# اثر کاربرد فاضلاب تصفیه شده شهری بر عملکرد و کیفیت گندم

**پیام نجفی،[1]* سید فرهاد موسوی و محمد فیضی**

استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان؛ **payam.najafi@gmail.com**

استاد گروه آبیاری، دانشگاه صنعتی اصفهان؛ **mousavi@cc.iut.ac.ir**

مربی پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان؛ **Feizim2000@yahoo.com**

## چکیده

**در شرایط کمبود منابع آب، استفاده از فاضلاب تصفیه شده شهری در آبیاری محصولات کشاورزی می‌تواند یک راه حل مناسب باشد. در حال حاضر در نقاط مختلف کشور تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در حال طراحی و احداث می باشد و بهترین راه بهره برداری از پساب خروجی این تصفیه‌خانه‌ها، استفاده از آنها در آبیاری محصولاتی نظیر غلات و گیاهان صنعتی است (البته با رعایت ملاحظات زیست‌محیطی). در این تحقیق به منظور بررسی اثرات کاربرد فاضلاب در آبیاری گندم، یک قطعه زمین آزمایشی در محل تصفیه‌خانه شاهین شهر اصفهان انتخاب شد و رقم روشن با میزان بذر 220 کیلوگرم در هکتار طی دو سال زراعی 81-1379 کشت گردید. در این تحقیق چهار تیمار آبیاری شامل: آبیاری با آب چاه براساس مدل ET-HS (T1)، آبیاری با پساب تصفیه شده بر اساس مدل ET-HS (T2)، آبیاری با پساب تصفیه شده بر اساس 10 درصد بیشتر از ET-HS (T3) و آبیاری با پساب تصفیه شده بر اساس 20 درصد بیشتر از ET-HS (T4) در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که به لحاظ بسیاری از پارامترهای کیفیت آب آبیاری از جمله شوری و قلیائیت، پساب تصفیه شده بهتر از آب چاه بوده است. در مجموع، کاربرد فاضلاب عملکرد محصول را نسبت به شرایط استفاده از آب‌چاه افزایش داده است. بین تیمارهای T2، T3 و T4 از لحاظ عملکرد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ولی کارآیی مصرف آب در تیمار T2 بیشترین مقدار بود. در هیچیک از تیمارها تجمع غیر مجاز عناصر ویژه و کمیاب مشاهده نشد.**

**واژه‌های کلیدی:** فاضلاب تصفیه شده، گندم، عملکرد، کارآیی مصرف آب، مدل ET-HS

## مقدمه

در کشورهای در حال توسعه نظیر کشور ما، نیاز روزافزون به آب شیرین تنها در تولیدات کشاورزی خلاصه نمی‌شود. بلکه تأمین نیازهای سرانه هر فرد و همچنین تأمین منابع آب مورد نیاز صنایع یکی از ضرورت‌ها و اولویت‌های جوامع شهری در این مناطق است. وجود قطب‌های جمعیتی بزرگ و مراکز صنعتی‌در مجاورت منابع آب شیرین، با توجه به اولویت‌بندی تأمین نیاز آب شهری و صنعتی، سهم بخش کشاورزی را در دسترسی به این منابع کاهش می‌دهد (عابدی و نجفی، 1380).

همین عوامل برنامه‌ریزان را واداشته که در اندیشه فراهم کردن منابع جدید آب باشند. منابعی که هم اقتصادی باشد و هم در توسعه کشاورزی و تأمین نیاز غذایی مؤثر واقع گردد. هرگاه آب با کیفیت خوب کمیاب باشد، منابع آب با کیفیت پایین مورد توجه قرار می‌گیرد. در این میان، پساب‌های حاصل از تصفیه فاضلاب‌ها، بخش قابل توجهی از این منابع را شامل می‌شود چرا که رشد جمعیت شهری از سویی و بالا رفتن سطح بهداشت عمومی از سوی دیگر، میزان مصرف آب را افزایش داده، و مصرف زیاد آب، صعود میزان فاضلاب را به همراه خواهد داشت

---

1- نویسنده مسئول، آدرس: اصفهان، دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی خوراسگان، ص. پ. 158-81595

* دریافت: 84/7/9 و پذیرش: 86/6/4

(Pescode، 1992). رهاسازی فاضلاب خام در طبیعت و آلوده کردن محیط زیست، می‌تواند تأثیر سوئی در کیفیت جریان‌های‌سطحی و زیرزمینی بگذارد. تصفیه فاضلاب، ضمن حفظ محیط زیست، باعث بهره‌برداری از فاضلاب و استحصال و بازیافت آب مصرف شده است. البته پساب فاضلاب در مقایسه با حجم آب آبیاری مورد نیاز، مقدار کمی را شامل می‌شود ولی بهره‌برداری از همین مقدار باعث می‌شود که آب‌های با کیفیت بالاتر را بتوان در موارد با اهمیت‌تری به کار برد (عابدی و نجفی، 1380). در همین ارتباط Hussian و Al-Saati (1999) استفاده از فاضلاب تصفیه شهری را یک ضرورت برای توسعه کشاورزی در مناطق اطراف شهرها در مناطق خشک و نیمه خشک می‌دانند.

