



نهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران

دانشگاه علم و صنعت ایران  
۳-۵ آذر، ماه ۱۳۸۳

## تصفیه آب نمک چرخشی در کارخانه تولید نمک جهت کاهش املاح کلسیم و منیزیم

سید عبداللطیف هاشمی فرد\*<sup>۱</sup>، فاطمه اباهیم زاده سروستانی<sup>۲</sup>

۱. دانشگاه خلیج فارس (بوشهر)

۲. دانشگاه خلیج فارس-دانشکده مهندسی

[salhashemifard@yahoo.com](mailto:salhashemifard@yahoo.com)

[ebrahimzadeh@yahoo.com](mailto:ebrahimzadeh@yahoo.com)

### چکیده

شستوی نمک در کارخانه‌های تولید نمک یکی از فرایندهای مهم فرآوری نمک خوراکی می‌باشد. به دلیل مسائل اقتصادی استفاده از آب تازه به هیچ عنوان مقدور نمی‌باشد. به همین دلیل ترجیح داده می‌شود آب به صورت چرخشی در سیستم حرکت کند و مرتباً تصفیه شود تا اینکه ناخالصیهای نمک مورد شستشو به حد اقل برسد. متأسفانه در کارخانجات داخلی تصفیه آب نمک با کیفیت پایینی صورت می‌گیرد که دلیل آن ناکافی بودن دانش افراد در زمینه طراحی و فرایندهای شیمیایی موجود در دستگاه تصفیه آب نمک (کلاریفایرنمک) می‌باشد. در این تحقیق بخش فرایندی تصفیه آب نمک مورد توجه قرار گرفته است و در بعد آزمایشگاهی اقدام به تصفیه آب نمک شده است، که مهمترین هدف در تصفیه آب نمک حذف ناخالصی‌های منیزیم و کلسیم موجود در آن است. در نهایت موفق شدیم غلظت منیزیم و کلسیم را به ترتیب از ۸۸۸ و ۱۵۰۰ ppm به ۳۶ و ۳۵ ppm برسانیم.

کلمات کلیدی: نمک، آب نمک، تصفیه، کلسیم، منیزیم

## مقدمه

آب یک سرمایه ملی است. تا بیست سال پیش مهمترین سرمایه ملی کشورها، انرژی بود اما در آینده ای نه چندان دور آب را با نفت معاوضه خواهند کرد. برای آنکه این تصور از آینده زیاد دور از ذهن نباشد، کافی است که به این نکته توجه کنیم که برای انرژی، بجز نفت جایگزینهای نه چندان ارزانتر در دسترس بشر است اما جایگزینی برای آب فعلاً وجود ندارد و امروزه تأکید بر صرفه جویی و استفاده بهینه از منابع آبی است [در کارخانجات تصفیه و تولید نمک نیز آب نقش اساسی را ایفا می کند. با توجه به کاربرد زیاد و مهم آب در تصفیه نمک سعی می شود که در اینگونه کارخانجات با توجه به پیشرفت صنعت تصفیه، جهت کاهش مصرف آب نمک و پساب تولیدی، آب نمک را تصفیه کرده به مدار برگشت دهند. فرایند تصفیه آب نمک در کارخانجات تولید نمک توسط دستگاه کلاریفایر صورت می گیرد. طراحی کلاریفایر و فرایندهای شیمیایی که در آن صورت می گیرد بر روی کیفیت آب نمک تصفیه شده بسیار تأثیرگذار است.

## ناخالصیهای نمک

همیشه به همراه نمک ناخالصی‌هایی نیز وجود دارد که مورد پسند نبوده و بعضاً صفر می‌باشد. خالص نبودن نمک استحصال شده مستلزم هزینه می‌باشد و طبیعی است که هر چه نمک خالص تر باشد در نتیجه هزینه تولید آن بالا رفته و ارزش آن نیز افزوده می‌گردد. ناخالصی‌های موجود در نمک به دو دسته قسیم می‌شوند:

- ناخالصی‌های عمومی مانند Ca, Mg, Sr, Fe, Mn، - ناخالصی‌های محیطی که این دسته از ناخالصی‌ها بسته به محیط استخراج نمک، در نمک‌های استخراج شده از منابع مختلف، متفاوت می‌باشند، مانند: Ba, B, F, Ni, Si, Al, Ti, I, Br, Heavy metals, Organics, Insolubles میزان ناخالصی‌ها، بسته به منبع استحصال نمک و چگونگی آن متفاوت می‌باشند. به استثنای مواد نامحلول (Insolubles)، سرچشمه و مبدأ همه ناخالصی‌ها آب دریا است. سنگهای نمک (Rocksalts) استحصال شده از معادن، بعضاً به قدمت میلیونها سال، شامل طیف وسیعی از نمک‌ها می‌شوند که این نمک‌ها ممکن است از سفید تا سیاه تغییر رنگ داده باشند یا از خالص تا ناخالص تغییر کنند. بنابراین آب دریاچه‌های نمک به علت حل شدن نمکها و سنگ نمک‌های سطحی در آن، ممکن است از خالص تا ناخالص تغییر کند. از میان ناخالصی‌ها، سولفات کلسیم به عنوان پایدارترین ناخالصی نمک شناخته می‌شود و در میان منابع استحصال نمک، چاههای آب نمک بیشترین میزان سولفات کلسیم را دارند [۲]. جدول زیر حدود تغییرات میزان ناخالصی‌های عمده را در منابع مختلف نمک نشان می‌دهد:

جدول ۱- محدوده تغییرات میزان ناخالصی های عمده در منابع مختلف نمک. [۳]

Impurities	Rock Salt	Seasatl	Lake Salt	Brines
Caso 4	۰/۵-۲٪	۰/۵-۱٪	۰/۵-۲٪	Saturated
Mgso 4	Traces	۰/۲-۰/۶٪	Traces	Traces
Mgcl 2	-	۰/۳-۱٪	"	-
CaCl 2	-	-	"	-
Na2Co4	-	-	"	-
KCL	-	-	"	-
NaBr	-	-	"	-
Insolubles	۱-۱۰٪	۰/۱-۱٪	۱-۱۰٪	-

نمکهای منیزیم همیشه در آب دریا وجود دارند و نسبت نمک کلرید منیزیم به نمک سولفات منیزیم حدود ۱/۵ برابر می‌باشند. مواد نامحلول در همه منابع استحصال نمک وجود دارد. نمک‌های استحصال شده از منابع مختلف، غالباً خلوص لازم جهت استفاده در صنعت و مصارف انسانی را دارا نمی‌باشند و نیاز است که طی فرآیندهای متفاوت تصفیه شده و خلوص لازم را کسب نمایند [۲].

از فرآیندهای مختلف جهت تصفیه نمک و آب نمک استفاده می‌شود و فرآیندهای بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرند که خصوصیات ذیل در آنها موجود باشد: هزینه اولیه کمتر، هزینه عملیاتی کمتر، خلوص بالاتر و تلفات نمک کمتر [۲].

## شستشوی نمک

### شستشوی اولیه

نمک‌های برداشت شده از حوضچه بلافاصله جهت مصرف، حمل نمی‌گردد بلکه این نمک‌ها در محلی بنام Stock Pile بصورت تپه‌های عظیم بر روی هم انباشته می‌شود، هدف از این کارموارد ذیل می‌باشد:

الف) به نمک مرطوب و خیس اجازه داده می‌شود تا تلخابه‌های موجود در آن تخلیه شده و بسیاری از ناخالصی‌ها از نمک زده شود. ب) با توجه به این مطلب که عمده ناخالصی بر روی سطح کریستالهای نمک جمع می‌گردد علاوه بر بارش طبیعی باران، می‌توان با ایجاد بارانهای مصنوعی توسط ابزار خاص دوش ماندنی بنام Sprinkler ناخالصی‌های سطح کریستالهای نمک را شست و حذف کرد.

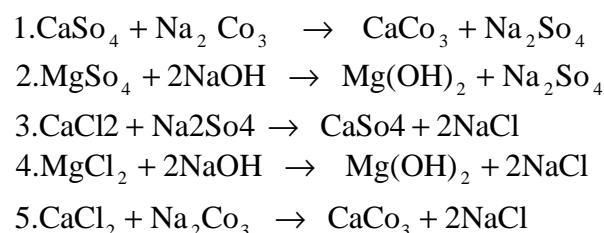
### شستشوی ثانویه

شستشوی نمک در طی فرآیند تصفیه، در یک شوینده حلزونی (Screw Washer) با جریان متقاطع انجام می‌گیرد، بدین ترتیب که شوینده حلزونی به صورت افقی نبوده و نسبت به سطح افق زاویه داراست. جریان آب نمک اشباع از پائین و جریان دانه‌های نمک از بالا وارد شده و با یکدیگر مخلوط می‌شوند. در طی زمان حرکت دانه‌های نمک در طول پاشنده، فرصت کافی وجود دارد تا خالصی‌های سطح نمک و همچنین ناخالصی‌های انباشته شده درون شکافهای کریستالهای نمک از طریق نفوذ، به داخل آب نمک وارد شده و

