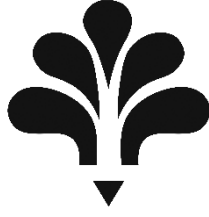


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی استان اصفهان

دانشکده مهندسی شیمی

تصفیه پساب رنگی توسط فیلتر بیونانو کامپوزیتی فوم پلی یورتان اصلاح شده توسط ژل کربوکسی متیل

سلولز و کیتوسان

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی گرایش فرآیندهای جداسازی

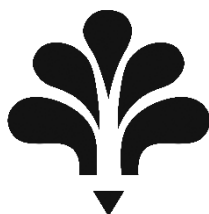
نام نگارنده

راضیه کارخانی

استاد راهنما

جناب آقای دکتر وحید جوانبخت

۴ اسفند ۱۳۹۹



موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی استان اصفهان

گروه مهندسی شیمی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی گرایش فرآیند های جداسازی

تحت عنوان

تصفیه پساب رنگی توسط فیلتر بیونانو کامپوزیتی فوم پلی یورتان اصلاح شده توسط ژل کربوکسی متیل

سلولز و کیتوسان

نام نگارنده

راضیه کارخانی

در تاریخ ۱۳۹۹/۱۲/۴ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان نامه دکتر وحید جوانبخت

۲- استاد داور دکتر بنفشه سلطانی

۳- مدیر تحصیلات تکمیلی مؤسسه دکتر زهرا السادات اسماعیلیان

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوری های ناشی از تحقیق
موضوع این پایان نامه متعلق به مؤسسه
آموزش عالی جهاد دانشگاهی استان اصفهان
است.

تقدیم

به پیشگاه مقدس آقا امام زمان (علیه السلام)

شهیدان راه مولایم علی (علیه السلام) از زندگی تا ابدیت

و

شیرخفته در بیشه های ایران شهید حاج قاسم سلیمانی

و ابو مهدی المهندس و همزمانشان

و شهدای مدافع حرم حضرت زینب (سلام الله علیها)

و شهدای هشت سال دفاع مقدس

شهید ابراهیم نصر آزادانی

شهید حاج حسین خرازی

شهید حاج احمد کاظمی

شهید سرلشکر علی صیاد شیرازی

.....

تقدیم به آنان که رفتند تا ما در امان زندگی کنیم.

باسپاس فراوان از سه وجود مقدس:

آنان که ناتوان شدند تا ما به توانایی برسیم

موباشان سپید شد تا ما رو سفید شویم

و عاشقانه سوختند تا کرامتش وجود ما و روشنگر راه زندگیمان باشد

* پدرانمان * * مادرانمان * * استادانمان *

سپاس فراوان از پدر و مادر بزرگوار و مهربانم و برادرم تنها یاور زندگیم که همیشه با لطف بی کراشان حامی و دلیل زندگی و روشن گرا همیشه شرف و ترقی ام بودند.

از اساتید بزرگوارم جنابان دکتر روح الله صادقی، دکتر وحید جوانخت، دکتر داریوش حاجی حیدری، مهندس ایرانش و خانم با دکتر بنفشه سلطانی، دکتر مریم حیدری، دکتر زهرا علیمحمدی، دکتر نسیرین قضاوی، دکتر راضیه نشی، دکتر آذ شمس، دکتر پریسا مسعودیان، دکتر محبوبه طائی و مهندس فرشته ملکیان و سرکار خانم راضیه کوهسریان و تمامی پرسنل محترم دانشگاه برای تمام حمایت ها و زحمات بی دریغشان سپاسگذاری می کنم.

از دکتر عباس پناهنده مشاور و راهنمای بزرگوارم در طی هفت سال گذشته بار بنمود و مشاوره های سودمندشان باعث راهنمایی من در انتخاب اهداف و راه مقابل ام جهت ادامه زندگی شدن کمال تشکر را دارم.

از دوستان و بهکلاسی های گرامی و مهربانم آقایان حق ورد، جم، عطاریان، سعیدی، قمری، ... و خانم با محبوبه منجزی، فاطمه عشق آبادی، مریم کفانی و افسانه صفدریان که ایام خوشی را در کنار هم سپری کردیم و مراد رسیدن به اهدافم یاری نمودند صمیمانه تقدیر می کنم.

با آرزوی موفقیت و سرفراز برای همه ی دوستان و عزیزان.

ارادتمند شاراضیه کارخانی

تعهد نامه اصالت پایان نامه کارشناسی ارشد

اینجانب راضیه کارخانی دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد ناپیوسته به شماره دانشجویی ۹۷۱۳۱۰۰۵ در رشته مهندسی شیمی گرایش فرآیندهای جداسازی که در تاریخ ۴ اسفند ۱۳۹۹ از پایان نامه خود تحت عنوان: حذف پساب رنگی متیلن بلو توسط جاذب بیوکامپوزیتی فوم پلی یورتان اصلاح شده توسط ژل کیتوسان و کربوکسی متیل سلولز با کسب نمره ۱۸ و درجه عالی دفاع نموده ام بدینوسیله متعهد می شوم:

۱- این پایان نامه حاصل تحقیق و پژوهش انجام شده توسط اینجانب بوده و در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران (اعم از پایان نامه، کتاب، مقاله و...) استفاده نموده ام، مطابق ضوابط و رویه های موجود، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در فهرست ذکر و درج کرده ام.

۲- این پایان نامه قبلاً برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی (هم سطح، پایین تر یا بالاتر) در سایر دانشگاهها و موسسات آموزش عالی ارائه نشده است.

۳- چنانچه در حین تحصیل و بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده و هر گونه بهره برداری اعم از چاپ کتاب، ثبت اختراع و ... از این پایان نامه داشته باشم، از حوزه معاونت پژوهشی واحد مجوزهای مربوطه را اخذ نمایم.

۴- چنانچه در هر مقطع زمانی خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن را بپذیرم و واحد دانشگاهی مجاز است با اینجانب مطابق ضوابط و مقررات رفتار نموده و در صورت ابطال مدرک تحصیلی ام هیچگونه ادعایی نخواهم داشت.

نام و نام خانوادگی: راضیه کارخانی

تاریخ و امضاء: ۱۳۹۹ / ۱۲ / ۴

چکیده

آلودگی منابع آبی نه تنها می تواند زندگی و فعالیت انسان ها را مختل کند بلکه سبب بخاطر افتادن زندگی سایر جاندارن خشکی زی و آبی، تخریب اکوسیستم زیست محیطی می شود. یکی از عواملی که به شدت باعث تخریب و آلودگی محیط زیست می شود تخلیه پساب رنگی تصفیه نشده صنایع رنگرزی و نساجی به محیط های آبی و طبیعت می باشد. هدف این پروژه حذف رنگ متیلن بلو از محلول آبی توسط جاذب بیوکاپوزیتی فوم پلی یورتان اصلاح شده توسط مخلوط ژل های کیتوسان و کربوکسی متیل سلولز حاوی زئولیت ZSM 5 می باشد. فرآیند جذب صورت گرفته از نوع جذب سطحی پیوسته می باشد که تحت شرایط مختلف اختلاف ارتفاع بستر فوم، اختلاف غلظت محلول متیلن بلو، تفاوت در دبی ورودی به ستون جذب و pH متفاوت محلول متیلن بلو انجام شد. فیلتر سنتز شده با جاذب هایی با درصد زئولیت متفاوت (۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸) موجود در ساختار، با فیلتر فوم پلی یورتان خالص مقایسه شد و با توجه به نتایج بدست آمده فوم اصلاح شده توسط ژل کیتوسان و کربوکسی متیل سلولز حاوی ۰/۴ زئولیت بهترین جذب را در فرآیند حذف رنگ متیلن بلو داشت. جهت توجیه بیشتر فرآیند جذب، از مدل های جذب پیوسته ی توماس، بوهارت-آدامز، یون نلسون، وولبورسکا و مدل دوز اصلاح شده برای انطباق داده ها استفاده شد که مدل دوز اصلاح شده بهترین همپوشانی با حالات مختلف فرآیند جذب انجام شده در این پروژه داشته است. و جهت مشاهده ساختار، توپوگرافی، کریستال های مواد تشکیل دهنده جاذب و مواد اولیه، شناسایی گروه های عاملی، بدست آوردن سطح ویژه ی جذب و بدست آوردن محدوده ی مقاومت دمایی و دمایی تخریب آنالیزهای FESEM, XRD, FTIR, BET, TGA انجام شده است. با توجه به نتایج آنالیز می توان بیان کرد که جاذب حاصل دارای ساختار پایدار است و با توجه به نتایج حاصله بیشترین ظرفیت جذب رنگ متیلن بلو مربوط به محلول رنگی با غلظت ۱۰ mg/L و ارتفاع بستر ثابت جذب برابر ۸ میلی متر از فیلتر، برابر ۳/۸۵ و ۱/۹۲ میلی گرم بر گرم جاذب که مربوط به حالت قلیایی و خنثی رنگ در شرایط ثابت می باشد. از ویژگی های دیگر فیلتر ساخته شده توانایی حذف سایر رنگ ها از حالت تک رنگ، مخلوط های دوتایی و سه تایی رنگ ها

می باشد. در آخر فیلتر ساخته شده قابلیت احیا و بازیابی را طی هفت مرحله احیا، بارگشت به چرخه جذب را دارا می باشد.

کلمات کلیدی: فوم پلی یورتان، کربوکسی متیل سلولز، کیتوسان، زئولیت ZSM 5، متیلن بلو، جذب سطحی پیوسته

فهرست مطالب

فصل اول : معرفی پروژه

- ۱ (۱) مقدمه..... ۱
- ۱ (۲) آلودگی چیست؟ ۱
- ۲ (۳) تصفیه آب..... ۲
- ۳ (۴) تعریف مساله ۳
- ۵ (۵) اهداف تحقیق ۵
- ۶ (۶) دستاورد های تحقیق ۶
- ۷ (۷) ساختار پایان نامه ۷

فصل دوم : پیشینه تحقیق

- ۸ (۱) آلودگی..... ۸
- ۸ (۱-۱) منابع آلودگی آب ۸
- ۹ (۱-۲) آلاینده ۹
- ۹ (۱-۳) انواع آلاینده های آب ۹
- ۹ (۱-۴) آلودگی در اثر آلاینده های آلی ۹
- ۱۰ (۱-۵) آلاینده های عالی پایدار ۱۰
- ۱۰ (۱-۶) رنگ ها..... ۱۰
- ۱۳ (۲) تصفیه پساب ۱۳
- ۱۳ (۲-۱) پساب شهری ۱۳
- ۱۳ (۲-۲) پساب صنعتی ۱۳
- ۱۳ (۲-۳) تفاوت پساب شهری و پساب صنعتی ۱۳
- ۱۴ (۳) غشا..... ۱۴
- ۱۴ (۳-۱) فرایند غشائی ۱۴
- ۱۵ (۳-۲) جنس غشاءها ۱۵
- ۱۶ (۳-۳) طراحی یک سیستم فیلتراسیون غشائی ۱۶
- ۱۷ (۳-۳-۱) طرح چند راهه: ۱۷
- ۱۷ (۳-۳-۲) طرح چرخشی چند مرحله ای: ۱۷
- ۱۸ (۳-۴) کاربرد فرایند غشائی در تصفیه آب ۱۸

۱۹.....	۴) جذب.....
۱۹.....	۴-۱) تعاریف جذب سطحی.....
۲۱.....	۴-۲) اختلاف جذب فیزیکی و شیمیایی.....
۲۲.....	۴-۳) تفاوت جذب سطحی و با جذب بالک.....
۲۲.....	۴-۴) مکانیسم جذب.....
۲۳.....	۴-۵) سینتیک جذب سطحی.....
۲۳.....	۵) جذب پیوسته.....
۲۷.....	۵-۱) پارامترهای فرآیند های جذب پیوسته.....
۲۸.....	۵-۲) مدل سازی های جذب پیوسته.....
۲۸.....	۵-۲-۱) مدل توماس (TM).....
۲۹.....	۵-۲-۲) مدل آدامز-بوهارت (ABM).....
۲۹.....	۵-۲-۳) مدل یون-نلسون (YN).....
۳۰.....	۵-۲-۴) مدل وولبورسکا (WM).....
۳۰.....	۵-۲-۵) مدل دوز اصلاح شده (MDRM).....
۳۱.....	۶) پلی یورتان ها.....
۳۲.....	۶-۱) تولید و مصرف فوم های پلی یورتان.....
۳۳.....	۶-۱-۱) صنعت حمل و نقل.....
۳۳.....	۶-۱-۲) صنعت ساخت و ساز.....
۳۳.....	۶-۱-۳) مصارف خانگی.....
۳۳.....	۶-۲) حذف رنگ (تصفیه پساب رنگی توسط جذب سطحی).....
۳۴.....	۶-۳) شیمی پلی یورتان ها.....
۳۴.....	۷) فوم و جاذب کیتوسان.....
۳۶.....	۷-۱) ساختار و ترکیب شیمیایی و خواص کیتوسان.....
۳۶.....	الف) خواص شیمیایی کیتوسان.....
۳۷.....	ب) خواص بیولوژیکی کیتوسان.....
۳۷.....	۷-۲) کاربرد کیتوسان در تصفیه پساب.....
۳۷.....	۷-۲-۱) به عنوان منعقد کننده در حذف آلاینده ها از محیط آبی.....
۳۷.....	۷-۲-۲) حذف آلاینده از محیط آبی توسط فرآیند جذب سطحی با جاذب کیتوسان.....
۳۹.....	۷-۲-۳) استفاده از فوم پلی یورتان با پوشش کیتوسان در حذف رنگ RB198.....

- ۴-۲-۷) استفاده از فوم پلی یورتان-کیتوسان در حذف رنگ غذایی ۴۰
- ۵-۲-۷) کاربرد فوم پلی یورتان - کیتوسان در سایر صنایع ۴۰
- ۶-۲-۷) فوم پلی یورتان اصلاح شده توسط کیتوسان و هیومیک اسید ۴۰
- الف) معایب جاذب کیتوسان ۴۱
- ب) برطرف کردن اشکالات ۴۲
- ج) فوم هیومیک اسید ۴۲
- د) فوم پلی یورتان اصلاح شده توسط هیومیک اسید-کیتوسان ۴۲
- چ) تهیه فوم HA-CS-PUF ۴۳
- ۸) کربوکسی متیل سلولز ۴۴
- ۱-۸) ساختار مولکولی و خصوصیات کربوکسی متیل سلولز ۴۵
- ۲-۸) سدیم کربوکسی متیل سلولز ۴۵
- ۳-۸) غشاء ترکیبی کیتوسان-کربوکسی متیل سلولز ۴۶
- ۱-۳-۸) کاربرد در جذب لیزوزیم ۴۷
- ۲-۳-۸) چهارچوب حاوی کیتوسان/ کربوکسی متیل سلولز/ با حفرات متوسط و لاستونیت ۴۷
- ۳-۳-۸) جاذب تهیه شده توسط CS-CMC-SA ۴۷
- ۴-۳-۸) ویژگی های فیلم تهیه شده از CMC-CS ۴۷
- ۹) زئولیت ZSM-5 ۴۸
- ۱-۹) کاربرد زئولیت ZSM-5 ۴۸
- ۱۰) سایر روش های حذف آلاینده های رنگی ۴۹
- الف) جاذب های متیل اورانژ ۴۹
- ب) جاذب های متیلن بلو ۴۹
- ۱۱) پیشینه علمی (مروری بر سابقه پژوهش) ۵۰

فصل سوم : معرفی لوازم و روش ها

- ۱) مواد شیمیایی و وسایل مورد استفاده ۵۵
- ۲) تجهیزات مورد استفاده در آزمایشگاه ۵۵
- ۱-۲) ترازو ۵۶
- الف) ترازوی دیجیتال آزمایشگاهی ۵۶
- ب) ترازوی چهار صفر دیجیتال ۵۶

۵۷.....	۲-۳) هیتر استریر (همزن مغناطیسی حرارتی)
۵۸.....	۲-۴) همزن مکانیکی
۵۹.....	۲-۵) حمام التراسونیک
۶۰.....	۲-۶) آون
۶۱.....	۲-۷) خشک کن انجمادی
۶۲.....	۲-۸) pH متر
۶۳.....	۳) معرفی آنالیزها
۶۳.....	الف) دستگاه طیف سنج نوری
۶۴.....	ب) میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی FESEM
۶۵.....	پ) طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز FTIR
۶۶.....	ت) طیف سنج پراش پرتو ایکس XRD
۶۷.....	ث) آنالیز اندازه گیری مساحت سطح BET
۶۹.....	ج) آنالیز TGA
۷۰.....	۴) روش انجام آزمایشات
۷۰.....	الف) آماده سازی فوم پلی یورتان
۷۱.....	ب) تهیه ژل NaCMC
۷۲.....	ج) تهیه ژل کیتوسان
۷۲.....	۱) تهیه استیک اسید ۱٪
۷۲.....	۲) تهیه ژل کیتوسان
۷۳.....	د) تهیه سوسپانسیون ZSM-5
۷۴.....	ح) سنتز فوم CS-NaCMC-PUF
۷۴.....	۱) ادغام ژل ها
۷۵.....	۲) خیساندن فوم در ژل
۷۵.....	۳) خشک کن انجمادی
۷۵.....	۴) پرس داغ
۷۶.....	خ) تهیه نمونه های مختلف
۷۶.....	In-Situ و EX-Situ یعنی چه؟
۷۷.....	د) ساخت نمونه هایی با غلظت زئولیت متفاوت
۷۷.....	آزمایشات جذب رنگ

۷۸.....	(۵) آزمایش جذب پیوسته
۷۸.....	(الف) اثر فشار اتمسفری بر دبی:
۷۹.....	(ب) اثر افزایش فشار بر دبی:.....
۷۹.....	(ج) اثر ارتفاع فوم.....
۷۹.....	(د) اثر pH.....
۷۹.....	(ح) اثر غلظت رنگ
۷۹.....	(خ) احیاء فوم.....
۸۰.....	(ر) پتانسیل زتا.....

فصل چهارم: بیان تجزیه و تحلیل ها

۸۱.....	توضیح.....
۸۱.....	آنالیز ها.....
۸۱.....	(۱) آنالیز FESEM.....
۸۷.....	(۲) آنالیز FTIR.....
۸۷.....	(الف) تحلیل طیف فوم پلی یورتان.....
۸۸.....	(ب) تحلیل طیف Na-CMC.....
۸۹.....	(ج) تحلیل طیف CS.....
۹۰.....	(د) تحلیل طیف CS-Na CMC-PUF.....
۹۱.....	(ح) مقایسه طیف ها
۹۴.....	(۳) آنالیز XRD.....
۹۷.....	(۴) آنالیز BET.....
۱۰۲.....	(۵) آنالیز ترموگراویمتری یا TGA.....
۱۰۴.....	(۶) بررسی کارایی و پایداری نمونه های سنتز شده
۱۰۴.....	(۶-۱) فوم های اصلاح شده توسط CMC (فاقد سدیم).....
۱۰۵.....	(۶-۲) فوم اصلاح شده توسط CS.....
۱۰۶.....	(۶-۳) تهیه جاذب CS-CMC-PUF.....
۱۰۶.....	(الف) طرز تهیه CS-CMC-PUF.....
۱۰۶.....	(ب) شیوه تهیه جاذب بیوکامپوزیتی CS-Na CMC-PUF حاوی زئولیت ZSM 5.....
۱۰۷.....	(ج) خطاهای اتفاق افتاده در ترکیب ژل ها
۱۰۹.....	(د) فوم هایی با طرز تهیه متفاوت.....

۱۱۲.....	(خ) فوم های حاوی درصد متفاوت زئولیت
۱۱۳.....	(۷) آزمایشات جذب پیوسته (جذب پیوسته).....
۱۱۳.....	(۷-۱) جذب سطحی پیوسته
۱۱۴.....	(۷-۲) بدست آوردن غلظت رنگ باقی مانده
۱۱۵.....	(۷-۳) نتایج بدست آمده از فرآیند های جذب پیوسته
۱۱۵.....	(۷-۴) توضیح مدلسازی فرآیند جذب پیوسته بستر ثابت
۱۱۶.....	(۷-۵) تفاوت فرآیند پیوسته با ناپیوسته
۱۱۶.....	(۷-۶) مدلسازی جذب سطحی پیوسته
۱۱۷.....	(۷-۶-۱) تاثیر ارتفاع جاذب
۱۲۲.....	(۷-۶-۲) تاثیر غلظت
۱۲۸.....	(۷-۶-۳) تاثیر pH
۱۳۳.....	(۷-۶-۴) تاثیر شدت جریان در اثر تغییر فشار در جریان ورودی
۱۳۸.....	(۷-۶-۵) اثر تغییر درصد زئولیت ZSM-5 در ترکیب
۱۴۴.....	(۸) فرآیند احیا.....
۱۴۴.....	(۹) مقایسه جذب رنگ های مختلف
۱۴۴.....	(۹-۱) مقایسه جذب متیل اورانژ و متیلن بلو
۱۴۵.....	(۹-۲) تست انتخاب گری حذف رنگ
۱۴۹.....	(۱۰) نتایج پتانسیل زتا و توضیح نمودار
۱۵۰.....	(۱-۱۰) نتایج ZPC فوم پلی یورتان خالص
۱۵۰.....	(۲-۱۰) نتایج ZPC فوم CS-NaCMC-PUF

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۱۵۲.....	نتیجه گیری.....
۱۵۴.....	پیشنهادات
۱۵۵.....	مراجع
۱۶۰.....	Abstract

فهرست اشکال

- شکل (۱-۲): شماتیک علل و نحوه آلودگی آب ها ۸
- شکل (۲-۲): طبقه بندی رنگ ها بر اساس بار الکتریکی [۱۸] ۱۱
- شکل (۳-۲): طرح چند راهه (تک گذر) [۲۰] ۱۷
- شکل (۴-۲): طرح چرخشی چند مرحله ای [۲۰] ۱۸
- شکل (۵-۲): نمودار جریان در فیلتراسیون غشائی [۶] ۱۹
- شکل (۶-۲): شماتیک فرآیند جذب [۲۲] ۲۰
- شکل (۷-۲): تفاوت جذب فیزیکی و شیمیایی [۲۲] ۲۲
- شکل (۸-۲): تفاوت جذب سطحی با جذب بالک [۲۲] ۲۲
- شکل (۹-۲): شماتیک عملکرد جذب سطحی [۲۴] ۲۳
- شکل (۱۰-۲): ارائه منحنی شکست با حرکت MTZ ، [۲۶] ۲۵
- شکل (۱۱-۲): منحنی شکست ایده آل [۲۶] ۲۶
- شکل (۱۲-۲): انواع مدل و کاربرد فوم پلی یورتان [۱۱] ۳۲
- شکل (۱۳-۲): کیتوسان ۳۶
- شکل (۱۴-۲): ساختار کیتین و کیتوسان [۳۷] ۳۶
- شکل (۱۵-۲): ساختار شیمیایی سه رنگ MB,MO,RB ، [۱۳] ۴۱
- شکل (۱۶-۲): شماتیک تهیه و پرس داغ فوم HS-CS-PUF ، [۱۳] ۴۳
- شکل (۱۷-۲): سدیم کربوکسی متیل سلولز ۴۴
- شکل (۱۸-۲): ساختار شیمیایی سدیم کربوکسی متیل سلولز [۴۰, ۱۵] ۴۶
- شکل (۱۹-۲): زئولیت ZSM-5 ۴۸
- شکل (۱-۳): ترازوی دیجیتال اوهاس مدل TA502 ۵۶
- شکل (۲-۳): ترازوی چهار صفر AND مدل GR200 ۵۷
- شکل (۳-۳): هیتر استیرر آلفا مدل HS-860 ۵۸
- شکل (۴-۳): همزن مکانیکی دیجیتال ۵۹
- شکل (۵-۳): حمام اولتراسونیک مدل ELMA E30 SH ۶۰
- شکل (۶-۳): آون مدل SHIMAZCO-200959 ۶۱
- شکل (۷-۳): خشک کن انجمادی (Freeze Drying) ۶۲
- شکل (۸-۳): pH متر رومیزی مدل (INOLAB17110) ۶۳

- شکل (۳-۹): دستگاه اسپکتروفتومتر نوری مدل RAYLEIGH UV-2601..... ۶۴
- شکل (۳-۱۰): میکروسکوپ الکترونی روبشی میدانی FESEM..... ۶۵
- شکل (۳-۱۱): دستگاه FTIR..... ۶۶
- شکل (۳-۱۲): دستگاه پراش پرتو ایکس XRD..... ۶۷
- شکل (۳-۱۳): دستگاه BET..... ۶۸
- شکل (۳-۱۴): دستگاه TGA..... ۶۹
- شکل (۳-۱۵): فوم پلی یورتان، تصویر (۱) فوم با ضخامت ۵ سانتی متر، ۲ و ۳) حفره های فوم، تصویر (۴) تفاوت فوم پرس داغ شده با پرس نشده، (۵) فوم پرس داغ شده، (۶) حفره های فوم پرس شده..... ۷۰
- شکل (۳-۱۶): ژل سدیم کربوکسی متیل سلولز..... ۷۲
- شکل (۳-۱۷): ژل کیتوسان..... ۷۳
- شکل (۳-۱۸): محلول ZSM-5..... ۷۴
- شکل (۳-۱۹): EX-Situ Gel، (۱) فاقد زئولیت، (۲) حاوی زئولیت..... ۷۷
- شکل (۳-۲۰): آزمایشات جذب..... ۸۰
- شکل (۴-۱): الف) تصاویر بزرگ نمایی شده از فوم پلی یورتان در حالت قبل و بعد از پرس داغ..... ۸۲
- شکل (۴-۱): ب) نتایج FESEM پلی یورتان خام..... ۸۴
- شکل (۴-۲): الف) تصاویر بزرگ نمایی شده از جاذب CS-Na CMC-PUF قبل و بعد از پرس داغ..... ۸۴
- شکل (۴-۲): نتایج SEM فوم CS-Na CMC-PUF..... ۸۶
- شکل (۴-۳): مقایسه ساختار فوم پلی یورتان خام و فوم CS-Na CMC-PUF در ابعاد (۱) ۵۰۰ میکرون، (۲) ۵۰۰ نانومتر..... ۸۷
- شکل (۴-۴): طیف FTIR مربوط به فوم پلی یورتان..... ۸۸
- شکل (۴-۵): طیف Na-CMC..... ۸۸
- شکل (۴-۶): طیف CS..... ۸۹
- شکل (۴-۷): طیف FTIR مربوط به نمونه CS-Na CMC-PUF..... ۹۰
- شکل (۴-۸): مقایسه طیف های FTIR..... ۹۳
- شکل (۴-۹): نحوه ی تشکیل و برقرای پیوند در ژل Na CMC-CS، [۱۵]..... ۹۴
- شکل (۴-۱۰): آنالیز XRD (۱) فوم CS-Na CMC-PUF، (۲) فوم پلی یورتان خالص..... ۹۵
- شکل (۴-۱۱): پیک های فوم سنتزی..... ۹۷
- شکل (۴-۱۲): پیک های فوم پلی یورتان خالص..... ۹۷
- شکل (۴-۱۳): منحنی Ads-Des فوم PUF خالص..... ۹۹
- شکل (۴-۱۴): منحنی BET فوم پلی یورتان خالص..... ۱۰۰

- شکل(۴-۱۵): منحنی BJH فوم پلی یورتان خالص ۱۰۰.....
- شکل(۴-۱۶): منحنی Ads-Des فوم سنتزی CS-CMC-PUF ۱۰۱.....
- شکل(۴-۱۷): منحنی BET فوم سنتزی CS-CMC-PUF ۱۰۱.....
- شکل(۴-۱۸): منحنی BJH فوم سنتزی CS-CMC-PUF ۱۰۲.....
- شکل(۴-۱۹): TGA فوم پلی یورتان خالص ۱۰۳.....
- شکل(۴-۲۰): TGA فوم CS-Na CMC-PUF ۱۰۳.....
- شکل(۴-۲۱): مقایسه TGA هر دو نمونه ۱۰۴.....
- شکل(۴-۲۲): فوم CMC-PUF ۱۰۵.....
- شکل(۴-۲۳): فوم CS-PUF ۱۰۶.....
- شکل(۴-۲۴): مراحل تهیه و فعالیت CS-CMC-PUF ۱۰۶.....
- شکل(۴-۲۵): تهیه فوم (CS-Na CMC-PUF (+ Zeolite ZSM 5 - 1) تهیه کامپوزیت ژل ۲) تهیه جاذب ۱۰۷.....
- شکل(۴-۲۶): ریختن کیتوسان روی (1 CMC و 2 Na CMC) ۱۰۸.....
- شکل(۴-۲۷): استفاده همزمان گلوکار آلدهید و آهن III کلرید (1) افزودن گلوکار آلدهید به مخلوط ژل، (2) افزودن FeCl₃ و غوطه ور سازی فوم پلی یورتان ۱۰۹.....
- شکل(۴-۲۸): الف) نمونه های ساخته شده پس از خشک کن انجمادی و پرس داغ ۱۱۱.....
- شکل(۴-۲۸): ب) نتیجه جذب ۵۰ میلی لیتر محلول متیلن بلو 10mg/L ۱۱۱.....
- شکل(۴-۲۹): نمونه ای از منحنی کالیبراسیون ۱۱۲.....
- شکل(۳۰-۴): فوم های حاوی درصد مختلف ژئولیت ۱۱۳.....
- شکل(۴-۳۱): نمودار بررسی تاثیر ارتفاع جاذب، غلظت رنگ 10mg/L ۱۱۷.....
- شکل(۴-۳۲): نمودار مدل توماس، تاثیر ارتفاع فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF در غلظت در 10mg/L ۱۱۷.....
- شکل(۴-۳۳): نمودار مدل بوهارت آدامز، تاثیر ارتفاع فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF در غلظت در 10mg/L ۱۱۸.....
- شکل(۴-۳۴): نمودار مدل یون نلسون، تاثیر ارتفاع فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF در غلظت در 10mg/L ۱۱۸.....
- شکل(۴-۳۵): نمودار مدل وولبورسکا، تاثیر ارتفاع فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF در غلظت در 10mg/L ۱۱۹.....
- شکل(۴-۳۶): نمودار مدل دوز اصلاح شده، تاثیر ارتفاع فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF در غلظت در 10mg/L ۱۱۹.....
- شکل(۴-۳۷): نمودار غلظت بر حسب زمان، غلظت متغیر در ارتفاع ثابت برای فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF ۱۲۲.....
- شکل(۴-۳۸): نمودار مدل توماس تاثیر غلظت متفاوت در ارتفاع ثابت برای فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF ۱۲۳.....
- شکل(۴-۳۹): نمودار مدل بوهارت-آدامز تاثیر غلظت متفاوت در ارتفاع ثابت برای فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF ۱۲۳.....
- شکل(۴-۴۰): نمودار مدل یون نلسون تاثیر غلظت متفاوت در ارتفاع ثابت برای فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF ۱۲۴.....
- شکل(۴-۴۱): نمودار مدل تاثیر غلظت متفاوت در ارتفاع ثابت برای فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF ۱۲۴.....

- شکل(۴-۴۲): نمودار مدل دوز اصلاح شده تاثیر غلظت متفاوت در ارتفاع ثابت برای فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF ۱۲۵
- شکل(۴-۴۳): نمودار تغییرات غلظت بر زمان در pH های مختلف، غلظت ۱۰ mg/L و ارتفاع ۸ میلی متر فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF ۱۲۹.....
- شکل(۴-۴۴): نمودار مدل توماس تاثیر تغییر pH در غلظت و ارتفاع ثابت، فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF ۱۲۹.....
- شکل(۴-۴۵): نمودار مدل بوهارت-آدامز تاثیر تغییر pH در غلظت و ارتفاع ثابت، فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF ۱۲۹..
- شکل(۴-۴۶): نمودار مدل یون-نلسون تاثیر تغییر pH در غلظت و ارتفاع ثابت، فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF ۱۳۰....
- شکل(۴-۴۷): نمودار مدل تاثیر تغییر pH در غلظت و ارتفاع ثابت، فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF ۱۳۰.....
- شکل(۴-۴۸): نمودار مدل تاثیر تغییر pH در غلظت و ارتفاع ثابت، فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF ۱۳۱.....
- شکل(۴-۴۹): نمودار غلظت بر زمان در اثر تغییر فشار مایع ورودی در غلظت و ارتفاع ثابت فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF ۱۳۴.....
- شکل(۴-۵۰): نمودار مدل توماس بررسی تغییرات فشار در غلظت و ارتفاع ثابت، CS-Na CMC-PUF ۱۳۴.....
- شکل(۴-۵۱): نمودار مدل بوهارت-آدامز بررسی تغییرات فشار در غلظت و ارتفاع ثابت، CS-Na CMC-PUF ۱۳۵.....
- شکل(۴-۵۲): نمودار مدل یون-نلسون بررسی تغییرات فشار در غلظت و ارتفاع ثابت، CS-Na CMC-PUF ۱۳۵.....
- شکل(۴-۵۳): نمودار مدل وولبورسکا بررسی تغییرات فشار در غلظت و ارتفاع ثابت، CS-Na CMC-PUF ۱۳۶.....
- شکل(۴-۵۴): نمودار مدل دوز اصلاح شده بررسی تغییرات فشار در غلظت و ارتفاع ثابت، CS-Na CMC-PUF ۱۳۶.....
- شکل(۴-۵۵): نمودار غلظت زمان، بررسی تغییرات ژئولیت در جاذب CS-Na CMC-PUF ۱۳۹.....
- شکل(۴-۵۶): نمودار مدل توماس، بررسی تاثیر درصد مختلف ژئولیت موجود در CS-Na CMC-PUF، در ارتفاع و غلظت یکسان..... ۱۳۹.....
- شکل(۴-۵۷): نمودار مدل بوهارت-آدامز، بررسی تاثیر درصد مختلف ژئولیت موجود در CS-Na CMC-PUF، در ارتفاع و غلظت یکسان..... ۱۴۰.....
- شکل(۴-۵۸): نمودار مدل یون نلسون، بررسی تاثیر درصد مختلف ژئولیت موجود در CS-Na CMC-PUF، در ارتفاع و غلظت یکسان..... ۱۴۰.....
- شکل(۴-۵۹): نمودار مدل وولبورسکا، بررسی تاثیر درصد مختلف ژئولیت موجود در CS-Na CMC-PUF، در ارتفاع و غلظت یکسان..... ۱۴۱.....
- شکل(۴-۶۰): نمودار مدل دوز اصلاح شده، بررسی تاثیر درصد مختلف ژئولیت موجود در CS-Na CMC-PUF، در ارتفاع و غلظت یکسان..... ۱۴۱.....
- شکل(۴-۶۱): نمودار میله ای فرآیند احیاء جاذب CS-Na CMC-PUF طی هفت مرتبه ۱۴۴.....
- شکل(۴-۶۲): مقایسه نمودار غلظت بر زمان جذب متیلن بلو و متیل اورانژ در شرایط یکسان ۱۴۵.....
- شکل(۴-۶۳): تصاویر تست انتخاب گری ۱۴۷.....
- شکل(۴-۶۴): الف) جذب رنگ ها در حالت تک رنگ ۱۴۷.....

- شکل (۴-۶۴): ب) جذب رنگ متیل اورانژ از مخلوط باینری و تراینری ۱۴۷
- شکل (۴-۶۴): ج) جذب رنگ اریوکروم از مخلوط باینری و تراینری ۱۴۸
- شکل (۴-۶۴): د) جذب رنگ متیلن بلو از مخلوط باینری و تراینری ۱۴۸
- شکل (۴-۶۴): ح) مقایسه نمودار های جذب ۱۴۹
- شکل (۴-۶۵): نمودار پتانسیل زتا، ۱) نمودار سبز فوم پلی یورتان خالص ۲) نمودار صورتی فوم CS-NaCMC-PUF ۱۵۱

فهرست جدول ها

- جدول (۱-۲): ویژگی های خاص، کاربردها و سمیت رنگ های مختلف [۱۸]..... ۱۱
- جدول (۲-۲): دسته بندی فرایندهای غشایی بر اساس نیروی محرکه [۲۰]..... ۱۵
- جدول (۳-۲): اندازه اسمی حفره ها بر حسب میکرون [۲۰]..... ۱۶
- جدول (۱-۴): مشخصات BET Plot فوم پلی یورتان خالص..... ۹۸
- جدول (۲-۴): مشخصات BET Plot فوم پلی یورتان سنتز شده..... ۹۹
- جدول (۳-۴): جدول دمای تخریب TGA..... ۱۰۳
- جدول (۴-۴): نتایج نهایی جذب MB چهار فوم..... ۱۱۰
- جدول (۵-۴): جدول کالیبراسیون چهار فوم اولیه..... ۱۱۱
- جدول (۶-۴): مشخصات مدل توماس تاثیر ارتفاع در غلظت 10mg/L فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF..... ۱۲۰
- جدول (۷-۴): مشخصات بوهارت-آدامز تاثیر ارتفاع در غلظت 10mg/L فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF..... ۱۲۰
- جدول (۸-۴): مشخصات مدل یون نلسون تاثیر ارتفاع در غلظت 10mg/L فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF..... ۱۲۰
- جدول (۹-۴): مشخصات وولبورسکا تاثیر ارتفاع در غلظت 10mg/L فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF..... ۱۲۱
- جدول (۱۰-۴): مشخصات دوز اصلاح شده تاثیر ارتفاع در غلظت 10mg/L فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF..... ۱۲۱
- جدول (۱۱-۴): مشخصات مدل توماس در غلظت متفاوت، ارتفاع ثابت فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF..... ۱۲۵
- جدول (۱۲-۴): مشخصات مدل بوهارت-آدامز در غلظت متفاوت، ارتفاع ثابت فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF..... ۱۲۶
- جدول (۱۳-۴): مشخصات مدل یون نلسون در غلظت متفاوت، ارتفاع ثابت فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF..... ۱۲۶
- جدول (۱۴-۴): مشخصات مدل وولبورسکا در غلظت متفاوت، ارتفاع ثابت فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF..... ۱۲۷
- جدول (۱۵-۴): مشخصات مدل دوز اصلاح شده در غلظت متفاوت، ارتفاع ثابت فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF..... ۱۲۷
- جدول (۱۶-۴): مشخصات مدل توماس، تغییرات pH در غلظت و ارتفاع ثابت فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF..... ۱۳۱
- جدول (۱۷-۴): مشخصات مدل بوهارت-آدامز، تغییرات pH در غلظت و ارتفاع ثابت فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF..... ۱۳۱
- جدول (۱۸-۴): مشخصات مدل یون نلسون، تغییرات pH در غلظت و ارتفاع ثابت فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF..... ۱۳۲
- جدول (۱۹-۴): مشخصات مدل وولبورسکا، تغییرات pH در غلظت و ارتفاع ثابت فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF..... ۱۳۲
- جدول (۲۰-۴): مشخصات مدل دوز اصلاح شده، تغییرات pH در غلظت و ارتفاع ثابت فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF..... ۱۳۲
- جدول (۲۱-۴): مشخصات مدل توماس، بررسی تاثیر تغییر فشار در غلظت و ارتفاع ثابت فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF..... ۱۳۷
- جدول (۲۲-۴): مشخصات مدل بوهارت-آدامز، بررسی تاثیر تغییر فشار در غلظت و ارتفاع ثابت فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF..... ۱۳۷
- جدول (۲۳-۴): مشخصات مدل یون نلسون، بررسی تاثیر تغییر فشار در غلظت و ارتفاع ثابت فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF..... ۱۳۷
- جدول (۲۴-۴): مشخصات مدل وولبورسکا، بررسی تاثیر تغییر فشار در غلظت و ارتفاع ثابت فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF..... ۱۳۷

- جدول (۴-۲۵): مشخصات مدل دوز اصلاح شده، بررسی تاثیر تغییر فشار در غلظت و ارتفاع ثابت CS-Na CMC-PUF ۱۳۸۰۰
- جدول (۴-۲۶): مشخصات مدل توماس، در اثر تغییر درصد زئولیت موجود در فوم CS-Na CMC-PUF، در غلظت و ارتفاع یکسان..... ۱۴۲
- جدول (۴-۲۷): مشخصات مدل بوهارت-آدامز، در اثر تغییر درصد زئولیت موجود در فوم CS-Na CMC-PUF، در غلظت و ارتفاع یکسان..... ۱۴۲
- جدول (۴-۲۸): مشخصات مدل بوهارت آدامز، در اثر تغییر درصد زئولیت موجود در فوم CS-Na CMC-PUF، در غلظت و ارتفاع یکسان..... ۱۴۲
- جدول (۴-۲۹): مشخصات مدل وولبورسکا، در اثر تغییر درصد زئولیت موجود در فوم CS-Na CMC-PUF، در غلظت و ارتفاع یکسان..... ۱۴۳
- جدول (۴-۳۰): مشخصات مدل دوز اصلاح شده، در اثر تغییر درصد زئولیت موجود در فوم CS-Na CMC-PUF، در غلظت و ارتفاع یکسان..... ۱۴۳
- جدول (۴-۳۱): جدول مقایسه داده های جذب متیل اورانژ متیلن بلو..... ۱۴۵

فصل اول

معرفی پروژه

(۱) مقدمه

زندگی تمامی موجودات زنده مانند، انسان ها، جانوران و گیاهان بطور مستقیم به آب وابسته است. آب نه تنها برای مصارف آشامیدن و کارهای روزمره کاربرد دارد بلکه برای حل مشکلات صنایع و کاربردهای کشاورزی نقش اصلی و عمده را دارد. انسان می تواند بدون غذا چندروزی زنده بماند ولی بدون آب به زودی زندگی خود را از دست می دهد. [۱] آب یکی از اساسی ترین عناصر زیست است، آلودگی آب نه تنها زندگی انسان ها را دچار اختلال می کند بلکه باعث وارد شدن صدمات بسیار جدی به طبیعت و محیط زیست سایر جانداران می شود. آلودگی آب می تواند در انسان ها سبب پیدایش بسیار از بیماری های پوستی نظیر اگزما و حساسیت های شدید و بیماری های به مراتب خطرناک تر با عامل های ویروسی و باکتریایی و قارچی ایجاد بیماری های خود ایمنی خطرناک نظیر انواع سرطان شود و سبب بدنیا آمدن کودکانی با شرایط خاص یا دارای نقص ها و اختلالی های مختلف بدو تولد بشود مانند تولد کودکان اوتیسمی یا دارای بیماری ایبی. [۲]

(۲) آلودگی چیست؟

وجود هرگونه ذره یا ماده خارجی که سبب تغییر در رنگ و بو و مزه و شفافیت آب شود و اکسیژن آن را کاهش دهد آلودگی نام دارد آلودگی آب نام دارد. [۳]

۳) تصفیه آب

تصفیه آب یکی از مهم ترین و اساسی ترین اصول هر کشور می باشد و وظیفه سازمانهای مختلفی از جمله شهرداری ها می باشد، روشهای مختلفی نیز برای تصفیه آب وجود دارد. وجود آب پاکیزه و تصفیه آب از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است زیرا نه تنها برای زندگی ادامه موجودات و انسان ها بلکه برای بکار افتادن صنایع بسیار پر اهمیت می باشد. شایان ذکر می باشد که تصفیه پساب های صنعتی مسائل بسیار پیچیده و پر زحمتی را مقابل شیمی دانان و مهندسان شیمی قرار داده است. [۴]

ولی چند اصل کلی را می توان مشاهده کرد:

افزایش استفاده مجدد از پساب ها، کنترل آلودگی و در صورت امکان بازیابی محصولات جانبی در همان ابتدای کار به منظور کاهش در هزینه رهاکردن پسابها بصورت تالاب به منظور به حداقل رساندن میزان آلودگی و یا صرفه جویی در هزینه های خنثی ساز پساب ها [۴]. روش های متفاوتی برای تصفیه آب و پساب وجود دارد که برخی از آنها بسیار پر هزینه بوده و صرفه اقتصادی و زمانی ندارد. از مراحل اولیه تصفیه پساب می توان حذف ذرات معلق را نام برد که طی فرآیندهای جداسازی انجام می شود:

- ته نشینی یا شناور سازی
- فیلتراسیون
- انعقاد و لخته سازی [۵]

فرایندهای غشایی و جذب کاربرد های فراوانی در صنعت تصفیه آب و پساب دارند ولی موضوع اصلی این تحقیق حذف رنگ از جریان پساب صنایع به ویژه صنایع نساجی توسط فرایند غشایی و ساخت یک جاذب ویژه که قابلیت جذب مناسبی برای جذب رنگ حذف آن از جریان پساب داشته باشد. فیلتراسیون غشایی از مهم ترین و جدیدترین روشهای تصفیه آب و پساب می باشد که صرفه اقتصادی نیز دارد این روش یک روش جداسازی مهم می باشد که برای حذف مواد جامد و نامحلول و محلول های مختلف از آب و پساب استفاده می شود. در فصل های بعدی به توضیح برخی از آنها پرداخته می شود. [۶]

(۴) تعریف مساله

رنگهای مصنوعی کاربرد ویژه و گسترده ای در رنگ آمیزی صنایع پارچه ، صنایع کاغذ ، صنایع چرم و صنایع آرایشی دارند آن هم به دلیل ثبات و پایداری ، دوام ، استفاده آسان ، کم هزینه و با قابلیت استفاده مجدد می باشد. سالانه حدود ۷۰۰۰۰۰ تن رنگ مصنوعی تولید شده و حدود دو سوم آن در صنایع نساجی مصرف می شود. سالیانه نزدیک به ۲۸۰۰۰۰ تن پساب صنایع نساجی در جهان منتشر می شود که ۶۰٪ تا ۷۰٪ آنها رنگهای آزو می باشد که تخمین زده شده ۱۵٪ این رنگها بصورت تصفیه نشده به محیط زیست یا آبهای جاری تخلیه می شد که مشکلات زیست محیطی بسیاری را به دنبال داشت. تخلیه رنگها بدون تصفیه و خنثی شدن باعث ایجاد خطر در زندگی آبزیان، حیوانات و حتی انسان ها می شود بسیار خطرناک است، این رنگها سمی هستند و سرطان زا و نسبت به نور پایداری شیمیایی و مقاومت از خود نشان می دهند و تحت تاثیر دما و واکنش های اکسایش-کاهش قرار نمی گیرند و ثابت می مانند که این از نظر زیست محیطی خوب نیست پس باید این مواد بصورت تصفیه شده به محیط تخلیه شود که اثرات سو آنها خنثی شود. اثرات زیست محیطی این آلایندها: کاهش نفوذ نور خورشید به درون آب ، افزایش تقاضای شیمیایی و اکسیژن بیو شیمیایی به دلیل ساختار های معطر و حلقوی این آلایندها می باشد. روش های فراوانی برای تصفیه پساب وجود دارد که جهت انجام آن ها زمان و هزینه زیادی صرف می شود. یکی از مواردی که می تواند به عنوان فیلتر غشایی در صنعت تصفیه پساب رنگ مورد استفاده قرار بگیرد فیلتر هایی از جنس پلی یورتان هستند یا در ساخت آنها از پلی یورتان استفاده شده است [۷, ۸]. پلی یورتان ها بیشتر به شکل فوم وجود دارند و کاربرد های متفاوتی نیز دارند در صنایع مختلفی از جمله از صنعت مبلمان و ساختمان گرفته تا مورد استفاده هستند. باتوجه به سایر موادی که همین استفاده را دارند هم ارزان قیمت تر هستند و هم سهولت در جابه جایی، طول عمر و مقاومت فیزیکی و شیمیایی بیشتری هم نیز دارند. گذشته از آن در فرایند تصفیه آب و پساب نیز ظهور جدیدی در صنعت فیلتراسیون به عنوان جاذب و پایه نگه دارنده جاذب داشته اند و جاذب نسبتا خوبی برای مواد رنگی همچون متیلن بلو و ... بوده است. کیتوسان [۷] و کربوکسی متیل سلولز [۹] و ژئولیت ها (ZSM5) [۱۰] موادی هستند که استفاده های فراوانی

در صنایع مختلف دارند و در گذشته از هر کدام به طور جداگانه برای حذف رنگها و سایر عناصر موجود در آب و پساب مانند فلزات سنگین همچون سرب در صنعت تصفیه آب هم بصورت پودری و هم بصورت ژل های های ترکیب شده و ریخته شده روی بستر پلی یورتان استفاده می شدند. [۱۱, ۱۲] در این پروژه شیوه تهیه یک نوع غشا که در ساختار آن مواد ذکر شده در بالا وجود دارد و عملکرد آن جهت حذف یا کاهش آلودگی پساب صنایع رنگی به ویژه متیلن بلو بیان شده است. بیشینه این تحقیق و عملیات توسط دانشمندان دانشگاه هونان چین، دانشمندان دانشگاه تورینو ایتالیا، دانشگاه لیل و انجمن مهندسی فرانسه و دانشگاه سوچو چین بدست آمده، که در زمینه تهیه جاذبی از جنس پلی یورتان اصلاح شده توسط مخلوط کیتوسان و هیومیک اسید، زیرکونیوم ها و چهارچوب های آلی فلزی جهت حذف رنگ متیلن بلو و سایر محلول های رنگی از جریان آب، و ترکیب ژل کیتوسان و کربوکسی متیل سلولز و گلوکارآلدهید جهت ساخت میکروکپسول و ترمیم کننده ی بافت استخوانی، فعالیت کرده اند [۱۳-۱۵]. اما ایده و روش تهیه فوم جدید جهت حذف رنگ از سیستم تکی، دودویی و سه تایی با استناد به همین سه تحقیق شکل گرفته است و جنبه جدید این فرآیند این است که بجای هیومیک اسید از گلوکارآلدهید جهت برقراری اتصال یا پیوند عرضی بین مولکول ها، و بجای زیرکونیوم (چهارچوب آلی فلزی) از کربوکسی میتل سلولز استفاده شده است و جهت افزایش ظرفیت جذب جاذب زئولیت ZSM 5 به آن اضافه شده است، کیتوسان و فوم پلی یورتان هم نیز از اجزاء اصلی و بستر نگهدارنده ی این جاذب هستند.

۵) اهداف تحقیق

این تحقیق بر اساس سنتز جاذبی با ویژگی جذب بالا جهت حذف آلاینده های رنگی با خواص مختلف از جریان پساب انجام شده است، که جاذب پلی یورتان اصلاح شده توسط کربوکسی متیل سلولز و کیتوسان جاذب مناسبی بوده که از سطح ویژه ی جذب نسبتا بالایی برخوردار است. عملکرد این فرایند توسط فرایند جذب سطحی قابل توضیح و اجرا می باشد.

از اهداف کلی این پروژه می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- ترکیب ژل کیتوسان و کربوکسی متیل سلولز و زئولیت ZSM5 و اضافه کردن گلووتارالدهید به این مخلوط و غوطه ور سازی فوم پلی یورتان درون ترکیب جهت ساخت غشایی با کارایی بالاتر.
- انجام آنالیزهای TGA, BET, XRD, FTIR, FESM به منظور تایید ساختار و سنتز صحیح
- استفاده از فوم تهیه شده برای حذف و یا کاهش غلظت رنگ متیلن بلو از روش جذب سطحی پیوسته
- بررسی فرایند احیا جاذب (احیا جاذب توسط آب)
- بررسی سینیتیک جذب پیوسته توسط مدل های Thomas , Bohart-Zdams , Yoon nelson , Wolborska , MDRM ,

۶) دستاورد های تحقیق

- ترکیب ژل کیتوسان حل شده در استیک اسید ۱٪ و با سدیم کربوکسی متیل سلولز حل شده در آب به نسبت مساوی و مخلوط کردن با ۲۰/۰٪ (۲ گرم در ۵۰۰ میلی لیتر) زئولیت جهت افزایش میزان ظرفیت جذب جاذب(نوآوری) و غوطه ور سازی کامل فوم پلی یورتان جهت ساخت غشایی مناسب.
- بررسی شرایط مختلف اعم از تاثیر ارتفاع (ضخامت جاذب)، افزایش شدت جریان رنگ عبوری از جاذب، تاثیر غلظت رنگ عبوری از جاذب جهت تست توانایی جذب متیلن بلو در غشای ساخته شده.
- بررسی تاثیر غلظت زئولیت بکار رفته در ساخت غشا.
- جاذب مورد توانایی خیلی خوبی در جذب متیلن بلو را از خود نشان داد.

۷) ساختار پایان نامه

این پایان شامل پنج فصل است که هر کدام بیان گر موضوعاتی پیوسته و مرتبط به هم هستند بدین صورت که:

← در فصل یک کلیاتی به صورت مختصر از روند انجام پروسه و هدف از انجام این فرایند و دستاورد های آن بیان شده است.

← فصل دوم به بیان مفصل تعاریف کوتاه شده فصل اول و بیشینه ادبیات تحقیق اعم از انواع آلایندها و شیوه ی حذف آنها و توضیحی اجمالی در مورد رنگها و کاربرد و تاثیرات آنها بر محیط زیست، توضیح فرایند غشایی و جذب سطحی و توضیح مدل های فرایند جذب بکار رفته می پردازد.

← فصل سوم بیان گر دستور کار، مواد، وسایل و تجهیزات بکار گرفته شده در قسمت عملی پروژه می باشد.

← فصل چهارم فصل تجزیه و تحلیل داده های بدست آمده از انجام آزمایشات درون آزمایشگاه و مدل های بکار گرفته شده و تست های تخصصی انجام شده (مانند پراش پرتو X) می باشد.

← فصل پنجم نماینگر نتیجه گیری های بدست آمده از انجام پروژه و بیان پیشنهادات در زمینه تحقیق انجام شده می باشد.

به طور کلی منابع آلودگی آب را به دو دسته منابع آلودگی نقطه ای^۱ و منابع آلودگی غیر نقطه ای^۲ تقسیم می شوند. منابعی که از یک نقطه مشخص وارد جریان آب می شوند منابع آلودگی نقطه ای و منابعی که محل ورود نامشخص داشته باشند منابع آلودگی غیر نقطه ای نامیده می شوند [۱۶].

۲-۱) آلاینده

هر نوع مواد یا عوامل فیزیکی و شیمیایی و زیستی می باشد که باعث آلودگی آب گردیده یا به آلودگی آن بیافزاید [۳].

۳-۱) انواع آلاینده های آب

چندین نوع آلاینده در آلودگی آب نقش دارند که عبارتند از:

← آلودگی ناشی از پساب حاوی عوامل بیماری زا زنده و مواد تجزیه نشده [۱۷]

← آلودگی ناشی از مواد رادیو اکتیو

← آلاینده های آلی [۱۶]

← آلودگی ناشی از آفت کش ها و علف کش ها

← آلودگی ناشی از دفع فاضلاب (شهری و صنعتی) و کود های شیمیایی [۳]

در ادامه به توضیح برخی انواع آلاینده ها پرداخته می شود:

۴-۱) آلودگی در اثر آلاینده های آلی

یکی از بزرگترین گروه آلاینده های محیط زیست هستند که با تخلیه به آب های سطحی و روان و نیز اکوسیستم های آبی، تاثیرات ناهنجار بسیاری را بر روی زیست بوم های آبی (آب، رسوبات، آبزیان) بجای می گذارد و در اثر نور و حرارت هم تجزیه نمی شوند [۳].

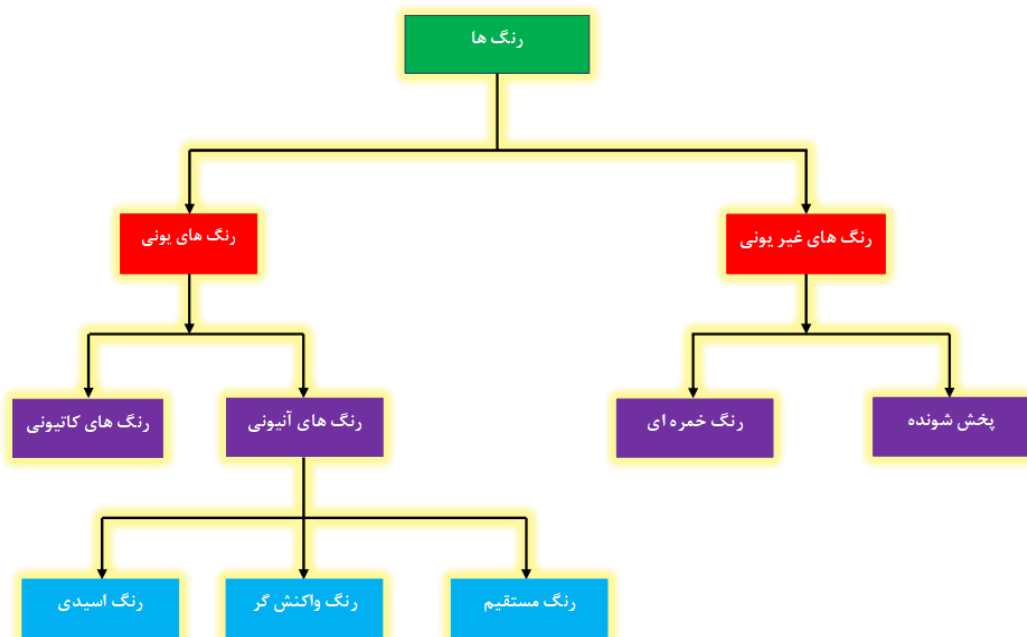
1) Point-Source Pollution
2) Nonpoint-Source Pollution

۵-۱) آلاینده های عالی پایدار

ترکیباتی دارای خاصیت های سمی و پایدار و تجمعی در بافت های بدن موجودات زنده و با خاصیت ذخیره و انتقال در دراز مدت هستند. این آلاینده ها در آب دارای حلالیت کم و در چربی دارای حلالیت زیادی هستند پس بدین صورت باعث ایجاد اثرات زیانبار بر محیط زیست و سلامت موجودات زنده به ویژه انسان ها در محیط های دور و نزدیک هستند. روش های تصفیه این مواد آسان نمی باشد زیرا اکثریت فرار هستند و پراکندگی آن ها در طبیعت (مانند رنگ ها) مشکلات زیادی را به بار خواهد آورد روش های مختلفی برای تصفیه آنها وجود دارد که برخی پر هزینه و برخی دارای صرفه اقتصادی هستند [۱۶].

۶-۱) رنگ ها

رنگ ها در هر دو دسته مواد معدنی و آلی قرار می گیرند. کاربرد های بسیار زیادی در صنایع مختلف پزشکی و شیمیایی من جمله لوازم آرایشی، چرم، پلاستیک، مواد غذایی، نساجی و سایر صنایع مختلف دارند. هر کدام دارای ساختار و بار الکتریکی و پایداری متفاوتی می باشد. رنگ های آلی و آزو و آروماتیک سمی هستند که اگر این مواد رنگی بصورت تصفیه نشده به همراه جریان پساب صنایع مختلف به ویژه صنایع نساجی وارد جریان آب رودخانه ها و دریاها و... شود اثرات جبران ناپذیری را به همراه دارد و باعث اختلال در عملکرد اکوسیستم طبیعت و زندگی انسان ها و جانوران و آبزیان می شود. در شکل و جدول زیر دسته بندی رنگ ها و بار الکتریکی آن ها و برخی خواص شان بیان شده است [۱۴].



شکل (۲-۲): طبقه بندی رنگ ها بر اساس بار الکتریکی [۱۸]

جدول (۱-۲): ویژگی های خاص، کاربردها و سمیت رنگ های مختلف [۱۸]

رنگ ها	نمونه ها	ویژگی ها	کاربرد	سمیت
اسیدی	قرمز اسیدی ۱۸۳، نارنجی اسیدی ۱۰، نارنجی اسیدی ۱۲، نارنجی اسیدی ۸، قرمز اسیدی ۷۳، قرمز اسیدی ۱۸، زرد نارنجی، سبز اسیدی ۲۷، متیل اورانژ، آمیدو بلک ۱۰، ایندیگو کرمین	محلول در آب، آنیونی	نایلون، پشم، ابریشم، کاغذ، چرم، چاپ جوهرافشان	سرطانزا (تومورهای خوشخیم و بدخیم)
کاتیونی	متیلن بلو، سبز ژانوس، سبز بازی ۵، ۶ بنفش بازی ۱۰، رودامین ۶جی، کریستال	محلول در آب، کاتیون های رنگی در آب آزاد می کند، برخی از این رنگ ها فعالیت های	کاغذ، پلی اکریلونیتریل، نایلون های تصحیح شده، در پزشکی به عنوان	سرطانزا (تومورهای خوشخیم و بدخیم)

	ضد عفونی کننده استفاده می شود.	زیستی از خود نشان می دهند.	بنفش [۱۹]، سبز مالاچیت [۱۹]	
حساسیت زا (پوست) سرطانزا	پلی استر، نایلون، سلولز، سلولز استات، الیاف اکریلیک	نامحلول در آب، غیر یونی، برای پخش آبی آبگریز	نارنجی پخش شونده ۳ ،قرمز پخش شونده، قرمز پخش شونده ۱ ،زرد پخش شونده ۱	پخش شونده
سرطان متانه	نخ، سلولز احیا شده، کاغذ، چرم	محلول در آب، آنیونی، سرعت شستشو را از طریق تشکیل کیلات با نمک های فلزی بهبود می بخشند.	قرمز کنگو، قرمز مستقیم ۲۳، نارنجی مستقیم ۳۹، آبی مستقیم ۸۶	مستقیم
درماتیت، ورم ملتحمه حساسیتی چشم، آسم شغلی	نخ، پشم، نایلون، چاپ جوهرافشان منسوجات	سرعت شستشوی بسیار بالا به دلیل تشکیل پیوند کووالانسی با الیاف، از رنگ های مستقیم، روشن ترند.	سیاه واکنش گر ۵، سبز واکنش گر ۱۹، آبی واکنش گر ۴، قرمز واکنش گر ۱۹۵، آبی واکنش گر ۱۹، قرمز واکنش گر ۱۲۰	واکنش گر
-	الیاف سلولزی	پس از کاهش آن ها در یک حمام قلبایی) (NaOH) از نمک های بیرنگ محلول استفاده شود.	آبی خمیره ای ۴، سبز خمیره ای ۱۱، نارنجی خمیره ای ۲۸، زرد خمیره ای ۲	خمیره ای

۲) تصفیه پساب

اهداف کلی از تصفیه پساب عبارتند از:

- ← از بین بردن عوامل بیماری زا و ناسازگار با محیط زیست
- ← حذف مواد آلی قابل تجزیه میکرو اورگانسیم ها، البته با توجه به این نکته که نوع آلاینده عامل اصلی باشد.
- ← حذف مواد معلق و شناور
- ← کاهش کدورت و رنگ آب
- ← از مراحل اولیه تصفیه پساب حذف ذرات معلق از جریان آب به روش های حذف ذرات معلق توسط صافی ها، ته نشینی، فیلتراسیون، انعقاد و لخته گذاری می باشد [۵].

