

## بررسی تأثیرات ارتفاعات زاگرس بر چرخه عمر سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس غرب ایران

داریوش یاراحمدی<sup>۱</sup> - دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران  
سعید بساطی - دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران  
پهروز نصیری - استادیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران  
سمیه رفعتی - استادیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه جمال‌الدین اسدآبادی، اسدآباد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۲ تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۲/۱۹

### چکیده

در ایران موضوع وقوع مخاطرات طبیعی به‌ویژه سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس به علت افزایش تهدیدها و خسارات ناشی از آن‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. بدین منظور چرخه عمر سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس غرب ایران در دوره زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۵ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و شاخص تغییرات مساحت و آستانه‌های دمایی درخشندگی ۲۲۴ و ۲۴۲ کلوین شناسایی گردید. با توجه به اینکه اگر سامانه‌ای از اشتقاق به وجود بیاید یا با ادغام خاتمه یابد، تشخیص مراحل چرخه عمر آن غیرممکن است؛ لذا سامانه‌هایی انتخاب شدند که بدون رخداد ادغام یا اشتقاق بودند. بنا بر اهمیت سامانه همرفتی میان‌مقیاس روز هفتم و هشتم دسامبر ۲۰۰۱، چرخه عمر و شرایط دینامیک سیکل زندگی آن به‌صورت موردی بررسی گردید و تأثیرات ارتفاعات زاگرس بر چرخه عمر آن از طریق مدل RegCM4 مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد قابلیت آشکارسازی اثر ارتفاعات بر چرخه عمر سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس دارد. در اجرای مرجع مراکز از کمیت‌های تاوایی، همگرایی-واگرایی و سرعت قائم در زاگرس و غرب آن تشکیل که باعث بارش در این منطقه شده است. در مقابل در اجرای بدون کوهستان این مراکز به‌هم‌خورده و هسته بارش به شرق ارتفاعات زاگرس جابجا شده است؛ به‌گونه‌ای که سامانه در مرحله بلوغ تضعیف و در مرحله زوال، دشت‌های مرکزی ایران از بارش بیشتری برخوردار بوده‌اند. همچنین الگوی میدانی کمیت‌ها از الگوی ناهمواری‌ها تبعیت کرده است.

**کلیدواژه‌ها:** سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس، چرخه عمر، غرب ایران، دمایی درخشندگی.

## ۱. مقدمه

کوهستان‌ها از منابع مهم تلاطم و تغییر شکل جریانات جوی می‌باشند و می‌توانند باعث جریان صعود هوا، همچنین عامل شکل‌گیری ابرها و باران از طریق مکانیسم‌های تولیدی مانند تراکم سراسری بالایی و شروع همرفت باشند. همچنین آن‌ها تأثیر مهمی در تلاطم بارش منطقه‌ای و جهانی دارند (بانتا<sup>۱</sup>، ۱۹۹۰: ۲۸۳؛ بارز و مایر<sup>۲</sup>، ۱۹۹۴: ۲۶۵) و می‌توانند باعث ایجاد رخداد‌های حدی مانند سیل مخرب شوند (پاستور و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۰: ۱۳۳۱).

تاکنون محققان در پژوهش‌های زیادی اقلیم و آب‌وهوای مناطق کوهستانی و علل رخداد بارش‌ها را با استفاده از روش‌های مختلف مانند مدل‌های عددی هوا و تصاویر ماهواره‌ای و غیره مورد مطالعه قرار داده‌اند. ونگ و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۰۲: ۱۷۲۱) بارش‌های سیل‌آسای تابستان سال ۱۹۹۸ چین را با استفاده از مدل RegCM شبیه‌سازی کردند و به مقایسه نتایج آن با داده‌های دیده‌بانی شده پرداختند. بیشترین خطای شبیه‌سازی بارش در سه ماه می، ژوئن و ژوئیه مربوط به ماه می با ۴۴ درصد آریبی مثبت در جنوب چین، ۲۰ درصد در حوضه رودخانه یانگ تسه و ۶۴ درصد در شمال چین محاسبه شد. احمدی گیوی و همکاران (۲۰۰۵: ۱۳۷) با استفاده از مدل منطقه‌ای اقلیمی RegCM، نقش رشته‌کوه‌های زاگرس را بر سامانه‌های جوی را در بازه‌ای چهارماهه (از اول دسامبر ۱۹۹۸ تا پایان مارس ۱۹۹۹) بررسی کرده‌اند. با حذف رشته‌کوه، میزان بارش در مناطق مرکزی و شرقی ایران افزایش می‌یابد، اما مقدار آن در کل محدوده شبیه‌سازی ثابت می‌ماند. اینسل و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۰۹: ۱۴۳) با استفاده از مدل RegCM تأثیر کوهستان آند را بر همرفت، بارش و انتقال رطوبت در منطقه آمریکای جنوبی مورد بررسی قرار داده‌اند. آن‌ها در این تحقیق نشان دادند که کوهستان آند تأثیرات زیادی بر انتقال رطوبت بین حوزه آمازون و آند مرکزی، فرایندهای همرفت عمیق و بارش در سراسر آمریکای جنوبی از طریق رودباد سطح پایین و انسداد توپوگرافیکی از اقیانوس آرام دارد. حجازی زاده و همکاران (۱۳۹۳: ۴۵) سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس طی ساعات بارشی و رخداد پدیده‌های مرتبط با همرفت، بر اساس آستانه‌ی دمایی ۲۲۸ درجه کلونین، آستانه‌ی بیشینه مساحت ده هزار کیلومتر مربع و آستانه‌ی طول عمر ۳ ساعت، شناسایی کرده‌اند. یافته‌های این تحقیق نشان داد، بیشترین تعداد در ماه دسامبر (۵۴ مورد) رخ داده است و از نظر فراوانی سال ۲۰۰۴ بیشترین سامانه همرفتی رخ داده است. مدیریان و همکاران (۱۳۸۴: ۱۰۷) با بررسی موردی بارش‌های تابستانه سال ۱۹۹۵ نشان دادند که شبیه‌سازی بارش‌های تابستانه جنوب شرق ایران با استفاده از طرح‌واره امانوئل، پاسخ بهتری در مقایسه با سایر طرح‌واره‌های بارش همرفتی دارد. سلطان‌زاده و همکاران (۱۳۸۶: ۳۱) نشان دادند که با حذف رشته‌کوه زاگرس در مدل

1 Banta

2 Barros and maier

3 pastor et al

4 Wang et al

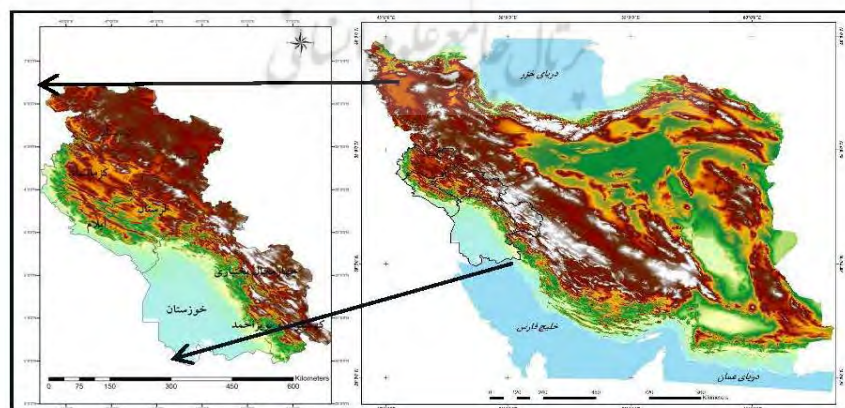
5 Insel et al

RegCM3، میانگین بارش در مناطق مرکزی و شرق ایران افزایش می‌یابد، ولی میزان بارش در کل محدوده شبیه‌سازی شده تقریباً ثابت می‌ماند. مدیران و همکاران هم‌چنین در پژوهش دیگری (۱۳۸۸: ۱۰۷) تحت عنوان پیکربندی بهینه مدل RegCM3 برای شبیه‌سازی بارش و دما در فصل پاییز منطقه خراسان ثابت کردند که کمترین میانگین آریبی فصلی نسبت به بارش واقعی به میزان ۷/۱- میلی‌متر در طرح‌واره کو وجود دارد. تاج‌بخش و همکاران (۱۳۸۸: ۱۴۷) ضمن بررسی الگوهای بزرگ‌مقیاس جو در بررسی‌های موردی، با تحلیل برخی از مهم‌ترین خروجی‌های مدل منطقه‌ای MM5 با درجه تفکیک ۳۵ کیلومتر برای پیش‌بینی توفان تندر، از آن‌ها در درخت تصمیم‌گیری استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که شاخص‌های بزرگ‌مقیاس وقوع توفان تندر مشابه غالب ناپایداری‌های جوی است و پیش‌بینی این پدیده نیازمند اجرای مدل‌های میان‌مقیاس است.

