بررسي مدل سرد بستر سيال با چرخش داخلي ذرات، به جهت كاربرد در راكتور دو ناحيه اي

عليرضا طالبي زاده رفسنجاني[۱]، عباسعلي خدادادي[۲] و يدالله مرتضوي*[۳]

[۱]مربي دانشكده مهندسي شيمي - پرديس دانشكده هاي فني - دانشگاه تهران

[۲]دانشيار دانشكده مهندسي شيمي - پرديس دانشكده هاي فني - دانشگاه تهران

(تاريخ دريافت ۸۷/۷/۲ , تاريخ تصويب ۸۸/۲/۲۹)

چكيده

در اين تحقيق، مدل سرد بستر سيال با چرخش داخلي ذرات، جهت كاربرد در راكتور دو ناحيه اي بررسي شد. آزمايش ها در يك ستون پيركس با قطر داخلي ۳۰ ميلي متر و ارتفاع ۲۵ سانتي متر با لوله هاي مياني به ارتفاع ۵ و ۷ سانتي متر و قطر داخلي ۱۱ ميلي متر انجام شد. در اين بستر، از ذرات سفيد رنگ سيليكاژل با مشخصات معلوم استفاده شد. هوا به طور مجزا و قابل كنترل به لوله مياني و ناحيه حلقوي وارد شد. همچنين، جهت بررسي تداخل جريان گازها از رديابِ اتيلن در هواي ورودي به لوله مياني استفاده شد. نتايج به دست آمده نشان داد كه افزايش سرعت ورودي به لوله مياني و افزايش سرعت ورودي به ناحيه حلقوي، موجب افزايش ميزان چرخش ذرات مي شود؛ هرچند كه تاثير دومي، چشمگيرتر است. كاهش ارتفاع لوله مياني و افزايش ارتفاع بستر و افزايش فاصله لوله مياني از كف بستر، موجب افزايش ميزان چرخش ذرات مي شود.

واژه هاي كليدي: بستر سيال با چرخش داخلي، ميزان چرخش ذرات، راكتور بستر سيال دو ناحيه اي، لوله مياني، ناحيه حلقوي، زوج شدن اكسايشي متان، رديابِ

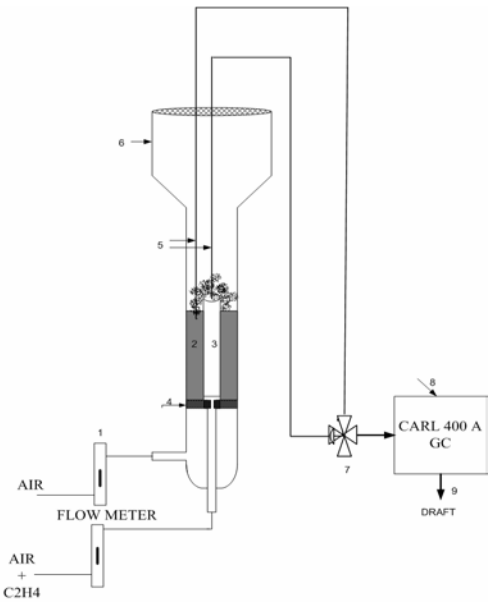
مقدمه

واكنش زوج شدن اكسايشي متان، يک فرآيند ناهمگن كاتاليستي است كه در آن متان به هيدروكربن هاي بالاتر تبديل مي شود. در اين فرآيند، افزايش ميزان تبديل متان به اتان و اتيلن در مقايسه با منو و دي اكسيد كربن، از اهميت ويژه اي برخوردار است. از آنجا كه اين فرآيند، گرمازا است، كنترل دما در راكتور بستر ثابت مشكل است و افزايش دماي منطقه اي، در اين نوع راكتور، حتي در مقياس بسيار كوچک، حاصل مي شود [۱] و احتمال ايجاد نقاط داغ در راكتور بستر ثابت، وجود دارد كه خود، موجب افت انتخاب گري محصولات هيدروكربني مي شود. به منظور كنترل دما و ايجاد دماي يكنواخت و اجتناب از نقاط داغ در راكتور بستر ثابت، استفاده از راكتور بستر سيال در فرآيند زوج شدن اكسايشي متان، به دليل انتقال حرارت بالا، مناسب تر است [۲]. هرچند، در اين نوع راكتور نيز، به دليل افزايش واكنش هاي فاز گاز نسبت به واكنشهاي كاتاليستي، احتمال كاهش انتخاب گري وجود دارد.

