پژوهشی

حذف نیتروژن و فسفر از فاضلابهای شهری با استفاده از نیزارهای مصنوعی

مهندس حسن صادق پور
دکتر علی ترابیان
دکتر ناصر مهردادی

کلمات کلیدی:
حذف نیتروژن و فسفر، نیزارها، نیزارهای مصنوعی، راندمان حذف نیتروژن و فسفر وCOD

چکیده:
برای حذف نیتروژن و فسفر از فاضلابهای شهری روشهای متعدد فیزیکی، شیمیائی و بیولوژیکی و یا ترکیبی از اینها وجود دارد. در این مقاله روش نیزارهای مصنوعی برای حذف این مواد معرفی می شود. برای این منظور از بسترهای نیزاری استفاده شد که در سال ۱۳۷۴ در تصفیه خانه شوش تهران ساخته شده بود. در این طرح از دو بستر (یکی به عنوان شاهد) با ابعاد ۱۰ × ۱۳/۶ متر و ارتفاع ۵۰ سانتیمتر شن استفاده شد. گیاه مورد استفاده Phragmites australis بود. درسال ۷۵ و ۷۶ با اعمال بارگذاری های هیدرولیکی متفاوت به بررسی تأثیر مستقیم در حذف مواد مغذی پرداخته شد. در مرحله سوم این طرح با مقادیر بارگذاری TN و TKN به ترتیب ۴/۱۳ و ۴/. گرم بر متر مربع در روز به میزان حذف ۸۰ و ۸۶ درصد برای نیزار و ۶۷ و ۸۰ درصد برای شاهد دست یافت. همچنین میزان حذف فسفات با بارگذاری ۳/۱۲ گرم بر مترمربع در روز به ۷۳ و ۸۵ درصد به ترتیب برای نیزار و شاهد رسید.

کارشناسی ارشد مهندسی عمران محیط زیست – وزارت نیرو
استادیار و معاون پژوهشی دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران
استادیار دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران

سر آغاز:

منابع نیتروژن فاضلاب

منبع اصلی نیتروژن در فاضلابهای شهری مربوط به فاضلابهای خانگی است که عمدتاً به فرم ازت آمونیاکی و آلی است. منشاء این مواد نیز در فاضلاب خانگی مواد دفعی انسان است که در اثر متابولیسم پروتئین ها دربدن انسان تولید می شوند. در نمونه فاضلاب تازه حدود ۶۰ درصد نیتروژن به فرم آمونیم و ۴۰ درصد بفرم آلی است. معمولاً مقدار خیلی کمی از نیتروژن در چنین فاضلابی بصورت نیترات یا نیتریت است(EPA 1975) .

روشهای حذف نیتروژن

نیتروژن را می توان به دو روش بیولوژیکی و فیزیکی شیمیائی حذف کرد. در فرایند بیولوژیکی، نیتروژن آمونیاکی می توان از طریق مسیر نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون و یا ساخت و ساز سلولی بمصرف رسیده و از فاضلاب خارج گردد. البته روش اصلی و کاربردی همان مسیر نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون است که در انتها نیتروژن بصورت گاز N_2 از محیط خارج می شود. این روش حذف را می توان بطور مستقل و یا همزمان با حذف BOD کربنی انجام داد و در واقع نسبت BOD_5/TKN در این ارتباط تعیین شده است.

منابع فسفر و روشهای حذف آن

فسفر در فاضلاب به فرم های مختلف فسفات وجود دارد. از نظر شیمیایی به اورتوفسفات، پلی فسفات و فسفات آلی تقسیم می شود. منابع فسفر فاضلاب عبارتند از: فسفر همراه آب مصرفی، مواد دفعی و مدفوع، مصارف تجاری و صنعتی و دترجنت های مصنوعی و مواد تمیزکننده خانگی. برای حذف فسفات از فاضلاب شهری به این صورت عمل می شود که آن را به صورت ذره ای (جامدات معلق) تبدیل کرده و سپس این ذرات معلق راحذف می نمایند. این ذرات معلق که فسفات ها به آن متصل می شوند می توانند ذرات بیولوژیکی و یا مواد شیمیایی باشند.

تصفیه با استفاده از گیاهان آبزی

سیستم های تصفیه به کمک گیاهان آبزی، سیستم هایی هستند که در آن یک نوع گیاه خاص را در تصفیه فاضلاب بکار می گیرند. عمل تصفیه در یک چنین سیستمی به سه روش صورت می گیرد:(Metcalf and Eddy 1991)

الف) جذب مستقیم توسط گیاه. ب) فراهم آوردن شرایطی برای میکروارگانیزمهای مؤثر در تصفیه. پ) ترکیبی از دو حالت فوق. گیاهان آبزی که در تصفیه فاضلاب بکار می روند به دو دسته بزرگ تقسیم می شوند که عبارتند از:

۱. گیاهان شناور

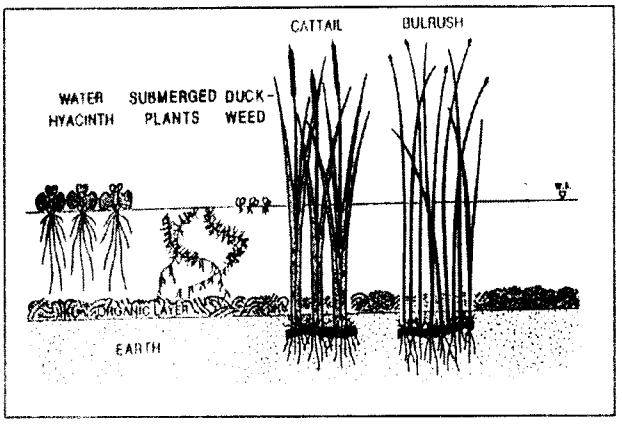
۲. گیاهان برون آ.

از گیاهان شناور می توان به سنبل آبی، سرخس آبی و عدسک آبی اشاره کرد. در این گیاهان جذب گیاهی، تبخیر آمونیاک و نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون همگی در حذف نیتروژن دخالت دارند (Reed et al 1995).

گیاهان برون آ عمدتا گیاهانی هستند که بن در خاکی دارند که این خاک در زیر سطح آب باز یا اشباع از آب قرار داشته و در آن رشد و نمو می کنند. از مهمترین گیاهان برون آ در تصفیه فاضلاب مطرح می باشند می توان به نی ها اشاره کرد.

