



بررسی سینتیکی جذب رطوبت توسط سیلیکاژل و اکتیو آلومینا در یک فرایند آزمایشگاهی

نصیر مهران بُد^{۱*}، علی مردوار مستعلی بیگلو^۲

۱- استاد یار دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز دانشگاه شیراز

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز دانشگاه شیراز

چکیده

در این کار سینتیک جذب رطوبت توسط سیلیکاژل و اکتیو آلومینا در دماهای ۳۰۳ و ۳۲۳ درجه کلوین و رطوبت های مختلف بررسی شده است. به همین منظور و همچنین تعیین منحی های ایزوترم جذب سطحی، دستگاهی طراحی و ساخته شده است که بطور ناپیوسته کار می کند. سیلیکاژل و اکتیو آلومینای مورد استفاده در مجتمع پتروشیمی خارک در این دستگاه مورد آزمایش قرار گرفته اند. آزمایشات در دماهای ۳۰۳ و ۳۲۳ درجه کلوین و رطوبت های مختلف انجام شده و نتایج نشان می دهند که اولاً، با افزایش رطوبت در یک دمای خاص، عموماً مقدار ثابت سرعت واکنش هم برای سیلیکاژل و هم برای اکتیو آلومینا ابتدا افزایش یافته و سپس کاهش می یابد. ثانیاً با افزایش دما در یک رطوبت خاص، عموماً ثابت سرعت واکنش هم برای سیلیکاژل و هم برای اکتیو آلومینا افزایش می یابد. همچنین نتایج نشان می دهند که ثابت های سرعت جذب بدست آمده برای اکتیو آلومینا در هر دو دمای ۳۰۳ و ۳۲۳ درجه کلوین و همچنین در رطوبت های مختلف از نتایج بدست آمده برای سیلیکاژل عموماً بیشتر است. نتایج آزمایشات سرعت جذب سطحی نشان می دهند که شدت جذب در طول مراحل اولیه جذب بیشترین مقدار را داشته و سپس زمانی که مقدار آب جذب شده افزایش می یابد، بتدریج کند می شود تا به یک مقدار ثابت برسد.

واژه های کلیدی: سینتیک جذب، سیلیکاژل، اکتیو آلومینا، رطوبت، ایزوترم جذب سطحی، ثابت سرعت، جذب سطحی.

۱- مقدمه

آب زدائی توسط خشک کن جامد یک فرآیند جذب سطحی است که در آن مولکول های آب از فاز گاز جذب شده و بوسیله نیروهای سطحی روی سطح جامد نگه داشته می شوند [۱]. سیلیکاژل و اکتیو آلومینا بعنوان خشک کن های جامد در فرایندهای نم زدایی، بخاطر سطح ویژه بالا و ظرفیت بالای جذب رطوبت،



کاربرد وسیعی دارند [۲]. سرعت انتقال جرم وابسته به مقاومت انتقال جرم در درون ذرات است [۳]. مطالعات زیادی در مورد سینتیک جذب سطحی صورت گرفته است، بعنوان مثال مطالعات جذب سطحی pesticide (که دارای مولکولهای آروماتیکی می باشد) توسط کربن نشان دهنده واکنش درجه اول می باشد [۴،۵،۶،۷،۸،۹]. هدف از کار تحقیقاتی حاضر تعیین منحنی های شکست و نیز تعیین ثابت سرعت جذب سطحی سیلیکاژل و اکتیو آلومینا با استفاده از مدل LDF در دماهای ۳۰۳ و ۳۲۳ درجه کلوین و رطوبت های مختلف می باشد.

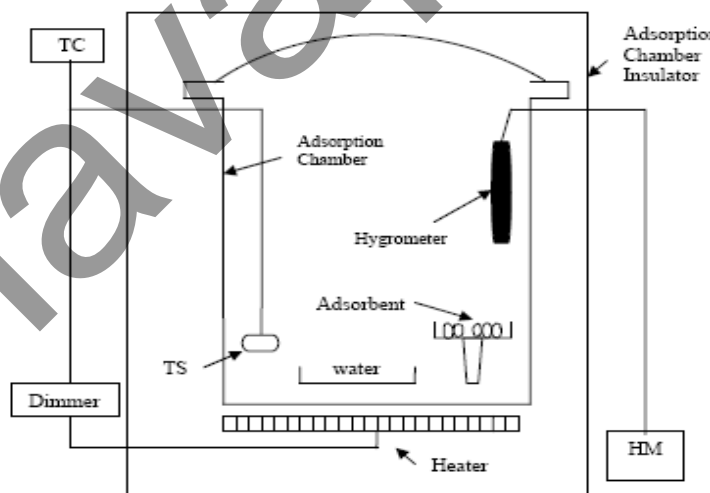
۲- مواد آزمون و آزمایشات

۲-۱- خصوصیات جاذبها

در این مطالعه از جاذب های سیلیکاژل و اکتیو آلومینای بکار رفته در مجتمع پتروشیمی خارک استفاده شده است.

۲-۲- تشریح دستگاه

به منظور تعیین ایزوترم های جذب سطحی و نیز تعیین منحنی های سرعت و ثابت های شدت جذب دستگاهی طراحی و ساخته شد. شماتیک این دستگاه در شکل ۱ نشان داده شده است. این دستگاه مجهز به یک گرم کن و محفظه جذب آدیاباتیک و سیستم کنترل کننده دما و دستگاه رطوبت سنج می باشد و بصورت ناپیوسته کار می کند.



TS: Temperature Sensor
TC: Thermostat Controller
HM: Hygrometer Measurement



دمای محفظه جذب با استفاده از یک کنترل کننده دما (PID) در یک مقدار مشخص ثابت نگه داشته می شود. کنترل کننده مقدار انرژی ورودی گرم کن الکتریکی را با استفاده از یک دیمر که به جریان برق وصل است کنترل می کند. اندازه گیری رطوبت با استفاده از دستگاه رطوبت سنج که مجهز به یک ترمومتر نیز هست انجام می شود. فرآیند جذب در این دستگاه در دمای ثابت انجام می گیرد. لازم به ذکر است که دقت رطوبت سنج $\pm 0.5\%$ مقدار قرائت شده بر حسب رطوبت نسبی و دقت دما سنج $\pm 1^\circ C$ می باشد.

