

## تشخیص منابع تأمین رطوبت و مسیر دقیق حرکت توده‌های هوای مرطوب مؤثر بر بارش‌های سیل آسا در غرب و جنوب ایران (مطالعه موردی: سیل ۷ و ۲۰ آبان ۱۳۹۴)

ناهید شادمانی<sup>۱</sup>، محمدعلی نصرافهانی<sup>۲\*</sup>، و احمدرضا قاسمی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد منابع آب، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران  
<sup>۲</sup> استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۲۰، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۲۲)

### چکیده

هدف مطالعه حاضر، بررسی منابع رطوبت و مسیر حرکت آن برای دو رویداد سیل شدید در غرب و جنوب ایران است. برای این هدف از الگوریتمی استفاده شده است که در سال‌های اخیر برای بررسی انتقال رطوبت از نواحی حاره‌ای به عرض‌های میانی توسعه داده شده است. بارش‌های سیل آسای منتخب در غرب و جنوب ایران به ترتیب روزهای ۶ تا ۹ آبان ۱۳۹۴ (۲۸ تا ۳۱ اکتبر ۲۰۱۵) و ۱۹ تا ۲۱ آبان ۱۳۹۴ (۱۰ تا ۱۲ نوامبر ۲۰۱۵) رخ داده‌اند که خسارت‌های سنگینی را برجای گذاشتند. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش، داده‌های تحلیل شده GFS با قدرت تفکیک نیم درجه در راستاهای طول و عرض جغرافیایی بودند که برای محاسبه انتگرال قائم بزرگی شار افقی بخار آب به کار رفتند. علاوه بر این، مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری شار نیز جهت بررسی بیشتر ترسیم و تحلیل شده‌اند. نتایج نشان داد که برای سیل غرب ایران، دریای عرب و دریای سرخ تقریباً سهم یکسانی در تأمین منبع رطوبت بارش رخ داده دارند ولی مسیر حرکت بیانگر این است که منبع اصلی و مسیر حرکت رطوبت از سوی دریای سرخ است. اما برای سیل جنوب ایران، منبع اصلی تأمین رطوبت در روزهای قبل از بارش، نواحی جنوبی دریای سرخ است ولی در روزهایی که با بارش همراه بوده است، خلیج فارس نقش اساسی در تأمین رطوبت آن دارد و دریای سرخ و دریای عرب در زمان بارش نقش مهمی در تأمین رطوبت ندارند.

**واژه‌های کلیدی:** بارش‌های سیل آسا، انتگرال قائم شار بخار آب، منبع رطوبتی، دریای سرخ، سیل

## ۱ مقدمه

سیل از مهیب‌ترین بلایای طبیعی شناخته شده است و خسارات مالی، جانی و زیست‌محیطی بسیاری را به همراه دارد. اگرچه ایران کشوری خشک و نیمه خشک است و میانگین بارش آن یک‌سوم متوسط جهانی است (کردوانی، ۱۳۷۱)، با این حال رخداد سیل از جمله حوادث طبیعی آن است. با وجود تعریف سیل و شناخته شدن آن به‌عنوان یکی از بلایای طبیعی و وقوع هر ساله آن در ایران، نه تنها خسارت ناشی از سیل کاهش نیافته بلکه رو به فزونی نیز هست. لذا برنامه‌ریزی و تلاش در جهت کاهش این خسارات امری ضروری است. در پاییز سال ۱۳۹۴ وقوع بارش‌های بسیار شدید در مناطق غربی و جنوبی ایران، منجر به رخداد سیل و خسارت‌های سنگین مالی و جانی شد. این بارش‌ها از ۶ تا ۹ آبان در غرب ایران و از ۱۹ تا ۲۱ آبان در جنوب ایران اتفاق افتاد. بدیهی است شناسایی عوامل ایجادکننده سیل و پیش‌بینی وقوع آن، از اقداماتی است که می‌تواند خسارات ناشی از آنها را کاهش دهد. از جمله عوامل مؤثر بر رویداد سیل، بارش‌های سیل‌آسا شدید است. پژوهش‌هایی که تاکنون در این زمینه در ایران انجام شده است، بیشتر بر تحلیل‌های همدیدی هواشناسی و یافتن الگوهای جوی مؤثر بر این‌گونه بارش‌ها متمرکز بوده است. علیجانی و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از رویکرد محیطی به‌گردشی، شرایط همدیدی بارش سنگین جنوب شرق را در ۶ ژانویه ۲۰۰۸ میلادی بررسی کردند. ایشان نشان دادند که رخداد بارش سنگین مورد مطالعه با شرایط مطلوب همدیدی نظیر وجود رطوبت زیاد در تراز پایین جو، به‌ویژه تخلیه رطوبتی شدید از خلیج فارس، بی‌هنجاری‌های منفی شدید در ترازهای میانی جو و استقرار رودباد جنب حاره‌ای در غرب منطقه مرتبط است. پرنده خوزانی و لشکری (۱۳۸۹) با بررسی همدیدی طوفان‌های شدید که وقوع بارش‌های سنگین و سیل‌آسا را باعث شده‌اند، نشان دادند که این طوفان‌ها

نتیجه تقویت و تشدید مرکز کم‌فشار سودان و منطقه همگرایی دریای سرخ و در مواردی هم، نتیجه ادغام مرکز کم‌فشار سودان با مرکز کم‌فشار مدیترانه‌ای و تبدیل آنها به یک سامانه دینامیکی یا ترمودینامیکی هستند. غفاریان و همکاران (۱۳۸۹) برای بررسی کمیت‌های همدیدی، از داده‌های NCEP/NCAR و برای بررسی دمای سطح آب از داده‌های AVHRR استفاده کردند و نشان دادند که برهم‌کنش دو رودباد جنب حاره و قطبی باعث چرخندزایی در منطقه شمال شرق دریای مدیترانه می‌شود. ایشان همچنین بیان کردند که از بی‌هنجاری فشار سطح متوسط دریا، ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و دمای سطح آب می‌توان به‌عنوان ابزاری برای پیش‌بینی بارش‌های شدید استفاده کرد. بی‌هنجاری دمای سطح آب نشان داد که در زمان بارش شدید، دریای مدیترانه، دریای سیاه، دریای عمان و دریای عرب گرم‌تر از مقدار میانگین هستند و باعث تبخیر بیشتر و تغذیه رطوبتی مناسب در منطقه می‌شوند. رضایی بنفشه و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از رویکرد محیطی به‌گردشی، فراوانی تابع همگرایی شار رطوبت در زمان رخداد بارش‌های سنگین شمال غرب ایران را در ۶ سطح ۵۰۰، ۶۰۰، ۷۰۰، ۸۵۰، ۹۲۵ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال بررسی کردند و نشان دادند که از میان این سطوح، سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال به‌دلیل داشتن بالاترین فراوانی تابع همگرایی شار رطوبت روی ایران و به‌ویژه شمال غرب ایران، بااهمیت است.

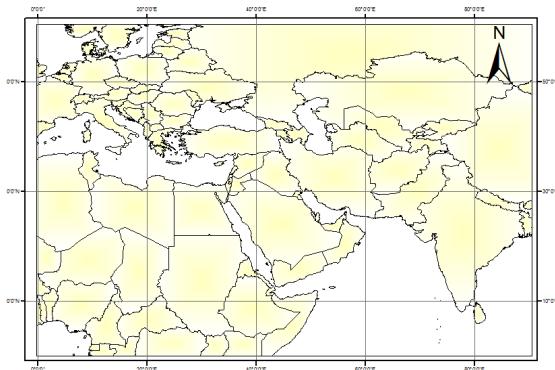
در مطالعات اخیر خارج از ایران، الگوریتمی توسعه داده شده است که با استفاده از آن به‌طور دقیق‌تر می‌توان به بررسی منبع و مسیر ورود هوای مرطوب و حرکت توده‌های هوای مرطوب پرداخت. لیورز و همکاران (۲۰۱۲)، با استفاده از این الگوریتم نشان دادند ۴۰ تا ۸۰ درصد سیل‌های رخ داده در تمام ۹ حوزه مطالعه شده در بریتانیا ناشی از انتقال رطوبت از نواحی حاره‌ای به سوی بریتانیا بوده است. همچنین در ادامه این تحقیقات، لیورز و

که  $q$ ، رطوبت ویژه برحسب  $kg/kg$ ؛  $u$  و  $v$ ، به ترتیب مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری سرعت باد برحسب  $m/s$ ؛  $g$ ، شتاب گرانش و  $dp$ ، اختلاف فشار بین دو سطح فشار مجاور است. علاوه بر این کمیت، برای درک بهتر جهت شار رطوبت، بردار شار رطوبت نیز ترسیم شده است. مؤلفه‌های مداری ( $HF_x$ ) و نصف‌النهاری ( $HF_y$ ) شار قائم رطوبت از تراز ۱۰۰۰ تا ۳۰۰ هکتوپاسکال در روابط (۲) و (۳) آورده شده‌اند:

$$HF_x = \frac{1}{g} \int_{1000}^{300} qu dp, \quad (2)$$

$$HF_y = \frac{1}{g} \int_{1000}^{300} qv dp. \quad (3)$$

برای شناسایی مسیر حرکت رطوبت جو براساس کار پژوهشی لیورز و همکاران (۲۰۱۲)، ابتدا انتگرال قائم حرکت افقی بخار آب (IVT) در تمام نقاط شبکه مورد مطالعه محاسبه می‌شود. محدوده مورد مطالعه به گونه‌ای در نظر گرفته شده است که همه پهنه‌های آبی مؤثر بر ایران را مشتمل بر دریای مدیترانه، دریای سرخ و دریای عرب دربرگیرد. این پهنه‌ها از منابع مهم رطوبتی بارش هستند. براین اساس، در اینجا محدوده مورد مطالعه از صفر درجه تا ۷۰ درجه شرقی و صفر درجه تا ۶۰ درجه شمالی در نظر گرفته شده است (شکل ۱).



