شیرین کردن آبهای شور بروش تراوش معکوس

نوشتهٔ :

مرتضی حسینیان

مهندس شرکت سهامی سازمان آب منطقه‌ای تهران

چکیده

تهیه آب مشروب برای اجتماعات کوچک مثل محل استخراج معادن و کمپ‌های نظامی و یا گروه افرادی که مجبورند برای مدتی طولانی در محلی سکونت نمایند و دسترسی بآب آشامیدنی مناسب ندارند ویا آبهای در دسترس آنها با روشهای ساده تصفیه‌آب قابل‌آشامیدن نیستند ، توجه بسیاری از کارشناسان رابخود جلب کرده است و مطالعات زیادی در زمینه پیدا کردن روش مناسب تهیه آب آشامیدنی اینگونه اجتماعات با توجه بمسائل اقتصادی در جریان است.

در حال حاضر بهترین روش تهیه آب آشامیدنی از آبهائی که غلظت املاح آنها بیش‌از ۱۰۰۰ میلی گرم درلیتر است روش تراوش معکوس تشخیص داده شده و با نتایجی که دراین زمینه با توجه بموضوعات اقتصادی تابحال حاصل گردیده میتوان آینده خوبی برای تهیه آب آشامیدنی بروش تراوش معکوس پیش بینی نمود.

دراین نوشته سعی شده است ابتدا تاریخچه پیدایش تراوشی معکوس و سپس انواع غشاء اسمزی و طرزکار آنها درکاهش املاح آب‌های شور و میزان انرژی مورد نیاز برای تهیه هرمترمکعب آب شیرین مورد مطالعه قرارگیرد.

پیش‌گفتار ـ اطلاعات مربوط به‌پدیده‌اسمزی‌بیش‌از دوقرن سابقه دارد و تجربیات Abbe وMollet راجع به نفوذ از غشاء حیوانی در سال ۱۷۴۸ انتشار یافته است. در سال ۱۸۷۷ Pfeffer اولین غشاء مصنوعی را تهیه نمود ولی غشاء اولیه بیشتر در فعل انفعالات اسمزی مواد آلی مثل قند مورد استفاده قرار میگرفت. بالاخره مطالعات تهیه غشائی که بتواند در جداکردن آب خالص از نمک و سایر املاح

محلول آن مورد استفاده قرارگیرد توسط Morse انگلیسی و همکارانش انجام گرفت.

توسعه علمی پدیده‌های اسمزی در باره محلول‌های رقیق با مطالعات Wan't Hoff با توجه‌به تجربیات Pfeffer شروع گردید. باتوسعه ترمودینامیک‌توسط Gibbs تئوری قابل مفهوم فشار اسمزی و ارتباط آن با سایر خصوصیات ترمودینامیکی مایعات بیان گردید. با بسط نظریات فوق و انجام تحقیقات بیشتر بالاخره ازسال ۱۹۲۰ توجه بیشتری بمسأله استفاده از غشاء اسمزی در تهیه آب شیرین معطوف گردید و با توسعه‌ایکه دراین مورد انجام میگیرد‌آینده درخشانی در شیرین کردن آبهای شور بروش تراوش معکوس پیش‌بینی میشود.

درحال حاضر این روش شاید برای اجتماعاتی که بچندین ده متر آب در روز برای‌آشامیدن‌احتیاج دارند مناسبترین و کم‌خرج‌ترین روشها باشد زیرا انرژی الکتریکی مصرفی برای تهیه هرمترمکعب آب‌شیرین با روش تراوش معکوس حتی از انرژی مصرفی یک یخچال نیز کمتر است. درسالهای اخیر نه تنها در تهیه‌آب شیرین بلکه‌درتصفیه آبهای‌آلوده ـ فاضلابها و کلیه محلول‌های‌غلیظ از این روش استفاده کرده‌اند. سهم بزرگی از پیشرفتهائی که درسال‌های اخیر نصیب تراوش معکوس شده است مدیون توسعه روز افزون فیز یک مدرن میباشد. بکمک پدیده اسمزیستکه سلول‌های زنده گیاهی و حیوانی مواد غذائی موجود در اطراف خود را جذب کرده و مواد دفع شدنی را نیز از طریق غشاء اطراف خود خارج مینمایند.

غشاء اسمزی که در تهیه آب شیرین مورد استفاده قرار میگیرند غشائی هستند که نسبت بعبور آب خالص مقاومتی ندارند ولی درمقابل تمام مواد محلول‌آب بصورت ملکول و مواد کلوئیدی آن حالت‌سد و غیر قابل عبوری دارد و شاید وجه تسمیه غشاء نیمه تراوا همین باشد. وقتی دو محلول را که یکی‌آب خالص و دیگری دارای املاح محلول است جدا نمائیم بمرور آب خالص‌از غشاء عبور کرده و داخل‌قسمت نمک‌دار میشود و فشار قسمت محلول کم کم بالا رفته و وقتی این فشار باندازه‌ای رسید که با عبور آب خالص از غشاء مخالفت‌نماید آن فشار را فشاراسمزی گویند. در شکل ۱ موضوع فوق بوضوح نشانداده شده است. فشار اسمزی در مورد آب دریا ۲۰ بار است و در آمریکا مشغول مطالعه برای بی‌نمک کردن محلولهائی با حدود ۵ گرم در لیتر نمک یافشار ۱۰۰ بار هستند. باید توجه داشت درحال‌حاضر نمی‌توان آب دریا را با یکمرتبه عبور دادن از غشاء نیمه تراوا بآب شیرین تبدیل نمود بلکه در اولین عبور آبی که غلظت املاح‌آن حدود ۱۵۰۰ میلی گرم در لیتر است بدست میآید. بااستفاده از واحد دوم تراوش معکوس آب شیرین که قابل شرب باشد تولید خواهد گردید.

بامطالعاتی که در جریان است باحتمال زیاد درآینده خیلی نزدیک موفق بساختن غشائی که‌آب دریا را با یکمرتبه عبور دادن شیرین نماید خواهند شد.

مکانیسم عمل

گرچه مکانیسمی که غشاء با آن عمل اسمزی را انجام میدهند اثری در فشار اسمزی ندارد ولی اطلاع از آن از نظر کلی و از نظر توسعه غشاء نقش مهمی خواهد داشت.

پدیده اسمزی را میتوان باضافکردن آب مقایسه نمود که درهردو یک عامل از سایر عوامل که یا یکدیگر مجاور هستند جدا میشود. بهمین دلیل گاهی این روش را Ultrafiltration گفته‌اند. اما اختلاف مهمی که بین جدا کردن از طریقه تراوش معکوس و صافی وجود دارد فشار اسمزیست که گاهی بحدود ۱۰۰ بار میرسد. درصورتیکه‌فشار لازم برای صافکردن مایعات از صافیهای معمولی اکثراً حتی کمتر از یک‌اتمسفراست. مهمترین‌اختلاف موجود دیگری که‌بین‌عمل‌صافی معمولی‌وتراوش معکوس‌موجوداست بقرار زیرند :

۱- در عمل صافکردن حذف مواد مورد نظر از محلول ناعاری شدن آن از این مواد ادامه مییابد درحالیکه در تراوش معکوس برداشتن ماده مورد نظر غلظت باقیمانده را بالا برده و باعث افزایش فشار اسمزی میشود. بهمین جهت لازم است گاهی محلول باقیمانده را از محیط عمل دور سازیم.

۲- صافی معمولی در حقیقت مثل یک الک‌عمل کرده و قدرت جدا سازی آن به قطر ذرات ارتباط دارد، درحالیکه در شیرین کردن آب شور با روش تراوش معکوس این موضوع صادق نیست.

تئوریهای مهمی در مورد پدیده‌اسمزی‌بیان کرده‌اند که‌اغلب آنها تا حدودی مورد قبول میباشد. درغشاء اسمزی لازم‌است مولکولهای حلال کوچکترازمولکولهای محلول‌باشد مثلادر مورد عبور مولکولهای آب که در حدود ۲ انگسترم قطر دارند منافذ غشاء باید دراین حدود باشند و اجازه ندهند املاحی که قطر مولکولهای آنها از حدود ٤ انگسترم بزرگتر است از آنها عبور نماید.

در عمل همواره در آبهای شیرین شده املاح باوالانسهای کمتر بیشتر از املاح باوالانسهای‌بیشتر موجود است. یعنی در آب شیرین کلرورسدیم بیش‌از سولفات کلسیم و منیزیم وجود خواهد داشت.

حلالیت حلال در غشاء نیز بعنوان امکان مکانیسم عمل غشاء اسمزی پیشنهاد شده و مطالعات مربوط بآن تحت بررسی است.

اگر غشاء از بدنه های متخلخل تشکیل شده باشد، حلال در دیواره این بدنه ها جذب و بمرور کلیه تخلخل بدنه را پر مینماید و محلی برای عبور ذرات محلول باقی نمیگذارد ولی مولکولهای حلال با موفقیت مرتباً از غشاء عبور مینمایند.

قدرت بی‌نمک کردن غشاء اسمزی بطرق گوناگون بیان میگردد و بهترین روش بیان آن برحسب نمک باقیمانده در آن شیرین است و یا برحسب درصد املاحی استکه دور ریخته میشود. بعنوان مثال

برای داشتن آبی با ۵۰۰ میلی گرم در لیتر نمک طعام از آب دریا لازم است در ۹۸٫۶ درصداز املاح آب دریا را دور ریخت.

بطورکلی عواملیکه باعث پیشرفت سریع ودرخشان استفاده از تراوش معکوس در تهیه آب‌شیرین در آینده خواهد شد عبارتند از:

۱- سهولت کار دستگاهها و تلف نشدن انرژی مثل سایر روشها

۲- ارزانی مواد اولیه‌ایکه در تهیه غشاء بکار میروند

۳- امکان تهیه‌آب شیرین از چند لیتر تا چندین ده مترمکعب و حتی ساختن دستگاههای متحرك تهیه آب شیرین.

جنس غشاء و طرز کار آنها

اقتصادی بودن روش تهیه آب‌شیرین بطریقه تراوش معکوس تا حدود زیاد بخصوصیات مواد یکه در ساختن غشاء بکار میروند مربوط است. قدرت انتخاب و امکان عبور مقادیر زیادی‌آب از آنها نیز اهمیت زیادی دارد. عمل عبور مقادیر زیاد آب خالص از استات سلولز از مدتها پیش شناخته شده و در اینکه استات سلولز نسبت بممانعت از عبور پاره‌ای از املاح قدرت انتخابی خوبی دارد Reid و همکارانش در دانشگاه فلوریدا مطالعاتی انجام دادند. در سال ۱۹۵۸ Loeb اولین غشاء استات سلولز را که برای‌دبی زیاد آب مناسب بود ساخت. درحقیقت با ساختن این غشاء مطالعات Reid مورد تأئید Loeb قرار گرفت. برای تهیه غشاء اسمزی از استات سلولز که برای شیرین کردن آبهای شور مناسب باشد مراکز تحقیقاتی زیادی در حال حاضر در جریان مطالعه هستند.

Berton و Yuster مواد مختلفی‌را برای تهیه غشاء اسمزی نیمه‌تراوا مورد مطالعه قرار دارند و با توجه به ضخامت کم غشاء استات سلولز که در تهیه آب شیرین بکار میروند این جسم را مناسبترین ماده تشخیص دادند. روش تهیه غشاء طبق مطالعاتLoeb و Dobry بقرار زیر است:

۱- محلولی که غشاء از آن تهیه خواهد شد ترکیبی بترتیب ۲۲٫۲٪ استات سلولز و ۱٫۱٪ پرکلرات منیزیم و ۰٫۱٪ آب و ۶۶٫۷٪ استن خواهد داشت

۲- محلول فوق را روی شیشه‌ایکه ۲۵٪ سانتیمتر عمق دارد میریزند. حرارت محیط و محلول را بین ۵- تا ۱۰- درجه سانتیگراد نگهمیدارند

۳- پس‌از ۳ دقیقه که مقداری از حلال تبخیر شد شیشه و غشاء را بمدت یکساعت در آب یخ قرار میدهند.

۴- غشاء را از روی شیشه برداشته و ۵ دقیقه حدود ۶۵ تا ۷۵ درجه سانتیگراد حرارت میدهند

علت استفاده از حرارتهای زیر صفر در تهیه غشاء اینستکه دراین حرارتها غشاء حالت فیزیکی بهتری بدست خواهند آورد. میزان استیل موجود در استات سلولز باید بین ۳۷٫۵٪ تا ۴۰٫۱٪ باشد. استرهای دیگر سلولز که بیشتر برای ساختن غشاء مورد استفاده قرار میگیرند سلولز استات بوتیرات و سلولز پریونات است ولی مصرف این مواد بصورت مخلوط چهارگانه نمی‌تواند الکترولیت خوبی باشد.

گاهی بجای استن از متیل اتیل کتن - متانل - اتانل - اسید فرمیک متیل فرمات و یا اسیداستیک گلاسیال استفاده میکنند. دراین صورت قالب گیری را میتوان براحتی در حرارت محیط انجام داد.

غشاء اسمزی استات سلولز را بصورت لوله های استوانه‌ای که امکان اتصالات طویل را کاهش میدهد و از نظر نصب بسیار اقتصادیست و بهتر میتواند آب را از خود عبور دهد و امکان گرفتگی منافذآن نیز بسیار کمست بکار میبرند.

Reid و Brton در لابراتوار مشاهده کردند که غشاء استات سلولزپس از چند هفته کار ازعمل عبور آب خالص عاجز هستند. ابتدا عقیده داشتند که این عمل بخاطر هیدرولیز گروه استیل اتفاق میافتد که مستقیماً روی عبور آب خالص مؤثر است. Keilin باآزمایشاتی که بامحلولهای ۰٫۲٪ نمک طعام روی غشاء سلولزی انجامداد دریافتیکه برخلاف نظر Reid هرچه غلظت نمک بالا میرود عمر غشاء بیشتر میگردد. تجربیات او نشانداد که خرابی غشاء در درجه اول حاصل فعالیت باکتریهای موجود در آبست.

آخرین تجربه درباره ارتباط عمر غشاء با تغییر P_H و غلظت نمک‌ها میباشد که توسط VOS انجام پذیرفت. این شخص در فشار ۱۰۰۰ (PSI) با غلظت نمک ۹٪ در P_H بین ۵ تا ۶٫۵ ملاحظه نمود که عمر غشاء حدود ۸ ما هست درصورتیکه با غلظت نمک ۶٫۳٪ و همان P_H میزان نمک گیری غشاء درعرض ۸ ماه حدود ۵ مرتبه کاهش مییابد و اگر P_H به ۱۰ برسد در ظرف دو روز قدرت نمک گیری غشاء زایل میشود.

Surrjen و همکارانش نیز مشاهده کردند که قدرت عبور املاح فلزات کلسیم و منیزیم و سایر فلزات با افزایش وزن مولکولی آنها در مقایسه با سدیم و پتاسیم کاهش مییابد.

همانطورکه قبلاً گفته شد آب دریا را نمی‌توان با یکبار عبور دادن از غشاء اسمزی شیرین کرد بلکه شیرین کردن آب دریا احتیاج بعبور دو مرحله‌ای دارد. درحال حاضر باغشاء استات سلولز میتوان آب دریا را بادبی ۳۰۰ تا ۴۰۰ لیتر درهرمتر مربع غشاء در روز عبور و شیرین نمود. اگر غلظت املاح آب مورد عمل حدود ۵ گرم در لیتر باشد دبی قابل عبور از روی غشاء به ۱۲۰۰ تا ۱۵۰۰ لیتر درهرمتر مربع از غشاء در روز خواهد رسید. در آمریکا تهیه غشائی که بتواند ۱۰ مترمکعب آب از هرمتر مربع

خود در روز عبور دهد در دست مطالعه است. میزان آب شیرین شده در حین عبور از غشاء اسمزی ازرابطه زیر بدست میآید :

$$Q=K.S(P_a-P_o)$$

که در آن S سطح غشاء و P_a فشار اسمزی و P_o فشار محلول و K ضریبی استکه به جنس غشاء ازتباط دارد.

