

# بررسی نقش گیاهان در پالایش طبیعی آب‌های آلوده‌ی شهری مورد؛ پالایش آب‌های آلوده‌ی شهری تهران با نیزار مصنوعی

عباسعلی قادری

عضو هیأت علمی مهندسی عمران دانشگاه سیستان و بلوچستان

## چکیده

تغییر شرایط اقلیمی تحت تأثیر آلودگی‌های مختلف، زندگی انسان را به مخاطره انداخته است. از جمله آلودگی‌های مهم، آلودگی آب است که با توجه به کمبود آب شیرین، اثر مستقیمی بر توسعه یک کشور دارد. بنابراین پالایش آب‌های آلوده در جهان از اهمیت خاصی برخوردار است و هزینه‌ی زیادی را به شهرها و کشورها تحمیل می‌کند. لذا انتخاب فناوری مناسب با توجه به شرایط آب و هوایی، اقتصادی و اجتماعی هر منطقه حایز اهمیت فراوان است. روش طبیعی پالایش آب‌های آلوده‌ی شهری به وسیله‌ی نیزارها، علاوه بر هزینه‌ی کم، راهبری ساده، فناوری پایین مورد نیاز و مصرف انرژی کم و در مقایسه با روش‌های معمول پالایش، روشی مناسب برای حذف آلاینده‌ها از آب بوده که در اصلاح و بهبود محیط زیست نیز موثر است.

در همین راستا، کارآیی و نقش نیزارها در پالایش آب‌های آلوده شهری مورد مطالعه قرار گرفته و بازدهی نیزار مصنوعی با جریان زیر سطحی نمونه (پیلوت) با گیاه نی «فراگمایتیس استرالیس» برای پالایش آب‌های آلوده‌ی شهری تهران به صورت موردی بررسی شده است.

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که نیزار مصنوعی قادر است غلظت شاخص‌های آلودگی  $TSS(36 \pm 20mg/l)$ ,  $COD(40 \pm 3mg/l)$ ,  $BOD_5(19 \pm 4mg/l)$  را به پایین‌تر از میزان استاندارد توصیه شده از طرف سازمان حفاظت محیط زیست برساند و «کلی فرم‌های مدفوعی» را به بیش از ۹۹ درصد کاهش دهد.

کلید واژه‌ها: پالایش طبیعی آب‌های آلوده، پالایش آب‌های آلوده شهری تهران، نیزار، نیزارهای طبیعی، نیزارهای مصنوعی، جریان زیر سطحی.

## مقدمه

فناوری‌های یکی دو قرن اخیر در رشته‌های مختلف دانش بشری با انواع آلاینده‌ها، موجب آلودگی محیط زیست (آب و هوا و خاک) و باعث تغییرات اقلیمی زمین گردیده

است. از جمله آلودگی آب را می‌توان نام برد. آب‌ها با وجود کمبود آب شیرین در طبیعت با انواع حشره‌کش‌ها و سموم دفع آفات و دیگر آلاینده‌ها، آلوده شده است و همراه با افزایش جمعیت جهان روز به روز مسأله‌ی کمبود آب شیرین دشوارتر می‌شود (گنجی، ۱۳۸۲: ۱۲-۵). یکی از منابع مهم آلودگی آب‌های شیرین آب‌های آلوده شهری، روستایی، کشاورزی، صنعتی و دامی است. بنابراین برای حفاظت منابع آب شیرین و جلوگیری از آلودگی محیط زیست و بهداشت همگانی، جمع‌آوری و پالایش آب‌های آلوده و استفاده مجدد از این آب‌ها برای مصارف غیرخانگی به ویژه در ایران به علت کمی آب و گرانی آب آشامیدنی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. لذا، با توجه به دلایل فوق نزدیک به نیم قرن است که موضوع پالایش آب‌های آلوده در ایران مطرح شده و عملاً برنامه‌ریزی‌هایی در این زمینه صورت گرفته است که تلاش‌های مسئولین بعد از انقلاب شکوهمند اسلامی و تشکیل کمیته‌های آب و فاضلاب شهری و روستایی در سراسر کشور نشان‌دهنده‌ی توجه جدی دست اندرکاران به ضرورت و اهمیت این موضوع می‌باشد.

آنچه در این زمینه حائز اهمیت است انتخاب فناوری مناسب با توجه به شرایط آب و هوایی، اقتصادی و اجتماعی هر منطقه است که استفاده از روش مورد نظر را ممکن می‌سازد. در چنین شرایطی روش‌های آسان و ارزان پالایش آب‌های آلوده اهمیت دو چندان دارد و زمینه را برای تلاش پژوهشگران فراهم می‌سازد. از جمله روش‌های ساده و ارزان، روش‌های طبیعی پالایش آب‌های آلوده شهری است. این روش‌ها به دلیل هزینه‌ی اولیه‌ی کم، مصرف انرژی بسیار پایین، راهبری ساده و عدم نیاز به نیروی بهره‌بردار متخصص، مورد علاقه‌ی پژوهشگرانی است که برای یافتن روش‌های مناسب‌تر و ارزان‌تر از روش‌های متداول پیچیده، تحقیق می‌نمایند (Bavar, 1994).

