



دانشگاه سندھ

اصول دینامیک گازها

(جلد دوم)

ترجمہ:

دکتر محمد رضا علیگودرز

سید محمد وحید جلیلی

مرتضی نیازی

سر شناسنامه : روکر، رابرت دی.
 Zucker, Robert D
 عنوان و نام پدید آور : اصول دینامیک گازها / آرابرت دی روکر، اسکار بیبلرز؛ مترجمان: محمدرضا علیگودرز، مرتضی نیازی، سید محمد وحید جلیلی.
 مشخصات نشر : تهران؛ دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، ۱۳۹۰.
 مشخصات ظاهری : ج.
 شابک : ۹۷۸-۹۶۴-۲۶۵۱-۹۵-۵ : ج. ۲.
 یادداشت : عنوان اصلی: Fundamentals of gas dynamics, 3rd ed, ۲۰۰۲.
 یادداشت : ویراست قبلی کتاب حاضر عنوان "مبانی دینامیک گازها" در سال "۱۳۷۰" توسط "آستان قدس رضوی، معاونت فرهنگی" منتشر شده است.
 عنوان دیگر : مبانی دینامیک گازها.
 موضوع : گازها - دینامیک
 شناسنامه افزوده : بیبلرز، اسکار
 شناسنامه افزوده : Biblarz, Oscar
 شناسنامه افزوده : علیگودرز، محمدرضا، ۱۳۴۳-، مترجم
 شناسنامه افزوده : نیازی، مرتضی، ۱۳۶۵-، مترجم
 شناسنامه افزوده : جلیلی، سید محمدوحید، ۱۳۶۴-، مترجم
 شناسنامه افزوده : دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی
 رده بندی کنگره : ۵۲۳/۴ : QC ۱۶۸ / ۹م۲ / ۱۳۹۰
 رده بندی دیویی : ۵۲۳/۴
 شماره کتابشناسی ملی : ۳۴۶۴۴۵۴



دانشگاه تربیت دبیر رجائی

عنوان : اصول دینامیک گازها (جلد دوم)

ترجمه : محمدرضا علیگودرز، مرتضی نیازی، سید محمد وحید جلیلی

نوبت چاپ : اول ۱۳۹۲

انتشارات : دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی

لیتوگرافی : شرکت نماد اندیش آرین

چاپ : شرکت نماد اندیش آرین

ناظر فنی : مهندس غلامرضا کارگریان مروستی

شمارگان : ۱۰۰۰ جلد

قیمت : ۲۵۰۰۰ تومان

ISBN: ۹۷۸-۹۶۴-۲۶۵۱-۹۵-۵

شابک : ۹۷۸-۹۶۴-۲۶۵۱-۹۵-۵

کلیه حقوق این اثر برای مؤلفین و دانشگاه تربیت دبیر شهیدرجائی محفوظ است.

نشانی: تهران، لویزان - کد پستی ۱۶۷۸۸ - صندوق پستی ۱۶۳ - ۱۶۷۸۵ - تلفن: ۲۲۹۷۰۰۶۰ - ۹

نمبر: ۲۲۹۷۰۰۰۳ پست الکترونیکی: sru@srttu.edu

مقدمه مترجمین

کتاب حاضر ترجمه کتاب "FUNDAMENTALS OF GAS DYNAMICS" تالیف " ROBERT D. ZUCKER " و " OSCAR BIBLARZ " می باشد که سعی گردیده به زبانی ساده و قابل فهم برای استفاده دانشجویان علاقه مندان به مبحث دینامیک گازها ترجمه شود.

با توجه به پیشرفت روز افزون علوم بخصوص در زمینه مکانیک بر آن شدیم کتابی را برای دانشجویان محترم منتشر کنیم که نیاز آنها را در زمینه دانش دینامیک گاز افزایش دهد، همچنین دلیل انتخاب این کتاب برای ترجمه، بیان ساده و پوشش کامل اکثر مباحث دینامیک گاز می باشد که توانسته آن را به کتابی جامع برای علاقه مندان این رشته تبدیل کند. در این کتاب همه مباحث دینامیک به صورت مفهومی بیان گردیده است و همچنین با مثال های کاربردی باعث شده که خواننده بتواند مطالب را کامل درک نماید و در پایان با سوالاتی کاربردی خود را ارزیابی نماید. امیدوارم که همه عزیزانی که این کتاب را مطالعه می کنند بتوانند از آن به نحو احسن استفاده کنند. در پایان از همه عزیزانی که ما را در انجام این کار یاری کردند کمال تشکر را داریم.

