

## تغییرات مؤلفه‌های مؤثر در بارش‌های اوج ایران

امید مفاخری\* - دکتری آب و هواشناسی سینوپتیک، دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی، تهران  
محمد سلیقه - دانشیار آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی، تهران  
آذر کرمانی - کارشناس ارشد آب و هواشناسی شهری، دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی، تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۹/۶

### چکیده

بارش متغیرترین عنصر اقلیمی است که تغییرات آن پیامدهای زیست‌محیطی دارد. هدف از این پژوهش بررسی تغییر مؤلفه‌های ایجاد بارش ایران در سطح میان‌تروپوسفری است. نخست داده‌های بارش ۵۳ ایستگاه همدیدی (۱۹۸۴-۲۰۱۳) از سازمان هواشناسی دریافت شد. برای ناحیه‌بندی از نظر دوره تداوم بارشی از تحلیل خوشه‌ای استفاده شد. براساس معیار روز بارشی، ایران به سه ناحیه طبقه‌بندی شد. به‌منظور مقایسه تغییرات مؤلفه‌های ایجاد روزهای اوج بارش در دو بازه پانزده‌ساله، داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل، باد مداری و نصف‌النهار، امگا، تاوایی نسبی، و رطوبت ویژه از مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌مدت جو دریافت شد. نتایج نشان داد اگرچه میانگین ارتفاع هسته مرکزی کم‌ارتفاع مؤثر بر بارش اوج در بازه دوم مطالعاتی از شمال به جنوب ایران کاسته و بر عمق ناوه‌ها افزوده شده است، قسمت جلوی ناوه اغلب در شرق ایران قرار گرفته و تأثیرگذاری آن‌ها بر بارش اوج نسبت به بازه اول کمتر شده است. موقعیت هسته مرکزی پُر ارتفاع عربستان، نسبت به محل قرارگیری آن در بازه اول، شرقی‌تر شده و فرارفت رطوبت کمتری داشته است. همچنین، شیب ارتفاع (اختلاف ارتفاع هسته مرکزی با کنتور بیرونی) از شمال به جنوب کشور افزایش داشته است؛ این امر نشان می‌دهد بر شدت بارش‌ها افزوده شده است.

واژگان کلیدی: ایران، مؤلفه‌های ایجاد بارش، میان‌تروپوسفر، ناحیه‌بندی.

### مقدمه

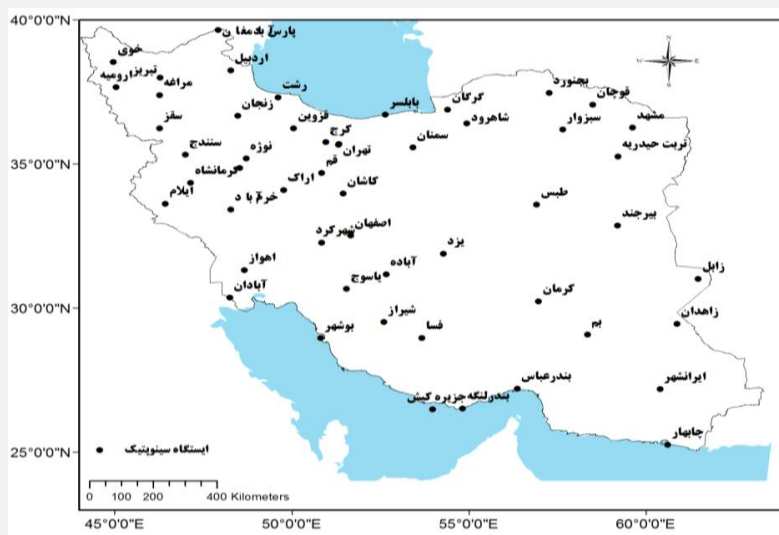
تغییر در میزان و رژیم بارندگی از جمله مظاهر درخور توجه تغییرات اقلیمی است. کاهش یا افزایش میزان بارندگی در بسیاری دیگر از پدیده‌های اقلیمی و محیطی مانند رواناب، سیلاب، دمای هوا، رطوبت هوا، و همچنین در بسیاری از فعالیت‌های بشر مانند کشاورزی و نوع مسکن اثر دارد (گندم‌کار و خادم‌الحسینی، ۱۳۸۸). از آنجا که توزیع زمانی و مکانی بارش در ایران متأثر از توزیع سیستم‌های گردش جهانی است، کمترین تغییر در الگوی آن ناهنجاری‌های شدید آب و هوایی را به‌دنبال دارد. بنابراین، ناهنجاری‌های مکانی و زمانی بارش و تغییرات شدید در شدت بارش و تفاوت در نوع بارش از عمده‌ترین ویژگی‌های بارش ایران است (بابایی فینی و فرج‌زاده، ۱۳۸۱). بارش به‌دلیل اهمیت زیادی که در بین عناصر اقلیمی دارد، همواره مورد توجه محققان و پژوهشگران بوده و تحقیقات گسترده‌ای در سطح جهان و در ایران بر روی این عنصر اقلیمی انجام شده است. در ادامه، به مختصری از تحقیقات ارزشمند انجام‌گرفته اشاره می‌شود. دایان و همکاران (۲۰۰۱) در مطالعه‌ای در شرق دریای مدیترانه با استفاده از تجزیه و تحلیل داده‌های هواشناسی و تصاویر ماهواره‌ای نشان دادند که ژرف‌شدن ناوه تراز میانی جو و امتداد آن به سوی عرض‌های جنوبی، سبب تقویت جت جنب حاره‌ای و گسترش ناوه فشاری دریای سرخ می‌شود. در مطالعه دیگری برای بررسی تغییرات بارش‌های فصلی و سالانه

شبه‌جزیره ایبری مدیترانه نشان داده شد که بارش‌های فصلی و سالانه کاهش یافته و تغییرات رژیم بارش زیاد شده است (دلیوز، ۲۰۰۹). کارلا لیما و همکاران (۲۰۰۹) بارش‌های سنگین تابستان‌های گرم و مرطوب در جنوب شرقی برزیل را مطالعه کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که جبهه سرد و منطقه همگرایی آتلانتیک جنوبی عامل رویداد یادشده‌اند. الاگیپ (۲۰۱۰) روزهای بارندگی را در سودان واکاوی کرد. بررسی وی نشان داد الگوی بارش از بازیافت محلی رطوبت و افزایش همرفتی و تزریق یون‌ها و گازها در ارتفاعات اتیوپی اثر می‌پذیرد. کوروتوری و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی تغییرات فرین‌های بارش در رومانی با استفاده از روند و نرم‌افزار RCLimDex پرداختند. در این مطالعه، که با بررسی در طول دوره آماری پنجاه‌وسه‌ساله انجام شد، به این نتیجه رسیدند که آب و هوای رومانی مرطوب‌تر شده است. می‌نی و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی تغییرات روند نوع بارش و انواع ابر در شرق رومانی (۱۹۶۱-۲۰۰۸) پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که همه ایستگاه‌های حاضر روند کاهشی معناداری در تعداد روزهای همراه با بارش در دوره گرم سال ارائه می‌دهند. در مطالعه دیگری، لیم‌زاکول و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی روندهای بلندمدت و تغییرپذیری مجموع بارش‌های فرین در تایلند پرداختند و به این نتیجه رسیدند که در بیشتر مناطق تایلند تعداد بارش کمتر بوده ولی شدت آن‌ها بیشتر شده است. همچنین، مطالعات ارزشمندی در زمینه بارش و تغییرات آن در ایران انجام شده است که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌شود. بابایی فینی و فرج‌زاده (۱۳۸۲) الگوهای تغییرات مکانی و زمانی بارش در ایران را با استفاده از روش واسطه‌یابی در سیستم اطلاعات جغرافیایی بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که خصوصیات عمده رژیم بارش ایران توأم با نوسان‌های شدید و کوتاه‌بودن دوره بارش است. مسعودیان و عطایی (۱۳۸۳) طی تحقیقی در ایران با استفاده از تحلیل خوشه‌ای، پنج ناحیه بارشی با فصول تقریباً متمایز را شناسایی کردند که در هر یک از نواحی حداقل دو و حداکثر سه فصل بارشی قابل تفکیک وجود دارد. علیجانی و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعه‌ای به تجزیه و تحلیل مکانی شدت و تمرکز بارش در ایران پرداختند. نتایج نشان داد که سهم بسیار زیادی از بارش سالانه در تعداد کمی از بارش‌های با شدت بالا به‌دست می‌آید. منتظری (۱۳۸۸) در بررسی تحلیل زمانی- مکانی بارش‌های فرین روزانه در ایران با استفاده از رویکرد محیطی به گردشی به این نتیجه رسید که می‌توان ایران را به چهار قلمرو از لحاظ نسبت بارش فرین روزانه به بارش سالانه تفکیک کرد. قلمرو سوم و چهارم، که به ترتیب بین ۶۰ تا ۱۰۰ درصد و ۱۰۰ تا ۱۷۰ درصد بارش سالانه در یک شبانه‌روز می‌تواند رخ دهد، بیشتر در معرض خطر است. گندم‌کار (۱۳۸۹) به بررسی همدید بارش‌های شدید در نواحی جنوبی استان بوشهر پرداخت و به این نتیجه رسید که عامل اصلی بروز بارش‌های شدید در نواحی جنوبی استان بوشهر ورود سامانه کم‌فشار سودانی از جنوب و جنوب غرب کشور به این منطقه است. احمدی (۱۳۹۴) به واکاوی بارش فوق‌سنگین در بندرعباس با استفاده از روش محیطی به گردشی پرداخت. نتایج این مطالعه نشان داد که وجود کم‌فشار سودانی با محور جنوب غربی- شمال شرقی در جنوب ایران و گسترش ناوه عمیق با محور شمالی- جنوبی بر روی ایران، عراق، و عربستان، و واقع‌شدن منطقه در سمت چپ خروجی هسته رودباد موجب تشدید ناپایداری شده است. کرم‌پور و همکاران (۱۳۹۵) به مطالعه بارش‌های رگباری مناطق کوهستانی پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که استقرار سامانه‌های بندالی چون رکس، امگا، کم‌ارتفاع بریده، و پشته فشار در تراز میانی جو بر منطقه خاورمیانه- مدیترانه سبب برهم‌زدن حالت بهنجار جو شده‌اند. با توجه به مطالعات انجام‌شده، به نظر می‌رسد در رابطه با تغییرات مؤلفه‌های مؤثر در بارش‌های سنگین ایران مطالعات محدودی انجام گرفته است. بنابراین، با توجه به خلأ مطالعاتی، هدف از این پژوهش شناخت و بررسی تغییرات مؤلفه‌های ایجاد بارش‌های اوج ایران در سطح میان‌تروپوسفری است.

