هوالعلیم

Fluid Flow Over a Flat plate (2)

By: Farzaneh Samsami , Mohammad Sagharichi ha

جریان سیال روی صفحهٔ تخت(2)

نویسنده: فرزانه صمصامی، محمد ساقری چی ها

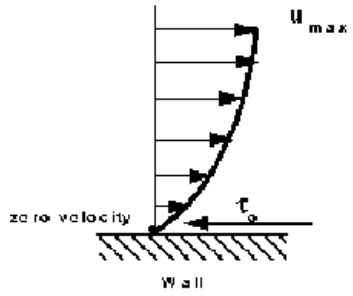
وعده کرده بودیم که اندکی بیشتر در مورد شکل گیری جریان توربولان بر روی صفحهٔ تخت و نظریه پردازیهای مختلفی که در این زمینه وجود دارد، صحبت شود.

در ابتدا تعریف لایهٔ مرزی را بیان می کنیم که از تعاریف پرکاربرد در نظریه پردازیهای مختلف در دینامیک سیالات است.

www.fluid.persianblog.com ○
اولین وبلاگ تخصصی در مکانیک سیالات
آزمایشگاه هیدرودینامیک کاربردی دانشگاه علم وصنعت ایران

لایهٔ مرزی

بر اساس مشاهدات تجربی، هنگامیکه سیالی روی یک سطح ثابت مانند بستر رودخانه یا دیوارهٔ یک لوله جاری می شود، لایه ای از سیال که با دیواره در تماس است بدلیل وجود تنش برشی t_0 بین دیواره و لایه سیال بی حرکت می شود. یعنی وقتی سیال با دمای T_∞ و سرعت U_∞ به یک سطح نزدیک شده و از روی آن عبور می کند، بدلیل اثرات لزجت، سرعت سیال روی جداره جامد با سرعت جداره جامد یکسان خواهد شد. بطور کلی اثرات اصطکاک عمدتا در لایهٔ مرزی مجاور سطح مشهود می باشد و دور از سطح، اثرات اصطکاک ناچیز خواهد بود. تبادلات اصلی ممنتم بین سطح و سیال در داخل این لایهٔ نازک که به آن لایهٔ مرزی سرعت گفته می شود رخ می دهد. در داخل این لایه، سرعت از مقدار صفر روی دیواره ساکن تا مقدار حداکثر خود، یعنی سرعت جریان آزاد، افزایش می یابد.

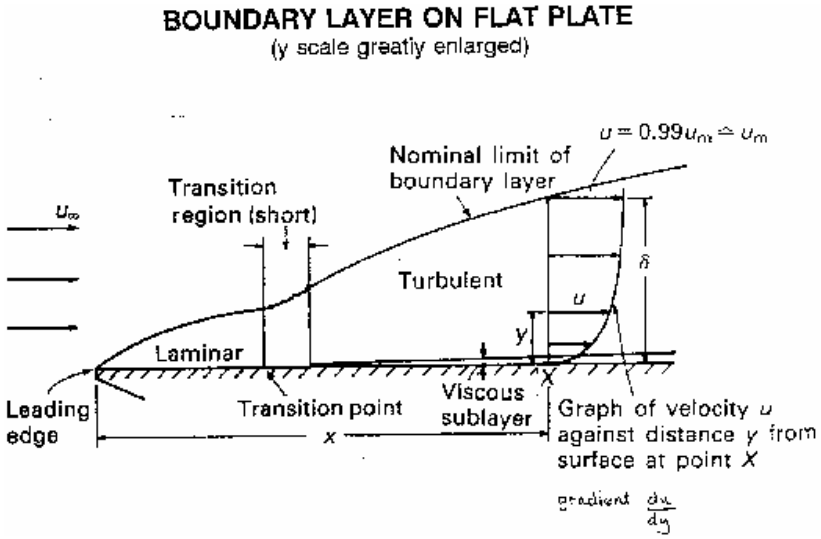


با نگاه دو بعدی به جریان مجاور دیواره، پروفیل سرعتی مشابه شکل فوق دیده می شود که از دیواره شروع شده و تا جریان آزاد ادامه می یابد. این پروفیل ناگهان به وجود نمی‌آید بلکه از نقطه‌ای در مسیر جریان که سیال مجاور دیواره قرار می گیرد، شروع می شود و به تدریج رشد می کند. پروفیل سرعت در بالا دست جریان یکنواخت است (جریان آزاد[1]). ناحیه ای از جریان که

[1] Free stream flow

در آن به سبب چسبندگی سیال به دیواره جامد، تنش برشی در سیال به‌وجود می آید لایهٔ مرزی[1] نامیده می شود.

