

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

جریان سیال لزج

تالیف:

تاسوس پاپاناستاسیو

جورجیوس جورجیو

(گروه ریاضی و آمار دانشگاه قبرس)

آندریاس الکساندرو

(گروه مهندسی مکانیک پلی تکنیک ورچستر)

ترجمه:

دکتر علیرضا تیمورتاش

مهندس محمد خاوری

سرشناسه	پاپاناستاسیو، تاسوس سی. - ۱۹۹۴ م.
عنوان و نام پدیدآور	جریان سیال لزج/تالیف تاسوس پاپاناستاسیو، جورجیوس جورجیو، آندریاس الکساندرو؛ ترجمه علیرضا تیمورتاش، محمد خاوری.
مشخصات نشر	مشهد: نما: جهان فردا، ۱۳۸۸.
مشخصات ظاهری	۳۲۰ ص.
شابک	978-600-5068-68-9
وضعیت فهرست نویسی	قیفا
یادداشت	عنوان اصلی: flow Viscous fluid.
یادداشت	واژه نامه.
موضوع	جریان سیال گرانشی
شناسه افزوده	کنورکیو، کنورکیوس سی.
شناسه افزوده	Georgiou, Georgios C.
شناسه افزوده	آلکساندرو، آندریاس ان.
شناسه افزوده	Alexandrou, Andreas N.
شناسه افزوده	تیمورتاش، علیرضا، ۱۳۳۶ -، مترجم
شناسه افزوده	خاوری، محمد، ۱۳۵۲ -، مترجم
رده بندی کنگره	۱۳۸۸ ج۲/پ۲/۹۴۹ QA
رده بندی دیویی	۵۳۳/۰۵۳۲
شماره کتابشناسی ملی	۱۹۶۴۱۲۵



انتشارات نما، مشهد، تلفن ۸۴۰۷۹۹۵ - تهران، تلفن ۶۶۴۶۴۵۹۳

http://www.namapub.ir E-mail: info@namapub.ir

نام کتاب: جریان سیال لزج

نویسنده: تاسوس پاپاناستاسیو، جورجیوس جورجیو، آندریاس الکساندرو

ترجمه: دکتر علیرضا تیمورتاش، مهندس محمد خاوری

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

چاپ اول ۱۳۸۹ - ۳۲۰ صفحه وزیری

چاپ و صحافی: دانشگاه فردوسی

قیمت: ۷۰۰۰ تومان

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۵۰۶۸-۶۸-۹

حق چاپ محفوظ است

مرکز پخش: تهران - انقلاب، خیابان اردیبهشت - کوچه وحید شماره ۷ تلفاکس ۶۶۴۶۴۵۹۳
فروشگاه شعبه دانشگاه آزاد: مشهد - قاسم آباد - استاد یوسفی ۱۷ - کتاب جهان نما تلفاکس ۶۶۲۸۲۲۵

فهرست مطالب

۷	
۸	مقدمه مترجمین
	مقدمه مولفین
۱۳	فصل اول - ریاضیات بردار و تانسور
۱۷	۱-۱ دستگاه‌های مختصات
۲۳	۱-۲ بردارها
۲۵	۱-۲-۱ بردارها در مکانیک سیالات
۲۸	۱-۲-۲ بردارهای یک‌جهته مماسی و عمودی
۳۱	۱-۳ تانسورها
۳۸	۱-۳-۱ جهات اصلی و ثابت‌ها
۴۳	۱-۳-۲ نمایش شاخصی و جمع قراردادی
۴۴	۱-۳-۳ تانسورها در مکانیک سیالات
۴۹	۱-۴ عملگرهای دیفرانسیلی
۵۸	۱-۴-۱ مشتق مادی
۵۹	۱-۵ قضیه‌های انتگرالی
۶۵	۱-۶ مسائل
۶۹	۱-۷ مراجع
۷۱	فصل دوم - مقدمه‌ای بر سیال پیوسته
۷۱	۲-۱ خواص سیال پیوسته
۷۷	۲-۲ تعادل میکروسکوپی و ماکروسکوپی
۸۲	۲-۳ سینماتیک محلی سیال
۸۶	۲-۴ حرکت‌های اولیه سیال
۹۶	۲-۵ مسائل

۹۸ ۲-۶ مراجع

۹۹ فصل سوم - قوانین بقاء

۹۹ ۳-۱ حجم کنترل و محیط اطراف

۱۰۱ ۳-۲ معادلات عمومی بقاء

۱۰۶ ۳-۳ شکل دیفرانسیلی معادلات بقاء

۱۱۱ ۳-۴ مسائل

۱۱۳ ۳-۵ مراجع

۱۱۵ فصل چهارم - تعادل استاتیکی سیالات و سطوح مشترک

۱۱۶ ۴-۱ مکانیک تعادل استاتیکی

۱۲۴ ۴-۲ مکانیک سطوح مشترک سیالات

۱۲۵ ۴-۲-۱ سطوح مشترک در تعادل استاتیکی

۱۳۲ ۴-۳ مسائل

۱۳۶ ۴-۴ مراجع

۱۳۷ فصل پنجم - معادلات ناویر-استوکس

۱۳۸ ۵-۱ مایع نیوتنی

۱۴۳ ۵-۲ شکل های دیگر معادلات ناویر-استوکس

۱۴۶ ۵-۳ شرایط مرزی

۱۵۰ ۵-۴ مسائل

۱۵۲ ۵-۵ مراجع

۱۵۳ فصل ششم - جریان های تک جهته

۱۵۴ ۶-۱ جریان های پایدار مستقیم یک بعدی

۱۶۶ ۶-۲ جریان های پایدار مستقیم با تقارن محوری

۱۷۴ ۶-۳ جریان های پایدار پیچشی با تقارن محوری

۱۸۲ ۶-۴ جریان های پایدار شعاعی با تقارن محوری

- ۶-۵ جریان‌های پایدار شعاعی و از نظر کروی متقارن ۱۸۳
- ۶-۶ جریان‌های تک‌جهته، یک‌بعدی و گذرا ۱۸۶
- ۶-۷ جریان‌های مستقیم و پایدار دوبعدی ۲۰۱
- ۶-۸ مسائل ۲۰۸
- ۶-۹ مراجع ۲۱۴

فصل هفتم - روش‌های تقریبی

- ۷-۱ تحلیل ابعادی ۲۱۵
- ۷-۱-۱ بی‌بعدسازی معادلات حاکم ۲۱۷
- ۷-۲ روش‌های پرتوریشن ۲۲۱
- ۷-۲-۱ پرتوریشن عادی ۲۲۲
- ۷-۲-۲ پرتوریشن تکین ۲۲۵
- ۷-۳ روش‌های پرتوریشن در مکانیک سیالات ۲۲۹
- ۷-۴ مسائل ۲۳۲
- ۷-۵ مراجع ۲۳۳

فصل هشتم - جریان‌های لایه مرزی آرام

- ۸-۱ جریان لایه مرزی ۲۳۵
- ۸-۲ معادلات لایه مرزی ۲۳۷
- ۸-۳ تئوری تقریبی انتگرالی مومنتوم ۲۴۱
- ۸-۴ لایه مرزی در جریان پتانسیل با شتاب افزاینده ۲۴۷
- ۸-۵ جریان در اطراف اجسام صفحه‌ای غیرباریک ۲۵۰
- ۸-۶ لایه‌های مرزی چرخشی ۲۵۱
- ۸-۷ مسائل ۲۵۳
- ۸-۸ مراجع ۲۵۵

فصل نهم - جریان‌های تقریباً تک‌جهته

- ۹-۱ جریان‌های روغن کاری ۲۵۸

۲۵۸	۹-۱-۱ جریان روغن کاری در مقابل جریان مستقیم
۲۶۰	۹-۱-۲ استخراج معادلات روغن کاری
۲۶۱	۹-۱-۳ معادله رینولدز برای روغن کاری
۲۶۵	۹-۱-۴ جریان‌های روغن کاری در دو جهت
۲۷۲	۹-۲ جریان‌های کششی
۲۷۳	۹-۲-۱ تولید رشته یا فیبر
۲۷۶	۹-۲-۲ قالب‌گیری فشاری
۲۸۱	۹-۳ مسائل
۲۸۸	۹-۴ مراجع

فصل دهم - جریان‌های دوجته خزشی

۲۸۹	۱۰-۱ جریان‌های صفحه‌ای در مختصات قطبی
۲۹۱	۱۰-۲ جریان با تقارن محوری در مختصات استوانه‌ای
۲۹۸	۱۰-۳ جریان با تقارن محوری در مختصات کروی
۳۰۱	۱۰-۴ مسائل
۳۰۷	۱۰-۵ مراجع

۳۱۳	نمادها
۳۱۷	واژه‌نامه

مقدمه مترجمین

این کتاب از جمله منابعی است که در زمینه دینامیک سیالات لزج نوشته شده است، اما وجه تمایز در آنجاست که نویسندگان با یک دیدگاه کلی و هدفمند مبتنی بر مفاهیم مکانیک محیط‌های پیوسته و استفاده از ریاضیات بردار و تانسور به ارائه مباحث مختلف جریان سیال لزج پرداخته و ادراک جدیدتری از مکانیک سیالات را ارائه نموده‌اند. همچنین به منظور تفهیم بهتر مطالب، مثال‌های متنوعی گردآوری نموده و برای نشان دادن جنبه‌های کاربردی، در پایان هر فصل مسائل متعددی طرح نموده‌اند.

پس از بررسی طولانی و بر اساس تجربه چند ساله در امر تدریس مکانیک سیالات و مکانیک محیط‌های پیوسته، نظر به روش سیستماتیک مولفان در کاربرد اصول ریاضی برای توجیه و تفسیر منطقی پدیده‌های جریان سیال، ترجمه این کتاب را مفید تشخیص داده و معتقدیم که دانشجویان سال آخر کارشناسی مهندسی مکانیک، شیمی و دانشجویان کارشناسی ارشد تبدیل انرژی، به خصوص دانشجویان دروس مکانیک سیالات پیشرفته و مکانیک محیط‌های پیوسته، این کتاب را جذاب تشخیص خواهند داد.

با وجود تلاشی که برای حفظ امانت در برگرداندن کتاب به فارسی رعایت شده است، شاید ترجمه حالی از لغزش نباشد، لذا از کلیه همکاران ارجمند، متخصصین گرامی و دانشجویان عزیز که نکات اصلاحی را به مترجمین منعکس خواهند کرد، پیشاپیش تشکر و سپاسگزاری می‌نماییم. در خاتمه از همکاری دوست گرانقدر جناب آقای مهندس رضا جوانمخت که در امر آماده‌سازی کتاب حوصله و کوشش وافر مبذول داشتند سپاسگزاری نموده و بدین وسیله از ایشان صمیمانه قدردانی می‌گردد.

دکتر علیرضا تیمورتاش

مهندس محمد حاوری

پاییز ۱۳۸۸

مقدمه مولفین

پیش نویس اصلی این کتاب توسط مرحوم پروفیسور تاسوس پاپاناستاسیو^۱ آماده شده بود، ولی پس از درگذشت ایشان در سال ۱۹۹۴ مسئولیت تکمیل و انتشار آن را بر عهده گرفتیم. در ویرایش و تکمیل نسخه نهایی همواره تلاش بر آن بوده است که دیدگاه اصلی پروفیسور پاپاناستاسیو در متن کتاب حفظ شود. با این حال، بخشهایی از کتاب بازبینی و بازنویسی شده اند تا اهداف کتاب را که برای دروس سال های آخر دوره کارشناسی و نیز دوره کارشناسی ارشد تهیه شده، برآورده سازند.

اهداف علمی کتاب شامل دو قسمت است: الف) توسعه و تبیین ریاضیات جریان سیال لزج با استفاده از اصول اساسی مانند بقای جرم و مومنتوم و معادلات بنیادی و ب) نشان دادن کاربرد سیستماتیک این اصول در جریان های سیال و دیگر کاربردها. اصل بقاء جرم یا معادله پیوستگی در واقع بیان ریاضی این عبارت است که «جرم نه می تواند تولید شود و نه از بین برود.» معادله بقاء مومنتوم نیز بیان ریاضی قانون دوم نیوتن است که «اثر نیروها موجب تغییر مومنتوم و در نتیجه شتاب می نهد.» معادله بنیادی مربوط به ساختار مولکولی محیط پیوسته بوده و توصیف کننده حالت ماده تحت تنش می باشد. در تعادل استاتیکی، این حالت با فشار و در جریان ها با فشار و نرخ تغییر فرم نسبی به خوبی توصیف می شود.

این کتاب به بررسی مفصل جریان سیالات نیوتنی، یعنی سیالاتی که از قانون لزجت نیوتن پیروی می کنند می پردازد. قانون لزجت نیوتن بیان می دارد که «تنش ناشی از لزجت متناسب با گرادیان سرعت است که ثابت تناسب همان لزجت می باشد.» البته در فصول ۲ و ۴ نیز به بررسی اجمالی بعضی از ابعاد جریان های غیر نیوتنی می پردازیم.

فصل ۱ با عنوان «ریاضیات بردار و تانسور» پیش نیاز لازم برای مطالعه مکانیک سیالات شامل تئوری بردارها و تانسورها و عملیات مربوط به آن ها را فراهم می آورد. در این فصل بردارها و تانسورهای مهم و پرکاربرد در مکانیک سیالات مانند موقعیت، سرعت، شتاب، مومنتوم، چرخش، تنش و قضیه های انتگرالی ریاضیات بردار و تانسور، یعنی گاوس، استوکس و قضیه انتقال رینولدز مورد بحث قرار می گیرند. از این قضایا در فصول بعدی نیز به منظور استخراج معادلات بقاء استفاده می شود. معمولاً برای ارائه مطالب فصل ۱ به ۶ تا ۷ جلسه نیاز است.

در فصل ۲ با عنوان «مقدمه ای بر سیال پیوسته» تقریب زدن سیال بصورت محیطی پیوسته به جای یک محیط مولکولی ناپیوسته بررسی می شود. همچنین خواص مربوط به مواد پیوسته مانند چگالی، جرم، حجم، مومنتوم خطی و زاویه ای، لزجت، لزجت سینماتیکی، نیروهای جسمی و تماسی، فشار مکانیکی و کشش سطحی مورد بحث قرار خواهند گرفت. همچنین مفهوم حجم کنترل معرفی شده و از ترکیب آن با قضایای انتگرالی و عملگرهای دیفرانسیلی فصل ۱ برای استخراج معادلات بقاء میکروسکوپی و ماکروسکوپی استفاده می شود. همچنین حرکت ذرات سیال با استفاده از دیدگاه های لاگرانژ و اویلر بطور جداگانه مورد بحث قرار می گیرد. فصل ۲ با بررسی سینماتیک محلی در اطراف یک ذره سیال مربوط به توسعه و انتشار تنش، کرنش و نرخ کرنش به پایان می رسد. ارائه مطالب فصل ۲ حدود ۲ تا ۳ جلسه زمان می برد.

فصل ۳ با عنوان «قوانین بقاء» با استفاده از عملگرهای دیفرانسیلی فصل ۱ و اصول بقاء و حجم کنترل فصل ۲ به توسعه معادله عمومی انتگرالی بقاء می پردازد. این معادله در ابتدا با استفاده از قضیه گاوس به شکل دیفرانسیلی تبدیل می شود. سپس معادله مذکور اختصاصی شده تا معادلات بقاء جرم، مومنتوم، انرژی و حرارت را نتیجه دهد. معادلات بقاء مومنتوم بر حسب

1 Tasos Papanastasiou

تنش‌ها بیان می‌شوند که نشان می‌دهند این معادلات برای هر نوع سیالی صادق هستند (حالت ویژه این معادلات برای سیالات نیوتنی تراکم‌ناپذیر که هدف اصلی و اولیه این کتاب است، در فصل ۵ مورد بررسی قرار می‌گیرد). برای ارائه فصل ۳ نیز به ۲ تا ۳ جلسه نیاز است.

فصل ۴ با عنوان «تبادل استاتیکی سیالات و سطوح مشترک» به بررسی کاربرد اصول بقا در غیاب جریان نسبی می‌پردازد. معادله عمومی هیدرواستاتیک تحت انتقال و دوران سیال به گونه جسم صلب برای یک سیال منفرد در میدان‌های جاذبه و گریز از مرکز استخراج می‌شود. سپس با اعمال معادله عمومی هیدرواستاتیک به سیال یاروتروپیک و دیگر سیالات، معادلاتی مانند معادله برنولی و اصل شناوری ارسمیدس در سیالات بدست می‌آیند. بخش دوم فصل به بررسی مایعات مخلوط نائشدنی در طول سطوح مشترک تحت شرایط تبادل استاتیکی می‌پردازد. شرایط مرزی سطح مشترک تنش برشی و عمودی بر حسب خواص حجمی سیالات و نیز کشش و انحنای سطح مشترک استخراج می‌شوند. برای محاسبه آرایش‌ها و شکل‌های سطح مشترک در تبادل استاتیکی از معادله یتگ - لاپلاس استفاده می‌شود. حدوداً با ۴ تا ۵ جلسه می‌توان مطالب فصل ۴ را ارائه نمود.

فصل ۵ با عنوان «معادلات ناویر-استوکس» با معرفی مفهوم معادلات بنیادی بر مبنای مکانیک محیط‌های پیوسته آغاز می‌شود. سپس با ساده‌سازی معادله بنیادی و عمومی استوکس به سیالات نیوتنی می‌پردازد. همچنین شکل‌های جایگزین معادلات ناویر-استوکس مورد بررسی قرار می‌گیرند. دینامیک تولید، تشدید، جنبجایی و بخش چرخش که مستقیماً به فیزیک جریان مربوط می‌شوند مورد بحث قرار می‌گیرند؛ ضمناً مفاهیم جریان غیرچرخشی، جریان بتانسیل، دوران محلی به گونه جسم صلب و گردش مطرح می‌شوند و اشاره می‌گردد که این مفاهیم با استفاده از معادلات جریان غیرلایز برنولی و اوایلر، قفسیه گردش استوکس و اصل بقا، کلوین فرمول بندی شده و به هم مربوط می‌شوند. همچنین شرایط اولیه و مرزی لازم برای حل معادلات ناویر-استوکس مورد بحث قرار می‌گیرند. با اتمام فصل ۵ بخش مربوط به توسعه و بحث در مورد اصول اساسی کتاب به پایان می‌رسد. ارائه فصل ۵ در ۳ تا ۴ جلسه صورت می‌گیرد.

بخش کاربردی کتاب در فصل ۶ با عنوان «جریان‌های تک‌جهته» آغاز می‌شود و آن دسته از جریان‌های تک‌جهته بایدار و همچنین گذرا که بطور تحلیلی قابل حل می‌باشند، مورد بحث قرار می‌گیرند. در ابتدا ۵ دسته از جریان‌های نیوتنی تراکم‌ناپذیر، تک‌جهته و بایدار که در آن‌ها مؤلفه مجهول سرعت تنها تابعی از یک متغیر فضایی است، به شرح زیر تحلیل می‌شوند: الف) جریان پایدار مستقیم یک بعدی؛ ب) جریان پایدار مستقیم با تقارن محوری؛ ج) جریان پایدار پیچشی با تقارن محوری؛ د) جریان پایدار شعاعی با تقارن محوری و ه) جریان پایدار شعاعی با تقارن کروی. در تمام جریان‌های فوق، مسئله جریان به یک معادله دیفرانسیل معمولی (ODE) با شرایط مرزی مناسب تبدیل می‌شود. این معادله دیفرانسیل معمولی در سه دسته اول، از معادله بقاء مومنوم و در دو دسته آخر از معادله بقاء جرم بدست می‌آیند. سپس به بررسی دو دسته از جریان‌های تک‌جهته که در آن‌ها مؤلفه مجهول سرعت تابعی از دو متغیر مستقل است، شامل جریان تک‌جهته یک بعدی گذرا و جریان پایدار مستقیم دوبعدی می‌پردازیم. در این مسائل معادله بقاء مومنوم به یک معادله دیفرانسیل با مشتق جزئی (PDE) تبدیل می‌شود که باید با استفاده از شرایط مرزی و اولیه مناسب حل شود. برای این کار از روش‌هایی مثل تفکیک متغیرها و روش تشابهی می‌توان استفاده کرد. در این فصل مثال‌هایی نیز ارائه شده‌اند که از آن جمله می‌توان به جریان بوازی و کونت پایدار و گذرا؛ جریان لایه سیال روی یک صفحه سیبدار یا یک استوانه عمودی؛ جریان بین استوانه‌های دوار؛ رشد حباب؛ جریان در نزدیکی یک صفحه که ناگهان به حرکت در می‌آید؛ جریان بوازی پایدار در کانال‌هایی با مقطع مثلثی، مستطیلی، بیضی و غیره اشاره کرد. در ۶ تا ۷ جلسه می‌توان فصل ۶ را ارائه کرد.