از طرف ديگر، با توجه به اين كه اكسيژن شبكه كاتاليست در مقايسه با اكسيژن فاز گاز، انتخاب گري بيشتري نسبت به محصولات هيدروكربني دارد [۳]، در صورت استفاده از كاتاليست اكسايشي احيايي، در يک راكتور بستر ثابت با عمليات تناوبي و يا در يک راكتور بستر سيال دو ناحيه اي، از تماس همزمان اكسيژن و متان با كاتاليست اجتناب شده و انتظار مي رود انتخاب گري C_2 در فرآيند زوج شدن اكسايشي متان افزايش يابد. به طوري كه در يک ناحيه (يا در مدت زمان معين) واكنش كاتاليستي زوج شدن اكسايشي متان با استفاده از اكسيژن كاتاليست انجام پذيرفته و كاتاليست احيا مي شود و سپس در ناحيه ديگر (يا در مدت زمان ديگر) كاتاليست احيا شده، در معرض اكسيژن قرار گرفته و به حالت اكسيدي برمي گردد و اين روند، در يک چرخه تكرار مي شود. بنابراين، به منظور افزايش انتخاب گري C_2، در واكنش زوج شدن اكسايشي متان، استفاده از كاتاليست اكسايشي احيايي در راكتور بستر سيال دو ناحيه اي، مد نظر قرار گرفت. بر همين اساس، آزمايش-هاي فرآيند زوج شدن اكسايشي متان بر روي كاتاليست $Mn/Na_2WO_4/SiO2$، انجام و مشخص شد كه اين كاتاليست، تا حدودي خاصيت اكسايشي احيايي دارد

* نويسنده مسئول : تلفن : ۶۶۹۶۷۷۹۳ , فاكس : ۶۶۹۵۷۷۸۴ ، Email: mortazav@ut.ac.ir

[۴]. علاوه بر اين، استفاده از راكتور بستر سيال با چرخش داخلي ذرات به عنوان راكتور دو ناحيه اي كه ذرات كاتاليست، بين دو ناحيه لوله مياني و ناحيه حلقوي جابه جا شوند و گازهاي متان و اكسيژن به طور مجزا به دو ناحيه وارد مي شوند، پيشنهاد مي گردد.



شكل ۱ : تصوير سيستم بستر سيال با چرخش داخلي.
۱- دبي سنج ۲- ناحيه حلقوي۳- لوله مياني ۴- توزيع كننده ناحيه حلقوي۵- نمونه گير گازي ۶- ناحيه انبساطي ۷- شير سه طرفه ۸- دستگاه گاز كروماتوگراف ۹- به طرف خلا.

محققين، نمونه هايي از سيستم هاي بستر سيال با چرخش داخلي ذرات جامد با لوله مياني را مورد مطالعه قرار داده و در برخي موارد واكنشهاي گاز جامد را در اين نوع راكتورها به عنوان راكتور دو ناحيه اي انجام داده اند [۸-۵]. به عنوان نمونه، در راكتور بستر سيال با چرخش داخلي ذرات كه در فرآيند توليد گاز از ذغال سنگ به كار گرفته شده، ذرات ذغال، بين دو ناحيه در چرخش بوده و هوا براي احتراق به لوله مياني و بخار آب را براي توليد گاز از ذغال سنگ به ناحيه ي حلقوي و يا برعكس، وارد نموده اند [۵ و ۹]. در شكل(۱)، تصويري شماتيک از سيستم بستر سيال با چرخش داخلي، نشان داده شده است. در صورت ايجاد سرعت گاز ۱۵- ۷ برابر حداقل سرعت سياليت (U_{mf}) در ورودي لوله مياني و ۱/۵– ۰/۷ برابر حداقل سرعت سياليت در ورودي ناحيه ي حلقوي، امكان گردش ذرات بين دو ناحيه فراهم مي شود، به صورتي كه ذرات، در لوله مياني بالا رفته و در ناحيه حلقوي پايين مي آيند [۱۰]. با توجه به اين كه امكان تنظيم سرعت گاز ورودي به دو ناحيه لوله مياني و ناحيه حلقوي به طور جداگانه ميسر است، بنابراين، امكان كنترل چرخش ذرات، بين دو ناحيه وجود دارد. در اين سيستم، مشاهده شده است كه همراه بري ذرات، از راكتور بستر سيال، با گذاشتن لوله مياني به مقدار زيادي كاهش يافته است [۱۲-۱۱].

همچنين، چرخش ذرات داخل راكتور بين لوله مياني و ناحيه حلقوي، موجب انتقال حرارت ميان دو ناحيه شده است. كاهش همراه بري و انتقال حرارت مناسب، از مزيتهاي بستر سيال با چرخش داخلي ذرات به حساب مي آيد. رژيم جريان در لوله مياني، حبابي و يا لخته اي بوده و در ناحيه حلقوي در محدوده حداقل سرعت سياليت است [۱۳].

