بررسی تأثیر کیفیت آب آبیاری و زمان برداشت بر خواص رشدی و عملکردی گیاه سورگوم علوفه‌ای

صابر جمالی[۱]، حسین انصاری[۱*] و سیده‌محبوبه زین‌الدین[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۴/۲۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۶/۲۳)

چکیده

به‌منظور بررسی اثر آبیاری با پساب تصفیه شده فاضلاب و زمان‌های مختلف برداشت بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه سورگوم علوفه‌ای رقم اسپیدفید آزمایشی گلخانه‌ای در قالب طرح کاملاً تصادفی در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۷ اجرا شد. تیمار رژیم‌های آبیاری در این طرح به‌صورت (W1: آبیاری با آب چاه، W2: اختلاط ۷۵ درصدی پساب و آب چاه، W3: اختلاط ۲۵ درصدی پساب و آب چاه، W4: پساب تصفیه شده فاضلاب) و تیمار زمان برداشت نیز شامل (C1: قبل از گلدهی، C2: بعد از ۵۰ درصد گلدهی و C3: در زمان شیری شدن دانه) بود. نتایج این تحقیق نشان داد که رژیم‌های مختلف آبیاری بر تمامی صفات مورد بررسی (بجز ارتفاع) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شده ولی بر ارتفاع معنی‌دار نشد؛ همچنین نتایج گویای معنی‌داری زمان برداشت بر تمامی صفات (به‌جز عرض برگ) در سطح احتمال یک درصد بود ولی این تیمار بر صفت عرض برگ معنی‌دار نشد. از طرفی اثر متقابل رژیم آبیاری و زمان برداشت نیز بر صفات تعداد برگ، طول و عرض سنبله و وزن تر برگ، ساقه و سنبله در سطح احتمال یک درصد و بر ارتفاع، قطر ساقه، تعداد پنجه، طول و عرض برگ در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. نتایج نشان داد که استفاده از درصدهای ۲۵، ۷۵ و ۱۰۰ درصد اختلاط پساب سبب تغییر عملکرد علوفه به‌میزان ۳۷/۵، ۲۹/۳- و ۱۲/۹ درصد (قبل از گلدهی)؛ ۳۱، ۱۵/۳- و ۴۷/۴- درصد (بعد از ۵۰ درصد گلدهی) و ۱۱/۸-، ۳۵/۷- و ۲۸/۴- درصد (شیری شدن دانه) شد. به‌میزان بیشترین میزان عملکرد علوفه مربوط به تیمار استفاده از اختلاط ۷۵ درصدی و بعد از ۵۰ درصد گلدهی (۴۶/۱۹ گرم در بوته) بود، به‌عبارت دیگر تیمار استفاده از اختلاط ۷۵ درصدی و بعد از ۵۰ درصد گلدهی و سنبله‌دهی گیاهان تیمار بهینه است.

واژه‌های کلیدی: اختلاط پساب و آب شهری، رقم اسپیدفید، ذرت خوشه‌ای، شرایط گلخانه‌ای، فاضلاب شهری

۱ . گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲. گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: ansary@um.ac.ir

مقدمه

با توجه به افزایش روز افزون جمعیت و تقاضا برای محصولات دامی نیاز به تولید علوفه نیز افزایش می‌یابد. تولید علوفه مورد نیاز کشور در شرایط خشکسالی مستلزم شناخت دقیق و کامل از ویژگی‌های علوفه و شرایط کشت آنهاست. نیاز فزاینده به آب به‌خصوص در مناطق خشک جهان باعث ایجاد برنامه‌هایی در استفاده از فاضلاب برای آبیاری محصولات کشاورزی شده است. استفاده از پساب تصفیه شده در کشاورزی می‌تواند باعث ذخیره آب با کیفیت بالا برای مصارف انسانی شود (۲ و ۱۵). با توجه به کاهش منابع آب در کشور می‌توان با بررسی تأثیرهای فاضلاب بر خواص گیاهان از این منبع آب برای آبیاری بخشی از گیاهان به‌خصوص علوفه مورد نیاز دام استفاده کرد (۱۶). امروزه استفاده از پساب برای رفع کمبود آب شیرین و نیز حاصلخیز کردن زمین‌های کشاورزی و کشت آبی متداول است و کاربرد آن در دهه‌های اخیر به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک افزایش یافته است. دسترسی به پساب فاضلاب به عنوان یک منبع مطمئن و دائمی آب و مواد مغذی موجب می شود در زمان بحران، نیاز گیاه به آب و کود تأمین شود و همچنین در طول دوره رشد از منابع مناسب آب و کود برخوردار باشد (۳ و ۲۳).

