

بررسی رفتار دینامیکی و بارش تجمعی سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس غرب ایران در دوره گذار سال

داریوش یار احمدی^۱

سعید بساطی^۲

بهرروز نصیری^۳

سمیه رفعتی^۴

چکیده

پیامدها و تهدیدهای ناشی از مخاطرات اقلیمی از یک‌طرف و فرصت‌هایی مانند استفاده در منابع آب، کشاورزی و سایر بخش‌های اقتصادی از طرف دیگر باعث شده است تا در سال‌های اخیر سامانه‌های همرفتی بارش‌زا بیشتر مورد توجه قرار گیرند. بدین منظور در این پژوهش، شرایط دینامیکی سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس در ماه‌های گرم و سرد سال و بارش همرفتی تجمعی آن‌ها بررسی شده است. پس از اخذ تصاویر ماهواره‌های زمین‌آهنگ متئوست، فراگیرترین سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس بدون اشتقاق و ادغام با استفاده از آستانه دمای درخشندگی ۲۲۴ کلوین و آستانه مساحت مشخص شدند و از طریق مدل RegCM4، رفتار دینامیکی و بارش همرفتی تجمعی آن‌ها بررسی گردید. نتایج نشان داد مکان شکل‌گیری سامانه‌ها در جنوب عراق و

۱- دانشیار گروه اقلیم‌شناسی گروه علوم جغرافیایی دانشگاه لرستان (نویسنده مسئول)

۲- دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی دانشگاه لرستان

۳- مدیرگروه علوم جغرافیایی دانشگاه لرستان

۴- استادیار گروه اقلیم‌شناسی دانشگاه سید جمال‌الدین اسدآبادی

شمال عربستان بوده است. الگوی جریان‌های سامانه‌های ماه‌های سرد سال تحت تأثیر توپوگرافی بوده است؛ به گونه‌ای که با برخورد آن‌ها به ارتفاعات، تاوایی مثبت در منطقه ایجاد شده است و با افزایش ارتفاع تاوایی قوی‌تر شده است. همچنین هسته کمیت‌های دینامیکی ماه‌های دسامبر-ژانویه پس از عبور سامانه از ارتفاعات زاگرس تضعیف شده است. در مقابل، ارتفاعات زاگرس تأثیر زیادی در قدرت فعالیت سامانه‌های آوریل نداشته است. تاوایی و همگرایی سامانه‌های همرفتی در ماه آوریل قوی‌تر و شدیدتر از ماه‌های دسامبر-ژانویه بوده است.

واژگان کلیدی: سامانه همرفتی میان‌مقیاس، غرب ایران، مدل RegCM4، رفتار دینامیکی.

مقدمه

سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس (MCSs)

^{۱)} که بارش‌های شدید و اغلب سیل‌آسا تولید می‌کنند، مسبب تلفات جانی و مالی و به تبع آن مسائل اقتصادی و اجتماعی قابل‌ملاحظه‌ای هستند. از سوی دیگر این سامانه‌ها بخش عمده‌ای از بارش کل را شکل می‌دهند (کوتون و آنتس، ۱۹۸۹: ۸۸۳). بنابراین در تأمین آب طرح‌های هیدرولوژیکی و کشاورزی نیز اهمیت زیادی دارند. همچنین مطالعه MCSs به علت نقش کلیدی‌شان در توزیع انرژی، تکانه و آب در اتمسفر، نیز بسیار مهم است (مورل و سنسی، ۲۰۰۲: ۱۹۵۳).

در مطالعات مختلفی از مدل‌های عددی پیش‌بینی وضع هوا مانند RegCM استفاده شده است به گونه‌ای که اینسل و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از مدل RegCM تأثیر کوهستان آند را بر چرخه عمر بارش همرفتی موردبررسی قرار داده‌اند و نشان دادند که کوهستان آند تأثیرات زیادی بر فرایندهای همرفت و بارش همرفتی از طریق رودیاد سطح پایین و انسداد توپوگرافیکی دارد. لایوز و همکاران (۲۰۱۳) چرخه عمر بارش همرفتی ناشی از کوهستان که در شمال شرق فرانسه و جنوب غرب آلمان در تابستان ۲۰۰۷ در یک

^۱ -Mesoscale Convective Systems

ناحیه‌ی کوهستانی رخ‌داده را با استفاده از رادارها، ماهواره، رادیوسوندها، داده‌های دریافتی از GPS و خروجی مدل‌های شبیه‌سازی اقلیمی بررسی کردند. ترکیب این اندازه‌گیری‌ها با توپوگرافی GPS، نقش بخارآب جمع شده در سطح پایین و همگرایی در این مناطق به عنوان یک عامل پیشرو برای شروع همرفت را نشان داد. پلانچ و همکاران (۲۰۱۳) با اجرای مدل عددی، نقش توپوگرافی در شروع همرفت را در منطقه کوهستانی بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که تولید همرفت از توپوگرافی محل متأثر می‌گردد. باین‌وجود سامانه‌های همرفتی به‌تنهایی به‌وسیله کوهستان شکل نمی‌گیرند، بلکه به خروجی رطوبت، پایداری مناسب و بعضی شرایط محیطی میان‌مقیاس در کوهستان برای حمایت نیاز دارند. چن و همکاران (۲۰۱۴) تأثیر بالاروندگی و انسداد کوهستان را در بارش شدید ۱۱ اکتبر ۲۰۰۹ در دشت لان یانگ در شمال شرق تایوان مورد بررسی قرار داده‌اند. به دلیل انسداد اروگرافیکی و باد غالب شرقی در دشت لان یانگ غربی، جریان رطوبت ایجادشده سطح زمین در دامنه روبه باد به علت وجود سامانه شبه ایستا در دامنه برعکس می‌شود.

