

مقدمه‌ای بر

روش‌های بی‌شبکه

(و مدل‌سازی رایانه‌ای آنها)

تألیف: جی. آر. لیو - وای. تی. جو

مترجمان:

سعیدرضا صباغ یزدی - سید شهرام قرشی

سرشناسه

: لیو، جیو-رونگ

Liu, G. R. (Gui-Rong)

عنوان و نام پدیدآور

: مقدمه‌ای بر روش‌های بی‌شبکه (و مدل‌سازی رایانه‌ای آن‌ها) / تألیف جی. آر. لیو.

وای. تی. جو. : مترجمان سعیدرضا صباغ‌یزدی، سید شهرام قرشی.

مشخصات نشر

: تهران: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۳۹۰.

مشخصات ظاهری

: ۴۷۲ ص.: مصور، جدول، نمودار.

شابک

: ۸۰۰۰۰ ریال : 978-964-8703-93-1

وضعیت فهرست‌نویسی : فیا

: عنوان اصلی: An introduction to meshfree methods and their

یادداشت

programming, c. 2005

موضوع

: روش‌های بدون شبکه (آنالیز عددی)

شابسه افزوده

: گو، وای. تی.

شناسه افزوده

Gu, Y. T. :

شناسه افزوده

: صباغ‌یزدی، سعیدرضا، ۱۳۳۹- مترجم

شناسه افزوده

: قرشی، سیدشهرام، ۱۳۶۳- مترجم

شناسه افزوده

: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

رده‌بندی کنگره

: QA۲۹۷/۹۶۷۱۳۹۰

رده‌بندی دیویی

: ۵۱۸/۲

شماره کتابشناسی ملی : ۲۴۱۹۴۵۰

نام کتاب: مقدمه‌ای بر روش‌های بی‌شبکه (و مدل‌سازی رایانه‌ای آن‌ها)

مؤلف: جی. آر. لیو - وای. تی. جو

مترجمان: دکتر سعیدرضا صباغ‌یزدی، عضو هیئت علمی دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه

نصیرالدین طوسی، سید شهرام قرشی

ناشر: انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

نوبت چاپ: اول

تاریخ چاپ: تیر ماه ۱۳۹۰

تیراژ: ۱۰۰۰ جلد

قیمت: ۸۰۰۰ تومان

کد کتاب: ۲۷۹

ISBN: 978-964-8703-93-1

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۸۷۰۳-۹۳-۱

تلفن مرکز بخش و فروش: ۰۲۱-۸۸۷۷۲۲۷۷

صحافی: گرناهی

لیتوگرافی: هوررنگ

(حق چاپ برای ناشر محفوظ است)

چاپ: پدیدرنگ

دیباچه مترجمان

با توجه به پیشرفت‌های چشمگیر سخت‌افزارها و توسعه روزافزون روش‌های عددی در نرم‌افزارهای مهندسی برای حل مسائل پیچیده دنیای واقعی، اصلاح و تکمیل روش‌های شبیه‌سازی رایانه‌ای قدیم به‌علاوه توسعه و کاربرد روش‌های نوین، به ضرورت اجتناب-ناپذیر بروزآوری دانش مدل‌سازی محاسباتی بدل گشته است.

در گذشته روش‌های عددی متنوعی توسعه یافته‌اند و در حل مسائل گوناگون مهندسی به کار رفته‌اند. از جمله روش‌های شناخته شده و متداول در کاربرد، روش‌های تفاوت محدود^۱، روش حجم محدود^۲، روش اجزای محدود^۳، روش المان مرزی^۴ می‌باشند. این روش‌ها متغیرهای وابسته مورد نظر را در نقاط گرهی و/یا اجزائی که زیرحوزه‌های محاسباتی از محیط هندسی کلی را نمایندگی می‌نمایند، تحلیل نموده و در نهایت حل مسأله کلی را از کنار هم گذاری این زیرحوزه‌های فیزیکی ارائه می‌کنند. هر یک از روش‌های عددی یاد شده با وجود قابلیت‌های نسبی خود، دارای مشکلاتی نیز هستند که ممکن است موانع جدی را در برخی کاربردها در بر داشته باشند. کیفیت نتایج اغلب این روش‌ها تابعی از نحوه چیدمان نقاط گرهی و/یا کیفیت شبکه اجزاء می‌باشد. به‌علاوه جابجائی‌های بزرگ موقعیت نقاط گرهی و/یا تغییر شکل اجزاء، ممکن است معضلات جدی در روند تحلیل بعضی از روش‌های وابسته به شبکه زیرحوزه‌های محاسباتی پدید آورد.

طی دو دهه اخیر نسل جدیدی از روش‌های عددی به نام روش‌های بی‌شبکه^۵ توسعه یافته‌اند که فاقد برخی از مشکلات روش‌های پیشین (وابسته به شبکه ثابت زیرحوزه-های محاسباتی) می‌باشند. این روش‌ها مورد توجه بسیاری از محققین جهان قرار گرفته است و به سرعت سیر تکامل خود را می‌پیمایند. از این رو، روش‌های بدون شبکه

¹ Finite Difference Method (FDM)

² Finite Volume Method (FVM)

³ Finite Element Method (FEM)

⁴ Boundary Element Method (BEM)

⁵ Meshfree \ Meshless Methods

متنوعی ابداع شده‌اند که هر یک از آن‌ها دارای توانایی‌ها و کاستی‌هایی هستند. طی چند سال اخیر، روش‌های مذکور مورد توجه بسیاری از پژوهشگران ایرانی نیز قرار گرفته و توسعه کاربرد روش‌های بی‌شبکه توسط اساتید و دانشجویان تحصیلات تکمیلی داخل کشور به نشر چندین پایان‌نامه و مقاله منجر شده است. از اینرو مناسب دیده شد که کتاب مرجعی در اختیار علاقه‌مندان قرار گیرد که علاوه بر ارائه مقدمات لازم برای آشنایی با روش‌های بی‌شبکه، قابلیت‌ها و محدودیتهای طیف وسیعی از روش‌های متنوع بی‌شبکه پر کاربرد در مسائل مهندسی را تشریح نماید.

آقای لیو^۱ یکی از اولین کسانی است که در زمینه روش‌های بی‌شبکه تالیفات زیادی منتشر نموده است. از آنجائیکه ایشان از پیشگامان توسعه و کاربرد اینگونه روش‌ها می‌باشند، تالیفات وی از ارزش علمی قابل توجهی برخوردار است. در سال ۲۰۰۵ میلادی آقایان لیو و جو^۲ کتاب جامعی را در خصوص روش‌های بی‌شبکه تألیف نمودند. عدم وجود منابع و مراجع غنی فارسی در خصوص تشریح جزئیات روش‌های بی‌شبکه نوین، محرک ترجمه فارسی کتاب مذکور گردید. لازم به ذکر است که برنامه‌های کامپیوتری نمونه از روش‌های ذکر شده در کتاب مرجع (فصول ۳، ۴، ۵ و ۷) که به زبان فورترن تدوین شده‌اند، از آدرس اینترنتی زیر قابل پیاده‌سازی می‌باشند:

<http://www.nus.edu.sg/ACES/software/developments.htm>

از این‌رو، جهت اختصار متن برنامه‌های مندرج در کتاب مؤلف و توضیحات مربوط به آن‌ها از ترجمه حاضر حذف شده‌اند. امید است که نشر این کتاب گامی در جهت ارتقای دانش محققین، اساتید و دانشجویان علاقه‌مند در زمینه توسعه و کاربرد روش‌های بی‌شبکه باشد.

سیدشهرام قرشی

S.Sh.Ghorashi@gmail.com

سعیدرضا صباغ‌یزدی

SYazdi@kntu.ac.ir

<http://sahand.kntu.ac.ir/~syazdi/>

¹ G.R. Liu

² Y.T. Gu

در مورد مؤلفان



دکتر جی آر لیو^۱ در سال ۱۹۹۱ مدرک دکتری را از دانشگاه توهوکو^۲ واقع در ژاپن دریافت نمود. او در دانشگاه نورث‌وسترن^۳ واقع در ایالات متحده آمریکا، بعنوان پسادکتری^۴ همکاری داشت. هم‌اکنون مدیر مرکز محاسبات پیشرفته در علم مهندسی^۵ در دانشگاه ملی سنگاپور است. او تحت عنوان مدیر انجمن مکانیک محاسباتی (سنگاپور) فعالیت می‌کند. او همچنین در دانشکده مهندسی مکانیک

دانشگاه ملی سنگاپور، دانشیار^۶ است. او به بسیاری از سازمان‌های ملی و بین‌المللی خدمات مشاوره ارائه می‌دهد. او بیش از ۳۰۰ نوشته فنی شامل بیش از ۲۰۰ مقاله مجله بین‌المللی و شش کتاب نظیر "روش بی‌شبکه: حرکتی فراتر از روش اجزای محدود"^۷ و "هیدرودینامیک ذرات هموار- یک روش بی‌شبکه ذرات"^۸ را تألیف کرده است. او سردبیر^۹ مجله بین‌المللی روش‌های محاسباتی^{۱۰} و عضو هیئت تحریریه^{۱۱} تعدادی از

¹ G.R. Liu

² Tohoku

³ Northwestern

⁴ Postdoctoral fellow

⁵ Advanced Computations in Engineering Science (ACES)

⁶ Associate professor

⁷ Mesh free method: moving beyond the finite element method

⁸ Smooth particle hydrodynamics- a meshfree particle method

⁹ Editor-in-chief

¹⁰ International journal of computational methods

¹¹ Editorial member

دیگر مجلات است. او جوایز محققان برجسته دانشگاه^۱ (۱۹۹۸)، جایزه فنون دفاعی^۲ (جایزه ملی، ۱۹۹۹)، جایزه نقره‌ای در رقابت کشوری کری‌کوئست^۳ ۲۰۰۰، عنوان مربیان ممتاز^۴ (۲۰۰۲/۲۰۰۳)، جایزه آموزگار مهندسی^۵ (۲۰۰۳) و جایزه APCOM برای مکانیک محاسباتی (۲۰۰۴) را دریافت کرده است. موضوعات تحقیقاتی مورد علاقه وی عبارتند از: مکانیک محاسباتی، روش‌های بی‌شبکه، محاسبات در مقیاس نانو، محاسبات نظام زیستی میکرو^۶، ارتعاش و گسترش موج در مواد کامپوزیت، مکانیک مواد کامپوزیت مصالح هوشمند^۷، مسائل معکوس^۸ و تحلیل عددی.



