

به کارگیری روش شبکه بولتزمن برای حل عددی جریان های آشفته دو بعدی

سید مصطفی حسینی پور^۱، محمدحسین برقی^۲، مهدی نویدبخش^۳

۱ و ۲- دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران- تهران، میدان رسالت، خیابان هنگام

چکیده

تحقیق حاضر به بررسی تغییر و تحول ساختار میدان جریان آشفته دوبعدی به کمک شبیه سازی گردابه های بزرگ، می پردازد. برای مطالعه این ساختار از روش شبکه بولتزمن به عنوان یک روش ثانویه در زمینه دینامیک سیالات محاسباتی، بهره گرفته می شود. در روش شبکه بولتزمن، با توجه به هندسه دوبعدی جریان مورد مطالعه، از مدل شبکه D2Q9 و برای مدل سازی ترم برخورد در آن از تقریب زیر تخفیف یگانه، استفاده شده است. همچنین مدل زیرشبکه به کار گرفته شده، مدل WALE می باشد. در ابتدا و به منظور سنجش دقت روش عددی مورد استفاده، جریان آرام در هندسه مورد نظر مدل سازی و شبیه سازی گشته و پس از حصول اطمینان از کارکرد درست مدل، جریان آشفته درون آن مورد مطالعه قرار می گیرد. هندسه مورد بررسی در کار حاضر، جریان درون حفره با درپوش متحرک، به عنوان هندسه ای 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 مقایسه نتایج به دست آمده در شرایط مختلف جریانی با نتایج گزارش شده توسط دیگر محققین در جریان های آرام و آشفته، کد توسعه یافته اعتبار بخشی می گردد. مشاهده می گردد که در رینولدزهای بالاتر از ۷۵۰۰ به دلیل رخ دادن پدیده دو شاخه شدن، سیال شروع به گذار از شرایط آرام به آشفته می کند. به عنوان یک روند کلی، گذار به آشفتهگی از نواحی نزدیک دیواره شروع می شود به طوری که تا رینولدز ۲۰۰۰۰ نیز می توان در نواحی وسط حفره، رژیم آرام را مشاهده نمود. در رینولدز ۵۰۰۰۰ کل حفره دارای رژیم آشفته شده و در رینولدزهای بالاتر نیز بر شدت این آشفتهگی اضافه می شود. به طور کلی، نتایج بدست آمده نشان از دقت و سرعت بالای روش شبکه بولتزمن در شبیه سازی گردابه های بزرگ جریان های آشفته دوبعدی و پیش بینی ساختارهای پیچیده در آن ها دارد.

واژه های کلیدی: روش شبکه بولتزمن- جریان آشفته- شبیه سازی گردابه های بزرگ- جریان حفره دو بعدی- مدل زیرشبکه WALE

مقدمه

جریان دو بعدی آشفته در داخل حفره، جریانی است که کمتر در طبیعت مشاهده می شود. اما به دلیل هندسه ساده و جریان پیچیده در داخل آن بسیار مورد توجه می باشد. اگر چه که این جریان توسط محققین بسیاری مورد مطالعه قرار گرفته است، اما هنوز یک مطالعه جامع و کامل بر روی آن صورت نگرفته است. علی رغم آنکه هندسه جریان حفره بسیار ساده است، جریان شکل گیرنده در داخل آن بسته به رینولدز، شامل بسیاری از پدیده های پیچیده سیالاتی است. به عنوان مثال می توان به نواحی چرخشی در گوشه ها، که در خلاف جهت همدیگر چرخش می کنند، اشاره کرد. به هر حال، باید دانست که به دلیل وجود ناپایداری ها در جریان، بالاترین رینولدزی که می تواند بر روی یک شبکه 256×256 گره ای و بدون استفاده از یک مدل زیر شبکه، شبیه سازی گردد، بیشتر از ۷۵۰۰ نیست. اگر ویسکوزیته بیش از این کاهش یابد (رینولدز از این

مقدار فراتر رود)، ناپایداری عددی موجب واگرایی حل می شود. در چنین رینولدزهایی، جریان حتما آشفته است. مقدار عدد رینولدز را همچنین می توان با افزایش تعداد نقاط شبیه سازی و یا سرعت مشخصه جریان، افزایش داد. مورد اول با قدرت ماشین های محاسباتی در دسترس و مورد دوم با خطاهای ناشی از تراکم پذیری (عدد ماخ) محدود می شود.

اولین مطالعه در زمینه شبیه سازی عددی جریان های آشفته به روش شبکه بولتزمن توسط هو (Hou) و همکاران [۱] صورت گرفت. آن ها جریان آشفته دوبعدی در داخل حفره با درپوش متحرک را با استفاده از مدل زیر شبکه اسمانگورینسکی شبیه سازی نمودند. سپس ایگلز (Eggels) [۲] در سال ۱۹۹۶، سعی نمود تا جریان در داخل یک مخزن که توسط پره ای به هم زده می شد را شبیه سازی نماید. وی ابتدا جریان در داخل کانال را با استفاده از شبیه سازی عددی مستقیم و روش شبکه بولتزمن حل نمود و نشان داد که نتایج با دقت خوبی با نتایج منتشر شده، منطبق است. در کار دیگری که توسط آقای تیکسرا (Teixeira) [۳] در سال ۱۹۹۸ ارائه شد، روش شبکه بولتزمن به منظور آنکه بتوان مدل های کلاسیک آشفتهگی را در آن وارد کرد، گسترش یافت. همچنین در این تحقیق نحوه پیاده سازی یک مدل جبری طول اختلاطی^۱ و دو مدل دو معادله ای $k - \epsilon$ (استاندارد و RNG) که در ارتباط با یک مدل دیواره هستند، ارائه شد. در سال ۲۰۰۳، کرافزیک (Krafczyk) و همکاران [۴] برای اولین بار، با استفاده از مدل جبری لزجت گردابه ای اسمانگورینسکی در چارچوب روش شبکه بولتزمن با زمان آرامش منفرد، جریان حول یک مکعب قرار گرفته بر روی سطح داخلی کانال را شبیه سازی نموده و نشان دادند که نتایج به دست آمده با نتایج آزمایشگاهی موجود، انطباق بسیار خوبی را نشان می دهد. یو (Yu) و همکارانش [۵] در سال ۲۰۰۵ با مدل سازی جریان آشفته ی همگن و همسانگرد (HIT)^۲ در مختصات ثابت و گردنده نشان دادند که روش شبکه بولتزمن از قابلیت بالایی برای پیش بینی جریان های آشفته با استفاده از شبیه سازی عددی مستقیم و گردابه های بزرگ دارد. چای (Chai) و همکاران [۶] در سال ۲۰۰۶ نشان دادند که با ترکیب مدل MRT و شرط مرزی پیشنهادی آنها، می توان پایداری روش شبکه بولتزمن را بسیار بهبود بخشید به طوری که می توان جریان های با رینولدز بسیار بالا را بدون استفاده از مدل های آشفتهگی، شبیه سازی نمود. یو و همکاران در کار جدیدترشان که در سال ۲۰۰۶ انتشار یافت [۷] با استفاده از مدل برخورد تخفیف چندگانه زمانی جریان آشفته ی یک جت آزاد را در روش LES، بررسی نمودند. در تحقیق دیگری که توسط آقای فریتاس (Freitas) و همکاران [۸] در سال ۲۰۰۷ صورت پذیرفته است، کاربرد روش شبکه بولتزمن برای شبیه سازی جریان آشفته با استفاده از مدل برخورد معروف BGK و مدل شبکه D3Q19 بررسی شده است. در نهایت و به منظور اعتبار بخشی به مباحث مطرح شده، جریان آشفته توسعه یافته در داخل یک کانال حل شده و نتایج آن با کارهای پیشین مقایسه شده است. نشان داده شد که نتایج بدست آمده

¹ Mixing-length algebraic model

² Homogeneous isotropic turbulence