

تعیین منطقه هدف بارورسازی ابرها با استفاده از مدل پاشندگی

علی فلاحی^۱، فاطمه مرادیان^{۲*}

۱. مهندسی مکانیک گرایش حرارت و سیالات، کارشناس مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باروری ابرها، یزد، ایران

۲. کارشناس ارشد هواشناسی، مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باروری ابرها،

چکیده

یکی از چالش‌های مهم در ارزیابی باروری ابرها تعیین منطقه تحت تأثیر مواد باروری، موسوم به منطقه هدف است. در روش فعلی تعیین منطقه هدف، در ارزیابی پروژه باروری ابرها در ایران، مواد باروری از محل شلیک به مدت دو ساعت با استفاده از داده سرعت و جهت باد خروجی مدل WRF در راستای باد، در محیط GIS انتقال داده می‌شود. با وجود پیچیدگی‌ها و عدم قطعیت‌های موجود در روش‌های تعیین منطقه هدف، در این مقاله سعی شده با به‌کارگیری مدل پخش مواد، روش جدیدی برای مشخص نمودن منطقه هدف ارائه گردد. در این روش با انتخاب یکی از پروازهای باروری، مدل WRF برای روز عملیات اجرا گردیده و نتیجه این اجرا به همراه مشخصات نقاط شلیک مواد باروری، به عنوان ورودی به مدل Hysplit داده شده و پس از انتقال دو ساعته مواد باروری توسط مدل، نقاط خروجی حاصل برای ترسیم منطقه هدف مورد استفاده قرار گرفته شده است. مقایسه منطقه هدف حاصل از روش این مقاله و روش فعلی به کار رفته در ارزیابی باروری ابرها در ایران، نشان دهنده تطابق و هم‌پوشانی مناسب دو منطقه بوده و برای این مورد مطالعاتی می‌تواند با دقت خوبی جایگزین منطقه هدف محاسبه شده با روش انتقال مواد باروری بر روی نقشه باشد.

واژگان کلیدی: باروری ابرها، منطقه هدف، انتقال مواد باروری، مدل پاشندگی Hysplit، مدل WRF

مقدمه

تحت تأثیر پروژه باروری قرار نمی‌گیرد (سیدحسینی، م. ۱۳۹۱).

مطالعات انجام شده نشان می‌دهد تأثیر مواد باروری تقریباً از زمان باروری تا فاصله زمانی ۳۰ دقیقه پس از باروری آغاز شده (Hunter., 2011) و تا ۹۰ دقیقه بعد از باروری در جهت باد ادامه می‌یابد (Deshler and Reynolds, 1990; WMI, 2005 و سیدحسینی، ۱۳۹۱). در گزارش سال ۲۰۰۴ انجمن تعدیل آب و هوا (WMA, 2004)، مدت زمان تأثیر مواد باروری بر منطقه هدف، دو ساعت بیان شده است. بنابراین، برای ارزیابی پروژه های افزایش بارش در ایران، منطقه هدف در هر عملیات باروری، منطقه‌ای تعریف می‌شود که مواد باروری به مدت دو ساعت در راستای باد حرکت داده شده و تأثیرگذاری نموده‌اند.

در حال حاضر، برای تعیین منطقه هدف در ارزیابی باروری ابرها در ایران که موسوم به روش کنترل-شناور (FCM¹) می‌باشد، حمل مواد باروری با استفاده از داده باد استخراج شده از سنجنده هواپیمای باروری ابرها، به مدت دو ساعت بر روی نقشه تصویر گردیده و منطقه حاصل از روی هم‌اندازی مناطق تحت تأثیر مواد باروری در پروازهای انجام شده در هر ماه به‌عنوان منطقه هدف لحاظ می‌شود. از آنجاکه امروزه استفاده از مدلسازی عددی جایگاه ویژه‌ای در علم هواشناسی و تعدیل وضع هوا داشته و توجه روزافزون محققین این علوم را به خود جلب نموده است، در این مقاله سعی شده تا با استفاده از مدل WRF² و Hysplit³، روشی نوین و جایگزین جهت تعیین منطقه هدف ارائه و عملکرد روش جدید با روش مورد استفاده در ارزیابی مقایسه گردد.