دکتر وای تی جو^۹ مدرک کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را به ترتیب در سال‌های ۱۹۹۱ و ۱۹۹۴ از دانشگاه صنعتی دالیان^{۱۰} چین و مدرک دکتری را از دانشگاه ملی سنگاپور^{۱۱} در سال ۲۰۰۲ دریافت نمود. وی اکنون به عنوان همکار پژوهشگر^{۱۲} در دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه ملی سنگاپور فعالیت می‌کند. او تعدادی از پروژه‌های تحقیقاتی مربوط به روش‌های بی‌شبکه را به انجام رسانیده است و بیش از ۴۰ نوشته فنی شامل بیش از ۲۰ مقاله مجله بین‌المللی را تألیف کرده است. موضوعات تحقیقاتی مورد علاقه وی شامل مکانیک محاسباتی، تحلیل و مدلسازی

¹ Outstanding university researchers awards

² Defence technology prize

³ CrayQuest

⁴ Excellent teachers

⁵ Engineering educator award

⁶ Micro bio-system

⁷ Smart materials

⁸ Inverse problems

⁹ Y.T. Gu

¹⁰ Dalian University of Technology (DUT)

¹¹ National University of Singapore (NUS)

¹² Research fellow

اجزای محدود، روش‌های بی‌شبکه، روش اجزای مرزی، مهندسی مکانیک، مهندسی کشتی و اقیانوس¹، دستگاه‌های میکروالکترومکانیک محاسباتی، فنون محاسبه با عملکرد بالا، تحلیل‌های دینامیکی و ایستایی سازه‌ها و ... می‌باشد.

www.ketab.ir

¹ Ship and ocean engineering

فهرست مطالب

I	فهرست مطالب
IX	فهرست اشکال
XVII	فهرست جداول
XIX	پیشگفتار
I	پیشگفتار مترجم
۱	فصل ۱- مفاهیم بنیادی
۱	۱-۱ شبیه‌سازی عددی
۴	۲-۱ مفاهیم اساسی مکانیک جامدات
۴	۱-۲-۱ معادلات جامدات سه‌بعدی
۴	۱-۲-۱-۱ مؤلفه‌های تنش
۷	۲-۱-۲-۱ معادلات کرنش - تغییر مکان
۸	۳-۱-۲-۱ معادلات اساسی
۹	۴-۱-۲-۱ معادلات تعادل
۱۰	۵-۱-۲-۱ شرایط مرزی و شرایط اولیه
۱۱	۲-۲-۱ معادلات جامدات دوبعدی
۱۱	۱-۲-۲-۱ مؤلفه‌های تنش
۱۳	۲-۲-۲-۱ معادله کرنش - تغییر مکان
۱۴	۳-۲-۲-۱ معادلات اساسی
۱۵	۴-۲-۲-۱ معادلات تعادل
۱۵	۵-۲-۲-۱ شرایط مرزی و شرایط اولیه
۱۶	۳-۱ شکل‌های قوی و شکل‌های ضعیف معادلات
۱۸	۴-۱ روش باقیمانده وزنی
۲۲	۱-۴-۱ روش جابجایی
۲۳	۲-۴-۱ روش زیردامنه

۲۴	۱-۴-۳ روش حداقل مربعات
۲۵	۱-۴-۴ روش لنگر
۲۶	۱-۴-۵ روش گالرکین
۲۷	۱-۴-۶ مثال‌ها
۲۹	۱-۴-۶-۱ استفاده از روش جایمند
۲۹	۱-۴-۶-۲ استفاده از روش زیردامنه
۳۰	۱-۴-۶-۳ استفاده از روش حداقل مربعات
۳۱	۱-۴-۶-۴ استفاده از روش لنگر
۳۱	۱-۴-۶-۵ استفاده از روش گالرکین
۳۷	۱-۴-۶-۶ استفاده از عبارات بیشتر در حل تقریبی
۳۸	۱-۵ شکل ضعیف کلی معادلات جامدات
۴۲	۱-۶ شکل ضعیف محلی برای جامدات
۴۴	۱-۷ نکات و توضیحات
۴۷	فصل ۲- مروری بر روش‌های بی‌شبکه
۴۷	۲-۱ چرا روش‌های بی‌شبکه
۴۹	۲-۲ تعریف روش‌های بی‌شبکه
۵۰	۲-۳ فرآیند حل روش‌های بی‌شبکه
۵۶	۲-۴ انواع روش‌های بی‌شبکه
۵۸	۲-۴-۱ طبقه‌بندی براساس فرآیندهای فرمولبندی
۵۸	۲-۴-۱-۱ روش‌های بی‌شبکه براساس شکل‌های ضعیف
۶۰	۲-۴-۱-۲ روش‌های بی‌شبکه براساس فنون جایمند
۶۱	۲-۴-۱-۳ روش‌های بی‌شبکه براساس ترکیب شکل ضعیف و فنون جایمند
۶۲	۲-۴-۲ طبقه‌بندی بر طبق طرح‌های تقریب تابع
۶۲	۲-۴-۲-۱ روش‌های بی‌شبکه براساس تقریب حداقل مربعات متحرک
۶۳	۲-۴-۲-۲ روش‌های بی‌شبکه براساس روش نمایش انتگرالی جهت تقریب تابع
۶۴	۲-۴-۲-۳ روش‌های بی‌شبکه براساس روش درون‌یابی نقاط

۴-۲-۴-۲	روش‌های بی‌شبکه براساس دیگر طرح‌های درونیابی بی‌شبکه.....	۶۵
۴-۲-۳-۲	دسته‌بندی بر طبق نمایش دامنه.....	۶۵
۴-۲-۳-۱	روش‌های بی‌شبکه از نظر نوع دامنه.....	۶۵
۴-۲-۳-۲	روش‌های بی‌شبکه از نظر نوع مرزی.....	۶۵
۲-۵	توسعه‌های آتی.....	۶۸
فصل ۳-۳	ساخت تابع شکل بی‌شبکه.....	۷۱
۳-۱-۱	مقدمه.....	۷۱
۳-۱-۱-۱	روش‌های تقریب/ درونیابی بی‌شبکه.....	۷۲
۳-۱-۲	دامنه پایه.....	۷۶
۳-۱-۳	تعیین فاصله گرهی میانگین.....	۷۷
۳-۲	روش‌های درونیابی نقاط.....	۷۹
۳-۲-۱	توابع شکل روش درونیابی نقاط چندجمله‌ای.....	۸۰
۳-۱-۲-۱	روش درونیابی نقاط چندجمله‌ای متعارف.....	۸۰
۳-۱-۲-۲	تقریب حداقل مربعات وزنی.....	۸۸
۳-۱-۲-۳	تقریب حداقل مربعات وزنی از نوع هرمیت.....	۹۱
۳-۲-۲	توابع شکل درونیابی نقاط شعاعی.....	۹۶
۳-۲-۲-۱	روش درونیابی نقاط شعاعی متعارف.....	۹۶
۳-۲-۲-۲	روش درونیابی نقاط شعاعی از نوع هرمیتی.....	۱۰۶
۳-۳	توابع شکل حداقل مربعات متحرک.....	۱۱۱
۳-۱-۳	فرمولبندی توابع شکل حداقل مربعات متحرک.....	۱۱۱
۳-۲-۳	انتخاب تابع وزن.....	۱۱۶
۳-۳-۳	خصوصیات توابع شکل حداقل مربعات متحرک.....	۱۲۰
۳-۴	خطای درونیابی در استفاده از توابع شکل.....	۱۲۳
۳-۴-۱	برازش سطح مسطح.....	۱۲۴
۳-۴-۲	برازش یک سطح پیچیده.....	۱۲۵

۱۳۱	۵-۳ نکات
۱۳۳	فصل ۴- روش‌های بی‌شبکه براساس شکل ضعیف کلی
۱۳۳	۱-۴ مقدمه
۱۳۸	۲-۴ روش درون‌یابی نقاط شعاعی بی‌شبکه
۱۳۸	۱-۲-۴ فرمولبندی روش درون‌یابی نقاط شعاعی
۱۴۶	۲-۲-۴ اجرای عددی
۱۴۶	۱-۲-۲-۴ انتگرال‌گیری عددی
۱۴۹	۲-۲-۴ خصوصیات ماتریس سختی
۱۵۰	۳-۲-۴ اعمال شرایط مرزی ضروری
۱۵۲	۴-۲-۴ پیوستگی در روش درون‌یابی نقاط شعاعی
۱۵۳	۳-۴ روش بدون المان گالرکین
۱۵۳	۱-۳-۴ فرمولبندی روش بدون المان گالرکین
۱۵۷	۲-۳-۴ روش ضریب لاگرانژ برای اعمال شرایط مرزی ضروری
۱۶۱	۴-۴ مثالی برای جامدات دوبعدی- یک تیر طره
۱۶۴	۱-۴-۴ مراحل حل
۱۷۲	۲-۴-۴ اثرات پارامترها
۱۷۳	۱-۲-۴-۴ اثرات پارامتر بر روش درون‌یابی نقاط شعاعی
۱۸۰	۲-۲-۴-۴ تأثیرات پارامتر بر روش بدون المان گالرکین
۱۸۲	۳-۴-۴ مقایسه همگرایی
۱۸۴	۴-۴-۴ مقایسه کارایی
۱۸۷	۵-۴ نکات
۱۸۹	فصل ۵- روش‌های بی‌شبکه براساس شکل ضعیف محلی
۱۸۹	۱-۵ مقدمه
۱۹۲	۲-۵ روش درون‌یابی نقاط شعاعی محلی
۱۹۲	۱-۲-۵ فرمولبندی روش درون‌یابی نقاط شعاعی محلی
۲۰۱	۲-۲-۵ اجرای عددی