بهره‌برداری صحیح از فاضلاب شهری، مشکل آلودگی آب‌های سطحی را کاهش می‌دهد و نه تنها باعث حفظ منابع آب می‌گردد بلکه به علت وجود مواد و عناصر غذایی در آن، برای رشد گیاهان بسیار سودمند است. موجود بودن این پساب در نزدیکی مراکز شهری، امکان افزایش تولید محصولات کشاورزی در اطراف این مناطق را فراهم می‌سازد (عابدی و نجفی، 1380).

بررسی‌ها نشان می‌دهد که در صورت اعمال مدیریت در مصرف پساب فاضلاب و افزایش راندمان بهره‌برداری، ضمن آنکه امکان گسترش زمین‌های قابل کشت در اطراف مراکز شهری فراهم می‌شود، شیوع آلودگی‌های خاص پساب محدودتر خواهد بود. همچنین با توجه به کنترل پساب و امکان انجام بخشی از تصفیه در هنگام بهره‌برداری درجات پایین‌تری از تصفیه قابل قبول می‌گردد که مانع تحمیل هزینه‌های بیشتر برای تصفیه کامل می‌شود (Gushiken، 1993). Hussian و Al-Saati (1999) بیان می‌دارند برای نیل به یک شرایط مطلوب و پایدار در هنگام استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده توجه به فاکتور مدیریتی خاک و آب نظیر آبشویی مورد نیاز، آب مورد نیاز، حاصلخیزی خاک، انتخاب گیاه مناسب با شرایط پساب و روش آبیاری بسیار اهمیت دارد. در این راستا Wang و همکاران (2002) در یک تحقیق نشان دادند که حجم فاضلاب داده شده به گندم باید بر اساس شرایط کیفی خاک و پساب و تراکم کشت گیاه طراحی گردد.

گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از محصولات استراتژیک ایران است. بذر گندم مرغوب و سازگار با شرایط منطقه پس از آنکه در خاک مناسب کاشته شد و برای آنکه زندگی خود را با رشد و نمو کامل ادامه دهد، لازم است که شرایط تغذیه‌ای آن کاملاً مناسب، مساعد و کافی باشد (خادمی و همکاران، 1378). هنگامی که میزان ماده خشک تولید شده گندم در هکتار 8 تن است، میزان جذب ازت 125 کیلوگرم در هکتار، پتاسیم 92 کیلوگرم در هکتار و فسفر 22 کیلوگرم در هکتار است (فاجریا و همکاران، 1378). حد بحرانی دو عنصر پتاسیم و فسفر برای گندم در شرایط خاک مزارع اصفهان به طور متوسط 12 و 260 میلی‌گرم در کیلوگرم ارزیابی شده است (الفتی و همکاران، 1378). همچنین بررسی‌ها نشان داده است که استفاده از آهن، منگنز، روی و مس عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک، میزان پروتئین دانه، وزن دانه، تعداد دانه در خوشه و غلظت و جذب آنها در دانه و در ماده خشک گیاهی را افزایش می‌دهد (خادمی و همکاران، 1378). همه عناصر ذکر شده فوق در فاضلاب خانگی معمولا موجود می‌باشند و در صورت اعمال مدیریت صحیح در کاربرد پساب‌ها، می‌توان در افزایش پایدار عملکرد محصول کشت شده امیدوار بود. این امر منجر به افزایش بازده اقتصادی هم به لحاظ افزایش عملکرد و هم به لحاظ کاهش هزینه کود شیمیایی خواهد شد (Rosenquvist و Dawson، 2005).

هدف از انجام این تحقیق، یافتن شیوه مناسب بهره برداری از پساب تصفیه شده شهری در آبیاری گندم است به نحوی که ضمن تأمین نیاز گیاه، مخاطرات زیست محیطی نیز به‌حداقل ممکن کاهش یابد. برای نیل به این هدف، در این تحقیق از مدل نیاز آبی ET-HS برای آبیاری گندم استفاده شد و اثرات کاربرد آن روی خاک و گیاه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

### الف) مشخصات محل اجرای تحقیق

منطقه اصفهان دارای اقلیم خشک با دوره خشکی نسبتاً طولانی است و غالباً در تابستان فاقد بارندگی‌است (ستار، 1377). متوسط بارندگی منطقه 120 میلی‌متر و متوسط دمای حداکثر و حداقل به ترتیب 23/4 و 9 درجه سانتی‌گراد می‌باشد. به منظور اجرای این تحقیق قطعه زمینی در تصفیه‌خانه فاضلاب شاهین‌شهر اصفهان انتخاب شد. این تصفیه‌خانه به روش لجن فعال مجهز است و پساب خروجی آن به آبیاری مزارع اطراف این منطقه اختصاص می‌یابد. قطعه زمین آزمایشی مذکور به نحوی انتخاب شد که پیش از اجرای طرح با پساب آبیاری نشده باشد. پس از آماده‌سازی زمین، تیمارهای آبیاری زیر در سه تکرار برای گیاه گندم بر اساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی اعمال گردید:

T1 ـ آبیاری با آب چاه بر اساس مدل نیاز آبی ET-HS

T2 - آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده بر اساس مدل ET-HS

T3 ـ آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده بر اساس 10 درصد آبشویی علاوه بر نیاز آبی محاسبه شده در مدل ET-HS

T4 ـ آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده بر اساس 20 درصد آبشویی علاوه بر نیاز آبی محاسبه شده در مدل ET-HS

گندم رقم روشن با تراکم 220 کیلوگرم در هکتار طی دو سال زراعی 1379 تا 1381 در تاریخ 15 آبان در پلات‌هایی به ابعاد 3×3 متر کشت شده و در تاریخ 15 خرداد برداشت شد. از میان تیمارهای فوق تنها تیمار T1 به میزان 200 کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیوم، 300 کیلوگرم در هکتار اوره و 50 کیلوگرم در هکتار پتاس کوددهی شد (ملکوتی، 1378).

در طول مدت اجرای تحقیق در شش مرحله نمونه‌های آب چاه و فاضلاب آنالیز شد (ابتدا ، وسط و انتهای هر فصل). بعد از برداشت محصول در وسط هر یک از کرت‌های آزمایشی به ابعاد 50 در 50 سانتی‌متر از گیاه نمونه‌برداری شد و میزان طول ساقه، تعداد دانه در ساقه، وزن هزار دانه، ورن مرطوب و خشک ساقه و سنبله، عملکرد و کارآیی مصرف آب مشخص گردید. به علاوه سبوس، دانه و ساقه گیاه تجزیه شد. برای تعیین عناصر سنگین از دستگاه جذب اتمی استفاده گردید. مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون دانکن و به کمک نرم‌افزار SPSS انجام شد.

**ب) مدل نیاز آبی ET-HS**

در این تحقیق، به منظور بررسی امکان بهره برداری بهینه از پساب تصفیه شده و برنامه ریزی آبیاری از مدل نیاز آبی ET-HS استفاده شده است. در این مدل، در محاسبه تبخیر و تعرق واقعی و نیاز آبی گیاهان شرایط کیفی آب آبیاری و شوری عصاره اشباع خاک در نظر گرفته شده است (نجفی، 1381).

بر این اساس، آبیاری زمانی انجام می‌شود که مجموع تبخیر و تعرق واقعی گیاه بعد از آبیاری مساوی یا از بیشتر آب سهل‌الوصول در روز j ام دوره رشد گیاه باشد ( $\sum_1^i ETc_i \geq RAW_j$ ). آب سهل‌الوصول در روز j ام دوره رشد از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$RAW_{(i,j)} = \frac{1000 MAD_{(i,j)} (\theta_{FC} - \theta_{PWP}) Z_{(i,j)}}{4 WU_{cq}} \quad (1)$$

که در آن:

MAD = حداکثر تخلیه مجاز که بر اساس نوع گیاه و تبخیر و تعرق پتانسیل آن روز تعیین می‌شود

$\theta_{FC} - \theta_{PWP}$ = کل آب قابل استفاده (به صورت نسبت)

Z = عمق توسعه ریشه بر حسب متر

$WU_{cq}$ = ضریب جذب آب در عمق بحرانی (به صورت نسبت)

i = روز i ام بعد از آبیاری

j = روز j ام دوره رشد

تبخیر و تعرق واقعی گیاه در روز i ام بعد از آبیاری و در روز j ام دوره رشد از رابطه زیر تعیین می‌شود (نجفی، 1381):

(2)

$$ETc_{(i,j)} = (Ks_{(i,j)} \times Km_{(i,j)} \times Kcb_{(i,j)} + \frac{Es}{q} \times Ke_{(i,j)}) \times ET0_{(i,j)}$$

که در آن:

$Ks_{(i,j)}$ = ضریب شوری (بدون بعد)

$Km_{(i,j)}$ = ضریب رطوبتی (بدون بعد)

$Kcb_{(i,j)}$ = ضریب گیاهی در روز j ام دوره رشد (بدون بعد)

$\frac{Es}{q}$ = نسبت تبخیر سطحی به عمق آب که چون در اینجا روش آبیاری سطحی استفاده می‌شود، مقدار آن برابر 1 در نظر گرفته شده است

$Ke_{(I,j)}$ = ضریب تبخیر سطحی (بدون بعد)

$ET0_{(I,j)}$ = تبخیر و تعرق پتاسیل در روز j ام دوره رشد (میلی متر بر روز)

ضریب شوری با توجه به شوری عصاره اشباع خاک، حد آستانه قابل تحمل گیاه و نقصان رطوبتی خاک در روز i ام بعد از آبیاری تعیین می‌شود. واضح است که هر چه از روز اول آبیاری فاصله گرفته می‌شود، شوری عصاره خاک افزایش می‌یابد و در نتیجه تبخیر و تعرق گیاه کاهش پیدا می‌کند. بر این اساس ضریب شوری از رابطه زیر تعیین می‌شود:

(3)

$$Ks_{(i,j)} = 1 - \frac{b}{100 Ky} \times \left( \frac{1000 * \theta_{FC} * Z_j}{1000 * \theta_{FC} * Z_j - Dr_i} \times ECe_j - ECe_i \right)$$

که در آن:

$b$ = درصد کاهش محصول به ازای یک واحد شوری

Ky = ضریب عکس العمل گیاه نسبت به شوری

ECe = شوری عصاره اشباع خاک که در هر بار آبیاری بر اساس میزان شوری آب آبیاری و برخه آبشویی در عمق توسعه ریشه تعیین می‌شود.

ECet = حد آستانه شوری بر اساس نوع گیاه، حد آستانه شوری آب آبیاری برای تولید حداکثر محصول و برخه آبشویی از رابطه FAO (Ayers و Westcot، 1985).

$Dr_i$ = نقصان رطوبتی خاک در روز i ام بعد از آبیاری که از بیلان رطوبت خاک از طریق نقصان رطوبتی روز i-1 ($Dr_{i-1}$)، بارندگی مؤثر (P-RO)، آبیاری (I)، موئینگی (CR) ، تبخیر و تعرق گیاه (ETc) و میزان نفوذ عمقی (DP) به صورت رابطه زیر بدست می‌آید:

(4)

$$Dr_{(i,j)} = Dr_{(i-1,j)} - (P-RO)_{(i,j)} - I_{(i,j)} - CR_{(i,j)} - ETc_{(i,j)} + DP_{(i,j)}$$

ضریب رطوبتی خاک بر اساس توصیه Allen و همکاران (1998) از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$Ks_{(i,j)} = \frac{TAW_{(i,j)} - Dr_{(i,j)}}{RAW_{(i,j)}} \qquad (5)$$

که در آن $TAW_{(i,j)}$ کل آب قابل استفاده خاک بر اساس عمق توسعه ریشه در روز i ام آبیاری وروز j ام دوره رشد است.

نمودار ضریب گیاهی در طول دوره رشد با استفاده از ضرایب گیاهی اولیه، میانی و نهایی بر اساس مقادیر ارائه شده در جداول FAO شماره 56 ترسیم می‌شود. مقادیر موجود در نمودار بر اساس طول گیاه در روز j ام دوره رشد $h_j$، سرعت متوسط باد در ارتفاع 2 متری (U2) و رطوبت نسبی حداقل (RHmin) بر اساس آمار بلند مدت منطقه اصفهان در روز منطبق با روز j ام دوره رشد از طریق رابطه زیر اصلاح می‌شود:

(6)

$$Kcb_j = Kcbç_j + (0.04(U2_j - 2) - 0.004(RHmin_j - 45))\left(\frac{h_j}{3}\right)^{0.3}$$

ضریب تبخیر سطحی (Ke) بر اساس رابطه Allen و همکاران (1998) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

(7)

$$Ke_{(i,j)} = \min\left(Kr_{(i,j)}(Kcbmax_{(i,j)} - Kcb_{(i,j)}), few_{(i,j)}Kcbmax_{(i,j)}\right)$$

که در آن Kcbmax در روز j ام دوره رشد از رابطه زیر تعیین می‌شود:

(8)

$$Kcbmax_j = \max\left\{\left(1.2+(0.04(U2_j-2)-0.004(RHmin_j-45))\left(\frac{h_j}{3}\right)^{0.3}\right), (Kcb_j+0.05)\right\}$$

همچنین few محیط خیس شده سطح زمین را که در معرض تبخیر نیست در روز j ام دوره رشد نشان می دهد و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

(9)

$$few_j = \min\left\{\left(1-\left(\frac{Kcb_j - Kcb\min}{Kcb\max_j - Kcb\min}\right)^{(1+0.5hj)}\right), fw\right\}$$

که در آن Kcbmin حداقل ضریب گیاهی در طول دوره رشد و fw نسبت سطح خیش شده است و بستگی به روش آبیاری دارد. در این تحقیق، fw برابر 1 است.

اما Kr ( که در رابطه 8 به آن نیاز است) در طی روز های بعد از آبیاری به تدریج افزایش می‌یابد تا نهایتاً به عدد یک می‌رسد و آن زمانی است که میزان تخلیه رطوبت در خاک سطحی (De) در روز i-1 از رطوبت سهل‌الوصول در معرض تبخیر خاک سطحی (REW) بیشتر شود. در غیر این صورت Kr در روز i ام بعد از آبیاری از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Kr_i = \frac{TEW - De_{i-1}}{TEW - REW} \qquad (10)$$

که در آن TEW کل رطوبت در معرض تبخیر خاک سطحی و REW رطوبت سهل الوصول خاک سطحی و De میزان تخلیه رطوبت از خاک سطحی است که برای روز i ام بعد از آبیاری از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

(11)

$$De_i = De_{i-1} - (P - RO)_i - \frac{I_i}{fw} + \frac{Es_i}{few_i} + DP_i$$

در رابطه فوق، تبخیر سطحی در روز i ام به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Es_i = Ke_i \times ET_{0i} \qquad (12)$$

در این مدل، تبخیر و تعرق بر اساس رابطه اصلاح شده هارگریوز و سامانی توسط نجفی و همکاران (1378) برای مناطق خشک و نیمه خشک ایران از طریق ورود آمار روزانه درجه حرارت حداکثر و درجه حرارت حداقل بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود:

(13)

$$ET0 = a(T\max - T\min)^{0.5}\left(\frac{T\max - T\min}{2} + 17.8\right)$$

ر رابطه فوق a ضریب ثابتی است که بر اساس عرض جغرافیایی منطقه، متوسط ساعات روشنایی هر ماه و اختلاف حداکثر و حداقل متوسط دما در هر ماه بر اساس آمار بلند مدت تعیین می‌شود (نجفی و همکاران، 1378).

