

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

پایان نامه کارشناسی

لزوم استفاده از آب شیرین کن

و

بررسی حکامتیزم آن



**تهیه و گردآوری**

**سید علیرضا خدایی**

**۸۸۴۶۱۲۱۰۰۴۰**

**گروه مهندسی مکانیک**

**گرایش حرارت و سیالات**

**استاد ارشد**

**دکتر محمد حسن مقدس**

**(دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمین شهر)**

## تقدیم به

دامان سبز **مادر** و دست های خسته ی **پدرم**

دو **عشق** پاک زندگیم

و همه ی **استادانم** که در طول ۴ سال باعث پیشرفت و تکامل بنده گردیدند.

باتشکر و شیره و قدردانی از

جناب آقای مهندس علیرضا حسین پور

که با کمک های شایان خود بنده را در تهیه و انجام این پایان نامه یاری نمودند.

## فهرست

### مقدمه

۷

### فصل اول

۸

آشنایی با انواع و ویژگی های آب و منابع آبی

### فصل دوم

۳۴

انواع آب شیرین کن های خورشیدی

### فصل سوم

۵۱

پارامترهای مؤثر بر افزایش راندمان آب شیرین کن های خورشیدی

### فصل چهارم

۶۴

انواع روش های تصفیه ی آب

### فصل پنجم

۸۱

فرآیند اسمز معکوس

۸۹

### منابع

## مقدمه:

در بسیاری از کشورهای در حال توسعه جهان دستیابی به آب تمیز و قابل آشامیدن ضرورت مهمی تلقی میشود . اغلب منابع آبی در دسترس به صورت شور بوده و یا حاوی باکتریهای مضر میباشند و لذا قابل آشامیدن نمیباشند . تحقیقات نشان داده اند که حدود ۹۴ درصد از آبهای کره زمین شور و تنها ۶ درصد از آبهای موجود شیرین بوده و این در حالی است که ۳ درصد از این مقدار بصورت یخ در قطبهای شمالی و جنوبی زمین قرار دارند . به این ترتیب مشخص است که منابع آبهای شیرین بسیار محدود و دستیابی به آنها در بسیاری از مناطق دشوار میباشد. شیرین سازی آبهای شور در این مناطق به منظور تامین آب مصرفی مورد استفاده اقدامی است که به روشهای مختلفی انجام میگردد . باید توجه داشت که در بعضی مواقع برای اینکه آب شیرین به دست آمده ارزان تمام شود چند روش را با هم تلفیق مینمایند که در این صورت نه تنها قیمت تمام شده آب پایین می آید بلکه تلفات انرژی را نیز میتوان به حداقل رساند و از انرژیهای تلف شده یک واحد در دستگاه دیگر استفاده کرد . در تمامی این روشها، انرژی مصرفی به طور مستقیم یا غیر مستقیم با استفاده از سوختهای فسیلی تامین میشود . در سالهای اخیر با توجه به افزایش قیمت انرژی فسیلی همراه با کاهش منابع آن و مباحث مربوط به آلودگی محیط زیست ناشی از استفاده بی رویه از این سوختها، استفاده از انرژیهای تجدیدپذیر مورد توجه قرار گرفته است . یکی از این منابع، انرژی خورشید است که به دلیل عدم نیاز به فناوری پرهزینه و پیشرفته میتواند به عنوان یک منبع مفید به کار گرفته شود . خوشبختانه به علت شدت تابش خورشید در بیشتر مناطق ایران استفاده از این انرژی میتواند باعث صرفه جویی در مصرف نفت و گاز شود. همچنین آلوده نشدن محیط زیست، رشد و توسعه اقتصاد و ذخیره شدن سوختهای فسیلی برای آیندگان، استهلاک کم و عمر زیاد از دیگر مزایای استفاده از انرژی خورشید میباشد . از جمله کاربردهای قابل توجه این انرژی استفاده از آن برای شیرین سازی آبهای شور میباشد که با عنوان تقطیر خورشیدی یا آب شیرین کن خورشیدی مطرح شده است.

# فصل اول

آشنایی با انواع و ویژگی‌ها

آب و منابع آب



## انواع آب:

آب مهم ترین ماده شیمیایی موجود است و در قرن جاری منابع آب شیرین از چاه های نفت با ارزش تر خواهند بود. ۸۰٪ سطح زمین از آب پوشیده شده است که ۹۷٪ از آن شور، ۲٪ از آب های جهان به صورت یخ های قطبی و تنها ۱٪ آب جهان شیرین و قابل استفاده است. منابع آب طبیعت شامل آب های زیر زمینی مثل آب چاه ها و چشمه ها، آب های سطحی مثل رودخانه ها و جویبارها، آب های شور دریاها و اقیانوس ها می باشند. هر کدام از انواع آب های طبیعت ویژگی خاص خودش را دارد:

### آبهای زیرزمینی:

ویژگی های آب های زیرزمینی اینست که مواد معلق، مواد آلی در آنها معمولاً کم است،  $Fe^{2+}$  و  $Mn^{2+}$  در آنها کم و  $CO_2$  نسبتاً زیاد است، املاح محلول و سختی آنها نسبتاً زیاد است، چاه های کم عمق ممکن است آلوده به میکروب باشند.

### آبهای سطحی:

ویژگی های آب های سطحی اینست که زلال هستند، معمولاً به میکروارگانیسم ها آلوده هستند، مقدار آمونیاک و نیترات آنها ممکن است زیاد باشد، در صورت عبور از نواحی صنعتی، به مواد شیمیایی آلوده هستند، املاح محلول آنها نسبتاً کم است، pH آنها در حدود ۷-۸ است.

### آبهای شور:

ویژگی های آب های شور اینست که مقدار املاح محلول آنها زیاد است (۱۰۰۰ تا ۴۰۰۰ ppm)، میزان یون های کلر و سدیم آن زیاد است (بیش از ۵۰۰ ppm).

در قسمتهای بعد به توضیح بیشتر راجع به انواع آب میپردازیم.

### ناخالصی های آب:

آب خالص در طبیعت وجود ندارد. ضمن استقرار آب در یک مکان یا جاری شدن در یک منطقه، مواد جامد و گازهای

محلول در آب، در آن حل و مواد ریز غیر قابل حل در آن به صورت معلق در می آیند. ناخالصی های آب سه دسته کلی هستند:

۱- یون ها (کاتیون ها و آنیون ها)

۲- گازهای محلول در آب (اکسیژن، دی اکسید کربن و ...)

۳- مواد کلوئیدی و معلق (گل و لای، باکتری ها و ...)

که در زیر توضیحات مربوط به هر کدام آورده شده است:

## ۱- ناخالصی های یونی

شامل دو دسته کاتیون ها و آنیون ها می باشد.

کاتیون هایی که تقریباً در تمام آب های طبیعی وجود دارند شامل موارد زیر است :

\***Mg++** ، باعث سختی آب می شود و ماده غذایی موجودات زنده است

\***Na+** ، غلظت زیاد آن سبب شوری می شود و برای گیاهان و ماهیان مضر است

\***Ca++** ، باعث سختی آب می شود و ماده غذایی موجودات زنده است

\***K+** ، مقدار آن کمتر از سدیم است

\***Fe2+** ، مقدار آن به pH و O<sub>2</sub> آب بستگی دارد، حدود ۰/۲ - ۰/۵ ppm در آب های سطحی و حدود ۱ تا ۱۰

mg/l در آب های عمقی

\***Mn++** ، غلظت آن حدود ۰/۱ - ۱ میلی گرم در لیتر است

\***آن یون هایی که در آب های طبیعی وجود دارند**

\* بیکربنات و کربنات: منشأ آنها، انحلال کربنات کلسیم و CO<sub>2</sub> در آب است و خاصیت بافری به آب می دهند

\* کلرید : Cl غلظت زیاد آن سبب شوری و برای بسیاری از گیاهان مضر است و سبب خوردگی فلزات نیز می شود.

- \* سولفات :  $SO_4^{2-}$  منشأ آن انحلال نمک های سولفات است و تا حدودی از فعالیت باکتری ها بوجود می آید، مقدار زیاد آن سبب اسهال می شود، برای گیاهان مضر است و سبب خوردگی سازه ها می شود .
- \* سیلیکا: سیلیکا بنا به pH آب، هم به صورت یونی و هم کلوئیدی در آب می تواند وجود داشته باشد. وجود این ماده در آب های طبیعی حدود 1-30 ppm برای نیروگاه ها مشکل ساز است .
- \* نیتрат :  $NO_3^-$  در آب طبیعی در حدود 1 ppm است. در آب های زیرزمینی در حضور باکتری ها می توانند تا 50 ppm هم باشد.

## ۲- ناخالصی های گازی:

مهم ترین ناخالصی های گازی آب به شرح زیر می باشد :

- \*اکسیژن : ( $O_2$ ) منشأ آن اکسیژن هوا است و باعث گوارایی آب و در ضمن خوردگی آن می شود .
- \*دی اکسید کربن : ( $CO_2$ ) منشأ آن تجزیه بی کربنات ها در اثر کاهش pH و  $CO_2$  هوا است .
- \*آمونیاک : ( $NH_3$ ) منشأ آن ترکیبات ازت دار آلی و باکتری ها می باشد .
- \*هیدروژن سولفور : ( $H_2S$ ) منشأ آن تجزیه ترکیبات گوگرد بوسیله باکتری ها است و باعث ایجاد طعم و بوی بد آب می شود

## آلودگی آب :

برای مطالعه آلودگی آب، دو نوع عامل یا منبع آلودگی را می توان مورد توجه قرار داد. یکی منابع محدود در مناطقی خاص، نظیر فاضلاب های صنعتی، دیگر منابع غیر محدود، مانند مازاد حاصل از فعالیتهای کشاورزی و نیز موادی که پس از بارندگی یا به وسیله جریان آب رودخانه ها حمل می شوند.

نشانه های آلودگی آب حتی با سطحی ترین توجه مشخص می شوند. برای مثال نوشیدن آب طعم بد می دهد، توده های علف های هرز آبی در حجم زیادی از آب رشد می کنند. آب کنار دریاها، اقیانوس ها، رودخانه ها و دریاچه ها بوی ناخوشایندی منتشر می سازند. منشا این مشکلات باید به منابع و انواع بسیاری از آلوده کننده ها نسبت داده شود. آلوده کننده های آب به ۹ دسته طبقه بندی شده اند:

### ۱- زباله های متقاضی اکسیژن

۲- عوامل بیماری زا

۳- مواد غذایی گیاهی

۴- ترکیبات آلی سنتز شده (مصنوعی)

۵- نفت

۶- مواد شیمیایی معدنی و کانی ها

۷- رسوبات

۸- مواد رادیو اکتیو (پرتوزا)

۹- گرما

در زیر توضیحاتی راجع به این ۹ مورد خواهید دید:

## ۱- زباله های متقاضی اکسیژن (اکسیژن خواه):

اکسیژن حل شده در هر نوع آبی لازمه زندگی برای اجتماع گیاهی و حیوانی می باشد و بقاء آنها بستگی به توانایی آب در نگهداری کمترین غلظت معین از این ماده حیاتی دارد. آب زمانی به عنوان آلوده شده طبقه بندی می شود که غلظت Do (غلظت اکسیژن محلول) به زیر سطح مورد نیاز برای بقاء زیست طبیعی در آن بیاید.

بدیهی است که آلوده کننده های (فاضلاب تصفیه نشده شهری، مواد خارج شده از انبارها، فرایند پس مانده های غذایی) اگر اکسیژن محلول به طور کامل و به سرعت تخلیه شود باید دارای غلظت بالایی در آب باشند. این مسئله به خصوص برای قسمت هایی از آب که معمولا کمترین اکسیژن حل شده را دارند بحرانی و خطرناک می شود. سهم حیوانات اهلی در تولید زباله های متقاضی اکسیژن به اندازه ۱/۹ بیلیون نفر می باشد.

## ۲- عوامل بیماری زا:

آب دارای پتانسیل حمل موجودات ریز بیماری زا که سلامتی و زندگی را به خطر می اندازند می باشد. میکروبهای بیماری زا متناوبا در سراسر آب منتقل می شوند و می توانند باعث عفونت در ناحیه روده (تیفوئید، اسهال خونی، پاراتیفوئید، وبا) شوند و مسئولیت ایجاد بیماری فلج اطفال و یرقان را بر عهده دارند. از لحاظ تاریخی اولین دلیل برای کنترل آلودگی آب ها، جلوگیری از بیماری هایی است که مولد آنها در آب وجود دارد. عوامل ایجادکننده بیماری را نمی توان کنترل و سلامت کامل را تامین کرد. روزانه بیلیون ها از موجودات توسط افراد دفع می شود. این ساکنین مدفوع انسان یک محیط زیست را با این شرایط در آبهای طبیعی پیدا نمی کنند تا تولید مثل کنند و به سرعت از بین می روند.

اهم بیماری هایی که توسط آبهای آلوده به انسان سرایت می کنند شامل:

\* بیماری انگلی (لیپتوسپیرو ایکترو هموراژ) که به تب یا ویل معروف شده است.

\* کرم ها، تخم کرم هایی مانند اسکاریس، تریکوسفال (کرم شلاقی) و کرم قلابدار ممکن است از طریق خاک و آب آلوده به آنها وارد بدن انسان شود و ایجاد بیماری نمایند.

\* بیماری وبا

\* بیماری های ویروسی (آب در انتقال دو نوع ویروس پولیوویروس و هپاتیت عفونی نقش موثری ایفا می کند)

\*\*جدول ۱-۱ بیماریهایی که در اثر وجود املاح مختلف در آب پدید می آیند را نشان می دهد.

### ۳- مواد غذایی گیاهی:

مواد غذایی عامل محدود کننده مهمی در رشد همه گیاهان است. در کنار عوامل دیگر سرعت و فراوانی رشد گیاهان متناسب با مقدار ماده غذایی در دسترس است. مشخص شده که پانزده تا بیست عنصر برای رشد گیاهان سبز مورد نیاز است. بیش از ۷۰ درصد از ترکیبات فسفره در فاضلاب ها در اثر استفاده از شوینده های خانگی ایجاد می شود و باید اقدام کنترل کننده ای روی این مسئله انجام گیرد.

### ۴- ترکیبات آلی سنتز شده:

تولید ترکیبات آلی شیمیایی بعد از جنگ جهانی دوم در دنیا به میزان قابل توجهی افزایش یافت. ترکیبات موجود شامل مواد سوختنی، پلاستیک ها، نرم کننده ها، فیبرها، الاستومرها، حلال ها، شوینده ها، رنگ ها، مواد ضد آفت، افزودنی های غذایی و داروها می باشند که از بین آن ها شوینده ها و مواد آفت کش از اهمیت ویژه ای برخوردارند. از آنجایی که استفاده از این ترکیبات شیمیایی به سرعت در حال توسعه است، عوامل مشخص نظیر، انتشار، نابودی و میزان خطر باید مورد بررسی قرار گیرد.

جدول ۱-۱ تاثیرات املاح مختلف موجود در آب

بیماری های مرتبط	دلایل وجود املاح	املاح مربوطه
خطر بروز سرطان و بیماری کلیوی و کبدی	انحلال مواد معدنی و پسابهای صنعتی	آرسنیک
بیماری های اعصاب و روان و مشکلات کلیه و کبد و کم خونی و بیماریهای تناسلی	فرآورده های حاصل از تجزیه آفت کش ها	حشره کش ها و مواد دفع آفات
سرطان و بیماریهای کبد ، کلیه و تیروئید	تجزیه سموم مصرف شده در صنعت کشاورزی	علف کش ها
سرطان خون ، کم خونی ، بروز مشکلات عصبی ، کم هوشی و بیماریهای ریوی	پسابهای صنعتی و آلودگی های جوی	مواد شیمیایی بنزن ، تتراکلرید کربن
مشکلات کلیوی و بیماریهای تناسلی	کارخانجات ، مصارف خانگی ، صنعت ، فاضلابها	مواد شوینده
افزایش مواد سمی در بدن (TOXIC) بروز بیماریها خصوصا در زنان باردار و اطفال	بصورت معدنی در آبهای سطحی و زیرزمینی	فلزات سنگین مانند سرب و جیوه
سرطان	آلودگی های جوی ، تجزیه مواد معدنی و پسابهای صنعتی	آزبست
سبب بروز برخی بیماریهای ناشناخته و در مواردی بروز سرطان	گندزداها و سفید کننده ها در مصارف خانگی و صنعتی	کلر و مشتقات آن
مشکلات قلب و عروق ، بیماریهای کلیوی و کبد ، بیماریهای استخوان و بطور کل اسکلتی ، امراض مخاطی و سرطان ، تیروئید ، بروز مشکلات ظاهری در بدن	منابع طبیعی ، تماس آب با حیوانات ، لوله های انتقال و رکو آب در آنها ، تجزیه معادن ، استفاده از کودهای فسفاته ، نفوذ فاضلابها ، فعالیتهای صنعتی بشر	وجود عناصری از قبیل باریم ، کادمیوم ، مس ، فلوراید ، نیتрат ها ، پرکلرات ، رادیوم ، سلنیوم و کل مواد جامد محلول در آب (TDS)

## ۵- نفت

در سال ۱۸۵۹ اولین چاه نفت با استخراج موفقیت آمیز در پنسیلوانیا بهره برداری شد. در حال حاضر سالانه بیش از چند بیلیون بشکه نفت خام در دنیا مورد بهره برداری قرار می گیرد. تولید، توزیع و استفاده سالانه از یک چنین مقدار زیادی نفت باعث ایجاد پی آمدهای محیطی می شود. آلودگی نفتی در اثر فوران نفت ایجاد می شود.

## ۶- مواد شیمیایی معدنی و کانی ها

این گروه از آلوده کننده های آب شامل نمک های معدنی و اسیدهای معدنی و ترکیبات فلزی است. حضور این آلوده کننده ها در آب سه نتیجه عمومی شامل اسیدیته، شوری و سمی بودن آب را فراهم می آورد:

\*خاصیت اسیدی (اسید یته): با اهمیت ترین منابع برای افزایش دادن اسید یته شامل زهکشی معادن و باران اسیدی است.

\*شوری: شوری آب مشاهده غیر معمولی نمی باشد بلکه حدود ۹۷ درصد از کل آب های جهان در اقیانوس ها و دریاها به صورت آب نمک هستند و ۳ درصد باقیمانده آب شیرین نامیده می شود.

\*سمیت: خاصیت سمی تعدادی از ترکیبات معدنی خصوصا عناصر سنگین فلزی سال ها شناخته شده است. تعدادی از این ترکیبات که خواص مطلوبی دارند، مرتبا تولید می شوند. احتیاط لازم، ضامن امنیت اشخاصی است که در امر تولید درگیرند.

سمی ترین این مواد در محیط زیست، شامل مواد حاوی جیوه، سرب، کادمیوم، کروم و نیکل می باشند. این فلزات در بدن موجودات زنده جمع و به مدت زمان طولانی باقی می ماند و به عنوان مجموعه سم عمل می نمایند.

## ۷- رسوبات:

رسوبات یکی از انواع آلودگی ها که به طور طبیعی در فرآیندهای فرسایشی به وجود می آیند. رسوبات در اثر این فرآیند ها موجب آلودگی گسترده آب های سطحی می شوند.

تاثیرات زیان آور رسوبات در آب عبارتند از:

**الف:** کانال های چشمه ها، بنادر و مخازن پر می شوند. کانال ها سرریز شده و عمق آن ها تغییر می کند و عمر مفید مخازن آب کم می شود.

**ب:** جانوران آبزی رانابود می کند. رسوبات ته نشین شده تعداد ماهی ها و جانوران صدف دار را کاهش می دهد و زیستگاه های آن ها را می پوشانند.

**ج:** نفوذ نور به درون آب را کاهش می دهد. کاهش نفوذ نور خورشید به داخل آب موجب کاهش فرآیند فتوسنتز توسط گیاهان می شود.

**د:** آب را تیره می کند. این موجب افزایش هزینه لازم برای تصفیه آب می شود.

## ۸- مواد رادیو اکتیو ( پرتوزا )

بعضی از عناصر دارای هسته بسیار ناپایدارند که خود به خود به اجزاء کوچک تر تجزیه می شوند و انرژی تابشی زیادی تولید می کنند. تشعشع این فرایندهای تجزیه ای مواد رادیو اکتیو بسیار خطرناک و حتی مرگ آور است. خطرناک ترین هسته های رادیو اکتیو، هسته های رادیو اکتیو با نیمه عمر متوسط هستند. عناصر رادیو اکتیو (پرتوزا) در هنگام تجزیه هسته های خود، اشعه های آلفا، بتا پخش پوزیترون نوترون و اشعه گاما ساطع می نمایند. مواد رادیواکتیو از ضایعات هسته ای ناشی از تأسیس نیروگاه هسته ای ( اسخراج و تخلیص اورانیم و توریم ) و همچنین استفاده از رادیواکتیو در صنعت و پزشکی و غیره تولید می شود.

## ۹- گرما

گرما معمولاً از نظر بیشتر مردم، یک آلوده کننده و حداقل به عنوان یک عامل فاسد کننده شیمیایی نیست، گرچه افزایش دمای آب بدن سبب تاثیرات زیانباری به بزرگی بسیاری آلوده کننده های شیمیایی می شود. سرعت هر واکنش شیمیایی، شامل تنفس آبزیان و اکسایش تقریباً با افزایش دما به ازاء هر ۱۰ درجه سانتی گراد دو برابر می شود. در آب های آلوده شده حرارتی، ماهی ها به علت افزایش سرعت تنفس به اکسیژن بیشتری نیاز دارند. تهدید بیشتر به زندگی آبزیان از طریق کلرینه کردن آب های سرد برای استفاده می باشد. این کار برای جلوگیری از رشد باکتری ها انجام می شود. کلر به روی موجودات زنده محیط تاثیر می گذارد. کلر، موجودات زنده میکروسکوپی را که بعضی از زنجیره های غذایی اهمیت دارند از بین می برد.



آلودگی گرمایی در نتیجه افزایش حرارت آب و در نتیجه مرگ موجودات آبی ایجاد می شود .

## آلودگی های دیگر:

سه نوع دیگر از آلودگی آب نیز وجود دارد که شامل آلودگی های مواد نفتی، آلودگی ناشی از مواد رادیواکتیو و آلودگی گرمایی آب می باشد.

\* آلودگی نفتی شامل ریختن مواد نفتی به مسیرهای آبی و رودخانه ها می باشد. علت این آلودگی تخلیه مواد نفتی و زباله های نفتی در مسیرهای ساحلی و کنار دریا می باشد. به علاوه شرکتهای نفتی با عملیات حفاری در کنار ساحلها سهم بالایی را در آلودگی آنها دارند. آلودگی های نفتی باعث مشکلات بالا به خصوص مرگ و میر پرندگان و حیوانات ساحلی می شود. مقدار کمی از نفت به سرعت در آب منتشر می شود و تا مسافتهای طولانی را آلوده می کند.

\* مواد رادیواکتیو نیز یکی دیگر از عوامل آلودگی آنها هستند. این آلودگی ها به صورت زباله های هسته ای کارخانه ها، صنایع، پزشکی وابسته به مواد رادیواکتیو هستند. اشکال ثابت این آلودگی معدنکاری توریوم و اورانیوم و پالایش این مواد است.

\* یکی دیگر از آلودگی های آبی آلودگی گرمایی است که این افزایش درجه حرارت آب باعث مرگ و میر موجودات آبی می شود. افزایش درجه حرارت به علت تخلیه آبهای گرم توسط کارخانه ها و برق تولیدی کارخانه ها است.

## آلودگی آب های سطحی و زیرزمینی:

زندگی مصرفی امروزی باعث شده که منابع آبی هر روزه با مواد شیمیایی جدیدی آلوده شوند. آلودگی آب زمانی اتفاق می افتد که پسماندهای مایعی که مستقیماً وارد زمین شده یا آنهایی که از پسماندهای جامد شسته شده اند، از محل استقرار خود حرکت نمایند. در چنین شرایطی، مقدار آلودگی وابسته به قابلیت تحرک مواد، میزان دسترسی آنها به سیستم آب زیرزمینی، ویژگیهای سفره آب ها و آب و هوای منطقه می باشد. در خاکهای نفوذپذیر حرکت آلوده سازها نسبتاً سریع است. البته بسته به سرعت حرکت آب زیرزمینی و مسافت طی شده، ممکن است همه یا بخشی از آلودگی بیولوژیکی از بین برد. در صورتی که آلودگی شیمیایی ممکن است تا مسافتهای دور حمل شود.

افزایش روزافزون جمعیت و بالارفتن استانداردهای زندگی در بسیاری از کشورها موجب نیاز روز افزون به آبهای زیرزمینی برای مصارف مختلف کشاورزی، صنعتی و خانگی شده است. آبهای زیرزمینی به عنوان یکی از مهمترین منابع تامین کننده آب، با چالشهای متفاوتی از جمله آلاینده های طبیعی و غیر طبیعی روبرو است. آبهای زیرزمینی به دلیل

استعداد آلودگی کمتر و همچنین ظرفیت ذخیره زیاد نسبت به آبهای سطحی به عنوان یک منبع مهم در منابع آب مورد توجه می باشد.

چهار ماده آلاینده مهم در آب های زیرزمینی عبارتند از کلرورها، نیترات ها، هیدروکربن ها و فلزات سنگین. به طور کلی کیفیت آب زیرزمینی به دو عامل بستگی دارد: منشأ آب زیرزمینی (آب رودخانه یا آب بارندگی) و واکنشهای شیمیایی بین آب و محیطی که آب در آن جریان دارد.

امکان آلودگی آب های زیرزمینی نزدیکه سطح زمین وجود دارد از این رو برای اطمینان از پاکی آب مصرفی از آب های زیرزمینی عمیق استفاده می شود. مقدار آب یک لایه آبدی بستگی به اندازه و تخلخل آن دارد. اگر لایه آبدی شنی است معمولاً آب عاری از میکروب و ویروس است زیرا که آب ضمن عبور از لایه شنی زمین به طرز مؤثری صاف می شود در صورتی که چنین تصفیه ای در زمین های آهکی متخلخل صورت نمی گیرد. برداشت بیش از اندازه آب های زیرزمینی مناطق ساحلی باعث پیشروی آب شور به مخازن آبهای شیرین زیرزمینی شده و کیفیت آنها را تغییر می دهد. همچنین دانه بندی، جنس زمین و عمق سطح ایستابی از عوامل مؤثر در شدت و ضعف آلودگی است.

با عبور آب از سیکل هیدرولوژیک (چرخه آبدی طبیعت)، کیفیت آن در واکنشبه محیط هایی که از آنها عبور می کند عوضی می شود. این تغییرات ممکن است به خاطر انسان بوده یا طبیعی باشد. بعضی مواقع می توان آن ها را کنترل کرد و گاهی اوقات غیرقابل کنترل اند، اما اغلب تشخیص منشأ مسایل کیفی آب ها مشکل است. اگرچه در مورد آب های سطحی، طریقه ی دفع پسماندها می تواند بر کیفیت آن ها بطور مستقیم تاثیر بگذارد اما مسائل کیفی آب های زیرزمینی دارای ثبات بیشتری هستند.

