باید گفت که انتقال جرم یکی از پدیده هایی می باشد که در اثر اختلاف غلظت یا به عبارت صحیح تر بر اثر اختلاف پتانسیل شیمیایی یک جزء یا ماده در یک فاز، جرم منتقل می شود تا اینکه در یک مقطع زمانی ماده در یک حجم ثابت (Constant Volume) بصورت یکدست (یکنواخت) یا Uniform در می آید.

### بخاطر آورید که ما Uniform vs. Constant را داریم.

$Uniform \iff Steady\ State \quad \frac{dC_J}{dt} = 0$ ثابت بر حسب زمان

$Constant \iff Equilibrium \quad \frac{dC_J}{dt} = 0, \qquad \nabla C_J = 0$ ثابت بر حسب زمان و مکان

- اجزاء DS ، NDS و DM تعریف شود و مثال آورده شود.
- تفاوت انتقال جرم فیزیکی و شیمیایی نیز مطرح شود.

**توجه**: محیط اثر بسیار مهمی درعمل انتقال جرم دارد. مثلاً در داخل کلاس، هوا ساکن است و حرکتی ندارد، بنابراین، عمل انتقال جرم با حالتی که محیط به صورت مغتشش (Turbulent) در حضور یک پنکه باشد تفاوت دارد چرا که در حالت دوم انتقال جرم سریعتر صورت می‌گیرد. مثال دیگری را در نظر بگیریم: اگر در جایی شکر بریزیم در اثر نفوذ ملکولی (Molecular Diffusion) یعنی برخورد ملکول‌ها ذرات شکر انتقال پیدا می‌کنند در صورتی که وقتی که با قاشق چایی را هم بزنیم و محیط را مغتشش یا Turbulent نماییم عمل انتقال سریعتر انجام خواهد شد.

بنابراین در عمل استخراج صنعتی اگر عمل اغتشاش نداشته باشیم، عمل جداسازی مدت زمان طولانی احتیاج خواهد داشت و مقرون به صرفه نخواهد بود.

[ Forced vs. Free convection یا همرفت با اعمال نیروی خارجی یا همرفت اجباری بر خلاف همرفت آزاد]

توجه: نکته دیگر قابل توجه آن است که در اعمالی چون تقطیر، تبخیر وخشک کردن انتقال حرارت و جرم توأماً وجود خواهند داشت.

بنابراین، انتقال جرم در هر دو صورت ساده و توأم با اندرکنش با عملیات جداسازی مکانیکی تفاوت دارد (بعلت مسئله نفوذ) و نهایتاً ما در این درس ریاضیات و محاسبات مربوط به طراحی این عملیات در راستای بحث انتقال جرم را فرا خواهیم گرفت.

به چند مثل دیگر توجه کنیم، ( جذب vs دفع تعریف شود)

[ مثل مربوط به انتقال جرم ]

۱) جداسازی استن (Acetone) از آب از طریق های

a) از فاز مایع به بخار (تبخیر)

