نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی سال چهاردهم، شماره ۳۲، بهار ۹۳

بررسی سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس(MCSs) با استفاده از تصاویر دمای درخشندگی در جنوب‌غرب ایران

دریافت مقاله:۹۱/۷/۱۳ پذیرش نهایی: ۹۲/۹/۱

صفحات:۶۹-۴۵

زهراحجازی زاده: استاد اقلیم‌شناسی دانشکده علوم جغرافیایی دانشگاه خوارزمی
Email: hedjazizadeh@tmu.ac.ir
مصطفی کریمی: استادیار اقلیم‌شناسی دانشکده علوم جغرافیایی دانشگاه تهران
Email: mostafakarimi.a@ut.ac.ir
پرویز ضیاییان: دانشیار سنجش از دور دانشکده علوم جغرافیایی دانشگاه خوارزمی
Email: rsgis1000@yahoo.com
سمیه رفعتی: استادیار اقلیم شناسی دانشگاه سیدجمال‌الدین اسدآبادی[۱]
Email: rafatisomayeh@gmail.com

چکیده

سامانه‌های همرفتی همه ساله در مناطق مختلف ایران خسارت‌های زیاد و در مواردی غیرقابل جبران به وجود می‌آورند. با توجه به این‌که بارش حاصل از این سامانه‌ها در جنوب‌غرب ایران بخش عمده‌ای از بارش کل را تشکیل می‌دهند و نقش مهمی در تامین منابع آب دارند، ضرورت بررسی ویژگی‌های اقلیم‌شناسی آن‌ها اجتناب ناپذیر است. در این مطالعه به منظور شناسایی الگوهای مکانی و زمانی رخداد سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس (MCSs) در جنوب‌غرب ایران از محصول موزاییک شده دمای درخشندگی مرکز پیش‌بینی اقلیمی NWS/NCEP و داده‌های ایستگاه‌های همدید استفاده شد. سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس طی ساعات بارشی و رخداد پدیده‌های مرتبط با همرفت، بر اساس آستانه‌ی دمایی ۲۲۸ درجه کلوین، آستانه‌ی بیشینه مساحت ده‌هزار کیلومترمربع و آستانه‌ی طول عمر ۳ ساعت، شناسایی شدند. در مجموع ۱۸۹سامانه همرفتی میان‌مقیاس طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۵ شناسایی شد. یافته‌های این تحقیق نشان داد، بیشترین تعداد MCSs در ماه دسامبر (۵۴ مورد) رخ داده است، شکل‌گیری MCSs از شرایط توپوگرافی تاثیر پذیرفته، ولی دامنه‌ی رو به باد نقش خیلی مهمی در شکل‌گیری آن‌ها نداشته است. فراوانی رخداد این سامانه‌ها در ماه آوریل و می کاملا از توپوگرافی منطقه تبعیت کرده، اما با افزایش سرما میزان تبعیت از توپوگرافی کم‌تر شده

[۱]. **نویسنده مسئول:همدان**- اسدآباد - ابتدای خیابان امام خمینی (ره) دانشگاه سید جمال الدین اسدآبادی- دانشکده ادبیات و علوم انسانی-گروه آب و هواشناسی

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

تا آن‌جا که در ماه ژانویه هماهنگی بین فراوانی رخداد MCSs با توپوگرافی منطقه مشاهده نشده است.

کلیدواژگان: سامانه‌های همرفتی، دمای درخشندگی، پراکندگی مکانی، توزیع زمانی، جنوب‌غرب ایران

مقدمه

در یک تعریف ساده ارائه شده از هافتن (Houghton, 1950)، بارش همرفتی به ابرهایی از نوع همرفتی مثل کومه‌ای بارا[1] و بارش پوشنی‌دیس[2] به ابرهایی از نوع پوشنی‌دیس از قبیل باراپوشنی[3]نسبت داده شده است. هاوز (Houze, 1993) بر اساس سرعت عمودی هوا، بارش همرفتی و پوشنی‌دیس را متمایز کرده است، به این ترتیب که اگر سرعت عمودی هوا کمتر از سرعت نهایی ریزش بلورهای برف و یخ باشد، بارش از نوع پوشنی‌دیس است.

سامانه‌های همرفتی(CSs)[4] شامل ابرهایی با دمای پایین هستند که از دو بخش همرفتی و پوشنی‌دیس تشکیل می‌شوند. بخش همرفتی شامل هسته‌های سردتر با گسترش عمودی و بخش پوشنی‌دیس دارای زمینه‌ای یکنواخت‌تر و بارشی سبک‌تر است. الگوی افقی متشکل از هسته همرفتی و بخش پوشنی‌دیس تغییرات زیادی در طول زمان نشان می‌دهد، و هر دو از شاخص‌های مهم دینامیک درونی ابر هستند (Thomas et al., 2010). سامانه‌های همرفتی در ارتباط با پدیده‌هایی مثل رعد و برق، بارش‌های سنگین، تگرگ، بادهای قوی و پیچندها[5] شناخته می‌شوند (Weisman and Rotunno, 2004; Thomas et al., 2010). و در دامنه وسیعی از مقیاس‌های مکانی و زمانی در جو تظاهر می‌یابند (Carvalho et al., 2002).

قابل توجه‌ترین نوع سامانه‌های همرفتی، سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس (MCSs)[6] هستند. این سامانه‌ها زمانی شکل می‌گیرند که ناپایداری‌های همرفتی در یکدیگر ادغام شوند، به شکل یک سامانه با مقیاس بسیار بزرگ‌تر شکل گیرند و بارش حاصل از آن نواحی مجاور وسیعی را بپوشاند. آن‌ها می‌توانند در طول صد کیلومتر گسترش یابند و از چند ساعت تا چند روز دوام یابند (Maddox, 1983; Velasco and Fritsch, 1987; Houze, 1993; Tadesse and

[1].cumulonimbus
[2].stratiform
[3].nimbostratus
[4]. Convective Systems
[5].tornado
[6] Mesoscale Convective Systems

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

Anagnostou, 2009). در مورد شاخص طول برای قرار گرفتن در این طبقه اختلاف نظرهایی دیده می‌شود. برخی دارا بودن حداقل ۱۰۰km (Rigo and Llasat, 2007) و یا ۵۰km (Hocker and e.g.Basara, 2008) را در تعریف MCSs مدنظر قرار داده‌اند و برخی دیگر مثل مورل و سنسی (Morel and Senesi, 2002)، MCSs را در دو مقیاس α (با طولی بین ۲۵۰ تا ۲۵۰۰ کیلومتر) و β (با طولی بین ۲۵ تا ۲۵۰ کیلومتر) طبقه‌بندی نمودند.

با توجه به اندازه سامانه‌های همرفتی، مطالعه آنها نیاز به داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی با تراکم بالا دارد. اما در سطح زمین این شرایط همیشه وجود ندارد. در نواحی وسیعی از جهان که ایستگاه‌های هواشناسی وجود ندارد و یا به اندازه کافی متراکم نیست، سنجش از دور اغلب تنها وسیله پایش و ردیابی سامانه‌های همرفتی است. چندین ابزار سنجش از دور وجود دارد که می‌توان با استفاده از آن‌ها سامانه‌های همرفتی را پایش نمود.

به طور کلی داده‌های ماهواره‌ای ابزار مناسبی برای مطالعه فعالیت همرفتی هستند. دمای درخشندگی سطح ابر به دست آمده از طیف‌های مادون قرمز ماهواره‌های زمین آهنگ به دلیل دارا بودن قدرت تفکیک زمانی بالا شاخص مناسبی برای پایش سامانه‌های همرفتی است (Todd et al., 2001)، با وجود این که تطابق اندکی بین دمای درخشندگی باند مادون قرمز و کسر بارش همرفتی وجود دارد، دمای درخشندگی خیلی پایین شاخص خوبی برای شناسایی ابرهای سرد و غالباً بارش‌زای مرتبط با همرفت است (Yuter and Houze, 1998). به دلیل اینکه سطح ابرهای همرفتی نزدیک وردایست[1] است، به سادگی در تصاویر مادون قرمز شناسایی می‌شوند (Tadesse and Anagnostou, 2009). اگرچه استفاده از این تصاویر برای شناسایی و مسیریابی این سامانه‌ها متداول است، کاربرد آن‌ها برای توصیف فرایندهای همرفتی با مقیاس مکانی کمتر از ۲۰ km و مقیاس زمانی کم‌تر از یک ساعت محدود است. با این وجود، دسترسی بلند مدت به این تصاویر با قدرت تفکیک زمانی ۳۰ دقیقه‌ای در نواحی وسیعی از جهان، دلیل عمده بی همتا بودن این منبع برای بررسی پدیده‌های همرفتی است (Carvalho et al., 2002).

در تحقیقات بسیاری به تحلیل سامانه‌های همرفتی با استفاده از ماهواره‌های هواشناسی پرداخته شده است (Fritsch et al., 1986; Maddox et al., 1979; Miller and Fritsch, 1991; Boer and Ramanathan, 1997; Machado et al, 1998; Carvalho and Jones, 2001; Mathon and Laurent, 2001; Morel and Senesi, 2002; Sanchez et al., 2003; Hong et al., 2005).

[1]. tropopause

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

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 تعیین شده باشد، به عنوان سلول‌های همرفتی معرفی می‌شوند (Woodley et al., 1980). روش‌های دیگر شناسایی سامانه‌های همرفتی پیچیده و اندک هستند(Morel and Senesi, 2002).