سال‌های متمادی است که در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه، پژوهش‌های بسیاری برای پالایش آب‌های آلوده شهری به وسیله‌ی روش‌های طبیعی انجام می‌شود. از جمله آلمان، هند، چین، استرالیا، آمریکا و دانمارک که از سال ۱۹۷۰ میلادی تاکنون تحقیقات زیادی در زمینه‌ی استفاده از روش‌های طبیعی به ویژه روش استفاده از گیاهان را برای پالایش آب‌های آلوده شهری انجام داده‌اند.

در سال ۱۹۷۹ ولورتون از گیاه شاه تره آبی<sup>۱</sup> در استخرهای هوازی و بی‌هوازی استفاده کرد (Wolverton, 1979: 305-313). در سال ۱۹۸۴ گرز برگ از لویی<sup>۲</sup> و جگن<sup>۳</sup>

---

1- Water hyacinth  
2- Cattail(Typhceae)  
3- Bulrush

جهت حذف نیتروژن فاضلاب شهری در نيزار مصنوعی استفاده نمود، او برای هر نوع گیاه، دو پایلوت در نظر گرفته بود، نتایج این تحقیق به ترتیب راندمان ۹۷ و ۹۴ درصد را برای حذف نیتروژن کل معدنی و نیتروژن کل نشان داد (Gersberg, 1984). همچنین گرزبرگ و همکارانش در سال ۱۹۸۶ از گیاهان نی معمولی<sup>۱</sup>، جگن و لویی برای حذف نیتروژن، BOD و TSS از فاضلاب شهری که عمل پیش تصفیه روی آن انجام شده بود استفاده کردند (Gresbergetal, 1986: 363-368).

با توجه به تجربیات فوق و کارآمدی روش‌های طبیعی پالایش آب‌های آلوده‌ی شهری به‌وسیله‌ی گیاهان آبی، در شرایط آب و هوایی ایران پالایش آب‌های آلوده‌ی شهری تهران به‌وسیله‌ی نيزار مصنوعی با جریان زیرسطحی به‌صورت موردی، بررسی شد که بر اساس مطالعات میدانی (پایلوت)، نتایج به‌دست آمده، کارآیی نيزار مصنوعی در کشور ما را اثبات می‌کند. این تحقیقات نشان داده است که روش استفاده از گیاهان آبی مخصوصاً نيزارها، فرآیندی مطمئن، کارآمد، اقتصادی و آسان جهت پالایش آب‌های آلوده شهری و روستایی، پسابهای صنعتی و کشاورزی و دامی است که علاوه بر هزینه‌ی کم و مصرف انرژی بسیار پایین و راهبری ساده، باعث رفع آلودگی محیط زیست و بهبود آن شده و از نظر اقتصادی روی طرح‌های مهندسی مرتبط با رفع آلودگی تأثیر بسزایی دارد (Van Oostrom, 1994: 7-14).

### نيزارها

نيزار<sup>۲</sup> نوعی تالاب است و به منطقه‌ای اطلاق می‌شود که آب‌های سطحی را به‌طور پیوسته یا متناوب دریافت می‌کند، یا این که به دلیل بالا بودن سطح آب زیرزمینی منطقه همواره از آب اشباع شده است و انواع نی از قبیل نی معمولی، لویی، جگن در آن رشد می‌کند (Trattner, 1989: 591-621).

نيزارها به دو دسته‌ی کلی تقسیم می‌شوند:

### الف - نيزارهای طبیعی<sup>۳</sup>

نيزارهای طبیعی، نقش اساسی در محیط زیست دارند و محل مناسبی برای حیات وحش از جمله ماهی‌ها، پرندگان، چوندگان و خزندگان محسوب می‌شوند که

1- Reed (*Phragmites australis*)

2 - wetland

3- Natural wetlands

علاوه بر تأثیر مثبت در محیط زیست، دارای محاسنی از قبیل کاهش اثر تخریبی سیلاب‌ها، کاهش فرسایش خاک و بهبود کیفیت آب نیز هستند (Sauter, 1995: 48-52). از نیزارهای طبیعی می‌توان به‌عنوان سیستم‌های طبیعی پالایش آب‌های آلوده‌ی شهری، صنعتی و کشاورزی استفاده کرد، با این شرط که همه‌ی جوانب امر بررسی شود تا به محیط زیست و حیات جانوران صدمه‌ای وارد نگردد. پساب‌های ورودی به تالاب‌های طبیعی باید دارای استانداردهای لازم غیر مضر به حیات وحش باشد، که این پساب‌ها می‌تواند پساب سپتیک تانک، پساب سیستم‌های پالایش مقدماتی یا اولیه باشد.

