

1200P-NWWCE

مطالعه و بررسی انتقال عمیق نیترات تحت کشت‌های ذرت علوفه‌ای با استفاده از پساب**فاضلاب شهری تصفیه شده****(مطالعه‌ی موردی: تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب نیشابور)**محمد طاهری^۱

۱. دانشجوی مقطع دکتری آبیاری و زهکشی - واحد بین‌الملل دانشگاه فردوسی مشهد

m.taheri254@yahoo.com

خلاصه

آبیاری کشاورزی با پساب فاضلاب هر چند ممکن است از یک سو سبب تقویت خاک و رشد محصولات شود، ولی تلفات ناشی از آلودگی و به‌خصوص نیترات بر کیفیت آب‌های زیرزمینی تأثیرگذار است. این پژوهش در راستای بررسی انتقال عمیق نیترات تحت کشت ذرت علوفه‌ای با استفاده از پساب فاضلاب تصفیه شده در محدوده‌ی مکانی تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب شهر نیشابور در سال زراعی ۱۳۹۳-۹۴ انجام شده است. داده‌های مورد مطالعه به صورت گلدانی بر اساس کشت ذرت در شرایط یکسان جمع‌آوری شده و بر اساس شیوه‌ی آماری فاکتوریل در قالب طرح بلوکی کاملاً تصادفی در ۲ فاکتور اصلی آبیاری با پساب فاضلاب و آبیاری با آب معمولی در چهار سطح (۱۰۰ درصد ظرفیت آبیاری و ۸۰ درصد ظرفیت آبیاری برای دو دوره‌ی آبیاری ۸ و ۱۰ روزه) و ۳ تکرار و آزمون توکی برای مقایسه‌ی میانگین تیمارها انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که در سطح حداقل ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری بین تیمارها (فاکتور اصلی پساب فاضلاب و آب معمولی) و فاکتور اصلی آبیاری با پساب فاضلاب وجود دارد و همچنین اختلاف معنی‌داری در سطوح فاکتور اصلی آبیاری با آب معمولی و اثر متقابل دو فاکتور وجود ندارد. بنابراین آبیاری با پساب فاضلاب سبب افزایش مخاطرات بهداشتی برای گیاه ذرت و خاک ندارد، ولی ریسک زیادی در آلودگی منابع آبی منطقه به نیترات دارد.

واژه‌های کلیدی: آب‌های نامتعارف، ذرت علوفه‌ای، نیترات و شیوه‌ی فاکتوریل طرح بلوکی کاملاً تصادفی.

۱. مقدمه

به‌عنوان یک اصل، هستی جوامع بشری متکی به نباتات بوده و نیازهای انسان‌ها را به لحاظ تغذیه، پوشش، سوخت، تأمین فرآورده‌های دامی، دارو و... تأمین می‌نماید. در بین نباتات، غلات سهم بسیاری دارد، به‌طوری که بیش از ۵۰ درصد سطح زیر کشت جهان به غلات اختصاص دارد (ایران بیش از ۸۰ درصد). هم‌چنین بیش از ۵۰ درصد کالری مورد نیاز انسان‌ها به طور مستقیم و ۲۰ درصد غیرمستقیم از غلات تأمین می‌شود. کشت محصولات کشاورزی علاوه بر تأمین نیازهای جوامع بشری از منظر خودکفایی، ایجاد اشتغال، تغذیه‌ی دام‌ها و طیور، افزایش تولید ناخالص ملی و اشتغال مورد توجه دولت‌ها است. یکی از نکات برجسته در بخش کشاورزی وجود منابع آبی پایدار برای آبیاری است، به‌طوری که این موضوع در مناطقی که از کمبود آب رنج می‌برند، بسیار حایز اهمیت است. طی چند سال گذشته، در برخی از مناطق کم‌آب، استفاده از آب‌های نامتعارف مانند پساب‌های فاضلاب رایج شده است. تولید حجم قابل توجهی از فاضلاب‌های شهری به دلیل توسعه‌ی شهرها و ارتقای بهداشت عمومی، نیاز به تولید بیش‌تر محصولات کشاورزی، افزایش جمعیت همراه با رقابت بیش‌تر آب در صنعت و کشاورزی سبب استفاده از پساب فاضلاب در کشاورزی شده است. کاربرد پساب‌های فاضلاب از دو جنبه‌ی زراعی (تأمین مواد آلی خاک) و زیست‌محیطی (کیفیت منابع آب، خاک، میکروارگانیسم‌ها) حایز اهمیت است. یکی از مسائل با اهمیت در استفاده از پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب ریسک تقلیل و تخریب کیفیت منابع آب و خاک مناطق زیر کشت است. باور جهانی بر این است که شرایطی که افزایش تقاضای آب از یک سو و محدودیت حجم منابع آبی از سوی دیگر، فشار مضاعفی را بر پیکره‌ی منابع آب وارد می‌کند، یکی از الزام‌های مدیریت منابع آب، حفاظت از کیفیت آن‌ها است. با این توضیحات در برنامه‌ریزی استفاده از پساب‌های

فاضلاب برای آبیاری محصولات کشاورزی، مطالعه و بررسی انتقال عمیق مواد شیمیایی موجود در پساب فاضلاب در راستای مدیریت کنترل کیفیت منابع آبی بایستی مورد مطالعه و بررسی قرار بگیرد.

ایران به دلیل قرار گرفتن در کمربند خشک و نیمه خشک جهان، در زمره کشورهای با محدودیت منابع آب قلمداد می شود. از سویی دیگر با توجه به این که سطح بسیار زیادی از مناطق کشور دارای آب و هوایی خشک و آفتابی است و بسیاری از محصولات کشاورزی (ذرت علوفه ای) با این نوع آب و هوا سازگاری دارند، لذا ترکیب این دو مؤلفه می تواند تأثیر پرننگی برای استفاده از پساب فاضلاب در آبیاری محصولات کشاورزی داشته باشد. در شهرستان نیشابور به لحاظ وجود زمین های مستعد کشاورزی، دمای مناسب، شرایط سازگاری کشت ذرت علوفه ای، از پساب فاضلاب می توان برای آبیاری استفاده کرد. با توجه به وجود حجم بسیار زیادی پساب فاضلاب در شهرستان نیشابور بررسی اثرات زیست محیطی استفاده از پساب فاضلاب برای آبیاری محصولات کشاورزی با توجه به الگوی کشت متداول باید در این منطقه مطالعه و بررسی شود که پژوهش حاضر در این راستا انجام شده است.

