

## در شبیه سازی داده های هواشناسی استان مازندران Lars-WG بررسی و ارزیابی مدل در دوره آماری (۱۹۹۶ - ۲۰۱۰)

سوسن حیدری<sup>۱</sup>، وحید صفاری رودگر<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آب و هواشناسی ماهواره‌ای، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، Heidari.s@ut.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد آب و هواشناسی ماهواره‌ای، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، Safari.s@ut.ac.ir

### چکیده

مدل های تولیدکننده وضع آب و هوا در سال های اخیر کاربردهای فراوانی پدید آورده اند. از جمله تولید داده های آب و هوایی، با بکارگیری سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه ای مربوط به مدل های گردش عمومی جو می باشد. با استفاده از تولیدکننده های وضع آب و هوا می توان خروجی مدل های گردش عمومی جو را ریزمقیاس نمود. یکی از این مدل ها، مدل لارس می باشد. در این پژوهش به بررسی عملکرد مدل Lars-WG در شبیه سازی داده های هواشناسی ایستگاه های استان مازندران در دوره آماری ۱۹۹۶ - ۲۰۱۰ پرداخته شده است. متغیرهای مورد بررسی شامل دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و ساعت آفتابی می باشند. نتایج نشان داد که مدل مذکور در شبیه سازی متغیرهای مورد بررسی به خوبی عمل کرده است. به طوری که بیشترین مقدار خطای شبیه سازی دمای حداقل ۰.۹۶ درجه سانتیگراد مربوط به ایستگاه قائمشهر است. دمای حداکثر مدلسازی شده با مقدار خطای ماکزیمم ۰.۹۱ درجه سانتیگراد مربوط به ایستگاه ساری و در ادامه بیشترین خطای مطلق در شبیه سازی بارش ۳.۸۵ میلیمتر در ایستگاه قائمشهر و ساعت آفتابی ۰.۶۱ ساعت در ایستگاه نوشهر می باشد.

واژه های کلیدی: تولیدکننده آب و هوا، گازهای گلخانه ای، مدل Lars-WG، استان مازندران

### مقدمه

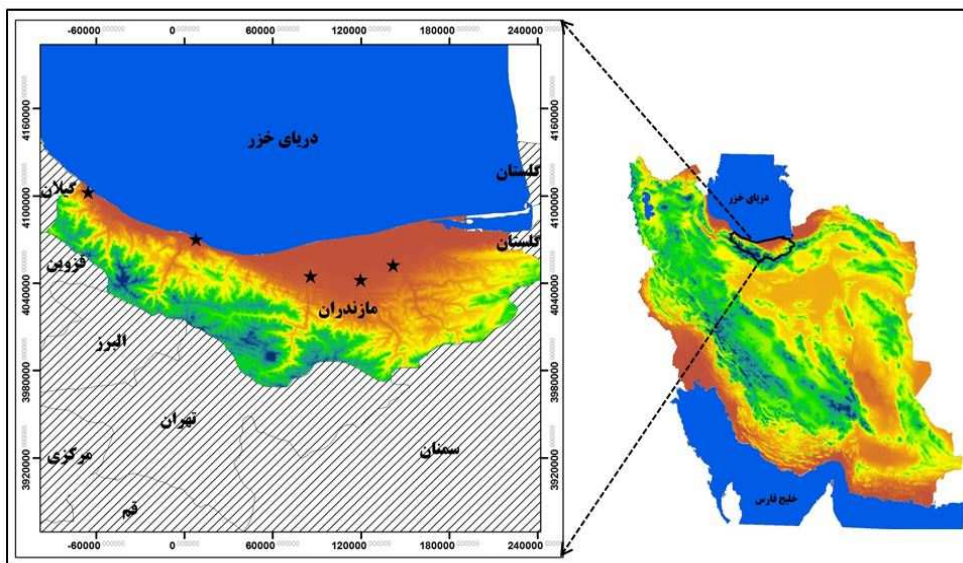
افزایش متوسط دمای جهان و وقوع تغییرات اقلیمی حاصل از آن، نخست تغییرات مشهودی بر چرخه هیدرولوژیک و سیستم های منابع آب خواهد داشت. ارزیابی آسیب پذیری و سازگاری با این پدیده فقط با اطلاعات در مورد تغییرات اخیر امکان ندارد و به آگاهی از شرایط اقلیم هر منطقه در آینده نیازمند است. یکی از متداولترین روش ها برای ارزیابی اقلیم آینده استفاده از مدل های گردش عمومی جو است. گروهی از این مدل ها اطلاعات مفیدی درباره پاسخ جو به افزایش غلظت گازهای گلخانه ای فراهم می کنند. با توجه به وضوح مکانی کم مدل های گردش عمومی جو و نیاز به سخت افزارهای قوی و زمان بر بودن ریزمقیاس نمایی دینامیکی، مدل های آماری تولیدکننده آب و هوا ابداع شدند. این مدل ها با استفاده از خروجی مدل های GCM و بکارگیری سناریوهای خاص مدل تولیدکننده آب و هوایی، داده های گردش عمومی جو در مقیاس درشت را به مقیاس های ریزتر تبدیل می کنند (سمنوف و بارو، ۱۹۹۸). از جمله این مدل های آماری می توان به مدل لارس اشاره کرد. نسخه اولیه این مدل توسط راسکو و همکاران در سال ۱۹۹۱ در بوداپست مجارستان ابداع شد و سپس توسط سمنوف و بارو ارتقا یافت. همچنین این دو نفر کارایی دو مدل لارس و WGEN را در ۱۸ ایستگاه سینوپتیک آمریکا، اروپا و آسیا بررسی کردند و نتایج آنها نشان داد که مدل لارس در مقایسه با مدل WGEN نتایج

