

نقش تغییرات رطوبت انتقال یافته در رخداد خشک‌سالی و ترسالی ایران

مصطفی کریمی احمدآباد* - استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران
مهناز جعفری - دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران
فرامرز خوش‌اخلاق - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران
سعید بازگیر - استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۸/۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۳/۱

چکیده

در این پژوهش به منظور بررسی نقش میزان شار رطوبت در نوسانات بارش ایران از داده‌های دوباره واکاوی شده ERA Interim مرکز پیش‌بینی‌های میان‌مدت اروپا با قدرت تفکیک مکانی ۱ در ۱ درجه در دوره آماری ۱۹۸۱-۲۰۱۱ بهره گرفته شده است. نخست، به منظور استخراج الگوهای مرطوب و خشک ایران، از شاخص استاندارد شده z استفاده شد و سالی که درصد مساحت رخداد دوره‌های فوق در آن‌ها بیشینه بود انتخاب گردید و محاسبات مجموع قائم و انحرافی شار رطوبت در چهار لایه جوی در سطح و مرزهای ایران و همچنین سطوح آبی اطراف در دوره‌های منتخب اجرا و مقادیر رطوبت ورودی به ایران محاسبه و استخراج شد. طبق نتایج حاصله، مشخص شد که الگوی جریان حاکم در منطقه و سطوح آبی نقش قابل ملاحظه‌ای در تغییرات رطوبت جو ایران داشته است؛ به طوری که مقدار شار رطوبت جوی در همه لایه‌ها در سال آبی مرطوب بیشتر از سال خشک است. با توجه به الگوی جریان در لایه‌های مورد بررسی، دریای عرب در تراز زیرین و دریای مدیترانه در ترازهای میانی و بالایی جو در سال مرطوب بیشترین سهم را در انتقال رطوبت به ایران دارا می‌باشند. همچنین، مرزهای جنوبی در سه لایه زیرین، میانی، و بالایی جو در مرتبه اول و مرزهای غربی در مرتبه بعدی اهمیت به لحاظ مسیر ورود رطوبت به ایران قرار دارند.

واژگان کلیدی: ایران، ترسالی، خشک‌سالی، شاخص استاندارد شده z، و انحرافی شار رطوبت.

مقدمه

نحوه پراکندگی بارش بر روی زمین را عوامل به وجود آورنده آن یعنی عامل صعود و منبع رطوبت تعیین می‌کنند. در جایی که تأثیر این دو عامل مطلوب باشد حداکثر بارش رخ می‌دهد و در جایی که هیچ یک از این عوامل مؤثر موجود نباشد میزان بارش به حداقل خود می‌رسد (علیچانی، ۱۳۸۹: ۱۳۸). 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 یا مایع است. به همین علت، الگوهای چگونگی شار رطوبت به طور فزاینده‌ای با گردش جو به خصوص الگوهای پرفشار همخوانی دارد (زانگ، ۲۰۰۱: لیندسای، ۱۹۹۳، به نقل از فرج‌زاده و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۹۴). بخش قابل توجهی از پویایی آب جوی توسط گردش عمومی جو انجام می‌گیرد. با وجود اینکه گردش عمومی جو از لحاظ زمانی و مکانی الگوهای متوسطی را عرضه

می‌کند، تغییرات شدید یا مکرر زمانی سبب ناهنجاری در این الگو می‌شود و نهایتاً عناصر جوی مثل رطوبت و دما را دچار دگرگونی می‌کند که یکی از این تغییرات کاهش بارش و خشک‌سالی، دیگری افزایش بیش از حد بارش یا ترسالی است (معصوم‌پور، ۱۳۸۴: ۱۵).

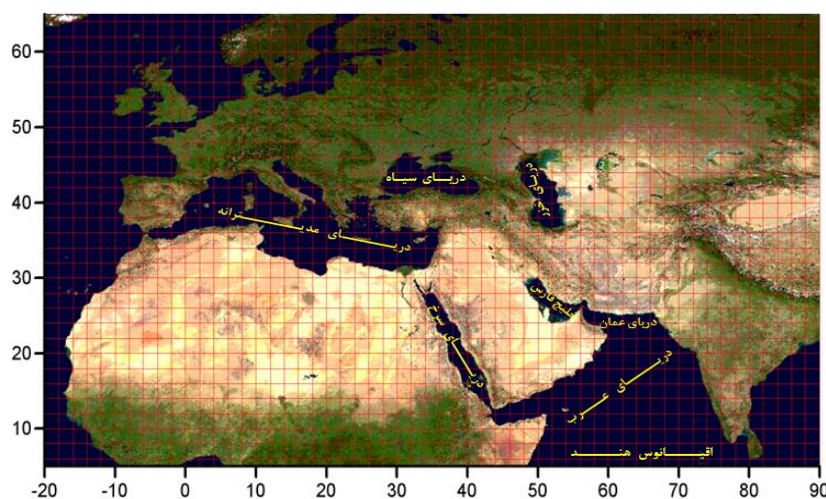
بارش ایران از تنوع زمانی و مکانی قابل ملاحظه‌ای برخوردار است. برهم‌کنش مداوم سامانه‌های گردش جو در طول سال چنین تنوعی را موجب می‌شود (علیجانی، ۱۳۷۲: ۲) مضاف بر اینکه نقش عوامل مختلف در وقوع بارش همانند رطوبت و تغییرپذیری زمانی و مکانی این عوامل نیز می‌تواند باعث تغییر میزان بارش شود. بنابراین، مطالعه رفتار عوامل مؤثر در بارش می‌تواند رویکرد بسیار مناسبی در شناخت توزیع نامناسب زمانی - مکانی این پدیده پُراهمیت اقلیمی باشد. منابع رطوبتی تأمین‌کننده بارش‌هایی که یک منطقه را متأثر می‌کنند یکی از این مباحث است. علاوه بر آن، شناسایی و آگاهی از سازوکار تأمین و انتقال رطوبت زمینه شناسایی چرخه آب در یک منطقه نیز هست. بنابراین، با مطالعه تغییرات و نوسانات رطوبتی ناشی از تغییر در شرایط گردش جو در الگوهای مرطوب و خشک، می‌توان یکی از عوامل مهم تغییرپذیری زمانی و مکانی بارش را بررسی و رابطه میان آن‌ها را در ایجاد الگوهای فوق تحلیل کرد. اجزای اصلی چرخه آب در جهان را می‌توان تبخیر از سطح خشکی‌ها و اقیانوس‌ها، حمل و نقل جوی خالص آب از اقیانوس‌ها به خشکی، بارش بر روی اقیانوس‌ها و خشکی‌ها، و جریان بازگشتی آب از زمین به اقیانوس برشمرد. در نتیجه، درصد جریان رطوبت بر روی یک منطقه که در چرخه آب آن منطقه درگیر است می‌تواند ارزیابی شود. حتی می‌توان میزان تبخیر آب منطقه‌ای را با استفاده از جریان رطوبت جو و داده‌های اندازه‌گیری بارش تخمین زد (پیکسوتو و کتانی، ۱۹۷۳: ۴۷). بنابراین، می‌توان با وجود یا محاسبه اطلاعات مربوط به دو جزء اول چرخه آب، که برداشت و تبخیر از سطوح آبی و حمل و نقل و انتقال آن به خشکی یا به عبارتی شار رطوبت است، تأثیر آن‌ها را بر بارش که جزء دیگری از چرخه آب در جو است بررسی و تعیین کرد. الگوی زمانی رطوبت بیشتر متأثر از الگوی جریان‌های جوی حامل رطوبت است. اما الگوی مکانی آن بیشتر تابع دوری و نزدیکی به دریاهاست (مسعودیان، ۱۳۹۰: ۱۰۶).

مطالعات متعددی در زمینه شار رطوبت و منابع رطوبت بارش‌ها در مناطق مختلف جهان انجام شده است. اسمیرنوف و مور (۱۹۹۷: ۶۸۱) با مطالعه ساختار مکانی و زمانی انتقال بخار آب جوی در حوضه رودخانه مکنزی بیان کردند که تعادل بخار آب در این حوضه به شدت وابسته به پدیده‌های آب‌وهوایی مؤثر بر آن است. شار رطوبت بر روی حوضه رودخانه ساسکاچوان در کانادا حاکی از ورود رطوبت از مرز غربی و خروج از آن در مرز شرقی طی تمام فصول سال است. (لیو و استوارت، ۲۰۰۳: ۹۴۴). زو و همکاران (۲۰۰۸: ۲۱۷) منابع رطوبتی سیل تابستان ۱۹۹۸ را در رودخانه یانگ تسه چین بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که خلیج بنگال و دریای چین جنوبی منبع رطوبت این سیل بوده‌اند. بررسی دوره سیلابی و خشک‌سالی نشان می‌دهد که انتقال بزرگ بخار آب از دو منبع فوق به رودخانه یانگ تسه منجر به بارش سنگین در تابستان می‌شود. محمود و همکاران (۲۰۱۰: ۲۷۹) اظهار کردند خشک‌سالی منطقه سین کیانگ چین، علاوه بر شرایط الگوهای فشار، با انتقال کمتر رطوبت کنترل می‌شود. در مطالعات داخلی بررسی منابع رطوبتی بارش‌ها در مطالعات موردی یا الگوهای همدید به خصوص در سالیان اخیر مورد توجه بوده است. براتی و حیدری (۱۳۸۲: ۱۶) منشأ رطوبت بارش‌های غرب ایران را به ترتیب دریاهای مدیترانه، سرخ، و سیاه دانسته‌اند. منابع رطوبت بارش‌های مناطق مختلف ایران متفاوت است، اما در کل دریای عرب و مدیترانه مهم‌ترین سطوح آبی تأمین‌کننده رطوبت بارش‌های ایران‌اند (کریمی احمدآباد، ۱۳۸۶: ۱). اما قاندی و همکاران (۱۳۹۱: ۲) دریای سرخ را عامل مهم رطوبتی برای بارش‌های فوق سنگین کشور معرفی کردند. خوشحال و همکاران (۱۳۸۸: ۷) با بررسی بارش‌های فوق سنگین در استان بوشهر و قویدل رحیمی (۱۳۹۰: ۱۰۱) نیز با بررسی بارش فوق سنگین در سواحل چاه‌بهار سطوح آبی نزدیک

به منطقه را در تأمین رطوبت آن بارش‌ها مؤثر دیده‌اند. فرج‌زاده و همکاران (۱۳۸۶: ۱۹۳؛ ۲۰۰۷: ۳۰۲۳) و کریمی احمدآباد و فرج‌زاده (۱۳۹۰: ۱۰۹) علت تفاوت میزان انتقال رطوبت در ترازهای پایینی با میانی و فوقانی و ردسپهر را اختلاف در الگوهای گردش جو در این ترازها بیان کردند. پوراصغر و همکاران (۱۳۹۱: ۲) مهم‌ترین منابع رطوبتی آذربایجان شرقی را دریای مدیترانه، دریای سیاه، و دریای خزر معرفی کردند. مفیدی و همکاران (۱۳۹۳: ۱۴۰) ایجاد دوره‌های مرطوب در سواحل جنوبی دریای خزر را با افزایش فشار هوا در منطقه دریای سیاه و در نتیجه افزایش گردش و اچرخندی در این منطقه، شدت باد شمالی روی دریای خزر و صعود هوا در حوضه جنوبی این دریا و در نهایت افزایش بارش مرتبط دانسته‌اند. در کل، می‌توان گفت مطالعات انجام‌گرفته در داخل در دو بخش شناسایی منابع رطوبتی در کل بارش‌ها یا بارش‌های خاص (سنگین) و دیگری سازوکار انتقال رطوبت در شرایط هم‌دید بررسی شده است. اما هدف از مطالعه حاضر بررسی ارتباط بین میزان رطوبت جو ایران، میزان شار رطوبت از سطوح آبی اطراف بر روی ایران، و تغییرات گردش جوی در سال‌های رخداد خشک‌سالی و ترسالی به‌منظور شناخت اثر تغییرات رطوبت بر روی نوسانات سالانه بارش و وقوع خشک‌سالی بوده است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از داده‌های دوباره واکاوی‌شده^۱ ERA Interim مرکز پیش‌بینی‌های میان‌مدت اروپا (ECMWF)^۲ با قدرت تفکیک مکانی ۱ در ۱ درجه طول و عرض جغرافیایی، به دلیل دارا بودن قدرت تفکیک مکانی بالاتر و بهتر نسبت به داده‌های تهیه‌شده از مراکز جوی دیگر، در دوره آماری ۱۹۸۱-۲۰۱۱ به مدت سی سال بهره گرفته شده است. به علت عدم توزیع یکنواخت فضایی و هم‌دوره نبودن داده‌های ایستگاهی و اینکه در این پژوهش مقدار خالص بارش مد نظر نبوده و مجموع آن در دوره‌های سالانه مورد استفاده قرار گرفته است و همچنین دقت مناسب این داده‌ها (گاوو و همکاران، ۲۰۱۳: ۴۶۷۱؛ پناآرانسیبیا و همکاران، ۲۰۱۳: ۱۳۲۳؛ دارند و زندکریمی، ۱۳۹۴، ۶۵۱) از داده‌های بارش این پایگاه استفاده شد. برای اینکه متغیر مورد استفاده در پژوهش عنصر بارش است، دوره مطالعاتی سالانه از اکتبر تا سپتامبر (سال آبی) انتخاب شده است.



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه در پژوهش، همراه منابع آبی اطراف شامل دریاهای خزر، خلیج فارس، عمان، عرب، سرخ، و مدیترانه

1. ECMWF Interim Reanalysis
2. European Center for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF)

به‌منظور استخراج الگوهای مرطوب و خشک ایران از داده‌های بارش، و برای بررسی و تحلیل رطوبت ورودی در زمان رخداد الگوهای فوق‌الذکر از داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل (ژئوپتانسیل متر)، نم و یژه (کیلوگرم بر کیلوگرم) و مؤلفه مداری (متر بر ثانیه) و نصف‌النهاری باد (متر بر ثانیه)، ساعت ۰۰ و ۱۲ استاندارد جهانی در ترازهای ۱۰۰۰، ۸۵۰، ۷۰۰، ۵۰۰ و ۳۰۰ هکتوپاسکال، در محدوده ۵ تا ۶۵ درجه عرض جغرافیایی و ۲۰ درجه غربی تا ۹۰ درجه شرقی در طول جغرافیایی با ۱۱۱ * ۶۱ نقطه شبکه (شکل ۱) استفاده شده است.

این پژوهش در چندین مرحله و با استفاده از روش آماری و دینامیکی - همدیدی انجام شده است. در مرحله نخست به محاسبه و استخراج الگوهای مرطوب و خشک در ایران پرداخته شده است. برای دستیابی به این هدف، با بهره‌گیری از شاخص استاندارد شده Z (ZSI) (رابطه ۱)، محاسبات مربوط به درصد وقوع الگوهای فوق به‌صورت سالانه در ایران حاصل شد و سالی که بیشینه درصد مساحت رخداد دوره‌های مرطوب و خشک را دارا بودند به‌عنوان نمونه برای بررسی و ارزیابی رطوبتی انتخاب شدند.

جدول ۱. طبقه‌بندی وضعیت خشک‌سالی شاخص استاندارد شده

Z-Score (ZSI)	وضعیت
بیشتر از +۱٫۲۸	ترسالی بسیار شدید
+۱٫۲۸ تا +۰٫۸۴	ترسالی شدید
+۰٫۸۴ تا +۰٫۵۲	ترسالی متوسط
+۰٫۵۲ تا +۰٫۲۵	ترسالی ضعیف
+۰٫۲۵ تا -۰٫۲۵	نرمال
-۰٫۲۵ تا -۰٫۵۲	خشک‌سالی ضعیف
-۰٫۵۲ تا -۰٫۸۴	خشک‌سالی متوسط
-۰٫۸۴ تا -۱٫۲۸	خشک‌سالی شدید
کمتر از -۱٫۲۸	خشک‌سالی بسیار شدید

منبع (ویو و همکاران، ۲۰۰۱: ۷۴۷ و ۷۴۸؛ انصافی مقدم، ۱۳۸۶: ۲۷۸؛ مشاری عشق‌آباد و همکاران، ۲۰۱۴: ۴۴۷؛ سیوندی و قره‌داغی، ۲۰۱۴: ۷۳۳)

مطالعات بسیاری در زمینه دوره‌های خشک و مرطوب و استخراج این دوره‌ها با استفاده از شاخص‌های مختلف به‌ویژه شاخص ZSI انجام پذیرفته است (فرج‌زاده، ۱۳۷۴: ۳؛ خوش‌اخلاق، ۱۳۷۷: ۱؛ جهان‌بخش و قویدل رحیمی، ۱۳۸۴: ۵؛ انصافی مقدم، ۱۳۸۶: ۲۷۱؛ ذبیحی و همکاران، ۲۰۱۴: ۱؛ مشاری عشق‌آباد، ۲۰۱۴: ۴۴۱؛ عاصف‌جاه و همکاران، ۲۰۱۴: ۱۵۵؛ سیوندی و قره‌داغی، ۲۰۱۴: ۷۳۰). نجارسلیقه و یوسفی رامندی (۲۰۱۵: ۱۳۴) در پژوهش خود از این شاخص به‌عنوان SIAP^۲ نام برده و اذعان کرده‌اند که بهترین روش برای انتقال داده‌های خام بارش به مقدار نسبی این است که انحراف بارش از میانگین به انحراف استاندارد تقسیم شود. در این راستا، بذرافشان و خلیلی (۱۳۸۲: ۹۰) نیز شاخص استاندارد بارش (SIAP) را سنج‌ای کارآمد برای پایش دوره‌های خشک و مرطوب در ایران معرفی کردند.

$$ZSI = \frac{(P_i - \bar{P}_i)}{SD} \quad (1)$$

1. Z-Score Index
2. Standardized Index Annual Precipitation

P_i میانگین بارش در یک سال معین، \bar{P}_i میانگین بارش کل دوره، و SD^1 انحراف معیار بارش است. در گام بعد، به منظور تخمین سهم مشارکت سطوح آبی در دوره‌های بارشی دو سال منتخب، به هدف محدود کردن بررسی بارش‌های نسبتاً فراگیر و غیرمحلی، بارش‌های بیش از یک میلی‌متر و حداقل ۳۰ درصد فراگیری استخراج شد. در مرحله بعد محاسبات مجموع قائم و اگرای شار رطوبت در دو سال منتخب در شبکه‌های ۱ در ۱ طول و عرض جغرافیایی بر روی ایران و سطوح آبی (شکل ۲- الف تا ه)، در ترازهای زیرین (۱۰۰۰ تا ۷۰۰ هکتوپاسکال)، میانی (۷۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال)، بالایی (۵۰۰ تا ۳۰۰ هکتوپاسکال)، و کل ضخامت وردسپهر (۱۰۰۰ تا ۳۰۰ هکتوپاسکال) با استفاده از رابطه‌های ۲ تا ۸ انجام پذیرفت. در روش فوق انتقال بخار آب به وسیله بردار باد حاصله از مؤلفه‌های مداری و نصف‌النه‌ای سرعت باد محاسبه می‌شود. مجموع بردار سرعت باد از رابطه ۲ به دست آمده است (بیکسوتو، ۱۹۷۳: ۴۷).

