دانشکده علوم جغرافیایی

رساله دکتری جغرافیای طبیعی – گرایش آب و هواشناسی در برنامه‌ریزی محیطی

عنوان

تحلیل سامانه‌های همرفتی و بررسی الگوهای فضایی و زمانی آن‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در جنوب‌غرب ایران

استاد راهنما

دکتر زهرا حجازی‌زاده

اساتید مشاور

دکتر پرویز ضیائیان

دکتر مصطفی کریمی

دانشجو

سمیه رفعتی آلاشتی

۱۳۹۱

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

با سپاس فروان از

استاد عزیز و بزرگـوار، **دکتر زهرا حجازی‌زاده** کـه در طـول تحصـیل همـواره از نظـرات ارزشمند و راهنمایی‌های دلسوزانه ایشان بهره بردم.

اساتید ارجمند و گرانقدر، **دکتر پرویز ضیاییان** و **دکتر مصطفی کریمـــی** کـه در مـدت انجام تحقیق از هیچ کمکی دریغ ننموده‌اند و از رهنمودهای ارزنده ایشان استفاده نمودم.

اساتید فرهیخته **دکتر شهریار خالدی**، دکتر **محمـــد ســـلیقه** و دکتـر **محمدحســـین ناصرزاده** که قبول زحمت نموده و داوری رساله را به عهده گرفتند.

تمامی اساتید محترم گروه جغرافیا که در مدت تحصیل از محضرشان کسب علـم و دانـش نمودم.

و خانواده عزیزم که دلسوزانه مشوق و امیدبخش تمامی مراحل زندگیم بوده‌اند.

چکیده

در این پژوهش ویژگی‌های مکانی، زمانی، شرایط همدید و ترمودینامیکی رخداد سامانه‌های همرفتی (و سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس) که منجر به بارش بیش از ۱۰ میلی‌متر طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۵ در جنوب‌غرب ایران شده‌اند، تعیین شده است. برای این منظور از داده‌های بارش (۶ ساعته) و پدیده (سه ساعته) ۱۸ ایستگاه سینوپتیک در سه استان خوزستان، چهارمحال و بختیاری، کهکلویه و بویراحمد و همچنین محصول موزاییک‌شده دمای درخشندگی مرکز پیش‌بینی اقلیمی NWS/NCEP (حاصل از باند مادون قرمز ماهواره‌های زمین‌آهنگ متئوست، GOES و GMS) استفاده شد. سامانه‌های همرفتی در این تصاویر با استفاده از نرم‌افزار Envi، بر اساس آستانه‌های دما و مساحت به ترتیب برابر ۲۲۸ درجه کلوین و ۱۰۰۰ کیلومتر مربع و سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس بر اساس آستانه‌های بیشینه‌ی مساحت ۱۰۰۰۰ کیلومتر مربع و طول عمر ۳ ساعت شناسایی و سپس در نرم‌افزار ArcGIS مسیریابی شدند. پارامترهایی مثل محل و زمان شکل‌گیری، محل و زمان از بین رفتن، بیشینه مساحت، طول عمر و گستره مسیر طی شده هر سامانه ثبت شد و تحلیل نهایی بر اساس توزیع مکانی و زمانی این پارامترها انجام شد. الگوهای فشار در روز رخداد این سامانه‌ها با استفاده از روش‌های همبستگی و بردار ویژه طبقه‌بندی شدند، که نتایج حاصل از روش همبستگی به علت دقت بیش‌تر در تحلیل‌های بعدی مورد استفاده قرار گرفت. درصد شکل‌گیری سامانه‌ها در هر الگوی ترکیبی از سطح زمین تا سطح ۵۰۰ مشخص شد. همچنین شرایط ترمودینامیکی تعدادی از این سامانه‌ها که بارش قابل توجه‌تری داشتند، با استفاده از امگا (سرعت قائم) و شاخص‌های ناپایداری بالاروی، شولتر، SWET، TT، K و CAPE تعیین شد.

در مجموع ۲۶۸ سامانه همرفتی در طی 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. بیش‌ترین تعداد سامانه‌های همرفتی در ماه‌های دسامبر و آوریل (به ترتیب با ۶۹ و ۶۷ مورد) و کم‌ترین تعداد آن در ماه فوریه (۵ مورد) رخ داد. به طور میانگین حدود ۷۰ درصد این سامانه‌ها در گروه سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس طبقه‌بندی شدند. با بررسی شرایط همدیدی و الگوهای رخداد سامانه‌های همرفتی معلوم شد که رخداد این سامانه‌ها در جنوب‌غرب ایران تا اندازه زیادی وابسته به گسترش و نفوذ زبانه‌ی کم‌فشار سودان بوده است. بخش قابل توجهی از سامانه‌هایی که جنوب‌غرب ایران را تحت تاثیر قرار دادند، در امتداد منطقه همگرایی دریای سرخ (بیش‌تر در جنوب‌شرق عراق، کویت و شمال‌شرق شبه جزیره عربستان) و تعدادی از آن‌ها تحت تاثیر چرخند یا ناوه‌ی بین ایران و دریای مدیترانه، در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال، شکل گرفتند. البته بخشی از این سامانه‌ها (سامانه‌های همرفتی کوه‌بارشی) نیز تحت تاثیر کوه‌های زاگرس تشکیل شدند که اغلب طول عمر و وسعت خیلی کم‌تری نسبت به دیگر سامانه‌ها داشته‌اند. الگوی فضایی رخداد سامانه‌های همرفتی در ماه‌های سرد هماهنگی زیادی با توپوگرافی منطقه نشان نداده، ولی به تدریج با گرم شدن هوا از روند توپوگرافی تبعیت کرده است. هماهنگی بیش‌تر رخداد این سامانه‌ها با روند توپوگرافی در ماه آوریل و هماهنگی کم‌تر آن در ماه ژانویه موید این است که الگوی رخداد سامانه‌های همرفتی در ماه آوریل بیش‌تر متاثر از سامانه‌های همرفتی کوه‌بارشی در نتیجه ورود رطوبت به منطقه بوده ولی الگوی رخداد سامانه‌های همرفتی در ماه ژانویه بیش‌تر متاثر از الگوی جریان منطقه بوده است.