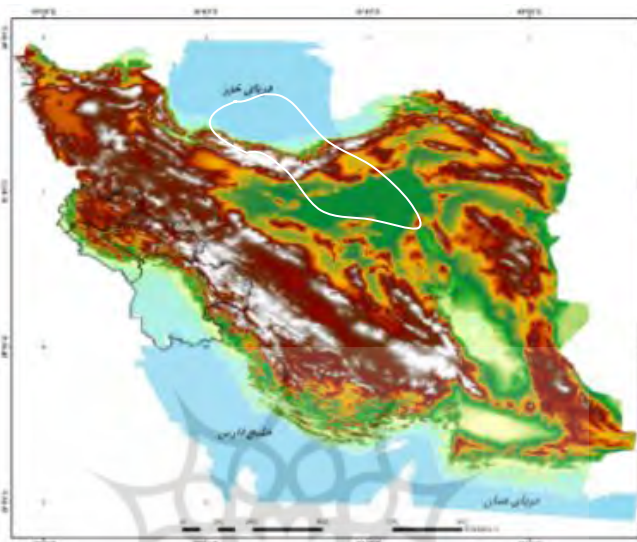
بررسی الگوهای همدید- دینامیک رویدادهای بارشی سنگین همرفت و غیر همرفت سواحل جنوبی خزر با استفاده از مدل عددی پیش‌بینی هوا نشان داد به‌طور میانگین سرعت باد روی دریا در گروه بارشی فوق سنگین و در الگوهای همدید پرفشار کمتر از ۱۲ متر در ثانیه و در الگوهای همدید کم‌فشار، بیش از ۱۵ متر بر ثانیه است (نوری و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۰۴). شاخص‌های فیزیکی دینامیکی بارش‌های سنگین گویای آن است مقادیر مثبت تاوایی، سرعت رودباد و امگا منفی به بیشینه خود در زمان بارندگی رسیده است (شمسی‌پور و همکاران ۱۳۹۷: ۱۵۶). همچنین جلالی و کمریان (۱۳۹۶) با استفاده از روش تحلیل طیفی، طوفان‌های تندری شمال غرب ایران را بررسی کردند و نشان دادند فراوانی چرخه‌های ۲ ساله بیش تر از سایر چرخه‌ها حاکمیت دارد و ۲ چرخه به فراوانی ۵ ایستگاه بیش‌ترین نسبت را به خود اختصاص داده است. لشکری و همکاران (۱۳۹۷) نشان دادند که بارش زودرس جنوب و جنوب غرب ایران در سه الگوی کلی حرکت شمال سوی پرفشار آفریقا، حرکت شمال سوی واچرخند آזור و الگوی ادغامی اول و دوم با حرکت شمال سوی شمال غرب اروپا شکل می‌گیرد.

بررسی توپوگرافی پیچیده بر بارش‌های تابستانی نشان داد که بارش‌ها در مناطق مختلف استان گلستان سازوکار متفاوتی داشته‌اند. به این صورت که بارش‌ها دامنه‌های شمالی البرز در اثر صعود واداشتی هوا بر دامنه‌ها و بارش‌های شدید در جنوب شرق دریای خزر به سبب همگرایی شار گرمایی افقی و شار قائم فراسو رخ داده است (شبانیان و همکاران، ۱۳۹۴: ۵۶۵).

بررسی پژوهش‌ها نشان داد تعدادی از این مطالعات با استفاده از تحلیل سینوپتیک و به‌صورت مطالعه موردی انجام گرفته و تعدادی دیگر هم در ارتباط با ویژگی‌های آماری بارش‌های رگباری بوده است؛ اما تاکنون در ایران رفتار دینامیکی و بارش همرفتی تجمعی حاصل از فعالیت سامانه‌های همرفتی مورد مطالعه قرار نگرفته است. لذا اهداف این پژوهش، بررسی رفتار دینامیکی سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس بدون اشتقاق و ادغام در ماه‌های گذار گرم و سرد سال و تحلیل بارش همرفتی تجمعی آن‌ها می‌باشد.

داده و روش‌ها

این مطالعه با استفاده از دو گروه داده انجام گرفته است: گروه اول تصاویر ماهواره‌ای بودند. این تصاویر محصولات دمای درخشندگی حاصل از باند مادون‌قرمز حرارتی ماهواره‌های زمین‌آهنگ متئوست، GOES و GMS می‌باشد. ۱۴۷ تصویر از رخداد سامانه‌ها در فاصله زمانی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ با قدرت تفکیک مکانی ۴ کیلومترمربع و قدرت تفکیک زمانی ۳۰ دقیقه به کار گرفته شد و با استفاده از نرم‌افزار ENVI زمین مرجع شدند. این تصاویر از وب‌سایت <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/precipitation> اخذ شدند. دومین گروه از داده‌های مورد استفاده، داده‌های مدل RegCM4 می‌باشند. این دسته از داده‌ها از سایت‌های معتبر جهانی از قبیل مرکز ملی پژوهش‌های جوی، شبکه داده‌ای RegCM4 و مرکز پیش‌بینی‌های میان‌مدت اروپا تهیه شده است. قدرت تفکیک داده‌های مورد استفاده ۲/۵ درجه با مقیاس زمانی شش ساعت برای یک دوره ۶ ساله بوده است. از داده‌های ماهواره‌ای به منظور شناسایی و مسیریابی سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس و از داده‌های مدل به منظور شبیه‌سازی و بررسی تأثیر ارتفاعات بر سامانه‌ها استفاده گردید.



شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه و موقعیت رشته‌کوه زاگرس که محدوده آن مشخص شده است.

منطقه مورد مطالعه محدوده غرب ایران را در برمی‌گیرد. ارتفاع منطقه مورد مطالعه از مناطق ساحلی در جلگه خوزستان تا قله دنا با ارتفاع ۴۴۰۹ متر متغیر است و میانگین ارتفاع منطقه نیز ۱۲۵۰ متر می‌باشد (شکل ۱).

در این پژوهش بر اساس پیشنهاد مورل و سنسی (۲۰۰۲) و یاراحمدی و همکاران (۱۳۹۵) سامانه‌هایی به عنوان سامانه همرفتی میان‌مقیاس بدون اشتقاق و ادغام شناخته می‌شوند که مساحتی بیش از ۱۰۰۰۰ کیلومترمربع و طول عمری بیش از ۳ ساعت داشته باشند. بساطی (۱۳۹۵) با مقایسه آستانه‌های مختلف بر روی تصاویر ماهواره‌ای و مقایسه آن‌ها با داده‌های ایستگاهی، بهترین آستانه دمایی را برای بررسی چرخه عمر سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس ۲۴۲ و ۲۲۴ کلوین تعیین کرد؛ بنابراین در این پژوهش از آستانه دمایی درخشندگی ۲۲۴ کلوین برای شناسایی سامانه‌ها استفاده شد. با استفاده از آستانه مساحت ۱۰۰۰۰ کیلومترمربع، دما درخشندگی کمتر از ۲۲۴ کلوین و طول عمر بیش از ۳ ساعت، ۱۴ سامانه همرفتی میان‌مقیاس بدون اشتقاق و ادغام شناسایی گردید و بزرگ‌ترین و

