مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۳، شماره ۱، بهار ۱۳۸۸، ص ۱۵۱-۱۴۳

Journal of Water and Soil
Vol. 23, No. 1, Spring 2009, p.143-151

تأثیر اجرای عملیات تغذیه مصنوعی با فاضلاب تصفیه شده شهرک اکباتان بر انتقال آلاینده‌های معدنی و بیولوژیک به آبخوان کم عمق

علیرضا حسن‌اقلی*[۱] - عبدالمجید لیاقت[۲]

تاریخ دریافت: ۸۷/۵/۲۲
تاریخ پذیرش: ۸۷/۱۰/۷

چکیده

تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها با استفاده از فاضلاب به عنوان یکی از روش‌های مهم و کاربردی در استفاده مجدد از این منبع آب ارزشمند، به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، به شمار می‌آید. با عنایت به لزوم اجرای تحقیقات محلی برای یافتن راهبردهای مدیریتی مناسب جهت بهره برداری بهینه از سیستم تغذیه مصنوعی و منطبق با شرایط منطقه، تحقیقات مقدماتی به انجام رسید. به همین منظور ستون‌های استوانه‌ای شکل به ارتفاع ۲۰۰ و قطر ۶۰ سانتی‌متر ساخته شد تا شرایط حوضچه‌های تغذیه مصنوعی را به صورت فیزیکی شبیه سازی نمایند. ستون‌ها از خاکی با بافت ماسه رسی سیلتی پر شد و با بهره‌گیری از پساب تصفیه شده فاضلاب خانگی شهرک اکباتان، جمعاً سه گزینه مدیریتی متفاوت از نظر طول مدت دوره غرقابی- خشکی در خارج از فصل زراعی به ستون‌ها اعمال گردید. در این شرایط میزان انتقال عوامل آلاینده مهمی همچون BOD_5، COD، نیتروژن، فسفر و عوامل بیماریزای بیولوژیک به عمق خاک و تغییرات آن با گذشت زمان اندازه‌گیری شد. گزینه‌های مدیریتی اعمال شده شامل غرقابی بلند مدت (دائم)، غرقابی کوتاه مدت (۱۲ ساعت غرقابی و ۱۲ ساعت خشکی) و غرقابی میان مدت (یک هفته غرقابی و یک هفته خشکی) بود. نتایج به دست آمده حکایت از آن داشت که بهترین عملکرد سیستم تغذیه مصنوعی از نظر تقلیل BOD_5، COD و نیتروژن انتقال یافته به عمق خاک، به ترتیب با متوسط حذفی برابر با ۹۳/۵، ۷۹/۵ و ۴۰/۴ درصد در راهبرد غرقابی کوتاه مدت حاصل شد. بیشترین حذف فسفر در گزینه مدیریتی غرقابی بلند مدت و به میزان ۷۵ درصد اتفاق افتاد. مقدار حذف کلیفرم و کلیفرم مدفوعی در تمامی گزینه‌ها بسیار بالا بود و درصد حذفی مابین ۹۹ - ۹۷ درصد مشاهده گردید.

واژه‌های کلیدی: تغذیه مصنوعی، مدل فیزیکی، فاضلاب تصفیه شده، کلیفرم مدفوعی

مقدمه

تغذیه مصنوعی به عملیاتی اطلاق می‌گردد که در طی آن، از طریق جمع آوری آب‌های نامتعارف و مازاد نظیر فاضلاب شهری و یا زه آب کشاورزی در حوضچه‌های خاکی، نفوذ آب از راه کف حوضچه‌ها به درون خاک اتفاق افتاده که در نتیجه عبور از لایه‌های غیر اشباع (حد فاصل کف حوضچه تا سطح ایستابی) و لایه‌های آبدار اشباع خاک، ضمن تصفیه و حذف بسیاری از مواد موجود در آب، موجبات افزایش قابل توجه ذخیره آبی لایه‌های آبدار زیرزمینی نیز فراهم می‌گردد (۱). اهمیت بیش از پیش این عملیات از آنجا آشکار می‌شود که امروزه در بخش مدیریت منابع آب، شاید دیگر نتوان روش سنتی ساخت تعداد هرچه بیشتر سد را بهترین گزینهٔ ممکن فنی و اقتصادی جهت تأمین آب دانست، زیرا علاوه بر افزایش مشکل رسوب گذاری و تقلیل شدید عمر مفید سدها، کاهش روز افزون تعداد مکان‌های مناسب برای ساخت و بنای سدهای جدید را نیز بایستی از مشکلات مهم در این خصوص به شمار آورد (۶). از طرف دیگر با عنایت به دبی تقریباً ثابت فاضلاب‌های شهری و خانگی و تولید مداوم و پیوسته آنها در طول سال و عدم امکان استفاده از این آب برای کشاورزی در خارج از فصل کشت و نیز به منظور ممانعت از آلودگی محیط زیست و جلوگیری از به هدر رفتن این آب‌ها، یکی از بهترین روش‌های قابل توصیه، به کارگیری فاضلاب‌ها برای تغذیه مصنوعی در مناطقی است که وضعیت خاک و آب زیرزمینی شرایط لازم جهت این امر را میسر سازد. در چنین مواقعی امکان افزایش ذخیره و قدرت آبدهی سفره‌های آب زیرزمینی حاصل گردیده که در

۱- استادیار پژوهشی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی.
(* - نویسنده مسئول: (Email: a.hassanoghli@gmail.com
۲- دانشیار گروه آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی آب و خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران (کرج).

