

## انتخاب ترکیب مناسب بازدارنده رسوب جهت کاربرد در تبخیر کننده های کارخانه قند

بهرروز مصیبی\*<sup>+</sup>، سید مهدی رفیق

تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، دانشکده فنی مهندسی، گروه مهندسی شیمی

مسعود هنرور

تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، دانشکده علوم و مهندسی صنایع غذایی

**چکیده:** رسوب گذاری و خوردگی زیر رسوب از مشکلات رایج در صنعت قند است که به طور عمده در تجهیزات مربوط به تبخیر و تغلیظ شربت قند مشاهده می شود. رسوب های ناشی از شربت قند بر روی سطوح داخلی لوله های تبخیر کننده به وجود می آید و به تدریج با جلوگیری از انتقال حرارت، بازده تبخیر را کاهش می دهند. برای حل این مشکل از مواد بازدارنده رسوب استفاده می شود. در این پژوهش بازده عملکرد چهار نوع از مواد بازدارنده رسوب، با کاربری مناسب صنعت قند شامل ۱- پلی اکریلیک اسید، ۲- ترکیب ۷۵٪ پلی اکریلیک اسید و ۲۵٪ آمینو متیل پروپیل سولفونیک اسید، ۳- پلی مالئیک اسید و ۴- نمک سدیم پلی کربوکسیلات، برای جلوگیری از تشکیل رسوب در تبخیر کننده ها با یکدیگر مقایسه شده است. برای اندازه گیری درصد بازدارندگی مواد ضد رسوب، میزان سختی شربت قند قبل و بعد از رسوب گیری، یک بار در حضور مواد ضد رسوب و یک بار بدون استفاده از مواد ضد رسوب، اندازه گیری شد. در نهایت، درصد بازدارندگی و مقدار بهینه مصرفی هر بازدارنده محاسبه شد و مقادیر محاسبه شده با یکدیگر مقایسه شدند. نتیجه های به دست آمده نشان می دهد که می توان با استفاده از ترکیب های پلیمری دارای ساختمان قطبی نظیر نمک سدیم پلی کربوکسیلات، تا حدود ۹۵٪ از تشکیل رسوب در تبخیر کننده های کارخانه قند جلوگیری کرد.

**واژه های کلیدی:** رسوب گذاری، بازدارنده رسوب، تبخیر کننده، کارخانه قند، سختی.

**KEY WORDS:** Scaling, Antiscalant, Evaporator, Sugar plant, Hardness.

### مقدمه

ایجاد می شوند و دوم رسوبات مربوط به سطوح داخلی لوله های تبخیر کننده که در اثر تبخیر شربت قند به جای می مانند [۱]. عنصرهای عمده موجود در شربت قند تصفیه شده در جدول ۱ ارائه شده اند [۲]. همانگونه که مشاهده می شود بسیاری از این عنصرها رسوبزا هستند.

پدیده خوردگی و به ویژه خوردگی زیر رسوب باعث کاهش بازده یا توقف خط تولید شده و هزینه های ناخواسته ای را به صنعت قند تحمیل می کند. رسوب های تولید شده در مرحله تغلیظ شربت قند دو نوع هستند: یکی رسوبات مربوط به سطوح خارجی لوله های تبخیر کننده که در اثر مجاورت با بخار

\*E-mail: bmosayebi@varzab.com

\*عقد دار مکاتبات

جدول ۱- عنصرهای عمده موجود در شربت قند تصفیه شده [۲].

غلظت (mg/L)	عنصر
۲۱۴	کلسیم
۶۰ - ۱۲۰	منیزیم
۲۱ - ۲۸	آهن
۹۴ - ۱۱۷	سیلیسیم
۱۸ - ۳۱	فسفر
۱۰۰ - ۱۳۳	گوگرد

جدول ۲- مقایسه هدایت حرارتی برخی از انواع رسوب و فولاد [۵].

هدایت حرارتی [BTU/ft <sup>2</sup> . h. °F]	نوع ماده
۲۵	فسفات کلسیم
۱۶	سولفات کلسیم
۱۵	فسفات منیزیم
۰٫۶	رسوبات سیلیکاتی
۳۱۰	فولاد

هرچند رسوب زدایی از تبخیرکننده‌های کارخانه قند با روش‌های مکانیکی و شیمیایی امکان پذیر است ولی به طور کلی مسئله غیر قابل حل در روش‌های رسوب زدائی آن است که کارخانه متحمل خسارت‌های ناشی از توقف تولید و خرابی تجهیزات و همچنین هزینه راه‌اندازی دوباره دستگاه‌ها می‌شود [۲]. راه حل مناسب و درعین حال کاربردی برای پیشگیری از خوردگی و رسوب، اضافه کردن پیوسته مقدار مجاز یک بازدارنده رسوب (در حد ppm) به شربت قند رقیق، در حین گذر از تجهیزات مربوط به تبخیرکننده‌هاست [۴].