میزان آب مورد نیاز گیاه (CWR) در هر بار آبیاری از رابطه زیر تعیین می‌گردد:

$$CWR = \frac{\sum_{1}^{i} ETc_i}{1 - \max(LR_{EC}, LR_{SAR}, LR_{Cl})} \qquad (14)$$

که در آن $LR_{EC}, LR_{SAR}, LR_{CL}$ به ترتیب نیاز آبشویی شوری، نسبت جذب سدیم و کلرید است که با توجه به مقادیر این پارامترها و حد آستانه آنها در روابط مربوطه بدست می‌آید (Ayers و Westcot، 1985).

در نهایت، با وارد کردن اطلاعات اولیه مربوط به منطقه و شرایط گیاه، مدل تنها با وارد نمودن درجه حرارت حداقل و حداکثر روزانه، برنامه آبیاری را مشخص می‌نماید.

## نتایج و بحث

جدول 1 میانگین پارامترهای کیفی آب چاه و پساب فاضلاب مورد استفاده را نشان می‌دهد. به لحاظ شوری هر دو نمونه آب برای کشت گندم مناسب است هر چند نمونه فاضلاب به لحاظ شوری بسیار مناسب‌تر است. همچنین میزان $SAR_{iw}$, Na, Cl, $HCO_3$, $SO_4$, Mg همگی کمتر از آب چاه می‌باشند. در مورد سایر عناصر نیز از جمله بر و عناصر سنگین به جز کادمیوم در هر دو نمونه آب آبیاری کمتر از حد آستانه سمیت آنها اندازگیری شده است. در نمونه پساب فاضلاب، غلظت نیتروژن کل و کادمیوم بالاتر از حد آستانه توصیه شده است. بررسی میزان تجمع این عناصر در محصول گندم مورد توجه خواهد بود.

قبل از برداشت محصول، برخی از خصوصیات گندم در تیمارهای مختلف اندازه‌گیری شد و مورد مطالعه قرار گرفت. از جمله این خصوصیات طول ساقه گندم می‌باشد که به طور متوسط برای تیمار T1 57 سانتی‌متر و برای تیمارهای T2 تا T4 به ترتیب 79، 60 و 65 سانتی‌متر برآورد گردید. این مقادیر بر اساس‌آزمون دانکن مورد مقایسه قرار گرفت که نتایج آن در جدول 2 ارائه گردیده است. بر اساس این آزمون، از لحاظ طول ساقه، تیمارهای فاضلابی (تیمارهای T2 تا T4) همگی در یک سطح قرار داشته و مجموعاً باتیمار T1 اختلاف معنی‌دار را نشان می‌دهند.

همین طور جدول 2 میانگین تعداد دانه در ساقه گیاه را در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد. در این‌حالت نتایج حاصل از آزمون دانکن نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهاست، هر چند بیشترین تعداد دانه در ساقه در تیمار T2 و کمترین تعداد دانه در ساقه مربوط به تیمار T1 بوده است.

وزن هزار دانه از جمله پارامترهایی است که نشان دهنده کیفیت بذر گندم می‌باشد. در این حالت نیز بین‌تیمارهای چهارگانه اختلاف معنی‌داری مشاهده نمی‌شود. بیشترین وزن هزار دانه مربوط به تیمارهای T1 و T2 و کمترین وزن هزار دانه مربوط به تیمار T4 می‌باشد. مقادیر میانگین این پارامتر در جدول 2 ارائه شده است.

وزن مرطوب ساقه به علاوه سنبله گیاه در جدول 3 مورد مقایسه قرار گرفته است. در این حالت نیز همانند پارامتر قبلی بین تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در این حالت، تیمارهای T2 و T4 بیشترین مقدار را بر حسب تن در هکتار داشتند.

وزن خشک ساقه به علاوه سنبله نیز در جدول 3 ارائه شده است. در این حالت بر اساس آزمون تیمارهای فاضلابی با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند ولی تیمار T1 با تیمارهای T2 و T4 اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهد. از لحاظ این مقدار نیز تیمار T1 و T3 کمترین مقادیر را داشته‌اند.

جدول 4 میانگین عملکرد محصول را بر حسب تن در هکتار در طی دو سال کشت گندم را نشان می‌دهد. مقایسه این مقادیر بر اساس آزمون دانکن نشان می‌دهد که تیمار شاهد در سال T1 کمترین سطح را داشته و با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار دارد. این به معنی افزایش عملکرد محصول در هنگام استفاده از پساب فاضلاب در آبیاری محصول گندم است. همچنین بین تیمارهای T2 تا T4 اختلاف معنی‌داری مشاهده نمی‌شود و به علاوه تیمار T2 که دقیقاً بر اساس مدل ET-HS آبیاری شده است بیشترین عملکرد را داشته است. در سال دوم تقریباً همین روند مشاهده می‌شود با این تفاوت که میزان عملکرد در این سال خصوصاً در تیمارهای T2 و T4 بیشتر شده که نشان دهنده تأثیر مثبت کاربرد پساب فاضلاب در بلند مدت است.

