نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال شانزدهم، شماره ۴۲، پاییز ۹۵

واکاوی ویژگی‌های سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس غرب ایران مطالعه موردی: ۲۳ آوریل ۲۰۰۴

دریافت مقاله: ۹۴/۱۰/۹ پذیرش نهایی: ۹۵/۹/۶

صفحات:۱۵۴-۱۳۳

داریوش یاراحمدی دانشیار اقلیم شناسی گروه علوم جغرافیایی دانشگاه لرستان، خرم آباد[1]
Email: Dr.Yarahmadi@Gmail.com
سعید بساطی: دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، گروه علوم جغرافیایی دانشگاه لرستان، خرم آباد
Email:s.basati55@Yahoo.com
بهروز نصیری: استادیار اقلیم شناسی، گروه علوم جغرافیایی دانشگاه لرستان، خرم آباد
Email: Behrouz.nasiri46@gmail.com
سمیه رفعتی: استادیار اقلیم شناسی، علوم جغرافیایی دانشگاه سیدجمال الدین اسدآبادی، اسدآباد، ایران
Email: rafatisomayeh@gmail.com

چکیده

بارش‌های سنگین ناشی از سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس در غرب ایران که از نظر شدت و فراوانی باعث خسارات جانی و مالی زیادی شده‌اند و سهم زیادی از بارش سالانه را به خود اختصاص داده‌اند، نقش مهمی در امنیت غذایی و منابع آب داشته و بدین منظور چرخه عمر، شرایط تشکیل و ویژگی‌های سامانه همرفتی میان‌مقیاس ۲۳آوریل ۲۰۰۴ با استفاده از تصاویر ماهواره‌های متئوست، GEOS و GMS از طریق معیارهای شاخص تغییرات مساحت (ΔE)، آستانه‌های دمای درخشندگی ۲۲۱ و ۲۴۳ کلوین و آستانه مساحت بیش از ۱۰۰۰۰ کیلومترمربع مورد بررسی قرار گرفت. مساحت سامانه در شروع چرخه عمر با روند کندی افزایش داشته و روند کاهشی مساحت آن در مرحله زوال شدید و ناگهانی است. در مرحله شکل‌گیری شرایط سینوپتیک تأثیر بیشتری داشته و عامل غالب بوده است؛ اما در مرحله بلوغ تأثیر توپوگرافی و ارتفاعات زاگرس در شدت فعالیت مؤثرتر بود. یافته‌های این مطالعه نشان داد، در مرحله بلوغ، با افزایش درصد کسر همرفتی و کاهش دمای درخشندگی بر شدت فعالیت همرفتی افزوده شده؛ اما در مرحله زوال این وضعیت برعکس شده است. همچنین ساعات اوج فعالیت همرفتی و افزایش مساحت سامانه همزمان با بیشینه سرعت سامانه بوده است.

کلیدواژگان: سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس (MCS)، چرخه عمر، شاخص ΔE، ایران

---

[1]. **نویسنده مسئول:** لرستان، خرم آباد، دانشگاه لرستان، گروه علوم جغرافیایی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.7.2]

مقدمه

بارش همرفتی، گرما را در سطوح بالاتر اتمسفر آزاد می‌کند. گرمای آزاد شده در سطوح مختلف اتمسفر حرکات افقی و عمودی هوا را تحت تأثیر قرار می‌دهد، در نتیجه گرمای حاصل از انواع مختلف بارش می‌تواند الگوهای آب و هوایی را تغییر دهد. سامانه‌های همرفتی در ارتباط با پدیده‌هایی مثل رعدوبرق، بارش‌های سنگین، تگرگ، بادهای قوی یا حتی پیچند شناخته می‌شوند (توماس و همکاران، ۲۰۱۰: ۳۱۶۲) و در دامنه وسیعی از مقیاس‌های فضایی و زمانی در اتمسفر شکل می‌گیرند (رفعتی، ۱۳۹۱: ۴۵). وقتی‌که شرایط هواشناسی برای تشکیل سامانه‌های همرفتی مطلوب باشد، عموماً ساختارها با یکدیگر ادغام شده و مساحتی با وسعت ده‌ها کیلومترمربع را می‌پوشانند. محور اصلی این نوع سامانه به مدت حداقل ۳ ساعت و طولی برابر یا بیش از ۱۰۰ کیلومتر دارد (کاتن و انتز، ۱۹۸۹: ۸۸۳). این سامانه‌ها اغلب با شرایط آب و هوایی سخت (سیل‌های برق‌آسا و تگرگ) همراه هستند که خسارات زیادی را ایجاد می‌کنند. مطالعه MCSs به علت نقش کلیدی‌شان در توزیع انرژی، تکانه و آب در اتمسفر، نیز بسیار مهم است (مورل و سنسی، ۲۰۰۲: ۱۹۵۳)؛ بنابراین شناخت آن‌ها جهت برنامه‌ریزی و پیش‌بینی در بخش‌های مختلف اقتصادی – اجتماعی مانند منابع آب، کشاورزی، انرژی و ... ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است.

درتحقیقات بسیاری به تحلیل سامانه‌های همرفتی با استفاده از ماهواره‌های هواشناسی پرداخته شده است (ماچادو و همکاران، ۱۹۹۸: ۱۶۳۰؛ ماتون و لائورانت، ۲۰۰۱: ۳۷۷؛ مورل و سنسی، ۲۰۰۲: ۱۹۵۳). به‌طورکلی داده‌های ماهواره‌ای ابزار مناسبی برای مطالعه فعالیت همرفتی هستند. دمای درخشندگی سطح ابر به‌دست‌آمده از طیف‌های مادون‌قرمز ماهواره‌های زمین آهنگ به دلیل دارا بودن قدرت تفکیک زمانی بالا شاخص مناسبی برای پایش سامانه‌های همرفتی است. دمای درخشندگی خیلی پایین شاخص خوبی برای شناسایی ابرهای سرد مرتبط با همرفت است (یوتر و هاوز، ۱۹۹۸: ۵۳). انتخاب دقیق آستانه دمای درخشندگی تا اندازه‌ای اختیاری است (رفعتی، ۱۳۹۱ به نقل از فوتیان و دل جینو، ۲۰۰۷: ۵۰۴۱).

معمول‌ترین روش برای شناسایی سامانه‌های همرفتی استفاده از آستانه‌های دما و مساحت است که بر اساس آن پیکسل‌های مجاوری که دمای درخشندگی کم‌تر از آستانه دارند و مساحت مجموع آن‌ها بیش از آستانه‌ی تعیین‌شده باشد، به عنوان سلول‌های همرفتی معرفی می‌شوند (وودلی و همکاران، ۱۹۸۰: ۳۸۸).

در مطالعات مختلف، مسیریابی سامانه‌ها غالباً بااستفاده ازدیدگاه ماکزیمم مساحت هم‌پوشانی که توسط ویلیامز و هوز (ویلیامز و هوز، ۱۹۸۷: ۵۰۵) پیشنهاد شد، انجام شده است (ماچادو و

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.7.2]

همکاران، ۱۹۹۸: ۱۶۳۰؛ مورل و سنسی، ۲۰۰۲: ۱۹۵۳؛ ماتون و لائورانت، ۲۰۰۴: ۳۷۷). خوشه‌های ابر همپوشانی در تصویر گام زمانی دوم همان خوشه‌های گام زمانی قبل هستند که جابجا شده‌اند و از نظر اندازه، شکل و ویژگی‌های رفتاری و مورفولوژیکی دچار تغییرات شده‌اند. سامانه‌ای که خودبه‌خود شکل گرفته است و حاصل اشتقاق[1] یا ادغام[2] نباشد، در هنگام تولد هیچ‌گونه همپوشانی در تصاویر قبلی ندارد. چنین روشی از مسیریابی ارتباط خوشه‌های بین دو گام زمانی متوالی را نشانه‌گذاری و ردیابی می‌کند. برای کشف و شناسایی چرخه عمر[3] (شکل‌گیری[4]، بلوغ[5] و زوال[6])، مسیریابی با گام‌های زمانی روبه جلو و گام‌های زمانی روبه عقب انجام می‌گیرد یعنی در مسیریابی روبه‌جلو، همپوشانی خوشه‌ای در زمان t، در گام زمانی بعد (t+1) ردیابی و در مسیریابی روبه عقب، همپوشانی خوشه‌ای در گام زمانی t+1، در گام زمانی قبل مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (رفعتی، ۱۳۹۱: ۵۰).

با مقایسه تصاویر متوالی با استفاده از این الگوریتم یکی از ۵ موقعیت زیر برای مسیریابی یک سامانه همرفتی به وجود می‌آید:

۱. شروع مسیر: سلول همرفتی موجود در تصویر با سلول‌های موجود در تصویر قبلی هم‌پوشانی نداشته باشد. این موقعیت به عنوان آغاز چرخه عمر سامانه جدید در نظر گرفته می‌شود.

