اسید بوریک اندازه‌گیری شد. فاکتور تبدیل ازت به پروتئین ۵/۸۵ می‌باشد. از آزمون تجزیه واریانس و آزمون دانکن برای تجزیه و تحلیل آماری اطلاعات و نتایج حاصل شده از تحقیق حاضر استفاده گردید.

یکدیگر قرار گرفته و به وسیله بست ابتدایی از لوله نیمه اصلی منشعب می‌شدند. طول هر لاترال ۴۵ متر و بر روی هر لاترال باتوجه به فاصله بین بوته‌های کلم در هر ۵۰ سانتی‌متر یک قطره چکان نوع خمراه‌ای با دبی چهار لیتر در ساعت روی خط نصب گردید. ویژگی‌های شیمیایی و غلظت عناصر موجود در آب چاه نیز اندازه‌گیری و در جدول (۲) نشان داده شده است، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه نیز قبل از کشت تعیین و به ترتیب در جدول‌های (۳) و (۴) نشان داده شده است. به منظور تعیین میزان تجمع فلزات سنگین، عناصر اصلی غذایی و ترکیبات آلی، نمونه‌هایی متشکل از تعدادی گل کلم اصلی به همراه جوانه‌های فرعی و ساقه نرم از کلیه تیمارها در سه تکرار پس از برداشت تهیه و به آزمایشگاه منتقل شد و پس از توزین ارزیابی شد. بخشی از اندازه‌گیری‌ها در آزمایشگاه محیط زیست بخش مهندسی آب و بخش علوم خاکشناسی دانشکده کشاورزی با استفاده از دستگاه جذب اتمی (استفاده از لامپ‌های مختلف و منحنی‌های استاندارد) عناصری چون آهن، مس، روی، منگنز و آلومینیوم، دستگاه فلیم فتومتر (استفاده از منحنی استاندارد) برای اندازه سدیم و پتاسیم، اسپکتروفتومتر

جدول ۲ - ویژگی‌های شیمیایی آب زیرزمینی (آب چاه) مورد استفاده

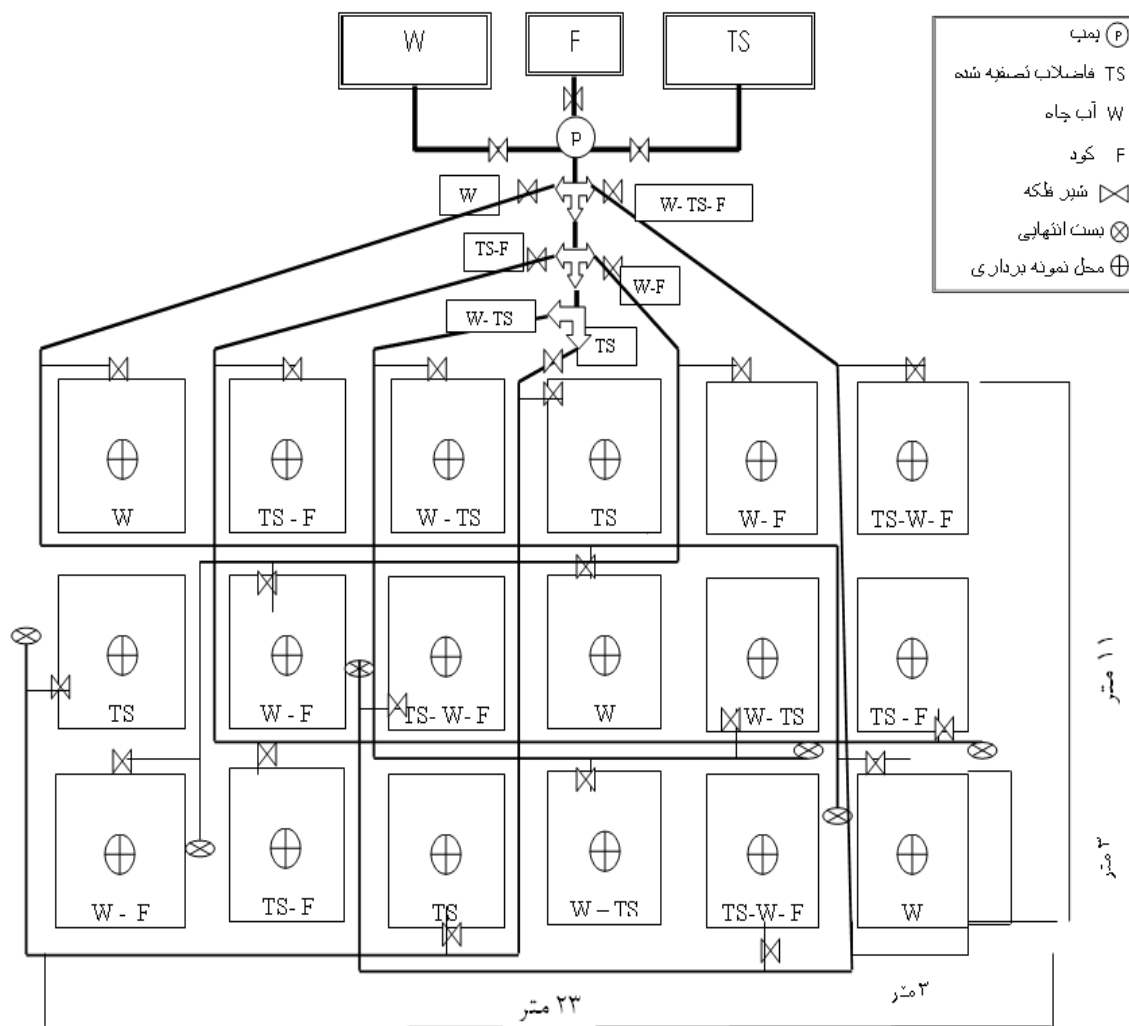
EC (dSm ⁻¹)†	SAR††	pH†††	میلی‌اکی‌والان در لیتر					
			Cl ⁻	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻
۰/۵۵	۰/۴۵	۷/۹۳	۲	۰/۸۹	۴/۱	۳/۶	۵/۲	۰

