

## مروری بر روش‌های رفع هم‌زمان انواع آلودگی غیر محلول در فاضلاب

نازنین عزتی بورستان<sup>۱</sup>، اشکان بنی خدمت<sup>۲\*</sup>، سید سعید راثی نظامی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی دکتری عمران-ژئوتکنیک، دانشگاه محقق اردبیلی

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد عمران-مدیریت منابع آب، دانشگاه محقق اردبیلی

۳. استادیار گروه عمران، دانشگاه محقق اردبیلی

Banikhedmat.ashkan@gmail.com

### چکیده

آب از حیاتی‌ترین مواد بر روی کره زمین می‌باشد. ۷۱ درصد از سطح کره زمین با آب پوشانده شده است که از این میزان حدود ۳ درصد آن قابل استفاده می‌باشد. رشد روز افزون جمعیت، فعالیت صنعتی و کشاورزی از یک سو هم میزان مصرف آب را افزایش می‌دهد و از سوی دیگر باعث به وجود آمدن فاضلاب‌های خانگی، صنعتی و کشاورزی می‌گردد که این پساب‌ها منجر به بروز مشکلات زیست محیطی فراوانی میشوند. آلودگی‌های موجود در انواع فاضلاب گفته شده شامل آلودگی‌های معدنی، آلی و بیولوژیکی می‌باشند که می‌توانند به صورت محلول، کلوییدی و جامد غیر محلول در آب حضور داشته باشند. رفع این آلودگی‌ها هم به بازیابی بخشی از آب مصرفی و هم به بهبود شرایط زیست محیطی کمک می‌کند. در این مقاله به انواع روش‌های تصفیه فاضلاب که به حذف هم‌زمان جامدات غیر محلول معدنی، آلی و بیولوژیکی می‌انجامد، پرداخته می‌شود.

کلمات کلیدی: آلودگی، تصفیه فاضلاب، حذف هم‌زمان جامدات غیر محلول

### ۱. مقدمه

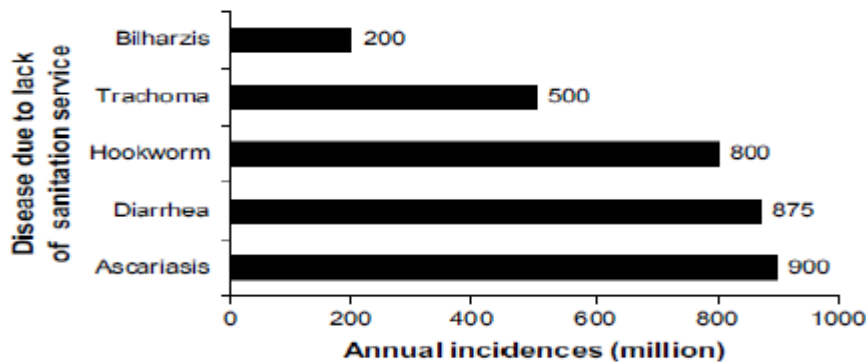
شاید بتوان گفت آب پس از هوا حیاتی‌ترین ماده برای ادامه‌ی زندگی بشر است. ۷۱ درصد از سطح کره زمین با آب پوشانده شده است. ۹۷ درصد از کل حجم ۱۳۸۶ میلیون کیلومتر مکعب، آب شور می‌باشد. از ۳ درصد باقی مانده، بیش از ۶۸ درصد در یخ و یخچال‌های طبیعی می‌باشد. منابع آب شیرین، مانند رودخانه‌ها و دریاچه‌ها، فقط ۹۳۱۰۰ کیلومتر مکعب که فقط ۱ قسمت از ۷۰۰ قسمت کل آب می‌باشد. اما با این وجود، رودخانه‌ها و دریاچه‌ها مهمترین منبع آب تمامی مردم روی زمین می‌باشند. در نتیجه مسئله‌ی آب و کمبود آن مورد توجه قرار می‌گیرد. به علاوه امروزه با پیشرفت زندگی صنعتی مصرف آب رو به فزونی است. هم چنین فعالیت‌های صنعتی منجر به ایجاد فاضلاب می‌شوند که مشکلات زیست محیطی فراوانی را به وجود می‌آورد. مشکلات جدی ناشی از فاضلاب‌ها شامل آلودگی آب و خاک، کاهش منابع آب، آلودگی منابع و ... می‌باشد. حدود ۴۰ درصد از مردم جهان از نبود سرویس بهداشتی مناسب رنج می‌برند که این مسئله منجر به بروز بیماری‌هایی می‌شود (شکل ۱). در نتیجه اهمیت تصفیه فاضلاب هم در بازیابی آب مصرفی در صنایع و سایر مصارف و هم در رفع مشکلات و مخاطرات زیست محیطی می‌باشد. به منظور تصفیه فاضلاب شناسایی نوع فاضلاب و آلاینده‌ی موجود در آن ضروری می‌باشد [۱].