یکی از علوفه‌هایی که بسیار مورد مصرف بوده، سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) است (۲۱ و ۲۵). باتوجه به تغییر اقلیم و کاهش منابع آب، کاشت گیاهانی نظیر سورگوم و ارزن با توجه به ویژگی‌های منحصر به‌فرد آنها می‌توانند گزینه مناسبی برای تولید علوفه در مناطق گرم و خشک باشند (۲۴). سورگوم علوفه‌ای یکی از مهم‌ترین گیاهان علوفه‌ای مناطق خشک و نیمه خشک دنیا محسوب شده که به‌علت سازگاری با شرایط گرم و خشک و با داشتن کارایی مصرف آب بالا، می‌تواند تولید خوبی داشته باشد (۱۷). الجلود و همکاران (۵) گزارش کردند که آبیاری ذرت و سورگوم با پساب تأثیر چندانی بر غلظت عناصر میکرو و فلزات سنگین در ذرت و سورگوم ندارد و مقدار این عناصر در تیمارهای آبیاری شده با فاضلاب زیر حد استانداردهای موجود است. آبیاری با پساب تصفیه شده و آب شور دریا بر مقدار تجمع فلزاتی مانند آلومینیوم، کبالت، نیکل، کادمیوم و آهن در خاک تأثیر معنی‌داری نداشته ولی باعث افزایش تجمع کروم، منگنز و روی در خاک و بافت گیاه شده به‌طوری که غلظت این عناصر به سطوح سمی نمی‌رسد (۲). نتایج پژوهش صفارسبزوار (۲۳) نشان داد که آبیاری با پساب، باعث افزایش معنی‌دار شاخص کلروفیل برگ، محتوای کلروفیل کل، وزن خشک ریشه، وزن خشک اندام هوایی و میزان فسفر گیاه نسبت به تیمار شاهد شد، اما تأثیر معنی‌داری بر طول و سطح ریشه رقم اسپیدفید نداشت. نتایج پژوهش فقیهی (۱۴) نشان داد که تمامی صفات مورد مطالعه در آزمایش به‌طور بسیار معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای آبیاری با پساب قرار گرفت. بر اساس مقایسه میانگین داده‌ها صفات عملکرد، وزن خشک برگ و ساقه، وزن تر برگ و ساقه، قطر ساقه، ارتفاع ساقه، تعداد برگ در تیمارهای مصرف فاضلاب افزایش معنی‌داری نسبت به تیمار آبیاری با آب معمولی داشت. عملکرد و اجزای آن از قبیل وزن تر و خشک ساقه ، وزن تر و خشک برگ، ارتفاع، قطر ساقه، تعداد برگ، در تیمارهایی که در تمام دوره رشد با فاضلاب آبیاری شده و در تیمارهایی که به‌صورت یکی در میان با فاضلاب و آب معمولی آبیاری شده بودند، نسبت به بقیه افزایش معنی‌داری نشان دادند، اما بین این دو تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. نتایج حاصل از پژوهش مفتاحی (۱۹) نشان داد که نسبت‌های مختلف آب چاه و فاضلاب تأثیر معنی‌داری بر تعداد پنجه، شاخص سطح برگ، ارتفاع بوته، قطر ساقه ، وزن (ریشه، ساقه ، گل و علوفه در حالت تر) و وزن (ساقه، گل و علوفه در حالت خشک) داشت. افزایش میزان اختلاط منجر به افزایش وزن تر و خشک اندام‌های مختلف شد. تعداد پنجه با افزایش نسبت اختلاط پساب کاهش یافت. با افزایش میزان اختلاط فاضلاب، میانگین درصد پروتئین خام افزایش یافت.

رضوانی مقدم و نصیری محلاتی (۲۲) در تحقیقی به منظور بررسی اثر زمان برداشت بر ارزش غذایی و عملکرد سه رقم سورگوم علوفه‌ای نشان دادند که تأخیر در برداشت

منجر به کاهش درصد برگ و افزایش درصد گل و ساقه و کاهش قابلیت هضم علوفه شده است. دهمرده و همکاران (۱۲) با بررسی اثر زمان برداشت بر کیفیت علوفه ذرت گزارش کردند که برداشت علوفه در مرحله شیری نسبت به مرحله خمیری دانه از کیفیت بالاتری برخوردار است. کارول و جین (۱۰) با بررسی زمان‌های مختلف برداشت (قبل از گلدهی، گلدهی، شیری و خمیری) بر عملکرد غلات زمستانه (گندم، جو، یولاف، چاودار و تریتیکاله) اظهار داشتند که برداشت در مرحله خمیری نسبت به مرحله قبل از گلدهی عملکرد ماده خشک در این گیاهان را ۳۰ تا ۶۰ درصد افزایش داد. ایوب و همکاران (۸) در تحقیقی روی سورگوم نشان دادند که تأخیر در برداشت منجر به افزایش عملکرد تر و خشک علوفه می‌شود، همچنین تاریخ برداشت بر کیفیت و عملکرد ماده خشک گیاه تأثیر معنی‌داری دارد. آنها اظهار داشتند که زمان برداشت محصول در ۷۵ روز پس از کاشت بهترین نتیجه از نظر کمیت و کیفیت علوفه دارد. احمدی و همکاران (۱) در پژوهش خود روی سورگوم علوفه‌ای نشان دادند که بیشترین عملکرد علوفه در رقم اسپیدفید در چین اول تولید شد. زمان برداشت در بهبود عملکرد کمی و کیفی سورگوم علوفه‌ای از اهمیت زیادی برخوردار است و این زمان روی عوامل زیادی از جمله کیفیت علوفه، مقدار تولید و میزان اسید پروسیک علوفه اثر می‌گذارد و بر نسبت اجزای عملکرد مؤثر است (۱۱، ۲۶ و ۲۷). نظر به اهمیت ویژه‌ی زمان برداشت محصولات زراعی و علوفه‌ای و کمبود منابع آب با کیفیت در کشور از یک‌سو و از آنجایی که اثر متقابل رژیم‌های مختلف استفاده از پساب تصفیه شده شهری و زمان برداشت روی گیاه سورگوم علوفه‌ای مورد پژوهش قرار نگرفته بود، از این‌رو این پژوهش با هدف بررسی اثر رژیم‌های اختلاطی پساب تصفیه شده شهری مشهد و زمان برداشت بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه سورگوم علوفه‌ای اجرا شد.

مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر آزمایشی گلخانه‌ای به‌صورت فاکتوریل ۲ عاملی (کیفیت آب و زمان برداشت) و در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار بر پایه کشت گلدانی (با گلدان‌هایی به قطر ۲۵ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر) در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد با موقعیت جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی با ۹۸۵ متر ارتفاع از سطح دریا روی گیاه سورگوم علوفه‌ای (*Sorghum bicolor* L.) رقم اسپیدفید در سال ۱۳۹۷ اجرا شد. تیمارهای مورد بررسی در این پژوهش شامل ۴ سطح کیفی آب آبیاری (آب چاه، اختلاط ۷۵ درصدی پساب و آب چاه، اختلاط ۲۵ درصدی پساب و آب چاه و استفاده از پساب تصفیه شده شهری) و ۳ زمان برداشت (قبل از گلدهی، بعد از ۵۰ درصد گلدهی و در زمان شیری شدن دانه) بود. در این پژوهش از خاک مرکب استفاده شده که دارای ۴۰ درصد خاک زراعی، ۴۰ درصد ماسه و ۲۰ درصد کود گاوی پوسیده بود. پس از اینکه خاک مرکب تهیه شد، بافت با روش هیدرومتری محاسبه شده و بافت آن سیلتی رسی به‌دست آمد. با توجه به اینکه کود گاوی مورد استفاده در این طرح دارای شوری بالا و نیتروژن نیتراتی زیادی بود، برای کاهش قابلیت هدایت الکتریکی و نیتروژن نیتراتی، کودها آبشویی شدند (نسبت آبشویی برابر یک به ۱۰ کود آلی به آب مقطر). میزان اسیدیته، شوری و رطوبت ظرفیت زراعی (FC) به‌ترتیب برابر با ۷/۸۵، ۱/۲ دسی‌زیمنس بر متر و ۲۶ درصد بود. پس از تهیه خاک مرکب، گلدان‌هایی که دارای زهکش انتهایی بوده و در کف آنها از گراول برای بهبود زهکشی استفاده شده بود، از آن پر شده و ۵ سانتی‌متر از بالای آن برای آبیاری خالی درنظر گرفته شد. در این پژوهش دور آبیاری متغیر و میزان آب آبیاری (به‌میزان FC که به‌روش وزنی محاسبه شده بود) ثابت درنظر گرفته شد. برای برآورد زمان آبیاری از دستگاه TDR مدل PMS-714 استفاده شد. در تاریخ ۱۰ اردیبهشت بذرهای سورگوم در سینی کشت، کاشته شده و در تاریخ ۲۵ اردیبهشت نشاهای تولید شده