از آنجایی که همرفت عمیق به وردسپهر[1] بالایی نفوذ می‌کند، ابرهایی که بخش فوقانی آن‌ها در بالای سطح ۴۵۰ میلی بار (مطابق با ارتفاع حدود ۹-۶ کیلومتر) قرار می‌گیرد، به عنوان ابرهای همرفتی شناسایی می‌شوند (Machado et al., 1998). انتخاب دقیق آستانه دما تا اندازه‌ای اختیاری است و به قدرت تفکیک مکانی و طول موج داده‌های مورد استفاده بستگی دارد (Futyan and Del Genio, 2007). مقدار آستانه دمای انتخاب شده، مساحت و طول عمر برآورد شده سامانه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. برای شناسایی ابرهای مرتبط با سامانه‌ی همرفتی، از آستانه‌ی دمایی (T_{IR}) در دامنه ۲۴۰ تا ۲۵۸ درجه کلوین (Maddox, 1980; Machado et. al., 1998; Miller and Fritsch, 1991; Mapes and Houze, 1993; Laing and Fritsch, 1993; Llasat et al., 1999; Tadesse and Anagnostou, 2009, 2010) و برای شناسایی ابرهای همرفتی فعال از آستانه‌ی دمایی در دامنه ۲۰۸ تا ۲۲۱ درجه کلوین استفاده شده است (Maddox, 1980; Chen et. al., 1996; Machado et. al., 1998; Augusto et al., 2003; Viana et al., 2009; Thomas et al., 2010).برخی از محققین تنها از یک آستانه دما (k ۲۳۵ - ۲۲۳) برای شناسایی سامانه‌های همرفتی میان مقیاس (MCSs) استفاده نمودند (Velasco and Fritsch, 1987; Arnaud et al,1992; Morel and Senesi, 2002a; Vila et al., 2008;). مورل و سنسی (Morel and Senesi, 2002a) نتیجه‌گیری نمودند که مسیرهای به دست آمده در هر آستانه دمایی بین k ۲۴۳ تا ۲۲۳ دقیق است.

مساله مهم دیگر برای شناسایی سامانه‌های همرفتی میان مقیاس، تعیین آستانه مساحت است. انتخاب آستانه مساحت می‌تواند به مقدار زیادی برخی پارامترهای آماری مثل میانگین طول عمر و محل تشکیل این سامانه‌ها را تحت تاثیر قرار دهد. مورل و سنسی (Morel and Senesi, 2002b) از آستانه $1000 km^2$ برای مسیریابیMCSs در تصاویر متئوست[2] استفاده نمودند. آن‌ها سامانه‌هایی را به عنوان MCSs شناسایی نمودند که در مراحلی از زندگی‌شان مساحتی بیش از ۱۰۰۰۰ کیلومتر مربع داشته‌اند. همان طور که پیش از این نیز اشاره شد، در

1. troposphere
2. Meteosat

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

مورد معیار حداقل طول یا مساحت (۱۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ کیلومتر مربع) در تعریف سامانه‌های همرفتی میان مقیاس، در بین محققین توافقی وجود ندارد و این معیار بیش‌تر بر اساس ویژگی‌های منطقه‌ای تعیین می‌شود (Fritsch et al, 1986; Maddox, 1980;Rigo and Llasat, 2007).

ساده‌ترین روش برای تشخیص مسیرهای سامانه‌های ابری، بررسی چشمی همه مسیرها است (Martin and Schreiner, 1981; Velasco and Fritsch 1987; Miller and Fritsch 1991; Rowell and Milford, 1993;). این روش که در آن بررسی همه‌ی تصاویر برای شناسایی مسیرهای سامانه‌های همرفتی به صورت دستی انجام می‌شود، دقیق و در عین حال زمان‌بر است.

مسیریابی غالباً با استفاده از دیدگاه همپوشانی سامانه‌ها که توسط ویلیامز و هوز (Williams and Houze, 1987) پیشنهاد شد، انجام می‌شود (Machado et. al., 1998; Arnaud et al,1992; Morel and Senesi 2002). بر اساس این فرض که بیشینه سرعت انتشار سامانه‌های همرفتی برابر $۶۰ m/s^{-1}$ است، بیشینه جابه‌جایی یک سامانه در فاصله زمانی بین دو تصویر محاسبه می‌شود و این فاصله برای محدود نمودن منطقه جستجوی تطابق، مورد استفاده قرار می‌گیرد (Machado et al., 1998; Tadesse and Anagnostou, 2009). مچادو و همکاران (Machado et al., 1998)، آشکار نمودند که نتایج حاصل از این دیدگاه ساده با نتایج حاصل از دیدگاه‌های پیچیده قابل قیاس است و بیش‌تر ویژگی‌های آماری سامانه‌های همرفتی به انتخاب روش مسیریابی چندان حساس نیستند.

با مقایسه تصاویر متوالی می‌توان ۵ موقعیت را برای یک سامانه همرفتی تعریف نمود (شکل ۱):

۱. شروع مسیر: سلول همرفتی موجود در تصویر با سلول‌های موجود در تصویر قبلی هم‌پوشانی نداشته باشد.

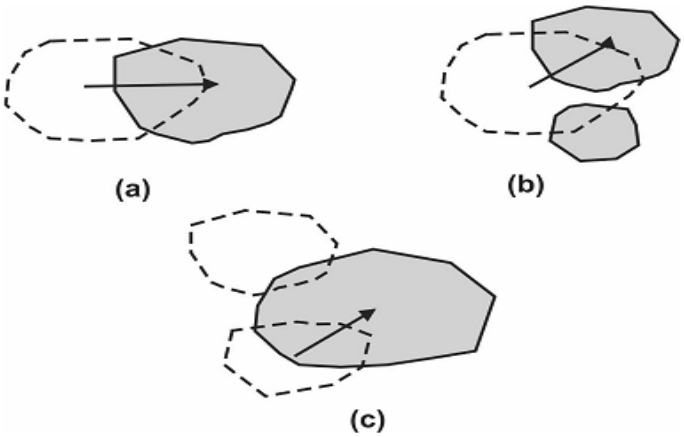
۲. پایان مسیر: سلول همرفتی موجود در تصویر با سلول‌های موجود در تصویر بعدی هم‌پوشانی نداشته باشد.

۳. تداوم: سلول همرفتی موجود در تصویر تنها با یک سلول در تصویر بعدی هم‌پوشانی داشته باشد.

۴. تقسیم: 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.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]



شکل (۱) نمایشی شماتیک از موقعیت‌های مسیریابی. خطوط منقطع MCS را در گام زمانی پیشین و اشکال خاکستری MCS را در گام زمانی فعلی نشان می‌دهد. a) تداوم، b) تقسیم و c) ادغام. اقتباس از (Vila et al., 2008)

مطالعاتی که تاکنون درباره بارش‌های همرفتی در ایران انجام شده، در رابطه با تحلیل سینوپتیک حوادث موردی (عزیزی و صمدی، ۱۳۸۶؛ موسوی و اشرف، ۱۳۸۹) و یا حوادث اتفاق افتاده در طول دوره آماری (حجازی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۶؛ حجازی زاده، ۱۳۷۹؛ لشکری و همکاران، ۱۳۸۷؛ لشکری، ۱۳۷۵؛ سبزی پرور، ۱۳۷۰) بوده است و تعدادی دیگر هم در ارتباط با ویژگی‌های آماری بارش‌های رگباری (قهرمان، ۱۳۸۷؛ خوشحال و قویدل ۱۳۸۶) انجام شده است. اما بررسی دقیقی در رابطه با محل تشکیل، مسیر حرکت، محدوده گسترش و توزیع مکانی و زمانی سامانه‌های همرفتی انجام نشده است. سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس نقش کلیدی در توزیع انرژی، تکانه و رطوبت در جو دارند (Carvalho et al., 2002) و با توجه به این‌که بخش عمده‌ای از بارش کل در نواحی جنب حاره‌ای از نوع همرفتی است (Cotton and Anthes, 1989)، شناسایی و بررسی دقیق این سامانه‌ها از یک سو برای پیش‌بینی و کاهش آسیب‌پذیری ناشی از رخدادهای شدید آب و هوایی ضروری است واز سویی دیگر به دلیل کمبود منابع آب در این نواحی و اهمیت شناسایی دقیق چنین سامانه‌هایی در برنامه‌ریزی‌های عمرانی و کشاورزی، بسیار مهم است. هدف این تحقیق بررسی نواحی شکل‌گیری، مسیر حرکت، نواحی بیشینه رخداد، محل پایان فعالیت و ویژگی‌های زمانی رخداد سامانه‌های همرفتی میان مقیاس در جنوب‌غرب ایران است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

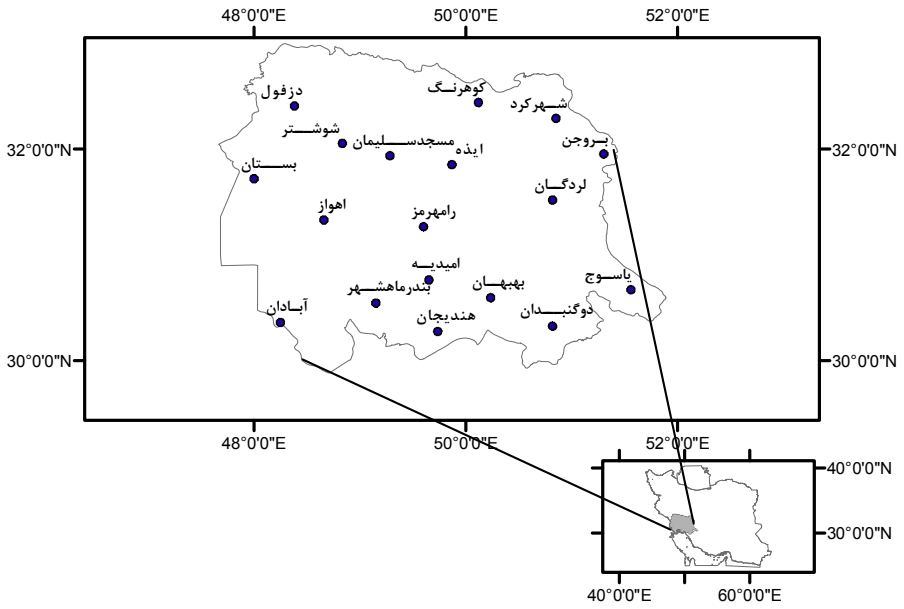
منطقه مورد مطالعه

جنوب‌غرب ایران (سه استان خوزستان، کهگیلویه و بویراحمد و چهارمحال و بختیاری) به عنوان منطقه مورد مطالعه در این تحقیق انتخاب شد، که در محدوده‌ی N"۰۴ '۵۱°۲۹ تاN"۱'۱°۳۳ عرض جغرافیایی و E"۰۴'۳۶ °۴۷ تا E"۰۴ '۵۴°۵۱ طول جغرافیایی قرار دارد.

مواد و روش مطالعه

داده‌های هواشناسی

داده‌های هواشناسی مورد استفاده در این مطالعه شامل داده‌های بارش (۶ ساعته) و پدیده (سه ساعته) ایستگاه‌های سینوپتیک هستند.مشخصات و موقعیت ایستگاه‌ها در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل (۲) موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک و منطقه مورد مطالعه

تصاویر ماهواره‌ای

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق محصول موزاییک شده دمای درخشندگی حاصل از باند مادون قرمز حرارتی ماهواره‌های زمین‌ثابت متئوست، GOES و GMS، است. این داده‌ها توسط

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

مرکز پیش‌بینی اقلیمی NWS/NCEP برای ایجاد یک مجموعه با پوشش جهانی[1] با یکدیگر ادغام شده است و دارای قدرت تفکیک مکانی ۴ کیلومترمربع و قدرت تفکیک زمانی ۳۰ دقیقه هستند (Janowiak et al., 2001). خطای حاصل از زوایه دید[2] این داده‌ها تصحیح شده است (Janowiak et al., 2001). این خطا باعث می‌شود در مکان‌هایی که نسبت به نادیر[3] ماهواره دورتر هستند دمای درخشندگی تخمین شده به علت اثرات ژئومتریک (هندسی) و کاهش میزان انرژی در طول مسیر، سردتر از مکان‌های مشابه نزدیک ندیر ماهواره باشد. برای تصحیح این خطا از یک روش تجربی استفاده شده است. در این روش با استفاده از ماهواره‌های GOES که دارای نواحی هم‌پوشانی نسبتاً بزرگی هستند، دماهای درخشندگی یک مکان در محدوده هم‌پوشانی، با زوایه دید مختلف، مقایسه شدند و تصحیح بر اساس این مقایسه انجام گرفت. دلیل استفاده از این تصاویر علاوه بر تخمین مناسب مقادیر دمای درخشندگی، دسترسی آسان و کم‌بودن تصاویر مخدوش یا مفقود آن در سطح منطقه مورد مطالعه بوده است. این تصاویر از وب سایت http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/precipitation اخذ شد. نمونه‌ای از این تصویر و محدوده‌ی پوشش هر ماهواره بر آن، در شکل (۳) نشان داده شده است. این تصاویر بر اساس فراداده[4] و با استفاده از نرم‌افزار ENVI زمین مرجع شدند؛ به این ترتیب که طول و عرض جغرافیایی مربوط به هر یک از پیکسل‌های چهارگوشه تصاویر که در فراداده محصول ذکر شده بود، تعریف و تصاویر زمین مرجع شدند.

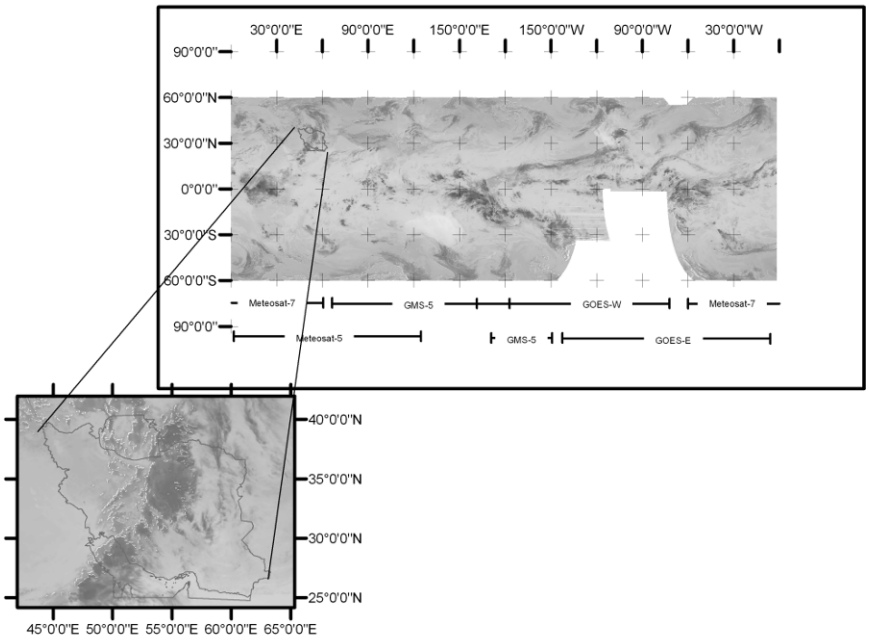
شناسایی سامانه‌های همرفتی

برای جلوگیری از بررسی تمامی تصاویر ماهواره‌ای در دوره مورد مطالعه، با توجه به این که شناسایی سامانه‌های همرفتی بر این اساس بسیار زمان‌بر است و حجم داده‌های مورد استفاده نیز بسیار زیاد است، همچنین نیاز به کنترل و تایید با استفاده از داده‌های زمینی وجود دارد، ابتدا بر اساس آمار بارش (۶ ساعته) و پدیده (۳ ساعته) ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در سه استان جنوب‌غرب ایران شامل خوزستان، کهگیلویه و بویر احمد و چهارمحال و بختیاری سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۵زمان رخداد سامانه‌های همرفتی تعیین شد و از بین آنها تنها سامانه‌هایی انتخاب شدند که حداقل در یک ایستگاه بارش بیش از ۱۰ میلی‌متر (در طول ۶ ساعت) و همچنین حداقل در سه ایستگاه هواشناسی مجاور، فعالیت همرفتی ثبت شده بود.

1. Global merged IR brightness temperature data
2. Viewing angle
3. Nadir
4. metadata

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

علت انتخاب چنین معیارهایی، قابل توجه بودن وسعت و بارش حاصل از سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس است و انتخاب این سامانه‌ها می‌توانست تا حد زیادی سرعت انجام این مطالعه را افزایش دهد. سپس تصاویر ماهواره‌ای روزهای تعیین شده برای شناسایی سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس و مشخصات آنها مورد استفاده قرار گرفتند.



شکل (۳) تصویر دمای درخشندگی حاصل از باند مادون قرمز در روز ۱۷ آوریل ۲۰۰۵ ساعت ۰/۳۰ دقیقه

همان‌طور که اشاره شد، انتخاب دقیق آستانه دما تا اندازه‌ای اختیاری است و به قدرت تفکیک مکانی و طول موج داده‌های مورد استفاده بستگی دارد (Futyan and Del Genio, 2007).مورل و سنسی (Morel and Senesi, 2002a) نتیجه‌گیری نمودند که مسیرهای به دست آمده در هر آستانه دمایی بین k ۲۴۳ تا ۲۲۳ دقیق است. در این مطالعه برای تعیین مقدار دقیق آستانه‌ی دما جهت شناسایی سامانه‌های همرفتی ابتدا مرز سامانه‌ها در تصویر دمای درخشندگی بر اساس آستانه‌های ۲۲۰ تا ۲۴۵ درجه کلوین (آستانه‌های مورد استفاده در مطالعات پیشین) تعیین شد و سپس چگونگی شناسایی سامانه‌های همرفتی در تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از پدیده ثبت شده در ایستگاه‌های سینوپتیک مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور پدیده‌های بارش رگباری، توفان‌های رعد و تگرگ به عنوان تظاهرات سامانه

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

همرفتی در نظر گرفته شدند.از آنجا که داده‌های ایستگاهی تراکم چندان مناسبی ندارند، برای اطمینان بیشتر مقایسه‌ای هم با طبقه‌بندی بارش حاصل از 2A23 که یکی از محصولات رادار هواشناسی TRMM PR[1] است و اطلاعاتی در مورد نوع بارش (پوشنی‌دیس یا همرفتی)، شناسایی باند روشن و باران گرم ارایه می‌دهد، صورت گرفت. از آن‌جا که ترجیح این مطالعه شناسایی مناطق تحت تاثیر بارش ناشی از سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس است، از آستانه دمایی نسبتاً پایین ۲۲۸ درجه کلوین استفاده شد، که بر اساس آن مناطق تحت بارش سامانه‌های همرفتی در اغلب موارد، به خوبی شناسایی شد.