۲. پایان مسیر: سلول همرفتی موجود در تصویر با سلول‌های موجود در تصویر بعدی هم‌پوشانی نداشته باشد که چنین وضعیتی به عنوان مرگ و زوال چرخه عمر سامانه تلقی می‌گردد.

۳. تداوم: سلول همرفتی موجود در تصویر تنها با یک سلول در تصویر بعدی هم‌پوشانی داشته باشد که باید به مسیریابی ادامه دهیم.

۴. اشتقاق: سلول همرفتی موجود در تصویر با بیش از یک سلول در تصویر بعدی هم‌پوشانی داشته باشد.

۵. ادغام: سلول همرفتی موجود در تصویر با بیش از یک سلول در تصویر قبلی هم‌پوشانی داشته باشد. (حجازی زاده و همکاران، ۱۳۹۳: ۴۹).

1 -Split
2 -Merge
3 -Life Cycle
4 - Initial
5 - Maturation
6 - Dissipation

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.7.2]

سامانه‌هایی که حاصل ادغام یا اشتقاق باشند شناسایی چرخه عمر آن‌ها عملاً غیرممکن است. روش تشخیص چنین سامانه‌هایی بدین گونه است که اگر سلول همرفتی موجود در تصویر با بیش از یک سلول در تصویر بعدی همپوشانی داشته باشد دچار اشتقاق و اگر با بیش یک سلول در تصویر قبلی همپوشانی داشته باشد دچار ادغام شده است(فوتیان و جنیو، ۲۰۰۷: ۵۰۴۱).

در مطالعات مختلف از شاخص تغییرات مساحت یا ΔE که توسط ویلا و همکاران (۲۰۰۸، ۲۳۴) ارائه شده است برای شناسایی مراحل چرخه عمر سامانه‌ها استفاده کرده‌اند؛ به‌گونه‌ای که قبل از اینکه سامانه به حداقل دمای درخشندگی‌اش برسد، به‌صورت عمودی رشد می‌کند و گسترش می‌یابد. دوره بعد از رشد افقی به‌عنوان مرحله بلوغ و وقتی‌که کاهش مساحت سامانه شروع شود به‌عنوان مرحله مرگ مورد تحلیل قرار می‌گیرد. تعریف چرخه عمر بر اساس تغییرات مساحت سامانه و دمای درخشندگی می‌باشد. مساحت سامانه در هرکدام از مراحل چرخه عمر از تعداد پیکسل‌ها، با دمای درخشندگی کم‌تر از آستانه داده‌شده محاسبه می‌شود. مقادیر مثبت فرایند توسعه و رشد سامانه و مقادیر منفی کاهش اندازه سامانه را نشان می‌دهد؛ به عبارتی، مقدارΔE در شروع زندگی سامانه مثبت، در طول مرحله بلوغ صفر و در مرحله مرگ سامانه منفی خواهد شد.

ساکاموتو و همکاران (۲۰۱۱: ۳۲۱) در پژوهشی چرخه عمر و منابع رطوبتی سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس (MCS) را در غرب کلمبیا بررسی کرده‌اند. نتایج آن‌ها نشان داد MCS در تابستان و پاییز بیشتر رخ می‌دهند و سامانه‌های فصل تابستان دارای عمر طولانی‌تر و گسترش بیشتری هستند. در پژوهشی که توسط ماچادو و همکاران (۱۹۹۸: ۱۶۳۰) صورت گرفته است نشان می‌دهد چنین سامانه‌هایی ۷۰ درصد از بارش سالانه را به خود اختصاص داده‌اند و تعداد سامانه‌های میان‌مقیاس همرفتی[1] (MCS) غرب کلمبیا و ساحل اقیانوس آرام بیشتر بوده است. ماپس و همکاران (۲۰۰۳: ۷۹۹) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نتایج مدل‌های عددی، یک تغییر روزانه را در عرض خط ساحل با بارش غالب بعدازظهر در خشکی مشاهده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که همرفت بعدازظهر در نزدیک ساحل با ابرهای سطح پایین، می‌تواند ناشی از پاسخ کوه‌های آند به گرمای خورشیدی، انتقال متلاطم گرما و رطوبت و نسیم دریا باشد. ماچادو و همکاران (۱۹۹۸: ۱۶۳۰) همچنین با استفاده از تصاویر ماهواره به ردیابی چرخه عمر MCS پرداختند و مشاهده کردند که تکثیر سامانه‌های غرب کلمبیا در سراسر سال یک مسیر

[1] -Mesoscale Convective Systems

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.7.2]

منطقه‌ای به‌طور عمده از شرق به غرب نیمکره شمالی را نشان می‌دهد. اگرچه آن‌ها مهم‌ترین ویژگی‌های این سامانه‌ها مانند بارش محلی و چرخه عمر را شناسایی کرده‌اند؛ اما ویژگی‌هایی همچون منشأ رطوبت و پارامترهای رفتاری آن‌ها در طی سال باید بررسی شود.

حجازی زاده و همکاران (۱۳۹۳: ۴۵) سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس را از طریق آستانه‌ی دمایی ۲۲۸ درجه کلوین، آستانه‌ی بیشینه مساحت ده هزار کیلومترمربع و آستانه‌ی طول عمر ۳ ساعت شناسایی و مسیریابی کرده‌اند. یافته‌های این تحقیق نشان داد، بیشترین تعداد MCS در ماه دسامبر (۵۴ مورد) رخداده است، شکل‌گیریMCS از شرایط توپوگرافی تأثیر پذیرفته، ولی دامنه‌ی رو به باد نقش خیلی مهمی در شکل‌گیری آن‌ها نداشته است. در این پژوهش که اولین مطالعه درباره این نوع سامانه‌ها در ایران است چرخه عمر و پارامترهای رفتاری مورد بررسی قرار نگرفته است و تنها الگوهای فضایی- زمانی سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس مورد تحلیل قرار گرفته است. در ایران پژوهش‌های دیگری بارش‌های رگباری و همرفت را با استفاده از روش‌های شبیه‌سازی و الگوهای همدید- دینامیک موردمطالعه قرار داده‌اند که ازجمله می‌توان کارهای قندهاری و همکاران (۱۳۸۷: ۴۱) و ایران‌نژاد و همکاران (۱۳۸۸: ۱۰۱) را نام برد.

بررسی پژوهش‌های مذکور نشان داد که تعدادی از این مطالعات با استفاده از تحلیل سینوپتیک و به صورت مطالعه موردی انجام گرفته و تعدادی دیگر هم در ارتباط با ویژگی‌های آماری بارش‌های رگباری بوده است؛ اما تاکنون در ایران ویژگی‌ها، پارامترهای رفتاری و چرخه عمر سامانه‌های همرفتی موردمطالعه قرار نگرفته است. لذا هدف اصلی این پژوهش تحلیل فضایی و تغییرات زمانی چرخه عمر سامانه همرفتی میان‌مقیاس ۲۳ آوریل ۲۰۰۴ و بررسی ویژگی‌های رفتاری آن می‌باشد.

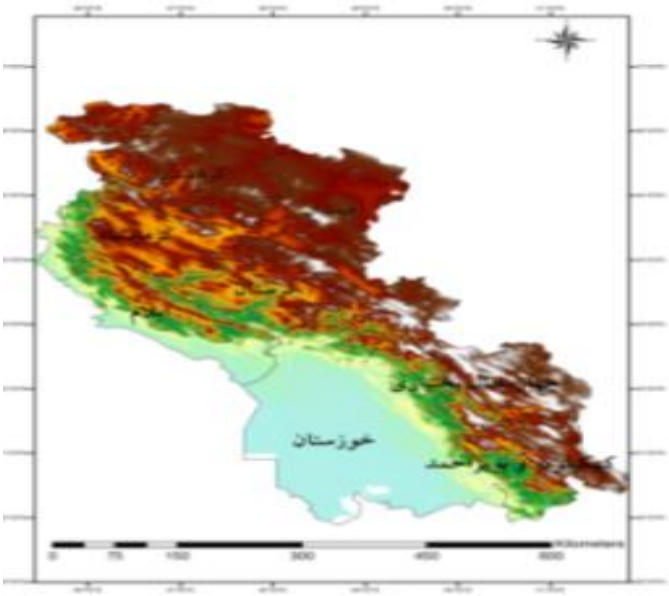
مواد و روش کار

منطقه مورد مطالعه

قلمرو این پژوهش مساحت ۲۲۰۰۰۰ کیلومترمربعی محدوده غرب ایران را در بر می‌گیرد که شامل استان‌های کرمانشاه، کردستان، همدان، لرستان، خوزستان، کهگیلویه و بویراحمد، ایلام و چهارمحال بختیاری می‌باشد؛ بنابراین مشخصات جغرافیایی محدوده موردمطالعه از′۵۱ °۲۹ تا ′۵ °۳۶ درجه عرض شمالی و از′۳ °۴۵ تا′۵۴ °۵۲ درجه طول شرقی را شامل می‌شود (شکل ۱).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.7.2]



