به نام پروردگار جهانیان

دانشگاه سیستان و بلوچستان

آب و هواشناسی فیزیکی

دکتر تقی طاوسی

استاد گروه جغرافیای طبیعی و آب و هواشناسی

دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی

دانشگاه سیستان و بلوچستان

زاهدان، ایران

بهار ۱۳۹۷

سرشناسه : طاوسی، تقی، ۱۳۴۱

عنوان و نام پدیدآور: آب و هواشناسی فیزیکی / مولف: تقی طاوسی.

مشخصات نشر: زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۱۳۹۷

مشخصات ظاهری: ۳۵۲، جدول، نمودار، وزیری.

فروست: دانشگاه سیستان و بلوچستان، انتشارات، ۱۴۶.

شابک: ۴- ۷۲-۵۱۴۵-۶۰۰-۹۷۸.

وضعیت فهرست نویسی: فیپا

یادداشت: کتابنامه

موضوع: آب هواشناسی

موضوع: اقلیم شناسی

شناسه افزوده: دانشگاه سیستان و بلوچستان، مرکز چاپ و نشر

شناسه افزوده: University of Sistan and Baluchestan

رده بندی کنگره: ۱۳۹۷ ۲ آ ۲ط/GB ۲۸۰۳/۲

رده بندی دیویی: ۵۵۱/۵۷

شماره کتابشناسی ملی: ۵۱۴۳۹۴۸

ناشر: انتشارات دانشگاه سیستان و بلوچستان

آب و هواشناسی فیزیکی

نویسنده: تقی طاوسی

چاپ: چاپخانه المهدی دانشگاه سیستان و بلوچستان

نوبت چاپ: اول، ۹۷ ، قیمت: ۲۵۰۰۰ تومان ، شمارگان: ۱۰۰۰

شابک : ۴-۷۲-۵۱۴۵-۶۰۰-۹۷۸.

تمام حقوق چاپ و نشر این اثر طبق قرارداد محفوظ است، هرگونه چاپ و تکثیر از محتویات این کتاب بدون اجازه کتبی ممنوع است، متخلفان به موجب قانون حمایت از حقوق مولفان، مصنفان و هنرمندان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

فهرست عنوان

- فهرست جدول‌ها ..... ز
- فهرست شکل‌ها ..... ک

پیش‌گفتار ۱

فصل اوّل: وضع هوا، آب و هوا ۱

۱-۱. مقدمه ۱

۱-۲. دانش هواشناسی ۱

۱-۳. دانش آب و هواشناسی ۵

۱-۳-۱. عناصر آب و هوایی ۶

۱-۳-۲. سازندگان آب و هوا ۸

۱-۴. موضوع دانش آب و هواشناسی فیزیکی ۱۰

فصل دوم: تراز انرژی جهان ۱۷

۲-۱. مقدمه ۱۷

۲-۲. منظومه خورشیدی ۱۷

۲-۳. گردش سیاره‌ها به دور خورشید ۲۱

۲-۴. تراز انرژی زمین ۲۳

۲-۴-۱. قانون اول گرماپویشی (ترمودینامیک) ۲۳

۲-۴-۲. شار انرژی، چگالی شار، پایای خورشیدی ۲۴
۲-۴-۳. کاواک تابش ۲۵
۲-۴-۴. تابندگی ۲۶
۲-۵. تابش گرمایی یک سیاره ۲۶
۲-۶. پدیده گلخانه‌ای ۲۹
۲-۷. تراز شار تابش انرژی در مقیاس سیاره‌ای ۳۰
۲-۸. پراکندگی آفتاب‌گیری (خورتابگیری) ۳۲
۲-۹. تراز انرژی در مرز اتمسفر زمین ۳۸
۲-۱۰. شار قطب‌سوی انرژی ۴۳
۲-۱۱. سخن پایانی فصل ۴۶
فصل سوم: تابش ۴۹
۳-۱. مقدمه ۴۹
۳-۲. فرایند تابش خورشید ۵۰
۳-۳. امواج الکترومغناطیس ۵۲
۱-۱. گستره طیف امواج الکترومغناطیس ۵۳
۱-۲. قوانین تابش ۵۵
۱-۳. مروری دیگر بر پایای خورشیدی ۵۹
فصل چهارم: ساختار هواسپهر ۶۱
۴-۱. مقدمه ۶۱
۴-۲. مرز هواسپهر ۶۱
۴-۳. ترکیبات هواسپهر ۶۲
۴-۳-۱. گازها ۶۲
۴-۳-۲. هواویزها ۶۵

۴-۴. تغییر فشار هوای معیار در راستای شاقولی ۶۶
۴-۵. لایه‌های هواسپهر ۶۹
۴-۵-۱. لایه تروپوسفر (وردسپهر) ۶۹
۴-۵-۲. لایه استراتوسفر (پوشن سپهر) ۷۲
۴-۵-۳. لایه مزوسفر (میان سپهر) ۷۶
۴-۵-۴. لایه ترموسفر ۷۷
۴-۵-۵. لایه اگزوسفر ۷۹
۴-۶. آلاینده‌های هوا ۷۹
۴-۶-۱. تقسیم بندی آلاینده‌های هوا ۸۰
۴-۶-۲. آلاینده‌های معیار ۸۱
۴-۷. گسیختگی لایه اُزن ۸۳
فصل پنجم: نقش هواسپهر بر پالایش تابش انرژی گرمایی ۸۷
۵-۱. مقدمه ۸۷
۵-۲. کاهش پرتوهای تابش خورشیدی در هواسپهر ۸۷
۵-۲-۱. بازتابندگی تابش خورشیدی ۸۹
۵-۲-۲. جذب تابش خورشیدی ۹۲
۵-۲-۲-۱. نقش گلخانه‌ای هواسپهر ۹۴
۵-۲-۲-۲. دوگانه بودن نقش تابشی ابر ۹۷
۵-۲-۲-۳. دوگانه بودن نقش تابشی گرد و غبار ۹۸
۵-۲-۲-۴. پنجره فروسرخ هواسپهر ۹۹
۵-۳. نقش طول مسیر بر پالایش پرتوهای تابش ۱۰۰
۵-۴. سرانجام تابش خورشیدی ۱۰۱
۵-۵. بیشتر بدانید ۱۰۲
فصل ششم: سازوکار برخورد متقابل سطح زمین و انرژی تابشی ۱۰۵
۶-۱. مقدمه ۱۰۵

۶-۲. برخورد متقابل ۱۰۵
۶-۳. بازتابندگی (پخش و پراکنش)..... ۱۰۶
۶-۳-۱. بازتاب زاویه‌ای (آیینه‌ای)..... ۱۰۸
۶-۳-۲. بازتاب همه سویه..... ۱۱۰
۶-۴. جذب..... ۱۱۵
۶-۵. تراگسیلمندی و پدیده شکست..... ۱۱۵

فصل هفتم: تراز انرژی سطح زمین ۱۱۹
۷-۱. مقدمه..... ۱۱۹
۷-۲. مقدار ورود و خروج انرژی سطح زمین..... ۱۲۰
۷-۳. انباشت گرما در سطح زمین..... ۱۲۲
۷-۴. گرمای انباشته شده در خاک..... ۱۲۳
۷-۵. گرمایش تابشی سطح زمین ۱۲۹
۷-۵-۱. جذب تابش خورشیدی در سطح زمین ۱۲۹
۷-۵-۲. گرمایش تابش بلند موج خالص سطح زمین..... ۱۳۳
۷-۶. لایه مرزی هواسپهر..... ۱۳۵
۷-۶-۱. لایه مرزی خنثی ۱۴۰
۷-۶-۲. چینه بندی لایه مرزی ۱۴۳
۷-۷. شارهای گرمای محسوس و گرمای نهان در لایه مرزی..... ۱۴۵
۷-۸. نسبت تعادلی باون در شرایط اشباع..... ۱۴۸
۷-۹. تغییر مؤلفه‌های تراز انرژی در راستای عرض جغرافیایی..... ۱۵۱
۷-۱۰. نوسان روزانه تراز انرژی سطح زمین..... ۱۵۴
۷-۱۱. نوسان فصلی تراز انرژی در خشکی‌ها..... ۱۵۹
۷-۱۲. مؤلفه‌های شار انرژی سطح اقیانوس‌ها ۱۶۱

فصل هشتم: چرخه آبشناسی ۱۶۷
۸-۱. ضرورت آب برای آب و هوا و زندگی ۱۶۷
۸-۲. بیلان آب..... ۱۷۰

۸-۳. ذخیره آب و رواناب سطح زمین ۱۷۳
۸-۴. بارندگی و شبنم ۱۷۵
۸-۵. تبخیر و تعرق ۱۷۶
۸-۵-۱. سنجش تبخیر و تعرق ۱۷۹
۸-۵-۲. تبخیر از سطح زمین نمناک ۱۸۱
۸-۵-۳. تبخیر پتانسیل ۱۸۳
۸-۶. مدل سازی بیلان آبی در سطح خشکی‌ها ۱۸۳
۸-۶-۱. مدل آبشناسی باکت ۱۸۴
۸-۶-۲. مدل‌های پیچیده‌تر فرآیندهای سطح زمین ۱۸۵
۸-۷. نوسان سالانه بیلان آبی زمین ۱۸۸
۸-۸. مورد کاوی محاسبه ترازنامه آبی ایستگاه هواشناسی اصفهان ۱۸۹
۸-۸-۱. محاسبه میانگین ماهانه تبخیر و تعرق ۱۸۹
۸-۸-۲. تعیین آستانه خشکی در تراز آبی ۱۹۰
۸-۸-۳. چگونگی محاسبه ترازنامه آبی ماهانه ۱۹۲

