

مسیریابی و فرکانس‌بندی سامانه‌های بارشی در غرب ایران (استانهای کرمانشاه و ایلام)

منوچهر فرج زاده اصل^{۱*}، امان الله فتح نیا^۲، حسن لشکری^۳

- ۱- استادیار گروه جغرافیا و سنجش از دور، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
- ۲- دانشجوی دکتری جغرافیای طبیعی- اقلیم شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
- ۳- دانشیار گروه جغرافیای دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

پذیرش: ۸۶/۹/۱۳

دریافت: ۸۵/۷/۱۲

چکیده

هدف از این پژوهش تعیین مسیر و منشأ سامانه‌های بارشی ورودی به منطقه مورد مطالعه و فرکانس‌بندی این سامانه‌ها می‌باشد. برای این منظور داده‌های بارشی ۷ ایستگاه در استانهای کرمانشاه و ایلام در دوره ۱۰ ساله (۱۹۹۹-۱۹۹۰م) مطالعه و تعداد ۸۰ سامانه انتخاب شد. سپس نقشه‌های سطح زمین و ۵۰۰ هپ ۶۸ سامانه که موجود بودند، بررسی شدند. این تحلیل روی مراکز سیکلونی نقشه‌های سطح زمین به صورت ۶ ساعته و مراکز کم‌ارتفاع و محور ناوه سطح ۵۰۰ هپ به صورت ۱۲ ساعته انجام شد. نتایج بررسی نشان داد که بیشترین تعداد سامانه‌هایی که برای منطقه بارش داشتند، سامانه‌های سودانی بودند. همچنین لازم به ذکر است که تنها سامانه‌های سودانی، بارشی بیش از ۳۰۰ میلیمتر دارند. در درجه دوم اهمیت سامانه‌های ادغامی (مدیترانه‌ای- سودانی) قرار دارند. مهمترین منطقه ترکیب سامانه‌های ادغامی، شرق مدیترانه در طول جغرافیایی ۳۳-۳۶ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰-۳۵ درجه می‌باشد. سامانه‌های مدیترانه‌ای بیشتر از دریای آدریاتیک و مدیترانه مرکزی منشأ گرفته و به‌طور متوسط در امتداد عرض جغرافیایی 35° به طرف شرق حرکت می‌کنند. همچنین سامانه‌های مونسونی به هنگام تقویت در اواخر بهار و تابستان برای منطقه مورد مطالعه بارش ایجاد می‌کنند. در بیشترین روز بارش سامانه‌ها به طور نرمال محل محور موج بلند مدیترانه در شرق مدیترانه تا شمال دریای سرخ (طول ۳۰ تا ۴۰ درجه شرقی) قرار می‌گیرد. علاوه بر این، بر اساس محاسبات انجام شده، ارتباط مستقیمی بین عمیق‌شدگی انتهای محور ناوه و میزان



بارش وجود ندارد.

کلید واژه‌ها: مسیریابی، سینوپتیک، سامانه، کرمانشاه، ایلام.

۱- مقدمه

شناسایی سیکلونها به اوایل ظهور علم هواشناسی سینوپتیک و زمان تهیه نقشه‌های هوا مربوط می‌شود. مراکز فروبار روی نقشه‌های هوا، همراه با جبهه یا بدون جبهه مشاهده می‌شوند [۱، ص ۲۹۲]. سیکلون نوعی اغتشاش جوی است که فشار مرکزی آن نسبت به اطراف کمتر است و در اغلب موارد از دو نوع هوا و جبهه سرد و گرم تشکیل شده است [۱، ص ۵۶۹]. سیکلونهای عرضهای میانه در طول جبهه قطبی توسعه پیدا کرده و به صورت حرکات موجی شکل گسترده می‌شوند [۲، ص ۲۰۲]. رودباد جبهه قطبی به دلیل قرارگیری در ترازهای پایین تأثیر قابل توجهی در اقلیم سطح زمین دارد که باعث تشکیل سیکلونهای برون حاره، هدایت آنها و نیز ایجاد ناپایداری در جو زیرین خود می‌شود [۳، ص ۲۸۳]. در سیکلونها، فشار کمتر از ۱۰۱۵ میلی‌بار است و از فراگرد آن به سوی مرکز فشار کم می‌شود [۴، ص ۴۹]. در سال ۱۹۲۱ برکنس اولین سری محاسبات جامع و جدید چگونگی تکوین و ساختار سیکلونها را انتشار داد [۵، ص ۲۱۵].

سیکلونها دوره حیاتی را از ابتدای تشکیل تا مرگ دنبال می‌کنند که در ابتدای ایجاد آشفتنگی در سطح زمین، دو توده هوای گرم و سرد در کنار هم قرار می‌گیرند. در این حالت در تراز ۵۰۰ هپ موج به اندازه کافی عمیق نشده و وزش مداری حاکم است، سپس تحت تأثیر همگرایی و واگرایی در تراز ۵۰۰ هپ و عمیق شدن موج حرکات عمودی شروع می‌شود که نتیجه آن تشکیل سیکلون می‌باشد، به هنگام مخلوط شدن (آغاز مرگ) سیکلون سطح زمین، در تراز ۵۰۰ هپ سلولی از موج بریده و در قسمت جنوب فرود قرار می‌گیرد [۱، صص ۴۹-۳۴۸]. سرعت متوسط سیکلونها بین ۳۲ - ۴۸ کیلومتر در ساعت یا بین ۷۷۵-۱۱۶۰ کیلومتر در روز تغییر می‌کند. کمترین سرعت سیکلونها مربوط به اواخر بهار، تابستان و اوایل پاییز، یعنی زمانی که گردش جوی بمراتب کند و بطئی است، می‌باشد [۷، ص ۱۵۶].

سیکلونها پس از تشکیل شدن به طرف شرق حرکت می‌کنند و یک مسیر موجی شکل را طی می‌کنند. گذری که سیکلونهای بیشتری از آن عبور کنند، مسیر سیکلون نامیده می‌شود [۱،

ص ۳۲۶]. با توجه به اینکه سیکلونها برون حاره در مسیر خود کشور ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهند و بسته به منشأ و جهت حرکت آنها میزان بارش در مناطق مختلف ایران فرق می‌کند، می‌توان بین میزان بارش، منشأ و مسیر حرکت آنها ارتباط برقرار کرد. از جمله مطالعاتی که در این زمینه در سطح جهان و ایران انجام شده است، بترتیب می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

بررسیهای انجام شده در جهان بمراتب قدیمی‌تر از کارهای انجام شده در ایران می‌باشد. ردیابی دستی مسیرهای سیکلونی در عرضهای میانه (زمانی که نقشه‌های هواشناسی به طور سیستماتیک در دهه ۱۸۵۰ و ۱۸۶۰ تهیه شد) شروع شد [۸]. مطالعات اولیه به وسیله لومیس [۹]، صص ۱-۱۵] برای آمریکای شمالی، موهن [۱۰]، صص ۲۶] برای نروژ، کوپن [۱۱]، صص ۷۶-۹۷] برای اروپا و ریکاکو^۴ برای اروپا شامل قسمت روسیه اروپایی اجرا شد. لومیس ابتدا اطلاعات مربوط به مسیرهای سیکلونی نیمکره شمالی را گردآوری کرد، اما یک تحلیل جامع تنها در اواسط قرن بیستم به وسیله پترسن [۱۲]، صص ۱۲۰-۱۵۵] در سال ۱۹۵۰م ممکن شد. پترسن توجه خود را به مناطق مهمی که میزان بالایی از تناوب بین مراکز کم‌فشار و پرفشار وجود دارد، جلب کرد که او آنرا کانالهای فشار نامگذاری کرد. الگوریتمهای مسیریابی برای داده‌های رقومی فشار به وسیله جونز^۶ در سال ۱۹۹۱م، موری و سیموند^۷ در سال ۱۹۹۳م، سرز^۸ و همکاران در سال ۱۹۹۳م. توسعه یافت.