در تحقيق حاضر، مدل سرد بستر سيال با چرخش داخلي ذرات جامد و تاثير پارامترهاي عملياتي، شامل سرعت ورودي به لوله مياني، سرعت ورودي به ناحيه حلقوي، ارتفاع لوله مياني، ارتفاع بستر، فاصله لوله مياني از كف بستر بر ميزان چرخش ذرات جامد (W_s)، بررسي شد. هم چنين تاثير سرعت ورودي به لوله مياني و به ناحيه حلقوي بر نفوذ و تداخل جريان گازهاي دو ناحيه نيز، ارزيابي شد. هر چند، در اين زمينه تجربياتي در مقياس بزرگتر به منظور كاربرد اين نوع راكتور در فرآيند توليد گاز از ذغال سنگ انجام گرفته است، با اين حال، در تحقيق حاضر، آزمايش ها در بستر سيال در اندازه اي كوچكتر از اندازه متداول بسترهاي سيال انجام شده است كه نتايج آن، جهت بررسي واكنش زوج شدن اكسايشي متان در اين مقياس، مورد نياز است..

بخش تجربي

آزمايش هاي مدل سرد بستر سيال با چرخش داخلي، در يك ستون از جنس پيركس با قطر داخلي ۳۰ ميليمتر و ارتفاع ۲۵ سانتي متر و لوله هاي مياني به ارتفاع ۵ و ۷ سانتي متر و قطر ۱۱ ميلي متر انجام شد (شكل (۱)). ناحيه انبساطي بالاي بستر، براي جلوگيري از همراه بري ذرات به قطر ۶ سانتي متر و ارتفاع ۶ سانتي متر و فاصله لبه پاييني لوله مياني و كف بستر با كمك گيره نگهدارنده به اندازه ۳- ۱/۵ ميلي متر،تنظيم شد. در بستر، از ذرات سفيد رنگ متخلخل سيليكاژل با

مشخصـــــــات ρ_s = ۰/۹۵ g/cm^3 ، d_p=۱۵۰-۲۵۰ μm، ε_{mf} =۰/۶ استفاده شد که حداقل سـرعت سـیالیت ذرات U_{mf}=۱/۶ cm/s محاسبه شد [۲].

جریان هواي مورد نیاز، توسـط کمپرسـور تـامین شده و پس از تنظیم فشار و عبور از میان فیلتـر، بـه طـور مجزا از طریق دو دبـي سـنج بـه لولـه میـاني و ناحیـه حلقوي وارد شدند. جریان لوله مياني، از طریـق روزنـه اي به قطر۱ میلي متر به داخل لوله میـاني و جریـان ناحیـه حلقوي، از طریق توزیع کننده متخلل شیشه اي مسطح با اندازه روزنـه ۱۶μm- ۱۰، بـه ناحیـه حلقـوي وارد شـدند. محدوده تغییرات سرعت ورودي گاز در لوله مياني ۱۷- ۹ برابر حداقل سرعت سـیالیت و سـرعت ورودي بـه ناحیـه حلقوي ۱/۳- ۰/۴ برابر آن انتخاب شد که در این محدوده، تغییرات میزان چرخش ذرات جامد بین دو ناحیـه، قابـل بررسي بود. ارتفاع استاتیک یا ارتفاع ذرات جامد در ناحیه حلقوي ۷۰ - ۵۵ میلي متر بوده است.

به منظور اندازه گیري میزان چرخش ذرات جامد، زمان پایین آمدن ذرات سیاه رنگ (ردیاب جامد) موجـود در ذرات سفید رنـگ در فاصـله دو سـانتیمتري در ناحیـه حلقوي، اندازه گیري شـد؛ و از آنجـا کـه سـرعت حرکـت ذرات، کند و پایین آمدن ذرات در این ناحیـه بـه صـورت یکنواخت بوده، مي توان سرعت خطي را با تقسیم فاصله بر زمان به دست آورد (V_a =L/t) و براي محاسبه میزان چرخش ذرات جامد از رابطه زیر استفاده نمود:

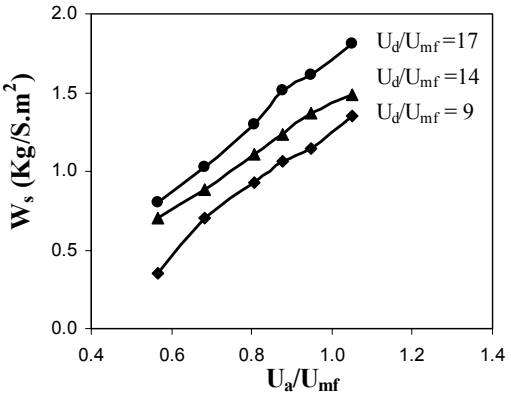
$$W_s = \rho_s V_a (1- \varepsilon_{mf}) \qquad (۱)$$

از آنجا که سرعت ورودي به ناحیه حلقوي در محدوده حداقل سرعت سیالیت انتخاب شده و با تغییر دبي گاز، حباب در ناحیه حلقوي تشکیل نمي شود و ارتفاع بستر در ناحیه حلقوي تغییر قابل توجهي نمي نماید، بنابراین در رابطه فوق، نسبت فضاي خالي در این ناحیه را ثابت فرض کرده و با نسبت فضاي خالي در حداقل سرعت سیالیت، برابر در نظر گرفته شد.

