بررسی تجربی تغییرات انباشت فاز پراکنده با ارتفاع در ستونهای استخراج مایع- مایع ضربه‌ای سینی دار

محمد مهدی منتظر رحمتی[*1] ، سید جابر صفدری[2] و حسین اخگری[3]

[1]استاد دانشکده مهندسی شیمی - پردیس دانشکده های دانشکده فنی - دانشگاه تهران

[2]سازمان انرژی اتمی ایران

[3]دانش آموخته كارشناسي ارشد مهندسي شيمي - پرديس دانشكده هاي فني - دانشگاه تهران

(تاريخ دريافت ۸۲/۴/۱۷ ، تاريخ دريافت روايت اصلاح شده ۸۵/۵/۲ ، تاريخ تصويب ۸۵/۷/۸)

چكيده

انباشت فاز پراكنده يكي از پارامتر هاي مهم در طراحي ستون ضربه اي و تعيين قطر ، ارتفاع وضـرايب انتقـال جـرم آن مـي باشـد. ستون ضربه اي سيني دار يكي از دستگاه هاي مورد استفاده در استخراج مايع – مايع مي باشد كه بخاطر راندمان بالا و سطح كمي كه اشـغال مي كند در صنايع هسته اي مورد استفاده قرار مي گيرد .پارامترهاي قابل كنترل آن عبارتند از : دامنه ، فركانس و سرعت جريانهـاي حجمـي فازهاي پيوسته وپراكنده . در اين مقاله تغييرات انباشت فاز پراكنده با ارتفاع و اثر پارامتر هاي مختلف بر آن به صورت تجربي مورد بررسي قرار گرفته است. نتايج بدست آمده نشان مي دهد كه اولاً انباشت فاز پراكنده در ستون با افزايش ارتفاع افزايش مي يابد . ايـن افـزايش بـه صـورت لگاريتمي مي باشد. ثانياً كشش بين فازي سيستم تاثير زيادي برانباشت فاز پراكنده دارد. در سيستم هاي با كشش بين فازي پايين بـا انـدك افزايشي در هر يك از پارامترها ممكن است انباشت فاز پراكنده بشدت افزايش يافته و امكان بروز طغيان افزايش يابد. اما در سيسـتم هـاي بـا كشش بين فازي بالا امكان تغييرات در پارامترها بدون بروز اشكال در عملكرد ستون بيشتر است. ثالثاً اثر تغييرات در هر يـك از پارامترهـا بـر انباشت فاز پراكنده متفاوت مي باشد و علي رغم اينكه در بعضي روابط ارائه شده اثر دامنه و فركانس بصورت حاصلضرب آنها ارائه شده اسـت، اثر تغييرات در دامنه بر انباشت فاز پراكنده بيش از فركانس است .

واژه هاي كليدي : ستون ضربه ای سینی دار - استخراج مایع - مایع - انباشت فاز پراکنده

مقدمه

يكي از دستگاه هاي مورد استفاده در استخراج مايع - مايع ، ستون ضربه اي سيني دار[1] [۱] مي باشد. در اين نوع ستون با اعمال فشار به صورت متناوب به مايعات درون ستون نيروي لازم جهت عبور مايع از روزنه هاي سيني ها مهيا شده و پراكندگي بهتر صورت مي گيرد و در نتيجه بازدهي انتقال جرم افزايش مي يابد . اين نوع ستونها علاوه بر اينكه راندمان بالاتري نسبت به اكثر دستگاه هاي استخراج مايع - مايع دارند ، سطح كمتري روي زمين اشغال مي كند . همين مزيت باعث شده است كه در صنايع هسته اي با توجه به احتمال وجود تشعشع ونياز به حفاظت مورد توجه و استفاده قرار گيرند. همچنين با توجه به پايين بودن انباشت فاز پراكنده[2] ، حلال مصرفي و خطرات ناشي از آن كمتر مي باشد. در صنايع دارويي و هيدرومتالورژي نيز از اين نوع ستون استفاده مي شود[۲]. انباشت فاز پراكنده يكي از پارامترهاي مهم در طراحي ستون ضربه اي و تعيين قطر، ارتفاع و ضرايب كلي انتقال جرم آن مي باشد كه به صورت زير تعريف مي شود [۳].

$$\varepsilon = V_d/(V_d+V_c) \quad (1)$$

كه در معادله فوق V_d حجم فاز پراكنده ، V_c حجم فاز پيوسته و ε انباشت فاز پراكنده مي باشد .

رابطه انباشت و ضرايب كلي انتقال جرم به صورت زير مي باشد .

$$K_E a = K_E [6\varepsilon/đ_{32}] \quad (2)$$

$$K_R a = K_R [6\varepsilon/đ_{32}] \quad (3)$$

كه در اين روابط K_E و K_R به ترتيب ضرايب كلي انتقـال جرم بر مبناي فاز استخراج شده[3] و فاز پساب[4]، a مساحت

* نويسنده مسئول : تلفن : ۶۱۱۱۳۲۱۷ – ۰۲۱ , فاكس : ۶۶۹۵۷۷۸۴ – ۰۲۱ , Email:mrahmati@ut.ac.ir

فصل مشترك دو فاز (m^2/m^3) ، $đ_{32}$ قطر متوسط سوتر (m) ، ε انباشت فاز پراكنده و K_Ea و K_Ra به ترتيب ضرايب كلي حجمي انتقال جرم بر مبناي فاز استخراج شده و فاز پساب مي باشند. انباشت فاز پراكنده در تعيين سرعت طغيان نيز مورد استفاده قرار مي گيرد [٤].