در کنار آلودگی های مرسوم زیست محیطی، نوع دیگری از آلودگی تعریف شده که در اصطلاح به آنها آلودگی حاصل از افزایش میزان عناصر کیفی اتلاق می شود و معمولاً توسط سازمان های متولی امور آب و خاک و سازمان های بهداشتی - زیست محیطی مورد مطالعه و بررسی قرار می گیرد.

حتی اگر از عوارضناشی از ورود عناصر سمی، سنگین، رادیو اکتیو و ... به بدن صرف نظر کنیم متوجه خواهیم شد سایر عناصری که در علم پزشکی از اهمیت بسیار زیادی برخوردارند چگونه می توانند با افزایش یا کاهش ناچیز خود به صورت محلول مشکلاتی را برای بدن انسان با تغییر در سیستم جذب سایر عناصر بوجود آورند.

یکی از عوامل محدود کننده آلودگی آنتروپوژنیک ژئوژنیک منابع آبی است که ارتباط مستقیم با سلامت عمومی جامعه دارد. آلودگی طبیعی آب های زیرزمینی معمولاً ناشی از جنس زمین و وجود رگه های معدنی در آن است. توسعه صنایع و کشاورزی نیز از عوامل دیگر آلودگی آب های زیرزمینی هستند.

این حقیقت که آلاینده های شیمیایی معمولاً باعث اثرات سمی و حاد نمی شوند، آنها را از نظر تقدم در مرتبه پائین تری نسبت به آلاینده های میکروبی، که اثرات آن حاد و گسترده تر است، قرار خواهد داد. در حقیقت می توان ابراز داشت که استانداردهای شیمیایی آب آشامیدنی در منبع آبی که در معرض آلودگی میکروبی شدید است در درجه دوم اهمیت میباشند.

## شاخصهای تعیین کیفیت آب

### \*سختی (Hardness):

سختی آب به دو صورت موقت و دائم می باشند، سختی موقت شامل سختی بیکربناتهای کلسیم و منیزیم است. که در اثر حرارت  $100-30$  درجه سانتیگراد شروع و کامل می شود. سختی دائم شامل سولفاتها، کلرورها و نیتراتهای کلسیم و منیزیم می باشد. مجموع سختی موقت و دائم را سختی کل می نامند.

### \*اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی BOD5 ( Biological Oxygen Demand )

عبارت است از مقدار اکسیژن مورد نیاز برای اکسیده شدن مواد آلی موجود در آب بوسیله میکروارگانیسم های هوازی در یک تست ۵ روزه .

### \*اکسیژن مورد نیاز شیمیایی CO = ( Chemical Oxygen Demand )

عبارت است از میزان اکسیژن مورد نیاز برای اکسیده شدن مواد آلی موجود در آب با کمک در کرومات جوشان و اسید سولفوریک غلیظ در مدت ۲ ساعت انجام می پذیرد .

### \*اکسیژن محلول DO ( Dissolved Oxygen )

اکسیژن محلول مهمترین عامل در ارزیابی قدرت حیات موجودات در آب است .

### \*مواد جامد حل شده TDS (Total Dissolved Solids):

بنا به تعریف، به کل مواد جامد حل شده (Total Dissolved Solids) در درون آب که غلظتی برابر با غلظت همه یونهای موجود در آب را دارا می باشند، اطلاق می گردد.

### \*کدورت:

میزان کدورت یک نمونه، ناشی از مواد کلوئیدی موجود در آن می باشد. معمولاً برای اندازه گیری کدورت از یک منبع نورانی و وسیله ای برای اندازه گیری نور پراکنده شده استفاده می شود. برای بیان مقدار کدورت از دو واحد JTU و دیگری NTU استفاده می شود.

### \*هدایت الکتریکی (EC):

به طور کلی هدایت الکتریکی در اثر وجود یونهای هادی جریان الکتریسیته در محلول می باشد و افزایش TDS (مواد جامد حل شده) به بالا رفتن هدایت الکتریکی منجر خواهد شد. واحد هدایت الکتریکی برحسب زیمنس بوده و رابطه آن با TDS در غلظتهای پایین برابر با  $EC5/0TDS$  = است.

### \*PH:

برای بیان میزان قدرت اسیدی محلول آبی، آن را با مشخصه ای به نام PH معرفی می نمایند. مقدار PH نمونه برابر با منفی لگاریتم غلظت یون هیدرونیوم در محلول می باشد.

### \*محتمل ترین تعداد (Most probable number) MPN:

واحدی است که توسط آن غلظت کلیفرم روده ای را مشخص می نمایند، وجود کلیفرم روده ای در آب بیانگر آلودگی آن به فاضلابهای انسانی است، مقدار MPN در آب شرب می بایست صفر باشد تا از آلوده نبودن آب اطمینان حاصل نمود.

### آلودگی منابع نقطه ای و غیر نقطه ای

آلودگی در لغت به معنی حالتی از نابهنجاری و یا ناپاکی می باشد. آلودگی آب زمانی اتفاق می افتد آب بیش از حد مجاز دارای مواد اضافی دیگر باشد. وقتی این اتفاق می افتد آب برای آشامیدن غیر قابل استفاده می شود. آلودگی آب دو مورد است که شامل

## ۱- منابع نقطه ای

## ۲- منابع غیر نقطه ای

منابع نقطه ای آلودگی زمانی اتفاق می افتد که مواد شیمیایی زیان آور در داخل آب انتشار پیدا کند.

Exxon بزرگترین کمپانی نفت دنیا منابع آلودگی نقطه ای آب را نشان داد. منابع غیر نقطه ای آلودگی آب به طور غیر مستقیم به تغییرات محیط زیست بستگی دارد و با این تغییرات ایجاد می شود. به عنوان مثال زمانی که کودهای شیمیایی توسط آب باران شسته می شوند و همراه آبراهه ها حرکت می کنند منابع آلودگی را منتشر می کند و روی حیات جانداران آبی تاثیرات بدی می گذارد. با پیشرفت تکنولوژی می توان منابع آلودگی نقطه ای آب را آگاهی داد و میزان آن را تنظیم نمود. کنترل منابع غیر نقطه ای آلودگی آب شرایط متفاوتی دارد. اکثر آلودگی منابع غیر نقطه ای آب در آبراهه ها و دریاچه ها اتفاق می افتد.

## منابع آبی:

به طور کلی منابع آب به دو صورت وجود دارد:

آبهای زیرزمینی (چاه، چشمه، قنات)

آبهای سطحی (رودخانه، دریاچه، دریا، اقیانوس)

## \*آب های زیرزمینی:

آب زیرزمینی (Ground Water) آن قسمت از آب زیر سطح زمین است که توسط چاه ها، قنات ها یا کانال های زهکشی می تواند جمع آوری گردد. آب زیرزمینی آبی است که در زیر سطح زمین، درزه ها و فضاهای حفره ای را در صخره ها و رسوبات پر می کند. اکثر آبهای زیرزمینی بطور طبیعی خالص هستند. اکثر اوقات، آبهای زیرزمینی سالها حتی قرنهای قبل از مصرف دست نخورده باقی می ماند. بیش از ۹۰٪ آب آشامیدنی کل جهان از آب زیرزمینی است.

آب زیرزمینی گاهی اوقات صدها سال طول می کشد تا جمع شود. یکی از بهترین مثالها مربوط به صحرای آفریقا می باشد که آب زیرزمینی برای هزاران سال جمع شده و هنوز برای آشامیدن و آبیاری استفاده می شود. آب زیرزمینی در زیرزمین جایی که انواع متفاوت سنگها می توانند به عنوان مخزن عمل کنند، ذخیره شده است. ماسه و ماسه سنگ بهترین مواد به عنوان مخزن می باشند و سفره های آب زیرزمینی بزرگی را در زیرزمین تشکیل می دهند.

به کلیه آب هایی که به طور طبیعی در زیر سطح زمین وجود دارند، آب زیرسطحی گفته می شود. اما همه آن ها تبدیل به آب زیرزمینی نمی شود. اساساً این آب ممکن است به سه حالت درآید. اول، در اثر نیروی موینگی به سطح زمین کشانده شده و از آنجا به صورت بخار به جو باز می گردد. دوم، توسط ریشه گیاهان جذب شده و بوسیله عمل تعرق به اتمسفر برگردد. سوم، آب نفوذ کرده در اثر نیروی ثقل به طرف پایین کشیده می شود و به آب های زیرزمینی تبدیل می گردد. برای درک بهتر چگونگی تشکیل آب زیرزمینی، نخست باید کمی به خود زمین توجه کنیم. سطح زمین را سازندهای مختلف اشغال نموده اند. در بعضی نقاط، سازندها توسط یک لایه خاکپوشیده شده اند ولی در بسیاری از نقاط سازندهای بی پوشش را به خوبی می توان دید. اگر به سازندهای مختلف دقیقاً توجه شود، مشخص می شود که همه سازندهای تشکیل دهنده پوسته جامد زمین دارای مقداری فضاهای خالی هستند. این فضاهای خالی در ابعاد و شکل های مختلف ظاهر می شود می شوند. بعضی از آنها مانند فضاهایی که در سازندهای آهکی موجودند، آنقدر کوچکند که با چشم غیرمسلح دیده نمی شوند. ولی در بعضی از سازندها مثل سازندهای آهکی کارستی شده همین فضاهای خالی بعضی اوقات طول و عرضشان به چندین متر می رسد. آب در زیرزمین در میان همین فضاهای خالی جای می گیرد. آب زیرزمینی آبی است که در داخل خاک نفوذ کرده و در لایه های متخلخل زیرزمینی محبوس شده است. فرآیند نفوذ آب در خاک باعث تصفیه آب میشود و به همین دلیل است که آبهای زیرزمینی به عنوان منابع آب شیرین برای انسان به شمار میروند. بالابودن مقدار مواد معدنی محلول و هزینه پمپاژ از عیوب مصرف آب های زیرزمینی است. در سال های اخیر بیشتر تحقیقات در کشورهای صنعتی از مسئله تامین آب زیرزمینی به مسئله ی کیفیت آب زیرزمینی تغییر یافته است.

### – مشکلات و آلودگی آبهای زیرزمینی:

به دلیل عدم شناخت صحیح و یا عدم درک میزان آسیب پذیری سریع آبهای زیرزمینی، سهل انگاری های زیادی صورت گرفته است. اجازه داده ایم که بنزین و سایر مایعات مضر از مخازی زیرزمینی به درون سفره های آبهای زیرزمینی نفوذ کند. آلاینده ها، از محل های دفن زباله یا سیستم های فاضلاب که بطور غلطی ساخته شده اند، به داخل آن تراوش می کنند.

آبهای زیرزمینی از طریق زهاب حاصله از مزارع کشاورزی کود داده شده و مناطق صنعتی، آلوده می‌شوند. صاحبان خانه‌ها با ریختن مواد شیمیایی به داخل فاضلاب یا روی زمین، آبهای زیرزمینی را آلوده می‌کنند.

### – سفره‌های آب زیرزمینی چگونه تشکیل می‌شوند؟

بخشی از آب‌های سطحی و آب‌های حاصل از بارندگی در اثر نیروی جاذبه وارد محیط خاک شده و به سمت پایین حرکت می‌کنند. جنس سنگ و خاک زمین در میزان نفوذ آب و حرکت آن در داخل زمین موثر است. لایه‌هایی از زمین که ظرفیت بالاتری برای جذب، ذخیره و انتقال آب دارند آب‌خوان نامیده می‌شوند. آبخوان‌ها مانند یک مخزن، آب را در خود ذخیره می‌کنند و تشکیل سفره‌های زیرزمینی را می‌دهند. باید توجه داشت که تشکیل یک مخزن آب زیرزمینی، هزاران سال طول می‌کشد، ابعاد سفره‌های زیرزمینی از چند ده متر تا چند صد کیلومتر متفاوت می‌باشد.

در سال‌های اخیر در بسیاری از کشورهای جهان برداشت آب از منابع زیرزمینی از میزان تغذیه سالیانه آن‌ها بیشتر بوده است. این امر به معنای استخراج و استفاده از آبی است که در طول هزاران سال در لایه‌های آب‌دار زمین ذخیره شده است. با این کار سطح آب‌های زیرزمینی در منطقه روز به روز افت کرده و سرانجام به جایی خواهد رسید که آبی برای برداشت وجود نخواهد داشت. پایین افتادن سطح آب‌های زیرزمینی موجب خشک شدن چشمه‌ها، قنات‌ها، چاه‌ها و به خطر افتادن زندگی در اکثر مناطق می‌شود.

جالب است بدانید در سال ۲۰۰۵ (میلادی) چین، هند و ایران بیشترین برداشت را از منابع آب زیرزمینی داشته‌اند.

### چاه:

چاه از سطح زمین تا داخل منطقه اشباع آب زیرزمینی، حفر می‌گردد و به تدریج آب زیرزمینی در آن جمع می‌شود. بیرون آوردن آب از چاه با استفاده از تلمبه‌های دستی یا موتوری صورت می‌گیرد. استفاده از آبهای زیرزمینی بوسیله حفر چاه در همه جای دنیا رایج است.

### چشمه:

هرگاه آبهای زیرزمینی از راه‌های طبیعی به خارج راه پیدا کنند چشمه‌ها را تشکیل می‌دهند. بعضی از چشمه‌ها برای تمام سال و بعضی‌ها برای مدت کوتاه و یا بطور متناوب جاری هستند.

## قنات :

قنات یک تونل زیرزمینی است که برای جمع آوری آب و انتقال آن به سطح زمین ، توسط انسان ایجاد می شود. قنات هزاران سال قبل توسط ایرانیان ابداع گردیده است. حفر قنات به این صورت است که: یک تونل افقی ، با شیب کم به سمت خارج، در داخل زمین حفر می شود تا به سفره آب زیرزمینی رسیده و در آن پیشروی نماید. این مسیر افقی معمولاً توسط چاههای قائم متعددی به سطح زمین متصل می شود. از طریق این چاهها، خاکهای حاصل از کندن تونل به خارج منتقل می شود. در کف قنات معمولاً با قرار دادن مصالحی که اغلب جنسشان از سفال است، مانع از این می شوند که آب در هنگام خارج شدن، دوباره به کف تونل نفوذ کند. به محلی که آب از تونل خارج می شود و به سطح زمین می رسد، مظهر قنات، و به عمیق ترین چاه قنات، مادر چاه می گویند. نکته جالب توجه این است که خروج آب از زمین بدون صرف انرژی و با استفاده از شیب زمین صورت می گیرد.

### \*آب های سطحی:

آب سطحی به آب شیرینی اطلاق میگردد که روی سطح زمین باقی میماند و در داخل خاک نفوذ نمیکند. رودخانه ها، جویبارها، دریاچه ها، و مخازن آب، همه در زمره آبهای سطحی محسوب میشوند. آب سطحی با بارندگی تغذیه میگردد و منبع عمده آب شیرین برای مصرف انسان به شمار میرود. آبی که در سطح زمین یافت میشود، مواد محلول زیادی را به همراه خود دارد. منبع عمده این مواد، هوادیدگی است. هوادیدگی زمانی اتفاق میافتد که آب روی سطح زمین جریان پیدا میکند و مواد معدنی را که در آن وجود دارد در خود حل مینماید و سپس یونهای محلول را به اقیانوسها حمل میکند که در این مکان، یونها در نهایت تبدیل به رسوب میشوند. سهم انسانها در انتقال مواد محلول در آبدر اثر عواملی چون معدن کاوی، فعالیتهای صنایع و تخلیه فاضلابهای شهری و کارخانجات میباشد.

### رودخانه:

حجمی از آب جاری که از یک آبراهه عبور می کند را رودخانه گویند. در ابتدای هر بارندگی، آب باران بر اثر تبخیر به اتمسفر باز می گردد و یا به داخل زمین نفوذ می کند اما با افزایش سرعت و مدت بارندگی به تدریج درصد تبخیر کاهش یافته و بارش بیش از مقداری می گردد که زمین قادر به جذب آن باشد. در این زمان است که آب بر روی سطح زمین جاری می گردد.



این آبها ابتدا به صورت قشر نازکی از آب و یا تعداد زیادی از جویبارهای بسیار کوچک و درهم، جریان می یابند و سپس در مجاری معینی متمرکز می شوند که این مجاری، شاخه های اولیه رودخانه ها هستند. این شاخه ها مرتباً به یکدیگر پیوسته و رودخانه اصلی را به وجود می آورند.

## عناصر ایجاد کننده سختی و فلوئور در منابع آب

به طور طبیعی مواد محلول زیادی در آب پیدا میشوند. برخی از این مواد نه تنها زیان آور نیستند، بلکه بعضی از آنها نظیر کلسیم، منیزیم، آهن و ید از مواد مغذی ضروری هستند و آب قابل شرب میتواند منبع خوبی از این مواد باشد. مواد معدنی دیگر نیز مانند آهن، منگنز و سولفات سمی نیستند، اما نمیتوانند طعم و مزه خوبی به آب بدهند. مقدار زیادی سدیم در ترکیب با کلراید، مزه شور با آب میدهد. کلسیم و منیزیم در هنگام واکنش با کربنات، بیکربنات، سولفات و صابون به صورت رسوب در می آیند و باعث اختلال در بعضی از مصارف آب میشود. از مواد معدنی طبیعی که غالباً در ذخایر آبها یافت میشوند میتوان به فلوراید، نیتрат و سدیم اشاره کرد که شاید مهمترین آلاینده هایی هستند که تأثیرات منفی در سلامت انسان به جا می گذارند.

خاصیت خوردگی شدیدی دارند و سولفاتهای کلسیم و منیزیم باعث تشکیل رسوبهای سختی در جدار تأسیسات مولد نیرو میگردد اما کربناتها و بیکربناتها سدیم و پتاسیم نه خورنده اند و نه ایجاد رسوب در مجاورت آب با تشکیل CO<sub>2</sub> میکنند ولی ممکن است در اثر بعضی عوامل خود را که خاصیت اسیدی دارد از دست بدهند. دراین حال اسید کربنیک جدار دیگها و لوله ها را تحت تأثیر قرار خواهد داد.

میزان سختی کل منابع آب ناشی از عناصر ایجاد کننده سختی و همچنین میزان فلوئور منابع آب از مهم ترین عناصر تأثیرگذار بر روی سلامتی انسان هستند. آب سخت به طور طبیعی در مناطق دارای سنگ های کربناته به خصوص آهک دارای نمود بیشتری است و بیشتر به وضع زمین شناسی محلی که آب با آن تماس دارد مربوط بوده و همچنین به طور کلی آب های زیرزمینی سختی بالاتری را نسبت به آب های سطحی دارا می باشند. مهم ترین منابع فلوئور آب آشامیدنی نیز منابع معدنی طبیعی است. از دیدگاه سلامتی سختی را می توان بر اساس دو ویژگی مهم که عبارت از نقش مخرب عناصر ایجاد کننده سختی و رابطه معکوس آن در رخداد پاره ای از بیماری ها از قبیل بیماری های قلبی مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. همچنین رابطه مستقیمی بین سختی آب و بروز آگزاما، اختلالات استخوانی و مفصلی وجود دارد. شاید بتوان یکی از دلایل ایجاد بیماری های مذکور را به کمبود فلوئور بدن در اثر افزایش میزان عناصر سختی زای آب دانست.

فلوراید به صورت آزاد در طبیعت یافت نمیشود. سنگهای معدنی طبیعی حاوی فلوراید فلئوروآپاتیت، کریولیت، آپاتیت و فلئوروسپار هستند. چاه هایی که در مجاورت معادن آپاتیت قرار دارند ممکن است تا بیش از ۱۰ میلی گرم در لیتر فلئور داشته باشند اما در بیشتر منابع آب زیرزمینی کمتر از ۱ میلی گرم در لیتر است. درجه حرارت، فاکتوری تعیین کننده در غلظت فلئور در منابع آب است. میزان زیاد فلوراید در آب چاه هایی پیدا می شود که شامل میزان زیادی سدیم و قلیائیت بی کربناتی باشند و میزان کمی سختی کلسیمی داشته باشد. همچنین در آب های نرم و سبکی که pH بالایی داشته باشند و حاوی مقدار زیادی سیلیکات باشند.

نقش فلئور در سلامت دندانها و استخوانها به اثبات رسیده است. این عنصر در شرایط اسیدی از حلالیت مینای دندان می کاهد. بیماری پوسیدگی دندان ها از عوارض کمبود این عنصر است. از طرفی افزایش دریافت فلئور منجر به بروز بیماری فلئوروزیس دندانی، استخوانی و بیماری های کلیوی می گردد. علیرغم برخی نظرات، که فلئور را سرطانزا می دانند، اما در هیچ یک از منابع معتبر مانند سازمان بهداشت جهانی و (EPA) به سرطانزایی فلئور اشاره نشده است و به فلئوریداسیون آب تأکید دارند.

جدول ذیل (۱-۲) حدود مجاز فلور در آب آشامیدنی را بیان میکند:

میانگین حداکثرهای دمای روزانه محیط در سال * (°C)	حداقل لازم (mg/l)	مقدار مناسب (mg/l)	حداکثر مجاز (mg/l)
۱۲-۱۰	۰/۹	۱/۲	۱/۷
۱۵-۱۲	۰/۸	۱/۱	۱/۵
۱۷-۱۵	۰/۸	۱	۱/۳
۲۱-۱۷	۰/۸	۰/۹	۱/۲
۲۶-۲۱	۰/۷	۰/۸	۱
۳۳-۲۶	۰/۶	۰/۷	۰/۸

### محاسن آب زیرزمینی در برابر آب سطحی

آب زیرزمینی چون در زیر سطح زمین قرار دارد از بسیاری از آلودگی ها مصون و محفوظ است و برای شرب در صورتی که املاح آن زیاد نباشد بسیار مطلوب و مناسب است. یک منبع آب سطحی طبق معمول باید در یک زمان و مکان

مشخصی جمع آوری و مهار شود و برای اینکه به ظرفیت کامل برسد حتی ممکن است به چندین سال وقت نیاز داشته باشد. در حالی که آب زیر زمینی اغلب می تواند در هر نقطه و در هر زمان که به آن نیاز باشد با حفر چاه استحصال گردد و توسعه آن سریعتر از آنچه که انتظار می رود انجام شده و امکان بهره برداری از آن با هزینه ای که برای ساختن یک مخزن جمع آوری آب سطحی نیاز است، همراه نیست. مخازن آب سطحی مقداری زیادی از زمین ها را که ممکن است زمین های زراعی نیز باشند به صورت غرقاب در می آورند. به علاوه در مواقع گرم سال مقادیر زیادی از آب خود را در اثر تبخیر از دست می دهند. در حالی که آب زیرزمینی محل تجمعش در زیر زمین بوده و در صورت عمیق بودن به هیچ وجه از دمای هوا متاثر نمی شود. با وجود همه ی این محاسن، آب زیرزمینی دارای یک عیب بزرگ می باشد و آن این است که به طور یکنواخت و همسان در همه نقاط پوسته جامد زمین توزیع نشده است. مناطق وسیعی در روی کره زمین وجود دارند که آب زیرزمینی از آنچنان کمیتی بهره مند نیست که حفر چاه در آن دارای توجیه اقتصادی باشد. البته شایان ذکر است که آب های زیرزمینی به نسبت آب های سطحی شامل مقدار بیشتری از املاح می باشند که بعضاً مقدار این املاح اگر از میزان استاندارد بالاتر رود، تهدیدی برای سلامت مصرف کنندگان خواهد بود.

## وضعیت منابع آب در ایران

به دلیل واقع شدن کشورمان در منطقه خشک، کمبود نزولات آسمانی و عدم وجود رودخانه های پرآب و دائمی در اغلب نقاط مملکت و محدود بودن منابع آب های سطحی، اتکا به منابع آب زیرزمینی از گذشته دور وجود داشته است. استفاده از قنوات متعدد موجود و آثار و بقایای قنوات قدیمی در قسمت اعظم مملکت نشانه این وابستگی می باشد. در ایران تاکنون حدود ۳۴۵۷ رودخانه بزرگ و کوچک شناسایی شده است. رودهای بزرگ و مهم ایران از نظر تعداد، بیشتر در شمال و شمال غرب ایران جاری اند. خوشبختانه علیرغم نزولات کم جوی در سطح کشور، از آنجایی که بخش اعظم ریزش های جوی نقاط کم باران طی ماه های آخر پاییز تا اوایل بهار اتفاق می افتد، قسمت قابل توجهی از نزولات فرصت نفوذ به خاک و پیوستن به منابع آب زیرزمینی را پیدا می کنند. از طرفی، منابع آب های زیرزمینی این ویژگی را دارند که در صورت وقوع دوره های خشکسالی، متناسب با حجم مخزن تا مدتی طولانی پاسخگوی نیازهای مصرف باشند، در حالی که منابع آب های سطحی در مقابل چنین شرایطی آسیب پذیر بوده و چه بسا که رودخانه های دائمی نیز خشک شوند. باید توجه داشت که با تخلیه آب از آبخوان های زیرزمینی فضاهای بین دانه ای آبرفت از آب تهی شده، بر اثر فقدان فشار آب بین دانه ای و تحمل وزن طبقات خاک و سنگ فوقانی دانه ها به هم نزدیکتر و فضاهای خالی بین این دانه ها کمتر شده و یا از بین می رود. نشست زمین نیز پدیده ای است که در چنین مواقعی در آبخوان

های تخلیه شده از آب اتفاق می افتد. لذا قابلیت ذخیره مجدد آب کاهش یافته و جبران مافات نیز مقدور نخواهد بود. در ایران سالانه حدود ۵۰ میلیارد مترمکعب آب زیرزمینی استحصال و مورد استفاده های گوناگون واقع می شود. در بین حوزه های ششگانه، حوزه مرکزی کشور بیشترین تعداد منابع آبی را دارا بوده و بالاترین تخلیه سالانه را به خود اختصاص داده است، در حالی که کمترین تعداد تخلیه سالانه متعلق به حوزه های شرقی کشور است. اکنون تمامی حوزه های آبریز ششگانه کشور با کسری مخزن آب زیرزمینی مواجه اند. حجم کسری مخزن به حدود ۶ میلیارد متر مکعب رسیده است.

## اهمیت تصفیه آب

\* چه برای مصارف آشامیدنی و چه برای مصارف صنعتی، معمولاً آب طبیعی احتیاج به تصفیه دارد. تصفیه آب برای مصارف آشامیدنی هم آسان تر و هم ارزان تر از تصفیه آب برای مصارف صنعتی است. نگرانیهای اساسی در مورد آب آشامیدنی عبارتند از :

- باکتری های بیماری زا ( پاتوژن ها ) در آب .