مواد و روش‌ها

مدل WRF

مدل پیش بینی و تحقیقاتی وضع هوا (WRF) نسل جدیدی از سیستم میان مقیاس پیش بینی عددی وضع هوا و اولین مدل پیش بینی جوی است که هم پیش بینی عملیاتی و هم نیازهای تحقیقاتی جوی را برآورده می‌سازد. این مدل

بارورسازی ابرها در واقع شناخته شده ترین جنبه تعدیل وضع هواست که در بیشتر مناطق دنیا به‌منظور افزایش بارش از ابرها، کاهش نگرگ حاصل از «توفان‌های تندری» و کاهش اثرات منفی «توفان‌های نگرگی» و از بین بردن مه در فرودگاه‌های پرتراфик یا بزرگراه‌ها انجام می‌شود. افزایش تقریبی ۱۰ تا ۲۰ درصد بارندگی سالیانه، باعث افزایش سطح آب رودخانه‌ها و دریاچه‌های مورد استفاده برای آشامیدن، کشاورزی و تولید نیروی برق‌آبی می‌شود. بر اساس گزارش سازمان جهانی هواشناسی در سال ۲۰۱۰ (WMO, 2010) از میان تمام کاربردهای تعدیل آب و هوا، بیشتر پروژه‌های عملیاتی بر افزایش بارش متمرکز بودند. یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در به‌کارگیری روش بارورسازی ابرها، برآورد میزان کارایی آن است. مهم‌ترین روش‌های ارزیابی بازدهی این برنامه، ارزیابی آماری راندمی و غیر راندمی، ارزیابی فیزیکی با استفاده از مواد ردیاب، تصاویر رادار و تصاویر ماهواره و نیز ارزیابی با مدلسازی (Bureau of Reclamation, 2006) می‌باشد.

ارزیابی پروژه‌های افزایش بارش به منظور مشخص شدن میزان اثربخشی پروازهای عملیاتی باروری ابرها مهم‌ترین و در عین حال از پیچیده‌ترین بخش‌های یک برنامه تعدیل وضع هواست. یکی از پیچیدگی‌های آن عدم وجود روش‌های قابل اعتماد، جهت تعیین منطقه هدف برنامه بارورسازی می‌باشد. تعیین منطقه کنترل و هدف در بیشتر پروژه‌های بارورسازی ابرها در دنیا، از اهمیت بالایی برخوردار است چراکه ارزیابی این پروژه‌ها با مقایسه منطقه هدف و کنترل صورت می‌گیرد (Changnon, 1973) و خطی، ۱۳۹۰). منطقه هدف، منطقه‌ای است که مقرر شده بارش در آن با اجرای برنامه باروری ابرها افزایش یابد. محدوده منطقه هدف در طرح برنامه مشخص شده و اجرای برنامه بگونه‌ای صورت می‌گیرد که حتی‌الامکان بسته به سامانه‌های ابری وارد شده به آن تحت پوشش بارورسازی قرار گیرد و منطقه کنترل، منطقه‌ای است که به هیچ عنوان،

1. Float-Control Method
3. Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory model

2. Weather Research and Forecasting model

دیدگاه‌های اوپلری و لاگرانژی است و به همین دلیل HYSPLIT را مدلی دوگانه می‌نامند.

پخش ذرات می‌تواند در مدل به صورت سه بعدی و گوسی انجام می‌شود در مدل سه بعدی آلاینده از منبع شروع در هر سه جهت پخش می‌شود ولی در مدل گوسی، منبع مانند یک دودکش نقطه‌ای در نظر گرفته شده و آلاینده به صورت نمودار گوسی پخش می‌شود. غلظت از پراکنش هوای آلوده در پایین دست محاسبه می‌گردد.