جدول ۳ - خصوصیات فیزیکی خاک مورد استفاده

عمق	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن	بافت خاک	چگالی ظاهری	درصد حجمی	
						ظرفیت زراعی	نقطه پژمردگی
۰-۳۰	۳۰	۳۵	۳۵	رسی لومی	۱/۴۳	۳۳	۱۶
۳۰-۶۰	۳۹	۳۸	۲۳	سیلتی رسی لومی	۱/۷۲	۳۴	۱۶
۶۰-۹۰	۴۰	۳۹	۲۱	سیلتی رسی	۱/۸۳	۳۵	۱۶

جدول ۴ - خصوصیات شیمیایی اندازه گیری شده خاک مورد استفاده

عمق	EC _e (mmhos/cm)	pH	ازت (%)	فسفر (ppm)	پتاسیم (meq/L)	CO ₃ H (meq/L)
۰-۳۰	۱/۰۱	۷/۵۹	۰/۰۵	۱۵	۰/۰۵	۴
۳۰-۶۰	۰/۵۱	۷/۶۲	۰/۰۲	۱۱	۰/۰۲	۴
۶۰-۹۰	۰/۳۷	۷/۷۵	۰/۰۳	۶/۵	۰/۰۲	۳/۵

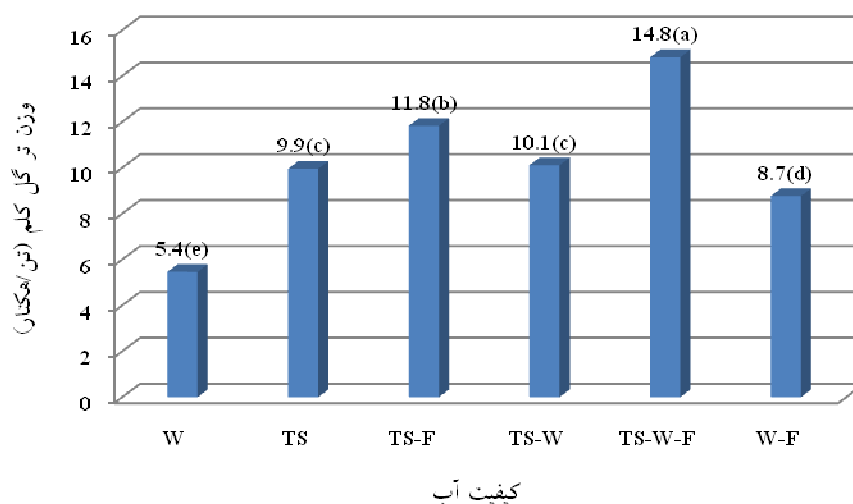


شکل ۱ - پلان طرح آزمایشی اجرا شده، نحوه قرار گرفتن لترالها و الگوی آبیاری

نتایج و بحث

دارد (شکل ۲). نتایج آزمون دانکن نیز نشان داد، تیمارهایی که در آنها از پساب تصفیه شده برای آبیاری استفاده شده است باعث افزایش معنی‌دار (در سطح پنج درصد) عملکرد نسبت به تیمارهای آبیاری شده با آب چاه شده است. وزن تر گل کلم در تیمار TS-W-F (آبیاری با مخلوطی از پساب تصفیه شده، آب چاه و کود) بیشترین و در تیمار W (آب چاه) کمترین مقدار بوده است. به نظر می‌رسد تأمین بیشتر و بهتر عناصر مورد نیاز گیاهی در این تیمار نسبت به آب معمولی، دلیل این افزایش عملکرد گیاه باشد.