نیزار

نیزار یا تالاب زمینی است که سطح آب در نزدیکی سطح زمین به مدت طولانی می ماند به صورتیکه خاک به حالت اشباع از آب است(EPA 1988). از گیاهان معروف این سیستم می توان به دم گربه ای ها(Cattails)، علف بوریا(Bulrushes) و نی ها (Reed) اشاره کرد. (شکل شماره ۱)



شکل شماره ۱: نمایی از یک تالاب با گیاهانی که در آن است

معرفی نیزارهای به عنوان یک روش تصفیه اولین بار حدود ۵۰ سال پیش توسط دکتر سیدل از مؤسسه ماکس پلانک صورت گرفت، در ابتدا توجه روی نیزارهایی بود که بصورت طبیعی وجود

دارد و از آنجائی که این نیزارها در همه جا بصورت طبیعی وجود ندارد، محققان به فکر ساخت نیزارها بصورت مصنوعی شدند.

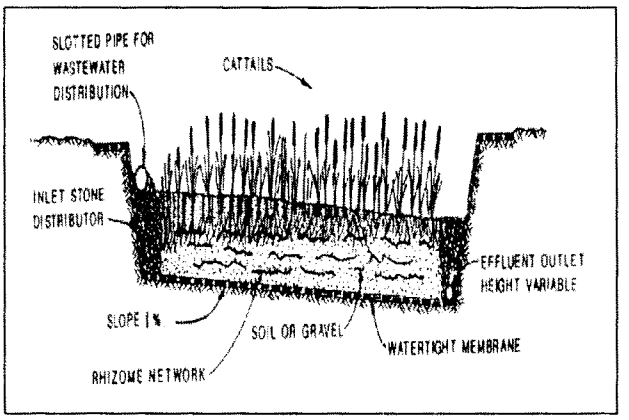
اجزاء تشکیل دهنده یک نیزار مصنوعی عبارتند از (Reed et al 1995 and Farahbakhshazad and Momson 1997) خاک با مشخصات هیدرولیکی متغیر (مثل خاک رس، شن، شن درشت)

- گیاهانی که قادر به انتقال اکسیژن و سازگار با آب اشباع هستند.
- ستون آب (جاری در داخل یا روی محیط پرکننده)
- جمعیت میکروبی خو گرفته یا تحمل کننده شرایط هوازی یا بی هوازی.

از نقطه نظر شرایط هیدرولیکی جریان، نیزارهای مصنوعی به دو گروه اصلی تقسیم می شوند:

۱. آب در سطح نیزار جریان دارد که به آن اصطلاحاً نیزار با سطح آب آزاد (Free Water Surface) یا FWS می گویند.

۲. سطح آب در زیر سطح نیزار قرار دارد و به آن اصلاحاً نیزار جریان زیرسطحی (Subsurface Flow)یا به اختصار SF می گویند (شکل شماره ۲).

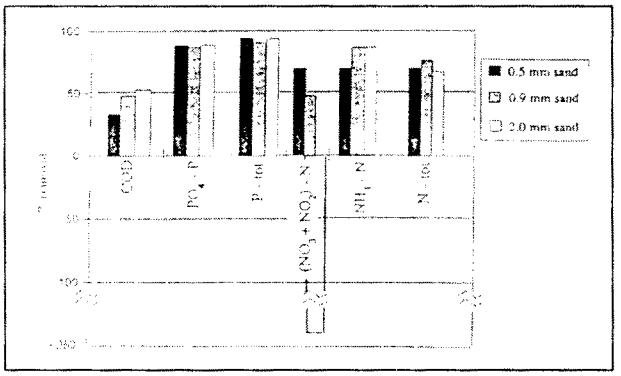


شکل شماره ۲: نمای جانبی یک سیستم SF

خاک: نوع، مقدار، درصد و ارتفاع خاک بستگی به نوع سیستم SF یا FWS دارد. در یک سیستم FWS خاک تنها نقش نگهدارنده گیاه را دارد و نقش چندانی در تصفیه ندارد. اما در یک سیستم SF خاک محل استقرار میکروارگانیزمها است و به مانند یک فیلتر چکنده عمل می نماید همچنین با ایجاد یک جریان پیستونی (Plug Flow) و جلوگیری از ایجاد جریان میان بر هدایت جریان را بهبود می دهد. خانم فرح بخش آزاد (۱۹۹۷) با بررسی اندازه ذرات و تأثیر آن روی مقادیر حذف آلاینده های مختلف پرداخته اند. نتایج این بررسی در شکل شماره ۳ نشان داده شده است. (Farahbakhshazad 1997)

گیاهان نیزار: گیاهانی در انواع و گونه های بسیار متعددی است که از این میان چند گونه آن در تصفیه فاضلاب بکار می رود نقش گیاه نی را می توان بصورت زیر بیان داشت:

- جذب مواد غذایی توسط ریشه
- فراهم آوردن محیطی برای چسبیدن و استقرار میکروارگانیزمها
- انتقال اکسیژن توسط بخشهای فوقانی و انتقال آن به زیر سطح بستر
- کمک به بهبود شرایط هیدرولیکی خاک و همچنین تثبیت و حفظ بستر.



شکل شماره ۳: تأثیراندازه ذرات درحذف آلاینده های مختلف

اگرچه مقدار مواد مغذی وارد شده به یک بستر در مقایسه با مقدار جذب گیاهی بسیار بیشتر است اما به هر حال سهمی از حذف این مواد میسر است. این مقدار در مورد گیاهان نیزار بطور متعارف ۱۵۰-۵۰ کیلوگرم فسفر به ازای هر هکتار در سال و ۲۵۰۰ -۱۰۰۰ کیلوگرم نیتروژن به ازای هر هکتار در سال است(۷).

گیاهان نیزار از نظر مرفولوژی بارندگی و رشد در خاکهای اشباع از آب سازگار شده اند و قادر هستند بخاطر وجود کانالهای داخلی، اکسیژن را از برگها و ساقه های بالای سطح زمین به

ناحیه شبه ریشه ها (Rhizomes) منتقل نمایند و شرایط هوازی و همچنین انوکسیک در اطراف ریزومها فراهم نمایند. انتقال اکسیژن به وسیله انتشار مولکولی انفعالی (Passive Molecular Diffusion) در اثر اختلاف غلظت در فضای توخالی و به وسیله جریان انتقالی هوا در فضاهای گازی داخلی گیاه صورت می گیرد. میزان اکسیژن منتقله گیاهان برون آ در نیزار بین $gr/m^2.d$ ۴۵-۵ تخمین زده شده است (EPA 1995 and Reed et al 1995).

نیزارهای مصنوعی زیر سطحی

در حال حاضر دو نوع نیزار مصنوعی زیر سطحی مطرح است:

الف. نیزار مصنوعی زیر سطحی با جریان افقی

ب. نیزار مصنوعی زیر سطحی با جریان عمودی (شامل دو نوع جریان از بالا به پایین و یا بالعکس)

جدول شماره ۱ مکانیزمهای حذف برای آلاینده های مختلف را نشان می دهد(EPA 1988).

