

جداسازی رنگ از پساب های نساجی با به کارگیری حلال آلی و سطح فعال ها

علی اکبر ذوالریاستین^{۱*}، نیلوفر نصرتی^۲

^۱ دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام خمینی (ره) شهرری، تهران، ایران

^۲ دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران

zolriasatein@iausr.ac.ir

چکیده:

به طور معمول، روش های جذب سطحی و اکسیداسیون معمولاً برای جداسازی رنگ از پساب استفاده می شود. تکنیک جدید بر پایه جداسازی مایع-مایع به وسیله میسل معکوس می باشد که از این طریق امکان بازیافت رنگ و حلال وجود دارد. آزمایشات با مخلوط شدن مقدار مشخص از رنگ، فاز آبی، فاز حلال و سطح فعال در یک استیرر انجام شد. جداسازی فاز آبی از فاز حلال حاوی رنگ کپسوله شده در میسل های معکوس به وسیله گرانش در بورت انجام شد. جداسازی رنگ متیلن بلو و رنگ مستقیم قرمز ۲۱ از فاز آبی به همراه سطح فعال های آنیونیک (LAS) و کاتیونیک (CTAB) در حلال بنزیل الکل انجام شد. نتایج آزمایشات نشان داد که حذف رنگ از فاز آبی با کاهش غلظت اولیه رنگ از افزایش می یابد، به طوری که با کاهش غلظت اولیه رنگ از ۳ به ۲ میلی گرم در لیتر منجر به افزایش کارایی حذف رنگ از ۵۹ به ۷۰ درصد شد. ضمناً حضور سطح فعال آنیونی باعث کمک به حذف رنگ متیلن بلو تا ۷۳ درصد گردید. همچنین با افزایش زمان ماندگاری درصد حذف رنگ افزایش یافت به طوری که با افزایش زمان ماندگاری از ۱۰ به ۲۰ دقیقه کارایی حذف رنگ از ۴۸ درصد به حدود ۷۳ درصد افزایش یافت. استفاده از بنزیل الکل در محلول رنگ، باعث شد تا رنگ جذب بنزیل الکل شود و منجر به کاهش اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) گردید. نتایج آزمایشات همچنین نشان داد که گرچه سطح فعال باعث سهولت مهاجرت رنگ از فاز آبی به فاز آلی و افزایش حذف رنگ شده است اما خود سطح فعال نیز می تواند تا ۵ درصد باعث افزایش اکسیژن مورد نیاز شیمیایی شود. بنابراین در این نوع تصفیه بهتر است از سطح فعالی استفاده شود که کمترین اثر را در افزایش اکسیژن مورد نیاز شیمیایی داشته باشد.

کلمات کلیدی: حذف رنگ، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی، رنگ کاتیونی، رنگ مستقیم، سطح فعال، میسل معکوس

Removal of Dyes from Textile Wastewater by Using Organic Solvents and Surfactants

Ali Akbar Zolriasatein^{1*}, Nilofar Nosrati²

¹ Department of Textile Engineering, College of Technical and Engineering, Yadegar-e-Imam Khomeini (RAH) Shahre-rey Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

² Islamic Azad University, Science and Research Unit, Tehran
zolriasatein@iausr.ac.ir

Abstract:

Conventionally, dye adsorption and oxidation approaches are usually used to remove dyes from wastewater. The new technique is based on liquid-liquid separation via reverse micelles, through which it is possible to recycle dye and solvent. Experiments were performed by mixing a certain amount of dye, aqueous phase, solvent phase and surfactant in a stirrer. Separation of the aqueous phase from the solvent phase containing the dye encapsulated in reverse micelles was carried out by gravity in a burette. The removal of methylene blue and direct red 21 from the aqueous phase was performed by using an anionic (LAS) or a cationic (CTAB) surfactant in benzyl alcohol solvent. Experimental results showed that the removal of dye from the aqueous phase increases by reducing the initial concentration of dye, so that a decrease in initial dye concentration from 3 to 2 mg/L leads to an increase in dye removal efficiency from 59 to 70%. Meanwhile, the presence of anionic surfactant contributed to remove of methylene blue from the effluent up to 73%. Moreover, increasing in retention time also caused an increase in dye removal, so that an increase in retention time from 10 to 20 min leads to an increase in dye removal efficiency from 48 up to 73%. The use of benzyl alcohol in the dye solution caused the dye to be absorbed into the benzyl alcohol and led to a reduction in chemical oxygen demand (COD). Experimental results also showed that although surfactant facilitates the dye migration from the aqueous phase to the organic phase, the presence of surfactant can increase the COD up to 5%. Therefore, it is better to choose a surfactant which does not affect the COD.

Keywords: Chemical oxygen demand, Methylene blue, Direct dye, Surfactant, Inverse micelles

۱- مقدمه

رنگزاها یکی از بزرگترین گروه ترکیبات آلی هستند که سالانه حدود ۷۰۰ هزار تن تولید می شوند. حدود ۱۵٪ مواد رنگزا در طی فرایند های رنگرزی و تکمیل به هدر رفته و به صورت پساب وارد محیط زیست می گردد [۱]. حذف رنگ از پساب رنگرزی یکی از مشکلات عمده صنعت نساجی در بخش تصفیه پساب است [۲].

اکسیژن مورد نیاز شیمیایی^۱ یکی از مهم ترین شاخص های سنجش آلودگی پساب است. بدیهی است هر چه مقدار رنگ در پساب بیشتر باشد، بار آلودگی آن نیز بیشتر خواهد بود. معمولاً مقدار اکسیژن مورد نیاز شیمیایی، مربوط به انواع مواد رنگزا روند زیر را نشان می دهد [۳].

مستقیم > راکتیو > کاتیونی > دیسپرس > اسیدی >

خمی

روش جذب سطحی یک از روش های موثر برای حذف آلاینده ها از پساب است. به طور کلی حرکت یک جزء از یک فاز به سمت فصل مشترک این فاز با فاز دوم و تجمع این جزء بر روی سطح فصل مشترک، فرایند جذب سطحی نامیده می شود و شرط لازم برای انجام این فرآیند تماس دو فاز با یکدیگر است. به عبارت دیگر جزئی یا اجزایی از فاز اول جدا شده و به سمت فاز دوم حرکت می نمایند و فاز دوم که جزء یا اجزایی بر روی آن جمع می شوند، می توانند به یکی از دو حالت مایع و یا جامد باشد.

عامل ایجاد پدیده جذب سطحی را می توان تمایل زیاد جزء جذب شونده نسبت به جاذب عنوان نمود. از اینرو پدیده جذب سطحی به دو دسته کلی شیمیایی (الکترواستاتیکی) و فیزیکی (واندروالسی) تقسیم بندی می شود. به این ترتیب می توان چنین نتیجه گیری کرد که هر چه بار جزء جذب شونده بیشتر باشد با شدت بیشتری توسط جاذب جاذب خواهد شد. جذب شیمیایی نیاز به انرژی اکتیواسیون داشته لیکن جذب فیزیکی در دماهای پایین تر امکان پذیر است.

بیشتر تحقیقات برای حذف مواد رنگزا با تکنیک های جذب، بر اساس استفاده از کربن فعال بوده است. کربن فعال عموماً دارای هزینه تولید و احیای بالا می باشد [۳]. بنابراین استفاده از مواد طبیعی زائد، ارزان و زیست تجزیه پذیر به عنوان مواد جاذب، توجه محققین را به خود جذب نموده است. این مواد جاذب شامل خاک اره، هسته خرما، مخروط کاج، کاه گندم، کائولن، پر مرغ و کربن آن می باشد [۹-۴]. با این حال هنوز هم کربن فعال اکسید گرافن و خصوصاً نانو لوله های کربنی به علت داشتن ماهیت غیر قطبی و سطح تماس بالا بهترین گزینه برای حذف رنگ های دیسپرس و مستقیم می باشند [۱۱-۱۰].

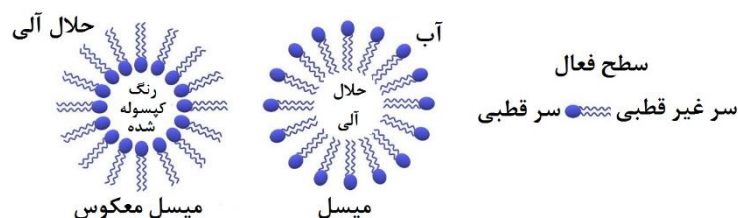
علاوه بر موارد فوق حذف رنگ با کمک برخی مواد جاذب قطبی تر نظیر کیتوسان برای حذف رنگهای اسیدی، راکتیو و ایندیگو به کار گرفته شده است [۱۴-۱۲]. غشای الیاف توخالی پلی آکریلونیتریل نیز به دلیل داشتن سطح تماس و نفوذپذیری بالاتر جاذب مناسبی برای حذف رنگ به شمار

¹Chemical oxygen demand (COD)

می رود [۱۵]. شایان ذکر است انواع نانو ذرات به علت داشتن سطح زیاد در واحد وزن، در فرایند تصفیه رنگ بسیار مورد توجه بوده که از این میان می توان به حذف رنگزاهای بازی با نانو ذرات مغناطیسی فریت نیکل-روی اشاره نمود [۱۶]. انواع نانو کامپوزیت ها نیز به طور موفقیت آمیزی برای حذف رنگ از پساب های نساجی به کار گرفته شده اند [۱۷-۲۱]. لیکن علی رغم همه مزایای یاد شده، در سیستم هایی که بر مبنای جذب محلول آبی رنگ به جاذب جامد می باشند، متاسفانه امکان بازیابی و استفاده مجدد از رنگ فراهم نمی باشد.

در حال حاضر برخی از تکنیک های نوین بر پایه مایع/مایع ارائه می شود که در آن با استفاده از روش میسل معکوس

در حلال، امکان بازیابی و استفاده مجدد از رنگ نیز میسر می شود. میسل معکوس میسلی است که در آن فازهای غیر قطبی و قطبی نقش معکوس دارند و جهت مولکول های سطح فعال معکوس می شوند. میسل های معکوس قطرات آب در مقیاس نانومتر هستند که در یک محیط آلی توسط سطح فعال دیسپرس شده اند. در واقع در میسل معکوس، قسمت قطبی مولکول های سطح فعال (که قادر به حل شدن در آب است) به سمت داخل و قسمت غیر قطبی آن به سمت خارج و در تماس با حلال آلی قرار می گیرد (شکل ۱).