نتیجه، با پمپاژ آب در فصول زراعی آتی می‌توان کمک شایانی را به کشاورزی مناطق خشک نمود. از مزایای دیگر، عدم نیاز به فناوری‌های پیشرفته و گران قیمت است که این روش را به عملیاتی ارزان و در عین حال با کارایی بالا تبدیل می‌سازد. همچنین به دلیل پمپاژ این گونه آب‌ها از چاه، استفاده از آن توسط کشاورزان با مقبولیت بیشتری در مقایسه با پساب حاصل از تصفیه فاضلاب‌ها مواجه است. این امر اثرات روانی بسیار مثبتی را در استفاده از فاضلاب جهت آبیاری به همراه داشته و مصرف کنندگان محصولات کشاورزی نیز از این جهت با آسودگی خاطر و بدون هیچ گونه نگرانی از محصولات تولیدی استفاده می‌نمایند (۳، ۵، ۶، ۷، ۹ و ۱۰).

توجه به این نکته بسیار ضروری است که یکی از مهمترین معیارهای لازم در استفاده از فاضلاب برای تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی، کفایت عملیات از نظر عدم ایجاد خطرات بهداشتی است. در این مورد معیارهای کیفی فاضلاب برای هر پروژه و منطقه متفاوت است زیرا شرایط خاک، اقلیم، سطح ایستابی، نوع شاخص‌های شیمیایی و بیولوژیک، گزینه‌های اقتصادی، وضعیت هیدروژئولوژی منطقه و چگونگی برداشت آب از آبخوان متفاوت می‌باشد (۲ و ۱۱). از دیگر نکات مهم در بهره برداری از سیستم‌های تغذیه مصنوعی که اثرات چشمگیری را بر عملکرد مجموعه بر جای می‌گذارد، اعمال تناوب‌های خشکی در طول زمان می‌باشد. حوضچه‌های نفوذ در سیستم‌های تغذیه مصنوعی به منظور ایجاد دوره‌های خشک جهت تجدید شرایط هوازی و بهبود وضعیت تراوش و هوادهی، به طور متناوب آبگیری می‌شوند (۷ و ۱۰). در دوره غرقابی، مواد آلی و مواد جامد معلق موجود در فاضلاب روی کف حوضچه جمع شده و یک لایه غیر قابل نفوذ ایجاد می‌کنند که میزان نفوذ را بسیار پایین می‌آورد. خشک کردن حوضچه موجب خشک شدن لایه غیرقابل نفوذ، ترک خوردن و پوسته شدن آن می‌شود و مواد آلی نیز تجزیه می‌گردند. این فرایند ظرفیت هیدرولیکی حوضچه را افزایش می‌دهد، به گونه‌ای که در زمان غرقابی مجدد نفوذ آن به مقادیر اولیه می‌رسد. به همین صورت هنگامی که دوره غرقاب ادامه می‌یابد، میزان نفوذ مجدداً کاهش یافته و بسیار کم می‌شود که در آن صورت یک دوره خشکی دیگر لازم است (۷).

با عنایت به جمیع موارد فوق و ضرورت اجرای تحقیقات محلی برای یافتن راهبردهای مدیریتی مناسب و قابل توصیه جهت بهره برداری بهینه از سیستم‌های تغذیه مصنوعی با پساب فاضلاب، تحقیقات حاضر به انجام رسید. نظر به هزینه بر بودن و فقدان تجربیات قبلی در این خصوص در منطقه، ابتدا لازم دیده شد در قالب آزمایش‌های مقدماتی، پارامترهای اصلی و مؤثر بر این پدیده در شرایط موجود شناسایی شده و عوامل آلاینده‌ای که بیشترین احتمال را در انتقال به عمق دارند مشخص گردند. پس از آن با برنامه ریزی تحقیقاتی جامع‌تر، این عوامل مورد ارزیابی دقیق قرار گیرند. در این مقاله به بیان نتایج حاصل از آزمون‌های شناسایی پرداخته می‌شود. هدف در این مرحله از تحقیق، بررسی و ارزیابی تأثیر اعمال رژیم‌های مختلف غرقابی- خشکی بر میزان انتقال هر یک از عوامل آلاینده عمده موجود در پساب تصفیه شده فاضلاب خانگی (شامل BOD_5، COD، نیتروژن و فسفر) به سطوح ایستابی کم عمق و یا به نوعی عمق نصب لوله‌های زهکش زیرزمینی در خارج از فصل زراعی، در نتیجه اجرای عملیات تغذیه مصنوعی و تعیین گزینه مناسب و مشاهده میزان کارایی سیستم در جلوگیری از انتقال این قبیل آلاینده‌ها به عمق خاک می‌باشد.

مواد و روش‌ها

برای اجرای آزمایش‌ها که به منظور تعیین میزان عوامل آلاینده‌ای که بیشترین کمیت انتقال را به عمق خاک دارا می‌باشند به انجام رسید، از سه مدل فیزیکی جهت شبیه سازی حوضچه‌های تغذیه مصنوعی استفاده به عمل آمد. مدل‌ها به شکل استوانه و از جنس فلز (ورق آهنی) بود که هر مدل، ارتفاع ۲۰۰ و قطر ۶۰ سانتی‌متر را دارا می‌باشد. به منظور خروج آب‌های عبوری از ستون خاک، یک لوله زهکش در بخش تحتانی هر مدل نصب گردید. بدین طریق امکان دسترسی و نمونه برداری از آبی که به عمق لوله زهکش (یا در واقع سطح ایستابی فرضی در داخل زمین) می‌رسید، میسر شد. جهت کارگذاری مدل‌ها و به دلیل پر شدن آنها از خاک و آب و وزن قابل توجه هر مدل، ابتدا زیرسازی مناسب و ساخت سکوهایی با استفاده از بتن به مرحله اجرا درآمد. سپس برای پرنمودن مدل‌های فیزیکی، از خاکی که از عمق ۵۰ الی ۲۰۰ سانتی‌متری منطقه حفر شده بود استفاده گردید. این خاک از نوع متوسط و دارای بافت ماسه رسی سیلتی (SM - SC، مطابق با سیستم طبقه بندی یونیفاید) بود. نفوذ پذیری اشباع خاک به روش بار ثابت برابر با ۳۸/۷ میلی‌متر در ساعت اندازه گیری شد. هر سه مدل از کف تا ارتفاع ۱۶۰ سانتی‌متر با این خاک پر شد. لازم به ذکر است که در حین پر نمودن مدل‌ها هیچ گونه عملیات تراکمی روی خاک صورت نپذیرفت و تنها در مراحلی و پس از رسیدن ارتفاع خاک به یک سوم و دو سوم ارتفاع نهایی، اضافه نمودن مقداری آب بر سطح خاک موجبات نشست را فراهم آورد. با رسیدن ارتفاع سطح خاک به تراز ۱۶۰ سانتی‌متری از کف، از یک لایه ۱۰ سانتی‌متری ماسه بادی روی آن استفاده گردید تا ارتفاع نهایی خاک در مدل‌ها به ۱۷۰ سانتی‌متر رسانده شود. در نهایت ۳۰ سانتی‌متر ارتفاع فوقانی مدل‌ها به صورت عمق آزاد و جهت ایجاد سطح ایستابی و شبیه سازی شرایط غرقابی در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که عدم اجرای عملیات تراکم روی خاک مورد استفاده، کاربرد ماسه بادی در بخش فوقانی مدل‌ها، استفاده از خاک عمقی نسبتاً درشت دانه و دست خورده و انتخاب حداقل فاصله سطح

ایستابی از سطح خاک (حدود ۱۷۰ سانتی‌متر)، تماماً در جهت بالا بردن ضریب اطمینان در نتیجهٔ ایجاد بحرانی‌ترین شرایط در اجرای عملیات تغذیه مصنوعی می‌باشد. طبیعتاً در چنین موقعیتی و در صورت حصول نتایج مناسب و رضایت بخش، در شرایط طبیعی نتایج قابل قبول‌تری حاصل خواهد شد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک در جداول ۱ و ۲ قابل مشاهده است.

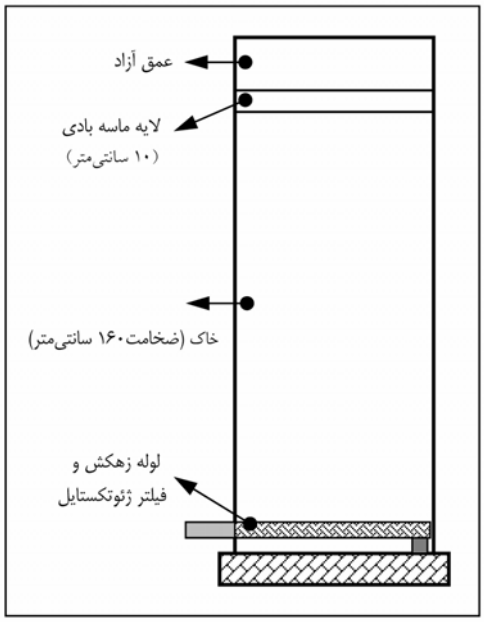
(جدول ۱)- مشخصات فیزیکی خاک مورد استفاده

درصد ذرات خاک (یونیفاید)			درصد رطوبت		وزن مخصوص(g/cm^3)		تخلخل	حدود آتربرگ (٪)	
رس	سیلت	ماسه	FC	PWP	ظاهری	حقیقی	کل	روانی	خمیری
۱۸/۵	۲۹	۵۲/۵	۱۷/۳۶	۷/۵۰	۱/۴۰	۲/۴۵	۰/۴۳	۲۶/۵	۲۱/۵

(جدول ۲)- مشخصات شیمیایی خاک مورد استفاده

EC_e (dS/m)	pH	کاتیون‌های محلول(meq/lit)				جمع	آنیون‌های محلول (meq/lit)				جمع	SAR
		K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	کاتیون‌ها	SO_4^{2-}	Cl^-	HCO_3^-	CO_3^{2-}	آنیون‌ها	
۱/۸۳	۷/۴	۰/۲۵	۲/۹۴	۱۲	۱۰	۲۵/۲	۱۱/۸	۸	۵/۸	–	۲۵/۶	۰/۸۹

به منظور ممانعت از تبادلات حرارتی بیش از حد مدل‌ها با محیط اطراف و در حقیقت جلوگیری از اثر تابش مستقیم خورشید بر بدنه آنها، با استفاده از پشم شیشه اقدام به عایق بندی سطح جانبی مدل‌ها گردید. شکل ۱ شمایی از مدل‌های فیزیکی و نحوه پر نمودن آنها از خاک را نشان می‌دهد.



(شکل ۱)- شمای مدل‌های فیزیکی ساخته شده و نحوه پرنمودن آنها با خاک

چون هدف از اجرای عملیات تغذیه مصنوعی در این تحقیق، استفاده مجدد از پساب در خارج از فصل کشاورزی و ممانعت از هدر روی این قبیل آب‌ها بوده است، لذا آغاز آزمایش‌ها با خاتمه فصل آبیاری مصادف شد و آبگیری اولین مدل در نیمه دوم آبان ماه به مرحله اجرا درآمد. این آزمایش‌ها تا ابتدای فصل کشت بعدی ادامه یافت. پساب مورد نیاز به صورت مستمر از تصفیه خانه شهرک اکباتان به محل اجرای تحقیق انتقال یافته و برای ایجاد شرایط ماندابی به کار گرفته شد.

