

# کاربرد کیتوسان به عنوان جاذب سطحی برای رنگزدایی فاضلاب صنایع نساجی

Application of Chitosan as an Adsorbent for Color Removal of Textile Industrial Wastewaters

امیر نائی<sup>۱</sup>، مریم اسماعیلیان<sup>۲</sup>، میدحسین امیرشاهی<sup>۲</sup>

۱- دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی عمران؛ ۲- دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی نساجی

دریافت: ۷۸/۷/۷۸، پذیرش: ۷۸/۱۰/۲۶

## چکیده

برای رنگزدایی فاضلاب صنایع نساجی فرایند جذب سطحی بسیار موثر و کاربرد آن متداول است. در این پژوهش امکان کاربرد کیتوسان استخراج شده از کتیلین، پلیمری طبیعی موجود در پوست خانواده سخت پوستان دریایی، برای جذب رنگرهای محلول در فاضلاب صنایع نساجی ارزیابی شد. آزمایشها روی فاضلابهای دارای رنگینه‌های اسیدی، مستقیم، واکنش پذیر و بازی و به دو منظور مقایسه کارایی رنگزدایی به کمک جاذبهای کیتوسان و کربن فعال و بررسی عوامل موثر بر جذب به وسیله کیتوسان انجام گرفت. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که کارایی کیتوسان در جذب رنگینه‌های اسیدی، مستقیم و واکنش پذیر بر مراتب پیش از کربن فعال بوده و در جذب رنگینه بازی کمتر از کربن فعال است. بطور کلی، کارایی کیتوسان در کاهش اکسیژن خواهی شیمیایی (یا جذب مواد آلی) بسیار خوب و در همه موارد بیش از کربن فعال است. از این رو، کیتوسان را می‌توان به عنوان حاذی مناسب و فراگیر برای تصفیه فاضلاب صنایع نساجی بکار گرفت و آن را جایگزین دیگر جاذبها کرد.

واژه‌های کلیدی: فاضلاب صنایع نساجی، کیتوسان، جذب سطحی، رنگزدایی، رنگینه

*Key Words: textile industrial wastewaters, chitosan, adsorption, color removal, dye*

## مقدمه

می‌شوند که معمولاً بسیار آلوده‌اند و مشخصات نسبتاً متغیری دارند. به همین دلیل، شرایط تصفیه آنها پیچیده و مشکل است. مواد رنگزا یکی از مهمترین عوامل آلوده کننده فاضلاب صنایع نساجی بوده و حذف آنها همواره یکی از اهداف مهم در زمینه کنترل آلودگی فاضلاب این صنعت است.

تا کنون روشهای متعددی برای رنگزدایی فاضلابهای صنایع نساجی مطالعه و بکار گرفته شده‌اند که عبارتند از: انعقاد و لخته‌سازی با منعقد کننده‌هایی چون نمکهای آلومینیم و آهن (۱)، اکسایش با اکسید کننده‌هایی همچون کلر، اوزون، پروکسید، پرتوهای فرابنفش و

با توجه به اینکه صنایع نساجی یکی از صنایع مهم کشور است و در سالهای اخیر از گسترش چشمگیری برخوردار بوده است، مطالعات و تحقیقات در زمینه تصفیه و کنترل آلودگی فاضلاب آنها، که آثار زیانباری بر محیط زیست دارد، ضروری بنظر می‌رسد. در فرایندهای مختلف صنایع نساجی انواع بسیار متفاوتی از مواد رنگزا و شیمیایی به مصرف می‌رسند که غالباً در فاضلابهای این صنایع با غلظتهای متفاوت یافت می‌شوند. در صنایع نساجی، فاضلابهای زیادی تولید

جدول ۱ - نام رنگینه‌های بکار رفته در آزمایشها.

نام رنگینه الف	نام تجاری رنگینه	گروه اصلی رنگینه
قرمز اسیدی ۱	Acid Brilliant Fushine 2G	اسیدی
زرد اسیدی ۲۲۰	Lanacron Yellow S-2G	اسیدی (کمپلکس فلزی)
آبی مستقیم ۷۱	Direct Fast Blue B2R	مستقیم
قرمز مستقیم ۳۱	Direct Red 12B	مستقیم
آبی واکنش‌پذیر ۱۴	Youhoreative Turquoise Blue KGL	واکنش‌پذیر
قهوه‌ای واکنش‌پذیر ۱۶	Remazol Brown 3G	واکنش‌پذیر
سبز بازی ۴	Malachite Green	بازی
زرد بازی ۱۱	Youracryl Yellow 4G	بازی

الف - نام رنگینه‌ها در کتاب Colour Index آمده است.

### تجربی

پرتوهای لیزر [۲،۳] و همچنین روشهای غشایی [۴]، تبادل یون [۵]، الکتروشیمیایی [۶]، بیولوژیکی [۷،۸] و جذب سطحی [۹،۱۰].

### مواد

کلیه آزمایشها در آزمایشگاه مهندسی محیط زیست دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی اصفهان روی هشت ماده رنگزا از چهار گروه رنگینه محلول اسیدی، مستقیم، واکنش‌پذیر و بازی (از هر گروه دو رنگ) انجام گرفت. در جدول ۱ هشت رنگینه به کار رفته در آزمایشها معرفی شده‌اند که مشخصات آنها را می‌توان در کتاب colour index [۱۳] ملاحظه کرد. کیتوسان مصرفی ساخت شرکت بیوپلیمر آمریکا و از درجه تجاری و کربن فعال مورد استفاده ساخت شرکت مرک آلمان و دارای خلوص آزمایشگاهی بود. کلیه آزمایشها روی محلولهای رنگی با دو غلظت ۱/۰ و ۳/۰ g/L انجام گرفت. محلولهای مواد رنگزا بر اساس نسخه‌های عملی رنگرزی ساخته شد و تمام مواد کمکی مورد نیاز نیز به آنها اضافه شد. روشها و آزمایشهای انجام گرفته در آزمایشگاه به اختصار در بخش روشها ارائه شده و جزئیات بیشتر درباره آزمایشها در مرجع ۱۴ آمده است.