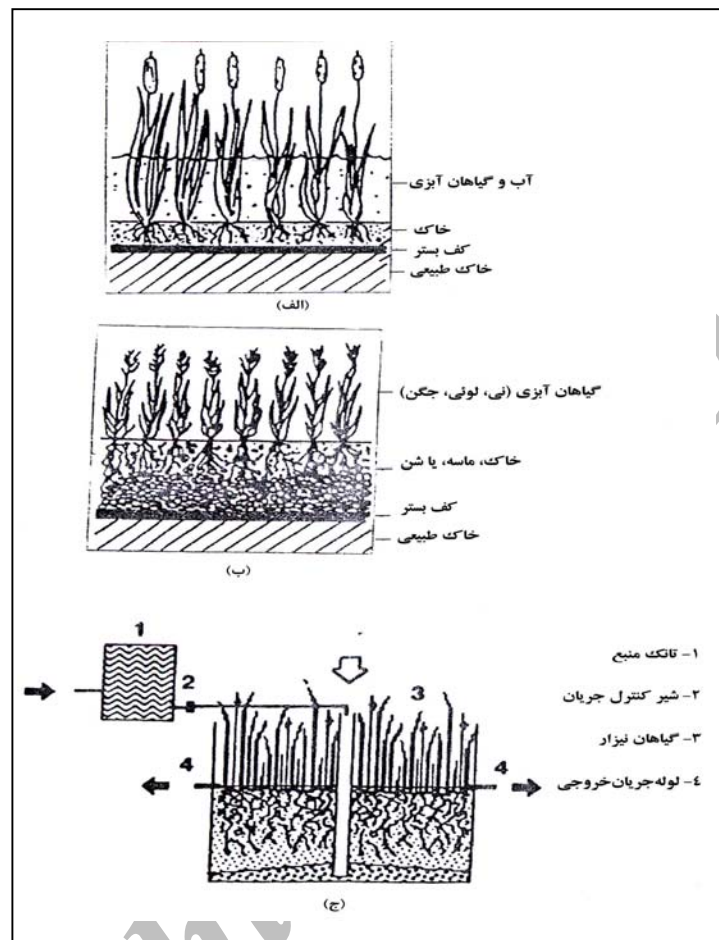
#### ب - نیزارهای مصنوعی<sup>۱</sup>

نیزارهای مصنوعی از جمله روش‌های طبیعی پالایش آب‌های آلوده هستند که عملکردی مانند نیزارهای طبیعی دارند و از این تالاب‌ها شبیه‌سازی شده‌اند، با این تفاوت که بر نیزارهای مصنوعی کنترل بیشتری وجود دارد و باعث کارایی و بازدهی بهتر این سیستم‌ها می‌شود. نیزار مصنوعی بر اساس فرآیندهای طبیعی قادر به تصفیه آب‌های آلوده است و بیشتر به عنوان پالایش ثانویه (بیولوژیکی) در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و پالایش آب‌های آلوده‌ی دامی استفاده می‌شود و قادر به از بین بردن پاتوژن‌ها (بیماری‌زها)، ویروس‌ها و باکتری‌های زیان‌آور بوده و آنها را تبدیل به اجسام بی‌ضرر می‌کند (DAIS, 2002).

نیزارهای مصنوعی در سال‌های اخیر در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه مورد توجه قرار گرفته است. از این روش در آلمان برای پالایش فاضلاب خانگی به صورت یک واحدی یا مجتمع‌های کوچک تا ۱۰۰۰ نفر جمعیت استفاده می‌شود که عملکرد بسیار خوبی دارد (Netter, 1994: 37-44).

نیزارهای مصنوعی به دو دسته کلی، نیزارهای جریان سطحی با سطح آزاد آب (FWS)<sup>۲</sup> و نیزارهای جریان زیرسطحی (SSF)<sup>۳</sup> تقسیم می‌شوند (شکل ۱). نیزارهای جریان زیر سطحی به دو صورت، عمودی رو به بالا (UF)<sup>۴</sup> (Tanner, 1994: 85-93) و افقی (HF)<sup>۵</sup> به‌منظور پالایش آب‌های آلوده ساخته می‌شوند (Rowe, 1995: 439-460).

- 
- 1-Constructed wetlands
  - 2-Free water surface wetlands
  - 3-Subsurface flow wetlands
  - 4- Upflow constructed wetlands
  - 5-Horizontal flow constructed wetlands



شکل ۱: انواع نیزارهای مصنوعی. الف - نیزار مصنوعی با جریان سطحی (FWS) ب - نیزار مصنوعی با جریان زیرسطحی عمودی (SSF) ج - نیزار مصنوعی با جریان زیرسطحی عمودی

نتایج و کارایی نیزارها در پالایش آب‌های آلوده کاهش آلاینده‌ها و شاخص‌های آلودگی آب از جمله اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی پنج روزه ( $BOD_5$ )، مواد جامد معلق (SS)، مواد مغذی (نیترژن و فسفر) از فاضلاب شهری در نیزارهای طبیعی و مصنوعی به وسیله‌ی آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) مورد مطالعه قرار گرفته است که نتایج در جدول (۱) آورده شده است.