جهت بررسی اثرات طول دوره غرقابی بر راندمان سیستم تغذیه مصنوعی، جمعاً سه راهبرد مدیریتی در این خصوص اعمال گردید. راهبرد اول عبارت از غرقابی دائم یا بلند مدت بود که به همین جهت، سیستم تغذیه به مدت چهار هفته تحت شرایط غرقابی ۲۴ ساعته و

جریان پیوسته پساب قرار داشت. راهبرد دوم اعمال شرایط غرقابی- خشکی کوتاه مدت بود. در این حالت روزانه به مدت ۱۲ ساعت شرایط غرقابی بر سیستم حاکم شده و پس از آن با قطع جریان پساب ورودی، برای ۱۲ ساعت وضعیت خشکی با قطع جریان اعمال می‌گردید. این راهبرد برای مدت هشت هفته اعمال شد. راهبرد نهایی، به کار گیری شرایط غرقابی- خشکی میان مدت بود. در این وضعیت، سیستم به مدت یک هفته تحت شرایط غرقابی دائم بهره برداری شده و سپس با قطع جریان، به مدت یک هفته تناوب خشکی اعمال می‌گردید. راهبرد میان مدت نیز در طول هفت هفته مورد بررسی قرار گرفت که سهم شرایط غرقابی برابر با چهار هفته بود. انتخاب مدت زمان غرقابی بودن بر اساس راهبرد مدیریتی اعمال شده تعیین شد. با این عمل سعی بر آن بود تا میزان نسبتاً مساوی از حجم پساب در طول مدت اجرای تمامی راهبردهای مدیریتی، از مجموعه و از میان پروفیل خاک عبور داده شود تا در نهایت، امکان مقایسه نتایج با یکدیگر از نظر کارایی هر یک از راهبردها در حذف مواد موجود در پساب و غلظت انتقال یافته آلاینده‌ها از میان خاک به سطح ایستابی کم عمق فراهم آید. اندازه گیری‌های لازم در طول مدت اجرای تحقیق به صورت هفتگی انجام پذیرفت و تنها آبدهی سیستم به طور روزانه بررسی شد. به همین منظور نمونه‌هایی از پساب ورودی و آب زهکشی شده از عمق ستون‌ها جمع آوری و شاخص‌های شیمیایی و بیولوژیک در آنها اندازه‌گیری گردید.

نتایج و بحث

کارایی سیستم تغذیه مصنوعی در کاهش BOD_5 و COD پساب

جدول ۳ میزان BOD_5 و COD ورودی توسط پساب به ستون‌های تغذیه مصنوعی و خروجی از آنها را نشان می‌دهد.

(جدول ۳)- عملکرد سیستم‌های تغذیه مصنوعی در حذف BOD_5 از پساب تصفیه شده مورد استفاده

راهبرد مدیریتی*	BOD_5 پساب (mg/lit)		BOD_5 زه آب (mg/lit)		COD پساب (mg/lit)		COD زه آب (mg/lit)		زمان ظهور (روز)	مدت عبور جریان (ساعت)**
	میانگین	دامنه	میانگین	دامنه	میانگین	دامنه	میانگین	دامنه		
PP	۹/۷۵	۷-۱۶	۱/۷۵	۰-۳	۲۳/۷۵	۲۰-۳۵	۵/۶۳	۰-۱۰	۷	۱۶۸
SP	۹/۶۳	۶-۱۴	۰/۶۳	۰-۲	۲۴/۳۸	۱۵-۳۵	۵/۰۰	۰-۱۰	۲۱	۲۵۲
MP	۱۰/۵۰	۷-۱۴	۱/۱۳	۰-۳	۲۵/۰۰	۱۵-۳۵	۶/۸۸	۰-۱۵	۸	۱۹۲

* راهبردهای مدیریتی: PP = غرقابی بلند مدت، SP = غرقابی کوتاه مدت و MP = غرقابی میان مدت.

** زمان عبور جریان عبارت از تعداد ساعات سپری شده از شروع آزمایش و یا در حقیقت تعداد ساعات عبور پساب از سیستم می‌باشد که در آن، برای اولین بار مقادیری از آلاینده مورد نظر در زه آب خروجی ظاهر شده است.

همان گونه که از جدول ۳ قابل مشاهده است، بهترین عملکرد حذف BOD_5 و COD توسط سیستم تغذیه مصنوعی در راهبرد غرقابی- خشکی کوتاه مدت ملاحظه شد. آغاز ظهور آلاینده‌ها در زه آب خروجی از ستون خاک در این حالت، در روز بیست و یکم و پس از ۲۵۲ ساعت عبور پساب از پروفیل خاک به وقوع پیوست و میانگین BOD_5 زه آب و دامنه تغییرات آن به ترتیب برابر با ۰/۶۳ میلی‌گرم بر لیتر و (۲ – ۰) میلی‌گرم بر لیتر و کمترین مقدار بود، ضمن اینکه میانگین درصد حذفی برابر با ۹۳/۵ درصد به دست آمد. پس از این حالت، شرایط غرقابی میان مدت و غرقابی بلند مدت قرار داشت.