### روشها

تعیین درصد کاهش غلظت رنگینه محلول پس از رنگردایی

درصد کاهش غلظت رنگینه در محلول معیاری برای ارزیابی میزان کاهش رنگ آن است. درصد کاهش غلظت رنگینه در هر محلول از فرمول زیر محاسبه شده است:

$$(۱) \quad \text{درصد کاهش غلظت رنگینه} = \frac{C_0 - C}{C_0} \times 100$$

که در آن  $C_0$  میزان غلظت رنگینه در نمونه اولیه (قبل از رنگردایی) و  $C$  غلظت رنگینه در نمونه رنگردایی شده است. مقادیر  $C_0$  و  $C$  در هر

امروزه، کاربرد فرایند جذب در تصفیه‌خانه‌ها برای حذف مواد آلی و رنگزای فاضلاب صنایع متداول شده و مواد جاذب متعددی بکار گرفته می‌شوند که هر کدام محدودیتهایی از نظر هزینه و کاربرد دارند. از جمله مشکلات اساسی در کاربرد هر جاذب، کارایی متفاوت آن در مقابل مواد مختلف رنگزا و آلی موجود در فاضلاب صنایع نساجی و در نتیجه متغیر بودن کیفیت پساب خروجی تصفیه‌خانه است. بنابراین، یافتن یک ماده جاذب مناسب که برای همه رنگهای مصرفی در یک کارخانه نساجی کارایی نسبتاً خوبی داشته باشد، در امر بهره‌برداری از تصفیه‌خانه‌ها بسیار اهمیت دارد.

امکان استفاده از یک پلی‌الکترولیت کاتیونی به نام کیتوسان به عنوان جاذب و منعقد کننده در صنعت آب و فاضلاب موضوع چند پژوهش بوده که منجر به کسب نتایج رضایتبخشی نیز شده است [۱۱،۱۲]. در این پژوهش، برای یافتن جاذبی کارآمد و فراگیر برای رنگردایی فاضلاب صنایع نساجی، امکان جذب مواد رنگزای محلول مختلف مورد استفاده در صنایع نساجی به کمک کیتوسان مطالعه شده است.

کیتوسان از مشتقات کیتین است که به روشهای متعدد تولید می‌شود که اساس تمام این روشها عمل‌آوری با قلیاست. در این عمل کیتین با محلولهای غلیظ قلیایی در دماهای ۱۳۰ تا ۱۵۰ C واکنش داده و گروههای آمین جایگزین گروههای استیل آن می‌شوند. کیتین، یک پلی‌ساکارید بلند و بدون شاخه با ساختاری تقریباً شبیه به سلولوز است که در طبیعت بسیار فراوان است و در لایه خارجی پوست بندپایان، حشرات، عنکبوتیان، سخت پوستان و همچنین بعضی از اسفنجها یافت می‌شود.

اختلاف بیشتر بین این دو مقدار نشان دهنده رنگزدایی کاملتر به وسیله جاذب بود.

تعیین درصد کاهش غلظت مواد آلی پس از رنگزدایی

از آزمایش تعیین غلظت اکسیژن‌خواهی شیمیایی (chemical oxygen demand, COD) به عنوان شاخص غلظت مواد آلی استفاده شد. این آزمایش به روش تیتراسیون با سیستم رفلکس بسته (closed reflux) مطابق دستور کار کتاب روشهای استاندارد آزمایشهای آب و فاضلاب [۱۶] انجام گرفت. میزان کاهش COD بر اثر رنگزدایی از معادله زیر محاسبه شده است:

$$\text{درصد کاهش COD} = \frac{\text{COD}_0 - \text{COD}}{\text{COD}_0} \times 100 \quad (3)$$

که در آن  $\text{COD}_0$  و COD به ترتیب غلظت COD محلول قبل و بعد از رنگزدایی است.

#### آزمایشها

آزمایشها برای مقایسه کارایی رنگزدایی کیتوسان و کربن فعال و همچنین بررسی عوامل موثر بر جذب به وسیله کیتوسان انجام گرفتند.

مقایسه کارایی رنگزدایی کیتوسان و کربن فعال

تمام آزمایشهای انجام شده روی کیتوسان با شرایط کاملاً یکسان روی کربن فعال نیز تکرار شد. در واقع از کربن فعال، که یک جاذب کارآمد و متداول در صنعت آب و فاضلاب است، به عنوان شاهد استفاده شد تا با مقایسه نتایج آن در مقایسه با جذب‌کنندگی کیتوسان بتوان در مورد آنها قضاوت کرد. برای به حداقل رساندن اثر عوامل احتمالی موثر بر میزان جذب، میزان pH تمام محلولها به ۷/۶ رسانده شد و سایر شرایط آزمایشها از قبیل دما، سرعت همزدن محلولها، زمان تماس و حجم محلولها ثابت نگه داشته شد. آزمایشهای این قسمت در دو مرحله انجام گرفت.

- مرحله اول: به منظور تهیه داده‌های کافی برای رسم منحنی درصد کاهش رنگینه در مقابل مقدار جاذب، روی هر محلول رنگینه عملیات رنگزدایی با مقادیر مختلف جاذبها انجام گرفت و پس از رسم منحنی مربوط مقدار جاذب در شرایط حداکثر کارایی رنگزدایی معین شد.

- مرحله دوم: میزان رنگزدایی به کمک کیتوسان و کربن فعال با تعیین مقدار چهار پارامتر: درصد کاهش غلظت رنگینه، مقدار اختلاف رنگ (AE)، مقدار اختلاف نسبت K/S و درصد کاهش COD مورد مطالعه و مقایسه قرار گرفت. بنابراین، پس از انجام رنگزدایی هر

رنگینه از روی منحنی درجه‌بندی آن معین شده و منحنی درجه‌بندی با استفاده از قانون بیر و با بکارگیری طیف نورسنج رسم شده است. برای این کار، ابتدا طول موج حداکثر جذب رنگینه معین شده و پس از ساختن محلولهای رنگی با غلظتهای متفاوت رنگینه و اندازه‌گیری جذب نور آنها در این طول موج، منحنی جذب در مقابل غلظت رنگینه رسم شده است.

تعیین مقدار اختلاف رنگ محلول پس از رنگزدایی

اختلاف رنگ ( $\Delta E$ ) معیاری برای تشخیص تفاوت رنگ بین دو نمونه محلول است. برای اندازه‌گیری مقدار آن عملیات رنگزدایی به وسیله جاذب روی نمونه انجام گرفت و سپس، مقادیر انتقال نور محلول اولیه (قبل از تصفیه) و محلول رنگزدایی شده در ناحیه طول موجهای ۴۰۰ تا ۷۰۰ nm در فواصل ۲۰ nm به کمک دستگاه طیف‌نورسنج انتقالی ساخت پرکین-المر مدل ۳۵ Junior اندازه‌گیری و میزان اختلاف رنگ آنها با توجه به فرمول اختلاف رنگ CIEABE [۱۵] معین شد. در عمل رنگزدایی، هر چه  $\Delta E$  بیشتر باشد رنگ بیشتری حذف شده است.