در این تحقیق، وزن تر اندام هوایی گیاه (شامل ساقه به‌همراه برگ و میوه)، عملکرد بیولوژیک (وزن خشک اندام هوایی گیاه)، عملکرد نهایی شامل وزن تر گل کلم و وزن خشک گل کلم به‌عنوان شاخص‌های رشد گیاه انتخاب شده و در انتهای سال زراعی برداشت و اندازه‌گیری شدند. نتایج آخرین نمونه‌گیری به‌عنوان شاخصی جهت تعیین وضعیت نهایی رشد، مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. نتایج آزمون تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر کیفیت آب آبیاری بر عملکرد محصول (وزن تر گل کلم) در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار



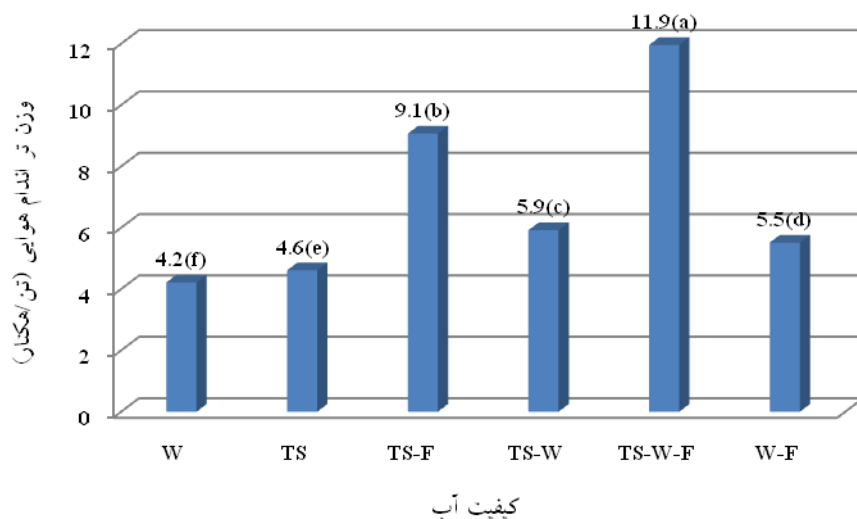
شکل ۲ - تأثیر کیفیت آب مورد استفاده آبیاری بر عملکرد گیاه کلم بروکلی (وزن تر گل کلم)

پس از برداشت و خشک نمودن اندام‌های هوایی کلم بروکلی عملکرد بیولوژیک نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. شکل (۴) تأثیر کیفیت آب مورد استفاده آبیاری بر عملکرد بیولوژیک کلم بروکلی را نشان می‌دهد. عملکرد بیولوژیک به مجموع وزن خشک تمامی اندام‌های هوایی گیاه که بالاتر از سطح خاک قرار دارند (شامل وزن ساقه، برگ و گل کلم)، گفته می‌شود. نتایج آزمون تجزیه واریانس نشان می‌دهد تأثیر کیفیت آب آبیاری بر عملکرد بیولوژیک در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار دارد.