- کمبود و یا وجود زیادی غلظت بعضی از یونها که در سلامتی انسان نقش دارند مانند: یون فلوئور.

- ذرات معلق در آب .

- بو و مزه آب.

\* دامنه نگرانی های اساسی در مورد آب های صنعتی بستگی به محل مصرف آب دارد. آب به صورت های متفاوت در صنایع وابسته مطرح می شود :

۱- به عنوان ماده اولیه برای تهیه محصول نهایی، بدون اینکه تغییر شکل دهد

۲- به عنوان ماده اولیه برای شرکت در واکنش شیمیایی تهیه محصول نهایی

۳- به عنوان حلال موادی که در واکنشهای شیمیایی شرکت می کنند

۴- به عنوان ماده واسطه انتقال حرارت از دمای زیر صفر ( آب نمک ) تا دمای بخار آب

۵- به عنوان ماده ذخیره کننده انرژی

۶- به عنوان ماده واسطه جهت خارج کردن مواد ناخواسته (زائد)

۷- به عنوان سپر محافظتی در برابر گرما و تشعشع آب سنگین (D2O) مورد استفاده در نیروگاهها

۸- به عنوان ماده ای راحت و ارزان جهت استاندارد ساختن دستگاههای اندازه گیری دما، دانسیته و ویسکوزیته

۹- به عنوان ماده اصلی جهت مبارزه با آتش به جز در موارد استثنائی مثل مواد نفتی

۱۰- خصوصا در مهندسی شیمی و پتروشیمی، بسیاری از فرایندها همانند نمک زدایی، خشک کردن، تبخیر کردن، کریستالیزاسیون، اختلاط، رزین های تعویض یونی، رطوبت زدایی، جذب سطحی و غیره در ارتباط مستقیم با آب هستند

\* مطلوب ترین آب برای هر صنعتی آب بدون یون می باشد، اما هزینه تصفیه آب تا رسیدن به مرحله آب بدون یون بسیار زیاد است. برای هر صنعتی مطلوب ترین آب آن است که هزینه تصفیه آب کمتر از مخارج درمان عواقب زیان بخش ناخالصی ها باشد که برای اکثر صنایع، رسیدن به این امر با تکیه بر استفاده از سیستم اسمز معکوس RO یا (Reverse Osmosis) امکان پذیر می باشد. برخی اثرات زیان بخش ناخالصی های آب در صنعت:

۱- تولید رسوب در دستگاه های حرارتی و دیگ بخار

۲- تولید بخار با کیفیت پایین

۳- خوردگی بویلرها و دیگر سیستم های حرارتی و لوله ها

۴- اتلاف مواد شیمیایی مانند صابون

۵- باقی گذاردن لکه روی محصولات غذایی و نساجی. ناخالصی های آب: تقریباً هر ماده ای در آب محلول است و این حلالیت به دما، فشار، PH، پتانسیل شیمیایی و به غلظت نسبی دیگر مواد در آب بستگی دارد.

در طبیعت این عوامل چنان به هم مربوط هستند که کمتر می توان حلالیت ماده ای را در آب به طور دقیق پیش بینی کرد. در واقع آب یکی از مشهورترین حلال هاست. مخصوصاً مواد قطبی (مثل نمک ها) به مقدار زیادی در آب حل می شوند. از این رو آب به طور خالص در طبیعت وجود ندارد. آب همیشه در حال انحلال، انتقال و یا رسوب گذاری است. بخار آب موجود در هوا، در اثر میعان به صورت باران در می آید که در موقع باریدن مقداری گرد و خاک، اکسیژن، دی اکسید کربن و دیگر گازها را در خود حل می کند. در روی سطح زمین، آب مقداری از مواد معدنی را در خود حل کرده و همراه مواد دیگر

به نقاط مختلف منتقل می کند. آب در هنگام نفوذ در لایه های مختلف زمین، قسمتی از مواد معلق و میکروبها را در در لایه های مختلف زمین از دست می دهد.

● ناخالصی های آب را می توان به چهار دسته تقسیم کرد :

۱- مواد معلق

۲- گازها

۳- نمکهای محلول

۴- میکروب ها خصوصا اشريشيا کليفرم (کلیفرم روده ای)

## تکنولوژی های غشایی

فرآیندهای غشایی از روشهای نوین جداسازی هستند که بدون استفاده از تغییر فاز، اجزاء مورد نظر را از سیال جدا می نمایند. عدم تغییر فاز در طول فرایند جداسازی موجب می شود که جداسازی با صرف انرژی کمتری صورت گیرد. دو خصوصیت اصلی غشاها یعنی توانایی قابل توجه در انجام انواع جداسازی ها و حداقل مصرف انرژی، عوامل گسترش روزافزون فرایندهای غشایی می باشند. غشاها کاربرد های فراوانی در زمینه های مختلف علمی و صنعتی دارند که از جمله می توان به شیرین کردن آب دریا، دیالیز خون، تصفیه آب نظیر آب رودخانه، چشمه و چاه، تصفیه پساب های خانگی، تصفیه انواع پساب های صنعتی مانند تصفیه پساب صنایع نساجی، کاغذ سازی، چرم سازی، الکل سازی، تغلیظ شیر در کارخانجات پنیر سازی، تغلیظ آب میوه، جداسازی میکروارگانیسرها، استریل کردن مایعات، جداسازی پروتئین ها از آب پنیر، جداسازی گازهای ترش از گاز طبیعی، جداسازی اکسیژن و نیتروژن از هوا، جداسازی اتیلن از گازهای خروجی واحد تولید پلی اتیلن، بهینه سازی محیط زیست، صنایع داروسازی و بیوتکنولوژی اشاره نمود. با توجه به اهمیت روزافزون آشنایی با فرآیندهای غشایی در فصل چهارم به بررسی و شناخت غشاهای اسمز معکوس می پردازیم.

## ویژگیهای انواع آب

جهت استفاده از دستگاههای اسمز معکوس برای تصفیه آب ابتدا باید خصوصیات آبهای گوناگون و ناخالصی های موجود را شناسایی و مطالعه نمود، لذا در ذیل حدود مجاز ویژگی های فیزیکی آب آشامیدنی و ویژگیهای انواع آب می پردازیم :

جدول ۳-۱ (حدود مجاز ویژگیهای فیزیکی آب آشامیدنی)

ویژگی	حداکثر مطلوب	حداکثر مجاز
رنگ (Pt-Co)	۵	۲۰
بو	غیر قابل اعتراض	-
PH	کمتر از ۷ یا بیشتر از ۸٫۵ نباشد	کمتر از ۶٫۵ یا بیشتر از ۹٫۲ نباشد
تیرگی (JTU)	۵	۲۵

### الف) ویژگی آبهای زیرزمینی

\* مواد معلق در آنها کم است

\* معمولاً مواد آلی بسیار کم دارند

\* ممکن است دارای ذرات شن باشند

\* این آبها حاوی آهن محلول و گاهی هم منگنز محلول هستند که وقتی آب در معرض اتمسفر قرار می گیرد در اثر اکسید شدن توسط هوا، ذرات زرد- قهوه ای در آنها ظاهر می شود

\* دی اکسید کربن ممکن است در این آبها زیاد باشد و PH این آبها معمولاً ۹/۶ - ۷/۹ می باشد.

\* آب چاههای خیلی عمیق معمولاً عاری از میکروبها و دیگر میکروارگانیسم ها می باشد ولی آب چاههای کم عمق معمولاً آلوده به میکروارگانیسم ها هستند

\* به خاطر انحلال جزئی مواد معدنی، معمولاً این آبها دارای املاح زیاد می باشند حدود **ppm ۵۰۰** که بیشترین جزء آن بی کربنات کلسیم است

\* این آبها معمولاً سخت هستند ولی سختی آنها موقتی است (سولفات و نیترات کلسیم و منیزیم)

## (ب) ویژگی آبهای سطحی

\* زلال نیستند.

\* **PH** این آبها حدود ۷-۸ است .

\* مواد عالی موجود در این آبها در نقاط مختلف متفاوت است. ممکن است حاوی دترجنت ها، نفت، روغن و فلزات سنگین باشند

\* معمولاً آلوده به میکروارگانیسمها هستند

\* مقدار آمونیاک، فنل و نیترات این آبها ممکن است زیاد باشد

\* اگر آبهای سطحی از آبهای کشاورزی ناشی شوند، معمولاً دارای نیترات و فسفات قابل توجهی هستند، بویژه در مناطقی که از کودهای شیمیایی استفاده می شود

## (ج) ویژگی آبهای شور

\* مقدار املاح این آبها بسیار زیاد و معمولاً بیشتر از **ppm ۱۰۰۰** می باشد

\* غلظت یون کلر و سدیم این آبها بسیار زیاد و معمولاً بیش از **ppm ۵۰۰** است . پیش تصفیه آب ورودی به سیستم می

تواند عمر غشاء را طولانی تر ساخته، کیفیت آب تولیدی را بهبود بخشد و هزینه های نگهداری و پاکسازی سیستم را

کاهش دهد . اهمیت شرایط آب ورودی زمانی آشکار می شود که شما کارکرد غشاء با جریان متقابل را مورد آزمایش قرار

دهید. به زبان ساده، سیستمهای فیلتراسیون جریان متقابل، جریان درون ریز را به دو جریان برون ریز یعنی

**Permeate** و **Concentrate** تقسیم و جداسازی می کند **Permeate** آن قسمت از جریان است که از غشاء

نیمه تراوا عبور می کند. جریان **Concentrate** (تغلیظ شده) دربرگیرنده آن اجزایی است که توسط غشاء پس زده

شده است. اساسی ترین مزیت فیلتراسیون جریان متقابل، قابلیت آن برای کارکرد پیوسته و مداوم با سیستم پاکسازی

خودبه خود است.





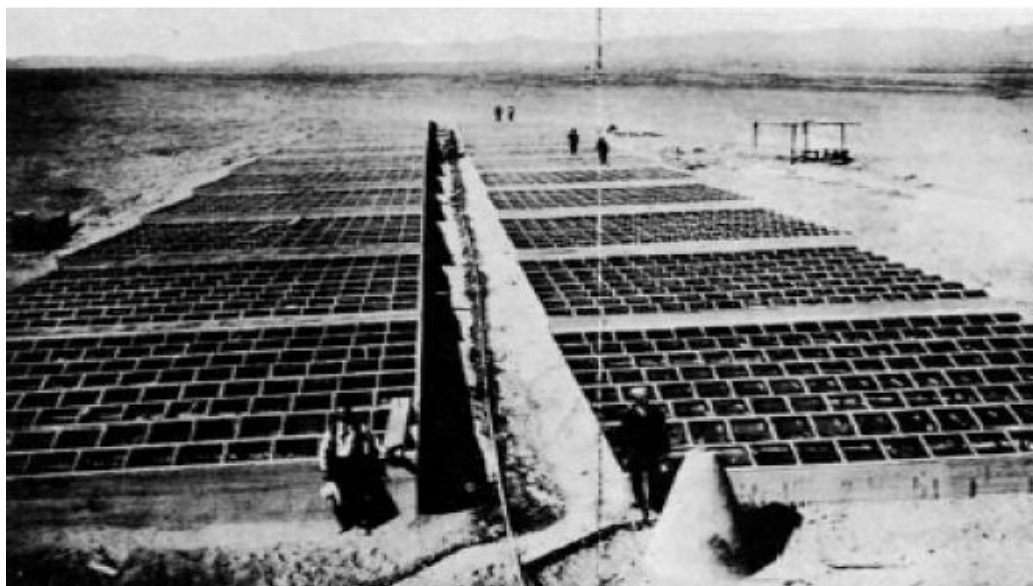
# فصل دوم

انواع آب شیرین کن خورشیدر

تقطیر خورشیدی به عنوان یک تکنولوژی خورشیدی دارای قدمت طولانی میباشد و استفاده از آن به ۲۰۰۰ سال پیش باز میگردد که در ابتدا هدف اصلی تولید نمک بود. اولین استفاده مستند از تقطیر خورشیدی برای تولید آب شیرین به قرن شانزدهم میلادی باز میگردد که این روش توسط یک شیمیدان عرب در سال ۱۵۵۱ مورد استفاده قرار گرفت. او تعدادی از ظروف شیشه ای را برای تقطیر آب به کار برد.

دلا در سال ۱۵۸۹ آزمایشی را با استفاده از دو ظرف سفالی انجام داد، که در آن ظرف اول با آب شور پر میشد و در معرض تابش شدید نور خورشید قرار می گرفت و آب تقطیر شده در ظرف دوم جمع میشد. لاوازیه شیمیدان فرانسوی در سال ۱۸۶۲ با استفاده از دو عدسی بزرگ شیشه ای و متمرکز کردن نور خورشید روی ظرف حاوی آب املاح دار، آب مقطر تهیه کرد. کارلوس ویلسون مهندس سوئدی اولین کسی بود که در سال ۱۸۷۲ دستگاه تقطیر خورشیدی را طراحی کرد. در مخزن این دستگاه هر روز آب املاح دار ریخته میشد که آب در اثر جذب تابش خورشید تبخیر شده و روی جداره داخلی پوشش شیشه ای چگالش مییافت که در نتیجه این عمل آب مقطر به دست می آمد. این دستگاه به مدت بیش از ۵۰ سال کار کرد و ۴.۹ لیتر بر متر مربع آب از آن خارج میشد که هنوز با دستگاههای امروزی قابل مقایسه و رقابت روزانه است. از این تکنولوژی در مقیاس بزرگتر جهت تامین آب آشامیدنی معدنکاران در شیلی استفاده شد.

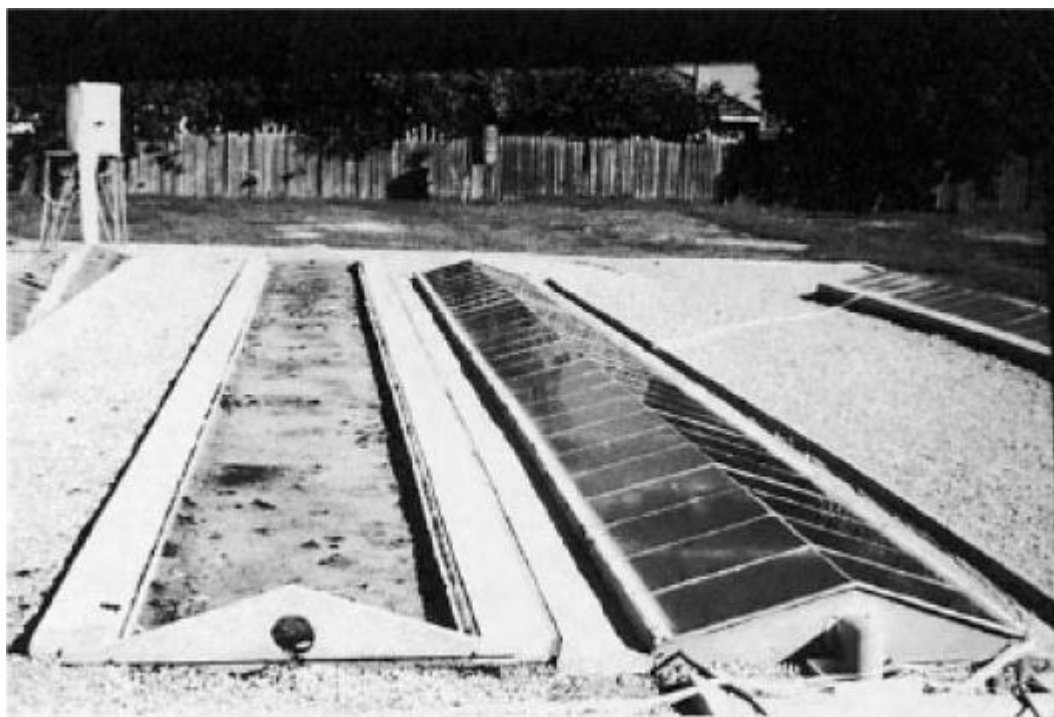
شکل ۱-۲ اولین پایگاه تقطیر آب شیرین کن خورشیدی در Las Salinas واقع در شیلی را نشان می دهد:



بیشتر دستگاه های ساخته شده و مورد مطالعه قرار گرفته شده بر اساسی کاصل ساخته شده بودند و بیشتر تغییرات به طور کلی روی هندسه دستگاه، مواد و روشهای ساخت و عملیاتی صورت گرفته بود ولی کاربرد انرژی خورشیدی تا سال ۱۹۵۰ به دلیل قیمت ارزان و کارایی مناسب سوخت های فسیلی، کنار گذاشته شد. از سال های ۱۹۵۸ تا

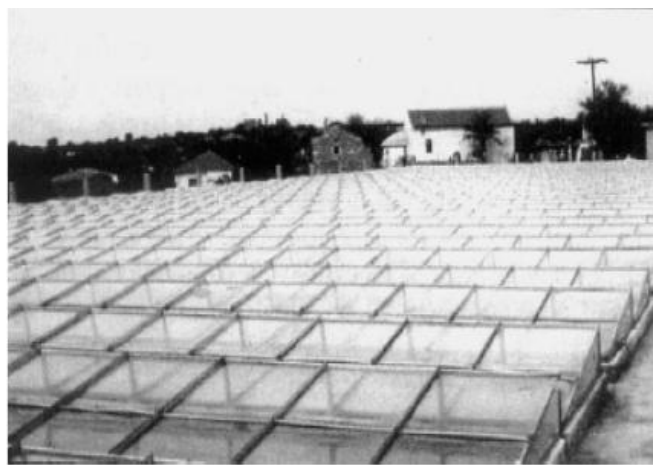
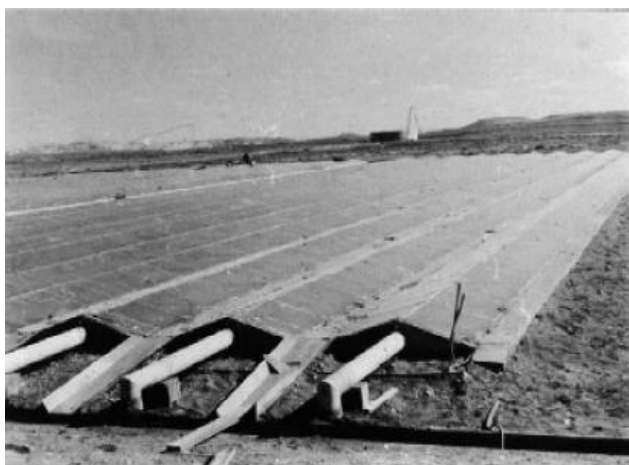
۱۹۶۵ استفاده از انرژی خورشیدی در تهیه آب شیرین در مرکز تقطیر خورشیدی واقع در فلوریدا مجدداً آغاز شد شکل (۲) و چند نوع مختلف دستگاه خورشیدی مورد مطالعه قرار گرفت.

شکل ۲-۲ پایگاه تقطیر خورشیدی OSW در سواحل Deytone فلوریدا



نتیجه حاصل از این تحقیقات نشان داد که آبتولید شده، هزینه های جانبی و ساختدستگاه را جبران نمی کند و از آن پس مطالعات روی برآورد اقتصادی دستگاه ها انجام شد و مرحله بعدی تلاش در جهت بالا بردن بازده عملیاتی این دستگاه ها بود. به این منظور تحقیقات زیادی در زمینه بالا بردن میزان آب بخار شده و چگالش یافته به وسیله گردش هوا در دستگاه تقطیرانجام شد. افزایش راندمان در این تحقیقات با استفاده از گرمای نهان تبخیر و همچنین گرمایش مجدد آب شور انجام شد. در سالهای ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ به ترتیب در استرالیا و یونان پایگاه هایی بر این اساس ساخته شد که در شکل ۳ ارائه شده اند. در سال ۱۹۹۵ طرح عملی تقطیر کننده های خورشیدی نوع تکحوضچه ای یا پلکانی و همچنین نوع فیتیله ای توسط تلکس مورد بررسی قرار گرفت.

شکل ۲-۳ پایگاه تقطیر خورشیدی (الف) استرالیا ۱۹۶۰، (ب) یونان ۱۹۷۰



پس از این تلاشهای زیادی برای درک چگونگی تاثیر عوامل مختلف بر عملکرد دستگاه و بهبود آن صورت گرفت، زیرا ملاحظات اقتصادی نشان دهنده آن بود که هزینه های تولید بالا است و بنابراین راندمان دستگاه میبایست افزایش پیدا کند. تحقیقات بر روی انرژی خورشیدی در بسیاری از کشورها از جمله آمریکا، شوروی، استرالیا، هند، پاکستان، ژاپن، ایتالیا، شیلی، کنیا، فرانسه، ایران، مصر، یونان، اتیوپی، تونس، آفریقای جنوبی، الجزایر، اسپانیا، امارات متحده عربی، سودان و عربستان سعودی ادامه دارد. موضوع تقطیر خورشیدی بسیار وسیع است و مقالات زیادی درباره اصول طراحی، مدلسازی ریاضی، مشخصات اجرا و اقتصادی بودن دستگاه تقطیر نوشته شده است که در فصل بعد به آنها اشاره میکنیم. آب شیرین کن های خورشیدی عموماً دستگاه هایی با راندمان پایین بوده و در مواردی که انرژی ارزان به سهولت در دسترس باشد و یا میزان آب شیرین مورد نیاز بالا باشد، از روشهای دیگر استفاده می شود. اما در مواردی که میزان آب شیرین مورد نیاز کم باشد، و دسترسی به انرژی های ارزان که عمده‌تاً سوخت های فسیلی هستند به سهولت امکان پذیر نباشد، با توجه به رایگان بودن انرژی مصرفی، تقطیر خورشیدی روش مناسبی خواهد بود.

نکته قابل توجه در این میان نیاز به سرمایه اولیه زیاد برای ساخت این دستگاه ها می باشد، بنابراین اکثر تلاشها در شکل گیری گونه های جدید آب شیرین کن های خورشیدی در جهت افزایش راندمان دستگاه معطوف شده است. با توجه به پیشرفت های صورت گرفته در این زمینه و نیاز روز افزون به آب شیرین، لزوم ساخت و بررسی نحوه عملکرد این نوع از آب شیرین کن ها در کشور ما احساس می شود.

تهیه آب سالم یکی از مشکلات اساسی در کشورهای در حال توسعه و توسعه نیافته می باشد. مقادیر آب موجود در این کشورها به میزان آب دریاچه ها و رودخانه ها بستگی داشته و آلودگی آنها و حتی آب دریاها توسط پساب ها و فاضلاب های صنعتی از جمله مشکلات اساسی در تهیه آب سالم می باشد. تحقیقات نشان می دهد که ۹۴ درصد آب های در دسترس روی زمین شور هستند؛ ۳ درصد آب شیرین در قطب های شمال و جنوب و اکثراً به صورت یخ وجود دارند و تنها حدود ۳ درصد آب های موجود بر روی کره زمین سالم و قابل شرب هستند.

در آب دریاها ۵۰ نوع ماده ساده وجود دارد، که حدود ۵۵ درصد از وزن کل نمکهای غیر محلول را مواد کلری تشکیل می دهد. آب دریاها نزدیک به  $35 \text{ g/l}$  نمک دارند که این میزان برای آب دریاها در مناطق مختلف فرق دارد. نوع دیگر آب های شور اصطلاحاً آب های شور مزه هستند که از آنها به عنوان آب های غیر قابل شرب و یا کم کیفیت یاد می شود. این نوع آب ها حاوی  $1-33 \text{ g/l}$  نمک بوده که از میزان شوری آب دریا ها کمتر می باشد. اگر شوری آب بین  $1-3 \text{ g/l}$  باشد اندکی شور مزه نامیده می شود؛ آب های با شوری متوسط بین  $10-3 \text{ g/l}$  نمک دارند. این دو گروه اخیر در شمال آفریقا، کشورهای خاورمیانه و بعضی از مناطق ایالات متحده آمریکا یافت می شوند. ترکیبات این آب ها در مناطق مشابه متغیر بوده و در هر فصل به عوامل مختلفی مانند ساختار فیزیکی مسیر آب ها، سرعت جریان آب بر روی مسیر، زمان تماس و مواد نامحلول موجود در آب بستگی دارد. امروزه سرزمین های خشکاز بحران کم آبی رنج می برند. صحرای ماسه ای زیادی در جهان وجود دارند و خشکسالی، به صورت کاهش سفره های آب های زیر زمینی و افزایش شوری آنها، سهم زیادی در تخریب اقتصاد کشورهای که شامل اینچنین صحرایی هستند، دارد. افزایش خشکسالی در حدود سال ۱۹۹۰ بیشتر در آفریقای شمالی، بخشی از هند و مکزیک، شمال چین، قسمتهای زیادی از خاور میانه، بخشهایی از غرب آمریکا و در قسمت های شمالی و مرکزی آسیا اتفاق افتاد.

مواجه شدن با بحران کم آبی، باعث اختلال در اقتصاد این کشورها شد و کاهش منابع آب آشامیدنی و سلامتی انسانها را به مخاطره انداخت. در این مدت تقریباً ۳۳۵ میلیون نفر از مردم در ۲۸ کشور جهان با بحران کم آبی مواجه بودند ولی تا سال ۲۰۲۵ حدود ۵۰ کشور دیگر نیز به این جمع اضافه خواهند شد. با توجه به مطالب گفته شده و وجود مناطق بسیاری در کشور که دسترسی به آب شیرین و سالم مورد نیاز در آنها به سهولت امکان پذیر نیست، لزوم تحقیق و سرمایه گذاری برای بررسی روشهای متفاوت شیرین سازی آب های شور احساس می شود.

## فعالیت های انجام گرفته در زمینه شیرین سازی آب بوسیله انرژی خورشیدی

مناطق که با کمبود آب شیرین روبرو هستند را می توان به دو دسته تقسیم نمود. در دسته اول منابع آب چه آب شیرین و چه آب شور به ندرت یافت شده و به عبارت دیگر با بحران کم آبی رو برو هستند. اما در دسته دوم هرچند منابع آب شیرین بسیار کم است، ولی در مقابل منابع آب شور به اندازه کافی برای شیرین سازی و تامین آب سالم وجود دارد. بیشتر مناطق ساحلی، خشک هستند ولی منابع آب شور زیادی در دسترس دارند، که تغییرات فصلی در کاهش یا افزایش آب ها در این مناطق تاثیر به سزایی دارد. همانطور که قبلا اشاره شد تا سال ۲۰۲۵ حدود ۵۰ کشور به مجموعه کشورهای که در حال حاضر با بحران کم آبی مواجه هستند اضافه می شوند. در این میان کشورهای زیادی که دارای نواحی ساحلی طولانی هستند به چشم می خورد. کشورهایمانند کویت، قطر، بحرین، عربستان و امارات کشورهای هستند که در معرض این مشکل می باشند. با توجه به نفت خیز بودن این کشورها و درآمد حاصل از فروش نفت حدود ۹۵ درصد آب شیرین مصرفی این کشورها توسط تقطیر آب دریاها با استفاده از انرژی سوخته های فسیلی تامین می شود. اما با توجه به افزایش قیمت نفت و همچنین آلودگی حاصل از مصرف سوخته های فسیلی جهت تامین انرژی مورد نیاز آب شیرین، بسیاری از این کشورها توجه زیادی به تقطیر خورشیدی به عنوان گزینه ای امید بخشو سازگار با محیط زیست کرده اند و همچنین با این روش میزان تولید آب تازه مورد نیاز خود را افزایش داده اند. این کشورها با استفاده از انرژی خورشیدی به دلیل ارزان بودن این تکنولوژی و ساده بودن آن مقداری از آب تمیز مورد نیاز خود را در مقیاس کم یا متوسط تولید می کنند. با این حال تقطیر خورشیدی حداکثر ۱۵ درصد راندمان سوخت های فسیلی را دارد، اما استفاده از آن می تواند تا حدودی کمبود آب را جبران کند.