فراگیرترین سامانه هر ماه به عنوان سامانه منتخب مورد مطالعه قرار گرفت. به دلیل اینکه در ماه‌های ژوئن تا اکتبر سامانه‌ای با معیارهای تعیین شده (معیارهای مورد استفاده برای تعریف MCS) شناسایی و مسیریابی نشده است و رخداد سامانه‌های همرفتی ماه‌های دسامبر، ژانویه و آوریل از نظر فراوانی قابل توجه بوده است (حجازی زاده و همکاران، ۱۳۹۳: ۴۵). همچنین در سایر ماه‌های سال سامانه‌های همرفتی میان مقیاس بدون اشتقاق و ادغام وجود نداشت؛ لذا در این مطالعه، از سامانه‌های ماه‌های دسامبر، ژانویه و آوریل استفاده گردید. همچنین پارامترهای رفتاری آن‌ها مانند طول عمر (زمان فعالیت)، طول مسیر (مسیری که سامانه از ابتدای شکل‌گیری تا انتهای زوال طی کرده است)، مساحت و... نیز مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه کار، سامانه‌های همرفتی میان مقیاس روز ۷ و ۸ دسامبر ۲۰۰۱ (منتخب ماه دسامبر)، ۴ آوریل ۲۰۰۴ (منتخب ماه آوریل) و ۱۱ ژانویه ۲۰۰۴ (منتخب ماه ژانویه) به عنوان ایدئال‌ترین سامانه‌ها جهت مطالعه انتخاب و شرایط و رفتار دینامیکی آن‌ها با استفاده از مدل RegCM4 تحلیل و بررسی گردید. علت انتخاب چنین سامانه‌هایی فراگیر بودن و استقلال چرخه عمر و عدم تأثیرپذیری از سایر سامانه‌ها می‌باشد.

چون ساختار داخلی و جزئیات مدل RegCM4 در مطالعات مختلف به تفصیل تشریح شده است (ایران‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۰۱؛ باباییان و همکاران، ۱۳۸۶: ۵۵) از ذکر جزئیات آن خودداری می‌شود. داده‌های مورد نیاز مدل از داده‌های دوباره تحلیل شده مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیطی / مرکز ملی پژوهش‌های جوی (NCEP/NCAR) و با قدرت تفکیک افقی ۲/۵ درجه اخذ گردید. شبیه‌سازی‌ها بر شبکه‌ای با تفکیک افقی ۱۰ km و گام زمانی ۳۰ ثانیه صورت گرفته است. طبق نتایج مطالعات پیشین، طرح‌واره کو بهترین طرح‌واره برای بارش‌های همرفتی جنوب غرب و غرب ایران می‌باشد (ایران‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۰۱؛ باباییان و همکاران، ۱۳۸۶: ۵۵)؛ در نتیجه در این پژوهش برای بررسی سامانه‌های همرفتی منتخب از طرح‌واره کو استفاده شد. به منظور بررسی دقیق‌تر، بارش همرفتی تجمعی و کمیت‌های دینامیکی مانند تاوایی، همگرایی - واگرایی و سرعت قائم در سه مقطع زمانی شکل‌گیری، اوج فعالیت همرفتی (بلوغ) و زوال سامانه بررسی گردید.

داده‌های اولیه کمیت‌های دینامیکی توسط مدل شبیه‌سازی و ریزمقیاس، سپس با استفاده از اسکرپیت نویسی در گرس محاسبه شده‌اند.

یافته‌ها و بحث

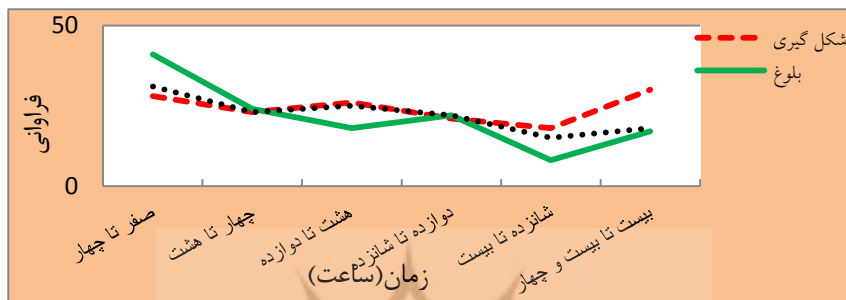
الف. شناسایی و انتخاب فراگیرترین سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس

بیشینه شکل‌گیری سامانه‌ها در عصر یعنی بعد از بیشینه تابش روزانه و زمان زوال بیشتر سامانه‌ها بعد از ساعت ۲۴ شب بوده است (شکل ۲)؛ پس می‌توان نتیجه گرفت چرخه تابش در شکل‌گیری و زوال این سامانه‌ها بی‌تأثیر نیست؛ زیرا شکل‌گیری آن‌ها تحت تأثیر بیشینه تابش و زوال آن‌ها نیز متأثر از کمینه تابش بوده است.

مشخصات فراگیرترین و بزرگ‌ترین سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس بدون ادغام و اشتقاق غرب ایران (چرخه عمر کامل و مستقل) برای دوره زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۵ با استفاده از آستانه دمایی درخشندگی ۲۲۴ کلوین در جدول ۱ آورده شده است. طولانی‌ترین سامانه با تداوم ۲۸ ساعت، سامانه هفتم و هشتم ژانویه ۲۰۰۴ می‌باشد که از ساعت صفر روز هفتم شروع و در ساعت چهار روز هشتم خاتمه یافته است. این سامانه ۶۵۸ هزار کیلومترمربع مساحت داشته است که در بین سامانه‌ها از بیش‌ترین وسعت و فعالیت برخوردار بوده است.

بررسی مکان شکل‌گیری فراگیرترین و بزرگ‌ترین سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس بدون اشتقاق و ادغام با استفاده از دمایی درخشندگی ۲۲۴ کلوین نشان می‌دهد مکان شکل‌گیری این سامانه‌ها در مناطق پست و کم ارتفاع جنوب عراق و شمال عربستان بوده است. پس می‌توان نتیجه گرفت که در هنگام شکل‌گیری این سامانه‌ها تأثیر شرایط دینامیک و همدید بیشتر از شرایط جغرافیایی منطقه مانند ارتفاعات می‌باشد؛ اما سامانه‌ها با برخورد به ارتفاعات زاگرس تقویت، سپس با عبور از این ارتفاعات زوال آن‌ها شروع شده است (حجازی زاده و همکاران، ۱۳۹۳: ۶۹). این وضعیت تأثیر ویژگی‌های جغرافیایی و شرایط اوروگرافیک را بر بلوغ این سامانه‌ها نشان می‌دهد. درحالی‌که شکی نیست غیراز این عوامل، عوامل دینامیکی نیز در ورود آن‌ها به این مناطق تأثیر داشته است. تعداد ماهانه سامانه‌ها و مشخصات بارش

ایستگاهی سامانه‌های منتخب در جدول ۲ آورده شده است. در ماه دسامبر ۶، ماه آوریل ۵ و در ماه ژانویه ۳ سامانه فراگیر فعالیت داشته است.