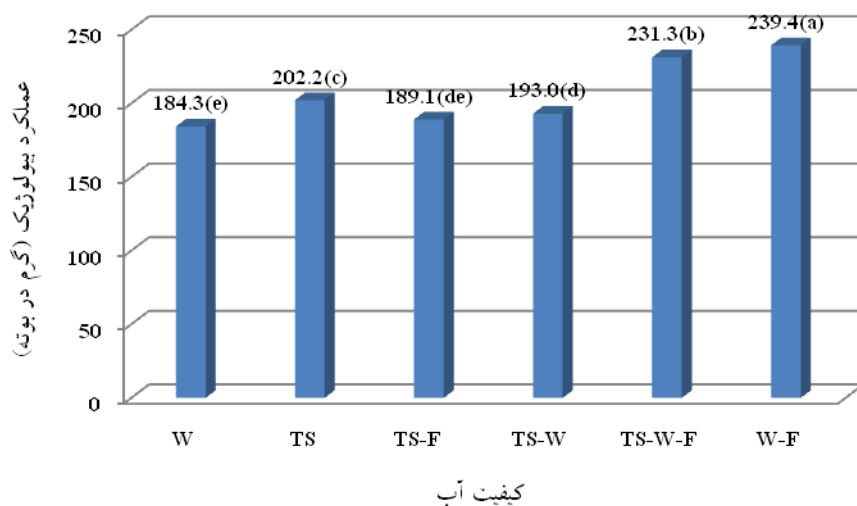
نتایج آزمون تجزیه واریانس و آزمون دانکن نشان داد، کیفیت آب مورد استفاده آبیاری تأثیر معنی‌داری (پنج درصد)، بر وزن تر اندام‌های هوایی گیاه دارد. وزن تر اندام‌های هوایی گیاه کلم شامل وزن ساقه، برگ و گل کلم (قسمت خوراکی) و در مجموع تمامی اندام‌های گیاه که بالاتر از سطح خاک قرار دارند می‌باشد. تیمار TS-W-F (آبیاری با مخلوطی از فاضلاب، آب چاه و کود) بیشترین و تیمار W (آب چاه) کمترین میزان عملکرد را دارا می‌باشند (شکل ۳).

با پساب تصفیه شده، درمقایسه با آب چاه افزایش معنی داری مشاهده می شود.

بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک مربوط به تیمار W-F (آبیاری با آب چاه و فاضلاب) و کمترین مقدار آن نیز در تیمار W (آبیاری با آب چاه) مشاهده شد. در سایر تیمارهای آبیاری شده



شکل ۳ - تأثیر کیفیت آب مورد استفاده آبیاری بر وزن تر اندام هوایی گیاه کلم بروکلی



شکل ۴ - تأثیر کیفیت آب مورد استفاده آبیاری بر عملکرد بیولوژیک کلم بروکلی

بیشتر عناصر سنگین در خاک در اثر آبیاری با پساب تصفیه شده اما حاوی عناصر سنگین علتی برای افزایش این عناصر در گیاه گزارش شده است (۱۵، ۲۴، ۲۵، ۲۶، ۳۳، ۳۴، ۳۵ و ۳۶).

بسیاری از عناصر شیمیایی اگر بیش از حد مجاز در اندام های گیاهی تجمع پیدا کنند، می توانند برای انسان و حیوانات سمی و خطرناک باشند (۳ و ۲۰). اضافه شدن غلظت

مورد استفاده در این تحقیق دو میلی‌اکی‌والان در لیتر بوده است. میزان مجاز این عنصر در برگ گیاهان مختلف بین ۳۰۰ تا ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم (۰/۳ تا یک درصد) گزارش شده است (۱۲). براساس موارد فوق و نیز نتایج از این تحقیق، پساب تصفیه شده شهر شیراز هیچ‌گونه اثر سوء و نگران‌کننده‌ای بر سمیت گیاه کلم بروکلی از نظر کلر ندارد. مشابه آنچه گفته شد، اثر کیفیت آب بر تجمع عناصر دیگری نظیر پتاسیم، فسفر، کلسیم، ویتامین C، ویتامین B₆ و پروتئین نیز در جدول (۵) نشان داده می‌شود. نتایج نشان می‌دهند که مقادیر ویتامین C و B₆ تحت تأثیر کیفیت‌های مختلف آب آبیاری قرار می‌گیرد و در سطح پنج درصد دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشند. تجزیه و تحلیل مشابهی برای سایر عناصر (عناصر سنگین و کم‌مصرف) اندازه‌گیری شده در این تحقیق انجام شد. نتایج نشان می‌دهد گرچه میزان جذب این عناصر در اندام هوایی کلم بروکلی در تیمارهای مختلف متفاوت و در مواردی در سطح پنج درصد دارای اختلاف معنی‌داری است اما با توجه به مقادیر مجاز عناصر گزارش شده استفاده از پساب تصفیه شده شهر شیراز هیچ‌گونه اثر سوء و نگران‌کننده‌ای بر سمیت گیاه کلم بروکلی ندارد (جدول ۶).

