

فصل اول: کلیات

تعریف هیدرولوژی:

علم مطالعه آب در کره زمین (پیدایش آب، چرخش و توزیع آب در طبیعت، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب، واکنش های آب در محیط و ارتباط آب با موجودات زنده)



بر پایه مشاهدات تجربی است و قطعیت ندارد.

کاربردهای هیدرولوژی در عمران

- 1- تعیین ظرفیت سدها و طراحی آنها
 - 2- محاسبه و کنترل سیلاب (طراحی کانالها، سیل بندها، شبکه فاضلاب)
 - 3- تعیین میزان آبدهی حوضه های آبریز
 - 4- مطالعات خشکسالی
 - 5- اثر امواج بر سازه های آبی
 - 6- طراحی پل ها
 - 7- کنترل فرسایش و رسوب در کانالها و مخازن سدها و بستر رودخانه ها
 - 8- مدیریت آبهای زیرزمینی
- ...

توزیع آب در کره زمین

حدود دوسوم از سطح زمین را آب فراگرفته است که تقریباً حجمی برابر با $10^6 \times 1386$ کیلومتر مکعب دارد و در بخش‌های مختلف زیست‌کره توزیع شده است.

بیشتر از $5/96$ درصد از این آب‌ها مربوط به آب‌های شور دریاها و اقیانوس‌ها بوده و حدود $93/0$ درصد آن آب‌های زیرزمینی شور هستند.

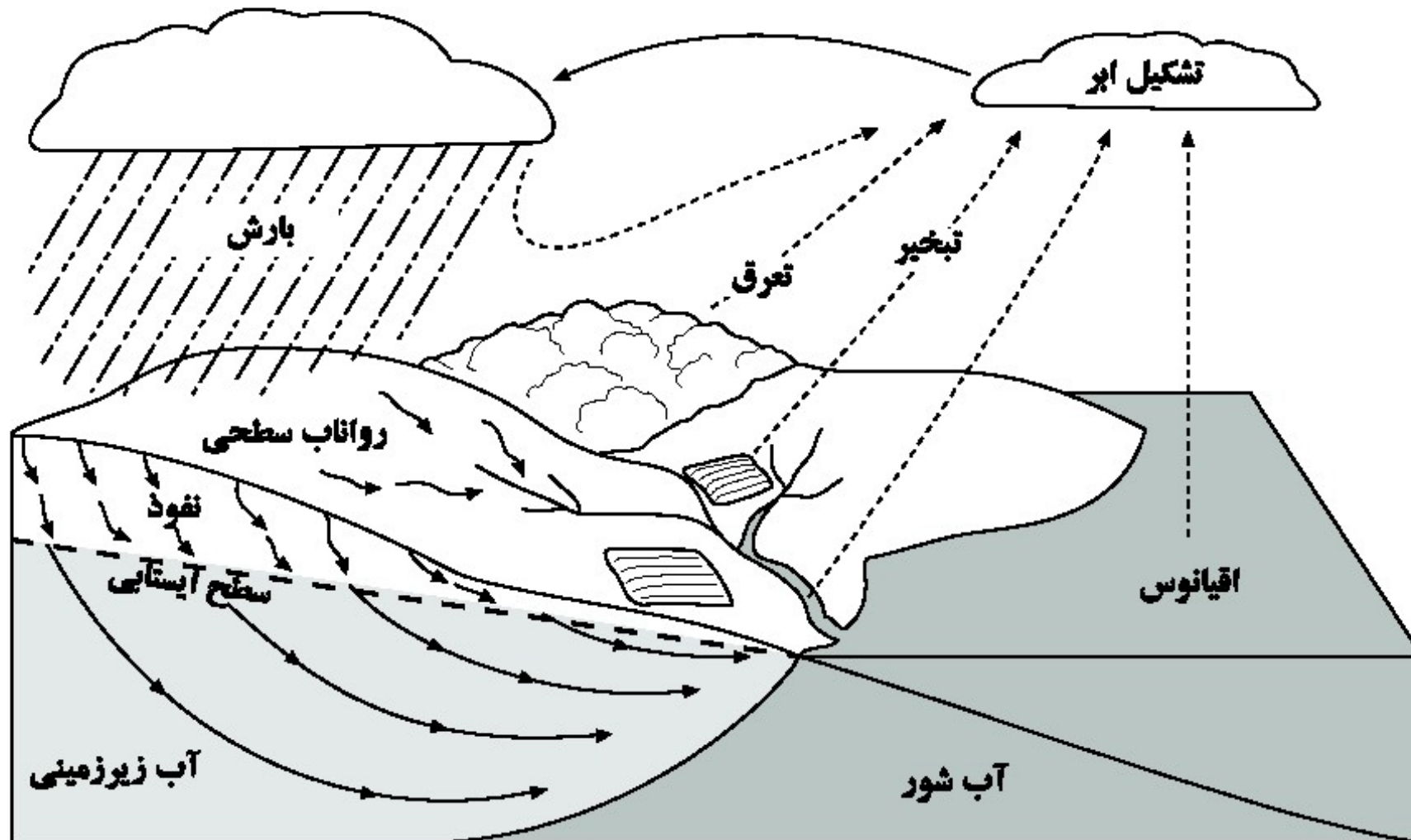
از مجموع حدود $54/2$ درصد آب‌های شیرین موجود، در حدود $74/1$ درصد به‌صورت یخچال‌ها و توده‌های یخی است که قابل‌استفاده نیست