1-Biochemical Oxygen Demand  
2-Suspended solids

جدول ۱: بازدهی کاهش BOD<sub>5</sub>، SS و مواد مغذی در نيزارها\*

پارامتر	میزان کاهش (%)	
	نيزار طبیعی	نيزار مصنوعی
اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی (BOD <sub>5</sub> )	۹۶-۷۰	۹۰-۵۰
مواد جامد معلق (SS)	۹۰-۶۰	-
نیتروژن (N)	۹۰-۴۰	۹۸-۳۰
فسفر (P)	۵۰-۱۰	۹۰-۲۰

(Rowe, 1995:439-460) \*

تغییرات وسیعی که در بازدهی مشاهده می‌شود ناشی از تغییرات آب و هوا، اختلاف درجه حرارت، شدت و ضعف نور خورشید و اختلاف در وضعیت فیزیکی سطح آب، عمق آب و نوع گیاه است (Rowe, 1995:439-460).

در جدول (۲) مقدار بعضی پارامترها از جمله نیکل، آلومینیوم، فلئورید و تعداد «کلی فرم‌های مدفوعی» در جریان ورودی و خروجی نيزارها و همچنین درصد کاهش این پارامترها آورده شده است. که این نتایج کارآیی خوب نيزارها در پالایش آب‌های آلوده را نشان می‌دهد.

جدول ۲: کیفیت فاضلاب ورودی و پساب خروجی نيزارها\*

پارامتر	ورودی (میلیگرم در لیتر)	خروجی (میلیگرم در لیتر)	درصد حذف
BOD <sub>5</sub>	۱۰۷	۱۱	۹۰
COD	۳۴۶	۱۰۰	۷۱
TSS	۲۸	۳	۸۹
آمونیاک	۵۰	۱۶	۶۸
فلئورید	۱۵/۴	۸/۵	۴۵
آلومینیوم	۱/۵	۰/۱	۹۳
نیکل	۰/۶۶	۰/۰۹	** ۸۶
کلی فرم‌ها	> ۱ × ۱۰ <sup>۶</sup> / ۱۰۰ ml	> ۶۰۰۰۰ / ۱۰۰ ml	*** ۹۴

(Robert, 1993) \*\*\*, (Eger, 1994:249-256) \*\* (Rowe, 1995:439-460) \*

برای کاهش بیشتر کلی فرم‌ها و در نتیجه پاتوژن‌ها می‌توان بعد از نيزار از «برکه‌های تکمیلی»<sup>۱</sup> استفاده کرد (Benfield, 1980).

مطالعه‌ی موردی، پالایش آب‌های آلوده‌ی شهر تهران با نیزار مصنوعی (جریان زیرسطحی) نیزارهای مصنوعی با جریان زیر سطحی یک روش اصلاح شده‌ی روش‌های طبیعی پالایش آب‌های آلوده محسوب می‌شود که مشکلاتی از قبیل وجود حشرات، پشه، بو و احتمال تماس مستقیم انسان با آب آلوده را ندارد. در نیزار مصنوعی با جریان زیر سطحی مواد داخل بستر (شن)، گیاهان و میکرواورگانیزم‌ها نقش اساسی پالایش آب‌های آلوده را به‌عهده دارند و مکانیسم پالایش فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی را به‌طور هم‌زمان به‌وجود می‌آورند و در ارتباط با هم در داخل بستر، شرایط خوب پالایش را فراهم می‌کنند.

در این سیستم‌ها اورگانیزم‌های بیماری‌زا<sup>۱</sup> و ویروس‌ها ممکن است به وسیله‌ی مکانیسم فیلتراسیون در میان بستر جذب شوند و به‌تدریج پیر شده، از بین بروند. گیاهان نیز برای مبارزه با پاتوژن‌ها و ویروس‌ها « آنتی بیوتیک‌هایی » ترشح می‌کنند که در کاهش آنها بسیار مؤثر است (Conly, 1991: 239-247).