۱-۲) پساب شهری

منظور از فاضلاب شهری و صنعتی مجموعه فاضلاب های بهداشتی، اداری، موسسات مختلف شهری و نیز آبهای سطحی مانند آب باران که برای حفظ بهداشت عمومی و محیط زیست جمع آوری می شود زیرا پساب های شهری و صنایع حاوی مواد آلوده و سمی می باشد، مراحل تصفیه پساب شهری شامل سه مرحله تصفیه اولیه، تصفیه ثانویه و تصفیه پیشرفته می باشد.

۲-۲) پساب صنعتی

از آنجایی که دبی، حجم، مقدار و مواد موجود در پساب صنعتی غیر قابل پیش بینی بوده و با پساب شهری متفاوت و است و تصفیه پساب آن نیازمند هزینه اضافی و گران تر از پساب شهری می باشد پس تدابیر ابتدایی در تصفیه پساب صنعتی به چهار صورت کم کردن حجم پساب، کاهش غلظت آلاینده ها، یکنواخت سازی، پساب خنثی سازی می باشد.

۳-۲) تفاوت پساب شهری و پساب صنعتی

مهم ترین تفاوت ها عبارتند از:

الف) چه از نظر ویژگی کمی و چه از نظر ویژگی کیفی پساب شهری قابل پیش بینی می باشد و جریان آن مداوم می باشد. اما در پساب صنعتی هر فرایند می تواند با فرایند دیگر متفاوت باشد به علاوه دبی در فرایند های صنعتی کمتر قابل پیش بینی می باشد.

ب) پساب شهری معمولاً حاوی میکرواورگانیزم ها و هم مواد مغذی لازم برای رشد میکرواورگانیزم ها می باشد. استفاده از میکرواورگانیزم ها ارزان ترین روش جهت تصفیه پساب می باشد، از این روش می توان جهت کاهش مواد آلی در جریان پساب استفاده کرد. اما پساب صنعتی حاوی موادی است که باعث از بین رفتن میکرواورگانیزم ها می شود در ضمن بسیاری مواد آلی موجود پساب صنعتی قابل تجزیه توسط باکتری ها نمی باشد.

ث) با توجه به تفاوت های چشم گیر پساب شهری و صنعتی ورود پساب صنعتی به جریان تصفیه پساب تصفیه خانه ها نیازمند انجام فرایند تصفیه مقدماتی بر روی پساب می باشد تا باعث ایجاد اختلال در کار تصفیه خانه ها نشود [۵].

۳) غشا

لایه ای نازک در حد میکرومتر که می تواند اجزاء یک سیال را به صورت انتخابی و به دو روش نفوذ پذیری^۱ یا تراوش، گزینش پذیری^۲ جداسازی کند [۲۰].

۳-۱) فرایند غشائی

در طول ۲۰ سال اخیر فرایند های غشائی نسبت به سایر روش ها متداول جداسازی از قبیل تقطیر، جذب، دفع، استخراج و تصفیه آب پیشرفت وسیعی داشته اند. کارایی با بازده بیشتری نیز نسبت به سایر فرایند ها دارند [۶، ۲۱]. فرایند های غشائی براساس نیروی محرکه بکار برده در سیستم به انواع مختلفی دسته بندی

1) Permeability
2) Selectivity

می شوند در جدول (۲-۲) دسته بندی فرایند غشایی براساس نیروی محرکه مورد استفاده در فرایند را نشان می دهد. البته مکانیزم جداسازی واقعی می تواند بر اساس اندازه ذرات صورت بگیرد.

جدول (۲-۲): دسته بندی فرایندهای غشایی بر اساس نیروی محرکه [۲۰]

فرآیند غشایی	نیروی محرکه	خوراک	محصول
میکرو فیلتراسیون (MF)	اختلاف فشار	مایع	مایع
اولترافیلتراسیون (UF)	اختلاف فشار	مایع	مایع
نانوفیلتراسیون (NF)	اختلاف فشار	مایع	مایع
اسمز معکوس (RO)	اختلاف فشار	مایع	مایع
جداسازی گاز (GS)	اختلاف فشار	گاز	گاز
تبخیر غشایی (PV)	اختلاف فشار	مایع	گاز
دیالیز (D)	اختلاف غلظت	مایع	مایع
الکترو دیالیز (ED)	اختلاف بار الکتریکی	مایع	مایع

فرآیندهایی که نیروی محرکه ی آنها اختلاف فشار است، برای جداسازی ذرات معلق و نامحلول با اندازه های مختلف بکار برده می شود. این فرایندها به ترتیب بر اساس کوچک بودن اندازه حفره اسمز معکوس (RO)، نانو فیلتراسیون (NF)، اولترافیلتراسیون (UF) و میکروفیلتراسیون (MF) نامیده می شوند [۲۰].

۲-۳ جنس غشاءها

غشاءها از مواد آلی و غیر آلی مختلفی ساخته می شوند ولی به طور کلی از لحاظ ساختار می توان به چهار دسته ی غشای پلیمری، غشای سرامیکی، غشای فلزی، غشای مایع تقسیم کرد. اغلب غشاء های مورد استفاده در صنعت از جنس پلیمری هستند. خواص یک غشاء به جنس و ساختمان غشاء بستگی دارد توسط همین دو عامل کنترل می شود. اما غشاء ی مورد استفاده صنایع باید خصوصیات زیر را داشته باشد [۲۰]:

◀ فلاکس بالا

- ◀ انتخاب گری و پس دهی بالا
- ◀ پایداری مکانیکی
- ◀ مقاومت در برابر گرفتگی
- ◀ مقاومت در گستره دمایی بالا
- ◀ هزینه تمام شده پایین
- ◀ مدوله کردن آسان (شکل پذیری آسان)

در فرایند دیالیز و میکروفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون از غشاء های متخلخل استفاده می شود در حالیکه در فرایندها اسمز معکوس، تبخیر غشایی، جداسازی گاز و نانو فیلتراسیون غشاءهایی با لایه متراکم و انتخاب گر مناسب می باشد. در جدول (۲-۳) اندازه حفره غشاء های مختلف بیان شده است. البته چون هنوز هیچ حفره ای در اسمز معکوس و نانو فیلتراسیون توسط میکروسکوپ الکترونی مشخص نشده است ولی با این وجود آب از درون این حفره ها عبور و نمک ها پس زده می شوند اندازه حفره آن به صورت تقریبی بیان شده است. ولی با این وجود می توان کارایی این دو غشاء را در خیلی از کاربرد ها پیش بینی کرد.

جدول (۲-۳): اندازه اسمی حفره ها بر حسب میکرون [۲۰]

۵ تا ۰.۱	میکرو فیلتراسیون
۰.۱ تا ۰.۰۱	اولترا فیلتراسیون
۰.۰۰۱ (تئوری)	اسمز معکوس و نانو فیلتراسیون

۳-۳) طراحی یک سیستم فیلتراسیون غشائی

انتخاب نوع طرح سیستم برای یک فیلتراسیون غشائی مشخص آسان است، اما فراهم کردن جزئیات و اسناد مربوط به طرح سیستم، کار فراگیر و جامعی است. قواعد و راههای اقتصادی وجود دارند که در تخمین

هزینه اولیه کمک شایانی می کنند و معمولا برای تعیین اینکه پروژه فیلتراسیون غشائی از لحاظ اقتصادی به صرفه هست یا خیر کفایت می کنند. برای طرح کردن یک سیستم غشائی اطلاعات زیر ضروری است [۲۰]:

حجمی که باید تصفیه گردد، برای مثال لیتر در هر ساعت بیان شود.

نسبت غلظت یا حجم خروجی (معمولا ۷۵-۹۵ درصد حجم خوراک)

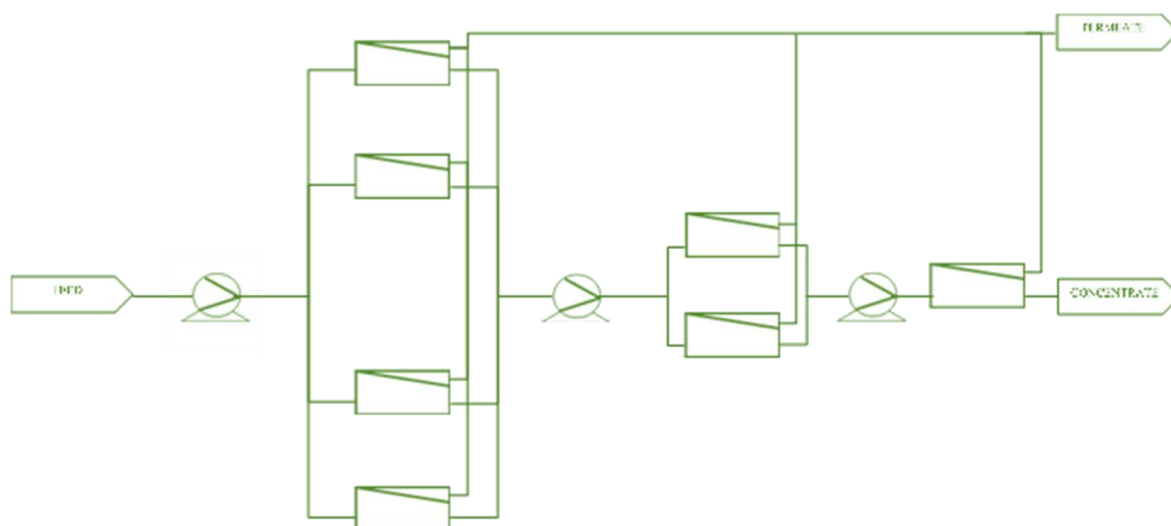
شار خروجی مورد انتظار، برای مثال به صورت لیتر در هر ساعت بیان شود.

اگر اطلاعات مربوط به شار در دسترس نباشد باید تخمین و فرضی از شار وجود داشته باشد. اگر از قواعد زیر استفاده شود تعیین حدس مناسب برای شار کار چندان مشکلی نخواهد بود.

دو نوع طراحی در سیستم های فیلتراسیون غشائی وجود دارد که عبارتند از:

۳-۳-۱) طرح چند راهه!

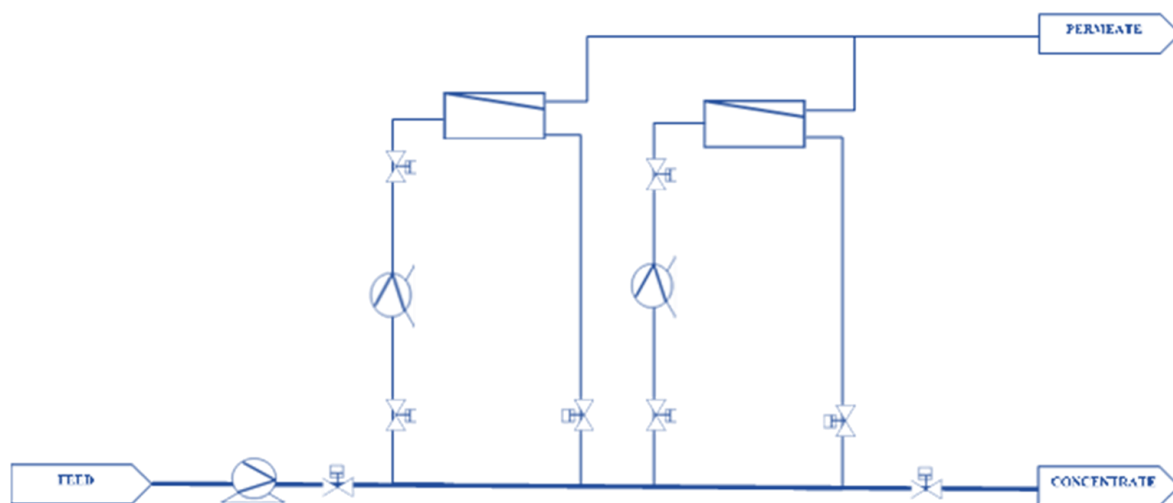
که معمولا در سیستم های نمک زدایی از آب مورد استفاده قرار می گیرد.



شکل (۳-۲): طرح چند راهه (تک گذر) [۲۰]

۳-۳-۲) طرح چرخشی چند مرحله ای:

که برای سیستم های موجود در صنایع دارویی، شیمیایی و غذایی بکار می رود.



شکل (۲-۴): طرح چرخشی چند مرحله ای [۲۰]

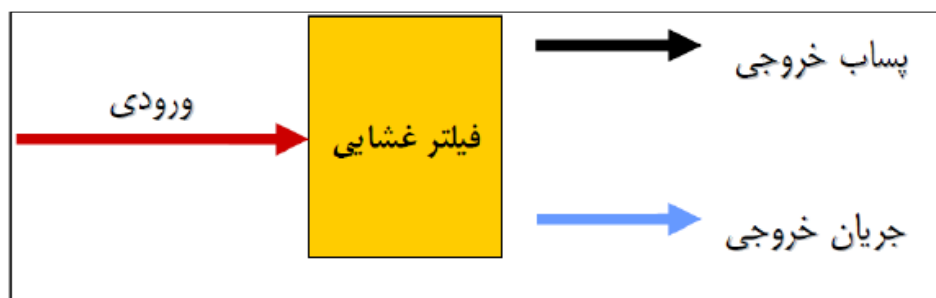
طرح چرخشی چند مرحله ای در هر شرایطی به خوبی کار می کند. اما طرح چند راهه فقط برای کاربرد هایی مناسب است که شار غشاء در مدت زمان طولانی ثابت است. در هنگام انتخاب طرح سیستم مناسب برای کاربرد مورد نظر قواعد ساده ای وجود دارند که باید در نظر گرفته شوند:

طرح چند راهه برای سیستم های اسمز معکوس و نانو فیلتراسیون بکار می رود. این طرح به ندرت برای سیستم های اولترافیلتراسیون و میکروفیلتراسیون مورد استفاده قرار می گیرد بخاطر اینکه شار و فشار متناسب نیستند و افت فشار در سیستم خیلی بالاست. با آزمایش نشان داده شده است که استفاده از سیستمی با طرح چند مرحله ای برای کاربرد در صنایع لبنی عملکرد بسیار بهتری نسبت به سیستم چند راهه دارد. در صنایع دارویی نیز بهتر است از سیستمی با طرح چند مرحله ای استفاده شود. برای استفاده در سیستم های بچ^۱ یا ناپیوسته (سیستم های بچ برای کاربرد های صنعتی نباید بکار روند) یا برای کاربرد های با حجم پائین بهتر است از سیستم هایی با طرح چند راهه استفاده کرد [۲۰].

۳-۴) کاربرد فرایند غشائی در تصفیه آب

1) Batch

صنایع نساجی و رنگرزی دسته ای از همان صنایع می باشد که یکی از بزرگترین مصرف کنندگان آب می باشند. در این صنایع به علت توع روش تولید، پساب های مختلفی از نظر کیفیت شیمیایی و کمیت تفاوت زیادی با هم دارند و معمولاً سمی بوده دارای مقاومت نسبت به تجزیه بیولوژیکی و پایدار در محیط زیست هستند. واحد های غشائی در واقع فیلترهایی هستند که فرآیند حذف مواد آلاینده در آنها بر اساس صاف شدن مکانیکی و یا جذب الکترواستاتیکی صورت می پذیرد. به عبارت دیگر در عبور آب از این صافی ها مواد معلق و یون های محلول با قطر بزرگتر از قطر منافذ غشاء امکان عبور از آن را نیافته و آب عبوری عاری از این مواد می باشد. اصول کار فیلتر های غشائی به گونه ای است که با عبور جریان از آن ها بخشی از جریان از میان آن عبور می نماید (جریان تصفیه شده) و بخش دیگری از جریان نمی تواند عبور کند و پس زده می شود (جریان پساب) فیلترهای غشائی دارای امتیاز حذف بسیاری از آلاینده ها از جمله باکتری ها، املاح و فلزات و رنگ سنگین از آب می باشند [۶].



شکل (۲-۵): نمودار جریان در فیلتراسیون غشائی [۶]

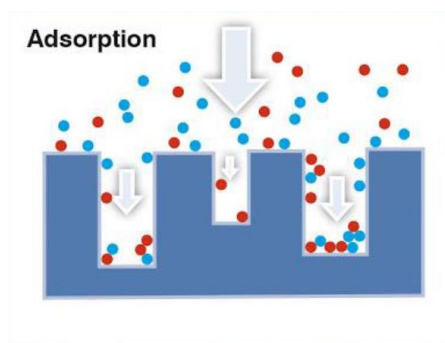
۴ جذب

۴-۱ تعاریف جذب سطحی

۱- در عملیات جذب سطحی انتقال یک جزء از فاز گاز یا مایع به سطح جامد صورت می گیرد. از کاربردهای این فرآیند می توان به رنگبری شربت قند و تصفیه روغن های صنعتی یا خوراکی و حذف مواد آلاینده از هوا یا مخلوط های گازی دیگر اشاره کرد. واژه جذب سطحی برای تشریح این حقیقت به کار می رود که غلظت مولکول های جذب شده در سطح جامد بیشتر از فاز گاز یا محلول است. جذب روی یک

سطح جامد به علت نیروی جاذبه اتم ها یا مولکول ها در سطح آن جامد است. در عمل جذب سطحی نیروهای مختلفی اعم از فیزیکی یا شیمیایی موثرند و مقدار آن بستگی به طبیعت ماده جذب شونده و جسم جاذب دارد و به این دلیل می توان مثلاً ماده ای را که در یک مخلوط وجود دارد را جدا نمود [۲۲, ۲۱].

۲- وقتی یک ماده از یک فاز، به صورت انتخابی روی سطح یک ماده دیگر (مایع یا جامد) به دام بیافتد، جذب سطحی (Adsorption) اتفاق می افتد. به ماده اول جذب شونده یا Absorbed و ماده دوم که دارای سطح فعال است جاذب یا Adsorbent گفته می شود. از جمله مهم ترین و پرکاربرد ترین جاذب ها می توان سیلیکاژل، غربال مولکولی، آلومینا و... را نام برد. فرآیند های جذب همگی گرماده هستند بنابراین به لحاظ ترمودینامیکی دمای پایین و فشار بالا برای آن ها مساعد است [۲۳, ۲۱].



شکل (۲-۶): شماتیک فرآیند جذب [۲۲]

۳- بر هم کنش بین جاذب و جذب شونده شامل نیروهای بین مولکولی ناشی از دوقطبی پایدار، اثرات الکتروستاتیکی دوقطبی و چهارقطبی القاء شده و یا نیروهای وان در والس می باشد. تجمع ترجیحی مولکول ها در نزدیک سطح به دلیل غیر اشباع بودن نیروهای سطحی جاذب جامد می باشد. نیروهای دافعه و جاذبه بین جاذب و جذب شونده در هنگام جذب به تعادل خواهند رسید. تا کنون مدل های ریاضیاتی گوناگونی به منظور بررسی فرایند جذب سطحی مورد استفاده قرار گرفته است که در ادامه در مورد ایزوترم های جذب سطحی پیوسته توضیح داده شده است [۲۲, ۲۱].

دو مکانیزم اصلی برای جذب سطحی وجود دارد:

جذب فیزیکی

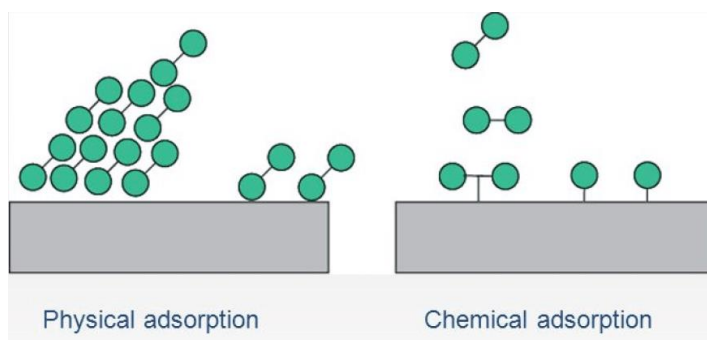
جذب شیمیایی (جذب سطحی فعال شده)

۴-۲) اختلاف جذب فیزیکی و شیمیایی

چند اختلاف بین جذب سطحی شیمیایی و فیزیکی وجود دارد که عبارتند از:

- ◀ در جذب سطحی فیزیکی نیروهای ضعیف واندروالس باعث جذب می شوند ولی در جذب شیمیایی پیوندهای شیمیایی موجب انجام عمل جذب می شوند.
- ◀ آنتالپی جذب سطحی فیزیکی کمتر از آنتالپی جذب سطحی شیمیایی است.
- ◀ جذب سطحی فیزیکی در پائین تر از نقطه جوش جذب شونده اتفاق می افتد ولی در جذب سطحی شیمیایی جذب در دماهای بالاتر نیز می تواند اتفاق بیافتد [۲۱، ۲۲].
- ◀ در جذب سطحی فیزیکی با افزایش فشار جسم جذب شونده مقدار جذب در واحد سطح افزایش می یابد ولی در جذب سطحی شیمیایی با افزایش فشار جسم جذب شونده مقدار جذب در واحد سطح کاهش می یابد.
- ◀ در جذب سطحی فیزیکی میزان جذب از خصوصیات جسم جذب شونده است در صورتی که در جذب سطحی شیمیایی میزان جذب از خصوصیات هر دو جسم است.
- ◀ انرژی فعال سازی در جذب سطحی فیزیکی چندان دخیل نیست، در حالیکه در جذب سطحی شیمیایی ممکن است دخیل باشد.
- ◀ جذب سطحی فیزیکی به صورت چند لایه صورت می گیرد ولی جذب سطحی شیمیایی حداکثر به یک لایه منتهی می شود. در جذب فیزیکی واکنش شیمیایی وجود ندارد و مولکول های جذب شونده فقط روی سطح جامد جمع می شوند.
- ◀ به جذب شیمیایی جذب سطحی فعال شده نیز می گویند که حاصل فعل و انفعالات شیمیایی بین جاذب و ماده جذب شونده است و این نوع فرایند غالباً برگشت ناپذیر بوده که از معایب این روش می

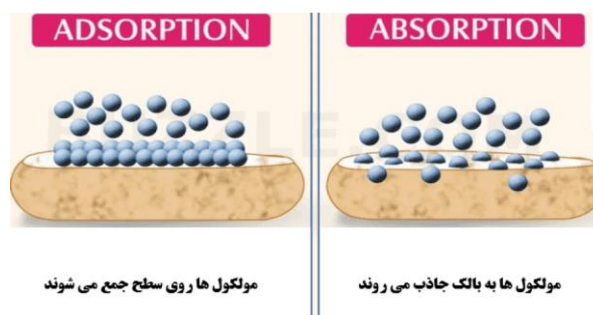
باشد. در این صورت برای حفظ جاذب باید جاذب مجدد احیا شود که ممکن است جاذب از بین برود و احیا نشود یا در ساختارش تغییر ایجاد شود. (شکل ۲-۷) نشان دهنده این تفاوت ها می باشد [۲۱].



شکل (۲-۷): تفاوت جذب فیزیکی و شیمیایی [۲۲]

۳-۴) تفاوت جذب سطحی و با جذب بالک

در فرآیند Absorption جذب شونده به بالک (Bulk) جاذب می رود در حالیکه در فرآیند Adsorption این چنین نیست و جذب شونده ها فقط روی سطح جاذب قرار می گیرند شکل (۲-۸) [۲۱, ۲۴].



شکل (۲-۸): تفاوت جذب سطحی با جذب بالک [۲۲]

۴-۴) مکانیسم جذب

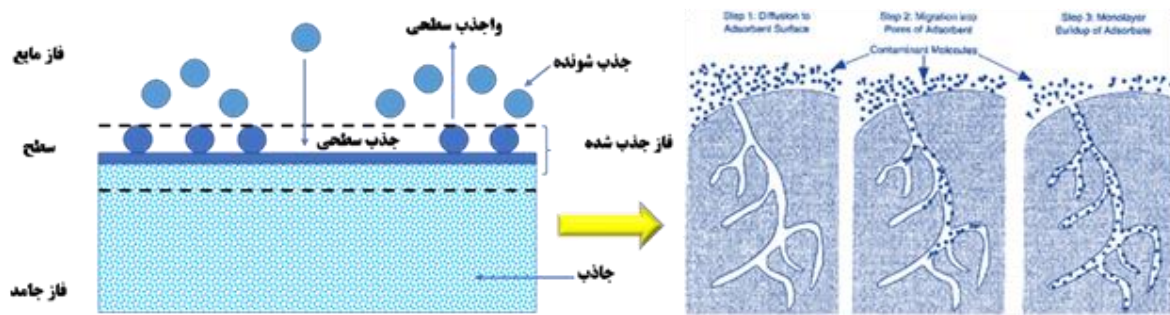
اساساً مکانیسم جذب سطحی در سه مرحله متوالی شکل (۲-۹) انجام می گیرد:

الف) انتقال جرم مولکول های ماده حل شونده از توده محلول به سطح ذرات جاذب

ب) نفوذ از درون ساختار داخلی ذرات جاذب به جایگاه های جذب [۲۱, ۲۲, ۲۵]

پ (انجام سریع جذب

مرحله سوم بقدری سریع رخ می دهد که هیچگونه مقاومتی در طی عمل جذب مشاهده نمی شود بطوریکه انتقال جرم و نفوذ درون ذره ای به عنوان مرحله تعیین کننده سرعت جذب عمل می کند، لذا انتقال جرم که در چند دقیقه نخست فرایند و نفوذ ذرات که طی چندین ساعت انجام می گیرند مراحل مهم جذب سطحی هستند. جذب مواد روی ماده ناشی از نیروی جاذبه بین ماه جذب شونده و سطح جاذب می باشد. مکانیسم و نیروهای خاصی که سبب جذب ماده حل شده روی سطح جاذب می شوند می تواند فیزیکی یا شیمیایی باشد [۲۱].



شکل (۲-۹): شماتیک عملکرد جذب سطحی [۲۴]

۴-۵) سینتیک جذب سطحی

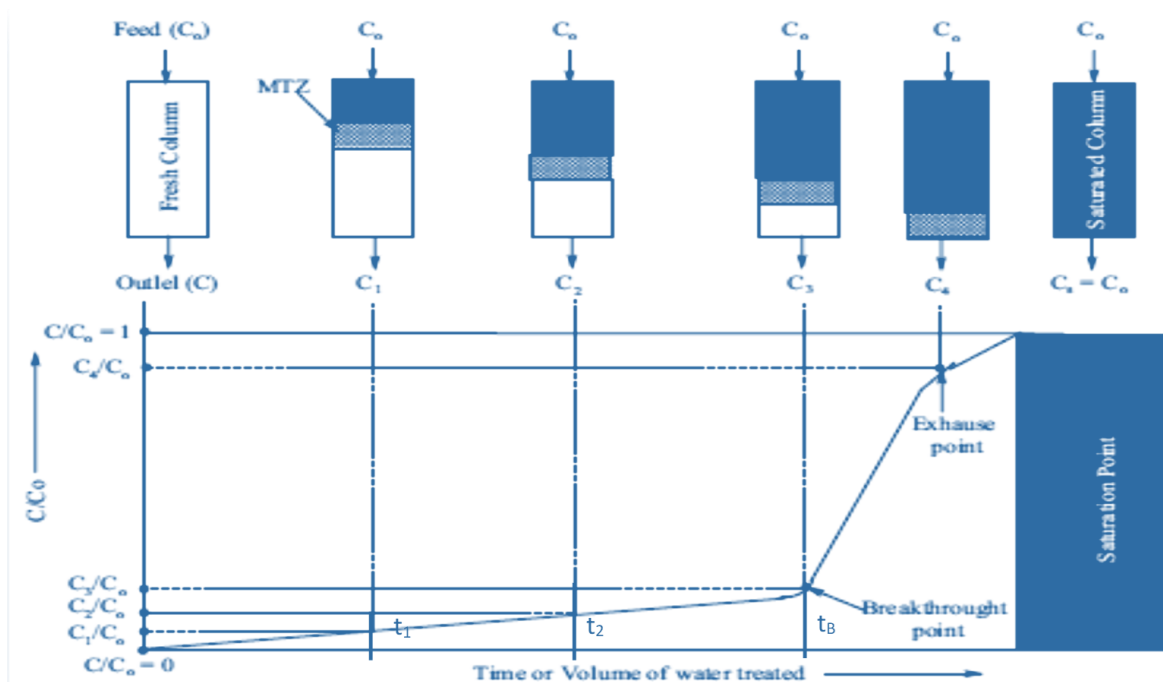
سینتیک جذب بیانگر تخمینی از ظرفیت جذب در طول زمان است. و از این منظر اهمیت دارد که نشان دهنده نوع مکانیسم جذب سیستم می باشد [۲۱, ۲۵].

۵) جذب پیوسته

همانگونه که از نامش پیداست این سیستم جذب به طور پیوسته و مداوم انجام می شود. در این مدل معمولاً جاذب به صورت پودری جامد به سیال اضافه می شود و یا در حالت دوم جاذب در بستر ثابت قرار دارد و ماده جذب شونده به آن اضافه می شود. به حالت اول سیستم دوغابی و به حالت دوم سیستم جذب پیوسته

در بستر ثابت^۱ می گویند. در حالت اول سرعت جذب سطحی زیاد است به دلیل اینکه مقاومت داخلی ذرات جذب در برابر انتقال جرم کم است، و همیشه مایع خروجی از مخزن فرآیند حاوی مقداری جذب می باشد، پس در این حالت نیاز به تصفیه ثانویه از طریق فیلتراسیون یا ته نشینی وجود دارد که هزینه جذب و تصفیه را دو برابر می کند. اما در حالت دوم که بستر جذب ثابت می باشد، جذب جامد بوده و به فرم جذب استفاده می شود این مشکل پیش نمی آید چون جذب دیگر به صورت پودری یا مایع نبوده و از طریق فرآیند غشائی جذب صورت می گیرد. یعنی جذب درون یک بستر ثابت نگهدارنده ی پودر های جذب (پایه نگهدارنده مواد جذب) قرار دارد. در این صورت چیزی از جذب در محیط جذب و مایع خارج شده از محفظه جذب وجود نخواهد داشت. معمولاً استفاده از این نوع جذب درون یک ستون ثابت جذب انجام می گیرد که به این حالت از جذب سطحی پیوسته که جذب ثابت بوده و مایع جذب شونده پیوسته وارد و خارج می شود، جذب سطحی نیمه پیوسته^۲ می گویند. در طرح و حل مسائل این چنینی دو حالت ایده آل (غیر واقعی) و حالت غیر ایده آل (واقعی) وجود دارد. حالت اول فقط مناسب فرم تئوری و حل مسائل می باشد ولی حالت دوم چیزی است که در فرآیند جذب سطحی در بستر ثابت در صنعت استفاده می شود. در حالت ایده آل از انتقال جرم، مقاومت داخلی ذرات و پراکنش محوری صرف نظر می شود اما در حالت واقعی نمی توان از این موارد صرف نظر کرد و در جذب سطحی تاثیر دارند. در دو شکل زیر منحنی تغییرات غلظت سیال در دو حالت واقعی و ایده آل نشان داده شده است [۲۱].

1) Fixed Bed
2) Semi-continuouse

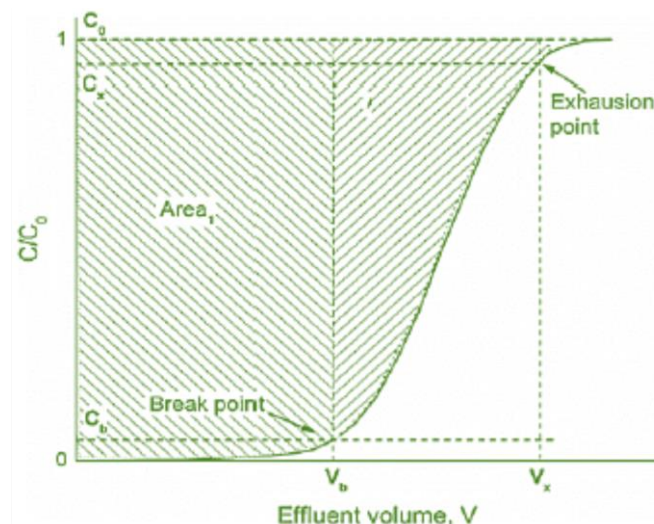


شکل (۲-۱): ارائه منحنی شکست با حرکت MTZ، [۲۶]

منحنی تغییرات غلظت به صورت تابعی از فاصله ابتدای بستر ثابت در زمان های t_1 و t_2 و t_B نشان داده شده است. در زمان t_1 هیچ قسمتی از بستر اشباع نشده است. در t_2 تا قسمت مشخص شده اشباع شده است ولی ادامه بستر هنوز تمیز می باشد پس از این قسمت این نتیجه حاصل می شود که در زمان t_2 اندکی انتقال جرم صورت می گیرد و جاذب هنوز استفاده نشده است. منطقه t_1 تا t_2 منطقه انتقال جرم MTZ نامیده می شود زیرا در این قسمت انتقال جرم صورت می گیرد. از آنجا که برای تعیین اینکه MTZ از کجا شروع می شود و پایان میابد معمولاً مکان شروع طول موج غلظت (L_f) را که از تقسیم غلظت (در زمان مشخص) به غلظت خوراک (C_i/C_f) به وجود می آید را 0.05 و طول موج جبهه تعادلی (L_s) را که حاصل تقسیم غلظت تعادلی است 0.95 (C_i/C_f) در نظر می گیرند. چونکه در زمان t_2 تا t_B منحنی شکست غلظت با جبهه S شکل درون بستر حرکت می کند، در t_B نقطه پیشرو منحنی MTZ به انتها می رسد، که به این نقطه، نقطه شکست سراسری گفته می شود. در این شکل تا قبل از رسیدن به نقطه t_B غلظت سیال خروجی کمتر از حد مجاز است و پس از رسیدن به این نقطه غلظت خروجی به حد مجاز می رسد (نقطه شکست) دیگر در این مرحله جذب سطحی متوقف می شود و پس از این احیاء بستر جاذب صورت می گیرد یا جاذب

سطحی که اشباع شده و مستعمری بی مصرف می باشد دور ریخته می شود. اگر قرار باشد که به ازای $t > t_B$ فرآیند ادامه یابد غلظت خروجی از جاذب به سرعت افزایش پیدا کرده و علاوه بر جاذب بستر آن نیز اشباع شده و در غلظت خروجی تا ۰/۹۵ یا ۰/۹۵٪ الی ۱۰۰٪ از غلظت خوراک جذب شونده مشاهده می شود. اما در حالت ایده آل تندی شیب منحنی سراسری معیاری از ظرفیت قابل استفاده ی بستر می باشد یعنی در حالت ایده آل قبل از وقوع شکست سراسری تمام بستر جاذب استفاده می شود ولی در حالت واقعی با پهن شدن منحنی شکست و پهنای منطقه MTZ^1 از تمام ظرفیت بستر جاذب نمی توان استفاده کرد. این نکات برای مدلسازی بسیار هائز اهمیت می باشد. فرضیات مهم در مدلسازی جذب پیوسته باید رعایت شود بدین صورت می باشد که:

- ◀ جریان پیستونی از درون بستر با سرعت ثابت واقعی (فرضاً فشار اتمسفر) باشد.
- ◀ تعادل آنی حل شونده در سیال با ماده آنی جذب شونده بر جاذب.
- ◀ عدم پراکنش محوری
- ◀ شرایط هم دما ثابت (ایزوترم ثابت)



شکل (۲-۱۱): منحنی شکست ایده آل [۲۶]

1) Mass Transfer Zone

جهت رسم منحنی شکست ابتدا باید غلظت های بدست آمده در هر زمان (C_t) را به غلظت اولیه (C_0)

تقسیم کرد (C_t/C_0). سپس نمودار C_t/C_0 را بر حسب زمان $T(\text{min})$ رسم کرد [۲۶, ۲۱].

۵-۱) پارامترهای فرآیند های جذب پیوسته

در اکثر مطالعات جذبی که روی تصفیه پساب رنگی و یا... انجام شده است، پارامترهای مختلفی که نظیر غلظت اولیه محلول جذب شونده، سرعت جریان در ستون جذب، ارتفاع جاذب، pH محلول جذب شونده، شدت جریان ورودی به ستون جذب و دمای محیط روی شدت و سرعت جذب تاثیر گذار هستند [۲۶]. جهت محاسبه نیرو [۲۷] و فشار [۲۸]، در حالت افزایش شدت جریان مایع ورودی به ستون جذب از روابط زیر استفاده استفاده می شود:

معادله (۱-۲)

$$F = m \times g$$

معادله (۲-۲)

$$P = \frac{F}{A}$$

در معادله یک $F(N)$ معرف نیروی وارد شده بر پیستون ستون جذب (یا بزرگی نیرو)، $m(Kg)$ وزن جسمی که سبب حرکت پیستون می شود، g شتاب محلی گرانش زمین می باشد. در معادله ی دوم $P(N/m^2)$ معرف فشار، F نیروی بدست آمده از فرمول قبل، $A(cm^2)$ سطح مقطع غشا می باشد [۲۷, ۲۸].

ظرفیت جذب $q_e(mg/g)$ جاذب را از رابطه زیر می توان حساب کرد. $v(L)$ حجم محلول مصرف شده، $t(\text{min})$ زمان اشباع، m جرم جاذب، C_0 غلظت اولیه و C_t غلظت در واحد زمان بر حسب mg/L می باشد [۲۹].

معادله (۳-۲)

$$q_e = \frac{(\int_{t=0}^{t=t} (C_0 - C_t) dt) (v/t)}{m}$$

۵-۲) مدل سازی های جذب پیوسته

جهت درک بهتر فرآیند جذب سطحی مطالعه سینتیکی و مدل سازی ریاضی آن بسیار حائز اهمیت می باشد، زیرا نتیجه ی کامل و مفصلی را در مورد فرآیند جذب سطحی پیوسته ارائه می دهد. پارامترهای مختلفی مانند مقاومت ایجاد شده مایع جذب شونده و جاذب، پراکندگی محوری و انتقال جرم در مدل سازی تاثیر دارند. مدل های توماس^۱، آدامز و بوهارت^۲، یون-نلسون^۳، وولبورسکا^۴ معمولاً برای بیان تجزیه و تحلیل و مدل دوز اصلاح شده^۵ برای بیان رفتار سیستم ستون جاذب و محلول جذب شونده استفاده می شود. دلیل دیگر انجام مدلسازی های جذب سطحی، ارزیابی کاربرد فرآیند جذب پیوسته در مقیاس های صنعتی می باشد [۲۶].

۵-۲-۱) مدل توماس (TM)

مدل توماس معمول ترین مدلی است که به وفور برای مطالعات جذب پیوسته مورد استفاده قرار می گیرد. فرضیات اساسی مدل توماس عبارتند از پراکندگی محوری و شعاعی ناچیز در ستون جذب بستر ثابت، و انتشار ذرات، مقاومت خارجی و انتقال جرم در طی فرآیند جذب قابل صرف نظر می باشد. در این مدل جریان پلاگ در نظر گرفته شده و سرعت توسط واکنش شبه مرتبه دوم توصیف می شود که در محدوده ی تعادل به ایزوترم لانگمویر تبدیل می شود. حداکثر غلظت فاز جامد جذب شونده توسط جاذب و ثابت سرعت با استفاده از داده های به دست آمده از فرآیند جذب پیوسته توسط مدل توماس تعیین می شود. معادله ی (۴-۲) بیانگر مدل خطی [۳۰] توماس می باشد [۳۱، ۳۲]:

معادله (۴-۲)

$$\ln \left[\left(\frac{C_0}{C_t} \right) - 1 \right] = \frac{K_{TH} q_0 m}{Q} - K_{TH} C_0 t$$

-
- 1) Thomas Model (TM)
 - 2) Adams-Bohart Model (ABM)
 - 3) Yoon-Nelson Model (YNM)
 - 4) Wolborska Model (WM)
 - 5) Modified Dose Response Model (MDRM)

در مدل توماس تصور بر این است که جذب سطحی فوری انجام می شود. این فرضیه بر این باور پایدار است که جذب تحت سینتیک شبه مرتبه دوم انجام می شود و تعامل الکترواستاتیک و پراکندگی محوری ناچیز و قابل صرف نظر می باشد. که در آن k_{TH} ثابت توماس است (L/(min.mg))، q_0 حداکثر غلظت جذب در فاز جامد (mg/Lit) است، m جرم جاذب مورد استفاده است، با رسم نمودار $\ln\left[\frac{C_0}{C_t}\right] - 1$ بر حسب t می توان پارامترهای k_{TH} و q_0 را به دست آورد [۳۲].

۵-۲-۲) مدل آدامز-بوهارت (ABM)

بوهارت و آدامز، رابطه بنیادین بین $\frac{C_t}{C_0}$ بر حسب زمان را در یک سیستم پیوسته بررسی کرده و معادله ی آن را بدست آوردند، که به عنوان مدل آدامز - بوهارت معروف است. اگرچه مطالعات اصلی انجام شده توسط آدامز و بوهارت روی سیستم جذب ذغال سنگ-گاز صورت گرفته است، ولی به دلیل استفاده های مجدد از آن به طور مثال در سیستم جذب کلر توسط ذغال پس از آن، از این معادله برای توضیح سایر سیستم های جذب پیوسته به عنوان یک مدل سازی مناسب استفاده شده است. این مدل بیان می کند که میزان جذب باید متناسب با هردو سیستم جذب کننده و جذب شونده باشد یعنی بستگی به غلظت انواع جاذب و ظرفیت باقی مانده در فرآیند جذب دارد.

معادله (۵-۲)

$$\ln\left[\frac{C_t}{C_0}\right] = K_{AB}C_0t - K_{AB}N_0\left(\frac{Z}{u}\right)$$

C_0 و C_t (mg/L) غلظت اولیه پساب و غلظت در هر زمان، u (mm²/h) سرعت خطی جریان است که از تقسیم دبی بر مساحت سطح مقطع ستون جذب محاسبه می شود، Z (cm) ارتفاع بستر جاذب است N_0 (mg/L) ظرفیت جذب تعادلی و K_{BA} (L/mg.min) ضریب ثابت جذب است. با رسم نمودار $\ln[C_t/C_0]$ می توان پارامترهای N_0 و K_{BA} را به دست آورد [۳۲, ۳۳].

۵-۲-۳) مدل یون-نلسون (YN)

مدل یون-نلسون یک مدل نسبتاً ساده توسعه یافته است، برای جذب گازها و بخارات زغال استفاده شده است. مدل یون نلسون نه تنها به پیچیدگی سایر مدل ها نمی باشد بلکه نیازی به اطلاعات دقیق در مورد ویژگی های جاذب و فرآیند جذب ندارد. مدل یون نلسون بیانگر احتمال کاهش ثابت جذب برای هر مولکول جاذب متناسب با میزان محلول جذب شونده حفرات موجود در جاذب است.

معادله (۶-۲)

$$\ln\left(\frac{C_t}{C_0 - C_t}\right) = K_{YN}t - \tau K_{YN}$$

K_{YN} ثابت نرخ جذب یون نلسون برحسب (min-1)، τ زمان لازم برای جذب موفقیت آمیز ۵۰ درصدی جاذب از جذب شونده در فرآیند جذب که برحسب (min) و t زمان (min) می باشد. با رسم نمودار $\ln(C_t/C_0 - C_t)$ بر حسب t می توان پارامترهای K_{YN} و τ را به دست آورد [۳۲, ۳۳].

۴-۲-۵) مدل وولبورسکا (WM)

مدل وولبورسکا مربوط به تجزیه و تحلیل عملکرد ستون جذب می باشد، بیان گر منحنی توزیع غلظت در محدوده ی کم غلظت و توده ی انتقال در بستر ثابت جاذب می باشد. که نام دیگر آن مدل (WM) می باشد [۳۳].

معادله (۷-۲)

$$\ln\left(\frac{C_t}{C_0}\right) = \frac{\beta C_0 t}{N_0} - \frac{\beta Z}{U}$$

در این مدل نیز $\ln(C_t/C_0)$ بر حسب زمان t رسم می کنند. در این معادله C_0 و C_t غلظت در زمان و غلظت اولیه بوده و برحسب mg/L ، β ضریب جنبشی انتقال جرم خارجی، N_0 ظرفیت تبادل، U (mm^2/h) سرعت حرکت جریان، Z (mm) ارتفاع بستر جاذب می باشد. [۳۲]

۵-۲-۵) مدل دوز اصلاح شده (MDRM)

مدل دوز اصلاح شده، یکی دیگر از مدل سازی های ریاضی جذب پیوسته می باشد. این مدل یک مدل عددی ساده شده می باشد که برای توصیف داده های بدست آمده از ستون جذب استفاده می شود. در واقع این مدل خطاهای به وجود آمده از مدل توماس را در دوره های زمانی بالاتر و یا پائین تر در منحنی اصلاح می کند [۲۶].

معادله (۲-۸)

$$\ln\left(\frac{C_t}{C_0 - C_t}\right) = a \ln(C_0 Q_t) - a \ln(q_{mDR} m)$$

$\ln\left(\frac{C_t}{C_0 - C_t}\right)$ را بر حسب $\ln(C_0 Q_t)$ رسم می کنند تا a و q_{mDR} را بدست بیاورند. a ضریب دوز اصلاح شده، q_{mDR} ظرفیت جذب در واحد جرم جاذب (mg/g) مدل دوز اصلاح شده، C_0 و C_t غلظت اولیه و غلظت در واحد زمان بر حسب (mg/g) و Q_t مقدار رنگ جذب شده در زمان (mg) می باشد [۲۹، ۳۰].

۶) پلی یورتان ها

امروزه بیش از ۷۵٪ کل مصرف پلی یورتان ها در جهان به شکل فوم است که بخش قابل توجهی از این فوم ها به عنوان پوشش در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می گیرد. تولید و مصرف این نوع پوشش ها با توجه به قیمت مناسب، سبک سازی سازه، سهولت اعمال، چسبندگی عالی به زیر آیند، پخت سریع و آسان در دمای محیط، طول عمر نسبتاً بالا، قابلیت برش و شکل گیری به انواع و اشکال مختلف و در نهایت خواص مکانیکی مطلوب آنها مانند ارتجاع پذیری خوب، مقاومت فشاری بالا و غیره روندی رو به رشد دارد. پوشش های فومی بر پایه پلی یورتان، در دو صنعت ساختمان و حمل و نقل به عنوان پوشش عایق های حرارتی و صوتی، کف پوش، ضربه گیر دیوار در سالن های اجتماعات و .. بسیار پر کاربرد و حائز اهمیت می باشد. در مخلوط فوم، دو واکنش ژل شدن و انبساط به صورت همزمان و موازی تا زمان تشکیل فوم منسجم انجام می شود. خواص نهایی فوم کاملاً به ساختار، پایداری و هندسه سلول ها که خود وابسته به سرعت نسبی این دو واکنش هستند، وابسته می باشد. به طوری که کنترل سرعت هرکدام از این واکنش ها در

جهت تولید محصول مطلوب ضروری است. دما، حضور کاتالیزور آمینی، یا آلی-فلزی و شاخص ایزوسیانات ها از جمله عوامل کنترل کننده سرعت این دو واکنش هستند [۱۱].



شکل (۲-۱۲): انواع مدل و کاربرد فوم پلی یورتان [۱۱]

۱-۶) تولید و مصرف فوم های پلی یورتان

فوم های پلیمری زیر مجموعه ای از جامدات سلولی هستند و پرکاربردترین فوم ها محسوب می شوند. در واقع مواد پلیمری حاوی فاز جامد و فاز گاز به فوم های پلاستیکی، پلاستیک های فوم شده، پلاستیک های سلولی، یا فوم های پلیمری معروف هستند. برای ساخت فوم های پلیمری از مواد مختلفی مانند پلی یورتان ها، پلی استایرن، پلی پروپیلن، پلی وینیل کلراید، پلی کربنات و ... مورد استفاده قرار می گیرد. ویژگی منحصر به فرد پلی یورتان ها سبب شد که میزان تولید و استفاده از آن ها نسبت به سایر مواد پلیمری بیشتر باشد. فوم پلی یورتان به سه شکل فوم سخت، نیمه سخت، نرم، فیلم و ورقه های تخت، الاستومر، پوشش، چسب و امولوسیون وجود دارند. برخی از مزایای فوم پلی یورتان شامل این موارد است [۱۱]:

- داشتن قابلیت سبک سازی سازه ها به علت دانسیته بسیار پائین.
- قابلیت ارائه فرمول های متنوع با توجه به کاربرد مورد نیاز (به دلیل تنوع فراوان در مواد اولیه)
- طول عمر و ماندگاری نسبتا بالا
- قابلیت اعمال مستقیم بر روی تمامی سطوح از جمله آسفالت، بتن، کاشی، فلز، پلاستیک، چوب
- پخت سریع و آسان و کامل در دمای محیط
- قابلیت تزریق و قالب گیری
- برش و شکل گیری به انواع و اشکال مختلف

- قابلیت بازیافت و استفاده مجدد از فوم های پلی یورتان

با توجه به موارد فوق می توان دریافت که فوم های پلی یورتان یکی از بهترین مواد جهت تهیه عایق های حرارتی و برودتی هستند و کاربرد های متفاوتی در صنایع مختلف دارند.

۶-۱-۱) صنعت حمل و نقل

این صنعت یکی از بزرگترین مصرف کنندگان فوم پلی یورتان بوده و از آن ها به عنوان عایق حرارتی و صوتی در ساخت اتومبیل، هواپیما، واگن های قطار و کشتی ها استفاده می کند.

۶-۱-۲) صنعت ساخت و ساز

بخش عظیمی از فوم های پلی یورتان به شکل پوشش عایق های حرارتی و صوتی، پوشش های نما، پوشش های تزئینی، چسب های فومی و... در این صنعت مورد استفاده قرار می گیرد.

۶-۱-۳) مصارف خانگی

این مواد به شکل فوم در داخل تشک، بالش، کوسن، اسفنج، درز گیر درب و ساخت قطعات تزئینی مورد استفاده قرار می گیرد [۱۱].

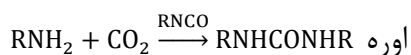
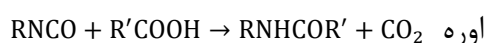
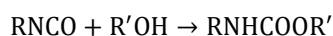
۶-۲) حذف رنگ (تصفیه پساب رنگی توسط جذب سطحی)

تا به امروز، روشهای مختلف شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی برای جداسازی و حذف رنگها از فاضلاب، مانند جذب، بارش و انعقاد، تخریب فوتوکاتالیستی، تبادل یونی و فیلتراسیون غشایی استفاده شده است در میان این روش ها فناوری فیلتراسیون غشایی به دلیل عملکرد نسبتاً ساده، هزینه کم و بازده بالا، در تأمین نیازهای تصفیه فاضلاب نقشی اساسی دارد. در حال حاضر، یکی از جنبه های جذاب در زمینه فیلتراسیون غشا، نوآوری در مواد غشایی است. فوم پلی یورتان (PUF) یک ماده متخلخل سه بعدی است که به صورت تجاری در دسترس است. این ماده به دلیل دوام مکانیکی بسیار و خاصیت ارتجاعی عالی به عنوان بستر پشتیبانی در کاربردهای مختلف استفاده شده است. یعنی به عنوان عامل حذف رنگ از جریان پساب و عامل

نگه دارنده کملکس ژل و میکرواورگانایسم ها حذف کنند آلاینده های رنگی و غیر رنگی مورد استفاده قرار می گیرد [۱۴، ۳۴].

۶-۳) شیمی پلی یورتان ها

پلی یورتان ها دسته ای از پلیمرها هستند که دارای گروه مشخصه یورتانی (-NH-CO-O-) می باشند. هرچند ممکن است حاوی گروه های دیگری مانند گروه استری، اتری، آمیدی و یا حلقوی باشد. اهمیت این پلیمرها به خاطر تنوع خصوصیات فیزیکی و شکل ظاهری آنها بوده و موضوع مشترک در همه آنها واکنش گروه ایزوسیانات با هیدروژن فعال مطابق واکنش های زیر است:



هرچند این واکنش ها با سرعت های مختلفی انجام می شوند. اگر واکنش گرها دو عاملی باشند، محصولات خطی و اگر چند عاملی باشند منجر به تشکیل پلیمرهای شاخه ای یا دارای اتصال عرضی می شود. واکنش ایزوسیانات ها با ترکیبات آلی هیدروژن دار، در چند مرحله به صورت مجزا و یا یک جا انجام می شود. پلی یورتان متشکل از دو ماده اصلی است، یک ترکیب دی ایزوسیاناتی و پلی ال اتری، یا پلی ال استری با زنجیر بلند و یا زنجیر کوتاه [۱۲].

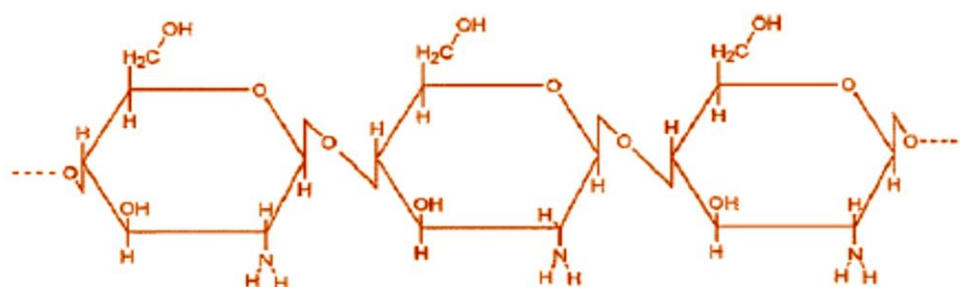
۷) فوم و جاذب کیتوسان

کیتین و ترکیب استیل شده آن کیتوسان دو پلیمر طبیعی شناخته شده هستند که سابقه در استخراج و استفاده از آن ها به ۲۰۰ سال قبل بر می گردد. کیتوسان به معنی زره یا پوششی است که بی مهرگان را

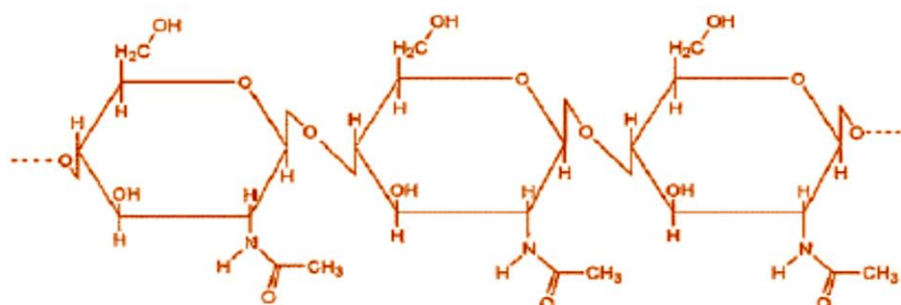
محافظت می کند و از اسامی یونانی گرفته شده است. این دو پلی ساکارید نیتروژن دار بعد از سلولز فراوان ترین پلیمر های موجود در طبیعت هستند. کیتوسان با نام علمی ۲-آمینو-۲-داکسی- β -D-گلوکان با واحد های تکرار شونده (۴-۱) یک پلی ساکارید خطی با ساختار ساکاریدی می باشد که از هیدرولیز طبیعی کیتین تهیه می شود. اهمیت کیتین در تهیه کیتوسان از آنجاست که کیتوسان در فراورده بالینی به دلیل سازگاری زیست شناسی با بقیه مواد، قابلیت هضم آسان و در دسترس بودن به عنوان یک حامل دارویی قرن ۲۱ نام برده شده است. کیتوسان دارای گروه های OH و COOH برای ایجاد پیوند با سطح لایه ی غشائی دارای بار آنیونی، وزن مولکولی زیاد، انعطاف پذیری زیاد زنجیره ها، غیر سمی، غیر قابل جذب و غیر قابل برهم کنش با دارو ها می باشد. لذا انتخاب مناسبی برای استفاده در صنایع پزشکی، داروسازی، مهندسی بافت، فیلتراسیون و ... می باشد. موجودات دریایی مهم ترین منبع برای تولید کیتوسان و کیتین هستند و در حال حاضر پوسته ی میگو و پوسته ی خرچنگ منبع اصلی برای استخراج کیتین و کیتوسان هستند [۳۵]. کیتوسان تنها پلیمر کاتیونی است که توسط فرایند استیله کردن (جزئی کیتین) در حالت جامد تحت شرایط قلیایی (سود غلیظ) و یا توسط هیدرولیز آنزیمی در حضور استیله کردن کیتین به دست می آید. پلیمری که ۱۰۰٪ گروه های آمین آن استیل دار شده باشد، کیتین نامیده می شود و پلیمر بدون گروه های آمیدی (۱۰۰٪ گروه آمین) را کیتوسان می نامند. به عنوان دومین زیست پلیمر فراوان و طبیعی توجه زیادی را برای کاربرد های تجاری در پزشکی، بسته بندی مواد غذایی و کشاورزی (عامل ضد بیماری و قارچ گیاهان) [۳۶]، صنایع فیلتراسیون، تصفیه آب، لوازم آرایشی بهداشتی و بسیاری از صنایع دیگر به علت زیست سازگاری، زیست تخریب پذیر و غیر سمی بودنش به خودش جلب کرده است [۳۵، ۳۷].



شکل (۲-۱۳): کیتوسان



(a) chitosan



(b) chitin

شکل (۲-۱۴): ساختار کیتین و کیتوسان [۳۷]

۷-۱) ساختار و ترکیب شیمیایی و خواص کیتوسان

از هیدرولیز کیتین در محلول گرم و غلیظ HCl، گلوکوز آمین (با نام علمی ۲-داکس-۲-آمینوگلوکز) و اسید استیک حاصل می شود. با حذف گروه استیلن کیتین در محلول گرم و غلیظ، کیتوسان بدست می آید. کیتوسان در محلول اسیدی بار مثبت پیدا می کند که یک خاصیت خیلی مهم برای آن به شمار می آید. چرا که بیشتر پلی ساکارید ها مانند نشاسته، سلولز، دکسترین و... بار منفی یا خنثی دارند اما کیتین و کیتوسان تنها پلی ساکارید هایی هستند که بار مثبت دارند (به علت وجود گروه ها آمینی). آنها تنها کربو هیدرات های با خاصیت بازی هستند. خواص زیست تخریب پذیری و نقش زیست سازگاری کیتوسان به نسبت درصد بخش های ان-استیل دی گلوکز آمین بستگی دارد. خواص کیتوسان را می توان از دو جنبه مورد بررسی قرار داد.

الف) خواص شیمیایی کیتوسان

از این نظر می توان گفت که کیتوسان پلیمری خطی است و دارای گروه های آمین و هیدروکسیل فعال می باشد.

ب) خواص بیولوژیکی کیتوسان

عبارت است از زیست سازگاری (طبیعی، بی خطر و غیر سمی)، قابلیت تجزیه بیولوژیکی، فعالیت ضد میکروبی، انعقاد خون (فعالیت منعقد کنندگی مربوط به بار مثبت کیتوسان زیرا بار غشای سلولی خون منفی می باشد)، ضد تومور بودن (کیتوسان و حتی مشتقات کربوکسی متیل کیتین از رشد سلول های سرطانی جلوگیری می کنند).

۷-۲) کاربرد کیتوسان در تصفیه پساب

۷-۲-۱) به عنوان منعقد کننده در حذف آلاینده ها از محیط آبی

انعقاد فرایندی است که در آن ذرات به اصطلاح کلوئید نامیده می شوند که عامل کدورت آب هستند، به هم چسبیده و ذرات درشت و قابل ته نشین شدن را به وجود می آورند و ته نشین می شوند. فرآیند تصفیه آب (زالال سازی) بدون موادی که سرعت ته نشینی ذرات کلوئیدی را افزایش بدهند ظاهراً غیر ممکن است. کیتوسان ی ماده کمک منعقد کننده است که سبب حذف برخی از عوامل کاهنده کیفیت آب از جمله کدورت، میکرواورگانیزم ها و... می شود. از مهم ترین مزایای کیتوسان نسبت به نمک فلزات در فرایند انعقاد می توان به پایین بودن دوز تزریقی مؤثر، تولید حجم کمتر لجن، وابستگی کمتر عملکرد آن به pH، تولید لجن با خاصیت آبرگیری بهتر، چگال تر بودن، قابلیت هضم بیولوژیکی بهتر، ارزان بودن، عدم خوردگی و سهولت در جابه جایی اشاره کرد، همچنین کیتوسان pH و قلیائیت را نسبت به دیگر منعقدکننده های رایج، کمتر تحت تأثیر قرار می دهد. مکانیسم عمل انعقاد و لخته سازی این ماده، خنثی سازی بار و جذب و پل زنی بین ذرات کلوئیدی عنوان شده است [۳۶، ۳۷].

