Study of Nitrate Transfer in Corn Fodder Cultivation using Treated Urban Wastewater as Reuse water (Case Study: Neyshabur Sewage Treatment Plant Effluent)

M. Taheri[1], A. Alizadeh[2], A.R. Farid Hosseini[3], H. Ansari[2]

1. PhD Student of Irrigation and Drainage, Ferdowsi Universtiy of Mashhad, Mashhad, Iran
2. Prof., College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
3. Assoc. Porf., College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
(Corresponding Author) afraid@yahoo.com

(Received May 23, 2017 Accepted Sep. 3, 2017)

To cite this article :
Taheri, M., Alizadeh, A., Farid Hosseini, A.R., Ansari, H., 2018, "Study of nitrate transfer in corn fodder cultivation using treated urban wastewater as reuse water (case study: neyshabur sewage treatment plant effluent)." Journal of Water and Wastewater, 29(6), 114-123. Doi: 10.22093/wwj.2017.86351.2411 (In Persian)

Archive of SID

Abstract

Agricultural irrigation with treated wastewater effluent may be used for crop production, but due to elevated of certain contaminants (e.g. nitrate or nitrite) may adversely impact the quality of groundwater. This research was carried out to investigate the transfer of nitrate in deep soil that was planted with corn fodder crop using treated effluent from the sewage treatment plant in the city of Neyshabur during 2012-2013. The study data were collected in pot cultivation with the same condition and under a completely randomized design. The irrigation with wastewater effluent and conventional raw water was performed at four levels comprised of: 100% irrigation capacity and 80% irrigation capacity for two irrigation periods of 8 and 10 days and 3 replications. The result of this study showed that irrigation levels and irrigation periods affected the absorption of nitrate by corn. Comparison of the amount of nitrogen in wastewater effluent and conventional raw water before and after irrigation showed that the nitrate absorption in the plant was low (below the standard level) and there is no significant health issue for the users of the corn forage components in the food chain. Also, the average nitrate concentration (on mass basis) of wastewater effluent after irrigation (drainage water) was about 64 mg/kg and the nitrate content in the soil under irrigation was about 59 mg/kg. Irrigation of corn with treated wastewater does not increase the health hazards of the crop and the soil, but there is still a high risk of nitrate pollution for the water resources in the area.

Keywords: Fodder Corn, Nitrate, Refined Wastewater, Contamination of Water Resources.

www.SID.ir

بررسی انتقال نیترات از پساب تصفیه شده فاضلاب شهری به‌منظور استفاده مجدد از پساب برای کشت ذرت علوفه‌ای (مطالعه موردی: تصفیه‌خانه فاضلاب نیشابور)

محمد طاهری[۱]، امین علیزاده[۲]، علیرضا فرید حسینی[۳]، حسین انصاری[۲]

۱- دانشجوی دکترای رشته آبیاری و زهکشی، واحد بین الملل دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲- استاد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۳- دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(نویسنده مسئول) afraid@yahoo.com

(دریافت ۹۶/۳/۲ پذیرش ۹۶/۶/۱۲)

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام بفرمایید:
طاهری، م.، علیزاده، ا.، فرید حسینی، ع. ر.، انصاری، ح.، ۱۳۹۷، "بررسی انتقال نیترات از پساب تصفیه شده فاضلاب شهری به‌منظور استفاده مجدد از پساب برای کشت ذرت علوفه‌ای (مطالعه موردی: تصفیه‌خانه فاضلاب نیشابور)" مجله آب و فاضلاب، ۲۹(۶) ۱۲۳-۱۱۴. Doi: 10.22093/wwj.2017.86351.2411

چکیده

با وجود این که آبیاری با پساب سبب تقویت خاک و رشد محصولات می‌شود، ولی نشت نیترات ناشی از تلفات زیرسطحی بر کیفیت آب‌های زیرزمینی تأثیرگذار است. این پژوهش به‌منظور بررسی انتقال نیترات از زمین‌های تحت کشت ذرت علوفه‌ای که با پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهر نیشابور آبیاری می‌شوند، در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ انجام شد. داده‌های مورد بررسی به‌صورت گلدانی بر اساس کشت ذرت در شرایط یکسان جمع‌آوری شد و در قالب طرح بلوکی کاملاً تصادفی در دو فاکتور اصلی آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده و آبیاری با آب معمولی در چهار سطح ۱۰۰ درصد ظرفیت آبیاری و ۸۰ درصد ظرفیت آبیاری برای دو دوره آبیاری ۸ و ۱۰ روزه و ۳ تکرار انجام شد. نتایج این پژوهش نشان داد که سطوح آبیاری و دوره‌های آبیاری در جذب مقدار نیترات توسط گیاه ذرت تأثیرگذار است. مقایسه مقدار نیتروژن در پساب فاضلاب تصفیه شده و آب معمولی قبل و بعد از آبیاری گواه این موضوع است که جذب نیترات در گیاه، اندک و زیر حد استاندارد است و این موضوع برای سلامت استفاده‌کنندگان علوفه‌ای در زنجیره غذایی تأثیر معنی‌داری ندارد. همچنین میانگین غلظت نیترات پساب تصفیه شده پس از آبیاری (آب زهکشی) ٦٤/٢٨ میلی‌گرم در لیتر و میزان نیترات موجود در خاک آبیاری شده در لایه زیرین خاک ٥٨/٦ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. آبیاری با پساب تأثیری در افزایش مخاطرات بهداشتی برای گیاه ذرت و خاک ندارد، ولی خطر زیادی در آلودگی منابع آبی منطقه به نیترات در بر خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: ذرت علوفه‌ای، انتقال نیترات، فاضلاب تصفیه شده، آلودگی منابع آبی