این پژوهش در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در محدوده جغرافیایی تصفیه خانه ی فاضلاب شهرستان نیشابور (محدوده ی مکانی) و در چارچوب پژوهش های آزمایشی انجام شده و برای سهولت در محاسبات از نرم افزارهای 17. MiniTab و 9.2. SAS استفاده شده است.

هدف ها

هدف پژوهش، مطالعه و بررسی انتقال عمیق نیترات تحت کشت ذرت علوفه ای با استفاده از فاضلاب شهری تصفیه شده (مطالعه ی موردی شهرستان نیشابور) می باشد. در واقع هدف پژوهش، امکان سنجی استفاده از پساب فاضلاب تصفیه شده برای آبیاری ذرت علوفه ای، با رویکرد تأثیر نیترات پساب فاضلاب بر منابع آبی محدوده ی مکانی پژوهش، بدون توجه بر تأثیر پساب فاضلاب بر عملکرد گیاه و خاک است. با این رویکرد در این پژوهش با انجام کشت ذرت علوفه ای بر اساس دو فاکتور اصلی آبیاری پساب فاضلاب (A) و آب معمولی (B) در ۳ تکرار، میزان تغییرات نیترات در آب زهکشی شده پس از عبور از لایه های خاک سطح الارض و تحت الارض (۶۰ سانتی متر) اندازه گیری و بر اساس تیمارها، فاکتور اصلی آبیاری با پساب فاضلاب (A)، آبیاری با آب معمولی (B) و اثر متقابل آبیاری با پساب فاضلاب و آب معمولی ($A \times B$) تجزیه و تحلیل شده است.

ضرورت ها

به دلیل محدودیت منابع آب کشاورزی در کشور از جمله استان خراسان رضوی، الزامات توسعه ی کشاورزی، توسعه ی سامانه های فاضلاب در بسیاری از شهرهای کشور (رشد ۱۰۹۶ درصدی در ۱۳۹۴ نسبت به سال پایه ی ۱۳۷۳) و الزامات قانونی (بند "الف" ماده ی ۱۴۲ قانون پنجم توسعه، الحاق شده به ماده ی ۲۰ قانون تنظیم بخشی از مقررات مالی و محاسباتی کشور) در سال های اخیر استفاده از پساب فاضلاب به عنوان یک منبع آبی مورد توجه قرار گرفته است. به دلیل نامتعارف بودن این منبع آبیاری، انجام پژوهش هایی به لحاظ جنبه های مختلف پساب فاضلاب (مواد آلی، شیمیایی، فلزی و میکروبی) برای استفاده ی بهینه و برنامه ریزی آرمانی ضروری است.

به رغم مزایای فراوان آبیاری با پساب فاضلاب همواره احتمال ریسک انتقال عمیق مواد شیمیایی (به خصوص نیترات) و سایر مواد موجود در فاضلاب از طریق ریشه ی گیاهان تحت کشت، اثرات مخربی بر آب های زیرزمینی و در نهایت سلامت آحاد جامعه در زنجیره ی غذایی داشته باشد. هم چنین به دلیل قرار گرفتن استان خراسان رضوی در اقلیم خشک و نیمه خشک، فقدان منابع آب های سطحی پایدار، برخورداری از زمین های مستعد کشاورزی و برخورداری بیش تر شهرهای استان از سامانه های فاضلاب، استفاده از پساب های فاضلاب به عنوان یک منبع پایدار می تواند بخش عمده یی از نیازهای کشاورزی استان را تأمین نماید. بنابراین به منظور برنامه ریزی آبیاری محصولات کشاورزی، تأثیر آبیاری پساب فاضلاب برای محصولات عمده ی کشت در منطقه و تأثیر مواد شیمیایی بر منابع آب های زیرزمینی و خاک باید بررسی شود.

الزامات (استفاده از پساب فاضلاب و حفظ منابع آبی)

از نیمه ی دوم قرن نوزدهم به این سو از عامل هایی همچون افزایش جمعیت، رشد سریع شهرنشینی، تخلیه ی پساب ها و فاضلاب های شهری، کشاورزی و صنعتی به عنوان عامل های تقلیل و تخریب کیفیت آب یاد می شود. اصل اساسی برای مقابله با آلاینده ها بر پایه ی پیشگیری قرار دارد و همواره هدف های زیر مد نظر قرار می گیرد:

۱. سازمان خوار و بار جهانی محدودیت زمین و منابع آبی را دو عامل مهم در توسعه ی کشاورزی می دانند که کشور ما به لحاظ زمین محدودیت خاصی ندارد و محدودیت منابع آبی مهم ترین عامل در توسعه ی کشور محسوب می شود. بر مبنای گزارش های شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور،

برای نمونه در سال ۱۳۹۴ روزانه در حدود ۴۲۱۰ هزار مترمکعب پساب فاضلاب شهری تولید می شود و می تواند نقش پررنگی در کشاورزی کشور داشته باشد (۱).

۲. سازمان ملل متحد دو عامل رشد جمعیت و نابودی و کمبود منابع آبی را مهم ترین مسائل روز جهان و به خصوص در کشورهای توسعه نیافته و در حال توسعه معرفی کرده است. در کشور ما به رغم رشد بالای جمعیت کشور (برای نمونه در سال ۱۳۹۴ در حدود ۱/۳ درصد) از یک سوی و کاهش منابع آبی از سوی دیگر (کاهش ۵۵۰۰ مترمکعب در سال ۱۳۴۰ به ۱۳۰۰ مترمکعب در افق ۱۴۰۰) نیاز بیش تری به محصولات کشاورزی و مدیریت جامع منابع آبی کشور احساس می شود. استفاده از پساب فاضلاب های تصفیه شده می تواند در این زمینه بسیار با اهمیت باشد (۲)(۳).

۳. یکی از راهکارهای کارآمد برای مقابله با بحران کمبود آب، استفاده از آب های نامتعارف است. نظر به این که پساب های فاضلاب کم تر تحت تأثیر خشکسالی قرار می گیرند، با این وجود پساب های فاضلاب می تواند منبع قابل اطمینان و پایدار برای دوره های خشکسالی باشد.

۴. با توجه به کمبود آب در مناطق خشک و نیمه خشک مانند ایران، در راستای اجرای تدابیری برای توسعه و بهره برداری از منابع آبی جدید به خصوص در بخش کشاورزی، استفاده از پساب می تواند به عنوان منابع آب مورد توجه قرار گیرد. با این کار نه تنها بخشی از کمبود آب کشاورزی جبران می شود، بلکه از اثرات مخرب پساب ها و خسارات آن ها به منابع کشاورزی و محیط زیست نیز جلوگیری می شود.