این مدل برای تحلیل هواشناسی و پروفیل‌های باد، مدل‌سازی مناطق صنعتی از لحاظ غلظت و نشست، مدل‌سازی در مناطقی با عوارض پیچیده مانند مناطق ساحلی، مدل‌سازی خط سیر رو به عقب و رو به جلو در ارتفاع‌های متفاوت، مدل‌سازی‌های پیچیده خط سیر، مدل‌سازی گرد و غبار، مدل‌سازی آتشفشان و مدل‌سازی شرایط اضطرار و نیاز به پاسخ سریع به کار می‌رود.

روش تحقیق

مشخص نمودن منطقه هدف یکی از پیچیده‌ترین بخش‌های یک پروژه تعدیل وضع هوا بوده و تعیین هرچه دقیق‌تر آن برای ارزیابی چنین پروژه‌هایی ضروری است بنابراین استفاده از مدل‌سازی عددی می‌تواند مجربان برنامه‌های تعدیل وضع هوا را در دست‌یابی به این هدف یاری رساند. برای بررسی عملکرد مدل‌سازی عددی در تعیین منطقه هدف بارورسازی ابرها، مدل‌پاشندگی Hysplit برای شبیه‌سازی پخش مواد باروری، برای یک مورد از پروازهای عملیاتی باروری ابرها اجرا گردید و منطقه هدف به‌دست آمده از خروجی این مدل با منطقه هدف محاسبه شده با روش حمل مواد بر روی نقشه مقایسه گردید.

برای این منظور پرواز عملیاتی مورخ ۱۲ دسامبر ۲۰۰۶ به عنوان مورد مطالعاتی انتخاب گردید. جهت تأمین پارامترهای هواشناسی مورد نیاز برای اجرای مدل‌پاشندگی Hysplit، مدل WRF برای این تاریخ با استفاده از داده‌های FNL با تفکیک افقی یک درجه در راستای طول و عرض

تلاش مشترک توسعه مدل، میان چند سازمان مانند مرکز ملی تحقیقات جوی (NCAR)، مرکز ملی پیش‌بینی محیطی (NCEP)، آزمایشگاه سیستم‌های پیش‌بینی (FSL)، آژانس هواشناسی نیروی هوایی (AFWA) و تعدادی از موسسات و دانشگاه‌های مشارکت‌کننده دیگر است.

کاربرد مدل WRF روی شبیه‌سازی‌های با تفکیک بالا متمرکز شده است، هر چند می‌تواند در تفکیک‌های پایین‌تر نیز به کار رود. این مدل شامل هسته‌های دینامیکی چندگانه، یک سیستم همانندسازی داده‌ای متغیر سه بعدی^۵ و یک نرم‌افزار برای محاسبات موازی و توسعه پذیری سیستم است. مدل WRF برای طیف گسترده‌ای از کاربردها در مقیاس‌های مختلف از متر تا هزاران کیلومتر مناسب است.

WRF یک مدل کاملاً غیر آب‌ایستای تراکم‌پذیر است و معادلات حاکم بر آن در شکل شار به منظور بقای جرم، آنتروپی خشک و نرده‌ای‌ها نوشته شده‌اند. برای شبیه‌سازی جو واقعی و انجام دادن شبیه‌سازی با تفکیک پایین، وجود مجموعه‌ای از مولفه‌های فیزیکی همانند تابش، پارامتره‌سازی لایه مرزی، پارامتره‌سازی همرفت، پخش پیچکی ریز شبکه‌ای و خرد فیزیکی ضروری است. چون مدل برای گروه‌های تحقیقاتی و عملیاتی توسعه داده شده است طرحواره‌های فیزیکی در سطح بالا و نیز طرحواره‌های فیزیکی ساده در مدل گنجانده شده است.

مدل‌پاشندگی HYSPLIT

مدل‌پاشندگی HYSPLIT، مدلی دوگانه برای محاسبات خط سیر حرکت بسته هوا، پراکندگی و شبیه‌سازی ته‌نشینی آن است. نسخه اولیه این مدل تلاش مشترک NOAA و اداره هواشناسی استرالیا بوده ولی بروزرسانی‌های جدید آن حاصل مشارکت چندین نهاد و مؤسسه است. در این مدل محاسبه مسیر و غلظت آلاینده با استفاده از پارامترهای هواشناسی انجام می‌گیرد. روش محاسبه مدل، ترکیبی میان

1. National Center for Atmospheric Research
3. Forecast Systems Laboratory
5. 3DVAR

2. National Centers for Environmental Prediction
4. Air Force Weather Agency

نمودار (نمودار ۱) ترسیم گردیده است.