انواع فاضلاب شامل فاضلاب خانگی، صنعتی و کشاورزی می‌باشد. فاضلاب خانگی ناشی از دستگاه‌های بهداشتی همچون توالی‌ها، حمام، ماشین‌های لباس شویی و ظرف شویی، پساب آشپزخانه و شستشوی بخش‌های مختلف خانه می‌باشد. در شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهری، فاضلاب مغازه‌ها، فروشگاه‌ها، تعمیرگاه‌ها، رستوران‌ها و ... نیز جمع‌آوری می‌شود. به آب‌های مصرف شده در واحدهای مختلف یک صنعت یا واحد تولیدی که بنحوی

دچار نوعی آلودگی شده باشند فاضلاب صنعتی گفته می شود. در نهایت فاضلاب کشاورزی ناشی از سموم و کود و ... مورد استفاده در فعالیت های کشاورزی می باشد که منجر به ایجاد آلودگی می شوند. تفاوت میان فاضلاب خانگی و صنعتی در امکان وجود ترکیبات سمی در فاضلاب صنعتی، خوردگی بیشتر فاضلاب صنعتی، خاصیت قلیایی یا اسیدی بیشتر فاضلاب صنعتی، احتمال کمتر وجود میکروارگانیسم ها در فاضلاب صنعتی می باشد [۴-۲].

انواع آلودگی آب به سه دسته معدنی، آلی و بیولوژیکی تقسیم می شود. رایج ترین نوع آلودگی معدنی، فلزات سنگین می باشد که بسیار سمی و سرطان زا هستند. به علاوه سایر آلودگی های معدنی مانند نترات، سولفات، فسفات، فلورید، کلرید و اکسالات تاثیرات بد مشابهی دارند. آلودگی های آلی شامل حشره کش ها، علف کش ها، قارچ کش ها، هیدروکربنات های چند هسته ای، فتول، پلی کربنات، روغن، گریس و ... می باشد. آلودگی های بیولوژیکی شامل باکتری ها، قارچ ها، جلبک، آغازیان، آمیب، ویروس و ... می باشد. این آلودگی ها می توانند به صورت محلول در آب، کلوئیدی و معلق (غیر محلول) در آب وجود داشته باشند. آلاینده های موجود در فاضلاب ناشی از معادن، کارخانه های فولاد سازی و ... بیشتر از نوع معدنی هستند. آلاینده های موجود در فاضلاب ناشی از کارخانه های تهیه مواد غذایی، کارخانه های نشاسته سازی و ... بیشتر آلی هستند [۸-۶].

این مقاله انواع روش های تصفیه فاضلاب که به حذف همزمان جامدات غیر محلول معدنی، آلی و بیولوژیکی می انجامد، پرداخته می شود.



شکل ۱. رتبه بندی شیوع بیماری های به وجود آمده در اثر سرویس بهداشتی نامناسب [۵].