۲۰۱	 ۱-۲-۲-۵ نوع دامنه‌های محلی
۲۰۲	 ۲-۲-۲-۵ خصوصیت ماتریس سختی
۲۰۳	 ۳-۲-۲-۵ تابع آزمون (وزن)
۲۰۴	 ۴-۲-۲-۵ انتگرال گیری عددی
۲۰۶	 ۳-۵ روش بی شبکه پتروف- گالرکین محلی
۲۰۶	 ۱-۳-۵ فرمولبندی روش بی شبکه پتروف- گالرکین محلی
۲۰۸	 ۲-۳-۵ اعمال شرایط مرزی ضروری
	 ۳-۳-۵ مواردی در مورد کارایی روش بی شبکه پتروف- گالرکین محلی و روش درون یابی نقاط
۲۱۰	 شعاعی محلی
۲۱۱	 ۱-۳-۳-۵ مقایسه با روش اجزای محدود
۲۱۱	 ۲-۳-۳-۵ مقایسه با روش های بی شبکه با شکل ضعیف کلی
۲۱۲	 ۴-۵ مثال هایی از جامدات دوبعدی- یک تیر طره
۲۱۲	 ۱-۴-۵ مراحل حل
۲۱۹	 ۲-۴-۵ بررسی تأثیر پارامترها
۲۱۹	 ۱-۲-۴-۵ پارامترهای مؤثر بر روش درون یابی نقاط شعاعی محلی
۲۲۷	 ۲-۲-۴-۵ پارامترهای مؤثر بر روش بی شبکه پتروف- گالرکین محلی
۲۳۱	 ۳-۴-۵ مقایسه همگرایی
۲۳۲	 ۴-۴-۵ مقایسه کارایی
۲۳۴	 ۵-۵ نکات
۲۳۷	 فصل ۶- روش های جایمند بی شبکه
۲۳۷	 ۱-۶ مقدمه
۲۳۹	 ۲-۶ فنونی برای کنترل شرایط مرزی مشتق
۲۴۱	 ۳-۶ روش جایمند نقاط چند جمله ای در مسائل یک بعدی
۲۴۲	 ۱-۳-۶ معادلات جایمند برای معادلات دستگاه یک بعدی
۲۴۲	 ۱-۱-۳-۶ تعریف مسأله
۲۴۳	 ۲-۱-۳-۶ تقریب تابع با استفاده از توابع شکل بی شبکه

- ۳-۱-۳-۶ گستره‌سازی معادله دستگاه ۲۴۴
- ۴-۱-۳-۶ گستره‌سازی شرط مرزی دیریکله ۲۴۵
- ۵-۱-۳-۶ معادله دستگاه گستره به همراه شرایط مرزی دیریکله ۲۴۵
- ۶-۱-۳-۶ معادلات دستگاه گستره به همراه شرایط مرزی مشتق ۲۴۶
- ۲-۲-۶ نمونه‌های عددی برای مسائل یک‌بعدی ۲۵۳
- ۴-۶ پایدارسازی در مسائل همرفت-انتشار با استفاده از روش‌های بی‌شبکه ۲۶۸
- ۱-۴-۶ اصلاح گرهی ۲۷۱
- ۲-۴-۶ بزرگ کردن دامنه پایه محلی ۲۷۲
- ۳-۴-۶ دامنه پایه جهت‌مند کلی ۲۷۴
- ۴-۴-۶ دامنه پایه جهت‌مند تطبیق‌پذیر ۲۷۷
- ۵-۴-۶ دامنه پایه اریب ۲۷۷
- ۵-۶ روش جایمند نقاط چندجمله‌ای برای مسائل دوبعدی ۲۷۹
- ۱-۵-۶ فرمولبندی روش جایمند نقاط چندجمله‌ای برای مسائل دوبعدی ۲۷۹
- ۲-۵-۶ نمونه‌های عددی ۲۸۳
- ۶-۶ روش جایمند نقاط شعاعی برای مسائل دوبعدی ۲۹۰
- ۱-۶-۶ فرمولبندی روش جایمند نقاط شعاعی ۲۹۰
- ۲-۶-۶ روش جایمند نقاط شعاعی برای معادلات پواسون دوبعدی ۲۹۱
- ۳-۶-۶ روش جایمند نقاط شعاعی برای مسائل همرفت-انتشار دوبعدی ۲۹۴
- ۱-۳-۶-۶ مسأله همرفت-انتشار در حالت پایا ۲۹۴
- ۲-۳-۶-۶ معادلات همرفت-انتشار دینامیکی خطی ۳۰۰
- ۷-۶ روش جایمند نقاط شعاعی برای جامدات دوبعدی ۳۰۷
- ۱-۷-۶ روش جایمند نقاط شعاعی از نوع هرمیت ۳۰۸
- ۲-۷-۶ استفاده از شبکه کمکی منظم ۳۱۵
- ۸-۶ نکات ۳۲۳
- فصل ۷- روش‌های بی‌شبکه براساس ترکیب شکل ضعیف محلی و جایمند ۳۲۷
- ۱-۷ مقدمه ۳۲۷

شکل ۴-۱۱: توزیع تنش برشی تیر روی سطح مقطع واقع در $x = L/2$ به دست آمده از به کارگیری روش بدون المان گالرکین EFG و ۱۸۹ گره میدان. پارامتر به کار رفته عبارتست از: $\alpha l = 3/10$. تابع پایه چندجمله‌ای خطی در تابع شکل حداقل مربعات متحرک به کار رفته است. ۱۷۱

شکل ۴-۱۲: توزیع تنش برشی تیر روی سطح مقطع واقع در $x = L/2$ به دست آمده از به کارگیری روش‌های مختلف و ۱۸۹ گره میدان. (اجزای دوخطی در روش اجزای محدود، $\alpha l = 3/5$ در روش‌های درون‌یابی نقاط شعاعی RPIM و بدون المان گالرکین EFG). ۱۷۱

شکل ۴-۱۳: توزیع تنش برشی تیر روی سطح مقطع واقع در $x = L/2$ به دست آمده از به کارگیری روش‌های مختلف و ۱۸۹ گره میدان. اثرات تغییر شبکه‌بندی در حل روش اجزای محدود (به کمک اجزای دوخطی) مشخص است. ۱۷۲

شکل ۴-۱۴: تأثیر q بر روش درون‌یابی نقاط شعاعی RPIM با تابع پایه شعاعی چنددرجی، هنگامی که αc برابر ۱/۱۰، ۲/۱۰ و ۴/۱۰ در نظر گرفته می‌شود. می‌توان دریافت که هنگامی که q برابر ۰/۹۸ و ۱/۰۳ در نظر گرفته می‌شوند، جواب‌های دقیقی حاصل می‌شوند. ۱۷۴

شکل ۴-۱۵: تأثیر αc بر روش درون‌یابی نقاط شعاعی RPIM با تابع پایه شعاعی چنددرجی، هنگامی که q برابر ۰/۹۸ و ۱/۰۳ در نظر گرفته می‌شود. می‌توان دریافت که هنگامی که αc برابر مقادیر ۳/۱۰ تا ۷/۱۰ باشد، جواب‌های بسیار دقیق‌تری حاصل می‌شود. ۱۷۵

شکل ۴-۱۶: اثرات بزرگی دامنه تأثیر (پایه) αl بر روش درون‌یابی نقاط شعاعی RPIM با تابع پایه شعاعی چنددرجی ($q = 1/0.3$, $\alpha c = 4/10$). ۱۷۸

شکل ۴-۱۷: اثرات بزرگی دامنه تأثیر (پایه) αl بر روش درون‌یابی نقاط شعاعی RPIM با تابع پایه شعاعی چنددرجی ($q = 1/0.3$, $\alpha c = 1/10$). ۱۷۸

شکل ۴-۱۸: همگرایی عددی روش RPIM با تابع پایه شعاعی چنددرجی نسبت به خطا ee در نرم انرژی. ۱۷۹

شکل ۴-۱۹: اثرات بزرگی دامنه تأثیر (پایه) αl بر روش بدون المان گالرکین. ۱۸۰

شکل ۴-۲۰: همگرایی عددی نتایج روش بدون المان گالرکین. پارامتر به کار رفته عبارتست از: $\alpha l = 2/5$. در تقریب حداقل مربعات متحرک، تابع چندجمله‌ای خطی به کار رفته است. R ، نرخ همگرایی محاسبه شده توسط رگرسیون خطی با استفاده از تمامی نقاط موجود در شکل می‌باشد. ۱۸۲

شکل ۴-۲۱: مقایسه همگرایی عددی روش‌های RPIM، بدون المان گالرکین و اجزای محدود خطی از نظر مقدار خطا ee در نرم انرژی. R ، نرخ همگرایی است. ۱۸۳

شکل ۴-۲۲: مقایسه کارایی محاسباتی روش‌های RPIM، بدون المان گالرکین و اجزای محدود از نظر مقدار خطا ee در نرم انرژی. ۱۸۶

شکل ۵-۱: دامنه و مرزهای یک مسأله در روش‌های بی‌شبکه با شکل ضعیف محلی. دامنه تابع وزن Ωw و دامنه انتگرال‌گیری Ωq برای گره‌های میدان حل و دامنه پایه Ωs برای نقطه انتگرال‌گیری گوس xQ . ۱۹۳

شکل ۵-۲: تبدیل یک دامنه ربع دایره به یک مربع استاندارد. ۲۰۵

شکل ۵-۳: یک مدل بی‌شبکه که در آن برای تعریف مرزها و دامنه مسأله، ۵۵ گره منظم به کار رفته‌اند. ۲۱۳