۱- مقدمه

ایران به‌دلیل قرار گرفتن در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان، در زمره کشورهای با محدودیت منابع آب قلمداد می‌شود. با توجه به این که سطح بسیار زیادی از مناطق کشور دارای آب و هوای خشک و آفتابی است و بسیاری از محصولات کشاورزی (مانند ذرت علوفه‌ای) با این نوع آب و هوا سازگاری دارند، لذا استفاده از پساب فاضلاب تصفیه شده در آبیاری محصولات کشاورزی در این مناطق مورد توجه است. در شهرستان نیشابور به لحاظ وجود زمین‌های مستعد کشاورزی، دمای مناسب و شرایط سازگاری کشت ذرت علوفه‌ای، از پساب فاضلاب تصفیه شده می‌توان برای آبیاری استفاده کرد. با توجه به وجود حجم بسیار زیاد پساب

Archive of SID
www.SID.ir

dx.doi.org/10.22093/wwj.2017.86351.2411

فاضلاب تصفیه شده در شهرستان نیشابور، لازم است اثرات زیست محیطی استفاده از پساب فاضلاب تصفیه شده برای آبیاری محصولات کشاورزی با توجه به الگوی کشت متداول در این منطقه بررسی شود که پژوهش حاضر در این راستا انجام شد.

مراجع بین‌المللی و داخلی در زمینه استفاده از پساب فاضلاب تصفیه شده برای کشاورزی، استانداردهای متنوعی برای تعیین درصد مجاز مواد شیمیایی، آلی و فلزات تهیه و تدوین نموده‌اند. با این حال با توجه به خطر آلودگی منابع آبی و خاک در بلندمدت در مورد استفاده از پساب فاضلاب تصفیه شده‌ای که در سطح کیفی استانداردهای جهانی و محلی قرار دارد نیز باید مطالعات جامعی در مورد جذب مواد شیمیایی و آلی در گیاه و خاک با توجه به نوع محصول، نوع خاک منطقه، شرایط جغرافیایی و غیره انجام شود. پژوهش حاضر در همین راستا برای محصول زراعی ذرت علوفه‌ای در زمین‌های اطراف تصفیه‌خانه نیشابور انجام شد.

مطابق گزارش‌های نهادهای بین‌المللی، بیش از ۸۰ درصد از کل بیماری‌های کشورهای کم توسعه معادل ۱/۵ میلیارد بیماری مربوط به آب بوده که بیشتر از طریق ورود فاضلاب‌ها به منابع آبی ایجاد می‌شوند.

مصرف محصولات کشاورزی آلوده به مواد شیمیایی سبب کاهش برخی از مواد مغذی و توان دفاعی ایمنی بدن، تأخیر رشد جنین، سوء تغذیه و شیوع انواع سرطان می‌شود (Wyatt, 2010).

علاوه بر زیان‌های اقتصادی ناشی از بیماری‌های آب، کاهش توان و ظرفیت تولید، هزینه‌های تأمین و توزیع آب آشامیدنی سالم برای تمام جمعیت جهان در سال ۲۰۱۰ در حدود ۵۰ میلیارد دلار بوده است(Wyatt, 2010).

نیترات و سایر مواد شیمیایی یک تهدید بالقوه برای سلامتی انسان‌ها به‌ویژه برای نوزادان است و سبب بیماری متهموگلوبینمی (سندرم نوزاد کبود) می‌شود. این عارضه به‌ویژه اگر نوزاد از شیر خشک رقیق شده با آب آلوده به نیترات زیاد تغذیه شده باشد، بیشتر است. همچنین مصرف طولانی مدت مقدار زیاد نیترات سبب برخی از سرطان‌ها و نقایص جنینی می‌شود (Alizadeh, 2010).

این پژوهش، با هدف بررسی انتقال عمیق نیترات تحت کشت ذرت علوفه‌ای با استفاده از فاضلاب شهری تصفیه شده (مطالعه موردی شهرستان نیشابور) انجام شد. امکان‌سنجی استفاده از پساب فاضلاب تصفیه شده برای آبیاری با ذرت علوفه‌ای، با رویکرد تأثیر نیترات پساب فاضلاب تصفیه شده بر منابع آبی، بدون توجه بر تأثیر پساب فاضلاب تصفیه شده بر عملکرد گیاه و خاک انجام شد.

با این رویکرد در این پژوهش با انجام کشت ذرت علوفه‌ای بر اساس دو فاکتور اصلی آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده (A) و با آب معمولی (B) در ۳ تکرار، میزان تغییرات نیترات در آب زهکشی شده پس از عبور از لایه‌های خاک رو سطحی و زیرسطحی (۶۰ سانتی‌متر) اندازه‌گیری شد. بر اساس تیمارها، فاکتور اصلی آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده (A)، آبیاری با آب معمولی (B) و اثر متقابل آبیاری با آنها (A × B) تحلیل شد.

