بسمه تعالی

دانشگاه علوم پزشکی گیلان

مقطع کارشناسی مهندسی بهداشت حرفه ای
نام درس: طراحی تهویه صنعتی
مبحث : تعریف واژگان و مباحث بنیادی

دکتر محمود حیدری

۱۳۹۳-۹۴

سرفصل مطالب دوره آموزشی

۱ ـ اهمیت کنترل آلودگی هوا
۲ ـ روشهای مختلف کنترل آلودگی هوا و جایگاه سیستم تهویه در بین روشهای کنترل آلودگی هوا (شرایط انتخاب سیستم تهویه به عنوان استراتژی کنترلی)
۳ ـ آشنایی با روشهای مختلف تهویه و اصول حاکم برانتخاب سیستم و روش تهویه مناسب با توجه به نوع پروسه، آلودگی، شرایط محیط و ....
۴ ـ جایگاه تهویه موضعی دربین روشهای کنترلی، اصول انتخاب تهویه موضعی، کاربرد، مزایا و معایب آن و
اجزاء وانواع سیستم تهویه موضعی .
۵ ـ معیار طبقه بندی و طراحی هودها شامل ابعاد ، جنس ، شکل و هندسه ، محل استقرار هود، محاسبات دبی ، سرعت (انواع سرعت)، فشار (انواع فشارها) و افت هودها
۶ ـ معیار طراحی کانال شامل جنس وشکل کانال، محاسبات مربوط به قطر بهینه ، سرعت بهینه ، معیارهای طراحی کانال ، انتخاب کانال مناسب (جنس شکل ، محاسبه ضخامت کانال و ....)،
۷ ـ اصول کانال کشی استاندارد سیستم تهویه، معرفی انواع اتصالات و کاربرد آنها (انواع زانوئی ، ورودی ، تنگ شدگی و گشاد شدگی و ...).
۸ـ محاسبات مربوط به دبی و فشار کانالهای سیستم تهویه ، روشهای بالانس فشار در کانالها (تعبیه دریچه یا طراحی مجدد) روشهای تصحیح دبی ، تعیین فشار سرعت برآیند و .... در سیستمهای چند هودی

ادامه سرفصل مطالب

۹ـ آشنائی با جدول محاسبات سیستم تهویه و چگونگی استفاده از آن در محاسبات سیستماتیک سیستم تهویه .

۱۰ ـ آشنائی کلی با انواع پالایشگرها و معیارهای انتخاب پالایشگر مناسب برای هر نوع آلاینده یا پروسه همراه با ملاحظات اقتصادی ، فنی و محیطی، مزایا و معایب پالایشگرها .

۱۱ ـ معرفی انواع فنها ، کاربرد ، مزایا و معایب آنها ، محاسبات دبی فشار و توان فن، اصلاح مشخصات فن با تغییر دور و .... معیارهای انتخاب فن با توجه به منحنیهای مشخصه فنها و ...

۱۲ ـ طراحی سیستم تهویه برای چند فرآیند بارز صنعتی (تمرین)

۱۳- آشنایی با سیستمهای تهویه عمومی، اجزاء وروشها، معیارهای انتخاب و محاسبات طراحی این سیستمها برای اهداف بهداشتی و ایمنی

۱۴ ـ اصول و روشهای پایش سیستم تهویه شامل پایش سخت افزاری و نرم افزاری همراه با برنامه زمانی آنها، دلایل پایش سیستمهای تهویه و پالایشگرها، محدودیتهای پایش

۱۵- معرفی روشها و وسایل سنجش پارامترهای مختلف شامل سرعت، دبی، انواع فشارها و راندمان سیستم تهویه منطبق بر استانداردهای ACGIH و OSHA (همراه با کار عملی)

۱۶ ـ تعیین فشار استاتیک و دبی وراندمان هودها (همراه با کار عملی) .

۱۷ ـ تهیه گزارش بازرسی ، سنجش ، جداول استانداردو تعیین مغایرتهای موجود با طراحی اولیه سیستم و تعیین نقائص و مشکلات ایجاد شده در سیستم تهویه جهت رفع آن (همراه با کار عملی)

فصل اول

مفاهیم پایه در سیستم های تهویه صنعتی

مقدمه

- اهمیت هوای پاک
- کنترل ترکیبات سمی
- کنترل تنش گرما
- پتانسیل خطر سلامتی (TLV)
- TLV TWA

آلودگی هوا (Air pollution):

❖وجود یا پراکندگی یک یا چند عامل خارجی جامد، مایع و گازی شکل (شیمیائی یا بیولوژیکی) در **غلظت** و **مدت زمان** تماس کافی **تحت شرایط خاص** که بر روی سلامت، رفاه یا آسایش انسان اثرگذار بوده یا باعث آسیب به محیط زیست شود.

Why is air pollution important?

مواد سمی و خطرناک از راههای گوناگون وارد بدن می شوند. یکی از مهمترین راههای ورود مواد سمی به بدن **دستگاه تنفس** می باشد.

انسان برای تامین اکسیژن مورد نیاز خود در شبانه روز به حدود **۲۲/۶۵** کیلوگرم هوا نیاز دارد.

در مقایسه با متوسط مصرف روزانه غذا (**۱/۵ kg**) و آب (**۲/۵kg**) توسط انسان، می توان دریافت که ماده ی سمی که از طریق دستگاه تنفسی به بدن وارد می شود نسبت به راههای دیگر بسیار قابل توجه می باشد و از این رو مسئله آلودگی هوا اهمیت بسزایی می یابد.

heidari@gums.ac.ir

مقایسه تراکم برخی از آلاینده ها در هوای پاک و اتمسفر آلوده

A Comparison of Pure Air and a Polluted Atmosphere

Component	Considered to Be Pure Air	Typical Polluted Atmosphere
Particulate matter	10–20 $\mu g/m^3$	260–3200 $\mu g/m^3$
Sulfur dioxide	0.001–0.01 ppm	0.02–3.2 ppm
Carbon dioxide	300–330 ppm	350–700 ppm
Carbon monoxide	1 ppm	2–300 ppm
Oxides of nitrogen	0.001–0.01 ppm	0.30–3.5 ppm
Total hydrocarbons	1 ppm	1–20 ppm

heidari@gums.ac.ir

جنبه های آلودگی هوا

A. آلودگی هوای داخل Indoor Air Pollution

- آلودگی محیط های کاری (کارگاه ها و کارخانجات)
- آلودگی هوای فضاهای بسته (کوره ها و غیره)
- آلودگی هوای تونل ها، معادن و سایر فضاهای زیر زمینی
- آلودگی محل های مسکونی، دفاتر، مکان ها تجاری و انبارها
- آلودگی اتاق ها و محفظه های پاک

B. آلودگی هوای بیرون Outdoor Air Pollution

heidari@gums.ac.ir

اهمیت آلودگی هوا

- سلامت شاغلین و محیط زیست
- معضلات منطقه ای ناشی از آلاینده های هوا (وارونگی دمائی، اثرات روی اکوسیستم منطقه)
- معضلات جهانی ناشی از آلودگی هوا مثل رقیق شدن لایه ازن، گرم شدن کره زمین بدلیل اثر گلخانه ای آلاینده ها
- مباحث اقتصادی (اقتصاد بعداشت، هزینه های تحمیلی بر مردم و دولت، شهرداری)

روشهای کنترل عوامل شیمیایی

- اجرایی
- فنی
- حفاظت فردی

heidari@gums.ac.ir

Engineering controls

- Designing-building, work station
- Industrial Ventilation
- Mechanization
- Substitution
- Enclosure
- Isolation

تهویه (Ventilation)

- **تعریف:** تهویه تامین هوای پاک (از نظر شرایط جوی) وگرفتن و تخلیه آلاینده های هوا از محیط که ممکن است همراه تصفیه یا بدون تصفیه باشد.

❖ **تقسیم بندی روشهای تهویه**

۱- تهویه طبیعی (Natural Ventilation)

۲- تهویه مکانیکی (Mechanical Ventilation)

- تهویه مکانیکی با دو هدف مورد استفاده قرار می گیرد:

۱-کنترل شرایط جوی: تهویه مطبوع (Air Conditioning)

۲-کنترل آلاینده ها: تهویه صنعتی (Industrial Ventilation)

تهویه صنعتی

- **تهویه عمومی یا رقتی** (General or Dilution Ventilation)

وارد کردن توده هوای پاک یا خارج کردن هوای آلوده (یا هر دو بطور همزمان) به منظور کاهش تراکم آلاینده های هوای محیط تا مقدار قابل قبول.

- **تهویه موضعی** (Local Exhaust Ventilation):

دمش هوای پاک بریک موضع (تهویه موضعی دمشی) یا **مکش هوای آلوده** از موضع انتشار آلاینده و هدایت آن به محیط خارج از کارگاه

- **تهویه موضعی دمشی:** تحت تاثیر هوای پر فشار پاکسازی موضعی محل تولید آلودگی یا موضع تولید یک محصول یا انجام یک فرآیند انجام می شود. کاربرد آن برای محیطها و شرایط خاص است (مثالهای کاربردی)

- **تهویه موضعی مکشی** (Local Exhaust Ventilation) رایج ترین سیستم تهویه صنعتی برای کنترل آلاینده های هوای محیطهای کاری است.