۵. دسترسی سریع و بدون صرف هزینه به پساب فاضلاب از مشخصه های منحصر به فرد اقتصاد پساب فاضلاب است که این موضوع سبب منافع اقتصادی فراوانی از جمله ایجاد ارزش افزوده ی خالص می شود.

۶. استفاده از پساب های فاضلاب تصفیه شده سبب صرفه جویی در استفاده از منابع آبی و کودهای سنتزی می شود، زیرا پساب فاضلاب حاوی مواد آلی متعددی است که پس از ورود به خاک به وسیله ی میکروارگانیسم ها تجزیه شده و سبب افزایش هوموس خاک می گردد.

۷. آلودگی منابع آبی زیر زمینی به مواد شیمیایی، آلی و فلزات سنگین و حذف آن ها در حد استانداردهای تعیین شده، مستلزم صرف سرمایه گذاری و تاسیسات فنی تخصصی (اسمز معکوس و سامانه های ممبرن) بسیار زیادی است که امکان دارد از توان مالی و فنی واحدهای تأمین و توزیع آب و دولت ها خارج باشد.

۸. نظر به موقعیت جغرافیایی کشور یکی از شیوه های مبارزه با بیابانزایی و شن های روان پوشش گیاهانی مناسب مانند قره داغ، تاغ، آترپلکس و... است. در این زمینه، پساب فاضلاب حتی اگر دارای خصوصیات کیفی اندکی نیز باشد، می تواند مورد استفاده قرار بگیرد.

۹. یکی از مشخصه های منحصر به فرد ذرت سازگاری آن با آب و هوای گرم و خشک و میزان بازدهی آن در مقایسه با سایر غلات است. نظر به موقعیت جغرافیایی کشور که در منطقه یی خشک و نیمه خشک واقع شده (از جمله شهر نیشابور) در صورت وجود منابع آبی نامتعارف می توان زمین های بسیاری از اطراف تصفیه خانه ی فاضلاب را به کشت ذرت اختصاص داد.

آسیب شناسی (کاهش کیفیت منابع آبی)

هر چند استفاده از پساب های فاضلاب در نگاه اول می تواند جایگزین مناسبی برای آب های متعارف باشد، اما انتقال مواد شیمیایی در خاک یا منابع آبی (متغیر وابسته) سبب آلودگی و کاهش کیفیت منابع آبی می شود. روی دیگر سکه این که جذب مواد شیمیایی، میکروبی و فلزات سنگین در عناصر محصولات با پساب فاضلاب تهدیدی برای سلامت انسان ها محسوب می گردد. این دو موضوع از مهم ترین چالش های استفاده از پساب های فاضلاب برای آبیاری محصولات کشاورزی است. بنابراین اولین موضوعی که در طرح های آبیاری با پساب فاضلاب بایستی لحاظ شود، سطح کیفی پساب فاضلاب به لحاظ مواد شیمیایی است.

در زمینه ی استفاده از پساب های فاضلاب برای کشاورزی استانداردهای متنوعی برای درصد مجاز مواد شیمیایی، آلی و فلزات توسط مراجع بین المللی و داخلی تهیه و تدوین شده است، اما در بلند مدت ریسک آلودگی منابع آبی و خاک را می تواند به دنبال داشته باشد. با این حال استفاده از پساب فاضلاب هایی که در سطح کیفی استانداردهای جهانی و محلی قرار دارند نیز بایستی مطالعات جامعی در خصوص جذب مواد شیمیایی و آلی در گیاه و خاک با توجه به نوع محصول، نوع خاک منطقه، شرایط جغرافیایی و... انجام شود. بنابراین پژوهش حاضر در همین راستا برای محصول زراعی ذرت علوفه ای و زمین های اطراف تصفیه خانه نیشابور انجام شده است. برخی از آسیب های آلودگی منابع آبی و محصولات زراعی به مواد شیمیایی به شرح زیر است:

- مطابق گزارش های نهادهای بین المللی، بیش از ۸۰ درصد از کل بیماری های کشورهای کم توسعه مربوط به آب بوده (۱.۵ میلیارد بیماری) که بیش تر از طریق ورود فاضلاب ها به منابع آبی منتقل می شوند و در حدود یک سوم از تخت های بیمارستان ها ناشی از بیماری های مرتبط به آن می باشد (۴)

- عدم حذف مواد شیمیایی و آلی آب به دلایل مختلف می تواند سلامت مصرف کنندگان را به خطر بیندازد. مصرف محصولات کشاورزی آلوده به مواد شیمیایی سبب کاهش برخی از مواد مغذی و دفاع ایمنی بدن، تاخیر رشد جنین، سوء تغذیه و شیوع انواع سرطان می شود (۶). صرفه نظر از زیان های اقتصادی ناشی از بیماری های آب، کاهش توان و ظرفیت تولید افراد، هزینه های تأمین و توزیع آب آشامیدنی سالم برای تمام جمعیت جهان در سال ۲۰۱۰ در حدود ۵۰ میلیارد دلار بوده است (۷).
- نیترات و سایر مواد شیمیایی یک تهدید بالقوه برای سلامتی انسان ها به خصوص برای نوزادان است و سبب بیماری متهمو گلوبینی (سندروم نوزاد کبود) می شود. این عارضه به خصوص اگر نوزاد از شیر خشک رقیق شده با آب آلوده به نیترات بالا تغذیه شده اند، بیش تر است. هم چنین مصرف مزمن مقادیر بالای نیترات سبب برخی از سرطان ها و نقایص جنینی می شود (۴).
- آلودگی و کاهش منابع آبی مستلزم انتقال آب از سایر منابع و حوزه های آبی دور دست است که مستلزم وجود منابع مالی زیاد و احتمال وقوع منازعات اجتماعی می شود. از آن جایی که در صنعت آب و فاضلاب اجرای بیش تر طرح های سرمایه گذاری به لحاظ اقتصادی دارای بازدهی صعودی نسبت به مقیاس، مدت زمان طولانی بازگشت سرمایه و شرایط انحصار طبیعی هستند، بنابراین امکان تأمین منابع سرمایه گذاری از محل منابع داخلی بنگاه های آب وجود ندارد و دولت ها بایستی در این خصوص سرمایه گذاری نمایند. این موضوع به لحاظ محدودیت منابع مالی بسیاری از دولت ها و تحمیل بار مالی این سرمایه گذاری ها بر مشترکان حایز اهمیت است.