۷-۲-۲) حذف آلاینده از محیط آبی توسط فرآیند جذب سطحی با جاذب کیتوسان

طبق تعریف جذب سطحی فرایند جذب یکی از بهترین فناوری های تصفیه آب در جهان به اثبات رسیده است و یکی از جاذب هایی که اخیراً مورد توجه قرار گرفته است کیتوسان می باشد. این ماده می تواند به عنوان جاذب، جهت حذف آلاینده هایی از قبیل فلزات سنگین، رنگ ها از پساب صنایع مورد استفاده قرار می گیرد. حضور فلزات سنگین در فاضلاب های صنعتی، مشکلی عمده در تخلیه آن ها به آب های سطحی به حساب می آید. برخی از فلزات سنگین مانند، سرب، کادمیوم، جیوه، سرب، مس، کروم و نیکل حتی در مقادیر بسیار جزئی هم سمی می باشند. رنگ ها همان طوری که گفته شده در دسته آلاینده های خطرناک هستند و به وفور در صنایع رنگرزی، صنایع نساجی، صنایع چرم و کاغذ و ... استفاده می شوند و دارای ساختار آروماتیکی و مقاوم به تصفیه بیولوژیکی می باشد. حذف آلاینده های رنگی و فلزات سنگین مسئله ای نگران کننده برای کارشناسان محیط زیست می باشد. کیتوسان به دلیل نوع کارایی و ساختارش باعث حذف آلاینده های مختلف از جریان آب می شود. کیتوسان دارای دانسیته بسیار بالایی بوده و غیر قابل حل در آب می باشد. از طرف دیگر کیتوسان به دلیل ساختار مولکولی منحصر به فردش تمایل شدیدی نسبت به اغلب رنگ های پراکنده، مستقیم، واکنش دهنده، اسیدی، سولفور و نفتول دارد، به همین خاطر به منظور حذف رنگ از پساب بخصوص پساب صنایع نساجی مورد استفاده قرار گرفته است. pH فاضلاب فاکتور مهم در جذب رنگ های ویژه به داخل کیتوسان می باشد زیرا در pH پایین آمین های آزاد کیتوسان پروتئینه شده و همین امر سبب می شود که بر روی رنگهای آنیونی اثر بگذارد. بطور کلی ظرفیت پیوند با رنگ در کیتوسان در محیط بازی کاهش می یابد، ضمن اینکه در محیط های اسیدی قوی ژل تشکیل می شود. تنظیم pH قبل از کاربرد کیتوسان ضروری می باشد. تصفیه بی هوازی مستقیم ترکیبات آلی تغلیظ شده در سطح مبادله کننده های یونی یکی دیگر از موارد جذاب و جالب کاربرد کیتوسان است. در نتیجه این مطالب می توان فهمید که کیتوسان و نانو ذرات کیتوسان به دلیل ساختار کاتیونی اش جاذب مناسبی جهت حذف مواد معدنی، آمینواسیدها، پروتئین ها، فلزات سنگین و رنگ ها از جریان آبی و پساب صنعتی می باشد و هم چنین در جذب مواد سمی رادیو اکتیو و پاک سازی مواد نفتی و روغنی، سمی، آروماتیک و به ویژه پلی کلروبی فنیل ها نیز به کار می رود [۳۸].

۷-۲-۳) استفاده از فوم پلی یورتان با پوشش کیتوسان در حذف رنگ RB198¹

در این کار به عنوان جاذب کم هزینه، استفاده از فوم پلی یورتان پوشش داده شده توسط فیلم نازک کیتوسان (۰/۵۱٪ وزنی) برای حذف رنگ های واکنشی نساجی در محلول آبی توسعه داده شده است. از روش های سنتی شیمی فیزیکی و بیولوژیکی تصفیه پساب نساجی به الکترواکسیداسیون، درمان بیولوژیکی، پردازش فتوشیمیایی، تبادل یونی و هم چنین تکنیک های غشائی نام برد و از روش های حذف رنگ RB198 در محلول آبی می توان به تخریب آنزیمی، تخریب فتوالکتروکاتالیستی، تکنیک های ترکیبی تخریب زیست شناسی، اکسیداسیون فتوشیمیایی و هم چنین غشائی جداسازی اشاره کرد و از روش های جذبی استفاده از جاذب ها می توان به استفاده از مواد جاذب به عنوان چمن، خشت بنتونیت، ضایعات صنایع فولاد، خاکستر زغال سنگ، سلولز، پلی ایتیلن گلیکول، پلی وینیل الکل و خاک اره چوب اشاره کرد. که این روش ها بازده و راندمان پائینی دارند و اکثر مواقع در صورت استفاده از آنها نیاز به پیش تصفیه و تصفیه ثانویه می شود که این روش ها باعث افزایش هزینه ها می شود ولی با راندمان و دقت پائین تر که ایده ی مناسبی نمی باشد. استفاده از فوم پلی یورتان پوشش داده شده توسط فیلم نازک کیتوسان به عنوان یک جاذب کم هزینه پر قدرت یک روش جایگزین مناسب می باشد زیرا کیتوسان یک بیوپلیمر طبیعی بوده که خاصیت زیست تخریب پذیر غیر سمی دارد و از دیگر خصوصیات آن می توان به ظرفیت جذب بالا، ویژگی ها کاتیونی و ساختار ماکرو مولکولی دارد. علاوه بر نکات ذکر شده یک جاذب باید توانایی جایگزین شدن و دفع و بازیابی مجدد را داشته باشد که این جاذب به دلیل ساختار بیوپلیمری توانایی جایگزین شدن به جای روش های شیمیایی را دارد و طی مراحل بازیابی و احیا توسط حلال های مختلف مانند آب ۷ مرحله ی دیگر نیز در چرخه حذف رنگ استفاده و احیا شده است. بنابراین با استفاده از موارد ذکر شده و نتایج بدست آمده استفاده از فیلم کیتوسان با پایه نگه دارنده پلی یورتان بهتر از استفاده از کیتوسان خالص می باشد، زیرا کیتوسان خالص پایداری کمتری دارد. این فرایند برای حذف رنگ واکنشی آبی یا آبی راکتیو

1) Reactive blue 198

RB198 انجام شده است. استفاده از فوم CS-PUF¹ به عنوان جاذب کم هزینه و کار آمد با قابلیت بازیابی و احیا و استفاده مجدد و با ظرفیت جذب بالا (۰.۸۶/۴۳٪) با هدف صرف جویی در مصرف آب مناسب می باشد [۷].

۷-۲-۴) استفاده از فوم پلی یورتان-کیتوسان در حذف رنگ غذایی

فوم پلی یورتان-کیتوسان بر پایه مواد بیولوژیکی تهیه می شود به دلیل ساختار کریستالی، تخلخل بالا، خواص مکانیکی و دارای چندین گروه کاربردی قابلیت استفاده به عنوان یک جاذب مناسب جهت حذف رنگ را داراست. در این قسمت به عنوان جاذب رنگ غذایی قرمز ۱۷ (FR17²) استفاده شده است که توانایی حذف رنگ آن بیش از ۹۸٪ می باشد، این در حالی است که فوم پلی یورتان تنها قادر به حذف ۴۰٪ از رنگ FR17 می باشد. یعنی به تنهایی فوم پلی یورتان و کیتوسان قابلیت حذف درصد بالای رنگ ها را ندارند. تحقیقات قبل نشان داده که فوم کیتوسان بر پایه ی نگهدارنده پلی یورتان توانایی تولید یک جاذب مناسب با خصوصیات مکانیکی بهتر را داراست و از این یک جاذب مناسب جهت حذف رنگ های آنیونی از جریان های آبی نیز می باشد [۳۴].

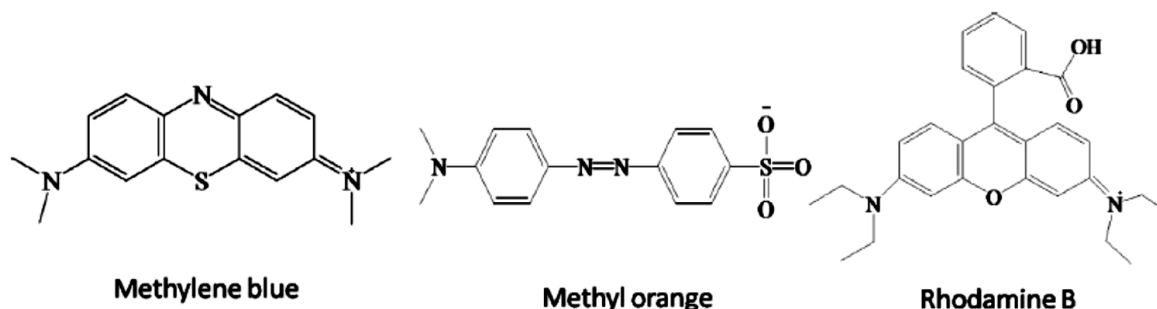
۷-۲-۵) کاربرد فوم پلی یورتان - کیتوسان در سایر صنایع

دسته ای از فوم های پلی یورتان به نام پلی یورتان گلیکول که توسط کیتوسان اصلاح شده اند با وزن مولکولی مختلف تهیه شده اند. به دلیل خواص مکانیکی، آبگریزی، جذب پروتئین، پایداری حرارتی، استحکام کششی و... مورد نظر می باشد. به دلیل ساختار زیست تخریب پذیر و غیرسمی نسبت به سایر مواد پلیمری مانند لاستیک و پلاستیک در صنعت پزشکی جهت تحقیقات پزشکی و کاربردهای بالینی استفاده می شود [۳۹].

۷-۲-۶) فوم پلی یورتان اصلاح شده توسط کیتوسان و هیومیک اسید

1) Chitosan- Polyurethane Foam
2) Food Red 17

تا به حال تمامی جاذب ها و غشاء های ساخته شده فقط برای محلول هایی رنگی با خاصیت معلوم و بار الکتریکی منفرد بوده است، که این جاذب ها در حالت حقیقی زیاد مورد استفاده نیستند، زیرا که پساب واقعی دارای بار الکتریکی و خواص فیزیکی و شیمیایی متفاوتی می باشد. از این فوم برای حذف رنگ های کاتیونی و آنیونی استفاده می شود البته توانایی حذف سایر رنگ ها را نیز دارا می باشد این فوم یک فوم جدید و منحصر به فرد بوده که توانایی و ظرفیت جذب بالایی جهت حذف رنگ ها دارد. و خاصیت انتخاب گری در سطح این غشاء موجود می باشد یعنی توانایی حذف انتخابی رنگ ها را از میان مخلوط باینری رنگ ها دارا می باشد. از این فوم برای حذف رنگ متیلن بلو و حذف انتخابی رنگ های رودامین B و متیل اورانژ و متیلن بلو استفاده شده و در این فوم سعی شده که ایرادات مربوط به سایر فوم های مشابه را بر طرف کنند. در شکل (۲-۱۵) ساختار سه رنگ رودامین B و متیلن بلو و متیل اورانژ قابل مشاهده است [۱۳].



شکل(۲-۱۵): ساختار شیمیایی سه رنگ MB,MO,RB ، [۱۳]

الف) معایب جاذب کیتوسان

← کیتوسان یک ماده اولیه است که در جداسازی آلاینده مورد استفاده قرار می گیرد، به دلیل اینکه از مواد بیولوژیکی تهیه می شود دارای خاصیت زیست سازگاری عالی، آب گریزی بالا، تجزیه پذیری بیولوژیکی می باشد.

← به دلیل اینکه کیتوسان ساختاری با بار مثبت یا ساختاری کاتیونی دارد به عنوان جاذب آلاینده ها و رنگی آنیونی مورد استفاده قرار می گیرد.

← به دلیل وجود گروه آمینویی به عنوان گروه عملکردی اصلی در ساختارش، کیتوسان در محیط اسیدی تبدیل به اسید پروتئین می شود.

ب) برطرف کردن اشکالات

در نتیجه می توان گفت کیتوسان به عنوان یک جاذب مناسب دارای اشکالات ذاتی نظیر حلالیت در اسید، استحکام مکانیکی ضعیف در شرایط خاص را داراست. از روش های خاصی مانند اصلاح شیمیایی پیوند ها، اتصال متقابل، اتصال عرضی و بارگذاری معدنی برای برطرف کردن این اشکالات استفاده می کنند. یکی از این روش ها استفاده از هیومیک اسید می باشد.

ج) فوم هیومیک اسید

هیومیک اسید (HA) یکی از مولفه های مهم در تصفیه آب می باشد، برای حذف فلزات سنگین از محیط های آبی کاربرد دارد. و به دلیل وجود گروه های هیدروکسیل و کربوکسیلی به عنوان گروه های عاملی و عملکردی اصلی ساختارش خاصیت آنیونی دارد و جاذب آلاینده و رنگ های کاتیونی می باشد.

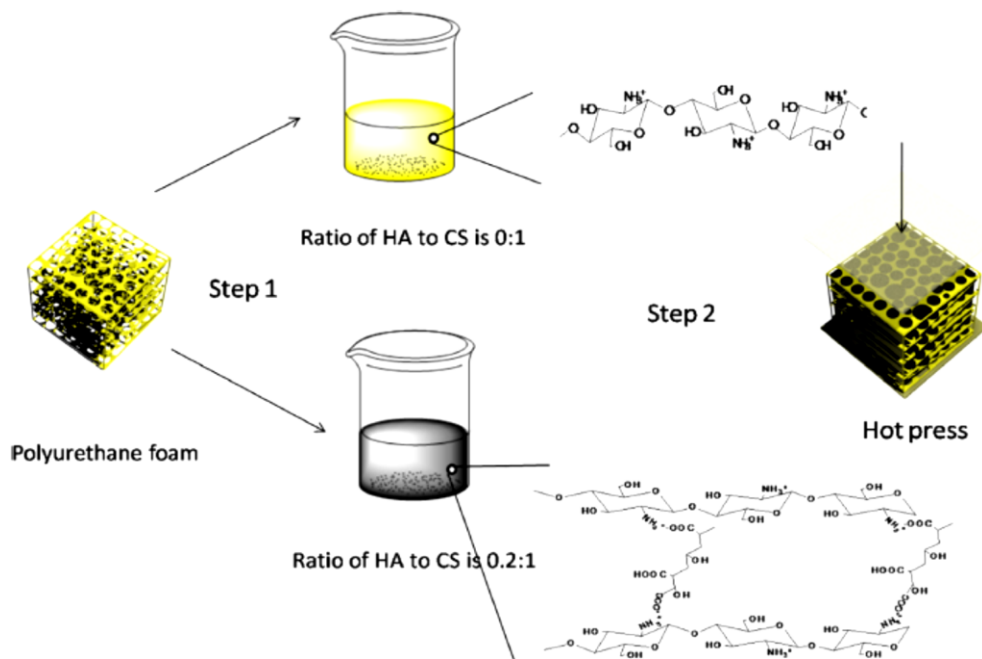
د) فوم پلی یورتان اصلاح شده توسط هیومیک اسید-کیتوسان

از آنجایی که هیومیک اسید جاذب رنگ کاتیونی و کیتوسان جاذب رنگ های آنیونی می باشد و فوم پلی یورتان هم نیز جاذب هر دو و بستر نکه دارنده غشاء به دلیل تخلخل و مقاومت مکانیکی می باشد این فوم را با توجه به تحقیقات بدست آمده تهیه کردند. در این صورت بار کیتوسان و هیومیک اسید خنثی شده و باعث می شود که غشاء خوب با بازدهی عالی جهت حذف رنگ ها با بارهای مختلف شود در ضمن غشاء خاصیت انتخاب گری نیز دارد یعنی عملیات جداسازی رنگ از مخلوط آبی هم در حالت محلول یک رنگ و هم در حالت محلول مخلوط باینری در سیستم دودویی امکان پذیر می باشد. که به آن فوم پلی یورتان اصلاح شده توسط هیومیک اسید و کیتوسان (یا فوم پلی یورتان-هیومیک اسید-کیتوسان)¹ می گویند.

1) Humic acid-Chitosan-Polyurethane:
HA-CS-PUF

چ) تهیه فوم HA-CS-PUF

از آنجایی که کیتوسان یک پلیمر حل شونده در اسید می باشد توسط استیک اسید یک درصد حل کرده و ژل کیتوسان را بدست می آورند و هیومیک اسید را توسط آب حل کرده و ژل هیومیک اسید را تهیه می کنند، سپس ژل هیومیک اسید و ژل کیتوسان را با هم در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد به نسبت های مختلف (جهت تست های مختلف) مخلوط کرده و ژل ادغام شده ی هیومیک اسید-کیتوسان بدست می آورند. سپس فوم پلی یورتان از قبل شسته شده را در ابعاد مشخص کار آزمایشگاهی برش داده و درون ژل ترکیبی بدست آمده می ریزند. در این فرآیند هیومیک اسید هم عامل خنثی کننده بار الکتریکی ژل ها بوده و عامل اتصال عرضی ژل به فوم پلی یورتان می باشد. فوم ها را چه به روش هم زدن و هر به روش های دیگر به طور کامل درون ژل غوطه ور ساخته و پس گذشته زمان ۲۴ ساعت آبی اضافی فوم ها را گرفته و طی عملیات خشک کن انجمادی توسط دستگاه مخصوص به آن فوم ها را خشک می کنند. پس از عملیات خشک کن انجمادی فوم های تهیه شده را در دمای ۱۶۰ درجه سانتی گراد توسط دستگاه پرس حرارتی یا پرس داغ، پرس کرده و فوم مورد نظر تهیه می شود.



شکل (۲-۱۶): شماتیک تهیه و پرس داغ فوم HS-CS-PUF، [۱۳]

۸) کربوکسی متیل سلولز

کربوکسی متیل سلولز^۱ یک نوع کلئید آلی می باشد که با نام عمومی ثعلب در میان مردم شناخته می شود [۴۰]. کربوکسی متیل سلولز گردی سفید رنگ، بی بو، بی رنگ، قابل حل در آب است و در شرایط عادی غیر قابل تخمیر می باشد. از نظر خواص شیمیایی و فیزیکی لازم در محیط مورد استفاده معمولاً از CMC به جای نشاسته و مواد طبیعی محلول در آب که نسبتاً گران قیمت هستند (مانند آلژینات سدیم، حنزه ایرلندی، صمغ تراگاکانت و ژلاتین) استفاده می شود. این ماده در سال های اخیر از نظر اقتصادی مورد توجه خاص قرار گرفته و در فناوری و کیفیت آن پیشرفت های زیادی انجام شده است. این پیشرفت ها امکان استفاده از CMC در کاربرد های مختلفی نظیر مصارف خوراکی، دارویی، صنایع شوینده، رنگ، رزین، رونمای ساختمان، چسب ها، نساجی، چاپ و تکمیل، پارچه، کاشی، سرامیک، سفال چینی، کاغذ، الکتروود جوشکاری، فرش، موکت، گل حفاری چاه های نفت، تخت های چند لایه، چرم مصنوعی، مواد آرایشی، سموم، آفت کش ها، تصفیه پساب و... را فراهم آورده است. این ماده علاوه بر غلظت زایی، چسبندگی و ایجاد استحکام، عامل انتشار، عامل نگهدارنده ی آب، حفظ حالت کلئیدی، تثبیت کننده، عامل تعلیق ساز، امولوسیون ساز و عامل تشکیل لایه نیز هست. این ماده به سرعت در آب سرد و گرم حل شده و اساساً در مواردی که کنترل گرانیوی مدنظر باشد از آن استفاده می گردد، چرا که حتی در حضور یون کلسیم نیز ژل CMC تشکیل نمی دهد. CMC یک نوع پلیمر آنیونی است که ذرات آن روی سطح ذرات رُسی قابل جذب هستند [۴۰].



شکل (۲-۱۷): سدیم کربوکسی متیل سلولز

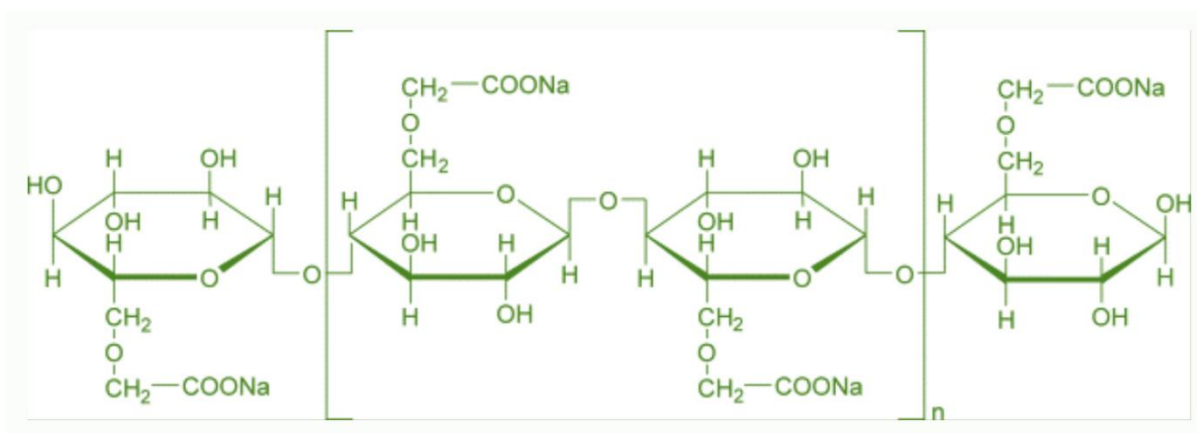
1) Carboxymethyl Cellulose (CMC)

۸-۱) ساختار مولکولی و خصوصیات کربوکسی متیل سلولز

کربوکسی متیل سلولز مولکولی خطی، آنیونی، سبک، بی بو، بی مزه بوده و بسته به درجه خلوص، رنگ آن از سفید تا کرم قابل تغییر می باشد. کربوکسی متیل سلولز از واکنش سلولز قلیایی با سدیم کلرو استات تهیه شده و جهت مصارف صنعتی درجه استخلافی در حدود ۰/۴ تا ۰/۸ دارد اما برای استفاده در مواد غذایی کربوکسی متیل سلولز با درجه استخلاف ۰/۷ مناسب می باشد. یکی از مهم ترین خواص کربوکسی متیل سلولز قوام دهنده و تغییر ویسکوزیته می باشد کربوکسی متیل سلولز در میان تمام پلی ساکارید ها از همه بیشتر در دسترس بوده و ارزان قیمت تر نیز می باشد و پایداری زیادی نسبت به تنش از خود نشان می دهد. از جمله خواص مهم کربوکسی متیل سلولز آسانی حمل و نقل، عدم تاثیر بر pH سوسپانسیون ها و ظرفیت تشکیل توده های بزرگ می باشد. علاوه بر این ها محققین از آن به عنوان یک منبع مهم در صنایع مختلف از آن استفاده کردند [۴۰]. CMC از مشتقات سلولز است که از دیواره ی سلولی گیاهان به ویژه دانه کتان و چوب بدست می آید. این ماده از استخلاف شدن گروه های کربوکسی متیل (CH₂-COOH) بجای برخی از گروه های هیدروکسیل (-OH) حاصل می شود. به کربوکسی متیل سلولز با درصد خلوص بالا (۹۷-۹۹/۵) سلولز گام گفته می شود. سلولز گام یک هیدروکلونید تطبیق پذیر همه کاره است. هیدروکلونید به گروهی از پلی ساکارید ها و پروتئین ها گفته می شود که موجب ایجاد ویژگی های متعددی از قبیل افزایش غلظت و ژل شدن در محلول های آبی، پایداری فوم ها، امولوسیون ها و... می گردد. سدیم کربوکسی متیل سلولز (یا سدیم سلولز گلیکولات یا صمغ سلولز سدیم) با نام شیمیایی نمک سدیم کربوکسی متیل اتر سلولز به فرمول شیمیایی [C₆H₇O₂(OH)_x (OCH₂COONa)_y]_n می باشد. n معادل درجه پلیمریزاسیون، y = 0.2~1.5 درجه جانشینی، x = 1.5~2.8 می باشد و x + y = 3.0 خواهد بود. وزن مولکولی سدیم کربوکسی متیل سلولز با درجه جایگزینی ۰/۲ برابر است با ۱۷۸/۱۴ در حالیکه وزن مولکولی سدیم کربوکسی متیل سلولز با درجه جایگزینی ۱/۵ برابر با ۲۸۲/۱۸ است [۴۰].

۸-۲) سدیم کربوکسی متیل سلولز

یکی دیگر از خانواده های این محصول سدیم کربوکسی متیل سلولز می باشد که یکی از مشتقات اتری سلولزی و یک پلیمر صنعتی مهم است و در گستره وسیعی از شوینده ها، نساجی، کاغذ سازی، صنایع غذایی و دارویی، گل حفاری و تصفیه پساب در صنعت کاربرد دارد. بیشتر خصوصیات CMC به سه پارامتر یعنی وزن مولکولی پلیمر، میانگین تعداد استخلاف ها به ازای هر واحد گلوکزی و چگونگی توزیع استخلاف های کربوکسی متیل در طول زنجیره ی پلیمر مربوط می شود. کیفیت مواد خام مورد استفاده در کربوکسی متیلاسیون با توجه به فرایند مورد استفاده و درجه خالص سازی محصول و هدف مورد نظر می تواند تغییر کند. این ماده با توجه با خلوص و درجات استخلافی متفاوت از مواد اولیه با منشأ مختلف سلولزی تهیه می شود. Na CMC از مهم ترین مشتقات اتری سلولز می باشد و از سلولز بدست می آید و در آب به صورت کلوئیدی درآمده و قابل حل می باشد و به عنوان غلیظ کننده و یا چسب و افزودنی مواد غذایی به کار می رود. یکی از گریدهای مهم این محصول سدیم کربوکسی متیل سلولز با فرمول شیمیایی $O-CH_2-COO-Na^+$ می باشد که بیشتر مصرف آن در صنایع شوینده می باشد. یکی دیگر از مصارف این محصول با درصد خلوص بیشتر در صنایع آرایشی و تولید خمیر دندان نیز می باشد. البته با توجه به تحقیقات جدید بدست آمده به عنوان ماده سازنده غشای حذف آلاینده هایی نظیر فلزات سنگین موجود در پساب صنایع و پساب رنگی صنایع نساجی و رنگریزی [۹] کاربرد دارد [۱۵، ۴۰].



شکل (۲-۱۸): ساختار شیمیایی سدیم کربوکسی متیل سلولز [۱۵، ۴۰]

۸-۳) غشاء ترکیبی کیتوسان-کربوکسی متیل سلولز

۸-۳-۱) کاربرد در جذب لیزوزیم

ژل کربوکسی متیل سلولز و ژل کیتوسان را باهم توسط یک همزن مکانیکی پر قدرت مخلوط کرده و به آن گلوکارآلدئید به عنوان عامل برقراری اتصال عرضی می افزایند و ذرات سیلیس را که در محیط آبی محلول نیستند به آن می افزایند که باعث ایجاد تخلخل در جاذب ایجاد شده بشود و سپس آن را خشک می کنند. در نهایت یک جاذب تبادل کاتیونی جهت جذب لیزوزیم ساخته می شود. روش های سنتی جهت جذب لیزوزیم نهایت بازده جذب ۳۰٪ داشته است اما درصد جذب لیزوزیم در غشاء CMC-CS به بیش از ۹۵٪ در pH برابر ۹/۲ بوده است یعنی به مقدار ۲۴۰ میلی گرم در گرم (170mg/ml) بوده است. این جاذب ساخته شده قابلیت بازیابی و احیا را توسط محلول بافر با pH برابر ۱۱/۸ و بازگشت به چرخه جذب را دارد [۴۱].

۸-۳-۲) چهارچوب حاوی کیتوسان / کربوکسی متیل سلولز / با حفرات متوسط و لاستونیت

این ترکیب در مهندسی بافت پزشکی جهت ترمیم بافت استخوانی کاربرد دارد. در ترمیم نقایص استخوانی و ساخت پروتز های استخوانی استفاده می شود [۴۲].

۸-۳-۳) جاذب تهیه شده توسط CS-CMC-SA

جهت حفاظت از محیط زیست و طبیعت در صنایع مختلف امروزه از مواد طبیعی دارای خاصیت تجزیه پذیری در طبیعت استفاده می شود. از این فیلم ترکیبی در صنایع بسته بندی مواد غذایی بجای استفاده از مواد پلاستیکی که توسط مواد نفتی و سوخت های فسیلی تهیه می شوند و در طبیعت قابل تجزیه نیستند استفاده می شود. زیرا این مواد خاصیت زیست سازگاری بالا داشته، سمی نیستند، ایجاد آلودگی نمی کنند و خواص آنتی باکتریال جهت نگه داری مواد غذایی دارند [۴۳].

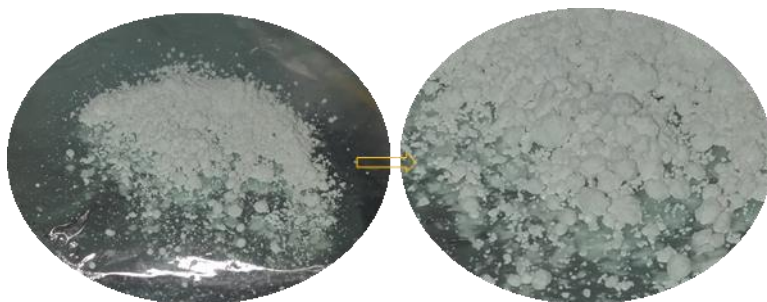
۸-۳-۴) ویژگی های فیلم تهیه شده از CMC-CS

این ژل ها محدوده دمایی ۶۰-۸۰ درجه سانتی گراد تهیه می شوند و ادغام ژل ها باید در همین محدوده دمایی صورت بگیرد زیرا در دمای پائین تر که حل نمی شوند و در دمای بالاتر امکان سوختن، تبخیر و وارد

شدن آسیب به ساختار شیمیایی ژل ها شود. دمای تخریب کیتوسان ۱۲۰ درجه سانتی گراد و دمای تخریب CMC خالص ۲۴۰ درجه سانتی گراد می باشد. از مواد مختلفی جهت ایجاد اتصال عرضی استفاده می کنند مانند فرمالدهید و گلوآرآلدهید و گلیسرول اما فرمالدهید به نسبت گلوآرآلدهید و گلیسرول سمی تر بوده و ممکن است در اثر اشتباه باعث بروز خطر برای سلامتی انسان بشود. و پس افزودن عامل ایجاد اتصال عرضی باید توسط یک همزن مکانیکی و پر قدرت در طی زمان مشخصی خوب مخلوط شوند زیرا در دور و زمان کم احتمال اتصال عرضی شدید و تشکیل توده های سلولی بزرگ بسیار می شود و اگر هم دور و زمان مخلوط سازی بیشتر از حد مجاز باشد باعث از بین رفتن خواص محلول ژل و به وجود آمدن ساختار هموپلیمر و کوپلیمر می شود [۴۳, ۴۴].

۹) زئولیت ZSM-5

زئولیت های ZSM-5 گروهی از آلومینوسیلیکات هایی هستند که ساختاری براساس چهارچوب تتراهدرال To4 تشکیل می دهند (T غالباً Si و یا Al) و پلیمرهای کریستالی معدنی به حساب می آیند. سنتز زئولیت ها در توسعه و به کارگیری کاتالیست های مهم در صنعت نقش بسیار مهمی ایفا کرده است [۴۵].



شکل (۲-۱۹): زئولیت ZSM-5

۹-۱) کاربرد زئولیت ZSM-5

امروزه زئولیت ها یکی از جاذب هایی هستند که به عنوان پایه برای کاتالیست ها توجه زیادی را به خود جلب کرده است. زئولیت ها با سطح ویژه بالا می توانند بصورت بالقوه برای مواردی چون جذب سطحی آلاینده ها و به دنبال آن ، واکنش های کاتالیتیک به کار روند. سایت های فعال می تواند فروپاشی و تخریب

مولکول های بزرگ را تسریع کند، این جایگاه ها توانایی از دست دادن و بدست آوردن آب به صورت برگشت پذیر و همچنین توانایی تبادل برخی از عناصر تشکیل دهنده بدون ایجاد تغییرات عمده در ساختارشان دارا می باشند. زئولیت سنتزی ZSM-5 از خانواده پنتاسیل و دارای چهارچوب ساختاری MFI¹ است و به دلیل میزان سیلیکای بالا ($Si / Al > 5$) دارای اهمیت تجاری می باشد [۴۶].

۱۰) سایر روش های حذف آلاینده های رنگی

الف) جاذب های متیل اورانژ

- ۱- نانو جاذب پلی آنیلین در حضور پایدار کننده سنتز شده و به عنوان جاذب رنگ متیل اورانژ استفاده می شود و یک جاذب نسبتاً موثر جهت حذف متیل اورانژ بوده است [۴۷].
- ۲- استفاده از نانو ذرات مغناطیسی نیکل نسبت به روش های حذف سنتی و فیزیکی و پر هزینه و وقت گیر جاذب مناسب تری جهت حذف رنگ متیل اورانژ بوده می باشد. ولی این نیز روش نسبتاً پر هزینه ای می باشد [۴۸].

ب) جاذب های متیلن بلو

- ۱- خاکستر ساقه گیاه پرسیکا، این گیاه در کشورهایی نظیر ایران، هندوستان، مالزی، نپال، عراق، عربستان، ایتوپی و ... برخی دیگر از کشورها می روید. در گذشته های بسیار دور بجای مسواک و خمیر دندان جهت شستشوی دندان از این گیاه استفاده شده است. اما امروزه دانشمندان به این پی بردند که ساقه این گیاه دارای ظرفیت جذب جهت حذف رنگ متیلن بلو می باشد. یک روش جایگزین جهت روش های قدیمی و استفاده کربن فعال که پر هزینه می باشد استفاده از خاکستر ساقه گیاه پرسیکا می باشد [۴۹].

1) Micro Finance Institutions

۲- از دیگر جاذب های گیاهی رنگ متیلن بلو می توان به جاذب تهیه شده از گیاه کنوکارپوس ارکتوس اشاره کرد که جاذب ارزان قیمت و مفیدی نیز می باشد این گیاه در مناطق آمریکای جنوبی و جدیداً در نواحی جنوب ایران نیز دیده شده است [۵۰].

۳- استفاده از نانوذرات اکسید روی تثبیت شده در حضور پرتو فرابنفش جهت رنگ بری متیلن بلو نیز یکی دیگر از روش های حذف رنگ می باشد که در شرایط خاص خودش با استفاده از سیستم فوتوکاتالیزوری انجام می شود.

۴- خاک اره (چوب) اصلاح شده با $KMnO_4$ (پتاسیم پر منگنات) یکی دیگر از جاذب های موثر حذف متیلن بلو بوده که به صورت ناپیوسته انجام می شود [۵۱].

۵- زئولیت طبیعی نوعی جاذب طبیعی جایگزین کربن فعال می باشد که کم هزینه و زیست سازگار می باشد. زئولیت آلومینوسیلیکات بلورین یک جاذب بسیار متخلخل، دارای حفرات با اندازه میکرو، مقاومت حرارتی مناسب، با قابلیت بازیابی مجدد ولی با سطح ویژه کم می باشد. با توجه به توانایی بالای کاتیونی و خواص غربالی مولکولی جاذب زئولیت طبیعی به عنوان یک جاذب در فرایند تصفیه و جداسازی رنگ متیلن بلو از جریان آبی استفاده می شود [۵۲].

۱۱) پیشینه علمی (مروری بر سابقه پژوهش)

در تحقیق انجام شده توسط دکتر پویان خوشبخت و دکتر حسین گنجی دوست در مورد فرآیند غشائی در حذف رنگ از پساب صحبت شده که بیان گر انواع روش های غشائی اعم از میکروفیلتراسیون، اولترافیلتراسیون و نانو فیلتراسیون و چگونگی عملکرد و کاربرد و معرفی این روش ها، و مزایای فرآیند غشائی نسبت به روش سنتی می باشد و همین طور در مورد پدیده ی جذب سطحی، همان گونه که تمامی این روش ها در کتاب فرآیند غشائی دکتر مدائنی و اصول فرایند های جداسازی دکتر حمیدرضا مرتضی و اصول فرآیند های جداسازی سیدر بیان شده می باشد [۶, ۲۰, ۲۱, ۲۵].

تحقیق کاربرد فوم پلی یورتان در حذف رنگ دایرکت رد ۸۰ و آبی راکتیو ۲۱ در محیط های آبی که توسط جولیانا د جوسوس و همکارانش انجام شد در مورد حذف دو رنگ ذکر شده به وسیله فرایند جذب سطحی رنگ توسط فوم پلی یورتان بود، که این فرایند توسط جذب پیوسته و جذب ناپیوسته انجام پذیر است و با استفاده ایزوترم جذب لانگمویر این فرایند را توصیف کرده اند [۲۳].

رجیانه دا روزا و همکارانش سنتز فوم پلی یورتان - کیتوسان با پایه بیولوژیکی را انجام داده اند و کاربرد این فوم را در حذف ۱۷ رنگ غذایی بررسی کردند. پی به ساختار کریستالی و تخلخل و خواص مکانیکی خوب این فوم بردند و پی بردند که غشائی که تهیه کرده اند توانایی حذف رنگ مواد غذایی در محیط های آبی را داراست و ظرفیت جذب آن بیش از ۹۸٪ می باشد و همچنین مشخص کردن که ۴۰٪ ظرفیت جذب این غشاء به تنهایی مربوط به فوم پلی یورتان می باشد. همچنین بیان کردند که فرایند جذب رنگ به صورت خود خودی بوده و در آخر ثابت کردند که فوم پلی یورتان یک بستر نگه دارنده مناسب برای ژل کیتوسان می باشد [۳۴].

ماریانا موراس و همکاران در زمینه سنتز فوم پلی یورتان اصلاح شده توسط سلولز و مطالعات سینتیک جذب رنگ تحقیقاتی انجام داده اند. فوم ساخته شده توسط این گروه جهت حذف رنگ مناسب بوده و راندمان جذب بازده ۷۰٪ داشته است و جهت توصیف کار خود از آنالیز های FTIR, TGA, SEM استفاده کردند [۵۳].

شالینی و همکارانش در زمینه تهیه غشاءهایی از جنس پلی یورتان تهیه شده با پایه بیولوژیکی و اصلاح شده توسط باکتری و ایجاد یک بیوراکتور بستر سیال چند مرحله ای کار و تحقیق کرده اند. شالینی و همکارانش بیان کردند که بیوراکتور بستر سیال چند مرحله ای M-FBBR برای حذف رنگ قرمز کنگو با استفاده از فوم پلی یورتان و باکتری بی حرکت سوبتلیس ساخته شده است. بررسی سطح فعال برای رشد میکروبی و اثر متقابل بیولوژیکی از فاکتور مهمی هستند که جهت بی رنگ سازی با واسطه بی حرکت در نظر گرفته می شود. و برای بهبود سطح فعال و کارایی بیشتر از دو روش استفاده کردند: (۱) از آنها جلوگیری

از تجمع PUFs در سطح بالای واکنش، ۲) تهیه فوم پلی یورتان بیشتر. همچنین از یک جعبه استیل انعطاف پذیر برای پخش کردن قطعات فوم پلی یورتان و جلوگیری از تجمع آنها در بالای بیوراكتور استفاده کردند. اما بازده جذب غشا ۹۱٪ گزارش شده است [۸].

عباس محمدی و همکارانش در زمینه تهیه فوم پلی یورتان اصلاح شده توسط بوتیل تیاکالیکس جهت حذف رنگ سبز مالاچیت پژوهش انجام دادند و جاذب مورد نظر را سنتز کردند. عامل برقراری اتصال عرضی گلیسرول می باشد. [۵۴].

در مقاله کارایی کیتوسان به عنوان جاذب و کمک منعقد کننده در حذف آلاینده ها از آب دکتر شهبازی و آقای نیکنام بدست آمده است در مورد کاربرد و منابع تهیه کیتوسان در صنعت تصفیه پساب سخن گفته شده است [۳۷].

تحقیق انجام شده توسط دکتر مریم نیکزاد و همکارش هم همانند مورد قبلی در مورد کاربرد کیتوسان در صنعت تصفیه پساب اطلاعاتی جمع آوری شده است [۳۸].

در تحقیق که توسط نیکل اف روباینا (و همکارانش) انجام شده است تهیه فوم پلی یورتان اصلاح توسط سدیم دودسیل فسفات به عنوان یک جاذب برای حذف های کاتیونی رنگ سبز مالاچیت، کریستال بنفش، متیل بلو کاربرد دارد. یک روند بهینه جهت حذف آلودگی از جریان آبی می باشد که متدولوژی این روش توسط روش آماری RSM توصیف شده است. بازده جذب این روش ۹۰٪ بوده است [۱۹].

در نتایج حاصله از تحقیق انجام شده توسط هو چنگ یانگ و سایر همکارانش (دانشگاه هونان) انجام شد نشان دهنده تشکیل یک غشاء با بستر پلی یورتانی می باشد که توسط کیتوسان و هیومیک اسید اصلاح شده می باشد و این غشاء یک خاصیت انتخاب گری جهت حذف رنگ متیلن بلو هم به صورت تک در جریان آبی و هم به صورت مخلوط باینری می باشد یعنی توانایی حذف رنگ متیلن بلو را از سیستم مخلوط دوتایی رنگ های متیل اورانژ و رودامین B که به صورت سیستم دوتایی MO/MB و MB/RB را داراست و همچنین توانایی سایر رنگ ها مانند متیل اورانژ و رودامین B را در مخلوط باینری دارا می باشد.

جهت توصیف این غشاء از پرتو ایکس استفاده کردند و جهت نشان دادن ساختار ظاهری آنالیز SEM انجام شده است. فرآیند تصفیه و حذف رنگ غشاء توسط عملیات جذب سطحی صورت گرفته و سنتیک جذب آن توسط معادلات فرایند درجه دوم یا ایزوترم جذب فروندلیچ توصیف شده است. در آخر ظرفیت جذب حذف رنگ برای $MO=99.7\%$, $RB=71.6\%$, $MB=62.1\%$ گزارش شده است. این غشاء توسط سنتز گرمایی و عملیات خشک انجمادی و فشار داغ ساخته می شود [۱۳].

این تحقیق که مجدد توسط جی لای گنگ و سایر همکارانشان انجام شده است ادامه دهنده تحقیق قبل بوده و فقط با تفاوت ساخت غشائی با توانایی حذف سه رنگ در مخلوط رنگ های آبی می باشد، این بار چهارچوب های آلی فلزی مبتنی بر زیرکونیوم های اصلاح شد را روی بستر فوم پلی یورتان بارگذاری کردند و توانایی جذب غشاء را افزایش دادند. زیرا طبق دو پژوهش انجام شده دنبال ساخت غشائی بودند که توانایی حذف رنگ ها با بار و تعداد مختلفی را در جریان پساب داشته باشند زیرا پساب واقعی شامل رنگ های زیادی بوده که بارها و خواص متفاوتی دارند. این بار سیستم باینری و سه تایی رنگ ها به صورت $RB/MB, CR/MB, CR/RB, CR/RB/MB$ می باشد. و ظرفیت جذب این غشاء در تمامی حالت ها بین $85\%-97\%$ محاسبه شده است. این غشاء توسط فرایند سنتز هیدروترمال و فشار داغ ساخته می شود [۱۴].

در فرایند انجام شده توسط یانگ به همراه سایر اعضای گروهشان روشی موثر و کم هزینه جهت حذف آلاینده های سنگین فلزی مانند سرب II بیان شده است. در این قسمت روش ساخت آسان یک غشاء کم هزینه و با ظرفیت جذب بالا، توسط چهارچوب آلی فلزی بارگذاری شده روی بستر پارچه ای انعطاف پذیر که توسط CMC اصلاح شده بیان شده است. دانشمندان این پروژه جهت انجام فرآیند کریستال های $Zn/Co-$ ZIF را روی یک بستر پارچه ای سنتز کرده و ساختار ارزان قیمت و مقاوم از MOFs را نسبتاً به روش های سنتی ساخت MOFs ایجاد کردند. و از تجمع MOFs روی یکی نقطه جلوگیری کردند این فرآیند را در دمای اتاق انجام دادند. سپس این MOFs را توسط CMC اصلاح کردند و غشاء $CMC-MOF/Cloth$ را ساختند. ظرفیت جذب حدوداً 87% بوده است [۹].

نکته: تمامی غشاء های ذکر شده خاصیت بازیابی و احیا را نیز دارا بودند.

سایر تحقیقات و مقالات استفاده و مطالعه شده در این پروژه مربوط به تاریخچه، معرفی، روش تولید، سایر کاربردها مواد مورد استفاده در این فرآیند می باشد.

با توجه به تمام موارد ذکر شده و تحقیقات بدست آمده در زمینه تصفیه پساب رنگی که توسط دانشمندان انجام شد این فرایند یعنی ساخت غشاء فوم پلی یورتان اصلاح شده توسط ژل کربوکسی متیل سلولز- کیتوسان و استفاده از آن در حذف پساب رنگی تا به حال انجام نشده است. و این روش نیز یک روش جدید جهت حذف پساب رنگی با بار و رنگ های مختلف می باشد که توانایی احیا و جذب را نیز دارا می باشد. نسبتا مقاوم و محکم می باشد و ظرفیت جذب بالایی دارد.

فصل سوم

معرفی لوازم و روش ها

(۱) مواد شیمیایی و وسایل مورد استفاده

کربوکسی متیل سلولز و کیتوسان ساخت شرکت سیگما آلدریج^۱ (محصول آمریکا) ، استیک اسید و سدیم هیدروکسید شرکت دکتر مجللی (محصول ایران)، رنگ های شیمیایی متیلن بلو، متیل اورانژ، متیل رد، اریوکروم بلک تی و پودر آهن III کلرید ساخت شرکت سامچون^۲ (محصول کره جنوبی)، گلوکارآلدهید و آب دیونیزه محصول شرکت های ایرانی، زئولیت ZSM-5 تولیدی از شرکت پترومهر ایران، فوم پلی یورتان ساخت صنایع مبلمان ایران (اصفهان)، آب مقطر مورد استفاده قرار گرفته است. جهت ساخت محلول های رنگی و ژل ها و جاذب در این آزمایش از بشر، بالون ژوزه شیشه ای نشکن یا پیرکس با توان تحمل محدود دمایی تا ۸۰ سانتی گراد، بشر استیل، قیف شیشه ای، اسپاتول، دماسنج با رنج دمایی ۱۸۰-۱۱۰ درجه سانتی گراد، مگنت (ظروف شیشه ای ساخت کشور چین بوده است) استفاده شده است.

(۲) تجهیزات مورد استفاده در آزمایشگاه

1) SIGMA-ALDRICH
2) SAMCHUN

الف) ترازوی دیجیتال آزمایشگاهی

ترازوی دقیق آزمایشگاهی اوهاس مدل TA502 از جمله ترازوهای سری Traveler کمپانی اوهاس (سوئیس-آمریکا)، با دقت ۰/۰۱ تا وزن حدود ۵۰۰ گرم را اندازه گیری می کند. می باشد. این سری از ترازوهای کمپانی اوهاس امکان کار با برق و باتری را دارند. طراحی ظاهری و ساختار این سری از ترازوها به گونه ای می باشد که به راحتی قابل حمل باشند. با توجه به ویژگی کار با باتری در این سری از ترازوها، کاربرد این ترازوها در شرایط مختلف به سهولت امکان پذیر می باشد. یکی دیگر از مهم ترین ویژگی های ترازوهای سری Traveler امکان نصب محفظه مخصوص جهت حذف تاثیر جریان هوا بر روی دستگاه می باشد.



شکل(۳-۱): ترازوی دیجیتالی اوهاس مدل TA502

ب) ترازوی چهار صفر دیجیتال

ترازو آزمایشگاهی اتوکالیبره AND مدل GR200 ساخت کشور ژاپن جهت وزن کردن مواد شیمیایی کم وزن و حساس کاربرد دارد. با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم تا ظرفیت ۲۱۱ گرم به صورت کاملاً دیجیتال انجام می دهد. این ترازو معروف به ترازوی چهار صفر آزمایشگاهی نیز می باشد. دارای محفظه توزین شفاف است و درب آن به راحتی باز می شود. وجود محفظه توزین باعث می گردد تا عملیات توزین بسیار دقیق تر انجام شود، که باعث تاثیر گذاری بالایی در دقت اندازه گیری ترازو نیز می شود. وجود محفظه توزین از فشار، وزن و تاثیر هوای محیط بر روی وزن نمونه و هم چنین آلودگی نمونه در اثر تماس با گرد و غبار موجود در هوا جلوگیری می کند. صفحه کلید ترازو نیز ضد آب و گرد و غبار است. امکان اتصال به کامپیوتر یا چاپگر نیز

در این ترازو وجود دارد. ترازو آزمایشگاهی اتوکالیبره AND مدل GR200 از بدنه محکم از جنس پلاستیک فشرده ساخته شده است. سینی ترازو نیز به صورت گرد و از جنس استیل است که در صورت کشیف شدن به راحتی تمیز می شود. این ترازو به دلیل دقت بالا در اندازه گیری و ابعاد کوچک و قابل حملش در آزمایشگاه های شیمیایی، زیستی و طبی استفاده می شود.



شکل (۳-۲): ترازوی چهار صفر AND مدل GR200

۳-۲) هیتر استریر (همزن مغناطیسی حرارتی)

همزن مغناطیسی آلفا^۱ جهت هم زدن و گرم کردن محلول ها مورد استفاده قرار می گیرد به طوریکه هم زدن و مخلوط کردن آن با ایجاد یک میدان مغناطیسی دوار انجام می شود. در این نوع همزن از یک جسم میله ای مانند کوچک به نام مگنت استفاده می کنند، که درون ظرف محلول مانند بشر، بالن ژوژه و... قرار می گیرد. سپس ظرف مایع بر روی صفحه ی استریر قرار داده می شود که زیر آن یک صفحه کوچک محوری با خاصیت مغناطیسی در حال حرکت و چرخش است، این صفحه یا محور مگنت داخل ظرف را بدون تماس فیزیکی و به وسیله نیروی مغناطیسی به حرکت و چرخش در می آورد. همزن مغناطیسی یا استریر می تواند شامل یک صفحه داغ جهت گرمایش مایع نیز باشد که در اصطلاح به آن دستگاه هیتر استریر گفته می شود. گرمای این صفحه داغ توسط انرژی الکتریکی و برق شهری تأمین می شود. صفحه با یک لایه محافظ تفلونی نسوز پوشیده شده و می تواند قطرها و ابعاد مختلفی داشته باشد.

1) Magnetic stirrer, Heater Stirrer, Magnetic Mixer



شکل (۳-۳): هیتر استیرر آلفا مدل HS-860

۴-۲) همزن مکانیکی

همزن مکانیکی در اکثر آزمایشگاه های شیمی، شرکت های داروسازی، کارخانه جات ساخت لوازم آرایشی، صنایع رنگ سازی، و مکانیک خاک مورد استفاده قرار می گیرید. این دستگاه در قدرت ها و سایزهای مختلف ساخته و به بازار ارائه می گردد. بستگی به نوع مصرف در توان و سرعت خاصی مورد استفاده قرار می گیرد. در ایران توسط شرکت آزما طب طراحی و ساخته می شود و با توجه به کاربرد دو مدل متفاوت دارد.

الف) مدل موتور گیربکسی قدرتمند

ب) موتور غیر گیربکسی سرعتی (مدل TAT-2500)

این دستگاه شامل موتور با جنس بدنه فولادی، میله نگه دارنده به ارتفاع ۵۰ سانتی متر، میله گردان به طول ۲۵ سانتی متری، پروانه ای به قطر ۶ سانتی می باشد. دور چرخش و زمان کارکرد آن قابل تنظیم می باشد. حداقل دور چرخش آن 50rpm در دقیقه می باشد. این دستگاه در مدت زمان طولانی به طور مداوم، بدون گرم شدن و تغییر سرعت کار کند.



شکل (۳-۴): همزن مکانیکی دیجیتال

۵-۲) حمام التراسونیک

هموژنایزر التراسونیک یا همگن ساز فراصوتی دستگاهی به منظور تبدیل یک جریان الکتریکی به یک ارتعاش مکانیکی است که سبب همگن شدن محلول می شود. این دستگاه با ایجاد امواج شدید فشاری در یک محیط مایع کار می کند. امواج فشاری باعث جریان در مایع شده و تحت شرایط مناسب موجب پدیده کاویتاسیون می شود. انفجار حبابها تولید موج ضربه ای با انرژی کافی برای شکستن پیوند کووالانسی (بین توده های سلولی یا ذرات کلوخه شده) می کند. نیروی برشی حاصل از انفجار حباب و همچنین از جریان های اغتشاشی ناشی از ارتعاش صوتی برای همگن سازی و تخریب سلول استفاده می شود. از جمله کاربردهای متنوع این دستگاه می توان به متفرق کردن نانوذرات در مایعات، تولید امولسیون و سوسپانسیون پایدار، شکاندن مولکول های پلیمری سنگین، فرآوری پروتئین ها و DNA، عصاره گیری و... اشاره نمود. تولید و پوشش دهی ذرات نانومتری، پراکنده ساختن ذرات نانومتری در کامپوزیت ها و محلول ها، سنتز نانوذرات پلیمری، اکسیدی و... از جمله کاربردهای امواج فراصوت در این شاخه از علم است.



شکل (۳-۵): حمام اولتراسونیک مدل ELMA E30 SH

۲-۶) آون

شرکت های سازنده ی این دستگاه آزمایشگاهی ، برای انجام فعالیت های گوناگون ، این وسیله را در شکل های مختلفی طراحی کرده اند. در بعضی از آن ها ، انتقال گرما به شکل خودکار و طبیعی انجام می شود، در صورتی که در بعضی از مدل های دیگر این وسیله ، انتقال گرما با کمک پنکه و یا از ویژگی سبک بودن هوای گرم و سنگین بودن هوای سرد ، برای جابجایی هوای داخل آون استفاده می شود . معمولا ، عملکرد آون ها در طیف گرمایی بین دمای اتاق تا ۳۵۰ درجه سانتیگراد قرار می گیرد . با آن که انواعی از فورها هستند که تا دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد را نیز فراهم می سازند. از آون برای استریل یا خشک کردن وسایل شیشه ای و یا فلزی که در محیط های آزمایشگاهی کاربرد دارند استفاده می شود. عمل استریل و خشک کردن وسایل فلزی تمیز شده توسط حرارت و در دمای ۱۸۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲ ساعت انجام می شود . با بالا بردن تدریجی دمای داخل آون ، رطوبت موجود در وسایل شیشه ای تبخیر و در نتیجه سبب حذف هر نوع فعالیت زیستی خواهد شد.



شکل (۳-۶): آون مدل SHIMAZCO-200959

۲-۷) خشک کن انجمادی^۱

خشک کردن انجمادی به طور خلاصه فرایندی است که در طی آن ماده‌ای را منجمد می‌کنند و سپس با کاهش فشار سامانه، آب منجمد درون ماده مورد نظر را به‌طور مستقیم به بخار (تصعید) تبدیل می‌کنند. از این فرایند برای افزایش مدت نگهداری مواد غذایی و دارویی و همچنین آسان کردن حمل و نقل آن‌ها بهره می‌برند. خشک کردن مواد حساس به حرارت با روش‌های معمول مانند گرم کردن ممکن نیست. خارج کردن حلال از ساختمان پلیمرها، ترکیبات زیستی، مواد غیرآلی حساس، خارج کردن آب از ساختار آن‌ها از مهم‌ترین مسائل صنایع داروسازی، صنایع غذایی، پزشکی، صنایع پتروشیمی، بیوشیمی و فناوری نانو به شمار می‌رود. اکسید نشدن مواد، ایجاد نشدن ترکیبات جدید، کاهش چسبندگی و توده‌ای شدن مواد، یکنواختی اندازه ذرات مواد، افزایش مدت نگهداری و پایین بودن قیمت این فرایند از مزیت‌های آن بر دیگر روش‌های خشک کردن مواد می‌باشد.

1) Freeze-drying



شکل (۳-۷): خشک کن انجمادی (Freeze Drying)

۲-۸) pH متر

این دستگاه وسیله ای جهت تشخیص اسیدی بودن یا قلیایی بودن یک ماده می باشد. لغت pH متشکل از حرف p که نماد ریاضی برای لگاریتم منفی و H که نماد شیمیایی برای هیدروژن می باشد. به عبارتی برابر با لگاریتم منفی غلظت یون های هیدروژن و یا به عبارت دیگر برابر با لگاریتم منفی فعالیت یون های هیدرونیوم موجود در آن می باشد. میزان این پارامتر را می توان وابسته به درجه ی اسیدی یا قلیایی محلول و همچنین فعالیت یون هیدروژن دانست. در واقع مقدار pH بستگی به غلظت یون H و OH درون محلول دارد. بازه تغییرات محدوده ی pH در محدوده ی ۰-۱۴ می باشد. اگر pH از ۷ کوچکتر باشد ماده اسیدی و اگر از ۷ بزرگتر باشد ماده بازی یا خاصیت قلیایی دارد. و محدوده ی ۶/۵ تا ۷/۵ محدوده ی خنثی می باشد. دانستن pH در صنایع مختلف و حتی مسائل مربوط به سلامتی انسان، تهیه آب آشامیدنی، علوم مربوط به رشد و نمو باکتری ها و علوم بیولوژیکی، علم برداشت محصول و بهره برداری از خاک، کشاورزی، آبی پروری، تصفیه آب و فاضلاب خانگی - بیمارستانی و صنایع مختلف نظیر کارخانجات چرمسازی/ صنایع نفت گاز و پتروشیمی/ کارخانجات نساجی و حائز اهمیت است.



شکل (۳-۸): pH متر رومیزی مدل (INOLAB17110)

۳) معرفی آنالیزها

الف) دستگاه طیف سنج نوری^۱

اسپکتروفوتومتر فرابنفش - مریی از کمپانی Rayleigh، مدل UV-2601 ساخت کشور چین می باشد. دستگاه اسپکتروفوتومتر ماورا بنفش وسیله ای است که انرژی جذبی یا عبوری نور را اندازه گیری می کند. فعالیت اکثر آنزیم ها، تری گلیسیریدها، لیپوپروتئین ها، قندها، کراتینین، اوره و طیف وسیعی از آنالیت ها با کاربردهای بالینی، تحقیقاتی و بخش گسترده ای از متابولیت ها با اسپکتروفوتومتر قابل سنجش هستند. اسپکتروفوتومتر متشکل از دو وسیله، یعنی Spectro (طیف سنج) برای تولید نور از هر رنگ انتخاب شده (طول موج) و photometer (نور سنج) برای اندازه گیری شدت نور است. اسپکتروفوتومتری یا طیف سنجی روشی است که با استفاده از عبور نور از یک آنالیت (نمونه محلول) در یک محلول شیمیایی و تعیین میزان جذب و عبور نور از آن به تعیین خصوصیات آن آنالیت و ماده شیمیایی می پردازد. نور مورد استفاده طیفی از انرژی الکترومغناطیس می باشد که هر طیف نوری دارای طول موج و فرکانس مشخصی است. دستگاه اسپکتروفوتومتر یکی از دستگاه های مورد استفاده در روش طیف سنجی یا اسپکتروفوتومتری می باشد. یک دستگاه اسپکتروفوتومتر از منبع نور تک فام ساز (مونوکروماتور)، شکاف عبور یا متمرکز کننده پرتو، کووت یا سل (محل قرار دادن نمونه)، آشکارساز (پردازش گر) و صفحه نمایشگر تشکیل شده است.

1) UV/Visible Spectrophotometer



شکل (۳-۹): دستگاه اسپکتروفتومتر نوری مدل RAYLEIGH UV-2601

ب) میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی^۱ FESEM

میکروسکوپ الکترونی روبشی یا SEM نوعی میکروسکوپ الکترونی است که قابلیت عکس برداری از سطوح با بزرگنمایی ۱۰ تا ۵۰۰۰۰۰ برابر با قدرت تفکیکی کمتر از ۱ تا ۲۰ نانومتر (بسته به نوع نمونه) را دارد. میکروسکوپ الکترونی روبشی، از مناسبترین وسایل در دسترس برای آزمایش و آنالیز مورفولوژی نانو ساختارها و شناسایی ترکیبات شیمیایی است. توانایی SEM برای بررسی سطح مواد بی نظیر بوده و حائز برتریهای فراوانی نسبت به میکروسکوپهای نوری است. در میکروسکوپ نوری تشکیل تصویر با استفاده از نورهای منعکس شده از سطح نمونه صورت میگیرد، در حالی که در SEM این مهم با بکارگیری الکترونها میسر می شود. در واقع این میکروسکوپ یکی از روشهای تولید تصاویر با روبش یک پرتو الکترونی روی سطح نمونه است. طول موج الکترونها از فوتونهای نور کوتاهتر بوده و طول موج کوتاهتر باعث ایجاد وضوح، قدرت تفکیک و حصول اطلاعات مناسب تر می شود. در حقیقت در SEM هیچ سیستم نوری-الکترونی برای تشکیل تصویر و بزرگ نمایی وجود ندارد، بلکه تصویر از مشاهده نقطه به نقطه پدیدههای سطح منتج از اثر متقابل پرتوی الکترونی با سطح نمونه تشکیل می شود. با این روش تصاویر سه بعدی از ساختار، نمونه به دست می آید. اجزای اصلی یک SEM را می توان این گونه نام برد: تفنگ الکترونی، لنزها، روزنه ها، سیستم روبش، محفظه نمونه، سیستم خلاء، سیستم نمایش.

1) Field Emission Scanning Electron Microscope

مشخصات دستگاه مورد استفاده در این پژوهش به شرح زیر می باشد:

← اسم دستگاه: FESEM

← کمپانی سازنده: TESCAN

← مدل دستگاه: MIRA III

← کشور سازنده: جمهوری چک



شکل (۳-۱۰): میکروسکوپ الکترونی روبشی میدانی FESEM

پ) طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز FTIR¹

طیف سنجی تبدیل فوریه یک تکنیک اندازه‌گیری است که به وسیله آن، بر اساس اندازه‌گیری همدوسی منبع تابشی، طیف بدست می‌آید. که در این عمل از اندازه‌گیری‌های قلمروی زمانی و فضایی تابش‌های الکترو مغناطیسی استفاده می‌شود. این عمل می‌تواند بر انواع مختلف طیف سنجی اعمال شود. شامل: طیف سنجی اپتیکی، طیف سنجی فروسرخ (FTIR, FT-NIRS)، تشدید مغناطیسی هسته‌ای (NMR) و تصویرسازی طیف سنجی تشدید مغناطیسی (MRSI) و طیف سنجی جرمی، طیف سنج تشدید اسپین الکترون. روش‌های متعددی برای اندازه‌گیری هم بستگی زمانی نور وجود دارد، مثل موج پیوسته مایکلسون یا طیف سنجی تبدیل فوریه و طیف نگار تبدیل فوریه پالسی (که حساس تر است و زمان نمونه برداری کمتری نسبت به تکنیک‌های متداول طیف سنجی دارد اما فقط در محیط آزمایشگاهی قابل استفاده است). عبارت

1) Fourier-Transform Infrared

طیف سنجی تبدیل فوریه نشان دهنده این است که در همهی این روش‌ها برای تبدیل داده‌های خام به طیف واقعی تبدیل فوریه لازم است، و بر اساس نظریه وینر-کنیچین است. در این عملیات از دستگاه FTIR مدل AVATAR Thermo ساخت کشور آمریکا استفاده شده است.