جدول ۱. خصوصیات شیمیایی آب آبیاری مورد استفاده

کیفیت آب	ترکیبات شیمیایی									
	SAR	Cl (meq/L)	Na (meq/L)	K (meq/L)	Ca (meq/L)	Mg (meq/L)	SO_4 (meq/L)	HCO_3 (meq/L)	EC_{25} (dS/m)	pH
آب شهری	۰/۶۲	۱	۱/۱۷	۰/۴	۴/۴	۲/۸	۰/۷	۷	۰/۸	۸/۲

جدول ۲. خصوصیات شیمیایی پساب تصفیه شده شهری مشهد

آب آبیاری	کل جامدات محلول (mg/L)	pH	کلسیم (meq/L)	منیزیم (meq/L)	نیترات (meq/L)	سولفات (meq/L)	کلراید (meq/L)
پساب تصفیه شده شهری	۱۲۵	۷/۹	۵۰/۴۶	۳۷/۳۲	۱/۲۵	۷۵	۵۹۰

جدول ۳. ترکیبات تیماری

ترکیبات تیماری	نماد اختصاری
آب چاه + قبل از گلدهی	W1C1
اختلاط ۷۵ درصدی پساب و آب چاه + قبل از گلدهی	W2C1
اختلاط ۲۵ درصدی پساب و آب چاه + قبل از گلدهی	W3C1
پساب تصفیه شده شهری مشهد + قبل از گلدهی	W4C1
آب چاه + بعد از ۵۰ درصد گلدهی	W1C2
اختلاط ۷۵ درصدی پساب و آب چاه + بعد از ۵۰ درصد گلدهی	W2C2
اختلاط ۲۵ درصدی پساب و آب چاه + بعد از ۵۰ درصد گلدهی	W3C2
پساب تصفیه شده شهری مشهد + بعد از ۵۰ درصد گلدهی	W4C2
آب چاه + دانه بستن	W1C3
اختلاط ۷۵ درصدی پساب و آب چاه + دانه بستن	W2C3
اختلاط ۲۵ درصدی پساب و آب چاه + دانه بستن	W3C3
پساب تصفیه شده شهری مشهد + دانه بستن	W4C3

که از نظر ظاهری و اندازه تقریباً همه در یک سطح بودند (بین ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر) به گلدان‌ها منتقل شدند. در هر گلدان تراکم بوته ۲ عدد بود. یک هفته پس از انتقال نشا به گلدان‌ها و استقرار کامل گیاه در گلدان تیمارهای آبیاری اعمال شد. پساب مورد استفاده در این آزمایش از تصفیه‌خانه فاضلاب خین عرب مشهد تهیه شده و در بشکه‌های ۲۰ لیتری رنگی در گلخانه نگهداری شد. برای تهیه هر یک از تیمارهای اختلاطی در بشکه‌های جداگانه هر یک از تیمارها تهیه شده و برای آبیاری از آنها استفاده شد. خواص شیمیایی آب و پساب تصفیه شده در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. در جدول ۳ ترکیبات تیماری و نماد اختصاری آن ارائه شده است. در طول دوره رشد ۳ بار علف‌های هرز با دست وجین شد. از آنجایی‌که یکی از تیمارها زمان برداشت بود، برای این منظور در هر کدام از مراحل رشدی مدنظر، بوته‌ها کف‌بری شده و صفات مورد بررسی (شاخص سبزینگی، ارتفاع، قطر ساقه، تعداد گره، تعداد پنجه، طول، عرض و تعداد برگ؛ طول و عرض سنبله؛ وزن تر

برگ، ساقه و سنبله) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری شاخص سبزینگی از دستگاه کلروفیل‌متر مدل CCM200 استفاده شد. تعداد بوته، پنجه و گره در هر بوته شمارش و میانگین آن در هر گلدان تعیین شد. قطر ساقه در میانگره اول و عرض برگ با استفاده از کولیس اندازه‌گیری شد. برای توزین برگ، ساقه و سنبله از ترازوی با دقت ۰/۰۱ گرم استفاده شد. در اندازه‌گیری طول برگ و ارتفاع گیاه از خط‌کش استفاده شد. در انتها نتایج با نرم‌افزار SAS (ver. 9.1) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