بین افزایش غلظت عناصر سنگین در گیاه همراه با افزایش آنها در خاک و منبع آبیاری ارتباط مستقیمی وجود دارد (۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۳ و ۳۵). نتایج حاصل از این تحقیق نیز روند مشابهی که گزارش شده است، نشان می‌دهد. در جدول‌های (۵) و (۶) مقدار تجمع عناصر شیمیایی و مواد غذایی در گیاه کلم بروکلی تحت تأثیر کیفیت آب آبیاری، همچنین آنالیز اختلاف معنی‌دار (در سطح پنج درصد) جذب این عناصر در تیمارهای مختلف مشاهده می‌شود. برای نمونه نتایج تجزیه واریانس و آزمون دانکن نشان داد، تجمع عنصر کلر به طور کاملاً معنی‌داری تحت تأثیر کیفیت آب آبیاری قرار گرفت و کیفیت آب آبیاری باعث اختلاف معنی‌دار بر میزان تجمع کلر تنها در دو تیمار TS-W-F (آبیاری با مخلوطی از پساب، آب چاه و کود شیمیایی) و W (آبیاری با آب چاه) نشد. متوسط تجمع میزان کلر در اندام‌های گیاه کلم برای تیمارهای مختلف نشان داد که بیشترین و کمترین میزان تجمع کلر در گیاه به ترتیب در تیمار W-F (آبیاری با مخلوطی از آب چاه و کود شیمیایی) و TS-W-F (آبیاری با مخلوطی از پساب، آب چاه و کود شیمیایی) بود. میزان کلر در پساب تصفیه شده شهر شیراز ۱۶۱ میلی‌گرم در لیتر و آب چاه

جدول ۵ - اثر کیفیت آب بر تجمع برخی عناصر و مواد غذایی در اندام‌های کلم بروکلی (آزمون دانکن پنج درصد)

تیمار	پتاسیم (ppm)	فسفر (ppm)	کلسیم (%)	کلر (ppm)	پروتئین (%)	ویتامین B ₆ (%)	ویتامین C (%)
W	۰/۸۳ ^{d†}	۰/۱۴ ^d	۰/۱۶ ^d	۶۳۹ ^e	۱/۳۵ ^d	۱۰/۷ ^e	۱۷ ^e
W-F	۲/۹۹ ^c	۰/۴ ^b	۰/۵۱ ^b	۱۵۹۵/۳۳ ^a	۳/۳۳ ^c	۵۷/۹۷ ^c	۶/۹۸ ^f
TS-W	۵/۳ ^a	۰/۴۵ ^a	۰/۵۹ ^a	۱۴۲۰/۳۳ ^b	۳/۶۴ ^b	۱۱۸/۹۹ ^b	۴۸/۹۴ ^c
TS-F	۳/۳ ^b	۰/۳۴ ^c	۰/۱۲ ^d	۱۰۶۴/۶۷ ^c	۳/۳ ^c	۳۱/۸۲ ^d	۱۸۸/۳۴ ^a
TS	۳/۴ ^b	۰/۴۳ ^{ab}	۰/۶۱ ^a	۸۸۴/۶۷ ^d	۴/۳۲ ^a	۳۵۹/۹۹ ^a	۴۰/۷۵ ^d
TS-W-F	۳/۰۸ ^c	۰/۴۳ ^{ab}	۰/۳۳ ^c	۶۳۵/۳۳ ^e	۱/۳۵ ^d	۶/۸۸ ^f	۸۸/۹۹ ^b

† - میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند، در سطح پنج درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار ندارند.

جدول ۶ - اثر کیفیت آب آبیاری بر تجمع برخی فلزات در اندام‌های کلم بروکلی (آزمون دانکن پنج درصد)

تیمار	کادمیوم (ppm)	بر (ppm)	نیکل (ppm)	سرب (ppm)	منگنز (ppm)	مس (ppm)	روی (ppm)	آهن (ppm)
W	۰.۰۴ ^a	۲۳ ^d	.	۰.۰۲۳ ^{ab}	۶/۶ ^c	۱/۵۳ ^c	۶/۰۷ ^d	۲/۳۷ ^d
W-F	۰.۰۸ ^a	۲۱/۳۳ ^d	.	۰/۴۷ ^b	۲۷/۱۳ ^b	۰/۴۱ ^d	۳۴/۱۳ ^b	۳۸/۹۳ ^a
TS-W	۰/۱ ^a	۳۲ ^c	.	۱/۰۳ ^b	۷/۲۳ ^c	۰/۳۴ ^d	۳/۲۷ ^e	۱۷/۵ ^c
TS-F	۰/۰۴ ^a	۳۱/۶۷ ^c	.	۰/۲۵ ^{ab}	۲/۱۷ ^d	۰/۱۵ ^d	۰/۴ ^f	۲/۸۷ ^d
TS	۰/۰۸ ^a	۴۴/۳۳ ^b	.	۰/۴۷ ^b	۲۹/۶۷ ^a	۴/۳ ^a	۴۰/۵ ^a	۳/۱۷ ^d
TS-W-F	۰/۱ ^a	۸۱/۸۷ ^a	.	۱/۰۷ ^a	۲۶/۶۷ ^b	۲/۸۷ ^b	۳۱ ^c	۱۹/۳۳ ^b

† - میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند، در سطح پنج درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار ندارند.

نتیجه‌گیری

پساب تصفیه شده، آب معمولی و کود برای آبیاری مزارع می‌توان عملکرد را به حدی رسانید که با آبیاری با آب چاه و کود به تنهایی عاید می‌شود. با کاهش آب چاه به میزان ۵۰ درصد و جایگزینی آن با پساب، در عین حالی که در عملکرد محصول کاهش قابل ملاحظه‌ای صورت نمی‌گیرد، می‌توان در مصرف آب با کیفیت بالا (آب چاه در این تحقیق) که جنبه شرب دارد، صرفه‌جویی نمود. غلظت بیش از حد برخی عناصر در پساب می‌تواند در درازمدت باعث مسمومیت و کاهش عملکرد گیاه شود. وجود برخی عناصر سنگین و خطرناک در پساب علاوه بر اثرات نامطلوب بر گیاه، می‌تواند موجب آلاینده‌گی گیاه، حیوان، محیط زیست و در نتیجه انسان گردد (۱، ۱۰، ۱۶، ۳۲، ۳۳ و ۳۸). نتایج نشان می‌دهد عناصر سنگین اندازه‌گیری شده (نظیر کادمیوم، نیکل، سرب و غیره) در نمونه‌های گیاهی (میوه) که با پساب تصفیه شده شهری آبیاری شدند، در مقایسه با تیمارهای آبیاری شده با آب چاه اختلاف معنی‌داری ندارند اما در مورد سایر عناصر کمیاب و کم مصرف گیاهی (نظیر بر، کلر، منگنز، روی و غیره) اندازه‌گیری شده در تیمارهای دارای پساب تصفیه شده غالباً درصد جذب بالاتری نسبت به تیمارهای آب چاه داشتند.

کلیه مشخصه‌های کمی محصول کلم بروکلی در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار داشتند و در موارد استفاده از پساب تصفیه شده در مقایسه با آب چاه باعث افزایش عملکرد شده است. از آنجایی‌که آب پساب مورد استفاده متشکل از پساب‌های شهری و واحدهای تولیدی منفرد و کوچک در حاشیه و هرز آب‌های ناشی از بارندگی و زباله‌هایی است که در طول مسیر به آن اضافه می‌شود، غلظت عناصر شیمیایی اندازه‌گیری شده در آن بیشتر از آب چاه می‌باشد. به همین دلیل، وجود برخی عناصر مورد نیاز گیاه (نظیر سدیم، پتاسیم، کلسیم، کلر، منگنز و غیره) در پساب سبب افزایش عملکرد تیمار پساب در مقایسه با تیمار آب چاه و آبیاری با پساب شهری سبب افزایش غلظت فلزات قابل جذب در گیاه گردید. کاربرد پساب در آبیاری سبب افزایش غلظت عناصر سنگین در اندام‌های هوایی (نظیر برگ، ساقه و میوه) شد. بهترین نتایج عملکرد در تیماری مشاهده گردید که در آن گیاه با ترکیبی از پساب تصفیه شده، آب چاه و کود شیمیایی آبیاری شده است، در تیمار آبیاری با استفاده از ترکیب پساب تصفیه شده و آب چاه عملکرد محصول با مقایسه با آب چاه بالاتر بود. نتایج این تحقیق معرف آن است که در صورت استفاده از ترکیبی از

