



دانشگاه سям نور
پیه

آبیاری عمومی

مهندس مریم دهقانی

دکتر فرید اجلالی

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 **کمک درسی** (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

هفت

مقدمه

۱	فصل اول - منابع و ذخایر آب آبیاری
۲	۱-۱ تعریف آبیاری
۲	۲-۱ اهداف آبیاری
۶	۳-۱ خواص آب
۱۱	۴-۱ چرخش آب در طبیعت (چرخه هیدرولوژی)
۱۲	۵-۱ وضعیت آب در کره زمین و ایران
۱۶	۶-۱ روش‌های تأمین آب
۳۸	خلاصه
۳۹	تمرینات فصل اول
۴۳	فصل دوم - روش‌های انتقال و اندازه‌گیری آب
۴۳	۱-۲ انتقال آب آبیاری
۵۵	۲-۲ پمپ و پمپاژ
۵۶	۳-۲ وسایل اندازه‌گیری دبی جریان آب
۷۴	خلاصه
۷۵	تمرینات فصل دوم
۸۱	فصل سوم - روابط آب و خاک و گیاه
۸۲	۱-۳ خصوصیات فیزیکی خاک
۸۹	۲-۳ رطوبت خاک
۹۲	۳-۳ پتانسیل آب در خاک
۹۸	۴-۳ عمق آب آبیاری
۹۸	۵-۳ دور آبیاری
۱۰۲	۶-۳ روش‌های اندازه‌گیری رطوبت

۱۰۶	۷-۳ ضرایب هیدرودینامیک خاک
۱۰۷	۸-۳ نفوذ عمودی به درون خاک
۱۱۴	خلاصه
۱۱۵	تمرینات
۱۲۱	فصل چهارم - نیاز آبی گیاهان
۱۲۲	مقدمه
۱۲۲	۱-۴ نقش آب در گیاهان
۱۲۴	۲-۴ جذب آب توسط گیاه
۱۲۷	۳-۴ تبخیر و تعرق
۱۵۷	۴-۴ نیاز آبیاری پروژه
۱۶۱	خلاصه
۱۶۲	تمرینات
۱۶۷	فصل پنجم - روش های آبیاری
۱۶۷	مقدمه
۱۶۸	۱-۵ شبکه های آبیاری
۱۷۰	۲-۵ روش های آبیاری سطحی
۱۹۳	۳-۵ آبیاری تحت فشار
۲۰۸	خلاصه
۲۰۹	تمرینات
۲۱۱	فصل ششم - راندمان ها در آبیاری
۲۱۱	مقدمه
۲۱۲	۱-۶ راندمان انتقال
۲۱۴	۲-۶ راندمان کاربرد
۲۲۰	۳-۶ راندمان سیستم
۲۲۳	خلاصه فصل
۲۲۴	تمرینات
۲۲۷	منابع

مقدمه

اهمیت آب و آبیاری در کشاورزی ایران بر کسی پوشیده نیست. اگر همه مسائل و مشکلات مربوط به تولید کشاورزی را در یک طرف و مشکلات مربوط به آب را در طرف دیگر ترازوی کشاورزی ایران قرار دهیم، به نظر می‌رسد مشکلات مربوط به آب از وزن سنگین‌تری برخوردار خواهد بود. مسائل و مشکلات اجتماعی از نزاع‌های دسته جمعی تا خشکسالی‌های محلی و مهاجرت پیوسته کشاورزان به شهرهای بزرگ و جستجوی اشتغال غیرکشاورزی عواقب ناشی از بحران کمبود آب در کشاورزی ایران است. متأسفانه سرعت احداث سدهای مخزنی و کنترل آب‌های سطحی جوابگوی رشد مصرف روز افزون آب در بخش‌های مختلف شهری و کشاورزی نمی‌باشد. فشار بیش از حد در استحصال آب‌های زیرزمینی به دلیل سهولت برداشت و نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه کم و امکان بهره‌برداری خصوصی باعث گردیده است که سالانه با کاهش سطح آب‌های زیرزمینی هزینه‌های این بخش نیز افزایش یابد. بنابراین آشنائی اولیه با اصول و روش‌های آبیاری برای دانش‌آموختگان رشته کشاورزی ضرورت دوچندان می‌یابد تا با شناخت روش‌های مختلف آبیاری و استفاده اصولی از آب‌های موجود با افزایش راندمان و بهره‌وری نسبت به استفاده از آب در پرمصرف‌ترین بخش یعنی کشاورزی اقدامی نمایند.

منابع آبی ایران و جهان روش‌های تأمین آب و طرق مختلف آن از جمله چاه، قنات، رودخانه، چشمه، انتقال و اندازه‌گیری آب، روابط مهم آب و خاک و گیاه، راندمان‌های آبیاری و آشنائی با روش‌های آبیاری ثقلی و تحت فشار در این کتاب مورد

بررسی قرار گرفته‌اند. این کتاب به‌عنوان کتاب درسی جهت دانشجویان رشته کشاورزی برای درس سه واحدی آبیاری عمومی و براساس سرفصل‌های مصوب شورای عالی انقلاب فرهنگی تألیف گردیده است. مؤلف که مدت چندین سال مدرس این درس بوده است با استفاده از تجربیات این دوره سعی در ارائه مطالب به آسان‌ترین روش ممکن نموده است. امید است با ایجاد اشتیاق به یادگیری در این درس این کتاب به‌عنوان یکی از کتاب‌های مرجع موفق جهت دانشجویان علاقمند به آبیاری مورد توجه روز افزون قرار گیرد.

فصل اول

منابع و ذخایر آب آبیاری

هدف کلی

آشنایی دانشجو با خصوصیات آب و روش‌های مختلف تأمین آب موردنیاز بخش کشاورزی

هدف‌های رفتاری

دانشجو بعد از مطالعه این فصل می‌تواند:

- (۱) آبیاری را تعریف کند و منابع تأمین آب مورد نیاز گیاه را نام ببرد.
- (۲) اهداف اجرای طرح‌های آبیاری را شرح دهد.
- (۳) خواص فیزیکی و شیمیایی آب را توضیح دهد.
- (۴) وضعیت آب در کره زمین و کشور ایران را توضیح دهد.
- (۵) روش‌های تأمین آب را نام ببرد و آنها را با یکدیگر مقایسه نموده و مزایا و معایب هر کدام را شرح دهد.
- (۶) سفره‌های آب زیرزمینی را از لحاظ عمق و فشار آب درون سفره تعریف کند.
- (۷) انواع چاه‌ها را از لحاظ عمق و فشار آب تقسیم‌بندی نماید و تفاوت‌های انواع چاه‌ها را شرح دهد.
- (۸) قنات را تعریف کند و اجزا تشکیل‌دهنده آن را شرح دهد.
- (۹) چشمه را تعریف کند و انواع آن را شرح دهد.

۱-۱ تعریف آبیاری

از نظر کسانی که در مناطق خشک زندگی می‌کنند، آبیاری به‌عنوان بخشی از عملیات فرایند تولید محصولات کشاورزی به‌قدری از بدیهیات به‌شمار می‌رود که نیازی به تعریف آن نمی‌رود. اما برخلاف تصور و برداشت عامیانه‌ای که از این واژه می‌شود، آبیاری ابعاد گسترده‌تری را در برمی‌گیرد.

آبیاری کوششی است که انسان به‌عمل می‌آورد تا سیکل هیدرولوژی را در جهت تولید محصولات کشاورزی به‌صورت موضعی تغییر دهد. به‌طور کلی آبیاری یکی از موارد مداخله انسان در امور طبیعی می‌باشد، بنابراین استفاده از طغیان رودخانه‌ها یا نزولات آسمانی که در برخی نقاط تنها منبع رطوبت برای رویش گیاهان می‌باشند به معنی واقعی کلمه آبیاری به‌حساب نمی‌آیند.

آبی را که برای ایجاد رطوبت لازم به منظور رشد گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرد از ۵ منبع می‌توان تأمین کرد:

- نزولات جوی
- آب موجود در هوا که جدای از نزولات است
- سیلاب‌ها
- آب‌های زیرزمینی
- آب‌های مازاد آبیاری

موقع برآورد آب مورد نیاز برای آبیاری بایستی هر ۵ منبع تأمین آب را مدنظر قرار داد. عدم توجه به هر ۵ منبع بالا و استفاده نکردن از مقدار آبی که هر یک از آنها به‌نسبت کل آب مورد نیاز گیاه تأمین می‌کنند ممکن است باعث عدم موفقیت یک شبکه آبیاری شود. در بعضی مناطق ممکن است یکی از این ۵ منبع بخش عمده آب مورد نیاز گیاه را تأمین کند و در جایی دیگر دو منبع یا بیشتر از موارد ذکر شده کفایت کند.

۲-۱ اهداف آبیاری

امروزه آبیاری در کشوری مانند ایران به‌قدری از عملیات عادی کشاورزی به حساب می‌آید که برای متخصصین مجال طرح این سؤال که اصولاً با اجرای پروژه‌های آبیاری

چه اهدافی را می‌توان دنبال کرد داده نمی‌شود. اما اگر طرح‌های بزرگ آبیاری را که در سطح دنیا به اجرا درآمده یا در حال اجرا می‌باشند در نظر بگیریم، مانند طرح آبیاری کانال قره‌قوم در ترکمنستان و یا طرح نه‌ال‌عظیم در لیبی، مشاهده می‌شود که در این طرح‌ها تنها رفع کمبود نیاز آبی گیاه و تولید بیشتر محصول موردنظر نبوده است بلکه هدف‌های سیاسی و اجتماعی و احیاناً منظوره‌های دیگری نیز مطرح بوده است. به‌طور کلی اهداف مهمی که با اجرای طرح‌های آبیاری دنبال می‌شوند عبارتند از:

۱-۲-۱ آبیاری به‌منظور افزایش محصول

در حال حاضر در دنیا حدود ۱/۵ میلیارد هکتار زمین زیرکشت محصولات مختلف قرار دارند که از این رقم ۲۳۶ میلیون هکتار را زراعت‌های آبی تشکیل می‌دهد، یعنی ۱۶ درصد زمین‌های کشاورزی دنیا به‌صورت آبی و ۸۴ درصد بقیه به‌صورت دیم زراعت می‌شوند. اما اگر به‌تولیدات حاصله از این زمین‌ها توجه نماییم مشاهده می‌شود که ۳۰ تا ۴۰ درصد محصولات کشاورزی دنیا از زراعت‌های آبی حاصل می‌شود، به‌خصوص این که تولیدات زراعت‌های آبی را عمدتاً محصولات استراتژیک و با ارزش تشکیل می‌دهد. این افزایش محصول علی‌الاصول مرهون آب و آبیاری است. در ایران برداشت ۵ تن گندم از هر هکتار زراعت آبی تقریباً عادی شده است حال آنکه تولید محصول از زراعت‌های دیم معمولاً از ۷۰۰ کیلوگرم در هکتار متجاوز نیست. البته نباید افزایش محصول را تنها دلیل آبیاری دانست زیرا بدون اعمال روش‌های مناسب کشت و تهیه زمین و بدون استفاده از کودهای شیمیایی و سموم و بذور اصلاح شده دستیابی به چنین افزایش محصول امکان‌پذیر نیست اما در این مورد آبیاری و آب نقش کلیدی دارند زیرا اگر همین روش‌ها را در زراعت دیم نیز اعمال کنیم افزایش محصول چندان قابل توجه نخواهد بود.

۱-۲-۲ آبیاری به‌منظور اصلاح زمین و محیط رشد

تبخیر و تعرق باعث جمع شدن نمک در لایه سطحی خاک می‌شود که به‌تدریج خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک در منطقه توسعه ریشه‌ها مختل و حاصل‌خیزی آن به‌حدی نقصان می‌یابد که ممکن است رشد گیاه را غیرممکن سازد. این نمک‌ها در

مناطق مرطوب در نتیجه بارندگی تا اندازه‌ای شسته می‌شوند اما در مناطق خشک و نیمه‌خشک امکان شستشوی طبیعی وجود ندارد و اگر بخواهیم زراعت تداوم خود را حفظ کند می‌بایست به صورت مصنوعی آب را وارد زمین کرد تا نمک‌ها از محیط رشد ریشه شسته شوند. در عمل این کار به دو صورت انجام می‌شود یکی اینکه همراه با آبیاری، علاوه بر نیاز آبی گیاه مقدار بیشتری آب به زمین داده می‌شود تا نمک‌های اضافی خاک را بشوید و شوری خاک را در حد معینی نگهدارد. این مقدار آب اضافی را نیاز آبشویی گویند. نیاز آبشویی معمولاً برحسب درصد یا جزئی از نیاز آبی گیاه توصیف می‌شود که به آن نسبت شستشو یا جزء شستشو گفته می‌شود. روش دیگر غرقاب کردن با آبیاری زمین در هنگامی از سال است که نیاز چندان به آب نباشد.

در هنگام آبیاری محیط کوچک یا میکروکلیمای اطراف گیاه به دلیل افزایش رطوبت هوا تعدیل می‌شود. این عمل در پاره‌ای موارد منافع زیادی در بردارد تا حدی که مثلاً در انگورکاری برای بالا بردن کیفیت میوه اقدام به آبیاری و افزایش رطوبت در مزرعه می‌شود. امروزه آبیاری بارانی برای جلوگیری از یخ‌زدگی گیاه نیز امری معمول است. بدین ترتیب که هنگامی که خطر یخ‌زدن گل یا گیاه می‌رود با روش بارانی اقدام به پاشیدن آب روی گیاه می‌شود. با این عمل سرما و پائین رفتن درجه حرارت هوا فقط باعث یخ‌زدن آبی که روی گیاه پاشیده شده است می‌شود و دمای یخ و اندامی که با آن در تماس است در حد دمای صفر یا یکی دو درجه زیر صفر ثابت باقی می‌ماند که گیاه معمولاً قادر به تحمل این دما می‌باشد و سرما فقط ضخامت لایه یخ را ممکن است افزایش دهد.

۱-۲-۳ آبیاری به منظور تعدیل توزیع جمعیت

توسعه شبکه‌های آبیاری موجب اشتغال در بخش‌های مختلف می‌شود. این امر در بسیاری کشورها به عنوان وسیله‌ای در جلوگیری از مهاجرت و یا جابجایی جمعیت از یک نقطه به نقطه دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد. مثلاً در آمریکا ایجاد شبکه‌های آبیاری نقش مهمی در انتقال جمعیت به مناطق غرب و میانه غربی ایفا کرد.

۱-۲-۴ آبیاری به منظور تأمین خودکفائی و امنیت ملی

کشورهائی که به دلیل توسعه شبکه‌های آبیاری بر تولیدات کشاورزی خود افزوده‌اند و از نظر غذا به کشورهای بزرگ یا همسایگان خود متکی نیستند در سطح بین‌المللی از قدرت عمل بیشتری برخوردارند. امروزه حصر غذائی و اقتصادی حربه‌ای است که قدرت‌های بزرگ برای تأمین خواسته‌های خود به‌دفعات از آن استفاده نموده‌اند. آبیاری از این جهت که در تولید مواد غذایی نقش حیاتی دارد به‌طور غیرمستقیم وسیله‌ای در راه تأمین امنیت ملی است.

۱-۲-۵ آبیاری به منظور کاهش اثر خشکسالی‌ها

آبیاری از قدیم‌الایام به‌عنوان وسیله‌ای در تقلیل اثرات نامطلوب خشک‌سالی و قحطی مورد استفاده قرار می‌گرفته است. شاید اولین سناریو در این مورد توسط حضرت یوسف تهیه شده باشد. در قرآن کریم، سوره یوسف، آیات ۴۲ تا ۴۸ آمده است که:

... و پادشاه مصر گفت که من خوابی دیدم که هفت گاو فربه را هفت گاو لاغر خورده‌اند و هفت خوشه سبز را هفت خوشه خشک نابود کردند.... یوسف در تعبیر خواب گفت باید هفت سال متوالی زراعت کنید و هر خرمن را که درو کنید جز کمی که قوت خود سازید همه را با خوشه در انبار ذخیره کنید که چون این هفت سال بگذرد هفت سال قحطی پیش آید که ذخیره شما به‌مصرف قوت مردم برسد جز اندکی که باید برای تخم کاشتن در انبار نگهدارید....

حضرت یوسف که پیش‌بینی‌کننده این تغییرات اقلیمی بود حکومت وقت را تشویق بر گسترش شبکه‌های آبیاری، تولید محصول بیشتر و ذخیره آن برای ایام قحطی نمود. خشکسالی‌های دهه ۸۰ در آفریقا ثابت نمود که تنها کشورهای قادر به سپری کردن چنین بلایی هستند که از شبکه‌های آبیاری وسیع برخوردارند. حتی در کشورهای که بارندگی زیاد و آبیاری چندان اهمیت ندارد کمبود بارندگی در یک سال می‌تواند خسارات هنگفتی به‌بار آورد زیرا در چنین وضعیتی اکثر گیاهان دائمی و به‌خصوص باغ‌های میوه صدمه خواهند دید. در این کشورها پیش‌بینی تمهیدات لازم برای آبیاری در مواقع ضروری می‌تواند از بروز چنین خطراتی جلوگیری کند.

علاوه بر مواردی که اشاره شد آبیاری برای اهداف متعدد دیگری نیز ممکن است به کار رود. مثلاً آبیاری به منظور کنترل آفات، آبیاری در جنگ برای منظوره‌های نظامی، آبیاری به منظور ذخیره کردن رطوبت برای مواقع کم‌آبی و غیره را می‌توان نام برد. اما آنچه برای ما به عنوان متخصص آبیاری اهمیت فوق‌العاده دارد افزایش محصولی است که به دلیل آبیاری حاصل می‌شود.

۳-۱-۳ خواص آب

آب به دلایل متعددی مورد توجه می‌باشد از آن جمله می‌توان قابلیت حمل انرژی و مواد، پایداری زیاد ملکولی، خاصیت حل‌کنندگی بالا، کشش سطحی و خواص ویژه فیزیکی را برشمرد لذا شناخت طبیعت و صفات استثنائی آب به منظور درک پدیده‌های مربوط به حضور و حرکت آن در کره زمین ضروری است.

۱-۳-۱ ساختمان ملکولی آب

آب ترکیبی از دو حجم هیدروژن و یک حجم اکسیژن است و فرمول ملکولی آن H_2O می‌باشد قطر یک ملکول آب در حدود $2/64$ انگستروم بوده و زاویه‌ای که بین دو اتم هیدروژن و اکسیژن آن وجود دارد در حدود $104/5$ درجه است که به دلیل همین توزیع نامتقارن، ملکول آب به صورت قطبی در می‌آید که خود باعث ایجاد خواص ویژه‌ای برای ملکول آب می‌گردد. به عنوان مثال، این ساختمان ملکولی، نیروهای جذبی را به وجود می‌آورد که ده هزار مرتبه بیشتر از نیروی ثقل g می‌باشد. به علاوه این امر سبب می‌شود که ملکول‌های آب بتوانند با یکدیگر پیوندهای قطبی یا هیدروژنی ایجاد نمایند. پیوندهای هیدروژنی بین ملکول‌های آب ۱۰ تا ۵۰ برابر ضعیف‌تر از پیوند بین اتم‌های اکسیژن و هیدروژن در خود ملکول است لذا در حالت عادی آب دارای حالتی روان و مایع است.

قطبی بودن آب توجیه‌کننده خاصیت حل‌کنندگی بالای آن نیز هست زیرا وقتی یک الکترولیت وارد آب می‌شود سمت مثبت یون آنها متوجه قسمت منفی ملکول آب و سمت منفی هم متوجه قسمت مثبت ملکول آب می‌شود بنابراین پس از مدتی آن یون به وسیله ملکول‌های آب احاطه می‌شود که در این حالت یون مورد نظر در آب حل گشته یا به عبارتی هیدراته شده است.

به علاوه آب می تواند با سطوح اجسامی مانند کانی های رس خاک، سلولز و بسیاری اشیاء دیگر پیوند قوی برقرار کند و به اصطلاح جذب آنها شود گاهی اوقات ملکول های آب با چنان نیروئی جذب ذرات می شوند که ساختمانی مشابه یخ پیدا کرده و غیرقابل حرکت و انتقال می شوند.

۱-۳-۲ خواص فیزیکی آب

برحسب آنکه میزان انرژی دریافتی چه اندازه باشد، آب در طبیعت به سه حالت جامد، مایع و گاز مشاهده می گردد. چنانچه ملکول های آب انرژی کمی را دریافت کرده باشند تحرک کمتری داشته و به صورت یخ نمایان می شوند. در درجه حرارت متوسط، ملکول ها تحرک بیشتری پیدا کرده لذا آب را در فاز مایع می بینیم (نقطه ذوب).

اگر انرژی دریافتی آب افزایش یابد در نهایت به جایی می رسیم که آب از حالت مایع به صورت بخار درمی آید و به آن نقطه جوش اطلاق می گردد. دمای مربوط به نقطه جوش آب خالص در فشار استاندارد، ۱۰۰ درجه سانتی گراد می باشد. آب در حالت مایع بی رنگ، بی بو و بدون طعم است. همچنین قابلیت تراکم پذیری کمی دارد و بیشترین چگالی آن در دمای چهار درجه سانتی گراد است. همان گونه که در جدول ۱-۱ دیده می شود لزجت آب در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد در حدود یک است ولی با افزایش درجه حرارت مقدار آن کاهش می یابد.

از ویژگی های فیزیکی آب، قابلیت هدایت الکتریکی^۱ آن است که با علامت اختصاری EC نشان داده می شود. این پارامتر به وسیله اندازه گیری مقاومت الکتریکی دو سر الکترودهایی که به طور موازی در آب فرو برده شده باشند تعیین می گردد. واحد اصلی EC در سیستم متریک مو بر سانتی متر mho/cm و در سیستم بین المللی زیمنس بر متر s/m می باشد. مو در واقع عکس اهم است که رسانائی الکتریسیته را می رساند. سایر واحدهای معمول برای توصیف هدایت الکتریکی عبارتند از:

میلی موس بر سانتی متر (mmhO/cm)

میکروموس بر سانتی متر ($\mu\text{mho/cm}$)

آب در مقابل تابش های نور مرئی که طول موج آنها ۳۹۰ تا ۷۶۰ نانومتر است

به صورت یک جسم شفاف عمل می کند یعنی این طول موج ها به خوبی از آب عبور می کند، همین خاصیت امکان رشد و تکثیر گیاهان آبی و جبلک ها را حتی تا اعماق زیاد فراهم می کند. آب دارای بیشترین میزان گرمای تبخیر است. گرمای لازم برای تبخیر یک گرم آب ۱۰۰ درجه معادل ۵۴۰ کالری می باشد یعنی یک گرم آب ۱۰۰ درجه برای آنکه از حالت مایع به شکل بخار در آید ۵۴۰ کالری حرارت نیاز دارد. گرمای ذوب آب نیز بسیار بالا بوده و معادل ۸۰ کالری برای هر گرم است. وجود همین گرمای تبخیر بالا باعث می شود آب ظرفیت بالائی برای جذب گرما داشته باشد که این خاصیت سبب تنظیم و تعدیل درجه حرارت در سطح کره زمین می گردد.

جدول ۱-۱- خواص فیزیکی آب

درجه حرارت °C	نیروی ثقل واحد γ N / m^3	چگالی ρ kg / m^3	لزجت μ Pa.s	لزجت سینماتیک ν $10^6 m^2 / s$	کشش سطحی σ 100N / m	فشار بخار p_v KPa	مدل حجمی الاستیسیته K Gpa
۰	۹۸۰۵	۹۹۹/۹	۱/۷۹۲	۱/۷۹۲	۷/۶۲	۰/۶	۲/۰۴
۵	۹۸۰۶	۱۰۰۰/۰	۱/۵۱۹	۱/۵۱۹	۷/۵۴	۰/۹	۲/۰۶
۱۰	۹۸۰۳	۹۹۹/۷	۱/۳۰۸	۱/۳۰۸	۷/۴۸	۱/۲	۲/۱۱
۱۵	۹۷۹۸	۹۹۹/۱	۱/۱۴۰	۱/۱۴۱	۷/۴۱	۱/۷	۲/۱۴
۲۰	۹۷۸۹	۹۹۸/۲	۱/۰۰۵	۱/۰۰۷	۷/۳۶	۲/۵	۲/۲۰
۲۵	۹۷۷۹	۹۹۷/۱	۰/۸۹۴	۰/۸۹۷	۷/۲۶	۳/۲	۲/۲۲
۳۰	۹۷۶۷	۹۹۵/۷	۰/۸۰۱	۰/۸۰۴	۷/۱۸	۴/۳	۲/۲۳
۳۵	۹۷۵۲	۹۹۴/۱	۰/۷۲۳	۰/۷۲۷	۷/۱۰	۵/۷	۲/۲۴
۴۰	۹۷۳۷	۹۹۲/۲	۰/۶۵۶	۰/۶۶۱	۷/۰۱	۷/۵	۲/۲۷
۴۵	۹۷۲۰	۹۹۰/۲	۰/۵۹۹	۰/۶۰۵	۶/۹۲	۹/۶	۲/۲۹
۵۰	۹۶۹۷	۹۸۸/۱	۰/۵۴۹	۰/۵۵۶	۶/۸۲	۱۲/۴	۲/۳۰
۵۵	۹۶۷۹	۹۸۵/۷	۰/۵۰۶	۰/۵۱۳	۶/۷۴	۱۵/۸	۲/۳۱
۶۰	۹۶۵۸	۹۸۳/۲	۰/۴۶۹	۰/۴۷۷	۶/۶۸	۱۹/۹	۲/۲۸
۶۵	۹۶۳۵	۹۸۰/۶	۰/۴۳۶	۰/۴۴۴	۶/۵۸	۲۵/۱	۲/۲۶
۷۰	۹۶۰۰	۹۷۷/۸	۰/۴۰۶	۰/۴۱۵	۶/۵۰	۳۱/۴	۲/۲۵
۷۵	۹۵۸۹	۹۷۴/۹	۰/۳۸۰	۰/۳۹۰	۶/۴۰	۳۸/۸	۲/۲۳
۸۰	۹۵۵۷	۹۷۱/۸	۰/۳۵۷	۰/۳۶۷	۶/۳۰	۴۷/۷	۲/۲۱
۸۵	۹۵۲۹	۹۶۸/۶	۰/۳۳۶	۰/۳۴۷	۶/۲۰	۵۸/۱	۲/۱۷
۹۰	۹۴۹۹	۹۶۵/۳	۰/۳۱۷	۰/۳۲۸	۶/۱۲	۷۰/۴	۲/۱۶
۹۵	۹۴۶۹	۹۶۱/۹	۰/۲۹۹	۰/۳۱۱	۶/۰۲	۸۴/۵	۲/۱۱
۱۰۰	۹۴۳۸	۹۵۶/۴	۰/۲۸۴	۰/۲۹۶	۵/۹۴	۱۰۱/۳	۲/۰۷