بر اساس جدول تجزیه واریانس‌ها (جدول ۴) نتایج نشان داد که تیمارهای مختلف آبیاری روی تمامی صفات (به‌جز ارتفاع بوته) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شده و بر صفت ارتفاع معنی‌دار نشد. همچنین نتایج گویای معنی‌داری اثر زمان برداشت روی تمامی صفات (به‌جز عرض برگ) در سطح احتمال یک درصد بود ولی این تیمار بر صفت عرض برگ معنی‌دار نشد. از طرفی اثر متقابل رژیم آبیاری و زمان برداشت نیز بر صفات تعداد برگ، طول و عرض سنبله و وزن تر برگ، ساقه و سنبله در سطح احتمال یک درصد و بر ارتفاع، قطر ساقه، تعداد پنجه، تعداد گره، طول و عرض برگ در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شده ولی بر شاخص سبزینگی معنی‌دار نشد. بر اساس جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵) بیشترین میزان ارتفاع با ۱۱۰/۸ سانتی‌متر در تیمار W2C2 و کمترین میزان این صفت نیز در تیمار W1C1 با ۹۰/۳ سانتی‌متر مشاهده شد. در صفت طول و عرض برگ بیشترین میزان به‌ترتیب با ۵۱/۴۶ و ۴/۱۳ سانتی‌متر در W2C1 و کمترین میزان این صفات نیز به‌ترتیب با ۳۱/۵ و ۲/۸ سانتی‌متر در تیمارهای W4C2 و W1C3 مشاهده شد. در صفت قطر ساقه نیز بیشترین میزان (۰/۸۷ سانتی‌متر) و کمترین میزان (۰/۳۵ سانتی‌متر) به‌ترتیب در تیمارهای W2C2 و W3C3 مشاهده شد. در صفت تعداد گره و تعداد پنجه نیز بیشترین میزان به‌ترتیب با ۱۰/۳ و ۲/۳ عدد (لازم به ذکر است که اعداد میانگین ۳ تکرار است) مربوط به تیمار W2C1 و W2C2 (در تیمارهای W1C2 و W1C3 نیز همین مقدار مشاهده شد) مشاهده شد.

در صفت تعداد برگ بیشترین میزان (۲۸/۴ عدد) مربوط به تیمار W1C2 و کمترین میزان (۸/۳ عدد) مربوط به تیمار W3C1 مشاهده شد. از آنجایی که یکی از پارامترهای مؤثر بر عملکرد گیاه سورگوم و سهم برگ آن، تعداد برگ است از این رو می‌توان این‌چنین گفت که برای حصول عملکرد علوفه تر بیشتر بهترین تیمار زمان برداشت، تیمار C2 است. در این صفت کمترین میزان را نیز تیمارهای زمان برداشت C1 و C3 نشان داد، پس می‌توان اینگونه بیان کرد که تفاوتی بین این دو زمان در سطح احتمال ۵ درصد وجود ندارد. از آنجایی که در گیاه سورگوم عملکرد علوفه مهم بوده از این‌رو در این پژوهش عملکرد علوفه به عملکرد ساقه، برگ و سنبله شکسته شده که هر مقادیری که یک از اندام‌ها برای عملکر تر علوفه به خود اختصاص داده نمایان شود (شکل‌های ۱ و ۲). بیشترین میزان عملکرد تر برگ در بوته مربوط به تیمار W2C2 با ۱۲/۵۷ گرم و کمترین میزان این صفت نیز مربوط به تیمار W4C2 با ۵/۶۳ گرم بود در این صفت بیشترین میزان از این صفت با توجه به جدول در تیمارهای زمان برداشت C1 و C2 تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد مشاهده نشد. در صفت عملکرد تر ساقه نیز بیشترین میزان در تیمار W2C2 با ۲۶/۲ گرم در بوته و کمترین میزان (۸/۶ گرم در بوته) نیز در تیمار W2C4 مشاهده شد. درصورتی که زمان برداشت علوفه تیمار C2 باشد، بیشتر سهم عملکرد تر علوفه مربوط به ساقه است. مطابق شکل ۳ بیشترین میزان شاخص سبزینگی در تیمار قبل از گلدهی (۳۴/۷) و کمترین میزان آن نیز در تیمار بعد از ۵۰ درصد گلدهی (۳۱/۷) مشاهده شد. نتایج نشان داد که بین تیمار زمان برداشت در مرحله قبل از گلدهی و مرحله خمیری شدن دانه تفاوت معنی‌داری در مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد وجود ندارد. مطابق شکل ۴ بیشترین میزان این صفت در

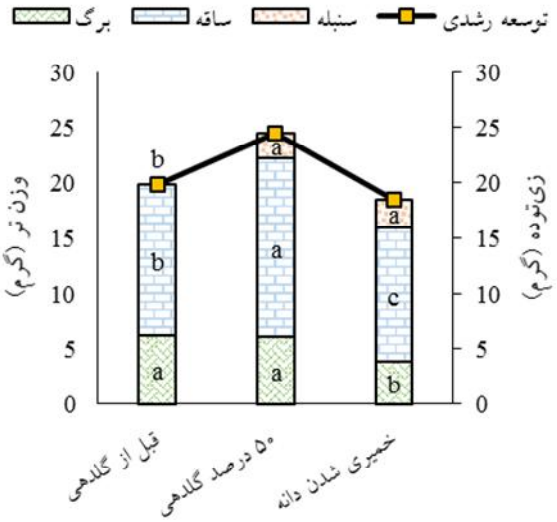
جدول ۴. تجزیه واریانس صفات عملکردی گیاه سورگوم علوفه‌ای

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات											
		شاخص سبزینگی	ارتفاع	قطر ساقه	تعداد گره	تعداد پنجه	طول برگ	عرض برگ	تعداد برگ	طول سنبله	عرض سنبله	وزن تر برگ	وزن تر ساقه	وزن تر سنبله
رژیم آبیاری	۳	۶۹/۱ **	۹۸/۱ ns	۰/۱۳ **	۵/۴ **	۲/۵ **	۱۳۳/۶ **	۱/۲۲ **	۹۶/۷ **	۱۶/۵ **	۱۴/۸ **	۱۹/۲ **	۱۷۱/۸ **	۴/۲ **
زمان برداشت	۲	۳۳/۴ **	۲۳۷/۱ **	۰/۱ **	۶/۲ **	۲/۶ **	۲۲۷/۷ **	۰/۰۱ ns	۲۲۵/۳ **	۱۲۷۳/۶ **	۹۵/۵ **	۲۰/۴ **	۴۹/۶ **	۲۰/۹ **
رژیم آبیاری * زمان برداشت	۶	۱۰/۹ ns	۱۰۷/۸ *	۰/۰۶ *	۲/۲ *	۰/۷ *	۵۵/۳ *	۰/۲۱ *	۵۶/۳ **	۱۰/۰ **	۳/۷ **	۱۰/۴ **	۴۸/۱ **	۲/۶ **
خطا	۲۴	۴/۶	۳۴/۱	۰/۰۰۴	۰/۷	۰/۰۸	۸/۹	۰/۰۶	۵/۴	۱/۵	۰/۲	۰/۲	۱/۱	۰/۱
ضریب تغییرات		۶/۵	۵/۸	۱۱/۳	۱۰	۲۳/۱	۷/۳	۱۰/۳	۱۵/۸	۱۱/۱	۱۳/۸	۹/۴	۷/۳	۲۵