$$V = u_{i\lambda} + v_i \quad (2)$$

که در آن i_λ و i_ϕ بردار واحد جهات شرقی و شمالی‌اند. برای به دست آوردن و اگرای شار بخار آب (رطوبت)، تغییرات جزئی مقادیر نم ویژه و مؤلفه‌های u و v در جهات x و y (طول و عرض جغرافیایی) به وسیله رابطه ۳، که رابطه و اگرای افقی شار بخار آب است، محاسبه شده است (کریمی احمدآباد، ۱۳۸۶: ۴۱).

$$HFD = - \left[u \frac{q}{x} + v \frac{q}{y} + q \frac{u}{x} + q \frac{v}{y} \right] \quad (3)$$

رابطه ۳ را می‌توان به صورت زیر گسترش داد.

$$HFD = - \left[u_{ij} \frac{q_{i+1j} - q_{i+1j}}{x_{i+1j} - x_{i+1j}} + v_{ij} \frac{q_{ij+1} - q_{ij+1}}{y_{ij+1} - y_{ij+1}} + q_{ij} \frac{u_{i+1j} - u_{i+1j}}{x_{i+1j} - x_{i+1j}} + q_{ij} \frac{v_{ij+1} - v_{ij+1}}{y_{ij+1} - y_{ij+1}} \right] \quad (4)$$

که در آن HFD^2 و اگرای افقی شار رطوبت و ∂x و ∂y فاصله در جهات طول و عرض جغرافیایی است. مقادیر مثبت همگرایی شار رطوبت است و مقادیر منفی و اگرای شار رطوبت است (کریمی احمدآباد، ۱۳۸۶: ۴۳).

$$Q_{vi}^{low} = \frac{1}{g} \int_{1000}^{700} Vqdp \quad (5)$$

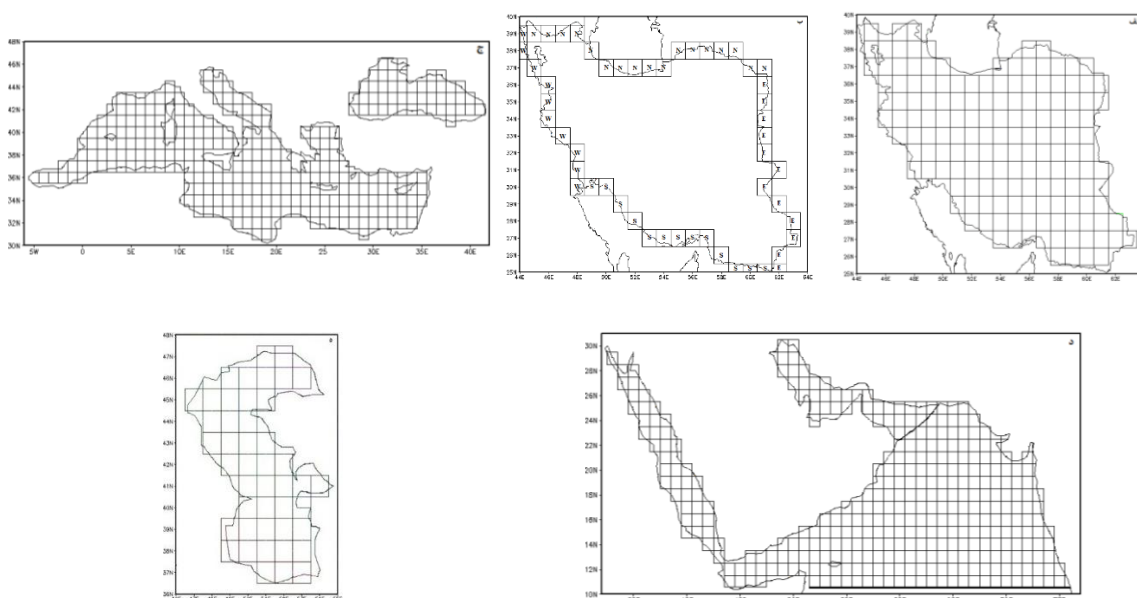
$$Q_{vi}^{mid} = \frac{1}{g} \int_{700}^{500} Vqdp \quad (6)$$

$$Q_{vi}^{top} = \frac{1}{g} \int_{500}^{300} Vqdp \quad (7)$$

$$Q_{vi}^{all} = \frac{1}{g} \int_{1000}^{300} Vqdp \quad (8)$$

1. Standard Deviation
2. Horizontal Flux Divergence

پس از آن از طریق اسکریپت‌نویسی در محیط نرم‌افزار GrADS^۱ مقادیر مثبت شار رطوبت در هر شبکه در سطح ایران و مرزها (به‌عنوان رطوبت واردشده) و مقادیر منفی آن بر روی سطوح آبی اطراف (به‌عنوان رطوبت انتقال‌یافته از دریاها) استخراج شد و با بهره‌گیری از نرم‌افزارهای Excel و Matlab مرتب و سازمان‌دهی و نمودار آن برای سال منتخب ترسیم و مقایسه شد. در گام آخر نقشه‌های گردش جوی و نم ویژه دوره‌های بارشی سال مرطوب و خشک منتخب (به‌ترتیب ۱۹۹۵-۱۹۹۶ و ۱۹۹۹-۲۰۰۰) در ترازهای ۸۵۰، ۷۰۰، و ۵۰۰ هکتوپاسکال به‌ترتیب به‌عنوان نماینده‌ای برای لایه زیرین، میانی، و بالایی جو به‌منظور بررسی سهم مشارکت سطوح آبی اطراف و مرزهای ایران یا به عبارتی مقدار تأثیرگذاری آن‌ها در انتقال رطوبت ترسیم و تفسیر شده است. به علت اینکه در ترازهای بالاتر از ۵۰۰ hPa میزان رطوبت موجود و انتقال‌یافته ناچیز است، مرز تراز زیرین (۵۰۰ hPa) لایه بالایی وردسپهر به‌عنوان نماینده آن لایه انتخاب شده است.

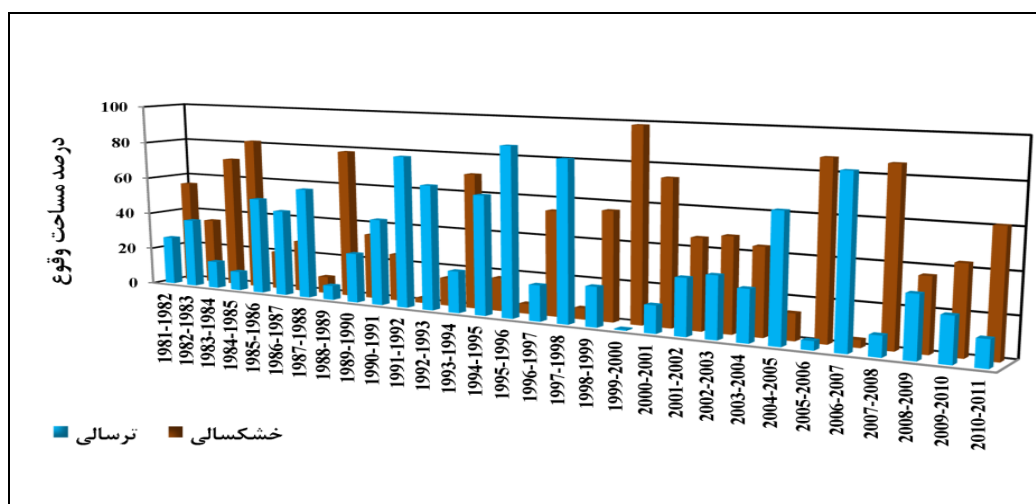


شکل ۲. پوشش نقاط شبکه در سطح الف: ایران؛ ب: مرزها؛ ج: دریاهای مدیترانه و سیاه؛ د: دریاهای سرخ، عرب، عمان، و خلیج فارس؛ ه: دریای خزر مورد استفاده در استخراج مقادیر محاسبه‌شده شاخص استانداردشده و واگرایی شار رطوبت

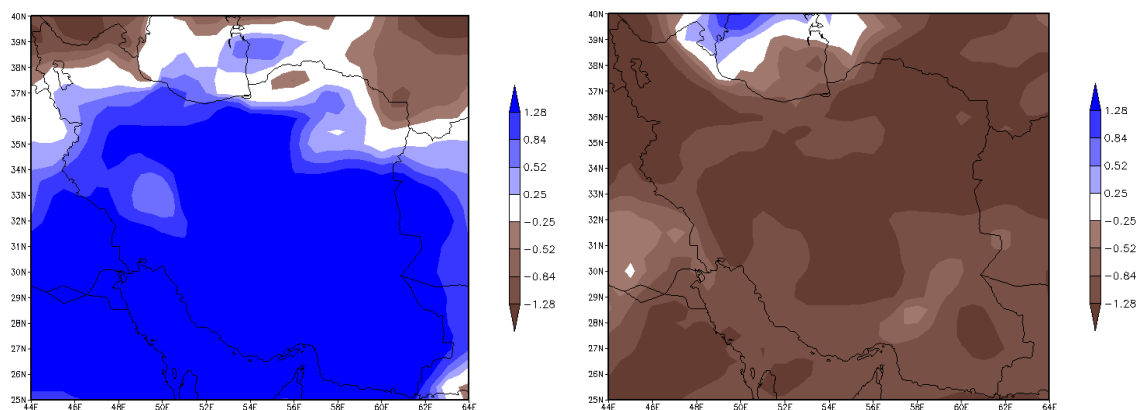
بحث و نتایج

با محاسبه و استخراج شاخص استانداردشده Z (ZSI)، درصد مساحت رخداد دوره‌های مرطوب و خشک به‌صورت سال آبی در ایران در دوره آماری ۱۹۸۱-۲۰۱۱ حاصل شد (شکل ۳). بدین‌ترتیب، سال ۱۹۹۵-۱۹۹۶ و ۱۹۹۹-۲۰۰۰ که به‌ترتیب در آن‌ها دوره مرطوب و خشک با ۸۷/۳، ۹۸/۷ درصد دارای بیشینه درصدی وقوع در ایران بوده است به‌عنوان نمونه انتخاب شدند (شکل‌های ۳ و ۴).

1. GrADS: Grid Analysis and Display System



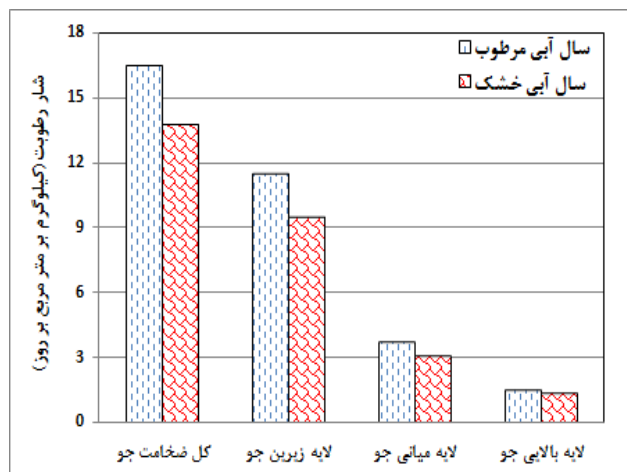
شکل ۳. درصد مساحت رخداد دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی در ایران



شکل ۴. شاخص استاندارد شده Z (ZSI)، سال آبی خشک ۱۹۹۹-۲۰۰۰ (راست)، سال آبی مرطوب ۱۹۹۵-۱۹۹۶ (چپ)

شار رطوبت در دوره ترسالی و خشک‌سالی

پس از انتخاب سال نمونه، محاسبات واگرایی شار رطوبت مربوط به آن‌ها در سطح و مرزهای ایران و سطوح آبی اطراف انجام شد که نتایج حاصل از آن به شکل نمودار ارائه شده است. شکل ۵ نمودار مربوط به شار رطوبت در چهار لایه زیرین، میانی، بالایی، و کل ضخامت جو در سال آبی مرطوب و خشک است. همان‌طور که مشخص است، مقدار شار رطوبت جوی به ایران در همه لایه‌های مورد بررسی در سال آبی مرطوب منتخب بیشتر و در سال خشک منتخب این مقدار نسبت به سال مرطوب کاهش داشته است. گرچه این تغییرات در لایه بالایی مانند لایه زیرین محسوس نیست، این می‌تواند به علت نوسان کمتر الگوی گردش جو این لایه در مقایسه با لایه زیرین در ترسالی و خشک‌سالی باشد. در همه لایه‌ها درصد تغییرات رطوبت در سال مرطوب به خشک مثبت و، همان‌طور که انتظار می‌رود، مقدار آن در لایه زیرین بیشینه است که افزایش مقدار رطوبت ورودی به ایران را در سال مرطوب نسبت به خشک نشان می‌دهد (جدول ۲). در ادامه با توجه به بررسی الگوی جریان در منطقه مطالعاتی و سطوح آبی تأثیرگذار در انتقال رطوبت به ایران، دلایل تغییر میزان رطوبت در سال‌های مرطوب و خشک منتخب بررسی می‌شود.



شکل ۵. نمودار میانگین شار رطوبت به ایران به ترتیب در سال آبی مرطوب (۱۹۹۵-۱۹۹۶)، خشک (۱۹۹۹-۲۰۰۰)

جدول ۲. درصد تغییرات شار رطوبت (کیلوگرم بر متر مربع بر روز) به ایران در دوره مرطوب به خشک

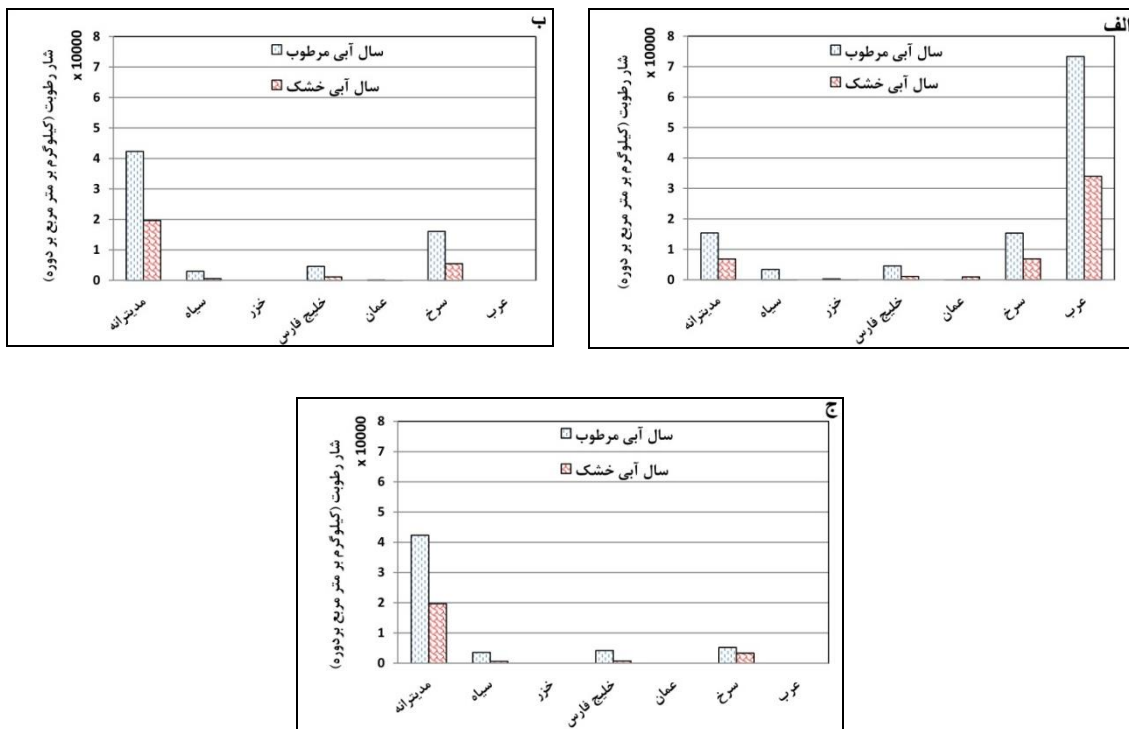
درصد تغییر	لایه جو
۱۶٫۵۳	کل ضخامت جو
۱۷٫۱۷	لایه زیرین جو
۱۶٫۵۸	لایه میانی جو
۱۰٫۵۹	لایه بالایی جو

سهام مشارکت هر یک از سطوح آبی اطراف ایران در انتقال رطوبت در سال مرطوب و خشک منتخب به تفکیک سه لایه زیرین، میانی، و بالایی جو جهت ارزیابی این نکته که هر یک از پهنه‌های آبی در نوسانات بارشی ایران چه مقدار تأثیرگذار بوده و این تأثیر در کدام ترازهای جوی بیشتر است بررسی شده و در شکل ۶ قابل مشاهده است.

در ترازهای زیرین جو بیشترین سهم مشارکت در انتقال رطوبت به ایران در دوره مرطوب و خشک مربوط به دریای عرب است. در دوره مرطوب دریای عرب افزایش قابل توجهی در ارسال رطوبت نسبت به دوره خشک داشته؛ به طوری که در این دوره افزایش بیش از دوبرابری سهم این دریا نسبت به دوره خشک دیده می‌شود. پس از آن دریاهای مدیترانه و سرخ با مقدار تقریباً برابر در سال مرطوب و خشک در مرتبه دوم ارسال رطوبت به ایران قرار دارند. خلیج فارس در مرتبه سوم و دریاهای سیاه و عمان و خزر رتبه‌های بعدی را در ارسال رطوبت به ایران در ترازهای زیرین جو در اختیار دارند. به طور کلی، در ترازهای زیرین جو مقدار شار رطوبت در همه سطوح آبی در سال مرطوب بیشتر از سال خشک است (شکل ۶- الف).

در ترازهای میانی جو دریای مدیترانه بیشترین سهم را در انتقال رطوبت به ایران در میان سطوح آبی دیگر داراست و نقش دریای عرب را، که در ترازهای زیرین به عهده داشت، ایفا می‌کند. برخلاف ترازهای زیرین، که سهم دریای عرب در انتقال رطوبت به ایران بسیار چشم‌گیر است، در ترازهای میانی جو این دریا هیچ‌گونه تأثیری در رطوبت‌فرستی ندارد و جهت جریان‌ها، همان‌گونه که در شکل ۹ مشخص است، به گونه‌ای است که هیچ جریانی از روی این دریا به ایران منتقل نشده و چون ورود رطوبت به منطقه‌ای وابسته به ورود جریان‌های جوی به‌ویژه از روی پهنه‌های آبی به منطقه است، عدم ورود جریان‌ها به ایران عدم انتقال رطوبت را همراه دارد و بنابراین دریای یادشده در ترازهای میانی در تأمین

رطوبت ایران بدون تأثیر است. همچنین، دریای خزر در شمال ایران نیز از این قاعده مستثنا نبوده و مانند دریای عرب، به دلیل اینکه جهت جریان‌ها بر روی آن به صورت جنوب غربی است، نقشی در ارسال رطوبت در سال مرطوب و خشک ندارد. دریای سرخ همانند ترازهای زیرین در این تراز نیز در مرتبه دوم اهمیت به لحاظ ارسال رطوبت به ایران قرار دارد و دریاهای خلیج فارس، سیاه، و عمان به ترتیب در مراتب بعدی جای دارند (شکل ۶-ب). در ترازهای بالایی جو شرایط از نظر ترتیب قرارگیری سطوح آبی و تأثیرگذاری آن‌ها در انتقال رطوبت به ایران تقریباً مشابه ترازهای میانی جو است، اما مقادیر شار رطوبت در سال مرطوب و خشک نسبت به ترازهای میانی تغییر کرده است؛ به طوری که در دریای سرخ مقدار شار رطوبت در دوره‌های مزبور نسبت به ترازهای زیرین کاهش یافته است (شکل ۶-ج).



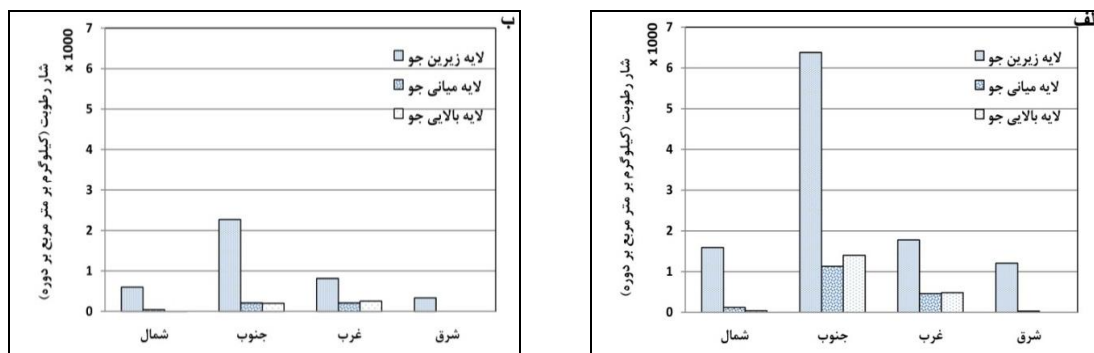
شکل ۶. نمودار مجموع شار رطوبت به ایران از سطوح آبی اطراف در دوره بارشی سال آبی مرطوب (۱۹۹۵-۱۹۹۶) و خشک (۱۹۹۹-۲۰۰۰) در لایه الف: زیرین؛ ب: میانی؛ ج: بالایی

شکل ۷ بررسی ورود رطوبت از طریق مرزهای شمالی، جنوبی، غربی، و شرقی به ایران در سال منتخب مرطوب و خشک در سه تراز ۷۰۰، ۸۵۰، و ۵۰۰ hPa را نشان می‌دهد. در سال مرطوب و در همه مرزهای مورد بررسی، شار رطوبت بیشتری نسبت به سال خشک در هر سه تراز مشاهده می‌شود. با توجه به بررسی انجام شده مرزهای جنوبی ایران، مهم‌ترین جهت از نظر ورود رطوبت به ایران در دو سال مورد بررسی به‌ویژه در ترازهای زیرین جو بوده‌اند که با وجود نقش غالب پهنه‌های آبی جنوبی (دریاهای شمال غربی اقیانوس هند) به خصوص دریای عرب در تأمین رطوبت بارش‌های ایران در ترازهای زیرین و کاهش نقش آن در ترازهای بالاتر جو، این شرایط توجیه‌شدنی است (شکل ۷-الف).

در سال خشک در حدود یک دوم کاهش ورود رطوبت به ایران از مرزهای شمالی، غربی، و شرقی نسبت به سال مرطوب وجود داشته است، اما اولویت مسیرها در ورود رطوبت در سه تراز مشابه سال مرطوب است و فقط تفاوت کوچکی در ترازهای میانی و بالایی در مرزهای غربی سال مرطوب نسبت به سال خشک وجود دارد. همچنین، ورود

رطوبت در مرزهای جنوبی در ترازهای ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکالی نسبت به تراز ۸۵۰ hPa کاهش چشم‌گیرتری از مرزهای دیگر در این ترازها داشته است (شکل ۷-ب). به‌طور کلی، نقش غالب در انتقال رطوبت به ایران در همه جهات و در دو سال مورد بررسی مربوط به ترازهای زیرین جو به‌خصوص ۸۵۰ hPa بوده و ترازهای بالاتر نقش کمتری در این زمینه ایفا می‌کنند و در این میان مسیرهای جنوبی و غربی از اهمیت قابل توجهی برخوردار است.

افزایش سهم مرزهای جنوبی از نظر انتقال رطوبت به ایران، به‌ویژه در سال مرطوب، می‌تواند به‌دلیل قرارگیری ناوه عمیق بر روی دریای سرخ و شبه‌جزیره عربستان در دوره بارشی باشد که به ایجاد جریان‌های شمال غربی حاوی رطوبت دریاهای سیاه و مدیترانه و همچنین جریان‌های جنوب غربی حاوی رطوبت دریای عرب- که عامل مهمی در انتقال رطوبت به ایران در ترازهای زیرین است (شکل ۸)- بر روی شبه‌جزیره عربستان منجر می‌شود. در سال مرطوب به‌دلیل افزایش عمق این ناوه بر روی دریای سرخ، جهت جریان‌ها به گونه‌ای است که ورود آن‌ها از مرزهای جنوبی تقویت شده و به این ترتیب انتقال رطوبت دریاهای عرب، سرخ، مدیترانه، و سیاه از طریق مرزهای جنوبی به ایران امکان‌پذیر شده است. همچنین، افزایش عمق ناوه موجب افزایش تأثیر و سهم دریای عرب و سرخ در انتقال رطوبت به ایران می‌شود؛ به‌طوری‌که در سال مرطوب، که هم‌زمان با افزایش عمق ناوه است، قرارگیری بخش عقب ناوه و پوشش کامل دریای سرخ توسط این بخش، درصد بیشتری از این دریا در انتقال رطوبت به ایران تأثیر داشته و برداشت بیشتر رطوبت را به همراه دارد که به افزایش سهم آن در تأمین رطوبت و نیز قرارگیری در مرتبه دوم اهمیت در هر سه لایه منجر شده است؛ اما در بخش جلوی آن باعث انحراف بیشتر جریان‌های عبوری از روی دریای عرب به سمت ایران و ممانعت از ورود آن به شرق افریقا می‌شود. در سال خشک، با توجه به مقدار کاهش عمق ناوه مزبور، شرایط فوق تغییر می‌کند و تأثیر مرزهای جنوبی در مقایسه با سال مرطوب کاهش می‌یابد و از مقدار مشارکت دریاهای عرب و سرخ کاسته می‌شود (شکل‌های ۸ تا ۱۰).

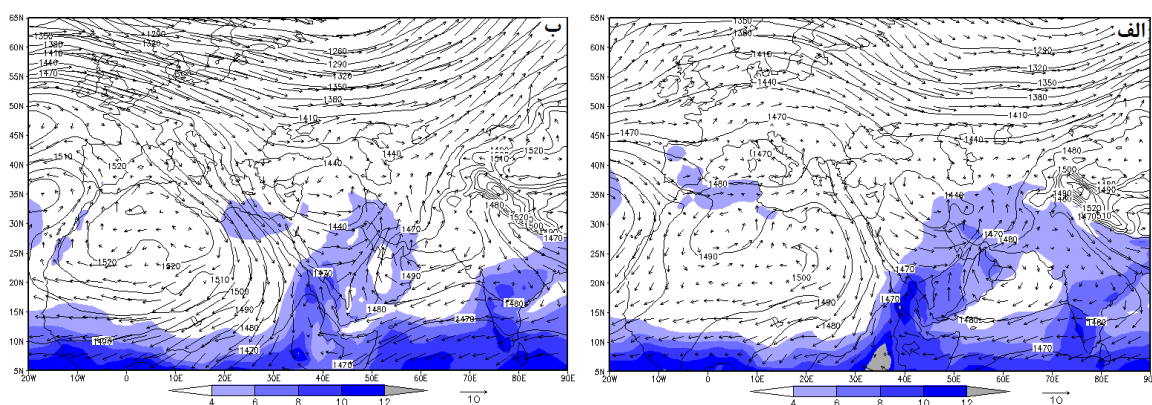


شکل ۷. نمودار مجموع شار رطوبت از مرزهای شمال، جنوب، غرب، و شرق به داخل ایران در دوره بارشی سال آبی الف: مرطوب (۱۹۹۵-۱۹۹۶) و ب: خشک (۱۹۹۹-۲۰۰۰)

شکل‌های ۸ تا ۱۰ نقشه میانگین نم ویژه، ارتفاع ژئوپتانسیل، و الگوی جریان در سه تراز ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال به‌عنوان نماینده لایه زیرین، میانی، و بالایی جو مربوط به دوره بارشی سال مرطوب (۱۹۹۵-۱۹۹۶) و خشک (۱۹۹۹-۲۰۰۰) منتخب است که به‌منظور ارزیابی تفاوت الگوی جریان در این دوره‌ها و چگونگی سهم مشارکت سطوح آبی اطراف در انتقال رطوبت به ایران ترسیم شده است که در زیر بررسی و تفسیر خواهد شد.

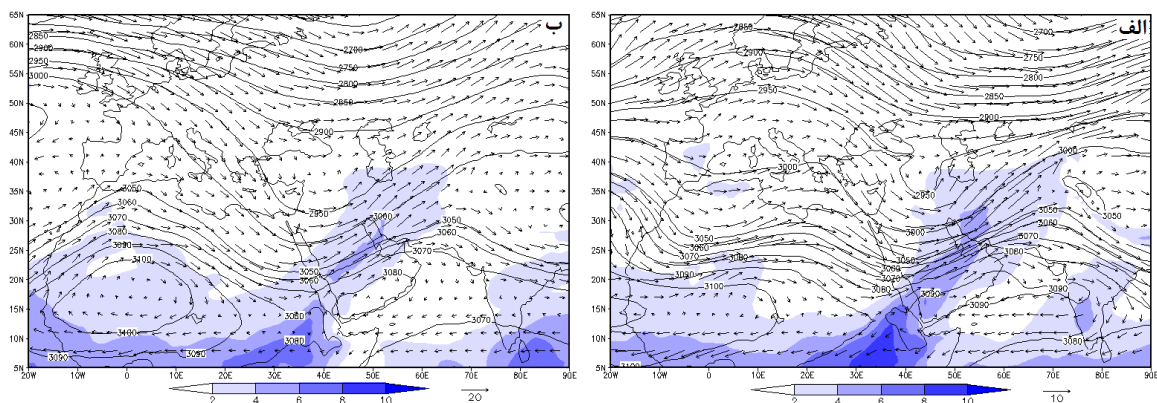
در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در دوره بارشی سال مرطوب، از یک سو، قرارگیری مرکز پُراارتفاع عربستان بر روی دریای عرب سبب ایجاد جریان‌های شرقی- شمال شرقی بر روی این دریا شده است که این حالت مانع انتقال بیشتر جریان‌ها به شمال

افریقا شده و به انحراف آن‌ها به سمت شبه‌جزیره عربستان و تلفیق آن‌ها با جریان‌های بخش جنوبی دریای سرخ منجر شده و از مرزهای جنوبی رطوبت قابل توجهی را وارد ایران کرده است. از سوی دیگر، تغییر در موقعیت مکانی پُراتفاح شمال آفریقا در دو سال منتخب مرطوب و خشک، به تغییرات قابل ملاحظه‌ای در جریان‌های شمال غربی عبوری از روی دریا‌های مدیترانه و سیاه منجر شده است، از جمله اینکه در سال مرطوب قرارگیری مرکز این پُراتفاح در طول ۲۰ درجه و در بخش شرقی در سال مرطوب نسبت به سال خشک سبب شده است که جریان‌های شمال غربی بیشتر به سمت شرق جابه‌جا شود و بخش قابل توجهی از آن‌ها با عبور از دریای سیاه و نیمه شرقی دریای مدیترانه و تلفیق با جریان‌های عبوری از روی دریا‌های عرب و سرخ به شکل جریان‌های جنوب غربی وارد ایران شود که وجود مرکز کم‌ارتفاع در بخش غربی ایران و چرخش در جهت عکس نسبت به سلول مرکزی پُراتفاح عربستان سبب افزایش شدت این جریان‌ها بر روی سطوح آبی اطراف و مشارکت هر چه بیشتر آن‌ها در انتقال رطوبت به ایران می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود، وجود نم ویژه بیشتر با بیش از ۱۰ گرم بر کیلوگرم در بخش جنوبی دریای سرخ، که نقطه اتصال جریان‌های عبوری از روی سطوح آبی است، سبب افزایش رطوبت در ایران در دوره بارشی سال مرطوب شده است (شکل ۸-الف)؛ اما در سال خشک تغییر الگوی گردشی جو نسبت به دوره مرطوب عاملی در جهت کاهش انتقال رطوبت و به تبع آن کاهش بارش و رخداد خشک‌سالی در ایران شده است؛ به‌طوری‌که جابه‌جایی مرکز پُراتفاح بر روی مناطق خشک جنوب شرقی ایران باعث ایجاد جریان‌های کاملاً شمال شرقی بر روی دریای عرب شده است که فقط بخش کوچکی از این جریان‌ها در بخش شمالی دریا وارد ایران شده و بخش اعظم آن به شمال آفریقا منتقل شده است. همچنین، جابه‌جایی طولی و عرضی قابل ملاحظه مرکز پُراتفاح آفریقا به سمت غرب و شمال به انحراف بخش قابل توجهی از جریان‌های شمال غربی ایجاد شده در بخش مرکزی دریای مدیترانه- که حاوی رطوبت برداشت شده از این دریاست- به شمال آفریقا منجر شده است. گسترش مرکز کم‌ارتفاع در غرب ایران و جابه‌جایی غربی نسبت به سال مرطوب سبب انحراف جریان‌های شمال غربی بر روی دریای سیاه به سمت شرق و شمال شرق شده است که مانع ورود جریان و بالطبع رطوبت دریای سیاه به ایران می‌شود. با توجه به این عوامل، نم ویژه در سال خشک هم در ایران و هم بر روی سطوح آبی به نسبت سال مرطوب کاهش داشته است (شکل ۸-ب)؛ بنا بر این دلایل، دریای عرب با بیشترین مقدار انتقال رطوبت بیشترین سهم مشارکت را در انتقال رطوبت به ایران در ترازهای زیرین جو داراست و پس از آن دریای سرخ و مدیترانه به ترتیب در مرتبه دوم و سوم اهمیت بدین لحاظ قرار دارند (شکل ۶).

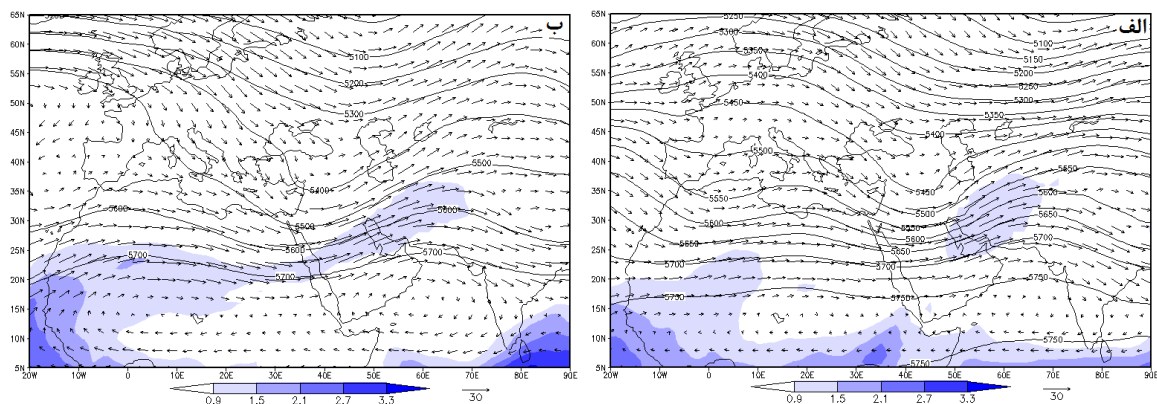


شکل ۸. نقشه میانگین نم ویژه (گرم بر کیلوگرم)، ارتفاع ژئوپتانسیل (هکتوپاسکال)، و الگوی جریان (متر بر ثانیه) تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در دوره بارشی سال آبی الف: مرطوب (۱۹۹۵-۱۹۹۶) و ب: خشک (۱۹۹۹-۲۰۰۰)

در تراز ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال در دوره بارشی سال مرطوب، قرارگیری محور ناوه در بخش شرقی تر و بین طول ۴۰ و ۵۰ درجه شرقی و پوشش کامل ایران توسط بخش جلویی آن، همچنین گسترش مراکز ارتفاعی، نسبت به سال خشک، انتقال بیشتر رطوبت به ایران را به همراه دارد که با توجه به گسترش بیشتر نم ویژه بر روی آن توجیه‌شدنی است. در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال مقدار نم ویژه در همه ایران ۴ گرم بر کیلوگرم است و بر روی نیمه جنوبی دریای سرخ این مقدار تا ۶ گرم بر کیلوگرم افزایش داشته است. علاوه بر آن، شدت جریان‌های جنوب غربی در دوره بارشی سال مرطوب بیشتر از سال خشک است که این شرایط عاملی در جهت افزایش برداشت رطوبت و انتقال آن به ایران در این دوره است (شکل‌های ۹ و ۱۰). در میان سطوح آبی مورد بررسی، دریای مدیترانه به جهت سهم مشارکت بالا در تأمین رطوبت بارش ایران در ترازهای بالای جو در رتبه اول قرار گرفته است که یکی از علل ایجاد این شرایط تغییر در جهت جریان‌ها و عدم ورود آن‌ها به ایران بر روی دریاهای جنوبی به‌ویژه دریای عرب در این ترازهاست و عامل دیگر تغییرات در شکل هندسی هسته مرکزی پُراارتفاع شمال آفریقا و موقعیت مکانی و چگونگی قرارگیری زبانه‌های آن بر روی دریای مدیترانه است که در انتقال رطوبت از این دریا تأثیر قابل توجهی داشته است. همچنین، کم‌ارتفاع بر روی ترکیه در انحراف جریان‌های مرطوب به سمت ایران بی تأثیر نبوده است.



شکل ۹. نقشه میانگین نم ویژه (گرم بر کیلوگرم)، ارتفاع ژئوپتانسیل (هکتوپاسکال)، و الگوی جریان (متر بر ثانیه) تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در دوره بارشی سال آبی الف: مرطوب (۱۹۹۵-۱۹۹۶) و ب: خشک (۱۹۹۹-۲۰۰۰)



شکل ۱۰. نقشه میانگین نم ویژه (گرم بر کیلوگرم)، ارتفاع ژئوپتانسیل (هکتوپاسکال)، و الگوی جریان (متر بر ثانیه) تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در دوره بارشی سال آبی الف: مرطوب (۱۹۹۵-۱۹۹۶) و ب: خشک (۱۹۹۹-۲۰۰۰)

نتیجه‌گیری

به‌منظور بررسی نوسانات شار رطوبت ورودی به ایران در سال مرطوب و خشک، پس از انتخاب دو سال ۱۹۹۵-۱۹۹۶ و ۱۹۹۹-۲۰۰۰ به‌ترتیب به‌عنوان نمونه برای سال مرطوب و خشک محاسبات واگرایی شار رطوبت مربوط به آن دوره زمانی در سطح مرزهای ورودی ایران و سطوح آبی اطراف انجام شد. نتایج حاصل از این پژوهش در قالب موارد زیر بیان می‌شود:

مقدار شار رطوبت جوی در همه لایه‌های مورد بررسی در سال آبی مرطوب بیشتر است و در سال خشک مقدار آن کاهش داشته است.