بهتری را تولید می کند (سمنوف و بارو، ۱۹۹۸). در این زمینه کایتو و همکاران (۲۰۰۱) میزان بازدهی آب در سطح حوضه آبخیز گدیز واقع در کشور ترکیه را محاسبه نمودند و سپس تاثیر سناریوهای مختلف تامین آب، استراتژی های مدیریتی و تغییرات آب و هوایی بر روی این بازدهی ها بررسی شد. ویبلی و همکاران (۲۰۰۶) مدلسازی جامع اثر تغییر اقلیم بر منابع آب رودخانه کنت انگلستان را ارائه نمودند. جهت بررسی کارایی این مدلسازی، عدم قطعیت های آن مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که عدم قطعیت وسیع در سناریو تغییر اقلیم و منابع آب به علت انتخاب GCM می باشد و این عدم قطعیت در فصل تابستان بسیار بیشتر است. همچنین بابائیان و نجفی نیک (۱۳۸۵) توانایی مدل لارس را برای شبیه سازی متغیرهای هواشناسی استان خراسان در دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۰۳ مورد ارزیابی قرار دارند و نتیجه گرفتند که مدل لارس متغیرهای بارش، دمای حداقل و حداکثر را در سه ایستگاه مشهد، سبزوار و بیرجند کمتر از مقادیر واقعی شبیه سازی نموده است. بطوری که بیشترین بایاس بارش در ایستگاه های مشهد و تربت حیدریه به میزان ۰.۴ میلیمتر بوده است. بیشترین بایاس دمای حداقل در ایستگاه سبزوار به میزان ۰.۷- درجه سانتیگراد و دمای حداکثر در ایستگاههای سبزوار و بیرجند به میزان ۱.۹- درجه سانتیگراد محاسبه شده است و به طور کلی نتایج مدلسازی قابل قبول می باشد. بذرافشان و همکاران (۱۳۸۸) عملکرد دو مدل لارس و ClimGen در شبیه سازی متغیرهای هواشناسی در ایران را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که عملکرد مدل لارس در شبیه سازی بارش و تابش بهتر از ClimGen می باشد اما در مورد دما عملکرد مدل ClimGen بهتر از لارس می باشد.

## مواد و روش ها

### معرفی منطقه مورد مطالعه

استان مازندران در شمال ایران و با وسعتی معادل ۴ ۲۳۷۵۶ کیلومتر مربع حدود ۱.۴۶ درصد از مساحت کشور را در بر داشته و هجدهمین استان از این حیث در کشور محسوب می گردد. مرکز آن شهرستان ساری، پرجمعیت ترین شهر است. این استان هم مرز با استان های گلستان، سمنان، تهران، البرز، قزوین و گیلان است. منطقه مورد مطالعه در محدوده ۴۰ درجه ۳۵ دقیقه الی ۳۷ درجه عرض شمالی و ۵۰ درجه ۲۰ دقیقه الی ۵۴ درجه ۱۵ دقیقه طول شرقی قرار دارد. از لحاظ طبیعی، استان مازندران به سه قسمت اصلی کوهستانی در جنوب، میان بند در وسط و جلگه ای در شمال تقسیم می شود. شیب ناهمواری های آن از غرب به شرق به موازات دریای خزر است. رشته کوه البرز با رودهای کوچک و بزرگی که در امتداد شمالی - جنوبی آن جریان دارند به سه منطقه غربی، مرکزی و شرقی تقسیم شده است. این استان به لحاظ آب و هوایی با توجه به وجود دریا، کوه و جنگل به دو نوع آب و هوای معتدل مرطوب و کوهستانی تقسیم می شود و عموماً نیز تحت تاثیر پرفشار سیبری و پرفشارهای مهاجر در فصل های پاییز و زمستان می باشد. امتداد کوههای البرز در جنوب، نزدیکی به دریا و پوشش گیاهی از دلایل اصلی تعدیل آب و هوای این منطقه است.



شکل ۱- موقعیت نسبی استان مازندران و ایستگاه های مورد استفاده در پژوهش

#### داده های مورد استفاده

در این پژوهش جهت ارزیابی مدل لارس در شبیه سازی داده های هواشناسی استان مازندران، از داده های روزانه دمای حداکثر، دمای حداقل، بارش و ساعت آفتابی ۱۵ ساله مشاهداتی در دوره آماری ۱۹۹۶-۲۰۱۰ میلادی برای ۵ ایستگاه سینوپتیک و کلیماتولوژی دایر در منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. جدول شماره ۱ مشخصات ایستگاه های مورد مطالعه را نشان می دهد.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه های مورد مطالعه

| ردیف | نام ایستگاه | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | ارتفاع (متر) |
|------|-------------|---------------|---------------|--------------|
| ۱    | آمل         | ۵۲.۳۸         | ۳۶.۴۶         | ۲۳.۷         |
| ۲    | رامسر       | ۵۰.۶۶         | ۳۶.۹۰         | -۲۰          |
| ۳    | ساری        | ۵۳.۰۰         | ۳۶.۵۵         | ۲۳           |
| ۴    | قائمشهر     | ۵۲.۷۶         | ۳۶.۴۵         | ۱۴.۷         |
| ۵    | نوشهر       | ۵۱.۵۰         | ۳۶.۶۵         | -۲۰.۹        |

#### مدل Lars- WG

مدل Lars- WG یکی از مشهورترین مدل های مولد داده های تصادفی وضع هواست که برای تولید مقادیر بارش، تابش و دماهای کمینه و بیشینه روزانه در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم پایه و آینده به کار می رود. نسخه اولیه مدل مذکور توسط راسکو و همکاران در سال ۱۹۹۰ به عنوان بخشی از پروژه ارزیابی ریسک کشاورزی در بوداپست مجارستان ابداع شد و سپس توسط سمونوف و بارو ارتقا یافت. اساس مدل لارس در مدل سازی بارش، توزیع نیمه تجربی و زنجیره مارکف، در مدل سازی تابش، توزیع های نیمه تجربی و در مدل سازی دما، سری فوریه می باشد. تولید داده ها توسط این مدل در سه مرحله کالیبراسیون، ارزیابی و ایجاد داده های هواشناسی انجام می شود. در مرحله اول مدل به شبیه سازی اقلیمی داده های دوره پایه می پردازد. در ادامه برای واسنجی مدل از شاخص های خطا سنجی مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE) استفاده می شود. پس از بررسی نتایج مرحله ارزیابی و اطمینان از قابلیت مدل لارس در شبیه سازی داده های هواشناسی با توجه به مقادیر بالای ضریب تعیین ( $R^2$ ) و مقادیر پایین شاخص های خطاسنجی محاسبه شده، این مدل جهت ریزمقیاس نمایی آماری داده های اقلیمی آینده آماده اجرا می باشد.

## یافته های پژوهش

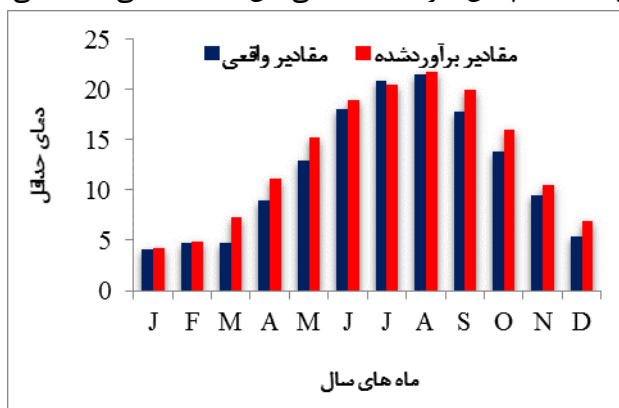
### آزمون سازگاری داده‌ها

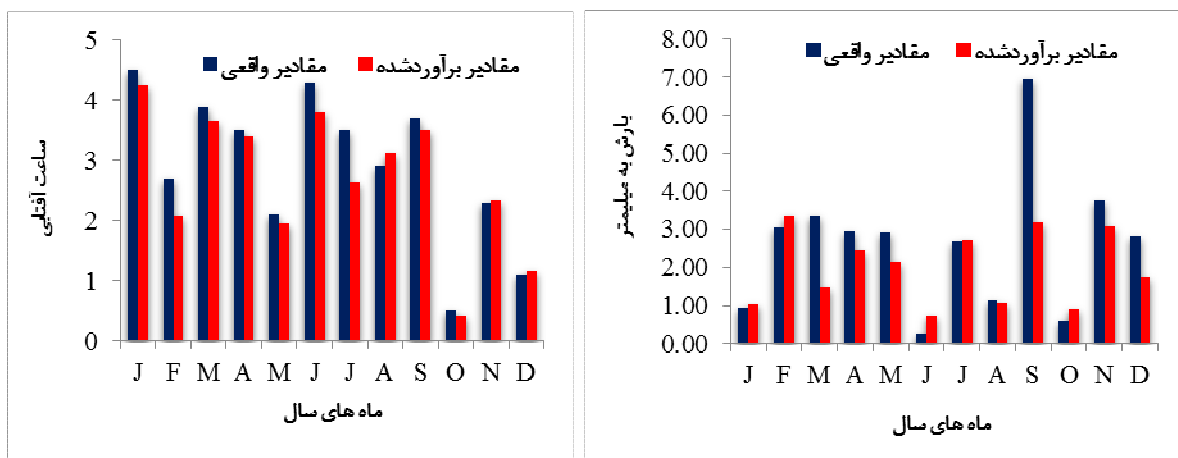
پیش از بکارگیری داده های مربوطه ایستگاه های اندازه گیری، بایستی از پیوستگی و سازگاری و همگنی آنها مطمئن شد. پس از گردآوری آمار داده های بارش، درجه حرارت و ساعات آفتابی در دوره مشاهداتی به منظور کنترل و صحت آمار تهیه شده، از آزمون RUN-TEST استفاده شد که تصادفی بودن آن ها در سطح ۹۵ درصد قابل قبول بود. با توجه به دوره تحت بررسی تعداد داده ها در مورد هر متغیر در هریک از ایستگاه ها ۱۵ عدد می باشد.

برای کالیبراسیون مدل Lars-WG لازم است دو فایل متنی با پسوندهای Sr و St به عنوان ورودی مدل ایجاد شوند. فایل Sr شامل کل داده های مشاهداتی هواشناسی روزانه است. فایل St نیز دربرگیرنده مشخصات ایستگاه شامل نام ایستگاه، طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع، نام فایل Sr مربوطه در درایو کامپیوتر و ترتیب اطلاعات ستونی تعریف شده در فایل Sr می باشد. این مدل ریزمقیاس کننده آماری بر روی هر ایستگاه به صورت مستقل اجرا می شود. در این مطالعه، واسنجی مدل Lars-WG برای هر ۵ ایستگاه منتخب استان مازندران انجام و کارایی مدل برای تمامی ایستگاه ها بررسی شد. متغیرهای هواشناسی در این ایستگاه ها به صورت روزانه ثبت شده که اطلاعات آن از سال ۱۹۹۶ تا سال ۲۰۱۰ میلادی در دسترس می باشد. فایل متنی اطلاعات ورودی حاوی ۱۵ سال داده از سال ۱۹۹۶ تا سال ۲۰۱۰ است که اطلاعات بارش، حداقل و حداکثر دما و ساعات آفتابی در آن قرار داده شده است. با استفاده از این اطلاعات، واسنجی مدل انجام شد و پارامترهای آماری لازم جهت ساخت اطلاعات استخراج گردید.