اختلاف بین تیمارها در پارامتر کارآیی مصرف آب (WUE) واضح‌تر است. جدول 4 مقادیر متوسط این پارامتر را بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب نشان می‌دهد.

همان طور که در این جدول مشخص است در سال اول بالاترین کارآیی مصرف آب مربوط به تیمار T2 است به طوری که این تیمار با تیمار T1 اختلاف معنی‌داری دارد. تیمار T3 در رده دوم قرار داشته و تیمارهای T4 و T1 به ترتیب کمترین میزان کارآیی مصرف آب را داشته‌اند. در سال دوم کارآیی مصرف آب با شدت بیشتری در تیمارهای فاضلابی خصوصاً در تیمار T2 افزایش یافته است. این نتایج اولاً مطلوبیت کاربرد پساب فاضلاب تصفیه شده در مقایسه با آب چاه منطقه و ثانیاً کارآیی مثبت مدل ET-HS در عملکرد محصول را بیان می‌کند.

جدول 5 آنالیز شیمیایی دانه، پوسته و ساقه گندم در تیمارهای مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بر اساس این جدول میانگین نیتروژن کل موجود در دانه، ساقه و پوسته گیاه گندم در بین تیمارهای مورد مطالعه اختلاف قابل توجهی ندارند. با توجه به این که حد بحرانی سمیت نیتروژن نیتراتی در دانه گیاه گندم 40 میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک غلات‌گزارش شده (ملکوتی، 1378)، مقادیر موجود در تیمارهای مورد مطالعه اختلاف قابل توجهی با این مقدار دارد. این امرنشان دهنده این است که کاربرد پساب حاصل از سیستم لجن فعال، آلودگی نیتروژن نیتراتی را در محصول مورد مطالعه به وجود نیاورده است.

همچنین در ارتباط با میزان فسفر موجود در دانه گیاه گندم، بررسی‌ها نشان می‌دهد که تیمار T2 بیشتر از سایر تیمارها فسفر را جذب نموده و میزان آن در مقایسه با تیمارهای T3 و T4 دارای اختلاف معنی‌دار است. در مورد پوسته و ساقه گیاه وضع به گونه دیگری است و اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نمی‌شود.

در مورد میزان پتاسیم، سدیم، کلسیم و منیزیم موجود در دانه، پوسته و ساقه‌گیاه گندم نیز اختلاف معنی‌داری به وجود نیامده و تمامی این عناصر در محدوده معمول قرار دارند و کاربرد پساب باعث افزایش غیرعادی عناصر مذکور نشده است.

آنالیز عناصر آهن، روی، مس، منگنز، کادمیم و سرب در قسمت‌های مختلف گندم بعد از برداشت محصول نشان داد که غلظت کادمیم و سرب در قسمت‌های مختلف گیاه گندم ناچیز بوده به طوری که مقادیر آنها در حد حساسیت دستگاه نبوده است ولی غلظت چهار عنصر آهن، روی، مس و منگنز بر حسب mg/kg دارای مقدار قابل اندازه‌گیری بوده ولی مقادیر همگی در حد نرمال بوده، و کاربرد پساب تجمع عناصر سنگین در گندم را به وجود نیاورده است (جدول 6).

## جمع‌بندی و پیشنهادها

نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از پساب فاضلاب بجای آب چاه باعث بهبود خصوصیات فیزیولوژیک گیاه و افزایش عملکرد محصول شده است. همچنین استفاده از مدل ET-HS به همراه کاربرد پساب فاضلاب تصفیه شده باعث افزایش کارآیی مصرف آب شده به طوری که تیمار مذکور با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار نشان داده است.به علاوه استفاده از پساب فاضلاب در هیچ یک از تیمارها باعث افزایش غیر عادی تجمع عناصر مختلف در ساقه، دانه و سبوس گیاه گندم نشده است. غلظت نیتروژن نیتراتی در دانه گندم تیمارهای فاضلابی بسیار کمتر از حد بحرانی آن در دانه غلات بوده است. به لحاظ جذب عناصر غذایی NPK، سدیم، کلسیم و منیزیم در دانه گندم بین هیچ یک از تیمارها اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. و در نهایت بررسی‌های این تحقیق نشان داد که کاربرد پساب فاضلاب تصفیه شده برای آبیاری گیاه گندم، در مجموع مشکلات ناشی از تجمع بیش از حد عناصر سنگین را لااقل در مورد عناصر مورد مطالعه به وجود نیاورده است.