شکل (۱). نقشه منطقه موردمطالعه و وضعیت توپوگرافی آن

روش تحقیق

داده‌ها

در این پژوهش دو گروه داده مورد استفاده قرار گرفته است: ۱- داده‌های ماهواره‌ای: تصاویر مورداستفاده در این تحقیق محصولات دمای درخشندگی حاصل از باند مادون‌قرمز ماهواره‌های زمین آهنگ متئوست، GOES و GMS می‌باشد. این داده‌ها توسط مرکز پیش‌بینی اقلیمی NWS/NCEP برای ایجاد یک مجموعه با پوشش جهانی با یکدیگر ادغام‌شده است و دارای قدرت تفکیک مکانی ۴ کیلومترمربع و قدرت تفکیک زمانی ۳۰ دقیقه می‌باشند. این تصاویر از وب‌سایت http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/precipitation اخذ شد و با استفاده از نرم‌افزار ENVI زمین مرجع شدند. ۲- داده‌های شبکه‌ای: از داده‌های شبکه‌ای برای بررسی الگوهای فشار سطح زمین در روزهای رخداد سامانه‌ها و ارتفاع ژئوپتانسیل سطوح جو استفاده شد که شامل داده‌های فشار، ارتفاع ژئوپتانسیل و امگا می‌باشند. تمام این داده‌ها از سایت NCEP/NCAR در محدوده مورد مطالعه به دو فرمت متنی و NetCDF دریافت شدند.

شناسایی و مسیریابی چرخه عمر سامانه

در این مطالعه بر اساس پیشنهاد مورل و سنسی (۲۰۰۲: ۱۹۵۳) سامانه‌هایی به عنوان سامانه همرفتی میان‌مقیاس شناخته می‌شوند که مساحتی بیش از ۱۰۰۰۰ کیلومترمربع و طول عمری بیش از ۳ ساعت داشته باشند. بر این اساس سامانه روز ۲۳ آوریل ۲۰۰۴ به عنوان

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.7.2]

سامانه همرفتی میان‌مقیاس شناسایی این سامانه که چرخه عمر خود را بدون اشتقاق و ادغام گذرانده است فراگیرترین و بزرگ‌ترین و ایده‌ال‌ترین سامانه برای بررسی بود.

با توجه به اینکه (فوتیان و جنیو، ۲۰۰۷: ۵۰۴۱) 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 (۲۰۰۲a: ۱۹۵۳) نتیجه‌گیری نمودند که مسیرهای به‌دست‌آمده در هر آستانه دمایی بین ۲۴۵ تا ۲۲۱ کلوین دقیق است؛ در نتیجه در این پژوهش از آستانه‌های دمای درخشندگی ۲۲۱ و ۲۴۳ کلوین برای شناسایی مراحل چرخه عمر استفاده شد.

مسیریابی سامانه‌ها از طریق روش همپوشانی (ویلیامز و هاوز، ۱۹۸۷: ۵۰۵؛ ماچادو و همکاران، ۱۹۹۸: ۱۶۳۰؛ ماتون و لائورانت، ۲۰۰۴: ۳۷۷) که در کار حجازی زاده و همکاران (۱۳۹۳) ارائه شده است اجرا گردید. بدین‌صورت که در نرم‌افزار ArcGIS ابتدا مرکز هر سلول همرفتی تعیین شد. با اتصال مراکز سلول‌هایی که در تصاویر متوالی با یکدیگر همپوشانی داشتند، مسیرها تعیین شدند. در مواردی که چند هسته سرد در نزدیکی هم قرار داشته‌اند و مسیر مشابهی را طی می‌کردند، به عنوان بخشی از سامانه در نظر گرفته شد.

شناسایی و مسیریابی چرخه عمر سامانه ۲۳ آوریل ۲۰۰۴ در نرم‌افزار ENVI انجام گرفت و با انتقال این سامانه به محیط ArcGIS پارامترهایی مانند تغییر مساحت (ΔE)[1]، مساحت، تعداد خوشه‌ها، سرعت، جابجایی و کسر همرفتی[2] در مراحل مختلف چرخه عمر سامانه محاسبه و مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. مراحل چرخه عمر سامانه از طریق روش افزایش مساحت نرمال شده (رابطه ۱) که اعتبارسنجی و پایایی آن توسط ویلا و همکاران (۲۰۰۸، ۲۳۴) تائید و به اثبات رسیده است، بررسی گردید.

$$\Delta E = \frac{1}{A}\frac{\delta A}{\delta t}$$ رابطه (۱)

که A مساحت سامانه در زمان داده‌شده (t_{ir} <۲۲۱) می‌باشد. برای شناسایی مراحل چرخه عمر سامانه، یک مطالعه آماری از متغیر ΔE انجام شد و متوسط تغییرات ΔE برای تداوم‌های مختلف و برای هر گام زمانی در چرخه عمر محاسبه گردید.

سرعت مداری سامانه که از جابجایی مداری مرکز ثقل سامانه بین دو تصویر متوالی تعریف گردید از طریق رابطه ۲ محاسبه شده است (هوکر و باسارا، ۲۰۰۸: ۷۶۵).

1 -Area Expansion Index
2 -Convective Fraction

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.7.2]

$$V = \frac{MC(t1) - MC(t0)}{\Delta t}$$ (رابطه۲)

$MC(t_1)$ مرکز ثقل متوسط سامانه در t_1 و $MC(t_0)$ مرکز ثقل متوسط سامانه در زمان t_0 و Δt اختلاف‌زمانی دو تصویر متوالی می‌باشد.

پارامتر دیگری که در این مرحله محاسبه‌شده است درصد کسر همرفتی می‌باشد که نسبت مساحت بزرگ‌ترین خوشه همرفتی به مساحت کل سامانه به درصد در دمای درخشندگی ۲۲۱ کلوین می‌باشد (ماچادو و همکاران، ۱۹۹۸: ۱۶۳۰):

$$cf = \frac{Lc}{Cs} * 100$$ رابطه(۳)

Lc= مساحت بزرگ‌ترین خوشه‌ابر و Cs = مساحت کل سامانه می‌باشد.

نتایج

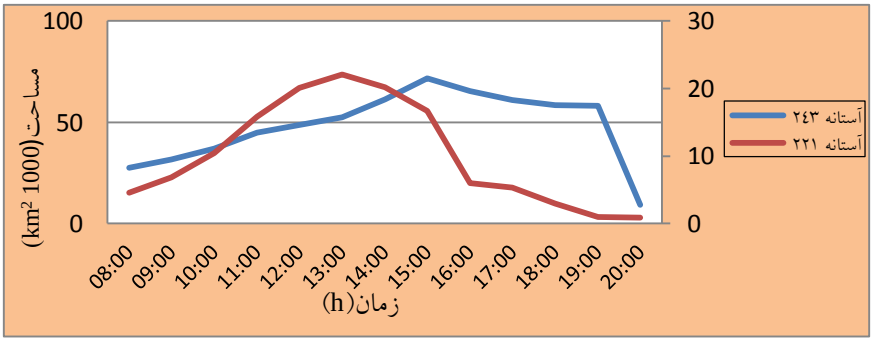
سامانه همرفتی میان‌مقیاس روز بیست و سوم آوریل ۲۰۰۴ (چهارم اردیبهشت ۱۳۸۳) در ساعت ۸ روز بیست و سوم در شمال عربستان شکل گرفت و از جنوب غرب وارد کشور شده و با جهت جنوب غربی - شمال شرقی و با طول عمر ۱۴ ساعت پس از طی مسیر هزار و پانصد و هفتاد کیلومتر در ساعت ۲۳ همان روز در برخورد با ارتفاعات البرز زوال یافته است. مساحت این سامانه ۳۸۱ هزار کیلومترمربع بوده است.

الف. آشکارسازی چرخه روزانه و چرخه عمر

شکل (۲) تغییرات مساحت سامانه همرفتی میان‌مقیاس را در هر دو آستانه دمای درخشندگی ۲۲۱ و ۲۴۳ کلوین باهم مقایسه می‌کند. لازم به توضیح است که آستانه ۲۲۱ کلوین سلول‌ها و خوشه‌های همرفتی سردتر احاطه‌شده در داخل آستانه ۲۴۳ کلوین را نشان می‌دهد؛ درحالی‌که دمای درخشندگی ۲۴۳ کلوین سامانه همرفتی که شامل ابرهای همرفتی و غیر همرفتی (لایه‌ای) می‌باشد را نمایش می‌دهد. شکل پراکنش خوشه‌ها و مساحت آن‌ها به تغییرات آستانه دمای درخشندگی حساس می‌باشد. به عبارتی، با کاهش آستانه دمای درخشندگی، مساحت متوسط خوشه‌ها و کل سامانه کاهش‌یافته و طول عمر خوشه‌ها و سامانه نیز کوتاه‌تر شده است. دمای درخشندگی ابرهای غیر همرفتی از خوشه‌ها و سلول‌های ابر همرفتی بزرگ‌تر می‌باشد و مساحت بیشتری را پوشش می‌دهد همچنین تغییرات آن‌ها کندتر بوده بنابراین دیرتر از بین رفته‌اند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.7.2]



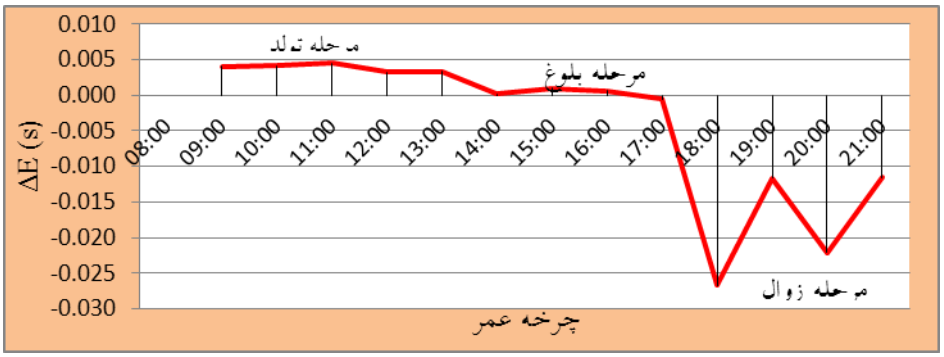
شکل (۲). مقایسه تغییرات مساحت سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس در دو آستانه ۲۲۱ و ۲۴۳ کلوین

شکل (۲) نشان می‌دهد خوشه‌ها و سلول‌های همرفتی آستانه دمای درخشندگی ۲۲۱ کلوین در ساعت ۲۱ روز ۲۳ آوریل محو شده‌اند؛ ولی کل سامانه همرفتی تا چند ساعت بعد به فعالیت خود ادامه داده است که بیانگر آن است ابرهای سردتر با دمای درخشندگی پایین‌تر قبل از زوال سامانه از بین رفته‌اند؛ به‌عبارتی‌دیگر، بیشینه فعالیت و تلاطم سامانه همرفتی (دمای درخشندگی ۲۲۱ کلوین) در ساعات ۱۵ بوده است؛ درحالی‌که بیشینه فعالیت کل سامانه (آستانه ۲۴۳ کلوین) در ساعت ۱۶ رخ داده است. از طرف دیگر نابودی سامانه در آستانه ۲۴۳ کلوین نسبت به آستانه ۲۲۱ کلوین ۳ ساعت تأخیر زمانی داشته است؛ زیرا دمای درخشندگی ابرهای غیر همرفتی گرم‌تر و بالاتر از دمای خوشه‌ها و سلول‌های همرفتی می‌باشد. سامانه همرفتی با تأخیر زمانی به آستانه ۲۲۱ کلوین رسیده است یعنی قبل از اینکه خوشه‌ها و سلول‌های همرفتی شکل بگیرند سامانه تشکیل شده است. سپس ابرها ارتفاع گرفته و آستانه دمای درخشندگی آن‌ها کاهش‌یافته و سلول‌های همرفتی به وجود آمده‌اند. روند افزایشی مساحت سامانه همرفتی در زمان شکل‌گیری سامانه نسبت به روند کاهشی مساحت آن در زمان زوال کندتر بوده است که نشان می‌دهد زوال سلول‌ها و خوشه‌های همرفتی سامانه سریع‌تر از شکل‌گیری آن‌ها بوده است. هم‌چنین تعداد خوشه‌های همرفتی در آستانه ۲۲۱ کلوین نسبت به آستانه ۲۴۳ کلوین کمتر بوده است.

شکل(۳) مراحل سه‌گانه شکل‌گیری، بلوغ و زوال سامانه همرفتی میان‌مقیاس ۲۳ آوریل ۲۰۰۴ و ساعات فعالیت هر مرحله با استفاده از شاخص ΔE را 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. شکل‌های ۳ و ۴ به ترتیب زمان و مکان مراحل چرخه عمر سامانه همرفتی را نشان می‌دهند. مرحله شکل‌گیری سامانه از ساعت ۸ تا ۱۲ در شمال

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.7.2]

عربستان و جنوب شرق عراق و مرحله بلوغ از ساعت ۱۳ تا ۱۷ در دامنه‌های غربی زاگرس بوده است و زوال سامانه بعد از عبور از ارتفاعات زاگرس در ساعت ۱۷ تا ۲۲ شب رخ داده است. روند ناگهانی کاهش ΔE در مرحله زوال نسبت به روند کند افزایش ΔE 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. افزایش مساحت در شروع چرخه عمر سامانه محسوس است که نشانه سرعت بالاروی شدید، ارتفاع بیشتر قله ابر و گنجایش زیاد نگه‌داری آب در سامانه است (ماتون و لائورانت، ۲۰۰۱: ۳۷۷). از مقایسه منحنی تغییرات مساحت (شکل ۵) با مراحل چرخه عمر سامانه (شکل ۳) می‌توان نتیجه گرفت که مساحت سامانه در شروع چرخه عمر سامانه با روند کندی افزایش یافته است؛ درحالی‌که روند کاهشی مساحت سامانه در مرحله زوال شدید و ناگهانی بوده است.



شکل (۳). آشکارسازی مراحل چرخه عمر سامانه همرفتی ۲۳ آوریل ۲۰۰۴ از طریق ΔE

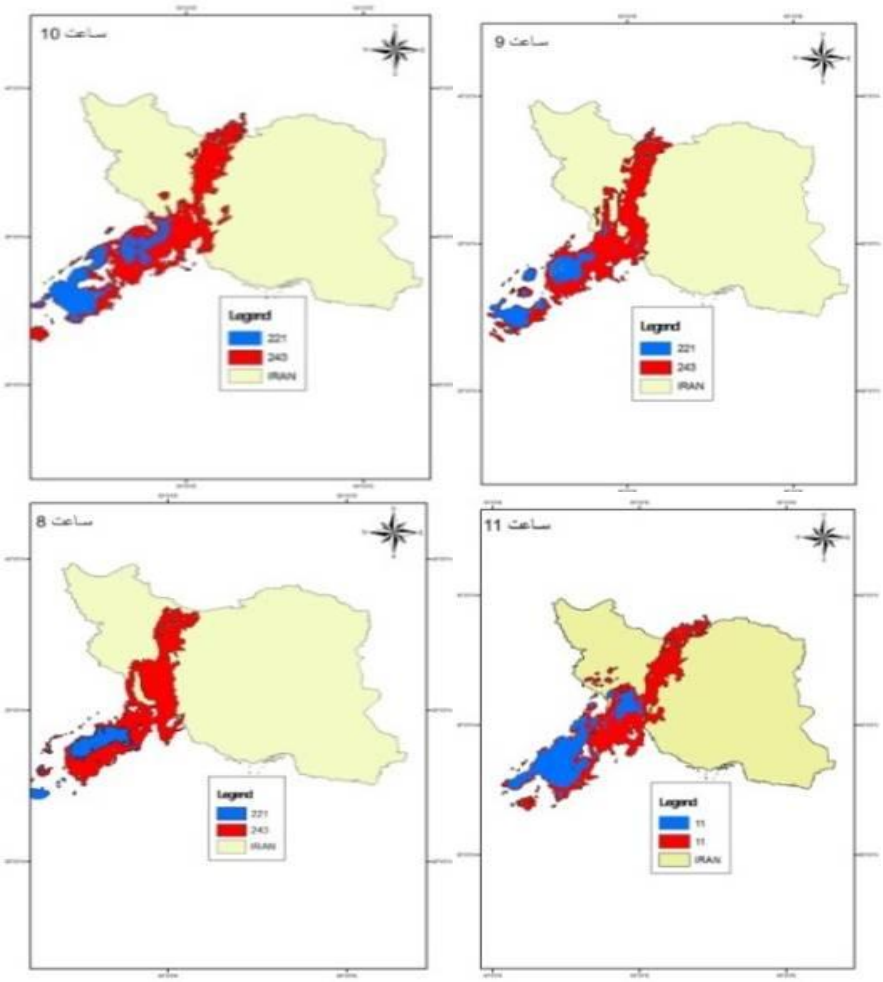
ب. بررسی پارامترهای رفتاری چرخه عمر

پس از آشکارسازی مراحل چرخه عمر سامانه، پارامترهای رفتاری مانند مساحت، سرعت و جابجایی، کسر همرفتی در طول مراحل سه‌گانه چرخه عمر مورد تحلیل و مقایسه قرار می‌گیرد.