۲. روش تحقیق (مواد و روش ها)

روش تحقیق به لحاظ جمع آوری اطلاعات از نوع طرح های آزمایشی است. آزمایش به صورت گلدانی بر اساس شیوه ی آماری فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در ۳ تکرار انجام شده است. عامل ها (فاکتورها) آبیاری با پساب فاضلاب و آب معمولی و در دو سطح ۱۰۰ و ۸۰ درصد ظرفیت زراعی و برای دوره های آبیاری ۸ و ۱۰ روزه (۴ سطح) می باشد (جدول ۱). در واقع نوع آزمایش تحقیق از نوع آزمایش های غیر 2ⁿ است که در آن بجای ۲ سطح با توجه به هدف پژوهش از ۴ سطح برای هر فاکتور استفاده شده است (4ⁿ).

جدول ۱: نقشه ی آزمایش و مشاهدات انتقال عمیق نیترات تحت کشت ذرت علوفه ای

فاکتور / سطح	آبیاری با پساب فاضلاب				آبیاری با آب معمولی (چاه)			
	۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی	۸۰ درصد ظرفیت زراعی	آبیاری ۱۰ روزه	آبیاری ۸ روزه	۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی	۸۰ درصد ظرفیت زراعی	آبیاری ۱۰ روزه	آبیاری ۸ روزه
تکرار اول	Wd-01	Wd -04	Wd -07	Wd -10	W-13	W-16	W-19	W-22
تکرار دوم	Wd -02	Wd -05	Wd -08	Wd -11	W-14	W-17	W-20	W-23
تکرار سوم	Wd -03	Wd -06	Wd -09	Wd -12	W-15	W-18	W-21	W-24

آزمایش ها در شرایط گلخانه یی با دما و رطوبت یکسان انجام شده است. محدوده ی مکانی پژوهش تصفیه خانه ی فاضلاب نیشابور واقع در کیلومتر ۱۴ جاده ی نیشابور کاشمر با مختصات عرض جغرافیایی ۵۸ درجه و ۴۱ دقیقه و طول جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵ دقیقه در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ انجام شده است. این تصفیه خانه در سال ۱۳۸۷ به بهره برداری رسیده و شیوه ی تصفیه ی آن از نوع برکته ی تثبیت (لاگون)، شامل برکتهای بی هوازی ۱/۲ هکتار، اولیه ۷/۸ هکتار و ثانویه ۸/۲ هکتار با کف خاک روس کوبیده و بدنه ی ژئوممبرن است. نظر به این که رطوبت، نور و حرارت مستلزم شرایط خاصی است و امکان تهیه ی آن ها در فضای گلخانه یی مشکل بود و از سویی هدف، انجام آزمایش در شرایط طبیعی بود، تمام اقدامات در شرایط طبیعی و واقعی تصفیه خانه ی نیشابور انجام شد. نکته این که حدود ۷۰ هکتار از اراضی تصفیه خانه ی شهر نیشابور و زمین های اطراف آن چندین سال است که در آن ذرت علوفه ای کشت و از پساب فاضلاب تصفیه خانه ی شهر نیشابور آبیاری و به مصرف دام و طیور می رسد، لذا پژوهش در مکان تصفیه خانه ی شهر نیشابور انجام شد.

خاک

نمونه خاک مورد استفاده از محل تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب شهر نیشابور با اوگر فولادی برداشت شد. بافت خاک مورد نظر از سری لومی (با درصد مواد آلی خاک در حدود ۰/۵ درصد) است. عمق خاک برداشت شده با توجه به شرایط کاشت ۳۰ سانتی‌متر اول خاک سطح‌الارضی و ۳۰ سانتی‌متر دوم خاک تحت‌الارضی بوده است که نحوه‌ی قرار گرفتن خاک‌ها در داخل گلدان‌ها ۳۰ سانتی‌متر پایین خاک تحت‌الارضی و ۳۰ سانتی‌متر بالا خاک سطحی بوده، به‌طوری که شرایط طبیعی زمین حفظ و رعایت شده است. نمونه خاک‌های برداشت شده دقیقاً در شرایط طبیعی به میزان لازم به محل مورد نظر آزمایش منتقل شد.

در مرحله‌ی بعدی تمام گلدان‌ها (با ارتفاع ۷۰ و قطر ۵۰ سانتی‌متر) با خاک با بافت متوسط (لومی) به وزن ۱۴۰ کیلوگرم پر شدند. پس از تهیه و آماده کردن ظروف و آبندی کردن آن‌ها و تعبیه‌ی سوراخ‌های مناسب در کف برای جمع‌آوری آب زهکشی شده شرایط برای کشت ذرت آماده شد. برای رعایت اصول و مبانی آزمون‌های آماری ابتدا گلدان‌ها از شماره‌ی ۱ الی ۲۴ شماره‌گذاری شدند و برای اختصاص گلدان‌ها به تیمارها به طور کامل تصادفی از جدول اعداد تصادفی استفاده شد.

در هر گلدان حدود تعداد ۱۰۰ بذر ذرت علوفه‌ای از نوع سینگل کراس ۷۰۴ با فاصله‌ی ۲ سانتی‌متری کاشته شد. ذرت مورد استفاده از نوع علوفه‌ای بوده که یکی از ارقام سازگار با شرایط محیطی شهر نیشابور می‌باشد. مطابق برنامه‌ریزی‌های انجام شده کاشت ذرت در تاریخ اول تیر ماه ۱۳۹۴ به صورت دستی و در عمق شخم ۵ سانتی‌متری انجام شد و در اواسط آبان ماه به اتمام رسید. عملیات آبیاری و وجین علف هرز با دست انجام شد و هیچ نوع کود و سموم آفت‌کش نیز در این طرح به کار نرفت. در زیر گلدان‌ها محفظه‌هایی برای جمع‌آوری آب آبیاری زهکشی شده از انتهای ریشه به منظور اندازه‌گیری مقدار نیترات موجود در آب زهکشی شده، نصب شد. بعد از هر آبیاری یک نمونه از آب زهکشی شده جمع‌آوری و مقدار نیترات آن در آزمایشگاه تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب شهر نیشابور اندازه‌گیری شد. نکته این که مقدار اولیه‌ی نیترات نیز قبل از هر آبیاری اندازه‌گیری شد تا بتوان تغییرات غلظت نیترات موجود در فاضلاب را قبل و بعد از هر آبیاری تعیین نمود. هم‌چنین مقدار اولیه‌ی نیترات موجود در خاک‌های مورد استفاده قبل و بعد از استفاده از فاضلاب در آزمایشگاه مکانیک خاک دانشگاه فردوسی مشهد اندازه‌گیری شده تا بتوان تغییرات غلظت نیترات موجود در خاک و پساب فاضلاب را قبل و بعد از آبیاری تعیین نمود.