شکل (۳-۱۱): دستگاه FTIR

ت) طیف سنج پراش پرتو ایکس^۱ XRD

پراش پرتو X یا XRD به منظور آنالیز فازی و بررسی اندازه دانه‌ها و ذرات نانو مواد استفاده می‌شود. این کار از طریق پردازش و آنالیز پرتو X بازگشتی از سطح نمونه امکان پذیر است. این روشی است که روزالیند فرانکلین از آن برای تصویربرداری از DNA استفاده کرد. اشعه‌های ایکسی که برای پراش استفاده می‌شوند، معمولاً طول موجی در حدود ۰/۵ الی ۲/۵ آنگستروم دارند. این روش بر پایه خاصیت موجی اشعه ایکس استوار است. به‌طور کلی با استفاده از اشعه ایکس می‌توان ساختمان کریستالی الیاف و پلیمرها را مشخص نمود. اطلاعاتی که از پراش اشعه ایکس بدست می‌آید شامل شکل و اندازه واحد ساختمانی آرایش مولکولی زنجیره‌های پلیمری در واحد ساختمانی آرایش یافتگی کریستالی اندازه متوسط کریستال‌ها پارامترهای بی‌نظمی درصد بی‌نظمی و آرایش یافتگی در مناطق بی‌نظم. کاربردهای دقیق‌تر این روش عبارت است از:

← تعیین خصوصیات کریستالی مواد

← شناسایی مواد معدنی که با روش‌های نوری قابل تشخیص نیستند

← تعیین اندازه سلول‌های واحد تشکیل دهنده ماده

1) X-ray Diffraction (XRD)

- ← اندازه‌گیری میزان خلوص ماده
- ← اندازه‌گیری ضخامت فیلم‌های نازک و چندلایه
- ← تعیین مشخصات ساختاری شامل پارامتر شبکه، اندازه و شکل دانه، کرنش، ترکیب فاز و تنش داخلی
- مناطق کریستالی کوچک
- ← تعیین ساختار سوم پروتئین‌ها
- مشخصات دستگاه مورد استفاده
- ← نام دستگاه پراش پرتو ایکس (XRD)
- ← کمپانی سازنده: PHILIPS
- ← مدل دستگاه: PW1730
- ← کشور سازنده: هلند



شکل (۳-۱۲): دستگاه پراش پرتو ایکس XRD

ث) آنالیز اندازه‌گیری مساحت سطح BET^1

آزمون BET برای اندازه‌گیری مساحت ویژه و چگالی نانو لوله‌ها و جاذب‌ها استفاده می‌شود. اندازه‌گیری دقیق مساحت سطح و تخلخل در بسیاری از کاربردها مانند کاتالیست‌ها، نانو جاذب‌ها، ترکیبات و افزودنی‌ها، مواد دارویی و صنایع غذایی و همچنین در نانو ساختارهایی نظیر نانو ذرات فلزی، نانو لوله‌ها، نانو الیاف و

1) Stephen Brunauer, Paul Hugh Emmett, Edward Teller (1938)= BET

غیره از اهمیت بالایی برخوردار است. از بین روش‌های مورد استفاده در تعیین میزان تخلخل، روش BET که مبتنی بر جذب می‌باشد بسیار مورد توجه قرار گرفته است. این سیستم بر اساس تئوری BET و همچنین مقادیر اندازه‌گیری شده جذب و واجذب ماده می‌تواند سطح ویژه، قطر، حجم و توزیع سایز حفره‌های ماده را محاسبه نماید. آنالیز BET بر اساس سنجش حجم گاز نیتروژن جذب و واجذب شده توسط سطح ماده در دمای ثابت نیتروژن مایع (۷۷ درجه کلوین) کار می‌کند. روش اندازه‌گیری این سیستم هیچ‌گونه آسیبی به ماده وارد نمی‌کند و برای نمونه‌های پودری بسیار مناسب است.

نام این تئوری از حرف اول نام سه دانشمند به نام‌های استیون برونار، پاول هیوج ایمت و ادوارد تلمر که این تئوری را در سال ۱۹۳۸ ارائه کرده بودند، گرفته شده است.

مشخصات دستگاه BET

← کمپانی سازنده: BEL

← مدل دستگاه: BELSORP MINI II

← دستگاه گاززدایی: BEL PREP VAC II (حرارت دهی تحت وکیوم تا دمای ۴۵۰ درجه سانتیگراد)

← کشور سازنده: ژاپن



شکل (۳-۱۳): دستگاه BET

ج) آنالیز TGA¹

آنالیز گرماسنجی یا آنالیز گرماسنجی حرارتی (TGA) روشی برای تجزیه گرمایی است که با تغییر دما، در طی زمان جرم یک نمونه اندازه‌گیری می‌شود. این اندازه‌گیری اطلاعاتی در مورد پدیده‌های جسمی، مانند گذار فاز، جذب، جذب سطحی و دفع می‌دهد؛ و همچنین پدیده‌های شیمیایی، شیمی درمانی، گرما کافت و واکنش‌های گاز جامد (به عنوان مثال، اکسیداسیون یا کاهش) را شامل می‌شود. آنالیز TGA روشی برای بررسی و کشف نحوه‌ی رفتار یک ماده در مقابل حرارت می‌باشد. روش استفاده بدین صورت است که مقدار کمی از ماده‌ای که مورد بررسی است در دستگاه قرار می‌گیرد و دستگاه به تدریج و به صورت تناوبی به ماده حرارت می‌دهد. مقدار ماده‌ای که در دستگاه قرار می‌گیرد معمولاً در حد چند میلی‌گرم است. در کنار این دستگاه یک کامپیوتر قرار می‌گیرد که داده‌ها را تحلیل می‌کند. دستگاه جرم نمونه را در دماهای مختلف در حافظه خود ثبت می‌کند و در نهایت داده‌ها بر روی یک نمودار رسم می‌شوند. محور عمودی بیانگر جرم نمونه و محور افقی نشان دهنده‌ی دما است. سیر نزولی نمودار این واقعیت را نشان می‌دهد که با افزایش دما جرم نمونه در حال کاهش است. با انجام این آنالیز دمای تخریب نمونه بدست می‌آید اما سرعت تخریب را نمی‌توان بدست آورد. مدل دستگاه مورد استفاده در آنالیز Q600 کمپانی TA ساخت کشور آمریکا می‌باشد. گازهای مورد استفاده در این فرآیند گاز آرگون فاقد هوا می‌باشد.



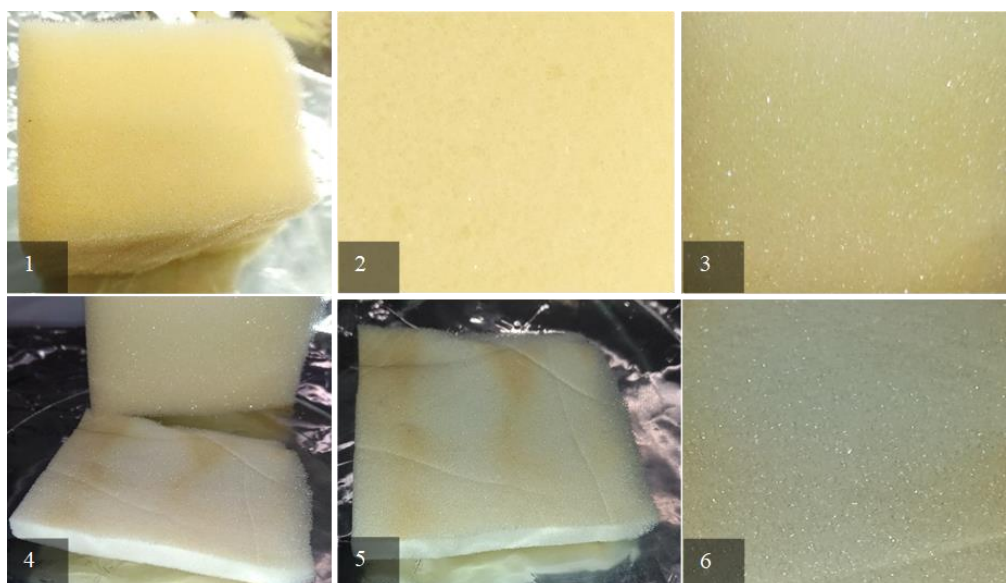
شکل (۳-۱۴): دستگاه TGA

1) Thermo Gravimetric Analysis

۴) روش انجام آزمایشات

الف) آماده سازی فوم پلی یورتان

فوم پلی یورتان (به طول ۲، عرض ۱ متر و ضخامت ۵ سانتی متر) از اکثریت جاها به ویژه صنایع مبلمان قابل تهیه می باشد. فوم پلی یورتان را در ابعاد مورد نظر برش داده، توسط دترجنت ها (مایع دستشویی) شستشو داده می شود. به مدت چند ساعت (۵ نهایتا ۱۲ ساعت) در دمای اتاق می ماند تا خشک بشود. جهت انجام آزمایشات مختلف، چند قطعه فوم را توسط کاتر نصف می کنند یعنی ضخامت آن ها از ۵ سانتی متر به تقریبا ۲/۵ سانتی متر می رسانند، سپس بقیه فوم ها را به همان گونه که هستند استفاده می کنند. اما جهت مقایسه جاذب ساخته شده جدید تعدادی از فوم های پلی یورتان با قطر ۵ سانتی متر و تعدادی از فوم های نصف شده توسط عملیات پرس داغ، پرس می کنند. در این صورت دو دسته فوم ساخته می شود، دسته اول فوم فاقد ژل که نشانه دهنده ظرفیت جذب پلی یورتان ها در برابر رنگ ها می باشند، دسته دوم فوم های پلی یورتان حاوی ژل کربوکسی متیل سلولز-کیتوسان که نام آن فیلتر بیونانو کامپوزیتی، فوم پلی یورتان اصلاح شده توسط ژل کربوکسی متیل سلولز-کیتوسان می باشد.

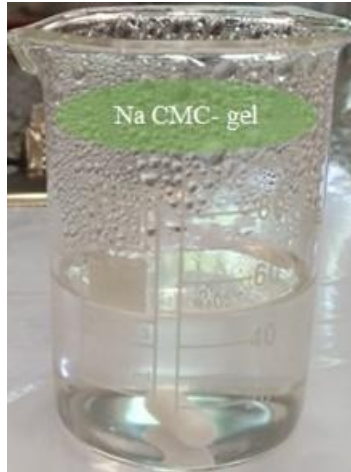


شکل (۳-۱۵): فوم پلی یورتان، تصویر (۱) فوم با ضخامت ۵ سانتی متر، (۲ و ۳) حفره های فوم، تصویر (۴) تفاوت فوم پرس داغ شده با

پرس نشده، (۵) فوم پرس داغ شده، (۶) حفره های فوم پرس شده

ب) تهیه ژل NaCMC

ابتدا مقدار ۲/۵ گرم از پودر Na-CMC را توسط ترازوی دیجیتالی توزین کرده در ظرف جداگانه ای قرار داده، سپس ۲۵۰ میلی لیتر آب دیونیزه را درون بشر ریخته روی هیتر استیر قرار داده تا دمای آن به حدودی ۵۰ الی ۶۰ درجه سانتی گراد برسد. پس از گذشت مدت زمان ۱۰ دقیقه که دمای آب بالا رفت به نزدیکی دمای مورد نظر رسید آرام آرام توسط اسپاتول پودر NaCMC را به آب دیونیزه می افزایند. افزودن NaCMC به آب دیونیزه تقریباً ۱۵ الی ۲۰ دقیقه طول می کشد. در نهایت ۱۰ دقیقه دیگر می گذارند که مخلوط تشکیل شده روی هیتر استیر هم بخورد تا یک مخلوط همگن یکدست تشکیل شود. برای مخلوط کردن کامل NaCMC و آب دیونیزه جهت تشکیل ژل NaCMC می توان از همزن مغناطیسی و همزن مکانیکی استفاده کرد. در صورت استفاده از همزن مغناطیسی مدت زمان بیشتری در حدود ۱ الی ۱:۳۰ دقیقه طول می کشد تا ژل تشکیل شود و سرعت عملیات پائین میاید زیرا همزن مغناطیسی مخلوط کردن را توسط مگنت و نیروی گریز از مرکز انجام می دهد و در صورت بالا بردن بیش از حد سرعت دور استیرر امکان پرتاب شدن مگنت وجود دارد. برای بالا بردن سرعت مخلوط شدن و تشکیل یک ژل یک دست تر می توان از هیتر استیرر و همزن مکانیکی به طور همزمان استفاده کرد، به این گونه که از هیتر استیرر به عنوان منبع کنترل دما و گرم کردن ژل و از همزن مکانیکی برای مخلوط کردن استفاده کرد، در این صورت هم سرعت عملیات بالاتر می رود هم یک ژل یکدست بدون توده های سلولی NaCMC (کلوخه شدن و چسبندگی ذرات NaCMC در آب) تشکیل می شود. دور همزن را هم می توان بین ۴۰۰ تا ۸۰۰ دور در دقیقه تنظیم کرد. در این صورت تشکیل ژل NaCMC در مدت زمان کمتر از یک ساعت زمان می برد.



شکل (۳-۱۶): ژل سدیم کربوکسی متیل سلولز

ج) تهیه ژل کیتوسان

جهت تهیه ژل کیتوسان ابتدا باید محلول ۱٪ استیک اسید تهیه کرد.

۱) تهیه استیک اسید ۱٪

یک بالن به حجم ۲۵۰ میلی لیتر برداشته و در آن مقداری آب دیونیزه در آن می ریزند جهت ایمنی بیشتر، سپس ۲.۵ میلی لیتر از استیک اسید مایع برداشته و درون بالن می ریزند. در آخر بالن را از آب دیونیزه پر کرده و تا خط نشانه روی بالن ژوژه به حجم می رسانند، به این صورت ۲۵۰ میلی لیتر محلول استیک اسید ۱٪ ساخته می شود.

۲) تهیه ژل کیتوسان

مقدار ۲/۵ گرم از پودر کیتوسان را توسط ترازو دیجیتالی توزین می کنند در ظرفی جداگانه مانند پتری دیش یا شیشه ساعت قرار می دهند. سپس محلول استیک ۱٪ از قبل تهیه شده را روی هیتر استیرر قرار می دهند به محدوده دمایی ۵۰ درجه سانتی گراد برسد زمانی که به دمای مورد نظر رسید کیتوسان را به محلول اسیدی در حال چرخش و تلاطم به صورت آرام آرام می افزایند. در تهیه ژل کیتوسان نیز همانند

1) Acetic Acid

تهیه ژل NaCMC از هیتر استیرر و همزن مکانیکی استفاده می شود، جهت تهیه ژل کیتوسان می توان دور همزن مکانیکی را روی 800rpm-1000rpm در دقیقه قرار دارد تا یک ژل همگن و یکدست بدون توده های سلولی یا ذرات کلوخه شده بدست آورد. دلیل دور بالای همزن مکانیکی و استفاده از استیک اسید ۱٪ بجای آب دیونیزه این می باشد که کیتوسان به نسبت کربوکسی متیل سلولز در آب غیر قابل احلال بوده و در اسید قابل انحلال می باشد و سخت تر از NaCMC حل می شود. اما دمای کمتر به این دلیل است که کیتوسان در دمای بالاتر از ۶۰ از بین می رود.



شکل (۳-۱۷): ژل کیتوسان

نکته قابل ذکر این می باشد که اگر در دو ژل تهیه شده حباب های زیادی تشکیل شده باشد می توان جهت از بین بردن حباب ها از دستگاه اولتراسونیک استفاده کرد. ژل ها را ۱۰ الی ۲۰ دقیقه در حمام اولتراسونیک قرار داده تا حباب های آن ها از بین برود.

د) تهیه سوسپانسیون ZSM-5

در این آزمایش در سه مقیاس وزنی (۰/۲٪، ۰/۴٪، ۰/۸٪) از ژئولیت ZSM-5 استفاده شده است. برای این کار ابتدا مقدار مشخصی (۰/۴٪) از ژئولیت ZSM-5 را توسط ترازو دیجیتالی یا ترازوی چهار صفر توزین کرده و در مقدار کمی آب دیونیزه کمتر از ۱۰ میلی لیتر می ریزند و روی استیرر قرار می دهند تا محلول ZSM-

5 تشکیل شود. زئولیت ZSM-5 به راحتی در آب قابل حل بوده و نیازی به دما دادن ندارد. در همان درمای اتاق توسط همزن مغناطیسی حل می شود.



شکل (۳-۱۸): محلول ZSM-5

ح) سنتز فوم CS-NaCMC-PUF

۱) ادغام ژل ها

یک ظرف دو برابر حجم ظرف ژل ها برداشته، ژل کیتوسان را درون آن می ریزند. جهت مخلوط کردن ژل ها از همزن مکانیکی و جهت کنترل دما از هیتر استیر استفاده می کنند. سپس محدوده دمایی را بین ۵۰-۷۰ درجه سانتی گراد (نه بیشتر شود که ژل ها بسوزد و نه کمتر که ادغام نشوند)، و دور همزن مکانیکی را در محدوده 1300rpm-2300rpm تنظیم می کنند. سپس ژل NaCMC را آرام آرام در مدت ۱۰ دقیقه به ژل کیتوسان در حال چرخش و تلاطم می افزایند. همزن مکانیکی باعث مخلوط شدن هرچه بیشتر و بهتر ژل ها می شود و از وقوع پیوند و اتصال عرضی سریع بین ذرات و تشکیل توده های بزرگ سلولی جلوگیری می کند. پس از گذشت مدت ۱۵ دقیقه از ادغام ژل ها دور همزن را زیاد کرده، سپس 1cc از محلول گلو تار آلدهید را به صورت قطره قطره به مخلوط در حال گردش می افزایند. ۵ دقیقه پس از ادغام کامل گلو تار آلدهید با مخلوط ژل ها محلول ۲٪ زئولیت (۲ گرم در ۱۰ میلی لیتر آب) را به مخلوط می افزایند و می گذارند که خوب ترکیب شود. ادغام کامل ژل ها توسط همزن مکانیکی نهایتاً ۳۰ دقیقه طول می کشد.

۲) خیساندن فوم در ژل

در ابتدای این قسمت فوم مورد نظر را برداشته توسط ترازو وزن آن را اندازه گیری می کنند. پس از ادغام ژل ها ظرف مناسبی انتخاب کرده و مقداری از ژل را کف ظرف ریخته و فوم پلی یورتان را درون ظرف قرار داده و اندکی آن را با دست فشار می دهند تا ژل جذب فوم شود، سپس بقیه ژل را روی فوم می ریزند و فوم پلی یورتان را به طور کامل درون ژل غوطه ور می سازند. پس از همزدن و غوطه ور سازی کامل فوم پلی یورتان درون ژل ترکیبی، به مدت ۱۵ الی ۲۰ دقیقه ظرف حاوی فوم را درون آون قرار داده که اگر خطایی رخ داده و آب زیادی در ژل ها وجود داشته باشد تبخیر شود، در مدت زمان بیشتر امکان از بین رفتن ژل ها و تغییر ماهیت آن ها ممکن است اتفاق بیافتد. سپس ظرف حاوی فوم غوطه ور سازی شده در ژل به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق باید باقی بماند اما هر چند ساعت یکبار باید توسط اسپاتول و دست همزده و چرخانده شود تا ژل به طور کامل درون فوم منتشر شود. پس از گذشت ۲۴ ساعت آب اضافی فوم را دور می ریزند.

۳) خشک کن انجمادی

بعد از گذشت زمان ۲۴ ساعت انتشار ژل درون فوم، فوم ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۸۰- درجه سانتی گراد خشک می شوند. که به این طریق خشک کردن نمونه ها عملیات خشک کن انجمادی می گویند. دما ذکر شده در مقالات ۲۰- بود اما با توجه به شرایط و تجهیزات مرکز دانشگاهی فوم ها در دمای ۸۰- خشک شدند. عملیات خشک کن انجمادی هم که به طور کامل توضیح داده شده است. ابتدا نمونه فریز می شود سپس توسط دستگاه مکش ژل درون فوم های خشک می شود.

۴) پرس داغ

پس از خشک شدن فوم ها توسط عملیات خشک کن انجمادی، مرحله ی جدیدی به نام پرس داغ ۱ فوم ها شروع می شود، که باید توسط یک جسم داغ سنگین وزن صورت بگیرد. قبل از شروع پرس حرارتی ابتدا

فوم های خیس می کنند تا مشخص شود که ژل های درون فوم ها در اثر طوبت و فشار از آن ها خارج می شود یا خیر به طور کامل به فوم پلی یورتان متصل شده اند. در این آزمایشگاه توسط از دو هیتر استیرر استفاده شده است. به این صورت که دمای دو هیتر استیرر را تنظیم می کنند تا محدوده ی ۹۰ درجه سانتی گراد برسد. سپس فوم مرطوب شده با مقطر یا دیونیزه را بین دو ورق آلومینیومی قرار داده و روی یکی از استیررها قرار داده سپس هیتر استیرر دومی را به صورت برعکس روی فوم قرار می دهند، و با دست به آن نیرو وارد می کنند تا فوم پرس شود، دلیل استفاده از ورق آلومینیومی این است که اگر سطح هیتر استیرر دارای آلودگی بود به فوم ها منتقل نشود و فوم ها به کفی هیتر استیررها چسبیده نشود. دمای پرس داغ نباید بیشتر از ۱۲۰ درجه بشود زیرا فوم ها می سوزند و کارایی خود را از دست می دهند. تقریباً ۳۰ تا ۴۰ دقیقه طول می شود تا هر قطعه فوم ها پرس شوند. پس طی این مرحله جاذب مورد نظر ساخته شده و آماده برای آزمایش و تصفیه می باشد. دمای ذکر شده در مقاله ۱۶۰ سانتی گراد می باشد اما در این دما فوم پلی یورتان می سوزد.

خ) تهیه نمونه های مختلف

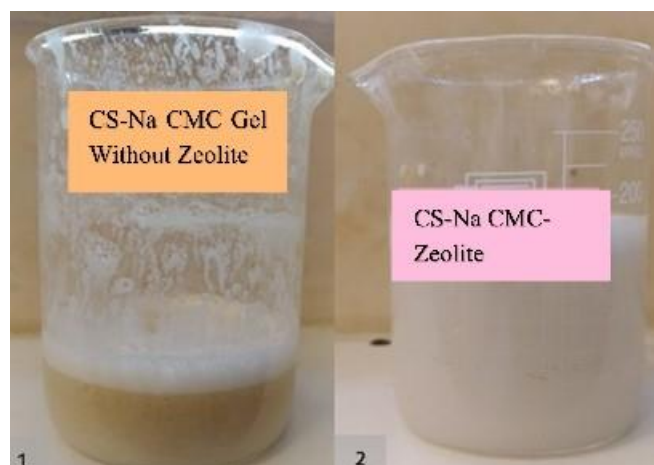
چهار نمونه فوم با همان دستور ساخت گفته شده از ژل کیتوسان و کربوکسی متیل سلولز ساخته می شود اما با شیوه ی مخلوط شدن و اتصال عرضی متفاوت، دو نمونه دارای زئولیت می باشد و دو نمونه دیگر فاقد زئولیت هستند.

In-Situ و EX¹-Situ یعنی چه؟

وقتی که ژل CS و NaCMC به طور کامل با هم مخلوط شده و محلول گلوکارآلدهید (۲۰قطره) و محلول زئولیت (در صورتی که دارای زئولیت باشد) را به آن می افزایند و در نهایت روی فوم پلی یورتان می ریزند به شیوه ادغام و اتصال عرضی آن EX Situ می گویند یعنی بیرون مخلوط و اتصال عرضی شده است، اما بلعکس آن زمانی ژل CS و محلول زئولیت (در صورت دارا بودن زئولیت) را با هم ادغام کرده و روی فوم پلی

1) Exit

یورتان می ریزند و هم می زنند و پس گذشت مدت زمان مشخص ژل NaCMC حاوی ۱۰ قطره گلوکارآلدئید را روی فوم می ریزند به آن IN Situ می گویند یعنی اتصال عرضی یا کراسلینک و ادغام ژل ها درون فوم اتفاق می افتد.



شکل (۳-۱۹): EX-Situ Gel (۱، فاقد زئولیت، ۲) حاوی زئولیت

استفاده از زئولیت در ترکیب این فوم، به عنوان یک ایده جدید مطرح شد، به دلیل اینکه بررسی شود چه تاثیری فرآیند جذب رنگ می گذارد. در فصل بعدی نتایج جذب این فوم ها نشان داده شده است.

د) ساخت نمونه هایی با غلظت زئولیت متفاوت

سه نمونه به شیوه EX Situ با غلظت زئولیت متفاوت ساخته شده است. در این نمونه ها جهت انتشار بیشتر ژل درون فوم پلی یورتان، فوم را از وسط (ضخامت) به دو قسمت تقسیم کردند و ضخامت فوم را به نصف رساندند. و نام آن ها به صورت ۱، ۲، ۳ نام گذاری شده اند. در نمونه اول ۲۰٪ زئولیت (۱ گرم در ۵۰۰ میلی لیتر مخلوط ژل)، در نمونه دوم ۴۰٪ زئولیت (۲ گرم در ۵۰۰ میلی لیتر مخلوط ژل)، و در نمونه سوم ۸۰٪ زئولیت (۴ گرم در ۵۰۰ میلی لیتر مخلوط ژل) ریخته شد تا اثر افزایش و کاهش غلظت زئولیت بر ظرفیت جذب بررسی شود. یعنی اینکه اگر غلظت زئولیت نصف یا دو برابر شود ظرفیت جذب چه تغییری می کند بیشتر می شود یا کمتر یا بدون تغییر می ماند. در فصل بعدی نتیجه این تغییر گزارش شده است.

آزمایشات جذب رنگ

این آزمایشات یه منظور بررسی توانایی فوم ساخته در حذف رنگ، رسیدن به زمان تعادل و بررسی روند تغییرات انجام می شود. این آزمایشات در حالت های مختلف رنگ اسیدی، بازی، مخلوط باینری رنگ ها، مخلوط سه تایی رنگ ها، محلول های رنگی با غلظت متفاوت ۶، ۸ و ۱۰ mg/L (میلی گرم بر لیتر) انجام شده است.

۵) آزمایش جذب پیوسته

در پژوهش حاضر آزمایش جذب پیوسته در یک ستون جذب (سرنگ) با ابعاد ارتفاع ۶۰ و قطر ۱۵ میلی متر (ابعاد ستون جذب) و جریان رو به پایین مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور فوم ها را در اندازه ستون جذب (کمی بزرگتر) برش می دهند و وزن آن ها را یادداشت می کنند. سپس فوم های برش داده شده را که به صورت دایره دایره هستند در ارتفاع ۲۵، ۱۲ و ۸ میلی متر درون ستون جذب (سرنگ) قرار می دهند و توسط دکانتور (یا محفظه شلنگ ونست سرم) محلول رنگی از بالای ستون جذب به صورت قطره قطره روی فوم ها می ریزند. البته اگر دکانتور یا ونست هم نباشد می توان محلول رنگی را روی فوم ها تزریق کرد زیرا در ستون جذب بالای فوم ها چه پر از محلول رنگی شود چه به صورت قطره محلول رنگی تزریق تفاوتی در دبی خروجی از سرنگ ایجاد نمی شود و با همان سرعت بسیار کم آب تصفیه شده از سرنگ خارج می شود. دبی آب تصفیه شده از سرنگ در صورتی زیاد می شود که محلول رنگی با فشار (نیرو وارد شده به پیستون سرنگ) از ستون جذب خارج شود نه با فشار اتمسفری، با فشار اتمسفری دبی خروجی در هر حالت ثابت می باشد. از این رو توانایی فوم را هم از نظر ارتفاع هم از نظر وزنی بررسی کرده اند. حالت ها مختلف تاثیر گذار بر فرآیند جذب و ظرفیت فوم به صورت زیر بیان شده است.

الف) اثر فشار اتمسفری بر دبی:

از قسمت بالای ستون جذب محلول متیلن بلو با غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر (10mg/L) در مدت زمان ۰ تا ۹۵۰ دقیقه در ابتدا توسط محفظه ونست به صورت قطره قطره در ادامه توسط بشر به صورت آرام آرام (زیرا

تأثیری در دبی خروجی نداشت) روی فوم با ارتفاع ۲۵ میلی متر ریخته شد و پس از مصرف شدن ۲۷۵ میلی لیتر از محلول رنگی فوم به نقطه اشباع خود رسید.

ب) اثر افزایش فشار بر دبی:

در این صورت وقتی محلول رنگی به ستون جذب که همان سرنگ می باشد تزریق شد، پیستون سرنگ را وارد کرده ، دبی خروجی افزایش یافته و زمان جذب محلول رنگی نیز کوتاه تر می شود. حجم و زمان تصفیه به ترتیب ۳۰۰ میلی لیتر و ۲۶۰ دقیقه گزارش شده است. ارتفاع بستر جاذب ۲۵ میلی متر می باشد.

ج) اثر ارتفاع فوم

جذب پیوسته رنگ متیل بلو سه مرتبه با ارتفاع های متفاوت ۲۵ ، ۱۲ ، ۸ میلی متر از فوم درون ستون جذب انجام شده است.

د) اثر pH

این فرآیند در حالتی که رنگ متیل بلو خاصیت اسیدی، بازی و خنثی داشته در ستون جذب با ارتفاع یکسان ۸ میلی متر از جاذب انجام شده است.

ح) اثر غلظت رنگ

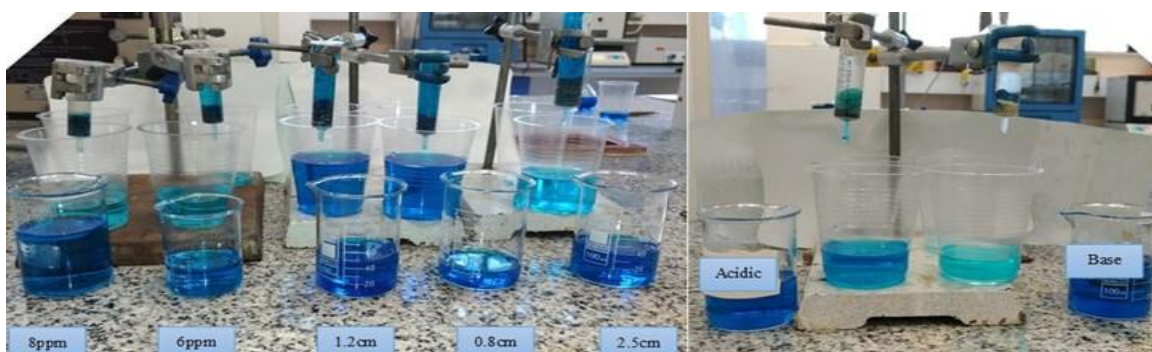
آخرین حالت بررسی توان جذب در غلظت های متفاوت از رنگ متیلین بوده است. که فرایند جذب رنگ متیلین بلو با سه غلظت ۶، ۸ و ۱۰ mg/L (میلی گرم برلیتر) توسط فوم طی سه مرحله با ارتفاع یکسان (۸ میلی متر) از جاذب درون ستون های جذب اتفاق افتاده است. دلیل اینکه تاثیر غلظت و pH رنگ با ارتفاع ۸ میلی متری از فوم انجام شده صرفه جویی در زمان، صرف مواد اولیه و رنگ بوده است.

خ) احیاء فوم

در این آزمایش فرآیند احیاء جاذب توسط آزمایش جذب پیوسته بررسی شده است. فرآیند احیا بدین منظور انجام می پذیرد که نشان دهد که آیا جاذب یا جاذب ساخته شده مقاومت و جنبه مفید اقتصادی دارد. بدین صورت که دو لایه از فوم به ارتفاع تقریباً ۶ میلی متر و وزن ۰/۴۱۷۵ گرم را درون ستون جذب قرار داده و محلول رنگی را روی آن می ریزند. پس از پر شدن سل زیر ستون جذب، سل را درون دستگاه اسپکتروفوتومتر قرار می دهند و عدد جذب آن را می خوانند. پس از این فوم را از ستون جذب خارج کرده و سه الی چهار مرتبه به مدت ۱۰ دقیقه با آب مقطر شستو می دهند، مجدد عملیات قبل را تکرار می کنند و عدد جذب بعدی را نیز می خوانند. فرآیند احیا جاذب تا ۷ مرحله تکرار شده است و تمامی اعداد جذب گزارش شده نزدیک بهم بوده است. با توجه به نتایج بدست آمده که غشای ساخته شده مقرون به صرفه و احیا پذیر می باشد، قابلیت بازگشت به چرخه تصفیه و جذب رنگ تا ۷ مرحله را دارا می باشد.

(ر) پتانسیل زتا

بدین منظور محلول ۰/۰۱ مولار از آب و نمک سدیم کلرید (NaCl) تهیه می کنند. سپس pH آن را از ۲- ۱۲ با افزودن محلول هیدروکلریک اسید (HCl) و سدیم هیدروکسید (NaOH) تنظیم می کنند. تکه هایی به وزن ۰/۰۵ گرم از فوم پلی PUF و فوم CS-NaCMC-PUF تهیه کرده و درون محلول با pH مشخص می گذارند. سپس پس از گذشت مدت زمان ۴۸ ساعت مجدد تغییرات pH محلول های حاوی جاذب را خوانده و از pH اولیه کم کرده نمودار آن را رسم می کنند و پتانسیل زتا (pH_{ZPC}) محاسبه کرده و نقطه ZPC (محل قطع نمودار X) را بدست می آورند. [۶۷]



شکل (۳-۲۰): آزمایشات جذب

فصل چهارم

بیان تجزیه و تحلیل ها

توضیح

جهت بررسی ساختار، اندازه گیری مساحت سطح، و اندازه گیری حداکثر ظرفیت جذب جاذب آنالیز ها و مدلسازی هایی انجام شده است، که در این فصل به توضیح و تفصیر این آنالیز ها پرداخته می شود. از این رو این فصل به چهار قسمت تقسیم می شود.

◀ بررسی و تحلیل آنالیزهای FESEM,FTIR,XRD,BET,TGA

◀ بررسی نمونه ها سنتز شده

◀ بررسی مدلسازی های جذب پیوسته

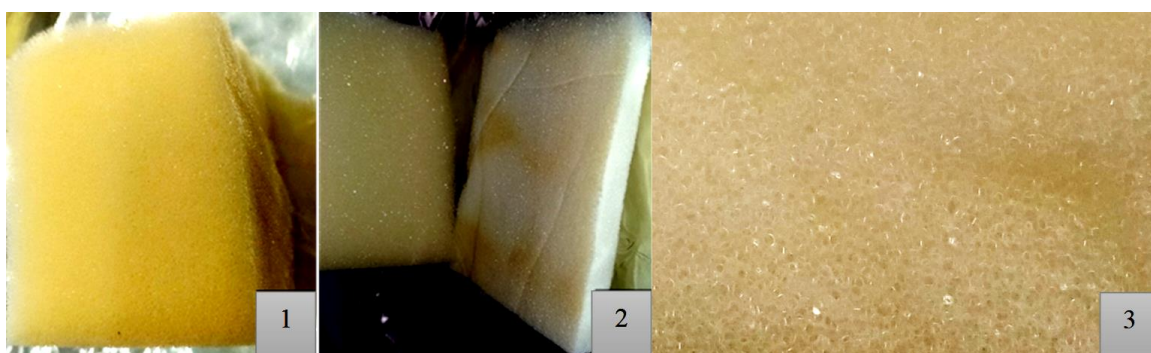
◀ بررسی شرایط و داده های حاصل از احیاء

آنالیز ها

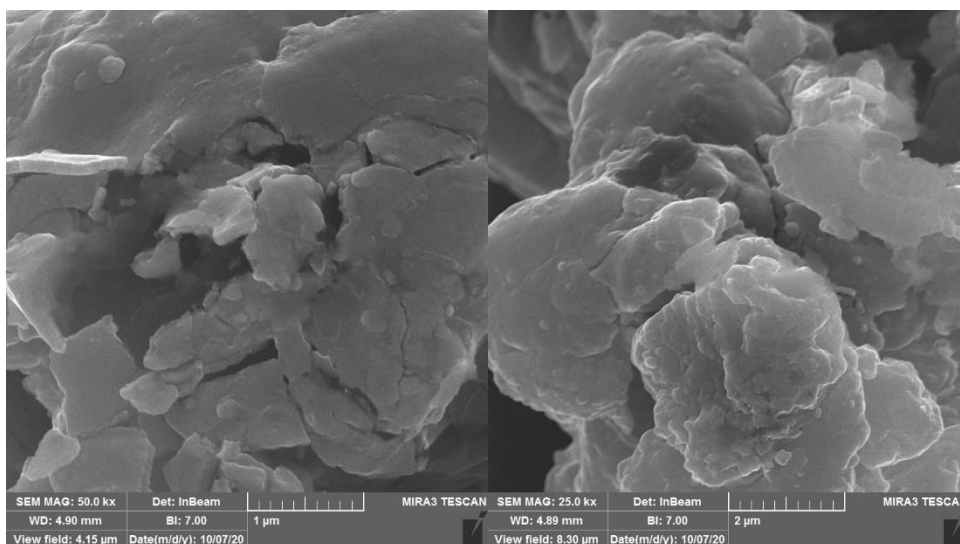
(۱) آنالیز FESEM

SEM با رویش سطح نمونه به وسیله ی پرتوهای الکترونی از سطح نمونه عکس می گیرد. در این پژوهش از طیف های SEM برای بررسی مورفولوژی و توپوگرافی و مقایسه تغییرات سطح نمونه استفاده شده است.

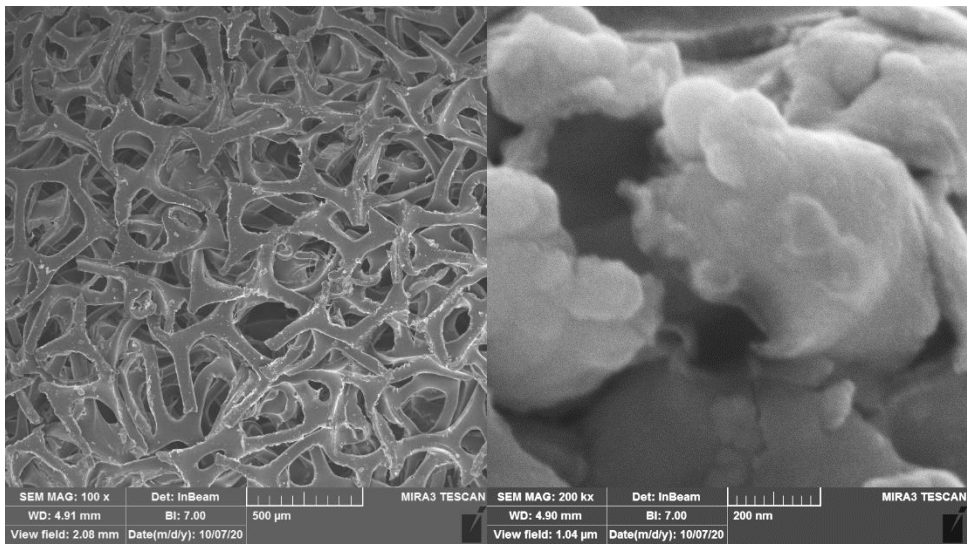
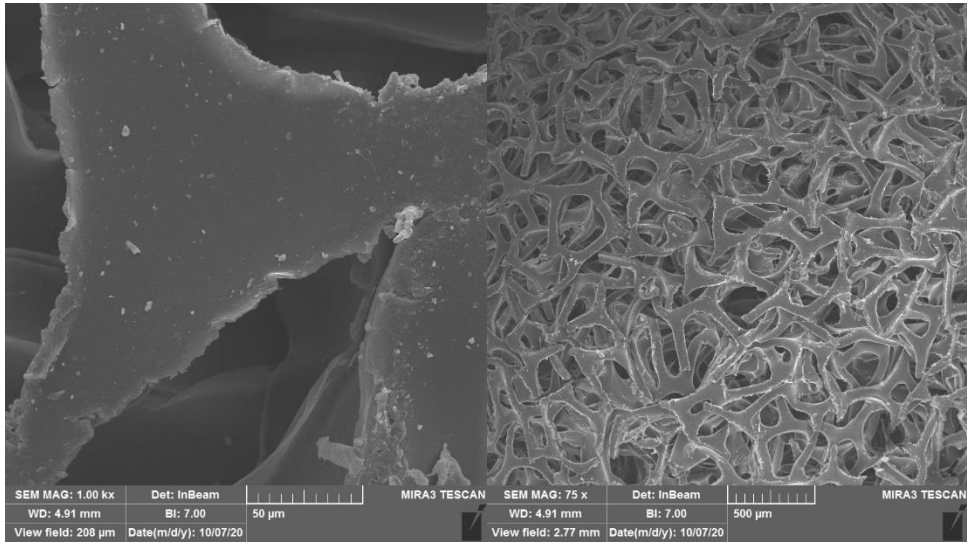
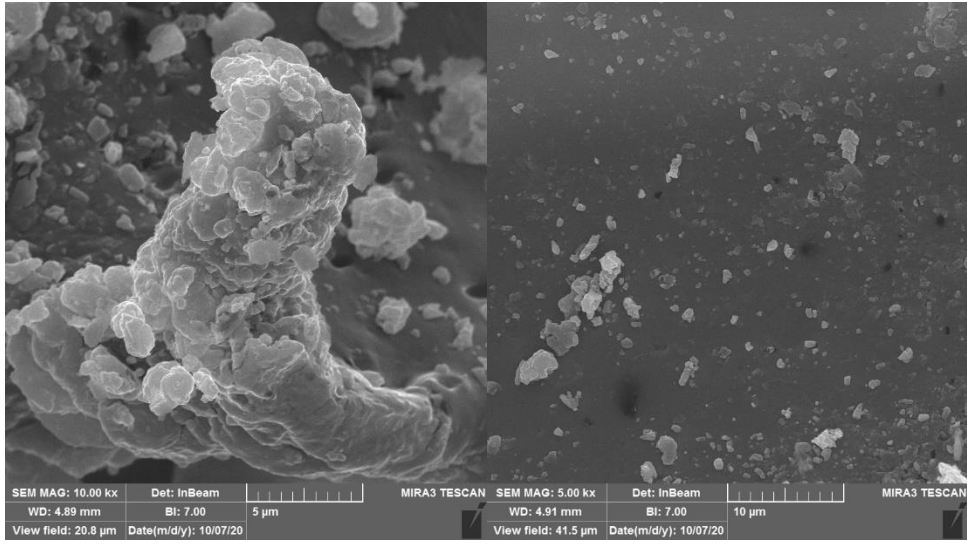
در شکل (۱-۴) و شکل (۲-۴) نتایج SEM فوم پلی یورتان خالص و فوم $CS^1-Na CMC^2-PUF^3$ در ابعاد مختلف، و در شکل (۳-۴) تغییرات ایجاد شده در ساختار فوم پلی یورتان که توسط کامپوزیت ژل کربوکسی متیل سلولز-کیتوسان نشان داده شده است. با مقایسه فوم پلی یورتان خالص و اصلاح شده توسط کامپوزیت ژل ها مشخص است که ساختار کلی فوم حفظ شده است. ولی ذرات زئولیت (ZSM-5) و پوشش پلیمری کیتوسان-کربوکسی متیل سلولز بر روی فوم اصلاح شده قابل مشاهده می باشد [۱۳، ۱۴، ۳۴].

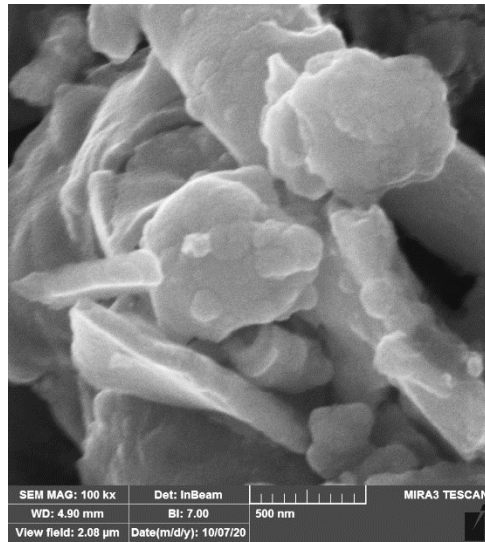


شکل (۱-۴): الف) تصاویر بزرگ نمایی شده از فوم پلی یورتان در حالت قبل و بعد از پرس داغ

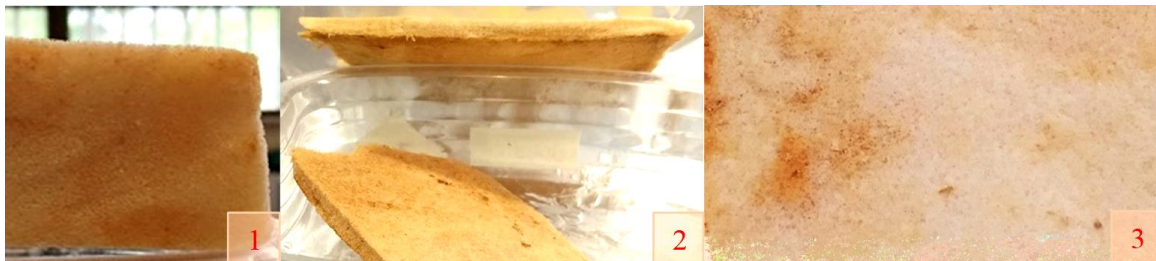


-
- 1) Chitosan
 - 2) Sodium Carboxy Methyl Cellulose
 - 3) Polyurethane

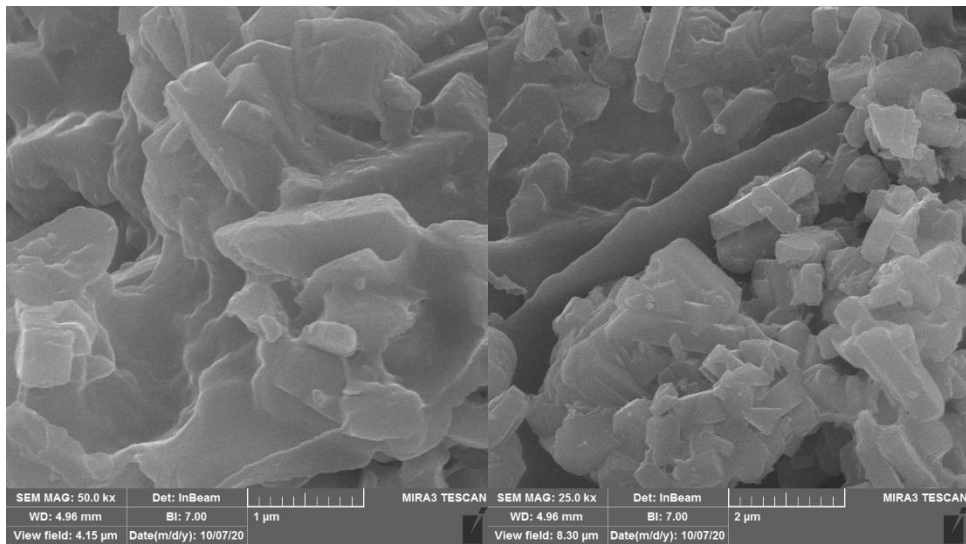


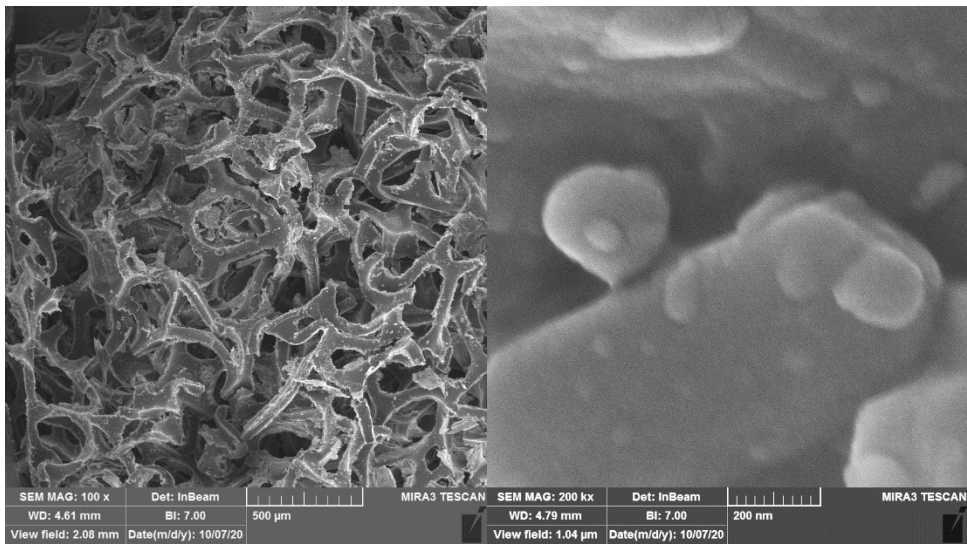
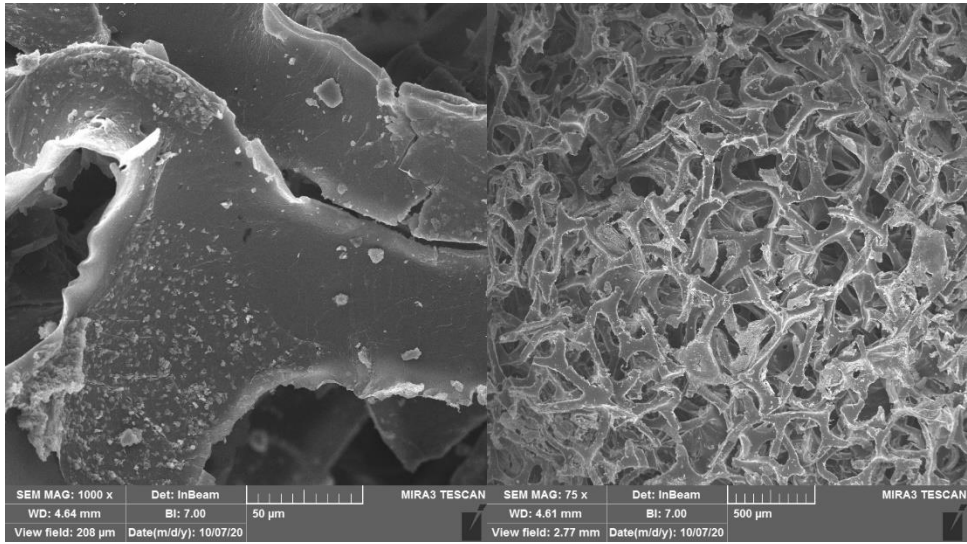
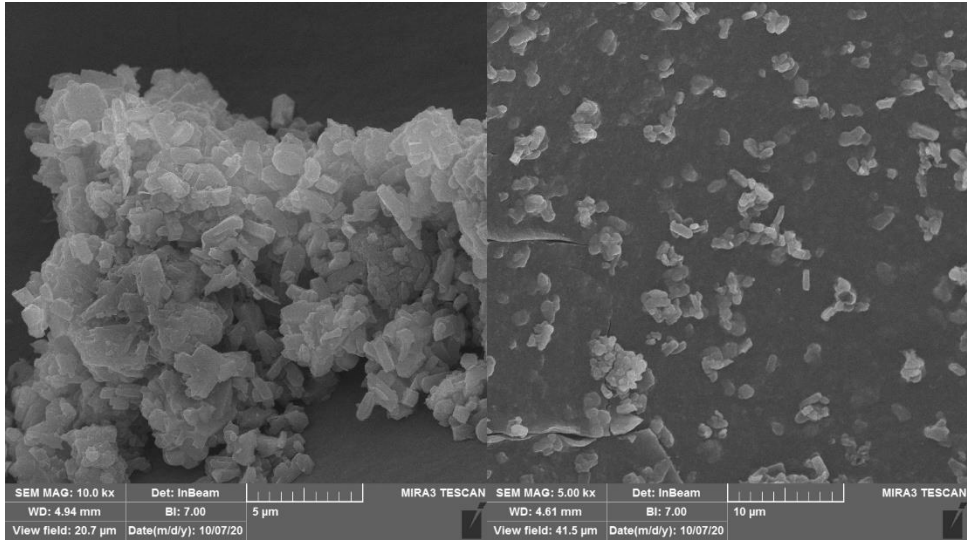


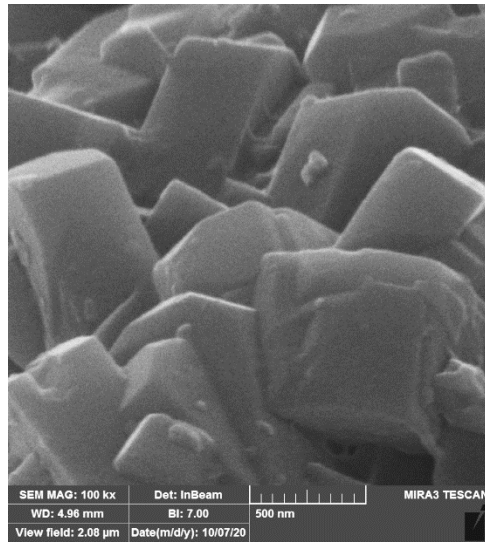
شکل (۴-۱): نتایج FESEM پلی یورتان خام



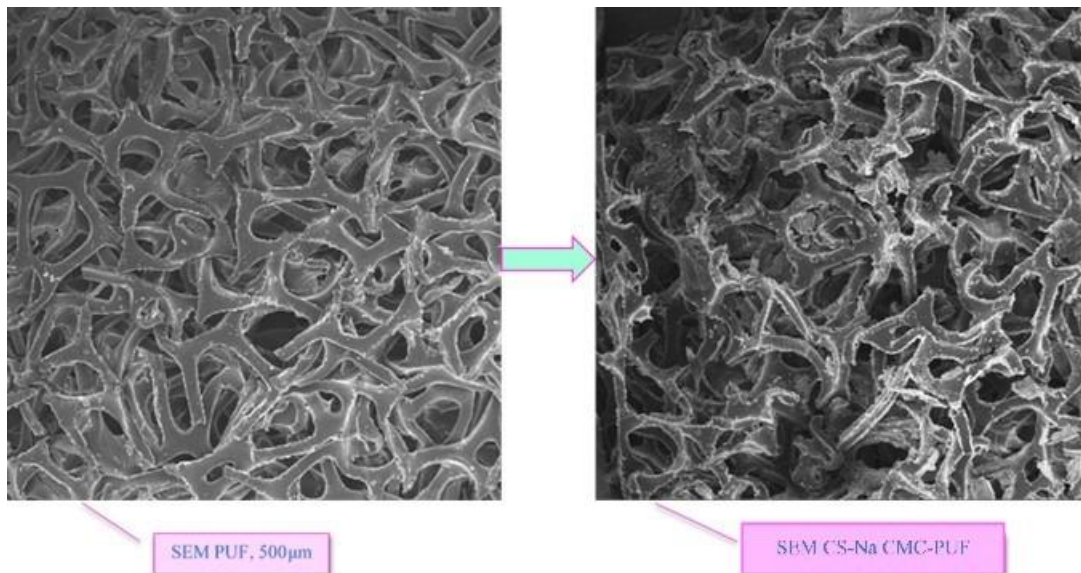
شکل (۴-۲): تصاویر بزرگ نمایی شده از جاذب CS-Na CMC-PUF قبل و بعد از پرس داغ

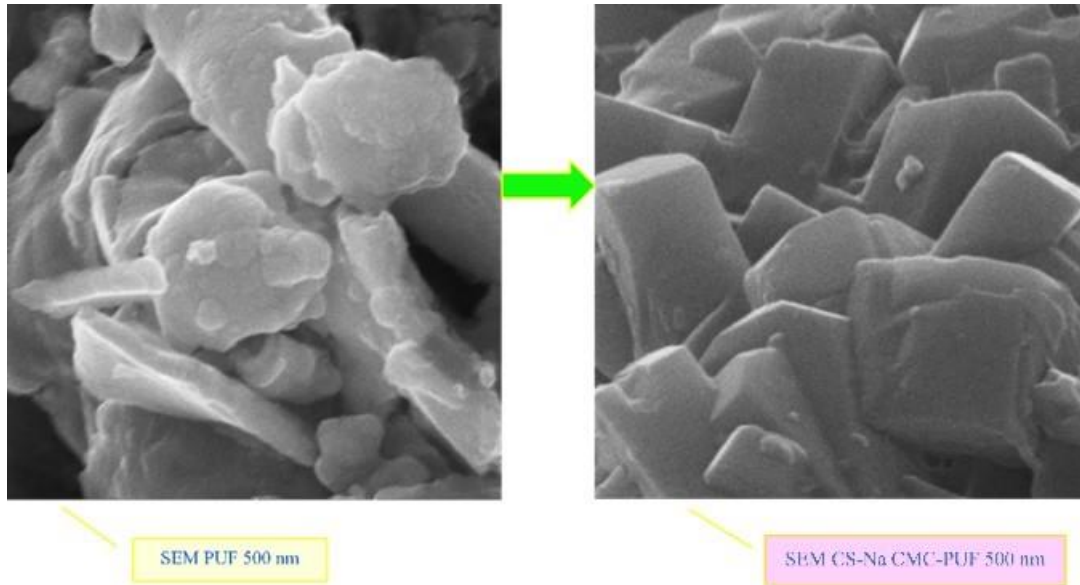






شکل (۴-۲): نتایج SEM فوم CS-Na CMC-PUF





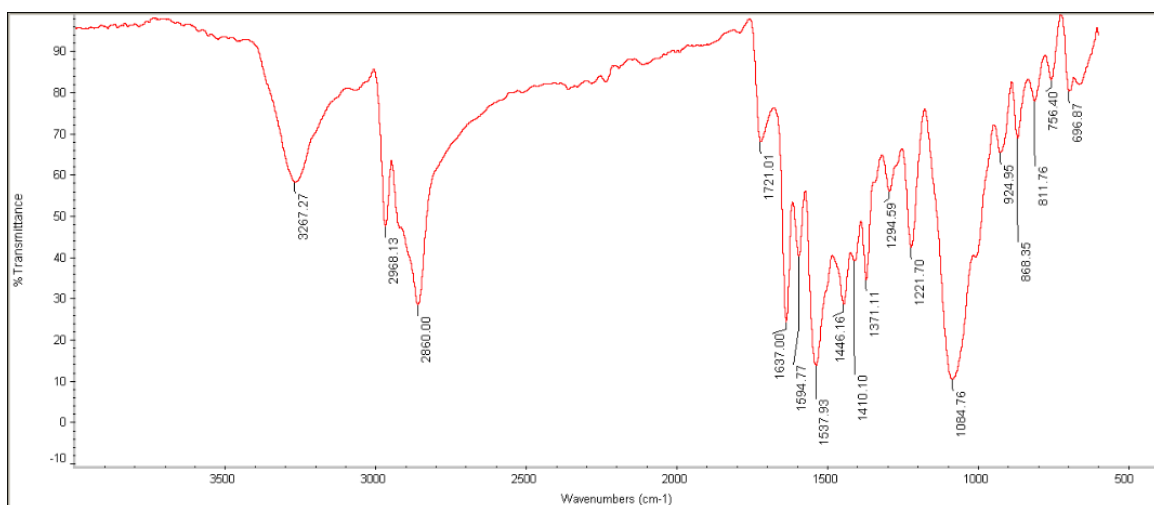
شکل (۳-۴): مقایسه ساختار فوم پلی یورتان خام و فوم CS-Na CMC-PUF در ابعاد (۱) ۵۰۰ میکرون ، (۲) ۵۰۰ نانومتر

(۲) آنالیز FTIR

آنالیز FTIR جهت شناسایی گروه های عاملی نمونه به کار می رود. چهار شکل در این تحقیق وجود دارد که مربوط به این آنالیز می باشد.

الف) تحلیل طیف فوم پلی یورتان

در شکل (۴-۴) پیک های مربوط به گروه های عاملی و ساختاری فوم پلی یورتان نشان داده شده است. دامنه ی تغییرات از $500-3500\text{cm}^{-1}$ می باشد.

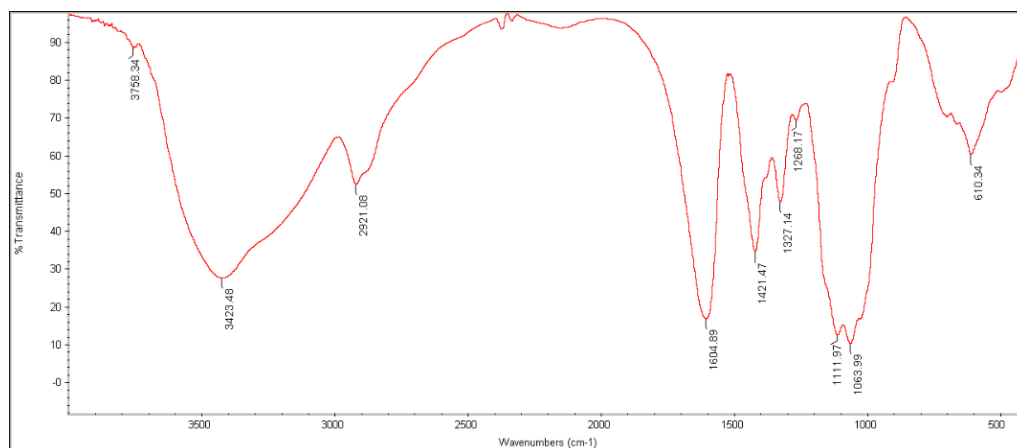


شکل (۴-۴): طیف FTIR مربوط به فوم پلی یورتان

پیک 1594.77cm^{-1} , 3267.27cm^{-1} مربوط به گروه عاملی N-H می باشد که پهنای باند نسبتاً وسیعی دارد. پیک های 1410.10cm^{-1} , 2860.00cm^{-1} , 2668.13cm^{-1} معرف حضوره گروه C-H در شاخه های CH_2 موجود در ساختار فوم پلی یورتان است. پیک 1721.01cm^{-1} نشان دهنده ی C=O در گروه های پیوندی یورتانی می باشد. پیک 1637.00cm^{-1} مربوط به گروه های آزو -N≡N- ، و پیک های 1371.11cm^{-1} , 1537.93cm^{-1} پیک های معرف گروه عاملی C-N در پلی ول ایزوسیاناتی موجود در ساختار پلی یورتان ها می باشد. پیک 1446.16cm^{-1} مربوط به COO- است. پیک 1294.59cm^{-1} مربوط به ساختار نوسانی C-O می باشد. پیک 1221.70cm^{-1} معرف C-O-C ، پیک های 1084.76cm^{-1} , 924.95cm^{-1} , 868.35cm^{-1} , 811.76cm^{-1} , 756.40cm^{-1} , 696.87cm^{-1} معرف گروه های C-H , C-O-H , C-O , C-O-C و دسته های CH_2 , CH_3 در ساختار فوم پلی یورتان هستند. [۷, ۸, ۱۰, ۱۴, ۴۲, ۵۳-۵۸]

ب) تحلیل طیف Na-CMC

شکل (۴-۵) طیف بدست آمده از آنالیز پودری $\text{Na}^1\text{-CMC}$ می باشد که در ادامه به توضیح این پیک های پرداخته می شود. دامنه تغییرات طیف از $500\text{-}4000\text{cm}^{-1}$ می باشد.