تحقیقات انجام شده در جهان و ایران نشان می دهد که این سیستم ها در حذف آلاینده ها بسیار مؤثر عمل می نمایند. برای مثال طبق آزمایشات انجام گرفته توسط آقای عباس قادری(۱۳۷۵) بر روی یک پایلوت نیز مقادیر حذف ۹۰، ۸۶، ۸۹ درصد بترتیب برای BOD_5 ، COD، TSS بدست آمده است. همچنین تحقیق خانم شیخ الاسلامی روی راندمان حذف COD فاضلاب کارخانه تولید کننده خمیر مایه نانوایی کارایی این سیستم را نشان می دهد.

جدول شماره ۱: مکانیزم های حذف برای آلاینده های مختلف

مکانیزم	جامدات معلق	جامدات کلوئیدی	BOD	N	P	فلزات سنگدین	مواد آلی مقاوم	باکتری و ویروس	توضیحات
فیزیکی									
ته نشینی فیلتراسیون جذب سطحی	P S	S S S	I	I	I	I	I	I	ته نشینی ثقلی جامدات (وآلاینده های همراه آن) در بستر گیرکردن ذرات در هنگام عبور از بستر و ریشه های متراکم نیروهای جذب بین ذره ای (واندروالس)
شیمیایی									
ترسیب جذب تجزیه				P P	P P	S P		P	تشکیل با ترسیب توأم با ترکیبات نامحلول جذب روی اجزاء بستر و گیاه تجزیه با تبدیل به ترکیبات با پایداری کم در اثر عواملی چون اشعه UV ، اکسیداسیون و احیاء
بیولوژیکی									
متابولیزم باکتریایی		P	P	P			P		حذف جامدات کلوئیدی و محلول به وسیله باکتریهای معلق، چسبیده روی مواد و شبه ریشه، نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون باکتریایی
متابولیزم گیاهی							S	S	جذب و متابولیزم مواد آلی به وسیله گیاه، ترشحات ریشه ممکن است برای ارگانیزم های با منشاء روده ای سمی باشد.
جذب گیاهی				S	S	S	S		تحت شرایط مناسب، مقادیر قابل توجهی از این مواد قابل جذب به وسیله گیاه است.
مرگ طبیعی								P	مرگ طبیعی ارگانیزمها به خاطر شرایط نامناسب محیطی

Primary effect = P
Secondry effect = S
Incremental effect = I (تأثیر بستگی به حذف آلوده کننده های دیگر دارد)

حذف نیتروژن

سیستم نیزار قادر به حذف مؤثر نیتروژن از پساب فاضلاب بوده و قادر است در حدود ۸۵-۲۵ درصد از نیتروژن را به روش فرآیند نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون و جذب گیاهی حذف کند. در صورت طراحی درست نیزارهای مصنوعی این سیستم ها قادر هستند که مقادیر NH_4^+ و TN را به کمتر از 2mg/l در خروجی خود برسانند(Hammer 1994) . مطالعات انجام شده در نیوزیلند روی چهار سیستم با جریان زیر سطحی افقی و چهار سیستم با جریان زیرسطحی عمودی مقادیر حذف ۹۱-۲۰ درصد برای جریان افقی و ۹۸-۳۲ درصد برای جریان عمودی را نشان می دهد (۹). شکلهای شماره ۴ و ۵ چرخه نیتروژن در نیزار و طرح ساده ای از اکسیژن رسانی در ناحیه شبه ریشه و تأثیر آن روی مسیر متابولیک چرخه نیتروژن را نشان می دهد.

مکانیزم حذفی نیتروژن

بر اساس آنچه که گفته شد حذف نیتروژن در یک سیستم گیاهی شامل یک ارتباط متقابل سینرژستیک نی گیاه و باکتری چسبیده به شن و ریزوم در انجام فرآیند نیتریفیکاسیون/ دنیتریفیکاسیون و همچنین جذب گیاهی است. حداکثر مقدار حذف نیتروژن از طریق جذب گیاهی ۱۶-۱۲ درصد کل حذف است. گیاه ممکن است نیتروژن را بصورت نیترات جذب کند و یا ممکن است آن را به صورت آمونیاک جذب نماید.

وقوع پدیده نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون در نیزارها اثبات شده است و درواقع حذف ۹۰-۷۰ درصد نیتروژن دراین سیستم ها عمدتاً بخاطر وقوع این دو پدیده است. آقای ویلیامیز و همکاران پس از تحقیقات زیادی اعلام داشتند که به علت شرایط خاصی که ریزومهای گیاه نی نسبت به آب و شن دارند جمعیت میکروبی و فعالی روی آن مستقر می گردند. علت این امر شاید بخاطر تراوش مواد آلی محلول از ریزومها و تجزیه مواد گیاهی و تشدید فعالیت باکتریهای هتروتروفیک و افزایش میزان دنیتریفیکاسیون در اطراف ریزومها باشد(Williams 1994).

آزاد شدن اکسیژن از ریزومها شرایط هوازی در فاصله نزدیکی ازاطراف آن ایجاد و امکان وقوع نیتریفیکاسیون را ممکن می سازد

مقادیر نیتریفیکاسیون در نیزارها $0/1-56\ mgN/m^2h$ گزارش شده است(EPA 1988).

مبانی طراحی برای حذف نیتروژن عبارتند از: زمان ماند، میزان بارگذاری مواد آلی و نیتروژن، عمق و اندازه ذرات درون بستر و همچنین نوع سیستم.

زمان ماند هیدرولیکی: با توجه به کیفیت فاضلاب ورودی سطح پیش تصفیه، درجه حرارت محیط و فاکتورهای دیگر زمان فاضلاب در سیستم متغیر است. برای مثال برای یک فاضلاب خانگی با حدود۱ mg/l ۴۵ غلظت TN ، در صورتیکه هدف رسیدن به کمتر از TKN۱۰ mg/l در خروجی باشد زمان ماند۷-۴ روز توصیه شده است. (EPA, 1988 and Farahbakhshazad and Morrison 1997)

هرچه میزان بارگذاری هیدرولیکی بیشتر باشد راندمان کاهش TN کمتر می گردد.

بارگذاری موار آلی: مقدار بارگذاری NH_4^+ برای انجام کامل نیتریفیکاسیون برابر است با KgN/ha.d ۲۹-۵. در آمریکا بررسی روی ۱۸ تصفیه خانه نیزاری با دبی ورودی m^3/d ۴۰۰-۵ مقادیر بارگذاری آمونیاک (NH_4^+) بین ۰/۱ تا ۲۶/۴ کیلوگرم N به ازای هر هکتار در روز متغیر بوده است (EPA 1988 and Reed et al 1995).

در این ارتباط فرمولهای تجربی متعددی برای طراحی این سیستم ها ارایه شده‌است که هر کدام در محل خاص خود کاربرد دارند.

