



## دینامیک گازها

انتشارات  
۷۲۹

دکتر احسان روحی گل خطمی  
عضو هیئت علمی دانشگاه فردوسی مشهد

سرشناسه:	روحی گل خطمی، احسان، ۱۳۶۱-
عنوان و نام پدیدآور:	دینامیک گازها/ پدیدآورنده احسان روحی؛ ویراستار علمی سیدمحمدرضا مدرس رضوی.
مشخصات نشر:	مشهد: دانشگاه فردوسی مشهد، انتشارات ۱۳۹۸.
مشخصات ظاهری:	۴۸۰ ص. مصور (بخشی رنگی)، جدول.
فروست:	انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد؛ شماره ۷۲۹.
شابک:	ISBN: 978-964-386-404-0
وضعیت فهرست نویسی:	فیبیا.
یادداشت:	کتابنامه: ص. [۴۷۵]. نمایه
موضوع:	گازها -- دینامیک -- راهنمای آموزشی (عالی)
موضوع:	Gas dynamics -- Study and teaching (Higher)
موضوع:	گازها -- دینامیک -- مسائل، تمرینها و غیره (عالی)
موضوع:	Gas dynamics-- Problems, exercises, etc.(Higher)
موضوع:	گازها -- دینامیک
موضوع:	Gas dynamics
شناسه افزوده:	مدرس رضوی، محمدرضا، ۱۳۲۶ - ، ویراستار
شناسه افزوده:	دانشگاه فردوسی مشهد.
رده بندی کنگره:	QC ۱۶۸/۴
رده بندی دیویی:	۵۳۳/۲۰۷۶
شماره کتابشناسی ملی:	۵۷۲۹۰۶۱

## دینامیک گازها



پدیدآورنده: دکتر احسان روحی گل خطمی  
 ویراستار علمی: دکتر سید محمدرضا مدرس رضوی  
 مشخصات: وزیری، ۲۵۰ نسخه، چاپ اول، تابستان ۱۳۹۸  
 چاپ و صحافی: چاپخانه دانشگاه فردوسی مشهد  
 بها: ۵۵۰/۰۰۰ ریال  
 حق چاپ برای انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد محفوظ است.

### مراکز پخش:

**فروشگاه و نمایندگان کتاب پردیس:** مشهد، میدان آزادی، دانشگاه فردوسی مشهد، جنب سلف یاس تلفن: ۳۸۸۳۳۷۲۷ (۰۵۱)  
**مؤسسه کتابیران:** تهران، خیابان کارگر جنوبی، خیابان لبافی نژاد، بین خیابان فروردین و اردیبهشت، شماره ۲۳۸ تلفن: ۶۶۴۹۴۴۰۹-۶۶۴۸۴۷۱۵ (۰۲۱)  
**مؤسسه دانشسیران:** تهران، خیابان انقلاب، خیابان منیری جاوید (اردیبهشت) نبش خیابان نظری، شماره ۱۴۲ تلفکس: ۶۶۴۰۰۲۲۰-۶۶۴۰۰۱۴۴ (۰۲۱)

<http://press.um.ac.ir>

Email: [press@um.ac.ir](mailto:press@um.ac.ir)

تقدیم به پدر و مادرم

تقدیم به همسرم

Press.um.ac.ir

## فهرست

پیشگفتار.....	۱۱
<b>فصل ۱. معرفی جریان تراکم‌پذیر و مفاهیم پایه.....</b>	<b>۱۵</b>
۱-۱ مفهوم تراکم‌پذیری.....	۱۵
۲-۱ تعریف جریان تراکم‌پذیر.....	۱۶
۳-۱ رژیم‌های سیال.....	۲۰
۴-۱ مروری بر ترمودینامیک پایه.....	۲۲
۱-۴-۱ گاز کامل.....	۲۳
۲-۴-۱ انرژی داخلی و آنتالپی.....	۲۴
۳-۴-۱ قانون اول ترمودینامیک.....	۲۵
۴-۴-۱ قانون دوم ترمودینامیک و آنتروپی.....	۲۵
۵-۴-۱ محاسبه تغییرات آنتروپی.....	۲۷
۶-۴-۱ روابط آیزنتروپیک.....	۲۷
تمرین‌های فصل اول.....	۲۹
<b>فصل ۲. معادلات بقا برای جریان‌های غیرلزج.....</b>	<b>۳۳</b>
۱-۲ مقدمه.....	۳۳
۲-۲ معادله پیوستگی.....	۳۳
۱-۲-۲ بیان انتگرالی معادله پیوستگی.....	۳۳
۱-۲-۲ بیان دیفرانسیلی معادله پیوستگی.....	۳۵
۳-۲ معادله ممتنم.....	۳۶
۱-۳-۲ بیان انتگرالی معادله ممتنم.....	۳۶
۲-۳-۲ بیان دیفرانسیلی معادله ممتنم.....	۳۷
۴-۲ معادله انرژی.....	۳۹
۱-۴-۲ بیان انتگرالی معادله انرژی.....	۳۹
۲-۴-۲ بیان دیفرانسیلی معادله انرژی.....	۴۱
۵-۲ مشتق اساسی.....	۴۲

- ۴۴..... ۶-۲ معادلات بقا برحسب مشتق اساسی.....  
 ۴۶..... ۷-۲ شکل برداری و برداری ماتریسی معادلات بقا.....  
 ۴۸..... تمرین های فصل دوم.....

**فصل ۳. تحلیل موج ضربه ای قائم.....**

- ۵۱..... ۳-۱ استخراج رابطه سرعت صوت.....  
 ۵۳..... ۳-۲ منبع صوتی ساکن.....  
 ۵۴..... ۳-۳ منبع متحرک با شرایط صوت  $a < \text{منبع } V$  (عدد ماخ  $0/5$ ).....  
 ۵۴..... ۳-۴ منبع متحرک با سرعت صوت  $a = \text{منبع } V$  (عدد ماخ  $1$ ، شکستن دیوار صوتی).....  
 ۵۵..... ۳-۵ منبع متحرک با صوت  $a > \text{منبع } V$  (عدد ماخ  $2$  - مافوق صوت).....  
 ۵۶..... ۳-۶ امواج ضربه ای.....  
 ۵۷..... ۳-۷ موج ضربه ای قائم.....  
 ۵۷..... ۳-۷-۱ استخراج روابط موج ضربه ای قائم.....  
 ۶۳..... ۳-۸ تغییر آنتروپی بر اثر موج ضربه ای.....  
 ۶۷..... ۳-۹ رابطه زنکین هوگونیو.....  
 ۷۰..... ۳-۱۰ تغییرات آنتروپی بر اساس رابطه زنکین هوگونیو.....  
 ۷۴..... تمرین های فصل سوم.....

**فصل ۴. جریان یک بعدی با انتقال حرارت (جریان ریلی).....**

- ۷۹..... ۴-۱ مقدمه.....  
 ۷۹..... ۴-۲ جریان یک بعدی با انتقال حرارت.....  
 ۸۰..... ۴-۳ معادلات بقا.....  
 ۸۱..... ۴-۴ محاسبه نسبت خواص جریان برحسب عدد ماخ.....  
 ۸۴..... ۴-۵ فلوچارت حل مسائل جریان ریلی.....  
 ۹۰..... ۴-۶ بررسی حالت های مختلف انتقال گرما به جریان ریلی.....  
 ۹۷..... تمرین های فصل چهارم.....

**فصل ۵. جریان یک بعدی با اصطکاک (جریان فانو).....**

- ۹۹..... ۵-۱ مقدمه.....  
 ۹۹..... ۵-۲ جریان یک بعدی با اصطکاک.....  
 ۹۹..... ۵-۳ معادلات بقا.....  
 ۱۰۱..... ۵-۴ معادله منتهم برحسب عدد ماخ.....  
 ۱۰۴..... ۵-۵ روش تحلیل جریان فانو.....

۱۰۴	۶-۵ روش حل مسائل جریان با اصطکاک (فانو).....
۱۰۶	۷-۵ فلوجارت حل مسائل جریان فانو.....
۱۰۶	۸-۵ تأثیر اصطکاک بر خواص جریان فانو.....
۱۰۸	۹-۵ منحنی فانو.....
۱۱۱	۱۰-۵ جریان فانو با طول بیشتر از طول خفگی ( $4fLD > 4fL*D$ ).....
۱۱۹	تمرین‌های فصل پنجم.....
۱۲۱	<b>فصل ۶. امواج ضربه‌ای مایل و امواج انبساطی.....</b>
۱۲۱	۱-۶ مقدمه.....
۱۲۴	۲-۶ تحلیل موج ضربه‌ای مایل.....
۱۲۴	۱-۲-۶ معادله پیوستگی.....
۱۲۵	۲-۲-۶ معادله ممتنم.....
۱۲۶	۳-۲-۶ معادله انرژی.....
۱۲۸	۳-۶ محاسبه رابطه $\beta, \theta, M$ .....
۱۳۰	۱-۳-۶ نکات مربوط به نمودار $\beta-\theta-M$ .....
۱۳۴	۴-۶ موج ضربه‌ای انعکاسی از دیواره.....
۱۳۴	۵-۶ برخورد امواج ضربه‌ای از خانواده‌های مخالف.....
۱۳۶	۶-۶ برخورد امواج ضربه‌ای هم‌نوع.....
۱۳۷	۷-۶ موج ضربه‌ای جداشده در یک نوک پخ.....
۱۳۸	۸-۶ امواج انبساطی پیرانتل - مایر.....
۱۳۹	۱-۸-۶ نحوه یافتن عدد ماخ پایین دست موج انبساطی ( $M2$ ).....
۱۴۴	۹-۶ صفحه هدوگراف نمودار موج ضربه‌ای قطبی، نمودار فشار - انحراف و انواع انعکاس امواج ضربه‌ای.....
۱۴۴	۱-۹-۶ صفحه هدوگراف.....
۱۴۷	۲-۹-۶ روابط تحلیلی نمودار موج ضربه‌ای قطبی.....
۱۴۸	۳-۹-۶ نمودار فشار - انحراف.....
۱۵۱	۴-۹-۶ انعکاس امواج ضربه‌ای.....
۱۵۳	۵-۹-۶ انعکاس منظم با جریان پایین دست مافوق صوت.....
۱۵۳	۶-۹-۶ انعکاس منظم با جریان پایین دست مادون صوت.....
۱۵۴	۷-۹-۶ انعکاس ماخ (انعکاس نامنظم).....
۱۵۴	۸-۹-۶ انعکاس ماخ با جریان پایین دست مادون صوت.....
۱۵۵	۱۰-۹-۶ انعکاس ماخ با موج ضربه‌ای منعکس شده روبه جلو.....
۱۵۵	۱۱-۹-۶ انعکاس ماخ منعکس شده.....
۱۵۶	۱۲-۹-۶ انعکاس و نیومن.....

۱۰-۶ تحلیل آیرودینامیکی جریان مافوق صوت..... ۱۵۶

۱-۱۰-۶ بررسی وضعیت توزیع فشار در سطوح بالا و پایین یک ایرفویل..... ۱۵۶

۲-۱۰-۶ معرفی نیروهای آیرودینامیکی..... ۱۵۷

۳-۱۰-۶ محاسبه نیروی وارد بر ایرفویل های مافوق صوت..... ۱۵۹

۱۱-۶ محاسبه تقریبی محل قرارگیری موج ضربه ای جدا شده..... ۱۷۳

تمرین های فصل ششم..... ۱۷۹

**فصل ۷. جریان شبه یک بعدی در شیپوره های همگرا-واگرا..... ۱۹۱**

۱-۷ روابط حاکم بر جریان شبه یک بعدی..... ۱۹۱

۲-۷ استخراج معادلات بقا برای جریان شبه یک بعدی..... ۱۹۲

۱-۲-۷ بقای جرم..... ۱۹۲

۲-۲-۷ بقای انرژی..... ۱۹۵

۳-۷ معادلات شبه یک بعدی و ناپایا در شکل بقائی یا دیورژانسی..... ۱۹۸

۴-۷ معادلات حاکم در شکل دیفرانسیلی..... ۱۹۹

۵-۷ جریان آیزنتروپیک گاز کامل در شیپوره..... ۲۰۰

۱-۵-۷ رابطه عدد ماخ - سطح مقطع در شیپوره های همگرا - واگرای آیزنتروپیک..... ۲۰۱

۶-۷ فیزیک جریان در شیپوره های همگرا - واگرا..... ۲۰۴

۱-۶-۷ تاریخچه..... ۲۰۴

۲-۶-۷ حالت های مختلف جریان در یک شیپوره همگرا - واگرا..... ۲۰۴

۷-۷ توزیع فشار در شیپوره..... ۲۱۰

۸-۷ تعیین مکان تشکیل موج ضربه ای در شیپوره..... ۲۱۱

۱-۸-۷ شرایط وقوع موج ضربه ای در مقطع خروجی شیپوره..... ۲۱۴

۹-۷ تونل باد مافوق صوت..... ۲۱۴

۱۰-۷ روش های آشکارسازی موج ضربه ای در جریان مافوق صوت..... ۲۱۷

تمرین های فصل هفتم..... ۲۲۰

**فصل ۸. حرکت امواج ناپایا..... ۲۲۳**

۱-۸ موج ضربه ای متحرک..... ۲۲۳

۲-۸ روش تغییر مکان ناظر..... ۲۲۵

۳-۸ استخراج روابط موج ضربه ای متحرک..... ۲۲۶

۴-۸ انتشار موج ضربه ای در محیط متحرک..... ۲۳۲

۵-۸ روابط موج ضربه ای متحرک در شرایط حدی موج بسیار قوی..... ۲۴۱

۶-۸ روابط موج ضربه ای متحرک در شرایط حدی موج بسیار ضعیف..... ۲۴۲

۷-۸ خطی سازی معادلات اویلر (استخراج معادله موج از معادله اویلر)..... ۲۴۴

۸-۸ مسئله ریمان برای معادله دینامیک گاز خطی شده..... ۲۴۹

۹-۸ امواج آیزنروویک با دامنه محدود..... ۲۵۵

۱۰-۸ مقایسه امواج با دامنه محدود و امواج ضعیف..... ۲۵۸

۱۱-۸ نحوه ایجاد موج ضربه‌ای..... ۲۵۸

۱۲-۸ موج انبساطی..... ۲۵۹

۱-۱۲-۸ محاسبه سرعت جریان و سرعت صوت داخل موج انبساطی متمرکز..... ۲۶۲

۱۳-۸ مسئله لوله ضربه..... ۲۶۶

۱-۱۳-۸ رفتار امواج در لوله ضربه..... ۲۷۴

۱۴-۸ امواج انبساطی برخورد کننده و منعکس شده..... ۲۷۶

۱۵-۸ موج عمودی منعکس شده..... ۲۸۰

۱۶-۸ رسم نمودارهای  $p-u$  و  $a-u$  برای موج عمودی منعکس شده..... ۲۸۳

۱۷-۸ برهم کنش امواج..... ۲۸۴

۱-۱۷-۸ بازگشت یک موج ضربه‌ای پس از برخورد با دیواره ساکن..... ۲۸۴

۲-۱۷-۸ برخورد دو موج ضربه‌ای به صورت رودررو..... ۲۸۵

۳-۱۷-۸ سبقت یک موج ضربه‌ای از موج ضربه‌ای دیگر..... ۲۸۶

۴-۱۷-۸ انعکاس موج ضربه‌ای از سطح تماس..... ۲۸۷

۵-۱۷-۸ برهم کنش موج ضربه‌ای بازگشتی در لوله مولد موج ضربه‌ای با سطح تماس..... ۲۸۹

۶-۱۷-۸ انعکاس موج ضربه‌ای و انبساطی از مرز باز..... ۲۹۰

۷-۱۷-۸ برخورد موج ضربه‌ای و موج انبساطی از خانواده مخالف..... ۲۹۱

۸-۱۷-۸ برخورد رودرروی دو موج انبساطی..... ۲۹۲

تمرین‌های فصل هشتم..... ۲۹۳

**فصل ۹. معادله دینامیک گاز و جریان خطی شده..... ۳۰۳**

۱-۹ مقدمه..... ۳۰۳

۲-۹ معادله اصلی دینامیک گاز..... ۳۰۳

۳-۹ جریان خطی شده..... ۳۰۵

۱-۳-۹ مقدمه..... ۳۰۵

۲-۳-۹ جریان پتانسیل خطی شده..... ۳۰۶

۳-۳-۹ محاسبه ضریب فشار با کمک خطی سازی..... ۳۰۹

۴-۳-۹ جریان مادون صوت خطی شده..... ۳۱۱

۵-۳-۹ روابط اصلاحی تراکم پذیری..... ۳۲۰

۶-۳-۹ جریان مافوق صوت خطی شده..... ۳۲۴



۳۲۵	.....	۷-۳-۹ ضریب فشار خطی شده
۳۳۲	.....	۴-۹ محاسبه نیروی برآ در جریان مافوق صوت خطی شده
۳۳۶	.....	۵-۹ محاسبه نیروی پسا
۳۴۵	.....	۶-۹ محاسبه مرکز فشار در جریان مافوق صوت
۳۵۱	.....	۷-۹ محاسبه عدد ماخ بحرانی
۳۵۳	.....	۸-۹ بال پس رونده
۳۶۰	.....	۹-۹ رفتار جریان روی ایرفویل در اعداد ماخ مختلف
۳۶۲	.....	۱۰-۹ ایرفویل های فوق بحرانی
۳۶۴	.....	تمرین های فصل نهم
۳۷۱	.....	<b>فصل ۱۰. جریان حول مخروط</b>
۳۷۱	.....	۱-۱۰ مقدمه
۳۷۳	.....	۲-۱۰ جنبه های فیزیکی جریان مخروطی
۳۷۴	.....	۳-۱۰ مقایسه مخروط و گوه
۳۷۶	.....	۴-۱۰ استخراج رابطه تیلور - مک کویل
۳۷۹	.....	۵-۱۰ روند حل معادلات تیلور - مک کویل
۳۸۸	.....	تمرین های فصل دهم
۳۸۹	.....	<b>پیوست ها</b>
۳۹۰	.....	پیوست اول: جدول ایزنتروپیک
۳۹۳	.....	پیوست دوم: جدول موج ضربه ای قائم
۴۰۵	.....	پیوست سوم: جدول جریان ریلی
۴۲۸	.....	پیوست چهارم: جدول جریان فانو
۴۵۱	.....	پیوست پنجم: نمودار ماخ - تا - بتا
۴۵۳	.....	پیوست ششم: جدول پرانتل - مایر
۴۶۳	.....	پیوست هفتم: کد فرترن برای محاسبه زاویه لغزش بعد از برخورد دو موج از خانواده های متفاوت
۴۶۶	.....	پیوست هشتم: کد MATLAB برای محاسبه موقعیت موج ضربه ای در شیپوره همگرا - واگرا
۴۶۷	.....	پیوست نهم: اثبات معادله کروکو
۴۷۱	.....	پیوست دهم: کد جریان مخروطی
۴۷۵	.....	<b>مراجع</b>
۴۷۶	.....	<b>نمایه</b>

## پیشگفتار

دینامیک گازها به بررسی و تحلیل جریان‌های تراکم‌پذیر می‌پردازد. استخراج معادلات حاکم و تحلیل رفتار جریان‌های داخلی همراه با تغییر سطح، اصطکاک و انتقال حرارت نیز در این مبحث بررسی می‌شود. همچنین تمرکز دینامیک گازها بر جریان‌هایی است که انتقال اطلاعات در آن‌ها به وسیلهٔ امواج صورت می‌گیرد؛ به عبارت دیگر، جریان‌هایی که در آن‌ها امواج ضربه‌ای و انبساطی روی می‌دهد. واحد درس دینامیک گازها در کنار دروس نزدیک به خود مانند دینامیک گازهای ناپایا، آیرودینامیک ۲ و آیرودینامیک مافوق صوت، از واحدهای درسی مصوب شورای عالی انقلاب فرهنگی برای دانشجویان کارشناسی و تحصیلات تکمیلی رشته‌های مهندسی مکانیک و مهندسی هوافضا است. از این میان، درس دینامیک گازها عمدتاً بر جریان‌های تراکم‌پذیر داخلی متمرکز است، اما آیرودینامیک ۲ و آیرودینامیک مافوق صوت بیشتر به جریان تراکم‌ناپذیر خارجی می‌پردازند.

با توجه به قدمت مبحث جریان تراکم‌پذیر، کتاب‌های متعددی در این زمینه به رشتهٔ تحریر درآمده است و معمولاً اصل یا ترجمهٔ این مراجع در دوره‌های دانشگاهی داخل کشور برای تدریس استفاده می‌شود. آنچه مؤلف این کتاب را به تدوین کتابی در این زمینه تشویق کرد، کم‌وکاستی‌هایی بود که در مراجع معتبر برای تدریس سرفصل‌های مدون شورای عالی انقلاب فرهنگی در دانشگاه‌های کشور مشاهده می‌شد. از معروف‌ترین مراجع دینامیک گازها می‌توان به کتاب *جریان تراکم‌پذیر مدرن اثر اندرسون<sup>۱</sup>*، *دینامیک گازها اثر جان و کیت<sup>۲</sup>* و *مبانی دینامیک گازها تألیف زوکر و بیبلارز<sup>۳</sup>* اشاره کرد. کتاب اول، اثر اندرسون، با تمام مزایای غیرقابل انکارش، از جمله سادگی بیان و توضیحات کافی، چند ضعف دارد:

- عدم تناسب حجم بسیار کتاب با مدت زمان یک نیمسال تحصیلی. از این رو، استادان معمولاً بخش‌هایی از فصول منتخب آن را تدریس می‌کنند.

- با وجود ویژگی اول، کتاب در مباحثی مانند جریان‌های داخلی (ریلی و فانو)، حرکت امواج ناپایا و تحلیل نیرویی در جریان مافوق صوت، چندان کافی نیست و متمرکز بر نکات پایه است.

---

1. Anderson  
2. John & Keith  
3. Zucker & Biblarz

- مسائل پایانی هر فصل و حتی مثال‌های حل‌شده آن نسبتاً ساده و یکنواخت است و برای تمرین‌های کلاسی و سؤالات امتحانی کافی نیست.

مرجع دوم، کتاب جیمز جان، تا حدودی در ضعف‌های ۱ و ۲ با مرجع نخست مشترک است؛ از طرفی مباحث آن در زمینه حرکت امواج ناپایا، اگرچه از کتاب پیشین بیشتر است، ولی همچنان کامل نیست. در مرجع سوم، کتاب زوکر، هم مبحث حرکت امواج ناپایا وجود ندارد. در یک بیان کلی، سابقه حدود یک دهه تحقیق، آموزش و تدریس درس دینامیک گازها، مؤلف را به این نتیجه رساند که تدوین یک مرجع فارسی مناسب که مباحث اساسی دینامیک گازها را با نگارشی خلاصه و روان، به همراه مثال‌ها و تمرین‌های مناسب بیان کرده باشد، می‌تواند به فرایند آموزش این دانش در رشته‌های مهندسی مکانیک و هوافضا در کشور کمک شایانی کند. نکته آخر همان هدفی است که کتاب حاضر برای دستیابی به آن نگاشته شده است.

کتاب حاضر در ۱۰ فصل تنظیم و سعی شده است که تمامی مباحث بنیادی دینامیک گازها در آن لحاظ شود. مباحث کتاب با تعریف تراکم‌پذیری و مروری بر ترمودینامیک پایه و استخراج معادلات بقا در فصل‌های اول و دوم آغاز می‌شود. در فصل‌های سوم تا ششم، مباحث امواج ضربه‌ای قائم، جریان‌های ریلی و فانو، امواج ضربه‌ای مایل و امواج انبساطی به همراه تحلیل نیرویی جریان مافوق صوت بر روی ایرفویل‌ها ارائه می‌شود. تحلیل جریان شبه‌یک‌بعدی در شیپوره‌ها در فصل هفتم آورده شده است. فصل هشتم، دینامیک گاز ناپایا و حرکت امواج یک‌بعدی و برهم‌کنش امواج ناپایا را به تفصیل بررسی می‌کند. فصول نهم و دهم نیز به ترتیب به بررسی و استخراج معادله خطی شده دینامیک گاز و روابط حاصل از تئوری خطی برای تحلیل ایرفویل‌ها و جریان‌های مخروطی می‌پردازد.

در تدوین این کتاب، علاوه بر یادداشت‌های شخصی مؤلف، از مراجع معتبر (به‌ویژه کتاب‌های اندرسون و زوکر - بیبارز) و جزوه‌های درسی دینامیک گاز دانشگاه‌های معتبر جهان (دانشگاه استنفورد، MIT، پردو، مؤسسه فناوری کالیفرنیا و میشیگان) استفاده شده است. برای دریافت بعضی از این جزوه‌ها با استادان باسابقه دانشگاه‌های مذکور، از جمله برم ون لیر<sup>۱</sup>، تماس خصوصی گرفته شد و پس از دریافت، بخش‌هایی از آن جزوه‌ها در تدوین کتاب استفاده شد.

از مزایای تألیف حاضر می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ارائه مطالب به زبان ساده و روان و تأکید بر استفاده از معادله‌های فارسی رایج کلمات فنی
- افزودن و کاستن‌های متناسب در متن با هدف گویاتر شدن مطالب

- استخراج کامل، ذکر جزئیات و ساده‌سازی معادلات  
 - تهیه فلوچارت‌هایی جهت حل مسائل (این کار در مراجع متداول دینامیک گازها کمتر گزارش شده است).

- ارائه کدهای عددی جهت حل مسائل منتخب - که شامل معادلات غیرخطی و یا فرایند سعی و خطا هستند - در پیوست کتاب علاوه بر نکات ذکر شده، همراه با کتاب یک نرم‌افزار اندرویدی عرضه شده که جایگزین جداول دینامیک گاز است. این نرم‌افزار برای حل مسائل، داده‌های عددی را با دقتی مناسب ارائه می‌دهد. سعی شده است مسائل نمونه و تمرین‌های بسیار متنوع و کاملی در متن و در پایان هر فصل گنجانده شود، به طوری که دانشجویان علاوه بر آشنایی کامل با مسائل هر فصل، نیازی به مراجعه به سایر مراجع جهت ارائه تمرین و انتخاب نمونه سؤالات امتحانی نداشته باشند. پیش‌نویس اولیه کتاب در ۷۰ صفحه در بهار ۱۳۹۱ تدوین شد، اما آنچه امروز در حدود ۵۰۰ صفحه در برابر خوانندگان است، حاصل بیش از ۶ سال فعالیت مداوم و به‌روزرسانی نسخه‌های مقدماتی است؛ به گونه‌ای که فصول مختلف کتاب بارها در کلاس‌های مختلف تدریس و براساس بازخورد دانشجویان، بازنویسی و اصلاح شده است. علاوه بر دوره‌های حضوری، پیش‌نویس کتاب در سه دوره آموزش مجازی (آموزش از راه دور) درس دینامیک گازها نیز تدریس و با استقبال روبه‌رو شد.

در تنظیم کتاب سعی بر این بوده است که نیازهای دانشجویان مقطع کارشناسی درس دینامیک گازها برطرف شود. چنان‌که مطالب آن در سطحی است که آن را برای تدریس در مقاطع تحصیلات تکمیلی به‌عنوان مرجع درس دینامیک گازهای پیشرفته، مناسب کرده است. به‌عنوان مثال، مباحث انتهایی فصل سوم (روابط رنگین‌ه‌گون‌یو)، فصل‌های چهارم و پنجم (جریان‌های فانو و ریلی در شرایط اصطکاک و حرارت بیش از مقدار نیاز برای خفگی)، فصل ششم (نمودار موج ضربه‌ای قطبی، هدوگراف، تحلیل پیچیده نیروهای وارد بر ایرفویل‌ها) برای تدریس در درس دینامیک گازهای پیشرفته مناسب است. فصل هشتم کتاب برای تدریس در درس دینامیک گازهای ناپایا (و دینامیک گاز ۲) مفید است و به‌جرت می‌توان گفت هیچ مرجع زبان اصلی را نمی‌توان یافت که تمامی مطالب تدوین شده در این فصل را ارائه کرده باشد. فصل‌های اول تا سوم، و ششم تا هشتم کتاب منطبق بر سرفصل‌های دروس آیرودینامیک ۲ و آیرودینامیک مافوق صوت است. فصل دهم که با تشریح الگوریتم حل جریان مخروطی، ذکر مثال و ارائه دو کد عددی تکمیل شده فصل مشابه در کتاب اندرسون است و برای درس آیرودینامیک مافوق صوت مناسب می‌باشد. با توجه به مطالب پیش‌گفته، این کتاب برای دانشجویان کارشناسی و کارشناسی ارشد رشته‌های مهندسی مکانیک، مهندسی هوافضا و همچنین مهندسی شیمی به‌عنوان مرجع درسی قابل استفاده خواهد بود.

در پایان مؤلف لازم می‌داند که از استادان دوران تحصیل خود، به‌ویژه استادان گروه‌های آیرودینامیک و پیشرانس دانشکده هوافضای دانشگاه صنعتی شریف، سپاسگزار باشد؛ چون با قدرت بیان و آموزش مناسب خود، عامل اصلی علاقه مؤلف به گرایش سیالات و شکل‌گیری شخصیت علمی وی شدند. همچنین نویسنده از دانشجویان گران‌قدر واحدهای درسی دینامیک گاز، دینامیک گاز پیشرفته ۱ و ۲ و آیرودینامیک مافوق صوت، به‌ویژه جناب آقای مهندس علی لطیفیان و سرکار خانم صفا اسماعیلی که ویراستاری نسخه‌های اخیر کتاب را برعهده داشتند و آقای مهندس سید علی سعادت‌تی که در چند سال گذشته در تهیه این کتاب، از تایپ و تدوین فصول گرفته تا اشکال‌یابی، تهیه شکل‌ها و روان کردن متن، زحمات بسیاری را متحمل شدند نیز سپاسگزار است. بدون شک، تدوین کتاب حاضر بدون زحمات این عزیزان و دیگر دانشجویان این جانب میسر نبود. همچنین مراتب سپاس فراوان خود را به جناب آقای دکتر محمدرضا مدرس رضوی، استاد پیشکسوت گروه مکانیک دانشگاه فردوسی مشهد، تقدیم می‌کند که ویراستاری علمی کتاب را برعهده گرفتند و با صرف وقت فراوان و دقت شایسته، پیش‌نویس کتاب را مطالعه کردند و در بهبود متن نهایی کتاب، سهم قابل توجهی داشتند. همچنین از جناب مهندس احسان مشعل‌دار آستانه که در ویرایش و پالایش ادبی و بازنویسی جملات تمامی فصول این کتاب زحمات زیادی متحمل شدند بی‌نهایت سپاسگزارم. درنهایت از تمامی خوانندگان عزیز درخواست می‌شود هرگونه پیشنهاد، انتقاد و ایرادهای احتمالی را در راستای هرچه بهتر شدن اثر حاضر و لحاظ کردن آن‌ها در چاپ‌های بعدی کتاب به رایانامه مؤلف به آدرس [e.roohi@um.ac.ir](mailto:e.roohi@um.ac.ir) ارسال نمایند.

احسان روحی گل خطمی

دانشیار گروه مهندسی مکانیک

دانشگاه فردوسی مشهد، تابستان ۱۳۹۸