شکل(۴) چرخه روزانه پوشش ابر، فراوانی و وسعت سلول‌های همرفتی در گام‌های زمانی متوالی ۱ ساعته را برای آستانه دمای درخشندگی ۲۲۱ کلوین نشان می‌دهد. چنان چه در شکل مشاهده می‌شود تعداد خوشه‌های همرفتی در مرحله شکل‌گیری سامانه نسبت به مرحله بلوغ بیشتر بوده، بیشینه مساحت سامانه در مرحله بلوغ و در ساعات ۱۳ تا ۱۷ بعدازظهر

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.7.2]

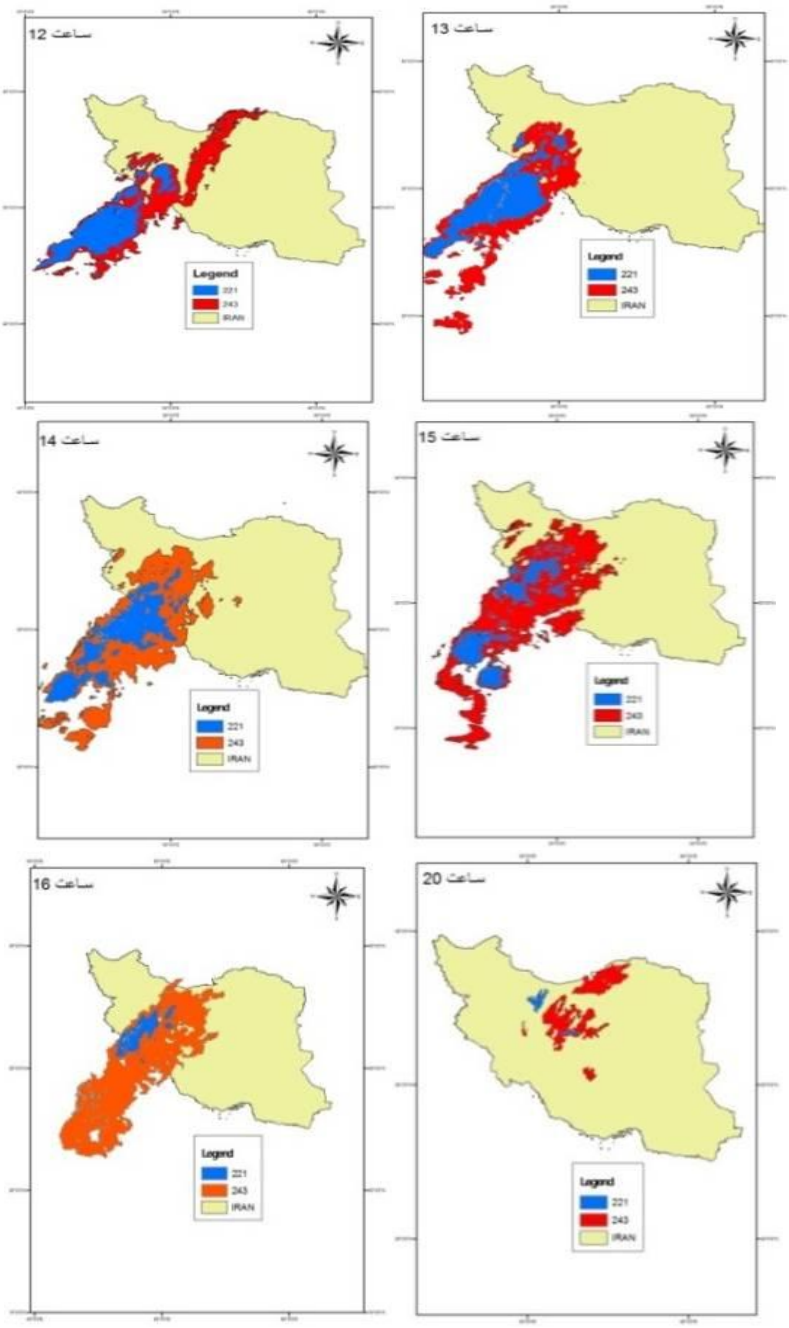
رخ‌داده که به علت توسعه افقی و عمودی سامانه و ادغام خوشه‌ها و سلول‌های همرفتی می‌باشد.



شکل (۴). چرخه روزانه پوشش ابر وسعت سلول‌های همرفتی در گام‌های زمانی متوالی ۱ ساعته(دمای درخشندگی ۲۴۳ کلوین (قرمز): سامانه همرفتی و غیر همرفتی و دمای درخشندگی ۲۲۱ کلوین (آبی): خوشه‌های همرفتی سامانه)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

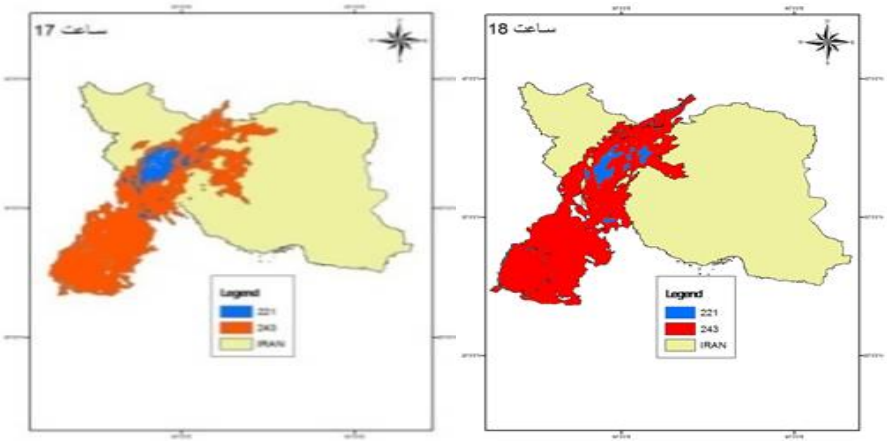
[DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.7.2]



ادامه شکل(۴).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.7.2]



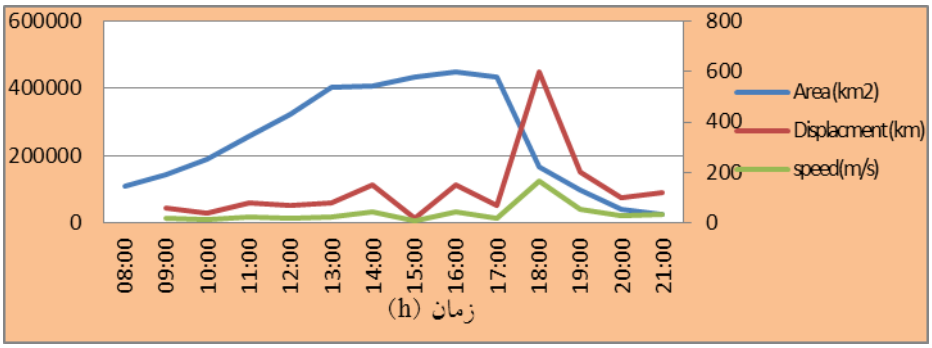
ادامه شکل(۴).

همزمان ابرهای کومولونیمبوس صعود کرده و اوج فعالیت همرفتی اتفاق افتاده است؛ به‌طوری‌که در این ساعات در ایستگاه کوهرنگ ۱۹ میلی‌متر بارش داشته‌ایم. علت شدت فعالیت همرفتی در این ساعات گرمایش سطح زمین و بیشینه گرمایی و به دنبال آن شدت تبخیر و تعرق در ساعات بعدازظهر می‌باشد؛ زیرا در ماه آوریل گرمایش تابشی و بازتابش زمینی نسبت به سایر ماه‌های بارشی بیشتر است. به عبارتی، سیکل روزانه تابش در چرخه عمر سامانه‌ها تأثیر دارد. از ساعت ۱۳ به بعد همزمان با شدت همرفت، تغییری در پوشش ابرهای همرفتی مشاهده‌شده است. این تغییرات، با گسترش افقی و عمودی همرفت همبستگی زیادی دارد. علتش نیز تأثیرات سیکل گرمایش روزانه می‌باشد. بعد از این مرحله و با شروع زوال سامانه از تعداد سلول‌ها و خوشه‌های همرفتی و مساحت آن‌ها کاسته شده است و زوال سامانه شروع شده است (شکل ۴).