در ترازهای زیرین جو بیشترین سهم مشارکت در انتقال رطوبت به ایران در هر دو سال مرطوب و خشک مربوط به دریای عرب است. در سال مرطوب افزایش بیش از دوبرابری سهم دریای عرب در انتقال رطوبت نسبت به سال خشک دیده می‌شود که می‌تواند حاکی از نقش بسیار پررنگ این پهنه آبی در تأمین رطوبت بارش‌های ایران با توجه به الگوی گردش جوی مستقر بر روی آن باشد. پس از آن دریاهای مدیترانه و سرخ با مقدار تقریباً برابر در سال مرطوب و خشک در مرتبه دوم قرار دارند.

در ترازهای میانی جو، دریای مدیترانه بیشترین سهم را در انتقال رطوبت به ایران در میان سطوح آبی داراست و دریای سرخ، همانند ترازهای زیرین، دریاهای خلیج فارس، سیاه، و عمان به‌ترتیب در مراتب بعدی در مرتبه دوم اهمیت به لحاظ ارسال رطوبت به ایران جای دارند. در این تراز دریای عرب و دریای خزر تأثیری در ارسال رطوبت ندارند، زیرا هیچ جریانی از روی این دریاها بر روی ایران منتقل نشده و چون ورود رطوبت به منطقه‌ای به ورود جریان‌های جوی به‌ویژه از روی پهنه‌های آبی به منطقه وابسته است، بالطبع، عدم ورود جریان‌ها به ایران عدم انتقال رطوبت را همراه داشته است.

در ترازهای بالایی جو شرایط از نظر ترتیب قرارگیری سطوح آبی و تأثیرگذاری آن‌ها در انتقال رطوبت به ایران تقریباً مشابه ترازهای میانی جو است. اما مقادیر شار رطوبت در سال مرطوب و خشک نسبت به ترازهای میانی کاهش داشته است.

نتایج حاصل از ارزیابی هر یک از جهات جغرافیایی چهارگانه به‌عنوان مسیرهای ورود رطوبت و ترتیب اولویت آن‌ها در انتقال رطوبت به ایران در دو دوره مورد بررسی نشان داد که در سال مرطوب (۱۹۹۵-۱۹۹۶) و در همه جهات مورد بررسی رطوبت بیشتری نسبت به سال خشک (۱۹۹۹-۲۰۰۰) در هر سه لایه وارد ایران شده است.

مرزهای جنوبی مهم‌ترین جهت از نظر ورود رطوبت به ایران در هر دو دوره، به‌ویژه در ترازهای زیرین جو است که، با وجود نقش غالب پهنه‌های آبی جنوبی به‌خصوص دریای عرب در تأمین رطوبت بارش‌های ایران در ترازهای زیرین و کاهش نقش آن در ترازهای بالاتر جو، این شرایط توجیه‌شدنی است. در سال خشک کاهش ورود رطوبت به ایران از مرزهای شمالی، غربی، و شرقی نسبت به سال مرطوب در حدود ۵۰ درصد بوده است. افزایش سهم مرزهای جنوبی از نظر انتقال رطوبت به ایران به‌ویژه در سال مرطوب می‌تواند به‌دلیل قرارگیری ناوه عمیق بر روی دریای سرخ و شبه‌جزیره عربستان در دوره بارشی باشد که به ایجاد جریان‌های شمال غربی حاوی رطوبت دریاهای سیاه و مدیترانه و همچنین جریان‌های جنوب غربی حاوی رطوبت دریای عرب- که عامل مهمی در ارسال رطوبت به ایران در ترازهای زیرین است- بر روی شبه‌جزیره عربستان منجر می‌شود.

نتیجه حاصله پژوهش مبنی بر سهم مشارکت سطوح آبی در انتقال رطوبت به ایران و تأثیرگذاری بیشینه دریای عرب در سطوح زیرین و دریای مدیترانه در سطوح فوقانی جو با نتیجه پژوهش کریمی احمدآباد (۱۳۸۶) و پرک (۱۳۸۹) منطبق است که با نظر برخی دیگر از محققان (براتی و حیدری، ۱۳۸۲)، که منشأ رطوبت بارش‌های ایران به‌ویژه غرب آن را به‌ترتیب دریا‌های مدیترانه، سرخ، و سیاه دانسته‌اند، مطابقت ندارد. همچنین، در رابطه با تأثیرگذاری الگوهای گردش جوی و تفاوت آن‌ها، با نتایج مطالعات محققان مختلف در زمینه منابع رطوبتی و نقش آن در بارش، از جمله خدادی و همکاران (۱۳۹۲)، فرج‌زاده و همکاران (۱۳۸۶)، پوراصغر و همکاران (۱۳۹۱)، و کریمی احمدآباد و فرج‌زاده (۱۳۹۰) منطبق است.

منابع

- انصافی مقدم، ط. (۱۳۸۶). ارزیابی چند شاخص خشک‌سالی اقلیمی و تعیین مناسب‌ترین شاخص در حوضه دریاچه نمک، فصل‌نامه علمی- پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۴(۲): ۲۷۱-۲۸۸.
- بذرافشان، ج. و خلیلی، ع. (۱۳۸۲). ارزیابی کارایی چند نمایه خشک‌سالی هواشناسی در نمونه‌های اقلیمی مختلف ایران، نشریه نیوار، ۴۸-۴۹: ۷۹-۹۳.
- براتی، غ.ر. و حیدری، ا. (۱۳۸۲). رده‌بندی منابع رطوبتی بارش‌های غرب ایران (سال آبی ۱۹۸۴-۱۹۸۵)، سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم، اصفهان، ۲۹ مهر الی اول آبان سال ۱۳۸۲، ص ۱۶-۲۳.
- پرک، ف. (۱۳۸۹). تحلیل سینوپتیکی نقش دریای سرخ در تقویت و تأمین رطوبت سامانه سودانی عبوری و تأثیر آن در ترسالی و خشک‌سالی‌های جنوب و جنوب غرب کشور، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.
- پوراصغر، ف.؛ حسنعل‌یزاده، ا.ش.؛ امیدفر، م.؛ اصلاحی، م. و اکبرزاده، ی. (۱۳۹۱). بررسی شار رطوبتی در دوره‌های ترسالی و خشک‌سالی استان آذربایجان شرقی، پنجمین کنگره بین‌المللی جغرافی‌دانان اسلام، دانشگاه تبریز.
- جهان‌بخش، س. و قویلد رحیمی، ی. (۱۳۸۴). تحلیل توزیع فضایی دوره‌های مرطوب و خشک ایستگاه‌های آذربایجان شرقی، فضای جغرافیایی، ۲۷: ۵-۱۷.
- خدادی، م.م.؛ آزادی، م. و رضازاده، پ. (۱۳۹۲). منابع رطوبت و ترابرد ماهانه آن روی ایران و برهم‌کنش آن با مونسون هندوستان و پُراارتفاع جنب حاره، مجله ژئوفیزیک ایران، ۷(۲): ۹۶-۱۱۳.
- خوشحال، ج.؛ خسروی، م. و نظری‌پور، ح. (۱۳۸۸). شناسایی منشأ و مسیر رطوبت بارش‌های فوق سنگین استان بوشهر، مجله جغرافیا و توسعه، ۶۱: ۷-۲۸.
- خوش‌اخلاق، ف. (۱۳۷۷). بررسی الگوهای ماهانه خشک‌سالی و ترسالی در ایران، رساله دکتری جغرافیای طبیعی گرایش اقلیم‌شناسی، دانشگاه تبریز.
- دارند، م. و زند کریمی، س. (۱۳۹۴). واکاوی سنجش دقت زمانی- مکانی بارش پایگاه داده مرکز پیش‌بینی میان‌مدت جوی اروپایی (ECMWF) بر روی ایران زمین، فصل‌نامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۷(۴): ۶۵۱-۶۷۵.
- ذبیحی، م.؛ شاهی، ک.؛ دارابی، ح. و صفری، ع. (۲۰۱۴). مطالعه خشک‌سالی هواشناسی دشت بجنورد با استفاده از شاخص‌های DI، ZSI، NITZCHE، PNPI، SPI و پنجمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران.
- علیجانی، ب. (۱۳۷۲). مکانیزم‌های صعود بارندگی‌های ایران، مجله دانشکده ادبیات دانشگاه تربیت معلم، شماره ۸۵.
- علیجانی، ب. (۱۳۸۹). آب و هوای ایران، چ ۴، انتشارات پیام نور.
- فرج‌زاده، م. (۱۳۷۴). تحلیل و پیش‌بینی خشک‌سالی در ایران، رساله دکتری، جغرافیای طبیعی گرایش اقلیم‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس.
- فرج‌زاده، م.؛ کریمی احمدآباد، م.؛ قائمی، ه. و مباشری، م. (۱۳۸۶). چگونگی انتقال رطوبت در بارش زمستانه غرب ایران (مطالعه موردی بارش ۳-۷ ژانویه ۱۹۹۶)، فصل‌نامه مدرس علوم انسانی، ۱۳(۱): ۱۹۳-۲۱۷.
- قائدی، س.؛ موحدی، س. و مسعودیان، ا. (۱۳۹۱). رابطه فرود دریای سرخ با بارش‌های سنگین ایران، مجله جغرافیا و پایداری محیط، ۲: ۱-۱۸.

- قوبدل رحیمی، ی. (۱۳۹۰). نگاهت و تحلیل همگرایی جریان رطوبت جو طی بارش فوق سنگین ناشی از طوفان حاره‌ای فت در سواحل چاه‌بهار، فصل‌نامه مدرس علوم انسانی، ۱۵(۲): ۱۰۱-۱۱۸.
- کریمی احمدآباد، م. (۱۳۸۶). تحلیل منابع تأمین رطوبت بارش‌های ایران، رساله دکتری، جغرافیای طبیعی گرایش اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس.
- کریمی احمدآباد، م. و فرج‌زاده، م. (۱۳۹۰). شار رطوبت و الگوهای فضایی- زمانی منابع تأمین رطوبت بارش‌های ایران، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۹(۲۲): ۱۰۹-۱۲۷.
- مسعودیان، ا. (۱۳۹۰). آب و هوای ایران، انتشارات شریعه توس.
- مفیدی، ع.; زرین، آ. و کارخانه، م. (۱۳۹۳). بررسی الگوی گردش جو در طول دوره‌های خشک و مرطوب در سواحل جنوبی دریای خزر، مجله ژئوفیزیک ایران، ۸(۱): ۱۴۰-۱۷۶.
- معصوم‌پور سماکوش، ج. (۱۳۸۴). مطالعه سینوپتیکی خشک‌سالی‌های فراگیر در سواحل جنوبی خزر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، جغرافیای طبیعی گرایش اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
- Alijani, B. (1993). Rising Mechanisms of Rainfall in Iran, *Journal of College of Literature*, Tarbiat Moalem University, No. 85.
- Alijani, B. (2010). *Climate of Iran*, Forth Edition, Payam Noor Publisher.
- Asefjeh, B.; Fanian, F.; Feizi, Z.; Abolhasani, A.; Paktinat, H.; Naghilou, M.; Molaei Atani, A.; Asadollahi, M.; Babakhani, M.; Kouroshniya, A. and Salehi, F. (2014). Meteorological Drought Monitoring Using Several Drought Indices (Case Study: Salt Lake Basin in Iran), *Desert*, 19: 155-165.
- Bazrafshan, J. and Khalili, A. (2003). The Evaluation of Utility of Meteorological Drought Indices in Different Climatic Samples in Iran, *Niwar Journal*, 48-49: 79-93.
- Brati, Gh. R. and Haidari, I. (2003). Classification of Moisture Resources of West of Iran (1984-85), *Third Regional Conference and First National Conference on Climate Change*, 21-23 Oct. Isfahan, PP. 16-23.
- Ensafi Moghadam, T. (2007). The Evaluation of Climatic Drought Indices and Determination of Suitable Index in Salt Sea Watershed, *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 14(2): 271-288.
- Farajzadeh, M. (1995). *Analysis and Prediction of Drought in Iran*, PhD. Thesis in Natural Geography, Climatology Subject, Tarbiat Modares University.
- Farajzadeh, M.; Karimi Ahmadabad, M.; Ghaemi, H. and Mobasheri, M.R. (2007). The Status of Moisture Transferring in Winter Precipitation in West of Iran (A Case Study of 3-7 January, 1996), *Journal of Human Sciences Modares*, 13(1): 193-217.
- Farajzadeh, M.; Karimi Ahmadabad, M.; Ghaemi, H. and Mobasheri, M.R. (2007). Studying the Moisture Flux over West of Iran: A Case Study of January 1 to 7, 1996 Rain Storm, *Journal of Applied Sciences*, 7: 3023-3030.
- Gao, L.; Bernhardt, M. and Schulz, K. (2013). Evaluation of ERA-Interim Precipitation Data in Complex Terrain, *Hydrology and Earth System Sciences*, 16: 4661-4673.
- Ghaedi, S.; Movahedi, S. and Masoodian, S.A. (2012). The Relationship Between Red Sea Ridge and Heavy Precipitation in Iran, *Journal of Geography and Environmental Stability*, 2: 1-18.

- Ghavidel Rahimi, Y. (2011). Mapping and Analysis of Atmospheric Moisture Convergence During Super-Heavy Precipitation Due to Tropical Storm in Chahbahar Shore, *Journal of Human Sciences Modares*, 15(2): 101-118.
- Jahanbakh, S. and Ghavidel Rahimi, Y. (2005). The Analysis of Spatial Distribution of Wet and Dry Periods of East Azarbaijan Stations, *Geographical Space*, 27: 5-17.
- Karimi Ahmadabad, M. (2007). *The Analysis of Resources of Precipitation Moisture in Iran*, PhD. Thesis in Natural Geography, Climate Subject, Supervisor Professor Manuchehr Farajzadeh, College of Human Sciences, Tabiat Modares University.
- Karimi Ahmadabad, M. and Farajzadeh, M. (2011). Moisture Flux and Spatio-Temporal Patterns of Resources of Precipitation Moisture of Iran, *Journal of Applied Researches of Geographical Sciences*, 19(22): 109-127.
- Khadadi, M.M.; Azadi, M. and Rezazadeh, P. (2013). Moisture Sources and Its Monthly Transport on Iran and its Interaction with India's Monsoon and Subtropical High-Pressure, *Journal of Iran Geophysics*, 7(2): 96-113.
- Khoshakhlagh, F. (1998). *The Analysis of Monthly Patterns of Wet and Dry Years in Iran*, PhD. Thesis in Natural Geography, Climate Subject, Supervisor Professor Hooshang Ghaemi, University of Tabriz.
- Khoshhal, J.; Khosravi, M. and Nazariipoor, H. (2009). Detection of Origin and Path of Moisture of Super-Heavy Precipitation of Booshehr Province, *Journal of Geography and Development*, 61: 7-28.
- Liu, J. and Stewart, R.E. (2003). Water Vapor Fluxes over the Saskatchewan River Basin, *Journal of Hydrometeorology*, 4: 944-959.
- Mahmood, R.; Li, S. and Khan, B. (2010). Causes of Recurring Drought Patterns in Xinjiang China, *Journal of Arid Land*, 2(4): 279-285.
- Mashari Eshghabad, S.; Omidvar, E. and Solaimani, K. (2014). Efficiency of Some Meteorological Drought Indices in Different Time Scales (Case Study: Tajan Basin, Iran), *ECOPERSIA*, 2: 441-453.
- Masoodian, S.A. (2011). *Climate of Iran*, First Edition, Sharieh Toos Publisher.
- Masoompoor Samakoosh, J. (2005). *Synoptic Study of Extensive Drought in Southern Caspian Sea Shore*, MSc. Thesis in Natural Geography, Climate Subject, Supervisor Professor Faramarz Khoshakhlagh, College of Geography, University of Tehran.
- Mofidi, A.; Zarrin, A. and Karkhaneh, M. (2014). A Study of the Pattern of Atmospheric Circulation During Dry and Wet Periods on the Southern Shores of the Caspian Sea, *Journal of Iran Geophysics*, 8(1): 140-176.
- Najjar Saligheh, M. and Yousefi Ramandi, R. (2015). Studying & Comparing the Efficiency of 7 Meteorological Drought Indices in Droughts Risk Management (Case Study: North West Regions), *Applied mathematics in Engineering, Management and Technology*, 3(1): 131-142.
- Peixoto, J.P. (1973). Atmospheric Vapor Flux Computations for Hydrological Purposes, Reports on WMO/IHD Projects, Report No. 20.
- Peixoto, J.P. and Kettani, M.A. (1973). The Control of the Water Cycle, *Scientific American*, 228: 46-61.
- Poorasghar, F.; Hasanalizadeh, A. Sh.; Omidfar, M.; Eslahi, M. and Akbarzadeh, Y. (2012). The Investigation of Moisture Flux in Wet and Dry periods in West Azarbaijan Province, *The Fifth International Congress of Islamic Geographer*, University of Tabriz.

- Peña-Arancibia, J.L.; Van Dijk, A.I.J.M.; Renzullo, L.J. and Mulligan, M. (2013). Evaluation of Precipitation Estimation Accuracy in Reanalyses, Satellite Products, and an Ensemble Method for Regions in Australia and South and East Asia, *Journal of Hydrometeorology*, 14: 1323-1333.
- Sivandi, A. and Gharehdaghi, H. (2014). Performance Evaluation of Some Meteorological Drought Indices in South of Khuzestan Province and Zoning It Using Geographic Information System (GIS), *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*, 4: 730-738.
- Smirnov, V.V. and Moore, G.W.K. (1997). Spatial and Temporal Structure of Atmospheric Water Vapor Transport in the Mackenzie River Basin, *Journal of Climate*, 12: 681-696.
- Xu, X.D.; Shi, X.Y.; Wang, Y.Q.; Peng, S.Q. and Shi, X.H. (2008). Data Analysis and Numerical Simulation of Moisture Source and Transport Associated with Summer Precipitation in the Yangtze River Valley over China, *Meteorology Atmospheric Physics*, 100: 217-231.
- WU, H.; HAYES, M.J.; WEISS, A. and HU, Q. (2001). An Evaluation of the Standardized Precipitation Index, the China-Z Index and the Statistical Z-Score, *International Journal of Climatology*, 21: 745-758.
- Zabihi, M.; Shahedi, K.; Darabi, H. and Safari, A. (2014). The study of Meteorological Drought in Bojnord Plain using SPI, PNPI, NITZCHE, ZSI and DI Indices, *The Fifth Conference on Water Resources Management in Iran*.