

مطالعه‌ی تجربی نقش مواد سطح فعال بر تشکیل ابر گرم در آزمایشگاه

حامد فهندژسعدی^{۱*}، عباسعلی علی‌اکبری بیدختی^۲، مریم قرایلو^۳، محمد حسین شوشتری^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد هواشناسی، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، تهران،

۲. دکتری دینامیک شارهای ژئوفیزیکی، استاد، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

۳. دکتری هواشناسی، استادیار، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

۴. کارشناسی ارشد هواشناسی، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

چکیده

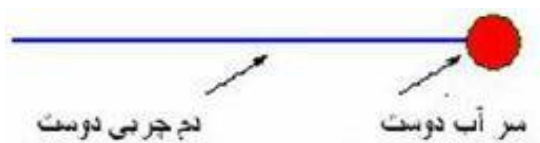
مواد سطح فعال به دلیل تأثیراتی که بر روی کدورت و مدت ماندگاری ابر دارند مورد توجه و مطالعه قرار گرفته‌اند. این تغییرات بر روی قطره‌های ابر منجر به تغییراتی در خواص فیزیکی ابر خواهد شد که در نتیجه موجب تأثیر گذاری بر سیستم آب‌وهوایی منطقه‌ای و جهانی می‌شود. در این مطالعه آزمایشگاهی، از مواد سطح فعال اسید استتاریک و استالدهید استفاده شده است که اثرات این دو ماده در غلظت‌های مختلف بر کدورت ابر گرم و همچنین مدت زمان ماندگاری ابر گرم مورد توجه قرار گرفته است. هواویزهای این دو ماده سطح فعال با روش حباب در محلول تولید شده است. تشکیل ابر گرم مصنوعی با استفاده از انبساط بی‌دررو انجام می‌شود. چیدمان آزمایشگاهی شامل یک محفظه ابر ۲۰ لیتری، سامانه اندازه‌گیری کدورت ابر متشکل از یک لیزر، آشکارساز، تقویت کننده و یک رایانه مجهز به مبدل برق است، به طوری که پرتو لیزر از میان ابر عبور می‌کند و به آشکارساز می‌رسد و بسته به کدورت ابر، سیگنال لیزر تغییر می‌کند. نتایج این آزمایش مربوط به ۵ غلظت (۲،۵، ۵، ۷،۵، ۱۰ و ۱۲،۵ ppm) دو ماده سطح فعال و حالت پایه (بدون ماده سطح فعال) است که برای افزایش دقت، هر یک از آزمایش‌ها ۴ بار تکرار شده است. به صورت کیفی با افزایش غلظت مواد سطح فعال، میزان کدورت در تمام غلظت‌ها نسبت به حالت پایه بیشتر است و تا غلظت خاصی روند افزایشی دارد. مدت زمان ماندگاری ابر برای اسید استتاریک در تمامی غلظت‌ها نسبت به حالت پایه کمتر است و برای استالدهید در ۳ غلظت آخر نسبت به حالت پایه افزایش می‌یابد. در مورد عدد بارش برای هر دو ماده مورد استفاده در تمامی غلظت‌ها نسبت به حالت پایه بیشتر است و در غلظت ۷،۵ ppm برای اسید استتاریک و در غلظت ۲،۵ ppm برای استالدهید مقادیر بیشینه عدد بارش اتفاق می‌افتد.

واژگان کلیدی: آزمایشگاهی، ابر گرم، کدورت ابر، مدت ماندگاری، مواد سطح فعال

مقدمه

بارندگی از ابرهای همرفتی در فصل خشک افزایش عمق ابر و بارش نیز گزارش شده است (Lin et al., 2006). بخشی از مواد آلی در هواویزهای جوی مواد سطح فعال^۳ هستند. این مواد با تغییرات در کشش سطحی قطره‌های جوی می‌توانند موجب تغییرات در تعداد قطره‌های تشکیل شده بشوند. در دهه‌های گذشته، مطالعات بیشتری در مورد ویژگی‌های این مواد آلی و تاثیرات آن‌ها بر سیستم آب‌وهوایی صورت گرفته است.

مواد سطح فعال موادی هستند که می‌توانند انرژی سطحی را بین سطوح به میزان زیادی تغییر دهند. خاصیت مواد سطح فعال ناشی از دو خصلتی بودن ساختمان مولکولی آنها است به این معنی که همزمان دارای گروه‌های دافع آب که نقش دم را دارد و گروه‌های جاذب آب که نقش سر را دارد می‌باشند (شکل ۱)، بنابراین به تناسب ساختار مولکولی در حلال‌های آلی و آب حل می‌شوند و باعث کاهش کشش سطحی در فصل مشترک هوا-آب و یا روغن-آب می‌شوند.



شکل ۱. نمونه‌ای از یک ماده سطح فعال

قسمت آب‌گریز معمولاً یک زنجیر کربنی است که شامل ۸ تا ۱۸ کربن است و منابع آب‌گریز به طور معمول عبارتند از: چربی‌ها و روغن‌های طبیعی، اجزای نفتی، پلیمرهای مصنوعی نسبتاً کوتاه و یا الکل‌های مصنوعی با وزن مولکولی نسبتاً بالا. کشش سطحی ناشی از اختلاف جاذبه بین مولکول‌های یکسان و جاذبه بین مولکول‌های غیر یکسان است. در داخل مایع، نیروهای پیوستگی یکدیگر را خنثی می‌کنند ولی در سطح آزاد مایع نیروهای پیوستگی که از پایین اثر می‌کنند از نیروهای چسبندگی محل تماس مایع و گاز بیشتر می‌شود. به دلیل تفاوت این نیروها مرز دو شاره شبیه یک پوسته تحت کشش عمل می‌کند. کشش سطحی خاصیتی است که مربوط به دو شاره است و بخاطر وجود دو فاز کنار هم می‌باشد.

هواویزهای اجوی نقش بسیار مهمی در سیستم آب-وهوای کره‌ی زمین ایجاد می‌کنند که ناشی از نقش آنها به شکل مستقیم و غیر مستقیم در شکل‌گیری ابرها و بودجه‌ی کل تابشی است. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی این هواویزها نقش مهمی در شکل‌گیری، رشد قطرات، طول عمر و سپیدی ابرها دارد که تاکنون سوالات بی‌پاسخ زیادی در مورد چگونگی تنوع ترکیبات جوی و چگونگی تاثیر آنها بر سیستم آب‌وهوایی به وجود آمده است.

با توجه به افزایش فعالیت‌های بشر محتوای هواویزهای جوی افزایش یافته است (Houghton et al., 2001). هواویزهای جوی شامل مخلوطی از مواد آلی و غیر آلی هستند (Murphy et al., 2006) که مواد آلی بخش قابل توجهی از هواویزهای ورودی را تشکیل می‌دهند در نتیجه بر فعالیت هسته‌های میعان ابر^۲ تاثیر زیادی دارند. با وجود این مواد، کاهش کشش سطحی نسبت به آب خالص در نمونه‌های مختلفی از ابر موجود در جو و آب و مه نشان داده شده است (Fachini et al., 1999, 2000) و همچنین در استخراج طیف گسترده‌ای از منابع و محیط‌های حاوی آب از جمله زغال سنگ سوزان (Simoneit and Oros, 2000)، محیط‌های دریایی (Mochida et al., 2002) محیط‌های آلوده (Kiss et al., 2005) و محیط‌های آلوده (Taraniuk and Dinar, 2006) ذرات معلق در جو یافت شده است. تاثیرات ذرات هواویز روی خواص فیزیکی ابر مثل شکل‌گیری و اندازه قطرات ابر و از این رو بر خواص پراکندگی قطرات ابر تایید شده است (Houghton et al., 2001). افزایش بارش تا ۳۰٪ از ابر گرم ایجاد شده توسط گازهای گلخانه‌ای از کارخانه‌ی تولید کاغذ مشاهده شده است (Hobbs et al., 1970). تجزیه و تحلیل ابرهای همرفتی و مشخص کردن تاثیرات سینماتیکی آلودگی هوا شامل هواویزهای سوخته شده نشان می‌دهد که اندازه قطرات ابر حدود ۲۰٪ کاهش می‌یابد (Koren et al., 2005). در مطالعه‌ای در مورد اثر آتش‌سوزی جنگل در آمازون در مورد

1. Aerosols
3. Surface active agent

2. Cloud condensation nuclei

انرژی آزاد گیبس کل سیستم، مجموع انرژی‌های آزاد گیبس بخار و مایع به اضافه‌ی اثر ناشی از کشش سطحی به صورت زیر است:

$$G_i - G_0 = -\frac{4}{3}\pi r^3 \rho_l R_v T \ln\left(\frac{e}{e_s}\right) + 4\pi r^2 \sigma \quad (1)$$

اگر انرژی آزاد گیبس، تابعی از r در نظر گرفته شود:

$$G_i(r) = G_0 - \beta r^3 + \alpha r^2 \quad (2)$$

با مشتق گرفتن از این رابطه می‌توان شعاع بحرانی حاصل از آن را به دست آورد که به صورت زیر به دست می‌آید

$$r = \frac{2\alpha}{3\beta} = \frac{2\sigma}{\rho_l R_v T \ln\left(\frac{e}{e_s}\right)} \quad (3)$$

ماکزیمم در شعاع a دارد.

سرعت پایانه‌ی سقوط هواویزهای جامد یا مایع کروی

(قطرک) از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود (Hobbs, ۲۰۰۶)

(Wallace and

$$r = \frac{2}{9} \frac{g \rho r^2}{\eta} \quad (4)$$

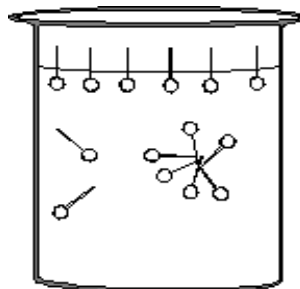
چگالی قطرک، r شعاع قطرک و η وشکسانی هواست.

حال با توجه به معادله‌ی (۳) شعاع به دست آمده رابطه مستقیم با کشش سطحی دارد که می‌توان نتیجه گرفت که با کاهش کشش سطحی در واقع شعاع بحرانی قطرک کاهش پیدا کرده است و همچنین با توجه به معادله‌ی (۴) با کاهش شعاع بحرانی سرعت سقوط قطرک‌ها کاهش پیدا می‌کند که در نتیجه موجب افزایش مدت زمان ماندگاری می‌شود. به این ترتیب می‌توان زمان ماندگاری قطرک‌های ابر را معیاری برای توزیع اندازه قطرک‌های ابر در نظر گرفت.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر مواد سطح فعال در واداشت‌های آب و هوا، از اسید استئاریک^۸ و استالدهید بر تشکیل ابر گرم و تغییرات آن در آزمایشگاه استفاده شد. برای این کار یک چیدمان آزمایشگاهی متشکل از یک محفظه ابر، دستگاه‌های اندازه‌گیری و ثبت داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت. اساس کار

در هر مورد انتهای آب‌دوست ماده سطح فعال به شدت مولکول‌های آب را جذب می‌کند و انتهای آب‌گریز جاذبه‌ی کمی با مولکول‌های آب دارد. در نتیجه مولکول‌های یک ماده سطح فعال به گونه‌ای درون مایع و سطح مایع مرتب می‌شوند که انتهای آب‌دوست درون مولکول‌های آب و انتهای آب‌گریز دور از مولکول‌های آب قرار می‌گیرند (شکل ۲).



شکل ۱. ماده سطح فعال در آب

تعداد زیادی مولکول ماده سطح فعال می‌توانند در توده محلول به هم وصل شده و تشکیل توده‌ای (گروهی که درون مایع تشکیل می‌شود) به نام میسل^۱ بدهند.

مهمترین مواد سطح فعال جوی عبارتند از اسیدهای آلی، اسیدهای کربوکسیلیک^۲ با زنجیره کوتاه، اسیدهای چرب با زنجیره‌های بلند، پروتئین‌ها، ترکیبات آلی چند منظوره و همچنین اکسیداسیون و محصولات ثانویه مانند متیل گلیوکسال^۳، فرمالدئید^۴ و استالدهید^۵. سرگروه آب‌دوست در مواد سطح فعال جو می‌تواند اسیدهای کربوکسیلیک، الکل‌ها، آلدئیدها، کتون‌ها، استرها و یا گروه‌های عاملی آمین^۶ باشد (Gill et al., 1983).

به منظور اندازه‌گیری میزان رشد یا تبخیر، دانستن نیروی لازم برای گسترش سطح قطرک، مورد نیاز است. بنابراین بررسی اثر کشش سطحی روی قطرک ابر ضروری است. برای اینکه اثر کشش سطحی مورد بررسی قرار گیرد تابع انرژی آزاد گیبس^۷ معرفی می‌شود.

1. Micelle
3. Methylglyoxal
5. Acetaldehyde
7. Gibbs

2. Carboxylic
4. Formaldehyde
6. Amine functional groups
8. Stearic acid

هوایزهای محیط تشکیل می‌شود که باعث شکل‌گیری ابر مصنوعی می‌شود.

$$\text{رابطه (۶)} \quad \frac{dT}{T} = \frac{R}{c_p} \frac{dP}{P}$$

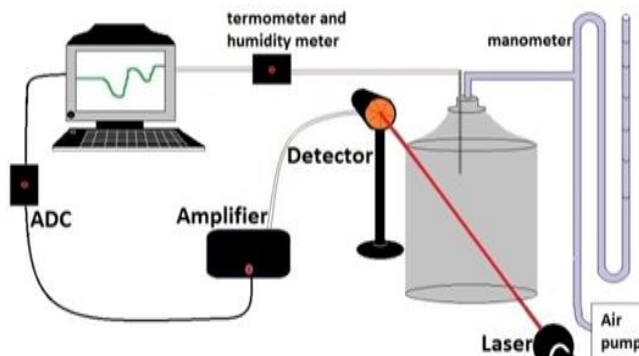
درون محفظه شیشه‌ای مقدار یک لیتر آب مقطر ریخته می‌شود. قبل از هر مرحله آزمایش باید درب محفظه به مدت دست کم ۵ دقیقه باز باشد تا هوایزهای هوای داخل محفظه با هوای محیط آزمایشگاه به تعادل برسد. این زمان به صورت تجربی به دست آمده است و به اندازه قطر در ورودی محفظه ابر و شرایط محیط مثل میزان تلاطم هوای محیط و دما بستگی دارد. به آب درون محفظه‌ی شیشه‌ای در بار اول ۵ قطره از ماده استالدهید اضافه می‌کنیم که معادل ۲,۵ ppm است سپس با استفاده از روش ایجاد حباب به کمک یک پمپ الکتریکی و توسط یک لوله به مدت ۲ دقیقه درون محلول هوا دمیده می‌شود، هوایزهای مواد سطح فعال در داخل هوای محفظه پخش می‌شود. پس از آن درب محفظه بعد از جایگیری حسگرهای رطوبت و دما بسته می‌شود. این حسگرها به کامپیوتر متصل هستند و دما و رطوبت را در هر یک ثانیه در کامپیوتر ثبت می‌کنند. یک لیزر و آشکارساز به فاصله ۵۰ سانتی‌متر از آن، طوری قرار داده شده است که پرتو لیزر از میان محفظه ابر عبور می‌کند و به آشکارساز می‌رسد. توان پرتو لیزر نسبتاً یکنواخت است. آشکارساز به تقویت کننده متصل است و به یک برد مبدل آنالوگ به دیجیتال که در کامپیوتر نصب شده است، وصل می‌شود. توان پرتو لیزر هر ثانیه ۴ بار در کامپیوتر ثبت می‌شود. شمای کلی چیدمان آزمایش در شکل ۳ آورده شده است.

این پژوهش، تشکیل ابر گرم در یک محفظه‌ی شیشه‌ای ۲۰ لیتری با استفاده از دو نوع هوایز یعنی هوایزهای محیط و هوایزهای ایجاد شده از این دو ماده سطح فعال در ۵ غلظت متفاوت (۲,۵، ۵، ۷,۵، ۱۰، ۱۲,۵ ppm) به همراه حالت پایه (بدون ماده سطح فعال) است.

اگر فشار بخار هوا را e بنامیم، آبراشباع (به درصد) در ارتباط با آب مایع از رابطه (۵) محاسبه می‌شود:

$$\text{رابطه (۵)} \quad \left(\frac{e}{e_s} - 1 \right) \times 100$$

که در آن، e_s فشار بخار اشباع است. ابرها وقتی تشکیل می‌شوند که هوا آبراشباع شود. رایج‌ترین راه تولید آبراشباع استفاده از صعود بسته هوا است که در نتیجه آن، هوا منبسط و به صورت بی‌دررو سرد می‌شود. در این آزمایش برای تشکیل ابر، شرایط آبراشباع را در داخل یک محفظه ایجاد کردیم و چون امکان صعود بسته هوا وجود ندارد فشار هوا را در داخل محفظه توسط یک پمپ هوا تا ۱۲۰ میلی بار افزایش داده می‌شود. دمای داخل محفظه بر اثر افزایش فشار و با پیروی از حالت بی‌درروی معادله انرژی ترمودینامیکی (۶) حدود ۲ درجه افزایش پیدا می‌کند. که در آن، T دما و P فشار هوا است. براساس این معادله، تغییر کوچکی در دما و فشار به طور مستقیم با هم متناسب هستند. باید حدود ۵ دقیقه صبر کرد تا دما به تعادل برسد و هوای داخل محفظه ابراشباع شود. برای آنکه دمای هوای آبراشباع را به صورت بی‌دررو کاهش دهیم باید فشار داخل محفظه به صورت آبی برداشته می‌شود و در نتیجه طبق معادله‌ی (۶) دما کاهش پیدا می‌کند. در نتیجه ابر گرم با میعان بخار آب بر روی



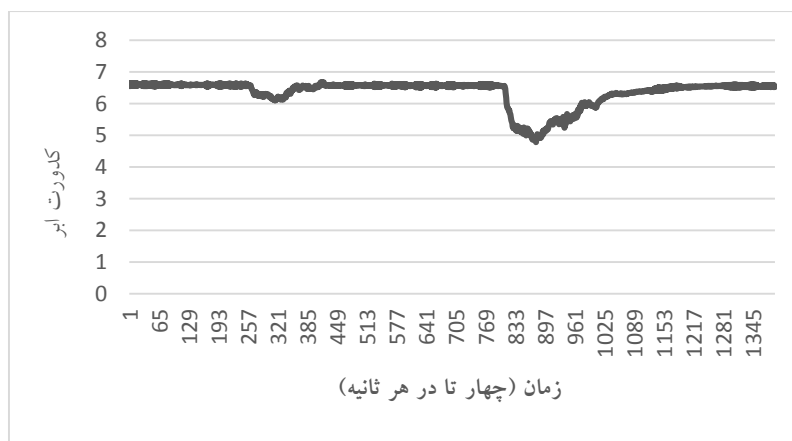
شکل ۳. شمای چیدمان آزمایش

ناوه اول در نمودار، مربوط به زمانی است که هوای داخل محفظه توسط پمپ متراکم می‌شود و ناهه دوم که بزرگ‌تر است مربوط به لحظه تشکیل ابر است که پرتو لیزر توسط قطره‌های ابر پراکنده شده و با شدت کمتری به آشکارساز می‌رسد. از روی این نمودار می‌توان مدت زمان ماندگاری قطره‌های ابر و همچنین کدورت ابر تشکیل شده را به دست آورد. هر چه مدت زمان بازگشت نمودار به تراز شدت قبلی بیشتر باشد نشان دهنده این است که ابر دیرتر پاک شده و ماندگاری قطره‌های ابر بیشتر بوده است. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که توزیع اندازه قطره‌های ابر کوچک‌تر بوده است. همچنین هر چه ناهه در نمودار عمق بیشتری داشته باشد نشان دهنده این است که ابر از کدورت بیشتری برخوردار است.

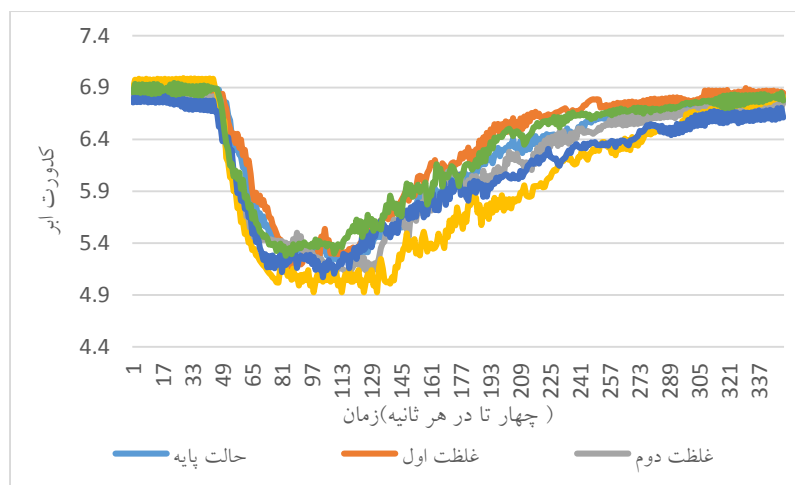
هنگامی که ابر مصنوعی در اثر انبساط بی‌دررو شکل می‌گیرد، پرتو قرمز رنگ لیزر به خاطر برخورد با قطره‌های ابر و پراکنده شدن دیده می‌شود و همزمان شدت پرتوی ثبت شده کاهش می‌یابد و یک ناهه در نمودار سیگنال پرتو لیزر به وجود می‌آید. در ادامه، آزمایش‌ها با ۴ غلظت دیگر (۷,۵، ۱۰ و ۱۲,۵ ppm) به صورت مشابه غلظت اول انجام شد. برای از بین بردن اثر خطا، هر آزمایش ۴ بار تکرار شد و از نتایج میانگین‌گیری شده است.

نتایج و بحث

شکل ۴ نمونه‌ای از نمودار مربوط به سیگنال لیزری که از میان ابر می‌گذرد و به آشکارساز می‌رسد را نشان می‌دهد.



شکل ۴. نمودار تغییرات زمانی کدورت ابر



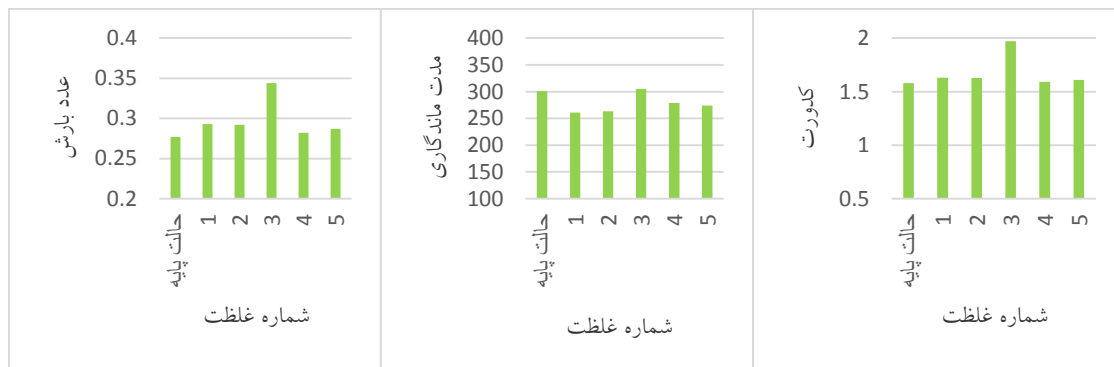
شکل ۵. کدورت ابر برای اسید استناریک در ۵ غلظت

در شکل ۵ نمودار مربوط به اسید استتاریک در ۵ غلظت متفاوت به همراه حالت پایه نشان داده شده است.

از روی نمودار شکل ۵ می‌توان اطلاعات مربوط به کدورت ابر (شکل ۶) و مدت زمان ماندگاری ابر (شکل ۷) را محاسبه کرد. برای فهمیدن میزان بارورسازی ابر می‌توان از

رابطه (۷) $K = \frac{C}{\ln(t)}$ در این رابطه C میزان کدورت ابر، t مدت ماندگاری ابر و K عدد بارش است.

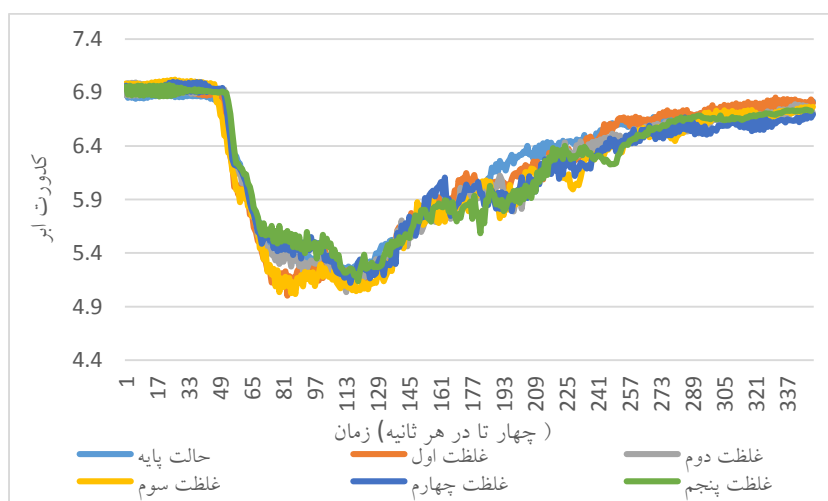
بیشینه‌ای برای میزان کدورت و مدت ماندگاری ابر گرم در شرایط آزمایشگاهی مشاهده می‌شود.



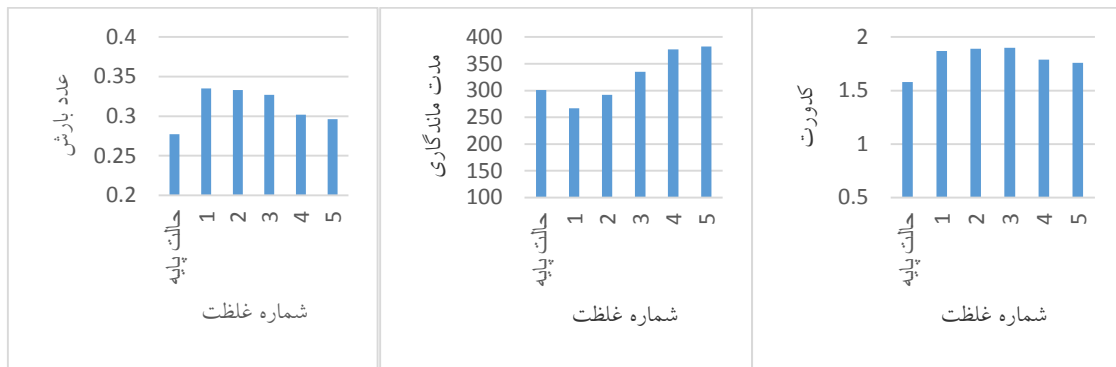
شکل ۶: کدورت ابر (اسید استتاریک) شکل ۷: زمان ماندگاری ابر (اسید استتاریک) شکل ۸: عدد بارش (اسید استتاریک)

در شکل ۹ نمودار مربوط به استالدهید در ۵ غلظت متفاوت به همراه حالت پایه نشان داده شده است. با توجه به شکل ۹ می‌توان اطلاعات مربوط به کدورت ابر (شکل ۱۰)، مدت زمان ماندگاری ابر (شکل ۱۱) و همچنین عدد بارش (شکل ۱۲) را محاسبه کرد.

همانطور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود میزان کدورت ابر برای تمامی غلظت‌ها نسبت به حالت پایه بیشتر است و این به دلیل ویژگی ماده اسید استتاریک در کاهش کشش سطحی در سطح قطره‌ها است که این خود موجب شکل‌گیری تعداد قطره‌های بیشتر است. با توجه به شکل ۷ مقدار بیشینه زمان ماندگاری در غلظت ۷,۵ ppm مشاهده می‌شود. با توجه به شکل ۸ مقدار عدد بارش ابر در غلظت ۷,۵ ppm به صورت بیشینه است و در همین غلظت مقدار



شکل ۹: کدورت ابر برای استالدهید در ۵ غلظت



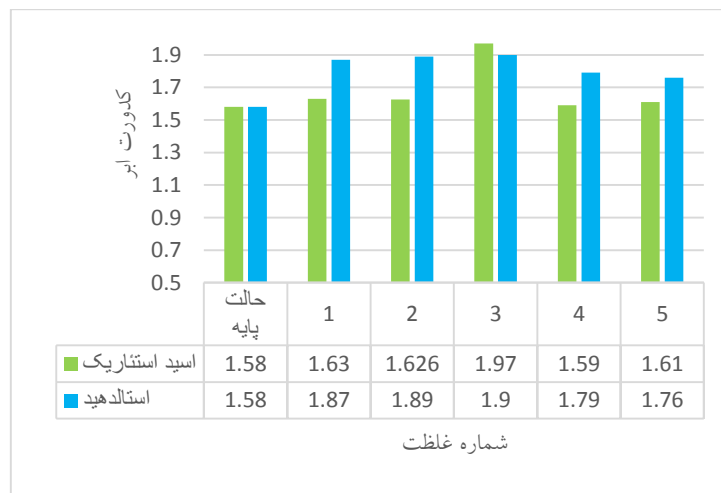
شکل ۱۰. کدورت ابر(استالدهید)

شکل ۱۱. زمان ماندگاری ابر(استالدهید)

شکل ۱۲. عدد بارش(استالدهید)

کوچکتر شدن اندازه قطرات است. کاهش اندازه قطرها موجب دیرتر سقوط کردن قطرات و افزایش مدت زمان ماندگاری می‌شود. با توجه به شکل ۱۲ میزان عدد بارش در غلظت ۲,۵ ppm به صورت بیشینه است و تا غلظت ۱۲,۵ ppm سیر نزولی را طی می‌کند با این وجود مقدار عدد بارش برای تمامی غلظت‌ها از حالت پایه بیشتر است. برای مقایسه تاثیرات مختلف ۲ ماده استالدهید و اسید استناریک نسبت به هم، نمودار تغییرات آنها با یکدیگر رسم شده است (شکل ۱۳).

