



هیدرولوژی کاربردی

(رشته جغرافیا گرایش طبیعی)

دکتر سعداله ولایتی

بسم الله الرحمن الرحيم

پیشگفتار ناشر

کتاب‌های دانشگاه پیام نور حسب مورد و با توجه به شرایط مختلف یک درس در یک یا چند رشته دانشگاهی، به صورت کتاب درسی، متن آزمایشگاهی، فرادرسی، و کمک درسی چاپ می‌شوند.

کتاب درسی ثمره کوشش‌های علمی صاحب اثر است که براساس نیازهای درسی دانشجویان و سرفصل‌های مصوب تهیه و پس از داوری علمی، طراحی آموزشی، و ویرایش علمی در گروه‌های علمی و آموزشی، به چاپ می‌رسد. پس از چاپ ویرایش اول اثر، با نظرخواهی‌ها و داوری علمی مجدد و با دریافت نظرهای اصلاحی و متناسب با پیشرفت علوم و فناوری، صاحب اثر در کتاب تجدیدنظر می‌کند و ویرایش جدید کتاب با اعمال ویرایش زبانی و صوری جدید چاپ می‌شود.

متن آزمایشگاهی (م) راهنمایی است که دانشجویان با استفاده از آن و کمک استاد، کارهای عملی و آزمایشگاهی را انجام می‌دهند.

کتاب‌های فرادرسی (ف) و **کمک‌درسی** (ک) به منظور غنی‌تر کردن منابع درسی دانشگاهی تهیه و بر روی لوح فشرده تکثیر می‌شوند و یا در وبگاه دانشگاه قرار می‌گیرند.

مدیریت تولید محتوا و تجهیزات آموزشی

فهرست مطالب

هفت	سرآغاز
نه	مقدمه
۱	فصل اول. چرخه آب در طبیعت
۱	۱-۱ چرخه آب در طبیعت
۳	۱-۲ سیر تاریخی چرخه آب در طبیعت
۶	۱-۳ توزیع آب در کره زمین
۹	فصل دوم. هیدروکلیماتولوژی
۹	۲-۱ کلیات
۹	۲-۲ اتمسفر و اجزاء تشکیل دهنده آن
۱۲	۲-۳ تشعشعات خورشیدی
۱۷	۲-۴ دمای هوا
۲۶	۲-۵ فشار هوا
۲۹	۲-۶ باد
۳۸	۲-۷ رطوبت و رطوبت نسبی
۴۳	۲-۸ بارندگی

۸۱	فصل سوم. تبخیر و تعرق
۸۲	۳-۱ تبخیر پتانسیل
۹۱	۳-۲ تبخیر و تعرق واقعی
۹۳	۳-۳ محاسبه تبخیر و تعرق واقعی از آمار بلندمدت بیلان آب
۹۷	فصل چهارم. نفوذ آب در زمین
۱۰۰	۴-۱ اندازه‌گیری نفوذ تجمعی
۱۰۳	فصل پنجم. حوضه آبریز - جریان سطحی یا رواناب
۱۰۳	۵-۱ کلیات
۱۰۳	۵-۲ حوضه آبریز و مشخصات آن
۱۰۵	۵-۳ شبکه آبراهه‌های حوضه
۱۲۲	۵-۴ رواناب سطحی
۱۲۹	۵-۵ هیدرومتری و روش‌های اندازه‌گیری دبی جریان
۱۴۳	۵-۶ هیدروگراف
۱۴۷	۵-۷ حمل رسوب توسط رودخانه
۱۵۱	فصل ششم. رابطه بین آب سطحی و زیرزمینی
۱۵۳	۶-۱ سفره‌ها یا مخازن آب زیرزمینی
۱۷۱	منابع و مآخذ

سرآغاز

آب منشأ حیات و الفبای آبادانی است. بیان این عبارت گرچه به ظاهر تکراری به نظر می‌رسد و در مقدمه اغلب کُتب و رساله‌های مربوط به آب و آب‌شناسی به چشم می‌خورد، ولی در شرایطی که کمبود آب شیرین و نزاع‌ها بر سر تقسیم عادلانه آن، شکل جهانی به خود می‌گیرد و آلودگی محیط زیست، موجودات زنده این کره خاکی را با خطر مرگ و نابودی مواجه ساخته است، تکرار عبارت مزبور جلوه تازه‌ای به خود می‌گیرد.

لذا، به خاطر اهمیت و اعتبار زیادی که آب، بعد از هوا، به عنوان مهمترین عامل حیاتی کسب کرده است، در پروژه‌های مربوط به توسعه شهرها، تجمیع روستاها و پروژه‌های توسعه کشاورزی، دامداری و صنایع، تأمین آب بخش مهمی را دربر می‌گیرد. تجربیاتی که بشر با وجود پیشرفت‌های شگرف تکنولوژی، در زمینه مسائل مربوط به آب به دست آورده است، نشان می‌دهد که هیچ ماده‌ای را نمی‌توان جایگزین آب نمود. نه می‌توان آب را در مقیاس وسیع در آزمایشگاه تولید نمود و نه می‌توان از ماده دیگری برای رفع نیازهای آبی استفاده کرد. همچنین صدور و انتقال آب از کشوری به کشور دیگر، با مشکلات زیادی همراه بوده و در غالب موارد، فاقد توجیه اقتصادی است.