واژگان کلیدی: سامانه‌های همرفتی، سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس، دمای درخشندگی، جنوب‌غرب ایران

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه و کلیات طرح تحقیق

۱-۱ مقدمه ۲
۱-۲ بیان مساله ۲
۱-۳ پیشینه تحقیق ۴
۱-۴ سوال‌های تحقیق ۱۲
۱-۵ فرضیه‌های تحقیق ۱۳
۱-۶ اهداف تحقیق ۱۳

فصل دوم: مبانی نظری

۲-۱ مقدمه ۱۵
۲-۲ انواع بارش ۱۵
۲-۳ سامانه‌های همرفتی ۱۷
۲-۳-۱ سامانه‌های همرفتی ۲۰
۲-۳-۲ شرایط تشکیل سامانه‌های همرفتی ۲۲
۲-۳-۳ پیش‌بینی سامانه‌های همرفتی ۲۳
۲-۴ روش‌های مطالعه سامانه‌های همرفتی ۲۴
۲-۴-۱ داده‌های ایستگاهی ۲۴
۲-۴-۲ داده‌های سنجش از دور ۲۵
۲-۵ روش شناسایی سامانه‌های همرفتی ۲۸
۲-۵-۱ روش شناسایی سامانه‌های همرفتی در تصاویر راداری ۲۸
۲-۵-۲ روش‌شناسایی سامانه‌های همرفتی در تصاویر مادون قرمز ۳۱
۲-۵-۳ تعیین آستانه دما برای شناسایی سامانه‌های همرفتی ۳۲
۲-۵-۴ تعیین آستانه مساحت برای شناسایی سامانه‌های همرفتی ۳۵
۲-۵-۵ روش‌های مسیریابی سامانه‌های همرفتی ۳۸
۲-۵-۶ بررسی تطابق سامانه‌های همرفتی در تصاویر متوالی ۳۹
۲-۵-۷ تعیین آستانه هم‌پوشانی برای مسیریابی سامانه‌های همرفتی ۴۳
۲-۵-۸ قوانین مسیریابی ۴۵
۲-۵-۹ تصمیم‌گیری درباره تصاویر مفقود ۵۰
۲-۶ جمع‌بندی ۵۱

فصل سوم: داده‌ها و روش تحقیق

۳-۱ مقدمه ۵۳
۳-۲ منطقه مورد مطالعه ۵۳
۳-۳ ویژگی‌های اقلیمی منطقه مورد مطالعه ۵۳
۳-۴ داده‌ها ۵۴
۳-۴-۱ داده‌های ایستگاهی ۵۴
۳-۴-۲ داده‌های جو بالا ۵۵
۳-۴-۳ داده‌های سنجش از دور ۵۶
۳-۴-۳-۱ تصاویر ماهواره‌ای ۵۶
۳-۴-۳-۲ تصاویر راداری ۵۷

۳-۴-۴ داده‌های شبکه‌ای ۵۹
۳-۵ روش کار ۶۰
۳-۵-۱ شناسایی سامانه‌های همرفتی ۶۰
۳-۵-۲ تعیین آستانه‌ی دما برای شناسایی سامانه‌های همرفتی ۶۲
۳-۵-۳ روش مسیریابی سامانه‌های همرفتی ۶۲
۳-۵-۴ تعیین شرایط همدید رخداد سامانه‌های همرفتی ۶۳
۳-۵-۵ تعیین شرایط ترمودینامیکی رخداد سامانه‌های همرفتی ۶۶
۳-۶ جمع‌بندی ۷۰

فصل چهارم: یافته‌های تحقیق

۴-۱ مقدمه ۷۲
۴-۲ توزیع زمانی رخداد سامانه‌های همرفتی ۷۲
۴-۳ توزیع زمان شکل‌گیری و زوال سامانه‌های همرفتی ۷۴
۴-۴ توزیع مساحت و طول عمر سامانه‌های همرفتی ۷۵
۴-۵ جهت حرکت سامانه‌های همرفتی ۷۷
۴-۶ محل شکل‌گیری و زوال سامانه‌های همرفتی ۷۹
۴-۷ فراوانی رخداد سامانه‌های همرفتی و سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس ۸۱
۴-۸ شرایط همدیدی رخداد سامانه‌های همرفتی ۸۵
۴-۸-۱ الگوهای سطح زمین در روز رخداد سامانه همرفتی ۸۵
۴-۸-۱-۱ الگوی اول سطح زمین ۸۵
۴-۸-۱-۲ الگوی دوم سطح زمین ۸۷
۴-۸-۱-۳ الگوی سوم سطح زمین ۸۹
۴-۸-۱-۴ الگوی چهارم سطح زمین ۹۰
۴-۸-۱-۵ الگوی پنجم سطح زمین ۹۲
۴-۸-۱-۶ الگوی ششم سطح زمین ۹۴
۴-۸-۱-۷ الگوی هفتم سطح زمین ۹۷
۴-۸-۱-۸ نقشه فشار سطح زمین روز ۲۰۰۳/۰۱/۲۸ ۹۹
۴-۸-۱-۹ نقشه فشار سطح زمین روز ۲۰۰۴/۰۱/۰۳ ۱۰۰
۴-۸-۱-۱۰ نقشه فشار سطح زمین روز ۲۰۰۴/۰۱/۰۸ ۱۰۲
۴-۸-۱-۱۱ نقشه فشار سطح زمین روز ۲۰۰۱/۰۳/۲۵ ۱۰۳
۴-۸-۱-۱۲ نقشه فشار سطح زمین روز ۲۰۰۴/۰۴/۲۰ ۱۰۴
۴-۸-۱-۱۳ نقشه فشار سطح زمین روز ۲۰۰۳/۱۲/۰۶ ۱۰۵
۴-۸-۲ الگوهای سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال در روز رخداد سامانه همرفتی ۱۰۷
۴-۸-۲-۱ الگوی اول سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال ۱۰۷
۴-۸-۲-۲ الگوی دوم سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال ۱۰۸
۴-۸-۲-۳ الگوی سوم سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال ۱۱۰
۴-۸-۲-۴ الگوی چهارم سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال ۱۱۱
۴-۸-۲-۵ الگوی پنجم سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال ۱۱۳
۴-۸-۲-۶ الگوی ششم سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال ۱۱۴
۴-۸-۲-۷ الگوی هفتم سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال ۱۱۶
۴-۸-۲-۸ الگوی هشتم سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال ۱۱۷