**جدول 1- میانگین پارامترهای اندازه‌گیری شده در پساب فاضلاب و آب چاه و مقایسه آنها با مقادیر استاندارد**

| پارامتر | واحد | آب چاه | پساب فاضلاب | حد آستانه |
|---|---|---|---|---|
| *EC* | dS/m | 5/2 | 1/7 | 5/5 [1] |
| $SAR_{iw}$ | - | 7/2 | 4 | [4]- |
| N | mg/l | - | 60/39 | *50*[2] |
| P | mg/l | - | 12/93 | - |
| K | mg/l | - | 20/95 | - |
| Na | mg/l | 28/6 | 7/2 | 9 [3] |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 15 [1] | 5/7 | 36 | mg/l | Cl |
| 1-2 [1] | 0/5 | 0/4 | mg/l | B |
| 0/01 [3] | 0/02 | 0/01 | mg/l | Cd |
| 0/2 [3] | 0/08 | 0/01 | mg/l | Cu |
| 5 [3] | 0/05 | 0/01 | mg/l | Fe |
| 0/1 [2] | 0/01 | 0/02 | Mg/l | Pb |
| 0/2 [3] | 0/04 | 0/05 | Mg/l | *Mn* |
| 2 [3] | 0/04 | 0/01 | Mg/l | Zn |
| 5 [2] | 2/9 | 20 | meq/l | SO4 |
| 8/5 [3] | 7/3 | 2/8 | meq/l | HCO3 |
| 12/5 [2] | 2/1 | 12/1 | meq/l | Mg |
| - | 4/4 | 19/1 | meq/l | Ca |
| 6/5-8/5 [3] | 7/7 | 7/7 | - | pH |

1. با فرض 20 درصد آبشویی برای محصول گندم (Ayres و Wastcot، 1985)
2. ROWE و Abdel (1995)
3. Ayres و Wastcot، 1985
4. میزان نسبت جذب سدیم با توجه میزان شوری قابل قبول است.

**جدول 2- میانگین تعدادی از خصوصیات ساقه و دانه گندم در تیمارهای مختلف و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون دانکن**

| تیمار | طول ساقه (cm) | تعداد دانه در ساقه (عدد) | وزن هزار دانه (گرم) |
|---|---|---|---|
| T1 | 57 b | 15/7 a | 35/6 a |
| T2 | 79 a | 26/3 a | 35/2 a |
| T3 | 60 ab | 21 a | 34/1 a |
| T4 | 55 b | 16/3 a | 28 a |

جدول 3 - میانگین وزن خشک و مرطوب ساقه و سنبله در تیمارهای مختلف بر حسب ton/ha ومقایسه میانگین‌ها به روش آزمون دانکن

| تیمار | وزن مرطوب | وزن خشک | وزن خشک |
|---|---|---|---|
| | ساقه + سنبله | ساقه + سنبله | سنبله |
| T1 | 11/4 a | 8/8 b | 4/1 b |
| T2 | 13/9 a | 11/7 a | 6/5 a |
| T3 | 12/3 a | 10/8 ab | 5/3 ab |
| T4 | 13/6 a | 11/4 a | 6/2 a |

جدول 4 - مقایسه عملکرد گندم و کارآیی مصرف آب در تیمارهای مورد مطالعه

| تیمار | عملکرد سال اول (ton/ha) | عملکرد سال دوم (ton/ha) | کارآیی مصرف آب سال اول ($kg/m^3$) | کارآیی مصرف آب سال دوم ($kg/m^3$) |
|---|---|---|---|---|
| T1 | 4/1 b | 4/5 b | 0/65 d | 0/79 c |
| T2 | 5/1 a | 6/5 a | 0/98 a | 1/3 a |
| T3 | 4/8 a | 5/3 ab | 0/92 b | 1/1 b |
| T4 | 4/9 a | 6/2 a | 0/82 c | 1/1 b |

جدول 5 - غلظت برخی عناصر در دانه، سبوس و ساقه گندم در تیمارهای مختلف مورد مطالعه

| عنصر | | N | P | K | $NO_3$ | Na | Ca | Mg |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| واحد | | درصد | درصد | درصد | Mg/kg | درصد | درصد | درصد |
| T1 | دانه | 2/8 a | 0/15 ab | 0/59 a | 1/6 a | 0/03 a | 0/075 a | 0/14 a |
| | سبوس | 1/2 a | 0/07 a | 1/45 a | 5/4 a | 0/18 a | 0/35 a | 0/19 a |
| | ساقه | 0/8 a | 0/05 a | 1/95 a | 10a | 0/19 a | 0/39 a | 0/17 a |
| T2 | دانه | 2/9 a | 0/17 a | 0/53 a | 1/86 a | 0/03 a | 0/075 a | 0/14 a |
| | سبوس | 1/3 a | 0/09 a | 1/37 a | 6/4 a | 0/1 a | 0/43 a | 0/2 a |
| | ساقه | 0/9 a | 0/03 a | 1/91 a | 11/6 a | 0/16 a | 0/43 a | 0/19 a |
| T3 | دانه | 2/8 a | 0/14 b | 0/53 a | 1/9 a | 0/04 a | 0/077 a | 0/14 a |
| | سبوس | 1/2 a | 0/08 a | 1/4 a | 6/7 a | 0/18 a | 0/46 a | 0/23 a |
| | ساقه | 0/7 a | 0/05 a | 1/91 a | 11 a | 0/7 a | 0/44 a | 0/19 a |
| T4 | دانه | 2/8 a | 0/14 a | 0/55 a | 1/9 a | 0/06 a | 0/077 a | 0/13 a |
| | سبوس | 1/1 a | 0/06 a | 1/45 a | 6/8 a | 0/17 a | 0/46 a | 0/21 a |
| | ساقه | 0/6 a | 0/09 a | 2/04 a | 10/9 a | 0/14 a | 0/43 a | 0/19 a |