- شکل ۴-۵: دامنه انتگرال‌گیری محلی به $ndx \times ndy$ زیربخش تقسیم می‌شود. در هر زیربخش، مجموعاً 4×4 نقطه گوس به کار می‌رود. ۲۱۴
- شکل ۵-۵: تغییر شکل تیر که با به کارگیری روش درون‌یابی نقاط شعاعی محلی LRPIM و ۵۵ گره میدان منظم محاسبه شده است. جابجایی‌ها با بزرگنمایی ۵۰۰ برابر نمایش داده شده‌اند. ۲۱۵
- شکل ۶-۵: توزیع تنش برشی، τ_{xy} ، روی سطح مقطع واقع در $x = L/2$ از تیر که با به کارگیری روش درون‌یابی نقاط شعاعی محلی LRPIM و ۵۵ گره میدان منظم محاسبه شده است. ۲۱۶
- شکل ۷-۵: تغییر شکل در محل $y = 0$ از تیر که با به کارگیری روش بی‌شبکه پتروف-گالرکین محلی MLPG و ۵۵ گره میدان منظم محاسبه شده است. ۲۱۶
- شکل ۸-۵: توزیع تنش برشی، τ_{xy} ، روی سطح مقطع واقع در $x = L/2$ از تیر که با به کارگیری روش بی‌شبکه پتروف-گالرکین محلی MLPG و ۵۵ گره میدان منظم محاسبه شده است. ۲۱۷
- شکل ۹-۵: توزیع گره‌ی در تیر طره. (الف) ۱۸۹ گره منظم؛ (ب) ۱۸۹ گره نامنظم. ۲۱۷
- شکل ۱۰-۵: توزیع تنش برشی، τ_{xy} ، روی سطح مقطع واقع در $x = L/2$ از تیر که با به کارگیری روش درون‌یابی نقاط شعاعی محلی LRPIM و ۱۸۹ گره میدان محاسبه شده است. ۲۱۸
- شکل ۱۱-۵: توزیع تنش برشی، τ_{xy} ، روی سطح مقطع واقع در $x = L/2$ از تیر که با به کارگیری روش بی‌شبکه پتروف-گالرکین محلی MLPG و ۱۸۹ گره میدان محاسبه شده است. ۲۱۸
- شکل ۱۲-۵: تأثیر q بر دقت نتایج حاصل از به کارگیری روش درون‌یابی نقاط شعاعی محلی LRPIM با تابع پایه شعاعی چنددرجی. مشاهده می‌شود که $\alpha C = 4/0$ ، $q = 0/98$ و $q = 1/03$ به نتایج دقیقی منجر می‌شوند. ۲۲۰
- شکل ۱۳-۵: تأثیر αC بر دقت نتایج حاصل از به کارگیری روش درون‌یابی نقاط شعاعی محلی LRPIM با تابع پایه شعاعی چنددرجی ($q = 1/03$). مشاهده می‌شود که نتایج حاصل از $\alpha C = 3/0 - 5/0$ دقیق‌تر هستند. ۲۲۱
- شکل ۱۴-۵: تأثیر بزرگی دامنه انتگرال‌گیری محلی بر دقت نتایج حاصل از به کارگیری روش درون‌یابی نقاط شعاعی محلی LRPIM. ۲۲۲
- شکل ۱۵-۵: تأثیر تعداد زیربخش‌ها بر دقت نتایج حاصل از به کارگیری روش درون‌یابی نقاط شعاعی محلی LRPIM با تابع پایه شعاعی چنددرجی ($q = 1/03$ ، $\alpha C = 4/0$). ۲۲۴
- شکل ۱۶-۵: تأثیر بزرگی دامنه تأثیر بر دقت نتایج حاصل از به کارگیری روش LRPIM ($q = 1/03$). بزرگی دامنه تأثیر محلی به صورت $rix = aidcx$ و $riy = aidcy$ تعریف می‌شود. ۲۲۶
- شکل ۱۷-۵: همگرایی عددی روش LRPIM با تابع پایه شعاعی از نظر خطای ee در نرم اتزوی، R ، نرخ همگرایی است که توسط رگرسیون خطی محاسبه شده است. ۲۲۶
- شکل ۱۸-۵: تأثیر بزرگی دامنه انتگرال‌گیری محلی بر دقت نتایج حاصل از به کارگیری روش بی‌شبکه پتروف-گالرکین محلی MLPG. ۲۲۹
- شکل ۱۹-۵: تأثیر تعداد زیربخش‌ها برای انتگرال‌گیری عددی بر دقت نتایج حاصل از به کارگیری روش بی‌شبکه پتروف-گالرکین محلی MLPG. ۲۲۹

- شکل ۵-۲۰: تأثیر بزرگی دامنه تأثیر محلی بر دقت نتایج حاصل از به کارگیری روش بی‌شبکه پتروف-گالرکین محلی MLPG. ۲۳۰
- شکل ۵-۲۱: همگرایی عددی روش بی‌شبکه پتروف-گالرکین محلی MLPG از نظر خطای ee در نرم انرژی R . نرخ همگرایی است که توسط رگرسیون خطی محاسبه شده است. ۲۳۱
- شکل ۵-۲۲: مقایسه منحنی‌های همگرایی روش‌های LRPIM, MLPG, RPIM, EFG و اجزای محدود با اجزای دوخطی از نظر خطای ee در نرم انرژی R . نرخ همگرایی است. ۲۳۲
- شکل ۵-۲۳: مقایسه کارایی محاسباتی روش‌های LRPIM, MLPG, RPIM, EFG و اجزای محدود با اجزای دوخطی از نظر مقدار خطای ee در نرم انرژی. ۲۳۳
- شکل ۶-۱: توزیع گرهی به کار رفته در دامنه مسأله یک‌بعدی. ۲۴۳
- شکل ۶-۲: روش‌های درونیابی با ابعاد مختلف دامنه‌های پایه برای مسائل یک‌بعدی. ۲۵۶
- شکل ۶-۳: همگرایی h مربوط به روش جایمند نقاط چندجمله‌ای PPCM با روش‌های درونیابی گوناگون ($\lambda=10$)، در جایی که dc فاصله گرهی است. ۲۵۸
- شکل ۶-۴: همگرایی p مربوط به روش جایمند نقاط چندجمله‌ای PPCM با استفاده از ۴۱ گره منظم برای مسائل انتشار موج. ۲۵۸
- شکل ۶-۵: یک عضو خربای یکنواخت که در $x=0$ ثابت می‌باشد و در معرض یک بار گسترده محوری یکنواخت در جهت x و یک بار متمرکز در $x=L$ قرار دارد. ۲۶۱
- شکل ۶-۶: توزیع گرهی در عضو خربایی یک‌بعدی. ۲۶۱
- شکل ۶-۷: همگرایی h در خطاهای نسبی در نتایج عددی حاصل از روش جایمند نقاط چندجمله‌ای PPCM همراه با تکنیک‌های مختلف برای اعمال شرایط مرزی مشتق (تکنیک سه گرهی) R نرخ همگرایی است و dc فاصله گرهی است. ۲۶۷
- شکل ۶-۸: همگرایی p در روش جایمند نقاط چندجمله‌ای PPCM با استفاده از تکنیک‌های مختلف برای اعمال شرایط مرزی مشتق (۴۱ گره منظم). ۲۶۷
- شکل ۶-۹: نتایج مسأله همرفت-انتشار با عددهای پکلت مختلف. در مجموع، ۲۱ گره به طور منظم توزیع شده است و روش جایمند نقاط چندجمله‌ای PPCM به کار رفته است و دامنه پایه به گونه‌ای تعریف شده است که نزدیک‌ترین سه گره انتخاب شوند. ۲۷۱
- شکل ۶-۱۰: نتایج مسأله همرفت-انتشار یک‌بعدی با توزیع گرهی متفاوت. دامنه پایه به گونه‌ای تعریف شده است که نزدیک‌ترین سه گره انتخاب شوند و $V=100$ و $k=1$. ۲۷۲
- شکل ۶-۱۱: نتایج مسأله همرفت-انتشار که با استفاده از روش جایمند نقاط چندجمله‌ای PPCM و دامنه‌های پایه محلی مختلف حل شده است. $Pe=2/5$ در نظر گرفته شده است و در مجموع ۲۱ گره توزیع شده به طور منظم به کار رفته است. ۲۷۳
- شکل ۶-۱۲: انواع گوناگون دامنه پایه محلی. ۲۷۵

- شکل ۶-۱۳: نتایج مسأله همرفت-انتشار با دامنه پایه معمولی و جهت‌مند. دامنه پایه برای انتخاب نزدیک‌ترین سه گره تعریف شده است. ۲۷۶
- شکل ۶-۱۴: نتایج مسأله همرفت-انتشار با دامنه پایه جهت‌مند تطبیق‌پذیر. ۲۷۸
- شکل ۶-۱۵: دو مدل با توزیع گرهی متفاوت برای دامنه دایروی در مسأله تعریف شده در مثال ۶-۳ با $k=9$. ۲۸۳
- شکل ۶-۱۶: دو مدل با توزیع گرهی متفاوت برای دامنه دایروی در مسأله تعریف شده در مثال ۶-۳ با $k=100$. ۲۸۴
- شکل ۶-۱۶: دو مدل با توزیع گرهی متفاوت برای دامنه دایروی در مسأله تعریف شده در مثال ۶-۳ با $k=100$. ۲۸۶
- شکل ۶-۱۷: (۱۶۸ گره توزیع شده به طور تصادف با استفاده از مدل تصادفی هالتون (گره‌های داخلی: ۱۵۲۱؛ گره‌های مرزی: ۱۶). ۲۹۷
- شکل ۶-۱۸: ساخت دامنه پایه محلی جهت‌مند تطبیق‌پذیر در یک مسأله دوبعدی با استفاده از فاصله برون محوری du . ۳۰۰
- شکل ۶-۱۹: جواب مسأله موج گوس دوار حاصل از به کارگیری توابع شکل RPIM با توابع پایه شعاعی چند ربعی و 33×33 گره منظم. ۳۰۴
- شکل ۶-۲۰: جواب مسأله موج گوس دوار حاصل از به کارگیری توابع شکل RPIM با توابع پایه شعاعی چند ربعی و 65×65 گره منظم. ۳۰۵
- شکل ۶-۲۱: مسأله پوسته کوچک. ۳۱۲
- شکل ۶-۲۲: دو توزیع گرهی به کار رفته در روش جابجایی نقاط شعاعی RPCM. ۳۱۳
- شکل ۶-۲۳: جابجایی قائم نقطه C در مسأله پوسته کوچک حاصل از به کارگیری روش جابجایی نقاط شعاعی RPCM با تابع اسپیلاین ورق نازک و پارامتر شکل $\eta=4$. ۳۱۴
- شکل ۶-۲۴: حداقل تنش اصلی در نقطه B در مسأله پوسته کوچک حاصل از به کارگیری روش جابجایی نقاط شعاعی RPCM با تابع اسپیلاین ورق نازک و پارامتر شکل $\eta=4$. ۳۱۴
- شکل ۶-۲۵: حداکثر تنش اصلی در نقطه A در مسأله پوسته کوچک حاصل از به کارگیری روش جابجایی نقاط شعاعی RPCM با تابع اسپیلاین ورق نازک و پارامتر شکل $\eta=4$. ۳۱۵
- شکل ۶-۲۶: شبکه‌های کمکی منظم به کار رفته برای تقریب شرایط مرز مشتق بر روی یک مرز مستقیم. ۳۱۶
- شکل ۶-۲۷: شبکه‌های کمکی منظم به کار رفته برای تقریب شرایط مرز مشتق بر روی یک مرز منحنی. ۳۱۷
- شکل ۶-۲۸: یک جسم جامد دوبعدی با سوراخ مرکزی که در معرض بار کششی تک‌جهته قرار دارد. تنها یک چهارم بالا و سمت راست با ابعاد 5×5 از ورق مدل می‌شود. ۳۲۱
- شکل ۶-۲۹: مدل یک چهارم گره‌ها و شرایط مرزی در یک جسم جامد دوبعدی محدود با سوراخ مرکزی که تحت بار کششی تک‌جهته در جهت x قرار دارد. ۳۲۲

