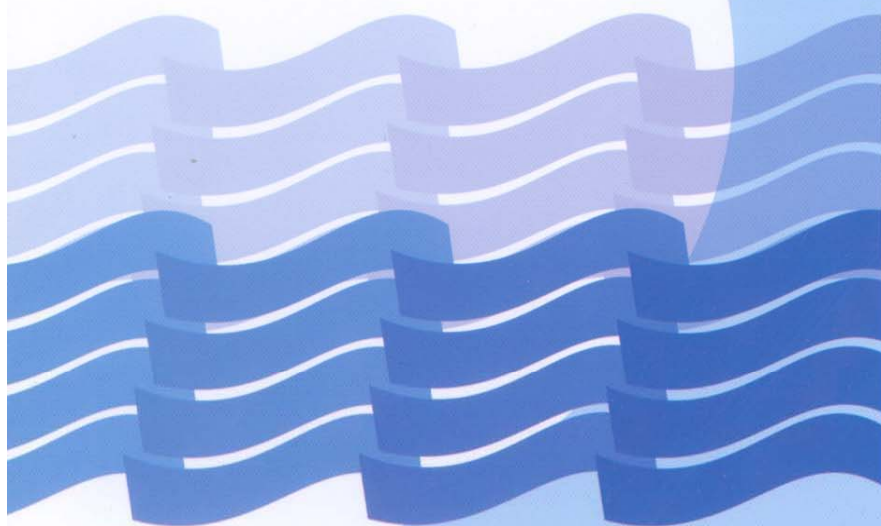




وزارت نیرو
معاونت امور آب و آبفا
دفتر مهندسی و معیارهای فنی
آب و آبفا

نشریه

دستورالعمل تهیه بیان نمک آب زیرزمینی



آذر ماه ۱۳۹۳

نشریه شماره ۱۵۵- ن

نشریه

دستورالعمل تهیه بیلان نمک آب زیرزمینی

آذر ماه ۱۳۹۳

نشریه شماره ۱۵۵-ن

پیشگفتار

امروزه نقش و اهمیت ضوابط، معیارها و استانداردها و آثار اقتصادی ناشی از به کارگیری مناسب و مستمر آنها در پیشرفت جوامع، تهیه و کاربرد آنها را ضروری و اجتناب ناپذیر ساخته است. نظر به وسعت دامنه علوم و فنون در جهان امروز، تهیه ضوابط، معیارها و استانداردها در هر زمینه به مجامع فنی - تخصصی واگذار شده است.

با در نظر گرفتن مراتب فوق و با توجه به شرایط اقلیمی و محدودیت منابع آب در ایران، تهیه استاندارد در بخش آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و از این رو طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور برای نیل به این هدف، با مشخص کردن رسته‌های اصلی صنعت آب اقدام به تشکیل مجامع علمی - تخصصی با عنوان کمیته های تخصصی کرده که نظارت بر تهیه این استاندارد ها را به عهده دارند.

استاندارد های صنعت آب با در نظر داشتن موارد زیر تهیه و تدوین می گردد:

- استفاده از تخصص ها و تجارب کارشناسان و صاحب نظران شاغل در بخش عمومی و خصوصی
- استفاده از منابع و مآخذ معتبر و استانداردهای بین المللی
- بهره گیری از تجارب دستگاه های اجرایی، سازمان ها، نهادهای، واحدهای صنعتی، واحدهای مطالعه، طراحی و ساخت
- ایجاد هماهنگی در مراحل تهیه، اجرا، بهره برداری و ارزشیابی طرحها
- پرهیز از دوباره کاری ها و اتلاف منابع مالی و غیرمالی کشور
- توجه به اصول و موازین مورد عمل مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران و سایر مؤسسات معتبر تهیه کننده استاندارد

طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور به منظور تسهیل در امر استفاده از استاندارد ها، تدوین و یا ترجمه نشریات و کتب تخصصی مرتبط با استانداردها را نیز در دستور کار خود داشته و نشریه حاضر در راستای نیل بدین هدف تهیه شده است.

آگاهی از نظرات کارشناسان و صاحب نظرانی که فعالیت آنها به نوعی در ارتباط با تهیه استانداردهای صنعت آب می باشد موجب امتنان خواهد بود.

تهیه و کنترل

اعضای گروه تهیه کننده:

این نشریه با همکاری افراد زیر به ترتیب حروف الفبا تهیه شده است:

فوق لیسانس مهندسی آبیاری و آبادانی	کارشناس آزاد	زهرا ایزدپناه
لیسانس زمین شناسی (آبشناسی)	کارشناس آزاد	رحمتعلی براتعلی
فوق لیسانس مهندسی شیمی و مهندسی بهداشت	کارشناس آزاد	علی اکبر علوی
لیسانس زمین شناسی (آبشناسی)	کارشناس آزاد	فاطمه فروغی زاده
فوق لیسانس مهندسی آب های زیرزمینی	کارشناس آزاد	بیژن مهرسا
لیسانس زمین شناسی (آبشناسی)	کارشناس آزاد	مهدی هاشمی بابکی

اعضای گروه تایید کننده (کمیته تخصصی مدیریت منابع آب طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور):

دکترای منابع آب	مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری	بهرام ثقفیان
لیسانس زمین شناسی	کارشناس آزاد	فضلعلی جعفریان
فوق لیسانس مهندسی هیدرولوژی	شرکت مهندسین مشاور بهان سد	عباسعلی جهانی
دکترای علوم و مهندسی آبیاری	دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)	پیمان دانش کارآراسته
فوق لیسانس آب زیرزمینی	شرکت مدیریت منابع آب ایران	رضا راعی عزآبادی
فوق لیسانس عمران - آب	طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب	مریم رحیمی فراهانی
	کشور-وزارت نیرو	

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	مقدمه
۳	فصل اول - کلیات
۵	۱-۱- چکیده
۷	فصل دوم - بیلان آب
۹	۱-۲- کلیات
۹	۲-۲- محدوده بیلان
۹	۳-۲- دوره بیلان
۹	۴-۲- مبانی کلی بیلان آب
۱۰	۵-۲- مبانی بیلان آب زیرزمینی
۱۱	۶-۲- آمار و اطلاعات مورد لزوم بیلان
۱۱	۲-۶-۱- آمار و اطلاعات هواشناسی
۱۱	۲-۶-۲- آمار و اطلاعات آب سطحی
۱۱	۲-۶-۳- آمار و اطلاعات آب زیرزمینی
۱۲	۲-۶-۴- نقشه‌های مورد نیاز بیلان آب
۱۳	۲-۷- معادله بیلان آب
۱۵	۲-۸- معادله بیلان آب زیرزمینی
۱۵	۲-۹- محاسبه و ارزیابی عوامل بیلان
۱۵	۲-۹-۱- محاسبه ریزش‌های جوی
۱۵	۲-۹-۲- محاسبه تبخیر
۱۶	۲-۹-۳- محاسبه جریان‌های سطحی ورودی و خروجی
۱۶	۲-۹-۴- محاسبه نفوذ از طریق بارندگی
۱۷	۲-۹-۵- محاسبه جریان‌های زیرزمینی ورودی و خروجی
۱۸	۲-۱۰- محاسبه و بسط ضرایب هیدرودینامیکی
۱۸	۲-۱۰-۱- بسط ضریب قابلیت انتقال T با استفاده از نقشه‌های مقاومت عرضی
۱۹	۲-۱۰-۲- بسط ضریب قابلیت انتقال به روش لوله‌های جریانی
۱۹	۲-۱۰-۳- محاسبه ضریب قابلیت انتقال یا ضریب ذخیره با استفاده از معادله ساده شده هیدروژئولوژی با بیلان جز به جز

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۲۱	۲-۱۰-۴- محاسبه S و K به روش دانه‌بندی نمونه خاک چاه‌ها
۲۳	۲-۱۰-۵- تهیه نقشه‌های هم‌نمای قابلیت انتقال آب و نواحی هم‌ضریب ذخیره
۲۳	۲-۱۱- محاسبه تغییرات حجم ذخیره آب زیرزمینی ΔV
۲۴	۲-۱۲- برقراری معادله بیلان آب
۲۵	فصل سوم - بیلان نمک
۲۷	۳-۱- کلیات
۲۷	۳-۲- محدوده بیلان نمک
۲۷	۳-۳- دوره بیلان نمک
۲۷	۳-۴- مبانی بیلان نمک
۲۸	۳-۴-۱- مبانی بیلان نمک آب زیرزمینی
۲۸	۳-۴-۲- مبانی محاسباتی نمک در واحدهای کشاورزی
۲۹	۳-۵-۱- آمار و اطلاعات کیفی پایه بیلان نمک
۲۹	۳-۵-۱-۱- آمار و اطلاعات کیفی هواشناسی
۲۹	۳-۵-۱-۲- آمار کیفی رواناب‌های سطحی
۲۹	۳-۵-۱-۳- آمار کیفی آب زیرزمینی
۳۰	۳-۶- نقشه‌های موردنیاز بیلان نمک
۳۱	۳-۷-۱- اطلاعات کیفی موردنیاز بیلان نمک
۳۱	۳-۷-۱-۱- لایه هوا
۳۲	۳-۷-۱-۲- لایه سطحی زمین
۳۲	۳-۷-۱-۳- لایه تهویه
۳۳	۳-۷-۱-۴- لایه اشباع و تغییر غلظت مواد محلول آن
۳۷	۳-۷-۱-۵- مواد افزودنی به خاک
۳۷	۳-۸-۱- روش‌های اندازه‌گیری نمک
۳۸	۳-۸-۱-۱- اندازه‌گیری وزنی میزان نمک آب TDS
۳۸	۳-۸-۲- تعیین مقدار نمک آب با اندازه‌گیری هدایت الکتریکی
۳۹	۳-۹- تحلیل داده‌ها
۴۰	۳-۱۰- گزینه واحدها
۴۰	۳-۱۱- عوامل بیلان نمک

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۴۰	۳-۱۱-۱- عوامل بیلان نمک در لایه سطحی زمین (خاک)
۴۲	۳-۱۱-۲- عوامل بیلان در لایه‌های زیرزمینی
۴۸	۳-۱۱-۳- لایه تهویه
۴۸	۳-۱۱-۴- بیلان نمک در لایه اشباع
۵۰	۳-۱۲- معادله بیلان نمک
۵۰	۳-۱۲-۱- برقراری معادله کلی بیلان نمک
۵۲	۳-۱۲-۲- برقراری معادله بیلان نمک لایه تهویه
۵۲	۳-۱۲-۳- برقراری معادله بیلان نمک لایه اشباع آب زیرزمینی
۵۵	فصل چهارم - جایگاه بیلان نمک در برنامه‌های توسعه
۵۷	۴-۱- کلیات
۵۷	۴-۲- بیلان نمک و آب زیرزمینی
۵۷	۴-۳- کشاورزی و آبیاری با آب‌های شور
۵۷	۴-۴- بیلان نمک و مهندسی آب و فاضلاب
۵۷	۴-۵- بیلان نمک و کنترل شوری آب آبیاری
۶۱	منابع و مراجع

فهرست جدول‌ها

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۹	جدول ۲-۱- مبانی کلی بیلان آب
۱۰	جدول ۲-۲- مبانی بیلان آب زیرزمینی
۲۲	جدول ۲-۳- آبدهی ویژه بعضی از رسوبات
۲۷	جدول ۳-۱- مبانی کلی بیلان نمک
۲۸	جدول ۳-۲- مبانی محاسباتی بیلان نمک آب زیرزمینی
۲۸	جدول ۳-۳- مبانی محاسباتی بیلان نمک در واحدهای کشاورزی
۳۲	جدول ۳-۴- درصد حجمی گازهای اصلی تشکیل‌دهنده هوا در شرایط متعارف

فهرست شکل‌ها

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱۸	شکل ۱-۲- محاسبه فاصله متوسط I_m بین دو منحنی
۲۱	شکل ۲-۲- شبکه جریان
۲۱	شکل ۳-۲- نقشه پیزومتری شبکه‌بندی شده
۳۳	شکل ۱-۳- نیمرخ عمودی لایه تهویه (لایه هواگیر) و پراکنش رطوبت در آن
۳۴	شکل ۲-۳- عوامل بیلان نمک در زیر ناحیه‌های چهارگانه‌ای اختیاری از سطح زمین تا سنگ کف یک آبخوان آزاد
۳۹	شکل ۳-۳- نمودار نسبت غلظت مواد محلول و هدایت الکتریکی آب‌ها
۴۱	شکل ۴-۳- نمودار همبستگی تخلیه ماهانه یک نقطه اندازه‌گیری رودخانه فرضی و تغییرات نمک آن
۴۳	شکل ۵-۳- نمای لایه زیرزمینی
۴۵	شکل ۶-۳- چگونگی عبور دو صفحه عمود بر جهت جریان یک آبخوان آزاد به فاصله F و تشریح بیلان نمک (مدل جعبه‌ای)
۴۶	شکل ۷-۳- مدل چلیکی
۵۹	شکل ۱-۴- نمودار آبیاری با آب‌های شور

مقدمه

بیلان، لغتی فرانسوی با ریشه لاتین است که در زبان فارسی به‌طور گسترده به کار رفته است. واژه‌هایی همچون: تراز آب، تراز نامه آب، توازن آبی، بالانس آب، بودجه آبی و... و اصطلاحات انگلیسی مانند: Water budget, Water balance, Hydrological book keeping balance, analyses مفاهیمی نزدیک به بیلان آب دارند.

برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری بهینه و استفاده منطقی از منابع آب و نیز اعمال مدیریت‌های آب و خاک در مراحل مختلف مطالعاتی، طراحی و اجرای پروژه‌ها باید با شناخت کامل از پتانسیل‌های آبی موجود و ارزیابی‌های کمی و کیفی منابع آب و نوع مصارف همراه باشد که این امر مستلزم استفاده از آمار و اطلاعات صحیح و گسترده در محدوده‌های مطالعاتی در یک دوره زمانی معین است.

در سرزمین‌های خشک و نیمه‌خشک جهان که بخش عمده‌ای از کشور ایران نیز جز این مناطق محسوب می‌گردد، به‌علت کمی ریزش‌های جوی از یک‌سو و زیاد بودن تبخیر از سوی دیگر، منابع آب این نواحی بسیار محدود بوده و همواره با کم‌آبی مواجه هستند. از این رو، برنامه‌های توسعه باید حساب شده باشد و کنترل‌های لازم و دقیق در این موارد صورت گیرد.

از عوامل مهم کنترل پتانسیل منابع آب در چرخه آبی که پس از بررسی جریان‌های سطحی و زیرزمینی تعیین می‌شوند، بیلان کمی آب و بیلان نمک است که ممکن است توأمان نیز مورد محاسبه قرار گیرند.

بیلان نمک، تبادلات نمک از سطح زمین به لایه تهویه و از آن‌جا به لایه اشباع آب زیرزمینی آزاد و تغییرات نمک‌های ذخیره شده را تعیین می‌کند و نیز نگرشی عمیق به مسایل آلودگی‌های غیرقابل جبران دارد و آنها را پیش‌بینی می‌کند. این امر باعث شد ضرورت انجام مطالعات با موضوع «دستورالعمل تهیه بیلان نمک آب زیرزمینی» توسط کمیته مدیریت منابع آب تأیید شود و نشریه حاضر با این عنوان تهیه گردد.

مطالعات بیلان نمک، دامنه بسیار وسیعی در عملیات آبیاری، کشاورزی، زهکشی، آب‌شویی و اصلاح اراضی شور، مصارف شهری، صنعتی و ساماندهی آبخیزها دارد.

در این نشریه، چگونگی تبادلات نمک در حالت‌های مایع و جامد در جو، سطح زمین، لایه تهویه و لایه اشباع آب زیرزمینی آزاد بیان شده و روابط کاربردی ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران در سامانه متریک ارائه شده است.

- هدف

برنامه‌ریزی برای توسعه اقتصادی و اجتماعی پیوسته باید با ارزیابی‌های کمی و کیفی منابع آب همراه باشد از این رو هدف از تهیه این نشریه محاسبه بیلان کیفی (بیلان نمک) است و در این راستا مواردی از بیلان کمی (بیلان آب) که در برآورد بیلان کیفی موثر است، مورد بحث قرار می‌گیرد.

- دامنه کاربرد

این نشریه با ارائه آمار و اطلاعات کمی و کیفی مورد نیاز بیلان‌های آب و نمک مانند اطلاعات هواشناسی و آب‌های سطحی و زیرزمینی، همچنین محاسبه و ارزیابی عوامل بیلان اعم از ریزش‌های جوی و تبخیر و ارائه معادلات مربوط به آنها، در بخش‌های مدیریت آب و خاک، استفاده چندباره از آب‌های زهکشی و نیز مهندسی آب و فاضلاب کاربرد دارد.

فصل ۱

کلیات

۱-۱- چکیده

از پیوند مولکولی دو اتم هیدروژن و یک اتم اکسیژن، آب پدید می‌آید. آب از مواد معدودی به شمار می‌رود که دارای خواص استثنایی است. از جمله خواص فیزیکی مهم آب تغییر شکل آن از حالت‌های: بخار، مایع و جامد در زمان اندک بوده و نیز برگشت به حالت مایع خود که آب نامیده می‌شود، از خواص مهم شیمیایی آب حلالیت بسیار آن قابل ذکر هستند. ریزش‌های جوی اغلب آب باران را شامل می‌شود. از تبدیل حالت بخار آب به حالت مایع، باران شکل می‌گیرد و آب به حالت مایع آن گفته می‌شود. با ظاهر شدن اولین قطره‌های باران عوامل چندی مانند دما و باد به طور هم‌زمان دخالت نموده و از حجم آن می‌کاهد. از سویی آب باران مقداری از مواد جامد محلول را در خود حل می‌کند که با کاهش حجم آب باران مقدار مواد جامد محلول افزایش می‌یابد و یا ممکن است با افزایش آب، نمک‌های محلول در آب رو به کاهش رود. این مطالعات که قسمت مهمی از دانش آب‌شناسی^۱ را در برمی‌گیرد در دو زیر بخش به نام‌های بیلان آب که منظور بیلان کمی آب بوده و بیلان نمک قابل بررسی است.

بخش بیلان آب، در یک فرآیند مطالعاتی حجم منابع^۲ با ارزیابی‌های کمی^۳ آنها در چرخه آبی^۴ با روش‌های فیزیکی اندازه‌گیری و حاصل این فرآیند به صورت بیلان ارائه می‌شود.

در بخش بیلان نمک مقدار نمک‌های محلول در احجام آبی که طی واکنش‌های شیمیایی در چرخه آبی به وجود می‌آید، بررسی می‌گردد و حاصل چنین فرآیندی بیلان نمک نامیده می‌شود.

آمار حاصل از بررسی‌های هیدرولوژی سی ساله نشان می‌دهد که کل ریزش‌های جوی در گستره خاک ایران بالغ بر ۴۵۰ میلیارد متر مکعب است که پس از تبخیر، منابع آبی ایران به طور متوسط حجمی حدود ۱۳۵ میلیارد مترمکعب را شامل می‌شود. متوسط پتانسیل آبی کل رودخانه‌های دائمی و فصلی در پهنه ایران قریب به ۹۳ میلیارد مترمکعب است که از این حجم تقریباً ۶۰ درصد هنگام سیلاب‌های بهاره از دسترس خارج می‌شود. ایران از نظر آب‌های سطحی غنی نیست، از این رو در مصارف گوناگون به منابع آب زیرزمینی رو آورده شده و با استفاده غیرمنطقی، این منابع در معرض نابودی قرار گرفته است. لذا ضرورت دارد تا بررسی و آگاهی از پتانسیل منابع آبی و تغییرات کیفیت آنها به صورت بیلان‌های آب و نمک به هنگام شده در بخش‌های مدیریتی با برنامه‌ریزی‌های لازم منابع آب زیرزمینی حفظ شود و از شور شدن و آلودگی آنها و پیشروی کویر جلوگیری به عمل آید.