## ۲. انواع روش های حذف همزمان جامدات غیر محلول معدنی، آلی و بیولوژیکی

این روش ها شامل آشغالگیری، صافی ها، سانتریفیوژ جداساز، ته نشینی و تفکیک ثقلی، شناورسازی و جذب سطحی می باشد که روش انجام، اثربخشی و هزینه ی آنها در بخش های بعدی مورد بحث قرار می گیرد.

### ۲-۱. آشغالگیری، صافی ها و سانتریفیوژ جداساز (Screening, filtration and centrifugal separation)

آشغالگیری اولین تصفیه ایست که در تصفیه خانه ها در مورد فاضلاب خام انجام می گیرد. در ضمن آن مواد معلق درشت را از فاضلاب جدا می سازند. این واحد برای حذف مواد جامد درشت مانند چوب و پلاستیک استفاده می شود. آشغالگیری معمولاً با کمک صفحه های فلزی که سوراخ هائی به قطر چند میلیمتر تا چند سانتیمتر در آن ساخته شده و یا با کمک تورهای سیمی و به وسیله هائی که به صورت مایل در امتداد جریان فاضلاب قرار داده می شود انجام می گیرد. انواع آشغال گیر شامل **آشغال گیر دهانه درشت (Coarse Screen)** که این آشغال گیرها شامل میله های عمودی با فاصله ۱ سانتیمتر و بیشتر می باشد. جامدات زائد پشت میله ها در تصفیه خانه های کوچک به صورت دستی و در تصفیه خانه های بزرگ به صورت مکانیکی جمع آوری و دفع می گردد و **آشغال گیر دهانه ریز (Fine Screen)** که از سیم های به هم پیچیده یا صفحه فلزی مشبک که بر روی یک دیسک دوار یا بشکه هائی سوار شده و به شکل نیمه شناور در مسیر جریان قرار می گیرند [۹ و ۴].

در فرآیند استفاده از صافی‌ها آب از یک ناحیه با حفرات ریز عبور می‌کند. اندازه‌ی حفرات بین ۰.۱ تا ۰.۵ می‌باشد. این روش به منظور رفع جامدات غیر محلول، گریس، روغن‌ها، باکتری‌ها و ... مورد استفاده قرار می‌گیرد. این فرآیند برای رفع آلودگی‌های جامدات با اندازه‌ی کمتر از ۱۰۰ و روغن ۲۵ استفاده می‌شود که اثربخشی آن ۹۹٪ می‌باشد. هزینه‌ی این روش ۴۵۰-۲۵۰ می‌باشد [۴ و ۹].

سانتریفیوژ جداساز برای رفع آلودگی‌های جامدات غیر محلول غیر کلوییدی (اندازه‌ی بیش از ۱) مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش آب فاضلاب در دستگاه سانتریفیوژ قرار می‌گیرد و با سرعت‌های مختلف می‌چرخد و مواد جامد (لجن‌ها) جدا می‌شوند و تخلیه می‌شوند. این روش به منظور کاهش منشا آلودگی و جداسازی روغن‌ها و گریس مورد استفاده قرار می‌گیرد. هزینه‌ی این روش ۴۵۰-۲۵۰ می‌باشد [۴ و ۹].



شکل ۲. صاف کردن فاضلاب با آشغالگیری

## ۲-۲. ته‌نشینی و تفکیک ثقلی (Sedimentation and gravity separation)

ته‌نشینی جدا کردن ذرات معلق سنگین تر از آب بوسیله ته‌نشینی ثقلی است. در این فرآیند به جریان آب اجازه داده می‌شود که در انواع مختلف مخزن‌ها و در بازه‌های زمانی مختلف جریان آشفته - نیمه آشفته داشته باشد و بدین ترتیب جامدات غیر محلول و شن و ماسه ته‌نشین می‌شوند. با کاهش سرعت جریان آب امکان ته‌نشینی مواد معلق در تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب فراهم خواهد شد. زمان ته‌نشینی بستگی به اندازه و تراکم ذرات دارد و در صورتی که آب در حرکت باشد؛ به سرعت جریان هم بستگی دارد. گاهی اوقات به منظور سرعت بخشیدن به فرآیند ته‌نشینی، به آب زاج سفید اضافه می‌شود. واحدهایی که در تصفیه‌خانه ویژه عمل ته‌نشینی هستند شامل حوضچه دانه‌گیری، حوضچه ته‌نشینی اولیه و حوضچه ته‌نشینی ثانویه می‌باشند.