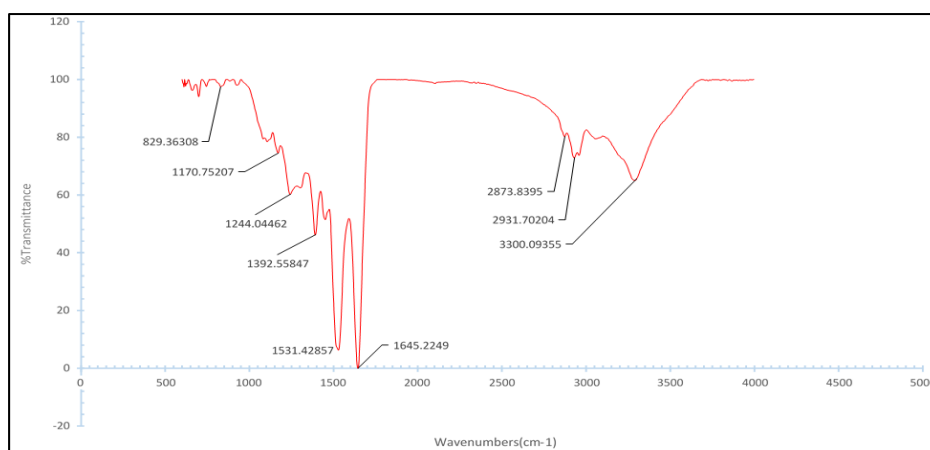


شکل (۴-۵): طیف Na-CMC

پیک های $3758.34, 3426.48\text{cm}^{-1}$ معرف گروه عاملی N-H ، پیک $1421.47, 2921.21\text{cm}^{-1}$ مربوط به گروه C-H ، پیک 1604.89cm^{-1} معرف گروه COO ، پیک 1327.14cm^{-1} معرف گروه C=O می باشند. و پیک های $1268.17, 1111.97, 1063.99\text{cm}^{-1}$ معرف حضور گروه عاملی C-O در ساختار کربوکسی متیل سلولز هستند و در نهایت پیک 610.34 نشان دهنده ی ارتعاشات ساختاری و معرف خود ماده ی Na CMC می باشد. [۷، ۸، ۱۰، ۱۴، ۴۲، ۵۳-۵۸]

ج) تحلیل طیف CS

شکل (۴-۶) طیف بدست آمده از آنالیز پودر خالص کیتوسان است که دامنه تغییرات آن از $500-4500\text{cm}^{-1}$ می باشد.

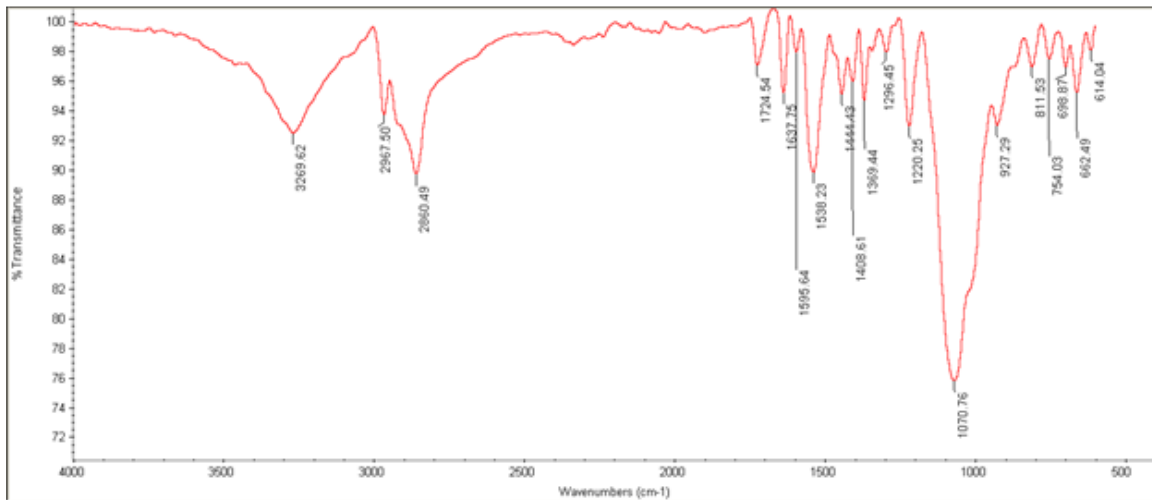


شکل (۴-۶): طیف CS

پیک های 3300.09cm^{-1} مربوط به گروه هیدروکسیل O-H ، $2931.70, 2873.84\text{cm}^{-1}$ مربوط به گروه C-H می باشد. و محدوده ی $1630-1649\text{cm}^{-1}$ نشان دهنده ی گروه عاملی آزو $\text{-N}\equiv\text{N-}$ می باشد، یعنی پیک 1645.22cm^{-1} می تواند مربوط به گروه عاملی آزو در ساختار کیتوسان باشد. پیک های $1531.42, 1392.55\text{cm}^{-1}$ از پیک های معرف پیوند C-N است. دامنه ی تغییرات $800-1360\text{cm}^{-1}$ میتواند معرف حضور گروه های عاملی C-O, C-O-H در ساختار مواد شیمیایی مختلف من جمله کیتوسان باشد پس در نتیجه پیک های $1170.75, 1244.04, 829.36\text{cm}^{-1}$ نشان دهنده ی گروه های ذکر شده می باشد. [۷، ۸، ۱۰، ۱۴، ۴۲، ۵۳-۵۸]

د) تحلیل طیف CS-Na CMC-PUF

شکل (۴-۷) مربوط به طیف بدست آمده از فوم CS-NaCMC-PUF می باشد. که دامنه ی تغییرات پیک آن از 3000 cm^{-1} تا 500 cm^{-1} می باشد.



شکل (۴-۷): طیف FTIR مربوط به نمونه CS-Na CMC-PUF

طیف FTIR در اولین پیک، پیک نسبتاً پهنی را در 3269.62 cm^{-1} نشان می دهد که مربوط به گروه عاملی -NH می باشد که در حالتی اتفاق می افتد که فوم پلی یورتان با فیلم نازک کیتوسان روکش شده باشد اتفاق می افتد. پیک های بعدی یعنی 2967.50 cm^{-1} , 2860.49 cm^{-1} , 1408.61 cm^{-1} نشان دهنده ارتعاشات کششی پیوند های متقارن و نامتقارن C-H یا همان گروه کربوکسیلی در ترکیب فوم پلی یورتان می باشد. پیک 1724.54 cm^{-1} مربوط به گروه عاملی C=O یعنی گروه عاملی کربوکسیل که در ساختار به گروه یورتان های پیوندی و گروه یورتان روکش شده با CS است. پیک 1637.75 cm^{-1} است که مربوط به گروه های عاملی (آزو) $\text{-N}\equiv\text{N-}$ موجود در ساختار پلی یورتان و اوره پیوند داده شده به پلی یورتان می باشد. پیک 1595.64 cm^{-1} نشان دهنده ساختار های گروه یورتانی و پیوندهای برقرار شده بین فوم پلی یورتان، گروه -NH_2 کیتوسان و -COOH کربوکسی متیل سلولز می باشد. پیک 1444.43 cm^{-1} مرتبط با گروه عاملی COO در پلی یورتان ها می باشد. پیک 1296.45 cm^{-1} به ارتعاشات کششی گروه های C-O و پیک 1220.25 cm^{-1} مربوط به ارتعاشات کششی گروه های

عاملی C-O-C- با ساختار خمیده که به ساختار پیوندی نسبت داده شده است که از جهت دیگر در محدوده $1000-1320\text{cm}^{-1}$ وجود دارد که می تواند نشانه ی پیوند استال تشکیل شده توسط واکنش بین گروه های هیدروکسیل سدیم کربوکسی متیل سلولز و آلدهید ناشی از افزوده شدن گلوآلدهید به ترکیب است. پیک 1070.76cm^{-1} می تواند نشان دهنده گروه های هیدروکسیل OH و گروه های آمینی در ساختار فوم پلی یورتانی که توسط فیلم کیتوسان اصلاح شده، باشد. پیک ها در محدوده ی 600cm^{-1} تا 1200cm^{-1} مربوط به تغییرات ساختاری و پیوندهای زئولیت ZSM-5 و Na-CMC می باشد. محدوده پیک $600-900\text{cm}^{-1}$ مربوط به، به وقوع پیوستن ارتعاشات گروه های متقارن Si-O-Si و Si-O-Al در چهار چوب ساختاری زئولیت می باشد. که به دلیل همین ارتعاشات، در محدوده ی 600cm^{-1} دارای باند ضعیف و در محدوده ی 800cm^{-1} دارای باند (گروه های عاملی) قوی می باشد. پیک های $754.03, 811.53, 927.29\text{cm}^{-1}$ مربوط به گروه های C-O, C-O-H, C-O-C, C-H هستند که در دسته های CH_2, CH_3 که در چهارچوب ساختاری زئولیت وجود دارند قرار می گیرند، و مربوط به ساختار حلقوی آروماتیک مواد تشکیل دهنده، ارتعاشات کششی، پیوندهای قوی مولکولی، ساختار های پلی ساکارییدی و کربوکسیلی آن ها می باشند. محدوده پیک $600-700\text{cm}^{-1}$ هم معرف حضور Na-CMC با ساختار آروماتیک آن و تشکیل پیوند با سطح و حفره های پلی یورتان می باشد. یعنی پیک 662.49cm^{-1} به ساختار آروماتیک Na-CMC و گروه های عاملی آن در ساختار این جاذب اشاره دارد. [۷، ۸، ۱۰، ۱۴، ۴۲، ۵۳-۵۸] (مراجع مربوط به تمام توضیحات هر سه طیف آنالیز FTIR). در شکل (۴-۸) تمام طیف ها با هم مقایسه شده، در شکل (۴-۹) شیوه ی تشکیل پیوندها در این فرآیند نشان داده شده است [۱۵]. با مطالعه ی شکل (۴-۸) نتایج زیر بدست می آید.

ح) مقایسه طیف ها

طیف زرد رنگی که در شکل (۴-۸) وجود دارد طیف به وجود آمده از آنالیز فوم CS-Na CMC-PUF می باشد. هدف از این مقایسه این است که تغییرات ایجاد شده در ساختار فوم سنتزی را با حالت مواد اولیه خالص مورد استفاده بررسی شود. مقایسه براساس بازه ی تغییرات پیک ها انجام شده است.

500-1000 cm^{-1} ✓

در این رنج سری پیک های $500-700\text{cm}^{-1}$ و $600-900\text{cm}^{-1}$ ایجاد شده مربوط به ارتعاشات مربوط به ساختار کششی پیوند های Na CMC و Si-O-Si ، Si-O-Al افزوده شده است.

✓ $1000-1500\text{ cm}^{-1}$

پیک 1327.14cm^{-1} که مربوط به گروه عاملی C=O که در طیف Na CMC وجود دارد در طیف فوم سنتز شده حذف شده و دیده نمی شود.

✓ $1500-2000\text{ cm}^{-1}$

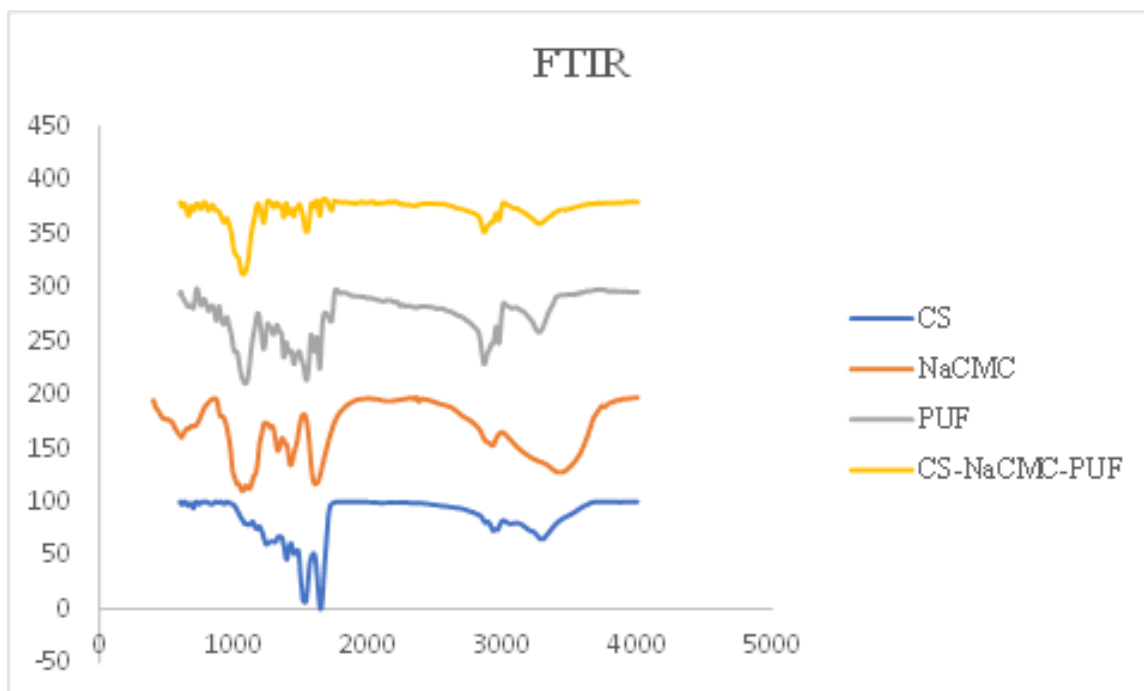
پیک های 1604.89cm^{-1} که مربوط به گروه COO- در طیف Na CMC ، پیک 1594.77cm^{-1} مربوط به N-H و پیک 2668.13cm^{-1} , 2860.00cm^{-1} مربوط به گروه C-H در طیف فوم پلی یورتان دیده شده، در طیف گرفته شده از فوم سنتزی CS-Na CMC-PUF حذف شده است.

✓ $2500-3000\text{ cm}^{-1}$

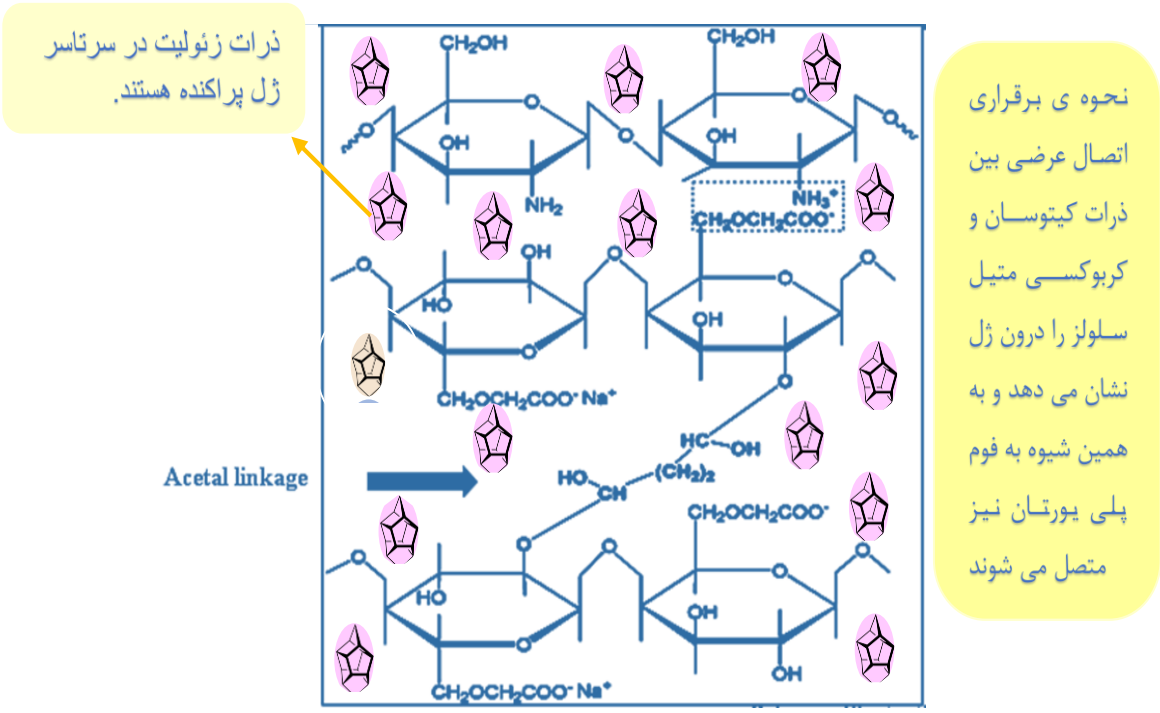
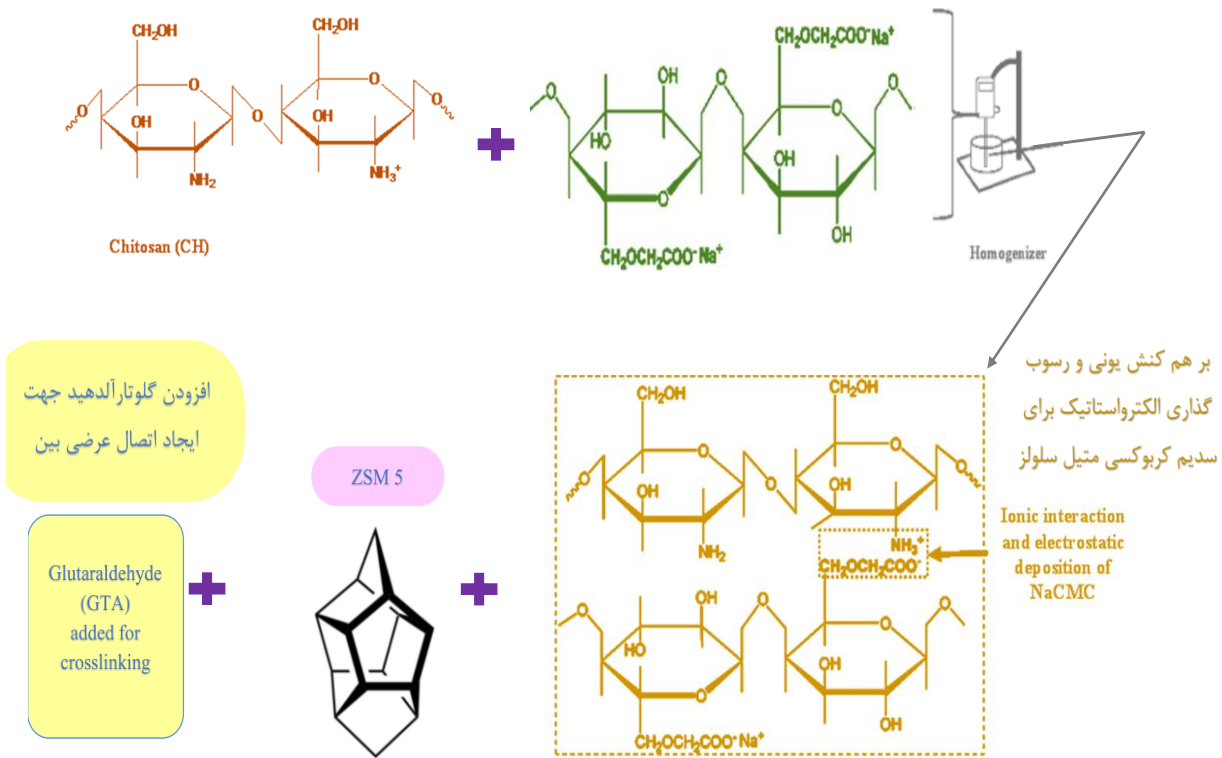
پیک های $2931.70, 2873.83\text{cm}^{-1}$ در طیف کیتوسان، 2921.08 در طیف Na CMC ، $2968.13, 2860.00$ در طیف فوم پلی یورتان و $2860.47, 2968.26\text{cm}^{-1}$ مربوط به ارتعاشات کششی پیوندهای متقارن گروه C-H می باشند.

✓ $3000-3500\text{ cm}^{-1}$

پیک 3300.09cm^{-1} معرف گروه O-H در طیف کیتوسان ظاهر شده در طیف فوم سنتزی CS-Na CMC-PUF حذف شده است [۱۵].



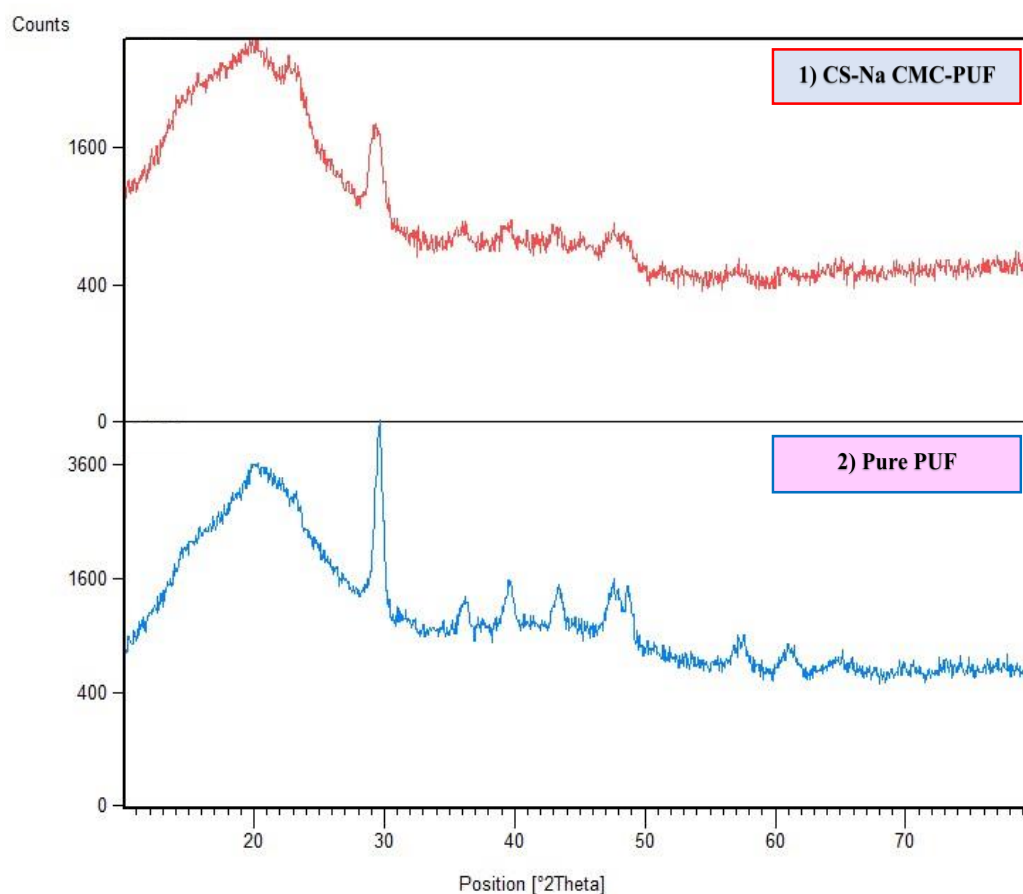
شکل (۴-۸): مقایسه طیف های FTIR



شکل (۴-۹): نحوه ی تشکیل و برقراری پیوند در ژل NaCMC-CS ، [۱۵]

(۳) آنالیز XRD

آنالیز پراش پرتو X یا XRD جهت بررسی ساختار کامپوزیت ها و نانو کامپوزیت ها و ساختار بلوری آنها انجام می شود. با بررسی اعداد بدست آمده از آنالیز و تطبیق آن ها با اعداد بدست آمده از بیشینه علمی تحقیقات انجام شده توسط سایر دانشمندان می توان به موفقیت آمیز بودن سنتز انجام شده پی برد. شکل (۴-۱۰) نتایج بدست آمده از آنالیز XRD جاذب CS-Na CMC-PUF و فوم پلی یورتان خالص را نشان می دهد.

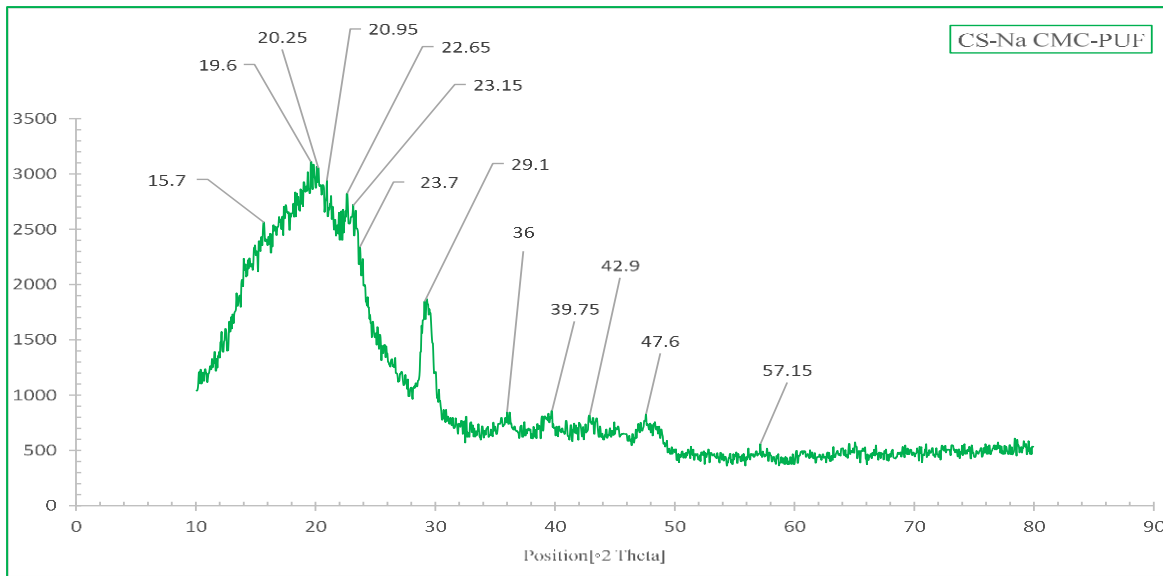


شکل (۴-۱۰): آنالیز XRD (۱) فوم CS-Na CMC-PUF (۲) فوم پلی یورتان خالص

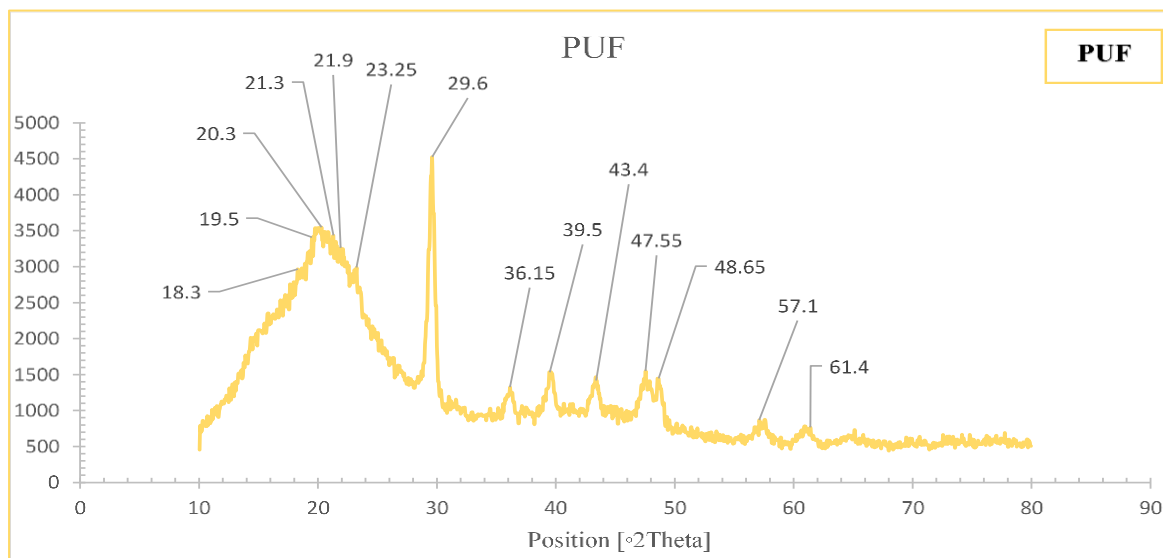
فوم پلی یورتان دارای ساختار آمورف و نیمه کریستالی می باشد، حضور کیتوسان و کربوکسی متیل سلولز تاثیر فراوانی بر خاصیت تبلور کامپوزیت فوم پلی یورتان دارد. به دلیل اینکه اگر پلی یورتان توسط فیلم کیتوسان پوشش داده شود باعث ایجاد یک ساختار منظم و تفکیک شده می شود که موجب کاهش تبلور

PU¹ می شود زیرا کیتوسان خاصیت بلوری نسبتاً کمی دارد. کربوکسی متیل سلولز یک ماده فوق متبلور می باشد که دارای بلورهای مکعبی شکل می باشد و در آنالیز پراش پرتو X قله های تقریباً وسیعی به دلیل نانو ساختار لایه ای خود می دهد. پیک ها در محدوده ی $2\theta = 7\sim 32$ ، $2\theta = 10\sim 25$ ، $2\theta = 2\sim 70$ و $2\theta = 20\sim 25$ قله تیز در آنالیز به ترتیب نشان دهنده حضور مواد کریستالی و نیمه کریستالی کیتوسان، پلی یورتان و ایزوسیانات های آن، کربوکسی متیل سلولز و زئولیت در جاذب بیوکامپوزیتی CS-Na CMC-PUF تحقیقات می باشد. کامپوزیت های پلی یورتانی روکش شده دارای دو بخش نرم و سخت می باشند که پیک های ایجاد شده محدوده ی ۱۹ تا ۲۰ مربوط به بخش سخت و پیک ایجاد در محدوده ۲۳ تا ۲۴ مربوط به بخش نرم کامپوزیت تشکیل شده می باشند. رفتار تبلوری کامپوزیت تشکیل شده بستگی به فعل انفعالات و واکنش ها و پیوندهای ایجاد شده بین گروه های عاملی پلی یورتان و ژل کامپوزیتی دارد (به طور مثال محدوده پیک ۲۰ تا ۲۱) معرف برقراری پیوند گروه -NH_2 با سطح پلی یورتان می باشد. با توجه به بیشینه علمی افزودن ژل کامپوزیتی کیتوسان و کربوکسی متیل سلولز به عنوان فیلم نازک به فوم پلی یورتان، و در آخر افزودن گلوکارآلدئید به عنوان عامل ایجاد اتصال عرضی، بین ذرات کیتوسان و فوم پلی یورتان، پیوند قوی کووالانسی برقرار می شود، که تشکیل یک جاذب جامد نیمه بلوری می دهد. دلیل اینکه در طیف سنتزی قله های نوک تیز مشاهده نمی شود ادغام ژل ها می باشد زیرا کربوکسی متیل سلولز بسیار متبلور ولی کیتوسان سبب کاهش تبلور می شود بنابراین قله ها با شیب ملایم تری نسبت به حالت خالص مواد اما وسیع تر تشکیل می شوند و اما دلیل پهنای باند یا وسعت پیک به وجود آمده فوم پلی یورتان می باشد زیرا طیف پلی یورتان ها بسیار وسیع می باشد. پیک های معرف کربوکسی متیل سلولز دارای قله های ضعیف در محدوده ی ۲ تا ۱۱ و قله های وسیع در محدوده ی ۱۱ تا ۲۰ می باشد. در شکل (۴-۱۱) و (۴-۱۲) پیک های به وجود آمده قابل مشاهده می باشد [۱۰، ۱۴، ۳۴، ۳۹، ۴۳، ۵۳، ۵۵-۶۲].

1) Polyurethane



شکل (۴-۱۱): پیک های فوم سنتزی



شکل (۴-۱۲): پیک های فوم پلی یورتان خالص

۴) آنالیز BET

آنالیز BET جهت محاسبه مساحت سطح ویژه جاذب یا جاذب، اندازه و شیوه توزیع حفرات در جاذب توسط ایزوترم جذب و دفع فیزیکی نیتروژن انجام می شود از طرفی به آن آنالیز جذب و دفع یا جذب سطحی نیتروژن نیز می گویند. اندازه حفرات موجود در جاذب بسیار حائز اهمیت می باشد که چه اندازه ای است زیرا مشخص کننده کارایی آن می باشد (یعنی اندازه حفرات آن ریز (Micro pore < 2 nm)، متوسط (< 2nm

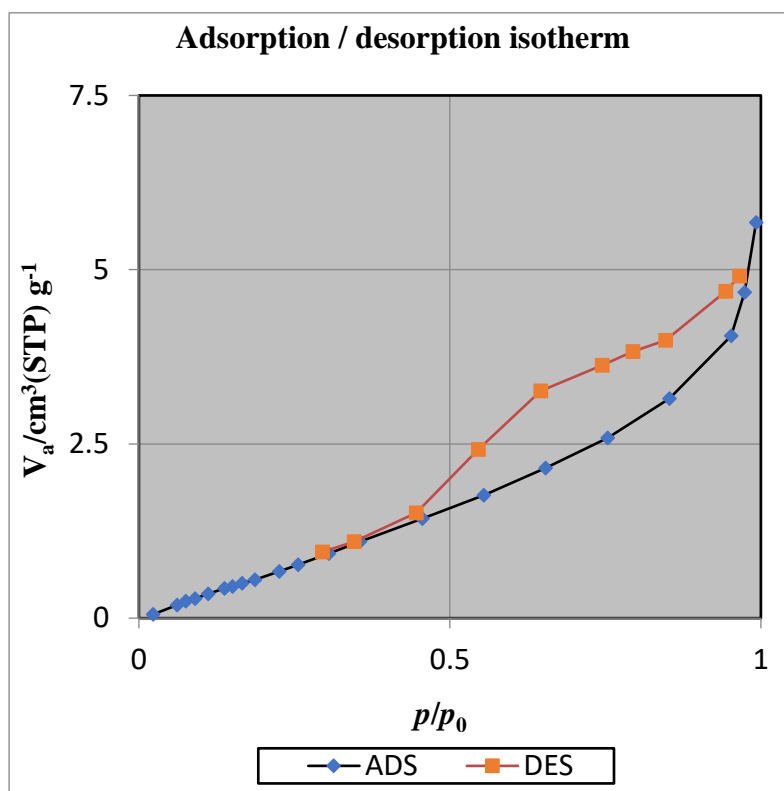
(Meso pore < 50nm) و یا بزرگ (Macro pore > 50nm) است). بدین طریق که حجم مشخص تعادلی از نیتروژن (نقطه جوش ۱۹۵.۸ درجه سانتی گراد) به خالص بصورت فیزیکی روی چند گرم از جاذب قرار گرفته مورد نظر در چندین بازه ی فشار مختلف انجام می شود. فرض اول جهت مدلسازی جذب سطحی آن است که امکان تشکیل لایه های چند مولکولی بر روی جاذب وجود دارد، فرض دوم گرمای جذب سطحی حین تشکیل لایه ثابت و برابر با ΔH_{ads} و این دما برای لایه های بعد برابر با گرمای چگالش ΔH_{cond} است. منحنی ایزوترم ها با استفاده از روش بارت-جوینر-هالندا مبتنی بر ترمودینامیک یا روش BJH رسم می شود و از همین طریق منافذ کل از طریق جذب و دفع محاسبه می شود. با توجه به داده های بدست آمده می توان فهمید که منحنی جذب از نوع ۴ است. برای مواد متخلخل قابل توجه است که متوسط شعاع منافذ در حدود (متوسط قطر منافذ) باشد. در جدول (۱-۴) و (۲-۴) مساحت، اندازه حفرات، ظرفیت، شیوه ی توزیع آن ها در فوم پلی یورتان و فوم پلی یورتان اصلاح شده توسط ژل بیوکامپوزیتی (جاذب) گزارش شده است. در ادامه شکل های (۴-۱۳)، (۴-۱۴)، (۴-۱۵)، (۴-۱۶)، (۴-۱۷)، (۴-۱۸) نمودار های Ads-Des، BET و BJH مربوط به فوم پلی یورتان خالص و فوم سنتز شده نشان داده شده است [۱۴، ۲۱، ۶۲-۶۵].

جدول (۱-۴): مشخصات BET Plot فوم پلی یورتان خالص

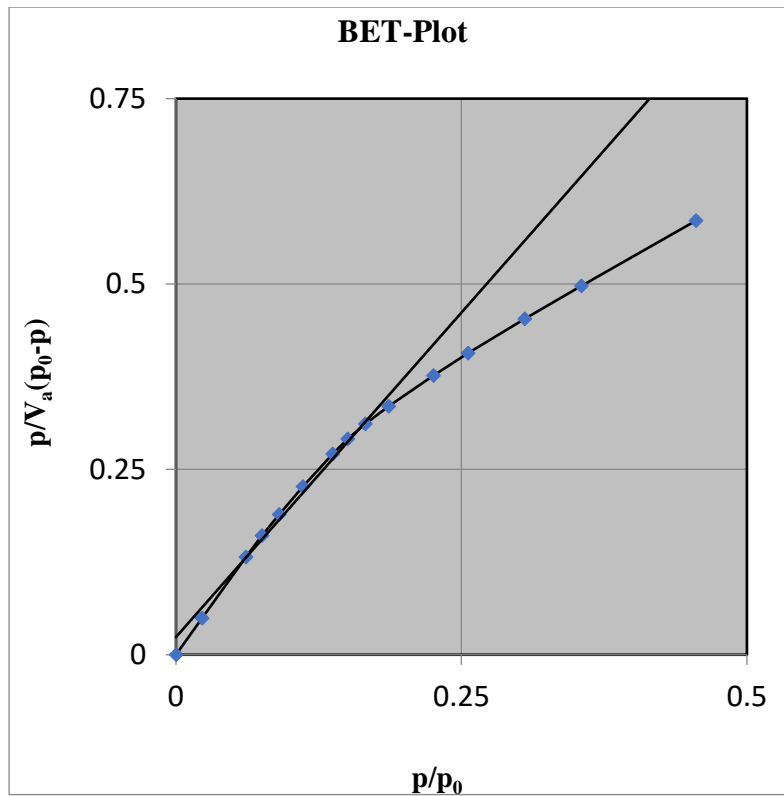
BET Plot		
Vm	0.5635	[cm ³ (STP) g ⁻¹]
as,BET	2.4525	[m ² g ⁻¹]
C	74.789	-
Total Pore Volume (P/P0=0.990)	0.0085899	[cm ³ g ⁻¹]
Mean Pore Diameter	14.01	[nm]

جدول (۴-۲): مشخصات BET Plot فوم پلی یورتان سنتز شده

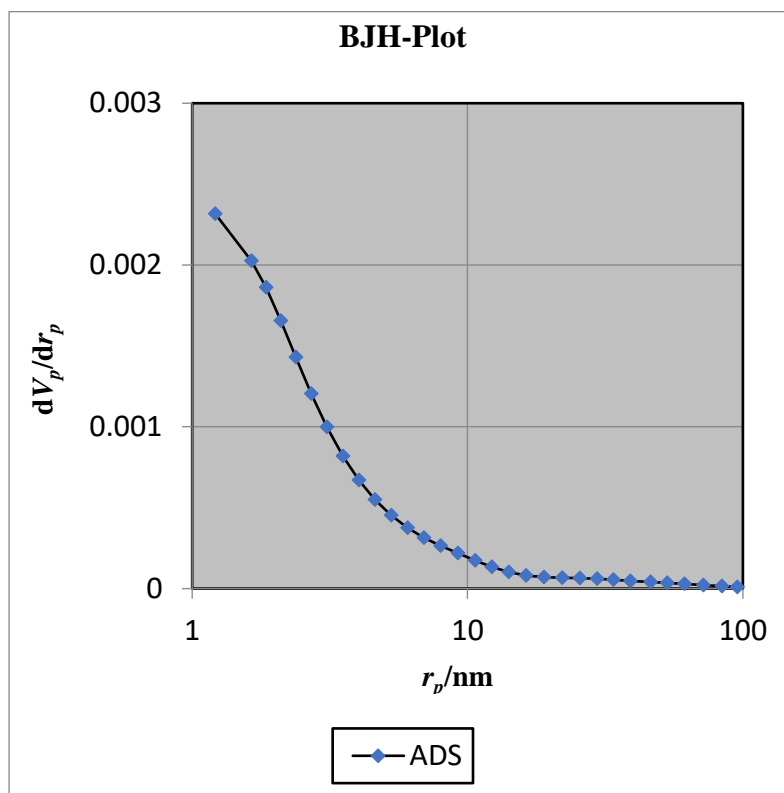
BET Plot		
V _m	0.3836	[cm ³ (STP) g ⁻¹]
a _{s,BET}	1.6694	[m ² g ⁻¹]
C	55.709	
Total Pore Volume (P/P ₀ =0.990)	0.0073746	[cm ³ g ⁻¹]
Mean Pore Diameter	17.67	[nm]



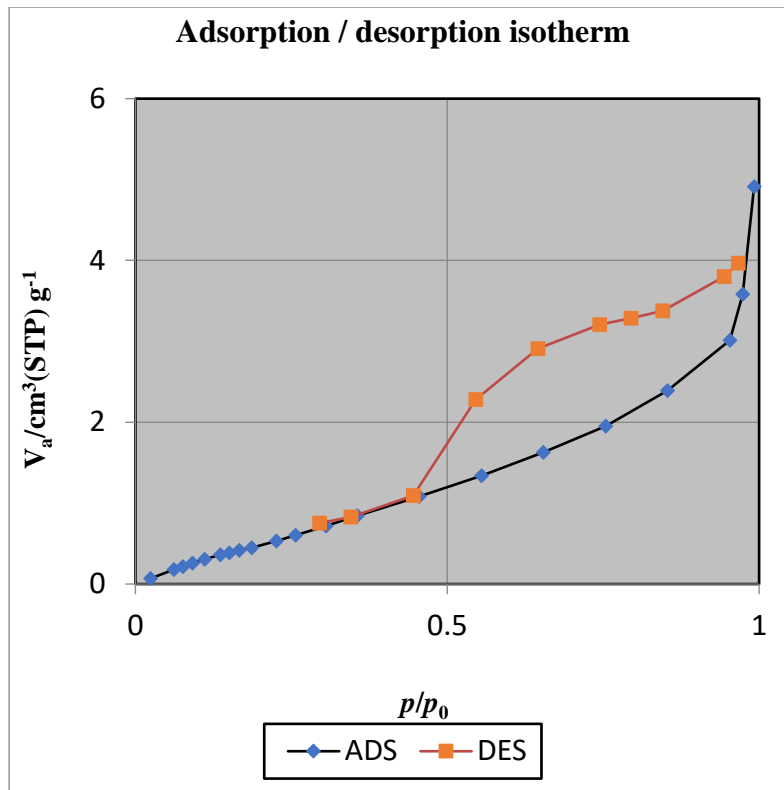
شکل (۴-۱۳): منحنی Ads-Des فوم PUF خالص



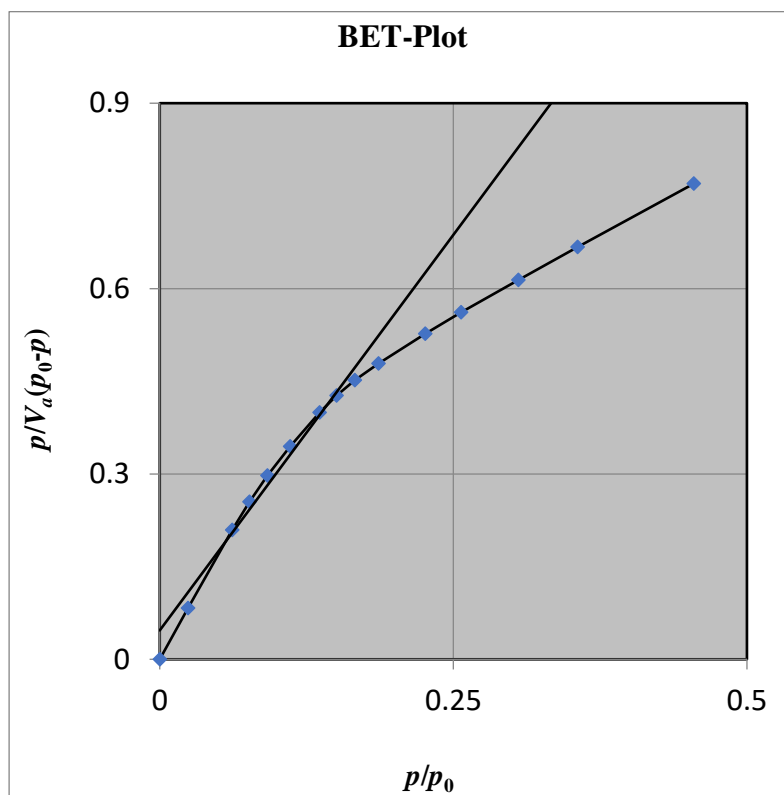
شکل (۴-۱۴): منحنی BET فوم پلی یورتان خالص



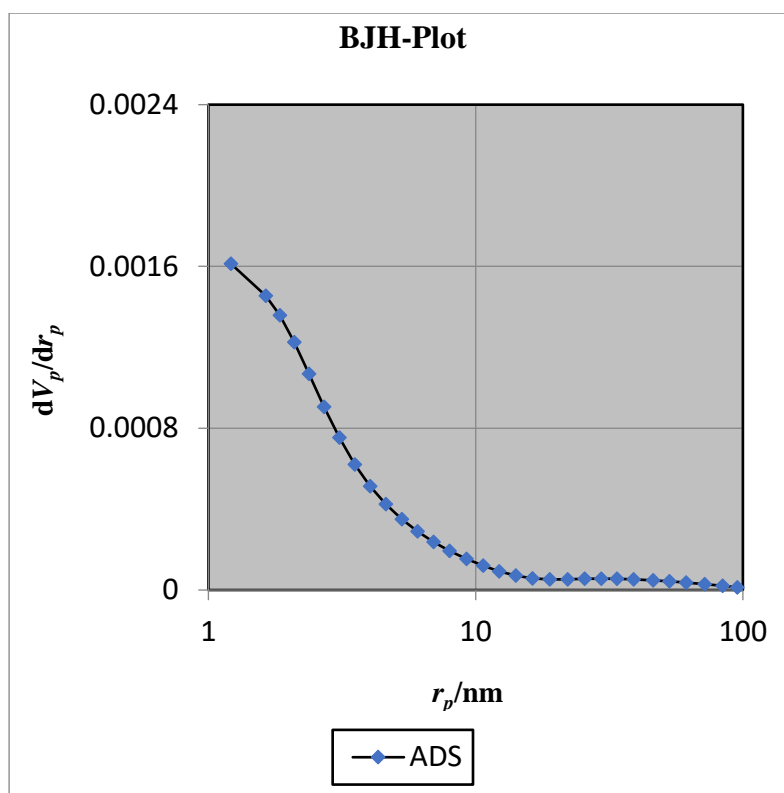
شکل (۴-۱۵): منحنی BJH فوم پلی یورتان خالص



شکل (۴-۱۶): منحنی Ads-Des فوم سنتزی CS-NaCMC-PUF



شکل (۴-۱۷): منحنی BET فوم سنتزی CS-NaCMC-PUF



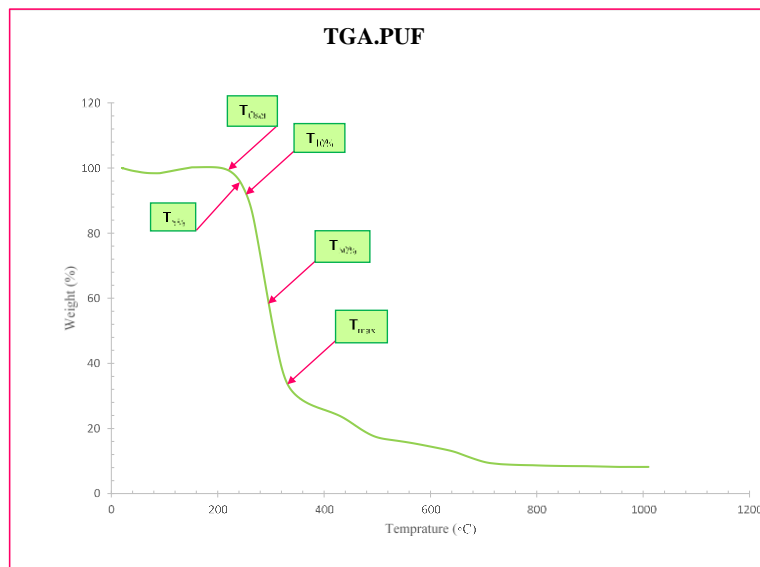
شکل (۴-۱۸): منحنی BJH فوم سنتزی CS-NaCMC-PUF

۵) آنالیز ترموگراویمتری یا TGA

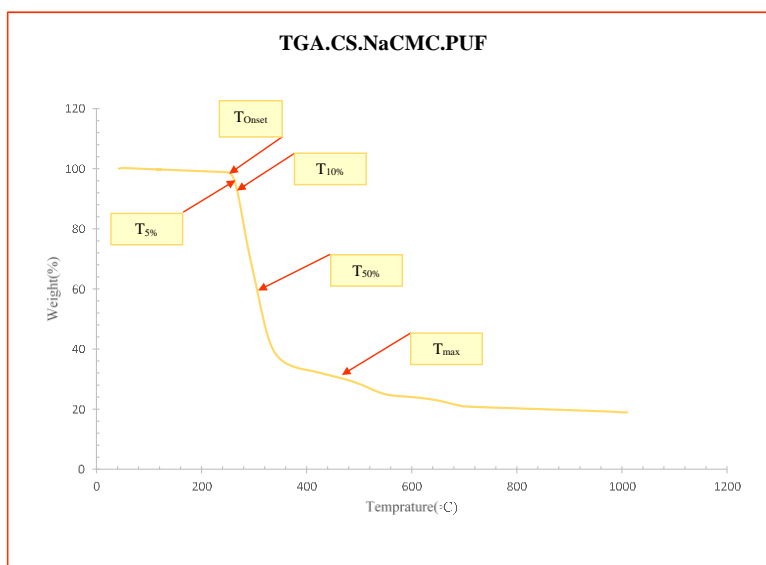
ترموگراویمتری (TGA) برای مطالعه ی پایداری حرارتی یا رفتار تجزیه حرارتی PUF و CS.NaCMC.PUF انجام می شود. نمودارها تجزیه در اثر حرارت را در پنج مرحله ی تخریب ($T_{Onset}, T_{5\%}, T_{10\%}, T_{50\%}, T_{Max}$) به صورت گام به گام نشان می دهد. T_{Onset} دمای شروع و T_{Max} دمای تخریب مرحله دوم است. به طور کلی تجزیه حرارتی پلی ساکراید ها به دنبال فرآیندهایی است که شامل دفع آب جذب شده ی فیزیکی، حذف آب ساختاری (دی هیدراته شدن)، پلیمریزاسیون و در نهایت تشکیل ساختار کربنی آروماتیک و گرافیتی است. در مطالعات TGA، از دست دادن مولکول های آب برای فوم ها در محدوده دمایی بین ۵۰ تا ۱۲۰ درجه سانتی گراد رخ می دهد. در دمای تجزیه نهایی ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد، درصد باقی مانده وزنی برای PUF و CS.NaCMC.PUF به ترتیب ۸ و ۱۹ درصد بود. از نتایج فوم CS.NaCMC.PUF بهبود پایداری حرارتی را در مقایسه با PUF نشان می دهد. پیوندهای متقابل (اتصال عرضی) در ساختارهای NaCMC و CS می تواند استحکام و پایداری ترکیب را بهبود بخشد. از سوی دیگر، این بهبود را می توان به پایداری حرارتی بالای ZSM-5 نسبت داد و در حضور ZSM-5 حرکات شبکه آلزینات محدود است. [۱۳، ۱۵، ۳۹، ۵۳، ۵۴، ۵۶، ۶۲، ۶۵].

جدول (۳-۴): جدول دمای تخریب TGA

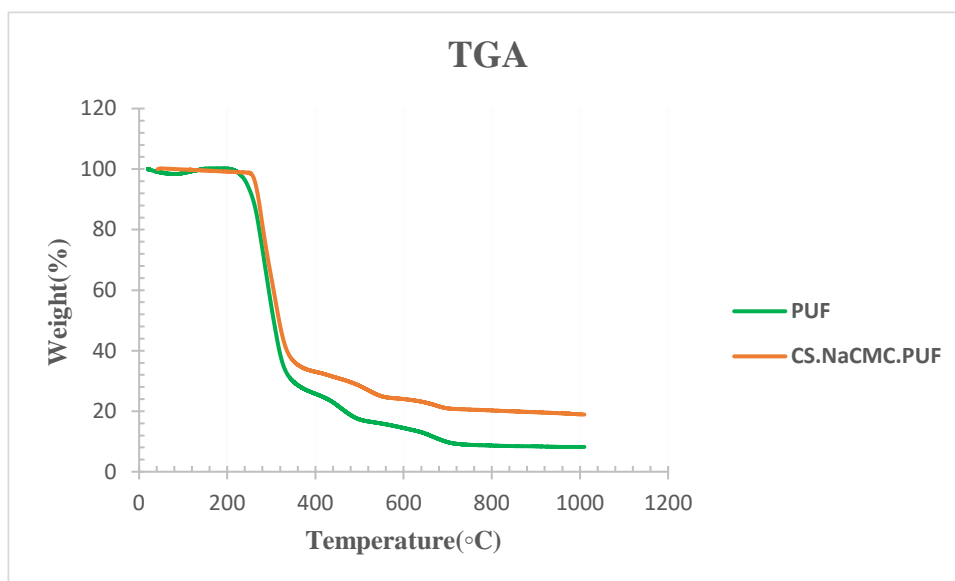
Sample	T _{Onset}	T _{5%}	T _{10%}	T _{50%}	T _{max}
CS-Na CMC-PUF	۲۶۰.۲۱	۲۶۴.۳۱	۲۷۱.۰۲	۳۱۷.۵۲	۴۷۲.۰۸
PUF	۲۳۶.۹۵	۲۴۵.۰۱	۲۵۸.۴	۳۰۵.۳۹	۳۴۸.۶۷



شکل (۴-۱۹): TGA فوم پلی یورتان خالص



شکل (۴-۲۰): TGA فوم CS-Na CMC-PUF



شکل (۴-۲۱): مقایسه TGA هر دو نمونه

با توجه به اشکال و جداول فوق می توان دریافت که هر دو نمونه یعنی فوم پلی یورتان خالص و فوم سنتز شده رفتار تخریب حرارتی نسبتاً مشابهی داشتند. و تفاوت آشکار در نوع تخریب و تغییرات دمایی به دلیل افزوده شدن مواد کریستالی حساس به دما و اندکی تفاوت در وزن نمونه ها می باشد. ایراد کار آنالیز TGA این است که نمی توان سرعت تخریب را محاسبه کرد و برای این کار حتماً باید DTA انجام شود که در این تحقیق انجام نشده است. اولین نقطه شکست نمودار که همان شروع تخریب است را می توان دمای تخریب نامید. در ادامه پس از افقی شدن مجدد نمودار دیگر نمونه ای وجود ندارد و نمونه به طور کامل سوخته و تبدیل به پودر و گاز شده است.

۶) بررسی کارایی و پایداری نمونه های سنتز شده

۱-۶) فوم های اصلاح شده توسط CMC (فاقد سدیم)

کربوکسی متیل سلولز همان گونه که در قبل ذکر شده در آب انحلال پذیر می باشد. اما نکته مهم این است که باید از آب بدون یون (آب دوبار تقطیر شده) استفاده کرد. پس از ساخت ژل کربوکسی متیل سلولز فوم پلی یورتان را درون ظرف حاوی ژل قرار داده و فوم را به طور کامل از ژل آغشته می کنند سپس یک میلی لیتر (1cc) از محلول آهن کلرید (شش آبه) جهت ایجاد اتصال عرضی بین ذرات CMC و فوم پلی یورتان به

آن می افزایشند. پس مخلوط سازی کامل و ماندن ظرف حاوی فوم به مدت زمان ۲۴ ساعت در دمای اتاق، فرآیند خشک کردن فوم به مدت ۲۴ ساعت تحت دمای ۸۰- درجه سانتی گراد (خشک کردن انجمادی) انجام شد. اما قبل پرس شدن فوم ها توسط عملیات پرس داغ به محض مرطوب شدن فوم ها با آب مقطر محتویات ژل درون فوم ها از آن خارج شده و فوم کارایی خود را از دست داد. در شکل (۴-۲۲) فرآیند توضیح داده شده نشان داده شده است [۵۷].



شکل (۴-۲۲): فوم CMC-PUF

۶-۲) فوم اصلاح شده توسط CS

نحوه ی تهیه فوم کیتوسان- پلی یورتان نیز همانند فوم کربوکسی متیل سلولز-پلی یورتان می باشد اما با سه تفاوت یک) کیتوسان در آب غیر قابل انحلال می باشد و برای حل کردن آن باید از محلول استیک اسید ۱٪ مولار استفاده کرد، دوم اینکه کیتوسان نسبت به CMC به دما حساس تر بوده پس دمای انحلال آن کمتر می باشد، سوم) عامل ایجاد اتصال عرضی میان ذرات کیتوسان و پلی یورتان باهم متفاوت می باشد، در این قسمت برای برقرار شدن اتصال عرضی میان ذرات از گلوآرآلدهید ۵۰٪ الی ۲۵٪ (در صورت استفاده از گلوآرآلدهید با غلظت ۲۵٪ دو میلی لیتر برداشته می شود) استفاده می کنند. میزان استفاده نیز یک میلی لیتر (1cc) نیز می باشد. این فوم نیز پس خشک شدن در دمای ۸۰- درجه سانتی گراد به محض مرطوب شدن تمامی ژل خشک شده درون آن به محیط بیرون تخلیه شد [۳۴, ۷].



شکل (۴-۲۳): فوم CS-PUF

۳-۶) تهیه جاذب CS-CMC-PUF

الف) طرز تهیه CS-CMC-PUF

ژل ها از پیش تهیه شده را با هم در نسبت یک به یک (حجم برابر از هر کدام فرضاً ۳۰ میلی لیتر از هر دو) باهم ادغام می کنند به صورتی که ژل کربوکسی متیل سلولز را به آرامی روی ژل کیتوسان می ریزند، سپس فوم ها را درون کامپوزیت ژل غوطه ور می سازند، در نهایت عامل ایجاد اتصال عرضی ذرات کیتوسان یعنی گلوکارآلدهید به آن می افزایند. شیوه خشک شدن هم همان خشک کن انجمادی می باشد. پس از خشک شدن فوم همان گونه که در فصل دو گفته شده فوم ها توسط پرس حرارتی پرس می شوند. به طور آزمایشی، آزمایش جذب رنگ با این نوع جاذب انجام شد جذب نسبتاً کمی را از خود نشان داد و هم سریع اشباع می شود و جاذب مناسبی جهت حذف رنگ نمی باشد ولی هم سریع از بین می رود. از مقاومت مکانیکی و حرارتی پائینی برخوردار است در هنگام پرس حرارتی و افزودن دو مرحله محلول رنگ و آب پس از آن آسیب می بیند و خرد می شود [۱۳، ۴۳].



شکل (۴-۲۴): مراحل تهیه و فعالیت CS-CMC-PUF

ب) شیوه تهیه جاذب بیوکامپوزیتی CS-Na CMC-PUF حاوی زئولیت ZSM 5

شیوه ساخت این فوم همانند روش قبل همان طور که در فصل های قبل ذکر شده می باشد. فقط با چهار تفاوت: (۱) در این قسمت از ژل سدیم کربوکسی متیل سلولز (نمک کربوکسی متیل سلولز Na CMC) در آن استفاده می شود، (۲) حین ترکیب شدن ژل ها محلول زئولیت ZSM 5 (دو گرم در ۱۰ سی سی آب بدون یون) به آن افزوده می شود، (۳) در حین تهیه ترکیب کامپوزیتی گلو تار آلدهید به صورت قطره قطره به آن افزوده می شود، (۴) در آخر فوم ها درون محلول غوطه ور می شوند. ادامه فرایند (خشک کردن انجمادی، پرس حرارتی) همانند روش های ذکر شده می باشد. این فوم از نظر مقاومت حرارتی، ظرفیت جذب و مقاومت مکانیکی بسیار بالاتر و بهتر از حالتی می باشد که در تهیه آن از CMC صنعتی یا فاقد سدیم استفاده شود. جاذب CS-Na CMC-PUF یک جاذب مناسب جهت حذف رنگ متیلن بلو و سایر رنگ ها با توجه به نتایج آزمایشات و آنالیزهای ذکر شده می باشد [۱۳, ۱۵].



شکل (۴-۲۵): تهیه فوم (CS-Na CMC-PUF (+ Zeolite ZSM 5) - ۱) تهیه کامپوزیت ژل (۲) تهیه جاذب

ج) خطاهای اتفاق افتاده در ترکیب ژل ها

در صورتی ژل کربوکسی متیل سلولز (هم سدیم دار هم فاقد سدیم) خیلی سریع روی ژل فاقد حرکت کیتوسان ریخته شود یک توده سلولی خیلی بزرگ (کلوخه) تشکیل می شود که طی مدت همزدن طولانی و با سرعت نیز حل نمی شود.