فصل ۲

بیان آب

۲-۱- کلیات

بیلان، کلیه تبدلات آبی را در یک محدوده مطالعاتی مورد بررسی قرار می‌دهد. این مطالعات بر اصل بقای ماده در چرخه آبی استوار است. بنابراین در یک دوره زمانی معین، تمامی آب‌هایی که به یک محدوده خاص وارد می‌شود و در آن ناحیه به مصرف رسیده یا ذخیره شده و یا به شکل‌های گوناگون از محدوده خارج می‌گردد، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۲-۲- محدوده بیلان^۱

محدوده بیلان به ناحیه‌ای گفته می‌شود که آمار و اطلاعات پایه لازم برای برقراری بیلان در آن گردآوری شده باشد. این ناحیه می‌تواند، یک حوضه آبریز، یک دشت و ارتفاعات مشرف بر آن و یا در بیلان آب زیرزمینی، محدوده یک آبخوان باشد. محدوده بیلان برای مطالعات بعدی روی نقشه‌های توپوگرافی و یا زمین مشخص می‌شود. محدوده بیلان را با حرف A نمایش می‌دهند و واحد آن معمولاً در بیلان آب کیلومتر مربع و در بیلان نمک هکتار در نظر گرفته می‌شود.

۲-۳- دوره بیلان^۲

به دوره زمانی معینی که در آن مقطع همه عوامل مورد ارزیابی واقع می‌شوند، دوره بیلان گویند. دوره بیلان متفاوت است و می‌توان آن را برای یک ماه، یک فصل، یک سال، چند سال، کوتاه‌مدت میان‌مدت و درازمدت شامل: سال‌های خشک، متوسط و مرطوب در نظر گرفت. برای نشان دادن دوره بیلان، از علائم: $\Delta t, t, T$ استفاده می‌شود.

۲-۴- مبانی کلی بیلان آب

مبانی کلی بیلان آب، شامل: همه عوامل ورودی، خروجی و تغییرات ذخایر منابع آب است و به‌طور کلی به‌صورت زیر می‌توان آنها را نشان داد.

جدول ۲-۱- مبانی کلی بیلان آب

عوامل خروجی	عوامل ورودی
تبخیر و تعرق از سطح محدوده	ریزش‌های جوی بر سطح محدوده
جریان‌های سطحی خروجی از محدوده	جریان‌های سطحی ورودی به محدوده
جریان‌های زیرزمینی خروجی از محدوده	جریان‌های زیرزمینی ورودی به محدوده
آب‌های منتقل شده به خارج از محدوده	کلیه آب‌های انتقالی به محدوده

تغییرات ذخایر منابع آب در محدوده

بیلان آب برای دوره‌های کوتاه‌مدت متوالی ممکن است وضعیت ناپایداری را نشان بدهد که این امر ناشی از تغییرات اقلیمی محدوده مطالعاتی و تاثیر نهایی چنین تغییراتی بر ذخیره منابع آب سطحی و آب زیرزمینی است. تعیین بیلان آب در درازمدت به دلیل نزدیکی به شرایط متوسط آب و هوایی منطقه به یکدیگر نزدیک‌تر می‌شود و حالت پایداری ناحیه را نشان خواهد داد. در چنین حالتی تغییرات ذخایر آب سطحی و آب زیرزمینی به سمت صفر میل می‌نماید.

۲-۵- مبانی بیلان آب زیرزمینی

تهیه بیلان آب زیرزمینی که یکی از هدف‌های مهم مطالعات آب‌های زیرزمینی است، شکل ویژه‌ای از بیلان آب است و در آن تمامی عوامل موثر در تغذیه و تخلیه آب زیرزمینی در آبخوان، با یکدیگر مقایسه و هماهنگ شده و اختلاف موجود در تغییرات ذخیره آب زیرزمینی باید قابل توجیه باشد. محاسبه و هماهنگی عوامل آب زیرزمینی پیچیدگی خاصی دارد و از محاسبه بیلان عمومی آب مشکل‌تر است. از این رو لازم است که از سیمای فیزیکی سامانه آب زیرزمینی و مشخصات هیدرولیکی آنها، ارتباط آنها با آب‌های سطحی، خواص هیدرودینامیکی لایه‌های آبدار و همچنین از چگونگی محل‌های تغذیه و تخلیه منابع آب زیرزمینی آگاهی داشت، زیرا ممکن است جریان خروجی یک آبخوان، جریان ورودی آبخوان مجاور باشد. پاره‌ای از عوامل موثر در تغذیه، تخلیه و ذخیره آب زیرزمینی مستقیماً قابل اندازه‌گیری و محاسبه است و تعداد دیگری را می‌توان از اختلاف حجم یا نسبت‌های بین آب‌های سطحی و عواملی مانند تبخیر به دست آورد و بقیه تنها به طور تخصصی قابل ارزیابی هستند. به طور کلی مبانی بیلان آب زیرزمینی به صورت زیر است.

جدول ۲-۲- مبانی بیلان آب زیرزمینی

عوامل تغذیه آب زیرزمینی	عوامل تخلیه آب زیرزمینی
آب‌های نفوذی توسط بارندگی بر سطح محدوده تغذیه آبخوان از رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و... تغذیه آبخوان از آب برگشتی در مصارف آبیاری، شرب و صنعت تغذیه مصنوعی آبخوان در طرح‌های توسعه جریان ورودی زیرزمینی	تبخیر از سطح آب زیرزمینی تعرق توسط گیاهان از آب زیرزمینی تخلیه طبیعی آبخوان به شکل چشمه تخلیه مصنوعی آبخوان به صورت بهره‌برداری از چاه و قنات تخلیه مصنوعی آبخوان توسط زهکش‌ها جریان زیرزمینی خروجی

تغییرات ذخیره منبع آب زیرزمینی

به‌طور طبیعی پرآبی و ازدیاد آبدهی چشمه‌ها، قنات و زهکش‌های موجود در محدوده مطالعاتی بیلان نشانگر بارندگی مناسب و زیادی میزان تغذیه آب زیرزمینی است و سال پر آبی را نوید می‌دهد. افزایش بهره‌برداری و کاهش بارش‌های جوی موجب تغییر ذخیره منبع شده و موجب کمی آبدهی خواهد شد، ولی شک نیست که در درازمدت بین عوامل تغذیه و تخلیه آب زیرزمینی تعادل برقرار می‌شود و در این صورت تغییرات مذکور تمایل به صفر پیدا خواهند کرد.

۲-۶- آمار و اطلاعات مورد لزوم بیلان

بیلان محصول نهایی فرآیندهای آماری است و از این رو آمار، پایه و اساس محاسبه بیلان به شمار می‌رود. آمار به کار گرفته شده برای بیلان باید وضعیت آب و هوایی، شرایط و خصوصیات هیدرولوژی و هیدروژئولوژی محدوده مطالعاتی را مشخص نماید.

برای تنظیم آمار بیلان و به هنگام نمودن آنها، مقتضی است یک بانک اطلاعاتی برای پنج بخش: هواشناسی، آب سطحی، آب زیرزمینی، کیفیت منابع آب و مصارف ایجاد شود.

۲-۶-۱- آمار و اطلاعات هواشناسی

آمار و اطلاعات هواشناسی مورد نیاز بیلان، مشتمل بر آمار: بارندگی، تبخیر از تشتک، دما، رطوبت نسبی، سرعت وزش باد و ساعات آفتابی مستقیم و غیرمستقیم است که احتمال دارد به طور روزانه، میانگین ماهانه و یا سالانه باشد.

۲-۶-۲- آمار و اطلاعات آب سطحی

آمار و اطلاعات آب سطحی شامل: آبدهی آب رودخانه‌ها، انهار، چشمه‌ها و سطح آب در مخازن سدها، آب‌بندها، دریاچه‌ها، برکه‌ها و... است. در مواردی که این آمار موجود نباشد، می‌توان با اندازه‌گیری‌های گوناگون و به کارگیری روش‌های مقایسه‌ای مقادیر آنها را برآورد نمود.

۲-۶-۳- آمار و اطلاعات آب زیرزمینی

۲-۶-۳-۱- شبکه پیزومتری (هم‌فشار)

یک شبکه پیزومتری با پراکندگی مناسب در محدوده بیلان ضروری است. تعیین محل چاه‌های پیزومتر براساس تراکم منابع بهره‌برداری، وجود زهکش‌ها، رودخانه‌ها، نواحی تبخیری و عوامل زمین‌شناسی مانند: گسل‌ها و نیز تغییرات موضعی سطح آب زیرزمینی است که حداقل در هر ۲۵ کیلومتر مربع یک چاه پیزومتر با قطر کم کافی است. چنانچه در محدوده بیلان، سفره تحت فشار وجود داشته باشد، پیزومترهایی در این لایه‌ها برای آگاهی از فشار پیزومتریک آنها و ارتباط آنها با سفره آزاد جداگانه باید انتخاب گردند.

۲-۶-۳-۲- دوره اندازه‌گیری سطح آب

برای محاسبه بیلان آب زیرزمینی، اصولاً هرچه فاصله اندازه‌گیری سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای کوتاه‌تر باشد نتایج صحیح‌تری به دست می‌آید که تغییرات حاصل، عوامل کلیماتولوژی موثر بر سطح آب زیرزمینی را مشخص می‌کند. اندازه‌گیری سطح آب زیرزمینی برای بیلان، حداقل ماهانه باید انجام گیرد.

یکی از اجزای مهم بیلان اطلاع از نوسانات سطح ایستابی در محدوده مطالعاتی است که بهتر است ناهماهنگی آن با استفاده از دستورالعمل‌های مدون و هیدروگراف چاه‌ها بررسی شود. از جمله عوامل موثر در ناهماهنگی منحنی هیدروگراف چاه‌ها می‌توان تاثیر پمپاژ چاه‌های بهره‌بردار، فاضلاب‌ها و... نام برد که پس از انجام اصلاحات لازم، تغییرات عمق میانگین سطح آب زیرزمینی را محاسبه خواهد شد.

۲-۳-۳-۳- میزان برداشت از آب زیرزمینی

اطلاع از آمار و اطلاعات صحیح منابع آب موجود در سطح دشت شامل: چاه‌ها، چشمه‌ها، قنوات، میزان بهره‌برداری‌ها و آبدهی آنها عامل اساسی تخلیه آب زیرزمینی است و میزان آن را تعیین می‌کند. این آمار باید به روز باشد و با کنترل آبدهی چاه‌ها، قنوات و چشمه‌های انتخابی میزان تخلیه محاسبه شود.

۲-۳-۳-۴- مصرف آب آبیاری

برای تعیین آب‌های نفوذیافته به آبخوان از طریق آبیاری تهیه آمار و اطلاعات مربوط به سطح زیرکشت آبی، نوع کشت، روش آبیاری، مقدار آب مصرفی و دوره آبیاری ضروری است.

۲-۳-۳-۵- مصرف آب در موارد عمومی و صنعتی

به منظور تعیین مقدار آب نفوذی به سفره آب زیرزمینی از طریق مصرف آب در موارد عمومی و صنعتی باید نوع این مصارف و میزان برداشت و چگونگی تخلیه فاضلاب‌های حاصل به تفکیک معین شود.

۲-۳-۳-۶- ضرایب هیدرودینامیکی سفره آب زیرزمینی

برای محاسبه بیلان آب زیرزمینی، باید آب ورودی، خروجی و تغییرات حجم آبخوان اندازه‌گیری گردد. برای دستیابی به مقادیر بالا، باید ضریب قابلیت انتقال (T) و ضریب ذخیره (S) تعیین شوند. این ضرایب به همراه هدایت هیدرولیکی (K)، معمولاً به روش پمپاژ و همبستگی بین T و مقاومت عرضی تصحیح شده ژئوفیزیک (RT) و آگاهی از ضخامت لایه آبدار (H) به دست می‌آید.

۲-۳-۴- نقشه‌های مورد نیاز بیلان آب

برای تهیه بیلان آب زیرزمینی نقشه‌های زیر از محدوده بیلان مورد نیاز است:

- نقشه زمین‌شناسی عمومی منطقه مطالعاتی
- نقشه هم‌باران
- نقشه هم‌تبخیر
- نقشه زمین‌شناسی آب
- نقشه منابع آب محدوده بیلان با شبکه‌بندی تیسن چاه‌های مشاهده‌ای آن

- نقشه هم فشار
- نقشه هم عمق
- نقشه‌های هیدروژئوشیمیایی
- نقشه هم قابلیت انتقال آب زیرزمینی (T)
- نقشه ضریب ذخیره سفره آب زیرزمینی (S)
- نقشه‌های ژئوفیزیک

همان‌طور که گفته شد اندازه‌گیری و محاسبه تعدادی از عوامل بیلان، تنها از راه آزمایش‌های تجربی حاصل می‌شود. چنانکه در مراکز پژوهشی یا معرف، عوامل فوق برای اقلیم‌های گوناگون و یا تعدادی از دشت‌های نمونه تعیین شده باشند، می‌توان از نتایج ارائه شده در محاسبه‌های بیلان استفاده کرد.

در مراکز یا حوضه‌های نمونه و مجاور آن باید ایستگاه‌های هواشناسی، هیدرومتری (آب‌سنجی)، چاه‌های پیزومتری و چاه‌های مشاهده‌ای کیفی به تعداد کافی ایجاد نمود و برای بررسی پارامترهای آب‌های نفوذ یافته، تبخیر و تعرق رستنی‌ها، مقادیر آب خروجی، آب‌های نفوذ یافته برگشتی از آبیاری و کیفیت شیمیایی آنها به کارگیری لیسیمتر نتایج بسیار قابل قبولی را به دست می‌دهد.

لیسیمتر^۱ دستگاهی است که تراوش آب را درون خاک اندازه‌گیری و مواد جامد محلول خاک را که در اثر آبیاری و یا زهکشی تغییر می‌کند، تعیین می‌نماید. حجم آن حداقل باید یک متر مکعب باشد و در عمق معینی از خاک که نفوذ آب‌های آبیاری و برگشتی مورد نظر است، نصب می‌شود به طوری که از سوراخی که در قسمت پایین آن وجود دارد آب به راحتی عبور کند.

۲-۷- معادله بیلان آب

با توجه به مبانی کلی بیلان آب، بیلان تاکید بر توازن تبادلات آبی در یک محدوده دارد و توسط معادله تعادل هیدرولوژیکی^۲ مقادیر اندازه‌گیری شده ارائه می‌شود. ساده‌ترین شکل آن به صورت رابطه زیر است:

$$I = O \pm \Delta S \quad (1-2)$$

I: جریان ورودی^۳

O: جریان خروجی^۴

ΔS : تغییرات ذخایر آب

که هر یک از اجزای معادله فوق ممکن است عوامل متعددی را شامل گردد:

1- Lysimeter
2- Equation of Hydrologic Equilibrium
3- Inflow
4- Outflow

- اجزای مربوط به جریان ورودی:
 - جریان‌های ورودی سطحی^۱
 - جریان‌های ورودی زیرسطحی^۲
 - ریزش‌های جوی
 - آب‌های وارد شده^۳ به حوضه آبریز یا محدوده بیلان
- اجزای مربوط به جریان خروجی:
 - جریان خروجی سطحی
 - جریان خروجی زیرسطحی
 - تبخیر و تعرق
 - بهره‌برداری و مصارف
- اجزای مربوط به ذخیره آب (انبارش آب)
 - تغییر ذخیره سطحی آب
 - تغییر ذخیره آب زیرزمینی
 - تغییر رطوبت خاک

معادله کلی بیلان آب را به صورت زیر می‌توان نوشت:

$$P + Q_{SI} + Q_{UI} - E - Q_{SO} - Q_{UO} \pm \Delta S = 0 \quad (2-2)$$

P: حجم ریزش‌های جوی بر محدوده بیلان

E: حجم تبخیر و تعرق انجام گرفته از محدوده بیلان

Q_{SI}: حجم آب سطحی ورودی به محدوده بیلان

Q_{SO}: حجم آب سطحی خروجی از محدوده بیلان

Q_{UI}: حجم آب زیرزمینی ورودی به محدوده بیلان

Q_{UO}: حجم آب زیرزمینی خروجی از محدوده بیلان

ΔS: تغییرات به وجود آمده در ذخایر آب سطحی و آب زیرزمینی

در معادله بیلان صرف نظر از ریزش‌های جوی و تبخیر، اگر حجم جریان ورودی مساوی حجم جریان خروجی به اضافه و یا منهای تغییرات ذخیره باشد، معادله فوق را معادله ذخیره^۴ گویند.

1- Surface Inflow
 2- Subsurface Inflow
 3- Imported Water
 4- Storage Equation

۲-۸- معادله بیلان آب زیرزمینی

معادله بیلان آب زیرزمینی به صورت زیر است:

$$Q_{UI} + Q_P + Q_R + Q_I + Q_{sw} - Q_{uo} - Q_{ex} - Q_D - Q_{ET} \pm \Delta V = 0 \quad (۲-۳)$$

Q_{UI} : حجم جریان زیرزمینی ورودی به محدوده بیلان

Q_P : حجم جریان آب نفوذی از ریزش‌های جوی

Q_R : حجم آب نفوذیافته از جریان‌های سطحی

Q_I : حجم آب برگشتی از آبیاری

Q_{sw} : حجم آب برگشتی از طریق فاضلاب‌ها

Q_{uo} : حجم آب زیرزمینی خروجی از محدوده بیلان

Q_{ex} : حجم آب زیرزمینی بهره‌برداری و تخلیه شده

Q_D : حجم آب زیرزمینی تخلیه شده به وسیله زهکش‌های طبیعی و مصنوعی

Q_{ET} : حجم آب تبخیر و تعرق شده از سطح آب زیرزمینی

ΔV : تغییرات حجم آب زیرزمینی

۲-۹- محاسبه و ارزیابی عوامل بیلان

در برقراری بیلان و تنظیم معادله آن باید هریک از اجزای معادله بیلان اندازه‌گیری و یا محاسبه شوند و در پاره‌ای مواقع از نتایج تجربی در تخمین و ارزیابی عوامل بیلان استفاده می‌شود.

۲-۹-۱- محاسبه ریزش‌های جوی

ریزش‌های جوی، مهم‌ترین عامل موثر در بیلان آب است و در اندازه‌گیری آن باید دقت زیادی شود. با استفاده از نقشه هم‌باران و یا تعیین ایستگاه‌های هواشناسی با فواصل مناسب و شبکه‌بندی تیسن^۱ و نیز با تعیین رابطه بارش و ارتفاع و در نظر گرفتن ضریب تصحیح، مقادیر واقعی بارندگی را در سطح محدوده بیلان می‌توان محاسبه نمود. میزان باران معمولاً براساس ارتفاع آب باران روی یک پهنه برحسب میلی‌متر نشان داده می‌شود.

