

## بکارگیری الگوریتم ژنتیک جهت پس پردازش پارامتر آب قابل بارش پیش‌بینی مدل عددی WRF با استفاده از داده‌های ماهواره زمین ایستای METEOSAT8 در نواحی فاقد ایستگاه جو بالای ایران

مجتبی جلالی\*، فرحناز تقوی<sup>۲</sup>

۱- دانش آموخته‌ی کارشناسی ارشد هواشناسی، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

۲- استادیار مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۹۷/۰۵/۱۷، تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۸/۲۰)

### چکیده

آب قابل بارش برآوردی از ستون بخار آب در کل لایه تروپوسفر می‌باشد که پیش‌بینی دقیق این کمیت می‌تواند در تخمین میزان بارش و پیش‌آگاهی احتمال وقوع سیلاب مفید باشد. ماهواره METEOSAT8 دارای طیف گسترده‌ای از محصولات هواشناختی و آبشناسی است که یکی از آن‌ها کمیت آب قابل بارش می‌باشد. هدف از این پژوهش پس‌پردازش پارامتر آب قابل بارش پیش‌بینی مدل عددی WRF با استفاده از داده‌های ماهواره زمین ایستای METEOSAT8 در نواحی فاقد ایستگاه‌های جو بالا می‌باشد. برای این مهم ابتدا کمیت آب قابل بارش مستخرج از داده‌های ماهواره METEOSAT8 با داده‌های ۲ ایستگاه جو بالای کشور به مدت یک سال راستی‌آزمایی شد. نتایج حاصل از این مقایسه تا حدود زیادی قابل اعتماد بود به طوری که از داده‌های ماهواره MSG1 (IODC) به عنوان مقادیر هدف الگوریتم ژنتیک جهت پس‌پردازش پیش‌بینی مدل عددی WRF در نقاط غیر ایستگاهی استفاده نمودیم. در انتها مقادیر پس‌پردازش شده و مقادیر ماهواره MSG1 را در ۶ شهر ایران با شرایط اقلیمی متفاوت مقایسه نمودیم. نتایج بیانگر عملکرد خوب این رهیافت جهت پس‌پردازش آب قابل بارش مدل پیش‌بینی WRF بود.

**کلمات کلیدی:** آب قابل بارش، مدل WRF، ماهواره METEOSAT8، پس‌پردازش، الگوریتم ژنتیک

### مقدمه

اندازه‌گیری شده در مدل ریزمقیاس هواشناسی، ساختار عمودی بخار آب را با دقت بسیار بالاتر از بازیابی آماری بر مبنای داده‌های اقلیمی بازسازی می‌کند و در نتیجه تحلیل بهبود یافته توسط داده‌گواهی منجر به بهبود پیش‌بینی کوتاه مدت بارش می‌شود. همچنین در تحقیقی باک و همکاران به راستی‌آزمایی آب قابل بارش برگرفته از مدل هواشناسی ECMWF را با داده‌های رادیوسوند و GPS پرداختند. برای این مطالعه محتویات بخار آب قابل بارش (PWC) پیش‌بینی شده توسط مدل ECMWF را با مشاهدات ۲۱ ایستگاه دریافت GPS و ۱۴ ایستگاه رادیوسوند RS، در منطقه اروپای مرکزی، برای یک دوره مشاهداتی ویژه اخذ کردند. از مقایسه آب قابل بارش مدل و GPS، بایاس در داده‌های رادیوسوند مشاهد شد. آن‌ها از تجزیه و تحلیل بازخورد آماری موجود در ECMWF تأیید شده است. آن‌ها بایاس کلی ضعیف آب قابل بارش رادیوسوند در مقایسه با GPS را ۴/۵٪ بدست آوردند. به طور کلی خطای برونداد مدل‌ها دارای دو بخش است: یکی خطاهای سیستماتیک و دیگری

تراکم رطوبت جو همواره با گذشت زمان هم در مقیاس مکان و هم در مقیاس زمانی دچار تغییراتی می‌گردد. تغییرات اقلیم باعث فراوانی رخداد پدیده‌های فرین شده، که در این ارتباط نیز مدل‌های اقلیمی افزایش دماهای حدی را در آینده پیش‌بینی می‌کنند. اساساً مطالعه تغییر اقلیم در منطقه خلیج فارس از نظر ایجاد تأسیسات ساحلی، حمل و نقل و حفاظت از محیط زیست منطقه و تغییر در الگوی سیستم‌های جوی و جریان دریایی ضروری است. آب قابل بارش می‌تواند راه‌گشای بسیاری از مسئله‌های هواشناسی در پیش‌بینی دقیق وضعیت جو، برآورد بارش و رواناب باشد. کووا و همکاران آب قابل بارش مدل عددی هواشناسی JMA را توسط مقادیر تخمین زده شده GPS داده‌گواهی نمودند. ایده اصلی آن‌ها این است که آب قابل بارش پیش‌بینی شده را نسبت به مقدار مشاهده شده تصحیح شود، در حالی که ساختار عمودی رطوبت مدل حفظ شود. نتایج تحقیق آن‌ها نشان می‌دهد که داده‌گواهی آب قابل بارش

استفاده خواهیم نمود. می‌دانیم که ماهواره MSG1(IODC) در نقاط زیر ماهواره (خاورمیانه و اقیانوس هند) دارای دقت ۳ کیلومتر می‌باشد و منطقه مورد مطالعه نیز در این محدوده واقع شده است، لذا سه حوزه در نظر گرفته شد که حوزه مادر دارای تفکیک افقی ۲۷ کیلومتر و حوزه‌های آشیانه دارای تفکیک افقی ۹ و ۳ کیلومتر هستند. که ما با داده‌های سه کیلومتر کار می‌کنیم.

### روش تحقیق

محاسبه آب قابل بارش در ایستگاه رادیوسوند: یک ستون هوا با سطح مقطع  $1\text{cm}^2$  را در نظر بگیرید. اگر  $dz$  عنصر هوای ارتفاع  $z$  باشد، میزان آب بارش شو ( $w$ ) در این ستون هوا بین دو ارتفاع  $z$  و  $z+dz$  به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$w = \int_z^{z+dz} \rho_w dz :$$

که  $\rho_w$  چگالی بخار آب است.

### پس پردازش به روش الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک بخشی از نظریه محاسبه تکاملی است که در حال حاضر به عنوان بخشی از هوش مصنوعی به سرعت در حال رشد است. الگوریتم ژنتیک ابزاری می‌باشد که توسط آن ماشین می‌تواند مکانیزم انتخاب طبیعی را شبیه‌سازی نماید. این عمل با جستجو در فضای مسأله جهت یافتن جواب برتر و نه الزاماً بهینه صورت می‌پذیرد. الگوریتم ژنتیک را می‌توان یک روش جستجوی کلی نامید که از قوانین تکامل بیولوژیک طبیعی تقلید می‌کند. در واقع الگوریتم‌های ژنتیک از اصول انتخاب طبیعی داروین برای یافتن فرمول بهینه جهت پیش‌بینی یا تطبیق الگو استفاده می‌کنند. الگوریتم‌های ژنتیک اغلب گزینه خوبی برای تکنیک‌های پیش‌بینی بر مبنای رگرسیون هستند.

الگوریتم ژنتیک به عنوان یک الگوریتم محاسباتی بهینه‌سازی با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از نقاط فضای جواب در هر تکرار محاسباتی به نحو مؤثری نواحی مختلف فضای جواب را جستجو می‌کند. در مکانیزم جستجو گرچه

خطاهای پیشا. منظور از خطای سیستماتیک بخشی از خطاست که برون‌داد مدل در «میانگین» بیشتر یا کمتر از واقعیت باشد که به آن «اریبی» می‌گوییم. بخش دیگر خطای مدل از نظم خاصی پیروی نمی‌کند، که به آن خطای پیشا گفته می‌شود. به کمک فرایند پس پردازش می‌توان خطای سیستماتیک را تا حد قابل توجهی تعیین و حذف کرد به گونه‌ای برون‌داد مدل برای بسیاری از کاربردها قابل استفاده شود. در این مقاله نیز هدف پس پردازش خطای سیستماتیک مدل WRF با استفاده از الگوریتم ژنتیک و آموزش توسط داده‌های ماهواره MSG1(IODC) می‌باشد. در اینجا ابتدا مقادیر آب قابل بارش در ایستگاه‌های رادیوسوند شهید هاشمی نژاد مشهد و مهرآباد تهران محاسبه می‌گردد. سپس داده‌های آب قابل بارش از ماهواره اروپایی نسل دوم METEOSAT 8 دریافت می‌گردد و با مقادیر آب بارش شو دو رادیو سوند مذکور مقایسه می‌گردد. پس از راستی‌آزمایی پارامتر آب قابل بارش ماهواره MSG1(IODC) به پس پردازش پارامتر آب قابل بارش مدل پیش‌بینی WRF در نقاط فاقد ایستگاه جو بالا توسط الگوریتم ژنتیک و آموزش توسط ماهواره مذکور خواهیم پرداخت.

### داده‌ها و روش‌ها

#### داده‌ها

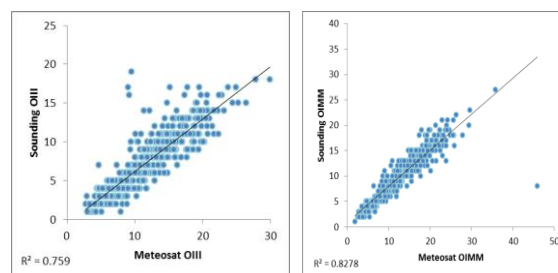
در این مقاله از سه نوع داده استفاده می‌شود: از داده‌های رادیوسوند جهت راستی‌آزمایی داده‌های ماهواره‌ای استفاده خواهد شد. داده‌های ماهواره زمین ایستا نسل دوم METEOSAT8 جهت پس پردازش داده‌های مدل پیش‌بینی WRF در پیکسل‌های فاقد ایستگاه جو بالا استفاده می‌گردند. لازم به ذکر است چون این محصول از ماهواره زمین ایستای هواشناسی، در ساعات ابری بازیابی نمی‌شود لذا این پارامتر در ساعات ابری داده‌های این محصول حذف می‌گردند و در آموزش الگوریتم ژنتیک شبکه عصبی وارد نخواهد شد. در نهایت از داده‌های مدل WRF نیز جهت مدل‌سازی و ریزمقیاس نمایی مدل جهانی پیش‌بینی GFS

| پارامتر      | توضیح  |
|--------------|--|
| BRTMPTo<br>a | top of atmosphere Brightness temperature [K]           |
| DLWRFsf<br>c | Surface Downward long wave flux [W/m <sup>2</sup> ]    |
| DPT2m        | 2 m above ground Dew point temp. [K]                   |
| HGT0deg      | • C isotherm level Geopotential height [gpm]           |
| HGTthfl      | cloud top Geopotential height [gpm]                    |
| MSLETm<br>sl | mean-sea level Mean sea level pressure(ETA model) [Pa] |
| PWATclm      | atmos column Precipitable water [kg/m <sup>2</sup> ]   |
| SPFH2m       | 2 m above ground Specific humidity [kg/kg]             |

مقدار تابع هدف تمام فضای جواب محاسبه نمی شود ولی مقدار محاسبه شده تابع هدف برای هر نقطه، در متوسط گیری آماری تابع هدف در کلیه زیر فضاهایی که آن نقطه به آن‌ها وابسته بوده دخالت داده می شود و این زیر فضاها به طور موازی از نظر تابع هدف متوسط گیری آماری می شوند. این مکانیزم را توازی ضمنی می گویند. در ادامه ابتدا به مقایسه داده های ماهواره METEOSAT8(IODC) با داده های رادیوسوند از ابتدای شروع فعالیت آن تاکنون خواهیم پرداخت و در انتها به تصحیح خطای سیستماتیک مدل پیش بینی WRF با استفاده از داده های ماهواره مذکور و الگوریتم ژنتیک خواهیم پرداخت.

### بحث و نتایج

ابتدا مقادیر آب قابل بارش ماهواره هواشناسی METEOSAT و داده های ایستگاه رادیوسوند هواشناسی مشهد و تهران را جهت حصول اطمینان کارایی داده های ماهواره METEOSAT در پس پردازش پیش بینی مدل WRF در نقاط فاقد ایستگاه جو بالا مقایسه می نماییم. همانطور که در نمودارهای زیر مشاهده می نماییم همبستگی بالایی بین داده های ماهواره اروپایی MSG1(IODC) و داده های رادیوسوند دو ایستگاه جو بالای کشور طی حدوداً دو سال برقرار است. لذا می توان در ادامه از این داده ها جهت تصحیح خطای سیستماتیک مدل پیش بینی استفاده نمود.

