

# Theoretical Optimization of Troposphere Ionization Exchange Points to Reduce the Concentration of Fine Dust in Ahvaz City, Iran

## ARTICLE INFO

### Article Type

Original Research

### Authors

Jahanshir A.\*<sup>1</sup> PhD

### How to cite this article

Jahanshir A. Theoretical Optimization of Troposphere Ionization Exchange Points to Reduce the Concentration of Fine Dust in Ahvaz City, Iran. Geographical Researches. 2021;36(3):285-290.

## ABSTRACT

**Aims** The dust crisis and the numerous problems caused by it, which have affected most of the Western and Southwestern regions of Iran in recent years, need an appropriate and cost-effective solution to improve living and respiratory conditions without adverse human or environmental effects. The purpose of this study was to analyze the location of injection technology equipment to reduce the concentration of fine dust in Ahvaz City, Iran.

**Methodology** This theoretical study was performed based on the results of previous experimental data on the effect of atmospheric ionization in a radius of about 100km from the center of Ahvaz City, Iran. In this theoretical study, the effective exchange points of electromagnetic fields were redirected in the covered area based on satellite data and electric field information of the earth's surface and troposphere. For this purpose, a triple combination of quasi-experimental method of latitude ionosphere model, Lagrangian distribution model and atmospheric chemical arithmetic model was used. Mathworks Matlab R2020b and Envi 5.3 software were used for processing.

**Findings** According to theoretical calculations and change of atmospheric parameters by applying location corrections, the concentration of fine dust in dust conditions less than 700 micrograms per cubic meter can be reduced by 5-11% and in dust conditions above 700 micrograms per cubic meter by about 21-3%. Precipitation can also increase by 3-13%.

**Conclusion** Dynamic location of troposphere ionization equipment can reduce the concentration of fine dust by 3 to 21% and increase precipitation by 5 to 11% in Ahvaz based on theoretical calculations.

**Keywords** Atmosphere Ionization; Dynamic Locating; Climate Change; Dust Crisis; Precipitation

<sup>1</sup>Department of Physics and Engineering Sciences, Buein Zahra Technical University, Qazvin, Iran

### \*Correspondence

Address: Department of Physics and Engineering Sciences, Buein Zahra Technical University, Imam Khomeini ave., Buein Zahra, Qazvin, Iran  
Postal code: 3451866391.  
Phone: +98 (28) 33894949  
Fax: +98 (28) 33894121  
jahanshir@bzte.ac.ir

### Article History

Received: February 17, 2021

Accepted: May 30, 2021

ePublished: September 21, 2021

## CITATION LINKS

[Akishev YS, et al; 1993] DC glow discharge in air flow at atmospheric ...; [Bear S, et al; 2010] Statical modeling of rainfall ...; [Bourek Y, et al; 2011] Determination of ionization conditions characterizing ...; [Chambers R, et al; 2012] Using dynamically defined controls to evaluate ...; [Chambers R, et al; 2016] Using ground-based ionization to enhance ...; [cma.gov.cn; 2013] Beijing: Chinese Meteorological ...; [Dale VH; 1997] The relationship between land-use change ...; [Darandeh M; 2015] Assessing and recognizing climate change ...; [Harrison RG, et al; 2020] Extensive layer clouds in the global electric ...; [Hoon JH, et al; 2006] Collection of submicron particles by an electrostatic ...; [Jahanshir A; 2015] Applications to engineering physics for reducing ...; [Jahanshir A; 2016] Engineering physics achievements in reducing ...; [Jahanshir A; 2021] Troposphere electromagnetic intensification in ...; [Kasahara A; 1974] Various vertical coordinate systems used for ...; [Moghim S; 2018] Impact of climate variation on hydrometeorology ...; [Nasrollahi-Kasmani A; 2018] Media managing of hazards of the dusts with ...; [Piel A; 2010] Single particle motion in electric and magnetic ...; [Raizer YP; 2011] Gas discharge physics ...; [Ren W, et al; 2020] An innovative dust suppression device used ...; [Copernicus Open Access Hub; 2018] Paris: scihub.copernicus ...; [Shahsavani A, et al; 2011] Dust storms: Environmental and health ...; [Smith RK; 2014] Introductory lectures on fluid ...; [Stainforth A, Wood N; 2003] The deep-atmosphere Euler equations in ...; [Wei JH, et al; 2020] Cloud and precipitation interference by strong ...; [worldview.earthdata.nasa.gov; 2018] Washington: NASA ...; [Zolfaghary H, et al; 2012] Investigation of dust storms in western regions of Iran ...

## بهینه‌سازی نظری مکان‌یابی نقاط تبدیلی یونیزاسیون تروپوسفر به منظور کاهش غلظت ریزگردها در شهر اهواز

آرزو جهانشیر\* PhD

گروه فیزیک و علوم مهندسی، مرکز آموزش عالی فنی و مهندسی بوین زهرا، قزوین، ایران

### چکیده

**اهداف:** بحران ریزگرد و مشکلات متعدد ناشی از آن که در سال‌های اخیر بیشتر مناطق غرب و جنوب غرب ایران را در بر گرفته، نیازمند راهکاری مناسب و مقرون به صرفه است، تا به واسطه آن بدون عوارض سوءانسانی یا محیطی شرایط زیستی و تنفسی بهبود یابد. هدف از این پژوهش، تحلیل نظری مکان‌یابی نصب تجهیزات فناوری تزریق برای کاهش غلظت ریزگردها در شهر اهواز بود.

**روش‌شناسی:** این مطالعه نظری، بر اساس نتایج داده‌های تجربی قبلی از اثر یونیزاسیون اتمسفر در شعاع حدوداً ۱۰۰ کیلومتری از مرکز شهر اهواز انجام شد. در این پژوهش نظری، نقاط تبدیلی موثر میدان‌های الکترومغناطیسی با استناد به داده‌های ماهواره‌ای و اطلاعات میدان الکتریکی سطح زمین و تروپوسفر در منطقه تحت پوشش مجدداً مکان‌یابی شد. برای این هدف از ترکیب سه‌گانه روش نیمه‌تجربی مدل یونوسفر عرض جغرافیایی، مدل پخش لاگرانژی و مدل حسابی شیمیایی جو استفاده شد. از نرم‌افزارهای Mathworks Matlab R2020b و Envi 5.3 برای پردازش استفاده شد.

**یافته‌ها:** با توجه به محاسبات نظری و تغییر پارامترهای جوی با اعمال تصحیحات مکان‌یابی، غلظت ریزگردها در شرایط غبار کمتر از ۷۰۰ میکروگرم بر مترمکعب می‌تواند ۱۱-۵٪ کاهش و در شرایط غبار بالاتر از ۷۰۰ میکروگرم بر مترمکعب حدود ۱۳-۳٪ کاهش یابد. نزولات جوی نیز می‌تواند ۱۳-۳٪ افزایش یابد.

**نتیجه‌گیری:** مکان‌یابی یوئای تجهیزات یونیزاسیون تروپوسفر می‌تواند براساس محاسبات نظری، باعث کاهش ۳ تا ۲۱٪ غلظت ریزگرد و افزایش ۵ تا ۱۱٪ بارش در شهر اهواز شود.

**کلیدواژه‌ها:** یونیزاسیون اتمسفر، مکان‌یابی یوئای، تغییر اقلیم، بحران ریزگرد، بارش

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۰۹

نویسنده مسئول: jahanshir@bzte.ac.ir

### مقدمه

در پانزده سال گذشته، کاهش نزولات جوی و تغییر شرایط آب و هوایی مناطق جنوب و جنوب غرب ایران در کنار افزایش بحران ریزگرد، توجه به کاربرد فناوری‌های نوین در رفع مخاطرات اقلیمی را افزایش داد [Nasrollahi-Kasmani, 2018; Zolfaghary et al., 2012]. در حال حاضر، فناوری و تجهیزات مدیریت اتمسفر از سطوح زیرین تروپوسفر تا سطوح فوقانی یونوسفر با اهداف متفاوت در کشورهای پیشرفته در حال اجرا هستند [Wei et al., 2020; Chamber et al., 2016]. به همین دلیل، با گسترش تنوع تجهیزات یونیزاسیون اتمسفر و ایده‌های مدیریت و کنترل پارامترهای جو که در روسیه، مکزیک، عمان، اسرائیل، مناطق جنوبی آمریکا فعال بودند در ایران نیز حرکت به سمت بومی‌سازی فناوری یونیزاسیون اتمسفر با گسترش پدیده انتشار ریزگردها و آلودگی هوا

در شهرهای صنعتی و در مناطق مختلف کشور شدت گرفت [Chambers et al., 2016; Chambers et al., 2012] در ادبیات تخصصی جغرافیا، تغییر اقلیم به منزله نوسانات جهت دار قابل تأملی است که در دوره‌های بلندمدت به صورت کاهش یا افزایشی در پارامترهای جوی-اقلیمی نمایان می‌شود؛ اگر چه بر خلاف گذشته، در حال حاضر تغییر اقلیم دیگر به‌عنوان تغییرات بلندمدت (حدود ۸۰ سال) در نظر گرفته نمی‌شود؛ علت این موضوع تغییرات پیوسته و متفاوت رصد شده در اکثر نقاط جهان است [Dale, 1997]. به همین دلیل در مفاهیم نوین اقلیمی و جغرافیایی به دلیل تحولات چشمگیر و بنیادی کوتاه‌مدت در پارامترهای اقلیمی-جوی مناطق متفاوت کره زمین، مفهوم بازه زمانی بلندمدت در مباحث تغییر اقلیم متزلزل شده است [Darandeh, 2015]. با توجه به اینکه در گذشته، شاخص‌های تغییر اقلیم مطابق اثر پارامترهای جوی پایدار در منطقه و با هدف واکاوی و یا پیشبینی تغییرات در سری زمانی استخراج شده و برای اهداف گوناگون مدل‌سازی می‌شدند، در حال حاضر پژوهش‌های اقلیمی نمی‌تواند با قدرت و استواری گذشته برای بررسی شرایط اقلیمی امروز مناطق استفاده شود؛ بلکه همواره مباحثی برای تردید و بازبینی مجدد به‌جا می‌گذارد. از طرفی امروزه به‌کمک فناوری‌های نوین و تجهیزات تغییر اقلیم، ایستایی و پافشاری بر استفاده از داده‌های اقلیمی بلندمدت در بررسی شاخص‌ها چندان کارآمد نیست؛ زیرا طی چندسالی نه‌چندان بلندمدت به کمک تجهیزات نفوذی در اتمسفر پایین و بالا به‌طور کاملاً گسترده شرایط اقلیمی منطقه در کوتاه‌مدت تغییر می‌کند. به همین دلیل توجه به فناوری‌های نوین تغییر اقلیم بسیار حائز اهمیت بوده و به یکی از پر مخاطره‌ترین چالش‌های مجامع علمی جهان تبدیل شده و به‌طور خاص و ویژه تغییرات اقلیمی و پیامدهای جهانی ناشی از آن متناوباً رصد و بررسی می‌شود [cma.gov.cn, 2013]. بر اساس پژوهش‌های اخیر، مشاهده تغییرات اقلیمی کوتاه‌مدت مستقیماً به دینامیک و برهم‌کنش فیزیکی حاکم بر ذرات اتمسفر و لایه‌های آن وابسته شده است. فرآیندی که در آن مولکول و اتم‌های موجود در تروپوسفر غالباً به‌وسیله برخورد ذرات پرانرژی یا همان شارش تزریقی باردار شده و منجر به یونیزاسیون جو می‌شوند. اهمیت این موضوع به حدی است که محققان و خصوصاً محققین علوم فیزیکی مرتبط با جو، تحت عناوین گوناگون با فناوری‌های مختلف تسلط غرورآمیز خود را بر اتمسفر (یونوسفر و تروپوسفر) ابراز می‌دارند.

با درنظرداشتن این موضوع که در حال حاضر، بیشتر مسائل مربوط به آلودگی هوا، گسترش ریزگرد، کاهش یا تغییر شکل نزولات جوی تا حد زیادی به فرآیندهای خاص در پایین‌ترین لایه تروپوسفر مربوط است، استفاده از اثر یونیزاسیون لایه‌های زیرین تروپوسفر با هدف تغییرات شرایط جوی رونق گرفت [Shahsavani et al., 2011; Ren et al., 2020]. تجهیزات یونیزاسیون اتمسفر یکی از ساده‌ترین و مقرون‌به‌صرفه‌ترین امکاناتی است که بر پایه عملکرد

داده‌های ماهواره‌ای و اطلاعات میدان الکتريکی سطح زمین و تروپوسفر انجام شد.

الگوهای پیشنهادی در روش مکان‌یابی پویا برای تعیین نقاط تبدلی بر اساس اثر برهم‌کنش تغییرات میدان الکترومغناطیسی یونوسفر، تروپوسفر و سطح زمین بود. بر این اساس، ترکیب سه‌گانه از روش نیمه‌تجربی مدل یونوسفر عرض جغرافیایی (The Semi-SLIM Empirical Low-Latitude Ionospheric Model) برای بررسی پارامترهای میدان‌های الکتريکی و مغناطیسی تروپوسفر، مدل پخش لاگرانژی (The Hybrid Single HYSPLIT Particle Lagrangian Integrated Trajectory) برای تعیین مسیر شارش ریزگردها و بررسی اثرات انتشار از منشا ریزگرد، مدل حسابی شیمیایی جو (The Weather Chem-WRF Research and Forecasting coupled with Chemistry) برای تعیین تمرکز و توزیع ریزگردها در مناطق تزریق برای مکان‌یابی موثر نقاط تبدلی و برای تنظیم پیش‌بینی شرایط جوی یا واردنمودن مقادیر دقیق پارامترهای جوی از مدل میان مقیاس COAMPS (The Coupled Ocean/Atmosphere Mesoscale Prediction System) استفاده شد. در برخی از موارد با توجه به تغییر شرایط مکان‌یابی نظری نقاط و بررسی دقت محاسبات و تطابق با شرایط خاص جوی از مدل‌های پیچیده‌تر تغییرات یونوسفر استفاده شد که در مجموع با توجه به تطابق نزدیک آنها از ساده‌ترین روش ذکر شده الگوی یونوسفری استفاده شد.

در الکتروپدینامیک سیالات تراکم‌پذیر، مدل ریاضی حاکم بر حرکت و دینامیک ذرات در میدان‌های الکتريکی القایی و دایمی که توسط تخلیه الکتريکی با اختلاف پتانسیل بسیار بالا ایجاد می‌شود، توسط دستگاه غیرخطی معادلات ناویر-استوکس و معادله پیوستگی، بار تزریقی به‌دست می‌آید [Harrison et al., 2020]. انتشار ریزگرد، رطوبت و فشار نیز با استفاده از سرعت جریان بالارونده در مسیرهای مشخص شده در مناطق تزریق از معادلات زیر به‌دست می‌آید. معادلات دیفرانسیلی انتشار ریزگرد، رطوبت و شارش جریان بالارونده را با فرض اینکه سرعت وزش باد افقی صفر و شرایط جوی تروپوسفر غیرآشفته و آرام باشد در راستای عمود بر تروپوسفر از روابط زیر به‌دست می‌آوریم (معادلات سه‌بعدی با وابستگی پارامترها در راستاهای  $x, y, z$  به‌دست می‌آید) [Raizer, 2011]:

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

$$\frac{\partial q_v}{\partial t} = -u \frac{\partial S q_v}{\partial z} + F(z, t) \quad (2)$$

$$\frac{\partial C_r}{\partial t} = -u \frac{\partial u C_r}{\partial z} + G(z, t) \quad (3)$$

در معادلات فوق،  $S$ : غلظت ذرات تزریقی،  $q_v$ : تابع بخارآب و رطوبت هوا،  $C_r$ : تابع ذرات ریزگرد با شعاع  $r$ ،  $\dot{z}$ : سرعت جریان بالارونده تزریقی،  $u$ : سرعت جریان وزش باد در راستای عمودی،  $D_z$ : ضریب نفوذپذیری لایه‌های جو از سطحی زمین تا تروپوسفر و  $F(z, t)$

میدان‌های الکتريکی در جو با ساده‌ترین شکل طراحی می‌شود [Chambers, 2016; Bear, 2010]. از این‌رو، بومی‌سازی فناوری تزریق یون به‌دلیل بحران غبار در مناطق غرب و جنوب غرب ایران و با هدف کاهش غلظت ریزگرد پیشنهاد شد [Harrison et al., 2020]. نتایج نصب تجهیزات سپر یونی و اجرای تزریق در بازه طوفان‌های غبار و غلظت ریزگرد با بیش از ۱۵۰۰ میکروگرم بر مترمربع، در مناطق جنوب و جنوب غرب ثبت شده است [Jahanshir, 2015, 2021]. غلظت نهایی ریزگردهای ورودی و خروجی در محل آزمون، طبق مستندات ثبت‌شده در حسگرهای پایش غبار که در چند نقطه مشخص از مکان آزمون قرار داشتند، تعیین شدند. نتایج تغییرات و کاهش پارامترهای غلظت و ایستایی غبار بر بررسی اختلاف داده‌های به‌دست‌آمده در بازه زمان تزریق و بدون تزریق مقایسه شده و با توجه به شرایط بحران و غلظت بسیار بالای ریزگردها قابل قبول در نظر گرفته شد [Jahanshir, 2016]. در تحلیل داده‌های تزریق، اثرات موثر طرح روی دما، بارش، رطوبت و حتی کاهش آلاینده‌های گازی هوای شهر نیز مشاهده شد [Chambers et al., 2012; Bear et al., 2010].

مکان‌یابی پویا در محل نصب تجهیزات تزریق، نقش چشمگیری را در افزایش راندمان تاثیر تبدلات برهم‌کنشی در تروپوسفر دارد [Bear et al., 2010]. در واقع در نقاط تبدلی مکان‌یابی‌شده، به‌وضوح اثرات میدان الکتريکی مضاعف سطح زمین و تروپوسفر باعث افزایش قدرت سپر یونی می‌شود [Jahanshir, 2021]. تعیین نقاط موثر و بررسی مجدد تحلیل داده‌های پایش که در قالب کاملاً نظری ارایه شده است؛ نشان می‌دهد که نتایج عملکرد تزریق در نقاط تبدلی، افزایش قابل توجهی در پارامترهای شاخص طرح دارد [Chambers et al., 2016].

با توجه به اینکه، اصل موضوع فناوری تزریق و اثربخشی تجهیزات با هدف تغییر پارامترهای اقلیمی و جوی مورد توجه قرار گرفته است، اما به‌دلیل شرایط بحرانی ناشی از ریزگردهای پی‌درپی، فرصت کافی برای تحقیق و پژوهش نسبت به مکان‌یابی دقیق و موثرتر نصب تجهیزات با هدف افزایش راندمان تزریق چندان به‌وجود نیامد. از این رو، سعی بر آن شد که با بهینه‌سازی نظری نتایج تعیین نقاط تبدلی در سال ۱۳۹۲، اجرای طرح در سرتاسر ایران عملی شده و بخشی از بحران آلاینده‌ها در شهرهای صنعتی کنترل و کاهش بارش مناطق خشک و نیمه‌خشک مرکزی ایران رفع شود. هدف از پژوهش نظری حاضر، تحلیل نظری مکان‌یابی نصب تجهیزات فناوری تزریق برای کاهش غلظت ریزگردها در شهر اهواز بود.

## روش‌شناسی

در این مطالعه نظری، تحلیل محاسباتی بر داده‌های تجربی حاصل از اثر یونیزاسیون اتمسفر در شعاع حدوداً ۱۰۰ کیلومتری از مرکز شهر اهواز (با مختصات جغرافیایی ۳۱/۳۱۸۳N؛ ۴۸/۶۷۰۶E و ۳۱/۵۵۶۷N؛ ۴۸/۱۶۹۷E) [Jahanshir, 2016]، با استناد بر

توجه به محوریت نشریه، ارایه معادلات و فرمول‌های میدان حذف شد (در صورت علاقه‌مندی و کسب اطلاعات بیشتر در این خصوص مستقیماً با ایمیل نویسنده در تماس باشید).

علاوه بر مکان‌یابی نقاط تبدلی در افزایش عملکرد، طراحی چیدمان محل‌های نصب تزریق و ضخامت الکترودها در سه بعد و پهنه سطحی یونیزاسیون بسیار اهمیت دارد. طراحی چیدمان باید به نحوی باشد که شاخص ضریب تزریق موثر از مقدار مشخصی کمتر نشود. اگر ضریب شاخص تزریق کمتر از ۲/۷ میلیون باشد تزریق رخ نداده و یا پایداری کوتاه داشته و روی نقاط تبدلی قدرت اثر کافی نخواهد داشت. اگر ضریب شاخص تزریق بزرگ‌تر از ۲/۷ میلیون باشد حجم بار تزریقی به‌صورت نمایی ادامه داشته و نسبتاً ثابت می‌ماند؛ ثابت‌نگه‌داشتن ضریب شاخص تزریق در کمترین حد، پیوستگی تزریق و افزایش عملکرد را تضمین خواهد کرد. اگر چه، در صورت تغییر شاخص‌های جوی و عدم کنترل پارامترهای تزریق، امکان نزول تابع نمایی وجود دارد. به همین دلیل توجه به تغییر پارامترهای جوی در نقاط تبدلی و تنظیم ولتاژ و نوع تزریق ایستگاهی و بین ایستگاهی بسیار اهمیت دارد [Bourek et al., 2011]. بعد از تنظیم طراحی الکترودها و مکان‌یابی نقاط تبدلی در عرصه پایش، تزریق ذرات بردار در تروپوسفر توسط منبع تغذیه فشار قوی در ولتاژ ۱۵۰-۱۰۰ کیلوولت شروع شد. الکترودهای یونیزاسیون از جنس رسانای ترکیبی در دو شعاع متفاوت  $d = 0.01m$  در سه سطح موازی چیدمان شدند و با برقراری میدان الکتریکی فشار قوی، با شرط اینکه توزیع نیروی میدان در سطح الکترودهای تخلیه‌کننده نسبت به میدان در سطح الکترودهای جمع‌کننده همواره باید بیشتر باشد، روند تزریق مدیریت شد تا حداکثر حجم بار شارشی در راستای عمودی نمایان شود. سپس جریان تزریق عمودی با برآیند تزریق‌های تک‌نصب و چندنصب تجهیزات در مکان‌های دیگر در یونش فاز مثبت یا منفی ثابت شد. سپس برای محاسبه تصحیحات اثر مکان‌یابی پویا در افزایش راندمان تزریق، پارامترهای موثر زیر طبق توضیحات معادلات دینامیک یونش تجهیزات و تروپوسفر وارد شدند. با در نظر گرفتن نسبت ارتفاع نفوذ عمودی یونش و فاصله محل یورش غبار حداکثری به محدوده آزمون و تعیین حدود برهم‌کنش چندگانه تمامی ایستگاه‌های تزریق بهترین نقاط تبدلی بینابین منابع تزریق مشخص شد و سپس در فواصل تنظیم شده از هم قرار گرفتند. ولتاژ و بار حجمی تزریق با استفاده از داده‌های نظری مشابه شرایط اقلیمی بلندمدت منطقه، میدان الکتریکی تروپوسفر و فشار بار ارتفاعات در زمان وقوع ریزگرد تنظیم شدند. با تعیین دقیق سرعت و حجم تزریق و مقدار عددی گردان هم‌فشار بار افقی در نقاط تبدلی، شرایط تزریق موثر هموار شد.

حل معادلات دینامیکی شارش ذرات تزریقی و جریان بالارونده معمول در لایه زیرین تروپوسفر و سطح زمین، به دلیل نیاز به ادغام پارامترهای چندگانه اقلیمی، جوی و میدان تزریقی از طریق

$G(z, t), Q(z, t)$ : پارامترهای آزاد و وابسته تناسبی هستند که با توجه به شرایط مرزی ضخامت میدان انتشار تزریق را با کمیت‌های رسوب ذرات، تفرق ذرات، وضعیت شرایط توپولوژیکی منطقه و برخی کمیت‌های شاخص نسبت خروج و دخول ذرات به منطقه و جو را نشان می‌دهند و همگی وابسته به شاخص فاصله لایه‌ها تا منبع تزریق هستند.

سرعت جریان تزریق وابسته به پارامترهای جوی و تنظیم فشار تزریق است که نصب تجهیزات در نقاط تبدلی، مقادیر سرعت و فشار تزریق را افزایش می‌دهد [Akishev et al., 1993]. به همین دلیل برای همپوشانی میدان تبدلی تروپوسفر-سطح زمین در زمان شروع تزریق ولتاژ اولیه، یونش باید مقدار مشخصی باشد که از طریق پارامترهای جوی و کنترل حجم تزریق ناشی از تخلیه الکتریکی محاسبه می‌شود. یکی از پارامترهای جوی بسیار مهم در برهم‌کنش تبدلی تروپوسفر و جریان ناشی از تزریق در حقیقت واگرایی هم‌فشار بار افقی است و طبق شرایط توپولوژی و جغرافیایی منطقه تحت پایش با استفاده از شیب سطوح هم‌فشار در محدوده‌های تبدلی در حجم مورد نیاز تزریق مشخص می‌شود [Smith, 2014]. حجم مورد نیاز یونش با افزایش یا کاهش ولتاژ تزریقی و تغییرات گردان هم‌فشار بار افقی در تروپوسفر و سرعت تزریق در راستای عمود به‌دست می‌آید [Stainforth & Wood, 2003]. در دست‌داشتن تابع واگرایی هم‌فشار بار افقی در نقاط تبدلی نشان می‌دهد که اگر مقدار عددی آن بزرگ‌تر از صفر باشد، اثرات تزریق افزایش یافته و اگر کوچک‌تر از صفر باشد منجر به کاهش راندمان حداکثری تزریق خواهد شد [Kasahara, 1974]. تغییر راندمان تزریق، مستقیماً روی ضخامت سپر یونی و پایداری آن اثر دارد [Jahanshir, 2021]. بنابراین شرط مثبت‌بودن گردان هم‌فشار بار افقی یکی از شروط تعیین نقاط تبدلی به‌منظور نصب تجهیزات است. از طرفی، ثابت‌نگه‌داشتن شدت تزریق با حرکت ریزگرد و مقدار بار الکتریکی در نقاط تبدلی میدان برهم‌کنش سطح زمین-تزریق-تروپوسفر ارتباط تنگاتنگی با قدرت نفوذ ذرات به داخل سپر یونی دارد [Hoon et al., 2006]. به عبارت دیگر هرچه قدرت نفوذ و سرعت جریان پیچشی تزریق افزایش یابد، مقابله با تغییر گردان هم‌فشار بار افقی افزایش یافته و نتیجتاً کناره‌گیری ریزگردها و حتی آلاینده‌های گازی هوا از دیواره سپر یونی تشدید می‌شود. از این‌رو، با استفاده از مجموع‌یابی (Summation) میانگین فواصل مکان‌یابی شده دو ایستگاهی، حجم الکترون تزریقی  $n_e$  را روی نقاط تبدلی با رابطه

$$n_e = n_{0e} \exp\left(\int_0^x \delta \mu dx\right) \quad (4)$$

به‌دست می‌آوریم. که در آن،  $d\mu$  تعداد ذرات تزریقی (مجموع الکترون و یون) بوده و مقدار عددی انتگرال تابع نمایی میزان حجم بار تزریقی را مشخص کرده و به‌عنوان شاخص تزریق در نظر گرفته می‌شود. با استفاده از مقدار عددی شاخص تزریق، مدت زمان تزریق، ولتاژ تزریق و نوع تخلیه الکتریکی مثبت یا منفی کنترل می‌شود. با

با اعتقاد به اینکه شناخت و مدیریت تغییر اقلیم در مکانی دور از دسترس بشر و در پدیده‌های سطحی و غیرقابل باور به واقعیت می‌رسد؛ محققان در پی رهیافت‌هایی برای افزایش تسلط و کنترل عمیق‌تر فرآیندهای جوی در جو پایین و بالا هستند و مدیریت کنترلی اقلیم را در تغییر برخی عوامل در سطح زمین جستجو می‌کنند و طبیعتاً عوامل دینامیکی میدان‌های الکترواستاتیکی، الکتروپدینامیکی و گردش اتمسفری نقشی در بر داشته و از طرفی دیگر الگوهای فشار سطوح تروپوسفر از لایه‌های زیرین تا سطح زمین با اعمال اثرات ثانویه در تغییرات مورد نظر نیز نقش موثر دارند [Piel, 2010; Raizer, 2011]. در حقیقت، اثرات تزریق ذرات باردار در تغییر فشار جو بالا و تغییر پارامترهای جوی در لایه زیرین تروپوسفر تا سطح زمین نوسانات بهینه را در یک راستا به دست می‌دهد که باعث تغییر الگوی شاخص‌های اقلیمی بلندمدت و ظهور شاخص‌های اقلیمی کوتاه‌مدت در منطقه می‌شود. در برخی از نقاط معین و قابل محاسبه از تروپوسفر و سطح زمین، اثرات ذکر شده بسیار قوی هستند که با محاسبه مجدد برهم‌کنش تزریق و اثرات ثانویه در جو بالا و پایین، الگوی تغییرات اقلیمی و نوسانات پارامترهای جوی مدیریت می‌شود که به این نقاط در مباحث جغرافیا «مراکز فعال» (به‌عنوان مثال مرز مناطق پرفشار و کم‌فشار در جو) گفته می‌شود [Moghim, 2018] و در مقاله حاضر در قالب دیدگاه فیزیکی نوشتار به نقاط «تبادلی میدان» تغییر نام داده شد. با توجه به اینکه بیشترین اثر تزریق در ارتفاعات پایین تروپوسفر است؛ این موضوع همواره در کنار کاهش ریزگرد و کاهش ذرات معلق (آلاینده‌های شهری و صنعتی) موجب تشدید جریان بالارونده، کاهش دما و تراکم ابرهای باران را می‌شود.

با توجه به مطالب بیان‌شده، عملی‌ترین روش تعدیل و مدیریت وضع هوا، بهره‌گیری از اعمال آشوب‌های یکپارچه دینامیکی و میکروفیزیکی است که توسط تزریق در نقاط تبادلی، به طور قابل توجهی فرآیندهای جوی را تغییر داده و شرایط اقلیمی کوتاه‌مدت یا میان‌مدت را رقم می‌زند که روند تغییرات را به خوبی می‌توان مدیریت و کنترل نمود. با توجه به نتایج نظری مثبت مکان‌یابی رایج شده و وجود مخاطرات اقلیمی و خشکسالی مناطق متفاوت ایران، توسعه و از سرگیری نصب و راه‌اندازی تزریق و تایید بررسی تجربی اثر نقاط تبادلی پیشنهاد می‌شود.

### نتیجه‌گیری

مکان‌یابی پویای تجهیزات یونیزاسیون تروپوسفر می‌تواند براساس محاسبات نظری، باعث کاهش ۳ تا ۲۱٪ غلظت ریزگرد و افزایش ۵ تا ۱۱٪ بارش در شهر اهواز شود.

**تشکر و قدردانی:** از تمامی حمایت‌های موسسه استاندارد و بازرسی ایران در پیشبرد اهداف این پروژه کمال تشکر را ابراز می‌نمایم. همچنین برای رایج بی‌دریغ پیشنهادات سودمند، از پروفسور سومسیکوف و پروفسور

الگوریتم‌های ماتریسی برنامه‌نویسی نرم‌افزار Mathworks Matlab R2020b صورت گرفت. تحلیل داده‌های ماهواره‌ای مورد نیاز در نرم‌افزار Envi 5.3 پردازش شد. داده‌های آنلاین اتمسفر و پارامترهای اقلیمی از وبگاه بین‌المللی ماهواره سنتینل [Copernicus Open Access Hub, 2018] و وبگاه جهانی داده‌های ماهواره‌ای [worldview.earthdata.nasa.gov, 2018] به دست آمد.

### یافته‌ها

نتایج تحلیل محاسبات نظری و مکان‌یابی جدید، افزایش اثرات یونیزاسیون اتمسفر را در پی خواهد داشت (جدول ۱).

**جدول ۱)** پیش‌بینی مدل محاسباتی نظری برای تغییرات مکان‌یابی پویا براساس نتایج قبلی [Jahanshir, 2015; Jahanshir, 2016]

متغیر	پیش‌بینی محاسبات نظری
غلظت ریزگرد در شرایط غبار کمتر از ۷۰۰ میکروگرم بر مترمکعب	۵-۱۱٪ کاهش مضاعف
غلظت ریزگرد در شرایط غبار بیشتر از ۷۰۰ میکروگرم بر مترمکعب	۳-۲۱٪ کاهش مضاعف
نزولات جوی (بارش باران-تگرگ)	۵-۱۳٪ افزایش مضاعف
مدت زمان ایستایی ریزگرد در هوا	۱۰ ساعت کاهش مضاعف
روزهای بارش (باران)	۶ روز بارانی مضاعف
تغییر سطح بارش (باران)	۷/۸ میلی‌لیتر افزایش مضاعف
میدان دید (فرودگاه)	۱/۳ کیلومتر افزایش مضاعف

### بحث

هدف از پژوهش نظری حاضر، تحلیل نظری مکان‌یابی نصب تجهیزات فناوری تزریق برای کاهش غلظت ریزگردها بود که بر اساس جست‌وجوی پیوسته در منابع و مقالات علمی، مکان‌یابی رایج شده در این مقاله مشابه ندارد. به همین دلیل بررسی نظری نتایج به عنوان پژوهشی نظری مطرح است و با داده‌های قبلی [Jahanshir, 2015; Jahanshir, 2016] مقایسه شده است.

با تغییر مکان تزریق و قراردادن تجهیزات در محدوده نقاط تبادلی مناسب، عملکرد سپر یونی افزایش یافته و حتی تغییر راندمان تزریق روی پارامترهای جوی و شاخص‌های جوی نیز ظاهر می‌شود. از این‌رو، تزریق و مدیریت فرآیند یونش با مکان‌یابی دقیق منجر به کاهش بیشتر غلظت ریزگرد و افزایش تجمع توده‌های ابر می‌شود. به همین دلیل با تکیه بر فناوری سپر یونی، می‌توان توده‌های ابرهای باران‌زا را در مناطق خشک و نیمه‌خشک متمرکزتر نمود.

با استناد بر داده‌های حقیقی و بررسی نظری محاسبات عملکرد تزریق در نقاط مکان‌یابی شده جدید، حدود ۱۳-۵٪ افزایش بهینه در پارامتر کاهش غلظت غبار، افزایش بارش، تعدد روزهای بارش، گسترش میدان دید و کاهش مدت زمان ایستایی غبار نسبت به قبل به دست آمد که با نتایج قبل در سال ۱۳۹۲ همسو بوده و افزایش قابل توجهی داشت [Jahanshir, 2016].

- Jahanshir A (2015). Applications to engineering physics for reducing air pollution. *Science Innovation*. 3(6):117-120.
- Jahanshir A (2016). Engineering physics achievements in reducing environmental crisis in the Persian Gulf and its coastal areas. *Journal of Applied Physical Science International*. 6(1):45-52.
- Jahanshir A (2021). Troposphere electromagnetic intensification in generating participation. *Journal of the Earth and Space Physics*. Unknown Volume, Issue and Pages. [Persian]
- Kasahara A (1974). Various vertical coordinate systems used for numerical weather prediction. *Monthly Weather Review*. 102(7):509-522.
- Moghim S (2018). Impact of climate variation on hydrometeorology in Iran. *Global and Planetary Change*. 170:93-105.
- Nasrollahi-Kasmani A (2018). Media managing of hazards of the dusts with an emphasis on Khuzestan dusts. *Environmental Hazards Management*. 5(3):279-294. [Persian]
- Piel A (2010). Single particle motion in electric and magnetic fields. In: *Plasma Physics*. Graduate Texts in Physics. Cham: Springer.
- Raizer YP (2011). *Gas discharge physics*. Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Ren W, Shi J, Zhu J, Guo Q (2020). An innovative dust suppression device used in underground tunneling. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 99:103337.
- Copernicus Open Access Hub [Internet] (2018). Paris: scihub.copernicus.eu. [cited 2018, 22 June] Available from: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>
- Shahsavani A, Yarahmadi M, Jafarzade Haghhighifard N, Naimabadie A, Mahmoudian MH, Saki H, et al (2011). Dust storms: Environmental and health impacts. *Journal of North Khorasan University of Medical Sciences*. 2(4):45-56. [Persian]
- Smith RK (2014). *Introductory lectures on fluid dynamics*. Scotts Valley: Create Space Independent Publishing Platform.
- Stainforth A, Wood N (2003). The deep-atmosphere Euler equations in a generalized vertical coordinate. *Monthly Weather Review*. 131(8):1931-1938.
- Wei JH, Qiu J, Li T, Huang Y, Qiao Z, Cao J, et al (2020). Cloud and precipitation interference by strong low-frequency sound wave. *Science China Technological Sciences*. 64:261-272.
- worldview.earthdata.nasa.gov [Internet] 2018. Washington: NASA; [cited 2018, 4 July]. Available from: <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>.
- Zolfaghary H, Poursamakoosh M, Mehr Shapoor Sh, Ahmadi M. (2012). Investigation of dust storms in western regions of Iran over the 2005-2009 years. *Geographical and Environmental Planning Journal*. 3(Suppl 43):17-34. [Persian]

یاکوویتس، پژوهشگران انستیتوی تحقیقات یونوسفر قزاقستان، نیز سپاسگزار هستم.

**تأییدیه اخلاقی:** نیازی به مجوز اخلاقی ندارد.

**تعارض منافع:** تمامی دستاوردهای پژوهشی، منافع مادی و معنوی این پروژه تحت طرح "بومی‌سازی فناوری یونیزاسیون و کاهش گرد و غبار" به شماره ۱۶۳/ق/۷۷۵۱ از موسسه استاندارد و بازرسی ایران است.

**سهم نویسندگان:** آرزو جهانشیر (۱۰۰٪)

**منابع مالی:** منابع مالی پژوهش توسط موسسه استاندارد و بازرسی ایران تأمین شد.

## منابع

- Akishev YS, Deryugin AA, Kochetov IV, Napartovich AP, Trushkin NI (1993). DC glow discharge in air flow at atmospheric pressure in connection with waste gases treatment. *Journal of Physics D: Applied Physics*. 26(10):1630-1637.
- Bear S, Chambers R, Peak S (2010). Static modeling of rainfall enhancement. *Weather Modification*. 42(1):13-32.
- Bourek Y, Mokhnache L, Said NN, Kattan R (2011). Determination of ionization conditions characterizing the breakdown threshold of a point-plane air interval using fuzzy logic. *Electric Power Systems Research*. 81(11):2038-2047.
- Chambers R, Beare S, Peak S (2012). Using dynamically defined controls to evaluate the impact of an ionization technology. *The Journal of Weather Modification*. 44(1):16-29.
- Chambers R, Bear S, Peak S, Al-Kalbani M (2016). Using ground-based ionization to enhance rainfall in the Hajar Mountains, Oman. *Arabian Journal of Geosciences*. 9:491.
- cma.gov.cn [Internet] (2013). Beijing: Chinese Meteorological Administration [cited 2018, 5 August]. Available from: <http://www.cma.gov.cn/en2014/>.
- Dale VH (1997). The relationship between land-use change and climate change. *Ecological Application*. 7(3):753-769.
- Darandeh M (2015). Assessing and recognizing climate change in Iran during recent decades. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*. 9(30):1-14. [Persian]
- Harrison RG, Nicoll KA, Mareev E, Slyunyaev N, Rycroft MJ (2020). Extensive layer clouds in the global electric circuit: their effects on vertical charge distribution and storage. *Proceedings of the Royal Society: A*. 476(2238):20190758.
- Hoon JH, Hwang J, Park JH, Yoon KY, Ko BJ, Kang SH, et al (2006). Collection of submicron particles by an electrostatic precipitator using a dielectric barrier discharge. *Journal of Aerosol Science*. 37(11):1618-1628.