تصفیه فاضلاب‌های خانگی با استفاده از نیزارهای مصنوعی برای استفاده در آبیاری

احمد بادکوبی[1]

مقدمه

در سال‌های اخیر گزینه‌های اکولوژیکی در تصفیه فاضلاب دارای طرفدارانی گردیده است. کاهش آلاینده‌های موجود در فاضلاب (*Heavy Metals, TP, TN, pH, TSS, BOD, COD* و کلیفرم‌ها) با توجه به هدف تصفیه دارای مراحل مختلفی شامل تصفیه مقدماتی، ثانویه و پیشرفته است. سیستم‌های متعارف در تصفیه فاضلاب از قبیل لجن فعال یا صافی‌های چکنده به علت مشکلات راهبری، از کارایی مناسب در کشورهای در حال توسعه و جهان سوم برخوردار نیستند. بعلاوه، اصرار و تمایل به استفاده مجدد از منابع نیز باعث رو کردن به استفاده از مواد مغذی موجود مورد نیاز گیاه در مواد زائد گردیده است.

نیزارها در سرتاسر دنیا به منظور بهینه کردن سیستم‌های موجود تصفیه فاضلاب از قبیل، برکه‌های تثبیت، حوضچه‌های اکسیداسیون و ترسیب شیمیایی به کار می‌روند، یا نقش سیستم تصفیه فاضلاب را به تنهایی اجرا می‌کنند (*Kedlac and knight, 1996*). نیزار به زمینی اطلاق می‌شود که اشباع از آب و پوشیده از گیاه نی بوده و آب با جریان یکنواخت از روی بستر (سطحی) و یا داخل بستر (زیرسطحی) در حرکت باشد. در نیزارهای سطحی، قسمت اعظم جریان بر روی بستر و از میان نی‌ها عبور می‌کند. در نیزار زیرسطحی آب از داخل بستر که شامل مواد تشکیل دهنده بستر و ریشه نی می‌باشد عبور می‌کند. از نیزارها (طبیعی، مصنوعی) در تصفیه فاضلاب یا زلال سازی پساب‌ها استفاده می‌گردد (*Black etal, 1981, EPA, 1979*). از نیزارهای مصنوعی در تصفیه فاضلاب‌های معادن، شیرابه محل دفن و فاضلاب دامداری‌ها نیز استفاده می‌گردد (*Hammer 1979*).

در نیزارهای مصنوعی فاضلاب به روش طبیعی تصفیه می‌گردد. از این روش می‌توان تا هر

۱- عضو هیئت علمی دانشگاه تربیت مدرس

مرحله‌ای با تصفیه مقدماتی در جهت کاهش مواد جامد معلق، تصفیه ثانویه در جهت کاهش مواد آلی و یا تصفیه پیشرفته در جهت حذف نیتروژن، فسفر، مواد معدنی و حتی فلزات سنگین استفاده کرد. عوامل مؤثر در مراحل تصفیه عبارتند از نی، بستر و موجودات ذره‌بینی.

بستر در نیزارها شامل خاک یا شن با تخلخل‌های متفاوت می‌باشد. در نیزارهای سطحی معمولاً بستر از خاک با بافت درشت دانه می‌باشد. در نیزارهای زیرسطحی به علت حرکت افقی یا عمودی فاضلاب از داخل بستر و نیاز به آبگذری بالا، بستر معمولاً از ماسه یا شن تشکیل می‌شود. در نیزارهای زیرسطحی، سطح مواد تشکیل دهنده بستر به عنوان محل رشد میکروارگانیزم‌های تصفیه کننده فاضلاب می‌باشد.

گیاه نی شامل برگ، ساقه و ریشه است. ریشه نی در داخل بستر رشد می‌کند و سطحی مناسب برای چسبیدن و رشد میکروارگانیزم‌ها و تغذیه آنها از مواد مغذی موجود در فاضلاب است. ریشه نی همواره در حال تزریق اکسیژن به بستر و فاضلاب می‌باشد. لذا اکسیژن مورد نیاز باکتری‌های هوازی از این ناحیه تأمین می‌گردد که به طور متوسط دو گرم بر هر متر مربع *(Reedetal 1988)* می‌باشد. اکسیژن فوق توسط برگ‌ها و ساقه از هوا جذب و به ریشه منتقل می‌گردد. ریشه نی دارای رشد عمقی تا حدود ۸۰-۷۰ سانتی متر و رشد جانبی است. مواد مغذی مورد نیاز گیاه نی از قبیل P,N توسط ریشه جذب و به قسمت‌های هوایی گیاه منتقل می‌گردد.