۲-۹-۲- محاسبه تبخیر

آب‌های موجود در محدوده بیلان ممکن است به روش‌های مختلف تبخیر شوند. مهم‌ترین آنها تبخیر از ریزش‌های جوی سطح خاک و قسمت دیگر تعرق از رستنی‌های موجود است.

برای محاسبه تبخیر از سطح آب‌های سطحی معمولاً از تشتک‌های تبخیر و فرمول‌های فیزیکی با اعمال ضریب تصحیح مناسب استفاده می‌شود. میزان پتانسیل تبخیر از پهنه‌های آبی یا خاک‌های اشباع از آب، با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$E_0 = C.E \quad (4-2)$$

E_0 : تبخیر از سطح مخازن آبی، میلی‌متر بر روز

C: ضریب تبدیل، $0/8 - 0/6$

E: تبخیر اندازه‌گیری شده در تشتک تبخیر، میلی‌متر بر روز

مشهورترین فرمول‌های تجربی برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاهان، فرمول‌های پنمن، بلانی - کریدل و پنمن - مانتیس می‌باشد.

۲-۹-۳- محاسبه جریان‌های سطحی ورودی و خروجی

جریان‌های سطحی ورودی و خروجی Q_{SI} و Q_{SO} به مجموع آب‌های جاری حاصل از بارندگی، ذوب برف و چشمه‌هایی که آب آنها به نحوی وارد رودخانه‌ها می‌گردد، گفته می‌شود. مقدار آب رودخانه‌ها را می‌توان با نصب اشل و لیمنوگراف به صورت روزانه، ماهانه و سالانه اندازه‌گیری و محاسبه نمود.

۲-۹-۴- محاسبه نفوذ از طریق بارندگی

مناسب‌ترین روش برای محاسبه میزان نفوذ از بارندگی، نصب دستگاه لیسیمتر می‌باشد ولی از آنجا که نصب این دستگاه در تمام سطح دشت‌ها مقدور نیست، با معادله بیلان هیدروکلیماتولوژی میزان تبخیر واقعی، رواناب و سهم نفوذ از بارندگی مشخص می‌شود. این بیلان با رابطه زیر بیان می‌شود که برای برقراری آن روش تجربی تورنت‌وایت^۱ که مقایسه‌ای بین بارندگی و تبخیر است، در زیر شرح داده می‌شود و به خوبی جوابگو است.

$$P = E + R + I \quad (5-2)$$

P: میزان بارش در سطح حوضه آبریز برحسب میلی‌متر

E: میزان تبخیر واقعی برحسب میلی‌متر

R: میزان روان‌آب برحسب میلی‌متر

I: نفوذ برحسب میلی‌متر

در روش تورنت‌وایت مقدار بارندگی و میزان تبخیر روزانه یا میزان تبخیر در دوره بارندگی با توجه به در نظر گرفتن رطوبت خاک با یکدیگر مقایسه می‌شوند. اگر بارندگی از تبخیر کم‌تر باشد، یعنی: رابطه $e - p > 0$ برقرار است و همه آن پتانسیل تبخیر محسوب می‌شود و در صورتی که $e - p < 0$ باشد، میزان بارش از تبخیر بیش‌تر است. در این صورت اگر

باشد، بارندگی معادل تبخیر پتانسیل است. در مواردی که $e < p$ باشد، تمام بارندگی تبخیر موثر نامیده می‌شود که خود شامل رواناب‌ها و نفوذ است و با جداسازی این دو میزان نفوذ به دست می‌آید.

میزان آب مورد نیاز برای تامین رطوبت خاک و جذب رستنی‌ها در نواحی نیمه خشک حدود ۱۰۰ میلی‌متر بر سال و در مناطق خشک و فاقد پوشش گیاهی کافی این مقدار حدود ۵۰ میلی‌متر بر سال برآورد شده است. آب چشمه‌هایی که در ارتفاعات عموماً وارد جریان سطحی شده، به همراه رواناب‌ها اندازه‌گیری می‌شوند.

برای جداسازی بده آب زیرزمینی از بده جریان سطحی باید هیدروگراف آبنمود رودخانه مورد تحلیل قرار گیرد. کل حجم آب یک رودخانه از سه قسمت تشکیل می‌شود. رواناب سطحی، رواناب تاخیری یا زیرسطحی^۱ و جریان آب زیرزمینی. رواناب نشان‌دهنده بارندگی مستقیم است و رواناب‌های زیرسطحی که در منطقه خاکی حرکت می‌کند، بدون رسیدن به سطح آب زیرزمینی با تاخیر وارد جریان آب سطحی می‌شود. بده کل آب زیرزمینی آن قسمت از بارش است که وارد منبع آب زیرزمینی شده و سپس توسط چشمه‌ها و زهکش‌ها وارد رودخانه می‌شود و جریان پایه^۲ رودخانه را به وجود می‌آورد.

تحلیل هیدروگراف رودخانه تجربه زیادی لازم دارد. در این هیدروگراف‌ها معمولاً اوج شاخه بالارونده معرف اوج سیلاب است و جریان پایه از اتصال نقاطی از هیدروگراف قبل و بعد از سیلاب که دارای شیب عمومی کم است و بارندگی صورت نگرفته به دست می‌آید و بخش زیرین آن را شامل می‌شود که با پلانیمتری از حجم کل جریان تفکیک می‌شود.

۲-۹-۵- محاسبه جریان‌های زیرزمینی ورودی و خروجی

این دو عامل، شامل: تبادلات آبی بین سفره آب زیرزمینی دشت‌ها با منابع زیرزمینی و سازندهای سخت ارتفاعات با سفره آبرفتی مجاور است. جریان آب زیرزمینی، در یک آبخوان آبرفتی با توجه به شیب توپوگرافی از بلندی‌ها یا دشت‌های مجاور به سمت زمین‌های پست مانند کویر، دریاها، دریاچه‌ها... در حرکت است. با تهیه نقشه پیزومتری (هم‌فشار) و مشخص کردن ضریب قابلیت انتقال سفره در مقاطع ورودی و خروجی جبهه جریان، تعیین و حجم این جریان‌ها به وسیله معادله ساده شده قانون دارسی^۳ محاسبه می‌گردد.

$$Q = T \cdot I \cdot L \quad (۲-۶)$$

Q: جریان زیرزمینی ورودی یا خروجی برحسب مترمکعب بر روز

T: ضریب قابلیت انتقال متوسط در مقاطع ورودی یا خروجی آبخوان برحسب متر مربع بر روز

I: شیب متوسط جریان آب زیرزمینی (گرادیان هیدرولیکی)، درصد یا بدون بعد

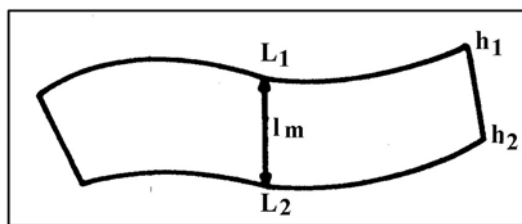
L: طول مقطع جریان ورودی یا خروجی، متر

ضریب انتقال متوسط مقطع، از تفاضل ارتفاع h دو منحنی متوالی پیزومتری بر فاصله متوسط (I_m) آنها به دست می‌آید.

$$I_m = \frac{h_1 - h_2}{I_m} \quad (7-2)$$

برای محاسبه فاصله متوسط (I_m) بین دو منحنی باید مساحت بین آنها A را به صورت دوزنقه پلانیمتری شود و بر نصف مجموع طول منحنی‌های L_1 و L_2 تقسیم کرد شکل (۲-۱)

$$I_m = \frac{A}{\frac{L_1 + L_2}{2}} = \frac{2A}{L_1 + L_2} \quad (8-2)$$



شکل ۲-۱- محاسبه فاصله متوسط I_m بین دو منحنی

۲-۱۰- محاسبه و بسط ضرایب هیدرودینامیکی

ضرایب هیدرودینامیکی، قابلیت انتقال T و ضریب ذخیره سفره S در محاسبه تعدادی از پارامترهای بیلان آب زیرزمینی مانند: جریان ورودی، خروجی و تغییرات ذخیره آبخوان‌ها کاربرد زیادی دارند. بعضی از روش‌های محاسباتی و نیز بسط این ضرایب برای سراسر سفره آب زیرزمینی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

تعیین ضرایب هیدرودینامیکی سفره آب زیرزمینی معمولاً به روش پمپاژ چاه‌ها می‌باشد که هزینه این عملیات بسیار زیاد است، لذا از روش‌های مختلف این ضرایب محاسبه و برای تمامی سفره بسط داده می‌شود. در زیر به تعدادی از این روش‌ها اشاره شده است.

۲-۱۰-۱- بسط ضریب قابلیت انتقال T با استفاده از نقشه‌های مقاومت عرضی

قابلیت انتقال T ، حاصل ضرب ضریب آبگذری K در ضخامت لایه آبدار e است.

$$T = K.e \quad (9-2)$$

از سوی دیگر، مقاومت عرضی ژئوفیزیکی RT حاصل ضرب ضخامت لایه آبدار e در مقاومت ظاهری آن ρ است.

$$RT = \rho.e \quad (10-2)$$

در این دو رابطه e مشترک است. در رابطه اول حذف K به هدایت الکتریکی و دانه‌بندی لایه آبدار بستگی دارد و در رابطه دوم ρ علاوه بر دانه‌بندی لایه آبدار به غلظت املاح نیز بستگی دارد. حال اگر شوری سفره یکنواخت باشد همبستگی بین T و RT منظم‌تر شده و لازم است RT تصحیح گردد.

برای تصحیح RT کل مواد جامد محلول سفره، باید به یک نمک واحد انتخابی (سدیم کلراید) تبدیل شود. ولی چون هدایت الکتریکی آب به مواد جامد محلول آن بستگی دارد برای سادگی کار بهتر است از هدایت الکتریکی استفاده گردد. بدین منظور با توجه به دامنه تغییرات هدایت الکتریکی، یک رقم معین مانند ۵۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر در ۲۵ درجه سانتی‌گراد (سلسیوس) را به عنوان رقم هدایت الکتریکی پایه می‌توان انتخاب کرد.

تهیه نقشه RT تصحیح شده: برای تهیه این نقشه، دو نقشه RT و هدایت الکتریکی آبخوان را با مقیاس یکسان برهم منطبق نموده که از تلاقی این دو منحنی با هم نقاط جدیدی به وجود می‌آید. در این نقاط ارقام RT منحنی عبوری را در ۵۰۰ میکروزیمنس پایه ضرب نموده و حاصل ضرب را بر هدایت الکتریکی آن نقطه تقسیم کرده RT تصحیح شده‌ای به دست می‌آید که با قرار دادن آن در نقطه فوق و با روش واسطه‌یابی منحنی‌های RT تصحیح شده حاصل می‌شود.

۲-۱۰-۲- بسط ضریب قابلیت انتقال به روش لوله‌های جریانی

اگر در یک محدوده مطالعاتی ضرایب قابلیت انتقال محاسبه شده توسط پمپاژ چاه‌ها از دقت زیادی برخوردار و پراکنش آن مناسب باشد و نقشه پیزومتری مربوط به زمانی باشد که تبادلات آبی سفره با محیط خارج خود بسیار کم باشد. می‌توان با استفاده از روش لوله جریانی، ضریب قابلیت انتقال آب را به کل سفره بسط داد.

برای این کار لازم است نقشه پیزومتری (هم‌فشار) آب زیرزمینی و خطوطی که با فواصل مساوی عمود بر منحنی‌های پیزومتری باشد و به شبکه خطوط جریانی موسوم است، ترسیم شود. طبق قانون اصل بقای ماده در این لوله‌ها هر مقدار آبی که وارد شود، همان مقدار از آن باید خارج گردد.

با بسط خطوط جریانی، نهایتاً n شبکه به وجود می‌آید که طول و عرض آنها مساوی است.

طبق رابطه داری جریان Q را در شبکه به شرح زیر می‌توان نوشت:

$$Q_1 = T_1 \frac{h_1 - h_2}{L_1} \cdot l_1 \quad \text{شبکه ۱} \quad (۱۱-۲)$$

$$Q_2 = T_2 \frac{h_2 - h_3}{L_2} \cdot l_2 \quad \text{شبکه ۲} \quad (۱۲-۲)$$

$$Q_n = T_n \frac{h_n - h_{n+1}}{L_n} \cdot l_n \quad \text{شبکه n} \quad (۱۳-۲)$$

۲-۱۰-۳- محاسبه ضریب قابلیت انتقال یا ضریب ذخیره با استفاده از معادله ساده شده هیدروژنولوژی با

بیلان جز به جز

در این روش با معلوم بودن یکی از ضرایب هیدرودینامیکی، دستیابی به دیگر ضریب هیدرودینامیکی سفره آب زیرزمینی آسان است. در این روش دو نقشه پیزومتری، یکی مربوط به حداقل زمانی t و دیگری با اختلاف زمانی $t + \Delta t$ لازم است که با شبکه‌بندی مربعی به ابعاد مساوی a تهیه شود. در این نقشه‌ها تعداد n شبکه به دست می‌آید که

برای مرکز هر شبکه مقدار ارتفاع پیزومتری در زمان t و $t + \Delta t$ معین می‌شود. با معلوم بودن T با استفاده از معادله ساده شده هیدروژئولوژی، ضریب ذخیره S هر شبکه محاسبه می‌گردد.

شبکه مرکزی C با ارتفاع پیزومتری H با شبکه‌های مجاور شمالی N ، شرقی E ، جنوبی S و غربی W به ترتیب با ارتفاع‌های پیزومتری H_N, H_E, H_S, H_W تبادل آبی دارد. طبق قانون دارسی تبادل آبی شبکه مرکزی با شبکه شمالی خود به شرح زیر است.

$$Q_N = T_N \frac{H_N - H_C}{a} \cdot a \quad (14-2)$$

و در جهت شرق عبارتند از:

$$Q_E = T_E \frac{H_E - H_C}{a} \cdot a \quad (15-2)$$

چون ابعاد شبکه‌ها a با فاصله مراکز شبکه‌ها مساوی هستند، معادلات چهار جهتی ساده شده زیر را می‌توان نوشت.

$$\begin{aligned} Q_N &= T_N (H_N - H_C) & Q_S &= T_S (H_S - H_C) \\ Q_E &= T_E (H_E - H_C) & Q_W &= T_W (H_W - H_C) \end{aligned} \quad (16-2)$$

با جمع جبری چهار معادله بالا در یک رژیم ماندگار که عامل تغییر زمان وجود ندارد، مجموع تبادلات آبی شبکه مرکزی و چهار شبکه مجاور آن طبق رابطه زیر معادل صفر می‌شود.

$$T_N (H_N - H_C) + T_E (H_E - H_C) + T_S (H_S - H_C) + T_W (H_W - H_C) = 0 \quad (17-2)$$

ولی در رژیم غیرماندگار برابر تغییر حجم ذخیره ΔV در شبکه مرکزی می‌شود که چنانچه ارتفاع پیزومتری در زمان t برابر H_C باشد، پس از تغییر زمان Δt یعنی در زمان $t + \Delta t$ ، به اندازه ΔH_C تغییر می‌کند. پس تغییر حجم شبکه مرکزی مساوی با $\Delta V = a^2 \cdot S \cdot \Delta H_C$ می‌شود. a^2 سطح شبکه مرکزی و ΔH_C تغییر سطح آب در زمان Δt و S ضریب ذخیره آن شبکه است. معادله بالا را به صورت زیر می‌توان نوشت.

$$[T_N (H_N - H_C) + T_E (H_E - H_C) + T_S (H_S - H_C) + T_W (H_W - H_C)] \Delta t = a^2 \cdot S \cdot \Delta H_C \quad (18-2)$$

با مرتب کردن معادله در صورتی که T در چهار جهت شبکه مرکزی C یکسان باشد از T فاکتور گرفته و رابطه به صورت زیر نوشته می‌شود.

$$T (H_N + H_E + H_S + H_W - 4H_C) = a^2 \cdot S \cdot \frac{\Delta H_C}{\Delta t} \quad (19-2)$$

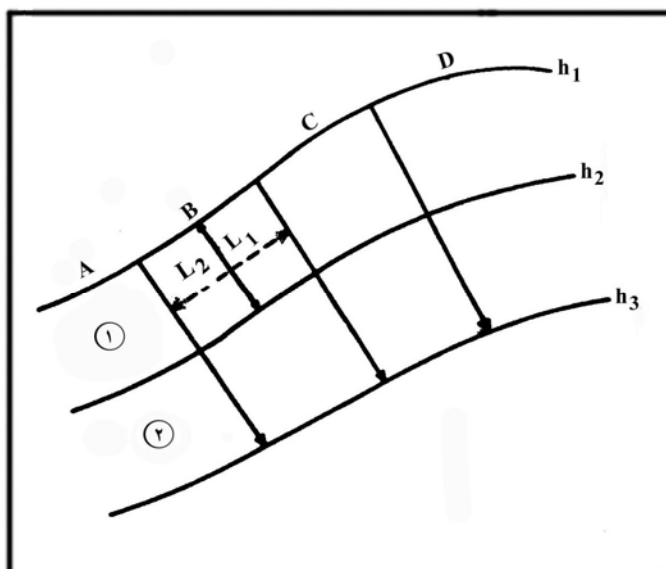
اگر طرفین معادله بر a^2 تقسیم و T به طرف دیگر رابطه برده شود، معادله زیر به دست می‌آید.

$$\frac{H_N + H_E + H_S + H_W - 4H_C}{a^2} = \frac{S}{T} \cdot \frac{\Delta H_C}{\Delta t} \quad (20-2)$$

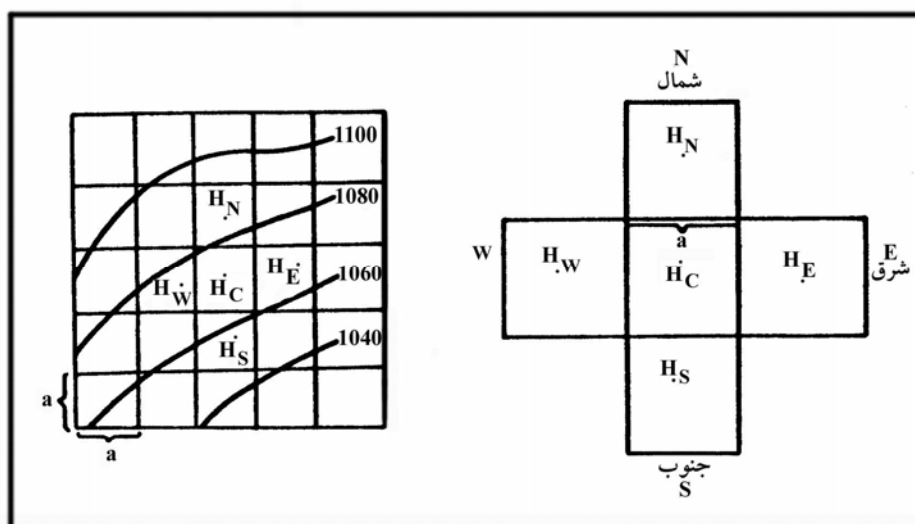
$$\frac{S}{T} = \frac{H_N + H_E + H_S + H_W - 4H_C}{a^2} \cdot \frac{\Delta t}{\Delta H_C}$$

ارتفاع پیزومترهای H_N, H_W, H_S, H_E با استفاده از نقشه پیزومتری زمان t و ΔH_C که حاصل تفاضل پیزومتر H_C در زمان $t + \Delta t$ است، نقشه پیزومتری دیگری با داده $t + \Delta t$ به دست می‌آید.

a^2 مساحت شبکه‌ها و Δt تغییر زمانی است. حال اگر یکی از دو ضریب S یا T مشخص باشد، دیگری قابل محاسبه می‌شود.



