هوالعلیم

Fluid Flow Over a Flat plate (1)
By: Farzaneh Samsami

جریان سیال روی صفحهٔ تخت(1)
نویسنده: فرزانه صمصامی

یک روز در آزمایشگاه یک بحث خیلی ساده در گرفت. ماجرا از این قرار بود که آقای ساقری چی ها که روی اندازه گیری تنش برشی روی صفحه تخت کار می کردند، پرسیدند که از کجا بفهمیم که جریان روی صفحه در یک مقطع مشخص آرام است یا توربولان و اگر بخواهیم در آن مقطع میزان تنش برشی را اندازه گیری کنیم، با توجه به افزایش ضخامت لایه مرزی سرعت، باید انتظار داشته باشیم که میزان تنش برشی کاهش یابد یا افزایش؟ در ظاهر می دانیم که با افزایش ضخامت لایه مرزی بر روی یک صفحهٔ تخت افقی، گرادیان عمودی سرعت کاهش یافته و با فرض ثابت بودن مقدار لزجت سیال، تنش برشی میان لایه های سیال نیز کاهش می یابد. انتظار می رود که این کاهش تنش برشی به آرام شدن جریان سیال منجر شود، اما در واقعیت می بینیم که با افزایش ضخامت لایه مرزی سرعت، جریان آشفته می شود. این نتیجه گیری ما اشتباه است و میزان تنش برشی ربطی به آرام یا آشفته بودن جریان سیال روی صفحهٔ تخت ندارد یا اینکه اصلا مسئله را اشتباه متوجه شده ایم! از طرف دیگر اگر مقدار لزجت سیال ثابت نباشد، چه؟ آنوقت چه نتیجه ای می توان گرفت؟

باید به مکانیزم تبدیل جریان از آرام به آشفته دقت کرد؛ اگر این مکانیزم رخ داده باشد، جریان در آن مقطع آشفته خواهد بود والا اینطور نیست. فقط مشکل در معیار این تبدیل است؟ آیا عدد رینولدز یا به عبارت بهتر سرعت لایه مرزی بیانگر این معیار است یا خود تنش برشی یا چیز دیگری؟ اینجا بود که این جواب به نظر ساده و بدیهی موضوع بحث چندین جلسهٔ ما شد.

آنچه در این بحثها به دنبال آن بودیم یک دید دقیق فیزیکی از آن چیزی بود که رخ می دهد، اما شاید مشکل هم همین باشد. یک سیستم متشکل از یک صفحهٔ تخت بینهایت و یک سیال را در یک طرف آن در نظر بگیرید. برای سادگی کار فرض کنید که سیال ساکن است و صفحه را بر روی آن می کشیم. برای حرکت دادن صفحه بر روی سیال باید نیرو صرف کنیم. این اولین برداشت فیزیکی ما از حرکت یک سیال بر روی یک صفحهٔ تخت است. با اندازه گیری نیروی مصرف شده می توانیم معیاری فیزیکی نیز برای این حرکت داشته باشیم. معیار قابل اندازه گیری دیگر سرعت سیال است. آیا سرعت را در هر فاصله ای از دیواره می توان اندازه گرفت؟ آیا می توان تغییرات دقیق سرعت را اندازه گیری کرد؟ آیا ابزارهای اندازه گیری ما قادرند نوسانات سرعت را با دقت زیاد اندازه بگیرند؟ از کجا معلوم که اگر نوسانی هم اندازه گیری شود مربوط به وسیله اندازه گیری ما

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

نباشد؟! آیا فیزیک و اندازه گیریهای فیزیکی می توانند به ما بگویند که جریان از کجا، چگونه و به چه دلیل آشفته می شود؟ این موضوع اندکی جای تأمل دارد.

واقعیت اینست که فیزیک یکبار دیگر ما را در مواجهه با یک جعبه سیاه قرار داده است که با توجه به کمیتهایی ماکروسکوپیک اندازه گیری شده و اطلاعات محدودی که داریم باید حدس بزنیم که درون آن چه خبر است. سالهاست که نظریه پردازی برای توجیه آنچه که رخ می دهد دانشمندان را به خود مشغول داشته است.

آنچه از این جعبهٔ سیاه می دانیم اینست که ناحیه ای نازک وجود دارد که از یک طرف به سیال چسبیده و از یک طرف به دیوار و آنچه نمی دانیم اینست که این ناحیه رفتار سیال را از خود نشان می دهد یا رفتار دیوار را و یا رفتار خاص خود را نشان می دهد که هیچکدام از ایندو نبوده بلکه حالتی بینابین ایندو است. این سؤالی است که جوابی برایش وجود ندارد و اگر هم جوابی برایش وجود دارد، از نوع نظریه پردازی است نه جوابهای قطعی. تا صد سال قبل عقیده بر این بود که سیال روی دیوار سر می خورد و جلو می رود و سعی می کردند بر آن مبنا تئوری های خود را بیان کرده و وقایع مشاهده شده را توجیه کنند اما پس از آن پرانتل تئوری عدم لغزش و لایه مرزی را بیان نموده و از آن برای تفسیر وقایع استفاده کرد. آنچه پرانتل گفت و آنچه قبل از او می گفتند، همگی نظریه پردازیی بیش نبود، تنها چیزی که قطعی است و مشاهدات آنرا تأئید می کنند اینست که سرعت در نزدیکی دیواره خیلی کم است. درست است که ما می توانیم در بالای سطح صفحهٔ تخت سرعت را اندازه گیری کنیم اما روی سطح صفحهٔ تخت هیچ مشاهدهٔ قطعیی نمی توانیم داشته باشیم چون اولا سطح در مقیاس میکروسکوپی کاملا صاف نیست و در ثانی ذرات سیال گسسته هستند یعنی مولکول هستند و روی هم می غلتند؛ چیزی که شواهد نشان می دهد اینست که سرعت سیال به سرعت دیواره بسیار نزدیک می شود. در حقیقت مشاهدات ما دو حد دارند که قبلا هم در مورد آن صحبت شد، یکی اینکه ذرات سیال به دیوار می چسبند، دیگر اینکه به آن نمی چسبند و سوم اینکه حالتی بینابین اینهاست. مثلا فرض کنید که یک صفحه تخت از جنس قند داخل جریان باشد. در اینصورت ذرات سیال(در اینجا آب) روی آن سر می خورند، چون در حین اینکه سیال از روی قند عبور می کند، ذرات قند نیز داخل سیال می شوند. حالا چه می توان گفت؟ آری، نه لغزش کامل داریم و نه عدم لغزش کامل. پس شاید بهتر باشد اولین سؤالی که می پرسیم این باشد که آب یا مایع یا سیال با چه محیطی در تماس است.

یکبار دیگر مسیری را که طی کردیم مرور می کنیم. دنبال شناخت فیزیکی از مسئله بودیم. دو معیار مشترک قابل اندازه گیری پیدا کردیم، نیرو و سرعت. محدودیتهای موجود در اندازه گیری آنها را بیان کردیم و گفتیم که یک سؤال اساسی و تأثیر گذار برروی رفتار فیزیکی مسئله اینست که چه سیالی از روی چه سطحی عبور می کند. یعنی نمی توان گفت که حرکت آب از روی شیشه مثل حرکت آب از روی فولاد است، اما از طرف دیگر تفاوت بین آنها کم است و می توان گفت که سرعت در سطح تماس به صفر میل می کند. گاهی هم همین تفاوت اندک خود را خوب نشان می دهد و باید آنرا در نظر گرفت، مثلا برای لوله کشی و محاسبات مربوط به آن، اگر فرض کنیم که

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

سیال روی دیواره سر بخورد قدرت مصرفی پمپ کمتر از حالتی خواهد بود که سیال روی دیواره بچسبد. لذا برای محاسبات مربوط به لوله کشی با توجه به مشاهدات تجربی متداول فرض می کنند که سیال به دیواره بچسبد و شرط عدم لغزش احراز شود. اینجا جائیست که فیزیک به ما نگفته که شرط لغزش را انتخاب کنیم یا شرط عدم لغزش را؛ بلکه خودمان با توجه به شرایط مسئله مان مناسبترین شرط را در نظر می گیریم. بازهم تأکید می شود که اینکه واقعا چه قانونمندیی حاکم است، باید از روی شواهد تجربی و از درون آزمایشگاهها مشخص شود. اشاره به این نکته مفید است که در تکنولوژیهای جدید و در حال توسعه، محققین به دنبال پوشش دهی های خاصی هستند که رفتار لغزش روی دیواره را نشان دهد که در این راستا و در مقیاسهای آزمایشگاهی به نتایجی نیز دست یافته اند. بدیهی است در صورت استفاده از این پوشش دهی، مقوله طراحی خطوط لوله شدیدا دچار تحول خواهد شد.

بازهم بیشتر در فیزیک مسئله کنکاش می کنیم. یک چیز مشترک صرفنظر از اینکه سیال چه باشد و جنس صفحهٔ تخت چه باشد وجود دارد، و آن اینست که باید برای حرکت صفحه از روی سیال نیرو به آن وارد کرد؛ و برای وارد کردن این نیرو باید تماس وجود داشته باشد، یعنی این نیرو یک نیروی سطحی است که از راه نزدیک و از طریق سطح تماس به سیال وارد می شود. این نیرویی که از طریق سطح به سیال وارد می شود، در حین حرکت سطح از روی سیال به ذرات سیال حرکت زاویه ای چرخشی می دهد، یعنی ذرات سیال دارای ورتیسیتی می شوند. حرکت ذرات سیال دارای ورتیسیتی با حرکت انتقالی ذرات سیال تفاوت می کند. ذرات سیال دارای چرخش در اثر حرکت انتقالی خود جابجا می شوند. چرخش مفهومی مادی است که ناشی از کار نیروهای سطحی خارجی روی سیال ایجاد می شود و حاصل این کار، توزیعی از ذرات دارای چرخش را ایجاد می کند که به صورت لایه مرزی مشاهده می شود.

در قوانین فیزیکی حاکم بر مسئله نیز ما به دنبال توصیف همین پدیده ها هستیم. در حل معادلات ناویر استوکس همهٔ سعی بر این است که بشناسیم که نیروی F چگونه روی سطح توزیع می شود که سبب چرخشی شدن جریان شده و در نهایت جریان ما چه آرایشی خواهد داشت.

یک سؤال مهم دیگر باقی می ماند. از ابتدای بحث مکررا بیان شد که همه چیز بستگی به نوع و جنس سطوح درگیر با هم دارد. حال شرایط مرزی خاصی را در نظر بگیریم، آیا توزیع سرعت متفاوتی می تواند وجود داشته باشد؟ یعنی می تواند یک معادلهٔ ما چندین جواب داشته باشد؟ در اینصورت ورتیسیتیی که تولید می شود چه توزیعی می تواند داشته باشد؟

معمولا بر روی صفحهٔ تخت جدایش یا separation و شکل گیری ناحیه recirculation مشاهده نمی شود اما تجربه نشان داده که می توان کاری کرد که بتوان جدایش را بر روی صفحهٔ تخت نیز مشاهده کرد. پس تجربه نشان می دهد که شرایط مرزی یکتا می تواند توزیع سرعتهای متفاوت داشته باشد. باید ببینیم چه چیزهایی بر روی الگوی سرعت تأثیر گذار هستند. گفته شد که در شکل گیری جریان سیال دو قسمت وجود دارد، اول به چرخش انداختن سیال و سپس توزیع جریان سیال و به تبع آن توزیع گردابه های ایجاد شده درون سیال. ما فقط می دانیم که ذرات

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

سیال به چرخش در می آیند و گردابه ها درون جریان سیال توزیع می شوند و اینکه چرا ذرات مـی چرخند و برای چرخش هر ذره در شرایط خاص چه نیرویی باید وارد کرد، برای ما مشخص نیـست. به عبارت دیگر اینکه معادلات حرکت سیال چند جواب دارند مشخص نیست؛ معادلهٔ ناویر استوکس یک معادلهٔ غیر خطی است که تعداد جوابهایش مشخص نیست و بنا به شرایط خـاص مـسئله، مـی تواند جوابهای چندگانه داشته باشد.

حالا جای آنست که به شبیه سازیهای عددیی که براحتی برای این معادلهٔ غیر خطی دارای جوابهای چندگانه انجام می دهیم شک کنیم. بله! در واقع در کدها جوابی را می گیریم که انتظار داریـم و در واقع شرایط حل را به گونه ای مرتب می کنیم که معادله آنطور حـل شـود کـه مطلـوب ماسـت. در حقیقت در حلهای عددی هیچگونه قطعیتی وجود ندارد و ما سعی می کنیم تا با حلهای عـددی بـه سمت جوابهای تجربیی که می شناسیم نزدیک شویم.

در بحثهای بعدی تلاش می کنیم تا این موضوع را بیشتر مورد بررسی قرار دهیم. برای ایـن منظـور اندکی در مورد نظریه پردازیهای مختلفی که در مورد چگـونگی شـکل گیـری گردابـه هـا و جریـان توربولان بر روی صفحه وجود دارد توضـیح مـی دهـیم. سـعی بـر ایـن اسـت کـه بخـشی از نتـایج آزمایشهای تجربی و مباحث مربوط به نحوهٔ شکل گیری جریان آشفته نیز آورده شود.

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 و صنعت ایران