اگر یک صفحهٔ تخت داخل جریان سیال قرار گیرد میتوان شکل‌گیری و تغییرات پروفیل سرعت را مشاهده کرد. مراحل شکل‌گیری لایهٔ مرزی بر روی یک صفحهٔ تخت در شکل زیر نشان داده شده است:



طبق تعریف قراردادی، ضخامت این لایهٔ مرزی معادل فاصلهٔ بین صفحه و نقطه‌ای که به سرعت 99% سرعت جریان آزاد در همان نقطه می رسد، تعریف می شود.

مقدار d با فاصله گرفتن از ابتدای صفحه در جهت جریان افزایش می یابد و به تدریج ضخامت لایه مرزی افزایش می یابد.

شکل‌گیری لایهٔ مرزی

همانطور که در شکل مشاهده می شود، جریان سیال درون لایهٔ مرزی چندین رژیم دارد. در ابتدای صفحه، جریان لایه ای می باشد. سپس یک حالت گذار طی شده و جریان به جریان آشفته تبدیل می شود. خود جریان آشفته نیز متشکل از چند لایهٔ مختلف، شامل زیر لایهٔ آرام، لایهٔ میانی و ناحیهٔ کاملا مغشوش می باشد.

در جریان لایه ای، ذرات سیال مسیر خود را به یکباره عوض نکرده و به شکل منظمی دنبال ذرات جلویی خود حرکت می کنند. در عین حال مولکولها آزادند(در مقیاس میکروسکوپی) که بین لایه ها حرکت نمایند. بنابراین در جریان لایه ای در مقیاس میکروسکوپی عامل انتقال ممنتوم بین لایه ها، حرکت مولکولها هستند، و در مقیاس ماکروسکوپی اصطکاک عامل آن می باشد. این قسمت از لایه مرزی آرام[2] نامیده می‌شود.

[1] Boundary layer
[2] Laminar boundary layer

www.fluid.persianblog.com ○
اولین وبلاگ تخصصی در مکانیک سیالات
آزمایشگاه هیدرودینامیک کاربردی دانشگاه علم وصنعت ایران

در جریان توربولان گرچه ممکنست بطور متوسط، نظمی در حرکت جریان وجود داشته باشد اما ذرات مقید به حرکت به دنبال ذرات جلویی نیستند. در این حال جهت کلی جریان متوسط مشخص است (یعنی همهٔ ذرات در نهایت به یکسو حرکت می کنند). اگر جریان سیال توربولان باشد، علاوه بر تبادلات ممنتوم در سطح مولکولی، توده های بزرگ سیال بدلیل حرکات نامنظم خود، عامل مهمی در تبادل ممنتوم بین لایه های سیال می باشند، یعنی توده های سیال خودشان در جهات مختلف حرکت دارند و ممنتوم خود را به نقاط مختلف سیال منتقل می کنند.

علتی که برای توجیه شکل گیری لایه مرزی درهم وجود دارد اینست که توزیع ورتیسیتی ایجاد شده در طول صفحه تخت به حالتی می رسد که از نظر دینامیکی پایدار نمی باشد، بنابراین یک اغتشاش کوچک می تواند باعث ناپایداری جریان شده و آرایش ورتیسیتی را تغییر دهد که نهایت این ناپایداری هیدرودینامیکی، شکل گیری جریان درهم می باشد.

در داخل لایه مرزی توربولان و در نقاط خیلی نزدیک به مرز، تغییرات سرعت خیلی بزرگ می‌شود و با بزرگ شدن تغییرات سرعت، نیروهای تنش برشی قدرت کافی برای پایدار نگه داشتن حرکت لایه ای را دارند. این ناحیه زیر لایهٔ آرام[1] نامیده می‌شود. این لایه درون ناحیهٔ مغشوش در کنار دیوار و با ضخامت خیلی کم تشکیل می‌شود.