سيستم هاي مورد استفاده

سيستم هاي مورد استفاده عبارتند از : آب / تولوئن با كشش بين فازي زياد، آب / نفت بي بو با كشش بين فازي متوسط، آب / نرمال بوتيل استات با كشش بين فازي كم. اين سيستم توسط فدراسيون بين المللي استخراج مايع – مايع پيشنهاد شده است [٥].

خصوصيات فيزيكي مواد شيميايي مورد استفاده در جدول (۱) ارايه شده است.

جدول ۱: خصوصيات مواد شيميايي مورد استفاده در ۲۵°C.

ماده	چگالي	گرانروي (cp)	كشش سطحي (dyne/cm)
تولوئن	0.866	0.58	32
بوتيل استات	0.950	0.63	29
نفت سفيد	0.820	2.30	26

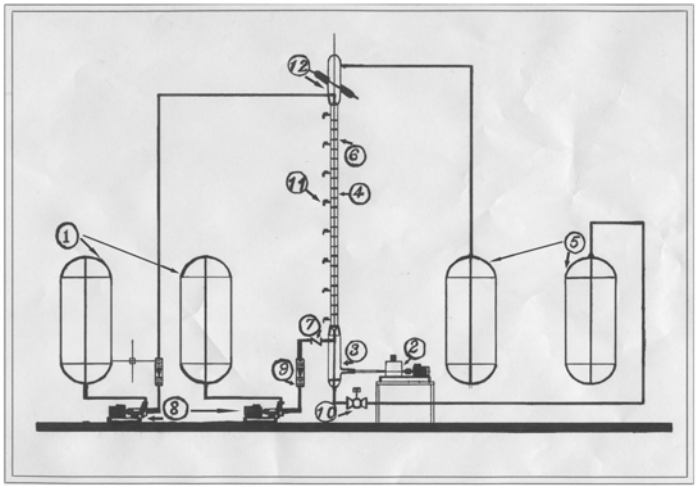
جدول ۲: كشش بين سطحي سيستمهاي مورد آزمايش در ۲۵°C بر حسب (dyne/cm).

آب/تولوئن	30
آب/بوتيل استات	15
آب/نفت سفيد	22

تولوئن و بوتيل استات مصرفي از شركت Merck با خلوص بيش از ۹۹/۹ درصد و نفت سفيد از پژوهشگاه صنعت نفت با خلوص ۹۹ درصد تهيه شد. از آب مقطر توليدي در آزمايشگاه سازمان استفاده شد. خاطر نشان مي سازد كه محصولات آزمايشها در بخش ديگري از سازمان تقطير مي شد و مجددا مورد استفاده قرار مي گرفت. بنابر اين درصد خلوص عملي مواد شيميايي مورد استفاده به طور متوسط حدود ۹۹ درصد بوده است.

مشخصات دستگاه مورد استفاده

طبق شكل (۱) دستگاه اصلي مورد استفاده يك ستون استخراج ضربه اي سيني دار در مقياس نيمه صنعتي مي باشد، كه دستگاههاي جانبي آن در زير شكل شرح داده شده است.



شكل ۱ : نمايي از دستگاه استخراج مايع – مايع ضربه اي

۱- مخازن ذخيره فازهاي سبک و سنگين، ۲- دستگاه ايجاد كننده ضربه با قابليت تنظيم دامنه و فركانس، ۳- دو ناحيه ته نشين كننده در پايين وبالاي قسمت فعال ستون، ۴- ناحيه فعال ستون، ۵- دو مخزن ذخيره محصول، ۶- سيني ها، ۷- شير ورودي ستون، ۸- دو دستگاه پمپ جهت انتقال فاز سبك وسنگين به پايين وبالاي ستون، ۹- دو دستگاه فلومتر، ۱۰- شير برقي خروجي پايين ستون، ۱۱- هشت شير نمونه گير، ۱۲- سنسور سطح مشترك در ناحيه ته نشين كننده بالايي.

روش كار

جهت انجام آزمايشها ابتدا مخازن خوراك از مواد مورد نظر پر مي شود سپس دستگاه توليد پالس روشن شده و دامنه و فركانس آن تنظيم مي شود . با روشن كردن پمپ و تنظيم جريان آن ستون تا زير سنسور سطح مشترك از فاز پيوسته (آب) پر مي شود. سپس فاز پراكنده از پايين وارد ستون شده واجازه مي يابد تا با گذر از ميان فاز پيوسته روي سطح فاز پيوسته در ته نشين كننده بالايي جمع شده و از سرريز بالاي آن خارج شود. سطح مشترك توسط سنسور با دستور به شير برقي ثابت نگه داشته مي شود . پس از اطمينان از يكنواخت شدن سيستم با استفاده از هشت شير نمونه گير به ترتيب از قسمتهاي مختلف ستون نمونه برداري شده و انباشت هر قسمت محاسبه مي شود. در پايان انباشت فاز پراكنده به روش خاموش كردن دستگاه[5] اندازه گيري ميشود. پارامترهاي قابل تنظيم در ستون استخراج ضربه اي عبارتند از : فركانس ضربه ،دامنه ضربه ، سرعت جريان فاز پيوسته و سرعت جريان فاز پراكنده . براي بررسي تاثير هر يك از پارامترها، سه پارامتر ديگر را ثابت گرفته و پارامتر خاص مورد نظر تغيير مي يابد [٦].

