

مطالعه ساختار ترمودینامیکی وردسپهر در منطقه خاورمیانه برای دوره

۱۹۹۳-۱۹۸۰

فرهنگ احمدی گیوی* و شیرین دستمالچی تبریزی*

*مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، صندوق پستی ۶۴۶۶-۱۴۱۵۵

(دریافت مقاله: ۱۳/۱/۸۳، پذیرش مقاله: ۱۴/۱۲/۹۰)

چکیده

در این پژوهش با استفاده از داده‌های اقلیمی ۱۴ ساله (۱۹۸۰-۱۹۹۳) مؤسسه هوا فضای امریکا (NASA) ساختار ترمودینامیکی وردسپهر برای منطقه خاورمیانه و ایران بررسی شده است. برای این کار، توزیع افقی و قائم میانگین ماهانه، شار میانگین ماهانه، واگرایی شار میانگین برای هریک از عوامل رطوبت ویژه و گرما مطالعه شده است. به علاوه، تأثیر احتمالی پدیده‌های بزرگ مقیاس جوی از قبیل ال نینو، لاتینا و مانسن در توزیع زمانی و مکانی این عوامل در بازه زمانی یاد شده نیز بررسی شده‌اند.

نتایج نشان می‌دهد که دمای نواحی شمال ایران و شمال منطقه خاور میانه عمدتاً تحت تأثیر مرکز سرد واقع در شمال گروئنلند و دمای نواحی جنوب ایران بیشتر تحت تأثیر شارهای ناشی از شرق دریای سرخ است. رطوبت ایران و منطقه خاورمیانه نیز متأثر از چهار منبع واقع در شرق اقیانوس اطلس، شمال آفریقا، شرق دریای سرخ و غرب اقیانوس هند است که اثر منبع رطوبت شرق اقیانوس اطلس در مقایسه با اثر سه منبع دیگر ضعیف‌تر است.

بر اساس نتایج حاصل، بیشینه رطوبت روی ایران هم‌زمان با بیشینه تقویت دو منبع واقع در شرق دریای سرخ و غرب اقیانوس هند و وقوع مانسن تابستانی شدید هند است. در این شرایط شارهای رطوبت عمدتاً جنوبی‌اند. همچنین بیشینه دامنه تغییرات سالانه دما هم‌زمان با وقوع مانسن تابستانی شدید در هند و بیشینه دامنه تغییرات سالانه رطوبت هم‌زمان با وقوع لاتینای قوی است.

واژه‌های کلیدی: ساختار ترمودینامیکی، خاورمیانه، شار دما، شار رطوبت ویژه، پدیده‌های بزرگ مقیاس

۱ مقدمه

اقلیم به دقت شناخته شود. سامانه اقلیم که بسیار پیچیده است، شامل پنج مؤلفه اصلی جو، آب‌سپهر، زمین‌سپهر، یخ‌سپهر و زیست‌سپهر است. این مؤلفه‌ها دارای ساختار، رفتار و خواص فیزیکی و شیمیایی متفاوتی‌اند که با جریان‌هایی از ماده، انرژی و تکانه با هم ارتباط دارند. خورشید و آتشفشان از اجزای سامانه اقلیم نیستند و اثر آنها به صورت واداشت خارجی در نظر گرفته می‌شود، به طوری که در عین تأثیر بر اقلیم خود از آن متأثر نمی‌شوند.

در پیش‌بینی وضع هوا پارامترهای مختلفی از قبیل فشار، دما، رطوبت، ابر، بارندگی، قابلیت دید، باد در نظر گرفته می‌شود، در حالی که اقلیم یک منطقه

اقلیم در اصل میانگین وضع هوا و تغییرپذیری آن در بازه زمانی و منطقه‌ای مشخص است. تغییرات آماری مهم در میانگین وضع اقلیم یا تغییرپذیری آن در بازه‌های زمانی دهه‌ای یا بیشتر، تغییر اقلیم نامیده می‌شود. مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد که اقلیم جهانی و منطقه‌ای، در گذشته همواره تغییرات گوناگون و وسیعی داشته است. همه تغییرات اقلیمی گذشته در اثر عوامل طبیعی بوده است. اقلیم‌شناسان معتقدند که پس از انقلاب صنعتی، بخشی از تغییرات اقلیمی منشأ طبیعی داشته و بخش دیگر ناشی از فعالیت‌های بشری بوده‌اند و به طور کلی، آهنگ روند تغییرات افزایش یافته است (گزارش IPCC، ۲۰۰۱). برای مطالعه اقلیم و تغییرات آن لازم است که سامانه

معمولاً از راه نسبت بارندگی به تبخیر مشخص می‌شود و در مواردی که اطلاعات تبخیر موجود نباشد دما جایگزین خواهد بود.

در طی سال‌های گذشته تحقیقات بسیاری روی دو پارامتر دما و رطوبت صورت گرفته است که در اینجا به برخی از آنها اشاره می‌شود. پیلکه و همکاران (۱۹۹۸)، انجل (۱۹۹۹ و ۲۰۰۰) و براون و همکاران (۲۰۰۰) افزایش نسبی میانگین جهانی دمای سطح زمین نسبت به وردسپهر و وردسپهر نسبت به پوش سپهر را مطالعه کردند و نتیجه گرفته‌اند که احتمالاً از سال ۱۹۷۹، میانگین جهانی دمای سطح نسبت به وردسپهر و وردسپهر نسبت به پوش سپهر بیشتر گرم شده است، ولیکن گرمایش نسبی از نظر مکانی بسیار متغیر بوده و در مناطق حاره‌ای و جنب حاره‌ای مهم‌تر است. براون و همکاران (۲۰۰۰) و گافن و همکاران (۲۰۰۰) در مطالعات صورت گرفته اظهار داشته‌اند که از سال ۱۹۵۸ تا ۱۹۸۰، کاهش در لپس‌ریت وردسپهر زیرین و بعد از سال ۱۹۸۰، افزایش در لپس‌ریت وردسپهر زیرین مشاهده شده است. رس و الیت (۱۹۹۶ و ۱۹۹۸) روند تغییرات بخار آب و دمای وردسپهر میانی را روی امریکای شمالی، چین و اقیانوس آرام مقایسه کرده و نتیجه گرفتند که روند تغییرات بخار آب در وردسپهر میانی در این مناطق با روند تغییرات دما هم علامت است، اما روند تغییرات دما نسبت به بخار آب به شدت مثبت‌تر دیده می‌شود. التمانس و همکاران (۲۰۰۰) روند تغییرات رطوبت ویژه در پوش سپهر زیرین را از اواسط ۱۹۶۰ مورد مطالعه قرار دادند و اظهار داشتند که احتمالاً افزایش نسبت آمیختگی بخار آب در پوش سپهر زیرین در طی چند دهه اخیر، موجب کاهش دمای پوش سپهر به مقداری قابل مقایسه با کاهش ازون شده است. پیکسوتو و ارت (۱۹۹۶) روشن ساختند که در دوره ۱۹۲۴-۱۹۸۸ روند تغییرات بزرگی در رطوبت وردسپهر زیرین (تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال) وجود داشته است ولی آنها بیان می‌دارند

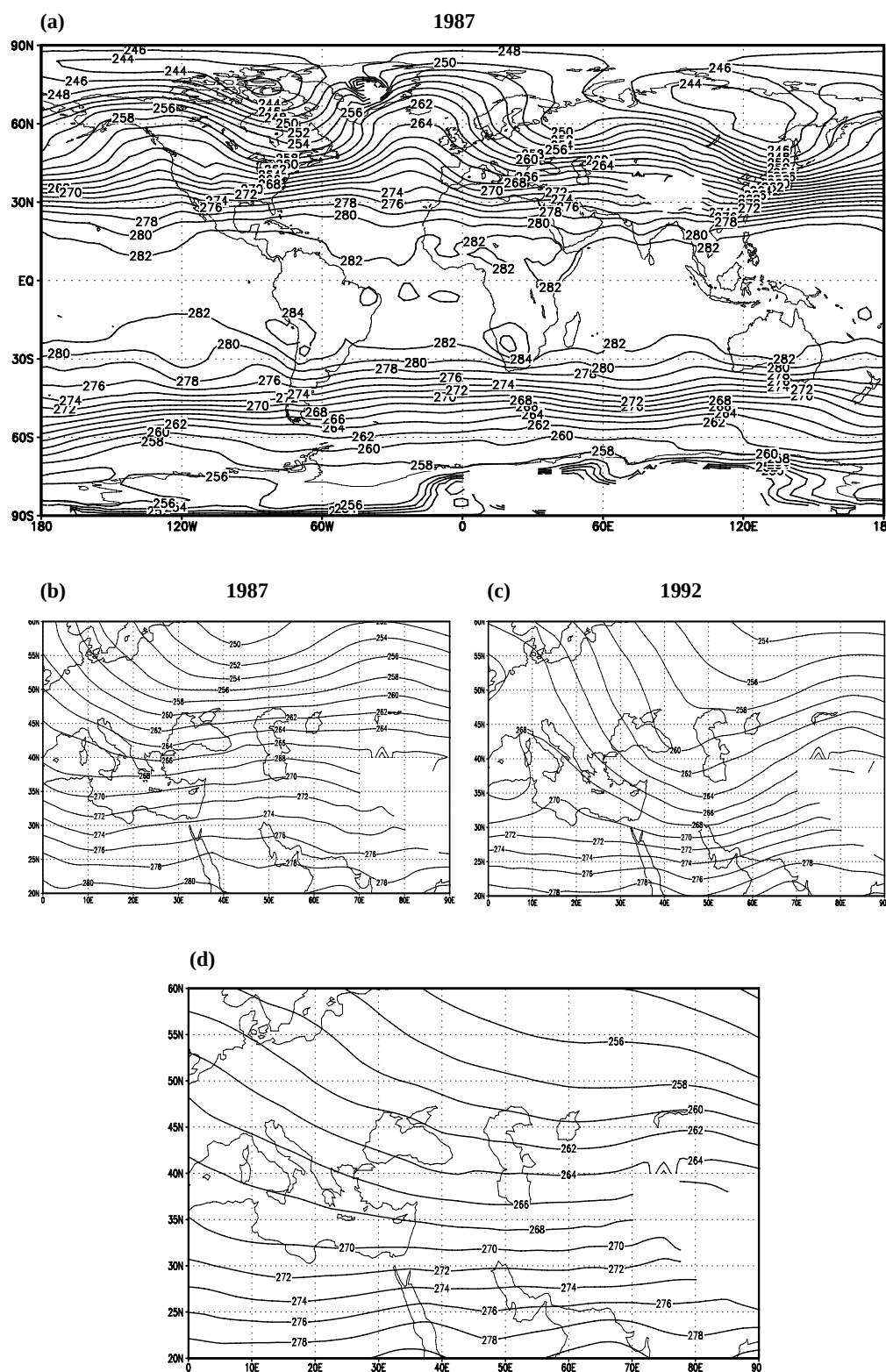
که این روند تغییرات به‌طور غیرواقعی بزرگ است و احتمالاً نتیجه تحول وسایل و تجهیزات اندازه‌گیری و میزان متفاوت خطاهای آنها است.