از طرف دیگر، به منظـور بررسـي نفـوذ و تـداخل جریان گازهاي دو ناحیه، آزمایش ردیاب گازي انجام شـد. بدین صورت کـه گـاز ورودي بـه ناحیـه حلقـوي، هـواي خالص و گاز ورودي به لوله میـاني، شـامل مخلـوط هـوا و ردیاب اتیلن به میزان۳ یا ۵ درصد بوده و سـپس غلظـت ردیاب گازي، در یـک سـانتي متـري پـایین تـر از دهانـه خروجي لوله مياني و یک سانتي متري پایین تر از ارتفـاع ذرات در ناحیه حلقوي، توسط نمونه گیـر گـازي و مکـش گـاز از خروجـي دسـتگاه گـاز کروماتوگراف مـدل Carl 400 A ، نمونه گیـري و انـدازه گیـري شـد. میـزان مکش گاز جهت نمونه گیري در حدود ۶ - ۴ سانتي متـر مکعب بر دقیقه بود که با توجـه بـه میـزان دبـي گازهـاي ورودي از تاثیر این مکش بـر هیـدرودینامیک صـرف نظـر شده است. میزان مکـش بـا عبـور جریـان خروجـي گـاز کروماتوگراف از داخل آب و بـا توجـه بـه حجـم و تعـداد حباب هاي ایجـاد شـده، قابـل مشـاهده و تنظـیم بـود. مکش، توسط پمپ خلا تامین گردید.

نتایج وبحث

شکل (۲) اثر سرعت سـیال در ورودي بـه ناحیـه حلقوي بر میزان چرخش ذرات جامد را نشان مـي دهـد. U_a/U_{mf} در محدوده ۰/۷ تا ۱/۳ تغییر داده شده است.

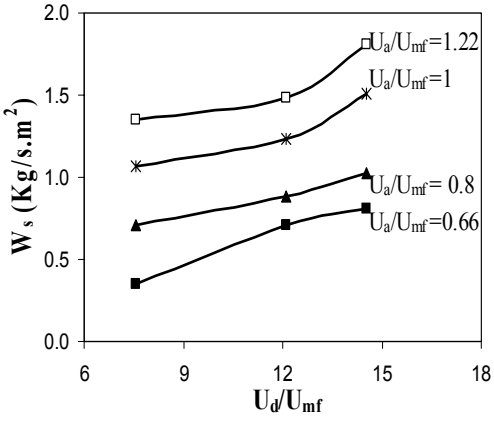


شکل ۲ : اثر سرعت سیال ورود به ناحیه حلقوي U_a بر میزان چرخش ذرات جامد، ارتفاع بستر ۲۵cm، ارتفاع لوله میانيcm۷، ارتفاع استاتیک ۵/۷ cm، فاصله لوله مياني از کف ۱/۵ mm.

به دلیل اختلاف سرعت دو ناحیه لوله میـاني و ناحیـه حلقوي، اختلاف فشاري میان پایین لولـه میـاني و پـایین ناحیه حلقوي ایجاد و موجب کشیده شدن ذرات بـه لولـه میاني شده و در اثر جریان گاز در لولـه میـاني، ذرات بـه بالاي لوله منتقل شده و از بالا به ناحیه حلقوي ریختـه و در نتیجه چرخش ذرات جامد را موجب مي شـود. همـان گونه که مشاهده مي شـود بـا افـزایش سـرعت سـیال در ورودي به ناحیه حلقوي U_a، افزایش میزان چرخش ذرات جامد W_s حاصل مـي شـود. هـوادهي بیشـتر بـه ناحیـه حلقوي باعث تحرک بیشتر و افزایش سرعت خطي پـایین آمدن ذرات در ناحیه حلقوي مي شود و در نتیجه، میـزان چرخش ذرات جامد، افزایش مي یابد. این نتایج با کارهاي

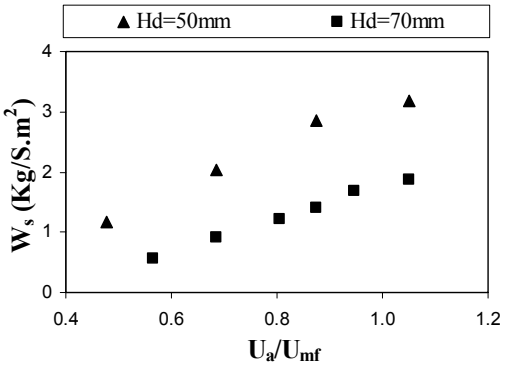
Song و همكارانش [۱۰] قابل مقايسه است و آن گونه كه در شكل، ديده مي شود ميزان چرخش ذرات جامد در سرعت هوادهي ناحيه حلقوي در محدوده ۰/۵ - ۰/۴ = U_d/U_{mf} به صفر نزديک مي شود و در مقادير كمتر، در بستر، تحرک و چرخشي مشاهده نمي شود.

