

شبیه‌سازی عددی نقش دریاچه ارومیه در ماهیت اقلیمی منطقه پیرامونی آن

رشید سعید آبادی^۱

چکیده

از عوامل کنترل‌کننده فراسنج‌های جوی، پوشش سطحی است که از پیامدهای تغییر در آن، ایجاد تغییر در ماهیت اقلیمی یک منطقه است. از مصداق‌های تغییر در پوشش سطحی در ایران، تغییر سطح آب دریاچه ارومیه و خشک شدن بخش‌های وسیعی از آن است. هدف از این مطالعه آشکارسازی اثرات خشک شدن دریاچه ارومیه در فراسنج‌های جوی دما، بارش در شمال غربی کشور است. بدین منظور در این مطالعه دو طرحواره مطرح گردید که اولی به شبیه‌سازی وضعیت اقلیمی منطقه با توجه به وجود دریاچه و دومی به شبیه‌سازی وضعیت اقلیمی منطقه با توجه به عدم وجود دریاچه، می‌پردازد. برای شبیه‌سازی‌ها از مدل‌های TAPM^۲ و RegCM4^۳ استفاده شده است. مدل‌سازی‌ها برای سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۶ اجرا گردید و نتایج نشان می‌دهد که مدل RegCM4 از نتایج قابل قبول‌تری نسبت به دیگر مدل مورد استفاده، برخوردار است. به‌طوریکه هم دقت مدل در شبیه‌سازی متغیرهای جوی بیشتر بوده و هم اثر دریاچه در ماهیت دما و بارش منطبق به‌طور واقعی‌تری شبه‌سازی نموده است. بر اثر خشک شدن دریاچه ارومیه میزان بارش (میانگین ۱۰ درصد) در منطقه کاهش پیدا می‌کند که این کاهش در فصل بهار بیش از دیگر فصول است. متوسط دما در دوره سرد سال کمتر از ۰/۵ درجه کاهش و در دوره گرم سال ۰/۵

۱- دانشیار گروه جغرافیا دانشگاه ارومیه.

Email: rashidaseidabadi@gmail.com

2- The Air Pollution Model

3 - Regional Climate Model

درجه افزایش میابد. لازم به توضیح است که اثر دریاچه در ماهیت اقلیمی مناطق غربی و شرقی دریاچه به یک اندازه بوده و تفاوت قابل توجهی ندارد.

واژگان کلیدی: دریاچه ارومیه، شبیه‌سازی عددی، RegCM، TAPM، شمال غرب ایران.

مقدمه

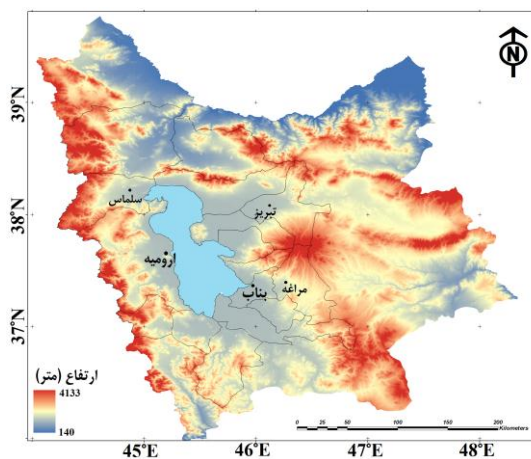
از بارزترین مصداق‌های تغییر در پوشش سطحی در ایران، تغییر سطح آب دریاچه ارومیه و نهایتاً خشکی این دریاچه طی سال‌های اخیر است به گونه‌ای که پوشش سطحی منطقه طی چند سال از پوشش آبی به پوشش خشک و نمکزار تبدیل شده است. دریاچه ارومیه یکی از مهمترین پهنه‌های آبی در ایران و یکی از دریاچه‌های فوق اشباع از نمک در دنیا محسوب می‌شود. این دریاچه دارای نقش مهمی در وضعیت اقلیمی، زیست محیطی و اقتصادی در شمال غرب کشور است (جلیلی و همکاران، ۲۰۱۱، ۳) که در سال‌های اخیر سطح آب این دریاچه بمیزان قابل توجهی کاهش یافته و بخش‌های وسیعی از بستر نمکی دریاچه نمایان شده است، به طوری که در حدود ۶۰ درصد از مساحت خود را از دست داده و از ۵۴۰۰ کیلومتر مربع در سال ۱۳۷۴ به حدود ۱۸۰۰ کیلومتر مربع در سال ۱۳۹۱ رسیده است. تخمین زده می‌شود که بستر این دریاچه دارای حدود ۸ بیلیون تن نمک باشد (توریان و همکاران، ۲۰۱۵، ۳۵۲) که در صورت وجود چنین شرایطی و تداوم روند خشک شدن آب دریاچه، انتشار نمک توسط جریان باد در نواحی پیرامونی دریاچه می‌تواند منجر به بروز فجایع اکولوژیکی، کشاورزی و اجتماعی در این منطقه شود. تا کنون مطالعات بسیاری برای نشان دادن علت خشک شدن آب دریاچه ارومیه انجام شده است که به طور خلاصه این مطالعات نشان می‌دهند که خشک شدن آب دریاچه ارومیه می‌تواند معلول (۱) استخراج بیش از حد آب‌های زیرزمینی حوضه دریاچه ارومیه برای مقاصد کشاورزی (۲) کاهش بارش و خشکسالی‌ها (۳) احداث پل میانگذر دریاچه ارومیه (۴) احداث سد و (۵) تغییرات اقلیمی باشد (کرباسی، ۲۰۱۰، ۴۲۱؛ گلابیان، ۲۰۱۱، ۳۷۲؛ ضرغامی، ۲۰۱۱، ۸۷؛ حسن زاده و همکاران، ۲۰۱۲، ۱۳۰؛ دلجو و همکاران، ۲۰۱۳، ۲۸۷). اما آنچه مسلم است این است که

در صورت تداوم چنین روندی، منطقه از گزند پیامدهای زیست محیطی حاصل از خشک شدن آب دریاچه ارومیه در امان نمانده و احتمال وقوع بلایای طبیعی زیست محیطی در منطقه به میزان قابل توجهی افزایش خواهد یافت که پیامدهای آن می‌تواند منجر به تغییر اکوسیستم این منطقه و بروز مشکلات زیست محیطی و اجتماعی-اقتصادی گردد. در ارتباط با مطالعه تأثیر دریاچه ارومیه بر اقلیم منطقه شمال غرب کشور مطالعات محدود و با رویکردهای متفاوتی انجام شده است. در این رابطه می‌توان به مطالعات خوش اخلاق و همکاران (۱۳۹۲) اشاره کرد که با استفاده از مدل TAPM به شبیه‌سازی اثر تغییر در پوشش دریاچه ارومیه در رژیم دما در شهر مراغه پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که تغییر در پوشش سطحی منطقه به طور قابل توجهی دماهای روزانه و شبانه ایستگاه مراغه تحت تأثیر قرار می‌دهد و سبب تغییر در رژیم‌های دما در مراغه خواهد شد. در مطالعه دیگر گلزاری پرتو (۱۳۹۱) با استفاده از مدل RegCM، به شبیه‌سازی اثر دریاچه ارومیه در رژیم بارش شمال غرب کشور پرداخته و نتایج حاصل از شبیه‌سازی بیانگر آن است که با خشک شدن دریاچه ارومیه انتظار می‌رود یک کاهش عمومی در میزان بارش به خصوص در شمال شرق، شرق و جنوب شرق دریاچه ایجاد گردد. هدف از مطالعه حاضر شبیه‌سازی عددی نقش دریاچه ارومیه در عناصر اقلیمی نواحی مجاور این دریاچه شامل بخش‌های شرقی استان آذربایجان غربی و غربی استان آذربایجان شرقی است. بدین منظور از دو مدل TAPM و RegCM4، تحت دو طرحواره متفاوت بدون دریاچه و با دریاچه (در پر آب‌ترین شرایط ممکن) استفاده شده است تا در نهایت به این سؤال پاسخ داده شود که نقش دریاچه ارومیه در رژیم اقلیمی نواحی پیرامونی آن چیست؟ و آیا خشک شدن آن سبب تغییرات محسوس در فراسنج‌های اقلیمی در نواحی پیرامونی آن خواهد شد؟

منطقه مورد مطالعه

در این مطالعه محدوده‌ای با مختصاتی به طول جغرافیایی ۴۵ تا ۴۷ درجه طول غربی و ۳۷ تا ۳۸/۵ درجه عرض شمالی را شامل می‌شود و ۵ ایستگاه تبریز، بناب و مراغه (منطقه شرقی دریاچه) سلماس (منطقه غربی دریاچه) را شامل می‌شود (شکل ۱). دریاچه ارومیه نیز در حد نهایی گسترش خود دارای ابعادی حدود ۱۴۰ کیلومتر طول، ۵۵ کیلومتر عرض و با

بیشینه ۲۰ متر عمق گزارش شده است و کف آن ۱۲۶۸ متر از سطح دریاهای آزاد ارتفاع دارد و بزرگترین پهنه آبی در فلات ایران نیز می‌باشد (یاراحمدی، ۱۳۹۳، ۸۲).



شکل (۱) منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

در مطالعه حاضر جهت شبیه‌سازی عددی اثر دریاچه ارومیه در عناصر اقلیمی نواحی پیرامونی آن، از دو مدل RegCM4.4 و مدل آلودگی TAPM استفاده شده است.

مدل RegCM

مدل متوسط مقیاس اقلیمی (RegCM) مدلی است که برای مدل سازی‌های منطقه‌ای طراحی شده است. هدف از طراحی مدل‌های منطقه‌ای، فراهم نمودن شرایطی برای مطالعه دقیق‌تر پدیده‌های جوی میان مقیاس و مقیاس منطقه‌ای است. این مدل‌ها به عنوان ابزاری کارآمد درک فرایندهای پویایی حاکم بر وقوع پدیده‌های جوی و آب‌وهوایی را آسانتر ساخته‌اند. مدل‌های پویایی منطقه محدود به ویژه زمانی که برای پدیده‌های دور از دست رس و یا پدیده‌هایی واقع در مناطق فاقد داده و یا فاقد مشاهدات منظم مورد استفاده قرار می‌گیرند، ارزش و اعتبار خاصی می‌یابند. به نقل از مفیدی و همکاران (۱۳۹۰)، هسته پویایی مدل RegCM براساس نسخه پنجم مدل میان مقیاس MM5 در دانشگاه پنسیلوانیا و مرکز

ملی پژوهش‌های جوی ایالات متحده (NCAR) طراحی شده است (گرل و همکاران، ۱۹۹۴) RegCM4. یک مدل پوششی قابل فشرده سازی، با تفاضل متناهی است که شبکه قائم آن از مختصات سیگمایی و شبکه‌ای افقی آن شبکه‌ای جا به جا شده از نوع آرکوا - لمب B می‌باشد. در این مدل فرایندها و متغیرهای تأثیر گذار بر سامانه جو بر اساس طرحواره‌های فیزیکی پارامتره می شوند (گتورگی و همکاران، ۲۰۱۲). در طرحواره‌های انتقال تابشی مدل (CCM3) با در نظر گرفتن اثر O₃، CO₂، H₂O، O₂، تابش را پارامتره می کند (کیپیل و همکاران، ۱۹۹۶). فیزیک لایه مرزی بر اساس طرحواره پخش قائم غیر محلی است که توسط هولتسلاگ و همکاران (۱۹۹۰) محاسبه و ارائه شده است. در این مدل بارش‌های بزرگ مقیاس و غیر همرفتی بر اساس معادلات طرحواره رطوبت زیرشبکه موسوم به SUBEX محاسبه می‌شود (پال و همکاران، ۲۰۰۰). درحالیکه بارش همرفتی با سه روش: ۱- طرحواره‌ی اصلاح شده کو ۲- طرحواره‌ی گرل و ۳- طرحواره امانوئل-ام-ای تی قابل محاسبه است (گتورگی و همکاران، ۲۰۱۲). در مدل RegCM4 پیش فرض برای انجام محاسبات مربوط برهمکنش زمین - جو، طرحواره انتقال بیوسفر-جو (BAST) و می‌باشد (دیکنسون و همکاران، ۱۹۹۳)، که دارای سه لایه خاک و ۲۰ تیپ پوشش سطحی و پوشش گیاهی می‌باشد. طرحواره BAST نقش پوشش سطحی و را در مبادلات بین سطح و جو از نظر تکانه، بخار آب و انرژی تعیین می کند.

برای اجرای مدل سه دسته داده مورد نیاز است که شامل:

- داده‌های بازکاوی شده Era-Interim با قدرت تفکیک افقی ۱/۵ درجه و گام زمانی ۶ ساعته برای سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۶.
- داده‌های پوشش سطحی شامل داده‌های توپوگرافی، پوشش گیاهی، کاربری زمین، بافت خاک، عمق دریاها و دریاچه‌ها با قدرت تفکیک افقی ۳۰ ثانیه است که توسط سازمان زمین شناسی ایالات متحده (USGS) آماده‌سازی شده است، و از تارنمای <http://www.ictp.ictp.trieste.it/~pubrgcm/regcm> قابل دست رس است.

• داده‌های دمای سطح آب دریا (SST- OI_WK) برای سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۶، با قدرت تفکیک ۱ درجه.

• برای اجرای مدل RegCM یک دوره تطبیق سه ماهه (Spin-up) در نظر گرفته شد و پس از سعی و خطا بمنظور رسیده به یک نتیجه مطلوب و با آزمون طرحواره‌های مختلف، مشخصات ورودی‌ها و طرحواره‌های مورد استفاده در شبیه‌سازی عبارتند از:

جدول (۱) مشخصات پارامترها و طرحواره‌های مورد استفاده در مدل RegCM

20 km	قدرت تفکیک (ds)
6 hours	گام زمانی
32-32	iy-ix
Relaxation, exponential technique	طرحواره شرایط مرزی جانبی
Holtslag PBL (Holtslag, 1990)	طرحواره لایه مرزی
Garell	طرحواره پارامتره کردن همرفت
Zeng et al (1998)	طرحواره شارهای اقیانوسی

در نهایت از این مدل برای شبیه‌سازی اثر حذف دریاچه ارومیه بر ماهیت اقلیمی سواحل شرقی و غربی دریاچه ارومیه استفاده گردید. برای تحلیل خروجی‌ها و تبدیل آن‌ها که دارای فرمت nc می باشند، از نرم افزار ncdump استفاده شد.