جدول ۱-۲- توزیع آب در کره زمین (برگرفته از کلیک، ۱۹۹۶)

منبع آب	حجم آب (km^3)	درصد از آب‌های شیرین (%)	درصد از کل آب (%)
اقیانوس‌ها، دریاها و خلیج‌ها	۱,۳۳۸,۰۰۰,۰۰۰	---	۹۶,۵۴
یخ‌های قطبی	۲۴,۰۶۴,۰۰۰	۶۸,۷	۱,۷۴
آب‌های زیرزمینی:			
شیرین	۱۰,۵۳۰,۰۰۰	۳۰,۱	۰,۷۶
شور	۱۲,۸۷۰,۰۰۰	---	۰,۹۳
رطوبت خاک‌ها	۱۶,۵۰۰	۰,۰۵	۰,۰۰۱
دیگر یخ‌ها و برف‌های روی پوسته زمین	۳۰۰,۰۰۰	۰,۸۶	۰,۰۲۲
دریاچه‌ها:			
شیرین	۹۱,۰۰۰	۰,۲۶	۰,۰۰۷
شور	۸۵,۴۰۰	---	۰,۰۰۶
اتمسفر	۱۲,۹۰۰	۰,۰۴	۰,۰۰۱
باتلاق‌ها و مرداب‌ها	۱۱,۴۷۰	۰,۰۳	۰,۰۰۰۸
رودخانه‌ها	۲,۱۲۰	۰,۰۰۶	۰,۰۰۰۲
آب‌های بیولوژیکی	۱,۱۲۰	۰,۰۰۳	۰,۰۰۰۱

چرخه آب در کره زمین

Water Cycle



مؤلفه‌های اصلی این چرخه عبارت‌اند از:

- **۱- بارش:** کلیه نزولات جوی که به شکل برف، باران، تگرگ و ... به سطح زمین می‌رسد.
- **۲- تبخیر:** منظور از تبخیر فرایندی است که طی آن آب از سطح مرطوب خاک یا سطح آزاد آب به بخار تبدیل شده و وارد اتمسفر می‌شود.
- **۳- تعرق:** تعرق یا تنفس گیاهی بخشی از آب جذب شده توسط گیاهان است که از طریق روزنه‌های گیاهان وارد اتمسفر می‌شود و بخشی از فتوسنتز گیاهان هست. مقدار تعرق به نوع و پوشش گیاهی منطقه بستگی دارد. با توجه به اینکه تفکیک تعرق و تبخیر از سطح مرطوب خاک کار مشکلی است؛ معمولاً مقدار این دو کمیت باهم و تحت عنوان تبخیر-تعرق معرفی می‌شود.

- **۴- نفوذ:** ورود آب به داخل زمین و خاک را نفوذ می‌نامند. مقدار نفوذ به خواص فیزیکی و شیمیایی خاک (ضریب نفوذپذیری، مقدار رطوبت اولیه خاک، تخلخل، میزان شوری خاک و ...)، پوشش گیاهی منطقه و شیب زمین بستگی دارد. بخشی از آب نفوذ یافته در خاک توسط ریشه گیاهان گرفته شده و از طریق فرایند تنفس گیاهی دوباره به اتمسفر برمی‌گردد. بخشی از آب نفوذ یافته به داخل زمین به نفوذ عمقی خود در خاک ادامه داده تا وارد آب‌های زیرزمینی شود. این بخش از آب نقش مهمی در تغذیه آب‌های زیرزمینی دارد.

- **۵- رواناب و جریان سطحی:** به بخشی از نزولات جوی گفته می‌شود که روی سطح زمین جریان می‌یابد و به آب‌های سطحی مانند رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، تالاب‌ها و دریاها می‌پیوندد. رواناب در صورتی اتفاق می‌افتد که مقدار بارش بیشتر از ظرفیت نفوذ آب در خاک و نگهداشت آب در گودال‌ها و پستی‌ها و بلندی‌های سطح زمین باشد.

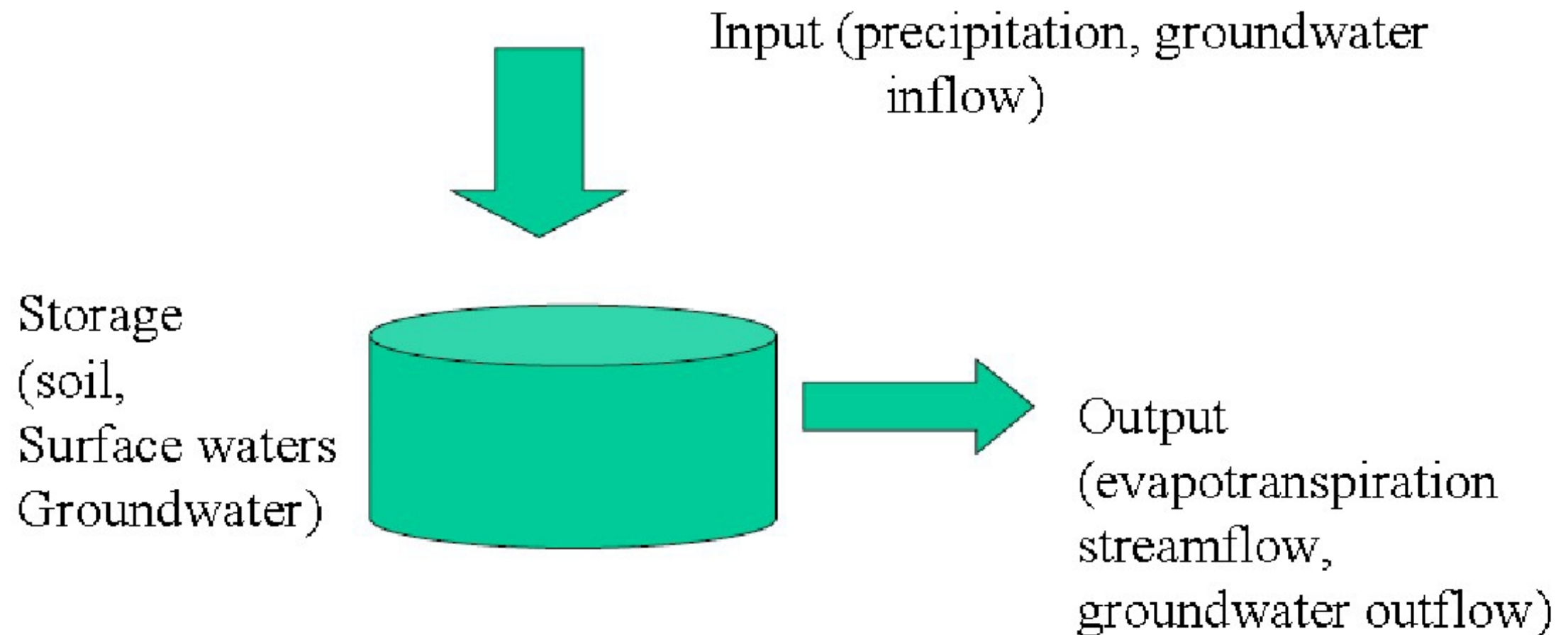
• ۶- **جریان زیرسطحی:** آبی که داخل خاک نفوذ می کند، ممکن است در مسیر خود به لایه های غیرقابل نفوذ یا موانعی برخورد کند و امکان عبور از آن فراهم نشود. در این حالت، آب به صورت جانبی و در امتداد شیب زمین حرکت کرده و سرانجام به رودخانه ها، دریاچه ها و یا دریاها راه می یابد.

• ۷- **آب های زیرزمینی:** آب های نفوذ یافته در خاک، در لایه های اشباع زیرزمین تجمع یافته و آب های زیرزمینی را تشکیل می دهند.

Water Budget بیلان آب

- بررسی تبادلات آب در هر محدوده مشخص و برای هر بازه زمانی معین که بر اصل بقاء جرم در چرخه آب تأکید دارد، بیلان آب نامیده می شود.
- کلیه آب هایی که در **یک زمان معین** وارد **یک محدوده خاص** (محدوده بیلان) می گردند، مصرف می شوند، ذخیره می گردند و یا به شکل های مختلف از محدوده بیلان خارج می شوند، به عنوان **مؤلفه های بیلان آب** شناخته می شوند.

Mass Balance: $\text{Input} - \text{Output} = \text{Change in Storage}$



محدوده بیلان:

- ناحیه‌ای است که اطلاعات پایه بیلان در آن جمع‌آوری شده و معادله بیلان برای آن نوشته می‌شود.
- به‌طور کلی، معادله بیلان آب برای یک سیستم با رابطه زیر بیان می‌شود.

$$\Delta S = I - O$$

که در آن:

$I [L^3]$ مقدار آب‌های ورودی به سیستم

$O [L^3]$ مقدار آب‌های خروجی از سیستم

$\Delta S [L^3]$ تغییراتی است که از نظر ذخیره آب موجود در داخل سیستم اتفاق می‌افتد.

۱-۵- بیلان یا موازنه آبی در چرخه هیدرولوژیکی

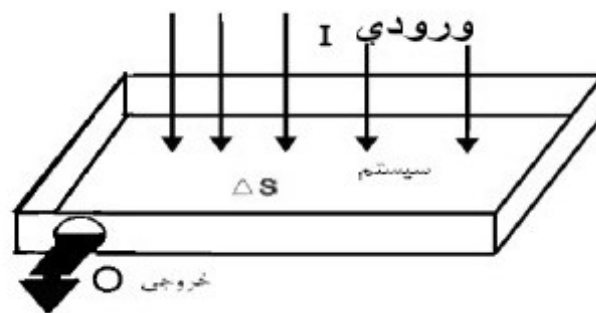
یکی از ویژگی‌های مهم آب در عدم تغییر ترکیب مولکولی آن می‌باشد و فقط در مراحل مختلف از شکلی به شکل دیگر (بخار، مایع، جامد) تبدیل می‌شود. به این ترتیب در مقیاس جهانی، آب ماده تجدید ناپذیر است. یعنی مقدار آب موجود در کره زمین همیشه ثابت است و آب یک سیستم بسته هیدرولوژیکی را در طول زمان طی می‌کند. چرخه هیدرولوژیکی در سه بخش مهم کره زمین یعنی:

- ۱- اتمسفر (سپهر) که هوای اطراف کره زمین را به ضخامت حدود ۱۴ کیلومتر تشکیل می‌دهد
- ۲- لیتوسفر (سنگ سپهر) شامل پوشش سنگی و خاکی کره زمین به ضخامت حدود ۱ کیلومتر
- ۳- هیدروسفر (آب سپهر) یا آبهای موجود در کره زمین

هر یک از این بخش‌ها خود به صورت یک سیستم باز عمل می‌کند. برای بیان ارتباط بین این مولفه‌های هیدرولوژی از معادله بیلان آب استفاده می‌شود.

