دستاوردهای کاربردی فیزیک و فناوری‌های مدرن در تغییر اقلیم

آرزو جهانشیر

مرکز آموزش عالی فنی و مهندسی بویین زهرا، گروه فیزیک و مهندسی فیزیک

jahanshir@bzte.ac.ir

Archive of SID

چکیده

وضعیت گرمایش جهانی و تغییر اقلیم مناطق مختلف جهان، منجر به توجه بیشتر مجامع علمی به بحران‌های آتیِ ناشی از خشکسالی و تغییر شرایط آب و هوایی در مناطق کوهستانی، کویری و غیره شده‌است. کنترل دلخواه آب و هوای محلی و منطقه‌ای، مستقیما وابسته به شناخت اندرکنش‌های ذرات در جو است. تسلط کامل بر این فرایندها در استفاده‌ی بهینه و اثر بخش از تجهیزات و فناوری‌های مدرن ضرورت دارد. جستجوی روش علمی و موثر بر وضعیت جو، یکی از چالشهای بنیادین در عصر حاضر می‌باشد که به فراخور هدف و علت مداخله در آن، طراحی تجهیزات در سه غالبِ یونیزاسیون الکترودی، امواج الکترومغناطیسی و امواج لیزری شکل گرفته‌است. مباحث تغییر اقلیم از باروری ابرها تا کنترل شرایط جوی در کشورهای توسعه یافته و پیشرفته، بخش عظیمی از بودجه‌های تحقیقاتی را به خود اختصاص داده‌است. در کشورهای پیشرفته از روش‌هایِ متفاوت باروری ابرها و تغییر اقلیم محلی و منطقه‌ای استفاده می‌شود که با چشم اندازهای مدیریتی و آینده‌پژوهانه به این مقوله، سعی در گسترش تحکّم و قدرت استراتژیکی- نظامی خود دارند. به همین دلیل شناخت تجهیزات مدرنِ موثر بر جو و بررسی مکانیزم عمل آنها در مدیریت اقلیمِ کشورهای در حال توسعه در بهبود شرایط اقلیم محلی و منطقه‌ای نقش مهمی در استحکام و حرکت جهشی به سمت پیشرفت و توسعه‌ی پایدار خواهد داشت. با توجه به اثر و اندرکنش ذراتِ جو، در منابع علمی اخیر استفاده از میدانهای قوی الکتریکی از سطح زمین، به دلیل کم هزینه بودن و راحتی اجرای طرح‌های کاربردی آن مورد توجه قرار گرفته‌است. در تمامی الگوها و طرح‌های پیشنهادی، شناخت اندرکنش‌های فیزیکی و شیمیایی محیطِ ابری و فضای اتمسفرحایز اهمیت است. به همین دلیل در این مقاله با گذر از مسیر تحول ذرات و اندرکنش‌های ما بین آنها در جو، اثر میدان‌های الکترومغناطیسی مضاعفِ خارجی را بر روی تغییر فرایند بارش و نزولات جوی بررسی می‌نماییم.

کلید کلیدی: تغییرات جوی، یونیزاسیون اتمسفر، تخلیه‌ی‌الکتریکی، چگالش، بارش.

۱. مقدمه

مقاله‌ی حاضر حاصل بخشی از مطالعات و نتایج دستاوردهای به روز شده‌ی تحقیقات نظری و کاربردی علوم و فنون مدرن، در زمینه‌ی توانمندی بشر در کنترل اقلیم و فرایندهای جوی است. این موضوع یکی از مهم‌ترین چالش‌های جهانی در سطوح عالیِ دولت و مجامع علمی است. جستجوی راهبرد عملی، راهکاری دانش محور و نتیجه بخش در حل این معضل بزرگ، سالیان متمادی است که ذهن اندیشمندان و دست اندرکاران فناوری را به خود مشغول داشته‌است. کنکاش وضعیت و ساختار اتمسفر و نتایج موثر مداخله‌ی دانش‌بنیان در فرایند پدیده‌های متفاوت جوی، اثر مستقیم مدیریتی را بر شرایط خشکسالی، سونامی، سیل، تگرگ و بسیاری از حوادث غیر مترقبه و بحرانی به ارمغان می‌آورد(Berlyand, 1975,1985). از این رو بررسی و بازبینی مجدد فناوری‌های به کار

www.SID.ir

رفته در تجهیزات فعلیِ تغییر اقلیم و پیشنهاد روش‌های مدرن و تاثیر گذار بر روی فرایندهای جوی، خصوصا کاهش نزولات سنگین و مخربِ یخی، بسیار حایز اهمیت است و این در حالی است که مطالعات اثر فرایندهای تزریقی و افشانی بر جو، در کشورهای مختلف پیگیری می‌شود که طی بررسی‌های انجام شده نتایج خوب و چشمگیری در باروری ابرها و افزایش نزولات جوی در بر داشته‌است. به همین دلیل هدف اصلی نوشتار پیش رو ارایه‌ی مروری بر مفاهیم اولیه و اصول فیزیکی، یکی از روش‌های اندرکنش مصنوعی و موثر در تغییرات اقلیمی و بهبود شرایط جوی است. در این روش، محیط و ذرات جو، تحت تاثیر میدان‌های الکترومغناطیسی خارجی قرار گرفته و از طریق تزریق مصنوعی ذرات موثر (یونهای مفید) برای رسیدن به هدف نهاییِ تغییر شرایط جوی، برانگیخته می شوند(Brunauer, 1945). با توجه به این که ساختار جو، توده‌های ابر و ابرهای باران‌زا به گونه‌ای است(Hirchfielder, 1954) که افزایش یا کاهش مقادیر دما، یونهای منفی و مثبت، ذرات آیروسل یا هستک‌های بارش، فشار و برخی پارامترهای دیگر هواشناسی بر روی عملکرد موثر ابرهای گرم و انباشتگی قطرات آب در آنها تاثیر گذار است. به همین دلیل فرایندهای فیزیکی و کاربردی مداخله کننده در تغییر شرایط آب و هوایی، به واسطه‌ی تزریق الکترونهای پر شتاب یا ذرات و مولکولهای یونیزه (آیروسل‌های باردارشده: ذرات معلق و یونهای باردار) موثر واقع می‌شوند و آیروسل‌ها قابلیت دخالت و اثرگذاریِ دو چندانی را در بین ذرات اتمسفر و توده‌های ابری ایجاد می‌کنند. بنابراین بررسی نظریِ افزایش چگالش قطرات آب، تبلور و یا تغییر حجم ذرات توسط الکترونها یا آیروسل‌های تزریق‌شده در توده‌های ابر، حایز اهمیت است. از طرفی مطالعه در مکانیزم‌های اصلی تولید باران و نزولات جوی که در حقیقت مفاهیم فیزیکی چگالش را در بر می‌گیرد، با استفاده از تجهیزات و روشهای تزریقی، بخش اعظم مطالعات مهم نظری در این زمینه است که در زیر به بررسی آنها می‌پردازیم.

۲. اثرات فیزیکی بر جو و توده‌های باران‌زا

پیشینه‌ی مطالعات علمی این مقاله در ارتباط با تحقیقات نظریِ مباحث فیزیکی و کاربردیِ تغییر اقلیم است که طی سالهای ۱۹۳۰ الی ۱۹۹۵ با مطرح شدن پیشنهاد اعمال میدان الکترومغناطیسی خارجی و دخالت در تبادلات و اندرکنشهای ذرات در جو بنا نهاده شد. تزریق مصنوعی مولکولهای باردار از طریق کپسولهای حمل شده بر روی هواپیماهای باروری ابر و تزریق ذرات یا مولکولهای باردار با استفاده از بمب‌افکن‌های زمینی و غیره (اثر میدان الکترومغناطیسی بسیار قوی بین سطح زمین، لایه‌های زیرین و فوقانی اتمسفر)، همگی از گذشته تا کنون به نوعی منحصر به فرد، در راستای اهداف بلند مدت تغییر حجم بارش و نوع نزولات جوی طراحی شده‌است. هر یک از روشها با تقریب‌های خوب و متوسط، کم و بیش، رسیدن به آرزوی دیرینه‌ی بشر را در کنترل و تغییر اقلیم عملی نموده است. در واقع در هر یک از روشهای مداخله کننده در تغییر اقلیم، آیروسلهای باردار در فرایند چگالش، تبلور و مکانیزم تشکیل ابرهای باران‌زا و کنترل تولید بارش، نقش اساسی ایفا می‌کنند که غیر قابل چشم‌پوشی است. از این رو، مطالعه‌ی فرآیند تغییر ساختار فیزیکی مولکولهای آب در جو که بخشی از آن متاثر از ذرات یونیزه که به دلیل یونیزاسیون و اثر تخلیه‌ی‌الکتریکیِ مضاعفِ خارجی تشدید می‌شود، ضرورت خواهد داشت. بنابراین با توجه به مسیر علمی تحقیقات جهانی، طی سی سال گذشته تقویت اثر شرایط طبیعی جو با اعمال میدان مصنوعی خارجی که در سه نسل متفاوت از فناوری‌های مدرن مشاهده شده است، اهمیت و توجه خاص کشورهای پیشرفته و صنعتی را به این موضوع نشان می‌دهد. در سالهای اخیر، دلیل اصلی توجه بیش از حد به این موضوع و استفاده از فناوری‌های مدرن و ساخت تجهیزات جدید تغییر اقلیم، عملا یکی از شاخه‌های بنیادین، برای رسیدن به توسعه‌ی پایدار و جهش‌های نظامی و غیر نظامی در صنایع وابسته به تغییر اقلیم منطقه‌ای است. بنابراین مکانیزم‌های نظری و کاربردی مدرنِ باردار نمودن فعلی ابرها، الهام گرفته از دستاوردها و تجربیات پیشینِ روشهای مصنوعی است که با استفاده از تجهیزات به روز شده و فناوری‌های گذشته

Archive of SID

www.SID.ir

و نوین امروزی شکل گرفته‌است. در این راستا شناخت اثر و اندرکنش میدان الکترومنغناطیسی خارجی(Walas, 1985)، تحلیل گذرهای فازی و ماهیت فیزیکی- شیمیایی ساختار آب و اثر برخوردهای موثر ذرات با مولکولهای آب ضرورت دارد که در این مقاله به ساختار فیزیکی تجهیزات یونیزاسیون اتمسفر و اثر ذرات باردار بر مولکولهای آب می‌پردازیم.