تقطیر خورشیدی به عنوان یک تکنولوژی خورشیدی دارای قدمت طولانی می باشد و استفاده از آن به ۲۰۰۰ سال پیش باز می گردد. موضوع تقطیر خورشیدی بسیار وسیع است و مقالات زیادی درباره اصول طراحی، مدلسازی ریاضی، مشخصات اجرا و اقتصادی بودن دستگاههای تقطیر نوشته شده است و در مقدمه اشاره مختصری به آن شد و اکنون شایسته است مکانیزم آن مورد بحث قرار گیرد

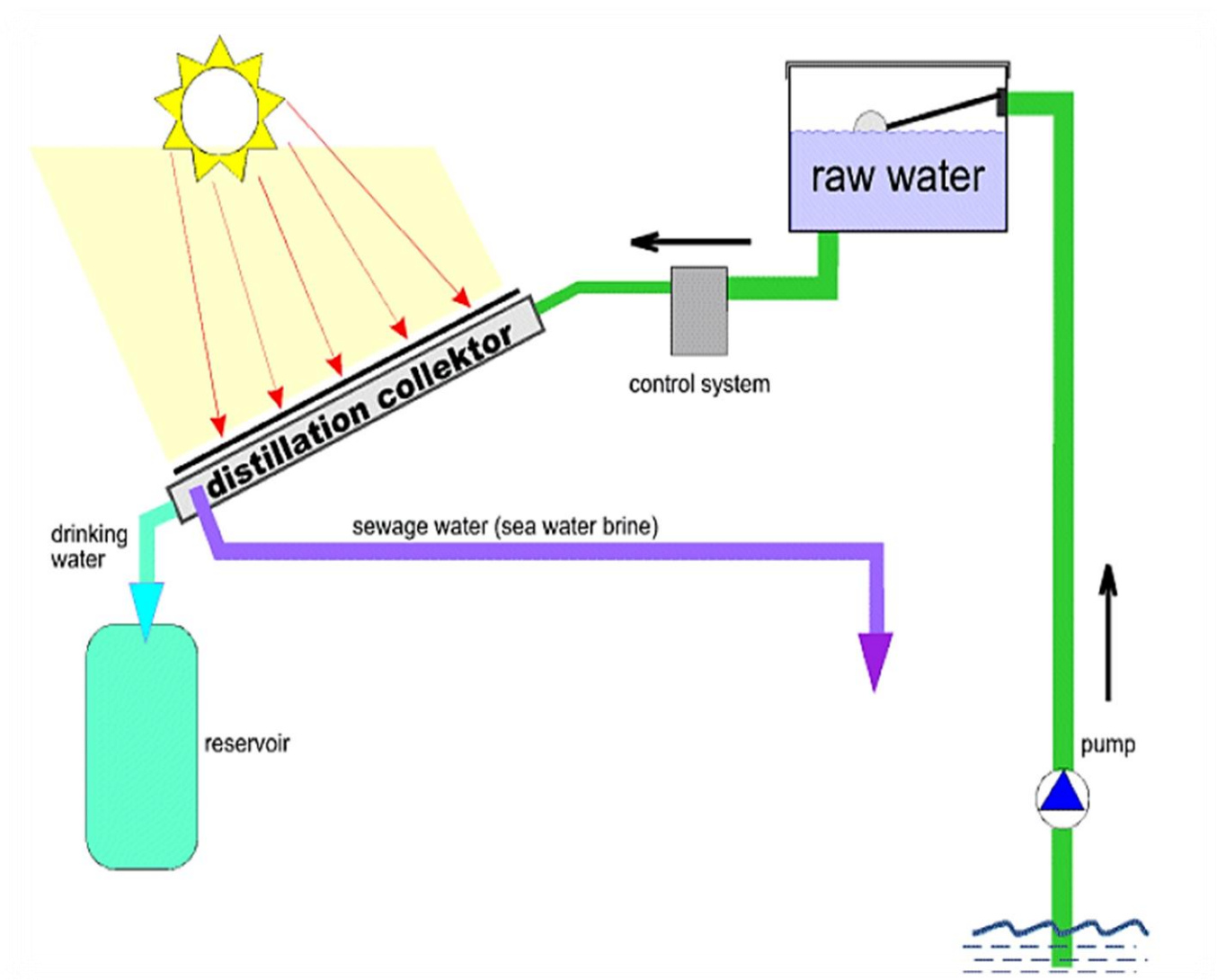
### مکانیسم تقطیر خورشیدی

در سیستمهای تقطیر خورشیدی آب شور را به ظرف کم عمقی که کاملا آب بندی شده و با هوای خارج ارتباطی ندارد، وارد میکنند. پوشش شفاف مانند شیشه و یا پلاستیک، سطح فوقانی ظروف مربوطه را می پوشاند. انرژی خورشید با طول موجهای مختلف از شیشه گذشته و نور خورشید با آب داخل ظرف و سطح جاذب برخورد نموده و آب گرم میشود.

پوشش شفاف مانع خروج اشعه های خورشید از محفظه شده و بعلاوه باعث میشود که افت گرمایی از طریق جابجایی به مقدار زیادی کاهش یابد. به این ترتیب انرژی گرمای خورشید در دستگاه آب شیرین کن محصور شده و موجب افزایش دمای آب و تولید بخار آب در محفظه میگردد. به تدریج که رطوبت نسبی در محفظه افزایش مییابد، بخار آب در اثر دفع گرما از شیشه، روی سطح داخلی شیشه تقطیر شده و آب شیرین حاصله به طرفمحل جمعآوری در انتهای پوشش حرکت میکند و به این ترتیب با استفاده از انرژی خورشید و عمل تقطیر، آب شیرین تهیه میشود. آب نمک غلیظ شده نیز به طور مداوم یا متناوب از دستگاه خارج میشود. شکل (۱) نمونه کلی این گونه آب شیرین کن ها را نشان میدهد. مهمترین عامل مؤثر در آب شیرین کن های خورشیدی شدت نور خورشید میباشد زیرا میزان تولید آب شیرین با شدت تابش خورشید نسبت مستقیم دارد. بعلاوه عواملی چون دمای محیط، سرعت باد و دمای آب شور در مقدار بازدهی دستگاه مؤثر میباشند.

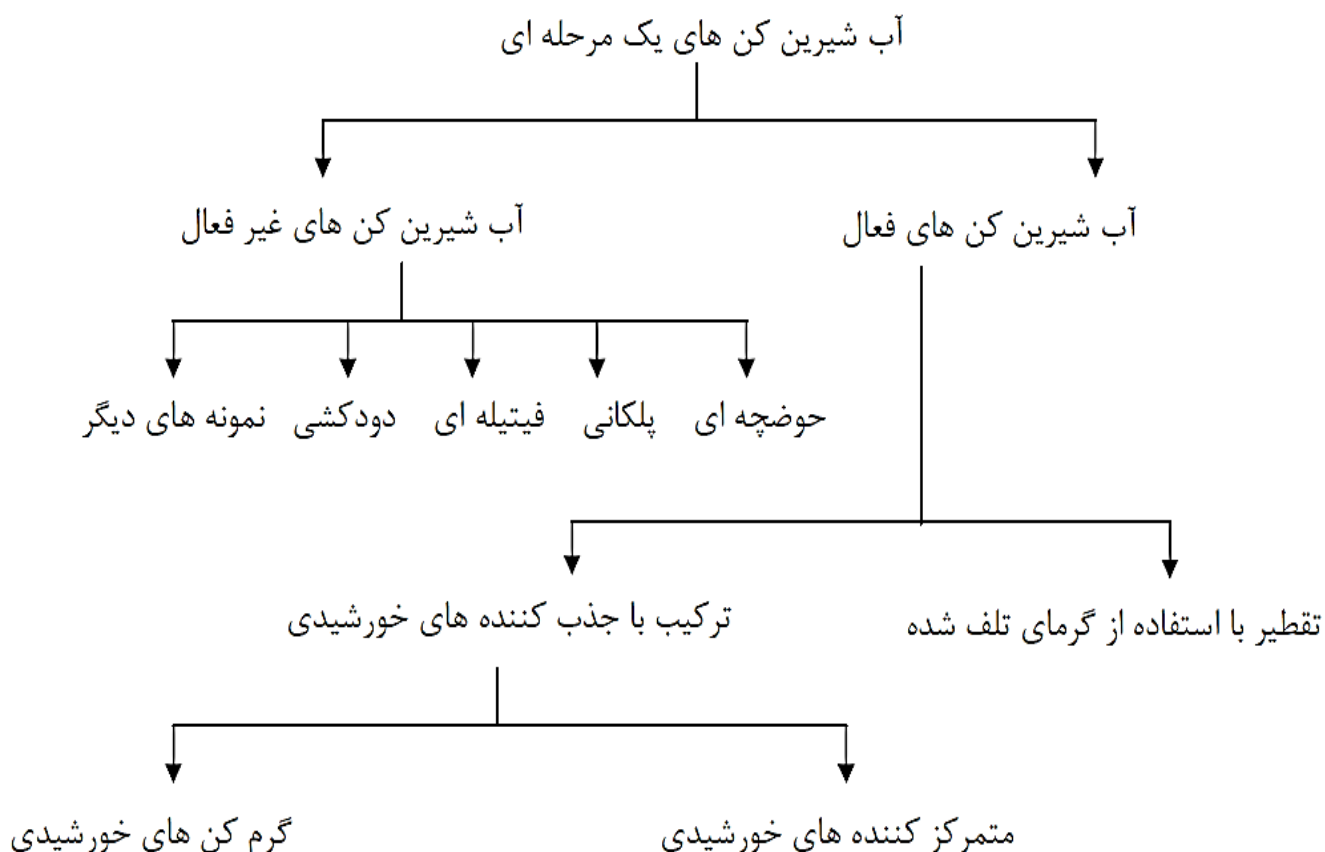


شکل ۴-۲ نمونه ای از یک تقطیرگر خورشیدی



## حال به معرفی انواع آب شیرین کن خورشیدی میپردازیم:

آب شیرین کن های خورشیدی دارای انواع گوناگونی میباشند که میتوان به انواع یک مرحله ای و چند مرحله ای اشاره نمود. عنوان یک مرحله ای به این معنا میباشد که آب شیرین در یک مرحله تهیه و تولید شده است. همانگونه که در شکل زیر نشان داده شده، آب شیرین کن های یک مرحله ای به دو گونه ی فعال و غیرفعال دسته بندی شده اند.



شکل ۵-۲ نمونه های گوناگون آب شیرین کن های یک مرحله ای

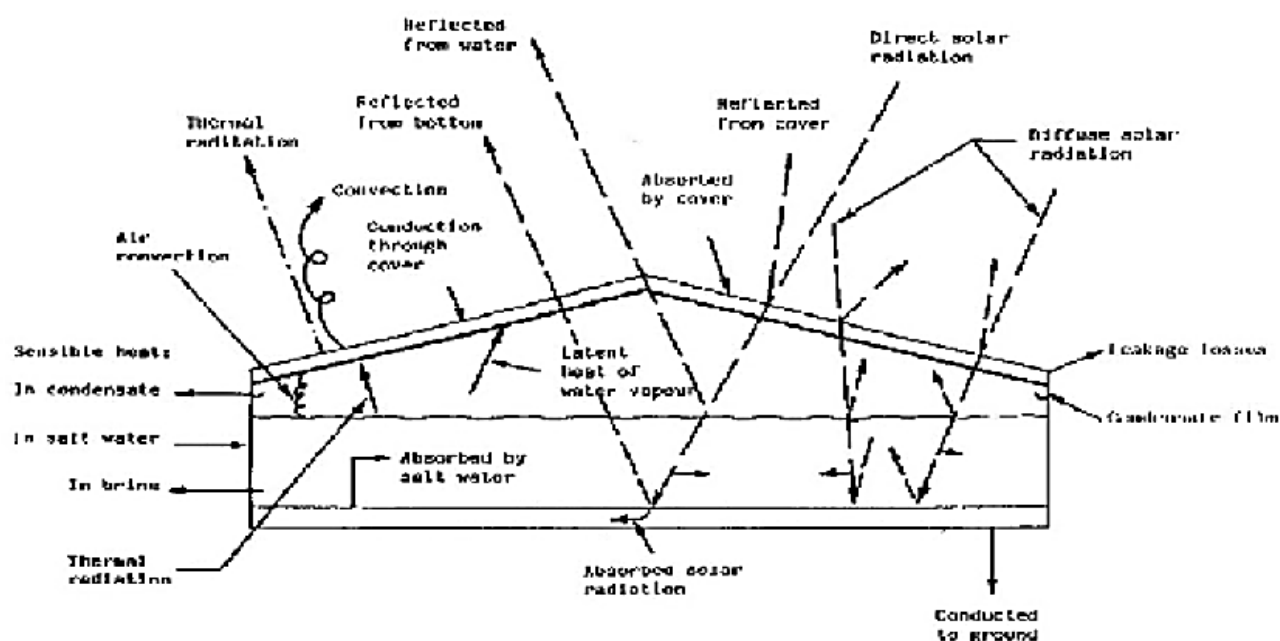
### \* آب شیرین کن های غیر فعال

آب شیرین کن های غیرفعال به دو گونه حوضچه ای و شیبدار گروه بندی میگردند. یک آب شیرین کن فعال در واقع همان آب شیرین کن غیر فعال است که با تجهیزات بیرونی مثل صفحه جاذب و یا پمپ سیرکولاسیون ترکیب شده است.

## آب شیرین کن خورشیدی حوضچه ای تک مرحله ای

در اینگونه آب شیرین کن ها، همانطور که در شکل زیر نشان داده شده است انرژی تابشی خورشید از پوشش شیشه ای و شفاف می گذرد و به صورت انرژی گرمایی جذب سطح سیاه حوضچه که در تماس با آب شور می باشد می شود. آب گرم شروع به تبخیر می کند، بخار ایجاد شده در سطح پوشش شیشه ای چگالیده می شود زیرا سطح شیشه بعلاوه تماس با هوای بیرون سردتر از نقاط دیگر دستگاه می باشد و سپس در جهت شیب سطح به درون یک ناودان و سپس به درون یک تانک ذخیره کننده آب خالص هدایت میشود.

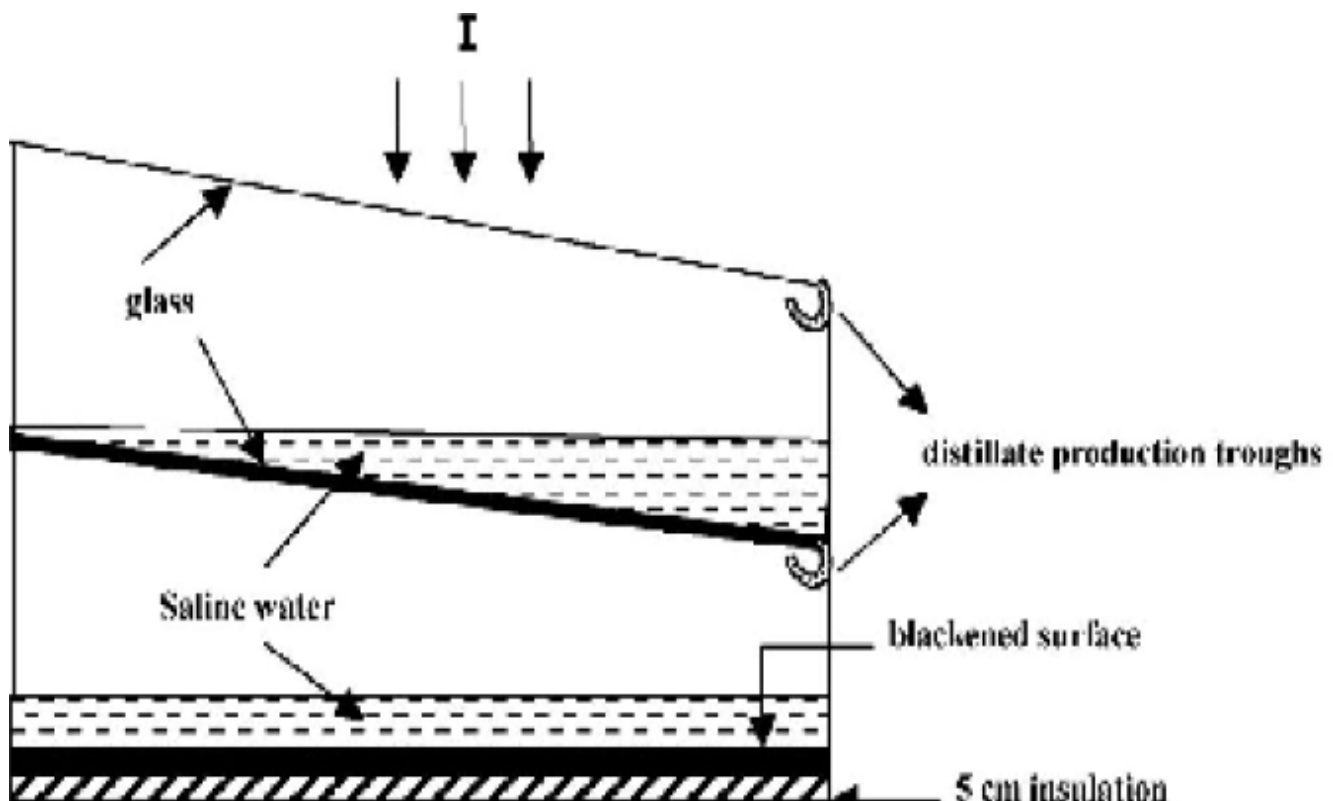
این دستگاه روی یک سطح روباز نصب میشود به طوریکه طول آن در امتداد شرق غرب قرار گیرد. از جمله اشکالات موجود در این دستگاه، افقی بودن سطح آب داخل حوضچه است که با اشعه های خورشید برخورد کمتری داشته بعلاوه ظرفیت زیاد آب شور داخل حوضچه میزان افزایش دما و در نتیجه میزان تولید آب شیرین را محدود میکند.



شکل ۶-۲ تقطیر گر خورشیدی تکحوضچه ای

## آب شیرین کن خورشیدی چند مرحله ای

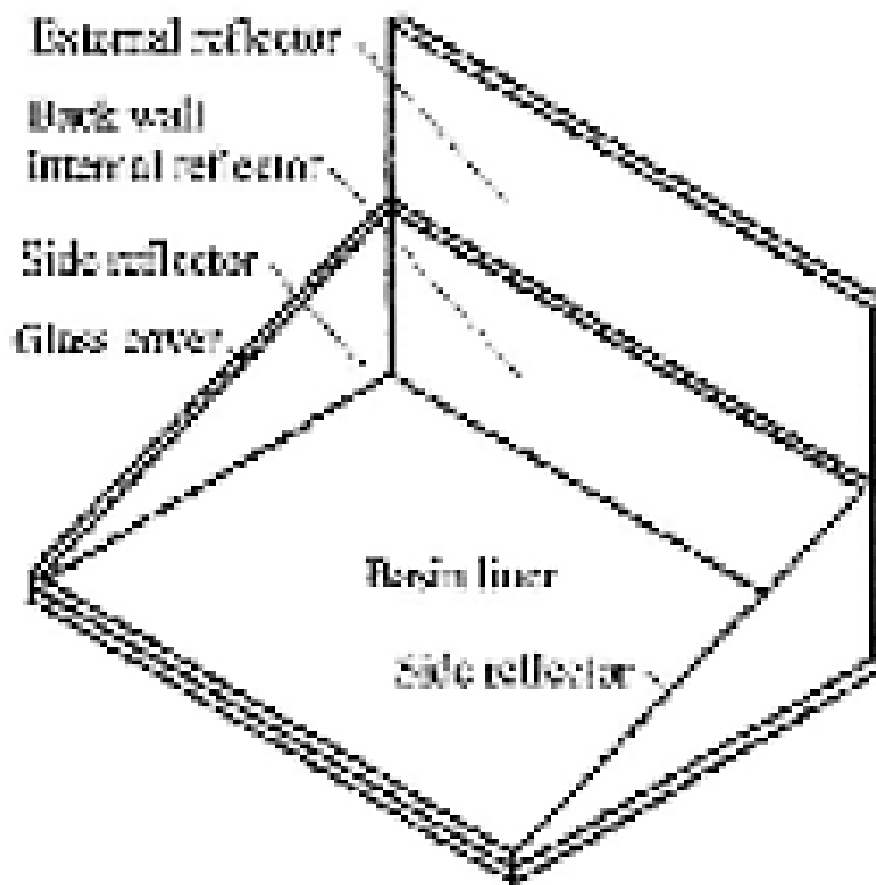
این دستگاه شامل صفحات موازی فاصله دار و مایلی است که فضای بین هر دو صفحه یک مرحله عمل تقطیر را تشکیل میدهد. در این آب شیرین کن، هر صفحه نقش تبخیرکننده برای یک مرحله و تقطیرکننده برای مرحله بعدی را بازی میکند. طرز عمل در این دستگاه به این ترتیب است که اشعه خورشید از شیشه گذشته و در صفحه جذب کننده، تولید گرما میکند و صفحه بعدی در اثر عبور جریان آب شور، سرد میشود. هنگام عبور آب شور از سطح زیرین صفحه جذب کننده، آب تبخیر شده و روی سطح بالایی صفحه دیگر، تقطیر میگردد. در این عملیات گرمای دفع شده در اثر تقطیر، نقش پیشگرمکن برای مرحله بعدی را دارد. به این ترتیب آبهای تقطیر شده از طریق چند صفحه و آب شور تبخیر نشده بوسیله چند سطح دیگر جریان یافته و از جریان خارج میشوند. در شکل زیر یک نمونه آب شیرین کن حوضچه ای دو مرحله ای نشان داده شده است.



شکل ۷-۲ آب شیرین کن حوضچه ای دو مرحله ای

## آب شیرین کن خورشیدی با بازتابنده

استفاده از سطوح منعکس کننده مستلزم استفاده از آینه‌هایی است که در سطح عمودی عقبی به دستگاه‌های کوچک محدود می‌شود. با وجود اینکه استفاده از این نوع آینه‌ها بطور محسوسی میزان تولید را افزایش می‌دهد ولی آینه‌ها گران قیمت بوده و چندان بادوام نیستند. در شکل زیر نمونه‌ای از اینگونه دستگاه‌ها نمایش داده شده است.

