



*Oil, Gas, Petrochemicals
Energy & Water Projects*

آشنایی با مبانی فرایند اسمز معکوس

لزوم روشهای تصفیه پیشرفته آب

به طور کلی فرآیندهای معمول تصفیه آب برای تبدیل آبهای سطحی یا زیرزمینی به آب آشامیدنی مناسب می‌باشند، با این حال در برخی مواقع منابع آب حاوی موادی هستند که توسط این فرآیندها قابل تصفیه نیستند. به عنوان مثال آبهای زیرزمینی دارای جامدات محلول اضافی بوده و نیز در برخی شرایط آبهای سطحی حاوی ترکیبات آلی ناشی از پسابهای شهری یا صنعتی و یا مواد آلی طبیعی نظیر اسید هیومیک و اسید فولویک و یا محصولات حاصل از فعالیتهای جلبکی می‌باشند. جهت حذف این آلاینده‌ها و نیز تصفیه آب به منظور استفاده در مصارف ویژه، از تکنولوژیهای پیشرفته تصفیه استفاده می‌گردد.

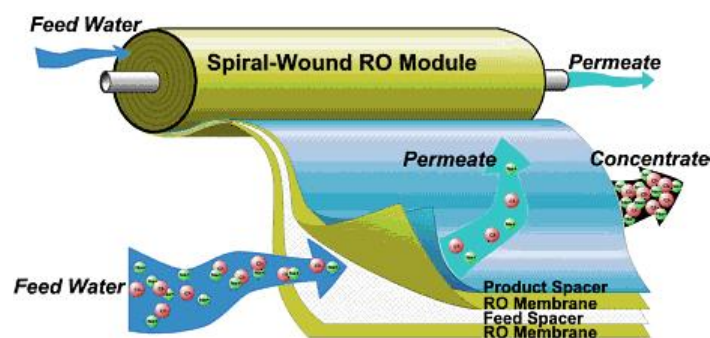
روشهای تصفیه پیشرفته معطوف به متدهایی هستند که از آب طبیعی یا فاضلابهای پیش تصفیه شده، آب خالص یا فوق خالص تولید می‌کنند که در پزشکی، صنایع غذایی، صنایع شیمیایی و سلولزی، تولید نیروی محرکه بخار و دیگر زمینه‌های صنعتی موارد مصرف دارند.

از اصلی ترین روشهای تصفیه پیشرفته آب می‌توان به بسترهای تبادل یونی، تقطیر یا تبخیر، اسمز معکوس، الکترو دیالیز، الترافیلتراسیون اشاره نمود که به سه روش آخر اصطلاحاً روشهای غشایی اطلاق می‌گردد.

فرآیندهای غشایی از روشهای نوین جداسازی هستند که بدون استفاده از تغییرفاز، اجزاء مورد نظر را از سیال جدا می‌نمایند. عدم تغییر فاز در طول فرایند جداسازی موجب می‌شود تا عملیات جداسازی با صرف‌انرژی کمتری صورت پذیرد. امروزه فرآیندهای غشایی در تمامی شاخه‌ها از جمله تصفیه آب، تصفیه انواع پسابهای خانگی و صنعتی، پزشکی، پتروشیمی، داروسازی، صنایع غذایی، بیوتکنولوژی و ... بکار گرفته شده و راندمان بالایی را از خود نشان داده‌اند.

مروری بر فیلتراسیون غشائی

فیلتراسیون غشائی از انواع فیلتراسیون مکانیکی است که فرایند غالب حذف در آن، صاف‌سازی مکانیکی بر پایه اندازه قطر مواد می‌باشد. بطور خلاصه جریان ورودی در این فیلترها به دو بخش اصلی جریان خروجی تصفیه شده^۱ و پساب تغلیظ شده^۲ تفکیک می‌گردد.



علیرغم وجود معیارهای مختلف جهت تقسیم بندی غشاها از جمله نحوه ساخت، استقرار، جنس و نیروی محرک جریان، عمده ترین تقسیم‌بندی در فیلترهای غشائی مطابق با جدول ارائه شده، بر اساس فشار عملکرد و قطر منافذ غشاها می‌باشد.

اندازه منافذ و یا وزن ملکولی Cutoff	محدوده فشار اعمالی (kPa)	فرآیند غشائی
$\mu\text{m } 0.5 - 2/0$	۱۴۰-۵۰۰۰	میکروفیلتراسیون
$\mu\text{m } 0.01 - 0.1$ ۱۰-۱۰۰۰ آنگستروم	۲۰۰-۱۰۰۰	الترافیلتراسیون
Dalton ۱۰۰۰ - ۵۰۰۰۰۰		
۸-۸۰ آنگستروم	۵۵۰-۱۳۸۰	نانو فیلتراسیون
Dalton ۱۸۰ - ۱۰۰۰۰۰		
۱-۱۵ آنگستروم	۱۳۸۰-۶۸۹۰	اسمز معکوس

¹ Permeate

² Concentrate

مبانی فرایند اسمز معکوس

اسمز معکوس از جمله شیوه هایی است که امروزه بطور گسترده در شیرین سازی آب دریا، جداسازی مواد آلی و سمی از پسابهای صنعتی بکار برده می شود. بطور کلی این روش بر پایه انتقال جرم حلال با استفاده از غشای نیمه تراوا و نیز فشار هیدرواستاتیک استوار است. جهت آشنایی با فرایند اسمز معکوس، شناخت پدیده اسمز از اهمیت بالایی برخوردار است.

اسمز پدیده ای است که به طور طبیعی در فرآیندهای بیولوژیکی متفاوت رخ می دهد. دیواره های سلول، اجازه عبور مواد غذایی و بازمانده محصولات را داده، در حالیکه سایر مواد را از خود دفع می کنند. در این حالت، دیواره های سلول به عنوان یک غشای نیمه تراوا عمل می کند.

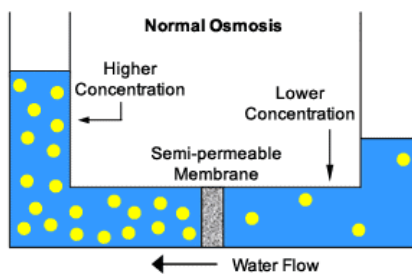
در رابطه با غشاء نیمه تراوای مورد استفاده در اسمز معکوس، آب در رقابت با نمک، ذرات معلق و مواد آلی با وزن مولکولی بالا در اولویت قرار داشته و از غشا عبور می کند. اسمز معکوس، یک حرکت وارونه نسبت به اسمز استاندارد است به نحوی که در آن حلال از سمت غلیظتر به سمت رقیقتر حرکت می کند.

چنانچه یک محلول آب نمک در یک ظرف ریخته شود و توسط غشای نیمه تراوا از آب خالص جدا شود، یک تغییر حجم در هر یک از دو سمت ظرف مشاهده می شود. آب خالص از میان غشا به سمت محلول آب نمک جریان خواهد یافت. در نتیجه ارتفاع آب ظرف در سمت آب نمک افزایش یافته در حالی که در بخش آب خالص ارتفاع آب کاهش پیدا می کند. این عبور جریان از سمت خالص به طرف محلول آب نمک اسمز نامیده می شود (شکل a. 1). اختلاف ارتفاع مایع بین آب خالص و آب نمک، موجب اختلاف فشار خالص در دو طرف غشا می شود. این اختلاف فشار، فشار اسمزی محلول آب نمک نامیده شده که تابعی از خصوصیات نمکها و غلظت آنها می باشد.

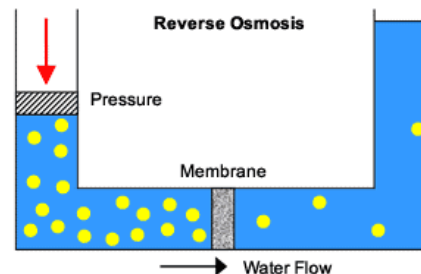
در اصطلاح فیزیک، آب موجب رقیق شدن آب نمک می شود و این به معنای افزایش آنتروپی سیستم است. بر طبق قانون آنتروپی، هر فرآیندی که به طور خود به خود در طبیعت اتفاق افتد، موجب افزایش بی نظمی می شود، مگر آنکه انرژی صرف شود تا از جهات مختلف جلوی انجام فرآیند گرفته شود.

چنانچه با اعمال فشار فیزیکی یا افزایش ارتفاع محلول آب نمک، تعادل بین آب خالص و آب نمک به هم خورد، 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 اُسمزی محلول آب نمک با فشار محلول آب نمک بر روی غشای نیمه تراوا برابر شود که این نیز بستگی به فشار آب خالص بر روی غشا دارد. به عنوان مثال، اگر مقداری آب نمک به ظرف محتوی آن اضافه شود، مقداری آب از غشا عبور خواهد کرد. اگر غلظت آب نمک اضافه شده با غلظت آب نمک اولیه برابر باشد، آب تا زمانی از غشا عبور خواهد کرد که اختلاف ارتفاع بین دو طرف به اختلاف ارتفاع اولیه برسد. (شکل ۱. b)

اعمال فشار به قسمت آب نمک می تواند توسط یک پمپ صورت گیرد. در این حالت، پمپ نیروی مورد نیاز جهت راندن مولکولهای آب از میان غشا را تأمین می کند. عبور جریان آب از بخش آب نمک به بخش آب خالص، اُسمز معکوس نامیده می شود.



شکل ۱. a. اُسمز طبیعی



شکل ۱. b. اُسمز معکوس

نرخ نفوذ آب از غشا توسط رابطه زیر بیان می شود.

$$\text{نرخ نفوذ} = K_T (\text{فشار اُسمزی} - \text{فشار غشا})$$

در این رابطه:

- K_T شار نفوذ عبارت است از نرخ جریان عبوری از غشا تقسیم بر واحد سطح

- K_T ضریب ثابتی است که با توجه به نوع غشا تعیین می شود و تابعی از درجه حرارت و اختلاف فشار غشا

برحسب psi می باشد.

- فشار غشا (برحسب Psid)¹: اختلاف فشار بین دو طرف غشا (به عنوان مثال اختلاف فشار ناشی از وجود اختلاف ارتفاع)

- فشار اُسمزی (برحسب Psid): اختلاف فشار اُسمزی سیال در دو طرف غشا (وقتی که غلظت ماده محلول در سمت آب خالص غشا ناچیز باشد، فقط فشار اُسمزی محلول در بخش غلیظ در نظر گرفته می‌شود)

تمام آب موجود در محلول آب نمک قادر به عبور از غشا نیست. همچنان که آب از محلول آب نمک خارج می‌شود، محلول غلیظتر می‌گردد و برای غلبه بر افزایش فشار اُسمزی آن نیاز به افزایش فشار هیدرولیکی خواهد بود. به عبارت دیگر، عبور جریان آب زمانی متوقف خواهد شد که فشار اعمال شده، برابر با فشار اُسمزی محلول غلیظ گردد.

اُسمز معکوس تنها قادر به تقسیم جریان خوراک به دو جریان آب خالص و جریان غلیظ یا آب نمک می‌باشد. به جریان غلیظتر، آب شور و یا دور ریز گفته می‌شود. معمولاً مقدار جریان دورریز، توسط حلالیت نمکها و یا فشار اُسمزی جریان غلیظ تعیین می‌شود.

اگر چه برای غشا نیمه تراوای مورد استفاده در فرایند اُسمز معکوس عبور آب برتری دارد، اما مقدار مشخصی از نمکهای محلول نیز از غشا عبور خواهند کرد. میزان نفوذ نمکها متناسب با شیب غلظت در دو طرف غشا خواهد بود. (بدین معنی که اختلاف غلظت بین قسمت خوراک و سمت جریان محصول غشا چقدر باشد).

(غلظت نمک در ماده محصول - غلظت نمک در ماده محلول (خوراک) $\times K =$ جریان نمک

به طوری که:

- K ، ضریب ثابتی است که با توجه به نوع غشا و ضخامت آن تعیین می‌شود.

- غلظت نمک یا نمکها در جریان خوراک و محصول برحسب ppm می‌باشد.

¹ Pounds Per Square Inch Differential

مفهوم دو عبارت آخر در این است که میزان عبور نمک از غشا تابعی از فشار نیست، بلکه در حقیقت، تابعی از دبی آب است. بنابراین، اگر فشار بیشتری در قسمت آب غلیظ شده به آن وارد شود، نتیجه آن، اثری در غلظت نمک در بخش آب خالص نخواهد داشت.

منابع مورد استفاده:

- [۱] روش های پیشرفته در صنعت تصفیه آب - تألیف مهندس محمد کرمانی، انتشارات شرکت ملی صنایع پتروشیمی - ۱۳۸۲
- [۲] تئوری اسمز معکوس، راهنمای عملی برای استفاده در صنایع تصفیه آب، وس بایرن. ترجمه مهندس مجید خاکساری - ۱۳۸۳
- [۳] ارزیابی مشکلات ناشی از لایه گذاری شیمیایی در راهبری فیلترهای غشائی و ارائه پیشنهادات لازم. محسن فاضلی، ستار صالحی، دومین همایش ملی آب و فاضلاب با رویکرد بهره برداری - ۱۳۸۷
- [۴] مبانی تصفیه آب، تألیف دکتر محمود پیکری - دکتر ارجمند مهربانی، انتشارات ارکان - ۱۳۸۳
- [۵] شیمی آب، تألیف سوزان کگلی و جون آندرسون - ترجمه: رحمت زرکامی و صادق حسینی، انتشارات دانشگاه گیلان - ۱۳۸۳
- [۶] مهندسی محیط زیست، تألیف: ه. س. پوی - د. ر. روو - ج. چبانوگلاس، دانشگاه صنعتی سهند تبریز - ۱۳۸۲