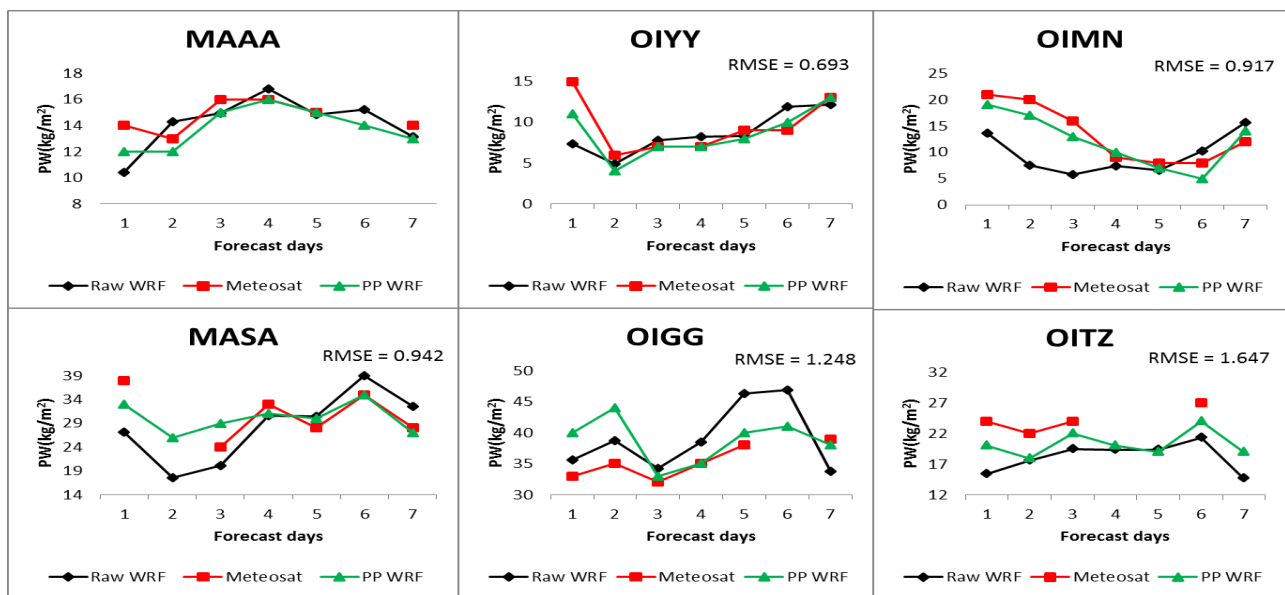


شکل ۱- مقایسه پارامتر آب قابل بارش ماهواره METEOSAT و رادیوسوند تهران

لازم به ذکر است که پس از ریزمقیاس نمایی داده های مدل پیش بینی WRF، تمامی مقادیر آب قابل بارش ماهواره هواشناسی و پارامتر مذکور مدل پیش بینی WRF در پیکسل های مربوط به منطقه ایران در روزهای فاقد ابر(حدوداً ۴۵۴۳۰۰ پیکسل و در هر پیکسل ۸ پارامتر ذکر شده در بالا در ساعت 00UTC) استخراج و به عنوان آموزش مدل شبکه عصبی مورد استفاده قرار گرفت. همچنین مقادیر هدف مورد استفاده در الگوریتم ژنتیک جهت پیش بینی در ساعات 00UTC مقادیر آب قابل بارش مستخرج از ماهواره زمین ایستای MSG1(IODC) بود.

همانطور که در شکل ۳ می بینیم در نواحی ساحلی مانند رشت و ساری RMSE مقادیر بالایی به خود اختصاص داده است. همچنین در روزهای ابری که ماهواره METEOSAT داده ندارد نیز پس پردازش مدل تقریباً منطبق بر پیش بینی خام می باشد. به عنوان مثال در زنجان هر چند اغلب روزهای مورد آزمایش ابری بوده اند اما با توجه به آموزش خوبی که مدل شبکه عصبی داشته است سبب شده تا حتی در روزهای ابری هم آب قابل بارش را پیش بینی نماید.

با مقایسه ۱۴۲ پارامتر پیش بینی مدل WRF و پارامتر آب قابل بارش، در نهایت از پارامترهای آورده شده پایین در طراحی و آموزش مدل شبکه عصبی استفاده نمودیم:



شکل ۳- مقایسه پارامتر آب قابل بارش پس پردازش شده (خط سبز)، خام (خط مشکی) و ماهواره Meteosat (خط قرمز) طی ۷ روز پیش‌بینی در شهرستان‌های (a) اراک (b) یزد (c) بجنورد (d) ساری (e) رشت (f) زنجان

### نتیجه‌گیری

با عنایت به همبستگی بالای مقادیر پارامتر آب قابل بارش ماهواره زمین ایستای نسل دوم METEOSAT8 در مقایسه با داده‌های رادیوسوند به این مهم دست یافتیم که این ماهواره می‌تواند جایگزین مناسبی جهت پس پردازش پارامتر آب قابل بارش در پیش‌بینی مدل عددی WRF باشد. مطالعه موردی بر روی ۶ شهر از ایران که در این مقاله صورت پذیرفت این موضوع را تایید می‌نماید.

### منابع

- 2- Räisänen, J., et al., European climate in the late twenty-first century: regional simulations with two driving global models and two forcing scenarios. *Climate dynamics*, 2004. 22(1): p. 13-31.
- 3- Westwater, Assimilation of precipitable water measurements into a mesoscale numerical model. *Monthly weather review*, 1993. 121(4): p. 1215-1238.
- 4- Bock, O., et al., Validation of precipitable water from ECMWF model analyses with GPS and radiosonde data during the MAP SOP. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 2005. 131(612): p. 3013-3036.
- 5- Rakhecha, P. and V.P. Singh, *Applied hydrometeorology*. 2009: Springer Science & Busin.

- ۱- اثر تغییر اقلیم بر میزان آب قابل بارش در سواحل شمال خلیج فارس. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۰۱۸. ۱۸(۴۹) دهقانی, et al., Kuo, Y.-H., Y.-R. Guo, and E.R. p. 75-91.