تعیین ظرفیت آبیاری

مطابق مطالعه‌ها و تجربه‌ای به دست آمده، مشخص شد که آبیاری ذرت علوفه‌ای در تیمارهای مختلف به صورت ۱۰۰ درصد آبیاری ظرفیت زارعی و ۸۰ درصد آبیاری ظرفیت زارعی و دوره‌های ۱۰ و ۸ روزه امکان‌پذیر است. بنابراین در اجرای نقشه‌ی نهایی طرح ابتدا حجم ظرفیت زارعی آبیاری شناسایی شد.

برای تعیین میزان ظرفیت زارعی ذرت علوفه‌ای از لوله‌های پلی اتیلن دو جداره به قطر ۵۰ و ارتفاع ۷۰ سانتی‌متر استفاده شد. علت ارتفاع لوله‌ها به این دلیل است که حداکثر نفوذ ریشه‌ی ذرت علوفه‌ای کم‌تر از ۶۰ سانتی‌متر است. در شرایط طبیعی ۳۰ سانتی‌متر اول عمق خاک سطح‌الارض و ۳۰ سانتی‌متر دوم عمق خاک تحت‌الارض لحاظ شد. خاک مورد نظر از محل آزمایش برداشت شد به‌طوری که ابتدا از خاک محل مورد نظر ۳۰ سانتی - متر اول به اندازه‌ی پیش‌بینی شده برداشت و دپو گردید و سپس تا ارتفاع ۶۰ سانتی‌متری از سطح زمین کشت به مقدار لازم خاک تحت‌الارض برداشت شد. در مرحله‌ی بعدی خاک‌های دپو شده در محل آزمایشگاه با ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر از کف لوله از خاک‌های تحت‌الارض و تا ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر از خاک‌های سطح‌الارض در لوله‌ها ریخته شد. در مرحله‌ی بعدی با ترازوهای بسیار دقیق وزن تمام لوله‌ها به صورت یکسان توزین شد. بعد از این مرحله برای جمع‌آوری آب زهکشی شده، با پلاستیک لوله‌ها ایزوله و در قسمت پایین با ایجاد روزنه‌هایی شرایط برای استخراج آب زهکشی شده فراهم شد و در ته لوله‌ها ظروفی فلزی با یک شیر کنترل تعبیه شد. در انتها برای اشباع خاک مقداری پساب فاضلاب تصفیه شده در داخل ظروف فلزی ریخته شد تا از انتهای کف لوله‌ها عمل اشباع خاک انجام شود تا ضمن خروج هوا، خاک به طور کامل اشباع بشود تا بتوان وزن و مقدار آب و پساب را اندازه‌گیری کرد. پس از طی مراحل فوق و اندازه‌گیری تفاوت آبیاری اول تا مرحله‌ی غرقاب شدن و میزان حجم پساب زهکشی شده عدد ۲۳ لیتر به دست آمد و مشخص شد که حداکثر ظرفیت زارعی خاک (۱۰۰ درصد) ۲۳ لیتر و ۸۰ درصد ظرفیت زارعی ۱۸ لیتر است.

آبیاری

آبیاری گلستان‌ها به صورت دستی به طوری که میزان آب مصرفی در هر گلستان و در هر دوره‌ی آبیاری برای ۱۰۰ درصد ظرفیت آبیاری ۲۳ لیتر و ۸۰ درصد ظرفیت زراعی ۱۸ لیتر انجام شد. نمونه پساب‌های فاضلاب برای آبیاری از آخرین مرحله‌ی فرآیند تصفیه‌ی (تصفیه‌ی بیولوژیکی) برداشت شد. اولین آبیاری در تاریخ ۴ تیر ۱۳۹۴ (آخرین آبیاری ۱۰ آبان ماه) اعمال گردید و در مجموع برای نمونه‌های ۱۰ روزه ۱۴ مرتبه و ۸ روزه ۱۷ مرتبه آبیاری انجام شد. در جدول ۲ میانگین برخی از مشخصه‌های پساب فاضلاب تصفیه‌خانه‌ی شهر نیشابور ارائه شده است.

جدول ۲: برخی از مشخصه‌های پساب خروجی فاضلاب تصفیه‌خانه‌ی نیشابور

مشخصه	عملکرد	مشخصه	عملکرد
جمعیت تحت پوشش (هزار نفر)	۲۶۵	میکروارگانسیم‌ها (mpn)	≤ 9400
ظرفیت اسمی (مترمکعب در روز)	۱۳۵۰۰	EC (umohs/cm)	۱۳۸۱
تولید واقعی (مترمکعب در روز)	۱۲۱۵۶	اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی (mg/l)	۹۰
pH	۷.۸۵	اکسیژن‌خواهی شیمیایی (mg/l)	۱۸۰
سولفات (میلی گرم بر لیتر)	۴۱۰	نیترات (میلی گرم بر لیتر)	۷۰
کل جامدات معلق (میلی گرم بر لیتر)	۲۷۳	کدورت (NTU)	۱۱۰

(ماخذ: گزارشات مرکز آزمایشگاه تصفیه‌خانه‌ی نیشابور)

در اواسط آبان ماه پس از رسیدن و کامل شدن مراحل کشت ذرت و به ثمر رسیدن ذرت‌ها، آبیاری قطع شد و تمام اندازه‌گیری‌های نیترات موجود در پساب تصفیه شده (آبیاری) و آب زهکشی شده در آزمایشگاه تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب نیشابور با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. لازم به ذکر است که آزمایشگاه مورد نظر موفق به دریافت ایزو ۱۷۰۲۵ (کیفیت و احراز صلاحیت آزمایشگاه‌های آزمون و کالیبراسیون) در سال ۱۳۸۸ شده است.

۳. یافته‌های پژوهش

داده‌های جمع‌آوری شده‌ی آزمایشات از طریق شیوه‌های متداول آماری متناسب با ماهیت داده‌های اولیه و ماهیت پژوهش در بستر نرم‌افزارهای SAS9.2 تجزیه و تحلیل شد. در ابتدا قبل از محاسبات و تجزیه و تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده با شیوه‌ی آماری فاکتوریل در قالب طرح بلوکی کاملاً تصادفی، مطابق شیوه‌های متداول آماری پیش فرض‌های زیر بایستی بررسی شود که در ادامه ارائه شده است (۵).