دکتر ممدرضا علیگودرز

مرتضی نیازی **سید محمد و میدجلیلی**

فهرست مطالب

VI	مقدمه مولف
IX	مقدمه مترجمین

فصل 8 جریان پرائتل - ماير

345	مقدمه (8.1)
346	اهداف (8.2)
347	جریان چرخشی آيزنتروپيك (8.3)
357	تحليل جریان پرائتل - ماير (8.4)
363	تابع پرائتل - ماير (8.5)
367	نازل های با انبساط کم و زياد (8.6)
375	ايرفويل های مافوق صوت (8.7)
383	وقتي γ برابر 1.4 نباشد (8.8)

384	(8.9) (اختیاری) فراتر از جداول
385	(8.10) خلاصه
387	مسائل
396	آزمون

فصل 9 جریان فانو

399	(9.1) مقدمه
400	(9.2) اهداف
401	(9.3) تحلیل سیال عمومی
411	(9.4) معادلات کار برای گاز کامل
418	(9.5) حالت مرجع و جریان فانو
424	(9.6) کاربردها
431	(9.7) همبستگی با شوک
436	(9.8) خفگی اصطکاکی
441	(9.9) وقتی γ برابر 1.4 نباشد
442	(9.10) (اختیاری) فراتر از جداول
444	(9.11) خلاصه
446	مسائل
455	آزمون

فصل 10 جریان ریلی

459	مقدمه (10.1)
460	اهداف (10.2)
461	تحلیل سیال عمومی (10.3)
476	معادلات کار برای گاز کامل (10.4)
482	حالت مرجع و جدول ریلی (10.5)
486	کاربردها (10.6)
491	همبستگی با شوک ها (10.7)
496	خفگی حرارتی در اثر گرمایش (10.8)
503	وقتی γ برابر 1.4 نباشد (10.9)
504	(اختیاری) فراتر از جداول (10.10)
506	خلاصه (10.11)
508	مسائل
517	آزمون

فصل 11 اثرات گاز مایع

521	مقدمه (11.1)
523	اهداف (11.2)
524	تماس چيست (11.3)

528	رفتار گاز شبه کامل، توسعه جدول گاز	(11.4)
537	رفتار گاز واقعی، معادلات حالت و فاکتورهای تراکم پذیری	(11.5)
543	جریان های با γ متغیر - سطح متغیر	(11.6)
555	جریان های با γ متغیر - سطح ثابت	(11.7)
558	خلاصه	(11.8)
561	مسائل	
564	آزمون	

فصل 12 سیستم های پیشرانه

567	مقدمه	(12.1)
568	اهداف	(12.2)
570	سیکل برایتون	(12.3)
583	موتورهای پیشرانه	(12.4)
607	پارامترهای عملکرد عمومی، نیرو، توان و بازده	(12.5)
618	پارامترهای عملکرد سیستم های پیشرانه هوا تنفس	(12.6)
625	سیستم های پیشرانه هوا تنفس برای ترکیب اثرات گاز حقیقی	(12.7)
626	پارامترهای عملکرد سیستم های پیشرانه پرتاب موشک	(12.8)
632	دیفیوزرهای مافوق صوت	(12.9)
636	خلاصه	(12.10)
638	مسائل	

645

آزمون

649

منابع

653

پاسخ سوالات

663

راهنما

پیوست ها

- A. خلاصه ای از واحدهای سیستم مهندسی انگلیس (EE)
- B. خلاصه ای از واحدهای سیستم بین المللی (SI)
- C. نمودار ضریب اصطکاک
- D. نمودارهای شوک مایل ($\gamma=1.4$) (دوبعدی)
- E. نمودارهای شوک مخروطی ($\gamma=1.4$) (سه بعدی)
- F. نمودار ضریب تراکم پذیری تعمیم یافته
- G. پارامترهای جریان آیزنتروپیک ($\gamma=1.4$) (شامل تابع پرانتل - مایر)
- H. پارامترهای شوک قائم ($\gamma=1.4$)
- I. پارامترهای جریان فانو ($\gamma=1.4$)
- J. پارامترهای جریان ریلی ($\gamma=1.4$)
- K. خصوصیات هوا در فشارهای پایین
- L. گرمای ویژه هوا در فشارهای پایین

مقدمه مولف

این کتاب برای دانشجویانی که قصد فراگیری اصول دینامیک گاز را دارند نوشته شده است و مخاطب آن دانشجویان دوره لیسانس می باشد، بنابراین خوانندگان باید پیش زمینه مختصری در این زمینه داشته باشند. سبک نوشتن کتاب حاضر به صورت غیر رسمی است و از ایده های تکنولوژی آموزشی همانند اهداف رفتاری، خلاصه های پر معنی و آزمون ها بهره گرفته است. این ویژگی ها آن را برای مطالعه پیش خود توسط دانشجویان مناسب ساخته است.