شکل ۲-۲- شبکه جریان



شکل ۳-۲- نقشه پیزومتری شبکه‌بندی شده

۲-۱۰-۴- محاسبه S و K به روش دانه‌بندی نمونه خاک چاه‌ها

در این روش، نمونه خاک‌های خارج شده از چاه‌های در دست حفاری، شناسایی و به طریق صحیح جمع‌آوری و به آزمایشگاه مکانیک خاک برده می‌شود. نمونه خاک‌ها پس از خشک شدن در هوا وزن و عمق‌های مربوط یادداشت

می‌شوند. درصد دانه نمونه‌ها با عبور از الک‌های^۱ استاندارد ۲۰۰ - ۱۰۰ - ۲۰ - ۱۰ - ۶ - ۴ و شبکه‌های فلزی $\frac{3}{4}$ - $\frac{3}{8}$ - ۱/۰۰ - ۱/۵ - ۲ - ۳ (اینچ) تعیین شده و منحنی گرانولومتری نمونه خاک‌ها در نمودارهای استاندارد تهیه می‌شود.

- محاسبه و اندازه‌گیری ضریب آبگذری

اگر منحنی دانه‌بندی ماسه به شکل U باشد و ضریب یکنواختی^۲ آن $U < 10$ باشد $UC = \frac{d_{90}}{d_{10}}$ قطر دانه‌ها برحسب میلی‌متر) باشد با استفاده از فرمول هیزن^۳ ضریب آبگذری قابل محاسبه است:

$$K = d_{10}^2 \text{ mm} / \text{s} \quad (21-2)$$

K : ضریب آبگذری ماسه یکدست، برحسب میلی‌متر بر ثانیه

d : قطر دانه‌ها، میلی‌متر

در صورتی که نمونه خاک‌ها یکنواخت نباشد با دستگاه‌های اندازه‌گیری آبگذری^۴ از انواع بار ثابت^۵ و بار متغیر^۶ و بارافتان^۷ ضریب نفوذپذیری آنها اندازه‌گیری می‌شود.

- روش تجربی محاسبه ضریب ذخیره S با روش دانه‌بندی خاک چاه‌ها

در آبخوان‌های آزاد، تخلخل مفید با آبدهی ویژه^۸ و در نتیجه ضریب ذخیره باهم برابرند. پس چنانچه آبدهی ویژه برای گروه‌های خاکی تعیین و در لایه اشباع چاه تعمیر یابد، ضریب ذخیره به دست می‌آید. گروه‌بندی خاک‌ها با قرائت قطر آنها در پایین جدول یا نمودار قابل تشخیص است. اگر آن بخش از نمودار دارای قطری کم‌تر از ۷۵ میکرون (الک ۲۰۰) باشد در گروه سیلت و رس طبقه‌بندی می‌شود و درصد آنها از روی محور عمودی جدول قابل محاسبه است. محاسبه آبدهی ویژه برای برخی انواع رسوبات آبرفتی ایران در جدول (۱-۲) ارائه شده است.

جدول ۲-۳- آبدهی ویژه بعضی از رسوبات

نام گروه	مشخصات رسوب	آبدهی ویژه (درصد)	ضریب نفوذپذیری m/s
C	رس و رس و سیلتی	۰ - ۳	10^{-7}
CS	رس ماسه‌دار	۵	10^{-6}
TS	ماسه ماسه‌دار	۱۰	10^{-5}
GS	شن ماسه‌دار	۱۵	10^{-4}
SG	ماسه همراه با شن	۲۰	10^{-3}
S	ماسه یکدست	۲۸	10^{-1}

- 1- Sieve
- 2- Uniformity Coefficient
- 3- Hazen's Formula
- 4- Permeameter
- 5- Constant Head
- 6- Variable Head
- 7- Falling Head
- 8- Specific Yield

به عنوان مثال اگر چاهی با عمق ۱۵۰ متر حفاری شود و به سنگ کف برخورد کند و در حالتی که سطح ایستابی آن در ۵۰ متری قرار گرفته باشد و در لایه اشباع، $H = 100$ متری آن به ترتیب ۶۰ متر ماسه یکدست شسته شده، ۲۰ متر بعدی آن از نوع GS و بقیه تا بستر غیرقابل نفوذ از گروه CS باشد به ترتیب زیر ضریب ذخیره لایه اشباع صدمتری H به دست می‌آید (جدول شماره ۲-۴).

جدول ۲-۴ - محاسبه ضریب ذخیره

گروه	عمق		آبدهی ویژه	آبدهی ویژه ضرب در درصد
	متر	جز اعشاری		
S	۶۰	۰/۶	۲۸	۱۶/۸۰
GS	۲۰	۰/۲	۱۵	۳/۰۰
CS	۲۰	۰/۲	۵	۰/۱۰
				ضریب ذخیره ۱۹/۹۰

۲-۱۰-۵ - تهیه نقشه‌های هم‌نمای قابلیت انتقال آب و نواحی هم‌ضریب ذخیره

پس از اینکه قابلیت انتقال آب و ضریب ذخیره به تعداد کافی و با پراکندگی مناسب و پوشش لازم برای سفره آب زیرزمینی با روش‌های موردنظر به دست آمد، می‌توان با مشخص کردن مقادیر مربوط در نقاط تعیین شده یا محل چاه‌ها روی نقشه آنها را میان‌یابی نمود و منحنی‌های بالا را توسعه داد و نقشه موردنظر را تهیه کرد.

۲-۱۱ - محاسبه تغییرات حجم ذخیره آب زیرزمینی ΔV

ΔV یا تغییر حجم منبع آب زیرزمینی عبارت است از تفاوت مجموع عوامل تغذیه و تخلیه که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta V = \Delta h \cdot A \cdot S \quad (2-22)$$

Δh : تغییرات میانگین عمق سطح آب زیرزمینی در دوره زمانی بیلان است که از هیدروگراف معرف منتج می‌شود.

A: مساحت محدوده بیلان آب زیرزمینی

S: ضریب ذخیره متوسط آبخوان

هیدروگراف معرف از شبکه‌بندی تیسن نقشه سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای به دست می‌آید. با تعیین مساحت شبکه‌ها و تقسیم آن بر مساحت کل محدوده بیلان ضریب a حاصل می‌شود. حال اگر ارتفاع آب ماهانه هر چاه مشاهده‌ای در ضریب شبکه a ضرب و نتایج با یکدیگر جمع شوند، میانگین سطح آب آبخوان برای آن ماه به دست می‌آید.

با انتقال این مقادیر روی محور عمودی با داده‌های آبی سالانه و اتصال آنها به یکدیگر منحنی هیدروگراف معرف آب زیرزمینی به دست می‌آید.

۲-۱۲- برقراری معادله بیلان آب

پس از محاسبه عوامل مختلف به روش‌های ذکر شده و جایگزینی مقادیر به دست آمده در معادله بیلان موردنظر، بیلان آبی برای دوره زمانی معین مثلاً یک سال معادل ۳۶۵ روز برقرار می‌شود. یادآوری این نکته ضروری است که بیلان، حاصل یک فرآیند آماری است. لذا ضمن کوشش در کاربرد آمار فرآوری شده، باید از منطقه شناخت کامل داشت و چند دوره بازدید صحرایی انجام گیرد و معادله بیلان در چند مرحله تنظیم شود. در مراحل گوناگون با استفاده از روش سعی و خطا عواملی را که دارای تقریب بیش‌تر هستند به تدریج و در حد قابل قبول اصلاح تا نتیجه مناسب به دست آید و نهایی شود. با علم به اینکه اصولاً در دانش آمار هیچ آماری با درجه اطمینان صد در صد وجود ندارد.

فصل ۳

بیان نمک

۳-۱- کلیات

بررسی تبادلات مقدار مواد محلول در چرخه آبی، در یک محدوده که بر اصل بقا ماده تاکید دارد از اهداف بیلان نمک به شمار می‌رود.

براساس این هدف، تمامی نمک‌های محلولی که در یک دوره زمانی معین با آب وارد یک محدوده خاص می‌گردند که یا ذخیره شده و یا همراه آب‌های خروجی از محدوده خارج می‌شوند، بررسی و هماهنگ می‌گردند. اختلاف موجود در کل غلظت نمک‌های محلول، معرف تغییر میزان نمک‌های ذخیره شده آب است.

۳-۲- محدوده بیلان نمک^۱

ناحیه‌ای که اطلاعات پایه بیلان نمک آن گردآوری و معادله بیلان نمک برقرار می‌شود، محدوده بیلان نمک نامیده می‌گردد. این محدوده ممکن است یک حوضه آبریز، یک آبخوان و یا یک واحد کشاورزی باشد.

۳-۳- دوره بیلان نمک^۲

دوره بیلان نمک، به دوره زمانی که در طی آن کلیه عوامل بیلان نمک مورد ارزیابی قرار می‌گیرند، گفته می‌شود. بیلان نمک را برای دوره‌های متفاوت، ماه، فصل، دوره کشت، سال آبی و یا چند سال آبی می‌توان برقرار نمود.

۳-۴- مبانی بیلان نمک

مبانی کلی بیلان نمک را به شکل زیر می‌توان خلاصه نمود.

جدول ۳-۱- مبانی کلی بیلان نمک

عوامل ورودی	عوامل خروجی
نمک حاصل از بارندگی‌ها و تبخیر در سطح محدوده نمک جریان‌های سطحی ورودی به محدوده نمک جریان‌های ورودی زیرزمینی به محدوده نمک جریان‌های انتقالی به محدوده	نمک خروجی توسط رستنی‌ها از محدوده بیلان نمک جریان‌های خروجی سطحی از محدوده نمک جریان‌های خروجی زیرزمینی از محدوده نمک جریان‌های منتقل شده از محدوده

تغییرات مواد محلول در ذخایر آب

1 - Salt Balance Area

2 - Salt Balance Duration

بیلان نمک برای دوره‌های کوتاه‌مدت، ممکن است شرایط ناپایداری را نشان دهد که ناشی از تغییرات اقلیمی و یا فعالیت‌های انسانی باشد و تاثیر آن بر مواد محلول کل ذخایر آبی نامطلوب است. تعادل بین نمک‌های ورودی و خروجی و یا کاهش نمک‌های ذخیره شده آبی در پایداری کیفی یک منطقه بسیار سودمند خواهد بود.

۳-۴-۱- مبانی بیلان نمک آب زیرزمینی

بیلان نمک آب زیرزمینی شکل خاصی از بیلان عمومی نمک آب است که در آن کلیه نمک‌های محلول آب ورودی و خروجی و همچنین تغییرات ذخیره مواد محلول منابع آب زیرزمینی، در یک آبخوان به ویژه آبخوان آزاد مورد بررسی قرار می‌گیرند. محاسبه عوامل بیلان نمک آب زیرزمینی پیچیده است. در بیلان نمک آب زیرزمینی باید کلیه اجزا نمک‌های ورودی و خروجی بررسی و با یکدیگر هماهنگ گردد به طوری که اختلاف موجود در تغییر مواد محلول کل ذخایر آب زیرزمینی قابل توجیه باشد.

در صورتی که وضعیت غیرتعادلی بیلان نمک آب زیرزمینی به سوی کاهش کل مواد محلول ذخایر آب زیرزمینی میل می‌نماید شرایط مطلوب است. (جدول ۳-۲)

جدول ۳-۲- مبانی محاسباتی بیلان نمک آب زیرزمینی

عوامل ورودی	عوامل خروجی
نمک نفوذی بارندگی و تبخیر در سطح محدوده نمک آب‌شویی شده از راه تغذیه طبیعی آبخوان نمک آب‌شویی شده به آبخوان از طریق پخش سیلاب و آبیاری نمک آب زیرزمینی ورودی	نمک جذب شده توسط ریشه گیاهان نمک خروجی همراه تخلیه طبیعی آبخوان نمک خروجی از آبخوان همراه تخلیه مصنوعی مانند پمپاژ و زهکش‌های مصنوعی نمک خارج شده توسط جریان آب زیرزمینی خروجی

تغییرات ذخیره نمک آب زیرزمینی

۳-۴-۲- مبانی محاسباتی نمک در واحدهای کشاورزی

در واحدهای کشاورزی اهمیت تهیه بیلان نمک از دقت محاسبه آن بیش‌تر است زیرا بیلان نمک، میزان آب‌شویی و زهکشی را در آماده‌سازی زمین برای کشت‌های بعدی تعیین می‌نماید.
مبانی محاسباتی بیلان نمک در واحدهای کشاورزی به صورت زیر است.

جدول ۳-۳- مبانی محاسباتی بیلان نمک در واحدهای کشاورزی

اجزا نمک‌های ورودی	اجزا نمک‌های خروجی
نمک بارندگی و تبخیر نمک آب آبیاری و پخش سیلاب نمک کودهای شیمیایی و آلی نمک مواد اصلاحی خاک	نمک جذب شده توسط گیاهان نمک آب‌شویی شده به آبخوان نمک خارج شده توسط زهکش‌های سطحی و زیرزمینی مصنوعی نمک خارج شده از خروجی‌های طبیعی واحد

۳-۵- آمار و اطلاعات کیفی پایه بیلان نمک

آمار و اطلاعات کیفی اساس و رکن اصلی محاسبه بیلان نمک است. آمار کیفی باید مشخص کننده محدوده از نظر کیفی در رابطه با شرایط آب و هوایی و زمین شناسی باشد.

۳-۵-۱- آمار و اطلاعات کیفی هواشناسی

آمار و اطلاعات کیفی مورد نیاز که بر حسب ضرورت می تواند به صورت روزانه، میانگین ماهانه و سالانه باشد، شامل: نمک آب باران، نمک حاصل از تبخیر، دما، سرعت وزش باد و میزان رطوبت برای محاسبه بیلان رطوبت است. اندازه گیری نمک باران هم زمان با ریزش جوی و اندازه گیری مقدار آن صورت می گیرد، در مقادیر کم تر از یک میلی متر از روش سنجش هدایت الکتریکی آب باران استفاده می شود در حجم های زیاد از روش اندازه گیری وزنی نمک به جای مانده از تبخیر یا TDS استفاده می شود.

۳-۵-۲- آمار کیفی رواناب های سطحی

این آمار مشتمل بر اندازه گیری هم زمان بده، سنجش هدایت الکتریکی و یا TDS (باقی مانده خشک) در ایستگاه هیدرومتری (آب سنجی) رودخانه ها، نهرها، چشمه ها، دریاچه ها و آب بندان ها است. اندازه گیری این آمار در منطقه ورودی و خروجی دشت ها برای تعیین بیلان نمک بسیار مهم است.

۳-۵-۳- آمار کیفی آب زیرزمینی

۳-۵-۳-۱- شبکه چاه های مشاهده ای کیفی

توزیع شبکه چاه های مشاهده ای کیفی در سفره آزاد: در محدوده بیلان آب زیرزمینی وجود شبکه چاه های مشاهده ای کیفی با پراکندگی مناسب ضروری است که بر اساس تراکم منابع بهره برداری آب، وجود رودخانه ها و زهکش ها، مناطق تبخیری و عوامل زمین ساختی که موجب تغییرات موضعی نمک در آبخوان می شود، باید انتخاب و تکمیل گردد. این شبکه ممکن است شامل منابع مورد بهره برداری نیز باشد. در صورت فقدان این قبیل چاه ها باید اقدام به حفاری شود. برای آگاهی از تغییرات غلظت مواد محلول آب زیرزمینی در سفره های سطحی و عمیق باید دو حلقه چاه مشاهده ای کیفی به شیوه ای حفر و لوله گذاری گردد که فقط قسمت انتهایی به عمق ۵۰ سانتی متر مشبک باشد. در حین حفاری چاه اول که معرف سفره سطحی است پس از قرار گرفتن قسمت مشبک در زیر سطح آب خاتمه می یابد، ولی در چاه مشاهده ای کیفی مجاور، کار حفاری تا رسیدن به نزدیکی بستر غیر قابل نفوذ آبخوان ادامه می یابد.

پراکندگی عمومی شبکه چاه‌های مشاهده‌ای کیفی: به‌طور متوسط در هر ۲۵ کیلومتر مربع یک حلقه پیشنهاد می‌شود، به‌طوری‌که معرف کیفی آب زیرزمینی در آن ناحیه باشد. برحسب مورد تغییر تراکمی ممکن است پدید آید که تراکم آن به‌شرح زیر توصیه می‌شود:

تراکم زیاد:

- در اطراف رودخانه‌ها و زهکش‌های طبیعی برای دستیابی به چگونگی تبادلات آبی
- در مناطقی که نوسانات سطح آب زیرزمینی، تابع عوامل زمین‌شناسی و زمین‌ساختی باشد.
- در نواحی تبخیری و مناطقی که بهره‌برداری سنگین است.

تراکم کم:

در نقاطی که تعداد چاه‌های بهره‌برداری کم و عمق سطح آب پایین باشد و نیز نوسانات سطح آب زیرزمینی آزاد تقریباً یکنواخت باشد. می‌توان به ازای هر ۵۰ کیلومتر مربع یک حلقه چاه مشاهده‌ای در نظر گرفت.

۳-۵-۳-۲- دوره نمونه‌برداری کیفی مورد لزوم بیلان نمک

به‌طور کلی، هرچه تعداد نمونه‌های برداشتی از چاه‌های مشاهده‌ای زیادتر و فواصل نمونه‌برداری کوتاه‌تر باشد، دقت نتایج محاسباتی بیش‌تر است.

دوره نمونه‌برداری در سال نخست، ماهانه است تا از تغییرات غلظت املاح در طی یک سال آبی و الگوی آن اطلاع حاصل شود.

برای اینکه از منابع تاثیرگذار بر کیفیت آب زیرزمینی و تبادلات نمک اطلاعات کاملی به دست آید، ضروری است که به‌طور هم‌زمان در دوره نمونه‌برداری از آب رودخانه‌ها، چشمه‌های مجاور، زهکش‌ها و جویچه‌های انتقال^۱ آب و همچنین از عصاره^۲ خاک نمونه کافی برداشت شود.

۳-۵-۳-۳- نمونه‌برداری آب مصرفی زراعی، صنعتی و شرب

برای تعیین میزان نمک‌آب‌های برگشتی آبیاری و سایر مصارف به آبخوان باید به تفکیک از آب‌های زراعی، صنعتی و شرب نمونه‌برداری گردد.

