1 2012-16162

یازدهمین کنفرانس انجمن هوافضای ایران
تهران، دانشگاه علوم و فنون هوائی شهید ستاری، ۴-۲ اسفند ماه ۱۳۹۰

# شبیه‌سازی جریان سیال غیر نیوتنی توانی به کمک روش شبکه بولتزمن

**مهدی نویدبخش[۱]، سید مصطفی حسینعلی پور[۲]،محمدحسین برقعی[۳]**
۱و۲و۳- دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران- تهران، میدان رسالت، خیابان هنگام

**چکیده**

در این مقاله به حل عددی جریان سیال غیر نیوتنی تعمیم یافته از نوع توانی با استفاده از روش شبکه بولتزمن پرداخته می شود. در ابتدا و به منظور سنجش دقت روش عددی مورد استفاده، جریان سیال نیوتنی مدل‌سازی و شبیه‌سازی گشته و پس از حصول اطمینان از کارکرد درست مدل، جریان سیال توانی در یک هندسه دوبعدی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. هندسه مورد بررسی در کار حاضر، جریان درون حفره با درپوش متحرک، به عنوان هندسه‌ای ساده به لحاظ شرایط مرزی و جریانی پیچیده به لحاظ الگوی جریان شکل گیرنده و پدیده های متنوع و قابل توجه حاضر در درون آن، می باشد. با توجه به پایداری بهتر و بالاتر مدل زیر تخفیف چندگانه، از این مدل برای مدل‌سازی پدیده برخورد در روش شبکه بولتزمن استفاده می‌گردد. با مقایسه نتایج به دست آمده در شرایط مختلف جریانی (رینولدزها و سیال‌های مختلف) با نتایج گزارش شده توسط دیگر محققین، کد توسعه یافته اعتبار بخشی می‌گردد. مشاهده می گردد که گردابه های اولیه (اصلی) و ثانویه ای (فرعی) در جریان ظاهر می شود که اندازه و تعداد آنها بستگی به عدد رینولدز جریان خواهد داشت. به طور کلی، گردابه اصلی در وسط میدان و هم جهت با جهت حرکت درپوش شکل گرفته و گردابه های فرعی در گوشه ها و در خلاف جهت گردش گردابه اصلی به وجود می آیند. همچنین، با افزایش مقدار توان مدل توانی (سیال های مختلف)، گردابه های ثانویه ی شکل گرفته در گوشه ها بزرگتر می شوند و مرکز گردابه اصلی جریان به سمت مرکز حفره متمایل می شود که هر دوی این پدیده ها حکایت از افزایش رینولدز ظاهری جریان دارد. نتایج حاصل از این تحقیق حاکی از دقت بالای روش شبکه بولتزمن در پیش‌بینی رفتارهای سیال‌های غیرنیوتنی می باشد.

**واژه های کلیدی:** *سیال توانی- روش شبکه بولتزمن- جریان درون حفره - مدل زیرتخفیف چندگانه*

## مقدمه

جریان سیالات غیر نیوتنی کاربرد های فراوانی در بسیاری از پدیده های صنعتی از جمله فرایند های شیمیائی، صنایع غذایی، پلیمرها و ... دارد. از آنجایی که انجام مطالعات تجربی بر روی این مواد مستلزم صرف وقت و هزینه قابل توجهی است، مطالعه عددی دقیق و سریع آن‌ها دارای اهمیت فراوانی می باشد.

روش‌های محاسباتی نقش بسیار مهمی را در دینامیک سیالات مدرن ایفا می‌کنند. در حال حاضر، بازه وسیعی از مسائل پیچیده در حوزه دینامیک سیالات را می‌توان با روش‌های عددی با دقت مناسبی حل و تحلیل نمود. موفقیت روش‌های محاسباتی در زمینه مکانیک سیالات اغلب با توسعه سخت‌افزارهای با عملکرد بالا گره خورده است. اما در این میان، توجه به توسعه الگوریتم‌ها و روش‌های عددی با بازده بالاتر نیز بسیار حائز اهمیت است. یکی از این روش‌ها، روش شبکه بولتزمن[۱] است که به تازگی به لیست روش‌های عددی موجود از قبیل تفاضل محدود، حجم محدود، المان محدود، المان مرزی و طیفی اضافه شده است [۱]. روش شبکه بولتزمن در طی دو دهه اخیر به عنوان روشی جدید و کارا برای مدل‌سازی و شبیه سازی جریان های پیچیده مطرح شده است. در این روش فرض می شود که سیال را می‌توان به صورت دسته‌ای از ذرات که در حرکت بوده و با یکدیگر برخورد می نمایند، در نظر گرفت. از آنجایی که در روش شبکه بولتزمن می توان تانسور نرخ کرنش را به طور مستقیم و محلی، بدون نیاز به گرفتن مشتقات فضایی از میدان سرعت محاسبه نمود، این روش به طور خاص برای بررسی جریان سیال‌های غیر نیوتنی مناسب است[۱و۲]. این مطلب به طرز زیبایی برای سیال‌های غیرنیوتنی که از مدل توانی پیروی می کنند، توسط آهارونوف و روتمن [۳] نشان داده شده است. در کارهای بعدی، روش شبکه بولتزمن به طور موفقیت آمیزی برای شبیه سازی جریان سیال‌های غیرنیوتنی متنوعی در هندسه‌های متفاوتی از جمله جریان درون حفره با درپوش متحرک به کار گرفته شده است [۴-۱۱].

در میان هندسه‌های متعدد مورد مطالعه در کارهای نامبرده، جریان درون حفره با درپوش متحرک به دلیل پوشش بازه وسیعی از پدیده‌های سیالاتی شامل گردش، تکینگی، پایداری و رفتار ناپایا حتی برای سیالات نیوتنی، یکی از مهمترین موارد می‌باشد[۱۲]. همانطور که انتظار می‌رود، این رفتار در صورت استفاده از سیال غیرنیوتنی، پیچیده‌تر نیز می‌گردد. دلیل این مطلب آنست که در صورت استفاده از سیالات غیرنیوتنی، حضور عواملی چون تاثیرات آسودگی، تنش‌های نرمال، تنش‌های برشی و غیره، به طور همزمان، جریان سیال را تحت تاثیر قرار می‌دهد. بنابراین این مطلب که نمی‌توان در کارهای تجربی، تاثیرات هر یک از موارد فوق را به طور جداگانه بررسی نمود و سهم هر یک را در شکل‌گیری رفتار سیال به طور مشخص بیان نمود، تعجب آور نخواهد بود. به طور مثال، سهم پدیده لزجت در مقابل سهم پدیده کشسانی در میزان اختلاط یک قطره در جریان سیال غیر نیوتنی درون حفره از روش‌های تجربی، قابل دستیابی نمی‌باشد [۱۳- ۱۵].

خوشبختانه با به کارگیری روش‌های عددی، رفع این مشکل با تمرکز بر سهم هر پدیده به طور مجزا، فراهم آمده است. این امر احتمالا دلیل وجود کارهای متنوع و گوناگون در زمینه شبیه‌سازی سیالات غیرنیوتنی، تنها در حضور یکی از پدیده‌های فوق، در ادبیات فن می‌باشد. در مقاله حاضر به بررسی سهم نیروی‌های ناشی از پدیده لزجت در جریان سیال‌های غیرنیوتنی در جریان درون حفره با درپوش متحرک پرداخته می‌شود. مدل غیرنیوتنی مورد استفاده با توجه به بحث‌های صورت گرفته، مدل سیال توانی[۲] می باشد. نوآوری کار حاضر در استفاده از مدل زیر تخفیف چندگانه[۳] با توجه به پایداری بهتر و بالاتر آن نسبت به مدل زیر تخفیف یگانه [۴] در روش شبکه بولتزمن است.

[1] Lattice Boltzmann method (LBM)

[2] Power-law
[3] Multi-Relaxation Time (MRT)
[4] Single Relaxation Time (SRT)

۱- دانشیار
۲- دانشیار
۳- دانشجوی دکترا، ۰۹۱۹۴۲۰۸۷۲۴، borghei@iust.ac.ir