۳-۲- آزمایشات سرعت جذب سطحی بخار آب بوسیله سیلیکاژل و اکتیو آلومینا

آزمایشات تعادلی و نیز آزمایشات مربوط به تعیین ثابت های شدت جذب و منحنی های سرعت جذب سطحی بخار آب با استفاده از دستگاه نشان داده شده در شکل ۱ و در فشار اتمسفری انجام شده است. جهت بدست آوردن رطوبت های تعادلی مورد نظر، در هر رطوبت نسبی آزمایشات متعددی با مقدار یکسان آب انجام شده است. پس از بدست آوردن مقدار آب مورد نیاز برای هر رطوبت نسبی، ابتداءً حدود ۱۰ گرم از هر جاذب را که قبلاً در خشک کن به مدت ۱۲ ساعت خشک شده و در دسیکاتور خنک شده است را درون petri dish ریخته و همراه درپوش وزن کرده ایم، سپس مقدار مشخصی آب، که رطوبت خاصی را ایجاد می کند، همراه با petri dish درون محفظه جذب قرار داده و در محفظه جذب را بسته و روی گرم کن گذاشته ایم و اجازه داده ایم تا عملیات جذب سطحی در رطوبت و دمای مورد نظر، به مدت زمان معین (کوتاهتر از زمان لازم برای رسیدن به حالت تعادل) ادامه یابد و بعد از این مدت جاذب را از محفظه جذب خارج کرده و همراه با درپوش درون دسیکاتور قرار داده ایم تا خنک شود و سپس وزن کرده ایم. این کار را در زمان های مختلف انجام داده ایم. بدین ترتیب از اختلاف وزن اولیه و وزن ثانویه جاذب مقدار آب جذب شده بدست می آید که با رسم مقدار آب جذب شده بر واحد جرم جاذب، در مقابل زمان، نمودار سرعت جذب سطحی بدست می آید.

۳- نتایج و بحث

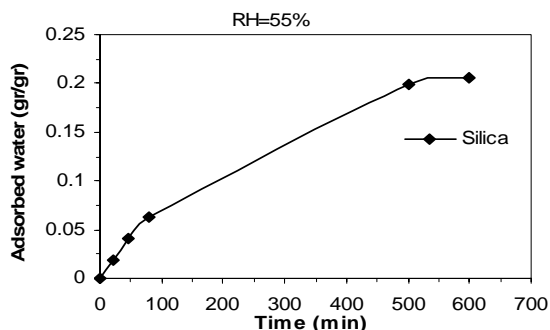
۳-۱- تعیین منحنی های سرعت (منحنی های شکست)

۳-۱-۱- تعیین منحنی های شکست در $30.3^\circ C$ درجه کلوین و رطوبت های مختلف

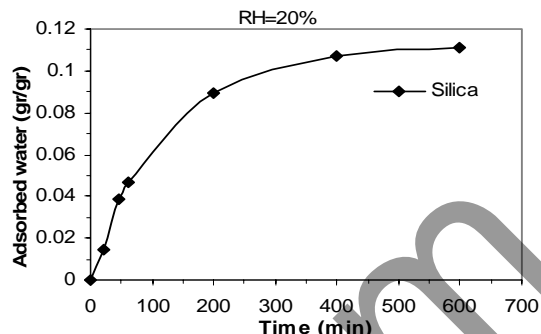
شکل های ۹-۲ منحنی های شکست یا سرعت جذب سطحی بخار آب توسط سیلیکاژل و اکتیو آلومینا را در دمای $30.3^\circ C$ درجه کلوین و رطوبت های مختلف را نشان می دهند. مشاهده می شود که شدت جذب در طول مراحل اولیه جذب بیشترین مقدار را داشته و سپس زمانی که مقدار آب جذب شده افزایش می یابد، بتدریج کند می شود تا به یک مقدار ثابت برسد. با توجه به این شکلها ملاحظه می شود که در دمای ثابت $30.3^\circ C$ درجه کلوین هم برای سیلیکاژل و هم برای اکتیو آلومینا در رطوبت های پایین تر شکست منحنی در



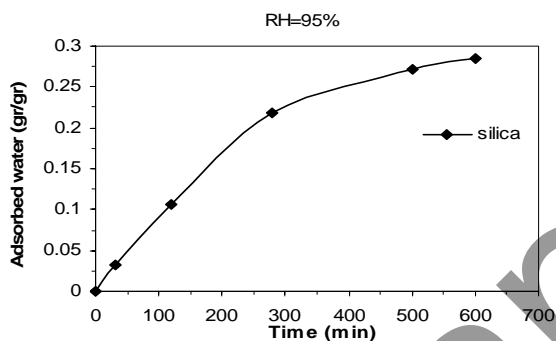
زمان های کمتری اتفاق می افتد در حالی که با افزایش رطوبت شکست منحنی ها در زمان های بالاتر رخ می دهد.



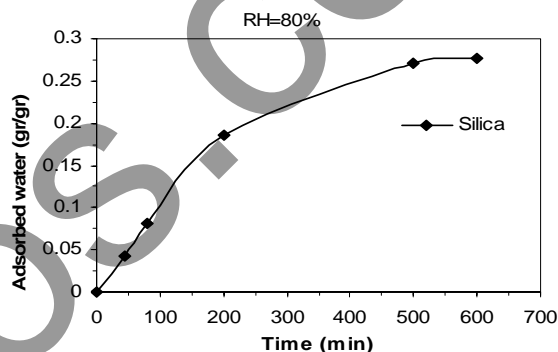
شکل ۳- منحنی سرعت جذب سطحی بخار آب توسط سیلیکاژل در دمای ۳۰۳ درجه کلون و رطوبت ۵۵٪



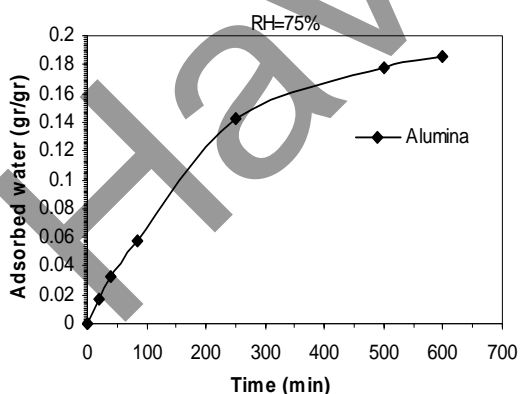
شکل ۲- منحنی سرعت جذب سطحی بخار آب توسط سیلیکاژل در دمای ۳۰۳ درجه کلون و رطوبت ۲۰٪



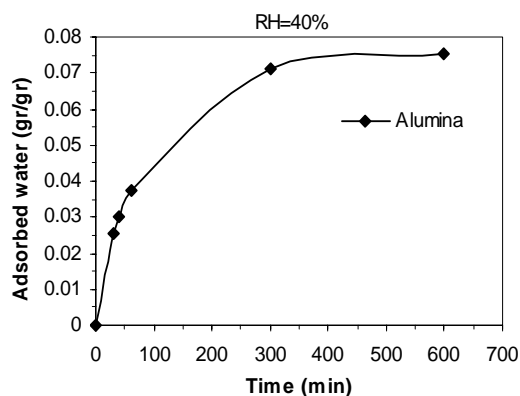
شکل ۵- منحنی سرعت جذب سطحی بخار آب توسط سیلیکاژل در دمای ۳۰۳ درجه کلون و رطوبت ۹۵٪



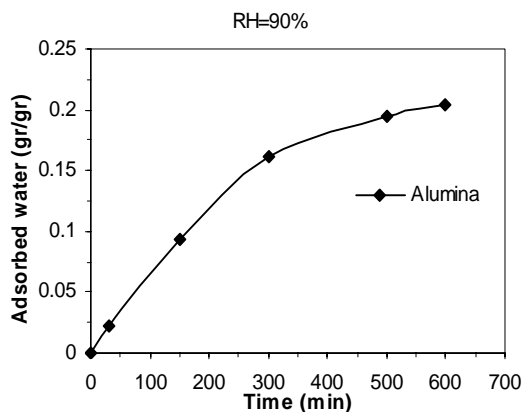
شکل ۴- منحنی سرعت جذب سطحی بخار آب توسط سیلیکاژل در دمای ۳۰۳ درجه کلون و رطوبت ۸۰٪



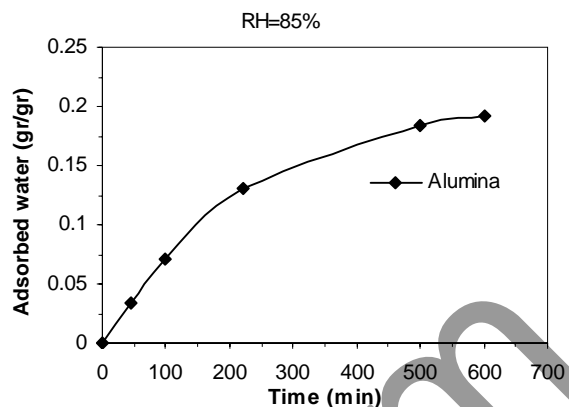
شکل ۷- منحنی سرعت جذب سطحی بخار آب توسط اکتیو الومینا در دمای ۳۰۳ درجه کلون و رطوبت ۷۵٪



شکل ۶- منحنی سرعت جذب سطحی بخار آب توسط اکتیو الومینا در دمای ۳۰۳ درجه کلون و رطوبت ۴۰٪



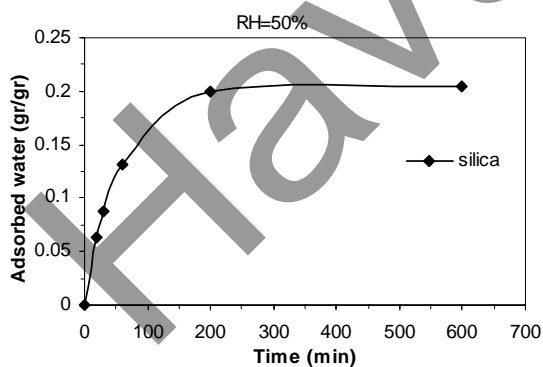
شکل ۹- منحنی سرعت جذب سطحی بخار آب توسط اکتیو الومینا در دمای ۳۰۳ درجه کلون و رطوبت ۹۰٪.



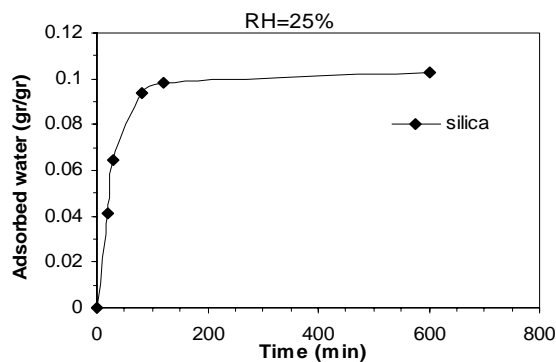
شکل ۸- منحنی سرعت جذب سطحی بخار آب توسط اکتیو الومینا در دمای ۳۰۳ درجه کلون و رطوبت ۸۵٪.

۳-۱-۲- تعیین منحنی های شکست در ۳۲۳ درجه کلون و رطوبت های مختلف

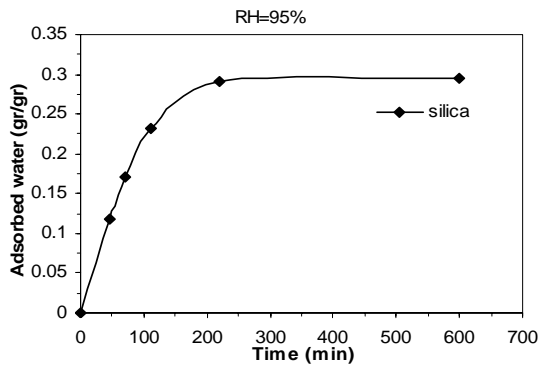
شکل های ۱۰-۱۷ منحنی های شکست یا سرعت جذب سطحی بخار آب توسط سیلیکاژل و اکتیو الومینا را در دمای ۳۲۳ درجه کلون و رطوبت های مختلف را نشان می دهند. در اینجا نیز مشاهده می شود که شدت جذب در طول مراحل اولیه جذب بیشترین مقدار را دارد و سپس زمانی که مقدار آب جذب شده افزایش می یابد، بتدریج کند می شود تا به یک مقدار ثابت برسد، منتها شکست منحنی ها نسبت به دمای ۳۰۳ درجه کلون زودتر شروع می شود. باز هم مثل دمای ۳۰۳ درجه کلون هم برای سیلیکاژل و هم برای اکتیو الومینا در رطوبت های پایین تر شکست منحنی ها در زمان های کمتری اتفاق می افتد ولی با افزایش رطوبت شکست منحنی ها در زمان های بالاتر رخ می دهد.