نتیجه این مطالعات به صورت زیر خلاصه شده است، برای زمستان نیمکره شمالی عبارتند از:

- ۱) مسیرهای اصلی از سواحل شرقی قاره‌ها به سوی شمال شرقی در عرض اقیانوسها (اطلس و آرام) گسترش پیدا می‌کند؛ در آتلانتیک شمالی سامانه‌ها یا به سوی شمال داخل خلیج بافین می‌چرخند یا غالباً به سوی شمال شرق ایسلند، دریای بارنز و نروژ ادامه مسیر می‌دهند؛ در اقیانوس آرام شمالی سامانه‌ها از آسیای شرقی به سوی خلیج آلاسکا حرکت می‌کنند.
- ۲) سیکلونها شرق کوههای راکی در آلبرتا و کلرادو تشکیل یا تقویت می‌شوند و رو به شرق به سوی دریاچه‌های بزرگ و نیوفوندلند، قبل از اینکه به سوی شمال به سوی گرینلند و ایسلند بچرخند، حرکت می‌کنند [۸]، صص ۴۶۵].

1. Loomis
2. Mohn
3. Köppen
4. Rykachev
5. Petterssen
6. Jones
7. Murray and Simmonds
8. Serreze



مطابق با گفته سینکلایر^۱ مسیر توفانها در نیمکره جنوبی نسبت به نیمکره شمالی تقریباً چرخش کره‌ای با تغییرات اندک فصلی دارند[۱۳، صص ۵۹۵-۶۱۲]. تراکم مسیر در زمستان حداکثر بین ۵۰° و ۶۰° در آتلانتیک جنوبی و اقیانوس هند جنوبی و جنوب ۶۰° عرض جنوبی در اقیانوس آرام جنوبی با یک ماکزیمم فرعی نزدیک ۴۰° عرض جنوبی دارد. این تحلیل برای زمستان ۱۹۸۰-۱۹۸۴م، تعدادی از مراکز در هر ۵° عرض جغرافیایی را به صورت ماهیانه و مسیرهای انتقال نشان می‌دهد. کولون^۲ به بررسی مسیر هاریکن‌ها به منظور پیش‌بینی مسیر و مقدار حرکت آنها پرداخت[۱۴، صص ۵۳-۶۶]. او با استفاده از داده‌هایی که شامل مسیرهای سیکلونی حاره‌ای و شدت آنها روی کارائیب، خلیج مکزیکو و اقیانوس اطلس در دوره زمانی ۱۸۸۷-۱۹۵۰م. بود و منطقه‌ای از ۱۰° - ۳۵° شمالی و از ۴۰° - ۱۰۰° غربی به ابعاد ۵ درجه در طول و عرض تقسیم می‌شد، آن‌گاه در هر واحد شبکه مرکز توفان به صورت یک نقطه به‌دست آمده و سرعت حرکت آنها در دوره ۲۴ ساعته دنبال و به صورت ماهیانه مسیرها مشخص می‌شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، متوسط هاریکن‌ها بر اساس روز در هر ماه کمترین آن در ماه ژوئن (۲ روزه) و بیشترین آن در ماه سپتامبر (۱۰ روزه) و مدت متوسط توفانها در جنوب مدار ۳۵° حدود ۶ روزه بودند. لازم به ذکر است که این توفانها اغلب به صورت گروهی ظاهر می‌شوند، همچنین این حالت نیز بیشتر در ماههای مرداد، شهریور و مهر اتفاق می‌افتد. توفانها به‌طور عمده در شرق ۷۰° طول غربی اتفاق می‌افتند.

هکلی^۳ و همکارانش به مسیریابی هاریکن‌ها و پیش‌بینی با یک سیستم تحلیل پیش‌بینی جهانی پرداختند[۱۵، صص ۲۲۶-۲۲۹]. در این تحقیق آنها به بررسی مسیر هاریکن Elena که در سال ۱۹۸۶م. در طول ۵ روز ایالات متحده آمریکا را تحت تأثیر قرار داده بود، پرداختند، سپس آنها با استفاده از نقشه‌های مرکز اروپایی پیش‌بینی هوایی متوسط مقیاس، توفان مذکور را تا جنوب شرق ایالات متحده مسیریابی کردند.

آرنت^۴ نیز به بررسی مسیر سیکلونها در نیمکره جنوبی پرداخت[۱۶، صص ۴۱-۴۴]. او با استفاده از شبکه‌های ۵×۵ درجه جغرافیایی، فراوانی مراکز سیکلونی را برای تمام سال انجام داد. نتیجه مطالعه او نشان داد که بر اساس طول جغرافیایی، فراوانی کمی در ۵۵° غربی در جنوب اقیانوس آتلانتیک و ۵۰° شرقی در اقیانوس هند و ۱۶۰° غربی در جنوب اقیانوس آرام مشاهده

1. Sinclair
2. Colon
3. Heckley
4. Arnett

می‌شود. البته فراوانی در فصل بهار (بجز در جنوب اقیانوس آرام) نسبت به دیگر فصلها بهتر است، در حالی که در درون ناوه قطبی فراوانی توفانها در منطقه‌ای بین 100° و 160° غربی در سرتاسر فصل زمستان وجود دارد.

بلیندر^۱ به بررسی مسیریابی در ابعاد زمانی و فضایی پرداخت [۱۷، صص ۳۷۷-۳۸۴]. نتیجه مطالعات او نشان می‌دهد که یک راهبرد برای ارزیابی تعداد مسیرهای صحیح و گم شده در مجموعه داده‌ها وجود دارد.

کامارگو^۲ و همکاران طی مطالعه‌ای روی توفانهای اقیانوس آرام شرقی، با استفاده از یک شبکه 5×5 درجه با توجه به چرخندگی مطلق، چرخندگی نسبی، ماکزیمم سرعت باد در شبکه نقاط، فشار سطح دریا، ناهنجاری دمایی سطوح مختلف جو سیکلونها را مسیریابی کردند [۱۸، صص ۱-۲۲]. رایبل^۳ مسیرهای سیکلونی حاره‌ای را در منطقه استرالیا به وسیله مدل پیش‌بینی مجموع قیاسی که یک نوع مدل پیش‌بینی عددی می‌باشد، مسیریابی کرد [۱۹، صص ۳-۱۱]. او یک نقشه پیش‌بینی سازگاری خودکار برای پیش‌بینی‌های مجموع مسیرهای سیکلونها حاره‌ای در منطقه استرالیا توسعه داد. به‌طور کلی در این تحقیق برای پیش‌بینی مسیرهای سیکلونی حاره‌ای از مدل‌های ریاضی مانند CLIPER و پیش‌بینی هوایی عددی (NWP) در حوضه‌های سه‌گانه شرقی، شمالی و غربی استفاده شد.