Error! Reference source not found. منطقه هدف حاصل از انتقال دو ساعته مواد باروری توسط مدل Hysplit را نشان می‌دهد. در این شکل نقاط آبی رنگ، هجده نقطه شلیک مواد باروری ورودی مدل بوده و نقاط قرمز رنگ، خروجی مدل را نشان می‌دهند. منطقه هدف، بزرگترین ناحیه‌ای است که از اتصال نقاط ورودی و خروجی حاصل خواهد شد.

شکل ۲، منطقه هدفی را نشان می‌دهد که با روش فعلی مورد استفاده در ارزیابی باروری ابرها بدست آمده است. در این تصویر نقاط سبز رنگ، نقاطی هستند که از انتقال نقاط شلیک مواد باروری (نقاطی که با رنگ قرمز مشخص شده‌اند) در راستای باد با سرعت محاسبه شده توسط مدل WRF به دست آمده‌اند. این منطقه نیز حاصل اتصال نقاط شلیک و نقاط انتقال داده شده است و منطقه تحت تأثیر مواد باروری را جهت ارزیابی اثرات پروژه باروری ابرها نشان می‌دهد.

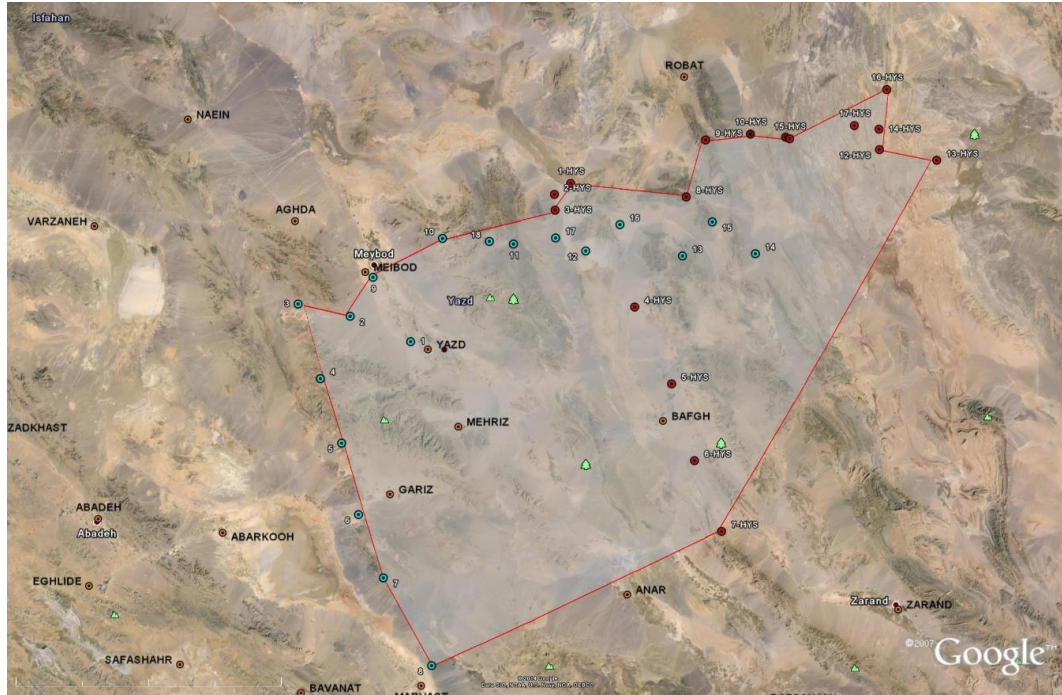
از آنجاکه منطقه هدف مشاهده شده در شکل ۳، حاصل از روش متداول تعیین منطقه هدف در ایران می‌باشد، جهت ارزیابی عملکرد روش ارائه شده در این مقاله، دو منطقه هدف مذکور به دو روش روی هم قرار گرفته‌اند و تا بتوان خروجی این دو روش را به خوبی مقایسه نمود. در روش اول دو منطقه هدف، بر روی زمینه‌ای از نقشه توپوگرافی منطقه ترسیم گشته‌اند.

جغرافیایی، اجرا گردیده و خروجی با بازه زمانی ۵ دقیقه‌ای برای مدت پرواز عملیاتی باروری ابرها استخراج گردید. این خروجی سپس به عنوان ورودی پارامترهای هواشناسی به مدل Hysplit معرفی گردید.

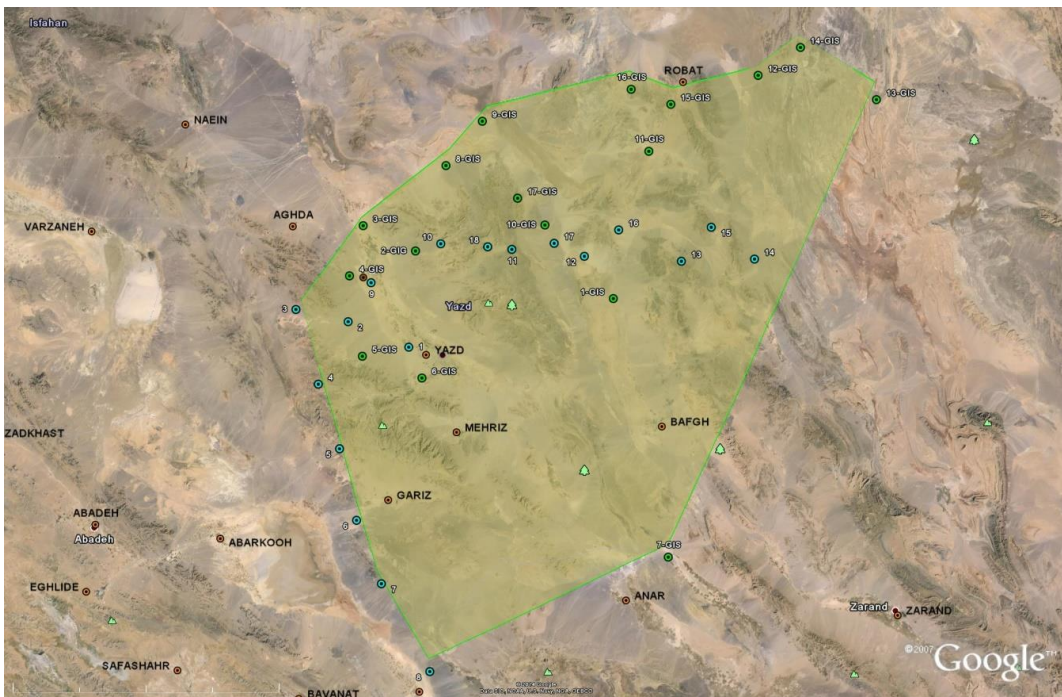
همانطور که قبلاً نیز اشاره گردید مطابق پژوهش‌های انجام شده، مدت زمان تأثیر مواد باروری بر منطقه هدف، دو ساعت در نظر گرفته می‌شود، بنابراین مشخصات شلیک‌های انجام شده در بازه زمانی پرواز عملیاتی شامل طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع و زمان رهاسازی مواد باروری به منظور محاسبه انتقال دو ساعته به مدل پاشندگی Hysplit داده شد. نقاط حاصل از خروجی مدل، مکان مواد باروری را پس از دو ساعت انتقال در جوی که پارامترهای آن در خروجی مدل WRF ثبت گردیده، نشان خواهد داد. در نهایت برای به دست آوردن منطقه هدف نقاط ورودی و خروجی مدل Hysplit به هم متصل گردیده و نتیجه به صورت یک ناحیه مشخص می‌گردد.

بحث و نتایج

تصاویر مربوط به ناحیه هدف محاسبه شده با استفاده از خروجی مدل پاشندگی در شکل انشان داده شده است و نیز جهت مقایسه نتیجه این روش با روش حمل مواد باروری بر اساس خروجی سرعت و جهت باد مدل WRF در نرم‌افزار GIS (روش فعلی مورد استفاده) شکل ۲، ناحیه حاصل از دو روش به صورت هم‌پوشانی بر روی نقشه و



شکل ۱. منطقه هدف محاسبه شده توسط مدل **Hysplit**: نقاط آبی رنگ، نقاط شلیک و نقاط قرمز رنگ، نقاط خروجی مدل پس از انتقال دو ساعته مواد باروری

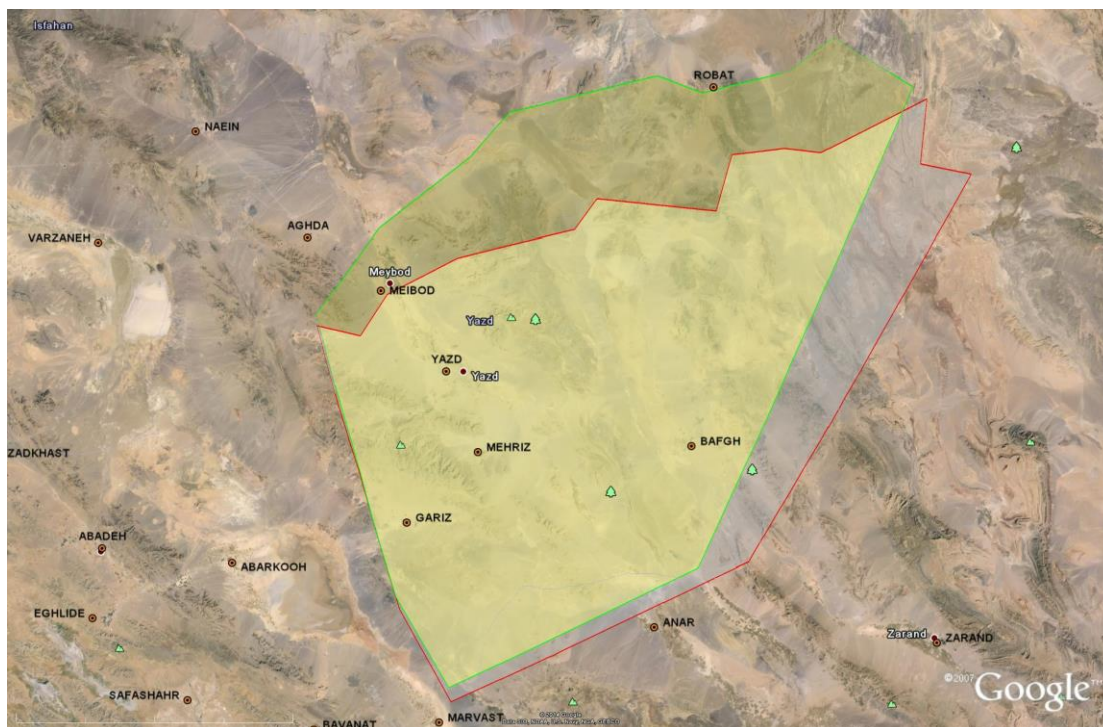


شکل ۱ منطقه هدف محاسبه شده با استفاده از داده سرعت و جهت باد محاسبه شده توسط مدل **WRF**: نقاط آبی رنگ، نقاط شلیک و نقاط سبز رنگ، نقاط انتقال داده شده بر روی نقشه پس از دو ساعت

خروجی مدل است. همان‌طور که در این تصویر مشاهده می‌شود دو ناحیه تطابق خوبی با هم داشته و در بیشتر نواحی هم‌پوشانی دارند. نواحی عدم هم‌پوشانی می‌تواند

در این شکل، ناحیه محصور با خطوط قرمز رنگ، منطقه هدفی است که با حمل مواد بر روی نقشه حاصل شده و ناحیه محصور با خطوط سبز رنگ، ناحیه بدست آمده از

نشان‌دهنده تفاوت در روش بدست آوردن نقاط خروجی در مدل HYSPLIT و روش حمل مواد بر روی نقشه باشد چراکه در مدل HYSPLIT انتقال سه بعدی و تلاطم‌ها در نظر گرفته می‌شود.