در شكل (۳) تاثير سرعت گاز ورودي به لوله ميانی U_d بر روي W_s ارايه شده است. U_d/U_{mf} در محدوده ۷ تا ۱۵ تغيير داده شد. با افزايش سرعت گاز ورودي به لوله ميانی كه منجر به افزايش سرعت ذرات رو به بالا در لوله ميانی شد، ميزان چرخش ذرات جامد افزايش يافت و ذرات، با سرعت بيشتري به ناحيه حلقوي، سر ريز شدند. همچنين، اختلاف فشار ناشي از اختلاف سرعت بين دو ناحيه لوله ميانی و ناحيه حلقوي افزايش مي يابد و موجب افزايش كشيده شدن ذرات از پايين ناحيه حلقوي به ناحيه ميانی مي شود. با مقايسه شكل هاي (۲) و (۳) مي توان دريافت كه تاثير U_a نسبت به U_d بر ميزان چرخش ذرات، جامد به مراتب بيشتر است؛ زيرا با افزايش تحرک ذرات در ناحيه حلقوي، ذرات راحت تر جريان يافته و جا به جا مي شوند. لازم به ذكر است در محدوده سرعت هاي مورد مطالعه در ناحيه حلقوي، حباب تشكيل نمي شود. در صورت تشكيل حباب و صعود آنها به سمت بالا در ناحيه حلقوي و در جهت عكس حركت ذرات، امكان بالا بردن بخشي از ذرات به همراه حباب ها وجود دارد و بر روي ميزان چرخش ذرات جامد، تاثير دارد كه با توجه به فرضيات اشاره شده در اين تحقيق، قابل محاسبه نبوده است.



شكل ۳ : اثر سرعت سيال ورودي به لوله ميانی U_d بر ميزان چرخش ذرات جامد، ارتفاع بستر ۲۵cm، ارتفاع لوله ميانی ۷cm، ارتفاع استاتيك ۵/۷cm، فاصله لوله ميانی از كف ۱/۵mm.

اثر افزايش ارتفاع لوله ميانی بر ميزان چرخش ذرات جامد در سرعت هاي مختلف U_a در شكل (۴) نشان داده شده است. نتايج در دو ارتفاع ۵۰ و۷۰ ميلي متر انداره گيري شده اند. در شكل، ديده مي شود كه با افزايش ارتفاع، ذرات كمتري از لوله ميانی به ناحيه حلقوي ريزش كرده و ميزان چرخش ذرات جامد، كاهش مي يابد. جهت ايجاد ميزان چرخش ذرات يكسان در دو ارتفاع، مي توان سرعت ورودي به ناحيه حلقوي و يا سرعت ورودي به لوله ميانی در ارتفاع بيشتر را افزايش داد؛ هر چند كه اولي موثرتر است. همان گونه كه در شكل، ديده مي شود شدت تغيير ميزان چرخش ذرات جامد بر حسب افزايش سرعت ورودي به ناحيه حلقوي، براي دو ارتفاع مختلف، مشابه بوده و دو خط، تقريبا داراي شيب مشابه هستند.

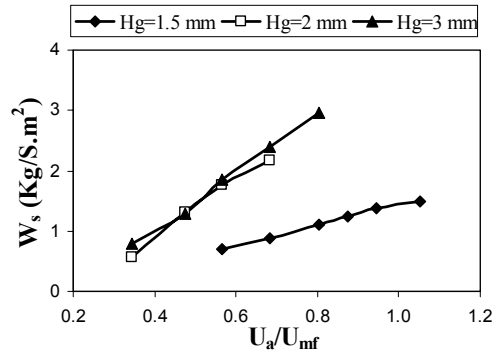


شكل ۴ : تاثير ارتفاع لوله ميانی بر ميزان چرخش ذرات جامد، ارتفاع بستر ۲۵cm، ارتفاع استاتيك ۴/۷cm، فاصله لوله ميانی از كف ۱/۵ mm ، ۱۴ = U_d/U_{mf}.

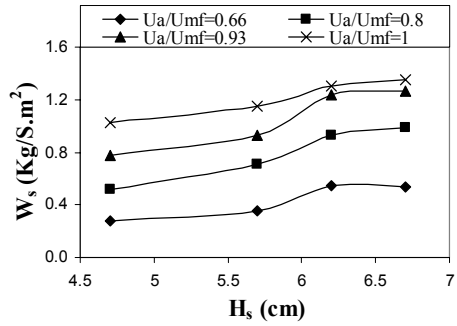
در شكل (۵) اثر افزايش فاصله لوله ميانی از كف بستر سيال بر روي ميزان چرخش ذرات جامد نشان داده شده است. با افزايش فاصله لوله ميانی از كف بستر، مجراي عبور ذرات، افزايش و مقاومت در مقابل حركت ذرات از ناحيه حلقوي به لوله ميانی كاهش يافته و ميزان چرخش ذرات جامد افزايش مي يابد. با توجه به شيب منحني ها مي توان دريافت كه در سرعت بالاتر ورودي به ناحيه حلقوي، اين تاثير بيشتر است. با اين حال، مقاومت در مقابل حركت ذرات، در فواصل ۲ و ۳ ميلي متري پايين لوله ميانی و كف بستر، تغيير نمي نمايد و در ميزان چرخش ذرات جامد تفاوتي ديده نمي شود.

همان گونه كه در شكل (۶) ديده مي شود با افزايش ارتفاع ذرات جامد (وزن ذرات) و يا به عبارت

ديگر، ارتفـاع اسـتاتيك بسـتر در ناحيـه حلقـوي، ميـزان چرخش ذرات جامد به ملايمت و با شـيب يكسـاني بـراي همه سرعت هاي ورودي به ناحيه حلقوي افزايش يافتـه و در نزديكي ارتفاع لوله مياني، تقريبا ثابـت شـده اسـت. بـا بررسي شكل هاي (۴) تا (۶) مي تـوان دريافـت كـه ايـن پارامتر، تاثير كمتري نسبت به دو پارامتر قبلي بـر ميـزان چرخش ذرات، دارد.

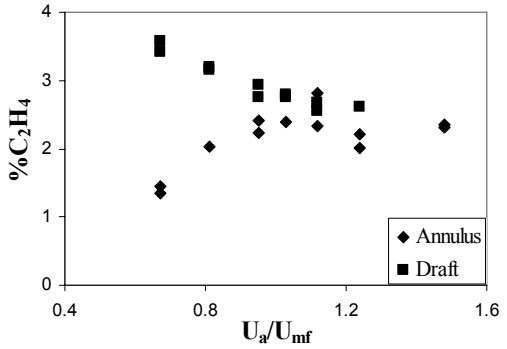


شكل ۵ : تاثير فاصله لوله مياني از كف بستر بر ميزان چرخش ذرات جامد، ارتفاع بسترcm**۲۵، ارتفاع لوله مياني**cm**۷، ارتفاع اسنانيك** cm**۵/۷، ۱۴ =** U_d/U_{mf}.



شكل ۶ : تاثير ارتفاع اسنانيك بر ميزان چرخش ذرات جامد، ارتفاع بستر cm**۲۵، ارتفاع لوله مياني** cm**۷، فاصله لوله مياني از كف بستر** mm **۱/۵، ۹ =** U_d/U_{mf}.

به منظور بررسي تـداخل جريـان هـاي گـازي دو ناحيه، نتايج آزمايش هاي رديابي در زير ارايه شـده اسـت. در شكل (۷) تاثير سرعت گاز ورودي به ناحيه حلقوي بـر روي غلظت رديابي گازي در بـالاي ناحيـه حلقـوي و لولـه مياني نشان داده شده است. از آنجـا كـه سـرعت در لولـه مياني، بسيار بيشتر از ناحيه حلقوي بوده و در نتيجـه آن، فشار در پايين لوله مياني، كمتـر از ناحيـه حلقـوي اسـت، بخشي از گاز ورودي به ناحيه حلقـوي (هـواي خـالص) از پايين به لوله مياني وارد شـده و موجـب كـاهش غلظـت رديابي در لوله مياني شده است. به علاوه، با افزايش سرعت ورودي به ناحيه حلقـوي، كـاهش غلظـت در لولـه ميـاني تشديد مي شـود. از طـرف ديگـر، مشـاهده مـي شـود بـا افزايش سرعت ورودي به ناحيه حلقوي، غلظت رديابي در بالاي ناحيه حلقوي افزايش يافته است.



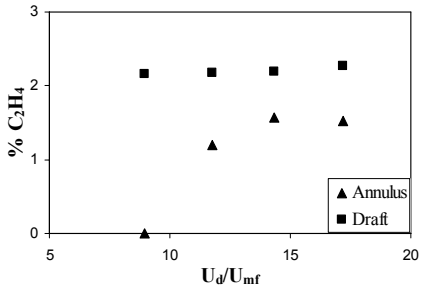
شكل ۷ : تاثير سرعت گاز ورودي به ناحيه حلقوي بر غلظت گاز رديابي در بالاي لوله مياني و ناحيه حلقوي، ارتفاع بستر cm**۲۵، ارتفاع لوله مياني** cm**۷، فاصله لوله مياني از كف بستر** mm**۱/۵، ۹=** U_d/U_{mf} **، غلظت رديابي در ورودي لوله مياني ۵% حجمي.**

جدول۱: تغييرات غلظت رديابي در طول ناحيه حلقوي (غلظت رديابي ورود به لوله مياني ۳%، ۰/۸ = U_a/U_{mf}**، ۹=** U_d/U_{mf} **).**

غلظت رديابي %	فاصله از بالاي بستر در ناحيه حلقويcm
۱/۳	۰/۵
۱/۲	۱/۵
۰/۳۱	۲/۵
۰/۲۱	۳/۵
۰	۴/۵
۰	۵/۵

