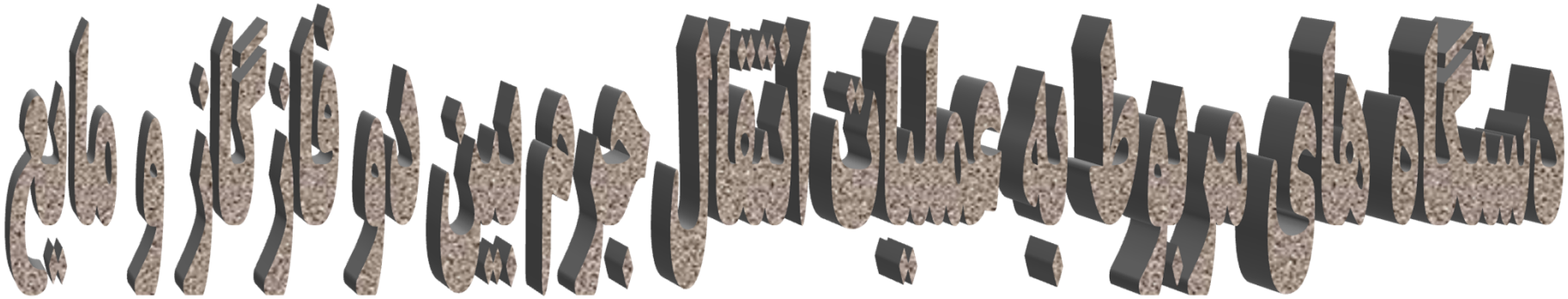
فصل ششم



مقدمه

بخش عمده ای از واحد های عملیاتی انتقال جرم مربوط به تماس دو فاز غیر قابل امتزاج گاز- مایع می باشد. مهمترین واحدهای عملیاتی گاز- مایع عبارت است از :

تقطیر

جذب

دفع

رطوبت گیری

واحد های عملیاتی فوق الذکر می توانند توام با انتقال جرم وانتقال حرارت باشنداز طرفی در بعضی گرادیان غلظت ونفوذدر هر دو فاز قرار می گیردو حداقل یک جزءدر دو فاز نفوذ می کند(مانند جذب جزءخاص از مخلوط گازی توسط حلال مایع)و در بعضی انتقال جرم در هر دو صورت میگیرد وکلیه اجزاءدر هر دو فاز نفوذ می کنند (مانند تقطیر)لذا پیچیدگی واحد های فوق الذکر از تقطیر تا رطوبت گیری کاهش می یابد.

دستگاه های مختلفی برای تماس هر چه بهتر و انتقال جرم با راندمان بالاتر برای سیستم گاز – مایع استفاده شده اند از جمله این دستگاه ها می توان به ظروف توزیع کننده گاز (sparger) ، ظروف مجهز به همزن مکانیکی و شوینده های ونتوری ، ستون های دیواره مرطوب ، ستون های پاشنده ، ستون های سینی دار و ستون های پر شده اشاره کرد.

ستون های سینی دار

یکی از دستگاه های عملیاتی گاز – مایع که مورد استفاده فراوانی دارد ستون های سینی دار است.ستون های سینی دار ستون های استوانه ای شکل هستند که درون آن صفحات مسطح با طراحی خاص (بر اساس نوع سینی)و با فواصل مشخصی قرار گرفته اند.برای آنکه نقش هر سینی به خوبی مشخص شود می توان چنین تصور نمود که اگر بتوانیم دستگاه های مجهز به همزن که برای تماس دو فاز گاز– مایع که به صورت سری استفاده شده است به صورت عمودی روی یکدیگر قرار داده و پره های متحرک موجود در ظروف توسط یک شفت در حال حرکت باشند.آنگاه اگر بتوانیم سینی هایی طراحی کنیم که حرکت فاز بخار از سوراخ سینی ها و ایجاد حباب های فراوان خود نقش مهم تلاطم وانتقال جرم را ایفا نمایند در این صورت یک ستون با مجموعه ای از سینی ها با طراحی خاص خواهیم داشت که کل مجموعه به صورت موازی و غیر هم سو بوده وهر مرحله از آن(محل تماس دو فاز و جدایی دو فاز از یکدیگر) به صورت یک مرحله متقاطع عمل می نماید .