بررسی پژوهش‌های مذکور نشان داد که تاکنون شرایط و ویژگی‌های سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس و تأثیرپذیری چرخه عمر آن‌ها از ارتفاعات مورد مطالعه قرار نگرفته است. از طرفی رشته‌کوه زاگرس واقع در غرب فلات ایران، از جمله رشته‌کوه‌های وسیعی است که با گستره شمالی-جنوبی خود در مسیر جریان‌های مداری قرار دارد و می‌تواند آن‌ها را تحت تأثیر قرار دهد. بدین منظور بررسی علل تأثیر متفاوت سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس از ارتفاعات زاگرس و تحلیل شرایط دینامیک چرخه عمر آن‌ها با استفاده از آستانه دمای درخشندگی، شاخص تغییرات مساحت (B) و مدل عددی RegCM4 اهداف اصلی این پژوهش می‌باشد.

## ۲. منطقه مورد مطالعه

چون سامانه‌ها در خارج از ایران شکل گرفته‌اند؛ لذا مشخصات جغرافیایی محدوده مورد مطالعه از ۲۳ تا ۳۹ درجه عرض شمالی و از ۳۸ تا ۵۹ درجه طول شرقی پوشش می‌دهد. قلمرو اصلی این پژوهش مساحت ۲۲۰۰۰۰ کیلومترمربعی محدوده غرب کشور را دربرمی‌گیرد که شامل استان‌های کرمانشاه، کردستان، همدان، لرستان، خوزستان، کهگیلویه و بویراحمد، ایلام و چهارمحال بختیاری می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱ منطقه مورد مطالعه

## ۳. مواد و روش‌ها

با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس شناسایی و چرخه عمر آن‌ها شناسایی گردید. تصاویر مورد استفاده در این تحقیق محصولات دمای درخشندگی حاصل از باند مادون قرمز ماهواره‌های زمین آهنگ متئوست، GOES و GMS می‌باشد. در این پژوهش برای شناسایی سامانه‌های همرفتی بر اساس پیشنهاد مورل و سنسی<sup>۱</sup> (۲۰۰۲: ۱۹۵۳) از آستانه مساحت ۱۰۰۰ کیلومتر مربع استفاده شد و سامانه‌هایی به‌عنوان MCSs انتخاب شدند که مساحتی بیش از ۱۰۰۰۰ کیلومتر مربع (در مرحله بلوغ) و طول عمری بیش از ۶ ساعت داشته‌اند.

با توجه به اینکه اینوی و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۰۹: ۳۸۱) اثبات کردند که اگر از یک آستانه سردتر یا گرم‌تر استفاده کنیم ممکن است هم مرحله شروع و هم مرحله پایانی همرفت عمیق چرخه عمر را نشان ندهد. هم‌چنین مورل و سنسی (۲۰۰۲: ۱۹۵۳) نتیجه‌گیری نمودند که مسیرهای به‌دست آمده در هر آستانه دمایی بین ۲۴۳ تا ۲۴۳ کلوین دقیق است؛ در نتیجه در این پژوهش از آستانه‌های دمای درخشندگی ۲۲۴ و ۲۴۳ کلوین (فوتیان و جنیو<sup>۳</sup>، ۲۰۰۷: ۵۰۴۳؛ ولاسکو و فرتیچ<sup>۴</sup>، ۱۹۸۷: ۹۶۱۳) برای شناسایی و تحلیل مراحل چرخه عمر سامانه‌ها استفاده شد. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های ایستگاهی تلاش شد روزهایی برای این مطالعه انتخاب شود که طی آن سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاسی تشکیل شده باشند که بدون رخداد ادغام یا اشتقاق مراحل چرخه عمر خود را گذرانده‌اند؛ علت انتخاب چنین سامانه‌هایی با این شرایط این است که سامانه‌ای که از تقسیم به وجود بیاید یا با ادغام خاتمه یابد تشخیص مراحل چرخه عمر آن سخت و تا حدودی غیرممکن است (فوتیان و جنیو، ۲۰۰۷: ۵۰۴۱؛ سیلوا دیاس و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۰۲: ۸۰۷۲). پس از انتخاب سامانه‌ها، در محیط ENVI با استفاده از آستانه دمای درخشندگی ۲۲۴ کلوین سامانه‌های همرفتی شناسایی شدند. با انتقال این سامانه‌ها به محیط GIS با استفاده از شاخص تغییر مساحت (E) که اعتبارسنجی و پایایی آن توسط ویلا و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۰۸: ۲۳۳) تأیید و به اثبات رسیده است مراحل چرخه عمر سامانه شناسایی شد (رابطه ۱).

$$\Delta E = \frac{1}{A} \frac{\delta A}{\delta t} \quad (1)$$

1 Morel and Senesi

2 Inoue et al

3 Futyran and Genio

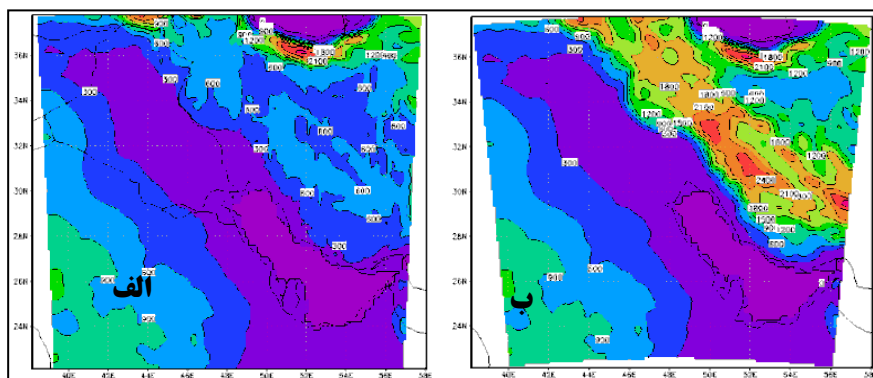
4 Velasco and Fritsch

5 Silva et al

6 Villa et al

که  $A$  مساحت سامانه در زمان داده شده ( $T_{ir} = 224$ ) می باشد. مقادیر مثبت فرایند توسعه و رشد سامانه و مقادیر منفی کاهش اندازه سامانه را نشان می دهد؛ به عبارتی، در شروع زندگی سامانه افزایش مساحت مثبت شدیدی وجود دارد. پس از شناسایی سامانه های همرفتی میان مقیاس غرب ایران، سامانه های همرفتی میان مقیاس روز ۷ و ۸ دسامبر ۲۰۰۱ به دلیل عدم تأثیرپذیری از سایر سامانه های این روز، گستردگی و استقلال سیکل زندگی به عنوان مطالعه موردی انتخاب و مراحل سه گانه چرخه عمر آن با استفاده از آزمون های عددی مدل RegCM4 به تفصیل مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. ساختار داخلی و جزئیات مدل RegCM را ایران نژاد و همکاران (۱۳۸۸: ۱۰۱) و باباییان و همکاران (۱۳۸۶: ۵۵) شرح داده اند. داده های مورد نیاز از داده های دوباره تحلیل شده مرکز ملی پیش بینی های محیطی / مرکز ملی پژوهش های جوی (NCEP/NCAR) و با قدرت تفکیک افقی ۲/۵ درجه اخذ گردید. از آنجا که هدف مطالعه حاضر بررسی اثر زاگرس بر شبیه سازی های مدل است، به منظور نمایش دقیق تر نتایج، این محدوده به شکلی انتخاب شده که مرکز آن با مختصات ۳۲ شمالی و ۴۸ شرقی بر ارتفاعات زاگرس و سامانه های همرفتی میان مقیاس واقع شود (شکل ۱). شبیه سازی ها بر شبکه ای با تفکیک افقی ۱۰ km و گام زمانی ۳۰ ثانیه صورت گرفته است.