تعیین آستانه مساحت برای شناسایی سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس براساس پیشنهاد مورل و سنسی (Morel and Senesi, 2002b) صورت گرفت. به این صورت که از آستانه ۱۰۰۰km^2 برای مسیریابی MCSs در تصاویر دمای درخشندگی استفاده شد و سامانه‌هایی به عنوان MCSs شناسایی شدند که در مراحلی از زندگی‌شان مساحتی بیش از ۱۰۰۰۰ کیلومتر مربع داشته‌اند و طول عمرشان حداقل ۳ ساعت بوده است.

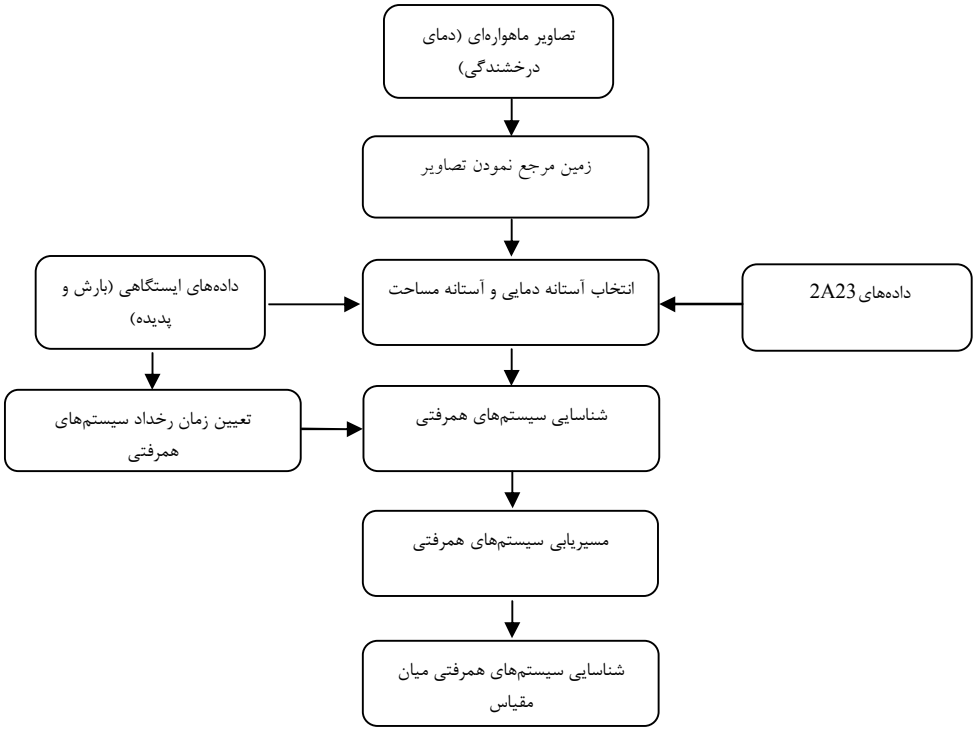
مسیریابی سامانه‌های همرفتی

چون شناسایی MCSs برای اولین بار در این منطقه (به طور کلی در ایران) انجام می‌شد و هیچ شناختی در مورد ویژگی‌های رخداد این سامانه‌ها و بنابراین مرجعی برای ارزیابی شناسایی وجود نداشت، ترجیح داده شد که از روش‌های خودکار برای مسیریابی سامانه‌ها استفاده نشود. برای مسیریابی سامانه‌ها نواحی که دمای درخشندگی آنها کمتر از آستانه بود شناسایی، به فرمت shape file تبدیل و به نرم‌افزار ArcGIS منتقل شدند. 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. اگر دو سامانه ادغام می‌شدند، مسیریابی سامانه بزرگ‌تر ادامه می‌یافت و به مسیر سامانه کوچک‌تر پایان داده می‌شد و اگر یک سامانه به دو بخش تقسیم می‌شد، بخش بزرگ‌تر ادامه مسیر را تعیین می‌نمود. برای جلوگیری از ناپایداری‌هایی مثل تغییرات ناگهانی جهت، مساحت و غیره در سامانه که به دلیل تقسیم‌ها و ادغام‌های متوالی کاذب در مسیر سامانه‌های ابر به‌وجود می‌آید، در مواردی که چند هسته سرد در نزدیکی هم قرار داشته‌اند و مسیر مشابهی را طی می‌کردند، به عنوان یک سامانه درنظر گرفته شدند. در نهایت پارامترهایی مثل محل شکل‌گیری، بیشینه مساحت، طول عمر و گستره

1. TRMM Precipitation Radar

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

مسیر طی شده هر سامانه ثبت شد و تحلیل نهایی بر اساس توزیع مکانی و زمانی این پارامترها انجام شد.مراحل انجام تحقیق در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل (۴) مراحل انجام تحقیق

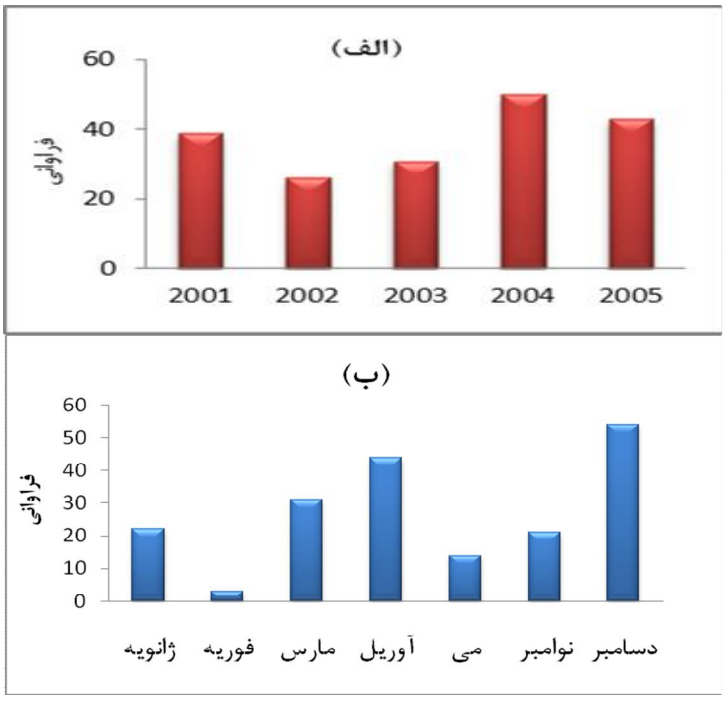
نتایج

بر اساس آستانه‌های انتخاب شده در مجموع ۱۸۹سامانه همرفتی میان‌مقیاس شناسایی شد. فراوانی رخداد سامانه‌های همرفتی در سال‌های مورد بررسی در شکل (۵الف) نشان داده شده است، همان‌طور که ملاحظه می‌شود، کم‌ترین و بیش‌ترین تعداد سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس به ترتیب در سال‌های ۲۰۰۲ (۲۶ مورد) و ۲۰۰۴ (۵۰ مورد) رخ داده است. میانگین رخداد سالانه برابر ۳۸ و انحراف معیار آن برابر ۹ مورد بوده است. این نوسانات به دلیل تغییر شرایط جوی و سینوپتیک مطلوب برای شکل‌گیری این سامانه‌ها است.

همان‌طور که شکل (۵ب) نشان می‌دهد از مجموع این سامانه‌ها، ۵۴ سامانه در ماه دسامبر، ۴۴ سامانه در ماه آوریل، ۳۱ سامانه در ماه مارس، ۲۲ سامانه در ماه ژانویه، ۲۱ سامانه در ماه

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

نوامبر، ۱۴ سامانه در ماه می و بالاخره ۳ سامانه در ماه فوریه رخداده است. در ماه‌های جون تا اکتبر سامانه‌ای برابر با معیارهای تعیین شده (بارش بیش از ۱۰ میلی‌متر و ثبت پدیده رگبار حداقل در سه ایستگاه مجاور)، یافت نشد. بنابراین بیش‌ترین تعداد MCSs در ماه دسامبر تشکیل شده است. در ماه آوریل رخداد سامانه‌های همرفتی به دلیل افزایش گرمایش روزانه قابل توجه است. اما با استیلای پرفشار جنب‌حاره‌ای در فصل گرم رخداد سامانه‌های بارش‌زا به ویژه MCSs بسیار محدود می‌شود. ولی با عقب‌نشینی پرفشار جنب حاره‌ای دوباره در ماه نوامبر شاهد رخداد این سامانه‌ها هستیم. میزان رخداد در ماه دسامبر به اوج می‌رسد، درحالی‌که در ماه ژانویه و به ویژه فوریه که هوا سردتر می‌شود، به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد.این آمار میزان تاثیر عوامل دینامیک در شکل‌گیری و تقویت سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس را در این منطقه به خوبی نشان می‌دهد، چون فراوانی این سامانه‌ها به رغم افزایش گرمایش روزانه در ماه‌های گرم سال، به علت عامل تضعیف کننده دینامیکی (تسلط پرفشار)، کاهش یافته و در برخی ماه‌های گرم اصلاً اتفاق نمی‌افتد.



شکل(۵) فراوانی سامانه‌های همرفتی میان مقیاس الف:سالانه و ب: ماهانه(۲۰۰۱ تا ۲۰۰۵)

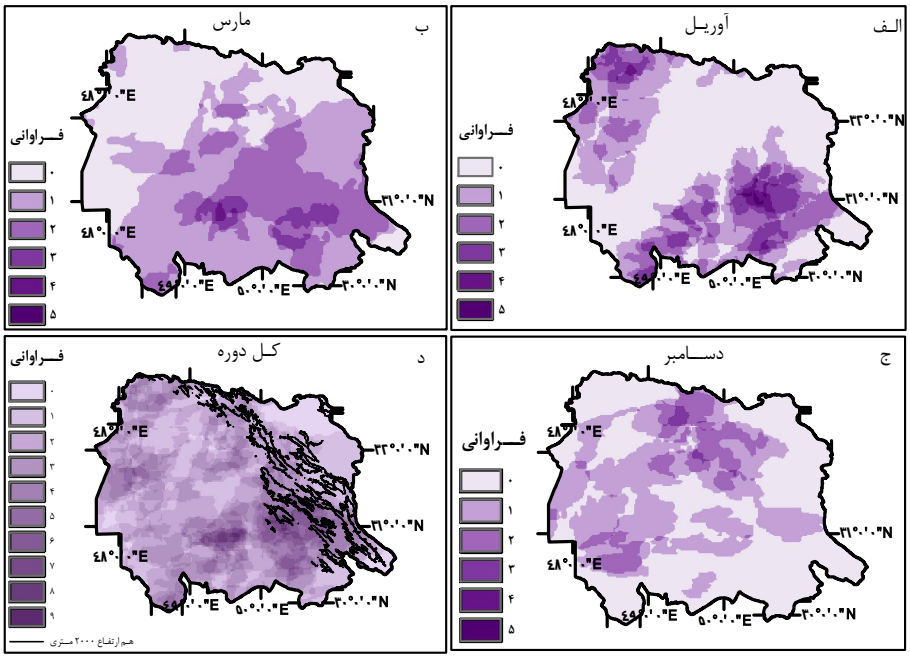
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

برای درک نقش دامنه‌ی رو به باد زاگرس در تشکیل سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس، نقشه پراکندگی محل شکل‌گیری سامانه‌ها تهیه شده است (شکل ۶). برای تهیه این نقشه، چندضلعی که محل اولین ظهور سامانه را نشان می‌داد، به لایه‌ای با فرمت سلولی[1] تبدیل و نقشه پراکندگی به عنوان مجموع این لایه‌ها در نظر گرفته شد. شکل (۶) محل شکل‌گیری MCSs را در ماه‌های آوریل، مارس، دسامبر و کل دوره نشان می‌دهد. نقشه مذکور در ماه‌های نوامبر، فوریه و ژانویه به دلیل کم بودن تعداد سامانه‌های تشکیل شده، ارایه نشده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود (شکل ۶الف، ۶ب و ۶ج) در بین سه ماه آوریل، مارس و دسامبر تنها در ماه آوریل محل شکل‌گیری MCSs الگوی ویژه‌ای نشان می‌دهد. به این صورت که سامانه‌ها یا در جنوب منطقه مورد مطالعه (شمال خلیج فارس) یا در شمال‌شرق آن شکل گرفته‌اند. دسترسی به رطوبت که از عوامل موثر در ایجاد و تشدید ناپایداری است، در جنوب منطقه مورد مطالعه بیش‌تر است، به همین دلیل محل مناسبی برای شکل‌گیری این سامانه است، گروهی از سامانه‌ها که در شمال منطقه تشکیل شده‌اند، تحت تاثیر چرخند یا ناوه‌ی مستقر بین ایران و دریای مدیترانه به وجود آمده‌اند (کریمی، ۱۳۸۶).

همان‌طور که شکل (۶د)، نشان می‌دهد در کل دوره محل شکل‌گیری MCSs از توپوگرافی منطقه تاثیر پذیرفته به این صورت که سامانه‌ها اغلب در جلگه خوزستان یا در دامنه بادگیر کوه‌های زاگرس تشکیل شده‌اند و به ندرت سامانه‌ای در دامنه بادپناه این کوه‌ها شکل گرفته است. اما بر خلاف انتظار، توپوگرافی نقش مهمی در شکل‌گیری این سامانه‌ها نداشته چون بیشینه محل شکل‌گیری این سامانه‌ها در دامنه بادگیر کوه‌های زاگرس نیست، بلکه تحت تاثیر پراکندگی محل شکل‌گیری سامانه‌ها در ماه آوریل در جنوب منطقه قرار گرفته است .بنابراین سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس سامانه‌هایی بزرگ‌تر با طول عمر بیش‌تر (نسبت به دیگر سامانه‌های همرفتی) هستند که در منطقه مورد مطالعه کمتر تحت تاثیر توپوگرافی شکل می‌گیرند.

1. Raster

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]



شکل (۶) پراکندگی مکانی محل شکل‌گیری سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس در جنوب‌غرب ایران
الف: ماه آوریل ب: ماه مارس ج: دسامبر د: کل دوره (۲۰۰۵-۲۰۰۱)

شکل (۷) فراوانی مکانی سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس را نشان می‌دهد. در محاسبه فراوانی رخداد، برای جلوگیری از تاثیر سرعت حرکت سامانه، گستره سامانه در تصاویر متوالی ادغام شده و به یک چند ضلعی واحد و سپس به فرمت سلولی تبدیل شد. در نهایت مجموع رخداد سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس برای هر پیکسل محاسبه گردید.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود در ماه ژانویه فراوانی رخداد MCSs از شمال‌غرب به جنوب شرق روند افزایشی و سپس روند کاهشی نشان می‌دهد (شکل ۷الف). بنابراین این روند از توپوگرافی منطقه تبعیت نمی‌کند. در ماه فوریه به دلیل رخداد کم این سامانه‌ها در مورد پراکنش آن نمی‌توان اظهار نظر قطعی نمود، برای اظهار نظر به دوره آماری طولانی‌تری نیاز است (شکل۷ب). پراکندگی مکانی سامانه‌های همرفتی در ماه مارس نسبت به ماه ژانویه هماهنگی بیشتری با توپوگرافی منطقه نشان می‌دهد (شکل۷ج). اما در ماه آوریل و می فراوانی رخداد کاملا از توپوگرافی منطقه تبعیت می‌کند (شکل ۷د، ۷ه، ۷و). به طوری‌که از جنوب‌غرب به سمت شمال‌شرق فراوانی رخداد با افزایش ارتفاع، بیش‌تر می‌شود. علت آن نقش مهم‌تر توپوگرافی در شکل‌گیری یا تقویت سامانه‌ها است. به عبارت دیگر در ماه آوریل ورود رطوبت و

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

صعود توده‌ی هوا در اثر وجود کوه‌های زاگرس در شکل‌گیری MCSs نسبت به ماه ژانویه که شکل‌گیری آن‌ها بیش‌تر ناشی از شرایط چرخند و جبهه است، نقش مهم‌تری ایفا می‌کند.

پراکندگی رخداد MCSs در ماه نوامبر الگوی خاصی را نشان نمی‌دهد و در بخش عمده‌ای از آن فراوانی رخداد تقریباً مشابه بوده است. اما در ماه دسامبر شرایط نسبت به ماه‌های آوریل و می تغییر کرده و به سمت شرق فراوانی رخداد افزایش یافته است و حالت میانه‌ای را نسبت به ماه‌های ژانویه و آوریل در هماهنگی با توپوگرافی نشان می‌دهد (شکل ۷ز). به این ترتیب به تدریج با افزایش سرما نقش توپوگرافی در شکل‌گیری سامانه‌ها کمتر و نقش چرخند و جبهه در شکل‌گیری آنها پررنگ‌تر می‌شود.