در سال ۲۰۱۲ در پژوهشی اثر پساب کارخانه پتروشیمی بر خصوصیات زراعی و شیمیایی گندم در منطقه بجنورد بررسی شد. نتایج نشان داد که استفاده از پساب تأثیر معنی‌داری بر مقدار نیتروژن دانه، پروتئین دانه و عملکرد دانه داشته است، به‌طوری که با افزایش نسبت پساب از تیمار ۱ تا ۵ مقدار نیتروژن دانه، پروتئین دانه و عملکرد دانه افزایش یافته است، بنابراین از پساب فاضلاب تصفیه شده می‌توان به‌عنوان یک منبع آب برای آبیاری استفاده کرد و آبیاری با پساب اثر زیان‌آوری بر گندم ندارد (Sarvari et al., 2012).

همچنین در پژوهش دیگری بررسی تأثیر پساب بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در تصفیه‌خانه پرکندآباد مشهد انجام شد (Yazdani, 2011). نتایج پژوهش نشان می‌دهد که با افزایش تعداد آبیاری با پساب مقدار یون‌های سدیم، فسفر، نیترات و نیکل افزایش یافته به‌طوری که بیشترین مقدار در یون‌های نیترات (۳۸ درصد) و سدیم (۸۴ درصد) بوده است.

همچنین در پژوهشی ۲۴۸ نمونه آب زیرزمینی را از ۱۶ چاه در منطقه آل هاشمیه کشور اردن جمع‌آوری و غلظت نیترات را شناسایی کردند و به این نتیجه رسیدند که یک رابطه قوی بین غلظت نیترات و پساب فاضلاب تصفیه شده وجود دارد (Oberidat et al., 2007).

پارکین و لوزون در پژوهشی، انتقال نیترات را برای دو گروه هیدرولوژیکی خاک با استفاده از ردیاب‌های فعال نیترات انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که خسارت‌های ناشی از انتقال نیترات طی سه ماه در حدود ۷۲ درصد بوده است (Parkin and Lauzon, 2000)

در سال ۱۹۹۴ فلاری و همکاران نشان دادند که مقدار انتقال نیترات تحت آبیاری غرقابی بیشتر از آبیاری بارانی است (Flurry

Archive of SID
www.SID.ir

dx.doi.org/10.22093/wwj.2017.86351.2411

et al., 1994). در سال ۲۰۰۰ پژوهشی در مورد انتقال عمیق نیترات در خاک تحت کشت درخت بید در کشور سوئد مورد بررسی قرار گرفت و برای کمّی کردن مقدار نیترات انتقال یافته از پارامترهای مقدار نیترات موجود در فاضلاب، نرخ آبیاری و نوع خاک طی سه سال در ۷۶ لایسی‌متر استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد مقدار نیترات انتقال یافته طی سال اول کشت قابل توجه بوده و از مقدار انتقال آن طی سال دوم و سوم به‌صورت معنی‌داری کاسته شده است. در فرایند انتقال، عمق پارامترهای نوع خاک و مقدار اولیه نیترات تأثیر معنی‌داری داشته در حالی که نرخ آبیاری تأثیر چندانی ندارد (Aronsson and Bergstrom, 2000).

در سال ۲۰۰۴ نیز انتقال عمیق نیترات تحت کشت درخت بید در سوئد مورد بررسی قرار گرفت و از ۸ لایسی‌متر با آبیاری با آب معمولی و فاضلاب استفاده شد. نتایج نشان داد که انتقال عمیق نیترات به‌صورت عمده مربوط به مقدار نیترات موجود در فاضلاب است (Dimitriou and Aronsson, 2004).

در سال ۲۰۰۸ طی پژوهشی از فاضلاب تصفیه شده شهری برای آبیاری پنبه در یونان در قالب طرح کاملاً تصادفی و چهار تکرار استفاده شد. نتایج نشان داد پساب فاضلاب تصفیه شده سبب افزایش مواد آلی، مغذی و خواص فیزیکی خاک و افزایش معنی‌دار هدایت الکتریکی شده و رشد گیاه پنبه را تحت تأثیر قرار داده است (Samaras, Chrisbos and Stamatiad, 2008).

۲- روش پژوهش

در این پژوهش، مطالعه و بررسی انتقال عمیق نیترات تحت کشت ذرت علوفه‌ای با استفاده از فاضلاب شهری تصفیه شده (مطالعه موردی شهرستان نیشابور) انجام شد. در واقع هدف پژوهش، امکان سنجی استفاده از پساب فاضلاب تصفیه شده برای آبیاری ذرت علوفه‌ای، با رویکرد تأثیر نیترات پساب فاضلاب تصفیه شده بر منابع آبی محدوده مکانی پژوهش، بدون توجه بر تأثیر پساب فاضلاب تصفیه شده بر عملکرد گیاه و خاک است. با این رویکرد روش پژوهش به لحاظ جمع‌آوری اطلاعات، از نوع طرح‌های آزمایشی بود.