۳-۱- بررسی داده‌های پرت (خارج از رده)

داده‌های پرت، داده‌هایی هستند که خارج از دامنه‌ی معمول و منطقی سایر داده‌ها قرار دارند و بیش‌تر به دلیل خطای آزمایش به وجود می‌آیند. نحوه‌ی شناسایی داده‌های پرت این گونه است که ابتدا مقدار خطای آزمایش برآورد شده و سپس مقادیر پیش‌بینی شده‌ی هر یک از مشاهدات محاسبه و در نهایت انحراف معیار مقادیر مشاهده شده از مقادیر پیش‌بینی شده‌ی هر یک از مشاهدات به مقادیر باقی‌مانده محاسبه می‌شود. منطبق بر توزیع تابع نرمال و رابطه‌ی $(\sum |x_i - \mu| = 0)$ ، داده‌هایی که در فاصله‌ی $\pm 2/5$ مقدار انحراف معیار خطای آزمایش مشاهدات $(2.5 < Rmse < 2.5)$ قرار داشته باشند، به‌عنوان داده‌های پرت در نظر گرفته می‌شوند. نتیجه‌ی بررسی داده‌های پرت پژوهش که در بستر نرم‌افزار SAS9.2 انجام شد. مقدار انحراف معیار خطای آزمایش ۰/۰۵۵ برآورد شد که در فاصله‌ی $(2.55 < Rmse < 2.55)$ نشان از عدم وجود داده‌های پرت دارد.

۳-۲- آزمون توزیع نرمال بودن خطاهای آزمایش

برای بررسی توزیع نرمال داده‌ها (در تحلیل واریانس خطاهای آزمایش) از سه آزمون شاپیرو و بلک، کولموگروف-اسمیرنوف و کرامر-وان مایسس استفاده شد. آزمون فرض مورد استفاده که شامل فرض‌های صفر (ختی) و یک (تحقیق) می‌باشد به صورت زیر خواهد بود.

$$\begin{cases} H_0: X \sim N(0, 1) \\ H_1: \text{NOT } H_0 \end{cases}$$

(1)

فرض صفر در آزمون‌های فوق به معنای وجود توزیع نرمال در خطاهای آزمایشی است و نتایج آزمون که در بستر نرم افزار SAS9.2 انجام شد در جدول ۳ آمده است (۶).

جدول شماره ۳: نتایج آزمون بررسی نرمال بودن خطاهای آزمایش

عنوان	آماره‌ی آزمون	سطح احتمال برآورد (pr)	نتیجه
شاپیرو و بلک	۰/۹۲۹	۰/۳۷	H_0 پذیرش
کولموگروف-اسمیرنف	۰/۱۲۶	۰/۱۵	H_0 پذیرش
کرامر-وان مایسس	۰/۰۳۷	۰/۲۵	H_0 پذیرش

مطابق جدول مقدار سطح احتمال برآورد آزمون در سطح حداقل اطمینان ۹۵ درصد بیان گر پذیرش فرض $H_0 (X \sim N(0, 1))$ در مقابل فرض H_1 است و نشان می‌دهد داده‌های جمع‌آوری شده دارای توزیع نرمال هستند.

۳-۳-آزمون یکنواختی واریانس‌ها

در تحلیل واریانس، فرض بر این است که تیمارهای آزمایش باید دارای واریانس‌های یکنواختی باشند تا امکان تلفیق داده‌های تیمارها با آزمایش‌های مختلف برای آنالیز واریانس فراهم شود. برای این منظور از آزمون‌های لون، براون-فورست، بارتلت و اویرین استفاده شد (جدول ۴) (۶).

جدول ۴: نتایج آزمون یکنواختی واریانس‌ها

عنوان	آماره	آماره‌ی آزمون	سطح احتمال برآورد (pr)	نتیجه
لون	(Fفیشر)	۲/۹۸	۰/۰۹۶	H_0 پذیرش
براون-فورست	(Fفیشر)	۰/۴۲	۰/۷۴	H_0 پذیرش
اویرین	(Fفیشر)	۱/۳۳	۰/۳۳	H_0 پذیرش
بارتلت	(X^2 کای دو)	۴/۱۰۹	۰/۲۴	H_0 پذیرش

مطابق جدول مقدار سطح احتمال برآورد شده برای تمام آزمون‌ها، بیش‌تر از سطح خطای ۰/۰۵ است و در نتیجه فرض H_0 پذیرفته می‌شود. به این معنی که واریانس‌ها یکنواخت بوده و تجزیه‌ی واریانس داده‌ها می‌تواند انجام شود. مدل آماری مورد استفاده در این پژوهش نظر به شرایط موجود و هدف مدل آماری آزمایشی فاکتوریل است. مدل‌های فوق از تعدادی فاکتور و نوع طرح پایه (کامل تصادفی، کاملاً تصادفی و مربع لاتین) پیروی می‌نماید. به تعبیری، مدل آماری این نوع آزمایش‌ها مشابه مدل آماری طرح‌های پایه است، با این تفاوت که در آن‌ها اثر تیمارها به آثار اصلی هر یک از فاکتورها و اثر متقابل دو یا چند جانبه بین تمامی فاکتورها تفکیک می‌شود. مدل آماری ۱ برای نمونه یک آزمایش فاکتوریل دو فاکتوره در قالب طرح کامل تصادفی است.

$$X_{ijk} = \mu + R_i + A_j + (AB)_{jk} + E_{ijk} \quad (\text{مدل - ۱}) \quad (2)$$

مطابق مدل فوق:

X_{ijk} : مشاهدات مربوط به تکرار k ام از سطح j ام فاکتور A و سطح k ام فاکتور B .

μ : میانگین کل مشاهدات.

A_j : اثر سطح j ام فاکتور A .

B_k : اثر سطح k ام فاکتور B.

AB_{JK} : اثر متقابل دو فاکتور A و B

نتایج مربوط به تیمارها، فاکتور اصلی پساب فاضلاب و آبیاری معمولی و همچنین اثر متقابل آن‌ها مطابق جدول ۵ است. هم‌چنین برای بررسی اثرات اصلی و متقابل تیمارها از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار با سطح اطمینان ۱ درصد استفاده شد (جدول ۸).