فصل ۷ با عنوان «روش‌های تقریبی» به معرفی تحلیل ابعادی و مرتبه می‌پردازد. سپس با استفاده از روش‌های پرتوربیشن غادی و نکین به حل تقریبی جریان‌ها در حالت حدی پارامترهای کلیدی مانند اعداد رینولدز، استوکس و موینگی و همچنین نسبت ظرافت‌های هندسی اقدام می‌کند. این فصل با بحث مختصری در مورد مهمترین کاربردهای روش پرتوربیشن در مکانیک سیالات که موضوع فصل‌های بعد خواهد بود، به پایان می‌رسد. در ۳ تا ۴ جلسه این فصل قابل ارائه است.

فصل ۸ با عنوان «جریان‌های لایه مرزی آرام» به بررسی جریان‌های آرام در هندسه‌های غیرمعمول و روی اجسام

عوطه ور می‌پردازد. جریان‌ها به صورت جریان های پتانسیل دور از مرزهای صلب و جریان های لایه مرزی در نزدیکی مرزهای صلب تفکیک و مشخص می‌شوند. با توسعه معادلات لایه مرزی با استفاده از تابع جریان، حل های دقیق با استفاده از تحلیل های بلازیوس و زاکیادس و نیز حل های تقریبی اما به اندازه کافی دقیق، به روش تحلیل فون کارمن بررسی می‌شوند. همچنین جریان های لایه مرزی دوار و نقطه سکون مورد بررسی قرار می‌گیرند. در ۳ تا ۴ جلسه فصل ۸ را می‌توان ارائه کرد. فصل ۹ با عنوان «جریان های تقریباً تک جهته» به بررسی جریان های فیلم نازک سیال و روغن کاری می‌پردازد. مسائل معمولی روغن کاری مثل روغن کاری سیلندر- پیستونی، روغن کاری یاتاقان های ژورنال و جریان در لوله‌ها و کانال های تقریباً مستقیم در این فصل مورد بررسی قرار می‌گیرند. همچنین جریان های نازک تحت اثر ترکیبی نزجیت، جاذبه و کشش سطحی نیز در این فصل تحلیل می‌گردند. معادلات انتگرالی جرم و مومنتوم، معادله روغن کاری رینولدز را نتیجه می‌دهند که ضخامت فیلم یا عرض مجرا را به توزیع فشار بر حسب عدد موینگی و استوکس و نسبت ظرافت مربوط می‌کند. با حل معادله رینولدز در جریان های محصور شده، توزیع فشار و تنش برشی که مستقیماً بر ظرفیت بار، اصطکاک و ساییدگی تأثیر گذارند، بدست می‌آیند. از حل معادله رینولدز در جریان های لایه نازک سیال - که در آنها گرادیان فشار به فشار خارجی، کشش سطحی و انحنای سطح مربوط است- شکل سطح آزاد و ضخامت نهایی لایه حاصل می‌شود. همچنین جریان های کششی مانند آنچه که در تولید الیاف، تزریق صفحات و لایه های نازک رایج است، توسط تقریب تیر نازک تحلیل می‌شوند تا بدینوسیله پروفیل سطح آزاد و ضخامت نهایی فیلم یا قطر رشته بدست آید. فصل ۹ تا ۳ با حدود ۳ تا ۴ جلسه می‌تواند ارائه شود. در فصل ۱۰ با عنوان «جریان های دو جهته خزشی» جریان های کندی که در آنها نیروهای ناشی از لزجت غالبند و یا جریان هایی که با عدد رینولدز پایین مشخص می‌شوند، مورد بررسی قرار می‌گیرند. در حالت حدی عدد رینولدز صفر، معادلات جریان اصطلاحاً به معادلات استوکس تبدیل می‌شوند. جریان استوکس با معرفی تابع جریان مورد مطالعه قرار می‌گیرد که با استفاده از آن سیستم معادلات بقاء حاکم به یک معادله دیفرانسیل با مشتق جزئی مرتبه چهار تبدیل می‌شود. همچنین نمونه هایی از جریان خزشی مانند جریان در نزدیکی یک کنج و جریان در اطراف یک کره به طور مفصل مورد بررسی قرار خواهند گرفت. در ۲ تا ۳ جلسه می‌توان فصل ۱۰ را ارائه کرد.

تمام فصول کتاب دارای مسائل متنوعی هستند و از دانشجو انتظار می‌رود که با صرف زمان کافی و مناسب به درک فیزیکی مسائل، فرمول بندی ریاضی آن ها، مشخص کردن فرضیات، تقریب ها، حل مسئله و ارزیابی نتایج ضمن مقایسه با احساس فیزیکی، داده های تجربی و دیگر تحلیل ها اهتمام ورزد.

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از همکاران و دوستان خود دکتر آدونیادس^۱، پروفیسور بودوویس^۲، دکتر فایریلاس^۳، پروفیسور کاراگئورگیس^۴، دکتر پاپاناستاسیو^۵، دکتر پولیکاس^۶، دکتر سایریمیس^۷ و پروفیسور تساموپولوس^۸ که با مطالعه فصول مختلف کتاب، پیشنهادات سازنده ای ارائه نموده اند، تشکر و قدردانی نمایند.

جورجیوس جورجیو، اندریاس الکساندرو

ورچستر - جولای ۱۹۹۹

1 Dr. N. Adoniades (Greek Telecommunications Organization)

2 Prof. A. Boudouvis (NTU, Athens)

3 Dr. M. Fyrillas (University of California, San Diego)

4 Prof. A. Karageorghis (University of Cyprus)

5 Dr. P. Papanastasiou (Schlumberger Cambridge Research)

6 Dr. A. Poulikkas (Electricity Authority of Cyprus)

7 Dr. M. Syrimis (University of Cyprus)

8 Prof. J. Tsamopoulos (University of Patras)

متن قدردانی مرحوم پروفسور تاسوس پاپاناستاسیو به شرح زیر است:

«مایلم از تمام افرادی که به طور مستقیم و غیرمستقیم در آماده‌سازی این کتاب یاری‌ام کردند، سیاست‌گذاری نمایم؛ معلم مدرسه ابتدایی‌ام؛ جورج ماراثتیس^۱، معلم فیزیک دبیرستان؛ آندریاس استایلیانیدیس^۲، استاد مکانیک سیالات در دوره کارشناسی؛ نیکولائوس کوموتسوس^۳ و استادان مکانیک سیالات در دوره کارشناسی ارشد؛ پروفسور اسکریون^۴ و ماکاسکو^۵ در مینسوتا. همچنین از دانشجویان مکانیک سیالات در دوره کارشناسی ارشد سال‌های ۸۹-۱۹۸۷ در دانشگاه میشیگان و دانشجویانم در گروه تحقیقات؛ پروفسور آندریاس الکساندرو^۶، پروفسور رز وسون^۷، جو گرین^۸، دکتر نیک مالاماتاریس^۹، دکتر کوین الوود^{۱۰}، دکتر آنتورکار^{۱۱} و دکتر مهدی علائی^{۱۲} تشکر می‌نمایم. در انتها نیز از خانم پائولا بوزلی^{۱۳} به خاطر تلاش‌های بی‌وقفه‌اش در تکمیل متن و تصاویر کتاب و همچنین دیگر خوانندگانی که پیشنهادات سازنده‌شان در بهبود کتاب بسیار مفید بود، سیاست‌گذاری و قدردانی می‌کنم.»

تاسوس پاپاناستاسیو

تسالونیکی - مارس ۱۹۹۴

1 George Marathellis

2 Andreas Stylianidis

3 Nicolaos Koutmoutsos

4 Prof. L. E. Scriven

5 C. W. Macosko

6 Prof. Andreas Alexandrou (Worcester Polytechnic Institute)

7 Prof. Rose Wesson (LSU)

8 Joe Greene (General Motors)

9 Dr. Nick Malamataris (Greece)

10 Dr. Kevin Ellwood (Ford Motor Company)

11 Dr. N. Anturkar (Ford Motor Company)

12 Dr. Mehdi Alaie (Iran)

13 Paula Bousley (Dixboro Designs)