شرایط کاربرد تهویه موضعی و عدم کاربرد تهویه رقتی

- سمیت بالای آلاینده
- عدم انتشار یکنواخت آلاینده در محیط
- انتشار آلاینده های ذره ای شکل
- مواجهه کارگر با آلاینده به میزان بیشتر از معدل تراکم آن در محیط
- بازیافت آلاینده
- مشخص بودن منبع انتشار آلودگی
- محدویتهای جوی

سیستم های تهویه در صنعت

- – سیستم های مولد
- – سیستم های مکنده یا تخلیه
- برنامه کامل تهویه باید هر دوجنبه تولید و تخلیه هوا را در نظر بگیرد.
- مشکلات ناشی از عدم جایگزینی هوا در سیستم های تهویه
- – عدم آسایش کارگران در زمستان
- – کاهش کارایی سیستم های مکنده
- افزایش هزینه های فرآوری هوا

سیستم های مولد

❖به دومنظور بکار می روند:

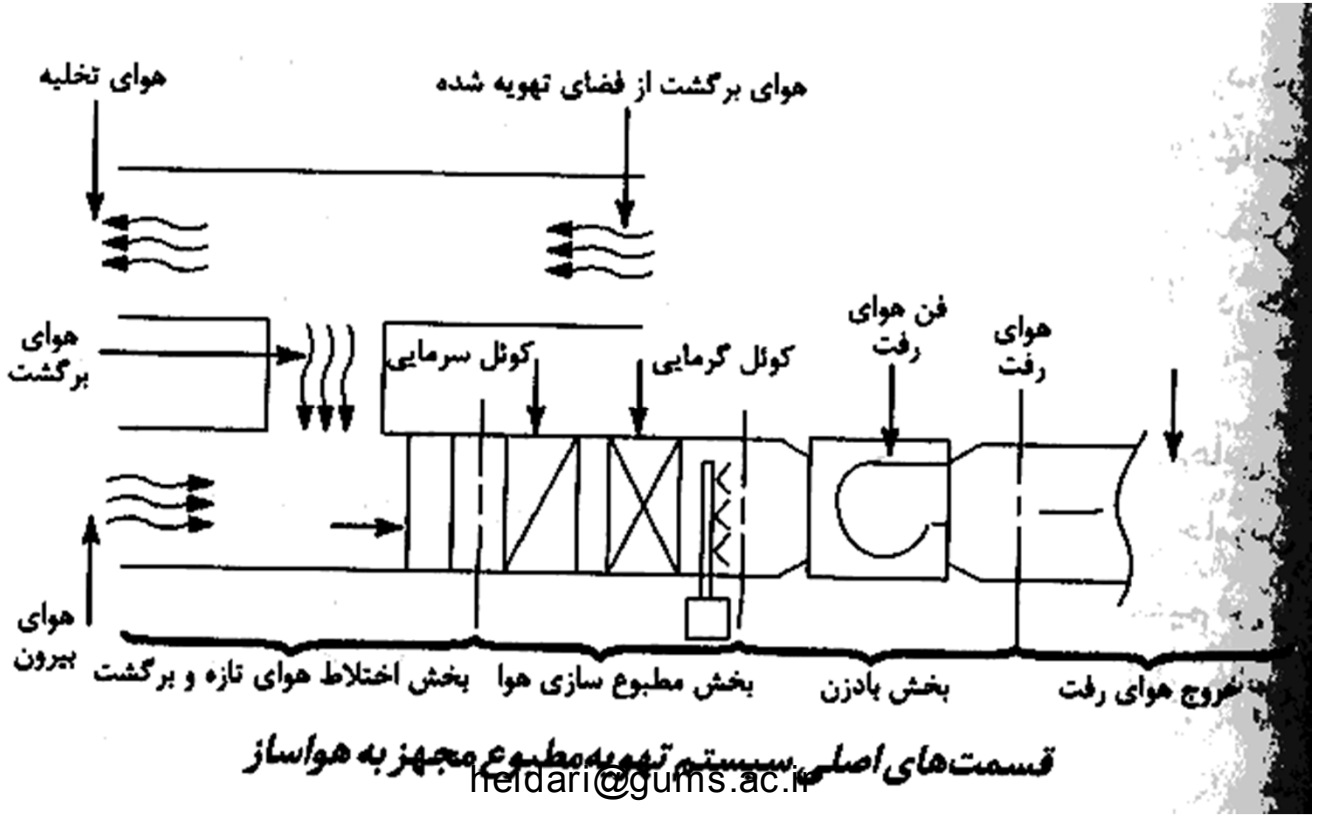
- - برای تامین آسایش در مجتمع(سیستم تهویه مطبوع)
- - برای جایگزینی و تامین هوای تخلیه شده (سیستم جایگزین کننده هوا)
- اغلب سیستمهای مولد به همراه سیستمهای مکنده بکار می رود.

اجزاء سیستم مولد

- بخش ورودی هوا
- صافی
- دستگاههای گرم کننده
- فن
- کانال ها
- توزیع کننده هوا برای پخش آن در محیط کار

هواساز

معمولا صافیها ، وسایل گرمایش وسرمایش و بادبزن در هم ادغام شده و یک واحد به نام **هواساز** را تشکیل می دهد.



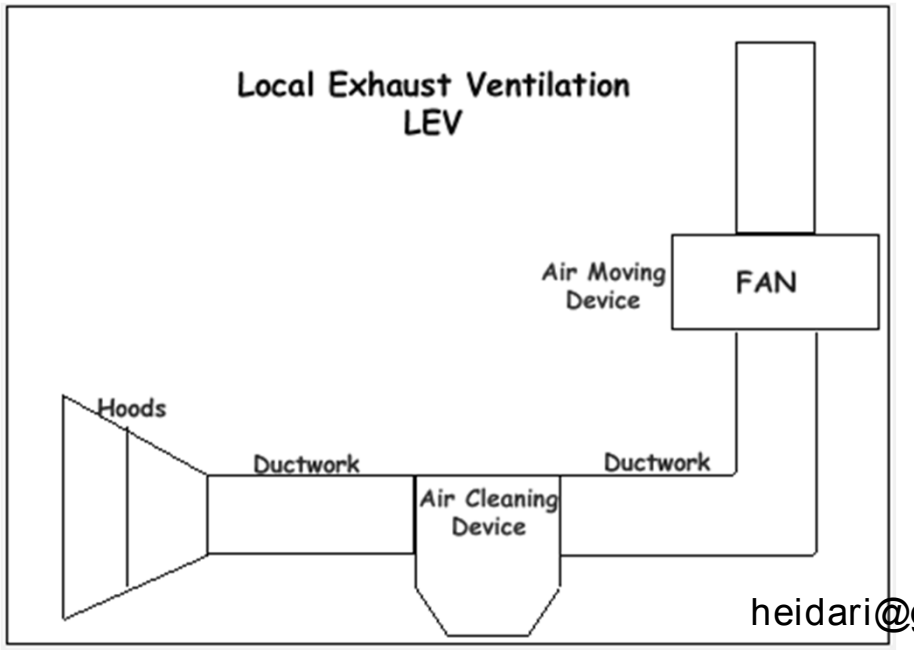
قسمت‌های اصلی سیستم تهویه مطبوع مجهز به هواساز

سیستم مکنده

- تهویه مکنده عمومی
- تهویه مکنده موضعی
- تهویه مکنده عمومی رامی توان برای کنترل گرما یا دفع آلاینده های تولید شده در یک فضای معین بوسیله حجم زیادی از هوا بکاربرد.
- سیستم های مکنده عمومی زمانی استفاده می شود که امکان نصب سیستم مکنده موضعی وجود نداشته باشد.
- سیستم مکنده موضعی بر اساس دریافت آلاینده درمنبع تولید و یا نزدیک آن کارمی کند.

اجزاء سیستم مکنده موضعی

- هود
- سیستم کانال و یا مجرا که خود شامل دودکش و کانال برگشت هوا نیزمی شود
- وسایل تمیز کننده هوا
- هواکش