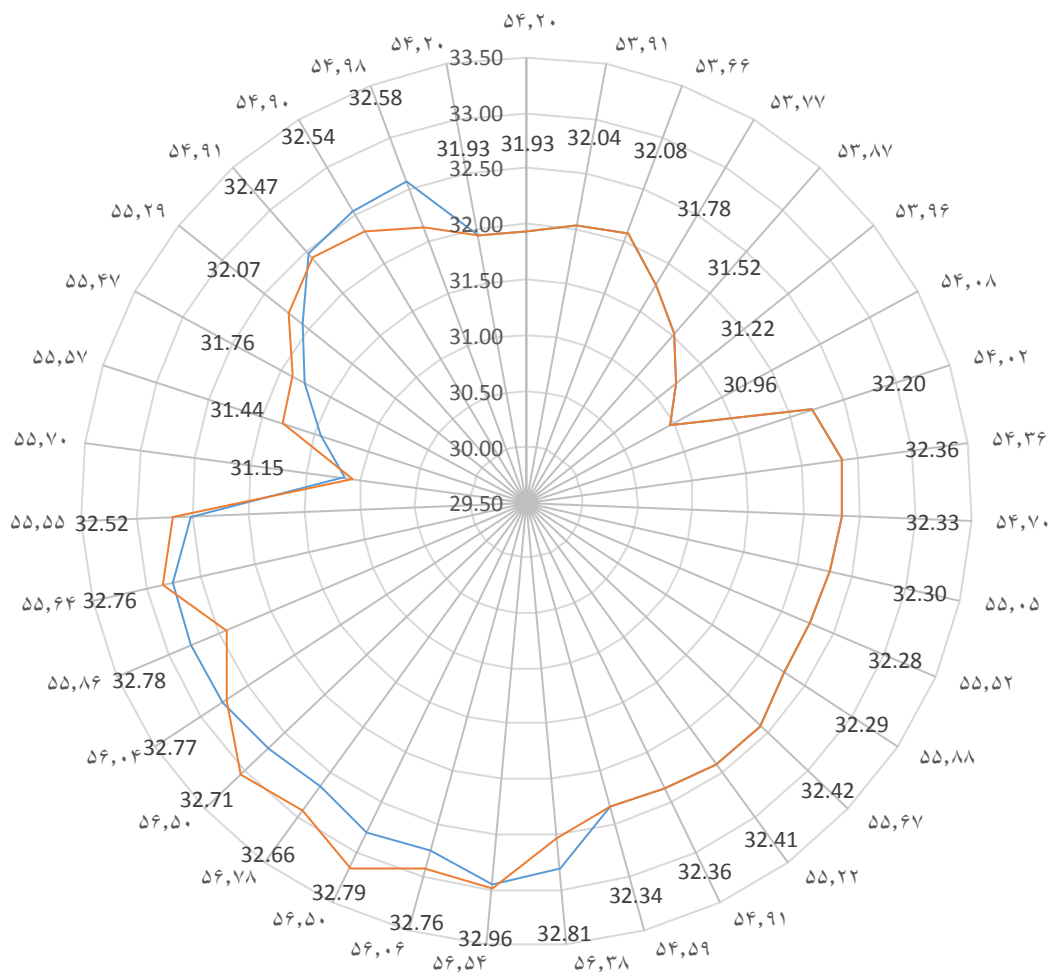


شکل ۳. هم‌پوشانی منطقه هدف ترسیم شده با استفاده از خروجی مدل Hysplit (محدوده محصور شده با خطوط قرمز رنگ) و منطقه هدف محاسبه شده با حمل مواد بر روی نقشه باروری ابرها

نتیجه‌گیری

در حال حاضر، در ایران جهت تعیین منطقه هدف مواد باروری را در راستای باد با سرعت خروجی مدل WRF بر روی نقشه به مدت دو ساعت انتقال می‌دهند. در این مقاله روش جدیدی با استفاده مدلسازی عددی برای این هدف ارائه شده و عملکرد آن را در مشخص کردن منطقه هدف بررسی گردید. در این روش نقاط شلیک یک پرواز باروری ابرها به‌عنوان نقاط ورودی و خروجی مدل WRF به‌عنوان پارامترهای هواشناسی به مدل Hysplit داده شد و نقاط خروجی حاصل انتقال دو ساعته مواد باروری، برای ترسیم منطقه هدف به‌کار گرفته شد.