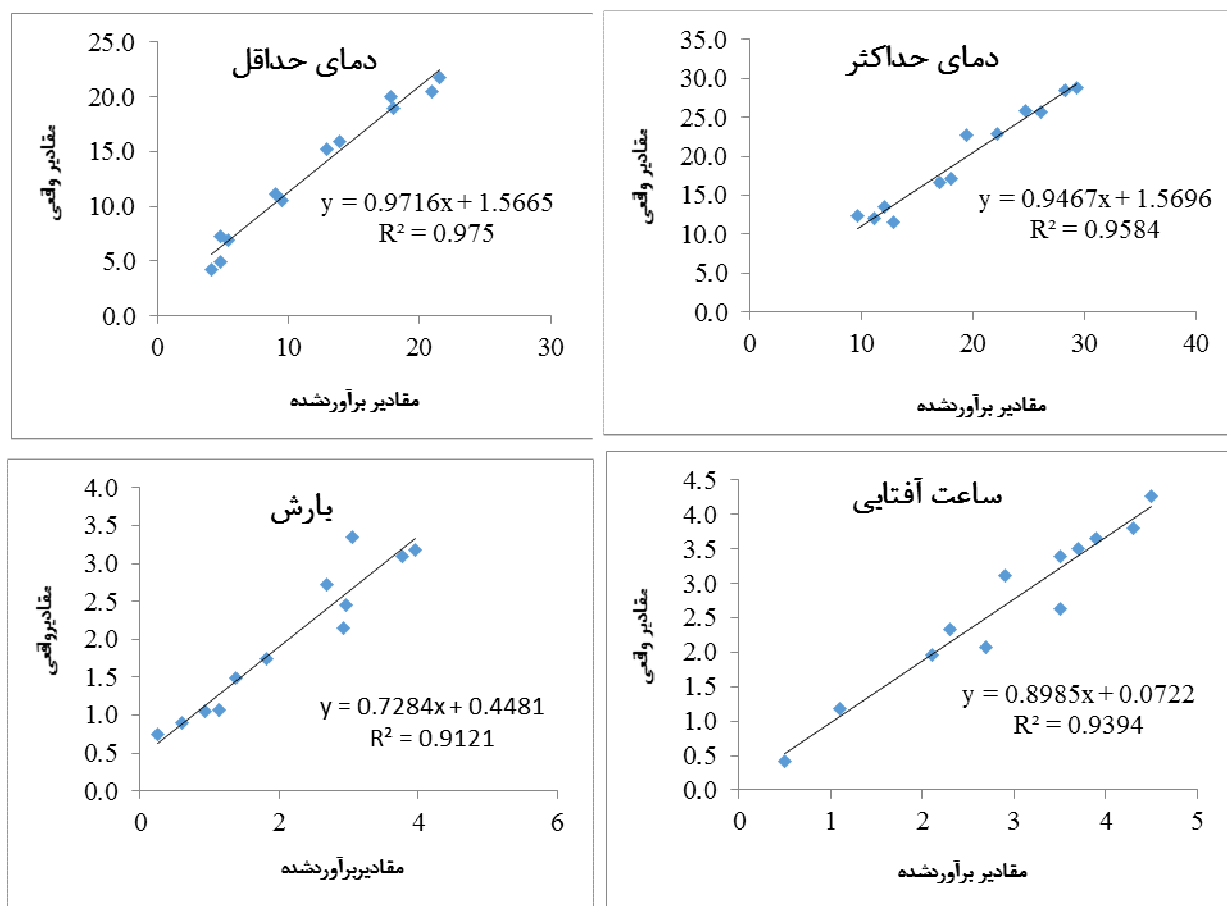
### تحلیل خروجی های مدل Lars-WG

مقادیر میانگین ماهانه ۳۰ ساله دمای حداکثر، دمای حداقل، بارش و ساعات آفتابی شبیه سازی شده توسط مدل لارس در دوره ی آماری مورد بررسی با مقادیر مشاهداتی در ایستگاه های منتخب استان مقایسه شد. نمودارها و مقادیر ضریب تعیین ( $R^2$ ) نشان از کارایی مناسب مدل در شبیه سازی و تولید داده های مصنوعی دارد. به عنوان مثال در شکل های ۳ میانگین ماهانه ۳۰ ساله متغیرهای مورد بحث، برای ایستگاه رامسر (ایستگاه نمونه) ارائه شده است. همانطور که از نمودار بلندمدت بارش برمی آید ضریب همبستگی بارش مشاهداتی نسبت به بارش شبیه سازی شده در یک دوره آماری ۱۹۹۶-۲۰۱۰، ۰.۹۲ است که در محدوده ی مناسبی قرار دارد. مدل مذکور توانایی بسیار خوبی در مدلسازی دمای حداقل و دمای حداکثر دارد. ضریب همبستگی دمای حداقل مشاهداتی با شبیه سازی شده و همچنین دمای حداکثر مشاهداتی با مدلسازی شده در دوره آماری مورد نظر به ترتیب ۰.۹۷ و ۰.۹۵ می باشد. همچنین ضریب همبستگی بین ساعات آفتابی مشاهداتی نسبت به ساعت آفتابی برآورده شده ۰.۸۹ می باشد.





شکل ۲- مقایسه داده های دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و ساعت آفتابی واقعی و برآوردشده ایستگاه رامسر (ایستگاه نمونه)



