بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی ارومیه
دانشکده مهندسی مکانیک
گروه مکانیک

عنوان:

شبیه‌سازی جریان خارجی آرام، تراکم‌ناپذیر و لزج دو بعدی با استفاده از روش بدون شبکه TLLBM

پژوهشگر:

الناز شایان

اساتید راهنما:

دکتر ایرج میرزایی

دکتر عبدالرحمان دادوند

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

دی ماه ۱۳۹۰

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایج مطالعات،

ابتکارات و نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع

این پایان نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی ارومیه است.

جمهوری اسلامی ایران
وزارت علوم تحقیقات و فناوری
دانشگاه صنعتی ارومیه

بسمه تعالی

فرم تاییدیه صحت واصالت نتایج

اینجانب **الناز شایان** به شماره دانشجویی **۸۸۱۲۵۳۱۱۰۲** دانشجوی رشته **تبدیل انرژی** مقطع تحصیلی **کارشناسی ارشد** تایید می نمایم که کلیه نتایج این پایان نامه/ رساله حاصل کار اینجانب و بدون هر گونه دخل و تصرف است و موارد نسخه برداری شده از آثار دیگران را با ذکر کامل مشخصات منبع ذکر کرده ام. در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص دانشگاه مطابق با ضوابط و مقررات حاکم (قانون حمایت از حقوق مولفان و مصنفان و قانون ترجمه و تکثیر کتب ونشریات و آثار صوتی، ضوابط و مقررات آموزشی، پژوهشی و انضباطی...) با اینجانب رفتار خواهد شد و حق هر گونه اعتراض در خصوص احقاق حقوق مکتسب و تشخیص و تعیین تخلف و مجازات را از خویش سلب می نمایم. در ضمن مسئولیت هر گونه پاسخگویی به اشخاص، اعم از حقیقی و حقوقی و مراجع ذی صلاح (اعم از اداری و قضایی) به عهده اینجانب خواهد بود و دانشگاه هیچ گونه مسئولیتی در این خصوص نخواهد داشت.

نام و نام خانوادگی:

الناز شایان

تاریخ و امضا،

دانشگاه صنعتی ارومیه
دانشکده مهندسی مکانیک
گروه مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

عنوان:

شبیه‌سازی جریان خارجی آرام، تراکم‌ناپذیر و لزج دو بعدی با استفاده از روش بدون شبکه TLLBM

پژوهشگر:

الناز شایان

در تاریخ / / ۱۳۹۰ توسط کمیته تخصصی و هیات داوران زیر مورد بررسی قرار گرفت و با نمره .....و درجه ..... به تصویب رسید.

هیات داوران	نام ونام خانوادگی	مرتبه علمی	امضا
۱- استاد راهنما اول	دکتر ایرج میرزایی	دانشیار	
۲- استاد راهنما دوم	دکتر عبدالرحمن دادوند	استادیار	
۳- استاد داور خارجی	دکتر شهرام خلیل آریا	دانشیار	
۴- استاد داور داخلی	دکتر نرمین باقرزاده	استاد یار	
۵- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکترمحمد رضا صادقی آزاد		

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

تقدیر و تشکر

مراتب سپاس و قدردانی خود را خدمت جناب آقای دکتر میرزایی و جناب آقای دکتر دادوند که در انجام این پروژه مرا یاری نمودند، تقدیم می‌دارم.

در نهایت وظیفه خود می دانم، مراتب سپاسگزاری خویش را به پیشگاه اساتید محترم گروه مکانیک دانشگاه صنعتی ارومیه و همچنین جناب آقای دکتر صادقی مدیر تحصیلات تکمیلی دانشگاه اعلام داشته و موفقیت روز افزون همه این عزیزان را از خداوند منان خواستارم.

Urmia University of Technology
Faculty of Mechanical Engineering
Department of Mechanic

Title:
Laminar Incompressible Viscous 2D External Flow Simulation Using Mesh Free TLLBM

By:
Elnaz Shayan

Supervisors:
Dr. Iraj Mirzaee
Dr. Abdolrahman Dadvand

A Thesis
Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
M.Sc. in Mechanical Engineering

January, 2012

Urmia University of Technology
Faculty of Mechanical Engineering
Department of Mechanic

A Thesis Submitted to the Postgraduate Studies Office in Partial Fulfillment

of the Requirements for the Degree of M.Sc.
in Mechanical Engineering

Title:
Laminar Incompressible Viscous 2D External Flow Simulation Using Mesh Free TLLBM

By:
Elnaz Shayan

The above thesis was evaluated and approved by the following members of the thesis committee with mark and quality on January 2012.