روش ما در این کتاب توسعه روابط اصلی بر مبنای معادلاتی است که برای حالت عمومی یک جریان ناپایدار و سه بعدی از یک سیال دلخواه معتبر می باشند. سپس این روابط برای مسائل مهندسی مهم شامل جریان های پایدار یک بعدی و دو بعدی ساده می شوند. همه جریان های داخلی و خارجی اصلی توسط مثال هایی که در متن کتاب آمده است مورد توجه قرار گرفته اند. تمرکز بر فرض های ایجاد شده در هر مرحله از تحلیل می باشد و

سودمندی نمودار $T - S$ و اهمیت ترم های اتلافی وابسته نشان داده می شود.

مثال ها و مسائل ارائه شده، در هر دو واحد سیستم مهندسی انگلیس و سیستم SI می باشند. همچنین مسائل از سطوح ساده تا سطوح پیچیده را شامل می شوند و همه جداول و نمودارهای ضروری برای حل آنها در پیوست های کتاب آورده شده است.

هدف استفاده کنندگان کتاب باید علاوه بر فراگیری مفاهیم اصلی، ایجاد مهارت های حل مسئله خوب نیز باشد. همچنین بعد از اتمام این کتاب، دانشجویان باید قادر باشند بسیاری از مراجع دیگر را که در ادامه بحث های مطرح شده می باشند، پیگیری نمایند.

پروفسور اسکار بیلارز به همراه رابرت دی. ذاکر همکاران ما در این ویرایش می باشند. هر دو آنها دینامیک گازها از این کتاب را برای سالهای متمادی آموزش داده اند. این ویرایش شامل مباحث جدیدی می باشد که عبارتند از: (1) مباحثی در مورد شوک های مخروطی، (2) چندین بخش که نشان می دهد چگونه محاسبات کامپیوتری می تواند مفید باشد، و (3) یک فصل کامل در مورد گازهای واقعی که شامل روش های ساده برای انجام اینگونه مسائل است. این مباحث با حفظ اهداف و سبک کتاب، آن را کامل تر می کنند.

باید از کمک های پروفسور ریموند پی. شریو و پروفسور گارس وی. هابسون از آزمایشگاه پیشرانه توربین در دانشکده فوق لیسانس نیروی دریایی، بویژه در زمینه پیشرانه قدردانی نمایم. همچنین باید خاطر نشان کنیم که دانشجویان ما در تمام این سالها انگیزه لازم برای خلق چنین کتابی را فراهم نموده اند. به طور ویژه، برای ویرایش اول، از ارنست لوئیس، آلن روسای و جوزف استرادا برای همکاریشان در ساعت های بعد از کلاس درس تشکر می کنیم. علاوه بر این از شرکت هوانوردی لاکهید مارتین، موتورهای هواپیمای جنرال الکتریک، هواپیمای پرت و ویتنی، شرکت بوئینگ و آزمایشگاه فیزیک بین المللی در انگلیس برای فراهم کردن عکس هایی که قسمت های مختلف کتاب را نشان می دهد قدردانی می کنیم. باید توجه داشت که سبک غیر رسمی پیش بینی شده برای این کتاب، آن را به یک وسیله آموزشی موثر تبدیل نموده است.

پروفسور ذاکر خود را مدیون نیومن هال و اسچر شاپیرو که کتاب هایشان در زمینه معرفی جریان تراکم پذیر به او کمک کرده است، می‌داند. همچنین او از کمک های همسرش پالی در ویرایش دوم تشکر می‌کند.

رابرت دی. ذاکر

پبل بیچ، کالیفرنیا

اسکار بیپلارز

مونتري، کالیفرنیا

مقدمه مترجمین

کتاب حاضر ترجمه کتاب "FUNDAMENTALS OF GAS DYNAMICS" تالیف رابرت دی. ذاکر و اسکار بیبلارز می باشد که با نام " اصول دینامیک گازها" منتشر گردیده و سعی شده به زبانی ساده ، روان و قابل فهم برای استفاده دانشجویان عزیز و علاقه مندان به مبحث دینامیک گازها ترجمه شود.

با توجه به پیشرفت روز افزون علوم بخصوص در زمینه مهندسی مکانیک و به ویژه شاخه مربوط به طراحی و مطالعات سیستمی توربو ماشین ها بر آن شدیم کتابی را برای دانشجویان محترم منتشر کنیم که بتواند دانش آنها را در زمینه علم دینامیک گاز افزایش دهد. امروزه یکی از پر اهمیت ترین صنایع مبدل انرژی در جهان صنایع توربین و کمپرسور می باشد. در حقیقت یکی از تجهیزات اصلی مورد استفاده در صنایع نفت و گاز و نیرو، توربین ها و کمپرسورهای سانتریفوژ هستند. شاید یکی از پیچیده ترین مباحث مرتبط با طراحی چنین تجهیزاتی بحث های مرتبط با دینامیک گازی است که در این تجهیزات در حال حرکت میب اشد. به همین دلیل با توجه به روند رو به رشد صنایع در کشور ما و

بخصوص صنایع نفت و گاز و نیرو، پرداختن به چنین مباحثی لازم و ضروری به نظر می رسد. دلیل انتخاب این کتاب برای ترجمه، بیان ساده و پوشش کامل اکثر مباحث دینامیک گاز بود که توانسته آن را به کتابی جامع برای علاقه مندان این رشته تبدیل کند. در این کتاب همه مباحث به صورت مفهومی بیان گردیده و همچنین با مثال های مناسب باعث شده خواننده بتواند مطالب را به طور کامل درک نموده و در پایان با سوالاتی کاربردی خود را ارزیابی کند. امیدواریم که همه عزیزانی که این کتاب را مطالعه می نمایند بتوانند از آن به نحو احسن استفاده کنند. از آنجایی که هیچ کتابی کاملاً بدون نقص نمی باشد، از کلیه خوانندگان ارجمند استدعا می شود که در صورت مواجهه با نکته مبهم و نارسا آن را متذکر گردند تا به یاری خداوند متعال در چاپ های بعدی اصلاح شود. در پایان از همه عزیزانی که ما را در انجام این کار یاری کردند کمال تشکر را داریم.

دکتر ممد رضا علیگودرز

مرتضی نیازی سید محمد و میدجلیلی

فصل ۸

جریان پرانتل - مایر

۸.۱ مقدمه

این فصل را با یک آزمایش روی شک‌های ضعیف آغاز می‌کنیم. نشان می‌دهیم که برای شوک‌های مایل خیلی ضعیف، تغییر فشار با توان اول زاویه انحراف و تغییرات آنتروپی با توان سوم زاویه انحراف رابطه دارد. این موضوع به ما کمک می‌کند که توضیح دهیم چگونه یک چرخش ملایم می‌تواند به صورت آیزنتروپیک انجام شود و به این وضعیت جریان پرانتل - مایر گفته می‌شود. جریان پرانتل - مایر بازگشت پذیر است و با توجه به شرایط محیط می‌تواند تراکمی یا انبساطی باشد.

به تجزیه و تحلیل جریان پرانتل - مایر در مورد گاز کامل پرداخته و مطابق معمول یک کمیت جدولی برای کمک به حل مسئله ایجاد می‌نماییم. همچنین جریان‌های خاص شامل جریان پرانتل - مایر مورد بحث قرار می‌گیرد. در نهایت عملکرد نازل همگرا - واگرا را به طور کامل در مورد جریان مافوق صوت حول یک جسم توضیح خواهیم داد.

۸.۲ اهداف

بعد از اتمام این فصل شما باید قادر باشید:

۱. توضیح دهید چگونه تغییرات آنتروپی و فشار برای شوک‌های مایل ضعیف با زاویه انحراف تغییر می‌کند.
۲. شرح دهید چگونه چرخش‌های محدود (با نسبت فشار محدود) می‌توانند به صورت آیزنتروپیک در جریان مافوق صوت انجام گیرند.
۳. با رسم شکل توضیح دهید که پس از عبور جریان سیال به صورت مافوق صوت از روی لبه مقعر ملایم و لبه محدب ملایم چه اتفاقی می‌افتد.
۴. جریان پرانتل-مایر (انبساطی و تراکمی) را بر روی نمودار $T - s$ نشان دهید.
۵. (اختیاری) یک رابطه دیفرانسیلی بین عدد ماخ (M) و زاویه چرخش جریان (ν) برای جریان پرانتل-مایر به دست آورید.
۶. معادله‌ای برای تابع پرانتل-مایر (۸.۵۸) ارائه شده است. نشان دهید چگونه می‌توان یک کمیت جدولی برای جریان پرانتل-مایر ایجاد کرد. اهمیت زاویه ν را بیان کنید.
۷. شرایط مرزی حاکم را بیان نموده و نتایج انعکاس موج‌های ضربه‌ای و موج‌های پرانتل-مایر را از مرزهای آزاد و فیزیکی نشان دهید.
۸. شکل موج‌های ایجاد شده توسط جریان را روی باله‌های گوه‌ای شکل یا گرد شده بر حسب تغییرات زاویه حمله رسم نمایید. همچنین خواص جریان را در هر ناحیه حل کنید.
۹. مسائل جریان پرانتل-مایر معمولی را با استفاده از معادلات مناسب و جداول حل نمایید.