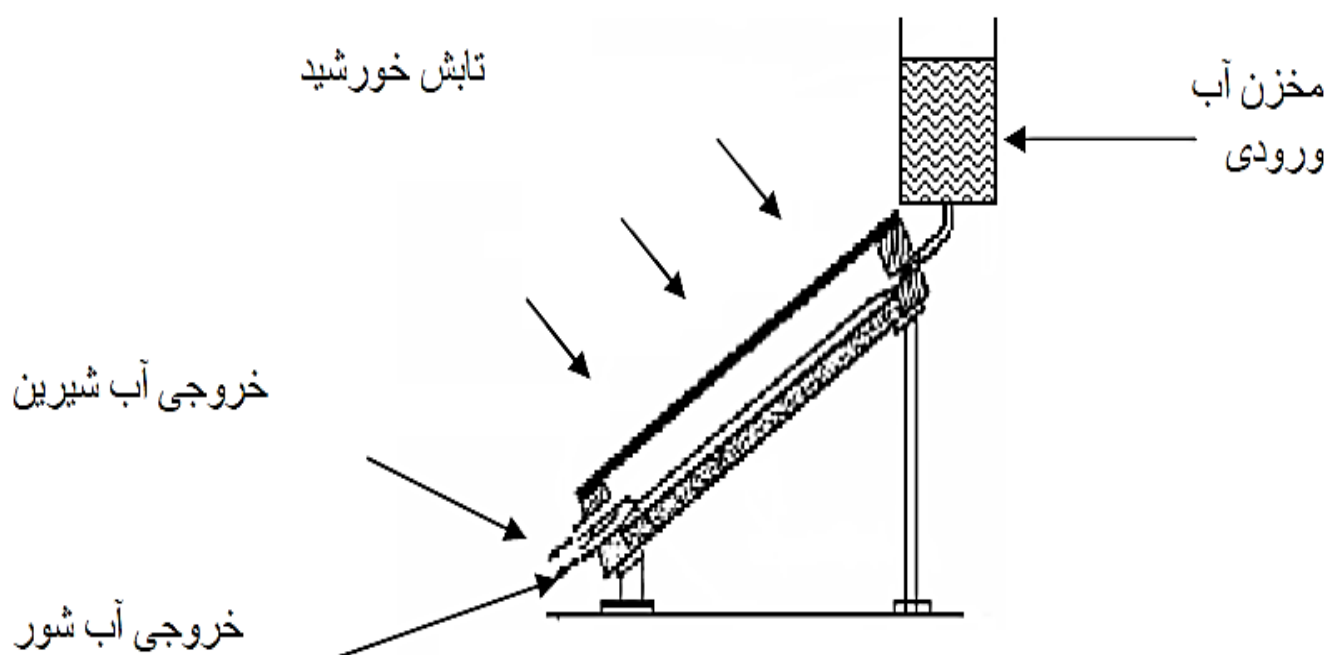


شکل ۸-۲ آب شیرین کن حوضچه‌ای با بازتابنده

## آب شیرین کن خورشیدی فتیله‌ای

در این دستگاه فتیله پر منفذی از جنس پارچه سیاه وجود دارد که آب شور به آرامی از روی آن عبور داده می‌شود. نور خورشید که از روی شیشه عبور کرده است باعث گرم شدن پارچه شده و عمل تبخیر شروع می‌شود. بخار آب در برخورد با شیشه یا پلاستیک پوشش دستگاه تقطیر شده در کانالی که در پوشش پایینی پوشش قرار دارد جمع می‌شود و آبهای

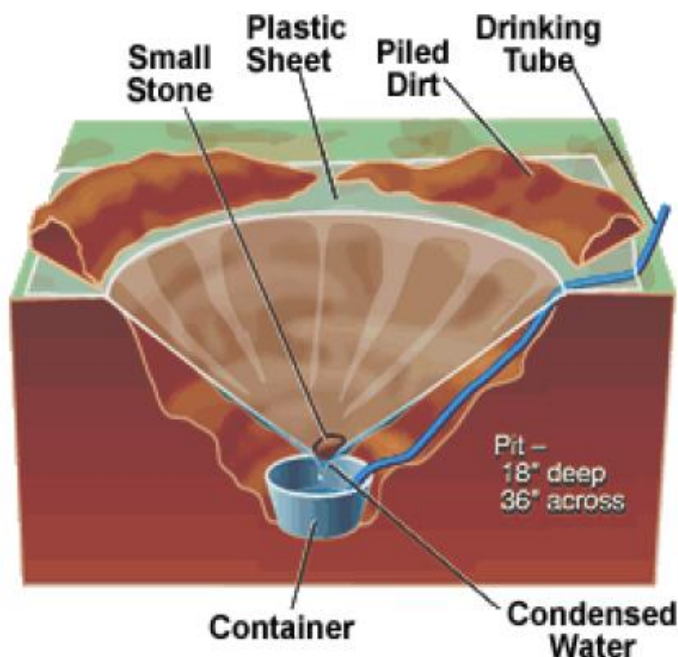
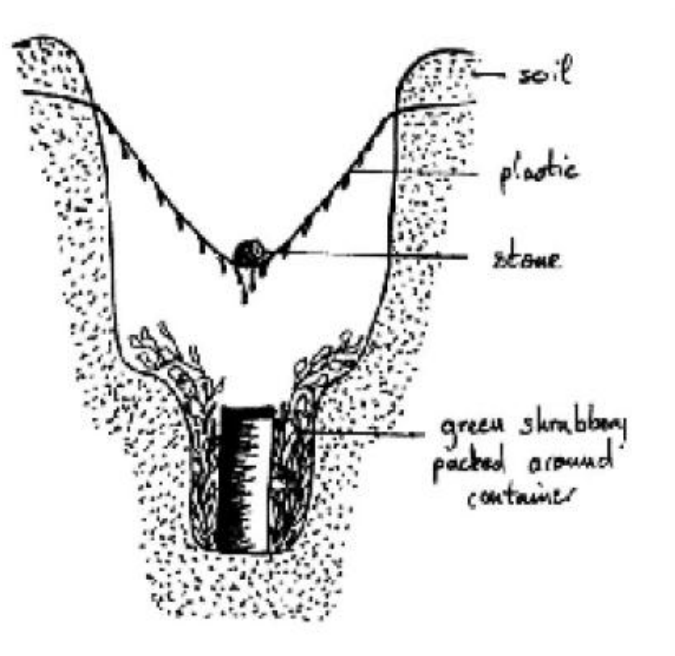
شور نیز از ابتدای فتيله ی به بیرون از آب شیرین کن ریخته میشود. این دستگاه به علت قرار گرفتن مناسب در مقابل اشعه خورشید، همچنین به دلیل داشتن ظرفیت گرمای کمتر، دارای میزان تولید زیادی به ازای هر مترمربع از سطح جاذب میباشد ولی به علت خشک شدن های مکرر و پوسیدگی سریع فتيله از لحاظ اقتصادی به صرفه نبوده و در مقیاس صنعتی مورد استفاده قرار نمی گیرند. در شکل زیر یک آب شیرین کن فتيله ای نشان داده شده است.



شکل ۹-۲ آب شیرین کن گونه ی فتيله ای

## آب شیرین کن خورشیدی اضطراری

برای تولید اضطراری و فوری آب آشامیدنی یک آب شیرین کن خیلی ساده می توان ساخت که بوسیله رطوبت زمین کار می کند. آبی که بدین طریق بدست می آید تا حدودی دارای طعم نامطلوب می باشد و می توان از آب بدست آمده جهت تامین آب گیاهان در شرایطی مشابه با گلخانه در شکل (۷) استفاده کرد.



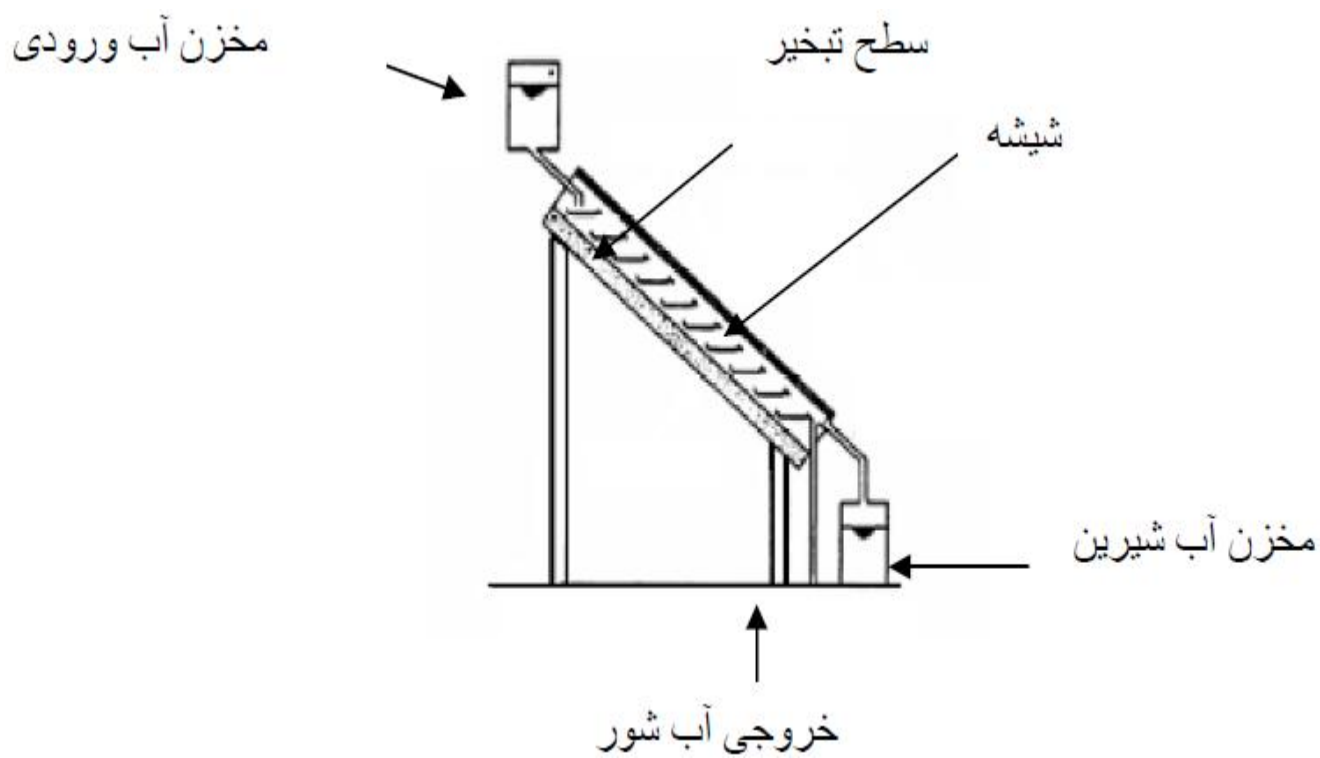
شکل ۱۰-۲ آب شیرین کن اضطراری

### آب شیرین کن خورشیدی پلکانی

آب شیرین کن های چندحوضچه ای و پله ای نمونه خوبی از آب شیرین کن های مایل هستند، در این دستگاهها میزان تولید آب شیرین در طول روز و زمانی که اشعه خورشید به زمین میرسد بیشتر است ولی تولید شبانه آنها تقریباً صفر است. در آب شیرین کن های پلکانی به علت فاصله کم شیشه و پلکان، فضای خالی سریعتر اشباع میشود و لذا راندمان آنها برای تولید آب شیرین نسبتبه سایر آب شیرین کن ها بالاتر است. از دیگر مزایای این نوع آب شیرین کن آنست که زاویه آن نسبت به نور خورشید قابل تنظیم است و می توان آن را در هر عرض جغرافیایی طوری تنظیم کرد که نسبت به نور خورشید بیشترین دریافترا داشته باشد. این دستگاه قابلیت تولید آب شیرین و آب گرم را به طور همزمان دارا میباشد. در شکل های زیر دو نمونه از این نوع آب شیرین کن ها به نمایش در آمده اند. با این حال پیچیدگی ساختمان این نمونه از آب شیرین کن ها باعث پیچیدگی مدلسازی و گرانی ساخت آنها می شود.



شکل ۲-۱۱ الف. نمای بالایی از یک آب شیرین کن پلکانی



شکل ۲-۱۱ ب. نمای شماتیک از یک آب شیرین کن پلکانی



## آب شیرین کن خورشیدی دودکشی

این دستگاه شبیه یک آب شیرین کن حوضچه ای است که آب شور روی صفحه سیاه رنگ در اثر تابش خورشید تبخیر میشود. بخار حاصله بنابر جابه جایی طبیعی یا اجباری وارد دودکش شده و آنجا در اثر برخورد با یک مبادله کن گرمایی که از درون لوله های آن آب شور سرد جریان دارد، تقطیر میگردد. در اثر فرآیند تقطیر و دفع گرما، آب شور ورودی به دستگاه پیشگرم شده و آب شیرین تهیه شده در بخش پایین دودکش جمع و مورد استفاده قرار میگیرد.

## آب شیرین کن خورشیدی لوله ای هم مرکز

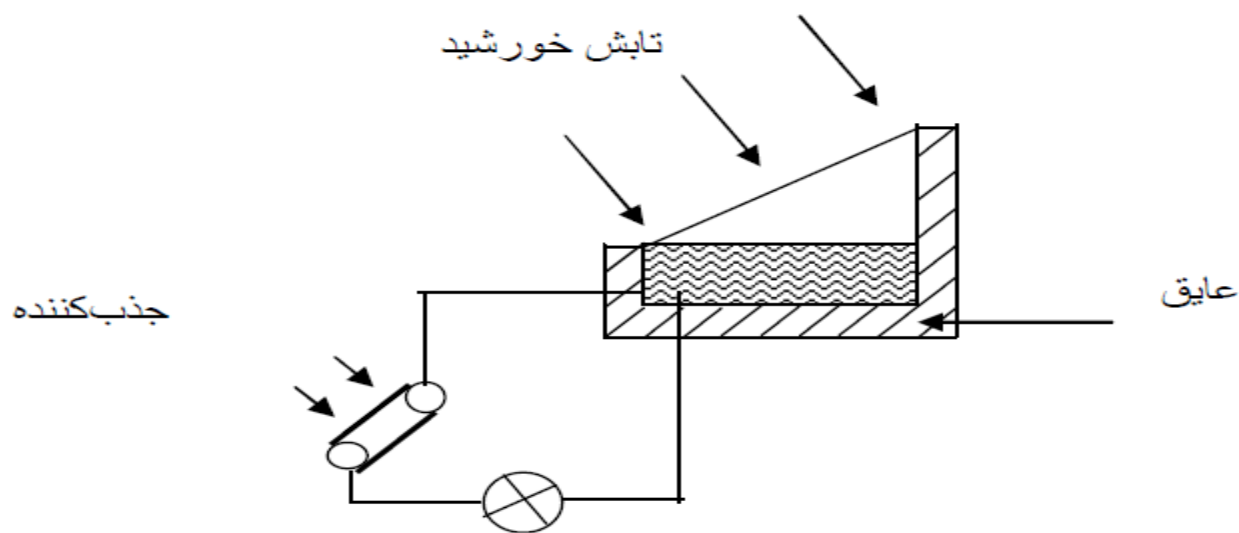
این دستگاه از دو لوله ی هم محور تشکیل شده که لوله ی بزرگتر آن از جنس پلاستیک شفاف است و لوله ی کوچکتر که درون لوله ی بزرگتر قرار گرفته از فلز سیاه رنگی ساخته شده و به عنوان صفحه ی جذب کننده، کار مینماید. آب شور به کمک لوله ای که دور لوله ی کوچکتر پیچیده شده، به درون دستگاه جریان مییابد و از طریق سوراخهایی که روی لوله ایجاد شده به بیرون تراوش مینماید. روش کار در این آب شیرین کن به این ترتیب میباشد که هوا به فضای حلقوی بین دو لوله فرستاده میشود. تابش خورشید به وسیله ی سطح بیرونی و سیاه رنگ لوله ی کوچک جذب شده و موجب افزایش رطوبت هوا به دلیل تبخیر آب شور گردیده و هوای مرطوب وارد بخش درونی لوله ی کوچکتر میگردد. رطوبت هوا روی سطح درونی لوله ی کوچک تقطیر و جمع آوری میگردد.

## \* آب شیرین کن های خورشیدی فعال

آب شیرین کن های نوع فعال آب شیرین کن هایی هستند که تبخیر به گونه ی مستقیم بر روی صفحه ی جذب کننده انجام نميگردد بلکه از صفحه ی جذب کننده به گونه ی غیر مستقیم یا در ترکیب با سایر آب شیرین کن ها استفاده میگردند.

## آب شیرین کن همراه با یک گردآورنده خورشیدی

آب بین آب شیرین کن و گردآورنده به کمک یک پمپ جریان مییابد. حرارت به گونه ی مستقیم با کمک یک جذب کننده به آب شیرین کن انتقال مییابد و این موجب افزایش میزان تبخیر میگردد. این دستگاه در شکل زیر نشان داده شده است. گونه ی دیگری هم وجود دارد که در آن گردش آب به گونه ی طبیعی انجام می پذیرد. در این نمونه باید ارتفاع آب شیرین کن به گونه ای تنظیم گردد که فشار لازم برای جریان در ترموسیفون فراهم گردد.



شکل ۱۲-۲ آب شیرین کن همراه با یک جذب کننده ی خورشیدی

### ترکیب آب شیرین کن با یک متمرکز کننده خورشیدی

عملیات به کمک یک آب شیرین کن خورشیدی که با یک بخش حرارت دهی از بیرون ترکیب شده میتواند کارکرد بهتری داشته باشد که این امر با جایگزینی متمرکز کننده به جای گردآورنده صورت میپذیرد. متمرکز کننده به دلیل کوچک بودن سطح، افت حرارتی کمتری نسبت به گردآورنده دارد و همچنین دمای آب شور در درون دستگاه بالاتر میباشد. البته این کار هزینه های زیادی را به فرآیند تحمیل می کند و قیمت تمام شده آب شیرین را افزایش می دهد.

در میان دستگاههای اشاره شده نمیتوان بهترین گزینه را پیشنهاد نمود و انتخاب دستگاه مناسب، تابع شرایطی مانند ساخت و نگهداری آسان، در دسترس بودن قطعات دستگاه، کیفیت آب به دست آمده، پیشرفته بودن تکنولوژی به کار گرفته شده، قابلیت افزایش ظرفیت دستگاه و شرایط آب و هوایی میباشد.

از میان دستگاه های نام برده شده، دو گونه ی حوضچه ای و شیبدار به دلیل ویژگیهای آنها، مورد توجه قرار گرفته است. با این حال چون این دستگاهها از لحاظ اقتصادی جوابگو نبوده اند، مطالعات به سمت بهینه سازی این دستگاهها پیشرفته است. این امر با شناخت عوامل موثر بر بازده ترمودینامیکی و مشکلات عملیاتی و ویژگیهای ساختار دستگاه امکان پذیر میباشد. شناخت این عوامل امکان طراحی مناسب و افزایش میزان تولید آب روزانه را فراهم می آورد.

# فصل سوم

پارافتر هار موئر بر افزایش راند فاسخ

آب شیرین کن هار خور شیر

در مورد اکثر آب شیرین کن های خورشیدی، مجموعه اقدامات لازم برای افزایش راندمان و بهینه سازی عملکرد را می توان در سه گروه کلی به شرح زیر دسته بندی نمود:

– طراحی و ساخت مناسب دستگاه

– نصب و کاربرد مناسب دستگاه

– استفاده مناسب از انرژی دریافت شده

در مورد هر گروه کلی نیز می توان به موارد جزئی تر اشاره نمود که با توجه به یکسان بودن اصول کلی در همه انواع آب شیرین کن های خورشیدی می توان از این نکات برای افزایش راندمان آنها استفاده کرد.

### **\*طراحی و ساخت مناسب دستگاه**

شاید کلیدی ترین عامل در نحوه عملکرد یک آب شیرین کن خورشیدی، طراحی و چگونگی ساخت دستگاه در راستای افزایش راندمان آن می باشد. در زیر به برخی از نکات مهم و قابل توجه در طراحی آب شیرین کن های خورشیدی پرداخته شده است.

### **جنس پوشش روی دستگاه**

یکی از عوامل مهم در ساخت دستگاه، انتخاب جنس پوشش روی دستگاه می باشد. به طور کلی پوشش از شیشه یا پلاستیک ساخته می شود. البته شیشه یکی از مواد مقاوم و عالی می باشد که معایبی هم از جمله شکستن در هنگام نصب یا انتقال را دارد. اگر چه تحقیقات برای تهیه پوششهای پلاستیکی مناسب ادامه دارد، اما در حال حاضر شیشه بهترین گزینه می باشد. دانشمندان در ابتدا به صورت تجربی چندین نوع از صفحات پلاستیک فشرده را به عنوان پوشش استفاده کردند که مزیت هایی از قبیل وزن کم، قابلیت شکل پذیری به اشکال مختلف و مقاومت در برابر فشار در مقایسه با شیشه را داشتند، اما از سوی دیگر معایبی هم از قبیل هدایت حرارتی پایین، نرخ پخش حرارتی بالا، انتقال زیاد اشعه مادون قرمز خورشید، هزینه بالا، کمیاب بودن در مناطق خشک و دور را داشتند. ضخامت شیشه باید کم باشد تا توزیع دمایی در آن یکنواخت و سریع تر خنک شود و اتلاف گرما به محیط افزایش یافته که سبب افزایش میزان چگالش می شود. ضخامت بهینه شیشه در منابع و مراجع علمی ۳ میلی متر پیشنهاد شده است. ضریب جذب، ضریب بازتاب و ضریب گذردهی شیشه پارامترهای مهمی در میزان انرژی منتقل شده به آب شیرین کن می باشند.

شیشه مناسب باید دارای ضریب جذب و بازتاب کم و گذردهی بالا باشد تا بیشتر انرژی رسیده از آن عبور کرده و به صفحه جاذب دستگاه انتقال یابد. وجود برخی ناخالصی ها در شیشه های معمولی سبب کاهش ضریب عبور و افزایش ضریب جذب شده و در نتیجه سبب کاهش میزان انرژی منتقل شده خواهد گشت. از طرفی به منظور چگالش آسانتر بخار تولید شده، شیشه نقش واسطه در انتقال حرارت از بخار به محیط را بازی کرده و باید دمای آن در فرآیند گرفتن گرما را از بخار و دادن آن به محیط زیاد بالا نرفته، تا چگالش به بهترین صورت انجام پذیرد. بدین منظور ضریب انتقال حرارت هدایتی آن باید بالا و میزان افزایش دمای در آن در مقابل دریافت انرژی از بخار زیاد نباشد. این پدیده در صورتی رخ خواهد داد که ظرفیت حرارتی آن پایین بوده و همچنین میزان جرم در معرض جریان انتقال حرارت کم باشد. بنابراین بهترین روش به کار بردن شیشه ای است که دارای ضریب هدایت حرارتی بالا، ظرفیت گرمایی کم و در حد امکان، ضخامت حداقل باشد.

### جنس صفحه

جنس صفحات جذب کننده از اهمیت خاصی برخوردار است و باید قابلیت جذب و مقاومت حرارتی بالایی داشته باشد. نحوه اتصال قطعات و هندسه دستگاه نیز مهم می باشد. این صفحات باید نسبت به خوردگی مقاوم باشند و تا حد امکان از ایجاد رسوب جلوگیری کنند. خصوصیات صفحه، میزان جذب انرژی خورشیدی منتقل شده به آن و میزان انتقال انرژی جمع آوری شده توسط آن به آب شور، از جمله مهمترین پارامترها در چگونگی عملکرد یک آب شیرین کن خورشیدی می باشد. در حالت مطلوب صفحه باید بصورت یک جسم سیاه عمل کرده و تمامی انرژی خورشیدی عبور کرده از شیشه را به خود جذب نموده و بنابراین میزان بازتاب انرژی از آن صفر باشد. با توجه به اینکه جسم سیاه یک سطح ایده آل است ولی نزدیک شدن به آن به منظور افزایش راندمان دستگاه مطلوب می باشد. در برخی تحقیقات با به کار بردن مواد سرامیکی متخلخل، خصوصیات صفحات جاذب انرژی به سمت جسم سیاه نزدیک شده، به طوری که ضریب جذب در آنها حدود ۹۶ درصد می باشد. در مقابل قدرت جذب بالای انرژی در این صفحات، انرژی جذب شده باید به آسانی به آب شور عبور کننده از روی آنها انتقال یابد. بنابراین ضریب انتقال حرارتی این صفحات نیز باید بالا باشد. از دیدگاهی دیگر با توجه به خورنده بودن آب شور، این صفحات باید ضمن حفظ موارد ذکر شده در فوق، قابلیت مقاومت در برابر خوردگی را نیز داشته باشند.

## توزیع جریان آب شور

ایده آل ترین حالت برای جریان آب شور در انواعی از آب شیرین کن های خورشیدی که از نوع حوضچه ای نمی باشند، در تماس قرار گرفتن تمام سطح جمع کننده انرژی با آب شور در مدت زمان مناسب می باشد، تا انرژی جمع شده به میزان بیشتر و با سرعت بیشتری به آب شور منتقل شود. این حالت ایده آل در اکثر مواقع بعلت توزیع نامناسب جریان ورودی آب شور و همچنین به علت عدم خاصیت ترکنده گی سطح جمع کننده به وقوع نمی پیوندد. باید توجه کرد که نیروی پیوستگی بین مولکول های آب قوی تر از نیروی چسبندگی بین مولکول های آب و سطح جذب کننده بوده و به همین دلیل جریان پیوسته آب بر روی سطح جمع کننده تمایل به ایجاد رشته هایی از جریان مایع را خواهند داشت و در نتیجه قسمتی از سطح جمع کننده انرژی بصورت خشک باقی خواهد ماند و انتقال حرارت از آن بخوبی انجام نمی پذیرد. بنابراین به منظور توزیع مناسب آب شور در دستگاه ابتدا باید از یک توزیع کننده در ورودی آب شور به دستگاه استفاده نمود تا آب شور در تمام نقاط دستگاه جریان یابد و همچنین صفحه جاذب را باید طوری طراحی کرد که امکان کانالیزه شدن جریان آب کاهش یابد. بدین منظور با افزایش نسبت طول به عرض دستگاه و ایجاد جریان اجباری می توان تا حدی از اثرات نامطلوب کانالیزه شدن جریان کاست.

### فاصله بین شیشه و صفحه جمع کننده انرژی

فاصله بین شیشه و صفحه جمع کننده در واقع بیانگر حجم دستگاه بوده و افزایش آن سبب افزایش زمان اشباع شدن این حجم از بخار ایجاد شده خواهد شد. از طرفی بخار حاصل باید بر روی شیشه چگالش یابد و هر چه دمای شیشه نسبت به بخار کمتر باشد نرخ چگالش بخار افزایش خواهد یافت. با افزایش فاصله بین شیشه و صفحه جمع کننده دمای شیشه کمتر شده و بنابراین میزان چگالش بخار افزایش خواهد یافت. لذا افزایش فاصله بین شیشه و سطح جمع کننده از طرفی تاثیر مستقیم و از طرفی دیگر تاثیر معکوس بر میزان آب شیرین تولید شده خواهد داشت. بنابراین همواره یک فاصله بهینه وجود خواهد داشت که در آن بیشترین میزان ممکن آب شیرین تولید خواهد شد و شیشه نسبت به سطح باید در این فاصله نصب شود. باید توجه نمود نزدیک شدن بیش از اندازه شیشه به صفحه سیاه سبب می شود تا مقداری از آب شیرین حاصل از چگالش بخار قبل از جمع آوری بر روی سطح جذب کننده چکه کرده و راندمان دستگاه کاهش یابد. فاصله بهینه شیشه از سطح آب شور در مقالات و مراجع علمی ۵ تا ۷ سانتی متر در نظر گرفته شده است.

## \*نصب و کاربرد مناسب دستگاه

### جهت مناسب

مناسب ترین جهت برای نصب دستگاه های خورشیدی که به صورت ثابت مستقر هستند، راستای شرق- غرب جغرافیایی می باشد. در نیم کره شمالی دستگاه باید به رو به جنوب بوده تا از انرژی خورشیدی به بهترین صورت بهره برداری گردد. نکته قابل توجه همان طور که بیان شد، قرار دادن دستگاه در راستای شرق غرب جغرافیایی است، حال آنکه اغلب این راستا بوسیله قطب نما تعیین شده و قطب های مغناطیسی و جغرافیایی زمین بر هم منطبق نیستند لذا راستای تعیین شده، شرق - غرب مغناطیسی بوده که با راستای جغرافیایی مورد نظر بسته به چندین درجه تفاوت خواهد داشت. به منظور تعیین دقیق سمت های جغرافیایی می توان از این نکته که خورشید در هنگام ظهر خورشیدی درست در جنوب جغرافیایی قرار دارد، استفاده نمود و با کمک سایه شاخص در این هنگام چهار جهت جغرافیایی را تعیین نمود.