حذف فسفر

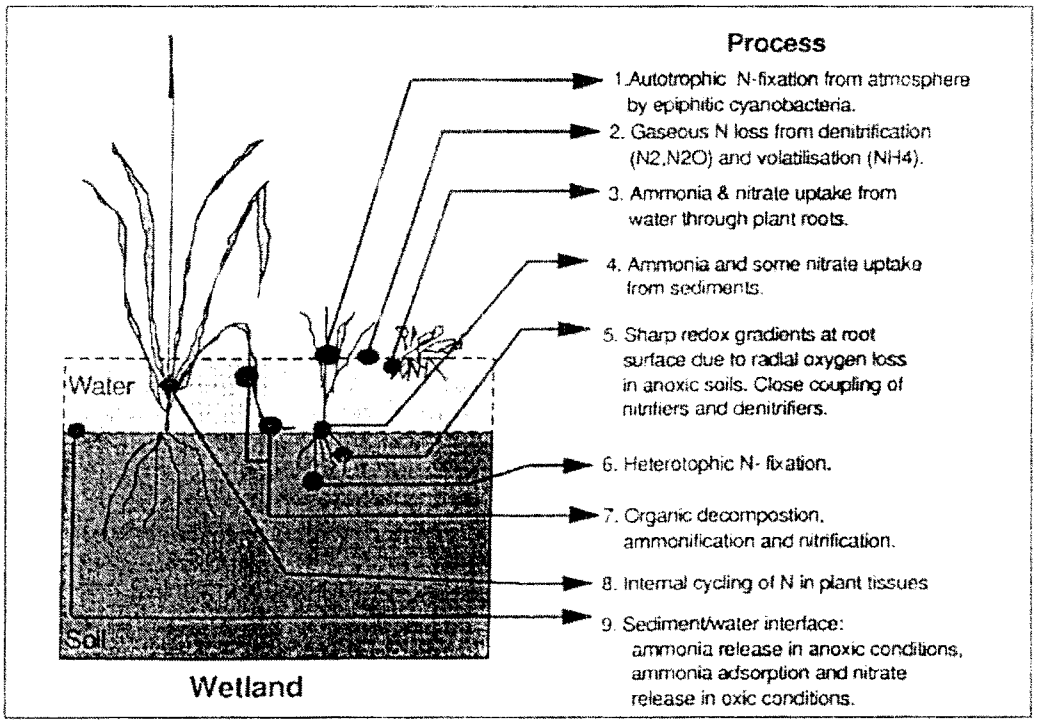
امکان حذف فسفربا استفاده از سیستم نیزارها وجود دارد ولی بایستی توجه داشت که از سیستم طراحی شده برای حذف BOD یا نیتروژن نمی توان برای حذف فسفر استفاده کرد (۶،۴). مقادیر حذف در این سیستم حدود ۳۰٪ بطور میانگین سالانه و ۶۰ درصد برای فصل تابستان گزارش شده است.

مکانیزم حذف فسفر در نیزار عبارت است از: جذب گیاهی، ذخیره سازی و جذب در رسوبات و جذب توسط میکروارگانیزمهای مستقر روی شبه ریشه، اتصال با مواد آلی و اتصال در داخل ساختمانهای شبکه ای و رسوبات به همراه ترکیبات نامحلول.

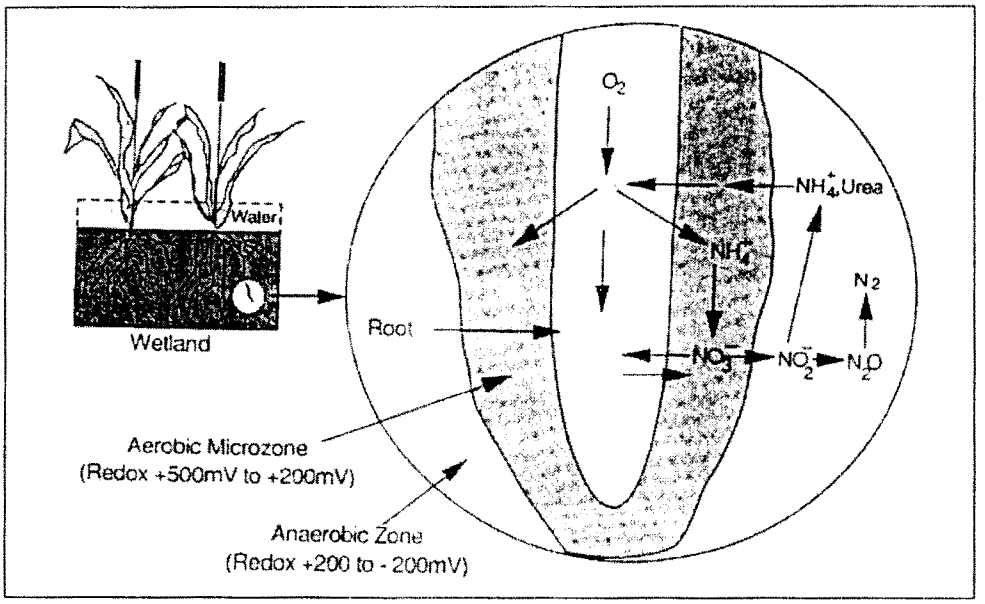
در یک سیستم نیزار که فاضلاب شهری وارد آن می گردد، مقدار حذف فسفر در صورتیکه هیچگونه دروی گیاه صورت نگیرد حدود ۲ کیلوگرم فسفر به ازای هر هکتار در روز است.

طرح تحقیقاتی

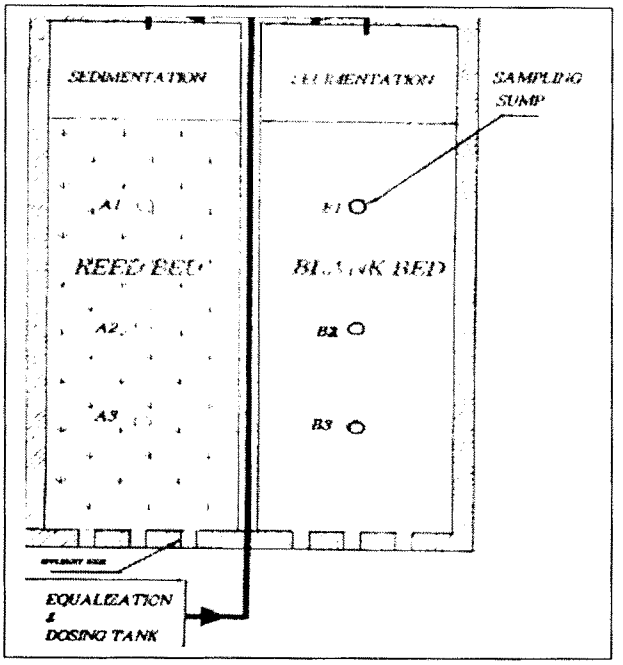
در اواسط سال۷۴ اقدام به ساخت یک پایلوت نیمه صنعتی با مشخصات مندرج در جدول شماره ۲ و طبق شکل شماره ۶ در