## مواد و روش

## منطقه مورد مطالعه

پهنه ایران بین ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی و ۴۴ تا ۶۴ درجه طول شرقی قرار دارد. حدود دوسوم سطح کشور را اقلیم خشک و نیمه‌خشک فراگرفته است (علیزاده، ۱۳۸۵: ۲۱۵). شکل ۱ منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



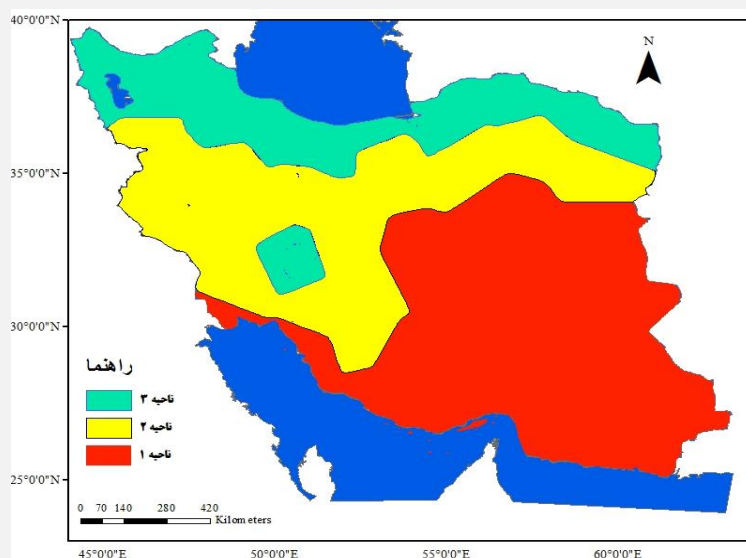
شکل ۱. پراکندگی و موقعیت ایستگاه‌های مطالعاتی

برای شناسایی نواحی بارشی ایران، نخست داده‌های ساعتی بارش ۵۳ ایستگاه همدیدی، که دارای دوره مشترک آماری بودند، از سال ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۳ از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. نخست، برای مشخص کردن روز بارشی (بارش با میزان  $0.1$  میلی‌متر و بیشتر)، داده ساعتی به روزانه تبدیل شد. به‌منظور طبقه‌بندی از نظر دوره تداوم بارشی، روزهای بارشی در هفت طبقه بارش-بارش یک‌روزه، بارش با توالی دو روز، بارش با توالی سه روز الی بارش با توالی هفت روز-بررسی و استخراج شد. شایان ذکر است که بارش‌های بالاتر از هفت روز در کلاس بارش با توالی هفت روز قرار داده شد. برای شناخت نواحی اقلیمی از تحلیل خوشه‌ای استفاده شد. برای اجرای تحلیل خوشه‌ای و ناحیه‌بندی از روش فاصله اقلیدسی و روش ادغام وارد به‌دلیل طبقه‌بندی مناسب‌تر و به‌حد اقل‌رساندن مجموع مربعات انحرافات درون‌گروهی استفاده شد. برای ناحیه‌بندی براساس تحلیل خوشه‌ای از هفت متغیر روز بارشی، که شامل بارش یک‌روزه، دو روز متوالی، سه روز متوالی، چهار روز متوالی، پنج روز متوالی، شش روز متوالی بارشی، و هفت روز بارش متوالی بود، استفاده شد. نتیجه نهایی تقسیم کشور ایران به سه نواحی با بیشترین تشابه درون‌گروهی و بیشترین تفاوت برون‌گروهی از نظر متغیرهای تعداد روز بارشی شد. در ادامه از داده‌های سطوح فوقانی جو به‌منظور بررسی تغییرات مکانیزم‌های ایجاد بارش در دو دوره مطالعاتی پانزده‌ساله استفاده شد. داده‌های یادشده شامل داده‌های بازکاوی شده مؤلفه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل، باد مداری، باد نصف‌النهاری، امگا (مؤلفه سرعت قائم جو)، تاوایی سطح  $500$  هکتوپاسکال، و رطوبت ویژه سطح  $700$  به‌صورت میانگین روزانه و با تفکیک مکانی  $1 \times 1$  درجه از تارنمای مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌مدت جو (ECMWF) دریافت شد. روش به‌کاررفته برای نگاشت و تحلیل همدیدی روزهای اوج بارش روش محیطی به‌گردشی است. دلیل اصلی انتخاب این رویکرد به‌عنوان روش اصلی مطالعه این است که تغییرات مکانی و زمانی بارش بسیار شدیدتر از سایر متغیرهای اقلیمی است (یارنال، ۱۹۹۳). در ادامه، با توجه به رویکرد انتخابی این پژوهش، نخست روزهای اوج بارشی در نواحی مختلف با

استفاده از آمار روزانه بارندگی ایستگاه‌های همدیدی شناسایی شد. با توجه به اینکه دوره آماری مطالعاتی به دو بازه زمانی پانزده ساله (بازه مطالعاتی اول: ۱۹۸۴-۱۹۹۸ و بازه مطالعاتی دوم: ۱۹۹۹-۲۰۱۳) تقسیم شد، روزهای اوج بارشی برای هر ناحیه در هر دو بازه زمانی مشخص شد (برای هر بازه زمانی پنج روز اوج بارشی مشخص شد). سپس، به صورت کمی به بررسی و مقایسه تغییرات پارامترهای همدیدی در هر بازه زمانی مطالعاتی پرداخته شد. به منظور بررسی، تحلیل، و مقایسه تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیل در دو بازه زمانی، از مؤلفه‌های هسته مرکزی ناوه، پربند بیرونی ارتفاع ژئوپتانسیل، شیب ارتفاع (اختلاف ارتفاع هسته مرکزی با کنتور بیرونی) به متر، و دامنه ناوه (تفاوت محل قرارگیری هسته مرکزی با پربند بیرونی) به درجه استفاده شد (مفاخری، ۱۳۹۶). در ادامه، به منظور بررسی وضعیت حرکات عمودی جو، داده‌های حرکات قائم جوی در دو بازه زمانی استخراج شد تا مشخص شود در کدام بازه زمانی حرکات قائم جوی شدیدتر بوده است. در رابطه با تغییرات بیشترین مقدار منفی پارامتر سرعت قائم جو (پاسکال بر ثانیه)، بیشترین مقدار منفی امگا در ناحیه و بیشترین مقدار منفی سرعت قائم جو در کشور بررسی و تحلیل شد. سپس، برای بررسی تغییرات مقدار تاوایی، مقدار تاوایی هسته مرکزی و بیشترین مقدار تاوایی ناحیه مورد نظر بررسی شد. به دلیل اینکه تاوایی پتانسیلی در همه عرض‌های جغرافیایی به تاوایی نسبی و مطلق وابسته است، ولی از آنجا که در محاسبات این کمیّت مقادیر کم و ویژه مورد توجه و محاسبه قرار نمی‌گیرد، به نظر می‌رسد که استفاده از تاوایی پتانسیلی برای تعیین مسیر حرکت سامانه‌هایی همچون سامانه سودانی، که با مرکز بیشینه کم و ویژه همراه‌اند، مناسب نباشد. به همین دلیل، در این پژوهش در مطالعه همدیدی روزهای اوج بارش، به بررسی نقشه‌های تاوایی نسبی پرداخته شد. در ادامه، با استفاده از پارامتر همدیدی جریان باد، تغییرات واگرایی و همگرایی در دو بازه زمانی بررسی شد. شایان ذکر است که همه پارامترهای همدیدی یادشده به منظور مطالعه تأثیر تغییرات سیستم‌های میان‌تروپوسفری بر بارش ایران در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال بررسی شدند. انتخاب این سطح به دلیل وقوع بیشترین انقلابات جوی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی و کنترل مستقیم شرایط محیطی و وضع هوای سطح زمین توسط تغییرات فشار در این سطح انجام گرفته است. از پارامتر کم و ویژه در سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال به منظور رهگیری منبع رطوبتی بارش‌های اوج هر ناحیه استفاده شد. علت اصلی انتخاب این تراز جوی برای تعیین رطوبت بارش‌ها آن است که در بیشتر بارش‌های انجام‌گرفته فرارفت رطوبت در این سطح کاملاً قابل شناسایی است؛ شرایطی که در سایر سطوح وجود ندارد (خوش‌اخلاق و همکاران، ۱۳۹۱). بدین منظور، بیشترین مقدار کم و ویژه در ناحیه تحلیل شد. در نهایت، به ترسیم و تهیه نقشه‌ها از داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل، باد مداری، باد نصف‌النهاری، امگا، تاوایی سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال، و رطوبت ویژه سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال در نرم‌افزار Grads اقدام شد تا قابلیت تفسیر را فراهم کند.

## یافته‌های پژوهش

در فرایند ناحیه‌بندی ایران از لحاظ توالی روز بارش براساس تحلیل خوشه‌ای سلسله‌مراتبی، گستره ایران به سه پهنه تفکیک شد. شکل ۲ موقعیت نواحی همدیدی حاصل از روزهای بارشی را نشان می‌دهد: ناحیه ۱: این ناحیه که سواحل جنوب، جنوب شرق، و قسمت‌هایی از شرق، مرکز، و جنوب غرب ایران را در بر گرفته است، ایستگاه‌های بندر لنگه، کنارک، چابهار، زاهدان، بندرعباس، بم، زابل، ایرانشهر، کیش، آبادان، یزد، طبس، فسا، بوشهر، بیرجند، و کرمان را شامل می‌شود. ناحیه ۲: این ناحیه ایستگاه‌های کاشان، آباد، سمنان، اصفهان، اهواز، سبزواری، قم، شیراز، تربت حیدریه، همدان، سنندج، یاسوج، ایلام، خرم‌آباد، اراک، همدان نوژه، کرمانشاه، و سقز را شامل می‌شود. ناحیه ۳: سواحل دریای خزر، شمال غرب ایران، و قسمت‌هایی از شرق خزر و شمال شرق ایران است که ایستگاه‌های رشت، بابلسر، اردبیل، گرگان، پارس‌آباد، خوی، بجنورد، تبریز، قوچان، شاهرود، تهران، دوشان‌تپه، مراغه، کرج، قزوین، شهرکرد، مشهد، ارومیه، و زنجان را شامل می‌شود.