بازدارنده‌های رسوب به طور معمول شامل ترکیب‌های پلیمری هستند که به دلیل داشتن شاخه‌های بلند، یون‌ها را احاطه کرده و از تجمع آن‌ها و تشکیل مولکول‌های درشت قابل رسوب جلوگیری می‌کنند. هر چقدر طول زنجیر این ترکیب‌ها، بلندتر و قطبیت آن‌ها بیشتر باشد انتظار می‌رود بازده بیشتری در جلوگیری از رسوب داشته باشند.

در انتخاب بازدارنده باید ملاحظات زیر را در نظر گرفت:

۱- تاثیر منفی بر کیفیت محصول شکر نداشته باشد و درصد قند شربت را کاهش ندهد، ۲- دارای کاربردی در صنایع غذایی باشد تا موجب مسمومیت نشود، ۳- پایداری دمایی و ساختاری مناسبی در تبخیر کننده داشته باشد و تجزیه نشود [۶].

تشکیل رسوب در تبخیرکننده‌ها به دو علت صورت می‌گیرد:  
الف - وجود ترکیب‌هایی که میزان حلالیت آنها با افزایش دما نسبت عکس داشته و در دماهای بالا رسوب می‌نمایند.  
ب - واکنش‌های شیمیایی که در دمای بالا بین مواد غیرقندی موجود در شربت قند صورت می‌گیرد. در نتیجه این واکنش‌ها غلظت انواع نمک در تبخیرکننده‌ها بالا رفته و در نتیجه روی سطوح داغ داخلی رسوب می‌کنند [۲].

این رسوب‌ها به ۳ دسته عمده زیر تقسیم می‌شوند:  
۱- نمک‌های کلسیم برخی از آنیون‌ها، نظیر کلسیم فسفات، کلسیم سولفات، کلسیم اگزالات و کلسیم کربنات.

۲- اکسید فلزات، نظیر اکسیدهای منیزیم، آلومینیم و آهن.  
۳- رسوبات سیلیکاتی که بخش عمده رسوبات در بدنه‌های آخر تبخیرکننده‌ها را تشکیل می‌دهند.  
تشکیل رسوب در تبخیرکننده‌های کارخانه قند منجر به بروز مشکلات زیر می‌شود:

۱- رسوب‌ها به طور مستقیم و غیر مستقیم باعث خوردگی می‌شوند [۳]. خوردگی مستقیم به دلیل تجمع آنیون‌های مخرب مثل کلر و فسفر در زیر رسوب‌ها صورت می‌گیرد که هیدرولیز شدن آن‌ها منجر به تشکیل اسیدهای معدنی شبیه کلریدریک اسید و سولفوریک اسید می‌شود و با خوردگی شدید موضعی سوراخ شدن لوله‌ها را به همراه دارد. خوردگی غیرمستقیم به دلیل ایجاد پیل غلظتی اکسیژن در زیر رسوب و اطراف آن اتفاق می‌افتد. همچنین شرایط نسبت سطح نامطلوب (کاتد بزرگ و آند کوچک) برقرار می‌شود که نتیجه آن، خوردگی شدید در ناحیه زیر رسوب است.

۲- رسوب‌ها با جلوگیری در مقابل انتقال حرارت، یک شیب گرمایی ایجاد می‌کنند که منجر به تشکیل پیل خوردگی اختلاف دما، و افزایش شدت خوردگی می‌شود. در این پیل نقطه‌های گرم که زیر رسوب است در موقعیت آند و ناحیه‌های اطراف آن در موقعیت کاتد قرار می‌گیرد و در نتیجه ناحیه زیر رسوب دچار خوردگی شدیدی می‌شود [۳].

۳) حضور هر گونه رسوب در داخل تبخیرکننده باعث ایجاد پوشش بر سطوح انتقال حرارت و اتلاف انرژی می‌شود [۴].

قابلیت هدایت حرارتی مهم ترین رسوباتی که در تبخیرکننده‌ها ایجاد می‌شوند در جدول ۲ آورده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود این رسوب‌ها دارای ضریب هدایت حرارتی بسیار پایین تری نسبت به فلزهای سازنده تبخیرکننده‌ها هستند [۵].

جدول ۳ - ویژگی‌های فیزیکی بازدارنده‌ها.

Na-PCA	PMA	۷۵% PAA-۲۵% AMPSA	PAA	خاصیت فیزیکی
زرد	زرکم رنگ	زرد پررنگ	بی رنگ	رنگ ظاهری
بی بو	بی بو	تند و زننده	تند و زننده	بو
۶-۷	۲-۳	۳/۵-۴	۳-۵	pH
۱/۳۵	۱/۲	۱/۱۵	۱/۱۲	دانسیته در ۲۵°C (g/mL)
قابل حل	قابل حل	قابل حل	قابل حل	حلالیت در آب

(Na-PCA). یک دستگاه Oven, pH meter, Refractometer. بالن ژوژه در بدار ۱۰۰ cc، بورت ۲۵ cc، پیپت، کاغذ صافی (شماره ۴۳) و سایر لوازم آزمایشگاهی مورد نیاز برای اندازه‌گیری سختی. ویژگی‌های فیزیکی نمونه بازدارنده‌های رسوب مورد استفاده در آزمایش‌ها در جدول ۳ ملاحظه می‌شود.

### روش آزمایش

در ابتدا، برای آگاهی از میزان انحلال‌پذیری ترکیب‌های موجود در شربت قند، درجه Brix (درصد مواد جامد) و pH نمونه‌های شربت قند اندازه‌گیری شد. این دو عامل به‌طور مستقیم بر میزان تشکیل رسوب در تبخیرکننده‌ها اثر دارند. اندازه‌گیری Brix به‌وسیله دستگاه Refractometer و اندازه‌گیری pH به‌وسیله دستگاه pH meter انجام گرفت.

### اندازه‌گیری سختی

مطابق با روش استاندارد [۱]، ابتدا ۲۵ cc از نمونه شربت قند در یک بالن ژوژه ۱۰۰ cc با استفاده از آب مقطر به حجم رسانده شد تا محلول رقیق به‌دست آید. به این محلول، پس از افزودن و حل کردن یک عدد قرص بافر، ۲ cc آمونیاک غلیظ اضافه شد تا pH محلول به حدود ۱۰ افزایش یابد. محلول به‌دلیل وجود معرف اریوکرم بلاک تی<sup>(۱)</sup> در قرص بافر، قرمز رنگ شد. این محلول قرمز رنگ با کمک محلول ۰/۰۲ نرمال Na<sub>۲</sub>-EDTA تا ظهور رنگ سبز پایدار تیترا شد.

با استفاده از حجم مصرفی ترکیب مذکور و با استفاده از معادله (۱) سختی کل بر حسب mg/L کلسیم کربنات قابل محاسبه است [۱]:

$$\text{سختی} = \frac{V_{\text{Na}_2\text{-EDTA}} \times N_{\text{Na}_2\text{-EDTA}} \times 50 \times 1000}{V_{\text{نمونه}}} \quad (1)$$

که در آن V و N به ترتیب حجم و نرمالیت هستند.

(دمای شربت قند در بدنه‌های تبخیرکننده ۱۱۵-۶۰ °C و pH آن در حدود ۹-۶/۵ است [۱]).

برخی از مزیت‌های کاربرد مواد بازدارنده رسوب عبارتند از: ۱- افزایش طول عمر لوله‌های تبخیرکننده، ۲- کاهش هزینه‌ها و مواد شیمیایی لازم برای شستشو و رسوب زدایی، ۳- ایجاد تأخیر در زمان از کار افتادگی تجهیزات تبخیرکننده، ۴- رسوب‌هایی که بعد از استفاده از بازدارنده‌های رسوب به‌جای می‌مانند به مراتب نرم‌تر هستند و برطرف کردن آنها آسان‌تر است، ۵- بهبود بازده انتقال حرارت تبخیرکننده و بالا رفتن بازده تولید.

در این پژوهش عملکرد چهار نوع از مواد پلیمری بازدارنده رسوب با کاربری مناسب صنعت قند شامل: ۱- پلی اکریلیک اسید، ۲- ترکیب ۷۵٪ پلی اکریلیک اسید و ۲۵٪ آمینو متیل پروپیل سولفونیک اسید، ۳- پلی مالئیک اسید و ۴- نمک سدیم پلی کربوکسیلات، با یکدیگر مقایسه شده است تا یک ترکیب مناسب برای جلوگیری از رسوب در تبخیرکننده‌ها معرفی شود و تاثیر ساختار مولکولی آن‌ها بر جلوگیری از رسوب نیز بررسی شود.

### بخش تجربی

#### مواد و وسایل

شربت رقیق و شربت غلیظ چغندر قند و همچنین شربت قند مربوط به بدنه‌های مختلف تبخیرکننده که همگی از کارخانه قند ارومیه (نوع روبرت ۴ بدنه‌ای) تهیه شد، محلول‌های آمونیاک غلیظ، اتیلن دی آمین تترا استات (EDTA) و قرص بافر برای اندازه‌گیری سختی، مواد بازدارنده رسوب تهیه شده از کارخانه Kelien Chemical Co-China با پایه‌های: ۱- پلی اکریلیک اسید (PAA) [V]، ۲- ترکیب ۷۵٪ پلی اکریلیک اسید و ۲۵٪ آمینو متیل پروپیل سولفونیک اسید (۷۵٪ PAA، ۲۵٪ AMPSA)، ۳- پلی مالئیک اسید (PMA) و ۴- نمک سدیم پلی کربوکسیلات

(1) Eriochrome black T indicator

## اندازه‌گیری درصد بازدارندگی رسوب

بر اساس استاندارد [۸]، ابتدا ۴ بالن ژوزه cc ۱۰۰ به ترتیب از شربت قند بدنه های شماره ۱، ۲، ۳ و ۴ پر شد تا به عنوان نمونه‌های شاهد مورد استفاده قرار گیرد. سپس به وسیله میکروبییت به میزان ۱۰ ppm از محلول های بازدارنده شماره ۱، ۲، ۳ و ۴ به ۴ بالن ژوزه cc ۱۰۰ دیگر افزوده و آنها نیز از شربت قند بدنه‌های شماره ۱، ۲، ۳ و ۴ تا رسیدن به حجم مشخصه پر شدند.

در مرحله سوم، به منظور مقایسه بازده هر ۴ بازدارنده با یکدیگر و تعیین مقدار بهینه مصرفی آنها، به جای ۱۰ ppm از بازدارنده‌ها، به ترتیب از ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹ و ۲۰ ppm از هر بازدارنده، به‌طور جداگانه در بالنها ریخته و این بار تنها از شربت بدنه شماره ۳ پر شد (علت استفاده از شربت قند بدنه ۳ آن است که با افزایش غلظت شربت قند، حلالیت نمک‌های آهک (سختی) کاهش می‌یابد و رسوب‌دهی آنها بیشتر می‌شود. بنابراین حداکثر رسوب‌دهی در بدنه‌های ۳ و ۴ تبخیرکننده اتفاق می‌افتد [۱]). کلیه این محلول‌های تهیه شده به مدت ۲۴ ساعت در دمای  $71^{\circ}\text{C}$  ( $160^{\circ}\text{F}$ ) در آون قرار گرفتند تا رسوب‌دهی در آنها انجام شود. بعد از ۲۴ ساعت بالن ژوزه‌ها از آون خارج شده و ابتدا تمام محتویات آنها به‌طور جداگانه از کاغذ صافی شماره ۴۳ عبور داده شد تا املاح نامحلول موجود در آنها جدا شود. سختی هر کدام از نمونه‌ها مطابق روش استاندارد [۹] اندازه‌گیری شد. با کمک معادله (۲) درصد بازدارندگی رسوب، در هر کدام از نمونه‌ها به‌دست می‌آید [۱۰]:

$$\text{درصد بازدارندگی رسوب} = \frac{C_1 - C_2}{C_3 - C_2} \times 100 \quad (2)$$

که در آن  $C_1$  سختی شربت دارای بازدارنده رسوب، بعد از رسوب‌گیری و  $C_2$  سختی شربت بدون بازدارنده رسوب، بعد از رسوب‌گیری و  $C_3$  مقدار سختی شربت بدون بازدارنده رسوب، قبل از رسوب‌گیری می‌باشند. در انتها برای آگاهی از تاثیر استفاده از بازدارنده در غلظت‌ای بالا، آزمایش‌ها برای شربت بدنه ۳ در غلظت ۱۵۰ ppm برای هر بازدارنده رسوب تکرار شد تا اثرات جانبی احتمالی آنها شناسایی شود. شایان ذکر است جهت اطمینان از تکرارپذیری نتیجه‌ها، هر کدام از آزمایش‌ها سه بار تکرار شد و میانگین نتیجه‌ها گزارش شد.

## نتیجه‌ها و بحث

نتیجه‌های حاصل از اندازه‌گیری pH و  $^{\circ}\text{Brix}$  نمونه‌های شربت قند در جدول ۴ آورده شده است. همانطور که در این جدول

مشاهده می‌شود،  $^{\circ}\text{Brix}$  شربت قند رقیق ۱۶٪ است که پس از عبور از تبخیرکننده به ۶۱٫۷٪ می‌رسد و تبدیل به شربت قند غلیظ می‌شود. اما pH شربت قند رقیق با افزایش غلظت کاهش می‌یابد. نتیجه‌های حاصل از اندازه‌گیری سختی شربت های قند قبل و بعد از رسوب‌گیری و در حضور بازدارنده‌های مختلف در جدول ۵ ارائه شده است. درصد بازدارندگی مواد ضد رسوب در بدنه‌های شماره ۱، ۲، ۳ و ۴ که با استفاده از مقدارهای جدول ۵ و معادله (۲) محاسبه شده، در جدول ۶ آورده شده است. جدول ۶ نشان می‌دهد که در غلظت‌های برابر، محلول نمک سدیم پلی کربوکسیلات بالاترین بازده بازدارندگی و محلول پلی اکریلیک اسید کمترین بازده را داشته‌اند. در مرحله آخر به منظور تعیین مقدار بهینه مصرفی بازدارنده‌های رسوب مورد استفاده و همچنین مقایسه درصد بازدارندگی آنها از شربت قند بدنه شماره ۳ استفاده شد که نتیجه‌های به‌دست آمده از آزمایش‌ها در جدول ۷ و شکل ۲ آورده شده است. در مورد محلول پلی اکریلیک اسید افزایش غلظت مصرفی به مقدارهای بالاتر از ۱۹ ppm تاثیری در افزایش بازده عملکرد آن ندارد. مقدار بهینه مصرفی ترکیب بازدارنده رسوب ۷۵٪ پلی اکریلیک اسید و ۲۵٪ آمینو متیل پروپیل سولفونیک اسید برابر با ۱۸ ppm و در مورد محلول پلی مالئیک اسید برابر با ۱۶ ppm و در مورد محلول نمک سدیم پلی کربوکسیلات برابر با ۱۷ ppm می‌باشد.

فرمول ساختمانی مواد بازدارنده رسوب به‌کار رفته در این پژوهش در شکل ۱ آورده شده است. همچنین با توجه به شکل ۲ ملاحظه می‌شود که حداکثر درصد بازدارندگی رسوب برای محلول نمک سدیم پلی کربوکسیلات ۹۵٪ و برای محلول پلی مالئیک اسید برابر با ۸۵٪ است.

قدرت بیشینه بازدارندگی رسوب برای محلول پلی اکریلیک اسید در حدود ۵۴٪ است که اختلاف قابل توجهی با سایر ترکیب‌ها دارد. ساده‌تر بودن ساختمان مولکولی و شکل تقریباً متقارن ساختمان آن، قطبیت این مولکول را در مقایسه با سایر ترکیب‌ها کاهش می‌دهد. این کاهش قطبیت باعث کاهش قدرت احاطه‌کنندگی یون‌ها و در نتیجه، کاهش قدرت بازدارندگی می‌شود. اما در صورتی که به جای استفاده از پلی اکریلیک اسید از محلول ۷۵٪ پلی اکریلیک اسید و ۲۵٪ آمینو متیل پروپیل سولفونیک اسید استفاده شود، بازدارندگی رسوب تا حدود ۹۰٪ بالا می‌رود.

این موضوع نشان می‌دهد که افزودن AMPSA میزان قطبیت ترکیب پلیمری را افزایش داده و منجر به بالا رفتن بازده ممانعت از تشکیل رسوب می‌شود.

جدول ۴- نتیجه‌های اندازه‌گیری pH و Brix<sup>o</sup> نمونه‌های شربت قند.

شربت قند غلیظ	شماره بدنه تبخیرکننده				شربت قند رقیق	خاصیت اندازه گیری شده
	۴	۳	۲	۱		
۸,۴	۸,۴	۸,۶	۸,۷	۸,۹	۹	pH
۶۱,۷	۵۴	۴۸	۴۲	۳۳	۱۶	°Brix

جدول ۵ - مقدار سختی نمونه‌ای شربت قند.

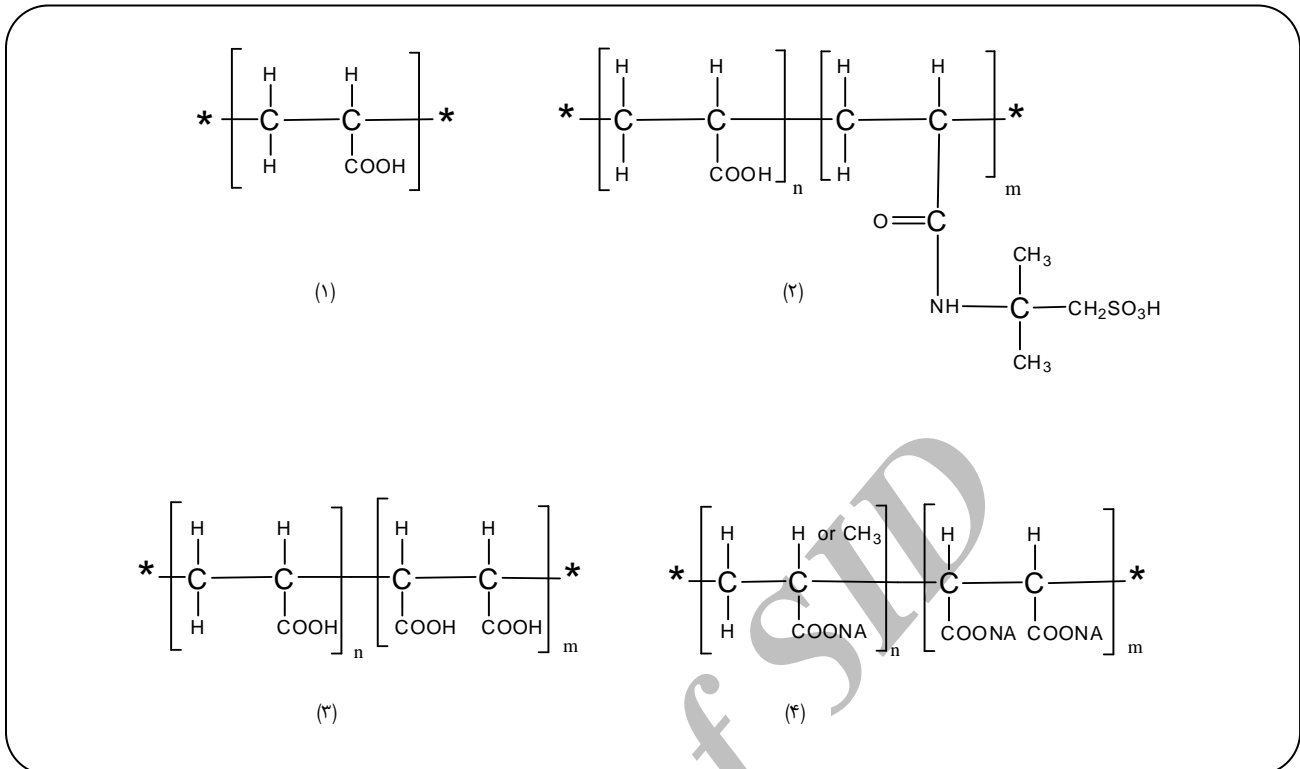
سختی اندازه گیری شده (ppm)						شماره بدنه تبخیرکننده
شربت بعد از رسوب گیری در حضور بازدارنده				شربت بعد از رسوب گیری	شربت قبل از رسوب گیری	
Na-PCA	PMA	۷۵% PAA-۲۵% AMPSA	PAA			
۱۱۳۳	۱۱۲۸	۱۱۵۰	۱۱۱۰	۱۱۰۰	۱۳۱۲	بدنه اول
۲۳۴۰	۲۳۳۰	۲۴۱۰	۲۳۰۰	۲۲۸۰	۲۴۸۰	بدنه دوم
۴۶۱۰	۴۶۱۰	۵۶۱۰	۴۲۰۰	۳۸۰۰	۶۵۰۰	بدنه سوم
۶۳۰۰	۵۹۱۰	۶۳۶۴	۵۹۰۰	۵۵۰۰	۶۷۰۰	بدنه چهارم

جدول ۶ - درصد بازدارندگی بازدارنده‌های رسوب در بدنه‌های تبخیرکننده شربت قند.