۲-۷	روش‌های جابجاند و شکل ضعیف محلی بی‌شبکه.....	۳۲۸
۱-۲-۷	روش جابجاند بی‌شبکه.....	۳۲۸
۲-۲-۷	روش شکل ضعیف بی‌شبکه.....	۳۲۹
۳-۲-۷	مقایسه روش‌های شکل ضعیف و جابجاند بی‌شبکه.....	۳۳۱
۳-۷	فرمولبندی برای حالت ایستا در فضای دوبعدی.....	۳۳۳
۱-۳-۷	اندیشه کلی.....	۳۳۳
۲-۳-۷	شکل ضعیف محلی.....	۳۳۵
۳-۳-۷	شکل گسسته معادلات دستگاه.....	۳۳۶
۴-۳-۷	اجرای عددی.....	۳۴۰
۱-۴-۳-۷	خصوصیت ماتریس سختی.....	۳۴۰
۲-۴-۳-۷	نوع دامنه‌های محلی.....	۳۴۱
۳-۴-۳-۷	انتگرال‌گیری عددی.....	۳۴۱
۴-۷	نمونه‌های عددی در حالت ایستا و ارتجاعی در فضای دوبعدی.....	۳۴۲
۱-۴-۷	عضو خربای یک‌بعدی با شرایط مرزی مشتق.....	۳۴۲
۲-۴-۷	آزمون پیوستگی استاندارد.....	۳۴۳
۳-۴-۷	آزمون پیوستگی با مرتبه بالاتر.....	۳۴۶
۴-۴-۷	نیر طره.....	۳۵۱
۵-۴-۷	یک صفحه نامحدود دارای حفره.....	۳۵۶
۵-۷	تحلیل دینامیکی برای جامدات دوبعدی.....	۳۵۷
۱-۵-۷	شکل قوی در تحلیل دینامیکی.....	۳۵۸
۲-۵-۷	شکل ضعیف محلی برای تحلیل دینامیکی.....	۳۵۹
۳-۵-۷	فرمول‌های گسسته‌سازی شده برای تحلیل دینامیکی.....	۳۶۰
۱-۳-۵-۷	تحلیل ارتعاش آزاد.....	۳۶۱
۲-۳-۵-۷	تحلیل مستقیم ارتعاش همراه با نیرو.....	۳۶۲
۶-۷	تحلیل مسائل جریان تراکم‌ناپذیر.....	۳۶۵

۳۶۵	۱-۶-۷ شبیه‌سازی همرفت طبیعی در دامنه محصور.....
۳۶۵	۱-۱-۶-۷ معادلات حاکم و شرایط مرزی.....
۳۶۷	۲-۱-۶-۷ شکل گسسته معادلات دستگاه.....
۳۶۹	۳-۱-۶-۷ نتایج عددی برای مسأله همرفت طبیعی.....
۳۸۰	۲-۶-۷ شبیه‌سازی جریان اطراف استوانه.....
۳۸۰	۱-۲-۶-۷ معادله حاکم و شرایط مرزی.....
۳۸۳	۲-۲-۶-۷ روند محاسبه.....
۳۸۴	۳-۴-۶-۷ نتایج و بحث.....
۳۹۰	۷-۷ نکات.....
۳۹۳	واژه‌نامه فارسی-انگلیسی.....
۴۰۱	واژه‌نامه انگلیسی-فارسی.....
۴۰۹	مراجع.....
۴۳۱	فهرست موضوعی.....

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱: روند ساخت شبیه‌سازی عددی ۲
- شکل ۲-۱: یک جسم جامد پیوسته ۵
- شکل ۳-۱: مؤلفه‌های تنش المان مکعبی کوچکی در یک جسم جامد سه‌بعدی تحت تنش ۶
- شکل ۴-۱: یک قطعه پیوسته از جامدات دوبعدی ۱۳
- شکل ۵-۱: یک عضو خرابی یکنواخت که در معرض بارگذاری گسترده یکنواخت در جهت x قرار گرفته است ۲۷
- شکل ۶-۱: توابع وزن به کار رفته در روش‌های باقیمانده وزنی مختلف زمانی که حل تقریبی $u1hx =$ ۳۱
- (۱) $\alpha 1x(x - L)$ با ضرایب $\alpha 1$ است ۳۲
- شکل ۷-۱: نتایج جابجایی حاصل شده از روش تحلیلی و پنج روش باقیمانده وزنی مختلف؛ جواب تقریبی عبارتست از: $u1hx = \alpha 1x(x - L)$ ۳۵
- شکل ۸-۱: توابع وزن به کار رفته در روش‌های باقیمانده وزنی مختلف زمانی که جواب تقریبی $u2hx =$ ۳۵
- (۱) $\alpha 1xx - L + \alpha 2x2x - L$ با ضرایب $\alpha 1$ و $\alpha 2$ می‌باشد ۳۵
- شکل ۹-۱: نتایج جابجایی به دست آمده با استفاده از روش تحلیلی و پنج روش باقیمانده وزنی مختلف؛ جواب تقریبی $u2hx = \alpha 1xx - L + \alpha 2x2x - L$ می‌باشد ۳۶
- شکل ۱۰-۱: همگرایی نتایج جابجایی محوری به دست آمده با استفاده از روش‌های باقیمانده وزنی مختلف با تعداد عبارات مختلف در حل تقریبی ۳۶
- شکل ۱-۲: نمودار مقایسه‌ای روند کار در روش اجزای محدود و روش بی‌شبکه ۵۱
- شکل ۲-۲: نمایش دامنه در روش اجزای محدود و روش بی‌شبکه ۵۴
- شکل ۳-۲: دامنه‌های پایه محلی به کار رفته در روش بی‌شبکه به منظور ساخت توابع شکل ۵۵
- شکل ۱-۳: دامنه‌های پایه نقطه مورد نظر xQ در مدل‌های بی‌شبکه ۷۸
- شکل ۲-۳: مثلث خیام (پاسکال) تک جمله‌ای‌ها برای دامنه‌های دوبعدی ۸۱
- شکل ۳-۳: درونیابی از نوع هرمیتی با مشتقات قائم به عنوان درجات آزادی اضافی ۹۲
- شکل ۴-۳: تابع تقریب $u1hx$ و پارامترهای گرهی $u1i$ در تقریب حداقل مربعات متحرک ۱۱۳
- شکل ۵-۳: توابع وزن و مشتقات مرتبه اول آنها: $W1$: اسپلاین درجه سه؛ $W2$: اسپلاین درجه چهار؛ $W3$: تابع نمایی ($\alpha = 0.3$)، (a) توابع وزن؛ (b) مشتقات مرتبه اول ۱۱۹
- شکل ۶-۳: خطای et برازش سطح با استفاده از توابع شکل چند ربعی در روش درونیابی نقاط شعاعی RPIM- MQ با q های مختلف، (پارامترهای شکل روبه رو به کار رفتند: $dcx = dcy = 1.0$ ، $ac = 1.0$ ؛ بزرگی دامنه پایه $as = 3.5$ است و $m = 0$) ۱۲۸

- شکل ۷-۳: خطای et برازش سطح هنگام استفاده از روش درونیابی نقاط شعاعی با تابع شکل چند ربعی RPIM-MQ برای ac های مختلف. (پارامترهای شکل رو به رو به کار رفته است: $q = 0.5$, $dex = 1.0$, $dcy = 1.0$; بزرگی دامنه پایه عبارتست از $as = 3.5$ و $m = 0$) ۱۲۸
- شکل ۸-۳: خطای et در برازش سطح با استفاده از توابع شکل حداقل مربعات متحرک MLS و روش درونیابی نقاط شعاعی با تابع شکل چند ربعی RPIM-MQ ساخته شده با بزرگی‌های متفاوت دامنه های پایه ۱۲۹
- شکل ۹-۳: خطای et در برازش سطح با استفاده از توابع شکل حداقل مربعات متحرک MLS و روش درونیابی نقاط شعاعی با تابع شکل چند ربعی RPIM-MQ ۱۳۰
- شکل ۱-۴: شبکه‌های زمینه به کار رفته در روش‌های شکل ضعیف کلی بی‌شبکه. دامنه مسأله، Ω توسط گره‌های میدان نمایش داده شده است. ساختار شبکه زمینه به منظور محاسبه انتگرال‌ها در شکل ضعیف به کار می‌رود. ۱۳۹
- شکل ۲-۴: تیر طره در معرض نیروی تماسی سهمی شکل در انتهای آزاد آن ۱۶۲
- شکل ۳-۴: توزیع گره‌ها و شبکه‌های زمینه در تیر طره. در مجموع ۱۷۵ (7×25) گره میدان منظم و ۴۰ (4×10) شبکه زمینه به کار می‌روند. ۱۶۵
- شکل ۴-۴: تغییر شکل تیر با استفاده از روش درونیابی نقاط شعاعی RPIM و ۱۷۵ گره میدان. تابع پایه شعاعی چندربعی در روش درونیابی نقاط شعاعی RPIM به کار گرفته شده است و پارامترهای به کار رفته عبارتند از: $ac = 1/0$, $q = 1/0.2$ و $ai = 2/0$ ۱۶۷
- شکل ۵-۴: تغییر شکل v در طول محور مرکزی تیر، $y = 0$ ، به دست آمده از به کارگیری روش درونیابی نقاط شعاعی RPIM با تابع پایه شعاعی چندربعی و ۱۷۵ گره میدان ۱۶۷
- شکل ۶-۴: توزیع تنش برشی روی سطح مقطع تیر در $L/2$ که حاصل از به کارگیری روش درونیابی نقاط شعاعی RPIM و ۱۷۵ گره میدان. تابع پایه شعاعی چندربعی در روش درونیابی نقاط شعاعی RPIM به کار رفته است و پارامترهای استفاده شده عبارتند از: $ac = 1/0$, $q = 1/0.3$ و $ai = 2/0$ ۱۶۸
- شکل ۷-۴: تغییر شکل v در طول محور مرکزی تیر، $y = 0$ ، حاصل از به کارگیری روش بدون گالریکین EFG و ۱۷۵ گره میدان. پارامتر به کار رفته عبارتست از: $ai = 2/0$ تابع پایه چندجمله‌ای خطی در تابع شکل حداقل مربعات متحرک به کار رفته است. ۱۶۸
- شکل ۸-۴: توزیع تنش برشی تیر روی سطح مقطع واقع در $x = L/2$ به دست آمده از به کارگیری روش بدون المان گالریکین EFG و ۱۷۵ گره میدان. پارامتر به کار رفته عبارتست از: $ai = 2/0$ تابع پایه چندجمله‌ای خطی در تابع شکل حداقل مربعات متحرک به کار رفته است. ۱۶۹
- شکل ۹-۴: ترتیب گرهی به کار رفته برای مدلسازی تیر طره. (الف) ۱۸۹ گره منظم؛ (ب) ۱۸۹ گره نامنظم. ۱۶۹
- شکل ۱۰-۴: توزیع تنش برشی روی سطح مقطع تیر در $x = L/2$ حاصل از به کارگیری روش RPIM و ۱۸۹ گره میدان. تابع پایه شعاعی چندربعی در RPIM به کار رفته است و پارامترهای استفاده شده عبارتند از: $ac = 1/0$, $q = 1/0.2$ و $ai = 2/0$ ۱۷۰