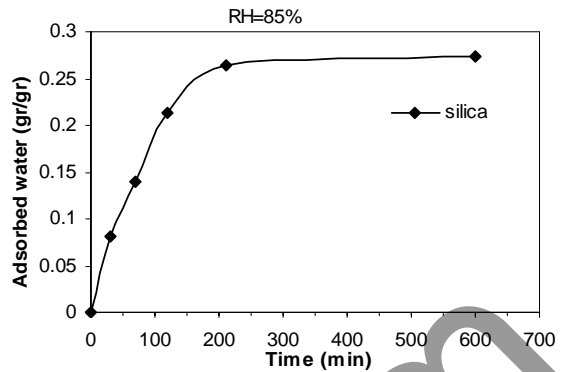
شکل ۱۱- منحنی سرعت جذب سطحی بخار آب توسط سیلیکاژل در دمای ۳۲۳ درجه کلون و رطوبت ۵۰٪.



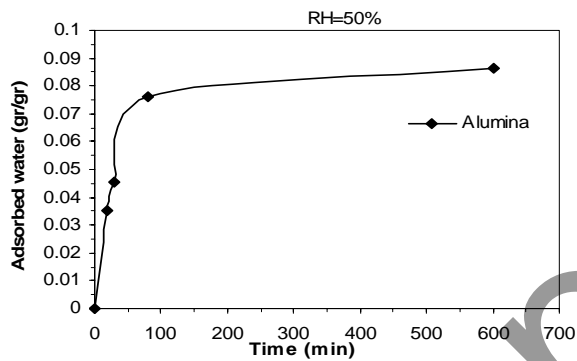
شکل ۱۰- منحنی سرعت جذب سطحی بخار آب توسط سیلیکاژل در دمای ۳۲۳ درجه کلون و رطوبت ۲۵٪.



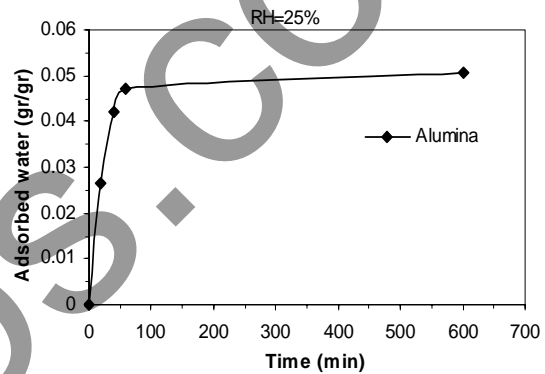
شکل ۱۳- منحنی سرعت جذب سطحی بخار آب توسط سیلیکاژل در دمای ۳۲۳ درجه کلوین و رطوبت ۹۵٪



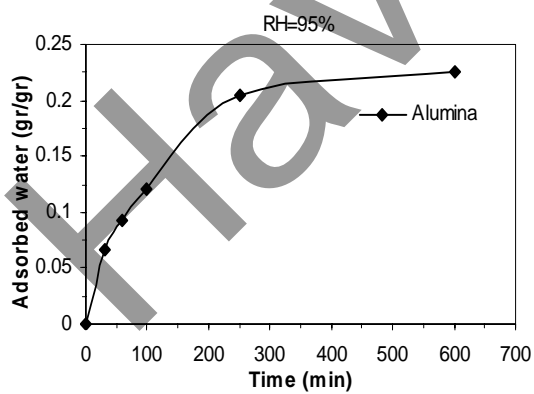
شکل ۱۲- منحنی سرعت جذب سطحی بخار آب توسط سیلیکاژل در دمای ۳۲۳ درجه کلوین و رطوبت ۸۵٪



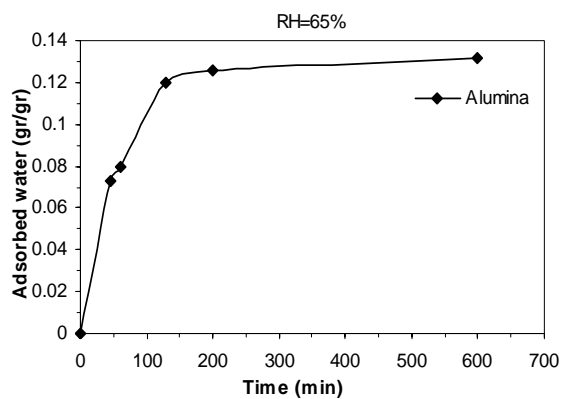
شکل ۱۵- منحنی سرعت جذب سطحی بخار آب توسط اکتیو الومینا در دمای ۳۲۳ درجه کلوین و رطوبت ۵۰٪



شکل ۱۴- منحنی سرعت جذب سطحی بخار آب توسط اکتیو الومینا در دمای ۳۲۳ درجه کلوین و رطوبت ۲۵٪



شکل ۱۷- منحنی سرعت جذب سطحی بخار آب توسط اکتیو الومینا در دمای ۳۲۳ درجه کلوین و رطوبت ۹۵٪



شکل ۱۶- منحنی سرعت جذب سطحی بخار آب توسط اکتیو الومینا در دمای ۳۲۳ درجه کلوین و رطوبت ۶۵٪



انجمن مهندسی
شهری ایران

۳-۲- تعیین ثابت های شدت جذب

سرعت جذب سطحی بخار آب توسط سیلیکاژل و اکتیو آلومینا بوسیله مدل نیروی محرکه خطی (LDF) توصیف می شود. مدل (LDF) بصورت زیر بیان می شود [۱۰، ۱۱].