### زاویه مناسب

خورشید در فصول مختلف سال، مسیر متفاوتی را در آسمان طی می کند. زاویه فراز و در نتیجه زاویه تابش در طول یک روز، تغییر می کنند. برای سطحی افقی در طول یک روز، زاویه تابش هنگام طلوع  $90^\circ$  درجه بوده و با گذشت زمان از مقدار آن کاسته شده و هنگام ظهر خورشیدی کمترین مقدار خود را پیدا کرده و دوباره مقدار آن افزایش یافته تا در نهایت، هنگام غروب خورشید به  $90^\circ$  درجه می رسد. علاوه بر این، زاویه فراز در یک ساعت مشخص در طول سال تغییر می کنند. زاویه های فراز و ساعتی طلوع و غروب خورشید مقادیر بیشتری را در تابستان در مقایسه با زمستان دارا می باشند. در انقلاب تابستانی (حوالی ۳۱ خرداد ماه) ساعات روشنایی روز بیشترین مقدار خود را در مقایسه با سایر روزهای سال دارد. در این روز زاویه فراز و زاویه ساعتی طلوع و غروب بیشینه مقدار خود را دارند. در مقابل در انقلاب زمستانی که در حوالی ۳۰ آذر می باشد، تعداد ساعات روشنایی روز حداقل بوده و زاویه های ذکر شده کمترین مقدار خود را در طول سال خواهند داشت. بنابراین اغلب جمع کننده های مسطح خورشیدی را به منظور دریافت بیشتر انرژی بصورت شیب دار نسبت به افق قرار می دهند. گرچه افزایش این زاویه سبب دریافت مقدار بیشتر انرژی در زمستان (هنگامی که زاویه فراز خورشید چندان زیاد نیست) می گردد، اما در مقابل انرژی دریافت شده تحت چنین زاویه ای در تابستان (هنگامی که زاویه فراز خورشید معمولاً زیاد است) کاهش خواهد یافت. در مقابل، کاهش زاویه جمع کننده نسبت به افق باعث افزایش دریافت انرژی در تابستان و کاهش آن در زمستان خواهد گردید. بنابراین همواره برای هر نقطه بر روی

زمین زاویه ای بهینه وجود خواهد داشت که تحت آن زاویه بیشترین میزان انرژی سالیانه دریافت خواهد شد. پس از محاسبه این زاویه برای مکان مورد نظر شیب دستگاه باید تحت این زاویه تنظیم گردد. در مورد آب شیرین کنها که میزان انرژی دریافت شده در آنها از طریق عبور پرتوهای خورشید از شیشه تامین می شود، شیشه باید تحت این زاویه بهینه سالیانه قرار گیرد. البته در صورت امکان تنظیم شیب دستگاه تحت زاویه های بهینه ماهیانه سبب افزایش میزان انرژی دریافت شده کلی و در نهایت افزایش راندمان دستگاه خواهد شد. از جمله کارهای انجام شده در این رابطه می توان به موارد زیر اشاره نمود.

### کاربرد اصولی و تنظیم مناسب شرایط عملیاتی

اغلب سیستم های آب شیرین کن طوری طراحی شده اند که نیازی به کنترل خاص نداشته باشند. به عنوان نمونه در نوع حوضچه ای، مخزن دستگاه بوسیله آب شور پر شده و دستگاه در طول روز به صورت پیوسته کار کرده و آب شیرین تولید می نماید. تنها پارامتر عملیاتی در این نوع از آب شیرین کن ها زمان بندی خارج کردن آب باقی مانده در دستگاه که غلظت نمک در آن بالا رفته است می باشد. مشخصاست که هر چه غلظت نمک در آب بیشتر باشد، انرژی بیشتری برای تبخیر مقدار مشخصی از آب مورد نیاز است. ایجاد رسوب در کف حوضچه مشکل دیگری است که زمان بندی صحیح در تخلیه مخزن از آب شور باقی مانده حاصل از تبخیر، در مرتفع نمودن آن تاثیر بسزایی خواهد داشت.

در دستگاه هایی که به صورت پیوسته یا منقطع کار می کنند و آب شور در آنها جریان دارد، دبی حجمی و در نتیجه سرعت آب شور بر روی سطح جمع کننده انرژی یک پارامتر عملیاتی بسیار مهم است. گرچه افزایش دبی آب شور مانع از ته نشین شدن رسوب خواهد شد، اما در مقابل زمان مناسب برای انتقال حرارت بین صفحه جمع کننده انرژی و آب شور فراهم نشده و میزان بخار ایجاد شده و در نهایت آب شیرین تولید شده کاهش خواهد یافت. در مقابل هر چند دبی جریان پایین سبب فراهم آوردن زمان انتقال حرارت مناسب بین سطح جمع کننده انرژی و آب شور گشته و حجم بخار و آب شیرین شده افزایش خواهد یافت، ولی ته نشین شدن رسوب روی سطح جمع کننده سبب کاهش ضریب جذب و ایجاد مقاومت در انتقال حرارت شده و در نهایت سبب کاهش راندمان دستگاه خواهد شد. در چنین شرایطی شست و شوی دستگاه با مقداری از آب شیرین تولید شده الزامی خواهد بود. بنابراین پس از انجام مطالعات کافی دبی آب شور ورودی به دستگاه باید در مناسب ترین مقدار خود تنظیم شود. در مورد دستگاه هایی نیز که به صورت منقطع کار می کنند، یعنی آب شور ورودی برای لحظاتی در دستگاه جریان پیدا کرده و انتقال حرارت انجام می گیرد و بخار تولید میشود و سپس جریان آب به منظور جذب انرژی توسط سطح قطع می شود، زمان بندی مناسب دستگاه بسیار



مهم خواهد بود. چه بسا پس از عبور آب شور بعد از مدت زمان مشخصی از روی صفحه سیاه سبب خنک شدن بیش از اندازه آن شده و دیگر انتقال حرارت بین آب شور و صفحه جمع کننده انرژی روی ندهد. در مقابل در لحظاتی که جریان آب به منظور جذب انرژی توسط صفحه قطع شده است، امکان دارد پس از گذشت لحظاتی دمای صفحه تا حداکثر ممکن بالا رفته و پس از آن میزان انرژی دریافت شده و اتلاف شده برابر گشته و افزایش زمان تأثیری بر میزان جذب بیشتر انرژی نداشته باشد. بنابراین با مطالعه دقیق شرایط باید یک برنامه زمانی مناسب جهت زمان تزریق آب شور و توقف آن به دست آید.

## استفاده مناسب از انرژی ورودی

به منظور افزایش راندمان آب شیرین کن های خورشیدی، پس از ساخت و طراحی مناسب به منظور دریافت انرژی بیشتر، باید از انرژی ورودی به دستگاه حداکثر استفاده بعمل آید. بنابراین شناسایی راه های اتلاف حرارت از دستگاه و کاستن آنها تا حداقل ممکن الزامی خواهد بود. از جمله مواردی که سبب بروز بیشترین اتلاف انرژی در دستگاه می شود، می توان به هدر رفتن انرژی به علت عایق بندی نامناسب، هدر رفتن انرژی بوسیله آب شور خروجی و هدر رفتن انرژی از طریق شیشه اشاره کرد.

## عایق بندی نامناسب

ضروری ترین عامل در کاهش اتلاف انرژی از دستگاه عایق بندی آن می باشد. به کاربردن عایق حرارتی مناسب و عایق نمودن نواحی گرم دستگاه بخصوص کف آن سبب کاهش تلفات انرژی خواهد گشت. به دلیل عایق بندی نامناسب امکان اتلاف حرارت از دیواره ها در هنگام عملیات وجود دارد که سهم زیادی در کاهش راندمان دستگاه دارد. با توجه به بالا بودن نسبت سطح صفحه سیاه به کل سطح خارجی دستگاه، به منظور جلوگیری از اتلاف حرارتی و گرم نگه داشتن آب درون حوضچه زیر صفحه باید به خوبی عایق بندی گردد. عایق باید دارای هدایت حرارتی پایین و طول عمر بالا باشد.

## هدر رفتن انرژی از طریق شیشه

در دستگاه آب شیرین کن خورشیدی، بخار آب تولید شده حرارت خود را بر روی شیشه از دست داده و چگالش می یابد. این عمل سبب افزایش دمای شیشه شده و سرانجام انرژی از شیشه به محیط اطراف بصورت جابجایی انتقال یافته و تلف خواهد شد. البته ذکر این نکته ضروری است که این نوع از اتلاف انرژی مطلوب بوده و افزایش آن پیامد

افزایش نرخ چگالش بخار، و افزایش میزان آب شیرین تولید شده خواهد بود. با این حال از این انرژی تلف شده نیز می توان استفاده مطلوب نمود. در برخی از نمونه های آب شیرین کن، با عبور جریانی از آب شور قبل از ورود به دستگاه از روی سطح شیشه، از حرارت تلف شده حاصل از چگالش بخار جهت پیشگرم نمودن آب شور استفاده شده است. در انواع دیگری از آب شیرین کن، با تخلیه بخار تولید شده و هدایت آن به سمت کویل هایی که در آنها آب شور سرد جریان دارد، از گرمای آزاد شده حاصل از عمل چگالش استفاده می شود. استفاده از گرمای آزاد شده حاصل از چگالش در مرحله اول سبب افزایش دمای آب شور ورودی به دستگاه گشته و در مرحله دوم انرژی دریافت شده توسط دستگاه سبب افزایش بیشتر دمای آب نسبت به حالت قبل خواهد گشت. در این حالت تولید بخار و نهایتاً تولید آب شیرین و راندمان دستگاه افزایش خواهد یافت.

حال در ادامه جهت رفع مشکلات موجود راهکارهایی ارائه گردیده:

### کانالیزه شدن آب بر روی صفحه جمع کننده انرژی

با توجه به اینکه آب شور تنها از یک نقطه که در وسط اولین پله تعبیه شده وارد دستگاه می شود، و علی رغم شیب منفی پله ها، و احتمالاً به دلیل دبی زیاد جریان مسیر جریان آب بر روی دیگر پله ها کانالیزه شده و به گونه ای است که همواره گوشه های بالای دستگاه در معرض جریان آب قرار نمی گیرند و با توجه به تابش مداوم خورشید بر این قسمت های دستگاه و افزایش بیش از حد دما در آنها و نوع جنس آنها، با گذشت زمان دچار تغییر شکل شده اند. این تغییرات به دو صورت عمده ترکهای سطحی و خمیدگی سطحی دیده شده اند. علاوه بر توزیع نامناسب آب ورودی، همین خمیده شدن سطح (که حاصل توزیع نامناسب آب است) منجر به تشدید کانالیزه شدن آب بر روی پله های دستگاه گردیده است. در این حالت حجم بیشتری از مایع از روی سطح کمتری عبور کرده و میزان انتقال حرارت و در نتیجه راندمان دستگاه کاهش خواهد یافت. برای رفع این مشکل آب ورودی باید از نقاط بیشتری وارد دستگاه شود و در بهترین حالت و به منظور عملی بودن راه حل، استفاده از توزیع کننده برای جریان آب ورودی پیشنهاد می شود.

### رسوب

شاید یکی از بزرگترین مشکلات این نوع آب شیرین کن ها، تشکیل رسوب بر روی صفحه سیاه آنها باشد. با تشکیل رسوب، به علت شرکت نداشتن تمام سطح در عملیات جذب تابش و کاهش ضریب جذب از یک طرف و کاهش ضریب انتقال حرارت بین صفحه و آب، بازده دستگاه به طور محسوسی کاهش یافته است. به منظور بر طرف کردن این مشکل

هم باید شرایطی را اعمال کرد که اولاً رسوب ایجاد نشود و در مرحله دوم در صورت ایجاد رسوب، این رسوب در دستگاه ته نشین نشود.

در این راستا با توجه به اینکه حلالیت اکثر کربنات های فلزی به PH بستگی دارد پیشنهاد می شود که با کاهش PH میزان حلالیت مواد رسوب دهنده به منظور کاهش تشکیل رسوب، افزایش یابد. با توجه به اینکه اسید فسفریک ارزان قیمت بوده و نمک های این اسید نیز در صورت رسوب چسبنده نیستند و از دستگاه خارج می شوند و به علاوه از آن در صنایع غذایی نیز استفاده می شود (مانند نوشابه های گاز دار)، استفاده از این اسید توصیه می شود.

پس از انجام اقدامات لازم به منظور کاهش ایجاد رسوب، شرایط عملیاتی و خصوصیات سطح باید به گونه ای باشد که اگر رسوبی هم ایجاد شد در دستگاه ته نشین نشده و از آن خارج شود. برای این منظور دیبجریان آب بر روی سطح باید افزایش یابد. ولی افزایش دبی هر چند سبب کاهش ته نشین شدن رسوب می گردد اما با کاهش مدت زمان انتقال حرارت بین سطح و آب سبب کاهش راندمان خواهد شد و بنابراین همواره باید دبی جریان در حداقل ممکن تنظیم گردد. بنابراین خصوصیات سطح باید به گونه ای باشد که رسوبات ایجاد شده امکان ته نشین شدن بر روی سطح را نداشته باشند. از جمله پارامتر های بسیار مهم در این راستا تنظیم سطح به گونه ایست که امکان توقف آب بر روی سطح پس از قطع شدن جریان آب وجود نداشته باشد. با توجه به اینکه پله های موجود بر روی دستگاه دارای شیب منفی می باشند، پس از قطع جریان آب مقداری از آب بر روی پله های بر جای مانده و هر چند سبب ایجاد بخار می شود اما در مقابل با جذب کسری از انرژی ورودی به دستگاه سبب کاهش میزان انرژی جذب شده توسط سطح می شود و مهم تر از آن و در صورت بالا بودن شدت تابش، پس از تبخیر حجم قابل توجهی از آب، با توجه به ساکن بودن آن رسوب ایجاد شده به سهولت بر روی سطح ته نشین می شود. با توجه به اینکه در قبل نیز ذکر شد که جنس صفحه پلاستیکی است و تابش خورشید سبب ایجاد ترک هایی در آن شده است، رسوبات ایجاد شده در داخل این ترک ها ته نشین شده اند و دیگر جریان آب نیز قادر به از بین بردن آنها نبوده است. در نهایت با توجه به موارد ذکر شده پیشنهاد می شود در صورت امکان از اسید فسفریک به منظور کاهش ایجاد رسوب استفاده شود و جنس سطح جمع کننده تغییر یابد و با توجه به پیشنهاد ذکر شده در بالا از آلومینیوم استفاده شود و در طراحی دستگاه از شیب منفی اجتناب گردد.

### شیب دستگاه

در سایت خورشیدی روستای کوشک، شیب صفحات در هر یونیت حدوداً ۱۵ درجه بوده که البته در همه یونیت ها یکسان نبود. شیب دستگاه بر روی شیب شیشه و میزان تابش خورشید بر آن و در نهایت بر انرژی دریافت شده توسط

دستگاه تاثیر خواهد داشت. معمولاً اغلب دستگاه های جمع کننده انرژی خورشیدی که مسطح هستند را، به منظور افزایش میزان انرژی دریافت شده به صورت مایل مایل قرار می دهند. زاویه ای که این دستگاه ها با سطح افق می سازند بر میزان انرژی دریافت شده تاثیر گذار خواهد بود و باید تحت زاویه بهینه تنظیم گردد. برای این منظور تحقیق گسترده ای برای تاثیر شیب دستگاه بر روی میزان انرژی دریافت شده بعمل آمد. با توجه به تغییر زاویه تابش خورشید بصورت لحظه ای در یک روز مشخص و همچنین تفاوت بین زاویه تابش در ساعت های یکسان در روزهای گوناگون سال و همچنین وابستگی کلی این مقادیر به عرض جغرافیایی مکان مورد مطالعه می توان زاویه بهینه به منظور دریافت بیشینه انرژی در هر روز را محاسبه نمود. با توجه به اینکه عملیاتی کردن تغییر زاویه بصورت روزانه به سادگی امکان پذیر نمی باشد، می توان این تنظیم زاویه را به صورت ماهیانه و بر طبق جدول به دست آمده که در زیر ارائه شده است انجام داد. این تغییر در نحوه قرار گرفتن دستگاه و تنظیم زاویه سبب دریافت بیشتر انرژی در طول سال و در نتیجه آن افزایش میزان جذب انرژی و در نهایت افزایش راندمان دستگاه خواهد شد.

ماه	زاویه بهینه														
	فروردین	اردیبهشت	مرداد	مهر	شهریور	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	نیمه اول	نیمه دوم	تمام طول سال		
											سال ۱۳۸۶-۱	سال ۱۳۸۷-۳۶۵			
عرض جغرافیایی															
L= ۲۷/۱۸	۱۷/۲	-۰/۵	-۹/۹	-۹/۲	۱/۷	۱۹/۹	۳۸/۱	۵۱	۵۷/۲	۵۶/۶	۴۹/۳	۳۵/۶	۲/۷	۴۸/۲	۲۵/۷

جدول ۱- زاویه بهینه ماهیانه، نیمه اول و دوم سال و زاویه بهینه سالیانه به منظور دریافت بیشینه انرژی.

در طراحی آب شیرین کن های خورشیدی زاویه شیشه دارای یک حداقل مقدار است که کاهش زاویه کمتر از آن منجر به بروز مشکلاتی در حرکت آب چگالش یافته بر روی سطح داخلی شیشه می گردد و احتمال جدا شدن آب شیرین از شیشه و سقوط و اختلاط آن با آب شور افزایش می یابد. این زاویه معمولاً نباید از ۱۰ درجه کمتر باشد. بنابراین در مواردی که در جدول فوق زاویه بهینه کمتر از ۱۰ درجه است ناچار خواهیم بود که زاویه بهینه را دست کم ۱۰ درجه انتخاب کنیم. در صورتی که تغییر زاویه بصورت ماهیانه نیز از لحاظ عملیاتی دشوار بوده و امکان پذیر نباشد این کار را می توان برای دو نیمه از سال انجام داد. در غیر این صورت باید آنرا تحت زاویه بهینه مربوط به تمام طول سال تنظیم کرد. با توجه به نتایج به دست آمده می بایست شیب دستگاه ها از ۱۵ درجه به ۲۶ درجه اصلاح گردد.

## فاصله شیشه و صفحه جمع کننده انرژی

به علت فاصله بسیار کم بین شیشه و صفحه سیاه دو مشکل در دستگاه رخ می دهد. کم بودن این فاصله باعث می شود دمای شیشه بسیار بالا رفته به نحویکه در بازدید انجام شده، لمس آن با دست امکان پذیر نبود. دمای زیاد شیشه سبب کاهش نرخ چگالش بخار ایجاد شده و کاهش راندمان دستگاه می شود. از طرف دیگر کاهش فاصله و حتی تماس شیشه و صفحه سیاه در بعضی نقاط باعث ریزش قسمتی از آب شیرین حاصل از چگالش بخار به داخل دستگاه و مخلوط شدن آن با جریان آب شور می شود. بنابراین فاصله موجود باید اصلاح شود.

## استفاده از انرژی آب خروجی از دستگاه

باید توجه نمود، تنها کسر کوچکی از آب شور ورودی به دستگاه تبخیر شده و مقدار قابل ملاحظه ای از انرژی توسط آب شوری که تبخیر نشده و دمای آن بالا رفته از دستگاه خارج می شود. استفاده از این انرژی سبب افزایش چشمگیری در راندمان دستگاه خواهد شد. در اکثر آب شیرین کن ها از این انرژی به منظور پیش گرم کردن آب شور ورودی به دستگاه استفاده می شود. این عمل باعث افزایش بیشتر درجه حرارت آب شور ورودی و در نتیجه افزایش میزان تبخیر آن و افزایش میزان آب شیرین خواهد شد. استفاده از جریان آب شور خروجی از یک دستگاه به عنوان پیشگرمکن آب شور ورودی دستگاه بعدی و ادامه همین روند برای چندین دستگاه که پشت سر هم قرار دارند بازده کلی فرآیند را بالا می برد.

## جنس صفحه جمع کننده انرژی

جنس صفحه سیاه بکار رفته در سایت آب شیرین کن خورشیدی روستای کوشک از نوع پلیمری است که از دو نظر قابل بحث می باشد. هر چند به نظر می رسد که ضریب جذب ماده به کار رفته بالا باشد و مقدار زیادی از انرژی خورشیدی تابیده شده را جذب می کند اما در مقابل با توجه به پایین بودن ضریب انتقال حرارت هدایتی، میزان کمتری از انرژی جمع آوری شده به آب منتقل می گردد. از طرف دیگر با گذشت زمان و تابش مداوم خورشید بر روی سطح پلاستیک، ترکهایی بر روی سطح آن ایجاد می شود که سبب رسوب نمودن ترکیبات موجود در آب ورودی به دستگاه در این ترکها می شود. این پدیده منجر به ایجاد مقاومتی در راه انتقال حرارت میان صفحه و آب در حال جریان بر روی آن و کاهش بیشتر ضریب انتقال حرارت می شود. استفاده از صفحات فلزی مشکلات بیان شده را مرتفع خواهد نمود.

هرچند صفحات فلزی دارای ضریب انتقال حرارت بسیار بالایی هستند، ولی در مقابل دارای ضریب جذب کمتری هستند. استفاده از رنگ هایی با ضریب جذب بالا علاوه بر طرف نمودن این نقص سطوح فلزی سبب ایجاد مقاومتی در برابر خوردگی خواهد بود. استفاده از آلومینیوم آنودایز گزینه بسیار مناسبی خواهد بود.

## ذخیره انرژی

با تابش خورشید بر روی صفحه سیاه، دمای سطح به صورت مداوم افزایش پیدا می کند ولی نرخ افزایش رفته رفته به علت همزمان افزایش تلفات کاهش می یابد تا اینکه سرانجام شدت انرژی جذب شده توسط سطح با میزان تلفات انرژی از آن یکسان شده و در نتیجه دمای سطح در حداکثر خود ثابت خواهد ماند. این لحظه مناسب ترین زمان برای ورود جریان آب به دستگاه خواهد بود زیرا گذشت زمان پس از این لحظه هیچ تاثیری بر افزایش میزان انرژی جذب شده نداشته و انرژی سطح با توجه به ثابت بودن دما ثابت خواهد بود. مدت زمان لازم برای رسیدن به این حالت در طول روز با توجه به تغییر شدت تابش خورشید، متفاوت می باشد. مسلماً در اوایل و اواخر روز زمان بیشتری برای جذب حداکثر نسبت به میانه روز لازم خواهد بود. در مورد مدت زمان جریان آب بر روی سطح نیز دقیقاً چنین حالتی برقرار است. با عبور آب شور از روی سطح به واسطه انتقال حرارت از سطح به آب دمای سطح رفته رفته کاهش می یابد تا زمانی که با آب عبوری از روی آن به تعادل برسد. این زمان مناسب ترین لحظه برای قطع کردن جریان آب خواهد بود زیرا پس از آن دیگر انتقال حرارتی صورت نمی گیرد و آب شور بدون اینکه قسمتی از آن تبخیر شود از دستگاه خارج خواهد شد. در نتیجه زمان بندی قطع و وصل شدن جریان آب در این دستگاه به منظور جمع آوری انرژی باید مورد بررسی قرار گیرد و تعیین شود که آیا این برنامه زمانی به درستی انتخاب شده است یا نه. زمان بندی مناسب و تعیین مدت زمان لازم جهت جمع آوری انرژی و همین طور مدت زمان لازم جهت عبور آب بر روی سطح به سادگی امکان پذیر نیست و به علاوه به صورت لحظه ای در طول یک روز نیز متغیر می باشد.

بنابراین عملی ترین حالت استفاده از سیستم های کنترلی است تا همانطور که در بالا به آن اشاره شد، هنگامی که دمای سطح جمع کننده در بیشترین مقدار خود ثابت شد دستور ورود آب شور صادر شود و در هنگامی که دمای سطح به پایین ترین مقدار خود رسیده و ثابت شد دستور متوقف شدن جریان آب اجرا گردد. البته طراحی، ساخت و نگهداری این سیستم، پیچیده و هزینه بر است و شاید راه حل دیگری نیز داشته باشد. راه حل دیگر استفاده از منبع ذخیره انرژی در زیر سطح جمع کننده انرژی می باشد. با استفاده از این منبع، میزان انرژی تلف شده پس از به تعادل رسیدن دمای سطح صرف بالا بردن دمای منبع شده و انرژی مازاد در آن ذخیره خواهد شد. به عبارت دیگر میزان جذب انرژی

افزایش یافته و مدت زمان لازم برای رسیدن دمای سطح به تعادل افزایش خواهد یافت. در صورت استفاده از موادی که در محدوده دمایی کار دستگاه قابلیت انجماد و ذوب شدن را داشته باشند (مانند پارافین) می توان از گرمای نهان ذوب که مقادیر قابل ملاحظه ای می باشند بهره جست. علاوه بر این در هنگام عبور جریان آب از روی دستگاه مدت زمان بیشتری سطح قادر خواهد بود با آب به انتقال حرارت بپردازد و حجم آب تبخیر شده و در نهایت راندمان دستگاه نیز افزایش خواهد یافت.

# فصل چهارم

انواع روش‌های تحقیق



موضوع تصفیه آب موضوع جدیدی نیست و حتی در کتب پزشکی مربوط به چند هزار سال قبل از میلاد هم توصیه هایی در زمینه جوشانیدن آب و چگونگی نگهداری آن شده است. مثلاً جوشانیدن آب و نگهداری آن در ظروف نقره ای که برای پادشاهان هخامنشی انجام می شده، دو روش ضد عفونی آب بوده که هنوز هم معمول می باشد. بر طبق آخرین آمار سازمان بهداشت جهانی تا سال ۱۹۹۲ در هر ۲۴ ساعت، ۱۳۰۰۰ کودک زیر یکسال در دنیا در اثر بیماریهای منتقله از آب تلف می شده اند. که به پاره ای از آنها باختصار اشاره شد. بهر حال با توجه به منابع آب طبیعی و کیفیت آبهای شرب به این نتیجه می رسیم که هیچ آبی را نمی توان قبل از تصفیه و اطمینان از سالم بودن آن مصرف کرد.

روشهای مختلفی برای تبدیل آبهای طبیعی یا خام به آبهای سالم و قابل قبول مصرف کنندگان وجود دارد و روش انتخابی تصفیه بستگی به اختصاصات آب خام دارد. جدول ذیل حاوی خلاصه ای از فرایندهای معمول تصفیه آب ها می باشد. کلاً در آبهای سطحی بیشتر از آبهای زیرزمینی در معرض آلودگی ها قرار دارند لذا نیاز به تصفیه بیشتری هم دارند. بنابراین به استثنای اندازه گیری جریان آب و گندزدایی معمولاً اکثر فرایندهای تصفیه زیر فقط بروی آبهای سطحی انجام می شود. تصفیه آب معمولاً با بعضی از فرایندهای تصفیه مقدماتی شروع می شود. این تصفیه در خارج از تصفیه خانه اصلی صورت می گیرد. تا ضمن کاهش ناخالصی ها از فشار برفراایندهای اصلی تصفیه نیز کاسته شود.