جدول ۵: آنالیز واریانس تیمارها، فاکتورهای اصلی و اثر متقابل فاکتورها

مدل	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مجموع مربعات	آماره‌ی آزمون	سطح معنی‌داری آزمون
تیمار (T)	۱۲/۶۵	۱۷	۰/۷۴	۲۹/۲۹	۰/۰۰۰۱
آبیاری با پساب (A)	۱۲/۲۱۴	۳	۴/۰۷۱	۲۹/۲۹	۰/۰۰۰۱
آبیاری با آب معمولی (B)	۰/۳۸۱	۵	۰/۰۷۶	۰/۵۵	۰/۷۳۸۶
اثر متقابل (A×B)	۰/۰۶۳	۹	۰/۰۰۷	۰/۰۵	۱/۰
خطای آزمایش (E)	۴/۱۷۱	۳۰	۰/۱۳۹	-	-
کل (G)	۱۶/۸۲۸	۴۷	-	-	-

۴. تحلیل، بحث و نتیجه

با توجه به کمبود آب در مناطق خشک و نیمه خشک مانند ایران، در راستای اجرای تدابیری برای توسعه و بهره‌برداری از منابع آبی جدید به‌خصوص در بخش کشاورزی، استفاده از پساب می‌تواند به‌عنوان منابع آب مورد توجه قرار گیرد. با این کار نه تنها بخشی از کمبود آب کشاورزی جبران می‌شود، بلکه از اثرات سوء تخلیه بی‌رویه‌ی پساب‌ها و خسارات وارده آن به منابع کشاورزی و محیط زیست و نیز منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی جلوگیری می‌شود. استفاده از پساب باعث جلوگیری از تخلیه‌ی فاضلاب‌ها به محیط زیست، کاهش استفاده از کودهای سنتزی و جلوگیری از بروز اثرات تخریبی این مواد بر محیط زیست می‌گردد. مطابق بر جدول ۵ مواد زیر قابل ملاحظه است:

- مقدار سطح معنی‌داری آزمون F برای تیمارها (T) کم‌تر از مقدار a (۱ درصد) است، بنابراین با احتمال حداقل ۹۹ درصد فرض $H_0 (\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k)$ پذیرفته نمی‌شود و به آن مفهوم است که بین تیمارها تفاوت معنی‌داری وجود دارد. به تعبیری مقدار نیتروژن موجود در آب زهکشی هر یک از ۴۸ تیمار یکسان نبوده و اختلاف معنی‌داری با یک دیگر دارند. نتیجه‌ی کلی که از این موضوع برداشت می‌شود این است که سطوح آبیاری ۱۰۰ و ۸۰ درصد آبیاری و دوره‌های آبیاری ۱۰ و ۸ روزه در جذاب مقدار نیترات توسط گیاه ذرت تأثیر گذار است.
 - مقدار سطح معنی‌داری آزمون F برای فاکتور اصلی فاکتور آبیاری با پساب فاضلاب (A) کم‌تر از مقدار a (۱ درصد) است، بنابراین با احتمال حداقل ۹۹ درصد فرض $H_0 (\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4)$ پذیرفته نمی‌شود و به آن مفهوم است که در سطوح فاکتور آبیاری با پساب فاضلاب (A) تفاوت معنی‌داری وجود دارد. این وضعیت می‌تواند به دلیل وجود نیترات در پساب فاضلاب و تغییرات سطح آن در دوره‌های آبیاری گوناگون باشد.
- هم‌چنین در سطح حداقل اطمینان ۹۹ درصد بین تیمارهای آبیاری با پساب فاضلاب تفاوت معنی‌داری وجود دارد (جدول ۶)

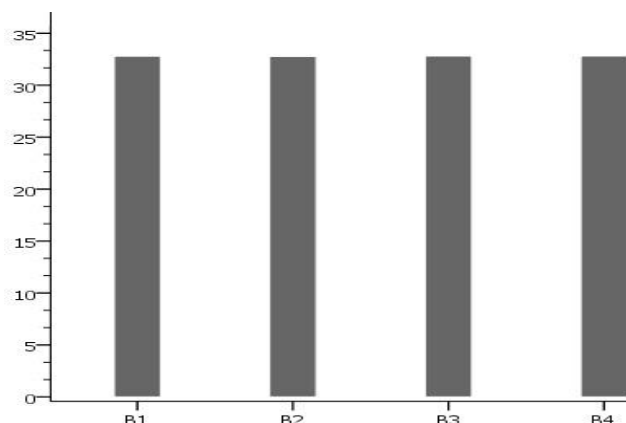
جدول ۶: آزمون توکی برای مقایسه‌ی گروه‌های آبیاری با پساب فاضلاب

تیمار	تعداد	میانگین	گروه
A_2	۱۲	۳۳/۰۵۳	A
			A
A_1	۱۲	۳۳/۰۱۵	A
			B

B				
B	C	۳۲/۴۹۴	۱۲	A ₃
C				
C	C	۳۲/۱۸۱	۱۲	A ₄

مطابق اطلاعات جدول ۶ مشاهده می شود تفاوت معنی داری بین تیمارهای A₂ و A₃ و تیمارهای A₃ و A₄ وجود ندارد (دارای دو حرف مشترک دارند) و بین سایر تیمارها (A₃-A₄, A₂-A₄, A₂-A₃, A₁-A₄, A₁-A₃) تفاوت معنی داری وجود ندارد.

- سطح معنی داری آزمون برای فاکتور آبیاری با آب معمولی (B) و اثر متقابل آبیاری با پساب و آب معمولی (A×B) بیش تر از مقدار a (۱ درصد) است، بنابراین با احتمال حداقل ۹۹ درصد فرض H₁ پذیرفته نمی شود و تفاوت معنی داری بین سطوح فاکتور آبیاری با آب معمولی (A) وجود ندارد (شکل ۱). معنی دار نبودن فاکتور آب معمولی به این دلیل است که مقدار نیترات موجود آن در سطح پائینی است (میانگین ۱/۷۹ میلی گرم بر لیتر).



شکل ۱: نمودار مقایسه‌ی گروه‌های آبیاری با پساب فاضلاب

- پذیرش فرض H₀ (معنی دار نبودن آزمون) اثر متقابل دو فاکتور آبیاری با پساب و آب معمولی (A×B) به این معنی است که فاکتورها از هم مستقل هستند و اثر متقابلی بر یک دیگر ندارند. این وضعیت می تواند به دلیل تغییرات محسوس بین مقدار نیترات در پساب فاضلاب (فاکتور A) و آبیاری با آب معمولی (فاکتور B) باشد.
- مقایسه‌ی مقدار نیتروژن در پساب فاضلاب و آب معمولی قبل و بعد از آبیاری که از طریق آزمون مقایسه‌ی زوجی انجام شد (جدول ۶) گواه این موضوع است که جذب نیترات در گیاه و خاک اندک بوده و این موضوع برای سلامت استفاده کنندگان از اجزای گیاه ذرت علوفه‌ای (زنجیره‌ی غذایی) تأثیر معنی داری ندارد. این در حالی است که آب زهکشی شده که در نهایت جذب خاک‌های زیر کشت خواهد شد حاوی نیترات زیادی است که می تواند تأثیر مخربی در سطح کیفیت منابع آبی منطقه‌ی نیشابور داشته باشد. این موضوع از طریق آزمون مقایسه‌ی زوجی دو جامعه‌ی مستقل که در بستر نرم افزار MiniTab 17 انجام شده در جدول ۷ ارایه شده است.