### مواد و روش‌ها

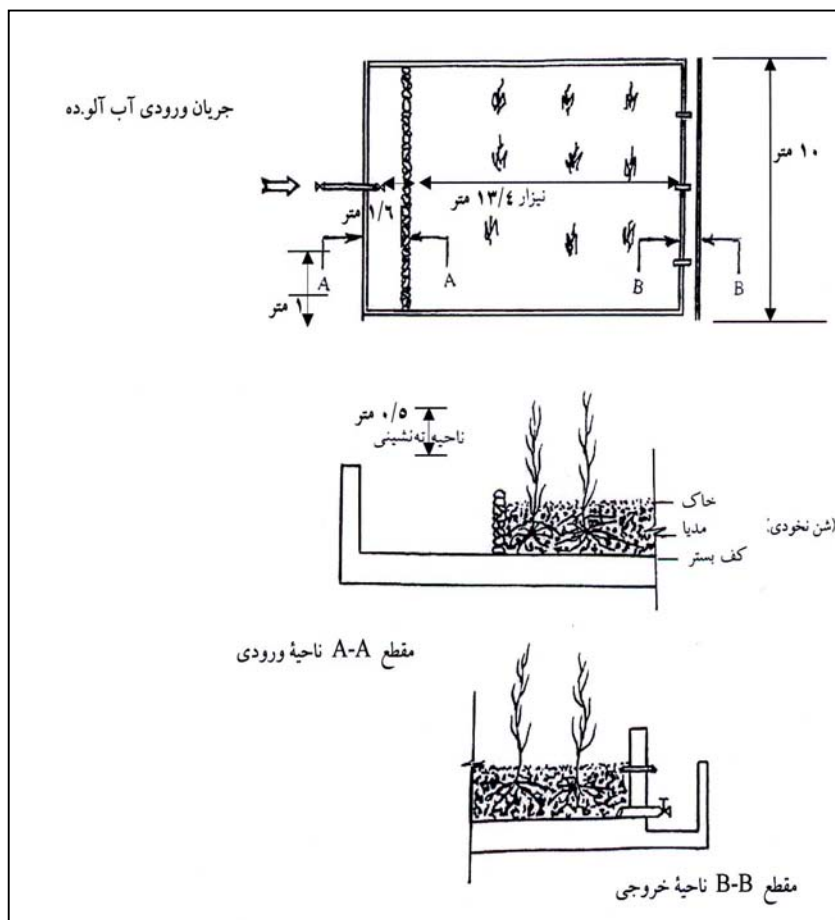
در این تحقیق بازدهی «نیزار مصنوعی با جریان زیر سطحی» را که از دو قسمت ته‌نشینی و نیزار با اندازه‌های نشان داده شده در شکل تشکیل شده است (شکل ۲)، برای پالایش آب‌های آلوده‌ی شهری تهران در تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب شهری شهرک شوش تهران مورد بررسی قرار دادیم. بعد از کاشت قلمه‌های ساقه‌های زیرزمینی<sup>۲</sup> « فراگمایتیس استرالیس » در بستر نمونه در اسفندماه، و تطبیق تدریجی سیستم با شرایط موجود، تحقیق در سه مرحله با جریان‌های متفاوت ۵، ۱۰ و ۲۰ لیتر در دقیقه انجام شده است.

مرحله‌ی اول از ۱۶ اردیبهشت تا خرداد به مدت ۴۵ روز انجام شده است. این مدت زمان نخستین ماه‌های کاشت گیاهان بوده و هنوز ساقه و برگ‌های نی‌ها رشد چندانی نداشته است.

مرحله‌ی دوم بررسی از ۳۰ خرداد شروع شده تا ۲۵ مردادماه ادامه داشته است. در این زمان رشد نی‌ها افزایش یافته که باعث افزایش سطح برگ‌ها و ساقه‌ها شده است. مرحله‌ی سوم بررسی از ۲۵ مرداد شروع و تا یکم آبان ادامه داشته است در این مرحله نیزار انبوه شده و نی‌ها بالاترین رشد را داشته‌اند.

1-Pathogenic organisms  
2- Rhizome

تمام آزمایش‌های لازم بر اساس روش‌های مندرج در کتاب معتبر «روش‌های استاندارد (APHA, 1992)» صورت گرفته است.



شکل ۲: پلان و مقطع بستر مورد استفاده در طرح

### نتایج و بحث

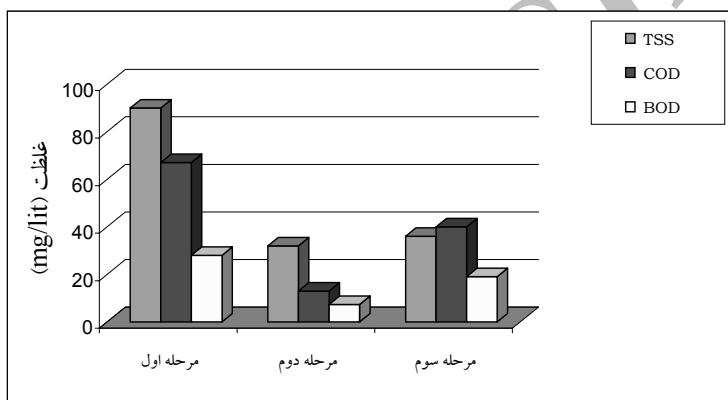
نتایج حاصل از عملکرد نیزار نمونه (پایلوت) بعد از پایداری سیستم در هر مرحله در جدول (۳) آورده شده است. همچنین غلظت شاخص‌های آلودگی پساب خروجی و بازدهی حذف در مراحل مختلف تحقیق به صورت نمودارهای شکل (۳) و (۴) نشان داده شده است.