مدل TAPM

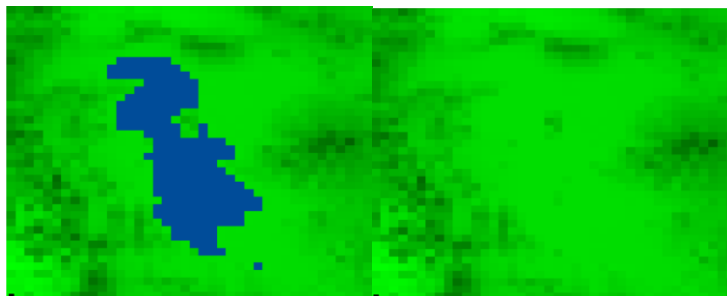
در این مطالعه علاوه بر مدل مذکور، به منظور ارزیابی توانمندی دو مدل در شبیه‌سازی عناصر هواشناسی، از داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های هم‌دید ارومیه، سلماس، تبریز، بناب و مراغه در سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۶ استفاده شده است. دلیل استفاده از سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۶ این است که در مدل TAPM تنها داده‌های هواشناسی این دو سال برای ایران تهیه شده است. بنابراین فرایند مدل‌سازی نیز برای این دو سال مقدور است. برای تحقق اهداف مطالعه، از دو طرحواره متفاوت استفاده شده است:

طرحواره ۱: این طرحواره مبتنی بر وجود دریاچه ارومیه در بیشترین حد گستردگی خود است. بنابراین مدل در شرایط وجود دریاچه برای سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۶ اجرا گردید.

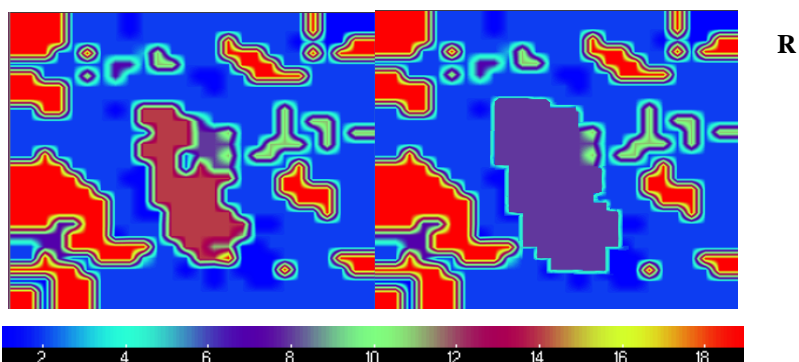
طرحواره ۲: با توجه به روند خشک شدن دریاچه ارومیه طی سال‌های اخیر، در این طرحواره شرایط منطقه، قدرت تفکیک مدل و ورودی داده‌های هواشناسی مانند طرحواره ۱ در نظر گرفته شده است اما پوشش آبی منطقه حذف و متناسب با نزدیک‌ترین پوشش به پوشش بیابانی در منطقه تغییر داده شد. در این راستا پوشش شن و ماسه با بافت لوم در مدل TAPM و پوشش بیابانی با بافت ماسه و لومی در RegCM. به عنوان پوشش سطحی جایگزین سطح آبی دریاچه گردید. لازم به ذکر است که پوشش نم‌کزار در مدل‌ها وجود نداشت، لذا از پوشش شن و ماسه به عنوان پوششی که دارای بیشترین سازگاری با پوشش مناطق خشک و بیابانی دارد (خوش اخلاق و همکاران، ۱۳۹۲: ۹)، انتخاب گردید (شکل ۲). همچنین جهت ارزیابی عملکرد مدل، میزان خطای مدل بر اساس رابطه ۱ محاسبه گردید:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}}$$

که در رابطه بالا O_i : مقدار واقعی (هدف)، P_i : مقدار پیش بینی شده، n : تعداد الگوها است.



T



1= Crop/mixed farming	8= Desert	15= Ocean
2= Short grass	9= Tundra	16= Evergreen shrub
3=Evergreen needleleaf tree	10= Irrigated Crop	17= Deciduous shrub
4=Deciduous needleleaf tree	11=Semi-desert	18=Mixed Woodland
5=Deciduous broadleaf tree	12= Ice cap/glacier	19= Forest
6=Evergreen broadleaf tree	13=Bog or marsh	20= Water and Land
7= Tall grass	14=Inland water	21, 22= Urban & sub Urban

شکل (۲) دو طرحواره به کار برده شده در این مطالعه و کاربری‌های مختلف موجود در مدل RegCM4

یافته‌ها و بحث

صحت‌سنجی مدل‌های مورد استفاده^۴

مقدمه استفاده از هر مدل شبیه‌ساز رفتار اقلیم، ارزیابی توانمندی مدل برای هدف مورد نظر می‌باشد (وارنر^۵، ۲۰۱۱). در این بخش ابتدا به ارزیابی خروجی‌های مدل‌ها برای سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۶ پرداخته شده است. بدین منظور مقادیر مدل‌سازی شده برای

^۴- Model Validation

^۵- Warner

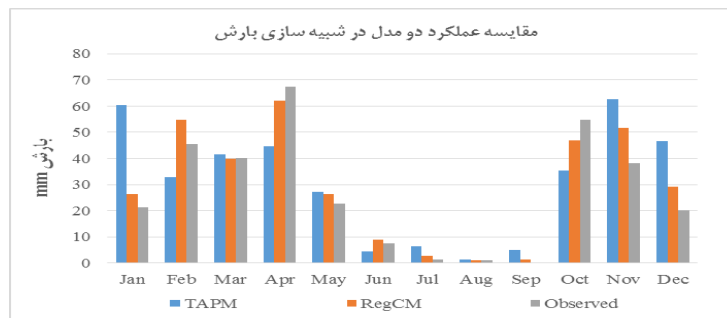
متغیرهای دمای میانگین و مجموع بارش برای سال‌های مذکور با مقادیر مشاهداتی برای همان سال‌ها مقایسه و میزان خطا (RMSE) در مقیاس ماهانه محاسبه گردید.

بارش: نتایج بسیاری از مدل‌های گردش عمومی و مدل‌های منطقه‌ای نشان می‌دهد که مدل‌سازی عنصر بارش معمولاً همراه با خطا صورت می‌گیرد که علت آن را می‌توان علاوه بر وجود سازوکارهای بزرگ مقیاس در ایجاد بارش، وجود سازوکارهای محلی دانست. بنابراین در بسیاری از مدل‌های منطقه‌ای طراحی شده، علی‌رغم طراحی طرحواره‌های متنوع برای شبیه‌سازی بارش، شبیه‌سازی این متغیر همراه با خطا است. بر اساس داده‌های مشاهداتی ثبت شده بارش در سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۶ در دو منطقه شرقی و غربی دریاچه، خطای مدل محاسبه گردید و در جدول ۱ نتایج آن آورده شده است.