آزمایش به‌صورت گلدانی بر اساس شیوه آماری فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در ۳ تکرار انجام شد. کشت ذرت علوفه‌ای بر اساس دو فاکتور اصلی آبیاری پساب فاضلاب تصفیه شده (A) و آب معمولی (B) در ۳ تکرار و در دو سطح ۱۰۰ و ۸۰ درصد ظرفیت زراعی و برای دوره‌های آبیاری ۸ و ۱۰ روزه (۴ سطح) انجام شد (جدول ۱). میزان تغییرات نیترات در آب زهکشی شده پس از عبور از لایه‌های خاک رویی و زیرین (۶۰ سانتی‌متر) اندازه‌گیری شد و بر اساس تیمارها، فاکتور اصلی آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده (A)، آبیاری با آب معمولی (B) و اثر متقابل آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده و آب معمولی (A×B) تحلیل شد. در واقع نوع آزمایش از نوع آزمایش‌های غیر 2^n است که در آن بجای ۲ سطح با توجه به هدف پژوهش از ۴ سطح برای هر فاکتور استفاده شده است (4^n).

آزمایش‌ها در شرایط طبیعی با دما و رطوبت محیط انجام شد. محدوده مکانی پژوهش، تصفیه‌خانه فاضلاب نیشابور واقع در کیلومتر ۱۴ جاده نیشابور- کاشمر با مختصات عرض جغرافیایی ۵۸ درجه و ۴۱ دقیقه و طول جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵ دقیقه در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ بود.

این تصفیه‌خانه در سال ۱۳۸۷ به بهره‌برداری رسیده و شیوه تصفیه آن از نوع برکه تثبیت (لاگون) شامل برکه‌های بی‌هوازی ۱/۲ هکتار، اولیه ۷/۸ هکتار و ثانویه ۸/۲ هکتار با کف خاک روس کوبیده و بدنه ژئوممبران است.

نظر به این که تأمین رطوبت، نور و حرارت مناسب در فضای گلخانه‌ای مشکل است و از سویی هدف، انجام آزمایش در شرایط طبیعی بود، تمام اقدامات در شرایط طبیعی و واقعی تصفیه‌خانه نیشابور انجام شد. حدود ۷۰ هکتار از اراضی تصفیه‌خانه شهر نیشابور و زمین‌های اطراف آن چندین سال است که تحت کشت ذرت علوفه‌ای از طریق آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده تصفیه‌خانه شهر نیشابور است و این ذرت به مصرف دام و طیور می‌رسد، لذا پژوهش در مکان تصفیه‌خانه شهر نیشابور انجام شد.

۲-۱- خاک

نمونه خاک مورد استفاده از محل تصفیه‌خانه فاضلاب شهر نیشابور 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

Archive of SID
www.SID.ir

dx.doi.org/10.22093/wwj.2017.86351.2411

جدول ۱- نقشه آزمایش و مشاهدات انتقال عمیق نیترات تحت کشت ذرت علوفه‌ای

Table 1. Mapping tests and observations of nitrate transfer in deep soil under corn fodder cultivation

Irrigation with water (well)				Irrigation with refined wastewater				Factor/level
80% agricultural capacity		100% agricultural capacity		80% agricultural capacity		100% agricultural capacity		
10-day Irrigation	8-day Irrigation	10-day Irrigation	8-day Irrigation	10-day Irrigation	8-day Irrigation	10-day Irrigation	8-day Irrigation	
W_{-22}	W_{-19}	W_{-16}	W_{-13}	Wd_{-10}	Wd_{-07}	Wd_{-04}	Wd_{-01}	Repeat 1
W_{-23}	W_{-20}	W_{-17}	W_{-14}	Wd_{-11}	Wd_{-08}	Wd_{-05}	Wd_{-02}	Repeat 1
W_{-24}	W_{-21}	W_{-18}	W_{-15}	Wd_{-12}	Wd_{-09}	Wd_{-06}	Wd_{-03}	Repeat 1

به شرایط کاشت ۳۰ سانتی‌متر اول خاک از لایه رویی و ۳۰ سانتی‌متر دوم خاک از لایه زیرین بوده است و نحوه قرار گرفتن خاک‌ها در داخل گلدان‌ها نیز به همین شکل بود به‌طوری که شرایط طبیعی زمین رعایت شود. نمونه خاک‌های برداشت شده دقیقاً در شرایط طبیعی به میزان لازم به محل مورد نظر آزمایش منتقل شد. در مرحله 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 آب‌بندی کردن آن‌ها و تعبیه 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 شماره ۱ تا ۲۴، طبق جدول ۱، شماره‌گذاری شدند و برای اختصاص گلدان‌ها به تیمارها از جدول اعداد تصادفی استفاده شد.

در هر گلدان تعداد ۱۰۰ بذر ذرت علوفه‌ای از نوع سینگل کراس ۷۰۴ به فاصله ۲ سانتی‌متری کاشته شد. ذرت مورد استفاده از نوع علوفه‌ای بود که یکی از ارقام سازگار با شرایط محیطی شهر نیشابور است. مطابق برنامه‌ریزی‌های انجام شده کاشت ذرت در تاریخ اول تیرماه ۱۳۹۴ به‌صورت دستی و در عمق شخم ۵ سانتی‌متری انجام شد و در اواسط آبان‌ماه 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 به‌منظور 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 تصفیه‌خانه فاضلاب شهر نیشابور اندازه‌گیری شد. مقدار اولیه نیترات پساب فاضلاب تصفیه شده نیز قبل از هر آبیاری اندازه‌گیری شد تا تغییرات غلظت نیترات موجود در پساب فاضلاب تصفیه شده قبل و بعد از هر آبیاری تعیین شود. همچنین مقدار اولیه نیترات موجود در خاک‌های مورد استفاده قبل و بعد از استفاده از فاضلاب در آزمایشگاه مکانیک خاک دانشگاه فردوسی مشهد اندازه‌گیری شد تا تغییرات غلظت نیترات موجود در خاک را قبل و بعد از آبیاری تعیین شود.