$$\frac{M_t}{M_e} = 1 - e^{-kt} \quad (1)$$

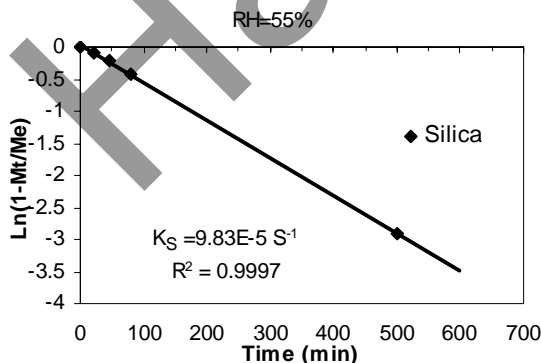
با بازنویسی معادله داریم

$$\ln\left(1 - \frac{M_t}{M_e}\right) = -kt \quad (2)$$

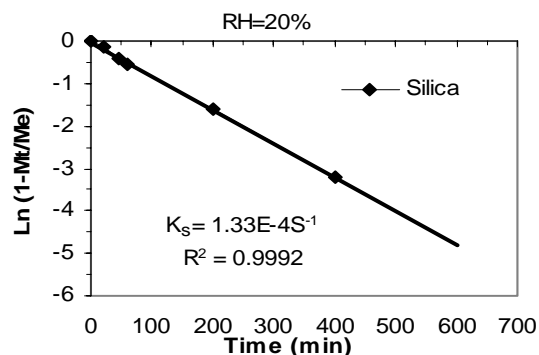
در اینجا M_t وزن بدست آمده در زمان t و M_e وزن تعادلی بدست آمده و k ثابت شدت جذب می باشد. شکل های زیر نشان می دهند که با رسم $\ln\left(1 - \frac{M_t}{M_e}\right)$ در برابر زمان خط راستی بدست می آید که شیب آن برابر با ثابت شدت جذب (k) می باشد. این شکل ها نشان می دهند که مدل (LDF) برای توصیف جذب سطحی بخار آب توسط سیلیکاژل و اکتیو آلومینا مناسب است [۱۲].

۳-۲-۱- تعیین ثابت های شدت جذب در ۳۰۳ درجه کلونین و رطوبت های مختلف

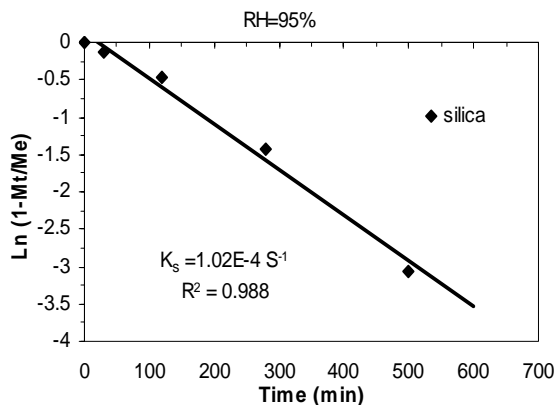
شکل های ۱۸-۲۵ نشان دهنده رابطه خطی بین محور لگاریتمی و محور زمان برای سیلیکاژل و اکتیو آلومینا می باشد. با توجه به شکل ها ملاحظه می شود که با افزایش رطوبت در دمای ۳۰۳ درجه کلونین، عموماً مقدار ثابت سرعت واکنش هم برای سیلیکاژل و هم برای اکتیو آلومینا کاهش می یابد. برای اکثر رطوبت ها نیز ثابت سرعت واکنش اکتیو آلومینا از سیلیکاژل بیشتر می باشد. ضرائب رگراسیون بیانگر سازگاری خوب داده های آزمایشگاهی با مدل بکار رفته می باشد.



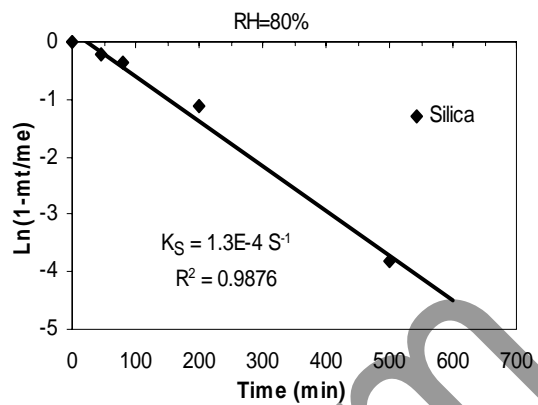
شکل ۱۹- رابطه خطی بین زمان و محور لگاریتمی در دمای ۳۰۳ درجه کلونین و رطوبت ۵۵٪



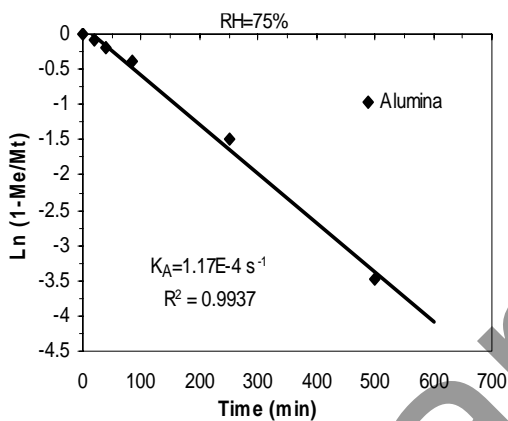
شکل ۱۸- رابطه خطی بین زمان و محور لگاریتمی در دمای ۳۰۳ درجه کلونین و رطوبت ۲۰٪



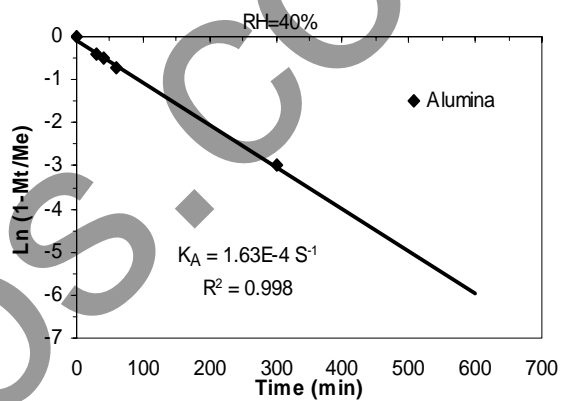
شکل ۲۱- رابطه خطی بین زمان و محور لگاریتمی در دمای ۳۰۳ درجه کلوین و رطوبت ۹۵٪



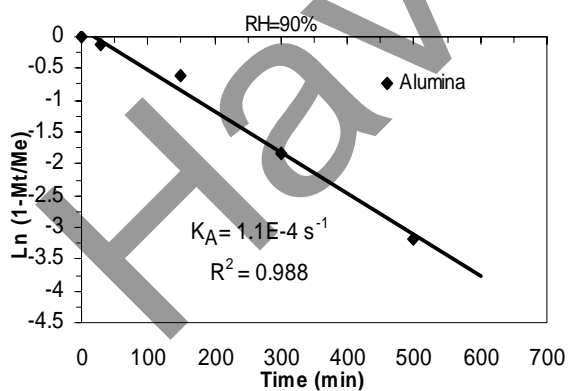
شکل ۲۰- رابطه خطی بین زمان و محور لگاریتمی در دمای ۳۰۳ درجه کلوین و رطوبت ۸۰٪