با توجه به دستگاه مورد استفاده فركانسهاي بررسي شده ۱، ۱/۵ و (s^{-1}) ۲ و دامنه ۱ ، ۱/۵ و (cm) ۲ و سرعت جريان هاي فاز پراكنده بررسي شده ۲، ٤ و (cc/s) ٦ براي سيستم هاي آب/تولوئن و آب/بوتيل استات، و ۲، ٦ و (cc/s) ۱۲ براي سيستم آب /نفت بي بو و همچنين سرعت جريان هاي فاز پيوسته براي همه سيستم ها ۲، ۶ و (cc/s) ۱۲ بوده است. سرعت جريانها برمبناي نزديكي تا حد امكان به شرايط طغيان و طبق نتايج كارهاي آزمايشگاهي قبلي انتخاب شده اند [۵].

بررسي و شرح نتايج آزمايشها

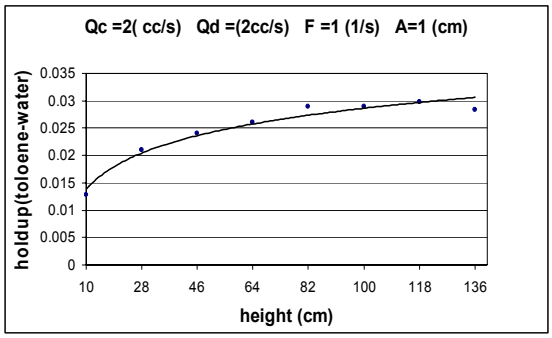
همانگونه كه گفته شد در طراحي ستون ضربه اي انباشت فاز پراكنده نقش مهمي ايفا مي كند. همه روابط ارائه شده جهت پيش بيني انباشت فاز پراكنده ، تغييرات انباشت فاز پراكنده با ارتفاع را در نظر نگرفته اند، يعني فرض شده است كه در تمام طول ستون انباشت فاز پراكنده ثابت است در صورتيكه تمامي آزمايشهاي انجام شده در همه سيستمها نشان داده است كه انباشت فاز پراكنده در طول ستون متغير مي باشد. اين آزمايشها نشان مي دهد كه انباشت فاز پراكنده در ستون از پايين به بالا افزايش مي يابد، البته تغييرا ت در پايين ستون بيش از بالاي آن است، يعني با حركت به سمت بالا ميزان اين افزايش كمتر مي شود. با توجه به داده هاي به دست آمده مي توان گفت كه تغييرا ت انباشت فاز پراكنده در طول ستون به صورت لگاريتمي مي باشدكه آزمايشهاي مختلف در شرايط متفاوت و با سيستم هاي مختلف اين امر را تائيد كرده است. چند نمونه از تغييرات انباشت فاز پراكنده با ارتفاع در شكلهاي (۲) تا (۴) نشان داده شده است .

درنمودارهاي ۲ تا ۴ حالت دور از شرايط طغيان[6] نشان داده شده است كه روند تغييرات انباشت با ارتفاع صعودي است. براي نفت سفيد در نمودار ۴ حالت طغيان نشان داده شده است كه منحني افقي است و انباشت با ارتفاع تغيير نمي كند. در نمودار ۵ حالت ادامه عمليات پس از حد طغيان است كه تغييرات انباشت با ارتفاع روند نزولي مي يابد. بدين ترتيب نمودارهاي ۲، ۳، و۴ براي سه سيستم آب/تولوئن، آب/بوتيل استات، و آب/نفت سفيد شرايط دور از طغيان را نشان مي دهد كه روند تغييرات انباشت با ارتفاع صعودي است، در حاليكه نمودارهاي ۴، ۵، و ۶ هر سه براي سيتم آب/نفت سفيد مي باشند وشرايط را پيش از طغيان، هنگام طغيان، و پس از طغيان نشان مي دهند.

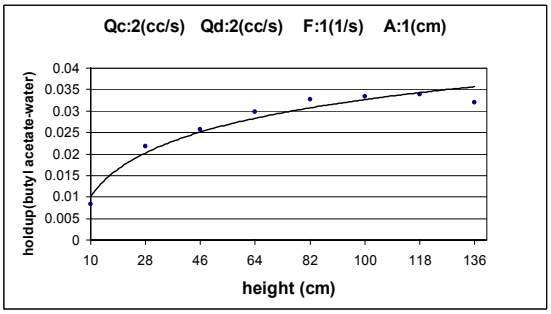
هنگامي كه سيستم به حالت طغيان نزديك ميشود تغييرات انباشت فاز پراكنده با ارتفاع به خط راست نزديك ميشود (شكل ۵) و هنگامي كه سيستم طغيان ميكند نمودار اين تغييرات كاملاً حالت عكس پيدا مي كند (شكل ۶). از اين ويژگي ميتوان براي بررسي عملكرد ستونهاي صنعتي فولادي كه امكان ديدن محتويات درون آنها وجود ندارد استفاده كرد .