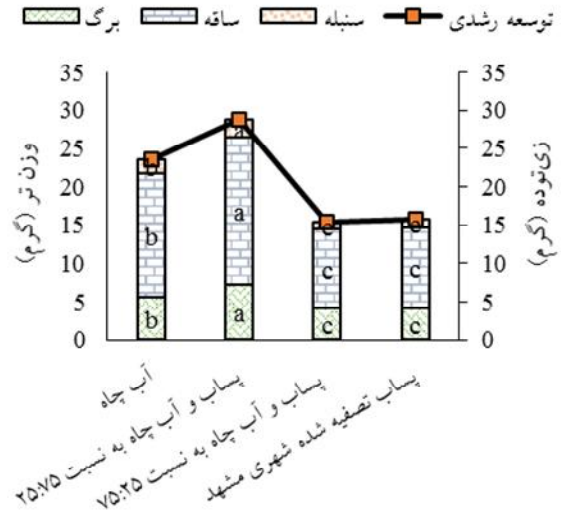
**، * و ns به‌ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح یک و پنج درصد و عدم معنی‌داری است.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح کیفی آب آبیاری و زمان برداشت بر عملکرد و اجزای عملکرد سورگوم علوفه‌ای

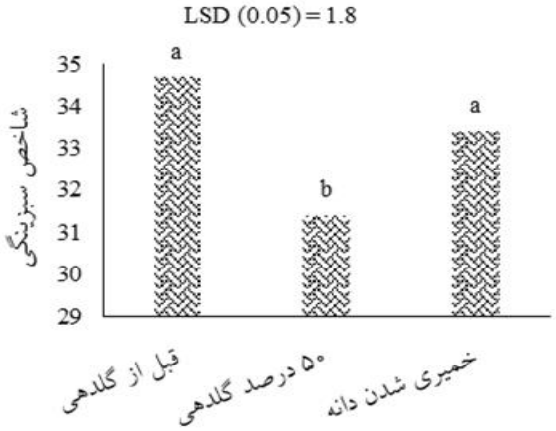
ترکیبات تیماری	ارتفاع	قطر ساقه	طول برگ	عرض برگ	طول سنبله	عرض سنبله	وزن تر برگ	وزن تر ساقه	وزن تر سنبله	تعداد گره	تعداد پنجه	تعداد برگ
	سانتی‌متر						گرم				–	
W1C1	۹۰/۳ f	۰/۷ bc	۳۸/۶ cde	۳/۴۳ cd	۰ e	۰ e	۸/۵۳ de	۱۵/۰۲ e	۰ d	۷/۶۷ bc	۱ b	۱۱/۷ def
W2C1	۹۹/۸ cdef	۰/۶۸ bc	۵۱/۴۶ a	۴/۱۳ a	۰ e	۰ e	۱۱/۴۱ b	۲۰/۹۷ b	۰ d	۱۰/۳ a	۱ b	۱۳ de
W3C1	۹۱/۶ ef	۰/۴۱ ef	۴۱/۹ bc	۲/۹۳ ef	۰ e	۰ e	۶/۵۸ fg	۱۰/۰۷ g	۰ d	۸/۶۷ b	۱ b	۸/۳ f
W4C1	۱۰۰/۲ bcde	۰/۷۹ ab	۴۹/۸ a	۳/۳۷ cd	۰ e	۰ e	۱۰/۱۲ c	۱۶/۴۷ de	۰ d	۸/۶۷ b	۱ b	۱۵ cd
W1C2	۱۰۵/۳ abcd	۰/۷ bc	۳۶/۵ def	۳/۶۳ bc	۱۳/۷ c	۶/۷ a	۹/۰۴ d	۲۱ b	۵/۲۲ b	۸/۶۷ b	۲/۳ a	۲۸/۴ a
W2C2	۱۱۰/۸ a	۰/۸۷ a	۳۹/۵ cd	۳/۸۷ ab	۱۵/۱ c	۶/۶ a	۱۲/۵۷ a	۲۶/۲ a	۷/۴۲ a	۸/۶۷ b	۲/۳ a	۲۲ b
W3C2	۹۵/۵ def	۰/۵ de	۴۶/۵ ab	۳/۳ cde	۹/۴ d	۲/۴ d	۸/۹۱ de	۱۷/۰۷ cd	۳/۸۷ c	۶ d	۱ b	۱۰ ef
W4C2	۹۶/۸ cdef	۰/۳۹ ef	۳۹/۴ cd	۲/۸ f	۹/۴ d	۴/۷ c	۵/۶۳ h	۸/۶ g	۴/۳ c	۶/۶۷ cd	۱ b	۱۸/۳ bc
W1C3	۱۰۱/۴ abcde	۰/۵۹ cd	۳۱/۵ f	۳/۷ bc	۱۹/۲ b	۶/۱ ab	۸/۱۹ e	۱۸/۱۹ c	۷/۴۶ a	۹ ab	۲/۳ a	۱۴/۷ cd
W2C3	۱۰۵/۸ abc	۰/۴۸ e	۳۹/۶ cd	۳/۶۳ bc	۲۲/۶ a	۵/۸ b	۶/۹۷ f	۱۶/۴۴ de	۶/۴۴ ab	۸/۶۷ b	۱ b	۱۱/۷ def
W3C3	۱۰۹/۹ ab	۰/۳۵ f	۳۳/۸ ef	۳/۳۳ cde	۱۸/۸ b	۲/۱ d	۶/۰۷ gh	۱۰/۱ g	۵/۵۷ b	۷/۶۷ bc	۱ b	۱۲/۷ de
W4C3	۹۸/۷ cdef	۰/۴۷ e	۴۲/۲ bc	۳/۰۷ def	۲۱/۵ a	۴/۳ d	۶/۱۳ fgh	۱۲/۱ f	۶ b	۸ bc	۱ b	۱۰/۳ ef



