



دانشگاه شاهرود

هیدرولوژی آب‌های سطحی

(رشته علوم و مهندسی آب)

مهندس بهروز محسنی

دکتر عبدالله درزی نفت‌چالی

دکتر فاطمه کاراندیش

امروزه کتاب‌خوانی و علم‌آموزی، نه تنها یک وظیفه‌ی ملی، که یک واجب دینی است.

مقام معظم رهبری

در عصر حاضر یکی از شاخصه‌های ارزیابی رشد، توسعه و پیشرفت فرهنگی هر کشوری میزان تولید کتاب، مطالعه و کتاب‌خوانی مردم آن مرز و بوم است. ایران اسلامی نیز از دیرباز تاکنون با داشتن تمدنی چندهزارساله و مراکز متعدد علمی، فرهنگی، کتابخانه‌های معتبر، علما و دانشمندان بزرگ با آثار ارزشمند تاریخی، سرآمد دولت‌ها و ملت‌های دیگر بوده و در عرصه‌ی فرهنگ و تمدن جهانی به‌سان خورشیدی تابناک همچنان می‌درخشد و با فرزندان نیک‌نهاد خویش هنرنمایی می‌کند. چه کسی است که در دنیا با دانشمندان فرزانه و نام‌آور ایرانی همچون ابوعلی سینا، ابوریحان بیرونی، فارابی، خوارزمی و ... همچنین شاعران برجسته‌ای نظیر فردوسی، سعدی، مولوی، حافظ و ... آشنا نباشد و در مقابل عظمت آنها سر تعظیم فرود نیاورد. تمامی این افتخارات ارزشمند، برگرفته از میزان عشق و علاقه فراوان ملت ما به فراگیری علم و دانش از طریق خواندن و مطالعه منابع و کتاب‌های گوناگون است. به شکرانه‌ی الهی، تاریخ و گذشته ما، همیشه درخشان و پر بار است. ولی اکنون در این زمینه در چه جایگاهی قرار داریم؟ آمار و ارقام ارائه‌شده از سوی مجامع و سازمان‌های فرهنگی در مورد سرانه‌ی مطالعه‌ی هر ایرانی، برایمان چندان امیدوارکننده نمی‌باشد و رهبر معظم انقلاب اسلامی نیز از این وضعیت بارها اظهار گله و ناخشنودی نموده‌اند.

کتاب، دروازه‌ای به سوی گستره‌ی دانش و معرفت است و کتاب خوب، یکی از بهترین ابزارهای کمال بشری است. همه‌ی دستاوردهای بشر در سراسر عمر جهان، تا آنجا که قابل کتابت بوده است، در میان دست‌نوشته‌هایی است که انسان‌ها پدید آورده و می‌آورند. در این مجموعه‌ی بی‌نظیر، تعالیم الهی، درس‌های پیامبران به بشر، و همچنین علوم مختلفی است که سعادت بشر بدون آگاهی از آنها امکان‌پذیر نیست. کسی که با دنیای زیبا و زندگی‌بخش کتاب ارتباط ندارد بی‌شک از مهم‌ترین دستاورد انسانی و نیز از بیشترین معارف الهی و بشری محروم است. با این دیدگاه، به‌روشنی می‌توان ارزش و مفهوم رمزی عمیق در این حقیقت تاریخی را دریافت که اولین خطاب خداوند متعال به پیامبر گرامی اسلام (ص) این است که «بخوان!» و در اولین

سوره‌ای که بر آن فرستاده‌ی عظیم‌الشان خداوند، فرود آمده، نام «قلم» به تجلیل یاد شده‌است: «اقْرَأْ وَ رَبُّكَ الْأَكْرَمُ. الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ» در اهمیت عنصر کتاب برای تکامل جامعه‌ی انسانی، همین بس که تمامی ادیان آسمانی و رجال بزرگ تاریخ بشری، از طریق کتاب جاودانه مانده‌اند.

دانشگاه پیام‌نور با گستره‌ی جغرافیایی ایران‌شمول خود با هدف آموزش برای همه، همه‌جا و همه‌وقت، به‌عنوان دانشگاهی کتاب‌محور در نظام آموزش عالی کشورمان، افتخار دارد جایگاه اندیشه‌سازی و خردورزی بخش عظیمی از جوانان جویای علم این مرز و بوم باشد. تلاش فراوانی در ایام طولانی فعالیت این دانشگاه انجام پذیرفته تا با بهره‌گیری از تجربه‌های گرانقدر استادان و صاحب‌نظران برجسته کشورمان، کتاب‌ها و منابع آموزشی درسی شاخص و خودآموز تولید شود. در آینده هم، این مهم با هدف ارتقای سطح علمی، روزآمدی و توجه بیشتر به نیازهای مخاطبان دانشگاه پیام‌نور با جدیت ادامه خواهد داشت. به‌طور قطع استفاده از نظرات استادان، صاحب‌نظران و دانشجویان محترم، ما را در انجام این وظیفه‌ی مهم و خطیر یاری‌رسان خواهد بود. پیشاپیش از تمامی عزیزانی که با نقد، تصحیح و پیشنهادهای خود ما را در انجام این وظیفه‌ی خطیر یاری می‌رسانند، سپاسگزاری می‌نماییم. لازم است از تمامی اندیشمندانی که تاکنون دانشگاه پیام‌نور را منزلگاه اندیشه‌سازی خود دانسته و ما را در تولید کتاب و محتوای آموزشی درسی یاری نموده‌اند، صمیمانه قدردانی گردد. موفقیت و بهروزی تمامی دانشجویان و دانش‌پژوهان عزیز آرزوی همیشگی ما است.

دانشگاه پیام‌نور

فهرست مطالب

پیشگفتار یازده

فصل اول. کلیات ۱

هدف کلی ۱

هدف‌های یادگیری ۱

مقدمه ۱

۱-۱ تعریف هیدرولوژی و شاخه‌های مختلف آن ۲

۱-۲ حدود و هدف‌های هیدرولوژی ۴

۱-۳ داده‌های هیدرولوژیکی ۴

۱-۴ وضعیت منابع آب جهان ۵

۱-۵ وضعیت منابع آب کشور ۶

۱-۶ چرخه هیدرولوژی ۷

۱-۷ سیستم هیدرولوژی و معادله هیدرولوژیکی ۱۰

خلاصه فصل اول ۱۱

خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل اول ۱۲

فصل دوم. بارندگی ۱۵

هدف کلی ۱۵

هدف‌های یادگیری ۱۵

مقدمه ۱۵

۲-۱ فرایند تشکیل بارندگی ۱۶

۲-۲ شکل‌های مختلف بارش ۱۸

۲-۳ اندازه‌گیری بارندگی ۱۹

۲۰	۲-۳-۱ اندازه‌گیری نقطه‌ای مقدار بارش
۲۱	۲-۳-۲ تعیین بارش در مقیاس منطقه‌ای
۲۱	۲-۴ باران‌سنج‌ها
۲۱	۲-۴-۱ باران‌سنج غیرثبات استاندارد
۲۳	۲-۴-۲ باران‌سنج‌های ثبات
۲۶	۲-۴-۳ تعداد ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد نیاز
۲۹	۲-۵ اصلاح کمبود داده‌های باران
۲۹	۲-۵-۱ بازسازی داده‌هایی که موجود نیست
۳۰	۲-۵-۲ اصلاح ناهمسانی داده‌ها
۳۲	۲-۶ آنالیز داده‌های باران
۳۳	۲-۶-۱ منحنی باران تجمعی
۳۴	۲-۶-۲ هایئوگراف
۳۵	۲-۶-۳ باران نقطه‌ای
۳۶	۲-۶-۴ بارش متوسط (میانگین)
۴۷	خلاصه فصل دوم
۴۹	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل دوم

۵۳	فصل سوم. تبخیر- تعرق
۵۳	هدف کلی
۵۳	هدف‌های یادگیری
۵۳	مقدمه
۵۴	۳-۱ عوامل مؤثر بر تبخیر- تعرق
۵۵	۳-۱-۱ عوامل اقلیمی
۵۷	۳-۱-۲ عوامل مربوط به خاک
۵۷	۳-۱-۳ عوامل مربوط به گیاه
۵۷	۳-۲ تبخیر از سطح آزاد آب (تبخیر دریاچه)
۵۸	۳-۲-۱ روش بیلان آب
۵۹	۳-۲-۲ روش تشت تبخیر
۶۳	۳-۲-۳ روش معادلات تجربی
۶۵	۳-۳ تبخیر از سطح برف و یخ
۶۷	۳-۴ روش‌های کاهش تبخیر از سطح دریاچه
۶۸	۳-۵ تبخیر خاک
۶۹	۳-۶ جریان غیراشباع
۷۱	۳-۷ تعرق
۷۲	۳-۸ تبخیر- تعرق
۷۲	۳-۸-۱ برآورد تبخیر- تعرق
۷۷	خلاصه فصل سوم
۷۹	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل سوم

۸۳	فصل چهارم. نفوذ
۸۳	هدف کلی
۸۳	هدف‌های یادگیری
۸۳	مقدمه
۸۴	۱-۴ تعریف نفوذپذیری
۸۵	۲-۴ مراحل نفوذ
۸۶	۳-۴ معادلات نفوذ
۸۷	۱-۳-۴ معادله گرین-آمپت
۸۹	۲-۳-۴ معادله کوستیاکوف
۹۰	۳-۳-۴ معادله هورتون
۹۷	۴-۳-۴ معادله فیلیپ
۹۸	۵-۳-۴ سایر معادلات نفوذ
۱۰۰	۴-۴ کاهش نفوذپذیری خاک
۱۰۰	۱-۴-۴ کاهش نفوذپذیری با اصلاح فیزیکی خاک
۱۰۱	۲-۴-۴ کاهش نفوذپذیری با ایجاد پوشش سخت
۱۰۲	۵-۴ روش‌های تعیین نفوذ
۱۰۲	۱-۵-۴ استوانه مضاعف
۱۰۴	۲-۵-۴ نفوذسنج لوله‌ای (روش تک-حلقه‌ای)
۱۰۵	۳-۵-۴ شبیه‌ساز باران مصنوعی
۱۰۵	۴-۵-۴ تجزیه و تحلیل هیدروگراف
۱۰۵	۶-۴ شاخص‌های نفوذ
۱۰۶	۱-۶-۴ شاخص نفوذ θ
۱۱۴	۲-۶-۴ شاخص W
۱۱۴	۳-۶-۴ شاخص متوسط نفوذ (fave)
۱۱۶	خلاصه فصل چهارم
۱۱۸	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل چهارم
۱۲۱	فصل پنجم. حوزه آبریز و ویژگی‌های آن
۱۲۱	هدف کلی
۱۲۱	هدف‌های یادگیری
۱۲۱	مقدمه
۱۲۲	۱-۵ تعریف حوزه آبریز
۱۲۵	۲-۵ الگوی حوزه‌های آبخیز
۱۲۶	۱-۲-۵ درجه تراکم رودخانه
۱۲۷	۲-۲-۵ تراکم زهکشی
۱۲۸	۳-۵ طبقه‌بندی رودخانه‌ها
۱۲۹	۱-۳-۵ رودخانه‌های تغذیه‌کننده و تغذیه‌شونده
۱۳۰	۲-۳-۵ رودخانه‌های دائمی و موقتی

۱۳۰	۴-۵ ویژگی های حوزه آبخیز
۱۳۱	۴-۵-۱ مساحت حوزه
۱۳۶	۴-۵-۲ شکل حوزه
۱۳۹	۴-۵-۳ شیب حوزه
۱۴۳	۴-۵-۴ ارتفاع میانه و میانگین
۱۴۵	۴-۵-۵ جهت شیب حوزه
۱۴۶	۴-۵-۶ زمان تمرکز
۱۵۰	۵-۵ خطوط هم-پیمایش (ایزوکرونال)
۱۵۱	خلاصه فصل پنجم
۱۵۳	خودآزمایی چهارگزینه ای فصل پنجم

۱۵۵	فصل ششم. هیدروگراف
۱۵۵	هدف کلی
۱۵۵	هدف های یادگیری
۱۵۵	مقدمه
۱۵۶	۶-۱ مؤلفه های هیدروگراف
۱۶۰	۶-۱-۱ تفکیک مؤلفه های جریان
۱۶۲	۶-۱-۲ تجزیه هیدروگراف
۱۶۵	۶-۲ هیدروگراف واحد
۱۶۷	۶-۲-۱ استخراج هیدروگراف واحد
۱۷۲	۶-۲-۲ محدودیت هیدروگراف واحد
۱۷۳	۶-۲-۳ هیدروگراف واحد حاصل از رگبارهای مرکب
۱۷۷	۶-۲-۴ تغییر مدت هیدروگراف واحد
۱۸۳	۶-۳ هیدروگراف واحد لحظه ای (IUH)
۱۸۵	۶-۳-۱ روش های تعیین IUH
۱۹۴	۶-۴ هیدروگراف واحد مصنوعی (SUH)
۱۹۶	۶-۴-۱ هیدروگراف واحد مصنوعی اشنایدر
۲۰۳	۶-۴-۲ هیدروگراف واحد مصنوعی SCS (روش سازمان حفاظت خاک آمریکا)
۲۰۵	۶-۵ هیدروگراف واحد مثلثی
۲۰۶	۶-۶ تخمین جریان از هیدروگراف واحد
۲۰۸	۶-۷ کاربرد هیدروگراف واحد
۲۱۳	خلاصه فصل ششم
۲۱۴	خودآزمایی چهارگزینه ای فصل ششم

۲۱۷	فصل هفتم. بارش - رواناب
۲۱۷	هدف کلی
۲۱۷	هدف های یادگیری
۲۱۷	مقدمه

۲۱۸	۱-۷ ویژگی های بارش.....
۲۱۸	۲-۷ تغییرپذیری بارندگی سالانه.....
۲۱۹	۳-۷ رابطه بارش - رواناب.....
۲۱۹	۱-۳-۷ فرایند رواناب سطحی.....
۲۲۰	۲-۳-۷ عوامل مؤثر بر رواناب.....
۲۲۲	۳-۳-۷ ضرایب رواناب.....
۲۲۳	۴-۷ تعیین ضریب رواناب.....
۲۲۵	۵-۷ برآورد رواناب.....
۲۲۶	۱-۵-۷ فرمول های تجربی، منحنی ها و جداول.....
۲۳۱	۲-۵-۷ روش نفوذ.....
۲۳۱	۳-۵-۷ روش استدلالی.....
۲۳۹	۴-۵-۷ هیدروگراف جریان روزمینی.....
۲۴۱	۶-۷ اجزای جریان رودخانه.....
۲۴۳	خلاصه فصل هفتم.....
۲۴۵	خودآزمایی چهارگزینه ای فصل هفتم.....
۲۴۷	پاسخنامه خودآزمایی های چهارگزینه ای.....
۲۴۹	منابع.....

پیشگفتار

امروزه استفاده بهینه از آب و منابع آبی به عنوان یکی از مهم ترین مسائل جهانی، مدنظر کارشناسان این امر قرار گرفته است. شواهد نشان می دهد که آب از همان ابتدای تشکیل کره زمین نقش مهمی در تحول و قابل سکونت کردن آن به عنوان تنها سیاره قابل زیست داشته است. با تشکیل اقیانوس ها، دریاها، تشکیل بخار از روی آن ها، ایجاد ابر، بارندگی و به طور کلی گردش آب در طبیعت، جاری شدن آب در رودخانه ها و بازگشت مجدد آن به شکل های مختلف به اقیانوس ها (سیکل هیدرولوژی)، ابتدا زندگی اولیه با گیاهان و جانداران پست آغاز شد و سپس گیاهان و حیوانات عالی به وجود آمدند. این سیکل (چرخه آب) در طبیعت، بستر تجدید حیات را به طور پیوسته فراهم می کند. شکل گیری توده های هوای مرطوب و چرخه هیدرولوژیکی در حوزه های آبخیز فرایند پیچیده ای است به نحوی که بسیاری از عوامل مرتبط با نوع بارش و نیز توزیع زمانی و مکانی آن هنوز ناشناخته مانده است. سایر مؤلفه های هیدرولوژیکی مانند نفوذ، رواناب و تبخیر که پس از وقوع بارش در سطح حوزه آبخیز شکل می گیرند علاوه بر تبعیت از بارش، به شرایط فیزیکی حوزه آبخیز نیز وابسته هستند؛ بر این اساس، هیدرولوژی آب های سطحی، حرکت و توزیع آب سطحی را در زمان و مکان مورد مطالعه قرار می دهد.

شناخت جزئیات و فرایندهای حاکم بر پدیده های کنترل کننده در چرخه هیدرولوژی که به سادگی شرایط فیزیکی حوزه آبخیز وابسته هستند، باعث شده است در رشته های مختلفی که با علوم آب سروکار دارند، هیدرولوژی آب های سطحی به عنوان یکی از دروس تخصصی مطرح شود. کتاب های مختلفی نیز در ارتباط با آب های سطحی در کشور به رشته تحریر درآمده اند که هر یک از آن ها، جنبه های مختلف علم هیدرولوژی را از دیدگاه های مختلف مدنظر قرار داده اند؛ لذا، نویسندگان کتاب حاضر سعی کرده اند کتابی را با زبانی ساده تألیف کنند تا بتواند نیاز دانشجویان مرتبط با رشته های کشاورزی و منابع

طبیعی و نیز تمامی کارشناسانی که به نحوی با علوم و مهندسی آب سروکار دارند در بخش‌های تئوری و عملی برآورده سازد. این کتاب، شامل ۷ فصل است. فصل اول، به کلیات و مفاهیم چرخه هیدرولوژی پرداخته است و فصل دوم، بارندگی و روش‌های مختلف اندازه‌گیری آن را تشریح کرده است. فصل سوم، ضمن پرداختن به بحث تبخیر و عوامل مؤثر بر آن، درباره تبخیر از سطوح مختلف بحث کرده و فصل چهارم، مبحث نفوذ و معادلات مربوط به آن را همراه با روش‌های تعیین و شاخص‌های نفوذ بیان کرده است. فصل پنجم، کلیات حوزه‌های آبخیز و ویژگی‌های آن را بررسی کرده و فصل ششم، هیدروگراف و انواع آن را در تخمین جریان سطحی ذکر کرده است. در نهایت فصل هفتم، ضمن بیان ویژگی‌های بارش - رواناب به نحوه تعیین ضرایب رواناب پرداخته است.

این کتاب که شامل موارد حائز اهمیتی در زمینه هیدرولوژی آب‌های سطحی است، طوری تألیف شده که در عین تحت پوشش قراردادن سرفصل دروس نظری اعلام شده از سوی شورای گسترش وزارت علوم، با ارائه مثال‌ها و سؤالات پایان هر فصل، موضوعات به صورت واضح و روشن تشریح شوند تا علاوه بر دانشجویان، برای تمامی فراگیرندگان کتاب مثمرتر واقع شود. در اینجا لازم است ضمن تقدیر از داور محترم به خاطر ارائه نظرات سازنده، از سرکار خانم دکتر نورمهند نیز که زحمت ویراستاری این اثر را به عهده داشته‌اند تشکر کنیم. همچنین از مساعدت بی دریغ مدیریت دفتر تدوین، تولید کتاب و محتوای آموزشی دانشگاه پیام نور خانم دکتر دیده‌بان و کارشناس محترم خانم خدیجه علی‌نژاد رنجکش در فرایند تولید این اثر سپاس فراوان به عمل می‌آید. در پایان، ضمن قدردانی از مجموعه عزیزان انتشارات دانشگاه پیام نور، پیشنهادها و انتقادهای تمامی عزیزان، حتی دانشجویان و اساتید محترم پس از مطالعه این اثر که بتوانند ما را در بهبود کیفیت این کتاب برای چاپ‌های بعدی یاری رسانند، مزید امتنان خواهد بود.

عبداله درزی نفت‌چالی

عضو هیأت علمی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

بهرروز محسنی

عضو هیأت علمی دانشگاه پیام نور

فاطمه کاراندیش

عضو هیأت علمی دانشگاه زابل

فصل اول

کلیات

هدف کلی

هدف از این فصل، آشنایی دانشجو با مفاهیم اولیه علم هیدرولوژی است تا ضمن آشنایی با این مفاهیم بتواند درک بهتری از فصل‌های بعدی داشته باشد.

هدف‌های یادگیری

با مطالعه این فصل، دانشجو قادر به یادگیری مفاهیم زیر است:

۱. کلیات علم هیدرولوژی
۲. شاخه‌های مختلف هیدرولوژی
۳. کاربردهای علم هیدرولوژی
۴. وضعیت منابع آب در ایران و جهان
۵. چرخه هیدرولوژیکی و بیلان آب

مقدمه

تا جایی که تاریخ نشان می‌دهد اولین تجارب آب‌شناسی مربوط به سومری‌ها و مصری‌ها در منطقه خاورمیانه است؛ به‌طوری‌که، قدمت سدسازی روی رودخانه نیل به ۴۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح می‌رسد. در همین زمان فعالیت‌های مشابهی در چین نیز وجود داشته است. از بدو تاریخ تا حدود ۱۴۰۰ سال بعد از میلاد مسیح، فلاسفه و دانشمندان مختلفی از جمله هومر، تالس، افلاطون، ارسطو و پلنی در مورد سیکل هیدرولوژی اندیشه‌های گوناگونی ارائه کرده‌اند و کم‌کم مفاهیم فلسفی هیدرولوژی

جای خود را به مشاهدات علمی دادند. با پیشرفت تمدن‌ها استفاده از آب نیز شکل تازه‌ای به خود گرفت؛ به‌طوری‌که، در بسیاری از زمینه‌ها، از کشاورزی گرفته تا صنعت و از همه مهم‌تر تولید انرژی از آب استفاده می‌شود. کلیه برنامه‌های کشاورزی و صنعتی در هر کشور باید براساس مطالعات آب‌شناسی طرح‌ریزی شود. منابع آب موجود باید به‌درستی شناخته و برآورد شوند و با بهره‌گیری از تجربیات، روش‌ها و تکنیک‌های علمی، برنامه‌ریزی دقیق و همه‌جانبه‌ای انجام گیرد تا حداکثر بهره‌برداری از منابع آب موجود به عمل آید. مطالعات آب‌شناسی به‌خصوص در کشور ما که از مناطق نسبتاً خشک و کم‌آب جهان است و پراکندگی باران و آب‌های سطحی شرایط مناسبی ندارند، از اهمیت خاصی برخوردار است. امروزه دسترسی به آب کافی و باکیفیت مناسب در زمان و مکان مناسب مدنظر است و هرگونه کمبود آب مانعی در جهت توسعه پایدار است؛ به همین دلیل، هرساله سرمایه‌گذاری زیادی برای توسعه منابع آب و طرح‌های مرتبط با آن مثل سدسازی و احداث شبکه‌های آبیاری و زهکشی، آبخیزداری، مهار سیل و تغذیه آب‌های زیرزمینی انجام می‌شود.

۱-۱ تعریف هیدرولوژی و شاخه‌های مختلف آن

هیدرولوژی یا آب‌شناسی علمی است که دربارهٔ پیدایش، خصوصیات و نحوهٔ توزیع آب در کرهٔ زمین و همچنین مراحل مختلف چرخهٔ هیدرولوژیکی بحث می‌کند. اگرچه هیدرولوژی شاخه‌ای از زمین‌شناسی است، ولی در عمل به شاخه‌ای از جغرافیای فیزیکی اطلاق می‌شود که گردش آب در طبیعت را مورد بررسی قرار می‌دهد. اهمیت هیدرولوژی در ارزیابی، توسعه، بهره‌برداری و مدیریت منابع آب هر منطقه در کلیهٔ سطوح به‌صورت روزافزون در حال افزایش است. سازمان ملل متحد دوره ۱۹۶۵ تا ۱۹۷۴ را به‌عنوان دههٔ بین‌المللی هیدرولوژی نام نهاد که در آن دوره، تلاش‌های فشرده‌ای در آموزش هیدرولوژی، توسعهٔ روش‌های تحلیلی و جمع‌آوری اطلاعات هیدرولوژیکی در سطح مراکز دانشگاهی، تحقیقاتی و سازمان‌های دولتی انجام شد. جنبه‌های عملی علم هیدرولوژی بیشتر از جنبه‌های تئوری آن است. وقتی سخن از هیدرولوژی به میان می‌آید، مفاهیمی در ذهن تداعی می‌شود که به‌وسیلهٔ آن‌ها بتوان مشکلات انسان را در رابطه با بهره‌برداری از منابع آب حل کرد. کاربرد علم هیدرولوژی بیشتر در زمینه‌های هیدرولیک، کنترل فرسایش و رسوب، کنترل سیل، پروژه‌های تأمین آب، تخلیهٔ فاضلاب، آبیاری و زهکشی و تولید انرژی