۱-۳-۳ خواص شیمیائی آب

برخی از ملکول‌ها، از جمله ملکول آب به علت عدم تقارن الکتریکی که در ساختار خود دارند، قطبی هستند. لذا قسمت‌هائی از آنها که بار الکتریکی متفاوت دارند جذب همدیگر می‌شوند. در ملکول آب نیز به دلیل عدم تقارن و زاویه 104.5° درجه‌ای که مابین دو اتم هیدروژن وجود دارد، شاهد بروز خواص قطبی هستیم به همین خاطر ملکول‌های آب با نوعی پیوند قوی به نام پیوند هیدروژنی به یکدیگر متصل می‌شوند. نیروی جاذبه‌ای که در اثر این پیوند به وجود می‌آید در حدود $4/5 - 1/3$ کیلوکالری برای هر ملکول آب است. همان‌طور که در بخش قبل اشاره گردید آب لزجت داشته و یا به عبارتی گرانش بدین معنی که حرکت یک لایه آب روی لایه دیگر با مقاومتی همراه است. لزجت آب در بیست درجه سانتی‌گراد معادل یک سانتی‌پواز است که برای آب با وزن ملکولی کمی که دارد مقدار زیادی به شمار می‌آید. می‌توان علت وجود این خاصیت را در پیوند هیدروژنی بین ملکول‌های آب جستجو کرد. گرانشی تابع درجه حرارت است به طوری که به ازای افزایش یک درجه به گرمای آب لزجت آن ۳ درصد کاهش می‌یابد و اگر درجه حرارت آب از پنج به سی و پنج درجه سانتی‌گراد افزایش یابد گرانشی آن به نصف تقلیل می‌یابد. همچنین آب به عنوان یک حلال قوی شناخته می‌شود به طوری که هر آنچه در خاک است می‌تواند در آب به صورت محلول درآید به علاوه اگر آب حاوی کمی اسید یا قلیا باشد این خاصیت تشدید می‌شود. دلایل حلالیت خوب آب را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

- خاصیت قطبی بودن آن و میل ترکیبی بالائی که به دلیل ساختار ملکولی خود دارد.

- وجود پیوند هیدروژنی و ایجاد ارتباط با سایر اجسام.
- به علت آنکه قابلیت یونیزه شدن آب بسیار کم است به طوریکه از هر ۵۵۵ میلیون ملکول آب تنها یک ملکول یونیزه می‌شود لذا دارای ثابت دی الکتریکی بالائی بوده و به همین دلیل عمده‌ترین حلال برای اجسام شناخته می‌شود.
- آب هم مانند بسیاری از عناصر دیگر دارای ایزوتوپ‌هائی است. همان‌طور که می‌دانیم آب از دو عنصر اکسیژن و هیدروژن تشکیل گردیده است. هیدروژن با

وزن‌های اتمی ۱، ۲، ۳ و اکسیژن هم با وزن‌های اتمی ۱۶، ۱۷، ۱۸ هر کدام دارای سه ایزوتوپ هستند که از لحاظ تئوری از ترکیب آنها می‌شود ۱۸ ایزوتوپ برای آنها در نظر گرفت اما عملاً برای آب تنها سه ایزوتوپ وجود دارد. آب سنگین یا دوتریم حاوی هیدروژن با وزن اتمی ۲ است. ایزوتوپ دیگر آب تریتیوم بوده که در آن هیدروژن با وزن اتمی ۳ شرکت دارد از این ایزوتوپ برای مطالعات بیوشیمیایی و به عنوان ماده ردیاب استفاده می‌کنند.

۱-۳-۴ خواص ویژه آب

آب به دلیل ساختار ویژه ملکولی و نوع پیوندهای درون ملکولی و برون ملکولی خاصی که دارد خواص ویژه‌ای از خود بروز می‌دهد که به چند نمونه آن اشاره می‌گردد:

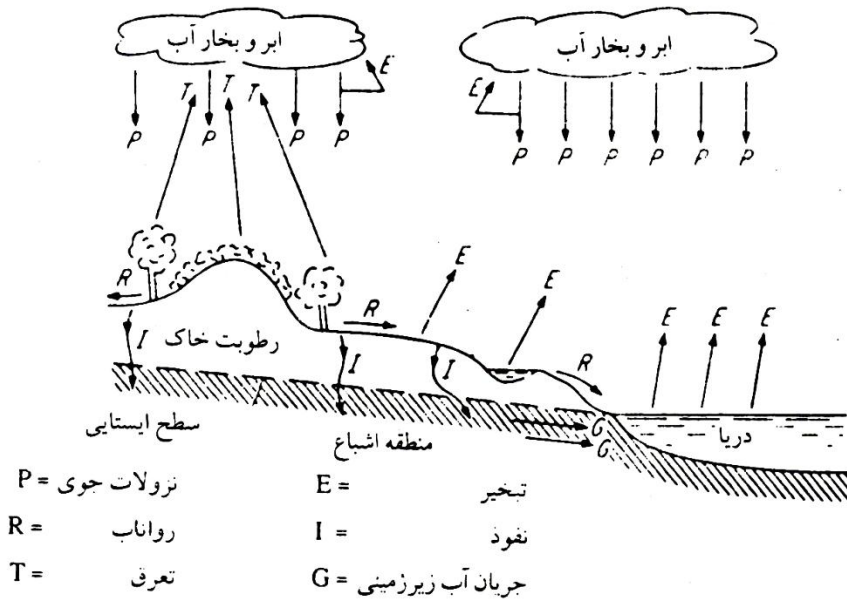
به طور معمول با افزایش انرژی گرمایی دریافتی مواد، میزان چگالی‌شان کاهش می‌یابد اما در مورد آب این موضوع اندکی تفاوت دارد بدین ترتیب که اگر آب صفر درجه را حرارت دهیم چگالی آب به جای آنکه کاهش یابد، شروع به افزایش می‌کند به طوری که در ۴ درجه سانتی‌گراد به حداکثر خود می‌رسد و پس از آن با افزایش بیشتر دما کاهش می‌یابد. همین خاصیت باعث می‌شود که دمای آب در کف دریاچه‌ها حتی در مناطق سردسیر از ۴ درجه پائین‌تر نرود زیرا همین که دمای آب به ۴ درجه رسید سنگین شده و به اعماق می‌رود و بدین ترتیب چرخش آب امکان می‌پذیرد و تا حدود زیادی از یخ زدن سطح دریاچه ممانعت به عمل می‌آید.