جدول (۲) ارزیابی مدل در برآورد بارش (mm) ماهانه در دو منطقه شرقی و غرب دریاچه

ماه	میزان خطا (مدل RegCM)		میزان خطا (مدل TAPM)	
	مناطق شرقی	مناطق غربی	مناطق شرقی	مناطق غربی
	۲۰۰۳	۲۰۰۶	۲۰۰۳	۲۰۰۶
ژانویه	۲۰/۴	۵/۱۳	۱۷/۹۳	۴۸/۲۴
فوریه	۲/۲	۱۲/۱۳	-۰/۹	۳۲/۱۶
مارس	۱۰/۹	۱۳/۰۶	۲/۱	۴۸/۴۴
آوریل	۲۴/۲	۵/۳۶	۵۰/۷	۴۰/۳۸
می	۲/۷	۹/۳	۴/۴	۱۵/۷
ژوئن	۵/۴۶	۱۴	۷/۲	۱/۹۹
ژوئیه	-۰/۶	۲/۱	۱/۰۹	۱/۳۷
اگوست	-۰/۵۶	۳/۱	-۰/۳	-۰/۵۳
سپتامبر	۱/۳۶	-۰/۴۶	-۰/۳	۲/۸۴
اکتبر	۱۳/۱۳	۲۷/۸	۸/۹	۹/۸۹
نوامبر	۱۶/۲۳	۱۵/۴۳	۳۰/۹	۳۸/۵
دسامبر	۱۲/۷	۱۴/۴۶	۹/۸	۳۰/۶۶
مجموع	۱۱۰/۴	۱۲۲/۳	۱۳۱/۳	۲۳۵/۹

بر اساس جدول ۲، مجموع خطای مدل TAPM برای شبیه‌سازی بارش سالانه در مناطق غربی ۲۸۸ میلی‌متر و در ایستگاه‌های شرقی ۱۸۳ میلی‌متر می‌باشد. این میزان برای مدل RegCM به ترتیب ۱۱۹ و ۱۱۶ میلی‌متر بوده است. بیشترین خطای مدل TAPM در مقیاس ماهانه، خطای ۵۷ میلی‌متری بارش نسبت به مقادیر مشاهداتی بوده است و متوسط خطای مدل در هر ماه نیز ۲۰ میلی‌متر بوده است. اما بیشترین خطای مدل RegCM، خطای ۲۲ میلی‌متری در برآورد بارش ماهانه نسبت به مقادیر مشاهداتی بوده است و متوسط خطای مدل نیز ۹/۸ میلی‌متر در برآورد بارش در سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۶ بوده است. بر اساس نتایج، در منطقه مورد مطالعه، مدل RegCM عملکرد مناسب‌تری نسبت به TAPM در برآورد بارش داشته است (شکل ۳).



شکل (۳) مقایسه عملکرد دو مدل در مدل‌سازی بارش برای متوسط سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۶ در منطقه مورد مطالعه

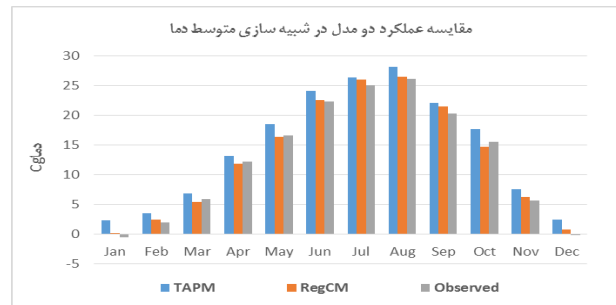
دما: بررسی عملکرد دو مدل نشان می‌دهد که مدل TAPM دارای خطای متوسط ۱/۸۸ و مجموع خطای ۲۲/۶ درجه سانتی‌گراد بوده است. بیشترین خطا مربوط به ماه دسامبر با متوسط خطای ۵/۱۶ درجه سانتی‌گراد و مربوط به مناطق غربی دریاچه ارومیه بوده است. مدل RegCM نیز دارای خطای متوسط ۱/۱۹ و مجموع خطای ۱۳/۶ بوده است که بیشترین خطا در شبیه‌سازی دما در این مدل، در منطقه مورد مطالعه نیز ۲/۳۵ درجه سانتی‌گراد بوده است. با توجه به عملکرد دو مدل و در نظر گرفتن خطاهای کلی، مدل

RegCM، مشابه فراسنج بارش، عملکرد مناسب‌تری در شبیه‌سازی دما نسبت مدل TAPM داشته است (جدول ۳)

جدول (۳) میزان خطای ماهانه (RMSE) مدل در برآورد عنصر دما (به سانتی‌گراد)

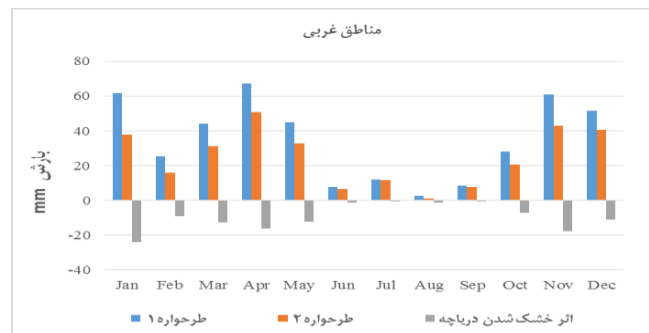
ماه	میزان خطا (مدل RegCM)		میزان خطا (مدل TAPM)	
	مناطق شرقی	مناطق غربی	مناطق شرقی	مناطق غربی
	۲۰۰۳	۲۰۰۶	۲۰۰۳	۲۰۰۶
ژانویه	۰/۷۷	۱/۱	۱/۱۲	۱/۴۵
فوریه	۰/۹۴	۰/۷۸	۰/۶۵	۱
مارس	۰/۵	۱/۷۳	۰/۹	۰/۹
آوریل	۱/۷۴	۰/۵۷	۱/۲	۱/۳
می	۰/۳	۰/۳۴	۲/۲	۱/۲
ژوئن	۱/۷۶	۱/۷	۲/۵	۱/۷۵
ژوئیه	۱/۸۲	۰/۵۴	۱/۶۵	۰/۱
اگوست	۱/۵۹	۱	۱/۱	۰/۳
سپتامبر	۱/۳۷	۰/۱۷	۱/۱۵	۱/۹۵
اکتبر	۱/۱۶	۱/۷	۰/۶۵	۱/۳
نوامبر	۰/۰۶	۰/۶۳	۰/۶۵	۲/۳۵
دسامبر	۰/۷۱	۲/۰۵	۰/۴۵	۱/۹
مجموع	۱۲/۷	۱۲/۲	۱۴/۲	۱۵/۵

با توجه به شکل (۴)، همانطور که ملاحظه می‌شود، مدل TAPM در تمام موارد مقادیر دما را بیش از داده‌های مشاهداتی برآورده کرده است و اختلاف مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در این مدل قابل توجه می‌باشد. مدل RegCM نیز علی‌رغم عملکرد مناسب‌تر نسبت به مدل TAPM، اما این مدل نیز دارای خطاهایی بوده که در برخی ماه‌ها بیش از مقادیر مشاهداتی و در برخی دیگر کمتر بوده است. اما به‌طور کلی خطای این مدل کمتر بوده است و نتایج آن از اطمینان بیشتری برخوردار است.