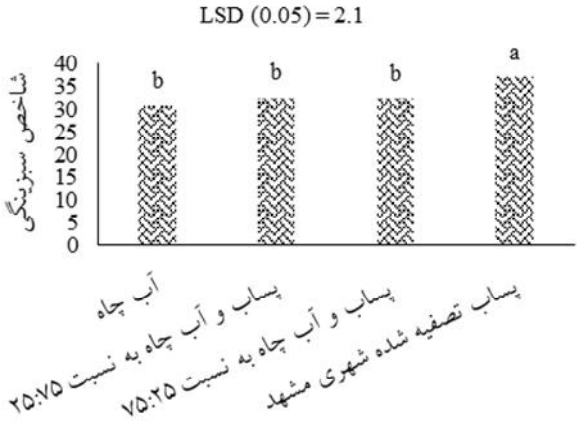
شکل ۱. اثر زمان‌های برداشت بر وزن تر برگ، ساقه و سنبله و زی‌توده گیاه سورگوم علوفه‌ای (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۲. اثر سطوح مختلف پساب تصفیه شده شهری بر وزن تر برگ، ساقه و سنبله و زی‌توده گیاه سورگوم علوفه‌ای (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۳. اثر زمان‌های برداشت بر شاخص سبزینگی گیاه سورگوم علوفه‌ای



شکل ۴. اثر سطوح مختلف پساب تصفیه شده شهری بر شاخص سبزینگی گیاه سورگوم علوفه‌ای

پساب تصفیه شهری (۳۷/۱) مشاهده و کمترین آن نیز در آبیاری با آب چاه (۳۰/۷) مشاهده شد. از آنجایی‌که کلروفیل به نیتروژن وابسته بوده و افزایش نیتروژن منجر به افزایش آن می‌شود (پساب نیز حاوی نیتروژن است)، از این‌رو می‌توان اینگونه بیان کرد که دلیل افزایش این صفت به‌خاطر نیتروژن موجود در پساب است. لازم به ذکر است که این صفت در تمامی تیمارهای آبیاری (به‌جز آبیاری با ۱۰۰ درصد پساب) در سطح ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌داری نبود. دلیل افزایش عملکرد علوفه در تیمار اختلاط ۷۵ درصدی نسبت به تیمار شاهد می‌تواند وجود نیتروژن نیتراتی در پساب تصفیه شده باشد. در تیمار ۱۰۰ درصد استفاده از پساب عملکرد علوفه نسبت به تیمار شاهد دارای شیب مثبت کمتری نسبت به تیمار

۷۵ درصد است که احتمالاً دلیل آن می‌تواند زیاد بودن عناصر در پساب باشد که گیاه را با سمیت مواجه می‌سازد. خشک شدن برگ‌ها و کاهش وزن تر آن که عامل مستقیمی در عملکرد تر علوفه است را می‌توان به‌عنوان دلیلی کاهش عملکرد تر علوفه در زمان برداشت خمیری شدن دانه نسبت به تیمار برداشت قبل از گلدهی بیان کرد. افزایش ارتفاع در تیمارهای کیفی آب می‌تواند به‌دلیل این باشد که پساب حاوی مواد مغذی زیادی برای گیاه بوده که به‌عنوان کود عمل کرده و در توسعه و رشد گیاه به‌عنوان عامل مؤثری بوده است. همچنین افزایش ارتفاع در زمان‌های برداشت نیز می‌تواند به‌دلیل استقرار بیشتر گیاه در خاک و توسعه بیشتر آن باشد. از طرفی می‌توان دلیل افزایش عملکرد را در توسعه بیشتر برگ‌های گیاه دانست به‌طوری که در تیمارهای کیفی یا به‌عبارت دیگر استفاده از پساب برگ‌ها توسعه بیشتری داشته و از این‌رو فتوسنتز بیشتری انجام داده که خود دلیلی بر افزایش شیره پرورده و رشد و توسعه گیاه است، از این‌رو می‌توان توسعه برگ‌ها را دلیل افزایش عملکرد دانست. با توجه به داده‌های موجود در جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵) سهم ساقه در عملکرد تر علوفه بیشتر از سهم برگ است. با توجه به اینکه پساب تصفیه شده حاوی نیتروژن بوده و از آنجایی که افزایش نیتروژن در توسعه و پنجه‌زنی گیاه نقش دارد و سبب افزایش سطح برگ در گیاه سورگوم علوفه‌ای می‌شود، از این‌رو استفاده از پساب می‌تواند منجر به افزایش عملکرد تر علوفه گیاه سورگوم شود. در مورد ارتفاع بوته و قطر ساقه شاهد روندی مشابه روند وزن بوده، که دلیل آن را می‌توان اینگونه بیان کرد که این اجزا در حقیقت سازندهٔ وزن بوته هستند پس این نتیجه دور از انتظار نبود. دلیل اینکه در اثر آبیاری با پساب وزن تر برگ و ساقه افزایش داشته می‌تواند وجود عناصر غذایی همراه با پساب که منجر به افزایش حجم و آماس سلولی سلول‌ها می‌شود، باشد (۴ و ۱۳). ارشد الله و همکاران (۶) گزارش کردند که در علوفه گیاه علف فیل با افزایش زمان برداشت وزن خشک علوفه افزایش می‌یابد. همچنین ایشان اظهار کردند که به‌نظر می‌رسد افزایش وزن علوفه با پیشرفت مرحله رشدی به‌علت استقرار بهتر و رشد و توسعه بیشتر گیاه باشد. ایوب و همکاران (۸) نیز افزایش وزن خشک و تر علوفه گیاه سورگوم را در تاریخ‌های برداشت دیرتر مشاهده کردند. بوره‌یانی و همکاران (۹) در مطالعه‌ای که روی گیاه نخود فرنگی انجام دادند گزارش کردند که با پیشرفت مرحله رشدی گیاه وزن خشک علوفه به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. نتایج این پژوهش با علیزاده و همکاران (۴) و جلالی و همکاران (۱۸) روی سورگوم علوفه‌ای مطابقت داشت. مونز و همکاران (۲۰) و آساید و همکاران (۷) گزارش کردند که تأخیر در زمان برداشت گیاه سویا سبب افزایش عملکرد شده است، به‌طوری که نتایج پژوهش حاضر با نتایج ایشان مطابقت داشت. با تأخیر در زمان برداشت درصد اجزای گیاه تغییر می‌کند، به طوری که درصد وزن ساقه از کل عملکرد ماده خشک ۲۰ درصد افزایش و درصد برگ ۴۴ درصد کاهش می‌یابد (۲۸)، به طوری که نتایج این تحقیق با نتایج ایشان مطابقت داشت.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش نیز همانند کار سایر پژوهشگران با تأخیر در زمان برداشت، درصد اجزای گیاه تغییر کرده، به‌طوری که درصد وزن ساقه از کل عملکرد تر ۱۹/۱ درصد افزایش و درصد برگ ۲/۷ درصد کاهش در زمان برداشت بعد از ۵۰ درصد گلدهی مشاهده شد. همچنین درصد وزن ساقه از کل عملکرد تر ۱۰/۳ درصد کاهش و درصد برگ ۳۸/۷ درصد کاهش در زمان برداشت دانه بستن مشاهده شد. کاهش درصد وزن ساقه در تیمار برداشت در زمان دانه بستن می‌تواند به‌دلیل پر شدن دانه و افزایش وزن تر سنبله باشد. در این پژوهش استفاده از اختلاط ۷۵ و ۲۵ درصدی پساب و آب چاه و استفاده از پساب تصفیه شده شهری مشهد به‌ترتیب منجر به افزایش ۲۲ درصدی و کاهش ۳۴/۷ و ۳۳/۱ درصدی توسعه رشدی گیاه شد. وزن تر ساقه در مقایسه با وزن تر برگ و سنبله بیشترین سهم از عملکرد تر علوفه را در تمامی تیمارهای کیفی آب مورد بررسی دارا بود. در این پژوهش بهترین تیمار