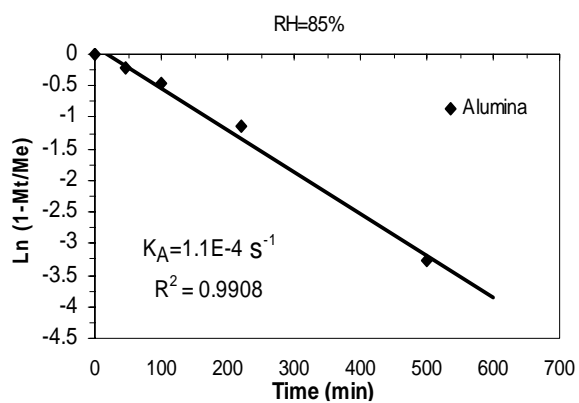
شکل ۲۳- رابطه خطی بین زمان و محور لگاریتمی در دمای ۳۰۳ درجه کلوین و رطوبت ۷۵٪



شکل ۲۲- رابطه خطی بین زمان و محور لگاریتمی در دمای ۳۰۳ درجه کلوین و رطوبت ۴۰٪



شکل ۲۵- رابطه خطی بین زمان و محور لگاریتمی در دمای ۳۰۳ درجه کلوین و رطوبت ۹۰٪

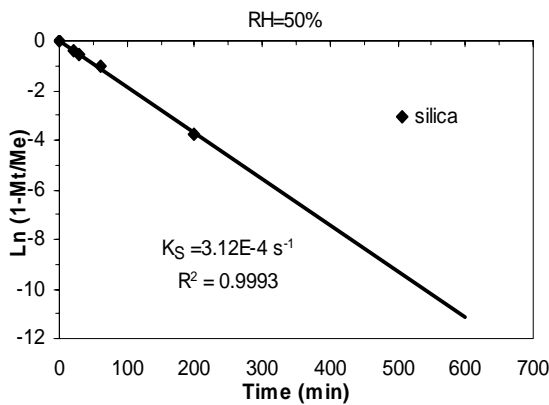


شکل ۲۴- رابطه خطی بین زمان و محور لگاریتمی در دمای ۳۰۳ درجه کلوین و رطوبت ۸۵٪

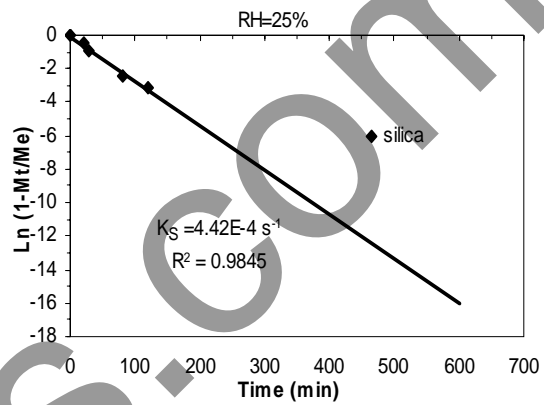


۲-۲-۳- تعیین ثابت های شدت جذب در ۳۲۳ درجه کلون و رطوبت های مختلف

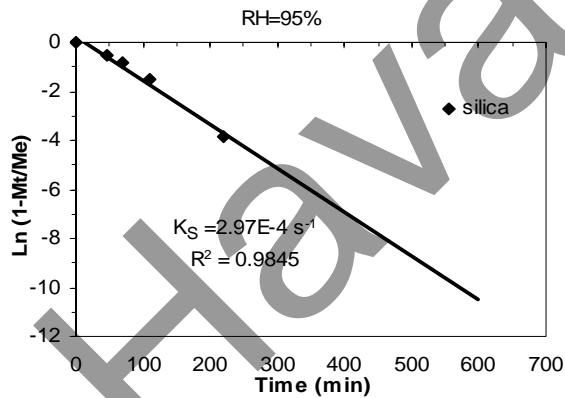
شکل های ۲۶-۳۲ نشان دهنده رابطه خطی بین محور لگاریتمی و محور زمان برای سیلیکاژل و اکتیوآلومینا می باشد. با توجه به شکل ها ملاحظه می شود که با افزایش دما از ۳۰۳ به ۳۲۳ درجه کلون، عموماً مقدار ثابت سرعت واکنش هم برای سیلیکاژل و هم برای اکتیو آلومینا افزایش می یابد. در اینجا نیز برای اکثر رطوبت ها ثابت سرعت واکنش اکتیو آلومینا از سیلیکاژل بیشتر می باشد. و ضرائب رگراسیون بیانگر سازگاری خوب داده های آزمایشگاهی با مدل بکار رفته می باشد.



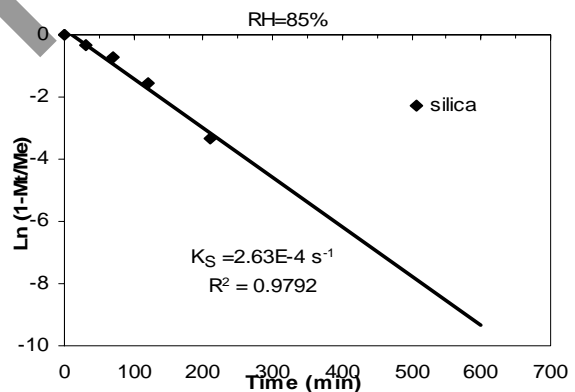
شکل ۲۶- رابطه خطی بین زمان و محور لگاریتمی در دمای ۳۲۳ درجه کلون و رطوبت ۵۰٪



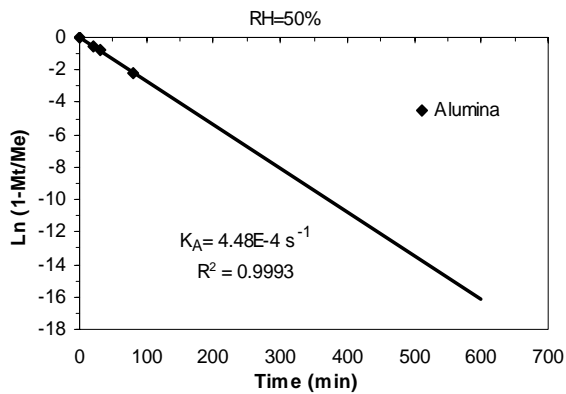
شکل ۲۷- رابطه خطی بین زمان و محور لگاریتمی در دمای ۳۲۳ درجه کلون و رطوبت ۲۵٪