۲-۲- تعیین ظرفیت آبیاری

مطابق پژوهش‌های انجام شده، مشخص شد که آبیاری ذرت علوفه‌ای در تیمارهای مختلف به‌صورت ۱۰۰ درصد آبیاری ظرفیت زراعی و ۸۰ درصد آبیاری ظرفیت زراعی و دوره‌های ۱۰ و ۸ روزه امکان‌پذیر است. بنابراین در اجرای نقشه نهایی طرح ابتدا حجم ظرفیت زراعی آبیاری شناسایی شد.

برای تعیین میزان ظرفیت زراعی ذرت علوفه‌ای از لوله‌های پلی‌اتیلن دو جداره به قطر ۵۰ و ارتفاع ۷۰ سانتی‌متر استفاده شد. علت ارتفاع لوله‌ها به این دلیل است که حداکثر نفوذ ریشه ذرت علوفه‌ای کمتر از ۶۰ سانتی‌متر است. خاک مورد نظر از محل آزمایش برداشت شد؛ به این صورت که ابتدا از خاک محل مورد نظر ۳۰ سانتی‌متر اول به اندازه پیش‌بینی شده برداشت و دپو شد و سپس تا ارتفاع ۶۰ سانتی‌متری از سطح زمین کشت، خاک زیرین به مقدار لازم برداشت شد. در مرحله بعدی از خاک‌های دپو شده در محل آزمایشگاه، تا ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر از کف لوله از خاک‌های لایه زیرین و تا ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر از خاک‌های لایه رویی در لوله‌ها ریخته شد. در مرحله بعدی با ترازوهای بسیار دقیق وزن تمام لوله‌ها به‌صورت یکسان توزین شد. بعد از این مرحله برای جمع‌آوری آب زهکشی شده، لوله‌ها با پلاستیک ایزوله شدند و در قسمت پایین با ایجاد روزنه‌هایی شرایط برای استخراج آب زهکشی شده فراهم شد و در ته لوله‌ها ظروفی فلزی با یک شیر

Archive of SID
www.SID.ir

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. ضمن خروج هوا، خاک به‌طور کامل اشباع شد و از این طریق وزن و مقدار آب و پساب اندازه‌گیری شد. پس از طی مراحل بالا و اندازه‌گیری تفاوت آبیاری اول تا مرحله غرقاب شدن و میزان حجم پساب زهکشی شده عدد ۲۳ لیتر به‌دست آمد و مشخص شد که حداکثر ظرفیت زراعی خاک (۱۰۰ درصد) ۲۳ لیتر و ۸۰ درصد ظرفیت زراعی ۱۸ لیتر است.

۲-۳- آبیاری

آبیاری گلدان‌ها به‌صورت دستی انجام شد به‌طوری که میزان آب مصرفی در هر گلدان و در هر دوره آبیاری برای ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی آبیاری ۲۳ لیتر و برای ۸۰ درصد ظرفیت زراعی ۱۸ لیتر بود.

نمونه پساب‌ها برای آبیاری از آخرین مرحله فرایند تصفیه (تصفیه بیولوژیکی) برداشت شد. اولین آبیاری در تاریخ ۴ تیر ۱۳۹۴ و آخرین آبیاری ۱۰ آبان ماه اعمال شد و در مجموع برای نمونه‌های ۱۰ روزه ۱۴ مرتبه و برای نمونه‌های ۸ روزه ۱۷ مرتبه آبیاری انجام شد. در جدول ۲ میانگین برخی از مشخصه‌های پساب فاضلاب تصفیه شده تصفیه‌خانه شهر نیشابور ارائه شده است.

جدول ۲- برخی از مشخصه‌های پساب خروجی فاضلاب تصفیه‌خانه نیشابور

Table 2. Selective treatment plant and effluent characteristics of the Neyshabur wastewater treatment plant

Performance	Characteristic
Covered population (thousand)	265
Nominal capacity (m^3/day)	13500
Real production(m^3/day)	12156
pH	7.85
SO_4 (mg/L)	410
TSS (m/L)	273
microorganisms	≤ 9400
EC(mho/cm)	1381
BOD (mg/L)	90
COD (mg/L)	180
NO_3 (mg/L)	70
(NTU)	110

(Reference: Neyshabur Refinery laboratory report)

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 تصفیه‌خانه فاضلاب نیشابور با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد.

جدول ۳- نتایج آزمون بررسی نرمال بودن خطاهای آزمایش

Table 3. Results of normality test errors

Title	Test statistic	Estimated probability level (pr)	Result
Shapiro wilk	0.929	0.37	Accept H_0
K-S	0.126	0.15	Accept H_0
Keramer van	0.037	0.25	Accept H_0

۳- نتایج و بحث

داده‌های جمع‌آوری شده آزمایش‌ها از طریق شیوه‌های متداول آماری متناسب با ماهیت داده‌های اولیه و ماهیت پژوهش در بستر نرم‌افزارهای SAS9.2 تحلیل شد. در ابتدا قبل از محاسبات و تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده با شیوه آماری فاکتوریل در قالب طرح بلوکی کاملاً تصادفی، مطابق شیوه‌های متداول آماری باید پیش فرض‌های الزامی بررسی شود (Rabiei and Mohit, 2013). مهم‌ترین این پیش فرض‌ها عبارت‌اند از: بررسی داده‌های پرت، نرمال بودن خطاهای آزمایش و آزمون یکنواختی واریانس‌ها. به‌طور خلاصه در بررسی داده‌های پرت، فرض عدم وجود داده پرت پذیرفته شد. همچنین با استفاده از سه آماره آزمون شاپیرو و بلک کولموگروف-اسمیرنف و کرامر-وان مایسس، نتایج حاصله از نرمال بودن توزیع خطاهای آزمایش بررسی شد (جدول ۳). نتایج، پذیرش نرمال بودن خطاهای آزمایش در سطح اطمینان ۹۵ درصد را نشان می‌دهد.