ایران نژاد و همکاران (۱۳۸۸: ۱۰۱)، مدیریان و همکاران (۱۳۸۸: ۱۰۷) و باباییان و همکاران (۱۳۸۶: ۵۵) نتیجه گرفتند که بهترین طرح واره برای بارش های همرفتی جنوب غرب و غرب کشور طرح واره کو- آنتس می باشد. در نتیجه در این پژوهش از طرح واره کو با اجراهای مختلف برای بررسی تأثیرات رشته کوه زاگرس بر چرخه عمر سامانه های همرفتی میان مقیاس استفاده شد. در مرحله اول مدل با تمامی داده های واقعی اجرا شد. سپس با توجه به هدف تحقیق، رشته کوه زاگرس و همچنین کوه های مرکزی ایران از داده های توپوگرافی حذف و مدل دوباره اجرا گردید. در بررسی ها، اجرای یکم در حکم اجرای مرجع در نظر گرفته شده و نتایج اجرای دیگر با آن مقایسه شده است. در حذف توپوگرافی از کار زرین (۱۳۸۶: ۵۲) و سلطان زاده (۱۳۸۶: ۳۱) استفاده شده است (شکل ۲). مقایسه نتایج اجرای یکم و دوم می تواند تأثیر توپوگرافی زاگرس بر الگوهای محلی و منطقه ای سامانه های جوی ایران و تغییرات پارامترهای تاوایی، هم گرایی، بارش و سرعت قائم را نشان دهد.



شکل ۲ توپوگرافی مدل الف. اجرای مرجع ب. اجرا پس از حذف رشته کوه زاگرس و کوه‌های مرکزی ایران

#### ۴. بحث و نتایج

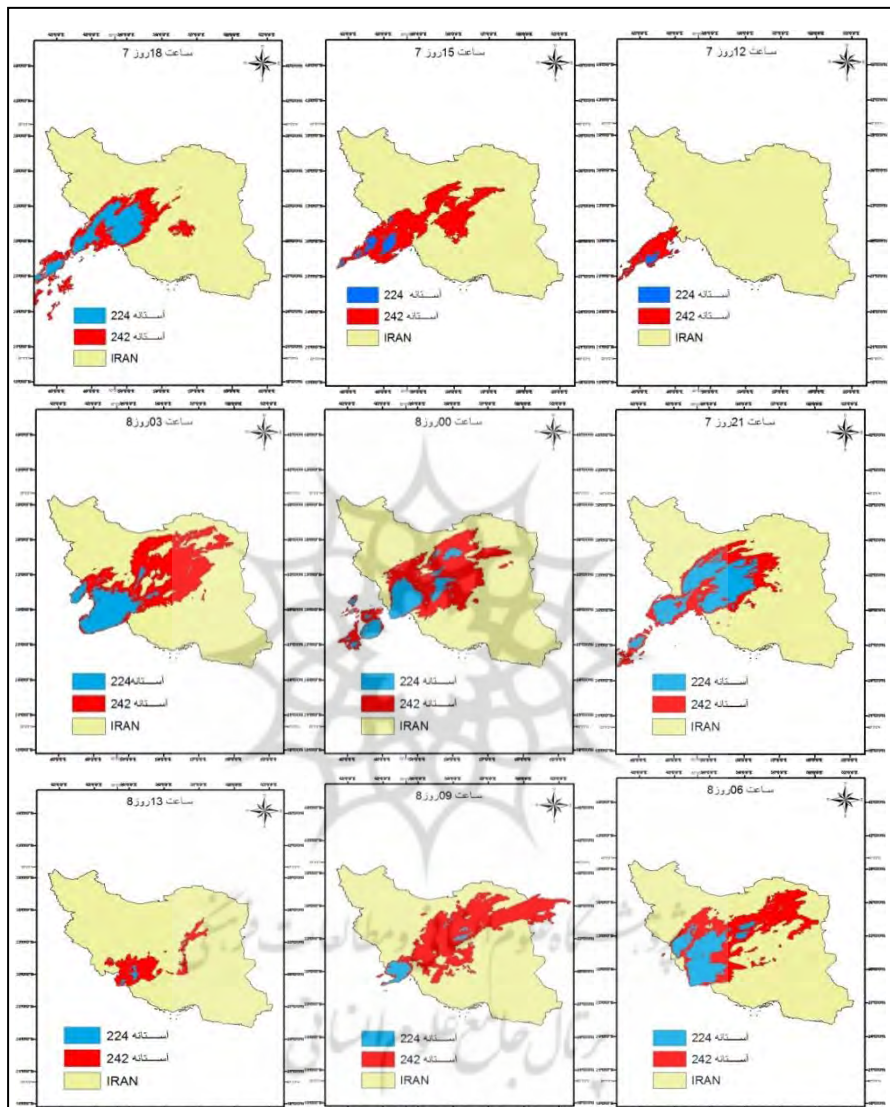
اگرچه سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس مورد مطالعه بدون ادغام و اشتقاق از نظر دامنه گسترش و شدت تفاوت‌هایی با همدیگر داشتند، ولی مکانیسم شکل‌گیری و ویژگی‌های مربوط به پارامترهای رفتاری و چرخه عمر آن‌ها شباهت زیادی باهم نشان می‌دادند. در نتیجه پس از بررسی سامانه‌های بدون ادغام و اشتقاق، سامانه هفتم و هشتم دسامبر ۲۰۰۱ (شانزدهم و هفدهم آذرماه ۱۳۸۰) به دلیل عدم تأثیرپذیری از سایر سامانه‌های این روز به صورت موردی بررسی و در ادامه کار، سیکل زندگی، ویژگی‌ها و شرایط دینامیکی چرخه عمر، هم‌چنین تغییرات سامانه هنگام برخورد با ارتفاعات زاگرس تحلیل شد.

#### الف. شناسایی چرخه عمر

سامانه همرفتی میان‌مقیاس روز هفتم و هشتم دسامبر ۲۰۰۱ در ساعت ۱۵ روز هفتم در جنوب عراق شکل گرفت و از جنوب غرب وارد کشور شده و با مساحت ۲۷۶ هزار کیلومترمربع و جهت جنوب غربی - شمال شرقی و با طول عمر ۱۸ ساعت پس از طی مسیر هشتصد و شصت و سه کیلومتر در ساعت ۹ روز هشتم در برخورد با ارتفاعات زاگرس زوال یافته است.

شکل ۳ چرخه روزانه سامانه همرفتی میان‌مقیاس مذکور برای هر دو آستانه دمای درخشندگی ۲۲۴ و ۲۴۲ کلوین را باهم مقایسه می‌کند. لازم به توضیح است که آستانه ۲۲۴ کلوین سلول‌ها و خوشه‌های همرفتی سردتر احاطه شده در داخل آستانه ۲۴۲ کلوین را نشان داد؛ درحالی که دمای درخشندگی ۲۴۲ کلوین سامانه همرفتی که شامل ابرهای همرفتی و غیرهمرفتی (استراتیفورم) می‌باشد نمایش داد. مساحت سامانه در آستانه دمای درخشندگی ۲۴۳ کلوین (غیر همرفتی) در گذر از زاگرس تغییرات چندانی نداشته است در نتیجه ارتفاعات زاگرس بر سامانه غیر همرفتی تأثیر چندانی نداشته است؛ اما سامانه همرفتی میان‌مقیاس در آستانه ۲۲۴ کلوین با برخورد به ارتفاعات زاگرس تبدیل به دو هسته شده است (ساعت ۲۱ روز ۷ و ۰۰ روز ۸) که هسته جلویی با عبور از زاگرس دچار زوال شده ولی هسته عقبی با برخورد به زاگرس

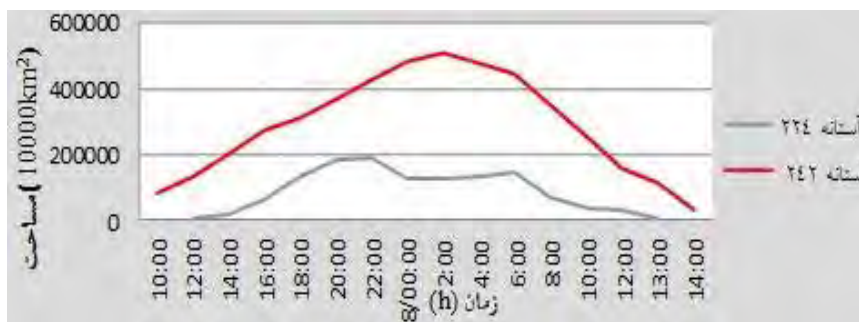
دچار سکون و حتی تقویت شده و مساحتش نیز افزایش یافته است و باعث فعالیت مداوم آن از ساعت ۱۷ روز ۷ تا ساعت ۶ روز ۸ شده است. روند زوال این هسته در دامنه‌های غربی زاگرس بعد از ساعت ۶ روز ۸ بوده است.



شکل ۳ چرخه روزانه پوشش ابر وسعت سلول‌های همرفتی در گام‌های زمانی متوالی ۱ ساعته

خوشه‌ها و سلول‌های همرفتی آستانه دمای درخشندگی ۲۲۴ کلوین در ساعت ۱۳ روز هشتم دسامبر از بین رفته‌اند؛ ولی کل سامانه که با آستانه دمای درخشندگی ۲۴۳ کلوین آشکار شد تا چند ساعت بعد به فعالیت خود ادامه داده است که نشان می‌دهد ابرهای سردتر با دمای درخشندگی پایین‌تر قبل از زوال سامانه از بین می‌روند و بارش همرفتی قطع می‌شود. از طرف دیگر نابودی سامانه در آستانه ۲۴۲ کلوین نسبت به

۲۲۴ کلوین ۳ ساعت تأخیر زمانی دارد. این شرایط در هنگام شکل‌گیری سامانه برای آستانه ۲۲۴ کلوین حاکم است یعنی ابتدا سامانه قبل از سلول‌های همرفتی تشکیل، سپس ابرها ارتفاع گرفته و سلول‌های همرفتی به وجود آمده و به دنبال آن بارش همرفتی رخ داده است (شکل ۴).



شکل ۴ تغییرات مساحت سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس در دو آستانه ۲۲۴ و ۲۴۲ کلوین

شکل ۵ مراحل سه‌گانه شکل‌گیری، بلوغ و زوال سامانه همرفتی میان‌مقیاس هفتم و هشتم دسامبر ۲۰۰۱ و ساعات فعالیت هر مرحله با استفاده از شاخص E نمایش داده است. مقادیر مثبت بزرگ‌تر نشان‌دهنده مرحله رشد، مقادیر نزدیک به صفر مرحله بلوغ و مقادیر منفی نشانه مرحله مرگ و زوال سامانه می‌باشد. روند ناگهانی کاهش E سامانه در مرحله زوال نسبت به روند کند افزایش E در مرحله شکل‌گیری نشان می‌دهد که سامانه همرفتی به افزایش ارتفاع حساس بوده است و این وضعیت تأثیر ارتفاعات را در بلوغ و زوال سامانه نشان می‌دهد.



شکل ۵ آشکارسازی مراحل چرخه عمر سامانه همرفتی ۷ و ۸ دسامبر ۲۰۰۱ از طریق شاخص E

#### ب. برهمکنش چرخه عمر و پارامترها

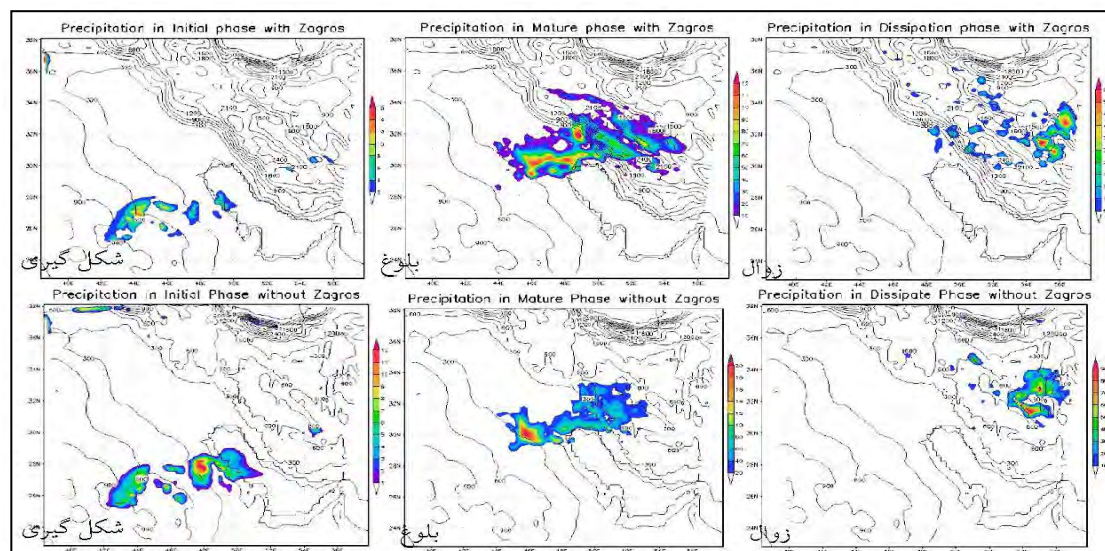
بعد از آشکارسازی چرخه عمر و رفتار روزانه آن، به منظور تأثیر کوهستان بر چرخه عمر سامانه، متغیرهایی مانند بارش، تاوایی، امگا و همگرایی مورد بررسی قرار گرفت. نقشه‌های شبیه‌سازی شده مدل RegCM4 با نقشه‌های واقعی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای مقایسه و اعتبارسنجی شده‌اند. مقایسه نقشه‌های



شکل ۳ (تصاویر ماهواره‌ای) و شکل ۶ (شبیه‌سازی شده توسط مدل) نشان می‌دهد انطباق مطلوبی بین موقعیت سامانه و بارش آن و نقشه‌های شبیه‌سازی شده وجود دارد و نتایج قابل قبول بوده است؛ در واقع مدل توانسته موقعیت سامانه و مقادیر بارش در مراحل چرخه عمر را به خوبی شبیه‌سازی نماید.

### بارش

شکل ۶ الگوی شبیه‌سازی بارش همرفتی مراحل سه‌گانه چرخه عمر سامانه همرفتی را از ساعت ۶ روز ۷ دسامبر تا ساعت ۲۰ روز ۸ دسامبر سال ۲۰۰۱ نشان می‌دهد. چنانچه در شکل مشاهده می‌شود در مرحله شکل‌گیری از نظر میزان بارش تفاوت زیادی بین دو اجرا وجود نداشت؛ اما محل جغرافیایی بارش تغییر کرده به دلیل عدم تغییر توپوگرافی و ارتفاع کم این مناطق، تغییرات پراکنش و مقادیر بارش‌های هردو اجرا تفاوت‌های زیادی باهم ندارند. در هر دو اجرای این مرحله، مقادیر بیشینه بارش را می‌توان روی مناطق شمالی عربستان و همچنین جنوب عراق مشاهده کرد. این وضعیت در مرحله بلوغ کاملاً برهم‌خورده و نقش کوهستان در نحوه شکل‌گیری میدان‌های بارش به خوبی مشاهده می‌شود و بارش از الگوی ارتفاعات تبعیت کرده است. در اجرای مرجع بارش بر مناطق مرتفع‌تر زاگرس متمرکز بود؛ در حالی که در اجرای حذف رشته‌کوه بر مقدار بارش مناطق مرکزی ایران افزوده شده و از مقدار آن در منطقه زاگرس و دامنه‌های غربی آن کاسته شده است. همین‌طور بارش در وسعت بیشتری رخداده و عمدتاً به سوی شرق متمرکز شده است. همان‌طور که از مقایسه شکل‌های فوق مشاهده می‌شود، با حذف رشته‌کوه زاگرس، بارش در نواحی رو به باد کوه کاهش یافته است؛ علت چنین وضعیتی شرایط مساعد برای تشکیل امواج لی و در نتیجه صعود بیشتر هوا روی کوه در اجرای مرجع نسبت به اجرای پس از حذف ناهمواری‌هاست. همچنین به دلیل کاهش اثر عامل واداشت کوهستان در صعود هوا با حذف ارتفاع ناهمواری‌ها در اجرای دوم، بارش در مناطق غربی زاگرس کاهش یافته است.



شکل ۶ بارش همرفتی در مراحل چرخه عمر: ردیف اول اجرای مرجع و ردیف دوم اجرای بدون ارتفاع

علت کاهش بارش اجرای حذف کوهستان در نواحی غربی زاگرس نیز می‌تواند انسداد جریان‌های ناوه به‌واسطه کوه باشد چون با حذف ارتفاع در اجرای دوم، این انسداد جریان به میزان قابل‌توجهی کاهش می‌یابد. در نتیجه بارش بیشینه به سمت شرق زاگرس و دشت‌های مرکزی ایران کشیده می‌شود. در اجرای حذف توپوگرافی زاگرس (اجرای دوم)، جریان‌های جوی پس از عبور از مناطق غربی ایران بدون اینکه رطوبت قابل‌توجهی از دست دهند، با ارتفاعات مرکزی ایران برخورد و در اثر صعود و رسیدن به اشباع، شروع به بارش کرده‌اند؛ بنابراین کوهستان بر بارش همرفتی اثرگذار بوده است که کاهش بارش همرفتی پس از کاهش ارتفاع رشته‌کوه زاگرس در نقاط واقع در پشت به باد کوه بیشتر است.

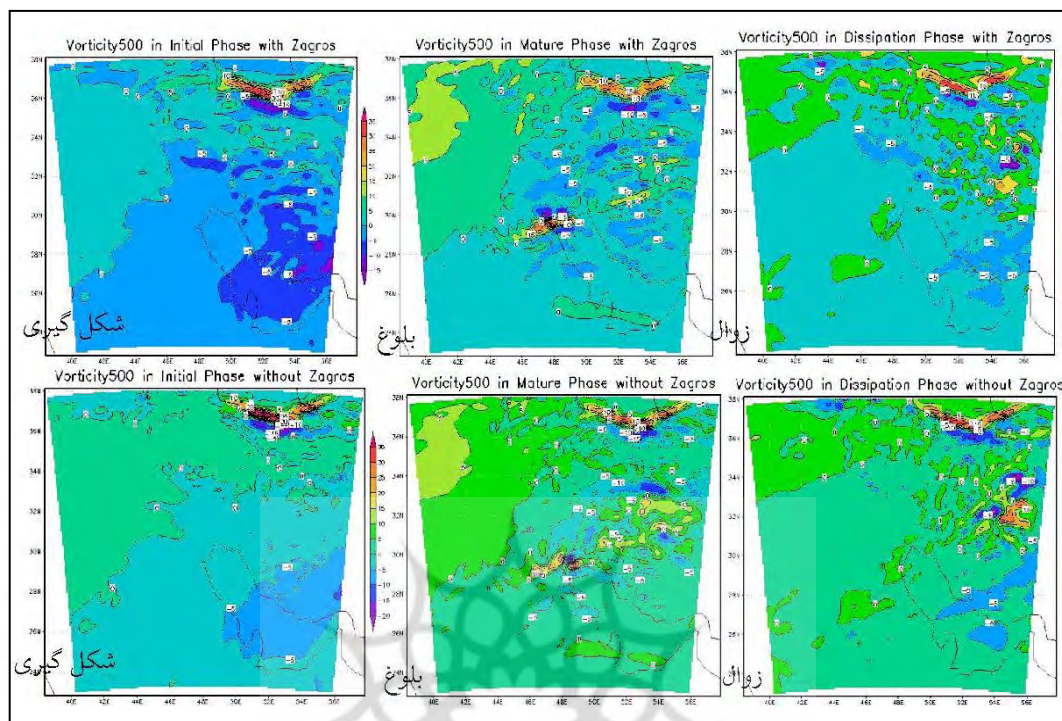
اختلاف بارش دو اجرا در نقشه‌های مربوط به تفاضل گیری بارش همرفتی که به علت کمبود فضا حذف شده‌اند، نیز به‌خوبی قابل‌مشاهده بودند. از نظر ناهنجاری‌ها، وجود دو هسته مثبت و دو هسته منفی از غرب به شرق در مرحله بلوغ و گسترش بارش به مرکز ایران در هنگام حذف رشته‌کوه زاگرس مهم‌ترین خروجی نقشه‌های میدان تفاضلی بود. در مرحله زوال هسته‌های منفی و مثبت این نقشه‌ها به یک هسته مثبت تبدیل و به سمت شرق در دشت‌های مرکزی ایران جابجا شده است.

#### تاوایی و همگرایی

با توجه به نقش توپوگرافی در ایجاد مراکز تاوایی مثبت و منفی و همچنین هم‌گرایی و واگرایی در سطوح مختلف جو، بررسی میدان‌های تاوایی و هم‌گرایی نیز می‌تواند در درک کیفی قابلیت‌های مدل در آشکارسازی اثر توپوگرافی مفید باشد. البته در جو واقعی به دلایل مختلفی مانند حضور گرمایش دررو،

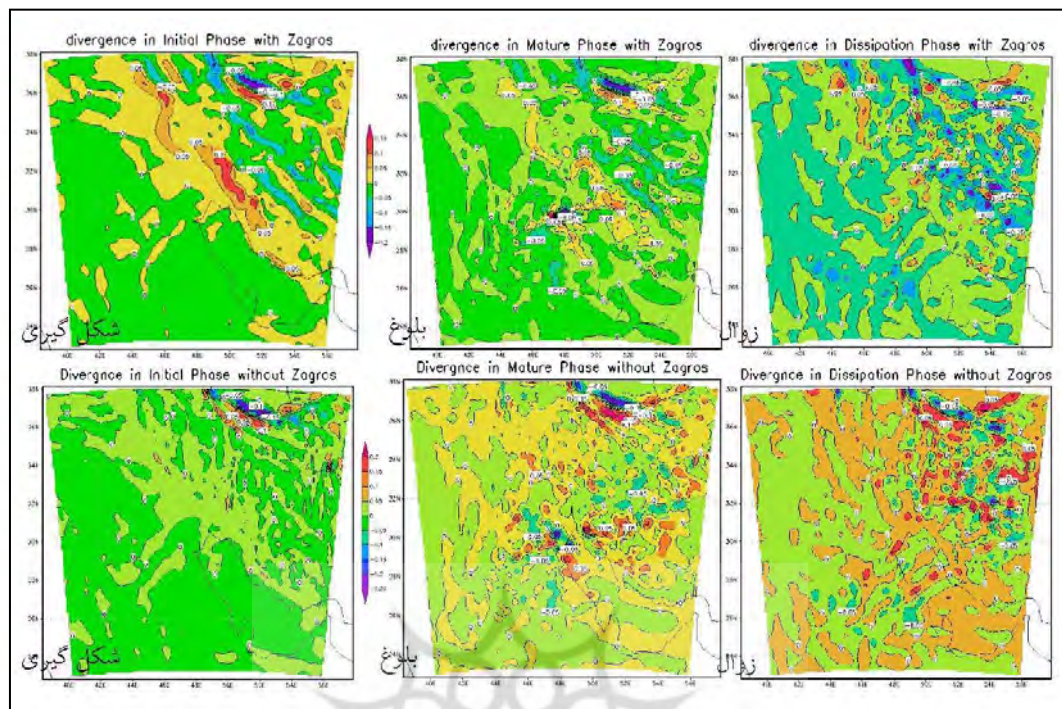
اصطکاک سطح، پیچیدگی شکل توپوگرافی، یکنواخت و ثابت نبودن جهت جریان‌ها، نمی‌توان انتظار ایجاد الگوی منظم و ایدئالی را در الگوی این مراکز داشت (هولتن<sup>۱</sup>، ۲۰۰۴: ۵۵۰). علاوه بر موارد فوق تأثیر بسیار مهم ناه سطح ناهموار بر عوامل سطوح زیرین و برهم‌کنش بین آن‌ها منجر به پیچیده‌تر شدن الگوی موردنظر می‌شود. شکل ۷ مقادیر تاوایی مراحل چرخه عمر سامانه همرفتی میان‌مقیاس را در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد. به علت یکنواخت بودن جریان، تاوایی نسبی پیش از برخورد با کوه صفر شده است. با نزدیک شدن جریان به کوه و در دامنه آن تاوایی نسبی افزایش یافت و مقدار آن مثبت شد. این تغییر در حوالی دامنه رشته‌کوه بوده است در ادامه حرکت و صعود از ارتفاعات علامت تاوایی به‌گونه‌ای تغییر کرد که در قله کوه، تاوایی کاملاً منفی شده است که تا دامنه‌های شرقی زاگرس و دشت‌های مرکزی ایران ادامه یافته است. به عبارتی، نواحی تاوایی منفی از شرق زاگرس تا دشت‌های مرکزی و شرقی ایران به شکل نوار پهنی امتداد داشته است؛ بنابراین در اجرای مرجع، در زاگرس و دامنه غربی آن، مراکز و نواحی مثبت تاوایی شکل‌گرفته است که کل دامنه رشته‌کوه را از شمال غربی تا جنوب شرقی دربر گرفت. درحالی‌که در اجرای بدون کوهستان به دلیل حذف ارتفاعات شرایط فوق به‌هم‌خورده و شرایط جدیدی برای تشکیل مراکز تاوایی و همگرایی- واگرایی در شرق زاگرس ایجاد شد؛ در نتیجه در مرکز و شرق ایران مراکز از تاوایی مثبت مشاهده می‌شود.

در اجرای مرجع مرحله شکل‌گیری، تاوایی منفی بر مناطق مختلف منطقه مورد مطالعه حکم فرماست؛ اما در مرحله بلوغ با رسیدن به ارتفاعات تاوایی مثبت در منطقه ایجادشده و هر چه بر ارتفاع افزوده می‌شود تاوایی قوی‌تر شده است. در عوض در مرحله بلوغ اجرای بدون کوهستان تاوایی مثبت تضعیف و از مقدار بارش در منطقه زاگرس کاسته شده است. در مرحله زوال این اجرا، تاوایی مثبت در دشت‌های مرکزی ایران و شرق زاگرس شرایط را برای اشباع هوا و بارش بیشتر فراهم کرده است.



شکل ۷ مقادیر تاوایی ( $10^{-5} s^{-1}$ ) چرخه عمر سامانه: ردیف اول اجرای مرجع ردیف دوم اجرای بدون ارتفاع

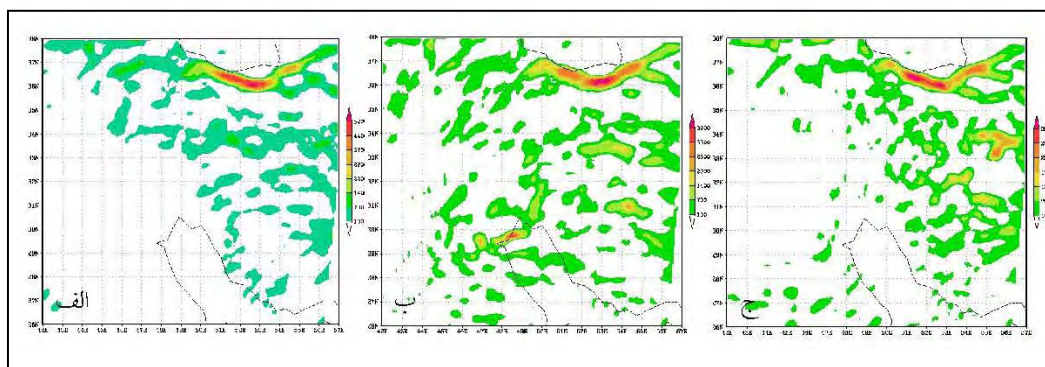
در صورتی که سطح زمین دارای پستی و بلندی باشد، اثر این ناهمواری‌ها را می‌توان در الگوهای هم‌گرایی-واگرایی مربوط به تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال مشاهده کرد. نقشه‌های شکل ۸ مقادیر هم‌گرایی-واگرایی چرخه عمر را برای هر سه مرحله شکل‌گیری، بلوغ و زوال سامانه همرفتی برای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد. الگوی حاکم بر مراکز تاوایی برای میدان‌های هم‌گرایی نیز تقریباً به‌طور یکسان تکرار شده است. با حذف رشته‌کوه در اجرای دوم، نواحی مثبت و منفی تاوایی و هم‌گرایی غرب ایران کاملاً به‌هم‌خورده و هسته‌های مثبت و منفی در مناطق مرکزی و بعضاً شرقی ایران به‌طور کاملاً واضحی تقویت شده‌اند و نقشه‌ها نقش اساسی رشته‌کوه‌های زاگرس در الگوهای هم‌گرایی-واگرایی و تاوایی سطوح مختلف جو را نشان می‌دهند.



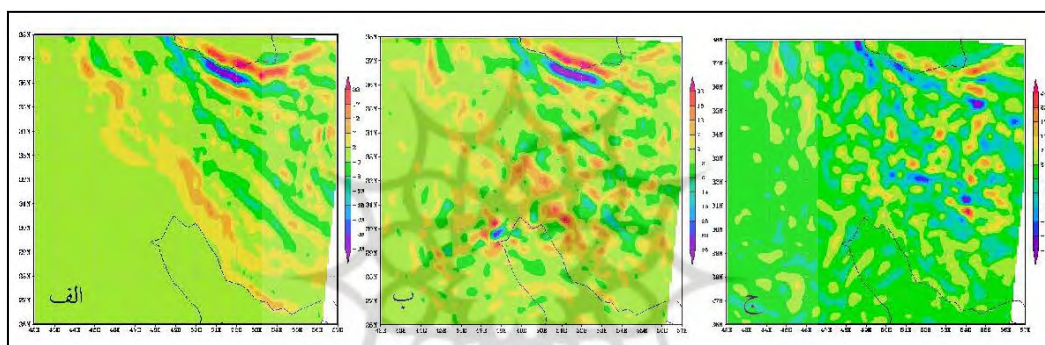
شکل ۸ مقادیر همگرایی ( $\times 10^2 \text{ s}^{-1}$ ) چرخه عمر سامانه: ردیف اول اجرای مرجع ردیف دوم اجرا بدون ارتفاع

با توجه به نتایج بالا و مرور نقشه‌ها، الگوهای موجود در میدان‌های همگرایی - واگرایی هر دو اجرا برای مراحل چرخه عمر تقریباً شبیه میدان‌های تاوایی بوده است؛ به طوری که مراکز آن‌ها در مرحله شکل‌گیری اجرای حذف کوهستان از بین رفته‌اند؛ در مقابل در اجرای مرجع مقادیر مثبت ضعیفی از این مراکز شمال خلیج فارس را پوشش داده است. در مرحله بلوغ اجرای مرجع مقادیر مثبت به صورت نوارهای متناوبی از همگرایی و واگرایی (مثبت و منفی) از شمال زاگرس تا جنوب آن به وجود آمده است. در صورتی که در اجرای دوم هسته منفی در شمال خلیج فارس و دامنه‌های غربی زاگرس و هسته مثبت در دامنه‌های شرقی زاگرس دیده می‌شود. در مرحله زوال سامانه همرفتی، مقادیر مثبت همگرایی اجرای بدون کوهستان تغییر کرده است و به سمت مناطق شرقی زاگرس جابجا شده‌اند (شکل ۸).

تغییر و جابجایی مراکز و میدان‌های تاوایی و همگرایی - واگرایی در نقشه‌های میدان تفاضلی (شکل‌های ۹ و ۱۰) نیز به خوبی مشاهده می‌شود. علت تغییر و جابجایی الگوها را می‌توان به اثر حذف رشته‌کوه‌های زاگرس به مثابه مانعی در مقابل جریان‌های جوی و در نتیجه افزایش سرعت جریان‌ها در نواحی مرکزی و شرقی ایران مربوط دانست.



شکل ۹ میدان تفاضلی تاوایی اجرای مرجع از اجرای بدون ارتفاع الف. مرحله شکل گیری ب. مرحله بلوغ ج. مرحله زوال

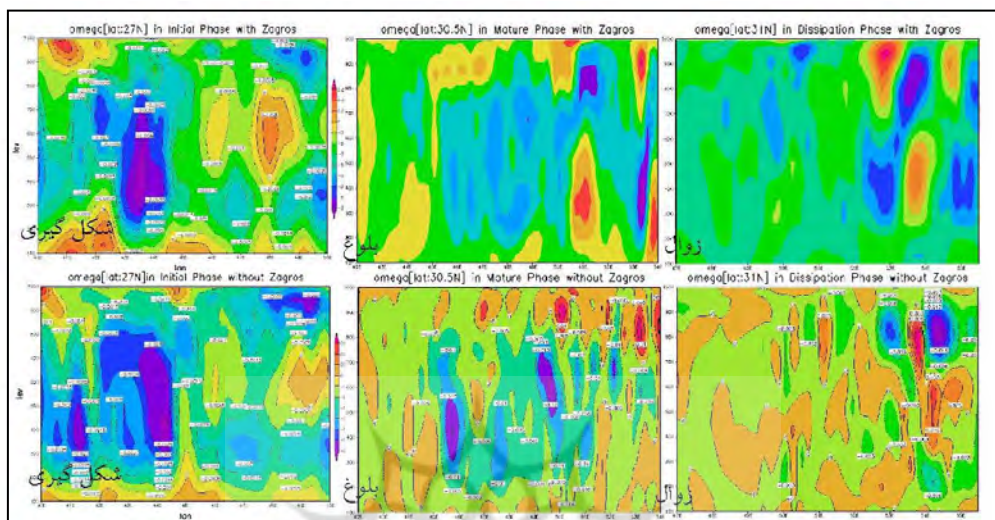


شکل ۱۰ میدان تفاضلی همگرایی اجرای مرجع از اجرای بدون ارتفاع الف. مرحله شکل گیری ب. مرحله بلوغ ج. مرحله زوال

### سرعت قائم

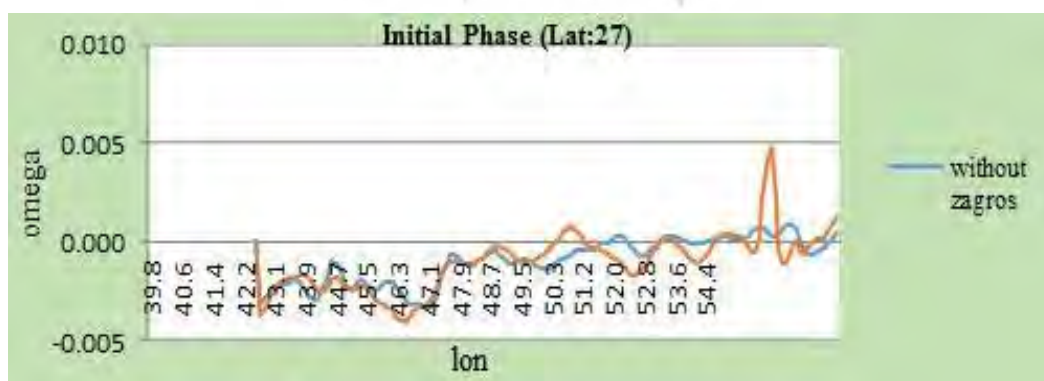
شکل ۱۱ نیمرخ سرعت قائم چرخه عمر سامانه همرفتی میان مقیاس ۷ و ۸ دسامبر سال ۲۰۰۱ در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای هر مرحله از چرخه عمر سامانه با عرض جغرافیایی ثابت و طول جغرافیایی متغیر نشان می‌دهد. بررسی سرعت قائم مربوط به چرخه عمر سامانه بیانگر کاهش نسبی سرعت قائم پس از کاهش ارتفاع ناهمواری‌ها است. برش قائم امگا هر مرحله از سامانه نشان می‌دهد که اثر این رشته‌کوه‌ها نه تنها در سطوح زیرین، بلکه تا سطوح بالای جو نیز امتداد یافته است. سرعت قائم در مراحل چرخه عمر سامانه در اجرای بدون کوهستان در مقایسه با اجرای مرجع تقویت شده و به نوعی گسترش مکانی یافته است. تنها تفاوت سرعت قائم دو اجرا جابجایی به سمت شرق این پارامتر در اجرای بدون کوهستان می‌باشد. در مرحله شکل‌گیری سامانه از آنجایی که طول جغرافیایی از ۳۸ تا ۴۶ درجه شرقی خارج از مرزهای غربی ایران است و ارتفاع ناهمواری‌ها کاهش نیافته است، بنابراین تغییری نیز در سرعت قائم حاصل نشده

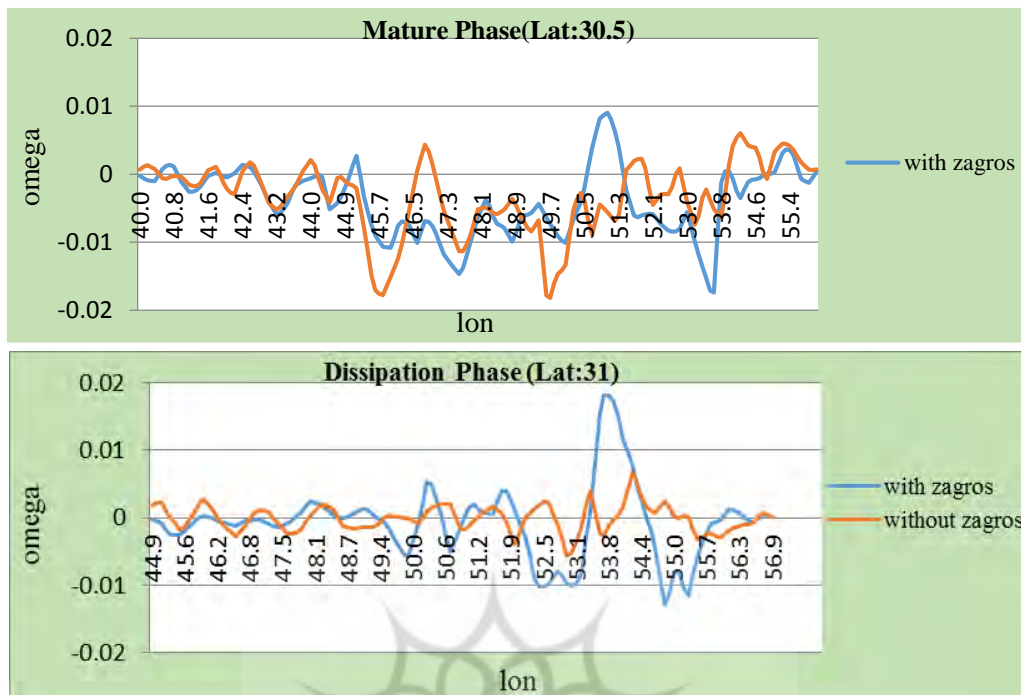
است. در برخی نقاط، تغییرات منفی نیز مشاهده می‌شود که ناشی از تبعیت مراکز این متغیرها از الگوی ناهموازیها است، به طوری که در این نواحی، حرکت‌های نزولی شدیدتری و در نتیجه سرازیر شدن جریان هوا از روی کوهستان، در اجرای مرجع نسبت به اجرای کاهش ارتفاع ناهموازیها مشاهده می‌شود.



شکل ۱۱ نیم‌رخ سرعت قائم رخداد ( $\text{pa s}^{-1}$ ) در مراحل چرخه عمر: مرحله شکل‌گیری عرض ۲۷، بلوغ عرض ۳۰/۵ و مرحله زوال عرض ۳۱ درجه شمالی

شکل ۱۲ تغییرات امگا را در مراحل سه‌گانه چرخ عمر سامانه همرفتی را نشان می‌دهد که عرض جغرافیایی هر مرحله ثابت در نظر گرفته شده است. در اجرای دوم که ارتفاع کوهستان حذف شده است تغییرات منحنی این متغیر در طول جغرافیایی ۴۷ تا ۵۲ درجه کاملاً مشخص است که نشان‌دهنده تأثیر کوهستان بر سرعت قائم جریانات می‌باشد. تفاوت سرعت قائم اجرای بدون کوهستان نسبت به اجرای مرجع در مرحله بلوغ در عرض جغرافیایی ۴۵ تا ۵۴ (منطبق بر ارتفاعات زاگرس) و در مرحله زوال در عرض جغرافیایی ۵۱ تا ۵۵/۵ درجه شرقی (منطبق بر دشت‌های مرکزی) بارزتر بوده است.





شکل ۱۲ تغییرات سرعت قائم در مراحل چرخه عمر سامانه همرفتی

##### ۵. نتیجه گیری

در ایران موضوع وقوع مخاطرات طبیعی به ویژه سامانه های همرفتی میان مقیاس به علت افزایش تهدیدها و خسارات ناشی از آنها از اهمیت بالایی برخوردار است. بدین منظور چرخه عمر سامانه های همرفتی میان مقیاس غرب ایران در دوره زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۵ با استفاده از تصاویر ماهواره ای و شاخص تغییرات مساحت و آستانه های دمای درخشندگی ۲۲۴ و ۲۴۲ کلونین شناسایی گردید و تأثیرات ارتفاعات زاگرس بر چرخه عمر از طریق مدل RegCM4 مورد بررسی قرار گرفت. با بررسی نتایج شبیه سازی های صورت گرفته و مقایسه آنها با نتایج اجرای مرجع و مرور مطالعات نظری، می توان نتیجه گرفت که مدل RegCM در نشان دادن نقش رشته کوه های زاگرس در چرخه عمر سامانه های همرفتی میان مقیاس واقع در غرب ایران و کمیت های فیزیکی و دینامیکی مربوطه، موفق عمل می کند و کاربرد قابل قبولی دارد.

الگوی حاکم بر مراکز کمیت های تاوایی برای میدان های هم گرایی نیز تقریباً به طور یکسان تکرار شده است. با حذف رشته کوه در اجرای دوم، نواحی مثبت و منفی تاوایی و هم گرایی غرب ایران کاملاً به هم خورده و مراکز مثبت و منفی تاوایی و هم گرایی - واگرایی در مناطق شرق زاگرس و بعضاً دشت های مرکزی ایران به طور کاملاً واضحی تقویت شده اند. الگوهای حاکم بر هم گرایی - واگرایی هر دو اجرا برای مراحل چرخه عمر تقریباً شبیه میدان های تاوایی می باشند. در اجرای مرجع مرکزی از تاوایی، هم گرایی -



واگرایی و سرعت قائم در زاگرس و غرب آن تشکیل که باعث بارش در این منطقه شده است. در مقابل در اجرای بدون کوهستان این مراکز به هم خورده و هسته بارش به شرق زاگرس و دشت‌های مرکزی جابجا شده است. این نتایج در کارهای سلطانزاده و همکاران (۱۳۸۶: ۳۱-۵۰) که به بررسی جریان‌های شرق زاگرس پرداخته‌اند نیز اثبات شده است و آن‌ها به این نتیجه رسیده‌اند که رشته‌کوه‌های زاگرس در الگوهای تاوایی و هم‌گرایی در سطوح پایین و همچنین بارش، خصوصاً در نواحی شرقی و بعضاً مرکزی ایران نقش دارند. همچنین علیزاده و همکاران (۱۳۸۷: ۹) نیز اثبات کردند با کاهش ارتفاع ناهمواری‌های البرز مقادیر دمای پتانسیل و سرعت قائم در پشت به باد کوه و همچنین بارش تجمعی در برخی نقاط کاهش می‌یابند. در مرحله شکل‌گیری سامانه از نظر میزان بارش تفاوت زیادی بین دو اجرا وجود ندارد و در اجرای حذف رشته‌کوه بارش در وسعت بیشتری رخ داده و عمدتاً به سوی شرق متمرکز شده است. این وضعیت در مرحله بلوغ کاملاً برهم خورده و نقش کوهستان در نحوه شکل‌گیری مراکز به خوبی مشاهده می‌شود و الگوهای تاوایی و همگرایی - واگرایی از الگوی ارتفاعات تبعیت کرده است.

#### کتابنامه

- ایران‌نژاد، پرویز؛ فرهنگ، احمدی گیوی؛ روزبه، پازوکی؛ ۱۳۸۸. نقش روش‌های متفاوت پارامتر سازی همرفت در شبیه‌سازی میدان‌های دما و بارش زمستانی با مدل منطقه‌ای - اقلیمی RegCM در ایران. مجله فیزیک زمین و فضا. شماره ۱. صص ۱۰۱-۱۲۰.
- بابائیان، ایمان؛ راحله، مدیریان؛ کریمیان، مریم؛ حبیبی، نوخندان؛ ۱۳۸۶. شبیه‌سازی بارش ماه‌های سرد سال‌های ۱۳۷۶ و ۱۳۷۹ با استفاده از مدل اقلیمی RegCM3. مجله جغرافیا و توسعه. شماره پیاپی ۱۰. صص ۷۲-۵۵.
- تاج‌بخش، سحر؛ پروین، غفاریان؛ ابراهیم، میرزایی؛ ۱۳۸۸. روشی برای پیش‌بینی رخداد توفان‌های تندری با طرح دو بررسی موردی. مجله فیزیک زمین و فضا. دوره ۳۵. شماره ۴. صص ۱۶۶-۱۴۷.
- حجازی زاده، زهرا؛ مصطفی، کریمی؛ پرویز، ضیاییان؛ سمیه، رفعتی؛ ۱۳۹۳. بررسی سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس با استفاده از تصاویر دمای درخشندگی در جنوب غرب ایران. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. شماره ۳. صص ۶۹-۴۵.
- زرین، آذر؛ ۱۳۸۶. تحلیل پرفشار جنب‌حاره‌ای تابستانه بر روی ایران، رساله دکتری جغرافیای طبیعی گرایش اقلیم‌شناسی. راهنما: قائمی. دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- سلطانزاده، ایمان؛ فرهنگ، احمدی گیوی؛ پرویز، ایران‌نژاد؛ ۱۳۸۶. بررسی سه ماهه تأثیر رشته‌کوه‌های زاگرس بر جریان‌های میان‌مقیاس منطقه شرق زاگرس با استفاده از مدل منطقه‌ای RegCM. مجله فیزیک زمین و فضا. شماره ۱. صص ۵۰-۳۱.
- علیزاده، امید؛ مجید آزادی؛ عباسعلی، علی‌اکبری بیدختی؛ ۱۳۸۷. بررسی نقش رشته‌کوه البرز در تقویت سامانه‌های همدیدی. مجله فیزیک زمین و فضا. شماره ۱. صص ۲۴-۹.

مدیریان، راحله؛ کریمیان، مریم؛ باباییان، ایمان؛ ۱۳۸۴. شبیه‌سازی بارش‌های مونسانی جنوب شرق ایران با استفاده از مدل اقلیمی RegCM3. همایش پیش‌بینی وضع هوا.

مدیریان، راحله؛ کریمیان، مریم؛ باباییان، ایمان؛ ۱۳۸۸. بیکربندی بهینه مدل RegCM3 برای شبیه‌سازی بارش و دما در فصل پاییز منطقه خراسان. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. شماره ۷۰. صص ۱۲۰-۱۰۷.

- Ahmadi Givi, F., Irannejad, P., & Soltanzadeh, I. (2005). A study of the effects of Zagros mountain ranges on mesoscale westerly currents usin RegCM. *The First Iran-Korea Joint Workshop on Climate Modeling, November 16-17 2005*.
- Banta, R. (1990). The role of mountain flows in making clouds. *Meteorological Monographs*, 23, 229° 283.
- Barros, P., & Lettenmaier, P.(1994). Dynamic modelling of orographically induced precipitation. *Reviews of Geophysics*, 32, 265° 284.
- Futyan, J. M., & Del Genio, A, D. (2007). Deep convective system evolution over Africa and the tropical Atlantic. *Journal of Climate*, 20, 5041-5060.
- Holton, J. R. (2004). *An introduction to dynamic meteorology* (4<sup>th</sup> ed.). The Netherlands: Elsevier Academic Press.
- Inoue, T, D., Vila, K., Rajendran, A., Hhamada, X., Wu, A.,& Machado, T. (2009). Life cycle of deep convective systems over the Eastern Tropical Pacific observer by TRMM and GOES-W. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 87 (A), 381-391.
- Insel, N., Christopher, J., Poulsen, T., & Ehlers, A. (2009). Influence of the Andes Mountains on South American moisture transport, convection, and precipitation. *Climate Dynamic*, 19, 143-159. DOI 10.1007/s00382-009-0637-1.
- Morel, C., & Senesi, S. (2002). A climatology of mesoscale convective systems over Europe using satellite infrared imagery I: Methodology. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 128, 1953° 1971.
- Morel, C., & Senesi, S. (2002). A Climatology of Mesoscale Convective Systems over Europe using satellite infrared imagery II: Characteristics of European Mesoscale Convective Systems. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 128, 1973° 1995.
- Pastor, F., Gomez, I., & Estrella, M, J. (2010). Numerical study of the October 2007 flash flood in the Valencia region (Eastern Spain): the role of orography. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10, 1331° 1345.
- Silva Dias, M., & Coauthors, A. (2002). Cloud and rain processes in a biosphere° atmosphere interaction context in the Amazon region. *Jornal of Geophys*, 107, 8072, doi:10.1029/2001JD000335.
- Velasco, J., & Fritsch, M. (1987). Mesoscale convective complexes in the Americas. *Journal of Geophysical Research*, 92, (8), 9591° 9613.
- Vila, D, A., Machado, T., Laurent, H., & Velasco, I. (2008). Forecast and Tracking the Evolution of Cloud Clusters (ForTraCC) Using Satellite Infrared Imagery: Methodology and Validation. *Weather and Forecasting*, 23, 233-245. dio:10.1175/2007WAF2006121.
- Wang, Y., Sen, O, L., & Wang, B. (2002). A highly resolved regional climate model and its simulation of the 1998 sever precipitation event over China, Part 1: Model description and verification of simulation. *Journal of Climate*, 19, 1721-1738.