۳-۶- نقشه‌های موردنیاز بیلان نمک

برای تهیه بیلان نمک یک محدوده، نقشه‌های زیر مورد نیاز است:

- تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی، نقشه زمین‌شناسی منطقه

- نقشه‌ها و مقاطع ژئوفیزیک، برای بررسی تغذیه‌های جانبی، تغذیه از کف، چشمه‌های کف‌جوش و غیره
- نقشه ایزوپیز (هم‌فشار) آب زیرزمینی برای مشخص کردن نقاط ورودی و خروجی، گرادیان هیدرولیکی برای تعیین جریان آب زیرزمینی
- نقشه هم‌عمق سطح آب زیرزمینی برای مشخص نمودن نواحی و محدوده‌های تبخیری
- نقشه هم‌نمای قابلیت انتقال و ضریب ذخیره آب زیرزمینی برای تعیین تغییر حجم مخزن و سایر محاسبات
- نقشه خطوط هم‌کلراید آب زیرزمینی برای مشخص کردن تحولات کیفی، جهت جریان آب زیرزمینی و سایر مسایل هیدروژئولوژی (زمین‌شناسی آب)
- نقشه خطوط هم TDS آب زیرزمینی برای بررسی توزیع مکانی نمک در آب زیرزمینی و مشخص کردن محدوده بیان نمک
- نقشه‌های تیپ آب و رخساره‌های هیدروژئوشیمیایی برای بررسی جبهه‌های تغذیه‌ای و نقاط و نواحی مختلف هم ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی
- نقشه گروه‌بندی آب زیرزمینی از نظر آبیاری برای بررسی نقاط تعیین شده آب‌های زیرزمینی مناسب آبیاری و نواحی بحرانی

۳-۷- اطلاعات کیفی مورد نیاز بیان نمک

بیان نمک، مقدار مواد محلول حاصل از واکنش‌های شیمیایی و فیزیکی چرخه آبی را بررسی می‌کند و تاثیرات مختلف هوا، آب، خاک و منشا آنها را روشن می‌نماید.

۳-۷-۱- لایه هوا^۱

درصد حجمی میانگین گازهای اصلی تشکیل دهنده هوا در شرایط متعارف در جدول (۳-۴) ارائه شده است: گازهای فوق، ترکیب اصلی هوا را شامل می‌شوند، ولی به‌طور موضعی مواد و گازهای دیگری مانند: آمونیاک، گازهای ناشی از سوخت‌های فسیلی و نیز گازهای متصاعد از پدیده‌های آتشفشانی و ژئوترمال به هوا اضافه می‌گردند. هرچند که مقدار گازهای CO₂ و H₂ در هوا بسیار کم است و حدود ۰/۰۳ درصد از حجم آن را شامل می‌گردد ولی تاثیر بسیار مهمی در کاهش pH آب باران و بالابردن حلالیت آن برای حل کردن سازندها به ویژه سازندهای کربناتی دارد.

۳-۷-۲- لایه سطحی زمین^۱

لایه سطحی زمین یا لایه خاک، در نتیجه فرسایش سازندهای ارتفاعات مشرف بر دشت‌ها به وجود می‌آید. این لایه از دانه‌های منفصل، اغلب سیلیسی و متخلخل تشکیل می‌شود و با کم‌شدن شیب دشت‌ها قطر دانه‌ها کم می‌شود. ریزش‌های جوی و رواناب‌های سطحی با ورود به این لایه شروع به حل مواد معدنی خاک‌ها می‌نمایند و با حرکت به طرف مبادی خروجی به علت دخالت عامل تبخیر و فعالیت‌های انسانی بر میزان نمک این آب‌ها افزوده می‌شود.

۳-۷-۳- لایه تهویه^۲

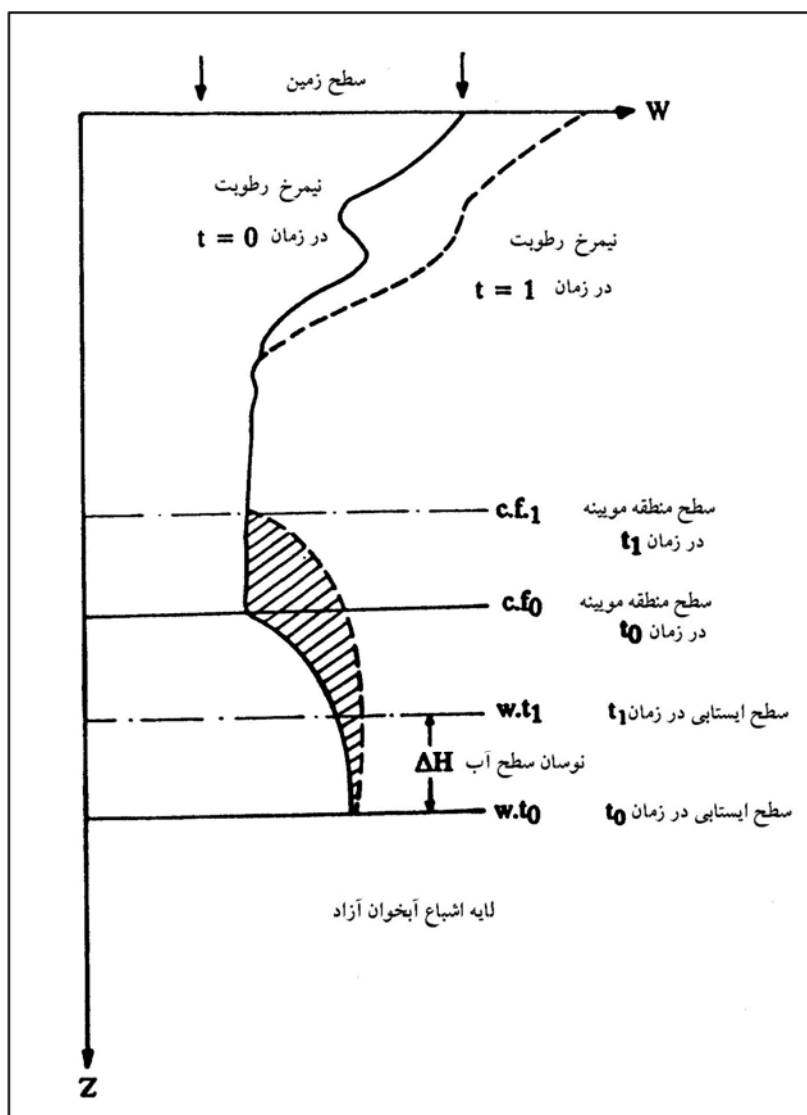
این لایه بین سطح زمین و سطح آب زیرزمینی آزاد قرار دارد (شکل ۳-۱) و ذرات خاک آن از دانه‌های متنوع، اغلب سیلیسی و متخلخل تشکیل شده که بستگی به دوره‌های سیلابی دارند. مقدار نمک این لایه بر اثر بارندگی، نفوذ و آب‌شویی ممکن است، کم شود و یا به علت درجه حرارت محیط، تبخیر و نوسانات سطح آب زیرزمینی در حالت‌های مایع یا جامد زیاد شود.

جدول ۳-۴- درصد حجمی گازهای اصلی تشکیل‌دهنده هوا در شرایط متعارف

گاز	علامت اختصاری	درصد حجمی
نیتروژن	N ₂	۷۸
اکسیژن	O ₂	۲۰/۹
آرگون	Ar	۰/۹۳
آب	H ₂ O	۰/۱ - ۲/۸
کربن دی‌اکسید	CO ₂	۰/۰۳
نئون	Ne	۱/۸ × ۱۰ ^{-۳}
هلیوم	He	۵/۲ × ۱۰ ^{-۴}
متان	CH ₄	۱/۵ × ۱۰ ^{-۴}
کریپتون	Kr	۱/۱ × ۱۰ ^{-۴}
کربن منواکسید	CO	۰/۰۶ - ۱ × ۱۰ ^{-۴}
دی‌اکسید گوگرد	SO ₂	۱ × ۱۰ ^{-۴}
دی‌ازت منواکسیژن	N ₂ O	۵ × ۱۰ ^{-۵}
هیدروژن	H ₂	~ ۵ × ۱۰ ^{-۵}
اوزون	O ₃	(۰/۱ - ۱) × ۱۰ ^{-۵}
گزنون	Xe	۸/۷ × ۱۰ ^{-۶}
دی‌اکسید ازن	NO ₂	(۰/۰۵ - ۲) × ۱۰ ^{-۶}

1- Soil Zone

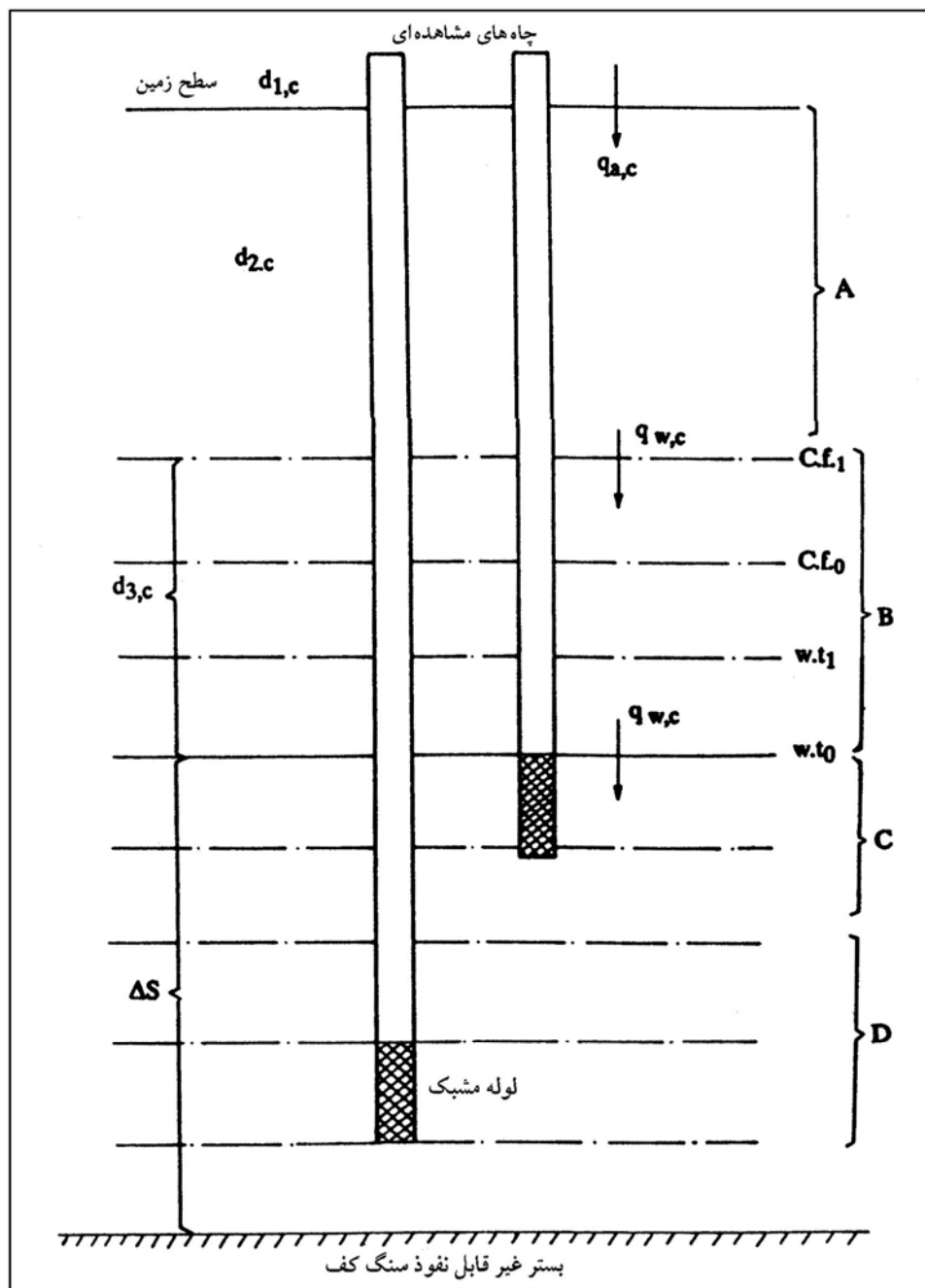
2- Aeration Zone



شکل ۳-۱- نیمرخ عمودی لایه تهویه (لایه هواگیر) و پراکنش رطوبت در آن

۳-۷-۴- لایه اشباع^۱ و تغییر غلظت مواد محلول آن

این لایه حجمی از آب زیرزمینی است که از طرف بالا در تماس با هوا و قسمت پایین آن مجاور بستر غیر قابل نفوذ است (شکل ۳-۲).



شکل ۳-۲- عوامل بیلان نمک در زیر ناحیه‌های چهارگانه‌ای اختیاری از سطح زمین تا سنگ کف یک آبخوان آزاد

- سطح بالایی لایه اشباع C
- زیرناحیه تهویه A
- قسمت تحتانی لایه اشباع D
- زیرناحیه تهویه B
- تغییرات ذخیره آب ΔS

تغییر غلظت مواد محلول و لایه اشباع آب زیرزمینی اساساً بر اثر دو عامل شرایط آب و هوایی و زمین‌شناسی صورت می‌گیرد. پدیده‌هایی همچون: معدنی شدن^۱، تبادل بازی^۲، اکسایش گوگرد، کاهش سولفات^۳، اشباع کلسیم کربنات، اشباع کلسیم سولفات، مواد محلول را کم یا زیاد می‌کنند و باعث تغییر ترکیب شیمیایی آب زیرزمین می‌شوند. این فرآیندها بر اصل بقای ماده استوار است و طبق قانون دارسی و قوانین فیک^۴ پیگیری و بر اساس پدیده انتشار^۵ و پراکنش^۶ در حجم سفره آب منتشر شده و توزیع مکانی یونها را سبب می‌شود.

درجه معدنی شدن تابع حل شدن مواد معدنی در آب است و عوامل موثر آن عبارتند از: دما، فشار، سطح تماس، حجم آب، زمان، اشباع نمک و کمبود نمک در دسترس آب.

یون‌های عمده آب شامل: کلسیم، منیزیم، سدیم، کلراید، سولفات، بیکربنات و کربنات است. هرچند ممکن است یونها و عناصر دیگری مانند: بر، نیترات، فلئور، ید، آهن و فلزات سنگین در آب یافت گردند که غلظت آنها بسیار کم و ناچیز است چنانچه مقادیر آنها در آب زیاد شود موضوع و علل پیدایش آنها باید بررسی گردد. در بررسی تغییر غلظت مواد محلول آب‌های زیرزمینی باید مقادیر حلالیت، یون‌های تشکیل‌دهنده نمک‌ها و همچنین نیروی یونی آنها محاسبه و تعمیم داده شود.

مواد معدنی اصلی موجود در سازندها که قابلیت انحلال دارند، کلسیم کربنات، کلسیم سولفات، منیزیم کربنات و سدیم کلرایدها هستند. سایر نمک‌ها به مقدار کم، موضعی و به طور استثنایی ممکن است در سازند معینی موجود باشند. اشباع کلسیم کربنات‌ها پایین است و خیلی زود به حد اشباع می‌رسند و از حالت مایع به حالت جامد تبدیل می‌شوند. در مرحله بعدی اشباع کلسیم سولفات‌ها مورد توجه است. در اشباع کلسیم سولفات‌ها عواملی مانند: دما، نیروی یونی و غلظت سدیم کلراید بسیار موثرند. کلسیم سولفات درحالی‌که غلظت سدیم کلراید صفر باشد با ۱/۲ گرم کلسیم سولفات به حد اشباع می‌رسد ولی زمانی که غلظت سدیم کلراید مجاور به ۱۴۶ گرم بر لیتر برسد، حد اشباع کلسیم سولفات تا ۲/۷ گرم بر لیتر افزایش می‌یابد. هنگامی که کلسیم سولفات به اشباع رسیده باشد، حلالیت کلرایدها ادامه دارد تا به مرحله پایانی خود نزدیک شود. این فرآیندها حد معینی ندارد و زمانی که تعادل شیمیایی و فیزیکی خاصی بین آب و سازند برقرار شد، شدت آن کاهش می‌یابد.

$r\text{HCO}_3^- > r\text{SO}_4^{2-} > r\text{Cl}^-$ مرحله اول

$r\text{HCO}_3^- > r\text{Cl}^- > r\text{SO}_4^{2-}$ یا

$r\text{SO}_4^{2-} > r\text{Cl}^- > r\text{HCO}_3^-$ مرحله دوم

$r\text{Cl}^- > r\text{SO}_4^{2-} > r\text{HCO}_3^-$ یا

- 1- Mineralization
- 2- Base Exchange
- 3- Sulphat Reduction
- 4- Fick's Laws
- 5- Diffusion
- 6- Dis

مرحله نهایی $rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^-$

غلظت نمک‌های محلول آب در حد بین مرحله نخست و مرحله دوم ۶۰ میلی اکی‌والان بر لیتر و غلظت نمک‌های آب در مرحله دوم تا مرحله نهایی بین ۱۸۰-۲۹۰ میلی اکی‌والان بر لیتر است و بستگی به نوع و وزن مخصوص سازند، غلظت سدیم کلراید آب و تخلخل مفید خاک دارد.

تواتر یونی کاتیون‌ها در شروع مرحله نخست به صورت زیر است:

$$rCa^{++} > rMg^{++} > rNa^+$$

و آنگاه تواترهای کاتیونی زیر در مراحل بعدی برقرار است:

$$rCa^{++} > rMg^{++} > rNa^+$$

$$rMg^{++} > rCa^{++} > rNa^+$$

$$rNa^+ > rMg^{++} > rCa^{++}$$

در مرحله نهایی سرعت انحلال، تابع فاصله طی شده و غلظت کلر است. اگر غلظت کلراید آب را C و مسافتی که طی آن غلظت کلراید به غلظت ماکزیمم خود نزدیک می‌شود X فرض شود، بین این دو یک معادله نمایی^۱ برقرار می‌شود و در یک سازند آب‌شویی نشده رابطه به شکل زیر است:

$$\frac{dc}{dt} = a(C_m - C) \quad (۱-۳)$$

Dc: تغییر غلظت

C: غلظت ابتدایی کلراید

C_m: غلظت ماکزیمم کلراید در فاصله مکانی X

dt: دوره زمانی

a: فاکتور انحلال

حال چنانکه سرعت جریان آب ثابت باشد، روابط زیر را می‌توان نوشت.

$$V = \frac{dx}{dt}$$

$$\frac{dc}{C_m - C} = \frac{a}{V} dx \quad (۲-۳)$$

$$\log \frac{C_m - C}{C_m - C_0} = \frac{-a}{V} (X - X_0)$$

در صورتی که تبخیر دخالت داشته باشد و بده آب زیرزمینی q_۰ و لایه اشباع H به فاصله F فرض شود.

$$dq = -(e - p)Fdx \quad (۳-۳)$$

e: میزان تبخیر

p: میزان بارش

$$q = q_0 - (e - p)Fx \quad (۴-۳)$$

$$X: q = -KhF \frac{dh}{dx} \quad \text{در فاصله } X$$

$$q^2 = q_0^2 - K(e - p)F^2(H^2 - h^2)$$

$$(e - p)X^2 - 2q_0 \frac{X}{F} + K(H^2 - h^2) = 0 \quad (۵-۳)$$

۳-۷-۵- مواد افزودنی به خاک^۱

مواد افزودنی به خاک، مواد شیمیایی را شامل می‌گردد که در کشاورزی برای بهبود عملیات کشت و افزایش عملکرد در واحد سطح به کار می‌رود. این مواد عبارتند از:

- مواد اصلاحی خاک: این مواد عبارتند از سولفوریک اسید، گوگرد، کلسیم کربنات و کلسیم سولفات که در برنامه‌ریزی برای اصلاح خاک‌های شور و قلیایی و تغییر خواص فیزیکی خاک و افزایش نفوذپذیری از آنها استفاده می‌شود.