اثر پارامترهاي مختلف بر انباشت فاز پراكنده در ستون استخراج مايع – مايع ضربه اي سيني دار

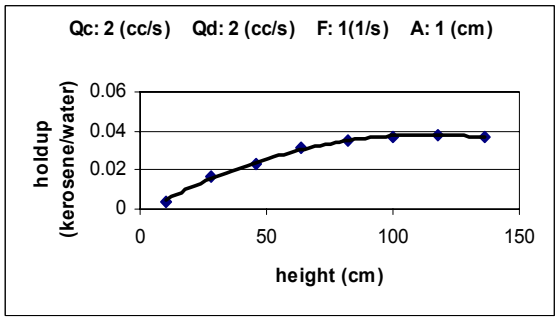
همانگونه كه گفته شد تغيير در پارامترهاي مختلف آثار متفاوتي بر انباشت فاز پراكنده دارد كه به تفصيل مورد بررسي قرار مي گيرد.



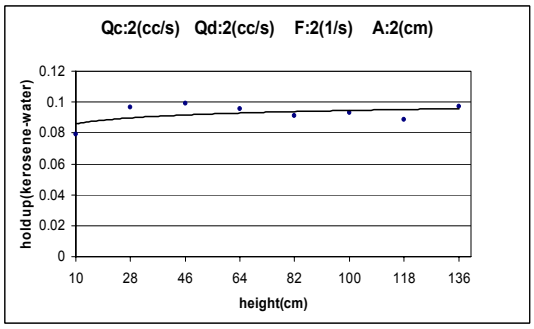
شكل ٢ : نمودار تغييرات انباشت فاز پراكنده با ارتفاع در سيستم آب/تولوئن.



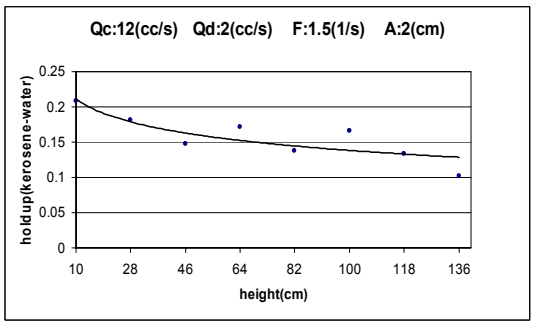
شكل ٣ : نمودار تغييرات انباشت فاز پراكنده با ارتفاع در سيستم آب/بوتيل استات.



شكل ۴ : نمودار تغييرات انباشت فاز پراكنده با ارتفاع در سيستم آب/نفت سفيد



شكل ۵ : نمودار تغييرات انباشت فاز پراكنده با ارتفاع در سيستم آب/نفت در حالت طغيان.



شكل ۶ : نمودار تغييرات انباشت فاز پراكنده با ارتفاع در سيستم آب/نفت پس از طغيان.

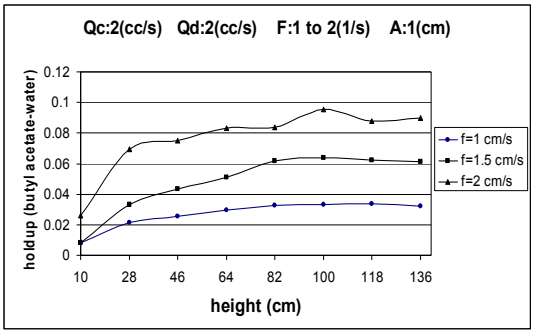
كشش بين فازي

سيستم هاي مختلف با كشش هاي بين فازي مختلف در شرايط (دبي ها ، فركانس ، دامنه و دماي) يكسان، انباشت فاز پراكنده متفاوتي را در ستون ايجاد مي كنند. همانگونه كه در مقايسه شكل هاي (٢) تا (۴) مشاهده مي شود، هرچه كشش بين فازي بيشتر باشد قطرات به وجود آمده فاز پراكنده بزرگتر شده و انباشت فاز پراكنده كمتر مي شود و هر چه كشش بين فازي كمتر باشد قطرات به وجود آمده ريزتر شده و انباشت فاز پراكنده بيشتر مي شود. علت اين امر را مي توان بدين صورت بيان كرد كه با ايجاد قطرات بزرگتر سرعت حركت قطرات فاز سبك به سمت بالا بيشتر مي شود و در نتيجه زمان اقامت قطرات در ناحيه فعال ستون كم مي شود، بنابراين انباشت فاز پراكنده نيز كم مي شود. در سيستم هاي با كشش بين فازي كم بر عكس مي باشد يعني با كاهش كشش بين فازي قطرات بهتر شكسته شده و ريزتر مي شوند، در نتيجه حركت آنها كندتر شده و زمان اقامت آنها در بخش فعال ستون بيشتر مي شود وانباشت فاز پراكنده افزايش مي يابد.