شکل (۵)، مساحت، سرعت و جابجایی سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس غرب ایران را برای آستانه دمای درخشندگی ۲۲۱ کلوین نشان می‌دهد. یکی از متغیرهایی که توانایی فعالیت سامانه و ویژگی‌های رفتاری آن را نشان می‌دهد سرعت و جابجایی در طول چرخه عمر سامانه است. بیشینه سرعت سامانه با ۱۶۶/۷ کیلومتر در ساعت در مرحله زوال سامانه و کمینه آن در ساعات اولیه صبح بوده است. متوسط سرعت مداری، متوسط جابجایی مرکز ثقل سامانه در دو تصویر متوالی در فاصله ۱ ساعته می‌باشد. بیشترین سرعت سامانه در ساعات اوج فعالیت همرفتی و بیشینه افزایش مساحت بوده است که نشان‌دهنده این واقعیت است که سرعت حرکت خوشه‌های ابر همرفتی با منطقه‌ی وسیع فعالیت همرفتی از خوشه‌های بدون فعالیت یا

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.7.2]

با فعالیت ضعیف، بیش‌تر بوده است. روی‌هم‌رفته سامانه در زمانی که همرفت شدید بوده، تکثیر سریع‌تری در مرحله بلوغ داشته است. همین‌طور خوشه‌های با عمر بلند نسبت به خوشه‌های با عمر کوتاه سرعت بیشتری داشته‌اند. اگر سامانه عمر کوتاهی می‌داشت؛ زوال خیلی سریع‌تر بود. به عبارتی مقدار افزایش مساحت داده‌شده می‌تواند با طول عمر سامانه همبستگی داشته باشد. مساحت کمتر سامانه در مرحله شکل‌گیری ممکن است باعث کاهش مساحت آن در مرحله رشد شود (ماچادو و همکاران، ۱۹۹۸: ۱۶۳۰). سامانه در میانه عمر تا حداکثر مساحتش افزایش پیداکرده است، اما روند افزایش مساحت آن در مرحله بلوغ معمولاً از کاهش آن در مرحله زوال سریع‌تر بوده است. بزرگ‌ترین خوشه‌های همرفتی، قبل از اینکه کل سامانه فعال شود و به مرحله بلوغ برسد، حداکثر مساحت خود را کسب کرده بودند. اندکی پس از اینکه کاهش مساحت در سامانه همرفتی میان‌مقیاس شروع شود سرعت جابجایی آن با شیب تندی آغاز شده و خوشه‌های همرفتی آن ضمن پراکنش شدید، سریع از بین رفته‌اند. بیشینه متوسط سرعت سامانه در مرحله زوال سامانه یعنی بعد از ساعت ۱۸ اتفاق افتاده است و در همین زمان نیز بیشترین جابجایی رخ داده؛ زیرا مرکز ثقل سامانه به تغییر شکل خوشه‌ها وابسته است و تغییر شکل آن‌ها در سرعت سامانه تأثیر دارد. پس زمانی که مساحت خوشه‌ها کاهش یافته، سرعت و جابجایی آن افزایش داشت. سرعت متوسط سامانه تقریباً ۳۷/۲ متر در ثانیه برای آستانه ۲۲۱ کلوین به‌دست‌آمده است.

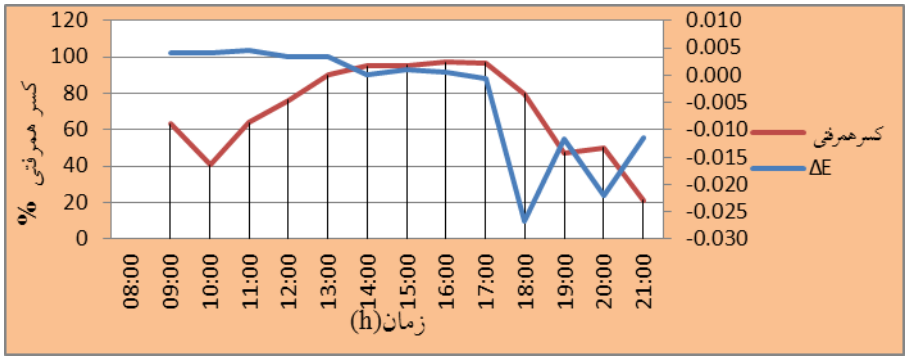


شکل (۵). تغییرات متغیرهای سرعت، جابجایی و مساحت در آستانه ۲۲۱ در طول عمر سامانه

شکل(۶) ارتباط بین درصد کسر همرفتی (نسبت مساحت بزرگ‌ترین سلول همرفتی به مساحت کل سامانه به درصد) و تغییرات ΔE را نشان می‌دهد. درصد کسر همرفتی در مرحله بلوغ بیش از ۶۷ درصد بوده است؛ درحالی‌که در مرحله شکل‌گیری کمتر از ۴۰ و در مرحله

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.7.2]

زوال کمتر از ۳۰ درصد بوده است. پس درصد کسر همرفتی در قدرت فعالیت سامانه همرفتی و میزان بارش آن اهمیت زیادی دارد. با آنکه درصد کسر همرفتی در مرحله شکل‌گیری سامانه کمتر از ۳۰ درصد و روند افزایشی آن خیلی کند بوده؛ ولی روند افزایشی مساحت سامانه بیشتر شده است که این وضعیت نشان می‌دهد که سامانه با خوشه‌های کوچک‌تر شروع‌شده سپس سلول‌های ابر همرفتی وسیع با قله‌های بلندتر آن‌ها را در بر گرفته‌اند.



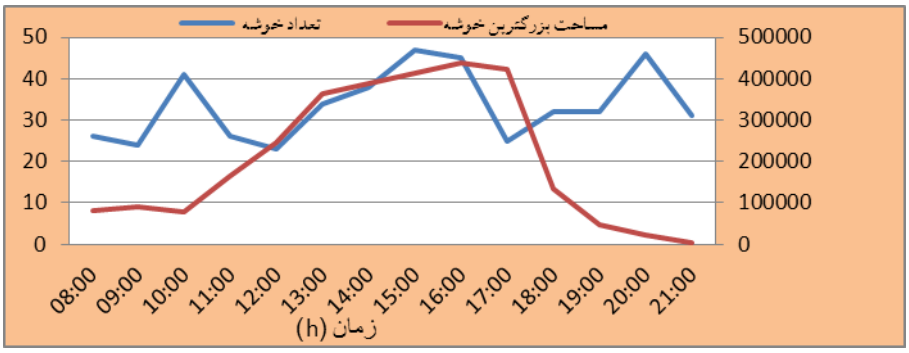
شکل (۶). ارتباط بین کسر همرفتی و ΔE

بین درصد کسر همرفتی و تغییرات ΔE ارتباط مستقیم معناداری وجود داشته است؛ به‌نحوی‌که با افزایشΔE، درصد کسر همرفتی نیز بیشتر شده است. همین‌که سامانه به بلوغ رسید و ابر سندانی بیشتری تشکیل شد، درصد کسر همرفتی نیز افزایش یافته است و قله ابرهای همرفتی به بالاترین ارتفاع رسیدند. نهایتاً چون پراکندگی و نابودی سامانه فرارسید، کسر همرفتی و مساحت سامانه سریع کاهش یافت. شکل ۶ نشان می‌دهد هنگامی‌که ΔE به صفر نزدیک می‌شود مرحله بلوغ سامانه شروع شده که در این لحظه کسر همرفتی تمایل به افزایش داشت. این بدان معناست که خوشه‌ها و سلول‌های کوچک‌تر در این مرحله باهم ادغام و همرفت و بالاروی تشدید شده است، درنتیجه فعالیت و تلاطم اتفاق می‌افتد.

شکل(۷) تغییرات مساحت بزرگ‌ترین خوشه و تعداد خوشه‌های همرفتی را نشان می‌دهد. تعداد خوشه‌ها در مقاطع گذار مراحل چرخه عمر به‌شدت کاهش یافته‌اند؛ ولی بیشینه فراوانی آن‌ها با ۴۷ خوشه در ساعت ۱۵ (مرحله بلوغ) بوده است. سلول‌ها و خوشه‌های همرفتی با دمای درخشندگی پایین‌تر (۲۲۱) بعد از شکل‌گیری سامانه همرفتی (در آستانه گرم‌تر ۲۴۳ کلوین) شکل‌گرفته و قله‌های ابر سندانی با ارتفاع بیشتر اوج گرفته‌اند و تلاطم در منطقه خوشه‌های همرفتی شروع‌شده است. گسترش همرفت منجر به تولید تعداد زیادی خوشه با

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.7.2]

مساحت بیشتر شده است و سپس حداکثری از پوشش ابر همرفتی در ساعات قبل از مرحله بلوغ اتفاق افتاده است و در پایان مرحله زوال خوشه‌های کوچک‌تر دچار ازهم‌پاشیدگی، سپس محوشده‌اند. این تغییرات کم کلاً به علت تغییرات دمای درخشندگی قله خوشه‌های ابر همرفتی ایجاد گردیده است.



شکل (۷). ارتباط بین تغییرات مساحت بزرگ‌ترین خوشه و تعداد خوشه‌های همرفتی

ج. شرایط سینوپتیکی چرخه عمر

چنانچه در شکل (۸) مشاهده می‌شود در مرحله تولد سامانه ناوه و زبانه کم ارتفاعی که بر روی ترکیه شکل‌گرفته عمیق و تا جنوب دریای سرخ کشیده شده است که باعث شکل‌گیری این سامانه در عرض‌های پایین‌تر و در شرق دریای سرخ شده است. چرخندی با ارتفاع مرکزی ۵۵۰۰ ژئو پتانسیل بر روی ترکیه دیده می‌شود که زبانه آن با کسب رطوبت لازم در عبور از روی دریاهای مدیترانه و سرخ باعث افت فشار و تقویت فرا رفت تاوایی مثبت در غرب ایران شده است. این سلول با کسب انرژی از مرکز شار گرمای نهان دریاهای مذکور از طریق فرودهای عمیق خود شرایط ناپایداری را در مرحله بلوغ در غرب ایران فراهم کرده است. این فرایند نشان می‌دهد که همگرایی در سطح پایین و واگرایی ترازهای بالا با تأثیر از شرایط اروگرافیکی منطقه باعث صعود و در نتیجه بارش همرفتی در مرحله بلوغ شده است. نقشه تراز دریا نشان می‌دهد در مرحله تولد سلول کم‌فشاری با مرکزیت ۱۰۰۲ هکتوپاسکال در جنوب ترکیه قرار دارد که زبانه آن به سمت جنوب کشیده شده است که در عقب هوای سرد بر روی عراق و در جلوی فرود هوای گرم بر روی ایران ریزش می‌کند. زبانه این چرخند با عبور از روی دریاهای سرخ و مدیترانه رطوبت لازم را کسب می‌کند. دو هسته پرفشار یکی بر روی بیابان‌های شرق ایران و دیگری در شرق دریای خزر حرکت این کم‌فشار را در مرحله بلوغ کند کرده است.

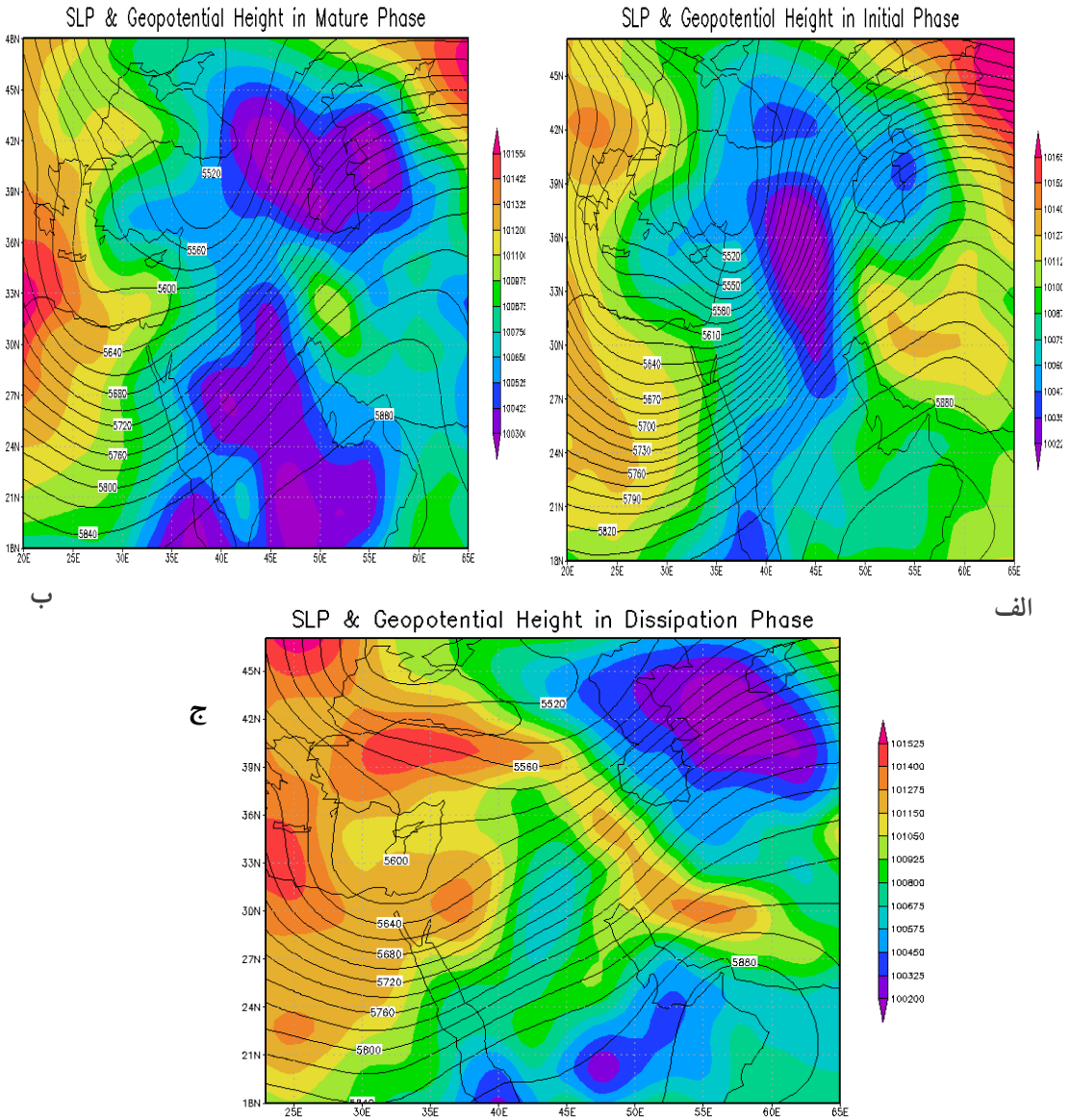
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.7.2]

شکل (۹) الگوی امگا را نشان می‌دهد که امگا منفی با بیشینه ۰/۳۵- پاسکال بر ثانیه در مرحله بلوغ بیانگر اوج فعالیت همرفتی در غرب کشور بوده است و تشدید جریانات همرفتی نیز در شرق ناوه اتفاق افتاده است که دلالت بر صعود هوا و تقویت همرفت دارد. به‌عبارتی‌دیگر، ناپایداری و تمایل به صعود هوای زیر قسمت جلوی فرود به دلیل واگرایی بالایی آن زیاد بوده و هوای همراه با رطوبت زیاد در زیر منطقه چرخندگی مثبت این فرود صعود کرده است. درحالی‌که در نیمه شرقی ایران بالاترین مقادیر مثبت امگا درنتیجه نزول هوا و واگرایی سطوح پایین حاکم است. در مرحله بلوغ، سامانه پرفشاری که در شرق ایران قرار داشت به سمت غرب و جنوب کشیده شده است و باعث کشش زبانه کم‌فشار به‌سوی جنوب و در نتیجه تقویت سامانه شده است. با آنکه در مرحله زوال، خطوط پربند سامانه هنوز حالت نصف‌النهاری خود را کاملاً از دست نداده؛ اما فعالیت سامانه همرفتی پس از عبور از ارتفاعات زاگرس به‌شدت تضعیف‌شده که نشان‌دهنده تأثیر شرایط محلی و ارتفاعات بر میزان فعالیت سامانه همرفتی می‌باشد. ناوه ی دیگری نیز همزمان با زوال این سامانه، در شرق مدیترانه شکل‌گرفته که تأثیری بر مرحله زوال سامانه مورد مطالعه ندارد. در این مرحله از سامانه، امگای منفی به‌شدت کاهش یافته و با افزایش مقادیر مثبت در غرب کشور، به مرور زمان از میزان ناپایداری سامانه کاسته شده است. در مرحله زوال با کاهش عمق ناوه، جریان‌ها وضعیت مداری گرفته‌اند و به دلیل کاهش تاوایی مثبت و به دنبال آن کاهش همگرایی در ترازهای پایین جو و با تأثیرپذیری از ارتفاعات، قدرت سامانه به‌شدت کاهش یافته و زوال آن شروع شده است.