پیشگفتار مؤلفان

در طول قرن‌ها، روش تفاوت محدود^۱ برای حل دستگاه‌های معادلات دیفرانسیلی به کار می‌رفت. این روش برای مسائل با هندسه ساده خوب عمل می‌کند و قبل از ابداع روش بسیار کارآمدتر و توانمند روش اجزای محدود^۲، به طور وسیعی مورد استفاده قرار می‌گرفت. اکنون روش اجزای محدود برای حل مسائل با هندسه پیچیده بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد. در حال حاضر، فنون عددی قدرتمندتر به کار می‌روند و در حال توسعه هستند تا در حالتی مناسب‌تر برای دستگاه‌های پیچیده‌تر، جواب‌های تقریبی دقیق‌تری محاسبه شوند. روش بی‌شبکه^۳ یک چنین روشی است که در دهه گذشته توسعه فوق‌العاده‌ای یافته است و موضوع کتاب حاضر می‌باشد.

روش‌های بی‌شبکه فراوانی برای کاربردهای مختلف توسعه یافته‌اند. در حال حاضر، سه کتاب در مورد روش‌های بی‌شبکه منتشر شده‌اند.

- روش‌های بی‌شبکه، حرکتی فراتر از روش اجزای محدود^۴ تألیف جی آر لیو^۵ (۲۰۰۲)، توضیحات روشمندی را در خصوص نظریه‌های پایه و اساسی روش‌های بی‌شبکه به خصوص روش‌های بی‌شبکه با شکل ضعیف ارائه می‌دهد. روش‌های بی‌شبکه معروف و کاربرد وسیع آن‌ها در مسائل مکانیک جامدات (جامدات، تیرها، ورق‌ها، پوسته‌ها و غیره) به علاوه مکانیک سیالات پوشش داده می‌شوند.

- روش پتروف-گالرکین محلی بی‌شبکه^۶ تألیف آتلوری^۷ و شن^۸ (۲۰۰۲)، توضیحات مفصلی را در خصوص روش پتروف-گالرکین محلی بی‌شبکه ارائه می‌دهد. در کتاب مذکور، فرمول‌بندی و کاربردهای این روش به خوبی توضیح داده شده است.

¹ Finite Difference Method (FDM)

² Finite Element Method (FEM)

³ Meshfree or meshless method

⁴ Mesh free methods, moving beyond the finite element method

⁵ GR Liu

⁶ Meshless Local Petrov-Galerkin (MLPG) method

⁷ Atluri

⁸ Shen

- هیدرودینامیک ذرات هموار: یک روش بی‌شبکه ذرات^۱ تألیف جی آر لیو و لیو (۲۰۰۳)، توضیحات مفصلی در خصوص روش‌های بی‌شبکه ذرات، به خصوص روش هیدرودینامیک ذرات هموار ارائه می‌دهد. کاربردهای روش هیدرودینامیک ذرات هموار در مکانیک سیالات، نفوذ^۲ و انفجار نیز در کتاب مذکور اشاره شده است و یک برنامه مرجع عمومی روش فوق‌الذکر برای مکانیک سیالات ارائه شده است.

ممکن است این سؤال پیش آید که مقصود کتاب حاضر و تفاوت آن با کتب دیگر به خصوص کتاب جی آر لیو (۲۰۰۲) چیست.

کتب دوم و سوم مذکور مربوط به روش‌های بی‌شبکه بخصوصی هستند که به وضوح دارای هدف‌های متفاوتی از کتاب حاضر هستند. کتاب جی آر لیو (۲۰۰۲)، اولین کتابی است که بسیاری از روش‌های بی‌شبکه اصلی را پوشش می‌دهد. کتاب مذکور تمامی روش‌های بی‌شبکه نسبتاً تکمیل شده براساس فرمول‌بندی شکل ضعیف را به همراه توضیح روشمندی پوشش می‌دهد و کاربردهای وسیع آن‌ها در جامدات، تیرها، ورق‌ها، پوسته‌ها، سیالات و غیره را ارائه می‌دهد. به هر حال، نقطه شروع آن کتاب نسبتاً بالا است و مطالعه آن به پیش‌زمینه قوی در خصوص مکانیک به علاوه شبیه‌سازی عددی نیاز دارد. به علاوه، برخی از اصطلاحات ذکر شده در آن کتاب به تفصیل توضیح داده نشده است و به دلیل محدودیت فضا هیچ برنامه مرجع کامپیوتری ارائه نشده است.

پس از انتشار اولین کتاب، مؤلف اول، نظرات سودمندی از جمله درخواست برنامه‌های مرجع و توضیحات بیشتر در خصوص موضوعات پایه دریافت نمود. در نتیجه کتاب حاضر به منظور تکمیل کتاب اول و ارائه توضیحات بیشتر در خصوص موضوعات پایه روش‌های بی‌شبکه به همراه تفصیل اجرا و برنامه‌نویسی همراه با برنامه‌های مرجع تألیف شده است. در کتاب حاضر تنها موضوعات مقدماتی و اساسی روش‌های بی‌شبکه با شکل ضعیف اما با جزئیات مفصل در خصوص روش‌های بی‌شبکه براساس فرمول‌بندی‌های شکل قوی و شکل ضعیف- قوی ارائه شده است. ارتباط این کتاب و کتاب جی آر لیو

¹ Smooth particle hydrodynamics; a meshfree particle method

² Penetration

(۲۰۰۲) در جدول ۱-۰ ارائه شده است. از این جدول مشخص است که تنها مطالب مشترک بسیار کمی بین این دو کتاب وجود دارد؛ در واقع این دو کتاب مکمل یکدیگر هستند. مؤلفین امیدوارند که کتاب حاضر به محققین مبتدی، مهندسان و دانشجویان کمک کند تا به آرامی مطالعاتشان را آغاز کنند و فنون بی‌شبکه را توسعه دهند.

بنابراین، هدف کتاب حاضر ارائه موضوعات پایه از روش‌های بی‌شبکه به همراه توضیحات بیشتر در حد امکان است. برخی از روش‌های بی‌شبکه نمونه نظیر روش‌های بدون المان گالرکین EFG، پتروف- گالرکین محلی بی‌شبکه MLPG، روش درون‌یابی نقاط شعاعی RPIM و روش درون‌یابی نقاط شعاعی محلی LRPIM بیشتر توضیح داده می‌شوند. همچنین جزئیات اجرا و برنامه‌نویسی عددی این روش‌ها ارائه می‌شود. علاوه بر آن، روش‌های بی‌شبکه جایمند^۱ (شکل قوی) نیز توضیح داده می‌شود. برنامه‌های مرجع کامپیوتری بسیاری که به خوبی مورد آزمایش قرار گرفته‌اند برای روش‌های بی‌شبکه ارائه شده‌اند. کاربرد و عملکرد برنامه‌ها را می‌توان به کمک مثال‌های ارائه شده مورد آزمایش قرار داد. تمامی برنامه‌های کامپیوتری توسط مؤلفین و براساس فنون عددی موجود برای روش اجزای محدود و تحلیل عددی استاندارد توسعه یافته‌اند. این برنامه‌ها شامل بیشتر فنون پایه بی‌شبکه است و به راحتی می‌توان آن‌ها را برای تغییرات فرآیندهای پیچیده‌تر روش‌های بی‌شبکه توسعه داد.

ارائه این برنامه‌های مرجع به منظور برآورده کردن نیازهای خوانندگان برای درک ساده، فهم، اجرای سریع و کاربرد عملی روش‌های بی‌شبکه و پیشرفت بیشتر و توسعه روش‌های بی‌شبکه خودشان انجام گرفته است. تمامی برنامه‌های مرجع ارائه شده در کتاب حاضر، براساس MS Windows و MS Developer Studio 97 (Visual) FORTRAN Professional Edition 5.0.A) بر روی یک رایانه شخصی نوشته شده و مورد آزمایش قرار گرفته است. با اندکی بازبینی می‌توان این برنامه‌ها را در

¹ Collocation

دستگاه‌های دیگر نظیر UNIX system اجرا نمود. گروه تحقیقاتی ما اغلب اوقات این برنامه‌ها را بین Windows و UNIX تبدیل می‌کنند و مشکل فنی به وجود نیامده است.