همانطور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود میزان کدورت ابر برای تمامی غلظت‌ها نسبت به حالت پایه بیشتر است و این به دلیل ویژگی ماده استالدهید در تغییرات کشش سطحی در سطح قطرها است که موجب شکل‌گیری تعداد قطرها-های بیشتر است. میزان کدورت از حالت پایه تا غلظت سوم (۷,۵ ppm) حالت صعودی دارد و بعد از آن سیر نزولی دارد، و بیشینه مقدار کدورت در ۷,۵ ppm اتفاق افتاده است. با توجه به شکل ۱۱ مدت زمان ماندگاری ابر روند صعودی را طی می‌کند تا غلظت ۱۰ ppm و بعد از آن حالت ثابت به خود می‌گیرد که به دلیل کاهش کشش سطحی و در نتیجه

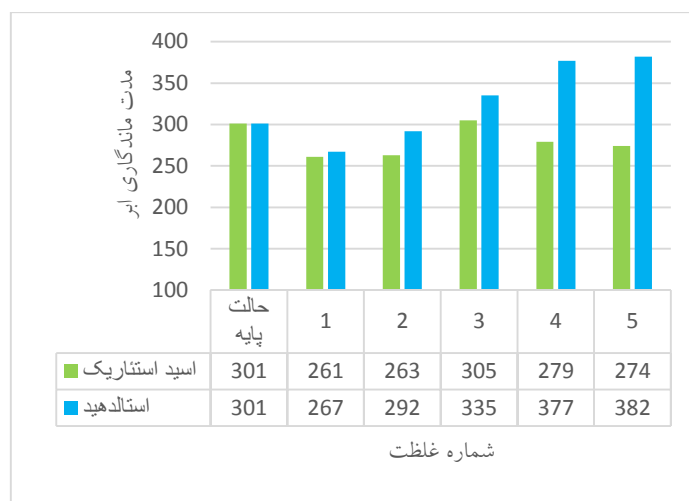


شکل ۱۳. مقایسه کدورت اسید استناریک و استالدهید

استناریک بیشتر است به جز در غلظت ۷,۵ ppm که تفاوت کمی مشاهده می‌شود. این تفاوت‌ها ناشی از تفاوت کاهش کشش سطحی ایجاد شده در آب می‌باشد، در واقع کاهش

همان طور که در شکل ۱۳ مشاهده می‌شود میزان کدورت این دو ماده با یکدیگر مقایسه شده است. میزان کدورت استالدهید در تمامی غلظت‌ها نسبت به اسید

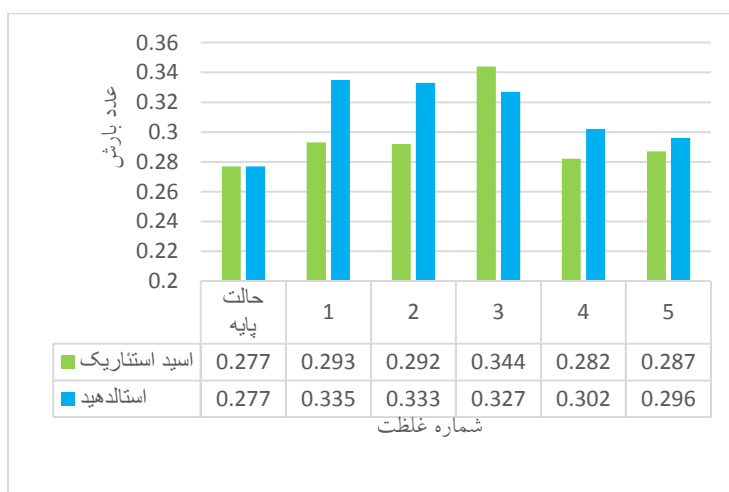
کاهش سطحی ایجاد شده در اثر استفاده استالدهید نسبت به اسید استتاریک بیشتر است که این تفاوت، موجب شکل‌گیری قطرات کوچکتر ولی با تعداد بیشتر است، که این امر موجب افزایش کدورت می‌شود.



شکل ۱۴. مقایسه مدت ماندگاری اسید استتاریک و استالدهید

می‌شود. دلیل این افزایش ماندگاری در استالدهید مربوط به کاهش کشش سطحی بیشتر توسط این ماده نسبت به اسید استتاریک است که موجب شکل‌گیری قطراتی با اندازه کوچکتر شده است.

همان‌طور که در شکل ۱۴ مشخص است مدت ماندگاری ابر برای تمامی غلظت‌های مختلف استالدهید نسبت به اسید استتاریک بیشتر است و این تفاوت بیشتر در غلظت‌های چهارم (۱۰ ppm) و پنجم (۱۲٫۵ ppm) مشاهده



شکل ۱۵. مقایسه عدد بارش اسید استتاریک و استالدهید

استتاریک بیشتر است. در مجموع میزان تأثیرات مدت ماندگاری و غلظت ابر در عدد بارش نشان داده شده است که

همان‌طور که در شکل ۱۵ مشاهده می‌شود میزان عدد بارش در بیشتر غلظت‌ها برای استالدهید نسبت به اسید