هر چند تحقیقات زیادی درباره مسیریابی انجام شده است، اما در اکثر موارد این تحقیقات در زمینه‌هایی غیر از مسیریابی بوده است که در ضمن مطالعه به مسیریابی نیز پرداخته شده است. مهمترین تحقیق در زمینه مسیریابی سامانه‌های بارشی غرب ایران، به وسیله علیجانی صورت گرفت [۲۰، صص ۱۲۵-۱۴۲]. در طول مطالعاتی که او درباره مسیر سیکلونها ایران و خاورمیانه در دوره سالهای ۱۹۶۴ - ۱۹۶۷ انجام داد؛ چهار مرکز عمده سیکلون‌زایی، یعنی دریای آدریاتیک، یونان، قبرس و دامنه نزار کوههای زاگرس را مشخص کرد. او سه مسیر عمده برای سیکلونها خاورمیانه و دو مسیر برای سیکلونها ایران در نظر گرفت. به نظر او مسیر B از مناطق سیکلون‌زایی اطراف دریای یونان آغاز می‌شود و شاخه‌هایی از این مسیر روی منطقه مورد مطالعه (استانهای کرمانشاه و ایلام) بارش دارند. او برای این کار منطقه‌ای از طول $0 - 65$ درجه شرقی و از عرض $20 - 45$ درجه شمالی تعیین کرد و با مطالعه نقشه‌های ساعت ۱۲ سطح زمین

1. Blender
2. Camargo
3. Raible



و سطح ۵۰۰ هپ در ماههای دسامبر تا مارس سالهای ۱۹۶۴-۱۹۶۷م. مسیر سیکلونی هر ماه را نیز تعیین کرد. تقسیم منطقه به ابعاد پنج درجه‌ای، مشخص کردن مرکز سیکلونها به صورت نقطه‌ای به طوری که هر مرکز که حداقل یک منحنی هم فشار بسته دارد و در صورت مشخص نبودن حرکت سیکلون روی نقشه سطح زمین، حرکت محور موج کوتاه تراز ۵۰۰ هپ را برای مسیریابی مورد استفاده قرار داد، سپس براساس درصد سیکلونهای عبوری از نصف‌النهارهای ۴۰ و ۵۵ درجه شرقی، مسیرهای ماهانه را به مسیرهای اصلی و فرعی تقسیم کرد.

فرجی مسیر چرخندها را بین سالهای ۱۳۷۰-۱۳۷۴ طی ماه ژانویه تا آوریل بررسی کرد و نتیجه گرفت که در ژانویه ۶۱/۳٪ سامانه‌ها مدیترانه‌ای، ۳۲/۲٪ منشأ دریای سرخ و ۶/۳٪ منشأ دریای سیاه دارند [۲۱]. در ماه فوریه ۵۴/۸٪ مدیترانه، ۳۰٪ دریای سرخ و ۱۵٪ دریای سیاه و در ماه آوریل ۷۰/۳٪ مدیترانه‌ای و ۱۸/۵٪ دریای سرخ، کل سامانه‌های ورودی به ایران را تشکیل می‌دهند. کیانی‌پور با بررسی تأثیر النینو در مناطق جنوب غربی ایران به مسیریابی سامانه‌های سودانی در دو سال النینو و غیر آن پرداخت [۲۲]. به نظر او کم فشار سودان در ماه دسامبر ۱۹۷۴م. از چهار مسیر وارد کشور شده و تا شمال شرق نیز ادامه مسیر داده است.

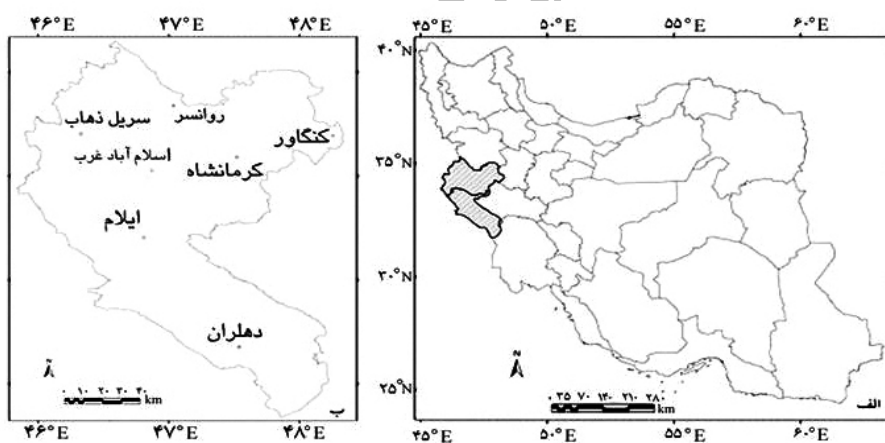
لشکری برای مطالعه مسیرهای ورود سامانه‌های سودانی به ایران با انتخاب ۲۰۰ نمونه در طول دوره آماری ۲۰ ساله، نقشه سطح زمین سامانه‌ها را از ۴۸ - ۷۲ ساعت قبل از شروع تا پایان بارش استخراج و مسیر کم فشارهای بسته سودانی را تعقیب کردند [۲۳]. برای تعقیب سامانه‌ها و تعیین مسیر حرکت هر یک، مرکز کم فشار بسته شده روی نقشه سطح زمین هر سامانه در هر روز با نقطه مشخص شد، و سپس این نقاط را به هم وصل کرد. او مسیر سامانه‌های ورودی به جنوب و جنوب غرب ایران را به چهار مسیر تقسیم کرد و مسیر سامانه‌های ادغامی را از جمله مسیرهایی معرفی کرد که می‌تواند بارشهای خوبی را نیز برای غرب ایران فراهم کند. ابریفام در تحقیقی با عنوان تحلیل سینوپتیک توده‌های هوای ورودی به غرب ایران (سال ۱۹۸۳-۱۹۸۴) به بررسی توده‌های ورودی به غرب ایران پرداخت [۲۴].

با توجه به این امر، برای صحت نتایج به دست آمده از تحقیقات قبلی، هدف این تحقیق یافتن منشأ، مسیر حرکت و دلیل سینوپتیکی سامانه‌های بارشی ورودی به غرب ایران (استانهای کرمانشاه و ایلام) می‌باشد.

۲- مواد و روشها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه برای این پژوهش، منطقه غرب کشور در محدوده استانهای کرمانشاه و ایلام تعیین شده است (شکل ۱). انتخاب این دو استان در غرب ایران برای موقعیت قرارگیری آنها در دامنه‌های بادگیر زاگرس و امکان ورود سامانه‌های بارشی مختلف می‌باشد. این منطقه در غرب و جنوب غربی کشور و در محدوده طول 45° و $24'$ تا 48° و $30'$ شرقی و عرض 31° و $58'$ تا 35° و $15'$ شمالی و در محدوده زاگرس چین‌خورده (زاگرس خارجی) قرار گرفته است [۲۵]. به‌طور کلی این منطقه ناحیه‌ای کوهستانی محسوب می‌شود که بین فلات ایران و جلگه بین‌النهرین واقع شده است [۲۶]. میزان بارش منطقه بین ۴۰۰ - ۶۰۰ میلیمتر بوده است که با توجه به عرض جغرافیایی، ارتفاع، توده‌های هوای وارد شده و... میزان دما و تبخیر از شمال شرق به جنوب غرب افزایش پیدا می‌کند.