در جدول زیر (۱-۴) انواع و مراحل تصفیه ی آب را بیان می کند:

## جدول ۱-۴

فرآیند	هدف
<p><b>تصفیه مقدماتی:</b></p> <p>آشغالگری»</p> <p>تصفیه شیمیایی مقدماتی»</p> <p>ته نشینی مقدماتی»</p> <p>صافیهای مشبک سوراخ ریز»</p> <p>اندازه گیری جریان آب»</p> <p><b>تصفیه های اصلی:</b></p> <p>هوادهی»</p> <p>انعقاد - تجمع ذرات»</p> <p>ته نشینی»</p> <p>سبک کردن»</p> <p>صاف کردن»</p> <p>جذب»</p> <p>تثبیت»</p> <p>افزایش فلوئور»</p> <p>گندزدایی»</p>	<p>اجسام بزرگ را که به دستگاههای تصفیه خانه صدمه وارد می سازند از آب جدا می کند</p> <p>برای جدا کردن آلگ ها و سایر موجودات آبزی مزاحم که ایجاد مزه ، بو و رنگ می کنند</p> <p>سنگریزه ، شن ، ماسه ، گل و لای و سایر اجسام ریگدار را که به دستگاههای تصفیه خانه صدمه می زند ، از آب جدا می نماید.</p> <p>آلگ ها ، گیاهان آبزی و اجسام کوچک که دستگاهها را مسدود کرده یا به سایر مراحل تصفیه زیان می رسانند ، از آب جدا می سازند</p> <p>مقدار آبی که باید تصفیه شود اندازه گیری می نماید.</p> <p>بوها و گازهای محلول را از آب خارج کرده ، مقدار اکسیژن محلول آن را افزایش می دهند</p> <p>ذرات غیر قابل ته نشین را به ذرات قابل ته نشین تبدیل می نماید</p> <p>ذرات قابل ته نشین را جدا می کند</p> <p>جداسازی مواد شیمیایی که باعث سختی آب می شوند</p> <p>ذرات کوچک ، ذرات تجمع یافته معلق و اکثر میکروارگانیسم ها را از آب خارج می کند</p> <p>جداسازی مواد آلی و رنگ آب</p> <p>جلوگیری از تشکیل پوسته و خوردگی آب</p> <p>برای سخت تر کردن مینای دندان تا از فساد و پوسیدگی دندان جلوگیری شود.</p> <p>میکروارگانیسم های بیماریزا نابود می شوند.</p>

## \* سختی گیری رزینی

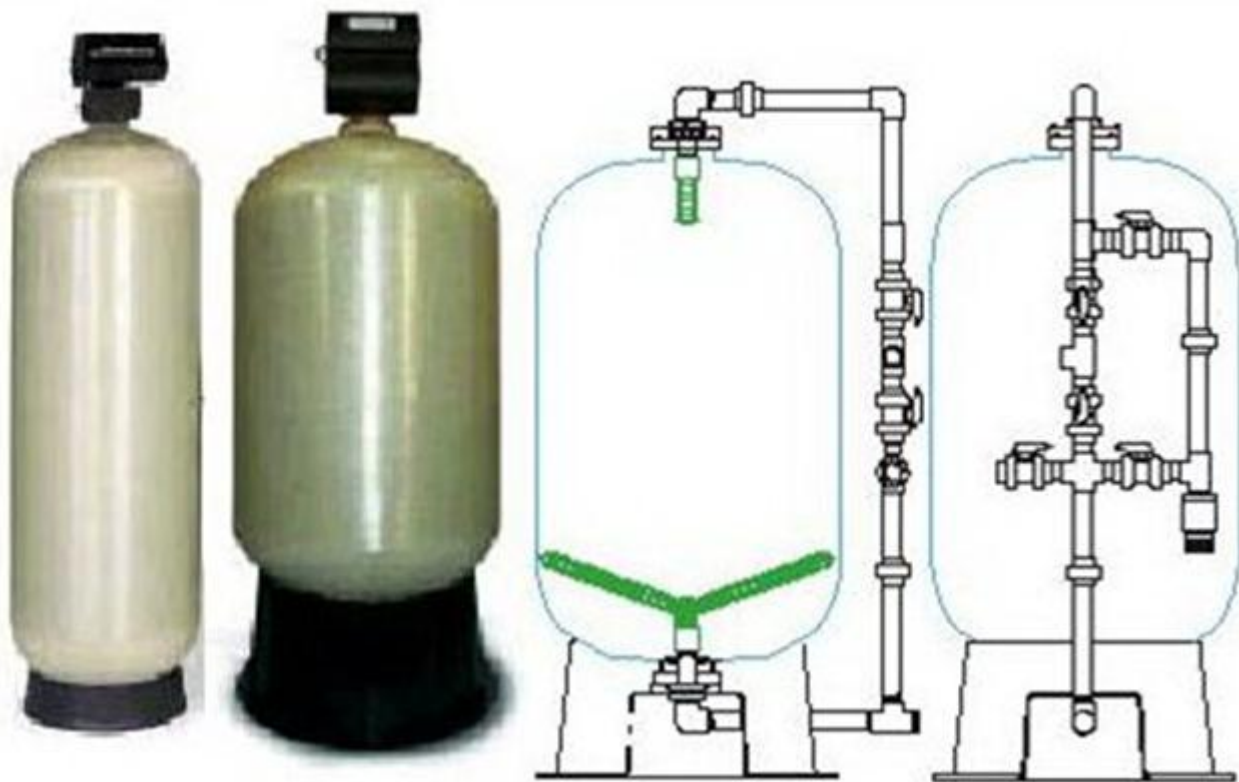
املاح کلسیم و منیزیم از جمله ناخالصیهای آب به شمار می روند. مقدار بیش از حد این املاح، برای مصارف بهداشتی مناسب نمی باشد. سختی آب، عامل تشکیل رسوب در دیگهای بخار، مبدل‌های حرارتی، برج‌های خنک کننده و سیستم‌های سرد کننده می باشد. اگر آب سخت برای شستشو به کار رود، صابون هدر می رود. در صنایع نساجی و رنگرزی کیفیت رنگ افت می کند. انحلال سود سوز آور در آب، منیزیم را به صورت هیدروکسید منیزیم رسوب می دهد. سختی بیش از حد باعث سوء هاضمه و بروز بیماریهای کلیوی می شود

متداولترین روش برای حذف سختی آب، استفاده از سختیگیرهای رزینی می باشد. رزینها، کلسیم و منیزیم را با سدیم تعویض کرده و آب سخت را به آب نرم تبدیل می کنند. رزینهای دستگاه سختگیر پس از مدت زمان معین اشباع می شوند. کارایی خود را از دست می دهند. اگر رزین با محلول کلرو سدیم ۱۰٪ شستشو داده شود، خاصیت سختگیری خود را باز می یابد. غلظتهای کمتر و یا بیشتر نمک اثر کمتری دارند.

استفاده از آبهای گل آلود و دارای مواد معلق و همچنین آبهایی که دارای املاح آهن، منگنز، مس و دیگر فلزات سنگین می باشند، رزینها را فرسوده و آبدی دستگاه سختگیر را کم می کنند. توصیه می شود قبل از دستگاه سختگیر، مواد معلق آب، توسط یک فیلتر کیسه ای جدا شوند و برای کاهش املاح فلزات سنگین تدبیر لازم صورت بگیرد.

## شرح عملکرد

در فرایند سختی گیری به منظور حذف کلسیم و منیزیم آب سخت از میان بستر رزینهای تبادل یونی که در داخل یک مخزن استوانه ای و عمودی قرار دارند، عبور می نماید. رزین تبادل یونی، سدیم موجود خود را با کلسیم و منیزیم موجود در آب جابجا می نماید به گونه ای که آب عبوری از بستر رزین، بدون سختی و تنها حاوی نمکهای سدیم میباشد و در این شرایط کلسیم و منیزیم در داخل رزین جای گرفته اند. رزین دارای ظرفیت نامحدود نمی باشد و پیش از آنکه ظرفیت رزین اشباع گردد، می باید عملیات احیا سازی با محلول کلرید سدیم انجام شود. فرایند احیا شامل مراحل شستشوی معکوس، مکش آب نمک و آبکشی می باشد.



شکل ۱-۴ (الف) سختی گیر رزینی

### موارد کاربرد سختی گیرها:

۱- کاهش سختی آبهای آشامیدنی (طبق استاندارد WHO) مقدار سختی را در آبهای مصرفی بر حسب  $ca\ co_3$  معادل ۲۵۰ میلی گرم پیشنهاد شده است.

۲- حذف سختی آب دیگ های بخار

۳- حذف یا کاهش سختی آب در سیستم گرمایش و سرمایش

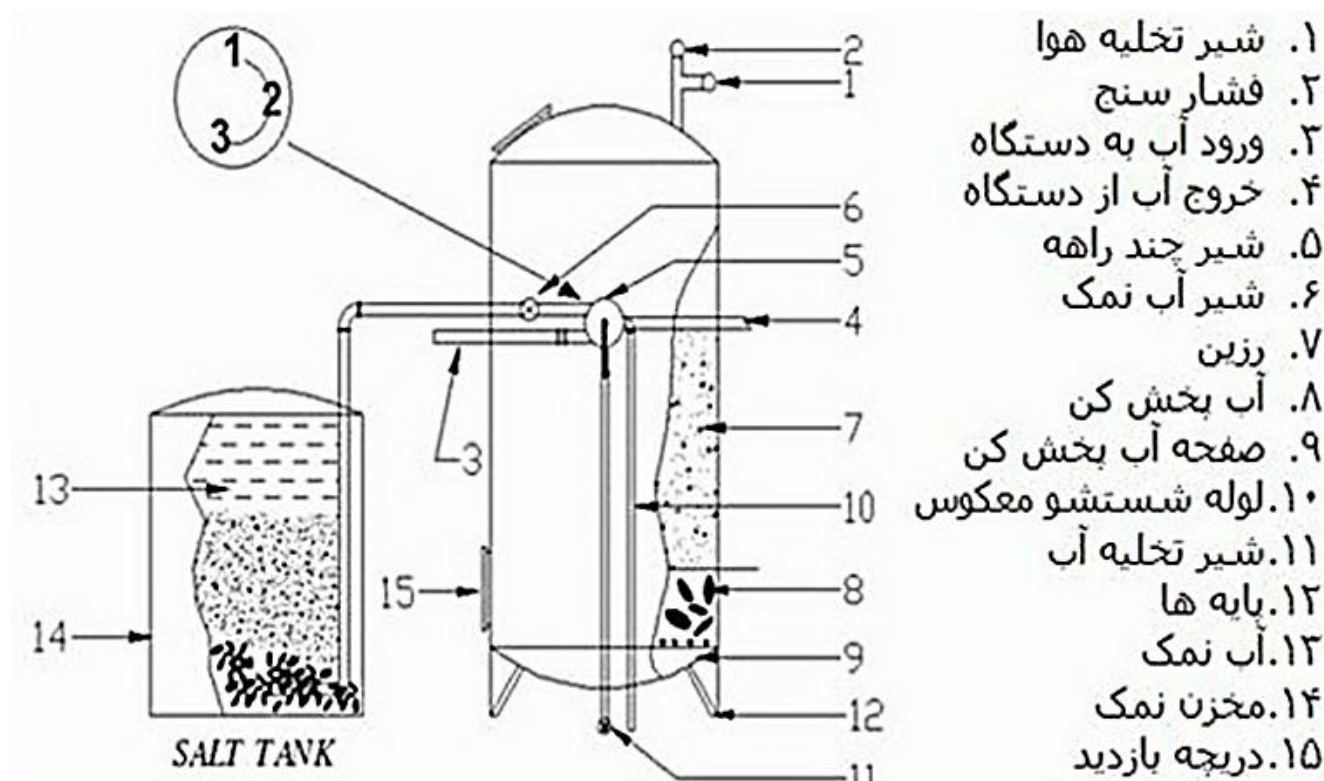
۴- حذف یا کاهش سختی آب در صنایع نساجی و رنگرزی و....

### مشخصات عمومی دستگاه های سختی گیر

- ضخامت ورق به نحوی انتخاب می شود که ستون سختیگیر تا ۷ بار فشار را تحمل کند.
- پوشش داخلی دستگاه از دو لایه رنگ اپوکسی و سطح خارجی آن با ضدزنگ و رنگ روغن مناسب پوشانده می شود.
- آب پخش کن ها و آب جمع کنها دستگاه از جنس P.V.C می باشد.
- یک لایه شن سیلیسی دانه بندی شده.
- هر دستگاه سختیگیر مجهز به مانومتر و شیر تخلیه هوا می باشد.

• رزینهای کاتیونی دستگاه سختگیر دارای ظرفیت بالایی می باشند.

• هر دستگاه سختگیر، دارای مخزن تهیه آب نمک و لوله کشی متناسب می باشد.



شکل ۱-۴ (ب) سختی گیر رزینی

## روش احیاء سختگیر با شیر چند راهه

### • مشخصات شیر سولو ولو

(۱) عدد شماره ۱ روی شیر سولو ولو که نشان دهنده جریان معکوس و در جریان شستشو استفاده می گردد.

(۲) عدد شماره ۲ روی شیر سولو ولو که در زمان شستشو امکان مکش آب نمک از تانک نمک را فراهم می نماید.

(۳) عدد شماره ۳ در زمان استفاده از دستگاه، اهرم روی آن قرار می گیرد.

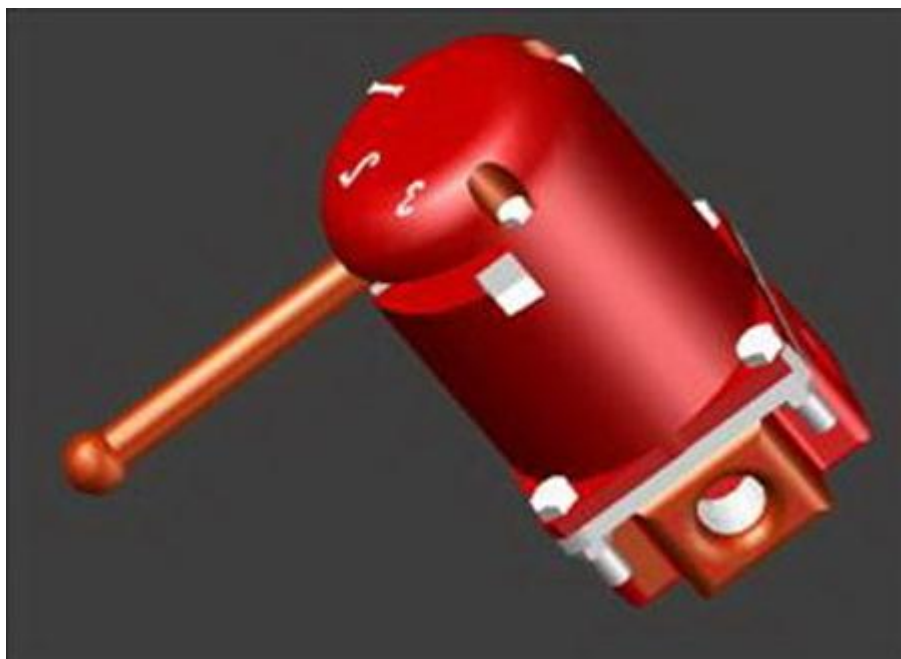
(۴) در زمان شستشوی دستگاه ابتدا می بایست به مدت ۱۵-۱۰ دقیقه اهرم شیر سولو ولو را روی عدد ۱ قرار داده و شیر فاضلاب باز شود تا شستشوی دستگاه انجام گیرد.

(۵) اکنون اهرم شیر را روی عدد شماره ۲ قرار داده و شیر تانک نمک باز می شود تا مکش آب نمک و ورود آن به دستگاه میسر شود. پس از پایان آب نمک شیر ورودی آب نمک را بسته و منتظر می شویم تا آب نمک کاملاً از خروجی فاضلاب خارج گردد و در داخل دستگاه آب نمکی باقی نماند.

(۶) سپس شیر فاضلاب نیز بسته و اهرم را روی شماره سه قرار می دهیم. حال دستگاه مجدداً قابل استفاده و در

سرویس قرار گرفته است.

(با توجه به در اختیار داشتن تست کیت سختی سنج زمان شستشو با تست آب خروجی از دستگاه مشخص می گردد).



شکل ۲-۴

شیر چند راهه

### \*قلیائیت زدا

با استفاده از رزینهای مبادله یونی می توان قلیائیت آب را تا حد متعارف کاهش داد. برای این منظور رزین کاتیونی ضعیف و یا رزین آنیونی قوی مناسب است.

### قلیائیت زدایی با رزین کاتیونی ضعیف

این نوع قلیائیت زدا برای کاهش سختی موقت، قلیائیت و املاح محلول آب مناسب می باشد و بار دستگاه سختگیر و ستونهای کاتیونی قوی، آنیونی ضعیف و آنیونی قوی را کاهش می دهد.

### مزایای قلیائیت زدای کاتیونی

- قلیائیت زدای کاتیونی برای کاهش سختی موقت آب مناسب است. مخصوصا اگر آب عاری از سختی دائم باشد.
- آب خروجی از قلیائیت زدای کاتیونی اسیدی می باشد. لذا یونهای بی کربنات آب به اسید کربنیک ناپایدار تبدیل می شوند. با عبور آب از یک دستگاه گاززدا، اسید کربنیک تجزیه شده و از آب خارج می شود. بدین ترتیب قلیائیت آب خام به مقدار زیادی کاهش می یابد.

• املاح محلول آب کم می شود.

• پی اچ (pH) آب خروجی از قلیائیت زدای کاتیونی ضعیف حدود ۴ می باشد که خود مشکلات حاصل از آب کاتیون

زدایی شده با رزینها قوی کاهش می دهد.

• رزینهای قلیائیت زدای کاتیونی با احیاء کننده های رقیق نیز احیاء می شوند. لذا استفاده از آنها در بستر رزین کاتیونی

قوی و یا در بستری مجاور آن، از لحاظ اقتصادی مطلوب است.

• قلیائیت زدای کاتیونی، سختی، قلیائیت و املاح محلول آب را کم می کند. لذا هزینه اولیه و هزینه احیاء مربوط به

ستونهای کاتیونی و آنیونی تقلیل می یابد.

### قلیائیت زدایی با رزین آنیونی قوی

این نوع قلیائیت زدا فقط برای کاهش قلیائیت آب مناسب می باشد. کاربرد آن محدود به آبهایی است که دارای کلر

کمی می باشند. در این روش مقدار املاح آب نسبت به قلیائیت زدایی با رزین کاتیونی ضعیف بسیار کمتر کاهش می

یابد. رزین اشباع با محلول آب نمک شستشو و احیاء می شود.

### \*دیونایزر

جهت تامین آب با کیفیت بالا و بدون یون که در برخی از صنایع حساس نظیر داروسازی و آب مقطر سازی و همچنین در

شستشوی قطعات الکترونیکی کاربرد دارد. از دستگاه دیونایزر استفاده می شود.

دیونایزر، دستگاهی شامل یک ستون کاتیونی و یک ستون آنیونی است که قابلیت تولید آب بدون یون با هدایت

الکتریکی زیر ۱ میکروزیمنس ( $1 \mu S$ ) را داراست. مطابق نمودار زیر در ستون کاتیونی کلیه کاتیونها شامل کلسیم ،

منیزیم، سدیم، پتاسیم و در ستون آنیونی کلیه آنیونها شامل کربنات، سولفات، کلراید، نیترات و سیلیکات حذف می

شود. ستون کاتیونی بعد از اشباع شدن با اسید ( $H^+$ ) و ستون آنیونی با سود ( $OH^-$ ) احیا می گردد.

طراحی	بر اساس آنالیز کامل آب
جنس ستون های کاتیونی و آنیونی	F.R.P و استنلس استیل ۳۱۶ با فولاد با کتینگ داخلی ضد اسید و قلیا با دریچه های بازدید مناسب
لوله کشی	از جنس فشار قوی به همراه شیرآلات و اتصالات استاندارد



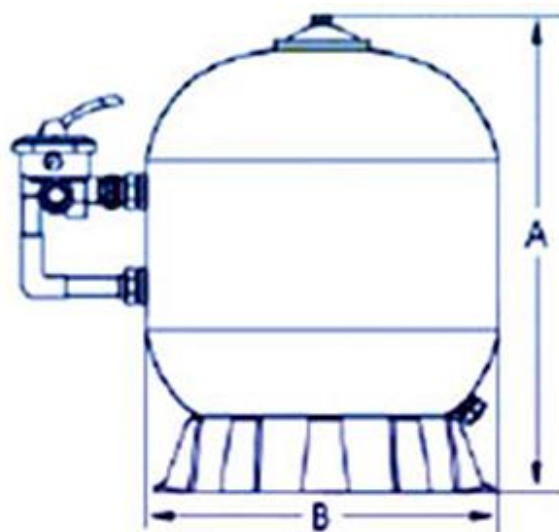
شکل ۳-۴  
دیونایزر

### \* صافی شنی فشاری

در این نوع فیلترها از بستر سنگ سیلیس جهت حذف مواد معلق و گل و لای موجود در آب استفاده می شود. فیلترها بر اساس طبقه بندی بستر سیلیس در دستگاه قرار گرفته و توانایی حذف ذرات تا اندازه ۵۰ میکرون را دارند. این نوع فیلترها باعث حذف ذرات معلق فیزیکی بیولوژیکی موجود در آب گردیده و در صنایعی نظیر صنایع غذایی، کارخانجات



تولید آب معدنی، استخرها و سایر صنایع کاربرد دارند و در دو نوع مختلف از جنس فولادی و F.R.P طراحی و ارائه می گردد.



شکل ۳-۴ صافی شنی فشاری

### \*دستگاه مولد ازن

ازن اکسید کننده ای قویست که تأثیرات سریع و کارآمدی را در گندزدایی آب آشامیدنی، پساب های صنعتی و حذف آلاینده های شیمیایی و بوهای نامطبوع پیرامون محیط زیست دارد همچنین به عنوان یک روش غیر حرارتی جهت کنترل میکرواورگانیزم ها در صنایع مختلف نظیر صنایع غذایی، کاغذ سازی، چرم سازی، دباغی، کشاورزی، استخرهای ورزشی و پزشکی مورد استفاده قرار می گیرد.

ازن قوی ترین ماده اکسید کننده است که می تواند در تصفیه آب بکار رود. از این گذشته یک عامل بیو ساید است که قادر به برخورد با همه انواع پاتوژن ها می باشد. ازن معمولاً موجب اصلاح طعم و بو و رنگ آب شده و چنانچه در مرحله اولیه اکسیداسیون آب بکار گرفته شود غالباً موجب کاهش تشکیل تری هالومتان ها می گردد. از این گذشته آهن و منگنز آب را اکسید کرده و از آب خارج می سازد. مشکلاتی که در گسترش استفاده از ازن وجود دارد. هزینه زیاد تولید و مسائل نگه داری از تاسیسات بهره بردای از ازن می باشد. استفاده از ازن معمولاً برای تصفیه خانه های بزرگتر توصیه پذیر تر بوده است. مسئله دیگر تبدیل بروماید آب به برومات است که خطر سرطان زایی دارد بدین لحاظ استفاده از ازن نباید برای آب هایی که غلظت بروماید آنها بالاست توصیه شود. ازن باقی مانده موثری در آب بجا نمی گذارد، لذا قبل از ورود آب لازم است که کلر (یا دی اکسید کلر و یا کلر آمین) به آب اضافه شود. البته ازن به نحو موثر موجب کاهش میزان کلر مورد نیاز آب می شود و در عین حال در صورت وجود مواد آلی در آب غالباً قابلیت تجزیه

پذیری آنها را افزایش می دهد . لذا گاه تاسیس فیلتر های فعال بیولوژیکی ( BAC ) ضرورت می یابد . ازن نیز مانند کلر و دیگر مواد اکسید کننده دارای یک نقش شناخته در کمک به مرحله ی لخته سازی آب می باشد.

## گندزدایی با ازن

### – غیر فعال سازی میکروارگانیسم ها :

ازن باید در محل مصرف تهیه شود و جریان گاز که معمولاً حاوی ۱ تا ۸ درصد وزنی ازن است می باید به جریان آب مورد نظر با برقرار نمودن شرایط مناسب تماس گاز / مایع اضافه شود . در حالی که ازن شدیداً فعال است و مدت زیادی در آب باقی نمی ماند ، همان مدت کوتاه برای به انجام رساندن گند زدایی کافی می باشد . تامین مقادیر حدود  $4/5 \text{ تا } 10 \text{ mg/l}$  ازن محلول باقی مانده سابقاً در ردیف اهداف گندزدایی آب شرب برای کشور های اروپایی محسوب می شد زیرا این مقدار کافی برای حصول ۹۹/۹٪ نابود سازی ویروس های فلج اطفال در عرض ۴ تا ۶ دقیقه می باشد . در زمان حاضر در دامنه ۴ تا ۱۲ دقیقه منظور می شود و معیار صحیح Ct از این لحاظ می باید با در نظر گرفتن خصوصیات توزیع هیدرولیکی در واحد تماس با ازن مورد نظر اعلام شود .

مکانیزم گندزدایی با ازن عمدتاً شامل انجام واکنش های اکسیداسیون است که موجب نابودی اجزای حیاتی میکروارگانیسم ها و دیواره سلولی ( cell lysis ) می شود . ازن همانطور که در مرحله ی گندزدایی اولیه آب قابل استفاده است . بخاطر سرعت عملکرد بسیار بالای ازن علاوه بر معیار Ct معیار دوم دیگری نیز توصیه شده است . این معیار برای تامین حداقل یک لگاریتم غیر فعال سازی ویروس ها و  $5/0$  لگاریتم نابودی ژیا ردیا در مرحله اول از سیستم چند مرحله ی تماس آب با ازن می باشد (مادام که میزان مورد نظر از ازن باقی مانده در جریان خروجی از این مرحله ی وجود داشته باشد ) . این معیار بویژه برای واحد های تماس با ازن دارای جریان های متقابل ( هم سو و غیر هم سو ) که تزریق ازن به آنها با استفاده از دیفیوزر صورت می گیرد قابل استفاده می باشد.

\*ازن می تواند طیف گسترده ای از میکروارگانیسم ها شامل قارچها، باکتریها، ویروسها ، جلبکها ، کپکها و غیره را نابود کند.

شکل ۴-۴ مولد ازن



### \*تزریق مواد شیمیایی

تزریق مواد شیمیایی جهت تصفیه آب در کاربردهای صنعتی و آشامیدنی امری ضروریست از این رو شرکت شیمیایی، تحقیقاتی رسوب آب اقدام به طراحی و ساخت پکیج هایی در ظرفیت های مختلف براساس نوع و میزان مصرف، جهت مصارف صنعتی، غذایی، بهداشتی آرایشی و غیره نموده است.

در زیر به برخی از موارد کاربردی این سیستم ها اشاره می شود:

۱- تزریق محلول هیپو کلریت (کلر) به آب های آشامیدنی و پساب های صنعتی و استخرها جهت حذف میکروارگانیسم ها، باکتری ها جلبک ها و کاهش بوی نا مطبوع پساب

۲- تزریق مواد شیمیایی ضد رسوب و خوردگی به دیگ های بخار و برج های خنک کننده و مبدل های حرارتی

۳- تزریق مواد شیمیایی در خطوط تولید کارخانه های مواد شیمیایی غذایی

### مشخصات فنی

این سیستم ها شامل پمپ تزریق (Dosing Pump) قابل تنظیم با فشار گازی ۱۰ تا ۲۰ اتمسفر در ظرفیتهای مختلف (بسته به آب و میزان تزریق مواد شیمیایی) با دیافراگم مقاوم و مخزن پلی اتیلن، همزن با شفافیت و پروانه استیل و شاسی می باشد.