جدول 6 - غلظت برخی عناصرسنگین در دانه، سبوس و ساقه گندم در تیمارهای مختلف مورد مطالعه

| عنصر | | Fe | Mn | Zn | Cu | Cd | Pb |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| واحد | | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg |
| | دانه | 98/7 a | 81 ab | 50 a | 6 a | ns• | ns• |
| T1 | سبوس | 240 a | 124 a | 20 a | 5/8 a | ns | ns |
| | ساقه | 292 a | 104 a | 11a | 5/8 a | ns | ns |
| | دانه | 103 a | 79 a | 42 a | 6 a | ns | ns |
| T2 | سبوس | 426 a | 149 a | 28 a | 6 a | ns | ns |
| | ساقه | 360 a | 134 a | 9 a | 6 a | ns | ns |
| | دانه | 102 a | 89 b | 47 a | 5/8 a | ns | ns |
| T3 | سبوس | 335 a | 126 a | 24 a | 5/6 a | ns | ns |
| | ساقه | 323 a | 90 a | 10 a | 5/8 a | ns | ns |
| | دانه | 103 a | 84 a | 40 a | 5/6 a | ns | ns |
| T4 | سبوس | 397 a | 169 a | 19 a | 5/6 a | ns | ns |
| | ساقه | 343 a | 131 a | 9 a | 5/6 a | ns | ns |

• not seen

## فهرست منابع:


1. اروندی، س. و ر. کامیاب‌مقدس. 1379. یکی از راه‌کارهای مقابله با کم‌آبی استفاده بهینه از فاضلاب شهری. مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی مقابله با کم آبی و خشکسالی. کرمان 9-10 اسفند 1379، جلد اول، 55 - 64.
2. الفتی، م.، ملکوتی، م. ج. و م. ر. بلالی. 1378. تعیین حد بحرانی فسفر برای محصول گندم در ایران. مجله خاک و آب، جلد 12، شماره 6، 39 -45.
3. خادمی، ز.، ملکوتی، م. ج. و م. لطف‌اللهی. 1378. مدیریت ازت در مزرعه گندم به منظور افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصول. مجله خاک و آب، جلد 12، شماره 6، 1 - 6.
4. ستار، م. 1377. تعیین میزان تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع. گزارش نهایی، بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی استان اصفهان.
5. عابدی، م. ج. و پ. نجفی. 1380. استفاده از فاضلاب تصفیه شده در کشاورزی. کمیتهٔ ملی آبیاری و زهکشی ایران، 248 صفحه.
6. فاجریا، ر. ک.، مالیگار و. ر. و چ. ا. جونز. 1378. رشد و تغذیه گیاهان زراعی. ترجمه ق. فتحی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، 372 صفحه.
7. ملکوتی، م. ج. 1378. کشاورزی پایدار و افزایش عملکرد با بهینه سازی مصرف کود در ایران. نشر آموزش کشاورزی، 460 صفحه.
8. نجفی ، پ. 1381. بررسی مدل بهره برداری از فاضلاب در آبیاری. رساله دکتری در رشته آبیاری و زهکشی واحد علوم و تحقیقات، 304 صفحه.
9. نجفی، پ.، احتشامی، م. و م. ستار. 1378. مدل ارزیابی تبخیر و تعرق در مناطق خشک و نیمه خشک ایران با استفاده از پارامتر درجه حرارت. مجموعه مقالات هفتمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، 10 تا 12 اسفند 1378، دانشگاه باهنر کرمان، 239-247.

10. Allen R. G., Pereira L. S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration. FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 56, Rome, 290 p.
11. Ayers, R. S. and D. W. Westcot. 1985. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29, Rev. 1, FAO, Rome, 174 p.
12. Gushiken, E. C. 1993. Effluent disposal through subsurface drip irrigation systems. Hawaii Water Pollution Control Association, 15th Annual Conference, Honolulu, Hawaii, Available on Internet, www.Geoflow.com.
13. Hussian G. and A. J. Al-Saati.1999. wastewater quality and its reuse in agriculture in Saudi Arabia. Desalination, 123: 241-251.
14. Pescode, M. B.1992. Wastewater treatment and use in agriculture. FAO, Irrigation and Drainage Paper No. 47, 118 p.
15. Rosenquvist H. and M. Dawson. 2005. Economics of using wastewater irrigation of willow in Northern Ireland. Biomass and Bioenergy, 29: 83-91.
16. Rowe, D. R. and Abdel, I. M. 1995. Handbook of wastewater reclamation and reuse. CRC Publisher, 576 p.
17. Wang H. Q., Chen J. J. and Tian K. M. and Y. Lu. 2002. Experimental analysis of a nitrogen removal process simulation of wastewater land treatment under three different wheat planting densities. J. Environ Sci. (Chain), 14(3): 317-324.