

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



انتشارات دانشگاه حکیم سبزواری

# هواشناسی فیزیکی

تالیف:

دکتر غلامعباس فلاح قاهری

عضو هیات علمی دانشگاه حکیم سبزواری

سرشناسه:	فلاح قاهرى، غلامعباس، ۱۳۵۷ -
عنوان و نام پديدآور:	هواشناسى فزيكى / تاليف غلامعباس فلاح قاهرى.
مشخصات نشر:	مشهد: دانشگاه حكيم سبزوارى، ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهرى:	۳۱۲ ص.: مصور، جدول، نمودار.
شابك:	۹۷۸-۹۶۴-۶۳۷۰۷۴۹
وضعيت فهرست نويسى:	فيا
يادداشت:	كتابنامه.
موضوع:	فزيك جوى
موضوع:	هواشناسى-
شناسه افزوده:	دانشگاه حكيم سبزوارى
رده بندى كنگره:	۱۳۹۵ ۹هـ/ف/۸۵۵/۴۸
رده بندى ديويى:	۵۵۱/۵
شماره كتابشناسى ملى:	۴۳۲۰۹۹۸



انتشارات دانشگاه حكيم سبزوارى

## هواشناسى فزيكى

تأليف: دكتور غلامعباس فلاح قاهرى  
 ويراستار علمى: مهندس غلامعلى وكيلى  
 ويراستار ادبى: فهيمه شاكري  
 ناشر: دانشگاه حكيم سبزوارى  
 صفحه آرائى و طراحي جلد: واژگان خرد  
 وزيرى، ۳۱۲ صفحه، ۵۰۰ نسخه، چاپ اول، تابستان ۱۳۹۵  
 امور فنى و چاپ: ليتوگرافى افق

بها: ۲۳۰۰۰ تومان

## فهرست

۱	<b>فصل اول: کلیات</b>
۱	۱-۱ ترکیب جو
۳	۱-۱-۱ بخار آب
۳	۱-۱-۲ دی‌اکسید کربن
۴	۱-۱-۳ ازن
۵	۱-۱-۳-۱ شیمی چاپمن
۷	۱-۱-۳-۲ چرخه‌های کاتالیزوری
۹	۱-۱-۳-۳ حفره ازن قطب جنوب
۱۵	۱-۲ سیستم‌های باز و بسته
۱۷	۱-۳ فرایندهای برگشت‌پذیر و برگشت‌ناپذیر
۲۱	<b>فصل دوم: مفاهیم فیزیکی و ریاضیاتی پایه</b>
۲۱	۲-۱ دیفرانسیل کامل
۲۳	۲-۲ نظریه جنبشی گرما
۲۷	۲-۳ قانون اول گیلوساک
۲۸	۲-۴ قانون دوم گیلوساک
۲۹	۲-۵ دمای مطلق
۳۰	۲-۶ شکل دیگری از قوانین گیلوساک
۳۰	۲-۷ قانون بویل
۳۱	۲-۸ فرضیه آووگادرو
۳۲	۲-۹ قانون گاز ایده‌آل
۳۵	۲-۱۰ بحث کوتاهی در مورد قانون گاز ایده‌آل
۳۸	۲-۱۱ معادلات حالت گازهای حقیقی
۳۹	۲-۱۲ آمیزه گازها - قانون دالتون
۴۰	۲-۱۳ ترازمندی هیدرواستاتیک
۴۹	<b>فصل سوم: تابش خورشیدی</b>
۵۰	۳-۱ مفاهیم فیزیکی پایه

