

واکاوی تشدید الکترومغناطیسی وردسپهر در افزایش باران‌زایی

آرزو جهانشیر*

استادیار، گروه فیزیک و علوم مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، مرکز آموزش عالی فنی و مهندسی بوئین زهرا، بوئین زهرا، ایران

(دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۱، پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۳/۴)

چکیده

در پژوهش حاضر روش بهبودیافته بررسی اثرات تلفیقی ناشی از تزریق میدان الکترومغناطیسی فشار قوی و برهم‌کنش با لایه‌های زیرین وردسپهر به منظور افزایش باران‌زایی پیشنهاد شده است. مکان‌یابی پویا و شناسایی نقاط تبدالی در ارتفاعات وردسپهر-سطح زمین با حداکثرسازی بار الکتریکی تزریقی در این نقاط، زمینه افزایش توده‌های ابر را فراهم کرده و باعث کاهش پراکندگی و چگالش بیشتر ذرات در ابر می‌شود. پیشینه قابل‌قبول به‌دست آمده از تزریق میدان الکترومغناطیسی در لایه‌های زیرین وردسپهر مناطق غرب و جنوب غرب ایران و افزایش بارش محلی نسبت به داده‌های اقلیمی بلندمدت و کوتاه‌مدت منطقه، نویسندگان را بر آن داشت تا به‌عنوان پژوهشگر فناوری‌های نوین محیط‌زیستی در حوزه فیزیک و با استناد بر دستاوردهای دینامیکی تبدالات میدان‌های الکترومغناطیسی در ارتفاعات وردسپهر-سطح زمین، نقاط تشدید عملکرد تزریق را با هدف حداکثرسازی مطلوبیت نتایج گذشته در افزایش باران‌زایی تعیین و مکان‌یابی کند. فن محاسبات فیزیکی تشدیدکننده میدان‌های تبدالی مکان‌یابی شده در ارتفاعات مشخص از وردسپهر-سطح زمین نقش چشم‌گیری در افزایش ایستایی و ضخامت میدان الکترومغناطیسی تزریق دارد. تشدید میدان باعث افزایش ضخامت میدان تزریقی شده (شعاع اثر میدان) و در نتیجه حداکثرسازی پراکنش توده‌های ابر و افزایش چگالش بخار آب و هسته‌های تراکمی را نسبت به نتایج سال ۱۳۹۲ نشان داد. سطح بارش نسبت به دوره سی‌ساله و چند ساله اخیر بین ۳۰-۱۰ درصد افزایش و نسبت به اثر تزریق در نقاط تبدالی حدود ۱۲-۱۵ درصد افزایش مجدد دارد که درکل به‌طور میانگین ۳۶ درصد افزایش بارش خواهد بود. تصحیحات دینامیکی تزریق در وردسپهر بر پایه محاسبات نظری می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تشدید الکترومغناطیسی، بارش، باران‌زایی، تزریق میدان الکترومغناطیسی، مکان‌یابی پویا.

۱. مقدمه

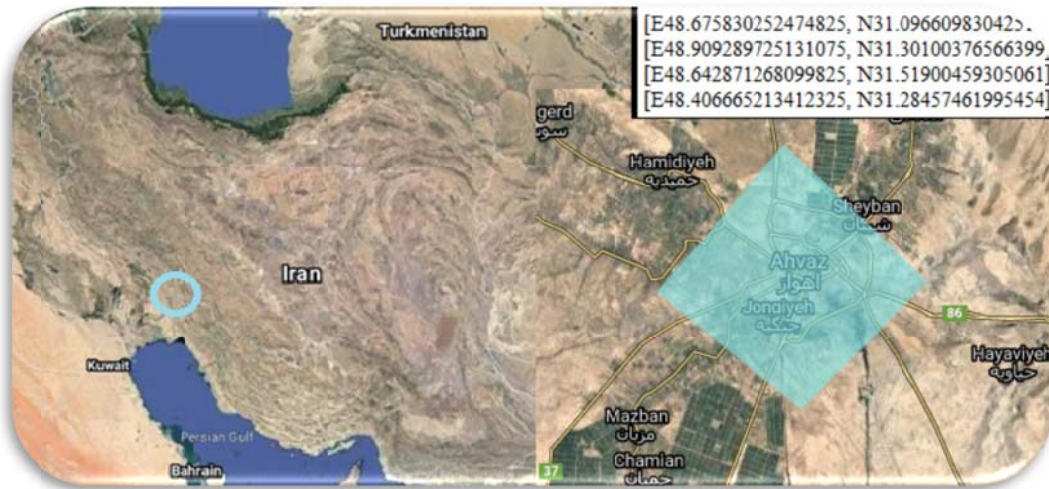
بحرانی ایران بیشتر به نواحی شرق، جنوب شرقی، جنوب و جنوب غرب بر می‌گردد که به‌خوبی مشکلات و مسائل مرتبط با کمبود بارش (محمدجانی و یزدانیان، ۱۳۹۳) و نزولات جوی در بافت شهری و شرایط اجتماعی نیز مشهود است (شاهسونی و همکاران، ۱۳۸۹؛ رضایی و یگانه، ۱۳۹۲؛ غیور، ۱۳۷۶). از این‌رو کشورهای مختلف به فراخور شرایط زیستی هر کدام اقدامات کاربردی و کارآمد بسیاری در رفع بحران کرده و روش‌های ترکیبی یا چندگانه را برای افزایش بارش و کاهش بحران کمبود آب انتخاب کرده‌اند (وبگاه فناوری تغییر اقلیم- استرالیا (ART)، ۲۰۱۲-۲۰۱۳). به‌عنوان مثال با تکیه بر فناوری‌های نوین و تزریق میدان الکترومغناطیسی در «تپه‌های هجر» در کشور عمان، به‌طور متوسط ۲۱ درصد افزایش بارش در مقایسه با سال قبل از (۲۰۱۲) تزریق، ثبت شده است (چمبرز و الکلبانی، ۲۰۱۶). به‌طور کلی

بحران آب یکی از مشکلات و اثرات طبیعی تغییر اقلیم در جهان است که این موضوع در مناطق خشک و نیمه‌خشک تشدید شده است. کمبود آب و بارش به‌عنوان بخشی از بحران‌های محیطی هستند که به‌طور پیوسته و مشهود باعث اثرات نامطلوب محیط‌زیستی می‌شوند و زمینه‌ساز تغییرات چشم‌گیر در سطح آب‌های زیرزمینی، آب‌های سطحی، بیابان‌زایی، کاهش مراتع و کشتزارها است (فرج‌زاده، ۱۳۷۶؛ شجاع جمال‌آباد، ۱۳۹۷). بحران آب در بیشتر کشورهای جهان وجود دارد و پیوسته سلسله چالش‌ها و مشکلات ناشی از کمبود آب و استفاده نادرست در مجامع علمی مطرح می‌شود. در ایران نیز با وجود کمبود منابع آبی گسترده، مصرف بیش از اندازه، هدر دهی و همچنین به‌سبب تغییرات آب‌وهوایی و خشکسالی همچنان تأمین منابع آب کشاورزی و آب شیرین پایدار به یک معضل ملی تبدیل شده است. مناطق

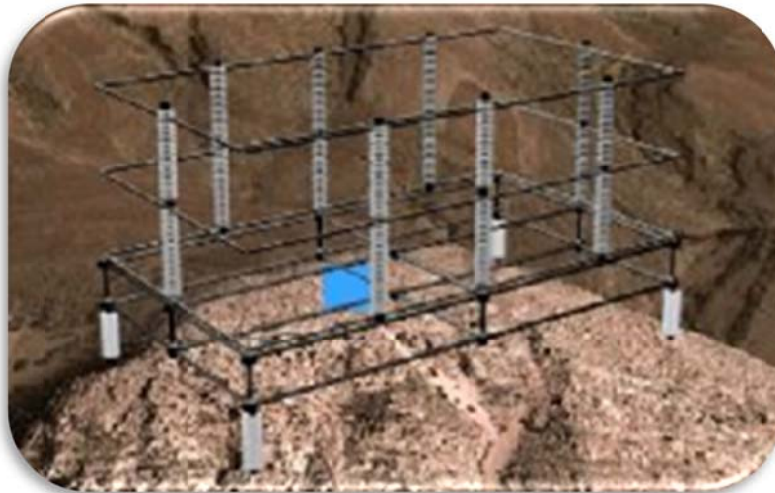
اجرائی، همواره مزایا و معایبی به همراه دارد که با توجه به شرایط اقلیمی، وضعیت جوی مناطق تحت باروری و حتی سیاست‌های اقتصادی کلان، برترین و مقرون به صرفه‌ترین روش پیشنهاد می‌شود؛ به همین دلیل انتخاب شیوه باروری در کشورهایی که تا سی سال آینده با بحران جدی آب روبرو هستند، با یکدیگر متفاوت است. با توجه به شرایط اقلیمی مناطق آسیایی، در ایران نیز در سی سال آینده بحران آب فراگیر شده (محمدجانی و یزدانیان، ۱۳۹۳) و طبیعتاً مناطق خشک و نیمه‌خشک سریع‌تر و شدیدتر با کمبود آب جدی روبرو خواهند شد. به همین دلیل و با توجه به شرایط اقلیمی این مناطق که پیوسته با افزایش دمای متوسط هوا و کاهش بارش در کنار رخدادهای غیر قابل کنترل توفان‌های گرد و خاک همراه است، وقوع بحران آب تسریع خواهد شد و این موضوع عاملی بود تا نسبت به پیشگیری کمبود آب، پیشنهاد کاربرد فناوری‌های نوین تزریقی مطرح شود (کریمی، ۲۰۱۸). در ایران نیز با توجه به معیارهای مقرون به صرفه‌گی و توانایی بومی‌سازی تجهیزات، فناوری تزریق مصنوعی محلی، برای چالش‌های اقلیمی کمبود بارش و کاهش گرد و خاک پیشنهاد و اجرا شد. منطقه تزریقی آزمون در شکل ۱ و نمای ظاهری تجهیزات تزریق یونی در شکل ۲ ارائه شده است. با توجه به مقدمه ارائه شده و در دست‌داشتن نتایج اجرای طرح که در سال ۱۳۹۲ انجام شد؛ هدف از این پژوهش، واکاوی عوامل و اثرات تشدیدکننده تغییرات الکترومغناطیسی وردسپهر و دستکاری مصنوعی الگوهای گردش جوی و اقلیمی کوتاه‌مدت توسط فناوری مصنوعی مدیریت جو و بهینه‌سازی شرایط اقلیمی می‌باشد که مشابه فرایند کاربرد فناوری تزریق در امارات، عمان، مکزیک و استرالیا است (وبگاه فناوری تغییر اقلیم - استرالیا (ART)، ۲۰۱۲-۲۰۱۳) و بر اساس نتایج اجرای طرح پیشنهادی تغییر اقلیم محلی در سال ۱۳۹۲ مطالعه نظری افزایش عملکرد تزریق در این مقاله ارائه شده است.

روش‌های افزایش بارش و کاهش بحران کمبود آب، به سه دسته تقسیم می‌شود. دسته اول مستقیماً مربوط به فناوری‌های تولید بارش و نزولات جوی است (WMH (Weather Modification History)، ۲۰۱۷ و وبگاه فناوری تغییر اقلیم - استرالیا (ART)، ۲۰۱۲-۲۰۱۳). دسته دوم فناوری‌های کاربردی کاهش و یا روش‌های بهینه‌سازی مصرف آب است و دسته سوم فناوری‌های تولید نوین مواد باروری است (گوئو و همکاران، ۲۰۱۴) که شامل ساختارهای مختلف نانو ذرات یدید نقره، نیتروژن مایع و مواد ترکیبی متفاوت می‌شود. پژوهش‌های دسته اول روش‌هایی مانند شلیک هوایی، شلیک زمینی، روش تپ لیزر، روش خلاء مه دود و فناوری ژنراتورهای یونی را در بر دارد که به سه بخش مجزا تقسیم می‌شوند:

- ۱- باروری هوابرد و هسته‌ساز در سطح توده‌های ابر که در لایه‌های با حداقل دمای ۵- تا ۶- انجام می‌گیرد،
- ۲- باروری هوابرد در وردسپهر منطقه تحت باروری،
- ۳- باروری تحریکی شامل ژنراتورهای الکترومغناطیسی یا امواج لیزر از سطح زمین. اغلب کشورها با هدف جبران کمبود آب یا با اهداف بهبود شرایط اقلیمی منطقه، یکی از روش‌های بالا را برای باروری انتخاب می‌کنند، اما در ۱۲ سال اخیر چین (شیوفنگ و همکاران، ۲۰۲۱؛ CMA، China Meteorological Administration)، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴، امارات عربی (فرهات و ابوالقاسم، ۲۰۲۱) و هند (بیسوانات، ۲۰۲۰ و شوکلا و همکاران، ۲۰۲۱) که از پیشتازان باروری ابرها هستند، پیوسته از فناوری‌های ترکیبی و تداخلی باران‌زایی-باروری خصوصاً ژنراتورهای یونی استفاده می‌کنند که نتایج قابل توجهی را در افزایش بارش داشته است (چالمین، ۲۰۲۰). از این‌رو با توجه به اهمیت روزافزون آب، هرگونه روش کارآمد و کاربردی در افزایش بارش و نزولات جوی می‌تواند بحران جدی کمبود آب را کاهش دهد. از این‌رو باران‌زایی (CMA، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴) و باروری ابرها با هر روش و شیوه



شکل ۱. منطقه تقریبی محل واکوی نقاط تبدلی و استقرار تجهیزات تزریق.



شکل ۲. نمای ساده شده تجهیزات اصلی تزریق میدان الکترومغناطیسی در ایستگاه تک‌فاز.

وردسپهر-سطح زمین اجرا می‌شود که تغییرات پیوسته یا تناوبی در چرخه آب‌شناختی و جو بالا و زیرین برجا می‌گذارد (جهانشیر، ۲۰۱۴؛ ۲۰۱۷). بیشتر مسائل مربوط به خشکسالی و حتی افزایش گرد و خاک به دلیل کاهش بارش در سطح زمین، خشکی خاک، جابه‌جایی خاک و کاهش یا تغییر شکل نزولات جوی است و عمدتاً با فرایندهای پایین‌ترین لایه وردسپهر تقریباً ۱۷ کیلومتری سطح زمین مرتبط است. به‌همین دلیل استفاده از اثر یونیزاسیون لایه‌های زیرین وردسپهر با هدف تغییر شرایط جوی، بخش وسیعی از تحقیقات فیزیک جو در جو بالا و

طرح موردنظر به‌منظور رفع بحران گرد و خاک (شاهسونی و همکاران، ۱۳۸۹) و در کنار آن افزایش بارش محلی و نهایتاً بومی‌سازی فناوری در یکی از بحرانی‌ترین مناطق جنوب غرب ایران از نظر کمبود آب و توفان‌های شدید گرد و غبار راه‌اندازی شد (طرح پژوهشی، ۱۳۹۲). سازوکار و عملکرد تجهیزات با هدف مدیریت و کنترل وردسپهر محلی و بومی‌سازی فناوری طراحی، مدیریت و اجرا شده است. فرایند تزریق بر پایه دانش فیزیک مهندسی و اثرات تشدید میدان الکترومغناطیسی با تزریق ذرات باردار در ارتفاعات

زیرین است (چمبرز و الکلبانی، ۲۰۱۶). در کشورهای پیشرفته دستاوردهای حاصل از تزریق در جو بالا بسیار گسترده و با اهداف پژوهشی متفاوت است و در این مقاله به آن نمی‌پردازیم (WMH، ۲۰۱۷). اما تحولات آب‌شناختی و جوی لایه‌های زیرین وردسپهر مکان مورد نظر برای دستیابی به اهداف باران‌زایی، تشدید بارش و تغییر نوع نزولات جوی است؛ که در این مقاله مستقیماً بدون ورود به روابط و معادلات پیچیده فیزیکی میدان‌های تبادل به آن پرداخته و نتایج تحقیق را بر روی داده‌های واقعی اعمال کرده‌ایم. با شروع فعالیت طرح کلان تزریق چرخشی-تناوبی در سال ۱۳۹۲ که به‌منظور رفع بحران غبار در مناطق غرب و جنوب غرب ایران و با هدف کاهش غلظت گرد و خاک پیشنهاد شد، دستاورد جانبی و با اهمیتی به همراه آورد که باعث ثبت افزایش بارش محلی و کاهش آلاینده‌های گازی-صنعتی در شهر اهواز بود (جهانشیر، ۲۰۱۴). منطقه آزمون حد فاصل غرب از مختصات جغرافیایی 31.3183°N - 48.6706°E و 31.5567°N - 48.1697°E می‌باشد و محدوده تحت پایش به شعاع حدود ۱۰۰ کیلومتر از مرکز شهر اهواز در نظر گرفته شده است. در مقایسه با داده‌های سی ساله منطقه آزمون حدود ۳۷ درصد در دوره تزریق افزایش بارش، ۴ درجه کاهش دما، ۱۰ درصد افزایش رطوبت محلی منطقه هدف ثبت شده است (طرح پژوهشی، ۱۳۹۲؛ وبگاه فناوری تغییر اقلیم- استرالیا (ART)، ۲۰۱۲-۲۰۱۳). به‌همین دلیل با بازبینی مجدد معادلات و محاسبات عملکرد تزریق، مطالعه بررسی اصلاحات دینامیکی مکان‌یابی تزریق و اثر بخشی بیشتر تجهیزات با هدف نصب در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران برای ارائه مجدد بررسی و اجرای طرح و بومی‌سازی فناوری مطرح می‌شود. نتایج پنج سال متمادی تحقیق و بررسی اصلاحات لازم در نصب تجهیزات مشخص کرد در نقاط تبادل میدان‌های الکترومغناطیسی مشترک وردسپهر-سطح زمین، کارایی باران‌زایی و تراکم توده‌های ابر افزایش خواهد داشت. از این‌رو با مکان‌یابی دقیق نقاط تبدلی و

بازنمایی معادلات هیدرودینامیکی و افزودن اثر میدان‌های الکترومغناطیسی تبدلی به آنها، روابط اثر میدان‌های مضاعف وردسپهر-سطح زمین را مجدداً به‌دست آورده و با وارد کردن داده‌های حقیقی سال ۱۳۹۲ طرح بازبینی محاسبات عددی را برای تعیین درصد افزایش بارش دنبال کردیم. داده‌های ۱۳۹۲ در محاسبات بازنمایی به این منظور انتخاب شدند که در صورت نتایج مثبت و مشاهده تغییرات نظری مؤثر در عملکرد تزریق، بتوان طرح اجرایی تزریق گذشته را با نصب منابع تزریق در نقاط تبدلی از سر گرفت. در شرایط فعلی که با بحران آب مواجه هستیم اجرای دوباره طرح می‌تواند به‌عنوان یک راهکار پیشنهادی مطرح شود. با توجه به این که سازوکار شیمیایی و فیزیکی تولید باران و نقش ذرات میعانی در تمامی کتب تخصصی فیزیک جو و مقالات متعدد وجود دارد (سیدحسینی، ۱۳۹۱؛ ویلرماکس و همکاران، ۲۰۰۹)، در این مقاله به این مباحث اشاره نخواهد شد. زیرا هدف اصلی پژوهش پیش رو تغییرات دینامیکی و ساختار فناوری برای حداکثرسازی کارایی است و با این فرض مطالعات را ارائه می‌دهیم که خواننده با مبانی و اصول تولید ابر و بارش، برهم‌کنش الکتروایستایی در وردسپهر و مبانی هواشناسی آشنا می‌باشد. از این‌رو با تکیه بر بازنمایی معادلات هیدرودینامیکی جریان‌های بالارونده (دولژانسکی، ۲۰۱۳؛ چمبرلیان و هونت، ۱۹۷۸) نتایج اثر نقاط تبدلی وردسپهر-سطح زمین را در محاسبات عددی با پارامترهای یونش و تزریق آزمون ۱۳۹۲ به‌دست‌آوردیم. داده‌های بازنمایی شده نشان داد تغییرات قابل توجهی در بارش، دما، رطوبت و مدت‌زمان ایستایی ضخامت لایه تبدلی تزریق ایجاد می‌شود. ترسیم وابستگی پارامترهای شاخص و مقایسه منحنی‌ها نشان می‌دهد اثر برهم‌کنش چرخشی-تناوبی پیوسته تزریق در چیدمان تقاطعی-مرکزی، با افزایش چگالش و تراکم توده‌های باران‌زا به‌طور میانگین نسبت به تزریق در نقاط مکان‌یابی نشده ۱۵ درصد افزایش نزولات جوی، ۱۱ درصد کاهش دما و ۱۰ درصد افزایش رطوبت دارد.

۲. روش پژوهش

تعدیل پارامترهای جو با هدف مدیریت بارش به واسطه دخالت و اثرگذاری در سطوح زیرین وردسپهر و افزایش ضخامت لایه‌های برهم‌کنش در تراکم توده‌های ابر و ذرات میعانی موفق عمل کرده است (چمبرز و الکلبانی، ۲۰۱۶). به‌همین دلیل در این پژوهش نیز فناوری تزریق میدان الکترومغناطیسی با تغییر شرایط ایستایی و دینامیکی جو و انتقال هواویزها به سطوح بالا در مساعد کردن لایه‌های زیرین وردسپهر برای افزایش چگالش در ابرها و نتیجتاً بارانزایی استفاده شده است. از طریق محاسبات نظری و بازنمایی معادلات دینامیکی که با افزودن بخش اصلاحی اثرات میدان الکترومغناطیسی نقاط تبدلی به معادلات معمول هیدرومغناطیسی همراه است (دولژانسکی، ۲۰۱۳؛ چمبرلیان و هونت، ۱۹۷۸)، مناطقی در فاصله وردسپهر-سطح زمین مشخص شد که در این نقاط برهم‌کنش تبدلی میدان‌های طبیعی و تزریقی تشدید می‌شود. این نقاط از طریق حل معادلات میدان الکترومغناطیسی تزریقی-طبیعی با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی و پارامترهای بلندمدت (دوره سی ساله)، کوتاه‌مدت (دوره دو ساله) و میان‌مدت (دوره پنج ساله) جو شناسایی شده و برای مکان‌یابی بهینه واکاوی شده‌اند. با استناد بر این حقیقت که نوسانات افزایشی-کاهشی میدان خارجی در وردسپهر به‌طور کلی بر روی فرایند چگالش بخار آب و نفوذ هسته‌های میعانی ابر به داخل توده‌های کم‌ضخامت ابر اثرگذار است استفاده کرده و اصلاحاتی را برای افزایش کارایی دنبال کرده‌ایم. جهت افزایش شدت تناوب برهم‌کنش میدان تزریقی و الکترواستاتیکی وردسپهر لازم است بار الکتریکی نفوذی در توده‌های ابر که به‌شکل تابع نمایی است، ثابت بماند. واکاوی اثر این تابع در وردسپهر با استفاده از پارامترهای ساختاری جو نشان می‌دهد در بازه زمانی کوتاه، تراکم ابرهای کم‌عمق افزایش می‌یابد و با گسترش چگالش صعودی در لایه‌های قائم ابر بارانزایی شروع شده و شکل‌گیری نزولات جوی در قالب بارش پیوسته، بارش

کوتاه‌مدت و تگرگ مقطعی نمایان می‌شود. در این مطالعه از نرم‌افزار Envi 5.3 برای پردازش‌های تصاویر بارش و در بررسی اثرات غلظت و تراکم گرد و غبار بر روی عملکرد میدان الکترومغناطیسی از داده‌های ماهانه عمق اپتیکی هواویز از سنجنده مادیس (روی آکوا و ترا) تحت محصول: Modis (AQUA and Terra)-Aerosol Optical Depth با تفکیک زمانی روزانه و تفکیک مکانی یک کیلومتر استفاده شده است. پردازش داده‌های عمق اپتیکی در نرم‌افزار Google Earth Engine با کد دستوری MODIS/006/MCD08_M3 در باند Aerosol_Optical_Depth_Land_Ocean_Mean_Mean استخراج شده است. داده‌های نیم‌رخ جوی نیز از تحت محصولات: MOD07_L2-MODIS/Terra Temperature and Water Vapor Profiles با تفکیک زمانی ۵ دقیقه و تفکیک مکانی ۵ کیلومتر انتخاب شده است. داده‌های هواشناسی (دما، رطوبت، فشار، بارش و نزولات جوی (تگرگ)) در دوره آزمون از سازمان هواشناسی استان خوزستان دریافت شده و همچنین به‌منظور بررسی و تحلیل پارامترهای اقلیمی منطقه، داده‌های بلندمدت دوره سی ساله سال‌های ۱۳۶۸-۱۳۳۹ از وبگاه سازمان جهانی هواشناسی گرفته شده است. همچنین با توجه به اهمیت چگالی و تراکم ذرات گرد و غبار در جو روند تغییرات هواویز برای مقایسه در واکاوی مکان‌های تبدلی، از داده‌های سنتینل ۵ و در باند ۳۵۴-۳۸۸ نانومتر با محصول Sentinel-5P NRTI AER AI: Near Real-Time UV Aerosol Index به‌دست آمده و در نرم‌افزار Google Earth Engine با کد دستوری COPERNICUS/S5P/NRTI/L3_AER_AI پردازش شده است. محدوده اصلی تزریق به شعاع حدود ۱۰۰ کیلومتر از مرکز شهر اهواز است. در تحلیل نظری مکان‌یابی پویا برای افزایش تراکم ابرها و تغییر سطح بارش، محدوده مؤثر تزریق تا فواصل ۵۰ کیلومتری در نظر گرفته شده است. لازم به‌ذکر است در این مقاله مختصات یافته شده نقاط تبدلی به‌دلیل حفظ و انحصار

نتایج علمی-پژوهشی نزد سازمان تأمین و فراهم کننده پژوهش تا زمان بومی سازی فناوری محفوظ خواهد بود.

۳. اصلاحات تبادلی تزریق در افزایش بارش

در سال‌های اخیر دستاوردهای صنعتی در رفع مشکلات محیط‌زیستی و مخاطرات اقلیمی توانمند عمل کرده‌اند. اثر تزریق الکترومغناطیسی نیز به‌عنوان دستاورد صنعتی در برخی پژوهش‌های امروز راهکاری ارزان قیمت و ساده برای حفاظت از محیط‌زیست دامی و تعدیل مخاطرات زیستی آلودگی هوا در نظر گرفته می‌شود (کاربرد در دامداری، درمان و تصفیه هوا: (هریوت و همکاران، ۲۰۱۸؛ آلونسو و همکاران، ۲۰۱۵؛ جیانگ و همکاران، ۲۰۱۸؛ چنگ و همکاران، ۲۰۲۰)). فرایند تزریق ذرات در محیط‌های بسته و باز مشابه بوده و با استفاده از یک منبع تخلیه الکتریکی فشار قوی-جریان مستقیم وارد شبکه‌های متمرکز الکتروودی شده و بعد از تخلیه الکتریکی، تزریق یون و شارش ذرات باردار آغاز می‌شود. متوسط انرژی مصرفی در هر ایستگاه متشکل از چهار سکوی تزریقی، حدود ۳۰۰-۲۰۰ وات در ساعت است. با توجه به مصرف نسبتاً ناچیز انرژی، ژنراتور یونی فناوری ساده و نسبت به روش‌های دیگر باروری مقرون به‌صرفه است. اگرچه دقت در فرایند فعالیت ایستگاه، کنترل و رصد دقیق و پیوسته پارامترهای جوی بخش دشوار مدیریت فناوری باروری تزریقی در مقایسه با روش‌های دیگر است. از این‌رو زیرساخت فناوری تجهیزات کنترل و مدیریت اقلیم محلی با سازوکار ساده تزریق و اثر بر روی لایه‌های زیرین وردسپهر تا لایه‌های بالایی یونوسفر تحولات جوی را دستخوش تغییر می‌کند و در حال حاضر فناوری تغییر اقلیمی به‌طور عمده بر پایه زیر ساخت تخلیه الکتریکی بوده و با نوآوری‌های مدرن در سازوکار اولیه فرایند تزریق پیش‌تاز فناوری‌های آتی خواهد بود. در این مقاله و مقالات مشابه، مفهوم تزریق در حقیقت به‌معنای خروج الکترون‌های پرشتاب از الکترودهای متصل به ولتاژ بالا می‌باشد که در مسیر خود، مولکول‌های هوا و ذرات معلق

گرد و غبار را با گسیل و جذب انرژی به یون باردار (مثبت یا منفی) تبدیل می‌کند. در قدم دوم بر اثر واکنش‌های شیمیایی پیوسته با ذرات و مولکول‌های هوا، فرایند یونش با آبشارهای بهمن یونی تشدید می‌شود (کوک و همکاران، ۲۰۱۱). نقش تشدید و بهمن یونی در جو زیرین بسیار حائز اهمیت بوده و پژوهشگران علوم جوی برای تغییرات پارامترهای جوی در باروری ابرها و افزایش بارش یا اهداف متفاوت از آن استفاده می‌کنند. بنابراین به هر روش امکان‌پذیر، اگر فرایندهای پیش‌رونده را در تولید یا فراهم کردن شرایط بارش در ابرها تغییر دهیم، در حقیقت توانمندی و احاطه‌ای ویژه در مدیریت اقلیم محلی به‌دست آورده‌ایم. اکنون اشاره کوتاهی به مطالب پایه در باروری ابرها می‌کنیم. باروری ابرها و تولید مصنوعی بارش، روش‌های کارآمدی هستند که با تأثیرگذاری بر روی ساختار ابر در لایه‌های زیرین وردسپهر، تراکم و چگالش را در توده‌های ابر تسریع می‌کنند. فرایندهای متفاوتی برای این منظور وجود دارد که قدیمی‌ترین آنها استفاده از مواد شیمیایی مانند یدید نقره، نیتروژن مایع، کلرید سدیم و یخ خشک است. با شلیک گلوله‌های انفجاری به داخل ابرها باعث می‌شوند حجم بیشتری از چگاله‌های درون ابری، به‌شکل نزولات جوی در آمده و بارش در منطقه هدف افزایش یابد (سیدحسینی، ۱۳۹۱). در چنین روش‌هایی شرایط جوی، سرعت وزش باد و حرکت ابرها در تنظیم محل تزریق و سپس باروری ابرها بسیار تأثیرگذار است. زیرا تغییر سرعت جریان افقی، درصد خطای محل دقیق نزولات جوی را بر روی هدف افزایش می‌دهد و ممکن است مدت کوتاهی بعد از تزریق محل واقعی نزولات از هدف پیش‌بینی شده فزاتر رفته و کاملاً تغییر کند که محاسبات دقیق با در نظر گرفتن شرایط جوی و تغییرات احتمالی پایداری جو بسیار اهمیت دارد. به‌همین دلیل یکی از علت‌های مهم در توجه و علاقه‌مندی به کاربرد روش‌های نوین و وابسته به میدان‌های الکترومغناطیسی، افزایش دقت در محل واقعی نزولات است. همان‌طور که در مقدمه اشاره شد روش باروری ابرها

نفوذپذیری در لایه‌های سطح زمین تا وردسپهر، $-Q(z, t)$ پارامتر آزاد تناسبی است که با توجه به شرایط مرزی ضخامت میدان انتشار، نسبت خروج ذرات را از سطح مقطع نشان می‌دهد و وابسته به شاخص فاصله لایه تا منبع تزریق است. در معادله (۱) برای ساده‌سازی معادلات، سرعت باد افقی را صفر و شرایط جوی وردسپهر غیرآشفته و آرام را در نظر گرفته و معادله را به صورت زیر بازنویسی می‌کنیم:

$$\frac{\partial S}{\partial t} = \left(D_z \frac{\partial^2 S}{\partial z^2} \right) + Q(z, t) \quad (2)$$

با استفاده از رابطه میدان الکترومغناطیسی تزریقی که در مراجع (جهانشیر، ۲۰۱۶؛ ۲۰۱۴؛ ۲۰۱۷) محاسبه و ارائه شده است، تابع وابستگی شدت ولتاژ اولیه را با در نظر گرفتن پارامترهای ابعادی سازه تزریق در جو پایدار به دست می‌آوریم:

$$U = E_0 m_0 \delta_0 r \left(1 + \frac{0.03}{\sqrt{\delta r}} \right) \ln \left(\frac{2d}{r} \right) \frac{\partial S}{\partial t} \quad (3)$$

U ، ولتاژ شروع تزریق، به طور متوسط بین ۱۲۰-۱۵۰ کیلوولت و با توجه به شرایط تزریق و مجموع پارامترهای موردنظر تعیین می‌شود، E_0 ، گرادیان پتانسیل بحرانی وردسپهر زیرین است، پارامترهای وابسته به ساختار سازه منبع تزریق عبارتند از: r ، کمینه فواصل الکترودها برای شروع تخلیه الکتریکی است و با استفاده از فرمول نیمه تجربی پیک به دست می‌آید (پیک، ۱۹۱۵؛ رایزر، ۱۹۹۱). d ، فاصله بین الکترودها $d \gg r_0$ است. δ ، پارامتر شاخص چگالی هوا است و مستقیماً وابسته به فشار جو در محل استقرار تجهیزات و دمای الکترودهای تخلیه کننده بوده و در شرایط استاندارد $\delta = 1$ می‌باشد. m_0 ، پارامتر اثر ناخالصی سطح الکترودهای تخلیه کننده است و برای الکترودهای آرمانی، صیغلی و یکنواخت برابر $m_0 = 1$ است. در این پژوهش نظری برابر $0.95-0.98$ در نظر گرفته شده است. ارائه معادله (۳) در این بند به این علت است که خواننده در نظر داشته باشد فرایند تزریق و موفقیت در تنظیمات پارامترهای باران‌زایی، منحصراً از

با استفاده از مواد شیمیایی در سه سطح متفاوت ۱-قله یا تاج ابر، ۲-درون توده‌های سبک ابر، ۳-در پایین‌ترین سطح مقطع ابر قابل انجام است. انتخاب ناحیه مورد نظر باروری، مستقیماً وابسته به فصل، شرایط جوی و اقلیمی حاکم بر منطقه هدف بوده و بر اساس آن نوع مواد شیمیایی انتخاب شده تغییر می‌کند. روش دوم: باروری دینامیکی است و سازوکار آن متکی بر جریان بالارونده و قائم است که شارش انتقالی را از لایه‌های زیرین وردسپهر به لایه‌های بالاتر تسریع کرده و با انتقال بیشتر آب به لایه‌های ابر، حجم نزولات جوی را که عموماً به شکل باران است، افزایش می‌دهد. روش سوم: یکی از شیوه‌های کاربردی از فناوری‌های نوین است و در نتیجه تزریق میدان الکترومغناطیسی قوی در جو زیرین، باروری ابرها انجام می‌گیرد. در حقیقت میدان الکترومغناطیسی تزریقی از سطح زمین، مستقیماً باعث افزایش جریان بالارونده شده و علاوه بر آن با انتقال ذرات باردار به درون ابرها، تراکم و سرعت چگالش را نیز تسریع می‌کند. از این رو، با توجه به تنوع شرایط آب‌وهوایی مناطق مختلف ایران و مقرون به صرفه بودن فناوری تزریق یونی، در این مقاله عملکرد ادغامی و تداخلی حاصل از اثر میدان الکترومغناطیسی در لایه‌های زیرین وردسپهر ارائه شده است. در این قسمت اشاره کوتاهی به مباحث فیزیکی و دینامیکی اثرات الکترومغناطیسی تداخلی در جو زیرین می‌کنیم. تشریح معادلات و فرمول‌های هیدرومغناطیسی و شیمیایی برهم کنش یون‌ها و حرکت بالارونده ذرات در مراجع (جهانشیر، ۲۰۱۴؛ ۲۰۱۶؛ ۲۰۱۷) توضیح داده شده است؛ بنابراین سازوکار ساخت فناوری تغییر اقلیم محلی را با شرط توزیع نرمال گاوسی انتشار ذرات از منبع تزریق در نظر گرفته و معادلات شارش جریان بالارونده را فقط در راستای قائم بر وردسپهر به دست می‌آوریم:

$$\frac{\partial s}{\partial t} + (v + z) \frac{\partial s}{\partial z} = \frac{\partial s}{\partial z} \left(D_z \frac{\partial s}{\partial z} \right) + Q(z, t) \quad (1)$$

s ، غلظت ذرات تزریقی، z ، سرعت جریان بالارونده تزریقی، v ، سرعت وزش باد در راستای قائم، D_z ، ضریب

تنظیمات اولیه و لثاژ تزریق شروع می‌شود. و لثاژ اولیه یکی از مهم‌ترین پارامترهای تنظیم تزریق و مدیریت فرایندهای تبدالی در جو و ارتفاعات سطح زمین تا وردسپهر خواهد بود. از این‌رو نکته قابل‌تأمل در پژوهش قبلی تجربی به‌دست آمده نشان می‌دهد تشدید تراکم بخار آب و چگالش در توده‌های ابر با افزایش شدت میدان تزریقی افزایش می‌یابد. این پدیده در وردسپهر به‌دلیل وجود میدان الکترومغناطیسی کره زمین به‌طور طبیعی در فرایند چگالش و تراکم بدون دخالت بشر وجود دارد و از طریق تزریق شدت می‌گیرد. بنابراین اثر میدان در افزایش یا کاهش شرایط وردسپهر غیرقابل‌انکار است. با توجه به این موضوع، نکته مهم فناوری تزریق در اصول زیر خلاصه می‌شود: تداوم میدان الکترومغناطیسی در وردسپهر و لایه‌های زیرین، متمرکز کردن میدان در نقاط مرکزی هسته‌زایی بارش، افزایش تراکم منطقه‌ای توده‌های ابر، حفظ و پایداری برهم‌کنش میدان تزریقی با میدان داخلی وردسپهر و در نهایت مهم‌ترین بخش افزایش ضخامت و ایستایی میدان الکترومغناطیسی تبدالی است (مونرولین و همکاران، ۲۰۱۸؛ هاریسون و همکاران، ۲۰۲۰). در حقیقت اصول زیر ساختی فناوری تغییر اقلیم در سطح کلان یونسفر یا سطوح محلی وردسپهر طبق اصول بالا در تمامی تجهیزات کنترل اقلیم رعایت می‌شود؛ بنابراین سروکار ما در گسترش یا بهینه‌سازی عملکرد تزریق فقط به‌واسطه اثرات برهم‌کنشی خواهد بود و با به‌روزرسانی مطالعات برهم‌کنش ناشی از تزریق مصنوعی از سطح زمین تا وردسپهر بهینه‌شده و گسترش می‌یابد. با توجه به این که طراحی متنوعی از چیدمان دستگاه‌های تزریق به‌منظور کاهش گرد و خاک یا افزایش بارش وجود دارد که در برخی محاسبات و معادلات متفاوت ایجاد می‌کند اما در نتایج دستاورد فناوری تغییری رخ نمی‌دهد. به‌عنوان مثال در شهرهای صنعتی به‌دلیل وجود هواویزه‌های شیمیایی نسبت به مناطق کویری و خشک

غیر صنعتی که حاوی آلاینده‌های گازی نیستند پارامترهای فیزیکی تزریق با هدف تولید بارش منحصر به‌فرد محاسبه و تنظیم می‌شود (جهانشیر، ۲۰۱۳). از این‌رو تحلیل هیدرودینامیکی و برهم‌کنش میدان‌های تبدالی- تزریقی در مدل‌سازی محاسبات عددی، چیدمان منابع فشار قوی را مشخص می‌کند. علاوه‌بر این موضوع نوع تناوب میدان الکترومغناطیسی تزریقی (مثبت یا منفی)، تداوم تزریق و دوره چرخش تناوب قطبش بین ایستگاه‌های تزریق، عوامل بسیار مهمی در نتایج و بررسی بازنمایی شده تزریق در نقاط تبدالی هستند. نتایج تجربی به‌دست‌آمده از اجرای طرح در سال ۱۳۹۲ مطابق جانمایی معمولی منابع تزریق نشان داد، فعالیت تناوبی ایستگاه‌ها در شرایط غیریکنواخت وردسپهر و وضعیت آشفته سطوح زیرین وردسپهر و لایه‌های نزدیک سطح زمین، نسبت به داده‌های سی ساله و پنجاه ساله محل آزمون (داده‌های پنجاه ساله از هواشناسی استان اهواز دریافت شد)، سطح بارش افزایش ۳۷ درصدی نشان می‌دهد در دوره‌های مقایسه شده مطابق جدول ۱ به‌طور کلی میانگین بارش بسیار ناچیز ثبت شده است. داده‌های جوی از چهار ایستگاه همدیدی و چهار ایستگاه سنجش آلاینده تحت پوشش سازمان هواشناسی مستقر در منطقه تزریق دریافت شده است؛ بنابراین با هدف حداکثرسازی تغییرات تزریق؛ بازبینی‌های نظری در فرایند برهم‌کنش و اثرات جانبی پارامترهای جوی و نوسانات وردسپهر انجام داده‌ایم که براین تأثیرات در مناطق تبدالی و اکاواای شده، به حداکثر رسیده و افزایش عملکرد تزریق مشخص می‌شود. در این مناطق اثر تزریق تشدید شده و تغییرات تراکم و چگالش بهینه می‌شود. دامنه برد باروری تزریق به‌طور متوسط با هدف بیشترین تغییرات مؤثر به شعاع ۱۵۰-۱۰۰ کیلومتر از مرکز محل تزریق است که با توجه به چیدمان و مکان‌یابی تعیین می‌شود.

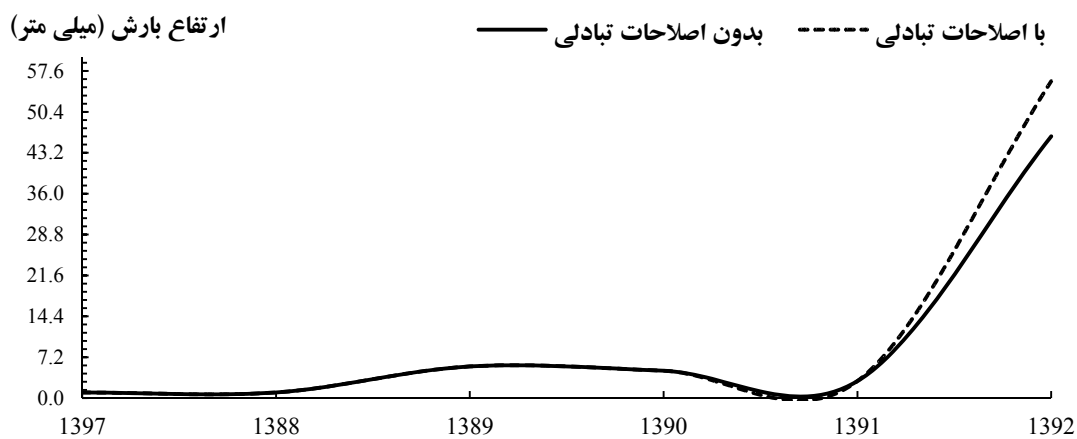
جدول ۱. نتایج تغییرات بارش، دما و رطوبت در مقایسه با دوره‌های قبل تزریق (۱)، دوره تزریق (۲)، تزریق نظری (۳)، تصحیحات تبادلی (۴).

بارش (میلی متر)	دما (سانتیگراد)	رطوبت (درصد)	
۶/۸	۲۹	۳۴	میانگین ۱۳۶۱-۱۳۹۱ (۱)
۵/۱	۳۰	۳۳	میانگین ۱۳۸۱-۱۳۹۱ (۱)
۴۴	۲۷	۴۰	میانگین ۱۳۹۲ تزریقی (تجربی) (۲)
۵۱	۲۴	۴۴	میانگین ۱۳۹۲ تزریقی-تبادلی (نظری) (۳)
۱۵٪	۱۱٪	۱۰٪	تغییرات ۱۳۹۲ (تجربی-نظری) (۴)

فرض وردسپهر آرام در لایه‌های زیرین حدود ۱۱ درصد نسبت به شرایط غیر تبادلی کاهش نشان داد. نوسانات دمای روزانه آزمون در شکل ۴ رسم شده است. در شکل ۳ منحنی میانی مقدار انحراف از شرایط نسبتاً آرمانی با اصلاحات تبادلی را نشان می‌دهد. این منحنی با استفاده از محاسبات اثر شدت و جهت وزش غالب گلباد نسبت به راستای جریان بالارونده تزریق به دست می‌آید و انحراف از حالت تعادلی جو را برای تغییرات دما نشان می‌دهد. شدت و تناوب جریان بالارونده تزریقی لازم است پیوسته کنترل شود و در تناسب با ایستگاه‌های دیگر تزریق در برهم‌کنش بینابین بازیابی شده و پارامترهای تزریق متناسب با حداکثرسازی چگالش و باران‌زایی دوباره تنظیم شود.

مطابق زمان اجرای طرح پژوهشی تزریق در بهار ۱۳۹۲، داده‌های حقیقی ثبت شده در اردیبهشت سال ۱۳۹۲ و آرشیو سال‌های قبل در پژوهش پیش رو استفاده شده است. واکاوی داده‌ها و نقش میدان‌های تبادلی در فرایند چگالش و تراکم هسته‌ها که در جدول ۱ و شکل ۳ ارائه شده است فقط اردیبهشت ماه را در بر دارد (نمودارها و جدول تمامی داده‌ها در میانگین یک‌ماهه است).

تنظیم بازه زمانی چرخش تناوبی تزریق در نقاط تبادلی علاوه بر تشدید فرایند باران‌زایی که به واسطه جریان بالارونده رخ می‌دهد همچنین در ارتفاعات زیرین وردسپهر دما را نیز به نسبت معمول چندین درجه کاهش می‌دهد و پارامتر دما نسبت به شرایط تجربی ۱۳۹۲ با



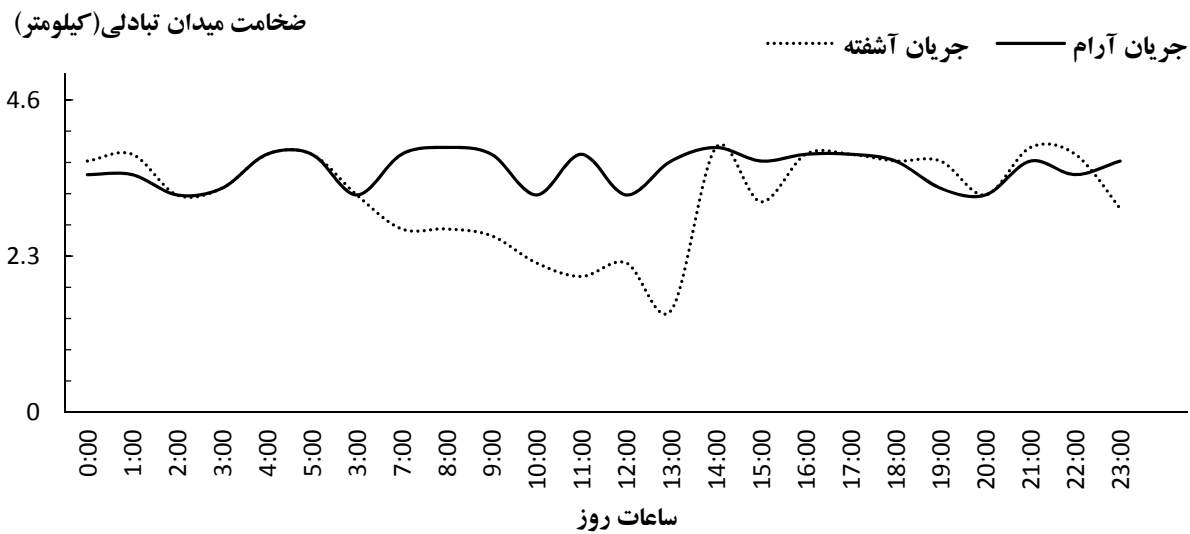
شکل ۳. میانگین ارتفاع بارش با اثرات تشدید الکترومغناطیسی در میدان تبادلی به دست آمده از محاسبات نظری که بر اساس داده‌های تجربی و حقیقی سال ۱۳۹۲ است.



شکل ۴. میانگین نوسانات کاهشی دما با تشدید الکترومغناطیسی نقاط تبدالی به دست آمده از محاسبات نظری که بر اساس داده‌های تجربی و حقیقی سال ۱۳۹۲.

محاسباتی اثر تزریق در نقاط تبدالی و رابطه بین پارامتر ایستایی (حفظ بیشترین زمان ماندگاری ذرات یونیزه شده در منطقی تزریق) و تغییر ضخامت میدان تزریقی-تبدالی (پراکندگی ذرات یونیزه شده در محل تزریق به دلیل جریان باد یا وقوع ریزگرد در محل تزریق) در جو آشفته و آرام محاسبه شده و در شکل ۵ رسم شده است. در نمودار شکل ۵، منحنی ضخامت لایه یونیزاسیون در جریان آرام با فرض هنجارش وردسپهر ترسیم شده است. نمودار نقطه چین متوسط واقعی ضخامت لایه یونیزاسیون در جریان آشفته است. مطابق نمودار ساعت ۷ صبح الی ۱۵ بعد از ظهر در اثر وزش باد، افت و خیز پیوسته در ضخامت لایه یونیزاسیون مشاهده می‌شود. کنترل افت و خیز و حفظ ضخامت لایه یونیزاسیون با استفاده از فواصل بین ایستگاهی مشخص می‌شود. در آرایش مربعی آزمون سال ۱۳۹۲، محدوده منابع تزریق با فواصل متوسط ۱۴-۱۰ کیلومتر در نظر گرفته شده است. ضخامت راهروهای خروجی جریان بالارونده از هر ایستگاه با توجه به نوع و چیدمان متوسط فاصله دو ایستگاهی تعیین می‌شود. در این مقاله با کاهش سطح مؤثر منطقه آزمون فواصل بین ایستگاهی حدود ۲/۵-۳/۵ کیلومتر در نظر گرفته شده است. به همین دلیل کنترل پیوسته و حفظ شرایط بهینه تزریق یکی از مهم‌ترین اقدامات اجرایی در این طرح است.

با توجه به هموار بودن پارامترهای تأثیرگذار جوی در مناطق نیمه خشک کاربرد تجهیزات تزریق به منظور افزایش بارش در این نواحی مناسب است؛ اگرچه عملکرد کلی تزریق تا حدودی کاهش خواهد داشت. علت کاهش عملکرد در ساختار مناطق کویری است. در حالت عادی نیز در این مناطق تشکیل ابر به کندی صورت می‌پذیرد. با توجه به این که فناوری تزریق خود به خود از طریق سازوکارهای یونی در جو باعث افزایش رطوبت در مناطق تزریق است. به همین دلیل طراحی و چیدمانی متفاوت برای جایگذاری منابع یونی و افزایش ولتاژ منابع تغذیه تا حداکثر ۳۵۰-۳۰۰ کیلوولت در شرایط مناسب جوی و محلی اقلیم خشک و کویری قابل اجرا است و می‌توان طرح تزریق را به صورت آزمایشی شروع کرده و سپس نتایج را به طور ملموس و قابل تحلیل بررسی کرد. از این رو مقایسه داده‌های حقیقی با واکاوی نتایج در منحنی‌های رسم شده نشان می‌دهد، چنانچه تنظیم و کنترل بازه تغییر شدت تزریق چرخشی-تناوبی به تناسب نوسانات پارامترهای نقاط تبدالی جو در لایه‌های زیرین وردسپهر با دقت کافی انتخاب شود، نوع نزولات جوی و همچنین مدت بارش و ایستایی ابرهای باران‌زا را در منطقه تزریق نیز می‌توان تا مقادیر قابل توجهی در شرایط معمول آب‌وهوایی مدیریت کرد. با توجه به این که وضعیت تزریق در جو آرام و آشفته اهمیت دارد؛ تحلیل نظری و



شکل ۵. تغییر ضخامت میدان تزریقی-تبدالی در یک روز. (پراکندگی ذرات یونیزه شده در محل تزریق به دلیل جریان باد یا وقوع ریزگرد در محل تزریق).

می‌شود. تنظیم داخلی شدت چگالش با در نظر گرفتن غلظت و تراکم مناسب هسته‌های میعان ابر مستقیماً وابسته به دمای داخل ابر است. با تعیین دمای درون ابر، سرعت جریان بالارونده و غلظت ذرات یونیزه تنظیم می‌شود. واکاوی دقیق رابطه بین سرعت چگالش و سرعت جریان بالارونده در نقاط تبدالی از طریق داده‌های دمای داخل ابر به دست می‌آید. در این حالت بهترین دمای تولید قطرات را نقطه شروع باران‌زایی در نظر می‌گیریم و تنظیم پارامترهای تزریق در ابتدا با این دما هماهنگ می‌شود و بعد از حداکثرسازی ضخامت نقاط تبدالی مجدد سیستم با شرایط جوی و دمای درون ابری برای پایداری ضخامت تنظیم می‌شود. این موضوع در رویکرد کاهش بحران آب در مناطق کویری، خشک و نیمه‌خشک با هدف راهیافت حداکثر باران‌زایی به روش تصحیحات دینامیکی تزریق در وردسپهر روش کارآمدی است که تصدیق قطعی درصد اثرات تبدالی نیازمند اجرای طرح به صورت آزمایشی در مناطق کویری یا نیمه‌خشک است.

۴. بحث

تحولات نابسامان اقلیم که امروزه شاهد آن هستیم در حقیقت یک بحران آب‌وهوایی ویژه است که موجب بر هم ریختن زندگی متعارف اجتماعی یک یا چند کشور

عدم کنترل نوسانات و وقفه طولانی در شکل‌گیری مجدد لایه تزریقی مستقیماً بر روی فرایندهای کنترلی در وردسپهر تأثیرگذار است. در آزمون اصلی و پژوهش نظری فعلی متوسط خروجی ذرات باردار یک میلیون و پانصد هزار تا نزدیک به دو میلیون ذره در ثانیه است که حدود ۶ ساعت برای شکل‌گیری ضخامت اولیه زمان لازم است و با گذشت ۲-۱ ساعت شرایط یونیزاسیون پایدار می‌شود. حفظ شرایط پایدار تزریق در مواقع وزش بادهایی که در جهت قائم بر جریان بالارونده از سمت چپ و راست باشند، در هر دو صورت ضخامت منطقه تبدالی را با حداکثر مقدار کاهش می‌دهند که کنترل نسبت تغییر پارامتر تزریق و تناوب قطبش ایستگاه‌ها در این زمینه بسیار حائز اهمیت است. در شکل ۴، اثر وزش باد بر روی تغییر ضخامت لایه تا ارتفاع ۵۰ متر از سطح زمین برای بررسی اثرات آشوب در نظر گرفته شده است. در مناطق مسطح کویری تقریباً تغییرات مؤثر را ثابت و یکنواخت می‌توان در نظر گرفت. با استناد بر معادلات به دست آمده ضخامت اثر میدان دائمی در مناطق کویری ۳ کیلومتر محاسبه شده است. از دیدگاه تحلیلی با تشدید میدان الکترومغناطیسی و حفظ پایداری ضخامت لایه تبدالی در وردسپهر به منظور حداکثرسازی چگالش و باران‌زایی شرایط الکتروایستایی در توده‌های ابر مهیا

همسایه شده و آسیب‌های جانی، مالی، محیط‌زیستی و بهداشتی به‌وجود آورده است (حیدری و جمشیدی، ۱۳۹۵). آخرین دستاورد علوم مدرن و مرتبط با وردسپهر و یونوسفر، توانمندی مدیریت و کنترل اقلیم را در اختیارمان قرار داده است. اگرچه به‌دست آوردن پارامترهای مؤثر دقیق و صحیح بسیار کار دشواری است اما در هر صورت می‌توان فرایندهای طبیعی جو را دستخوش تغییرات و دخالت‌های متمرکز کرد. بنابراین شرط لازم برای شروع مدیریت تغییر اقلیم محلی، بررسی علمی و تخصصی در چگونگی اثرگذاری بر روی عوامل تولید، تشدید و یا کنترل پارامترهای محیطی و جوی است. اصلی‌ترین بستر مشخصاً لایه‌های زیرین وردسپهر است که حرکت پیوسته ذرات بخار آب، هواویزها و توده‌های هوا در این لایه رخ می‌دهد. وجود آب در وردسپهر چرخه آب‌شناسی زمین را در دست دارد. به همین دلیل احاطه بر وردسپهر راه‌کاری برای مدیریت اقلیم است که در بحران آب و کاهش نزولات جوی می‌تواند تکیه‌گاه مناسبی برای کشور قلمداد شود. فناوری تزریق با متمرکز کردن میدان‌های الکترومغناطیسی وردسپهر-سطح زمین با هدف مطالعات میدانی از سی سال گذشته شیوه کارآمدی به حساب می‌آید (فرهات و ابوالقاسم، ۲۰۲۱؛ WMH، ۲۰۱۷). از طرفی برهم کنش ذرات باردار در افزایش فرایندهای زیرساختی تولید بارش و یا افزایش نزولات نیز در عملکرد فناوری تأثیر دارد. به همین دلیل برهم کنش ذرات باردار و هسته‌های میعان با بخار، آب مطابق روند طبیعی تشکیل توده‌های ابر و تولید باران با تزریق میدان در نقاط تبدلی تشدید می‌شود. حجم و وسعت توده‌های ابر به عوامل رطوبت، دما، فشار، تراکم ذرات باردار و سایر شرایط جوی وابسته است که مهم‌ترین آنها تعداد ذرات باردار هستند و از طریق پارامترهای اصلی فناوری حجم مورد نیاز ذرات باردار در فرایند تزریق تنظیم می‌شود. به همین دلیل کلیه عوامل و پارامترهایی که بتوانند بر روی سازوکار افزایش بارش و باران‌زایی تأثیر مثبت بگذارد در این فناوری اهمیت دارد. از این‌رو نتایج بازنمایی شرایط

آزمون با اصلاحات جدید نشان می‌دهد تغییر چیدمان در مراکز تبدلی مکان‌یابی شده تغییرات معناداری در پارامترهای بارش، دما، رطوبت و تراکم توده‌های ابر ایجاد می‌کند که در این نوشتار بارش و دما پارامترهای اصلی واکاوی هستند. با توجه به این که دستاورد تمامی پژوهش‌های نظری و محاسباتی با انجام آزمایش و تجربه به سرانجام واقعی می‌رسد؛ نویسنده امیدوار است در شرایط فعلی بحران آب و کاهش نزولات جوی، با بومی‌سازی فناوری و مکان‌یابی پویا طرح اجرای تزریق در مناطق خشک و نیمه‌خشک انجام شود. در حقیقت عملکرد حداقل تزریق در این مناطق نیز قابل توجه است. لذا پیشنهاد می‌شود با توجه به کم‌هزینه بودن فناوری طرح تزریق اجرا و بر اساس داده‌های واقعی ریزنی آتی صورت پذیرد. همچنین لازم به‌ذکر است، بیان شود نتایج دیگری از باروری با فناوری تزریق یونی یا روش‌های دیگر در منطقه اجرای طرح (جنوب و جنوب غرب ایران) وجود ندارد. به همین دلیل امکان مقایسه با روش‌های دیگر مهیا نیست و دستاوردهای ارائه شده در این مقاله فقط قابل‌قیاس و سنجش با نتایج سال ۱۳۹۲ می‌باشد که در این مقاله صرفاً بهینه‌سازی فرایند تزریق با عملکرد تداخلی میدان‌های الکترومغناطیسی به‌صورت نظری با نتایج حقیقی اجرای طرح در سال ۱۳۹۲ مقایسه و در بند قبل ارائه شده است. اما نتایج مشابه عملکرد تزریق یونی در کشورهای مختلف وجود دارد که در منابع (وبگاه فناوری تغییر اقلیم- استرالیا (ART)، ۲۰۱۲-۲۰۱۳) ذکر شده است. به‌عنوان مثال عملکرد تزریق یونی در منطقه انتخابی «تپه‌های هجر» در عمان عبارت است از: افزایش ۱۸ درصدی حجم بارش در سال ۲۰۱۳، افزایش ۲۱ درصدی بارش با تقویت تجهیزات در سال ۲۰۱۴ و همچنین افزایش ۳۳ درصدی نتایج با تغییر فاز میدان‌های برهم‌کنشی تزریق در سال ۲۰۱۴ (چمبرز و الکلبانی، ۲۰۱۶).

۵. نتیجه‌گیری

تداوم گرمایش زمین و کاهش نزولات جوی، حیات

موجودات را دچار مرگ تدریجی کرده و پویایی زندگی نیز طبیعتاً به مخاطره افتاده است. لذا تصمیمات هوشمندانه و به‌موقع می‌تواند جوامع را از بحران کمبود آب و تغییرات اقلیمی نجات دهد. امروزه انتقال و بومی‌سازی فناوری‌های نوین کنترل جو با هدف مدیریت بارش، افزایش تراکم پوشش ابری و اجرای آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک مورد توجه کشورهای کویری و نیمه‌کویری قرار گرفته است. تحقیقات و پژوهش‌های علمی در مراکز معتبر جهانی و نتایج به چاپ رسیده در نشریات دانشگاهی نشان می‌دهد (چمبرز و الکلبانی، ۲۰۱۶؛ وبگاه فناوری تغییر اقلیم - استرالیا (ART)، ۲۰۱۲-۲۰۱۳) مداخله در فرایند چگالش و شکل‌گیری قطرات آب با هدف باران‌زایی و افزایش نزولات جوی بخش گسترده‌ای از مطالعات جهانی را به خود اختصاص داده است. اثر تزریق ذرات باردار در لایه‌های زیرین وردسپهر ساده‌ترین فناوری در این زمینه است. هزینه بسیار کم ساخت‌وساز ساده و کارآمد تجهیزات تزریق، زمینه تحقیقات کاربردی را برای پژوهشگران فیزیک جو به راحتی فراهم کرده است. به‌همین دلیل در بیشتر مطالعات علمی اشاره مستقیم به فناوری یونیزاسیون و تزریق با منابع فشار قوی شده است. اگرچه در حال حاضر فرایند تزریق از طریق لیزر و امواج پر بسامد نیز میسر است ولی به‌دلیل هزینه بالا برای مطالعات آزمایشی و پژوهشی مناسب نیست. در این مقاله نتایج بازنگری معادلات گذشته و مدل‌سازی ساختاری تزریق در نقاط تبدلی نشان داد، در دوره آزمون با شرایط جوی و اقلیمی ثبت شده مقدار سطح بارش ۲۰-۱۵ درصد نسبت به تزریق آزمایشی سال ۱۳۹۲ افزایش داشته و همچنین کاهش دما ۱۱ درصد و افزایش رطوبت ۱۰ درصد تعیین شده است. افزایش بارش مضاعف در مناطق خشک و کویری با توجه به شرایط مورد نیاز پایداری ضخامت لایه تبدلی تا ۳-۴ درصد نوسان دارد. بنابراین با فراهم شدن شرایط اجرای طرح، نتایج نظری در مرحله آزمون و تحلیل میدانی قرار خواهد گرفت.

تشکر و قدردانی

تمامی دستاوردهای پژوهشی، منافع مادی و معنوی این پروژه تحت طرح «بومی‌سازی فناوری کاهش گرد و غبار» به شماره ۱۶۳/ق/۷۷۵۱ از مؤسسه استاندارد و بازرسی ایران می‌باشد. از تمامی حمایت‌های مؤسسه استاندارد و بازرسی ایران در پیشبرد اهداف این پروژه کمال تشکر را ابراز می‌نمایم. همچنین برای ارائه بی‌دریغ پیشنهادات سودمند و کاربردی از همکاران علمی اینجانب پروفسور سومسیکوف و پروفسور یاکوویتس پژوهشگران انستیتوی تحقیقات یونوسفر قزاقستان سپاس‌گزار هستم.

مراجع

رضایی، ح. و یگانه، ب.، ۱۳۹۲، تحلیلی بر خشکسالی و اثرات آن بر اقتصاد کشاورزی و مهاجرت‌های روستایی، م. پژوهش و برنامه ریزی روستایی، ۴، ۱۷۷-۱۵۳

حیدری، ر. و جمشیدی، ا.، ۱۳۹۵، بررسی مفهوم امنیت زیست‌محیطی با نگاهی به چالش‌های امنیت زیست‌محیطی ایران، فصلنامه راهبرد اجتماعی فرهنگی، (۵) ۲۱.

سیدحسینی، م.، ۱۳۹۱، باروری ابرها: از باور تا واقعیت، انتشارات وزارت نیر، تهران، ایران.

شاهسونی، ع.، یاراحمدی، م.، جعفرزاده حقیقی فرد، ن.، نعیم آبادی، ا.، محمودیان، م. ح.، صاکی، ح.، صولت، محمدحسین، سلیمانی، ز. و ندافی، ک.، ۱۳۸۹، اثرات توفانهای گرد و غباری بر سلامت و محیط زیست، م. دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی، ۲-۴، ۴۵-۵۶.

شجاع جمال آباد، م.، ۱۳۹۷، تأثیرات بحران خشکسالی بر کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست، م. زیست سپهر، (۱) ۱۳، ۳۸-۵۰.

طرح پژوهشی، ۱۳۹۲، «بومی‌سازی فناوری کاهش گرد و غبار» به شماره ۱۶۳/ق/۷۷۵۱ از مؤسسه استاندارد و بازرسی ایران.

- ایران، م. مدرس، ۴، ۵۵-۶۷.
- محمدجانی، ا. و یزدانیان، ن.، ۱۳۹۳، تحلیل وضعیت بحران آب در کشور و الزامات مدیریت آن، نشریه روند (روند پژوهش های اقتصادی)، ۲۱ (۶۶-۵۶)، ۱۱۷-۱۴۴.
- Alonso, C., Raynor, P., Davies, P., Morrison, R. and Torremorell, M., 2015, Evaluation of an electrostatic particle ionization technology for decreasing airborne pathogens in pigs, *Aerobiologia*, 32(3), 405-419,
- Biswanath, D., 2020, Rain Enhancement Technology: Making Sense of the "Cloud Seeding" Program in India, *Bulletin of Science, Technology & Society*, 39, (3-4), 33-42.
- Shukla, S., Singh, G., Sarkar, K. and Meht, P., 2021, Novel Umbrella 360 Cloud Seeding Based on Self-Landing Reusable Hybrid Rocket, *International Conference on Innovative Computing and Communications*, 999-1011.
- Chalmin, A., 2020, <https://www.geoengineeringmonitor.org/2020/12/updates-on-weather-modifications-and-other-technologies-quarterly-4-part-3/>
- Chamberlain, W. and Hunten, D., 1978, *Hydrodynamics of Atmospheres*, International geophysics series, 36, Elsevier.
- Chambers, R., Al-Kalbani, M., 2016, Using ground-based ionization to enhance rainfall in the Hajar Mountains, Oman. *Arabian Journal of Geosciences*, 9, 491.
- CMA, 2014, China Meteorological Administration. Leadership and Governance. China Meteorological Administration. [Online] 2014. [Cited: March 03, 2016.] <http://www.cma.gov.cn/en2014/aboutcma/leadership/>.
- CMA, 2013, Chinese Meteorological Administration. Chinese Meteorological Administration. [Online] January 23, 2013] http://www.cma.gov.cn/kppd/kppdqxsj/kppdrgyxtq/201301/t20130123_203899.html.
- Cook, A., Hummelt S., Shapiro, M. and Temkin, R., 2011, Measurements of electron avalanche formation time in w-band microwave air breakdown, *Physics of plasmas*, 18, 080707.
- Dolzhansky, F., 2013, *Fundamentals of Geophysical Hydrodynamics*, 1st Ed. Publisher: Springer Berlin Heidelberg.
- Farhat, A. and Abuelgasim, A., 2021, Effect of cloud seeding on aerosol properties and particulate matter variability in the United Arab Emirates, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 109.
- غیور، م.، ۱۳۷۶، اثرات زیست محیطی و اقتصادی- اجتماعی خشکسالی، مجموعه مقالات همایش منطقه ای بحران آب و خشکسالی، دانشگاه آزاد رشت، ۹۸۵-۹۹۸.
- فرج زاده، م.، ۱۳۷۶، پیش بینی احتمالات خشکسالی در Harrison, R., Nicoll, K., Mareev, M., Slyunyaev, N. and Rycroft, M., 2020, Extensive layer clouds in the global electric circuit: their effects on vertical charge distribution and storage, *Proc. R. Soc. A*, 476, 20190758.
- Herbut, E., Sosnowka-Czajka, E. and Skomorucha, I., 2018, Air Ionization in Livestock Buildings – A Review, *Ann. Anim. Sci.*, 18(4), 899-90.
- [Http://australianrain.com.au/resources/](http://australianrain.com.au/resources/)
- Jahanshir, A., 2013, Artificial air ionization in the reduction of pollutants, 2nd National Conference on New Technologies for environmental pollution control, Sharif University, Tehran.
- Jahanshir, A., 2014, Application of High Voltage Electric Discharge of the Air in Climate Change and Pollution Control, 2nd regional Conference on Climate Change & Global Warming, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences, Zanjan, Iran. <https://civilica.com/doc/385382/>
- Jahanshir, A., 2016, Engineering physics achievements in reducing environmental crisis in the Persian Gulf and its coastal areas, *Journal of Applied Sciences International*, 6(1). 45-52.
- Jahanshir, A., 2017, Weather modification techniques by electric field, *International Journal of Environmental Protection and Policy*, 5(5), 70-73.
- Jiang, S., Ma, A. and Ramachandran, S., 2018, Negative Air Ions and Their Effects on Human Health and Air Quality Improvement, *Int J Mol Sci*.19(10), 2966.
- Karimi, M., 2018, Iran's future climate conditions and hazard in climate research, 5(3), 1-22.
- Cheng, L., Gonze, E., Ondarts, M., Outin, J. and Gonthier, Y., 2020, Electrostatic precipitator for fine and ultrafine particle removal from indoor air environments, *Separation and Purification Technology*, 247(15), 116964.
- Monrolin, N., Praud, O. and Plouraboué, F., 2018, Electrohydrodynamic ionic wind, force field, and ionic mobility in a positive dc wire-to-cylinders corona discharge in air, *Phys. Rev. Fluids* 3, 063701.
- Peek, F., 1915, *Dielectric phenomenon in high voltage engineering*. McGraw-Hill Book Company.

- Raiser, Y., 1991, Gas Discharge Physics. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Villermaux, A. and Bossa, B., 2009, Single-drop fragmentation determines size distribution of raindrops, *Nature*, 5, 697-702.
- WMH, 2017, Weather Modification History, International collaboration between Jim Lee (Sumter, South Carolina, USA) and Domenic Marrama (Canmore, Alberta, Canada), <https://weathermodificationhistory.com/operat-ion-popeye-motorpool-intermediary-compatriot-weather-warfare-vietnam/>
- Xiaofeng, L., Yu, F. and Zhengjun, S., 2021, advances of silver iodide seeding agents for weather modification, *Journal of Applied Meteorological Science*, 32(2), 146-159.
- Guo, X., Fu, D., Li, X., Hu, Zh., Lei, H., Xiao, H. and Hong, Y., 2014, Advances in cloud physics and weather modification in China, *Advances in Atmospheric Sciences*, 32(2), 230–249.

Troposphere Electromagnetic Intensification in Enhancing Precipitation

Jahanshir, A.*

Assistant Professor, Department of Physics and Engineering Sciences, Imam Khomeini International University, Buein Zahra Higher Education Centre of Engineering and Technology, Buein Zahra, Iran

(Received: 10 April 2021, Accepted: 25 May 2021)

Summary

Decreased precipitation and water scarcity are some of the important challenges in most parts of Iran in recent years and need a cost-effective solution based on high technical knowledge and equipment; To improve the meteorological conditions with modern technologies, one can use the high voltage injection air ionization equipment. The result efficiently can increase cloud-water vapor concentration nuclei due to generate duplex clouds. Recent theoretical and experimental work suggests that a charged atmosphere will have a lower nucleation barrier and will also help stabilize embryonic particles. This allows nucleation to occur at lower vapor concentrations and demonstrates that charged particle and molecular clusters, condensing around natural air ions can grow significantly faster than corresponding neutral clusters. The theoretical dynamic locating of the injection model also indicates that the nucleation rate of particles in the non-charged regions (without injection) is limited by the ion production rate from other sources such as cosmic rays. Thus, stable charged particle concentration by injection resulting from condensation and growth can survive long after ion injection and ionization. Theoretical study of dynamic locating of injection model establishes a relationship between the dynamic locating electromagnetic region of changing point ionization and precipitation microphysics. Mechanism troposphere ionization and the Earth electromagnetic field properties cannot be excluded and there are established electrical effects on precipitation microphysics. Building on the relationship between changing points and ion injection the observations are extended to the realm of electromagnetic field microphysics by exploring this model. The injection produces positive /negative ions and free electrons. Many of these ions will be quickly lost to ion-ion recombination. Some of the ions escape recombination or reduced ion concentrations because the ionization produced by the electric field often is decreased because of the dust storm or wind that are generated in fixed changing points. As we presented in this article, dynamic locating of injection in the troposphere is very important to provide additive effects increasing cloud concentrations and generating precipitation, which is the main achievement of this analytical-simulation work. In this analytical-simulation study, which is based on real and experimental data taken from the western and southwestern regions of Iran, we first review the background of the results obtained from the injection process and the effect of generating clouds in the troposphere. Then we obtain the results of the same data with the theoretical effect of dynamic locating and simulation with injection at the electromagnetic changing points. The results of the previous data assuming maximization of utility have been recalculated and compared. The injection results are optimized by a dynamic locating technique that affects utility indices of maximum electromagnetic changing field between troposphere-ground the earth thickness. Due to the increased generation of rainy clouds and maximization of their concentrations and increased local precipitation by the dynamic locating method at the injection site and the optimal operation of the equipment is investigated. The theoretical model that is presented shows that the theoretical dynamic locating of injection model by increasing in ionizing effect leads to a 15-20% increase in precipitation, decrease of 11% in temperature, increase of 10% in humidity.

Keywords: Electromagnetic Intensification, Precipitation, Cloud Generating, Electromagnetic Injection, Dynamic Locating.

* Corresponding author:

jahanshir@bzeng.ikiu.ac.ir