منابع مورد استفاده

- همایش جنبه‌های زیست محیطی استفاده از پساب‌ها در آبیاری. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. تهران. صص. ۶۱-۷۹.
۷. علیزاده ا (۱۳۷۶) استفاده از پساب تصفیه شده خانگی در آبیاری چغندرقد، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، گزارش نهایی طرح پژوهشی. ۱۱۹ ص.
۸. علیزاده ا، حق‌نیاغ و نقیبی ا (۱۳۷۵) استفاده از فاضلاب‌های تصفیه شده خانگی در آبیاری. مجموعه مقالات دومین کنگره ملی مسائل آب و خاک کشور. صص. ۳۳۲-۳۵۳.
۹. معاضد و. و حنیفه‌لو ا (۱۳۸۵) ارزیابی کیفیت فاضلاب‌های ورودی و خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب غرب شهر اهواز برای استفاده مجدد در کشاورزی. مجموعه مقالات اولین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، اهواز.
۱۰. موحیدیان ف. و افیونی م (۱۳۸۵) اثر پساب و لجن صنعتی روی برخی خصوصیات شیمیایی و تجمع عناصر سنگین خاک در اصفهان. مجموعه مقالات دومین کنفرانس مدیریت منابع آب، اصفهان.
۱۱. نقشینه‌پور ب (۱۳۷۳) کاربرد فاضلاب‌ها در امر تولیدات کشاورزی و اصلاح خاک‌ها. اولین کنگره برنامه‌ریزی و امور زیربنایی (آب و خاک)، وزارت کشاورزی، تهران، صص. ۱۳۵-۱۴۴.
۱. ابراهیمی‌زاده م. ع.، حسن‌لی ع. م. و احمدی‌راد ش (۱۳۸۵) حداقل اثرات زیست محیطی پساب فاضلاب شهری بر خاک در کشت ذرت. مجموعه مقالات اولین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران.
۲. ترابیان ع. و هاشمی ف (۱۳۷۸) آبیاری فضای سبز با پساب تصفیه شده تصفیه‌خانه‌های تهران. آب و فاضلاب. ۲۹: ۳۶-۳۱.
۳. توکلی م. و طباطبایی م (۱۳۷۸) آبیاری با فاضلاب تصفیه شده. مجموعه مقالات همایش جنبه‌های زیست محیطی استفاده از پساب‌ها در آبیاری، تهران. صص. ۱۴۱-۱۲۸.
۴. دانش ش.، علیزاده ا. و حق‌نیاغ (۱۳۶۹) اثر آبیاری با پساب بر کمیت و کیفیت چغندرقد و چغندر علوفه‌ای. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد. ۱۴۱ ص.
۵. شادکام س.، دانش ش.، علیزاده ا. و پروان م (۱۳۸۵) بررسی استفاده مجدد از فاضلاب خام و پساب تصفیه شده بر هدایت هیدرولیکی بافت‌های مختلف خاک. مجموعه مقالات اولین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران.
۶. عرفانی‌آگاه ع (۱۳۷۸) بررسی کارایی فاضلاب تصفیه شده خانگی در آبیاری زراعت کاهو و گوجه‌فرنگی. مجموعه مقالات Rept. Prepared for Irrigation Sustainability Committee, Canada-Saskatchewan, Agriculture Green Plan. Pp. 1-11.
17. Cheng AC, Warknek JE, Page AL and Land AJ (1984) Accumulation of Heavy Metal in Sewage Sludge Treated Soils. *Environments Quality*. 13: 87-90.
18. Farhood MR and Amin S (2001) Groundwater Contamination by Heavy Metals in Agricultural Water Resources of Shiraz Area. *International Workshop in Wastewater Reuse Management*. ICID-CIID. Seoul, Korea. Pp. 95-103.
19. Fatta D and Kythreotou N (2005) Wastewater as Valuable Water Resource Concerns, Constraints and Requirements Related to Reclamation, Recycling and
12. Alizadeh A (2001) Using Reclaimed Municipal Wastewater for Irrigation of Corn. *International Workshop on Wastewater Reuse Management*. ICID-CIID. Seoul, Korea. Pp. 147-154.
13. Asano T and Levine AD (1996) Wastewater Reclamation, Recycling and Reuse: Past, Present and Future. *Water Science and Technology*. 33(10-1): 1-14.
14. Bahri A (1999) Agricultural Reuse of Wastewater and Global Water Management. *Water Science and Technology*. 40(4-5): 339-346.
15. Baker AJM (1987) Metal tolerance. *New Physiologist*. 106: 93-111.
16. Cameron DR (1997) Sustainable Effluent Irrigation Phase II: Review of Monitoring Data, Moose Jaw. Tech.

- Reuse. IWA International Conference on Water Economics, Statistics and Finance, Greece.
- 20 . Feizi M (2001) Effect of Treated Wastewater on Accumulation of Heavy Metals in Plants and Soil. International Workshop on Wastewater Reuse Management. ICID-CIID. Seoul, Korea. Pp. 137-146.
- 21 . Haruvy N (1998) Wastewater Reuse-regional and Economic Considerations. Resources, Conservation and Recycling. 23: 57-66.
- 22 . Hussain G and Al-Saati JA (1999) Wastewater Quality and its Reuse in Agriculture in Saudi Arabia. Desalination. 123: 241-251.
- 23 . Khai NM (2007) Effects of Using Wastewater and Biosolids as Nutrient Sources on Accumulation and Behaviour of Trace Metals in Vietnamese Soils. Ph.D. Thesis, Department of Soil Science. University of Agricultural Sciences. Uppsala, Sweden. 185 p.
- 24 . Macnair MR (1993) Transley review No. 49. The genetic metal tolerance in vascular plants. New Physiologist. 124: 541-559.
- 25 . Mahida UN (1981) Water Pollution and Disposal of Wastewater on Land. McGraw-Hill pub., New Delhi. 323 p.
- 26 . Pais IJ and Benton-Jones JR (1997) The handbook of trace elements. St. Lucie press Boca Raton pub., Florida. 76 p.
- 27 . Oron GD, Campos C, Gillerman L and Salgot M (1999) Wastewater treatment, renovation and reuse for agricultural irrigation in small communities. Agricultural Water Management. 38: 223-234.
- 28 . Oster JD (1994) Irrigation with poor quality water. Agricultural Water Management. 25: 271-297.
- 29 . Saber MS and Prolonged M (1986) Effect of Land Disposal of Human Waste on Soil Conditions. Water Science and Technology. 18: 371-374.
- 30 . Shuval HI, Adin A, Fattal B, Rawitz E and Yekutieli P (1986) Wastewater Irrigation in Developing Countries. Health Effects and Technical Solutions. World Bank Technical Paper. 51: 325.
- 31 . Shuval HI, Yekutieli P and Fattal B (1984) Epidemiological Evidence for Helminth and Cholera Transmission by Vegetables Irrigated with Wastewater: Jerusalem: a Case Study. Water Science and Technology. 17: 433-442.
- 32 . Sillanpaa M and Jansson H (1992) Status of cadmium, lead, cobalt, and selenium in soils and plant of thirty countries. FAO soils Bulletin, Rome. Italy. 65 p.
- 33 . Singh G and Bhati M (2005) Growth of Dalbergia Sissoo in Desert Regions of Western India Using Municipal Effluent and the Subsequent Changes in Soil and Plant Chemistry. Bioresource Technology. 96: 1019-1028.
- 34 . Smart MK (2003) Effects of Long-Term Irrigation with Reclaimed Water on Soils of the Northern Adelaide Plains, South Australia. Australian Journal of Soil Research. 41(5): 933-948.
- 35 . Tabatabaei SH, Liaghat A and Heidarpor M (2001) Use of Zeolite to Control Heavy Metal in Municipal Wastewater Applied for Irrigation. International Workshop on Wastewater Reuse Management. ICID-CIID. Seoul. Korea. Pp. 33-41.
- 36 . Woolhouse HW (1983) Toxicity and tolerance in the response of plants to metals. Physiological Plant Ecology. 12: 245-300.
- 37 . Tanji KK (1997) Irrigation with marginal quality waters. ASCE. Irrigation and Drainage Engineering. 123(3): 165-169.
- 38 . Vlamis JD, William E, Fong K and Corey JE (1978) Metal uptake by barley from field plots fertilized with sludge. Soil Science. 126(1): 49-55.

Consequences of using treated wastewater and chemical fertilizers on Broccoli (*Brassica oleracea*) growth

M. Rajabisorkhani¹ and A. A. Ghaemi^{2*}

(E-mail: ghaemi@shirazu.ac.ir)

(Received: 23 April 2012, Accepted: 9 March 2013)

Abstract

Today as freshwater resources become scarcer, wastewater use is a major incentive option for conserving and expanding available water supplies. The aim of this research was to investigate the impact of normal irrigation water (Well water), chemical fertilizer, and treated urban wastewater effluent on yield quantity and quality of broccoli under micro irrigation system. The accumulation of chemicals and heavy metals in broccoli was also investigated. This study was conducted with six treatments and three replications including urban water, fertilizer mixed with urban water, urban treated wastewater, fertilizer mixed with urban treated wastewater, urban water mixed with urban treated wastewater, urban water mixed with treated wastewater and fertilizer. A sample of broccoli was picked up from each treatment in order to examine standard chemical analysis on broccoli at the end of growth season. The results indicated that the impact of application of treated wastewater compare to application of normal irrigation water on shoot fresh weight, biological performance of broccoli. The values of different elements such as K, Ca, P and Cl, was significant at level of 5 percent of probability. The results showed that different water quality had no significant impact on accumulation of heavy metals (Pb, Ni and Cd) at level of 5 percent, but significant impact was found on the accumulation of Fe, Cu, B, Mn and Zn in treated wastewater treatment at level of five percent probability. Moreover, the application of treated wastewater caused to increase the accumulation of different elements such as vitamin B₆, vitamin C, and protein in different plant parts significantly.

Keywords: Broccoli, Fertilizer, Heavy metal, Wastewater, Yield

1 - Former M.Sc. Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz - Iran

2 - Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz - Iran (**Corresponding Author ***)