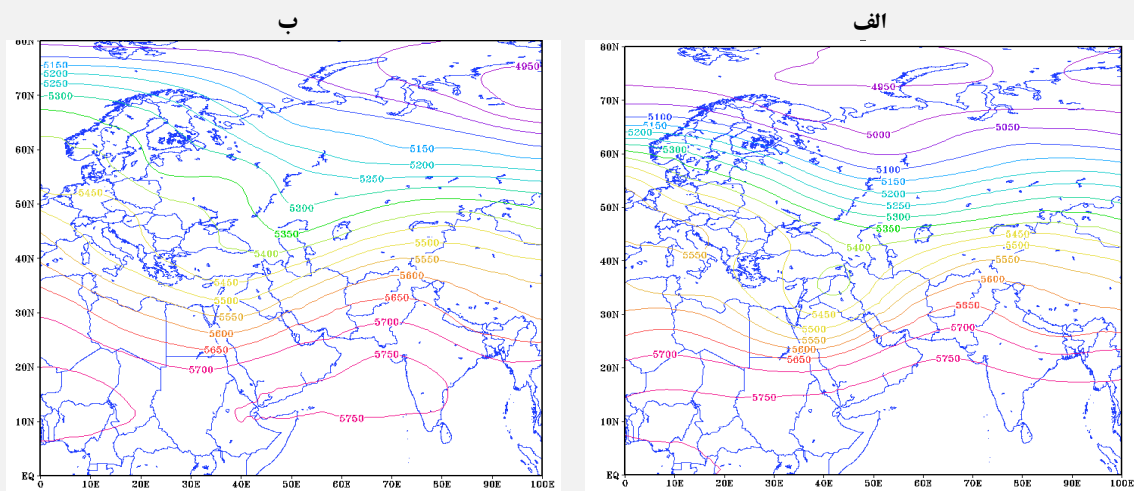


شکل ۲. موقعیت نواحی همدیدی حاصل از روزهای بارشی

با توجه به هدف پژوهش، تغییرات مؤلفه‌های ایجاد بارش اوج در هریک از نواحی بررسی شد. در ادامه به مقایسه تغییرات مؤلفه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل، سرعت قائم جو، تغییرات چرخندگی نسبی، جریان باد، و نم ویژه روزهای اوج بارشی در دو بازه زمانی پانزده‌ساله پرداخته شد.

### مقایسه تغییرات نقشه‌های میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل سطح میانی جو در روزهای اوج بارشی ناحیه ۱ در بازه زمانی اول (۱۹۸۴-۱۹۹۸) و دوم (۱۹۹۹-۲۰۱۳)

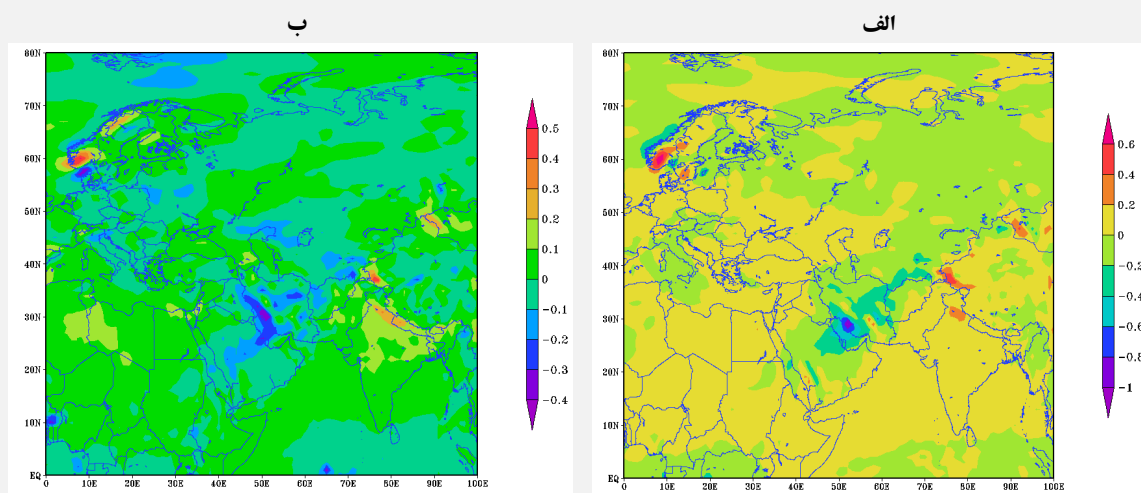
شکل ۳- الف میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل روزهای اوج بارشی را در بازه زمانی اول (۱۹۸۴-۱۹۸۸) نشان می‌دهد. ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در بازه زمانی اول ناوه در شرق دریای مدیترانه روی ترکیه و شمال عراق قرار گرفته است و محور ناوه در راستای شمال شرقی- جنوب غربی بر روی دریای سرخ قرار دارد. در این شکل ناوه واقع در تروپوسفر میانی کاملاً ایران را دربر گرفته است. گستردگی عرضی ناوه شرق مدیترانه از مدار ۳۵ درجه شمالی تا مدار ۱۵ درجه شمالی کشیده شده و قرارگیری قسمت تاوایی مثبت آن در سراسر ایران و از جمله سراسر ناحیه ۱ باعث ایجاد حرکات صعودی شده است. این عمیق شدن چرخند و نفوذ ناوه تا عرض‌های پایین، ریزش‌های سرد را باعث شده است. شکل ۳- ب نقشه میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل روزهای اوج بارشی در بازه زمانی دوم (۱۹۹۹-۲۰۱۳) را نشان می‌دهد. منطقه مورد مطالعه در شرق محور و در زیر منطقه واگرایی بالا و همگرایی زیرین است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در شکل ۳- الف، هسته مرکزی ارتفاع ژئوپتانسیل در بازه زمانی اول بیشتر از بازه دوم مطالعاتی است. به عبارت دیگر، هسته مرکزی در بازه اول ۵۴۰۰ ژئوپتانسیل متر است که در بازه دوم به ۵۳۵۰ ژئوپتانسیل متر کاهش یافته است. یعنی هسته مرکزی ناوه به عرض‌های بالاتری رفته و ناوه عمیق‌تر شده است. در دوره اول مطالعاتی جریانات جلوی ناوه حالت واگرا دارد؛ درحالی‌که در دوره دوم مطالعاتی، جریانات جنوب غربی واگرایی یا همگرایی نداشته و یک‌نواخت‌اند. از سوی دیگر، ملاحظه می‌شود که پربندها بر روی ناحیه مطالعاتی در این بازه مداری‌تر شده‌اند؛ به طوری‌که پربند بیرونی در بازه اول در عرض جغرافیایی ۱۵ درجه قرار گرفته، اما در بازه دوم آخرین منحنی ناوه به عرض‌های بالاتر رفته است. در بازه دوم، افزایش شیب ارتفاع نشان می‌دهد که بارش‌ها شدت بیشتری پیدا کرده و نسبت به بازه اول رگباری‌تر شده‌اند.



شکل ۳. نقشه میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال روزهای اوج بارشی ناحیه ۱ در بازه اول (الف) و دوم (ب)

مقایسه تغییرات نقشه میانگین امگای سطح میانی جو در روزهای اوج بارشی ناحیه ۱ در بازه زمانی اول (۱۹۹۸-۱۹۸۴) و دوم (۱۹۹۹-۲۰۱۳)

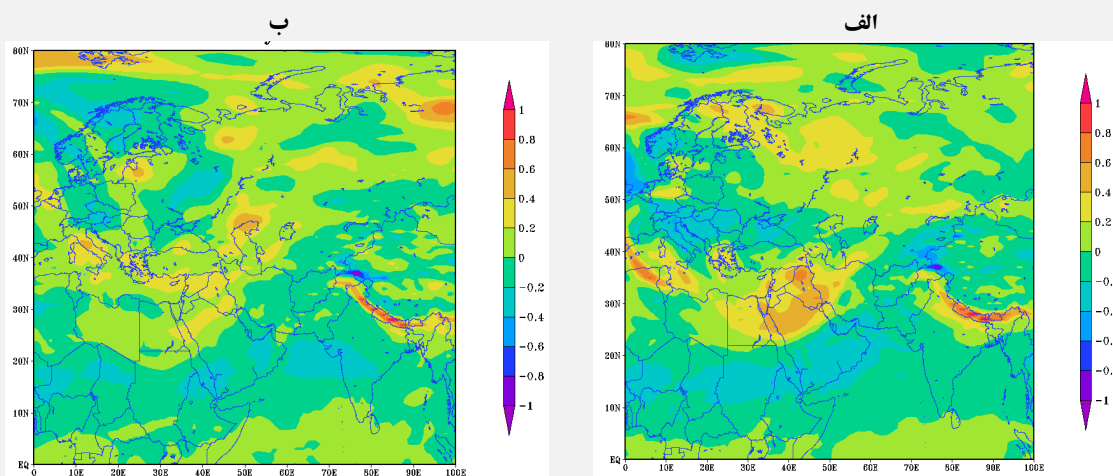
شکل ۴- الف نقشه میانگین سرعت قائم جو روزهای اوج بارشی در بازه زمانی اول (۱۹۹۸-۱۹۸۴) را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشینه امگا در ناحیه مورد مطالعه برابر با ۱- پاسکال بر ثانیه است و بیشترین وسعت ناحیه را امگا ۰/۲- پاسکال بر ثانیه دربر گرفته است. اما در بازه دوم مطالعاتی (شکل ۴- ب)، علاوه بر اینکه امگای منفی ناحیه مورد نظر کم شده است (۰/۴- پاسکال بر ثانیه)، وسعت بیشتری از ناحیه نیز مقدار امگای منفی کمتری نسبت به بازه اول دربر گرفته است. این حالت نشان می‌دهد شدت ناپایداری و صعود در بازه دوم کاهش یافته است. به عبارت دیگر، سطح امگای منفی در دوره اول بیشتر است و مقدار آن به ۱- می‌رسد. با توجه به اینکه امگای منفی ناپایداری و صعود هوا را نشان می‌دهد، دوره اول مرطوب‌تر از دوره دوم است.



شکل ۴. نقشه میانگین سرعت قائم جو سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال روزهای اوج بارشی ناحیه ۱ در بازه اول (الف) و دوم (ب)

### مقایسه تغییرات نقشه میانگین تاوایی نسبی سطح میانی جو در روزهای اوج بارشی ناحیه ۱ در بازه زمانی اول (۱۹۸۴-۱۹۹۸) و دوم (۱۹۹۹-۲۰۱۳)

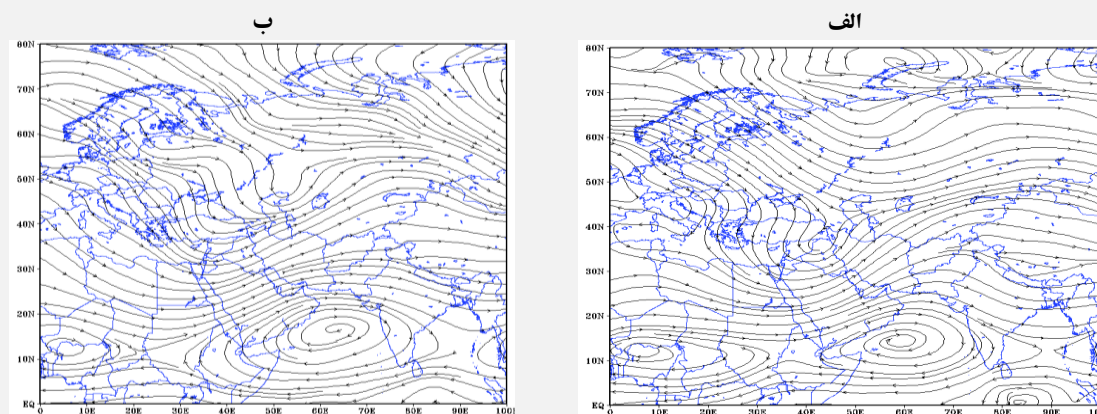
شکل ۵- الف نشان داد در بازه اول مطالعاتی موقعیت ناوه در غرب ایران روی ترکیه و عراق موجب شده تا مرکز و جنوب ایران در جلوی ناوه قرار گیرد و تاوایی مثبت و همراهی با رطوبت کافی دلیل بارش بیشتر در این دوره مطالعاتی باشد. اما بازه دوم (شکل ۵- ب)، به سبب نفوذ تاوایی منفی از جنوب به سمت مرکز ایران، نشان می‌دهد که با حرکت پُراارتفاع عربستان، بیشینه تاوایی مثبت در ناحیه مورد نظر کاهش یافته است. به تبع آن، بادهای غربی نیز به سوی عرض‌های بالا عقب‌نشینی می‌کنند. همان‌طور که مشخص است، در بیشتر وسعت ناحیه در بازه دوم تاوایی منفی و شرایط نزولی حکم‌فرما بوده است.



شکل ۵. نقشه میانگین تاوایی نسبی سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال روزهای اوج بارشی ناحیه یک در بازه اول (الف) و دوم (ب)

### مقایسه تغییرات نقشه‌های میانگین جریان باد سطح میانی جو در روزهای اوج بارشی ناحیه ۱ در بازه زمانی اول (۱۹۸۴-۱۹۹۸) و دوم (۱۹۹۹-۲۰۱۳)

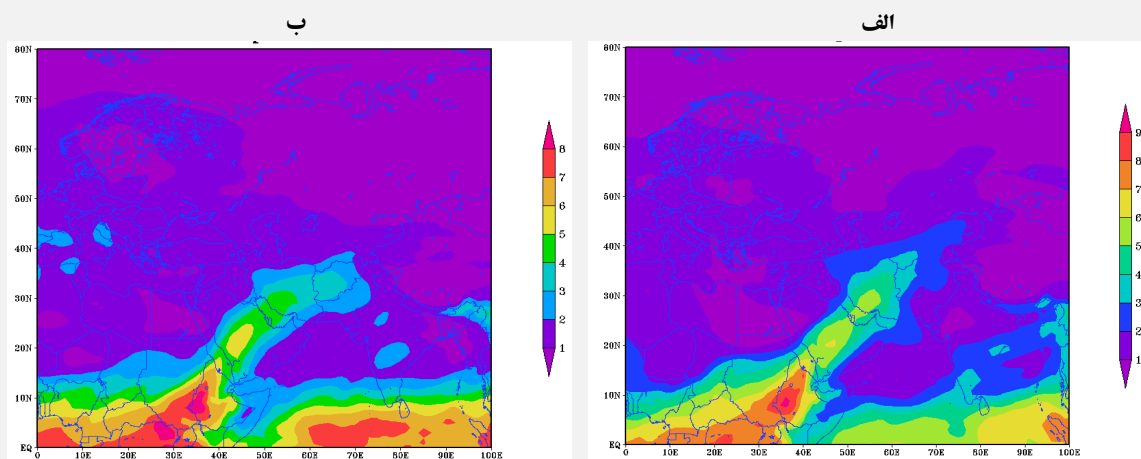
شکل ۶- الف نشان می‌دهد در بازه اول چرخند با حرکت پادساعت‌گرد خود هوای عرض‌های بالاتر را به درون ناوه غربی تزریق کرده و سبب عمیق‌شدن آن‌ها شده است و به دلیل قرارگیری در جلوی ناوه واگرایی شدید در ناحیه مطالعاتی مشاهده می‌شود. از سوی دیگر، جریان واچرخند با حرکت ساعت‌گرد بر روی دریای عرب مستقر است که زبانه‌های آن قسمت عمده‌ای از ناحیه مطالعاتی را دربر گرفته است که سبب انتقال هوای گرم و مرطوب دریای سرخ و خلیج فارس و افزایش بارش در منطقه شده است. به عبارت دیگر، نحوه قرارگیری پُراارتفاع عربستان سبب شده تا رطوبت سطحی با حرکات قائم بالاسو به ترازهای بالاتر و از جمله سطح ۷۰۰ هکتو پاسکال برسد. در بازه دوم مطالعاتی (شکل ۶- ب) چرخندی که از اسکانداویا آمده در این بازه نسبت به بازه اول ضعیف‌تر شده است و هوای سرد کمتری را به درون ناوه انتقال داده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، جریانات در بازه اول جنوب غربی هستند، اما در بازه دوم، به دلیل مداری‌ترشدن جریانات، از مقدار بارش کاسته شده است. مداری‌ترشدن جریانات باعث می‌شود تا بارش‌ها به صورت پراکنده رخ بدهند. از سوی دیگر، قرارگیری واچرخند عربستان، که ادامه پُرفشار آزور است و تقویت آن نسبت به بازه اول، باعث شده است که ناوه غربی به عرض‌های بالاتر برود و تأثیر سیستم‌های باران‌زا با دورشدن از ناحیه مطالعاتی کمتر از مقدار بارش در این ناحیه کاسته شود. به عبارت دیگر، می‌توان گفت که تقویت واچرخند عربستان باعث شده است که تأثیر رطوبتی دریای سرخ نسبت به دریای مدیترانه در بازه دوم بیشتر شود.



شکل ۶. نقشه میانگین جریان باد سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال روزهای اوج بارشی ناحیه ۱ در بازه اول (الف) و دوم (ب)

مقایسه تغییرات نقشه‌های میانگین نم ویژه سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال در روزهای اوج بارشی ناحیه ۱ در بازه زمانی اول (۱۹۸۴-۱۹۹۸) و دوم (۱۹۹۹-۲۰۱۳)

شکل ۷- الف نشان‌دهنده منابع رطوبت در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در هنگام رخداد بارش‌های اوج ناحیه در بازه مطالعاتی اول است. مشاهده می‌شود که حداکثر فرارفت هوای گرم و مرطوب در جلوی ناوه تراز فوقانی جو از روی خلیج فارس بر روی منطقه است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نوار رطوبتی از سمت جنوب غرب به سمت کل ناحیه مورد بررسی وجود دارد. این شرایط رطوبتی مناسب با عمیق‌بودن موج غربی توانسته است سبب وقوع بارش اوج در ناحیه مطالعاتی شود. بیشترین مقدار رطوبت در ناحیه مطالعاتی ۶ گرم در کیلوگرم است و بیشینه رطوبت در هسته پُراتفاح ۹ گرم در کیلوگرم بوده است. شکل ۷- ب نقشه میانگین نم ویژه سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال را در روزهای اوج در بازه دوم (۱۹۹۹-۲۰۱۳) نشان می‌دهد. آنچه مشخص است این است که میزان نم ویژه در دوره دوم مطالعاتی کاهش یافته است و همین امر سبب شده تا بارش بازه دوم نسبت به بارش بازه اول کاهش یابد. بیشینه میانگین نم ویژه پانزده سال دوم در ناحیه مطالعاتی ۴ گرم در کیلوگرم است که مقدار نم ویژه نسبتاً کمی است. شایان ذکر است که در بازه دوم مطالعاتی، گستردگی رطوبت دریای سرخ بیشتر بوده و مناطق بیشتری را تحت تأثیر خود قرار داده است؛ هرچند از میانگین بیشینه رطوبتی آن کاسته شده است. با توجه به اینکه هسته پُراتفاح عربستان در بازه دوم در اقیانوس هند تقویت شده است، نسبت رطوبت سودانی به منبع رطوبتی مدیترانه‌ای افزایش داشته است. مجموعه شرایط نشان می‌دهد پُراتفاح عربستان در بازه دوم تقویت شده و نقش کم‌فشار سودانی در بارش‌های ایران افزایش یافته است.

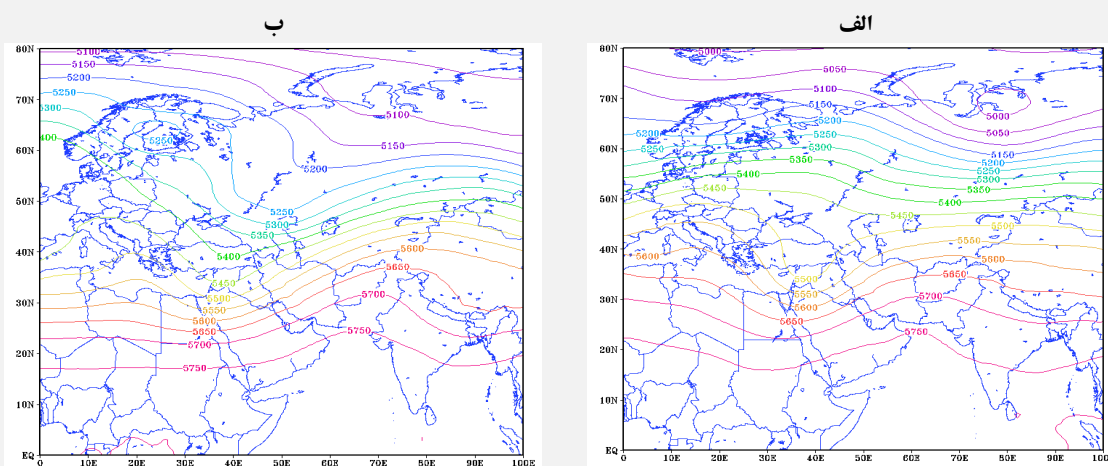


شکل ۷. نقشه میانگین رطوبت ویژه سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال روزهای اوج بارشی ناحیه ۱ در بازه اول (الف) و بازه دوم (ب)



### مقایسه تغییرات نقشه‌های میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل سطح میانی جو در روزهای اوج بارشی ناحیه ۲ در بازه زمانی اول (۱۹۸۴-۱۹۹۸) و دوم (۱۹۹۹-۲۰۱۳)