- کودها: کودها مواد مغذی مورد نیاز گیاهان هستند و دو دسته عمده کودهای حیوانی و کودهای شیمیایی را شامل می‌شود. کودهای شیمیایی از سه گروه اصلی کودهای نیتروژن، فسفاتی و پتاسیم تشکیل شده‌اند که به آنها N.P.K می‌گویند.

- نیتروژن سبب رشد گیاهان و فسفات‌ها باعث مرغوبیت محصول می‌شود و نیز پتاسیم نقش واکنش‌دهنده دارد، پتاسیم درصد قند در چغندر قند را افزایش می‌دهد و پود پنبه را در غوزه آن زیاد می‌نماید. سایر کودهای شیمیایی مانند کود آهن و غیره تخصصی‌اند.

- علف‌کش‌ها، آفت‌کش‌ها و سموم گیاهی

- میزان مواد افزودنی به خاک در هر دوره کشت برای محاسبه بیلان نمک باید در دست باشد.

۳-۸- روش‌های اندازه‌گیری نمک

بیلان نمک از دو رکن اساسی، حجم جریان‌های آبی Q و غلظت نمک آنها C تشکیل می‌شود. در بخش نخست به‌طور اختصار به مورد اول اشاره شد. در این بخش دو روش محاسبه و تعیین مقدار نمک‌های محلول آب کاربردی به شرح زیر مورد بحث قرار گرفته است.

۳-۸-۱- اندازه‌گیری وزنی میزان نمک آب TDS

باقی مانده خشک به نمک‌های محلول موجود در آب TDS گفته می‌شود و کاربرد واژه‌هایی مانند شوری به این مناسبت است و همیشه مقدار املاح یا نمک موجود در آب را مشخص می‌نماید. برای اندازه‌گیری نمک آب، پس از جداسازی مواد معلق موجود احتمالی عبور دادن آب از کاغذ صافی یا پشم شیشه، حجم معینی از آن را در یک کپسول پلاستیکی یا چینی وزن شده وارد می‌کنند به ملایمت در حرارت نزدیک به ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد آب آن را تبخیر کرده پس از یک ساعت نگهداری در حرارت ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد کپسول را دوباره وزن می‌کنند و از رابطه زیر مقدار نمک آب بر حسب گرم بر لیتر محاسبه می‌شود.

$$C = \frac{(A-B) \times 1000}{V} \quad (۳-۶)$$

C: غلظت نمک آب بر حسب گرم بر لیتر
A: وزن کپسول و نمک محتوی آب بر حسب گرم
B: وزن کپسول خالی بر حسب گرم
V: حجم آب به کار رفته بر حسب میلی‌لیتر

۳-۸-۲- تعیین مقدار نمک آب با اندازه‌گیری هدایت الکتریکی^۱

هدایت الکتریکی به توانایی مواد در عبور جریان الکتریسته گفته می‌شود. هدایت الکتریکی ویژه آب عبارت است از: هدایت جریان برق در حجم واحدی از آب در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. هدایت الکتریکی آب با مقاومت الکتریکی آن نسبت معکوس دارد مطابق قانون اهم از رابطه ۳-۷ قابل محاسبه است.

$$EC \times 10^6 \text{ در } ۲۵^\circ C = \frac{1}{R_t} \times K \times f_t \quad (۳-۷)$$

$EC \times 10^6$: هدایت الکتریکی بر حسب میکروزیمنس بر سانتی‌متر در $25^\circ C$

R_t : مقاومت نمونه در t درجه سانتی‌گراد

K: ضریب سل (ثابت الکترو)

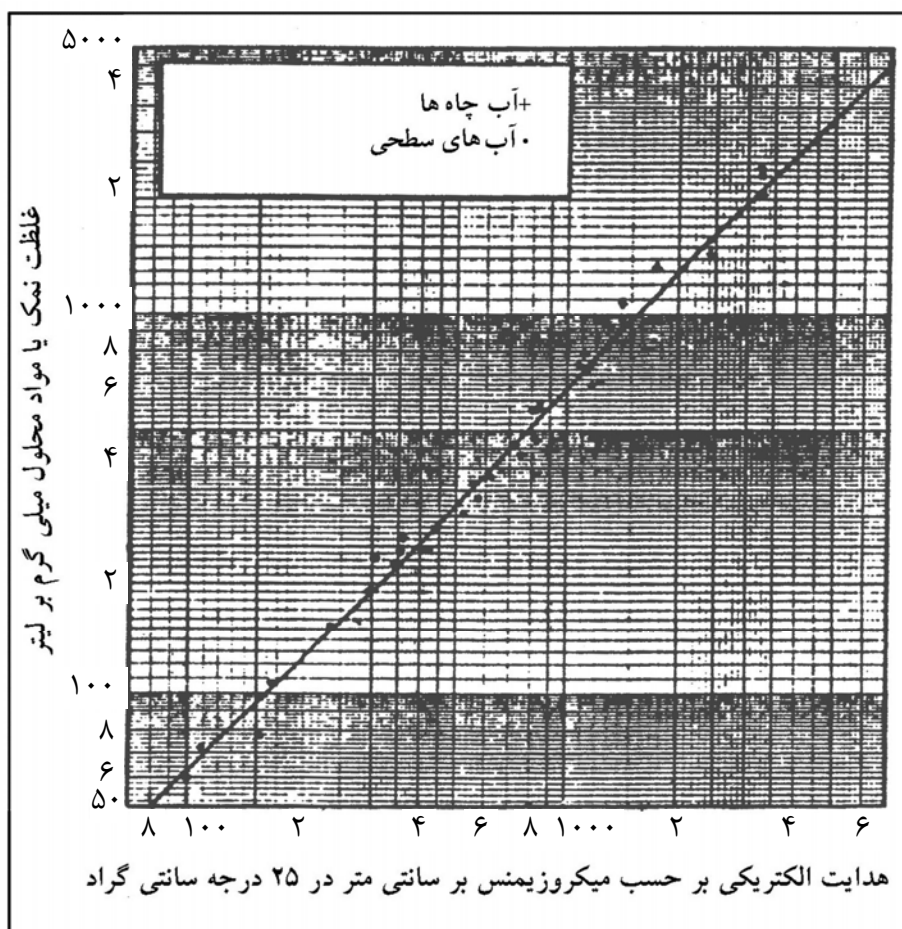
f_t : فاکتور تبدیل هدایت ویژه از دما محلول در موقع اندازه‌گیری به ۲۵ درجه حرارت محیط

بدین منظور دستگاه‌های دیجیتالی مختلفی به بازار عرضه شده‌اند که دارای دو الکتروود برای سنجش هدایت الکتریکی آب‌های شور و شیرین و یک حس‌گر برای اندازه‌گیری درجه حرارت آب است.

در نمودار نسبت غلظت مواد محلول بر حسب میلی گرم بر لیتر و هدایت الکتریکی آب‌ها نشان داده شده است و به آسانی می‌توان هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شده بر حسب میکروزیمنس بر سانتی‌متر را به غلظت مواد محلول تبدیل و برآورد نمود (شکل ۳-۳):

$$KA = S \quad (۸-۳)$$

K هدایت الکتریکی، S کل مواد محلول آب و A ضریب تبدیل است. تغییرات A بین (۰/۹۸ - ۰/۵۴) است، ولی در عمل (۰/۷۵ - ۰/۵۷) استفاده می‌شود.



شکل ۳-۳- نمودار نسبت غلظت مواد محلول و هدایت الکتریکی آب‌ها

۳-۹- تحلیل داده‌ها

تحلیل داده‌ها از نظر آماری شامل: میانگین‌گیری، تهیه نمودارهای همبستگی و نمودارهای مقایسه‌ای است. از رابطه حسابی (۳-۹) میانگین اندازه‌گیری‌ها از مجموع متغیرها به دست آورده می‌شود.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (۹-۳)$$

\bar{X} : میانگین حسابی غلظت مواد محلول

n: تعداد نمونه‌های مشاهده‌ای

X_i : غلظت متوسط مواد محلول در طی دوره زمانی معین

میانگین وزنی به ازای حجم جریان آب از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i q_i}{\sum_{i=1}^n q_i} \quad (10-3)$$

۳-۱۰- گزینۀ واحدها

واحدهای گزینۀ شده غلظت املاح، تن بر هکتار در سامانه متریک است و با علامت Metric-ton/ha نمایش داده می‌شود.

ton: تن معادل هزار کیلوگرم

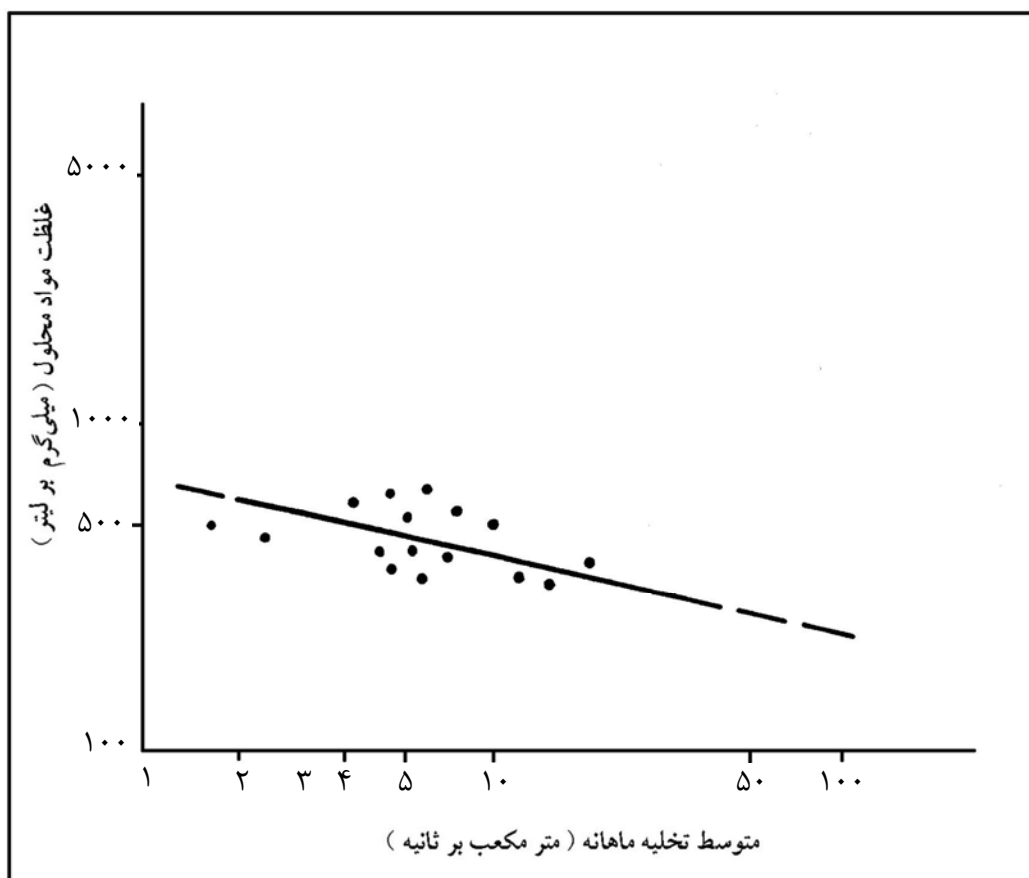
ha: هکتار

۳-۱۱- عوامل بیلان نمک

۳-۱۱-۱- عوامل بیلان نمک در لایه سطحی^۱ زمین (خاک)

غلظت املاح محلول رواناب‌های سطحی در یک سامانه آب‌شناسی پویا با عوامل مستقیم چندی بستگی دارد که مهم‌ترین آنها بارندگی‌های مستقیم، غیرمستقیم و جنس سنگ بستر رودخانه‌هاست. سنگ‌های آذرین، دگرگونی و کربناتی نقش زیادی در ازدیاد املاح محلول آب رودخانه‌ها ندارند ولی سازندهای گچی و نمکی تاثیر زیادی دارند. عوامل بعدی میانگین دما آب و هوای محیط اطراف رواناب‌ها و نیز طرح‌های زهکشی هستند.

به‌طور کلی غلظت املاح محلول آب‌های سطحی دائمی با مقدار آبدهی آنها نسبت معکوس دارد. بنابراین برای پیش‌بینی میزان املاح محلول و ارتباط آن با تخلیه لحظه‌ای در یک ایستگاه آب‌سنجی لازم است در یک کاغذ لگاریتمی log-log میزان تخلیه لحظه‌ای در یک نقطه اندازه‌گیری و بالادست آن را روی محور X و غلظت نمک‌های محلول را روی محور Y پیاده و همبستگی خطی مربوط را رسم نمود شکل (۳-۴).



شکل ۳-۴- نمودار همبستگی تخلیه ماهانه یک نقطه اندازه‌گیری رودخانه فرضی و تغییرات نمک آن

ساده‌ترین شکل رقیق شدن آب به فرض اینکه میزان نمک در جریان بالادست ثابت و سایر عوامل مشترک باشد و شاخه‌های فرعی موثر وجود نداشته باشد از رابطه ۳-۱۱ برآورد می‌شود.

$$C_1Q_1 + C_2Q_2 - C_3(Q_1 + Q_2) = 0 \quad (۳-۱۱)$$

که در آن:

C_1 : غلظت املاح محلول رواناب‌ها قبل از رقیق شدن

Q_1 : حجم جریان آب قبل از رقیق شدن

C_2 : غلظت املاح آب رقیق شده

Q_2 : حجم جریان آب رقیق شده

C_3 : غلظت نهایی املاح

سه جز معادله بار املاح محلول^۱ در جریان‌های ورودی و خروجی بیلان اگر $C_2 = 0$ باشد، در این صورت C_2Q_2 صفر شده و C_3 از معادله ۳-۱۲ به دست می‌آید.

$$C_3 = \frac{C_1 Q_1}{Q_1 + Q_2} \quad (۱۲-۳)$$

اگر $C_1 Q_1$ ثابت باشد آن را با W_1 نشان داده و با لگاریتم‌گیری به صورت رابطه ۲-۱۳ در می‌آید.

$$\text{Log } C_3 = \text{log } W_1 - \text{log } (Q_1 + Q_2) = \text{log} \left(\frac{W_1}{Q_1 + Q_2} \right) \quad (۱۳-۳)$$

در این صورت همبستگی خطی با شیب $1/5$ است (شکل ۳-۴).

چنانچه C_2 مساوی صفر نباشد رابطه ۳-۱۴ برقرار می‌شود.

$$C_3 = \left(\frac{W_1 + C_2 Q_2}{Q_1 + Q_2} \right) \quad (۱۴-۳)$$

که نمودار همبستگی آن به صورت منحنی است و با شکل معادله قبلی متفاوت خواهد بود.

این روند اطلاعات زیادی نیاز داشته و بسیار پیچیده است و باید شرایط مختلفی امتحان شود تا نتیجه مطلوب به دست آید. برای برآورد نمک‌های محلول رواناب‌های سطحی در نقاط ورودی و خروجی، اجزا معادله بیلان و نیز محدوده بیلان به بخش‌های کوچک‌تر قابل اندازه‌گیری، ارزیابی و تقریب گرفتن تقسیم شده و آنگاه داده‌های به دست آمده به کل نواحی بسط داده شود. نمونه‌گیری عصاره خاک و تعیین میزان نمک در اعماق مختلف (حدود ۵ تا ۲۵ الی ۵۰ سانتی‌متری) با توجه به شرایط محلی انجام می‌گیرد.

بیلان نمک در سطح زمین، با فرض اینکه وزش باد تاثیری در کاهش و یا افزایش نمک نداشته باشد، به صورت رابطه ۳-۱۵ است:

$$d_{1,c} = n_c + y_{1,c} - y_{2,c} - q_{a,c} \quad (۱۵-۳)$$

$d_{1,c}$: تغییر میزان نمک سطح زمین در محدوده و دوره بیلان (Δt)

n_c : میزان نمک ناشی از بارندگی بر سطح محدوده بیلان

$y_{1,c}$: مقدار نمک‌های رسوب کرده توسط جریان‌های سطحی

$y_{2,c}$: مقدار نمک‌هایی که توسط جریان‌های سطحی خروجی از محدوده خارج می‌شود.

$q_{a,c}$: مقدار نمک‌های نفوذ یافته به لایه تهویه، به وسیله ریزش‌های جوی

چنانچه ذرات نمک جامد به زمین اضافه یا کم شده باشند، در رابطه بالا با علامت مثبت (+) یا منفی (-) وارد می‌گردد.

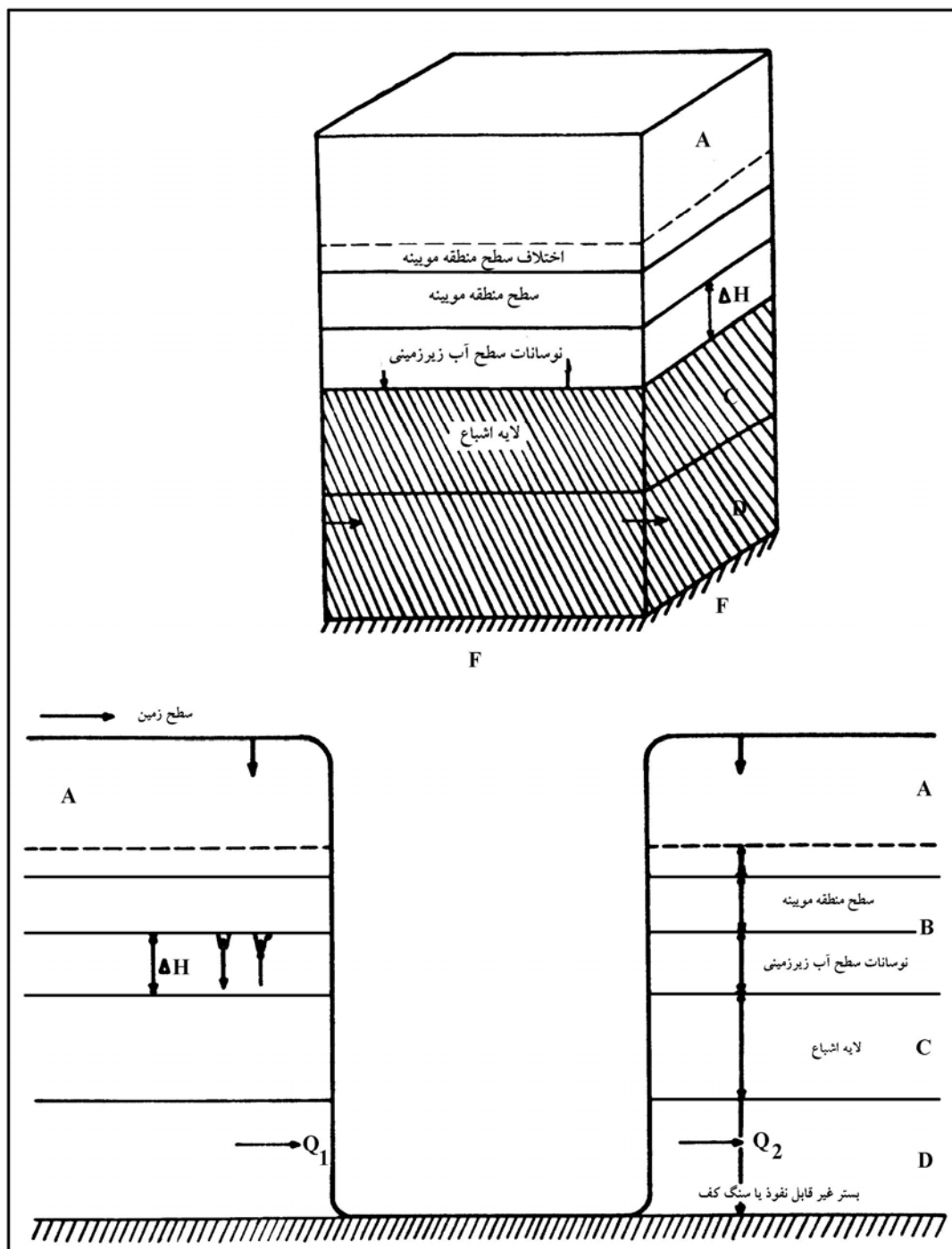
۳-۱۱-۲- عوامل بیلان در لایه‌های زیرزمینی

لایه زیرزمینی ستونی از سطح زمین تا سنگ کف آبخوان را شامل می‌شود. این لایه به دو زیر لایه تهویه و اشباع تقسیم می‌شود. برای بررسی عوامل بیلان نمک، زیر لایه تهویه خود به دو زیر ناحیه A و B به شرح زیر تقسیم می‌گردد.