تعیین مقدار اختلاف K/S محلول پس از رنگزدایی

در یک نمونه غیر شفاف مانند منسوجات، تعیین نسبت ضریب جذب (K) به ضریب انتشار (S) معیاری برای ارزیابی قدرت رنگی بودن نمونه است که برای تعیین آن از معادله ۲ که به معادله کوبلیکو-مانک (Kubelko-Munk) معروف است استفاده می‌شود [۱۵]:

$$\frac{K}{S} = \frac{(1-R)^2}{2R} \quad (2)$$

در این معادله R مقدار نور منعکس شده در طول موج مورد نظر است. برای تعیین مقدار رنگی بودن محلول فاضلاب عمل‌آوری شده با جاذب (کیتوسان یا کربن فعال) در مقایسه با فاضلاب اولیه از دو پارچه سفید هم وزن، که جنس آنها متناسب با نوع ماده رنگزای بکار رفته بود، استفاده شد. این پارچه‌ها برای رنگینه‌های مستقیم و واکنش‌پذیر از جنس پنبه، برای رنگینه‌های اسیدی از پشم و برای رنگینه‌های بازی از نوع آکرلیک است. پارچه‌ها وارد محلولهای پساب اولیه و پساب عمل‌آوری شده با جاذب شده و مشابه عملیات رنگزایی عمل شد. سپس، مقدار K/S هر یک از این نمونه‌ها در طول موج حداقل انعکاس با استفاده از معادله ۲ محاسبه شد. آن گاه، با محاسبه اختلاف K/S نمونه رنگزایی شده در فاضلاب اولیه و K/S نمونه رنگزایی شده با پساب عمل‌آوری شده با جاذب، اثر استفاده از جاذب در رنگزدایی مورد بررسی قرار گرفت.

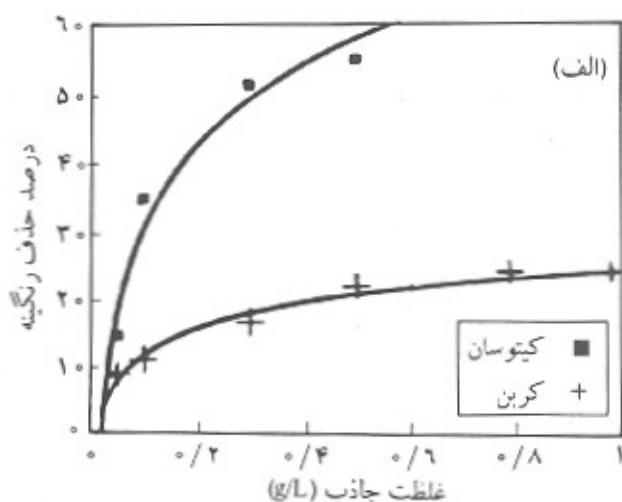
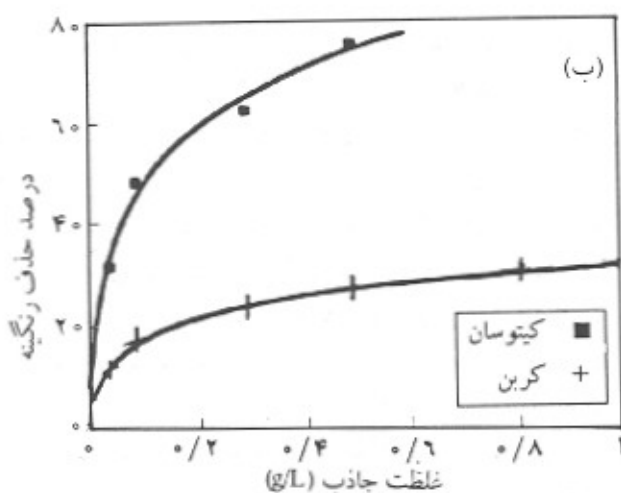
جدول ۲- نتایج آزمایشهای رنگردایی به کمک کیتوسان و کربن فعال.

درصد کاهش COD		اختلاف نسبت K/S		اختلاف رنگ (ΔE)		درصد کاهش غلظت رنگینه		غلظت اولیه رنگ (g/L)	نام رنگینه
کربن فعال	کیتوسان	کربن فعال	کیتوسان	کربن فعال	کیتوسان	کربن فعال	کیتوسان		
۲۵/۵	۳۳/۳	۰/۶۷	۴/۵۹	۱۴/۱۵	۹۸/۷۶	۲۲	۵۴/۵	۰/۱	قرمز اسیدی ۱
۱۱	۴۱	۵/۸۳	۱۳/۹	۲/۲۱	۵۰/۸۶	۱۸	۵۱/۳۳	۰/۳	قرمز اسیدی ۱
۳۲/۶	۶۶/۶	۷/۴۷	۱۳/۲۳	۲۸/۵۷	۱۳۸/۶۷	۲۸/۵	۷۶	۰/۱	زرد اسیدی ۲۲۰
۴۷	۷۴	۱/۹۴	۱۳/۷	۳۵/۳۶	۶۵/۳۱	۱۹/۳۳	۷۷/۵۳	۰/۳	زرد اسیدی ۲۲۰
۲۰	۴۰	۰/۲۱	۳/۳۵	۳۳/۲	۵۳۸/۴۲	۷۴	۹۵/۲	۰/۱	آبی مستقیم ۷۱
۱۸	۳۵	۱/۲	۷/۴۱	۱۲۳/۱۹	۶۸۷/۲۹	۸۰/۳۳	۹۷/۵	۰/۳	آبی مستقیم ۷۱
۲۴/۸	۳۷/۵	۳/۸۴	۵/۴۶	۵۱/۴۰	۳۱۹/۵۱	۸۵	۹۳	۰/۱	قرمز مستقیم ۳۱
۵۰	۶۲	۲/۶۵	۸/۹۹	۲۶/۲۰	۴۳۹/۹۱	۷۰	۹۱	۰/۳	قرمز مستقیم ۳۱
۸۳	۸۹	۱/۰۴	۳/۹۵	۳۱/۷۲	۲۳۸/۰۸	۵۳/۱	۹۸/۸	۰/۱	آبی واکنش پذیر ۱۴
۵۴	۷۰	۱/۸۸	۷/۴۸	۷۶/۹۶	۲۳۹/۷۳	۴۷/۳۳	۸۴	۰/۳	آبی واکنش پذیر ۱۴
۱۷	۳۳	۰/۲	۰/۳	۳۰/۵۹	۱۶۷/۶۸	۳۵	۸۶	۰/۱	قهوه‌ای واکنش پذیر ۱۶
۲۷	۴۳	۰/۳	۰/۱۸	۹/۴۵	۲۰۰/۱۹	۲۶/۶۱	۶۸/۸۸	۰/۳	قهوه‌ای واکنش پذیر ۱۶
۲۰	۴۰	۰/۸	۰/۰۴	۵۹۹/۸۴	۵۸۲/۷۱	۹۷/۶	۹۴	۰/۱	سبز بازی ۴
۱۴/۴	۲۸/۶	۵/۶	۰/۵۷	۲۹۹/۹۵	۲۱۲/۱۴	۹۸	۹۰/۶	۰/۳	سبز بازی ۴
۱۹/۶	۵۹/۶	۱/۷۴	۱/۵۶	۶۴/۸۲	۱۱/۰۲	۹۵	۳۰	۰/۱	زرد بازی ۱۱
۲۳	۶۶	۱۲/۷۹	۱۶/۹	۶۳/۰۱	۱۳/۸۷	۹۵/۶۶	۱۶/۶۶	۰/۳	زرد بازی ۱۱

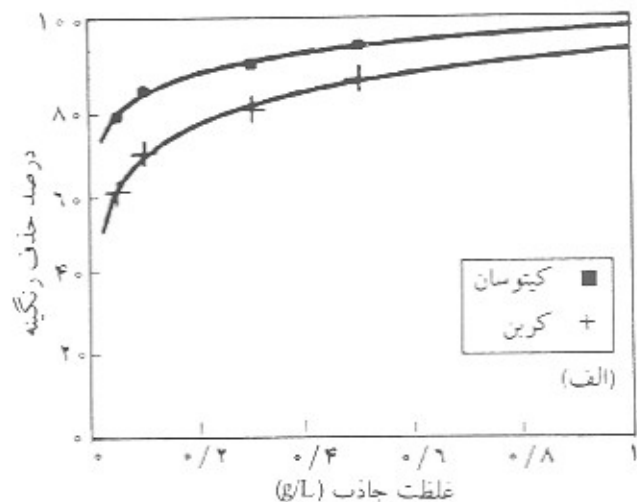
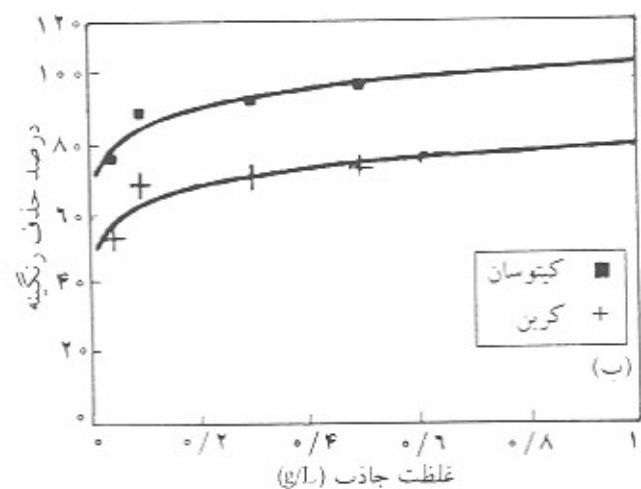
بررسی عوامل موثر بر جذب به کمک کیتوسان

این آزمایشها به منظور تهیه داده‌های لازم برای بررسی آثار عواملی همچون مقدار و نوع جاذب، pH، دما و زمان تماس بر میزان رنگردایی به کمک کیتوسان انجام شد. مقدار و نوع جاذب در مرحله اول، pH در

محلول، چهار پارامتر باد شده اندازه‌گیری شدند. در تمام آزمایشهای رنگردایی، مقدار جاذب بکار رفته برابر با مقدار جاذب در شرایط حداکثر رنگردایی بود که از نتایج مرحله اول آزمایشها به دست می‌آمد.



شکل ۱- اثر غلظت جاذب بر میزان رنگردایی قاضیلهای دارای رنگینه‌های اسیدی با غلظت ۱ g/L: (الف) رنگینه قرمز اسیدی ۱ و (ب) رنگینه زرد اسیدی ۲۲۰.



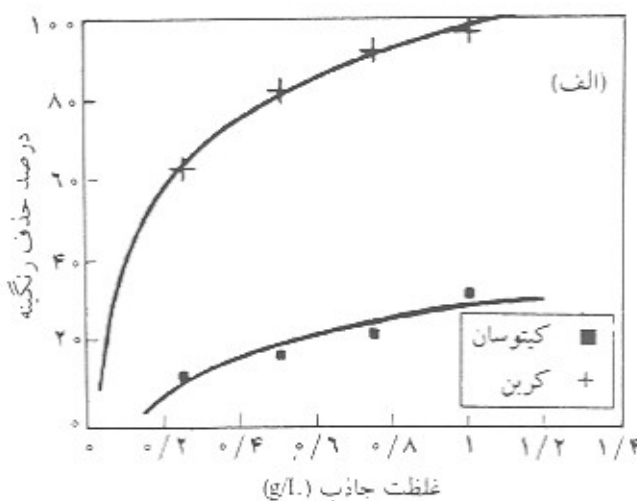
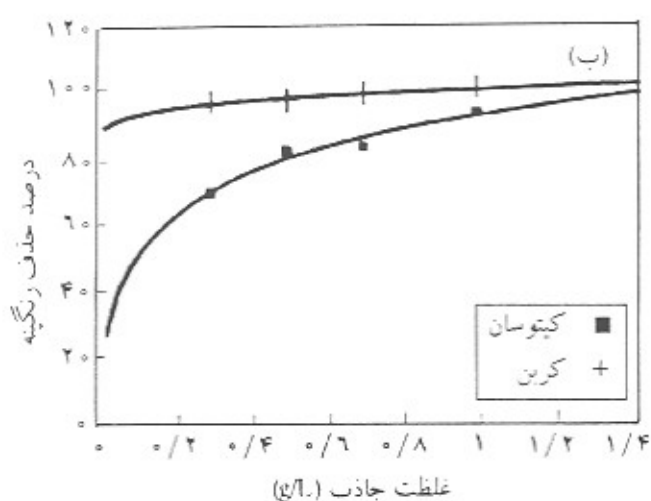
شکل ۲- اثر غلظت جاذب بر میزان رنگزدایی فاضلابهای دارای رنگینه‌های مستقیم با غلظت ۰/۱ g/L: (الف) رنگینه فرمز مستقیم ۳۱ و (ب) رنگینه آبی مستقیم ۷۱

اسیدی، مستقیم و واکنش‌پذیر مقادیر درصد کاهش غلظت رنگینه، اختلاف رنگ و اختلاف نسبت K/S محلولهای رنگزدایی شده با کیتوسان بیشتر از مقادیر بدست آمده از رنگزدایی با کربن فعال بوده است. این نتیجه مشخص‌کننده کارایی بیشتر کیتوسان نسبت به کربن فعال است و فقط برای رنگزاهای بازی کربن فعال بهتر از کیتوسان عمل کرده است. دلیل کارایی بیشتر کیتوسان نسبت به کربن فعال در جذب رنگینه‌های اسیدی و مستقیم احتمالاً مربوط به ایجاد اتصال یونی بین مولکولهای کیتوسان، که در آب به شکل پروتون‌دار درمی‌آیند، و مولکولهای این رنگینه‌هاست که گروههای سولفون‌دار آنها در آب به

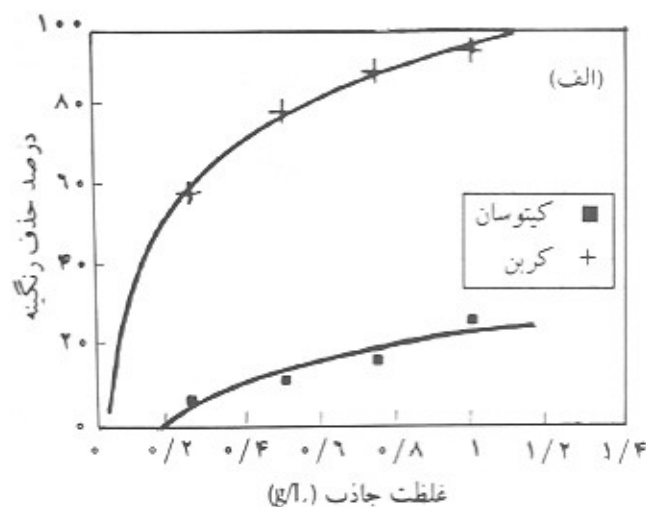
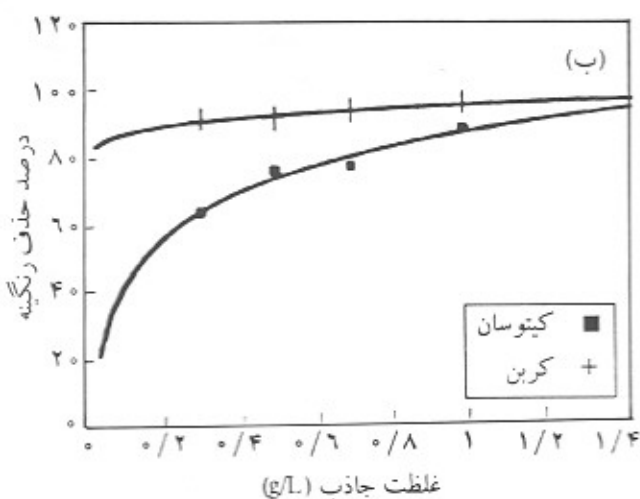
مرحله دوم، زمان تماس در مرحله سوم و دما در مرحله چهارم تغییر کرد و سایر شرایط ثابت نگهداشته شد.

## نتایج و بحث

مقایسه رنگزدایی به کمک کیتوسان و کربن فعال نتایج حاصل از آزمایشهای این قسمت در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به نتایج این جدول ملاحظه می‌شود که برای رنگینه‌های



شکل ۳- اثر غلظت جاذب بر میزان رنگزدایی فاضلابهای دارای رنگینه‌های واکنش‌پذیر با غلظت ۰/۱ g/L: (الف) رنگینه قهوه‌ای واکنش‌پذیر ۱۶ و (ب) رنگینه آبی واکنش‌پذیر ۱۴

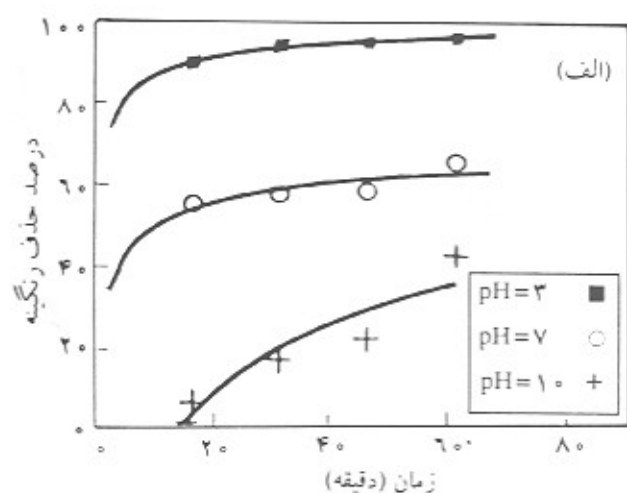
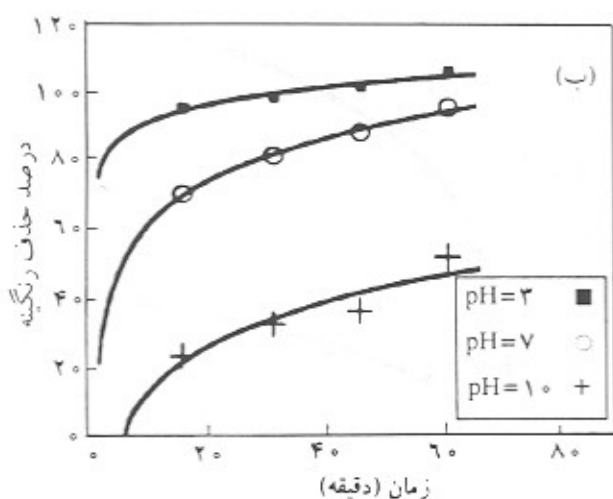


شکل ۴- اثر غلظت جاذب بر میزان رنگزدایی فاضلابهای دارای رنگینه‌های بازی با غلظت ۵/۱ g/L: (الف) رنگینه زرد بازی ۱۱ و (ب) رنگینه سبز بازی ۴.

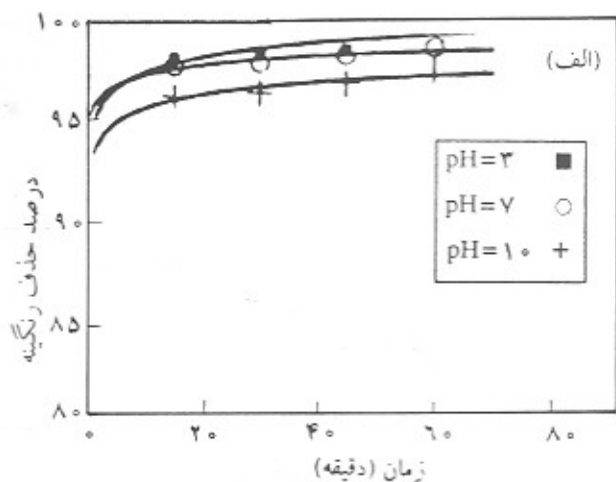
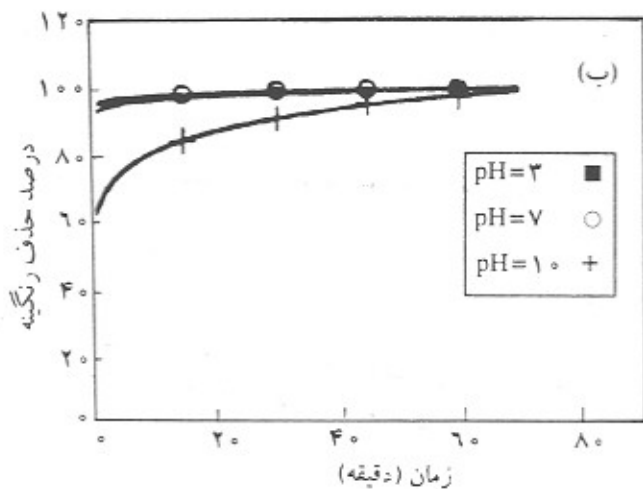
بازی بیشتر از کیتوسان بوده است که این امر عمدتاً به واسطه وجود نیروهای دافعه بین کیتوسان پروتون‌دار و مولکولهای رنگینه‌های بازی است که در آب به شکل کاتیونی درمی‌آیند.

با توجه به جدول ۲ ملاحظه می‌شود که برای تمام رنگینه‌های مورد آزمایش، درصد حذف COD محلولهای رنگی تصفیه شده با کیتوسان بیشتر از موارد مشابه با کربن فعال بوده است. این نتیجه در مورد رنگینه‌های اسیدی، مستقیم و واکنش‌پذیر دور از انتظار نیست، زیرا کارایی رنگزدایی با کیتوسان بیشتر از کربن فعال بوده است. برای رنگینه‌های بازی نیز با وجود رنگزدایی کمتر به وسیله کیتوسان، بار

شکل آنیونی درمی‌آیند. در حالی که در کربن فعال پیوندهای یونی برقرار نمی‌شود و جذب از طریق نیروهای وان‌دروالس در ساختار متخلخل کربن صورت می‌گیرد. علت پروتون‌دار شدن کیتوسان آن است که کیتوسان پلی‌ساکاریدی با تعداد زیادی گروه آمین ( $\text{NH}_2$ ) است که این گروهها در آب به کاتیون  $\text{NH}_3^+$  تبدیل می‌شوند. علت جذب بیشتر رنگینه‌های واکنش‌پذیر به وسیله کیتوسان نسبت به کربن فعال را نیز می‌توان علاوه بر پیوندهای یونی به ایجاد پیوندهای کووالانسی بین کیتوسان و مولکولهای رنگینه مرتبط دانست که چنین پیوندهای شیمیایی در کربن فعال برقرار نمی‌شود. کارایی کربن فعال در حذف رنگینه‌های



شکل ۵- اثر pH بر میزان رنگزدایی فاضلابهای دارای رنگینه‌های اسیدی به کمک کیتوسان با غلظت ۵/۱ g/L: (الف) رنگینه قرمز اسیدی ۱ و (ب) رنگینه زرد اسیدی ۲۲.



شکل ۶- اثر pH بر میزان رنگزدایی فاضلابهای دارای رنگینه‌های مستقیم به کمک کیتوسان با غلظت ۰/۱ g/L: (الف) رنگینه قرمز مستقیم ۳۱ و (ب) آبی مستقیم ۷۱

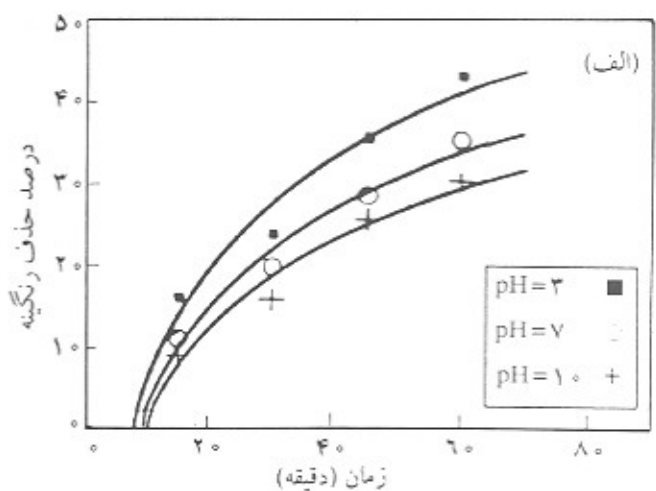
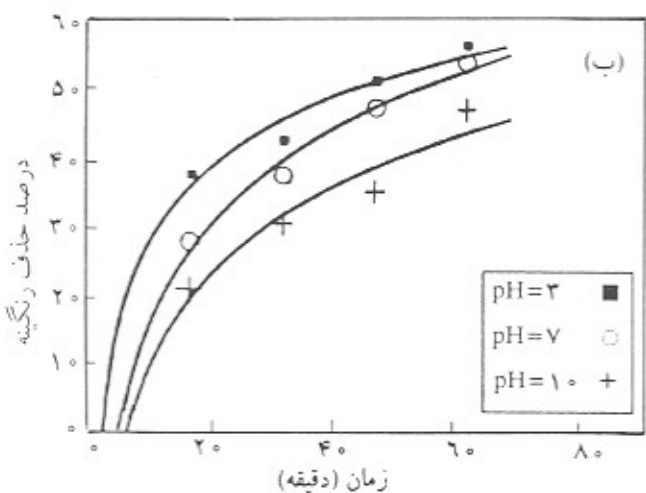
آزمایشها در مرجع ۱۴ آمده است.

نتایج حاصل از آزمایشهای بررسی تاثیر مقدار و نوع جاذب بر کارایی رنگزدایی نشان می‌دهد که افزایش مقدار جاذب سبب افزایش درصد حذف تمام رنگزاهای مورد مطالعه شده است (شکل‌های ۱ تا ۴). در شکل‌های ۱ تا ۳ ملاحظه می‌شود که کیتوسان کارایی بیشتری نسبت به کربن فعال به ترتیب در جذب رنگینه‌های اسیدی، مستقیم و واکنش پذیر داشته است و در شکل ۴ نتایج برعکس بوده است. افزایش مقدار جاذب، سبب بیشتر شدن سطح جذب و در نتیجه افزایش امکان تماس مولکولهای رنگزا و جاذب می‌شود.

آلی کل بیشتری از محلول حذف شده است. این نتایج روی هم رفته نشان می‌دهند که در جذب مواد آلی، کیتوسان بهتر از کربن فعال کارایی داشته است.

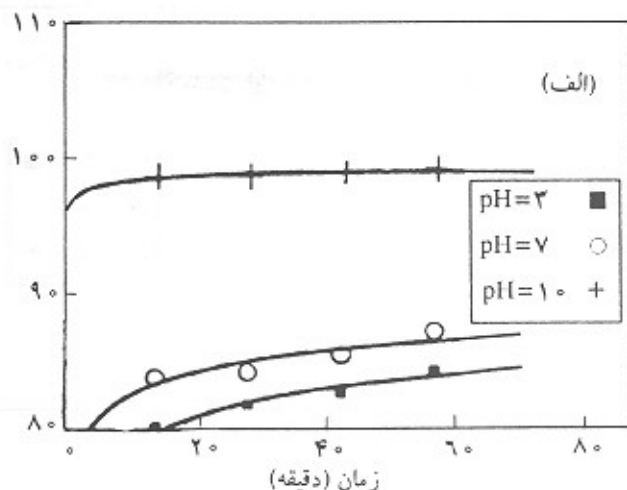
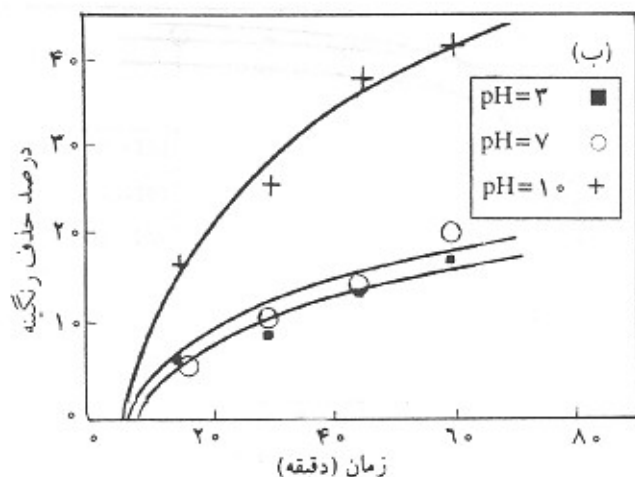
عوامل موثر بر میزان رنگزدایی کیتوسان

همان‌طور که در بخش روشها و آزمایشها بیان شد از هر گروه رنگینه، دو رنگینه و با دو غلظت اولیه ۰/۱ و ۰/۳ g/L آزمایش شدند که به دلیل محدودیت جا امکان ارائه تمام نتایج میسر نبود و فقط نتایج مربوط به غلظت اولیه ۰/۱ g/L ارائه می‌شود. نتایج کامل



شکل ۷- اثر pH بر میزان رنگزدایی فاضلابهای دارای رنگینه‌های واکنش پذیر به کمک کیتوسان با غلظت ۰/۱ g/L: (الف) رنگینه قهوه‌ای واکنش پذیر ۱۶ و (ب) رنگینه آبی واکنش پذیر ۱۴





شکل ۸- اثر pH بر میزان رنگزدایی فاضلابهای دارای رنگینه‌های بازی به کمک کیتوسان با غلظت ۰/۱ g/L: (الف) رنگینه زرد بازی ۱۱ و (ب) رنگینه سبز بازی ۴.

مشاهده نشد. در مورد رنگینه‌های بازی، با افزایش دما میزان جذب نیز افزایش یافت که علت آن ممکن است مربوط به افزایش تحرک و جنبش مولکول رنگینه‌ها یا تورم در ساختار داخلی جاذب باشد که هر دو عامل می‌توانند باعث افزایش جذب شوند [۱۷].

بظور کلی می‌توان اظهار کرد که دما روی پارامترهای موثر بر جذب از جمله گرانشی، سرعت نفوذ و انحلال‌پذیری اثر می‌گذارد [۱۸] و بنابراین برای رسیدن به یک نتیجه قطعی در خصوص اثر این عامل، بررسی بیشتری لازم است. اشاره می‌شود که در عمل اثر دما قابل ملاحظه نیست، زیرا به دلیل وجود واحد متعادل‌سازی در تصفیه‌خانه نساجی، فاضلاب واحدهای مختلف آن با یکدیگر مخلوط می‌شود و در نتیجه تغییرات دما در دیگر فرایندهای تصفیه از جمله فرایند جذب به حداقل می‌رسد [۱۹].

همزمان با بررسی اثر pH و دما بر جذب، اثر زمان ماند بر جذب رنگینه‌ها به کمک کیتوسان نیز مورد بررسی قرار گرفت (شکل‌های ۵ تا ۸). نتایج نشان می‌دهد که برای تمام رنگینه‌های آزمایش شده، میزان جذب مواد رنگزا با افزایش زمان ماند بیشتر می‌شود و سرعت جذب با افزایش زمان ماند کاهش می‌یابد. کسب این نتیجه بدیهی بوده و ناشی از محدود بودن سطوح جذب کننده در جاذب است.

### نتیجه‌گیری

از بررسی آزمایشهای انجام شده نتایج زیر حاصل می‌شود:

۱- کیتوسان در جذب رنگینه‌های محلول اسیدی، مستقیم و

کاهش pH سبب افزایش کارایی جذب رنگینه‌های اسیدی و مستقیم شده است (شکل‌های ۵ و ۶)، زیرا در pH پایین گروه‌های آمین آزاد روی کیتوسان بیشتر به شکل کاتیونی  $\text{NH}_3^+$  درمی‌آیند و به رنگینه‌های اسیدی و مستقیم که به دلیل گروه‌های سولفون‌دار به شکل آنیونی‌اند، تمایل بیشتری پیدا می‌کنند. علت اینکه اثر pH روی رنگینه‌های مستقیم به اندازه رنگینه‌های اسیدی نیست، ممکن است مربوط به نقش بیشتر نیروهای وان‌دروالس در جذب رنگینه‌های مستقیم نسبت به رنگینه‌های اسیدی باشد. در شکل‌های ۷ و ۸ ملاحظه می‌شود که جذب رنگینه‌های واکنش‌پذیر و بازی به وسیله کیتوسان در pH بالا بهتر صورت گرفته است. رنگینه‌های واکنش‌پذیر به وسیله پیوندهای یونی و کووالانسی جذب کیتوسان می‌شوند. در pH پایین که کیتوسان به شکل پروتون‌دار درمی‌آید، فرصت ایجاد پیوند کووالانسی بین مولکول رنگینه و کیتوسان کمتر می‌شود و جذب بیشتر از طریق پیوندهای یونی صورت می‌گیرد. در حالی که در pH بالاتر علاوه بر ایجاد پیوندهای یونی فرصت ایجاد پیوندهای کووالانسی نیز بیشتر می‌شود. علت افزایش جذب رنگینه‌های بازی در pH بالا بدان جهت است که با افزایش pH از میزان پروتون‌دار شدن کیتوسان کاسته می‌شود و در نتیجه دافعه یونی بین مولکول رنگزا و کیتوسان کم شده و در نتیجه مولکول رنگزا راحت‌تر جذب کیتوسان می‌شود. اثر دما بر میزان جذب رنگینه‌ها به کمک کیتوسان نیز مورد مطالعه قرار گرفت و مشاهده شد که با افزایش دما از درصد حذف رنگینه‌های اسیدی و مستقیم کاسته می‌شود. این پدیده ممکن است مربوط به وقوع واکنش واکنشی در دمای بالا به دلیل برگشت‌پذیر بودن پیوندهای تشکیل شده بین کیتوسان و مولکولهای این رنگزاها باشد [۱۷]. روند یکسانی از اثر دما بر جذب رنگینه‌های واکنش‌پذیر مختلف



- Namboodri C. G. and Walsh W. K.; *Ultraviolet Light/Hydrogen Peroxide System for Decolorizing Spent Reactive Dye bath Waste Water*, *American Dyestuff Reporter*; 85, 3, 15-25, 1996.
- Routenbach R. and Alberch R.; *Membrane Process*; John Wiley and Sons, New York, 1989.
- Kemer W. D. and Steenken-Richter I.; *Decolorization of Dyehouse Waste Water by Ion-Pair Extraction*; Melland English, 76, 6, E116-E120, 1995.
- Wilcock A., Brewster M. and Ticher W.; Using Electrochemical Technology to Treat Textile Wastewater: Three Case Studies, *American Dyestuff Reporter*, 81, 8, 15-22, 1992.
- Hitz H. R., Huber W. and Reed R. H.; The Adsorption of Dyes on Activated Sludge, *Journal of Society of Dyers and Colorists (JSDC)*; 94, 2, 71-76, 1978.
- Willomott N., Guthrie J. and Nelson G.; The Biotechnology Approach to Colour Removal from Textile Effluent, *Journal of Society of Dyers and Colorists (JSDC)*; 114, 2, 38-41, 1998.
- Lin S. H.; Adsorption of disperse Dye by Various Adsorbents, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*; 58, 5, 159-163, 1993.
- Rhys O. G.; Adsorption on Activated Carbon: A Solution to Dye Waste Problems, *Journal of Society of Dyers and Colorists (JSDC)*; 94, 7, 293-94, 1978.
- Smith B., Koonce T. and Hudson S.; Decolorizing Dye Wastewater Using Chitosan, *American Dyestuff Reporter*; 82, 10, 20-34, 1993.
- Huang G. and Chen Y.; Coagulation of Colloidal Particles in Water by Chitosan, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 66, 3, 227-232, 1996.
- Colour Index*, Society of Dyers and Colorists and American Association of Textile Chemists and Colorists, 3rd ed., New York, 1971.
- ۱۴ - اسماعیلیان م، حذف رنگ از فاضلاب صنایع نساجی توسط کیتوسان و مقایسه آن با رنگرذایی کربن فعال، پایان نامه کارشناسی ارشد در مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۷۷.
- McDonald R., *Colour Physica for Industry*, Society of

واکنش پذیر از قابلیت زیادی برخوردار است و کارایی آن به مراتب بیشتر از کربن فعال است. در جذب رنگینه های بازی، کیتوسان کارایی کمتری نسبت به کربن فعال دارد.

۲- در تمام آزمایشها، کیتوسان در کاهش COD کارایی بیشتری نسبت به کربن فعال داشته است و این بدان معنی است که کیتوسان یک جاذب خوب و فراگیر برای جذب مواد آلی مختلف فاضلابهاست. خاصیت فراگیر بودن این جاذب از مشکلات موجود در امر بهره برداری تصفیه خانه ها کاسته و پساب تصفیه شده با کیفیت نسبتا قابل پیش بینی نتیجه خواهد داد.

۳- از بررسی تاثیر عواملی همچون pH، دما، زمان ماند و مقدار جاذب بر کارایی جذب ملاحظه شد که:

- با افزایش pH محلول، کارایی کیتوسان در جذب رنگینه های اسیدی و مستقیم کاهش و در جذب رنگینه های واکنش پذیر و بازی افزایش می یابد.

- با افزایش زمان ماند و نیز مقدار جاذب بر کارایی جذب رنگرها و دیگر مواد آلی به وسیله کیتوسان افزوده می شود.

- تاثیر دما بر کارایی جذب رنگرذای مختلف به وسیله کیتوسان بطور یکسان مشاهده نشد، لیکن در عمل به علت مخلوط شدن فاضلاب تولید شده در بخشهای مختلف یک کارخانه نساجی، دمای فاضلابها یکساخت و متعادل شده و در نتیجه تاثیر تغییرات دما در فرایندهای تصفیه همچون فرایند جذب ناچیز است.

#### قدردانی

بدین وسیله از مسئولان محترم دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی اصفهان به دلیل مساعدت در امر استفاده از آزمایشگاه مهندسی محیط زیست و نیز از آقای دکتر محمد مرشد عضو محترم هیئت علمی دانشکده مهندسی نساجی دانشگاه صنعتی اصفهان به دلیل تامین کیتوسان مورد نیاز این طرح قدردانی می شود.

#### مراجع

- اسدی م. و نائی الف.؛ بررسی اثر منعقدکننده ها و کمک منعقد کننده ها در حذف رنگ پساب واحد رنگرزی؛ نشریه دانشکده فنی، شماره ۴۸، ص ۵-۱، ۱۳۶۶.
- Namboodri C. G., Perkins W. K. and Walsh W. K., Decolorizing Dyes with Chlorine and Ozone, *American Dyestuff Reporter*, 83, Part I: 3, 17-22, Part II: 4, 17-27, 1994.

- Polymer Science*, **27**, 3043-3057, 1982.
18. Eckenfelder W. W., Jr.; *Industrial Water Pollution Control*; 2nd ed., McGraw-Hill Book Company, New York, 1989.
19. Metcalf & Eddy, Inc., *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse*; 3rd ed., Revised by G. Tchobanoglous and F. L. Burton, McGraw-Hill, Inc., New York, 1991.
- Dyers and Colourists, Bradford, 1987.
16. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 19th ed., American Public Health Association Washington, DC, 1995.
17. McKay G., Blair H. S. and Gardner J. R.; Adsorption of Dyes on Chitin. I. Equilibrium Studies, *Journal of Applied*