شکل ۲ توزیع زمانی سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس بدون اشتقاق و ادغام دوره آماری

جدول ۱- شناسایی فراگیرترین سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس بدون ادغام و اشتقاق با ۲۲۴ کلوبین

طول عمر (ساعت)	زوال	شکل‌گیری	طول مسیر (KM)	مساحت (KM ²)	سامانه همرفتی میان‌مقیاس	
۱۷/۵	شرق زاگرس	جنوب عراق	۶۵۰	۱۵۰ هزار	۲۰۰۱ دسامبر	۱
۱۸	شمال شرق ایران	جنوب عراق	۸۶۳	۲۷۶ هزار	۲۰۰۱ دسامبر	۲
۱۸	شمال شرق ایران	شمال عربستان	۱۱۵۰	۲۱۴ هزار	۲۰۰۲ آوریل	۳
۱۵	شمال شرق ایران	جنوب عراق	۹۹۷	۲۱۹ هزار	۲۰۰۲ آوریل	۴
۱۱	البرز	جنوب عراق	۸۰۰	۷۰ هزار	۲۰۰۳ آوریل	۵
۲۵	شمال شرق ایران	جنوب عراق	۲۴۰۰	۲۷۵ هزار	۲۰۰۴ آوریل	۶
۱۰	زاگرس	جنوب عراق	۷۷۰	۹۵۷۶۰ هزار	۲۰۰۴ آوریل	۷
۱۴	البرز	شمال عربستان	۱۵۷۰	۳۸۱ هزار	۲۰۰۴ آوریل	۸

۱۵	شرق زاگرس	شمال عربستان	۸۷۲	۱۸۷ هزار	۸ تا ۹ دسامبر ۲۰۰۴	۹
۲۰	شرق ایران	شمال عربستان	۱۶۰۰	۱۳۴ هزار	۲ تا ۳ ژانویه ۲۰۰۴	۱۰
۲۸	شمال افغانستان	جنوب عراق	۱۸۸۰	۶۵۸ هزار	۷ تا ۸ ژانویه ۲۰۰۴	۱۱
؟*	شمال خزر	جنوب عراق	۹۹۵	۴۱۱ هزار	۱۲ تا ۱۴ ژانویه ۲۰۰۴	۱۲
۲۷	شمال شرق ایران	جنوب عراق	۱۲۵۰	۱۷۸ هزار	۲۳ تا ۲۴ دسامبر ۲۰۰۵	۱۳
۸	البرز	جنوب عراق	۵۸۰	۲۰ هزار	۲۳ تا ۲۴ دسامبر ۲۰۰۵	۱۴

* چون این سامانه پس از عبور از ایران نیز به فعالیت خود ادامه داده است مسیریابی آن متوقف گردید.

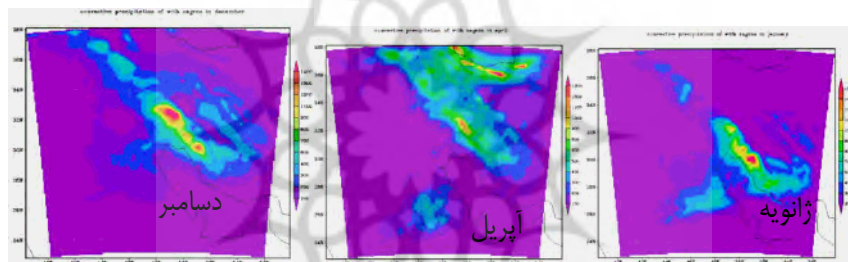
جدول ۲- تعداد ماهانه سامانه‌ها و مشخصات بارش ایستگاهی سامانه‌های منتخب (میلی متر)

ماه	تعداد سامانه	ایستگاه حداکثر بارش	ایستگاه حداقل بارش	میانگین بارش ایستگاه‌ها
۷ دسامبر ۲۰۰۱	۵	۶۰ (ایستگاه یاسوج)	۷/۲ (ایستگاه دزفول)	۳۹/۹
۱۱ ژانویه ۲۰۰۴	۳	۱۳۵ (ایستگاه یاسوج)	۱ (ایستگاه دزفول)	۳۶/۱
۴ آوریل ۲۰۰۴	۶	۱۰۷ (ایستگاه کوه‌رنگ)	۹ (ایستگاه رامهرمز)	۳۲/۵

ب. بارش همرفتی تجمعی ماهیانه دوره آماری

شکل ۳ بارش همرفتی تجمعی میان مقیاس شبیه‌سازی شده توسط مدل RegCM4 را نشان می‌دهد. بارش همرفتی تجمعی ماه دسامبر در جنوب غرب و غرب ایران تمرکز داشته و در شبیه‌سازی‌ها بیشینه بارش این ماه ۱۳۰۰ میلی متر برآورد شده است. هسته پربارش ماه ژانویه در زاگرس جنوبی و جنوب غرب ایران (۱۱۰۰ میلی متر) قرار داشته است. بیشینه بارش تجمعی ماه آوریل سواحل جنوبی دریای خزر و مناطق کوهستانی زاگرس میانی با ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی متر مستقر بوده است. در هر ماه، مقدار بارش همرفتی تجمعی شرق

زاگرس و دشت‌های مرکزی ایران کمتر از ۳۰۰ میلی متر بوده است. بیشینه بارش همرفتی تجمعی در ماه دسامبر بر زاگرس میانی، ماه ژانویه بر زاگرس جنوبی و در ماه آوریل بر زاگرس میانی، کرانه‌های جنوبی دریای خزر و دامنه‌های شمالی ارتفاعات البرز متمرکز بوده است. مقایسه نتایج حاصل از مدل RegCM4 و بارش همرفتی تجمعی دوره آماری ایستگاه‌های واقع در منطقه مورد مطالعه در جدول ۳ نشان می‌دهد انطباق مطلوبی بین بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل و بارش واقعی ایستگاه‌ها وجود دارد و در واقع مدل توانسته است مقادیر بارش همرفتی را به خوبی شبیه‌سازی نماید. این انطباق در ماه‌های ژانویه و دسامبر قوی‌تر می‌باشد؛ به گونه‌ای که در ماه دسامبر میانگین بارش تجمعی ایستگاهی (۱۵۰۸/۸) با بارش تجمعی شبیه‌سازی شده مدل (۱۴۰۰ میلی متر) تفاوت چندانی ندارد.