در نیزارهای سطحی، میکروارگانیزم‌ها علاوه بر رشد در روی ریشه بر روی سطح ساقه و برگ‌های غوطه‌ور در فاضلاب نیز رشد می‌نمایند. در بستر نیزارها با وجود مواد غذایی (منبع کربن و انرژی) و مواد مغذی (P, N و عناصر جزیی) در فاضلاب، انواع میکروارگانیزم‌ها (هوازی- بی‌هوازی) رشد می‌نمایند. از جمله از وجود باکتری‌های نیتریت‌زا و نیترات‌زا که در عمل نیتریفیکاسیون و نیتریت‌زدا که در عمل دنیتریکاسیون نقش دارند می‌توان نام برد.

در نقاط مختلف دنیا از جمله آمریکا (کالیفرنیا، لوئیزیانا، یوتا و...)، استرالیا (سیدنی)، کانادا (آنتاریو)،هند، سوئد و یونان در مقیاس‌های مختلف از این دو روش (سطحی و زیرسطحی) با سطوح ۲۱ تا ۰/۰۳۶ هکتار برای تصفیه انواع فاضلاب‌ها استفاده شده است *(WPCF, 1990)*.

در چهار نقطه از ایران در شهرهای بوشهر، تهران، سنندج، و سبزوار از نیزارهای مصنوعی زیرسطحی به مساحت‌های ۲۰۰ الی ۸۰۰ متر مربع استفاده شده است. هدف از انجام این گونه طرح‌ها پیدا کردن سطح مورد نیاز به ازای هر فرد و عملکرد سیستم در مناطق با آب و هوای متفاوت بوده است (بادکوبی و همکاران).

روش کار

برای تعیین سطح مورد نیاز برای تصفیه فاضلاب تولیدی به ازای هر نفر، از دو حوضچه بتنی مشابه به ابعاد ۱۰ متر (عرض) در ۱۵ متر (طول) استفاده شد. ۱/۶ متر از قسمت اول حوضچه‌ها به عنوان حوض ته‌نشینی مورد استفاده قرار گرفت. حوضچه‌ها از شن با قطر ۸-۴ میلی‌متر (با هدایت آبی ۵۰۰ متر در روز) با ارتفاع ۰/۶ متر و از ۱/۶ متری ابتدای حوضچه‌ها تا انتهای آنها پر شدند. بر روی بستر شنی خاک از نوع دوم به ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر پخش شد. در داخل یکی از بسترها (نیزار) نی از نوع *Phragmites australis* به فاصله ۰/۵ متر از هم کاشته شد و بستر دیگر بعنوان شاهد قرار گرفت. فاضلاب از شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهری (تهران) به داخل دو حوضچه با دبی‌های ۵، ۱۰ و ۲۰ لیتر در دقیقه پمپ گردید. خروجی پساب از سه نقطه در عرض هر بستر صورت می‌گرفت.

آزمایشات COD, BOD_5 و TSS به طور هفتگی از نمونه‌های برداشت شده از ورودی به حوضچه، ورودی به بستر و خروجی از بستر انجام می‌شد. آزمایشات TN, NH_4, No_3,No_2، نیتروژن آلی، فسفر کل و کلیفرم‌های مدفوعی کل در انتهای دوره آزمایش انجام شد. کلیه آزمایشات بر اساس روش‌های مندرج در استاندارد متد *(APHA, 1992)* انجام گردید.

مدت زمان آزمایش ۹ ماه به طول انجامید که در این مدت دبی‌های ۵، ۱۰ و ۲۰ لیتر در دقیقه مورد آزمایش قرار گرفت.

نتایج

نتایج حاصله از دبی ۵ لیتر در دقیقه در جدول شماره ۱ نشان داده شده است. در این مرحله که ابتدای کار بود با کشت نی‌ها شروع شد و این مرحله تا رسیدن به حالت یکنواخت ادامه داشت. مدت رسیدن به حالت یکنواخت حدود ۳۰ روز به طول انجامید (شکل ۱).غلظت‌های ورودی به حوض ته‌نشینی از ابتدای آزمایشات تا رسیدن به حالت یکنواخت به طور متوسط در نظر گرفته شد. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود ۱۵+۲۰ درصد BOD_5 در حوض ته‌نشینی حذف می‌گردد. راندمان حذف BOD در حوض شاهد این مرحله بهتر از راندمان نیزار است، (شکل ۱).