مسائلی که در مورد تأمین آب مطلوب وجود دارد تنها مربوط به کمیت آن نمی‌شود، زیرا $\frac{3}{4}$ سطح کره زمین را آب پوشانده است. بلکه روی سخن بیشتر پیرامون کیفیت آب است. چرا که آب مورد نیاز موجودات زنده خشک‌زی، باید شیرین بوده و دارای املاح مشخص و معینی باشد. و با توجه به این که جمع کل آب شیرین در جهان ۲/۵٪ برآورد می‌شود، با عنایت به رشد روزافزون جمعیت و نیازهای آنها به آب

شیرین، نگرانی‌های مربوط به تأمین آب، قابل درک است. توزیع نابرابر آب در سطح جهان نیز مزید بر علت شده است. زیرا در کشورهایی که مقدار آن کم است، مانند کشورمان ایران، کمبود آن موانع زیادی در توسعه کشور به وجود می‌آورد. به همین دلیل ضروری است که اولاً با آب و نحوه پیدایش آن به‌خوبی آشنا شویم و ثانیاً راه‌ها و روش‌های استفاده صحیح آن را بیاموزیم، به‌ویژه با طرق مختلف صرفه‌جویی و بهره‌گیری درست از آب، آشنا شویم. در این رابطه کتاب‌هایی که درباره آب به رشته تحریر درآمده‌اند، به ما کمک زیادی خواهند کرد.

تاکنون کتاب‌های مفیدی تحت عنوان هیدرولوژی و یا هیدرولوژی کاربردی توسط همکاران گرانقدر دانشگاهی و دیگر محققین ایرانی ترجمه و تألیف شده است که باید از زحمات آنها قدردانی شود. ولی درک همه مطالب این کتاب‌ها برای افراد غیرمتخصص و دانشجویان رشته‌های علوم انسانی، آسان نمی‌باشد. به همین دلیل اقدام به تألیف کتاب حاضر تحت عنوان «هیدرولوژی کاربردی» شده است. در این کتاب سعی گردید که مطالب طوری تألیف و تدوین شوند که نه آن قدر فنی و سنگین باشند که دانشجویان رشته جغرافیا قادر به درک آن نباشند و نه آن قدر غیرفنی و آسان که از هدف اصلی کتاب که توجه به جنبه‌های کاربردی دانش آب‌شناسی است، عدول شده باشد. در این رابطه کوشش گردید تا با ارائه جداول، تصاویر، اشکال و حل تمرینات پیرامون موضوعات مختلف مطروحه، درک مطالب کتاب آسان‌تر گردد. اعداد موجود در این علامت [] مبین منابع مورد استفاده است. به امید این که این کتاب مورد توجه دانشجویان و خوانندگان عزیز واقع شود.

دکتر سعدالله ولایتی

عضو هیأت علمی دانشگاه فردوسی مشهد

بهار ۱۳۷۵

مقدمه

تعاریف

هیدرولوژی^۱ (آب‌شناسی): دانشی است که از آب‌های موجود در روی زمین، زیرزمین و در هوا به حالت گوناگون و نیز از گردش آب در طبیعت، مانند پیدایش و پخش بارندگی، جریان ناشی از بارندگی، جریان رودخانه‌ای، پدیده تراوش و جریان آب زیرزمینی، تبخیر و بارش دوباره، گفتگو می‌کند. دانش آب‌شناسی، به واکنش‌های شیمیایی، فیزیکی و زیستی آب در درون خاک و نیز به رابطه آن با زندگی در روی زمین بستگی دارد. [۱۴]

با وجودی که قدمت تعریف هیدرولوژی چندان زیاد نبوده و از حدود ۶۰ سال تجاوز نمی‌کند، معه‌ذا به دلیل کاربرد و اهمیت زیادی که این علم امروزه دارد، شعبات زیادی از آن مشتق شده است که به شرح زیر معرفی می‌شوند:

– **هیدرومته‌اورولوژی^۲ (نیوار آب‌شناسی):** بخشی از نیوارشناسی است که درباره آب در نیوار، مانند باران، ابرها، برف، تگرگ و تأثیرات آنها در مهار کردن سیل و کشاورزی و غیره، گفتگو می‌کند.

– **هیدروژئولوژی^۳ (آب‌زمین‌شناسی):** بخشی از علم زمین‌شناسی است که از تغییرات زمین ناشی از تأثیر آب، به‌ویژه در حالت فرسایش و ته‌نشست و نیز از پدیده‌های وابسته، گفتگو می‌کند.

– **ژئوهیدرولوژی^۴ (آب‌شناسی زیرزمینی):** شاخه‌ای از دانش آب‌شناسی است که از پیدایش و حرکت آب‌های زیرزمینی و انبار و تهی شدن آن و نیز چگونگی بستر سنگی که ذخیره شدن و حرکت آب‌های زیرزمینی بستگی به آن دارد، گفتگو می‌کند. همچنین روش‌های کاوش و بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی را مورد بررسی قرار می‌دهد.

1. Hydrology

2. Hydrometeorology نیوارشناسی است که درباره آب در نیوار

3. Hydrogeology

4. Geohydrology

- **لیمنولوژی^۱ (نوشاب شناسی):** شناخت آب‌های شیرین به‌ویژه، در تالاب‌ها و استخرهاست که به چگونگی‌های فیزیکی، شیمیایی، زیست‌شناسی، آب‌شناسی و هواشناسی نیز، بستگی پیدا می‌کند.
- **کرایولوژی^۲ (یخ‌شناسی):** دانشی است که از یخ در تمام گونه‌ها و خصوصیات آن گفتگو می‌کند.
- **پوتامولوژی^۳ (رودشناسی):** شاخه‌ای از دانش آب‌شناسی است که از آب‌های روان‌روی زمین صحبت می‌کند.
- **هیدروگرافی^۴:** علم مطالعه شرایط و خصوصیات فیزیکی آب، علی‌الخصوص در رابطه با مسائل کشتیرانی است.
- **هیدرومتری^۵ (آب‌سنجی):** دانش اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل جریان آب می‌باشد.
- **هیدروژئومورفولوژی^۶:** مطالعه اشکال ناهمواری‌های ناشی از عمل آب، به‌ویژه رودخانه‌ها، می‌باشد.