به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت که در مرحله بلوغ، با توجه به موقعیت مرکز کم‌فشار سطح زمین و قرارگیری آن در غرب ایران و همراهی الگوی همدید کم ارتفاع همراه با امگای منفی قوی، شرایط برای فعالیت شدید همرفتی و ناپایداری فراهم شده؛ درحالی‌که این شرایط در مرحله زوال وجود ندارد؛ به‌طوری‌که هم کم‌فشار سطح زمین ضعیف‌تر شده و هم اینکه ناوه سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال از وضعیت نصف‌النهاری کامل خارج شده است و از طرف دیگر سامانه از ارتفاعات زاگرس گذشته و نزول جریانات نیز شروع شده است(شکل‌های ۸ و ۹).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

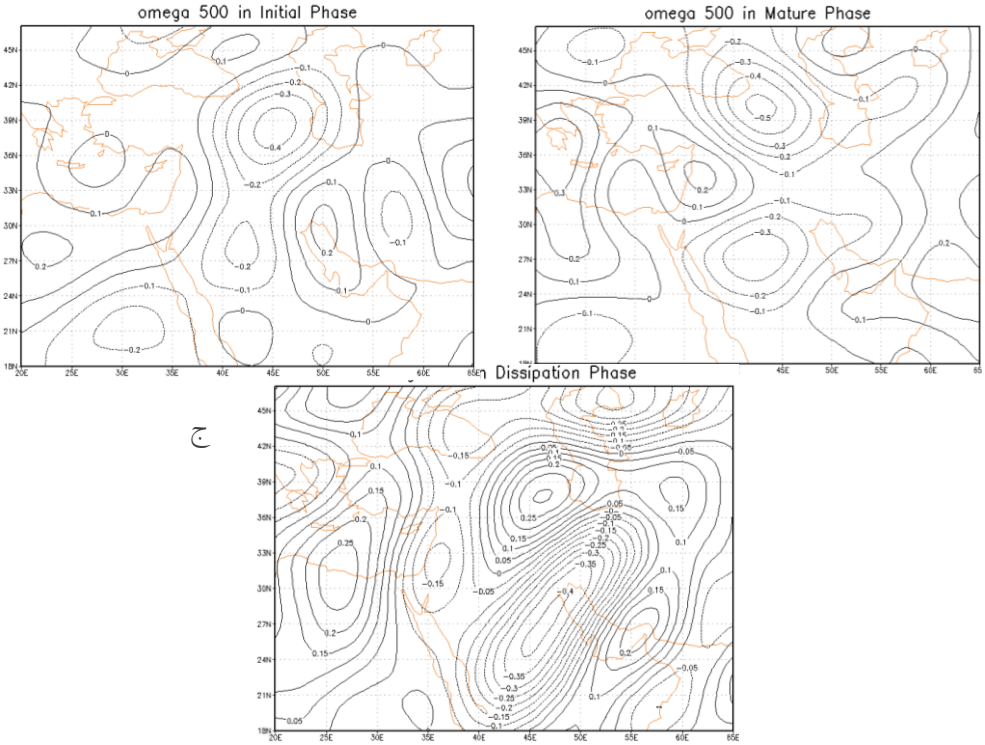
[DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.7.2]



شکل (۸). نقشه‌های سطح زمین و ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال الف. شکل‌گیری ب. بلوغ ج. زوال

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.7.2]



شکل (۹). امگا در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال الف. شکل‌گیری ب. بلوغ ج. زوال

نتیجه‌گیری

با استفاده از معیارهای آستانه دمای درخشندگی۲۲۱ و ۲۴۳ کلوین، آستانه مساحت بیش از ۱۰۰۰۰ کیلومترمربع و طول عمر بیش از ۳ ساعت، سامانه بیست و سوم آوریل ۲۰۰۳ شناسایی و مسیریابی گردید و چرخه عمر آن با استفاده از شاخص ΔE تعیین شد و پارامترهایی مانند سرعت، جابجایی و کسر همرفتی آن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

شروع شکل‌گیری سامانه در جنوب و جنوب شرق عراق و در دامنه‌های غربی زاگرس بوده است؛ درحالی‌که مراحل بلوغ و گسترش آن‌ها با افزایش ارتفاع تشدید گردیده؛ در مقابل زوال سامانه با عبور از رشته‌کوه‌های زاگرس شروع‌شده که اولین نشانه آن کاهش ΔE سامانه‌ها در این مناطق می‌باشد؛ درحالی‌که مطالعات در مناطق حاره (ماتون و لائورانت، ۲۰۰۱، ۳۷۷) اثبات کردند که شروع سامانه‌ها تحت تأثیر ساحل و زوال تحت تأثیر شرایط اروگرافیکی می‌باشد. سامانه‌ی همرفتی به سمت شرق تکثیر و تشدید شده و نتایج این بررسی نشان داد

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.7.2]

مساحت سامانه، اندازه و تعداد خوشه‌های همرفتی و طول عمر آن در دامنه‌های غربی زاگرس افزایش داشته و دمای درخشندگی در قله‌های مرتفع ابرهای همرفتی عمیق از ۲۴۳ کلوین به ۲۲۱ کلوین کاهش یافته است. با آنکه در مرحله شکل‌گیری سامانه شرایط سینوپتیک تأثیر بیشتری داشته و عامل غالب بوده است؛ اما در مراحل بعدی با برخورد سامانه با ارتفاعات زاگرس، وضعیت جغرافیایی در شدت فعالیت همرفتی سامانه مؤثر بوده و پس از عبور سامانه از این ارتفاعات زوال سامانه شروع شده است. در مراحل شکل‌گیری و بلوغ متوسط درصد کسر همرفتی در طول چرخه عمر سامانه افزایش و شیب دمای درخشندگی به‌طور یکنواختی کاهش داشته؛ اما در مرحله زوال این وضعیت برعکس شده است؛ زیرا قله‌های ابر همرفتی عمیق کم‌کم از بین رفته‌اند و ارتفاع ابرها کاهش داشته. سرعت افزایش اندازه سامانه در مرحله تولد تا حدودی از کاهش آن در مرحله زوال بیشتر بوده است. اندازه و دمای بزرگ‌ترین خوشه همرفتی باهم ارتباط قوی داشته، قبل از اینکه اندازه کل سامانه شروع به کاهش کند، اندازه بزرگ‌ترین خوشه همرفتی با کاهش توأم بوده. پس رفتار دمای مرتفع‌ترین قسمت سامانه و سردترین ابر برای نشان دادن اینکه آیا سامانه در حال تقویت است یا در حال زوال، می‌تواند مورداستفاده قرار گیرد. زوال سلول‌ها و خوشه‌های همرفتی سامانه سریع‌تر از شکل‌گیری آن‌ها بوده است.

منابع و مأخذ

۱. ایران‌نژاد، پرویز، فرهنگ احمدی گیوی و 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.

۲. 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 سال چهاردهم، شماره ۳، ۶۹-۴۵.

۳. رفعتی، سمیه (۱۳۹۱). **تحلیل سامانه‌های همرفتی و بررسی الگوهای فضایی و زمانی آن‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای**، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه خوارزمی، رشته جغرافیا، به راهنمایی زهرا حجازی زاده.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.7.2]

۴. قندهاری، شهرزاد، امیرحسین مشکاتی، مجید مزرعه فراهانی، سمیه جعفری (۱۳۸۷). **بررسی عملکرد موردی الگوی میان‌مقیاس MM5 در شبیه‌سازی بارش‌های رگباری حاصل از سلول‌های همرفتی**، مجله جغرافیا و توسعه‌ی ناحیه‌ای، شماره ۱۰، ص ۴۱.

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

Futyan, J. M., and Genio, A. D. (2007). ***Deep Convective System Evolution over Africa and the Tropical Atlantic***. Journal of Climate, 20, 5041-5060.

Hocker, E., and Basara, B. (2008). ***A 10-year spatial climatology of squall line storms across Oklahoma***. Int. J. Climatol, 28, 765–775.

Machado, L. T., Rossow, W. B., Guedes, R. L., and Walker, A. W. (1998). ***Life cycle variations of mesoscale convective systems over the Americas***. Monthly Weather Review, 126, 6, 1630–1654.

Mapes, B., Warner, T., Xu, M., and Negri, A. J. (2003). ***Diurnal patterns of rainfall in northwestern South America—part I: observations and context***. Monthly Weather Review, 131, 5, 799–812.

Mathon, V., and Laurent, H. (2001). ***Life sycle on the Sahelian mesoscale convective systems***. Quart Roy Meteor Soc, 127, 377-406.

Morel, C., and Senesi, S. (2002). ***Climatology of mesoscale convective systems over Europe using satellite infrared imagery I: Methodology***. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 128, 1953–1971.

Sakamoto, S., and Poveda, T. A. (2011). ***Moisture Sources and Life Cycle of Convective Systems over Western Colombia***. Hindawi Publishing Corporation Advances in Meteorology, Volume 2011, Article ID 890759, 11 pages.

Thomas, C., Corpetti, T., and Mémin, E. (2010). ***Data Assimilation for Convective-Cell Tracking on Meteorological Image Sequences***. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 48(8): 3162-3177.

Vila, D. A., Machado, T., Laurent, H., and 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.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.7.2]

Williams, M., and Houze R.A. (1987). ***Satellite-observed characteristics of winter monsoon cloud clusters***. Mon. Wea. Rev., 115: 505 519.

Woodley, W. L., Griffith, C. G., and Stromatt, S. C. (1980). ***The inference of GATE convective rainfall from SMS-1 imagery***. J. Appl. Meteorol., 19: 388 408.

Yuter, S. E., and Houze, R. A. (1998). ***The natural variability of precipitating clouds over the western Pacific warm pool***. Quart, Roy, Meteor, Soc, 124: 53 99.

http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/precipitation.

http://w1.weather.gov/glossary/index.

http://www.esrl.noaa.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.7.2]