است. به آن قسمت از علم هیدرولوژی که بر مسائل عملی تأکید می‌کند، هیدرولوژی عملی یا کاربردی گفته می‌شود. از رشته‌های علمی مختلفی مانند هواشناسی، مکانیک سیالات، هیدرولیک، خاک‌شناسی، کشاورزی، فیزیک، ریاضی، آمار و احتمالات، جغرافیا، گیاه‌شناسی، جنگل‌شناسی، اقتصاد، کامپیوتر و جامعه‌شناسی نیز در حل مسائل هیدرولوژیکی بهره گرفته می‌شود.

بررسی‌های هیدرولوژیکی را می‌توان در سه گروه کلی زیر قرار دارد:

- اندازه‌گیری، ثبت آمار و داده‌ها
 - تجزیه و تحلیل آمار به‌دست‌آمده براساس اصول تئوری
 - کاربرد نتایج حاصله در حل مسائل مختلف آب
- در کلیه این فرایندها، فرضیات مختلفی وارد می‌شوند که ممکن است سبب عدم تطابق کامل نتایج حاصله با واقعیت‌ها شوند؛ بر این اساس، هیدرولوژی جزء علوم دقیق نیست و فقط تخمینی از واقعیت را ارائه می‌دهد. باوجوداین، باید توجه داشت که غیردقیق‌بودن در این‌گونه مسائل به مفهوم ریاضی و فیزیکی آن است و به‌کارگیری روش‌های علمی در کارهای هیدرولوژی به مقدار فراوان بر دقت آن افزوده است ضمن آنکه همین تخمین‌ها تاکنون توانسته بسیاری از مشکلات بشر را حل کند.
- امروزه برحسب استفاده انسان و با توجه به گستردگی موضوع، مسائل مربوط به آب در زیرشاخه‌های مختلف علمی بررسی می‌شود که از جمله می‌توان رشته‌های زیر را نام برد: هیدرومتئورولوژی یا آب و هواشناسی، کاربرد هواشناسی را در مسائل هیدرولوژی مورد بررسی قرار می‌دهد یا درباره مسائل مشترک بین هواشناسی و هیدرولوژی بحث می‌کند.

لیمنولوژی به علم مطالعه آب‌های داخل خشکی اطلاق می‌شود. در این رابطه، خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و سایر توده‌های آب موجود در خشکی‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

کرایولوژی یا یخ‌شناسی علمی است که در آن خصوصیات مختلف آب در حالت جامد (برف و یخ) بررسی می‌شود.

ژئوهیدرولوژی به معنی هیدرولوژی آب‌های زیرزمینی یا علم مطالعه آب در زیر زمین است که در مقابل آن، علم مطالعه آب در سطح زمین که هیدرولوژی آب‌های سطحی گفته می‌شود، قرار دارد.

رودخانه‌شناسی یا پوتامولوژی مسائل مربوط به جریان آب در رودخانه‌ها را مورد مطالعه قرار می‌دهد. در این رابطه، تأکید بیشتر بر جنبه‌های فیزیکی موضوع است تا جنبه‌های بیولوژیکی.

هیدروگرافی، علم مطالعه وضعیت و خصوصیات فیزیکی آب به‌ویژه در ارتباط با مسائل کشتیرانی است. مطالعه جزر و مد در دریا‌های آزاد و نوسانات سطح آب و نیز موج‌شناسی در قلمرو این علم قرار دارد.

هیدرومتری یا آب‌سنجی، علم اندازه‌گیری آب و مسائل مربوط به آن است. درواقع این علم، سنجش‌های مختلف تراز آب، مقادیر جریان و موارد مشابه را در برمی‌گیرد. اقیانوس‌سنجی نیز علم مطالعه خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و دیگر ویژگی‌های اقیانوس‌ها و دریا‌های آزاد است.

۲-۱ حدود و هدف‌های هیدرولوژی

مطالعه هیدرولوژی در شناخت موارد زیر به ما کمک می‌کند:

- حداکثر سیلاب محتمل در یک منطقه و تناوب آن. این پارامتر برای طراحی مطمئن زهکش‌ها و کالورت‌ها، سدها و مخازن، کانال‌ها و سایر سازه‌های کنترل سیل مورد نیاز است.
- میزان آبدهی یک حوضه و خصوصیات آن شامل وقوع، مقدار، تناوب و غیره. از این پارامتر برای طراحی سدها، منابع آب شهری، نیروگاه‌های آبی، کشتیرانی و غیره استفاده می‌شود.
- توسعه آب زیرزمینی که مستلزم آگاهی از هیدروژئولوژی منطقه، امکانات تغذیه مانند رودخانه‌ها و مخازن، الگوی بارندگی، اقلیم، الگوی کشت و غیره است.
- حداکثر شدت بارش و تناوب آن برای طراحی پروژه زهکشی در منطقه.