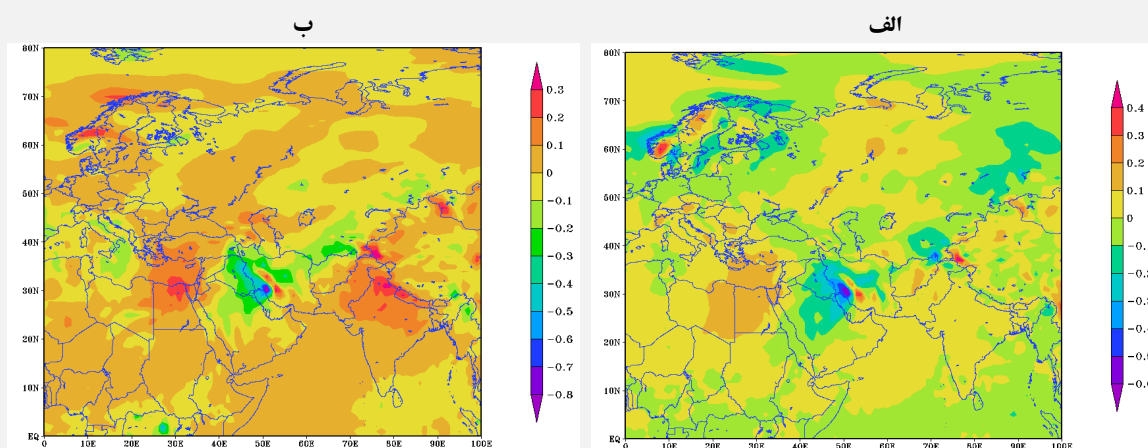
با توجه به نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال روزهای اوج بارش در بازه اول (شکل ۸-الف)، بسته شدن مرکز چرخندی با پریند مرکزی ۵۰۰۰ ژئوپتانسیل متر در شمال روسیه و گسترش شمال شرق به جنوب غرب آن به صورت ناوه دو دامنه شکل گرفته است. ناوه جنوبی آن در نیمه شرقی مدیترانه واقع شده است که ناحیه مورد مطالعه در بهترین حالت و در جلوی ناوه که با هوای گرم و مرطوب واگرا شده قرار گرفته است. در این الگو، ناوه عرض‌های بالاتر باعث تقویت ناوه شرق مدیترانه و شدت واگرایی بیشتر در آن شده است. پُراارتفاع واقع بر روی منطقه همگرایی دریای عرب در موقعیت مناسب جریان رطوبتی و اچرخندی خود را به نیمه شرقی ناوه فرارفت می‌کند. در این بازه مطالعاتی امکان شکل‌گیری کم‌فشارهای بریده (کاتاف لو) بیشتر بوده است و جریانات بر روی ناحیه مطالعاتی جنوب غربی تر بوده است. پربندها در بازه اول نصف‌النهاری تر بوده و قوس بیشتری داشته است. در بازه دوم مطالعاتی (شکل ۸-ب) ناوه به صورت یک پارچه با همان روند قبلی بر روی کشور کشیده شده و ناحیه مطالعاتی در جلوی ناوه قرار گرفته است. با عبور پربندهای نیمه شرقی ناوه از روی منابع آبی سرخ و خلیج فارس رطوبت این مناطق را بر روی ناحیه مطالعاتی منتقل کرده است. در این الگو پُراارتفاع واقع بر روی منطقه همگرایی دریای عرب کم‌عمق تر و در موقعیت نامناسب تر نسبت به الگوی اول قرار گرفته است. پُراارتفاع در بازه اول بر روی دریای عرب قرار گرفته، اما در بازه دوم بر روی پاکستان و هند قرار گرفته است.



شکل ۸. نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال روزهای اوج بارشی ناحیه ۲ در بازه اول (الف)، بازه دوم (ب)

### مقایسه تغییرات نقشه‌های میانگین امگا (سرعت قائم) سطح میانی جو در روزهای اوج بارشی ناحیه ۲ در بازه زمانی اول (۱۹۸۴-۱۹۹۸) و دوم (۱۹۹۹-۲۰۱۳)

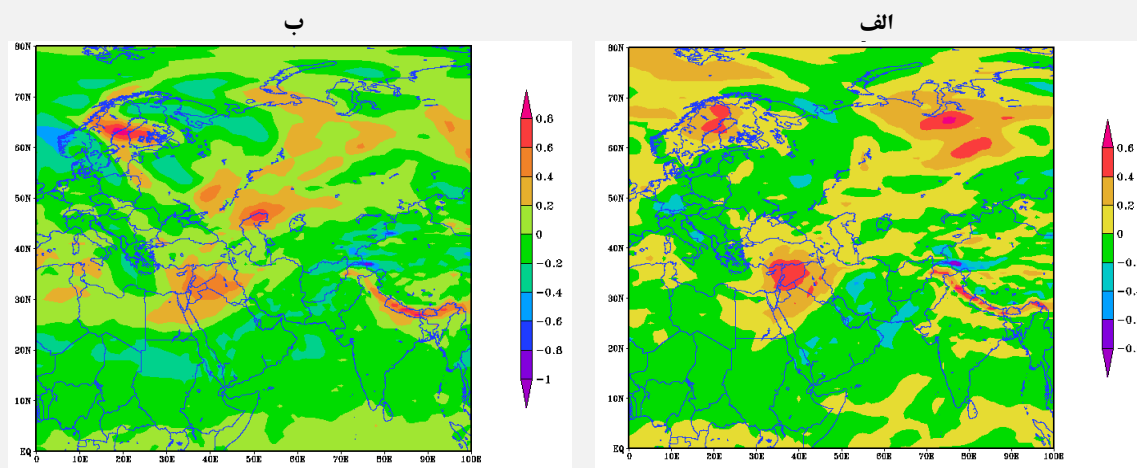
شکل ۹-الف نشان می‌دهد که در ناحیه مطالعاتی بیشینه امگای منفی ۰/۵- پاسکال بر ثانیه است. امگای ۰/۴- پاسکال بر ثانیه بیشترین وسعت از ناحیه را دربر گرفته است که به سمت شمال ناحیه روند کاهشی داشته و به ۰/۱- پاسکال بر ثانیه رسیده است. وجود مقادیر منفی امگا نقش همرفت را در تشدید بارش‌های ناحیه یادشده و صعود دینامیکی هوا را متذکر می‌شود. در این تراز جوی در بازه دوم مطالعاتی امگای منفی افزایش یافته و به ۰/۷- پاسکال بر ثانیه رسیده و به سمت شمال ناحیه این مقدار به ۰/۳- پاسکال بر ثانیه رسیده است. در این بازه نسبت به بازه اول شرایط برای صعود هوا فراهم‌تر بوده است.



شکل ۹. نقشه میانگین سرعت قائم جو سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال روزهای اوج بارشی ناحیه ۲ در بازه اول (الف) و بازه دوم (ب)

مقایسه تغییرات نقشه‌های میانگین تاوایی نسبی سطح میانی جو در روزهای اوج بارشی ناحیه ۲ در بازه زمانی اول (۱۹۸۴-۱۹۹۸) و دوم (۱۹۹۹-۲۰۱۳)

در شکل ۱۰-الف مشاهده می‌شود که در بیشتر بخش‌های ناحیه ۲، به‌جز بخش شمال غرب ناحیه یادشده، میانگین تاوایی روزهای اوج بارش در محدوده ۰/۲- ده هزارم پاسکال بر ثانیه است. این امر نشان می‌دهد واچرخند ضعیفی روی ناحیه مستقر است. در این منطقه، به‌تبع واچرخند ضعیف، حرکات نزولی ضعیفی در جریان است. اما در بازه دوم مطالعاتی (شکل ۱۰-ب) مشاهده می‌شود که در بیشتر ناحیه تاوایی مثبت برقرار است. به عبارت دیگر، چرخندی روی منطقه شکل گرفته است. شایان توجه است که در نیمه دوم مطالعاتی تغییرات ورتیسیته به سمت مثبت و چرخندزایی گرایش داشته است.

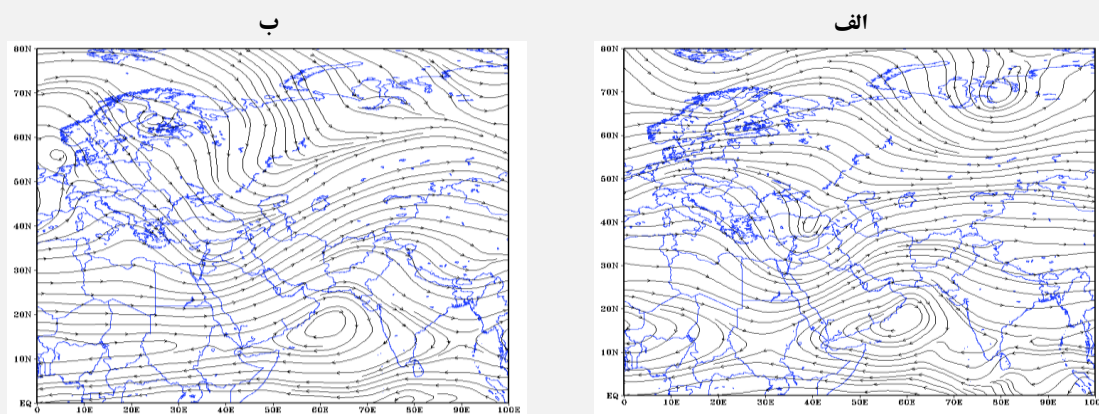


شکل ۱۰. نقشه تاوایی نسبی سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال روزهای اوج بارشی ناحیه ۲ در بازه زمانی اول (الف) و بازه دوم (ب)

مقایسه تغییرات نقشه‌های میانگین جریان باد سطح میانی جو در روزهای اوج بارشی ناحیه ۲ در بازه زمانی اول (۱۹۸۴-۱۹۹۸) و دوم (۱۹۹۹-۲۰۱۳)

همان‌طور که مشاهده می‌شود، در بازه اول مطالعاتی (شکل ۱۱-الف)، چرخند واقع در شرق مدیترانه، با حرکت پادساعت‌گرد خود، هوای سرد عرض‌های بالاتر را به درون ناوه غربی تزریق کرده و سبب عمیق شدن آن‌ها شده است. از سوی دیگر، پُراتفاح واقع در غرب منطقه همگرایی دریای عرب با محور شمال شرق- جنوب غرب قرار گرفته است و در موقعیت مناسب جریان رطوبتی واچرخندی خود را به نیمه شرقی ناوه فرارفت می‌کند. در این بازه مطالعاتی خطوط جریان