بنابر گزارش‌های IPCC (۱۹۹۱، ۱۹۹۶، ۲۰۰۱) بی‌هنجاری‌هایی در تغییرات پارامترهای جوی از قبیل دما، بارش، گردش‌های جوی جهانی و محلی و غیره در طی چند دهه گذشته مشاهده شده است که بخشی از آن می‌تواند خارج از تغییرپذیری طبیعی اقلیم باشد. در این راستا، ما نیز براساس گزارش‌های سازمان هواشناسی کشور شاهد بی‌هنجاری‌هایی در زمینه دما و بارش و دیگر پارامترها در فصل‌های متفاوت سال‌های گذشته برای منطقه خاورمیانه و کشور ایران بوده‌ایم. به‌منظور شناخت دقیق این تغییرات و منشأ آنها و ارتباط احتمالی آنها با یکدیگر، ضروری است پارامترهای متفاوت جوی برای دوره‌های گوناگون از جنبه‌های متفاوت آماری، دینامیکی و فیزیکی مورد بررسی قرار گیرند. با توجه به اهمیت ویژه عوامل رطوبت و دما در موضوع اقلیم و تغییرپذیری آن، در این مقاله سعی شده است ساختار افقی و قائم این دو کمیت در وردسپهر منطقه خاورمیانه برای دوره‌ای چهارده ساله (۱۹۸۰-۱۹۹۳) مطالعه شود.

۲ داده‌ها و روش مطالعه

در مطالعات اقلیمی برای دوره‌های طولانی، داشتن داده‌های متراکم و با دقت زیاد بسیار حائز اهمیت است. از این‌رو، در این پژوهش از داده‌های اقلیمی تحلیل مجدد شده مؤسسه هوافضای امریکا (NASA) برای دوره ۱۴ ساله استفاده شده است. این داده‌ها از مجموعه داده‌های گرفته شده از شبیه‌سازی چند لایه‌ای GEOS-1 برای کل کره است که دارای ۲۲ پارامتر با تفکیک فضایی ۲ درجه عرض جغرافیایی و ۲/۵ درجه طول جغرافیایی است.

پارامترهای موجود در سری زمانی شبیه‌سازی چند لایه‌ای فوق را می‌توان به سه گروه لایه مرزی، پیش‌یابی و



شکل ۱. نقشه‌های میانگین ماهانه دما در سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال و ماه ژانویه (a) برای کل کره زمین در ۱۹۸۷، و (b) و (c) برای شبکه مورد مطالعه در سال‌های ۱۹۸۷ و ۱۹۹۲، (d) نقشه میانگین ۱۴ ساله (۱۹۸۰-۱۹۹۳) دما برای شبکه مورد مطالعه.

فرایابی تقسیم کرد، که در این پژوهش از پنج پارامتر پیش‌یابی استفاده شده است. این پارامترها شامل مؤلفه‌های x و y باد، ارتفاع ژئوپتانسیلی، دما و رطوبت ویژه در ۶ تراز (۱۰۰۰، ۸۵۰، ۷۰۰، ۵۰۰، ۳۰۰ و ۲۰۰ هکتوپاسکال) و برای ۴ زمان در روز به فاصله ۶ ساعت است.

مطالعات صورت گرفته در این پژوهش، دارای دو بخش آماری و دینامیکی است. در مطالعات آماری، توزیع افقی و قائم دما و رطوبت ویژه، به صورت میانگین ماهانه و مقایسه آنها با میانگین چهارده ساله، برای بررسی تغییرات سالانه تهیه شده است. از طرفی با بررسی شارهای میانگین دما و رطوبت و همچنین میانگین چهارده ساله آنها، منابع عمده تأثیرگذار بر منطقه به دست آمده‌اند (شار میانگین دما معرف شار گرما است). علاوه بر بررسی‌های فوق، سری‌های زمانی میانگین ماهانه رطوبت ویژه و دما برای نزدیک‌ترین نقطه شبکه‌ای به تهران (۳۵/۹ درجه شمالی و ۵۱/۴ درجه شرقی)، برای مطالعه تغییرات زمانی دما و رطوبت ویژه در یک دوره چهارده ساله به دست آمده است. شبکه مورد بررسی در این کار بین نصف‌النهارهای صفر تا ۹۰ درجه شرقی و مدارهای ۲۰ تا ۶۰ درجه شمالی قرار دارد که شامل منطقه خاورمیانه و ایران نیز می‌شود.

مطالعات، عمدتاً برای ماه ژانویه و تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال صورت گرفته است. علت انتخاب تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال آن است که این سطح نشانگر میانگین وردسپهر زیرین است و نقاط خالی از داده فقط در نواحی بسیار محدود مانند کوه‌های هیمالیا وجود دارد؛ زیرا نقاطی از شبکه که دارای ارتفاع بیشتر از سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال‌اند، در این سطح فاقد داده‌اند.

۳ میانگین‌های ماهانه دما و رطوبت

نتایج حاصل در دو بخش به شرح زیر ارائه می‌شود.

۳-۱ توزیع میانگین دما و شار میانگین گرما

نقشه‌های توزیع میانگین ماهانه دما برای ماه ژانویه در کل

کره زمین برای همه سال‌های دوره مورد مطالعه تهیه شده که برای نمونه نقشه سال ۱۹۸۷ در شکل ۱-a ارائه شده است. در همه نقشه‌ها، به‌ویژه سال ۱۹۸۷ (شکل ۱-a)، وجود سه مرکز هوای سرد در شمال گروئنلند، شمال امریکای شمالی و شمال آسیا به چشم می‌خورد. مرکز سرد شمال گروئنلند، دارای نوسان‌هایی در سال‌های متفاوت از دوره مورد مطالعه بوده ولی همواره وجود داشته است. دو مرکز سرد دیگر، در برخی از سال‌ها بسیار ضعیف شده و از بین رفته‌اند. با توجه به زبانه پربندهای دمای میانگین، به نظر می‌رسد که مرکز سرد واقع در شمال گروئنلند، دمای نواحی شمالی منطقه خاورمیانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، به گونه‌ای که شدت یافتن آن باعث کاهش دما در نواحی شمالی این منطقه می‌شود.

از بررسی نقشه‌های توزیع میانگین ماهانه دما برای ماه ژانویه سال‌های متفاوت در شبکه مورد مطالعه (شکل‌های ۱-b و ۱-c)، نتیجه می‌شود که دمای نواحی شمالی منطقه خاورمیانه و ایران دارای نوسان‌های سالانه قابل ملاحظه‌ای‌اند، در صورتی که نواحی جنوبی در طی سال‌های متفاوت، دمای تقریباً یکسانی داشته‌اند. لازم به ذکر است که نقشه‌های همه سال‌های دوره ۱۴ ساله برای دما و رطوبت و همچنین شار دما و شار رطوبت تهیه شده ولی برای رعایت اختصار، فقط نقشه‌های برخی از سال‌ها ارائه شده است. از مقایسه شکل‌های ۱-b و ۱-d مشاهده می‌شود که در ۱۹۸۷، دمای نواحی شمالی کشور ایران نسبت به وضعیت میانگین ۱۴ ساله، به شدت افزایش یافته است. با بررسی این نقشه و نقشه کل کره در همین سال (شکل نشان داده نشده است)، دیده می‌شود که پربندهای دما روی اقیانوس اطلس نیز نسبت به حالت کلی به سمت عرض‌های بالاتر کشیده شده‌اند. از سوی دیگر، در ۱۹۹۲ (شکل ۱-c)، کشیدگی پربندهای دما از عرض‌های بالاتر به سمت عرض‌های پایین‌تر در شمال غرب و غرب ایران مشاهده می‌شود که در نتیجه

آن، فرارفت هوای سرد و افت میانگین دمای منطقه انتظار می‌رود.

شکل ۲-a شار میانگین ۱۴ ساله گرما در سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال برای شبکه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در این شکل در حکم الگویی کلی، مشاهده می‌شود که دمای نواحی جنوبی ایران بیشتر تحت تأثیر شارش‌های ناشی از عرض‌های پایین‌تر است که منشأ آن شرق دریای سرخ است. نواحی شمال و مرکزی ایران تحت تأثیر هوای سردتر عرض‌های بالا قرار دارند. با توجه به شکل ۲-a، می‌توان گفت که هوای سرد نواحی شمال شرق اقیانوس اطلس که منشأ آن همان مرکز سرد واقع در گروئنلند است، با کشیده شدن به عرض‌های پایین‌تر و عبور از روی دریای مدیترانه و خاورمیانه، دمای نواحی مرکزی و شمال ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

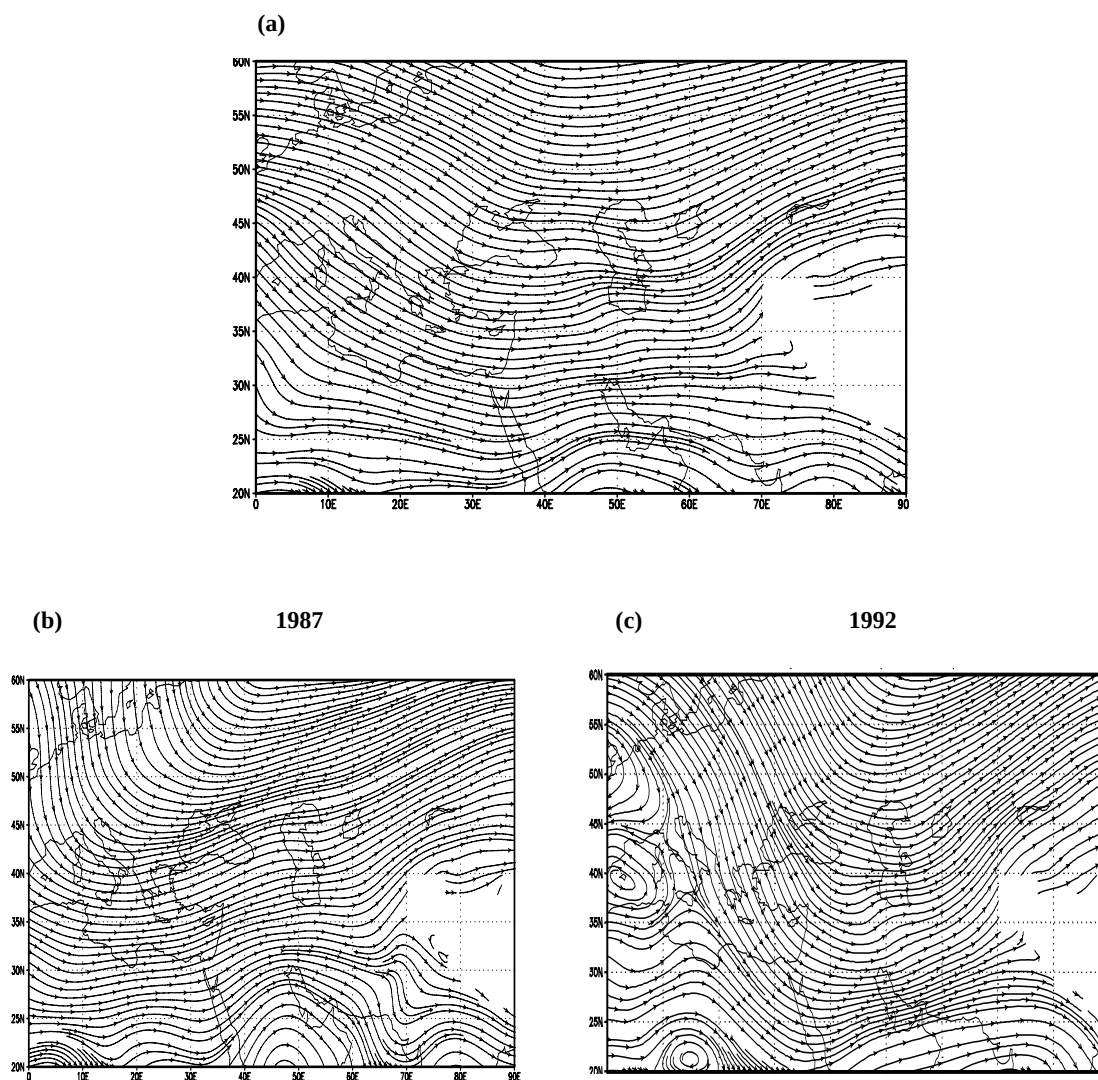
در نقشه‌های شار میانگین ماهانه گرما در سال‌های متفاوت (شکل‌های ۲-b و ۲-c)، دیده می‌شود که دمای میانگین منطقه خاورمیانه، عمدتاً تحت تأثیر دو شارش متفاوت است. یکی از شارش‌ها واقع در شمال غرب شبکه و در غرب دریای شمال است که هوای سرد شمال شرق اقیانوس اطلس را از عرض‌های بالا به عرض‌های پایین منتقل می‌کند و دیگری شارش واقع در جنوب شبکه و در شرق دریای سرخ و شمال افریقا است که هوای گرم عرض‌های پایین را به عرض‌های بالا منتقل می‌کند. این شارش‌ها گرچه دارای نوسان‌های سالانه هستند ولی همواره مشاهده می‌شوند. مرکز دیگری از شار گرما در غرب اقیانوس هند (جنوب شرق شبکه) مشاهده می‌شود که با توجه به جهت شارها، به نظر می‌رسد تأثیر محسوسی در دمای منطقه خاور میانه و ایران نداشته باشد.

۲-۳ توزیع میانگین رطوبت ویژه و شار میانگین رطوبت ویژه

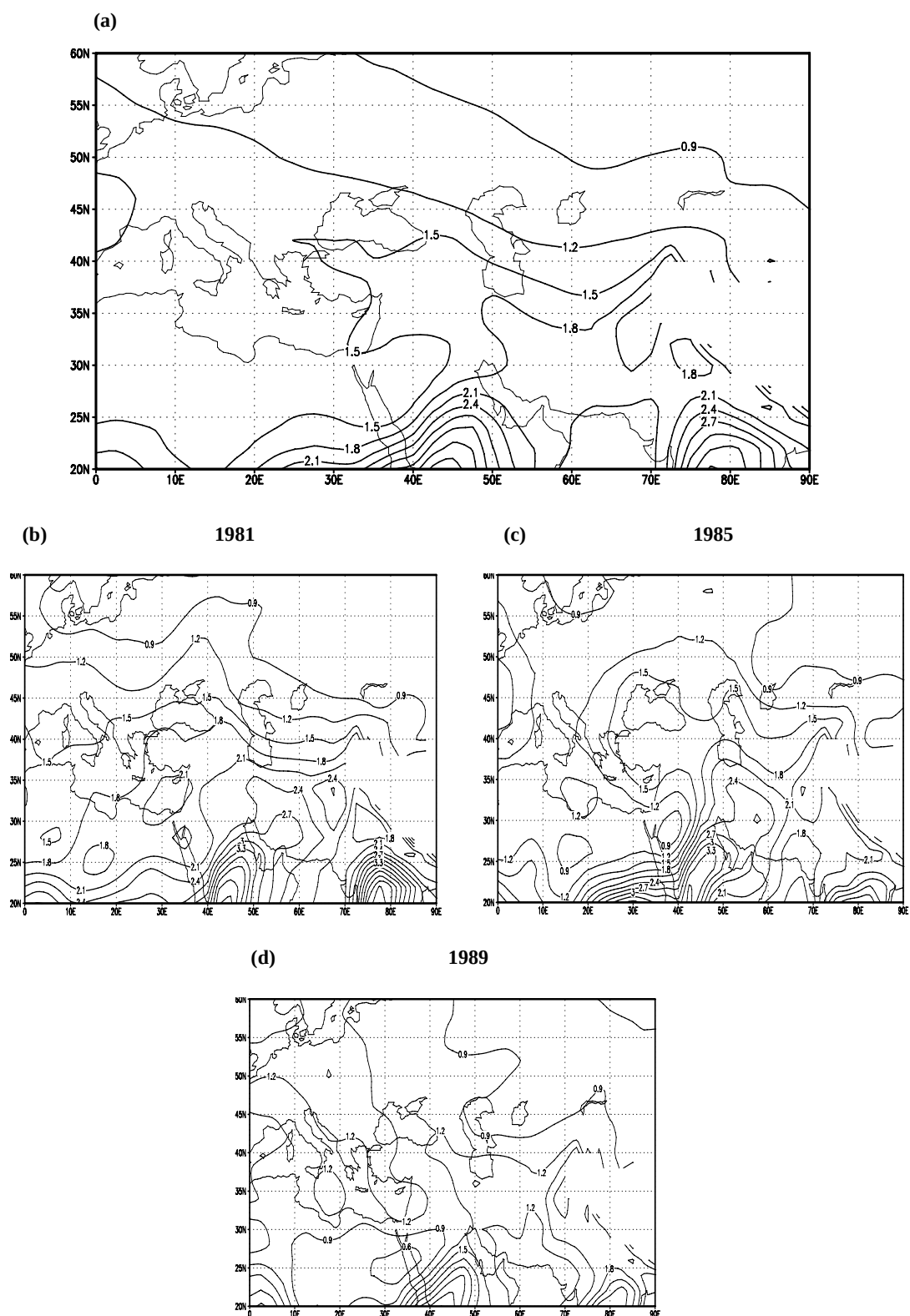
از آنجایی که ظرفیت جو برای نگهداری بخار آب شدیداً

وابسته به دما است، با بررسی نقشه‌های میانگین دما و رطوبت، مشاهده می‌شود که الگوی جهانی رطوبت و دما بسیار مشابه هستند؛ به‌استثنای مناطق بیابانی که در آن‌جا هوای سطح در مقایسه با میانگین مداری رطوبت، علی‌رغم دمای نسبتاً بالا بسیار خشک است. با توجه به نقشه میانگین ۱۴ ساله رطوبت ویژه برای ماه ژانویه (شکل ۳-a)، می‌توان سه منبع عمده رطوبت واقع در شمال افریقا، شرق دریای سرخ و غرب اقیانوس هند نام برد که احتمالاً کشور ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهند. منبع رطوبت واقع در شمال افریقا (با مرکز $2/1 \text{ gr/kg}$)، نسبت به دو منبع دیگر، شرق دریای سرخ (با مرکز $3/6 \text{ gr/kg}$) و غرب اقیانوس هند (با مرکز $3/3 \text{ gr/kg}$) ضعیف‌تر است. با توجه به کشیدگی پربندهای رطوبت روی منطقه ایران (پربند $1/8$)، به‌نظر می‌رسد که این منطقه بیشتر تحت تأثیر دو منبع رطوبت واقع در شرق دریای سرخ و شمال افریقا است.

از مقایسه نقشه‌های میانگین ماهانه رطوبت ویژه در سال‌های متفاوت با میانگین ۱۴ ساله، مشاهده می‌شود که منبع رطوبت واقع در شمال افریقا در برخی از سال‌ها مانند ۱۹۸۳، ۱۹۹۰، ۱۹۹۲ و ۱۹۹۳ (شکل‌ها ارائه نشده است)، تضعیف شده یا کاملاً از بین رفته است؛ در حالی که دو منبع رطوبت واقع در شرق دریای سرخ و غرب اقیانوس هند دارای نوسان‌هایی در سال‌های متفاوت بوده‌اند ولی در همه سال‌ها با اندک تغییر مکان حضور دارند. در سال ۱۹۸۱ (شکل ۳-b)، بیشینه رطوبت ویژه با مرکز $2/7 \text{ gr/kg}$ روی کشور ایران دیده می‌شود و در این سال هر سه منبع رطوبت وجود دارند. در سال ۱۹۸۵ (شکل ۳-c)، بیشینه رطوبت ویژه با مرکز $2/4 \text{ gr/kg}$ روی کشور ایران وجود دارد که نسبت به سال ۱۹۸۱، منبع رطوبت شمال افریقا ضعیف‌تر شده است ولی دو منبع رطوبت واقع در شرق دریای سرخ و غرب اقیانوس هند تقویت شده‌اند و به بیشینه مقدار خود در این دوره ۱۴ ساله رسیده‌اند. کمترین مقدار رطوبت ویژه روی ایران در دوره



شکل ۲. (a) شار میانگین ۱۴ ساله گرما در ماه ژانویه در سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال برای شبکه مورد مطالعه، (b) و (c) شار میانگین ماهانه گرما در ژانویه سالهای ۱۹۸۷ و ۱۹۹۲.



شکل ۳. (a) نقشه میانگین ۱۴ ساعته رطوبت ویژه در ماه ژانویه در سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال برای شبکه مورد مطالعه؛ (b)، (c) و (d) میانگین‌های ماهانه رطوبت ویژه در سال‌های ۱۹۸۱، ۱۹۸۵ و ۱۹۸۹.

۱۴ ساله، در سال ۱۹۸۹ (شکل ۳-d) به چشم می‌خورد که پربند ۱/۲ روی این منطقه کشیده شده است. در این سال، منبع رطوبت واقع در شمال افریقا بسیار ضعیف بوده و تقریباً از بین رفته است و دو منبع رطوبت دیگر واقع در شرق دریای سرخ و غرب اقیانوس هند نیز ضعیف‌تر از سال‌های دیگر به نظر می‌رسند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که دو منبع رطوبت واقع در شرق دریای سرخ و شمال افریقا از عمده منابع تغذیه رطوبت روی کشور ایران‌اند.

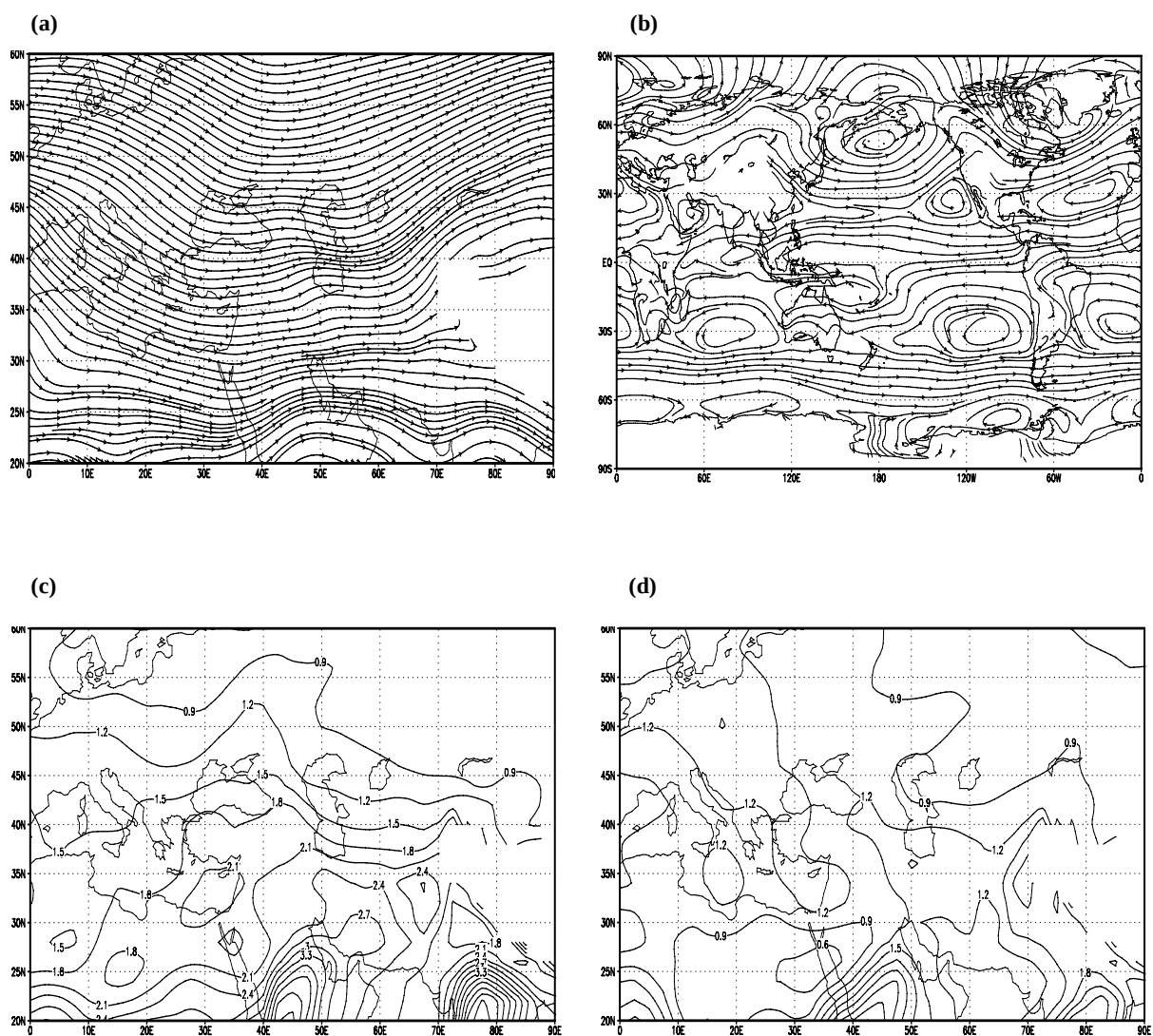
با توجه به شار میانگین ۱۴ ساله رطوبت ویژه برای ماه ژانویه (شکل ۴-a)، مشاهده می‌شود که علاوه بر وجود سه ناحیه عمده شار رطوبت در جنوب شبکه (شمال افریقا، شرق دریای سرخ و غرب اقیانوس هند) که در شکل‌های توزیع میانگین رطوبت ویژه نیز وجود داشت، ناحیه قابل توجهی از شار رطوبت در شمال غرب شبکه وجود دارد. از مقایسه شکل‌های شار میانگین رطوبت ویژه در سال‌های متفاوت، نتیجه می‌شود که شدت مراکز یاد شده در سال‌های مورد مطالعه دارای نوساناتی بین سال‌های بیشینه و کمینه است. با توجه به شکل ۴-a می‌توان گفت که به‌طور میانگین، رطوبت در نواحی جنوبی ایران تحت تأثیر شارش‌هایی قرار دارد که از سمت شرق دریای سرخ و شمال افریقا ناشی می‌شوند، درحالی‌که نواحی شمالی و مرکزی ایران تحت تأثیر شارش‌های موجود در شمال غرب شبکه مورد نظر است که منشأ اقیانوسی دارند. این شارش‌ها با کشیده شدن روی دریای مدیترانه و تقویت مجدد، به سمت شرق شبکه انتقال می‌یابند و یکی از منابع عمده رطوبت برای منطقه خاورمیانه و ایران‌اند. با توجه به جهت شارش‌ها، به نظر می‌رسد که منبع رطوبت واقع در شمال افریقا و شرق دریای سرخ نقش اساسی در رطوبت حاکم بر ایران دارد، در حالی‌که منبع رطوبت واقع در غرب اقیانوس هند تأثیر بسزایی بر روی ایران ندارد.

در نقشه شار میانگین ۱۴ ساله رطوبت ویژه برای

سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال در کل کره زمین (شکل ۴-b)، شارش‌هایی از سمت غرب اقیانوس هند به سمت دریای سرخ مشاهده می‌شود. جهت این شارش‌ها نشان می‌دهد که منبع واقع در غرب اقیانوس هند می‌تواند روی منبع واقع در شرق دریای سرخ تأثیر بگذارد و در نتیجه بر رطوبت منطقه نیز مؤثر باشد.

از مقایسه نقشه‌های شار میانگین رطوبت ویژه برای سال‌های متفاوت، با نقشه میانگین ۱۴ ساله (شکل ۴-a)، دیده می‌شود که در برخی از سال‌ها مانند ۱۹۸۱ (شکل ۴-c) و ۱۹۸۵، عمده رطوبت موجود در منطقه ایران از منبع رطوبت واقع در شرق دریای سرخ تأمین می‌شود. در برخی از سال‌ها، به‌خصوص سال‌های ۱۹۸۳، ۱۹۸۶ و ۱۹۸۹ (شکل ۴-d)، به نظر می‌رسد که رطوبت واقع بر ایران عمدتاً تحت تأثیر شارش‌های ناشی از غرب شبکه و دریای شمال است. در سال‌هایی مانند ۱۹۸۷ (شکل ارائه نشده است)، رطوبت حاکم بر منطقه تحت تأثیر دو شارش جنوبی (شرق دریای سرخ و شمال افریقا) و غربی (دریای شمال) است.

در مقایسه نقشه‌های میانگین ماهانه رطوبت و شار رطوبت در سال‌های متفاوت، مشاهده می‌شود که در سال‌های ۱۹۸۱ و ۱۹۸۵، که بیشترین شارش‌ها روی منطقه ایران مربوط به شرق دریای سرخ است، رطوبت منطقه بیشینه مقدار در دوره مورد مطالعه است. از سوی دیگر، در سال‌های ۱۹۸۳ و ۱۹۸۹ که عمده رطوبت روی ایران تحت تأثیر شارش غرب شبکه (دریای شمال یا شرق اقیانوس اطلس) است، کمینه مقدار رطوبت در منطقه وجود دارد. در سال ۱۹۸۹، مقدار رطوبت به کمینه ممکن در طی چهارده سال رسیده است. با توجه به مطالب بالا، می‌توان نتیجه گرفت که غالباً اثر شار رطوبت ناشی از اقیانوس اطلس روی خاورمیانه و ایران ضعیف‌تر از اثر شار رطوبت واقع در شرق دریای سرخ است. اما هنگامی که شارهای با منشأ اقیانوسی به سمت عرض‌های پایین‌تر



شکل ۴. شار میانگین ۱۴ ساله رطوبت ویژه (a) در سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال برای شبکه مورد مطالعه، (b) در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال برای کل کره، (c) و (d) شار میانگین ماهانه رطوبت ویژه در سالهای ۱۹۸۱ و ۱۹۸۹.

کشیده می‌شوند و مسافتی را روی دریای مدیترانه طی می‌کنند، با حرکت به سمت شرق، رطوبت زیادی را به منطقه و ایران منتقل می‌سازند (مانند سال ۱۹۸۶، شکل ارائه نشده است).

۴ سری‌های زمانی تغییرات میانگین ماهانه دما و رطوبت ویژه برای منطقه تهران

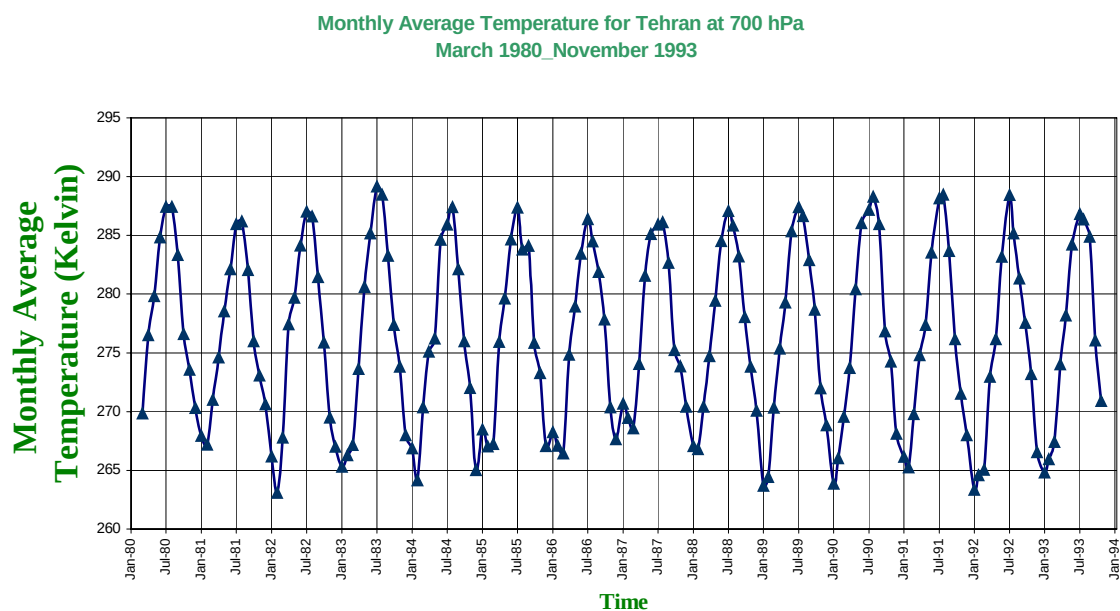
۴-۱ دما

سری زمانی تغییرات میانگین ماهانه دما برای همه ماه‌های دوره مورد مطالعه در سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال در شکل ۵-ا ارائه شده است. مشاهده می‌شود که دامنه تغییرات سالانه دما بین ۲۶۸ تا ۲۸۸ کلوین قرار دارد. همان‌طور که انتظار می‌رود، کمینه دما در ماه ژانویه و بیشینه دما در ماه ژوئیه دیده می‌شود و همچنین تغییرات دما در زمستان سال‌های متفاوت بیشتر از تابستان است. در شکل ۵-ا، بیشینه‌ای در ژوئیه سال ۱۹۸۳ و کمینه‌ای در فوریه سال ۱۹۸۲ دیده می‌شود. در صورتی که فقط ماه‌های ژانویه در نمودار سری زمانی فوق در نظر گرفته شود (شکل ۵-ا)، مشاهده می‌شود که کمینه‌ای در سال ۱۹۹۲ و بیشینه‌ای در سال ۱۹۸۷ وجود دارد. حال سعی می‌شود علت احتمالی وجود این کمینه‌ها و بیشینه‌ها به اختصار شرح داده شود. در ژانویه سال ۱۹۹۲، با توجه به نقشه توزیع میانگین دما (شکل ۱-ج)، ریزش هوای سرد در منطقه شمال غربی ایران وجود دارد که این نکته به وضوح در توزیع شار میانگین گرما (شکل ۲-ج) نیز به چشم خورده و احتمالاً باعث فرارفت هوای سرد بر روی ایران و کاهش شدید دما شده است. از سوی دیگر، بررسی نقشه توزیع میانگین دما در ژانویه ۱۹۸۷ (شکل ۱-ب)، نشان می‌دهد که دمای میانگین در نواحی شمالی کشور ایران افزایش داشته و به‌طور هم‌زمان روی اقیانوس اطلس، انتقال هوای گرم عرض‌های پایین به عرض‌های بالاتر صورت گرفته است. در نقشه شار میانگین گرما (شکل ۲-ب) نیز مشاهده