شکل شماره ۴: چرخه نیتروژن در تالاب



شکل شماره ۵: نمایش شماتیک اکسیژن رسانی در ناحیه ریشه



شکل شماره ۶: پایلوت نیمه صنعتی

تصفیه خانه شوش گردید. از این پایلوت ابتدا برای بررسی حذف BOD کربنی استفاده گردید. سپس در سال ۱۳۷۶ با تغییر بارگذاریها اقدام به بررسی سیستم نیزار برای حذف نیتروژن و فسفر گردید. لازم به ذکر است که به منظور تأمین حداقل پیش تصفیه، بخشی از ابتدای بستر با قلوه سنگ و صفحه جداکننده ای به یک ته نشینی ساده تبدیل شد. گیاه از اطراف تهران تهیه و بصورت نشاء کاری در بستر کاشته شد. به منظور بررسی سیستم نیزار از یک بستر شاهد با مشخصات کاملاً شبیه نیزار استفاده شد. طرح در تصفیه خانه شوش تهران اجرا گردید.

آزمایشات انجام شده شامل pH, BOD, TSS, COD $PO_4, NO_2, NO_3, NOrg, TKN, TN, NH_3$ است. کلیه آزمایشها بر مبنای کتاب استاندارد متد سال ۱۹۹۲ انجام شد.

سیستم از اوایل سال ۱۳۷۵ راه اندازی شد و از اواسط تابستان ۷۶ به منظور بررسی حذف نیتروژن و فسفر آزمایشات لازم صورت گرفت.

مراحل اجرای تحقیق

مرحله اول

در تابستان ۷۶ سیستم با اعمال بارگذاری کم و در حد مقادیر حذف نیتروژن و فسفر کنترل و نگهداری شد، فاضلاب ورودی، فاضلاب خام شهری بود که از کانالی در مجاورت پایلوت با یک پمپ دو اینچ به یک مخزن به حجم شش مترمکعب منتقل و از آنجا توسط یک لوله دو اینچ به ابتدای حوض ته نشینی منتقل و سرریز این حوض ها وارد بسترهای شاهد و نیزار می گردید.

جدول شماره ۲: مشخصات طرح:

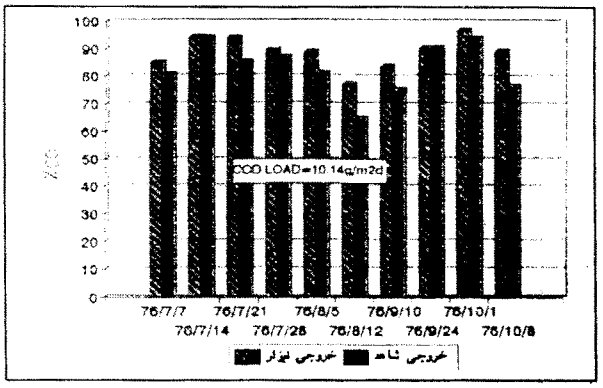
ناحیه ته نشینی:		
طول	۱/۴	متر
عرض	۱۰/۰	متر
عمق	۰/۶	متر
ناحیه نیزار:		
طول	۱۳/۶	متر
عرض	۱۰/۰	متر
عمق	۰/۵۵	متر
تخلخل	۴۰	درصد
سطح مقطع	۵/۵	مترمربع
مساحت	۱۳۶	مترمربع
حجم کل	۷۵	مترمکعب
حجم مفید	۳۰	مترمکعب
اندازه ذرات	۴-۱۰	میلی متر
گونه گیاه	Phragmites austral	

مرحله دوم

در این مرحله مقدار ۵ لیتر بر دقیقه فاضلاب وارد هر کدام از بسترها گردید. مشخصات طرح در این مرحله در جدول شماره ۳ آورده شده است.

الف) حذف COD

نمودار شماره ۱ مقادیر حذف COD در بستر شاهد و نی را نشان می دهد. در این مدت نیزار حدود ۹۲ درصد و شاهد حدود ۸۸ درصد حذف را نشان می دهد. مقادیر خروجی در



نمودار شماره ۱: مقادیر حذف COD در نیزار و شاهد

جدول شماره ۳: مشخصات طرح در مرحله دوم، سوم و چهارم

مشخصات		مرحله دوم مدت: ۷۵ روز دبی: ۱ ± ۷/۲مترمکعب در روز		مرحله سوم مدت: ۵۰ روز دبی: ۱ ± ۱۰مترمکعب در روز		مرحله چهارم مدت: ۳۳ روز دبی: ۱ ± ۲۸مترمکعب در روز	
		نیزار	شاهد	نیزار	شاهد	نیزار	شاهد
مساحت	m^2	۱۳۶	۱۳۶	۱۳۶	۱۳۶	۱۳۶	۱۳۶
حجم مفید	m^2	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰
بار هیدرولیکی	cm/day	۵/۳	۵/۳	۷/۳	۷/۳	۲۰	۲۰
زمان ماند در سیستم	day	۴/۲	۴/۲	۳	۳	۰/۹۳	۰/۹۳
COD ورودی	gr/m^3	۲۸۶	۲۸۶	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰
خروجی COD	gr/m^3	۲۳/۵	۳۵/۶	۲۳/۴	۴۲/۷	۴۲	۵۰
بار COD ورودی	$gr/m^3.day$	۱۵/۱۴	۱۵/۱۴	۲۲/۰	۲۲/۰	۶۱/۷	۶۱/۷
میزان حذف COD	٪	۹۲	۸۷	۹۳	۸۵	۸۶	۸۳
TNورودی	gr/m^3	۴۷/۳	۴۷/۳	۵۶/۲	۵۶/۲	۵۷/۷	۵۷/۷
TKN ورودی	gr/m^3	۴۶/۴	۴۶/۴	۵۴/۲	۵۴/۲	۵۶/۳	۵۶/۳
بار TN ورودی	$gr/m^3.day$	۲/۵۰	۲/۵۰	۴/۱۳	۴/۱۳	۱۱/۹	۱۱/۹
بار TKN ورودی	$gr/m^3.day$	۲/۴۶	۲/۴۶	۴/۰	۴/۰	۱۱/۶	۱۱/۶
درصد آمونیاک از TN	٪	۸۰	۸۰	۷۶	۷۶	۷۴	۷۴
میزان حذف TN	٪	۸۳	۶۷	۸۰	۶۷	۳۷	۴۴
میزان حذف TKN	٪	۹۴	۹۵	۸۶	۸۰	۶۸	۵۸
PO_4^{-3} ورودی	gr/m^3	۴۳/۱	۴۳/۱	۴۲/۴	۴۲/۴	–	–
PO_4^{-3} خروجی	gr/m^3	۳/۶۱	۲/۴۳	۱۱/۵۳	۶/۲۸	–	–
بار PO_4^{-3}	$gr/m^3.day$	۲/۲۸	۲/۲۸	۳/۱۲	۳/۱۲	–	–
میزان حذف PO_4^{-3}	٪	۹۲	۹۴	۷۳	۸۵	–	–