همچنین آزمون یکنواختی واریانس با استفاده از آزمون‌های لون، براون-فورست، بارتلت و اویرین انجام شد که نتایج به‌طور خلاصه در جدول ۴ ذکر شده است.

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؛ و به معنی آن است که واریانس‌ها یکنواخت بوده و تجزیه واریانس داده‌ها می‌تواند انجام شود. با توجه به شرایط موجود

Archive of SID
www.SID.ir

dx.doi.org/10.22093/wwj.2017.86351.2411

جدول ۴- نتایج آزمون یکنواختی واریانس‌ها

Table 4. Results of uniformity test variances

Title	Statistic	Test statistic	Estimated probability level (pr)	Result
leven	F	2.98	0.096	Accept H_0
Brown-forest	F	0.42	0.74	Accept H_0
oyrin	F	1.33	0.33	Accept H_0
bartels	x^2	4.109	0.24	Accept H_0

و هدف، مدل آماری مورد استفاده در این پژوهش مدل آماری آزمایشی فاکتوریل است. مدل‌های بالا 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.

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

که در این مدل

X_{ijk} مشاهدات مربوط به تکرار iام از سطح jام فاکتور A و سطح Kام فاکتور B، μ میانگین کل مشاهدات، A_j اثر سطح jام فاکتور A، B_k اثر سطح kام فاکتور B، AB_{JK} اثر متقابل دو فاکتور A و B است.

نتایج مربوط به تیمارها، فاکتور اصلی پساب فاضلاب تصفیه شده و آبیاری معمولی و همچنین اثر متقابل آنها در جدول ۵ نشان داده شده است. همچنین برای بررسی اثرات اصلی و متقابل تیمارها از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار با سطح اطمینان ۱ درصد استفاده شد.

جدول ۵ نشان می‌دهد که مقدار سطح معنی‌داری آزمون F برای تیمارها (T) کمتر از مقدار a (۱ درصد) است، بنابراین با احتمال حداقل ۹۹ درصد فرض H_0 ($\mu_1= \mu_2= \mu_3=\mu_4$) پذیرفته نمی‌شود و مفهوم آن این است که بین تیمارها تفاوت معنی‌داری وجود دارد. به تعبیری مقدار نیتروژن موجود در آب زهکشی هر یک از ۴۸ تیمار یکسان نیست و اختلاف معنی‌داری با یکدیگر دارند و نتیجه‌گیری می‌شود که سطوح ۱۰۰ و ۸۰ درصد آبیاری در دوره‌های آبیاری ۱۰ و ۸ روزه در جذب مقدار نیترات توسط گیاه ذرت تأثیرگذار است. همچنین با توجه به داده‌های جدول ۵، مقدار سطح معنی‌داری آزمون F برای فاکتور آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده (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 تصفیه شده (A)، تفاوت معنی‌داری وجود دارد. این وضعیت می‌تواند به‌دلیل وجود نیترات در پساب فاضلاب تصفیه شده و تغییرات سطح آن در دوره‌های آبیاری گوناگون باشد.

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

Table 5. ANOVA treatments, the main factors and interactions between factors

Model	SS	d.f	MSE	Test Statistics	Significance level
Treatment T	12.65	17	0.74	29.29	0.0001
Irrigation with refined wastewater	12.214	3	4.071	29.29	0.0001
Irrigation with water	0.381	5	0.076	0.55	0.7386
A×B Opposite effect	0.063	9	0.007	0.05	1
Error of test	4.171	30	0.139	-	-
Total	16.828	47	-	-	-

همچنین در سطح حداقل اطمینان ۹۹ درصد بین تیمارهای آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده، تفاوت معنی‌داری وجود دارد. در بررسی غلظت نیترات باقیمانده بر پایه اطلاعات جمع‌آوری شده، میانگین غلظت نیترات پساب فاضلاب تصفیه شده پس از آبیاری (آب زهکشی) ۶۴/۲۸ میلی‌گرم بوده است؛ (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی با دوره آبیاری ۸ روزه ۶۴/۸۲ میلی‌گرم، دوره ۱۰ روزه ۶۵/۶۳ و با ۸۰ درصد ظرفیت زراعی با دوره آبیاری ۸ روزه ۶۳/۹۹ میلی‌گرم و دوره آبیاری ۱۰ روزه ۶۳/۱۵ میلی‌گرم بوده است). همچنین برای سنجش میزان نیترات خاک در آزمایشگاه از روش کدورت سنجی در طول موج ۵۴۰ استفاده شد که نتایج حاصله در جدول ۶ ارائه شده است.