۳. اثر ذرات یونیزه در فرایند چگالش

تشکیل بارش و نزولات جوی به واسطه‌ی اندرکنش ذرات و اثر مولکولهای آب در فازهای مختلف شکل می‌گیرد. آب با خواص منحصر به فردی که از خود نشان می‌دهد، عامل حیات و بقاء بشر در سطح زمین است. ساختار شیمیایی و فیزیکی اتم‌های آب با سه فاز جامد، مایع و بخار در تحلیلِ نتایج و شرایط مرتبط با شبکه درونی و مولکولی توده‌های باران‌زا و ابرها اهمیت پیدا می‌کند. بنابراین در ابتدای مرور اجمالی به مباحث بارش و تغییر اقلیم، آشنایی با ترکیب درونی آب و تکیه بر اثر ذرات باردار و پارامترهای محیطی در تغییر فاز و حجیم شدن قطرات آب و تولید بارش و نزولات جوی ضرورت دارد. از این رو، بررسی و شناخت فرایندهای جاری در بین مولکولهای آب با چینش گوناگون و اثر پیوند هیدروژنی بسیار مهم است که یکی از این موارد جابجایی سریع و دایمی پیوند هیدروژنی در بین مولکولهای آب و شکافته شدن آنها است تا فضای کافی برای جایگیری مولکولهای دیگر و نفوذ آنها به داخل شبکه فراهم شود. در این شرایط هر مولکول آب به عنوان مرکز، توسط ۴ تا ۶ مولکول دیگر احاطه می‌شود و فاصله‌ی مرکز جرم مولکولهای متصل شده تا مولکول مرکزی در آب برابر ۲,۹۴ انگستروم و در یخ ۲,۷۶ انگستروم می‌گردد. از طرفی حرکت مولکولها تحت تاثیر دما به همراه ارتعاشات و نوسانات مضاعف است که دامنه‌ی حرکت نوسانی- حرارتی مولکولهای آب برابر$^{-۱۳}$۱۰ ثانیه و دامنه‌ی حرکت نوسانی- جهشی مولکولها در آب خالص برابر$^{-۱۱}$۱۰ ثانیه و در یخ $^{-۱۵}$۱۰ ثانیه است. نوع چیدمان پیوندهای اتمی در مولکول آب نیز از عوامل تاثیرگذار در فرایندهای مرتبط با بارش و نزولات جوی است. مولکول آب به شعاع۱,۴ انگستروم، سطحی معادل $^{-۱۶}$۱۰× ۶,۱۵ سانتی‌متر مربع اشغال می‌کند. بنابراین تعداد $^{+۱۵}$۱۰× ۱,۶۳ مولکول در واحد سطح بر روی آن می‌توانند مستقر شوند که اثر پیوندهای بین مولکولی در این شرایط باعث کاهش زاویه‌ی بین اتمی شده و در حالت فشرده تقریبا ۰,۵۳ در واحد سطح و ۰,۳۸ در واحد حجم تغییر ساختاری می‌دهد. با توجه به این که محیط اندرکنش باردار است، ذرات باردار شده که در شرایط طبیعی در جو هستند، نقش مهمی در افزایش چگالش و فرایندهای درون ابری و تولید بارش به عهده دارند. به همین دلیل باردار شدن ذرات اهمیت پیدا می‌کند که اصلی‌ترین منبع تولید ذراتِ یونیزه در شرایط طبیعی عبارت از پرتوهای کیهانی، مواد رادیواکتیو هوا، رعد و برق و برخی فاکتورهای دیگر است. اثر مثبت آیروسلها و ذرات باردار در تولید نزولات جوی، اولین بار توسط ویلسون مطرح و تایید شد. ویلسون در طرح آزمایشی خود، دو محفظه‌ی یکسان اختیار نمود، یکی را انباشته از ۴۰۰٪ یونهای گازی باردار و دیگری را انباشته از هوای معمولی نمود. از این راه وی تغییر و تبادلات اتمسفری را در شبکه‌ی ساختگی، شبیه سازی نمود. نتایج بدست‌آمده نشان داد چگالش قطرات آب (میعان) در محفظه‌ی یونی، تقریبا آنی شکل می‌گیرد. این بدان معناست که در شروع مراحل اولیه‌ی شکل‌گیری بارش، تغییرات فیزیکی مولکول‌ها و خصوصیات محیط که مستقیما وابسته به یونهای جو است بر روی مدت زمان و حجم چگالش اثر مستقیم دارد. با توجه به آزمایش انجام شده ویلسون به این نتایج دست یافت که برخی عوامل خارجی در داخل توده‌های ابر با تغییر میدان الکترواستاتیکی و متعاقبا رسانایی الکتریکی در ابرها، باعث تقویتِ تولید نزولات جوی و بارش می‌شود. تا به امروز اثر میدان‌های الکترومغناطیسی و بار الکتریکی ذرات بر هم و اندرکنش آنها در توده‌های ابر، توسط نظریه‌های مختلفی بررسی و مطالعه شده‌است. به همین دلیل در ابتدا وضعیت فرایندهای جوی را بدون حضور میدان الکتریکی خارجی و با پارامترهای ثابت جوی نظیر وزش باد، دما، مه‌آلودگی و غیره بررسی می‌نماییم. رسانش ذرات باردار یکی از مباحث مهم مطالعاتی در فرایندهای درون جوی است که اثر