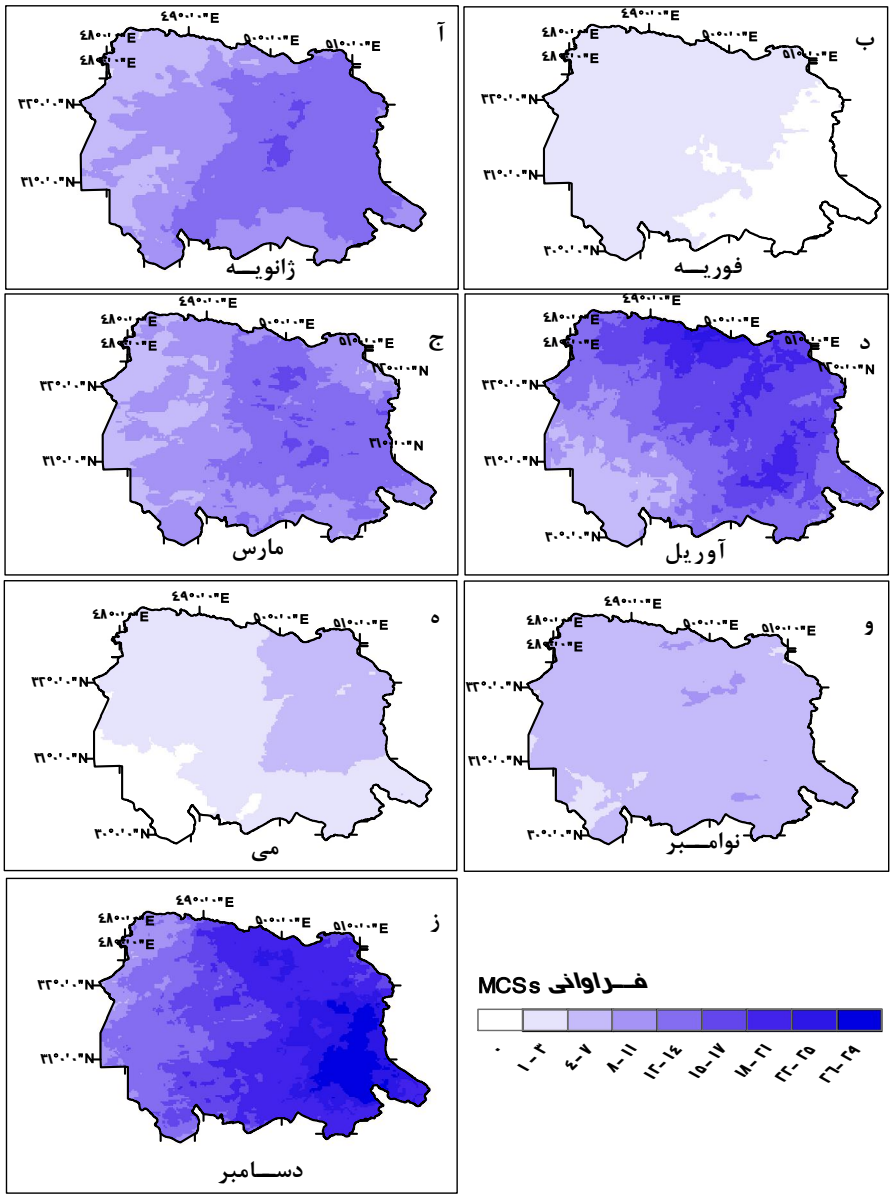
شکل (۸) پراکندگی مکانی رخداد سامانه‌ها را در کل دوره مورد مطالعه نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، فراوانی رخداد از جنوب‌غرب منطقه به سمت شمال‌شرق ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد، بنابراین روند آن از توپوگرافی منطقه تبعیت کرده است و میزان رخداد در ارتفاعات بیش‌تر است. این پراکندگی میانگینی از پراکندگی رخداد سامانه‌های همرفتی در دو ماه آوریل و دسامبر را نشان می‌دهد. چون بخش عمده MCSs در ماه‌های دسامبر و آوریل رخ داده، روشن است که پراکندگی مکانی کل دوره بیشتر متاثر از توزیع مکانیMCSs در این دو ماه باشد.

حدود ٪۶۰ سامانه‌های شناسایی شده بیشینه مساحتی بین ۱۰۰۰۰ تا ۵۰۰۰۰ کیلومترمربع، ٪۱۵ آن‌ها بیشینه مساحتی بین ۵۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ کیلومترمربع و حدود٪۲۵سامانه‌های شناسایی شده بیشینه مساحتی بیش از ۱۰۰۰۰۰ کیلومترمربع داشته‌اند، بنابراین رخداد MCSs وسیع در منطقه مورد مطالعه قابل توجه است (شکل ۹الف).

شکل (۹ب)توزیع ماهانه MCSs را نشان می‌دهد، توزیع ماهانه مساحت این سامانه‌ها نامتقارن (چوله) و شامل داده‌های به شدت پرت بوده است، که در این نمودار داده‌های به شدت پرت بالا نشان داده نشده‌اند، به این دلیل با نمایش آن‌ها، چارک‌های اول تا سوم داده‌ها بسیار کوچک و ناواضح دیده می‌شود. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، مساحت سامانه‌ها در ماه‌های ژانویه، آوریل و دسامبر پراکندگی زیادی نشان می‌دهند، اما در ماه‌های می و نوامبر پراکندگی کمتری دارند. بزرگ‌ترین سامانه با وسعتی نزدیک به ۸۰۰۰۰۰ کیلومترمربع در ماه مارس تشکیل شد. در ماه‌های ژانویه، مارس، آوریل و دسامبر نیز سامانه‌هایی با وسعت بیش از ۴۰۰۰۰۰ کیلومترمربع شکل گرفته‌اند. میانه مساحت سامانه‌ها در ماه می ۲۰۰۰۰ کیلومترمربع، در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس و آوریل در حدود ۴۰۰۰۰ کیلومترمربع، در ماه نوامبر در حدود ۳۲۰۰۰ کیلومترمربع و بالاخره در ماه دسامبر در حدود ۴۶۰۰۰ کیلومترمربع

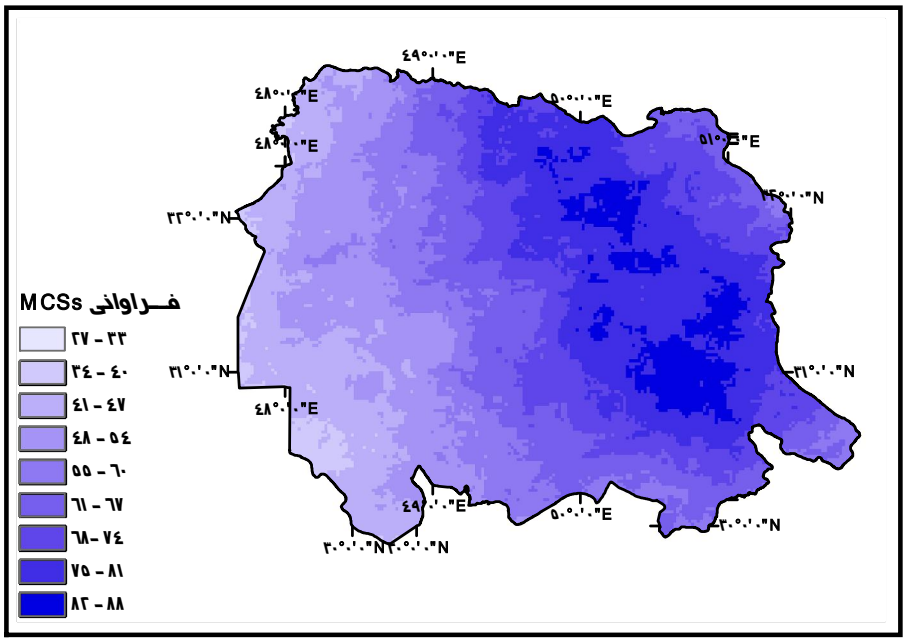
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

بوده است. بنابراین در ۵ سال مورد بررسی (۲۰۰۵-۲۰۰۱)، میانه مساحت سامانه‌هادر ماه می به مقدار قابل توجهی کمتر از ماه‌های دیگر بوده است.

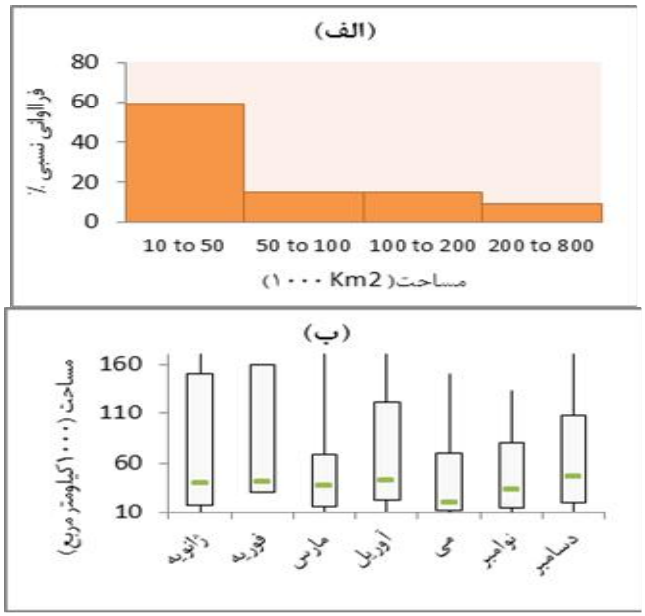


شکل (۷) پراکندگی مکانی رخداد سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس در جنوب‌غرب ایران (الف): ژانویه؛ (ب): فوریه؛ (ج): مارس؛ (د): آوریل؛ (ه): می؛ (و): نوامبر؛ (ز): دسامبر

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]



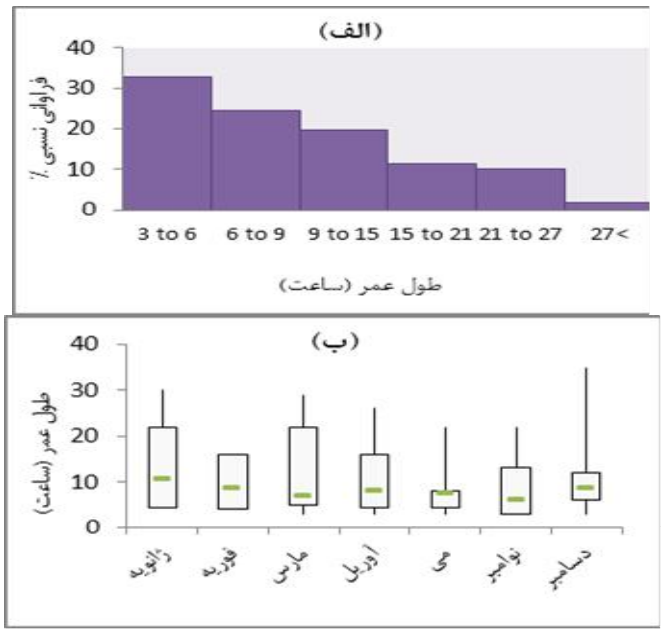
شکل (۸) پراکندگی مکانی رخداد سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس در جنوب‌غرب ایران (۲۰۰۵-۲۰۰۱)



شکل (۹) الف: توزیع فراوانی مساحت MCSs ب: نمودار جعبه‌ای مساحت MCSs در هر ماه (۲۰۰۵-۲۰۰۱)

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

همان‌طور که شکل (۱۰الف) نشان می‌دهد، طول عمرحدود ٪۳۳ از سامانه‌ها بین ۳ تا ۶ ساعت، ٪۲۴ سامانه‌ها بین ۶ تا ۹ ساعت، ٪۲۰ درصد سامانه‌ها بین ۹ تا ۱۵ ساعت و ٪۲۳ از سامانه‌ها بیش از ۱۵ ساعت (٪۱۱ بین ۱۵ تا ۲۱ ساعت، ٪۱۰ بین ۲۱ تا ۲۷ ساعت و ٪۲ نیز بیش از ۲۷ ساعت) بوده است، در نتیجه طول عمر MCSs همانند مساحت آن‌ها زیاد است، که نشان‌دهنده اهمیت نقش عوامل دینامیک در شکل‌گیری سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس این منطقه است (Tadesse and Anagnostou, 2009; Morel and Senesi, 2002b). توزیع طول عمر سامانه‌ها نیز در بیش‌تر ماه‌ها نامتقارن و دارای داده‌های پرت است. پراکندگی طول عمر در ماه می کمترین و در ماه‌های مارس و ژانویه بیش‌ترین مقدار را دارد (شکل ۱۰ب).



شکل(۱۰) الف: توزیع فراوانی طول عمر MCSs ب: نمودار جعبه‌ای طول عمر MCSs در هر ماه (۲۰۰۵-۲۰۰۱)

اگر به چارک اول تا چارک سوم مساحت سامانه‌ها و میانه طول عمر آن‌ها توجه شود (شکل ۹ب و ۱۰ب)، روند نسبتاً مشخصی (در مورد مساحت سامانه‌ها به ویژه در چارک سوم) مشاهده می‌شود، به این ترتیب که مساحت و طول‌عمر MCSs به تدریج با گرم شدن هوا کاهش و با سرد شدن هوا افزایش یافته است. به این دلیل که در ماه‌های سرد سال رخداد سامانه‌ها بیشتر تحت تاثیر شرایط دینامیکی (چرخند و جبهه) رخ می‌دهد، به همین دلیل سامانه‌ها مساحت و

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

طول عمر بیش‌تری دارند. البته مساحت و طول عمر سامانه‌ها در ماه آوریل این روند را کمی نامنظم کرده است. در مطالعه‌ای که تالرد و راجرز (Tollerud and Rogers, 1991) و اشلی و همکاران (Ashley et al., 2003) انجام دادند نیز سامانه‌های شکل‌گرفته در ماه آوریل نسبت به دیگر ماه‌های سال مساحت وطول عمر بیش‌تری داشتند (البته در این مطالعه مساحت و طول عمر سامانه‌های ماه آوریل بیش‌ترین مقدار را ندارند، تنها روند کاهش مساحت و طول عمر سامانه‌ها با گرم‌شدن هوا و کاهش نقش عوامل دینامیک در شکل‌گیری سامانه‌ها، نامنظم شده است). آن‌ها این‌گونه توجیه نمودند که سامانه‌های آوریل تحت تاثیر واداشت‌های قوی‌تر جریانات سینوپتیک فصل بهار شکل می‌گیرند، همچنین شکل‌گیری سامانه‌های آوریل در مناطقی نزدیک‌تر به خلیج مکزیک متمایل است که باعث دسترسی راحت‌تر به رطوبت سطوح پایین جو می‌شود. همان‌طور که در بخش پیش اشاره شد (شکل ۶الف)، در جنوب‌غرب ایران نیز در ماه آوریل بیش‌تر سامانه‌ها در جنوب منطقه (شمال خلیج فارس) که دسترسی بیش‌تری به رطوبت وجود دارد، تشکیل شده‌اند. اما در ماه‌های دیگر شکل‌گیری سامانه‌ها الگوی ویژه‌ای را نشان نداده است. در ماه دسامبر محل ترجیحی برای شکل‌گیری MCSs وجود ندارد، اما در ماه آوریل سامانه‌ها از نظر محل شکل‌گیری تقریباً به دو گروه مشخص تقسیم شده‌اند. یک گروه در جنوب منطقه و نزدیک به خلیج فارس شکل گرفته‌اند، به همین دلیل دسترسی مناسبی به رطوبت داشتند،گروه دوم عمدتاً تحت تاثیر چرخند یا ناوه‌ی بین ایران و دریای مدیترانه در شمال منطقه شکل گرفته‌اند (عوامل دینامیکی)،که باعث افزایش مساحت و طول عمر سامانه‌های ماه آوریل (تا اندازه مساحت و طول عمر سامانه‌ها در ماه‌های سرد سال) شده‌اند. اما بالا بودن نسبی مساحت و طول عمر MCSs در ماه آوریل در دوره‌ی مورد مطالعه می‌تواند تنها به این دوره‌ی انتخابی (۲۰۰۵- ۲۰۰۱)محدود باشد و در مورد دوره‌های دیگر (یا دوره‌های طویل‌تر با نتایج قابل اعتمادتر) صدق نکند.

نتیجه گیری

هدف این مطالعه توصیف ویژگی‌های مکانی و زمانی سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس (MCSs) در جنوب‌غرب ایران بوده است. به این منظور داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک وتصاویر ادغامی دمای درخشندگی حاصل از باند مادون قرمز ماهواره‌های زمین‌ثابت متئوست، GOES و GMS، طی سال‌های ۲۰۰۵-۲۰۰۱ مورد استفاده قرار گرفتند. سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس بر اساس آستانه‌های دما، مساحت و بیشینه مساحت، به ترتیب برابر ۲۲۸ درجه کلوین، ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ کیلومترمربع شناسایی شدند. در مجموع ۱۸۹سامانه همرفتی میان‌مقیاس در طی

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

ساعات بارشی (با مجموع بارش بیش از ۱۰ میلی‌متر در طول ۶ ساعت و ثبت پدیده‌های مرتبط با فعالیت همرفتی حداقل در ۳ ایستگاه) شناسایی شد. در ماه‌های جون تا اکتبر سامانه‌ای برابر با معیارهای تعیین شده (بارش بیش از ۱۰ میلی‌متر و ثبت پدیده رگبار حداقل در سه ایستگاه مجاور)، یافت نشد. بیش‌ترین تعداد MCSs در ماه دسامبر (۵۴ مورد) و کمترین آن در ماه فوریه (۳مورد) رخ داده است. حدود ٪۲۵سامانه‌های شناسایی شده بیشینه مساحتی بیش از ۱۰۰۰۰۰ کیلومترمربع داشته‌اند، بنابراین رخداد MCSs وسیع در منطقه مورد مطالعه قابل توجه است. همچنین طول عمر ٪۲۳ از سامانه‌ها بیش از ۱۵ ساعت بوده است، این نتایج نشان‌دهنده اهمیت نقش عوامل دینامیک در شکل‌گیری سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس این منطقه است. پراکندگی مساحت و طول عمر سامانه‌ها در ماه‌های مختلف به شدت چوله است بنابراین از معیار میانه برای نشان دادن متوسط مساحت و طول عمر سامانه‌ها استفاده شد، در مورد طول عمر و مساحت سامانه‌ها معلوم شد که طول عمر و مساحت MCSs به تدریج با گرم شدن هوا کاهش و با سرد شدن هوا افزایش یافته است. یافته‌های این تحقیق نشان داد، شکل‌گیری سامانه‌ها در محدوده منطقه مورد مطالعه از شرایط توپوگرافی تاثیر پذیرفته است، ولی دامنه‌ی رو به باد نقش خیلی مهمی در شکل‌گیری سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس این منطقه نداشته است. به طور کلی فراوانی رخداد از جنوب‌غرب منطقه به سمت شمال‌شرق ابتدا افزایش و سپس کاهش یافته، بنابراین روند آن از توپوگرافی منطقه تبعیت کرده است و میزان رخداد در ارتفاعات بیش‌تر بوده است، بنابراین اگرچه کوه‌های زاگرس نقش مهمی در شکل‌گیری این سامانه‌ها ایفا نکرده‌اند، اما باعث تقویت و گسترش آن‌ها شده‌اند. البته فراوانی رخداد این سامانه‌ها در ماه‌های مختلف سال مشابه نبود، به‌طوری که در ماه آوریل و می فراوانی رخداد کاملا از توپوگرافی منطقه تبعیت کرده، اما با افزایش سرما میزان تبعیت از توپوگرافی کمتر شده تا آن‌جا که در ماه ژانویه هماهنگی بین فراوانی رخداد MCSs با توپوگرافی منطقه مشاهده نشده است.

منابع و ماخذ

۱. حجازی‌زاده، زهرا، جعفرپور، زین‌العابدین و پروین، نادر (۱۳۸۶) **بررسی وشناسایی الگوهای سینوپتیکی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال مولد سیلاب‌های مخرب و فراگیر سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه**، علوم جغرافیایی، جلد ۷، شماره ۱۰، صص ۱۲۵-۱۵۵.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

۲. حجازی‌زاده، زهرا (۱۳۷۹) **بررسی عوامل سینوپتیکی بارش و توفان‌های توام با رعد و برق در غرب کشور**، مجله دانشکده ادبیات و علوم انسانی تربیت معلم، شماره ۸، صص ۵-۲۶.