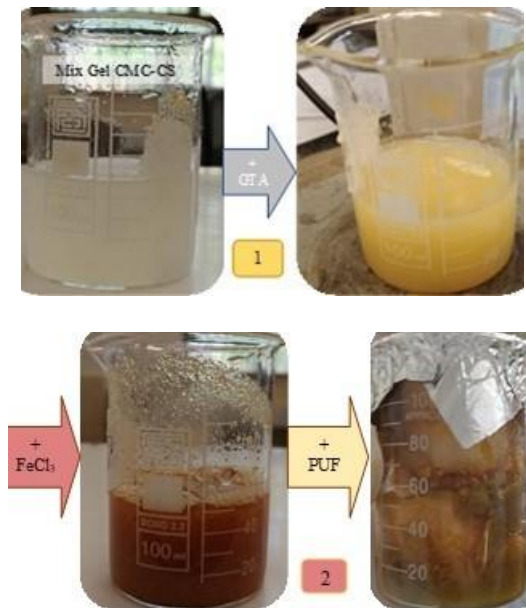
اگر ژل کیتوسان را روی ژل کربوکسی متیل سلولز (هم سدیم دار هم فاقد سدیم) بریزند تشکیل ماکروژل ها بزرگ، جامد و غیر قابل انحلال می دهد که در ته ظرف ته نشین می شوند، یا تشکیل کلوخه بزرگ می دهد.



شکل (۴-۲۶): ریختن کیتوسان روی (1 CMC و 2 Na CMC)

دلیل اینکه از هر دو عامل ایجاد اتصال متقابل یا اتصال عرضی پیوند ها در این قسمت استفاده نمی شود، این است که محصول نهایی خراب می شود در این قسمت پس افزودن گلووتارآلدهید یک ژل یکدست متمایل به زرد تشکیل می شود، در این صورت پس افزوده شدن محلول آهن **III** کلرید اتصال عرضی نسبتاً از بین می رود و در صورت همزده شدن یک ترکیب ژله ای خرد شده به وجود می آید که دیگر نمی توان فوم ها را درون آن غوطه ور ساخت و ژل درون فوم نفوذ نمی کند زیرا ژل نیمه سفتی تشکیل شده است. (تفاوت در نوع CMC ندارد که سدیم دار باشد یا خیر، استفاده از دو مدل ایجاد کننده پیوند عرضی

پاسخ گو نیست، شکل (۴-۲۷))



شکل (۴-۲۷): استفاده همزمان گلوکار آلدهید و آهن III کلرید (۱) افزودن گلوکار آلدهید به مخلوط ژل، (۲) افزودن $FeCl_3$ و غوطه ور سازی فوم پلی یورتان

در صورت استفاده از کربوکسی متیل سلولز فاقد سدیم باید ماده عامل اتصال عرضی را پس از غوطه ور سازی فوم ها درون کامپوزیت به ترکیب افزود زیرا پس از آن امکان غوطه ور سازی فوم از بین می رود زیرا مانند ژله شده و دیگر امکان نفوذ درون فوم وجود ندارد، (شکل ۴-۲۷). هنگامی که نسبت یک به یک مخلوط شدن مخلوط کردن ژل ها نیز رعایت نشود، پس افزودن عامل ایجاد کننده اتصال عرضی همان مشکل ذکر شده در شکل (۴-۲۷) ایجاد می شود، زیرا پس از افزوده شدن گلوکار آلدهید ذرات کیتوسان به صورت متقابل به هم متصل می شوند، و ترکیب ژله ای غیر قابل ادغام با ماده ای دیگر تشکیل می شود.

(د) فوم هایی با طرز تهیه متفاوت

در فصل قبل شیوه تهیه این نوع جاذب بیان شده است، هدف از تهیه این نوع این بود که نحوه ی تشکیل و برقراری پیوند بین ذرات کیتوسان، کربوکسی متیل سلولز، فوم پلی یورتان و گلوکار آلدهید و در صورت حضور زئولیت چه تاثیری در جذب رنگ در جاذب ایجاد شده دارد. بدین منظور چهار فوم تهیه شد که به صورت جفت نوع ادغام و تهیه آن ها با هم تفاوت داشت. در یک جفت از این فوم ها پیوندها بین اتم ها، مولکول ها، اتصال عرضی ذرات در ظرف واکنش اتفاق افتاد سپس فوم درون آن غوطه ور شد، اما در نوع

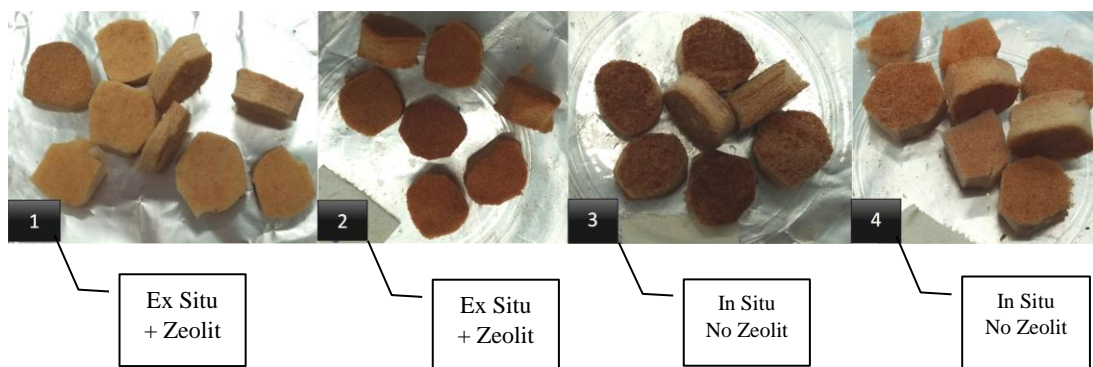
بعدی تمامی پیوندها و اتصالات عرضی درون فوم پلی یورتان بین ذرات و مولکول های ژل و فوم اتفاق افتاد. دلیل انجام این فرآیند این بود که بررسی شود اگر پیوند بین ذرات درون فوم اتفاق بیفتد جذب بهتر است یا در بیرون از فوم و در آخرین مرحله فوم درون ژل غوطه ور شود جذب بهتری از رنگ بدست می آید. با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایشات انجام شده (جدول ۴-۴) آن غشائی که مواد تشکیل دهنده ی آن بیرون از فوم با هم ادغام شده بودند و حاوی زئولیت بود بهترین جذب را برای رنگ متیلن بلو از خود نشان داده است. بقیه مدل ها در همان تست های اولیه یا با محلول رنگی واکنش می دادند یا خیلی سریعتر به محدوده اشباع نزدیک می شدند و جذب مناسبی نسبت به رنگ MB¹ نداشتند. در جدول (۴-۴) نتایج نهایی جذب ۵۰ میلی لیتر متیلن بلو را نشان می دهد که با توجه به آن می توان فهمید کدام فوم مناسب تر می باشد [۱۳، ۱۵].

جدول (۴-۴): نتایج نهایی جذب MB چهار فوم

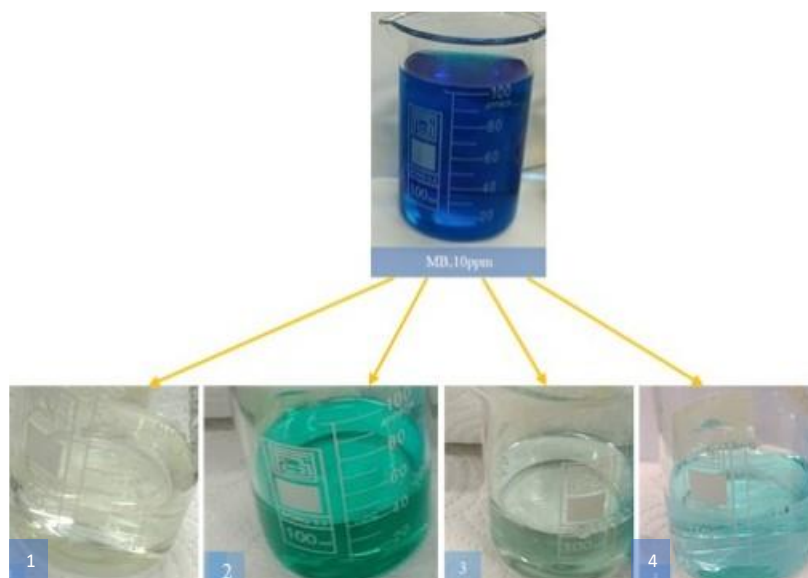
نمونه	In-Situ	Ex-Situ	حاوی زئولیت	فاقد زئولیت	غلظت رنگ	بازدهی جذب
۱		●	●		۰	۱۰۰
۲		●		●	۳.۲۰	۷۰
۳	●			●	۰	۱۰۰
۴	●		●		۰.۸۰	۸۰

نکته: اگرچه نتیجه نهایی فوم شماره ۳ و فوم شماره ۱ با هم یکی می باشد ولی فوم شماره ۳ با متیلن بلو واکنش داده است و آب خارج شده از جاذب دارای رنگ بود در شکل (۴-۲۸ب) فوم ها و نتیجه متیل بلو جذب شده توسط چهار فوم نمایش داده شده است. معادله خط هایی که غلظت های بالا با آن محاسبه شده اند در جدول (۴-۵) قابل مشاهده اند:

¹) Methylene Blue



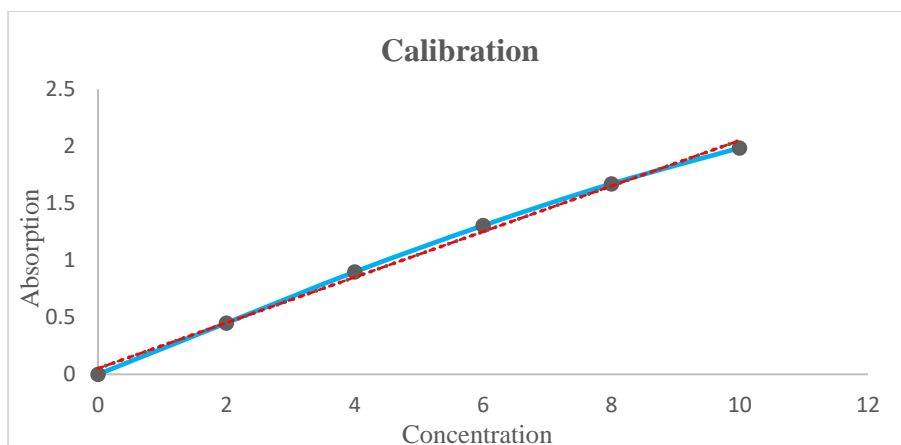
شکل (۴-۲۸): الف) نمونه های ساخته شده پس از خشک کن انجمادی و پرس داغ



شکل (۴-۲۸): ب) نتیجه جذب ۵۰ میلی لیتر محلول متیلن بلو 10mg/L

جدول (۴-۵): جدول کالیبراسیون چهار فوم اولیه

Name	Line Equation	Sample
Calibration1	$I=0.1999C+0.0517$	1
Calibration2	$I=0.2005C+0.0386$	2 & 3
Calibration3	$I=0.1957C+0.0934$	4

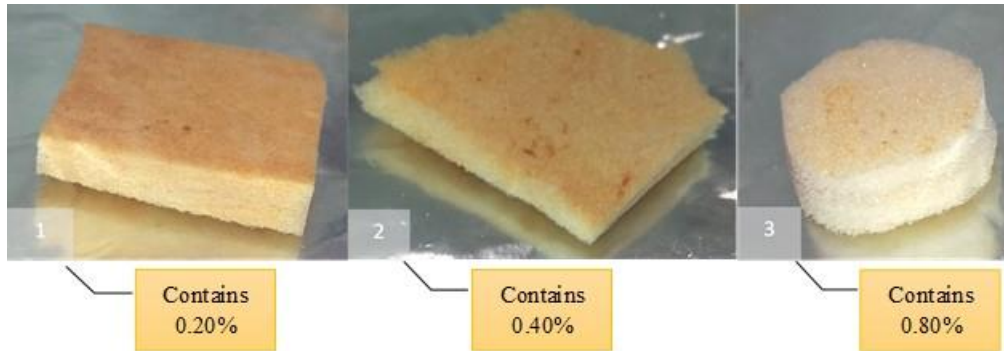


شکل (۴-۲۹): نمونه ای از منحنی کالیبراسیون

خ) فوم های حاوی درصد متفاوت زئولیت

نکته قابل ذکر در این قسمت این می باشد که حضور زئولیت ZSM 5 در تهیه جاذب یک اقدام مثبت می باشد زیرا باعث افزایش ظرفیت جذب رنگ توسط فوم شده است، این نکته را با توجه نتایج حاصله از آزمایش می توان با صراحت تمام بیان کرد. این فرآیند جهت بررسی تغییرات درصد زئولیت انجام شده است و یا به تعریف دیگر با تغییر در مقدار یا درصد زئولیت چه تغییری در جذب رنگ رخ خواهد داد؟ سه مخلوط کامپوزیتی (ژل CS-Na CMC) شامل ۰/۲٪، ۰/۴٪ و ۰/۴٪ از زئولیت به حجم ۵۰۰ میلی لیتر تهیه و با فوم پلی یورتان ادغام شد، و سه جاذب حاوی درصد های متفاوت زئولیت ZSM 5 طی عملیات ذکر شده ساخته شد. با توجه به نتایج در هر سه حالت جذب مناسب تری نسبت به حالت فاقد زئولیت مشاهده شده است. اما وقتی مقدار زئولیت نصف یعنی ۰/۲٪ باشد نتایج بدست آمده نزدیک به حالت فاقد زئولیت دارد، در حالتی که دو برابر یعنی ۰/۸٪ باشد نتایج حاصل شده فقط بهتر از حالت اول یعنی ۰/۲٪ می باشد. بهترین حالت تحت هر شرایطی جذب فوق العاده ای داشت این بود که مقدار زئولیت درون حجم ۲۵۰ میلی لیتر مخلوط ژل ها ۲ گرم باشد. در جدول (۴-۹) حجم مصرفی از محلول رنگی و مدت زمان لازم جهت اشباع شدن هر سه جاذب گزارش شده است. این جدول برای رنگ متیلن بلو با غلظت 10mg/L گزارش شده است [۱۳، ۱۵].

1) Part Per Million, ppm



شکل (۴-۳۰): فوم های حاوی درصد مختلف زئولیت

۷) آزمایشات جذب پیوسته (جذب پیوسته)

آزمایشات جذب بدین منظور انجام می شود که توانایی نمونه ساخته شده سنجیده شود، و ثابت شود که آیا این جاذب یا جاذب ساخته شده کاربرد صنعتی-آزمایشگاهی دارد؟ اگر کاربرد دارد قابلیت بازیابی و احیا را نیز دارد؟ آیا استحکام و پایداری مکانیکی دارد یا خیر؟ در صورت رهایی در طبیعت مشکلات جدی ایجاد نمی کند؟ جهت پاسخ به این سوالات آزمایشات جذب انجام می شود. در این پروژه فقط به دلیل نوع جاذب جامد بیوکامپوزیتی از آزمایشات جذب سطحی پیوسته استفاده شده است.

۷-۱) جذب سطحی پیوسته

برای انجام این فرآیند از یک ستون شیشه ای یا پلاستیکی مانند سرنگ (بستگی به نوع ماده جذب شونده دارد) به عنوان ستون جذب استفاده می شود. سپس مساحت و قطر ستون جذب را محاسبه کرده، و مقدار مناسبی از جاذب مورد نظر (CS-Na CMC-PUF) را توسط کاتر یا قیچی برش می دهند البته مقداری بزرگ تر که کاملاً کف ستون جاذب را پر کند (فیکس شود) که از اطراف غشاء هیچ مایعی عبور نکند، که خطا رخ بدهد یا سریعاً جاذب اشباع شود. سپس توسط دکانتور، بشر، محفظه سرم (محفظه ی بالای شلنگ ونست که به سرم متصل می شود) محلول جذب شونده را به ستون جذب تزریق می کنند. در مواردی مانند این پروژه که دبی ورودی به ستون جذب زیاد اهمیت ندارد، زیرا که چه محلول رنگی یه دفعه چه قطره

قطره وارد ستون جذب شود تأثیری در دبی خروجی از ستون جذب ندارد و با همان فشار اتمسفر از انتهای ستون مایع تصفیه شده خارج می شود می توان بجای استفاده از دکانتور با بشر محلول جذب شونده (متیلن بلو) را به ستون جذب تزریق کرد. در صورتی دبی خروجی از ستون جذب در این حالت تغییر می کند که جریان ورودی به ستون جذب با فشار جدای (وارد کردن نیرو) از فشار اتمسفریک به جاذب درون ستون جذب وارد شود. به عبارت دیگر در این فرآیند پس تنظیم و بستن ستون جذب از زمانی که محلول رنگی به آن وارد می شود تا زمانی که اولین قطره از ستون جذب خارج می شود، و زمان پر شدن اولین سل را یادداشت می کنند، به همین ترتیب تا حجمی از محلول رنگی که باعث اشباع شدن جاذب می شود، حجم مصرفی تا اشباع شدن جاذب یادداشت می شود. دلیل اینکار هم محاسبه دبی خروجی از ستون جذب و محاسبات مدلسازی ریاضی-فیزیکی می باشد. در این فرآیند جذب سطحی پیوسته در چندین حالت مختلف در دمای اتاق جهت سنجش توانایی جاذب سنتز شده انجام شده است. به دلیل اینکه شیوه انجام همه ی فرآیندها به یک شکل بوده فقط حجم محلول رنگی مصرف شده و زمان انجام فرآیند آن ها متفاوت می باشد از توضیح مجدد روش انجام آزمایش خودداری شده و فقط نام برده می شوند و نتایج بدست آمده از این فرآیند ها در جداول ذکر شده در ادامه قابل مشاهده است. جذب سطحی پیوسته برای رنگ متیلن بلو با غلظت 10mg/L در نه مرتبه با ارتفاع، شرایط اسیدی و خنثی و بازی، تفاوت جاذب ها (از نظر مقدار زئولیت موجود در آن)، زیاد شدن دبی ورودی به ستون جذب، و دو مرتبه برای رنگ متیلن بلو با غلظت 8mg/L و 6mg/L با ارتفاع یکسان (ثلث ارتفاع اولین تست)، هفت مرتبه نیز برای تایید خاصیت انتخاب گری، یک مرتبه هم برای فرآیند احیاء جاذب سنتز شده انجام شده است. این فرآیند ها به گونه ای می باشد که که پس از پر شدن سل شیشه ای که زیر ستون جذب قرار دارد سل را درون دستگاه اسپکتروفتومتر قرار داده و عدد جذب آن را می خوانند. عدد جذب یعنی مقدار محلول رنگی باقی مانده که توسط جاذب جذب نشده و از آن عبور کرده است.

۷-۲) بدست آوردن غلظت رنگ باقی مانده

در ابتدا باید دستگاه اسپکتروفتومتر را توسط غلظت های متفاوت از محلول مورد نظر کالیبره کرد، با استفاده از نرم افزار اکسل نمودار کالیبراسیون (شکل (۴-۲۸)) رسم کرده، معادله خط بدست آورده تا با استفاده از این معادله خط بتوان غلظت های مورد نظر را محاسبه کرد. فقط در این صورت می توان اعداد جذب بدست آمده از فرآیند جذب سطحی را تبدیل به غلظت کرده و توانایی جذب یا جاذب سنتز شده را سنجید.

۷-۳) نتایج بدست آمده از فرآیند های جذب پیوسته

در ادامه جدول ها، نمودارها (غلظت بر حسب زمان) و مدلسازی های جذب سطحی پیوسته نشان داده شده اند. جهت دستیابی به بالاترین میزان خروج رنگ، نتایج صحیح و تکرار پذیری مطلوب، پارامترهای تجربی شامل اثر pH، وزن ماده جاذب، زمان تماس، غلظت اولیه رنگ و میزان ظرفیت جاذب مورد مطالعه قرار گرفت. برای بدست آوردن نتایج صحیح با ثابت نگه داشتن سایرمتغیرها و تغییر یک پارامتر (روش یکی در زمان) آزمایش های بهینه سازی انجام گرفت. یکی از فاکتورهای مهم در تحقیقات حذف رنگ با استفاده از جاذب های جامد، مقدار جاذب یا جاذب (وزن و ارتفاع) مورد نظر می باشد که هرچه از مقدار جاذب کمتری استفاده شود به طبع بهتر خواهد بود و به صرفه تر می باشد. بقیه تست ها جهت سنجش توانایی جاذب انجام شده است [۵۰].

۷-۴) توضیح مدلسازی فرآیند جذب پیوسته بستر ثابت^۱

تمامی نمودار های آمده در قبل که نشان دهنده ی جذب سطحی توسط جاذب تولید شده در این فرآیند بود، از نوع سیستم جذب سطحی پیوسته با بستر ثابت می باشد. همان گونه که از نام این فرآیند پیداست، ستون یا بستر حامل جاذب ثابت بوده و مایع مورد تصفیه یا جداسازی از بالا وارد ستون شده و از انتهای ستون جذب خارج می شود. یک نکته قابل توجه این می باشد که این نوع فرآیند علاوه بر جداسازس مایعات برای جذب سطحی و جداسازی گازها نیز قابل استفاده می باشد. و این سیستم هم با فشار هوا و اتمسفر کار می کند هم به صورت جریان پیستونی (Plug) فعالیت می کند. از دیگر نکات این روش تعادل بین جاذب

1) Fixed Bed

و سیال به صورت آبی اتفاق می افتد یعنی ایزوترم در مبدا آغاز می شود. نکته دوم این است که در این روش جاذب شونده باید عاری از ماده جذب شونده باشد که در این فرآیند نیز همین نکته صادق بود جنس جاذب و جذب شونده کاملاً باهم تفاوت داشت. نکته آخر در این روش برای زیاد کردن دبی ورودی از پیستون سرنگ استفاده شد [۲۱].

۷-۵) تفاوت فرآیند پیوسته با ناپیوسته

نکته قابل ذکر این است که در این عملیات با توجه به نوع جاذب از فرآیند جذب ناپیوسته^۱ استفاده نشده است. زمان مورد نیاز فرآیند پیوسته نسبت به فرآیند ناپیوسته نامشخص تر می باشد، چونکه فرآیند ناپیوسته در یک محدوده زمانی مشخص انجام می پذیرد. در فرآیند ناپیوسته مایع جذب شونده و جاذب به طور کامل با هم در تماس هستند پس در این صورت زمان کافی برای حداکثر انتقال جرم و جذب سطحی وجود دارد زیرا درون یک راکتور بسته در یک دما و زمان مشخص انجام می شوند.

در جذب پیوسته به دلیل اینکه جاذب و محلول جذب شونده در یک راکتور ثابت نیستند، در صورت ساکن بودن فقط جاذب درون ستون جذب ساکن است و باز محلول جذب شونده ساکن نیست، فرصت انتقال جرم و جذب سطحی به طور کامل فراهم نمی شود لذا جهت انجام کامل فرآیند و اصول غلظت زمان ماندگاری بیشتری به محلول داده می شود [۲۱].

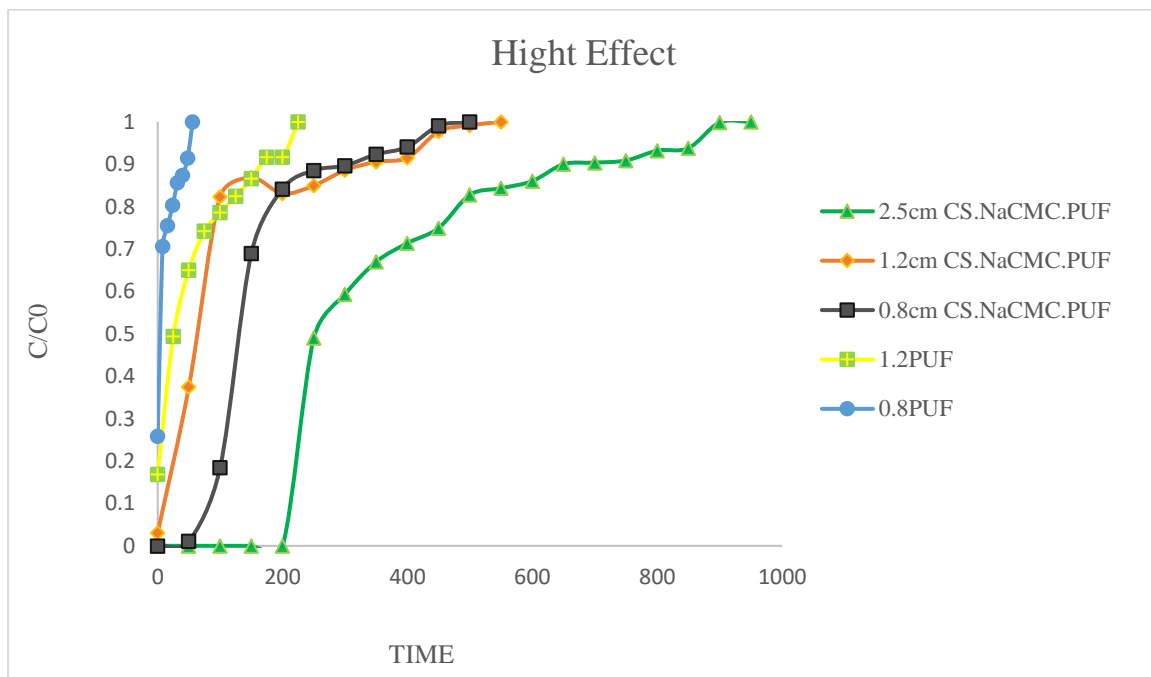
۷-۶) مدلسازی جذب سطحی پیوسته

برای طراحی بهینه فرآیند جذب صنعتی، مدلسازی و شبیه سازی دقیق رفتار سیستم، امری ضروری می باشد. مدلسازی فرآیند جذب در دو حالت پیوسته و ناپیوسته انجام پذیر است، اما در این پروژه به دلیل اینکه تمامی آزمایشات انجام شده از نوع جذب پیوسته بود در این صورت مدلسازی ها نیز برای جذب پیوسته انجام گرفته است [۶۶].

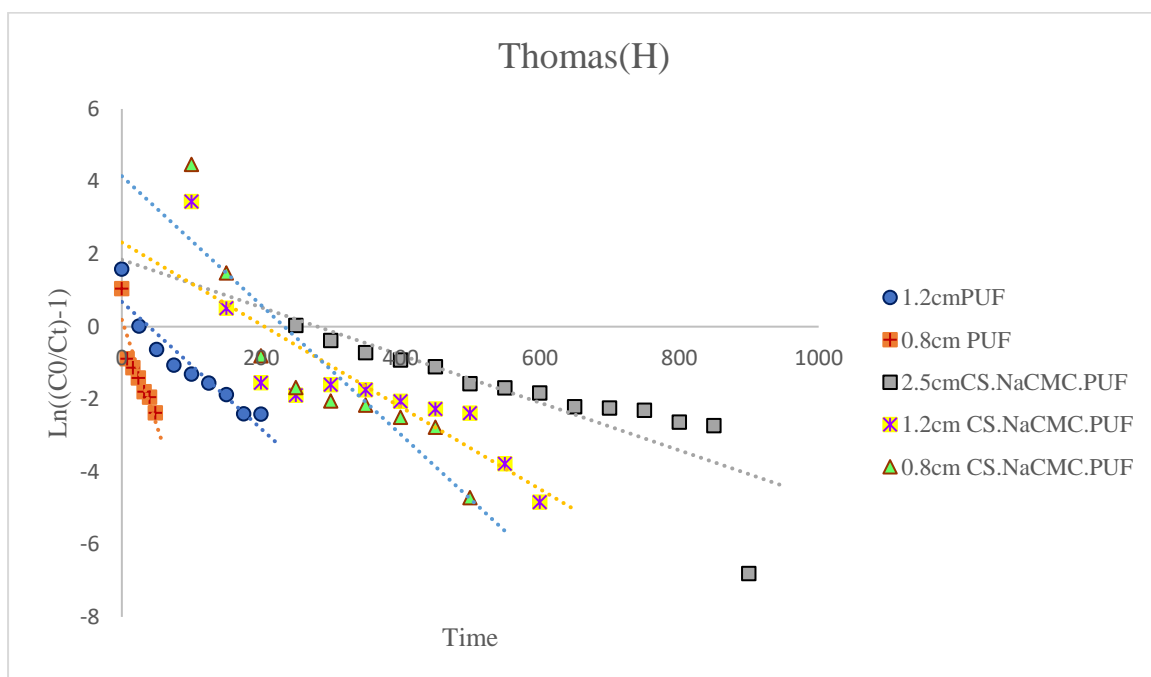
1) Batch

۷-۶-۱) تاثیر ارتفاع جاذب

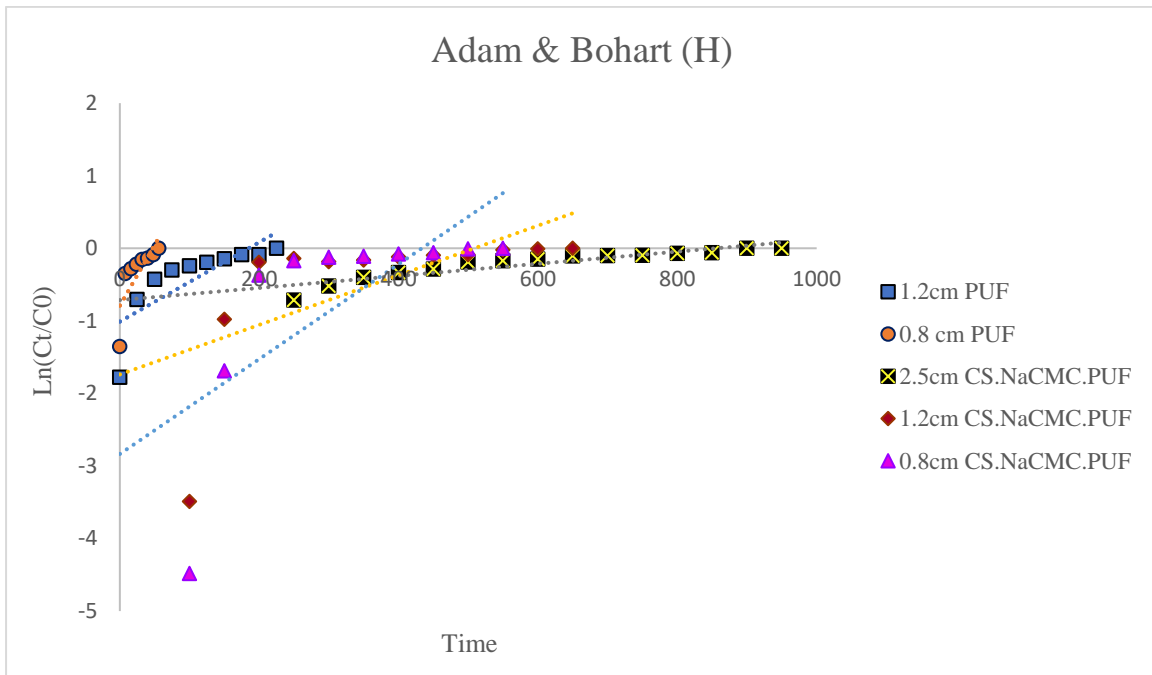
این تست سه مرتبه در ارتفاع های ۲۵، ۱۲ و ۸ میلی متر از فوم CS-Na CMC-PUF و فوم پلی یورتان خالص با غلظت رنگ ۱۰ mg/L از محلول رنگی متیلن بلو انجام شده است.



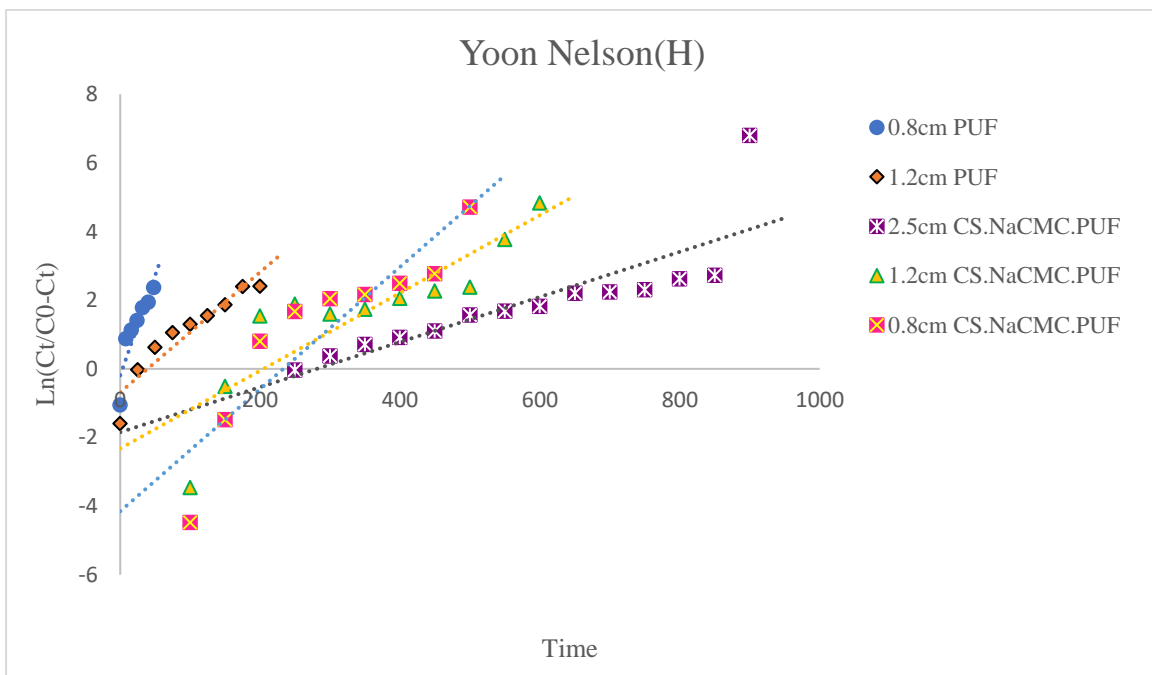
شکل (۴-۳۱): نمودار بررسی تاثیر ارتفاع جاذب، غلظت رنگ 10mg/L



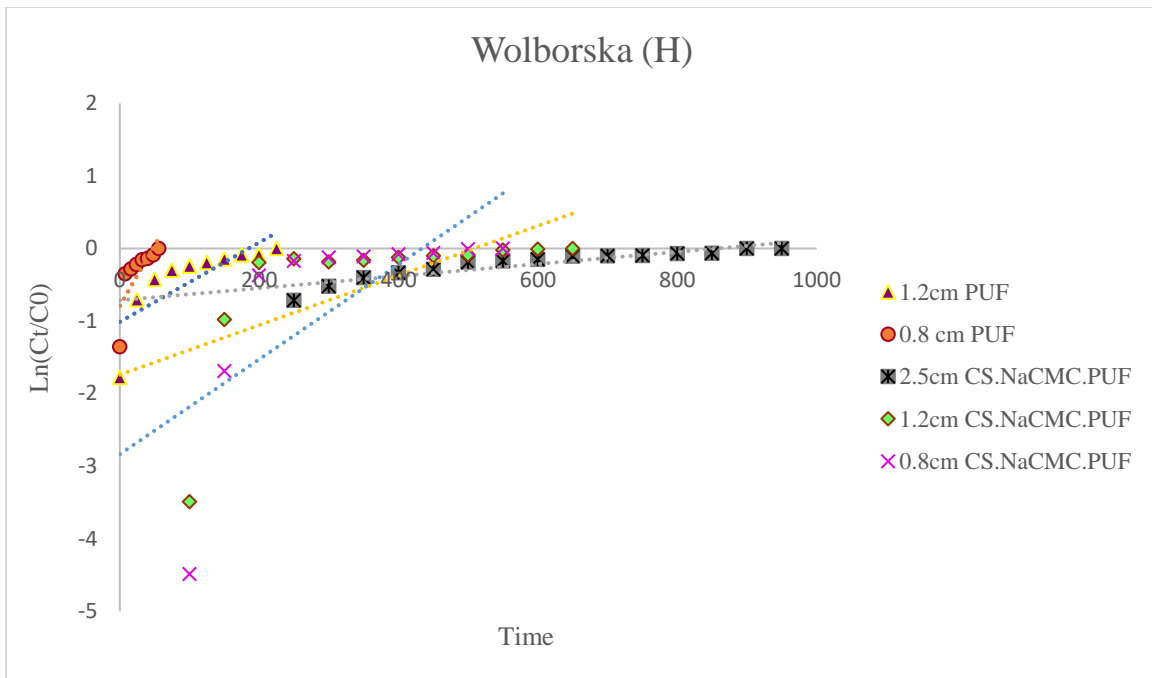
شکل (۴-۳۲): نمودار مدل توماس، تاثیر ارتفاع فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF غلظت در 10mg/L



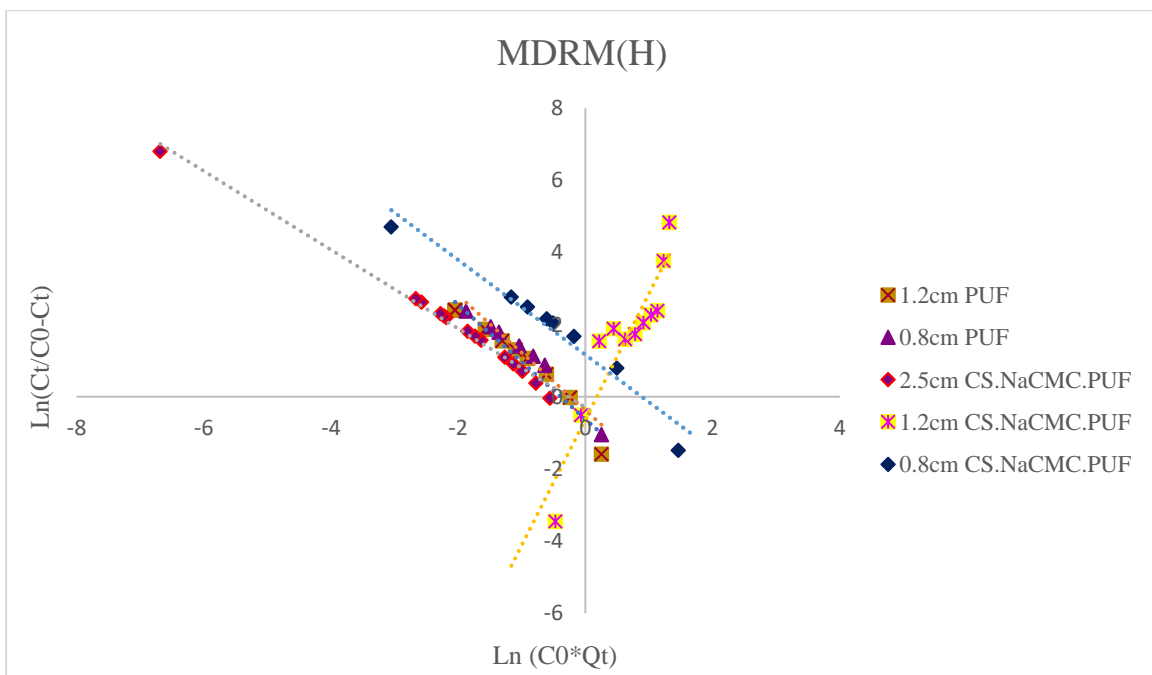
شکل (۴-۳۳): نمودار مدل بوهارت آدامز، تاثیر ارتفاع فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF در غلظت 10mg/L



شکل (۴-۳۴): نمودار مدل یون نلسون، تاثیر ارتفاع فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF در غلظت 10mg/L



شکل (۴-۳۵): نمودار مدل وولبورسکا، تاثیر ارتفاع فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF در غلظت 10mg/L



شکل (۴-۳۶): نمودار مدل دوز اصلاح شده، تاثیر ارتفاع فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF در غلظت 10mg/L

جدول (۴-۶): مشخصات مدل توماس تاثیر ارتفاع در غلظت 10mg/L فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF

مدل توماس						
q _{TH} (mg/L)	K _{TH} (L/min.mg)	R ²	Q(L/min)	H(cm)	C(mg/L)	نمونه
۰.۲۴	۰.۰۰۲	۰.۸۸۵۸	۰.۰۰۰۴	۱.۲	۱۰	PUF
۰.۰۷۱	۰.۰۰۶	۰.۸۱۲۲	۰.۰۰۱	۰.۸	۱۰	
۰.۱۱	۰.۰۰۰۴	۰.۹۷۴۲	۰.۰۰۰۳	۲.۵	۱۰	CS-Na CMC-PUF
۱.۲۸	۰.۰۰۱	۰.۷۵۸۷	۰.۰۰۰۴	۱.۲	۱۰	
۲.۴۷	۰.۰۰۲	۰.۸۲۰۴	۰.۰۰۰۴	۰.۸	۱۰	

جدول (۴-۷): مشخصات بوهارت-آدامز تاثیر ارتفاع در غلظت 10mg/L فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF

مدل بوهارت-آدامز								
No(mg/L)	K _{BA} (L/mg.min)	U(cm/min)	A(cm)	R ²	Q(L/min)	Z(cm)	C(mg/L)	نمونه
۰.۳۵	۰.۰۰۰۵	۰.۰۰۰۲	۱.۷۷	۰.۶۱۸۲	۰.۰۰۰۴	۱.۲	۱۰	PUF
۰.۳۳	۰.۰۰۱۷	۰.۰۰۰۶	۱.۷۷	۰.۵۸۲۲	۰.۰۰۱	۰.۸	۱۰	
۰.۵۹	۰.۰۰۰۱	۰.۰۰۰۲	۱.۷۷	۰.۸۴۲۵	۰.۰۰۰۳	۲.۵	۱۰	CS-Na CMC-PUF
۱.۱۱	۰.۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۲	۱.۷۷	۰.۹۰۶	۰.۰۰۰۴	۱.۲	۱۰	
۱.۵۷	۰.۰۰۰۱	۰.۰۰۰۳	۱.۷۷	۰.۸۰۱۳	۰.۰۰۰۴	۰.۸	۱۰	

جدول (۴-۸): مشخصات مدل یون نلسون تاثیر ارتفاع در غلظت 10mg/L فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF

مدل یون نلسون						
τ(min)	K _{YN} (min-1)	R ²	Q(l/min)	H(cm)	C(mg/L)	نمونه
۳۷.۹۰	۰.۰۱۸۵	۰.۸۸۵۸	۰.۰۰۰۴	۱.۲	۱۰	PUF
۴.۲۶	۰.۰۵۸۳	۰.۸۱۲۲	۰.۰۰۱	۰.۸	۱۰	
۱۹۸.۴۷	۰.۰۰۴۵	۰.۹۷۴۲	۰.۰۰۰۳	۲.۵	۱۰	CS-Na CMC-PUF
۲۰۴.۳۸	۰.۰۱۱۳	۰.۷۵۸۷	۰.۰۰۰۴	۱.۲	۱۰	
۲۲۴.۷۲	۰.۰۱۷۸	۰.۸۲۰۴	۰.۰۰۰۴	۰.۸	۱۰	

جدول (۴-۹): مشخصات وولبورسکا تاثیر ارتفاع در غلظت 10mg/L فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF

مدل وولبورسکا								نمونه
No(mg/L)	β	U(cm/min)	A(cm)	R ²	Q(L/min)	Z(cm)	C(mg/L)	
۰.۳۵	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۰۲	۱.۷۷	۰.۶۱۸۲	۰.۰۰۰۴	۱.۲	۱۰	PUF
۰.۳۳	۰.۰۰۰۷	۰.۰۰۰۶	۱.۷۷	۰.۵۸۲۲	۰.۰۰۱	۰.۸	۱۰	
۰.۵۹	۴.۷×۱۰^{-۵}	۰.۰۰۰۲	۱.۷۷	۰.۸۴۲۵	۰.۰۰۰۳	۲.۵	۱۰	CS-Na CMC- PUF
۰.۹۷	۰.۰۰۰۳	۰.۰۰۰۲	۱.۷۷	۰.۳۸۸	۰.۰۰۰۴	۱.۲	۱۰	
۱.۴	۰.۰۰۱	۰.۰۰۰۳	۱.۷۷	۰.۴۸۶۷	۰.۰۰۰۴	۰.۸	۱۰	

جدول (۴-۱۰): مشخصات دوز اصلاح شده تاثیر ارتفاع در غلظت 10mg/L فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF

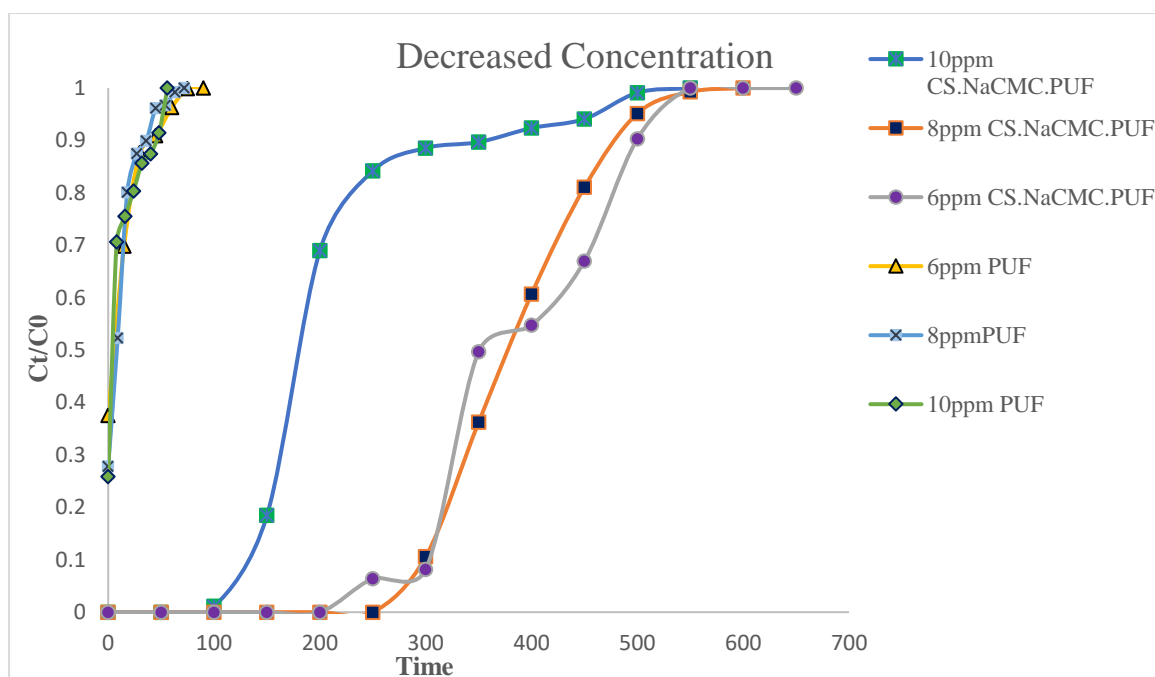
مدل دوز اصلاح شده							نمونه
q _{MDR}	a	R ²	Q(L/min)	H(cm)	C(mg/L)		
۱.۰۴	۱.۵۹	۰.۹۵۰۹	۰.۰۰۰۴	۱.۲	۱۰	PUF	
۱.۷۲	۱.۵۹	۰.۹۶۷۳	۰.۰۰۱	۰.۸	۱۰		
۰.۵	۱.۲۷	۰.۹۹۳۷	۰.۰۰۰۳	۲.۵	۱۰	CS-Na CMC- PUF	
۱.۵۵	۱.۵۱	۰.۸۷۳۶	۰.۰۰۰۴	۱.۲	۱۰		
۵.۶۵	۱.۳۱	۰.۹۵۳۳	۰.۰۰۰۴	۰.۸	۱۰		

با توجه به مقدار R² ها، مدل دوز اصلاح شده بهترین همپوشانی را در اثر تغییر ارتفاع فوم پلی یورتان و فوم CS-Na CMC-PUF را دارد، برای فوم پلی یورتان در ارتفاع ۲۵ میلی متری مدل توماس، بوهارت آدامز، در ارتفاع ۱۲ میلی متری مدل بوهارت آدامز، یون نلسون و وولبورسکا دارای همپوشانی می باشد، و برای جاذب CS-Na CMC-PUF در ارتفاع ۲۵ میلی متری مدل توماس، یون نلسون نیز همپوشانی دارد. مقدار q_e یا ظرفیت جاذب برای فوم پلی یورتان در ارتفاع ۱۲ و ۸ میلی متر به ترتیب ۰/۴۰۹۳ و ۰/۳۱۸۳، زیرا حجم کمتری از فوم با رنگ در تماس می باشد، و برای فوم سنتز شده ی CS-Na CMC-PUF در ارتفاع ۲.۵، ۱۲ و ۸ میلی

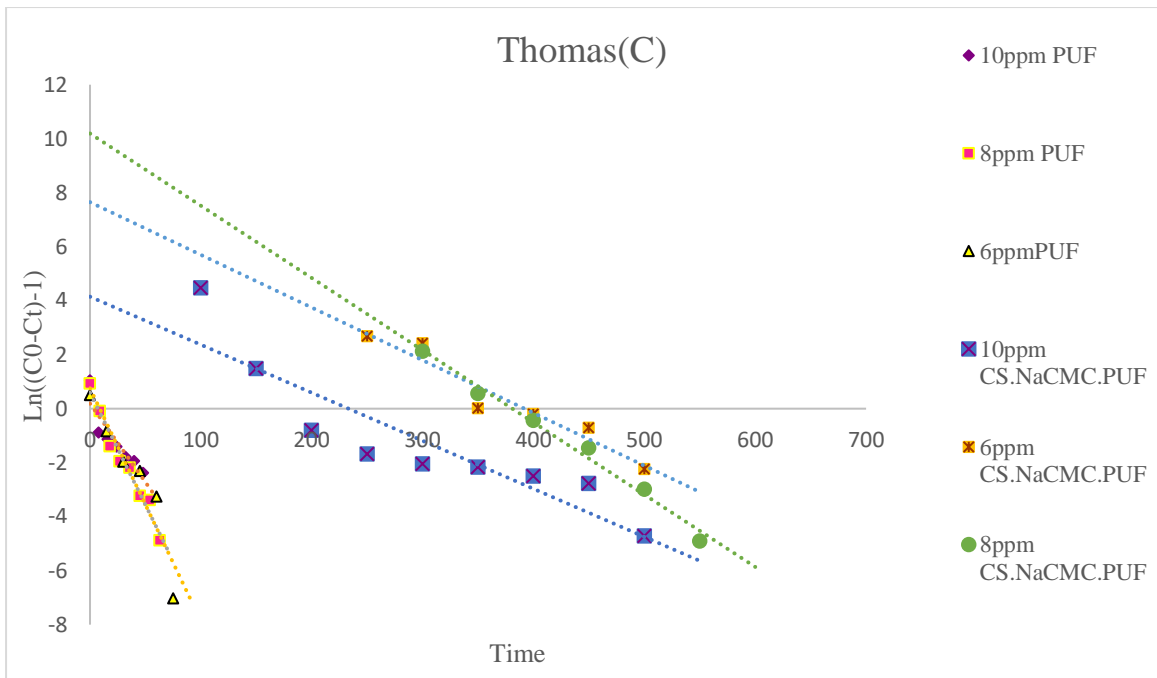
متر به ترتیب ۰/۷۵۲۴، ۱/۰۱۲۶ و ۱/۹۲۲۸ بدست آمده است. با توجه به این نتایج با کاهش ارتفاع در نمونه سنتز مقدار q_e افزایش می یابد ولی در فوم پلی یورتان تغییر اندکی داشته و مقداری کاهش می یابد. در این حالت که وزن و ارتفاع بستر جاذب متغیر است، هرچه ارتفاع بستر جاذب بیشتر باشد میزان رنگ (حجم رنگ جذب شده) بیشتری جذب می شود، زیرا سطح مولکول های رنگ با سطح جاذب بیشتر در تماس هستند، تعاملات بین مولکول و سطح جاذب نیز بیشتر می شود ولی به دلیل طولانی بودن مدت زمان جذب میزان q_e در اثر افزایش ارتفاع بستر جاذب کاهش می یابد. [۸]

۷-۶-۲) تاثیر غلظت

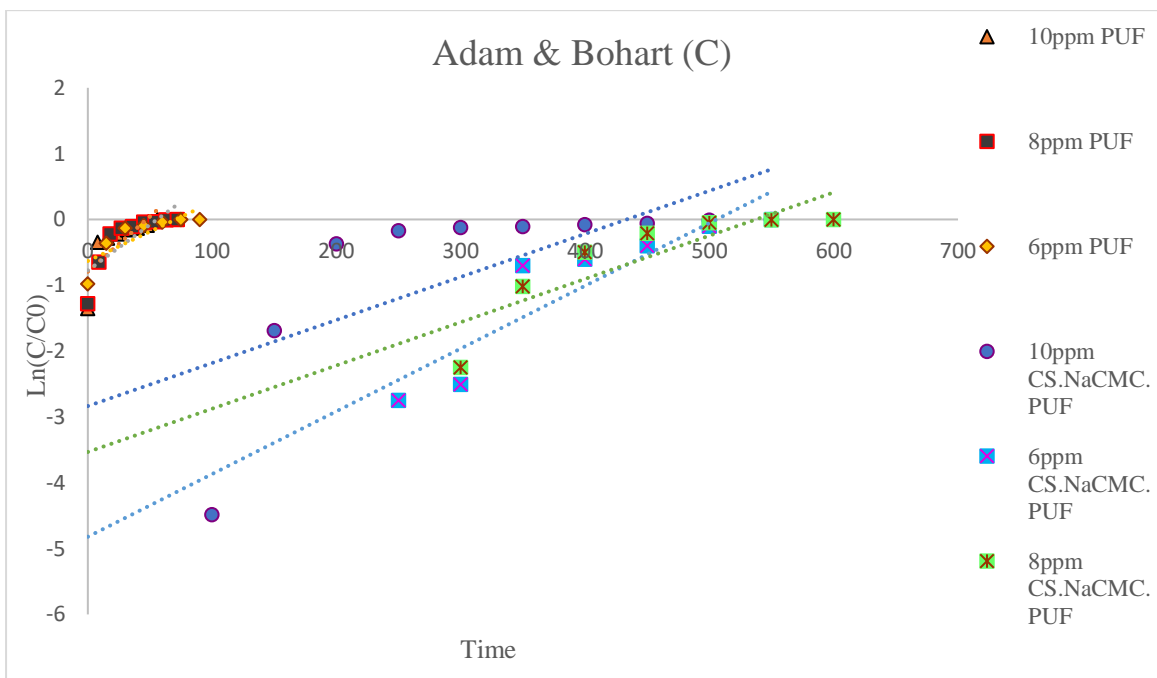
این تست در غلظت های ۶، ۸ و ۱۰ با ارتفاع ثابت ۸ میلی متری از فوم های پلی یورتان خالص و جاذب CS-Na CMC-PUF انجام شده است.