شکل ۵-۴ تزریق مواد شیمیایی



### \* اشعه فرابنفش (U.V) ultra violet

بکارگیری پرتو فرابنفش با طول موج خاصی، در فرایند پالایش آب و فاضلاب، سبب ضد عفونی آنها بدون تولید فراورده های مضر و مشکل ساز جانبی می شود.

این سیستم در ظرفیت های مختلف قابل ارائه بوده و در صنایع نظیر تولید آب آشامیدنی از منابع سطحی زیر زمینی، صنایع غذایی، نوشابه سازی و آب معدنی، سیستم های خنک کننده و تهویه مطبوع، تاسیسات پرورش ماهی و میگو، بیمارستان ها و هتل ها و استخرهای ورزشی و تفریحی و غیره مورد استفاده قرار می گیرد.



شکل ۶-۴

اشعه فرابنفش

## \*فیلتر دیسکی

فیلتر دیسکی به طور معمول اولین مرحله تصفیه آب در اغلب فرایندهای تصفیه می باشد. این فیلتر جهت جداسازی ناخالصی های معلق موجود در آب با رنج های (مش) ۱۵۰، ۲۰۰، ۱۳۰، ۱۰۰، ۵۰ و ۲۰ میکرون مورد استفاده قرار می گیرد. هر چقدر مش فیلترها بالا باشد قدرت تصفیه کنندگی آن بالاتر می رود. فیلترهای دیسکی راه کاری نوین در تصفیه آب به شمار می روند که دارای مزایایی همچون سرعت بالای تصفیه، حجم اشغالی کم و هزینه پایین می باشد.

این فیلترها با بدنه پلی آمید مقاوم در برابر گرما و سرما و ضربه می باشد. آب ورودی به سیستم وارد فیلتر می شود، فیلترها دیسکی بر دو قسم می باشد ۱ - هلیکس ۲ - مودلار نوع هلیکس ارجحیت به نوع دوم مودلار دارد چرا که تیغه های زیرین فیلتر در نوع هلیکس حرکتی گردابی حول دیسک های فشرده ایجاد می. این سیستم به علت حرکت دورانی آب حول محور دیسکها کمک به تصفیه بهتر آب میکند. نیروی گریز از مرکز ذرات معلق سنگین تر را از دیسک ها دور نگه داشته و سایر ذرات بزرگ تر از رنج میکرونی فیلتر قابلیت عبور از شیارهای بسیار ریز موجود ما بین دیسک ها را نداشته و در نهایت آب تصفیه شده به خروجی فیلتر هدایت شده و به مصرف می رسد. تجمع ذرات معلق در قسمت ورودی دیسک ها عامل افزایش افت فشار آب طی عبور از فیلتر می باشد. هرگاه افت فشار بیش از حد معین شد، فیلتر از مسیر تصفیه خارج و عمل شستشوی معکوس روی آن انجام می گیرد. فیلترهای دیسکی در سایزهای ۱ اینچ - ۲ اینچ - ۳ اینچ - ۴ اینچ - ۴ اینچ دبل موجود می باشد.

روش شستشوی فیلترهای دیسکی به این صورت است که اول باید شیر ورودی به فیلتر را بست و سپس کمر بند که حول فیلتر بسته شده را به آرامی باز کرده و کمر بند را خارج کرده و در نتیجه درپوش روی فیلتر آزاد می گردد - درپوش را خارج کرده و دیسکهای فیلتر که معمولا به رنگ قرمز می باشد نمایان می شود - مهره چند وجهی در بالای فیلترهای دیسکی را باز کرده تا با این عمل دیسکها آزاد شده و به راحتی قابل شستشو می باشند.

- لازم به ذکر است که در روی فیلترهای دیسکی جایگاهی مخصوص به نصب دو مانومتر در نظر گرفته شده که اولی در قسمت ورودی آب و بعدی در قسمت خروجی آب می باشد. هرگاه فشار خروجی در مانومتر کمتر از فشار آب ورودی باشد نشان دهنده کثیف شدن فیلتر می باشد و نسبت به تمیز کردن آن باید اقدام کرد.

## \* کارتریج

### – فیلتر کربن اکتیو (زغال فعال)

برای حذف کلر، رنگ، بو و تری هالومتانها فیلترهای کربن فعال خاصیت جذب مواد آلی و بعضی فلزات سنگین محلول در آب را دارد و رنگ، بو، کلر و ترکیبات کلر آب را حذف می نماید. مشابه فیلترهای رزین، بستر کربن فعال محیط مساعدی برای تغذیه و تکثیر باکتری ها بشمار می آیند و پس از آن گندزدایی و تصفیه میکربی ضروری میباشد.

### – فیلترهای سرامیکی

برای حذف مواد معلق، باکتری ها و انگلها فیلترهای سرامیکی با منافذهای عبور آب حدود  $5/0$  میکرون، مانع عبور مواد معلق و کلیه انگلها و میکربها گردیده و با اطمینان کامل آلاینده های بیماری زای آب را حذف می نمایند. حتی آبهای آلوده و مشکوک پس از عبور از این صافی ها کاملاً شفاف، بهداشتی و قابل شرب می گردند. تصفیه با فیلترهای سرامیکی تنها روش غیرشیمیایی میباشد که بدون نیاز به برق، آلودگی های میکربی آب را حذف می نماید. فیلترهای سرامیک مرغوب، در مواقع شیوع بیماریهای اپیدمی نیز بهترین شیوه تامین آب شرب سالم در محل مصرف میباشد.



شکل ۷-۴

کارتیج

## \* مراحل مختلف تصفیه

### ۱- مرحله اول فیلتر پلی پروپیلن ( فیلتر الیافی ۵ میکرون)

در این مرحله ذرات معلق: مانند شن، ماسه، زنگ آهن و رسوبات مربوط به لوله های فاضلاب و کلیه ذرات به قطر ۵ میکرون جذب فیلتر می گردد.

### ۲- مرحله دوم فیلتر کربن گرانول:

مواد آلی و کلردار شامل: آلکانهای کلردار، آفت کش ها و تری ها لومتانها حذف می شوند.

### ۳- مرحله سوم فیلتر کربن پودری یا فیلتر الیافی ۱ میکرون

در این مرحله مواد شیمیایی مانند کلر و همچنین طعم و بوی نامطبوع آب توسط فیلتر کربن به خوبی زدوده می شود.

#### ۴- مرحله چهارم فیلتر ممبران (اسمز معکوس)

در این مرحله طیف وسیعی از ناخالصی ها شامل جامدات محلول آب، نیترات، مواد سمی مانند آرسنیک، باکتریها و ویروسها تا قطر ۰.۰۰۰۱ میکرون حذف می شوند.

**\*نکته:** تمامی موجودات زنده محلول در آب، مانند انگل، لارو حشرات، ویروس و باکتری و از همه مهمتر آمیب) دارای جثه بزرگتری نسبت به نمکها، مانند ید دارند، اما توانایی فیلتر ممبران آنقدر وسیع و پیچیده است که به راحتی تمامی میکروبها و باکتریها را حذف می کند و آب را استریل می نماید.

#### ۵- مرحله پنجم فیلتر پست کربن:

در این مرحله هر نوع بو و طعم که ناشی از ذخیره کردن آب در تانک ممکن است بوجود آید حذف می گردد.

### نحوه شستن فیلتر اول

ابتدا ورودی آب را ببندید. سپس شیر تانک را بسته و شیر خروجی آب علمک را باز کنید و دستگاه در حالت خاموش باشد، سپس بوسیله آچار لیوان را به سمت چپ تکان داده و فیلتر را باز کنید. کف دست خود را زیر حفره فیلتر بطوری که آن را بپوشاند قرار داده از بالا با آب سرد پر کنید و داخل آن فوت نمایید. مشاهده می کنید که با فشار دهان شما تمامی گل و لای از بدنه خارج می شود. این عمل را سه بار تکرار کنید، بعد آن را در جای خود قرار دهید.

### \*نکات مهم در مورد افزایش طول عمر دستگاه تصفیه

۱- شما می توانید برای صرفه جویی در مصرف آب و عمر بالای قطعات و طول عمر پمپ به میزان دلخواه آب شرب برداشت کنید، سپس دستگاه را از برق بکشید. در فصول گرم هوا-تابستان- بهتر است زمانی که آب سرد است و گرمای آفتاب روی لوله ها تأثیر نگذاشته دستگاه را جهت آبیگری روشن نموده تا آب گرم وارد فیلترها نشود و روی آنها و پمپ تأثیر نگذارد.

۲- عمر مفید فیلتر دوم (کربن اکتیو) و فیلتر سوم (کربن گرانول) ۱۲ ماه می باشد و نیاز به شستشو ندارد.

۳- فیلتر ممبران دارای حدوداً عمر مفید ۳ سال می باشد که بستگی به شستشوی پیش فیلتر و تعویض به موقع آن دارد.

۴- فیلتر کربن فعال دارای ۲ سال عمر مفید می باشد.

۵- فیلتر مرحله ۶ دارای ۳ سال عمر مفید می باشد

## زمان تعویض فیلتر های دستگاه

• فیلتر مرحله اول ( الیافی ۵ میکرون ) هر شش ماه یکبار

• فیلترهای مرحله دوم (کربن گرانول ) و مرحله سوم (کربن پودری ویا الیافی ۱ میکرون ) هر یک سال یکبار تعویض شوند. در صورت آلوده بودن بیش از حد آب ورودی ، توصیه می شود با افت فشار آب خروجی ، فیلتر های سه مرحله اول زودتر تعویض شوند .

• فیلتر اصلی مرحله چهارم (ممبران ) دستگاه در صورت تعویض به موقع فیلتر های سه مرحله اول، حدود سه سال عمر می کند .

• فیلتر مرحله پنجم ( پست کربن ) می بایست هر یک سال تعویض شود.



# فصل پنجم

فرآیند اسمز معکوس

## \*اسمز

اسمز، پدیده ای است که بطور طبیعی در فرایند های بیولوژیکی متفاوت رخ می دهد. دیوارهای سلول، سایر سلولهای مغذی را از خود عبور می دهد و سایر مواد را از خود دفع می کند. در این حالت، دیواره های سلول به عنوان یک غشای نیمه تراوا در نظر گرفته می شود.

## \*تشابه اسمز و نفوذ

بین رفتار مولکولهای آب در فرایند اسمز و رفتار مولکولهای گاز در فرایند نفوذ، تشابهی وجود دارد. در هر دو فرایند، مولکولها از ناحیه غلیظتر به ناحیه رقیقتر نفوذ می کنند.

## \*اسمز معکوس [revers Osmosis (Ro)]

صنایع امروز برای تصفیه آب مورد استفاده در بخشهای تولید بخار و فرآیند خود از سیستم اسمز معکوس استفاده فراوانی می برند. اساس کار این دستگاهها بر عبور ملکولهای غیریونی مثل آب از یک غشاء با روزه های بسیار ریز بنا شده است. این غشاءها به صورتی ساخته شده اند که ملکولهای خنثی را براحتی از خود عبور می دهند. به همین دلیل آب ورودی به سیستم، که دارای املاح مختلف است به آب تقریباً خالص تبدیل می گردد. در سیستم اسمز معکوس، جریان ورودی یا خوراک (Feed) به دو جریان آب تصفیه شده (Permeate) و پساب غلیظ (Reject) یا (Brine) تبدیل می شود.



w163\_s1.mpg

## \*اساس کار اسمز معکوس

اگر محلول آب نمک در داخل یک ظرف ریخته شود طبق شکل {۱-۵ (الف)، (ب)} و توسط غشای نیمه تراوا از آب خالص جدا شود، تغییر در حجم هر یک از دو قسمت ظرف مشاهده می شود. آب خالص از میان غشا به سمت محلول آب نمک حرکت می کند در نتیجه، در سمت آب نمک، ارتفاع آب بالاتر می رود، در حالی که در بخش آب خالص ارتفاع آب، کاهش پیدا می کند. این عبور جریان آب از غشا به طرف محلول آب نمک، اسمز نامیده می شود. اگر با اعمال فشار فیزیکی یا افزایش ارتفاع محلول آب نمک، تعادل بین آب خالص و آب نمک به هم بخورد، آب خالص از طریق غشا از قسمت آب نمک به قسمت آب خالص نفوذ می کند و نفوذ تا زمانی ادامه می یابد که تعادل، مجدداً

برقرار شود، به طوری که فشار اسمزی محلول آب نمک با فشار محلول آب نمک بروی غشای نیمه تراوا برابر شود که این نیز بستگی به فشار آب خالص بر روی غشا دارد. اعمال فشار به قسمت آب نمک را می توان توسط یک پمپ اعمال نمود. در این حالت، پمپ نیروی مورد نیاز جهت راندن مولکولهای آب از میان غشا را تامین می کند. عبور جریان آب از بخش آب نمک به بخش آب خالص، اسمز معکوس نامیده می شود. میزان عبور آب از غشا توسط رابطه زیر مشخص می شود.

### \*فشار اسمزی

فشار اسمزی طبق قانون Vant Hoff تابعی است از غلظت نمک در هر دو طرف غشاء.

$$F = (Cs1 - Cs2) RT$$

برای نمونه فوق فشار اسمزی برابر است با:

در معادله فوق  $Cs1$  غلظت نمک در ظرف شماره (۱) (محلول خوراک)،  $Cs2$  غلظت نمک در ظرف شماره (۲) (آب تصفیه شده) و  $R$  ثابت گازهاست و  $T$  درجه حرارت بر اساس درجه کلوین میباشد.

### \*در اینجا اشاره ای به قانون وانت هاف داریم:

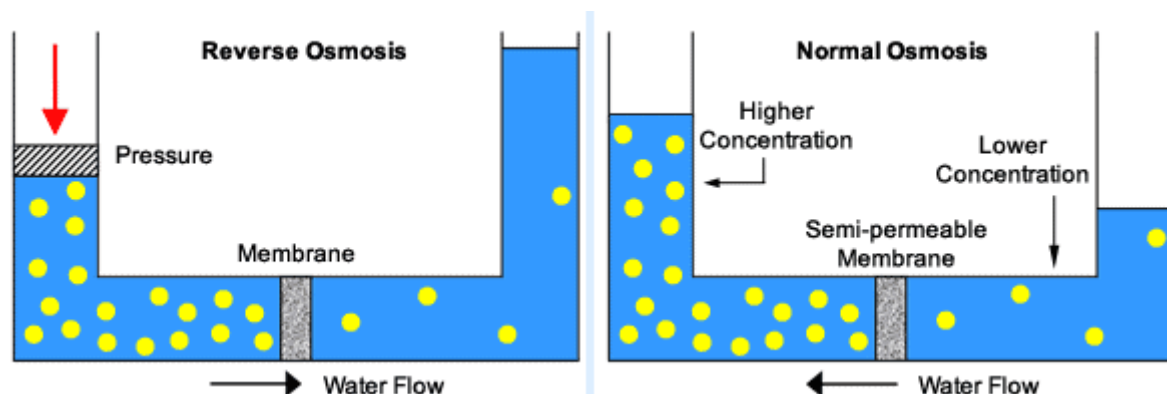
یاکوب وانت هوف در سال ۱۸۸۷ رابطه زیر را کشف کرد:

$$\Pi v = nRT$$

که این رابطه برای محلولهای ایده آل می باشد. در این رابطه،  $\Pi$  فشار اسمزی (برحسب اتمسفر)،  $n$  تعداد مولکولهای ماده حل شده در حجم  $V$  (برحسب لیتر)،  $T$  دمای مطلق و  $R$  ثابت گازها  $(0.08206 \text{ L.atm/K.mol})$  است. تشابه بین این معادله و معادله حالت یک گاز ایده آل، کاملاً مشخص است. این رابطه را می توان به صورت زیر نوشت:

$$\Pi = M_B RT$$

که در آن  $M$  مولاریته محلول است. وانت هوف به خاطر این کشف، جایزه نوبل شیمی سال ۱۹۰۱ را از آن خود کرد.



شکل ۱-۵ (الف)، (ب)

- میزان شار عبوری آب از غشا را میتوان از رابطه زیر بدست آورد:

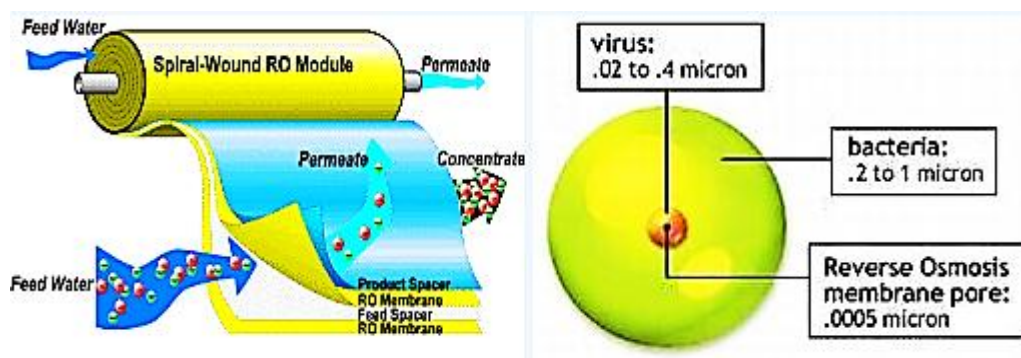
$$J_w = K(T) (\Delta P - \Delta \pi)$$

بطوریکه شار آب محصول، مقدار جریانی است که در واحد زمان از واحد سطح غشا عبور می کند و  $K(T)$  ضریب ثابتی است که بستگی به غشا دارد و تابعی از دما است.

$\Delta P$  (Pounds Per Square Inch Differential) غشا اختلاف فشار بین دو طرف غشا است و  $\Delta \pi$  اسمزی اختلاف بین فشار اسمزی هر یک از محلولهای دو طرف غشا می باشد.

### \* غشا (Membrane)

ممبران از چندین لایه نازک یا ورقه های فیلم که به هم فشرده شده و به طور مارپیچ دور یک لوله پلاستیکی پیچانده شده اند تشکیل شده است. مواد تشکیل دهنده ممبران از نوع مواد نیمه نفوذپذیر یا نیمه تراوا می باشند که مانع عبور آلودگی های شیمیایی و املاح نامطلوب و حتی ویروسها و باکتریها می گردند بطوریکه ناخالصی ها در مرکز لوله تجمع کرده و اجازه عبور ندارند و از خروجی فاضلاب ممبران به بیرون هدایت می شوند.



شکل ۲-۵

Membrane



w163\_s5.mpg

## \*انتخاب غشا (Membrane Selection)

در سیستم اسمز معکوس غشاء مهمترین و حساسترین قسمت دستگاه می باشد. زیرا فشار عملیاتی مورد نیاز ارتباط مستقیم با ضخامت غشاء و قطر سوراخهای آن دارد. همچنین غشاء به علت تماس مداوم با مواد شیمیایی افزوده شده به آب، بایستی مقاوم بوده و با مواد بازدارنده و ضد زسوب گذار و زیست کشها (Biocides) واکنش ندهد.

– عوامل مؤثر در مقایسه غشاءها عبارتند از:

۱. قطر سوراخها

۲. ضخامت

۳. مقاومت در مقابل مواد شیمیایی

۴. قیمت

۵. افت فشار

۶. شرکت سازنده

سعی می شود آب قبل از ورود به دستگاه اسمز معکوس، حتماً **تصفیه مقدماتی** گردد. ولی با این حال لازم است پیش از انتخاب غشاء عملیت پایلوتی صورت پذیرد. به علت کیفیت بسیار عالی آب خروجی از سیستم اسمز معکوس امروزه بیشتر صنایع از این روش، بجای بکارگیری سیستمهای تعویض یونی استفاده می کنند. زیرا مبادله کننده های یونی به علت مصرف زیاد مواد شیمیایی و رزین، دارای هزینه راهبری و نگهداری زیادی می باشند.

## \*پیش تصفیه سیستم اسمز معکوس

توجه خاص به مراحل پیش تصفیه در فرآیند اسمز معکوس نقش اساسی در کارایی و راندمان سیستم های فوق دارد. بخش عمده لزوم به کارگیری سیستم پیش تصفیه به دلیل جلوگیری از گرفتگی و آسیب به غشاء است. سیستم های پیش تصفیه مورد استفاده در اسمز معکوس معمولاً عبارتند از:

۱- صافی شنی فشاری (حذف مواد معلق و گل ولای)

۲- فیلتر ذغالی(حذف رنگ، بو، کلر آزاد باقی مانده)

۳- سختی گیر تبادل یونی(عدم رسوب گذاری خصوصاً رسوبات کربناته و سولفات روی غشاء)

۴- سایر موارد(در صورت نیاز بر اساس آنالیز آب خام می توان موارد دیگر پیش تصفیه را قبل از سیستم اسمز معکوس طراحی نمود).

### \*مواد حذف شده توسط سیستم اسمز معکوس

\* آرسنیک، \*مواد شوینده، \*آلومینیم ، سیلیکات ، نقره ، \*کادمیم ، \*\*جیوه ، \*کلر ، فلوراید ، \*\* برات،  
\*تیرات، \*بیکربنات، \*سولفات ، آهن، \*\*آمونیاک، \*باریم، \*کرومات، \*مواد رادیواکتیو، \*\*مواد پتاسیم دار خطرناک

**نکته:** مواردی که با ۲ ستاره مشخص شده اند بسیار سمی می باشند.

### \*مقایسه روش اسمز معکوس و سختی گیر

جدول ۱-۵

شرح	اسمز معکوس	سختی گیر
هزینه نگهداری	پایین	بالا
سرمایه گذاری مورد نیاز	کم	زیاد
دقت	بالا	پایین
نیاز به تست ادواری	ندارد	دارد
نیروی انسانی مورد نیاز	کم	زیاد
کاهش کیفیت آب تولیدی به مرور زمان	ندارد	دارد
آلوده کنندگی پساب تولید شده	ندارد	دارد
حذف کامل میکرو ارگانیسم ها	دارد	ندارد
امکان حذف کامل املاح آب	دارد	ندارد
فضای مورد نیاز برای کار دستگاه	کم	زیاد

## \* کاربردهای تکنولوژی R.O در صنایع:

- تهیه آب صنعتی جهت مصرف در بویلرها، کولینگ تاور و کلیه سیستمهای حرارتی و برودتی.
- تهیه آب usp جهت مصارف داروئی و بیولوژیکی.
- تهیه آب مورد مصرف در صنایع نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاه ها.
- شیرین سازی آب های شور و سنگین جهت آشامیدن.
- تامین آب مناسب جهت تهیه محصولات متنوع در صنایع غذایی، نوشیدنی، آرایشی و بهداشتی.
- تصفیه نهایی پساب های صنعتی.

## \* مزایای استفاده از تکنولوژی R.O

- اقتصادی بودن سیستمهای اسمز معکوس نسبت به روش های دیگر.
- مصرف انرژی کم نسبت به روش های تقطیری.
- امکان کار مداوم بدون نیاز به توقف های ادواری.
- راهبری آسان و کاهش هزینه های تعمیرات و نگهداری.
- عدم عبور باکتری، ویروس ها و مواد تب زا (پاتوژن) از ممبران.
- سیستم اسمز معکوس ساخت این شرکت از استانداردهای بین المللی برخوردار بوده و سیستم های پیش تصفیه آن بر اساس نیاز و آنالیز آب خام طراحی و ساخته می شود.

## \* تجهیزات و قطعات تشکیل دهنده دستگاه r-o خانگی

۱. پیش فیلترها شامل gac-p.p و cto
۲. پوسته ممبران و فیلتر ممبران

۳. سوپاپ تنظیم خروجی آب شیرین و پس آب
۴. پمپ آب و ترانسفورمر
۵. کلید شیر کنترل فشار ضعیف و قوی
۶. مخزن آب تصفیه (استریل)
۷. شیر برداشت آب تصفیه
۸. شیر برداشت آب خام همراه اتصال مربوطه

### \*عواملی که باعث تغییر در میزان تولید و کیفیت آب می شود

#### ۱- فشار:

هر قدر فشار آب بیشتر شود کیفیت و مقدار آب تولیدی نیز بیشتر می شود. فشار ۶۰ p.s.i ایده آل است.

#### ۲- درجه حرارت:

۲۴ درجه سانتی گراد حرارت ایده آل برای دستگاه ۲-۵ می باشد. اگر درجه حرارت به ۴ درجه برسد تولید ۲-۵ به نصف خواهد رسید. حداکثر درجه حرارت ۲۹ درجه سانتی گراد می باشد. لازم به ذکر است که دستگاه واتر سیس و پیور لایف با توجه به درجه حرارت ۴۰ درجه طراحی و ساخته شده.

#### ۳- کل جامدات محلول (t.d.s):

هر قدر میزان جامدات محلول افزایش یابد مقدار آب تولید شده توسط دستگاه کاهش می یابد. t.d.s بالا می تواند توسط فشار مضاعف جبران شود.

#### ۴- غشاء ممبران:

(نکته بسیار مهم در تفاوت کیفیت آب دستگاه های موجود بازار: ممبران های متفاوت خصوصیات مختلفی دارند: ۱-

بعضی دارای تولید بیشتری هستند. به علت اینکه روزنه های بزرگتر از ۱/۰۰۰۰ میکرون دارند در نتیجه آب

شیرین تری می دهند و به کام خوش می آید. مانند c.c.k و c.s.m که با آزمایش کشت و غیره به کیفیت آب پی می برید.

۲- برخی دارای توان حذف آلودگی بیشتری نسبت به سایر ممبران ها هستند و شرکت های سازنده تضمین ۱۰۰٪

میکرون می باشد در نتیجه آب کمی تلخ تر است اما واقعاً کیفیت بالای آن را نشان می دهد و در مقابل مواد شیمیایی

مقاومت بیشتری دارند. مرغوب ترین نوع ممبران ها t.f.c می باشد که فیلمتیک u.s.a از آن دسته می باشد که فقط

شرکت هایی چون: واتر سیس و پیور لایف از آن استفاده می کنند.

در زیر تصویر تعدادی از آب شیرین کن های صنعتی با فرآیند اسمز معکوس را مشاهده میکنید:





**\*منابع:**

– گزارش نهایی بهینه سازی و بهبود عملکرد آب شیرین کن خورشیدی روستای کوشک بندرلنگه

– شرکت مهندسی آبسان [www.absun.ir](http://www.absun.ir)

– شرکت پاک آب نوین [www.pakabnovin.blogfa.com](http://www.pakabnovin.blogfa.com)

– شرکت شیمیایی رسوب آب پویا [www.rosoob-ab.com](http://www.rosoob-ab.com)

– وبلاگ شرکت ابریشم [www.drinkingwater.persianblog.ir](http://www.drinkingwater.persianblog.ir)

– سایت انجمن مهندسان شیمی [www.irche.ir](http://www.irche.ir)

– وبلاگ گروه شیمی دانشگاه فلاورجان

– سایت دانشنامه رشد

– سایت مدیریت منابع آب ایران