۳-۱ داده‌های هیدرولوژیکی

برای تجزیه و تحلیل و طراحی هر پروژه هیدرولوژیکی، نیاز به داده‌های کافی و بلندمدت منطقه موردنظر است. غالباً ممکن است هیدرولوژیست‌ها با کمبود این داده‌ها مواجه شوند. داده‌های هیدرولوژیکی اساسی مورد نیاز عبارت‌اند از:

- داده‌های اقلیمی منطقه
 - نوسانات فصلی سطح آب زیرزمینی یا بار پیزومتریک
 - کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی
 - مطالعات ژئومورفولوژیکی حوضه
- مانند: مساحت، شکل و شیب حوضه، میانگین و میانه ارتفاع، میانگین دما (به‌علاوه کمترین و بیشترین دمای ثبت‌شده) و سایر خواص فیزیوگرافی حوضه، تراکم رودخانه‌ها و زهکش‌ها، مخازن.
- خصوصیات آب و هواشناسی حوضه^۱، شامل:
 - مقادیر بلندمدت بارندگی، متوسط مکانی در سطح حوضه با استفاده از خطوط هم‌بارش و روش‌های مختلف دیگر
 - منحنی‌های مدت-مساحت-عمق^۲ (DAD) برای بارندگی‌های بحرانی
 - نقشه‌های هم‌باران؛ این نقشه‌ها را می‌توان براساس بارش‌های متوسط بلندمدت، سالانه یا ماهانه برای سال‌ها یا ماه‌های مشخص رسم کرد.
 - الگوی کشت گیاهان و فصول کشت آن‌ها
 - مقادیر تبخیر روزانه، ماهانه و سالانه از سطوح مخازن آب در سطح حوضه
 - مطالعات بیلان آب حوضه
 - بررسی مشکلات مهم حوضه مانند تهدید سیل و خشکسالی
 - حفاظت خاک و روش‌های کنترل سیل

۴-۱ وضعیت منابع آب جهان

کل منابع آب جهان در حدود ۱/۳۸۶ میلیون کیلومتر مکعب برآورد می‌شود که حدود ۹۷/۲ درصد آن شور بوده و عمدتاً در اقیانوس‌ها قرار دارد و تنها حدود ۲/۸ درصد آب موجود، شیرین است. از ۲/۸ درصد آب شیرین، حدود ۲/۲ درصد به‌صورت آب سطحی و ۰/۶ درصد به‌صورت آب زیرزمینی است. از ۲/۲ درصد آب شیرین سطحی، حدود ۲/۱۵ درصد در قالب یخچال‌ها و توده‌های یخی وجود

دارد، ۰/۰۱ درصد در دریاچه‌ها و رودخانه‌ها موجود است و ۰/۰۴ درصد باقیمانده به شکل‌های دیگر وجود دارد. از ۰/۶ درصد ذخایر آب‌های زیرزمینی، تنها حدود ۰/۲۵ درصد را می‌توان به‌صورت اقتصادی با استفاده از تکنولوژی‌های حفاری موجود استحصال کرد (مابقی در اعماق بیشتر قرار دارند) (بهبهانی، ۱۳۸۴).

۱-۵ وضعیت منابع آب کشور

متوسط بارندگی سالانه ایران ۲۵۱ میلی‌متر است که تنها با بارندگی‌های کشورهای نیمه‌خشک و صحرایی برخی از قاره‌ها قابل مقایسه است. متوسط بارندگی کشور حدود ۳۰ درصد متوسط بارندگی در خشکی‌های کره زمین (۸۳۱ میلی‌متر) و ۳۳ درصد متوسط بارندگی در قاره آسیا (۷۳۲ میلی‌متر) است. متوسط سالانه ریزش‌های جوی در کشور حدود ۴۱۳ میلیارد مترمکعب برآورد می‌شود. اگرچه وسعت ایران حدود ۱/۱ درصد مساحت خشکی‌ها و ۳/۳۵ درصد مساحت قاره آسیا است، ولی حجم ریزش‌های کشور تنها ۰/۳۷ درصد از کل ریزش‌های جوی خشکی‌های دنیا و ۱/۲۹ درصد حجم ریزش‌های قاره آسیا را تشکیل می‌دهد.

متوسط سالانه تبخیر واقعی در کشور حدود ۷۰ تا ۷۱ درصد بارندگی سالانه برآورد شده که تنها قاره آفریقا با ۷۹ درصد و استرالیا با ۸۰ درصد تبخیر در شرایط نامساعد نزولی، هم نسبت با ایران هستند. متوسط دامنه تغییرات بارندگی در نقاط مختلف ایران بین ۲۰۰۰ میلی‌متر در حوالی تالش تا کمتر از ۵۱ میلی‌متر در کویر لوت است. حدود ۷۲ درصد بارندگی سالانه کشور به میزان ۲۹۶ میلیارد مترمکعب به‌صورت تبخیر از دسترس خارج می‌شود. میانگین میزان آب ورودی کشور از طریق رودخانه‌های مرزی، سالانه حدود ۸ میلیارد مترمکعب است و میزان جریان سطحی ناشی از تخلیه چشمه‌ها، سالانه حدود ۱۰/۷ میلیارد مترمکعب برآورد شده است. در مجموع، کل جریان‌های سطحی رودخانه‌های کشور حدود ۹۹/۷ میلیارد مترمکعب در سال و جمع تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی حدود ۵۱ میلیارد مترمکعب در سال است. از کل جریان حاصل از بارش مؤثر، حدود ۳۶ میلیارد مترمکعب در دشت‌ها نفوذ کرده و ۸۱ میلیارد مترمکعب به‌صورت جریان سطحی به رودخانه‌ها می‌ریزد. ترازنامه متوسط چرخه آب قاره‌های مختلف و ایران در جدول ۱-۱ مقایسه شد.

جدول ۱-۱. ترازنامه چرخه آب قاره‌های مختلف و ایران^۱ (اجلایی و دهقانی، ۱۳۹۲)

ناحیه	وسعت (Mkm ²)	بارندگی		تبخیر - تعرق		جریان سطحی و زیرزمینی	
		حجم (Mm ³)	ارتفاع (mm)	حجم (Mm ³)	ارتفاع (mm)	حجم (Mm ³)	ارتفاع (mm)
اروپا	۱۰/۵	۸۰۰۰	۷۶۲	۴۸۰۰	۴۷۵	۳۲۰۰	۳۰۵
آسیا	۴۳/۶	۳۱۹۰۰	۷۳۲	۱۸۸۰۰	۴۳۱	۱۳۱۰۰	۳۰۱
آفریقا	۳۰/۴	۲۱۶۰۰	۷۱۰	۱۷۱۰۰	۵۶۲	۴۵۰۰	۱۴۸
آمریکای شمالی	۲۴/۴	۱۷۲۰۰	۷۰۵	۹۷۰۰	۳۹۸	۷۵۰۰	۳۰۷
آمریکای جنوبی	۱۷/۷	۲۸۸۰۰	۱۶۲۷	۱۷۸۰۰	۱۰۰۶	۱۱۰۰۰	۶۲۱
اقیانوسیه	۸/۹	۵۱۰۰	۵۷۳	۴۱۰۰	۴۶۱	۱۰۰۰	۱۱۲
مجموع خشکی‌ها	۱۳۵/۵	۱۱۲۶۰۰	۸۳۱	۷۲۳۰۰	۵۳۴	۴۰۳۰۰	۲۹۷
ایران	۱/۶۵	۴۱۳	۲۵۱	۲۹۶	۱۷۹	۱۱۷	۷۲