اگر یک سیستم ساده هیدرولوژیکی به صورت یک سطح مستوی (شکل ۲-۱) و با فرض شیب‌دار و غیر قابل نفوذ بودن در نظر گرفته شود، بین مقدار آب ورودی به آن (I) و خروجی از آن (O) و تغییرات ذخیره‌ای آب در آن dS رابطه پیوستگی زیر برقرار است.

$$dt \times I - dt \times O = dS \quad (1-1)$$

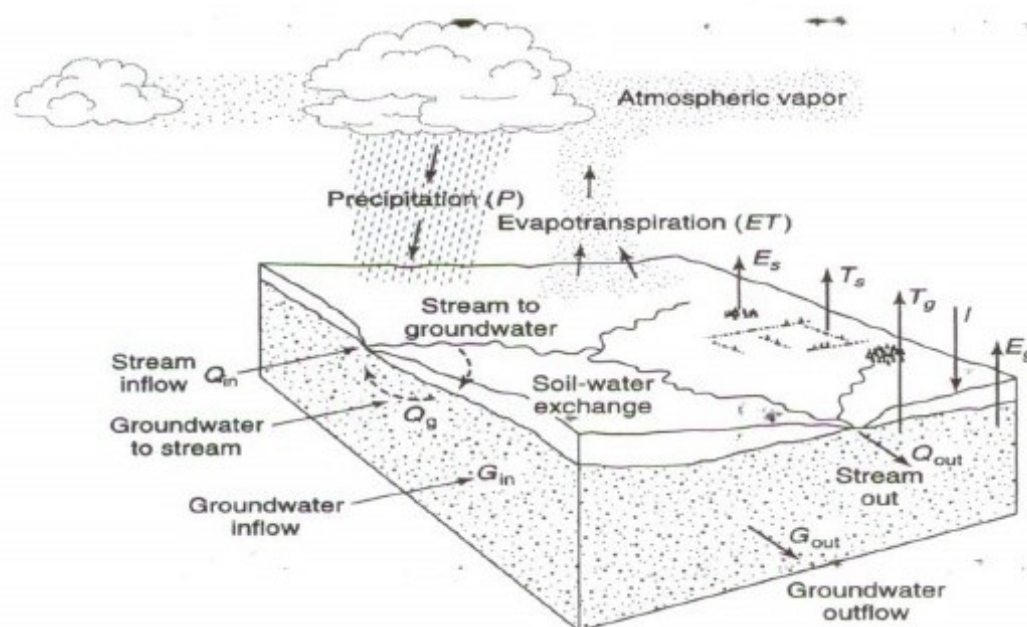


شکل ۲-۱ مدل ساده سیستم هیدرولوژیکی

معادله بالا در صورت در نظر گرفتن بعد زمان در آن به صورت زیر در می‌آید.

$$I - O = \frac{dS}{dt} \quad (2-1)$$

که در آن $\frac{dS}{dt}$ تغییرات ذخیره آب در سیستم در واحد زمان است این معادله به عنوان اساسی‌ترین معادله در هیدرولوژی و برای محاسبات موازنه آب یا بیلان آبی است. بر اساس این معادله بیلان هیدرولوژیکی را در یک حوزه آبریز (بعنوان یک سیستم باز) به شکل (۳-۱) می‌توان تعریف نمود.



شکل ۳-۱ سیستم باز هیدرولوژیکی

$$P + Q_{in} - Q_{out} + Q_g - E_s - T_s - I = \Delta S_s \quad (3-1) \quad \text{برای سیستم سطحی}$$

$$I + G_{in} - G_{out} - Q_g - E_g - T_g = \Delta S_g \quad (4-1) \quad \text{برای سیستم زیر زمینی}$$

$$(5-1) \quad \text{برای کل سیستم}$$

$$P - (Q_{out} - Q_{in}) - (G_{out} - G_{in}) - (E_s + E_g) - (T_s + T_g) = \Delta(S_g + S_s)$$

رابطه بالا به صورت خلاصه و برای جریان خالص به شکل زیر خواهد بود.

$$P - Q - G - E - T = \Delta S \quad (6-1)$$

در روابط بالا:

P بارش

Q_{in} جریان آب سطحی ورودی به سیستم

Q_{out} جریان آب سطحی خروجی از سیستم

E_s تبخیر از آبهای سطحی

E_g تبخیر از آبهای زیر زمینی

T_s تعرق از آبهای سطحی

T_g تعرق از آبهای زیر زمینی

I نفوذ

ΔS_s تغییرات ذخیره آبهای سطحی

ΔS_g تغییرات ذخیره آبهای زیر زمینی

Q_g جریان آب سطحی که به آب زیر زمینی وارد می شود و یا برعکس جریان آب زیر زمینی که به جریان آب سطحی وارد می شود.