جدول ۱-۰: ارتباط کتاب حاضر و کتاب روش بی‌شبکه تألیف جی. آر. لیو (۲۰۰۲)

کتاب جی. آر. لیو (۲۰۰۲)		کتاب حاضر		موضوعات
محتوا	برنامه مرجع	محتوا	برنامه مرجع	
روش‌های باقیمانده و وزنی	به اختصار	قابل کاربرد نیست	به همراه مثال - های عددی به طور صریح تفصیل شده است	قابل کاربرد نیست
شکل‌های ضعیف	به تفصیل	قابل کاربرد نیست	به اختصار	قابل کاربرد نیست
توابع شکل بی‌شبکه	به تفصیل به همراه تأکید بر PIM, MLS و RPIM	خیر	به تفصیل برای PIM, MLS, WLS و RPIM نوع هر میت	ارائه شده است
روش‌های بی‌شبکه با شکل ضعیف کلی	مفصل برای EFG, PIM و RPIM	خیر	مفصل برای RPIM و EFG	ارائه شده است
روش‌های پتروف - گالرکین محلی بی - شبکه با شکل ضعیف	مفصل برای MLPG, LRPIM و LPIM	خیر	مفصل برای MLPG و LRPIM	ارائه شده است
روش‌های بی‌شبکه چاپمند	خیر	خیر	مفصل برای فنون متفاوت	خیر
روش‌های بی‌شبکه با شکل ضعیف - قوی	خیر	خیر	مفصل برای MWS-LS و	ارائه شده است

- شکل ۳۰-۶: تنش قائم (σ_{xx}) در یک ورق در طول مقطع $x=0$ محاسبه شده از روش‌های مختلف ($q=0.15$)
 ۳۲۲ ($m=0$)
- شکل ۱-۷: تصور کلی روش بی‌شبکه با شکل ضعیف-قوی: برای گره‌های میدان که در نزدیکی یا روی مرزهای مشتق هستند (نظیر گره λ_{AM})، شکل ضعیف پتروف-گالرکین محلی به کار می‌رود. برای سایر گره‌ها (نظیر گره‌های λ_M و λ_{AM})، شکل قوی به کار می‌رود. λ_{AS} دامنه پایه محلی است. λ_{AQ} دامنه انتگرال‌گیری محلی است.
 ۳۳۳ شکل ۱۲-۷: آزمون‌های پیوستگی استاندارد: (الف) ۱۵ گره نامنظم؛ (ب) ۲۵ گره نامنظم؛ (ج) ۵۵ گره نامنظم.
 ۳۴۴ شکل ۱۳-۷: آزمون پیوستگی با مرتبه بالاتر و توزیع گرهی منظم.
 ۳۴۶ شکل ۱۴-۷: توزیع گرهی نامنظم برای آزمون پیوستگی با مرتبه بالاتر.
 ۳۴۷ جدول ۲-۷: مقادیر خطای نسبی (λ_{XX}) در حالت دوم در نقطه A در آزمون پیوستگی با مرتبه بالاتر (با استفاده از گره‌های منظم).
 ۳۴۸ جدول ۳-۷: مقادیر خطای نسبی (λ_{XX}) در حالت دوم در آزمون پیوستگی با مرتبه بالاتر (با استفاده از گره‌های منظم، $\alpha q=1/5$).
 ۳۵۰ شکل ۱۵-۷: مقایسه همگرایی روش‌های بی‌شبکه با شکل ضعیف-قوی، LRPIM، MLPG و اجزای محدود در خطای ee نرم انرژی.
 ۳۵۳ شکل ۱۶-۷: مقایسه کارایی روش‌های بی‌شبکه با شکل ضعیف-قوی، روش درون‌یابی نقاط شعاعی محلی LRPIM و پتروف-گالرکین محلی بی‌شبکه MLPG.
 ۳۵۵ شکل ۱۷-۷: گره‌ها و شرایط مرزی در یک چهارم مدل صفحه با سوراخ مرکزی که تحت بار کششی تک‌جهته واحد در جهت x قرار دارد.
 ۳۵۷ شکل ۱۸-۷: توزیع تنش (σ_{xx}) در طول مقطع $x=0$ در صفحه حاصل از روش بی‌شبکه با شکل ضعیف-قوی و ۱۶۵ گره منظم توزیع شده.
 ۳۵۸ شکل ۱۹-۷: فلوجارت الگوریتم نیومارک برای حل مجموعه‌ای از معادلات ارتعاش همراه با اجزای محدود.
 ۳۶۴ شکل ۲۶-۷: تصویر شماتیک دامنه مسأله برای مسأله همرفت طبیعی.
 ۳۶۶ شکل ۲۷-۷: توزیع‌های گرهی مختلف به کار رفته برای مسأله همرفت طبیعی با فضای مربعی.
 ۳۷۰ شکل ۲۸-۷: مقایسه نرخ‌های همگرایی، R ، برای روش‌های مختلف در مسأله همرفت طبیعی.
 ۳۷۳ شکل ۲۹-۷: مقایسه زمان اجرای برنامه مورد نیاز در روش‌های MWS-MLS و MLPG برای حل مسأله همرفت طبیعی.
 ۳۷۶ شکل ۳۰-۷: مقایسه زمان اجرای برنامه مورد نیاز در روش‌های MWS-RPIM و LRPIM برای حل مسأله همرفت طبیعی.
 ۳۷۶

- شکل ۷-۳۱: خطوط جریان و خطوط همدمای برای جریان داخل محفظه ($Ra=10^3$) که با استفاده از روش بی‌شبکه با شکل ضعیف-قوی با توابع شکل حداقل مربعات متحرک MWS-MLS و ۲۶۸ گره توزیع شده به طور نامنظم محاسبه شده‌اند. ۳۷۹
- شکل ۷-۳۲: خطوط جریان و خطوط همدمای برای جریان داخل محفظه ($Ra=10^3$) که با استفاده از روش بی‌شبکه با شکل ضعیف-قوی با توابع شکل درونیابی نقاط شعاعی MWS-RPIM و ۴۴۱ گره توزیع شده به طور نامنظم محاسبه شده‌اند. ۳۷۹
- شکل ۷-۳۳: موقعیت جریان سیال در اطراف استوانه. ۳۸۰
- شکل ۷-۳۴: دامنه مسأله برای شبیه‌سازی جریان سیال در اطراف استوانه. ۳۸۵
- شکل ۷-۳۵: دو نوع توزیع گرهی به کار رفته در شبیه‌سازی عددی به کمک روش بی‌شبکه با شکل ضعیف-قوی با تابع شکل روش درونیابی نقاط شعاعی MWS-RPIM. ۳۸۶
- شکل ۷-۳۶: خطوط جریان سیال در نزدیکی استوانه در حالت یکنواخت نهایی در حالت $Re=20$. ۳۸۷
- شکل ۷-۳۷: توزیع چرخش برای جریان سیال در اطراف استوانه ($Re=100$) پس از تشکیل حالت یکنواخت در $t0$. ۳۸۸
- شکل ۷-۳۸: تغییر خطوط جریان سیال نسبت به زمان در اطراف استوانه برای $Re=100$ (مدل اول). ۳۸۹
- شکل ۷-۳۹: تغییر ضرایب بالابرندگی و بازدارندگی نسبت به زمان برای حالت $Re=100$ (مدل اول). ۳۹۰

فهرست جداول

جدول ۱-۱: مقایسه نتایج تحلیلی و تقریبی.....	۳۴
جدول ۱-۲: تفاوت‌هایی میان روش اجزای محدود و روش بی‌شبکه.....	۵۳
جدول ۲-۲: سه نوع طبقه‌بندی روش‌های بی‌شبکه.....	۶۹
جدول ۳-۲: روش‌های مختلف ممکن برای فرمولبندی روش‌های بی‌شبکه.....	۷۰
جدول ۱-۳: طبقه‌بندی روش‌های درونیابی بی‌شبکه.....	۷۵
جدول ۲-۳: توابع پایه شعاعی نمونه با پارامترهای شکل بدون بعد.....	۹۸
جدول ۳-۳: فرمولبندی تابع پایه شعاعی فشرده CSRBF.....	۹۸
جدول ۱-۶: همگرایی h و p مربوط به u به دست آمده از روش عددی با روش‌های درونیابی گوناگون.....	۲۵۶
جدول ۲-۶: همگرایی h و p مربوط به u , x به دست آمده از روش عددی با روش‌های درونیابی گوناگون (R : نرخ همگرایی).....	۲۵۷
جدول ۳-۶: خطاهای نسبی، E ، $(\%)$ در نتایج جابجایی حاصل از روش جابجایی نقاط چندجمله‌ای PPCM به همراه تکنیک‌های مختلف اعمال شرایط مرزی مشتق.....	۳۶۴
جدول ۴-۶: همگرایی h و p در u با استفاده از روش‌های مختلف به همراه تکنیک‌های درونیابی گوناگون و توزیع گرهی متفاوت.....	۳۶۵
جدول ۶-۶: نتایج u برای مثال ۳-۶ به کمک روش جابجایی نقاط چندجمله‌ای PPCM و توزیع گرهی متفاوت ($k=100$).....	۳۸۵
جدول ۷-۶: مقادیر خطای نتایج عددی حاصل شده از کاربرد روش جابجایی نقاط چندجمله‌ای PPCM با وجود و عدم وجود شرط مرزی مشتق (نه گره در درونیابی به کار رفته است، $p=2$).....	۳۸۷
جدول ۸-۶: مقادیر خطای نتایج عددی حاصل از روش جابجایی نقاط چندجمله‌ای PPCM با ضرایب وزن، β ، مختلف (۱۱×۱۱ گره منظم، $AS=1/5$ ، $C=0/5$ ، $p=2$).....	۳۸۹
جدول ۹-۶: مقادیر خطای نتایج عددی حاصل از روش جابجایی نقاط چندجمله‌ای PPCM با ضرایب وزن، β ، مختلف (۲۱×۲۱ گره منظم، $AS=1/5$ ، $C=0/5$ ، $p=2$).....	۳۸۹
جدول ۱۰-۶: مقادیر خطای نتایج عددی حاصل از روش جابجایی نقاط شعاعی RPCM با تابع پایه شعاعی نمایی بدون تابع پایه چندجمله‌ای و ۱۲۱ گره منظم (درونیابی ۹ گرهی و $AC=1/0$).....	۳۹۲
جدول ۱۱-۶: مقادیر خطای نتایج عددی حاصل از روش جابجایی نقاط شعاعی RPCM با تابع پایه شعاعی نمایی بدون تابع پایه چندجمله‌ای ($AC=1/0$) و دامنه‌های پایه با بزرگی مختلف (۱۲۱ گره با نامنظمی زیاد؛ شرط مرزی ۲).....	۳۹۳
جدول ۱۲-۶: مقادیر خطای نتایج عددی حاصل از روش جابجایی نقاط شعاعی RPCM با تابع پایه شعاعی نمایی بدون تابع پایه چندجمله‌ای ($AC=1/0$) و ۴۱×۴۱ گره منظم (درونیابی ۹ گرهی).....	۳۹۷

- جدول ۶-۱۳: مقادیر خطای نتایج عددی حاصل از روش جابجاند نقاط شعاعی RPCM با تابع پایه شعاعی نمایی ($\alpha C=1.0/0$) و ۱۶۸۱ گره منظم (بعد دامنه پایه: $\alpha S=2/0$) ۳۹۸
- جدول ۶-۱۴: مقادیر خطای نتایج عددی حاصل از روش جابجاند نقاط شعاعی RPCM با تابع پایه شعاعی نمایی ($\alpha C=1.0/0$) و ۱۶۸۱ گره منظم برای $\epsilon=0.01$ ۳۹۹
- جدول ۶-۱۵: مقادیر خطای $e0$ (%) حاصل از نتایج عددی به دست آمده از روش جابجاند نقاط شعاعی RPCM با تابع پایه شعاعی نمایی ($\alpha C=1.0/0$) و ۱۲۱ گره منظم برای ϵ های مختلف ۳۰۰
- جدول ۶-۱۶: مقادیر خطای نتایج عددی به دست آمده از روش جابجاند نقاط شعاعی به همراه توابع شکل RPIM با توابع پایه شعاعی چند ربعی و 23×23 گره منظم با پارامترهای شکل αC مختلف (نزدیکترین ۹ گره در دامنه پایه انتخاب می‌شوند) ۳۰۵
- جدول ۶-۱۷: مقادیر خطای نتایج عددی به دست آمده از روش جابجاند نقاط شعاعی به همراه توابع شکل RPIM با توابع پایه شعاعی چند ربعی و 23×23 گره منظم با پارامترهای شکل αC مختلف (نزدیکترین ۲۵ گره در دامنه پایه انتخاب می‌شوند) ۳۰۶
- جدول ۶-۱۸: مقادیر خطای نتایج عددی به دست آمده از روش جابجاند نقاط شعاعی به همراه توابع شکل RPIM با توابع پایه شعاعی چند ربعی و 65×65 گره منظم با پارامترهای شکل αC مختلف (نزدیکترین ۲۵ گره در دامنه پایه انتخاب می‌شوند) ۳۰۶
- جدول ۷-۱: مقادیر خطای نسبی e (%) نتایج حاصل از روش‌های مختلف* ۳۴۲
- جدول ۷-۴: خلاصه آزمون‌های پیوستگی ۳۵۰
- جدول ۷-۵: زمان محاسباتی (ثانیه) به کار رفته در روش‌های مختلف برای مسأله تیر طره ۳۵۴
- جدول ۷-۸: مقایسه نتایج عددی برای مسأله همرفت طبیعی در فضای مربعی ($Ra=10^2$) ۳۷۷
- جدول ۷-۹: مقایسه نتایج عددی برای مسأله همرفت طبیعی در فضای مربعی ($Ra=10^3$) ۳۷۸
- جدول ۷-۱۰: مقایسه نتایج عددی برای مسأله همرفت طبیعی در فضای مربعی ($Ra=10^4$) ۳۷۸
- جدول ۷-۱۱: مقایسه هندسه و پارامترهای دینامیکی با مراجع مرتبط ۳۸۷
- جدول ۷-۱۲: مقایسه میانگین CD و St ۳۸۷

روش‌های بی‌شبکه از نوع مرزی	مفصل برای BPIM و BRPIM	خیر	MWS-RPIM	خیر	قابل کاربرد نیست
روش‌های کوپله	مفصل برای EFG/BEM, MLPG/FEM/BEM	خیر	خیر	خیر	قابل کاربرد نیست
روش هیدرودینامیک ذرات هموار	مفصل برای مسائل مکانیک سیالات	خیر	خیر	خیر	قابل کاربرد نیست
کاربردها در جامدات	جامدات یک‌بعدی و دوبعدی	خیر	جامدات یک-بعدی، دوبعدی و سه‌بعدی	تا قسمتی ارائه شده است	قابل کاربرد نیست
کاربردها در سازه‌های تیر، ورق و پوسته	بلی	خیر	خیر	خیر	قابل کاربرد نیست
کاربردها در مسائل مکانیک سیالات	مفصل برای SPH, LRPIM و MLPG	خیر	مفصل به کمک MLS	خیر	قابل کاربرد نیست
مسائل مصالح غیرخطی	بلی	خیر	خیر	خیر	قابل کاربرد نیست
مسائل با هندسه غیرخطی	خیر	قابل کاربرد نیست	مسائل‌هایی از RPIM ارائه شده است	خیر	خیر
مسائل همرفت حاکم	خیر	خیر	مفصل برای مسائل یک‌بعدی و دوبعدی با استفاده از روش‌های بی‌شبکه با شکل ضعیف-قوی	خیر	خیر
MFree2D	مفصل برای کاربرد و فنون به کار رفته	خیر	خیر	خیر	قابل کاربرد نیست

طرح کلی کتاب حاضر

فصل اول: روش‌های باقیمانده وزنی معرفی و توضیح داده می‌شوند. روش‌های عددی مختلفی که از روش باقیمانده وزنی به دست آمده‌اند معرفی می‌شوند و با استفاده از مثال‌های عددی مورد آزمایش قرار می‌گیرند. همچنین مبانی و نظریه‌های مکانیک جامدات و شکل‌های ضعیف ارائه می‌شود.

فصل دوم: مروری بر روش‌های بی‌شبکه شامل پیش‌زمینه، طبقه‌بندی‌ها و فرآیندهای پایه روش‌های بی‌شبکه ارائه می‌شوند.

فصل سوم: مبانی و نظریه‌های روش‌های درون‌یابی / تقریب برای ساخت تابع شکل به خصوص توابع شکل حداقل مربعات متحرک MLS، روش درون‌یابی نقاط PIM، حداقل مربعات وزنی WLS و روش درون‌یابی نقاط شعاعی RPIM و نوع هرمیت، به طور منظم معرفی می‌شوند. برنامه‌های مرجع محاسبه توابع شکل حداقل مربعات متحرک MLS و روش درون‌یابی نقاط شعاعی RPIM ارائه می‌شود.

فصل چهارم: فرمول‌بندی روش‌های بی‌شبکه با شکل ضعیف کلی، روش بدون المان گالرکین EFG و روش درون‌یابی نقاط شعاعی RPIM، به تفصیل ارائه می‌شود. یک برنامه مرجع استاندارد برای روش‌های درون‌یابی نقاط شعاعی RPIM و بدون المان گالرکین EFG ارائه می‌شود.

فصل پنجم: فرمول‌بندی روش‌های بی‌شبکه با شکل ضعیف محلی، پتروف-گالرکین محلی بی‌شبکه MLPG و روش درون‌یابی نقاط شعاعی محلی LRPIM، به تفصیل ارائه می‌شود. یک برنامه مرجع استاندارد برای روش درون‌یابی نقاط شعاعی محلی LRPIM ارائه می‌شود.

فصل ششم: مبانی و فرآیند روش‌های بی‌شبکه جایمند به طور منظم توضیح داده می‌شود. مسائل مربوط به پایداری و دقت روش‌های با شکل قوی به تفصیل توضیح داده می‌شود. اثرات وجود شرایط مرزی مشتق مورد سنجش قرار می‌گیرد.

فصل هفتم: روش‌های بی‌شبکه براساس ترکیب شکل ضعیف محلی و جابجند به دست می‌آیند و به طور مفصل توضیح داده می‌شوند. یک برنامه مرجع استاندارد ارائه می‌شود. کتاب حاضر برای دانشجویان سال آخر کارشناسی، دانشجویان بالاتر از کارشناسی، محققین و متخصصین علوم مهندسی به تحریر در آمده است. ممکن است که خوانندگان کتاب حاضر، دانشجویان مبتدی تا محققین متخصص یا مهندسی‌نی که علاقه‌مند به یادگیری و به‌کارگیری روش‌های بی‌شبکه برای حل مسائل خود هستند، باشند. دانستن روش اجزای محدود مورد نیاز نیست اما به فهم و درک بسیاری از موضوعات و فرایندهای روش‌های بی‌شبکه کمک می‌کند. همچنین دانش مکانیک جامدات سودمند است. برنامه‌های ارائه شده می‌توانند مؤثرترین روش برای یادگیری اساس روش‌های بی‌شبکه باشند.

سپاسگذاری

کار مؤلفین در زمینه روش‌های بی‌شبکه که در کتاب حاضر توضیح داده شده است به طور وسیعی تحت تأثیر کارهای پروفسور ت. بلیچکو^۱، پروفسور اس. ان. آتلوری^۲ و سایرین می‌باشد. بدون همکاری قابل توجه ایشان، کتاب حاضر پدید نمی‌آمد. بسیاری از همکاران و دانشجویان ما در نگارش کتاب حاضر همکاری کرده‌اند. مؤلفین این اثر می‌خواهند تشکر صمیمانه خود را به آن‌ها اعلام کنند. همچنین تشکر خالصانه خود را به ایکس-لیو^۳، وای-ال-وو^۴، کی-وای-دای^۵، ال-یان^۶، جی-وای-ژانگ^۷ و ...

¹ T. Belytschko

² S. N. Atluri

³ X. Liu

⁴ Y. L. Wu

⁵ K. Y. Dai

⁶ L. Yan

⁷ G. Y. Zhang

اعلام می‌کنیم. بسیاری از ایشان در حل مثال‌های کتاب حاضر همکاری کردند و همچنین برای اجرای تعدادی از پروژه‌های مرتبط با روش‌های بی‌شبکه در مرکز محاسبات پیشرفته در علم مهندسی^۱ زحمات فراوانی کشیدند. همچنین از وای. لیو^۲، برنارد کی^۳، جری کوئک^۴ و ... به خاطر مطالعه پیش‌نویس حجیم و ارائه نکات مفید تشکر می‌کنیم.

لازم است که از پروفسور گلدول^۵ برای ویرایش نسخه خطی تشکر شود؛ نکات و پیشنهادات مفید ایشان موجب بهبود خوانایی کتاب شده است. در پایان از دانشگاه ملی سنگاپور و A*STAR به خاطر حمایت جزئی مالی در انجام برخی از پروژه‌های تحقیقاتی انجام شده توسط مؤلفین و گروه‌های ایشان در ارتباط با موضوع این کتاب تشکر می‌شود.

جی. آر. لیو^۶

وای. تی. جو^۷

^۱ Advanced Computations in Engineering Science (ACES)

^۲ Y. Liu

^۳ Bernard Kee

^۴ Jerry Quek

^۵ Gladwell

^۶ G. R. Liu

^۷ Y. T. Gu