۵۲	۳-۱-۱ تابع پلانک
۵۵	۳-۱-۲ تعادل ترمودینامیکی محلی
۵۶	۳-۲ معادله انتقال تابش
۵۶	۳-۲-۱ کمیت‌های رادیومتری
۵۹	۳-۲-۲ انتشار و خاموشی
۶۳	۳-۲-۳ تقریب انتشار
۶۴	۳-۳ مبانی طیف‌بینی مولکولها
۶۴	۳-۳-۱ حالات چرخشی و لرزشی
۶۸	۳-۳-۲ اشکال خطی
۷۱	۳-۴ عبور
۷۴	۳-۵ جذب تابش توسط گازهای جو
۷۴	۳-۵-۱ طیف خورشید
۷۴	۳-۵-۲ جذب تابش در باند فروسرخ
۷۶	۳-۵-۳ جذب تابش در باند فرابنفش
۷۹	۳-۶ نرخ گرمایش
۷۹	۳-۶-۱ ایده‌های اساسی
۸۱	۳-۶-۲ گرمایش موج کوتاه
۸۳	۳-۶-۳ گرمایش و سرمایش موج بلند
۸۴	۳-۶-۴ نرخ گرمایش خالص تابشی
۹۱	<b>فصل چهارم: قانون اول ترمودینامیک</b>
۹۱	۴-۱ کار
۹۴	۴-۲ تعریف انرژی
۹۶	۴-۳ هم‌ارزی بین گرما و کار انجام شده
۹۷	۴-۴ ظرفیت گرمایی
۹۹	۴-۵ بحث بیشتر پیرامون رابطه بین $U$ و $T$ (قانون ژول)
۱۰۳	۴-۶ نتایج قانون اول
۱۲۵	<b>فصل پنجم: قانون دوم ترمودینامیک</b>
۱۲۵	۵-۱ چرخه کارنو
۱۲۹	۵-۲ درس‌هایی که باید از چرخه کارنو آموخت
۱۳۴	۵-۳ بحث بیشتر در مورد آنتروپی
۱۳۶	۵-۴ شکل‌های مخصوص قانون دوم ترمودینامیک

۱۳۸	۵-۵ ترکیب قانون اول و دوم ترمودینامیک
۱۴۱	۵-۶ بعضی از نتایج قانون دوم ترمودینامیک
۱۴۵	۵-۷ قانون سوم ترمودینامیک

### فصل ششم: آب و تغییر شکل‌های آن

۱۵۷	۶-۱ مشخصات ترمودینامیکی آب
۱۵۸	۶-۲ تغییر شکل‌های فاز تعادل-گرمای نهان
۱۶۲	۶-۳ معادله کلازیوس-کلاپیرون
۱۶۴	۶-۴ تقریب‌ها و نتایج معادله کلازیوس-کلاپیرون

### فصل هفتم: ترمودینامیک هوای مرطوب

۱۷۹	۷-۱ توصیف و اندازه‌گیری هوای مرطوب
۱۸۰	۷-۱-۱ سنج‌های رطوبت
۱۸۰	۷-۱-۲ میانگین وزن مولکولی هوای مرطوب و کمیت‌های دیگر
۱۸۲	۷-۲ فرایندها در جو
۱۸۵	۷-۲-۱ سرمایش هم‌فشار-دمای نقطه شبنم و یخبندان
۱۸۵	۷-۲-۲ فرایندهای هم‌فشار بی‌دررو-دمای دماسنج تر
۱۸۹	۷-۲-۳ انبساط (انقباض) بی‌درروی هوای مرطوب غیر اشباع
۱۹۴	۷-۲-۴ رسیدن به حالت اشباع از طریق صعود بی‌دررو
۱۹۵	۷-۲-۵ صعود در حالت اشباع
۲۰۱	۷-۲-۶ چند دمای دیگر
۲۰۸	۷-۲-۷ افتاهنگ بی‌درروی اشباع
۲۱۰	۷-۳ دیگر فرایندهای جالب توجه
۲۱۲	۷-۳-۱ آمیختگی هم‌فشار بی‌دررو
۲۱۲	۷-۳-۲ آمیختگی قائم
۲۱۵	۷-۳-۳ انجماد در داخل ابر

### فصل هشتم: پایداری قائم در جو

۲۲۹	۸-۱ معادله‌ی حرکت برای یک بسته هوا
۲۲۹	۸-۲ شرایط و تحلیل‌های پایداری
۲۳۲	۸-۳ دیگر عوامل موثر بر پایداری

۲۴۷	<b>فصل نهم: میکروفیزیک ابر</b>
۲۴۸	۹-۱ هسته‌سازی هیدرومتئورها
۲۴۸	۹-۱-۱ هسته‌سازی ناهمگن قطرک‌های ابر
۲۵۶	۹-۱-۲ هسته‌سازی یخ
۲۵۷	۹-۲ ساز و کار رشد قطرک‌های ابر
۲۵۷	۹-۲-۱ رشد قطرک‌های ابر از طریق انتشار
۲۶۳	۹-۲-۲ فرآیند برزرون
۲۶۶	۹-۳ رشد یکپارچه
۲۶۶	۹-۳-۱ سرعت سقوط هیدرومتئورها
۲۷۰	۹-۳-۲ تولید بارندگی
۲۷۴	۹-۴ تبخیر و تجزیه قطرات باران

۲۷۹	<b>فصل دهم: نمودارهای ترمودینامیکی</b>
۲۷۹	۱۰-۱ شرایط برای تبدیلات مساحت معادل
۲۸۲	۱۰-۲ مثال‌هایی از نمودارهای ترمودینامیکی
۲۸۲	۱۰-۲-۱ تفی گرام
۲۸۴	۱۰-۲-۲ اماگرام
۲۸۵	۱۰-۲-۳ اماگرام اسکيو (نمودار اسکيو یا $T - \ln p$ )
۲۸۸	۱۰-۳ نمایش گرافیکی متغیرهای ترمودینامیکی در یک نمودار
۲۹۰	۱۰-۳-۱ استفاده از نمودارها در پیش‌بینی

۲۹۸	<b>پیوست‌ها</b>
۳۰۳	<b>منابع مورد استفاده</b>

## پیشگفتار

---

هواشناسی فیزیکی شاخه‌ای از علم هواشناسی است که به بررسی فرآیندهای فیزیکی موجود در جو زمین می‌پردازد. بدون دانستن اصول پایه فیزیکی، قادر به تبیین شرایط مختلف جوی نخواهیم بود. هدف از نوشتن کتاب حاضر، آشنا نمودن دانشجویان با اصول پایه فیزیکی و کاربرد آنها در دانش هواشناسی است. این کتاب شامل ۱۰ فصل است. فصل اول کلیاتی در مورد جو زمین و ترکیبات آن، تعریف سیستم‌های باز و بسته و فرآیندهای برگشت‌پذیر و برگشت‌ناپذیر است. پاره‌ای از مفاهیم فیزیکی و ریاضیاتی پایه نظیر دیفرانسیل کامل، نظریه جنبشی گازها، قوانین مربوط به گازها و معادله حالت گاز ایده‌آل در فصل دوم مورد بحث قرار گرفته است. فصل سوم به تابش خورشیدی اختصاص یافته است و مفاهیم مختلف فیزیکی نظیر تابع پلانک، تعادل ترمودینامیکی محلی، معادله انتقال تابش، کمیت‌های رادیومتری، انتشار و خاموشی و مبانی طیف‌بینی مولکولی به تفصیل بیان شده است. فصل چهارم و پنجم به ترتیب به قانون اول و دوم ترمودینامیک اختصاص یافته است و مفاهیم مهمی نظیر هم‌ارزی بین گرما و کار انجام شده، قانون ژول، چرخه کارنو و آنتروپی و کاربرد آنها در هواشناسی بیان شده است. در فصل ششم مشخصات ترمودینامیکی آب و معادله کلازیوس-کلاپیرون بیان شده است. فصل هفتم به ترمودینامیک هوای مرطوب و توصیف ویژگی‌های آن پرداخته شده است. شرایط و تحلیل‌های مربوط به پایداری قائم در فصل هشتم بیان شده است. میکروفیزیک ابر و فرآیندهای مربوط به بارش نظیر اثر خمیدگی و محلول، انتشار، برخورد و هم‌آمیزی و فرآیند برزرون در فصل نهم بیان شده است. فصل دهم به نمودارهای ترمودینامیکی نظیر تفی‌گرام، اماگرام و اسکیوتی اختصاص یافته است. در انتهای هر فصل سعی شده است با حل چند مثال کاربردی، نحوه استفاده از معادلات بیان شده در هر فصل آموزش داده شود تا از این طریق دانشجویان مهارت خود را در حل مسائل افزایش دهند.

با تمام کوششی که در تدوین این کتاب صورت پذیرفته است، خالی از نقص و اشتباه نخواهد بود. بنابراین از تمام اساتید و دانشجویان محترم تقاضا می‌شود نظرات اصلاحی خود را از نویسنده دریغ نمایند تا انشاءالله در چاپ‌های بعدی از آنها استفاده شود. از جناب آقای مهندس غلامعلی و کیلی کارشناس محترم پژوهشکده هواشناسی که ویراستاری علمی این کتاب را تقبل نموده‌اند، تشکر و قدردانی می‌نمایم. همچنین از سرکار خانم فهیمه شاکری دانشجوی دکتری آب و هواشناسی شهری دانشگاه حکیم سبزواری که ویراستاری ادبی این کتاب را بر عهده داشته‌اند، سپاسگزاری می‌نمایم. در پایان از مسئولین محترم انتشارات دانشگاه حکیم سبزواری که امکان چاپ این کتاب را فراهم نمودند، تشکر می‌نمایم.

غلامعباس فلاح قاهری

عضو هیأت علمی دانشگاه حکیم سبزواری

شهریورماه ۱۳۹۵ هجری شمسی