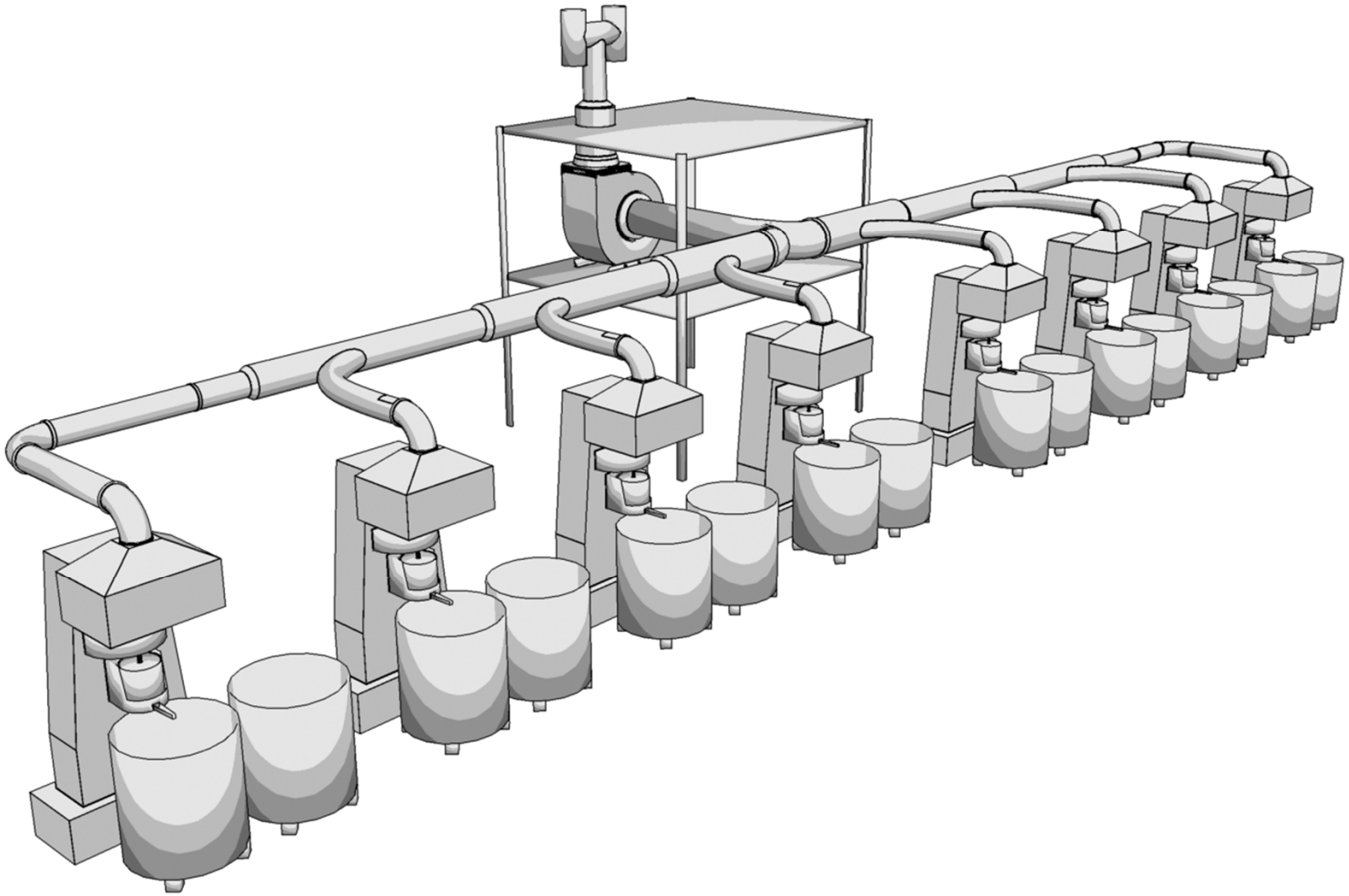


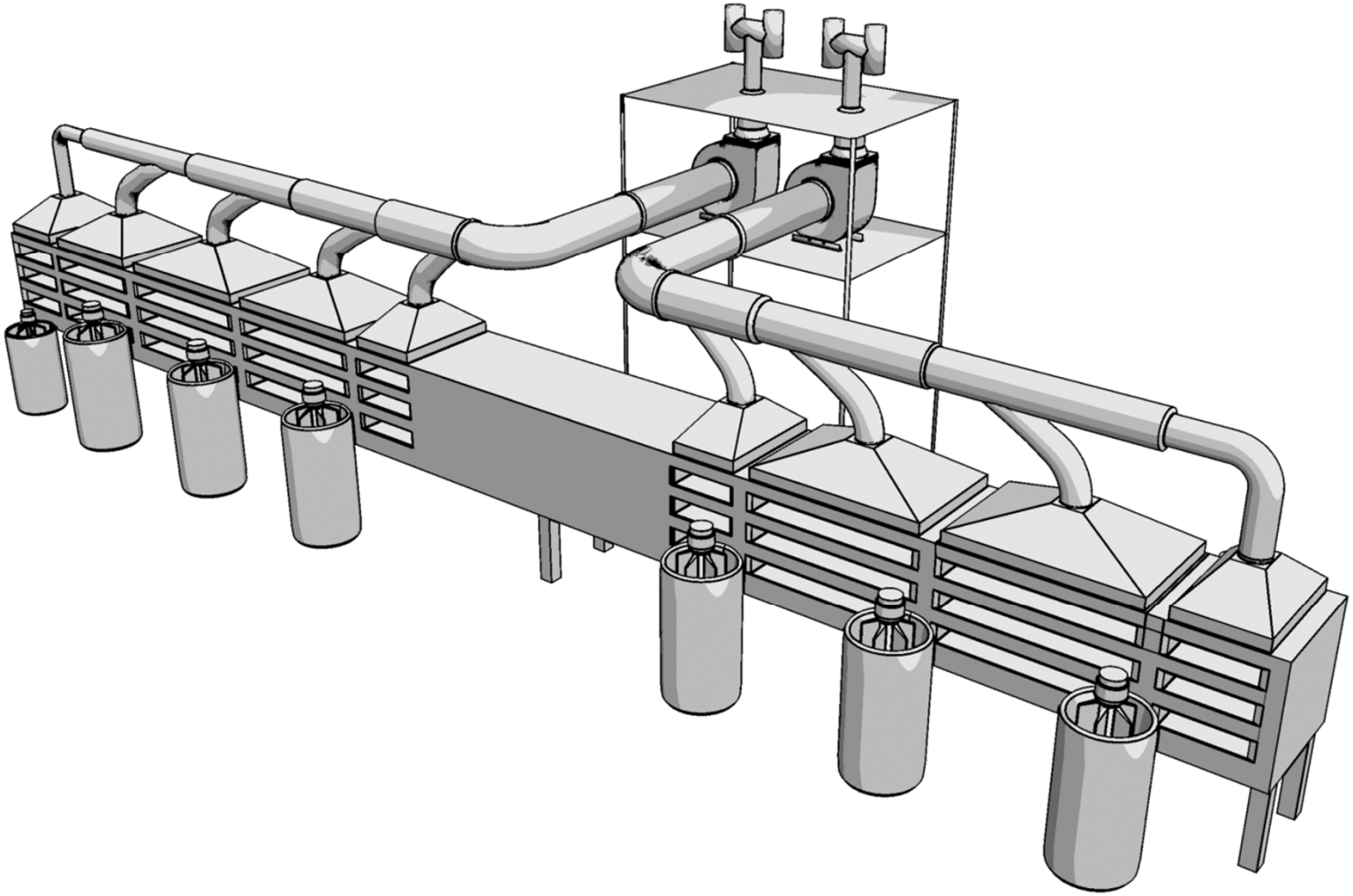
مزایای سیستم تهویه موضعی

- کنترل آلاینده درمنبع تولید
- حجم کم جریان هوای مورد نیاز
- کنترل همزمان چندین نوع آلاینده به طورهمزمان
- هزینه راهبری پایین
- مصرف انرژی کم تر نسبت به تهویه عمومی

معایب سیستم تهویه موضعی

- هزینه سیستم بالامی باشد
- طراحی سیستم از پیچیدگی بیشتری برخوردار است
- نیاز به نگهداری بیشتری دارد





شاره یا سیال fluid

- **شاره** یا **سَیّال**، یکی از **حالت‌های وجود ماده** است و به هر ماده روان پذیر اطلاق می‌شود.
- سیال ماده ای است که **تحت اعمال تنش برشی (مماسی)**، هرقدر هم کوچک، **دائما تغییر شکل می دهد و تغییر شکل به وسیله نیروی های برشی** (Shearing Forces) ایجاد می شود بدین معنا که **تا زمانی** که **نیروی برشی** به سیال وارد می گردد(نیرویی مماس بر سطحی وارد می شود) ، **سیال دائما تغییر شکل** می دهد. سایر مواد به جز مواد سیال (سیالات) در تعریف فوق صدق نمی‌کنند.
- سیال ماده ای است که هنگامی که ساکن است نمی تواند تنش برشی تحمل نماید یعنی اگر سیالی به حالت خود باقی بماند پس هیچ نوع تنش برشی بر آن اثر نکرده است و همه ی نیروهایی که به سیال وارد می شوند باید به طور عمودی بر ناحیه ای که عمل می کنند وارد شده باشد.

جامدات solid

- جامدات در برابر تغییر شکل مقاومت می‌کنند

- اگر برجسم جامدی تنش برشی وارد کنیم این جسم تغییر شکل می یابد، ولی افزایش این تغییر شکل با گذشت زمان تداوم ندارد

- در جامدات هنگامی که جسم بطور الاستیک تغییر شکل می یابد یا کشیده می شود تنش بوجود می آید

محیط پیوسته

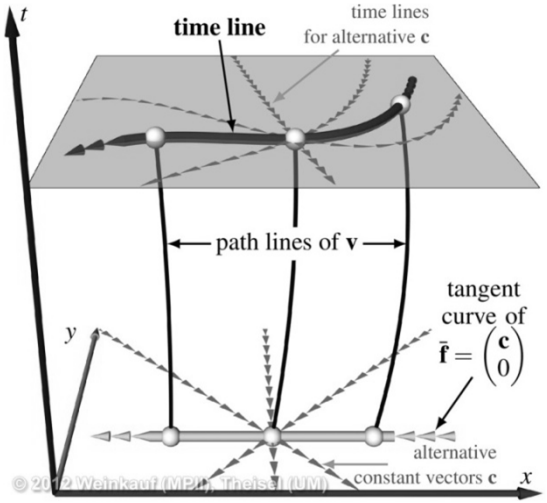
- در بررسی جریان سیالات، ساختمان واقعی مولکولی را می توان به شکل یک فضـــای پیوسته در نظر گرفت که آن را محیط پیوسته می نامند.
- به عنوان مثال، سرعت در هر نقطه در فاصله بین دو مولکول برابر با صفر است و زمانی دارای سرعت می شود که مولکولی دیگر این فاصله خالی را اشغال کنـد.
- در محاسبه ی ویژگیهای سیال، می توان علاوه بر نظریه ی مولکـولی همـراه با حرکات مولکولی، روابط پیوستـگی را نیز مورد استفاده قرار دارد.

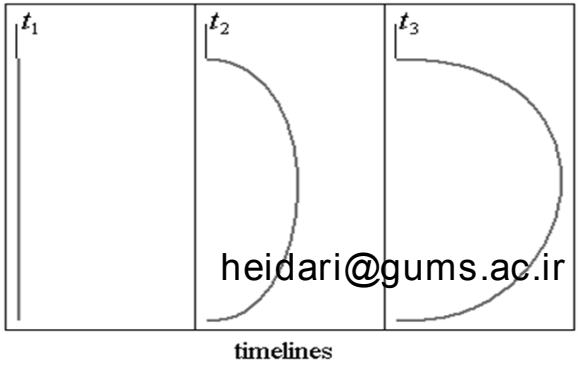
تعریف خط زمان، خط مسیر، رگه و خط جریان در سیال

❖گاهی اوقات **خواستار نمایش بصری سیال** هستم که می توان از عبارات **خط زمان، خط مسیر، رگه و خط جریان در سیال** استفاده نمود

Time Line

- خط زمان (time Line) اگر تعدادی از ذرات مجاور سیال در یک میدان جریان را در لحظه ای معین علامت گذاری کنیم، خطی را که در این لحظه در سیال تشکیل می دهند را خط زمان نامند. بعبارتی **خطی را که مجموعه ای از ذرات سیال در هر لحظه تشکیل** می دهند را گویند.
- خطوطی که نشان دهنده آرایش مجموعه ای از ذرات سیال است در حالی که آرایش شان موقعیت را در لحظات مختلف زمان نشان می دهد.