Archive of SID
www.SID.ir

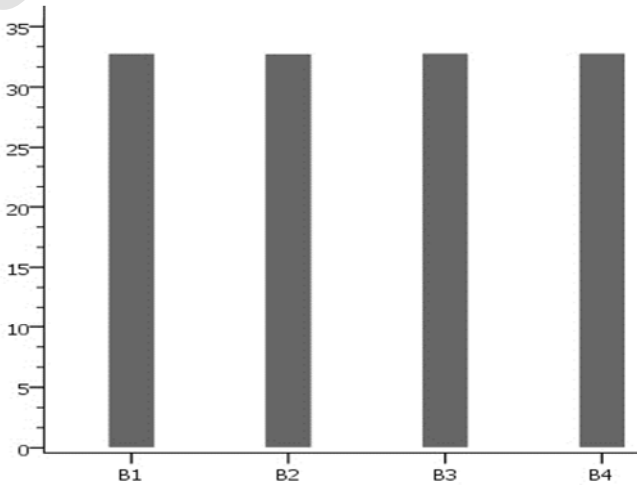
جدول۶- سنجش میزان نیترات خاک آبیاری شده با پساب فاضلاب تصفیه شده

Table 6. Nitrate mass concentration in different layers of soils irrigated with wastewater (mg/kg)

Soil characteristic	Amount (mg/kg)
Cultivated lower soil layers	106.4
Cultivated middle soil layers	135.5
Middle soil layer	149.2
surface soil layer	130.4
lower soil layer	58.6

مطابق جدول ۷ تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای A_2 و A_3 و تیمارهای A_3 و A_4 وجود ندارد (دو حرف مشترک دارند) و بین سایر تیمارها (A_3- A_4 , A_2- A_4 , A_2- A_3 , A_1- A_4 , A_1- A_3) نیز تفاوت معنی‌داری وجود ندارد.

پذیرش فرض H_0 (معنی‌دار نبودن آزمون) اثر متقابل دو فاکتور آبیاری با پساب و آب معمولی بر یکدیگر (A×B)، به این معنی است که فاکتورها از هم مستقل هستند و اثر متقابلی ندارند. این وضعیت می‌تواند به‌دلیل تغییرات محسوس بین مقدار نیترات در پساب فاضلاب تصفیه شده (فاکتور A) و آبیاری با آب معمولی (فاکتور B) باشد.



شکل ۱- نمودار مقایسه گروه‌های آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده

Fig. 1. Graph comparing groups of treated wastewater for irrigation

سطح معنی‌داری آزمون برای فاکتور آبیاری با آب معمولی (B) و اثر متقابل آبیاری با پساب و آب معمولی (A×B) بیشتر از مقدار a (۱ درصد) است، بنابراین با احتمال حداقل ۹۹ درصد فرض H_1 پذیرفته نمی‌شود و تفاوت معنی‌داری بین سطوح فاکتور آبیاری با آب معمولی (A) وجود ندارد (شکل ۱). معنی‌دار نبودن فاکتور آب معمولی به این دلیل است که مقدار نیترات موجود آن در سطح پایینی است (میانگین ۱/۷۹ میلی‌گرم در لیتر).

جدول ۷- آزمون توکی برای مقایسه گروه‌های آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده

Table 7. Tukey test to compare irrigation plots with treated wastewater

Irigation plot		Mean	Number	Treatment
	A	33.053	12	A_2
	A			
B	A	33.015	12	A_1
B				
B	C	32.494	12	A_3
	C			
	C	32.181	12	A_4

مقایسه مقدار نیتروژن در پساب فاضلاب تصفیه شده و آب معمولی قبل و بعد از آبیاری که از طریق آزمون مقایسه زوجی انجام شد (جدول۷)، گواه این موضوع است که جذب نیترات در گیاه و خاک اندک بوده و این موضوع برای سلامت استفاده‌کنندگان از اجزای گیاه ذرت علوفه‌ای (زنجیره غذایی) تأثیر معنی‌داری ندارد. این در حالی است که آب زهکشی شده که در نهایت جذب خاک‌های زیر کشت خواهد شد حاوی نیترات زیادی است که می‌تواند تأثیر مخربی در سطح کیفیت منابع آبی منطقه تصفیه‌خانه فاضلاب نیشابور داشته باشد. این موضوع از طریق آزمون مقایسه زوجی دو جامعه مستقل که در بستر نرم‌افزار MiniTab.17 انجام شده در جدول ۸ ارائه شده است (H_0 :μ_X- $\mu_{Y=0}$ ،H_1 :NOT H_0).

مطابق داده‌های جدول ۸ از آن‌جایی که سطح معنی‌داری آزمون بیشتر از α است، بنابراین فرض H_0 (H_0:μ_x-μ_y=0) در سطح ۹۹ درصد اطمینان پذیرفته می‌شود و در نتیجه میزان نیترات در پساب اولیه آبیاری با آب زهکشی شده تفاوت معنی‌داری ندارد. به‌عبارت دیگر مقدار کمی از نیترات پساب جذب خاک یا گیاه ذرت شده است.