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه، شامل صفر تا ۸۰ درجه شرقی و صفر تا ۶۰ درجه غربی.

ویلارینی (۲۰۱۳)، با استفاده از داده‌های بازتحلیل ERA-Interim در سال‌های ۱۹۷۹-۲۰۱۱، این الگوریتم را برای ردیابی مسیر انتقال بخار آب به ایالات متحده آمریکا به کار بردند. نتایج ایشان نیز نشان داد که در این دوره، به ترتیب ۱۴۳ مورد در زمستان، ۱۴۴ مورد در بهار، ۱۲۴ مورد در پاییز و ۴۰ مورد در تابستان انتقال هوای با رطوبت قابل ملاحظه از نواحی حاره‌ای اتفاق افتاده است.

امروزه با کاربرد روزافزون مدل‌های هواشناسی و هیدرولوژی در مبحث منابع آب، کار پژوهشی و پیوسته در این زمینه اعتبار علمی ویژه‌ای برای ایران در پی خواهد داشت. هدف اصلی این پژوهش، تشخیص دقیق منبع رطوبتی اصلی در دو مورد سیل رخ داده و مسیر دقیق حرکت هوای مرطوب به سمت ایران با استفاده از الگوریتم جدید است. به نظر می‌رسد در صورت عملکرد صحیح این الگوریتم، از آن برای پیش‌بینی سیلاب در زمان مناسب می‌توان استفاده مطلوبی کرد.

## ۲ روش تحقیق

در این مطالعه، الگوریتم اشاره شده در قسمت قبل، به طور جداگانه برای شناسایی منبع رطوبت و مسیر انتقال آن برای دو مورد رخداد سیل در غرب و جنوب ایران استفاده شده است. به این منظور، داده‌های تحلیل شده GFS (Global Forecast System) با قدرت تفکیک نیم درجه در راستاهای طول و عرض جغرافیایی و ۵۰ هکتوپاسکال در راستای قائم از سایت <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded> بارگیری (دانلود) شد و با استفاده از آن انتگرال قائم حرکت افقی بخار آب (IVT) از ۱۰۰۰ هکتوپاسکال تا ۳۰۰ هکتوپاسکال در چارچوب اوپلری، با رابطه (۱) محاسبه شد (لیورز و همکاران، ۲۰۱۲):

$$IVT = \sqrt{\left(\frac{1}{g} \int_{1000}^{300} qu dp\right)^2 + \left(\frac{1}{g} \int_{1000}^{300} qv dp\right)^2}, \quad (1)$$

شرقی و ۲۵ درجه شمالی تا ۴۷ درجه شرقی و ۳۴/۵ درجه شمالی است.

با مشخص شدن مقدار آستانه برای دو مورد بارش‌های منتخب، روش زیر در گام‌های زمانی ۶ ساعته، در روزهایی که بارندگی ثبت شده است و روزهای قبل از آن، جهت یافتن مسیر انتقال رطوبت استفاده شد. برای منطقه غرب، ابتدا از ۴ آبان الی ۹ آبان (۲۶ تا ۳۱ اکتبر)، که شامل تمام روزهای بارندگی و چند روز قبل از شروع بارندگی است، در تمام روزهای دوره بارندگی مورد مطالعه، بیشینه مقدار IVT در طول جغرافیایی ۴۵ درجه شرقی و بین عرض‌های جغرافیایی ۲۰ درجه شمالی و ۴۵ درجه شمالی تعیین شد و محل آن در شبکه مشخص شد (شکل ۲-الف). چنانچه مقدار به‌دست‌آمده از مقدار آستانه بیشتر باشد، در گام بعدی نقاط مجاور نقطه ثبت شده در شبکه تعیین می‌شود؛ به‌این‌صورت که برای بارندگی‌های منطقه ایلام (غرب ایران) به سمت نقاط مجاور در جهت جنوب، جنوب‌غرب، غرب و شمال‌غرب در شبکه حرکت کرده و مقادیر IVT در این نقاط استخراج می‌شود. بیشترین مقدار بین این چهار نقطه به‌عنوان نقطه منتخب نشانه‌گذاری می‌شود. اگر مقدار IVT در نقطه منتخب بیشتر از مقدار آستانه باشد، آن نقطه نقطه بعدی مسیر ثبت و انتخاب می‌شود. این مرحله تا جایی ادامه پیدا می‌کند که یک ناپیوستگی در نقاط به‌وجود آید. در منطقه جنوب نیز مانند آنچه در منطقه غرب گفته شد، از ۱۶ آبان الی ۲۱ آبان (۷ تا ۱۲ نوامبر) که شامل تمام روزهای بارندگی از ۱۹ تا ۲۱ آبان و چند روز قبل از شروع بارندگی است، بیشینه مقدار IVT بر روی خط مورب بین ۲۳ درجه شمالی و ۴۲ درجه شرقی، ۵۲ درجه شرقی و ۳۳ درجه شمالی تعیین و محل آن در شبکه ثبت شد. اگر مقدار به‌دست‌آمده از مقدار آستانه بیشتر باشد، برای یافتن نقاط مجاور، پنج جهت جنوب‌شرق، جنوب، جنوب‌غرب، غرب و شمال‌غرب (شکل ۲-ب)، بررسی و

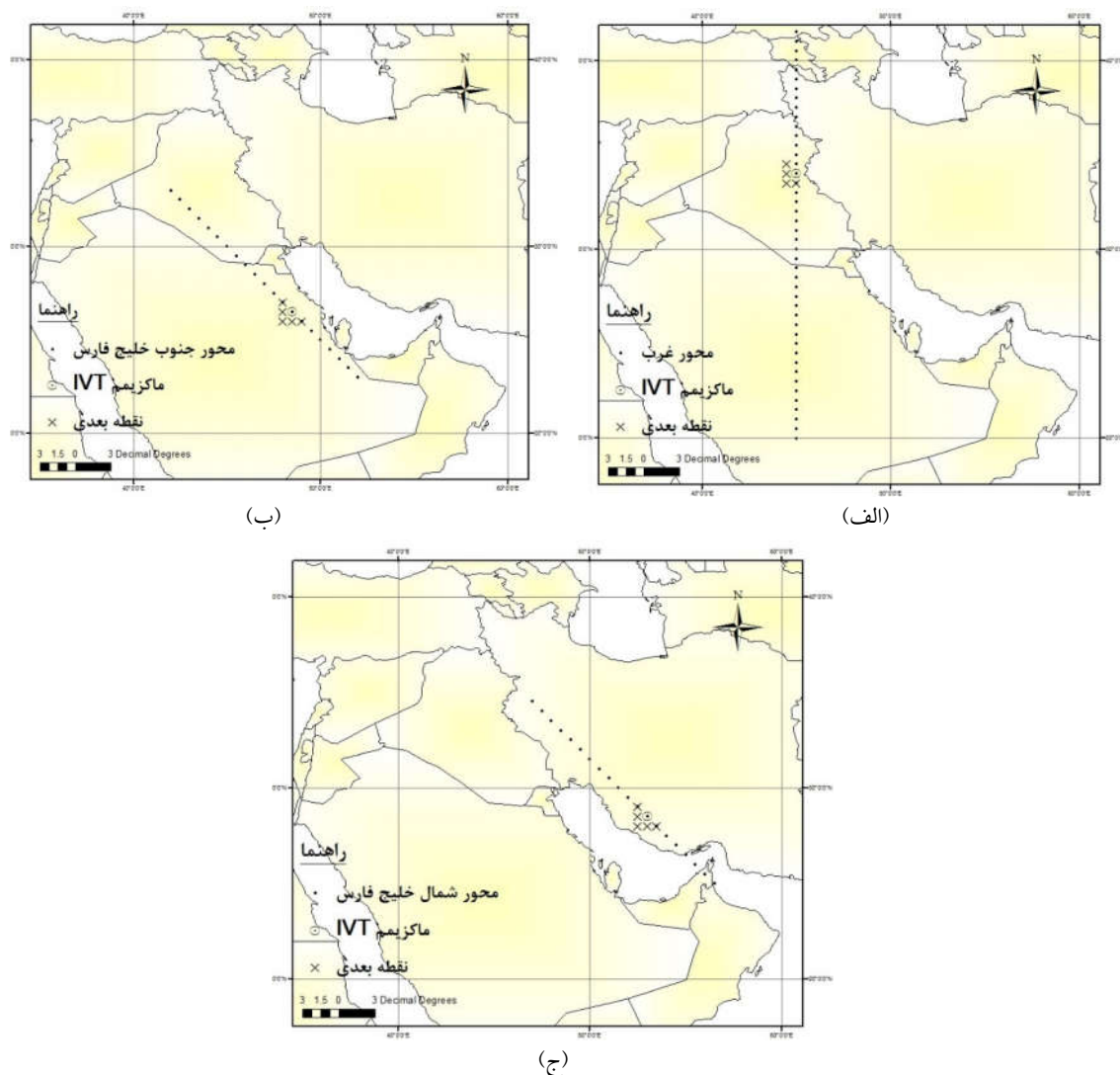
برای شناسایی مسیر حرکت رطوبت، ابتدا باید آستانه‌هایی برای مقدار IVT تعیین شود تا بتوان پیوستگی در مسیر انتقال را مشخص و رطوبت محلی را از رطوبت انتقالی تفکیک کرد. برای این کار، طبق روش لیورز و ویلارینی (۲۰۱۳)، داده‌های GFS از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۵ در دو ماه اکتبر و نوامبر در تمام نقطه‌های شبکه مورد مطالعه بارگیری شد و مقدار IVT (رابطه ۱) در تمام نقاط شبکه محاسبه شد. برای کم کردن آثار همبستگی، بیشینه IVT برای هر طول جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و تنها در ساعت ۱۲ گرینویچ روزهای دو ماه‌نوامبر و اکتبر سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۵ استخراج شد. پس از آن، میانه این بیشینه‌ها محاسبه شد. از میانه بیشینه IVT در هر طول جغرافیایی، به‌عنوان آستانه، برای تشخیص رودخانه‌های جوی در آن طول جغرافیایی استفاده می‌شود.