4. Facchini, M., Mircea, M., Fuzzi, S., and Charlson, R., 1999, Cloud Albedo Enhancement by Surface-Active Organic Solutes in Growing Droplets, *Nature*, 401, 257–259.
5. Gill, P. S., Graedel, T. E., and Weschler, C. J., 1983, Organic Films on Atmospheric Aerosol-Particles, Fog Droplets, Cloud Droplets, Raindrops, and Snowflakes, *Rev. Geophys.*, 21, 903–920.
6. Gill, P. S., T. E. Graedel and C. J. Weschler, 1983, Organic Films on Atmospheric Aerosol-Particles, Fog Droplets, Cloud Droplets, Raindrops, and Snowflakes, *Reviews of Geophysics*, 21(4), 903-920.
7. Hobbs, P. V., L. F. Radke, and S. E. Shumway, 1970, Cloud condensation nuclei from industrial sources and their apparent influence on precipitation in Washington State, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 27 (1), 81–89.
8. Houghton, J. T., Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. V. der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C. A. Johnson (2001), IPCC, 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, United Kingdom, New York, USA, Cambridge University Press, 881, 9.
9. Kiss, G., Tomb'acz, E., and Hansson, H.-C., 2005, Surface Tension Effects of Humic-Like Substances in the Aqueous Extract of Tropospheric Fine Aerosol, *J. Atmos. Chem.*, 50, 279–294.
10. Koren, I., Y. Kaufman, D. Rosenfeld, L. Remer, and Y. Rudich, 2005, Aerosol invigoration and restructuring of Atlantic convective clouds, *Geophysical Research Letters*, 32 (14).
11. Lin, J. C., T. Matsui, R. A. P. Sr, and C. Kummerow, 2006, Effects of biomass burning-derived aerosols on precipitation and clouds in the Amazon Basin: a satellite-based empirical study, *Journal of Geophysical Research – Atmospheres*, 111, D19.
12. Lohmann, U. and Feichter, J., 2005, Global indirect aerosol effects: a review, *Atmos. Chem. Phys.*, 5, 715–737.
13. Mochida, M., Y. Kitamori, K. Kawamura, Y. Nojiri and K. Suzuki, 2002, Fatty acids in the marine atmosphere: Factors governing their concentrations and evaluation of organic films on sea-salt particles, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 107(D17), 4325-4334.

هر دو مورد تحت تاثیرات کاهش کشش سطحی قرار گرفته- اند.

نتیجه‌گیری

میزان کدورت ابر برای تمامی غلظت‌ها اسید استتاریک و استالدهید نسبت به حالت پایه بیشتر است و حداکثر مقدار در غلظت ۷,۵ ppm اتفاق می‌افتد. در تمامی غلظت‌های اسید استتاریک مدت زمان ماندگاری نسبت به حالت پایه کاهش پیدا کرده و یا حالت تساوی دارد. اما در مورد استالدهید در دو غلظت اول (۲,۵ ppm) مدت ماندگاری کمتری نسبت به حالت پایه دارد و در غلظت‌های بعدی این مقدار افزایش می‌یابد همچنین میزان عدد بارش در تمامی غلظت‌ها برای اسید استتاریک و استالدهید نسبت به حالت پایه بیشتر است. نتایج بدست آمده در این تحقیق همخوانی زیادی با تحقیق انجام شده توسط نها سرینا و همکارانش در مورد افزایش کدورت و مدت ماندگاری ابر در مورد ماده استالدهید دارد (Neha Sareen et al., 2012). در مقایسه استالدهید و اسید استتاریک در غلظت‌های مساوی با یکدیگر میزان کدورت، ماندگاری ابر و همچنین عدد بارش ایجاد شده توسط استالدهید در بیشتر غلظت‌ها تاثیرات بیشتری نسبت به اسید استتاریک مشاهده می‌شود.

منابع

1. Dinar, E. and Taraniuk, I., 2006, Cloud Condensation Nuclei properties of model and atmospheric HULIS, *Atmos. Chem. Phys.*, 6, 2465– 2481.
2. Facchini, M., Decesari, S., Mircea, M., Fuzzi, S., and Loglio, G., 2000, Surface Tension of Atmospheric Wet Aerosol and Cloud/Fog Droplets in Relation to their Organic Carbon Content and Chemical Composition, *Atmos. Environ.*, 34, 4853–4857.
3. Facchini, M., Decesari, S., Mircea, M., Fuzzi, S., and Loglio, G., 2000, Surface Tension of Atmospheric Wet Aerosol and Cloud/Fog Droplets in Relation to their Organic Carbon Content and Chemical Composition, *Atmos. Environ.*, 34, 4853–4857.

14. Murphy, D. M., Cziczo, D. J., Froyd, K. D., Hudson, P. K., Matthew, B. M., Middlebrook, M., Peltier, R. E., Sullivan, A., Thomson, D. S., and Weber, R. J., 2006, Single-particle mass spectrometry of tropospheric aerosol particles, *J. Geophys. Res.*, 111, D23S32.
15. Oros, D. and Simoneit, B., 2000, Identification and emission rates of molecular tracers in coal smoke particulate matter, *Fuel*, 79, 515– 536.
16. Sareena, N., Schwiera, A. N., Iathem, T. I., Nenesb, A., and Mcneilla, V. F., 2012, Surfactants from the gas phase may promote cloud droplet formation, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(8), 2723–2728.
17. Shoushtari, M. H., Naji, F., and Aliakbari-Bidokhti, A. A. (2013). A laboratory study of the role of ions in warm cloud formation. *Journal of the earth and space physics*, 39 (4), 123-134.
18. Wallace, J. M., & Hobbs, P. V. (2006). *Atmospheric science: an introductory survey* (Vol. 92). Academic press.