شکل ۱ الف: موقعیت منطقه مطالعه شده در کشور؛ ب: موقعیت ایستگاه‌های مطالعه شده

۲-۲- سامانه‌های بارشی انتخابی

برای انجام این تحقیق، ۸۰ سامانه در ماههای مختلف دوره آماری ۱۹۹۰-۱۹۹۹م. که دارای بارش قابل ملاحظه‌ای برای منطقه مورد مطالعه بودند، انتخاب شد. با توجه به تمرکز بارش



در فصل سرد سال، تعداد سامانه‌های انتخابی در این فصل بیشتر بود؛ از این تعداد، ۶۸ سامانه بررسی، تجزیه و تحلیل شدند. دلیل این امر مفقود شدن نقشه‌های سینوپتیک مربوط به سامانه‌های باقیمانده (۱۲ سامانه) از بایگانی سازمان هواشناسی است. سامانه‌های انتخابی (به استثنای سامانه‌های مونسونی) اغلب در بیشتر از ۵ ایستگاه منطقه مورد مطالعه بارش داشته‌اند.

جدول ۱ تعداد سامانه‌های بارشی انتخابی ماههای مختلف و درصد آنها را در طول دوره آماری نشان می‌دهد. بیشترین سامانه‌های انتخابی بترتیب مربوط به ماه مارس و دسامبر می‌باشد که ورود بالای سامانه‌های بارشی به منطقه مورد مطالعه در این دو ماه می‌باشد، ولی ماههایی که سامانه بارشی قابل توجهی برای استانهای کرمانشاه و ایلام نداشتند، ماه اوت و سپتامبر می‌باشد. به همین دلیل سامانه‌ای از این ماهها انتخاب نشد.

جدول ۱ فراوانی و درصد سامانه‌های انتخابی بر حسب ماه

ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	مجموع
تعداد	۸	۸	۱۵	۶	۶	۱	۱	۰	۰	۰	۶	۱۲	۶۸
درصد	۱۱/۷۶	۱۱/۷۶	۲۲/۰۶	۸/۸۲	۸/۸۲	۱/۴۸	۱/۴۸	۰	۰	۷/۳۶	۸/۸۲	۱۷/۶۶	۱۰۰

۳-۲- روش مسیریابی

با توجه به بزرگ مقیاس بودن نقشه‌های سینوپتیک تهیه شده به وسیله سازمان هواشناسی کشور و تمرکز روی منطقه مورد مطالعه، از این نقشه‌ها برای انجام پژوهش استفاده شد. ابتدا نقشه‌های سینوپتیک سطح زمین از ۴۸ ساعت قبل از بارش، ردگیری و سپس به طریق زیر عمل شد. مرکز سامانه‌ای که حداقل یک منحنی بسته داشت، به عنوان مرکز سیکلون در نظر گرفته شد. سپس هر ۶ ساعت این مراکز به صورت نقاطی روی نقشه‌ها تا روز پایان بارش دنبال شد. در پایان کار، این مراکز به صورت منحنیهایی به هم متصل و میزان فشار مرکزی هر مرکز برداشت شد تا ارتباط فشار با بیشترین روز بارش مشخص شود.

نقشه‌های سینوپتیک تراز ۵۰۰هپ نیز ۱۲ ساعته دنبال شد. ابتدا مرکز کم ارتفاع سامانه مشخص و میزان ارتفاع مرکزی و عرض جغرافیایی انتهای ناوه برداشت شد. محور ناوه تا پایان روز بارش به صورت خطوطی ترسیم شد. بعد از رقومی کردن هر مسیر در نرم-افزار Arc/info؛ آنها را بر اساس منشأ در لایه‌های نقطه‌ای و خطی از هم جدا کرده تا تعداد سامانه‌های هر مسیر مشخص شود. بر اساس آزمایش و خطا این نتیجه به دست آمد که برای ترسیم الگوی هر مسیر، برای هر سامانه به تفکیک، یک حریم ۰/۵ درجه‌ای در نظر گرفته شود، بعد از انجام این مرحله و روی هم قرارگیری لایه‌ها، الگوی هر مسیر مشخص شد. برای محور ناوه در بیشترین روزهای بارش هر سامانه نیز همین کار صورت گرفت تا محل محور موج بلند مدیترانه مشخص شود. لازم به ذکر است که این موضوع بدون در نظر گرفتن زمان ورود سامانه انجام شده است.

۳- نتایج

۳-۱- تحلیل سامانه‌های بارشی بر اساس منشأ

جدول ۲ سامانه‌های بارشی ورودی به منطقه مورد مطالعه را از نظر منشأ و طول مدت بارش نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که بیشتر سامانه‌ها منشأ سودانی دارند. سپس بترتیب سامانه‌های ادغامی، مدیترانه‌ای و مونسونی برای منطقه مورد مطالعه بارش داشته‌اند. از نظر مدت بارش بیشتر سامانه‌های سودانی ۲ یا ۳ روزه بوده‌اند، سامانه‌های ادغامی نیز اغلب ۲ روزه، مدیترانه‌ای ۲ روزه و مونسونی ۱ یا ۲ روزه بوده‌اند. سامانه‌های با ۴ روز بارش اغلب سودانی، در حالی که سامانه‌های با ۵ روز بارش اغلب ادغامی بودند، طولانی شدن مدت بارش سامانه‌های ادغامی به ادغام این سامانه‌ها (مدیترانه‌ای و سودانی) برمی‌گردد که این سامانه‌ها را به اندازه کافی تقویت کرده و حرکت سامانه را کند می‌کند. اغلب سامانه‌های یک روزه سودانی می‌باشند. این امر به دلیل منشأ گرفتن سامانه‌های سودانی از عرضهای پایین و طبیعت غالباً حرارتی می‌باشد که در بیشتر موارد عمق کمی داشته است و در نتیجه سرعت بالایی دارند (جدول ۲).



جدول ۲ سامانه‌های بارشی از نظر منشأ و طول مدت بارش

نام سامانه	۱ روزه	۲ روزه	۳ روزه	۴ روزه	۵ روزه	جمع
سودانی	۵	۱۳	۱۳	۶	۱	۳۸
ادغامی	۳	۱	۹	۲	۳	۱۸
مدیترانه‌ای	۰	۴	۳	۲	۱	۱۰
مونسون	۱	۱	۰	۰	۰	۲
جمع	۹	۱۹	۲۵	۱۰	۵	۶۸

سامانه‌های مونسونی در اواخر ماه ژوئن و ژوئیه و حداکثر دو روز برای منطقه مورد مطالعه بارش داشته‌اند، دلیل این موضوع، به فاصله زیاد منطقه مورد مطالعه از منشأ این سامانه‌ها بر می‌گردد که هنگام تقویت خیلی زیاد، باعث عقب‌نشینی کوتاه مدت پرفشار عربستان و بارش می‌شود.

جدول ۳ مجموع بارش ۷ ایستگاه را در بیشترین روز بارش نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که بیشتر سامانه‌های سودانی در بیشترین روز بارش کمتر از ۱۰۰ میلیمتر بارش داشته‌اند. در این بین تنها سامانه‌های سودانی بیش از ۳۰۰ میلیمتر در یک روز بارش داشته‌اند. بیشتر سامانه‌های ادغامی و مدیترانه‌ای بارشی بین ۱۰۰-۲۰۰ میلیمتر بارش داشته‌اند. کل سامانه‌های مونسونی بارشی کمتر از ۱۰۰ میلیمتر داشته‌اند.

جدول ۳ تقسیم‌بندی سامانه‌ها از نظر مقدار بارش در بیشترین روز بارش (جمع کل ایستگاهها)

مقدار بارش	$mm > 100$	$100-200 mm$	$200-300 mm$	$mm < 300$	جمع
سودانی	۱۹	۱۴	۳	۲	۳۸
ادغامی	۷	۹	۲	۰	۱۸
مدیترانه‌ای	۱	۶	۳	۰	۱۰
مونسون	۲	۰	۰	۰	۲
جمع	۲۹	۲۹	۸	۲	۶۸

جدول ۴ تعداد سامانه‌ها را از نظر شدت بارش در یک روز ایستگاه بیشترین روز بارش نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که بیشتر سامانه‌های سودانی، ادغامی و مدیترانه‌ای بارشی بین ۲۰-۴۰ میلیمتر داشته‌اند. در حالی که سامانه‌های مونسونی بارشی کمتر از ۲۰ میلیمتر داشته‌اند.

جدول ۴ تقسیم‌بندی سامانه‌ها از نظر مقدار بارش در یک ایستگاه و در بیشترین روز بارش

مقدار بارش نوع سامانه	$mm > 20$	۲۰ - ۴۰ mm	۴۰ - ۶۰ mm	۶۰ - ۸۰ mm	$mm < 80$	جمع
سودانی	۹	۱۷	۸	۳	۱	۳۸
ادغامی	۱	۹	۵	۲	۱	۱۸
مدیترانه‌ای	۱	۵	۱	۱	۱	۱۰
مونسونی	۲	۰	۰	۰	۰	۲
جمع	۱۳	۳۱	۱۴	۶	۳	۶۸

۳-۲- سامانه‌های سودانی

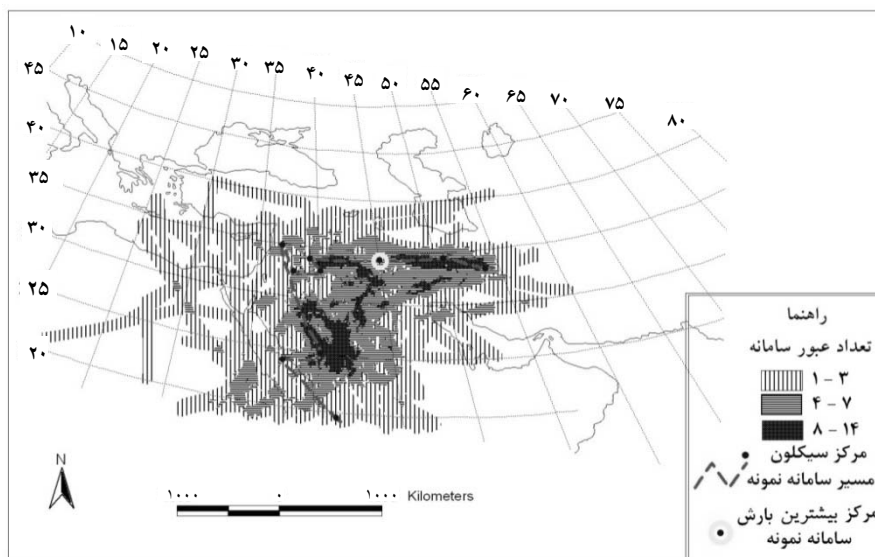
شکل ۲ مسیر کل سامانه‌های بارشی سودانی در دوره زمانی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که بیشترین تعداد عبور سامانه، ابتدا در امتداد نصف‌النهار 40° می‌باشد و با حرکت به عرضهای بالاتر به طرف شرق متمایل می‌شود. به طوری که در عرض 34° کاملاً به طرف شرق منحرف شده و وارد منطقه مورد مطالعه می‌شوند. سامانه‌های سودانی در ابتدای تشکیل منحنی بسته‌ای با فشار تقریبی $1005 - 1010$ هپ دارند و کمتر اتفاق افتاده است که 1000 یا 1015 هپ فشار داشته باشند. تمرکز مراکز سامانه‌های سودانی در امتداد نصف‌النهار 40° تا 45° طول شرقی و عرض 25° تا 30° شمالی می‌باشد. بالاترین عرضی که مرکز سامانه‌های سودانی در مسیر خود به آنجا رسیده اند، حدود 40° می‌باشد و غربی‌ترین طول برای مراکز فشار 25° شرقی می‌باشد. در تراز 500 هپ بیشترین تمرکز محور ناوه تقریباً در امتداد نصف‌النهار 28° تا 37° شرقی قرار گرفته است و اکثر محورها جهت شمال‌شرقی- جنوب‌غربی دارند. انتهای ناوه در همه موارد از 15° جغرافیایی پایین‌تر و از 30° جغرافیایی بالاتر



نرفته است. نمونه‌ای از سامانه‌های سودانی روی نقشه نشان داده شده است. در بیشترین روز بارش این سامانه ۱۰۱۰هپ فشار داشته است. در جدول ۵ وضعیت سامانه سودانی نشان داده شده است.

جدول ۵ وضعیت سامانه‌های نمونه مطالعه شده

مونسونی	مدیترانه‌ای	ادغامی	سودانی	خصوصیات سامانه نمونه
۱۹۹۹/۷/۱۲	۱۹۹۷/۱۲/۷	۱۹۹۷/۱/۱۶	۱۹۹۸/۱/۱۰	زمان شروع فعالیت سامانه
۴ روز	۴روز	روز ادغام ۱۶ ژانویه	۴ روز	طول دوره فعالیت
۲ روز	۲ روز	۳ روز	۳ روز	طول دوره بارشی
۴۷/۴ mm ۱۹۹۹/۷/۱۵	۱۰۲/۳mm ۱۹۹۷/۱۲/۹	۴۴/۳mm ۱۹۹۷/۱/۱۸	۱۵۲/۳mm ۱۹۹۸/۱/۱۲	بالاترین مقدار بارش
۶ ایستگاه	۷ ایستگاه	۷ ایستگاه	۷ ایستگاه	فراگیری بارش
۱۳/۵mm	۳۴mm	۳۰mm	۴۹/۳mm	بیشترین بارش در یک ایستگاه (سامانه انتخابی)
۶/۶mm	۲۳mm	۱/۳mm	۰/۹ mm	مجموع بارش در کل ایستگاهها و در روز اول بارش
۶/۶mm	۲۳mm	۱۵/۲mm	۱۵/۶ mm	مجموع بارش در کل ایستگاهها و در بیشترین روز بارش
۵۴mm	۱۲۵/۳mm	۴۶/۵mm	۱۶۸/۸ mm	مجموع بارش در دوره فعالیت (۷ ایستگاهها)