برای سیل غرب ایران، مقدار آستانه، با استخراج بیشینه IVT در ساعت ۱۲ گرینویچ هر روز، بین عرض‌های جغرافیایی ۲۰ درجه شمالی و ۴۵ درجه شمالی در نصف‌النهار ۴۵ درجه شرقی (شکل ۲-الف) و محاسبه میانه آن به‌دست‌آمده است. برای محاسبه مقدار آستانه در سیل جنوب ایران، مقادیر بیشینه IVT در ساعت ۱۲ گرینویچ هر روز روی یک خط مورب بین ۲۳ درجه شمالی و ۴۲ درجه شرقی، ۵۲ درجه شرقی و ۳۳ درجه شمالی تعیین شد. استفاده از خط مورب در منطقه جنوب به‌دلیل جهت معمول شار رطوبت و مسیر ورود توده‌های مرطوب به ایران در این ناحیه و از بین بردن غیریکنواختی مقادیر IVT ناشی از اثر خلیج فارس و حذف نقش آن بوده است (شکل ۲-ب). در واقع نقش رطوبتی خلیج فارس از محاسبات حذف شد تا مسیر ورودی از دیگر منابع تأمین رطوبت، دقیق‌تر تعیین شود. برای بررسی اینکه خلیج فارس نیز تا چه حد در تغذیه رطوبت منجر به بارندگی در منطقه جنوب مؤثر است، خط دیگری موازی با خط در نظر گرفته شده (شکل ۲-ب) در شمال خلیج فارس (شکل ۲-ج) تعیین شد. موقعیت این خط از ۵۶/۵ درجه

نوامیر)، که شامل تمام روزهای بارندگی از ۱۹ تا ۲۱ آبان و چند روز قبل از شروع بارندگی است، روش به کارگرفته شده تکرار می شود با این تفاوت که بیشینه مقدار IVT بر روی خط مورب واصل بین ۵۶/۵ درجه شرقی و ۲۵ درجه شمالی تا ۴۷ درجه شرقی و ۳۴/۵ درجه شمالی مشخص می شود. سایر مراحل همانند خط جنوب خلیج فارس است (شکل ۲-ج).

بیشترین مقدار بین این چهار نقطه انتخاب می شود. اگر مقدار IVT در نقطه منتخب بیشتر از مقدار آستانه باشد آن نقطه به عنوان نقطه بعدی مسیر ثبت می شود. در اینجا نیز مانند آنچه در منطقه غرب گفته شد، تا جایی که در نقاط ناپیوستگی به وجود نیاید، الگوریتم مسیریابی ادامه می یابد.

برای بررسی نقش رطوبتی خلیج فارس نیز مانند جنوب خلیج فارس، از ۱۶ آبان الی ۲۱ آبان (۷ تا ۱۲



شکل ۲. روش تعیین مسیر رودخانه جوی در غرب کشور. (الف) غرب، (ب) جنوب خلیج فارس و (ج) شمال خلیج فارس. خط نقطه چین معرف محور تعیین بیشینه IVT، نقطه نشان دهنده بیشینه IVT در محدوده و ضربدر معرف نقاط بعدی است که برای تعیین مسیر بررسی می شود.

۳ بحث و نتایج

۳-۱ نتایج حاصل از اجرای الگوریتم تشخیص

مسیر حرکت بخار آب در غرب ایران

جدول‌های ۱ و ۲ به ترتیب آمار بارندگی روزانه ایستگاه-های هواشناسی استان‌های ایلام و لرستان را در زمان رخداد سیل از ششم تا نهم آبان ۱۳۹۴ نشان می‌دهند. براساس این جدول‌ها، بارندگی‌ها از ۶ آبان شروع شده و تا ۹ آبان ادامه داشته است. اوج بارندگی‌ها در ۷ آبان ثبت شده است. بیشترین بارندگی در این روز در ایستگاه ایلام با مقدار ۱۸۸/۴ میلی‌متر گزارش شده است. این ایستگاه بیشترین مقدار بارش تجمعی را نیز برای دوره چهار روزه داشته است. در استان لرستان اگرچه مقدار بارش به‌طور چشمگیری از استان ایلام کمتر است، با این حال، مقادیر ثبت شده در ایستگاه‌های این استان همچنان قابل ملاحظه است به‌طوری‌که بیشترین بارش روزانه و تجمعی چهار روزه مربوط به نورآباد است و به-ترتیب مقادیر ۵۴/۴ و ۱۲۱ میلی‌متر را نشان می‌دهد.

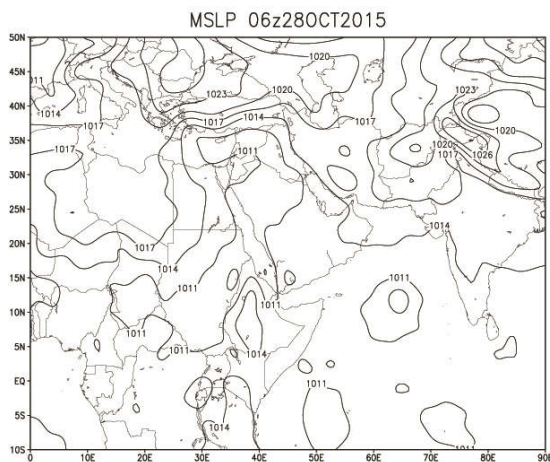
جدول ۱. آمار بارندگی روزانه از ۶ الی ۹ آبان سال ۱۳۹۴ در استان ایلام برحسب میلی‌متر

| ایستگاه | ۸/۶  | ۸/۷   | ۸/۸  | ۸/۹  | مجموع |
|---------|------|-------|------|------|-------|
| آبدانان | ۲۹/۶ | ۶۰/۴  | ۱۸/۹ | ۴۶/۸ | ۱۵۵/۷ |
| ایلام   | ۶۱/۹ | ۱۸۸/۴ | ۳۷/۷ | ۱/۸  | ۳۲۵/۸ |
| دره شهر | ۲۰/۵ | ۲۷    | ۲۱/۸ | ۲۴   | ۹۳/۳  |
| دهلران  | ۲۶   | ۲۵/۳  | ۷/۷  | ۲۰/۳ | ۷۹/۳  |
| سرابله  | ۳۵/۵ | ۱۰۵   | ۶۴/۱ | ۳/۷  | ۲۰۸/۳ |
| لومار   | ۱۶/۲ | ۱۳۱/۴ | ۶۱/۳ | ۱۲/۴ | ۲۲۱/۳ |
| مهران   | ۱۵/۹ | ---   | ۲۳/۲ | ۰/۶  | ۳۹/۷  |
| میانگین | ۳۴   | ۹۴/۲  | ۳۹/۲ | ۱۴/۹ | ۱۷۰/۵ |

شکل گرفته‌است و ادامه آن در جنوب تا حدود ۱۵ درجه شمالی (جنوب دریای سرخ) کشیده شده است. در عرض‌های شمالی‌تر و روی اروپا، سامانه پرفشار قدرتمندی از شمال اروپا تا غرب روسیه را پوشش داده است.

جدول ۲. آمار بارندگی روزانه از ۶ الی ۹ آبان سال ۱۳۹۴ در استان لرستان برحسب میلی‌متر.

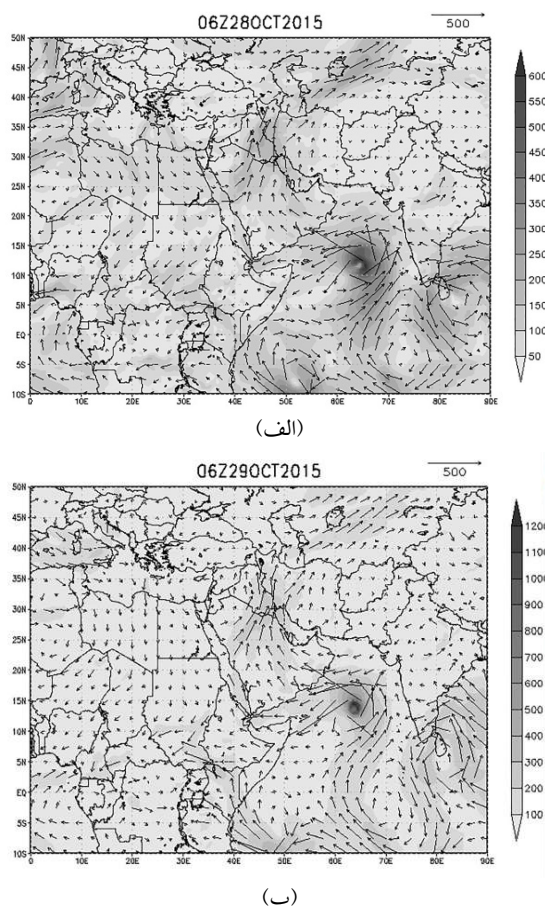
| ایستگاه    | ۸/۶   | ۸/۷  | ۸/۸  | ۸/۹  | مجموع |
|------------|-------|------|------|------|-------|
| ازنا       | ۰     | ۵/۴  | ۲۸   | ۷۱   | ۱۰۴/۴ |
| الشتر      | ۲۱/۹  | ۲۸   | ۴۵/۴ | ۱۲/۱ | ۱۰۷/۴ |
| الیگودرز   | ۰     | ۱/۵  | ۲۰/۸ | ۳۹/۷ | ۶۲    |
| ایمان‌آباد | ۵/۳   | ۱۴/۶ | ۱۱/۷ | ۲۷   | ۵۸/۶  |
| بروجرد     | ۶/۸   | ۲۳/۱ | ۲۷/۷ | ۲۴/۸ | ۸۲/۴  |
| پلدختر     | ۱۸/۲  | ۱۹/۹ | ۱۷/۲ | ۲۳   | ۷۸/۳  |
| خرم‌آباد   | ۱۳/۹  | ۱۴/۹ | ۱۰/۷ | ۲۵/۸ | ۶۵/۳  |
| دورود      | ۰/۱   | ۸/۷  | ۲۶/۸ | ۳۰/۳ | ۶۵/۹  |
| رومشکان    | ۳۳    | ۲۸/۲ | ۲۱/۳ | ۱۶/۷ | ۹۹/۲  |
| ریمله      | ۱۸/۳  | ۲۶/۱ | ۱۸/۴ | ۱۳   | ۷۵/۸  |
| سپیددشت    | ۰/۶   | ۲۲/۸ | ۲۴/۹ | ۵۴/۲ | ۱۰۲/۵ |
| سیلاخور    | ۱/۴   | ۴/۷  | ۱۴/۱ | ۳۰/۳ | ۵۰/۵  |
| شول‌آباد   | ۰/۶   | ---  | ۳۷/۱ | ۶۱/۳ | ۹۹    |
| کوه‌دشت    | ۳۱/۸  | ۲۳/۸ | ۱۹/۳ | ۱۱/۸ | ۸۶/۷  |
| نورآباد    | ۲۱/۶  | ۵۴/۴ | ۴۲/۸ | ۱۱/۲ | ۱۲۱   |
| میانگین    | ۱۱/۵۷ | ۱۹/۱ | ۲۴/۴ | ۳۰/۱ | ۸۳/۹  |



شکل ۳. توزیع فشار تراز دریا برای ساعت ۶ گرینویچ در روز ۲۸ اکتبر.

شکل ۳، توزیع فشار سطح دریا را برای ساعت ۶ گرینویچ روز ۲۸ اکتبر نشان می‌دهد. براساس این شکل، سامانه کم‌فشاری در غرب ایران تا شرق دریای مدیترانه

گرینویچ روز ۲۷ اکتبر تا ساعت ۱۲ گرینویچ روز ۲۹ اکتبر (۷ آبان، اوج بارندگی‌ها)، طول مسیرها به ترتیب ۱۷، ۱۵، ۱۶، ۱۲، ۱۷، ۱۵، ۱۳، ۱۲ و ۱۲ نقطه مستمر



شکل ۴. انگرال قائم حرکت افقی بخار جو برای ساعت ۶ گرینویچ در روزهای (الف) ۲۸ اکتبر و (ب) ۲۹ اکتبر.. سایه روشن، اندازه و بردارها جهت شار افقی رطوبت را نشان می‌دهند.

در جهت طول جغرافیایی است (مثلا شکل ۵-ب مربوط به ساعت ۱۲ گرینویچ روز ۲۹ اکتبر است). همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، مسیرهای حاصل، دریای سرخ را به‌عنوان منبع اصلی بارندگی ۶ تا ۹ آبان ۹۴ منطقه غرب معرفی می‌کنند که با نتایج و نقشه‌های ارائه شده در شکل ۴-ب تطابق دارد. در شکل ۴-ب که مربوط به روز ۲۹ اکتبر است، اندازه بردارها و

شکل ۴، بردار شار بخار آب و بزرگی آن را در تاریخ وقوع بارش‌های غرب ایران نشان می‌دهد. شکل ۴-الف مربوط به روز ۲۸ اکتبر (۶ آبان)، آغاز بارندگی‌ها است. بردارهای شار بخار آب در این شکل نشان می‌دهند که منابع رطوبت این بارندگی، ترکیبی از منبع رطوبتی دریای عرب و دریای سرخ است. گفتنی است بزرگی بردارهای شار رطوبت، که برابند مؤلفه‌های عمودی و افقی باد است، گویای انتقال بیشتر و شدیدتر رطوبت است. بنابراین در این شکل با توجه به اندازه بردارها، انتقال یکسان رطوبت از دریای سرخ و دریای عرب قابل مشاهده است. البته بزرگی بردار شار روی دریای عرب به مراتب بزرگتر است ولی در ادامه، ضعیف شده و تقریباً با مقادیر مربوط به دریای سرخ یکسان می‌شود. شکل ۴-ب شار رطوبت را در روز ۲۹ اکتبر (۷ آبان)، اوج بارندگی‌ها، نشان می‌دهد. در این شکل، تمرکز بردارها، افزایش شدت انتقال رطوبت را نشان می‌دهد. اندازه بردارها نشان‌دهنده این است که در این روز نیز انتقال رطوبت از دریای سرخ بیشتر از دریای عرب است.

چنانچه گفته شد، برای مسیریابی رطوبت نیاز به مقدار آستانه IVT است. در غرب ایران، این مقدار آستانه با استخراج بیشینه‌های IVT در ساعت ۱۲ گرینویچ در هر روز از سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۵ بین عرض‌های جغرافیایی ۲۰ درجه شمالی و ۴۵ درجه شمالی در طول جغرافیایی ۴۵ درجه شرقی تعیین شد. مقدار میانه این مقدار بیشینه‌ها،  $110/557 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$  است.

شکل ۵-الف نقاطی را که بیش از مقدار آستانه هستند و مسیر حاصل را در ساعت ۶ گرینویچ ۲۷ اکتبر (۵ آبان، یک روز قبل از بارندگی اوج) نشان می‌دهد. در این شکل، مسیر از به‌هم‌پیوستن ۳۱ نقطه شبکه حاصل شده است. طول این مسیر ۲۱ نقطه مستمر در جهت طولی شبکه با فاصله ۰/۵ درجه طول جغرافیایی است که این فاصله طولی در ساعات بعدی نیز ادامه داشته است. از ساعت ۱۲



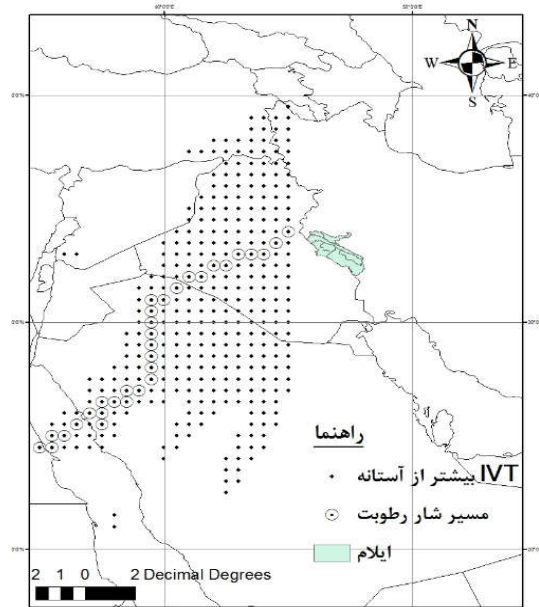
جدول ۳. آمار بارندگی روزانه ۱۹ الی ۲۱ آبان سال ۱۳۹۴ در استان فارس برحسب میلی‌متر.