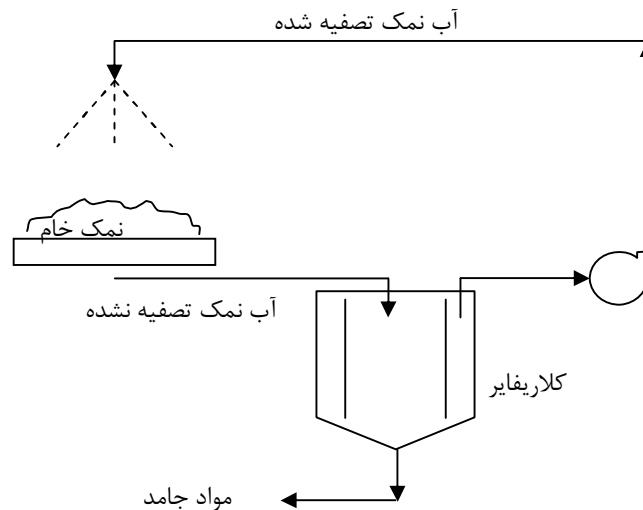
نمک خروجی از شوینده، تا حد زیادی عاری از ناخالصی باشد. در این شستشو راندمان جریان متقاطع (Counter Current) بسیار بالاتر از جریان هم جهت (Co- Current) می باشد [۲].

## کلاریفایر و تصفیه آب نمک

اصولاً برای تصفیه محلولهای دارای ناخالصی در صنعت روشهای مختلفی وجود دارد که از جمله می توان ته نشین کردن را نام برد. در کارخانجات تصفیه و تولید نمک، آب نمکی که برای شستشو در شوینده حلزونی مورد استفاده قرار گرفته شده است، طی فرآیندی تصفیه شده مجدداً برای شستشوی نمک مورد استفاده قرار می گیرد. جهت تصفیه آب نمک، نیز از روش ته نشینی استفاده می شود. دستگاه تصفیه آب نمک (کلاریفایر) می باشد. در واقع مهم ترین فرآیندهایی که در کلاریفایر انجام می شود، عمل خنثی سازی ذرات، فرآیند تجمع سازی و فرآیند ته نشینی است، شکل ۱-۴. هدف از تصفیه آب نمک حذف ناخالصیهایی که در فرآیند شستشوی نمک وارد آب نمک گردیده است که عمده ترین این ناخالصیهها منیزیم و کلسیم می باشند. اولین قدم جهت حذف منیزیم و کلسیم استفاده از هیدروکسید سدیم (NaOH) و کربنات سدیم (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) جهت رسوب دادن آنها می باشد که واکنشهای آنها به شرح زیر می باشد:



به تجربه ثابت شده است که آب نمک حاصل از سنگ نمک یا چاههای نمکی مملو از سولفات کلسیم می باشد. حلالیت CaSO<sub>2</sub> در آب نمک تابعی از غلظت آب نمک و دما می باشد [۲]. در دماهای (۱۰۰-۲۵) درجه سانتیگراد هر چه غلظت آب نمک بیشتر می شود، میزان حلالیت CaSO<sub>3</sub> نیز بیشتر می شود تا غلظت ۱۰٪. وزنی این موضوع صدق می کند. از این غلظت به بالا، حلالیت CaSO<sub>4</sub> شروع به کاهش می نماید. در دماهای (۱۵۰-۱۰۰) درجه سانتیگراد نقطه ماکزیم حلالیت سولفات کلسیم در غلظت ۱۲٪ آب نمک است از این غلظت به بعد میزان حلالیت CaSO<sub>4</sub> کاهش می یابد. در دماهای (۲۰۰-۱۵۰) درجه سانتیگراد نقطه حلالیت سولفات کلسیم در غلظت ۱۵٪ آب نمک است و از این غلظت بالاتر میزان حلالیت CaSO<sub>4</sub> کاهش می یابد. در بین واکنشهای نشان داده شده، واکنشهای ۱ و ۲ و ۴ جهت کنترل منیزیم بسیار مهم و قابل توجه می باشند و حذف شدن منیزیم و کلسیم منجر به تولید و انباشته شدن Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> می گردد که نتیجه آن کم شدن حلالیت نمک کلیرید سدیم می باشد [۲].



شکل ۱- نمودار تصفیه آب نمک

### همزدن و ته نشینی

کنترل صحیح عملیات همزنی و اختلاط بسیار حیاتی است. واکنشگرها باید ابتدا کاملاً با آب نمک مخلوط شده تا واکنشهای مورد انتظار و در نتیجه تشکیل لخته‌ها به صورت همگون پذیرد. اختلاط سریع و بیش از حد، منجر به شکسته شدن لخته‌هایی می‌شود که در طول مدت طولانی تشکیل و ته نشین شده‌اند و در نتیجه کیفیت آب نمک کاهش خواهد یافت. بخصوص در مورد جابجا کردن لخته‌های ترد و شکننده هیدروکسید نیزیم باید این نکته کاملاً مد نظر قرار گیرد. در طی فرآیند لخته سازی، باید از هرگونه اختلاط پرهیز نمود. در صنعت هیچ گونه ایده واحد و ثابتی جهت طراحی فرایند اختلاط و لخته سازی وجود ندارد. اختلاط باید بسیار آرام انجام گیرد و تا حدی انجام شود که واکنشگرها کاملاً با یکدیگر مخلوط شوند و از اختلاط شدید که کل مخزن را تحت تأثیر قرار می‌دهد به شدت باید اجتناب کرد. بهتر است که جهت جریان آب نمک در تانک واکنش از بالا به پائین باشد هرگونه اختلاط در زمان تشکیل لخته ها می تواند صفر باشد. حتی رژیمهای دمایی ایجاد شده بوسیله اختلاف دما بین دیواره کلاریفایر و توده محلول یا بین پائین و بالای کلاریفایر می تواند منجر به نعلق شدن مجدد رسوبات شود. [۲] و [۵].

### نسبت Ca / Mg و تأثیر آن بر میزان لخته گذاری

هدف از تصفیه اولیه، تولید یک رسوب لخته‌ای است که با سرعت ۱۵ inch/hr یا سریعتر آن ته نشین شود و آب نمکی تولید شود که غلظت مواد معلق درون آن در حدود ۱۰ ppm یا کمتر باشد. در بعضی موارد، این امر می‌تواند بدون افزودن عوامل لخته گذاری انجام پذیرد. نرخ ته نشینی برای اغلب آب نمکها، ۱-۰/۵ meter/hr است. بعضی از انواع آب نمک با درصد منیزیم بسیار پائین، با نرخ بسیار بالاتری ته نشین می‌شوند. در آب نمک‌هایی که نرخ ته نشینی در آنها کمتر از ۰/۵ meter/hr می‌باشد، معمولاً درصد منیزیم و دیگر مواد جامد بالاست و به صرفه خواهد بود که از ترکیبات لخته ساز جهت افزودن به آب نمک سود جست. یکی از انواع لخته‌سازها، زاج سبز یا سولفات آهن می‌باشد. سه مرجع متفاوت مثالهایی را در رابطه با نسبت کلسیم به

منیزیم و عوامل لخته ساز، عنوان کرده‌اند. البته هر سه این مراجع به این موضوع معترف هستند که نتایج آزمایشگاهی بر روی یک نمک خاص، بهترین شیوه برای تصفیه آب نمک می باشد. البته لازم به ذکر است که به تجربه به اثبات رسیده است که هر چه نسبت  $Ca/Mg$  بیشتر باشد، نرخ ته نشینی بیشتر خواهد بود [۲]. اکنون به بررسی نظرات مختلف در مورد نسبت کلسیم به منیزیم و تأثیر آن بر میزان رسوب گذاری و نرخ ته نشینی می پردازیم:

## آزمایشات و بحث

### نظریه شماره ۱

نسبت کلسیم به منیزیم در آب نمک بر روی نوع رسوب تشکیل شده مؤثر است. برای یک نسبت  $Ca/Mg$  برابر ۲ یا بیشتر، نرخ ته نشینی بصورت نرمال خواهد بود. اگر این نسبت کمتر از ۲ باشد (بین ۱ و ۲)، لخته ایجاد شده دارای دانسیته کمتر از حد معمول در نتیجه نرخ ته نشینی کمتری خواهد بود. برای این گونه لخته‌ها، بهتر است که از یک عامل لخته ساز، به میزان (ppm) ۳-۱ استفاده کرد [۶].