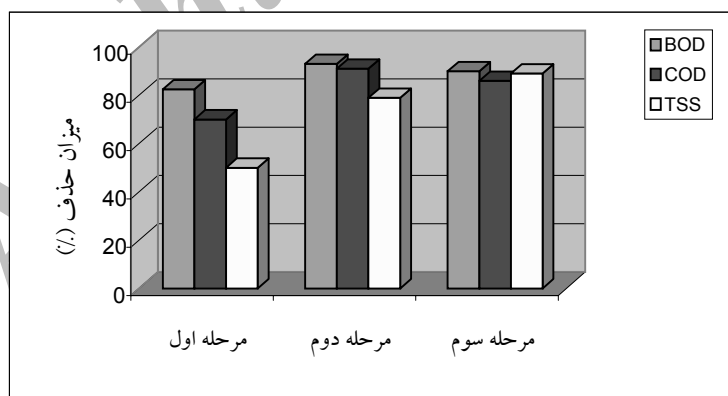
کرد نیزار طی مراحل سه گانه در حالت پایداری سیستم

بررسی نقش گیاهان در پالایش طبیعی ...

عنوان		غلظت ورودی (mg/lit)			غلظت خروجی (mg/lit)			غلظت خروجی		
		TSS	COD	BOD <sub>5</sub>	TSS	COD	BOD <sub>5</sub>	TSS	COD	BOD <sub>5</sub>
مرحله اول (میزان جریان ورودی ۵ لیتر در دقیقه)	ناحیه ته نشینی	۳۵۰±۲۷۷	۲۸۴±۹۷	۲۱۰±۹۵	۱۶۲±۷۵	۲۲۶±۲۰	۱۶۰±۴۰	۳۱	۱۵±۲۳	۲۰±۱۵
	نیزار	۱۸۲±۷۵	۲۶۶±۲۰	۱۶۰±۴۰	۹۰	۶۷	۲۸	۵۰	۷۰	۸۲/۵
مرحله دوم (میزان جریان ورودی ۱۰ لیتر در دقیقه)	ناحیه ته نشینی	۲۶۸±۸۴	۲۱۷±۲۰	۱۸۰±۴۴	۱۸۴±۴۴	۱۵۰±۴۶	۱۱۰±۳۶	۴۴±۱۸	۱۱±۴	۳۸/۶±۴
	نیزار	۱۴۸±۴۴	۱۵۰±۴۶	۱۱۰±۳۶	۳۲±۱۶	۱۳	۷/۳	۷۹±۵	۹۱±۲	۹۳±۲/۵
مرحله سوم (میزان جریان ورودی ۲۰ لیتر در دقیقه)	ناحیه ته نشینی	۲۵۷±۴۰	۳۰۷±۸۸	۱۲۸±۱۰۰	۳۰۰±۷۶	۳۰۰±۱۰۰	۲۱۰±۱۰۰	-	۳±۴/۵	-
	نیزار	۳۰۰±۷۶	۳۰۰±۱۰۰	۲۱۰±۱۰۰	۳۶±۲۰	۴۰±۳	۱۹±۴	۸۹±۴	۸۶±۴	۹۰±۳



شکل ۳: مراحل مختلف نمودار غلظت شاخص‌های آلودگی در پساب خروجی



شکل ۴: بازدهی نیزار در مراحل سه گانه

نتایج عملکرد نیزار نمونه‌ی مورد مطالعه (جدول ۳) نشان می‌دهد که غلظت TSS, COD, BOD<sub>5</sub> در پساب خروجی مرحله‌ی اول با توجه به میزان جریان ورودی کم نسبتاً بالا است، علت این امر آن است که زمان بررسی مرحله‌ی اول نخستین روزهای کاشت گیاهان بوده و در این زمان هنوز ساقه و برگ نی‌ها از رشد خوبی برخوردار نبوده است. لذا، در این زمان که ریشه و ساقه‌های زیر زمینی گیاه در حال رشد و



شکل ۵: ریشه‌ها و ساقه‌های زیرزمینی نی در بستر

توسعه سریع است، نیاز به اکسیژن زیادی برای تنفس دارند، که در رقابت بین ریشه و میکرو اورگانیزم‌ها، اکسیژن به مصرف ریشه و ساقه‌های زیرزمینی گیاه رسیده و شرایط رشد و فعالیت میکرو ارگانیزم‌ها فراهم نبوده است. همچنین به دلیل رشد سریع ریشه و ساقه‌های زیرزمینی گیاهان (شکل ۵) بیوفیلم تشکیل شده روی سطح مواد داخل بستر (شن‌ها) کنده شده و مواد معلق حاصل از این جدا شدن همراه آب، به خروجی منتقل شده که این امر باعث افزایش TSS در خروجی نیزار شده است (Con,ly1991:239- 247).

در مرحله‌ی دوم بازدهی نیزار افزایش یافته که علت این امر رشد گیاهان و بهتر صورت گرفتن عمل فتوسنتز و در نتیجه

تولید اکسیژن کافی مورد نیاز میکروارگانیزم‌ها بوده است. لذا، حذف بیولوژیکی مواد آلی در نیزار بهتر صورت گرفته و افزایش بار هیدرولیکی تأثیر منفی بر کاهش آلاینده‌ها در نیزار نداشته است. مواد مغذی مانند فسفر و ازت به صورت یونی و به وسیله‌ی ریشه‌ها و مخصوصاً تارهای کشنده جذب گیاه می‌شود، یعنی ازت موجود در فاضلاب به وسیله‌ی میکرو اورگانیزم‌ها از طریق اکسیداسیون به ازت نیتراتی و یا از طریق احیاء به ازت آمونیاکی تبدیل می‌شود و توسط گیاه جذب می‌گردد (ماناهان، استانلی، ۱۳۷۱: ۴۰۰-۳۹۰). در مرحله‌ی سوم غلظت شاخص‌های آلودگی در خروجی ته نشینی افزایش یافته که این امر ناشی از عدم تخلیه‌ی لجن انباشته شده در این ناحیه است. نتایج نشان می‌دهد

که زمان ماند کمتر از ۰/۹۳ روز باعث کاهش بازدهی می‌شود، لذا برای بازدهی بهتر باید زمان ماند هیدرولیکی بیشتر از ۰/۹۳ روز باشد.

همچنین نتایج نشان‌دهنده‌ی فعالیت خوب گیاهان و میکرو ارگانیزم‌ها در جهت حذف بیولوژیکی مواد جامد معلق است. به عبارتی هر چه گیاهان بیشتر رشد می‌کنند علاوه بر حذف مواد آلی، مواد جامد معلق را نیز بهتر حذف می‌کنند و این رقابت بین ریشه‌ی گیاهان و میکرو ارگانیزم‌ها را نشان می‌دهد که باعث افزایش بازدهی نیز می‌شود.

همان‌گونه که در شکل (۳) مشاهده می‌شود  $TSS, COD, BOD_5$  در مرحله‌ی دوم کمترین غلظت را در پساب خروجی نیزار دارد. اگر هدف بیشترین کاهش غلظت شاخص‌های آلودگی باشد بهترین انتخاب مرحله‌ی دوم با زمان ماند هیدرولیکی ۱/۸۶ روز است و اگر هدف کمترین زمان ماند هیدرولیکی و در نتیجه زمین مورد نیاز کم با بازدهی قابل قبول (شکل ۴) باشد، مرحله سوم بهترین انتخاب خواهد بود. بنابراین نتیجه می‌گیریم که هر چه زمان ماند کمتر از ۰/۹۳ روز باشد بازدهی کمتر می‌شود و بیشتر از ۲ روز هزینه اولیه و زمین مورد نیاز طرح بالا می‌رود.

با توجه به غلظت شاخص‌های آلودگی در پساب خروجی نیزار که کمتر از میزان استاندارد توصیه شده از طرف سازمان حفاظت محیط زیست ایران است و بازدهی نسبتاً خوب آن در مرحله‌ی سوم، این مرحله می‌تواند به‌عنوان بهترین گزینه برای پالایش آب‌های آلوده شهری تهران معرفی شود و برای مناطق دیگر کشور ما با شرایط اقلیمی مشابه مورد استفاده قرار گیرد.

### نتیجه گیری

با توجه به نتایج خوب نیزار در مرحله‌ی سوم، زمان ماند هیدرولیکی برای نیزار یک روز و مساحت زمین مورد نیاز برای پالایش فاضلاب تولیدی هر نفر (با فرض ۲۰۰ لیتر فاضلاب) حدود یک متر مربع به دست می‌آید که می‌تواند غلظت  $TSS, COD, BOD_5$  را به ترتیب به  $4 \pm 19$ ،  $3 \pm 40$  و  $20 \pm 36$  میلی‌گرم در لیتر برساند که این میزان پایین‌تر از حد استاندارد ( $TSS=50mg/lit, COD=60mg/lit, BOD_5=30mg/lit$ ) است (سازمان حفاظت محیط زیست ۱۳۷۸: ۳۷-۲۹).