در روش دوم، نقاط ورودی و خروجی دو روش، بر روی یک نمودار از نوع رادار که توان نمایش طول و عرض جغرافیایی را دارد، نمایش داده و منطقه هدف حاصل از این نقاط روی این نمودار ترسیم شده است. **Error!** در این تصویر، نمودار قرمز رنگ، حاصل نقاط خروجی مدل پاشندگی Hysplit بوده و نمودار آبی‌رنگ از حمل مواد باروری بر روی نقشه به‌دست آمده‌اند. این نمودارها نیز تطابق مناسب بین خروجی‌های دو روش را نشان می‌دهند و بیشترین اختلاف مشاهده شده، حدود ۰٫۵ درجه عرض جغرافیایی است.



نمودار ۱ نمودار هم‌پوشانی منطقه هدف ترسیم شده با استفاده از خروجی مدل **Hysplit** (محدوده محصور شده با خطوط قرمز رنگ) و منطقه هدف محاسبه شده حمل مواد بر روی نقشه

گردد و میزان تطابق خروجی دو روش سنجیده شود همچنین پیشنهاد می‌گردد دلایل اختلاف دو منطقه بررسی و با بهره‌گیری از این دلایل، برخی از عدم قطعیت‌های موجود در تعیین منطقه هدف برطرف گشته و دستیابی به دقت بیشتر در منطقه هدف محقق گردد.

منابع

1. Khatibi Sarabi, V., 2011; A review and modification of the utilization of cloud seeding technology for water extraction in Iran and comparing the result by the other succeed projects. Iran Water Resources Management Company Research Projects, code: WRE1-86075

مقایسه منطقه هدف محاسبه شده از دو روش مذکور، تشابه زیادی را بین این دو منطقه نشان داده و در بیشتر این نواحی همپوشانی بین این دو ناحیه دیده می‌شود و به نظر می‌رسد این ناحیه جایگزین مناسبی برای ناحیه محاسبه شده توسط روش فعلی مورد استفاده باشد.

در راستای دستیابی به دقت بیشتر در تعیین منطقه هدف باروری ابرها و یک روش مناسب و مطمئن‌تر برای جایگزینی روش فعلی، پیشنهاد می‌گردد در مطالعات بیشتر این روش برای چندین مورد پرواز عملیاتی، حداقل پروازهای عملیاتی یک پروژه عملیاتی، به کار رفته و نتایج حاصل با منطقه هدف محاسبه شده با روش فعلی مقایسه

2. Seyed Hasani M., 2012; Cloud Seeding from Idea to Reality, Water Research Institute.
3. Bureau of Reclamation (BR), 2006, Optimizing Cloud Seeding for Water and Energy in California, U.S. Technical Service Center, Steven M. Hunter, Denver, Colorado, Commission Contract No. Insert: # 500-99-013, Commission Work Authorization No: 103, Prepared For: Public Interest Energy Research (PIER) Program, California Energy Commission, CEC-500-2007-008.
4. Changnon Stanley A.; 1973; A Review of Methods to Evaluate Precipitation Modification In North America, Head, Atmospheric Sciences Section, Illinois State Water Survey, Urbana, Illinois
5. Deshler, T. L., and D. W. Reynolds, 1990, The persistence of seeding effects in a winter orographic cloud seeded with silver iodide burned in acetone. J. Appl. Meteor., vol 29.
6. Hunter, Steven M., 2011, Answers to Frequently Asked Questions About Cloud Seeding to Augment Mountain Snowpacks., North American Interstate Weather Modification Co.
7. Weather Modification Association, 2004, Critical Issues in Weather Modification Research.
8. Weather Modification, Inc(WMI), 2005; Wyoming Level II, Weather Modification Feasibility Study, for the Wyoming Water Development, Commission; <http://www.wwdc.state.wy.us/>