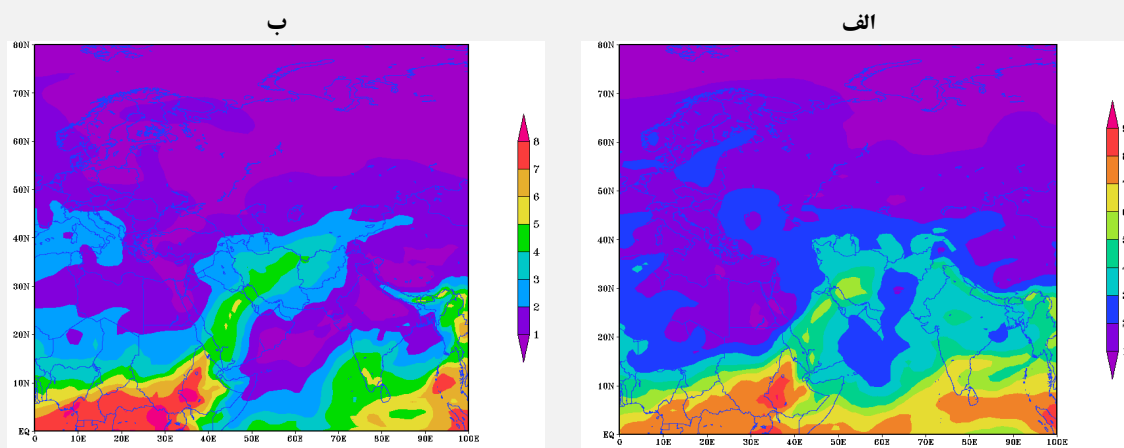
فشرده‌تر و ناوه عمیق‌تر است؛ در حالی که در بازه دوم خطوط جریان بازتر و با فاصله بیشتری است که نشان می‌دهد هوا پایدارتر است. در بازه دوم مطالعاتی (شکل ۱۱-ب)، بخش شرقی پُراتفعا بر روی خشکی قرار گرفته و به‌خوبی بر روی دریای عرب قرار نگرفته است. کشیدگی محور پُراتفعا شمالی- جنوبی است و قادر به فرارفت رطوبت کمتری نسبت به بازه اول است. در این بازه مطالعاتی جریانات یکدست‌ترند و چینش باد (اختلاف سرعت) کم شده است و جو باروتروپیک‌تر شده است، اما در بازه اول چون فشرده‌گی بیشتر است اثر جت جنب حاره بیشتر و چینش باد بیشتر است.



شکل ۱۱. نقشه میانگین جریان باد سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال روزهای اوج بارشی ناحیه ۲ در بازه اول (الف) و بازه دوم (ب)

مقایسه تغییرات نقشه‌های میانگین نم ویژه سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال در روزهای اوج بارشی ناحیه ۲ در بازه زمانی اول (۱۹۸۴-۱۹۹۸) و دوم (۱۹۹۹-۲۰۱۳)

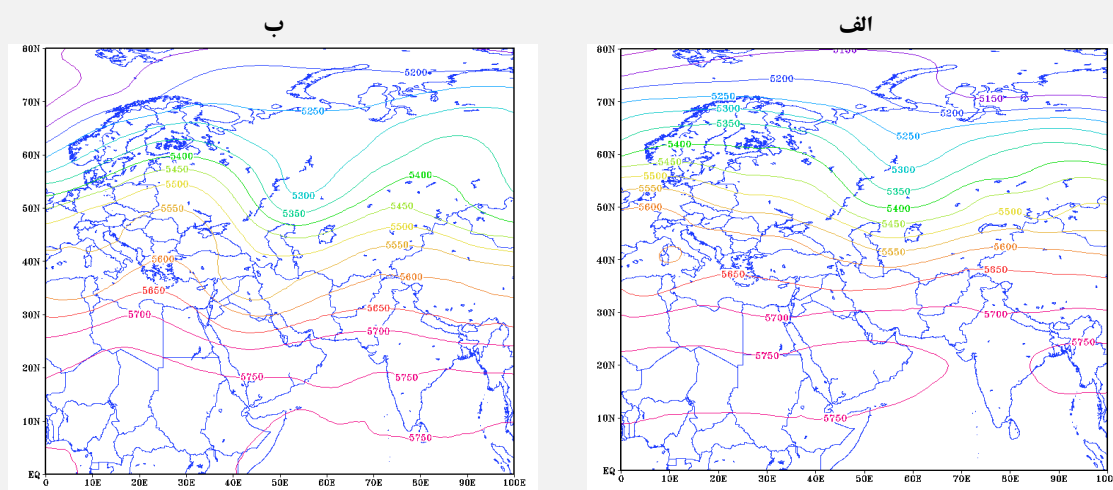
شکل ۱۲- الف نشان‌دهنده منابع رطوبت در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در هنگام رخداد بارش‌های اوج ناحیه است. حداکثر فرارفت هوای گرم و مرطوب در جلوی ناوه تراز فوقانی جو از روی خلیج فارس بر روی منطقه است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نوار رطوبتی از سمت جنوب غرب وارد ایران شده است. بیشترین وسعت ناحیه را میانگین رطوبت ویژه با مقدار ۴ گرم در کیلوگرم دربر گرفته است. بیشینه رطوبت در ناحیه برابر با ۷ گرم در کیلوگرم است. در بازه دوم مطالعاتی (شکل ۱۲-ب) رطوبت در لایه ضخیمی از جو در امتداد جریان‌ها نشان داده شده است. اما بیشینه نم ویژه در بازه دوم در ناحیه مطالعاتی کاهش یافته و به ۵ گرم در کیلوگرم رسیده است. کاهش رطوبت ویژه در این بازه باعث کاهش میانگین بارش در بازه دوم مطالعاتی شده است.



شکل ۱۲. نقشه میانگین رطوبت ویژه سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال روزهای اوج بارشی ناحیه دو در بازه اول (الف) و بازه دوم (ب)

### مقایسه تغییرات نقشه‌های میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل سطح میانی جو روزهای اوج بارشی ناحیه ۳ در بازه زمانی اول (۱۹۸۴-۱۹۹۸) و دوم (۱۹۹۹-۲۰۱۳)

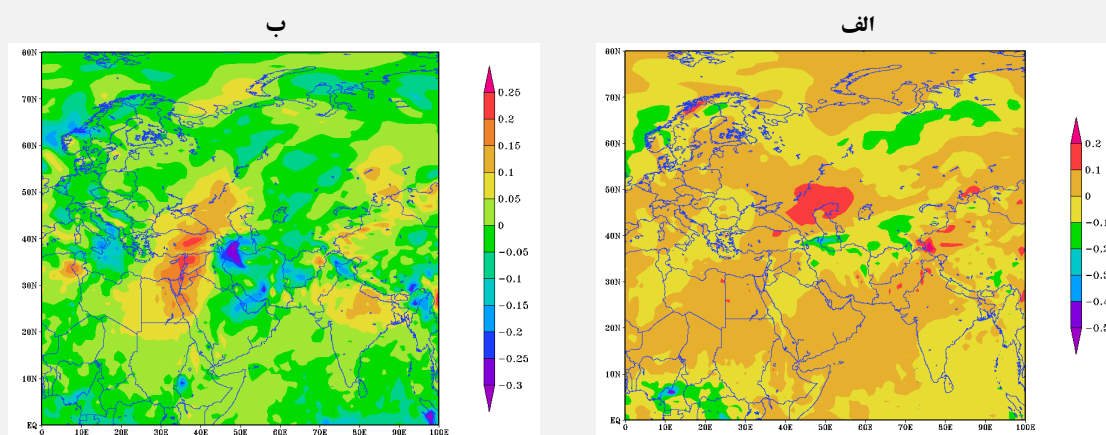
با توجه به نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال روزهای اوج بارشی ناحیه ۳ (شکل ۱۳-الف)، ناوه با محور حاصل از کم ارتفاع شمال روسیه با راستای شمالی-جنوبی بر روی ناحیه قرار گرفته است. پربندهای مداری ناوه سراسر ناحیه و کشور را دربر گرفته است. ناحیه مطالعاتی در جنوب ناوه قرار گرفته است. با توجه به عبور پربندها از روی منابع آبی دریای مدیترانه و سیاه، همچنین قرارگیری زبانه‌های پُرافتخا جنب حاره بر روی سرزمین عربستان، نقش مسلم تغذیه رطوبتی منابع آبی جنوب حذف شده‌اند و منابع آبی غربی (مدیترانه و سیاه) نقش فرارفت رطوبت را ایفا کرده‌اند. یک مرکز بسته با مقدار ۵۶۲۵ ژئوپتانسیل متر در غرب مدیترانه به صورت غیرمستقیم روی ناوه جلو واقع در روی ایران تأثیر گذاشته و با ارسال رطوبت باعث تقویت ناوه و افزایش بارش در بازه اول مطالعاتی شده است. در بازه دوم مطالعاتی (شکل ۱۳-ب)، با نفوذ بیشتر ناوه بر روی ناحیه تا جنوب عربستان مواجهیم که راستای محور ناوه به صورت شمالی-جنوبی از نیمه غربی ایران عبور کرده است. ناحیه مطالعاتی، به ویژه شمال شرق کشور، تا حدی در جلوی ناوه واقع شده است و میانگین بارش‌های سالانه در این بخش از ناحیه در بازه دوم افزایشی است. با توجه به عبور پربندها از روی دریای مدیترانه و سیاه به سمت نوار شمالی کشور، نقش فرارفت رطوبت متعلق به منابع آبی غربی است. در بازه دوم چون شمال غرب ایران در پشت ناوه قرار گرفته است، هوای سرد نزول کرده و بارش‌ها در این بخش از ناحیه کم شده است.



شکل ۱۳. نقشه میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال روزهای اوج بارشی ناحیه ۳ در بازه اول (الف) و دوم (ب)

### مقایسه تغییرات نقشه‌های میانگین سرعت قائم سطح میانی جو روزهای اوج بارشی ناحیه ۳ در بازه زمانی اول (۱۹۸۴-۱۹۹۸) و دوم (۱۹۹۹-۲۰۱۳)

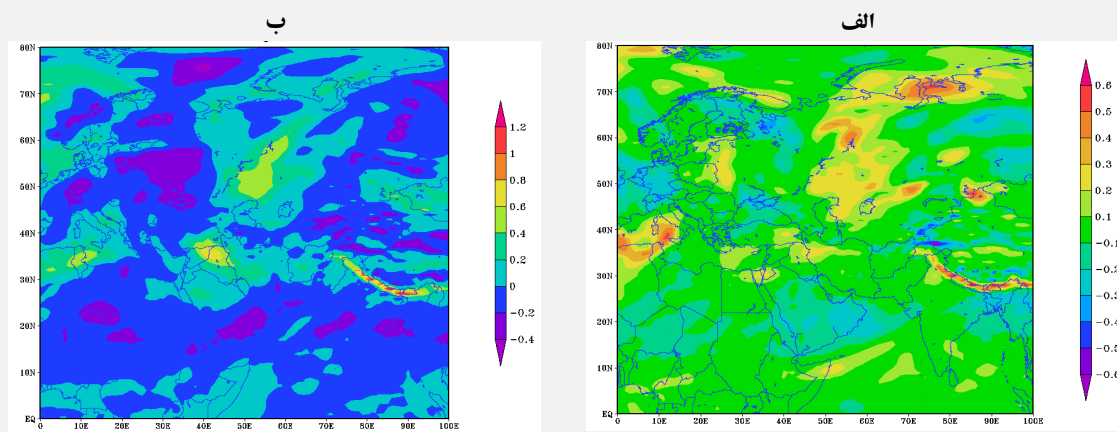
نقشه میانگین سرعت قائم جو در بازه اول مطالعاتی (شکل ۱۴-الف) نشان می‌دهد که مقدار امگا از جنوب به سمت شمال کشور روند افزایشی داشته است. میانگین بیشینه امگا در ناحیه مطالعاتی برابر با  $0.2$  پاسکال بر ثانیه بوده و بیشتر وسعت ناحیه را  $0.1$  پاسکال بر ثانیه دربر گرفته است. در بازه دوم مطالعاتی (شکل ۱۴-ب) کل ناحیه را امگای منفی دربر گرفته و شرایط برای صعود فراهم بوده است و صعود هوا نسبت به بازه اول تشدید شده است. بیشینه امگا در مرکز ناوه واقع بر روی غرب ناحیه برابر با  $0.35$  پاسکال بر ثانیه مشاهده می‌شود.



شکل ۱۴. نقشه میانگین سرعت قائم جو سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال روزهای اوج بارشی ناحیه ۳ در بازه اول (الف) و دوم (ب)

مقایسه تغییرات نقشه‌های میانگین تاوایی نسبی سطح میانی جو روزهای اوج بارشی ناحیه سه در دو بازه زمانی اول (۱۹۸۴-۱۹۹۸) و دوم (۱۹۹۹-۲۰۱۳)

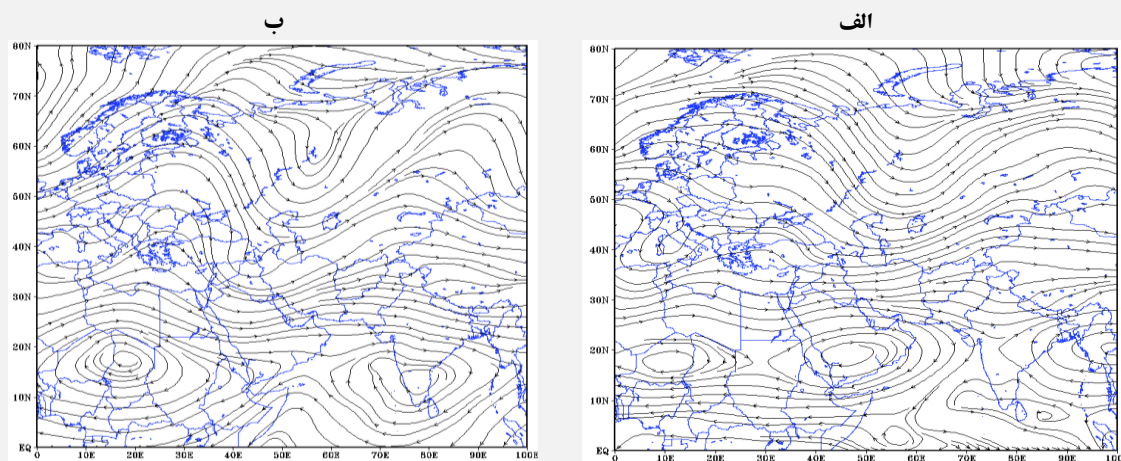
میانگین تاوایی نسبی در بازه اول (شکل ۱۵- الف) نشان می‌دهد که بیشتر منطقه را تاوایی منفی دربر گرفته و شرایط نزولی حکم‌فرما بوده است. بیشینه تاوایی در ناحیه برابر با ۰/۳ ده هزارم پاسکال بر ثانیه است که به صورت زبانه‌ای غربی- شرقی قرار گرفته است. در بازه دوم (شکل ۱۵- ب) هسته مرکزی تاوایی ۰/۸ ده هزارم پاسکال بر ثانیه است که در غرب ایران قرار گرفته است. بیشتر وسعت منطقه را تاوایی ۰/۲ ده هزارم پاسکال بر ثانیه دربر گرفته است و شرایط صعود نسبت به بازه اول بهتر و بر مقدار تاوایی مثبت افزوده شده است.



شکل ۱۵. نقشه میانگین تاوایی نسبی جو سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال روزهای اوج بارشی ناحیه ۳ در بازه اول (الف) و دوم (ب)

مقایسه تغییرات نقشه‌های میانگین جریان باد سطح میانی جو روزهای اوج بارشی ناحیه ۳ در دو بازه زمانی اول (۱۹۸۴-۱۹۹۸) و دوم (۱۹۹۹-۲۰۱۳)

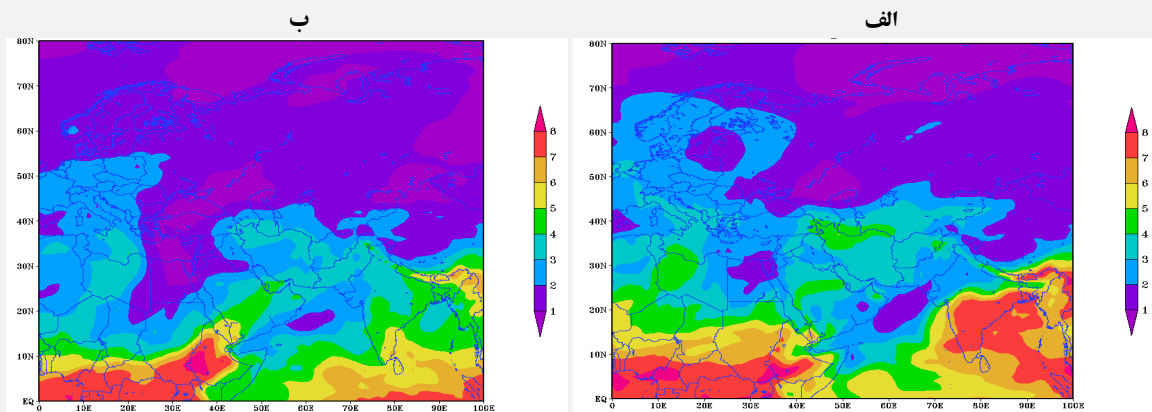
میانگین جریان باد روزهای اوج بارشی در بازه اول (شکل ۱۶- الف) نشان می‌دهد که کم‌ارتفاع غرب دریای مدیترانه رطوبت دریای مدیترانه و سیاه را با حرکت پادساعت‌گرد به درون ناوه انتقال می‌دهد و کم‌ارتفاع عرض‌های بالاتر، که مرکز آن در ارتفاع ۵۳۰۰ متری قرار گرفته است، هوای سرد عرض‌های بالاتر را به درون ناوه و بر روی دریای خزر انتقال و باعث تقویت ناوه و افزایش شیب ارتفاع می‌شود. در عرض‌های پایین‌تر هسته مرکزی پُراارتفاع عربستان بر روی خشکی واقع شده است و سهم فرارفت رطوبت منابع آبی جنوب بر روی ناحیه ۳ نسبت به نواحی دیگر بسیار کمتر است.



شکل ۱۶. نقشه میانگین جریان باد سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال روزهای اوج بارشی ناحیه ۳ در بازه زمانی اول (الف) و دوم (ب)

مقایسه تغییرات نقشه‌های میانگین نم ویژه سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال روزهای اوج بارشی ناحیه ۳ در بازه زمانی اول (۱۹۸۴-۱۹۹۸) و دوم (۱۹۹۹-۲۰۱۳)

نقشه میانگین رطوبت ویژه روزهای اوج بارشی در بازه اول (شکل ۱۷- الف) نشان می‌دهد که حداکثر فرارفت هوای گرم و مرطوب در جلوی ناوه تراز فوقانی جو از روی دریای مدیترانه و سیاه با توجه به مداری بودن پربندهای مستقیم بر روی ناحیه فرارفت شده است. کل منطقه مطالعاتی را رطوبت با مقدار ۵ گرم بر کیلوگرم دربر گرفته است (شکل ۱۷- ب). آنچه مشخص است این است که میزان نم ویژه در دوره دوم مطالعاتی کاهش یافته و همین امر سبب شده تا بارش بازه دوم نسبت به بازه اول کاهش یابد. بیشینه میانگین نم ویژه پانزده سال دوم، که کل ناحیه را دربر گرفته است، ۳ گرم در کیلوگرم است که مقدار نم ویژه نسبتاً کمی است.



شکل ۱۷. نقشه میانگین رطوبت ویژه سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال روزهای اوج بارشی ناحیه ۳ در بازه اول (الف) و دوم (ب)

### نتیجه گیری

در فرایند ناحیه بندی ایران از لحاظ هفت متغیر روز بارش، براساس تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی، گستره ایران به سه پهنه تفکیک شد. در هر یک از نواحی به مقایسه تغییرات مؤلفه‌های بارش پرداخته شد. نتایج نشان داد در ناحیه ۱، در بازه دوم مطالعاتی (۱۹۹۹-۲۰۱۳) دامنه ناوه کاهش و عمق ناوه افزایش یافته است. از سوی دیگر، تقویت واچرخند عربستان باعث بالا رفتن مرکز بسته ناوه به عرض‌های بالاتر شده است که این حالت سبب شده تأثیر منابع رطوبتی

مدیترانه در بارش‌های ایران کاهش یابد و نقش منابع رطوبتی دریای سرخ بیشتر شود. همچنین، مشخص شد افزایش شیب ارتفاع در بازه دوم مطالعاتی باعث افزایش شدت بارش‌ها و رگباری‌تر شدن بارش در ناحیه یادشده شده است که با نتایج علیچانی و همکاران (۲۰۰۸)، که نشان دادند سهم بسیار زیادی از بارش سالانه در تعداد کمی از بارش‌های با شدت بالا به دست می‌آید، مطابقت دارد. مطالعه مؤلفه امگا نشان داد که در بازه دوم مطالعاتی، میانگین امگای منفی روزهای اوج بارش ناحیه مورد نظر کم شده است و همچنین بر بیشتر وسعت ناحیه در بازه دوم تاوایی منفی و شرایط نزولی حکم‌فرما بوده است. به عبارت دیگر، می‌توان گفت که تقویت و اچرخند عربستان نسبت به بازه اول باعث شده است که ناوه غربی به عرض‌های بالاتر برود و تأثیر سیستم‌های باران‌زا با دور شدن از ناحیه مطالعاتی کمتر و از مقدار بارش در این ناحیه کاسته شود. همچنین، مشخص شد که جهت جریانات باد در بازه اول جنوب غربی است. اما در بازه دوم به دلیل مداری‌تر شدن جریانات از مقدار بارش کاسته شده است. زیرا مداری‌تر شدن جریانات باعث می‌شود بارش‌ها به صورت پراکنده رخ بدهد. آنچه تأمل‌کردنی است این است که میزان نم ویژه در دوره دوم مطالعاتی نیز کاهش یافته است و این امر می‌تواند نشان دهد که بارش بازه دوم نسبت به بازه اول کاهش یافته است. در مطالعه میانگین مؤلفه‌های همدیدی ناحیه دو مشخص شد که در بازه اول مطالعاتی (۱۹۸۴-۱۹۹۸)، ناحیه مورد مطالعه در جلوی ناوه، که با هوای گرم و مرطوب واگرا شده، قرار گرفته است. در بازه دوم مطالعاتی (۱۹۹۹-۲۰۱۳)، پُراارتفاع واقع بر روی منطقه همگرایی دریای عرب نسبت به بازه اول مطالعاتی کم‌عمق‌تر شده است. نتایج نشان داد که، علاوه بر تأثیر سایر مؤلفه‌های بارش، کاهش رطوبت ویژه بازه دوم باعث کاهش میانگین بارش در بازه دوم مطالعاتی شده است. با وجود اینکه در بازه دوم مطالعاتی مؤلفه امگا کاهش و چرخندگی افزایش پیدا کرده و شرایط صعود در ناحیه مطالعاتی نسبت به بازه اول بهتر بوده است، به نظر می‌رسد در بازه دوم مطالعاتی بخش شرقی پُراارتفاع بر روی خشکی قرار گرفته و به‌خوبی بر روی دریای عرب واقع نشده است. از سوی دیگر، کشیدگی محور پُراارتفاع شمالی- جنوبی قادر به فرارفت رطوبت کمتری نسبت به بازه اول است و از مقدار بارش در ناحیه دو کاسته شده است. در مطالعه میانگین مؤلفه‌های همدیدی ناحیه سوم مشخص شد که در بازه اول مطالعاتی (۱۹۸۴-۱۹۹۸)، با توجه به عبور پربندها از روی منابع آبی دریای مدیترانه و سیاه، همچنین قرارگیری زبانه‌های پُراارتفاع جنب حاره بر روی سرزمین عربستان نقش مسلم تغذیه رطوبتی منابع آبی جنوب حذف شده‌اند و منابع آبی غربی (مدیترانه و سیاه) نقش فرارفت رطوبت را ایفا کرده‌اند. در بازه دوم مطالعاتی، بخش بیشتر ناوه بر روی ناحیه تا جنوب عربستان نفوذ کرده است که راستای محور ناوه به صورت شمالی- جنوبی از نیمه غربی ایران عبور کرده است. ناحیه مطالعاتی به‌ویژه شمال شرق کشور تا حدی در جلوی ناوه واقع شده است و میانگین بارش‌های سالانه در این بخش از ناحیه در بازه دوم افزایشی است. با توجه به عبور پربندها از روی دریای مدیترانه و سیاه به سمت نوار شمالی کشور، نقش فرارفت رطوبت متعلق به منابع آبی غربی است. در بازه دوم چون شمال غرب ایران در پشت ناوه قرار گرفته و هوای سرد نزول کرده است، بارش‌ها در این بخش از ناحیه کم شده است. مطالعه مؤلفه‌های امگا و تاوایی نشان می‌دهد که از جنوب به شمال کشور در بازه دوم هر دو روند افزایشی داشته است.

## منابع

- احمدی، م. (۱۳۹۴). واکاوی بارش فوق‌سنگین ۲۳ اسفند ۱۳۹۲ مولد سیلاب مخرب در شهرستان بندرعباس، مجله دانش مخاطرات، ۲(۳): ۳۰۷-۳۲۴.
- بابایی فینی، ا. و فرج‌زاده، م. (۱۳۸۱). الگوهای تغییرات مکانی و زمانی بارش در ایران، برنامه‌ریزی و آمایش فضا، ۶(۴): ۵۱-۷۶.
- بابایی فینی، ا. و فرج‌زاده، م. (۱۳۸۲). نمایه‌های مکانی بارش و تغییرات آن در ایران، سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم، اصفهان.
- خوش‌اخلاق، ف.؛ نبوی، س.ا. و عباسی، ا. (۱۳۹۱). تحلیل سامانه‌های هم‌دید بارش‌های شدید دوره سرد سال در استان‌های خراسان رضوی و شمالی، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی (دانشگاه تبریز)، ۱۶(۴۰): ۹۷-۱۱۸.
- علیزاده، ا. (۱۳۸۵). اصول هیدرولوژی کاربردی، چ ۷، مشهد: دانشگاه امام رضا.
- کرم‌پور، م.؛ زارعی چقابلکی، ز.؛ میرهاشمی، ا. و رستمی فتح‌آبادی، م. (۱۳۹۵). تحلیل هم‌دید- ترمودینامیک مخاطره سیلاب‌های لحظه‌ای ناشی از بارش‌های رگباری مناطق کوهستانی (حوضه قره‌سو)، مجله دانش مخاطرات، ۳(۱): ۷۵-۹۰.
- گندم‌کار، ا. (۱۳۸۹). بررسی هم‌دید بارش‌های شدید در نواحی جنوبی استان بوشهر، مجله چشم‌انداز جغرافیایی، ۴(۱۰): ۱۴۳-۱۵۷.
- گندم‌کار، ا. و خادم‌الحسینی، ا. (۱۳۸۸). بررسی روند تغییرات بارش در زابل، مجله آمایش محیط، ۶(۶۵-۷۷).
- مسعودیان، ا. و عطایی، ه. (۱۳۸۳). شناسایی فصول بارشی ایران به روش تحلیل خوشه‌ای، مجله علوم انسانی دانشگاه اصفهان، ۱۸: ۱-۱۲.
- مفاخری، ا. (۱۳۹۶). تأثیر تغییرات سیستم‌های میان تروپوسفری بر تمرکزگرایی بارش ایران، رساله دکتری اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه خوارزمی تهران.
- منتظری، م. (۱۳۸۸). تحلیل زمانی- مکانی بارش‌های فرین روزانه در ایران، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۰(۳۴): ۱۲۵-۱۴۰.
- یارنال، ب. (۱۹۹۳). اقلیم‌شناسی هم‌دید و کاربرد آن در مطالعات محیطی، ترجمه ابوالفضل مسعودیان، ۱۳۸۵، اصفهان: انتشارات دانشگاه اصفهان.
- Ahmadi, M. (2016). Extra heavy rainfall study 13 March 2016 The destructive flooding factor in Bandar Abbas, Knowledge of hazards, 2(3): 307-324.
- Alijani, B.; O'Brien, J. and Yarnal, B. (2008). Spatial analysis of precipitation intensity and concentration in Iran, Theoretical and Applied Climatology, 94: 107-124.
- Alizadeh, A. (2006). Principales of applied hydrology, Seventh Edition, University of Imam Reza, Mashhad. 912p.
- Babaei Feini, O. and Farajzadeh, M. (2002). Patterns of spatial and temporal variations in rainfall in Iran, Journal of Spatial Planning, 6(4): 51-76.
- Babaei Feini, O. and Farajzadeh, M. (2003). Spatial Indexs of precipitation and its changes in Iran, Third Regional Conference and First National Conference on Climate Change, Isfahan.
- Carla Lima, K.; Satyamurty, P. and Reyes Fernández, J.P. (2009). Large-Scale Atmospheric Conditions Associated with Heavy Rainfall Episodes in Southeast Brazil, Theoretical and Applied Climatology, Springer Wien, DOI. 10.1007/s00704-009-0207-9.



- Croitoru, A-E.; Piticar, A. and Burada, D. (2015). Changes in precipitation extremes in Romania, *Quaternary International*, PP. 1-11.
- Dayan, U.; Margalit, Z.B. and Sharon, M.E. (2001). A Severe Autumn Storm Over the Middle, East: Synoptic and Mesoscale Convection Analysis, *Theoretical and Applied Climatology*, 69: 103-122.
- Deluis, M.; Gonzaales-hidalgo, J.; Longares, L.A. and Stepank, P. (2009). Seasonal Precipitation Trends in the Mediterranean Iberian Peninsula in Second half of 20th Century, *International Journal of Climatology*, 29: 1312-1323.
- Elagib, N.A. (2010). Exploratory analysis of rain days in central Sudan, *Meteorology and Atmospheric Physics*, 109: 47-59.
- Gandomkar, A. and Khadem al-Husseini, A. (2009). Study the trend of rainfall changes in Zabol, *Journal of Environmental*, 6: 56-77.
- Gandomkar, A. (2010). Synoptic study of severe rainfall in the southern regions of Bushehr province, *Journal of Geographic Perspectives*, 4(10): 143-157.
- Karampour, M.; Zarei Chaghabalki, Z.; Mir Hashemi, A. and Rostami Fath Abadi, M. (2016). Synoptic analysis - Thermodynamics of the instantaneous flood hazards caused by rainfall in mountainous regions (Ghareh Souh basin), *Journal of hazard knowledge*, 3(1): 75-90.
- Khosh Akhlagh, F.; Nabavi, S.A. and Abbasi, A. (2012). Analysis Synoptic Systems of Severe Precipitation Cold period of year in Razavi and Northern Khorasan Provinces, *Journal of Geography and Planning (Tabriz University)*, 16(40): 97-118.
- Limsakul, A. and Singhruck, P. (2016). Long-term trends and variability of total and extreme precipitation in Thailand, *Atmospheric Research*, 169: 301-317.
- Manea, A.; Birsan M.; Tudorache G.; Cărbunaru, F. and Changes, A. (2016), Changes in the type of precipitation and associated cloud types in Eastern Romania (1961–2008), *Atmospheric Research*, 169: 357-365.
- Mafakheri, O. (2017). Effect of mid-troposphere systems variation over Iran's precipitation concentration, Thesis for Ph.D degree climatology, Supervisor: Dr Mohammad Saligheh, Department of Geography, Kharazmi University of Tehran.
- Masoodian, A. and Ataie, H. (2005). Identify the rainy seasons of the cluster analysis, *Journal of Research university Eesfahan*, 18: 1-12.
- Montazeri, M. (2009). Analysis of temporal-spatial rainfall of hazardous daily in Iran, *Journal of Geography and Environmental Planning*, 20(34):125-140.
- Yarnal, B. (2006). Synoptic climatology and its application in environmental studies, Translation by Abolfazl Masoudian, Isfahan University Publishers, Isfahan.