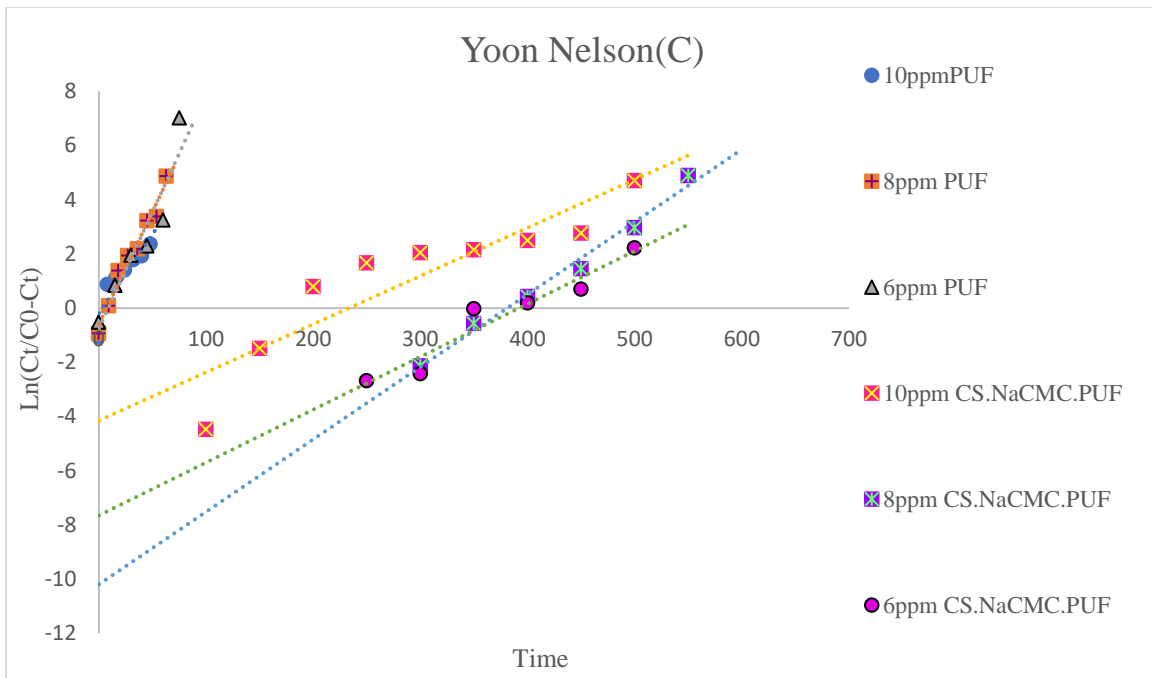
شکل (۴-۳۷): نمودار غلظت بر حسب زمان، غلظت متغیر در ارتفاع ثابت برای فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF



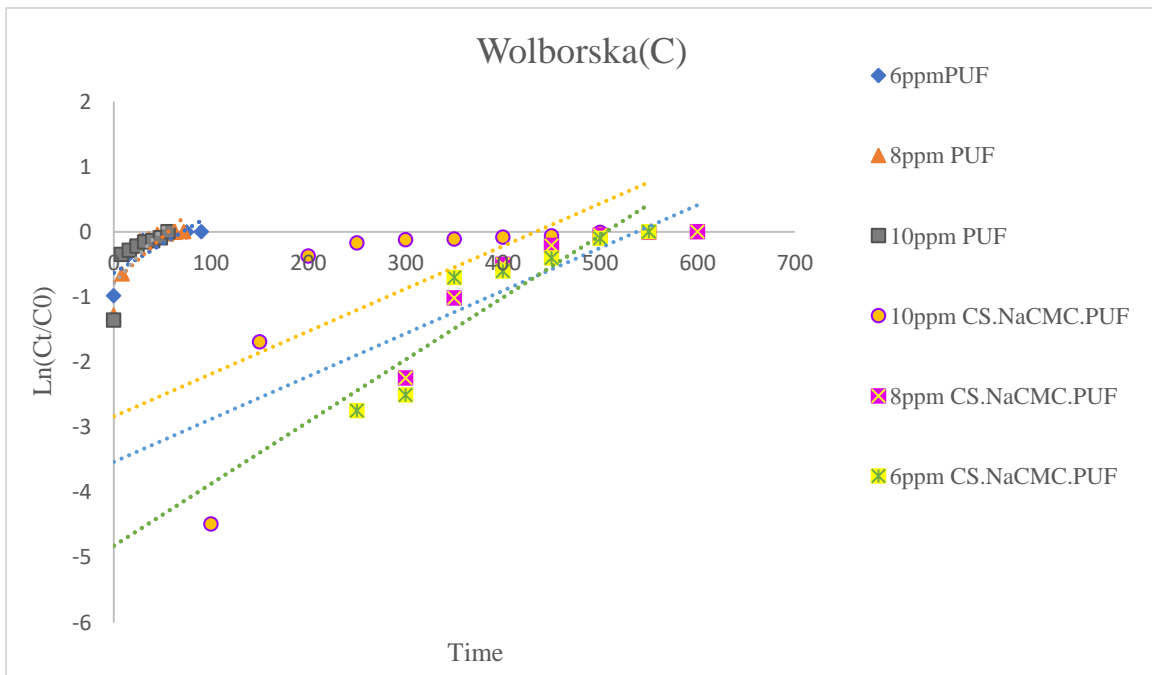
شکل (۴-۳۸): نمودار مدل توماس تاثیر غلظت متفاوت در ارتفاع ثابت برای فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF



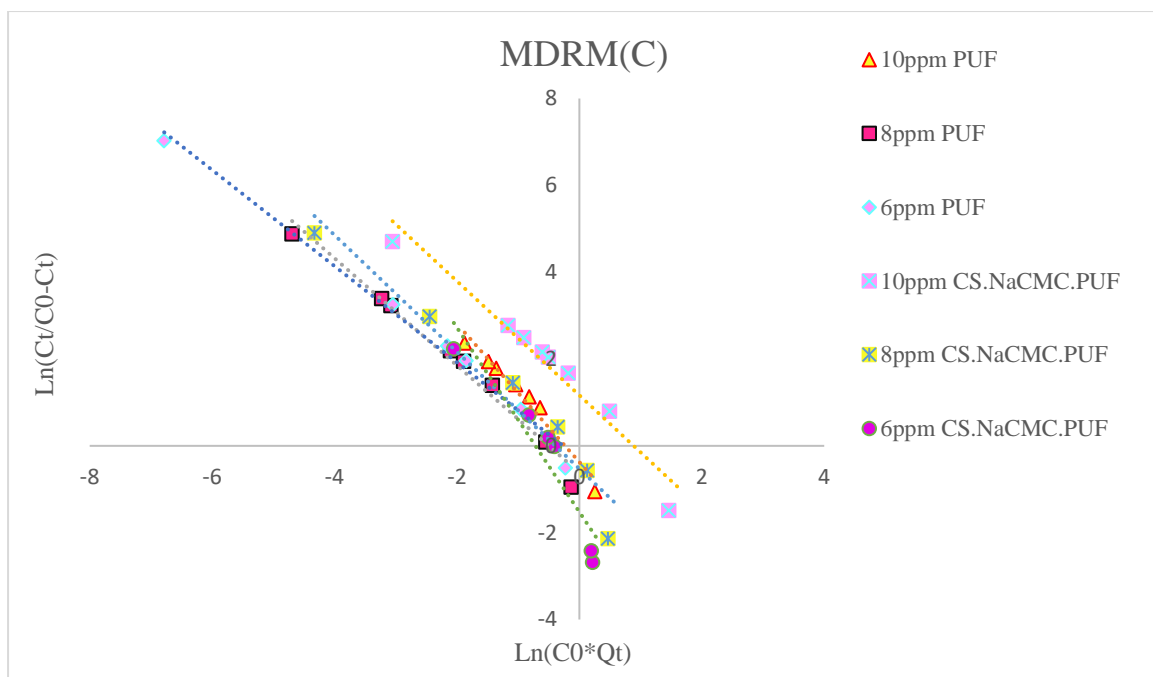
شکل (۴-۳۹): نمودار مدل بوهارت-آدامز تاثیر غلظت متفاوت در ارتفاع ثابت برای فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF



شکل (۴-۴): نمودار مدل یون نلسون تاثیر غلظت متفاوت در ارتفاع ثابت برای فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF



شکل (۴-۴): نمودار مدل تاثیر غلظت متفاوت در ارتفاع ثابت برای فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF



شکل (۴-۴): نمودار مدل دوز اصلاح شده تاثیر غلظت متفاوت در ارتفاع ثابت برای فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF

جدول (۴-۱۱): مشخصات مدل توماس در غلظت متفاوت، ارتفاع ثابت فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF

مدل توماس						
q _{TH} (mg/L)	K _{TH} (L/min.mg)	R ²	Q(L/min)	H(cm)	C(mg/L)	نمونه
۰.۱۲	۰.۰۱۴	۰.۸۸۱۳	۰.۰۰۱۱	۰.۸	۶	PUF
۰.۱۱	۰.۰۱	۰.۹۶۷	۰.۰۰۱	۰.۸	۸	
۰.۰۷۱	۰.۰۰۶	۰.۸۱۲۲	۰.۰۰۱	۰.۸	۱۰	
۱.۷۴	۰.۰۰۳۲	۰.۹۳۰۴	۰.۰۰۰۳	۰.۸	۶	CS-Na CMC-PUF
۱.۷۰	۰.۰۰۳۳	۰.۹۸۶۹	۰.۰۰۰۲	۰.۸	۸	
۲.۴۷	۰.۰۰۱۸	۰.۸۲۰۴	۰.۰۰۰۴	۰.۸	۱۰	

جدول (۴-۱۲): مشخصات مدل بوهارت-آدامز در غلظت متفاوت، ارتفاع ثابت فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF

مدل بوهارت-آدامز								نمونه
No(mg/L)	K _{BA} (L/mg.min)	U(cm/min)	A(cm)	R ²	Q(L/min)	Z(cm)	C(mg/L)	
۰.۳۲	۰.۰۰۱۵	۰.۰۰۰۶	۱.۷۷	۰.۶۷۰۲	۰.۰۰۱۱	۰.۸	۶	PUF
۰.۰۳	۰.۰۰۲	۰.۰۰۰۵	۱.۷۷	۰.۶۴۳۸	۰.۰۰۱	۰.۸	۸	
۰.۳۳	۰.۰۰۱۷	۰.۰۰۰۷	۱.۷۷	۰.۵۸۲۲	۰.۰۰۱	۰.۸	۱۰	
۰.۶۷	۰.۰۰۱	۰.۰۰۰۲	۱.۷۷	۰.۸۲۲۸	۰.۰۰۰۳	۰.۸	۶	CS-Na CMC- PUF
۰.۷۷	۰.۰۰۱	۰.۰۰۰۱	۱.۷۷	۰.۷۴۶۲	۰.۰۰۰۲	۰.۸	۸	
۱.۵	۰.۰۰۰۱	۰.۰۰۰۲	۱.۷۷	۰.۸۰۱۳	۰.۰۰۰۴	۰.۸	۱۰	

جدول (۴-۱۳): مشخصات مدل یون نلسون در غلظت متفاوت، ارتفاع ثابت فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF

مدل یون نلسون							نمونه
T(min)	K _{YN} (min-1)	R ²	Q(L/min)	H(cm)	C(mg/L)		
۷.۷۵	۰.۰۹	۰.۸۸۱۳	۰.۰۰۱۱	۰.۸	۶	PUF	
۸.۱۸	۰.۰۸۳	۰.۹۶۷	۰.۰۰۱	۰.۸	۸		
۴.۲۶	۰.۰۵۸	۰.۸۱۲۲	۰.۰۰۱	۰.۸	۱۰		
۳۹۱.۲۸	۰.۰۱۹۵	۰.۹۳۰۴	۰.۰۰۰۳	۰.۸	۶	CS-Na CMC-PUF	
۳۷۹.۳۴	۰.۰۲۶۸	۰.۹۸۶۹	۰.۰۰۰۲	۰.۸	۸		
۲۲۴.۷۲	۰.۰۱۷۸	۰.۸۲۰۴	۰.۰۰۰۴	۰.۸	۱۰		

جدول (۴-۱۴): مشخصات مدل وولبورسکا در غلظت متفاوت، ارتفاع ثابت فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF

مدل وولبورسکا								
نمونه	C(mg/L)	Z(cm)	Q(L/min)	R ²	A(cm)	U(cm/min)	β	N ₀ (mg/L)
PUF	۶	۰.۸	۰.۰۰۱۱	۰.۶۷۰۲	۱.۷۷	۰.۰۰۰۶	۰.۰۰۰۵	۰.۳۲
	۸	۰.۸	۰.۰۰۱	۰.۶۴۳۸	۱.۷۷	۰.۰۰۰۵	۰.۰۰۰۵	۰.۲۶
	۱۰	۰.۸	۰.۰۰۱	۰.۵۸۲۲	۱.۷۷	۰.۰۰۰۷	۰.۰۰۰۶	۰.۳۳
CS-Na CMC-PUF	۶	۰.۸	۰.۰۰۰۳	۰.۸۲۲۸	۱.۷۷	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۱	۰.۶۷
	۸	۰.۸	۰.۰۰۰۲	۰.۷۴۶۲	۱.۷۷	۰.۰۰۰۱	۰.۰۰۰۶	۰.۷۷
	۱۰	۰.۸	۰.۰۰۰۴	۰.۴۸۶۷	۱.۷۷	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۱	۱.۴۰

جدول (۴-۱۵): مشخصات مدل دوز اصلاح شده در غلظت متفاوت، ارتفاع ثابت فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF

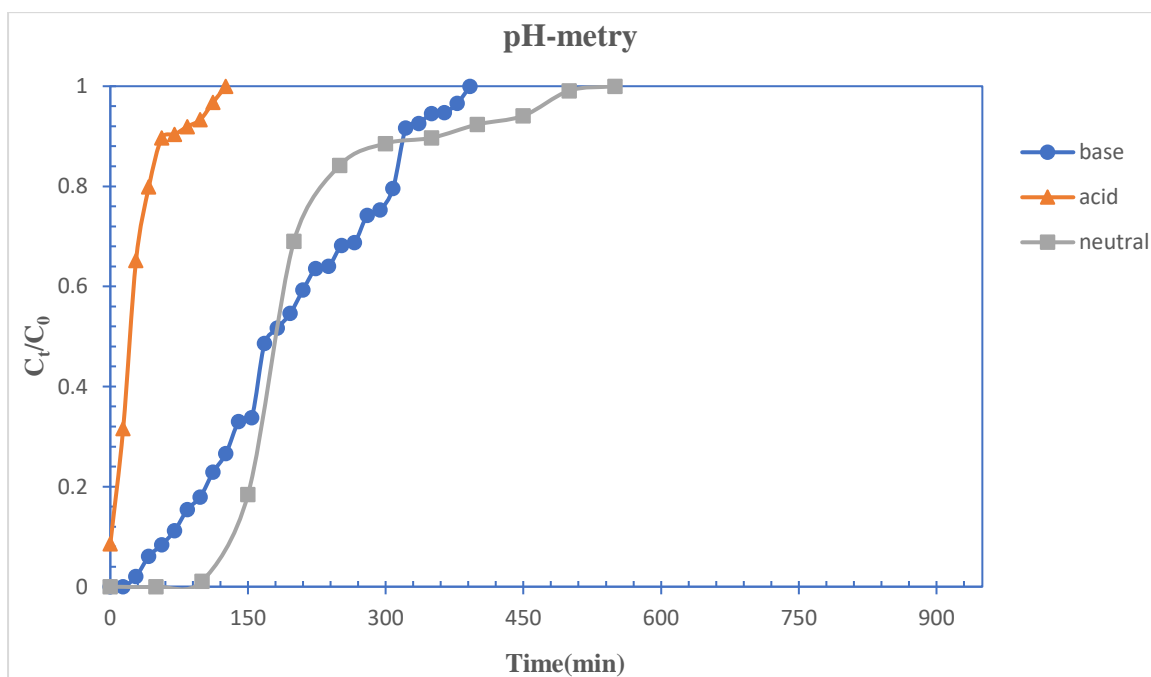
مدل دوز اصلاح شده						
نمونه	C(mg/L)	H(cm)	Q(L/min)	R ²	a	q _{MDR}
PUF	۶	۰.۸	۰.۰۰۱۱	۰.۹۸۸۶	۱.۱۱	۱.۶۷
	۸	۰.۸	۰.۰۰۱	۰.۹۷۹۳	۱.۲۳	۱.۳۲
	۱۰	۰.۸	۰.۰۰۱	۰.۹۷۷۳	۱.۵۹	۱.۷۲
CS-Na CMC-PUF	۶	۰.۸	۰.۰۰۰۳	۰.۸۸۱۲	۲.۱۲	۱.۵۱
	۸	۰.۸	۰.۰۰۰۲	۰.۹۴۷	۱.۳۵	۱.۴۸
	۱۰	۰.۸	۰.۰۰۰۴	۰.۹۵۳۳	۱.۳۱	۵.۶۵

در این قسمت نیز مدل دوز اصلاح شده بیشترین همپوشانی و بعد از آن مدل توماس و یون نلسون همپوشانی نسبی را با آزمایش انجام شده دارد. اما سایر مدل ها، برای فوم پلی یورتان در غلظت ۶ mg/L مدل توماس و یون نلسون و د غلظت ۱۰ mg/L بوهارت آدامز پاسخ گو می باشد، در نهایت برای فوم سنتز شده در غلظت ۶ mg/L و ۸ از محلول متیلن بلو جذب شده مدل توماس و یون نلسون همپوشانی مناسبی داشته است.

میزان q_e با افزایش غلظت افزایش می یابد و برای غلظت ۶، ۸ و ۱۰ فوم پلی یورتان و جاذب CS-Na CMC-PUF به ترتیب ۰/۲۵۱۱، ۰/۲۵۷۸، ۰/۳۱۸۳، ۱/۶۰۲، ۱/۶۰۲۷ و ۱/۹۲۲۸ با توجه به نتایج آزمایشات انجام شده و از رابطه بیان شده در فصل قبل بدست آمده است. افزایش غلظت رنگ باعث افزایش ظرفیت جذب جاذب در هر دو نمونه ذکر شده می باشد که آن هم به دلیل خاصیت ذاتی فوم پلی یورتان و فعل و انفعالات اتفاق افتاده بین مولکول های رنگ-جاذب می باشد. اصلاح فوم توسط ژل کامپوزیتی کربوکسی متیل سلولز و کیتوسان حاوی زئولیت سبب اصلاح سطح تماس و سایت های جذب فوم پلی یورتان شده و ظرفیت جذب رنگ را افزایش داده است. بین گروه های کربوکسیلیک جاذب و گروه های آمینه رنگ فعل انفعالات اسید و باز لوئیس اتفاق می افتد و افزایش غلظت رنگ سبب افزایش تعاملات الکترواستاتیک و سایت های موجود در جاذب می شود [۱۴].

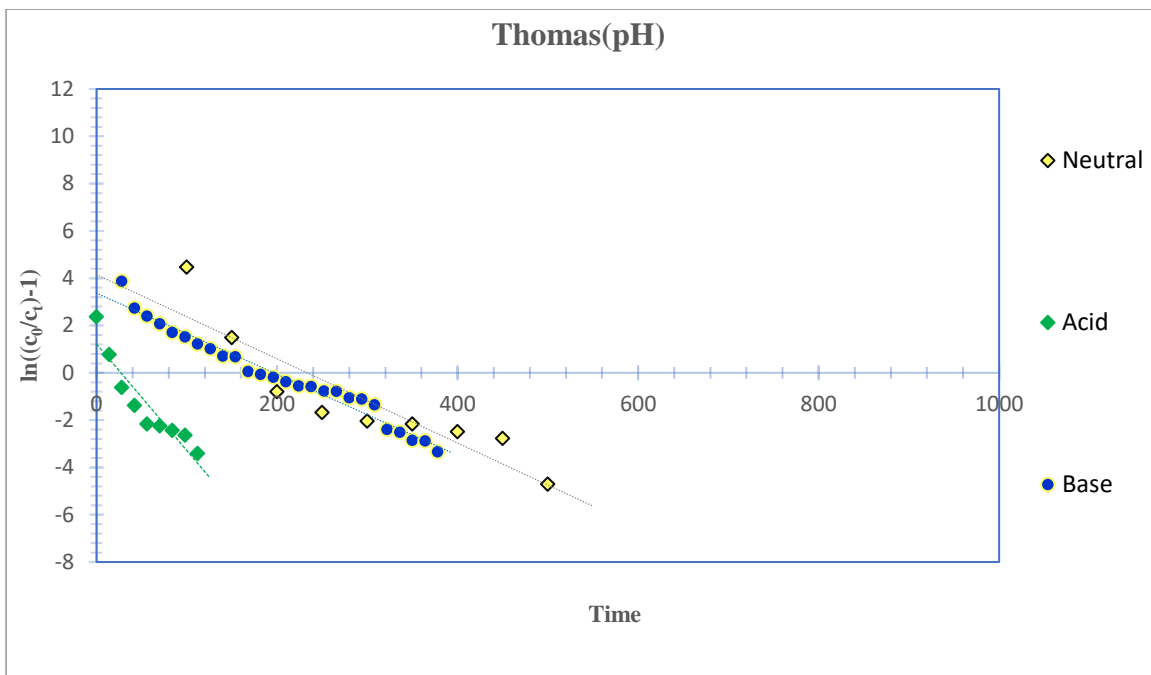
۷-۶-۳) تاثیر pH

جهت بررسی تاثیر pH سه محلول از رنگ متیلن بلو با غلظت ۱۰ mg/L تهیه شده، سپس توسط جهت اسیدی کردن محلول متیلن بلو از هیدروکلریک اسید ۰/۱ مولار، جهت قلیایی کردن محلول دیگر از محلول سود یا سدیم هیدروکسید ۰/۱ مولار استفاده شد، محلول سوم هم pH خنثی دارد.

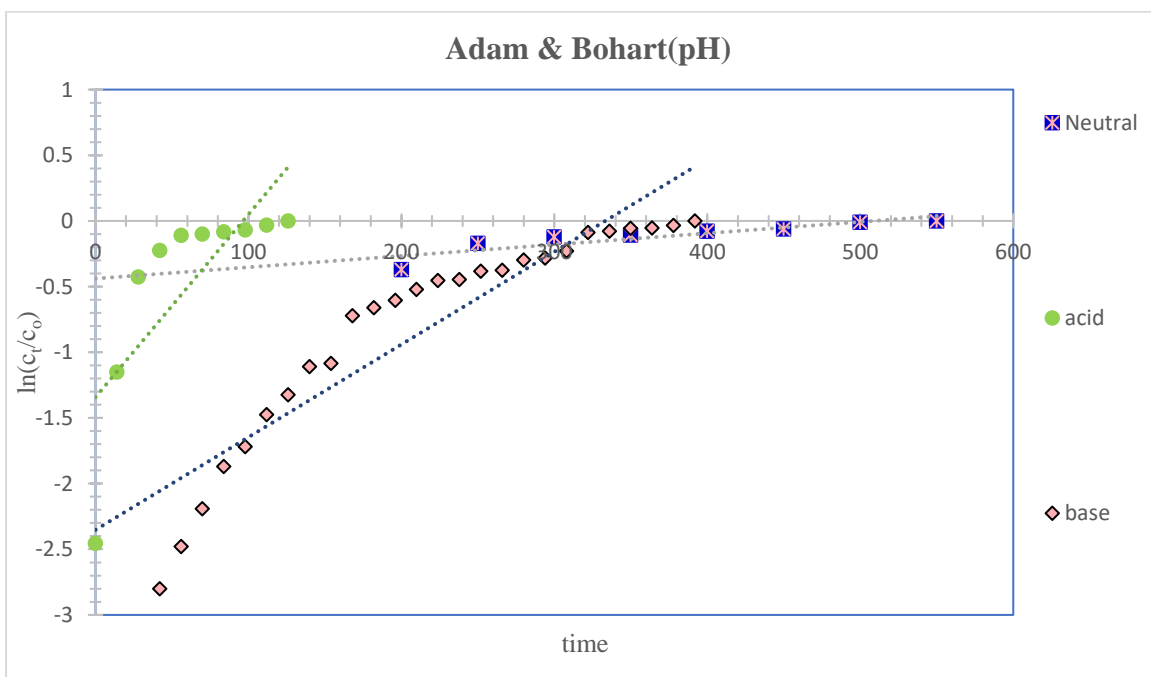


شکل (۴-۴۳): نمودار تغییرات غلظت بر زمان در pH های مختلف، غلظت ۱۰ mg/L و ارتفاع ۸ میلی متر فوم پلی یورتان و CS-Na

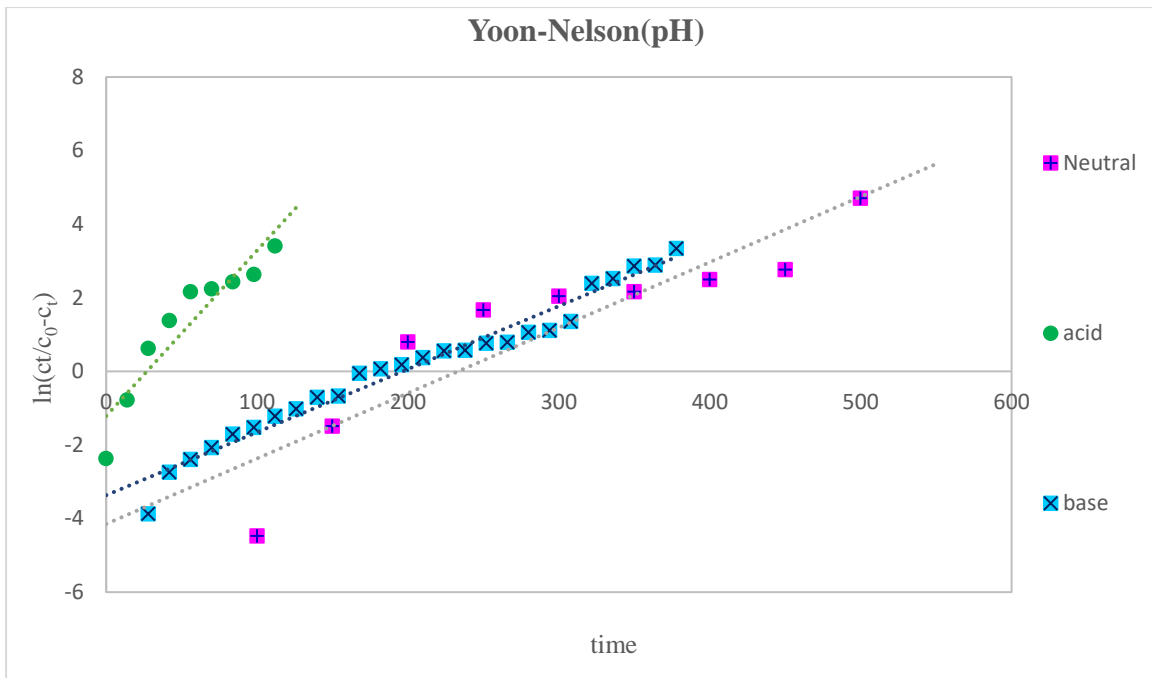
CMC-PUF



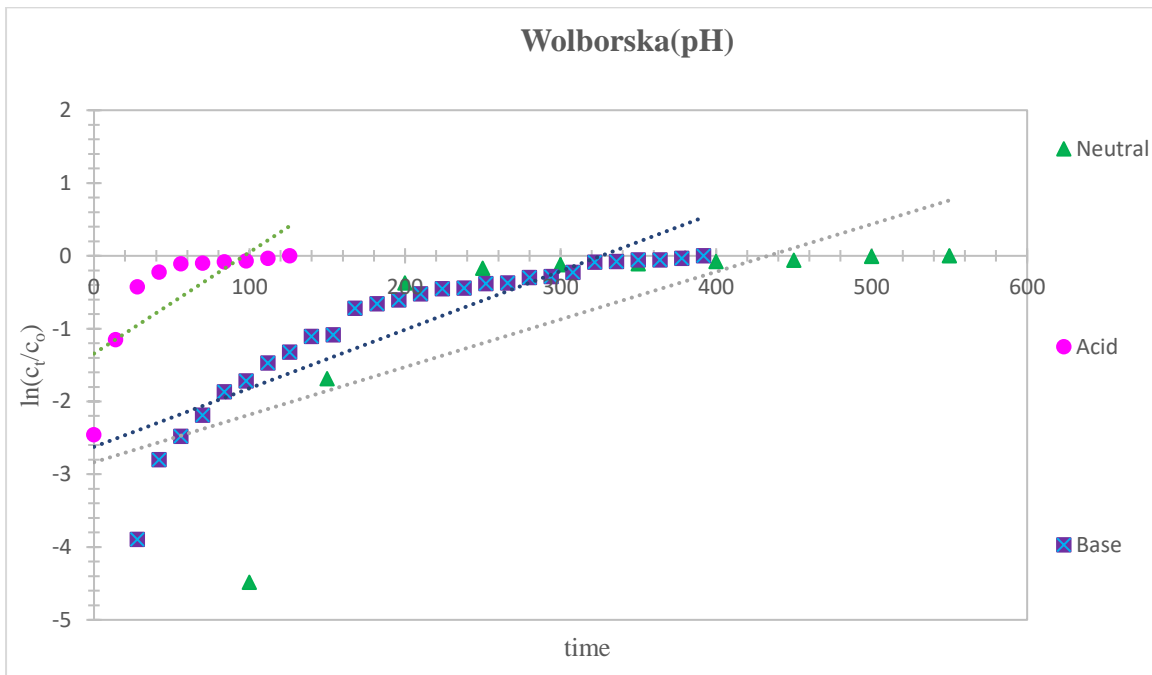
شکل (۴-۴۴): نمودار مدل توماس تاثیر تغییر pH در غلظت و ارتفاع ثابت، فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF



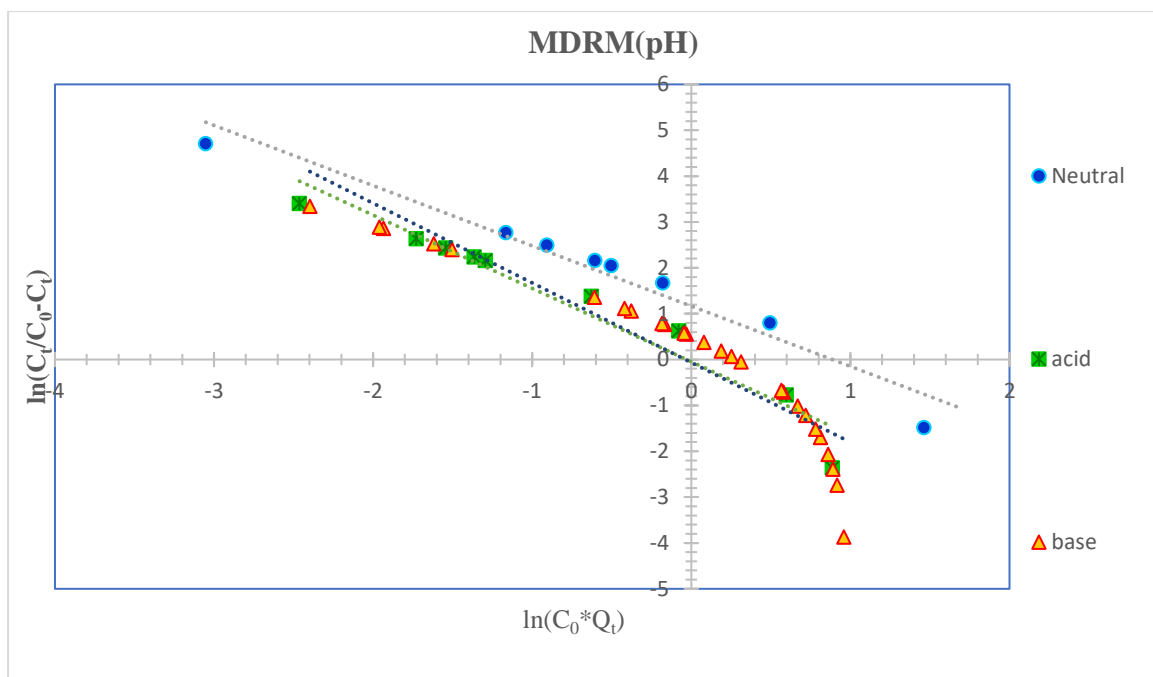
شکل (۴-۴۵): نمودار مدل بوهارت-آدامز تاثیر تغییر pH در غلظت و ارتفاع ثابت، فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF



شکل(۴-۴): نمودار مدل یون-نلسون تاثیر تغییر pH در غلظت و ارتفاع ثابت، فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF



شکل(۴-۴): نمودار مدل تاثیر تغییر pH در غلظت و ارتفاع ثابت، فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF



شکل(۴-۴): نمودار مدل تاثیر تغییر pH در غلظت و ارتفاع ثابت، فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF

جدول(۴-۱۶): مشخصات مدل توماس ، تغییرات pH در غلظت و ارتفاع ثابت فوم CS-Na CMC-PUF

مدل توماس							
q _{TH} (mg/L)	K _{TH} (L/min.mg)	R ²	Q(L/min)	H(cm)	C(mg/L)	pH	نمونه
۰.۵۱	۰.۰۰۴	۰.۸۷۰۹	۰.۰۰۰۸	۰.۸	۱۰	Acid	CS-Na CMC- PUF
۲.۴۷	۰.۰۰۲	۰.۸۲۰۴	۰.۰۰۰۴	۰.۸	۱۰	Neutral	
۳.۷۵	۰.۰۰۲	۰.۹۶۸۵	۰.۰۰۰۸	۰.۸	۱۰	Base	

جدول(۴-۱۷): مشخصات مدل بوهارت-آدامز ، تغییرات pH در غلظت و ارتفاع ثابت فوم CS-Na CMC-PUF

مدل بوهارت-آدامز									
No(mg/L)	K _{BA} (L/mg.min)	U(cm/min)	A(cm)	R ²	Q(L/min)	Z(cm)	C(mg/L)	pH	نمونه
۰.۵۶	۰.۰۰۱	۰.۰۰۰۵	۱.۷۷	۰.۵۷۴۱	۰.۰۰۰۸	۰.۸	۱۰	Acid	CS-Na CMC- PUF
۱.۵۶	۰.۰۰۰۱	۰.۰۰۰۳	۱.۷۷	۰.۸۰۱۳	۰.۰۰۰۴	۰.۸	۱۰	Neutral	
۱.۹۱	۰.۰۰۱	۰.۰۰۰۵	۱.۷۷	۰.۸۶۰۶	۰.۰۰۰۸	۰.۸	۱۰	Base	

جدول (۴-۱۸): مشخصات مدل یون نلسون ، تغییرات pH در غلظت و ارتفاع ثابت فوم CS-Na CMC-PUF

مدل یون نلسون							
τ(min)	K _{YN} (min ⁻¹)	R ²	Q(l/min)	H(cm)	C(mg/L)	pH	نمونه
۲۵.۹۷	۰.۰۵	۰.۸۷۰۹	۰.۰۰۰۸	۰.۸	۱۰	Acid	CS-Na CMC-PUF
۲۲۴.۷۲	۰.۰۲	۰.۸۲۰۴	۰.۰۰۰۴	۰.۸	۱۰	Neutral	
۱۹۵.۸۷	۰.۰۲	۰.۹۶۸۵	۰.۰۰۰۸	۰.۸	۱۰	Base	

جدول (۴-۱۹): مشخصات مدل وولبورسکا ، تغییرات pH در غلظت و ارتفاع ثابت فوم CS-Na CMC-PUF

مدل وولبورسکا									
N ₀ (mg/L)	β	U(cm/min)	A(cm)	R ²	Q(l/min)	Z(cm)	C(mg/L)	pH	نمونه
۰.۵۶	۰.۰۰۱	۰.۰۰۰۵	۱.۷۷	۰.۵۷۴۱	۰.۰۰۰۸	۰.۸	۱۰	Acid	CS- Na CMC- PUF
۱.۴۰	۰.۰۰۱	۰.۰۰۰۳	۱.۷۷	۰.۴۸۶۷	۰.۰۰۰۴	۰.۸	۱۰	Neutral	
۱.۸۹	۰.۰۰۱	۰.۰۰۰۵	۱.۷۷	۰.۸۰۸۷	۰.۰۰۰۸	۰.۸	۱۰	Base	

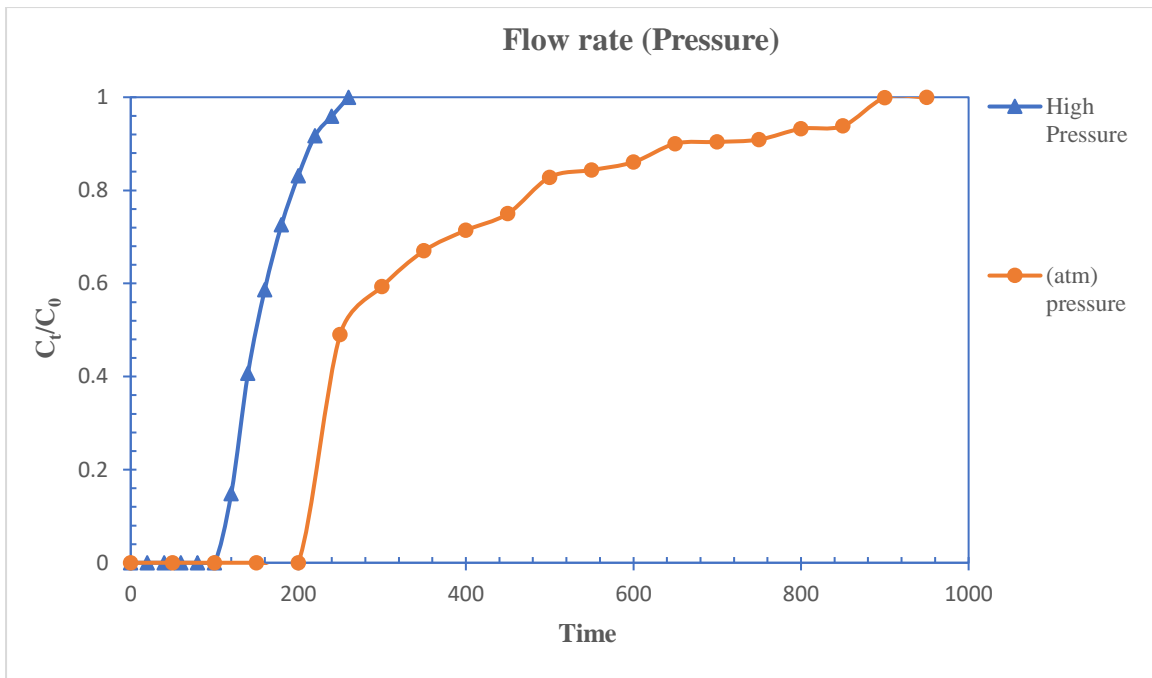
جدول (۴-۲۰): مشخصات مدل دوز اصلاح شده ، تغییرات pH در غلظت و ارتفاع ثابت فوم CS-Na CMC-PUF

مدل دوز اصلاح شده							
q _{MDR}	a	R ²	Q(L/min)	H(cm)	C(mg/L)	pH	نمونه
۲.۲۳	۱.۶۰	۰.۹۴۰۹	۰.۰۰۰۸	۰.۸	۱۰	Acid	CS-Na CMC-PUF
۵.۶۵	۱.۳۱	۰.۹۵۳۳	۰.۰۰۰۴	۰.۸	۱۰	Neutral	
۲.۲۴	۱.۷۴	۰.۸۷۱۷	۰.۰۰۰۸	۰.۸	۱۰	Base	

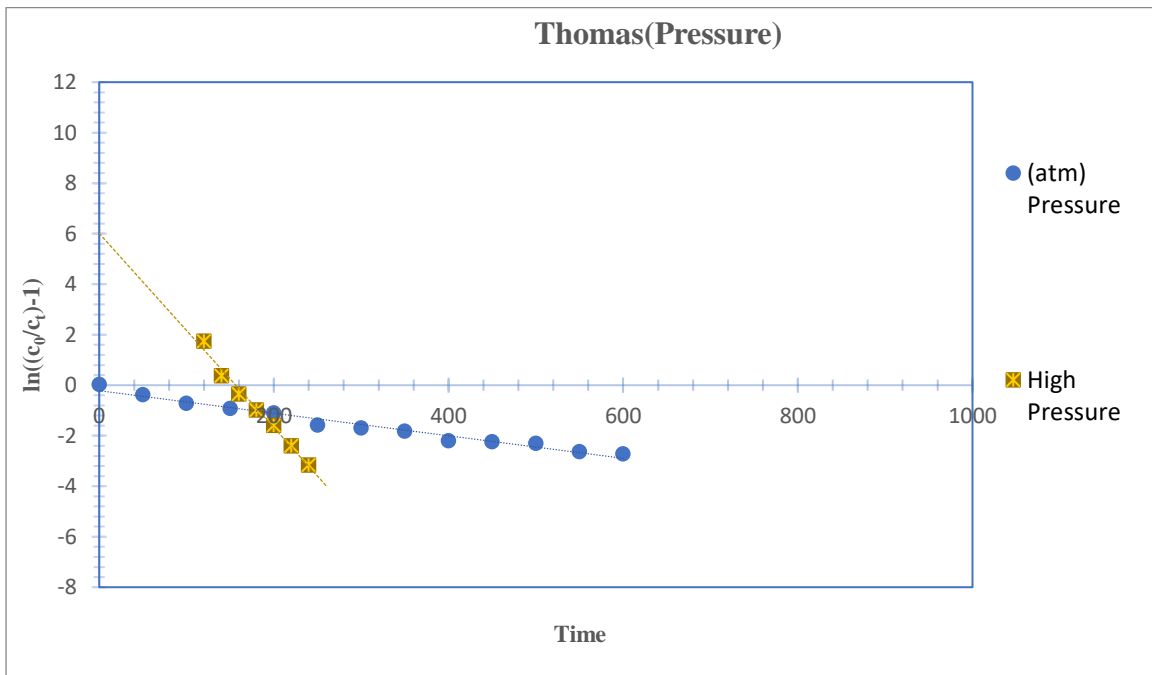
باتوجه به مقدار R^2 ها مدل های توماس و یون نلسون برای حالت بازی یا قلیایی محلول رنگی بهترین حالت همپوشانی، و برای حالت اسیدی و خنثی مدل دوز اصلاح شده بهترین همپوشانی را دارد. مقدار q_e برای حالت اسیدی 0.6709 ، برای حالت بازی برابر $3/8476$ و برای حالت خنثی برابر $1/9228$ می باشد، در نتیجه با افزایش pH مقدار q_e نیز افزایش می یابد. pH یک پارامتر بسیار مهم در فرآیند جذب می باشد، می تواند بر سطح جاذب تاثیر بگذارد، همان گونه که از نتایج قابل مشاهده است ظرفیت جذب در حالت اسیدی کم شده و با افزایش میزان pH افزایش می یابد. زیرا در این حالت گروه های آمینه ی موجود در کیتوسان می تواند مولکول های رنگی با بار منفی را جذب می کند، علاوه بر این در جذب رنگ متیلن بلو نیز ظرفیت جذب افزایش پیدا می کند، به دلیل وجود گروه های کربوکسیلیک در ساختار فوم، تعاملات الکترواستاتیک بین مولکول های رنگ و جاذب بیشتر می شود. در نتیجه در حالت خنثی و قلیایی خصوصاً برای رنگ متیلن بلو ظرفیت جذب بیشتر می باشد ضمن اینکه در حالت اسیدی فوم پلی یورتان آسیب پذیر می باشد [۱۳].

۷-۶-۴) تاثیر شدت جریان در اثر تغییر فشار در جریان ورودی

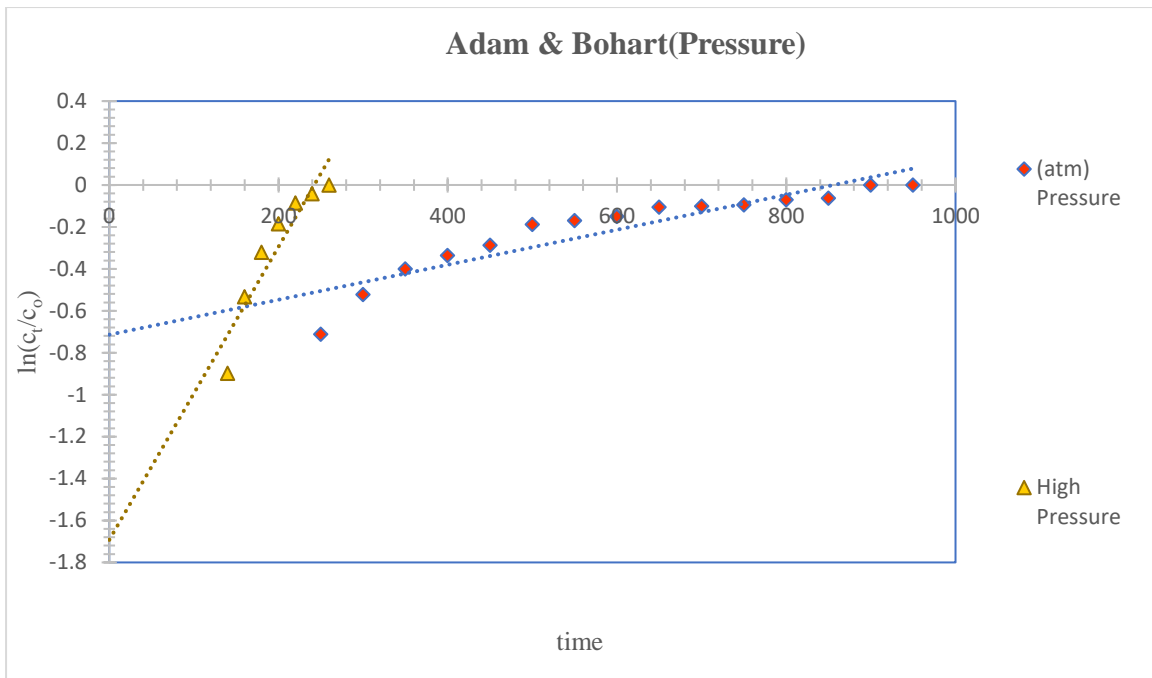
در این قسمت با وارد کردن فشار بر پیستون سرنگ شدت جریان عبوری از ستون جذب حامل جاذب را افزایش دادند، که که مشاهده شود در صورتی که که فشار بر روی جریان زیاد شود و دبی مایع خروجی از ستون جذب افزایش یابد چه تغییری در ظرفیت جذب جاذب ایجاد می شود سپس با نتایج جذب اولیه که در اثر فشار هوا انجام شده بود مقایسه شده است. جهت توجیح آن مدل سازی های زیر انجام شده است.



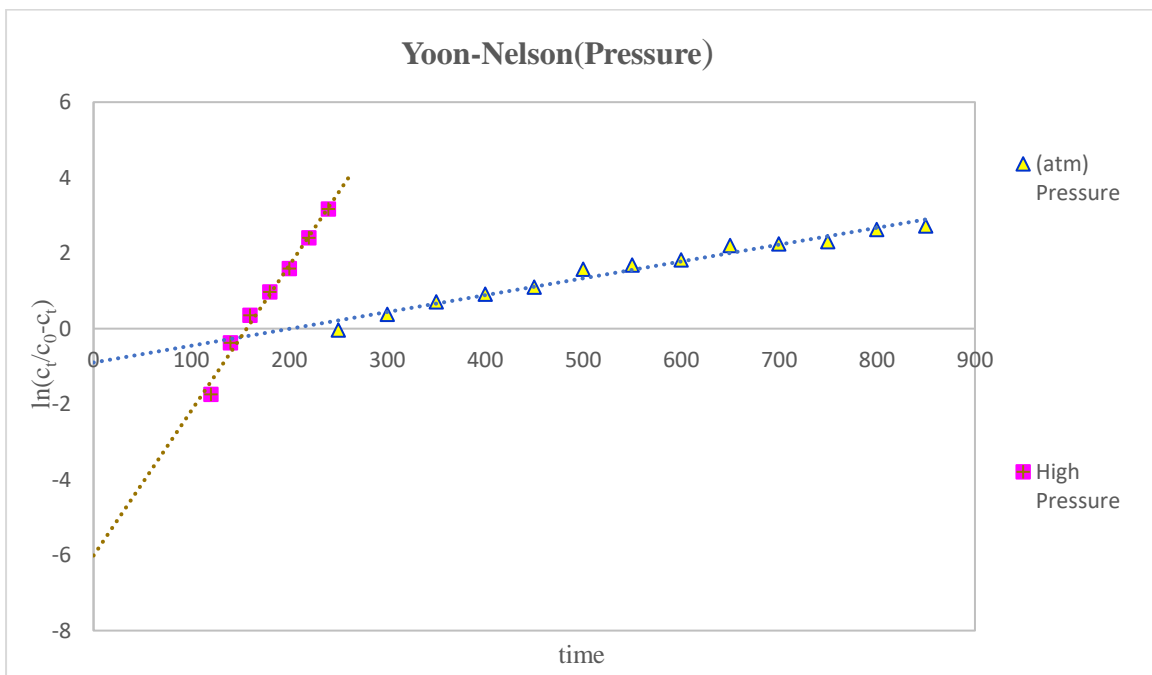
شکل (۴-۴۹): نمودار غلظت بر زمان در اثر تغییر فشار مایع ورودی در غلظت و ارتفاع ثابت فوم پلی یورتان و CS-Na CMC-PUF



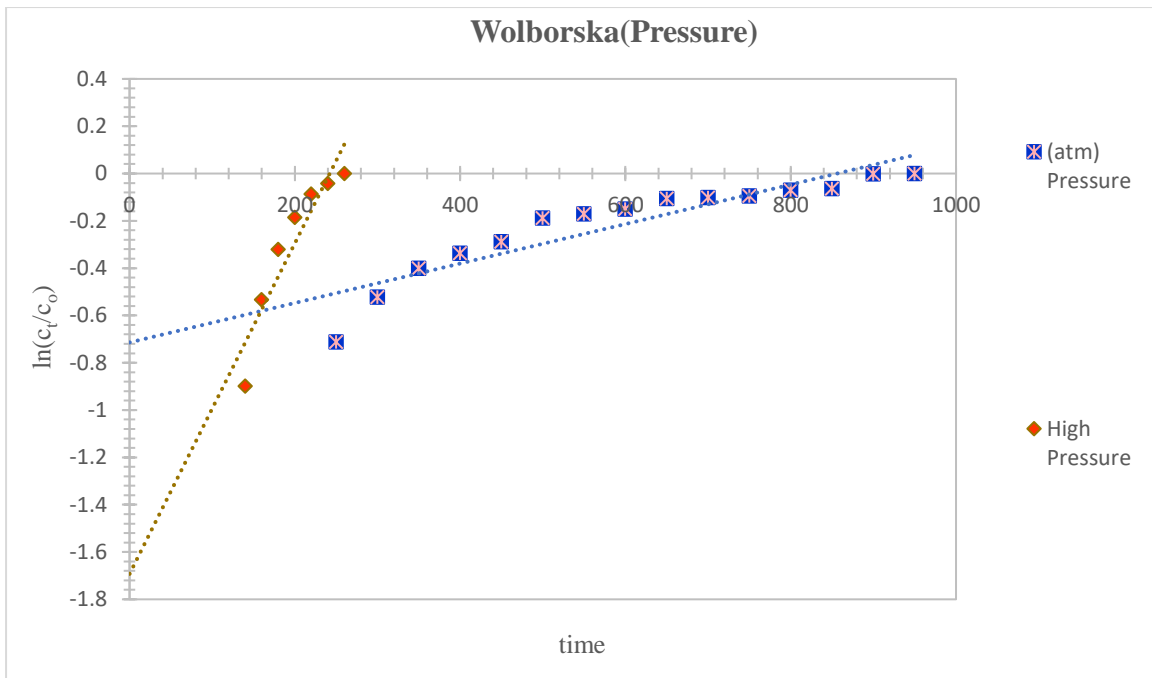
شکل (۴-۵۰): نمودار مدل توماس بررسی تغییرات فشار در غلظت و ارتفاع ثابت، CS-Na CMC-PUF



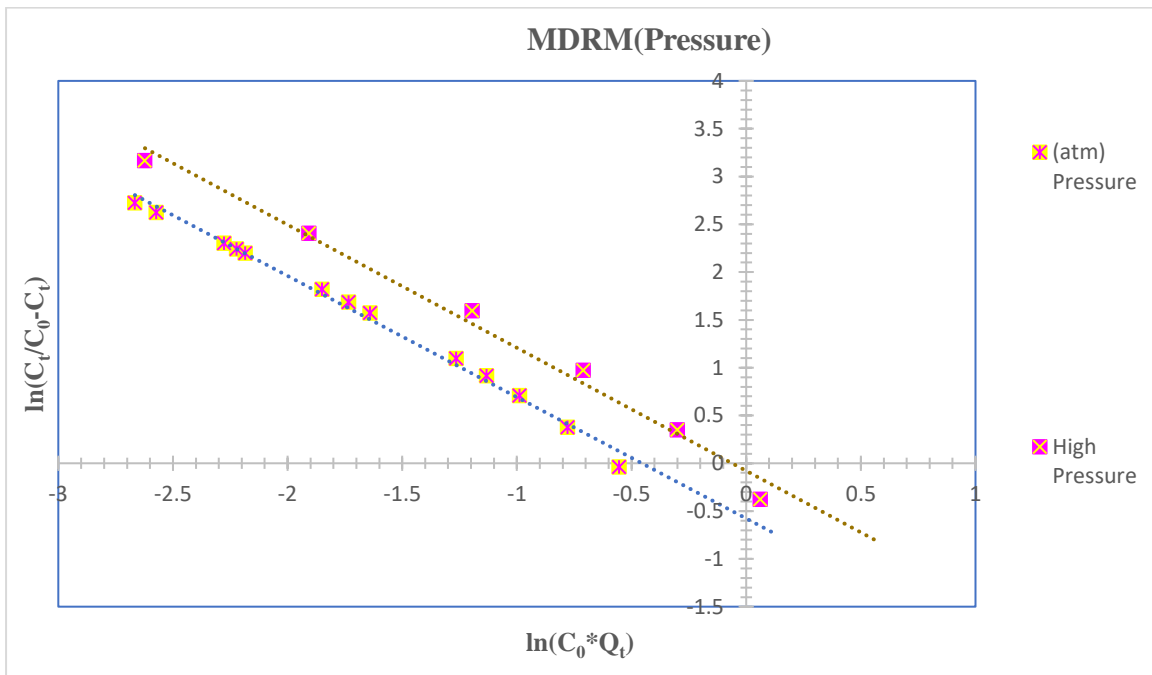
شکل (۴-۵۱): نمودار مدل بوهارت-آدامز بررسی تغییرات فشار در غلظت و ارتفاع ثابت، CS-Na CMC-PUF



شکل (۴-۵۲): نمودار مدل یون-نلسون بررسی تغییرات فشار در غلظت و ارتفاع ثابت، CS-Na CMC-PUF



شکل (۴-۵۳): نمودار مدل وولبورسکا بررسی تغییرات فشار در غلظت و ارتفاع ثابت، CS-Na CMC-PUF



شکل (۴-۵۴): نمودار مدل دوز اصلاح شده بررسی تغییرات فشار در غلظت و ارتفاع ثابت، CS-Na CMC-PUF

جدول (۴-۲۱): مشخصات مدل توماس ، بررسی تاثیر تغییر فشار در غلظت و ارتفاع ثابت CS-Na CMC-PUF

مدل توماس							
q _{TH} (mg/L)	K _{TH} (L/min.mg)	R ²	Q(L/min)	H(cm)	C(mg/L)	Pressure	نمونه
۰.۱۱	۰.۰۰۰۴	۰.۹۷۴۲	۰.۰۰۰۳	۲.۵	۱۰	atm	CS-Na CMC-PUF
۱.۳۳	۰.۰۰۰۳	۰.۹۸۵۵	۰.۰۰۰۷	۲.۵	۱۰	High	

جدول (۴-۲۲): مشخصات مدل بوهارت-آدامز ، بررسی تاثیر تغییر فشار در غلظت و ارتفاع ثابت CS-Na CMC-PUF

مدل بوهارت-آدامز									
N ₀ (mg/L)	K _{BA} (L/mg.min)	U(cm/min)	A(cm)	R ²	Q(L/min)	Z(cm)	C(mg/L)	Pressure	نمونه
۰.۵۹	۰.۰۰۰۱	۰.۰۰۰۲	۱.۷۷	۰.۸۶۹۹	۰.۰۰۰۳	۲.۵	۱۰	atm	CS-Na CMC-PUF
۰.۸۴	۰.۰۰۰۱	۰.۰۰۰۴	۱.۷۷	۰.۸۴۲۵	۰.۰۰۰۷	۲.۵	۱۰	high	

جدول (۴-۲۳): مشخصات مدل یون نلسون ، بررسی تاثیر تغییر فشار در غلظت و ارتفاع ثابت CS-Na CMC-PUF

مدل یون نلسون							
τ(min)	K _{YN} (min-1)	R ²	Q(l/min)	H(cm)	C(mg/L)	Pressure	نمونه
۱۹۸.۴۷	۰.۰۰۵	۰.۹۷۴۲	۰.۰۰۰۳	۲.۵	۱۰	atm	CS-Na CMC-PUF
۱۵۵.۱۵	۰.۰۳۹	۰.۹۸۵۵	۰.۰۰۰۷	۲.۵	۱۰	high	

جدول (۴-۲۴): مشخصات مدل وولبورسکا ، بررسی تاثیر تغییر فشار در غلظت و ارتفاع ثابت CS-Na CMC-PUF

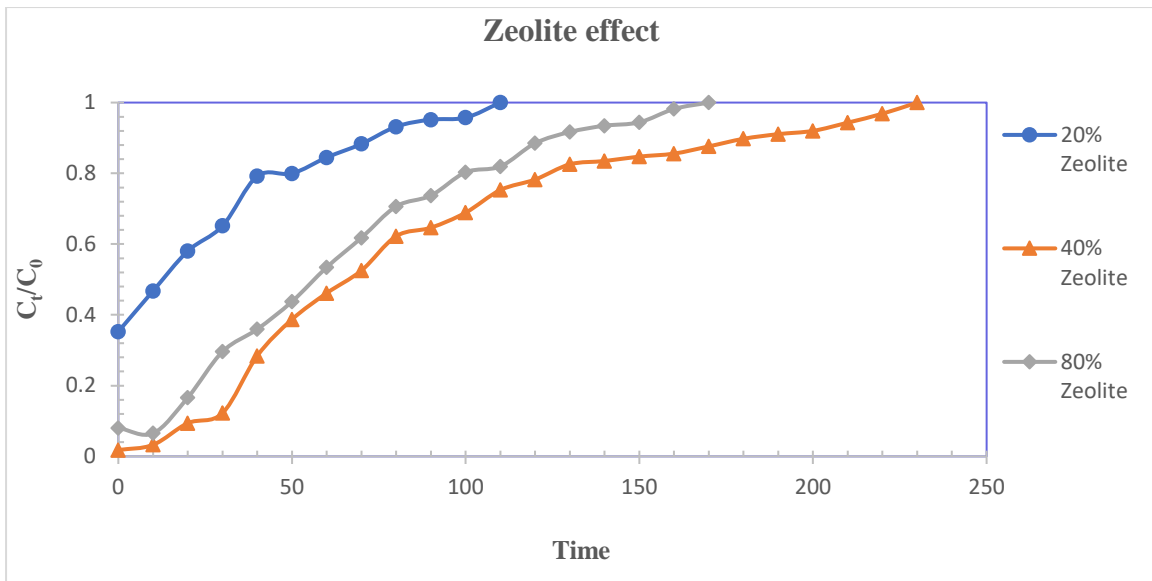
مدل وولبورسکا									
N ₀ (mg/L)	β	U(cm/min)	A(cm)	R ²	Q(l/min)	Z(cm)	C(mg/L)	Pressure	نمونه
۰.۵۹	۴.۷×۱۰ ^{-۵}	۰.۰۰۰۲	۱.۷۷	۰.۸۴۲۵	۰.۰۰۰۳	۲.۵	۱۰	atm	CS-Na CMC-PUF
۰.۶۳	۰.۰۰۰۴	۰.۰۰۰۴	۱.۷۷	۰.۸۶۹۹	۰.۰۰۰۷	۲.۵	۱۰	high	

جدول (۴-۲۵): مشخصات مدل دوز اصلاح شده، بررسی تاثیر تغییر فشار در غلظت و ارتفاع ثابت CS-Na CMC-PUF

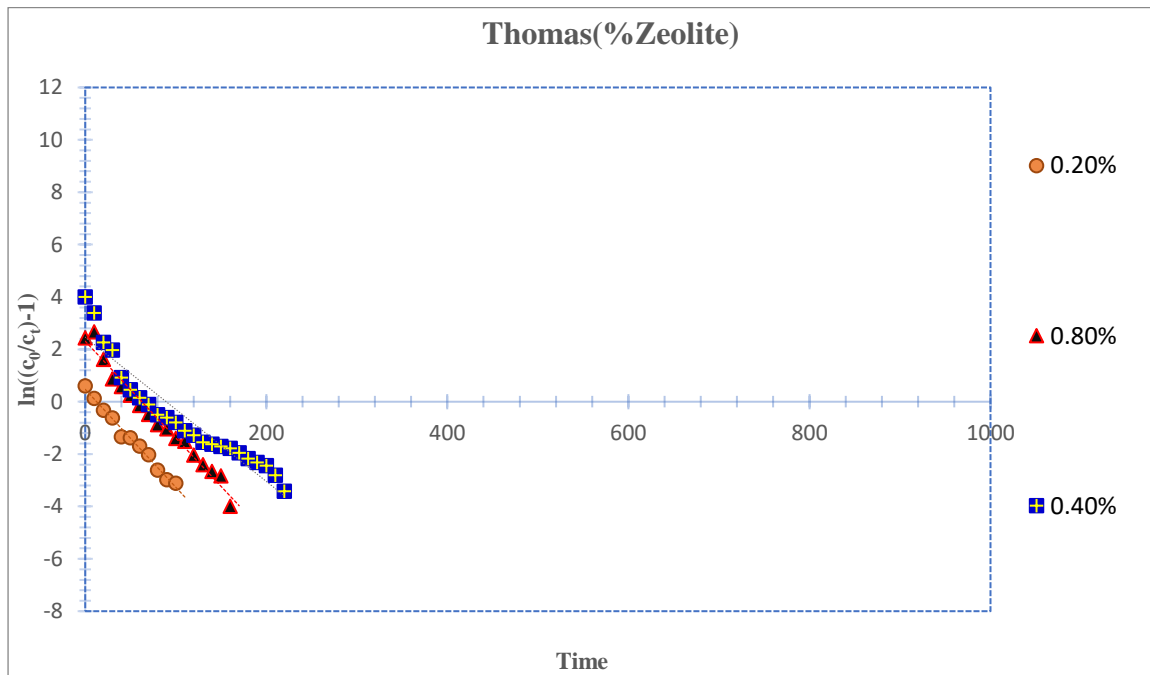
مدل دوز اصلاح شده							
qMDR	a	R ²	Q(L/min)	H(cm)	C(mg/L)	Pressure	نمونه
۰.۵۰	۱.۲۷	۰.۹۹۳۷	۰.۰۰۰۳	۲.۵	۱۰	atm	CS-Na
۰.۷۳	۱.۲۹	۰.۹۸۷۸	۰.۰۰۱۲	۲.۵	۱۰	high	CMC-PUF

در این قسمت مدل های توماس، یون نلسون و دوز اصلاح شده بیشترین همپوشانی و هماهنگی را با این فرآیند دارند. مقدار q_e برای جذب در حالت فشار اتمسفری برابر $۰/۷۵۲۴$ و در حالت افزایش فشار بر مایع ورودی $۱/۵۱۰۹$ بدست آمده است. مقدار نیروی وارده بر پیستون سرنگ جهت انجام فرآیند جذب در این حالت برابر ۴۵ (N) و فشار ایجاد شده برابر با ۲۵.۴۷۷×۱۰^۴ (N/M²) بوده است. این مقادیر از روابط فیزیکی مربوط به محاسبه نیرو و فشار بدست آمده است. در شدت جریان ورودی به سرنگ بیشتر ستون فرآیند جذب به درستی انجام نمی پذیرد ممکن است حجم بیشتر تا اشباع شدن جاذب مصرف شود ولی زمان فرآیند جذب کوتاه تر می شود و در این حالت مولکول های رنگ به طور کامل و درست با سطح جاذب در تماس نیستند، از سایت های فعال جذب کمتر استفاده می شود و اشباع شدن جاذب سریع تر رخ می دهد [۱۴].