۸.۳ جریان پرفش آیزنتروپیک

تغییر فشار برای شوک‌های قائم

ابتدا برخی از ویژگی‌های خاص شوک‌های قائم را بررسی می‌نمائیم. در این بخش فرض می‌کنیم که محیط، یک گاز کامل است و این فرض امکان به‌دست آوردن روابط دقیقی را به ما می‌دهد. با یادآوری معادله (۶.۲۵) آغاز می‌کنیم:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{2\gamma}{\gamma+1} M_1^2 - \frac{\gamma-1}{\gamma+1} \quad (۶.۲۵)$$

با کم کردن ۱ از دو طرف معادله داریم:

$$\frac{P_2}{P_1} - 1 = \frac{2\gamma}{\gamma+1} M_1^2 - \frac{2\gamma}{\gamma+1} \quad (۸.۱)$$

به وضوح مشاهده می‌شود که سمت چپ معادله، اختلاف فشار عبوری از شوک قائم تقسیم بر فشار ورودی است. و سمت راست به شکل مخرج مشترک بیان شده است در نتیجه داریم:

$$\boxed{\frac{P_2 - P_1}{P_1} = \frac{2\gamma}{\gamma + 1} (M_1^2 - 1)} \quad (۸.۲)$$

این رابطه نشان می‌دهد که افزایش فشار در عرض یک شوک قائم به طور مستقیم متناسب با کمیت $(M_1^2 - 1)$ می‌باشد. زمانی که آن را در اعداد ماخ بسیار کوچک برای شوک‌های ضعیف استفاده کنیم، متوجه این حقیقت خواهیم شد.

تغییرات آنتروپی برای شوک‌های قائم

تغییرات آنتروپی برای هر فرایند گاز کامل را می‌توان توسط معادله (۱.۵۲) برحسب ترم‌های حجم مخصوص و فشار بیان نمود. با تغییر نسبت حجم مخصوص به نسبت چگالی و با تعریف γ از رابطه (۱.۴۹) داریم:

$$\frac{s_2 - s_1}{R} = \frac{\gamma}{\gamma - 1} \ln \left(\frac{\rho_1}{\rho_2} \right) + \frac{1}{\gamma - 1} \ln \left(\frac{P_2}{P_1} \right) \quad (۸.۳)$$

از آنجا که تغییر آنتروپی در عرض یک شوک قائم را برحسب پارامترهای γ ، M_1 و R می‌خواهیم؛ بنابراین از معادلات (۵.۲۵) و (۵.۲۸) استفاده می‌کنیم. این معادلات نسبت فشار و نسبت چگالی در عرض شوک را به شکل تابعی از افزایش آنتروپی Δs ، عدد ماخ و γ نشان می‌دهند. برای رسیدن به نتایج مورد انتظار، معادلات (۵.۲۵) و (۵.۲۸) را به صورت زیر دستکاری می‌کنیم:

از معادله (۵.۲۵) به دست می‌آوریم:

$$\ln \left(\frac{P_2}{P_1} \right) = \frac{\gamma}{\gamma - 1} \ln \frac{1 + \left[\frac{\gamma - 1}{2} \right] M_2^2}{1 + \left[\frac{\gamma - 1}{2} \right] M_1^2} - \frac{\Delta s}{R} \quad (۸.۴)$$

همچنین از (۵.۲۸) داریم:

$$\gamma \ln \left(\frac{\rho_2}{\rho_1} \right) = \frac{\gamma}{\gamma - 1} \ln \frac{1 + \left[\frac{\gamma - 1}{2} \right] M_2^2}{1 + \left[\frac{\gamma - 1}{2} \right] M_1^2} - \gamma \frac{\Delta s}{R} \quad (۸.۵)$$

اکنون می‌توانیم برای حذف عبارت‌های داخل براکت، معادله (۸.۲) را از معادله (۸.۴) کم کنیم. پس از بازآرایی مجدد، معادله به شکل زیر نوشته می‌شود:

$$\frac{s_2 - s_1}{R} = \ln \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{1/(\gamma - 1)} \left(\frac{\rho_1}{\rho_2} \right)^{-\gamma/(\gamma - 1)} \right] \quad (۸.۶)$$