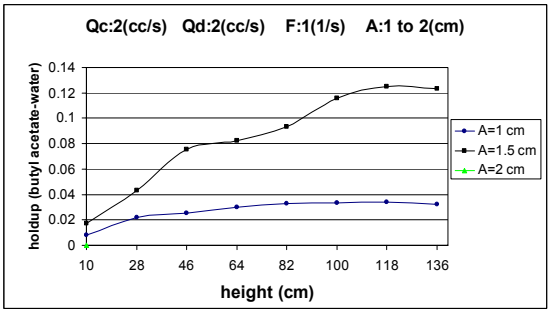
اثر كشش بين فازي بر راندمان جاي بحث دارد. باكاهش كشش بين فازي و ريزتر شدن قطرات سطح انتقال جرم و به تبع آن سرعت انتقال جرم افزايش مي يابد اما از سوي ديگر به علت بالا رفتن انباشت فاز پراكنده و حساس تر شدن سيستم به تغييرات احتمال بروز طغيان در ستون با اندك تغييري در پارامترها افزايش مي يابد ولي در سيستم هاي با كشش بين فازي بيشتر قدرت مانور در تغيير پارامترها بيشتر است .

فركانس

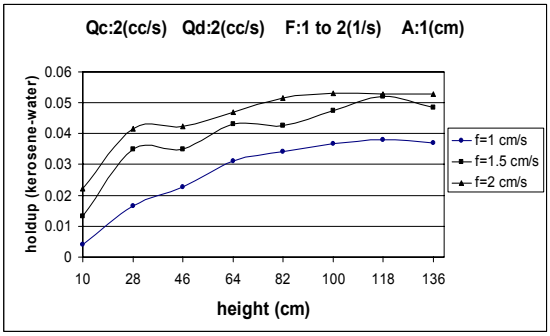
با افـزايش فركـانس انباشـت فـاز پراكنـده افـزايش مي يابد. اثر اين افزايش در سيستم هاي مختلـف متفـاوت است اما در كل رويه يكساني دارد . در محدوده هاي پايين در اكثر موارد تغيير در فركانس تاثير كمتري بر انباشت فاز پراكنده دارد ولي در محدوده هاي بالا اين اثر بيشتر است. مثلا افزايش فركانس از ۰/۵ به (s^{-1}) ۱ افزايش كمتـري در انباشت فاز پراكنده ايجاد مي كند تا افزايش از ۱/۵ بـه (s^{-1}) ۲. اين محدوده در سيستم هـاي مختلـف متفـاوت است . سيستم هـاي بـا كشـش بـين فـازي پـايين اصـولا حساسيت بيشتري در برابر تغييرات از جملـه تغييـرات در فركانس از خود نشان مي دهند . شـكل هـاي (۷) تـا (۹) اين موضوع را نشان مي دهد.



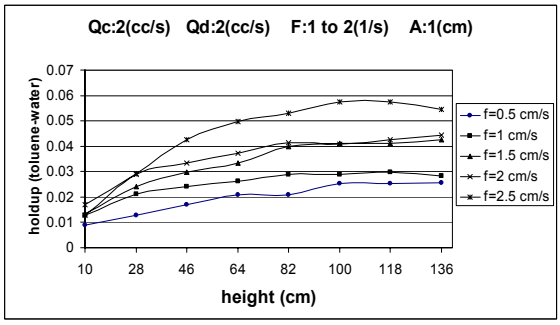
شكل ۷ : نمودار تغييرات انباشت فاز پراكنده با ارتفاع و فركانس در سيستم آب/بوتيل استات.



شكل ۸ : نمودار تغييرات انباشت فاز پراكنده با ارتفاع و فركانس در سيستم آب/تولوئن.



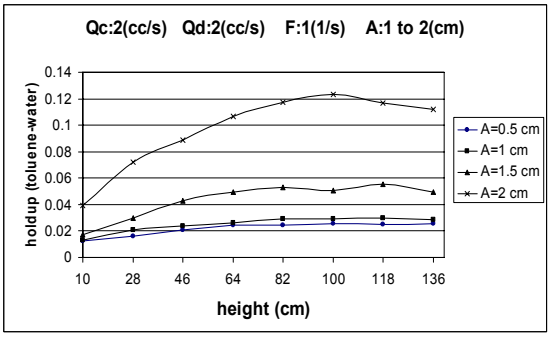
شكل ۹ : نمودار تغييرات انباشت فاز پراكنده با ارتفاع و فركانس در سيستم آب/نفت.



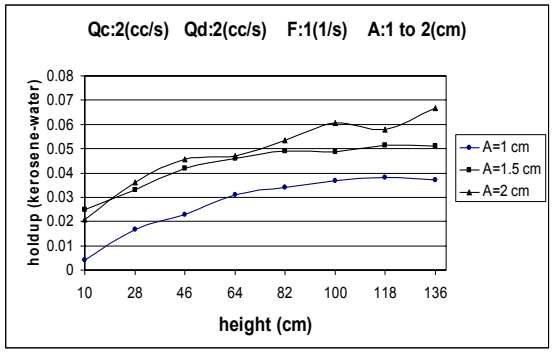
شكل ۱۰ : نمودار تغييرات انباشت فاز پراكنده با ارتفاع و دامنه در سيستم آب/بوتيل استات.

دامنه

همانگونه كه در شكل هاي (۱۰) تا (۱۲) مشاهده مي شود، با افزايش دامنه نيز انباشت فاز پراكنده افزايش مي يابد با اين تفاوت كه اثر دامنه بسيار بيشتر از اثر فركانس مي باشد. يعني حساسيت انباشت فاز پراكنده نسبت به تغييرات دامنه بيش از فركانس است كه اين امر در سيستم هاي مختلف صادق است . در اكثر روابط ارائه شده براي پيش بيني انباشت فاز پراكنده اثر دامنه و فركانس به صورت حاصلضرب آنها بيان شده است كه با توجه به نتايج بدست آمده از آزمايش هاي انجام شده در اين بررسي اين رويه درست نمي باشد . مثلا در روابط ارائه شده اثر فركانس (s^{-1}) ۲ و دامنه (cm) ۱ با اثر فركانس (s^{-1}) ۱ و دامنه (cm) ۲ يكسان است چون حاصلضرب هر دو برابر (cm/s) ۲ مي باشد ولي آزمايش ها نشان مي دهند كه در حالت دوم انباشت فاز پراكنده بيشتر است يعني اثر افزايش دامنه بر افزايش انباشت فاز پراكنده بيش از اثر افزايش فركانس است .



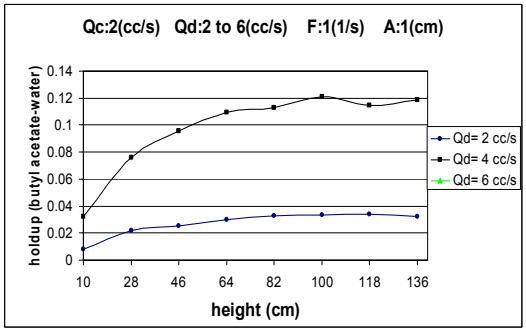
شكل۱۱ : نمودار تغييرات انباشت فاز پراكنده با ارتفاع و دامنه در سيستم آب/تولوئن.



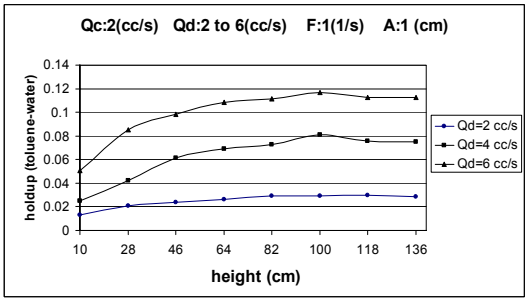
شكل ١٢ : نمودار تغييرات انباشت فاز پراكنده با ارتفاع و دامنه در سيستم آب/نفت

سرعت جريان فاز پراكنده

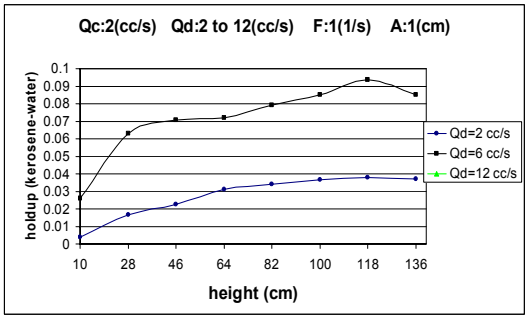
با توجه به شكل هاي (١٣) تا (١٥) ، با افزايش سرعت جريان فاز پراكنده همانگونه كه انتظار مي رود انباشت فاز پراكنده افزايش مي يابد چون نسبت موجودي فاز پراكنده به فاز پيوسته در هر مقطع از ستون افزايش مي يابد . البته اثر اين افزايش در سيستمهاي با كشش بين فازي كم بيشتر است يعني در سيستمهاي با كشش بين فازي كم با اندك تغييري در سرعت جريان فاز پراكنده ممكن است طغيان به وجود آيد ولي در سيستمهاي با كشش بين فازي زياد اينگونه نيست.



شكل ١٣ : نمودار تغييرات انباشت فاز پراكنده با ارتفاع و دبي فاز پراكنده در سيستم آب/بوتيل استات.



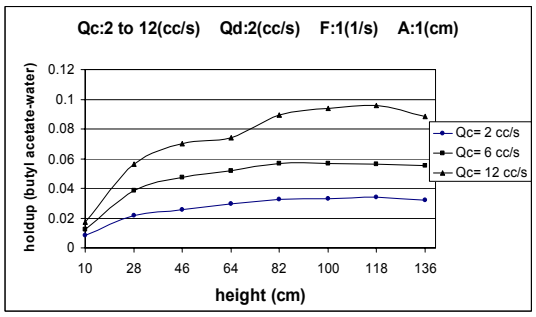
شكل ١٤ : نمودار تغييرات انباشت فاز پراكنده با ارتفاع و دبي فاز پراكنده در سيستم آب/تولوئن.



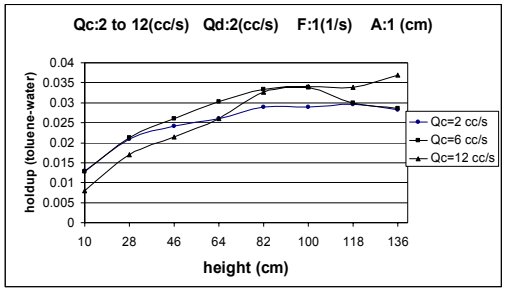
شكل ١٥ : نمودار تغييرات انباشت فاز پراكنده با ارتفاع و دبي فاز پراكنده در سيستم آب/نفت.

سرعت جريان فاز پيوسته

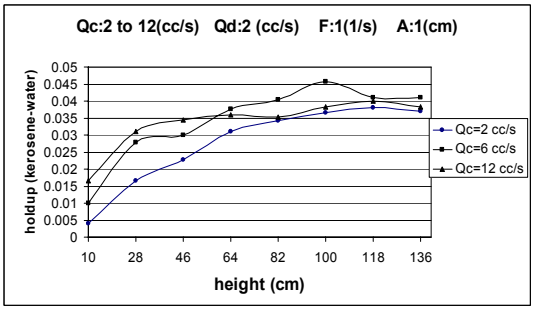
اثر سرعت جريان فاز پيوسته را نمي توان به دقت پيش بيني كرد. زيرا افزايش دبي فاز پيوسته از يك سو نسبت موجودي فاز پيوسته را به فاز پراكنده افزايش مي دهد كه اين اثر باعث كاهش انباشت فاز پراكنده مي شود و از سوي ديگر افزايش جريان فاز پيوسته كه به سمت پايين است مقاومتي در برابر حركت قطرات فاز پراكنده ايجاد مي كند و سرعت حركت قطرات كم شده و در نتيجه زمان اقامت آنها و به تبع آن انباشت فاز پراكنده افزايش مي يابد . اين دو اثر متضاد باعث مي شود كه نتوان به درستي اثر سرعت جريان فاز پيوسته را بر انباشت فاز پراكنده بيان كرد. چون در شرايط مختلف اعم از فركانس، دامنه، سرعت جريان فاز پراكنده و حتي سيستمها با كشش بين فازي متفاوت ممكن است يكي از دو اثر بر ديگري غلبه كرده و باعث افزايش و يا كاهش انباشت فاز پراكنده گردد. شكل هاي(١٦) تا (١٨) اين موضوع را نشان مي دهند



شكل ١٦ : نمودار تغييرات انباشت فاز پراكنده با ارتفاع و دبي فاز پيوسته در سيستم آب/بوتيل استات.



شكل ۱۷: نمودار تغييرات انباشت فاز پراكنده با ارتفاع و دبي فاز پيوسته در سيستم آب/تولوئن.



شكل ۱۸ : نمودار تغييرات انباشت فاز پراكنده با ارتفاع و دبي فاز پيوسته در سيستم آب/نفت.

عوامل ديگر

عوامل ديگري از جمله جنس ستون، جنس سيني ها و چسبندگي هر يك از آنها نسبت به فاز پيوسته يا فاز پراكنده و يا خا صيت تر كنندگي دو فاز بر سيني ها از عوامل ديگر تغييرات در انباشت فاز پراكنده مي باشند كه هر يك جاي بررسي دارد.

بحث و نتيجه گيري

با توجه به نتايج بدست آمده ميتوان گفت كه اولا انباشت فاز پراكنده در طول ستون ثابت نيست بنابراين محاسبه قطر وطول ستون و همچنين محاسبه ضرايب انتقال جرم با ثابت فرض كردن انباشت فاز پراكنده در طول ستون باعث ايجاد خطا و كاهش دقت ميشود . با توجه به نتايج بدست آمده وابستگي انباشت فاز پراكنده با ارتفاع را مي توان به صورت رابطه زير بيان كرد.

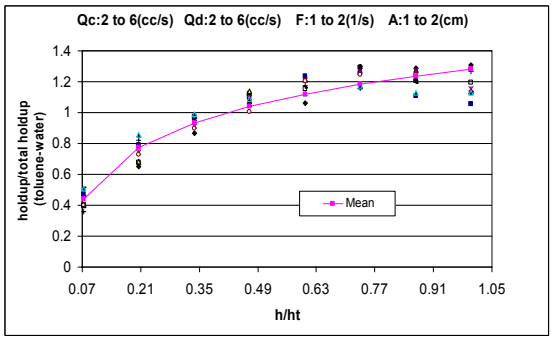
$$\varepsilon/\varepsilon_m = A \, Ln\,(h/h_t) + B \qquad (۴)$$

براي بدست آوردن اين رابطه در هر سه سيستم مورد آزمايش نمودار $\varepsilon/\varepsilon_m$ برحسب h/h_t در مقادير مختلفي از پارامترها رسم شده است و همانگونه كه در شكهاي (۱۹) تا (۲۱) مشاهده مي شود تمامي حالات تقريباً همپوشاني دارند. متوسط ثوابت A و B براي سه سيستم بررسي شده در جدول (۳) ارائه شده است .

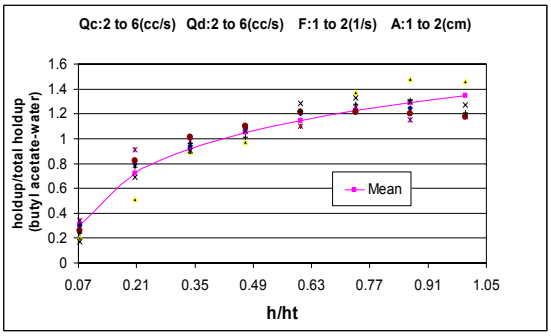
جدول ۳ : ثوابت A و B براي معادله ۴.

سيستم	A	B
آب/تولوئن	۰/۴۲	۱/۳۰
آب/بوتيل استات	۰/۴۱	۱/۲۵
آب/نفت	۰/۳۲	۱/۳۵
متوسط سه سيستم	۰/۳۸	۱/۳۰

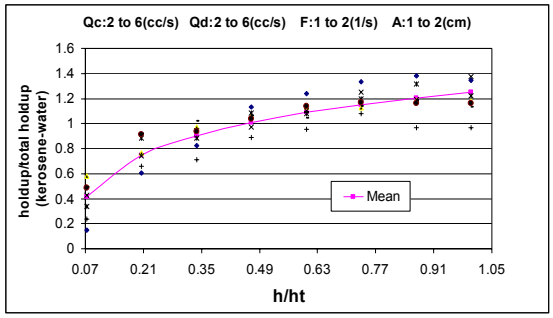
ثانياً با افزايش دامنه و فركانس، ميزان انباشت فاز پراكنده افزايش مي يابد ولي اثر دامنه بيش از فركانس مي باشد . در سيستم هاي با كشش بين فازي كم با اندك افزايشي در هر يك از پارامترها ممكن است انباشت فاز پراكنده بشدت افزايش يافته و امكان بروز طغيان افزايش يابد اما در سيستم هاي با كشش بين فازي زياد با توجه به اينكه قطر متوسط قطرات بزرگتر است ودر نتيجه زمان ماند آنها در بخش فعال ستون كمتر است [۷] امكان تغييرات در پارامترها بدون بروز اشكال در عملكرد ستون بيشتر است.



شكل ۱۹ : نمودارهاي $\varepsilon/\varepsilon_m$ بر حسب h/h_t در سيستم آب/تولوئن.



شكل ۲۰ : نمودارهاي $\varepsilon/\varepsilon_m$ بر حسب h/h_t در سيستم آب/بوتيل استات.



شکل ۲۱ : نمودارهاي $\varepsilon/\varepsilon_m$ بر حسب h/h_t در سیستم آب/نفت.

فهرست علائم

K_E: ضریب کلي انتقال جرم بر مبناي فاز استخراج شده (m/s)

K_R: ضریب کلي انتقال جرم بر مبناي فاز پساب (m/s)

V_d: حجم فاز پراکنده (cc)

V_c: حجم فاز پیوسته (cc)

ε: انباشت فاز پراکنده

ε_m: انباشت متوسط فاز پیوسته

$đ_{32}$: قطر متوسط سوتر (cm)

Q_d سرعت جریان حجمي فاز پراکنده (cc/s)

Q_c: سرعت جریان حجمي فاز پیوسته (cc/s)

h: ارتفاع (cm)

h_t: ارتفاع کل (cm)

A: ثابت در معادله ۴

B: ثابت در معادله ۴

مراجع

1 - Van Dijack, W. J. D. (1935). *U.S. Patent No. 1011186*.

2 - Gottliebsten, K., Grinbum, D., Chen, G. and Stevens, W. (2000). "The use of pulsed perforated plate extraction column for recovery of sulfuric acid from copper tank house electrolyte bleeds." *Hydromettalurgy,* Vol. 58, PP.203-213.

3 - Beger, R. (1988). *Ulmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry,* Vol. B3, Liquid-Liquid Extraction, PP. 6.14-6.31.

4 - Pietzsch, W. and Eckhart, B. (1987). "A new model for the prediction of liquid pulsed sieve tray extractors." *Chem. Eng. Tech.,* Vol. 10, PP.73-86.

5 - Misek, T. (1978). "Recommended systems for liquid extraction studies." *European Federation of Chemical Engineering, I. Chem. E.,* London.

6 - Chouai, M., Cabassud, M. V., Le Lan, C., Gourdon, C. and Casamatta, G. (2000). "Use of neural networks for liquid-liquid extraction column modeling: an experimental study." *Chem. Eng. & Proc.*, Vol. 39, PP.171-180.

7 - Toutain, J., Le Lan, J. M., Goudron, C. and Joulia, X. (1998). "Simulation of coupled effects in a liquid-liquid extraction column." *Comp. Eng.,* Vol. 22, Supplement S379-S386.

واژه هاي انگلیسي به ترتیب استفاده در متن

1 - Pulsed Plate Column
2 - Hold up
3 - Extract
4 -Raffinate
5 - Shut down
6 - Flooding