مقدار بار گذاری در نیزار در این مرحله ۸/۶ گرم بر متر مربع برآورد گردید که در این صورت سطحی معادل ۳/۷۲ متر مربع به ازای هر نفر با دبی ۵ لیتر در دقیقه مورد نیاز است. در مرحله دوم دبی ورودی به ۱۰ لیتر در دقیقه افزایش یافت. نتایج حاصله در حالت یکنواخت در جدول ۲ آمده است. بر اثر افزایش دبی ورودی، غلظت BOD_5 خروجی به ۵۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش پیدا کرد ولی بعد از یک هفته غلظت BOD_5 خروجی به ۲۵ میلی‌گرم در لیتر کاهش یافت (شکل - ۲). با

توجه به رشد ظاهری نی‌ها در بستر در این مدت راندمان نیزار نسبت به شاهد بهتر شد. این مرحله برای مدت شصت روز ادامه داشت و کیفیت خروجی پساب به حالت یکنواختی رسید. در این مرحله مقدار سطح مورد نیاز هر نفر با دبی ۱۰ لیتر در دقیقه ۱/۸۶ متر مربع برآورد گردید. مقدار بارگذاری BOD_5 در این مرحله ۳/۸ +۱۲ گرم بر متر مربع محاسبه گردید.

در مرحله سوم دبی ورودی نیزار به ۲۰ لیتر در دقیقه افزایش داده شد.به علت عدم ظرفیت پمپ دبی ورودی به شاهد ۱۵ لیتر در دقیقه افزایش داده شد. نتایج حاصله در این مرحله برای مقایسه نیزار و شاهد مناسب نمی‌باشد. با این حال شکل شماره ۳ کیفیت BOD_5 خروجی از نیزار و شاهد را نشان می‌دهد. نتایج آزمایشات نیزار در جدول ۳ آمده است. با افزایش دبی در نیزار، BOD_5 خروجی به ۴۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش و بعد از ۵۰ روز به ۱۹ میلی‌گرم در لیتر کاهش پیدا کرد. مقدار بار آلی بر روی نیزار ۲۱+۴۵ گرم بر متر مربع و سطح مورد نیاز برای هر نفر با دبی ۲۰ لیتر در دقیقه یک متر مربع برآورد گردید.

حذف مواد مغذی و باکتری‌های بیماری‌زا

۳۴ درصد حذف ازت در دبی ۲۰ لیتر در دقیقه در نیزار حاصل شد. غلظت نیترات از ۰/۹۶ میلی‌گرم در لیتر به ۲۰/۴۷ میلی‌گرم در لیتر افزایش پیدا کرد. مقدار حذف آمونیاک ۷۰ درصد و ازت آلی ۹۸ درصد در مرحله سوم بوده و مقدار حذف فسفر ۵۶ درصد بود.

حذف کلیفرم‌های مدفوعی کل در هر دو بستر شاهد و نیزار بیش از ۹۹ درصد بود با این حال تعداد کلیفرم‌های مدفوعی کل در خروجی بیشتر از استانداردهای وضع شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست می‌باشد.

تأثیر طول بستر در تصفیه

با برداشت نمونه پساب در مرحله سوم از فواصل ۳، ۶ و ۹ متری از شروع بستر شنی در نیزار، تأثیر طول بستر در تصفیه مورد مطالعه قرار گرفت. همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است حداکثر تصفیه در ۳ متر اول بستر اتفاق افتاده است. البته برای رسیدن به کیفیت مطلوب خروجی به مابقی طول بستر نیاز می‌باشد.

بحث

این تجربه نشان داد که نیزارها از مناسب‌ترین روش‌های طبیعی در تصفیه فاضلاب می‌باشند که قادر به کاهش BOD_5 ،COD ،TSS و رساندن آن به استانداردهای وضع شده موجود توسط

سازمان حفاظت محیط زیست می‌باشند.