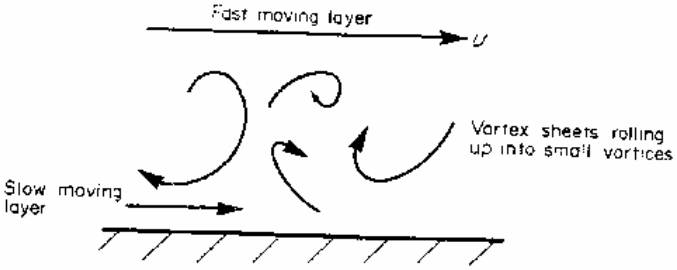
در داخل یک جریان توربولان سرعت در هر نقطه بصورت تصادفی تابعی از زمان خواهد بود و این سرعت را می توانیم بصورت حاصل جمع یک تابع متوسط $\overline{U}$ و یک مؤلفهٔ متوسط تابع زمان U' نشان دهیم. علت بروز این نوسانات، عبور ادی ها با اندازه ها و جهت چرخشهای مختلف و در اندازه های مختلف می باشد. مشکل ترین مسئله در یک بررسی تحلیلی از لایهٔ مرزی مغشوش، آنست که خواص eddy[2] در عرض لایهٔ مرزی(از صفر تا لبهٔ لایهٔ مرزی) تغییر می کند و این تغییرات فقط از طریق داده های تجربی قابل حصول می باشند. بنابراین، آنالیز جریانهای مغشوش باید بر اساس داده های تجربی صورت گیرد.

نوسانات سرعت در هر سه جهت وجود داشته و باعث بروز تنشهایی در داخل سیال می شوند که به آنها تنشهای توربولانی گفته می شود. بدلیل وجود این مؤلفه های نوسانی، در هر نقطه شش مؤلفهٔ تنش جدید که به آنها مؤلفه های تنش توربولانی در داخل سیال گفته می شود، ایجاد می شود. مدلسازی توربولنس یعنی ارتباط بین این شش مؤلفهٔ تنش توربولانی مجهول با معادلاتی که می توان توسط آنها این مؤلفه ها را یافت و سپس یافتن ارتباط آنها با لزجت گردابه ای. توجه داشته باشید که ماهیت توربولانس، یک ماهیت سه بعدی است، در صورتیکه جریان لایه ای دو بعدی می تواند وجود داشته باشد.

www.fluid.persianblog.com ○
اولین وبلاگ تخصصی در مکانیک سیالات
آزمایشگاه هیدرودینامیک کاربردی دانشگاه علم وصنعت ایران

[1] Laminar sub layer

[2] eddy یک واقعیت فیزیکی است در حالیکه vortex مدلی ریاضی است که ما برای بررسی eddy ساخته ایم



مدلسازی و تحلیل جریان توربولان از مباحث جذاب مکانیک سیالات می باشد که برای رسیدن به آن راه درازی در پیش روی این علم وجود دارد. کارهای آزمایشگاهی زیادی در جهت قانونمند کردن این نوع جریان انجام شده است و ویژگیهایی برای بیان آن به دست آمده است.

تا اینجا توربولنس را بر مبنای مکانیک آماری و چیزهای متداولی که می شناختیم تحلیل کردیم. یکی از راههای دیگری که دانشمندان برای تحلیل جریان توربولان در پیش گرفته اند، استفاده از معادلات ساختاری علاوه بر معادلات معمولی پیوستگی و ممنتوم می باشد. بدین معنا که می گویند اگر معادلات ساختاری درست و مناسبی برای سیال در نظر گرفته شود، آنگاه همان معادلات ناویر استوکس برای مدلسازی جریان توربولان کفایت کرده و نتایج تحلیلی نسبتا دقیقی را در اختیار ما قرار خواهند داد. البته این نوع نگرش هنوز نوپاست و تائیدات تجربی زیادی نداشته است.

منابع و مراجع :

[۱] جلسه آزمایشگاه هیدرودینامیک، مورخ 1384/2/18

***** بازنشر الکترونیکی مطلب فوق با ذکر نام وبلاگ بلامانع است.**

***** بازنشر مکتوب مطالب منوط به اجازه از مدیر وبلاگ می باشد.**

www.fluid.persianblog.com ○
اولین وبلاگ تخصصی در مکانیک سیالات
آزمایشگاه هیدرودینامیک کاربردی دانشگاه علم وصنعت ایران