در این دو وضعیت و علیرغم مشاهده دامنه تغییرات یکسان از نظر BOD_5 در زه آب‌های جمع آوری شده، میانگین BOD_5 زه آب در شرایط غرقابی بلند مدت اندکی بیشتر از غرقابی میان مدت بود. ژائو و همکاران در تحقیقات خود در سال ۲۰۰۷ که در مقیاس آزمایشگاهی و با استفاده از ستون خاک به انجام رسید، بازده حذف ۹۵ درصدی BOD_5 را از پساب تصفیه ثانویه فاضلاب شهری مشاهده نمودند. همچنین بیشترین میزان حذف مواد آلی در عمق ۰/۵ – ۰ متری ستون خاک اتفاق افتاد (۱۲). توجه به این نکته ضروری است که حداکثر میزان BOD_5 اندازه گیری شده در زه آب خروجی در طول مدت اجرای تحقیق و در بدترین شرایط، برابر ۳ میلی‌گرم بر لیتر بود که این امر دلالت بر عملکرد مناسب تمامی راهبردها در حذف BOD_5 دارد. به‌علاوه، می‌توان انتظار داشت که در صورت افزایشی ناچیز در عمق سطح ایستابی از سطح خاک و یا طی مسافتی کوتاه در داخل آبخوان، این میزان به صفر تقلیل یابد.

از نظر شاخص COD، مطابق جدول ۳ بهترین عملکرد حذف به ترتیب در راهبرد مدیریتی غرقابی کوتاه مدت (با میانگین حذفی برابر با ۷۹/۵ درصد) و سپس در شرایط غرقابی بلند مدت و نهایتاً غرقابی میان مدت اتفاق افتاد. راهبرد غرقابی میان مدت ویژگی منحصر به فردی را از خود بروز می‌داد و آن اینکه در آغاز هر تناوب غرقابی و پس از یک هفته خشک بودن مجموعه، مقدار COD اندازه گیری شده بلافاصله پس از راه اندازی سیستم دارای کمیتی قابل توجه بود

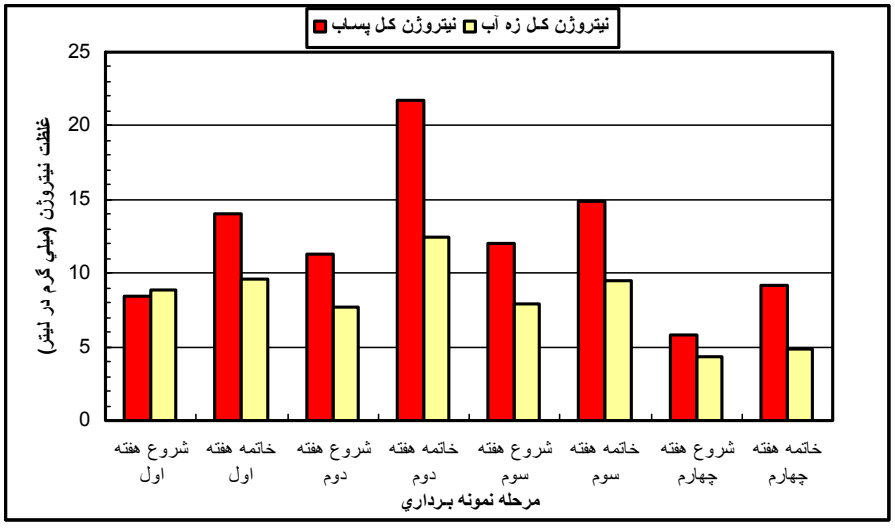
و اندازه گیری در خاتمه همان تناوب غرقابی بودن، کاهش میزان COD را نشان می‌داد. در کل میزان COD اندازه گیری شده در بدترین شرایط از ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر تجاوز نکرد، ضمن اینکه بر طبق نتایج به دست آمده، انتخاب تناوب غرقابی- خشکی کوتاه مدت و پس از آن، غرقابی دائم در اولویت می‌باشد.

میزان انتقال نیتروژن به عمق در عملیات تغذیه مصنوعی

مقادیر میانگین غلظت نیتروژن ورودی توسط پساب به ستون‌های تغذیه مصنوعی و غلظت نیتروژن خروجی به همراه زه آب حاصل ازستون‌ها تحت راهبردهای مدیریتی گوناگون و نیز دامنه تغییرات آنها در جدول ۴ ارائه گردیده، ضمن اینکه نمونه‌ای از نتایج مربوط به کلیه مقادیر اندازه گیری شده و روند تغییرات متوسط غلظت نیتروژن ورودی و خروجی از سیستم تغذیه مصنوعی در تناوب غرقابی- خشکی بلند مدت، در شکل ۲ قابل مشاهده است. همان گونه که از جدول ۴ ملاحظه می‌گردد حداکثر متوسط درصد حذف نیتروژن از پساب، در شرایط غرقابی کوتاه مدت و به میزان ۴۰/۴ درصد به وقوع پیوست. مقادیر درصد حذف در سایر راهبردهای مدیریتی اعمال شده، تا حدودی کمتر از این میزان و البته بسیار نزدیک به هم بود. لذا با عنایت به مقادیر درصدهای حذف نزدیک در تمامی راهبردها، عملکرد سیستم تغذیه مصنوعی از نظر حذف نیتروژن موجود در پساب در شرایط اجرای این تحقیق تقریباً مشابه ارزیابی می‌گردد.

(جدول ٤)- عملکرد سیستم‌های تغذیه مصنوعی در حذف نیتروژن از پساب تصفیه شده مورد استفاده

راهبرد مدیریتی	نیتروژن کل پساب (mg/lit)		نیتروژن کل زه آب (mg/lit)		درصد حذف نیتروژن
	میانگین	دامنه تغییرات	میانگین	دامنه تغییرات	
غرقابی بلند مدت	۱۲/۱۷	۵/۸۲ – ۲۱/۷۴	۸/۱۷	۴/۳۳ — ۱۲/۴۱	۳۲/۹
غرقابی کوتاه مدت	۱۳/۵۷	۶/۳۶ – ۲۴/۵۹	۸/۰۹	۳/۳۱ – ۱۶/۴۱	۴۰/۴
غرقابی میان مدت	۱۱/۳۵	۶/۱۵ – ۱۹/۸۷	۷/۶۳	۵/۰۰ — ۱۱/۵۹	۳۲/۸



(شکل ۲)- میزان نیتروژن ورودی و خروجی سیستم تغذیه مصنوعی، در روش غرقابی- خشکی بلند مدت

به‌علاوه، از بررسی شکل ۲ می‌توان چنین نتیجه گرفت که میزان نیتروژن انتقال یافته به عمق خاک متأثر از مقدار نیتروژن ورودی توسط پساب به داخل خاک بوده و در حقیقت، غلظت نیتروژن مشاهده شده در زهکش مدل‌ها (سطح ایستابی کم عمق) و روند تغییرات آن، متأثر از غلظت نیتروژن ورودی به مدل‌ها به همراه پساب می‌باشد. تنها استثنا در این خصوص، در اولین نمونه برداری در تمامی راهبردهای مدیریتی و در آغاز عملیات تغذیه مصنوعی به وقوع پیوست. در این شرایط غلظت نیتروژن اندازه گیری شده در زه آب خروجی از مدل‌ها تقریباً برابر و حتی در مواردی، اندکی بیشتر از غلظت نیتروژن پساب مورد استفاده بود (شکل ۲). دلیل این امر را می‌توان در انتقال مقادیری از نیتروژن موجود در خاک به عمق زهکش به همراه نیتروژن پساب و ناچیز بودن فعالیت‌های بیولوژیک خاک دانست. البته با تداوم روند آب گیری مجموعه، به تدریج تأثیر سیستم و نوع مدیریت اعمال شده بر حذف نیتروژن از پساب به

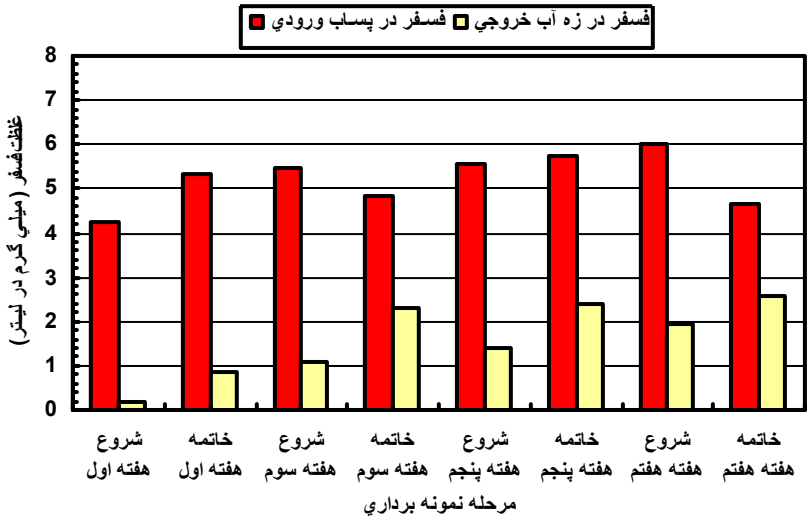
وضوح مشاهده شد. قابل ذکر است که درصد انتقال نسبتاً قابل توجه نیتروژن به عمق خاک (حدوداً ۶۰ درصد)، در نتیجه غالب بودن ترکیبات نیتراته در پساب تصفیه شده اتفاق افتاد. نیترات به طور متوسط ۷۸ درصد ترکیبات نیتروژنه موجود در پساب مورد استفاده را تشکیل می‌داد که به دلیل بار منفی آن، قابلیت تحرک پذیری بالایی را در خاک دارا می‌باشد.

انتقال فسفر به عمق خاک و در مدت اجرای عملیات تغذیه مصنوعی، عمدتاً به شکل فسفات اتفاق افتاد. مقادیر میانگین فسفر ورودی به ستون‌های تغذیه مصنوعی توسط پساب و غلظت فسفر خروجی از ستون‌ها به همراه زه آب‌های حاصله و نیز عملکرد سیستم در هر یک از راهبردهای مدیریتی اعمال شده به لحاظ تأثیر تناوب-های غرقابی- خشکی بر حذف فسفر، در جدول ۵ و به عنوان یک نمونه در شکل ۳ قابل مشاهده است.

کمیت انتقال فسفر به عمق در عملیات تغذیه مصنوعی

(جدول ۵)- عملکرد سیستم تغذیه مصنوعی در حذف فسفر از پساب تصفیه شده مورد استفاده

راهبرد مدیریتی	فسفر پساب (mg/lit)		فسفر زه آب (mg/lit)		درصد حذف فسفر
	میانگین	دامنه تغییرات	میانگین	دامنه تغییرات	
غرقابی بلند مدت	۴/۸۶	۴/۱۷ — ۵/۵۴	۱/۲۲	۰/۱۰ — ۲/۱۱	۷۴/۹
غرقابی کوتاه مدت	۵/۲۲	۳/۰۰ — ۷/۳۵	۱/۸۵	۰/۱۴ — ۲/۸۰	۶۴/۶
غرقابی میان مدت	۵/۲۴	۴/۲۵ — ۶/۰۱	۱/۵۹	۰/۱۷ — ۲/۵۸	۶۹/۷



(شکل ۳)- میزان فسفر ورودی و خروجی سیستم تغذیه مصنوعی در راهبرد غرقابی- خشکی میان مدت

با عنایت به اعداد جدول ۵ می‌توان دریافت که بیشترین درصد حذف فسفر توسط سیستم تغذیه مصنوعی، در شرایط اعمال راهبرد غرقابی بلند مدت و به میزان ۷۴/۹ درصد به وقوع پیوست. پس از آن، راهبرد غرقابی میان مدت با متوسط حذفی برابر با ۶۹/۷ درصد و راهبرد غرقابی کوتاه مدت با متوسط حذفی برابر با ۶۴/۶ درصد قرار داشت.

مشاهده ارقام فسفر اندازه گیری شده در زه آب تمامی مدل‌ها، روند تغییرات نسبتاً مشابهی را از نظر کمیت و میزان فسفر خروجی در تمامی راهبردهای مدیریتی از خود نشان داد. بدین معنی که در ابتدای آزمایش، مقدار فسفر انتقال یافته به عمق ناچیز بوده و با گذشت زمان به تدریج بر کمیت آن افزوده شد. لیکن در نهایت و در بیشترین میزان خود از ۲/۸۰ میلی‌گرم بر لیتر فسفر تجاوز ننمود. در راهبرد غرقابی میان مدت و با شروع هر تناوب غرقابی جدید، میزان فسفر منتقل شده به عمق کاهش یافته و با تداوم عملیات تغذیه مصنوعی، بر کمیت آن تا حدودی افزوده شد (شکل ۳). در کل می‌توان چنین نتیجه گرفت که چون درصد حذف فسفر در تمامی راهبردهای مدیریتی اعمال شده نزدیک به هم بوده و حداکثر دارای ۱۰ درصد تفاوت می‌باشند، لذا عملکرد خاک در حذف فسفر از پساب تصفیه شده در تمامی تناوب‌های غرقابی- خشکی مورد استفاده تقریباً یکسان ارزیابی می‌گردد. بنابراین کاربرد هر یک از تناوب‌های

فوق‌الذکر، تأثیر یکسانی را بر میزان انتقال فسفر به عمق خاک در طول عملیات تغذیه مصنوعی بر جای خواهد گذاشت.

کمیت انتقال عوامل آلاینده میکروبی و انگلی به عمق خاک

به دلیل اهمیت قابل توجه و پیامدهای بهداشتی انتقال عوامل میکروبیولوژیک به لایه‌های آبدار زیرزمینی در نتیجه اجرای عملیات تغذیه مصنوعی با پساب، بررسی‌های لازم در این خصوص انجام پذیرفت. به همین منظور سه شاخص مهم یعنی تعداد کلیفرم، کلیفرم مدفوعی و تخم انگل در تمامی مراحل اجرای آزمایش‌ها در پساب تصفیه شده ورودی (بدون اجرای عملیات کلرزنی) و زه آب خروجی از ستون‌های تغذیه مصنوعی اندازه گیری شد. آزمایش‌های مقتضی در این بخش توسط آزمایشگاه میکروبیولوژی تصفیه خانه فاضلاب شهرک اکباتان و مطابق دستورالعمل APHA[1] انجام گردید (۴). نتایج حاصله بر حسب راهبرد مدیریتی اعمال شده از نظر طول دوره غرقابی- خشکی، به طور خلاصه در جدول ۶ ارائه گردیده است.

(جدول ٦)- میانگین تعداد باکتری کلیفرم و کلیفرم مدفوعی موجود در پساب ورودی و زه آب خروجی از ستون‌های تغذیه مصنوعی

راهبرد مدیریتی	شمارش کلیفرم‌ها (MPN/100ml)			شمارش کلیفرم‌های مدفوعی (MPN/100ml)		
	پساب	زه آب	درصد حذف	پساب	زه آب	درصد حذف
غرقابی بلند مدت	$۵/۵ \times ۱۰^{۵}$	$۹/۲ \times ۱۰^{۳}$	۹۸/۳	$۴/۹ \times ۱۰^{۵}$	۷×۱۰^{۳}	۹۸/۶
غرقابی کوتاه مدت	$۲/۱۰ \times ۱۰^{۵}$	$۱/۶ \times ۱۰^{۳}$	۹۹/۲	$۱/۶ \times ۱۰^{۵}$	$۰/۸ \times ۱۰^{۳}$	۹۹/۵
غرقابی میان مدت	$۲/۷ \times ۱۰^{۵}$	$۴/۹ \times ۱۰^{۳}$	۹۸/۲	$۹/۶ \times ۱۰^{۴}$	$۲/۳ \times ۱۰^{۳}$	۹۷/۶

مطابق جدول ۶، بازده حذف کلیفرم‌ها و کلیفرم‌های مدفوعی توسط سیستم تغذیه مصنوعی، در تمامی راهبردهای مدیریتی اعمال شده بسیار قابل توجه بوده و حکایت از کارایی مناسب مجموعه در حذف عوامل بیماریزا دارد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در صورت «گندزدایی» پساب خروجی از تصفیه خانه و تقلیل اولیه مقدار آلاینده‌های بیولوژیک و سپس کاربرد آن در امر تغذیه مصنوعی، احتمال رسیدن عوامل بیماریزای میکروبی به سفره آب زیرزمینی، حتی در شرایط سطح ایستابی کم عمق نیز بسیار ناچیز است.

از نظر حضور تخم انگل در پساب تصفیه شده ورودی به ستون‌ها و زه آب خروجی از آنها، نتایج نشان داد که پساب تصفیه شده معمولاً عاری از تخم انگل بود و تعداد تخم انگل موجود در پساب کمتر از یک عدد در لیتر ارزیابی گردید. کلیه آزمایش‌های انجام شده روی زه آب خروجی از ستون‌ها، عدم انتقال تخم انگل را به عمق خاک نشان داد، زیرا در هیچ یک از نمونه‌های زه آب برداشت شده تخم انگل مشاهده نشد.