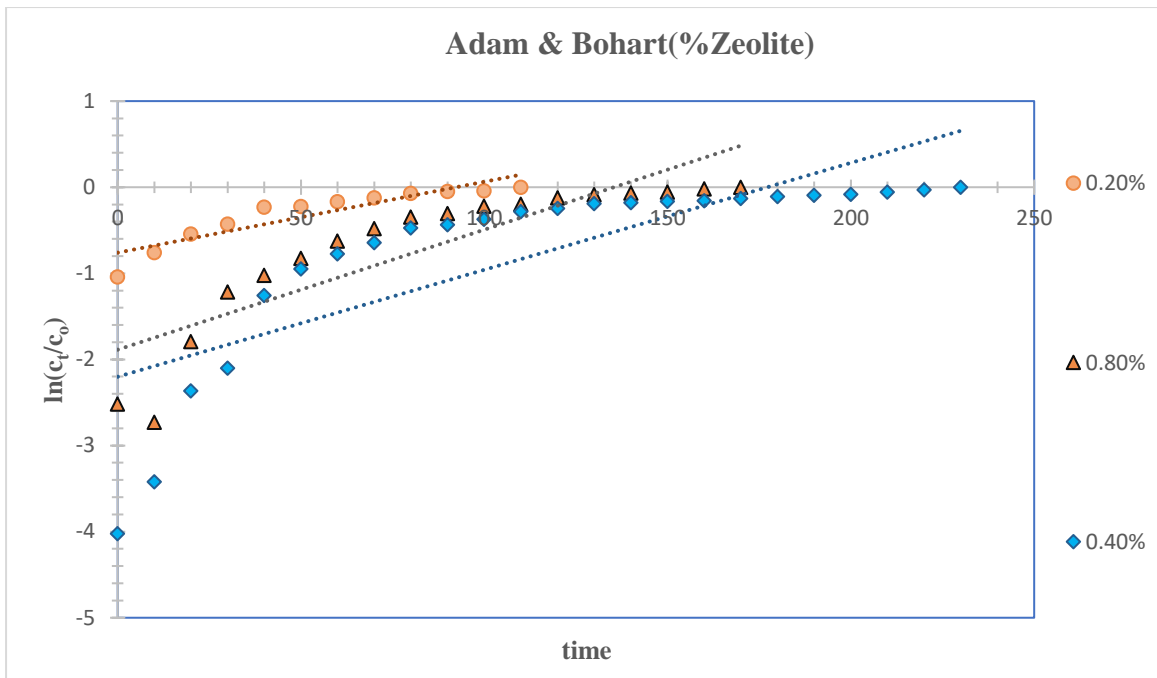
۷-۶-۵) اثر تغییر درصد زئولیت ZSM-5 در ترکیب



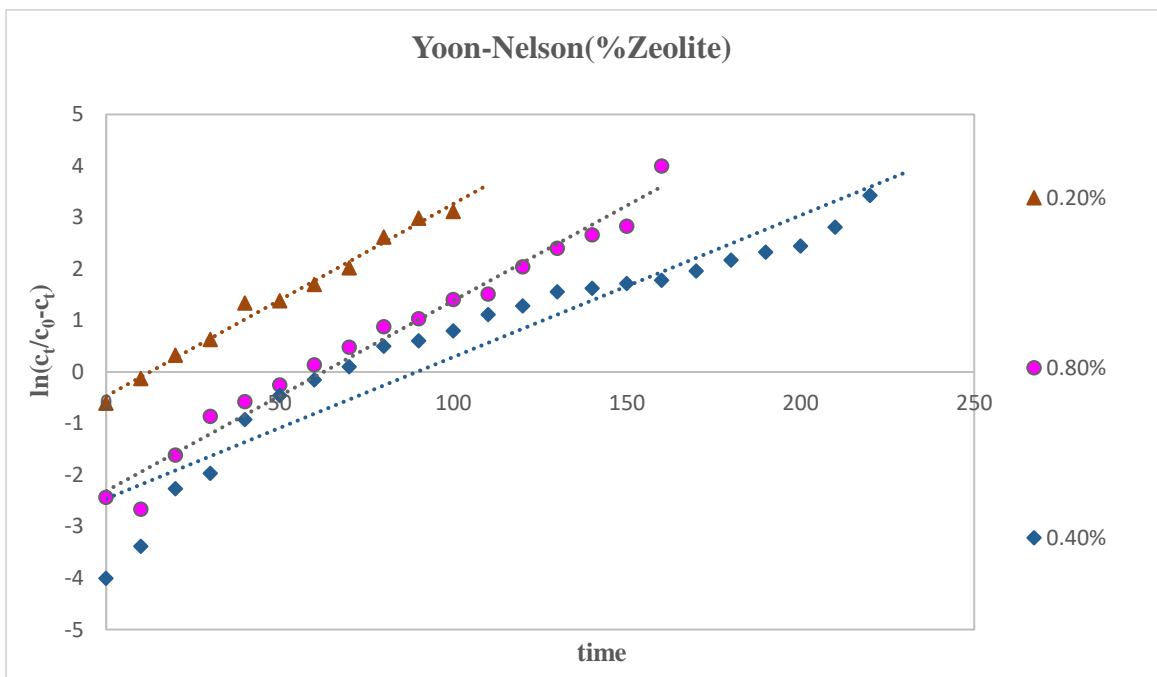
شکل (۴-۵۵): نمودار غلظت زمان، بررسی تغییرات ژئولیت در جاذب CS-Na CMC-PUF



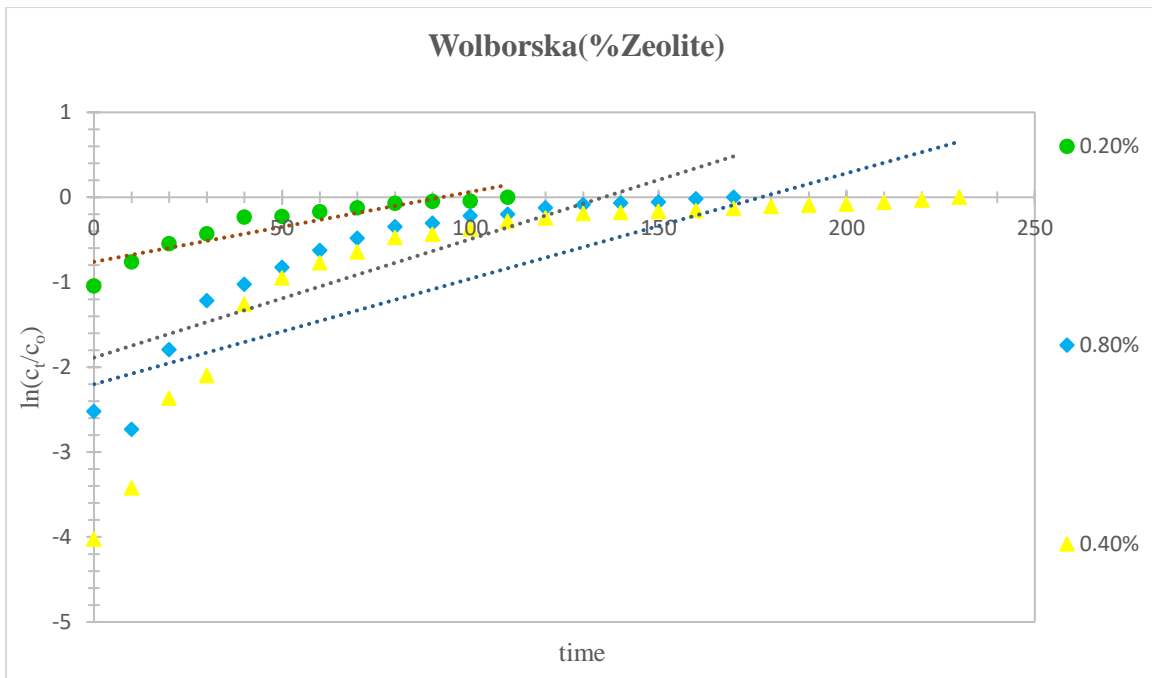
شکل (۴-۵۶): نمودار مدل توماس، بررسی تاثیر درصد مختلف ژئولیت موجود در CS-Na CMC-PUF، در ارتفاع و غلظت یکسان



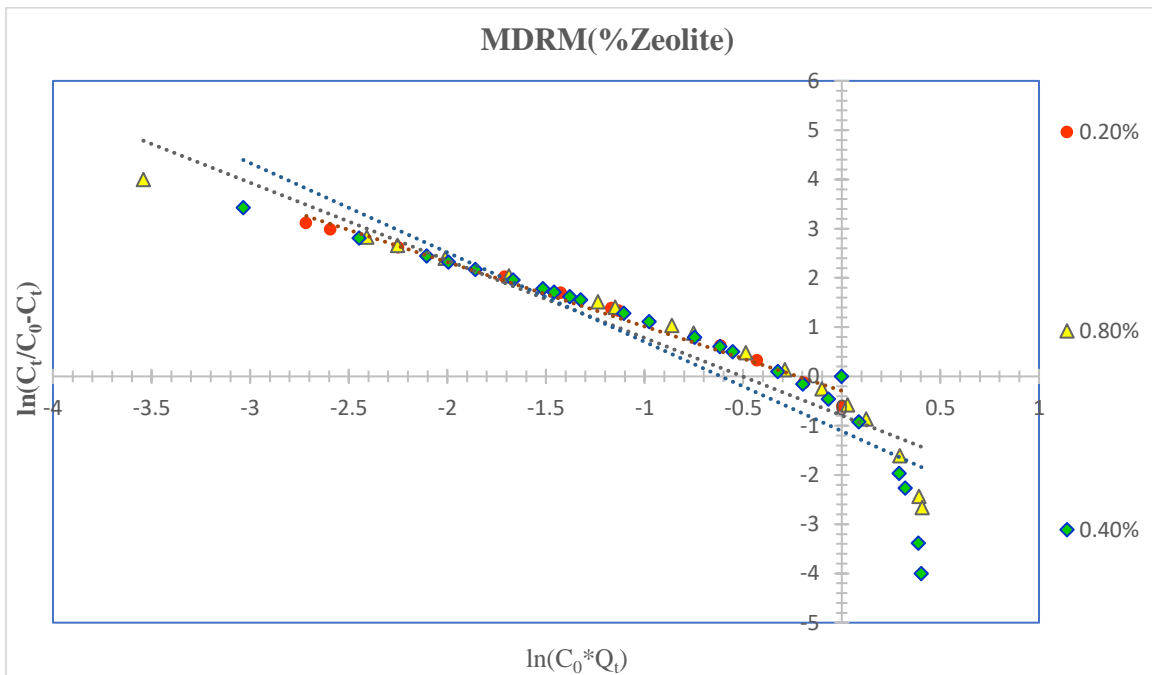
شکل (۴-۵۷): نمودار مدل بوهارت-آدامز ، بررسی تاثیر درصد مختلف ژئولیت موجود در CS-Na CMC-PUF در ارتفاع و غلظت یکسان



شکل (۴-۵۸): نمودار مدل یون نلسون، بررسی تاثیر درصد مختلف ژئولیت موجود در CS-Na CMC-PUF در ارتفاع و غلظت یکسان



شکل (۴-۵۹): نمودار مدل وولبورسکا، بررسی تاثیر درصد مختلف زئولیت موجود در CS-Na CMC-PUF، در ارتفاع و غلظت یکسان



شکل (۴-۶۰): نمودار مدل دوز اصلاح شده، بررسی تاثیر درصد مختلف زئولیت موجود در CS-Na CMC-PUF، در ارتفاع و غلظت

یکسان

جدول (۴-۲۶): مشخصات مدل توماس، در اثر تغییر درصد ژئولیت موجود در فوم CS-Na CMC-PUF، در غلظت و ارتفاع

یکسان

مدل توماس							
q _{TH} (mg/L)	K _{TH} (L/min.mg)	R ²	Q(L/min)	H(mm)	C(mg/L)	% ZSM5	نمونه
۰.۲۰	۰.۰۰۴	۰.۹۸۸۲	۰.۰۰۰۷	۰.۸	۱۰	%۰.۲۰	CS-Na CMC-PUF
۱.۳۳	۰.۰۰۳	۰.۹۰۰۸	۰.۰۰۰۷	۰.۸	۱۰	%۰.۴۰	
۱.۰۱	۰.۰۰۴	۰.۹۷۶۴	۰.۰۰۰۷	۰.۸	۱۰	%۰.۸۰	

جدول (۴-۲۷): مشخصات مدل بوهارت-آدامز، در اثر تغییر درصد ژئولیت موجود در فوم CS-Na CMC-PUF، در غلظت

و ارتفاع یکسان

مدل بوهارت-آدامز									
N ₀ (mg/L)	K _{BA} (L/mg.min)	U(cm/min)	A(cm)	R ²	Q(L/min)	Z(cm)	C(mg/L)	% ZSM5	نمونه
۰.۴۸	۰.۰۰۱	۰.۰۰۰۴	۱.۷۷	۰.۸۳۰۳	۰.۰۰۰۷	۰.۸	۱۰	%۰.۲۰	CS-Na CMC- PUF
۰.۸۴	۰.۰۰۱	۰.۰۰۰۴	۱.۷۷	۰.۶۳۵۵	۰.۰۰۰۷	۰.۸	۱۰	%۰.۴۰	
۰.۶۹	۰.۰۰۱	۰.۰۰۰۴	۱.۷۷	۰.۷۶۴۶	۰.۰۰۰۷	۰.۸	۱۰	%۰.۸۰	

جدول (۴-۲۸): مشخصات مدل بوهارت آدامز، در اثر تغییر درصد ژئولیت موجود در فوم CS-Na CMC-PUF، در غلظت و

ارتفاع یکسان

مدل یون نلسون							
τ(min)	K _{YN} (min-1)	R ²	Q(L/min)	H(cm)	C(mg/L)	%ZSM5	نمونه
۱۱.۶۱	۰.۰۴	۰.۹۸۸۲	۰.۰۰۰۷	۰.۸	۱۰	%۰.۲۰	CS-Na CMC- PUF
۸۸.۴۸	۰.۰۳	۰.۹۰۰۸	۰.۰۰۰۷	۰.۸	۱۰	%۰.۴۰	
۶۱.۶۱	۰.۰۴	۰.۹۷۶۴	۰.۰۰۰۷	۰.۸	۱۰	%۰.۸۰	

جدول (۴-۲۹): مشخصات مدل وولبورسکا، در اثر تغییر درصد زئولیت موجود در فوم CS-Na CMC-PUF، در غلظت و

ارتفاع یکسان

مدل وولبورسکا									
نمونه	%ZSM5	C(mg/L)	Z(cm)	Q(L/min)	R ²	A(cm)	U (cm/min)	β	No(mg/L)
CS-Na CMC- PUF	۰.۲۰٪	۱۰	۰.۸	۰.۰۰۰۷	۰.۸۳۰۳	۱.۷۷	۰.۰۰۰۴	۰.۰۰۰۴	۰.۴۸
	۰.۴۰٪	۱۰	۰.۸	۰.۰۰۰۷	۰.۶۳۵۵	۱.۷۷	۰.۰۰۰۴	۰.۰۰۰۱	۰.۸۴
	۰.۸۰٪	۱۰	۰.۸	۰.۰۰۰۷	۰.۷۶۴۶	۱.۷۷	۰.۰۰۰۴	۰.۰۰۰۶	۰.۴۴

جدول (۴-۳۰): مشخصات مدل دوز اصلاح شده، در اثر تغییر درصد زئولیت موجود در فوم CS-Na CMC-PUF، در

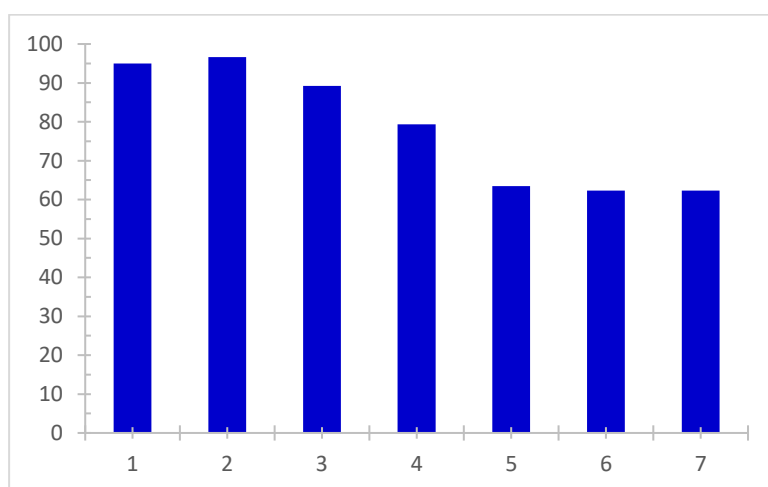
غلظت و ارتفاع یکسان

مدل دوز اصلاح شده							
نمونه	%ZSM5	C(mg/L)	H(cm)	Q(L/min)	R ²	a	q _{MDR}
CS-Na CMC-PUF	۰.۲۰٪	۱۰	۰.۸	۰.۰۰۰۷	۰.۹۸۵۷	۱.۳۱	۱.۷۱
	۰.۴۰٪	۱۰	۰.۸	۰.۰۰۰۷	۰.۷۵۸۱	۱.۶۷	۱۲.۱۱
	۰.۸۰٪	۱۰	۰.۸	۰.۰۰۰۷	۰.۹۱۵۳	۱.۵۸	۱.۳۶

بهترین مدلسازی برای این قسمت مدل توماس و یون نلسون در هر سه حالت درصد زئولیت متفاوت موجود در جاذب سنتز شده می باشد، و برای قسمتی که مقدار زئولیت موجود در کامپوزیت ۰/۲۰٪ و ۰/۸۰٪ می باشد مدل دوز اصلاح شده مدل مناسبی می باشد. بر اساس نتایج بدست ظرفیت جذب جاذب با افزایش غلظت زئولیت افزایش می یابد اما در یک حد مشخص افزایش می یابد اگر از آن بیشتر شود ظرفیت یا q_e کاهش می یابد. مقدار q_e برای غلظت های زئولیت ۰/۲۰٪، ۰/۴۰٪ و ۰/۸۰٪ به ترتیب مقادیرهای ۰/۴۳۲۳، ۱/۳۲۶۸ و ۱/۰۸۱ بدست آمده است.

۸) فرآیند احیا

فرآیند احیا جهت بررسی توانایی جاذب در طی مراحل جذب مختلف انجام شد. فرآیند احیاء نشان می دهد که نمونه ساخته شده آیا از توانایی و مقاومت خوبی برخوردار است؟ صرفه اقتصادی دارد. با توجه به نتایج بدست آمده جاذب سنتز شده یک جاذب مناسب بود زیرا طی پنج مرحله احیاء توسط آب دیونیزه در مرحله ششم نیز مجدد توانایی جذب رنگ متیلن متیلن بلو را در غلظت 10 mg/L داشت و جذب مناسب را نشان داد. در کل هفت مرتبه جذب انجام شده است که یک مرحله همان مرحله اول قبل از احیا می باشد.



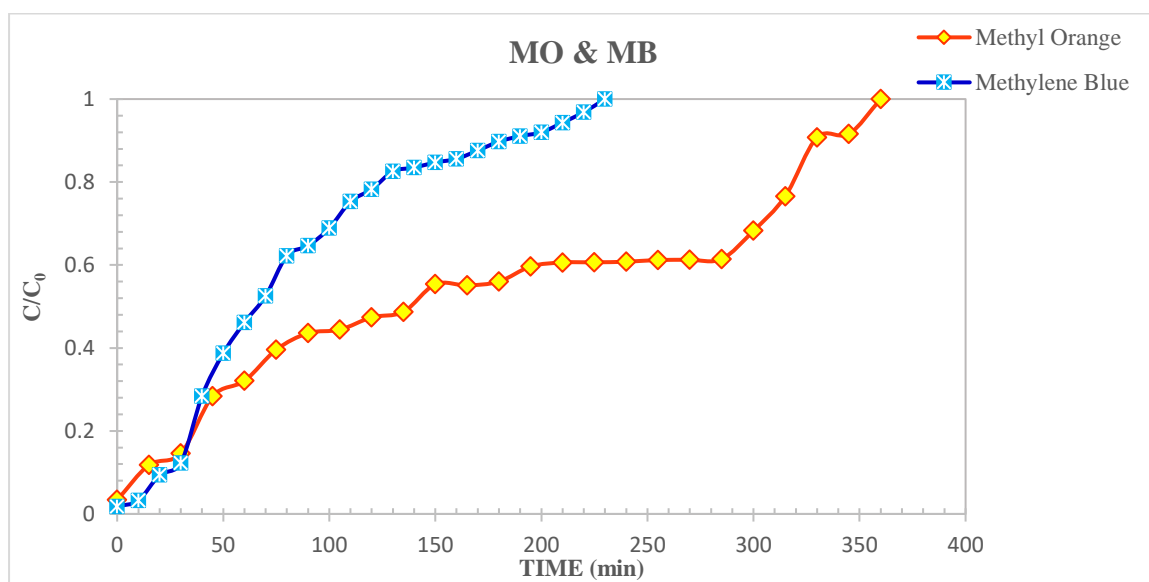
شکل (۴-۶): نمودار میله ای فرآیند احیاء جاذب CS-Na CMC-PUF طی هفت مرتبه

۹) مقایسه جذب رنگ های مختلف

جهت بررسی توانایی فوم در جذب رنگ دو تست دیگر نیز انجام شد. اول تست جذب رنگ متیل اورانژ با غلظت 10 mg/L در ارتفاع ۸ میلی متری از جاذب سنتز شده و مقایسه نتایج بدست آمده آن با جذب متیلن بلو در همین شرایط، دوم انجام تست انتخاب گری که توانایی جاذب را در حذف رنگ ها از مخلوط رنگی دو تایی و سه تایی نشان می دهد. این جاذب توانایی حذف رنگ های متیلن بلو (MB)، متیل اورانژ (MO) و اریو کروم بلک تی (EB) را هم به صورت تک و هم به صورت مخلوط باینری (دو دویی) و مخلوط تراینری (سه تایی) را با توجه به نتایج حاصل دارا می باشد، شکل ها و جدول در ادامه ادعای فوق را اثبات می کند.

۹-۱) مقایسه جذب متیل اورانژ و متیلن بلو

با توجه به جدول و نمودار زیر می توان دریافت که این جاذب در مدت زمان کمتری حجم بیشتری از رنگ متیلن بلو را جذب می کند ولی مقدار q_e های آن ها نسبتاً مشابه هم می باشد. شکل (۴-۶۱) و جدول (۴-۳۱) مقایسه جذب متیلن بلو و متیل اورانژ را نشان می دهد.



شکل(۴-۶۲): مقایسه نمودار غلظت بر زمان جذب متیلن بلو و متیل اورانژ در شرایط یکسان

جدول(۴-۳۱): جدول مقایسه داده های جذب متیل اورانژ متیلن بلو

مقایسه جذب MO & MB				
q_e	Q(min)	T(min)	V(ml)	نمونه
۱.۳۰	۰.۰۰۰۳	۳۶۰	۱۲۲	Methyl Orange
۱.۳۳	۰.۰۰۰۷	۲۳۰	۱۵۴	Methylene Blue

۹-۲) تست انتخاب گری حذف رنگ

تا مرحله قبل مطالعات و آزمایشات انجام شده جمعاً بر روی حذف رنگ هایی بار منفرد متمرکز بود. مانند حذف رنگ های متیلن بلو و متیل اورانژ که به صورت محلول تک رنگ، تک بار، در یک غلظت مشخص انجام شده است. اما پساب واقعی معمولاً حاوی رنگ هایی با غلظت ها و بارهای مختلف است. در این قسمت

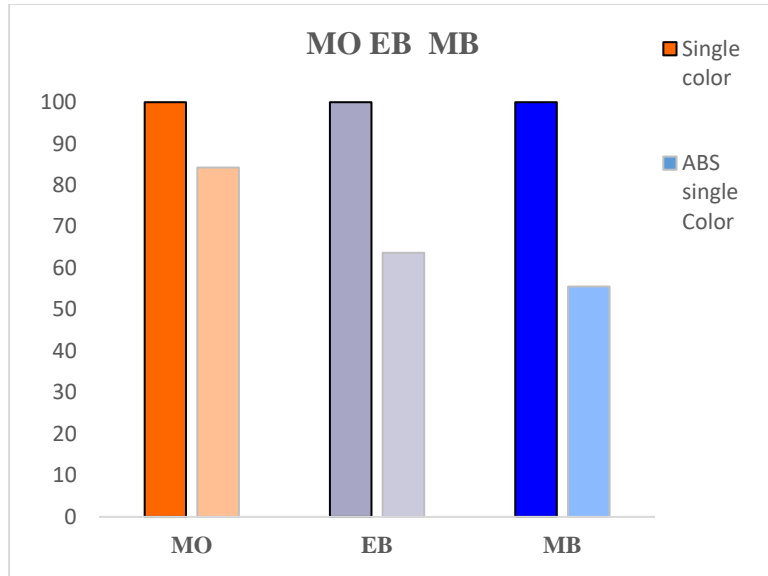
از این آزمایش ، حذف رنگهای خنثی ، کاتیونی و آنیونی در سیستم های دوتایی^۱ یا سه تایی^۲ با استفاده از جاذب بیوکامپوزیتی CS-Na CMC-PUF صورت گرفته است. محلول های رنگی مورد استفاده، محلول های متیل اورانژ (طول موج ۴۶۴)، اریوکروم بلک تی (طول موج ۴۸۵) و متیلن بلو (طول موج ۶۶۴) با غلظت ۱۰ mg/L بودند. محلول های رنگی به صورت ترکیب های تکی، و ترکیب های دوتایی شامل متیل اورانژ+اریوکروم بلک تی، متیل اورانژ + متیلن بلو، متیلن بلو، اریوکروم بلک تی، و ترکیب سه تایی متیل اورانژ + اریوکروم بلک تی + متیلن بلو آماده شد.



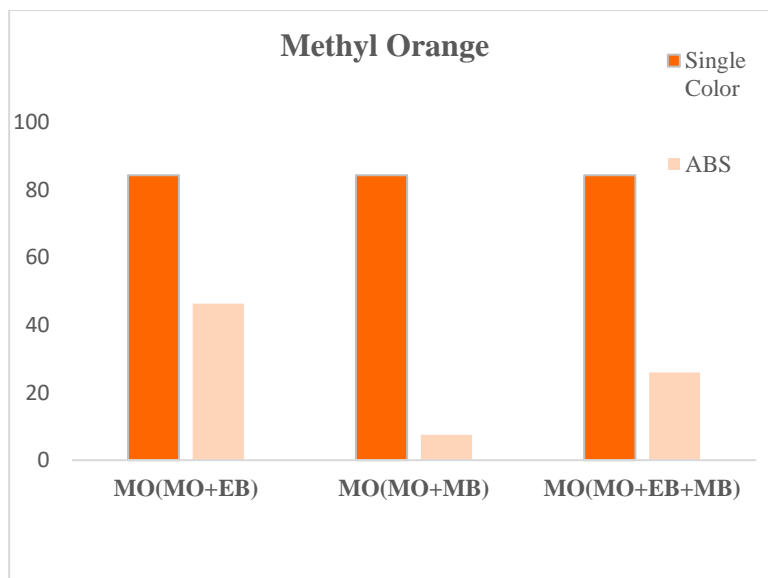
-
- 1) Binary
 - 2) Ternary or Trinary



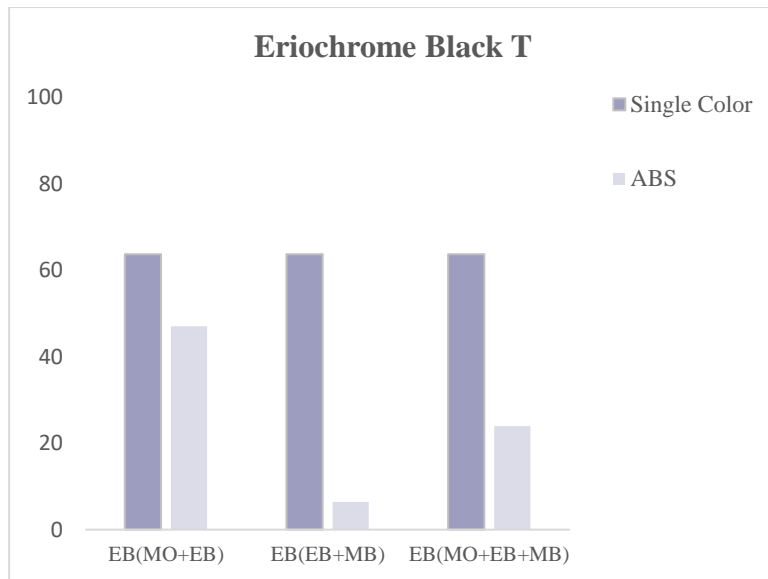
شکل (۴-۶۳): تصاویر تست انتخاب گری



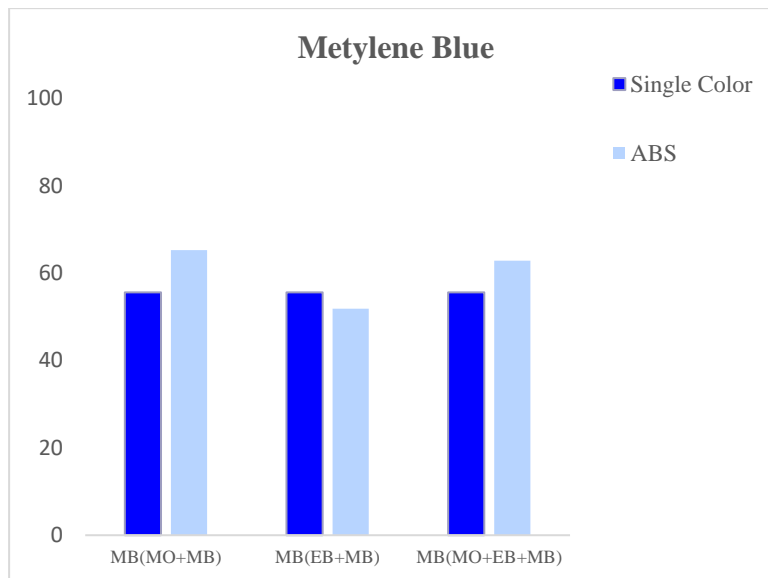
شکل (۴-۶۴): الف) جذب رنگ ها در حالت تک رنگ



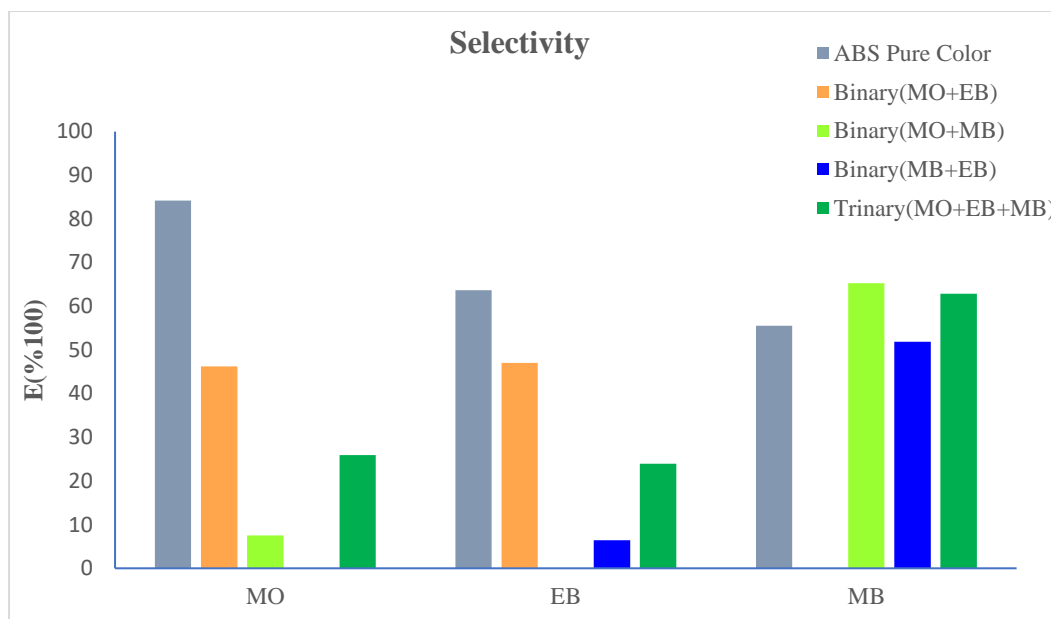
شکل (۴-۶۴): ب) جذب رنگ متیل اورانژ از مخلوط باینری و تراینری



شکل (۴-۶۴): ج جذب رنگ اریوکروم از مخلوط باینری و ترینری



شکل (۴-۶۴): د جذب رنگ متیلن بلو از مخلوط باینری و ترینری



شکل (۴-۶۴): مقایسه نمودارهای جذب

تست انتخاب گری حذف رنگ توسط جاذب CS-Na CMC-PUF

در نمودار فوق، ستون یا میله ی طوسی رنگ معرف جذب رنگ ها به صورت تک رنگ از جاذب می باشد، بقیه نشان دهنده ی میزان جذب رنگ نام برده در مخلوط دوتایی و سه تایی رنگ ها می باشد. با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایشات، نمودار (۴-۶۴) می توان بیان کرد که جاذب سنتز شده جذب نسبتاً خوبی از رنگ های ذکر شده داشته است. در ترکیب های دوتایی حاوی متیل اورانژ و اریوکروم بلک تی هردو رنگ به نسبت تقریباً مساوی جذب شده اند، در ترکیب متیل اورانژ + متیلن بلو رنگ متیلن بلو جذب بیشتری داشته است، در ترکیب متیلن بلو + اریوکروم بلک تی نیز بیشترین جذب مربوط متیلن بلو می باشد. اما ترکیب سه تایی از مخلوط رنگ ها اریوکروم بلک تی و متیل اورانژ تقریباً مثل هم و متیلن بلو جذب بیشتری داشته است. با توجه به این نتایج می توان بیان کرد که فوم مذکور نه تنها خاصیت حذف رنگ های متعدد را از ترکیبات مختلف دارد بلکه خاصیت انتخاب گری برای یک رنگ خاص نیز دارد و می تواند رنگ متیلن بلو را از ترکیبات متعدد رنگی به میزان بیشتر جذب کند [۱۳، ۱۴].

۱۰) نتایج پتانسیل زتا و توضیح نمودار

پتانسیل زتا به عنوان تابعی از غلظت و pH پتانسیل زتا اندازه گیری شد. دوسری این فرآیند انجام شد هم برای فوم پلی یورتان و هم برای فوم سنتزی CS-NaCMC-PUF، پس از گذشت مدت زمان ۴۸ ساعت داده های بدست آمده به صورتی بود که نمودارهای رسم شده سیر نزولی داشتند. به گونه ای که در حالت اسیدی افزایش pH و در حالت بازی کاهش pH مشاهده شده است، مقدار پتانسیل زتا برای فوم پلی یورتان و برای فوم CS-NaCMC-PUF به ترتیب ۷/۶ و ۸/۷ بدست آمده است.

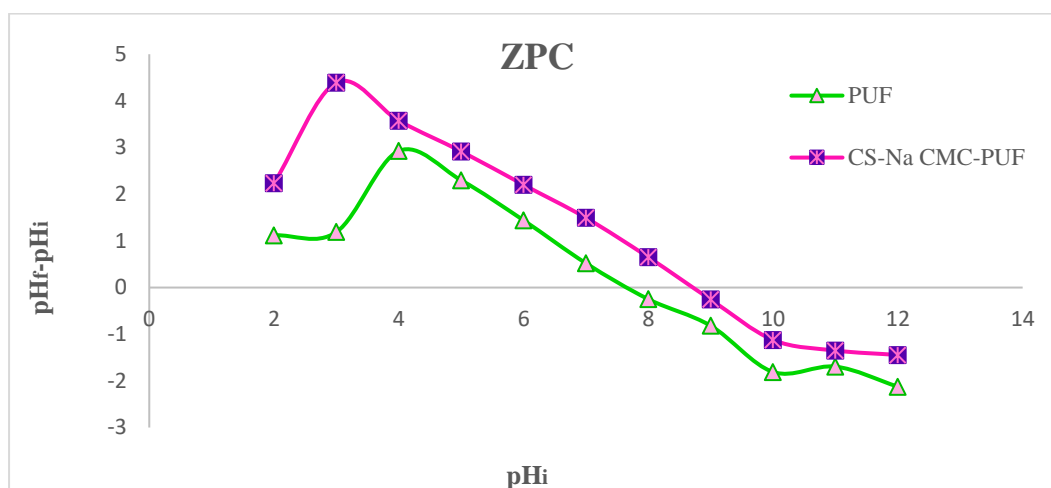
۱۰-۱) نتایج ZPC فوم پلی یورتان خالص

دلیل منفی شدن نمودار پتانسیل زتا در این آزمایش وجود ساختارهای ایزوسیاناتی و یون های RCOOH^- و NH^+ و برهم کنش و تعاملات بین بارها در محیط رقیق آبی می باشد و دلیل دوم این می باشد که فوم پلی یورتان خالص در محیط های بازی تبدیل به اجزاء سازنده اش می شود. [۱۳]

۱۰-۲) نتایج ZPC فوم CS-NaCMC-PUF

دلیل اول مقدار منفی به دلیل حضور NaCMC در ساختار فوم می باشد، که نشان گر رفتار آنیونی NaCMC که ناشی از یونیزاسیون یون کربوکسیلیک موجود در ساختارش می باشد، NaCMC در محیط اسیدی تا محدوده خنثی به طور کامل تفکیک شده و یون های مثبت و منفی را در محیط آبی (حاوی سدیم کلرید بسیار رقیق) به صورت یکنواخت آزاد می کند. NaCMC پس از یونیزاسیون در محیط متراکم شده و تجمع مولکولی رخ می دهد، در نتیجه بارهای الکتریکی به صورت آزادانه در محیط حرکت می کنند که باعث کاهش نیروی دافعه درون مولکولی شده بنابراین افزایش pH در حالت اسیدی تاثیری در مقدار پتانسیل زتا ندارد زیرا با کاهش ویسکوزیته ذاتی همراه است، در pH های بزرگتر از ۷ درجه پروتانسیون گروه های آمینی و پتانسیل مثبت زتا کاهش می باید و به دلایل ذکر شده ساختار تضعیف شده و فعل و انفعالات پیشرفته تر و قوی تری نسبت به حالات اسیدی رخ می دهد. دلیل دوم نزولی و منفی بودن نمودار حضور کیتوسان می باشد. کیتوسان تغییرات خاصی در مقدارهای اولیه ی پتانسیل زتا ایجاد نمی کند، زیرا محیط اسیدی بوده و کیتوسان در محیط اسیدی تبدیل به اسید پروتئین شده و غلظت یون CH افزایش میابد،

فعل و انفعالات بین واحد های آب گریز ساختار CS بیش از حد غالب و دافعه ی کلمبیک گروه های آمینه و پرتون شده، در نتیجه تجمع بین مولکولی در ساختار رخ می دهد، علاوه براین مولکول های گروه استیله CH هم به عنوان دهنده و هم به عنوان گیرنده پرتون در آب عمل می کند، که باعث ایجاد پیوند هیدروژنی در زنجیره ها و کمک به تجمع بین مولکولی می شود، در نتیجه سهم متقابل در پیوند های آب گریز و آب دوست دارد که نقش عمده ای در فعل و انفعالات و تجمع بین مولکولی دارد به همین دلیل نمودار نزولی و منفی می شود و به تعریف دیگر تجمع یون CH نقش کمی در پتانسیل زتا دارد. و حضور فوم پلی یورتان در ساختار به دلیل مواد سازنده ش آخرین دلیل نزولی شدن این نمودار شده است. [۵۶]



شکل (۴-۶۵): نمودار پتانسیل زتا، (۱) نمودار سبز فوم پلی یورتان خالص (۲) نمودار صورتی فوم CS-NaCMC-PUF

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادات

نتیجه گیری

جاذب CS-Na CMC-PUF با استفاده از مواد ذکر شده با موفقیت سنتز شد. این جاذب یک جاذب انعطاف پذیر، با خاصیت استحکام و پایداری مکانیکی، حرارتی بالایی می باشد که از ظرفیت جذب بالایی جهت حذف رنگ متیلن بلو برخوردار می باشد. آزمایش هایی که در شرایط مختلف انجام شد ثابت کرد این جاذب حتی در مقیاس کوچک (به قطر ۱۵ میلی متر، حداکثر ارتفاع ۲۵ میلی متر و وزن تقریباً ۱/۲۹ گرم) که تحت شرایط محیط های اسیدی و خنثی و بازی، غلظت های متفاوت، تغییر در دبی ورودی، مخلوط های باینری و ترنری (تراینری) و... توانایی حذف محلول های رنگی تا حجم ۳۰۰ میلی لیتر را از جریان پساب دارد. این جاذب خاصیت انتخاب گری نیز داشت و با مشاهده نتایج بدست آمده از تست انتخاب گری که در فصل چهار بیان شده است می توان به صحت این ویژگی نیز پی برد. اما چیزی که بیشتر باعث ثابت شدن این ادعاها شد آنالیزهای انجام شده با دستگاه های پیشرفته در آزمایشگاه های تخصصی و مدلسازی های ریاضی (جذب پیوسته) بود. آنالیز FESEM نشان داد که بدون اینکه ترکیبات اصلی فوم پلی یورتان تغییر اساسی بکند یا تخریب بشود ذرات کامپوزیت ژل و زئولیت روی آن قرار گرفته و ساختار فوم را اصلاح

کرده است. آنالیز FTIR نیز نشان داد گروه های عاملی که در ساختار اولیه مواد خام وجود دارد در ساختار فوم سنتز شده نیز وجود دارد در اثر واکنش های انجام شده حضور برخی از گروه های عاملی کم رنگ تر شده یا درگیر پیوندهای برقرار شده بین اجزا سازنده جاذب شده اند و ساختار جدیدی را به وجود آورده اند. آنالیز XRD که نشان دهنده ی ساختار کریستالی مواد می باشد نشان داد که کریستال های کیتوسان، فوم پلی یورتان، سدیم کربوکسی متیل سلولز و ژئولیت نیز در جاذب CS-Na CMC-PUF حضور دارند. حتی اتصالات عرضی برقرار شده بین کیتوسان، فوم پلی یورتان، کربوکسی متیل سلولز و حضور ذرات ژئولیت در ترکیب توسط دو آنالیز FTIR, XRD نشان داده شد. با مطالعه آنالیز BET می توان فهمید که سطح فوم پلی یورتان در اثر اصلاح شدن توسط کامپوزیت ژل (CS-Na CMC) افزایش یافته است، یعنی جاذب سنتز شده از سطح ویژه ی خوبی جهت جذب مولکول های رنگی MB و سایر مولکول های رنگی برخوردار است. و با استناد به آنالیز TGA می توان فهمید که این جاذب از توانایی حرارتی بالایی هم برخوردار است زیرا مواد تشکیل دهنده ی این جاذب در محدوده ی دمایی ۱۲۰-۱۰۰ درجه سانتی گراد می سوزند و از بین می روند اما در اثر ادغام شدن و تشکیل فوم از مقاومت حرارتی نسبتاً خوبی نیز برخوردار شده است. مدلسازی های جذب پیوسته توماس ، آدامز-بوهارت، یون نلسون، وولبورسکا و مدل دوز اصلاح شده نیز انجام شد و با داده های بدست آمده از آزمایش های انجام شده در آزمایشگاه سازگاری داشت و باعث تایید بیشتر شد. البته مدل های توماس، یون نلسون و مدل دوز اصلاح شده سازگاری بیشتری با داده ها داشت. در حین انجام کار فوم های CS-PUF و CMC-PUF نیز سنتز شد که مقاومت خوبی نداشته و به مراحل انجام تست ها نرسیدند. جهت مقایسه که توانایی فوم سنتز شده ثابت شود طبق تحقیقات انجام توسط سایر دانشمندان فوم پلی یورتان خالص نیز جهت حذف رنگ استفاده شد که نسبت فوم سنتز شده از ظرفیت جذب فوق العاده پائینی برخوردار بود و سریعاً اشباع شد. نتیجه بعدی که میتوان از این فرآیند گرفت این است که افزودن ژئولیت ZSM 5 باعث افزایش سطح ویژه و ظرفیت جذب جاذب می شود و به عبارتی تاثیر مثبتی دارد اما در یک مقدار مشخص اگر افزوده شود که در به این ترکیب دو گرم افزوده شده بود. اگر کمتر باشد تاثیری خاصی ندارد، اگر هم بیشتر شود تاثیرش بیشتر نمی شود. در تصاویر بدست آمده از SEM می توان

ذرات زئولیت را که روی فوم نشسته اند مشاهده کرد. و یک نتیجه دیگر این است که وقتی فوم استفاده شده در ترکیب ضخامتش کامل و زیاد باشد (۵ سانتی متر) هنگام پرس شدن فشردگی بیشتری پیدا می کند در نتیجه جذب بیشتر و بهتری از رنگ صورت می گیرد و زمان بیشتری هم صرف می شود. از نکات مهم دیگر این است که مواد بکار برده شده در این جاذب هم بیولوژیکی هستند و در صورت رها شدن در طبیعت نگرانی جهت آلودگی محیط زیست وجود ندارد به دلیل اینکه مواد تشکیل دهنده ی این جاذب به طور مثال کیتوسان (CS) که از مشتقات کیتین می باشد که از پوست سخت پوستان، کربوکسی متیل سلولز (CMC) از ساقه گیاهان خشک و علفی و فوم پلی یورتان (PUF) که جدیداً از منشأ گیاهی (صمغ برخی از درختان) سنتز می شود پس تمامی مواد ذکر شده زیست تخریب پذیر هستند.

پیشنهادات

- ← جاذب تهیه شده با غلظت های بالاتر از متیلن بلو سنجیده شود و بررسی شود که آیا این جاذب توانایی جذب محلول متیلن بلو با غلظت بیشتر از 10mg/L را نیز دارد.
- ← از جاذب در حذف روغن از جریان پساب نیز استفاده شود.
- ← فرآیند جذب ناپیوسته (Batch) نیز انجام شود.
- ← تمامی فرآیندهای ذکر شده در این پروژه برای رنگ های متیل اورانژ، اریوکروم بلک تی، دایرکت رد و آبی راکتیو، قرمز راکتیو، قرمز کنگو و کریستال بنفش در غلظت ها و شرایط ذکر شده انجام شود.
- ← در قسمت بررسی اثر افزایش و یا کاهش گرم زئولیت درون ترکیب از فوم پلی یورتان با ضخامت پنج سانتی متر جهت پایه نگه دارنده فوم استفاده شود فوم ها از وسط نصف نشود و بررسی شود که در صورت دوبرابر شدن غلظت زئولیت درون ترکیب باز همین نتایج را نشان می دهد.
- ← در تهیه جاذب بجای تهیه ی ژل های ۱٪ از کیتوسان و کربوکسی متیل سلولز از ژل ۲٪ استفاده شود.
- ← در صورت امکان و صرفه اقتصادی از جاذب استفاده صنعتی شود .

مراجع

۱. شیرزاداجیلو، جهان، شیرزاداجیلو، خاتمه، شیرپور، فرخنده، ۱۳۹۱. "آب و اهمیت آن در جهان". اولین کنفرانس ملی راه کارهای دستیابی به توسعه پایدار (کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست)، تهران.
۲. رحیمی، حسین، (۱۳۸۲). "بحران آب: مشکل ناشناخته جهانی". پیک نور- علوم انسانی، ۱(۲)، ۲۳-۳۳.
۳. قاسمیه، هدی، جیحونی نایینی، حدیثه، ۱۳۹۵. "آلودگی آب و تأثیر آن بر محیط زیست". پنجمین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار، تهران.
۴. آستین، جورج تی، ۱۹۸۴. شیمی صنعتی صنایع فرآیندهای شیمیایی شریو. امیدیان، حسین و دیگران، چاپ اول ۱۳۸۶، مرکز نشر دانشگاهی تهران، ۱۶-۳۱.
۵. چالکش امیری، محمد، ۱۳۸۳. اصول تصفیه آب و پساب های صنعتی (رشته شیمی). طاهر شمس، محبوبه، انتشارات دانشگاه پیام نور، ۹۳-۱۰۳.
۶. خوشبخت، پویان، گنجی دوست، حسین، ۱۳۹۱. "فرآیندهای غشائی در حذف رنگ از پساب". سومین کنفرانس علوم و مهندسی جداسازی، زاهدان.
7. Giselle, S.N, Centenaro, M., et al., 2017. *Application of polyurethane foam chitosan-coated as a low-cost adsorbent in the effluent treatment*, Journal of water process engineering ,(20) , p: 201-206.
8. Shalini, Y, Setty, P., 2019. *Multistage fluidized bed bioreactor for dye decolorization using immobilized polyurethane foam: A novel approach*. Biochemical engineering journal, (152), P: 107368.
9. Yang, W, et al., 2018. *Facile fabrication of robust MOF membranes on cloth via a CMC macromolecule bridge for highly efficient Pb (II) removal*. Chemical Engineering Journal, (339), p: 230-239.
10. Kim, K, et al., 2016. *Fe/ZSM-5 zeolites for organic-pollutant removal in the gas phase: Effect of the iron source and loading*. Journal of environmental chemical engineering 4,(3), p: 3033-3040.
۱۱. عبداللهی باغبان، سحر، خراسانی، منوچهر، ۱۳۹۶، "مروری بر ریخت شناسی، ساختار شیمیایی و فیزیکی پوشش های فوم پلی یورتان". دانشکده مهندسی پلیمر و رنگ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، فصل نامه مطالعات در دنیای رنگ، ۷(۳)، ص: ۶۱-۷۶.
۱۲. محمدپور، راضیه، ۱۳۹۹. "مروری بر مبانی شیمی و تکنولوژی فوم پلی یورتان". ششمین کنفرانس بین المللی مهندسی شیمی و نفت، دانشکده ی مهندسی پلیمر و رنگ دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.
13. Yang, H.C, et al., 2017. *Polyurethane foam membranes filled with humic acid-chitosan crosslinked gels for selective and simultaneous removal of dyes*. Journal of colloid and interface science, (505), p: 67-78.
14. Li, J, et al., 2018. *Zirconium-based metal organic frameworks loaded on polyurethane foam membrane for simultaneous removal of dyes with different charges*. Journal of colloid and interface science,(527), p: 267-279.
15. Roy, J.c, et al., 2018. *Chitosan-Carboxymethylcellulose-based polyelectrolyte complexation and microcapsule shell formulation*. International journal of molecular sciences,19(9), P:2521.
۱۶. قادری، رضا، پرمرد، منصور، ۱۳۹۳. "آشنایی با انواع آلاینده های منابع آبی و اثرات آن ها". اولین همایش ملی محیط زیست دانشگاه پیام نور، اصفهان.

۱۷. سیدمظفری، فریده دخت، احسانی طباطبائی، فریده و دیگران؛ ۱۳۸۴. زیست شناسی عمومی (برای دانشجویان غیر رشته زیست شناسی). چاپ هفتم ۱۳۹۲، دانشگاه پیام نور تهران: انتشارات پیام نور، گروه زیست شناسی، ص: ۱۶۵-۱۹۳.
18. Tan, K.B, Taghivakili, M, et al., 2015. *Adsorption of dyes nanomaterials and adsorption mechanisms*. Separation and Purification Technology, (150), p: 229-242.
- دوریان، دنیز، اصغری، محمد، ۱۳۹۵. " جذب سطحی رنگ ها توسط نانو مواد: پیشرفت های اخیر و مکانیسم های جذب سطحی جدید ". ماهنامه فناوری نانو، شماره ۱، پیاپی ۲۲۲، ص: ۴۰-۵۳.
19. Robaina, N.F, Soriano.S, Cassella, R.J.,2009. *Polyurethane foam loaded with SDS for the adsorption of cationic dyes from aqueous medium: Multivariate optimization of the loading process*. Journal of hazardous materials, 167(1-3), p: 653-659.
۲۰. مدائنی، سیاوش، رحیم پور، اشکان؛ ۱۳۸۴. فرآیندهای غشائی صنعتی. کرمانشاه، انتشارات دانشگاه رازی: چشمه هنر و دانش، ص: ۲۲-۲۵.
۲۱. سیدر، جان دی، هلنی، ارنست جی؛ ۱۳۸۹. ج ۲: اصول فرآیندهای جداسازی. منتظر رحمتی، مهدی، تهران، مرکز نشر دانشگاهی، ص: ۱۱۲۸-۱۲۱۵.
۲۲. سیدر، جان دی، هلنی، ارنست جی؛ ۱۳۸۹. ج ۱: اصول فرآیندهای جداسازی. منتظر رحمتی، مهدی، تهران، مرکز نشر دانشگاهی، ص: ۱-۳۳.
23. da Silveira Neta, J.d.J, Moreira, G.C, et al., 2011. *Use of polyurethane foams for the removal of the Direct Red 80 and Reactive Blue 21 dyes in aqueous medium*. Desalination(281), P:55-60.
۲۴. گیویان، فرشاد. ۱۳۹۲، "استفاده از کایتوزان پر شده با نانو ذرات اکسید فلزی برای حذف سرب موجود در آب دریا"، پایان نامه کارشناسی ارشد شیمی دریا، دانشکده علوم فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات.
۲۵. مرتهب، حمیدرضا، عابدی، مهناز؛ ۱۳۸۸. اصول فرآیندهای جداسازی غشائی. تهران، سازمان انتشارات جهاد دانشگاهی، ص: ۳-۴۰.
26. Patel, H., 2019. *Fixed-bed column adsorption study: a comprehensive review*. Applied Water Science,9(3), P:1-17.
۲۷. هالیدی، دیوید، رزنیک، رابرت، واکر، جزل؛ ۱۳۹۳. مبانی فیزیک. ج ۱: مکانیک گرما. ویرایش دهم، جلیلیان نصرتی، محمدرضا و دیگران، انتشارات صفار، تهران، ص: ۱۱۷-۱۳۵.
۲۸. مورتیمر، چارلز، ۱۳۹۲. شیمی عمومی ۱. ویرایش ششم، یاوری، عیسی، حسن پور، محمد و دیگران، موسسه نشر و فایز، تهران.
29. Charu, A, Sanjo, S, et al., 2019. *Iron based metal organic framework for efficient removal of methylene blue dye from industrial waste*. Journal of Molecular Liquids, 284, p:343-352.
30. Lee C.G, Kim J.H, et al., 2014. *Comparative analysis of fixed-bed sorption models using phosphate breakthrough curves in slag filter media*. Desalination and Water Treatment, 55(7), P:1795-1805.
31. Hayati, B, Maleki, A.,2018. *Heavy metal adsorption using PAMAM/CNT nanocomposite from aqueous solution in batch and continuous fixed bed systems*. Chemical Engineering Journal, 346, P: 258-270.

32. Singh, D.V, Kumar, V, et al., 2017. *Breakthrough curve modeling of graphene oxide aerogel packed fixed bed column for the removal of Cr(VI) from water*. Journal of Water Process Engineering 18, P:150-158.
33. Djelloul, C, Hamdaoui, O., 2015. *Dynamic adsorption of methylene blue by melon peel in fixed-bed columns*. Desalination and water treatment. 56(11), p: 2966-2975.
34. da Rosa Schio, R, et al., 2019. *Synthesis of a bio-based polyurethane/chitosan composite foam using ricinoleic acid for the adsorption of Food Red 17 dye*. International journal of biological macromolecules. 121, P: 373-380.
۳۵. رضوانی، زهرا، حبیبی، سیما و دیگران، ۱۳۹۳. "مروری بر برخی خواص کیتوسان و منابع مورد استفاده جهت استخراج و تولید آن از مواد دور ریز طبیعی". اولین همایش ملی بهداشت محیط، سلامت و محیط زیست پایدار، همدان، دانشکده شهید مفتح، دانشگاه آزاد اسلامی شهر ری، ص: ۱-۱۳.
۳۶. باقری کاهکش، اورانوس، آسیابانی، فروغ و دیگران، ۱۳۹۳. "شنایی با کیتوسان و کاربردهای آن در صنعت تصفیه آب". کنفرانس ملی علوم و مهندسی محیط زیست، سروستان سازان فردا، مسجد سلیمان، دانشگاه آزاد اسلامی، دانشگاه شهید چمران اهواز
۳۷. نیکنام، محمد صادق، شهبازی، افسانه، ۱۳۹۳. "کارایی کیتوسان به عنوان جاذب و کمک منعقد کننده در حذف آلاینده ها از آب و پساب". اولین همایش ملی معماری، عمران و محیط زیست شهری. تهران، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی.
۳۸. پورعینی، فاطمه، نیکزاد، مریم، ۱۳۹۴. "کیتوسان و کاربرد آن در تصفیه فاضلاب". دومین همایش ملی راهکارهای پیشروی بحران آب در ایران و خاورمیانه، شیراز، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل.
39. Qin, H, Wang, K., 2019. *Study on preparation and performance of PEG-based polyurethane foams modified by the chitosan with different molecular weight*. International journal of biological macromolecules, 140, P:877-855.
۴۰. خرم جاه، فاطمه، ۱۳۹۴. "مقدمه ای بر کربوکسی متیل سلولز (CMC) و بررسی کاربردهای آن در صنایع مختلف". اولین همایش ملی تکنیک های نوین در تجهیزات و مواد آزمایشگاهی صنعت نفت، تهران، پژوهشکده توسعه صنایع شیمیایی ایران، جهاد دانشگاهی، دانشگاه شهید بهشتی.
41. Chen, X, Liu, J, et al., 2015. *Macroporous chitosan/carboxymethylcellulose blend membranes and their application for lysozyme adsorption*. Journal of applied polymer science, 96(4), P:1267-1274.
42. Sainitya, R, et al., 2015. *Scaffolds containing chitosan/carboxymethyl cellulose/mesoporous wollastonite for bone tissue engineering*. International journal of biological macromolecules, 80, p: 481-488.
43. Lan, W, He, L, et al., 2018. *Preparation and properties of sodium carboxymethyl cellulose/sodium alginate/chitosan composite film*. Coatings, 291, 8(8), P: 1-17.
44. Thomas, S, Soloman, P.A, et al., 2016. *Preparation of chitosan-CMC blends and studies on thermal properties*. Procedia Technology, 24, p: 721-726.
۴۵. زینلی، غلامرضا، جعفری جوزانی، خیرالله و دیگران، ۱۳۸۵. "بررسی شکل گیری زئولیت ZSM-5 بدون استفاده از قالب و رابطه درجه کریستالینیتی نسبی با شرایط سنتز". ج ۶، (۳ و ۲)، نشریه علوم (دانشگاه خوارزمی).
۴۶. نخعی پور، مجتبی، شجاعی فرح آبادی، حسین و دیگران، ۱۳۹۵. "تعیین کارایی زئولیت ZSM-5 آغشته به نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم در حذف فتوکاتالیستی بخارات استایرن". مجله مهندسی بهداشت حرفه ای، ۳(۴)، ص: ۶۱-۶۷.

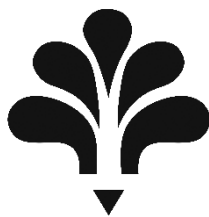
۴۷. تنظیفی، مرجان، کریمی پور، کیانوش و دیگران، ۱۳۹۵. "بررسی سینتیکی جذب سطحی متیل اورانژ از محلول های آبی توسط پلی آنیلین". چهارمین کنفرانس بین المللی ایده های نوین در کشاورزی، محیط زیست و گردشگری، اردبیل، دانشکده نفت و گاز، دانشگاه ایلام.
۴۸. سبحان اردکانی، سهیل، زندی پاک، راضیه، ۱۳۹۵. "حذف رنگ متیل اورانژ از محیط های آبی با استفاده از نانوذرات مغناطیسی نیکل: مطالعه تعادلی و سینتیکی". مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران، همدان، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، ۹(۲)، ص: ۲۴۷-۲۵۸.
۴۹. بذرافشان، ادریس، کردمصطفی پور، فردوس، ۱۳۹۱. "بررسی حذف رنگ متیلن بلو از محلول های آبی با استفاده از خاکستر ساقه گیاه پرسیکا". مجله دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی، زاهدان، مرکز تحقیقات ارتقاء سلامت، دانشگاه علوم پزشکی، ۴(۴)، ص: ۵۲۳-۵۳۲.
۵۰. دلور شاه ولی، باوی، میثم، ۱۳۹۴. "حذف رنگ متیلن بلو با استفاده از جاذب گیاهی کنوکارپوس ارکتوس". دومین کنفرانس بین المللی پژوهش در علوم و تکنولوژی (ترکیه- استانبول)، اهواز، نیروگاه رامین.
۵۱. استوار، فریبا، پور کریم، سعید و دیگران، ۱۳۹۶. "کاربرد خاک اره اصلاح شده با $KMnO_4$ در حذف رنگینه متیلن بلو از نمونه های آبی در سیستم ناپیوسته". چهارمین کنفرانس بین المللی برنامه ریزی و مدیریت محیط زیست، رشت، پژوهشکده محیط زیست، جهاد دانشگاهی.
۵۲. ساده، پگاه، نجفی پور، ایمان و دیگران، ۱۳۹۹. "مطالعات تجربی جذب سطحی رنگزای متیلن بلو از آب های آلوده توسط زئولیت طبیعی". هفتمین کنفرانس بین المللی شیمی و مهندسی شیمی، تهران، پردیس دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه تهران.
53. Moraes Góes, M, Keller, M, et al., 2016. *Polyurethane foams synthesized from cellulose-based wastes: Kinetics studies of dye adsorption*. Industrial Crops and Products, 85, P:149-185.
54. Mohammadi, A, Lakouraj, M.M., 2014. *Preparation and characterization of p-tert-butyl thiacalix [4] arene imbedded flexible polyurethane foam: an efficient novel cationic dye adsorbent*. Reactive and Functional Polymers, 83, P:14-23.
55. Li, J, Gong, J.L., et al., 2019. *The performance of UiO-66-NH₂/graphene oxide (GO) composite membrane for removal of differently charged mixed dyes*. Chemosphere, 237, P:1245117.
56. Ranote, S, Kumar, D, et al., 2019. *Green synthesis of Moringa oleifera gum-based bifunctional polyurethane foam braced with ash for rapid and efficient dye removal*. Chemical Engineering Journal, 361, P:1586-1596.
57. Yadollahi, M, Namazi, H, et al., 2014. *Preparation and properties of carboxymethyl cellulose/layered double hydroxide bionanocomposite films*. Carbohydrate polymers, 108, P:83-90.
58. Zengin Kurt, B, Uckaya, F, and Z, et al., 2017. *Chitosan and carboxymethyl cellulose based magnetic nanocomposites for application of peroxidase purification*. International journal of biological macromolecules, 96, P: 149-160.
59. Ghasemlou, M, Daver, F, et al., 2019. *Polyurethanes from seed oil-based polyols: A review of synthesis, mechanical and thermal properties*. Industrial Crops and Products, 142, P: 111841.
60. Hu, D, Wang, et al., 2016. *Physical properties and antibacterial activity of quaternized chitosan/carboxymethyl cellulose blend films*. LWT-Food Science and Technology, 65, P: 398-405.

61. Noshirvani, N, Ghanbarzadeh, B, et al., 2017. *Preparation and characterization of active emulsified films based on chitosan-carboxymethyl cellulose containing zinc oxide nano particles*. International journal of biological macromolecules, 99, P: 530-538.
62. Elhossein, A, Moawed, M.A, et al., 2017. *Application of magnetic isothiuronium polyurethane sorbent for the removal of acidic and basic dyes from wastewater*. Journal of Cleaner Production, 157, P: 232-242.
63. Zhou, Y, Lu, J, et al., 2019. *Recent advances for dyes removal using novel adsorbents: a review*. Environmental pollution, 252, P: 252-365.
64. Pan, Y, Wang, J, et al., 2016, *Fabrication of highly hydrophobic organic-inorganic hybrid magnetic polysulfone microcapsules: a lab-scale feasibility study for removal of oil and organic dyes from environmental aqueous samples*. Journal of hazardous materials, 309, P: 65-76.
65. Elhossein, A.M, kiwaan, H.A, et al., 2017. *Application of polyurethane@ salvadora persica composite for detection and removal of acidic and basic dyes from wastewater*. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 80, p: 894-900.
۶۶. رضوانیان، مهدی، رشیدی، حامد و دیگران، ۱۳۹۹. "مدلسازی حذف همزمان فلزات سنگین از پساب های صنعتی با استفاده از فرآیند جذب سطحی". دومین کنفرانس ملی نوآوری و فناوری علوم زیستی، شیمی ایران، شاهرود، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، ۳۷۱، ص: ۱-۱۹.
67. Panneerselvam, P, Morad, N, et al., 2011. *Magnetic nanoparticle (Fe₃O₄) impregnated onto tea waste for the removal of nickel(II) from aqueous solution*. Journal of Hazardous Materials, 186, P: 160-168.

Abstract

Pollution of water resources can not only disrupt human life and activity, but it can also destroy the environmental ecosystem by causing the deaths of other aquatic and dry animals. The discharge of unrefined colored effluent from the dyeing and textile industries into aquatic environments and nature is one of the factors that contribute to environmental degradation and pollution. The adsorption process was of the continuous type, and it was carried out under different conditions of foam bed height difference, methylene blue solution concentration difference, inlet discharge to adsorption column difference, and methylene blue solution pH difference. The synthesized filter was compared to adsorbents with different zeolite percentages (0.2%, 0.4%, and 0.8%) in the structure, and the foam modified by chitosan gel and carboxymethyl cellulose containing 0.4 percent zeolite had the best absorption in the methylene blue dye removal process, according to the results. The continuous absorption models of Thomas, Bohart-Adams, Yoon Nelson, Wolborska, and the modified dose response model were used to adapt the data, with the modified dose response model having the best overlap with the different states of the adsorption process performed in this project and to observe the structure, topography, and crystals of the ingredients. FESEM, XRD, FTIR, BET, and TGA analyses were used to identify adsorbents and raw materials, identify functional groups, obtain specific adsorption levels, and determine the temperature resistance and degradation temperature range. The adsorbent has a stable structure, according to the results of the analysis, and the highest adsorption capacity of methylene blue dye is related to the color solution with a concentration of 10 mg/L, and the height of the constant adsorption bed is 8 mm from the filter, equal to 3.85 and 1.92 mg/g. The adsorbent, which is related to the alkaline and neutral state of the color under constant conditions, is another feature of the filter, which is capable of removing other colors from monochrome, binary, and triplet color mixtures, at the end of the filter, the ability to regenerate and recover during seven stages of resuscitation, recursion to the absorption cycle.

Keywords: Polyurethane foam, Carboxymethyl cellulose, Chitosan, ZSM zeolite 5, methylene blue, Continuous adsorption



ACECR Institute of Higher Education (Isfahan Branch)

Faculty of Chemical Engineering

Group

Chemical Engineering

Orientation of Separation Processes

A Thesis Presented for the Degree of Master
of Science in Chemical Engineering / Orientation of Separation Processes

Dyed wastewater treatment using polyurethane foam

Modified by carboxymethyl cellulose gel and chitosan

by

Raziyeh Karkhani

Supervisor

Vahid Javanbakht

22 February 2021