۱-۶ چرخه هیدرولوژی

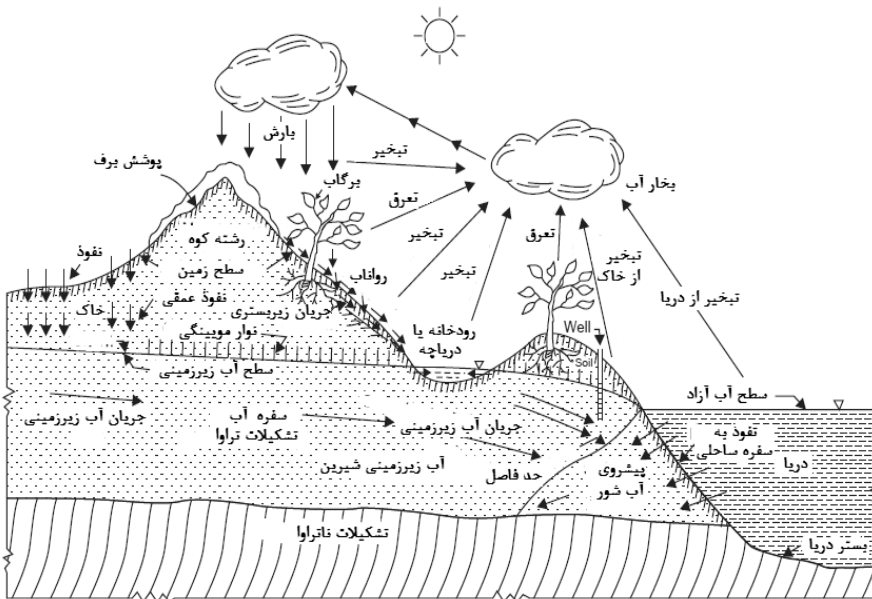
چرخه هیدرولوژیکی، چرخه تبدیل آب است که به‌طور دائمی در طبیعت به وقوع می‌پیوندد. سیکل هیدرولوژی (گردش آب در طبیعت) درواقع یک چرخه بدون ابتدا و انتها است؛ به این صورت که، آب از سطح دریاها و خشکی‌ها تبخیرشده، وارد اتمسفر می‌شود و سپس دوباره بخارآبی که به جو واردشده، طی فرایندهای گوناگون به‌صورت نزولات جوی یا روی سطح زمین یا بر سطح دریاها و اقیانوس‌ها فرومی‌ریزد. سه فاز مهم چرخه هیدرولوژیکی عبارت‌اند از: الف) تبخیر و تبخیر - تعرق، ب) بارش و ج) رواناب (شکل ۱-۱). یک‌سوم کره زمین را خشکی و دوسوم دیگر را اقیانوس‌ها تشکیل می‌دهند. تبخیر از سطوح مخازن، دریاچه‌ها، اقیانوس‌ها و غیره رخ می‌دهد. دمای هوا، سرعت باد، تابش خورشید و رطوبت هوا از عوامل مؤثر بر تبخیر هستند.

تعرق از سطوح پوشش گیاهی به وقوع می‌پیوندد. پس‌ازآنکه آب وارد خاک شد، بخشی از آن توسط ریشه‌ها جذب‌شده و وارد گیاه می‌شود. آب موجود در گیاه از طریق روزنه‌های سطح برگ خارج و وارد اتمسفر می‌شود که این پدیده را تعرق می‌گویند. تعرق از نظر ماهیت، مشابه فرایند تبخیر بوده و درواقع یکی از تولیدات جانبی عمل فتوسنتز به شمار می‌رود. با توجه به اینکه تبخیر از سطح خاک و تعرق از

۱. این محاسبات براساس متوسط بارندگی ۲۵۱ میلی‌متر هستند؛ درحالی‌که، براساس آخرین آمارهای رسمی منتشرشده توسط فائو، متوسط بارندگی ایران حدود ۲۲۸ میلی‌متر است.

سطح گیاهان را نمی‌توان از همدیگر مجزا ساخت، غالباً این دو پدیده به‌صورت توأم باهم و تحت عنوان تبخیر- تعرق توصیف می‌شوند.

بخارهای تولیدشده در اثر فرایند تبخیر- تعرق، در اتمسفر به سمت بالا حرکت می‌کنند و در ارتفاعات بالاتر متراکم‌شده و ابر تشکیل می‌شود و منتج به رشد قطرات آب خواهد شد. ادامه این فرایند در نهایت منجر به شکل‌گیری شکل‌های مختلف بارش می‌شود. کلیه بارش‌ها به سطح زمین نمی‌رسد و بخشی از آن توسط شاخ و برگ پوشش گیاهی موجود در سطح زمین گرفته می‌شود. این بخش از بارش اصطلاحاً برگ‌آب نامیده می‌شود.