شکل ۳- بارش همرفتی تجمعی شبیه‌سازی شده ماهیانه سامانه‌ها

جدول ۳- مقایسه بارش تجمعی مدل و بارش تجمعی ایستگاه‌های واقع در هسته بارش

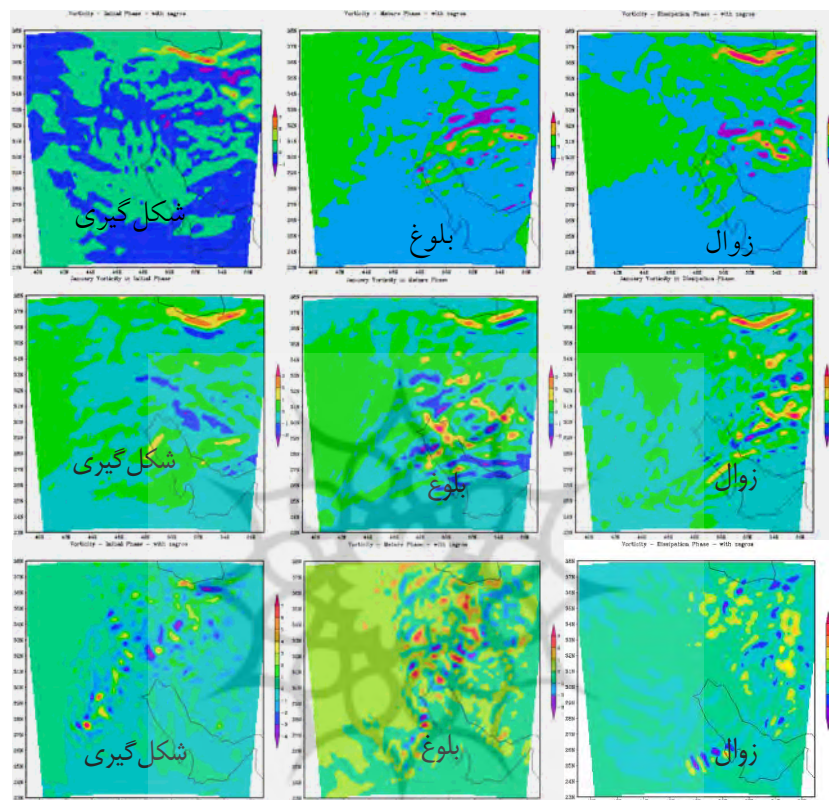
ماه	بارش تجمعی ایستگاه (میلی متر)			
	یاسوج	کوه‌رنگ	شهرکرد	میانگین ایستگاه‌ها
دسامبر	۱۹۴۶/۸	۲۰۴۶	۵۳۳/۶	۱۵۰۸/۸
ژانویه	۱۴۰۵/۹	۱۵۴۷/۲	۴۶۴/۵	۱۱۳۸/۵
آوریل	۴۴۷/۹	۱۰۷۳/۷	۱۹۳/۶	۵۷۱/۷

ج. بررسی رفتار دینامیکی

- تاوایی و همگرایی

نقشه‌های شکل ۴ مقادیر تاوایی سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس را در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد. در مرحله شکل‌گیری سامانه منتخب ماه آوریل، زنجیره‌ای از هسته‌های تاوایی مثبت (رنگ قرمز) از شمال عربستان تا مرز ایران و عراق به وجود آمده است. در مرحله بلوغ، دو هسته قوی از تاوایی مثبت به وجود آمده است که یکی از غرب کشور تا جنوب رشته‌کوه البرز و دیگری از خوزستان تا زاگرس میانی گسترش یافته است. مراکز تاوایی مثبت در مرحله زوال سامانه تضعیف شده‌اند و به مناطق شرقی ایران جابجا شده‌اند. این درحالی‌که است که مرکزی از تاوایی منفی (رنگ‌های آبی و بنفش) نیز در شرق زاگرس به وجود آمده است.

در مرحله شکل‌گیری سامانه‌های دسامبر و ژانویه، تاوایی منفی بر مناطق مختلف منطقه مورد مطالعه حکم‌فرما بوده است؛ اما در مرحله بلوغ با رسیدن سامانه به ارتفاعات تاوایی مثبت ایجاد شده است و هر چه بر ارتفاع افزوده می‌شود تاوایی قوی‌تر شده است. وجود هسته‌های کوچک و کم‌وسعت منفی و مثبت تاوایی در کنار هم نشان‌دهنده تأثیر توپوگرافی و پستی‌وبلندی‌هاست. این وضعیت در ماه آوریل متفاوت‌تر از ماه‌های دسامبر - ژانویه بوده است؛ زیرا در مرحله بلوغ با برخورد به زاگرس تقویت شده و در مرحله زوال هسته‌های تاوایی پس از عبور از زاگرس با همان قدرت مرحله قبلی به فعالیت خود ادامه داده‌اند. پس نتیجه می‌گیریم ارتفاعات بر سامانه‌های منتخب ماه‌های دسامبر و ژانویه بیشتر از سامانه ماه آوریل تأثیر داشته است؛ زیرا در ماه آوریل مراکز قوی از تاوایی مثبت در شرق زاگرس نیز فعالیت داشته است.