دانه گیری برای حذف مواد دانه ای نظیر شن، ماسه، تفاله چای و قهوه و ... می باشد. سرعت جریان در حدی است که دانه ها ته نشین شوند ولی مواد آلی رسوب نمایند (۰.۳ متر بر ثانیه). اهمیت دانه گیری در نگهداری و حفاظت تجهیزات مکانیکی و اجتناب از فرسایش و تخریب زودرس آنها، جلوگیری از پر شدن و گرفتگی لوله ها و کانال ها در اثر ته نشین شدن دانه ها، جلوگیری از ازدیاد لجن اولیه و ثانویه به منظور کاهش ظرفیت تخلیظ و هضم لجن و تقلیل بوی فاضلاب می باشد. روش های دانه گیری

#### ۱. دانه گیری با سرعت کنترل شده: طبق استاندارد ایران سرعت فاضلاب در این دانه گیر ۰.۳ متر بر ثانیه ثابت نگهداشته می شود.

مزایا: طراحی، اجرا و بهره برداری از این نوع دانه گیرها راحت می باشد.

معایب: به دلیل سرعت کم به زمین زیادی نیاز دارند، به همین دلیل در اجتماعات کم جمعیت یا دارای زمین ارزان و فراوان کاربرد بیشتری دارد. انعطاف پذیری سیستم کم است، چون طراحی بر اساس یک قطر مشخص صورت می گیرد اگر قطر تغییر کند طراحی با اشکال مواجه می شود.

#### ۲. دانه گیری با هوادهی: در این روش جداسازی مواد دانه ای با کمک دمیدن هوا به فاضلاب انجام می شود. مقدار هوای ورودی بر مقدار دانه ها تنظیم گردد. این نوع دانه گیر معمولاً بعد از آشغال گیر دهانه درشت و ایستگاه پمپاژ ورودی قرار می گیرد.

مزایا: هوادهی به هوای شدن فاضلاب و حتی کاهش بار مواد آلی کمک می کند.

معایب: نیاز به تجهیزات فراوان دارد و در نتیجه تنها در شهرهای بزرگ کاربرد دارد.

#### ۳. دانه گیری با جریان گردابی: دارای مقطع دایروی هستند. به دلیل نحوه ورود و خروج جریان و همزن داخل دانه گیر عملیات دانه گیری صورت می گیرد.

مزایا: دارای راندمان حذف خوبی هستند، به زمین کمتری نیاز دارند.

معایب: ساخت آنها در انحصار شرکت های خارجی می باشد و وارد کردن آنها مسلزم هزینه ارزی است.

حوضچه های ته نشینی به صورت دایروی و مستطیلی می باشند. شیب ابتدا به انتهای مخازن ته نشینی مستطیل شکل حدود ۱ به ۲ از ابتدا به انتها می باشد. قیف جمع کننده لجن در ابتدای حوض مستطیل شکل قرار دارد. در حوض های دایروی شکل فاضلاب از وسط به درون آن تخلیه می گردد. شیب این حوض حدود ۸ درصد به طرف مرکز مخزن می باشد. لجن روب مکانیکی که روی یک محور حرکت می کند لجن های ته نشین شده را جمع و به درون چاله ای در وسط حوض هدایت می کند.

#### مزایای حوض های ته نشینی با مقطع دایروی

- اکثر تجهیزات مکانیکی آن در ایران ساخته می شود.

- قسمت های عمده ادوات مکانیکی لجن روب در بیرون از آب قرار دارد و در نتیجه فرسایش

حاصل از خوردگی دیرتر اتفاق می افتد.

#### مزایای حوض های ته نشینی مستطیل شکل

- امکان وجود جریان میانبر به دلیل فاصله نسبتاً زیاد بین ورودی و خروجی بسیار کم است.

- در صورت نیاز به افزایش واحدهای جدید یک دیواره مشترک میان دو حوض مجاور هم وجود دارد.

- در صورت بروز مشکل بو پوشاندن سطح حوض ته نشینی با مقطع مستطیلی ساده تر است.

نکات زیر در رابطه با حوض های ته نشینی حائز اهمیت می باشد.

- سیستم لجن روب حوض ته نشینی مستطیلی به صورت زنجیری (رفت و برگشتی) می باشد که تکنولوژی آن در کشور ما پیشرفت چندانی نداشته است.
  - سیستم لجن روب حوض دایروی به صورت پل گردان می باشد که بهره برداری از آن است به همین دلیل در ایران بیشتر از حوض دایروی استفاده می شود.
  - سطح حوض های دایروی بیشتر از حوض های مستطیل شکل است در نتیجه به زمین کمتری نیاز دارند.
  - حوض های دایروی نسبت به شوک های هیدرولیکی حساس تر هستند.
  - فضای مرده در حوض های مستطیل شکل بیشتر از حوض های دایروی می باشد.
  - لجن روب سیستم مستطیلی زودتر از دایروی است زیرا در آب قرار دارد.
  - استفاده از سیستم دایروی بسیار بیشتر از مستطیل شکل است.
  - لجن حاصله از ته نشینی اولیه همراه با سایر لجن ها از جمله لجن ثانویه می باشد.
  - زمان ماند حوض ته نشینی از ۲۰ دقیقه تا ۲ ساعت می باشد.
  - سرعت جریان حدود ۰.۵ تا ۱.۵ سانتیمتر بر ثانیه متغیر می باشد.
  - بار سطحی در حوض ته نشینی اولیه برای جریان متوسط روزانه نباید از ۴۰ کمتر و از ۶۰ بیشتر باشد.
- ته نشینی فیزیکی پرکاربردترین عملیات واحد تصفیه فاضلاب است. روش بسیار مفید برای تصفیه فاضلاب صنایع کاغذ و پالایشگاه می باشد. هم چنین برای کاهش مشا آلودگی نیز مورد استفاده قرار می گیرد. ۶۰ درصد از مواد جامد معلق در این حوضچه ها ته نشین می شوند. هزینه این روش ۱۰-۵ می باشد [۹-۱۱].



شکل ۳. نمایی از یک حوضچه ی ته نشینی



شکل ۴. نمایی از یک حوضچه‌ی ته‌نشینی مستطیلی با طول زیاد

### ۲-۳. شناورسازی (Flotation)

یکی از رایج‌ترین و ضروری‌ترین قسمت‌های برنامه تصفیه فاضلاب می‌باشد. برای حذف ذراتی که وزن مخصوص کمتر از آب دارند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. جامدات غیرمحلول، روغن‌ها، گریس، جامدات بیولوژیکی با چسباندن آنها بوسیله هوا یا گاز در فرآیند شناورسازی از فاضلاب رفع می‌شوند. جامدات به گاز یا هوا می‌چسبند و تشکیل توده می‌دهند که بر روی سطح آب انباشته می‌شوند و به آسانی از روی سطح قابل جمع‌آوری هستند. برخی از مواد شیمیایی نظیر زاج سفید، سیلیس فعال و ... به تسریع در فرآیند شناورسازی کمک می‌کنند. هوای فشرده از میان آب عبور داده می‌شود که به فرآیند شناورسازی کمک می‌کند. با این روش ۷۵ درصد مواد جامد رفع می‌شوند در صورتی که روغن‌ها و گریس تا ۹۹ درصد رفع می‌شوند. روشی موثر برای تصفیه فاضلاب صنایع کاغذ و پالایشگاه می‌باشد. هزینه‌ی این روش ۲۵-۵ می‌باشد [۱۲-۱۱ و ۴].

### ۲-۴. جذب سطحی (Adsorption)

با استفاده از این روش، مواد جامد غیر محلول جذب سطح جسم جاذب شده و از آب جدا می‌شوند. به طور کلی جذب سطحی فرآیند جمع‌آوری موادی است که به صورت محلول در فصل مشترک مناسبی قرار دارند. در واقع جمع‌آوری مواد محلول در آب در داخل یک فاز جامد می‌باشد. در جذب سطحی فیزیکی، مولکول‌ها بوسیله نیروی واندروالسی به سطح ماده جاذب می‌چسبند. کارایی این روش بستگی به پارامترهایی نظیر PH، دما، میزان آلودگی، زمان تماس، اندازه ذرات جاذب و ماهیت جاذب و آلودگی دارد. استفاده از صافی‌ها برای جداسازی ذرات معلق و روغن‌ها به منظور ارتقاء کارایی این روش ضروری می‌باشد. انواع مختلفی از جاذب‌ها در فرآیند جذب سطحی مورد استفاده قرار می‌گیرند. متداول‌ترین جاذب‌ها شامل کربن فعال، خاکستر، اکسید فلزات، زئولیت، خزه و بیومس می‌باشد. اخیراً مواد نانو نیز بدین منظور مورد استفاده قرار می‌گیرند. کارایی این روش برای رفع آلودگی ۹۹-۹۰ درصد می‌باشد. این روش به منظور کاهش منشاء آلودگی، تصفیه آب و فاضلاب به صورت آب آشامیدنی و سایر مقاصد مورد استفاده قرار می‌گیرد. هزینه‌ی این روش ۱۵۰-۵۰ می‌باشد [۲۲-۱۴].



### ۳. نتیجه گیری

رشد روز افزون جمعیت، فعالیت صنعتی و کشاورزی از یک سو هم میزان مصرف آب را افزایش می دهد و از سوی دیگر باعث به وجود آمدن انواع می گردد که این پسابها منجر به بروز مشکلات زیست محیطی فراوانی می شوند. انواع آلودگی آب به سه دسته ی معدنی، آلی و بیولوژیکی تقسیم می شود. رفع این آلودگی ها هم به بازیابی بخشی از آب مصرفی و هم به بهبود شرایط زیست محیطی کمک می کند. در این مقاله انواع روش های تصفیه فاضلاب که شامل آشغالگیری، صافی ها، سانتریفیوژ جداساز، ته نشینی و تفکیک ثقلی، شناورسازی و جذب سطحی می باشد و به حذف همزمان جامدات غیر محلول معدنی، آلی و بیولوژیکی می انجامد، پرداخته شد. با توجه به بحث های انجام شده در باب روش انجام، اثرپذیری و هزینه می توان روش مناسب را انتخاب نمود. در واقع می توان گفت فاکتورهای موثر در انتخاب روش مناسب شامل ماهیت فاضلاب صنعتی و غلظت آن و دبی، میزان تصفیه لازم، امکانات خاص هر واحد صنعتی، فراوانی آب، شرایط آب و هوایی منطقه، تکنولوژی و مواد قابل دسترسی، امکان انتقال برخی جریان به شبکه فاضلاب شهری، دسترسی به زمین مناسب، مسئله اقتصادی طرح می باشد. روش شناورسازی و جذب سطحی با هزینه کم و کارایی بالا می تواند روشی مناسب برای تصفیه فاضلاب باشد. همچنین به منظور اثربخشی بهتر می توان از ترکیب روش ها به صورت مرحله ای استفاده نمود.

### منابع

- [1] F.M. Marshall, J. Holden, C. Ghose, B. Chisala, E. Kapungwe, J. Volk, et al, Contaminated irrigation water and food safety for the urban and peri-urban poor: appropriate measures for monitoring and control from field research in India and Zambia, Inception Report DFID Enkar R8160, SPRU, University of Sussex, 2007.
- [2] T. Dyson, Population and food: global trends and future prospects, Routledge. London, 1996.
- [3] R. L. Droste, Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1997.
- [4] L. B. Franklin, Wastewater Engineering: Treatment. Disposal and Reuse, McGraw Hill, Inc., New York, 1991.
- [5] WHO (World Health Organization), (2002), Environmental Health. Eastern Mediterranean Regional Center for Environmental Health Activities (CEHA).
- [6] V. Gaston, International Regulatory Aspects for Chemicals, Vol. I, CRC Press, Inc., New York, 1979.
- [7] D. H. Hutson and T. R. Roberts, Environmental Fate of Pesticides, Vol. 7, John Wiley & Sons, New York, 1990.
- [8] D. Z. John, Hand Book of Drinking Water Quality: Standards and Controls, Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.
- [9] N. Nemerow and A. Dasgupta, Industrial and Hazardous Waste Treatment, Van Nostrand Reinhold, New York, 1991.
- [10] 8 N. P. Cheremisinoff, Handbook of Water and Wastewater Treatment Technologies, Butterworth-Heinemann, Boston, 2002.
- [11] O. Marmagne and C. Coste, Am. Dyest. Rep., Handbook of Industrial and Hazardous Wastes Treatment , 1996, 85, 15-20.
- [12] I. O. Sinev, O. P. Sinev and S. N. Linevich, Izobreteniya, 1997, 26, 369-370.
- [13] T. Clark and T. Stephenson, Effects of Chemical Addition on Aerobic Biological Treatment of Municipal Wastewater, Environ. Technol Environ. Technol., 1998, 19, 579-590.
- [14] V. K. Gupta, R. Jain and S. Varshney, J. Removal of Reactofix golden yellow 3 RFN from aqueous solution using wheat husk - An agricultural waste, Hazard. Mater., 2007, 142, 443-448.

- [15] I. Ali and V. K. Gupta, Nat. Protoc., Advances in water treatment by adsorption technology, 2007, 1, 2661–2667.
- [16] D. F. Samuel M. A. Osman, Adsorption Processes for Water Treatment. Butterworths, Boston, 1987.
- [17] V. K. Gupta, A. Mittal, R. Jain, M. Mathur and S. Sikarwar, J. Adsorption of Safranin-T from wastewater using waste materials- activated carbon and activated rice husks, Colloid Interface Sci., 2006, 303, 80–86.
- [18] V. K. Gupta, I. Ali and V. K. Saini, J. Adsorption studies on the removal of Vertigo Blue 49 and Orange DNA13 from aqueous solutions using carbon slurry developed from a waste material. Colloid Interface Sci., 2007, 315, 87–93.
- [19] V. K. Gupta, S. Agarwal and T. A. Saleh, J. Hazard. Synthesis and characterization of alumina-coated carbon nanotubes and their application for lead removal, Mater, 2011, 185, 17–23.
- [20] V. K. Gupta, R. Jain, S. Malathi and A. Nayak, Adsorption–desorption studies of indigocarmine from industrial effluents by using deoiled mustard and its comparison with charcoal , J. Colloid Interface Sci., 2010, 348, 628–633.
- [21] V. K. Gupta, R. Jain, M. N. Siddiqui, T. A. Saleh, S. Agarwal, S. Malati and D. Pathak, J. Chem. Eng. Data, 2010, 55, 5225–5229.
- [22] V. K. Gupta, A. Mittal, A. Malviya and J. Mittal, J. Adsorption of carmoisine A from wastewater using waste materials--bottom ash and deoiled soya, Colloid Interface Sci., 2009, 335(1), 24–33.