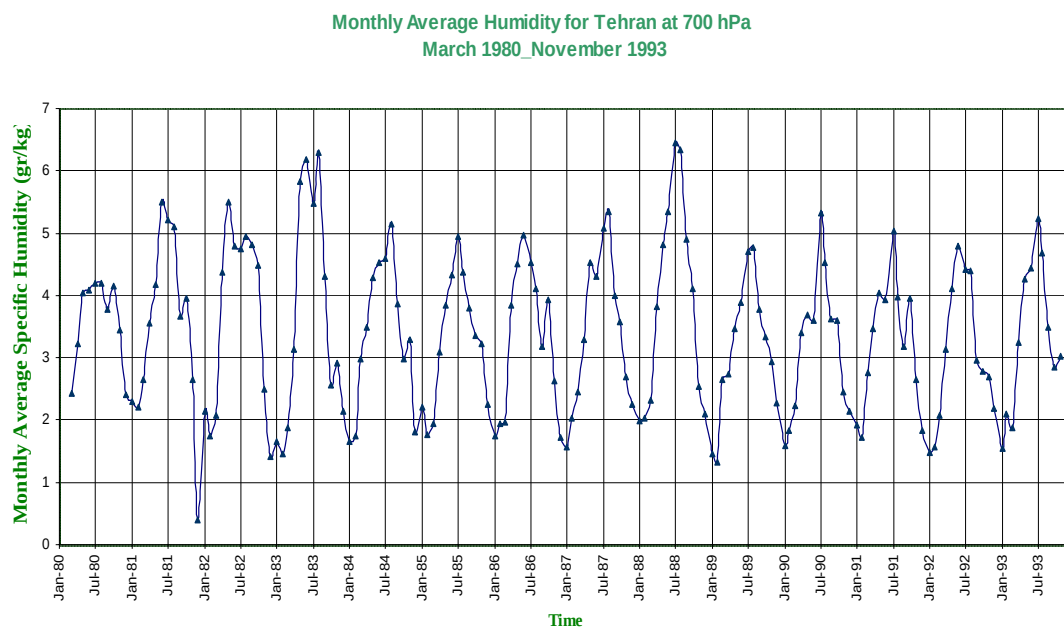
می‌شود که شارش‌های مربوط به شرق اقیانوس اطلس، کشور ایران را تحت تأثیر قرار داده‌اند. این شارش‌های شمالی پس از انتقال به سمت دریای مدیترانه، در جهت مداری به سمت شرق جریان یافته‌اند که در اثر آن، منطقه خاورمیانه و ایران متأثر شده و دما افزایش یافته است.

۴-۲ رطوبت ویژه

شکل ۵-ب سری زمانی تغییرات میانگین ماهانه رطوبت ویژه برای همه ماه‌های دوره مورد مطالعه در سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، مشاهده می‌شود که در چرخه سالانه، میزان رطوبت ویژه به‌طور میانگین بین ۱/۵ تا ۵ gr/kg در نوسان است. بیشینه و کمینه رطوبت ویژه در همه ماه‌های دوره مورد مطالعه، به‌ترتیب در ژوئیه ۱۹۸۸ و دسامبر ۱۹۸۱ است. در صورتی که فقط ماه‌های ژانویه در نمودار سری زمانی فوق در نظر گرفته شود (شکل ۵-ب)، کمینه‌ای در ۱۹۸۹ و بیشینه‌هایی در سال‌های ۱۹۸۱ و ۱۹۸۵ وجود دارد. در ژانویه سال ۱۹۸۹، با توجه به نقشه شار میانگین رطوبت (شکل ۴-د)، دیده می‌شود که میزان تزریق رطوبت به ایران از منبع رطوبت واقع در شرق دریای سرخ، بسیار کاهش یافته است. از سوی دیگر، در نقشه میانگین رطوبت در ژانویه ۱۹۸۱ (شکل ۳-ب)، مشاهده می‌شود که هر سه منبع رطوبت واقع در جنوب شبکه، موجودند. نقشه شار میانگین رطوبت (شکل ۴-ج)، شارش رطوبت از شرق دریای سرخ و شمال آفریقا به سمت ایران را نشان می‌دهد. با بررسی نقشه میانگین رطوبت ویژه در ژانویه ۱۹۸۵ (شکل ارائه نشده است)، مشخص می‌شود که دو منبع رطوبت واقع در شرق دریای سرخ و غرب اقیانوس هند نسبت به سال‌های قبل به مقدار بیشینه رسیده‌اند. نقشه شارش میانگین رطوبت نیز تزریق رطوبت از سمت شرق دریای سرخ به ایران در این ماه را نشان می‌دهد.



شکل ۵. (a) سری زمانی تغییرات میانگین ماهانه دما در سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال برای تهران (۳۵/۹ درجه شمالی و ۵۱/۴ درجه شرقی) در دوره ۱۹۸۰-۱۹۹۳.



شکل ۵. (b) همانند شکل (a) ولی برای رطوبت ویژه.

۵ اثر پدیده‌های بزرگ مقیاس

برای مطالعه اثر احتمالی پدیده‌های ال‌نینو و لانینا در توزیع زمانی و مکانی رطوبت ویژه و دما در منطقه و دوره یاد شده، وقوع این پدیده‌ها در دوره ۱۸ ساله (از سال ۱۹۷۸ تا ۱۹۹۵ میلادی) در جدول ۱ نشان داده شده است. در این جدول، وقوع پدیده‌های ال‌نینو (فاز گرم؛ W) و لانینا (فاز سرد؛ C) در فصل‌های متفاوت سال، همراه با شدت و ضعف آنها دیده می‌شود. در شکل ۶ نیز سری زمانی وقوع ال‌نینو و لانینا در دوره ۲۰۰۲-۱۹۵۰ در فصل‌های متفاوت ارائه شده است. در این نمودارها، مقادیر مثبت روی محور عمودی معرف ال‌نینو (فاز گرم) و مقادیر منفی معرف لانینا (فاز سرد) است. از مقایسه چهار نمودار، می‌توان گفت که تعداد وقوع ال‌نینو، به‌ویژه شدید آن در فصل‌های زمستان و پاییز بیشتر از بهار و تابستان است. پدیده لانینا نیز در فصل‌های متفاوت سال اتفاق می‌افتد، اما مانند پدیده ال‌نینو بیشترین نوسانات از نظر شدت و ضعف را در زمستان و پاییز دارد.

در شکل ۶ (دوره ۲۰۰۲-۱۹۵۰)، هیچ سالی مشاهده نمی‌شود که پدیده‌های ال‌نینو و لانینا در طی یک‌سال و در پی هم رخ داده باشند. به معنای دیگر، اگر در فصلی پدیده ال‌نینو وجود داشته است، در فصل‌های متفاوت همان سال نیز شاهد ال‌نینو با شدتی متفاوت بوده و یا حالت عادی بوده است. ضمناً در این دوره مورد مطالعه، در فصل‌های مختلف، پدیده لانینا بیشتر از پدیده ال‌نینو رخ داده است. شکل ۷ نمودار تغییرات بارش مانسُن تابستانی در هند برای دوره ۱۸۷۱-۲۰۰۲ را نشان می‌دهد. در این شکل، سال‌های ال‌نینو و لانینای قوی همراه با خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها مشخص شده است.

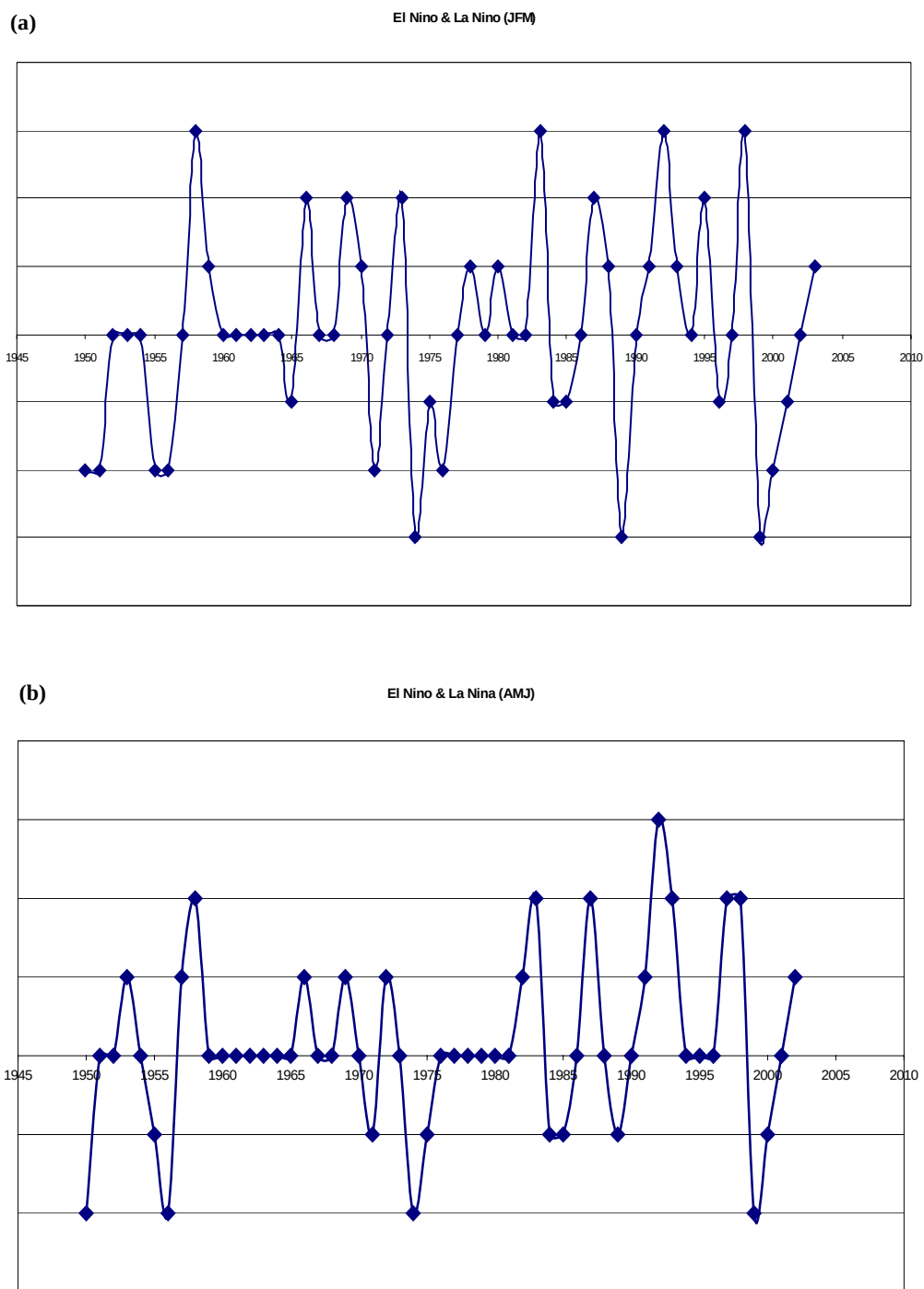
با توجه به سری زمانی تغییرات رطوبت ویژه برای منطقه تهران (شکل ۵-b)، مشاهده می‌شود که در ژانویه سال‌های ۱۹۸۱ و ۱۹۸۵ افزایش شدید رطوبت و در ژانویه سال‌های ۱۹۸۹ و ۱۹۹۲ کاهش شدید رطوبت وجود

داشته است. همچنین سری زمانی تغییرات دما برای تهران (شکل ۵-a) نشان می‌دهد که در ژانویه ۱۹۸۷ افزایش شدید دما و در ژانویه سال‌های ۱۹۸۹ و ۱۹۹۲ کاهش شدید دما بوده است. ۱۹۸۵ که افزایش رطوبت روی ایران به‌چشم می‌خورد، مصادف با دوره طولانی مدت لانینا (C) (جدول ۱) بوده است و به‌طور هم‌زمان، هند نیز در سال‌های ترسالی قرار داشته است و مانسُن تابستانی شدیدی در هند به وقوع پیوسته است (شکل ۶).

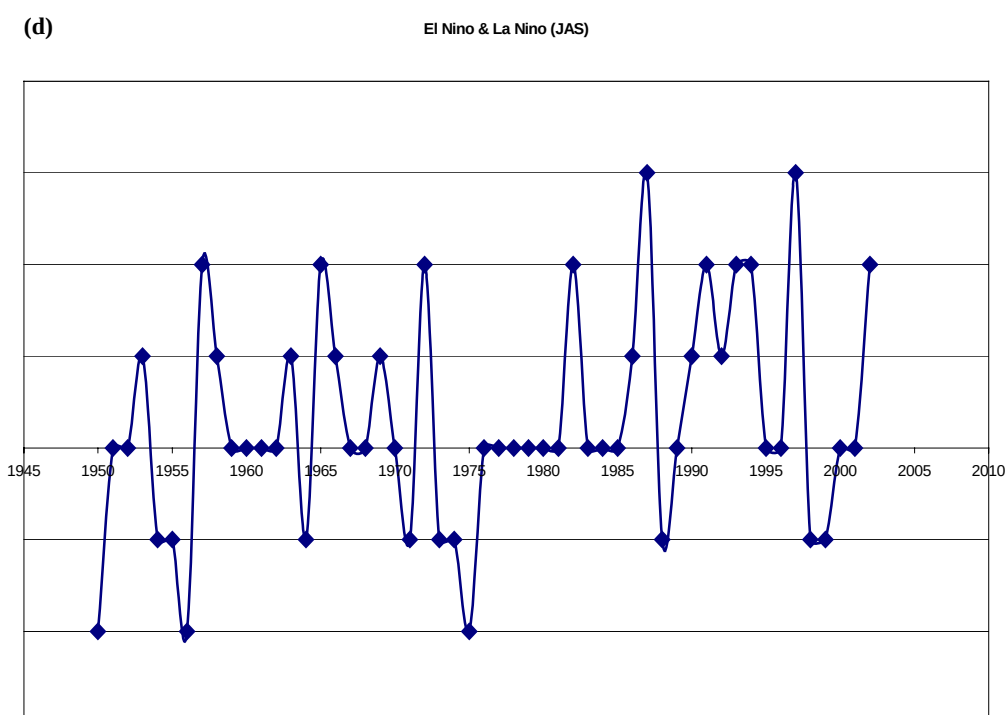
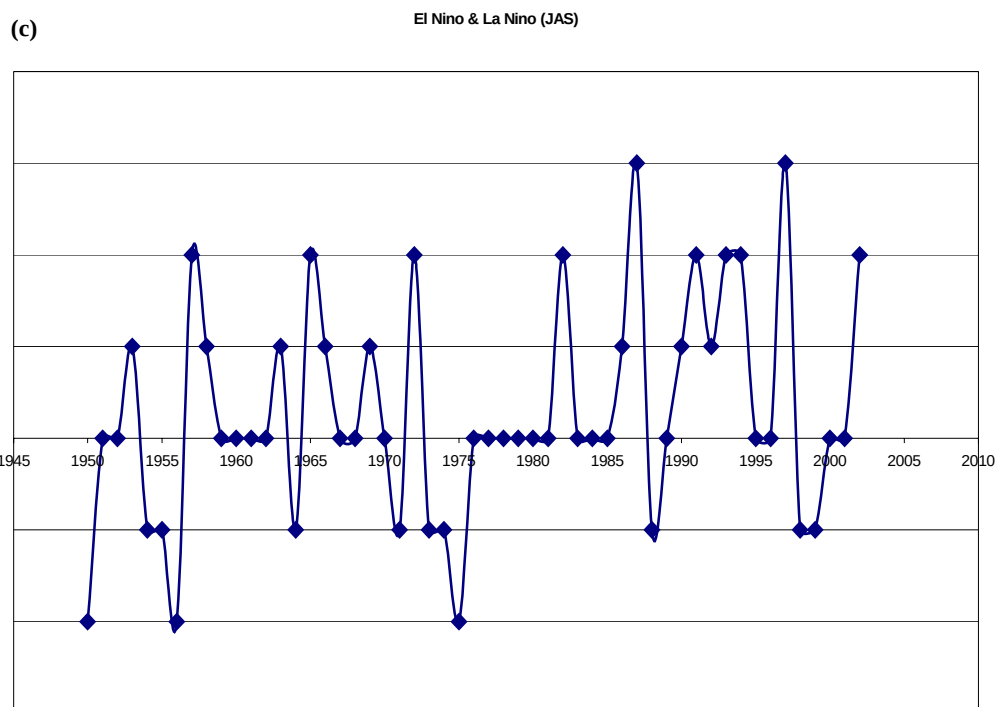
در مورد کاهش شدید دما و رطوبت در ژانویه سال‌های ۱۹۸۹ و ۱۹۹۲ نیز با توجه به جدول ۱، مشاهده می‌شود که در سال ۱۹۸۹ یک لانینای قوی طولانی مدت و در سال ۱۹۹۲ یک ال‌نینوی قوی طولانی مدت حاکم بوده است. شکل ۷ نیز نشان می‌دهد که در سال‌های ۱۹۸۹ و ۱۹۹۲ در هند ترسالی تقریباً شدیدی رخ داده و مانسُن تابستانی هند شدید بوده است.

درخصوص افزایش شدید دما روی ایران در ژانویه ۱۹۸۷ (شکل ۵-a) نیز دیده می‌شود که در همین سال ال‌نینوی بلند مدتی رخ داده (جدول ۱) و مصادف با یک دوره خشکسالی و در نتیجه مانسُن تابستانی ضعیف در هند بوده است (شکل ۷). در بررسی نقشه میانگین ماهانه شار دما در این سال (شکل ۲-b) نیز مشاهده می‌شود که شارش‌های دما در ایران، جنوب غربی و جنوبی است.

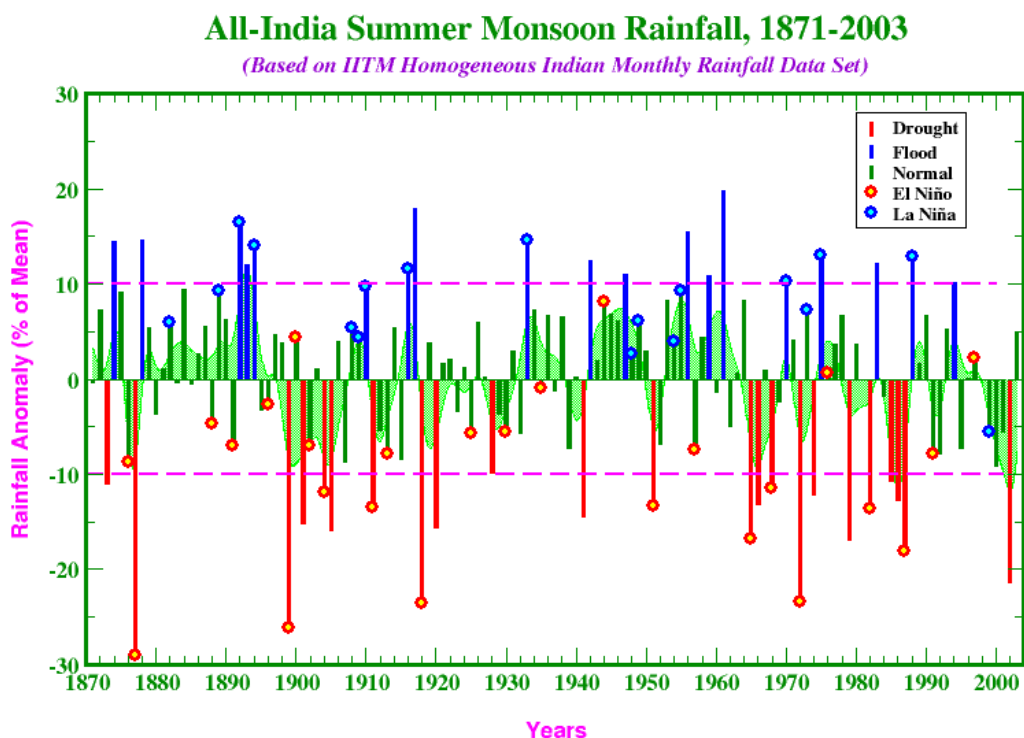
مقایسه نقشه‌های میانگین ماهانه رطوبت ویژه و جدول ۱ نشان می‌دهد که در شرایط عادی، هر سه منبع تغذیه رطوبت در شبکه وجود دارد (مانند ۱۹۸۶)، شکل نشان داده نشده است). در سال‌هایی که به‌طور متمادی پدیده‌های ال‌نینو و لانینا رخ نداده‌اند، سه منبع رطوبت واقع در جنوب شبکه تقویت شده است و بارش مانسُن تابستانی هند نیز شدید بوده است (شکل ۷). در مقایسه سری زمانی میانگین ماهانه رطوبت ویژه (شکل ۵-b) و جدول ۱ مشاهده می‌شود که تقریباً افزایش رطوبت در ماه ژوئیه هم‌زمان با وقوع پدیده لانینا بوده است. نتیجه‌گیری