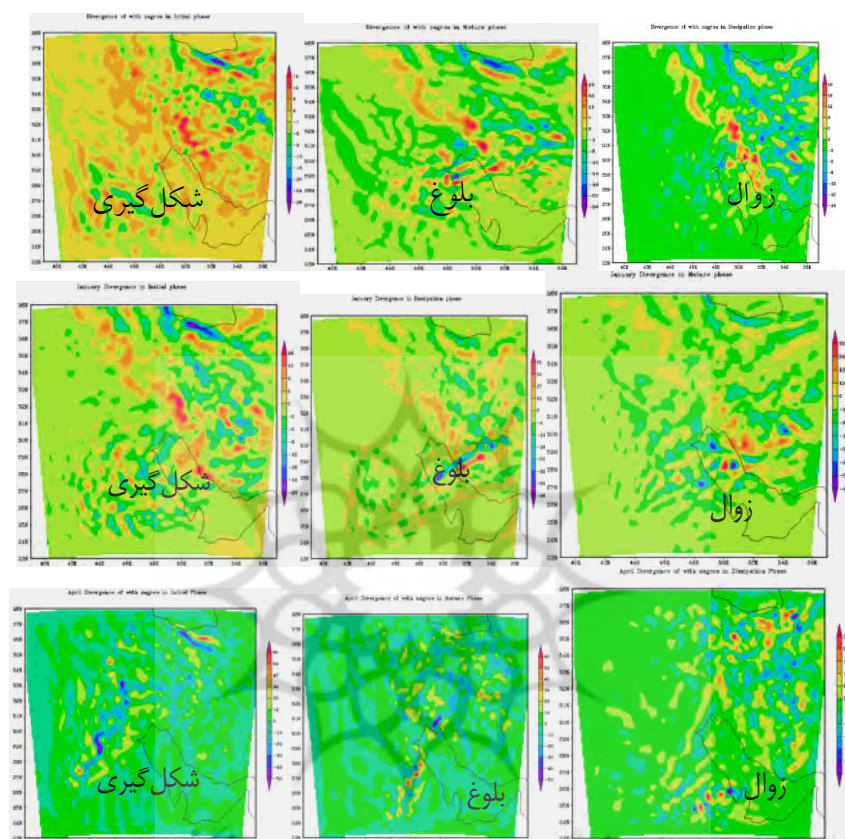


شکل ۴- هسته‌های تاوایی ($\times 10^{-6} s^{-1}$) سامانه‌ها: ردیف اول ۷ دسامبر ۲۰۰۱؛ ردیف دوم ۱۱ ژانویه ۲۰۰۴؛ ردیف سوم ۴ آوریل ۲۰۰۴ (رنگ قرمز تاوایی مثبت و رنگ‌های آبی و بنفش تاوایی منفی می‌باشد).

همچنین چینش الگوهای تاوایی در چرخه عمر سامانه‌های منتخب ماه‌های مختلف با هم متفاوت است؛ به گونه‌ای که در ماه دسامبر علامت تاوایی پس از عبور سامانه از شمال خلیج فارس و رسیدن به ارتفاعات زاگرس به صورت کریدورهایی با جهت جنوب غربی - شمال شرقی مثبت شده است که همزمان با مرحله بلوغ سامانه بوده است. قدرت این هسته‌ها در مرحله زوال سامانه کاهش یافته و به مناطق جنوبی‌تر یعنی شرق زاگرس و دشت‌های مرکزی ایران جابجا شده‌اند (هسته تاوایی مثبت در عرض ۳۰ تا ۳۱/۵ درجه و

هسته منفی در عرض ۳۲ درجه). هسته‌های منفی تاوایی مرحله شکل‌گیری سامانه ماه ژانویه جای خود را در مرحله بلوغ به هسته‌های وسیع‌تر و قوی‌تری از تاوایی مثبت در منطقه زاگرس (عرض ۳۰ تا ۳۳ درجه) داده‌اند که مقدار آن به بیش از ۳ واحد رسیده است. این درحالی‌که است که در دامنه‌های غربی زاگرس، هسته‌هایی از تاوایی منفی در عقب سامانه مشاهده می‌شود. این هسته‌های تاوایی مثبت، در مرحله زوال از نظر وسعت و شدت تضعیف شده‌اند. همچنین هسته‌های تاوایی منفی چرخه عمر سامانه ژانویه که در اواخر مرحله بلوغ شکل گرفتند قوی‌تر شده‌اند.

نقشه‌های شکل ۵ مقادیر همگرایی - واگرایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را برای سامانه‌های همرفتی ماه‌های دسامبر، ژانویه و آوریل نشان می‌دهد. هسته‌های همگرایی - واگرایی بافاصله‌ی اندکی به‌صورت نواری با جهت جنوبی - شمالی یا جنوب غربی - شمال شرقی در کنار هم دیده می‌شوند که ناشی از تأثیر وجود کوه‌های بلند در کنار دشت‌های کم ارتفاع می‌باشد. چینش و نظم الگوهای موجود در میدان‌های همگرایی - واگرایی سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس تقریباً شبیه چینش میدان‌های تاوایی بوده است؛ به‌طوری‌که در مرحله شکل‌گیری این سامانه‌ها شمال خلیج فارس و منطقه زاگرس را مقادیر قوی از واگرایی (رنگ قرمز) پوشش داده است؛ اما در مرحله بلوغ هسته‌هایی به‌صورت نوارهای متناوبی از همگرایی و واگرایی (مثبت و منفی) از شمال زاگرس تا جنوب آن به وجود آمده است به‌گونه‌ای که در این مرحله در ارتفاعات رشته‌کوه زاگرس و دامنه‌های شرقی آن همگرایی (رنگ‌های آبی و بنفش) و در خوزستان و غرب زاگرس واگرایی مشاهده می‌شود. نظم این هسته‌ها در مرحله زوال به‌هم‌ریخته و دچار بی‌نظمی شده‌اند و وسعت خود را از دست داده و تعداد آن‌ها کاهش یافته است.



شکل ۵- هسته‌های همگرایی ($\times 10^2 s^{-1}$) سامانه‌ها: ردیف اول ۷ دسامبر ۲۰۰۱؛ ردیف دوم ۱۱ ژانویه ۲۰۰۴؛ ردیف سوم ۴ آوریل ۲۰۰۴ (رنگ قرمز واگرایی و رنگ‌های آبی و بنفش همگرایی می‌باشند).

وسعت و قدرت مراکز همگرایی مرحله زوال همه سامانه‌ها تضعیف و در مقابل مراکز واگرایی آن‌ها تقویت شده است که مچادو و لائورانت (۲۰۰۴) ثابت کردند واگرایی باد بالایی و فرایندهای تراکم متأثر از توپوگرافی باعث گسترش سامانه در این مرحله می‌شود. وجود کریدورهای تاوایی منفی و مثبت با جهت جنوب غربی- شمال شرقی و میدان‌های