Position	Title and Name	Signature
1. Supervisor:	Dr. Iraj Mirzaee	
2. Advisor:	Dr. Abdolrahman Dadvand	
3. External Examiner:	Dr. Shahram Khalil Arya	
4. Internal Examiner:	Dr. Narmin Bagherzade	

Abstract

In recent years, the lattice Boltzmann method has become an alternative and promising computational fluid dynamics approach for simulation of complex fluid flows. Unlike the traditional computational fluid dynamics methods, which are based on the discretization of macroscopic continuum equations, the lattice Boltzmann method is based on the microscopic models and mesoscopic kinetic equations.It has been proved that the lattice Boltzmann method can recover the Navir-Stokes equation by using the Chapman-Enskog expansion. The major advantages of the lattice Boltzmann method are the explicit feature of the governing equation, easy for parallel computation, and simple implementation of boundary conditions on curved boundaries.

The lattice Boltzmann method is usually applied on a uniform mesh in the Cartesian coordinate system, and cannot be directly applied to problems with complex geometry. This greatly limits its application to solve complex problems. Currently there are four ways to remove this drawback of standard lattice Boltzmann method. One of these methods is the Taylor series expansion and least squares-based LBM (TLLBM). In the present model, the final equation is an explicit equation and essentially has no limitation on the mesh structure and lattice model. In this work, the TLLBM with D2Q9 lattice model is used to simulate 2-D steady incompressible viscous and external flows on non-uniform meshes. The results are validated via the comparison with the existing numerical ones. It is found that this model can give very accurate results.

Key words: External flow, Laminar, Viscous, Two-Dimensional, Mesh Free, TLLBM

چکیده

در سالهای اخیر روش شبکه‌ی بولتزمن، به عنوان یک روش دینامیک سیالات محاسباتی جایگزین و امید بخش برای شبیه سازی جریان‌های پیچیده درآمده است. برخلاف روشهای دینامیک سیالات محاسباتی که بر اساس گسسته سازی معادلات پیوسته ماکروسکوپی استوار هستند، روش شبکه‌ی بولتزمن بر اساس مدل های میکروسکوپی و معادلات جنبشی مزوزکوبی استوار است. ثابت شده است که روش شبکه‌ی بولتزمن می تواند معادلات ناویر- استوکس را با استفاده از بسط چاپمن-انسکوگ بازیابی کند. از مزایای مهم روش شبکه‌ی بولتزمن صریح بودن معادله حاکم، سهل بودن برای محاسبات موازی و سادگی اعمال شرایط مرزی روی مرزهای منحنی وار است. معادله بولتزمن معمولاً روی شبکه‌های یکنواخت در سیستم مختصات کارتزین به کار می‌رود و نمی تواند مستقیماً برای مسایل با هندسه‌های پیچیده به کار رود. این موضوع، کاربرد روش شبکه‌ی بولتزمن را برای حل مسایل پیچیده محدود می‌کند.

در حال حاضر چهار روش برای حل مشکل روش شبکه‌ی بولتزمن استاندارد ارائه شده است. یکی از این روشها، روش شبکه‌ی بولتزمن بر مبنای بسط سری تیلور و حداقل مربعات است. در مدل مذکور، معادله نهایی یک معادله صریح است و اساساً هیچ محدودیتی روی ساختار و مدل شبکه ندارد. در این کار، روش شبکه‌ی بولتزمن بر مبنای بسط سری تیلور و حداقل مربعات با مدل شبکه D2Q9 برای شبیه سازی جریان خارجی، لزج، تراکم‌ناپذیر و دو بعدی با استفاده از شبکه‌های غیریکنواخت بکار برده شده است. نتایج به دست آمده، با نتایج عددی موجود مقایسه شده است. مشاهده خواهد شد که این مدل نتایج بسیار دقیقی می‌دهد.