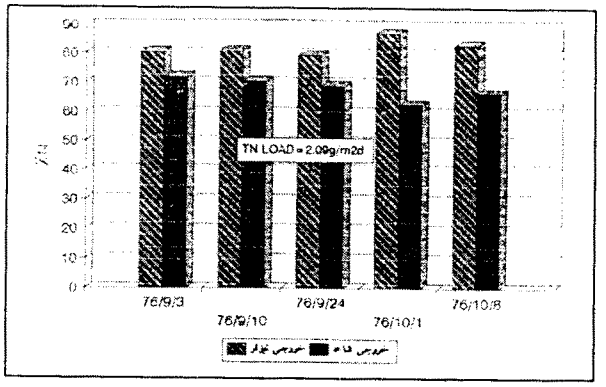
نیزار و شاهد به ترتیب ۲۳ و ۳۵ میلی گرم در لیتر است. دلیل بالا بودن میزان حذف در شاهد بالا بودن زمان ماند در ته نشینی اولیه و بستر (حدود ۴/۲ روز) است.

ب) حذف نیتروژن

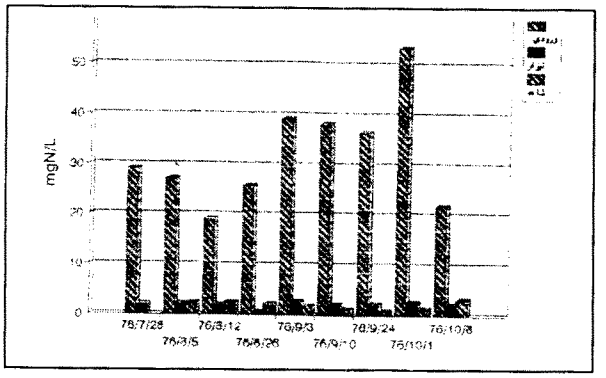
میزان حذف TN در نیزار و شاهد بترتیب ۸۳ و ۶۷ درصد است و مقادیر خروجی NH_4 کمتر از ۲/۵ mg/l بوده است. سیستم در اینمدت ۹۴ و ۹۵ درصد حذفTKN در نیزار و شاهد را بترتیب نشان می دهد. جدول شماره ۳ مشخصات طرح را در این مرحله نشان می دهد. این مرحله در طول پاییز انجام گردید و بستر نیزار راندمان حذف مؤثری را نشان می دهد. دلیل بالا بودن راندمان حذف در شاهد انجام فرایند نیتریفیکاسیون در حوض ته نشینی اولیه (بخاطر بالا بودن مقادیر جلبک) و فرایند دنیتریفیکاسیون در بستر است. نمودار شماره ۲ و ۳. مقادیر NH_4 و TN در ورودی و خروجی نیزار و شاهد را نشان می دهد. مقادیر حذف فسفات حدود ۹۲ درصد است به این صورت که فسفات ورودی ۴۳ میلی گرم در لیتر بر حسب فسفر را به حدود ۳/۶ میلی گرم در لیتر می رساند. که این مقدار حذف بسیار جالب و قابل توجه است. نمودار شماره ۴.

مرحله سوم

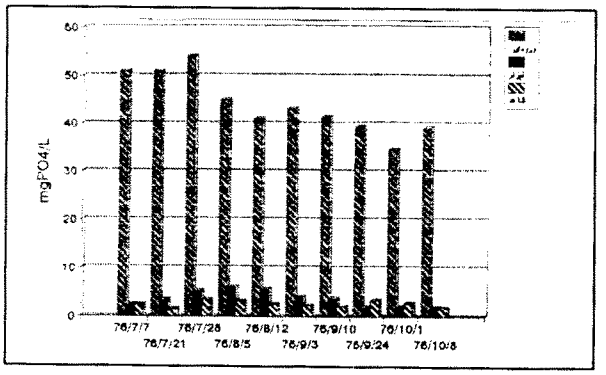
با توجه به کارائی سیستم در مرحله دوم و از آنجائی که پارامتر اساسی در راهبری این سیستم بارگذاری هیدرولیکی است، دبی



نمودار شماره ۲: مقادیر حذف TN در نیزار و شاهد



نمودار شماره ۳: مقادیر NH_4 در ورودی و خروجی نیزار و خروجی شاهد

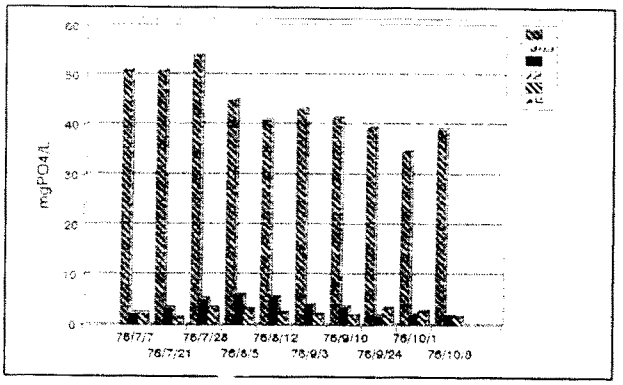


نمودار شماره ۴: مقادیر فسفات ورودی، خروجی نیزار و خروجی شاهد

ورودی از پنج لیتر بر دقیقه به هفت لیتر بر دقیقه افزایش داده شد. مشخصات طرح در این مرحله در جدول شماره ۳ آورده شده است. این مرحله در طول ماههای دی و بهمن انجام شد و نکته قابل توجه اینکه زمستان سال ۷۶ یکی از سردترین زمستانها طی چندین سال گذشته بوده است.