1. Limnology
 2. Cr yology
 3. Potamology
 4. Hydrography
 5. Hydrometry
 6. Hydrogeomorphology

فصل اول

چرخه آب در طبیعت

۱-۱ چرخه آب در طبیعت

آب، در طبیعت به سه شکل بخار، مایع و جامد یافت می‌شود. فرمول شیمیایی آن H_2O بوده و همواره در یک چرخه مداوم به سر می‌برد. در این چرخه یا سیکل، راه‌ها و مسیرهای مختلفی را طی نموده و به حالت اول بر می‌گردد.

در اثر تابش انرژی حرارتی خورشید، مقداری آب به صورت بخار از سطح اقیانوس‌ها، دریاها و اراضی روی زمین به اتمسفر انتقال یافته و از آنجا به صورت نزولات آسمانی، مجدداً به سطح زمین باز می‌گردد. چرخه آب، هم در مقیاس کلی در کره زمین و هم، در حوضه آبریزهای کوچک، مصداق می‌یابد.

برای روشن‌تر شدن مفهوم چرخه آب در طبیعت به شکل ۱-۱ نگاه می‌کنیم. در این شکل مسیرهای مختلف حرکت آب از مکانی به مکان دیگر، به وضوح دیده می‌شود. چرخه یا سیکل آب را آغاز و پایانی نیست. آبی که از سطح آب و خاک تبخیر می‌شود، همراه با تعرق گیاهان به جو کشیده شده و در آنجا، طی فرآیند پیچیده‌ای به نزولات جوی تبدیل شده و دوباره به سطح زمین باز می‌گردد. آب ناشی از نزولات، منابع مختلف آب‌های سطحی و زیرزمینی را به وجود می‌آورد که مورد استفاده موجودات زنده و بشر واقع می‌شود.

اگر بخواهیم عوامل دخیل در چرخه آب را به صورت بیلان آبی نشان دهیم، شکل ریاضی آن به شرح کلی زیر خواهد بود:

$$P = E + R + I \quad (1-1)$$

۲ هیدرولوژی کاربردی

در فرمول فوق:

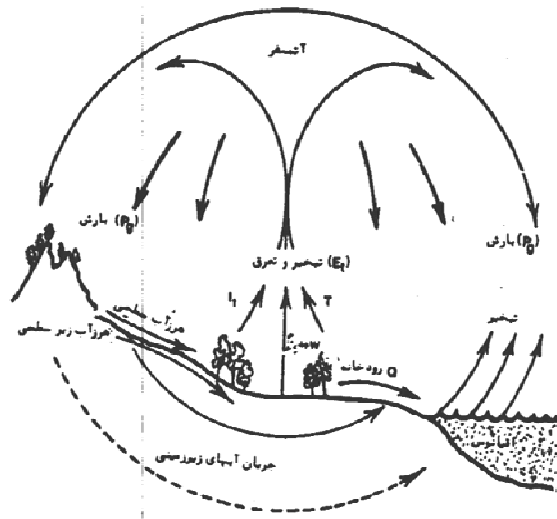
P = بارندگی؛

E = تبخیر؛

R = رواناب سطحی و

I = نفوذ

می باشد.



شکل ۱-۱ چرخه آب در طبیعت [۱۰].

P_g = نزولات جوی

E_{s+w} = تبخیر از سطح خاک و آب

E_t = تبخیر و تعرق

Q = جریان رودخانه

T = اتلاف تبخیر

I_t = اتلاف برگابی

معادله مذکور، معادله کلی بیلان آب است که در مقیاس وسیع برای کره زمین صادق است و اگر بخواهیم آن را برای حوضه آبریز یک رودخانه که شمایی از آن در

شکل شماره ۲-۱ آمده است، نشان دهیم، به صورت زیر در خواهد آمد:

$$P = E_t - Q - \Delta S = 0 \quad (1-2)$$

چرخه آب در طبیعت ۳

در معادله فوق:

P = بارندگی

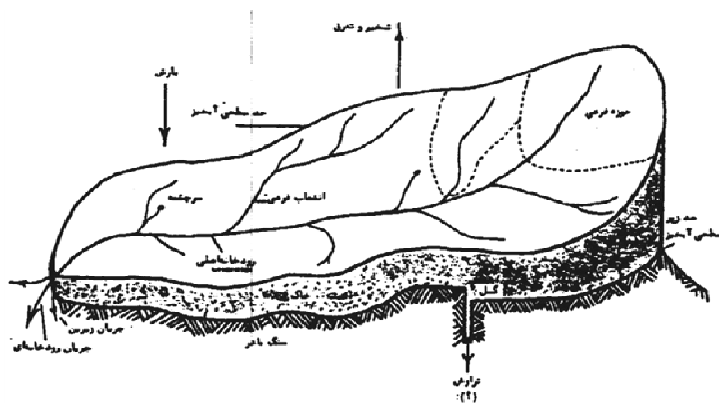
E_t = تبخیر و تعرق

Q = جریان سطحی

ΔS = تغییرات ذخایر آبی حوضه

معادله مزبور هنگامی صادق است که نه آبی از حوضه مجاور وارد شود و نه آبی از آن به صورت زیر جریان، خارج گردد.

بارانی که در یک حوضه نازل می‌شود، آبی است که به صورت‌های گوناگون مورد استفاده موجودات زنده واقع می‌شود. قسمتی که به جریان در می‌آید (R) به صورت رودخانه در جهت شیب زمین به راه می‌افتد و در نقاط مختلف مسیر می‌تواند استفاده شود. بخشی که در زمین نفوذ (I) می‌کند، در میان فضا‌های خالی سازندهای مختلف زمین تجمع یافته و سفره‌های (آکifer^۱) آب‌های زیرزمینی را به وجود می‌آورد. این آب‌ها امروزه از طریق قنوات و چاه‌ها، مورد استفاده بشر واقع می‌شود. و یا به شکل چشمه در محلی ظاهر گشته و مورد بهره‌برداری واقع می‌گردد.



شکل ۱-۲-۱ دیاگرام سه بعدی حوضه آبریزیک رودخانه فرضی و بعضی از مشخصات آن [۱۰]

۱-۲ سیر تاریخی چرخه آب در طبیعت

آنچه که ما امروزه به آن چرخه آب می‌نامیم، در ابتدا برای بشر شناخته شده نبوده

است، بلکه عوامل آن به تدریج در طول تاریخ، یک به یک، همگام با پیشرفت و تکامل شاخه‌های دیگر علوم وابسته به آن، کشف و شناخته شده‌اند.

گرچه بشر منابع مختلف آب را می‌دیده و از آن استفاده می‌کرده است، ولی از ارتباط بین آنها آگاهی چندانی، به صورتی که ما امروزه داریم، نداشته است. مثلاً نمی‌دانسته که منشأ آب رودخانه‌ها و چشمه‌ها نزولات جوی است.

بعضی از محققین شروع دانش هیدرولوژی را که در چرخه آب در طبیعت تبلور می‌یابد، در حدود ۴۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح و براساس نظریه چگالش‌پذیری تحت‌الارضی ارسطو می‌دانند.

ایرانیان قدیم، آنها را فرشته آب می‌دانسته و برای آن به عنوان یکی از عناصر چهارگانه اصلی، احترام زیادی قایل بوده و آن را مقدس می‌دانسته‌اند. زرتشتیان برای حفاظت و پاکی آب و پیشگیری از آلوده شدن آن، قوانین و مقررات خاصی داشته‌اند.

در قرآن کریم آمده است: و من الماء کل شیئی حی؛ بدین ترتیب، دین مقدس اسلام نیز برای آب اهمیت فراوان قایل است، زیرا آب را منشأ حیات می‌داند. با نگرشی کلی بر تاریخ ملل، به نوشته‌ها و فرضیه‌هایی پیرامون آب و دانش آن برخورد می‌کنیم که ذکر جزئیات آن به درازا خواهد کشید. معهذا یک جمع‌بندی کلی، خالی از فایده نخواهد بود.

به‌طور کلی، تاریخ تحول سیکل هیدرولوژی را می‌توان به ۸ دوره تقسیم کرد:

۱. مرحله فلسفی و تحقیقات نظری
- از زمان باستان تا ۱۴۰۰ میلادی
۲. مرحله مشاهده
- ۱۴۰۰ تا ۱۶۰۰
۳. مرحله سنجش
- ۱۶۰۰ تا ۱۷۰۰
۴. مرحله تجربی
- ۱۷۰۰ تا ۱۸۰۰
۵. مرحله نوسازی^۱
- ۱۸۰۰ تا ۱۹۰۰
۶. مرحله تجربی مشاهده‌ای
- ۱۹۰۰ تا ۱۹۳۰
۷. مرحله استدلال منطقی
- ۱۹۳۰ تا ۱۹۵۰
۸. مرحله تثوریک
- ۱۹۵۰ به بعد

در مرحله فلسفی و تحقیقات نظری، فرضیات مربوط به آب‌شناسی، غالباً از سوی فلاسفه بزرگ یونان و روم، مانند طالس، ارسطو و افلاطون، ارائه می‌شده است. این فلاسفه، باور نداشتند مقدار آبی که از بارندگی ناشی می‌شود، برای رودخانه‌ها، کافی است. آنها منشأ آب رودها را در جای دیگر جستجو می‌کردند. همچنین، نظر می‌دادند که آب دریاها و اقیانوس‌ها، از راه‌های زیرزمینی، در سطح زمین راه یافته، رودخانه‌ها و چشمه‌ها را به وجود می‌آورد. این فلاسفه زمین را غیرقابل نفوذتر از آن می‌پنداشتند که آب باران، بتواند در اعماق آن نفوذ نموده، به‌صورت چشمه در سطح زمین ظاهر شود.

در دوره رنسانس، توجه به آب‌شناسی تدریجاً از شکل فلسفی به‌صورت مشاهده‌ای متحول شد. در این دوره، لئونارد داوینچی^۱ چرخه آب را به‌طور نسبتاً صحیحی، توضیح داد. دانشمند دیگری به نام برناردوپالیسی^۲، نفوذ آب در زمین و ظهور آن را به‌صورت چشمه تشریح کرد.