به منظور درک بهتر عملكرد سيسـتم و بررسـي تداخل جريان گازها در بستر، آزمايش ديگري انجام شـد و نمونه گيري از گاز، در طـول ناحيـه لولـه ميـاني و ناحيـه حلقوي در شرايط مشخص انجام شد. در طول لوله ميـاني، تغيير غلظت رديابي مشاهده نشد؛ در صورتي كه در ناحيه حلقوي، غلظت رديابي از بالا به پايين كاهش مي يابـد كـه نتايج در جدول (۱)، ارائه شده است. بنابر ايـن، مـي تـوان دريافت كه بخشي از گاز خروجي از بالاي لوله ميـاني، در ناحيه بالاي آن، پخش شده و از بالاي ناحيه حلقـوي بـه داخل اين ناحيه، نفوذ مي نمايد و موجب مي شود كـه در بالاي ناحيه حلقوي و حتي در طول اين ناحيـه مشـاهده شود كه از بالا به پايين، غلظت، كاهش يافته اسـت. علـت

افزايش غلظت رديابر در بالاي ناحيه حلقوي با افزايش سرعت ورودي هوا به اين ناحيه، سبب تحرک بيشتر ذرات و افزايش امکان نفوذ گاز خروجي از بالاي لوله ميانی به بالاي ناحيه حلقوي است که در شکل (۷) مشاهده مي شود. اثر سرعت گاز ورودي به لوله ميانی بر روي غلظت رديابر در بالاي لوله ميانی و ناحيه حلقوي در شکل (۸)، نشان داده شده است. همان گونه که ديده مي شود، با افزايش U_d غلظت گاز در بالاي لوله ميانی تقريبا ثابت است، زيرا با افزايش سرعت گاز در لوله ميانی، ورود گاز از پايين ناحيه حلقوي به ناحيه ميانی نيز افزايش مي يابد؛ ولي در کل، غلظت رديابر در اين ناحيه تغييير چنداني نکرده است. از طرف ديگر، افزايش سرعت در لوله ميانی، باعث تجمع بيشتر گاز در ناحيه بالايي سيستم و نفوذ بيشتر به ناحيه حلقوي از بالا شده است که غلظت رديابر، افزايش يافته است.



شکل ۸ : تاثير سرعت گاز ورودي به لوله ميانی بر غلظت گاز رديابر در بالاي لوله ميانی و ناحيه حلقوي، ارتفاع بستر ۲۵cm، ارتفاع لوله ميانی۷cm، فاصله لوله ميانی از کف بستر ۱/۵mm، U_d/U_{mf}=۰/۸ ، غلظت رديابر در ورودي لوله ميانی ۳% حجمي.

نتيجه گيري

در اين تحقيق، مدل سرد بستر سيال با چرخش داخلي ذرات، بررسي شد. به گونه اي که ذرات به دليل سرعت بالاي گاز، در لوله ميانی بالا رفته و از بالاي لوله ميانی به ناحيه حلقوي مي ريزند و به آرامي پايين مي آيند و همچنين، به دليل اختلاف فشار ايجاد شده در پايين لوله ميانی و ناحيه حلقوي در اثر اختلاف سرعت، ذرات از پايين ناحيه حلقوي به لوله ميانی کشيده مي شوند و در نتيجه، چرخش ذرات به وقوع مي پيوندد. افزايش سرعت ورودي به لوله ميانی، موجب افزايش حمل ذرات در اين لوله شده و افزايش سرعت ورودي به ناحيه حلقوي، موجب تحرک بيشتر ذرات جامد در اين ناحيه شده و باعث افزايش ميزان چرخش ذرات جامد مي شود، هر چند که تاثير دومي بيشتر است. کاهش ارتفاع لوله ميانی که موجب کاهش مقاومت در مقابل ريزش ذرات از لوله ميانی به ناحيه حلقوي و افزايش ارتفاع استاتيکي بستر در ناحيه حلقوي و افزايش فاصله لوله ميانی از کف که موجب افزايش دهانه عبور ذرات مي شوند، همگي باعث افزايش ميزان چرخش ذرات جامد مي شوند، هر چند که تاثير دومي به مراتب کمتر است. در آزمايش اندازه گيري رديابر گازي در قسمت بالاي لوله ميانی و ناحيه حلقوي و در طول دو ناحيه، نتايج زير حاصل شد: با افزايش سرعت ورودي به ناحيه حلقوي، هواي بيشتري از پايين ناحيه حلقوي به لوله ميانی وارد شد و غلظت رديابر در اين ناحيه کاهش يافت و به دليل تحرک بيشتر ذرات، گاز بيشتري از بالا به اين ناحيه نفوذ کرد. هر چند غلظت رديابر در طول لوله ميانی ثابت بود اما در طول ناحيه حلقوي از بالا به پايين کاهش يافت. همچنين، افزايش سرعت ورودي لوله ميانی، تاثير چنداني بر غلظت رديابر در لوله ميانی نداشت ولي باعث افزايش غلظت رديابر در بالاي ناحيه حلقوي مي شد. در مجموع، مي توان دريافت که با انتخاب بستر سيال با چرخش داخلي ذرات جامد در مقياس آزمايشگاهي، چرخش ذرات بين دو ناحيه لوله ميانی و ناحيه حلقوي، امکان پذير و قابل کنترل است اما تداخل گاز دو ناحيه در بستر به کار رفته، از معايب سيستم در کاربرد به عنوان يک راکتور دو ناحيه اي به حساب مي آيد.

تقدير وتشکر

نويسندگان اين مقاله از شرکت محترم پژوهش و فناوري پتروشيمي براي تأمين بخشي از هزينه هاي اين تحقيق، تشکر و قدرداني به عمل مي آورند.

فهرست علائم

d_p [μm]: قطر متوسط ذرات

H_d [cm]: ارتفاع لوله ميانی

H_s [cm]: ارتفاع استاتيک بستر

Hg [mm]: فاصله لوله ميانی از کف

U_d [cm/s] : سرعت گاز در ورودي به لوله ميانی

U_a [cm/s]: سرعت گاز در ورودي ناحيه ميانی

U_{mf} [cm/s]: سرعت حداقل سيال شدن ذرات

V_a: سرعت خطي پايين آمدن ذرات در ناحيه حلقوي [m/s]

W_s[kg/m^{2}s]: ميزان چرخش ذرات بر سطح مقطع ناحيه حلقوي
ρ_s [Kg/m^3] : دانسيته ذرات
ε_{mf} :تخلخل بستر در حالت حداقل سياليت

مراجع

1 - Pak, S. and Lunsford, J. H. (1998). "Thermal effects during the oxidative coupling of methane over $Mn/Na_2WO_4/SiO_2$ and $Mn/Na_2WO_4/MgO$ catalysts." *Appl. Catal.:A*, Vol. 168, PP. 131-137.

2 - Kunii, d. and Levenspiel, O. (1991) "*Fluidization engineering*" Butterworth-Heinemann, Stoneham, MA.

3 - Li,s. (2003) "Reaction chemistry of W-Mn/SiO2 catalyst for the oxidative coupling of methane." *Journal of Natural Gas Chemistry*, Vol. 12, PP. 1-9.

4 - Salehoun, V., Khodadadi, A., Mortazavi, Y. and Talebizadeh, A. (2008). "Dynamics of $Mn/Na_2WO_4/SiO_2$ catalyst in oxidative coupling of methane." *Chem. Eng. Sci*., Vol. 63, PP. 4910-4916.

5 - Lee, J. M., Kim, Y. J. and Kim, S. D. (1998). "Catalytic coal gasification in an internally circulating fluidized bed reactor with draft tube." *Appl. Thermal. Engng*., Vol. 18, PP. 1013-1024**.**

6 - Berruti, F., Muir, J. R. and Behie, L.A. (1988). "Solids circulation in a spout - fluid bed with draft tube." *Can. J. Chem. Eng*., Vol. 66, PP. 919-923.

7 - Riley, R. K. and Judd, M. R. (1987). "The measurement of char-Steam gasification reaction for the design of a fluidized bed coal gasifier which contains draft tube." *Chem. Eng. Comm*., Vol. 62, PP. 151-160.

8 - Kuramoto, M., Kunii, D. and Furusawa, T. (1986). "Flow of dense fluidized particles through an opening in a circulation system." *Powder Technol*., Vol. 47, PP. 141-148.

9 - Kim, Y. J., Lee, J. M. and Kim, S. D. (1997). "Gasification characteristics in an internally circulating fluidized bed with draught tube." *Fuel*, Vol. 76, PP. 1067-1072.

10 - Song, B. H., Kim, Y. T. and Kim, S. D. (1997), "Circulation of solids and gas bypassing in an internally circulating fluidized bed with a draft tube." *Chem. Eng. J.*, Vol. 68, PP. 115-122.

11 - Kim, Y. T., Song, B. H. and Kim, S. D. (1997). "Entrainment of solids in an internally circulating fluidized bed with draft tube." *Chem. Eng. J*., Vol. 66, PP. 105-110.

12 - Kinoshita, O., Kojima, T. and Furusawa, T. (1987). "Increased retention of fines in a fluidized particle through an opening in a circulation system." *J. Chem. Eng. Japan*, Vol. 20, PP. 641-648.

13 - Choi, Y. T. and Kim., S. D. (1991). "Bubble characteristics in an internally circulating fluidized bed." *J. Chem. Eng. Japan*, Vol. 24, No.2 PP. 195-202.

واژه هاي انگليسي به ترتيب استفاده در متن

1 - Hot Spot
2 - Oxidative Coupling of Methane-OCM
3 - Two Zone Fluidized Bed Reactor-TZFBR
4 - Redox Catalyst
5 - Internally Circulating Fluidized Bed-ICFB
6 - Draft Tube
7 -Annulus
8 - Cold Model
9 - Tracer