ارتفاع چنین ستونی بستگی به تعداد مراحل واقعی ، تعداد مراحل تئوری و راندمان ستون مورد نیاز است. دستیابی به تعداد مراحل ایدآل یا تئوری با استفاده از بیلان جرم منحنی تعادلی و میزان سختی جدا سازی میسر است.

قطر ستون بستگی به دبی فاز گاز- مایع دارد که درون ستون در جریان است. ستون ها از جنس های مختلف فلزی وشیشه ای و پلاستیکی و آ لیاژ خاص ساخته شده اند.انتخاب جنس می تواند بر اساس شرایط عملیاتی دما و فشار و خورندگی سیستم شیمیایی صورت گیرد.جنس فلزی معمو ل تر است .

سینی درون ستون باید طوری تعبیه شود که در اثر حرکت سیال جا بجا نشود. امکان تمیز کردن ستونهای کوچک و بزرگ (مثلا در ستون های با قطر کم وجود دریچه هایی در بدنه ستون برای ورود دست یا امکان خروج مجموعه ای از سینی ها که توسط جدا کننده (spacer) جدا شده اند لیکن به هم متصل هستند و در ستونهای با قطر بزرگ وجود دریچه های عبور از یک سینی به سینی دیگر)باید مد نظر باشد.

برای بالا بردن راندمان می توان زمان تماس سطح تماس بین دو فاز و میزان تلاطم روی سینی ها را افزایش داد. برای افزایش زمان تماس می توان عمق مایع روی سینی ها را افزایش داد لیکن این عمل باعث می شود که افت فشار گاز زیاد شود. از طرفی افزایش افت فشار باعث می شود تا در عملیات جذب و رطوبت زنی قدرت فن مورد نیاز بالا رود یا در عملیات تقطیر بالا رفتن افت فشار باعث افزایش فشار در پایین ستون و لذا افزایش دمای جوش مخلوط مایع در پایین ستون شود و احتمال دارد مشکلاتی برای اجزاء سازنده مخلوط مایع ایجاد شود . از طرفی افت فشار بالا حتی باعث طغیان در ستون بر اساس تجربه وتئوری وبا استفاده ازکامپیوتر صورت می گیرد باید نکات زیادی مد نظر قرار گیردکه در ادامه بحث به آنهاخواهیم پرداخت.

انواع سینی ها

انواع سینی ها :

1- سینی های مشبک(Sieve Trays)

2- سینی های فنجانی(Bubble-Cap Trays)

3- سینی های شیر دار(Floating Cap Trays or Valve Trays)

سینی های مشبک

(Sieve Trays)

ساده ترین نوع سینی ها هستند که فاز بخار از طریق سوراخهای ایجاد شده در صفحات مسطح به صورت حباب به سمت بالا و فاز مایع روی سینی حرکت می کنند. روی سینی محل تماس دو فاز حبابهای مایع وبخار است. مایع از طریق ناودانی به سینی پایینی وارد می شود (ستونهای سینی دار بدون ناودانی نیز ساخته شده اند. ستونهای سینی دار دیفرانسیلی)

احتمال چکه کردن مایع از سوراخ ها وجود دارد .چکه کردن مایع باعث کاهش زمان تماس دو فاز وکاهش راندمان سینی ها می شود.لذا باید در طراحی سینی مقدار چکه کردن مایع بررسی شود تا در طراحی مجاز باشد.

سینی های فنجانی
(Bubble-Cap Trays)

لوله های کوتاهی (riser) روی سوراخ سینی ها تعبیه شده است. روی آن لوله های کوچک کلاهک هایی قرار دارد. محیط اطراف کلاهک دارای سوراخ هایی است (solt) بخار از طریق لوله های کوتاه به سمت بالا آ مده و از مسیر کلاهک و سوراخ های کلاهک به صورت حبابهای بخار به فاز مایع روی سینی می رسد تماس بین دو فاز روی سینی صورت گرفته و آنگاه بخارات به سمت بالا حرکت می کنند مایع نیز از بین کلاهک ها وازطریق یک ناودانی به سینی پایین هدایت می شوند.

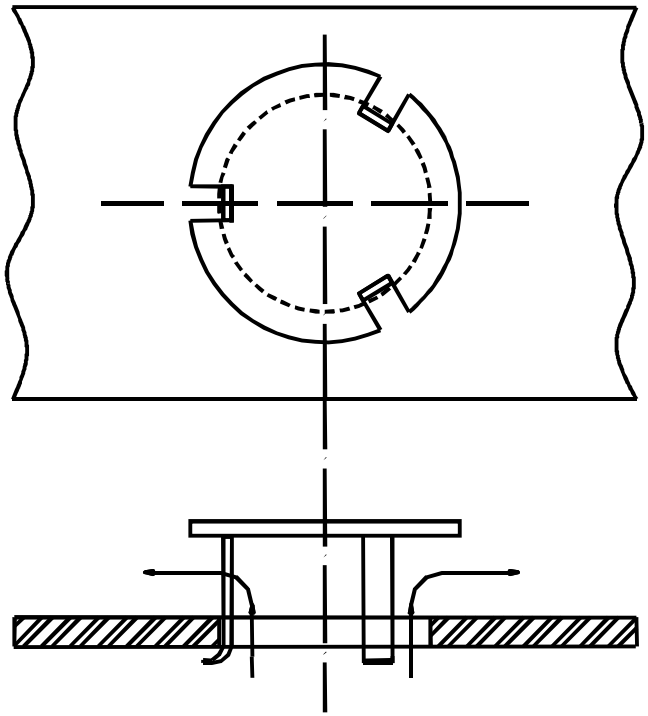
سوراخ هایی روی کلاهک ها با اشکال مختلفی طراحی شده اند وجود لوله های کوتاه روی سینی باعث می شود که همواره روی سینی (حداقل تا زیر سوراخ های موجود در کلاهک)مایع وجود داشته باشد.

سینی های شیر دار

(Floating Cap Trays or Valve Trays)

در این گونه سینی ها سوراخ های روی سینی توسط در پوش های متحرک پوشیده شده اند این در پوشها با افزایش و کاهش جریان گاز بالا وپایین می روند و مسیر حرکت گاز بیشتر و کمتر می شود.

نمونه ای از این سینی ها در شکل نشان داده شده است .

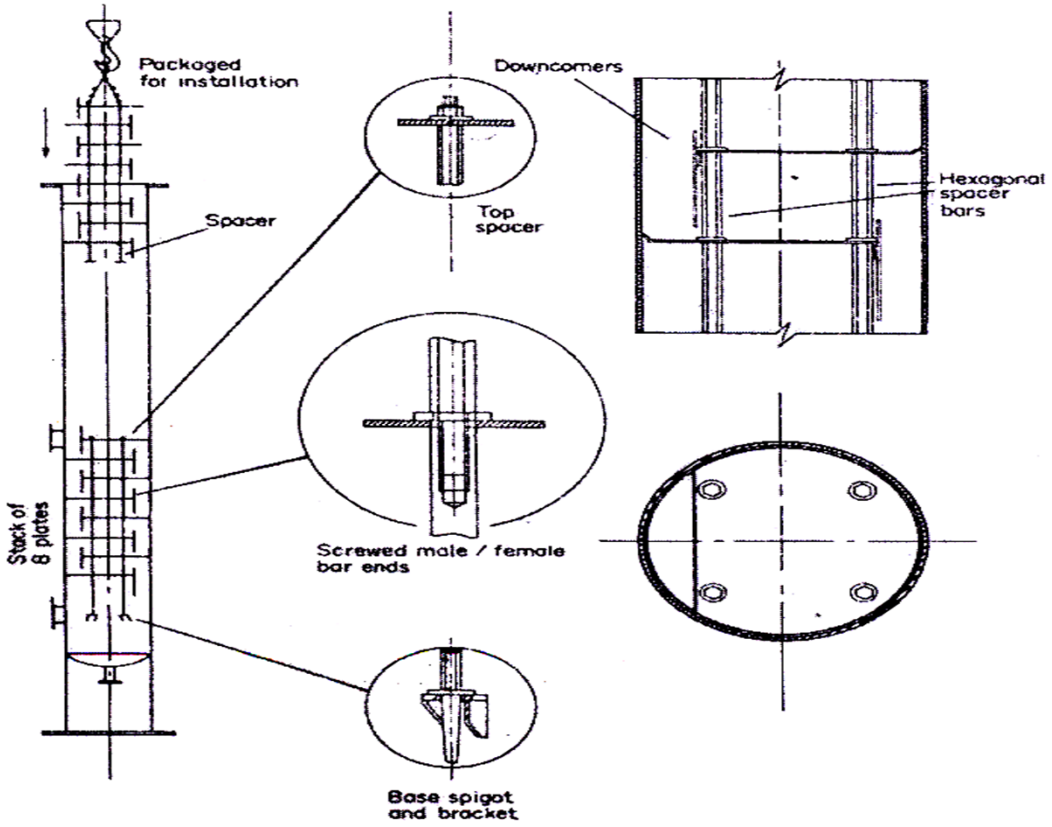


نمونه ای از سینی شیر دار

در نیمه اول قرن گذشته (1950-1900) تقریبا تمامی ستون ها با سینی های فنجانی طراحی شده بودند لیکن در حال حاضر از سینی های مشبک یا شیر دار بیشتر استفاده می شود.

اصولا برای ستونهای با قطر بزرگ سینی ها پس از ساخت یکی پس از دیگری درون ستون تعبیه می شوند .لیکن در ستو ن هایی با قطر کوچکتر(کمتراز 1.2 متر) مجموعه ای از این سینی ها ساخته شده را توسط شفتی که سینی ها به آ ن وصل است واز طریق spacer از یکدیگر جدا شده اند درون ستون جا داده می شوند ستون های بلند معمولا دو یا چند تکه ساخته می شوند وتعداد سینی ها در هر تکه در حدود 10عددمی باشد.

واضح است امکان ریزش مایع از کناره های سینی وجود دارد (کاملا آ ب بندی نمی شوند) لیکن مقدار آن در حدی نیست که مشکلی ایجاد شود.



قسمت های مختلف داخلی یک ستون سینی دار– ناودانی ، Spacer و ...

مقایسه سینی ها

اصولا مقایسه سه نوع سینی یاد شده بر اساس پارامترهای قیمت و ظرفیت و انعطاف پذیری و راندمان و افت فشار صورت می گیرد.

قیمت :

قیمت سینی ها با توجه به جنس به کار رفته متفاوت خواهد بود در صورتیکه سینی ها از یک جنس ساخته شده باشند در این صورت قیمت نوع فنجانی از نوع شیر دار ونوع شیر دار از نوع مشبک گران تر است ونسبت قیمت های فنجانی به شیر دار به مشبک تقریبا برابر 3:1.5:1 می باشد.

(قیمتs > قیمتv > قیمت B ،که B وv وS به ترتیب نشانه سینی فنجانی وشیردار ومشبک است.)

ظرفیت :

منظور از ظرفیت عبارت است از قطر ستون لازم برای عبور جریان مشخصی از فازها مقایسه سه نوع سینی حاکی از آن است که ظرفیت نوع مشبک نسبت به نوع شیردار ونوع شیر دار نسبت به فنجانی بیشتر است یعنی ظرفیت $S > V > B$.

انعطاف پذیری سینی :

منظور از انعطاف پذیری سینی آن است که اگر تغییری دردبی فاز گاز یا دبی فاز مایع ایجاد شود سینی با راندمان قابل قبولی کار کند وپایدار باشد.

نسبت بالاترین دبی مجاز به کمترین دبی مجاز Turn down ratio نامیده می شود در مقایسه سه نوع سینی سینی های فنجانی انعطاف پذیری خوبی از خود نشان داده اندو انعطاف پذیری سینی های شیر دار نسبت به مشبک بیشتر است شاید در یک نگاه اجمالی بتوان گفت انعطاف پذیری B> V > S است هرچند بسیاری از تولید کننده های سینی های شیر دار انعطاف پذیری سینی های خود را بسیار بالا می دانند تجربه نشان داده است که اگر طراحی سینی به خوبی انجام شود سینی های مشبک نیز انعطاف پذیری قابل قبولی داشته ودر محدوده 50٪ تا 120٪حد طراحی شده با راندمان خوبی کار می کنند.

راندمان :

تجربه نشان داده است که اگر سینی ها در محدوده شرایط عملیاتی طراحی شده کار کنند راندمان

یکسانی از خود نشان می دهند یعنی راندمان $V \approx S \approx B$

افت فشار :

بررسی افت فشار بخار از پارامتر های مهم در طراحی سینی می باشد بخصوص اگر ستون در شرایط خلاء کار نماید اصولا افت فشار بستگی به جزئیات طراحی سینی ها دارد لیکن در یک نگاه اجمالی افت فشار سینی های مشبک نسبت به سینی های شیر دار وشیر دار نسبت به فنجانی کمتر می باشد .

بنابراین در یک نگاه اجمالی استفاده از سینی های مشبک به لحاظ ارزان بودن و انعطاف پذیری قابل قبول در محدوده طراحی وافت فشار کم توصیه شود شاید به همین دلیل باشد که در حال حاضر استفاده از سینی های مشبک بیشتر مطرح شده است.استفاده از سینی های شیردار درصورت عدم دستیابی به Turn down ratio مناسب با سینی های مشبک و نیزدرصورتی که دبی بخار خیلی کم باشد به منظور اطمینان از وجود مایع روی تمام سینی ها استفاده از سینی های فنجانی باید مد نظر باشد.

الگوی جریان روی سینی ها

انتخاب الگوی جریان بر اساس دبی مایع و قطر ستون صورت می گیرد.

Single Pass :

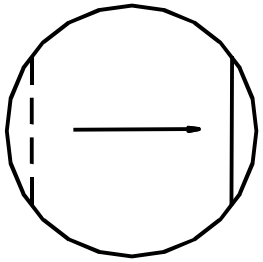
معمولی ترین و متداول ترین نوع جریان Single Pass می باشد. در این حالت ناودانی در دو طرف ستون قرار گرفته وحرکت مایع از طریق ناودانی به روی سینی به ناودانی طرف دیگر می رسد و ازطریق آن ناودانی به سینی پایین وارد می شود.

Reverse Flow :

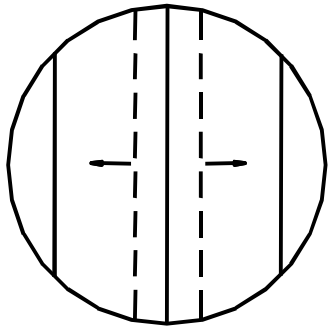
در صورتیکه دبی فاز مایع کم باشد در این صورت از الگوی جریان Reverse Flow استفاده می شود تا مایع تمام قسمت های سینی را بپوشاند. در این حالت ناودانی های ورودی وخروجی در یک طرف ستون قرار دارند. تیغه عمودی در وسط ستون دو قسمت سینی را از یکدیگر جدا می نماید.

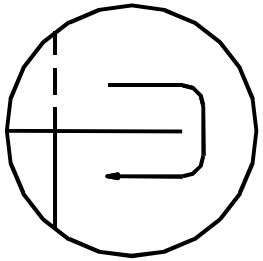
Multiple Pass:

در صورتیکه دبی فاز مایع زیاد باشد در این حالت از تعداد ناودانی بیشتری درهر سینی استفاده می شود به نحویکه مثلا در Double Pass دو ناودانی در قسمت میانی ستون تعبیه شده است که از طریق آنها مایع روی سینی پایین وارد شده وپس از حرکت روی سینی از دو ناودانی کناری به سمت پایین هدایت می شود. نمونه ای از Double Pass در شکل زیر دیده می شود. این ناودانی ها معمولا برای ستون هایی با قطر 3الی 6 متر استفاده می شود.

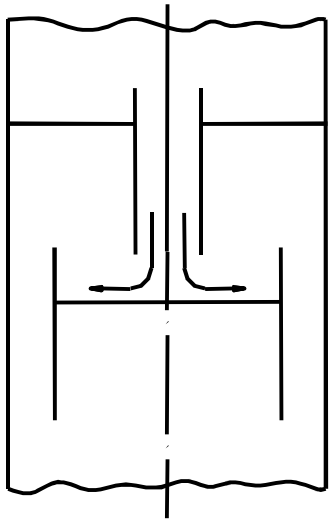


(a) Single Pass





(b) Reverse Flow

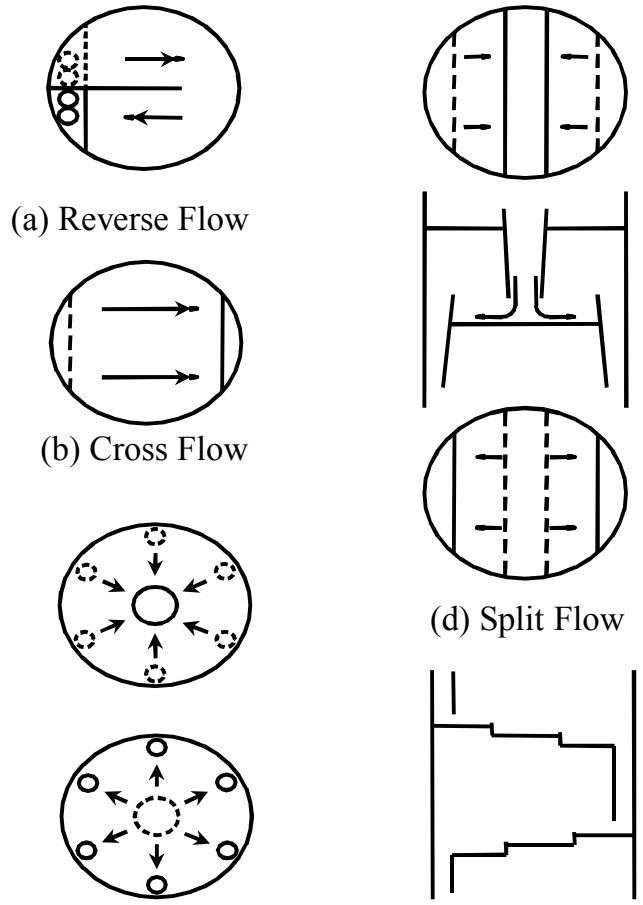


(c) Double Pass

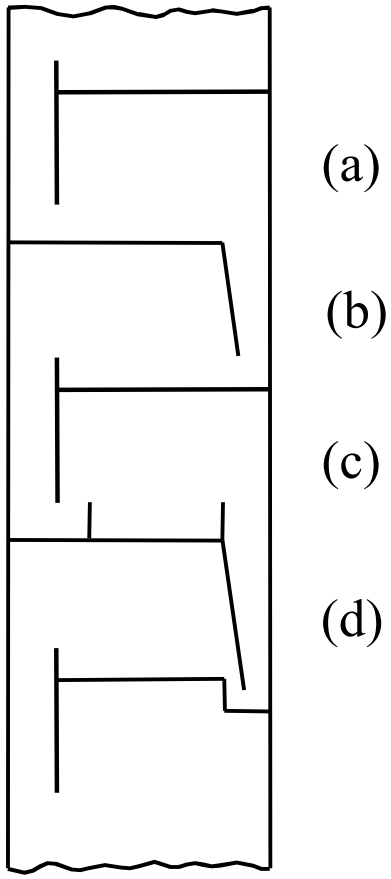
نمونه ای از الگو های جریان روی سینی ها

نمونه های دیگری از الگوی جریان در سینی ها در شکل زیر آمده است در بین این نمونه ها همان طوریکه ملا حظه می شود نوع ناودانی لوله ای برای دبی مایع کم (در حد دبی Single Pass) نیز توصیه شده است.

بعضی مواقع به جای عنوان الگوی جریان روی سینی ها عنوان انواع سینی ها استفاده شده است که صحیح به نظر نمی رسد. گاهی مواقع ممکن است به منظور افزایش سطح فعال در سینی پایین تیغه ناودانی کمی شیب داشته باشد وبه صورت عمودی استفاده نشود.(شکل دوم) گاهی به منظور اطمینان از عدم ورود بخار به درون ناودانی و ایجاد توزیع بهتر مایع روی سینی از سدهای ورودی نیز استفاده می شود .



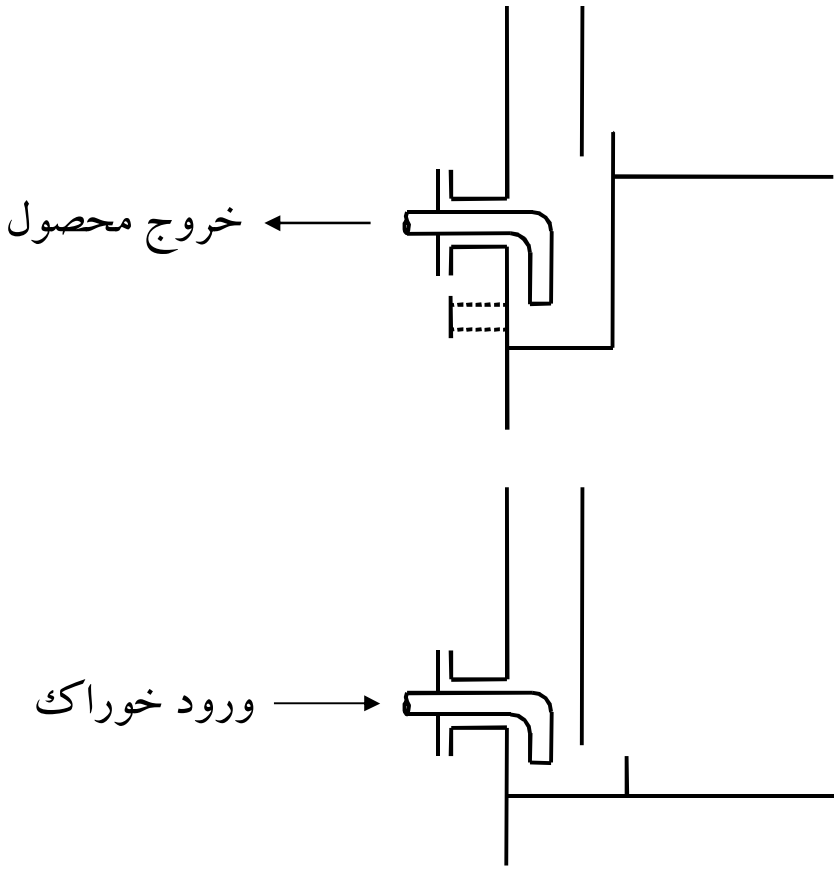
نمونه ای از الگوی جریان روی سینی (ناودانی لوله ای برای دبی مایع بسیار کم الگوی جریان از نوع Cascade برای دبی مایع خیلی زیاد)



طرح ناودانی عمودی و مایل ، سد های ورودی

a – تیغه های ناودانی عمودی b- تیغه ی ناودانی مایل c- سد ورودی d- فرو رفتگی در ابتدای سینی

(محلی مناسب برای ورود و خروج جریان ، شکل بعدی)



ورود خوراک و خروج محصول جانبی از سینی