G_{in} جریان ورودی به آب زیر زمینی

G_{out} جریان خروجی از آب زیر زمینی

مثال ۴- بیان آبی در سطح کره زمین با توجه به شکل (۱-۱) و بر اساس اندازه گیری فازهای مختلف هیدرولوژیکی که تا کنون گزارش شده است به صورت زیر خواهد بود:

* روزانه ۱۱۶۸ کیلومتر مکعب به صورت برف، باران و تگرگ بر روی کره زمین نازل می شود از این مقدار ۸۷۶ کیلومتر مکعب مستقیماً روی سطح آبها (P_o) ۲۹۲ کیلومتر مکعب به سطح خشکی ها (p) وارد می شود. از مجموع بارندگی نازل شده در سطح کره زمین ۸۳ کیلومتر مکعب جریان سطحی (Q) و ۱ کیلومتر مکعب آب زیر زمینی است. بر اساس نتایج بدست آمده روزانه ۱۱۶۸ کیلومتر مکعب آب از سطح کره زمین تبخیر می شود که از این مقدار ۹۶۰ کیلومتر مکعب مستقیماً از سطح آبها (EO) و ۲۰۸ کیلومتر مکعب از سطح زمین و گیاهان (ET) به اتمسفر باز می گردد.

* حل: موازنه آبی برای کره زمین در یک روز به صورت زیر می باشد:

۱- موازنه در اتمسفر کره زمین

$$\Delta V_a = E_o + ET_L - P_o - P_L$$

$$\Delta V_a = 960 + 208 - 876 - 292 = 0$$

که در آن ΔV_a تغییرات حجم آب در یک روز در اتمسفر زمین می باشد.

۲- موازنه آب در سطح آبهای کره زمین (اقیانوس ها، دریاها و دریاچه ها)

$$\Delta V_o = P_o + Q_L + G_L - E_o$$

$$\Delta V_o = 876 + 83 + 1 - 960 = 0$$

که در آن ΔV_o تغییرات حجم آب در یک روز در آبهای کره زمین می باشد.

۳- موازنه آبی در خشکی های کره زمین

$$\Delta V_L = P_L - ET_L - O_L - G_L \Rightarrow \Delta V_L = 292 - 83 - 1 - 208 = 0$$

که در آن ΔV_L تغییرات حجم آب در یک روز در خشکی های کره زمین می باشد

موازنه آبی را می توان برای کره زمین شامل آبهای سطح زمین و آبهای زیر زمینی به صورت کلی نوشت

$$P_o + P_L - E_o - ET_L = 0 \Rightarrow 292 + 876 - 960 - 208 = 0$$

بررسی نسبت سه مؤلفه مهم یعنی رواناب سطحی، تبخیر و تعرق و جریان آبهای زیرزمینی به کل بارش دریافتی به سطح زمین نشان می دهد که حدود ۳۰٪ از بارندگی به رواناب سطحی، حدود ۶۰٪ به تبخیر و حدود ۱۰٪ به سفره های زیر زمینی تبدیل می شود.

مثال ۲- دریاچه یک سد به طور متوسط ۱۵۰۰ هکتار است اگر مقدار تبخیر سالانه از سطح دریاچه ۲۴۰ سانتی متر باشد. هر روز چند هکتار- متر آب از سطح این دریاچه تبخیر می شود.
حل: مقدار تبخیر در سال برابر است با:

$$\text{هکتار- متر} = 3600 = \text{هکتار سانتیمتر} = 1500 \times 240 = 360000 = \text{حجم آب تبخیر شده}$$

$$\text{هکتار} - \text{متر} = 9.863 = 3600/365 = \text{متوسط تبخیر روزانه}$$

۱-۶- موجودی آب کره زمین

مقدار آب موجود در کره زمین توسط محققین مختلف برآورد شده است. نتایج این برآوردها متفاوت بوده اما همه آنها نشانگر ثابت ماندن نسبی این مقدار در طول زمان است. بر اساس تحقیقات لواویچ مقدار حجم آب موجود در کره زمین بالغ بر $1.0^2 \times 1458643$ کیلومتر مکعب برآورد شده است که طبق جدول (۱-۱) این حجم آب در بخش های مختلف کره زمین متمرکز شده است.