همچنین شمارش کلی فرم‌ها در ورودی و خروجی نیزار نشان داد که میزان کاهش کلی فرم‌های مدفوعی بیش از ۹۹ درصد است. نکته دیگر این که نتایج به دست آمده نشان می‌دهد، نیزار قادر است تغییرات سریع بار هیدرولیکی و بار آلی را به خوبی تحمل

کند. در پایان این نتیجه‌ی کلی قابل تصور است که، روش‌های پالایش آب‌های آلوده توسط نیزارها، روش‌های مناسبی برای حذف آلاینده‌ها محسوب می‌شوند که علاوه بر هزینه کم، فناوری ساده و مصرف انرژی پایین در اصلاح و بهبود محیط زیست نقش مؤثری دارند و می‌توانند به‌عنوان روش‌های پالایش بیولوژیکی (ثانویه) جایگزین روش‌های متداول گردند. تنها پارامتر محدودکننده‌ی این روش‌ها زمین مورد نیاز برای اجرای سیستم است که آن هم به دلیل مجاورت اکثر شهرهای کشور ما با بیابان، نه تنها مشکلی ایجاد نمی‌کند بلکه به بیابان‌زدایی نیز منجر خواهد شد.

Archive of SID

### منابع و مأخذ

- ۱- سازمان حفاظت محیط زیست. (۱۳۷۸). «ضوابط و استانداردهای زیست محیطی». انتشارات سازمان حفاظت محیط زیست ایران.
- ۲- گنجی ، محمدحسن. (۱۳۸۲). «جغرافیا علم برنامه ریزی و توسعه». مجله جغرافیا و توسعه، دانشگاه سیستان و بلوچستان ، شماره پیاپی ۱.
- ۳- ماناهان، استانلی. (۱۳۷۱). «شیمی محیط زیست». ترجمه جعفر نوری و سعید فردوسی. ج ۱ ، تهران : مرکز انتشارات علمی دانشگاه آزاد اسلامی تهران.
- ۴- منگل، کنراد؛ ارنست کرکی. (۱۳۷۲). «اصول تغذیه گیاه». ترجمه علی اکبر سالار دینی و مسعود مجتهدی. ج ۲. تهران: دانشگاه تهران.
- 5- Baldwin, Andrew H. (2002). Suitability of Wetland Plant Species for Constructed Wetlands Designed to Treat Animal Wastes, Symons Hall , University Maryland , College Park , MD 20742.
- 6- Bavor, H.J. and D.S. Mitchell. (1994). Wetland Systems in water Pollution Control, Pergamon, New York .
- 7- Benefield, Larry D. Randall. Clifford W. (1980). Biological Process Design for Wastewater Treatment, Prentice Hall .Inc, Enylewood Cliffs, N. G.07632.
- 8- Conly , L. M.,Richard I. and Leonard. Lioni.(1991) An Assessment of the Root Zone Method of Wastewater Treatment, WPCF,Vol. 63, No. 3.
- 9- Directorate Agricultural Information Services (DAIS). (2002). Wetland Values and Functions. South Africa.
- 10- Eger, p. (1994). Wetland Treatment for Trace Metal Removal from Mine Drainage : The Importance of Aerobic and Anaerobic Processes. Water Sci . Technol . vol. 29 , no. 4.
- 11- Gersberg, R.M. Elkins, B.V. Lyon. S. R. and Glodman. C. R. (1984). Of Artificial Wetlands to Remove Nitrogen from Wastewater. Journal WPCF . Vol . 56 , No 2.
- 12- Gersberg , R.M. Elkins. B.V. Lyon , S. R . and Goldman , C. R. (1986). Role of Aquatic plants in Wastewater Treatment by Artificial Wetlands, Wat. Res , Vol. 20, No. 3.
- 13- Netter , R. (1994 ) Flow Characteristics of Planted Soil Filters. Wat. Sci. Technol. Vol. 29, No. 4.
- 14- Robert, Adams. (1993). Regional Supervisor for The Kentucky Cabinet for Environmental Protection. Bowling Green.

- 15- Rowe , Donald R. and Isam Mohammed Abdel-Megid. (1995). Handbook of Wastewater Reclamation and Reuse. CRC press, Inc. NewYork.
- 16- Sauter, G. and Kathleen, L. (1995) Natural, Home Remedy: Constructed wetlands Enhance Residential Treatment. Water Environment and Technology.
- 17- APHA (American Public Health Association), AWWA. and WPCF, (1992). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18<sup>th</sup> Edition , Washington , DC.
- 18- Tanner , Chris C. (1994). Treatment of Dairy farm Wastewaters in Horizontal and UP Flow Gravel – Bed Constructed Wetlands. Water, Sci . Technol , Vol 29 , No. 4.
- 19- Trattner , Richard B. and Susan J. E. (1989). Woods Encyclopedia of Environmental control Technology : V . 3 : Wastewater Treatment Technilogy : Gulf Publishing.
- 20- Van Oostrom , A. J. and J. M. Russell. (1994). Denitrification in Constructed Wastewater Wetlands Receiving High Concentrations of Nitrate. Water Sci. Techno. Vol. 29, No.4.
- 21- Wolverton, B. C. and McDonald, R. C. 3.(1979). Upgrading Facultative Wastewater Lagoons with Vascular Aquatic Plants. Journal WPCF. Vol. 51 , No. 2.

Archive of SID