فصل نهم گردش عمومی هوا ۱۹۷
۹-۱. مقدمه ۱۹۷
۹-۲. تراز انرژی هواسپهر ۱۹۸
۹-۳. حرکات هوا و انتقال نصف‌النهاری انرژی ۲۰۰
۹-۳-۱. مؤلفه‌های باد ۲۰۰
۹-۳-۲. گردش باد مداری ۲۰۲
۹-۳-۳. گردش‌های پیچانه‌ای و انتقال نصف‌النهاری ۲۰۵
۹-۳-۴. بررسی عمودی میانگین شار نصف‌النهاری انرژی ۲۱۰
۹-۳-۵. شار نصف‌النهاری آب در هواسپهر ۲۱۵
۹-۴. تعادل تکانه زاویه‌ای (دورانی) ۲۱۶
۹-۵. الگوهای بزرگ مقیاس گردش هوا و آب و هوا ۲۲۳
۹-۵-۱. آب و هوای موسمی ۲۲۷

۹-۵-۲. آب و هوای بیابانی ۲۳۰
۹-۵-۳. آب و هوای مرطوب ۲۳۶
۹-۵-۴. آب و هوای با دو دوره خشک و مرطوب استوایی ۲۴۰

فصل دهم: گردش عمومی اقیانوسی و آب و هوا ۲۴۵
۱۰-۱. مقدمه ۲۴۵
۱۰-۲. ویژگی‌های آب دریا ۲۴۶
۱۰-۳. لایه آمیخته اقیانوسی ۲۵۴
۱۰-۴. رانش باد و گردش اقیانوسی ۲۶۱
۱۰-۴-۱. جریان‌های کرانه‌های غربی اقیانوسی ۲۶۲
۱۰-۴-۲. جریان‌های کرانه‌های شرقی اقیانوسی ۲۶۵
۱۰-۴-۳. تغییرپذیری درون سالانه اقیانوس آرام در مناطق استوایی (انسو) ۲۶۸
۱۰-۴-۴. نوسان اطلس شمالی (نائو) ۲۷۲
۱۰-۵. نظریه‌های رانش باد در گردش جریان‌های اقیانوسی ۲۷۳
۱۰-۵-۱. لایه اکمن، انتقال رانش باد و خیزش آب ۲۷۳
۱۰-۵-۲. جریان سِوردراپ و جریان‌های حاشیه باختری اقیانوسی ۲۸۱
۱۰-۶. ژرفای گردش دماشوری (ترموهالین) ۲۸۴
۱۰-۷. انتقال انرژی در اقیانوس ۲۸۹
۱۰-۸. سازوکارهای انتقال در اقیانوس ۲۹۳
۱۰-۸-۱. رانش جریان‌های اقیانوسی توسط باد ۲۹۴
۱۰-۸-۲. گردش عمیق دماشوری (ترموهالین) ۲۹۵
۱۰-۸-۳. پیچانه‌های میان اقیانوسی ۲۹۶

- کتاب شناسی ۲۵۷
- واژه‌ها، نام‌ها و نشانه‌ها ۲۷۵
- Appendix, Words, names and Abbreviations (English to Persian) I

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۱: تراز درونداد و برونداد انرژی سامانه زمین ۱۱
جدول ۲-۱: مشخصات خورشید ۱۸
جدول ۲-۲: مشخصات سیارات بیرونی و درونی ۱۹
جدول ۲-۳: مشخصات فیزیکی سیارات منظومه خورشیدی ۲۰
جدول ۳-۱ : طول موج رنگ‌های طیف مرئی به میکرومتر ۵۴
جدول ۴-۱: درصد حجم هوای خشک ترکیبات هواسپهر در نزدیکی سطح زمین ۶۳
جدول ۴-۲: فشار هوای معیار در راستای شاقولی ۶۸
جدول ۴-۳: میانگین ارتفاع سطوح همفشار در هواسپهر ۶۸
جدول ۴-۴: ارتفاع گرادیان نسبت به سطح زمین با توجه به ضریب ناهمواری زمین ۷۲
جدول ۵-۱ : نسبت مقدار افزایش (Mh) به (M)، بر پایه زاویه تابش خورشید ۱۰۰
جدول ۵-۲ : پراکندگی جغرافیایی تابش مستقیم و پراکنده خورشید ۱۰۲
جدول ۶-۱: آلبدو پوشش‌های ناهمگون سطح زمین در سرتاسر طیف تابش به درصد ۱۰۷
جدول ۶-۲: رابطه بین آلبدوی سطح آب و زاویه سرسوی خورشید ۱۱۰
جدول ۶-۳: گرمای ویژه و هدایت گرمایی برخی از عناصر تشکیل دهنده سطح زمین ۱۱۴
جدول ۷-۱: ویژگی‌های ترکیبات خاک در دمای ۲۹۳ کلوین (۲۰ درجه سلسیوس) ۱۲۴
جدول ۷-۲: آلبدو (سپیدایی) سطح خاک‌های نمناک و خاک‌های خشک ۱۳۲
جدول ۷-۳: گسیل فروسرخ برخی از سطوح به درصد ۱۳۴
جدول ۷-۴: میانگین مؤلفه‌های معادله تراز انرژی سطح زمین در راستای عرض جغرافیایی ۱۵۲
جدول ۷-۵: تراز انرژی سالانه در سطح اقیانوس‌ها و قاره‌ها ۱۵۴
جدول ۸-۱: درصد و مقدار منابع آب گوی زمین به میلیون کیلومتر مکعب ۱۶۹
جدول ۸-۲: بیلان آب اقیانوس‌ها و قاره‌ها به میلی‌متر در سال ۱۷۲
جدول ۸-۳: میانگین ماهانه تبخیر و تعرق پتانسیل ایستگاه هواشناسی اصفهان ۱۹۱

جدول ۸-۴: آستانه خشکی بر پایه روش تورنث وایت ۱۹۲
جدول ۸-۵: ترازنامه آبی اصفهان بر پایه روش تورنث وایت ۱۹۳
جدول ۹-۱: نوع و مقدار انرژی هواسپهر در مقیاس جهانی..... ۲۱۱

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱: نقش خمیدگی سطح زمین بر شدت تابش رسیده به سطح زمین ۱۳
شکل ۲-۱: منطقه سایه سیاره‌های کروی. ۲۷
شکل ۲-۲: شارهای انرژی در مقیاس سیاره‌ای با اتمسفر شفاف. ۲۹
شکل ۲-۳: جریان انرژی تابشی و غیر تابشی سطح زمین و اتمسفر ۳۱
شکل ۲-۴: رابطه زاویه سرسوی تابش خورشید با سطح زمین و سطح سایه ۳۴
شکل ۲-۵: منحنی میانگین روزانه آفتابگیری در مرز اتمسفر ۳۶
شکل ۲-۶: میانگین سالانه و انقلابین آفتابگیری به عنوان تابعی از عرض جغرافیایی ۳۷
شکل ۲-۷: میانگین وزنی روزانه زاویه سرسوی خورشید بر حسب آفتابگیری ۳۷
شکل ۲-۸: نقشه میانگین ضریب سپیدایی ۳۹
شکل ۲-۹: نقشه برونداد تابش بلند موج زمین ۴۰
شکل ۲-۱۰: نقشه درونداد تابش خالص در مرز اتمسفر زمین ۴۲
شکل ۲-۱۱: نمودار میانگین سالانه جذب تابش خورشیدی ۴۳
شکل ۲-۱۲: نمودار تراز انرژی در سامانه آب و هوا ۴۴
شکل ۲-۱۳: میانگین سالانه انتقال نصف‌النهاری انرژی ۴۵
شکل ۳-۱: چرخه ۱۱ ساله فعالیت لکه‌های خورشیدی ۵۱
شکل ۴-۱: لایه‌های مختلف هواسپهر و نیم رخ شاقولی فشار و دمای هوا ۷۶
شکل ۵-۱: مسافت پیموده شده پرتو خورشید در هواسپهر ۱۰۱
شکل ۶-۱: بازتاب آیینه‌ای (زاویه‌ای) ۱۰۹
شکل ۶-۲: بازتاب همه سویه (پخش و پراکنش) ۱۱۰
شکل ۶-۳: ترکیبی از بازتاب زاویه‌ای و بازتاب همه سویه در محیط‌های شهری ۱۱۱
شکل ۶-۴: پدیده شکست نور ۱۱۶
شکل ۷-۱: رابطه اشکال مختلف تراز انرژی سطح زمین ۱۲۱
شکل ۷-۲: دمای ژرفای مختلف خاک، تابع ساعت روز ۱۲۶