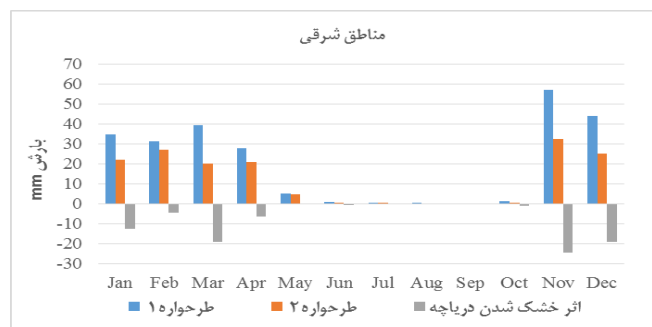
شکل (۴) مقایسه عملکرد دو مدل در مدل سازی دمای متوسط روزانه برای متوسط سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۶ در منطقه مورد مطالعه

بارش: از مهمترین عوامل تأمین کننده بارش در یک منطقه در کنار عامل صعود، وجود منابع رطوبتی است (کاویانی و علیجانی، ۱۳۸۵). بارش‌های غرب و شمال غربی کشور توسط منابع متعددی تأمین می‌شود که عبارتند از دریای مدیترانه، دریای سرخ، دریای سیاه (عزیزی و همکاران، ۱۳۸۸)، دریای عرب و دریای عمان (فرج‌زاده و همکاران، ۱۳۸۸). علاوه بر این منابع، وجود پهنه وسیع آبی دریاچه ارومیه با مساحتی حدود ۵۴۰۰ کیلومتر در شمال غرب کشور می‌تواند به عنوان یک منبع رطوبتی محلی و ثانویه برای بارش‌های شمال غرب کشور محسوب شود. نتایج خروجی‌های مدل TAPM برای دو طرحواره ۱ و ۲ نشان می‌دهد که در اثر خشک شدن دریاچه، میزان بارش مناطق غربی دریاچه حدود ۲۸ درصد در طول سال کاهش خواهد داشت (۷۹/۸۹=-۲۰۰۳؛ ۱۵۰/۵۱=-۲۰۰۶ میلیمتر نسبت به شرایط وجود دریاچه) که بیشترین میزان آن مربوط به فصل زمستان با متوسط ۴۶/۳ میلیمتر در متوسط دو سال (۲۰۰۳-۲۰۰۶) است. پس از زمستان بیشترین کاهش مربوط به فصل پاییز با مجموع ۳۶/۳۷ میلیمتر، بهار با ۲۹/۸ میلیمتر و تابستان با متوسط ۲/۶ میلیمتر کاهش در منطقه است. به علاوه در بررسی ماهانه نیز بیشترین کاهش بارش مربوط به ماه مارس با متوسط ۲۴ میلیمتر در دو سال ۲۰۰۳ و ۲۰۰۶ و پس از آن نوامبر با ۱۷ میلیمتر است (شکل ۵).



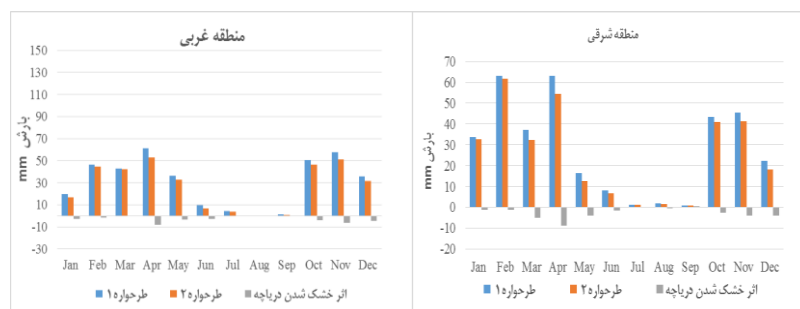
شکل (۵) نتایج شبیه سازی بارش در مدل TAPM در دو طرحواره ۱ و ۲ و اثر خشک شدن دریاچه در میزان بارش منطقه ی غربی دریاچه در متوسط سال های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۶

همچنین بر اثر خشک شدن دریاچه ارومیه، میزان مجموع بارش در مناطق شرقی ۳۸ درصد کاهش داشته است که به ترتیب برای سال ۲۰۰۳، ۳۶/۶ درصد کاهش (معادل ۸۸/۲ میلیمتر) و برای سال ۲۰۰۶، ۳۸/۷ درصد (معادل ۱۵۴ میلیمتر) کاهش را نشان می دهد. بر این اساس در این منطقه نیز فصل پاییز و زمستان دارای بیشترین کاهش در میزان بارش هستند. در بررسی های ماهانه نیز نشان می دهد که بیشترین کاهش بارش مربوط به ماه نوامبر و سپس ماه مارس است (شکل ۶).



شکل (۶) نتایج شبیه سازی بارش در مدل TAPM در دو طرحواره ۱ و ۲ و اثر خشک شدن دریاچه در میزان بارش منطقه ی شرقی دریاچه در متوسط سال های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۶

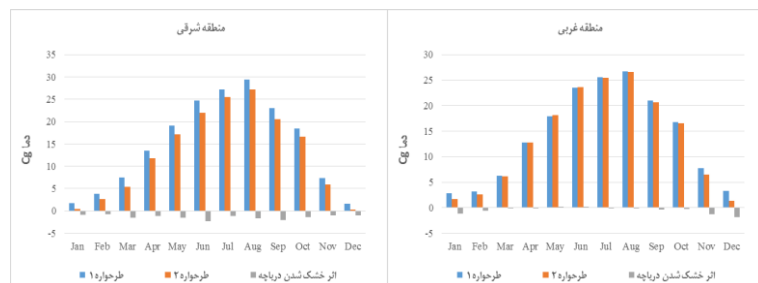
شبیه‌سازی مقادیر بارش در دو طرحواره مورد مطالعه توسط مدل RegCM4 نیز نشان می‌دهد که در اثر خشک شدن دریاچه، به‌طور متوسط میزان بارش در مناطق غربی دریاچه، ۳۵ میلیمتر (۹ درصد) کاهش یافته است که بیشترین کاهش مربوط به فصل بهار با ۱۴/۸ میلیمتر و پس از آن پاییز با ۱۴/۳ میلیمتر کاهش، می‌باشد. از لحاظ ماهانه نیز بیشترین کاهش بارش مربوط به ماه آوریل و همچنین دسامبر می‌باشد. نتایج این مدل برای مناطق شرقی دریاچه نیز نشان می‌دهد که خشک شدن دریاچه منجر به کاهش ۱۰/۲ درصدی بارش (۳۵ میلیمتر) در منطقه مورد مطالعه خواهد شد که بیشترین کاهش مربوط به فصل بهار با ۱۵/۷ میلیمتر (۱۷/۸ درصد) و پس از آن فصول تابستان با ۱۴ درصد و پاییز با ۱۰/۵ درصد کاهش، می‌باشد. همچنین بیشترین کاهش در بارش ماهانه نیز، مشابه مناطق غربی، مربوط به ماه آوریل (۸/۶ میلیمتر) و پس از آن مربوط به نوامبر (۴/۱۵ میلیمتر) و دسامبر (۴ میلیمتر) می‌باشد (شکل ۷).



شکل (۷) نتایج شبیه‌سازی بارش در مدل RegCM در دو طرحواره ۱ و ۲ و اثر خشک شدن دریاچه در میزان بارش در مناطق غربی و شرقی دریاچه در متوسط سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۶

متوسط دما: یکی از عوامل کنترل کننده دما در یک منطقه، پوشش سطحی است (کاویانی و علیجانی، ۱۳۸۵)، بنابراین پهنه‌های آبی دارای نقش مهمی در کنترل و تعادل دما در یک منطقه هستند. نتایج شبیه‌سازی مدل TAPM در دو طرحواره مختلف نشان می‌دهد که در صورت حذف دریاچه ارومیه از منطقه، میزان دمای دوره سرد سال در مناطق شرقی دریاچه ۱/۰۸ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد و در دوره گرم سال ۱/۶۸ درجه کاهش خواهد داشت. همچنین از در مقیاس فصلی، بیشترین کاهش دما مربوط به فصل بهار و

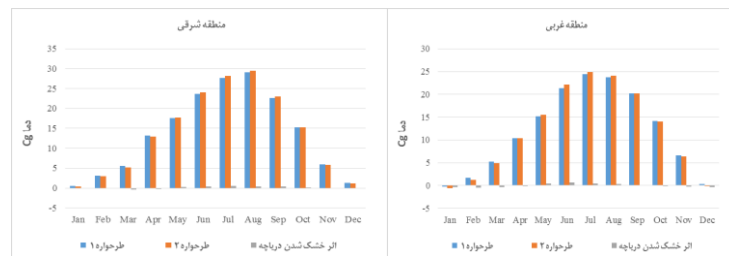
تابستان با $1/6$ و $1/5$ درجه و پس از آن پاییز و زمستان به ترتیب با $1/1$ و 1 درجه کاهش، می‌باشد. در مقیاس ماهانه نیز بیشترین کاهش مربوط به ماه ژوئن ($2/2$ درجه) و پس از آن ماه‌های سپتامبر (2 درجه) و اگوست ($1/7$ درجه) می‌باشد. کمترین کاهش نیز مربوط به ماه فوریه ($0/6$ درجه) و پس از آن ماه ژانویه است (شکل ۸). در منطقه غربی دریاچه نیز، نتایج این مدل مشابه منطقه غربی، کاهش دما را بر اثر از میان برداشته شدن دریاچه نشان می‌دهد، اما میزان و شدت کاهش در مناطق شرقی، کمتر از منطقه غربی می‌باشد. در دوره سرد سال میزان دما $0/8$ و در دوره گرم میزان دما $0/1$ درجه کاهش داشته است. بیشترین کاهش دما مربوط به فصل پاییز ($1/1$ درجه) و پس از آن زمستان ($0/6$ درجه) می‌باشد. همچنین در فصل تابستان دما $0/1$ درجه کاهش و بهار $0/1$ درجه افزایش داشته است. در مقیاس ماهانه نیز بیشترین کاهش مربوط به ماه‌های دسامبر، نوامبر و ژانویه ($1/8$ ، $1/2$ ، $1/1$ درجه) بوده است. در مقابل در ماه‌های مه ($0/26$ درجه) و ژوئن ($0/15$ درجه) دما افزایش داشته است و در ماه ژوئیه نیز، دما به میزان $0/09$ درجه کاهش داشته است (شکل ۸).



شکل (۸) نتایج شبیه‌سازی مدل TAPM برای فراسنج دمای متوسط روزانه در دو طرحواره ۱ و ۲ و اثر دریاچه در منطقه شرقی و غربی دریاچه در متوسط دو سال ۲۰۰۳ و ۲۰۰۶

نتایج مدل RegCM برای فراسنج دما نشان می‌دهد که در منطقه شرقی دریاچه، دما در دوره سرد سال به میزان $0/2$ درجه سانتی‌گراد کاهش داشته است و در دوره گرم سال به میزان $0/3$ درجه افزایش را نشان می‌دهد. افزایش دما در این منطقه در دوره گرم به معنای اثر خنک‌کنندگی دریاچه و کاهش دما در دوره سرد به معنای اثر گرمایشی این پهنه آبی،

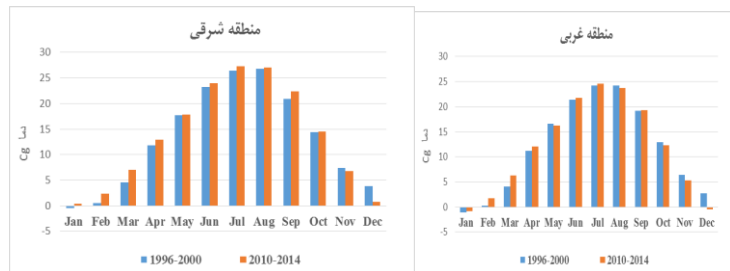
به دلیل تزریق رطوبت، در منطقه است. گرچه این اثرات بسیار محدود و نامحسوس است. کاهش دما مربوط به فصول زمستان و پاییز (به میزان $-0/22$ و $-0/1$ درجه) و افزایش دما نیز مربوط به فصول تابستان ($0/43$ درجه) و بهار ($0/1$ درجه) می‌باشد. در مقیاس ماهانه نیز بیشترین کاهش مربوط به ماه مارس ($0/35$ درجه سانتی‌گراد) و بیشترین افزایش مربوط به ماه ژوئیه ($0/52$ درجه) و پس از آن آگوست و ژوئن است (شکل ۹). در منطقه غربی دریاچه، مشابه منطق شرقی، در دوره گرم سال دما افزایش یافته است ($0/28$ درجه سانتی‌گراد) و در دوره سرد نیز کاهش ($0/3$ درجه) داشته است. در فصول زمستان و پاییز، در اثر از میان برداشتن دریاچه، دما به ترتیب $0/4$ و $0/24$ درجه کاهش داشته است و در فصول بهار و تابستان افزایش دما به‌طور متوسط $0/34$ و $0/24$ درجه بوده است. در مقیاس ماهانه نیز بیشترین کاهش مربوط به ماه فوریه ($-0/46$ درجه) و بیشترین افزایش مربوط به ماه ژوئیه ($0/69$ درجه) بوده است. به‌طور کلی خشک شدن دریاچه دارای اثر محسوس‌تری در دمای نواحی غربی داشته است (شکل ۹).



شکل (۱۰) نتایج شبیه‌سازی مدل RegCM برای فراسنج دمای متوسط روزانه در دو طرحواره ۱ و ۲ و اثر دریاچه در منطقه شرقی و غربی دریاچه در متوسط دو سال ۲۰۰۳ و ۲۰۰۶

برای ارزیابی کلی یافته‌های این تحقیق با شرایط واقعی، وضعیت دما و بارش دو دوره ۵ ساله شامل ۱۹۹۵-۱۹۹۱، به عنوان دوره‌ای که دریاچه دارای شرایط نرمال و وضعیت پر آبی بوده و ۲۰۱۰-۲۰۱۴، به عنوان دوره‌ای که دریاچه در مسیر خشکی قرار داشته، با هم مقایسه گردید. لازم به ذکر است که گرچه مقایسه دو دوره نمی‌تواند بخوبی نشان دهنده اثر دریاچه در ماهیت دما و بارش منطقه باشد، زیرا تغییرات اقلیمی نیز عامل دیگر تغییرات دما و

بارش در دوره ۲۰۱۰-۲۰۱۴ نسبت به دوره ۱۹۹۶-۲۰۰۰ است، اما می‌توان از آن برای ارزیابی یافته‌های این تحقیق استفاده کرد. تغییرات بارش با توجه به این‌که متأثر از نوسان سامانه‌های بزرگ مقیاس جوی است، لذا تعیین اثر یک پهنه آبی همچون دریاچه ارومیه در یک منطقه بر اساس داده‌های تجربی، امری تقریباً بی‌نتیجه است و نتایج نیز نمی‌تواند توانمندی مدل‌ها و اثرات پوشش سطحی را در ماهیت اقلیمی یک منطقه نشان دهد، به‌طوریکه بارش در منطقه غربی دریاچه در دوره ۲۰۱۰-۲۰۱۴ به میزان ۹۰ میلی‌متر نسبت به دوره ۱۹۹۶-۲۰۰۰ افزایش داشته است اما در مناطق شرقی، به میزان ۱۲ میلی‌متر کاهش داشته است. گرچه هر دو مدل، نتیجه خشک شدن دریاچه را کاهش بارش تخمین زده بودند، اما در واقع، در مناطق غربی افزایش بارش اتفاق افتاده است که این مغایر با نتایج مدل‌ها است که نشان می‌دهد فراسنج بارش، نمی‌تواند یک فراسنج قابل اطمینان برای ارزیابی خروجی‌ها باشد. اگرچه مدل RegCM کاهش بارش را در سواحل شرقی، با توجه به اثر جریان‌ات هوا در منطقه، محسوس‌تر شبیه‌سازی نموده است، اما داده‌های تجربی نشان می‌دهند که بارش در منطقه غربی افزایش و در منطقه شرقی کاهش داشته است، که این عامل می‌تواند متأثر از مجموعه‌ای از عوامل همچون تغییرات اقلیمی، نوسانات اقلیمی و یا اثر دریاچه باشد. لذا متغیر متوسط دما که نشان دهنده وضعیت میانگین‌ها در یک منطقه است، می‌تواند فراسنج قابل قبول‌تری باشد. دما به‌طور کلی در هر دو منطقه غربی و شرقی افزایش داشته است. اما در فصل پاییز دما در منطقه کاهش داشته و در بهار و تابستان (مشابه نتایج مدل RegCM) و همچنین زمستان (برخلاف شبیه‌سازی‌های مدل RegCM) افزایش داشته است. در شرایط مشاهداتی دو دوره نیز، میزان تغییرات دما معمولاً در بسیاری از ماه‌ها کمتر از ۱ درجه سانتی‌گراد بوده است که نشان می‌دهد مدل RegCM شبیه‌سازی‌های قابل قبول‌تری نسبت به مدل TAPM، که اثر خشک شدن دریاچه را در برخی ماه‌ها تا ۲/۵ درجه افزایش شبیه‌سازی نموده بود، دارا می‌باشد. گرچه مدل TAPM گرمایش منطقه را نتیجه خشک شدن دریاچه مدل‌سازی کرده بود، اما میزان برآوردهای این مدل غیر واقعی و نقش این پهنه آبی را در دمای منطقه بسیار مهم شبیه‌سازی نموده بود. اما شبیه‌سازی‌های مدل RegCM با واقعیت نزدیک‌تر است (شکل ۱۱).



شکل (۱۱) وضعیت دما در دو دوره ۱۹۹۶-۲۰۰۰ و ۲۰۱۰-۲۰۱۴

نتیجه گیری

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که مدل RegCM دارای عملکرد قابل قبول تری نسبت به مدل TAPM در مدل‌سازی اثر پوشش سطحی در اقلیم یک منطقه دارا می‌باشد. بر اساس نتایج، عملکرد RegCM بیشتر با شرایط واقعی همخوانی دارد. به‌طور کلی می‌توان گفت که خشک شدن دریاچه ارومیه می‌تواند اثراتی را در دما و بارش منطقه ایجاد کند، به‌طوریکه بارش در منطقه شمال غربی به‌طور محدودی کاهش و دما نیز در دوره سرد به میزان کمتر از ۰/۵ درجه سانتی‌گراد کاهش و در دوره گرم به همین میزان افزایش داشته است.

- بر اساس نتایج صحت‌سنجی مدل، به‌طور کلی مدل TAPM در شبیه‌سازی فراسنج دما دارای خطای متوسط ۱/۸۸ است که این خطا برای مدل RegCM، ۱/۱ می‌باشد که نشان می‌دهد مدل RegCM عملکرد قابل قبول تری داشته است. این شرایط برای فراسنج بارش نیز وجود دارد و خطای متوسط مدل TAPM در تخمین بارش ۲۲ میلی‌متر بوده است که این خطا برای مدل RegCM، ۹ میلی‌متر بوده است.
- همچنین مدل RegCM اثر خشک شدن دریاچه را در دما و بارش منطقه به‌طور واقعی تری شبیه‌سازی نموده است، به‌طوریکه مدل TAPM، اثر خشک شدن دریاچه را در دمای برخی ماه‌ها تا ۲/۵ درجه افزایش، شبیه‌سازی کرده است که این نشان از غیر واقعی بودن نتایج آن (با توجه به وضعیت موجود) است.

- بر اثر خشک شدن دریاچه ارومیه، میزان بارش در منطقه به‌طور متوسط ۱۰ درصد کاهش یافته است که بیشترین آن مربوط به فصل بهار است. همچنین تفاوت قابل توجهی در کاهش بارش بین مناطق غربی و شرقی دریاچه به وجود نمی‌آید. گرچه یک اختلاف ۱ درصدی بین مناطق شرقی و غربی وجود دارد که نشان می‌دهد خشک شدن دریاچه اثر بیشتری در کاهش بارش در نواحی شرقی دارد، اما این اختلاف بسیار نا محسوس است. نتایج این قسمت یافته‌های گلزاری (۱۳۹۱) را که کاهش بارش‌های شمال غرب را بر اثر خشک شدن دریاچه ارومیه با استفاده از مدل RegCM4 شبیه‌سازی نموده تأیید می‌نماید.
- پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی با مدل RegCM، اثرات خشک شدن دریاچه در فراسنج‌های جوی همچون دمای شبانه و روزانه، رطوبت نسبی و وضعیت شارهای رطوبت در منطقه، بررسی گردد.

منابع

- حسین پور، مهدیه (۱۳۹۱)، «مکانیسم شکل‌گیری بادهای محلی، منطقه ای در سواحل جنوبی دریای خزر»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
- خوش اخلاق، فرامرز؛ حیدری، محمد امین؛ مرادی مقدم، محمد امین؛ مولایی پارده، اصغر (۱۳۹۲)، «شبیه‌سازی تغییرات رژیم دمای مراغه در اثر خشک شدن دریاچه ارومیه»، *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، شماره ۸: ۱-۱۸.
- زارعی چقابلکی، زهرا (۱۳۹۱)، «مدل‌سازی مکانیسم بادهای پیرامون دریاچه ارومیه»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
- عزیزی قاسم، قنبری حسین علی (۱۳۸۸)، «شبیه‌سازی عددی رفتار آلودگی هوای تهران بر اساس الگوی باد»، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، شماره ۶۸ صص ۱۵-۳۲.
- عزیزی، قاسم، نیری، معصومه، رستمی جلیلیان، شیما (۱۳۸۸)، «تحلیل سینوپتیک بارش‌های سنگین در غرب کشور (مطالعه موردی: بارش دوره ۷ - ۱۴ مارس ۲۰۰۵، ۱۶ تا ۲۴ اسفند ۱۳۸۵)»، *جغرافیای طبیعی*، ش ۱ (۴): ۱-۱۳.
- علیزاده، ا.، سیاری، ن.، حسامی کرمانی م. ر.، بنایان اول م.، فرید حسینی، ع. (۱۳۸۹) «بررسی پتانسیل اثرات تغییر اقلیمی بر منابع و مصارف آب کشاورزی (مطالعه ی موردی: حوضه ی آبریز رودخانه ی کشف رود)»، *نشریه ی آب و خاک*، جلد ۲۴، ش ۴: ۸۱۵-۸۳۵.
- فرجزاده اصل، منوچهر؛ کریمی، مصطفی؛ قائمی، هوشنگ و مباشری، محمد رضا (۱۳۸۸)، «چگونگی انتقال رطوبت در بارش زمستانه غرب ایران (مطالعه موردی بارش ۳-۷ زانویه ۱۹۹۶)»، *مدرس علوم انسانی*، ش ۱۳: ۱۹۳-۲۱۷.
- کاویانی، محمدرضا و علیجانی، بهلول (۱۳۸۵)، «مبانی آب و هواشناسی»، چاپ دوازدهم، انتشارات سمت.
- گلزاری پرتو، لیلیا (۱۳۹۱)، «شبیه‌سازی اثر دریاچه ارومیه بر اقلیم شمال غرب ایران»، پایان نامه کارشناسی ارشد اقلیم شناسی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه فردوسی مشهد.

- معصوم پور سماکوش جعفر (۱۳۸۹)، «مکانیسم شکل گیری نسیم دریا در سواحل جنوبی دریای خزر»، رساله نامه دکتری جغرافیای طبیعی گرایش اقلیم شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
- مفیدی، عباس، کمالی، سمیه و زرین، آذر (۱۳۹۲)، «ارزیابی توان مدل RegCM4 پیوند خورده با طرحواره غبار در آشکارسازی ساختار طوفان‌های گردوغباری تابستانه در دشت سیستان»، *جغرافیا*، ش ۳: ۵۱-۶۹.
- یاراحمدی، داریوش (۱۳۹۳)، «تحلیل هیدروکلیماتولوژی نوسان‌های سطح آب دریاچه ارومیه»، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، شماره ۴۶(۱): ۷۷-۹۲.
- Delju, A., Ceylan, A., Piguet, E., & Rebetez, M. (2013), "Observed climate variability and change in Urmia Lake Basin, Iran", *Theoretical and Applied Climatology*, 111(1-2), 285-296.
- Dickinson, R. E., Henderson-Sellers, A., and Kennedy, P. J., (1993). Biosphere-atmosphere transfer scheme (BATS) version 1e as coupled to the NCAR Community Climate Model, Tech. Rep., *National Center for Atmospheric Research*.
- Evans, J., P., (2009), "21st Century Climate Change in the Middle East", *Climatic Change*, Vol. 92, PP. 417-432.
- Giorgi, F., et al., 2012, "RegCM4: Model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains", *Climate Research*, 52: 7-29.
- Kiehl, J. T., et al., (1996). Description of NCAR Community Climate Model (CCM3), Tech. Rep. NCAR/TN- 420+STR, *National Center for Atmospheric Research*.
- Golabian, H. (2011). "Urumia lake: Hydro-ecological stabilization and permanence. In V. Badescu, & R.B. Cathcart (Eds.), Macro-engineering seawater in unique environments", *Environmental Science and Engineering*. (pp. 365-397). Springer.

- Grell, G. A., Dudhia, J., and Stauffer, D. R., (1994), "Description of the fifth generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5)", *Tech. Rep.* TN-398+STR, NCAR, Boulder, Colorado, pp. 121.
- Hassanzadeh, E., Zarghami, M., & Hassanzadeh, Y. (2012), "Determining the main factors in declining the Urmia lake level by using system dynamics modeling", *Water Resources Management*, 26(1), 129-145.
- Holtslag, A.A.M., de Bruijn, E.I.F., and Pan, H.-L., 1990. "A high resolution air mass transformation model for short-range weather forecasting", *Mon. Wea. Rev.*, 118: 1561-1575.
- Hurley, P. (2002), "The Air Pollution Model (TAPM) version 3. Part 1: Technical description", *CSIRO Atmospheric Research Technical Paper No.55*.
- IPCC, (2007). Climate Change (2007), "The Physical Science Basis, A Contribution of Working Group I, to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Solomon and the Core Writing Team (eds)", Cambridge University press, Cambridge United Kingdom, and New York, USA.
- Jalili Sh., Kirchner I., Livingstone D. M. and Morid S. (2011), "The influence of large-scale atmospheric circulation weather types on variations in the water level of Lake Urmia, Iran", *Int. J. Climatol.* DOI: 10.1002/joc.2422.
- Karbassi, A., Bidhendi, G.N., Pejman, A., & Bidhendi, M.E. (2010), "Environmental impacts of desalination on the ecology of Lake Urmia", *Journal of Great Lakes Research*, 36(3), 419-424.
- Kiehl, J., J. Hack, G. Bonan, B. Boville, B. Breigleb, D. Williamson, and P. Rasch, (1996), Description of the NCAR community climate

- model (CCM3), *Technical Report*, 152 pp., Natl. Cent. for Atmos. Res., Boulder, Colo.
- Pal, J., Small, E., and Eltahir, E.A.B., (2000). "Simulation of regional scale water and energy budgets: Representation of subgrid cloud and precipitation processes within RegCM", *J. Geophys. Res.*, 105(D24): 29579-29594.
- Rezazadeh M., Irannejad P., Shao Y., (2013), "Climatology of the Middle East dust events", *Aeolian Research*, 10: 103-109.
- Tourian M.J., Elmi O., Chen Q., Devaraju B., Roohi Sh., Sneeuw N., (2015), "A spaceborne multisensor approach to monitor the desiccation of Lake Urmia in Iran", *Remote Sensing of Environment*, No 156 : 349-360.
- Warner, T.T., (2011), "*Numerical Weather and Climate Prediction*". Cambridge University Press, 548 pp.
- Zarghami, M. (2011). "Effective watershed management; case study of Urmia Lake, Iran". *Lake and Reservoir Management*, 27(1), 87-94.