این آزمایشات نشان داده که در شرایط ایران امکان بارگذاری تا حدود ۲۰۰ کیلوگرم BOD_5 در هکتار امکانپذیر است در حالی که در مراجع *(Metcalf and Eddy, 1991)* حداکثر مقدار بارگذاری ۱۳۳ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است.

در این تحقیق چنین معین گشت که بارگذاری کمتر از یک کیلوگرم بر متر مربع در روز مشکلی از نظر گرفتگی بستر نخواهد داشت.

وجود نیترات و فسفر در پساب خروجی که مورد استفاده در آبیاری است باعث مطلوب بودن پساب خروجی از نیزارها می‌باشد. عدم وجود مواد معلق در خروجی از نظر ظاهر و تأثیر بر روی استفاده‌کنندگان از آب بسیار مطلوب خواهد بود.

نتیجه‌گیری

این تحقیق نشان داد که نیزارهای مصنوعی زیرسطحی برای تصفیه فاضلاب‌های خانگی در ایران روش بسیار مناسب از نظر راحتی ساخت و راهبری و عملکرد می‌باشد.

زمین مورد نیاز برای هر فرد در شرایط آب و هوایی مختلف ۲-۱ متر مربع پیشنهاد می‌گردد. از عوامل مؤثر و مهم در طراحی این گونه سیستم‌ها طول مؤثر در تصفیه در حد نیل به استانداردهای زیست محیطی است.

ضمیمه

نتایج و امکانات موجود در داخل کشور بیانگر این موضوع است که می‌توان با اطمینان از این روش در تصفیه فاضلاب روستاها استفاده کرد. عدم وجود نیرو و امکانات فنی در روستاها جذابیت این روش را بیشتر می‌کند. مراحل ساخت این سیستم بسیار ساده و عملی در هر نقطه می‌باشد. در نقاط مسطح با ایجاد حوضچه‌ای با عرض ورودی متناسب با مقدار فاضلاب، طولی معادل ۲۰-۱۵ متر، عمق بستر شنی در حدود ۷۰ سانتی‌متر و توزیع ورودی‌ها و خروجی‌های فاضلاب در عرض بستر می‌توان به راندمان دلخواه دست یافت.

مراحل طراحی نیزارهای مصنوعی عبارتند از:

۱- تعیین کیفیت فاضلاب،
۲- انتخاب زمین،
۳- طراحی سیستم،
۴- ساخت بستر،
۵- کاشت نی و
۶- راه‌اندازی سیستم.

Table 1. Performance of the phase one at steady state

		Sed.	Wetland	Blank
BOD_5	IN(mg/L)	210±95	160±40	160±40
	OUT(mg/L)	160±40	28	10
	REM.%	20±15	82.5	94
COD	IN(mg/L)	284±97	226±20	226±20
	OUT(mg/L)	226±20	67	32
	REM%	15±23	70	85
TSS	IN(mg/L)	350±277	182±75	182±75
	OUT(mg/L)	182±75	90	48
	REM%	31	50	70
pH	OUT	7.45±0.13	7.68±0.29	7.68±0.3

Table 2. Performance of the phase two at steady state

		Sed.	Wetland	Blank
BOD_5	IN(mg/L)	180±44	110±36	110±36
	OUT(mg/L)	110±36	7.3	18
	REM.%	38.6±4	93±2.5	82±6
COD	IN(mg/L)	317±120	150±46	150±46
	OUT(mg/L)	150±46	13	29
	REM%	51±4	91±2	79±6
TSS	IN(mg/L)	264±84	148±44	148±44
	OUT(mg/L)	148±44	32±16	28±23
	REM%	44±1	79±5	83±11
pH		7.47±0.25	7.47±0.2	7.33±0.2

Table 3. Performance of the phase three at steady state

		Sed.	Wetland
BOD_5	IN(mg/L)	128±100	210±100
	OUT(mg/L)	210±100	19±4
	REM.%	-	90±3
COD	IN(mg/L)	307±88	300±100
	OUT(mg/L)	300±100	40±3
	REM%	3±4.5	86±4
TSS	IN(mg/L)	257±140	300±76
	OUT(mg/L)	300±76	36±20
	REM%	-	89±4
pH		7.29±0.12	7.23±0.1

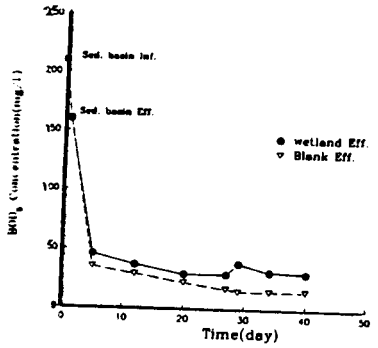

Figure 1. BOD_5 reduction in wetland and unplanted beds in phase one.

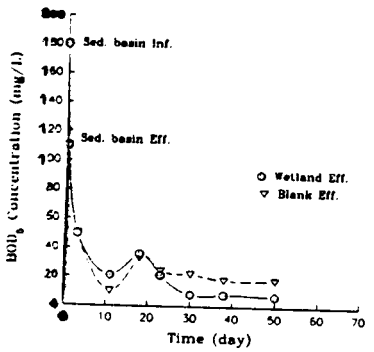

Figure 2. BOD_5 reduction in wetland and unplanted bed in phase two.

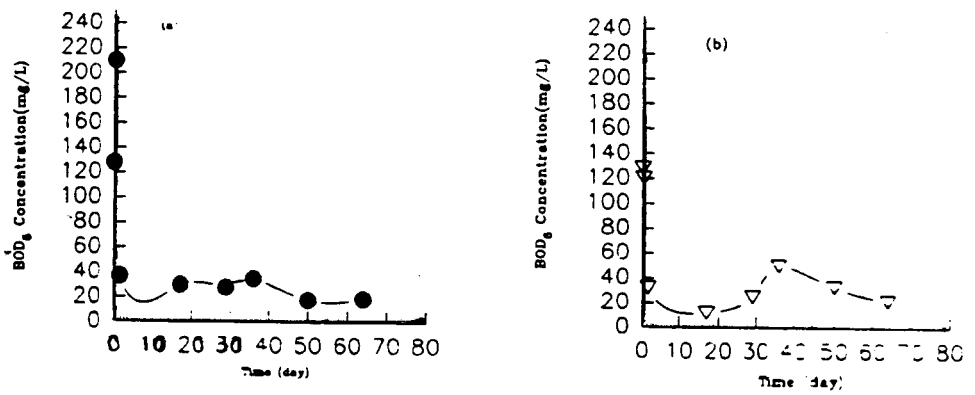

Figure 3.BOD_5 reduction in (a) wetland and (b) unplanted beds in phase three.

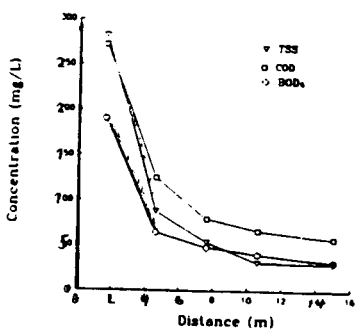

Figure 4. Effluent concentration of BOD_5, COD and TSS at different points in wetland.

مراجع

۱-قادری، ع، ا. بادکوبی، ۱۳۷۶، عملکرد نیزارهای مصنوعی زیر سطحی در ایران.

۲-رعنایی، ف، ا. بادکوبی، ۱۳۷۶، رشد میکروارگانیزم‌ها و گیاه نی در نیزارهای مصنوعی زیرسطحی در شرایط آب و هوای سرد.

۳-سلیمی، م، ا. بادکوبی، ۱۳۷۷، تعیین نسبت‌های مختلف طول به عرض در طراحی نیزارها مصنوعی زیرسطحی در ایران.

4-American public Health Association (APHA) , 1992
Standard Methods for Examination of Water and Wastewater , 19th ed , Washington D.C.

5- Black , S.A. , I . Wile , ad G .Miller . 1981
Sewase effluent treatment in an artificial marshland . Paper presentation , 1981 Conference of the Water Pollution Control Federation , Detroit , Michigan.

6- EPA , 1970 , Aquaculfure systems for wastewater treatment . Seminar proceeding and Engineering Assessment . 430/980-006.U.S. Environmental protection Agency , Office of water program operation .

7-Hemmer , Donald A., ed.1989 . Constructed Wetland for Wastewater Treatment : Municipal , Industrial , and Agricultural. Lewis Publisher , Inc.

8- Metcalf and Eddy , 1991 . Wastewater Treatment , Disposal , Reuse .Erd ed. Mc Graw Hill Book CO. Newyork. N.Y.