شکل ۱- میسل و میسل معکوس

در این نوع جداسازی از یک حلال آلی و یک سطح فعال استفاده می گردد. سطح فعال باید طوری انتخاب شود که بار الکتریکی آن مخالف بار رنگ باشد و بتواند در فاز حلال ایجاد میسل معکوس کند. سپس پساب رنگی (فاز آبی) با حلال حاوی سطح فعال (فاز آلی) توسط یک همزن مخلوط

می گردند. سپس مخلوط به یک ظرف استوانه ای شکل منتقل می گردد تا پس از گذشت زمان مشخص به علت گرانش زمین محلولی دو فاز تشکیل گردد. در این مرحله، رنگ از فاز آب جدا شده و بصورت میسل های ریزی در فاز

آلی محبوس می گردد و اصطلاحاً استخراج^۱ می شود. بدین صورت فاز آب عاری از رنگ گردیده و تصفیه می گردد. مرحله بعدی شامل بازیابی رنگ^۲ از فاز آلی به منظور استفاده مجدد از آن می باشد. این مرحله دقیقاً عکس مرحله استخراج است. در این مرحله کافی است به حجم مشخصی از حلال حاوی رنگ کپسوله شده، مقداری محلول سطح فعال (با شارژی مخالف سطح فعال اولیه) اضافه کنیم. پس از هم زدن، میسل معکوس بر هم خورده و رنگ حبس شده به شکل یک محلول دو فازی آزاد می گردد [۲۲].

پیش از این میسل معکوس به طور موفقیت آمیزی برای استخراج پروتئین ها [۲۳-۲۴] و آنزیم ها [۲۵-۲۶] از سیستم مایع/مایع به کارگرفته شد. سپس پاندیت و باسو^۳ از میسل معکوس برای حذف رنگ از آب استفاده کردند [۲۷]. جداسازی فاز حلال شامل رنگ محصور در میسل معکوس، از فاز آبی به علت آفینیتی رنگ و گرانش می باشد. علت این می تواند باشد که یک مولکول رنگ به طور الکترواستاتیک به یک مولکول سطح فعال جذب می شود و به این ترتیب بار الکتریکی سطحی خنثی می گردد. از طرفی میسل تشکیل یافته به علت خنثی شدن بار الکتریکی، ماهیت هیدروفوبیک یافته که تمایل به خروج از فاز آبی و ورود به فاز آلی پیدا می کند. در تحقیق دیگری مشخص گردید جداسازی فاز آبی از فاز آلی حاوی حلال

دیسپرس شده برای آمیل الکل در مقایسه با سایر حلالهای آلی نظیر متیل بنزوات و ایزو اکتان سریع تر است [۲۸]. در این روش اگر از مولکولهای سطح فعال و رنگ با بار مشابه استفاده شده باشد و یا اگر غلظت سطح فعال بسیار کم باشد رنگ از فاز آبی خارج نمی شود. تحقیق دیگری نشان داد میزان حذف رنگ به ساینز میسل معکوس سطح فعال نیز بستگی دارد [۲۹].

در پژوهشی که در سال ۲۰۱۸ صورت گرفت روش استخراج با حلال برای حذف انتخابی رنگ از مخلوط رنگ های کاتیونی و آنیونی با میسل های معکوس سطح فعال های آنیونی و کاتیونی مورد بررسی قرار گرفت. این طور مشخص شد که درصد استخراج رنگها با افزایش غلظت سطح فعال و کاهش غلظت رنگ افزایش می یابد [۳۰]. در تحقیق دیگری نتایج مشابهی برای رنگهای کاتیونی و راکتیو بدست آمد [۳۱]. در پژوهش دیگری به جای سطح فعال های سینتتیک از مواد طبیعی همچون ساپونین^۴ استفاده شد [۳۲].

در تحقیق دیگری که در سال ۲۰۲۲ صورت گرفت سه اسید چرب اسید استئاریک (C18)، اسید پالمیتیک (C16) و اسید لوریک (C12) در استخراج رنگ متیلن بلو از محلول های آبی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد اسید استئاریک (C18) سریعترین جداسازی فازها را ارائه می کند [۳۳]. در

¹ Extraction

² Recovery of dye

³ Pandit and Basu

^۴ ساپونین (saponin) یک ماده گلیکوزیدی است که از گیاهان مختلف به دست آمده و در اثر حرکت دادن آن با آب کف تولید می کند.

اندازه گیری شد و تغییرات در ساختمان مولکولی رنگ توسط اسپکتروسکوپی مادون قرمز مورد بررسی قرار گرفت.

۲- مواد و روشها

۲-۱- مواد

در این تحقیق رنگ کاتیونی متیلن بلو^۲ از شرکت مرک^۳ آلمان و رنگ مستقیم قرمز ۲۱^۴ با ماهیت آنیونی از شرکت نوردکس^۵ انگلستان مورد استفاده قرار گرفت. در این تحقیق از بنزیل الکل خریداری شده از شرکت مرک به عنوان حلال استفاده شد. با توجه به اینکه در تحقیقات قبلی بار الکتریکی متضاد رنگ و سطح فعال [۲۲] در حذف رنگ مفید واقع شده بود، به همین منظور برای رنگ کاتیونی متیلن بلو از سطح فعال آنیونی آلکیل بنزن سولفونات خطی^۶ (LAS) و برای رنگ مستقیم قرمز ۲۱ از سطح فعال کاتیونی ستیل تری متیل آمونیوم بروماید (CTAB) ساخت شرکت سیگما آلدریج^۷ استفاده شد. ساختار شیمیایی مواد به کار گرفته شده در جدول ۱ خلاصه شده است.

تحقیق دیگری جداسازی رنگ های آنیونی از پساب با کمک حلال اتیل استات با دو سطح فعال مختلف سدیم دودسیل سولفات و ستیل تری متیل آمونیوم بروماید^۱ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد جداسازی با سطح فعال ستیل تری متیل آمونیوم بروماید بهتر صورت می پذیرد [۳۴]. حلال های آلی به کار گرفته شده در تحقیقات پیشین نظیر آمیل الکل در طبیعت به راحتی تجزیه نمی گردند [۳۵] از این رو در تحقیق حاضر به جای حلال فوق از حلال بنزیل الکل که در طبیعت به سرعت تجزیه می گردد [۳۶] استفاده شد. ضمناً برای اولین بار است که از روش تصفیه بر پایه تکنیک مایع/ مایع برای حذف رنگ مستقیم از پساب با کارگیری حلال بنزیل الکل و سطح فعال خطی آلکیل بنزن سولفونات تحقیق صورت می پذیرد. در این تحقیق تاثیر نسبت حجمی حلال آلی/ محلول رنگ، زمان ماندگاری، غلظت و انواع سطح فعال ها در حذف رنگ مستقیم و کاتیونی مورد بررسی قرار گرفت. سپس تغییرات میزان آلودگی توسط شاخص اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD)

² Methylene Blue

³ Merck

⁴ Direct Red 21

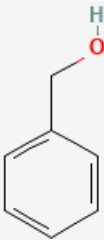
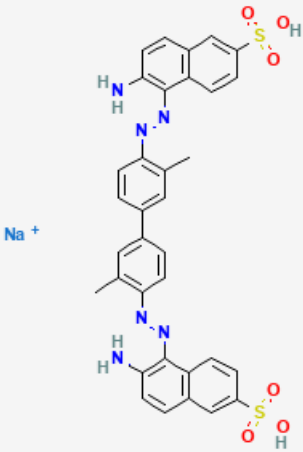
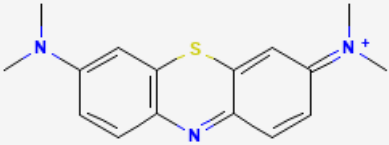
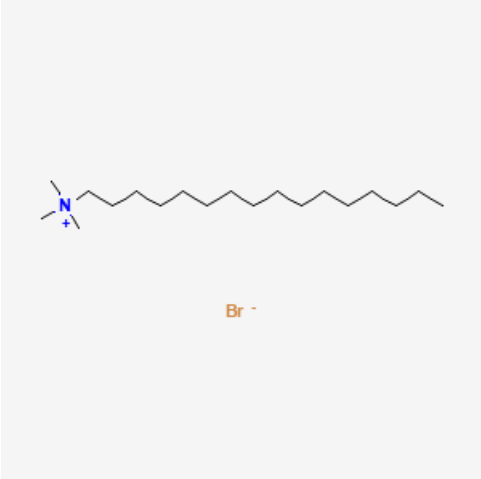
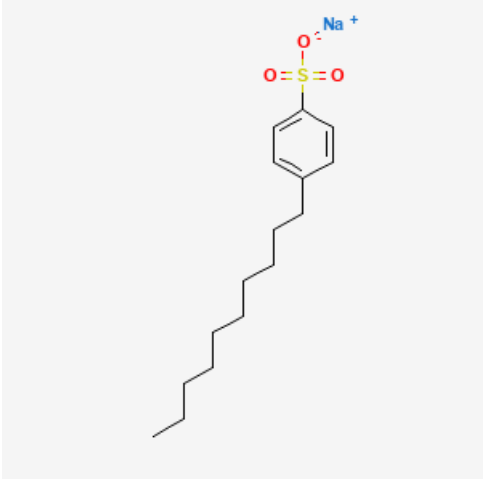
⁵ NORDEX International D.Z.E

⁶ Linear alkylbenzene sulfonates (LAS)

⁷ Sigma-Aldrich

¹ Sodium dodecyl sulfate (SDS) and cetyltrimethylammonium bromide (CTAB)

جدول ۱- ساختار شیمیایی مواد مصرفی

		
<p>بنزیل الکل C_7H_8O وزن مولکولی = ۱۰۸,۱۴ g/mol</p>	<p>رنگ قرمز مستقیم ۲۱ $C_{34}H_{28}N_6NaO_6S_2^{\pm}$ وزن مولکولی = ۷۰۳,۷ g/mol</p>	<p>رنگ متیلن بلو $C_{16}H_{18}ClN_3S$ وزن مولکولی = ۳۱۹,۹ g/mol</p>
		
<p>ستیل تری متیل آمونیوم بروماید (CTAB) $[(C_{16}H_{33})N(CH_3)_3]Br$ وزن مولکولی = ۳۶۴,۴ g/mol</p>	<p>سطح فعال آنیونی آلکیل بنزن سولفونات خطی (LAS) $C_{16}H_{25}NaO_3S$ وزن مولکولی = ۳۲۰,۴ g/mol</p>	

۱ همراه ۱ CC ۰,۲۵ درصد) در یک بالن های

۲۵۰ CC ریخته شد و سپس به وسیله مگنت با

سرعت ۳۵۰ RPM به مدت ۱۰ تا ۲۰ دقیقه [۳۴ و ۳۷]

۲-۲- روش جدا سازی

ابتدا به نسبت حجمی ۱:۱۰ از حلال آلی بنزیل الکل به

محلول رنگ (محلول رنگ با غلظت های مختلف ۵- mg/lit

شماتیک مراحل انجام آزمایش را نشان می دهد. هنگام جداسازی رنگ، به دلیل سنگین تر بودن حلال بنزیل الکل ($\rho = 1,04 \text{ g/cm}^3$) از آب، فاز آبی در بالای سیستم و حلال بنزیل الکل (به همراه رنگ حبس شده در میسل معکوس) در پائین سیستم قرار گرفت.

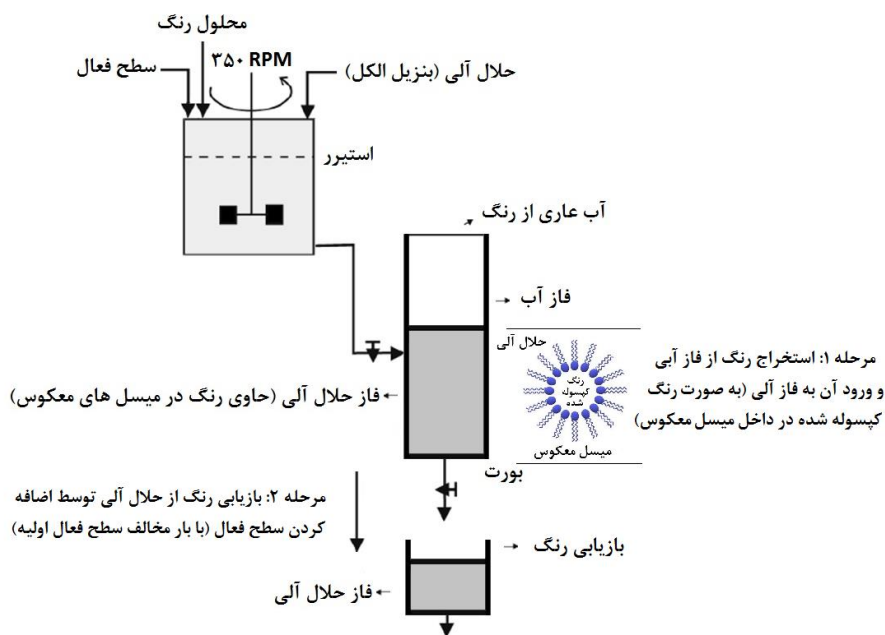


شکل ۳ - نمایی از استیرر به همراه بالن حاوی رنگ مستقیم قرمز ۲۱

همزده شد (شکل ۲ و ۳). سپس محلول آماده شده در یک بورت ریخته شد و به آن زمان داده شد تا محلول دو فاز شود [۲۲ و ۲۸]. پس از طی شدن زمان لازم شیر بورت را باز کرده و ۵ CC از بالای محلول (فاز آبی) برای اندازه گیری تغییرات غلظت نمونه برداری شد. سپس آزمایش فوق در نسبت ۱:۲۰ نیز انجام و نتایج آن گزارش شد. شکل ۴



شکل ۲ - نمایی از استیرر به همراه بالن رنگ کاتیونی متیلن بلو



شکل ۴ - شکل شماتیک از مراحل آزمایش

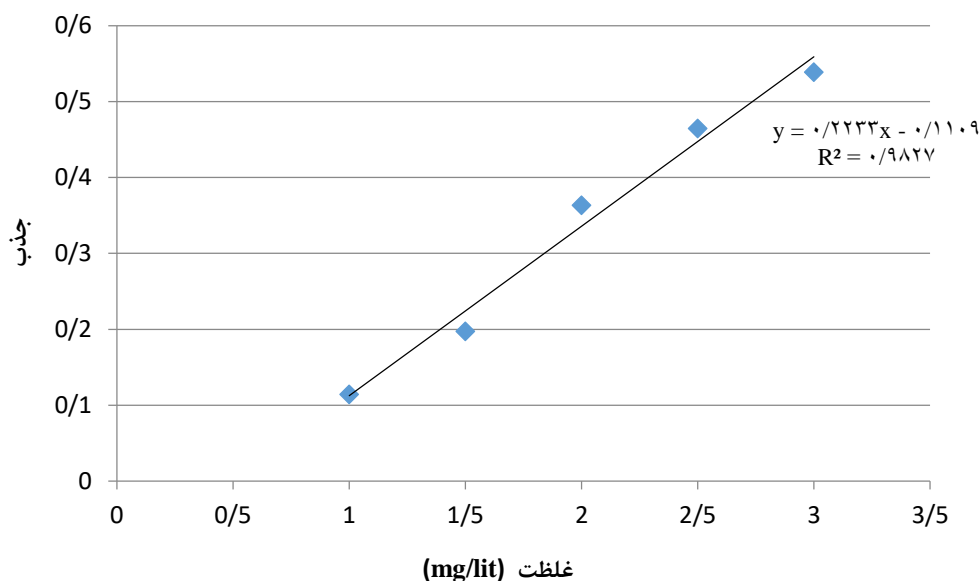
۲-۳- نحوه محاسبه میزان حذف رنگ

برای بررسی تاثیر به کارگیری این روش در حذف رنگ از طیف سنجی مرئی - فرابنفش استفاده شد. برای این منظور از دستگاه اسپکتروفوتومتر شرکت Varian مدل Cary-300 ساخت کشور آمریکا استفاده شد. ابتدا طول موج ماکزیمم هر دو رنگ متیلن بلو و مستقیم قرمز ۲۱ به وسیله دستگاه اسپکتروفوتومتر جذبی اندازه گیری و نتایج به شرح جدول ۲ بدست آمد.

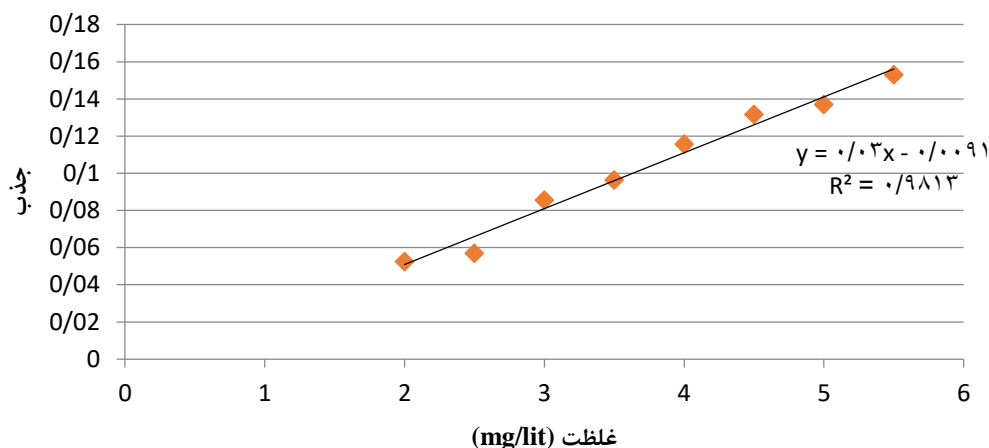
جدول ۲- طول موج ماکزیمم دو رنگ مورد آزمایش

رنگ	طول موج ماکزیمم (λ_{max}) بر حسب نانو متر
متیلن بلو	۶۶۴
قرمز مستقیم ۲۱	۵۲۵

سپس غلظت های مشخص از رنگ های متیلن بلو و مستقیم قرمز ۲۱ تهیه کرده و با کمک دستگاه اسپکتروفوتومتر جذبی نمودار معیار سنجی آن ها (شکل ۵ و ۶) از طریق قانون بیر لامبرت رسم گردید.



شکل ۵- نمودار معیار سنجی متیلن بلو



شکل ۶- نمودار معیار سنجی رنگ قرمز مستقیم ۲۱

آلودگی بیشتری دارد. این اندازه گیری بر اساس دستور العمل انجام آزمون موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به شماره استاندارد ملی ۱۰۶۱۲ انجام پذیرفت.

۳- نتایج و بحث :

۳-۱- بررسی تاثیر زمان و نسبت حجمی بر درصد

حذف رنگ

بررسی تاثیر زمان در غلظت ثابت رنگ (۲ mg/lit) انجام شد. شکل ۷ نشان می دهد که در نسبت های حجمی پائین تر درصد حذف رنگ بالاتر است. در واقع هر چه نسبت حجمی حلال آلی/محلول آبی کاهش یابد بدان معنی است که نسبت غیر آبدوستی افزایش یافته و میزان آبدوستی محلول کاهش می یابد. میدانیم مولکول رنگ هم دارای خاصیت آبدوستی و هم دارای خاصیت غیر آبدوستی می باشد، اما ماهیت غیر آبدوستی آن به مراتب بیشتر از ماهیت آبدوستی آن است. بنابراین هر چه نسبت فاز حلال آلی

سپس مقدار تغییرات غلظت و درصد حذف رنگ از فرمول زیر محاسبه گردید [۳۴].

$$\text{درصد حذف رنگ} = \frac{\text{غلظت ثانویه} - \text{غلظت اولیه}}{\text{غلظت اولیه}} \times 100$$

۲-۴- طیف سنجی مادون قرمز:

به منظور بررسی تغییرات ایجاد شده در ساختار شیمیایی رنگ قبل و بعد تصفیه از طیف سنجی مادون قرمز استفاده شد. برای این کار از دستگاه طیف سنج مادون قرمز ساخت شرکت بروکر اکشور آلمان مدل تنسور ۲۷ آدر این تحقیق استفاده شد.

۲-۵- اندازه گیری اکسیژن مورد نیاز شیمیایی

(COD)

این معیار یکی از ملاک های سنجش آلودگی آب است. هرچه اکسیژن مورد نیاز شیمیایی بالاتر باشد یعنی آب

¹ Bruker

² Tensor 27

افزایش یابد طبعاً مهاجرت رنگ به آن فاز بیشتر خواهد بود [۲۸].

نتایج به دست آمده همچنین نشان می دهد که با افزایش زمان، درصد حذف رنگ توسط حلال بیشتر می گردد و همچنین افزودن سطح فعال به محلول، باعث بالا رفتن درصد حذف رنگ می شود. دلیل افزایش میزان حذف رنگ کاتیونی متیلن بلو در حضور سطح فعال آنیونی آلکیل بنزن سولفونات خطی این است که وقتی مولکول های رنگ با مولکول سطح فعال ایجاد میسل معکوس می نمایند سر قطبی سطح فعال ها به سمت داخل میسل و سر غیر قطبی آنها به سمت خارج قرار می گیرد (شکل ۱). به مرور زمان میسل های معکوس از سمت بیرونی (غیر قطبی) با یکدیگر مجتمع میگردند [۳۴]. بنابراین وزن میسل های معکوس افزایش یافته و احتمال ته نشین شدن آن در فاز پائینی (حلال) افزایش می یابد.

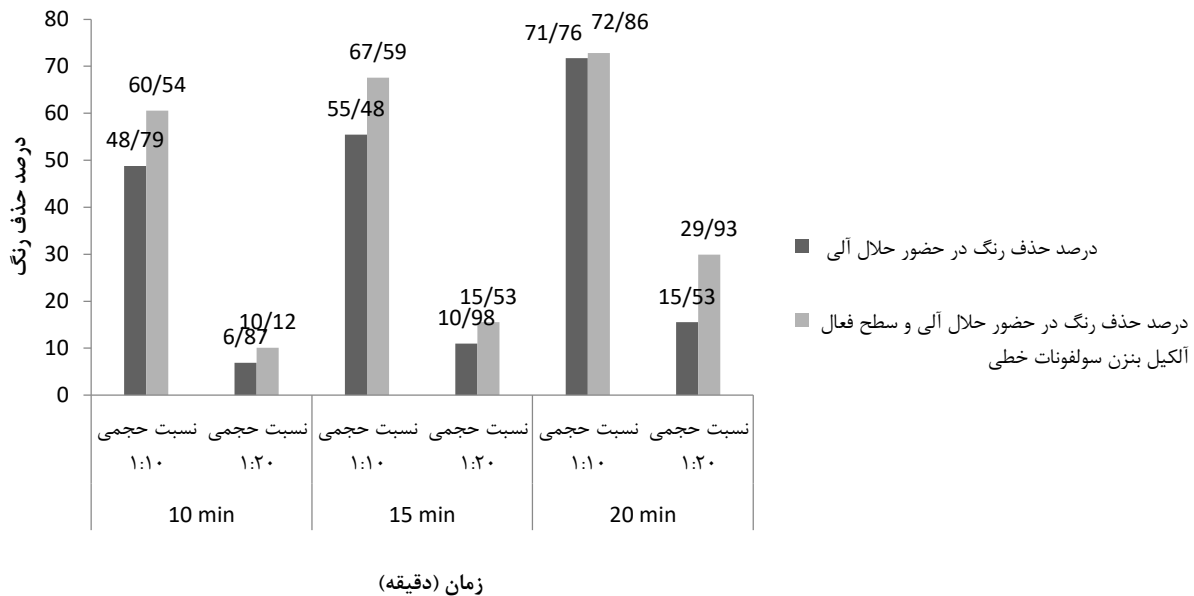
در شکل ۷ مشخص است که زمان ماندگاری بیشتر، موجب افزایش درصد حذف رنگ از محلول می شود. بیشینه حذف رنگ در ۲۰ دقیقه اتفاق افتاد که بدون سطح فعال ۷۱,۷۶٪ و با سطح فعال ۷۲,۷۸٪ درصد حذف رنگ حاصل شد. از نتایج بدست آمده می توان نتیجه گرفت در زمان ماندگاری کوتاه تاثیر حضور سطح فعال بیشتر مشهود است لیکن در زمان های طولانی تر نقش حلال آلی (بنزین الکل) در حذف

رنگ بیشتر است. شایان ذکر است چنانچه غلظت سطح فعال بیش از میزان اپتیمم گردد زمان جداسازی افزایش خواهد یافت [۲۲]. در مجموع، حضور حلال آلی و سطح فعال با بار مخالف مولکول رنگ، کمک شایانی به حذف رنگ از پساب های نساجی می نماید.

بررسی تاثیر زمان بر روی حذف رنگ مستقیم قرمز ۲۱ در غلظت ثابت رنگ (۲ mg/lit) انجام شد. در این نوع رنگ نیز با افزایش زمان، درصد حذف رنگ توسط حلال بیشتر گردید و همچنین افزودن سطح فعال به محلول، باعث بالا رفتن درصد حذف رنگ شد.

همان طور که در شکل ۸ مشخص است بیشینه درصد حذف رنگ در زمان ۲۰ دقیقه در حضور سطح فعال ۶۱,۵٪ است. لازم به ذکر است جذب رنگ به حلال آلی تابع روابط کینتیکی و ترمودینامیکی است بدین معنی که تا رسیدن به زمان تعادل جذب رنگ نابع زمان است لیکن پس از رسیدن به زمان تعادل تعادل، میزان جذب رنگ ثابت می گردد [۳۷].

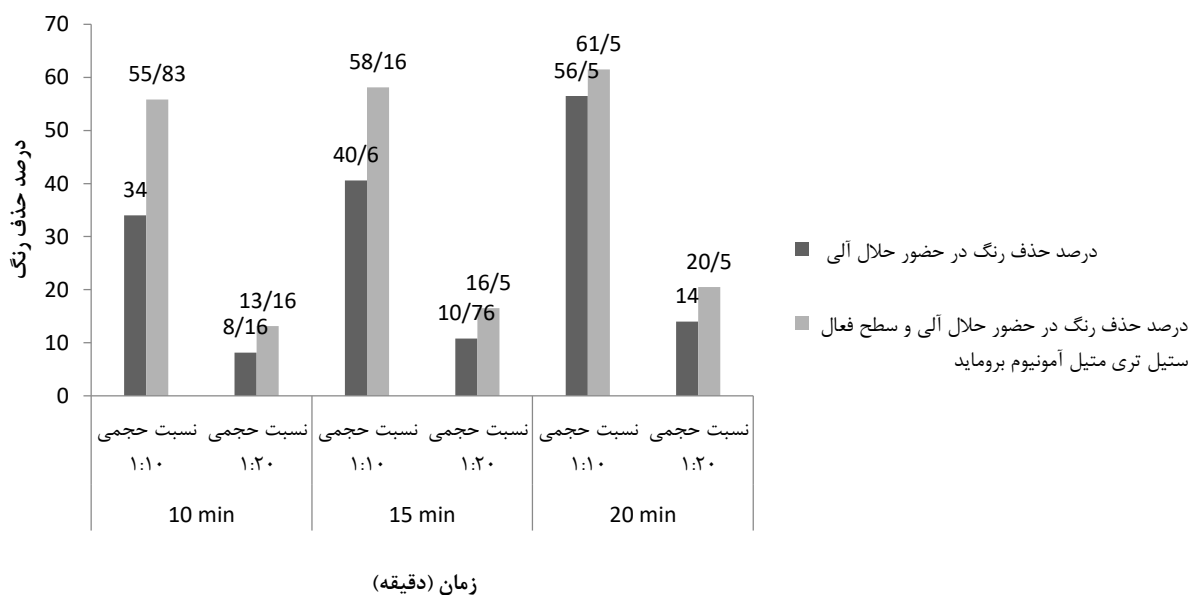
در این بخش از سطح فعال کاتیونی (CTAB) برای حذف رنگ مستقیم قرمز ۲۱ استفاده شد. رنگ های مستقیم ماهیتی آنیونی ضعیفی دارند و می توانند به طور الکترواستاتیک تا حدی جذب بخش قطبی سطح فعال کاتیونی (CTAB) شده و میسل معکوس تشکیل دهند [۲۹].



شکل ۷- بررسی تاثیر نسبت حجمی و زمان ماندگاری بر درصد حذف رنگ متیلن بلو از پساب در غلظت ثابت رنگ (۲ mg/lit)

نسبت های حجمی ۱:۱۰ بیشتر از نسبت های حجمی ۱:۲۰ است. علت آن به افزایش ماهیت لیوفیلیک در نسبت حجمی ۱:۱۰ مربوط می باشد.

علت کاهش درصد حذف رنگ مستقیم نسبت به رنگ متیلن بلو (۷۲٫۸۶٪) را می توان به کمتر بودن پلاریتی رنگ مستقیم به رنگ کاتیونیک متیلن بلو نسبت داد [۳۰-۳۱]. ضمناً در شکل ۸ مشخص است که درصد حذف رنگ در



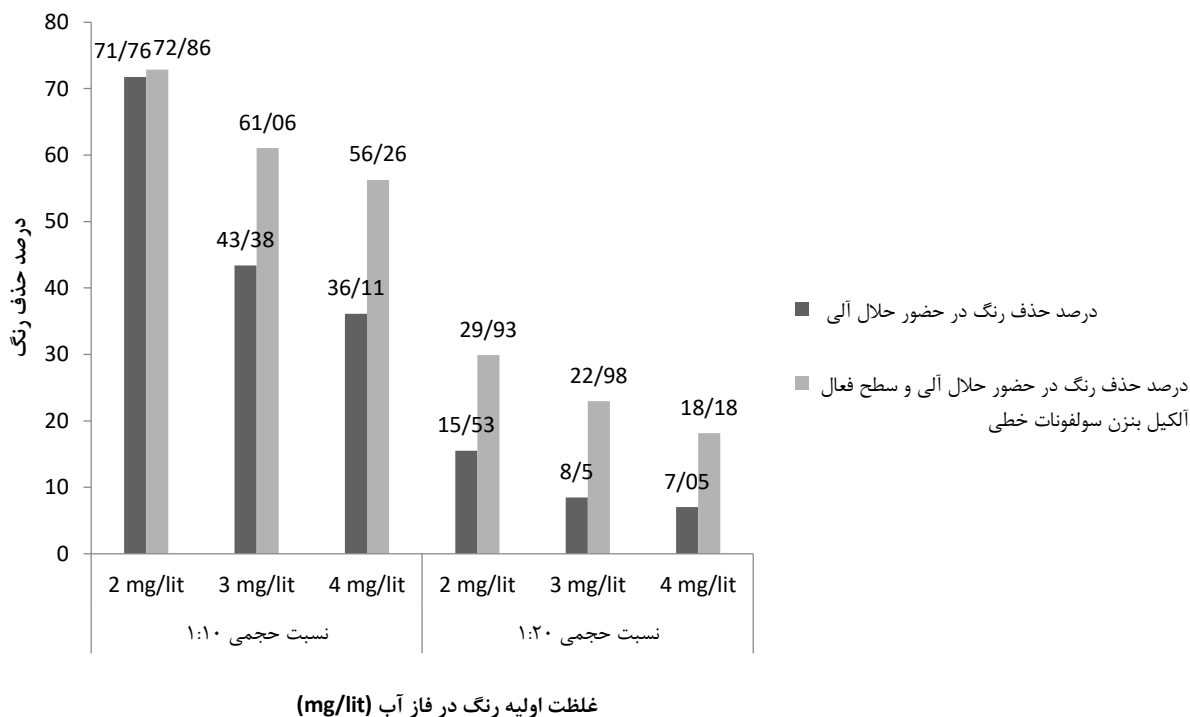
شکل ۸- بررسی تاثیر نسبت حجمی و زمان ماندگاری بر درصد حذف رنگ مسقیم قرمز ۲۱ از پساب در غلظت ثابت رنگ (۲ mg/lit)

۲-۳- بررسی تاثیر غلظت اولیه رنگ بر میزان حذف

رنگ توسط حلال آلی و سطح فعال

بررسی تاثیر غلظت بر روی حذف رنگ متیلن بلو با نسبت حجمی ۱:۱۰ در زمان ثابت ۲۰ دقیقه انجام شد. همان طور که از شکل ۹ مشخص است درصد حذف رنگ با افزایش غلظت رنگ کاهش می یابد. زیرا حلال ظرفیت ثابتی برای کپسوله کردن مولکول های رنگ در یک غلظت مشخص از

سطح فعال دارد [۳۴]. و از آنجایی که تعداد میسل های معکوس تشکیل شده ثابت می باشند به این ترتیب درصد حذف رنگ، با افزایش غلظت رنگ کاهش می یابد. بیشینه حذف رنگ در غلظت ۲ mg/lit در حضور سطح فعال بدست آمد. ضمناً به دلایل ذکر شده در بخش های قبلی درصد حذف رنگ در نسبت های حجمی ۱:۱۰ بیشتر از نسبت های حجمی ۱:۲۰ است [۳۷].

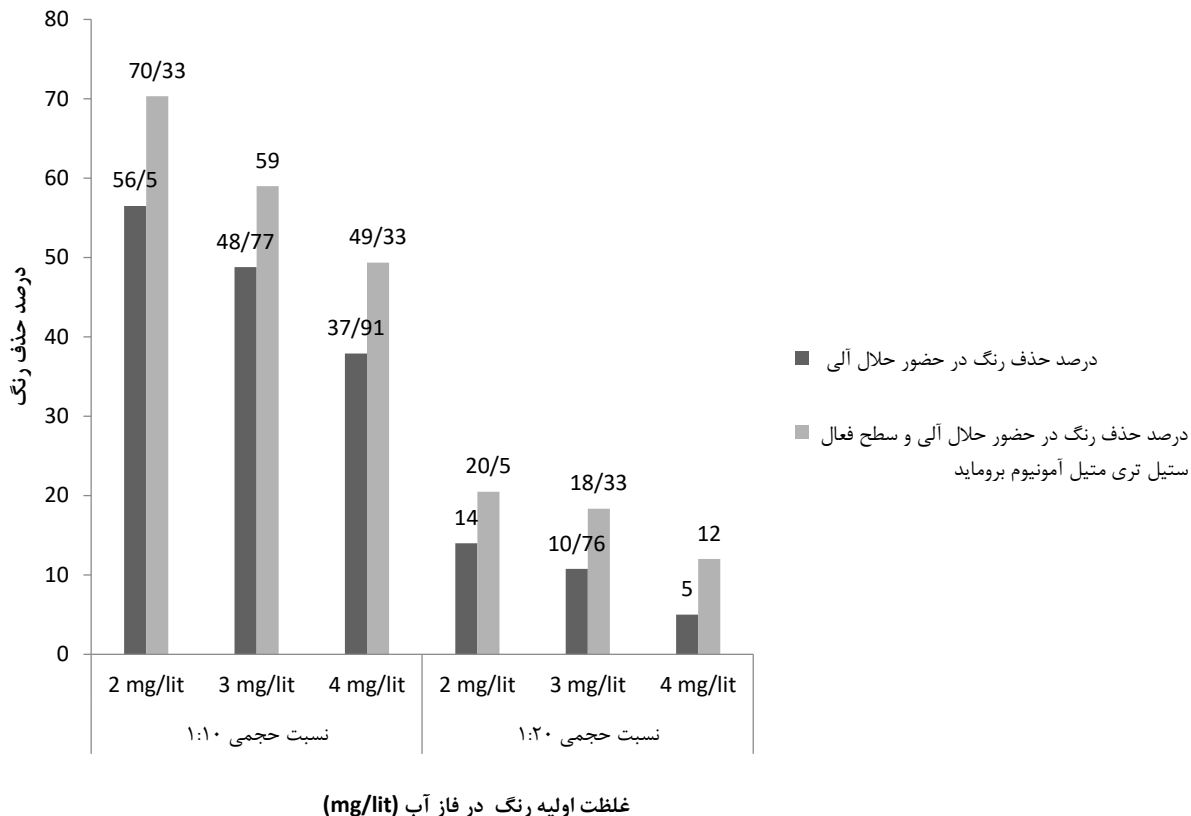


شکل ۹- تاثیر غلظت اولیه رنگ بر میزان حذف رنگ کاتیونی متیلن بلو توسط حلال آلی و سطح فعال سطح فعال آنیونی آلکیل بنزن

سولفونات خطی (LAS) پس از زمان ماندگاری ۲۰ دقیقه

پژوهش های قبلی صورت گرفته این امر قابل پیش بود [۲۸] و ۲۷ و [۲۲]. در این مرحله بیشینه حذف رنگ در غلظت ۲ mg/lit در حضور سطح فعال رخ داد.

بررسی تاثیر غلظت اولیه رنگ بر حذف رنگزای مستقیم قرمز ۲۱ با نسبت حجمی ۱:۱۰ در زمان ثابت ۲۰ دقیقه انجام شد. شکل ۱۰ نشان می دهد افزایش غلظت اولیه رنگ با میزان حذف رنگ توسط این روش نسبت معکوس دارد. با توجه به

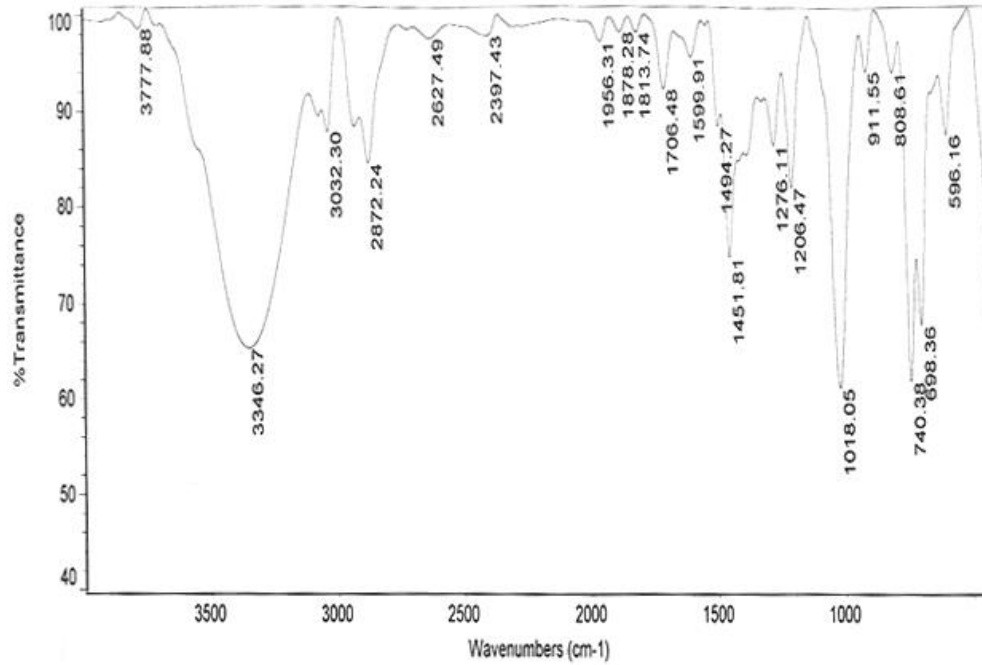


شکل ۱۰- تاثیر غلظت اولیه رنگ بر میزان حذف رنگ مستقیم قرمز ۲۱ توسط حلال آلی و سطح فعال کاتیونی ستیل تری متیل آمونیوم بروماید (CTAB) پس از زمان ماندگاری ۲۰ دقیقه

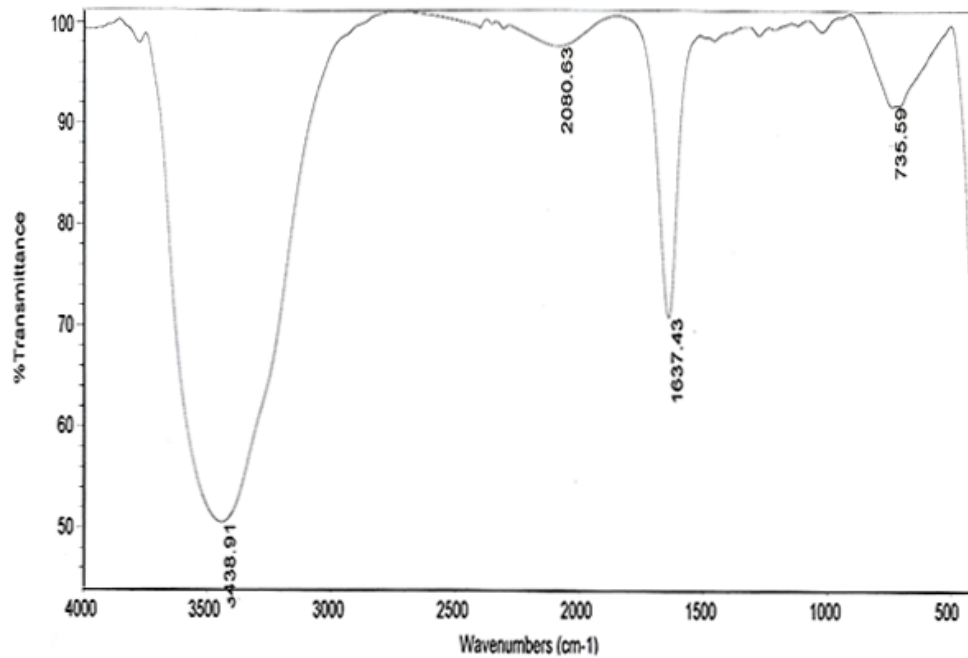
۳-۳- نتایج طیف سنجی مادون قرمز (FTIR)

شکل ۱۱ و ۱۲ به طور جداگانه طیف مادون قرمز بنزیل الکل و متیلن بلو را نشان می دهد. بعد از جداسازی فاز آلی بنزیل الکل از فاز آلی طیف هر کدام از فازها نیز جداگانه بررسی گردید. پس از انجام عملیات، طیف مادون قرمز فاز آلی مربوط به بنزیل الکل (حاوی رنگ) در شکل ۱۳ نشان داده شده است. همان طور که در طیف مادون قرمز مربوط

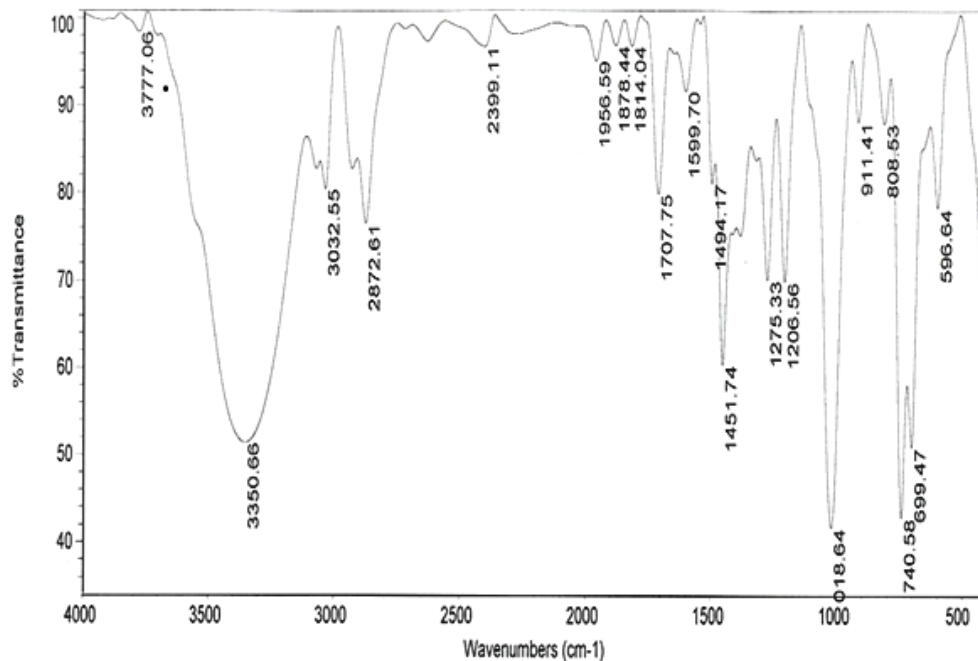
به رنگ متیلن بلو مشخص است، پیک 1636.43 cm^{-1} و 1436.43 cm^{-1} رنگ پس از عملیات تصفیه حذف شده است و این نشان دهنده تجزیه ی رنگ در قسمت پایین بورت است که بنزیل الکل وجود دارد [۳۸]. در حالی که پیک های یاد شده در قسمت بالای بورت (فاز آب) همچنان موجود می باشد که این امر نشانگر تجزیه نشدن رنگ در قسمت بالای بورت می باشد (شکل ۱۴).



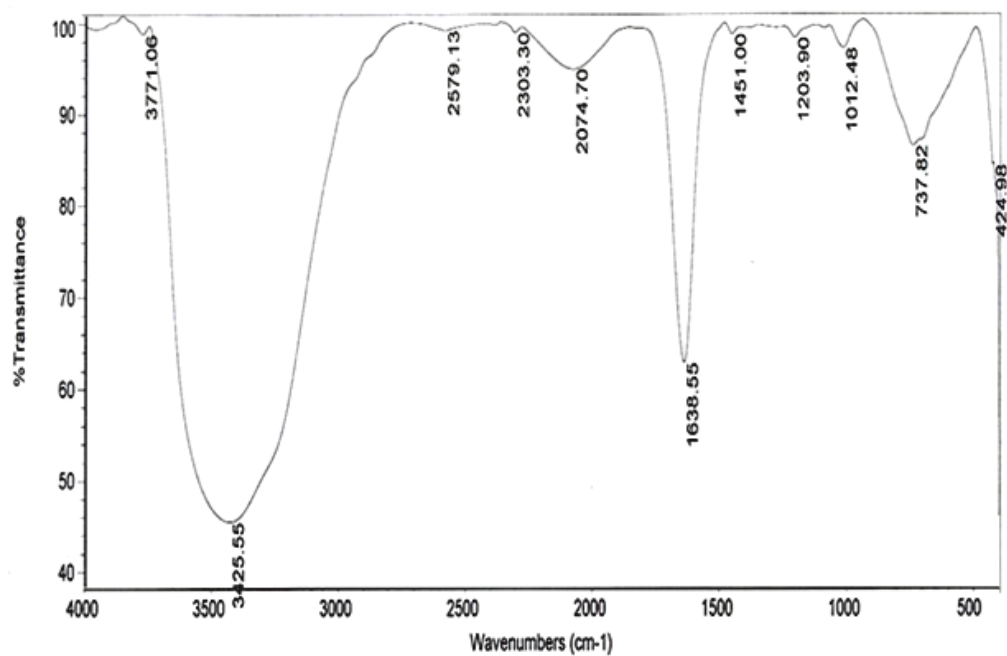
شکل ۱۱- طیف مادون قرمز بنزیل الکل خالص



شکل ۱۲- طیف متیلن بلو قبل از عملیات جداسازی در غلظت رنگ (۲ mg/lit)



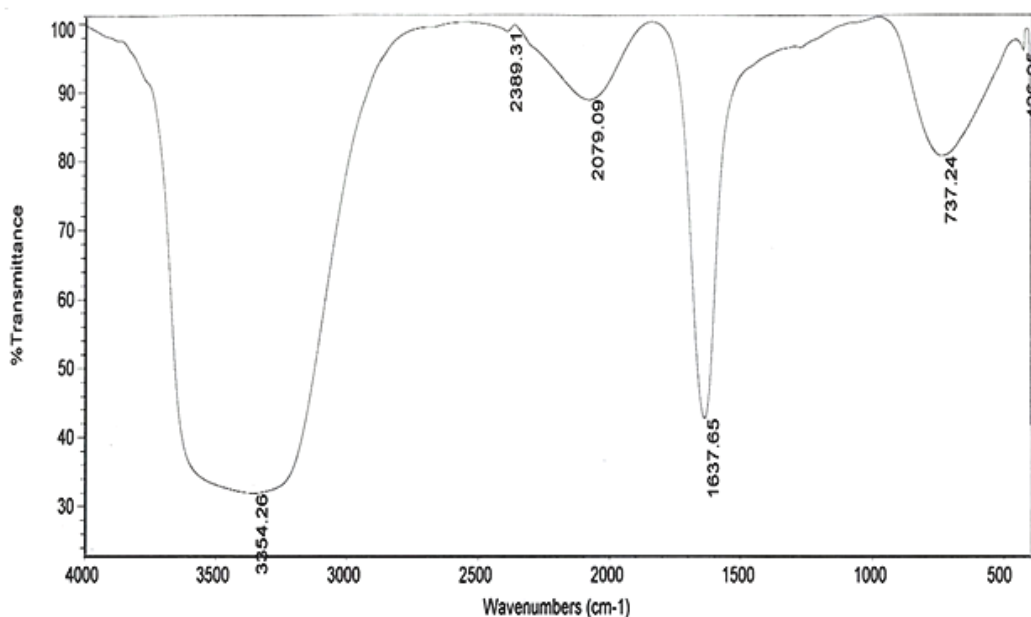
شکل ۱۳- طیف متیلن بلو در فاز آلی بنزیل الکل (پایین بورت) با نسبت حجمی اولیه ۱:۱۰ و غلظت اولیه رنگ (۲ mg/lit)



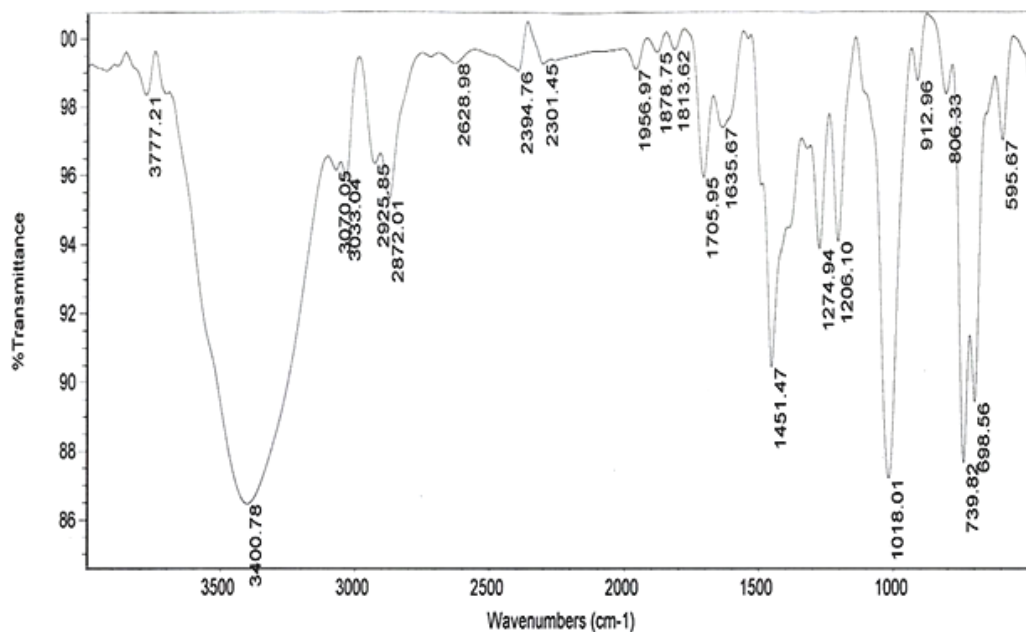
شکل ۱۴- طیف متیلن بلو در فاز آب (بالای بورت) با نسبت حجمی اولیه ۱:۱۰ و غلظت اولیه رنگ (۲ mg/lit)

امر نشان دهنده فعل و انفعال رنگ با بنزیل الکل می باشد. در حالی که سایر پیک ها مانند 1637.65 cm^{-1} و 3354.26 cm^{-1} همچنان وجود داشته و مقداری شیفت پیدا کرده است و نشان دهنده عدم تجزیه مولکول رنگ می باشد [۳۸]. شایان ذکر است پیک های یاد شده در قسمت بالای بورت (فاز آب) نیز همچنان موجود می باشد که این امر نشانگر تجزیه نشدن رنگ در فاز آب می باشد (شکل ۱۷).

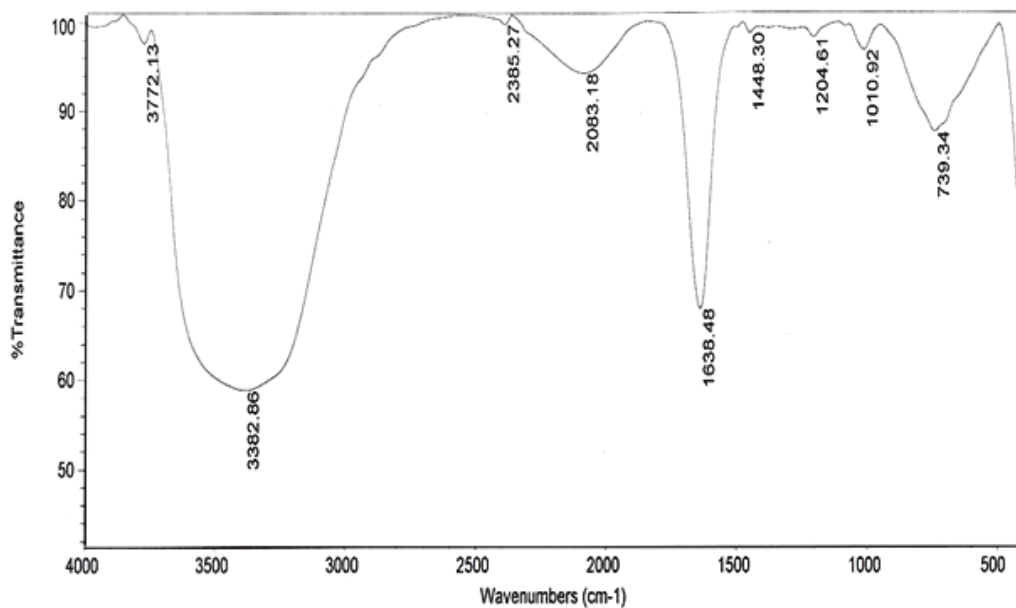
شکل ۱۵ طیف مادون قرمز مربوط به رنگ مستقیم قرمز ۲۱ را نشان می دهد. پس از انجام عملیات جداسازی فازها طیف های رنگ در هر یک از فازهای آلی و آبی بررسی گردید. شکل ۱۶ تغییرات ایجاد شده در طیف رنگ در فاز آلی (بنزیل الکل) را نشان می دهد. همانطور که در این شکل مشخص است، مشخص است، پیک مربوط به 1637.65 cm^{-1} در قسمت پایین بورت حذف شده است. که این



شکل ۱۵- طیف مادون قرمز مربوط به رنگ مستقیم قرمز ۲۱ در غلظت اولیه رنگ (۲ mg/lit)



شکل ۱۶- طیف رنگ مستقیم قرمز ۲۱ در فاز آلی بنزیل الکل (بائین بورت) با نسبت حجمی اولیه ۱:۱۰ و غلظت اولیه رنگ (۲ mg/lit)



شکل ۱۷- طیف رنگ مستقیم قرمز ۲۱ در فاز آب (بالای بورت) با نسبت حجمی اولیه ۱:۱۰ و غلظت اولیه رنگ (۲ mg/lit)

۳-۵- اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD)

نتیجه اکسیژن مورد نیاز شیمیایی کاهش می یابد. نتایج همچنین نشان می دهد در صورت زیاد بودن غلظت اولیه رنگ، کاهش اکسیژن مورد نیاز شیمیایی به نسبت کمتر خواهد بود. نسبت معکوس افزایش غلظت رنگ اولیه با میزان کاهش اکسیژن مورد شیمیایی در پژوهش های قبلی نیز مشاهده شده است [۲۸].

نتایج نشان می دهد که انجام این نوع تصفیه باعث کاهش اکسیژن مورد نیاز شیمیایی شده است. هر چه مقدار رنگ کاهش یافته است مقدار اکسیژن مورد نیاز شیمیایی کاهش می یابد (جدول ۳). به عبارت دیگر استفاده از بنزیل الکل در محلول رنگ، باعث جذب رنگ به بنزیل الکل شده و در

جدول ۳- نتایج به دست آمده از آزمایشات اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) رنگ های کاتیونی متیلن بلو و مستقیم قرمز ۲۱ بدون استفاده از سطح فعال (شرایط انجام آزمون بر اساس استاندارد ملی به شماره ۱۰۶۱۲ موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی)

اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD)	فرمول
۳۳۳۵	آب مقطر + بنزیل الکل (۱:۱۰)
۳۲۰۴	متیلن بلو ۲ mg/lit + بنزیل الکل (۱:۱۰)
۳۲۴۵	متیلن بلو ۳ mg/lit + بنزیل الکل (۱:۱۰)
۳۱۸۶	قرمز مستقیم ۲۱ ۲ mg/lit + بنزیل الکل (۱:۱۰)
۳۲۲۶	قرمز مستقیم ۲۱ ۳ mg/lit + بنزیل الکل (۱:۱۰)

فعالی استفاده شود که باعث افزایش اکسیژن مورد نیاز شیمیایی نشود. برخی از محققین برای رفع این مشکل از سطح فعال های طبیعی مثل ساپونین استفاده نموده اند [۳۲]

اما استفاده از سطح فعال تاثیر منفی بر میزان اکسیژن مورد نیاز شیمیایی نشان داد (جدول ۴). نتایج نشان داد اگر چه سطح فعال باعث افزایش حذف رنگ شده است، ولی خود سطح فعال باعث افزایش اکسیژن مورد نیاز شیمیایی می شود. بنابراین در انجام این نوع تصفیه بهتر است از سطح

جدول ۴- نتایج به دست آمده از آزمایشات COD رنگ های کاتیونی متیلن بلو و مستقیم قرمز ۲۱ در حضور سطح فعال (اندازه گیری بر اساس دستور العمل انجام آزمون موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به شماره استاندارد ملی ۱۰۶۱۲)

اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD)	فرمول
۳۳۳۵	آب مقطر + بنزیل الکل (۱:۱۰)
۳۲۴۵	متیلن بلو ۳ mg/lit + بنزیل الکل (۱:۱۰)
۳۵۰۳	متیلن بلو ۳ mg/lit + بنزیل الکل (۱:۱۰) + سطح فعال

۴-مقایسه روش های مختلف حذف رنگ در سیستم

مایع / مایع

جدول ۵ نتایج بدست آمده از این روش را با روشهای دیگر مقایسه می نماید. همانطور که در جدول مشخص است مزیت حذف رنگ متیلن بلو توسط این روش در مقایسه با روش های قبلی در این است که در این روش به جای آمیل الکل (LD₅₀= ۱۴۵۳ mg/kg) از بنزیل الکل (LD₅₀= ۱۲۵۰) که سمیت کمتری دارد استفاده شده است. بعلاوه نتایج گزارش شده با نسبت محلول رنگ به حلال ۱:۱۰ است که نسبت به نتایج بدست آمده در پژوهش های

قبلی (نسبت ۱:۱) بسیار رقیق تر است.

نتایج بدست آمده در مورد رنگهایی که بار الکتریکی منفی (آنیونی) هستند نشان می دهد که استفاده از نمک به جای سطح فعال ضعیف ترین نتایج را نشان داده است. استفاده از آمیل اکل نیز مشکلات زیست محیطی ایجاد می نماید. بهترین نتایج با استفاده از حلال اتیل استات و سطح فعال سدیم دودسیل سولفات در نسبت حجمی ۱:۱ بوده است. در پژوهش حاضر اگر چه درصد حذف رنگ اندکی نسبت به آنچه قبلاً گزارش شده کمتر بوده است، لیکن نسبت حلال استفاده شده (در اینجا بنزیل الکل) ۱۰ برابر کاهش یافته است.

جدول ۵-مقایسه روش های مختلف حذف رنگ در سیستم مایع / مایع

منبع	نسبت فاز حلال به فاز آبی	زمان ماندگاری	درصد حذف و بازیابی رنگ	رنگ	نوع سطح فعال	نوع حلال
پژوهش حاضر	۱:۱۰	۲۰ دقیقه	۷۲,۸۶٪	متیلن بلو	ستیل تری متیل آمونیوم بروماید	بنزیل الکل
	۱:۱۰	۲۰ دقیقه	۶۱,۵٪	رنگ قرمز مستقیم ۲۱	آلکیل بنزن سولفونات خطی	بنزیل الکل
[۲۲]	۱:۱	۵ دقیقه	۷۸-۶۷٪	متیلن بلو	هگزا دسیل تری متیل آمونیوم بروماید (HTAB)	آمیل الکل
[۳۷]	۱:۷	۵ دقیقه	۶۰٪	لوافیکس زرد	به جای سطح فعال از نمکهای کلرید سدیم و سولفات سدیم استفاده شده است.	تری بوتیل فسفات - هگزان
[۲۸]	۱:۲	۲۴ ساعت	۷۷-۷۱٪	ایوسین زرد	ستیل پیریدینیوم کلراید	آمیل الکل
[۳۴]	۱:۱	۵۰-۶۰ دقیقه	۶۳٪	راکتیو RY145	سدیم دودسیل سولفات	اتیل استات
	۱:۱	۵۰-۶۰ دقیقه	۷۸٪	راکتیو RB222	سدیم دودسیل سولفات	اتیل استات

۵- نتیجه گیری:

حذف رنگ از پساب نساجی با کمک یک حلال آلی صورت گرفت. نتایج آزمایشات نشان داد چنانچه از بنزیل الکل به عنوان حلال استفاده شود امکان حذف رنگ تا بیش از ۷۰٪ امکان پذیر می گردد. مشاهدات نشان داد چنانچه نسبت حجمی بنزیل الکل از ۱:۲۰ به ۱:۱۰ افزایش یابد امکان حذف رنگ به مقدار بسیاری افزایش می یابد. این امر به افزایش خاصیت لیپوفیلیک مربوط می گردد. مشاهدات همچنین نشان داد با افزایش زمان ماندگاری از ۱۰ به ۲۰ دقیقه میزان حذف رنگ افزایش یافت. ضمناً نتایج نشان داد استفاده از سطح فعالی با بار مخالف رنگ، به حذف رنگ از محلول آلی کمک می کند. برخی از رنگها در فاز آلی تخریب شده و میزان COD کاهش می یابد.

۶- منابع

- [۱] بیژن بینا، قربان عسگری. بررسی کارایی حذف رنگ از پساب های نساجی با استفاده از مخلوط کلرید منیزیم و آلوم. آب و فاضلاب، ۴۷-۴۴-۳۹. ۱۳۸۲
 - [۲] نفیسه هدایتی، حمیده نجفی، محمد خواجه مهریزی، سید منصور بیدکی. "نوراکسایش پساب رنگینه های پراکنده با ساختارهای مختلف به کمک فرایند UV/H2O2". علوم و فناوری نساجی و پوشاک، (۳) ۲، ۱۷۳-۱۶۷، ۱۳۹۱.
 - [۳] سید مرتضی حسینیان، علیرضا خسروی. ۱۳۶۸.
- طراحی تصفیه خانه های پساب صنایع نساجی، دانشگاه صنعتی امیر کبیر.

[۴] رضا انصاری، علی محمد خواه، سمانه علائی. "حذف رنگزای آنیونی قرمز کنگو از محلول های آبی با استفاده از خاک اره اصلاح شده با پلی آنیلین: بررسی ایزوترم و سینتیک جذب". علوم و فناوری رنگ، (۴) ۵، ۳۳۵-۳۴۴، ۱۳۹۰.

[۵] نیازمحمد محمودی، باقر حیاتی، مختار آرامی. "بررسی ایزوترم و سینتیک رنگبری پساب رنگی نساجی حاوی رنگزاهای مستقیم و اسیدی با استفاده از هسته خرما". علوم و فناوری رنگ، (۴) ۵، ۳۳۳-۳۲۵، ۱۳۹۰.

[۶] نیازمحمد محمودی، باقر حیاتی، مختار آرامی. "حذف رنگزا از پساب رنگی نساجی با استفاده از مخروط کاج". علوم و فناوری رنگ، (۳) ۵، ۲۵۱-۲۴۳، ۱۳۹۰.

[۷] آرش اسفرم، محمدرضا فتحی عمادآبادی. "حذف رنگزای آنیونی مستقیم قرمز B12 از محلول های آبی با استفاده از جاذب کاه گندم: مطالعات ایزوترمی، سینتیکی و ترمودینامیکی". علوم و فناوری رنگ، (۳) ۷، ۲۳۵-۲۲۳، ۱۳۹۲

[۸] علی رضا تهرانی بقا، نیازمحمد محمودی، مجید مرکزی، الهه طلایی نژاد. "رنگبری از پساب حاوی یک ماده رنگزای کاتیونی با استفاده از جاذب ارزان قیمت کائولن". علوم و فناوری رنگ، (۳) ۳، ۱۵۵-۱۴۵، ۱۳۸۸.

[۹] مرضیه باقری، حسین نظرپور نجف آبادی. "مطالعات ایزوترم، سینتیک و ترمودینامیک حذف ماده رنگزای اسید

اسید ایتانوکونیک و بررسی سینتیک و ایزوترم جذب آن".
علوم و فناوری رنگ، (۲) ۱۴، ۱۲۸-۱۱۷، ۱۳۹۹.

[۱۵] تارا عاقبتی، مهدی نوری، مرجان عباسی. "حذف رنگزا از پساب صنایع نساجی با استفاده از غشای الیاف توخالی پلی آکریلونیتریل". علوم و فناوری رنگ، (۳) ۹، ۱۸۵-۱۷۷، ۱۳۹۴.

[۱۶] نیازمحمد محمودی. "حذف رنگزاهای بازی از محیط های آبی با نانوذرات مغناطیسی فریت نیکل - روی". علوم و فناوری نساجی و پوشاک، (۱) ۳، ۳۶-۲۹، ۱۳۹۲.

[۱۷] مهدی صادقی، حبیب اله طیبی، مجید مرادیان، علی میرابی. "سنتر نانو کامپوزیت SBA-15/ZIF-8 جهت حذف رنگ راکتیو قرمز ۱۹۸ از فاضلاب نساجی". علوم و فناوری نساجی و پوشاک، (۱) ۱۰، ۳۲-۲۵، ۱۴۰۰.

[۱۸] بابک کاکاونندی، روشنک رضایی کلاتری، علی اسرافیلی، احمد جنیدی جعفری، علی آذری. "ایزوترم، سینتیک و ترمودینامیک جذب رنگزای راکتیو آبی ۵ (RB5) با استفاده از کامپوزیت مغناطیسی کربن فعال و نانو ذرات Fe3O4". علوم و فناوری رنگ، (۳) ۷، ۲۴۸-۲۳۷، ۱۳۹۲.

[۱۹] مریم محمدی زاد، حسین گنجی دوست، بیتا آیتی. "تعیین شرایط بهینه حذف ماده رنگزا توسط نانو کامپوزیت پلی آنیلین/گرافن تحت تابش نور مرئی". علوم و فناوری رنگ، (۱) ۱۰، ۴۲-۳۱، ۱۳۹۵.

[۲۰] خدیجه دیده بان، فاطمه کرماجانی. "حذف ماده رنگزای مستقیم قرمز ۳۱ از محلول های آبی با استفاده از

نارنجی ۷ با استفاده از پر مرغ و کربن آن". علوم و فناوری رنگ، (۲) ۱۴، ۱۴۱-۱۲۹، ۱۳۹۹.

[۱۰] جلیل قبادی، مختار آرامی، سیده ژیر بهرامی. "اصلاح نانولوله های کربنی و بررسی کاربرد آن در حذف رنگزای مستقیم آبی ۸۶". علوم و فناوری رنگ، (۲) ۷، ۱۱۲-۱۰۳، ۱۳۹۲.

[۱۱] مهساسادات میرعلینقی، الهام منیری، طاهره سیری. "مدل سازی سینتیکی جذب سطحی ماده رنگزای زرد مستقیم روی اکسید گرافن". علوم و فناوری رنگ، (۱) ۱۰، ۱-۱۱، ۱۳۹۵.

[۱۲] محمدحسین رسولی فرد، نادر طاهری قزوینی، الهام فرهنگ نیا، اعظم حیدری، سید محمد مهدی دوست محمدی. "حذف رنگزای آلی آنیونی زرد مستقیم ۹ و نارنجی راکتیو ۱۲۲ از آب آلوده با استفاده از جاذب زیست پلیمری کیتوسان". علوم و فناوری رنگ، (۱) ۴، ۲۳-۱۷، ۱۳۸۹.

[۱۳] پگاه شهریاری نمین، سیما حبیبی، محمدرضا الله قلی قصری. "استخراج کیتوسان از پوست میگو: شناسایی و کاربرد آن در حذف رنگزای های واکنش پذیر آبی ۱۳ و اسیدی سبز ۳ از محلول آبی". علوم و فناوری نساجی و پوشاک، (۳) ۳، ۱۰-۳، ۱۳۹۲.

[۱۴] ریحانه سهراب زاده دابانلو، شاداب شهسواری، علی وزیری یزدی، علی اکبر سیف کردی. "جذب سطحی ماده رنگزای ایندیگو با استفاده از نانو الیاف مغناطیسی کیتوسان-

dyes from water by liquid-liquid extraction using reverse micelles, *J. Colloid Interface Sci.* 245, 208-214, 2002.

[28] Pandit, P., Basu S. Removal of ionic dyes from Water by Solvent Extraction Using Reverse Micelles, *Environ. Sci. Technol.* 38 (8), 2435-2442, 2004.

[29] Mangat, C.K., Kaur, S. Efficient removal and separation of anionic dyes from aqueous medium by the application of reverse micelles of cationic surfactants, *Desalination and Water Treatment*, 52 (19-21), 3555-3563, 2014.

[30] Kaur, N., Sharma, S., Khosla, E. Green and efficient reverse micellar extraction and recovery of mixed ionic dyes from textile effluent, *Tenside Surfactants Detergents*, 55 (14), 281-286, 2018.

[31] Yi S., Sun, G., Dai, F. Removal and separation of mixed ionic dyes by solvent extraction. *Textile Research Journal*, 88(14), 1641-1649, 2018.

[32] Subashini, R., Sivarajasekar, N., Balasubramani, K., Prakashmaran, J. Saponin-Aided Reverse Micellar Extraction of Malachite Green Dye From Aqueous Solutions. In: Sivasubramanian, V., Subramanian, S. (eds) *Global Challenges in Energy and Environment. Lecture Notes on Multidisciplinary Industrial Engineering.* Springer, Singapore, 2020.

نانوکامپوزیت‌های هیدروژلی سنتز شده". *علوم و فناوری رنگ*, (۲) ۱۳، ۱۱۹-۱۳۰، ۱۳۹۸.

[۲۱] امید مرادی، سولماز مراغه، سمیرا عرب سلمان آبادی. "حذف آلاینده رنگزای سافرانین با استفاده از نانوکامپوزیت‌های اکسید گرافن، کربن فعال، نانو ذرات هیدروکسید آلومینیم و اکسید گرافن، کربن فعال و نانوذرات اکسید سریم". *علوم و فناوری رنگ*، (۱) ۱۶، ۵۶-۳۹، ۱۴۰۱.

[22] Pandit, P., Basu, S. Dye and solvent recovery in solvent extraction using reverse micelles for the removal of ionic dyes, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 43, 7861-7864, 2004.

[23] Abbott, N.L., Hatton, T.A. Liquid-liquid-extraction for protein separations. *Chem. Eng. Prog.* 84, 31-41, 1988.

[24] Dungan, S. R., Bausch, T., Hatton, T. A., Plucinski, P., Nitsch, W. Interfacial transport processes in the reversed micellar extraction of proteins, *J. Colloid Interface Sci.*, 145, 33-50, 1991.

[25] Dekker, M., Van't Triet, K., Weijers, S.R., Baltussen, J.W.A., Laane, C.; Bijsterbosch, B.H. Enzyme recovery by liquid-liquid extraction using reversed micelles, *Chem. Eng. J.* 33(2), B27-B33, 1986.

[26] Krei, G.A., Hustedt, H. Extraction of enzymes by reverse micelles. *Chem. Eng. Sci.* 47, 99-111, 1992.

[27] Pandit, P., Basu, S. Removal of organic

Registry Number 100-51-6. *Food and Chemical Toxicology*, 84, S1-S14, 2015.

[37] Muthuraman, G., Palanivelu, K., Removal and recovery of low salt dye golden yellow LS by liquid-liquid extraction, *Indian Journal of Chemical Technology*, 11(2), 166-169, 2004.

[38] Ahmed, F., Dewani, R., Pervez, M.K., Mahboob, S.J., Soomro S.A. Non-destructive FT-IR analysis of mono azo dyes. *Bulgarian Chemical Communications*, 48(1), 71 – 77, 2016.

[33] Bukman, L., de Souza, V.R., Fernandes, N.R., Caetano, W., Batistela, V.R., Hioka, N. Reverse micellar extraction of dyes based on fatty acids and recoverable organic solvents. *Separation and Purification Technology*, 242, 116772, 2020.

[34] El-Refay H.M., Badawy N., Hamada A., Hassen E.S. Separation of Some Anionic Dyes Using Reverse Micelles of CTAB and SDS as Efficient Surfactants Adsorbents from Aqueous Medium, *International Journal of Chemical Engineering*, 2022, 7484479, 2022.

[35] Schuster, J., Schäfer, F., Hübler, N., Brandt, A., Rosell, M., Härtig, C., Harms, H., Müller, R.H., Rohwerder, T. Bacterial degradation of tert-amyl alcohol proceeds via hemiterpene 2-methyl-3-buten-2-ol by employing the tertiary alcohol desaturase function of the Rieske nonheme mononuclear iron oxygenase MdpJ. *Journal of Bacteriology*, 194(5), 972-981, 2012.

[36] Api, A.M., Belsito, D., Bhatia, S., Bruze, M., Calow, P., Dagli, M.L., Dekant, W., Fryer, A.D., Kromidas, L., La Cava, S., Lalko, J.F., Lapczynski, A., Liebler, D.C., Politano, V.T, Ritacco, G., Salvito, D., Schultz, T.W., Shen, J., Sipes, I.G., Wall, B., Wilcox, D.K. RIFM fragrance ingredient safety assessment, Benzyl alcohol, CAS