$$\begin{cases} H_0: \mu_X - \mu_Y = 0 \\ H_1: \text{NOT } H_0 \end{cases}$$

(3)

جدول ۷: آزمون زوجی مقایسه‌ی مقدار نیترات پساب فاضلاب و آب زهکشی شده بعد از آبیاری

اختلاف میانگین	انحراف معیار	خطا	۹۹ درصد		آماره‌ی آزمون	سطح معنی داری آزمون
			حداقل	حداکثر		
۰/۲۴۲	۱/۱۷	۰/۲۴۸	-۰/۹۱۲	۰/۴۲۸	-۰/۰۱۳	۰/۳۲۲

مطابق داده‌های جدول ۶ از آن جایی که سطح معنی‌داری آزمون بیش‌تر از α است، بنابراین فرض $H_0: \mu_x - \mu_y = 0$ در سطح ۹۹ درصد اطمینان پذیرفته می‌شود و نتیجه این که میزان نیترا در پساب اولیه‌ی آبیاری با آب زهکشی شده تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. به عبارت دیگر مقدار کمی از نیترا در پساب جذب خاک یا گیاه ذرت شده است.

نظر به این که اثر متقابل دو فاکتور معنی‌دار نیست، اما با توجه به این که نوع اثر متقابل دو فاکتور از نوع تغییر در ترتیب است، لذا نمی‌توان مقایسه‌ی بین میانگین فاکتورها را برای انتخاب بهترین ترکیب دو فاکتور انجام داد. نتایج مقایسه‌ی میانگین سطوح اثر متقابل پساب فاضلاب و آب معمولی در جدول ۸ ارائه شده است.

جدول ۸: مقایسه‌ی میانگین سطوح اثرات متقابل پساب فاضلاب و آب معمولی

تیمار	میانگین عملکرد زهکشی	
	آب معمولی (B)	پساب فاضلاب (A)
A ₁	B ₁	۳۳/۰۲
A ₁	B ₂	۳۲/۹۸
A ₁	B ₃	۳۳/۰۳
A ₁	B ₄	۳۳/۰۳
A ₂	B ₁	۳۳/۵۰
A ₂	B ₂	۳۳/۴۸
A ₂	B ₃	۳۳/۵۱
A ₂	B ₄	۳۳/۵۱
A ₃	B ₁	۳۲/۴۶
A ₃	B ₂	۳۲/۴۶
A ₃	B ₃	۳۲/۵۰
A ₃	B ₄	۳۲/۵۱
A ₄	B ₁	۳۲/۱۸
A ₄	B ₂	۳۲/۱۵
A ₄	B ₃	۳۲/۱۹
A ₄	B ₄	۳۲/۱۹

مطالعات اولیه نشان می‌دهد نیترا از برجسته‌ترین شاخص‌های فاضلاب است و تبدیل آن به نیترا نیتريد از طریق معدنی شدن و نیتريفیکیشن می‌تواند غلظت نیترا نیتريد را در آب‌های زیرزمینی از حد استانداردهای مجاز افزایش دهد. بررسی نتایج پژوهش نشان می‌دهد که از پساب فاضلاب تصفیه‌خانه‌ی نیشابور می‌توان برای آبیاری کشت ذرت استفاده کرد. زیرا نیترا کمی توسط ذرت جذب شده و مقدار آن از استانداردهای موجود کم‌تر است و تأثیر مخربی در زنجیره‌ی ارزش غذایی ندارد. از سویی دیگر، با توجه به پایین بودن عمق منابع آبی زیر سطحی منطقه‌ی اطراف تصفیه‌خانه‌ی شهر نیشابور و هم‌چنین نزدیکی آن به رود کال شور استفاده از پساب فاضلاب تصفیه‌خانه در کشت ذرت سبب افزایش ریسک آلودگی منابع آبی منطقه به نیترا در بلند مدت می‌شود. با این حال نظر به جذب پایین نیترا در ذرت می‌توان از پساب فاضلاب برای کشت ذرت در مناطقی از کشور که عمق منابع آبی زیر سطحی آنها زیاد است استفاده کرد.

حجم آب‌های نامتعارف از جمله پساب شهری در ایران در سال ۱۳۷۵، از ۳۱۹ میلیون مترمکعب به ۱۵۳۶ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۹۴ رسیده (رشد ۳۸۲ درصدی) و پیش‌بینی می‌شود که حجم پساب در سال ۱۴۰۰ به ۷ میلیارد مترمکعب در سال برسد. بنابراین ضرورت دارد وضعیت این پساب‌ها در قالب تحقیقات آزمایشی در کشور مورد بررسی جدید قرار گیرد. با در نظر گرفتن نیاز آبی بسیاری از گیاهان و شرایط محیطی و مطالعات زیست‌محیطی می‌تواند بخشی از نیازهای محصولات کشاورزی کشور را تأمین نماید. هر چند پساب فاضلاب‌های شهری به لحاظ اقتصادی کارآمد به نظر می‌رسند، اما در صورت مطالعات آثار مواد شیمیایی، آلی و فلزی سبب کاهش ریسک مخاطرات زیست‌محیطی و سلامتی انسان‌ها می‌شود.



کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵



۵. مراجع

۱. دفتر نظارت مالی، بودجه و مجامع عمومی (۱۳۹۵) "گزارش نتایج عمل (شرکت‌های آب و فاضلاب شهری) - روایت شانزدهم"، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

۲. آمارنامه استان خراسان رضوی، ۱۳۹۲

۳. وزرات نیرو از منظر مجلس، ۱۳۹۵،

۴. علی‌زاده، زهرا (۱۳۸۹) "نیترات و نیتريت در آب آشاميدنی"، انتشارات محقق زنجان

۵. ربیعی، بابک و محیط، اردشیر (۱۳۹۲) "تجزیه و تحلیل طرح‌های آزمایشی در پژوهش‌های کشاورزی (با تاکید بر نرم‌افزار SAS)"، انتشارات دانشگاه گیلان

6. fruits in the endemic upper gastrointestinal cancer region of Turkey", Environ. Toxicol, Phamacol.13: 175-179

7. Alan S. Wyatt (2010) "Non-Revenue Water: Financial Model for Optimal Management in Developing Countries", RTI Press publication