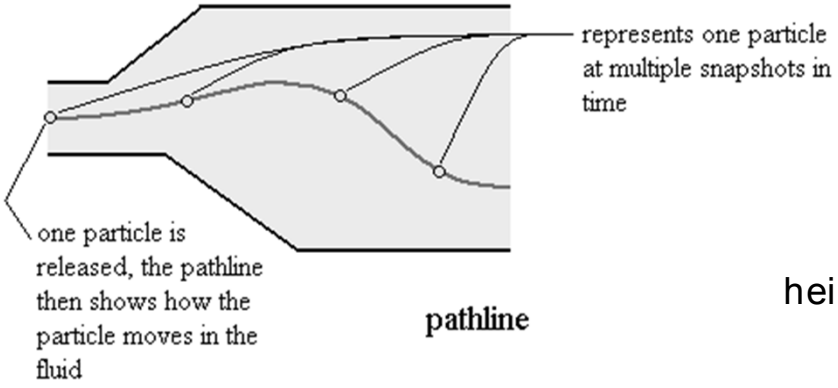
Cylinder Time Lines

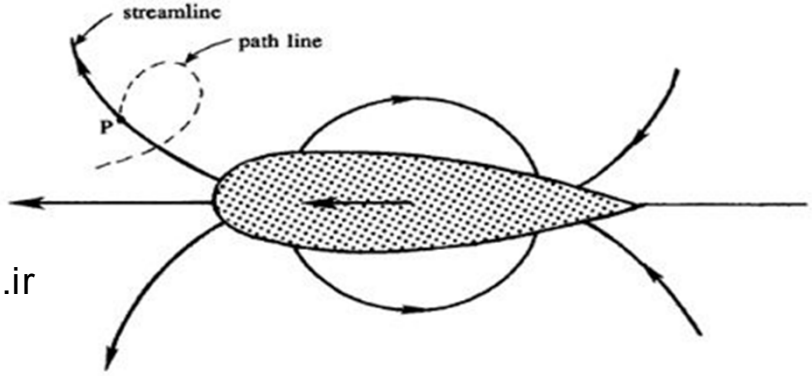
heidari@gums.ac.ir

Path Line

- اگر یک نقطه بر روی یک **خط زمانی** در نظر گرفته شد و با گذشت زمان ردیابی و دنبال شود، pathline می تواند به دست آورده شود.
- خط مسیر (Path Line) **مسیری است که یک ذره معین آزاد شده درون جریان یک سیال آن را طی** میکند.
- **مسیر واقعی طی شده توسط یک ذره معین سیال** می باشد path line نشان دهنده مسیر یک ذره particle's path است.

Cylinder Path Lines



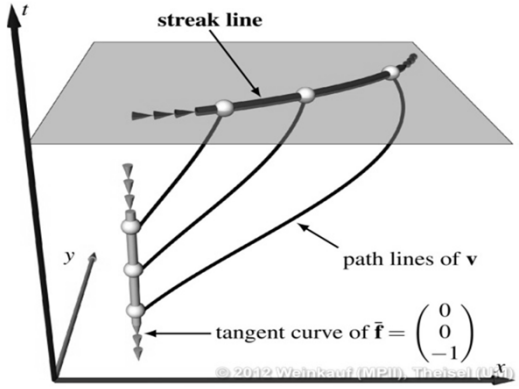


heidari@gums.ac.ir

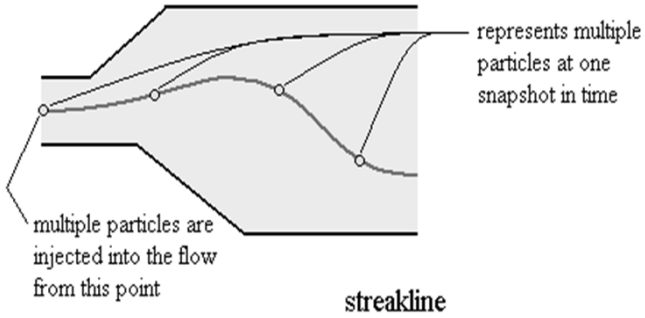
Streak Line

- نقطه ثابتی را در فضای سیال در نظر بگیرید، در صورت جریان سیال، بعد از مدت کوتاهی تعدادی از ذرات مشخص سیال خواهیم داشت که تمام این ذرات در بعضی اوقات از این نقطه ثابت می گذرند خطی را که این ذرات سیال به یگدیگر متصل می نمایند را **رگه** گویند
- اگر با یک سوزن یک مقدار جوهر درون سیال تزریق کنیم ذرات جوهر درون سیال حرکت کرده وپخش می شوند.در این صورت خط اثر به جای مانده از جوهر درون سیال خط رگه را به ما می دهد.
- یک Streak line مسیری که یک ذره در جریان دنبال خواهد کرد، **مکان هندسی ذراتی که به طور متوالی از طریق یک مسیر تعیین شده در یک نقطه خاص داخل جریان عبور کرده اند را گویند**
- ذرات به طور مداوم در یک نقطه خاص نشان داده می شوند، خط تشکیل شده بعلت انتشار این ذرات از نقطه خاص را streaklineنشان می دهد.

Concept Streak Lines

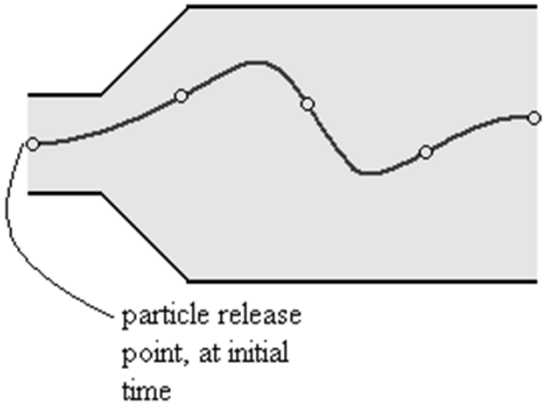


Cylinder Streak

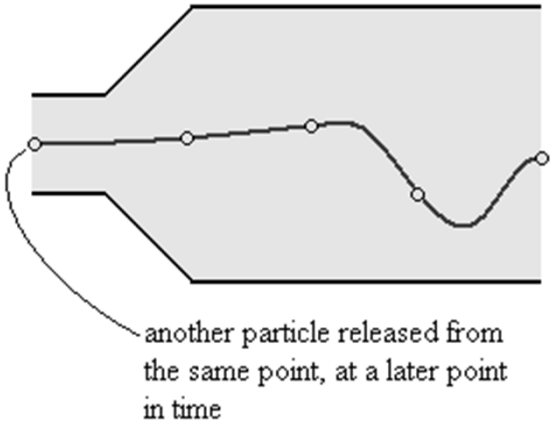


تفاوت بین streaklines و pathlines

❖تصاویر بالا برای streaklines و pathlines یکسان است، اما برای جریان آشفته و انتقالیturbulent and transitional flow ، آنها ممکن است متفاوت باشند. مسیری که یک ذره طی می کند ممکن است مسیر متفاوتی برای ذره دیگری که در همان نقطه، اما در زمان بعد منتشر شده باشد.



خط مسیر برای یک ذره منتشر شده در یک نقطه اولیه در زمان.

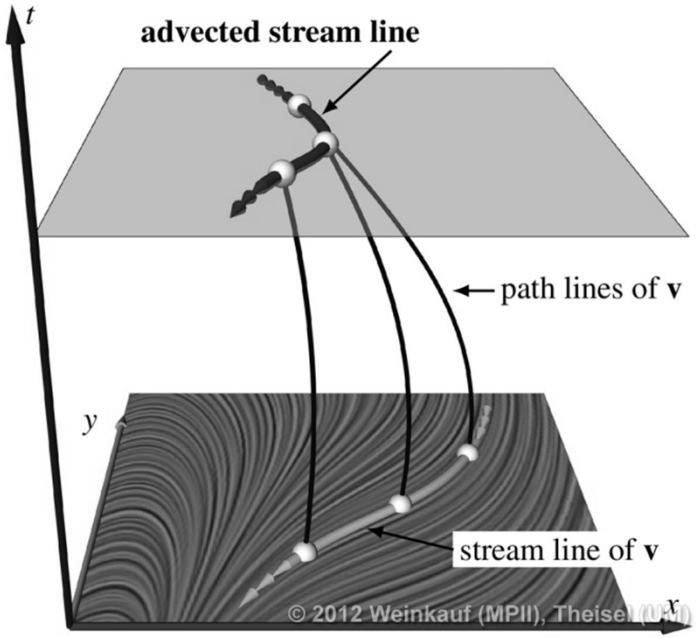


خط مسیر ، مسیر را برای ذره دوم نشان می دهد، از همان نقطه اما در زمان بعد منتشر شده متفاوت است چرا که جریان تغییر کرده است.