| ایستگاه    | ۹۴/۸/۱۹ | ۹۴/۸/۲۰ | ۹۴/۸/۲۱ | مجموع |
|------------|---------|---------|---------|-------|
| فیروکارزین | ۰/۲     | ۵۴/۲    | ۳/۴     | ۵۷/۸  |
| آباده      | ۰       | ۱۳/۹    | ۰       | ۱۳/۹  |
| ارسنجان    | ۱۵/۲    | ۳۶/۸    | ۰       | ۵۲    |
| استهبان    | ۱۰/۲    | ۵۵/۶    | ۱       | ۶۶/۸  |
| اقلید      | ۳       | ۲۵/۴    | ۰       | ۲۸/۴  |
| ایزدخواست  | ۰       | ۶/۲     | ۰       | ۶/۲   |
| یوانات     | ۷/۳     | ۳۳      | ۰       | ۴۰/۳  |
| تخت جمشید  | ۳۰      | ۳۸/۳    | ۰       | ۶۸/۳  |
| جهرم       | ۰       | ۲۷/۷    | ۶/۹     | ۷۹/۶  |
| داراب      | ۰       | ۵۰/۲    | ۱۴/۳    | ۶۴/۵  |
| زرقان      | ۲۳      | ۳۴/۳    | ۰       | ۵۷/۳  |
| زرین دشت   | ۰       | ۲۶      | ۲۳/۸    | ۴۹/۸  |
| سپیدان     | ۱۶      | ۲۶/۱    | ۰       | ۴۲/۱  |
| سد درودزن  | ۲۲      | ۳۱/۲    | ۰       | ۵۳/۲  |
| شیراز      | ۲۶/۵    | ۲۷/۴    | ۰       | ۵۳/۹  |
| صفاشهر     | ۳/۲     | ۲۶/۸    | ۰       | ۳۰    |
| فراشبند    | ۱۲      | ۵۳/۵    | ۰       | ۶۵/۵  |
| فسا        | ۲       | ۷۱/۹    | ۰/۶     | ۷۴/۵  |
| فیروزآباد  | ۱۵      | ۴۲      | ۱/۴     | ۵۸/۴  |
| کازرون     | ۲۹      | ۲۵      | ۰       | ۵۴    |
| لار        | ۰       | ۳۶/۸    | ۶۵/۹    | ۱۰۲/۷ |
| لامرد      | ۰       | ۴۰/۵    | ۳۲/۲    | ۷۲/۷  |
| نورآباد    | ۶/۲     | ۶۰/۵    | ۰       | ۶۶/۷  |
| ممسنی      | ۰       | ۵۴/۷    | ۰       | ۶۷/۷  |
| نیریز      | ۱۳      | ۳۹/۳    | ۶/۲     | ۵۵/۳  |
| میانگین    | ۹/۷     | ۳۹/۳    | ۶/۲     |       |

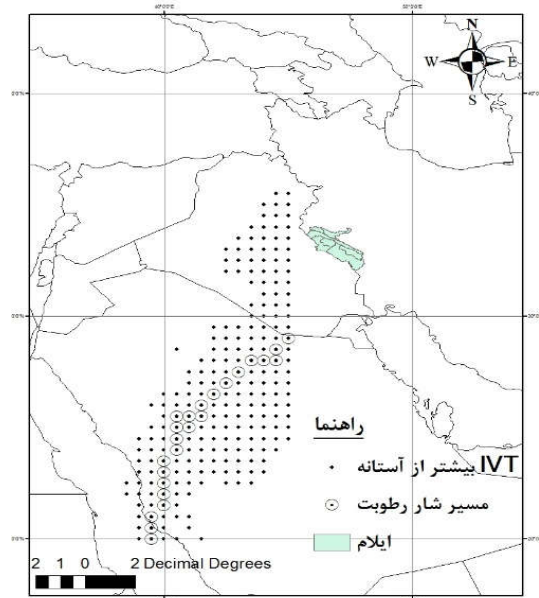
۲-۳ نتایج اجرای الگوریتم تشخیص مسیر حرکت بخار آب در جنوب ایران

درحالی‌که طبق اطلاعات هواشناسی استان فارس، در سال زراعی ۹۴-۹۵ میانگین بارندگی در این استان تا تاریخ ۲۱ آبان، ۷۳/۲ میلی‌متر بوده است، در مدت سه روز بارندگی از ۱۹ الی ۲۱ آبان، بیش از ۵۰ میلی‌متر باران در استان فارس بارید و خساراتی نیز به شهرستان‌های لارستان،

تراکم آنها از سمت دریای سرخ نسبت به دریای عرب بیشتر است.



(الف)

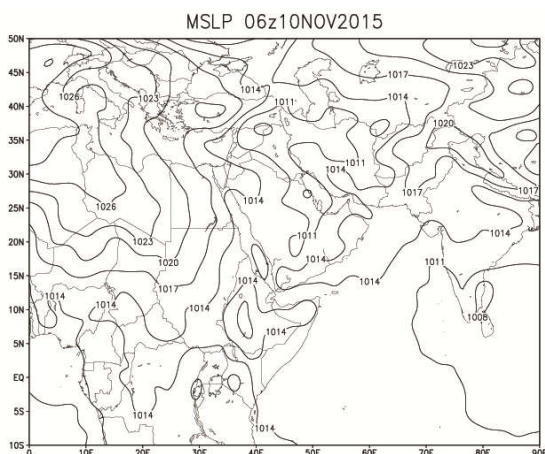


(ب)

شکل ۵. مسیر حرکت رطوبت (الف) روز ۲۷ اکتبر ساعت ۶ گرینویچ و (ب) روز ۲۹ اکتبر ساعت ۱۲ گرینویچ. نقاط مشخص شده بیانگر نقاط شبکه‌ای هستند که مقدار IVT در آنها بیشتر از آستانه است و نقاطی که با رسم دایره در اطرافشان مشخص شده‌اند، مسیر حرکت رطوبت را نشان می‌دهند.



(شکل ۳)، زبانه‌های کم فشار از سمت جنوب شرق ایران به سوی غرب گسترش یافته به طوری که تقریباً نیمه جنوبی ایران تحت نفوذ سامانه کم فشار است. با توجه به الگو در این روز، ارتباط مرکز کم فشار با دریای سرخ کاملاً قطع است.



شکل ۶. توزیع فشار تراز دریا برای ساعت ۶ گرینویچ در روز ۱۰ نوامبر.

شکل ۷- الف نشان دهنده شار بخار آب و مسیر حرکت توده‌های هوای مرطوب در ساعت ۶ گرینویچ ۱۰ نوامبر (۱۹ آبان)، اولین روز ثبت این بارندگی‌ها، در منطقه جنوب است. از الگوی بردارها، که جهت شار رطوبت را نشان می‌دهند، می‌توان نتیجه گرفت که بیشتر شار رطوبت از طرف دریای عرب به جنوب ایران منتقل شده است و رطوبت دریای سرخ نقش کمتری در بارش‌های این روز داشته است. طبق این شکل، رطوبت انتقال یافته از دریای عرب، در مسیر حرکت خود به سمت ایران از خلیج فارس نیز عبور می‌کند که افزایش بزرگی و اندازه بردار شار بیانگر نقش قابل ملاحظه خلیج فارس در افزایش محتوای رطوبت جو است. شکل ۷- ب، انتگرال قائم شار بخار آب در جو را برای ساعت ۶ گرینویچ ۱۱ نوامبر (۲۰ آبان) نشان می‌دهد. جهت بردارهای شار نشان می‌دهد که مانند روز قبل همچنان دریای عرب منبع اصلی انتقال رطوبت

لامرد، گراش، جهرم و فراسیند وارد کرد. براساس آمار هواشناسی تا ساعت ۹:۳۰ صبح روز پنجشنبه ۲۱ آبان‌ماه میزان بارندگی در شهرهای مختلف استان فارس به صورت جدول ۳ بوده است.

طبق جدول ۳، میانگین بارندگی کل استان فارس ۵۵/۳ بوده و شهرستان لار با ۱۰۲/۷ میلی‌متر بارش بیشترین آمار بارش و ایزدخواست با ۶/۲ میلی‌متر بارندگی کمترین میزان بارش را در مناطق مختلف استان فارس داشته است. این بارندگی‌ها استان هرمزگان را نیز متأثر کرد. جدول ۴ بارش روزانه ۱۹ الی ۲۱ آبان ۱۳۹۴ را در استان هرمزگان نشان می‌دهد. طی این بارندگی در هرمزگان، ابوموسی و میناب به ترتیب با ۱۶۹ و ۷ میلی‌متر، بیشترین و کمترین مقدار بارش را دریافت کردند.

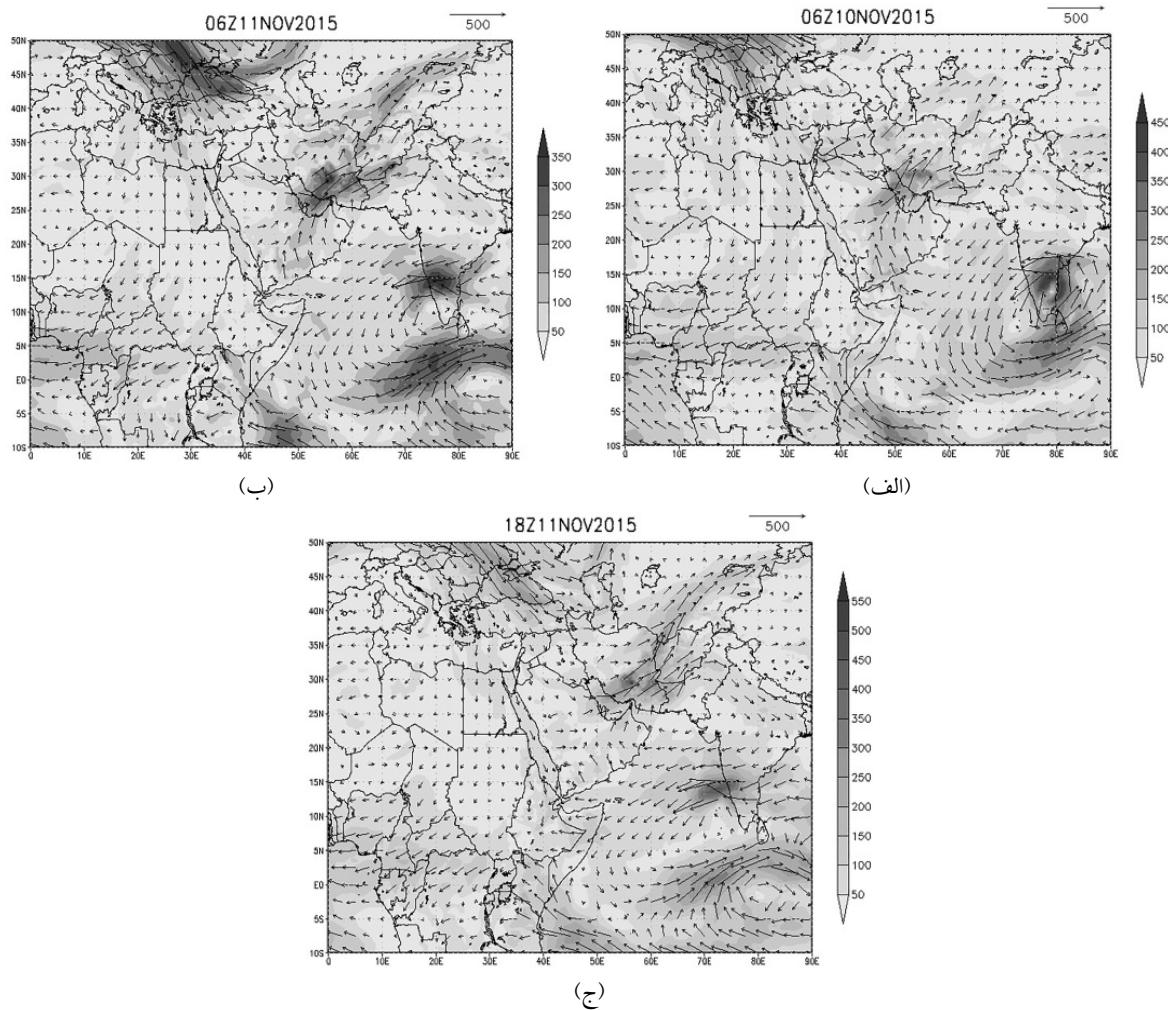
جدول ۴. آمار بارندگی روزانه ۱۹ الی ۲۱ آبان سال ۱۳۹۴ در استان هرمزگان برحسب میلی‌متر.

| ایستگاه   | ۹۴/۸/۲۱ | ۹۴/۸/۲۰ | ۹۴/۸/۱۹ | مجموع |
|-----------|---------|---------|---------|-------|
| بستک      | ۴۳      | ۳۹/۱    | ۰       | ۸۲/۱  |
| بندر خمیر | ۱۸/۵    | ۲/۱     | ۳/۹     | ۲۴/۵  |
| بندر عباس | ۱۸/۱    | ۳۳      | ۰       | ۵۱/۱  |
| بندر لنگه | ۱۰/۲    | ۲۰      | ۰       | ۳۰/۲  |
| پارسیان   | ۱۹/۶    | ۷       | ۰       | ۲۶/۶  |
| جاسک      | ۰       | ۰       | ۰       | ۰     |
| ابوموسی   | ۷       | ۰       | ۰       | ۷     |
| سیری      | ۱۱      | ۰       | ۰       | ۱۱    |
| قشم       | ۱۲/۲    | ۰/۵     | ۰       | ۱۲/۷  |
| کیش       | ۱۵/۵    | ۴/۳     | ۰       | ۱۹/۸  |
| لاوان     | ۱۰      | ۶       | ۰       | ۱۶    |
| حاجی آباد | ۷۶/۴    | ۳۲/۶    | ۰       | ۱۰۹   |
| رودان     | ۳۸/۱    | ۲۷      | ۵۱/۱    | ۱۱۶/۲ |
| سردشت     | ۰/۳     | ۰       | ۰       | ۰/۳   |
| میناب     | ۱۰۵/۵   | ۲       | ۴۹      | ۱۵۶/۵ |
| میانگین   | ۲۵/۷    | ۱۱/۶    | ۶/۹     | ۴۷/۳  |

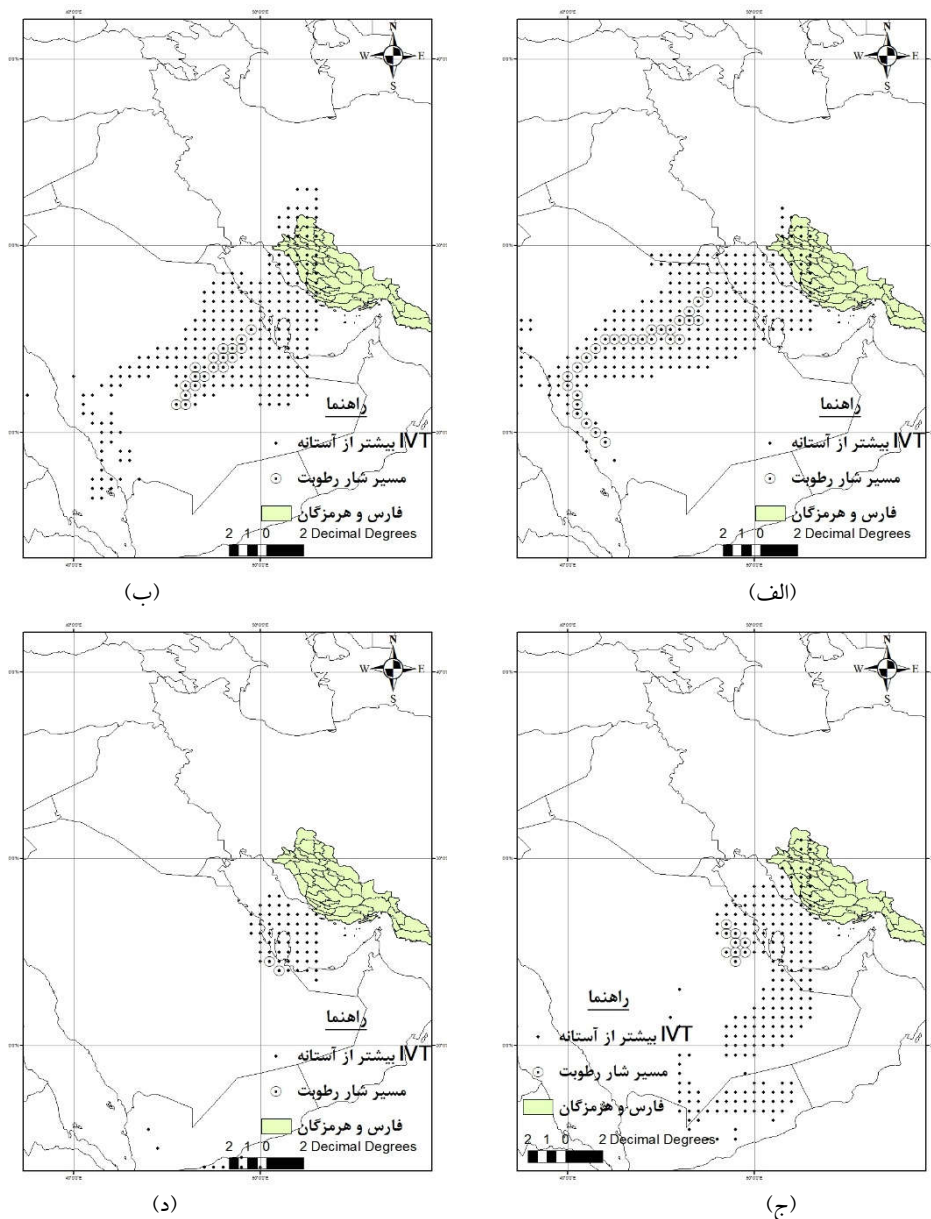
شکل ۶، توزیع فشار تراز دریا را در روز ۱۰ نوامبر ۲۰۱۵ نشان می‌دهد. در این روز و برخلاف روز ۲۸ نوامبر،

(۱۱ نوامبر) و براساس جدول ۴ در استان هرمزگان، بیشترین میزان بارندگی در روز ۲۱ آبان (۱۲ نوامبر) ثبت شده است. براساس این مشاهدات، می‌توان گفت با توجه به شدت شار بخار آب، اثر این توده‌های هوای مرطوب و انتقال رطوبت تا روزهای بعد هم ادامه داشته است. همچنین با توجه به کم‌رنگ شدن شار رطوبتی از سوی دریای عرب، به‌نظر می‌رسد نقش خلیج فارس در تأمین رطوبت لازم بسیار پررنگ‌تر شده است؛ عبور هوا از روی خلیج فارس و کسب رطوبت سبب شده است بارندگی‌ها حتی در روزهای بعد از کاهش شار رطوبت از دریای عرب، ادامه یابد.

برای بارش‌ها در روز مورد بررسی است. با این حال، نکته جالب، نقش قابل ملاحظه و مهم‌تر خلیج فارس در تأمین رطوبت بارش‌های سیل‌آسا در این روز است؛ جریان هوا پس از عبور از روی خلیج فارس، رطوبت بسیار قابل ملاحظه‌ای کسب کرده و به سوی جنوب ایران روانه می‌شود. از این ساعت به بعد، با توجه به جهت بردارها، شار بخار آب از این سوی دریای عرب به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است و از ساعت ۱۸ گرینویچ ۱۱ نوامبر (۲۰ آبان) تقریباً انتقال بخار آبی به سمت ایران دیده نمی‌شود (شکل ۷-ج). این در حالی است که طبق جدول ۳، بیشترین میزان بارندگی در استان فارس در روز ۲۰ آبان



شکل ۷. مانند شکل ۴ ولی برای سیل جنوب کشور. (الف) ساعت ۶ گرینویچ ۱۰ نوامبر، (ب) ساعت ۶ گرینویچ ۱۱ نوامبر و (ج) ساعت ۱۸ گرینویچ ۱۱ نوامبر



شکل ۸. مانند شکل ۵ ولی برای خط مورب جنوب خلیج فارس در (الف) ساعت ۱۲ گرینویچ روز ۹ نوامبر، (ب) ساعت ۱۲ گرینویچ روز ۱۰ نوامبر، (ج) ساعت ۶ گرینویچ ۱۱ نوامبر و (د) ساعت ۶ گرینویچ روز ۱۲ نوامبر.

شکل ۸، نقاط شبکه‌ای را که دارای مقدار IVT بیش از آستانه خط جنوب خلیج فارس هستند، به همراه مسیر انتقال رطوبت نشان می‌دهد. مقدار آستانه برای این خط در جنوب ایران، با تعیین میانه مقادیر بیشینه IVT در ساعت ۱۲ گرینویچ در هر روز از ماه‌های اکتبر و نوامبر سال‌های

۲۰۰۷ تا ۲۰۱۵ روی خط مورب بین نقاط ۲۳ درجه شمالی و ۴۲ درجه شرقی، ۵۲ درجه شرقی و ۳۳ درجه شمالی تعیین شد. مقدار میانه حاصل  $98/159 \text{ kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$  است که کمتر از مقدار آستانه برای غرب ایران است. شکل ۸- الف نقاط بیشتر از آستانه و مسیر انتقال رطوبت را برای

بنابراین لازم است نقش خلیج فارس در این بارندگی‌ها نیز تعیین شود. برای این منظور در منطقه شمال خلیج فارس، بیشینه انتگرال قائم شار بخار آب روی خطی به مختصات بین ۵۶/۵ درجه شرقی، ۲۵ درجه شمالی و ۴۷ درجه شرقی، ۳۴/۵ درجه شمالی، اولین نقطه از مسیر ثبت شد و برای ردیابی مسیر از این نقطه، نقاط مجاور بر طبق الگوریتم اشاره شده بررسی شد. برای این خط نیز نقاط مجاور، شامل جنوب شرقی، جنوب، جنوب غرب، غرب و شمال غرب است. مقدار آستانه در این منطقه  $\text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$  ۸۷/۷۲۳۵ به دست آمد که کمتر از مقدار آستانه حاصل در منطقه غرب و جنوب خلیج فارس است. شکل ۹- الف نقاط بیشتر از آستانه و مسیر حاصل را برای ساعت ۶ گرینویچ روز ۹ نوامبر نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود در این روز، رطوبت از جنوب دریای سرخ پس از طی یک مسیر نسبتاً طولانی به خلیج فارس و جنوب ایران وارد می‌شود.

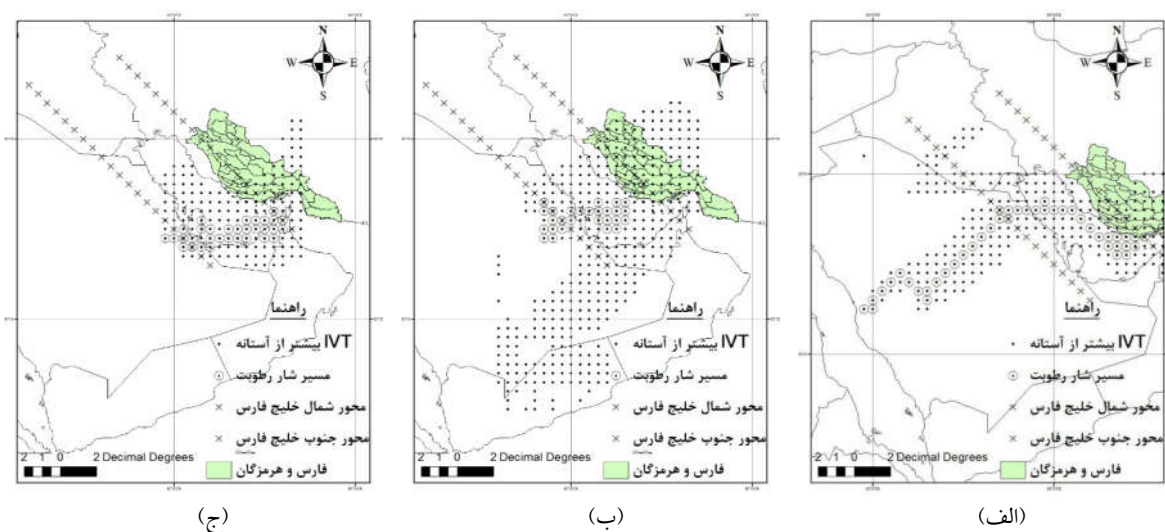
شکل‌های ۹- ب و ۹- ج به ترتیب مسیر انتقال رطوبت را برای ساعت ۶ گرینویچ در روزهای ۱۱ و ۱۲ نوامبر نشان می‌دهند. تجمع نقاط روی خلیج فارس و محدود شدن به این ناحیه به دلیل کسب رطوبت قابل ملاحظه هوا است که ناشی از عبور از روی خلیج فارس است. به عبارت دیگر، ناپیوستگی مسیر انتقال از منابع اصلی رطوبت در منطقه، بیانگر نقش اساسی خلیج فارس در تأمین رطوبت بارش-های جنوب ایران است. در واقع کوتاه شدن مسیر انتقال رطوبت از ساعت ۶ گرینویچ ۱۱ نوامبر به بعد، ناشی از قطع شار رطوبت از دو منبع دریای عرب و دریای سرخ است. در نتیجه، در روزهای وقوع بارش در جنوب ایران، خلیج فارس سهم بیشتری در تقویت شار رطوبت به جنوب ایران دارد. بنابراین با توجه به اینکه بیشتر بارندگی‌ها از روز ۱۱ نوامبر (۲۰ آبان) است، می‌توان گفت خلیج فارس بیشترین سهم را در تأمین رطوبت دارد.

ساعت ۱۲ گرینویچ ۹ نوامبر ۲۰۱۵ نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است، در این روز مسیر انتقال رطوبت از روی دریای سرخ آغاز شده و تا جنوب ایران گسترش یافته است. طول این مسیر ۱۶ نقطه مستمر را در راستای طول جغرافیایی با فاصله ۰/۵ درجه ثبت کرده است.