شکل ۳- ضریب تعیین (ضریب تبیین) بین مقادیر واقعی (مشاهداتی) و مقادیر برآوردشده (محاسباتی) دمای حداکثر، دمای حداقل، ساعات آفتابی و بارش ایستگاه رامسر (ایستگاه نمونه)

جدول ۲- خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE) ایستگاه های منتخب

| نام ایستگاه | RMSE       |             |      | MAE        |             |      | R <sup>2</sup> |             |      |
|-------------|------------|-------------|------|------------|-------------|------|----------------|-------------|------|
|             | دمای حداقل | دمای حداکثر | بارش | دمای حداقل | دمای حداکثر | بارش | دمای حداقل     | دمای حداکثر | بارش |
| آمل         | ۰.۲۴       | ۰.۴۴        | ۲.۱۵ | ۰.۳۵       | ۰.۵         | ۱.۵۶ | ۰.۹۸           | ۰.۹۶        | ۰.۹۰ |
| رامسر       | ۰.۲۲       | ۰.۱۳        | ۱.۴۴ | ۰.۲۹       | ۰.۱۴        | ۱.۳۵ | ۰.۹۷           | ۰.۹۵        | ۰.۹۱ |
| ساری        | ۰.۷۵       | ۰.۸۸        | ۲.۲۵ | ۰.۸۶       | ۰.۹۱        | ۱.۹۵ | ۰.۹۹           | ۰.۸۴        | ۰.۸۷ |
| قائم‌شهر    | ۰.۹۳       | ۰.۶۲        | ۳.۴۲ | ۰.۹۶       | ۰.۷۳        | ۳.۸۵ | ۰.۹۲           | ۰.۹۶        | ۰.۸۵ |
| نوشهر       | ۰.۵۷       | ۰.۴۵        | ۱.۱۷ | ۰.۵۵       | ۰.۶۷        | ۱.۲۲ | ۰.۸۹           | ۰.۹۸        | ۰.۹۴ |

مطابق جدول شماره ۲ بیشترین خطا در شبیه سازی بارش مربوط به ایستگاه قائمشهر با میزان خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) ۳.۴۲ میلیمتر و میزان خطای مطلق (MAE) ۳.۸۵ میلیمتر و پس از آن، ایستگاه ساری با مقدار خطای جذر میانگین مربعات ۲.۲۵ میلیمتر و خطای مطلق ۱.۹۵ میلیمتر می باشد. همچنین کمترین خطا در شبیه سازی بارش به ایستگاه نوشهر با میزان خطای جذر میانگین مربعات ۱.۱۷ میلیمتر و مقدار خطای مطلق ۱.۲۲ میلیمتر می باشد. در مورد شبیه سازی دمای حداقل کمترین خطای مطلق مربوط به ایستگاه رامسر به مقدار ۰.۲۹ درجه سانتیگراد و بیشترین آن مربوط به ایستگاه قائمشهر به میزان ۰.۹۶ درجه سانتیگراد است. در ادامه در شبیه سازی دمای حداکثر و ساعت آفتابی همانطور که از جدول فوق برمی آید کمترین میزان خطای مطلق دمای حداکثر مربوط به ایستگاه رامسر با ۰.۱۴ درجه سانتیگراد خطا و بیشترین آن در ایستگاه ساری، ۰.۹۱ درجه سانتیگراد محاسبه شده است. کمترین خطای مطلق ساعت آفتابی مدلسازی شده در ایستگاه رامسر، ۰.۲۷ ساعت و بیشترین آن مربوط به ایستگاه نوشهر با ۰.۶۱ ساعت خطا می باشد.

### نتیجه گیری

در این پژوهش، کارایی مدل Lars-WG در تولید و مدلسازی متغیرهای اقلیمی در ۵ ایستگاه استان مازندران مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد مدل مذکور دقت بسیار مناسبی در تولید و پیش بینی داده های آب و هوایی دارد. به طوری که بیشترین میزان خطای مطلق در شبیه سازی دمای حداکثر، ۰.۹۱ درجه سانتیگراد و در دمای حداقل، ۰.۹۶ درجه سانتیگراد می باشد. همینطور بیشترین خطای محاسبه شده در شبیه سازی بارش به ۳.۸۵ میلیمتر و در مدلسازی ساعت آفتابی ایستگاه ها به ۰.۶۱ ساعت رسید. میزان خطای اندک و همچنین ضریب تعیین (R<sup>2</sup>) بالا، با نتایج به دست آمده قابل قبول نشان می دهد که مدل Lars-WG توانایی مدلسازی دوره های گذشته و آینده را در استان مازندران دارد و می توان از آن در شبیه سازی داده های گمشده و خلاهای آماری بهره برد.

### منابع

- بابائیان، ایمان و نجفی نیک، زهرا (۱۳۸۵)، معرفی و ارزیابی مدل لارس برای مدلسازی پارامترهای هواشناسی استان خراسان در دوره ۱۹۶۱-۲۰۰۳، مجله نیوار، شماره ۶۲ و ۶۳، پاییز و زمستان ۱۳۸۵، صص ۴۹-۶۵.
- بابائیان، ایمان، نجفی نیک، زهرا، زابل عباسی، ف، حبیبی نوخندان، م، ادب، ح و ملیبوسی، ش (۱۳۸۸)، ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده های مدل گردش عمومی ECHO-G، مجله جغرافیا و توسعه، سال هفتم، شماره ۱۶، صص ۱۳۵-۱۵۲.
- بذرافشان، ج، خلیلی، ع، هورفر، ع، ترابی، ص و حجام، س (۱۳۸۸)، بررسی و مقایسه عملکرد دو مدل لارس و ClimGen در شبیه سازی متغیرهای هواشناسی در شرایط مختلف اقلیمی ایران. مجله تحقیقات منابع آب ایران، سال پنجم، شماره ۱، صص ۴۴-۵۷.
- کردجی، م، مشکواتی، ا، بابائیان، ا، حجام، س (۱۳۸۹)، بررسی تغییر اقلیم استان گلستان در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹، پایان نامه

کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران.

Kite, G., Droogers, P., Murry-Rust, H., Voogt, K., 2002. Modeling Scenarios for Water Allocation in the Gediz Basin, Turkey. IWMI Research Report 50. Colombo, Sri Lanka.

Wilby, R. L., Harris, I., 2006. A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: Low-flow scenarios for the River Thames, UK, *Water Resources Research*, 42, W02429, doi:10.1029/2005WR004065.

Semenov, M.A., and Barrow, E.M., 2002. *Lars a stochastic weather generator for use in climate impact studies. User's manual, Version 3.0.*