اصولا از نظر تجارتی موفق بساختن دو نوع غشاء شدهاند. اول غشائی که میتواند براحتی ۹۹٪ املاح آب شور را حذف نماید. دراین غشاء ضریب K حدود ٤ لیتر درهرمتر مربع از غشاء در روزاست. جدول زیر تغییراتی راکه درعبور آب دریا از این نوع غشاء پدیدار میشود نشان میدهد.

غلظت کلی املاح	۳٦٫٤۹۰	گرم در لیتر	تبدیل میشود به	۳۹۰	میلی گرم در لیتر	
کلرور	۲۰٫۲۰۰	«	«	۲۷۰	«	«
SO_4	۲٫۸۰۰	«	«	۵۰۰	«	«
Ca	۰٫۳٦۱	«	«	۱۲۰	«	«
Mg	۱٫٤۵۹	«	«	٤٤۰	«	«
Na	۱۰٫۸۰۰	«	«	۲۱۵	«	«
قلیائیت	۱۳٫۲۰	درجه	تبدیل میشود به	۰٫۱۵	درجه	

دوم غشائی که فقط میتوانند ۹٦٪ املاح آب شور را حذف نمایند. از این نوع غشاء بیشتر در شیرین کردن آبهای با غلظت املاح حدود ۵ گرم درلیتر یا پائین تر استفاده مینمایند ضریب K دراینگونه غشاء حدود ۱۲ لیتر درهرمتر مربع غشاء در روز است. در جدول زیر تغییرات عبور یک نمونه آب از این غشاء داده شده است.

سختی به درجه فرانسوی	۲۲	که تبدیل میشود به	۱		
سختی منیزیم	«	۳	«	«	۰٫۲
قلیائیت	«	۱۸	«	«	۰٫۸
SO_4 به میلی گرم در لیتر		۱۷	«	«	۰٫٦
Cl	«	«	۱۷	«	۰٫۸
SiO_2	«	«	۱۰٫۲	«	۰٫٤۵
NH_4	«	«	۰٫۸٦	«	۰٫۰۵
NO_3	«	«	۹٫٦	«	۱٫۱

میزان انرژی مصرفی درشیرین کردن آب بروش تراوش معکوس بکیفیت غشاء و راندمان پمپ‌هائی که فشار لازم را تأمین مینمایند مربوط است. در دبی‌های کم یعنی حدود چند مترمکعب در روز وراندمان ۰٫۵. پمپ‌ها میزان انرژی معرفی‌برای تهیه برمترمکعب آب شیرین حدود ۱۰ کیلو وات است. درصورتیکه در دبی‌های زیاد و پمپ‌های با راندمان بهتر این انرژی به ۵ کیلووات در هرمترمکعب آب شیرین خواهد رسید.

بطور شماتیک هردستگاه تهیه آب شیرین بروش تراوش معکوس از یک یا چند پمپ و یکسری غشاء تشکیل یافته است که میتواند بطوراتوماتیک مورد استفاده قرارگیرد. پمپ علاوه بربالا بردن‌فشار آب، آن را درمسیر غشاء بحرکت درمیآورد تا آب خالص از غشاء عبور و املاح باقی بمانند. از فشار موجود در نمکهای خروجی حتی میتوان یک توربین را براه انداخت که توام با سیستم تراوش معکوس کار کند. بدین ترتیب باید امیدوار بود در آینده بتوان انرژی مصرف شده باز یافتی مجدد مورد استفاده قرار داد. درصورت تحقق موضوع فوق میزان انرژی مورد نیاز در تهیه هرمترمکعب آب شیرین بحداقل ممکنه تقلیل خواهد یافت. علاوه‌بر آن میتوان با احداث کارخانجات تهیه مواد شیمیائی در جوار دستگاههای تهیه آب شیرین‌از املاح‌دفع شدنی بعضی مواد با ارزش را استخراج و بفروش رسانید و این خود در تقلیل هزینه شیرین کردن آب بروش تراوش معکوس مؤثر است.

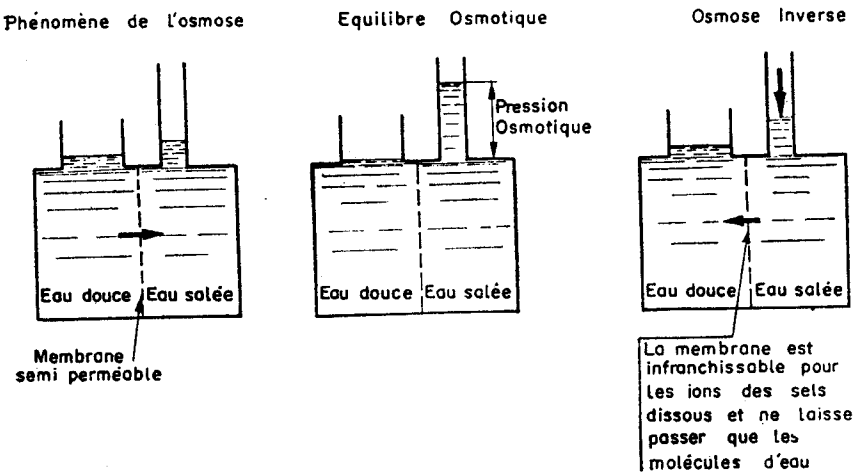
دستگاههای موجود تراوش معکوس‌قادرند تاحدود ۵۰مترمکعب در روز آب شیرین تولیدنمایند. در فرانسه مشغول مطالعه برروی دستگاهی که بتواند ۱۹۰ مترمکعب در روزآب شیرین تهیه کند هستند و امید میرود حتی دستگاههائی بزرگتر از آن نیز در آینده ساخته شود.

درسال ۱۹۶۵ برای تهیه آب آشامیدنی شهر Coalinga درکالیفرنیاازسیستم تراوش معکوسی استفاده کرده‌اند و آب با غلظت املاح ۲۹۰۰ میلی‌گرم درلیتر املاح را به آب با غلظت املاح ۲۰۰ میلی‌گرم درلیتر تبدیل نمودند. چون در آب نمکدار مقداری اکسیژن محلول وجود داشت، پس‌از چند ماه کار مشاهده کردند که بعلت تشکیل ورقه نازك اکسید آهنی روی غشاء راندمان آن کاهش یافته‌است، بعدها با استفاده از سولفیت‌سدیم برای حذف اکسیژن محلول این اشکال نیز برطرف گردید.

درکشور ایران با توجه به‌وضع آبهای موجود بخصوص آبهای قسمت مرکزی و نیمه جنوبی‌ایران که اکثراً غلظت املاحشان بیش‌از ۱۰۰۰ میلی‌گرم درلیتر است و یا آبهای کرانه خلیج فارس و دریای عمان که اغلب بیش‌از ۲۰۰۰ میلی‌گرم درلیتر غلظت املاح‌آنها است با توجه بمسائل اقتصادی‌درمصرف کم انرژی در روشی تراوش معکوس و سرمایه گزاری کمتر در مقایسه با سایر روشهای تهیه آب شیرین بنظر میرسد این روش مناسبترین طریقه تهیه آب مشروب از آبهای موجود باشد.

طبق اطلاعات موجود درحال حاضر در بعضی نقاط مرکزی و جنوبی ایران مخصوصاً در مراکز

استخراج معادن چندین دستگاه تراوشی معکوس مشغول کار است و آب آشامیدنی اجتماعات مربوط را تهیه مینمایند و نتایج حاصل از کار آنها تاکنون رضایت بخش بوده است.



شکل شماره ۱

فهرست مراجع

۱ – La Soif du mond Parc. gomella 1966

۲ – Alimentation en eau Par. P. Koch 1969

۳ – Desalinuzation qy Reuers osmos ahu. merten 1966

٤ – Salt water Puriblcation by Spigler 1964

٥ – Les Probleme dessalement del'eau Par. R. VAilant 1970