شکل ۷- الف نشان داد که در روز ۱۰ نوامبر، رطوبت چندانی از سوی دریای سرخ به سوی ایران انتقال نمی‌یابد. این وضعیت در شکل ۸- ب که مسیر انتقال را برای ساعت ۱۲ روز ۱۰ نوامبر نشان می‌دهد نیز تأیید می‌شود. در این روز، ارتباط مسیر انتقال با دریای سرخ قطع شده است. باین حال، هرچند طبق شکل ۷، از این روز به بعد دریای عرب هم در تأمین و تقویت رطوبت بارندگی‌های منطقه جنوب، نقش بسزایی دارد؛ اما نتایج شکل ۸ نشان می‌دهد که رطوبت انتقالی از این منبع در زیر مقدار آستانه قرار گرفته است. همان‌طور که برآیند جهت مسیرهای حاصل نشان می‌دهد، از ساعت ۱۲ گرینویچ ۱۰ نوامبر (شکل ۸- ب)، طول مسیر انتقال کاهش یافته و از در کنار هم قرار گرفتن ۸ نقطه مستمر شبکه حاصل می‌شود. این در حالی است که بارندگی در منطقه جنوب از روز ۱۲ نوامبر آغاز می‌شود و بیشترین بارندگی‌های ثبت شده در استان فارس، ۱۱ نوامبر (۲۰ آبان) و در استان هرمزگان ۱۲ نوامبر (۲۱ آبان) است. در ادامه، در روزهای ۱۱ و ۱۲ نوامبر (شکل‌های ۸- ج و ۸- د)، طول مسیرهای حاصل به ترتیب سه و یک نقطه شبکه مستمر شبکه به دست آمد.

### ۳-۳ بررسی نقش خلیج فارس در تأمین رطوبت بارندگی‌های جنوب

همان‌طور که گفته شد، از ساعت ۱۲ گرینویچ ۱۰ نوامبر، طول مسیر انتقال بخار آب، به سوی جنوب ایران کاهش می‌یابد و نمی‌توان هیچ‌یک از منابع بزرگ آبی اطراف را برای تأمین رطوبت بارش‌های جنوب ایران معرفی کرد.



شکل ۹. مانند شکل ۴. (الف) روز ۹ نوامبر ساعت ۶ گرینویچ، (ب) روز ۱۱ نوامبر ساعت ۰۶ گرینویچ و (ج) ۱۲ نوامبر ساعت ۶ گرینویچ برای خط مورب شمال خلیج فارس.

#### ۴ نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی منابع رطوبتی و تعیین مسیر دقیق حرکت توده هوای مرطوب دو مورد سیل رخ داده در منطقه غرب و جنوب ایران صورت گرفته است. بارندگی‌های منجر به سیل در این رویدادها، ۶ تا ۹ آبان ۱۳۹۴ و ۱۹ تا ۲۱ آبان ۱۳۹۴ به ترتیب در غرب و جنوب ایران رخ داده‌اند. برای این منظور از الگوریتم جدیدی که لیورز و همکاران (۲۰۱۲) توسعه دادند، استفاده شده است. نتایج نشان داد مبدا و منشأ اصلی مسیر انتقال رطوبت برای سیل غرب ایران دریای سرخ بوده است به گونه‌ای که جریان رطوبتی از مرکز دریای سرخ پس از طی یک مسیر طولانی به غرب ایران رسیده است. البته دریای عرب هم در وقوع این سیل بی‌تأثیر نبوده است. نتایج این مطالعه برای سیل استان ایلام با نتایج کریمپور و همکاران (۱۳۹۲) همخوانی دارد. ایشان انتقال رطوبت مناسب را بیشتر در اثر تقویت کم فشار سودانی (که در مطالعات بین‌المللی به ناوه دریای سرخ مشهور است) می‌دانند. برای سیل جنوب ایران، در روزهای ابتدایی و قبل از بارش، دریای سرخ در انتقال رطوبت مؤثر بوده اما در روزهای شروع و اوج

بارندگی، شار رطوبت از سمت دریای سرخ کاهش یافته و خلیج فارس در تأمین منابع رطوبتی برای بارش‌های سنگین جنوب ایران نقش اساسی داشته است. حلییان و حسینعلی پورجزی (۱۳۹۴) نیز منبع اصلی سیل آذرماه ۱۳۹۱ جنوب غرب کشور را خلیج فارس دانسته‌اند. در این مورد خاص، دریای عرب در انتقال رطوبت تأثیر چندانی نداشته است.

#### منابع

- پرنده خوزانی، الف.، و لشکری، ح.، ۱۳۸۹، بررسی سینوپتیکی سیستم‌های سیل‌زا در جنوب ایران: مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۶، ۶۶-۷۳.
- حلییان، ا. ح. و حسینعلی پورجزی، ف.، ۱۳۹۴، تحلیل سینوپتیکی مخاطرات اقلیمی در جنوب غرب ایران. مورد مطالعه: بارش‌های سنگین سیل‌زا در آذر ۱۳۹۱: نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۴(۴)، ۳۱-۴۶.
- رضایی بنفشه، م.، جعفری شندی، ف.، حسین‌علی پورگری، ف.، و علیمحمدی، م.، ۱۳۹۵، تحلیل

- کردوانی، پ.، ۱۳۷۱، منابع و مسائل آب ایران: انتشارات دانشگاه تهران.
- کرمپور، م.، معصوم‌پور سماکوش، ج.، میری، م.، یوسفی، ی.، ۱۳۹۲، بررسی الگوهای هم‌دیدگی بارش‌های سیل‌آسا در استان لرستان: مجله فضای جغرافیایی، ۴۳، ۹۹-۱۱۳.
- Lavers, D. A., Villarini, G., Allan, R. P., Wood, E. F., and Wade, A. J., 2012, The detection of atmospheric rivers in atmospheric reanalyses and their links to British winter floods and the large scale climatic circulation: *Journal of Geophysical Research*, **117**, 1-13 .
- Lavers, D. A., and Villarini, G., 2013, Atmospheric rivers and flooding over the central united states: *Journal of Climate*, **26**, 7829-7836.
- همدید فراوانی تابع شار رطوبت در زمان رخداد بارش‌های سنگین شمال‌غرب ایران: نشریه علمی-پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۵۶، ۱۰۷-۱۲۶.
- علیجانی، ب.، خسروی، م.، و اسمعیل نژاد، م.، ۱۳۸۹، تحلیل هم‌دیدگی بارش سنگین ششم ژانویه ۲۰۰۸ در جنوب شرق ایران: نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی.
- غفاریان، پ.، مشکواتی، الف. ح.، آزادی، م.، مزرعه‌فراهانی، م.، و رحیم‌زاده، ف.، ۱۳۸۹، بررسی هم‌دیدگی بارش در شمال غرب ایران- مطالعه موردی بارش فرین ایستگاه ارومیه: مجله پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۱(۴و۳)، ۱۵-۲۶.

## Determination of humidity sources and accurate trajectory of moist air mass effective on heavy rainfalls in west and south of Iran (case study: flooding events of October and November 2015)

Nahid Shadmani<sup>1</sup>, Mohammad Ali Nasr Esfahani<sup>2\*</sup>, and AhmadReza Ghasemi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>M. Sc. Student in Water Resources Engineering, faculty of agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

<sup>2</sup>Assistant Professor, Department of Water Engineering, faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

(Received: 10 March 2017, Accepted: 12 June 2018)

### Summary

The aim of the present study is detecting the moisture sources of the heavy floods in the western and southern parts of Iran using hydrometeorological analysis. For this purpose, two heavy floods happened during 28<sup>th</sup> to 31<sup>th</sup> October and 10<sup>th</sup> to 12<sup>th</sup> November 2015 in the western and southern parts of Iran were selected. The Integrated Vapor Transport (IVT) algorithm was used to study the transfer path of the tropical moisture to the mid-latitudes region. This algorithm is also useful for detecting the moisture source of the heavy rainfall and floods. In mid-latitude locations, most of the heavy precipitation and flood events are related to intense vertically integrated horizontal water vapor transport. The Integrated Vapor Transport algorithm is in the base of accumulated atmospheric moisture transport from 1000 hPa to 300 hPa levels which is computed using the Global Forecast System (GFS) analyzed data with 0.5° × 0.5° resolution for all days of October to November from 2007 to 2015. Then threshold values of the IVT were computed for the selected western and southern flood events separately as median value of the maximum IVT along a meridional line at 45E between 20N to 45N for the western flood case and a diagonal line between 42E, 23N and 52E, 33N for the southern flood event one. To detecting the role of humidity associated with the Persian Gulf in the southern flood event, an additional diagonal line was also considered in the northern parts of the Persian Gulf between 56.5E, 25N and 47E, 34.5N. To detect the source and path of the moisture for the selected floods, the IVT algorithm (as mentioned in the main text) is used. In addition to the IVT, the zonal and meridional components of integrated vertical moisture flux vector were computed and analyzed to determine the direction of the moisture flux in all grid points. The results showed that the IVT algorithm is a useful tool for finding the atmospheric moisture sources of the floods and the path of the moisture for the studied area. The algorithm indicated that the Red Sea and the Indian Ocean participate equally in moisture supply for the studied flood in the western parts of Iran. But for the peak rainfalls, the results showed that the center of the Red Sea is the main moisture source. For the selected heavy rainfall and flood in the southern parts of Iran, the IVT analysis showed that in days before the flood, the end edge of the moisture path is located over south of the Red Sea but in day with heavy rainfall and flood, the moisture path is limited to the Persian Gulf and surrounding area. So, it seems that for the selected southern flood, the main source of the moisture is the Persian Gulf and the other moisture sources have lesser role in the moisture supply.

**Keywords:** Integrated Vapor Transport , flood, Red Sea, humidity source

\*Corresponding author: