مکانیک سیالات در ابعاد میکرو و نانو

امروزه با توجه به نیازهای بشر برای ساخت وسایل و تجهیزات مختلف در ابعاد کوچک، بررسی جریان سیالات در ابعاد میکرو و نانو از اهمیت فراوانی برخوردار است. با توجه به این که رفتار جریان در این ابعاد ویژگی‌های خاصی دارد، مطالعه مکانیک سیالات در ابعاد میکرو و نانو ضروری به نظر می‌رسد. «ریچارد فیمن» در سال ۱۹۶۰ اظهار داشت: «بسیاری وجوه کشف نشده در ابعاد کوچک وجود دارند.»

او با همین جمله چشم‌اندازهای نوین و کاربردهای خلاقانه جدیدی در مهندسی و علوم میکرو و نانو را به روی دانشمندان نمایان ساخت. با این حال، تحقیقات مدون در میکرو مکانیک نخستین بار در سال‌های ۱۹۸۰ آغاز شد.امروزه توانمندی مهندسی به جایگاهی رسیده است که می‌تواند هندسه‌های بسیار کوچک را در ابعاد میکرو و نانو بسازد.

میکروپمپ‌ها ـ به عنوان یک کاربرد مهم برای تجهیزات میکرو نانوالکترومکانیکی می‌توان از میکروپمپ‌ها که در علوم پزشکی برای انتقال کنترل شده و تزریق مقدار بسیار کمی از دارو و مواد شیمیایی در حد نانولیتر استفاده می‌شود، نام برد. اجزای اصلی یک میکروپمپ عبارت هستند از: محفظه اصلی پمپ، مکانیزم راه‌انداز و در نهایت دو شیر یک طرفه غیر فعال که یکی از آن‌ها در دهانه ورودی و دیگری در دهانه خروجی مستقر است. در حین کار، راه‌انداز روی پیستون عمل می‌کند تا حجم داخل محفظه را افزایش یا کاهش دهد. سیال به دنبال فرایند افزایش حجم، به داخل محفظه کشیده می‌شود و در نیم سیکلی که با کاهش حجم محفظه همراه است، از دریچه خروجی خارج می‌شود.

هارد دیسک‌ها ـ نمونه دیگری از کاربرد جریان‌های میکرو و نانو در تجهیزات کامپیوتری و در دیسک‌های سخت است. این وسیله از یک لغزنده تشکیل شده است که با حرکت روی صفحه، اطلاعات را به صورت صفر و یک ذخیره می‌کند و هر چه حرکت نسبی لغزنده و صفحه سریع‌تر باشد، سرعت انتشار اطلاعات بیشتر می‌شود. فاصله لغزنده و دیسک از یک اثر انگشت کم‌تر است و عملاً این فضا یک نانو کانال محسوب می‌شود.

در نسل قدیم دیسک‌ها از سیال هوا در محفظه حاوی صفحه و لغزنده استفاده می‌شد و حداکثر ۵ صفحه و لغزنده در این فضا حضور داشتند. با مطالعات صورت گرفته این نتیجه به دست آمد که در صورت استفاده از گاز هلیوم به جای هوا، می‌توان فضا را کاهش و تعداد صفحات را زیاد کرد. نکته دیگر این که هنگام چرخش دیسک‌ها حرارت تولیدی نباید افزایش زیادی پیدا کند. مزیت هلیوم در مقایسه با هوا این است که ضریب مبادله انرژی با سطوح برای اتم‌های هلیوم در مقایسه با هوا بسیار کم‌تر است. لذا مبادله انرژی بین اتم‌های هلیوم و صفحه به شدت کاهش و در نتیجه اصطکاک و حرارت تولیدی هلیوم کم‌تر از هوا است. به کمک تکنولوژی ساخت قطعات در ابعاد میکرو و نانو، شرکت «سی گیت» توانست در پنج سال اخیر ظرفیت هارد دیسک‌های خود را از یک ترابایت به سه ترابایت ارتقاء دهد، همچنین سرعت انتقال اطلاعات از یک گیگابیت بر ثانیه به شش گیگابیت بر ثانیه ارتقاء یافته است.

گاز رقیق ـ گازی را که در آن تعداد مولکول‌ها کم باشد، طوری که در آن فاصله بین مولکول‌ها از قطر مولکول‌ها حداقل ده برابر بیشتر باشد، «گاز رقیق» می‌نامند.

همه ما هنگام رانندگی با وسیله نقلیه خود فاصله طولی ایمنی را برای برخورد نکردن با خودروها و وسائط نقلیه دیگر رعایت می‌کنیم؛ در دنیای مولکولی نیز یک فاصله متوسط برای هر مولکول وجود دارد تا با مولکول دیگر برخورد نکند. به عبارت دیگر متوسطِ فاصله‌ای که یک مولکول می‌تواند طی کند و به مولکول دیگری برخورد نکند «طول پویش آزاد بین مولکولی» می‌نامند و مشابه با فاصله طولی ایمنی است که در حین رانندگی رعایت می‌شود تا با وسائط نقلیه دیگر برخورد صورت نگیرد.

مولکول‌ها دائماً در حال حرکت هستند یعنی این که حالت ایستایی ندارند. طول پویش آزاد بین مولکولی یک فاصله متوسط است که در آن فاصله برخورد صورت می‌گیرد. می‌توان هوا را یک سیال رقیق در نظر گرفت چرا که غالب فضای اشغال شده در هوا خالی است و فاصله بین مولکول‌ها بیشتر از قطر هر مولکول دلخواه است.

حالت دیگری که برای وقوع پدیده رقیق شدگی می‌توان فرض کرد افزایش ارتفاع است. تأثیر افزایش ارتفاع در غلظت سیال تأثیری مشابه کم کردن حجم دارد. به بیان دیگر، هم در ارتفاعات بالا و هم در ابعاد خیلی کوچک، گاز با رقیق شدگی و کاهش تعداد مولکول‌های سیال مواجه می‌شود و به عبارتی رفتار گاز در ابعاد میکرو و نانو در ارتفاعات بالا نیز به طور مشابه وجود دارد. بنابراین دانشمندان و محققان برای آزمایش ابزاری که برای عملکرد در ارتفاعات بسیار بالا ساخته شده‌اند می‌توانند آن را در محیط‌هایی در ابعاد میکرو و نانو مورد بررسی قرار دهند.

جریان گاز رقیق شده

منشأ اصلی ایجاد عدم تعادل در میدان سیال مرزها هستند. به عبارتی دقیق‌تر مرزها عامل انتشار اتفاقات و تحولات جدیدی هستند که هر مولکول گاز با برخورد با آن و بازگشت به میدان سیال، عاملی برای نشر آن تحول و ناپیوستگی در میدان داخل سیال خواهد بود.می‌توان «عدد نودسن» (Kn) را نسبت برخوردهای مولکول های سیال با مرزها به برخوردهای بین مولکولی در درون سیال دانست. به عنوان مثال Kn=۱۰ یعنی هر مولکول سیال پس از ده بار برخورد با مرزهای موجود در میدان یک بار با مولکولی از جنس خودش برخورد خواهد کرد.

مولکول‌ها پس از برخورد با مرزها تحول و رخداد جدیدی را درک و تجربه می‌کنند و پس از بازگشت به میدان سیال آن را انتشار می‌دهند. حال اگر عدد نودسن به اندازه‌ای باشد که با ایجاد برخوردهای بین مولکولی اطلاعات جدید کاملاً توسط گاز درک شود میدان سیال اصطلاحاً رفتار پیوسته خواهد داشت، اما در صورت نبود برخوردهای کافی بین مولکول‌ها (به عبارتی زیاد بودن عدد نودسن) میدان سیال نمی‌تواند ناپیوستگی نشر شده در داخل خود را به خوبی منتشر کند و دچار عدم تعادل و ناپیوستگی خواهد شد. می‌توان گفت در نودسن‌های بزرگ تر از ۰,۰۰۱ فرض پیوسته بودن میدان سیال به تدریج از بین می‌رود و ناپیوستگی‌های منتشر شده در میدان به خوبی مضمحل نمی‌شوند.

می‌توان به این نتیجه رسید که ابعاد هندسی اگر از یک میکرومتر کم‌تر باشد نمی‌توان دما، سرعت و فشار را در میدان پیوسته فرض کرد. به عبارت دقیق تر در ابعاد کوچک‌تر از یک میکرومتر تعداد برخوردهای بین مولکولی لازم برای هضم ناپیوستگی‌ها در جریان گاز وجود ندارد و تعداد برخورد با مرزها از برخوردهای بین مولکولی بیشتر است و نبود تعادل در میدان نشر می‌یابند.

با توجه به اهمیت و جایگاه میکرو و نانو در تکنولوژی روز دنیا، مقدمات کلی شناخت جریان‌هایی از این نوع در این مقاله فراهم شد. براین اساس با کاهش ابعاد هندسه این نتیجه‌گیری حاصل شد که تعداد مولکول‌های موجود در سیال کاهش می‌یابد که منجر به رقیق‌شدن گاز می‌شود. به‌علاوه کاهش تعداد مولکول‌های موجود در گاز، موجب کاهش تعداد برخوردهای بین مولکولی و عدم برقراری تعادل مجدد بعد از انتشار ناپیوستگی در جریان سیال می‌شود. نهایتاً اگر نسبت طول پویش آزاد مولکولی به طول مشخصه هندسه بزرگ تر از ۰,۰۰۱ باشد جریان مورد بررسی رقیق است که نیاز به تمهیدات خاصی برای پیش‌بینی خواص جریان در این نوع میدان سیال وجود دارد.

*** عدنان محمدی ـ احسان روحی**
دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد