

چگونگی انتقال رطوبت در بارش زمستانه غرب ایران (مطالعه موردی بارش ۳-۷ ژانویه ۱۹۹۶)

منوچهر فرج زاده اصل^{۱*}، مصطفی کریمی احمدآباد^۲، هوشنگ قائمی^۳، محمد رضا مباحثی^۴

۱- استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲- دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۳- استاد جغرافیا و مشاور سازمان هواشناسی، ایران، تهران

۴- دانشیار گروه سنجش از دور، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

پذیرش: ۸۶/۳/۱

دریافت: ۸۵/۱۱/۲۵

چکیده

در این مقاله به منظور شناسایی منابع رطوبتی، بارشهای مناطق غربی ایران و چگونگی انتقال بخار آب از نواحی اطراف به این منطقه، سامانه بارانزای زمستانی، از نوع تلفیقی سودانی - مدیترانه‌ای، انتخاب شده است. مطالعه توزیع نم و یخه و آب قابل بارش در منطقه نشان می‌دهد که رطوبت دو روز قبل از شروع بارش روی ایران در ترازهای پایینی و رده‌سپهر از نواحی جنوبی دریای سرخ و خلیج عدن به سمت شمال خاورمیانه و سپس از روز شروع بارش به سمت شرق (غرب ایران) جابه‌جا شده‌اند. مقادیر شار رطوبت محاسبه شده نشان می‌دهد که دریای عرب و عمان در دوره مطالعه، بیشترین واگرایی شار رطوبت را بویژه در ترازهای پایینی داشته است. اما نقش دریای سرخ در ترازهای میانی بارزتر شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که مدیترانه شرقی نه تنها فرستندگی رطوبت نداشته بلکه از دریا‌های عمان، عرب، سرخ و قسمت مرکزی خود رطوبت دریافت کرده است. بالاترین مقدار همگرایی رطوبت در طی روزهای بارش بر روی ایران در ترازهای پایینی بوده است که فقط در ناحیه شمال غرب میزان انتقال رطوبت در ترازهای پایینی و میانی و رده‌سپهر با هم برابر هستند. با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان گفت دریا‌های عمان و عرب اصلی‌ترین منبع تأمین رطوبت بارش رخ داده روی غرب ایران می‌باشند.

E-mail: farajzam@modares.ac.ir

* نویسنده مسؤل مقاله:

کلید واژه‌ها: شار بخار آب، انتقال رطوبت، بارش، ایران، خاورمیانه

۱- مقدمه

افزایش یا کاهش رطوبت در یک ناحیه وابسته به انتقال رطوبت به داخل یا خارج از آن ناحیه به وسیله جریانهای اتمسفری و گردش هوا به اشکال گاز و مایع می‌باشد. به همین علت است که الگوهای چگونگی شار رطوبت به طور فزاینده‌ای با گردش جو بخصوص الگوهای پرفشار همخوانی دارد [۱، صص ۱۷۰-۱۵۱؛ ۲، صص ۲۳۳-۳۴۲؛ ۳].

لیندسای و همکاران چگونگی انتقال رطوبت و شار بخار آب روی جنوب آفریقا را با توجه به جریانهای باد محاسبه کرده‌اند [۱، صص ۱۷۰-۱۵۱]. اشکال مختلف انتقال بخار آب علاوه بر وابستگی به گردش عمومی در دوره‌های زمانی (فصلی و ماهانه) نیز با یکدیگر متفاوتند [۲، صص ۳۳۳-۳۴۲]. در بررسیهای انجام شده به وسیله زانگ روی مونسن تابستانه جنوب-شرقی آسیا مشخص شده است که بین مونسن ذکر شده و انتقال رطوبت از مونسن هند به آن ارتباط وجود دارد [۳].

در منطقه خاورمیانه نیز محققانی به بررسی موضوع انتقال رطوبت برای سامانه‌های بارانزا به صورت یک موضوع جنبی پرداخته‌اند. آلپرت و همکاران در بررسیهای مربوط به بارش در خاورمیانه متوجه شدند که در بیابانهای شمال عربستان و جنوب عراق با اینکه بارش اندک می‌باشد ولی روی این منطقه چاهک رطوبتی قابل توجهی در زمستان مشاهده می‌شود. آنها به این نتیجه رسیدند که وجود این مغایرت بین انتقال رطوبت و بارش در منطقه به این علت است که ناحیه مذکور بیشتر رطوبت خود را به صورت ابرهای سطوح میانی و فوقانی که بارش ایجاد نمی‌کنند، دریافت می‌دارد و رطوبت از آنجا به نواحی دیگر فرارفت می‌شود [۴، صص ۱۹۰-۱۹۴].

بعضی از پژوهشگران در مطالعات خود یک سامانه را به صورت موردی مورد مطالعه قرار داده‌اند. برای مثال دایان و آبرامسکی در بررسی یک سامانه بارانزا روی خاورمیانه متذکر شدند که رودباد جنب حاره هوای گرم و مرطوب را از نواحی جنوبی (حاره‌ای آفریقای شرقی و خلیج عدن) در ترازهای میانی و فوقانی و ردسپهر بر روی خاورمیانه بخصوص مصر و اردن منتقل کرده است [۵، صص ۱۱۳۸-۱۱۴۰]. این رودباد به همراه ناوه دریای سرخ به صورت توأمان در انتقال بخار آب از دریای عرب به خاورمیانه و شرق

مدیترانه مشارکت داشته است [۶، صص ۱۹۴۵۳-۱۹۴۶۸].

برای محاسبات مربوط به شار رطوبت از داده‌های مختلف استفاده می‌شود. یاتاگی و همکارانش برای تشریح انتقال رطوبت و محاسبه شار آن از داده‌های دوباره تحلیل ECMWF استفاده کردند [۷، صص ۷۹۹-۸۱۵]. به علت کمبود داده‌های شبکه رادیوسوند، استفاده از این نوع داده‌ها و داده‌های ماهواره‌ای در مطالعات و بررسی مرتبط با رطوبت به صورت چشمگیری افزایش یافته است. اما از داده‌های ماهواره‌ای بیشتر برای کمی‌کردن میزان رطوبت و انتقال آن در سطوح میانی و فوقانی و ردسپهر استفاده می‌شود [۸، ۹، ۱۰، صص ۱۰۳-۱۲۲؛ ۱۱، ۱۲، صص ۱۵۱۷-۱۷۲۸].

به علت قرارگیری ایران در منطقه جنب حاره، اقلیم آن از سامانه‌های عرضهای میانه در فصل سرد سال و سامانه‌های حاره‌ای در فصل گرم سال متأثر می‌شود. از دیرباز موضوع بارش و منابع آب یکی از مهمترین مسائل این سرزمین بوده و می‌باشد. الگوهای زمانی و مکانی بارش، انتقال رطوبت، نواحی چشمه و چاهک آن نقش بسیار مهمی در آب‌وهوا و چرخه آب در این فلات دارد. از آن جای که ایران در یک ناحیه خشک و نیمه خشک واقع شده است، فاقد منابع آبی بزرگ داخلی برای تأمین رطوبت بارشهای خود بوده و در نتیجه بیشتر منابع رطوبتی بارشهای آن از سطوح آبی اطراف تأمین می‌شود. جدا از پژوهش علیجانی و رورده، بحث شناسایی منابع رطوبتی بارشهای ایران به عنوان موضوع اصلی تحقیقات اقلیمی قرارنگرفته است [۱۳، ۱۴]. پژوهشگران مختلف در تحقیقات خود، منابع رطوبتی مختلفی را برای بارشهای ایران متذکر شده‌اند. اسمیت و همکاران منابع رطوبت بارشهای مناطق کوهستانی زاگرس و البرز را بترتیب خلیج فارس و دریای خزر ذکر کرده‌اند [۱۵، ۱۶]. علیجانی با مطالعه نقشه‌های سطح زمین، ۷۰۰ هکتوپاسکال و دمای نقطه شبنم برای بارشهای بیش از ۱۰ میلیمتر به این نتیجه رسید که دریای مدیترانه برای اکثر نواحی ایران به‌استثنای سواحل جنوبی دریای خزر، منبع اصلی رطوبت بارشهای ایران می‌باشد [۱۳].

اما در سالیان اخیر توجه به سیستمهای بارانزای با منشاء سودانی که بر روی ایران ایجاد بارش می‌کنند، مورد توجه بیشتر قرار گرفته‌اند [۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱]. در این نوع سامانه پرفشار مستقر بر روی دریای عرب و شرق عربستان، کم فشارهای (چرخندها) فعال روی غرب ایران را تقویت می‌کنند و هوای گرم و مرطوب حاشیه جنوبی این پرفشار تأمین-

1. European center for Medium Range Weather Forecasts

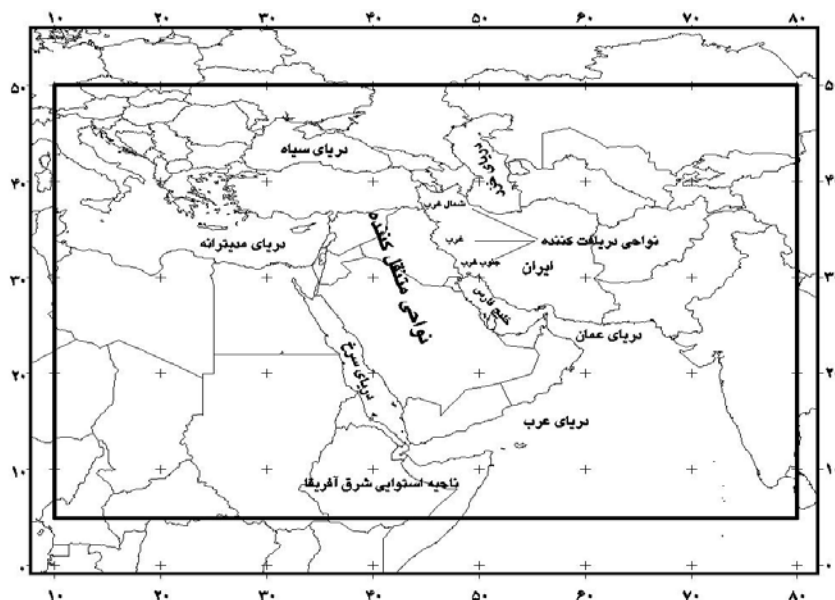
کننده قسمتی از رطوبت سامانه‌های سودانی می‌باشد [۱۸؛ ۱۹؛ ۲۰؛ ۲۱؛ ۲۲]. علاوه بر این مفیدی متذکر شده است که جنوب‌غرب دریای عرب (خلیج عدن) و نواحی حاره‌ای شرق آفریقا تأمین کننده رطوبت این نوع سامانه‌ها می‌باشند [۲۳]. همچنین در اکثر این سامانه‌ها رطوبت از دریا‌های اطراف بر روی شبه جزیره عربستان منتقل می‌شود [۲۴].

با در نظر گرفتن مطالعات اقلیم‌شناسی بویژه گردش جو انجام گرفته در منطقه خاورمیانه موضوع انتقال رطوبت بر روی منطقه بخصوص ایران می‌باشد. هدف اصلی این مقاله بررسی چگونگی انتقال رطوبت بر روی ایران در یک سامانه بارانزای سودانی - مدیترانه‌ای است. سامانه انتخابی از ۳-۷ ژانویه ۱۹۹۶ روی غرب ایران فعال بوده است. سامانه‌های سودانی - مدیترانه‌ای از مهمترین سامانه‌های بارانزای فصل زمستان روی ایران هستند، به همین علت یکی از این سامانه‌ها برای مطالعه انتخاب شده است.

۲- داده‌ها و روش

محدوده مطالعه شده از ۱۰ درجه تا ۸۰ درجه شرقی و از ۵ درجه تا ۵۰ درجه شمالی می‌باشد. شکل ۱ نشان‌دهنده موقعیت منطقه مطالعه شده می‌باشد. این ناحیه دربرگیرنده خاورمیانه، آسیای میانه، قسمتی از شبه جزیره هند، جنوب و شرق اروپا و شمال و شرق قاره آفریقا می‌باشد و سطوح آبی دریای عمان، عرب، سرخ، مدیترانه، سیاه و دریا‌های خزر و خلیج فارس را که دریا‌های مجاور ایران می‌باشند، شامل می‌شود.

در این پژوهش از داده‌های دوباره تحلیل ECMWF به نام ERA-۴۰ تولید شده وسیله مرکز پیش‌بینی‌های میان مدت اروپا با قدرت تفکیک مکانی ۲/۵ درجه طول و عرض جغرافیایی و قدرت تفکیک زمانی ۶ ساعت (ساعتهای ۰۰، ۰۶، ۱۲ و ۱۸)، در ۹ سطح (۱۰۰۰، ۹۲۵، ۸۵۰، ۷۷۵، ۷۰۰، ۶۰۰، ۵۰۰، ۴۰۰ و ۳۰۰ هکتوپاسکال) استفاده شده است. متغیرهای استفاده شده شامل مقادیر نم و یژه (q) و مؤلفه‌های شرقی (u) و شمالی (v) جریان باد می‌باشد.

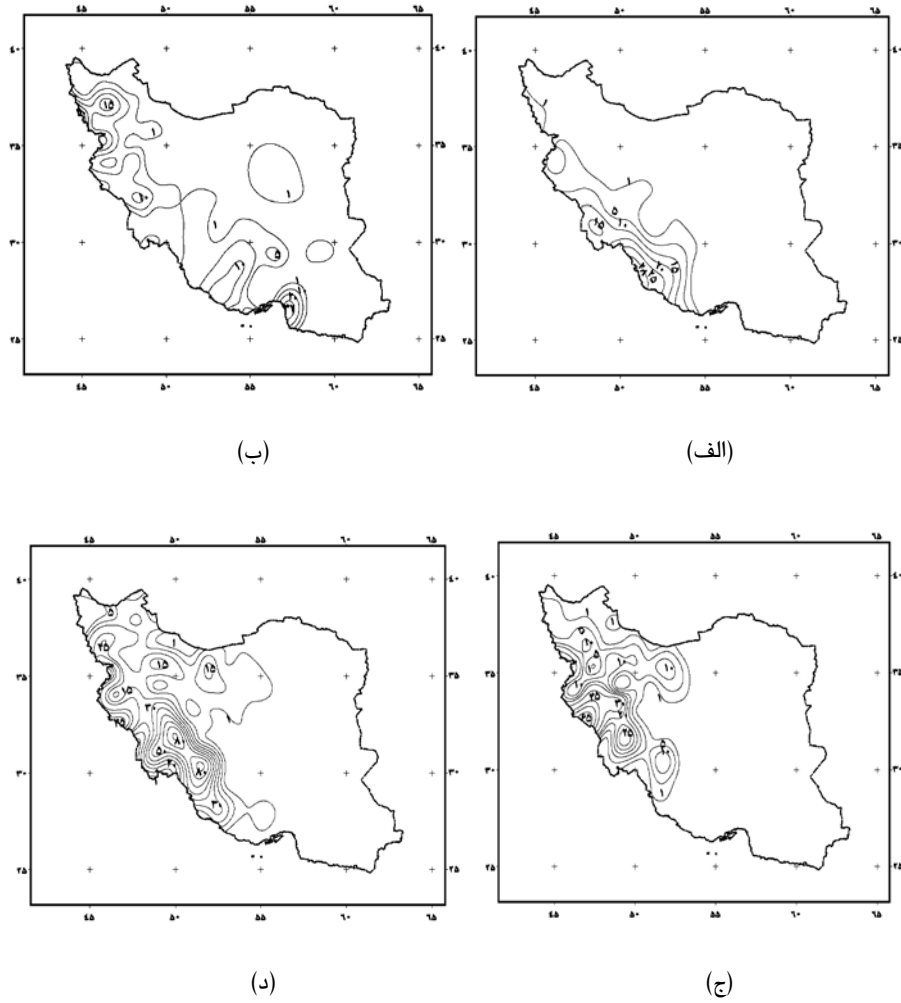


شکل ۱ محدوده مطالعه که در آن نواحی منبع رطوبتی (دریاها)، مناطق انتقال دهنده (خشکیهای مجاور) و نواحی جنوب غرب، غرب و شمال غرب ایران به عنوان مناطق دریافت کننده (چاهک) رطوبت مشخص شده اند.

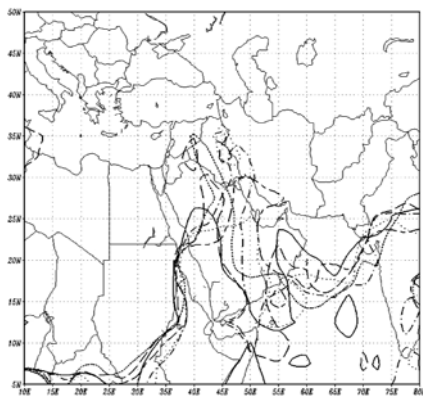
برای انجام این پژوهش از داده های بارش روزانه ایستگاههای سینوپتیک سازمان هواشناسی کشور استفاده شده است. شکل ۲ نقشه های توزیع بارش از روز ۳ ژانویه تا ۶ ژانویه ۱۹۹۶ را نشان می دهد. به منظور تحلیل مناسبتر، ردیابی مسیر انتقال رطوبت و شناسایی دقیقتر منبع آن، دوره زمانی مطالعه از دو روز قبل از شروع بارش بر روی غرب ایران، یعنی از ۱ تا پایان روز ۶ ژانویه انتخاب شده است.

برای دستیابی به یک نمای کلی از چگونگی تغییرات زمانی و مکانی رطوبت روی منطقه مطالعه شده در مرحله اول حد گسترش میانگین روزانه نم ویژه در ۹ سطح ذکر شده با توجه به میزان معمول در آن سطح از روز ۱ ژانویه تا ۶ ژانویه ترسیم شده است (شکل ۳). همچنین روند تغییرپذیری میانگین روزانه مقدار آب قابل بارش نیز محاسبه شده است. این محاسبات برای ترازهای پایینی (۷۷۵-۱۰۰۰ هکتوپاسکال)، میانی (۷۷۵-۵۰۰ هکتوپاسکال)،

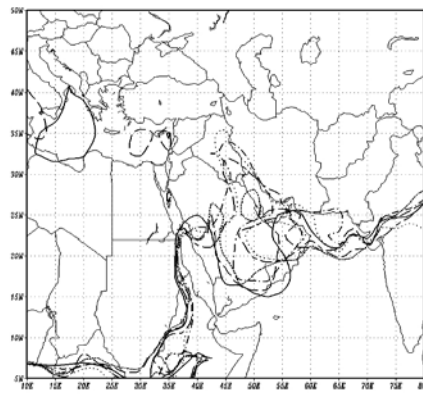
فوقانی (۳۰۰-۵۰۰ هکتوپاسکال) و تمام ستون وردسپهر (۳۰۰-۱۰۰۰ هکتوپاسکال) به صورت جداگانه انجام پذیرفته است.



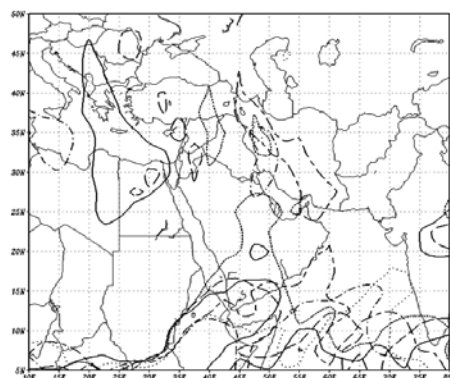
شکل ۲ نقشه توزیع بارش روزانه از ۳ ژانویه تا ۶ ژانویه ۱۹۹۶ م. در غرب ایران (مقادیر بارش به میلیمتر)



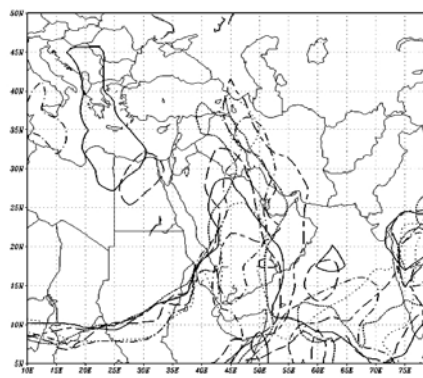
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۳ گسترش مقادیر نم ویژه بر روی خاورمیانه و ایران، ۳-الف: تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (۹ گرم)؛ ۳-ب: تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (۷ گرم)؛ ۳-ج: تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (۴ گرم)؛ ۳-د: تراز ۶۰۰ هکتوپاسکال (۲/۵ گرم)؛ (___) ۹۶/۱/۱؛ (___) ۹۶/۱/۲؛ (___) ۹۶/۱/۳؛ (___) ۹۶/۱/۴ (.....)؛ ۹۶/۱/۵ (-.-.-)؛ ۹۶/۱/۶

برای محاسبه تغییرات روزانه مقدار آب قابل بارش از رابطه ۱ استفاده شده است.

$$\nabla pw = \left(\int_{t^3}^{t^4} \left(\int_{p^1}^{p^2} \frac{1}{g} q \cdot dp \right) / dt \right) - \left(\int_{t^1}^{t^2} \left(\int_{p^1}^{p^2} \frac{1}{g} q \cdot dp \right) / dt \right) \quad ۱$$

که در آن ∇pw تغییرات روزانه آب قابل بارش، q نم ویژه و g مقدار شتاب جاذبه است. با توجه به اینکه اساس محاسبه واگرایی شار رطوبت جریانات باد می‌باشد، در ابتدا مجموع بردار سرعت باد از رابطه ۲ به دست آمده است.

$$V = ui_{\lambda} + vi_{\phi} \quad ۲$$

که در آن i_{ϕ} و i_{λ} بردار واحد جهات شرقی و شمالی هستند. سیستم مختصات استفاده شده شامل (λ) طول جغرافیایی، (ϕ) عرض جغرافیایی، (p) فشار و (t) زمان می‌باشد. واگرایی شار افقی رطوبت با توجه به رابطه واگرایی که در زیر آمده محاسبه شده است.

$$Vq = - \left(\frac{\partial u}{\partial x} \cdot q + \frac{\partial v}{\partial y} \cdot q + \frac{\partial q}{\partial x} \cdot u + \frac{\partial q}{\partial y} \cdot v \right) \quad ۳$$

که Vq شار افقی رطوبت واگرا شده (علامت - برای مثبت کردن مقدار همگرا شده می‌باشد)، ∂x و ∂y فاصله در جهات طول و عرض جغرافیایی است. در این پژوهش مقادیر مثبت، شار رطوبت همگرا شده و بالعکس مقادیر منفی، شار رطوبت واگرا شده می‌باشد. به علت اختلاف در جهت جریانات باد در ترازهای مختلف با یکدیگر، میزان مجموع قائل شار رطوبت در چهار دسته، ترازهای پایینی (۷۷۵-۱۰۰۰)، میانی (۵۰۰-۷۷۵)، فوقانی (۳۰۰-۵۰۰) و تمام ستون وردسپهر (۳۰۰-۱۰۰۰) هکتوپاسکال، با توجه به رابطه ۳، و بترتیب با استفاده از روابط ۴ - ۷ محاسبه شده است.

$$Q_{vi} = \int_{w_0}^{0.0} \int_{r_0}^{0.0} Vq \cdot dp \quad ۴$$

$$Q_{vi} = \int_{w_0}^{1.0} \int_{r_0}^{0.0} Vq \cdot dp \quad ۵$$

$$Q_{vi} = \int_{w_0}^{1.0} \int_{1.0}^{0.0} Vq \cdot dp \quad ۶$$

$$Q_{vi} = \int_{w_0}^{2.0} \int_{0.0}^{0.0} Vq \cdot dp \quad ۷$$

۲۰۰

که در آنها، Q_{vj} مجموع قائم شار بخار آب (رطوبت) می‌باشد. از لحاظ زمانی محاسبات در سه دوره انجام شده است. دوره اول از روز اول ژانویه تا روز سوم ژانویه به عنوان دوره قبل از شروع بارش، دوره دوم از روز سوم تا روز ۷ ژانویه به عنوان دوره بارشی و دوره سوم از روز اول تا روز ۷ ژانویه به عنوان مجموع دوره مطالعاتی در نظر گرفته شده است که برای هر یک از آنها میانگین مجموع قائم ترازهای تعریف شده در طول دوره زمانی محاسبه شده است.

۳- نتایج

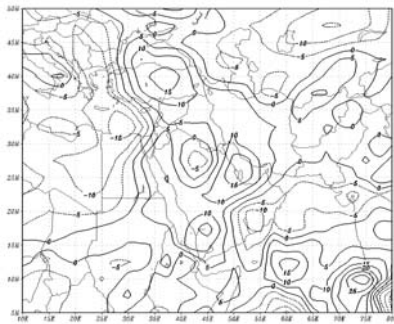
نمایی کلی از نحوه گسترش رطوبت بر روی خاورمیانه در شکل ۳ که نقشه‌های حد گسترش مقادیر نم و یژه را نمایش می‌دهد، قابل درک است. این نقشه‌ها نشان می‌دهد که دو الگوی کلی در گسترش و پیشروی نم و یژه وجود دارد. الگوی اول مربوط به ترازهای پایینی و رده‌سپهر است که تفاوت‌های جزئی در آن مشاهده می‌شود. در این ترازها (از ۱۰۰۰ - ۷۰۰ هکتوپاسکال) مقادیر نم و یژه از دو روز قبل از شروع بارش بر روی ایران، در روز اول ژانویه از ناحیه جنوبی دریای سرخ و خلیج عدن به سوی شمال جابه‌جا شده‌اند، حداکثر گسترش شمالی آن در روز شروع بارش بر روی ایران، به مرز جنوبی ترکیه (۳۷/۵ درجه شمالی) و حداکثر گسترش غربی آن به سواحل شرقی مدیترانه (۳۵ درجه شرقی) رسیده است (شکل‌های ۳- الف، ۳- ب و ۳- ج).

در روز شروع بارش مقادیر نم و یژه به سمت شرق، یعنی نواحی غربی ایران گسترش یافته‌اند. نحوه گسترش نم و یژه در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال یک تفاوت جزئی با ترازهای دیگر دارد. در این تراز نم و یژه از دو روز قبل به سمت شرق جابجا شده و بعد از آن به سمت شمال گسترش پیدا کرده است (شکل ۳- الف).

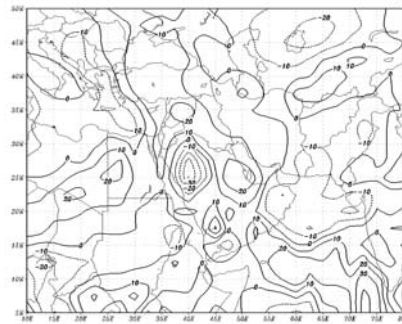
از تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال به بالا جهت گسترش مقادیر نم و یژه از غرب به شرق بوده (شکل ۳- د) که این گسترش در تراز ۶۰۰ هکتوپاسکال از روی دریای سرخ در جهت جنوب غرب بر روی نواحی جنوب غربی ایران و از شرق مدیترانه بر نواحی غرب و شمال غرب ایران صورت گرفته است (شکل ۳- د).

با محاسبه تغییرات روزانه آب قابل بارش مشاهده می‌شود که تغییرات روزانه در مقدار آب قابل بارش در منطقه را می‌توان به دو دسته تقسیم بندی کرد. دسته اول ترازهای ۷۰۰

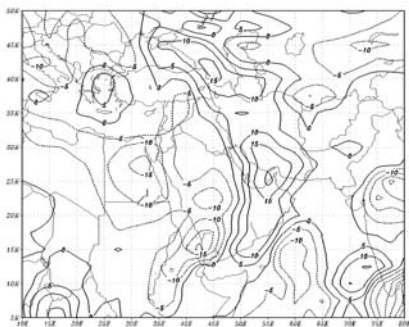
هکتوپاسکال و پایینتر که افزایش مقادیر آب قابل بارش بر روی ایران از روز شروع بارش محسوس بوده که حداکثر این افزایش در منطقه جنوب غرب رخ داده است. موضوع دیگر اینکه در روز ۶ ژانویه ناحیه جنوب غرب، افزایش دوباره‌ای در میزان آب قابل بارش داشته است. این در حالی است که در دیگر مناطق غرب ایران نیز کاهش در آب قابل بارش مشاهده می‌شود. این امر با مقدار بارش جنوب غرب که حداکثر آن در روز ۶ ژانویه اتفاق افتاده است، مطابقت دارد (شکل ۴- الف). دسته دوم ترازهای ۳۰۰ تا ۷۰۰ هکتوپاسکال است که افزایش مقدار آب قابل بارش روی ایران در روز قبل از شروع بارش بوده (شکل ۴- ب) ولی تفاوت آن با ترازهای قبلی این است که روند و جهات افزایش و کاهش مقادیر آب قابل بارش تغییراتی را به همراه داشته است. جهات افزایش در ترازهای پایینی و ردسپهر جنوب غرب و جنوب بوده است (شکل ۴- الف، ۴- ب) در حالی که در ترازهای میانی و فوقانی و ردسپهر (دسته دوم) جنوب غرب و غرب می‌باشد (شکل ۴- ج، ۴- د، ۴- و، ۴- ز، ۴- ک، ۴- ل).



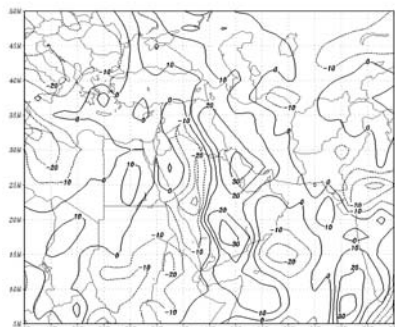
(و)



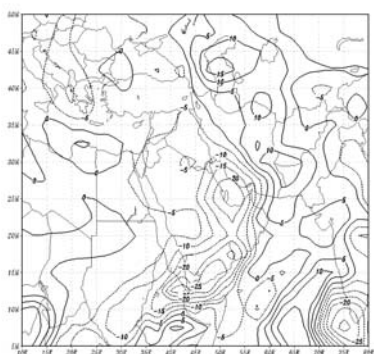
(الف)



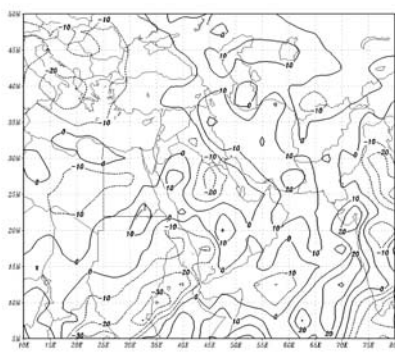
(ا)



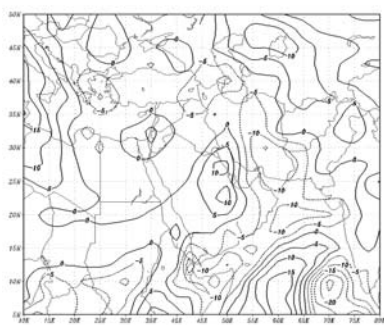
(ب)



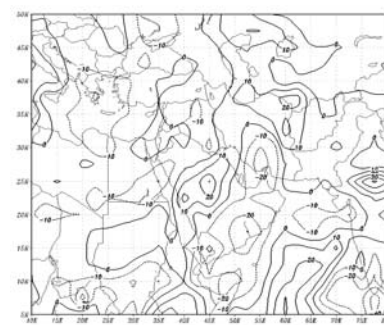
(ج)



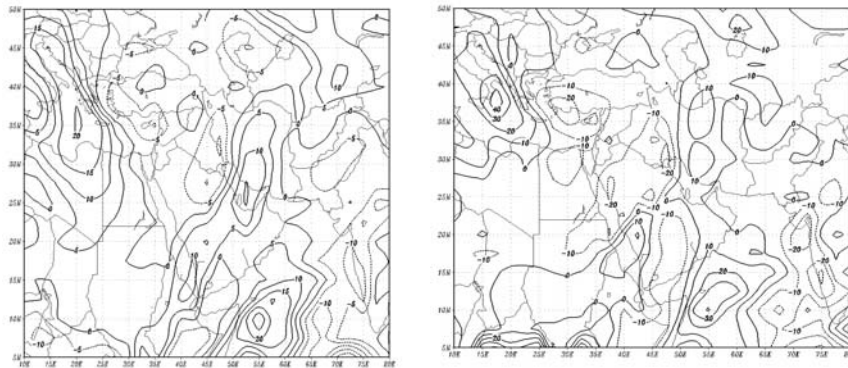
(د)



(ه)



(و)

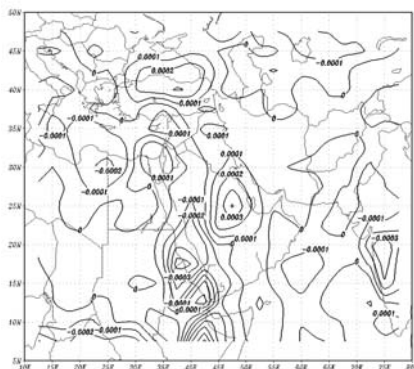


(ا)

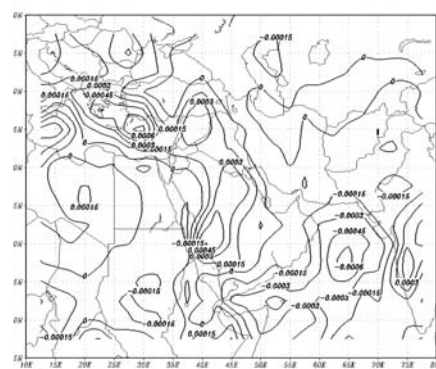
(ب)

شکل ۴ تغییرات روزانه آب قابل بارش بر روی خاورمیانه و ایران، ترازهای ۷۰۰-۱۰۰۰ هکتوپاسکال (الف-ه)، ترازهای ۳۰۰-۷۰۰ هکتوپاسکال (و-م)، تغییرات روز دوم نسبت به روز اول (الف، و)، تغییرات روز سوم نسبت به روز دوم (ب، ز)، تغییرات روز چهارم نسبت به روز سوم (ج، ک)، تغییرات روز پنجم نسبت به روز چهارم (د، ل)، تغییرات روز ششم نسبت به روز پنجم (ه، م).

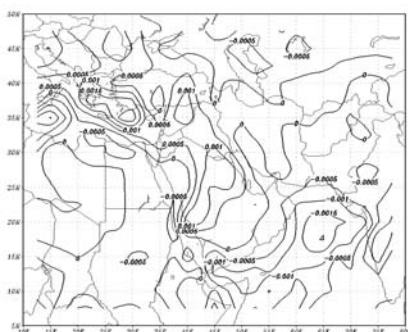
مطلب مهم و قابل ذکر در مورد توزیع آب قابل بارش بر روی خاورمیانه و به خصوص ایران این است که بیشترین انتقال در ترازهای پایینی وردسپهر از خلیج عدن، دریای سرخ و دریای عرب به ناحیه مرکزی شبه جزیره عربستان و از آنجا به شمال شرق شبه جزیره منتقل و در نهایت به سمت جنوب غرب و غرب ایران منتقل شده است (شکل ۴). میانگین شار ترازهای پایینی وردسپهر در روزهای اول و دوم ژانویه (دوره قبل از بارش) نشاندهنده همگرایی (دریافت) رطوبت در ناحیه‌ای به صورت جنوب غربی، شمال شرقی بر روی شبه جزیره عربستان و همچنین جنوب شرقی، شمال غربی بر روی عراق و سوریه است. طول جغرافیایی ۳۵ درجه شرقی را می‌توان مرز بین همگرایی شار جنوبی (دریاهای سرخ، عرب، عمان) با شار رطوبت مدیترانه‌ای در نظر گرفت (شکل ۵-الف).



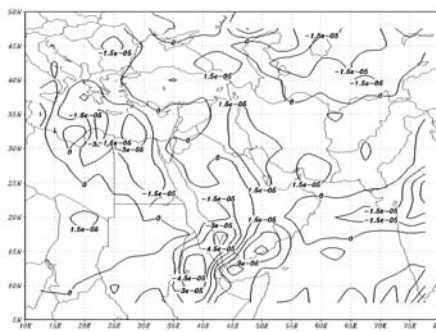
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۵ میانگین دوره اول (۱ - ۳ ژانویه) مجموع قائم شار واگرا شده رطوبت، ۵- الف : ترازهای پایینی وردسپهر (۷۷۵-۱۰۰۰ هکتوپاسکال)؛ ۵- ب : ترازهای میانی وردسپهر (۵۰۰-۷۷۵ هکتوپاسکال)؛ ۵- ج : ترازهای فوقانی وردسپهر (۳۰۰-۵۰۰ هکتوپاسکال)؛ ۵- د: کل ستون وردسپهر (۳۰۰-۱۰۰۰ هکتوپاسکال)؛ مقادیر به $(\text{kg m}^{-1} \text{ s}^{-1})$.

میزان میانگین شار رطوبت در ترازهای پایینی وردسپهر در مناطق همگرایی رطوبت (دریافت‌کننده رطوبت) در طی روزهای اول و دوم ژانویه حداکثر $5 \times 10^{-4} \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ در ساحل غربی شبه جزیره عربستان بوده است، بعد از آن سوریه با $3 \times 10^{-4} \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$

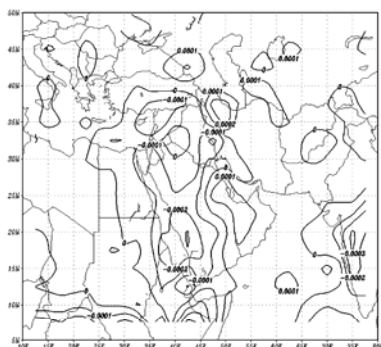
بالاترین مقدار را دارد. همچنین بیشترین میزان واگرایی شار رطوبت (فرستندگی رطوبت) را دریای عرب با $6 \times 10^{-4} \text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$ و دریا‌های عمان و سرخ با بیش از $1/5 \times 10^{-4} \text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$ داشته‌اند (شکل ۵- الف).

همان گونه که در ۵ - الف مشاهده می‌شود، طی دوره اول در ترازهای پایینی رطوبتی روی مناطق غربی ایران منتقل نشده است. اما بین ۰ تا $1 \times 10^{-4} \text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$ در ترازهای میانی بر روی جنوب غرب و بین ۰ تا $1/5 \times 10^{-4} \text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$ در ترازهای فوقانی بر روی مناطق جنوب غرب و غرب دریافت رطوبت وجود داشته است (شکل‌های ۵ - ب، ۵ - ج).

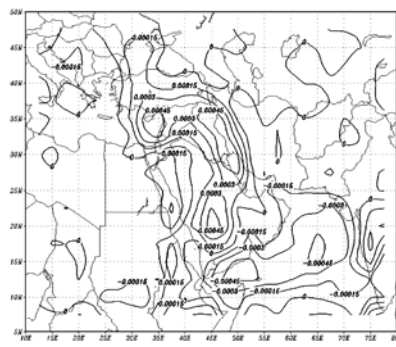
مجموع کل لایه وردسپهر نشان می‌دهد که بیشترین واگرایی شار بر روی دریای عرب با مقداری بین ۱- تا $2 \times 10^{-4} \text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$ و دریا‌های عمان و سرخ $5 \times 10^{-4} \text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$ بوده است که دریای عمان مقدار بیشتری نسبت به دریای سرخ واگرایی شار رطوبت داشته است (شکل ۵ - د). شکل‌های مناطق واگرایی و همگرایی رطوبت در این شکل (کل لایه) مشابه ترازهای پایینی می‌باشد که نشان‌دهنده غلبه انتقال رطوبت در ترازهای پایینی نسبت به دیگر ترازهاست (شکل‌های ۵ - الف تا ۵ - د). در شکل ۵ - د مشاهده می‌شود که همگرایی شار رطوبت (دریافت) به صورت ناحیه‌ای با جهت جنوب غربی - شمال شرقی روی شبه جزیره عربستان و همچنین بر روی سوریه بیش از $1 \times 10^{-4} \text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$ بوده و علاوه بر آن در غرب قبرس بر روی دریای مدیترانه شرقی مقدار همگرایی در حدود $2 \times 10^{-4} \text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$ بوده است که از مدیترانه مرکزی و شار مناطقی جنوبی تأمین شده است (شکل ۵ - د).

در طی روزهای بارش از روز سوم تا روز هفتم ژانویه مناطق همگرایی شار به طرف شرق، و شمال شرق، یعنی غرب ایران جابه جا شده‌اند، مناطق حداکثر همگرایی و واگرایی شار رطوبت در ترازهای پایینی وردسپهر به شکل دو نعل اسب (دو نعل اسب داخل یکدیگر) در جهت شمال شرق - جنوب غرب مشاهده می‌شوند که قسمت برآمده مناطق همگرایی (دریافت) به سمت نواحی غربی ایران و دو حاشیه آن یکی در شمال بر روی سوریه و مناطق شرقی مدیترانه و دیگری در جنوب بر روی نواحی مرکزی شبه جزیره عربستان مشخص می‌گردند.

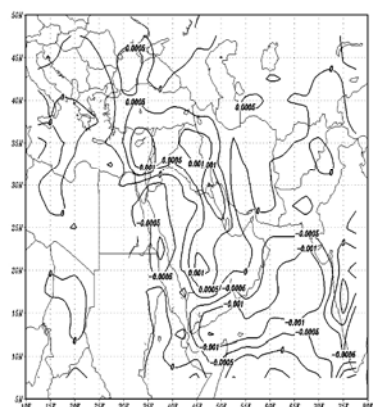
مناطق واگرایی (فرستنده) نیز به همین گونه است، البته با جهتی معکوس که ناحیه فرورفتگی آن در بر گیرنده حاشیه جنوبی منطقه همگرایی می‌باشد و حاشیه شمال آن بر روی دریای سرخ و حاشیه جنوبی بر روی دریای عرب و عمان می‌باشد (شکل ۶- الف).



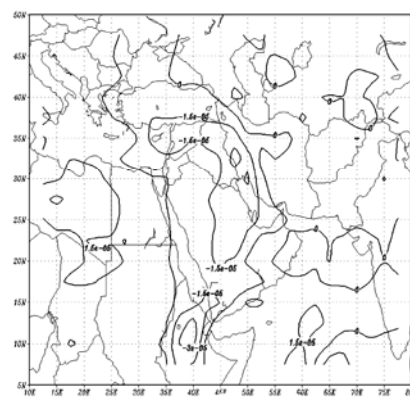
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۶ میانگین دوره دوم (۳ - ۷ ژانویه) مجموع قائم شار واگرا شده رطوبت؛ ۶-الف: ترازهای پایینی وردسپهر (۷۷۵-۵۰۰ هکتوپاسکال)؛ ۶-ب: ترازهای میانی وردسپهر (۷۷۵-۵۰۰ هکتوپاسکال)؛ ۶-ج: ترازهای فوقانی وردسپهر (۳۰۰-۵۰۰ هکتوپاسکال)؛ ۶-د: کل ستون وردسپهر (۳۰۰-۱۰۰۰ هکتوپاسکال)؛ مقادیر به $(\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1})$.

میزان میانگین همگرایی شار رطوبت ترازهای پایینی وردسپهر در این دوره بر روی منطقه جنوب غرب و غرب ایران بین ۰ تا بیش از $4/5 \times 10^{-4} \text{ kgm}^{-1} \text{s}^{-1}$ و شمال غرب ایران بین



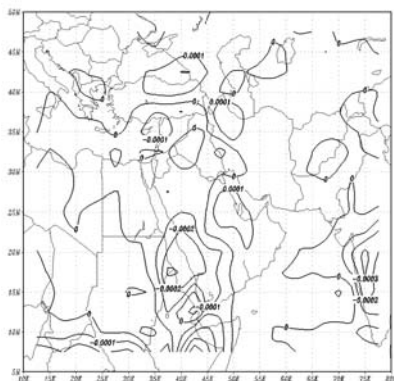
• تا $3 \times 10^{-4} \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ بوده است (شکل ۶ - الف). به همین ترتیب مقدار واگرایی شار به بیشترین میزان خود در دریای عرب به بیش از $4/5 \times 10^{-4} \text{ kgm}^{-1} \text{ s}^{-1}$ و دریای سرخ و عمان با $4/5 \times 10^{-4} \text{ kgm}^{-1} \text{ s}^{-1}$ و دریای سرخ و عمان با $2 \times 10^{-4} \text{ kgm}^{-1} \text{ s}^{-1}$ رسیده است (شکل ۶- الف).

نکته قابل تأملی که در این دوره وجود دارد، همگرایی ترازهای میانی و فوقانی است که در ترازهای میانی فقط شمال غرب ایران به میزان $2 \times 10^{-4} \text{ kgm}^{-1} \text{ s}^{-1}$ همگرایی شار رطوبت داشته است البته قسمت شمالی غرب نیز به مقدار ناچیزی رطوبت دریافت داشته است، ولی در جنوب غرب واگرایی شار رطوبت وجود داشته است (شکل ۶ ب).

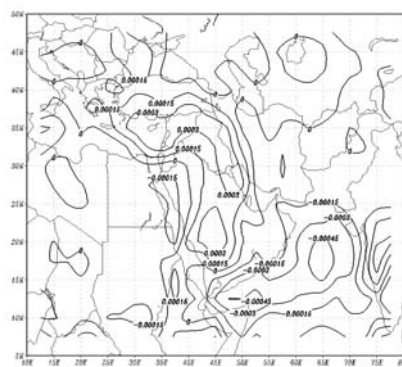
بیشترین میزان واگرایی شار رطوبت روی دریای سرخ بویژه منطقه جنوبی آن به مقدار $3 \times 10^{-4} \text{ kgm}^{-1} \text{ s}^{-1}$ مشاهده می شود (شکل ۶- ب). در ترازهای فوقانی هیچ کدام از مناطق مورد نظر روی ایران دریافت رطوبت نداشته اند (شکل ۶- ج).

چگونگی همگرایی شار رطوبت در کل ستون و ردسپهر در این دوره بیانگر این مطلب است که منطقه جنوب غرب ایران بین ۰ تا $1/5 \times 10^{-2} \text{ kgm}^{-1} \text{ s}^{-1}$ بیشترین دریافت رطوبت و بعد از آن غرب ایران بین ۰ تا بیش از $1 \times 10^{-2} \text{ kgm}^{-1} \text{ s}^{-1}$ و در نهایت شمال غرب که مقداری در حدود ۰ تا $1 \times 10^{-2} \text{ kgm}^{-1} \text{ s}^{-1}$ رطوبت دریافت داشته است (شکل ۶- د).

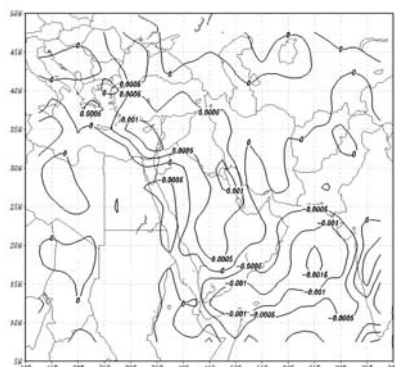
از مقادیر کل دوره مطالعاتی، یعنی روز اول تا روز هفتم ژانویه مشاهده می شود که میانگین شار همگرا شده در ترازهای پایینی و ردسپهر بر روی جنوب غرب و غرب ایران بین ۰ تا بیش از $3 \times 10^{-4} \text{ kgm}^{-1} \text{ s}^{-1}$ و شمال غرب بین ۰ تا $3 \times 10^{-4} \text{ kgm}^{-1} \text{ s}^{-1}$ می باشد (شکل ۷ - الف). در ترازهای میانی و فوقانی و ردسپهر با توجه به تغییر جهت و سرعت باد نسبت به ترازهای پایین، شرایط و روند جهات شار رطوبت نیز متفاوت می باشد. در ترازهای میانی بیشترین میانگین شار همگرایی شده روی شمال غرب با $1 \times 10^{-4} \text{ kgm}^{-1} \text{ s}^{-1}$ و تا حدودی غرب مشاهده شده ولی در جنوب غربی واگرایی شار رطوبت وجود داشته است (شکل ۷- ب).



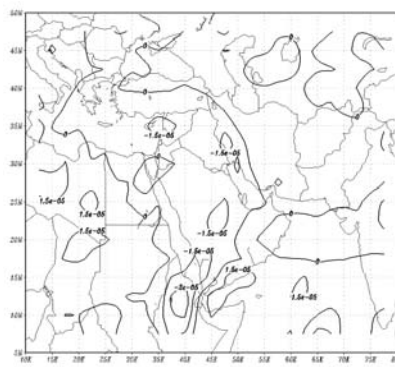
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

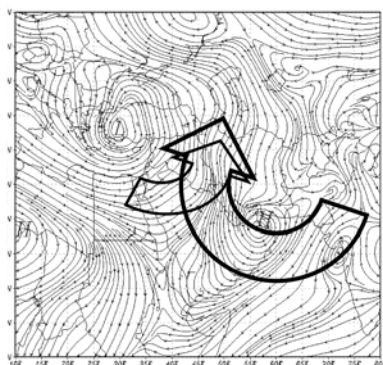
شکل ۷ میانگین دوره سوم (۱ - ۷ ژانویه) مجموع قائم شار واگرا شده رطوبت: الف-۷: ترازهای پایینی وردسپهر (هکتوپاسکال ۷۷۵-۱۰۰۰ هکتوپاسکال): ب-۷: ترازهای میانی وردسپهر (۵۰۰-۷۷۵ هکتوپاسکال): ج-۷: ترازهای فوقانی وردسپهر (۳۰۰-۵۰۰ هکتوپاسکال): د-۷: کل ستون وردسپهر (۳۰۰-۱۰۰۰ هکتوپاسکال): مقادیر به $(\text{kgm}^{-3}\text{s}^{-1})$ (شکلهای ۷-ج و ۷-د).

در کل دوره مطالعاتی دریای عرب با $4/5 \times 10^{-4} \text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$ بیشترین واگرایی شار (فرستندگی رطوبت) را در ترازهای پایین وردسپهر داشته است. نکته قابل توجه در شار رطوبت ترازهای میانی و فوقانی وردسپهر نسبت به ترازهای پایینی وردسپهر کاهش چشمگیر واگرایی شار روی دریای عمان و عرب و تبدیل شدن منطقه به ناحیه همگرایی شار رطوبت و به نسبت آن افزایش واگرایی بر روی دریای سرخ به میزان $3 \times 10^{-4} \text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$ و مدیترانه $1 \times 10^{-4} \text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$ می باشد (شکل ۷-ج و ۷-د).

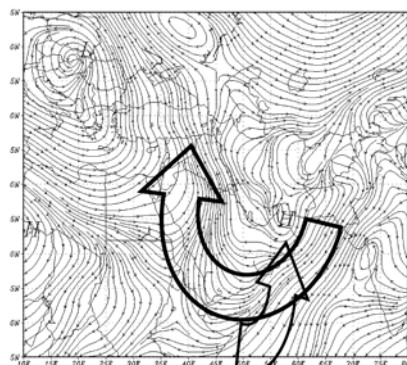
مجموع قائم شار رطوبت در تمام ستون وردسپهر بر روی منطقه نشانگر این موضوع است که الگوی شار رطوبت تا حد زیادی مشابه سطوح پایین وردسپهر می باشد که این امر ناشی از وجود درصد بالایی از رطوبت در همان ترازهای پایینی وردسپهر است. مجموع قائم میانگین شار رطوبت روی ناحیه جنوب غرب ایران بین 0 تا $1 \times 10^{-4} \text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$ بر روی غرب و شمال غرب بین 0 تا بیش از $5 \times 10^{-4} \text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$ در طول دوره مطالعاتی بوده است. اما در میزان شار واگرا شده نکته ای وجود دارد و آن اینکه در دو روز قبل از بارش بیشترین شار در ناحیه شمالی دریای عرب $2 \times 10^{-4} \text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$ به منطقه جنوبی آن یعنی خلیج عدن در طی روزهای بارش با $1 \times 10^{-4} \text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$ منتقل شده است. اما در مجموع دریای عرب با $1/5 \times 10^{-4} \text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$ بیشترین مقدار واگرایی شار را دارا بوده است و دریای سرخ در طی دوره بارش بیشترین واگرایی خود را با $1 \times 10^{-4} \text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$ اما در یک منطقه کوچکتر داشته است.

شاید نقشه های میانگین خطوط جریان بتواند چگونگی انتقال رطوبت، در هر سه لایه مورد بحث را روشن سازد. همان طور که در شکل ۸ مشاهده می شود ترازهای پایینی و در هر دو دوره مطالعاتی (۱-۳ ژانویه و ۳-۷ ژانویه) دو پرفشار یکی در شمال آفریقا و دیگری در شرق شبه جزیره عربستان مستقر هستند. این پرفشارها نقش اساسی در الگوی جریانات روی خاورمیانه و ایران دارند. در دوره بارشی پرفشار شرق شبه جزیره عربستان فعالتر و مشخصتر است که در قسمت جنوبی خود جریانات شمال شرقی بر روی دریاها عمان و عرب ایجاد کرده است. این جریانات در حاشیه ساحل شبه جزیره عربستان به سمت شمال تغییر جهت داده و جریانی جنوبی شده اند. در خلیج عدن و تنگه باب المندب قسمتی از جریان به سمت شبه جزیره عربستان و دریای سرخ ادامه مسیر داده اند. جریان اخیر با جریان شمالی و شمال غربی بر روی دریای سرخ حاصل از پرفشار شمال آفریقا همگرا شده اند. در

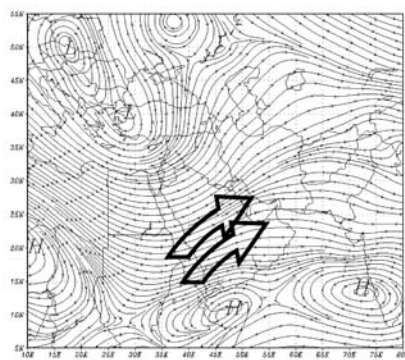
دوره قبل شروع بارش بر روی ایران، این جریان همگرا شده به سمت شمال خاورمیانه جابه‌جا شده و رطوبت را به آن نواحی منتقل کرده است. (شکل ۸ - الف). اما در روزهای بارشی، جریانات جنوب‌غربی شده و رطوبت را به نواحی غربی ایران آورده‌اند (شکل ۸-ب). بنابراین مشاهده می‌شود که پر فشار شرق شبه جزیره عربستان یا غرب دریای عرب در انتقال رطوبت دریای عمان و عرب و قسمت جنوبی دریای سرخ و پرفشار شمال آفریقا در انتقال رطوبت مدیترانه مرکزی و شرقی و در نهایت شمال دریای سرخ بر روی خاورمیانه بویژه ایران نقش اصلی را بر عهده دارند (شکل‌های ۸ - الف، ۸-ب).



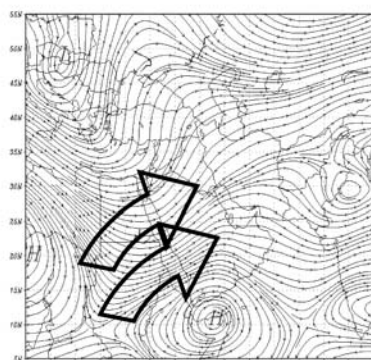
(د)



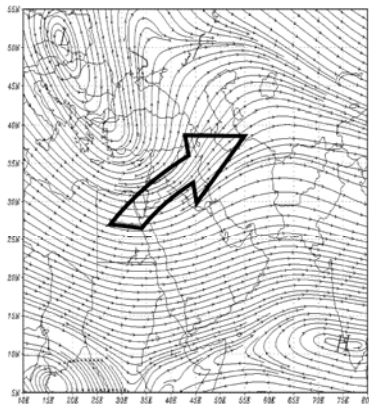
(الف)



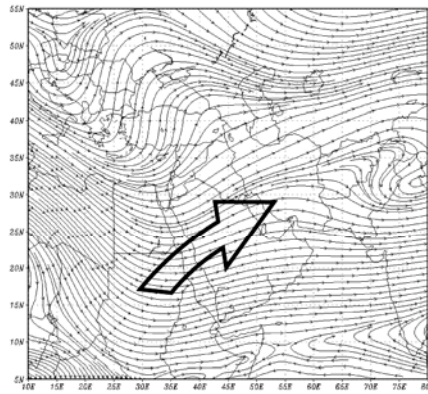
(ه)



(ب)



(ا)



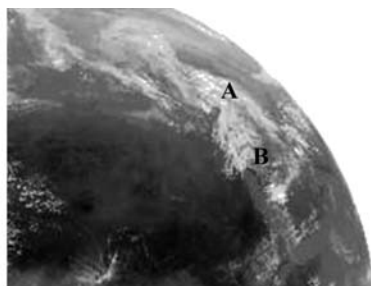
(ب)

شکل ۸ میانگین خطوط جریان در ترازهای پایینی (الف، د)؛ ترازهای میانی (ب، ه)؛ ترازهای فوقانی (ج، و)؛ برای دوره اول (۱-۳ ژانویه)؛ (الف تا ج) و دوره دوم (۳-۷ ژانویه)، (د تا و)

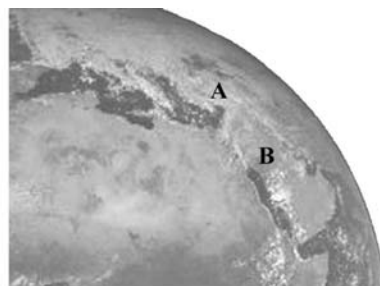
این دو پرفشار در ترازهای میانی و ردسپهر نیز بخوبی مشاهده می شوند. ولی پرفشار مستقر بر روی شرق شبه جزیره عربستان به سمت جنوب بر روی شرق دریای عرب و دیگری بر روی خلیج عدن منتقل شده است. جهت‌های باد در ناوه عمیقی که از شمال دریای مدیترانه تا عرض ۱۵ درجه شمالی در جنوب و بر روی دریای سرخ گسترده شده، در شرق آن جنوب غربی بوده و باعث انتقال رطوبت همگرا شده بر روی شبه جزیره عربستان به اضافه رطوبت دریای سرخ به سمت ایران شده است (شکل‌های ۸-ج، ۸-د، ۸-ه، ۸-و).

انتقال رطوبت و مناطق واگرایی- همگرایی رطوبت را می‌توان در تصاویر ماهواره‌ای ردیابی کرد. در روز قبل از شروع بارش (۳ ژانویه) در شرق مدیترانه و غرب ترکیه ابرهای متراکم و بارانزا مشاهده می‌شود (شکل ۹-الف، ۹-ب) در ناحیه A. ولی در ناحیه B (شکل‌های ۹-الف و ۹-ب) نوار ابری و البته غیر بارشی از ناحیه مرکزی دریای سرخ تا شمال خلیج فارس وجود دارد. ناحیه A با نواحی همگرایی رطوبت به روی شرق مدیترانه در ترازهای پایینی و ردسپهر مطابقت دارد. در روز شروع بارش (۳ ژانویه) نوار ابری مستقر بر شبه جزیره عربستان ضمن حرکت به سمت شرق گسترده و ضخیمتر شده و مهمتر آنکه

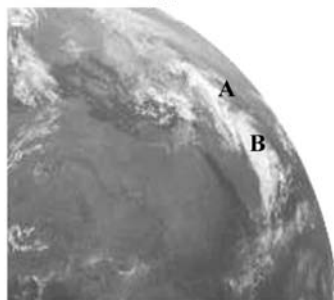
ابرها از نوع ابرهای بارانزا می‌باشند (شکلهای ۹-ج، ۹-د) در ناحیه B که با ناحیه همگرایی رطوبت در ترازهای پایین و ردسپهر (شکل ۶-الف) مطابقت کامل دارد.



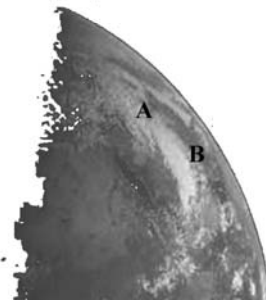
(ب)



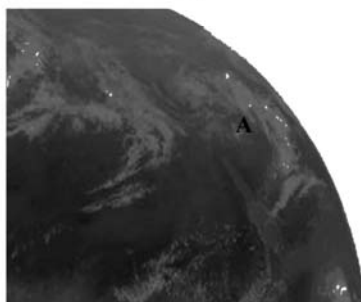
(الف)



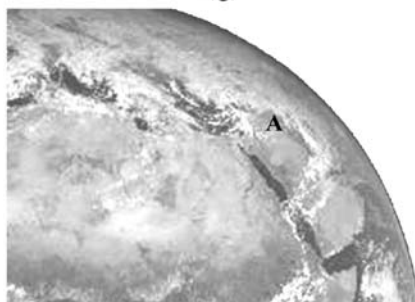
(د)



(ج)



(و)



(ه)

شکل ۹ تصاویر ماهواره‌ای (متنوست ۷): ۹-الف و ۹-ب برای روز قبل از بارش (ساعت ۱۵:۳۰ روز دوم ژانویه)؛ ۹-ج و ۹-د برای روز شروع بارش (ساعت ۹:۳۰ روز سوم ژانویه)؛ ۹-ه و ۹-و برای روز حداکثر بارش (ساعت ۱۵:۳۰ روز ششم ژانویه)؛ ۹-الف، ۹-ج و ۹-ه کانال مرئی؛ ۹-ب، ۹-د و ۹-و کانال مادون قرمز.

شمال غرب ایران پوشیده از ابرهای بارانزا است اگر چه به شدت ناحیه قبلی نیست که علاوه بر هماهنگی با منطقه همگرایی رطوبت در ترازهای پایینی با ناحیه همگرایی رطوبت در ترازهای میانی نیز هماهنگ می باشد (شکل ۶ - ب). در روز حداکثر بارش (۶ ژانویه) منطقه غرب ایران (زاگرس) پوشیده از ابرهای بارانزا در سطح گسترده بوده است (شکل های ۹ - ۵ و ۹ - و در ناحیه A) که تطابق نواحی همگرایی رطوبت در تراز پایین (شکل ۶ - الف) با نواحی بارشی (ابرهای بارانزا در تصاویر) در این روز مشاهده می شود و علاوه بر آن شکل نعل اسبی ناحیه همگرایی رطوبت در منطقه (شکل - ۶) با شکل سامانه فعال بر روی منطقه در تصویر ماهواره ای یکسان می باشد (شکل های ۹ - ج ، ۹ - د ، ۹ - ه ، ۹ - و).

۴- نتیجه گیری

نتایج بررسی بر روی توزیع نم ویژه نشان داد که جهات گسترش رطوبت در ترازهای پایینی با ترازهای میانی و فوقانی با هم متفاوت است، رطوبت در ترازهای پایینی و ردسپهر از نواحی جنوبی دریای سرخ و خلیج عدن در دو روز قبل از شروع بارش بر روی غرب ایران به سمت شمال و سپس از روز شروع بارش به سمت شرق جابه جا شده اند. اما روند حرکت رطوبت در ترازهای میانی و فوقانی و ردسپهر از غرب به شرق بوده است. این موضوع در بررسی هایی که بر روی تغییرات روزانه آب قابل بارش انجام گرفت نیز مشاهده شده است. اما با محاسبه واگرایی افقی شار رطوبت و مجموع قائم شار بخار آب بر روی منطقه مشخص شد که:

دریاهای عرب و عمان بیشترین واگرایی شار رطوبت را در دوره مطالعاتی داشته اند، ولی باید به این نکته توجه داشت که این واگرایی فقط در ترازهای پایینی و ردسپهر وجود داشته است.

دریای سرخ علاوه بر مشارکت ملموس در ترازهای پایینی بارزترین نقش خود در انتقال رطوبت را در ترازهای میانی مشخص کرده است.

مدیترانه شرقی در ترازهای پایینی نه تنها فرستندگی رطوبت نداشته بلکه از دریاهای عمان، عرب، سرخ و قسمت مرکزی خود رطوبت دریافت کرده است. دریای مذکور فقط در ترازهای میانی و فوقانی واگرایی رطوبت داشته است که در قبال میزان رطوبت واگرا شده ترازهای پایینی ناچیز می باشد.

نتایج این تحقیق ضمن تأیید بسیاری از نظرات محققان قبلی درخصوص سامانه سودانی [۱۸؛ ۱۹؛ ۲۰؛ ۲۱]، نقش جریانات بویژه جریانه‌های ایجاد شده به وسیله دو پرفشار مستقر بر دریای عرب یا شرق عربستان و شمال آفریقا را در انتقال رطوبت در خاورمیانه مشخص کرد.

در ضمن نمی توان فقط با در نظر گرفتن خطوط هم ارتفاع و روند گسترش نم ویژه نحوه انتقال رطوبت در این سامانه‌ها را تشریح کرد [۱۳؛ ۱۴]. استفاده از بردارهای سرعت، جهت باد و یا خط جریان، نتایج مناسبتری در ارتباط با چگونگی انتقال رطوبت به دست می‌دهد. ولی مناسبترین روش مطالعه همان گونه که نتایج این تحقیق نشان داده است، همانا محاسبه واگرایی شار رطوبت می‌باشد.

۵- تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت معاونت پژوهشی سازمان هواشناسی انجام شده است که به این وسیله از همکاری و حمایت‌های سازمان مذکور در انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

۶- منابع

- [1] Lindesay J.A., Dabreton P. C.; Water vapor transport over southern Africa during wet and dray early and late summer months; In. j. climatology, Vol. 13, 1993
- [2] Xiangde X.U., Miao Q., Wang J., Zhang X., The water vapor transport model at the regional boundary during the meiyu period; Advances in Atmospheric Science, Vol. 20, No. 3, 2003
- [3] Zhang R., Relations of water vapor transport from Indian monsoon with that over East Asia and the summer rainfall in china; Advances in Atmospheric Science, Vol. 18, No. 5, 2001.
- [4] Alpert P., Shay-EI Y.; The paradox of the winter net moisture sink over the Arabian-Iraqi desert.; Ann. Geophysica, Vol. 11, 1993.
- [5] Dayan U., Abramski R.; Heavy rain in the middle east related to unusual jet stream properties; Bull Amer Meteor Soc, Vol. 64, 1983.



- [6] Krichak S., Alpert P.; Role of large scale moist dynamics in november 1-5, 1994, hazardous Mediterranean Weather. J Geophys Res 103: D16, 1998.
- [7] Yatagai A; Yasumari T.; Variation of summer water vapor transport related to precipitation over and around the arid region in the interior of the Eurasian continent; Journal of the meteorological society of Japan, Vol. 76, No. 5, 1998.
- [8] Remy R, Laurence P., D. Michel., Herve Le T., *Direct* comparison of Meteosat water vapor channel data and general circulation model result; Geophysical Research *Letters*, Vol. 24, No. 2, 1997.
- [9] Jedlovec G. J. , Lerner J. A., Atkinson, R. J.; A satellite-derived upper-tropospheric water vapor transport index for climate studies; J. App. Meteorology, Vol. 39, 2000.
- [10] Dayan U., Ziv B., Margalit A., Morin. E., Sharon. D.; A severe autumn storm over the middle-east: Synoptic and mesoscale convection analysis., Theoretical and Applied Climatology, Vol. 69, 2001.
- [11] Wood R., Bretherton S., Hartman L., .Diurnal cycle of liquid water path over the subtropical and tropical oceans.; Geophysical Research Letters, Vol. 29, No. 23, 2002.
- [12] Bretherton C.S, Peters M.E., Back L.E.; Relationship between water vapor path and precipitation over the tropical oceans; j. Climate, Vol.17, 2004.
- [۱۳] علیجانی، ب.؛ منابع رطوبت بارندگی ایران؛ مجموعه مقالات هفتمین کنگره جغرافیدانان ایران، دانشگاه تهران، ج ۲، ۱۳۷۴.
- [۱۴] رورده، ه.؛ تعیین منابع رطوبتی بارندگی های سواحل جنوبی دریای خزر؛ رساله دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت معلم، ۱۳۸۵.
- [15] Ronald B. Smith Jason E, Robert O.; Mountain precipitation and hydrology in the middle east; International Conference Alpine Meteorology, Brig, Switzerland, May 19-23, 2003.
- [16] Evans J., Smith R.; and Oglesby R.; Precipitation processes in the middle east, proceedings international congress on modeling and simulation; MODSIM0 3, D. Post (ed.) Jupiter's Hotel and Casino, Townsville, Australia, July 14-17, 2003.

- [۱۷] سبزی پرور، ع.؛ بررسی سینوپتیکی سیستم‌های سیل‌زای در جنوب غرب ایران؛ پایان نامه کارشناسی ارشد هواشناسی، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ۱۳۷۰.
- [۱۸] لشکری، ح.؛ الگوهای سینوپتیکی بارش‌های شدید در جنوب غرب ایران؛ رساله دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۵.
- [۱۹] لشکری، ح.؛ مسیر یابی سامانه‌های کم فشار سودانی ورودی به ایران؛ مجله مدرس، دوره ۶، ش ۲، پیاپی ۲۵، ۱۳۸۱.
- [۲۰] لشکری، ح.؛ مکانیسم تکوین، تقویت و توسعه مرکز کم فشار سودان و نقش آن بر روی بارش‌های جنوب و جنوب غرب ایران؛ پژوهش‌های جغرافیایی، ش ۴۶، ۱۳۸۲.
- [۲۱] مفیدی، ع.؛ اقلیم شناسی سینوپتیکی بارش‌های سیل‌زا منشاء منطقه دریای سرخ در خاورمیانه؛ فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ش ۷۵، ۱۳۸۳.
- [۲۲] خلیج، ع.؛ تحلیلی بر تأثیر رشته کوه زاگرس روی سیستم‌های سینوپتیکی مؤثر بر اقلیم ایران مرکزی؛ رساله دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۱.
- [۲۳] مفیدی، ع.؛ زرین، آ.؛ بررسی سینوپتیکی تأثیر سامانه‌های کم فشار سودانی در وقوع بارش‌های سیل‌زا در ایران؛ فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ش ۷۷، ۱۳۸۴.
- [24] Milind M.; Diagnostic analysis of wintertime rainfall events over the Arabian region; Indian Institute of Tropical Meteorology, Research Report ,No. RR-111, 2006.