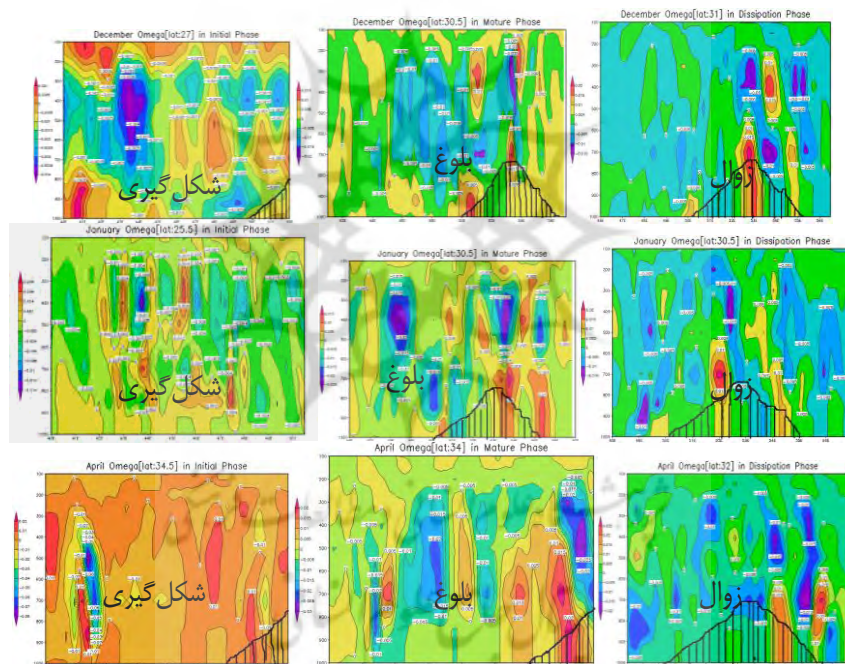
همگرایی- واگرایی با جهت شمالی- جنوبی در ماه‌های دسامبر و ژانویه در کنار همدیگر، نقش توپوگرافی محلی و پستی‌وبلندی‌ها را در چینش میدانی کمیت‌ها نشان می‌دهد. وسعت هسته‌ها و الگوهای تاوایی و همگرایی- واگرایی ماه آوریل از نظر گسترش مکانی نسبت به ماه‌های دسامبر- ژانویه کمتر و تعداد آن‌ها بیشتر بوده است. همچنین تاوایی مثبت و همگرایی سامانه همرفتی ماه آوریل قوی‌تر و شدیدتر از ماه‌های دسامبر و آوریل بوده است. به‌گونه‌ای که بیشینه تاوایی مثبت ماه آوریل در مرحله بلوغ به بیش از ۳ واحد و در ماه دسامبر به کمتر از ۲ واحد رسیده است؛ درحالی‌که در چینش هسته‌های همگرایی- واگرایی و تاوایی ماه آوریل نظم خاصی مشاهده نمی‌شود.

- سرعت قائم

مقادیر منفی سرعت قائم دلالت بر صعود هوا (سرعت قائم بالاسو) و تقویت همرفت دارد، درحالی‌که مقادیر مثبت سرعت قائم نشان‌دهنده نزولی بودن جریان هوا (سرعت قائم پایین‌سو) بوده و واگرایی را تقویت می‌کند (قویدل رحیمی، ۱۳۸۹: ۱۸۲). نقشه‌های شکل ۶ نیم‌رخ سرعت قائم سامانه‌های همرفتی را نشان می‌دهد. در سامانه‌های دسامبر و ژانویه با افزایش تدریجی ارتفاع بر مقادیر منفی سرعت قائم بالاسو از غرب به شرق در منطقه زاگرس افزوده می‌شود. با برخورد سامانه‌ها به ارتفاعات زاگرس مقادیر سرعت قائم در ستیغ ارتفاعات مثبت شده است. درحالی‌که با رسیدن به مناطق پست‌تر در شرق زاگرس دوباره هسته‌هایی از سرعت قائم منفی تشکیل شده است. این در حالی است که این شرایط در ماه ژانویه کاملاً به هم خورده است به‌گونه‌ای که مقادیری از سرعت قائم منفی بعد از عبور سامانه از زاگرس نیز در طول جغرافیایی ۵۳ تا ۵۴ درجه و در ترازهای بالاتر از ۶۰۰ هکتوپاسکال مشاهده می‌گردد.

بررسی سرعت قائم سامانه بیانگر کاهش نسبی سرعت قائم منفی پس از کاهش ارتفاع ناهمواری‌ها است. برش قائم سرعت قائم هر مرحله از سامانه نشان می‌دهد که اثر این رشته‌کوه‌ها نه‌تنها در سطوح زیرین، بلکه تا سطوح بالای جو نیز امتداد یافته است. در مرحله شکل‌گیری سامانه ماه دسامبر، از آنجایی که طول جغرافیایی از ۳۸ تا ۴۶ درجه شرقی خارج از

مرزهای غربی ایران است و ناهمواری‌ها ارتفاع کمتری دارند، بنابراین در سرعت قائم تفاوت زیادی مشاهده نمی‌شود. بیشینه سرعت قائم منفی ماه‌های دسامبر و ژانویه در مرحله بلوغ به ترتیب با $-0/025$ و $-0/015$ پاسکال بر ثانیه در سطوح 400 و 500 هکتوپاسکال و در طول جغرافیایی 54 درجه بوده که تشدید جریانات همرفتی همراه با صعود هوا را نشان می‌دهد؛ اما بیشینه سرعت قائم ماه آوریل (نقشه‌های ردیف سوم) با $-0/06$ پاسکال بر درجه در مرحله شکل‌گیری سامانه در تراز 600 هکتوپاسکال و در $45/5$ درجه طول جغرافیایی بوده است.



شکل ۶- نیم‌رخ سرعت قائم (pa s^{-1}) سامانه‌ها: ردیف اول ۷ دسامبر ۲۰۰۱؛ ردیف دوم ۱۱ ژانویه ۲۰۰۴؛ ردیف سوم ۴ آوریل ۲۰۰۴ (محور افقی طول جغرافیایی و محور عمودی سطوح مختلف جو می‌باشد)

به‌منظور بررسی بیشتر تأثیرات ارتفاعات زاگرس بر کمیت‌های دینامیکی سامانه‌های همرفتی، تغییرات مقادیر هسته اصلی این کمیت‌ها در دو موقعیت غرب و شرق زاگرس باهم مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج این مقایسه در جدول ۴ نشان می‌دهد نظم ارتفاعات هم در چینش هسته‌ها و هم در وسعت و قدرت کمیت‌های ماه‌های دسامبر و ژانویه تأثیر داشته است؛ به‌طوری‌که مقادیر کمیت‌های این سامانه‌ها در دو موقعیت غرب و شرق زاگرس تفاوت زیادی با هم دارند؛ اما در مقابل قدرت و وسعت کمیت‌های سامانه منتخب ماه آوریل در دو موقعیت یادشده دچار تغییر چندانی نشده است.

جدول ۴- تغییرات کمیت‌های دینامیکی سامانه‌های منتخب ماه‌های دسامبر، ژانویه و آوریل

سرعت قائم (pa s^{-1})		همگرایی ($\times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$)		تاوایی ($\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$)		
شرق زاگرس	غرب زاگرس	شرق زاگرس	غرب زاگرس	شرق زاگرس	غرب زاگرس	
-۰/۰۲	-۰/۰۲۵	-۱۴	-۱۰	۲/۵	۱/۵	دسامبر
-۰/۰۲	-۰/۰۳	-۳۵	-۱۵	۴	۳	ژانویه
-۰/۰۳	-۰/۰۳۵	-۲۰	-۲۰	۳/۵	۳	آوریل

نتیجه‌گیری

در این مطالعه ویژگی‌ها و شرایط دینامیکی رخداد سامانه‌های همرفتی میان مقیاس غرب ایران با استفاده از روش‌های آستانه‌های دمای درخشندگی و مدل اقلیمی RegCM4 بررسی گردید.