برای استفاده از پساب، تیمار ۷۵ درصد اختلاط پساب تصفیه شده شهری و آب چاه بود. همچنین بهترین تیمار زمان برداشت برای حصول عملکرد علوفه مناسب، بعد از ۵۰ درصد گلدهی و سنبله‌دهی بود، به‌عبارت دیگر تیمار استفاده از اختلاط ۷۵ درصدی و بعد از ۵۰ درصد گلدهی و سنبله‌دهی گیاهان تیمار بهینه است. برای استفاده از این تیمارها در مزرعه نیاز به تحقیقات مزرعه‌ای است، که خود می‌تواند پیشنهادی برای پژوهش‌های آتی باشد.

منابع مورد استفاده

1. Ahmadi Motlagh, G., M. Majidian, Gh. Mohsenabadi, A. Fuman and A. Alami. 2015. Effect of nitrogen fertilizer on quantitative and qualitative traits of forage sorghum genotypes at different harvesting times. *Cereal Research* 6(2): 241-253. (in Farsi).
2. Ahmed T. A. and H. H. Al-Hajri. 2009. Effects of treated municipal wastewater and sea water irrigation on soil and plant characteristics. *International Journal of Environmental Research* 3(4): 503-510.
3. Alinezhadian, A., A. Karimi, J. Mohammadi, F. Nikookhah and M. Niuman Anderson. 2013. Study of soil bacterial and crop quality irrigated with treated municipal wastewater. *Iranian Journal of Health and Environment* 6(3): 365-376. (in Farsi).
4. Alizadeh, A., M. E. Bazari, S. Velayati, S. M. Hasheminia and M. Yaghmaie. 2001. Irrigation of cron with wastewater. PP. 137-146. *In*: Ragab, R., G. Pearce, J. Changkim, S. Nairizi and A. Hamdy. (Eds.), 52nd ICID International Workshop on Wastewater Reuse and Management. Seoul, Korea.
5. Al-Jaloud A. A., G. Husain, A. J. Al-Saati and S. Karimulla. 1995. Effect of waste water irrigation on mineral composition of corn and sorghum plants in a pot experiment. *Plant Nutrition* 18(8): 1677-1692.
6. Arshad Ullah, M., M. Anwar and A. Saeed Rana. 2010. effect of nitrogen fertilization and harvesting intervals on the yield and forage quality of elephant grass (*Pennisetun purpureum*) under mesic climate of pothowarplateau. *Pakistan Journal of Agriculture Science* 47(3): 231-234.
7. Assaeed A. M., M. Y. Saiady and I. I. El-Shawaf. 2000. Yield and quality of soybean forage as affected by harvesting time and cultivar. *Agricultural Research Center* 89: 5-13.
8. Ayub, M., M. A. Nadem, A. Tanveer and A. Husain. 2002. Effect of different levels of nitrogen and harvesting times on the growth, yield and quality of sorghum fodder. *Asian Journal of Plant Science* 1(4): 304-304.
9. Borreani, G., P. Giorgio Peiretti and E. Tabacco. 2007. Effect of harvest time on yield and pre-harvest quality of semi-leafless grain peas (*Pisum sativum* L.) as whole-crop forage. *Fild Crop Research* 100(1): 1-9.
10. Carol, C. and A. Gene. 2000. Harvest stage effects on yield and quality of winter forage. 31st California Alfalfa and Forage Symposium: 12-13 December 2001. Modesto. CA. UC Cooperative Extension University of California. Davis. (See http://alfalfa.ucdavis.edu).
11. Cecelia, L., S. Amigot, M. Gaggiotti, L. Rumero and J. Basilico. 2007. Forage Quality: Techniques for Testing. *Fresh Produce* 1(2): 121-131.
12. Dahmarde, M., A. Ghanbari, B.A. Siahsar and M. Ramroudi. 2010. Effect of planting ratio and harvest time on forage quality of maize in maize-cowpea intercropping. *Iranian Journal of Field Crop Sciece* 41(3): 635-644. (in Farsi).
13. Erfani, A., G. Haghnia and A. Alizadeh. 2002. Yield and chemical composition of lettuce and some soil characteristics as affected by irrigation with wastewater. *Journal of Water and Soil Science* 6(1): 71-92. (in Farsi).
14. Faghihi, A. 2008. Effect of irrigation with urban treated waste water on yield and yield components of forage sorghum and chemical properties of soils. MSc Thesis. Faculty of Agriculture. Zabol University. Zabol. Iran. (in Farsi).
15. Ganjegunte, G., A. Ulery, G. Niu and Y. Wu. 2018. Treated urban wastewater irrigation effects on bioenergy sorghum biomass, quality, and soil salinity in an arid environment. *Land Degradation and Development* 29(3): 534-542.
16. Ganjegunte, G., A. Ulery, G. Niu and Y. Wu. 2019. Soil organic carbon balance and nutrients (NPK) availability under treated wastewater irrigation for bioenergy sorghum production in an arid ecosystem. *Archives of Agronomy and Soil Science* 65(3): 345-359.
17. Hosseini, R. 2011. The effect of different amounts of nitrogen fertilizer and sewage sludge on soil properties and yield of sorghum. MSc Thesis. Faculty of Agriculture. Ferdowsi university of Mashhad. Mashhad. Iran. (in Farsi).

18. Jalali, A., M. Galavi, A. Ghanbari, M. Ramroudi and M. Yousef Elahi. 2010. Effects of irrigation with municipal treated wastewater on yield and heavy metal uptake in forage sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Journal of Water and Soil Science* 14(52): 15-25. (in Farsi).
19. Meftahi, M. 2011. Investigation on the effects of Ilam treatment wastewater on heavy metals concentration and nutriation value of sorghum. MSc Thesis. Faculty of Agriculture. Razi University. Kermanshah. Iran. (in Farsi).
20. Munoz, A. E., E. C. Holt and R. W. Weaver. 1983. Yield and quality of soybean hay as influenced by stage of growth and plant density. *Agronomy Journal* 75: 147-149.
21. Rekik, I., Z. Chaabane, A. Missaoui, A. C. Bouket, L. Luptakova, A. Elleuch and L. Belbahri. 2017. Effects of untreated and treated wastewater at the morphological, physiological and biochemical levels on seed germination and development of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), alfalfa (*Medicago sativa* L.) and fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.). *Journal of Hazardous Materials* 326: 165-176.
22. Rezvani Moghadam, P. and M. Nasiri Mahallati. 2000. Study of the effect of different harvesting stages on nutritional value, yield and crop characteristics of three forage sorghum varieties. 6th Iranian Congress of Plant Breeding. (in Farsi).
23. Saffar Sabzevar, M. 2017. Effect of mycorrhiza on morphology of root and shoot in two cultivars of sorghum and soil bacterial quality with treated municipal wastewater. Msc Thesis. Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran (in Farsi).
24. Shamsedini, A., Gh. Khajavinejad and Gh. Mohamadinezhad. 2017. comparison of yield and yield components of different varieties of sorghum and millet under the same irrigation conditions in the Roudan region (Hormozgan province). 14th National Conference on Irrigation and Reduction of Evaporation. Shahid Bahonar University of Kerman. Kerman. Iran. (in Farsi).
25. Shashoug, M. S. A., M. A. Abdalla, E. A. Elhadi and F. A. M. Rezig. 2017. Response of fodder sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) to sewage sludge treatment and irrigation intervals in a dryland condition. *Eurasian Journal of Soil Science* 6(2): 144-153.
26. Siddigue, M., M. S. Bajawa and M. I. Makhdoom. 2008. Yield and quality of maize fodder as influenced by different stages of harvesting and nitrogen rates. *Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research* 33: 54-58.
27. Tariq, M., M. Ayub, H. Elahi, M. Ahmad, N. Chaudhary and M. Nadeem. 2011. Forage yield and some quality attributes of millet (*Pennisetum americannum* L.) hybrid under various regimes of nitrogen fertilization and harvesting dates. *African Journal of Agricultural Research* 6(16): 3883-3890.
28. Tolera, A. and F. Sundstol. 2012. Morphological fractions of maize stover harvested at different stages of grain maturity and nutritive value of different fractions of the stover. *Animal Feed Science Technology* 81: 1-16.

Journal of Water and Soil Science
Vol. 25, No. 1, Spring 2021, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Investigation of the Effect of Irrigation Water Quality and Harvesting Time on the Yield and Yield Components of Forage Sorghum (*Sorghum bicolor* L.)

S. Jamali[1], H. Ansari[1]* and S. M. Zeynodin[2]

(Received: July 14-2019 ; Accepted: September 13-2020)

Abstract

The goal of this study was to investigate the effects of treated urban wastewater and different harvesting times on the yield and yield components of Sorghum (cv. Speed feed) in the greenhouse condition. The research was done based on a completely randomized design including 3 replications as pot planting in Ferdowsi university of Mashhad in 2016. In this study, the effects of four mixtures consisting of the moderations use of the treated urban wastewater and freshwater (0, 25, 75 and 100 percent mixture of treated urban wastewater and freshwater) and three harvesting times level (pre-flowering, after 50 percent of the plant to flowering, and grain filling stage) on the yield and yield components of Sorghum were evaluated. The results inducted that the effect of different moderations of irrigation regimes on all of them parameter was highly significant ($P<0.01$), but plant height was non-significant; it was also revealed that the effect of harvesting times on all of the parameters was highly significant ($P<0.01$), but leaf width was non-significant. The results also exhibited that the interaction effects of irrigated regimes and harvesting times on the leaf number, panicle length and width, leaf, panicle, and stem was highly significant ($P<0.01$), but plant height, stem diameter, branches number, and leaf length and width were significant at the 5 percent level ($P<0.05$). Also, the use of 25, 75, and 100 percent mixture of wastewater resulted in the forage yield of 37.5, -29.3, and 12.9 percent (pre-flowering); -31, -15.3, and -47.4 percent (after 50 percent of the plant to flowering), and -11.8, -35.7 and -28.4 percent (grain filling stage), respectively. The highest forage weights (46.2 g per plant) showed, in the study, irrigated by a mixture of 75 treated wastewater and 25 freshwater, and harvesting the plant after 50 percent in flowering stage; on the other hand, the best treatment in this study irrigation by the mixture of 75 treated wastewater and 25 freshwater and harvesting the plant after 50 percent in the flowering stage, Thus, using the treatment in farm experiment required the field research.

Keywords: Greenhouse conditions, Mixture of wastewater and freshwater, Speed feed cultivar, Sorghum, Urban wastewater.

1. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
2. Faculty of Natural Resource and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
Corresponding author, Email: ansary@um.ac.ir