جدول ۱-۱ مقادیر آب در کره زمین

محل تجمع	حجم آب 10^3 km^3	درصد نسبت به کل آب موجود در جهان
اقیانوسها	۱۳۷۳۲۳	۹۳/۹۳
منابع آب زیر زمینی	۶۸۰۰۰	۴/۴۰
لایه های یخ و یخچال ها	۲۴۰۰۰	۱/۶۵
دریاچه ها	۲۳۰	۱/۰۱۶
رطوبت خاک	۷۵	۰/۰۰۵
آب موجود در اتمسفر	۱۴	۰/۰۰۱
رودخانه ها	۱/۲	۰/۰۰۰۱
جمع کل	۱۴۵۸۶۴۳	۱۰۰

همانگونه که جدول (۱-۱) نشان می دهد بخش اعظم آب موجود در کره زمین در اقیانوس ها متمرکز است. اگر چه آب اقیانوس ها منبع اصلی تأمین بخار آب برای تشکیل ابر و ریزش های جوی به حساب می آید اما این آبها به دلیل شوری بسیار زیاد (۳ تا ۴ گرم نمک در هر لیتر) از لحاظ کیفی برای مصارف گوناگون قابل استفاده نمی باشد.

حجم آب شیرین در کره زمین در مقایسه با آب شور بسیار ناچیز بوده و در حدود 40×10^{12} متر مکعب برآورد شده است که از این مقدار حدود ۷۵ درصد به صورت برف و یخ در قطب ها، ۲۴ درصد سفره های آب زیرزمینی، ۰/۳ درصد در دریاچه های آب شیرین، ۰/۰۶ درصد رطوبت در خاک ۳۴٪ درصد بخار آب در هوا و ۰/۳ درصد در رودخانه وجود دارد. بنابراین در صورت در نظر گرفتن آبهای موجود در قطب ها، انسان فقط به کمتر از یک درصد از منابع آب کره زمین دسترسی دارد. این مقدار ناچیز دارای توزیع زمانی و مکانی بسیار نامناسب در سطح کره زمین می باشد.. جدول (۱-۲) وضعیت بیلان آبی در حوضه های شش گانه کشور را نشان می دهد. شکل (۱-۴) نیز وضعیت بیلان آبی کشور را نشان می دهد.

قاره آسیا با وسعتی بیش از ۵ برابر قاره اروپا بارندگی آن کمتر از قاره اروپا می باشد و این مقدار بارندگی تقریباً بطور کامل در دو فصل پاییز و زمستان نازل می شود، در حالی که در قاره اروپا بارندگی در تمام فصول سال ادامه می یابد.

جدول (۱-۳) مشخصات حوضه‌های اصلی و بیلان هیدرولوژیکی کشور [۶].

حوضه آبریز	کد	وسعت (Km ²)			حجم متوسط سالانه (MCM)	
		کل	کوهستان	دشت	بارش	تبخیر و تعرق
دریای مازندران	۱	۱۷۳۷۳۰	۱۳۱۵۸۴	۴۲۱۴۶	۸۴۱۹۰	۶۱۲۵۳
دریاچه ارومیه	۲	۴۱۹۸۰۲	۳۰۳۱۵۵	۱۱۶۶۴۷	۱۵۳۸۲۰	۹۶۶۲۳
خلیج فارس	۳	۵۱۸۶۶	۳۵۱۴۷	۱۶۷۱۹	۲۲۳۰۰	۱۵۵۷۰
مرکزی	۴	۸۵۱۱۲۶	۳۹۵۰۸۸	۴۵۶۰۳۸	۱۲۷۵۱۰	۱۰۱۰۱۸
هامون	۵	۱۰۷۳۶۹	۵۴۸۵۹	۵۲۵۱۰	۱۳۴۸۰	۱۱۹۳۴
سرخس	۶	۴۴۱۷۰	۲۹۷۱۲	۱۴۳۹۵	۱۱۸۶۰	۹۷۲۸
کل کشور		۱۶۴۸۰۰۰	۹۴۹۵۴۵	۶۹۸۴۵۵	۴۱۳۱۶۰	۲۹۶۱۱۲۶
جریان سطحی						۲۲۹۷۳



شکل ۱-۴- بیلان آبی در ایران