۳. خوشحال، جواد و قویدل، یوسف (۱۳۸۶) **شناسایی ویژگی‌های سوانح محیطی منطقه شمال غرب ایران (نمونه مطالعاتی: خطر توفان‌های تندری در تبریز)**، فصل‌نامه مدرس علوم انسانی، ۱۱ (ویژه‌نامه جغرافیا)، صص ۱۱۵-۱۰۱.

۴. سبزی پرور، علی اکبر (۱۳۷۰) **بررسی سینوپتیکی سامانه‌های سیل‌زا در جنوب‌غرب ایران**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، موسسه ژئوفیزیک.

۵. عزیزی، قاسم و صمدی، زهرا (۱۳۸۶) **تحلیل الگوی سینوپتیکی سیل ۲۸ مهرماه ۱۳۸۲ استان گیلان و مازندران**، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۰، صص ۶۱-۷۳

۶. قهرمان، بیژن (۱۳۸۷) **تحلیل باران‌های کوتاه مدت در خراسان**، علوم مهندسی آبخیزداری ایران، سال دوم، شماره ۴، صص ۷۳-۶۶.

۷. کریمی، مصطفی (۱۳۸۶) **تحلیل منابع رطوبت بارش‌های ایران**، رساله دکتری، جغرافیای طبیعی گرایش اقلیم، دانشگاه تربیت مدرس.

۸. لشکری، حسن (۱۳۷۵) **الگوی سینوپتیکی بارش‌های شدید جنوب‌غرب ایران**، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه تربیت مدرس.

۹. لشکری، حسن و اصغرپور، منیره (۱۳۸۷) **تحلیل سینوپتیکی عوامل ایجاد بارش‌های سیل‌زا در استان گلستان**، فصل‌نامه مدرس علوم انسانی، دوره ۱۲، شماره۲، صص ۲۱۱-۱۸۱.

۱۰.موسوی بایگی، محمد و اشرف، بتول (۱۳۸۹) **بررسی و مطالعه نمایه قائم هوای منجر به بارندگی‌های مخرب تابستانه**، آب و خاک، جلد ۲۴، شماره ۵، صص ۱۰۴۸-۱۰۳۶.

Arnaud, Y., Desbois, M., and Maizi, J., (1992) ***Automatic tracking and characterization of African convective Systems on Meteosat pictures***. Journal of Applied Meteorology, 31, 443-453.

Ashley, W. S., Mote, T. L., Dixon, P.G., Trotter, S. L., Powell, E. J., Durkee, J. D., and Grundstein, A. J., (2003) ***Distribution of Mesoscale Convective Complex Rainfall in the United States.*** Monthly Weather Review, 131, 3003-3017.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

Augusto, L., Machado, T., and Laurent, H., (2003) ***the convective system area expansion over Amazonia and its relationships with convective system life duration and high-level wind divergence***. Monthly Weather Review, 132, 714-725.

Boer, E. R., and Ramanathan, V., (1997) ***Lagrangian approach forderiving cloud characteristics from satellite observations andits implications to cloud parameterization.*** Journal of Geophysical Research, 102, 383–399.

Carvalho, L.M.V., and Jones, C., (2001***) A satellite method to identify structural properties of Mesoscale Convective Systems based on maximum spatial correlation tracking technique (MASCOTTE).*** Journal of Applied Meteorology and Climatology, 40, 1683–1701.

Carvalho, L.M.V., Lavallee D., and Jones, C., (2002***) Multifractal properties of evolving convective systems over tropical South America.*** Geophysical Research Letters, 29, DOI: 10.1029/2001GL014276.

Chen, S. S., Houze, R. A., and Mapes, B. E., (1996) ***Multiscale variability of deep convection in relation to large-scale circulation in TOGACOARE***. Journal of the Atmospheric Sciences, 53, 1380–1409.
Cotton, R.W., and Anthes, R.A., (1989) ***Storms and cloud dynamics***. International Geophysical Services, 44, 883.

Fritsch, J.M., Kane, R.J. and Chelius, C.R., (1986) ***the contribution of mesoscale convective weather systems to the warm-season precipitation in the United States.*** Journal of Climate and Applied Meteorology, 25, 1333–1345.

Futyan, J. M. and Del Genio, A. D., (2007) ***Deep Convective System Evolution over Africa and the Tropical Atlantic***. Journal of Climate, 20, 5041-5060. DOI: 10.1175/JCLI4297.1

Hocker, J.E., and Basara, J.B., (2008) ***a 10-year spatial climatology of squall line storms across Oklahoma***. International Journal of Climatology, 28, 765–775.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

Hong, G., Heygster, G., Miao, J.G., and Kunzi, K., (2005) ***Detection of tropical deep convective clouds from AMSU-B water vapor channels measurements***. Journal of Geophysical Research, 110, D05205. doi:10.1029/2004JD004949.

Houghton, H.G., (1950) ***A preliminary quantitative analysis of precipitation mechanisms***. Journal of Meteorology, 7, 363–369.
Houze Jr., R. A., 1993. Cloud Dynamics. Academic Press.

Janowiak, J. E., Joyce, R. I., and Yarosh, Y., (2001) ***A real-time global half-hourly pixel resolution infrared dataset and its applications***. Bulletin of the American Meteorological Society, 82(2), 205–217.

Laing, A.G., and Fritsch, J.M., (1993***) Mesoscale convective complexes in Africa***. Monthly Weather Review, 121, 2254–2263.

Llasat, M. C., Ramis, C., and Lanza, L., (1999) ***Storm Tracking and Monitoring Using Objective Synoptic Diagnosis and Cluster Identifcation from Infrared Meteosat Imagery***. Meteorology and Atmospheric Physics, 71, 139-155.

Machado, L.A.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, 1630–1654.

Maddox, R.A., Chapell, C.H. and Hoxit, L.R., (1979) ***Synoptic and meso-ascale aspects of flashflood events.*** Bulletin of the American Meteorological Society, 60 (2), 115–123.

Maddox, R.A., (1980) ***Mesoscale Convective Complexes***. Bulletin of the American Meteorological Society, 61(11), 1374-1387.

Maddox, R.A., (1983) ***Large-Scale Meteorological Conditions Associated with Midlatitude, Mesoscale Convective Complexes***. Monthly Weather Review, 111, 1475-1493.

Mapes, B. E., and Houze, L., (1993) ***Cloud clusters and superclusters over the oceanic warm pool***. Monthly Weather Review, 121, 1398-1415.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

Martin, D. W., and Schreiner, A. J., (1981) ***Characteristics of West African and East Atlantic cloud clusters.*** Monthly Weather Review, 109, 1671-1688.

Mathon, V., and Laurent, H., (2001) ***Life cycle of Sahelian mesoscale convective cloud systems.*** Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 127, 377–406.

Miller, D. and Fritsch, J.M., (1991) ***Mesoscale convective complexes in the Western Pacific region.*** Monthly Weather Review, 119, 2978–2992.

Morel, C. And 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., and 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.

Rigo, T., and Llasat, M.C., (2007) ***Analysis of mesoscale convective systems in Catalonia using meteorological radar for the period 1996-2000.*** Atmospheric Research, 83, 458-472.

Rowell, D. P., and Milford, J. R., (1993) ***on the generation of African squall lines***. Journal of Climate, 6, 1181-1193.

Sanchez, J.L., Fernandez, M.V., Fernandez, J.T. Tuduri, E., and Ramis, C., (2003) ***Analysis of mesoscale convective systems with hail precipitation***. Atmospheric Research, 67– 68, 573– 588.

Tadesse, A. and Anagnostou, E.N., (2009***) Characterization of warm season convective systems over US in terms of Cloud to Ground lightning, cloud kinematics, and precipitation***. Atmospheric Research, 91, 36–46.

Tadesse, A. and Anagnostou, E.N., (2010) ***African convective system characteristics determined through tracking analysis***. Atmospheric Research, 98, 468–477.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

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.

Todd, C.M., Kidd, C., Kniveton, D. And Bellerby, T.J., (2001) ***A combined satellite infrared and passive microwave technique for estimation of small-scale rainfall.*** Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 18, 742–755.

Tollerud, E. I., and Rodgers, D. M., (1991) ***The seasonal and diurnal cycle of mesoscale convection and precipitation in the central United States: Interpreting a 10-year satellite-based climatology of mesoscale convective complexes***. Seventh Conf. on Applied Climatology, Salt Lake City, UT, American Meteor Society, 63–70.

Velasco, I., and Fritsch, J. M., (1987) ***Mesoscale Convective Complexes in the Americas***. Journal of Geophysical Research, 92(D8), 9591-9613.

Viana, D. R., Aquino, F. E., Burgobraga, R., and Ferreira, N. J., (2009) ***Mesoscale Convective Complexes in Rio Grande Do Sul between October and December of 2003 and associated precipitation***. Revista Brasileira de Meteorologia, 24(3), 276-291

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. DOI: 10.1175/2007WAF2006121.1

Weisman, M.L., and Rotunno, R., (2004) ***A theory for strong long-lived squall line***. Journal of the Atmospheric Sciences, 61, 361–382.

Williams, M., Houze Jr., R.A., (1987) ***Satellite-observed characteristics of winter monsoon cloud clusters***. Monthly Weather Review, 115, 505–519.

Woodley, W. L., Griffith, C. G., and Stromatt, S. C., (1980) ***The inference of GATE convective rainfall from SMS-1 imagery***. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 19, 388–408.

Yuter, S. E., and Houze, Jr. R. A., (1998) ***the natural variability of precipitatingclouds over the western Pacific warm pool***. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 124, 53–99.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]