۱- زیر ناحیه A: این لایه هوا بین و بیش‌تر تحت تاثیر عوامل جوی است.

۲- زیر ناحیه B: این لایه ممکن است به دو بخش، نوسانات سطح منطقه مویینه و نوسانات سطح آب زیرزمینی (ΔH) تقسیم گردد (البته لازم به توضیح است که تقسیمات فوق در بعضی از مناطق به طور کامل وجود دارد، ولی بعضی مناطق ممکن است فاقد چنین تقسیماتی باشد).

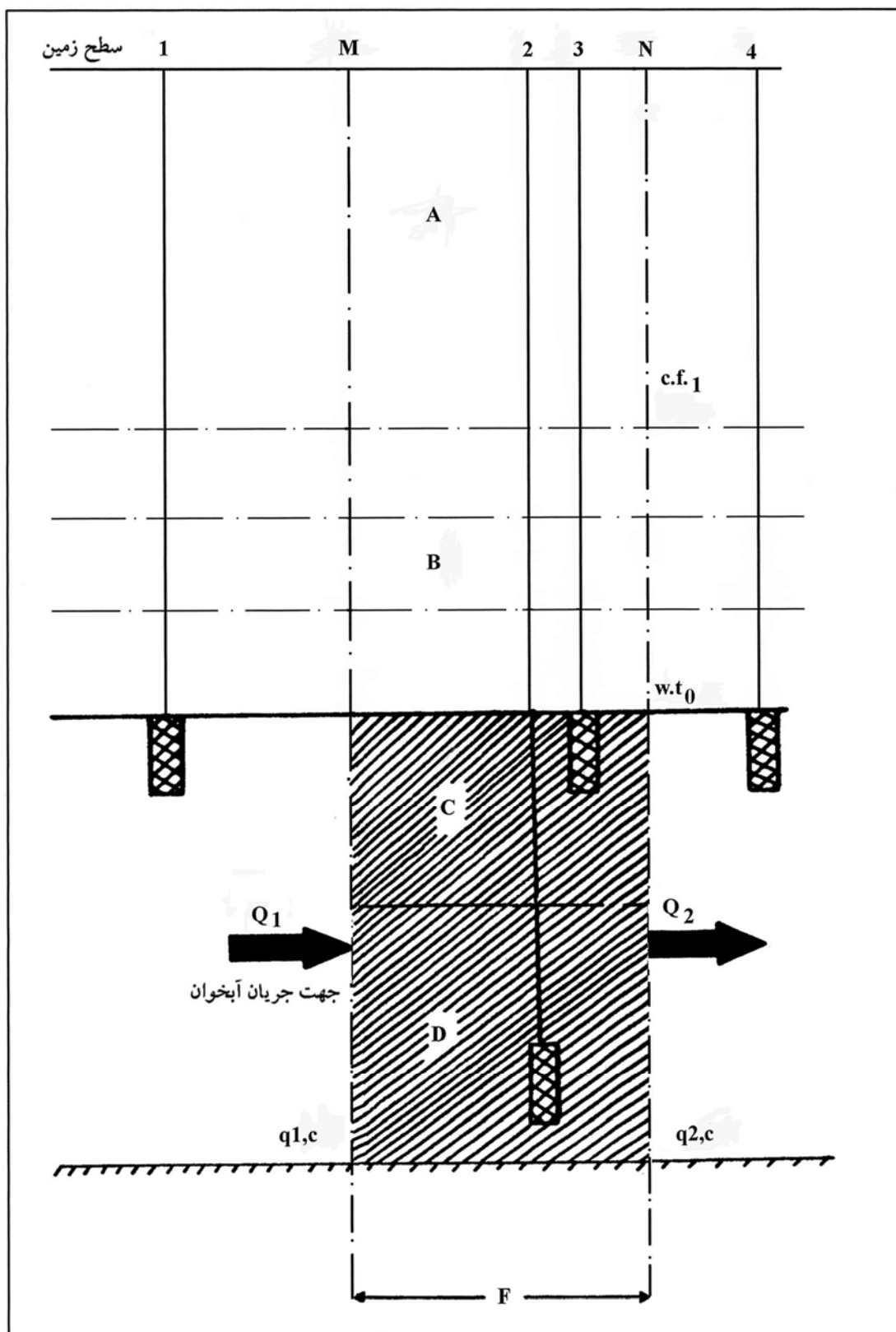
لایه اشباع ممکن است برحسب تنوع تغییرات میزان نمک‌های محلول در سفره‌های سطحی و عمیق نیز به دو بخش D و C تقسیم گردد. (شکل ۳-۵)



شکل ۳-۵- نمای لایه زیرزمینی

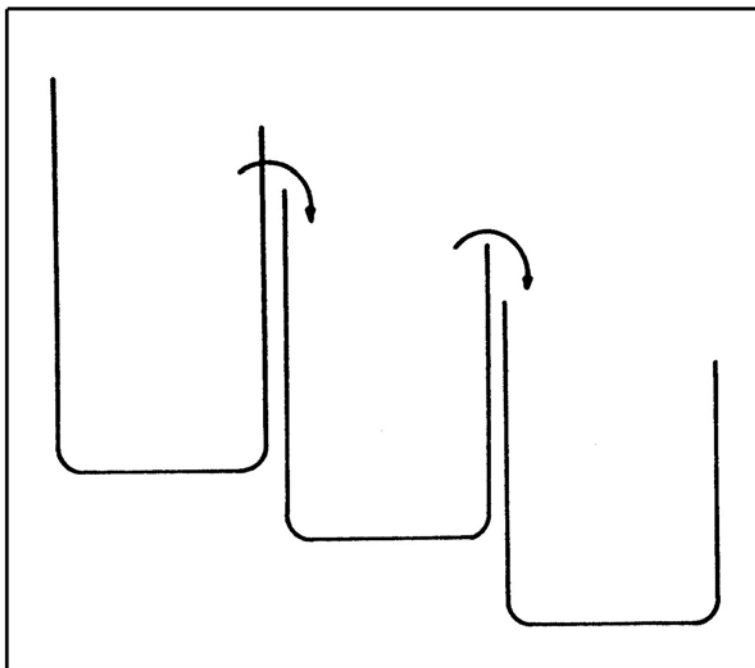
هریک از زیر لایه‌ها و زیر ناحیه‌های فوق‌الذکر، در بررسی بیلان نمک به صورت یک لایه مستقل در نظر گرفته و توصیف می‌شود.

برای تهیه بیلان آب زیرزمینی لازم است عوامل بیلان در سطوح معینی از محدوده بررسی شده و سپس نتایج به محدوده بیلان بسط داده شود. روش‌های پیشنهادی عبارتند از: مدل منشوری یا ستونی یا جعبه‌ای که توسط اسکافیلد^۱، بروکر^۲ ارائه شده است (شکل ۳-۶). در این شکل با عبور دو صفحه فرضی عمود بر جریان آب زیرزمینی ستون مکعب مستطیلی تشکیل می‌شود که سطح رویی آن به وسعت F هکتار در سطح زمین و سطح تحتانی آن سنگ کف مخزن آب زیرزمینی است و اجزای واقع بین این دو سطح مورد مطالعه قرار گرفته و تصاویر مربوط تعیین می‌شود.



شکل ۳-۶- چگونگی عبور دو صفحه عمود بر جهت جریان یک آبخوان آزاد به فاصله F و تشریح بیلان نمک (مدل جعبه‌ای)

مدل دیگر مدل چلیکی است که از این بحث خارج است، ولی از نظر اطلاع در این مدل آب در چلیک‌هایی با حجم‌معین و نمک‌هایی با غلظت C وارد و خارج می‌شوند. به طوری که سرریز چلیک ۱ ورودی چلیک ۲ است و الی آخر شکل (۷-۳). در مدل منشوری یا جعبه‌ای به ترتیب Q_1 و Q_2 جریان‌های جانبی ورودی به منشور و خروجی از آن است و W و W' یا qw'_{ac} , qw'_c آب‌های ورودی از لایه تهویه و خروجی از آن برحسب مترمکعب است (شکل ۳-۶).



شکل ۳-۷- مدل چلیکی

در محدوده این مدل کل سامانه در واحدهای مستقل با کمیت‌های مختلف در فواصل و در زمان‌های مختلف بررسی و تعمیم می‌یابند. هدف نهایی، محاسبه نمک‌های محلول از یک ستون یا جعبه به ستون مجاور است. با تصور ذهنی از زمان توقف عناصر و یون‌ها در این جعبه چنانچه نمک‌های محلول C گرم برلیتر از عناصر A در جریان Q باشد. بر اساس قانون بقای ماده روابط زیر برقرار است.

$$\frac{dQ}{dt} \rightarrow Q \rightarrow \frac{dQ'}{dt} \quad (۱۶-۳)$$

یعنی در واحد زمان مقدار مواد محلول A با $\frac{dQ}{dt}$ وارد جعبه می‌شود و $\frac{dQ'}{dt}$ خارج می‌شود و چون فرض بر حالت سکون سامانه است، می‌توان نوشت.

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{dQ'}{dt} \quad (۱۷-۳)$$

میانگین زمانی که مواد محلول A در جعبه توقف می‌کند، براساس رابطه ۳-۱۸ محاسبه می‌گردد که t را زمان توقف می‌نامند.

$$t = \frac{Q}{dQ'/dt} \quad (۱۸-۳)$$

با فرض اینکه هیچ عنصری رسوب ننماید با تخمین مقادیر مواد محلول آب نهرها، رودخانه‌ها و غیره این امکان فراهم می‌شود تا مقادیر مواد محلول ورودی به سامانه و زمان توقف آنها محاسبه شود. در تمام موارد مقادیر نمک‌هایی که وارد می‌شود و توقف می‌کند، قابل محاسبه است به شرطی که کلیه نمک‌های ورودی به صورت باران و غیره و خروجی به شکل زهکش‌ها و بخار در نظر گرفته شود که به نام نمک‌های مداری خوانده می‌شود. در زمان توقف، پدیده‌های انتقال^۱، پخش^۲ و انتشار ملکولی^۳ عمل می‌کند و باعث یکسانی املاح محلول در سامانه می‌شود.

بررسی عوامل بیلان نمک در لایه زیرزمینی بسیار پیچیده است و باید کلیه اطلاعات چاه‌های اکتشافی، پمپاژ، دانه‌بندی خاک، داده‌های هیدرودینامیکی، شیمیایی، لسیمتری نیروی مکش pF و غیره مورد تحلیل قرار گیرند. برای دستیابی به اطلاعات موردنیاز عوامل بیلان در لایه‌های زیرزمینی چنانچه ذکر شد، دو صفحه عمود بر جریان آب زیرزمینی بین چاه‌های مشاهده‌ای ۱ و ۲ و نیز ۲ و ۳ به سطح مقطع F (هکتار) عبور داده می‌شود شکل (۳-۶) و اگر سنگ کف آبخوان پایه تحتانی این دو صفحه باشد، ستونی از خاک‌های زمین به شکل منشور قابل مطالعه است. آثار این صفحات با علائم M و N روی نقشه مشخص می‌شود که بین این دو نقطه عملیات زراعی در مزارع آن انجام می‌گیرد. این صفحات، لایه اشباع را محدود می‌کند و سرعت ظاهری آب زیرزمینی در سطح مقطع F به قرار زیر است.

$$V = \frac{Q_1 - Q_2}{F} \quad (۱۹-۳)$$

V : سرعت ظاهری آب زیرزمینی

Q_1 : بده جریان آب زیرزمینی جانبی ورودی به صفحه اول، میلی‌متر بر روز

Q_2 : بده جریان آب زیرزمینی خروجی از صفحه دوم، میلی‌متر بر روز

F : سطح مقطع برحسب هکتار

Q_1 و Q_2 با روش‌های هیدرودینامیکی به دست آمده و میزان نمک در جریان آب زیرزمینی به صورت رابطه ۳-۲۰ خواهد بود.

$$V_c = \frac{C_1 Q_1 - C_2 Q_2}{F} \quad (۲۰-۳)$$

V_c ذخیره کل نمک، (مجموع نمک‌های محلول و جامد) است.

۳-۱۱-۳- لایه تهویه^۱

لایه تهویه را حجمی از توده خاک واقع بین لایه هوا و لایه اشباع آب زیرزمینی تشکیل می‌دهد که به دو زیر ناحیه A و B ممکن است، تقسیم شود.

بیان نمک در زیر لایه A واقع بین سطح زمین تا منطقه مویینه به صورت رابطه ۳-۲۱ است.

$$d_{2,c} = q_{a,c} - q_{w,c} \quad (۱۹-۳)$$

$d_{2,c}$: تغییر ذخیره نمک در زیر لایه A در دوره مشاهده‌ای Δt

$d_{a,c}$: مشابه رابطه (۳-۱۵)

$q_{w,c}$: مقدار نمک‌های محلول آب‌شویی نفوذ عمقی ناشی از بارندگی در دوره Δt

بیان نمک در زیر لایه B شامل منطقه فعال مویینه تا سطح سفره آب زیرزمینی را می‌توان با رابطه ۳-۲۲ بیان کرد.

$$d_{3,c} = q_{w,c} - q'_{w,c} \quad ۲۲-۳$$

$d_{2,c}$: تغییر ذخیره نمک‌های محلول در زیر لایه B

$q_{w,c}$: مشابه رابطه ۳-۲۱

$q'_{w,c}$: مقدار نمک‌های محلول عبوری از منطقه مویینه به لایه اشباع آب زیرزمینی

در حرکت‌های صعودی رطوبت، مقادیر $q_{w,c}$ و $q'_{w,c}$ منفی می‌شود.

۳-۱۱-۴- بیان نمک در لایه اشباع

بیان نمک در لایه اشباع آب زیرزمینی مشتمل بر زیر ناحیه‌های C و D به صورت رابطه ۳-۲۳ است.

$$\Delta S = q_{1,c} - q_{2,c} + q'_{w,c} \quad (۲۳-۳)$$

ΔS : تغییر نمک‌های محلول لایه اشباع در دوره زمانی Δt

$q_{1,c}$: مقدار نمک‌های محلول جانبی ورودی، جریان آب زیرزمینی Q_1 (به صفحه M)

$q_{2,c}$: مقدار نمک‌های محلول خروجی همراه با جریان آب زیرزمینی Q_2 از ستون فرضی (از صفحه N)

از مجموع روابط ۳-۱۵ تا ۳-۲۳ رابطه بیان نمک لایه زیرزمینی حاصل می‌شود.

$$d_{1,c} + d_{2,c} + d_{3,c} + \Delta S = n_c + (Y_{1,c} - Y_{2,c}) + (q_{1,c} - q_{2,c}) \quad (۲۴-۳)$$

کاربرد عملی روابط بالا به شرح زیر است.

مقدار نمک ورودی به سامانه به وسیله ریزش‌های جوی مستقیم از فرمول ۳-۲۵ قابل محاسبه است.

$$n_c = 10 a_n N \quad \text{تن بر هکتار} \quad (۲۵-۳)$$

a_n : غلظت نمک بارندگی‌ها، تن بر متر مکعب

N: میزان بارش، میلی‌متر

- مقدار نمک ورودی از زیر لایه B به لایه اشباع از رابطه ۳-۲۶ قابل محاسبه است.

$$q'_{w,c} = \Delta S - (q_{1,c} - q_{2,c}) \quad (۳-۲۶)$$

اگر $q'_{w,c}$ منفی گردد، دلالت بر حرکت صعودی نمک از لایه اشباع به طرف منطقه مویینه دارد. ضمناً چنانچه ضخامت لایه اشباع در دوره زمانی Δt ثابت فرض شود و هیچ‌گونه نمکی از طرفین منتقل نگردد بنابراین $\Delta S = 0$ می‌گردد و در نتیجه رابطه محاسباتی ۳-۲۷ برقرار خواهد شد.

$$q'_{w,c} = q_{1,c} - q_{2,c} \quad (۳-۲۷)$$

و به عبارت دیگر، اختلاف بین مقادیر نمک‌های ورودی جانبی به صفحه M و خروجی از صفحه N ستون منشوری در آب زیرزمینی با نمک ورودی از منطقه مویینه لایه اشباع برابر است.

میزان نمک $d_{3,c}$ در زیر لایه B و $d_{w,c}$ از لایه تهویه به منطقه مویینه، با مرتب کردن رابطه ذکر شده به صورت رابطه ۳-۲۸ می‌باشد.

$$q_{w,c} = d_{3,c} + q'_{w,c} \quad (۳-۲۸)$$

و تغییر نمک $d_{3,c}$ در لایه تهویه که حاصل نفوذ سطحی است به صورت رابطه ۳-۲۹ خواهد بود.

$$q_{a,c} = d_{2,c} + q'_{w,c} \quad (۳-۲۹)$$

برای تعیین مقادیر عوامل بیلان نمک در لایه اشباع آبخوان آزاد لازم است با پمپاژ چاه مشاهده‌ای شماره ۲ شکل (۳-۶) واقع در میان ستون و بین دو صفحه قائم N و M به مدت کافی و نمونه‌گیری مقدار غلظت نمک آنها را برحسب گرم بر لیتر در شروع و خاتمه دوره زمانی مشاهداتی محاسبه کرد و با میانگین‌گیری به ازای جریان ورودی آب زیرزمینی $(\frac{Q_1}{F})\Delta t$ مترمکعب بر هکتار و جریان خروجی آب زیرزمینی $(\frac{Q_2}{F})\Delta t$ محاسبه شود و به صورت رابطه ۳-۳۰ بیان گردد.

$$q_{1,c} - q_{2,c} = a_{av} \left(\frac{Q_1 - Q_2}{F} \right) \text{ تن بر هکتار} \quad (۳-۳۰)$$

$$a_{av}: \text{میانگین غلظتی} \frac{a_1 + a_2}{2}$$

$$a_1: 10^{-3} M' \text{ (بیانگر غلظت نمک در شروع دوره مشاهداتی، بر حسب تن)}$$

$$a_2: 10^{-3} M'' \text{ (بیانگر غلظت نمک در خاتمه دوره مشاهداتی، بر حسب تن)}$$

اصول مذکور برای تعیین اجزای بیلان نمک در ستونی از حجم معینی از لایه زیرزمینی را می‌توان در واحدهای مجاور نیز به کار برد و نتایج به دست آمده با هم مقایسه گردد. در آبخوان‌های وسیع این داده‌ها را در واحدهای ستونی بر روی نقشه منتقل و با میان‌یابی، محدوده بیلان پوشش داده می‌شود.