نوع بازدارنده				شماره بدنه تبخیرکننده
Na-PCA	PMA	۷۵% PAA-۲۵% AMPSA	PAA	
% ۲۹	% ۲۳	% ۴۰	% ۹	بدنه اول
% ۳۰	% ۲۵	% ۶۵	% ۱۰	بدنه دوم
% ۳۰	% ۳۰	% ۶۷	% ۱۵	بدنه سوم
% ۷۰	% ۳۴	% ۷۲	% ۳۳	بدنه چهارم

جدول ۷ - بازده عملکرد انواع بازدارنده‌ها در غلظت‌های مختلف.

درصد بازدارندگی رسوب به ازاء غلظت مصرفی بازدارنده (ppm)								نوع بازدارنده رسوب
۲۰	۱۹	۱۸	۱۷	۱۶	۱۵	۱۰	۰	
%۵۴	%۵۴	%۵۳	%۵۲	%۵۰	%۴۰	%۱۰	%۰	PAA
%۹۰	%۹۰	%۹۰	%۸۸	%۸۵	%۸۲	%۶۷	%۰	۷۵% PAA-۲۵% AMPSA
%۸۵	%۸۵	%۸۵	%۸۵	%۸۵	%۸۰	%۱۵	%۰	PMA
%۹۵	%۹۵	%۹۵	%۹۵	%۹۲	%۸۵	%۳۰	%۰	Na-PCA



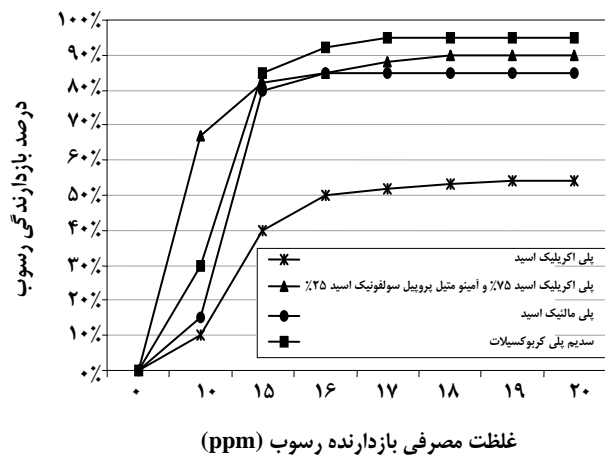
شکل ۱- فرمول ساختمانی مواد بازدارنده رسوب: (۱) پلی اکریلیک اسید، (۲) ترکیب ۷۵٪ پلی اکریلیک اسید و ۲۵٪ آمینو متیل سولفونیک اسید، (۳) پلی مالئیک اسید و (۴) سدیم پلی کربوکسیلات.

به عبارت دیگر افزودن بازدارنده‌های رسوب به صورت کنترل نشده و در مقدارهای زیاد، مشخصات ظاهری شربت قند را به صورت محسوسی تغییر می‌دهد.

برخی کارخانه‌های قند از وسایل اندازه‌گیری دقیق برای افزودن مواد بازدارنده رسوب برخوردار نیستند به همین جهت برای کاربردهای صنعتی غلظت مصرفی در حدود ۲۰-۳۰ ppm توصیه می‌شود.

### نتیجه‌گیری

تشکیل رسوب از مشکلات اساسی در تجهیزات مربوط به تبخیرکننده‌های کارخانه قند است که منجر به خوردگی زیررسوبی می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که می‌توان با تزریق مواد پلیمری بازدارنده رسوب به شربت قند در حال تبخیر، مانع از تشکیل رسوب و خوردگی ناشی از آن در این تبخیرکننده‌ها شد. هرچقدر گروه‌های عاملی قطبیت‌زا در ساختمان پلیمر بیشتر باشد بازده آن در جلوگیری از تشکیل رسوب بیشتر است. هرچند ترکیب شماره ۲ از ساختمان نامتقارن تری نسبت به نمک سدیم کربوکسیلیک اسید برخوردار است ولی به دلیل فعالیت بیشتر



شکل ۲- مقایسه عملکرد ۴ نمونه از مواد بازدارنده رسوب.

بررسی نمونه‌ها پس از افزودن غلظت‌های بسیار زیاد (۱۵۰ ppm) بازدارنده‌های رسوب نشان داد در این غلظت‌ها لخته‌هایی در شربت قند به وجود می‌آید که با تشکیل لایه‌هایی به صورت گل و لجن در ته ظرف، شربت قند را به یک محلول دو فاز تبدیل می‌کند. این محلول دو فاز در صنعت قند قابل فرآوری نیست.

در جلوگیری از تشکیل رسوب در تبخیرکننده شربت قند برخوردار است.  
 ۴- ساختار مولکولی با قطبیت بیشتر و با طول زنجیر بلندتر قدرت ترکیب پلیمری را برای جلوگیری از تشکیل رسوب افزایش می‌دهد.  
 ۵ - در کلیه ترکیب‌های تحت بررسی، افزایش غلظت به مقدارهای بیش از ۱۹ ppm تاثیری در بازده بازدارندگی آن‌ها ندارد.  
 ۶ - با توجه به مشکلات صنعتی در تزریق مواد، مقدار مصرفی بازدارنده‌های رسوب بصورت تقریبی در حدود ۳۰-۲۰ ppm توصیه می‌شود.  
 ۷- مصرف بیش از حد مواد بازدارنده رسوب می‌تواند موجب تغییر ویژگی‌های شربت قند شود.

عامل سدیم در ساختمان Na-PCA و همچنین به دلیل آنکه تمامی ترکیب AMPSA در ساختار مولکولی PMA امکان فعالیت کافی ندارد، در مجموع نمک سدیم کربوکسیلیک اسید از راندمان بازدارندگی بالاتری برخوردار است.  
 چکیده‌ای از نتیجه‌های به دست آمده از این پژوهش به شرح زیر است:  
 ۱- محلول بازدارنده با پایه نمک سدیم پلی کربوکسیلات می‌تواند با بازده ۹۵٪ از تشکیل رسوب در شربت قند جلوگیری کند.  
 ۲- ترکیب پلی اکریلیک اسید به تنهایی از بازده کمی در جلوگیری از رسوب برخوردار است.  
 ۳- ترکیب: ۷۵٪ پلی اکریلیک اسید، ۲۵٪ آمینو متیل پروپیل سولفونیک اسید با بازده بازدارندگی ۹۰٪ از بازده خوبی برخوردار است.

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۲/۲۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۱۱/۱۲

## مراجع

- [1] Asadi M., "Beet Sugar Handbook", Wiley, 1st ed., pp 315-316 & 634-636 (2006).
- [2] Hugot E., "Handbook of Cane Sugar Engineering", Elsevier, 3rd ed., pp 545-551 (1986).
- [3] Herro H.M., Port R.D., "The Nalco Guide to Cooling Water System Failure Analysis", Nalco Chemical Company – McGraw Hill-, pp 67-69 (1983).
- [4] Budhiraja P, Fares A.A., Studies of Scale Formation and Optimization of Antiscalant Dosing in Multi-Effect Thermal Desalination Units, *Desalination*, **220**, p. 313 (2008).
- [5] سیدرضی، سید محمد؛ "کنترل خوردگی در صنایع"، انجمن خوردگی ایران، چاپ دوم، جلد ۱، ص ۳۳۵-۳۳۶ (۱۳۷۶).
- [6] Miksic B.A., Furman A.Y., Kharshan M.A., Vapor Corrosion and Scale Inhibitors Formulated from Biodegradable and Renewable Raw Materials, "European Symposium on Corrosion Inhibitors", Ferrara-Italy, September (2005).
- [7] دلفی‌زاده، کریم؛ اهمیت رسوب‌زدایی و روش‌های جلوگیری از ایجاد رسوب در تبخیرکننده‌ها، "هفتمین همایش مراکز تحقیق و توسعه صنایع و معادن".
- [8] Hai-Yan Li, et al., Inhibition of Calcium and Magnesium-Containing Scale by a New Antiscalant Polymer in Laboratory Tests and A Field Trial, *Desalination*, **196**, p. 237 (2006).
- [9] ASTM D-11269: "Standard Test Method for Hardness in Water".
- [10] NACE Standard TM-0374: "Laboratory Screening Tests to Determine the Ability of Scale Inhibitors to Prevent the Precipitation of Calcium sulfate and Calcium Carbonate from Solution" (2001).