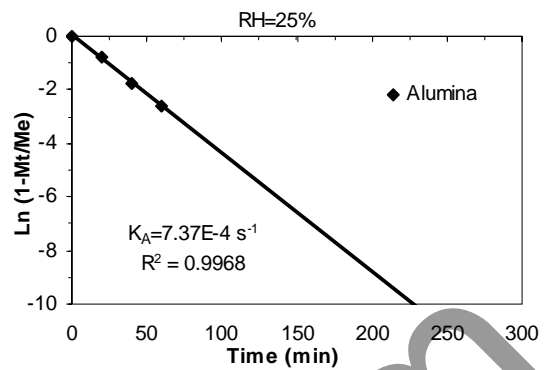
شکل ۲۸- رابطه خطی بین زمان و محور لگاریتمی در دمای ۳۲۳ درجه کلون و رطوبت ۹۵٪



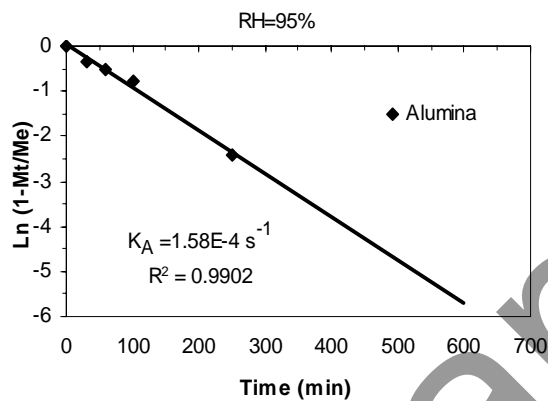
شکل ۲۹- رابطه خطی بین زمان و محور لگاریتمی در دمای ۳۲۳ درجه کلون و رطوبت ۸۵٪



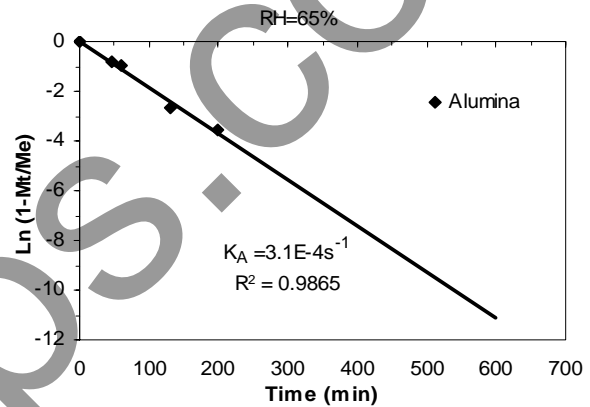
شکل ۳۱- رابطه خطی بین زمان و محور لگاریتمی در دمای ۳۲۳ درجه کلوین و رطوبت ۵۰٪



شکل ۳۰- رابطه خطی بین زمان و محور لگاریتمی در دمای ۳۲۳ درجه کلوین و رطوبت ۲۵٪



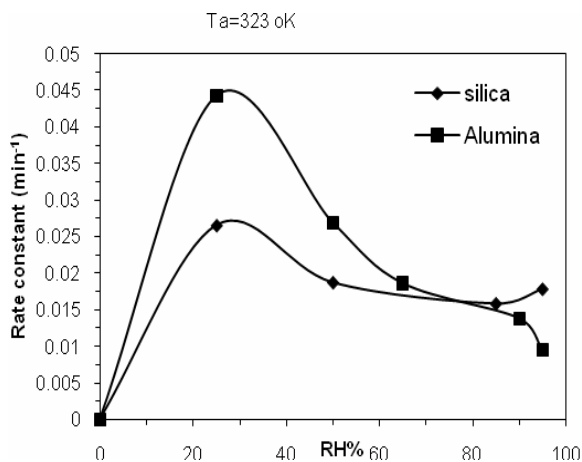
شکل ۳۳- رابطه خطی بین زمان و محور لگاریتمی در دمای ۳۲۳ درجه کلوین و رطوبت ۹۵٪



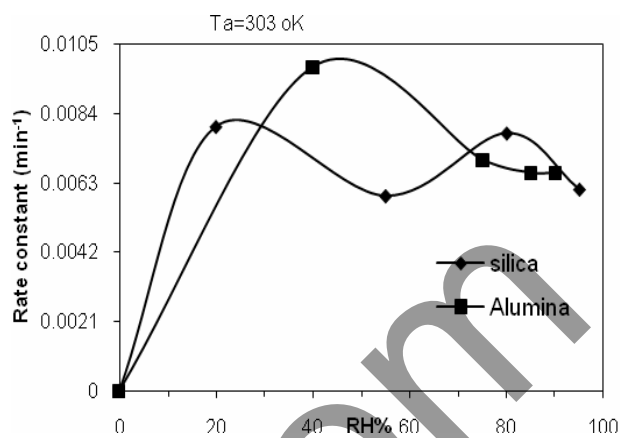
شکل ۳۲- رابطه خطی بین زمان و محور لگاریتمی در دمای ۳۲۳ درجه کلوین و رطوبت ۶۵٪

۴- تأثیر رطوبت نسبی و دما بر روی ثابت های شدت جذب

همچنان که در بخش ۲-۳ گفته شد سرعت جذب سطحی بخار آب توسط سیلیکاژل و اکتیو آلومینا بوسیله مدل نیروی محرکه خطی (LDF) توصیف می شود. با رسم $\ln(1 - \frac{M_t}{M_e})$ در برابر زمان خط راستی بدست می آید که شیب آن برابر با ثابت شدت جذب (k) می باشد و با بدست آوردن ثابت های شدت جذب در دو دمای ۳۰۳ و ۳۲۳ درجه کلوین و در رطوبت های مختلف، منحنی هایی بدست می آید که تأثیر رطوبت و دما را بر روی ثابت شدت جذب نشان می دهد. شکل های ۳۳ و ۳۴ تأثیر رطوبت نسبی را در دو دمای ۳۰۳ و ۳۲۳ درجه کلوین بر روی ثابت شدت جذب بخار آب توسط سیلیکاژل و اکتیو آلومینا را نشان می دهند.



شکل ۲۴- تاثیر رطوبت بر ثابت های شدت جذب سیلیکاژل و اکتیو آلومینا در ۲۲۳ درجه کلوین



شکل ۲۳- تاثیر رطوبت بر ثابت های شدت جذب سیلیکاژل و اکتیو آلومینا در ۲۰۳ درجه کلوین

با توجه به شکل ها ملاحظه می شود که در هر دو دما در رطوبت های نسبی پایین تر، ثابت های شدت جذب سیلیکاژل و اکتیو آلومینا شروع به افزایش می کند و این بدلیل این است که جذب سطحی تک لایه ای غالب بوده و به همین دلیل افزایش یکنواختی در مقدار ثابت شدت جذب (تا زمانی که به یک مقدار ماکزیمم برسد) ملاحظه می شود [۱۲]. در رطوبت های نسبی بالاتر در هر دو دما ثابت های شدت جذب سیلیکاژل و اکتیو آلومینا شروع به کاهش می کند. به نظر می رسد که در این ناحیه جذب سطحی چند لایه ای اتفاق می افتد. در جایی که جذب سطحی چند لایه ای اتفاق می افتد فعل و انفعال بین مولکول های جذب شونده- جذب شونده ضعیف تر از فعل و انفعالات بین مولکول های جذب شونده و سطح جاذب هستند و بنابراین سرعت جذب پایین آمده و ثابت های شدت جذب کاهش پیدا می کنند [۱۲]. از شکل ۳۳ همچنین دیده می شود که ثابت های شدت جذب سیلیکاژل بعد از رسیدن به یک مقدار مینیمم دوباره شروع به افزایش می کند و این به نظر می رسد که به دلیل رشد خوشه باشد که خلل و فرج های سیلیکاژل را بعد از جذب سطحی چند لایه ای پر می کند. از مقایسه دو شکل به راحتی فهمیده می شود که با افزایش دما، عموماً ثابت سرعت واکنش هم برای سیلیکاژل و هم برای اکتیو آلومینا افزایش می یابد.

۵- بحث و نتیجه گیری

نتایج آزمایشات مربوط به تعیین سرعت جذب سطحی نشان می دهند که شدت جذب در طول مراحل اولیه جذب بیشترین مقدار را داشته و سپس زمانی که مقدار آب جذب شده افزایش می یابد، بتدریج کند می شود تا به یک مقدار ثابت برسد. همچنین در رطوبت های پایین تر شکست منحنی در زمان های کمتری اتفاق می افتد در حالی که با افزایش رطوبت شکست منحنی ها در زمان های بالاتر رخ می دهد. با افزایش



دما نیز شکست منحنی ها زودتر اتفاق می افتد. نتایج آزمایشات مربوط به تعیین ثابت های شدت جذب نشان می دهند که ثابت های شدت جذب بدست آمده برای اکتیو آلومینا در هر دو دمای ۳۰۳ و ۳۲۳ درجه کلوین و همچنین در رطوبت های مختلف از نتایج بدست آمده برای سیلیکاژل عموماً بیشتر می باشد. همچنان نتایج نشان می دهند که در هر دو دما در رطوبت های نسبی پایین تر، ثابت های شدت جذب سیلیکاژل و اکتیو آلومینا ابتدا شروع به افزایش می کند و این بدلیل این است که جذب سطحی تک لایه ای غالب بوده و به همین دلیل افزایش یکنواختی در مقدار ثابت شدت جذب (تا زمانی که به یک مقدار ماکزیمم برسد) ملاحظه می شود. ولی در رطوبت های نسبی بالاتر در هر دو دما ثابت های شدت جذب سیلیکاژل و اکتیو آلومینا شروع به کاهش می کنند. به نظر می رسد که در این ناحیه جذب سطحی چند لایه ای اتفاق می افتد. چون که در جایی که جذب سطحی چند لایه ای اتفاق می افتد فعل و انفعال بین مولکول های جذب شونده- جذب شونده ضعیف تر از فعل و انفعالات بین مولکول های جذب شونده و سطح جاذب هستند و بنابراین سرعت جذب پایین آمده و ثابت های شدت جذب کاهش پیدا می کنند. در دمای ۳۰۳ درجه کلوین ثابت شدت جذب سیلیکاژل بعد از رسیدن به یک مقدار مینیمم دوباره شروع به افزایش می کند و این به نظر می رسد که به دلیل رشد خوشه باشد که خلل و فرج های سیلیکاژل را بعد از جذب سطحی چند لایه ای پر می کند.

Havaps.com

- [1] A. Karimi and M. A. Abdi, " Selective Removal of Water From Supercritical Natural Gas", SPE J. (2006).
- [2] Kuei-Sen Chang, Hui-Chun Wang, Tsair-Wang Chung, Effect of regeneration conditions on the adsorption dehumidification process in packed silica gel beds, Appl. Therm. Eng. 24 (5–6) (2004) 735–742.
- [3] Kent S. Knaebel, " Adsorbent Selection ", Adsorption Research Inc. Dublin, Ohio.
- [4] Ayranci, E., Conway, B.E., 2001c. Removal of phenol, phenoxide and chlorophenols from waste-waters by adsorption and electrosorption at high-area carbon felt electrodes. J. Electroanal. Chem. 513, 100–110.
- [5] Conway, B.E., Ayranci, E., Al-Maznai, H., 2001. Use of quasi-3-dimensional porous electrodes for adsorption and electrocatalytic removal of impurities from waste-waters. Electrochim. Acta 47, 705–718.
- [6] Niu, J., Conway, B.E., 2002a. Development of techniques for purification of waste waters: removal of pyridine from aqueous solution by adsorption at high area C-cloth electrodes using in situ optical spectrometry. J. Electroanal. Chem. 521, 16–28.
- [7] Niu, J., Conway, B.E., 2002b. Adsorptive and electrosorptive removal of aniline and bipyridyls from waste-waters. J. Electroanal. Chem. 536, 83–92.
- [8] Ayranci, E., Hoda, N., 2004a. Studies on removal of metribuzin, bromacil, 2,4-D and atrazine from water by adsorption on high area carbon cloth. J. Hazard. Mater. B 112, 163–168.
- [9] Ayranci, E., Hoda, N., 2004b. Adsorption of bentazon and propanil from aqueous solutions at the high area activated carbon-cloth. Chemosphere 57, 755–762.
- [10] L. Cossarutto, T. Zimny, J. Kaczmarczyk, Transport and sorption of water vapour in activated carbons, Carbon 39 (15) (2001) 2339–2346.
- [11] LI Zhong, R.T. Yang, Concentration Profile for Linear Driving Force Model for Diffusion in a Particle, AIChE J. (1) 45 (1999) 196–200.
- [12] Xin Li, Zhong Li, Qibin Xia, Ho ngxia Xi, "Effect of pore sizes of porous silica gels on desorption activation energy of water vapour". Applied Thermal Engineering 27 (2007) 869-876.