

## مقایسه ماندگی موضعی فاز پراکنده<sup>۱</sup> در ستونهای پاشنده<sup>۲</sup> و RDC<sup>۳</sup>

حسین بهمنیار

دانشیار گروه مهندسی شیمی - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

محمدعلی موسویان

دانشیار گروه مهندسی شیمی - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

علی حقیقی اصل

استادیار گروه مهندسی شیمی - دانشکده مهندسی - دانشگاه سمنان

(تاریخ دریافت ۷۹/۳/۲۳، تاریخ تصویب ۸۰/۸/۳۰)

### چکیده

یکی از پارامترهای مهم در دستگاههای استخراج مایع - مایع ماندگی فاز پراکنده می باشد که از آن برای تعیین سطح ویژه انتقال جرم استفاده می شود. سطح ویژه در طراحی برای محاسبه ارتفاع واحدهای انتقال و تعداد آنها و نهایتاً برای تعیین طول ستون به کار می رود. محققین تا کنون به اثر تغییر ماندگی بر ارتفاع ستون کمتر توجه کرده و بیشتر توجه خود را معطوف به ماندگی متوسط در طول ستون کرده اند. در این پژوهش ماندگی موضعی یا نقطه ای فاز پراکنده برای سیستمهای فاقد انتقال جرم از روش نمونه گیری در طول ستون اندازه گیری شده است. برای مطالعه سیستمهای مختلف سه نوع سیستم شیمیایی با خواص فیزیکی متفاوت از جمله کشش بین فازی، ویسکوزیته و ... انتخاب شده اند. با توجه به نتایج تجربی بدست آمده اثبات گردیده که مقدار ماندگی موضعی در طول ستونهای پاشنده و RDC ثابت نمی باشد و نسبت به تغییرات کوچک در شرایط آزمایش حساس می باشد. در ستون پاشنده بدلیل آنکه در داخل ستون عملاً تجهیزاتی که بر بالا رفتن زمان اقامت قطرات تاثیر بگذارد وجود ندارد، مقدار ماندگی موضعی فاز پراکنده کم می باشد و افزایش مقدار ماندگی موضعی با افزایش مقدار فاز پراکنده میسر خواهد شد. در ستون RDC به لحاظ اینکه تجهیزات مکانیکی در داخل ستون قرار گرفته اند علاوه بر ماندگی موضعی دینامیکی فاز پراکنده، ماندگی استاتیکی فاز پراکنده نیز مورد مطالعه قرار گرفته است. ضمناً قابل ذکر است که می توان مقدار ماندگی استاتیکی فاز پراکنده را در ستونهای مکانیکی می باشند، تا اندازه ای کنترل نمود. نتایج حاصله نشان می دهند که هر چه مقدار دبی فاز پراکنده مواد مورد آزمایش بیشتر باشد مقدار ماندگی موضعی فاز پراکنده از لحاظ کمی مقدار بیشتری را به خود اختصاص می دهد.

**واژه های کلیدی:** استخراج، مایع، ماندگی، دینامیکی، استاتیکی، فاز پراکنده، سرعت لغزشی، سطح ویژه،

دیسک دوار، پاشنده

### مقدمه

کننده های ستونی سینی دار مشبک، پاشنده و پرشده می باشند. دسته دوم شامل ستونهای ضربه ای سینی دار مشبک و پرشده می باشد و دسته سوم شامل ستونهای همزن دار مکانیکی مانند ستون RDC، ستون کار (Karr) و ... می باشند.

دستگاههای استخراج مایع - مایع از دیرباز مورد استفاده قرار گرفته اند و آنها را براساس خصوصیات عملیاتی و ساختاری به صورتهای مختلفی دسته بندی کرده اند. دستگاههای استخراج کننده ستونی به سه دسته طبقه بندی می شوند. دسته اول شامل استخراج

ماندگی متوسط در سرتاسر ستون است. این تحقیق به منظور بررسی تغییرات ماندگی موضعی و نیز عدم وجود ماندگی استاتیکی در سرتاسر ستون صورت گرفته است تا بتواند در طراحی بهتر ستونهای یاد شده مورد استفاده قرار گیرد.

### تئوری و مطالعات انجام شده

در فرآیندهای استخراج مایع - مایع معمولاً یک فاز به صورت فاز پراکنده در فاز دیگر (پیوسته) حرکت می کند و انتقال جرم بین این دو فاز صورت می گیرد. مطالعه حرکت و رفتار قطرات در این فرآیندها از این جهت حائز اهمیت است که در اغلب تجهیزات استخراج مایع، تماس میان مایعات بواسطه پراکنده شدن قطرات انجام می پذیرد. بنابراین اطلاعات ما در ارتباط با پدیده های هیدرودینامیکی قطرات می تواند زمینه لازم برای طراحی دستگاههای استخراج مایع - مایع را فراهم آورد. برای یک سیستم شیمیائی سرعت طغیان و دبی جریان عملی قابل عبور از درون ستون بستگی به اندازه قطره دارند. مساحت سطح مخصوص بین قطرات و ضریب انتقال جرم فیلم مستقیماً به قطر قطره بستگی دارد. بنابراین اندازه قطره به عنوان سنگ زبرینای طراحی ستون استخراج در نظر گرفته می شود.

ماندگی فاز پراکنده در ستونهای استخراج توسط بسیاری از پژوهشگران مورد مطالعه قرار گرفته است [۳، ۴، ۵]. ماندگی موضعی فاز پراکنده در ستون RDC، تابعی از سرعت دوران، قطر دهانه تیغه های حلقوی ساکن، ارتفاع هر مرحله، سرعت جریانهای حجمی دو فاز و خصوصیات فیزیکی آنها می باشد. با افزایش سرعت روتور یا افزایش قطر دیسک ماندگی موضعی فاز پراکنده افزایش پیدا می کند. افزایش در سرعت روتور تنش بیشتری را بوجود می آورد و باعث شکست قطرات در لبه دیسک می شود [۶، ۷]. ماندگی فاز پراکنده عبارت از حجم فاز پراکنده به حجم کل فازهای موجود در ستون می باشد. با داشتن اطلاعات در مورد قطر قطره و ماندگی آن می توان مساحت سطح مشترک ویژه قطره را حساب نمود که در فرآیندهای انتقال جرم دارای اهمیت فراوانی

در همه این دستگاهها انتقال جرم بین دو فاز پراکنده<sup>۴</sup> و پیوسته صورت می گیرد که در طراحی این برجها باید عوامل موثر بر روی فرآیند مورد مطالعه قرار گیرد. با توجه به اهمیت فرآیند استخراج مایع - مایع خصوصاً در فرآیندهای پتروشیمی، تولید مواد شیمیائی صنعتی، استخراج فلزات و ... تلاش زیادی برای طراحی این نوع برجها صورت گرفته است.

یکی از ساده ترین و ارزانترین تماس دهنده هائی که در فرآیند استخراج مایع - مایع مورد توجه قرار دارد، ستون پاشنده است. این ستون از یک پوسته استوانه ای شکل خالی تشکیل شده که در دو انتهای بالائی و پایینی آن تجهیزاتی برای ورود و خروج مایعات تعبیه شده است. در اینگونه ستونها معمولاً فاز پراکنده بوسیله یک توزیع کننده یک یا چند نازلی به صورت قطره وارد فاز پیوسته می شوند. دو فاز پیوسته و پراکنده به صورت متقابل با یکدیگر برخورد نموده و از اختلاف دانسیته بین مایعات به عنوان نیروی محرکه استفاده می گردد. هر چند که اینگونه ستونها ظرفیت بالائی دارند اما راندمان آنها پایین است ولی استفاده از آنها در کارهای تحقیقاتی مفید به شمار می رود [۱].

در بین دستگاههای استخراج مایع - مایع برجهای RDC به علت انعطاف پذیریشان در انتخاب شرایط عملیاتی از اهمیت ویژه ای در واحدهای صنعتی برخوردارند. این دستگاه عملیاتی از یک استوانه بلند که بوسیله حلقه های توخالی به چندین قسمت تقسیم شده، تشکیل شده است. تیغه های حلقوی ساکن<sup>۵</sup> شامل روزنه های مرکزی می باشند که در بین آنها صفحات مدور روی محور دوران برج نصب شده است و به فواصل مساوی از یکدیگر قرار گرفته اند. فضای بین هر دو تیغه حلقوی ساکن تحت عنوان یک مرحله<sup>۶</sup> نامیده می شود. ورودی و خروجی های مناسب برای دو فاز پیوسته و پراکنده در بالا و پایین ستون تعبیه شده اند [۲].

یکی از پارامترهای مهم در طراحی واحدهای استخراج مایع - مایع ماندگی می باشد که نقش بسیار مهمی در پیش بینی ارتفاع معادل یک مرحله ایده ال دارد. در حال حاضر روش معمول در طراحی، استفاده از

Bails [۹] رابطه بین سرعت مشخصه و لغزشی را چنین بیان کرده است .

$$V_{slip} = V_K (1 - x) \quad (۶)$$

همچنین رابطه بین سرعت لغزشی و سرعت مشخصه از نوع رابطه نمائی و تابعی از اثر پیوند و ائتلاف قطرات به شکل زیر بیان شده است.

$$V_{slip} = V_K (1 - x) \exp(Bx) \quad (۷)$$

معادله های دیگری نیز برای سرعت لغزشی در برجها پیشنهاد شده است [۵].

Kumar و Hartland [۱۰] روابط تجربی را برای ماندگی فاز پراکنده ارائه کرده اند که برای ستون پاشنده به صورت :

$$x = 3.78 (D_s \rho_c^{2/3} g^{1/3} / \mu_c^{1/3})^{-0.82} (\Delta\rho/\rho_c)^{-0.80} \\ [V_d \rho_c^{1/3} / (g \mu_c^{1/3})]^{1.47} (1 + V_c/V_d)^{0.27} \quad (۸)$$

و برای ستون RDC به صورت زیر می باشد.

$$x = [570.53 + 747.78(N^2 D/g)^{1.28}] \times \\ [D_s^2 h^2 \rho_c g / (D_c^2 \sigma)]^{-0.45} (\Delta\rho/\rho_c)^{-0.58} \times \\ [\mu_c g^{1/4} / (\rho_c^{1/4} \sigma^{3/4})]^{0.85} [V_d^4 \rho_c / (g \sigma)]^{0.22} \\ \times (1 + V_c/V_d)^{0.35} \quad (۹)$$

در این میان آنچه کمتر مورد توجه قرار گرفته است. مقدر ماندگی موضعی یا نقطه ای فاز پراکنده می باشد که در اینجا آنرا با استفاده از سیستم های شیمیائی انتخاب شده از طریق تجربی اندازه گیری نمودیم.

### مشخصات ستونهای ساخته شده

شرایط فرآیند در عملیات جداسازی به طور قابل توجهی متنوع می باشد. به طور مثال عملیات استخراج می تواند در دما یا فشارهای بالا و پائین صورت پذیرد. علاوه بر اینها مایعات فرآیند می توانند از مواد غیر خورنده

می باشد. اگر سرعت متوسط فاز پراکنده که عبارت است از نسبت شدت حجمی فاز پراکنده بر سطح مقطع را با  $V_d$  نشان دهیم سرعت متوسط قطره نسبت به دیواره های ستون برابر خواهد بود با:

$$\bar{V}_d = \frac{V_d}{x} \quad (۱)$$

X همان ماندگی فاز پراکنده می باشد.

اگر سرعت فاز پیوسته را با  $V_c$  نمایش دهیم ، سرعت متوسط فاز پیوسته نسبت به دیواره های ستون برابر خواهد بود با :

$$\bar{V}_c = \frac{V_c}{1 - x} \quad (۲)$$

با توجه به اینکه هم فاز پیوسته و هم فاز پراکنده حرکت می کنند این دو فاز نسبت به هم دارای یک سرعت نسبی می باشند که از این سرعت نسبی به نام سرعت لغزشی<sup>۷</sup> یاد می شود که برای اولین بار توسط Lapidus و Elgin پیشنهاد گردید. سرعت نسبی دو فاز در جریان ناهمسو از مایعات برای ستون RDC عبارت است از :

$$V_{slip} = \frac{V_d}{x} + \frac{V_c}{1 - x} \quad (۳)$$

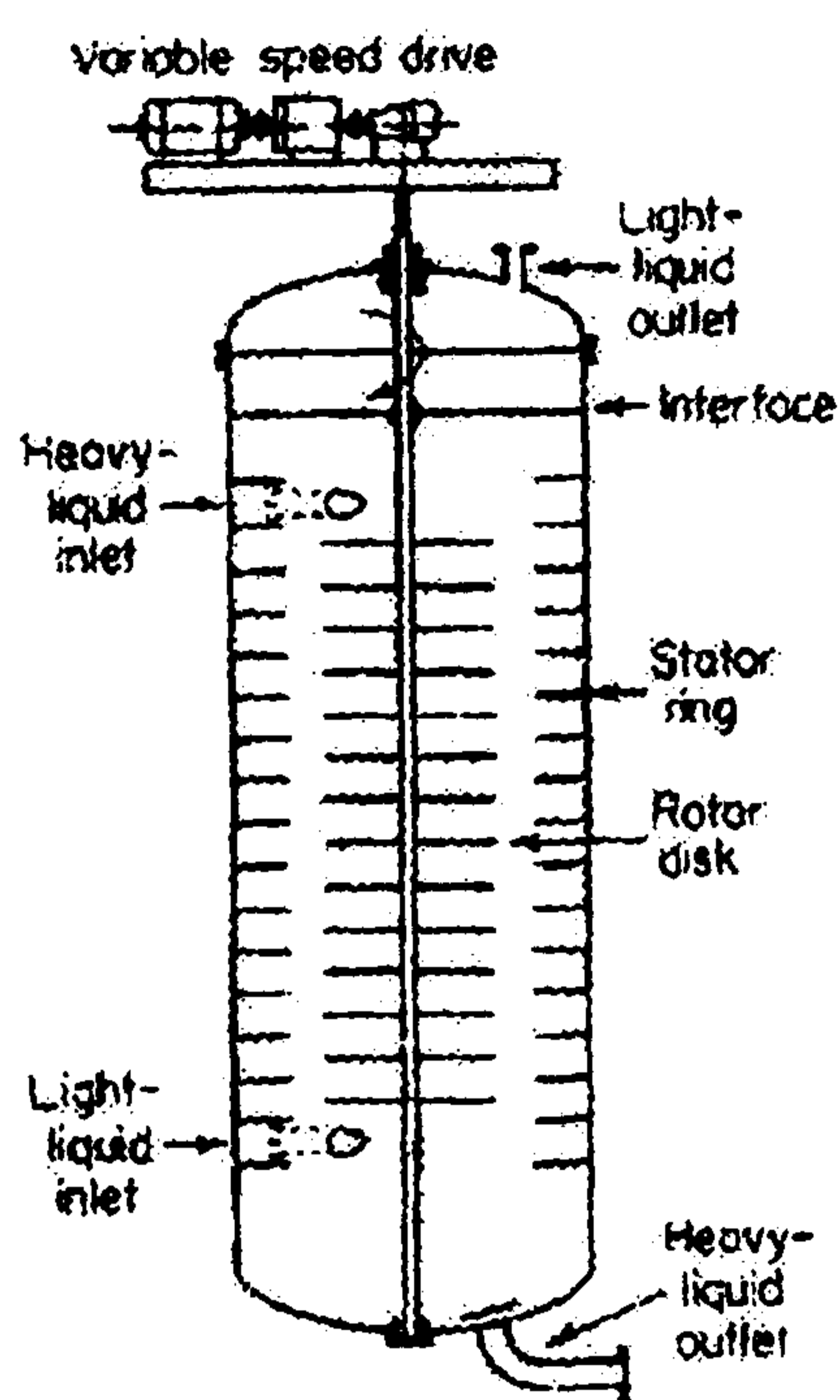
در حالت جریان همسو ، علامت منفی جایگزین علامت مثبت در معادله (۳) می شود.

سرعت مشخصه<sup>۸</sup> قطره رابطه تنگاتنگی با مقدار ماندگی فاز پراکنده دارد. بنا بر نظر Godfrey و همکاران [۸] رابطه بین متغیرهای فوق و جریانهای حجمی دو فاز توسط رابطه زیر قابل بیان است:

$$V_{slip} = V_K (1 - x)^m \quad (۴)$$

Korchinsky [۸] با استفاده از نتایج تجربی سرعت مشخصه را به صورت زیر پیشنهاد کرده است:

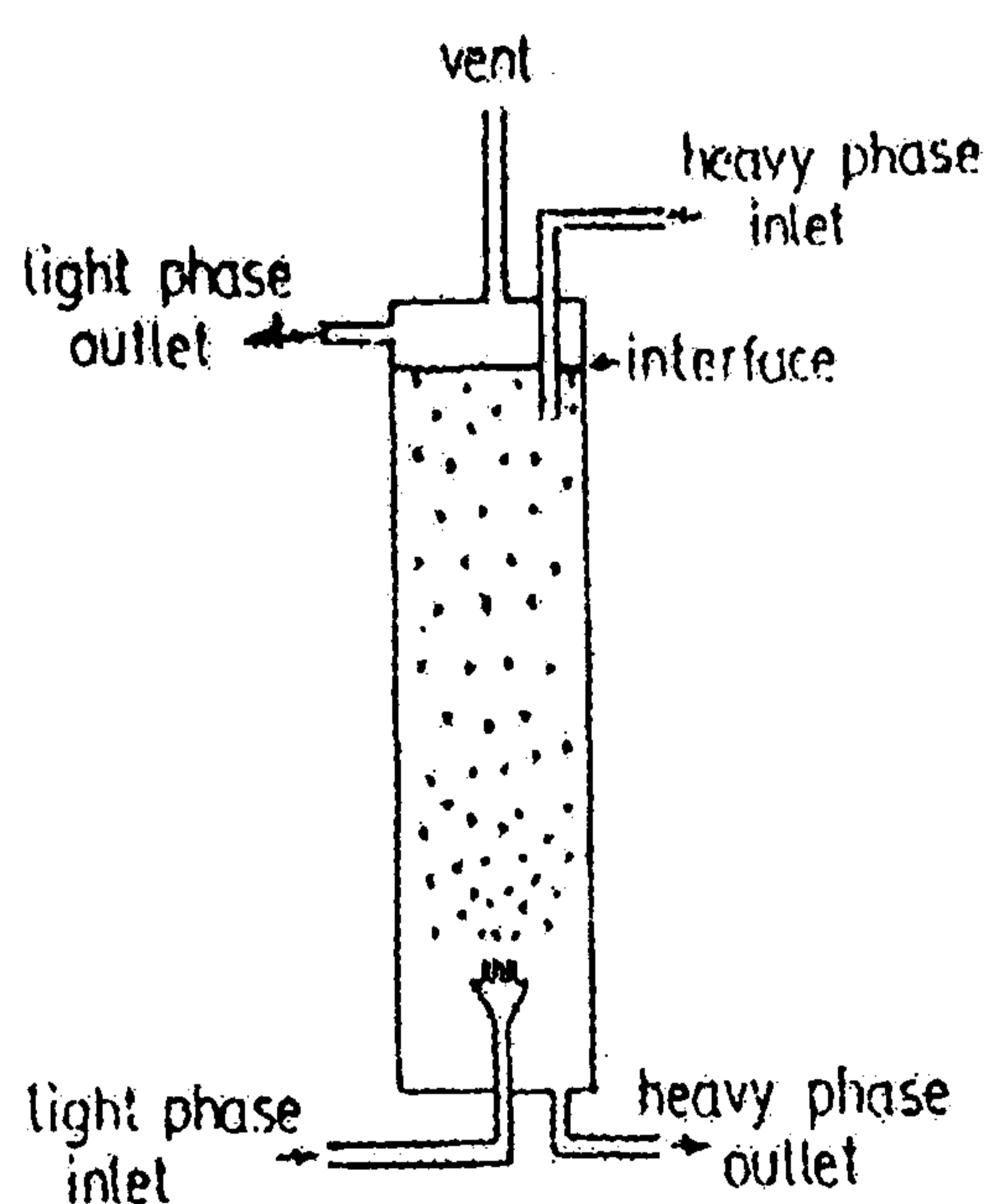
$$V_K = 1.77 \times 10^{-4} \frac{\sigma}{\mu_c} \left( \frac{g}{DN^2} \right) \left( \frac{\Delta\rho}{\rho_c} \right)^{0.9} \quad (۵)$$



شکل ۱: نمای کلی از یک ستون RDC به همراه جریانهای ورودی و خروجی.

جدول ۲: مشخصات کلی ستون RDC.

ارتفاع ستون	۱۲۵ سانتیمتر
قطر ستون	۱۰ سانتیمتر
قطر نازل	۴ میلیمتر
تعداد شیرهای نمونه گیر	۶ عدد
فاصله شیرهای نمونه گیر	۱۵ سانتیمتر
ارتفاع هر مرحله	۳ سانتیمتر
تعداد روتامتر	۲ عدد
تعداد مخازن برای دو فاز	۴ عدد



شکل ۲: نمای کلی از یک ستون پاشنده به همراه جریانهای ورودی و خروجی.

تا شدیداً خورنده باشد. شکل هندسی ساده ستونهای پاشنده و RDC می تواند ما را در استفاده از هر ماده ای آزاد بگذارد. در اینجا هر دو ستون از شیشه پیرکس ساخته شده اند. پارامترهای مهم ستون که بر بازدهی یک ستون RDC تاثیر می گذارند عبارتند از: قطر ستون ( $D_t$ )، قطر دیسک دوار ( $D_R$ )، قطر استاتور ( $D_s$ )، ارتفاع هر مرحله ( $h$ )، سرعت گردش دیسک ( $N$ ). این پارامترها و نسبتهای جریان و ماندگی فاز پراکنده، سرعت طغیان، زمان اقامت مایعات، اندازه قطره روی مقدار انتقال جرم تاثیر می گذارد. بر اساس معادلات زیر ابعاد داخلی RDC بطور تقریبی بر حسب قطر ستون ( $cm$ ) قابل محاسبه می باشند [۱۱].

$$h = 0.62(D_t)^{0.68} \quad (10)$$

$$D_R = 0.5 D_t \quad (11)$$

$$D_s = 0.67 D_t \quad (12)$$

به طور کلی قطر دیسک دوار کمی کمتر از قطر داخلی استاتور است تا از لحاظ مسائل تعمیراتی آسان باشد. شکل (۱) نمای کلی از ستون RDC و شکل (۲) نمای کلی از ستون پاشنده را نشان می دهد. مشخصات ستونهای ساخته شده که آزمایشها توسط آنها انجام شده در جداول (۱) و (۲) آمده است.

### سیستم های شیمیائی مورد استفاده

انتخاب مواد شیمیائی مناسب، کاملاً به اهداف آزمایش بستگی دارد و در این میان عملکرد دستگاه استخراج قویا به خصوصیات مواد مورد استفاده بستگی دارد.

جدول ۱: مشخصات کلی ستون پاشنده.

ارتفاع ستون	۱۴۵ سانتیمتر
قطر ستون	۱۰ سانتیمتر
قطر نازل	۴ میلیمتر
تعداد شیرهای نمونه گیر	۴ عدد
فاصله شیرهای نمونه گیر	۲۵ سانتیمتر
تعداد روتامتر	۲ عدد
تعداد مخازن برای دو فاز	۴ عدد

پراکنده را برقرار نمودیم. طبق نظر بعضی از محققین جریانهای ورودی دو فاز مایع را مماس بر دیواره ستون وارد کردیم تا از هرگونه اختلال در الگوی جریان جلوگیری شود [۲]. پس از رسیدن به حالت پایدار مقدار ماندگی از طریق بستن همزمان کلیه شیرهای ورودی و خروجی (Shut down) جریانها و تأمل در جدا شدن دو فاز و اندازه گیری حجم هر یک از فازها انجام گرفت این روش توسط سایر محققین نیز بکار رفته است [۱۲]. اساس نحوه اندازه گیری ماندگی متوسط و موضعی فاز پراکنده شبیه به هم می باشد، با این تفاوت که در اندازه گیری ماندگی موضعی نمونه هایی از ارتفاعهای مختلف برج گرفته می شود و پس از دادن زمان کافی برای جداسازی دو فاز، اندازه گیری هر یک از حجمهای دو فاز صورت می گیرد که در کار تجربی حاضر بیشتر تکیه بر اندازه گیری ماندگی موضعی فاز پراکنده می باشد. از درصد حجمی قطرات موجود در داخل ستون و هنگام کارکرد آن، تحت نام ماندگی دینامیکی<sup>۹</sup> نام برده می شود. تعدادی از قطرات فاز پراکنده در نقاط دور از دسترس و در بین تجهیزات داخل ستون به تله افتاده اند و قادر به آزادسازی خود نمی باشند که به درصد حجمی این قطرات ماندگی استاتیک<sup>۱۰</sup> اطلاق می گردد و برای ستونی که در شرایط پایدار عمل می نماید نقشی در انتقال جرم ایفا نمی کند.

در مورد ستون پاشنده نیز ترتیب کارها تقریباً به همین شکل است به طوریکه در ابتدا لوله های رابط مربوط به فاز پراکنده را پرمی کنیم به طوری که از نوک نازل، فاز پراکنده خارج شود سپس شیر تنظیم فاز پراکنده را بسته و اقدام به پر کردن ستون از فاز پیوسته تا ارتفاع مورد نظر می نمایم. جریانهای ورودی دو فاز را پس از حاکم شدن شرایط پایدار در ستون برقرار می نمایم. نحوه اندازه گیری مقدار ماندگی فاز پراکنده مطابق آنچه در بالا گفته شده می باشد. در تمامی آزمایشها هنگام نمونه گیری سعی شده است مقدار نمونه ها طوری گرفته شوند که به شرایط پایدار ستون تا حد امکان لطمه ای وارد نشود. آزمایشها با تغییر دبی های فاز پراکنده و پیوسته در ارتفاع های مختلف ستون برای هر

عموما کشش بین فازی یکی از مهمترین پارامترها با توجه به نوع دستگاه مورد استفاده می باشد [۳]. به همین منظور سیستم های شیمیائی برای آزمایش طوری انتخاب شده اند تا محدوده قابل توجهی از کشش بین فازی مواد را پوشش دهند و همچنین از لحاظ سایر خواص فیزیکی و شیمیائی نیز با هم متفاوت باشند تا بتوانیم اثر آنها را نیز بررسی نمائیم.

سیستمهای شیمیائی انتخاب شده عبارتند از: سیستم آب - نرمال هپتان که دارای کشش بین فازی (۵۰/۱ mN/m)، سیستم آب - تولوئن دارای کشش بین فازی (۳۶/۱ mN/m) و سیستم آب - MIBK که دارای کشش بین فازی (۹/۸۳ mN/m) می باشد. همچنین با توجه به اینکه قطرات فاز پراکنده باید قابلیت صعود در طول ستون را داشته باشند، در انتخاب سیستم ها باید اختلاف دانسیته مناسب نیز مورد توجه قرار گیرد. عوامل دیگری نظیر سهولت در آزمایشهای کمی، در دسترس بودن، ایمنی و ... از جمله مواردی هستند که باید مد نظر قرار گیرند. تصمیم در انتخاب یکی از دو فاز به عنوان فاز پراکنده براساس ملاحظات تجربی و نتایج آزمایشگاهی صورت می گیرد. معمولاً مایعی که دارای حجم بیشتری می باشد فاز پیوسته را تشکیل می دهد [۲]. اگر بخواهیم محل فصل مشترک دو فاز در بالای ستون قرار گیرد باید فاز مایعی که دارای جرم مخصوص بیشتر بوده و سنگین تر می باشد، به عنوان فاز پیوسته از بالای ستون وارد گردد و چنانچه بخواهیم محل فصل مشترک دو فاز در پایین ستون قرار گیرد باید فاز سبک تر به عنوان فاز پیوسته و از پایین ستون وارد گردد و مایع سنگین تر به عنوان فاز پراکنده از بالا وارد ستون شود. در تمامی این سیستم های شیمیائی آب به عنوان فاز پیوسته و ماده آلی به عنوان فاز پراکنده در نظر گرفته شده است.

## روش اندازه گیری ماندگی متوسط و موضعی فاز پراکنده

برای تعیین مقدار ماندگی فاز پراکنده ابتدا ستون RDC را از فاز پیوسته پر نموده و سرعت دوران روتور را روی مقدار مورد نظر تنظیم کردیم. سپس جریان فاز

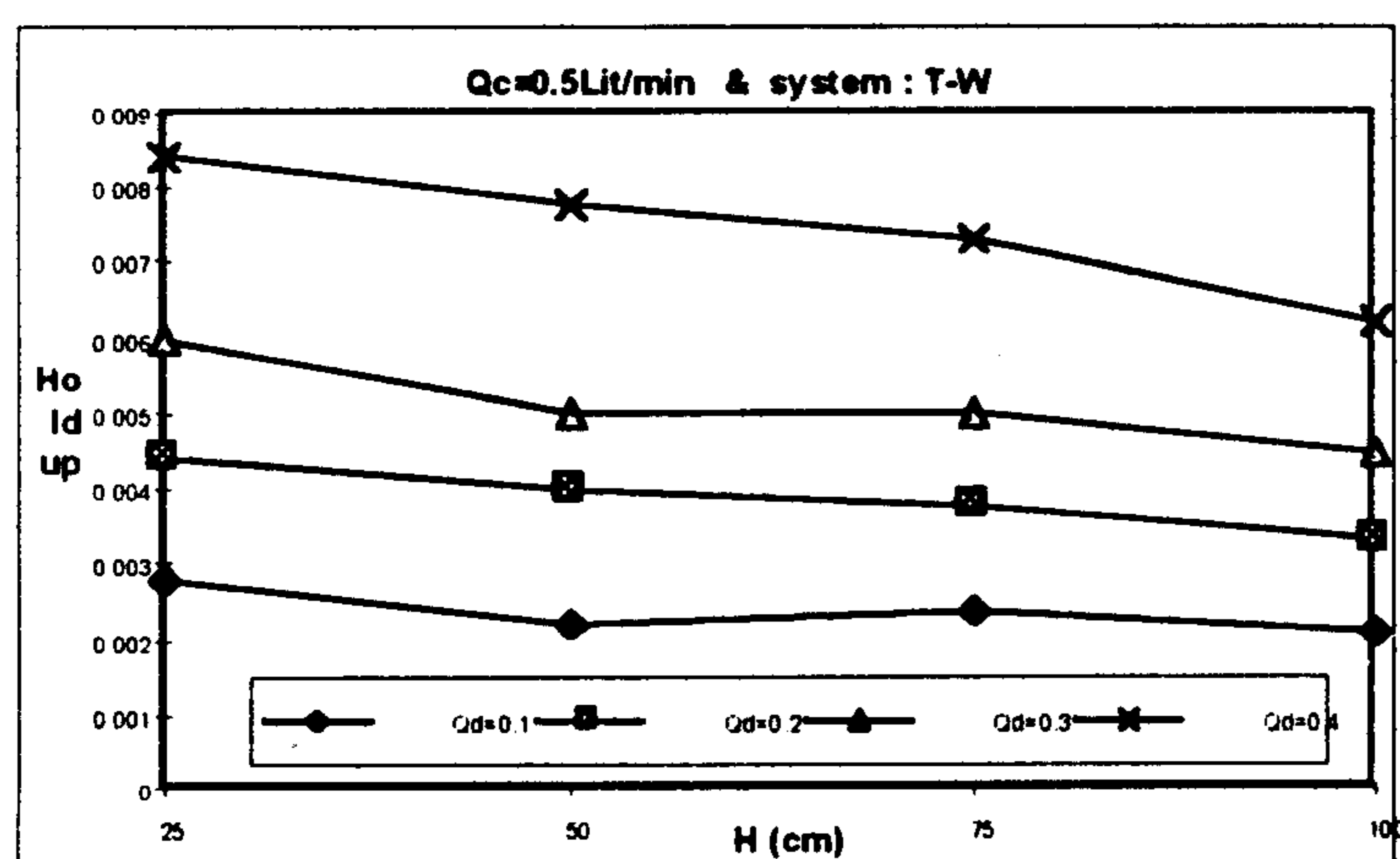
دو ستون تکرار شده است.

## ارائه نتایج تجربی

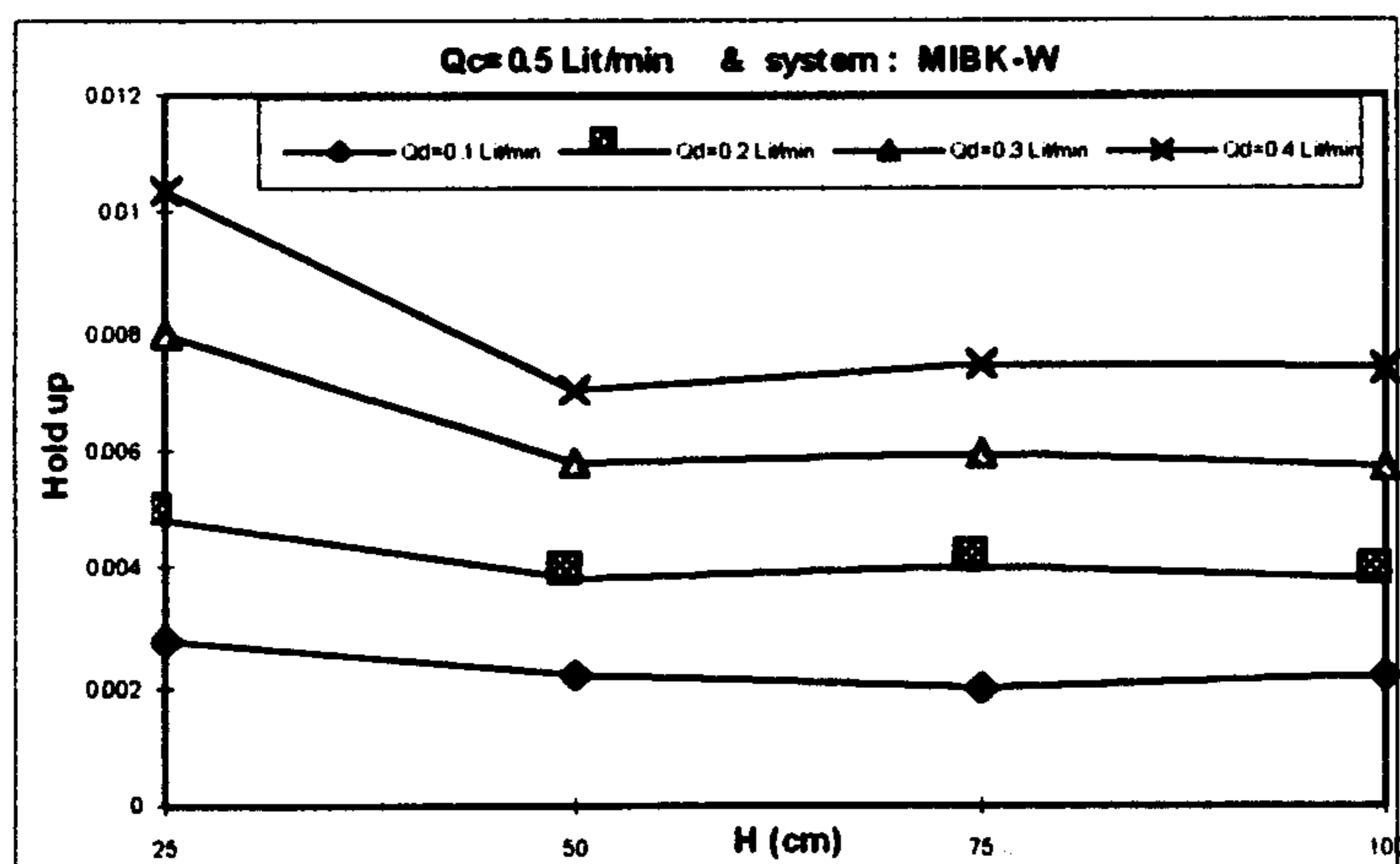
در حین آزمایشهای ستون پاشنده مشاهده شد که برای کشش های بین فازی بزرگتر، قطرات به صورت حرکات مارپیچ در فاز پیوسته بالا می روند و هر چه کشش بین فازی کمتر می شود، قطرات به صورت عمودی تر از داخل فاز پیوسته صعود می نمایند. ماندگی فاز پراکنده در واقع معرف کسر حجمی فاز پراکنده می باشد و برای تمام ملاحظات هیدرودینامیک ستونها اهمیت کلیدی دارد. ماندگی موضعی فاز پراکنده در طول ستون مقدار ثابتی نمی باشد و نسبت به تغییرات کوچک در شرایط آزمایش حساس می باشد.

شکل های (۳)، (۴) و (۵) نمودار تغییرات ماندگی موضعی فاز پراکنده را بر حسب ارتفاع ستون پاشنده برای سیستمهای آب - تولوئن، آب - نرمال هپتان و آب - MIBK نشان می دهد. نتایج برای هر سیستم به ازای چهار دبی مختلف از فاز پراکنده (۰/۳ و ۰/۴ Lit/min و ۰/۱، ۰/۲، و ۰/۵ min) ترسیم شده است. با توجه به نمودارها بیشترین مقدار ماندگی مربوط به سیستم شیمیایی آب - MIBK و کمترین مقدار آن مربوط به سیستم شیمیایی آب - نرمال هپتان می باشد. با توجه به کشش بین فازی که هر یک از این سیستمها دارند می توان نتیجه گرفت که با افزایش کشش بین فازی مقدار ماندگی در ستون کاهش می یابد. از لحاظ فیزیکی نیز این نتیجه قابل انتظار می باشد، چرا که هر چه کشش بین فازی بزرگتر باشد اندازه قطره تولید شده در نوک نازل درشتتر خواهد بود. همچنین در این نمودارها مشاهده می شود که برای تمامی دبی های ذکر شده از دو فاز بیشترین مقدار ماندگی مربوط به نقاط ابتدائی ستون (نقاط نزدیک به نازل) می باشد که شاید بتوان این موضوع را به سرعت حدی قطرات فاز پراکنده نسبت داد. روند کلی تغییرات ماندگی در تمامی این نمودارها تقریباً شبیه به هم می باشد. از آنجائیکه در داخل ستونهای پاشنده هیچگونه تجهیزات

جانبی قرار ندارد فاز پراکنده براحتی قادر خواهد بود از لابلای فاز پیوسته به سمت بالا حرکت کند و احتمال گیر افتادن قطرات کم می باشد لذا ماندگی استاتیکی برای این ستونها خیلی ناچیز خواهد بود. در تمام این آزمایشها سعی شد که با دبی های کم از فاز پراکنده، آزمایشها انجام شوند تا از تشکیل جت در دهانه نازل جلوگیری شود. مقدار ماندگی موضعی فاز پراکنده در چنین ستونهایی کم می باشد و افزایش ماندگی موضعی با افزایش مقدار فاز پراکنده میسر خواهد شد.



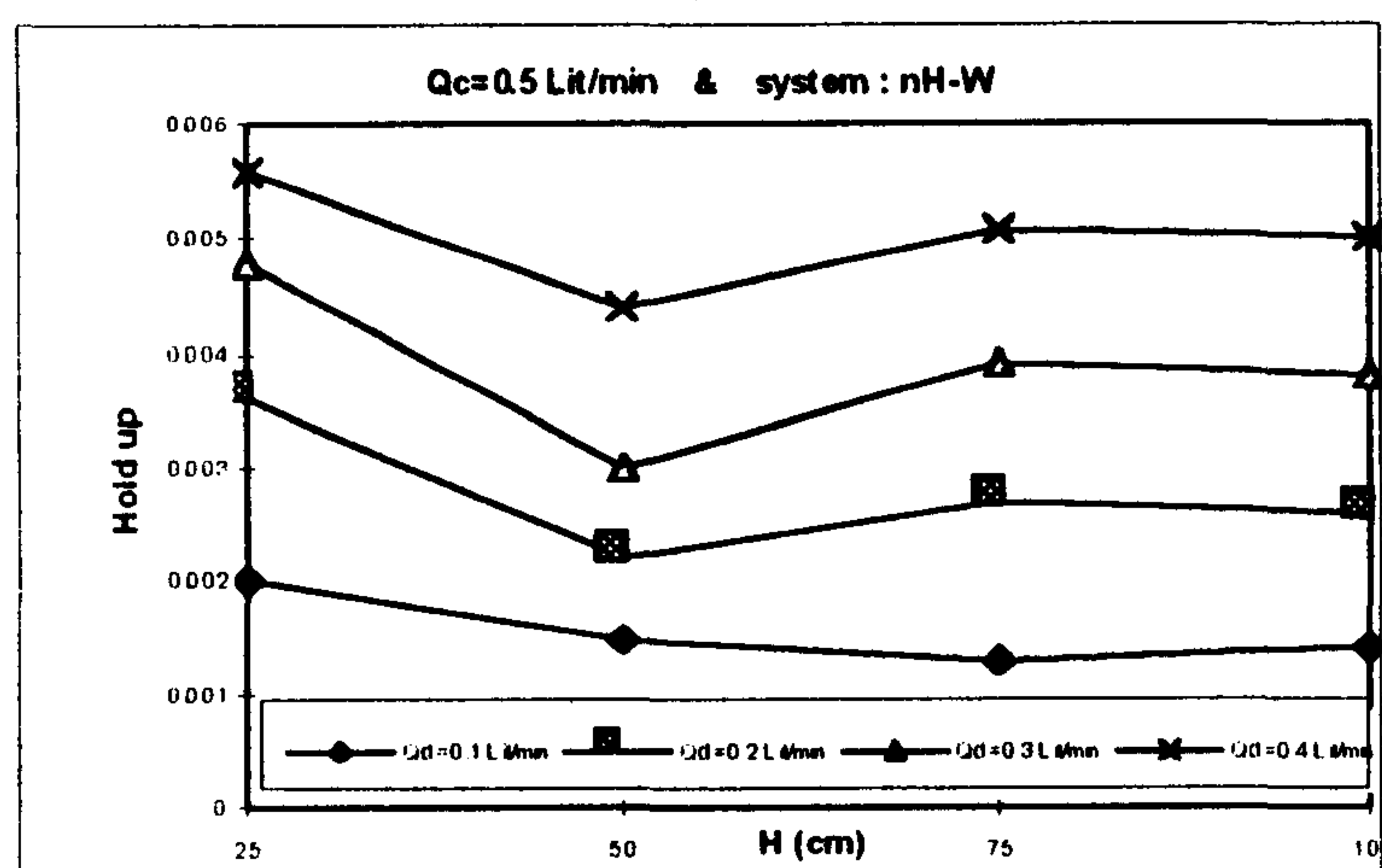
شکل ۳: نمودار تغییرات ماندگی موضعی فاز پراکنده برای سیستم آب - تولوئن در طول ستون پاشنده.



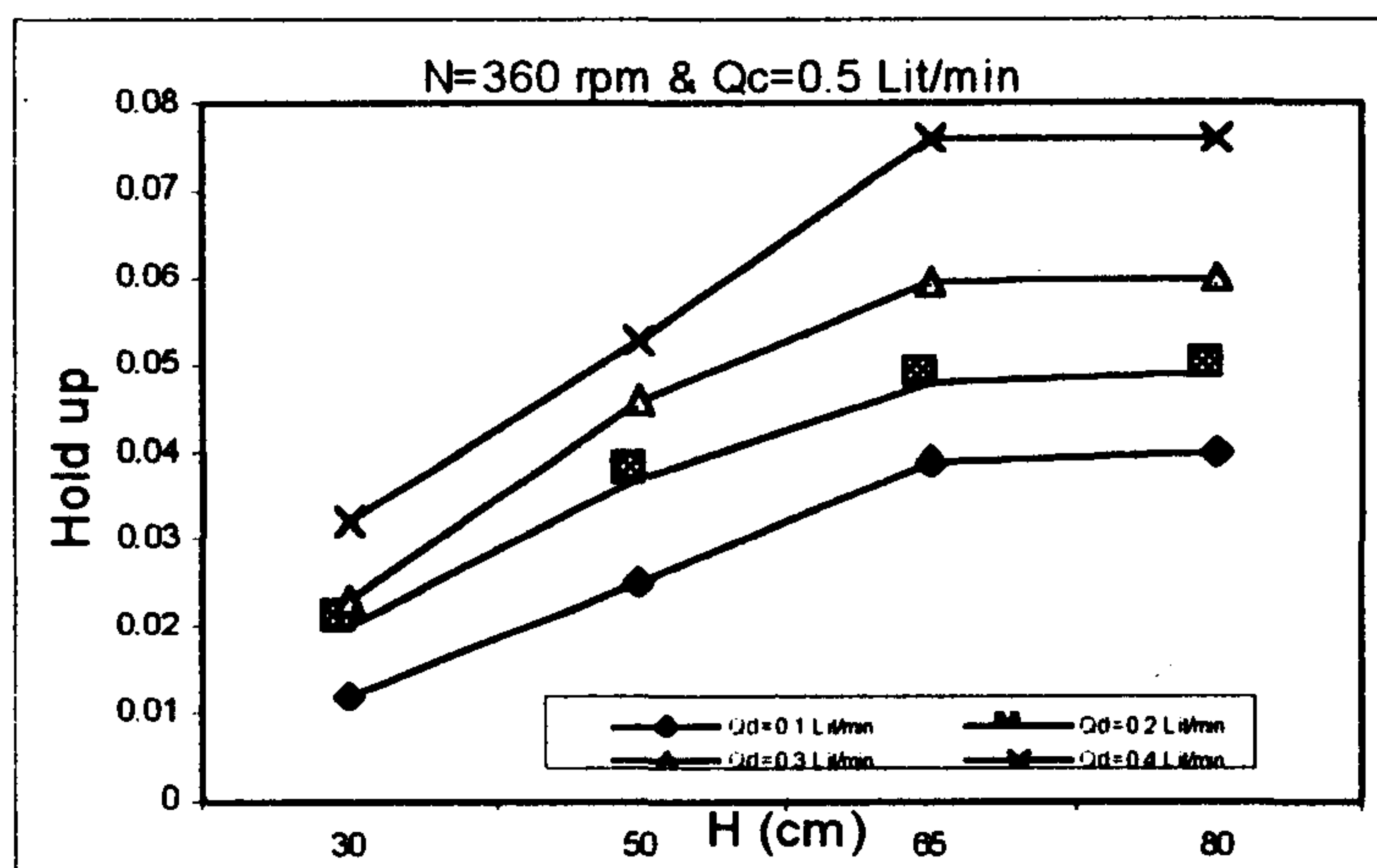
شکل ۴: نمودار تغییرات ماندگی موضعی فاز پراکنده برای سیستم آب - نرمال هپتان در طول ستون پاشنده.

در مورد ستون RDC آزمایشها بر روی همان سیستم های شیمیایی ودبی های ذکر شده در بالا انجام شده است. در ستون RDC سرعت دوران به عنوان یک متغیر عملیاتی محسوب می شود که همه آزمایشهای ذکر شده در اینجا در سرعت دوران ۳۶۰ rpm انجام

اولیه ستون و نقاط انتهائی آن حدود ۳۰ درصد می باشد که برای سایر دبی ها نیز تغییرات وجود دارد. در تمامی این آزمایشها سعی شد که با دبی های کم از فاز پراکنده انجام شوند تا از تشکیل جت در دهانه نازل جلوگیری شود.



شکل ۵: نمودار تغییرات ماندگی موضعی فاز پراکنده برای آب - MIBK در طول ستون پاشنده.



شکل ۶: نمودار تغییرات ماندگی موضعی فاز پراکنده برای سیستم آب - تولوئن در ستون RDC.

### نتیجه گیری و بحث نهایی

عوامل متعددی در اندازه قطرات در هنگام تشکیل و جدائی از نازلها نقش دارند که به طور خلاصه می توان از قطر داخلی نازلها، شکل هندسی و جنس نازلها، نسبت قطر ستون به قطر قطرات تشکیل یافته، کشش بین فازی، دانسیته و ویسکوزیته فازهای پیوسته و پراکنده، دبی فاز پراکنده، ارتفاع فاز پیوسته در بالای توزیع کننده نام برد.

شده اند و نتایج تجربی مربوط به مقدار ماندگی استاتیکی و دینامیکی موضعی فاز پراکنده بدست آمده اند. نتایج مربوط به مقدار ماندگی دینامیکی بر حسب طول ستون در نمودارهای (۶)، (۷) و (۸) ترسیم شده است. البته باید گفت مقدار ماندگی استاتیکی فاز پراکنده در مقایسه با مقدار ماندگی دینامیکی فاز پراکنده در این ستونها ناچیز می باشد و از آن صرف نظر شده است ولی با این وجود می توان مقدار آن را تا حدی با افزایش سرعت دوران روتورها کم کرد ولی از آنجائیکه در بالا بردن سرعت روتورها محدودیت داریم (کاهش بیش از حد قطرات و نزدیک شدن به نقطه طغیان)، جمع شدن مقداری از فاز پراکنده زیر استاتورها اجتناب ناپذیر خواهد بود.

با چرخش روتورها قطرات فاز پراکنده با آن برخورد نموده و به قطرات کوچکتر شکسته می شوند لذا در ستون RDC این امر موجب توزیع یکنواخت فاز پراکنده توسط روتورها در داخل ستون خواهد شد. در نتیجه باعث افزایش مقدار ماندگی موضعی فاز پراکنده می گردد (کاهش اندازه قطرات). نتایج حاصل از شکل های (۶)، (۷) و (۸) نشان می دهند که برای یک سرعت مشخص روتور و برای یک دبی ثابت از فاز پیوسته، مقدار ماندگی موضعی فاز پراکنده به ازای دبی های مختلف از فاز پراکنده بر حسب ارتفاع ستون ابتدا افزایش یافته و سپس به یک مقدار نسبتا ثابت می رسد. دلیل این را می توان در اندازه قطرات جستجو نمود. در نقاط نزدیک به نازل قطرات نسبتا بزرگ می باشد که در حین حرکت به سمت بالای ستون از لابلای روتورها، شکسته شده و به قطرات ریزتر تبدیل می گردد که این امر تا نیمه های ارتفاع ستون ادامه دارد و از آنجا به بعد توزیع قطرات یکنواخت شده و لذا ماندگی تقریبا ثابت می ماند. همچنین از مقایسه تمامی شکلها مشاهده می شود که هر چه مقدار دبی فاز پراکنده مواد شیمیائی مورد آزمایش بیشتر باشد مقدار ماندگی موضعی فاز پراکنده از لحاظ کمی، مقدار بیشتری را به خود اختصاص داده است. به عنوان مثال برای سیستم شیمیائی آب - تولوئن در دبی ۰/۲ Lit/min از فاز پراکنده تغییرات ماندگی بین نقاط

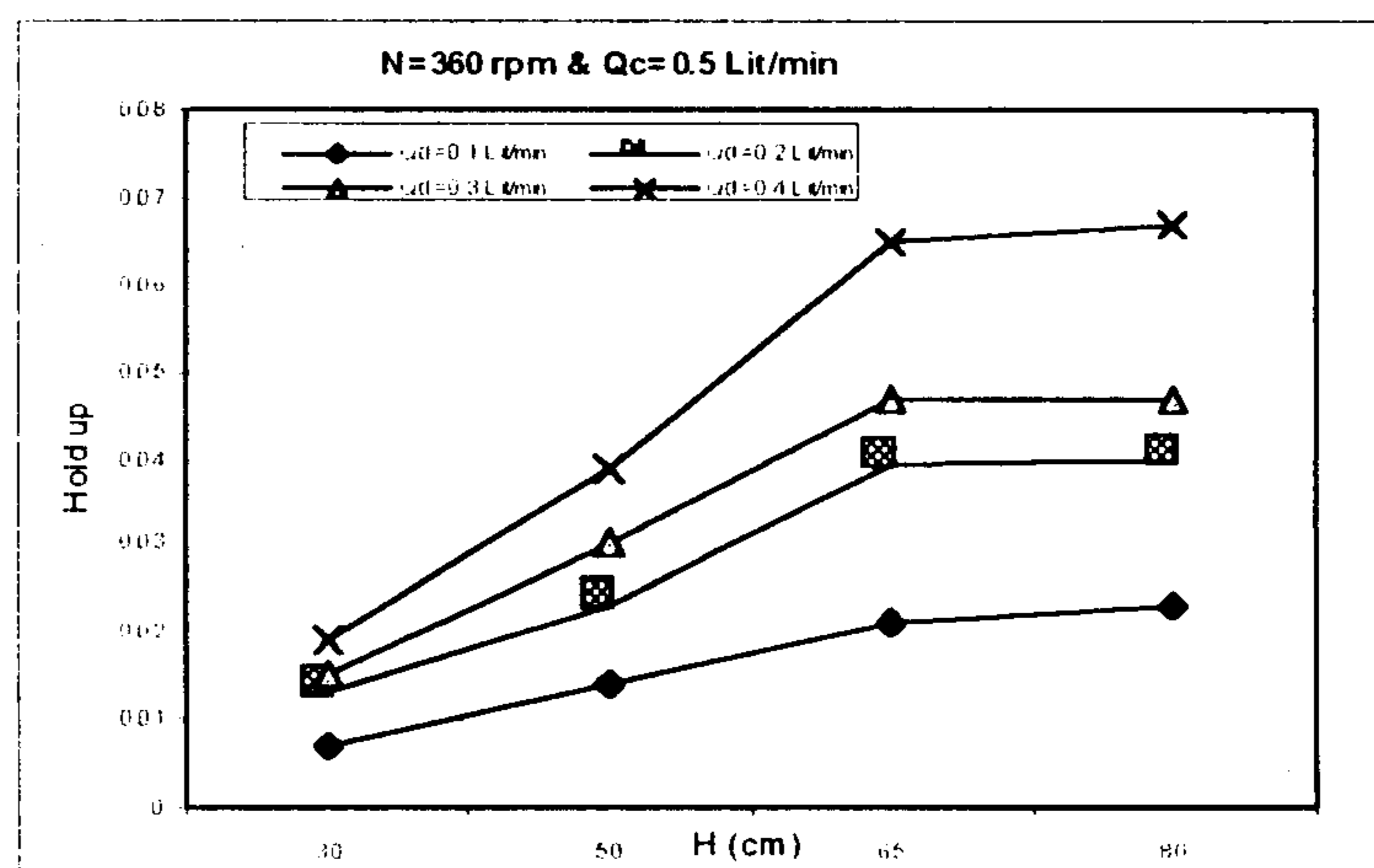
اقامت و شکست قطرات تاثیر می گذارند. شکست قطرات بواسطه تجهیزات مکانیکی منجر به توزیع بهتر و یکنواخت تر قطرات در فاز پیوسته می گردد و این امر منجر به افزایش ماندگی موضعی فاز پراکنده در ستون RDC می شود.

### فهرست علائم

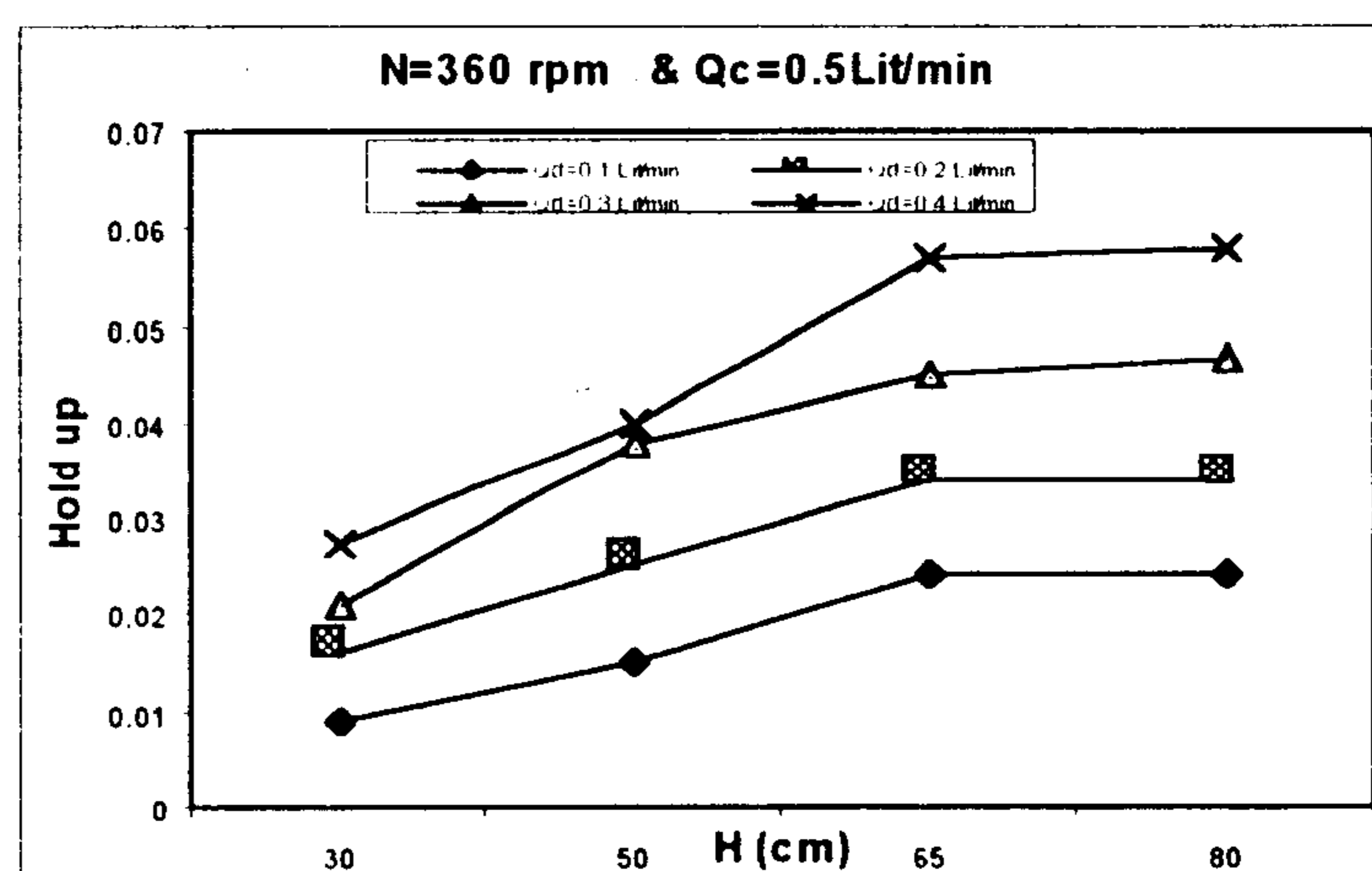
D :	قطر (cm)
g :	شتاب جاذبه ( $m/s^2$ )
h :	ارتفاع هر مرحله (cm)
V :	سرعت (m/s)
H :	ارتفاع ستون (cm)
x :	ماندگی فاز پراکنده
Q :	دبی (Lit/min)
N :	سرعت گردش دیسک ( $sec^{-1}$ )
$\mu$ :	ویسکوزیته (pa.s)
$\rho$ :	دانسیته ( $kg/m^3$ )
$\Delta\rho$ :	اختلاف دانسیته بین دو فاز ( $kg/m^3$ )
$\sigma$ :	کشش بین فازی (mN/m)

### زیرنویسها :

c :	فاز پیوسته	d :	فاز پراکنده
k :	مشخصه S	:	استاتور
t :	ستون R	:	دیسک دوار



شکل ۷: نمودار تغییرات ماندگی موضعی فاز پراکنده برای سیستم آب - نرمال هپتان در ستون RDC.



شکل ۸: نمودار تغییرات ماندگی موضعی فاز پراکنده برای سیستم آب MIBK - در ستون RDC.

کشش بین فازی یکی از پارامترهای بسیار مهم می باشد که بر ساختار سطح بین دو فاز، تجمع قطرات و جدائی فازها تأثیر می گذارد و به طور کلی گرادیانهای کشش بین فازی منجر به ایجاد حرکت در سطح مایعات می شوند. هر چه کشش بین فازی یک سیستم بزرگتر باشد قطرات حاصله نیز بزرگتر هستند و هر چه کشش بین فازی کمتر شود اندازه قطرات کوچکتر خواهد شد که این مساله دقیقاً در آزمایشها مشاهده گردید. در ستون پاشنده و RDC با افزایش دبی فاز پراکنده مقدار ماندگی موضعی فاز پراکنده افزایش می یابد. ماندگی موضعی فاز پراکنده در ستون RDC در مقایسه با ستون پاشنده بیشتر می باشد که این موضوع را می توان به تجهیزات داخل ستون RDC نسبت داد که عملاً این تجهیزات بر بالا رفتن، زمان



## مراجع

- 1 - Slater, M. J. and Godfrey, J. C. (1994). *Liquid - Liquid Extraction Equipment, 1/e*, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- 2 - Korchinsky, W.J. et al. (1982). "Optimization of drop size in counter current flow liquid - liquid extraction column." *Chem. Eng. Sci.*, Vol. 37, PP. 781-786.
- 3 - Kumar, A. and Hartland, S. (1989). Independent prediction of slip velocity and hold up in liquid -liquid extraction columns." *Can. J. Chem. Eng.*, Vol. 67, PP. 17-25.
- 4 - Laddha, G. S. and Degalesan, T. E. (1991). *Dispersion and coalescence, In Lo., T. C. Barid, M.H.I and Hanson, C.(edw) Hand book of solvent extraction, 1/e*. John Wiley and Sons, kreiger publishing Company, malabar, Florida, PP. 125-149.
- 5 - Godfery, J. C. and Slater, M. J. (1991). "Slip velocity relationships for liquid - liquid extraction columns." *Trans. I Chem, E.*, Vol. 69, PP. 130-141.
- 6 - Narsimhan, G. etal. (1980). "Analysis of drop size distributions in lean liquid - liquid dispersions." *AIChE J.*, Vol. 26, N. 6, PP. 991-1000.
- 7 - Bahmanyar, H. and Slater, M. J. (1991). "Studies of drop break up in liquid - liquid systems in a rotating disc contactor. Part I: condition of no mass transfer." *Chem. Eng. Technol.*, Vol. 14, PP. 79-89.
- 8 - Korchinsky, W. J. and Khatayloo, S. A. (1976). "An improved stage wise model of counter current flow liquid -liquid contactors." *Chem. Eng. Sci.*, Vol. 31, PP. 871-87.
- 9 - Bailes, P. J. (1986). "Hydrodynamic behavior of packed, rotating disc and kuhni liquid -liquid extraction column." *Chem. Eng. Res.*, Vol. 64, PP. 43.55.
- 10 - Kumar, A. and Hartland, S. (1989). "Independent prediction of slip velocity and hold up in liquid - liquid extraction columns." *The Can. J. Chem. Eng.*, Vol. 67, PP. 17-25.
- 11 - Kamath, M. S. and Subba Rau, M. G. (1985). "Prediction of operating range of rotor speeds for rotating disk contactors." *Can. J. Chem. Eng.*, Vol. 63, PP. 578-584.
- 12 - Asai, S. and Yosh Izawa, H. (1991). "Longitudinal hold up distribution of a dispersed liquid in bubble column with two immisible liquids." *Ind. Eng. Chem. Res.*, Vol. 30, PP. 745- 751.

## واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1 – Local Hold up
- 2 – Spray Column
- 3 – Rotating Disc Contactor
- 4 – Dispersed Phase
- 5 – Stator Rings

---

6 – Compartment

7 – Slip Velocity

8 – Characteristic Velocity

9 – Static Hold up

10 – Dynamic Hold up

---