شکل ۶. سری زمانی وقوع ال‌نینو و ل‌نینا در دوره ۱۹۵۰-۲۰۰۲ برای فصل‌های (a) زمستان، (b) بهار، (c) تابستان و (d) پاییز. محور افقی نشانگر زمان، مقادیر مثبت محور قائم نشانگر وقوع پدیده ال‌نینو و مقادیر منفی نشانگر وقوع ل‌نینا است. نمودارهای فوق با استفاده از جدول کامل (۱) توسط نگارندگان تهیه شده‌اند.



ادامه شکل ۶



شکل ۷. سری زمانی بی‌هنجاری بارش مانسن تابستانی هند در طی دوره ۱۸۷۰-۲۰۰۲ (برگرفته از سایت اینترنتی Indian Monsoon Rainfall Record of the Past Century).

جدول ۱. وقوع النینو و لانینا در دوره زمانی ۱۹۷۸-۱۹۹۵. حرف C نشان‌دهنده فاز سرد (لانینا)، W نشان‌دهنده فاز گرم (النینو) و N بیانگر حالت طبیعی است. علامت‌های + و - نیز نشانگر شدت و ضعف هر پدیده است. (برگرفته از سایت مرکزی پیش‌بینی اقلیم NOAA، ۲۰۰۲).

	JFM	AMJ	JAS	OND
1978	W-	N	N	N
1979	N	N	N	N
1980	W-	N	N	N
1981	N	N	N	N
1982	N	W-	W	W+
1983	W+	W	N	C-
1984	C-	C-	N	C-
1985	C-	C-	N	N
1986	N	N	W-	W
1987	W	W	W+	W
1988	W-	N	C-	C+
1989	C+	C-	N	N
1990	N	N	W-	W-
1991	W-	W-	W	W
1992	W+	W+	W-	W-
1993	W-	W	W	W-
1994	N	N	W	W
1995	W	N	N	C-

خاورمیانه را تحت تأثیر قرار دهند. از بررسی نتایج می توان گفت که دما در نواحی شمالی ایران عمدتاً تحت تأثیر مرکز سرد واقع در شمال گروئنلند و دما در نواحی جنوبی ایران غالباً تحت تأثیر شارش ها از شرق دریای سرخ است. براساس نتایج به نظر می رسد که وقوع پدیده لائینا تقریباً هم زمان با افزایش رطوبت در ماه ژوئیه بوده است. از سوی دیگر، تأثیر این پدیده در مقدار رطوبت در ماه ژانویه، نسبت به شرایط عادی بسیار ناچیز می شود.

رطوبت روی ایران زمانی بیشینه است که دو منبع واقع در شرق دریای سرخ و غرب اقیانوس هند بیشینه باشند و مانسُن تابستانی شدید هند رخ دهد. در این شرایط شارهای رطوبت عمدتاً جنوبی اند. در دوره مورد مطالعه، بیشینه دامنه تغییرات سالانه دما هم زمان با مانسُن تابستانی شدید هند و بیشینه دامنه تغییرات سالانه رطوبت هم زمان با وقوع لائینای قوی است.

منابع

- Angell, J. K., 1999, Comparison of surface and tropospheric temperature trends estimated from a 63-station radiosonde network, 1958-1998. *Geophys. Res. Lett.*, **26**, 2761-2764.
- Angell, J. K., 2000, Difference in radiosonde temperature trend for the period 1979-1998 of MSU data and the period 1959-1998 twice as long. *Geophys. Res. Lett.*, **27**, 2177-2180.
- Brown, S. J., Parker, D. E., Folland C. K., and Macadam, I., 2000, Decadal variability in the lower-tropospheric lapse rate. *Geophys. Res. Lett.*, **27**, 997-1000.
- Gaffen, D. J., Sargent, M. A., Habermann, R. E., and Lazante, J. R., 2000, Sensitivity of tropospheric and stratospheric temperature trends to radiosonde data quality. *J. Climate*, **13**, 1776-1796.
- Inter governmental Panel on Climate Change (IPCC): 1991, 1996, and 2001.
- Oltmans, S. J., Voemel, S. H. Hofmann, D., Rosenlof, K., and Kley, D., 2000, The increase in stratospheric water vapor from balloon-borne, frostpoint hygrometer measurements at Washington, DC and Boulder, Colorado. *Geophys. Res. Lett.*, **27**, 3453-3456.

دقیق در این زمینه و اظهار نظر نسبت به تأثیرات متقابل این فرآیندها نیاز به مطالعه جامع و دقیق تری دارد. تأثیر این پدیده در مقدار رطوبت در ماه ژانویه نسبت به شرایط عادی بسیار ناچیز به نظر می رسد. از مقایسه سری های زمانی دما (شکل ۵-a) و رطوبت (۵-b) با جدول ۱ و شکل ۷ می توان گفت که بیشترین دامنه تغییرات سالانه دما (ژانویه ۹۲- ژوئیه ۹۲) هم زمان با وقوع مانسُن تابستانی شدید و بیشترین دامنه تغییرات سالانه رطوبت (ژوئیه ۸۸- ژانویه ۸۹) هم زمان با وقوع لائینای قوی است.

۶ نتیجه گیری

نتایج نشان می دهد که در شرایط عادی، در جنوب منطقه مورد مطالعه، سه منبع عمده تغذیه رطوبت در شمال افریقا، شرق دریای سرخ و غرب اقیانوس هند وجود دارد که می تواند این منطقه را تحت تأثیر قرار دهند. رطوبت در نواحی جنوبی ایران عمدتاً تحت تأثیر دو منبع رطوبت واقع در شرق دریای سرخ و شمال افریقا است که از مراکز مهم تغذیه رطوبت روی منطقه اند. از سوی دیگر، رطوبت در نواحی شمالی و مرکزی ایران اساساً تحت تأثیر شارش های واقع در شمال شبکه مورد مطالعه قرار دارد که منشأ آنها شمال شرق اقیانوس اطلس است. در برخی از سال ها، این شارش ها با کشیده شدن به سمت عرض های پایین تر و عبور از روی دریای مدیترانه تقویت می شوند و با حرکت به سمت شرق شبکه از منابع عمده رطوبت برای خاورمیانه و ایران اند.

در شرایط عادی، هر سه منبع رطوبت در شبکه مورد مطالعه وجود دارند. چنانچه در چند سال متمادی شرایط عادی برقرار باشد، این سه منبع تقویت می شوند و با شدت یافتن مانسُن تابستانی هند نیز همراه اند.

در نقشه توزیع دمای میانگین کل کره زمین، سه مرکز سرد در شمال گروئنلند، شمال امریکای شمالی و شمال آسیا مشاهده می شود که احتمالاً می توانند منطقه

- Ross, R. J., and Elliott, W. P., 1998, Northern hemisphere water vapor trends. Ninth Symposium on Global Change Studies, Amer. Meteor. Soc., Preprints, 39-41.
<http://www.ipcc.ch>
<http://www.jpl.nasa.gov/earth/ocean-motion/ocean-motion-index.cfm>
<http://www.pmel.noaa.gov/tao/elnino/faq.html>
<http://www.pmel.noaa.gov/tao/elnino/nino-home-low.html>
- Peixoto, J. P., and Oort, A. H., 1996, The climatology of relative humidity in the atmosphere. *J. Climate*, **9**, 3443-3463.
- Pielke, Sr., Eastman, R. A. J., Chase, T. N., Knaff J., and Kittel, T. G. F., 1998, 1973-1996 Trends in depth-averaged tropospheric temperature. *J. Geophys. Res.*, **103** (D22), 28909-28912.
- Ross, R. J., and Elliott, W. P., 1996, Tropospheric water vapor climatology and trends over North America: 1973-93. *J. Climate*, **9**, 3561-3574.