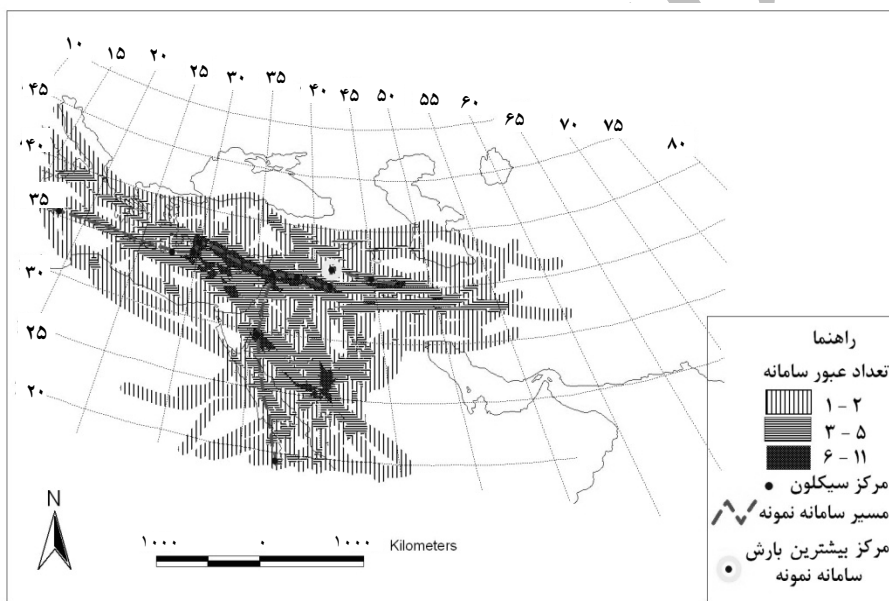


شکل ۲ نمونه و الگوی مسیر سامانه‌های سودانی

۳-۳- سامانه‌های ادغامی

شکل ۳ مسیر کل سامانه‌های بارشی ادغامی را نشان می‌دهد. سامانه‌های مدیترانه‌ای اغلب در غرب ایتالیا و دریای آدریاتیک تشکیل شده و به طرف شرق حرکت می‌کنند. عرض 35° شمالی به عنوان مسیر عبور سامانه مدیترانه‌ای قبل از ادغام می‌باشد، اما بعد از ادغام با سامانه سودانی همچنان عرض 35° شمالی را به عنوان مسیر ورود به منطقه مورد مطالعه می‌پیمایند. سامانه‌های سودانی قبل از ادغام، در اغلب موارد ابتدا از پایینتر از عرض 20° شمالی (از شمال سودان) به طرف عرضهای بالا حرکت می‌کنند و تقریباً در امتداد طول 38° شرقی به عرض 25° شمالی رسیده و از این عرض به بالا به طرف شمال غرب تغییر مسیر می‌دهند. سپس با سامانه مدیترانه‌ای ادغام می‌شوند و به طرف شرق حرکت می‌کنند. مهمترین منطقه ادغام، شرق مدیترانه در طول $33-36$ درجه شرقی (اطراف جزیره قبرس) و عرض $30-35$ درجه شمالی می‌باشد. منطقه مهم دیگر ادغام، شمال شبه جزیره عربستان و روی عراق می‌باشد. حرکت سامانه‌ها بعد از ادغام کند می‌شود. به طوری که طول مدت بارش سامانه‌های ادغامی طولانی می‌گردد. این

سامانه‌ها در درجه اول از عرض 33° تا 35° شمالی و در درجه دوم از عرض 38° وارد منطقه مورد مطالعه می‌شوند. در تراز 500 ه.پ بیشترین تمرکز محور ناوه در طول جغرافیایی 33° تا 35° شرقی می‌باشد نمونه‌ای از سامانه‌های ادغامی روی نقشه نشان داده شده است. در بیشترین روز بارش این سامانه 1010 ه.پ فشار داشته است. جدول ۵ وضعیت سامانه نمونه سامانه ادغامی را نشان می‌دهد.

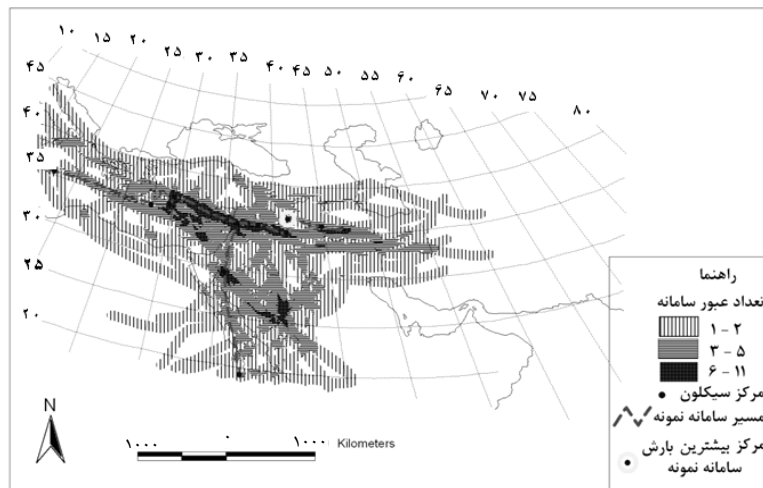


شکل ۳ نمونه و الگوی مسیر سامانه‌های ادغامی

۳-۴- سامانه‌های مدیترانه‌ای

شکل ۴ مسیر کل سامانه‌های بارشی مدیترانه‌ای را نشان می‌دهد. سامانه‌های مدیترانه‌ای به‌طور عمده از دریای آدریاتیک و مدیترانه مرکزی منشأ گرفته و در اغلب موارد در مدار بین 32° تا 38° شمالی به طرف شرق حرکت می‌کنند، مدار متوسط حرکت 35 درجه می‌باشد و از این مدار به بالا وارد منطقه مورد مطالعه می‌شوند. فرق اساسی مسیرهای مدیترانه‌ای با سودانی و ادغامی در عرض جغرافیایی ورودی باشد؛ به‌طوری‌که سامانه‌های

مدیترانه‌ای از مسیر شمالی‌تری وارد می‌شوند. محورناوه در تراز ۵۰۰ ه.پ اغلب موارد در طول 25° تا 35° شرقی قرار گرفته است. تفاوت آن با سامانه‌های سودانی این است که محور ناوه سامانه‌های مدیترانه‌ای اغلب در طول جغرافیایی غربی‌تری قرار می‌گیرند، برای محور ناوه در بیشتر موارد شمال‌شرقی-جنوب‌غربی می‌باشد. همچنین نمونه‌ای از سامانه‌های مدیترانه‌ای روی نقشه نشان داده شده است. در بیشترین روز بارش، این سامانه ۱۰۰۰ ه.پ فشار داشته است. جدول ۵ وضعیت سامانه نمونه سامانه مدیترانه‌ای را نشان می‌دهد.

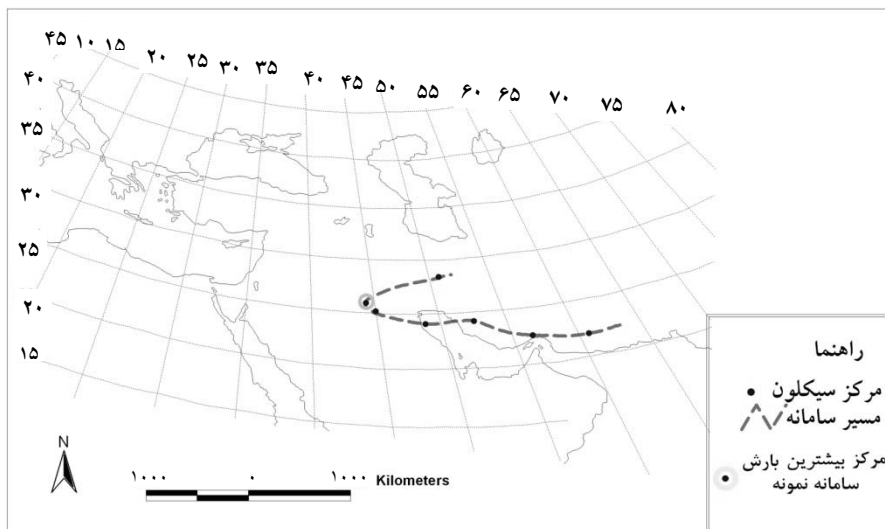


شکل ۴ نمونه و الگوی مسیر سامانه‌های مدیترانه‌ای

۳-۵- سامانه‌های مونسونی

شکل ۵ مسیر نمونه سامانه‌های بارشی مونسونی را نشان می‌دهد. سامانه‌های مونسونی از طرف شرق و در اواخر بهار و تابستان وارد منطقه مورد مطالعه می‌شوند، کم فشار حرارتی با فشار میانگین ۹۹۵ ه.پ روی کشور پاکستان در شرایطی خاص با کم فشارهای حرارتی روی خلیج فارس ادغام شده و با نفوذ به منطقه بارشهایی را ایجاد می‌کند. در بیشترین روز بارش، این سامانه ۹۹۰ ه.پ فشار داشته است. محورهای ناوه در تراز ۵۰۰ ه.پ غالباً از

نزدیکی قطب تا حداکثر 25° شمالی عمیق شده‌اند. برعکس دیگر سامانه‌ها، فرود با عمیق-شدن روی منطقه مورد مطالعه و ریزش هوای سرد عرضهای بالا، شرایط ناپایداری را فراهم می‌کنند، در صورتی‌که در دیگر سامانه‌ها با عبور بادهای غربی در عرضهای پایین این شرایط بیشتر مهیا است. جدول ۵ وضعیت سامانه نمونه مونسونی را نشان می‌دهد.

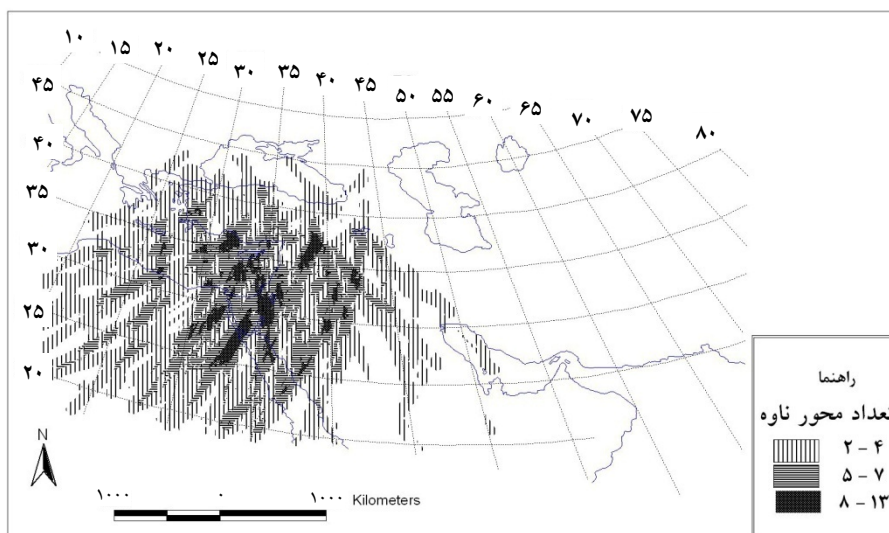


شکل ۵ نمونه و الگوی مسیر سامانه‌های مونسونی

۳-۶- الگوی محور ناوه در بیشترین روز بارش سامانه‌ها

شکل ۶ الگوی محور ناوه را در بیشترین روز بارش سامانه‌ها در تراز ۵۰۰ ه.پ نشان می‌دهد. پررنگ‌ترین مناطق، نشانگر بیشترین قرارگیری محور ناوه روی هم می‌باشد که موقعیت آن از شرق مدیترانه تا شمال دریای سرخ (طول 30° تا 40° شرقی) است و جهت محور ناوه هم شمال شرقی-جنوب غربی می‌باشد. به طور معمول در این موقعیت، بیشترین روز بارش سامانه‌ها اتفاق افتاده است. به عبارتی دیگر می‌توان بیان کرد که در بیشترین روز بارش منطقه مورد مطالعه به طور معمول محل محور موج بلند مدیترانه در این

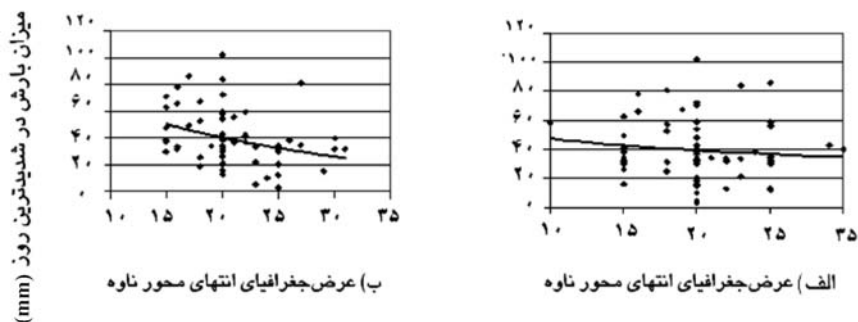
موقعیت قرار می‌گیرد.



شکل ۶ الگوی محور ناوه در شدیدترین روز بارش

۳-۷- تحلیل اثر عمیق شدگی انتهای محور ناوه روی میزان بارش

به نظر عده‌ای از محققان یکی از عوامل تأثیرگذار بر مقدار بارش، میزان عمیق‌شدگی انتهای محور ناوه در تراز ۵۰۰ ه.پ می‌باشد. بر این اساس عرض جغرافیایی انتهای محور ناوه در ساعت ۰۰ و ۱۲ بیشترین روز بارش سامانه‌ها در کل ایستگاهها (به استثنای مونسونی) در تراز ۵۰۰ ه.پ برداشت و ارتباط آنها در نرم‌افزار Excel ارزیابی شد. شکل ۷ (قسمت الف و ب بترتیب) رابطه بین عرض جغرافیایی انتهای محور ناوه را در ساعت ۰۰ و ۱۲ نشان می‌دهد، به طوری که ملاحظه می‌شود بر اساس رگرسیون لگاریتمی، این ارتباط در ساعت ۰۰ حدود ۰/۰۱۰۷ می‌باشد و در ساعت ۱۲ این ارتباط ۰/۰۹۳۱ می‌باشد. این مقادیر نشان می‌دهند که هیچ گونه ارتباط مستقیمی بین میزان بارش و عمیق‌شدگی انتهای محور ناوه به عرضهای پایینتر در بیشترین روز بارش وجود نداشته است.



شکل ۷ الف) ساعت ۰۰؛ ب) ساعت ۱۲

۴- نتیجه‌گیری

به‌طورکلی سامانه‌های ورودی به منطقه مورد مطالعه از نظر تعداد بترتیب سودانی، ادغامی، مدیترانه‌ای و مونسونی می‌باشند. بیشترین درصد سامانه‌های سودانی در بیشترین روز بارش در کل ایستگاهها بارشی کمتر از ۱۰۰ میلیمتر، و بیشتر سامانه‌های ادغامی و سامانه‌های مدیترانه‌ای بارشی بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلیمتر دارند. لازم به ذکر است که تنها سامانه‌های سودانی بارشی بیش از ۳۰۰ میلیمتر دارند. با توجه به این امر بارشهای سیل‌آسای منطقه مورد مطالعه اکثراً از سامانه‌های سودانی یا سامانه‌های جنوبی منشأ می‌گیرند که با خود در برخی مواقع در منطقه مورد مطالعه سیل ایجاد می‌کنند. الگوی بهینه مسیر سامانه‌های سودانی به این ترتیب است که بیشترین تعداد عبور سامانه، ابتدا در امتداد نصف‌النهار 40° می‌باشد و با حرکت به طرف عرضهای بالاتر، به طرف شرق متمایل می‌شود، به‌طوری‌که در عرض 34° وارد منطقه مورد مطالعه می‌شود.

مهمترین منطقه ادغام سامانه‌های ادغامی، شرق مدیترانه در طول $33-36$ درجه شرقی و عرض $30-35$ درجه است. منطقه مهم دیگر برای ادغام شمال، شبه جزیره عربستان و عراق می‌باشد که در درجه اول از عرض $33-35$ درجه شمالی وارد منطقه مورد مطالعه می‌شوند. سامانه‌های مدیترانه‌ای به‌طور عمده از دریای آدریاتیک و مدیترانه مرکزی منشأ گرفته و مدار متوسط حرکت به طرف شرق 35° می‌باشد و از این مدار به بالا به منطقه مورد مطالعه وارد می‌شوند.

سامانه‌های مونسونی در ماه ژوئیه و اواخر ژوئن برای منطقه مورد مطالعه بارش

ایجاد کرده‌اند. در بیشترین روز بارش سامانه‌ها، به طور نرمال محل محور موج بلند مدیترانه (شکل ۶) در شرق مدیترانه تا شمال دریای سرخ (طول ۳۰ تا ۴۰ درجه شرقی) قرار می‌گیرد و جهت محور ناوه شمال شرقی-جنوب غربی می‌باشد. در ارتباط بین عرض جغرافیایی انتهای محور ناوه و مقدار بارش مقدار رگرسیون لگاریتمی ساعت ۰۰ و ۱۲ بترتیب ۰/۱۰۷ و ۰/۰۹۳۱ می‌باشد که نشان‌دهنده مقدار کم ارتباط می‌باشد. بر این اساس ارتباط مستقیمی بین شدت بارشها و میزان عمیق‌شدگی وجود ندارد بلکه نه تنها بارش در ارتباط با عمیق‌شدگی انتهای ناوه به طرف عرضهای پایین می‌باشد، عوامل دیگری نیز در این امر تأثیر گذارند.

۵- منابع

- [۱] علیجانی ب.، کاویانی م.؛ میانی آب و هواشناسی؛ چ ۲، نشر سمت، ۱۳۷۱.
- [۲] جعفرپور، ا.؛ اقلیم شناسی؛ چ ۵، نشر دانشگاه تهران، ۱۳۸۱.
- [۳] علیجانی ب.؛ اقلیم شناسی سینوپتیک؛ چ ۱، نشر سمت، ۱۳۸۱.
- [۴] خالدی ش.؛ آب و هواشناسی عملی؛ چ ۱، نشر قومس، ۱۳۷۵.
- [۵] خوش اخلاق ف.، قائمی ه.؛ تکوین چرخندها؛ فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ش پیاپی ۵۵-۵۴، ۱۳۷۸.
- [6] Ahrens, C. D.; *Meteorology today an introduction to weather, climate And The Environment, Seventh Edition, Brooks/Cole-Thomson Learning, USA, 2003.*
- [۷] علیزاده ا.؛ اصول هیدرولوژی کاربردی؛ چ ۱۶، نشر آستان قدس رضوی، ۱۳۸۲.
- [8] Barry R., Andrew M. Carleton; *Synoptic and dynamic climatology; Routlege, First Published, 2001.*
- [9] Lomms E.; *Results drived from examinations of the United States weather maps for 1872 and 1873; Amer. Sci 8, 1874.*
- [10] Mohn H.; *Det norske meteorologiske institutes storm-Atlas; Bengtzen, Christiania, 1870.*
- [11] Köppen W.; *Die zugstrassen der barometrischen minima in Europe und*



wetter beius; Mittgeogr, Ges, Hamburg, 1880.

- [12] Petterssen S.; some aspects of the general circulation of the atmosphere; Ceten proc; Roy. Met. Soc. London, 1950.
- [13] Sinclair M.R.; Objective identification of cyclones and their circulation intensity and climatology; Wea. Forecasting 12, 1997.
- [14] Colon Jose E.; A study of hurricane tracks for forecasting purposes; *Monthly Weather Review*, Vol. 81, No 3. 1953.
- [15] Heckley W., Miller M., Betts A.; An example of hurricane tracking and forecasting with a global analysis-forecasting system; *Monthly Weather Review*, Vol. 68, No. 3, 1987.
- [16] Arnett, J.; Principal tracks of southern hemisphere extratropical cyclones; *Monthly Weather Review*, Vol. 86, N. 2, 1958.
- [17] Blender, R., Schubert; M. Cyclone tracking in different spatial and temporal resolutions; *Monthly Weather Review*, Vol. 128, 2000.
- [18] Camargo, S, Zebiak S.; Improving the detection and Tracking of tropical cyclones in atmospheric general circulation models; *International Research Institute for Climate Prediction, Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University*, 2002.
- [19] Raible, F., Klaus, christonh C., Sielmann F.; Analog ensemble forecasts of tropical cyclone tracks in the Australian region; *Weather and Forecasting*, Vol. 18, 2003.

[۲۰] علیجانی ب.: رابطه پراکنندگی مکانی مسیرهای سیکلونی خاورمیانه با سیستمهای

هوایی سطح بالا؛ فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ش ۴، ۱۳۶۶.

[۲۱] فرجی ا.: بررسی مسیر سیستم های فشار کم باران زا بر روی ایران و ارائه

الگوهایی از موقعیت و چگونگی حرکت آنها؛ پایان نامه، مؤسسه ژئوفیزیک

دانشگاه تهران، ۱۳۶۰

[۲۲] کیانی پور م.: بررسی سینوپتیکی پدیده ال نینو و ارتباط آن با ناهنجاری بارشهای

- جنوب و جنوب غرب کشور؛ پایان نامه، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۹.
- [۲۳] لشکری ح؛ الگوی سینوپتیکی بارشهای شدید جنوب غرب ایران؛ رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۵.
- [۲۴] ابریفام م؛ تحلیل سینوپتیک توده های هوای ورودی به غرب ایران در سال ۱۹۸۳-۱۹۸۴؛ پایان نامه، دانشگاه رازی کرمانشاه، ۱۳۸۰.
- [۲۵] زنده دل ح؛ مجموعه کتابهای ایرانگردی (ایلام و کرمانشاه)؛ نشر ایرانگردی، ۱۳۷۹.
- [۲۶] افشار(سیستانی) ا؛ نگاهی به ایلام؛ نشر هنر، ۱۳۶۶.