کلمات کلیدی: جریان خارجی، آرام، تراکم‌ناپذیر، لزج، دو بعدی، روش بدون شبکه، TLLBM

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

مقدمه و ساختار پایان نامه

مقدمه ۱

هدف تحقیق ۴

ساختار پایان نامه ۵

فصل اول- مروری بر کارهای انجام شده

۱-۱- روش شبکه گاز ۶

۱-۲- روش شبکه بولتزمن ۷

۱-۲-۱- جریان داخل حفره متحرک ۹

۱-۲-۲- جریان حول سیلندر دایروی ۱۰

فصل دوم- روش شبکه‌ی بولتزمن استاندارد

۲-۱- معادله بولتزمن ۱۳

۲-۲- روش شبکه گازی ۱۵

۲-۳- روش شبکه بولتزمن استاندارد ۱۹

۲-۴- تابع توزیع تعادلی و مدل های سرعت گسسته شده ۲۳

۲-۵- تانسورهای لاتیس و تانسورهای ایزوتروپیک ۲۶

۲-۶- بسط چاپمن -انسکوگ ۲۸

۲-۷- مقایسه روش شبکه بولتزمن با معادلات ناویر استوکس ۳۳

فصل سوم- اصلاح روش شبکه بولتزمن برای هندسه های پیچیده

۳-۱- مدل های مناسب برای مسایل با هندسه های پیچیده ۳۶

۳-۲- روش درونیابی الحاقی شبکه بولتزمن ۳۶

۳-۳- روش دیفرانسیلی شبکه بولتزمن ۳۷
۳-۴- روش شبکه بولتزمن بر مبنای بسط سری تیلور وحداقل مربعات ۳۸
۳-۴-۱- ایده روش رانگ کوتا ۴۰
۳-۴-۲- روش رانگ کوتا ۴۰
۳-۴-۳- بسط سری تیلور بر مبنای روش شبکه بولتزمن استاندارد ۴۱
۳-۴-۴- بهبود توسط روش حداقل مربعات ۴۴
۳-۵- دقت و درستی روش شبکه بولتزمن بر مبنای بسط سری تیلور و حداقل مربعات ۴۶

فصل چهارم- شرایط مرزی

۴-۱- شرط مرزی ورودی ۵۲
۴-۲- شرط گرادیان صفر ۵۳
۴-۳- شرط لغزش ۵۳
۴-۴- شرط عدم لغزش ۵۴
۴-۴-۱- روش انعکاسی ۵۵
۴-۴-۲- انعکاس بین نقطه ای ۵۶
۴-۵- شرط پریودیک ۵۷

فصل پنجم- مسایل شبیه سازی شده با روش TLLBM

۵-۱- کاربرد مدل D2Q9 ..... ۵۸
۵-۲- شرایط مرزی و اولیه ۶۱
۵-۳- شبیه سازی جریان حول سیلندر دایروی ۶۳
۵-۳-۱- هدف از حل مساله ۶۳
۵-۳-۲- تعریف مساله ۶۴
۵-۳-۳- شبکه بندی ۶۵

۵-۳-۴- نتایج تحلیل عددی ۶۶
۵-۴- شبیه سازی جریان حول ایرفویل NACA0012 ..... ۷۵
۵-۴-۱- هدف از حل مساله ۷۵
۵-۴-۲- تعریف مساله ۷۶
۵-۴-۳- شبکه بندی ۷۶
۵-۴-۴- نتایج تحلیل عددی ۷۸

فصل ششم- نتیجه گیری وپیشنهادات

۶-۱- جمع بندی ۸۳
۶-۲- پیشنهاداتی برای پژوهش های آتی ۸۴
مراجع ۸۵

فهرست مفهوم نمادهای

تابع توزیع	f
تابع توزیع تعادلی	$f^{(eq)}$
مکان یک گره	$\vec{x}$
زمان	t
سرعت انتقال	$\vec{c}$
شتاب	$\vec{F}$
جرم	m
اپراتور برخورد	Ω
تغییر مکان	Δr
متغیر بولین	n_i
چگالی	ρ
عدد ماخ	Ma
سرعت	U
سرعت صوت	c_s
فشار	p
زمان آرامش بی بعد	τ
اندازه شبکه	δx
اندازه گام زمانی	δt
ویسکوزیته سینماتیکی	ν
ثابت جهانی گاز	R

دما	T
جهت سرعت های گسسته شده	e
تانسور لاتیس مرتبه n ام	$L_{\alpha_1 \alpha_2 ... \alpha_n}$
تانسور ایزوتروپیک مرتبه دو	$\delta_{\alpha\beta}$
تانسور ایزوتروپیک مرتبه سه	$\varepsilon_{\alpha\beta\gamma}$
تانسور شبکه مرتبه n ام	$T_{\alpha_1 \alpha_2 ... \alpha_n}$
عدد نودسن	ε
تانسور شار مومنتوم	Π
دلتا کرانکر	δ
ماکزیمم نسبت کشش شبکه	r_{max}
عدد رینولدز	Re
تابع جریان	ψ
شعاع داخلی	r_o
شعاع در مرز خروجی	r_∞
تابع ورتیسیته	w
توزیع فشار	C_P
ضریب لیفت	C_L
طول قوس وتر	C
ماکزیمم ضخامت ایرفویل	t_{max}
اپراتور نابلا	∇
مشتق جزئی	∂
ترکیب (از دو جزء)	$\circ$

میانگین عبارتی که داخل آن قرار می گیرد ⟨⟩