۳-۱۲- معادله بیلان نمک

واژه بیلان نمک^۱ و رابطه آن، اولین بار در سال ۱۹۴۰ توسط اسکافیلد^۲ به کار برده شد و بعدها از سوی سایر دانشمندان توسعه یافت و تکمیل گردید که به صورت کلی رابطه ۳-۳۱ بیان می‌شود.

$$\sum W_i - \sum W_0 \pm \Delta S = 0 \quad (31-3)$$

$\sum W_i$: مجموع یون‌های ورودی

$\sum W_0$: مجموع یون‌های خروجی

ΔS : تغییرات ذخیره یون‌ها

معادله کامل بیلان نمک، صرف‌نظر از فرآیندهای هوازدگی و تشکیل خاک، به‌صورت تئوریک به‌صورت رابطه ۳-۳۲ است.

$$\Delta S + \Delta d = (n_1 + \frac{\alpha_1 y_1 - \alpha_2 y_2}{F} + \frac{\beta_1 Q_1 - \beta_2 Q_2}{F} - n_2) \Delta t \quad (32-3)$$

ΔS : تغییرات ذخیره نمک آب زیرزمینی آزاد در دوره زمانی Δt

Δd : تغییر ذخیره نمک لایه سطحی زمین تا عمق ۵ سانتی‌متری، در جویچه‌های انتقال آب آبیاری

n_1 : مقدار نمک ناشی از بارندگی به حالت‌های مایع یا جامد

n_2 : مقدار نمک برگشتی به هوا

α_1, α_2 : غلظت نمک‌های جریان‌های سطحی ورودی و خروجی

β_1, β_2 : غلظت نمک‌های جریان‌های ورودی و خروجی زیرزمینی

y_1, y_2 : حجم جریان‌های ورودی و خروجی سطحی

Q_1, Q_2 : حجم جریان‌های ورودی و خروجی زیرزمینی

F : محدوده تعیین شده روی نقشه که اطلاعات پایه بیلان نمک آن گردآوری شده است.

Δt : دوره زمانی بیلان

برای تعیین بیلان نمک محدوده‌های کشاورزی، بیلان رطوبت خاک نیز در بیلان کل نمک باید منظور شود.

۳-۱۲-۱- برقراری معادله کلی بیلان نمک

معادله کلی بیلان نمک در یک سامانه به صورت رابطه ۳-۳۳ است.

$$S_2^{\circ} - S_1^{\circ} = S_3^{\circ} + S_4^{\circ} + S_5^{\circ} + S_6^{\circ} + S_7^{\circ} - S_8^{\circ} - S_9^{\circ} - S_{10}^{\circ} \quad (33-3)$$

S_1° و S_2° به ترتیب مقدار ذخیره نمک‌های ابتدایی و نهایی در جریان‌ها و مخازن سطحی، مخازن آب زیرزمینی لایه

اشباع برحسب تن بر هکتار می‌باشد.

S_3^0 : مقدار نمک ناشی از بارندگی

S_4^0 : مقدار نمک ناشی از آب آبیاری

S_5^0 : مقدار نمک‌های جریان ورودی آب زیرزمینی جانبی

S_6^0 : مقدار نمک‌های اضافه شده در یک دوره کشت

S_7^0 : مقدار نمک‌های ناشی از کاربرد کودها

S_8^0 : مقدار نمک‌های خارج شده توسط آب زیرزمینی خروجی

S_9^0 : مقدار نمک‌های خارج شده از زهکش‌ها

S_{10}^0 : نمک جذب شده به‌وسیله گیاهان

در اغلب محدوده‌های کشاورزی از موارد $S_3^0, S_6^0, S_7^0, S_{10}^0$ به علت اندک بودن مقادیرشان صرف‌نظر می‌شود که در این صورت معادله بیلان نمک ساده‌تر می‌شود، ولی چنانچه مقادیر آنها برای دقت کار موردنظر باشد موارد زیر پیشنهاد می‌شود.

S_3^0 مقدار نمک ناشی از بارندگی بر سطح محدوده بیلان ناچیز است و تحقیقات انجام شده مقدار آن را به طور متوسط 10 kg / ha / y اعلام کرده که می‌توان در معادله منظور داشت.

S_6^0, S_7^0 مقادیر این پارامترها را می‌توان ۴۰ درصد مقدار کاربردی آنها در نظر گرفت.

S_{10}^0 مقدار نمک جذب شده توسط گیاهان را باید مراکز پژوهشی محلی اعلام دارند. این نمک‌ها با نوع گیاه، زمین‌های زیرکشت، ارتفاع گیاهان و غیره متغیر است. محصولات علوفه‌ای مانند ذرت و یونجه حدود ۷ درصد وزن خشک خود، نمک جذب می‌کنند. یعنی در یک کشت یونجه با برداشت ۴۰ تن بر هکتار حدود ۲/۸ تن نمک از خاک خارج می‌شود و اگر این زراعت در سال توسط ۹۵۰ میلی‌متر آب با نمکی معادل ۰/۷ گرم بر لیتر آبیاری شود. مقدار نمک‌خارج شده ۴۰ درصد نمک وارد شده به وسیله آب است. S_{10}^0 در محصولاتی مانند: پنبه، پسته و روناس بسیار زیادتر است. چنانچه مقدار نمک‌های ذخیره شده در جریان‌ها و ذخایر سطحی ثابت بماند، فرمول نمک ذخیره شده در یک دوره بیلان به صورت رابطه شماره ۳-۳۴ است.

$$S = S^a + S^r \quad (3-34)$$

S^a و S^r نمک‌های ذخیره شده در لایه تهویه و لایه اشباع برحسب تن بر هکتار

S^a از فرمول ۳-۳۵ به دست می‌آید.

$$S^a = 100 \sum_{i=1}^n \alpha_i \rho_i h_i \quad (3-35)$$

S مخفف ترجمه نمک Salt و a مخفف ترجمه لایه تهویه aeration و r مخفف ترجمه مخزن آب Reservoir است.

α_i : شوری لایه i برحسب درصد

ρ_i : وزن مخصوص خاک خشک گرم بر سانتی متر مکعب

h_i : ضخامت لایه i بر حسب متر

S^r : نیز از رابطه ۳-۳۶ محاسبه می شود.

$$S^r = 10 \sum_{i=1}^n a'_i o'_i h'_i \quad (36-3)$$

a'_i : معدنی شدن لایه آب زیرزمینی i بر حسب گرم بر لیتر

o'_i : میزان تخلخل i به صورت اعشاری

h'_i : ضخامت لایه i بر حسب متر

۳-۱۲-۲- برقراری معادله بیلان نمک لایه تهویه

معادله بیلان نمک لایه تهویه به صورت رابطه ۳-۳۷ است.

$$S_2^a - S_1^a = S_3^a + S_4^a + S_5^a + S_6^a + S_7^a - S_8^a - S_9^a \quad (37-3)$$

S_1^a و S_2^a : به ترتیب مقادیر نمک اولیه و نهایی لایه تهویه

S_3^a : مقدار نمک ناشی از بارندگی (مشابه S_3^o در رابطه ۳-۳۳)

S_4^a : مقدار نمک ناشی از آب آبیاری (مشابه S_4^o)

S_5^a : مشابه S_6^o

S_6^a : مقدار نمک ناشی از کاربرد کودها

S_7^a : مقدار نمک ناشی از عمل تبخیر، تعرق، پدیده انتشار و غیره در حرکت صعودی آب زیرزمینی

S_8^a : مقدار نمک خارج شده به وسیله نفوذ آب باران و آب برگشتی آبیاری به لایه اشباع (مشابه $S_4^r - S_3^r$)

S_9^a : مقدار نمک خارج شده به وسیله عملیات کشاورزی (مشابه S_{10}^o)

۳-۱۲-۳- برقراری معادله بیلان نمک لایه اشباع آب زیرزمینی

معادله بیلان نمک لایه اشباع به صورت رابطه ۳-۳۸ است.

$$S_1^r - S_2^r = S_3^r + S_4^r + S_5^r - S_6^r - S_7^r - S_8^r \quad (38-3)$$

S_1^r و S_2^r : به ترتیب مقادیر نمک ذخیره ابتدایی و نهایی مخزن آب زیرزمینی (از رابطه ۳-۳۶ حاصل می شود).

S_3^r : مقدار نمک نفوذی ناشی از آب باران

S_4^r : مقدار نمک های ناشی از آب های نفوذی عمیق

S_5^r : مقدار نمک های ورودی توسط آب زیرزمینی ورودی

S_6^r : مقدار نمک‌های منتقل شده از لایه اشباع مخزن آب زیرزمینی به لایه تهویه توسط فرآیندهای فیزیکی تبخیر و تعرق (مشابه S_7^a)

S_7^r : نمک‌های خارج شده از سامانه همراه آب زیرزمینی خروجی

S_8^r : نمک‌های خارج شده از زهکش‌ها

تذکر: بیلان نمک محصول نهایی فرآیندهای آماری است. دقت محاسبات بیلان نمک یک محدوده مطالعاتی، بیلان نمک آب‌های زیرزمینی و یا بیلان‌های نمک لایه به لایه مشتمل بر لایه هوا، لایه تهویه... بستگی تام به صحت و دقت آمار پایه و اطلاعات بیلان نمک دارد.

دستیابی به پاره‌ای از عوامل بیلان نمک مشکل و احتمال تقریب در آنها زیاد است. از این‌رو باید تلاش کرد با شناخت منطقه، از آمارهای فرآوری شده و صحیح استفاده شده و معادله بیلان نمک را در چند مرحله تنظیم نمود و با روش‌های سعی و خطا عواملی که دارای تقریب بیش‌تری هستند، تدریجا به حد قابل اصلاح رسانید و نتیجه مناسب‌تری به دست آورد. در محدوده‌هایی که بیلان نمک برای اولین بار در آنجا بررسی و معادله بیلان برای مقاصد خاص برقرار می‌شود، باید سعی شود که به نتیجه به دست آمده در بار نخست اکتفا نشود.

فصل ۴

جایگاه بیلان نمک در برنامه‌های

توسعه

۴-۱- کلیات

برنامه‌ریزی برای توسعه اقتصادی و اجتماعی پیوسته باید با ارزیابی‌های کمی و کیفی منابع آب همراه باشد. در نواحی خشک و نیمه‌خشک آب عامل محدودکننده رشد و توسعه و برنامه‌های عمران و آبادانی است. بیلان نمک در بخش‌های مدیریتی آب و خاک، استفاده چند باره از آب‌ها و نیز مهندسی آب و فاضلاب اهمیت زیادی دارد و کمک زیادی برای پیش‌بینی برنامه‌ها و منابع می‌نماید که به طور خلاصه در سه قسمت به شرح زیر به نقش بیلان نمک اشاره شده است.

۴-۲- بیلان نمک و آب زیرزمینی

شوری یا معدنی شدن آب زیرزمینی به علت طبیعت خاک، آب‌شویی مواد معدنی موجود و انتقال آنها به مخازن آب زیرزمینی و نیز بالا رفتن سطح ایستابی، تماس آب شیرین با آب‌های شور و بهره‌برداری سنگین از آب‌های شیرین، افزایش می‌یابد. در این موارد بیلان نمک کمک شایانی به بخش‌های مدیریتی آب می‌نماید.

۴-۳- کشاورزی و آبیاری با آب‌های شور

در کشاورزی، علاوه بر کیفیت آب آبیاری، شوری خاک و خواص فیزیکی آن و نهاده‌های کشاورزی، دخالت بیلان نمک در کنترل غلظت‌های بحرانی^۱ با دوره‌های توام آبیاری، زهکشی و آب‌شویی نقش زیادی دارد.

۴-۴- بیلان نمک و مهندسی آب و فاضلاب

در این بخش بیلان نمک به عنوان معیار کنترل در استفاده چند باره (حداکثر تا شش بار) از آب‌های زهکشی شده در کشت‌های بعدی و همچنین طراحی سامانه‌های تصفیه آب‌های شور است.

۴-۵- بیلان نمک و کنترل شوری آب آبیاری

در کشاورزی رشد گیاه تابعی از مقدار نمک مورد نیاز گیاه و مازاد آن در آب آبیاری و پتانسیل ماتریک^۲ آب و خاک است. نمک اضافی با آب‌شویی کافی و پتانسیل ماتریک با آبیاری مناسب و به موقع قابل کنترل است. در آب‌شویی یون‌های سدیم که در اطراف ریشه گیاهان تجمع کرده‌اند، با حرکت عمودی آب به پایین‌تر منتقل می‌شوند که این عملیات شستشوی خاک گفته می‌شود و با بیلان نمک لایه تهویه کنترل می‌شود.

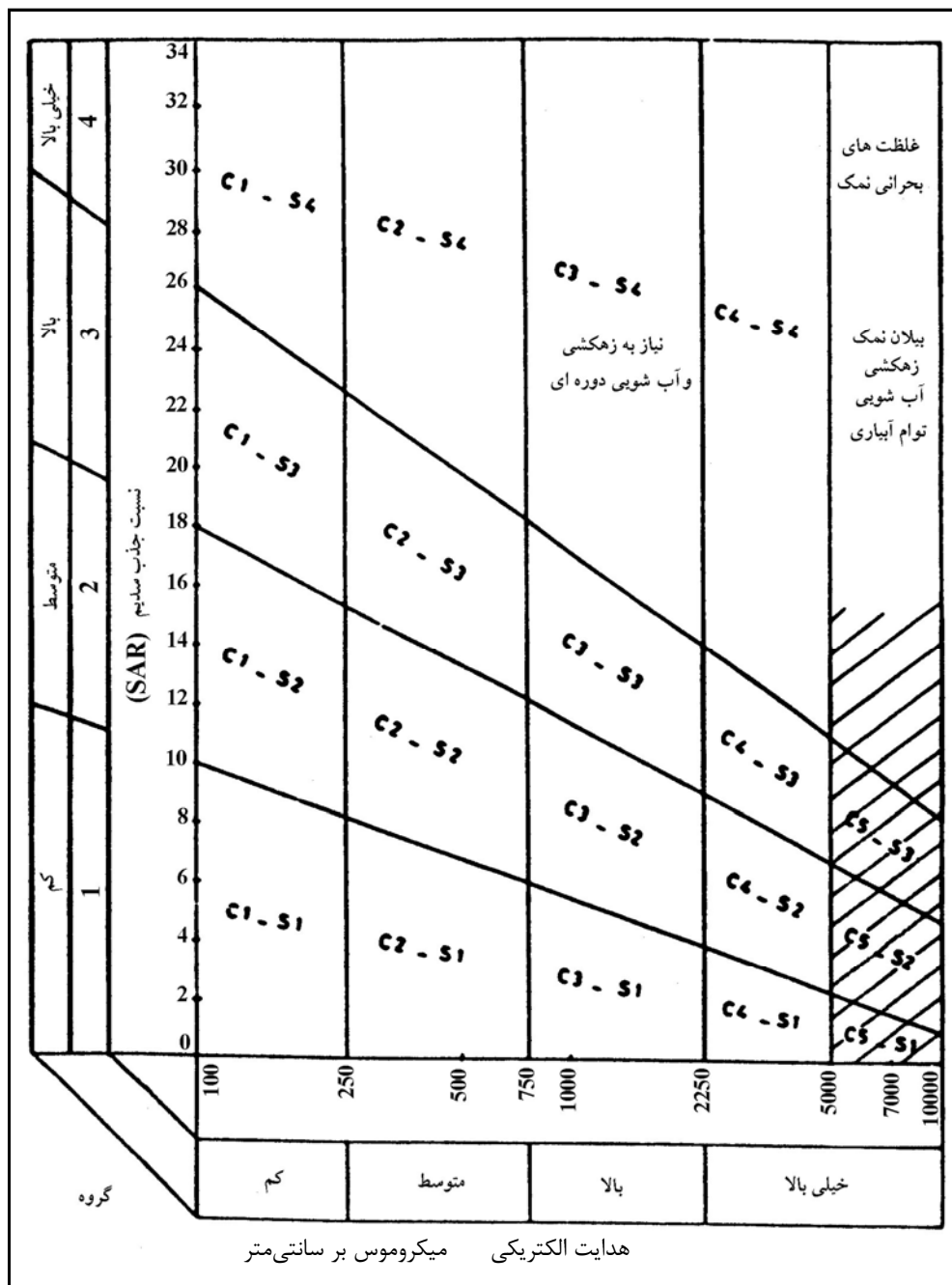
1- Critical Concentration
2- Matric Potential

در کشاورزی، کیفیت آب آبیاری طبق نمودار گروه‌بندی آب‌ها از نظر آبیاری که بر اساس هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم، طراحی شده طبقه‌بندی می‌شود (شکل ۴-۱).

در مرحله بعدی حساسیت گیاهان به عنصر بور^۱ و باقی‌مانده سدیم کربنات در خاک و نیز جذب عناصر مانند: کادمیوم، مولیبدن، لیتیوم است که حتی با مقادیر بسیار کم و تجمع آنها در بافت گیاهی سبب سمی شدن این گیاهان در استفاده انسانی و دامی می‌شود.

در آبیاری در زمین‌های با قابلیت نفوذ کم مقداری آب روی سطح مزارع باقی می‌ماند و به ریشه گیاهان نمی‌رسد. در مواقعی که سطح ایستابی به سطح زمین نزدیک می‌شود باید با عملیات زهکشی سطح آب تا عمق ۲ متری تثبیت شود.

مقدار نمک محلول آب‌های آبیاری مناسب حدود ۱ - ۰/۴ تن بر هکتار است و اگر از این مقدار تجاوز کند به غلظت بحرانی نزدیک می‌شود که باید با برآورد بیلان نمک و زهکشی‌های سطحی و زیرزمینی و آب‌شویی‌های توام با آبیاری کنترل شود.



شکل ۴-۱- نمودار آبیاری با آب‌های شور

منابع و مراجع

- 1- Blom , G.P.J., "Integrated Planning of Irrigated Agriculture In The Varamin And Garmsar1-Plains-"Some Notes on The Alluvial Deposits of the Hableh Rud (Alborz)" , F.A.O.Rome, 1968.
- 2- Sutcliffe , J.V. and W.R.Rangeley," An estimation of the Long Term Yield of a Large2-Aquifer at Tehran , "IASH Publications , 1960.
- 3- UNESCO " Ground Water Studies. "An International Guide For Research and Practice ,3-Paris, 1977.
- 4- Schoeller.M, "La Concentration des eaux Souterraines en Chlore " Exterdit du Bulletin4-du B.R.G.M-No-2 , 1967.
- 5- Schoeller.H., "L ' Influence de la Composition Chimique dans les nappes Souterraines.5-Ass. intern. Hydrol. Sci. Assemblee gen. Oslo , P.V., 1948.
- 6- Margat , J., "La nappe phreatique du Tafilalet (Maroc). Bilan hydraulique Mineralisation6-des eaux et evaporation". C.R.19 Cong Intern. Geol, 1953.
- 7- De wiest , R.J.M. , "Replenishment of The Aquifers Intersected by Streams " ASCE,7-Journal of the Hyardulics Division , Nov. 1963.