نکته دیگر در این مورد آن است که آب در هنگام یخ‌زدن متورم شده و حجم آن حدود ۹ درصد افزایش پیدا می‌کند. به همین دلیل است که آب در هنگام یخ زدن در سطح آب شناور بوده و به اعماق فرو نمی‌رود. چنانچه غیر از این بود تمام دریاچه یخ می‌زد و امکان حیات برای موجودات زنده وجود نداشت.

همچنین به دلیل نیروی چسبندگی زیادی که بین ملکول‌های آب وجود دارد، کشش سطحی آب از سایر مایعات بیشتر است. اگر نیروی چسبندگی و کشش سطحی در آب کم می‌بود بالا رفتن شیره گیاهی در داخل آوندها که ارتفاع آن در مورد بعضی گیاهان به صد متر می‌رسد، صورت نمی‌گرفت.

۴-۱ چرخش آب در طبیعت (چرخه هیدرولوژی)

چرخه آب در کره زمین در لایه‌ای به قطر تقریباً ۱۶ کیلومتر انجام می‌پذیرد که ۱۵ کیلومتر آن در اتمسفر و حدود یک کیلومتر هم در پوشش جامد در سطح و تحت‌الارض صورت می‌پذیرد، که بخش سطحی آن شامل هیدروسفر یعنی توده‌های آبی که در سطح زمین گسترش یافته است می‌باشد. آب در این لایه از مسیرهای پیچیده‌ای حرکت می‌کند که نهایتاً تشکیل چرخه هیدرولوژی را می‌دهد (شکل ۱-۱). عامل این حرکت مداوم، مقدار انرژی است که خورشید به سطح زمین می‌رساند. از حدود $10^{33} \times 13/4$ کیلوکالری گرمای سالانه‌ای که خورشید به زمین می‌دهد حدود ۲۵ درصد آن صرف همین حرکت در چرخه می‌شود و باعث ۱۸۸۵ میلی‌متر تبخیر و ۲۰۰۰ میلی‌متر بارش در سال می‌شود. آب از سطوح مرطوب زمین تبخیر شده و پس از صعود به‌عنوان بخشی از اتمسفر محسوب می‌شود، بخار آب در اتمسفر منتقل شده و بالا می‌رود تا زمانی که عمل تقطیر و تراکم و سپس عمل بارش بر خشکی‌های زمین و یا دریاها و اقیانوس‌ها انجام شود. قسمتی از بارش که به سطح زمین می‌رسد را بارش مؤثر می‌نامند. این بخش از بارش در زمین به یکی از سه جریان اصلی زیر هدایت می‌شود: اول ممکن است در برکه‌ها و آبگیرها ذخیره و در نهایت تبخیر شده و به اتمسفر برگردد. دوم اینکه ممکن است در سطح زمین جاری شده و با تشکیل رودخانه‌ها به دریاچه‌ها ریخته که در آنجا تبخیر شده و به اتمسفر می‌رود. در جریان سوم، بارش ممکن است به سطح زمین نفوذ کرده و به رطوبت موجود در خاک پیوسته که در این حالت به‌وسیله تبخیر و تعرق از سطح زمین و پوشش‌های گیاهی به اتمسفر بر می‌گردد و یا توسط جریان‌های زیرسطحی به طرف رودخانه‌ها هدایت می‌شود و یا اینکه با حرکت عمقی‌تر به طرف لایه‌های آب‌دار زیرزمینی جائی که ممکن است هفته‌ها یا ماه‌ها و شاید سال‌ها طول بکشد تا به اتمسفر تخلیه گردد برود. بخشی از آب‌های زیرزمینی (سفره‌های کم عمق) به‌وسیله حرکت مؤینه‌ای یا توسط ریشه گیاهان به سطح زمین آمده و در اثر تبخیر به اتمسفر برمی‌گردد و یا این‌که توسط جریان‌های نشت به رودخانه و نهایتاً به اقیانوس‌ها می‌پیوندد (شکل ۱-۱). قابل توجه است که مقدار آب جهان ثابت و تغییرناپذیر است.