مراحل سنجش و تجربی، مراحل شکل‌گیری واقعی آب‌شناسی جدید بود. در این دوره، یک دانشمند فرانسوی به نام پیر پرو^۳، مقدار باران در حوضه آبریز رودخانه سن را طی سال‌های ۱۶۶۸ و ۱۶۶۹ اندازه‌گیری کرد و آنگاه مقدار جریان سطحی را در این حوضه، معادل $\frac{1}{6}$ مقدار باران دانست. سپس ادعا کرد که مقدار آب باران، برای تشکیل رودخانه‌های دنیا کافی است.

در قرن ۱۸ و ۱۹ مطالعات چرخه آب در طبیعت، نیز به موازات شکوفایی سایر علوم وابسته به آن، شکوفا گشت و روز به روز با پیشرفت و دقیق‌تر شدن ابزار و وسایل اندازه‌گیری و سنجش عوامل و پدیده‌های طبیعی، شناخته‌تر شد. از نیمه دوم قرن بیستم به این طرف، روش‌های تئوری در هیدرولوژی، متداول و معمول شد. با اختراع ماشین‌های حسابگر و مدل‌های کامپیوتری، هیدرولوژی چهره دیگری به خود گرفت و قادر شد به پرسش‌های زیادی پیرامون آب و چرخه آن در طبیعت و همچنین نقش آن در جهان و زندگی اجتماعی انسان، پاسخ دقیق‌تری بدهد.

1. Leonard de Vinci
2. Bornard Palissy
3. Pierre Perault

هدف اصلی این کتاب آشنا ساختن دانشجویان و علاقه‌مندان با روش‌ها و متدهای مطالعه چرخه آب در طبیعت و عوامل دخیل در تحولات آن در حوضه‌های آبریز می‌باشد که تحت عنوان «هیدرولوژی کاربردی» ارائه شده است.

۳-۱ توزیع آب در کره زمین

می‌دانیم که حدود $\frac{3}{4}$ سطح کره زمین را آب می‌پوشاند و فقط $\frac{1}{4}$ آن به صورت خشکی دیده می‌شود. این توزیع نابرابر آب‌های سطحی در سطح زمین ناشی از وجود پستی‌ها و بلندی‌هاست. در مناطق پست و فرورفته زمین آب تجمع یافته است و مناطق بلند زمین بیرون از آب قرار دارند. در مناطق مرتفع نیز به دلیل شرایط اقلیمی و جغرافیایی، انتشار آب یکسان نیست. در بعضی مناطق تعداد رودخانه‌ها و دریاچه‌ها زیاد و در برخی دیگر تعداد آنها اندک است.

در زیرزمین نیز توزیع آب نابرابر است. زیرا سازندهای مختلف زمین‌شناسی دارای فضاهای خالی متفاوت و مختلف‌اند. و چون آب می‌تواند تنها در میان این فضاهای خالی جای گیرد، لذا مقدار آن در سازندهایی که دارای فضاهای خالی بیشتری هستند، زیاده‌تر و در سازندهایی که از فضاهای خالی بی‌بهره بوده و یا از آن به مقدار اندک دارند از ذخایر آب زیرزمینی قابل توجهی بهره‌مند نمی‌باشند.

با نگاهی به جدول ۱-۱ توزیع آب در کره زمین برای ما روشن می‌شود. با توجه به اینکه آب مورد نیاز بشر و سایر موجودات زنده خشک‌زی باید شیرین بوده و از کیفیت مشخصی بهره‌مند باشد، رقم مربوط به کل آب شیرین در جدول جالب توجه است. جمع کل آب شیرین در این جدول ۲/۵٪ را نشان می‌دهد که در مقایسه با حجم زیاد آب شور تجمع یافته در اقیانوس‌ها و دریاچه‌ها بسیار ناچیز است. به همین دلیل است که آب شیرین روز به روز اهمیت یافته و کمبود آن در بعضی از کشورهای جهان که در آنها مقدار نزولات جوئی کم و به تبع آن حجم آب شیرین تولید شده کوچک‌تر است، موانع زیادی در امر توسعه به وجود می‌آورد.

۷ چرخه آب در طبیعت

جدول ۱-۱ مقادیر تخمینی آب موجود در جهان [۱۱]

ناحیه یا نوع ذخیره	وسعت (به میلیون کیلومتر مربع)	حجم (به کیلومتر مکعب)	درصد نسبت به کل آب موجود در جهان	درصد نسبت به کل آب شیرین
اقیانوس‌ها	۳۶۱/۳	۱۳۳۸۰۰۰۰۰۰	۹۶/۵	-
آب‌های زیرزمینی				
آب‌های شیرین	۱۳۴/۸	۱۰۵۳۰۰۰۰	۰/۷۶	۳۰/۱
آب‌های شور	۱۳۴/۸	۱۲۸۷۰۰۰۰	۰/۹۳	-
رطوبت خاک	۸۲/۰	۱۶۵۰۰	۰/۰۰۱۲	۰/۰۵
یخ‌های قطبی	۱۶	۲۴۰۲۳۵۰۰	۱/۷	۶۸/۶
دیگر مجموعه‌های یخی	۰/۳	۳۴۰۶۰۰	۰/۰۲۵	۱
دریاچه‌های شیرین	۱/۲	۹۱۰۰۰	۰/۰۰۷	۰/۲۶
دریاچه‌های شور	۰/۸	۸۵۴۰۰	۰/۰۰۶	-
مرداب و باتلاق	۲/۷	۱۱۴۷۰	۰/۰۰۸	۰/۰۳
رودخانه‌ها	۱۴۸/۸	۲۱۲۰	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۶
آب بیولوژیک	۵۱۰	۱۱۲۰	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۳
آب اتمسفری	۵۱۰	۱۲۹۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۴
جمع کل	۵۱۰	۱۳۸۵۹۸۴۶۱۰	۱۰۰	۱۰۰
جمع آب شیرین	۱۴۸/۸	۳۵۰۲۹۲۱۰	۲/۵	-

فصل دوم

هیدروکلیماتولوژی

۲-۱ کلیات

گرچه بحث اصلی هیدرولوژی کاربردی، مربوط است به بررسی تحولات آب در سطح زمین و یا به بیان دیگر، به آن قسمت از قطره‌های باران که پس از تبخیر و نفوذ در سطح زمین باقی می‌ماند، با وجود این، چون نزولات جوئی خود طی فرآیندهای پیچیده‌ای در جو زمین پدید می‌آید، لذا آشنایی با برخی از پدیده‌های هواشناسی، در فهم و درک هیدرولوژی کمک می‌کند.

۲-۲ اتمسفر و اجزاء تشکیل دهنده آن

به لایه نازکی از هوا که کره زمین را احاطه نموده است، اتمسفر یا جو می‌گویند. جرم آن را به تقریب معادل 5×10^{15} تن و ضخامت آن را ۳۰۰۰ کیلومتر در نظر می‌گیرند. مهمترین اجزاء تشکیل دهنده اتمسفر عبارت‌اند از:

ازت ۷۸/۰۸٪، اکسیژن ۲۰/۹۵٪، آرگون ۰/۹۳٪، گازکربنیک ۰/۰۳٪. علاوه بر عناصر برشمرده شده، عناصر و اجزاء دیگری که مقادیر آنها نسبتاً کم است، در اتمسفر وجود دارند که نام و مشخصات آنها در جدول ۱-۲ آمده است. در این جدول، تکامل ترکیبات اتمسفر زمین نسبت به زمان دیده می‌شود.

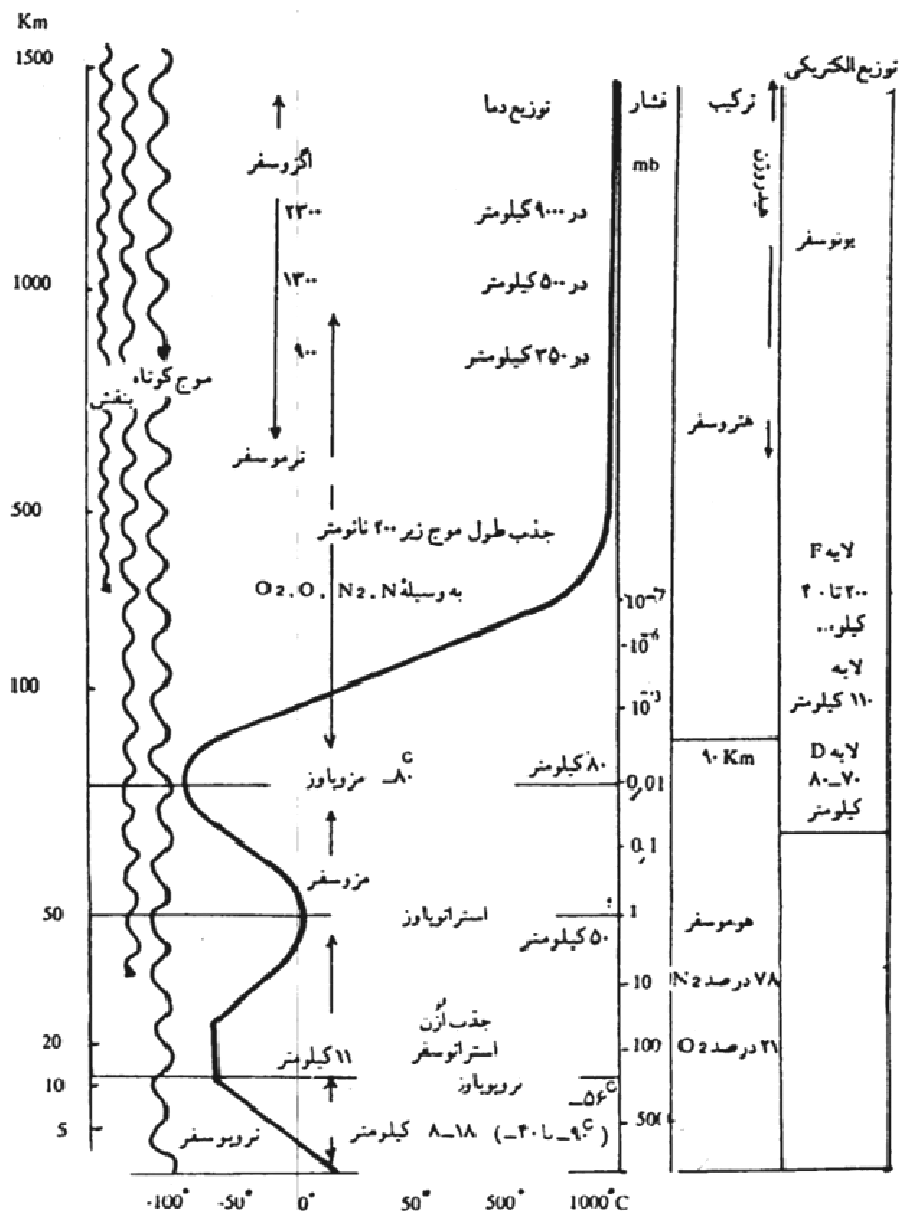
گرچه مقادیر بخار آب (H_2O) و اُزن (O_3) در جو زیاد نیست، معه‌ذا باید دانست که اهمیت و ارزش آنها زیاد است. اولی در ایجاد رطوبت هوا و نزولات جوئی

جدول ۱-۲ چگونگی تکامل ترکیب اتمسفر زمین براساس برازنده‌ترین برنامه کامپیوتری (لاک وود* ۱۹۸۶). [۶]

(ok)Tsurf دمای سطح زمین (کلوین)	(ok)Teff دمای مؤثر** (کلوین)	جرم اجزای تشکیل دهنده اتمسفر							فشار سطح دریا	زمان (به بیلیون سال)
		II _۲ O (۱۰ ^{۲۱} g)	A _۲ (۱۰ ^{۱۹} g)	NI _۲ (۱۰ ^{۱۷} g)	Cl _۲ (۱۰ ^{۲۱} g)	Co _۲ (۱۰ ^{۲۰} g)	O _۲ (۱۰ ^{۲۱} g)	N _۲ (۱۰ ^{۲۱} g)		
۳۰۵	۲۱۷	۴/۱۸	۰/۰۴	۰/۷۴	۳/۳۷	۲۳/۲	۰	۰/۷۵	۱/۲۵	۴/۲۵
۳۱۴	۲۱۸	۷/۶۸	۰/۱۶	۱/۷۶	۵/۱۳	۱۳/۴	.	۰/۵۶	۱/۳۷	۴/۰۰
۳۱۷	۲۱۹	۹/۶۷	۰/۳۴	۲/۲۳	۶/۰۰	۸/۲۸	.	۰/۳۲	۱/۳۹	۳/۷۵
۳۱۵	۲۱۹	۸/۲۷	۰/۵۷	۲/۲۹	۵/۹۳	۵/۲۷	.	۰/۳۱	۱/۳۲	۳/۵۰
۳۱۰	۲۲۰	۵/۷۵	۰/۸۶	۲/۱۵	۵/۳۹	۳/۵۴	.	۰/۵۲	۱/۲۲	۳/۲۵
۳۰۴	۲۲۱	۳/۷۷	۱/۱۸	۱/۹۰	۴/۵۶	۲/۴۸	.	۰/۸۷	۱/۱۰	۳/۰۰
۲۹۹	۲۲۴	۲/۶۱	۱/۵۴	۱/۶۲	۳/۵۲	۱/۸۱	.	۱/۳۱	۰/۹۷	۲/۷۵
۲۹۷	۲۳۰	۲/۳۰	۱/۹۳	۱/۴۶	۲/۲۲	۱/۳۷	.	۱/۵۷	۰/۳۷	۲/۵۰
۲۹۴	۲۳۸	۱/۸۶	۲/۳۵	۱/۰۹	۰/۹۳	۱/۰۳	.	۲/۱۴	۰/۶۲	۲/۲۵
۲۸۱	۲۵۰	۰/۷۷	۲/۷۹	.	.	۰/۶۴۶	۰/۰۶	۳/۷۶	۰/۷۵	۲/۰۰
۲۷۹	۲۵۱	۰/۶۹	۳/۲۵	.	.	۰/۳۶۵	۰/۰۶	۳/۸۱	۰/۷۶	۱/۷۵
۲۷۹	۲۵۲	۰/۶۹	۳/۷۲	.	.	۰/۲۱۵	۰/۰۸	۳/۸۴	۰/۷۷	۱/۵۰
۲۸۰	۲۵۳	۰/۷۱	۴/۲۱	.	.	۰/۱۱۷	۰/۰۸	۳/۸۷	۰/۷۷	۱/۲۵
۲۸۰	۲۵۴	۰/۷۲	۴/۷۰	.	.	۰/۰۴۹	۰/۰۹	۳/۸۹	۰/۷۸	۱/۰۰
۲۸۱	۲۵۵	۰/۷۹	۵/۲۱	.	.	۰/۰۲۴	۰/۱۰	۳/۹۰	۰/۷۸	۰/۷۵
۲۸۳	۲۵۶	۰/۹۰	۵/۷۲	.	.	۰/۰۲۴	۰/۱۰	۳/۹۱	۰/۷۹	۰/۵۰
۲۸۵	۲۵۶	۱/۰۲	۵/۹۳	.	.	۰/۰۲۴	۰/۴۳	۳/۹۱	۰/۸۵	۰/۴۰
۲۸۶	۲۵۶	۱/۱۰	۶/۱۴	.	.	۰/۰۲۴	۰/۶۹	۳/۹۲	۰/۹۰	۰/۳۰
۲۸۷	۲۵۵	۱/۱۶	۶/۳۵	.	.	۰/۰۲۴	۰/۸۶	۳/۹۲	۰/۹۴	۰/۲۰
۲۸۸	۲۵۵	۱/۲۱	۶/۵۵	.	.	۰/۰۲۴	۱/۰۳	۳/۹۲	۰/۹۷	۰/۱۰
۲۸۸	۲۵۵	۱/۲۷	۶/۷۶	.	.	۰/۰۲۴	۱/۲۱	۳/۹۲	۱/۰۰	۰

* Lock wood

** دمای مؤثر دمایی است فرضی، که احساس آن به وسیله ترکیب متفاوت از رطوبت نسبی و سرعت باد، به وجود می‌آید و با دمای پایه در شرایط ۱۰۰ درصد رطوبت نسبی و سرعت باد معادل ۰/۱۵ متر در ثانیه مقایسه می‌شود. دمای مؤثر در تکنیک و معماری کاربرد فراوان دارد.



شکل ۱-۲ ساختار جو زمین [۶]

نقش دارد و دومی به صورت چتر حفاظتی کره زمین را دربر گرفته و از رسیدن اشعه X مخرب به زمین جلوگیری می کند.

اتمسفر زمین، به صورت یک قشر همسان در تمام ارتفاع یا ضخامت خود نیست، بلکه به گونه ای که در شکل ۱-۲ دیده می شود، از ۵ لایه به شرح زیر تشکیل شده است.

۱. تروپوسفر^۱، ۲. استراتوسفر^۲، ۳. مزوسفر^۳، ۴. یونوسفر^۴ و ۵. اگزوسفر^۵.

ضخامت و موقعیت هر یک از لایه ها، تغییرات درجه حرارت و اثرات موج کوتاه بنفش در شکل ۱-۲ دیده می شود.

در شکل ۱-۲ تغییرات درجه حرارت جو قابل توجه است. در بخش تروپوسفر، رابطه آن با ارتفاع از سطح دریا معکوس است. در قسمتی از استراتوسفر بلا تغییر باقیمانده و سپس رابطه آن با ارتفاع مستقیم می شود. دوباره در مزوسفر رابطه درجه حرارت با ارتفاع معکوس شده و در ترموسفر درجه حرارت هوا افزایش می یابد، به طوری که در بخش بالایی اگزوسفر به ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد می رسد.

۲-۳ تشعشعات خورشیدی

تشعشعات خورشیدی، منبع اصلی تأمین کننده انرژی چرخه آب در طبیعت است. اتمسفر زمین، علی الخصوص لایه تروپوسفر آن، تحت تأثیر دو منبع بزرگ حرارتی قرار دارد. یکی انرژی حرارتی خورشیدی است که تأمین کننده حدود ۹۹/۹۷٪ کل انرژی لازم برای تحولات چرخه آب است و دیگری حرارت ساطع شده از درون زمین می باشد که به دلیل مقدار کم، نقش زیادی در این زمینه دارد.

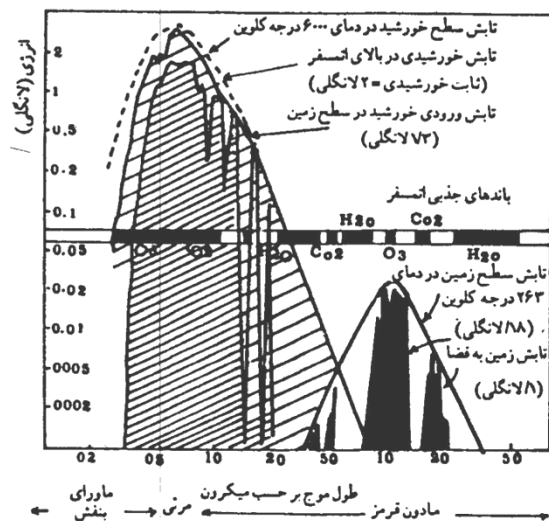
مقدار انرژی حرارتی خورشیدی که تحت اصطلاح **ثابت خورشیدی**، تعریف می شود، عبارت از فلوی انرژی است که بر واحد سطح فوقانی اتمسفر که به طور عمود، در جهت تابش اشعه قرار گرفته باشد، وارد شود. و آن زمانی است که زمین در حد متوسط مسافت خود تا خورشید، یعنی در فاصله ۱۴۹ میلیون کیلومتری آن واقع شده باشد. طبق محاسبات جانسون (۱۹۴۵) مقدار این ثابت 0.04 ± 2 کالری در دقیقه و بر

1. Troposphere
2. Stratosphere
3. Mesosphere
4. Ionosphere
5. Exosphere

سانتی متر مربع و یا ۱۲۰۰ کیلو کالری در ساعت بر متر مربع می باشد [۶]. در شکل ۲-۲ تابش خورشیدی در توزیع طیفی آن آمده است.

باید دانست که شدت انرژی تابشی خورشید، در یک سطح معین به چهار عامل: الف) فاصله زمین از خورشید، ب) زاویه تابش، ج) مدت زمان تابش، د) مقدار انرژی گسیل شده از خورشید، بستگی دارد.

گرچه تابش خورشید در سرتاسر طیف الکترومغناطیس صورت می گیرد، ولی بیشتر انرژی این تابش در محدوده خاصی، از حدود ۰/۲ میکرون تا ۴ میکرون قرار دارد که در شکل ۲-۲ به وضوح دیده می شود. در مجموع، ۹٪ این انرژی در باند ماورای بنفش، ۴۵٪ در باند مرئی و ۴۶٪ آن در باند مادون قرمز توزیع می شود. همچنین در شکل مزبور دیده می شود که طول موج حداکثر تابش زمین حدود ۹/۷ میکرون است و چون در خارج از باند مرئی است، با چشم انسان دیده نمی شود [۶].



شکل ۲-۲ توزیع طیف انرژی تابش خورشید و تابش زمین همراه با باندهای جذبی اتمسفر [۶]

۲-۳-۱ اندازه گیری تشعشعات خورشیدی

شدت تشعشعات خورشیدی را به کمک دستگاه های سولاریمتر^۱ و پیروهلیمومتر^۲ اندازه گیری می کنند. در این وسایل عضو حساس، یک سری ترموکوپل ریز است که

1. Solarimetre
 2. Pyroheliometre