بررسی فراگیرترین و بزرگ‌ترین سامانه‌های همرفتی میان مقیاس با استفاده از آستانه دمای درخشندگی ۲۲۴ کلوین نشان داد مکان شکل‌گیری سامانه‌های همرفتی میان مقیاس بدون اشتقاق و ادغام در جنوب عراق و شمال عربستان بوده است. بین سامانه‌های منتخب ماه‌های سرد و گرم سال از نظر کمیت‌های دینامیکی تفاوت آشکاری وجود دارد. وسعت هسته‌ها و الگوهای تاوایی و همگرایی-واگرایی ماه آوریل از نظر گسترش مکانی نسبت به ماه‌های دسامبر-ژانویه کمتر و تعداد این هسته‌ها بیشتر بوده است. در سامانه‌های منتخب

ماه دسامبر تأثیر ارتفاعات بر تاوایی کمتر از همگرایی بوده است؛ اما در سامانه‌های منتخب آوریل ارتفاعات باعث تغییر الگوی همگرایی نشده است؛ بنابراین الگوی جریان‌های سامانه‌های منتخب ماه‌های سرد سال (دسامبر - ژانویه) متأثر از الگوی ارتفاعات بوده است. در مقابل ارتفاعات زاگرس تأثیر زیادی در قدرت فعالیت سامانه آوریل (ماه گرم‌تر سال) نداشته است؛ در نتیجه می‌توان گفت با تغییر شرایط دمایی از شرایط سرد به شرایط گرم، میزان تبعیت از توپوگرافی و شرایط محلی کاهش یافته است. وجود کریدورهای تاوایی منفی و مثبت با جهت جنوب غربی - شمال شرقی و میدان‌های همگرایی - واگرایی با جهت شمالی - جنوبی در ماه‌های دسامبر و ژانویه در کنار همدیگر، نقش توپوگرافی محلی و پستی و بلندی‌ها را در چینش میدانی کمیت‌ها نشان می‌دهد.



منابع

- ایران‌نژاد، پرویز؛ احمدی گیوی، فرهنگ؛ پازوکی، روزبه (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؛ مدیریان، راحله؛ کریمیان، مریم (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.
- بساطی، سعید (۱۳۹۵)، *بررسی شرایط و ویژگی‌های رخداد سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس در غرب ایران*، رساله دکتری، دانشگاه لرستان، دانشکده ادبیات، استاد راهنما داریوش یاراحمدی.
- حجازی زاده، زهرا؛ کریمی، مصطفی؛ ضیاییان، پرویز؛ رفعتی، سمیه (۱۳۹۳)، بررسی سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس با استفاده از تصاویر دمای درخشندگی در جنوب غرب ایران، *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، سال چهاردهم، شماره ۳، صص ۶۹-۴۵.
- جلالی، مسعود؛ کمریان، وهاب (۱۳۹۶)، تحلیل طیفی سری‌های زمانی توفان‌های تندری شمال غرب ایران، *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، شماره ۶۱، صص ۱۸۲-۱۶۵.
- شبانیان، چالش تری، امیر؛ اصفهانی، محمدعلی، نصر؛ ارکیان، فروزان (۱۳۹۴)، بررسی عوامل مؤثر بر بارش‌های تابستانی در یک ناحیه با توپوگرافی پیچیده، *فیزیک زمین و فضا*، دوره ۴۱، شماره ۳، صص ۵۷۷-۵۶۵.
- شمس‌پور، علی‌اکبر؛ کاکلی، سیفاله؛ جعفری، ایوب؛ جاسمی، سیدمیتیم (۱۳۹۷)، واکاوی هم‌دید دینامیکی بارش‌های سنگین غرب و جنوب غرب ایران، *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، شماره ۶۴، صص ۱۷۳-۱۵۳.
- قویدل رحیمی، یوسف، (۱۳۸۹)، *نگاشت و تفسیر سینوپتیک اقلیم با استفاده از نرم‌افزار Grads*، انتشارات سها دانش، چاپ اول، تهران.

-لشکری، حسن؛ متکان، علی‌اکبر؛ محمدی، زینب (۱۳۹۷)، تحلیل الگوهای هم‌مدیدی منجر به بارش‌های زودرس جنوب و جنوب غرب ایران، *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، شماره ۶۴، صص ۲۷۲-۲۵۳.

-نوری، حمید؛ غیور، حسینعلی؛ مسعودیان، سید ابوالفضل؛ آزادی، مجید (۱۳۹۲)، بررسی الگوهای هم‌مدید-دینامیک رویدادهای بارشی سنگین همرفت و غیر همرفت سواحل جنوبی خزر با استفاده از مدل عددی پیش‌بینی هوا (WRF)، *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، سال ۲۸، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۲، شماره پیاپی ۱، صص ۲۳۸-۲۱۵.

- یاراحمدی، داریوش؛ بساطی، سعید؛ نصیری، بهروز؛ رفعتی، سمیه (۱۳۹۵)، بررسی تأثیرات ارتفاعات زاگرس بر چرخه عمر سامانه‌های میان‌مقیاس غرب ایران، *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، شماره ۱۸، صص ۱۰۴-۸۷.

-Chen, C, S., Y, L, Lin., H, T, Zeng., C, Y, Chen, C, L, Liu (2014), Orographic effects on heavy rainfall events over northeastern Taiwan during the northeasterly monsoon season, *Atmospheric Research*, Vol 122, pp 310-335.

-Cotton, R.W., Anthes, R.A (1989), Storms and Cloud Dynamics. *International Geophysical Services*. 44, 883.

-Doswell C.A., Brooks, H.E., Maddox, R.A (1996), Flash Flood Forecasting: Ingredients Based Methodology, *Weather and Forecasting*, Vol. 11, No. 4, PP. 560-581.

-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.

-Labbouz, J; Van, Baelen; F, Tridon; M, Reverd; M, Hagen; M. Bender; G. Dick; T, Gorgas; C, Planche (2013), Precipitation on the lee side of the Vosges Mountains: Multi-instrumental study of one case from the COPS campaign, *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 22, 4, 413-432.

- Morel, C., Senesi, S (2002), A climatology of mesoscale convective systems over Europe using satellite infrared imagery I:Methodology. ***Journal of the Royal Meteorological Society***, 128, 1953–1971.
- Planche, I; W, Wobrock; A, I; Flossmann, F, Tridon, L, Labbouz and J, Van Baelen (2013) Small scale topography influence on the formation of three convective systems observed during COPS over the Vosges Mountains, ***Meteorologische Zeitschrift***, Vol. 22, No. 4, 395–411.

