

## مقدمه

یکی از راه‌های افزایش حاصلخیزی خاک و بهره‌برداری گوناگون از آن، تغییر کاربری اراضی با مهیا کردن نیازهای اولیه‌ی مناطق خشک و بیابانی به ویژه رفع محدودیت‌های آبی و اقلیمی با عملیات آبرسانی است، کاردان و همکاران [۷]، با وجود خشک شدن برخی از دریاچه‌ها و تالاب‌های ذقیمت و پراهمیت در اثر خشکسالی چند سال گذشته همچون هامون‌های زابل، بختگان، ارژنگ، گاوخونی، پریشان و کاهش سطح آب دریاچه‌ی اورمیه، این تفکر ذهن هر ایرانی را به خود مشغول داشته است که چگونه از بیابان‌های فلات مرکزی ایران در حل چالش جهانی آب و غذا می‌توان بهره‌برداری نمود. با پیشرفت‌های فناوری رایانه‌ای، هسته‌ای و صنعتی به همراه تغییر اقلیم جهانی طرح سیراب‌سازی کویرها و دریاچه‌های کویری ایران، فرزاد [۶]، جای بسی تأمل و تفکر را پیدا نموده است، همچنین با ابتکار و نوآوری سیستم "آبخیزداری نوین" می‌توان برخی از مناطق خشک و بیابانی فلات مرکزی ایران را از آب دریای عمان سیراب ساخت. پر واضح است که سطح آب منتقل شده به این مناطق با دشواری‌های خاص خود، نباید در معرض مستقیم نور شدید خورشید و وزش بادهای مناطق کویری و خشک واقع گردد. زیرا تبخیر آب در بیابان‌های مرکزی ایران تا حدود ۴۵۰۰ میلی‌متر گزارش شده است و این میزان تبخیر باعث از دست رفتن زحمات انتقال آب خواهد شد.

با فراگیر شدن شبیه‌سازی نرم‌افزاری اقلیم منطقه‌ای، این امکان بوجود آمده است تا طرح واره‌های گوناگونی همچون تأثیر کوه بر خشکی‌های مجاور یا پرآب کردن یک دریاچه یا خشک کردن آب آن و تأثیر بر شرایط اقلیمی منطقه، در دنیای مجازی رایانه‌ای شبیه‌سازی گردد. مدل‌سازی دقیق وضعیت حرکت سیستم‌های جوی به گونه‌ی کامل، امری دشوار است. زیرا سیستم‌های جوی بوجودآورنده اقلیم هر منطقه، به شدت تحت تأثیر پدیده‌های اقلیمی جهانی و عوامل محلی مثل ارتفاعات، توده‌های آبی، کاربری اراضی و... قرار می‌گیرند و با توجه به این که مدل‌سازی اقلیمی به صورت کلی اجرا می‌شوند، بنابراین در هر منطقه شرایط حاکم بر مسائل اقلیمی با هم تفاوت دارند. شبیه‌سازی در تعیین شرایط اقلیمی کار ساده‌ای نیست بلکه مستلزم مدل‌سازی پدیده‌های متعددی در حالات گوناگون و دخالت چندین رشته‌ی علمی از ریاضیات گرفته تا زیست‌شناسی، اقلیم‌شناسی، انفورماتیک، فیزیک و شیمی است که در علوم رایانه‌ای با همکاری چندین متخصص تبدیل به مدل

## مدل‌سازی تأثیر دریاچه بر مناطق مجاور (مطالعه‌ی موردی: مدل‌سازی اقلیمی حوزه‌ی آبخیز جزموریان با ایجاد دریاچه‌ی مصنوعی)

رحمت‌اله کاردان<sup>۱</sup>، قاسم عزیزی<sup>۲</sup>، پیمان زوار رضا<sup>۳</sup>  
و حسین محمدی<sup>۴</sup>  
تاریخ دریافت: ۸۷/۹/۹ تاریخ پذیرش: ۸۸/۵/۹

## چکیده

در این پژوهش با مدل‌سازی تأثیر دریاچه بر اقلیم خشکی مجاور و بهره‌گیری از نرم‌افزار TAPM برای نخستین بار در ایران، با افزایش فرضی سطح آب از ارتفاع ۳۵۱ متری کف چاله‌ی جزموریان تا ارتفاع ۵۰۰ متری از سطح دریا و ایجاد یک دریاچه مجازی بزرگ در حوزه‌ی آبخیز یاد شده، با مدل نرم‌افزار اقلیمی، به تغییرات اقلیمی منطقه‌ای از جمله تغییر دما، سرعت باد و رطوبت نسبی منطقه در مقطع زمانی زمستانی و تابستانی پرداخته شده است. روی سطح آب دریاچه‌ی فرضی با شرایط سینوپتیکی و دینامیک جوی، نوسانات دمایی در زمستان، به طور میانگین ۶/۵ افزایش و در تابستان، به طور میانگین ۱/۶ کاهش خواهد داشت. میانگین سرعت باد در زمستان حدود ۹/۲ m/s و در تابستان، ۱ m/s افزایش نشان می‌دهد. رطوبت نسبی در زمستان ۶/۵ درصد و در تابستان، ۳۰ درصد افزایش خواهد یافت. خروجی مدل نرم‌افزاری TAPM در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی دما، سرعت باد و رطوبت نسبی منطقه با ضریب همبستگی به ترتیب ۸۳، ۵۴ و ۶۶ درصد و شاخص هماهنگی با ۸۳، ۶۳ و ۷۳ درصد در حد قابل قبول ارزیابی گردید.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی اقلیمی، تغییر اقلیم، تحلیل عددی، حوزه‌ی آبخیز جزموریان و TAPM.

۱ نویسنده‌ی مسئول و دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی دانشگاه تهران، کارشناس ارشد سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور  
Kardan45@Yahoo.com

۲ عضو هیئت علمی دانشگاه تهران

۳ عضو هیئت علمی دانشگاه کاتربروری کشور نیوزیلند

۴ عضو هیئت علمی دانشگاه تهران

نرم افزاری می‌گردد. در اجرای مدل، از ریز رایانه‌های پردازنده‌های سریع استفاده می‌شود که وضعیت جو و شرایط سیالات حاکم بر آن را با معادله‌های پیچیده از راه زبان‌های برنامه‌نویسی مدل‌سازی می‌کنند و با کمک علوم فیزیک و مکانیک سیالات در طراحی و ترسیم نمودارها و نقشه‌های مرتبط برای مدت زمانی مشخص، شرایط جو در آینده پیش‌بینی می‌گردد. تاثیر دریاچه بر اقلیم خشکی‌های مجاور آن دارای ساز و کاری همانند نسیم دریا و خشکی است که وجود آن، رطوبتی مناسب و جریان هوایی مطبوع از سوی توده‌ی آبی به خشکی را موجب می‌گردد. خشکی اثر متقابلی بر توده‌ی آبی مجاور خواهد داشت که در مناطق خشک، اثر واحه‌ای نام دارد. دانش کارآراسته [۳] می‌نویسد که انتقال انرژی از اراضی مجاور یک توده‌ی آبی که محتوای انرژی را برای تبدیل به گرمای نهان تبخیر افزایش می‌دهد، اثر واحه‌ای خوانده می‌شود. این انرژی مازاد در اراضی مجاور تولید و در اثر اختلاف حرارت یا در اثر وزش باد به محدوده‌ی آب سطحی وارد می‌گردد.

پیش‌بینی پدیده‌های غالب در جو زمین به دو شیوه‌ی مدل‌سازی دینامیکی و آماری انجام می‌گیرد. مدل‌های دینامیکی را معمولاً بر مبنای قوانین فیزیکی برقرار می‌سازند. شناخت دقیق این قوانین با دشواری‌های خاص خود رو به روست زیرا این قوانین همواره با سه فاز جامد، مایع و بخار آب و تبدلات انرژی بین این سه فاز مرتبط هستند و از سوی دیگر به کارگیری این قوانین در زمان واقعی نیز با مسائلی مواجه می‌شود. در مدل‌های آماری، به گونه‌ی عمده فیزیک پدیده را کم‌تر مورد توجه قرار می‌دهند و تنها بر تعیین ارتباط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها و عملیات آماری تاکید دارند. این دسته از مدل‌ها از نظر سهولت استفاده بر مدل‌های دینامیکی برتری دارند. با توجه به این که دیدگاه کلی حاکم بر جوامع علمی بر این است که نتایج مدل‌های دینامیکی بر مدل‌های آماری برتری دارند، مدل انتخاب شده‌ی این پژوهش از نوع دینامیکی است. مدل‌سازی عددی وضع آب و هوا بر قواعدی استوار است که به گونه‌ی عملی از دهه‌ی ۱۹۴۰ میلادی و پیدایش نخستین رایانه‌ها شروع شد و جهت شبیه‌سازی اقلیمی وقایع احتمالی و تطبیق آن با واقعیت و روی هم رفته تحلیل عددی این گونه پژوهشی از عمر علمی چندانی برخوردار نیست. در مدل‌سازی تاثیر دریاچه بر خشکی مجاور آن، خشک شدن دریاچه‌ی آرال به وسیله‌ی دارمنوا و سوکولیک [۱۲] با مدل نرم افزار MM5 انجام شده است و با سه طرح‌واره‌ی تمام دریاچه، نیم دریاچه و دریاچه‌ی کامل خشک شده به انتشار گرد و خاک و پراکندگی آن پرداخته است. آگروالا و همکاران [۱۰] و بارلو و همکاران [۱۱] به تاثیر پدیده لاینو و گردش عمومی جو کره زمین بر بیابان‌زایی منطقه جنوب غربی آسیا و ایران با تشدید پدیده خشکسالی در مقیاس بزرگ اقلیم پژوهش‌هایی را انجام داده‌اند.

آزادی و همکاران [۱] در پیش‌بینی عددی سیستم‌های زمستانی و بابتیان و همکاران [۲] شبیه‌سازی بارش ماه‌های سرد سال‌های

۱۳۷۶ و ۱۳۷۹ با استفاده از مدل اقلیمی RegCM3<sup>۱</sup> را پژوهش نموده‌اند. احمدی گیوی و همکاران [۹] با استفاده از مدل منطقه‌ای اقلیمی RegCM نقش کوه زاگرس بر سامانه‌های جوی واقع بر ایران را در یک بازه سه ماهه (از یک دسامبر ۱۹۹۸ تا پایان ماه مارس ۱۹۹۹) بررسی کرده‌اند. در آن پژوهش، مدل در حالت مرجع و پس از حذف رشته کوه اجرا شده است. همچنین با توجه به مجهول بودن نقش پوشش گیاهی زاگرس، اجرای دیگری با شرایط بدون رشته کوه و جایگزینی پوشش گیاهی زاگرس با بیابان صورت گرفته است با حذف رشته کوه زاگرس، میزان بارش در مناطق مرکزی و شرقی ایران افزایش می‌یابد اما مقدار آن در کل محدوده شبیه‌سازی ثابت می‌ماند، با توجه به پوشش گیاهی تنک زاگرس و همچنین بازه آزمایش‌ها، تغییر گیاهی تفاوت شاخصی را در نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان نمی‌دهد. ولی پژوهشی جهت مدل‌سازی رایانه‌ای اقلیمی بین دریاچه و خشکی در ایران انجام نشده است و این انگیزه‌ی شکل‌گیری این پژوهش محسوب می‌گردد.

در این پژوهش، با استفاده از مدل‌سازی رایانه‌ای آب و هوایی در سطح متوسط مقیاس اقلیمی (مزوکلیم)، همه‌ی ابعاد عوامل منطقه‌ی تاثیرگذار در روابط حاکم بر اقلیم منطقه مورد پردازش قرار می‌گیرد و به کمک شبیه‌سازی رایانه‌ای، همه‌ی پارامترهای اقلیمی به صورت یک جا می‌توانند مورد مطالعه و تحلیل قرار گیرند. در اجرای این مدل، طرح‌واره‌های گوناگونی شبیه‌سازی گردید و نتایج به دست آمده با واقعیت طبیعی سال‌های قبلی منطقه، مقایسه و هدف‌های پژوهش حاصل شد. در حیطه‌ی اقلیم‌شناسی، ارزیابی شرایط اقلیمی منطقه با فرض ایجاد یک دریاچه‌ی پرآب برای تعدیل و تغییر اقلیم حوزه‌ی آبخیز جازموریان است که میزان تاثیرگذاری به گونه‌ی کمی مشخص می‌گردد. از هدف‌های این پژوهش می‌توان مورد‌های زیر را بیان نمود:

۱- مدل‌سازی تاثیر توده‌های آبی بر خشکی‌های مجاور از نظر اقلیم‌شناسی به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک با اقلیم شکنندگی و کم بارش

۲- شبیه‌سازی اقلیم بخشی از فلات مرکزی ایران در زمان‌های پر آب گذشته و بررسی اقلیم دیرینه<sup>۲</sup> منطقه در دوران کرتاسه با وجود انشعابات از اقیانوس تیس در فلات مرکزی ایران و اقیانوس مکران در جنوب چاله‌ی جازموریان که به نوشته‌ی خسروتهرانی و درویش‌زاده [۵] سازند رسوبات فلیش به ضخامت ۵۰۰۰ متر تشکیل شده است.

۳- برآورد تاثیر سطح آب دریاچه سدهای بزرگ در اقلیم متوسط مقیاس منطقه و عملیات سدسازی

### موقعیت جغرافیایی

بخش اعظم حوزه‌ی آبخیز هامون جازموریان در استان کرمان و

1- Regional Climate Model (V3)

2- PaleoClimate

شرقی محدوده‌ی مورد مطالعه با ارتفاع ۱۷۱۱ متر از سطح دریا و گودترین محل در سواحل هامون جازموریان به ارتفاع ۳۵۱ متر از سطح دریا است. تبخیر از سطح این مناطق نیز بسیار زیاد و به بیش از ۲۵۰۰ میلی‌متر در سال می‌رسد و میزان تبخیر به گزارش شرکت سهامی آب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان [۴] در حوزه‌ی آبخیز هامون هیرمند در ایستگاه زهک ۴۵۴۶ میلی‌متر در سال است و با چنین شرایطی، هرگونه تولید و توسعه‌ی کشاورزی، صنعتی و فعالیت‌های انسانی این نواحی در گرو تهیه‌ی آب خواهد بود. گندمکار [۸] می‌افزاید که با شروع شکل‌گیری مرکز کم‌فشار پاکستان و پرفشار آزروری جنوب و جنوب شرقی ایران در تابستان، سرعت وزش باد به بیشینه‌ی خود می‌رسد.

### مواد و روش‌ها

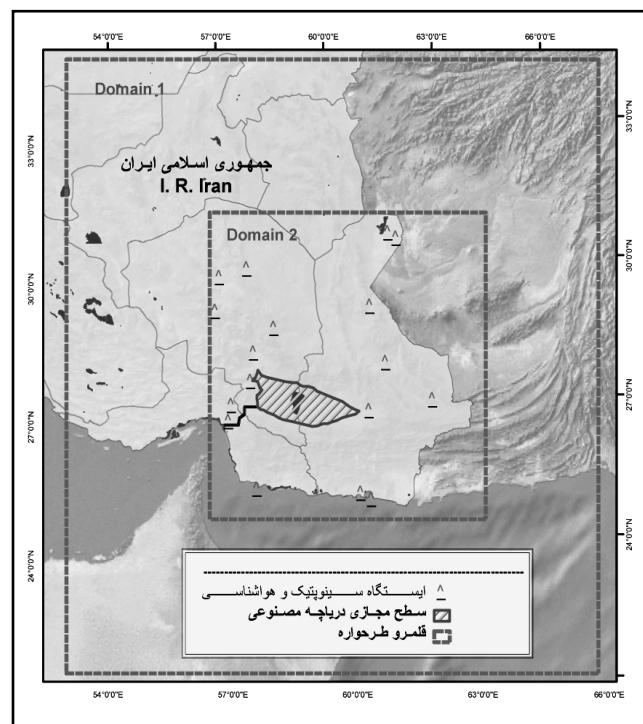
در این پژوهش، از مدل نرم‌افزاری TAPM<sup>۱</sup> تهیه شده در سازمان پژوهش صنعتی و علمی مشترک المنافع (CSIRO)<sup>۲</sup> در استرالیا استفاده گردید. هورلی [۱۴] می‌نویسد که این مدل توان پیش‌بینی هوا و تراکم آلودگی برای دوره‌های کوتاه مدت اقلیمی و کمتر از یک سال را دارد. زواررضا و همکاران [۱۶] و [۱۷] می‌افزایند که TAPM یک مدل سه بعدی غیرایستایی و مبتنی بر معادلات ساده است که از یک سیستم مختصات داده‌های زمینی استفاده می‌کند داده‌های به دست آمده‌ی خروجی، با تجزیه و تحلیل وضعیت اقلیمی منطقه منطبق و برای دستیابی به نتیجه از روش‌ها و فنون آماری استفاده می‌شود.

داده‌های نقشه‌ای مورد نیاز در مدل TAPM به سه دسته تقسیم می‌شوند که به صورت کلی در سیستم مدل موجود است و عبارتند از:

- (۱) Terrain یا داده‌های ارتفاعی سطح زمین که از نقشه توپوگرافی استخراج می‌گردد.
  - (۲) داده‌های تجزیه و تحلیلی شده سینوپتیکی و هواشناسی مدل
  - (۳) داده‌های کاربری اراضی و انواع خاک‌ها
- مدل TAPM برپایه دینامیک سیالات و معادلات انتقال عددی به منظور پیش‌بینی هواشناسی و تمرکز آلودگی در یک محدوده خاص استوار است و از یک زوج مولفه پیش‌بینی هواشناسی و آلودگی تشکیل می‌شود. مولفه هواشناسی TAPM مدل تراکم ناپذیر و غیرهیدروستاتیکی با لحاظ وضعیت مختصات عمومی سطح زمین برای شبیه‌سازی سه بعدی است. در این مدل، باد میانگین با مولفه‌های افقی  $u$  و  $v$  (متر بر ثانیه) از معادله گشتاوری، سرعت عمودی سطح زمینی  $\sigma$  از معادله پیوستگی و دمای واقعی پتانسیل  $\theta v$  (درجه کلونین) از یک معادله ترکیبی بقاء حرارت و بخار آب تعیین می‌شود. تابع فشار  $\pi = \pi_H + \pi_N$  از جمع مولفه

در غرب بلوچستان مابین کوه‌های مکران و شاهسواران واقع شده است که طول تقریبی آن از شرق به غرب ۳۰۰ کیلومتر و عرض آن از شمال به جنوب ۱۰۰ کیلومتر است. در اصطلاح محلی پوشش گیاهی را "جاز" و زیادی آن را "موریان" می‌نامند. محدوده‌ی آبخیز کامل دریاچه در مواقع پرآبی ۳۳۰۰ کیلومتر مربع است که در شکل (۱) با رنگ تیره در مرکز دریاچه‌ی مجازی هاشور خورده مشاهده می‌شود. میزان آب و وسعت هامون آن متغیر بوده و در خشکسالی چند سال اخیر، میزان آب آن به صفر میل کرده است. آب رودخانه‌های هلیل رود از سمت غرب و رود بمپور از شرق، به آن می‌ریزند. هامون یک فرونشست زمین‌ساختی جوان است که از خاک‌های نه‌چندان شور و زمین قله سنگی با لایه‌های شنی و آهکی تشکیل شده است. کریسلی [۱۵] گستره‌ی هامون جازموریان را شامل سه بخش زیر دانسته است:

- دریاچه‌ی فصلی که گستره‌ی آن در فصل‌های خشک و مرطوب تغییرات زیادی دارد و در بیش‌تر جاها در اواخر تابستان و اوایل پاییز ناپدید می‌شود.
  - پهنه‌ی مرطوب که سطحی در حدود ۲۲ درصد می‌پوشاند.
  - پهنه‌ی باتلاقی که ۵۹ درصد از منطقه‌ی مرطوب رازیر پوشش دارد و مرز بالایی آن پهنه‌های سیلتی-رسی است.
- بر اساس آمار و گزارش‌های موجود، در ناحیه‌ی کویری ایران عمدتاً بارش کم و میانگین سالانه‌ی ریزش‌های جوی در بخشی گسترده از هامون جازموریان کم‌تر از ۱۰۰ میلی‌متر و در ارتفاعات، بیش از ۱۵۰ میلی‌متر در سال است. مرتفع‌ترین نقطه در شمال



شکل ۱- محدوده‌ی هاشور زده، سطح دریاچه‌ی مجازی در دو قلمرو مدل سازی اقلیمی (به شکل مربع خط چین)

1- The Air Pollution Modeling

2- Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation

هیدروستاتیک  $\pi_H$  و مولفه غیرهیدروستاتیک  $\pi_N$  محاسبه می‌گردد. هورلی [۱۳] معادله‌های مربوطه به طور خلاصه در ذیل آورده شده است:

(۱) مولفه‌ی  $u$  سرعت باد

$$\frac{du}{dt} = \frac{\partial}{\partial x} \left( K_H \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_H \frac{\partial u}{\partial y} \right) - \frac{\partial \bar{w}'u'}{\partial \sigma} - \theta_v \left( \frac{\partial \pi}{\partial x} + \frac{\partial \pi}{\partial \sigma} \frac{\partial \sigma}{\partial x} \right) + f_v + F(u) - N_s(u - u_s)$$

(۲) مولفه‌ی  $v$  سرعت باد

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\partial}{\partial x} \left( K_H \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_H \frac{\partial v}{\partial y} \right) - \frac{\partial \bar{w}'v'}{\partial \sigma} - \theta_v \left( \frac{\partial \pi}{\partial y} + \frac{\partial \pi}{\partial \sigma} \frac{\partial \sigma}{\partial y} \right) - f_v + F(v) - N_s(v - v_s)$$

(۳) مولفه‌ی  $\sigma$  سرعت عمودی

$$\frac{\partial \sigma}{\partial \sigma} = - \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + u \frac{\partial}{\partial \sigma} \left( \frac{\partial \sigma}{\partial x} \right) + v \frac{\partial}{\partial \sigma} \left( \frac{\partial \sigma}{\partial y} \right)$$

(۴) معادله‌ی دمای واقعی پتانسیل

$$\frac{d\theta_v}{dt} = \frac{\partial}{\partial x} \left( K_H \frac{\partial \theta_v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_H \frac{\partial \theta_v}{\partial y} \right) - \frac{\partial \bar{w}'\theta_v'}{\partial \sigma} + S_{\theta_v} + F(\theta_v) - N_s(\theta_v - \theta_{vs})$$

(۵) مولفه‌ی تابع فشار

$$\frac{\partial \pi_H}{\partial \sigma} = - \frac{g}{\theta_v} \left( \frac{\partial \sigma}{\partial z} \right)^{-1}$$

پارامترهای استفاده شده در معادله‌های ذکر شده عبارتند از:

$t$  = زمان

$x, y, \sigma$  = مولفه‌های سیستم مختصات به متر

$$\sigma = ZT \left( \frac{Z - Z_s}{ZT - Z_s} \right)$$

$Z$  = مختصات عمودی کارترین

$ZT$  = ارتفاع از سطح مدل (متر)

$Z_s$  = ارتفاع سطح خشکی (متر)

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{\partial \phi}{\partial t} + u \frac{\partial \phi}{\partial x} + v \frac{\partial \phi}{\partial y} + \sigma \frac{\partial \phi}{\partial \sigma}$$

$ZH$  = ضریب انتشار افقی

$W'\phi'$  = شار عمودی  $\phi$

$F(\phi)$  = فیلتر افقی پارامتر  $\phi$

$f$  = پارامتر کریولیس  $(4\pi_c \sin(\text{lat}) / (24 \times 3600))$

$\pi_c = 3, 14159265$

$\text{lat}$  = عرض جغرافیایی (واحد: درجه)

$u_s, v_s, \theta_{vs}$  = دمای واقعی پتانسیل و بادهای سینوپتیکی مقیاس

بزرگ

$N_s$  = ضریب اریب شدگی معادل  $(1/(24 \times 3600))$

$T$  = دما (واحد: کلون)

$g$  = ثابت جاذبه زمین  $(9.81 \text{ متر بر مجذور ثانیه})$

$\lambda$  = گرمای نهان تبخیر آب  $(2.5 \times 10^6 \text{ Jkg}^{-1})$

$C_p$  = گرمای ویژه در فشار ثابت  $(1006 \text{ Jkg}^{-1} \text{ K}^{-1})$

**ارزیابی مدل اقلیمی**

به منظور ارزیابی درستی نتایج به دست آمده از مدل به کار برده شده در تعیین مقادیر اقلیمی منطقه و برآورد داده‌ها در نقاط فاقد آمار

از شاخص‌های آماری همچون شاخص‌های ریشه‌ی میانگین مربعات خطا (RMSE)، سیستماتیک ریشه‌ی میانگین مربعات خطا (RMSEs)، غیرسیستماتیک ریشه‌ی میانگین مربعات خطا (RMSEu)، ضریب همبستگی (CORR) و شاخص هماهنگی (IOA) استفاده شد (جدول ۱).

حداقل شاخص همبستگی و هماهنگی عدد صفر و حداکثر این دو شاخص با عدد یک (صد درصد) نشان داده شده است. اختلاف مابین داده‌های مشاهداتی با خروجی مدل می‌تواند از موارد ذیل حاصل شده باشد:

۱- ابعاد مربع‌های شبیه‌سازی مدل دارای پارامترهای اقلیمی میانگین برای کل مساحت این مربع‌ها هستند و با داده‌های نقطه‌ای یک ایستگاه سینوپتیک با موقعیت جغرافیایی مشخص، متفاوت است و مقایسه ضریب همبستگی و هماهنگی آنها اختلافاتی را نشان می‌دهد.

۲- برداشت داده‌های مشاهداتی در برخی موردها با خطا همراه هستند. برای مثال در طبیعت و مدل نرم‌افزاری، روز آرام کامل با سرعت باد صفر بسیار نادر است، ولی در داده‌های مشاهداتی سرعت باد ثبت شده در تمام این ایستگاه‌ها، ساعتی از شبانه روز با عدد صفر گزارش شده است و بر اساس راهکار، سرعت باد کم‌تر از ۲ گره به عنوان روز آرام و با عدد صفر گزارش می‌شود.

۳- تفاوت میان داده‌های ارتفاعی، پوشش گیاهی و نوع خاک مورد استفاده در مدل با واقعیت طبیعی منطقه موجب بروز برخی اختلاف محاسباتی شده است.

۴- خطای سیستمی مرتبط با تعریف پارامترهای شبیه‌سازی در معادلات مدل TAPM

جدول ۱- معادله‌های شاخص‌های آماری ارزیابی مدل اقلیمی

توضیح	فرمول	شاخص آماری
میانگین داده‌های مشاهده‌ای $O_i$ بیانگر داده‌ی مشاهده‌ای	$O_{avg} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N O_i$	میانگین داده‌های مشاهده‌ای
میانگین داده‌ی پیش‌بینی $P_i$ بیانگر داده‌ی پیش‌بینی شده	$P_{avg} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i$	میانگین داده‌های پیش‌بینی شده
انحراف معیار مشاهده‌ای	$O_{std} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (O_i - O_{avg})^2}$	انحراف معیار مشاهده‌ای
انحراف معیار پیش‌بینی	$P_{std} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (P_i - P_{avg})^2}$	انحراف معیار پیش‌بینی
ریشه‌ی میانگین مربعات خطا	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}$	ریشه‌ی میانگین مربعات خطا
سیستماتیک ریشه‌ی میانگین مربعات خطا	$RMSEs = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{P}_i - O_i)^2}$	سیستماتیک ریشه‌ی میانگین مربعات خطا
غیرسیستماتیک ریشه‌ی میانگین مربعات خطا	$RMSEu = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - \hat{P}_i)^2}$	غیرسیستماتیک ریشه‌ی میانگین مربعات خطا
شاخص هماهنگی	$IOA = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N ( P_i - O_{avg}  +  O_i - O_{avg} )^2}$	شاخص هماهنگی

۵- نرم افزارهای مدل اقلیمی در حالت های فرا عادی برآورد کمتری نشان می دهند و در آمارگیری کلی، ضریب همبستگی و شاخص هماهنگی پایین تری به نمایش می گذارند.

به منظور ارزیابی این مدل، دو قلمرو شبیه سازی ۳۵ در ۳۵ سلولی با ابعاد ۴۰ و ۲۰ کیلومتری، شرق و جنوب شرقی ایران بر اساس شکل (۱) تعریف گردید. گستره ی قلمروهای مدل با توجه به عناصر اقلیمی موثر بر منطقه از جمله سلسله جبال هندوکش، خلیج فارس و دریای عمان تعیین شد. در قلمرو ۲۰ کیلومتری از ۹ ایستگاه سینوپتیک کرمان، بم، بندرعباس، خاش، چابهار، سراوان، زابل، زهک و زاهدان انتخاب گردیدند و داده های ۳ ساعته ی ثبت شده ی ایستگاه ها در ۳۰ روز دو ماه میلادی ژانویه و ژوئن سال ۲۰۰۳ و ۲۰۰۶ در مدل شبیه سازی انجام شد.

### طرح واره های پژوهش

بررسی تاثیر اقلیمی وجود و نبود دریاچه پر از آب در چاله ی جازموریان با چهار طرح واره (سناریو) تعریف شد که جهت تشخیص تاثیر مستقیم دریاچه از دیگر عناصر اقلیمی، یک بار با حذف شرایط سینوپتیک حاکم بر منطقه و بار دیگر با توجه به شرایط سینوپتیکی منطقه، داده های مورد نیاز این مدل در ۴ طرح واره تنظیم

و مدل اجرا شد. طرح واره ی شماره ی ۱ وضعیت کنونی منطقه و اختلاف دو طرح واره ی شماره ی ۲ و ۴ تاثیر مستقیم آب دریاچه در اقلیم منطقه را نشان می دهد:

۱- طرح واره ی "چاله بدون آب با شرایط سینوپتیک" ۱- که در حال حاضر چاله ی جازموریان با خشک شدن آب آن در چنین وضعیتی قرار دارد.

۲- طرح واره ی "چاله بدون آب و بدون سینوپتیک" ۲- چاله ی جازموریان بدون آب و حذف شرایط سینوپتیک حاکم بر منطقه

۳- طرح واره ی "چاله پر از آب و با شرایط سینوپتیک" ۳- از ارتفاع ۳۵۱ متری کف چاله ی جازموریان تا ارتفاع ۵۰۰ متری به مساحت ۲ میلیون هکتار به گونه ی فرضی پر از آب و ایجاد دریاچه ی فرضی می شود.

۴- طرح واره ی "چاله پر از آب و بدون سینوپتیک" ۴- چاله ی جازموریان با دریاچه ی مجازی و بدون شرایط سینوپتیکی و دینامیک جوی منطقه

### نتایج پژوهش

در شبیه سازی آمار ۹ ایستگاه سینوپتیک با داده های ۳ ساعته ی ثبت شده ی ایستگاهها در ۳۰ روز دو ماه میلادی ژانویه و ژوئن سال

جدول ۲- ارزیابی خروجی مدل با داده های مشاهداتی

رطوبت نسبی (درصد)		سرعت باد (درصد)		دما (به درصد)		ایستگاه
IOA	CORR	IOA	CORR	IOA	CORR	
۷۶	۶۰	۶۰	۵۰	۹۵	۹۰	بم
۷۷	۷۲	۵۶	۴۶	۷۴	۸۳	بندرعباس
۸۳	۷۳	۵۹	۵۷	۷۳	۷۸	چابهار
۷۲	۵۳	۶۷	۵۱	۷۵	۷۷	کرمان
۷۳	۶۴	۶۱	۶۴	۸۱	۸۸	زابل
۴۵	۵۰	۵۷	۵۲	۷۴	۷۶	زهک
۷۷	۷۳	۷۰	۵۴	۹۴	۹۱	خاش
۷۲	۸۰	۷۱	۶۴	۹۴	۹۰	سراوان
۸۱	۷۵	۶۷	۴۶	۸۹	۸۴	زاهدان
۷۳	۶۶	۶۳	۵۴	۸۳	۸۴	میانگین

1- No Lake With Synoptic

2- No Lake With Synoptic

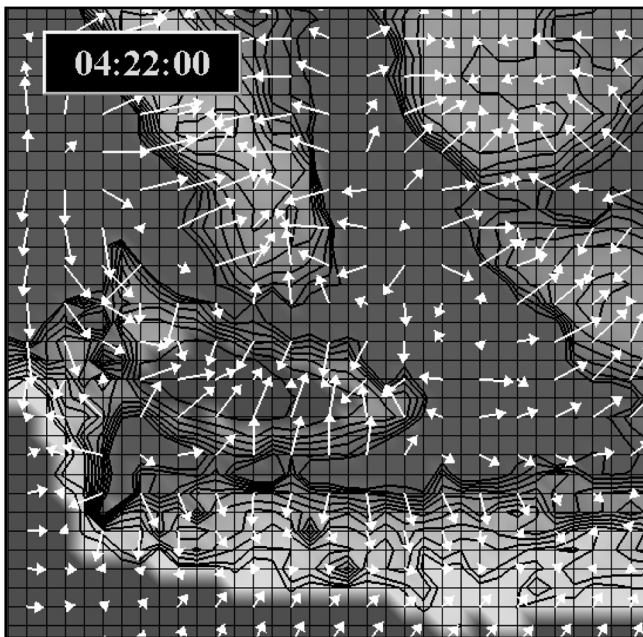
3- With Lake With Synoptic

4- With Lake No Synoptic

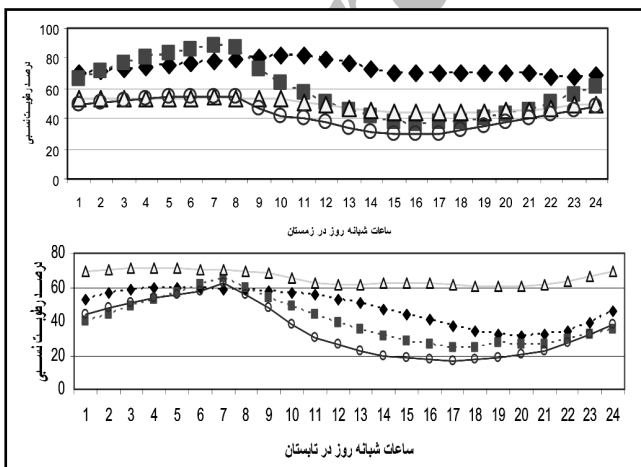
## نتیجه‌گیری

در تعیین و تحلیل طرح‌واره‌های این پژوهش دو دیدگاه کلی مدنظر بوده است. نخستین دیدگاه حذف شرایط سینوپتیکی منطقه است تا بتوان عامل اقلیمی دریاچه را به طور مجزا بررسی نمود. دومین دیدگاه بررسی وضعیت اقلیمی با شرایط سینوپتیکی است که به همراه عامل اقلیمی دریاچه، تاثیر توأمان شرایط سینوپتیکی لحاظ خواهد شد. برخی از تحلیل‌های این پژوهش در جدول (۳) آورده شده است و می‌توان برخی از نتایج طرح‌واره‌های شماره‌ی (۱) و (۳) با شرایط سینوپتیکی و دینامیک جوی را در موردهای زیر خلاصه نمود:

● نوسانات دمایی در زمستان، به طور میانگین  $6/5^{\circ}\text{C}$  افزایش خواهد داشت و از  $11/5^{\circ}\text{C}$  به  $18^{\circ}\text{C}$  افزایش می‌یابد و در تابستان،



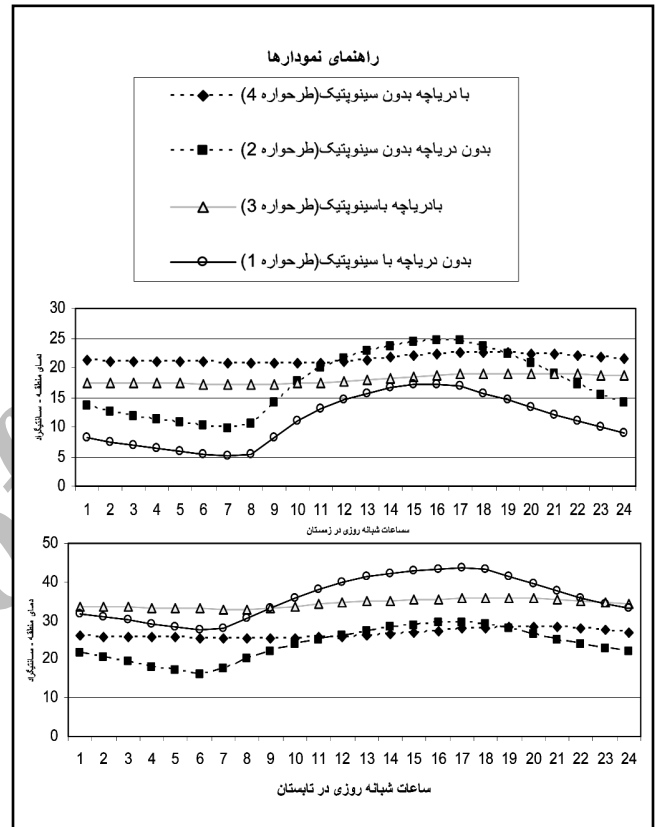
شکل ۵- سطح دریاچه مجازی به همراه الگوی جهت و سرعت باد در ساعت ۲۲ روز چهارم طرح‌واره‌ی شماره‌ی (۴) را با حذف شرایط سینوپتیکی منطقه نمایش می‌دهد.



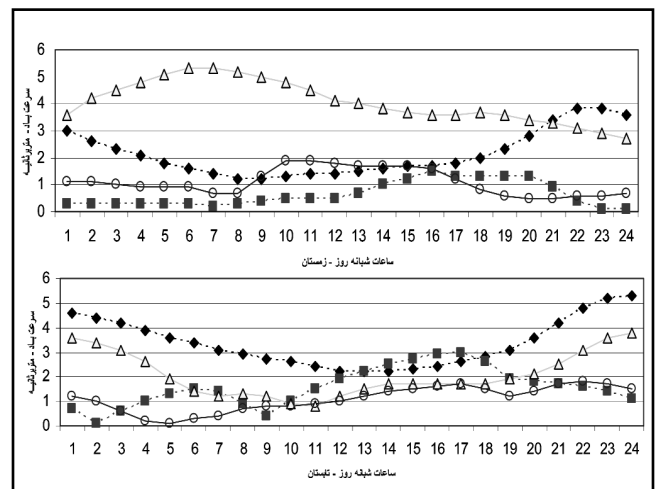
شکل ۶- نمودار رطوبت نسبی در طرح‌واره

۲۰۰۳ و ۲۰۰۶، میانگین ضریب همبستگی (CORR) و شاخص هماهنگی (IOA) میان داده‌های شبیه‌سازی با داده‌های مشاهداتی در جدول (۲) نشان داده شده است.

در دو مقطع زمانی زمستانی و تابستانی با ارتفاع ۱۰ متری بالای سطح دریاچه فرضی، پس از اجرای مدل با چهار طرح‌واره و استخراج ارقام خروجی از مدل اقلیمی، نمودارهای تعبیرات دمایی (شکل ۳)، نوسانات سرعت باد (شکل ۴) و رطوبت نسبی (شکل ۶) ترسیم گردید.



شکل ۳- نمودار دمای منطقه در طرح‌واره



شکل ۴- نمودار سرعت باد در طرح‌واره

جدول ۳- نتایج به دست آمده از بررسی ارقام خروجی طرح واره های مدل

با شرایط سینوپتیکی (مقایسه ی طرح واره ی ۱ و ۳)	بدون شرایط سینوپتیکی (مقایسه ی طرح واره ی ۲ و ۴)	روی سطح آب دریاچه	
نوسان های دمایی به طور میانگین $6/5^{\circ}\text{C}$ افزایش خواهد داشت و از $11/5^{\circ}\text{C}$ به $18^{\circ}\text{C}$ افزایش می یابد. در ساعات شبانه به $12^{\circ}\text{C}$ و در میانه های روز تا بیشینه $2^{\circ}\text{C}$ است.	افزایش دمای تا حدود ۸ در ساعات شبانگاهی تا $10^{\circ}\text{C}$ صبح و کاهش ۳ در میانه های روز تا $17$ بعد از ظهر رخ خواهد داد.	مقطع زمانی زمستانی	دمای منطقه
نوسانات دمایی به طور میانگین $1/6^{\circ}\text{C}$ کاهش خواهد داشت و از $36^{\circ}\text{C}$ به $34/4^{\circ}\text{C}$ کاهش می یابد. شبانگاهان به $1^{\circ}\text{C}$ و در میانه های روز کاهش دما تا بیشینه $4^{\circ}\text{C}$ است.	افزایش $5^{\circ}\text{C}$ در شب هنگام تا پیش از ظهر و کاهش یک درجه سانتیگراد در میانه های روز رخ خواهد داد.	مقطع زمانی تابستانی	
افزایش میانگین سرعت باد حدود $2/9\text{ m/s}$ است که از سرعت باد $1/1\text{ m/s}$ به سرعت $4\text{ m/s}$ افزایش خواهد یافت. افزایش در ساعات شبانگاهی با $4\text{ m/s}$ و در ساعات بعد از ظهر $1/5\text{ m/s}$ خواهد بود.	افزایش میانگین سرعت باد حدود $1/5\text{ m/s}$ خواهد بود که در ساعات شبانگاهی $2/5\text{ m/s}$ و در ساعات بعد از ظهر $0/5\text{ m/s}$ خواهد بود	مقطع زمانی زمستانی	سرعت باد
افزایش میانگین سرعت باد حدود $1\text{ m/s}$ است که از $1/5$ به $2/5$ متر بر ثانیه تغییر می یابد. در زمان شبانگاهی با $2\text{ m/s}$ افزایش و در ساعات بعد از ظهر تغییرات محسوسی مشاهده نمی شود.	به طور میانگین افزایش حدود $1/8\text{ m/s}$ و افزایش در ساعات شبانگاهی $3/5\text{ m/s}$ و کاهش سرعت باد به میزان $0/5\text{ m/s}$ در ساعات بعد از ظهر	مقطع زمانی تابستانی	
$6/5$ درصد رطوبت افزایش می یابد (از $43$ به $49/5$ درصد) که در ساعات شبانگاهی تغییر رطوبتی دیده نمی شود و در ساعات روز، افزایش $5$ تا $8$ درصد است.	به طور میانگین افزایش $15$ درصدی که در ساعات شبانگاهی کاهش تا $5$ درصد و در ساعات روزانه با افزایش $20$ درصد همراه است.	مقطع زمانی زمستانی	رطوبت نسبی
میانگین افزایش رطوبت نسبی $30$ درصد خواهد بود که از $35$ درصد به $65$ درصد افزایش می یابد و در ساعات شبانه حدود $20$ درصد و بعد از ظهرها تا $40$ درصد افزایش نشان می دهد.	به طور میانگین افزایش $8$ درصدی دیده می شود که در شب $2$ درصد و در ساعات روز با افزایش $10$ درصد مشاهده می شود.	مقطع زمانی تابستانی	

زمستان در حدود  $16$  و در تابستان در حدود  $5$  درصد کاهش خواهد داشت.

● مدل نرم افزاری TAMP در شبیه سازی پارامترهای اقلیمی دما، سرعت باد و رطوبت نسبی منطقه در ضریب همبستگی به ترتیب  $83$ ،  $54$  و  $66$  درصد و شاخص هماهنگی با  $83$ ،  $63$  و  $73$  درصدی صحت ارزیابی داشته است و با توجه به نتایج به دست آمده از مدل های اقلیمی، این آمار در حد قابل قبول ارزیابی گردید.

### منابع

- ۱- آزادی، م.، رضازاده، پ.، میرزایی، ا. و وکیلی، غ. ۱۳۸۲. پیش بینی عددی سیستم های زمستانی در ایران: مطالعه ی مقایسه ای پارامتری سازی های فیزیکی، هشتمین کنفرانس دینامیک شاره ها، دانشگاه تبریز، تبریز، ۱۳ ص.
- ۲- باباییان، ا.، کریمیان، م.، مدیریان، ر. و حبیبی نوخندان، م. ۱۳۸۶. شبیه سازی بارش ماههای سرد سال های  $1376$  و  $1379$

به طور میانگین  $1/6^{\circ}\text{C}$  کاهش خواهد داشت و از  $36^{\circ}\text{C}$  به  $34/4^{\circ}\text{C}$  می رسد.

● میانگین سرعت باد در زمستان حدود  $2/9\text{ m/s}$  افزایش نشان می دهد و از سرعت باد  $1/1\text{ m/s}$  به سرعت  $4\text{ m/s}$  افزایش خواهد یافت. در تابستان، افزایش میانگین سرعت باد حدود  $1\text{ m/s}$  است که از  $1/5$  به  $2/5$  متر بر ثانیه تغییر می یابد.

● رطوبت نسبی در زمستان  $6/5$  درصد افزایش می یابد که به طور میانگین از  $43$  درصد به  $49/5$  درصد خواهد رسید و در تابستان، میانگین افزایش رطوبت نسبی  $30$  درصد خواهد بود که از  $35$  درصد به  $65$  درصد می رسد.

● تاثیر گذاری شرایط سینوپتیکی و دینامیک جوی در اقلیم منطقه با مقایسه ی طرح واره ی شماره ی (۱) و (۲) انجام می گیرد که این مقایسه نشان می دهد دمای منطقه در زمستان  $6/5^{\circ}\text{C}$  کاهش و در تابستان  $12/5^{\circ}\text{C}$  افزایش خواهد داشت. سرعت باد در زمستان و تابستان در حدود  $0/5$  متر بر ثانیه افزایش می یابد و رطوبت نسبی در

- 11- Barlow, M., Cullen, H., Lyon, B. 2001. Drought in Central and Southwest Asia: La Nina, the warm pool & Indian Ocean precipitation, International Research Institute for Climate Prediction, New York, pp 15.
- 12- Darmenova, K., Sokolik, I. N. 2006. Assessing uncertainties in dust emission in the Aral Sea region caused by meteorological fields predicted with a mesoscale model, *Global and Planetary Change* 56, 297-310.
- 13- Hurley, P. 2008. The Air Pollution Model (TAPM) Version 4. Part 1: technical description. CSIRO Atmospheric Research Technical Paper No. 55.
- 14- Hurley, P. 2008. The Air Pollution Model (TAPM) Version 4. User manual, CSIRO Atmospheric Research Internal paper No. 31.
- 15- Krinsley, D.H. 1970. A geomorphological & paleoclimatological study of the playas of Iran. USGS Final Scientific Report, Contract, PROCP 70-800, US Air Force Cambridge Research Laboratories, Hanscom field, Beld for Massachusetts (2 volume).
- 16- Zawar-Reza, P., Kingham, S., Pearce, J. 2005. Evaluation of a year-long dispersion modelling of PM10 using the mesoscale model TAPM for Christchurch, New Zealand, *Science of the Total Environment*, vol. 349, pp. 249-259.
- 17- Zawar-Reza, P., Titov, M., Azizi, G., Bidokhti, A. and Soltanzadeh, I. 2007. long term simulation of mesoscale flow and air pollution dispersion over Tehran, part1: low-level flow features. Conference on urban air quality, 27-29 March 2007, p7-10.
- با استفاده از مدل اقلیمی RegCM3، جغرافیا و توسعه، شماره ۱۰، صص ۷۲-۵۵.
- ۳- دانش کارآراسته، پ. ۱۳۸۳. توسعه ی یک مدل توزیعی برآورد تبخیر منطقه ای با بهره گیری از فنون سنجش از دور (مطالعه موردی دریاچه هامون)، رساله ی دکتری مهندسی آبیاری، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۴- شرکت سهامی آب منطقه ی سیستان و بلوچستان. ۱۳۸۱. گزارش سیمای آب دشت سیستان، معاونت پژوهش و مطالعات پایه ی منابع آب.
- ۵- خسروتهرانی، خ. و درویش زاده، ع. ۱۳۶۳. زمین شناسی ایران، مراکز تربیت معلم، تهران.
- ۶- فرزاد، ه. ۱۳۴۶. پروژه دریاچه های کویری ایران و پروژه ی تولید نیروی برق از جزر و مد دریا در تنگه ی هرمز، چاپخانه ی کیهان، تهران.
- ۷- کاردان، ر.، عزیزی، ق. و زواررضا، پ. ۱۳۸۶. روند بیابان زایی در ایران (مطالعه موردی: دشت سیستان در جنوب شرق ایران)، چهارمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، مدیریت حوزه های آبخیز، دانشکده ی منابع طبیعی دانشگاه تهران، صص ۲۳۳.
- ۸- گندمکار، ا. ۱۳۸۵. بررسی سینوپتیک انرژی باد در منطقه ی سیستان، پایان نامه ی دکتری رشته ی اقلیم شناسی دانشگاه اصفهان، اصفهان.
- 9- Ahmadi Givi, Farhang, P. Irannejad & I. Soltanzadeh, 2005, A Study of the effects of Zagros mountain range on mesoscale westerly currents using RegCM. The first Iran-Korea joint Workshop on Climate Modeling, November 16-17 2005, pp 137-139.
- 10- Agrawala, S., Barlow, M., Cullen, H. and Lyon, B. 2001. The Drought and Humanitarian Crisis in Central and Southwest Asia: A Climate Perspective, International Research Institute for Climate Prediction (IRI), New York, pp24.