شکل ۷-۳: دما در ساعات مختلف روز، تابع ژرفای خاک.....۱۲۶
شکل ۷-۴: وابستگی آلبدو سطح آب به زاویه سرسوی خورشید و ابرناکی..... ۱۳۱
شکل ۷-۵: توانایی بازتاب پوشش طبیعی سطح زمین، تابعی از طول موج تابش ۱۳۱
شکل ۷-۶: ساختار یک لایه مرزی همرفتی..... ۱۳۷
شکل ۷-۷: دمای هوای لایه مرزی در ساعات مختلف..... ۱۴۰
شکل ۷-۸: میانگین چرخه روزانه سرعت باد به عنوان تابع ارتفاع ۱۴۵
شکل ۷-۹: نم ویژه اشباع و نسبت تعادلی باون به عنوان توابع دما ۱۵۰
شکل ۷-۱۰: میانگین سالانه شارهای تراز انرژی سطح زمین در راستای عرض جغرافیایی .. ۱۵۱
شکل ۷-۱۱: مؤلفه‌های تراز انرژی تابشی سطح زمین پوشیده شده از علفزار..... ۱۵۵
شکل ۷-۱۲: مقدار ورود و خروج انرژی گرمایی بستر خشک دریاچه ۱۵۷
شکل ۷-۱۳: بودجه گرمایی کشتزار ذرت رسیده ۱۵۸
شکل ۷-۱۵: چرخه سالانه مؤلفه‌های بودجه گرما در چند محل در عرض‌های میانه..... ۱۶۰
شکل ۷-۱۶: چرخه سالانه مؤلفه‌های بودجه گرما در جریان گلف استریم..... ۱۶۲
شکل ۷-۱۷: بیشترین چرخه میانگین سالانه مؤلفه‌های بودجه انرژی در اقیانوس‌ها..... ۱۶۳
شکل ۸-۱: نمودار کلی کلان شارهای آب در چرخه آبشناسی جهان به سانتیمتر ۱۶۸
شکل ۸-۲: پراکندگی میانگین سالانه بیلان آبی سطح زمین در راستای عرض جغرافیایی .. ۱۷۱
شکل ۸-۳: نقش تاج پوشش گیاهی بر شارهای انرژی و آب..... ۱۷۸
شکل ۸-۴: ترازنامه آبی اصفهان بر پایه روش تورنث وایت ۱۹۶
شکل ۹-۱: توزیع میانگین مؤلفه‌های تراز انرژی هوا در عرض جغرافیایی در چرخه سالانه.. ۱۹۹
شکل ۹-۲: مقیاس‌های فضایی و زمانی پدیده‌های هواسپهر..... ۲۰۱
شکل ۹-۳: دیاگرام مختصات دکارتی و مؤلفه‌های مداری، نصف‌النهاری و عمودی باد ۲۰۲
شکل ۹-۴: برش عرضی ارتفاع و عرض جغرافیایی میانگین وزش باد مداری..... ۲۰۴
شکل ۹-۵: برش ارتفاعی عرض‌های جغرافیایی گردش میانگین نصف‌النهاری جرم هوا..... ۲۰۶
شکل ۹-۶: نمودار خطوط جریان و خطوط همدما در عرض‌های میانه نیمکره شمالی ۲۰۸
شکل ۹-۷: میانگین ارتفاع سطح فشار ۵۰۰ هکتوپاسکال در ژانویه نیمکره شمالی..... ۲۰۹
شکل ۹-۸: برش نصف‌النهاری شار شمال سوی میانگین مداری دما به وسیله پیچانه ۲۱۰

شکل ۹-۹: شارهای شمال سوی انرژی در جریان‌های پیچانه‌ای و نصف‌النهاری هوا..... ۲۱۳
شکل ۹-۱۰: نمودارهای انتقال انرژی به وسیله میانگین گردش نصف‌النهاری در ژانویه..... ۲۱۴
شکل ۹-۱۱: میانگین سالانه شار شمال سوی انرژی نیمکره شمالی ۲۱۵
شکل ۹-۱۲: همگرایی شار نصف‌النهاری بخار آب در هواسپهر در سال ۲۱۶
شکل ۹-۱۳: برش مداری میانگین شار شمال سوی رطوبت ویژه به وسیله پیچانه‌ها ۲۱۸
شکل ۹-۱۴: مؤلفه تکانه زاویه‌ای حول محور چرخش زمین..... ۲۲۰
شکل ۹-۱۵: برش مداری شار شمال سوی وزش مداری به وسیله پیچانه‌ها..... ۲۲۱
شکل ۹-۱۶: نمودار جریان تکانه زاویه‌ای از زمین به هوا و بازگشت دوباره آن..... ۲۲۲
شکل ۹-۱۷: میانگین زمانی سرعت باد سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در زمستان..... ۲۲۴
شکل ۹-۱۸: شار شمال سوی گرما در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال به کمک پیچانه‌ها..... ۲۲۵
شکل ۹-۱۹: میانگین ماهانه فشار هوای سطح دریا در ژانویه (۲۰۱۰-۱۹۸۱) ۲۲۶
شکل ۹-۲۰: میانگین ماهانه فشار هوای سطح دریا در ژوئیه (۲۰۱۰-۱۹۸۱) ۲۲۶
شکل ۹-۲۱: میانگین ماهانه دمای هوای سطح زمین در ژانویه (۲۰۱۰-۱۹۸۱)..... ۲۲۷
شکل ۹-۲۲: میانگین ماهانه دمای هوای سطح زمین در ژوئیه (۲۰۱۰-۱۹۸۱) ۲۲۸
شکل ۹-۲۳: میانگین فشار سطح دریا و جهت وزش باد ژانویه در منطقه موسمی آسیا ۲۲۹
شکل ۹-۲۴: میانگین فشار سطح دریا و جهت وزش باد ژوئیه در منطقه موسمی آسیا..... ۲۳۰
شکل ۹-۲۵: میانگین ماهانه بارندگی در شبه قاره هندوستان در ژانویه و ژوئیه..... ۲۳۱
شکل ۹-۲۶: پراکندگی آب و هوای بیابانی در آسیا بر اساس الگوی میگز..... ۲۳۲
شکل ۹-۲۷: پراکندگی آب و هوای بیابانی در استرالیا بر اساس الگوی میگز..... ۲۳۲
شکل ۹-۲۸: پراکندگی آب و هوای بیابانی در آمریکای شمالی بر اساس الگوی میگز..... ۲۳۳
شکل ۹-۲۹: پراکندگی آب و هوای بیابانی در آمریکای جنوبی بر اساس الگوی میگز..... ۲۳۳
شکل ۹-۳۰: پراکندگی آب و هوای بیابانی در قاره آفریقا بر اساس الگوی میگز..... ۲۳۴
شکل ۹-۳۱: برآورد ماهواره‌ای میانگین سالانه پوشش ابر ۲۳۷
شکل ۹-۳۲: نمودار برش شرقی، غربی گردش واکر در امتداد خط استوا..... ۲۳۸
شکل ۹-۳۳: رژیم بارندگی ماهانه دو سوی خط استوا در دو نیمکره ۲۳۹
شکل ۹-۳۴: منطقه همگرایی استوایی قاره آفریقا در ژانویه..... ۲۴۱

شکل ۹-۳۵: منطقه همگرایی استوایی قاره آفریقا در ژوئیه ۲۴۱
شکل ۹-۳۶: میانگین فشار هوا و جهت وزش باد در کرانه غربی آفریقا ۲۴۲
شکل ۱۰-۱: میانگین سالانه دمای پتانسیل ژرفای اقیانوس‌ها در عرض‌های جغرافیایی ۲۴۸
شکل ۱۰-۲: میانگین سالانه شوری در ژرفنای اقیانوس‌ها در عرض‌های جغرافیایی ۲۴۹
شکل ۱۰-۳: میانگین سالانه چگالی پتانسیل ژرفای اقیانوس‌ها ۲۵۰
شکل ۱۰-۴: نیمرخ میانگین سالانه دمای اقیانوسی در عرض‌های مختلف جغرافیایی ۲۵۱
شکل ۱۰-۵: منحنی آنومالی چگالی آب دریا نسبت به شوری و دمای آب ۲۵۲
شکل ۱۰-۶: نیمرخ میانگین سالانه شوری اقیانوس‌ها در عرض‌های مختلف جغرافیایی ۲۵۳
شکل ۱۰-۷: نیمرخ عمودی دما، شوری و چگالی پتانسیل ایستگاه اقیانوسی ۲۵۵
شکل ۱۰-۸: دیاگرام مهمترین فرآیندهای لایه آمیخته ۲۵۷
شکل ۱۰-۹: تغییرپذیری فصلی دمای آب‌های سطحی در شمال شرق اقیانوس آرام ۲۵۸
شکل ۱۰-۱۰: بیشینه ژرفای لایه آمیخته در ژوئیه، ژانویه و سالانه ۲۶۰
شکل ۱۰-۱۱: جریان‌های سرد و گرم در چرخاب‌های حوضه‌های بزرگ اقیانوسی ۲۶۱
شکل ۱۰-۱۲: برش عرض جریان گلف استریم ۲۶۴
شکل ۱۰-۱۳: میانگین دمای سطح دریا (SST) در دسامبر، ژانویه و فوریه ۲۶۵
شکل ۱۰-۱۴: میانگین دمای سطح دریا (SST) در ژوئن، ژوئیه و اوت ۲۶۵
شکل ۱۰-۱۵: انحراف (SST) ژوئیه از میانگین مداری آن در هر عرض جغرافیایی ۲۶۶
شکل ۱۰-۱۶: نقشه میانگین فشار هوا در سطح دریا در ژانویه و ژوئیه ۲۶۷
شکل ۱۰-۱۷: برآورد ماهواره‌ای میانگین سالانه پوشش ابر ۲۶۸
شکل ۱۰-۱۸: ساختار گرمایی منطقه استوایی اقیانوس آرام ۲۶۹
شکل ۱۰-۱۹: خیزش آب در مناطق هاشور زده ۲۷۶
شکل ۱۰-۲۰: انتقال افقی آب در لایه اکمن در نیمکره شمالی ۲۷۷
شکل ۱۰-۲۱: جریان عمقی آب در اقیانوس اطلس ۲۸۶
شکل ۱۰-۲۲: برآورد میانگین سالانه انتقال انرژی نصف‌النهاری ۲۹۲
شکل ۱۰-۲۳: برآورد میانگین سالانه انتقال انرژی شمال سو در اقیانوس ۲۹۳

فصل اوّل

وضع هوا، آب و هوا

۱-۱. مقدمه

هواسپهر (Atmosphere) پوشش نازکی از هوا (Air) می‌باشد که گوی زمین را در بر گرفته است. این پوشش گازی نه تنها با لگام ورود و خروج انرژی گرمایی سامانه زمین، نقش بارزی در پالایش انرژی‌های خورشیدی رسیده به سطح زمین و سرانجام تراز انرژی گرمایی کره زمین بازی می‌کند بلکه ویژگی‌های ساختاری و فیزیکوشیمیایی هواسپهر نیز برای زندگی گیاهان، جانوران و انسان نقش سرنوشت سازی دارد. بسیاری از رخدادهای شناخته شده در دوران زمین شناسی به گونه‌ای با دگرگون شدن ویژگی‌های ساختاری و فیزیکوشیمیایی هواسپهر پیوندی روشن داشته است. برای نمونه از یک سو، فوران‌های آتشفشانی و رها شدن گازها و خاکسترهای آتشفشانی ویژگی‌های ساختاری هواسپهر را دگرگون کرده است و از سوی دیگر، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی هواسپهر نقش بارزی در پیدایش دوره‌های یخچالی، میان یخچالی، انقراض گونه‌های جانوری و گیاهی و ... بازی کرده است.

سازگاری زیستمندان با دگرگونی‌های پیوسته و نیز کم و بیش چرخه‌ای هواسپهر ضرورت شناخت ویژگی‌های فیزیکوشیمایی این پوشش گازی شکل زمین را ضرورتی دو چندان بخشیده است. از این روی، دانش هواشناسی (Meteorology) و دانش آب و هواشناسی (Climatology) که از بارزترین دانش‌های علوم زمین به شمار می‌روند؛ شرایط همواره در حال دگرگون شدن ویژگی‌های ساختاری و فیزیکوشیمایی هواسپهر را کنکاش می‌نماید.

۱-۲. دانش هواشناسی

اندرکنش میان هواسپهر با خرده سامانه‌های دیگر گوی زمین مانند آب سپهر، یخ سپهر، سنگ سپهر و زیست سپهر می‌تواند به صورت یکی از سه روش زیر بروز نماید:

الف: داد و ستد **«ماده»** (مانند بخار آب، گازکربنیک، گرد و غبار و ...) که در الگوی چرخه مواد مانند چرخه آب‌شناسی، چرخه کربن و ... پدید می‌آید.

ب: داد و ستد **«انرژی»** (مانند گرمای نهان تبخیر، هدایت مولکولی گرما و ...) که جریان انرژی در پیکره سامانه بزرگ زمین را نمایان می‌سازد.

ج: داد و ستد **«اطلاعات»** و **«شناسه‌ها»** (Signals)، (مانند ویژگی‌های فیزیکی مولکول‌های مماس با یکدیگر که جهت جریان انرژی گرمایی مثلاً از هوا به آب یا آز آب به هوا را مشخص می‌کند).

یکی از پیامدهای روشن هر یک از این پیوندها در یک بازه زمانی بسیار کوتاه و در یک فضای بسیار کوچک، شرایط فیزیکی ویژه‌ای است که در هوای یک محل مشخص پدید می‌آید. از این روی، شرایط فیزیکی پیوسته در حال تغییر هوای هر محل مشخص را **وضع هوا** (Weather) گویند. به سخن دیگر، حالت آنی و زودگذر هوا را "وضع هوا" نامند. هوای گرم، هوای سرد، هوای بارانی، هوای ابری، هوای آفتابی، هوای آرام، هوای توفانی و هوای شرجی نمونه‌هایی از شرایط فیزیکی هوای یک محل ویژه در یک زمان مشخص هستند. بنابراین، وضع هوا به «محل مشخص» و به «زمان محدود» اشاره دارد. چرا که وضع هوا همواره در گذر زمان و در پهنه زمین به آرامی و گاهی به تندی دگرگون می‌شود.

دگرگون شدن بی درنگ و پیوسته وضع هوا دارای الگوهای چرخه‌ای در بازه شبانه روزی، فصلی و ... می‌باشد. برای نمونه افت و خیز دمای هوا دارای چرخه شبانه روزی است یا فصل بارانی در دوره مشخصی در هر سال بازگشت می‌کند. به هر روی، چرخه‌ها نیز در هر بازگشت به دگرگونی دچار می‌شوند. چنان که افت و خیز دمای هوا در یک روز مشخص همانی نیست که در روز پیش از آن رخ داده است. به همین صورت، وضع هوای یک روز مشخص از هر سال (مانند نوروز) در چندین سال پیاپی کم و بیش متفاوت است. برای نمونه وضع هوای نوروزی در یک سال معین بارانی، در سال دیگر آفتابی و در یک سال هم می‌تواند توفانی و ... باشد.

وضع هوا (Weather) یا چگونگی ویژگی‌های فیزیکی و ساختاری هوا در هر جا و در هر زمان مشخص را می‌توان در سیاهه زیر نوشت:

الف: دمای هوا (Air temperature)، که گویای گرمی و سردی هوا می‌باشد.

ب: فشار هوا (Air pressure)، که نشان دهنده نیروی وزن هوا بر فراز یک سطح مشخص است.

ج: **نمناکی هوا** (Air humidity)، که اندازه بخار آب موجود در هوای هر محل مشخص را بیان می‌نماید.

د: **ابرناکی** (Cloudiness)، که گویای توده قابل مشاهده قطره‌های آب و کریستال‌های یخ در هواسپهر می‌باشد.

ه: **میدان دید** (Visibility)، بیشترین شعاع در دایره افق (تراز) است که انسان با دید چشم ($\frac{10}{10}$) می‌تواند ببیند.

و: **باد** (Wind)، به جریان افقی هوا (از کانون پرفشار به سوی کانون کم فشار) باد گویند [قوانین حاکم بر جابجایی هوا موضوع دانش آب و هواشناسی پویشی (دینامیکی) است].

ز: **بارش** (Precipitation)، به هر شکلی از آب (مایع یا جامد)، (باران، برف یا تگرگ) که از ابر فرو ریزد و به سطح زمین برسد، بارش گویند.

وضع هوا (Weather) موضوع دانش هواشناسی (Meteorology) است. هواشناسی بررسی پدیده‌های اتمسفری است و ریشه این واژه به ارسطو فیلسوف یونانی (۳۴۰ سال پیش از میلاد) بر می‌گردد. وی در کتاب متئورولوژیکا (Meteorologyca) که در برگیرنده همه دانش بشری (جغرافیا، ستاره شناسی، شیمی، هواشناسی و ...) بود به پدیده‌هایی مانند ابر، باران، برف، باد، تگرگ، توفان و آذرخش اشاره داشته است، به هر روی، تفسیرهای او از پدیده‌های اتمسفری بر پایه دیدگاه فلسفی و نظری استوار بود. در آن روزگار به هر چیزی که از آسمان فرو می‌افتاد و یا هر چه که در آسمان دیده می‌شد متئور (Meteor) می‌گفتند. دانش هواشناسی به مفهوم امروزی با ساخت دستگاه‌های سنجش ویژگی‌های فیزیکی هوا مانند دماسنج (در قرن شانزدهم میلادی)، فشارسنج (۱۶۴۳ میلادی) و نم سنج (۱۷۰۰ میلادی) به ادبیات دانش بشری وارد شده و تفسیر پدیده‌های اتمسفری با استفاده از آزمایش‌های عملی و قوانین فیزیکی شناخته شده در هر زمان صورت گرفته است. اختراع تلگراف (۱۸۴۳ میلادی) مخابره داده‌های وضع هوا را فراهم نمود و تفسیر پدیده‌هایی مانند باد و توفان را آسان ساخت. رسم نقشه‌های هواشناسی هم فشار سطح زمین (۱۸۶۹ میلادی) زمینه شناخت توده‌های هوا و جبهه‌ها را در قالب فرمول‌ها (۱۹۲۰ میلادی) هموار کرد. داده‌های سطوح بالای اتمسفر مانند دما، نمناکی و فشار هوا به کمک رادیوسوند بسته شده به بالن (۱۹۴۰ میلادی) در دسترس هواشناسان قرار گرفت. پرواز هواپیماها به شناخت جریان‌های نیرومند باد در سطوح بالای هواسپهر یا رودباد (Jet stream) کمک شایانی

کرد. پس از جنگ جهانی دوم، اندازه‌گیری بارش‌ها به کمک رادارهای نظامی ممکن شد. اختراع رایانه (Computer)، (۱۹۵۰ میلادی) توانایی حل معادلات پیچیده ریاضی را که گویای رفتارهای گوناگون هواسپهر بود را میسر نمود و همزمان با ابداع روش عددی برای پیش بینی وضع هوا بود که دانش هواشناسی توانست گام بلندی به جلو بر دارد. پرتاب نخستین ماهواره هواشناسی (Tiros 1)، (۱۹۶۰)، آغازگر دستیابی دانشمندان هواشناسی (Meteorologyist) به بخش گسترده‌ای از اطلاعات مانند تصاویر ابرها، توفان‌ها و رگه‌های بخار آب در حال گردش به دور گوی زمین گردید، اطلاعاتی که به صورت جریانی پیوسته و شبانه روزی در دسترس قرار دارند. امروزه رایانه‌ها داده‌های ثبت شده در پایگاه‌های هواشناسی را بر روی نقشه‌های هواشناسی رسم نموده و وضع هوای پهنه‌های پراکنده شده روی نقشه را در بازه‌های زمانی دلخواه پیش گویی می‌کنند. رادارهای با توانایی بسیار بالای داپلری (۱۹۹۰ میلادی) نیز امکان کشف و ردیابی توفان‌های شدید و نمایش جریان‌های باد را فراهم ساخته و به کارگیری همزمان شبکه‌های ماهواره‌ای و رایانه‌ای توانایی انسان را برای پیش بینی‌های دقیقی و روشنی از **«وضع هوا»** برای مدت دو هفته آینده و یا حتی بیشتر ممکن نموده است (بابایی، ۱۳۹۰: ۲۱).

به طور کلی، بررسی ویژگی‌های فیزیکی و فرآیندهای بروز پدیده‌های اتمسفری مانند ابر، مه، باران، برف، باد، توفان، آذرخش و ... بنیان دانش هواشناسی است. به سخن دیگر، دانش هواشناسی در مقیاس جهانی ترکیبی از کنکاش ویژگی‌های فیزیکی هواسپهر و چگونگی فرآیند بروز پدیده‌های اتمسفری است. دانش هواشناسی نتایج حاصل از بررسی رخدادهای اتمسفری را به صورت ارقام و فرمول بیان می‌کند (جعفرپور، ۱۳۶۷: ۲).

دانشمندان هواشناسی چگونگی تغییرپذیری ساختار اتمسفری، نقش آلودگی‌های هواسپهر و افزایش گازهای گلخانه‌ای بر الگوهای دمای هوا و سایر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی هوا و ... را به کمک ابر رایانه‌ها مورد بررسی قرار می‌دهند. آن‌ها برای بررسی فرآیندها و برآیندهای اندرکنش میان هواسپهر با خرده سامانه‌های دیگر گوی زمین مانند آب سپهر، یخ سپهر، سنگ سپهر و زیست سپهر تعامل تنگاتنگی با دانشمندان ریاضی، شیمی، فیزیک، آب و هواشناسی، اقیانوس شناسی، زیست شناسی و ... دارند. ابزار شناسایی و تفسیر دانش هواشناسی، اصول و قوانین و مدل‌های فیزیکی و دینامیکی است.

☜ دانش هواشناسی را می‌توان به چند بخش جدا نمود:

هواشناسی فیزیکی، که بر پایه قوانین فیزیکی به بررسی چگونگی گرمایش هوا و تغییرپذیری انرژی خورشیدی در هواسپهر می‌پردازد.

هواشناسی پویشی (دینامیکی)، که بر پایه قوانین مکانیک و ترمودینامیک (گرما پویشی) و با به کارگیری معادلات ریاضی به بررسی فرآیندها و برآیندهای جریان هوا و رودبادها می‌پردازد.

هواشناسی همدید (سینوپتیک)، وضع هوا را به کمک ترسیم نقشه‌های همدید بررسی نموده و چگونگی تغییر آن را برای روزهای آینده پیش بینی می‌نماید.

هواشناسی کاربردی، به کمک ارائه اطلاعات عمومی در قالب پیش بینی وضع هوا، اطلاعات تخصصی و هشدارهای مورد نیاز طراحان شهری، کارگردانان، کشاورزان، سازمان‌های مدیریت بحران و ریسک، شرکت‌های بزرگ و ... را در دسترس آن‌ها قرار می‌دهد.

۱-۳. دانش آب و هواشناسی

برآیند کلان ناشی از دگرگون شدن **وضع هوا** در یک محل مشخص و در گذر روزگاری دراز، الگوی بزرگ و سامانمندی (Systematic) می‌سازد که **آب و هوا** (Climate) نامیده می‌شود. به سخن دیگر، برآیند همه اندرکنش‌هایی که سامانه‌های هواسپهر، آب سپهر، سنگ سپهر، زیست سپهر و یخ سپهر را به یکدیگر پیوند می‌دهد آب و هوا را برپا می‌نماید (مسعودیان، ۲:۱۳۹۰). برخی آب و هوا را برآیند وضع هوای چیره در یک محل مشخص و در بازه زمانی نسبتاً طولانی بیان کرده‌اند (علیجانی و کاویانی، ۱۳۷۱: ۳). منظور از وضع هوای چیره، شرایط فیزیکی ویژه‌ای از هوا می‌باشد که بروز آن شرایط در یک محل مشخص دارای بیشترین فراوانی بوده است.

بنابراین با گذشت روزگار، الگوی آب و هوایی یک محل به آرامی ساخته می‌شود و به آرامی دگرگون می‌گردد. به همراه ساخته شدن و دگرگون شدن الگوی آب و هوایی در یک سرزمین مشخص، همه پدیده‌های محلی نیز خود را با ویژگی‌های آب و هوایی آن‌جا سازگار می‌نمایند. سازگاری با الگوی آب و هوای محلی در همه پدیده‌های طبیعی و انسانی مانند ریخت شناسی، ویژگی‌های خاک، پوشش گیاهی، زندگی جانوری، آب‌های سطحی و زیرزمینی قابل دسترس، کارکردهای انسانی و ... بروز می‌نماید. این پدیده‌ها برای سازگار شدن با دگردیسی آب و هوا پیوسته به دگرگونی دچار می‌شوند (طاوسی، ۱۳۹۴: ۲).

پهنه بندی الگوهای آب و هوایی کره زمین (Climates) و شناخت ویژگی‌های آب و هوای هر محل مشخص، موضوع دانش آب و هواشناسی (Climatology) می‌باشد. آب و هواشناسی با استفاده از داده‌های هواشناسی، شرایط محیط جغرافیایی و زیستی را بررسی می‌نماید. در این راستا، دانش آب و هواشناسی تلاش می‌کند تا چرایی (؟) پیدایش یک الگوی ویژه آب و هوایی در یک محل مشخص را تبیین نموده و تفاوت‌های مکانی الگوهای متفاوت آب و هوایی بر پایه شرایط فیزیکی و دینامیکی هوا و ویژگی‌های جغرافیایی هر محل را تفسیر کند. آب و هواشناسی با هدف تجزیه و تحلیل پیامدهای فرآیندهای جوّی بر زندگی گیاهان، جانوران و به ویژه انسان، پیوند میان زندگی و رخدادهای اتمسفری را بررسی می‌نماید.

در آب و هواشناسی بیش از اهمیّت ویژگی‌های فیزیکی و فرآیندی هر پدیده در هواسپهر، پیامدهای فیزیکی آن به عنوان یک عنصر (Parameter) یا عامل (Factor) آب و هوایی مورد توجه است. به هر روی برای شناخت این پیامدها، بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی هوا و چگونگی بروز فرآیندهای اتمسفری نیز ضروری است.

ابزار شناسایی و تفسیر دانش آب و هواشناسی علاوه بر اصول، قوانین و مدل‌های فیزیکی و دینامیکی، از اصول و مفاهیم جغرافیایی نیز استفاده می‌شود (علیجانی و کاویانی، ۱۳۷۱: ۴).

تفسیر و تبیین پدیده‌ها و الگوهای آب و هوایی مستلزم بررسی ویژگی‌های فیزیکی (پارامترهای آب و هوایی) و ساختاری (فاکتورهای آب و هوایی) هر الگوی آب و هوایی می‌باشد.

۱-۳-۱. عناصر آب و هوایی

عناصر آب و هوایی (Parameters) برآیند دراز مدت چگونگی ویژگی‌های فیزیکی و ساختاری هواسپهر (وضع هوا) در یک محل مشخص و گویای ویژگی‌های الگوی آب و هوا در همان محل هستند. بر پایه روابط آماری می‌توان داده‌های (Data) ثبت شده هواشناسی (وضع هوا) هر محل مشخص را در یک بازه زمانی معین به صورت داده‌های آماری سازماندهی نمود و سپس با محاسبه شاخص‌های آماری مانند شاخص‌های گرایش مرکزی (Central Tendency)، شاخص‌های پراکندگی (Dispersion Indexes) و ...، ضمن تعیین آماره‌ها (Statistics) (یا عناصر نمونه آماری) و پارامترها (یا عناصر جامعه آماری) که بارزه الگوی آب و هوای آن محل می‌باشند، به بررسی روند تغییرپذیری هر یک از متغیرها (Variable) در گذر زمان پرداخت (مهدوی و طاهرخانی، ۱۳۸۳: ۱۹). با این گمان که پراکندگی داده‌های هواشناسی (وضع هوا) از توزیع نرمال

(The Normal Distribution) پیروی می‌کند، می‌توان هر یک از شاخص‌های مرکزی مانند میانگین، مد (نما) و میانه آماری داده‌های وضع هوا (به عنوان نماینده اکثریت جامعه آماری) را نشانه وضع هوای چیره محل پنداشته و به عنوان **عناصر آب و هوایی** بیان کرد. به سخن دیگر، با گمان نرمال بودن توزیع داده‌های هواشناسی، هر یک از شاخص‌های مرکزی داده‌های هواشناسی می‌توانند گویای رخداد وضع هوای چیره در یک دوره مشخص (شبانه روز، ماه، فصل، سال و یا یک بازه زمانی چندین ساله) باشند؛ زیرا هنگامی که پراکندگی داده‌های یک جامعه آماری (Population) دارای توزیع نرمال باشد پارامتر میانگین، میانه و مد (نما) بر یکدیگر منطبق خواهند بود. بر پایه این گمان و برای نمونه میانگین ماهانه دمای هوا می‌تواند گویای رخداد وضع هوای چیره (بیشترین فراوانی) نیز باشد. باید گفت داده‌های دیدبانی شده وضع هوا در یک دوره آماری مشخص و محدود که به داده‌های آب و هوایی تبدیل می‌گردد، در واقع نمونه آماری (Sample) الگوی آب و هوای یک محل معین می‌باشد و از آنچه به عنوان عناصر آب و هوایی از آن یاد می‌شود در حقیقت آماره یکی از نمونه‌های دیدبانی شده الگوی آب و هوای یک محل مشخص است. در اینجا برای واژه‌های «آماره»، «پارامتر» و «عنصر» آب و هوایی معنی مترادف در نظر گرفته شده است.

عناصر آب و هوایی که گویای رخداد وضع هوای چیره در یک بازه زمانی مشخص (ماه، فصل، سال و ...) هستند عبارت است از:

الف: میانگین دمای هوا، مانند: میانگین دمای روزانه، میانگین بیشینه دمای روزانه، میانگین کمینه دمای روزانه، میانگین شمار روزهای یخبندان و ...

ب: میانگین نمناکی هوا، مانند: میانگین روزانه نم نسبی، میانگین روزانه بیشینه نم نسبی، میانگین روزانه کمینه نم نسبی، میانگین شمار روزهای بارانی، میانگین مجموع بارندگی و ...

ج: میانگین ساعات تابش خورشید، مانند: میانگین ساعات آفتابی، میانگین مقدار ابرناکی هوا و ...

د: میانگین فشار هوا، مانند: میانگین فشار هوا در سطح دریا، میانگین فشار هوا در سطوح مختلف اتمسفر و ...

ه: میانگین تبخیر و تعرق، مانند: میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل، میانگین تبخیر و تعرق واقعی و ...

و: **میانگین داده‌های ثبت شده باد،** مانند: میانگین سرعت باد، جهت وزش باد چیره، میانگین شمار روزهای توفانی، میانگین شمار روزهای گرد و غباری و ...

ز: **آمیزه‌ای از پارامترهای دیگر،** مانند: نسبت میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل به میانگین بارندگی، ضریب خشکی (نمناکی) هوا، ضریب تغییر پذیری بارندگی، میانگین شمار روزهای مه آلود و ...

۱-۳-۲. سازندگان آب و هوا

شکل‌گیری تدریجی آب و هوای هر محل مشخص که در روزگاری کم و بیش طولانی رخ داده است پیامد کارکرد چندین عامل (Factor) ساختاری و فرآیندی است. کنشگرانی که سازندگان آب و هوای هر محل مشخص به شمار می‌روند را می‌توان در سیاهه زیر نوشت:

- **عرض جغرافیایی** یا دوری و نزدیکی هر محل نسبت به استوای زمین و نقش آن در پراکندگی انرژی تابشی خورشیدی رسیده به سطح زمین مانند «زاویه تابش» و «مدت تابش» که در فصول سال متغیر است.
- **خاستگاه جهانی هسته‌های پرفشار و کم فشار** و قلمرو گسترش آن‌ها در هر یک از فصول سال.
- **کوچ توده‌های هوا،** قلمرو گسترش و پیشروی چتر توده‌های هوای سرد قطبی، گرم استوایی و ... در هر یک از فصول سال.
- **الگوی وزش بادهای چیره** در هر دوره معین سال در هر محل مشخص (با توجه به این که سرعت وجهت باد کم و بیش در لگام دیگر فاکتورهای ساختاری و فرآیندی آب و هوا می‌باشد، آن را یک عنصر آب و هوایی به شمار می‌آورند. ولی تغییرپذیری فصلی سرعت و جهت باد چیره و نقش آن در الگوسازی آب و هوای هر محل روشن است. برای نمونه تغییرپذیری فصلی باد (مانند بادهای موسمی) می‌تواند دوره‌های خشک و بارانی یک محل مشخص را لگام نماید.
- **هندسه فضایی پراکندگی دریاها و خشکی‌ها** گویای دوری و نزدیکی هر محل نسبت به دریاها می‌باشد که سرچشمه بنیانی بخار آب هواسپهر و بارندگی به شمار می‌روند.
- **بلندی زمین** که ناشی از چین خوردگی و ناهمواری‌های سطح زمین می‌باشد.

- **پوشش زمین** مانند پهنه‌های آبی، جنگل‌ها، علف‌زارها، سرزمین‌های استپی، کویرهای برهنه و بدون پوشش گیاهی، سراشیبی‌های سنگی کوهستان، شن زارها، پهنه‌های پوشیده از یخ و برف و ...
- **داد و ستد انرژی گرمایی** میان جریان‌های اقیانوسی و هواسپهر.
- **پراکندگی ناهمواری‌ها** مانند دیوارهای کوهستانی و چگونگی جهت چین خوردگی آن‌ها.
- **کارکردهای انسانی،** امروزه کارکردهای انسانی در رخدادهایی مانند: گرمایش زمین، پیدایش جزیره گرمایی شهرها و به طور کلی دگرگونی الگوهای آب و هوایی و بروز پدیده‌های ویرانگری مانند بیابانزایی نقش کلانی بازی می‌کند.

از نگاه کارکردی، نقش ساختاری و فرآیندی چهار فاکتور آب و هوایی نخست است که زمینه پیدایش نوسان‌های فصلی آب و هوایی را در چرخه‌های با بازگشت فصلی فراهم می‌سازند. از آنجایی که نقش دیگر سازندگان الگوهای آب و هوایی در هر محل در سرتاسر سال کم و بیش یکسان است، نوسان‌های آب و هوایی نمی‌تواند به آن‌ها بستگی چندان داشته باشد. اینان سازندگان محلی آب و هوا به شمار می‌روند که استخوان بندی و چارچوب آب و هوای هر محل مشخص را می‌سازند.

بر پایه برتری هر یک از این عوامل که سازندگان آب و هوا به شمار می‌روند، الگوهای بسیار گوناگون آب و هوایی مانند آب و هوای بیابانی، آب و هوای قطبی، آب و هوای اقیانوسی و ... در گستره زمین پدیدار شده است.

به هر روی، عرض جغرافیایی برجسته‌ترین نقش را در الگوسازی آب و هوای کره زمین به دوش دارد. چرا که قلمرو جولان سایر بازیگران فرا محلی را در فصول متفاوت سال مشخص می‌کند؛ بازیگرانی که در هر دوره سال در قلمرو مشخصی از عرض جغرافیایی جابجا می‌شوند عبارتند از:

الف: جایگاه سالانه تابش سرسوی خورشیدی در هنگام نیمروز محلی، که میان مدار ۲۳/۵ درجه شمالی (رأس‌السرطان) و جنوبی (رأس‌الجدی) در دو سوی استوا جابجا می‌گردد.

ب: قلمرو فصلی همگرایی میان مداری (ITCZ) و گستره‌ای که در آن همرفت هوای گرم صورت می‌گیرد و در بیشتر موارد ابر و بارندگی به همراه می‌آورد.

ج: قلمرو گسترش هسته پرفشار جنب استوایی و پیوندی که با فرونشینی هوا، آسمان صاف و خشکی هوا دارد.

د: جایگاه نسبی جبهه قطبی (Polar front) و قلمرویی که در آن ابر و بارندگی می‌سازد.

هـ: قلمرو گسترش تاوه قطبی (Polar vortex) و پیوندی که با فرونشینی هوا، آسمان صاف و بارش ناچیز در درون هسته این حلقه دارد.

و: جابجایی فصلی توده‌های هوای گرم میان مداری و جنب استوایی از یک سو و توده‌های هوای سرد قطبی از سوی دیگر که ناشی از گسترش هر یک از آن‌ها در دوره مشخصی از سال و جایگزین شدن آن‌ها بجای یکدیگر می‌باشد.

بطورکلی میان قلمرو کوچ سامانه‌های همگرایی میان مداری (ITCZ)، هسته‌های پرفشار جنب استوایی (STHP)، جبهه قطبی (Polar Front) و همچنین جابجایی توده‌های هوای سرد قطبی (polar air mass) از یک سو و توده‌های هوای گرمسیری میان مداری و جنب استوایی (Tropical air masses) از سوی دیگر پیوندی همسو با جابجا شدن فصلی زاویه (مدار) میل خورشید (Solar declination angle) وجود دارد. به هر روی بسیاری از ویژگی‌های هر یک از الگوهای آب و هوایی که در گستره گوی زمین پراکنده شده‌اند کم و بیش به کارکرد فصلی و کوچ این فاکتورهای آب و هوایی بستگی دارد. برای نمونه مدار ۱۵ درجه عرض شمالی، در هنگام انقلاب زمستانی (Winter Solstice) زیر پوشش پرفشار جنب استوایی و در هنگام انقلاب تابستانی (Summer Solstice) زیر چتر همگرایی میان مداری است. در عوض، مدار ۶۰ درجه شمالی که در زمان انقلاب زمستانی میدان تاخت و تاز توده‌های هوای قطبی است، در هنگام اعتدالین (Equinoxes) محل جولان جبهه قطبی می‌گردد. این مدار در هنگام انقلاب تابستانی، منطقه گسترش توده‌های هوای میان مداری و جنب استوایی می‌باشد (طاوسی، ۱۳۹۴: ۵).

۱-٤. موضوع دانش آب و هواشناسی فیزیکی

موضوع دانش آب و هواشناسی فیزیکی بررسی سیر تغییر و تبدیل انرژی است. سرچشمه انرژی سامانه گوی زمین، انرژی تابشی خورشید است. پرتوافشانی بی امان خورشید، درونداد انرژی زمین را پشتیبانی می‌نماید و تابش فروسرخ زمین و بازتاب (انعکاس) سیاره‌ای برونداد انرژی زمین را می‌سازد. برای این که مقدار انرژی زمین به صورت کنونی ثابت باقی بماند و میانگین

جهانی دمای هوا به افت و خیز دچار نشود، به ناچار بایست همواره بین درونداد و برونداد انرژی سامانه کره زمین موازنه (تراز) انرژی بر قرار باشد (درونداد = برونداد)، (جدول ۱-۱). بررسی گذشته زمین گویای این است که کاهش میانگین دمای زمین و گسترش یخ پهنه‌های دوره‌های یخچالی پیامد تراز منفی انرژی زمین (درونداد < برونداد) بوده و رخداد تراز مثبت انرژی زمین (درونداد > برونداد)، افزایش میانگین دمای زمین و عقب نشینی یخچال‌ها را در پی داشته است.

جدول ۱-۱: تراز درونداد و برونداد انرژی سامانه زمین

فرآیند تابش انرژی			اندازه	جمع
درونداد (+)	تابش کوتاه موج خورشیدی	تابش جذب شده در هواسپهر	+۰/۰۹	+۰/۳۳
		تابش جذب شده در سطح زمین	+۰/۲۴	
برونداد (-)	تابش کوتاه موج خورشیدی	بازتاب از سطح ابرها به سوی فضای کیهانی	-۰/۱۳	-۰/۱۷
		بازتاب از هواسپهر به سوی فضای کیهانی	-۰/۰۳	
		بازتاب از سطح زمین به سوی فضای کیهانی	-۰/۰۱	
	تابش بلند موج	تابش فروسرخ هواسپهر به سوی زمین	-۰/۵۳	-۰/۰۹
		تابش فروسرخ هواسپهر به سوی فضای کیهانی	-۰/۳۰	
		دریافت تابش فروسرخ سطح زمین در هواسپهر	+۰/۵۷	
		دریافت انرژی در هواسپهر طی فرآیند تبخیر و همرفت	+۰/۱۷	
		تابش فروسرخ سطح زمین به سوی فضای کیهانی (پنجره هواسپهر)	-۰/۰۳	-۰/۲۴
		تابش فروسرخ زمین به سوی هواسپهر	-۰/۵۷	
		برونداد انرژی زمین طی فرآیند همرفت هوا	-۰/۰۵	
		برونداد انرژی زمین طی فرآیند تبخیر	-۰/۱۲	
		دریافت تابش فروسرخ هواسپهر در سطح زمین	+۰/۵۳	

۱- میانگین تابش کوتاه موج خورشید ۰/۵۰+ است (۰/۳۳ جذب و ۰/۱۷ بازتاب).

۲- میانگین برونداد سامانه زمین نیز ۰/۵۰- است (بازتاب ۰/۱۷ و تابش بلند موج زمین ۰/۳۳).

۳- مجموع درونداد تابش کوتاه موج خورشیدی (۰/۳۳+) با مجموع برونداد تابش بلند موج سامانه زمین [۰/۳۳- = (۰/۰۹-) + (۰/۲۴-)] نیز تراز می‌باشد (قائمی، ۱۳۷۵: ۱۴۸).

انرژی وارد شده به درون سامانه زمین، پیوسته و بی درنگ در حال تغییر و تبدیل است. پیدایش الگوهای متفاوت آب و هوایی در پهنه زمین یکی از پیامدهای تفاوت شدت تغییرپذیری و تبدیل انرژی در زمان و مکان است. مقدار انرژی در هر محل مشخص در روی زمین بر پایه رابطه زیر به دست می‌آید :

رابطه ۱-۱ : $$E = (I_a + I_g + I_{\Delta h}) - (O_a + O_g + O_{\Delta h})$$

تراز انرژی (E) برآیند تفاوت مقدار درونداد انرژی (I) با مقدار برونداد انرژی (O) سامانه زمین است. به سخن دیگر تراز انرژی هر محل مشخص در یک بازه زمانی محدود، از یک سو به مقدار درونداد انرژی در سطح زمین (I_g)، در هوای فراز محل (I_a) و اختلاف افقی کمبود انرژی گرمایی آن محل نسبت به مازاد انرژی گرمایی سرزمین‌های پیرامونی ($I_{\Delta h}$) بستگی دارد و از سوی دیگر به مقدار برونداد انرژی در سطح زمین (O_g)، در هوای فراز محل (O_a) و اختلاف افقی مازاد انرژی گرمایی آن محل نسبت به کمبود انرژی گرمایی سرزمین‌های پیرامونی ($O_{\Delta h}$) وابسته است.

برخی از وادشت‌ها (Forcing) که پراکندگی مکانی و زمانی مقدار انرژی را در پهنه گوی زمین به بار می‌آورند به صورت ویژگی‌های ساختاری و فرآیندی در سیاهه زیر بر شمرده شده است :

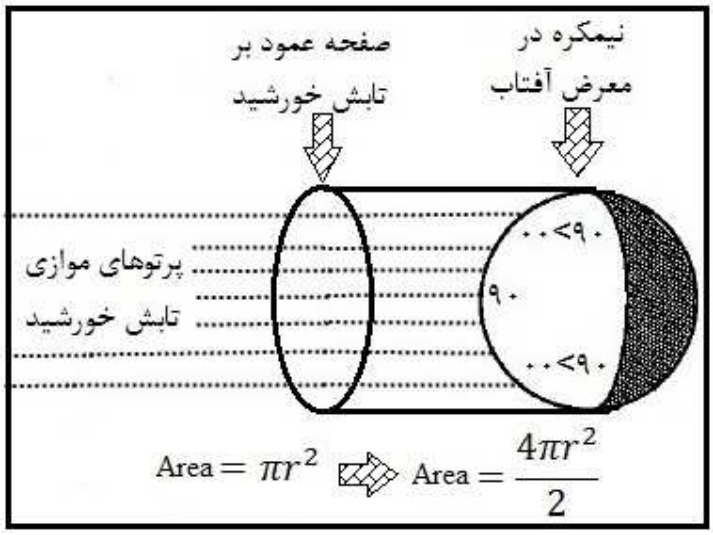
- **خمیدگی سطح زمین،** این ویژگی ساختاری باعث می‌شود که انرژی تابشی خورشید در سطح نیمکره روشن زمین که بزرگ‌تر از سطح عمود بر تابش پرتوهای موازی خورشید است، توزیع شود (شکل ۱-۱). در نتیجه درونداد انرژی تابشی پرتوهای کوتاه موج خورشیدی رسیده به یکای سطح زمین نسبت به یکای سطح عمود بر پرتوهای تابشی کاهش پیدا می‌کند. در راستای عرض جغرافیایی و از مدار میل خورشید به سوی قطب‌ها به نسبت کاهش زاویه تابش خورشید، شدت تابش کاهش پیدا می‌کند. به طور کلی کاهش زاویه تابش با پیامدهای زیر همراه می‌شود:

  یکم: بر اساس قانون کسینوسی لامبرت، هرچه زاویه تابش پرتوهای خورشیدی کاهش می‌یابد شدت تابش در یکای سطح نیز کاهش پیدا می‌کند.

  دوم: به نسبت کاهش زاویه تابش در سطح زمین، مسافت عبور پرتوهای خورشیدی در هواسپهر افزایش می‌یابد و در نتیجه مقدار بیشتری از انرژی کوتاه موج خورشیدی پیش از این که به لایه مرزی هواسپهر و سطح زمین برسند، پالایش می‌شوند.

  سوم: به این نکته نیز باید توجه شود که با کاهش زاویه تابش، مقدار سپیدایی (Albedo) سطح زمین افزایش یافته و در نتیجه مقدار جذب انرژی در سطح زمین کمتر می‌شود.

✓ بروز تراز مثبت انرژی در عرض‌های پایین جغرافیایی در برابر تراز منفی انرژی در عرض‌های بالا، گویای پراکندگی مکانی تراز انرژی گرمایی در راستای عرض جغرافیایی در سطح می‌باشد. این تفاوت نقش کلیدی در بروز پدیده‌های هواشناسی و آب و هواشناسی و پیدایش تیپ‌های گوناگون آب و هوایی بازی می‌کند.



شکل ۱-۱: نقش خمیدگی سطح زمین بر شدت تابش رسیده به سطح زمین

☜ **چرخش زمین به دور خود** و پیدایش شب و روز نیز درونداد انرژی خورشیدی را در پهنه گوی زمین دچار پراکندگی زمانی و مکانی می‌سازد.

اگر مقدار درونداد انرژی بیشتر از مقدار برونداد انرژی باشد، تراز انرژی مثبت است و انرژی اضافی در سطح زمین و یا در سازندهای هوا انباشته می‌شود و دمای هوا، خاک، آب و ... افزایش می‌یابد. تراز مثبت انرژی روزانه (آفتابگیری) و تراز منفی انرژی (هرز انرژی) شبانه در بازه زمانی شبانه روز از بارزترین پیامد چرخش زمین است.

☜ **جایگاه هندسی زمین در فضا** بارزترین نقش را در تغییر درونداد انرژی گرمایی سامانه زمین بازی می‌کند. تغییر جایگاه هندسی زمین در فضا از گردش زمین به دور خورشید و همچنین گردش منظومه خورشیدی در کهکشان راه شیری و پدیده‌های کم و بیش ناشناخته دیگر ناشی می‌شود. تغییر درونداد انرژی سامانه زمین به آسانی تراز انرژی گرمایی سامانه زمین را دگرگون می‌سازد.

گردش زمین به دور خورشید باعث تغییر جایگاه هندسی زمین نسبت به خورشید می‌شود و در نتیجه درونداد انرژی خورشیدی را در سطح زمین و در چرخه سالانه دچار پراکندگی زمانی و مکانی می‌نماید. پیدایش فصول، پیامد بارز فرآیند گردش زمین به دور خورشید با ساختار کج بودن محور زمین نسبت به سطح بیضی شکل دایره‌البروج می‌باشد.

گردش زمین به دور خورشید با ویژگی کج بودن محور زمین نسبت به سطح دایره‌البروج در تغییر زاویه میل خورشید بروز می‌کند. متناسب با تغییر زاویه میل خورشید که در فصول مختلف سال رخ می‌دهد، زاویه تابش و مدت تابش در هر نقطه مشخص از سطح زمین نیز دگرگون می‌شود.

تغییر جایگاه هندسی زمین در فضا و تغییر ساختارهایی همچون تغییر زاویه محور زمین نسبت به سطح دایره‌البروج و ... که در چرخه‌های چند هزار ساله رخ می‌دهد نیز می‌تواند درونداد انرژی گرمایی رسیده به سامانه زمین و همچنین پراکندگی مکانی تراز انرژی در راستای عرض جغرافیایی را دگرگون سازد. پیدایش تراز منفی انرژی گرمایی سامانه زمین در دوره‌های یخچالی و تراز مثبت انرژی گرمایی سامانه زمین در دوره‌های میان یخچالی که در دوران گذشته زمین شناسی رخ داده است از تغییر ساختارها و بروز فرآیندها در چرخه‌های بلند مدت ناشی شده است.

اگر درونداد انرژی گرمایی در یک محل و زمان مشخص بیشتر از برونداد انرژی باشد، انرژی اضافی در پدیده‌های سطح زمین و سازه‌های هواسپهر انباشته می‌شود و کانون مازاد انرژی پدید می‌آید. در صورتی که برونداد انرژی در یک محل و زمان مشخص بیشتر از درونداد انرژی باشد، منطقه کمبود انرژی پدیدار می‌شود. انرژی انباشته شده در محل، دمای آن جا را بالا می‌برد. بنابر این منطقه مازاد انرژی منطقه گرم و منطقه کمبود انرژی، منطقه سرد به شمار می‌رود.

میان سرزمین‌های گرم و سرد، داد و ستد انرژی گرمایی رخ می‌دهد. این داد و ستد از راه **جابجایی افقی هوا** و به صورت تبادل بخار آب و گرمای هوا صورت می‌گیرد. هوای گرم هنگام ورود به منطقه سرد، گرمای خود را آزاد کرده و محیط را گرم می‌سازد. بخار آب هوا نیز در منطقه سرد متراکم شده و به ابر، مه، ژاله و بارش تبدیل می‌شود؛ در فرآیند تراکم بخار آب انرژی گرمای نهان تبخیر (گرمای نهان تراکم) آزاد شده و هوای محیط را گرم می‌نماید. داد و ستد انرژی گرمایی به کمک **جریان‌های اقیانوسی** نیز بروز می‌نماید.

هدف داد و ستد انرژی گرمایی، برابر شدن پراکنش انرژی گرمایی در پهنه زمین است. به هر روی، داد و ستد انرژی در گستره زمین، گردش عمومی هوا (General Circulation) را پدید آورده است. باید توجه داشت که داد و ستد انرژی در مقیاس جهانی تا مقیاس‌های کوچک محلی بروز می‌نماید (علیجانی و کاویانی، ۱۳۷۱: ۸).

بررسی دقیق داد و ستد انرژی گرمایی مستلزم مطالعه چرخه آب‌شناسی می‌باشد. زیرا بیشتر داد و ستد انرژی گرمایی در چرخه آب‌شناسی و از راه انتقال بخار آب و جریان‌های دریایی صورت می‌پذیرد.

- ✓ مدار میل خورشید یا مداری که پرتوهای خورشیدی در هنگام نیمروز محلی بر آن عمود می‌تابد میان دو مدار رأس‌السرطان و رأس‌الجدی محدود است. به این صورت که مدار میل خورشیدی از برابران بهاری تا برابران پاییزی و همزمان با دوره گرم نیمکره شمالی در شمال استوا و از برابران پاییزی تا برابران بهاری و همزمان با دوره سرد نیمکره شمالی در جنوب خط استوا جای دارد.
- ✓ دو دلیل روشن پیدایش تراز مثبت انرژی گرمایی و افزایش گرمای فصل تابستان، افزایش زاویه تابش خورشید و افزایش مدت تابش (طول روز نجومی) است. بر همین مبنا، دو دلیل پیدایش تراز منفی انرژی گرمایی و بروز سرما در فصل زمستان نیز کاهش زاویه تابش و کاهش مدت تابش (طول روز) می‌باشد.
- ✓ ساختار بیضی شکل بودن دایره‌البروج موجب تغییر فاصله زمین نسبت به خورشید در گردش سالانه خود به دور خورشید می‌گردد. دوری و نزدیکی زمین به خورشید نیز درونداد انرژی خورشیدی رسیده به سامانه زمین را در هر فصول سال دگرگون می‌سازد.
- ✓ فصول دو نیمکره شمالی و جنوبی وارونه یکدیگرند. این پدیده باعث می‌شود که میانگین درونداد و برونداد انرژی گرمایی سامانه زمین در هر لحظه تراز باشد.

❖ **موضوع‌های کلان آب و هواشناسی فیزیکی** عبارتند از:

۱- ویژگی‌های تابش خورشید؛

۲- وابستگی درونداد انرژی گرمایی سامانه زمین به تابش خورشید؛

۳- پراکنش و انعکاس تابش خورشیدی در اتمسفر؛

۴- پراکنش و انعکاس تابش خورشیدی در سطح زمین (ضریب سپیدایی) یا (Albedo)؛

۵- تابش فروسرخ انرژی گرمایی سامانه زمین؛

۶- جابجایی انرژی گرمایی در هواسپهر؛

۷- تفاوت ویژگی‌های و ماهیت خشکی‌ها با یکدیگر و با آب‌های سطح زمین و نقش آن‌ها در گرم شدن و سرد شدن خشکی‌ها و دریاها؛

۸- داد و ستد انرژی بین هوا، دریا و خشکی؛

۹- پراکندگی انرژی در پهنه زمین؛

۱۰- چرخه آب‌شناسی و ... (Sellers, 1965).

- ✓ دانش آب و هواشناسی فیزیکی، پایه دانش آب و هوای پویشی (دینامیکی) است. زیرا تفاوت مقدار انرژی گرمایی در دو محل، سبب پیدایش فرآیند داد و ستد انرژی به ویژه در قالب جریان هوا و وزش باد می‌شود
- ✓ بررسی ویژگی‌های جریان هوا و کنکاش نیروها و قوانین حاکم بر آن، موضوع اصلی دانش آب و هواشناسی پویشی است (علیجانی و کاویانی، ۱۳۷۱: ۸).