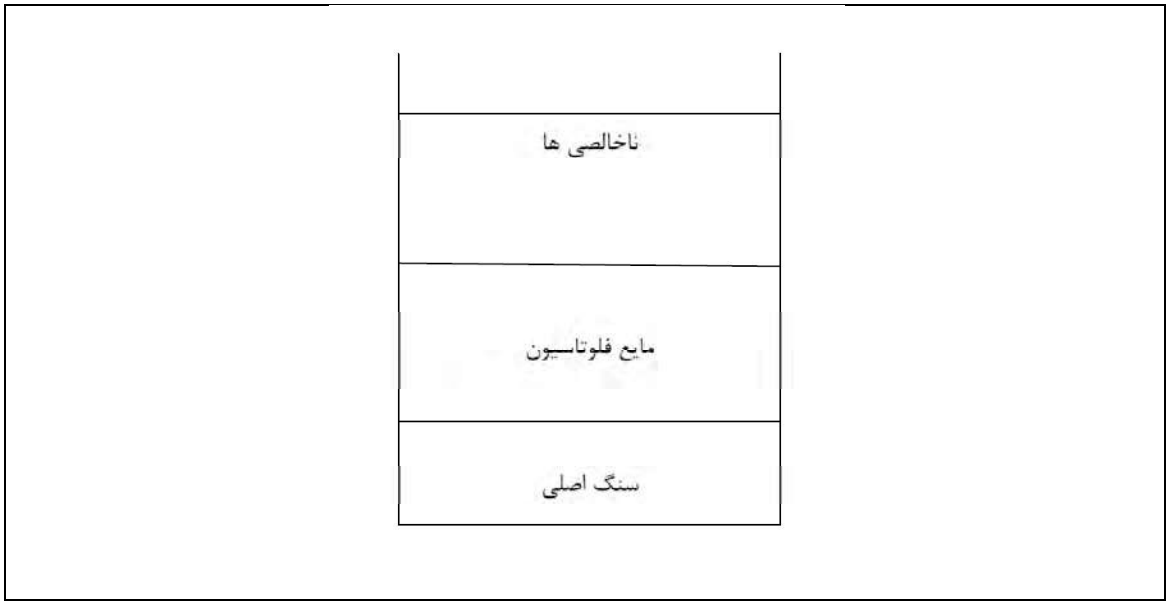
b) با استفاده از حلال بنزن که در این حالت از فاز مایع به مایع انتقال جرم صورت می‌گیرد.

[ مثل مربوط به انتقال جرم و عمل مکانیکی]

۲) پروسه روغن‌کشی در صنایع غذایی: در اینجا اول دانه را خرد می‌کنند و کمی آنرا گرم می‌کنند که ویسکوزیته ($\mu$) آن کاهش یابد. سپس آنرا Compress ( فشرده) می‌کنند تا مقدار قابل ملاحظه ای از روغن داخل دانه خارج شود. تا به اینجا فقط از تحت فشار دادن دانه استفاده کرده‌ایم. پس انتقال جرم مکانیکی است. در مرحله‌ی بعدی روغن باقیمانده (را در دانه) توسط حلال Hexane جدا می‌کنند که این عمل یک انتقال جرم بین دو فاز حساب می‌شود.

۳) عمل فیلتراسیون یک عمل فیزیکی محسوب می‌شود که نهایتاً اساس کار اختلاف فشار بالا و پایین فیلتر می‌باشد. برای مثال جداسازی ذرات معلق کربنات کلسیم در آب.

۴) عمل (فلوتاسیون) (Flotation) یا شناور سازی نیز یک عمل مکانیکی است که در رشته معدن کاربرد فراوان داد. نهایتاً از یک مایع فلوتاسیون که دارای یک چگالی حد وسط بین دانسیته سنگ اصلی و ناخالصی‌ها می‌باشد استفاده می‌کنند. این عمل هزینه ناچیزی را در بر می‌گیرد.




حالا به تقسیم‌بندی انتقال جرم می‌پردازیم. گفته شد که:

۱) انتقال جرم ساده (یعنی پایا بدون اندرکنش) شامل انتقال جرم مکانیکی مانند مورد روغن‌کشی درمقطع اولیه.

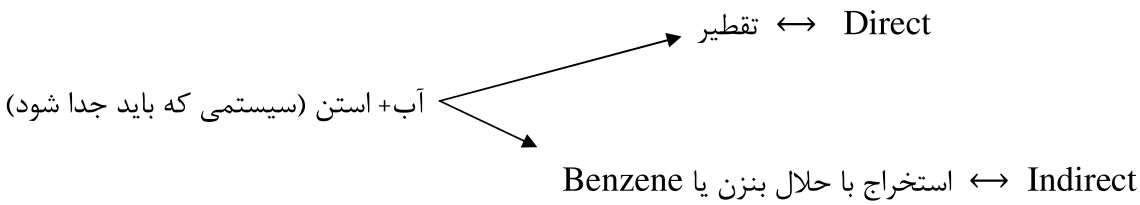
۲) انتقال جرم توأم با اندرکنش از نقطه ای به نقطه دیگر

**توام با پدیده‌های دیگر بدون جرم ثالث:**

۱) انتقال جرم مستقیم (یا Direct): که از جرم اضافی (ازدیاد جرم) برای جداسازی استفاده نمی‌کنیم. برای مثال، پروسه تقطیری که درآزمایشگاه انجام می‌شود موادی را در داخل بالن ریخته و در اثر اختلاف نقطه

جوش سازنده‌ها فقط با حرارت دادن از هم جدا می‌کنیم. عمل تبخیر نیز جزء این طبقه‌بندی محسوب می‌شود. [ **توام با پدیده‌های دیگر بدون جرم ثالث** ]

۲) انتقال جرم غیرمستقیم (یا Indirect) که دراینجا عمل جداسازی با افزودن جرم ثالثی به سیستم صورت می‌گیرد. عمل استخراج با حلال از این گروه می‌باشد برای مثال:




توجه: از لحاظ اقتصادی ما ترجیح می‌دهیم که عمل انتقال جرم بصورت مستقیم صورت گیرد زیرا هزینه بازیابی حلال و یا مصرف حلال وجود نخواهد داشت. البته در بعضی شرایط ما نمی‌توانیم از روش های مستقیم استفاده بکنیم. برای مثال موقعی که جسمی در اثر تقطیر تجزیه شود و یا اختلاف نقطه جوش اجزاء کم باشد، ما نمی‌توانیم از روش‌های مستقیم استفاده کنیم.

- از طرف دیگر عملیات انتقال جرم بر اساس نوع فازها تقسیم‌بندی می‌شوند:

۱- بخار یا گاز (هرچند که از لحاظ ترمودینامیکی و کینتیکی این دو متفاوتند) ( بخار دارای حرارت و نتیجتاً انرژی بالاتری می باشد).

۲- مایع

۳- جامد

بنابراین به مقدار ۳ (سه فاکتوریال) یا ۶ حالت ترکیب دوتایی فازها به صورت زیر می‌باشند:

۱- گاز – گاز ۲- گاز – مایع ( جذب یا دفع) ۳- گاز – جامد ( جذب یا دفع)

۴- مایع – مایع ۵- مایع – جامد (Leaching) ۶ - جامد – جامد

که ما حالات ۱ و ۶ را بررسی نخواهیم کرد.

برای حالت گاز – مایع: تبخیر، تقطیر و جذب گازها را می‌توان نام برد.

توجه:درتبخیر نقاط جوش اجزاء مختلف بسیار متفاوتند در صورتی که در تقطیر این نقاط به هم نزدیکترند. برای مثال در یک ترکیب ٪۴ سودسوز آور در آب عمل تبخیر مناسب (یعنی فقط آب در فاز بخار خارج خواهد شد) در صورتی که در عمل تقطیر اختلاف نقاط جوش این مواد زیاد نخواهد بود.

برای حالت گاز – جامد : خشک کردن و جذب سطحی را می‌توان نام برد.

برای حالت مایع – مایع : استخراج با استفاده از حلال را باید نام برد.

برای مایع – جامد: جذب سطحی و یا Leaching را می‌توان نام برد (فرایند کاتالیستی تلقیح مرطوب یا استخراج شکر از نیشکر)

توجه: از روشی به اسم Foam Separation در کارخانجات نساجی که در ضایعات (Waste) آنها دترژینتهایی یا Surfactant وجود دارند که باعث آلودگی محیط زیست می‌شوند، استفاده می‌شود برای اینکار از هوادهی (یا Aeration) استفاده می‌شود که در چنین حالتی دیترژینت‌ها بصورت کف در سطح پساب درآمده و جدا می شوند.

حالا به بررسی سیستم‌های ناپیوسته (Batch) ، پیوسته و یا مداوم (Continuous)، پایدار (Steady State) ، ناپایدار (Unsteady State)، مرحله‌ای (Stage Wise) و دیفرانسیالی (Differential) می‌پردازیم.

۱) سیستم ناپیوسته (یا Batch): در این نوع سیستم مقدار مشخصی ماده اولیه را در داخل ظرف یا دستگاه می‌ریزیم و با گذشت زمان در هر مقطعی که بخواهیم دستگاه را مطالعه می‌کنیم. در ضمن به طور مرتب خروجی یا ورودی نداریم.

۲) سیستم پیوسته یا مداوم (یا Continuous): سیستمی که مرتباً ورودی و خروجی خواهد داشت و ممکن است ناپایدار هم باشد.

۳) سیستم پایا (پایدار): سیستم مداومی که در آن تغییرات نسبت به زمان نداشته باشیم و اگر سیستم مداوم نباشد نمی‌تواند پایدار باشد.

۴) سیستم ناپایدار یا ناپایا: سیستمی که با گذشت زمان در آن تغییرات خواهیم داشت و این می‌تواند Batch یا Continues باشد.

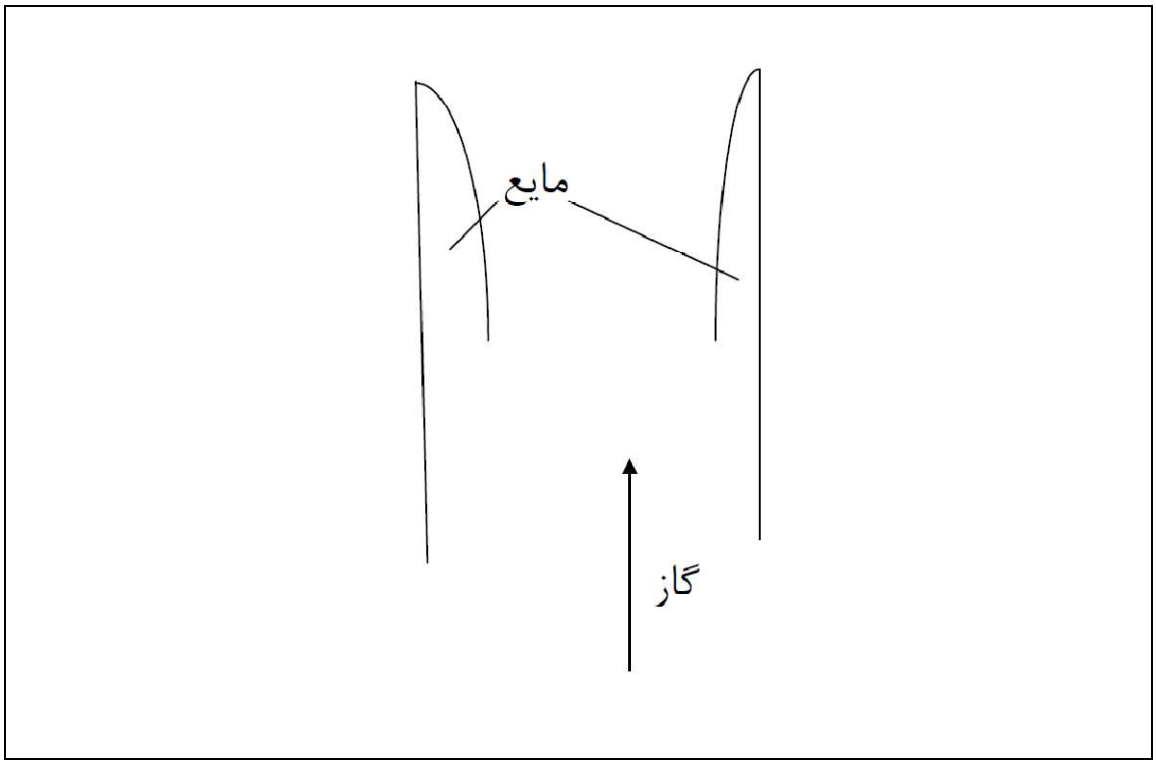
**توجه:** ۱- اگر با گذشت زمان در دستگاهی کیفیت محصولی تغییر ننماید می گویند سیستم به حالت Steady رسیده است. بنابراین دو موضوع که باعث تولید محصولات از طریق پروسه مداوم در حالت پایدار صورت گیرد عبارتند از:

۱) اشل بالای تولید محصول (تولید انبوه)  ۲) کیفیت ثابت محصول – قابلیت تکرارپذیری تولید

۲- معمولاً دستگاه‌هایی را که بصورت Continuous کار می‌کنند  هرچند ماه یکبار به منظور بازسازی و تعمیر متوقف می‌کنند. در پالایشگاه‌ها اینکار معمولاً هر سه یا شش ماه یک بار اینکار انجام می‌گیرد.

۵) سیستم مرحله‌ای: فرایندیست که مرحله به مرحله پیشرفت نماید همانند سینی‌ها موجود در برج تقطیر

۶) سیستم دیفرانسیلی: اعمالی هستند که بررسی تغییرات ذره ذره انجام می‌گیرد همانند a) ستون‌های یا برج های آکنده یا پر شده و b) ستون‌های جذب برای مثال در ستون‌های جداره مرطوب ( Wetted-Wall Column) که مایع از جداره ستون از بالا و گاز از پایین وارد می‌شود:




****** اصول طراحی (Design Principles):**

در مسائل کلی طراحی موارد زیر را باید در نظر داشته باشیم:

1) Number of Stage : تعداد مراحل

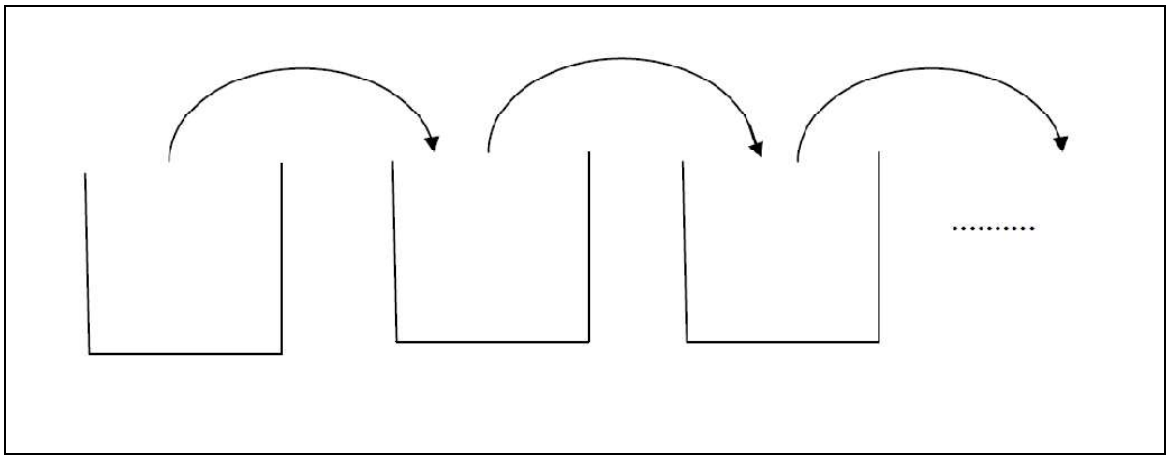
2) Permissible flow rates: شدت مجاز جریان‌ها

3) Contact time: زمان تماس

4) Energy requirements : انرژی‌های مورد لزوم

**توجه:**

۱) عملیاتی که در یک مرحله انجام ناپذیر باشند همانند عمل استخراج Craig بایستی که تعداد مراحل مشخص باشند.



۲) در یک دستگاه خوراک را به میزان مشخصی وارد می‌کنیم لذا ناچار خواهیم بود بعضی جریان‌ها نظیر حلال را به میزان مربوطه و مجازی مصرف نماییم.

۳) در یک سیستم پیوسته و ناپیوسته زمان تماس به دو نوع تقسیم می‌شود:

a) یک مخلوط‌کن یا Mixer را در نظر بگیریم اگر بخواهیم دو فاز را در تماس با یکدیگر داشته باشیم هر چه زمان کمتر باشد حجم ظرف نیز کمتر خواهد بود زیرا:

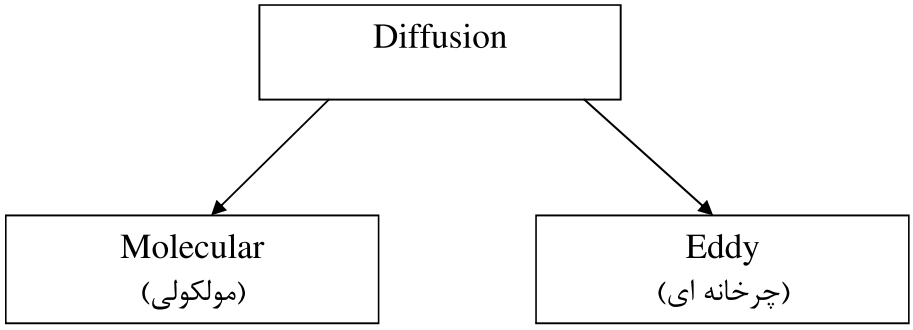
شدت جریان حجمی (دبی حجمی)/حجم ظرف= زمان در یک سیستم مداوم یا پیوسته $\theta = \frac{V}{Q}$

طبق فرمول فوق در یک سیستم پایدار و پیوسته اگر $Q=10ft^3$ باشد، ظرف بایستی که $10ft^3$ باشد که زمان تماس 1sec باشد در صورتی که برای زمان تماس 0.1 ثانیه حجم ظرف به $1ft^3$ کاهش خواهد یافت و چون حجم زیاد ظرف باعث ظرف هزینه‌ی کلان خواهد شد پس حتی‌الامکان زمان تماس کاهش داده شود یعنی چون نفوذ ملکولی که نیاز به زمان طولانی دارد مورد استفاده قرار نمی‌گیرد.

۴- در طراحی هر سیستمی احتیاج به انرژی‌های متفاوتی خواهیم داشت که می‌بایستی صرف هم زدن، انتقال سیال و حرارت دادن می‌شوند.

* حالا راجع به تئوری‌های انتقال جرم بررسی خواهیم داشت:

همانطور که گفته شد اساس انتقال جرم، نفوذ یا Diffusion می‌باشد که خود به دو صورت انجام می‌گیرد:

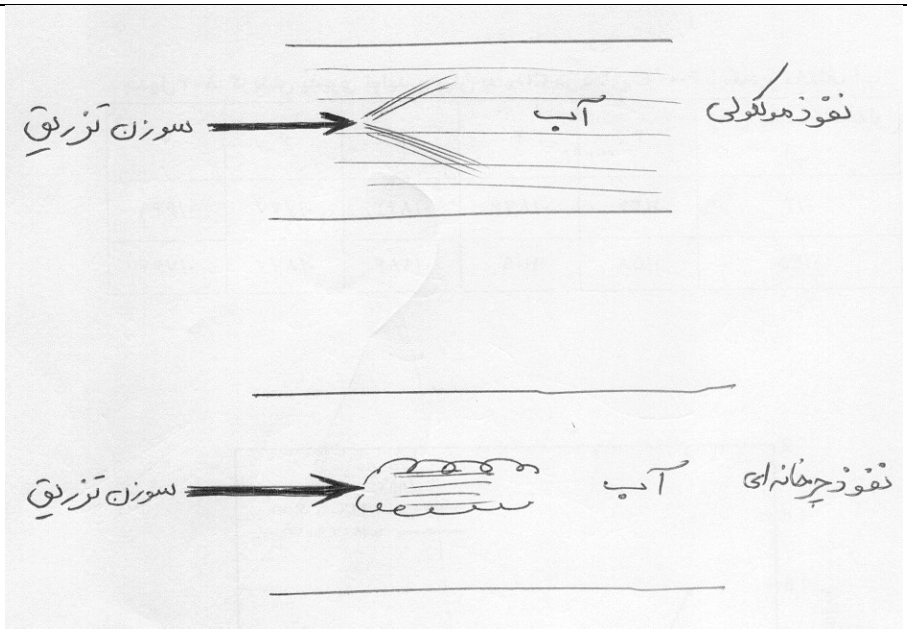



۱) نفوذ مولکولی (Molecular Diffusion) همانطور که از نامش پیداست در اثر برخورد ملکول‌ها صورت می‌گیرد و نفوذ چرخانه‌ها (Eddy Diffusion) از برخورد چرخانه‌ها با یکدیگر صورت می‌گیرد.

توجه: Eddy یا چرخانه مجموعه‌ای از چند مولکول می‌باشد که به صورت گردان و خیلی بی‌نظم‌تر از یک مولکول حرکت می‌کند. برای توجیه مطلب فوق مثالی می‌زنیم:

اگر مقداری نمک را در یک تشتک حاوی آب بریزیم در اثر نفوذ ملکولی به تدریج ملکول‌های نمک وارد فاز آب خواهند شد. حال اگر در داخل این ظرف همزنی قرار دهیم انتقال ملکول‌ها خیلی سریع‌تر انجام خواهند شد و در این حالت عامل انتقال چرخانه‌ها می‌باشند و نفوذ ملکولی نخواهند بود.

**نکته:** در سیالات، آزمایش Reynolds مرز بین حالت آرام (Laminar Flow) و درهم را مشخص می‌کند یعنی اگر یک ماده رنگی نظیر محلول سولفات مس آبی رنگ و یا پرمنگنات پتاسیم بنفش رنگ را مطابق شکل زیر به داخل آب تزریق می‌نماییم. در سرعت‌های پایین آب، پخش شدن رنگ منظم خواهد بود و در این حالت عامل موثر در پخش شدن رنگ، نفوذ ملکول‌ها خواهد بود. با افزایش سرعت آب پخش شدن رنگ نامنظم خواهد شد و در این حالت عامل موثر در پخش شدن رنگ چرخانه‌ها (Eddy ها) خواهند بود.




**توجه:**

جریان آرام (یا Laminar Flow ) نتیجتاً از لحاظ پیش‌بینی نحوه و شدت انتقال جرم و محاسبات بسیار ساده‌تر می‌باشند. زیرا حرکت سیالات در حالت آرام فرموله شده است و عیب این عمل فقط کند بودن آن است. در مقایسه جریان چرخانه‌ای به علت متشکل بودن از چندین مولکول، از نوع آرام بسیار مشکل‌تر می‌باشد و مزیت این روش بالا بودن سرعت انتقال جرم می‌باشد در مدت زمان کوتاه.

******حالا راجع به شدت انتقال جرم صحبت می‌کنیم:

این کمیت میزان جرمی است که در واحد زمان منتقل می‌شود. برای پیدا کردن این فاکتور ابتدا بایستی که شار (یا Flux) انتقال جرم را محاسبه نماییم که عبارت است از:

تعداد مولهایی که در واحد زمان از واحد سطح منتقل می‌گردند،

شار::: $\text{Flux}_A = \frac{Mole\ A}{\text{سطح انتقال} \times \text{زمان}}$ = شار (یا Flux) انتقال جرم A