شکل ۱-۱. چرخه هیدرولوژیکی (راگونات، ۲۰۰۶)

بخشی از بارش روی سطح زمین جاری می‌شود که رواناب نامیده می‌شود. این رواناب ممکن است در برکه‌ها یا آبگیرها ذخیره شود و یا از طریق رودخانه‌ها به دریاها یا دریاچه‌ها بریزد و تبخیر شود. رواناب سطحی زمانی تشکیل می‌شود که شدت بارندگی بیش از میزان نفوذپذیری خاک و نگهداشت آب در گودال‌ها و پستی و بلندی‌های سطح زمین باشد. مقدار آبی که موقتاً در سطح زمین نگهداری می‌شود، ذخیره سطحی یا

نگهداشت سطحی نام دارد. مشخصات باران، خصوصیات خاک و نیز ویژگی‌های سطح حوضه نقش مهمی در تشکیل رواناب ایفا می‌کنند. اصولاً تولید رواناب، ناشی از بارندگی‌هایی است که یا روی خاک‌های با نفوذپذیری کم یا خاک‌هایی که به دلیل بالا آمدن سطح ایستابی اشباع شده‌اند، می‌بارد. ساده‌ترین حالت، روانابی است که روی سطوح غیرقابل نفوذ تشکیل می‌شود. درواقع در این حالت نفوذی وجود ندارد و پس‌ازاینکه ذخایر گودالی پُر شد رواناب به وجود می‌آید. تولید رواناب از سطوح طبیعی به علت اثر متقابل بین توپوگرافی، عمق آب زیرزمینی، شدت و تداوم بارش و خصوصیات نفوذپذیری که به وسیله خاک و پوشش گیاهی تعدیل می‌شوند پیچیده‌تر است. بنابراین تمام سطح حوزه آبخیز در تولید رواناب نقش یکسانی ندارند.

بخشی از بارش ممکن است در خاک نفوذ کرده و به رطوبت موجود در خاک پیوندند که در این حالت به وسیله تبخیر- تعرق از سطح زمین و پوشش‌های گیاهی به اتمسفر برمی‌گردد یا توسط جریان‌های زیرسطحی به طرف رودخانه‌ها هدایت می‌شود یا اینکه به لایه‌های آبدار زیرزمینی می‌پیوندند. میزان نفوذ آب در خاک به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بستگی دارد. ضریب نفوذپذیری یا هدایت هیدرولیکی یکی از نمایه‌های فیزیکی خاک است که نشان‌دهنده سرعت ورود آب به خاک و حرکت آن در داخل خاک است. از طرفی دیگر، خصوصیات شیمیایی خاک (ظرفیت تبادل کاتیونی) تأثیر عمده‌ای بر رشد گیاه و توانایی خاک برای نگهداری آب و مواد غذایی دارد. وضعیت سطح زمین نیز بر مقدار نفوذ مؤثر است؛ خاک‌های فشرده شده یا پوشش‌های مصنوعی مانند سنگفرش، آسفالت و غیره، مقدار نفوذ را به شدت کاهش می‌دهند. پوشش‌های گیاهی در پدیده نفوذ نقشی عمده دارند؛ به طوری که، نفوذپذیری در خاک‌های جنگلی و مرتعی به مراتب بیشتر از سطح یک خاک فشرده است. شیب زمین، پستی و بلندی، زبری سطح خاک و فعالیت‌های انسانی، سایر عوامل مؤثر بر میزان نفوذ هستند. وضعیت رطوبت اولیه خاک نیز بر میزان نفوذ تأثیرگذار است. سرعت نفوذ آب به داخل یک خاک خشک در ابتدا زیاد است و با افزایش رطوبت خاک، مقدار آن به تدریج کاهش می‌یابد و نهایتاً به مقدار ثابتی می‌رسد.

آبی که به داخل خاک نفوذ می‌کند ممکن است در مسیر حرکت رو به پایین به لایه‌های غیرقابل نفوذ یا موانعی برخورد کند که امکان عبور از آن وجود نداشته باشد. در این شرایط، آب پس از جمع شدن روی این لایه‌ها، به طور جانبی در جهات مختلف

به حرکت درآمده و سرانجام وارد منابع آب سطحی می‌شود. به این نوع جریان آب، جریان زیرسطحی می‌گویند. در برخی موارد، آب نافذ در زمین‌های شیب‌دار در امتداد شیب و به موازات رواناب سطحی به حرکت درمی‌آید که به آن رواناب دیررس گفته می‌شود. قسمتی از آب‌های زیرزمینی به وسیله حرکت موئینه‌ای یا توسط ریشه‌های گیاهان به سطح زمین آمده و در اثر تبخیر به اتمسفر برمی‌گردد.

چرخه آب در زمین در لایه‌ای به قطر تقریباً ۱۶ کیلومتر انجام می‌شود که ۱۵ کیلومتر آن در اتمسفر و حدود یک کیلومتر در پوشش جامد در سطح و تحت الارض صورت می‌گیرد که بخش سطحی آن شامل هیدروسفر، یعنی توده‌های آبی که در سطح زمین گسترش یافته، است. آب در این لایه از مسیرهای پیچیده‌ای حرکت می‌کند. این چرخه، مرکز بررسی‌های علم هیدرولوژی است، به‌ویژه در بخش خشکی آن شامل جریان آب در سطح و زیرزمین می‌شود. عامل این حرکت مداوم، مقدار انرژی‌ای است که خورشید به سطح زمین می‌رساند. از حدود $10^{23} \times 13/4$ کیلوکالری گرمای سالانه که از خورشید به سطح زمین می‌رسد، ۲۵ درصد آن صرف همین حرکت در چرخه می‌شود (علیزاده، ۱۳۹۴).

۷-۱ سیستم هیدرولوژی و معادله هیدرولوژیکی

سیستم هیدرولوژی شبیه ساختمان یا حجمی در فضا است که توسط مرزهایی احاطه شده، آب و دیگر ورودی‌ها را قبول کرده و پس از انجام عملیات روی آن‌ها، خروجی‌هایی را تولید می‌کند. سیستم چرخه هیدرولوژی کره زمین یک سیستم بسته است ولی در اکثر کارهای عملی با سیستم‌های کوچک‌تری که در مسیر چرخه قرار دارند مانند حوزه‌های آبخیز روبه‌رو هستیم که یک سیستم باز است و به علت پیچیدگی پدیده‌های هیدرولوژیکی به آسانی نمی‌توان آن‌ها را در یک مدل کاربردی تعریف کرد. لذا باید سعی کرد این پدیده‌ها را در شکل ساده‌تری ارائه کرد و تعداد کمی از جریان‌های چرخه هیدرولوژی را در نظر گرفت.

معادله هیدرولوژیکی به‌طور ساده، بیانی از قانون بقای جرم است و به‌صورت زیر

نوشته می‌شود:

$$I=O+\Delta S$$

$$(1-1)$$