Archive of SID

www.SID.ir

تغییر غلظت ذرات باردار، ضریب رسانش و خصوصیات ویژه‌ی محیط تواماً بر هم اثر داشته و در کل وابسته به تغییر میدان الکتریکی در جو، توده‌های ابری و ذرات باردار در بین لایه‌های تحتانی تروپوسفر و سطح زمین است. غلظت ذرات باردار و شدت یونیزاسیون در سطح زمین نزدیک به 10^{7} یون در مترمکعب است که با افزایش ارتفاع از سطح زمین به شدت کاهش می‌یابد و در ارتفاع ۳ کیلومتری به حداقل می‌رسد و سپس با ارتفاع افزایش می‌یابد و در حدود فاصله‌ی ۱۲ کیلومتری از سطح زمین(سطوح پایین استروسفر) به حداکثر می‌رسد و مجددا با افزایش ارتفاع کاهش می‌یابد. دلیل و توجیه این تغییرات را به ذرات رادیواکتیو موجود در خاک منوط می‌نماییم(در شرایط معمولی ۲۰ درصد شدت یونیزاسیون ذرات هوا متعلق به پرتوهای کیهانی، ۳۵ درصد مواد رادیواکتیو خاک و ۴۵ درصد مواد رادیواکتیو هوا است). بنابراین در اندرکنش ذرات و یونیزاسیون آنها محصولات اولیه عبارت از الکترونهای آزاد، یونهای مثبت و در موارد نادر یون منفی است که در کمتر از یک صدم ثانیه با مولکولهای خنثی ترکیب شده و یونهای نسبتا پایدارتری ایجاد می‌کنند. نتایج برخورد بین ذرات و جذب الکترون و پیوستگی یونهای مثبت و منفی، باعث شکل‌گیری کمپلکس‌های یونیِ سنگین و آیروسلهای باردار است. به همین دلیل به مرور زمان غلظت یونهای سبک عملا کاهش می‌یابد و در شرایط طبیعی با عبور جبهه‌ی هوا و طوفان‌های تندری در لایه‌های زیرین تروپوسفر به علت افزایش فرایندهای میکرو فیزیکی و یونیزاسیون در ابرها، کاهش یونهای سبک جبران می‌شود. بنابراین می‌توان ادعا نمود غیرِ متعادل شدن بارهای الکتریکی در ابرها به همراه اثر مثبت آیروسلها در چگالش آب، عامل اصلی تغییر حجم بارش و نوع نزولات جوی است. با توجه به نظریه‌ی کلاسیکی ارایه‌شده در اواخر قرن گذشته، تئوری‌های متفاوتی فرایند تشکیل هستک‌های اولیه‌ی تولید بارش و نزولات جوی را توصیف و تشریح نموده‌اند که پیشنهاد نظریه‌های گوناگون همچنان تا به امروز نیز ادامه دارد با این تفاوت که در دو دهه‌ی اخیر نظریه‌ها بر مبنای فیزیک مدرن و شناخت بنیادین اندرکنشهای فازی در توده‌های ابر شکل گرفته است. نقطه نظرات مشترک و اصول اولیه در اغلب آنها مبنی بر تقویت و تشدید فرایندهای هستک‌سازی است. تاکنون از دیدگاه‌های مختلفِ نظری و کاربردی، متخصصینِ شاخه‌های گوناگون علوم، فنون و صنایع که به نوعی پژوهش‌های آنها در این زمینه ارتباط پیدا می‌کند، موضوعات و مسایل مکانیزم‌های بارش و نزولات جوی را به همراه پدیده‌های موثر در تغییر اقلیم جهانی و منطقه‌ای مطالعه و تحقیق نموده‌اند. این در حالی است که همچنان شناخت کامل پدیده‌های بارش و نزولات جوی قابل اهمیت است و مراحل تکامل خود را سپری می‌کند. اگر چه در نگاه اول، هستک‌سازی و تشکیل نزولات جوی بسیار ساده به نظر می‌رسد، اما به جرات می‌توان گفت تنها دانش و احاطه‌ی اندکی به فرایندهای ماکروسکوپیک اعمال شده در هستک‌سازی برایمان روشن است و همچنان به دلایل متفاوت زیست‌محیطی، توسعه، نظامی، فناوری، انرژی و غیره مسایل و مشکلات تغییر اقلیم توجه بیشتر جوامع علمی را به خود معطوف داشته‌است و روز به روز نتایج جدیدی و متفاوتی را پیش رویمان قرار می‌دهد. از این رو مطالعات اصولی سه دهه‌ی اخیر، عدم تطابق بین نتایج محاسبات نظری و طرح‌های عملی شده در بررسی فرایند هستک‌سازی اولیه را نشان داده‌است. به همین سبب بررسی کلیه‌ی اثرات و اندرکنش‌های موثر در هستک‌سازی از انرژی ارتعاشی، چرخشی، تغییر دما تا نوع برخورد و غیره و همچنین پارامترهای هواشناسی و هر عامل فیزیکی که در ایجاد فاز جدید موثر باشد، در تحلیل دقیق‌تر موضوع اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند و دستیابی به نتایج اثرات آنها بر محیط و ذرات ضرورت خواهد داشت. با توجه به این که شرط اصلی تولید بارش، هموار شدن شرایط تغییر فاز مولکولهای بخار آب بر روی سطوح آیروسل‌ها است؛ هنگامی که تعداد آیروسل‌ها به اندازه‌ی متعادل و مناسب در حجم برسد(اندازه‌ی آیروسل‌های هوا حدود 10^{-5} الی 10^{-6} سانتیمتر است)، سطح آنها برای چگالش ذرات بخار آب شرایط مناسب را پیدا می‌کند. بنابراین سطح آیروسل‌ها و غلظت بخار آب توده‌های ابر، نقش موثری در زمان و شدت چگالش خواهد داشت. به همین دلیل مطالعه‌ی نظری و عملی در نتایج تاثیر یونیزاسیون مصنوعی هوا و رسیدن به چگالش سریعتر در لایه های زیرین تروپوسفر، تبیین دقیق نقش آیروسل‌ها و تغییرات تعادل الکترواستاتیکی در فرایند چگالش و بارش است. به همین سبب، بررسی شرایط طبیعی چگالش در ابرها و تغییر فاز آب، برای شناخت محیط و شرایط پایه در توده‌های ابری ضرورت دارد. با تکیه بر

Archive of SID

www.SID.ir

نتایج بدست آمده در این مقاله، مطالعه‌ی اثر میدان الکترومغناطیسی و تزریق مصنوعی یونها در تغییر تعادل باری توده‌های جو و نقش آنها در چگالش بیان می‌گردد. توصیف فرایند برهم کنش یونها و ذرات درون ابری، اثر یونها را به عنوان منبع تولید میدان الکتریکی(الکترومغناطیسی) بر روی تغییر فاز آب مشهود و مشخص می‌نماید. به همین دلیل توجه به این نکته که چه مقدار تجمع بار الکتریکی بر روی هسته‌های اولیه باید بنشیند تا نرخ تغییرات و حجم چگالش به دلخواه محاسبه و تعیین شود، در تحلیل‌های فیزیکی و معادلات میدانی اندرکنش خارجی با توده‌های ابر اهمیت بسیار زیادی دارد که از طریق معادلات دینامیکی میدان و معادله‌ی ناویه-استوکس و روابط تکمیلی تعیین می‌گردد. به همین دلیل با اعمال میدان مضاعف خارجی و یونیزاسیون حرارتی یا تخلیه الکتریکی (Chen, Davidson, 2002) و (Cheng, 1989)، امکان باردار نمودن بیشتر محیط و تولید هسته‌های مصنوعی فراهم می‌گردد. بنابراین نرخ شارش ذرات بر روی هسته‌های باردار که به علت اندرکنش میدانهای الکترواستاتیکی رخ می‌دهد(Chia-Hue, 1978)، فاکتور مهمی است که برای محاسبه‌ی آن به صورت زیر عمل می‌نماییم: هر مولکول آب را به عنوان ذره‌ای به شعاع r_0 و بار الکتریکی q_0 فرض نموده و یک مولکول بخار آب را در مختصات محلی خود به عنوان جزیی از سیستم چند عضوی ذرات با مقادیر معین در نظر می‌گیریم. سیستم مختصات محلی مختص ذره، بدون محدودیت نسبت به سیستم کلی و در راستای محورهای آن در نظر گرفته می شود و محاسبه‌ی اندرکنش الکتریکی میان مولکولهای بخار آب برای هر ذره جداگانه تعریف می‌شود. اثر میدانهای الکتریکی موثر بر ذره ثابت هستند و به صورتی جهت‌گیری می‌شوند که انرژی اندرکنش الکتریکی با میدانهای مجاور حداقل باشد. بنابراین انرژی اندرکنش بین بار الکتریکی q_0 و مجموع مولکولهای باردار آب برابر است با:

$$U = U(\alpha) + U(\beta) + U(\gamma) = q_0 \sum_{i=1}^{n} \frac{e_i}{|R_0 + r_i|} \qquad (۱)$$

$U(\alpha), U(\beta), U(\gamma)$- به ترتیب انرژی اندرکنش دوقطبی، چهار قطبی و هشت قطبی بین بارهای الکتریکی است. R_0- کلیه اندرکنش‌ها نسبت به ذره‌ای به شعاع r_0 در فاصله شعاع برداری تعریف می‌شود. برای ذره‌ای با شعاع تعریف شده $r_0 = ۱۰^{-۵}$ تعداد مولکولهای بخار آب که در فاصله r_0 ۱۰۰ از سطح آن هستند تقریبا $۱۰^{۸}$ است. نیروی وارد شده بر مولکول برابر $F = {dU}/{dR_0}$ است و شتاب متوسط حرکت ذره

$$\bar{a} = \frac{1}{R_0 - r_0} \int_{R_0}^{r_0} a(R_0) dR_0 \qquad (۲)$$

و متوسط بازه زمان لازم برای طی مسیر $R_0 - r_0$ توسط ذره برابر است با:

$$\bar{t} = (2(R_0 - r_0)/\bar{a})^{\frac{1}{2}} \qquad (۳)$$

در این بازه زمانی مولکولهای بخار با با شتاب بدست‌آمده در رابطه‌ی (۲) به سمت هسته‌ها حرکت می‌کنند و در ادامه‌ی فرایند، گسیل یا شارش جریان مولکولهای بخار آب با تجمع در سطح هسته‌ها و رسیدن آن به شعاع تعادلی چگالش ادامه می‌یابد. بعد از مباحث چگالش در تولید نزولات جوی، بررسی ساختار ابرها و وضعیت میدانهای الکترواستاتیکی و رسانایی توده‌های ابری اهمیت ویژه‌ای دارد(رسانایی ابرها ممکن است به دلیل تغییرات ساختاری یا فازی باشد). بنابراین ضریب گذردهی الکتریکی هوا نقش مهمی در بررسی فرایند بارش و چگالش دارد. آزمایشات انجام شده نشان می‌دهد در شرایط ابری، ضریب گذردهی الکتریکی هوا خیلی کمتر از وضعیت بی ابری است. به همین دلیل مدت زمان از دست دادن بار الکتریکی ذرات در توده‌های ابری، طولانی‌تر خواهد بود. به عنوان مثال زمان از دست دادن بار الکتریکی در ارتفاع ۳-۵ کیلومتری از سطحِ پایین‌ترین توده‌های ابری، نزدیک به ۱۰۰۰ ثانیه است. در این مدت ذرات واکنش‌گر یا هسته‌های بارش باید به اندازه‌ی حجمی حداقل ۱۸-۲۰ میکرون برسند تا فرایند تجمع و انعقاد

Archive of SID

www.SID.ir

گرانشی صورت بگیرد. با توجه به این موضوع، مدت زمان تجمع ذرات در ابرها با بار الکتریکی q محاسبه می‌شود. به همین دلیل پارامتر(E) ضریب جذب و گیراندازی ذرات بر روی واکنش‌گرها، وابسته به کمیت بار ذراتِ واکنش‌گر، و اندازه‌ی قطرات ابر و واکنشگر است. از جدول ۴-۲ معلوم است، نسبت تغییرات اندک پارامترهای ذرات و پارامتر E باعث افزایش ناگهانی زمان از دست دادن بار الکتریکی ذرات است که این امر باعث برخوردهای نامناسب و غیر موثر می‌گردد. به همین دلیل برای ایجاد میدان الکتریکی خارجی موثر در هستک‌سازی و چگالش، مسایل و مشکلات فنی و اجرایی بسیار زیادی پیش رو می‌باشد. با این وجود یافتن روشهای مدرن و نوین و موثر در فرایند چگالش و نزولات جوی همچنان اهمیت داشته و قابل تامل است. شناخت ساختار ابرها و جریانات همرفتی بین توده‌های ابر، سیستم باروری غیر متعادلی را نشان می‌دهند که برای تولید و ریزش نزولات اثر اندک میدان و نیروی خارجی موثر کفایت می‌کند. فراهم نمودن شرایط موثر اثر میدان خارجی در باروی ابرها، افزایش سرعت و حجم نزولات جوی دارای دو روش کلی است. در روش اول میدان اعمالی بر روی فرایند خودبخودی درون ابری تاثیر می‌گذارد و مطابق شرایط طبیعی تغییر فاز و میکروساختارهای متناسب با تبادلات رطوبتی در اتمسفر شکل می‌گیرد و با گسترش توده‌های ابر، محیط چگالش و تولید نزولات را هموارتر می‌نماید. از این رو شدت میدان الکتریکی اعمال شده اگر بیش از V/m ۱۰۴× ۳ باشد، در صورت منقطع شدن چگالش، فرایند در ابرها احیا می‌گردد. بنابراین محاسبات فیزیکی انجام شده نشان می‌دهد در چنین شرایطی مقدار ذرات آب بیش از یک گرم در مترمکعب بوده و شدت میدان الکتریکی اعمالی حداقل V/m ۱۰۵ باید باشد که برقراری و اعمال میدان الکتریکی مصنوعی با حداقل شدت تعیین شده، در حجم انبوه‌ی از توده‌های ابر و اتمسفر بسیار دشوار است. در روش دوم اعمال تغییرات و افزایش اثرات خارجی بر روی فرایندهای میکروفیزیکی ذرات متفاوتِ آبروسلِ هستک‌ساز در ابرها است که به نحو قابل توجهی شدت میدان الکتریکی وضعیت آنها را تغییر می‌دهد. بر همین مبنا روش‌های ذکر شده برای باروری و افزایش نزولات جوی را به صورت زیر خلاصه می‌نماییم: ۱- اثر روشهای اعمال میدان الکتریکی خارجی بر فرایند چگالش.۲- اثر روشهای اعمال میدان الکتریکی بر فرایند کواگولاسیون (انعقاد ذرات معلق) و تبلور در ابرها. تا به امروز در کشورهای توسعه‌یافته و پیشرفته، روشهای جانبی گوناگونی با اصول و مبانی ذکر شده در دو روش بالا برای باروری ابرها و افزایش نزولات جوی ابداع و اجرا شده‌است که مدیریت اقلیم محلی را در بر داشته است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد، استفاده از روش اول دارای محدودیت‌های بیشتری است که در عوض، مزیت آن در هستک‌سازی و افزایش سطوحی است که چالش روی آنها شکل می‌گیرد. از طرفی با توجه فراوانی و تعدد مواد اولیه‌ی انتخابی برای باروری و تولید بیشتر هستک‌های چگالشی روش دوم با شرایط اجرایی تطابق بهتری دارد. در ۲۰ سال گذشته طرح‌های متفاوت باروری ابرها با یدید نقره تا تزریق مصنوعی یون و یا فراتر از اینها برانگیختگی لایه‌های تروپوسفر با استفاده از امواج الکترومغناطیسی پر بسامد و لیزرهای قوی همگی به نوعی اثر مستقیم بر شکستن تعادل الکترواستانیکی و افزایش شدت میدان الکتریکی در توده‌های ابر دارد. نتایج روشهای پیشنهادی، رسیدن و دستیابی به یک هدف اصلی است که در حقیقت کنترل پارامترهای جوی و مداخله در نوع و شدت و حجم تغییر نزولات جوی می‌باشد که مداخله در تغییر مقدار و شدت بار الکتریکی، افزایش مصنوعی غلظت ذرات آب و افزایش هستک‌ها را به صورت مصنوعی به دنبال دارد.

۴. اندرکنش میدان خارجی با جو

تجهیزات نوینی که بر پایه انتشار امواج الکترومغناطیسی استوار هستند به منظور تاثیر مستقیم بر لایه‌های تروپوسفر تا یونوسفر طراحی شده‌اند. این تجهیزات به سه بخش و تحت عناوین پر بسامد، لیزری و یونشی تقسیم می‌شوند. که در سال‌های اخیر استفاده از دستاورد و مکانیسم‌های مدرن یونیزاسیون هوا در لایه‌های استراتوسفر تا یونوسفر توسط امواج الکترومغناطیسی و لیزری، آشکارا

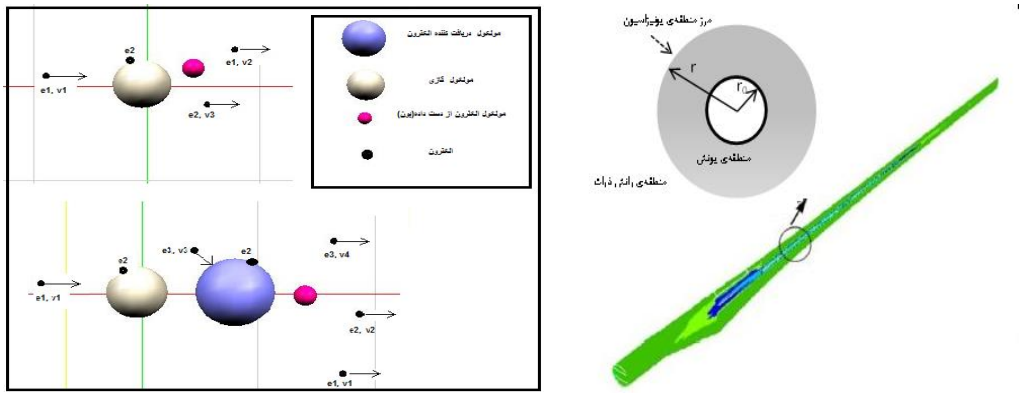
Archive of SID

www.SID.ir

در اقصی نقاط جهان با اهداف تغییر اقلیم و تاثیر بر جو پایین (تروپوسفر) عملی شده‌است. مولکول‌ها در فرایند یونیزاسیون مانند اتم‌ها در برخورد با ذرات، پرتوهای کیهانی، امواج الکترومغناطیسی و موارد دیگر با افزودن یا کاستن الکترونی به لایه‌ی ظرفیت اتم‌هایشان به مولکول باردار تبدیل می‌شوند. در این راستا یکی از مکانیسم‌های اصلی یونیزه‌کردن محیط گازی (هوا)، استفاده از تخلیه‌ی‌الکتریکی و به‌کارگیری فرایند یونیزاسیون بهمنی است. در یونیزاسیون بهمنی که به یونیزاسیون آبشاری نیز معروف است، مولکول‌های هوا به واسطه‌ی برخورد با الکترون‌های پر شتابِ خارج شده از الکترودهای تخلیه‌کننده (الکترون‌های آزاد شتاب گرفته به سمت آند) با گسیل انرژی باردار شده و به یون تبدیل می‌شوند. اگر چه در ابتدا تعداد کمی الکترون ایجاد می‌شود، اما در ادامه‌ی مسیر، الکترون‌های لازم برای یونش‌های بعدی و یونیزاسیون بهمنی فراهم می‌شود. تکرار مکرر این فرایند در فن‌آوری‌های مدرن صنعتی و زیست‌محیطی با استفاده از جریان ثابت و متناوب در تخلیه‌ی‌الکتریکی، محیطی پلاسمایی ایجاد می‌کند که مستقیما بر فعل و انفعالات جو اثر می‌گذارد. نکته‌ی اصلی در فرایند یونش، تاثیر پارامترهای خارجی در شدت انتشار بهمن یونی است. به همین دلیل مقدار تولید یون و نحوه‌ی کنترل یونش آبشاری و حرکت ذرات مهم بوده و بستگی به ولتاژ - آمپراژ منبع تغذیه، شکل و نوع الکترودها دارد. ولتاژ - آمپراژ منبع تغذیه و الکترودها در حقیقت بخش اصلی تفاوت‌های ایجاد شده در انواع مختلف تخلیه‌ی‌الکتریکی است بنابراین با تعیین قطبش پتانسیل انتخابی در الکترودهای تخلیه‌کننده، فرایند یونیزاسیون و نتایج اندرکنش ذرات باردار در سیال تراکم‌پذیر متفاوت خواهد شد (George, 1970) و (Bitsadze, 1976). در فرایند تخلیه‌ی‌الکتریکی، رفتار ذرات هوا در بین الکترودها (منطقه‌ی یونیزاسیون) مشابه حالت چهارم ماده یا پلاسما است. پلاسما ساختاری از الکترون‌های آزاد، اتم‌ها و یا مولکول های یونیزه‌شده و در مقیاس ماکروسکوپیک خنثی و در حال برهم کنش بر هم است (Jahanshir, 2013b) و (Jahanshir, 2013a) و (Jahanshir, 2014). به عبارت دیگر پلاسما به گاز شبه خنثایی از ذرات باردار که رفتار مشابه و یکسانی دارند و عموما میزان الکترون‌های آزاد و یون‌های مثبت آن برابر هستند اطلاق می‌گردد. به همین دلیل باردار بودن فضای بین الکترودی، منطقه‌ی یونیزاسیون را به رسانای بسیار خوبی برای انتقال جریان و شارش الکترونی/ یونی تبدیل می نماید و در مواردی، سیال تراکم‌پذیر حتی بهتر از رساناهای فلزی عمل می‌کند. همانطور که در (شکل ۱- راست) نشان داده شده‌است، در اطراف الکترود تخلیه‌کننده، دو ناحیه‌ی متفاوت یونش و رانش ایجاد می‌شود و در نتیجه‌ی برانگیختگی و یونیزاسیون، ذرات با سرعتی نزدیک به سرعت نور به سمت الکترود مقابل شتاب می‌گیرند(شکل ۱- چپ). خروج یون و الکترون‌های آزاد با شتاب بالا، باعث یونیزاسیون پی در پی سیال تراکم پذیر(هوا یا جو) می‌گردد(حداقل سرعت کسب کرده الکترون‌ها ۱۰۵ کیلومتر بر ثانیه است) و شارش الکترونی یا بهمن یونی رخ دهد. بنابراین با استفاده از تخلیه‌ی‌الکتریکی مصنوعی و کنترل شده، به طور مستقیم و غیر مستقیم بر وضعیت تعادل الکترواستاتیکی ذرات در جو تاثیر می‌گذاریم(Jahanshir, Hosseinsharghi, Hasani, 2013). مداخله در تغییر تعادل الکتریکی در توده‌های هوا فرایندی است که برای بهینه‌سازی وضعیت آب و هوا و افزایش یا کاهش نزولات جوی استفاده می‌شود که در شرایط کاربردی در موضوعات باران‌زایی، افزایش یا کاهش رطوبت، مِه‌زدایی، باروری ابرها و موارد دیگر کارایی قابل توجهی دارد. در حقیقت با استفاده از فرایندهای مختل‌کننده‌ی تعادل الکترواستاتیکی و کاربرد تجهیزات طراحی شده بر اساس فناوری‌های جدید، حرکت و تجمع توده‌های هوا تا حدودی مدیریت و کنترل می‌شود که طی دهه‌های اخیر در سطوح گوناگون نظری و تجربی بخش مهمی از مباحث تغییر اقلیم را به خود اختصاص داده‌است(Jahanshir, Jahanshir, 2013a) و (Jahanshir, Jahanshir, 2013b).

Archive of SID

www.SID.ir



شکل۱. راست: مناطق متفاوت در تخلیه‌ی‌الکتریکی. چپ: بالا: یونیزاسیون برخوردی، پایین: یونیزاسیون مرحله‌ای

۵. معادلات فیزیکی میدان در تخلیه‌ی‌الکتریکی

در تخلیه‌ی‌الکتریکی مسیر حرکت ذرات از روابط فیزیکی و معادلات وابسته به نیرو و شدت میدان الکتریکی در الکترودینامیک که مدل ریاضی حاکم بر دینامیک سیالات اعمّ از مایعات و یا گازها است، محاسبه و تعیین می‌شود. بر همین مبنا در این بخش روابط دینامیک شارش و گسیل بار الکتریکی میدان در فضای پیرامون الکترودها را در کلی‌ترین حالت با به‌کارگیری معادلات ناویه- استوکس و پیوستگی بار به صورت زیر ساده می‌نماییم(Zhao, Adamiak, 2005):

$$\rho\left(\frac{\partial\vec{v}}{\partial t}+\vec{v}\cdot\vec{\nabla}\vec{v}\right)=\vec{\nabla}T-\vec{\nabla}P+\vec{F}_f+\vec{F}_{ext} \qquad (۴)$$

$$\frac{\partial\rho}{\partial t}+\vec{\nabla}\cdot\vec{J}=\sigma \qquad (۵)$$

$\vec{v}$- سرعت جریان سیال، P- فشار، T- دما، υ -گرانروی جنبشی (ویسکوسیته جنبشی) و $\vec{F}_f$- نیروی مقاومت سیال، ρ- چگالی بار حجمی الکتریکی، t- زمان، J- چگالی جریان الکتریکی، σ- مقدار تولیدشده‌ی بار الکتریکی در واحد حجم و زمان است (مقدار منفی σ معادل چاهک خروجی بار و مثبت به عنوان چشمه تولید بار در میدان بوده و در صورت صفر بودن حاکی از پایستگی بار الکتریکی در میدان است). تخلیه‌ی‌الکتریکی و بهمن یونی با ولتاژ مشخص روی الکترودها که به ولتاژ بحرانی معروف است آغاز می‌گردد. تعیین ولتاژ بحرانی در شروع یونیزاسیون بسیار حایز اهمیت بوده و برای بدست آوردن مقدار عددی آن، رابطه‌ی اختلاف پتانسیل میدان را در معادله‌ی پیوستگی بار(۵) قرارداده و بازنویسی می‌نماییم:

$$\vec{\nabla}\rho\cdot\left(\vec{\nabla}U\right)=\frac{\rho^2}{\varepsilon} \qquad (۶)$$

برای ساده‌سازی معادلات را در مختصات قطبی قرار می‌دهیم و با فرض

$$E_r=-\frac{\partial U}{\partial r},E_\varphi=-\frac{\partial U}{\partial\varphi} \qquad (۷)$$

رابطه‌ی (۶) را بسط داده و بدست می‌آوریم:

Archive of SID

www.SID.ir

$$\frac{\partial \rho}{\partial r}E_r + \left(r\frac{\partial \rho}{\partial \varphi}\right)\cdot\left(rE_\varphi\right) = -\frac{\rho^2}{\varepsilon} \qquad (۸)$$

از آنجا که هدف از تخلیه‌ی‌الکتریکی فقط یونیزه و باردار نمودن محیط است باید شرایط مرزی پارامترهای شاخصِ الکترودها و میدان در معادلات بالا مطابق قانون کاپتسف، به گونه‌ای انتخاب شود که اندازه‌ی شدت میدان اولیه در سطح الکترود تخلیه‌کننده منجر به شروع واکنش شیمیایی در منطقه‌ی یونش نشود. به عبارت دیگر اگر U_0 - ولتاژ اولیه در شروع تخلیه‌ی‌الکتریکی، U - ولتاژهای ثانویه، ولتاژ سطح الکترودهای جمع‌کننده برابر صفر و شدت میدان الکتریکی در سطح الکترود تخلیه‌کننده ثابت باشد، شرط قانون کاپتسف $U \geq U_0$ برای عدم وقوع واکنش‌های شیمیایی لازم بوده و باید همواره برقرار باشد(Raizer, 1991). به همین دلیل شرایط مرزی را بدین صورت تغییر چگالی بار الکتریکی در سطح الکترود تخلیه‌کننده از $\rho = 0$ تا $\rho(r_0)$، شدت میدان الکتریکی در سطح الکترود تخلیه‌کننده برابر $E(r_0) = E_0$، قطر الکترود تخلیه کننده برابر r_0 و حدود اختلاف پتانسیل داده شده روی الکترودها از U_0 تا U است(Zhao, Adamiak, 2005). از طرفی در تخلیه‌الکتریکی جنس، اندازه، شکل چیدمان و اختلاف پتانسیل داده‌شده روی الکترودها نیز در تغییر وضعیت و شدت یونیزاسیون موثر است. به همین دلیل چگالی بارحجمی تنها به پارامترهای منبع تغذیه، شکل هندسی الکترودها و سیال بستگی داشته و باید از قانون "پیک" تبعیت کند(Peek, 1915). تاثیر کمیت‌های موثر میدان در این پارامترها بطور غیر مستقیم باعث می‌شود چگالی بارحجمی در سطح الکترودها نسبت به نقاط خارج و داخل منطقه‌ی یونش به شدت کاهش یا افزایش یابد. در محاسبه‌ی همپوشانی میدان‌ها، مقدار چگالی بار حجمی بسیار مهم است به همین دلیل برای بدست آوردن آن لازم است(Kundu, Cohen, 2002) تا شدت میدان و سرعت حرکت الکترون‌ها یا یون‌ها را در منطقه‌ی یونش از معادلات الکترودینامیکی استخراج کنیم که با دخالت وابستگی نیروی کولن ($\vec{F}$)، شدت میدان ($\vec{E}$)، چگالی بار یونی(ρ)، چگالی جریان تخلیه‌الکتریکی($\vec{J}$) و ثابت انتقال یونی (α) به یکدیگر یعنی:

$$\vec{F} = \rho\cdot\vec{E} = \frac{\vec{J}}{\alpha} \qquad (۹)$$

روابط (۴) و (۵) را ساده می‌کنیم:

$$\left(\vec{v}\cdot\vec{\nabla}\right)\vec{v} = \frac{1}{\rho_0}\left(\vec{F} - \vec{\nabla}P\right) + \upsilon\Delta\vec{v};\quad \vec{\nabla}\cdot\vec{v} = \vec{\nabla}\cdot\vec{J} = 0 \qquad (۱۰)$$

در مباحث الکترودینامیک اگر جریان ذرات آزاد، تحت فشار ثابت رخ دهد مشتقات جزیی فشار در کلیه‌ی مناطق به جز نزدیکی الکترودهای جمع‌کننده برابر صفر خواهدبود، به همین دلیل برای استفاده در بخش بعدی مولفه‌های شعاعی و زاویه‌ای [۵] کمیت‌های اصلی میدان در فضای قطبی یعنی

$$\vec{v} = \vec{v}_r + \vec{v}_\varphi,\quad \vec{F} = \vec{F}_r + \vec{F}_\varphi,\quad \vec{E} = \vec{E}_r + \vec{E}_\varphi \qquad (۱۱)$$

را در مشتقات جزیی لاپلاسین سرعت و مولفه‌های نیروی میدان، وارد نموده و با جایگذاری درمعادله‌ی (۱۰) بصورت زیر می‌نویسیم:

$$\Delta\vec{v}_r = \frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial \vec{v}_r}{\partial r}\right) + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2\vec{v}_r}{\partial\varphi^2};\Delta\vec{v}_\varphi = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial \vec{v}_\varphi}{\partial r}\right) + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2\vec{v}_\varphi}{\partial\varphi^2} \qquad (۱۲)$$

$$x = \rho Sin\varphi \quad ; y = d - \rho Cos\varphi \qquad (۱۳)$$

Archive of SID

www.SID.ir

$$F_x = FCos(\varphi - \alpha);\ F_y = FSin(\varphi - \alpha); \alpha = arctan(^{F_x}/_{F_y}) \quad (۱۴)$$

تعیین دقیق تاثیر دو کمیت نیروی کولنی و شدت میدان الکتریکی بر هم و اثر پارامترهای جانبی بر هر دو کمیت در تخلیه‌ی‌الکتریکی بسیار حایز اهمیت است(Chen, Davidson, 2002). تا قبل از سال ۱۹۱۴میلادی نسبت شدت جریان و اختلاف پتانسیل خروجی الکترودها از روابط تقریبی زیر(Townsend, 1915) محاسبه می‌شد:

$$i = kU(U - U_0) \quad (۱۵)$$

$$i = k(U - U_0)^2 \quad (۱۶)$$

i– جریان الکتریکی، U - ولتاژ ثانویه، U_o - حداقل ولتاژ اولیه، k - ضریب تناسب و وابسته به تنظیمات سیستم و تابعی از پارامترهای هندسی الکترودها است. اما از سال ۱۹۱۵ میلادی به بعد برای دقت بیشتر در محاسبات و وارد نمودن پارامترهای مهم در این نسبت قانون نیمه تجربی"پیک" (رابطه‌ی (۱۷)) (Peek, 1915) ارایه شد:

$$E_0 = E_c m_v \delta^2 \left(1 + \frac{0.03}{\sqrt{\delta r_0}}\right) \quad (۱۷)$$

پیک توسط فرمول نیمه تجربی خود حداقل شدت میدان را در کمترین فاصله از سطح الکترود تخلیه‌کننده که برای شروع تخلیه‌ی‌الکتریکی لازم بود را تعیین نمود و رابطه‌ی بین نسبت شدت میدان الکتریکی و اختلاف پتانسیل الکترود تخلیه‌کننده را مطابق رابطه ی (۱۸) بدست آورد:

$$E_w = E(r_0) = U/r_0 ln\left(\frac{2d}{r_0}\right) \quad (۱۸)$$

در سال ۱۹۹۱ رایزر(Raizer, 1991) قانون جامع و کلی‌تری از نسبت ولتاژ- آمپراژ و ضریب تاثیر پارامترهای مهم تخلیه‌ی‌الکتریکی را تکیه بر نوع، جنس و ساختار الکترودها ارایه نمود. در این مقاله برای تعیین رابطه‌ی شدت میدان و اختلاف پتانسیل با پارامترهای شاخص الکترودها، قانون رایزر انتخاب شده‌است. بنابراین برای تعیین نسبت ولتاژ و جریان در تخلیه‌ی‌الکتریکی در قانون رایزر دو رابطه‌ی (۷۴) و (۱۸) و شرط $d \gg r_0$ را وارد نموده و به دست می‌آوریم:

$$U_0 = E_c m_v \delta^2 r_0 \left(1 + \frac{0.03}{\sqrt{\delta r_0}}\right) ln\left(\frac{2d}{r_0}\right) \quad (۱۹)$$

U_0- اختلاف پتانسیل شروع تخلیه‌ی‌الکتریکی، E_c- گرادیان پتانسیل بحرانی هوا و معادل $۳ \times ۱۰^۶\ V/m$ است. δ- پارامتر شاخص چگالی گاز است که وابسته به فشار و دمای بین الکترودها بوده و در شرایط استاندار $\delta = 1$ است. m_v- پارامتر تعیین کننده‌ی اثر ناخالصی سطح الکترودها است و مقدار آن برای الکترودهای صاف و یکنواخت برابر یک است که در شرایط کاربردی و عملی بسته به نوع سیم در محدوده‌ی ۰,۸۵ تا ۰,۹۸ تغییر کرده و از طریق پارامترهای هندسی، فاصله و قطر الکترودها تعیین می‌شود (اثر شکل

Archive of SID

www.SID.ir

هندسی در مکانیسم‌های متفاوت یونیزاسیون با هر پلاریته‌ای یکسان است). اکنون از رابطه‌ی بالا نسبت اختلاف پتانسیل و جریان در میدان تاجی را به صورت کلی زیر بیان می‌کنیم:

$$\frac{i}{l_0} \cong \frac{2\pi\varepsilon_0\mu}{r_0 d\left(ln\frac{2d}{r_0}\right)^2} U(U-U_0) \qquad (۲۰)$$

نسبت $\frac{i}{l_0}$، همان کمیت جریان الکتریکی در واحد طول است که با چگالی بار الکتریکی در منطقه‌ی یونیزاسیون مرتبط است. ε_0- ضریب گذردهی خلاء، l_0- طول الکترودها، μ - ضریب جابجایی هوا، r_0- شعاع سیم، d- فاصله‌ی دو الکترود کاتدی و آندی، i- جریان گسیل شده در سیم (الکترودهای‌تخلیه‌کننده)، U_0- اختلاف پتانسیل اولیه و U- اختلاف پتانسیل شروع تخلیه‌ی‌الکتریکی است. در این مرحله شدت میدان الکتریکی $E(r)$ و چگالی بار الکتریکی $\rho(r)$ موجود در منطقه‌ی یونش را از رابطه‌ی (۲۰) و معادله‌ی حالت پوآسون به صورت زیر بدست می‌آوریم:

$$\frac{1}{r}\frac{d(rE)}{dr} = \frac{\rho(r)}{\varepsilon_0} \qquad (۲۱)$$

اثر فرایند یونیزاسیون بر روی توده‌های هوا با کمیت بار الکتریکی (Q) ارتباط تنگاتنگی دارد. مقدار عددی بار الکتریکی در فضای بین الکترودی با انتگرال‌گیری از تابع چگالی بار در محدوده‌ی سطح الکترود تخلیه‌کننده تا فاصله l از آن، از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود که حاصل عددی این انتگرال غیر مستقیم وابسته به نیروی میدان F_2 و F_1 است:

$$Q = \int_{r_0}^{l} 2\pi r\rho(r)\,dr = 2\pi\varepsilon_0 \int_{r_0}^{l} d(rE) = 2\pi\varepsilon_0(r_0E_w - lE_c) \qquad (۲۲)$$

با تکیه بر معادلات نظری ارایه شده در بالا برقراری اختلاف پتانسیل اولیه‌ی بیش از ۱۰ کیلو ولت و انتخاب الکترودهایی به شعاع m ۵×۱۰$^{-۶}$ که در فاصله‌ی m ۰،۰۱ از هم قرار گرفته باشند باعث می‌شود همواره توزیع نیروی F_1 در سطح الکترود تخلیه‌کننده نسبت به F_2 در سطح الکترود جمع‌کننده بصورت $F_1 > F_2$ باشد. این موضوع سیر نزولی توزیع نیرو را با فاصله از الکترودهای تخلیه‌کننده نشان‌داده و بیان می‌کند که بیشترین میزان یونش در همین منطقه رخ می‌دهد و به همین دلیل چگالی بار الکتریکی نیز در فاصله‌های معین از الکترودهای تخلیه‌کننده نسبت به خارج محدوده‌ی یونش با افزایش فاصله، کاهش می‌یابد و برای تاثیرگذاری در سطوح پایین اتمسفر در مقیاس کلان لازم است اختلاف پتانسیل بین الکترودها به میزان قابل توجهی افزایش یابد تا افت حجم ذرات یونیزه‌شده را در فاصله‌ی دور از الکترودها جبران کند. اختلاف پتانسیل بالا، معادل توان بیشتر در یونیزاسیون و افزایش قدرت منبع در تولید یون است. این موضوع دقیقا همان هدفی است که برای تاثیرگذاری بر توده‌های هوا در تروپوسفر لازم است. به همین دلیل هرچه تولید یون افزایش یابد تعادل الکترو استاتیکی ذرات ایروسل و قطرات آب در توده‌های ابری بیشتر تغییر خواهد کرد و در نتیجه فرانیدهای چگالش، تشکیل هستک ها و غیره قابل مدیریت و کنترل می شود.

۶. بحث و نتیجه‌گیری

Archive of SID

www.SID.ir

مداخله در فرایند چگالش و تبلور قطرات آب با اعمال میدان خارجی(فرایند شکست تعادل الکترواستاتیکی توده‌های ابر در بند قبل بیان شد)، تزریق مصنوعی الکترون و برانگیزش یونهای اتمسفر روشی است که در مطالعات سی سال اخیرِ تغییر اقلیم منطقه‌ای و محلی وارد شده‌است. یکی از این روشهای مداخله در تغییر اقلیم و پارامترهای جوی، یونیزاسیون لایه‌های پایین تروپوسفر است. با توجه به مطالب بالا اثر یونیزاسیون را در این می‌توان خلاصه نمود که فرایند تخلیه‌ی‌الکتریکی هوا در مقیاس لانِ تروپوسفر منطقه‌ای و محلی، مستقیما بر روی دمای انجماد آب اثر دارد. هر چه آیروسل‌ها و قطرات آب به ذرات یونیزه شده در محدوده‌ی تخلیه‌ی الکتریکی نزدیک‌تر باشند، یونهای بیشتری بر روی سطوح قطرات آب می‌نشیند. به همین دلیل اثر میدان مصنوعی در کاهش دمای انجماد، افزایش چگالی و تبلور (تغییر فازی) نقش مهمی ایفا می‌کند. در حقیقت با در نظر گرفتن انرژی اولیه و نهایی سیستم، قبل و بعد از یونیزاسیون اختلاف انرژی اندرکنش بین دو فاز اولیه و نهایی (ΔG) به شکل زیر خواهد بود:

$$\Delta G = G_f + G_i = (\mu_f + \mu_i)n_v + \sigma_{fi}S + A_E; A_E = A_{Ef} + A_{Ei} \quad (۲۳)$$

μ_f- پتانسیل شیمیایی فاز مورد نظر، n_v- تعداد مولکولهای نشسته بر روی هستک، σ_{fi}- کشش سطحی در مرز فازی اولیه، S- مساحت رویه ی هستک، A_E- پارامتری است (Folmer, 1986) که اثر شدت میدان الکتریکی را بر کمیت ΔG نشان می‌دهد. با توجه به خواص محیط و ذرات، تعداد برخوردهای قطرات آب با آیروسل‌ها در حجم و در مدت زمان τ را به صورت زیر بدست می‌آوریم (Smirnov, 1972):

$$N(r_1q_1, r_2q_2) = (r_1-r_2)^2.\sqrt{\left(5.4\left(\frac{\varepsilon}{\upsilon}\right)^{\frac{1}{2}}\left(\left(\frac{2\rho}{9\upsilon\rho\rho_0}(r_1-r_2)\right)^2\right)+2.9\left(\frac{\varepsilon^3}{\upsilon}\right)(r_1-r_2)^2\right)}.E(r_1q_1, r_2 \quad (۲۴$$

$$= (r_1-r_2)^2.\sqrt{\left(5.4\left(\frac{\varepsilon}{\upsilon}\right)^{\frac{1}{2}}((t_1-t_2)^2)+2.9\left(\frac{\varepsilon^3}{\upsilon}\right)((r_1-r_2)^2)\right)}.E(r_1q_1, r_2q_2).n_1n_2.\tau$$

$E(r_1q_1, r_2q_2)$ - ضریب گیراندازی، $\sqrt{\aleph}$- ضریب توربولنسی، r, q- شعاع و بار قطرات برخوردی، ε – سرعت/ نرخ مصرف و اتلاف انرژی توربولنسی(آشفتگی) در واحد زمان بر واحد جرم ابر، υ- ضریب جنبشی گرانروی هوا، t – زمان آرامش قطرات در بازه زمانی استوکسی، ρ, ρ_0 جرم حجمی آب و هوا، n - غلظت قطرات برخوردی و τ – زمان برخورد قطرات با هم است. به دلیل نفوذ توربولنسی در محیط، فرایند برخورد قطرات به همراه افزایش چگالش و کاهش غلظت است. طبق قواعد جذب در تبادلات فیزیکی برای هر فاصله‌ی زمانی و با توجه به شدت انجام این دو فرایند همانطور که معمول است محاسبه‌ی مقدار بار الکتریکی انعقاد شده (تجمع یافته) بر روی سطوح ضرورت دارد. هدف اصلی این است که نشان دهیم تخلیه‌الکتریکی در هوا و یا تزریق مصنوعی بارالکتریکی به واسطه ی آیروسل‌ها در توده‌های ابر باعث می‌شود اندرکنش ذرات باردار با قطرات آب بیشتر شده و برخوردهای موثر برای نشست ذرات باردار در کنار هم و بر روی سطوح هستک‌ها افزایش می‌یابد که منجر به تاثیر بیشتر گرانش بر روی ذرات شده و شدت نزولات جوی بالا می‌رود. آزمایشات و تتحقیقات مرتبط با فیزیک جو نشان می‌دهد، بیش از ۲۷۲ یون مثبت و بیش از ۲۳۲ یون متفی در مدت زمان ۲٫۵-۳ ثانیه طی برخورد قطرات آب و ذرات وجود دارند. با در نظر گرفتن نفوذپذیری ذرات در واحد لیتر طی این مدت زمان قطرات آب با بار مثبت الکتریکی و شعاع ۱۴٫۶ میکرون شکل می‌گیرد. بدین صورت بعد از تزریق ذرات باردرا به شیوه‌ای مصنوعی در بین توده‌های ابر، قطرات مثبت با باری معادل ۸۵۶-۳۸۸۸ برابر بار الکتریکی واحد و قطرات منفی با بار الکتریکی ۳۳۲ برابر بار واحد و شعاع ۹٫۱ میکرون تشکیل می‌شود. در بیشتر ابرهای باران‌زا، با وجود این که قطرات آب با اندازه‌های ۱۰ میکرون و بار

Archive of SID

www.SID.ir

الکتریکی معادل ۲۰۰ واحد وجود دارد، محیط درون ابری و ذرات فدرت و توانایی کافی برای رسوب گرانشی و شروع بارش ندارند. به همین دلیل برای شروع بارش اعمال تغییرات خارجی در شدت چگالش، تعداد ذرات باردار و ضرورت دارد. تاریخچه‌ی مبارزه با خشکسالی و کمبود نزولات جوی به سالهای بسیار دور در دوره‌های زمین‌داری، افزایش گرمای زمین و غیره می‌رسد. به همین دلیل از شیوه‌های متفاوتی برای دستیابی به آب تلاش می‌کردند. بخشی از این اقدامات مربوط به تغییر نوع زراعت، ذخیره‌ی آب، استفاده از قنات و یافتن راه حل‌های معقول بود و یا در بخش‌هایی از کره خاکی قربانیان بسیاری را برای خدایان باراش پیش‌کش می‌نمودند تا سال و روزهای پر بارانی داشته باشند. از این رو گسترش دانش و جستجوی علمی حل مخاطرات زندگی بشر یکی از عواملی بود که در قرن ۱۸-۱۹ میلادی تولید بارش و نزولات جوی در میدان‌های جنگ توجه اندیشمندان علمی را به خود معطوف نمود. در میادین نظامی، بعد از استفاده از تجهیزات جنگ‌افزاری که باعث تولید دود و گردو غبار می‌شدند، توجه جرقه‌ای برای شروع تحقیقات علمی در خصوص دانش و فناوری مداخل در اتمسفر و ایجاد نزولات جوی شد. امروزه بررسی اثرات موثر در ساختار ابرها در افزایش نزولات جوی، با روشهای متفاوتی تحت عناوین باروری ابرها با روشهای یدید نقره، یخ خشک، غبار سیمانی، یونیزاسیون، امواج الکترومغناطیسی و غیره رونق بسیاری دارد که فرایند اندرکنش‌ها و اثرات اعمالی نتایج مثبتی هم به همراه داشته‌است. با این وجود همچنان مجامع مختلف علمی به دنبال رهیافتی با هزینه‌ی کمتر و عملکرد بهتر هستند. از این رو از روش‌های ساده، مقرون به صرفه و کاربردی با استفاده از تولید ذرات یونی مضاعف در ابرها توجه بیشتری را به خود جلب نموده‌است. این روش نیز از دو حالت برخوردار است تزریق یون به ابرها از سطح زمین و تزریق یون از درون لایه‌های ابری. در حالت اول از سطح زمین یون‌های مضاعف که از طریق تخلیه‌ی الکتریکی و میدانهای الکتریکی بسیار قوی ایجاد می‌شوند در راستای تروپوسفر حرکت کرده و وارد ابرها می‌شوند. در حالت دوم با استفاده از محفظه‌های تعبیه شده در هواپیما گسیل الکترونها یا آیروسل‌های مناسب(یدیدنقره و غیره) به لایه‌های میانی ابرها صورت می‌گیرد. در هر دو روش هدف تغییر شرایط جوی برای رسیدن به نزولات است. با تکیه بر مطالب عنوان شده و محاسبات پیشنهاد شده تولید مصنوعی بارش و نزولات جوی در ابرها، برقرار بودن همزمانِ دو شرط زیر ضرورت دارد: ۱: منبع تولید انرژی برای ایجاد و حفظ جریان‌های پر شتاب بالارونده (ذرات یونی)که توانایی عبور از لایه‌ی اینورژن را داشته باشند و نیز قدرت منبع انرژی باید به اندازه‌ای باشد که قدرت حفظ شارش و گسیل جریان بالارونده را در ارتفاعات حفظ کند تا چگالش در لایه‌های همرفتی شکل گیرد. ۲: افزایش غلظت هسته‌های چگالش (آیروسل‌های اولیه) در منطقه مورد نظر برای تولید یا افزایش نزولات جوی. با توجه به این که اختلاف پتانسیل بین یونوسفر و سطح زمین نزدیک به ۴۰۰ کیلو ولت است و یک جریان ضعیفی از گسیل ذرات باردار را به آرام ایجاد می‌کند. این جریان سالیانه حدود ۶۰ کولن در مترمربع بار الکتریکی را بر روی سطح زمین ذخیره می‌کند. در حقیقت بین سطح زمین و یوینوسفر یک خازن تولید می‌شود. تخلیه الکتریکی طبیعی خازن تشکیل‌شده در شرایط اتمسفرکه محیط گازی غیر همگن است، میدان الکتریکی بسیار قوی ایجاد می‌کند. در دو کیلومتری میدان الکترواستاتیکی بین زمین و یونوسفر در شرایط یکنواخت و آرام جو، اختلاف پتانسیل حدود ۱۰۰-۱۳۰ ولت است و درارتفاعات بالاتر مثلا ۳۰۰ متری سطح زمین اختلاف پتانسیل بین حدود ۳۰ کیلوولت و بالاتر می‌شود. در چنین شرایطی جریان شارش ذرات محدود شده و فقط تجمع و انباشت ذرات افزایش می‌یابد. بنابراین الکترونهای ناشی از تخلیه‌الکریکی مضاعف در بین زمین و یونوسفر، روی مولکولهای خنثی یا آیروسل‌ها سوار شده و یک سیستم موثر با نیمه‌ی عمر بالا از ذرات باردار با هسته‌ای که از ماده چگالنده درست شده‌است، ایجاد می‌کنند. ذرات با سرعتی بیش از سرعت تحرک الکترونها و برابر ۱-۵ سانتیمتر در ثانیه در مسیر شارش جریان‌های بالارونده قرار می‌گیرند. ذرات منفی به سمت بالا و تاثیر در فرایند بارش هدایت می‌شود. از طرفی برای شروع چگالش در اتمسفر لازم است تا بخار آب در لایه‌های ابر به دمایی پایین‌تر از نقطه‌ی شبنم برسند و ضمنا تعداد حداقلی هسته‌های چگالش(یون و آیروسل‌ها) باید وجود داشته باشد که روی آنها فرایند چگالش صورت بگیرد. بنابراین با توجه به شناخت ماهیت اصلی اثر میدان الکتریکی بر ساختار جو و نقش طراحی

Archive of SID

www.SID.ir

الکترودهای تخلیه‌کننده که در مراجع (Jahanshir, 2013b) و (Jahanshir, 2013a) به طور کامل بیان شده‌است با بومی سازی، طراحی و ساخت تجهیزاتِ تغییر اقلیم به روش تخلیه‌ی‌الکتریکی(Jahanshir, 2014) در کشور می‌توان علاوه بر هدایت دانش محور کاربرد فناوری‌های نوین، مشکلات کم‌آبی و خشکسالی را به همراه کاهش انتشار آلاینده‌ها، ریزگرد و غبار محلی مدیریت نمود.

۷. منابع

Berlyand M.E., (1975). *Modern problems of atmospheric diffusion and air pollution.* Gid-izdat press.

Berlyand M.E.. (1985). *Prediction and control of* a*ir pollution*. Gidrometeoizdat press.

Bitsadze A. V.. (1976). *The equations of mathematical* p*hysics.* Moscow: Nauka.

Brunauer, S.. (1945). The adsorbtion of gases and vapors. vol. 1b. Physical Adsorption, USA.

Chen J., Davidson J.H.. (2002). Electron density and energy distributions in the positive DC corona: plasma chemistry and plasma processing, vol. 22, 199-224.

Cheng D. K.. (1989). Field and wave electromagnetics, 2nd ed., Addison Wesley.

Chia-Huei A. Ku.. (1978). *Mechanisms of particle transport and electrokinetic phenomena in a cross flow/electrofilte*. West Virginia University press.

Folmer M.. (1986). *The kinetics formation of a new phase*. M.Nauk, Moscow.

George M. E.. (1970). *An introduction to continuum mechanics.* McGraw-Hill Professional.

Jahanshir A.. (2013a). Artificial injection of charged particles and reducing concentration of dust and pollution, P*roceedings* of the 1st Nationa conference on air pollution monitoring, effects and controlling actions. Ahwaz, Iran.

Jahanshir A.. (2013b). Artificial ionization of the air in the greenhouse and agricultural fields. Proceeding of the 1st national electronic conference on innovations in horticultural science, Jahrom University, Jahrom, Iran.

Jahanshir A.. (2014). Local climate change and effect of modern technologies on precipitation and dust, *Proceedings* of the International Congress on Climate Change. Social Responsibility& Generation. Tehran, Iran.

Jahanshir A., Hosseinsharghi M, Hasani H.. (2013). Mechanism of corona discharge process and reducing effects on urban air pollution. National conference on air pollution monitoring, effects and controlling actions, Ahwaz, Iran.

Jahanshir A., Jahanshir A.H.. (2013a). Using of modern technologies through new a*pproaches* to modern managing climate crisis. P*roceedings* of the National Conference on Modern Disaster Management & HSE, Tehran, Iran.

Jahanshir A.H., Jahanshir A.H.. (2014b). A new approach of trans management's crisis in forecasting and guiding short and long term effects of natural and climatic events. P*roceedings* of the 5th International Conference on Integrated Natural Disaster Management, Tehran, Iran.

Kundu P. K., Cohen I. M.. (2002). Fluid *Mechanics.* Academic Press.

Peek F.. (1915). *Dielectric phenomenon in high voltage engineering*. McGraw-Hill Book Company.

Pshezhetsky C.Ya., Dmitriev M. T.. (1978). *Radiation physics and chemical processes in air*. Atomizdat Published, Moscow.

Raizer Y.. (1991). *Gas Discharge Physics.* Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

Smirnov V.V.. (1972). The effect of charged particles on the clouds. Trudi. IEM, vol. 2(36), pp. 3-32.

Townsend J. S.. (1915). *Electricity in gases.* Oxford University Press.

Walas, S. M.. (1985). *Phase equilibria in chemical engineering*. Butterworth Publishers, Willey and Sons. Inc. New-York. Chapman and Hall Lim.

Zhao L., Adamiak K.. (2005). EHD flow in air produced by electric corona discharge in pin-plate configuration. *Journal of electrostatics*, vol. 63, No. 3-4, pp. 337-350.

Archive of SID

www.SID.ir

Achievements of Physics and Modern Technology for Climate Changing Programs

Arezu Jahanshir

Department Physics and Engeineering Physics, Buein Zahra Technical University

jahanshir@bzte.ac.ir

Archive of SID

Abstract

Attention to the environment, green nature and public health in the most countries with continual climate change and unstable local weather was increased. As we know, by exciting the lower layers of the atmosphere, scientists can directly effect on the controversial climate. Hence, the scientific strategies and industrial policies in developed countries are rotating around equipment upgrades and the acquisition of new technologies in this field. Climate changes in the world, leading to increase or decrease rainfall. Formation of local rain, storm and fog are the results of condensed particles in the cloud. So by this mechanism we can artificially effect on the air and cloud, it is the main cause for climate change issues in the atmosphere physics dialogues. Hence, the special and unique management strategies for regional climate change is using methods that can help us to achieve controlling way to decrease or increase local rainfall and precipitations. To achieve this goal, it is artificially possible by effecting of the macro electrical discharge systems on the lower layers of the atmosphere. Using high technologies with optimization of the equipment, we can efficiently effect on decreasing of climate changes.

Key words: Weather changing conditions, Ionization of atmosphere, Electrical discharge, Precipitation.

www.SID.ir