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر به منظور بررسی چگونگی و اثرات کاربرد پساب تصفیه شده فاضلاب خانگی در امر تغذیه مصنوعی و در راهبردهای مدیریتی متفاوت به انجام رسیده است. نتایج به دست آمده حکایت از آن داشت که اجرای این عملیات، تأثیر به سزایی را بر حذف عوامل آلاینده و افزایش ذخیره آبی لایه آبدار زیرزمینی برجای می‌گذارد. در شرایط این تحقیق، راهبرد مدیریتی اعمال تناوب غرقابی- خشکی کوتاه مدت بهترین نتیجه را در بین تمامی راهبردهای اعمال شده از خود نشان داد، لیکن سایر راهبردها نیز از نظر حذف برخی از عوامل آلاینده بسیار مناسب عمل نمودند. در خاتمه لازم به ذکر است که این تحقیق به قصد، در نامناسب‌ترین شرایط اجرایی از نظر انتخاب نوع خاک (درشت دانه و بدون اجرای عملیات تراکمی) و در عمق سطح ایستابی حداقل به انجام رسید. قطعاً در شرایط محیط طبیعی و در نتیجه طی مسافت بیشتر توسط پساب از میان لایه‌های غیر اشباع و اشباع خاک، بازدهی به مراتب بهتری از سیستم تغذیه مصنوعی قابل انتظار خواهد بود.

قدردانی

اجرای تحقیق حاضر با مساعدت مالی کمیسیون آب شورای پژوهش‌های علمی کشور و همکاری مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران، معاونت عملیات و بهره برداری شرکت فاضلاب استان تهران و تصفیه خانه فاضلاب شهرک اکباتان میسر گردیده است که بدین وسیله صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

1- American Public Health Association

منابع

۱- حسن‌اقلی، ع. ۱۳۸۳. استفاده از فاضلاب‌های خانگی و پساب تصفیه خانه‌ها در آبیاری محصولات کشاورزی. گزارش نهایی طرح پژوهشی، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. شماره ثبت ۸۳/۸۰۶، ۲۳۱ صفحه.

۲- علیزاده، ا. ۱۳۷۶. استفاده از فاضلاب تصفیه شده در آبیاری چغندرقند. وزارت نیرو، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور. گزارش نهایی طرح پژوهشی.

۳- ناصری، س. ۱۳۷۸. اثرات بهداشتی استفاده از پساب‌ها در کشاورزی. مجموعه مقالات همایش جنبه‌های زیست محیطی استفاده از پساب‌ها در آبیاری. وزارت نیرو، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۱۱ آذرماه ۱۳۷۸، تهران. صفحات ۲۷ الی ۳۴.

4- Anon. 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th edition, American Public Health Association (APHA), U.S.A.

5- Asano, T. and Levine, A. D. 1996. Wastewater Reclamation, Recyling and Reuse: Past, Preseent, and Future. Wat. Sci. Tech. 33 (10-11): 1-14.

6- Bouwer, H. 1994. Irrigation and Global Water Outlook. Agricultural Water Management, 25: 221-231.

7- FAO. 1992. Wastewater Treatment and Use in Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

8- Feigin, A. 1991. Irirgation with Treated Sewage Effluent. Springer- Verlag, Berlin.

9- McGhee, T. J. 1991. Water Supply and Sewerage. 6th edition, McGraw-Hill, Inc.

10- Metcaff and Eddy Inc. 1991. Wastewater Engineering: Treatmennt, Disposal, Reuse. 3rd ed., John Wiley and Sons, New York.

11- Salgot, M., Huertas, E. , Weber, S., Dott, W., and Hollender., J. 2006. Wastewater Reuse and Risk: Definition of Key Objectives. Desalination, 187 (1-3): 29-40.

12- Zhao, Q. L., Wang, L. N. Xue, S. Liu, Z. G. You S. J. and Wang. S. H. 2007. Migration and Removal of Organic Matters in Reclaimed Wastewater During Groundwater Recharge. Applied Ecology. 18 (7): 1661-1664.

Journal of Water and Soil
Vol. 23, No. 1, Spring 2009, p.143-151

مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۳، شماره ۱، بهار ۱۳۸۸، ص ۱۵۱-۱۴۳

Effect of Recharge Practices with Treated Domestic Wastewater of Ekbatan Complex on Mineral and Biological Pollutants Transfer to Shallow Aquifer

A. Hassanoghli - A. Liaghat[1]

Abstract

Recharge of aquifers by using wastewater, is one of the important and applicable ways for reusing this valuable water resource, especially in arid and semi-arid regions. As the necessity of local practices for finding the proper management strategies and optimum use of recharge systems (conforming to climate, soil, etc.), a preliminary study was carried out. Three physical models were designed and made with a height of 2 m and diameter of 0.6 m. The models were filled with a soil of silty clay sand texture. Treated domestic wastewater of Ekbatan housing complex was used. Transfer of important pollutants indexed by BOD_5, COD, nitrogen and phosphorous to shallow grounwaters were studied. Three management practices of wet-dry periods have been used: 1-permanent or long ponding (PP), 2- short period ponding and drying (SP) as 12 hours wetting and 12 hours free drainage, and 3- Moderate ponding (MP) and drying by means of wetting for one week and then drying for another week. The results showed that optimum BOD_5, COD and nitrogen reduction occurred in the application of short period ponding management system (mean reduction percentage of 93.5%, 79.5% and 40.4%, respectively). The phosphorous reduction in all strategies was 65% - 75%. The efficiency of microbial indices removal (coliform and fecal coli.) from treated wastewater was high in all management systems. The amount of reduction in this case was between 97% to 99%.

Key words: Artificial recharge, Physical model, Treated domestic wastewater, fecal coliform

1- Staff member (Research Assistant Prof.) of Agricultural Engineering Research Institute (AERI), P.O. Box 31585-845, Karaj, Iran. (Corresponding auther Email: a.hassanoghli@gmail.com) and Associated Prof. of Tehran University, Faculty of Agriculture, Department of Irrigation and Reclamation, Karaj, Iran, respectively.