### نظریه شماره ۲

آب نمک‌های با نسبت  $Ca / Mg$  کمتر از ۴ یا بزرگتر از ۱۶، در مورد ته نشینی همراه یا بدون عامل لخته ساز، مشکل دارند. منتهی افزودن پلی الکترولیت می تواند تا حدودی به مسئله کمک کند. برای آب نمک‌های با نسبت  $Ca / Mg$  بین ۴ تا ۶ که بطور معمول بدون مشکل زیادی تمایل به ته نشینی دارند در هر یک از دو مرحله میانی و انتهایی افزودن Nopco ۱۵۴ سرعت ته نشینی را افزایش خواهد داد. در چند مورد، ته نشینی به قدری سریع بوده که لخته شروع به ته نشین نموده است و جامدات معلق بیسشتر از موارد لخته نشده بوده است این موارد معمولاً به عنوان فوق لخته شده مطرح می شوند. اضافه نمودن در نقطه میانی واکنش، بهتر از نقطه پایانی است. [۵].

### نظریه شماره ۳

این مرجع مثال خوبی از یک تست آزمایشگاهی انجام شده بر روی یک آب نمک و مزایای استفاده از یک عامل لخته گذار را بدست می دهد. آزمایشها بر روی نمونه‌های آب نمک چاه انجام شده است. آب نمک مزبور دارای نسبت  $Ca / mg$  برابر ۱/۳۸ می باشد (یعنی بین ۱ و ۲) این آزمایشات نشان داد که افزایش دما بر روی نرخ ته نشینی رسوبات بسیار مهم بود. به دلیل نسبت کم  $Ca / Mg$  یک عامل لخته ساز جهت رسیدن به نرخ ته نشینی بزرگتر از 15 inch/hr (5.29e-5m/s) لازم بود [۷].

**مرحله اول:** تصفیه فیزیکی و تعیین مواد غیر قابل انحلال

نمونه: آب نمک اشباع تصفیه نشده با درصد خلوص ۹۵٪

پس از عمل فیلتراسیون معلوم گردید که یک لیتر از نمونه، حاوی ۱/۰۳۱۸ گرم مواد غیر قابل انحلال می باشد. به این ترتیب تصفیه فیزیکی آب نمک صورت گرفته و شاهد شفاف شدن محلول آب نمک بودیم.

**مرحله دوم:** تصفیه شیمیایی (حذف ناخالصیهای منیزیم و کلسیم)  
خصوصیات آب نمک اشباع تصفیه نشده پس از فرایند فیلتراسیون در جدول ۲- آمده است.

جدول ۲- خصوصیات آب نمک اشباع تصفیه نشده پس از فرایند فیلتراسیون

یون	غلظت (PPM)
Na	۳۴/۸(۱۳۶۱۱۱) % w
Ca	۱۵۰۰
Mg	۸۸۸

با توجه به مطالب ارائه شده بهترین ماده جهت حذف یونهای کلسیم، کربنات سدیم تشخیص داده شده است و جهت حذف منیزیم، دو ماده سود و آهک (CaO)، مورد استفاده قرار گرفته شده است. جهت فرایند انعقادسازی نیز با توجه به امکانات آزمایشگاهی و تطبیق با شرایط عملی مورد استفاده در کارخانه های داخلی، از سولفات آلومینیوم استفاده گردیده است.

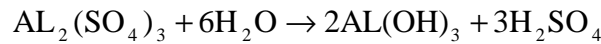
در آزمایشات انجام شده جهت تعیین مقدار مناسب و بهینه مواد افزودنی (سود و کربنات)، ابتدا آزمایش حذف کلسیم و منیزیم را به طور جداگانه انجام داده، سپس در مرحله آخر اقدام به حذف همزمان کلسیم و منیزیم نموده ایم.

راجع به افزودن کربنات سدیم، سود و عوامل لخته ساز در مراجع مختلف اختلافاتی وجود دارد. بعضی معتقدند که همه واکنشگرها با هم نتیجه بهتری را خواهد داد. در حالیکه بعضی دیگر عنوان می کنند که واکنشگرها را باید جداگانه و مرحله به مرحله با آب نمک افزود. به نظر می رسد که در مورد افزودن سود همزمان با کربنات کلسیم توافق وجود داشته باشد، چون اگر هیدروکسید فلزی ترد و شکننده خیلی زود اجازه تشکیل شدن یابد، بدون حضور کربنات سدیم به سختی می توانند ته نشین شوند. به تجربه ثابت شده است که بهترین نتایج در مورد ته نشینی رسوبات زمانی حاصل می شود که واکنشگرهای سود و کربنات توأمآً به آب نمک اضافه شوند و اجازه داده شود که همه واکنشها با هم انجام شوند. انعقاد ساز با یک فاصله زمانی نسبت به دو ماده دیگر افزوده می شود تا واکنشهای شیمیایی قبل از آن انجام شده باشد [۲] و [۷].

## ویژگی انعقاد ساز

با توجه به میزان کلسیم و منیزیم موجود در آب نمک تسریع فرایند ته نشینی استفاده از انعقاد ساز ضروری به نظر می رسد. برای جلوگیری از پایین آمدن خلوص آب نمک، غلظت انعقاد ساز مورد استفاده در مقایسه با

کربنات سدیم، آهک یا سود باید کم باشد. در نتیجه جهت فرایند انعقادسازی در آزمایشات از محلول سولفات آلومینیوم ۰/۱ درصد استفاده شده است. با اضافه کردن سولفات آلومینیوم واکنش زیرانجام می شود:



در واقع مقداری از آن صرف تعدیل پتانسیل الکتریکی ذرات می شود و مقداری نیز باعث کاهش قلیابست محلول می شود. [۱].

### کاهش کلسیم

آزمایشات در این مرحله شامل آزمایش بر روی نمونه با درصدهای وزنی مختلف از محلول کربنات سدیم، جهت یافتن غلظت مناسب از کربنات سدیم می باشد. لازم به ذکر است که در کلیه آزمایشات حجم مواد افزودنی در مقایسه با حجم نمونه، کم انتخاب شده است تا تغییر غلظت آب نمک ناچیز باشد. ماده انعقاد ساز (سولفات آلومینیوم ۰/۱ درصد) حدود سه دقیقه بعد از اضافه کردن کربنات سدیم افزوده شده است.

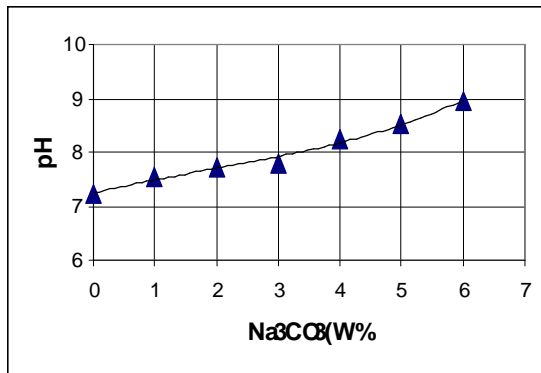


جدول ۳- میزان کلسیم باقیمانده در آب نمک و تغییرات PH بر حسب غلظت کربنات سدیم مصرفی

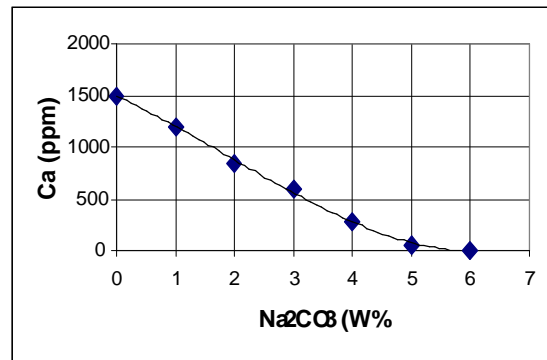
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (%W)	Ca (ppm)	PH
۰	۱۵۰۰	۷/۲۲
۱	۱۲۰۰	۷/۵۶
۲	۸۵۰	۷/۷۱
۳	۶۰۰	۷/۸
۴	۲۸۰	۸/۲۶
۵	۵۰	۸/۵۲
۶	۰	۸/۹۲

پس از اندازه گیری میزان کلسیم توسط دستگاه FLAME PHOTOMETER، مدل PFP7، ساخت شرکت JENWAT از کشور انگلستان، نتایج موجود در جدول ۳- بدست آمده است که در شکل های ۳ و ۴ نیز بصورت نمودار آورده شده است. همچنانکه مشاهده می گردد، میزان کلسیم موجود در آب نمک با افزایش غلظت کربنات سدیم مصرفی، کاهش بیشتری داشته است. با توجه به نتایج فوق استفاده از کربنات سدیم ۰.۵٪ مناسب بنظر می رسد.





شکل ۳- تغییرات pH با افزودن کربنات سدیم



شکل ۲- تغییرات غلظت کلسیم با افزودن کربنات سدیم

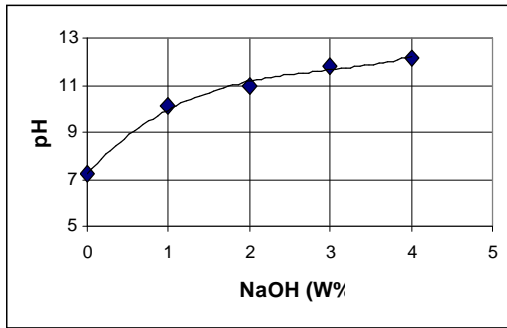
### کاهش منیزیم

با توجه به اینکه استفاده از سود همیشه نتایج مطلوب تری نسبت به آهک جهت تصفیه آب نمک به همراه داشته است، عمده آزمایشات خود را در این زمینه بر روی سود انجام داده ایم. زیرا آهک هر چند که میزان منیزیم را کاهش می دهد اما از طرفی میزان کلسیم موجود در آب نمک را افزایش داده بر سختی آن می افزاید. دلیل استفاده از آهک به جای سود، می تواند ارزانه تر بودن آن و همچنین pH نسبتاً کم آن نسبت به سود باشد. در این مورد نیز آزمایشات شامل آزمایش بر روی نمونه با درصدهای وزنی مختلف از سود جهت یافتن غلظت مناسب از سود می باشد که نتایج در جدول ۴- و شکل‌های ۵ و ۶ آمده است. ماده انعقادساز حدود ۳ دقیقه بعد از سود اضافه شده است. برای سنجش میزان منیزیم باقیمانده در محلول از روش تیتراسیون استفاده شده است.

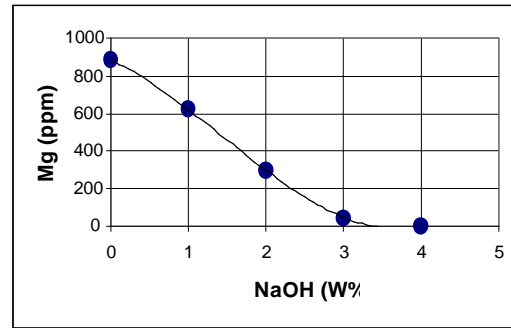
جدول ۴- میزان منیزیم باقیمانده در آب نمک و تغییرات pH بر حسب غلظت سود مصرفی

NaOH(% W)	Mg(ppm)	pH
۰	۸۸۸	۷/۲۲
۱	۶۲۰	۱۰/۱۱
۲	۳۰۰	۱۰/۹۵
۳	۴۸	۱۱/۸۲
۴	۰	۱۲/۱۸

نتایج حاصله نشان می دهد که افزایش غلظت سود مصرفی باعث کاهش بیشتری از منیزیم نمونه شده است. با توجه به جدول فوق و محدوده pH استفاده از سود ۳٪ مناسب بنظر می رسد. چون علاوه بر اینکه میزان منیزیم ر ا تا حد مناسبی کاهش داده است، pH نیز در رنج مناسبی قرار دارد.



شکل ۵- تغییرات pH با افزودن سود



شکل ۴- تغییرات غلظت منیزیم با افزودن سود

### حذف همزمان کلسیم و منیزیم

در این مرحله دو نمونه آزمایش کلی صورت گرفته است که در یک آزمایش با استفاده از کربنات سدیم، سود و ماده منعقدکننده اقدام به تصفیه آب نمک نموده ایم. در آزمایش دیگر بجای سود از آهک صنعتی استفاده شده است.

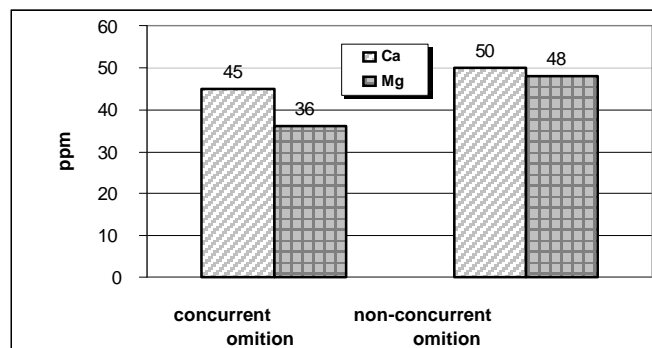
### حذف همزمان کلسیم و منیزیم با استفاده از کربنات سدیم، سود و انعقادساز

با توجه به نتایج مراحل قبل محلول کربنات ۰.۵٪ و سود ۰.۳٪ را برای انجام این آزمایش انتخاب کرده ایم که نتیجه حاصله در جدول ۵- آمده است.

جدول ۵- نا خالصیهای آب نمک پس از افزودن همزمان کربنات سدیم، سود و سولفات آلومینیوم

Ca(ppm)	۴۵
Mg (ppm)	۳۶
PH	۱۱/۹۱

در شکل ۴- مقایسه روشن تری بین حذف همزمان و غیر همزمان کلسیم و منیزیم ارائه شده است. همانطور که مشاهده می گردد که حذف همزمان کلسیم و منیزیم نتایج رضایت بخش تری را به دنبال داشته است و توانسته ایم کلسیم و منیزیم آب نمک را تا حد قابل قبولی کاهش دهیم.



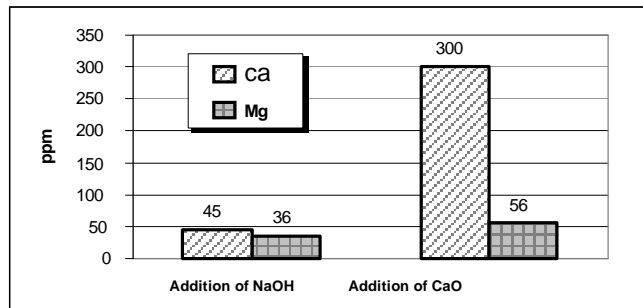
شکل ۴-مقایسه بین حذف همزمان و غیر همزمان کلسیم و منیزیم حذف همزمان کلسیم و منیزیم با استفاده از آهک بجای سود

در این آزمایش از کربنات سدیم ۵٪ و آهک ۳٪ استفاده شده است که نتیجه آن در جدول ۶- آمده است.

جدول ۶- نا خالصیهای آب نمک پس از افزودن همزمان کربنات سدیم، آهک صنعتی و سولفات آلومینیوم

Ca(ppm)	۳۰۰
Mg (ppm)	۵۶
pH	۱۱/۴۸

همانطور که از شکل-۵ بر می آید، افزودن آهک صنعتی برای حذف Mg اگر چه موجب کاهش غلظت آن به نحو چشمگیری می شود، اما به دلیل افزوده شدن Ca غلظت این ناخالصی به نحو چشمگیری افزایش یافته است. بنابراین مشاهده می گردد که استفاده از آهک، میزان کلسیم موجود در آب نمک را به ۳۰۰ ppm رسانیده است که در مقایسه با ۴۵ مقدار بسیار بالایی می باشد.



شکل ۵- مقایسه بین حذف همزمان کلسیم و منیزیم با استفاده از سود و آهک صنعتی

## نتیجه گیری

جهت تصفیه آب نمک با ویژگیهای ذکر شده، بهترین نتیجه زمانی حاصل می شود که از کربنات سدیم ۵٪، سود ۳٪ و سولفات آلومینیوم ۱/۰ درصد استفاده شود. استفاده از سود بجای آهک راندمان تصفیه بهتری را به همراه داشته است.

## تشکر و قدردانی

در پایان از همکاری صمیمانه دکتر نیکنام، ریاست محترم دانشکده علوم پایه، دکتر هاشمی، مدیر گروه بخش شیمی و مسئول آزمایشگاه شیمی، مهندس صنعتی، مسئول مرکز مطالعات خلیج فارس دانشگاه خلیج فارس، دکتر مهرداد نیاکوثری، معاونت محترم پژوهشی مرکز تحقیقات مهندسی فارس، مهندس برزگر، کارشناس گروه فرایند در مرکز تحقیقات مهندسی فارس، مهندس فیروزی، مدیر تولید کارخانه نمک سپیددانه فارس، آقای علی عدالت، کارشناس آزمایشگاه کارخانه نمک سپیددانه، آقای رضویان، کارشناس آزمایشگاه شیمی، مهندس مهران حسینی، کارشناس مرکز مطالعات دانشگاه خلیج فارس و خانم پاکار، کارشناس آزمایشگاه کمال تشکر و قدردانی را داریم.

## منابع و مراجع

۱. چالکش امیری، محمد، اصول تصفیه آب، ویرایش دوم، اصفهان، نشر ارکان اصفهان، ۱۳۷۸.
2. D.Elliot, V.President, "Primary Brine Treatment Operations", Technology Bridge to The New Millennium, Cleveland, Ohio, sep.13, 1999.
3. Dr. Walt Volland, Solubility:How Solubility is measured, November 10,2000.
4. Warren Viessman, JR, Water Supply and Pollution Control.
5. C.T. Bryant, Flocculant Addition-NOPCO154, May 16, 1978.
6. R.C. Sutter, Notes of Discossion of Salt Formation, Production and Treatment, NOV.2, 1979.
7. C.B.Meyer, Raw Brine Purification Parameters and Guidelines Especially rellating to the Mexican Coatzacoolcos Brine, Janvary 15, 1975.