الف) حذف COD

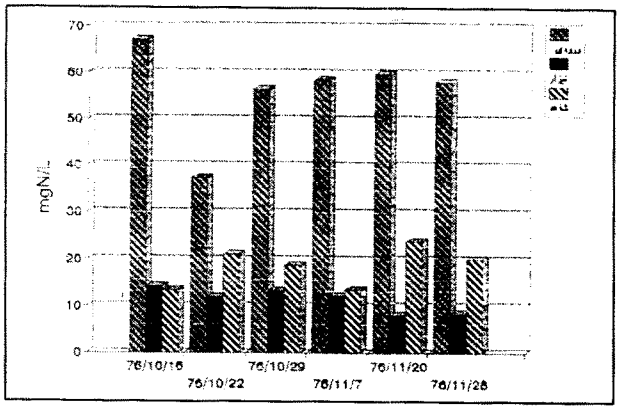
همانطور که در نمودار شماره ۵ ملاحظه می شود، COD خروجی نیزار نسبت به مرحله قبل تغییری نکرده است، اما در مورد شاهد چنین نیست و خروجی COD از ۳۲ میلی گرم در لیتر به حدود ۴۳ میلی گرم در لیتر افزایش یافته است. علت پایین بودن COD خروجی در هر دو سیستم به زمان ماند زیاد مربوط می شود. زیرا همانطور که می دانیم مقادیر بارگذاری آلی وهیدرولیکی برای حذف COD بیشتر از نیتروژن است.



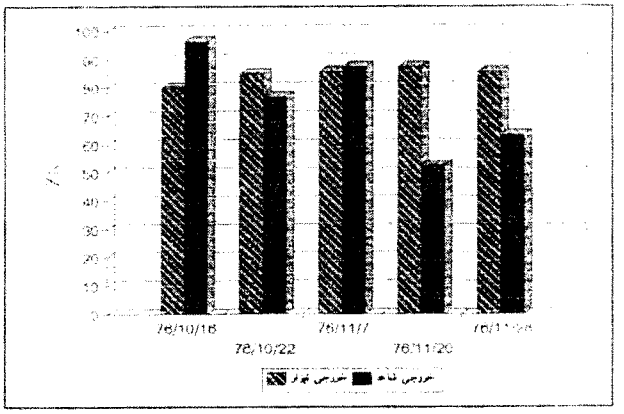
نمودار شماره ۵: مقادیر COD در ورودی، خروجی نیزار و خروجی شاهد

ب) حذف نیتروژن

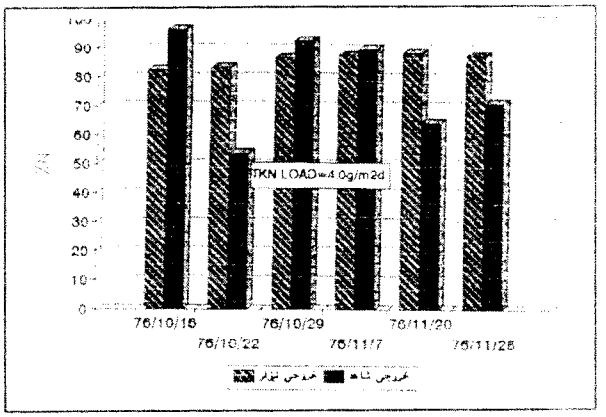
با افزایش بار هیدرولیکی، سیستم نیزار نسبت به شاهد خود را نشان می دهد به این صورت که مقادیر حذف TN در نیزار و شاهد بترتیب ۸۰ و ۶۷ درصد است. میزان حذف TKN در نیزار و شاهد بترتیب ۸۶ و ۸۰ درصد است که با توجه به توقف رشد گیاهی این مقدار حذف عمدتاً مربوط به پدیده نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون است. مقدار آمونیاک متوسط ورودی در این مرحله از ۴۰ میلی گرم در لیتر به ۵ و ۱۵ میلی گرم در لیتر در نیزار و شاهد کاهش یافته است. نمودارهای شماره ۶، ۷ و ۸.



نمودار شماره ۶: مقادیر TN در ورودی، خروجی نیزار و خروجی شاهد



نمودار شماره ۷: مقادیر حذف NH_4 در نیزار و شاهد

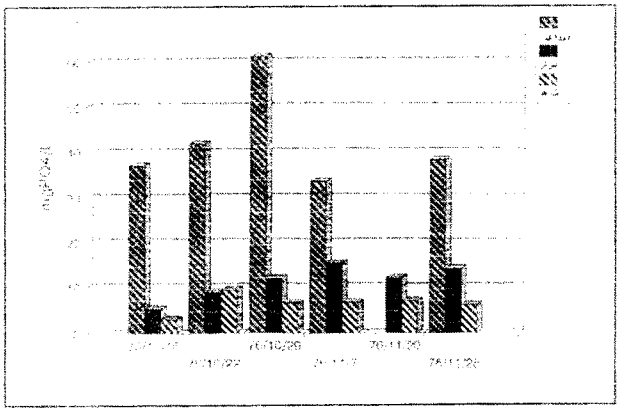


نمودار شماره ۸: مقادیر حذف TKN در نیزار و شاهد

پ) حذف فسفر

مقدار فسفات از متوسط ۴۲ میلی گرم در لیتر به ۱۱/۵ و ۶/۲ میلی گرم در لیتر در نیزار و شاهد رسیده است که کمتر از مقادیر موردنظر محیط زیست برای تخلیه به آبهای پذیرنده است. مشاهده می شود که سیستم شاهد حذف بیشتری را نشان می دهد. با توجه به اینکه حذف فسفر یک فرایند فیزیکی – شیمیایی است احتمال داده می شود که اولاً در سیستم نیزار شرایط هیدرولیکی بهتری برقرار است و لذا گیر کردن ذرات کمتر رخ می دهد و ثانیاً در بستر شاهد به دلیل عدم وجود نی و تراکم جمعیت میکروبی و مواد معلق همراه فاضلاب ورودی منافذ بستر تنگتر و سیستم احتمال گرفتگی بیشتری دارد.

در هر صورت نکته جالب این طرح نشان می دهد که سیستم موجود در حذف فسفات بسیار مؤثر و جالب عمل کرده است. نمودار شماره ۹.



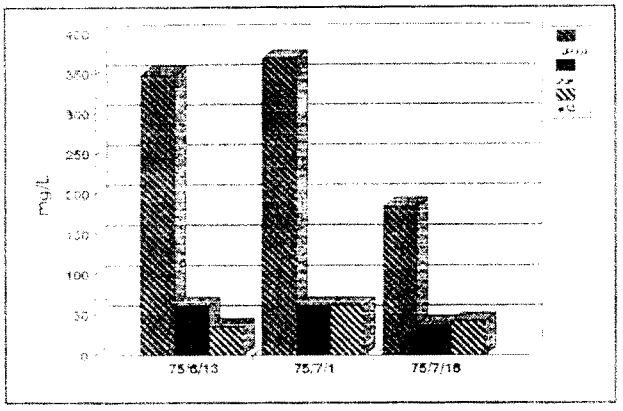
نمودار شماره ۹: مقادیر فسفات ورودی، خروجی نیزار و خروجی شاهد

مرحله چهارم

اگرچه مقادیر بارگذاری ارایه شده در مرحله سوم مناسب و می تواند مبنای طراحی منطقه أی مشابه شرایط تهران قرار گیرد،اما به منظور بررسی سیستم در شرایط بارگذاری بالا مرحله دیگری انجام گردید. دبی ورودی در این مرحله ۲۰ لیتر در دقیقه انتخاب شد، مشخصات طرح در این مرحله در جدول شماره ۳ آورده شده است.

الف) حذف COD

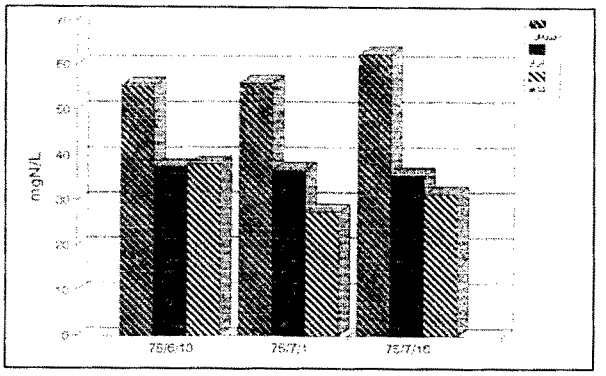
بارگذاری اعمال شده در این مرحله در واقع برای بررسی حذف COD مناسب است. زمان ماند در بستر نیزار حدود ۲۲ ساعت است که از زمان گفته شده در بسیار مراجع کمتر است درصد حذف COD در نیزار حدود ۸۶ درصد است (نمودار شماره ۱۰).



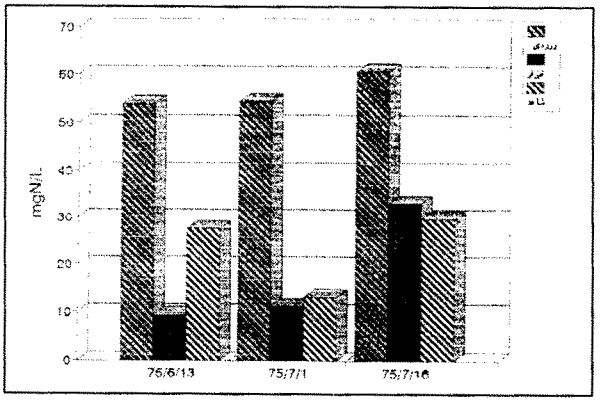
نمودار شماره ۱۰: مقادیر COD در ورودی، خروجی نیزار و خروجی شاهد

ب) حذف نیتروژن

نتایج نشان می دهد که بالارفتن بارگذاری هیدرولیکی و به تبع آن کاهش زمان ماند تأثیر محسوسی روی راندمان حذف دارد و با توجه به اینکه حذف COD نیز در جریان است فرصت برای فعال شدن نیتروباکتر و مقدار حذفی وجود ندارد (نمودار شماره ۱۱ و ۱۲).



نمودار شماره ۱۱: مقادیر TN در ورودی، خروجی نیزار و خروجی شاهد



نمودار شماره ۱۱: مقادیر TKN در ورودی، خروجی نیزار و خروجی شاهد

بحث و جمع بندی تحقیق

نتیجه گیری حاصل از تحقیق و بررسی طرح حذف نیتروژن و فسفر از فاضلابهای شهری با استفاده از نیزارهای مصنوعی که طی سه مرحله در سال ۷۵ و زمستان ۷۶ صورت گرفته به طور خلاصه از قرار ذیل است:

۱. امکان حذف BOD کربنی و نیتروژن به صورت همزمان و یک مرحله ای در صورت استفاده از نیزارهای مصنوعی امکان پذیر است، اگرچه در این ارتباط لازم است در مورد کاهش ذرات معلق ابتدا کاهش مناسبی صورت گیرد.

۲. درصد حذف COD، TN و فسفات در مرحله سوم ۹۳، ۸۰ و ۷۳ درصد بوده است که با توجه به بارگذاریهای اعمال شده مقادیر مطلوبی هستند.

۳. با توجه به اینکه طرح فوق در زمستان (بدترین شرایط) انجام گردید می توان ادعا کرد که بارگذاری ۲-۴/۵ g/m^2d کل نیتروژن برای سیستم نیزار برای منطقه ای با مشخصات آب و هوایی تهران کافی است.

۴. همچنین بارگذاری هیدرولیکی ۵-۷ cm/d را می توان برای شرایط تهران توصیه نمود. با چنین بارگذاری مساحت زمین موردنیاز برای هر نفر (با در نظر گرفتن فاضلاب سرانه ۲۰۰ lit/d) در صورت استفاده از نیزار مصنوعی با جریان زیرسطحی ۴-۲/۷ مترمربع خواهد بود.

۵. اگرچه طراحی سیستم برای حذف فسفر با طراحی سیستم برای حذف نیتروژن تفاوت دارد اما سیستم حاضر در مورد حذف فسفر مؤثر عمل کرده است.

۶. در صورت لزوم کنترل مواد مغذی از پسابهای شهری و در صورت مساعد بودن شرایط محیطی استفاده از این روش را برای مقادیر کم پسابهای شهری می توان استفاده نمود.

۷. اگرچه در سرمای زمستان از راندمان سیستم کاسته می شود اما این کاهش به قدری نیست که مشکل ساز باشد.

۸. اگرچه تا حدودی مقادیر حذف در بستر نیزار و شاهد در بعضی موارد مشابه است اما در دراز مدت این تفاوت بسیار زیاد خواهد شد.

منابـــــع

۱. قادری، عباس. ۱۳۷۵. بررسی کارآیی نیزار در حذف COD, BOD و TSS پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده تربیت مدرس.

۲. شیخ الاسـلامی. ۱۳۷۵. راندمـان حـذف COD فـاضلاب کارخانـه نانوایی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف.

3. EPA, 1975. Design manual for nitrogen control.

4. Metcalf and Eddy, Inc. 1991. Wastewater Engineering, McGraw Hill.

5. Reed, A., et al, 1995. Natural system for waste management, Mc Graw Hill.

6. EPA, 1988. Design Manual, constructed wetlands and aquatic plant system for municipal wastewater treatment.

7. Farahbakhshazad, N. and Morrison, M. 1997. Subsurface macrophyte systems, Goteberg, SWEDEN.

8. Farahbakhshazad, N. 1997. Effect of grain size on nutrient removal, Goteberg, SWEDEN.

9. Hammer, A. 1197. Design constructed wetlands for nitrogen removal, Wat. Sci. Tech. 29(4): 15-27.

10. Wetland system in water pollution control, 3rd intern specialist.

11. Williams, J. B. 1994. Nitrogen transformation in gravel bed used as a tertiary treatment, Wat, Sci, Tech. 21(4).