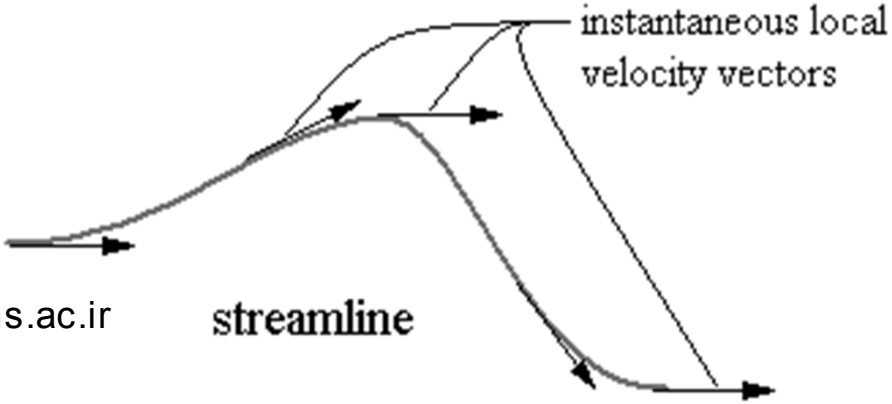
Streamline

- **خط جریان (Stream line)** یک **خطی است که بردار سرعت لحظه ای مجاور instantaneous local velocity vector در هر نقطه بر آن مماس** است .
- خطوط جریان به عنوان شاخصهای لحظه ای جهت حرکت سیال در سراسر یک میدان جریان مفید هستند. مناطق چرخشی جریان و جدایی از یک سیال از یک دیوار جامد می توان به راحتی با خط جریان شناخته می شوند.

Concept Advecte Stream Lines



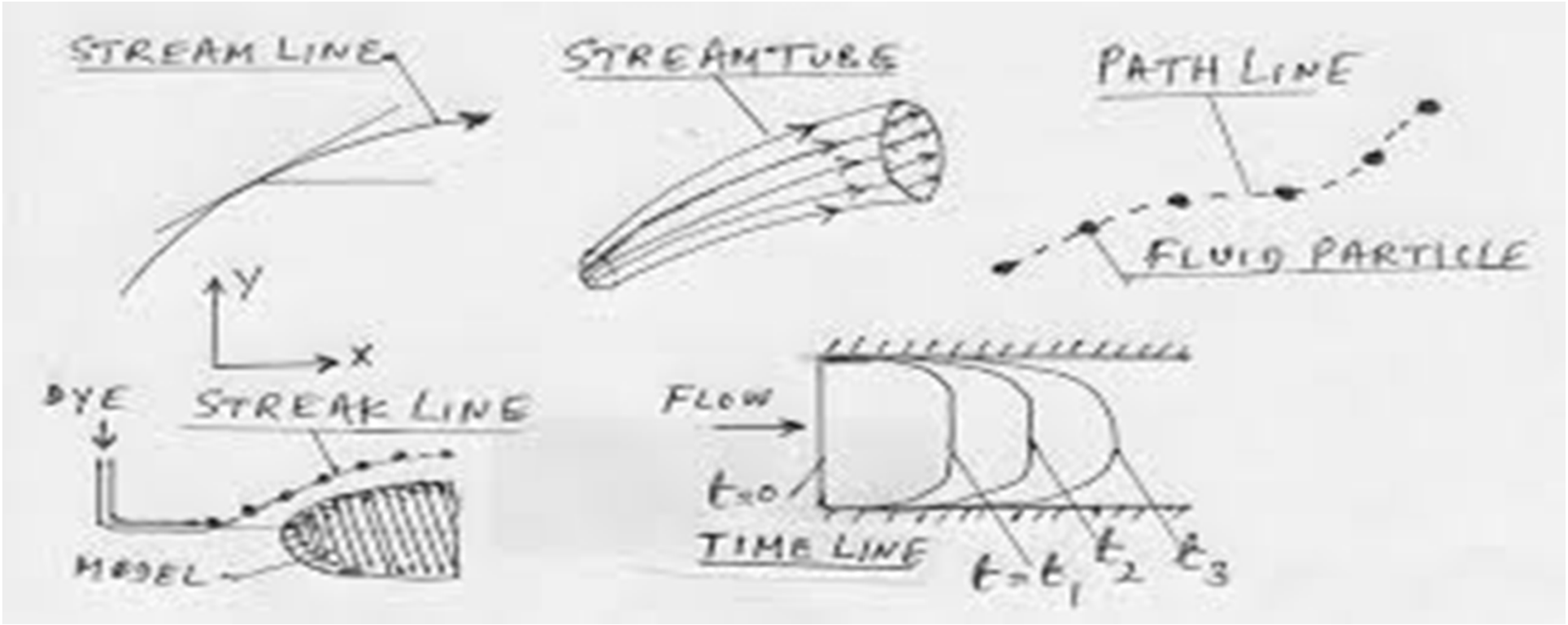
Cylinder Stream Lines

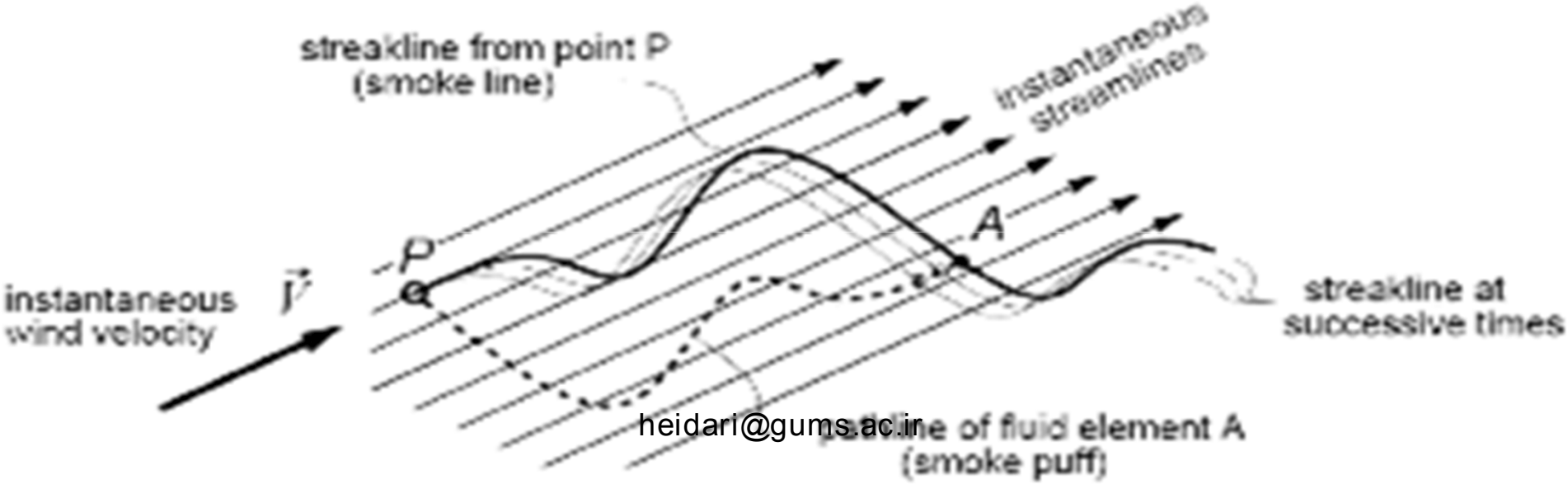


heidari@gums.ac.ir

Streamline و جریان پایا و ناپایا

- خطوط جریان خطوطی رسم شده در میدان جریان می باشند بطوری که در یک لحظه معین، در هر نقطه در میدان جریان بر امتداد جریان مماس هستند.
- از آنجا که در هر نقطه در میدان جریان، خطوط جریان بر بردار سرعت مماس هستند، در عرض خط جریان هیچ جریانی وجود ندارد.
- **خط جریان نشان دهنده و نماینده یک مسیر سرعت می باشد.**
- **در جریان پایا سرعت در هر نقطه در میدان جریان نسبت به زمان ثابت است و در نتیجه شکل خط جریان از لحظه ای به لحظه دیگر تغییر نمی کند**
- **بنابر این در یک جریان پایا، خط جریان، خط رگه و خط مسیر، خطوطی یکسان در میدان جریان می باشند. در حالی که در جریان ناپایا بعلت تغییر شکل خط جریان در زمان، خط جریان، خط رگه و خط مسیر بر هم منطبق نیستند.**

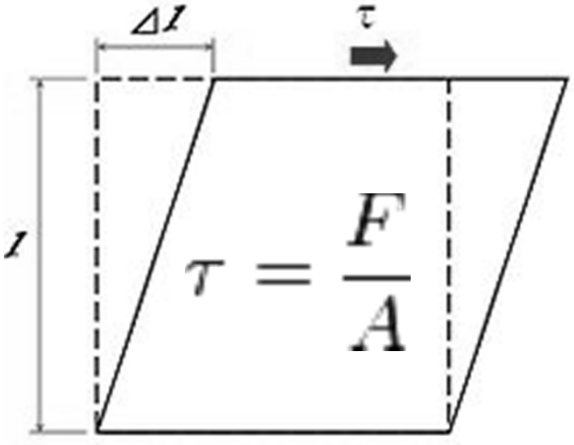




heidari@gums.ac.ir

تنش برشی *shearing stress*

- عبارت است از مؤلفه‌ای از تنش که بر سطح مقطع یک جسم اعمال می‌شود. تنش برشی از بردار نیروی عمود بر بردار نرمال سطح مقطع ناشی می‌شود. از سوی دیگر، تنش نرمال نیز از بردار نیروی موازی یا ناموازی نرمال سطح مقطع جسم به وجود می‌آید. تنش برشی را به اختصار با τ نمایش می‌دهند.
- تنش برشی به قسمت بالایی مربعی که از پایین نگه داشته شده‌است، اعمال می‌شود. این تنش باعث ایجاد کرنش یا تغییر شکل در مربع شده و آن را تبدیل به یک متوازی‌الاضلاع می‌کند. سطح درگیر، بخش بالایی متوازی‌الاضلاع خواهد بود.
- معادله محاسبه تنش برشی میانگین عبارت است از:



- τ= تنش برشی؛
- F=نیروی وارد شده؛
- A=مساحت سطح مقطع جسم، که موازی است با جهت بردار نیروی وارد شده.

نیروی برشی

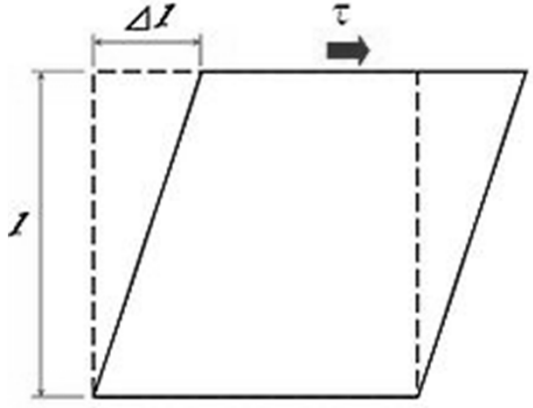
- نیروی برشی زمانی واقع می شود که سیال حرکت فیزیکی (physically) داشته باشد که این حرکات از قبیل :
- ـ ریزش Pouring
- ـ پهن شدن Spreading
- ـ پاشش Spraying
- ـ بهم زدن Mixing
- سیالاتی که از لحاظ مقدار ، لزجت بیشتری دارند نیروی برشی بیشتری نسبت به سیالات با لزجت کمتر نیاز دارند .

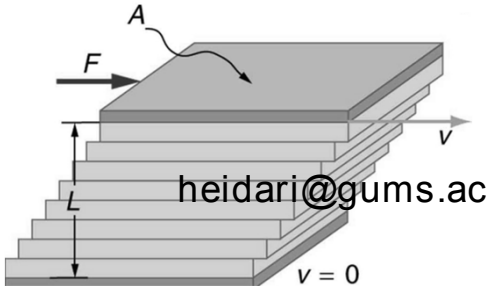
تنش برشی در حرکت سیال

- اگر چه در سیال ساکن نیروی برشی وجود ندارد، ولی تنش برشی زمانی به وجود می آید که سیال در حرکت می باشد.
- اگر **ذرات سیال به خاطر داشتن سرعت های متفاوت نسبت به یکدیگر حرکت کنند**، این حالت **باعث می شود** که سیال **حالت اولیه خود را از دست دهد** و از شکل خود خارج شود
- به عبارت دیگر اگر سرعت سیال در همه ی نقاط برابر باشد هیچ تنش برشی به وجود نخواهد آمد و در نتیجه ذرات سیال نسبت به یکدیگر ساکن می مانند.
- ما به طور معمول جریانی را مورد توجه قرار می دهیم که از یک مرز جامد عبور می کند و آن قسمت از سیال که در تماس با مرز قرار می گیرد به آن می چسبد و به همین دلیل سرعتی برابر سرعت مرز خواهد داشت و با توجه به لایه های متوالی که موازی با مرز می باشند، سرعت سیال از لایه ای به لایه ی دیگر، به نسبت فاصله ای که از مرز سیال می گیرد، متفاوت خواهد بود.

کرنش برشی shear strain

- یک سیال با گذشت زمان، بیشتر و بیشتر، دستخوش اعوجاج می شود یعنی در شاره بطور مداوم کرنش برشی افزاینده ایجاد می شود
- که کرنش برشی عبارتند از نسبت جابجایی Δlبه طول l. **در جامدات کرنش برشی متناسب تنش برشی** می باشد، اما در یک شاره، تا وقتی اثر تنش برشی وجود دارد، کرنش برشی بدون محدودیت افزایش می یابد.
- **در سیالات تنش برشی متناسب** با کرنش برشی نیست بلکه با **آهنگ تغییر کرنش برشی می باشد** ، که برابر آهنگ تغییرات Δl(یا تندی ورقه رویی) می باشد و آهنگ کرنش نامیده می شود
- طول/تندی ورقه رویی= $\frac{v}{l}$ = آهنگ تغییر کرنش



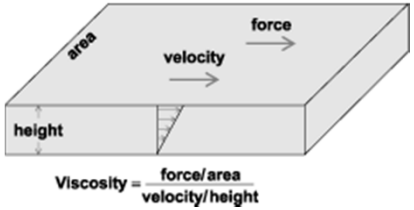


گرادیان سرعت (Velocity Gradient)

- گرادیان سرعت: اندازه ای از مقدار سرعت لایه های میانی است که حرکتی نسبی، نسبت به یکدیگر دارند، که توصیفی از برش سیالات آزمایشی است و نرخ برش (R) نامیده می شود و واحد آن معکوس ثانیه (S^{-1}):Reciprocal sec است .

گِرانرَوی، لِزْجَت یا کشسانی Viscosity

- اصطکاک درونی یک سیال است
- نیروی کشسانی در برابر حرکت بخشی از شاره بر روی بخش دیگر مقاومت می کند (علت حرکت قایق بر روی آب، جریان خون در رگ)



- عبارت است از مقاومت یک مایع در برابر اعمال **تنش برشی**.
- در یک سیال جاری (در حال حرکت)، که لایه‌های مختلف آن نسبت به یکدیگر جابجا می‌شوند، به **مقدار مقاومت لایه‌های سیال در برابر لغزش روی هم گرانروی سیال** می‌گویند.
- یک شاره کشسان مایل است به سطح جامدی که در مجاورت آن است بچسبد.لذا همواره لایه نازکی ازشاره، که لایه مرزی نام دارد، و به سطح جامد چسبیده است، نسبت به آن ساکن است. هرچه گرانروی مایعی بیشتر باشد، برای ایجاد تغییر شکل یکسان، به تنش برشی بیشتری نیاز است. به‌عنوان مثال گرانروی **عسل** از گرانروی **شیر** بسیار بیشتر است.
- **با افزایش دما لزجت سیالات مایع کاهش می یابد ولی در گازها، قضیه برعکس است، البته درصد تغییرات آن برای سیالات مختلف متفاوت است.**

ویسکوزیته

- در جامدات هنگامی که جسم بطور الاستیک تغییر شکل می یابد یا کشیده می شود تنش بوجود می آید
- در یک سیال، **تنشهای برشی بعلت جریان ویسکوز بوجود می آید** (لذا برای یک سیال ساکن هیچ گونه تنش برشی وجود نخواهد داشت)
- از اینرو جامدات الاستیک و سیالات ویسکوز هستند و بافتهای بیولوژیک ویسکوالاستیک می باشند
- آب و هوا، تحت شرایط عادی سیال نیوتونی هستند و سیالات نیوتونی سیالاتی هستند که در آنها **تنش برشی با آهنگ تغییر شکل (آهنگ تغییر کرنش) مستقیما متناسب** است

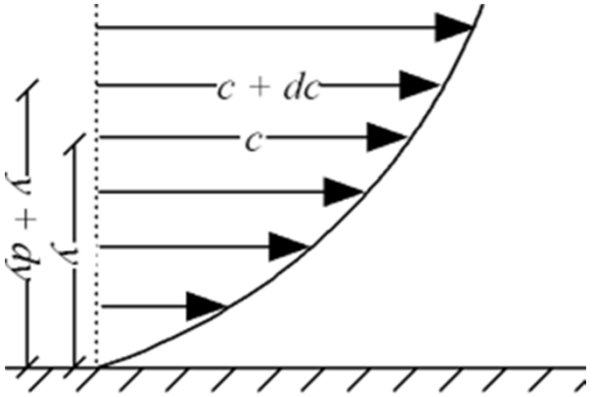
Dynamic (absolute) Viscosity

- **Absolute viscosity or the coefficient of absolute viscosity** is a measure of the **internal resistance**.
- **Dynamic (absolute) viscosity** is the **tangential force per unit area** required to move one horizontal plane with respect to the other at unit velocity when maintained a unit distance apart by the fluid.
- The shearing stress between the layers of non turbulent fluid moving in straight parallel lines can be defined for a Newtonian fluid as:
- The dynamic or absolute viscosity can be expressed like

$$\tau = \mu \, dc/dy \qquad (1)$$

- *where*
  - τ = *shearing stress*
  - μ = *dynamic viscosity*
  - Equation (1) is known as the **Newton's Law of Friction.**

$$\mu = \frac{F/A}{v/l}$$



heidari@gums.ac.ir

یکاهای ویسکوزیته دینامیک (مطلق)

- In the **SI system** the **dynamic viscosity** units are **N s/m^2**, **Pa.s** or **kg/m.s** where
  - *1 Pa.s = 1 N s/m^2 = 1 kg/m.s*

- **The dynamic viscosity** is also often expressed in the **metric CGS** (centimeter-gram-second) system as ***g/cm.s***, ***dyne.s/cm^2*** or ***poise (p)*** where
  - ***1 poise*** *= 1 dyne s/cm^2 = 1 g/cm.s =* ***1/10 Pa.s*** *= 1/10 N.s/m^2*

- **For practical** use the *Poise* is to large and it's **usual divided by *100*** into the smaller unit called the ***centipoises (cP)*** where
  - *1 p = 100 cP*

- *1 cP = 0.01 poise = 0.01 gram per cm second = 0.001 Pascal second = 1 milliPascal second = 0.001 N.s/m^2*

- **Water** at *68.4^{o}F (20.2^{o}C)* has an **absolute viscosity** of one - ***1 - centiPoise***.

ویسکوزیته سینماتیک

- نسبت ویسکوزیته دینامیکی به چگالی را ویسکوزیته سینماتیک می نامند

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

- ویسکوزیته سینماتیک بر خلاف ویسکوزیته دینامیکی تابع فشار است.
- با افزایش فشار، ویسکوزیته سینماتیک گازها کاهش می یابد ولی ویسکوزیته سینماتیک مایعات افزایش می یابد. (دلیل ؟)

- با توجه به کاهش قابل ملاحظه چگالی گازها با دما، تغییرات ویسکوزیته سینماتیکی گازها با دما زیادتر از تغییرات ویسکوزیته دینامیکی است.

ویسکوزیته دینامیک و سینماتیک چند سیال

Liquid	Absolute Viscosity at Room Temperature (Pa.s)
Air	1.983×10^{-5}
Water	1×10^{-3}
Olive Oil	1×10^{-1}
Glycerol	1×10^{0}
Liquid Honey	1×10^{1}
Golden Syrup	1×10^{2}
Glass	1×10^{40}

لزجت سینماتیکی

$1 cSt = 1 mm^2/s$

m^2/s	St	cSt
1	1×10^{4}	1×10^{6}
1×10^{-4}	1	1×10^{2}
1×10^{-6}	1×10^{-2}	1

لزجت دینامیکی

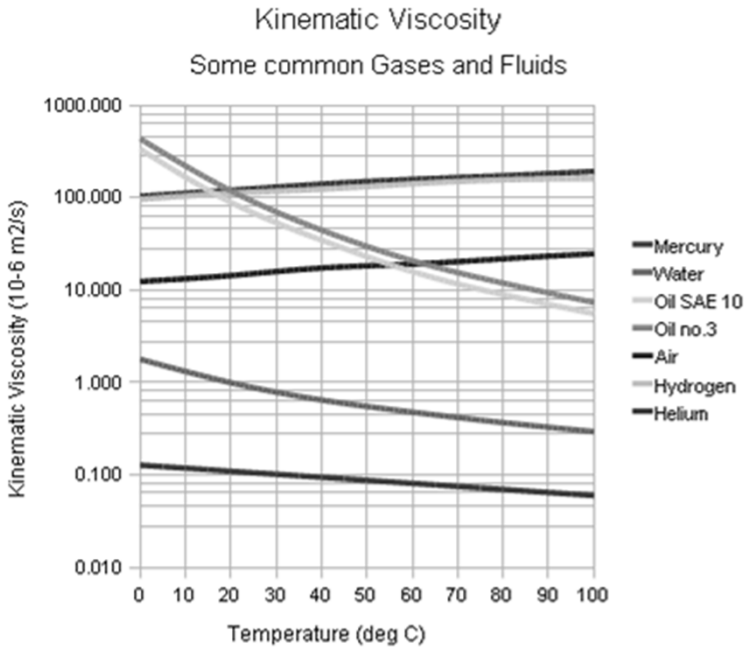
Pa·s	P (Poise)	cP
1	1×10	1×103
1×10^{-1}	1	1×102
1×10^{-3}	1×10^{-2}	1

ویسکوزیته و دماهای مرجع

- ویسکوزیته یک سیال بسیار به دما وابسته است و در هر دو نوع ویسکوزیته جنبشی و دینامیکی بسیار موثر و همچنین دمای مرجع نیز باید در کنار آنها ذکر شده باشد.
- • برای مایع : ویسکوزیته سینماتیکی(جنبشی) با افزایش درجه حرارت، کاهش پیدا می کند.
- • برای گاز: ویسکوزیته سینماتیکی با افزایش درجه حرارت، افزایش پیدا می کند.

Viscosity and Temperature

- Kinematic viscosity of liquids like water, mercury, oils SAE 10 and oil no. 3 - and gases like air, hydrogen and helium are indicated below.
- Note that for liquids viscosity decreases with temperature for gases viscosity increases with temperature



انواع سیال بر اساس تنش برشی و آهنگ تغییر

- حتی در بین موادی که به طور معمول به عنوان سیال شناخته می شوند ، تفاوت بسیاری در رفتارشان با توجه به تنشی که تحمل می کنند مشاهده می شود. لذا بر این اساس :

۱. سیالاتی که از قانون ویسکوزیته نیوتن (Newton's Law of Viscosity) پیروی می کنند و دارای (Dynamic Viscosity) μثابتی می باشند به عنوان **سیالات نیوتنی** شناخته می شوند

۲. سیالاتی که از قانون ویسکوزیته نیوتن پیروی نمی کنند به عنوان **سیالات غیر نیوتنی** شناخته می شوند

سیالات نیوتنی Newtonian Fluids

- سیالاتی هستند که در آنها تنش برشی متناسب با نرخ کرنش برشی است. ثابت تناسب در این حالت ویسکوزیته سیال می باشد.
- تقریبا هیچ سیال نیوتنی در واقعیت وجود ندارد و این تنها فرضی برای ساده سازی می باشد که البته در بسیاری از محاسبات، تقریب خوبی به شمار می رود.
- سیالات نیوتنی شامل آب ، روغن موتور رقیق ، الکل و هوا می باشد
- Fortunately most common fluids, both liquids and gases, are Newtonian.

سیالات غیر نیوتنی Non Newtonian Fluids

- سیالاتی که **رابطه بین تنش و نرخ کرنش** در آن ها **خطی نیست**

- بعبارتی دیگر سیالی است که **گرانروی آن** با **نرخ کرنش** وارد بر آن **تغییر** می‌کند. در نتیجه چنین سیالاتی فاقد گرانروی معین هستند یعنی **با افزایش تنش، سیال رقیقتر و یا غلیظتر** گردد.

سیالات غیر نیوتنی

- سیالات غیر نیوتنی را معمولا به این صورت که دارای رفتار مستقل از زمان یا وابسته به زمان می باشند تقسیم بندی شوند

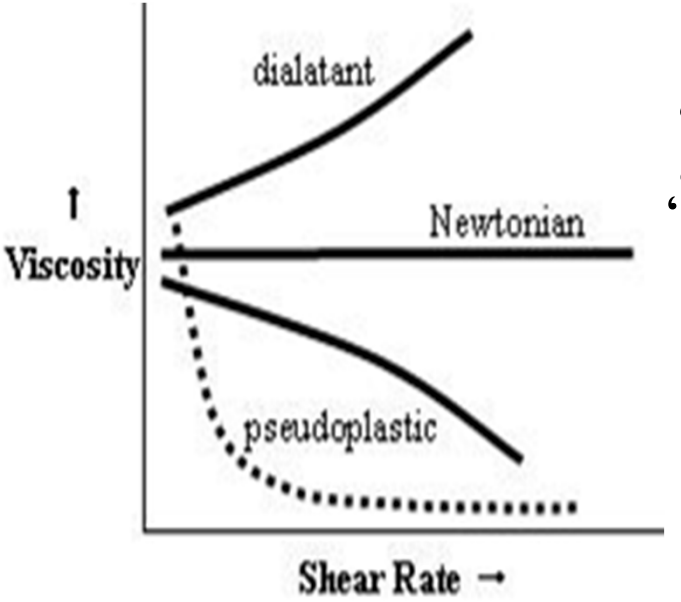
❖الف - مستقل از زمان (Time Independent)

❖ب - وابسته به زمان (Time Dependent)

- **برای سیالات** وابسته به زمان **تا حدی حافظه تنشی مانند جامدات** وجود دارد.

سیالات غیر نیوتنی مستقل از زمان (Time Independent)

- **پزودو پلاستیک (شبه پلاستیک) Pseudo plastic**
- سیالات شبه پلاستیک سیالاتی که ویسکوزیته ظاهری با افزایش آهنگ تغییر شکل، **کاهش می یابد** ($n<1$).
- به این نوع از رفتار، کاهش یافتن (نازک شدن) برش (shear – thinning) می گویند .
- **بیشتر سیالات** غیر نیوتونی در این گروه قرار میگیرند
- مثالها :
- مرکب چاپ printers ink، تفاله کاغذ paper pulp، محلول‌های شیره‌ای، Latex Solutions، صابون Soap، بیشتر امولسیون ها Most emulsions و رنگ Paint



سیالات غیر نیوتنی وابسته به زمان (Time Dependent)

۲ـرئوپکتیک (Rheopectic Substances)

- سیالاتی که تحت اعمال **یک تنش برشی ثابت، ویسکوزیته ظاهری** آن ها **با زمان افزایش می یابد.**

مثالها :

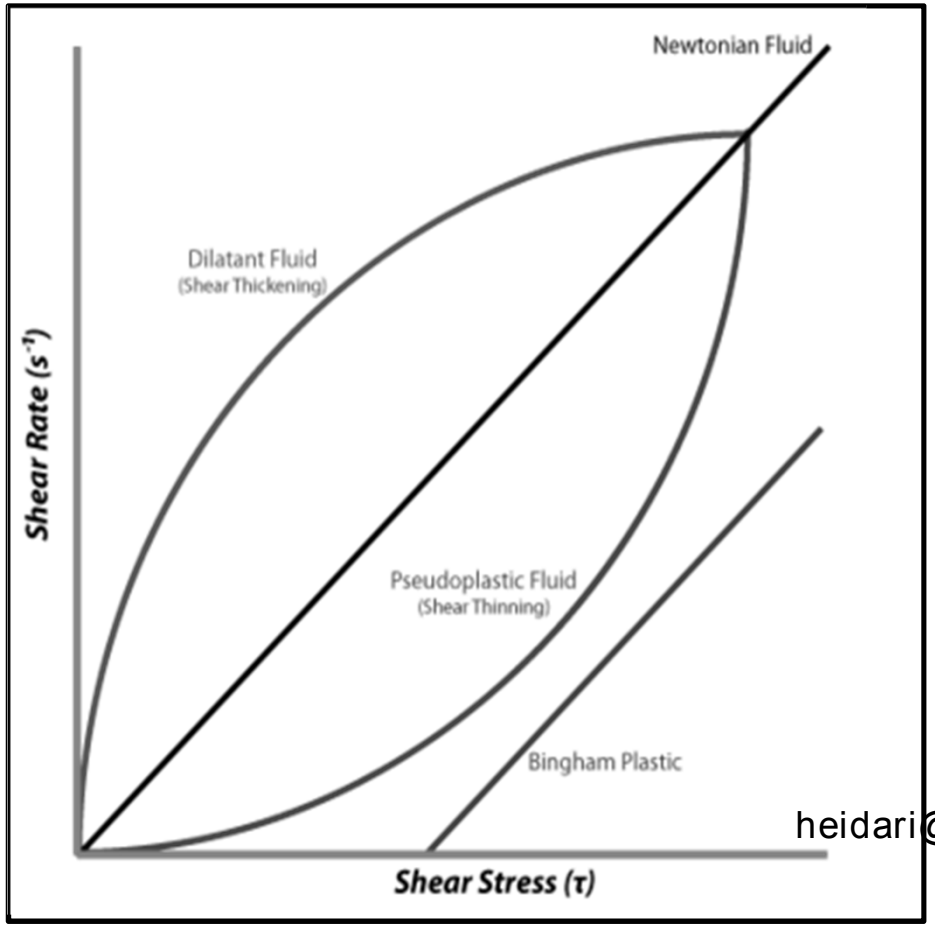
- ژل سیلیسی Silica gel، گریس Greases، آسفالت Asphalt، نشاسته Starch، بنتونیت Bentonite

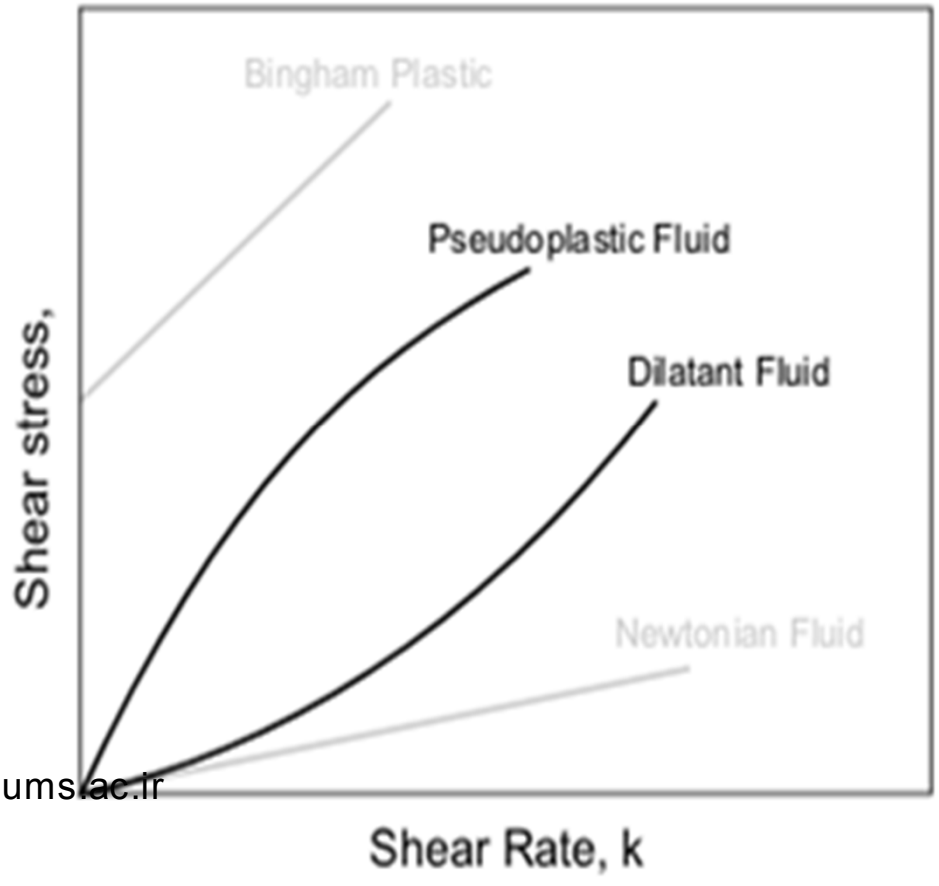
سیالات غیر نیوتنی وابسته به زمان (Time Dependent)

۳- مواد ویسکوالاستیک (Viscoelastic Materials)، موادی که در **حالت های زمانی پایا رفتاری شبیه به سیالات نیوتنی** دارند اما **اگر تنش برشی ناگهان تغییر کند رفتاری شبیه پلاستیک** از خود نشان می دهند.

- یعنی **وقتی که تنش اعمالی برداشته می شود**، بعد از تغییر شکل جزئی، **شکل اولیه خود را باز می یابند**

طبقه‌بندی سیال‌ها بر پایه رابطه تنش و نرخ کرنش

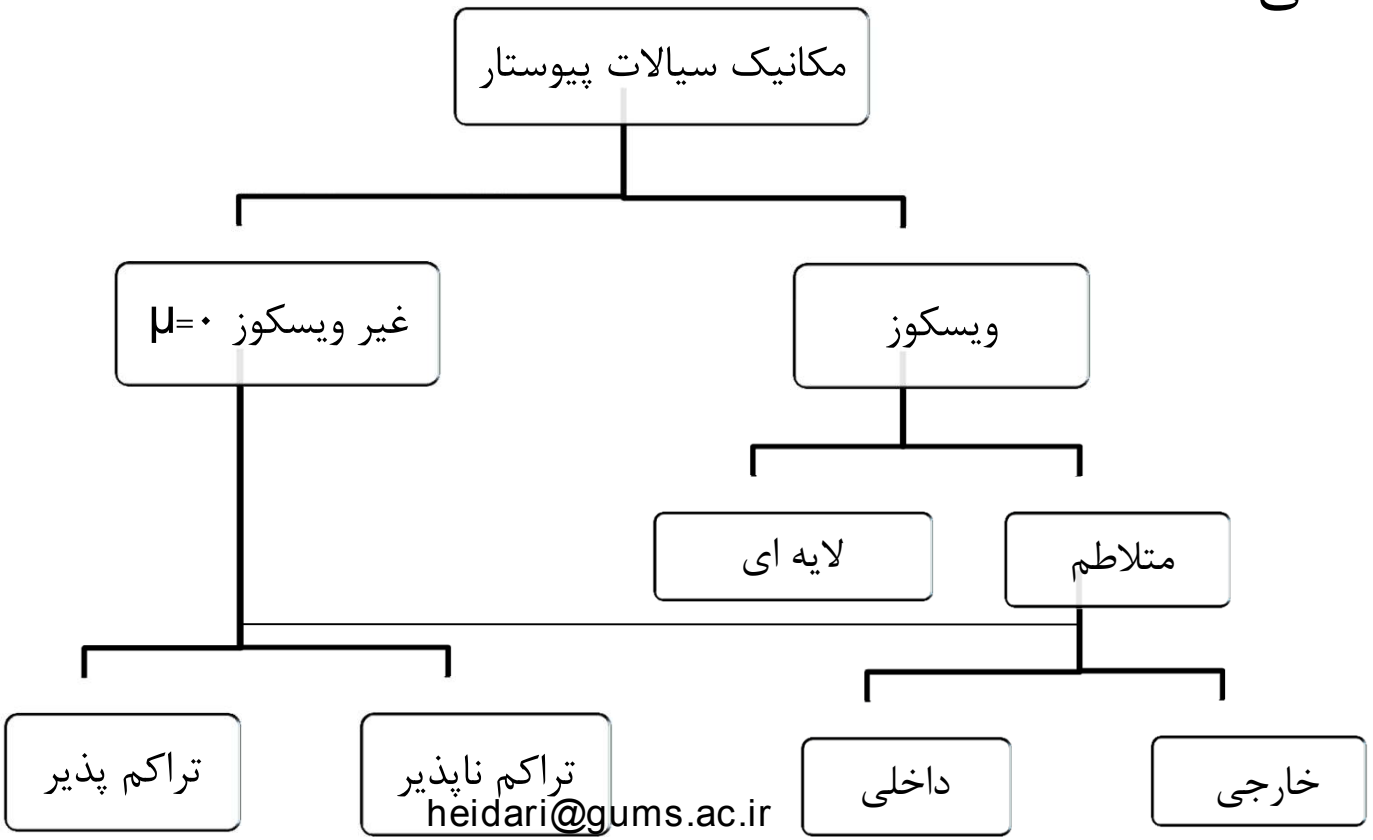




heidari@gums.ac.ir

مکانیک سیالات پیوستار

- مکانیک سیالات را برحسب وجود یا عدم وجود آثار ویسکوز و آثار تراکم پذیری تقسیم بندی می کنند علاوه بر این طبقه بندی لایه ای یا متراکم بودن سیال، و داخلی و خارجی بودن آن نیز در تحلیل رفتار سیستم سیال کمک می کند



جریان سیال

- **جابجایی ذرات سیال** که موجب **حرکت کلی سیال** گردد را **جریان یافتن سیال** می‌نامند و در زیر بخشی خاصی از مکانیک سیالات به نام دینامیک سیالات بررسی می‌شود که به دو زیر بخش هیدرودینامیک (بررسی حرکات مایعات) و آئرودینامیک (بررسی حرکت گازها) نیز تقسیم می‌شود.
- بر حرکت سیالات دو قانون بسیار مهم حاکم است که معادله برنولی و معادله ناویه استوکز نام دارند.

انواع جریان

۱-جریان دائم و جریان غیر دائم(steady-unsteady)

۲-جریان تراکم پذیر وتراکم ناپذیر(compressible incompressible)

۳-جریان یکنواخت وغیر یکنواخت(uniform flow-Non-uniform)

۴-جریان آرام یا لایه ای ودرهم(Turbulent or frenzied and laminar)

۵-جریان ایده آل وحقیقی(Ideal-Real)

۶-جریان سه بعدی-دوبعدی-یک بعدی(One-dimensional-Three-dimensional-Two-dimensional)

۷-جریان داخلی و خارجی (Internal and external)

۸-جریان توسعه یافته وتوسعه نیافته(Development)

۹-جریان چرخشی و غیر چرخشی(Rotational*Non-rotating)

۱۰-جریان تک فاز و چند فاز (simple phase-multi phase)

heidari@goums.ac.ir