با وجود 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 مقایسه بین میانگین فاکتورها را برای انتخاب

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۸- آزمون زوجی مقایسه‌ای مقدار نیترات پساب فاضلاب تصفیه شده و آب زهکشی شده بعد از آبیاری

Table 8. Paired test for the nitrate content of water, wastewater, and drainage after the irrigation

Level of meaning	Test statistic	99		Standard deviation error	Standard deviation	Average difference
		max	min			
0.322	-0.013	0.428	-0.912	0.238	1.17	0.242

جدول ۹- مقایسه میانگین سطوح اثرات متقابل پساب فاضلاب تصفیه شده و آب معمولی

Table 9. Comparison of average levels of interaction between wastewater and tap water

Treatment		Average level of interaction (mg/L)
(A) Refined wastewater	(B) Water	
A_1	B_1	33.02
A_1	B_2	32.98
A_1	B_3	33.03
A_1	B_4	33.03
A_2	B_1	33.50
A_2	B_2	33.48
A_2	B_3	33.51
A_2	B_4	33.51
A_3	B_1	32.46
A_3	B_2	32.46
A_3	B_3	32.50
A_3	B_4	32.51
A_4	B_1	32.18
A_4	B_2	32.15
A_4	B_3	32.19
A_4	B_4	32.19

بهترین ترکیب دو فاکتور انجام داد. نتایج مقایسه میانگین سطوح اثر متقابل پساب فاضلاب تصفیه شده و آب معمولی در جدول ۹ ارائه شده است.

۴- نتیجه‌گیری

بررسی نتایج پژوهش نشان می‌دهد که از پساب فاضلاب تصفیه شده تصفیه‌خانه نیشابور می‌توان برای آبیاری کشت ذرت استفاده کرد زیرا نیترات کمی توسط ذرت جذب شده و مقدار آن از استانداردهای موجود کمتر است و تأثیر مخربی در زنجیره ارزش غذایی ندارد.

با توجه به پایین بودن عمق منابع آبی زیر سطحی منطقه اطراف تصفیه‌خانه شهر نیشابور و همچنین نزدیکی آن به رود کال شور استفاده از پساب فاضلاب تصفیه شده تصفیه‌خانه در کشت ذرت سبب افزایش ریسک آلودگی منابع آبی منطقه به نیترات در بلند مدت می‌شود. با این حال با توجه به جذب پایین نیترات در ذرت می‌توان از پساب فاضلاب تصفیه شده برای کشت ذرت در مناطقی از کشور که عمق منابع آبی زیر سطحی آنها زیاد است، استفاده کرد.

با در نظر گرفتن نیاز آبی بسیاری از گیاهان و شرایط محیطی و مطالعات محیط‌زیستی می‌توان بخشی از نیاز محصولات کشاورزی کشور را از طریق آبیاری با پساب تأمین کرد. هر چند پساب فاضلاب تصفیه شده شهری به لحاظ اقتصادی کارآمد به نظر می‌رسد،

اما لازم است با انجام مطالعات در مورد آثار مواد شیمیایی، مواد آلی و فلزات ریسک مخاطرات محیط زیستی و سلامتی انسان در نظر گرفته شود.

References

Alizadeh, Z. 2010. *Nitrat & nitro in drinking water*, Zanjan Magazine Publication, Zanjan, Iran. (In Persian)

Aronsson, P.G. & Bergstrom, L.F. 2000. Nitrate leading from lysimeter-grown short-rotation Willow Coppice in relation to n-application and soil type. *Biomass and Bioenergy*, 21**,** 155-164.

Dimitriou, L. & Aronsson, P. 2004. Nitrogen leading from short-rotation Willow Coppice after intensive irrigation with wastewater. *Biomass and Bioenergy*, 26**,** 433-441.

Flurry, M., Fluhler, H., Lury, W. N. & Leuenberger, L. 1994. Susceptibility of soils to perferntial flow of water: a field study. *Water Resources Research*, 30 (7)**,** 1945-1954.

Archive of SID
www.SID.ir

Oberidat, M. M., Massadeh, A.M., Ai Ajlouni A.M. & Athamanneh, F.S. 2007. Analysis and evaluation of nitrate levels in groundwater at Al Hashimiya area. *Jordan Environment Monitoring Assessment*, A35(1-3), 475-486.

Rabiei, B. & Mohit, A. 2013. *Analyzing trial plans in agricultural research (with emphasis on SAS software)*, Guilan University Press, Rasht, Iran. (In Persian)

Samaras, V., Tasdila, C.O. & Stamatiad, S. 2008. Effects of repeated application of municipal sewage sludge on soil fertility. *Cotton Yield And Nitrate Leaching, Agronomy Journal*, 100 (3), 477-483

Sarvari, Sh., Moezardalan, M., Khoshnood Yazdi, A. & Akhtari, M. 2012. Effect of petrochemical mill wastewater on ogronomical and chemical characteristical of wheat in Bojanourd area. *Journal of Agriculture and Plant Breeding*, 8 (3), 139-147. (In Persian)

Saso, J., K. 2000. Evaluating nitrate leaching potential for two different hydrological soil groups using a conserve ative tracer. MSc Thesis, University of Gueiph, Canada.

Statistics Center of Iran. 2009. Statistical year book of the country, Deputy Director of Strategic Planning and Control. (In Persian)

Wyatt, A. S. 2010. *Non-revenue water: Financial model for optimal management in developing countries*, RTI Press Publication, NC.

Yazdani, V., Ghahraman, B., Davari, K. & Fazeli, E. 2011. The effect of wastewater on physical and chemical properties of soil. *Journal of Environmental Science and Technology*, 16 (1), 543-558. (In Persian).

Archive of SID

www.SID.ir