۴-۸-۲-۹ نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال روز ۲۰۰۱/۰۲/۱۰ ۱۱۹
۴-۸-۲-۱۰ نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال روز ۲۰۰۳/۰۴/۱۳ ۱۲۰
۴-۸-۲-۱۱ نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال روز ۲۰۰۳/۰۴/۱۶ ۱۲۱
۴-۸-۲-۱۲ نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال روز ۲۰۰۴/۰۴/۲۵ ۱۲۲
۴-۸-۲-۱۳ نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال روز ۲۰۰۲/۱۱/۰۱ ۱۲۳
۴-۸-۲-۱۴ نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال روز ۲۰۰۳/۱۱/۱۱ ۱۲۴
۴-۸-۲-۱۵ نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال روز ۲۰۰۴/۱۱/۳ ۱۲۵
۴-۸-۲-۱۶ نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال روز ۲۰۰۵/۱۱/۰۸ ۱۲۶
۴-۸-۳ الگوهای سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز رخداد سامانه همرفتی ۱۲۸
۴-۸-۳-۱ الگوهای اول سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال ۱۲۸
۴-۸-۳-۲ الگوهای دوم سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال ۱۲۹
۴-۸-۳-۳ الگوهای سوم سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال ۱۳۰
۴-۸-۳-۴ الگوهای چهارم سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال ۱۳۲
۴-۸-۳-۵ نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال روز ۲۰۰۱/۰۲/۱۰ ۱۳۳
۴-۸-۴ الگوهای ترکیبی از سطح زمین تا سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال ۱۳۴
۴-۸-۴-۱ علت تفاوت گستردگی و مقدار بارش در روزهایی با الگوهای مشابه ۱۵۱
۴-۹ شرایط ترمودینامیکی و ناپایداری در زمان رخداد سامانه‌های همرفتی ۱۵۳
۴-۹-۱ شرایط ترمودینامیکی رخداد سامانه همرفتی در روز ۲۰۰۴/۰۱/۱۲ ساعت ۱۲ ۱۵۳
۴-۹-۲ شرایط ترمودینامیکی رخداد سامانه همرفتی در روز ۲۰۰۳/۰۳/۰۷ ساعت ۱۲ ۱۵۵
۴-۹-۳ شرایط ترمودینامیکی رخداد سامانه همرفتی در روز ۲۰۰۴/۰۴/۰۴ ساعت ۱۲ ۱۵۷
۴-۹-۴ شرایط ترمودینامیکی رخداد سامانه همرفتی در روز ۲۰۰۱/۰۵/۰۲ ساعت ۱۲ ۱۵۹
۴-۹-۵ شرایط ترمودینامیکی رخداد سامانه همرفتی در روز ۲۰۰۱/۱۲/۰۸ ساعت صفر ۱۶۱
۴-۱۰ جمع‌بندی ۱۶۳

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و آزمون فرضیات

۵-۱ مقدمه ۱۶۹
۵-۲ نتیجه‌گیری ۱۶۹
۵-۳ آزمون فرضیات ۱۷۷
منابع ۱۸۱
چکیده انگلیسی ۱۹۰

فهرست اشکال

شکل ۲-۱: طرح شماتیکی از انواع ساختارهای بارشی همرفتی (Rigo and Llasat, 2007) ۲۰
شکل ۲-۲: درصد مساحت همپوشانی بین دو بیضوی با بی‌قاعدگی‌های متفاوت به عنوان تابعی از اندازه بیضی (Machado et al., 1998) ۳۶
شکل ۲-۳: 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. (Vila et al., 2008) ۴۵
شکل ۲-۴: طرحی شماتیک از تکنیک مسیریابی پیشنهاد شده از فیداس و کارتالیس (Feidas and Cartalis, 2001) ۴۸
شکل ۳-۲: تصویر دمای درخشندگی حاصل از باند مادون قرمز در روز ۱۷ آوریل ۲۰۰۵ ساعت ۰/۳۰ دقیقه ۵۷
شکل ۳-۳: طبقه‌بندی بارش (2A23) به انواع استراتی‌فرم (حدود ۱۰۰) همرفتی (حدود ۲۰۰) و سایر موارد (حدود ۳۰۰)؛ زمان تصویر: ۲۰۰۴/۰۱/۰۷ ساعت: حدود ۵ به وقت گرینویچ ۵۹
شکل ۳-۴: مراحل شناسایی سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس ۶۱
شکل ۳-۵: خطای RMSE در رابطه با میزان ضرایب همبستگی ۶۵
شکل ۴-۱: توزیع فراوانی سامانه‌های همرفتی و سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس آ: سالانه ب: ماهانه ج: فصلی (۲۰۰۵-۲۰۰۱) ۷۴
شکل ۴-۲: توزیع فراوانی آ: زمان شکل‌گیری و ب: زمان زوال سامانه‌های همرفتی (۲۰۰۵-۲۰۰۱) ۷۵
شکل ۴-۳: آ: توزیع فراوانی طول عمر سامانه‌های همرفتی ب: نمودار جعبه‌ای توزیع طول عمر سامانه‌های همرفتی در هر ماه (۲۰۰۵-۲۰۰۱) ۷۶
شکل ۴-۴: آ: توزیع فراوانی مساحت سامانه‌های همرفتی ب: نمودار جعبه‌ای توزیع مساحت سامانه‌های همرفتی در هر ماه (۲۰۰۵-۲۰۰۱) ۷۷
شکل ۴-۵: فراوانی نسبی جهت حرکت سامانه‌ها در آ: کل دوره ب: ماه‌های مختلف (۲۰۰۵-۲۰۰۱) ۷۷
شکل ۴-۶: میانگین الگوی جریان در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال آ: ژانویه ب: آوریل ج: روزهای رخداد سامانه‌ی همرفتی (ژانویه؛ زرد و آوریل؛ سیاه) ۷۸
شکل ۴-۷: محل شکل‌گیری و زوال سامانه‌های همرفتی که جنوب‌غرب ایران را تحت تاثیر قرار داده‌اند (۲۰۰۵-۲۰۰۱) ۷۹
شکل ۴-۸: پراکندگی فضایی محل شکل‌گیری سامانه‌های همرفتی و سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس (۲۰۰۵-۲۰۰۱) ۸۰
شکل ۴-۹: پراکندگی فضایی رخداد سامانه‌های همرفتی در (آ): ژانویه؛ (ب): فوریه؛ (ج): مارس؛ (د): آوریل؛ (ه): می؛ (و): نوامبر؛ (ز): دسامبر؛ (ح): کل دوره ۸۳
شکل ۴-۱۰: پراکندگی فضایی رخداد سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس در (آ): ژانویه؛ (ب): فوریه؛ (ج): مارس؛ (د): آوریل؛ (ه): می؛ (و): نوامبر؛ (ز): دسامبر؛ (ح): کل دوره ۸۴
شکل ۴-۱۱: فشار سطح دریا (هکتوپاسکال) و خطوط جریان در الگوی اول سطح زمین ۸۶
شکل ۴-۱۲: فشار سطح دریا (هکتوپاسکال) و خطوط جریان در الگوی دوم سطح زمین ۸۸
شکل ۴-۱۳: فشار سطح دریا (هکتوپاسکال) و خطوط جریان در الگوی سوم سطح زمین ۹۰
شکل ۴-۱۴: فشار سطح دریا (هکتوپاسکال) و خطوط جریان در الگوی چهارم سطح زمین ۹۲
شکل ۴-۱۵: فشار سطح دریا (هکتوپاسکال) و خطوط جریان در الگوی پنجم سطح زمین ۹۴
شکل ۴-۱۶: فشار سطح دریا (هکتوپاسکال) و خطوط جریان در الگوی ششم سطح زمین ۹۶
شکل ۴-۱۷: سامانه ابر سودانی و مدیترانه‌ای در ساعت ۱۸ روز ۱۲ ژانویه و ساعت صفر روز ۱۳ ژانویه ۲۰۰۴ ..... ۹۷
شکل ۴-۱۸: فشار سطح دریا (هکتوپاسکال) و جهت جریان در الگوی هفتم سطح زمین ۹۸
شکل ۴-۱۹: سامانه ابر سودانی و مدیترانه‌ای در ساعت ۹ روز ۱۱ ژانویه ۲۰۰۴ ..... ۹۹
شکل ۴-۲۰: فشار سطح دریا (هکتوپاسکال) و خطوط جریان در روز ۲۰۰۳/۰۱/۲۸ ..... ۱۰۰
شکل ۴-۲۱: فشار سطح دریا (هکتوپاسکال) و خطوط جریان در روز ۲۰۰۴/۰۱/۰۳ ..... ۱۰۲
شکل ۴-۲۲: فشار سطح دریا (هکتوپاسکال) و خطوط جریان در روز ۲۰۰۴/۰۱/۰۸ ..... ۱۰۳
۴-۲۳: فشار سطح دریا (هکتوپاسکال) و خطوط جریان در روز ۲۰۰۱/۰۳/۲۵ ..... ۱۰۴
۴-۲۴: فشار سطح دریا (هکتوپاسکال) و خطوط جریان در روز ۲۰۰۴/۰۴/۲۰ ..... ۱۰۵
شکل ۴-۲۵: فشار سطح دریا (هکتوپاسکال) و جهت جریان در روز ۲۰۰۳/۱۲/۰۶ ..... ۱۰۶

شکل ۴-۲۶: میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال و خطوط جریان در الگوی اول سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال..... ۱۰۸
شکل ۴-۲۷: میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال و خطوط جریان در الگوی دوم سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال..... ۱۰۹
شکل ۴-۲۸: میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال و خطوط جریان در الگوی سوم سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال..... ۱۱۱
شکل ۴-۲۹: میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال و خطوط جریان در الگوی چهارم سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال..... ۱۱۲
شکل ۴-۳۰: میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال و خطوط جریان در الگوی پنجم سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال..... ۱۱۴
شکل ۴-۳۱: میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال و خطوط جریان در الگوی ششم سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال..... ۱۱۵
شکل ۴-۳۲: میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال و خطوط جریان در الگوی هفتم سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال..... ۱۱۷
شکل ۴-۳۳: میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال و خطوط جریان در الگوی هشتم سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال..... ۱۱۸
شکل ۴-۳۴: میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال و خطوط جریان در روز ۲۰۰۱/۰۲/۱۰..... ۱۲۰
شکل ۴-۳۵: میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال و خطوط جریان در روز ۲۰۰۳/۰۴/۱۳..... ۱۲۱
شکل ۴-۳۶: میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال و خطوط جریان در روز ۲۰۰۳/۰۴/۱۶..... ۱۲۲
شکل ۴-۳۷: میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال و خطوط جریان در روز ۲۰۰۴/۰۴/۲۵..... ۱۲۳
شکل ۴-۳۸: میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال و خطوط جریان در روز ۲۰۰۲/۱۱/۰۱..... ۱۲۴
شکل ۴-۳۹: میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال و خطوط جریان در روز ۲۰۰۳/۱۱/۱۱..... ۱۲۵
شکل ۴-۴۰: میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال و خطوط جریان در روز ۲۰۰۴/۱۱/۰۳..... ۱۲۶
شکل ۴-۴۱: میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال و خطوط جریان در روز ۲۰۰۵/۱۱/۰۸..... ۱۲۷
شکل ۴-۴۲: میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال و خطوط جریان در الگوی اول..... ۱۲۹
شکل ۴-۴۳: میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال و خطوط جریان در الگوی دوم..... ۱۳۰
شکل ۴-۴۴: میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال و خطوط جریان در الگوی سوم..... ۱۳۱
شکل ۴-۴۵: میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال و خطوط جریان در الگوی چهارم..... ۱۳۲
شکل ۴-۴۶: میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال و خطوط جریان در روز ۲۰۰۱/۰۲/۱۰..... ۱۳۳
شکل ۴-۴۷: نقشه خطوط جریان و آب قابل بارش در آ: ۲۰۰۲/۰۱/۰۷ و ب: ۲۰۰۲/۰۳/۲۸..... ۱۵۲
شکل ۴-۴۸: آ: پراکندگی شاخص بالاروی و سرعت قائم و ب: نمودار اسکیوتی ایستگاه کویت در روز ۲۰۰۴/۰۱/۱۲ ساعت ۱۲..... ۱۵۳
شکل ۴-۴۹: آ: پراکندگی شاخص بالاروی و سرعت قائم و ب: نمودار اسکیوتی ایستگاه کرمانشاه در روز ۲۰۰۳/۰۳/۰۷ ساعت ۱۲..... ۱۵۵
شکل ۴-۵۰: نقشه‌ی پراکندگی شاخص بالاروی و سرعت قائم ۲۰۰۴/۰۴/۰۴ ساعت ۱۲..... ۱۵۷
شکل ۴-۵۱: آ: نمودار اسکیوتی ایستگاه کویت و ب: نمودار اسکیوتی ایستگاه کرمانشاه ۲۰۰۴/۰۴/۰۴ ساعت ۱۲..... ۱۵۸
شکل ۴-۵۲: آ: پراکندگی شاخص بالاروی و سرعت قائم و ب: نمودار اسکیوتی ایستگاه کویت در روز۲۰۰۱/۰۵/۰۲ ساعت ۱۲..... ۱۶۰
شکل ۴-۵۲: آ: پراکندگی شاخص بالاروی و سرعت قائم و ب: نمودار اسکیوتی ایستگاه کویت در روز ۲۰۰۱/۱۲/۰۸ ساعت صفر..... ۱۶۲

فهرست جداول

جدول ۲-۱:پارامترهای بررسی تطابق در مسیریابی سامانه‌های همرفتی ۴۰
جدول ۳-۱: ویژگی سه ناحیه اقلیمی دربرگیرنده منطقه مورد مطالعه (مسعودیان و کاویانی،۱۳۸۶) ۵۴
جدول ۳-۲: مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده ۵۴
جدول ۳-۳: مقیاس طبقه‌بندی شاخص SI برای تعیین میزان ناپایداری و احتمال وقوع توفان ۶۸
جدول ۳-۴: مقیاس طبقه‌بندی شاخص LI برای تعیین میزان ناپایداری و احتمال وقوع توفان ۶۹
جدول ۳-۵: مقیاس طبقه‌بندی شاخص TT برای تعیین میزان ناپایداری و احتمال وقوع توفان ۶۹
جدول ۳-۶: احتمال وقوع توفان تندری بر اساس شاخص K ۶۹
جدول ۳-۷: مقیاس طبقه‌بندی شاخص SWEAT برای تعیین شدت توفان و میزان خطر ۷۰
جدول ۴-۱: تاریخ روزهای طبقه‌بندی شده در هر الگوی سطح زمین ۱۰۶
جدول ۴-۲: تاریخ روزهای طبقه‌بندی شده در هر الگوی سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال ۱۲۷
جدول ۴-۲: تاریخ روزهای طبقه‌بندی شده در هر الگوی سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال ۱۳۳
جدول ۴-۴: نقش و اهمیت مراکز پرفشار منطقه در ایجاد سامانه‌های بارشی ۱۳۵
جدول ۴-۵: محل و نقش مراکز فشار در هر الگوی سطح زمین ۱۴۲
جدول ۴-۶: محل و نقش مراکز فشار در هر الگوی سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال ۱۴۴
جدول ۴-۷: ویژگی‌های ناوه تشکیل شده در هر الگوی سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال ۱۴۶
جدول ۴-۸: ویژگی‌های سامانه‌های تشکیل شده در الگوهای ترکیبی (سطح زمین، ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال) ۱۴۷
جدول ۴-۹: شاخص‌های ناپایداری ایستگاه کویت در روز ۲۰۰۴/۰۱/۱۲ ساعت ۱۲ ..... ۱۵۴
جدول ۴-۱۰: شاخص‌های ناپایداری ایستگاه کرمانشاه در روز ۲۰۰۳/۰۳/۰۷ ساعت ۱۲ ..... ۱۵۶
جدول ۴-۱۱: شاخص‌های ناپایداری ایستگاه کرمانشاه و کویت در روز ۲۰۰۴/۰۴/۰۴ ساعت ۱۲ ..... ۱۵۹
جدول ۴-۱۲: شاخص‌های ناپایداری ایستگاه کرمانشاه در روز ۲۰۰۱/۰۵/۰۲ ساعت صفر ۱۶۱
جدول ۴-۱۳: شاخص‌های ناپایداری ایستگاه کویت در روز ۲۰۰۱/۱۲/۰۸ ساعت صفر ۱۶۳

فصل اول

مقدمه و کلیات طرح تحقیق

۱-۱ مقدمه

آب با ارزش‌ترین سرمایه طبیعی هر منطقه به شمار می‌رود و نقش مهم و زیربنایی در توسعه و پیشرفت جوامع دارد. کشورهایی مثل ایران که در کمربند خشک جهانی واقع شده‌اند، به علت بارش اندک و تبخیر زیاد همواره با محدودیت منابع آب مواجه هستند، از سوی دیگر رشد بی‌رویه جمعیت و خشک‌سالی‌های اخیر منابع آب را به شدت تهدید می‌نماید. میانگین سالانه بارش ۲۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌متری در ایران از یک سو و تغییرات مکانی و زمانی زیاد آن از سوی دیگر حساسیت مدیریت را دو چندان می نماید.

۱-۲ بیان مساله

با توجه به اهمیت بارش، مطالعات زیادی در رابطه با تغییرات زمانی و مکانی آن و انواع سامانه‌های باران‌زا انجام شده است، اما هنوز جنبه‌های زیادی از این پدیده مهم جوی شناخته شده نیست. موضوعی که هنوز در برخی کشورها مثل ایران چندان مورد توجه نبوده، ویژگی‌های متفاوت انواع مختلف بارش است که از جنبه‌های مختلف هواشناسی، اقلیم‌شناسی، هیدرولوژی، مدل‌سازی و کشاورزی دارای اهمیت است. مطالعه فرآیندی که به بارش منجر می‌شود، بهترین راه برای طبقه‌بندی انواع بارش است. در این مورد می‌توان تفاوتی آشکار بین بارش‌هایی با منشا همرفتی و پوشنی‌دیس قایل شد.

در یک تعریف ساده پیشنهاد شده به وسیله هاگتن (Houghton, 1950)، بارش همرفتی به ابرهای جوششی مثل کومه‌ای‌بارا[1] و بارش پوشنی‌دیس[2] به ابرهای پوششی 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 کریستال های برف و یخ باشد، بارش از نوع پوشنی‌دیس است.

طبقه‌بندی بارش به انواع پوشنی‌دیس و همرفتی برای اقلیم‌شناسان مهم است. چون وقتی که آب متراکم می‌شود و قطره باران شکل می‌گیرد، گرما آزاد می‌شود که این گرما محرک اصلی در گردش یا حرکت اتمسفر است. بارش همرفتی، گرما را در سطوح پایین تر اتمسفر آزاد می‌کند، در حالی که بارش‌های سبک و مداوم پوشنی‌دیس گرما را درسطوح بالاتر اتمسفر آزاد می‌کند (Schumacher et al., 2007). گرمای آزاد شده در سطوح مختلف اتمسفر حرکات افقی و عمودی هوا را تحت تاثیر قرار می‌دهد، در نتیجه گرمای حاصل از انواع مختلف بارش می‌تواند الگوهای آب و هوایی را تغییر دهد (Tadesse and Anagnostou, 2010).

سامانه‌های همرفتی (CSs)[4] که بارش‌های شدید و اغلب سیل آسا تولید می‌کنند، مسبب تلفات جانی و مالی و به تبع آن مسایل اقتصادی و اجتماعی قابل ملاحظه‌ای هستند. از سوی دیگر این سامانه‌ها در نواحی جنب حاره، بخش عمده‌ای از بارش کل را شکل می‌دهند (Cotton and Anthes, 1989)، بنابراین در فراهم نمودن آب برای اهداف هیدرولوژیکی و کشاورزی نیز اهمیت به سزایی دارند. شناخت و درک شرایط رخداد بارش‌های شدید همرفتی و الگوهای فضایی و زمانی آن‌ها، اساس پیش بینی، مدیریت بحران و برنامه‌های کنترل سیل در کاهش خسارات ناشی از توفان‌ها است.

[1] cumulonimbus
[2] stratiform
[3] nimbostratus
[4] Convective Systems

بارش‌های همرفتی شدید و کوتاه مدت همه ساله در مناطق مختلف ایران خسارت‌های زیاد و در مواردی غیرقابل جبران به وجود می‌آورند (Golestani et al., 2000). با توجه به اینکه این بارش‌ها در بیش‌تر نقاط 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.

شناخت و پیش‌بینی این سامانه‌ها به داده‌هایی با قدرت تفکیک فضایی و زمانی بالایی نیاز دارد. به دلیل نبود یا کمبود ایستگاه‌های اندازه‌گیری در برخی نقاط، داده‌های ماهواره‌ای جایگزین مناسبی برای مطالعه فعالیت همرفتی هستند. سنسورهای فضایی زمین آهنگ با داشتن قدرت تفکیک فضایی و زمانی بالا برای تحلیل پدیده‌های میان مقیاس بسیار مناسب هستند. با استفاده از این داده‌ها می‌توان سیکل زندگی، حرکت و ساختار سامانه‌های همرفتی را مطالعه نمود (Duvel, 1988).

۱-۳ پیشینه تحقیق

۱-۳-۱ پیشینه تحقیق در جهان

سامانه‌های بارش‌زا همواره مورد توجه محققین اقلیم‌شناس بوده و تلاش‌های بسیاری برای شناخت و پیش‌بینی آن‌ها صورت گرفته است. در رابطه با سامانه‌های همرفتی، تلاش محققین به دلیل ویژگی‌هایی مثل شدت بارش، خسارات ناشی از آن‌ها و پیش‌بینی دشوارشان حتی بیش‌تر هم بوده است. برخی از کارهای انجام شده در سطح جهان به شرح زیر است:

اسکافیلد (Scofield, 1987) نشان داد که تکامل مساحت سامانه‌های همرفتی با شدت بارش مرتبط است و نرخ رشد سامانه‌های همرفتی می تواند از گسترش مساحت آنها که در تصاویر ماهواره ای متوالی به آسانی قابل مشاهده است، استخراج شود. او مطرح نمود که گسترش مساحت با واگرایی سطح بالا و نرخ تراکم/ تبخیر که به طور مستقیم با شار توده درون سامانه همرفتی مرتبط است، همبستگی دارد.

آرنود و همکاران (Arnaud et al., 1992) یک روش اتوماتیک مسیریابی بر اساس حداقل همپوشانی مساحت به همراه معرفی چند معیار دیگر برای در نظرگیری اشتقاق و ادغام سامانه‌ها، پیشنهاد کردند و

آن را برای مسیریابی سامانه‌های همرفتی آفریقا به کار بردند. نتایج این مطالعه نه تنها نشان‌گر ظرفیت روش پیشنهاد شده برای انجام مسیریابی درست در موقعیت‌های مختلف بوده است، بلکه نشان داده است که تعیین کمی پارامترهایی مثل سرعت انتشار، مساحت سامانه و شاخص حجم ممکن است. تحلیل تکامل زمانی این پارامترها به توصیف روشنی از دوره زندگی سامانه در مراحل رشد تا مرگ آن منجر می‌شود که ممکن است برای بهبود روش‌های تخمین بارش مفید باشد.

اسکیسر و همکاران (Schiesser et al, 1995) از داده‌های راداری برای طبقه‌بندی ساختاری SMPS بر اساس درجه سازمان یافتگی استفاده کرده‌اند.

تودوری و رمیس (Tuduri and Ramis, 1997) ویژگی‌های محیطی ۳۱۳ پدیده همرفتی مهم در غرب مدیترانه را با استفاده از داده‌های رادیوسوند مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها این حوادث را به گروه‌های تگرگ، بارش سنگین، توفان خشک، توفان با بارش سنگین و تورنادو تقسیم نمودند و شاخص‌های پایداری و انرژی پتانسیل همرفتی موجود را برای هر گروه به دست آوردند. شرایط محیطی هر گروه با استفاده از ۳۴ متغیر توصیف کننده ساختار عمودی رطوبت و حرارت، ناپایداری و آب قابل بارش مورد بررسی قرار گرفت. تحلیل خوشه‌ای چهار ساختار عمودی متفاوت را آشکار نمود که شرایط محیطی توصیف شده توسط هر خوشه برای یک گروه مطلوب بود.

هاوز (Houze, 1997) تفاوت‌های میکروفیزیکی و دینامیکی بین مولفه‌های همرفتی و پوشنی‌دیس یک سامانه ابر حاره‌ای بارش‌زا و روشی که برای جداسازی انعکاس‌های راداری به اجزای همرفتی و پوشنی‌دیس وجود دارد را توصیف نمود.

مچادو و همکاران (Machado et al., 1998) به مسیریابی سامانه‌های همرفتی پرداختند و حساسیت نتایج به روش مسیریابی به کار رفته را با استفاده از مقایسه برخی روش‌های اتوماتیک با روش مسیریابی دستی، مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها مطرح نمودند که گسترش سطح سامانه‌های همرفتی می‌تواند با واگرایی سطح بالا و طول عمر سامانه مرتبط باشد. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که نرخ رشد بالا در

مراحل اولیه، ویژگی سامانه‌های همرفتی بزرگ با طول عمر زیاد است و ارتباط مستقیمی بین اندازه و طول عمر سامانه‌های همرفتی میان مقیاس وجود دارد. تفاوت‌هایی نیز بین سامانه‌ها در نواحی حاره‌ای و حاره‌ای اقیانوسی مشاهده شد.

لست و همکاران در تحقیقی (Llasat et al., 1999) پتانسیل ترکیب تکنیک‌های پردازش تصاویر مادون قرمز متئوست بر اساس آنالیز خوشه‌ای را با تئوری‌های هواشناسی دینامیک در سامانه‌های سینوپتیک مورد بررسی قرار دادند و با استفاده از چهار فاکتور واداشت شبه ژئوستروفیک رو به بالا، همگرایی رطوبت در سطوح پایین، ناپایداری همرفتی بین سطوح ۵۰۰ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال و پتانسیل همرفتی موجود (CAPE)، به همراه داده‌های دمای تابشی سطح ابر حاصل از باندهای حرارتی سکوهای زمین آهنگ، به شناسایی و تحلیل سامانه‌های همرفتی عمیق پرداختند. در این مطالعه برای شناسایی این سامانه‌ها ابتدا ابرهای با ارتفاع کم و متوسط که احتمال بارش آنها کم است، با استفاده از یک آستانه ثابت ۲۵۳ K، که بر اساس خصوصیات هواشناسی و اقلیمی منطقه تعیین شد، از تصاویر فیلتر شدند. سپس با استفاده از آنالیز خوشه‌ای، خوشه‌های ابر شناسایی شده و با شکل بیضوی معادل نمایش داده شدند و خصوصیات هندسی‌شان از قبیل موقعیت مرکز، مساحت خوشه و شعاع‌شان مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت مسیریابی خوشه‌ها به منظور شناخت نحوه‌ی تکامل آنها در بعد زمان و مکان انجام شد.

فیداس و کارتالیس (Feidas and Cartalis, 2001) یک روش اتوماتیک اصلاح شده ارایه کردند که برای توصیف کمی سیکل زندگی سامانه‌های همرفتی بزرگ سازمان یافته و مرتبط با سیل‌های یونان، به کار برده شد. روش به کار رفته در این مطالعه ابتدا توسط آرنود (Arnaud et al., 1992) برای شناسایی و آنالیز MCSs بر اساس تصاویر مادون قرمز متئوست به کار رفت. علاوه بر آن داده‌های حاصل از باند بخار آب نیز به منظور بهبود اجرای الگوریتم مورد استفاده قرار گرفت.

مورل و سنسی (Morel and Senesi, 2002) با استفاده از باند مادون قرمز تصاویر ماهواره‌ای متئوست به مطالعه ویژگی‌های اقلیمی سامانه‌های همرفتی میان مقیاس پرداختند. آنها از آستانه‌های دمای بین۳۰ - و ۵۰- درجه سانتی‌گراد و آستانه‌های مساحت ۱۰۰۰ و ۵۰۰۰ کیلومتر مربع استفاده نمودند. پارامترهایی از قبیل موقعیت مرکز ثقل و برخی خصوصیات مورفولوژیکی (مساحت، تفاضل قطرین) و تابشی (میانگین گرادیان دما، دماهای حداقل و میانگین) به همراه تعداد رعد و برق ثبت شده، برای هر سلول محاسبه شدند. آن‌ها نتیجه‌گیری نمودند که مسیرهای به دست آمده در هر آستانه دمایی بین ۳۰- تا ۵۰- درجه سانتی‌گراد و در هر آستانه مساحتی بزرگ‌تر از ۱۰۰۰ کیلومتر مربع دقیق است. نتایج نشان داد که در اروپا فعالیت همرفتی در آوریل شروع می‌شود، در طی آگوست به بیش‌ترین مقدار خود می‌رسد و سپس به سرعت کاهش می‌یابد. فعالیت همرفتی در طی ماه‌های ژانویه تا مارس اندک است. مسیرهای غیرهمرفتی در طی زمستان به علت وجود جبهه‌ها، بیش‌ترین مقدار و در طی تابستان کم‌ترین مقدار را دارند.

آگستو و همکاران (Augusto et al., 2003) به بررسی این فرضیه پرداختند که آیا نرخ تغییر مساحت سامانه همرفتی با سیکل زندگی‌اش مرتبط است و آیا نرخ تغییر مساحت می‌تواند سطح فعالیت همرفتی را نشان دهد. نتایج حاصل از این مطالعه توانایی پیش‌بینی طول عمر احتمالی سامانه همرفتی را از توسعه اولیه مساحت آن آشکار کرد و نشان داد که مساحت ابر همرفتی در رابطه با واگرایی سطح بالا و فرآیند تراکم / تبخیر تغییر می‌کند. در مورد سامانه‌هایی با طول عمرهای کوتاه تا متوسط (کمتر از ۸ ساعت) رابطه بین توسعه مساحت و طول عمر خیلی روشن است، اما در مورد سامانه‌هایی با طول عمرهای بلند تمام آن چه که می‌تواند پیش‌بینی شود این است که سامانه همرفتی بیش از ۸ ساعت دوام خواهد آورد. حداکثر گسترش مساحت تقریبا در زمان حداکثر بارش و حدود ۴ ساعت پیش از حداکثر کسر ابر سرد در آستانه ۲۳۵k رخ می‌دهد. بنابراین میزان گسترش مساحت می‌تواند برای تعیین زمان حداکثر بارش مورد استفاده قرار گیرد.

سنچز و همکاران (Sanchez et al., 2003) از داده‌های راداری برای طبقه‌بندی ساختاری سامانه‌های همرفتی بر اساس درجه سازمان‌یافتگی استفاده کرده است. آن‌ها تلاش نمودند میزان تطابق بین ریزش تگرگ و فعالیت همرفتی سازمان‌یافته را تعیین نمایند. دومین هدف آن‌ها بررسی رابطه بین سازمان‌یابی کیفی سامانه‌های همرفتی و شرایط هواشناسی در مقیاس متوسط و سینوپتیک بوده است.

سارینو و پابلو (Soriano and Pablo, 2003) اطلاعات حاصل از شبکه‌های شناسایی رعد و برق، فعالیت رعد و برق CG [5] را برای شناسایی بارش همرفتی و میزان بارش به کار بردند.

آناگنوستو (Anagnostou, 2004) الگوریتمی برای طبقه‌بندی بارش به انواع همرفتی و پوشنی‌دیس بر اساس دیدگاه شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از داده‌های راداری ارایه داده است. مقایسه شاخص‌های آماری این دیدگاه با دو روش طبقه‌بندی رایج، نشان دهنده بهبود نتایج طبقه‌بندی بود.

نتایج اولیه حاصل از تحقیق سرلینی (Cerlini et al., 2005) نشان داد که در اطراف و بالای ستیغ کوه بارش همرفتی تشدید می‌شود. هیچ شکی وجود ندارد که فعالیت همرفتی به شدت به وسیله حضور رشته کوه تغییر می‌یابد و به طور ویژه به وسیله آن تقویت می‌شود.

هوز و همکاران (Houze et al., 2007) با استفاده از داده‌های TRMM PR به بررسی توزیع فضایی ساختارهای بارش همرفتی و پوشنی‌دیس در ارتباط با توپوگرافی و دیگر ویژگی‌های اقلیمی منطقه در دوره مونسون در هیمالیا پرداختند. آن‌ها نشان دادند که توپوگرافی پرشیب تشکیل و تداوم سامانه‌های پوشنی‌دیس وسیع را تقویت می‌کند و کم فشارهای مونسونی که محیط دریایی و مرطوبی را برای همرفت فراهم می‌کنند، باعث توسعه سامانه‌های همرفتی میان مقیاس و منطقه پوشنی‌دیس بزرگ‌تری نسبت به آن در غرب هیمالیا می‌شوند.

ریگو و لست (Rigo and Llasat, 2007) به طبقه‌بندی انواع ساختارهای بارشی بر اساس درجه سازمان‌یافتگی که در هر تصویر رادار غالب بود، پرداختند. سپس توزیع، اندازه، مدت و موقعیت نسبی

[5] Cloud-to-Ground lightning activity