شکل ۱-۱- چرخه هیدرولوژی

۵-۱ وضعیت آب در کره زمین و ایران

۱-۵-۱ بیلان آب در جهان

برآورد میزان کل آب در جریان‌های مختلف چرخه هیدرولوژی از نیمه دوم قرن نوزدهم به عنوان یک موضوع علمی مطرح بوده است و هنوز اطلاعات دقیقی به ویژه در مورد اقیانوس‌ها در دست نمی‌باشد. هم‌چنین مقدار آب در اجزاء مختلف چرخه هیدرولوژی در حال حاضر روشن نیست ولی تخمینی از این میزان توسط سازمان جهانی یونسکو در سال ۱۹۷۸ ارائه شده است. در جدول ۱-۲ مقدار آب در بخش‌های مختلف کره زمین لیست شده است.

جدول ۱-۲ تخمینی از مقدار موجود در بخش‌های مختلف کره زمین (ماخذ: یونسکو ۱۹۷۸)

منابع	سطح Mkm ²	حجم Mkm ³	درصد از کل آب کره	درصد از آب‌های شیرین
اقیانوس‌ها	۳۶۱/۳	۱۳۳۸	۹۶/۵	
آب‌های زیرزمینی	-	-	-	-
شیرین	۱۳۴/۸	۱۰/۵۳	۰/۷۶	۳۰/۱
شور	۱۳۴/۸	۱۲/۸۷	۰/۹۳	
رطوبت خاک	۸۲	۰/۰۱۶۵	۰/۰۰۱۲	۰/۰۵
یخ‌های قطبی	۱۶	۲۴/۰۲۳۵	۱/۷	۶۸/۶
سایر یخ‌ها و برف‌ها	۰/۳	۰/۳۴۰۶	۰/۰۲۵	۱
دریاچه‌ها	-	-	-	-
شیرین	۱/۲	۰/۰۹۱	۰/۰۰۷	۰/۲۶
شور	۰/۸	۰/۰۸۵۴	۰/۰۰۶	
باتلاق‌ها	۲/۷	۰/۰۱۱۴۷	۰/۰۰۰۸	۰/۰۳
رودخانه‌ها	۱۴۸/۸	۰/۰۰۲۱۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۶
آب‌های بیولوژیکی	۵۱۰	۰/۰۰۱۱۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۳
آب‌های اتمسفری	۵۱۰	۰/۰۱۲۹	۰/۰۰۱	۰/۰۴
جمع آب‌ها	۵۱۰	۱۳۸/۵۹۸	۱۰۰	-
جمع آب‌های شیرین	۱۴۸/۸	۳۵/۰۲۹	۲/۵	۱۰۰

حدود ۹۶/۵ درصد از کل آب کره زمین در اقیانوس‌ها است و مابقی، ۱/۷ درصد در سفره‌های زیرزمینی، ۱/۷ درصد در یخچال‌های قطبی و فقط ۰/۱ درصد آب در سطح و اتمسفر زمین می‌باشد. آب‌های اتمسفری که منشأ اصلی آب‌های سطحی را نیز تشکیل می‌دهند فقط ۱۲۹۰۰ کیلومتر مکعب یا حدود یک صد هزارم کل آب کره است. از آب‌های شیرین که ۲/۵ درصد از کل آب کره است حدود ۶۸/۶ درصد آن به‌صورت جامد در یخچال‌های قطبی و قله کوه‌ها تجمع کرده است و ۱۵ درصد در زیرزمین تا عمق ۶۰۰ متر و ۱۵ درصد در عمق بیش از ۶۰۰ متر از سطح زمین قرار گرفته است. ۰/۰۰۶ درصد از کل آب‌های شیرین در رودخانه‌ها جاری است و آب‌های بیولوژیکی در اندام حیوان‌ها و گیاهان حدود ۰/۰۰۳ درصد آب‌های شیرین را تشکیل می‌دهد یعنی برابر با نصف آب موجود در رودخانه‌ها است.

۱-۵-۲ میزان متوسط سالانه چرخه آب در ایران

آخرین برآوردهای یونسکو و فائو از چرخه آب کره زمین نشان می‌دهد که متوسط بارندگی سالانه ایران ۲۵۱ میلی‌متر است که اختلاف قابل توجهی با متوسط بارندگی هر یک از قاره‌ها دارد و تنها با بارندگی کشورهای نیمه خشک و صحرایی برخی از قاره‌ها قابل مقایسه است. متوسط بارندگی در مجموع خشکی‌های کره زمین ۸۳۱ میلی‌متر و متوسط بارندگی در قاره آسیا ۷۳۲ میلی‌متر می‌باشد. متوسط سالانه ریزش‌های جوی در سطح کشور حدود ۴۱۳ میلیارد مترمکعب برآورد می‌شود و این درحالی است که وسعت ایران حدود ۱/۱ درصد مساحت خشکی‌ها و ۳/۳۵ درصد مساحت قاره آسیا است بدین ترتیب حجم ریزش‌های کشور تنها ۰/۳۷ درصد از کل ریزش‌های جوی خشکی‌های دنیا و ۱/۲۹ درصد حجم بارش‌های قاره آسیا است.

متوسط سالانه تبخیر واقعی در ایران 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 می‌باشند. ایران دارای ۶ حوزه آبریز اصلی و ۳۱ حوزه آبریز فرعی است و 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 به صورت تبخیر از دسترس خارج می‌شود. میانگین میزان آب ورودی به 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 باران مؤثر حدود ۳۶ میلیارد مترمکعب در دشت‌ها نفوذ کرده و ۸۱ میلیارد مترمکعب به صورت جریان سطحی به رودخانه‌ها جریان می‌یابد. جدول ۱-۳ مقایسه ترانزنامه متوسط چرخه آب قاره‌های کره زمین و ایران را نشان می‌دهد.