

ویژگی‌های همگرایی شار رطوبتی در زمان وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر ایران

پیمان محمودی^{۱*}، محسن حمیدیان پور^۲، مهدی سنایی^۳

۱- دانشیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان

۲- استادیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و

بلوچستان، زاهدان

چکیده

در این تحقیق سعی بر آن است که ویژگی‌های همگرایی شار رطوبتی در زمان وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر ایران مورد بررسی قرار گیرد. لذا در راستای رسیدن به این هدف خشکسالی‌ها یا ترسالی‌هایی که حدود ۷۵ درصد و بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه در ایران را درگیر خود نموده باشند به عنوان خشکسالی‌ها یا ترسالی‌های فراگیر تعریف شدند. نتایج تحلیل نیمرخ‌های همگرایی شار رطوبتی در زمان وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر نشان دادند که در زمان وقوع ترسالی‌های فراگیر انتقال رطوبت به داخل ایران از سطوح پایین‌تر و با ضخامت بیشتر و در زمان وقوع خشکسالی‌های فراگیر این انتقال از سطوح بالاتر و با ضخامت کمتری انجام می‌شود. آرایش فضایی همگرایی شار رطوبتی در بعد افقی نیز نشان دادند که در تراز ۱۵۰ هکتوپاسکال ترسالی‌های فراگیر، یک نوار نسبتاً ممتد از همگرایی شار رطوبتی با جهت غربی-شرقی بر روی دریای مدیترانه در حد فاصل دو عرض جغرافیایی ۴۰-۳۵ درجه به سمت شمال غرب ایران کشیده شده است. از جانب جنوب نیز یک نوار نسبتاً گسترده و قوی از همگرایی شار رطوبتی با منبع تأمین رطوبت دریای عرب با جهت جنوبی-شمالی به سمت نیمه غربی ایران امتداد پیدا کرده است. این دو نوار از همگرایی شار رطوبتی در شمال غرب ایران به هم متصل می‌شوند. اما در خشکسالی‌های فراگیر نوار ممتد غربی-شرقی همگرایی شار رطوبتی که در ترسالی‌های فراگیر بر روی دریای مدیترانه بود در خشکسالی‌های فراگیر به عرض‌های جغرافیایی بالاتر، حد فاصل بین ۴۰ تا ۵۰ درجه عرض جغرافیایی، نقل مکان می‌کنند.

کلید واژه‌ها: شاخص بارش استاندارد شده (SPI)، موازنه آب جوی، واگرایی شار رطوبتی، همگرایی شار رطوبتی،

بارش.

مقدمه

Malik et al. (2015) در یک مطالعه جامع هم توزیع افقی و هم نیمرخ‌های عمودی همگرایی شار رطوبتی را برای آسیای جنوب غربی شامل بخش‌هایی از افغانستان، ایران، تاجیکستان، ترکمنستان، پاکستان و عراق محاسبه و مورد مطالعه قرار دادند. آنها نشان دادند که در طول سال، بیشتر رطوبت این منطقه از جانب غرب تامین می‌شود. آنها همچنین مناطقی از همگرایی شار رطوبتی بالا در شرق و جنوب غرب را مشاهده و دلیل آن را به اثرات توپوگرافی نسبت داده‌اند. علاوه بر این، با مقایسه ویژگی‌های همگرایی شار رطوبتی در ترترین و خشک‌ترین سال‌های آبی این منطقه مشاهده شد که علت اصلی کمبود بارش در طول سال‌های خشک، انحراف مسیر انتقال رطوبت به منطقه مورد مطالعه بوده است.

Wei et al. (2015) نیز در یک مطالعه تطبیقی نقش همزمان تغییرات شار رطوبت جوی و رطوبت خاک را بر روی بارش‌های محلی جنوب ایالات متحده مورد بررسی قرار دادند. نتایج بررسی‌های این محققین نشان داد که تغییرات شار رطوبت جوی نقش بزرگ‌تر و پر رنگ‌تری در تغییرات بارش‌های محلی جنوب ایالات متحده در مقایسه با رطوبت خاک دارد. علاه بر این، Gao et al. (2015) تغییرات بارش‌های خالص (بارش منهای تبخیر و تعرق) تبت را در ارتباط با تغییرات همگرایی و واگرایی شار رطوبتی، Calanca and Ohmura (1994) توزیع فضایی همگرایی شار رطوبتی بر روی گروئیلند، فویدل رحیمی (۱۳۹۰) همگرایی جریان رطوبت جو در طی بارش فوق سنگین ناشی از طوفان حاره‌ای فت در سواحل جنوب شرق ایران و Ghaffari and Nouri (2016) نیز ویژگی‌های همگرایی شار رطوبتی را در طول روزهای همراه با گرد و غبار در رشته کوه‌های الوند در استان همدان در غرب ایران را مورد مطالعه قرار داده‌اند.

Darand and Pazhoh (2019a) ویژگی‌های همگرایی شار رطوبتی یکپارچه عمودی (VIMFC) را به تفکیک برای سه لایه از جو ایران شامل لایه‌های ۱۰۰۰-۸۵۰، ۷۷۵-۷۰۰ و ۶۰۰-۵۰۰ هکتوپاسکال و ارتباط آنها را با بارش‌های ایران مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق این محققین در یک مقیاس ماهانه نشان داد که همگرایی شار رطوبتی یکپارچه عمودی (VIMFC) در ماه‌های گرم سال به مراتب بیشتر از ماه‌های سرد و میزان آن در لایه ۱۰۰۰-۸۵۰ هکتوپاسکال نیز

وقوع بارش در یک منطقه نیازمند تأمین شرایط متعددی در داخل جو زمین است. مهیائی رطوبت، مهیائی ناپایداری عمیق و سرمایش، سه شرط اساسی برای وقوع رخداد بارش به‌شمار می‌آیند. بارش به هر طریقی که اتفاق بیافتد، نیاز به منبعی برای تأمین رطوبت سامانه بارانزا دارد. این رطوبت می‌تواند از خود محل و یا از مناطق مجاور یا دوردست‌تر تأمین شود (مسعودیان و محمدی، ۱۳۸۹). با توجه به فرارگیری ایران در محل گذار شرایط اقلیم حاره‌ای به اقلیم عرض‌های میانه و تغییرپذیری زمانی و فضایی شدید بارش، موضوعات مرتبط با بارش و منابع آب آن از دیرباز یکی از مهمترین مسائل مورد توجه در این سرزمین بوده است (کریمی و فرج‌زاده، ۱۳۹۰).

از نظر دینامیک دو نوع جریان رطوبتی قائم و افقی در جو وجود دارد که غالباً این دو جریان توأم با یکدیگر بوده و فقط در شرایط خاص ممکن است میزان یکی از آنها از دیگری بیشتر شود. جریان افقی به وسیله فرارفت توده هوا صورت می‌گیرد، اما جریان عمودی به وسیله صعود هوا در جهت قائم انجام پذیر می‌باشد. صعود هوا در جهت قائم بیشتر برای انتقال رطوبت از سطح تبخیر شونده به داخل جو و جریان افقی برای انتقال رطوبت از محل تبخیر به سایر مناطق انجام می‌گیرد که حتی می‌تواند مناطق خشک و فاقد منابع آبی را نیز از این انتقال بهره‌مند سازند (کریمی احمد آباد، ۱۳۸۶).

مطالعاتی که مشخصاً ویژگی‌های همگرایی شار رطوبتی را در زمان وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها مورد توجه قرار داده باشند بسیار اندک هستند (Gao et al., 2012; Tan, Liu et al., 2015; Ramakrishna et al., 2016) (2002) برای محاسبه همگرایی شار رطوبتی در حوضه رودخانه مکنزی در چین از داده‌های بازکاوی مرکز ملی پیش-بینی زیست محیطی / مرکز ملی تحقیقات جوی (NCEP / NCAR) برای یک دوره آماری ۱۰ ساله از سال ۱۹۸۷ تا ۱۹۹۶ بهره بردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که کمترین میزان انتقال بخار آب به حوضه رودخانه مکنزی در طول سال آبی ۱۹۹۴-۱۹۹۵ رخ داده است که علت آن را نیز در انتقال حداکثری بخار آب از تراز ۸۵۰ به تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال دانسته‌اند.

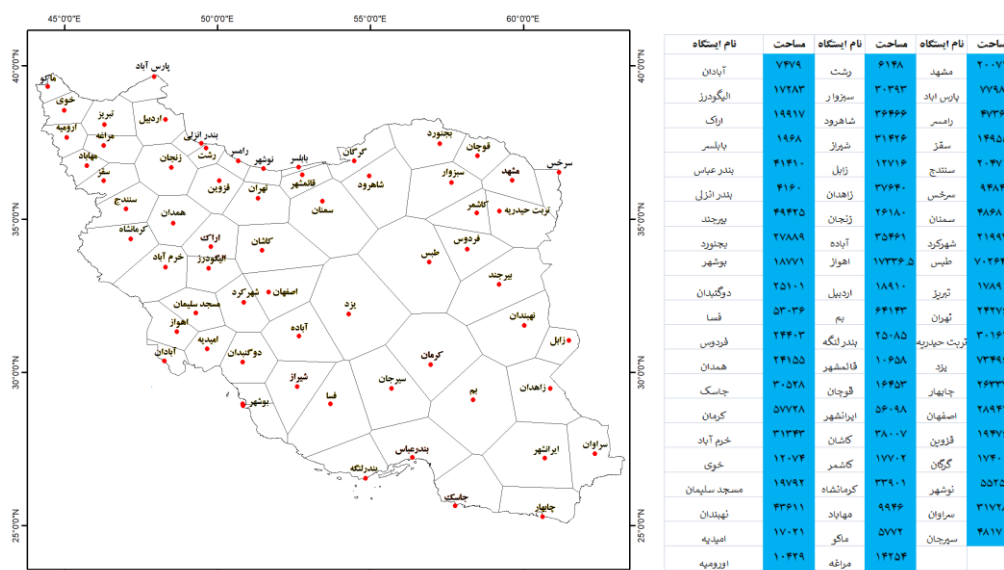
رطوبتی در مقیاس‌های محلی، منطقه‌ای و جهانی، هنوز برخی سوالات به خصوص در مورد ویژگی‌های زمانی و فضایی انتقال رطوبت در قالب توابع همگرایی شار رطوبتی در زمان وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر در خاورمیانه و به خصوص ایران وجود دارد که این پژوهش در تلاش است به برخی از آنها جواب دهد. بنابراین مهمترین سوالات مطرح شده در این پژوهش که قرار است به آنها جواب داده شود به شرح ذیل مطرح می‌شود:

تغییرات قائم همگرایی شار رطوبتی در بعد قائم در زمان وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر ایران به چه صورت است؟
تغییرات قائم همگرایی شار رطوبتی در بعد افقی در زمان وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر ایران به چه صورت است؟

مواد و روش

برای شناسایی و استخراج خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر ایران و همچنین محاسبه ویژگی‌های همگرایی شار رطوبتی به دو پایگاه داده‌ای مختلف نیاز است. یکی داده‌های ایستگاهی و دیگری داده‌های شبکه بندی شده جوی. داده‌های ایستگاهی مربوط به بارش ماهانه ۶۳ ایستگاه همدید برای یک دوره ۳۰ ساله (۱۹۸۶-۲۰۱۶) از سازمان هواشناسی ایران دریافت شد. علت انتخاب این ایستگاه‌ها، طول دوره آماری کافی (حداقل ۳۰ سال) و همچنین پراکنش مناسب مکانی آنها بوده است. توزیع و پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل (۱) آورده شده است. داده‌های شبکه‌بندی جوی نیز که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته‌اند عبارتند از: رطوبت ویژه، q ، برحسب گرم بر کیلوگرم، مؤلفه مداری باد، u ، بر حسب متر بر ثانیه، مؤلفه نصف‌النهاری باد، v ، بر حسب متر بر ثانیه، فشار سطح دریا، msl ، بر حسب هکتوپاسکال و ارتفاع ژئوپتانسیل، Z ، بر حسب متر بودند. داده‌های تمامی این متغیرها از تارنمای مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های میان مدت جوی (ECMWF) به آدرس <https://www.ecmwf.int/> به صورت دیده‌بانی‌های ماهانه اخذ شدند.

بیشتر از دو لایه دیگر است. آنها همچنین منابع تامین رطوبت جوی ایران در لایه اول را دریاهای جنوبی همچون دریای سرخ، دریای عرب و خلیج فارس دانسته‌اند که توسط پرفشار دینامیکی عربستان سعودی و سامانه کم فشار سودانی به سمت ایران هدایت می‌شوند. در لایه دوم نیز پرفشار دینامیکی عربستان سعودی مهمترین سامانه جوی بوده است که رطوبت دریاهای جنوبی را به سمت ایران ارسال می‌کند. Darand and Pazhoh (2019b) در مطالعه دیگری در همین راستا به تحلیل همدید الگوهای فشار سطح دریا و همگرایی شار رطوبتی یکپارچه عمودی (VIMFC) در زمان وقوع بارش‌های مداوم و فراگیر ایران پرداختند. آنها در این مطالعه به این نتیجه رسیدند که حداکثر همگرایی شار رطوبتی یکپارچه عمودی (VIMFC) در لایه اول تروپوسفر (۱۰۰۰-۸۵۰ هکتوپاسکال) منطبق بر مناطق پست داخلی، در لایه دوم (۷۰۰-۷۷۵ هکتوپاسکال) منطبق بر رشته کوه‌های مرتفع زاگرس و در لایه سوم (۵۰۰-۶۰۰ هکتوپاسکال) منطبق بر قسمت‌های رو به باد رشته کوه‌های زاگرس و البرز بوده است. همچنین آنها نشان دادند که حداکثر هسته‌های بارشی بیشترین انطباق را با همگرایی شار رطوبتی یکپارچه عمودی (VIMFC) در لایه دوم تروپوسفر (۷۷۵-۷۰۰ هکتوپاسکال) در ارتفاعات زاگرس در جنوب غرب ایران دارد. علاوه بر مطالعات (Darand and Pazhoh (2019a, b) فرج زاده و همکاران (۱۳۸۸) در چگونگی انتقال رطوبت بارش‌های زمستانه غرب ایران، مسعودیان و محمدی (۱۳۸۹) در بررسی فراوانی توابع همگرایی شار رطوبتی در زمان وقوع بارش‌های ابر سنگین ایران، کریمی و فرج‌زاده (۱۳۹۰) در شناسایی منابع تامین کننده رطوبت بارش‌های ایران، قانیدی و همکاران (۱۳۹۱) در مطالعه رابطه‌ی بین فرود دریای سرخ با بارش‌های سنگین ایران و در نهایت مطالعه پوراصغر و همکاران (۱۳۹۲) در بررسی شار رطوبتی انتقال یافته دریاهای مجاور در دوره‌های مرطوب و خشک فصل زمستان نیمه جنوبی کشور تقریباً به نتایج یکسانی دست پیدا کرده‌اند. لذا با توجه به ادبیات تحقیقاتی بسیار غنی در خصوص ویژگی‌های دینامیکی، فیزیکی و همدیدی همگرایی شار



شکل ۱- نقشه موقعیت و پراکنش جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه همراه با پلی گون‌های اختصاص داده شده به هر ایستگاه با استفاده از روش تیسن

- خشکسالی‌های (یا ترسالی‌های) فراگیر: خشکسالی‌هایی (یا ترسالی‌هایی) هستند که حدود ۷۵ درصد و بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه در ایران خشکسالی (یا ترسالی) را اعلام کرده باشند.
- در ادامه ماه‌ها و فصل‌های همراه با خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر برای دوره آماری ۲۰۱۶-۱۹۸۶ انتخاب گردیدند. جدول ۱ سال‌ها، فصل‌ها و ماه‌هایی که همراه با خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر بوده‌اند تعیین شده‌اند. مشخصات دوره‌های مستقل‌گزی‌شده برای این مطالعه نیز به شرح زیر هستند:
- سالانه (اکتبر - می)
- فصلی (پاییز [اکتبر و نوامبر]، زمستان [دسامبر، ژانویه و فوریه] و بهار [مارس، آوریل و می])
- و ماهانه
- در ادامه با مشخص شدن ماه‌ها، فصل‌ها و سال‌های خشک و تر فراگیر، مقدار بارش هر ماه، هر فصل و هر سال خشک و تر فراگیر با استفاده از روش چند ضلعی‌های تیسن (علیزاده، ۱۳۹۰) محاسبه شدند (شکل ۱). توزیع فضایی بارش‌ها نیز با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ برای تمامی ماه‌ها، فصل‌ها و سال‌های مختلف تهیه شدند.

- بعد از جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز از پایگاه‌های مختلف داده‌ای و تشکیل بانک اطلاعاتی آنها، از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) (McKee et al., 1993, 2005) که یکی از شاخص‌های پیشنهادی سازمان هواشناسی جهانی می‌باشد؛ استفاده شد. هدف اصلی این شاخص اختصاص یک ارزش عددی به هر حادثه بارندگی در مقیاس‌های زمانی مختلف می‌باشد تا بتوان براساس آن نواحی با آب و هوای کاملاً متفاوت را با یکدیگر مقایسه نمود. در این مرحله برای تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه و در سه مقیاس زمانی ماهانه، فصلی و سالانه، شاخص بارش استاندارد شده (SPI) محاسبه شدند. در مرحله بعد بر اساس یک معیار فضایی (محمودی و همکاران، ۱۴۰۱)، خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایران به سه دسته تقسیم شدند:
- خشکسالی‌های (یا ترسالی‌های) محلی: خشکسالی‌هایی (یا ترسالی‌هایی) هستند که حدود ۲۵ درصد و کمتر ایستگاه‌های مورد مطالعه در ایران خشکسالی (یا ترسالی) اعلام کرده باشند.
- خشکسالی‌های (یا ترسالی‌های) نیمه فراگیر: خشکسالی‌هایی (یا ترسالی‌هایی) هستند که حدود ۲۵ تا ۷۵ درصد کل ایستگاه‌های مورد مطالعه خشکسالی (یا ترسالی) اعلام کرده باشند.

جدول ۱- فصل‌ها و ماه‌های همراه با خشکسالی و ترسالی فراگیر برای دوره ۱۹۸۶-۲۰۱۶

سالانه	پاییز	زمستان	بهار	اکتبر	نوامبر	دسامبر	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می
۱۹۸۸	۱۹۸۸	۱۹۹۶	۱۹۹۹	۱۹۹۲	۱۹۹۵	۲۰۱۰	۱۹۸۶	۲۰۱۵	۲۰۰۷	۱۹۹۹	۱۹۸۷
۱۹۹۹	۲۰۱۰	۲۰۱۴	۲۰۰۰	۲۰۰۵	۱۹۹۸	۲۰۱۱	۱۹۹۴			۲۰۰۰	۱۹۹۹
۲۰۰۰		۲۰۱۵	۲۰۰۷	۲۰۰۷	۲۰۱۰		۲۰۱۴			۲۰۱۴	
۲۰۰۷											
۱۹۸۷	۱۹۸۶	۱۹۸۷	۱۹۹۰	۱۹۸۷	۱۹۸۶	۱۹۸۶	۱۹۸۷	۱۹۸۷	۱۹۸۶	۱۹۸۷	۱۹۹۱
۱۹۹۱	۱۹۸۷	۱۹۸۹	۱۹۹۱	۱۹۹۴	۱۹۹۳	۱۹۸۷	۱۹۹۱	۱۹۸۹	۱۹۸۸	۱۹۹۱	۱۹۹۳
۱۹۹۲	۱۹۹۴	۱۹۹۱	۱۹۹۵	۱۹۹۷	۱۹۹۴	۱۹۸۹	۱۹۹۵	۱۹۹۰	۱۹۹۰	۱۹۹۲	۲۰۰۳
۱۹۹۴	۲۰۰۸	۲۰۰۸	۲۰۰۶	۲۰۰۰	۱۹۹۷	۱۹۹۱	۱۹۹۷	۱۹۹۲	۱۹۹۵	۱۹۹۴	۲۰۰۹
۱۹۹۷	۲۰۱۱	۱۹۹۵	۲۰۱۱	۲۰۱۱	۲۰۰۰	۱۹۹۲	۱۹۹۸	۱۹۹۵	۱۹۹۶	۱۹۹۵	۱۹۹۵
۱۹۹۷	۲۰۱۲	۱۹۹۷	۲۰۱۲	۲۰۱۲	۲۰۰۲	۱۹۹۷	۱۹۹۹	۱۹۹۷	۱۹۹۷	۲۰۰۱	۲۰۰۱
۲۰۰۴	۲۰۱۲	۲۰۰۴	۲۰۱۴	۲۰۱۴	۲۰۰۴	۲۰۰۴	۲۰۰۳	۲۰۰۲	۲۰۰۲	۲۰۰۲	۲۰۰۲
۲۰۰۶	۲۰۱۴	۲۰۰۴	۲۰۱۵	۲۰۱۵	۲۰۰۶	۲۰۰۱	۲۰۰۴	۲۰۰۶	۲۰۰۶	۲۰۰۶	۲۰۰۳
۲۰۰۶	۲۰۱۵				۲۰۰۹	۲۰۰۲	۲۰۰۵	۲۰۱۰			
					۲۰۱۱	۲۰۰۳					
					۲۰۱۲	۲۰۰۴					
					۲۰۱۳	۲۰۰۶					
					۲۰۱۴	۲۰۰۹					
					۲۰۱۴						
					۲۰۱۵						
						۲۰۱۲					

خشکسالی‌های فراگیر

ترسالی‌های فراگیر

آن برابر است با $9/8$ متر بر مجذور ثانیه و V بردار باد افقی است که از طریق رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$V = ui - vj \quad (4)$$

که در آن، u و v به ترتیب مولفه‌های باد شرقی و باد شمالی هستند.

مشابه با کار Liu et al. (2002)، همگرایی شار رطوبتی انتگرال‌گیری شده قائم (VIMFC) در منطقه مورد مطالعه با استفاده از قضیه واگرائی گرین محاسبه شد.

$$\iint \nabla \cdot Q ds = \oint \bar{n} dl \quad (5)$$

که n بردار نرمال برون‌سوی واحد در مرزهای منطقه مورد مطالعه و l طول پاره خط در امتداد مرز است. برای میانگین همگرایی شار رطوبتی (MFC) منطقه مورد مطالعه، سمت راست معادله بالا، انتگرالی است که برای پیرامون کل منطقه تعریف شده برای ایران اجرا می‌شود. همگرایی شار رطوبتی انتگرال‌گیری شده قائم (VIMFC) از سطح زمین تا تراز 300 هکتوپاسکال برای جعبه‌های شبکه‌ای منفرد (1×1 درجه) محاسبه و برای بررسی توزیع فضایی همگرایی شار رطوبتی مورد استفاده قرار گرفتند.

زمین‌های ناهمگون و سطوح ناهموار ایران انتگرال‌گیری قائم در منطقه مورد مطالعه را با مقداری مشکل مواجه

در نهایت نقشه‌های همگرایی شار رطوبتی برای تمامی ماه‌ها، فصل‌ها و سال‌های همراه با خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر برای 11 تراز از 37 تراز موجود (از تراز 1000 تا 300 هکتوپاسکال) رسم شدند. در این پژوهش برای محاسبه و رسم نقشه‌های همگرایی شار رطوبتی از معادله موازنه آب جوی، فرمول‌بندی شده توسط Alestalo (1983) و (1973) Peixoto استفاده شد که معادله آن به صورت زیر ارائه شده است:

$$\frac{\partial W}{\partial t} + \nabla \cdot Q = E - P \quad (1)$$

که E تبخیر و تعرق، P بارش، ∇ عملگر واگرائی افقی و W بخار آب ستونی است که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$W = -\frac{1}{g} \int_{ps}^{pt} q dp \quad (2)$$

و Q شار رطوبتی انتگرال‌گیری شده قائم است که از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Q = -\frac{1}{g} \int_{psurf}^{ptop} qV dp \quad (3)$$

که q رطوبت ویژه بر حسب kg/kg ، p فشار هوا، ps فشار سطحی، pt فشار در بالای یک ستون از جو است که q به کمترین مقدار خود رسیده باشد که معمولاً این سطح، سطح 300 هکتوپاسکال می‌باشد، g شتاب گرانی است که مقدار

این رو عملاً بایستی همگرایی شار رطوبتی در سطوح ۱۰۰۰، ۹۵۰ و ۹۰۰ هکتوپاسکال نادیده گرفته شود. اما در این پژوهش با در نظر گرفتن پیچیدگی‌های زیاد توپوگرافی در ایران به تحلیل این ترازها نیز پرداخته شده است. نیمرخ‌های قائم میانگین سالانه شار رطوبتی (از اکتبر تا می) نشان می‌دهند که حداکثر همگرایی شار رطوبتی در سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال رخ می‌دهد. از تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال تا تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال مقدار همگرایی شار رطوبتی کاهش می‌یابد به طوریکه در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال به کمترین مقدار خود و به عبارت دیگر به حداکثر واگرایی شار رطوبتی خود می‌رسد (شکل ۲). با مقایسه نیمرخ‌های رسم شده برای سال‌های تر و خشک فراگیر مشخص شد که حداکثر تفاوت در مقادیر همگرایی شار رطوبتی صرف نظر از ترازهای پایینی جو در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال مشاهده می‌شود. این تفاوت تقریباً تا تراز ۶۵۰ هکتوپاسکال وجود دارد. تفاوت مقادیر همگرایی شار رطوبتی در حد فاصل دو تراز ۸۵۰ تا ۶۵۰ هکتوپاسکال به گونه‌ای بوده است که همواره مقدار همگرایی شار رطوبتی در سال‌های خشک فراگیر در مقایسه با سال‌های تر فراگیر کمتر بوده است (شکل ۲).

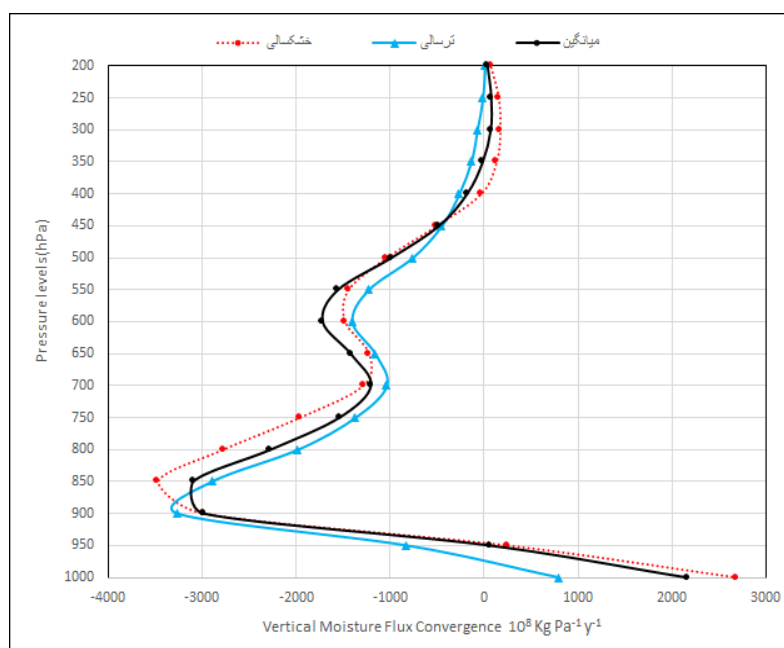
ساخته است، چونکه فشار سطح زمین ضرورتاً با تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال که پایین‌ترین تراز فشاری موجود در پایگاه داده‌ها است مطابقت ندارد. از آنجایی که برخی نقاط دارای ۱۰۰۰ هکتوپاسکال در زیرزمین و برخی نقاط نیز در جو قرار داشتند، مقادیر qv در صورت نیاز به صورت خطی برون‌یابی یا درون‌یابی شدند.

بعد از تهیه نقشه‌های همگرایی شار رطوبتی، آرایش فضایی آنها در ماه‌ها، فصل‌ها و سال‌های مختلف در دو بعد قائم و افقی مورد توجه قرار گرفتند. به مقتضای نیاز هم جهت درک علل آرایش‌های فضایی مختلف همگرایی شار رطوبتی در زمان وقوع ترسالی‌ها و خشکسالی‌های فراگیر، نقشه‌های فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، دما و رطوبت ویژه نیز استفاده شدند.

نتایج و بحث

نیمرخ‌های قائم همگرایی شار رطوبتی

نیمرخ‌های قائم همگرایی شار رطوبتی برای ترازهای ۱۰۰۰ تا ۲۰۰ هکتوپاسکال برای ماه‌ها، فصل‌ها و سال‌های تر و خشک فراگیر ایران رسم شدند. با توجه به اینکه میانگین ارتفاعی ایران حدود ۱۴۵۰ متر است (مسعودیان، ۱۳۷۷)، از



شکل ۱- تغییرات سالانه همگرایی شار رطوبتی با ترازهای فشاری مختلف برای سال‌های تر (خط آبی تو پر با مثلث‌های پر شده)، سال‌های خشک (خط نقطه چین قرمز با دایره‌های پر شده) و میانگین بلندمدت (۲۰۱۶-۱۹۸۶) (خط توپر سیاه با دایره‌های پر شده)

زمستان‌های خشک این انتقال از سطوح بالاتر و با ضخامت کمتری انجام می‌شود. انتقال رطوبت در سطوح پایین تر و در یک ضخامت بیشتر باعث ایجاد ابرهای سطوح پایین (استراتوس، استراتوکومولوس و نیمبواستراتوس) و انتقال رطوبت در سطوح بالاتر و در یک ضخامت کمتر باعث ایجاد ابرهای سطوح میانی (آلتوکومولوس و آلتواستراتوس) می‌شوند. ابرهای سطوح پایین همواره با باران و برف‌های سنگین و طولانی‌مدت و ابرهای سطوح میانی اکثراً با برف و باران‌های سبک و کوتاه‌مدت همراه هستند. نکته جالب توجه‌تر در نیمرخ‌های قائم همگرایی شار رطوبتی در زمان وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر فصل زمستان جابه‌جا شدن نیمرخ‌های مربوط به شرایط خشک و تر فراگیر در سطوح فوقانی جو (تقریباً از تراز ۶۰۰ هکتوپاسکال به بالاتر) می‌باشد. در این سطوح در زمان وقوع ترسالی‌های فراگیر شرایط واگرایی شار رطوبتی و در زمان وقوع خشکسالی‌های فراگیر شرایط همگرایی شار رطوبتی حاکم است (شکل ۳). نتایج این قسمت نسبتاً منطبق بر نتایج مطالعات (Alpert and Shay-EI (1993) خصوص نظریه چاهک‌های رطوبتی بر روی بیابان‌های جنوب عراق و شمال عربستان می‌باشد. آنها در آن تحقیق علت پارادوکس موجود بین بارش‌های بسیار اندک فصل زمستان این بیابان‌ها و وجود چاهک‌های رطوبتی قابل توجه در جو بالای آنها را در انتقال رطوبت در ترازهای فوقانی‌تر جو بر روی این مناطق دانسته‌اند.

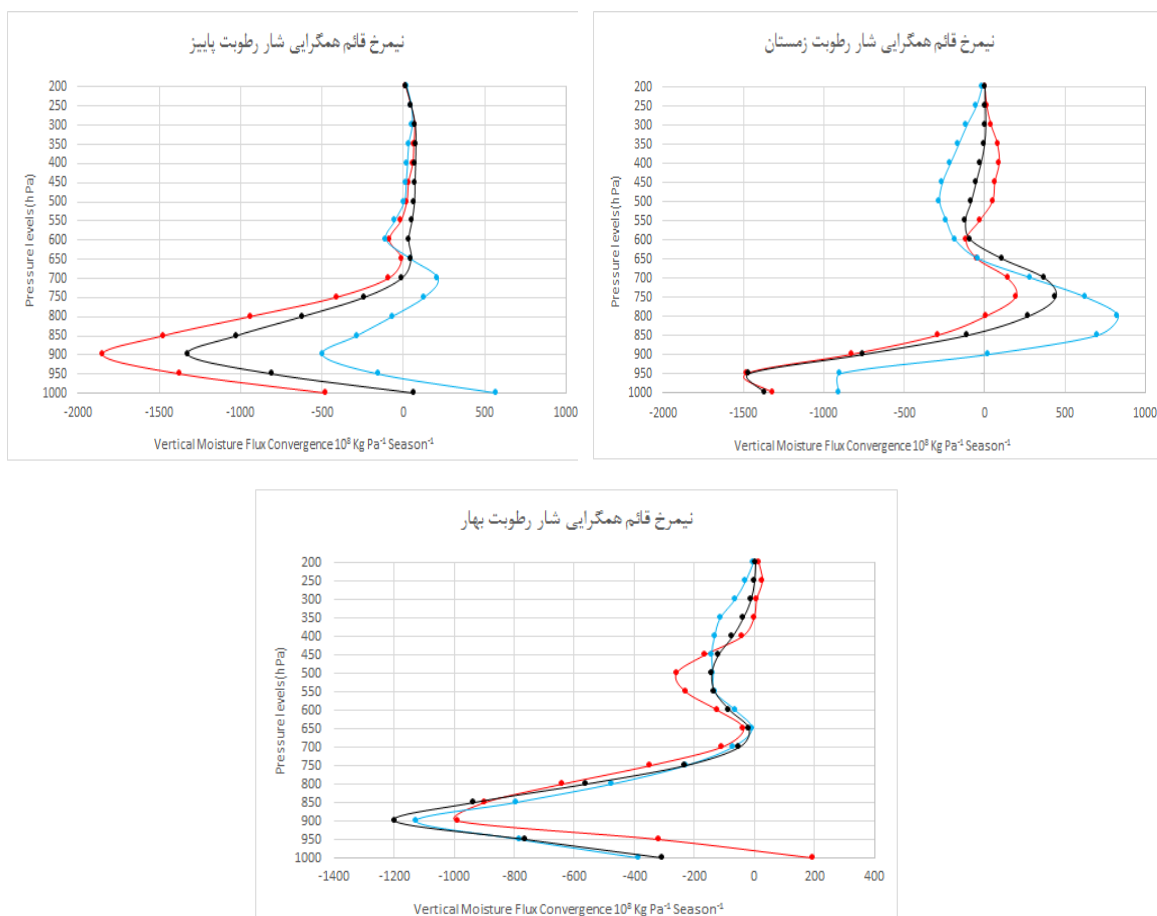
نیمرخ‌های قائم شار رطوبتی فصل بهار تقریباً مشابه با فصل پاییز است. دلیل این شباهت می‌تواند در ماهیت انتقالی این دو فصل در ایران باشد. صرف نظر از ترازهای ۱۰۰۰ و ۹۵۰ هکتوپاسکال که قبلاً توضیحات آن با توجه به شرایط ارتفاعی ایران آورده شده است، مشاهده می‌شود که حداکثر اختلاف مقادیر شار رطوبتی بین بهارهای همراه با خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر در تراز ۹۰۰ هکتوپاسکال بوده است. اما نکته بسیار قابل تامل در خصوص نیمرخ‌های قائم شار رطوبتی این فصل که آن را متفاوت‌تر از نیمرخ‌های قائم شار رطوبتی فصل پاییز و زمستان می‌کند این است که تقریباً کل ضخامت جو بهار ایران چه در زمان وقوع خشکسالی‌های فراگیر و چه در زمان وقوع

با رسم نیمرخ‌های قائم شار رطوبتی در یک مقیاس فصلی تلاش شد تا اطلاعات دقیق‌تر و جزئی‌تری از تغییرات قائم شار رطوبتی در زمان وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر فصلی به دست آید. لذا به تفکیک برای سه فصل پاییز (سپتامبر و نوامبر)، زمستان (دسامبر، ژانویه و فوریه) و بهار (مارس، آوریل و می) نیمرخ‌های قائم شار رطوبتی برای شرایط نرمال، خشکسالی‌های فراگیر و ترسالی‌های فراگیر رسم شدند (شکل ۳).

در نیمرخ‌های قائم شار رطوبتی فصل پاییز مشاهده شد که بیشترین اختلاف بین مقادیر شار رطوبتی در شرایط خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر در تراز ۹۰۰ هکتوپاسکال بوده است. این اختلاف با یک روند کاهشی تا تراز ۶۰۰ هکتوپاسکال ادامه دارد تا اینکه در تراز ۶۰۰ هکتوپاسکال به کمترین مقدار خود می‌رسد (شکل ۳). اما نیمرخ‌های قائم شار رطوبتی فصل زمستان بسیار متفاوت‌تر از فصل پاییز می‌باشد. در این فصل مشاهده می‌شود چه در زمان ترسالی‌های فراگیر و چه در زمان خشکسالی‌های فراگیر در ترازهای ۱۰۰۰، ۹۵۰ و ۹۰۰ هکتوپاسکال شرایط واگرایی شار رطوبتی حاکم است. تنها تفاوتی که در این ترازها در زمان وقوع ترسالی‌ها و خشکسالی‌های فراگیر مشاهده می‌شود تفاوت در مقادیر واگرایی شار رطوبتی آنها است. حداکثر اختلاف بین مقادیر شار رطوبتی در زمستان‌های همراه با خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال مشاهده می‌شود. در زمستان‌هایی که همراه با ترسالی‌های فراگیر بوده‌اند به روشنی مشخص می‌شود که لایه‌ای ضخیم از جو بین دو تراز ۹۰۰ تا ۶۵۰ هکتوپاسکال با همگرایی شار رطوبتی، با یک مقدار حداکثری در تراز ۸۰۰ هکتوپاسکال، همراه بوده است. در حالیکه در زمستان‌های همراه با خشکسالی‌های فراگیر تنها یک لایه نازک از جو بین دو تراز ۸۰۰ تا ۷۰۰ هکتوپاسکال وضعیت همگرایی شار رطوبتی را داشته‌اند (شکل ۳). لذا اکنون به روشنی مشخص می‌شود که یکی از علت‌های مهم در وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر ایران در فصل زمستان ارتفاع و ضخامت لایه‌های انتقال رطوبت به داخل ایران می‌باشد. در زمستان‌های تر انتقال رطوبت به داخل ایران از سطوح پایین‌تر و با ضخامت بیشتر و در

بادهای غربی و استقرار زبانه‌های پرفشار جنب حاره ای بر جو ایران باشد (شکل ۳).

ترسالی‌های فراگیر از سطح ۹۵۰ تا سطح ۲۵۰ هکتوپاسکال دارای شرایط واگرایی شار رطوبتی بوده‌اند. این وضعیت می‌تواند دلایل مختلفی همچون خارج شدن تدریجی امواج



شکل ۳- تغییرات فصلی همگرایی شار رطوبتی با ترازهای فشاری مختلف برای فصل‌های تر (خط آبی تو پر با مثلث‌های پر شده)، فصل‌های خشک (خط نقطه چین قرمز با دایره‌های پر شده) و میانگین بلندمدت فصلی (۲۰۱۶-۱۹۸۶) (خط تو پر سیاه با دایره‌های پر شده)

ژانویه، فوریه و مارس با نیمرخ‌های فصل زمستان و نیمرخ‌های ماه‌های آوریل و می نیز با نیمرخ‌های فصل بهار بیشترین شباهت را دارند.

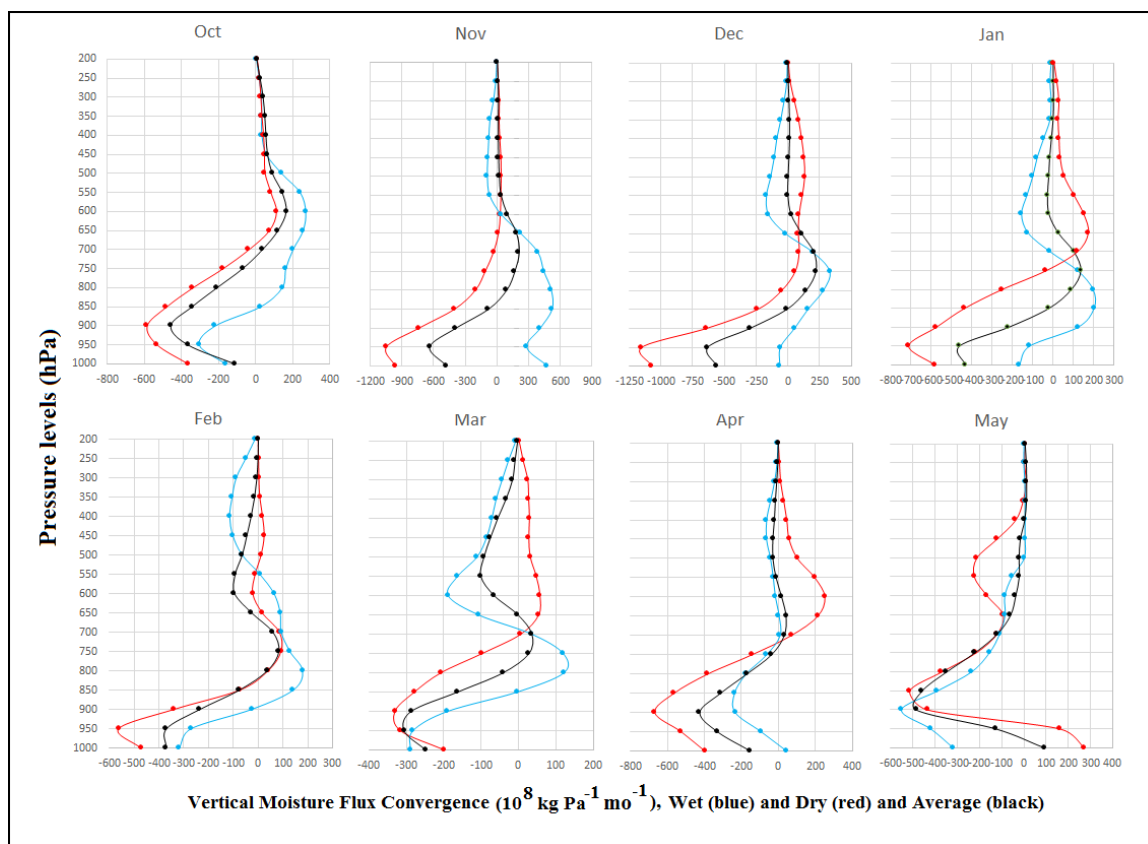
نیمرخ‌های ماهانه میانگین شار رطوبتی، همگرایی شار رطوبتی را در بیشتر ترازهای پایین تر از ۵۰۰ هکتوپاسکال از ماه اکتبر تا ماه می نشان می‌دهند. اما این همگرایی شار رطوبتی در ماه‌های خشک و تر فراگیر رفتارهای بسیار متفاوت‌تری از یکدیگر نشان می‌دهند. در خشکسالی‌های فراگیر ماه اکتبر ایران مشاهده می‌شود که تا سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال هیچگونه همگرایی شار رطوبتی وجود ندارد. همین

همچنین نیمرخ‌های شار رطوبتی در یک مقیاس زمانی ماهانه برای ماه‌های اکتبر تا می ترسیم و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند (شکل ۴). هدف از ترسیم این نیمرخ‌ها در این مقیاس زمانی، دست یافتن به درک بهتری از ویژگی‌های مختلف شار رطوبتی است که در مقیاس‌های سالانه و فصلی به نمایش گذاشته شده بودند. نیمرخ‌های میانگین شار رطوبتی ماهانه تقریباً مشابه با نیمرخ‌های میانگین شار رطوبتی در مقیاس‌های فصلی هستند. به طوریکه نیمرخ‌های میانگین شار رطوبتی ماه‌های اکتبر و نوامبر با نیمرخ‌های فصل پاییز، نیمرخ‌های ماه‌های دسامبر،

دو ماه آوریل و می بقیه ماه‌ها از اکتبر تا مارس در ترازهای پایین جو (کمتر از ۵۰۰ هکتوپاسکال) وضعیت همگرایی شار رطوبتی مشاهده شده است. به عبارت دیگر انتقال رطوبت به داخل ایران توسط ترازهای مختلفی از جو انجام پذیرفته است. به طور کلی، همانگونه که در تحلیل خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر فصلی نیز توضیح داده شد، ارتفاع و ضخامت لایه‌های انتقال رطوبت به داخل ایران یکی از علل ایجاد خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر در مقیاس ماهانه نیز می‌باشد. در ماه‌های تر رطوبت از ترازهای پایین تر و در ضخامت بیشتر و در ماه‌های خشک در ترازهای بالاتر و در ضخامت کمتری به داخل ایران منتقل می‌شوند (شکل ۴). نتایج این قسمت توسط نتایج تحقیقات Darand and Pazhoh (2019a,b) که ویژگی‌های همگرایی شار رطوبتی یکپارچه عمودی (VIMFC) را در ارتباط با بارش‌های ایران مورد توجه قرار دادند تایید می‌شود.

وضعیت نیز با کمی تفاوت در دیگر ماه‌های مورد مطالعه که همراه با خشکسالی‌های فراگیر بوده‌اند مشاهده می‌شوند. تنها تفاوتی که در بین این ماه‌ها مشاهده شد سقف تراز عدم وجود همگرایی شار رطوبتی می‌باشد که در بعضی از ماه‌ها بالاتر (مانند نوامبر، تراز ۶۵۰ هکتوپاسکال) و در بعضی ماه‌های دیگر پایین‌تر (مانند دسامبر و فوریه، تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال) می‌باشد. در این بین ماه می یک استثنا می‌باشد؛ در این ماه در زمان وقوع خشکسالی‌های فراگیر کل جو ایران تحت حاکمیت واگرایی شار رطوبتی می‌باشد. مهمترین و قابل توجه‌ترین تراز شار رطوبتی در زمان وقوع خشکسالی‌های فراگیر تراز ۹۰۰ هکتوپاسکال برای ماه‌های اکتبر تا فوریه و تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال برای ماه‌های مارس تا می می‌باشد (شکل ۴).

اما در ترسالی‌های فراگیر شرایط بسیار متفاوت تری در مقایسه با خشکسالی‌های فراگیر مشاهده می‌شود. در بررسی نیمرخ‌های میانگین ماهانه شار رطوبتی ماه‌های همراه با خشکسالی‌های فراگیر مشاهده شد که به استثنای



شکل ۴- نیمرخ‌های میانگین ماهانه قائم همگرایی شار رطوبتی بر روی ایران برای ماه‌های تر (خط قرمز)، ماه‌های خشک (خط آبی) و میانگین ماهانه بلندمدت (خط سیاه با دایره‌های توپر)

تغییرات افقی همگرایی شار رطوبتی

در این بخش توزیع افقی همگرایی شار رطوبتی در زمان وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر در مقیاس‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه جهت توصیف و تعیین بهتر ویژگی‌های آن در گستره ایران بررسی می‌شود. با توجه به اینکه شباهت‌های بسیار زیادی بین الگوهای ماهانه با الگوهای سالانه و فصلی وجود داشت لذا جهت رعایت اصل اختصار و جلوگیری از اطاله کلام تصمیم گرفته شد که تغییرات افقی همگرایی شار رطوبتی تنها در مقیاس زمانی ماهانه بررسی شوند؛ چونکه این تغییرات در نهایت در مقیاس‌های زمانی فصلی و سالانه مجدداً خود را متبلور می‌سازند. همچنین با در نظر گرفتن ارتفاع متوسط ۱۴۵۰ متری ایران، تصمیم گرفته شد توزیع افقی همگرایی شار رطوبتی در چهار تراز ۸۵۰، ۷۵۰، ۶۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکالی به عنوان نمایندگان ترازهای پایین‌تر از ۵۰۰ هکتوپاسکال مورد توجه قرار گیرند. ترازهای بالاتر از ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز به دلیل پایین بودن دما و در نتیجه گنجایش رطوبتی کمتر در تحلیل‌ها زیاد مورد توجه قرار نگرفتند. در تحلیل‌ها تمام ماه‌ها، فصل‌ها و سال‌های تر و خشک فراگیر مورد استفاده قرار گرفته‌اند، اما در این قسمت تنها از نقشه‌های

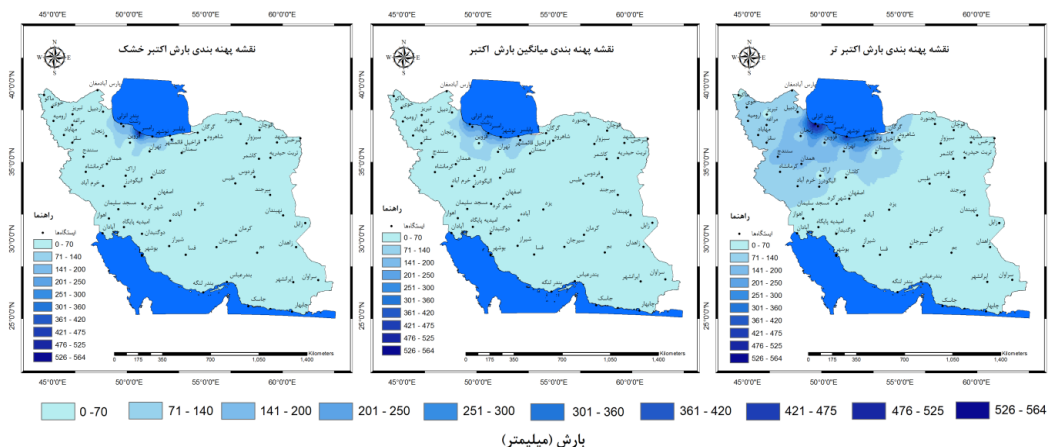
فراگیرترین ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها به عنوان نماینده ماه‌های تر و خشک فراگیر استفاده شده‌اند.

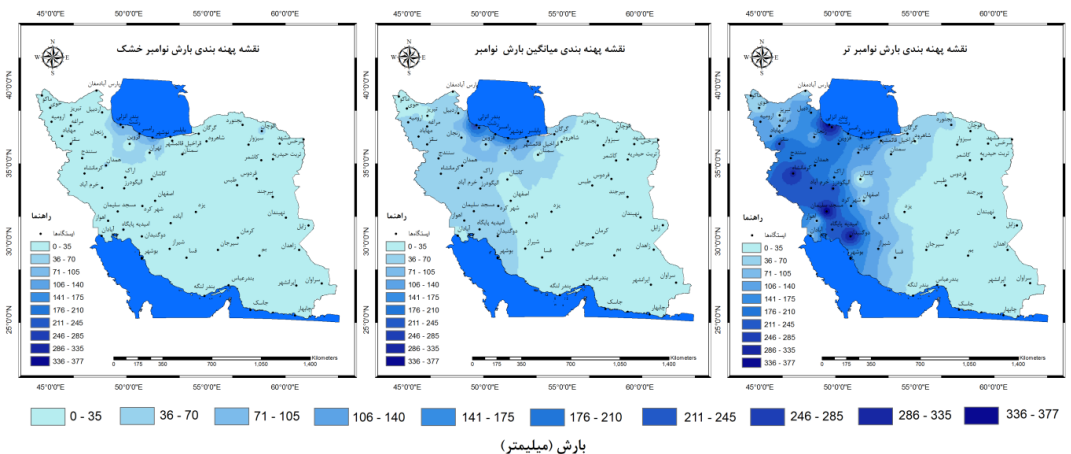
تغییرات افقی همگرایی شار رطوبتی ماه‌های فصل پاییز

میانگین بلندمدت بارش ماه‌های اکتبر و نوامبر که با استفاده از داده‌های ۶۳ ایستگاه همدید و با استفاده از روش تیسن محاسبه شده‌اند در جدول ۲ آورده شده است. میانگین بلندمدت بارش ماه اکتبر برابر با ۱۳/۱ میلی‌متر بوده است. در فراگیرترین خشکسالی ماه اکتبر (۱۹۹۲) میانگین بارش به ۷/۶ میلی‌متر و در فراگیرترین ترسالی که زمان وقوع آن اکتبر ۱۹۸۷ بوده است میانگین بارش به ۴۰/۷ میلی‌متر افزایش یافته است (جدول ۲). میانگین بلندمدت بارش ماه نوامبر نیز ۲۳/۷ میلی‌متر می‌باشد که در فراگیرترین ترسالی (۱۹۹۴) به ۶۸/۹ میلی‌متر و در فراگیرترین خشکسالی (۲۰۱۰) به ۷/۳ میلی‌متر رسیده است (جدول ۲). توزیع فضایی بارش در فراگیرترین خشکسالی و ترسالی ماه‌های اکتبر و نوامبر همراه با میانگین بلندمدت آنها در شکل ۵ آورده شده است.

جدول ۲- میانگین بارش در فراگیرترین ترسالی، خشکسالی و میانگین بلندمدت ماه‌های فصل پاییز ایران در دوره آماری ۱۹۸۶-۲۰۱۶

فراگیرترین ترسالی	میانگین بلندمدت	فراگیرترین خشکسالی	ماه
۴۰/۷	۱۳/۱	۷/۶	اکتبر
۶۸/۹	۲۳/۷	۷/۳	نوامبر



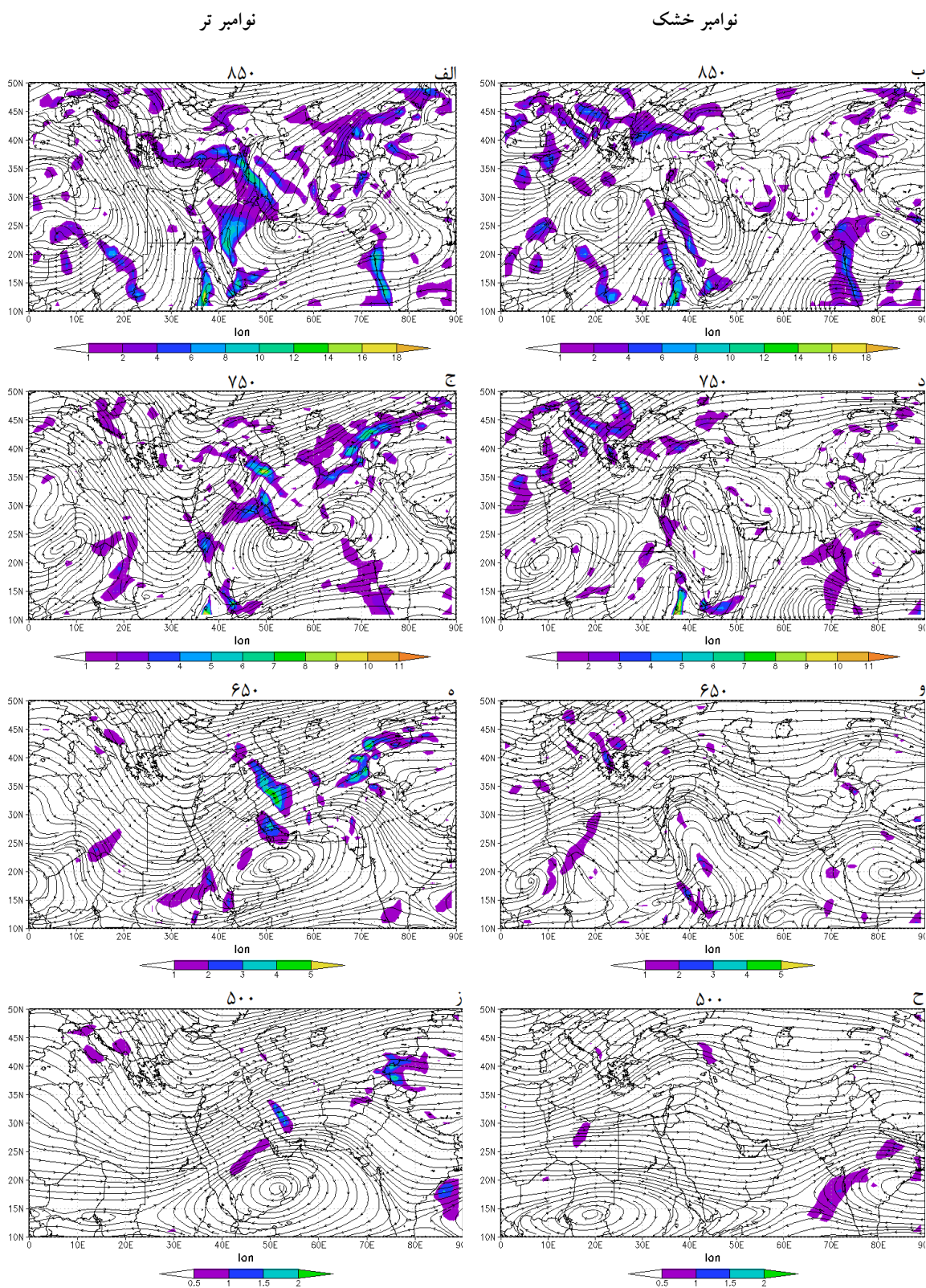


شکل ۵- توزیع فضایی بارش ماه‌های اکتبر و نوامبر ایران. نقشه‌های سمت راست: نقشه‌های پهنه‌بندی بارش فراگیرترین اکتبر (۱۹۸۷) و نوامبر، نقشه وسط: میانگین بارش بلندمدت ماه اکتبر (۲۰۱۶-۱۹۸۶)، نقشه سمت چپ: نقشه پهنه‌بندی بارش فراگیرترین اکتبر خشک (۱۹۹۲)

بر روی دریای مدیترانه در حد فاصل دو عرض جغرافیایی ۴۰-۳۵ به سمت شمال غرب ایران کشیده شده است. از جانب جنوب نیز یک نوار نسبتاً گسترده و قوی از همگرایی شار رطوبتی با جهت جنوبی-شمالی به سمت نیمه غربی ایران امتداد پیدا کرده است. این دو نوار از همگرایی شار رطوبتی در شمال غرب ایران به هم متصل می‌شوند (برای نمونه ماه نوامبر، شکل ۶). اما در اکتبرها و نوامبرهای خشک فراگیر تقریباً شاهد الگوهای فضایی متفاوت‌تری از همگرایی شار رطوبتی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکالی بر روی منطقه مورد مطالعه هستیم. نوار ممتد غربی-شرقی همگرایی شار رطوبتی که در ترسالی‌های فراگیر بر روی دریای مدیترانه بود در اکتبرهای خشک فراگیر به عرض‌های جغرافیایی بالاتر، حد فاصل بین ۴۰ تا ۵۰ درجه عرض جغرافیایی، نقل مکان می‌کند. همین جابه‌جایی از عرض‌های جغرافیایی ۴۰-۵۰ به ۳۵-۴۰ درجه باعث دور شدن مسیر ورود سامانه‌های بارش‌زای دریای مدیترانه به داخل ایران می‌شود. لذا در این شرایط دیگر بر روی شمال غرب ایران شاهد هیچگونه هسته همگرایی شار رطوبتی نیستیم و تنها هسته‌های ضعیفی از همگرایی شار رطوبتی در قسمت بادپناه کوه‌های زاگرس قابل مشاهده است که منبع تامین رطوبت آنها دیگر نه دریای مدیترانه بلکه دریاهای واقع در جنوب ایران می‌باشد (برای نمونه ماه نوامبر، شکل ۶).

دو ماه اکتبر و نوامبر به عنوان ماه‌های انتقالی از یک فصل گرم به یک فصل سرد، شرایط خاصی را از لحاظ توزیع افقی همگرایی شار رطوبتی تجربه می‌کنند. با توجه به نقشه‌های همگرایی شار رطوبتی این دو ماه مشاهده می‌شود که تمرکز بیشتر هسته‌های همگرایی شار رطوبتی در ترازهای مختلف در نیمه غربی ایران بوده است که با جهتی تقریباً شمال غربی- جنوب شرقی آرایش یافته‌اند (برای نمونه ماه نوامبر، شکل ۶). با مقایسه این نقشه‌ها در چهار تراز مورد مطالعه به روشنی مشخص می‌شود که مقدار همگرایی شار رطوبتی در اکتبرها و نوامبرهای همراه با خشکسالی‌های فراگیر بسیار کمتر از اکتبرها و نوامبرهای همراه با ترسالی-های فراگیر است. این تفاوت نه تنها در مقدار بلکه در گستردگی فضایی همگرایی شار رطوبتی نیز دیده می‌شوند (برای نمونه ماه نوامبر، شکل ۶).

آرایش فضایی همگرایی شار رطوبتی در ترازهای مختلف نشان می‌دهد که تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال می‌تواند نسبت به دیگر ترازهای مورد مطالعه علت وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر این دو ماه را بیشتر آشکار نماید. هر چند ترازهای دیگر نیز در انتقال رطوبت به داخل ایران دارای سهم هستند و نبایستی از آنها غافل ماند. همان نکته ای که Darand and Pazhoh (2019a,b) در مطالعات شان بر روی آن بسیار تاکید کرده بودند. در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال اکتبرها و نوامبرهای تر فراگیر مشاهده می‌شود که یک نوار نسبتاً ممتد از همگرایی شار رطوبتی با جهت غربی- شرقی



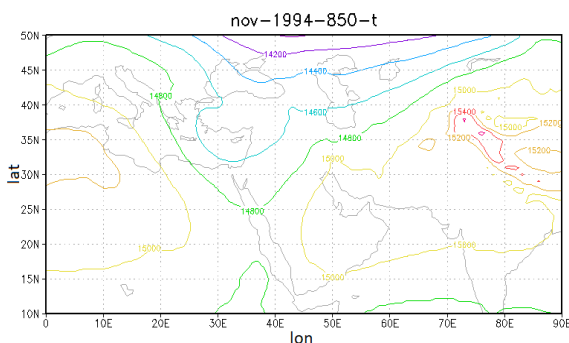
شکل ۶- نقشه‌های همگرایی شار رطوبتی ماه نوامبر برای چهار تراز ۸۵۰، ۷۵۰، ۶۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال. پنل سمت چپ نقشه‌های همگرایی شار رطوبتی برای نوامبرهای همراه با ترسالی‌های فراگیر و پنل سمت راست نقشه‌های همگرایی شار رطوبتی برای نوامبرهای همراه با خشکسالی‌های فراگیر

مرطوب را به عرض‌های جغرافیایی بالاتر انتقال و از ورود آنها به ایران جلوگیری می‌کند. همین پرفشار باعث اختلال در انتقال رطوبت دریای عرب از جانب جنوب به داخل ایران می‌شود. لذا در ماه‌های اکتبر و نوامبر خشک‌فراگیر هسته‌های همگرایی پیوسته‌ای نه در شمال و نه در جنوب که به منابع آبی اطراف ایران پیوسته باشند مشاهده نمی‌گردد.

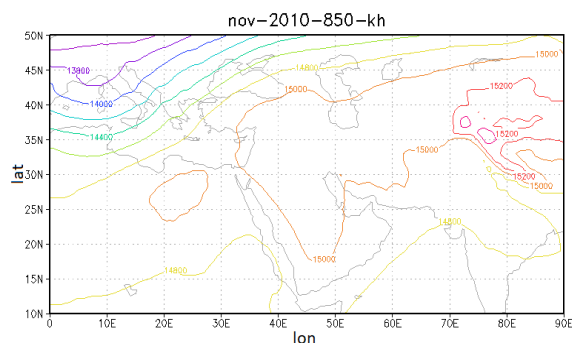
اما در اکتبرها و نوامبرهای تر فراگیر شاهد حضور کم‌رنگ تر پرفشار جنب حاره‌ای آزرورز بر جو ایران هستیم. زمانیکه پرفشار جنب حاره‌ای آزرورز در دوره گرم سال ضعیف باشد توان گسترش مکانی خود تا عرض‌های جغرافیایی بالا را ندارد. لذا در این شرایط لبه شمالی آن حداکثر تا عرض‌هایی جغرافیایی ۴۰-۳۵ درجه گسترش می‌یابد. لذا با آغاز فصل پاییز به سرعت از جو ایران خارج و شرایط را برای عبور امواج بادهای غربی فراهم می‌کند. لذا به همین دلیل است که در اکتبرها و نوامبرهای تر فراگیر هسته‌های همگرایی شار رطوبتی بر روی دریای مدیترانه شکل می‌گیرند. این شکل‌گیری هسته‌های همگرا باعث انتقال زودتر از موعد رطوبت به داخل ایران شده و هسته‌های گسترده تر و قوی‌تری از همگرایی شار رطوبتی را بر روی ایران ایجاد می‌کنند. از آن طرف نیز رطوبت دریای عرب از طریق عربستان وارد ایران شده و یک هسته گسترده از همگرایی شار رطوبتی از شمال غرب تا جنب عربستان را ایجاد می‌نمایند. نتایج این بخش به طور کامل با نتایج حجازی زاده (۱۳۷۶) همراستا می‌باشد.

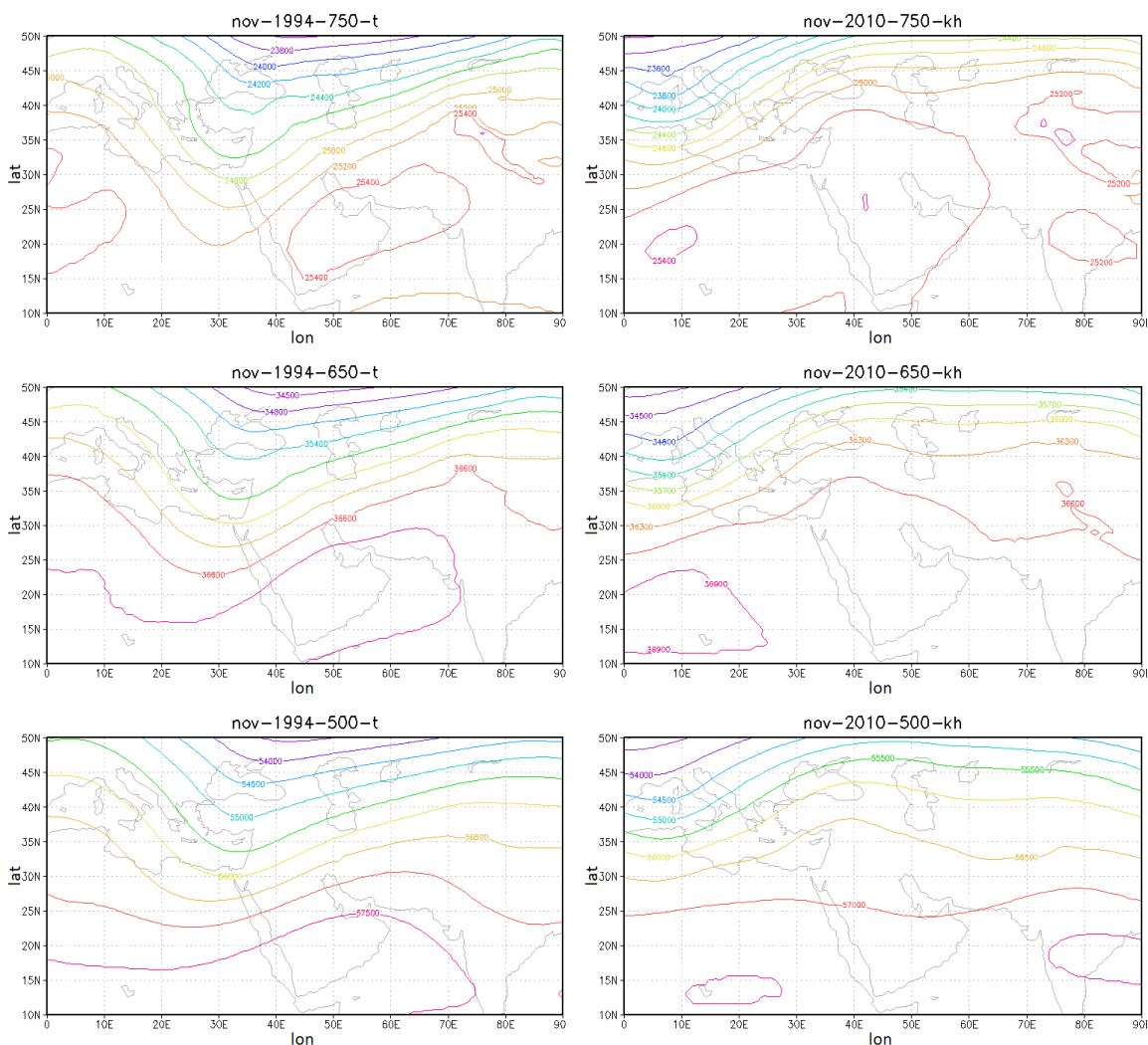
اما جهت یافتن علت این نوع آرایش‌الگوهای فضایی همگرایی شار رطوبتی در خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر این دو ماه، نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل در ترازهای مختلف جو در هر دو حالت مورد نظر تحت بررسی دقیق قرار گرفتند (برای نمونه ماه نوامبر، شکل ۷). در نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل ترازهای ۸۵۰، ۷۵۰، ۶۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال این دو ماه نقش پررنگ پرفشار جنب حاره‌ای در ایجاد این الگوهای همگرایی شار رطوبتی در زمان وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر بسیار مشهود می‌باشد (برای نمونه ماه نوامبر، شکل ۷). در مجموع می‌توان اظهار داشت که آرایش فضایی همگرایی شار رطوبتی در حوزه دریای مدیترانه، خاورمیانه و در نهایت ایران تابعی از فعالیت پرفشار جنب حاره‌ای در ترازهای مختلف جوی است. پرفشار جنب حاره‌ای قوی‌تر از نرمال در نیمه گرم سال باعث انتقال لبه شمالی این پرفشار تا عرض‌های جغرافیایی تقریباً ۵۰-۴۵ درجه شمالی می‌شود (نقشه‌های نیمه گرم سال در این پژوهش آورده نشده‌اند). این گسترش مکانی باعث می‌شود که در فصل پاییز این پرفشار با تاخیر زمانی زیادی که تا اواخر ماه نوامبر طول می‌کشد جو ایران را ترک و به عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر نقل مکان کند. لذا آرایش فضایی هسته‌های همگرایی شار رطوبتی در حد فاصل عرض‌های جغرافیایی ۵۰-۴۰ شمالی با جهتی غربی-شرقی در امتداد دریای مدیترانه در زمان وقوع خشکسالی‌های فراگیر به دلیل گسترش فضایی پرفشار جنب حاره‌ای می‌باشد که مسیر جریان بادهای غربی

نوامبر تر



نوامبر خشک





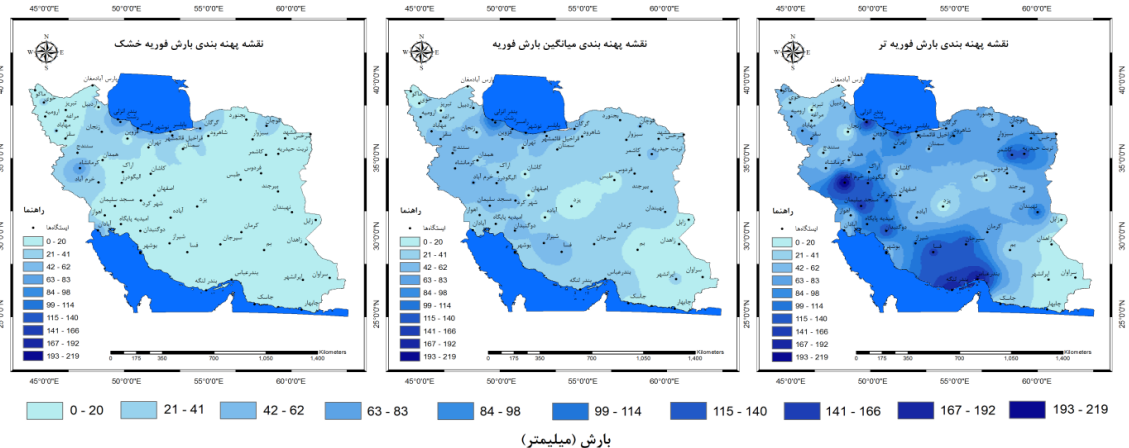
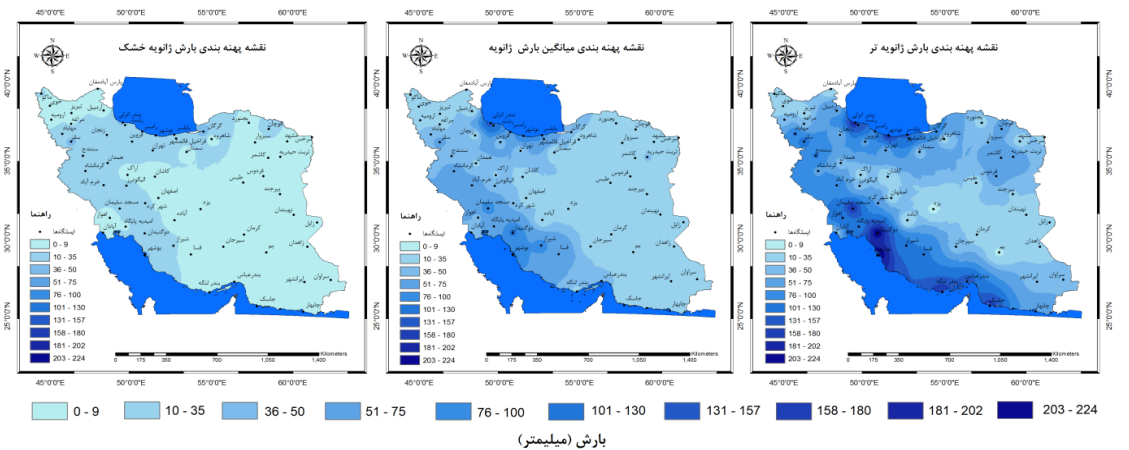
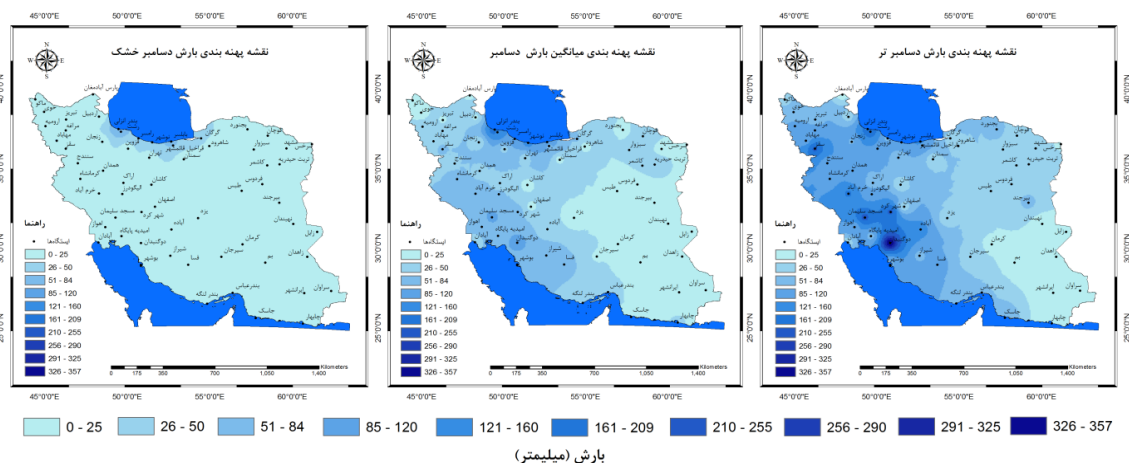
شکل ۷- نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل ماه نوامبر برای چهار تراز ۸۵۰، ۷۵۰، ۶۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال. پتل سمت چپ نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل برای نوامبرهای همراه با ترسالی‌های فراگیر و پتل سمت راست نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل برای نوامبرهای همراه با خشکسالی‌های فراگیر

نموده است. اما از آن طرف فراگیرترین دسامبر تر که در سال ۱۹۹۱ به وقوع پیوسته است میانگین بارش ایران ۶۲/۶ میلیمتر بوده است. در ژانویه ۱۹۹۷ این مقدار ۵۹/۲ میلیمتر و در فوریه ۱۹۹۲، ۶۷/۷ میلیمتر محاسبه گردیده است (جدول ۳). توزیع فضایی بارش ماه‌های فصل زمستان در شرایط خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر در شکل ۸ آورده شده است. در این شکل به روشنی تفاوت توزیع فضایی بارش در زمان وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر ماه‌های فصل زمستان مشاهده می‌شود.

تغییرات افقی همگرایی شار رطوبتی ماه‌های فصل زمستان میانگین بلندمدت بارش، میانگین بارش در فراگیرترین ترسالی‌ها و خشکسالی‌های رخ داده در طول دوره مورد مطالعه در جدول ۳ آورده شده است. میانگین بلندمدت بارش در ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه به ترتیب ۳۲/۵، ۳۳/۵ و ۲۹/۵ میلیمتر بوده است. در فراگیرترین خشکسالی‌های اتفاق افتاده در ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه مشاهده می‌شود که در دسامبر ۲۰۱۱ میانگین بارش ایران به ۳/۷ میلیمتر، در ژانویه ۱۹۸۶ به ۶/۴ میلی‌متر و در فوریه ۲۰۱۵ به ۹/۵ میلیمتر تنزل یافته است. این ماه‌ها فراگیرترین خشکسالی‌های بوده است که ایران در این ماه‌ها تجربه

جدول ۳. میانگین بارش در فراگیرترین ترسالی، خشکسالی و میانگین بلندمدت ماه‌های فصل زمستان ایران در دوره آماری ۲۰۱۶-۱۹۸۶

فراگیرترین ترسالی	میانگین بلندمدت	فراگیرترین خشکسالی	ماه
۶۲/۶ (۱۹۹۱)	۳۲/۵	۳/۷ (۲۰۱۱)	دسامبر
۵۹/۲ (۱۹۹۷)	۳۳/۵	۶/۴ (۱۹۸۶)	ژانویه
۶۷/۷ (۱۹۹۲)	۲۹/۵	۹/۵ (۲۰۱۵)	فوریه

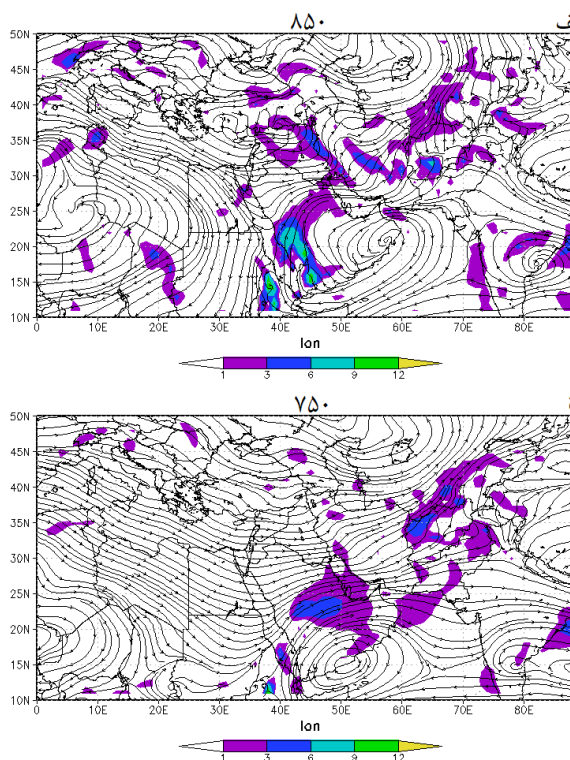


شکل ۸- توزیع فضایی بارش ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه ایران. نقشه‌های سمت راست: نقشه‌های پهنه‌بندی بارش فراگیرترین دسامبر تر (۲۰۱۱)، ژانویه تر (۱۹۸۶) و فوریه تر (۲۰۱۵)، نقشه وسط: میانگین بارش بلندمدت ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه (۲۰۱۶-۱۹۸۶)، نقشه سمت چپ: نقشه‌های پهنه‌بندی بارش فراگیرترین خشک (۱۹۹۱)، ژانویه خشک (۱۹۹۷) و فوریه خشک (۱۹۹۲)

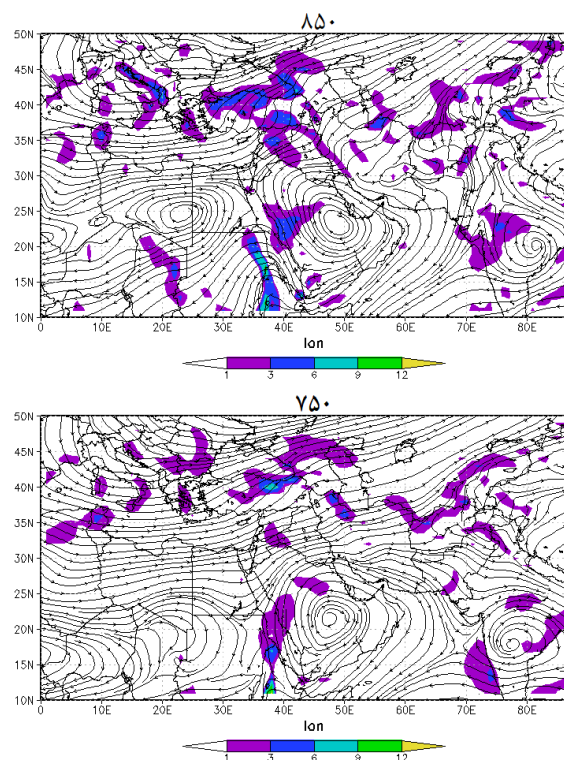
۵۰۰ هکتوسکال نیز کانون هایی از همگرایی شار رطوبتی وجود دارد که همگی آنها به نوعی از الگوهای همگرایی شار رطوبتی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال پیروی می کنند؛ با این تفاوت که هر چه به ترازهای بالاتر می‌رویم از گستردگی و پیوستگی آنها کم می‌شود؛ به طوری‌که در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال فقط یک هسته همگرایی شار رطوبتی در جنوب غرب ایران قابل مشاهده است. برای نمونه در این بخش تنها نقشه های ماه ژانویه آورده شده است (شکل ۹). اما در ماه‌های همراه با خشکسالی‌های فراگیر این فصل وضعیت بسیار متفاوت تری حاکم است. در ماه‌های خشک فراگیر این فصل هسته های همگرایی شار رطوبتی تنها در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال مشاهده می‌شود و در ترازهای ۷۵۰، ۶۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال اثری از همگرایی شار رطوبتی بر روی ایران مشاهده نمی‌شود. در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نیز هسته‌های بسیار ضعیف و پراکنده ای از همگرایی شار رطوبتی در غرب، شمال شرق و مرکز ایران قابل مشاهده است. لذا به روشنی مشخص می‌شود که در ماه‌های خشک فراگیر این فصل انتقال رطوبت به داخل ایران مختل و به سختی صورت می‌گیرد (برای نمونه ماه ژانویه، شکل ۹).

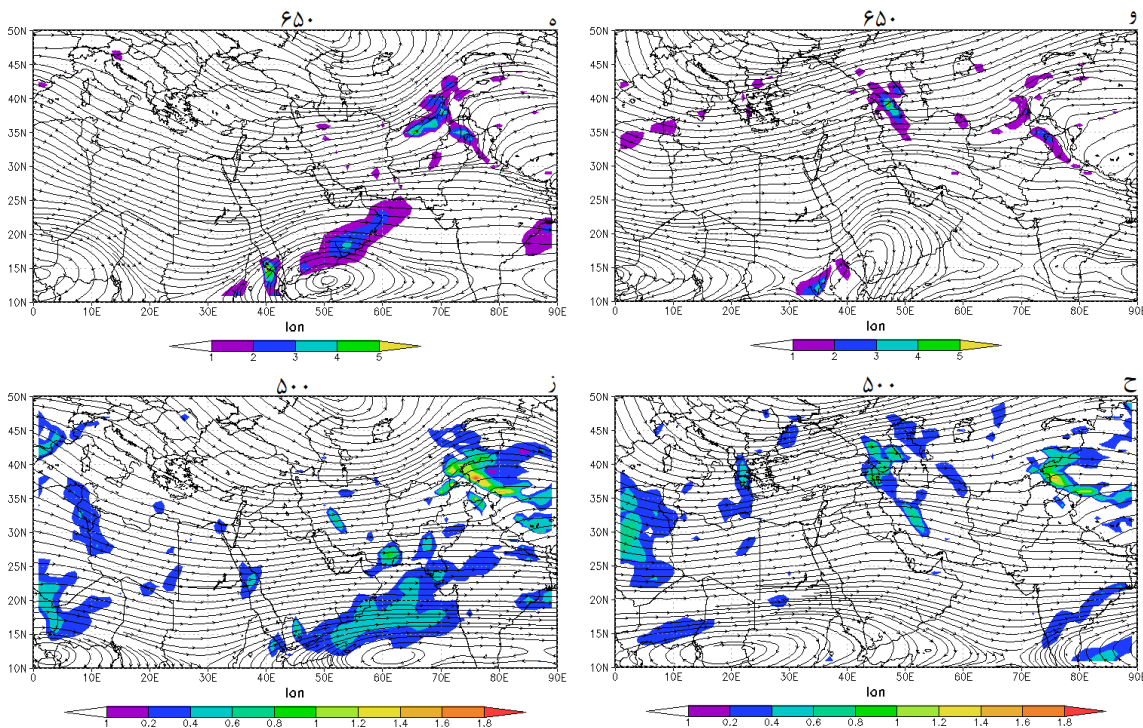
الگوهای فضایی همگرایی شار رطوبتی در دسامبرها، ژانویه‌ها و فوریه‌های همراه با ترسالی‌های فراگیر نشان می‌دهند که تمامی ترازهای پایین‌تر از ۵۰۰ هکتوپاسکال در انتقال رطوبت به داخل ایران نقش دارند. اما تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نقش بزرگتری نسبت به دیگر ترازها در انتقال رطوبت به داخل ایران دارد. در این تراز مشاهده می‌شود که در ماه‌های همراه با ترسالی‌های فراگیر فصل زمستان یک نوار بسیار گسترده و پیوسته از همگرایی شار رطوبتی از شمال دریای اژه تا تنگه باب‌المندب در جنوب شبه جزیره عربستان کشیده شده است. نوار غربی-شرقی همگرایی شار رطوبتی از دریای مدیترانه و نوار جنوبی-شمالی از دریای عرب تغذیه می‌شوند. هر دوی این دو نوار در شمال غرب ایران به هم می‌پیوندند. هر چند یک نوار همگرایی شار رطوبتی ضعیف نیز در آنطرف در قسمت پشت به باد رشته کوه های زاگرس مشاهده می‌شود. شاید دلیل این افتراق بین دو نوار مرتفع بودن رشته کوه های زاگرس باشد. علاوه بر این، در نیمه شرقی کشور نیز نوارهایی از همگرایی شار رطوبتی مشاهده می‌شود که امتداد یکی از آنها تا دریاچه بالخاش در روسیه نیز کشیده است. در سطح ۷۵۰، ۶۵۰ و

ژانویه تر



ژانویه خشک





شکل ۹. نقشه‌های همگرایی شار رطوبتی ماه ژانویه برای چهار تراز ۸۵۰، ۷۵۰، ۶۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال. پنل سمت چپ نقشه‌های همگرایی شار رطوبتی برای ژانویه‌های همراه با ترسالی‌های فراگیر و پنل سمت راست نقشه‌های همگرایی شار رطوبتی برای ژانویه‌های همراه با خشکسالی‌های فراگیر

مرکز این هسته در غرب شبه جزیره عربستان، باعث جابه‌جایی غرب سوی ناوه مدیترانه بر روی آفریقا شده و انتقال رطوبت از جانب جنوب به ایران دچار اختلال و تضعیف می‌شود. آرایش الگوهای ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در تراز ۷۵۰ هکتوپاسکال نیز با کمی تغییرات جزئی قابل مشاهده است. در دو تراز ۶۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز جریانات روی ایران کاملاً مداری شده و لذا انتقال رطوبت به داخل ایران در این دو تراز صورت نمی‌گیرد. برای نمونه و در راستای رعایت اصل اختصار تنها نقشه‌های ماه ژانویه آورده شده‌اند و از آوردن نقشه‌های دیگر ماه‌ها صرف نظر شده است (شکل ۱۰).

در ماه‌های همراه با ترسالی‌های فراگیر، دیگر خبری از آن پرفشار وسیع و گسترده بر روی نقشه‌های تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال که از تلفیق دو پرفشار آسیایی و جنب حاره‌ای به وجود آمده بودند نیست. در این شرایط پرفشار جنب حاره‌ای در گسترده‌ترین عقب‌نشینی خود، از روی شمال غرب آفریقا و شرق دریای مدیترانه خارج و پرفشار آسیایی نیز در ضعیف‌ترین حالت خود از لحاظ شدت و وسعت

اما برای یافتن علت آرایش الگوهای همگرایی شار رطوبتی در ماه‌های فصل زمستان در زمان وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر، نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل ترازهای مختلف جو مورد بررسی قرار گرفتند. در ماه‌های خشک فراگیر فصل زمستان، در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال، یک پرفشار بسیار وسیع که از تلفیق دو پرفشار آسیایی و جنب حاره‌ای به وجود آمده‌اند سرتاسر آسیای مرکزی، خاورمیانه و شمال آفریقا را پوشش می‌دهند. مرز شمالی این پرفشار، در بسیاری از مواقع، جنوب دریای مدیترانه را در بر می‌گیرند. این وضعیت باعث می‌شود ضمن تضعیف سیکلون‌زایی دریای مدیترانه، از عمیق شدن فرودهای دریای مدیترانه نیز جلوگیری شود. در نتیجه مسیر سیکلون‌های تشکیل شده بر روی دریای مدیترانه به عرض‌های جغرافیایی بالاتر منتقل و رطوبت کمتری به داخل ایران انتقال داده می‌شود. پرفشار عربستان نیز که وظیفه انتقال رطوبت دریاهای جنوب به خصوص دریای عرب به ایران را دارد در یک جابه‌جایی غرب سو، هسته مرکزی آن بر روی غرب شبه جزیره عربستان قرار می‌گیرد. قرارگیری

یخبندان‌های فراگیر همراه بوده است. همچنین نتایج مربوط به جابه‌جایی‌های فضایی پرفشار عربستان و نقش پررنگ آن در انتقال رطوبت دریاهای جنوبی ایران در زمان وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر هم‌راستا با نتایج محققینی چون زنگنه و همکاران (۱۳۹۴)، اشکری و همکاران (۱۳۹۵)، محمدی و لشکری (۱۳۹۷) و کریمی و همکاران (۱۴۰۰) می‌باشد.

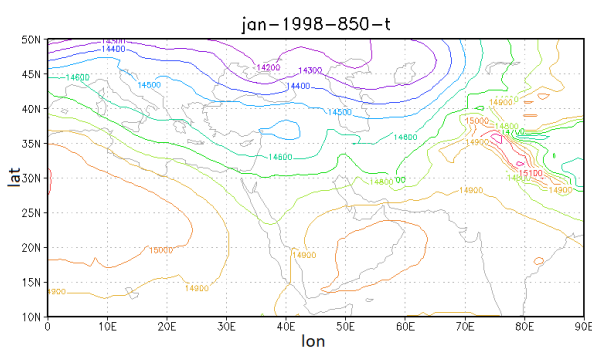
تغییرات افقی همگرایی شار رطوبتی ماه‌های فصل بهار

میانگین بلندمدت بارش ماه‌های مارس، آوریل و می به ترتیب ۳۶/۷، ۲۳/۸ و ۱۱/۹ میلی‌متر برآورد شده‌اند. در فراگیرترین خشکسالی‌های ماه‌های فصل بهار که به ترتیب در سال‌های ۲۰۰۷ (مارس)، ۱۹۹۹ (آوریل) و ۱۹۹۹ (می) اتفاق افتاده‌اند بارش به میزان ۳/۶، ۵/۸ و ۲/۸ میلی‌متر کاهش یافته است. اما از آن طرف در فراگیرترین ترسالی‌ها مشاهده می‌شود که بارش در فراگیرترین ترسالی ماه مارس به ۷۳/۶ (۱۹۹۰)، در فراگیرترین ترسالی ماه آوریل به ۴۶/۱ (۲۰۰۱) و در فراگیرترین ترسالی ماه می به ۳۴/۴ میلی‌متر افزایش پیدا کرده است (جدول ۴).

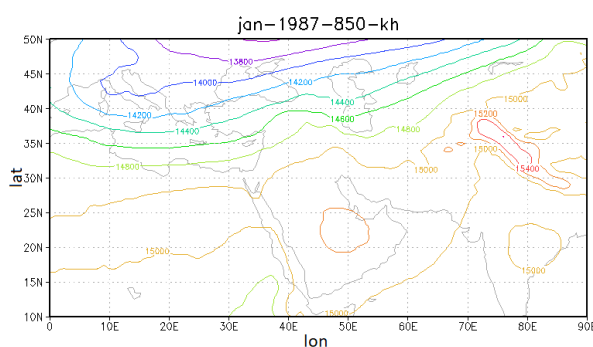
قرار می‌گیرد. تضعیف این پرفشارها باعث می‌شود که سیکلون‌زایی شرق مدیترانه فعال‌تر و ناوه آن نیز عمیق‌تر شود. عمیق‌تر شدن این ناوه باعث می‌شود که مسیر سیکلون‌ها به عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر منتقل و همزمان شرایط برای انتقال رطوبت دریای مدیترانه و سرخ به ایران فراهم شود. هسته پرفشار عربستان نیز با یک جابه‌جایی شرق سو بر روی شرق شبه جزیره عربستان قرار می‌گیرد. این موقعیت باعث تزریق رطوبت دریای عرب به داخل ناوه عمیق مدیترانه و انتقال همزمان رطوبت دریای مدیترانه، سرخ و عرب به داخل ایران می‌شود. در ترازهای بالاتر یعنی ۷۵۰، ۶۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز خطوط هم‌ارتفاع جهتی نصف‌النهاری به خود می‌گیرند و ایران در بیشتر مواقع در قسمت واگرایی بالایی این امواج قرار گرفته است (برای نمونه نقشه‌های ماه ژانویه آورده شده است، شکل ۱۰).

محمودی و همکاران (۱۳۹۱) نیز با مطالعه‌ای که بر روی یخبندان‌های فراگیر ایران انجام داده بودند به الگوهایی مشابه با همین الگوها دست پیدا کرده بودند. مقایسه نتایج این دو مطالعه نشان می‌دهد که ماه‌ها و فصل‌های همراه با خشکسالی‌های فراگیر با افزایش فراوانی در روزهای همراه با یخبندان‌های فراگیر و ماه‌ها و فصل‌های همراه با ترسالی‌های فراگیر با کاهش در فراوانی روزهای همراه با

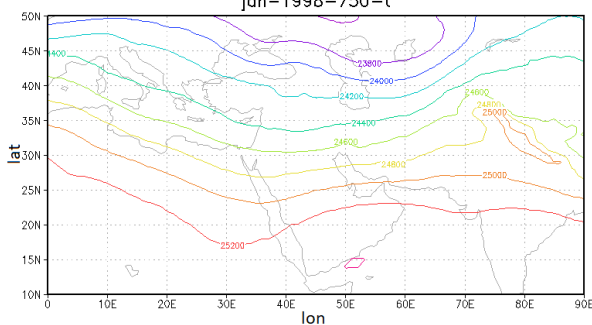
ژانویه تر



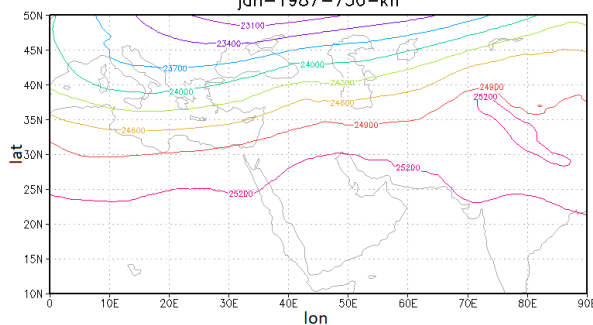
ژانویه خشک

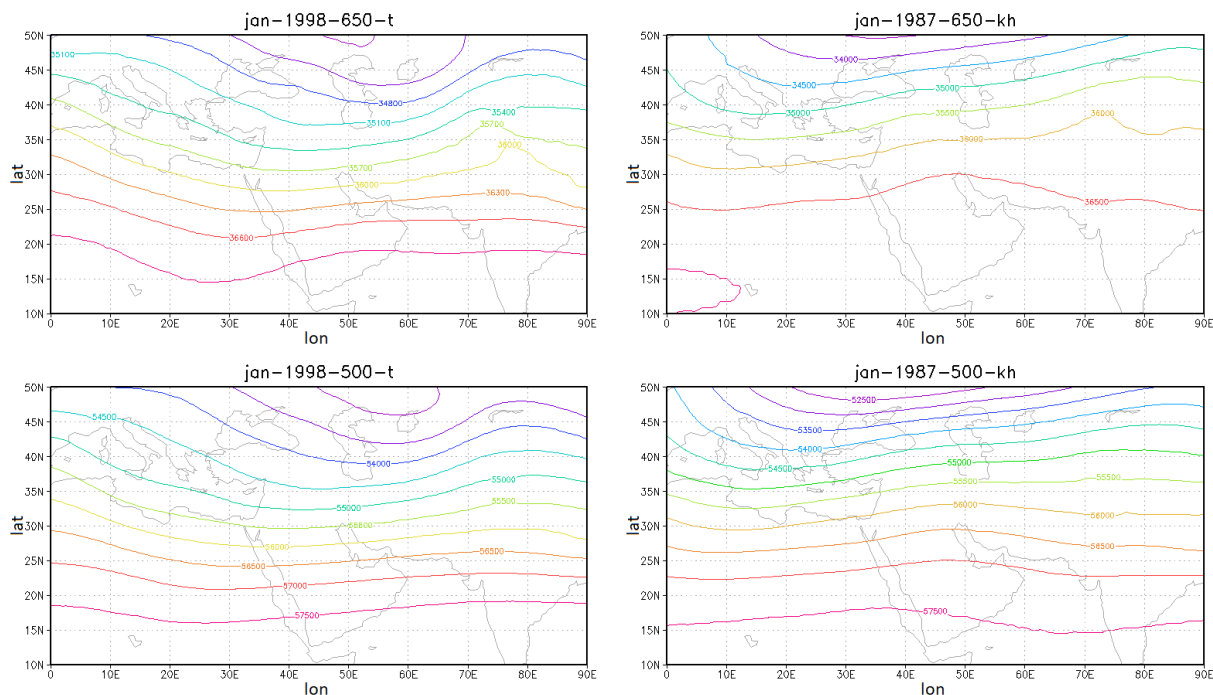


ژانویه تر



ژانویه خشک





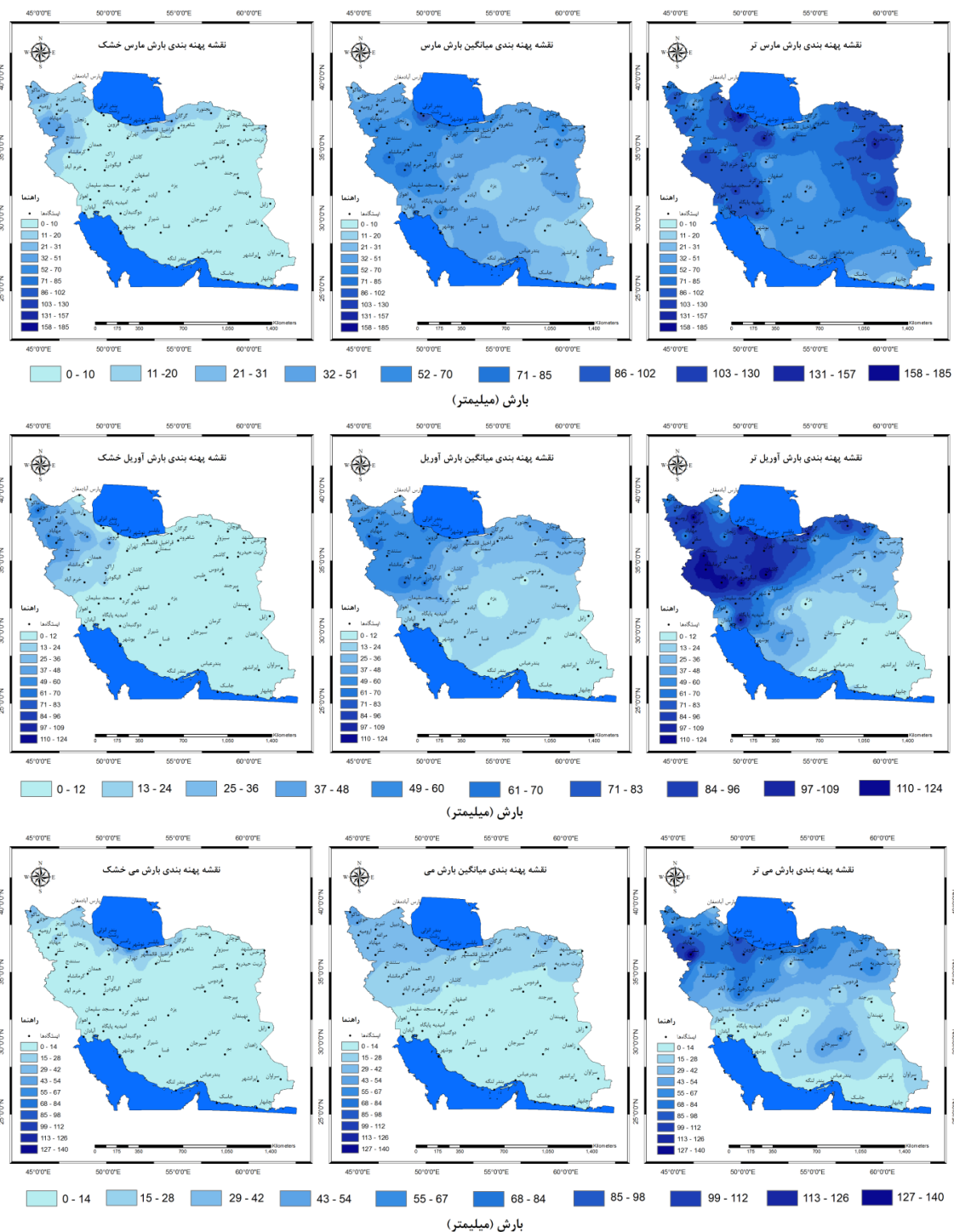
شکل ۱۰. نقشه‌های همگرایی شار رطوبتی ماه ژانویه برای چهار تراز ۸۵۰، ۷۵۰، ۶۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال. پنل سمت چپ نقشه‌های همگرایی شار رطوبتی برای ژانویه‌های همراه با ترسالی‌های فراگیر و پنل سمت راست نقشه‌های همگرایی شار رطوبتی برای ژانویه‌های همراه با خشکسالی‌های فراگیر

جدول ۴. میانگین بارش در فراگیرترین ترسالی، خشکسالی و میانگین بلندمدت ماه‌های فصل بهار ایران در دوره آماری ۱۹۸۶-۲۰۱۶

ماه	فراگیرترین خشکسالی	میانگین بلندمدت	فراگیرترین ترسالی
مارس	۳/۶ (۲۰۰۷)	۳۶/۷	۷۳/۶ (۱۹۹۰)
آوریل	۵/۸ (۱۹۹۹)	۲۳/۸	۴۶/۱ (۲۰۰۱)
می	۲/۸ (۱۹۹۹)	۱۱/۹	۳۴/۴ (۱۹۹۱)

غرب بارشی کمتر از ۱۲ میلیمتر دریافت کرده‌اند. اما در فراگیرترین ترسالی مشاهده می‌شود که به جز جنوب شرق ایران بقیه نقاط ایران بارش بسیار مناسب و درخوری را دریافت کرده‌اند (شکل ۱۱). همچنین نقشه‌های توزیع فضایی ماه می در فراگیرترین خشکسالی حاکی از یک هسته بارشی بسیار ضعیف در نوار جنوبی دریای خزر است و بقیه مساحت ایران با کمبود بارش همراه بوده‌اند (شکل ۱۱).

نقشه توزیع فضایی بارش ایران در مارس‌های همراه با خشکسالی‌های فراگیر نشان می‌دهد که به جز شمال غرب و نوار شمالی ایران، بقیه مساحت ایران بارشی کمتر از ۱۰ میلیمتر را دریافت کرده‌اند که در مقایسه با فراگیرترین ترسالی همین ماه بسیار ناچیز می‌باشد (شکل ۱۱). در آوریل‌های خشک فراگیر نیز شرایطی همچون مارس‌های همراه با خشکسالی‌های فراگیر قابل مشاهده است بدین صورت که بیشتر مساحت ایران به استثنای غرب و شمال



شکل ۱۱- توزیع فضایی بارش ماه های اکتبر و نوامبر ایران. نقشه‌های سمت راست: نقشه‌های پهنه‌بندی بارش فراگیرترین اکتبر (۱۹۸۷) و نوامبر (نقشه وسط: میانگین بارش بلندمدت ماه اکتبر (۲۰۱۶-۱۹۸۶)، نقشه سمت چپ: نقشه پهنه‌بندی بارش فراگیرترین اکتبر خشک (۱۹۹۲)

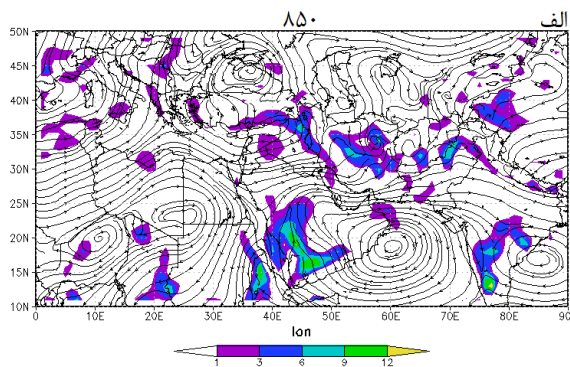
از همگرایی شار رطوبتی بر روی دریای مدیترانه و غرب ایران با هسته‌هایی قوی از همگرایی شار رطوبتی قابل مشاهده است که تا جنوب غرب ایران کشیده شده است. یک هسته بسیار وسیع و قوی از همگرایی شار رطوبتی که

الگوهای همگرایی شار رطوبتی مارس‌های تر فراگیر بسیار شبیه به الگوهای دیگر ماه های فصل زمستان به خصوص ماه فوریه است. در این ماه نیز مثل دیگر ماه‌های تر فصل زمستان در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال یک نوار وسیع و پیوسته

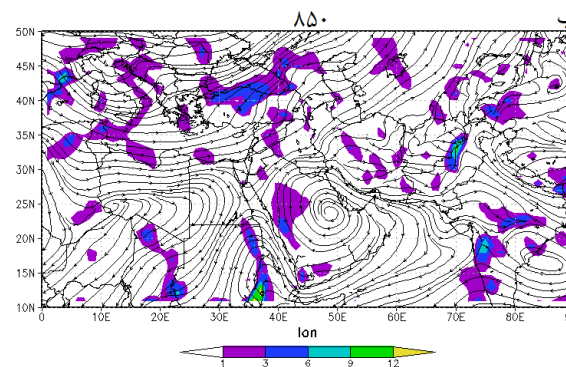
در آوریل‌های تر فراگیر در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال یک نوار دو رشته‌ای از شمال غرب تا جنوب شرق ایران را پوشانده است. همین الگو در خشکسالی‌های فراگیر این ماه نیز اما با گستردگی و پیوستگی بسیار کمتری قابل مشاهده است. این الگو در ترازهای بالاتر نیز مشاهده می‌شود با این تفاوت که هر چه به ترازهای بالاتر صعود می‌کنیم وسعت فضایی و پیوستگی آنها بسیار کمتر می‌شود. در خشکسالی‌های فراگیر ماه آوریل نکته‌ای که بایستی بیشتر روز آن تمرکز داشت وسعت هسته‌های همگرایی شار رطوبتی در ترازهای بالاتر نسبت به آوریل‌های تر فراگیر می‌باشد (نقشه‌های آنها آورده نشده است). در آخرین ماه فصل بهار الگوهای همگرایی شار رطوبتی بین ترسالی‌ها و خشکسالی‌های فراگیر نسبت به دیگر ماه‌ها بیشترین شباهت را با یکدیگر دارند. در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال یک الگوی فضایی مشابه از همگرایی شار رطوبتی در زمان وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر مشاهده می‌شود با این تفاوت که گستردگی فضایی آن در ماه‌های تر فراگیر کمتر است. همین شباهت در الگوهای فضایی در ترازهای دیگر نیز مشاهده می‌شود (نقشه‌های آنها آورده نشده است).

تمام ایران مرکزی را در بر گرفته است نیز قابل مشاهده است. اما در تراز ۷۵۰ هتوسکالی الگوی فضایی دیگری از همگرایی شار رطوبتی قابل مشاهده است. در این تراز نوار همگرایی شار رطوبتی غرب ایران تزیف و نواری بسیار قوی و گسترده که تمام شرق ایران منطبق بر مرزهای سیاسی را احاطه کرده است ظاهر می‌شود. در ترازهای ۶۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال هم از وسعت و هم از قدرت هسته‌های همگرایی شار رطوبتی کاسته و فقط تک هسته‌های از همگرایی شار رطوبتی در این ترازها قابل مشاهده است. اما در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال مارس‌های همراه با خشکسالی‌های فراگیر شاهد الگویی بسیار پراکنده و محدود از هسته‌های همگرایی شار رطوبتی بر روی ایران هستیم. نوارهایی همگرایی شار رطوبتی که همیشه در ماه‌های تر بر روی دریای مدیترانه مشاهده می‌شود در خشکسالی‌های فراگیر جابه‌جایی زیادی به عرض‌های جغرافیایی بالا نشان می‌دهند و همین جابه‌جایی ظاهراً باعث اختلال در انتقال رطوبت به داخل ایران می‌شود. در ترازهای ۷۵۰، ۶۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز هسته‌های همگرایی از شار رطوبتی قابل مشاهده است که برخی از آنها در نیمه شمالی و برخی دیگر در نیمه جنوبی قابل مشاهده هستند (شکل ۱۲).

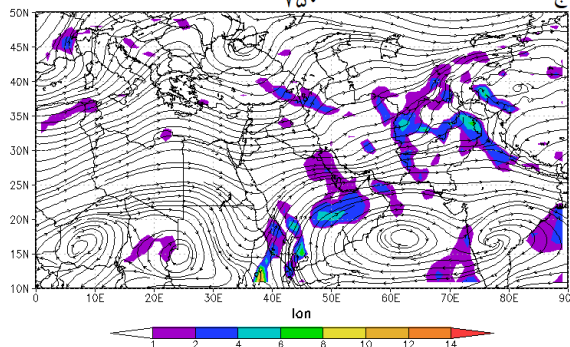
مارس تر



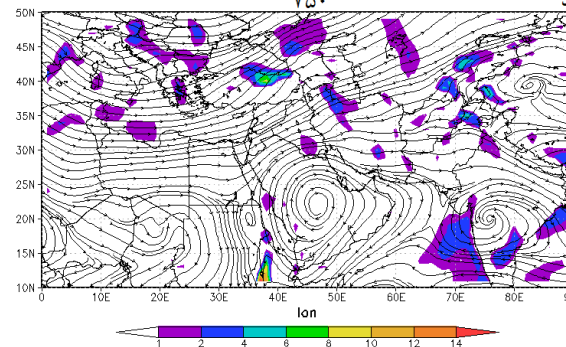
مارس خشک

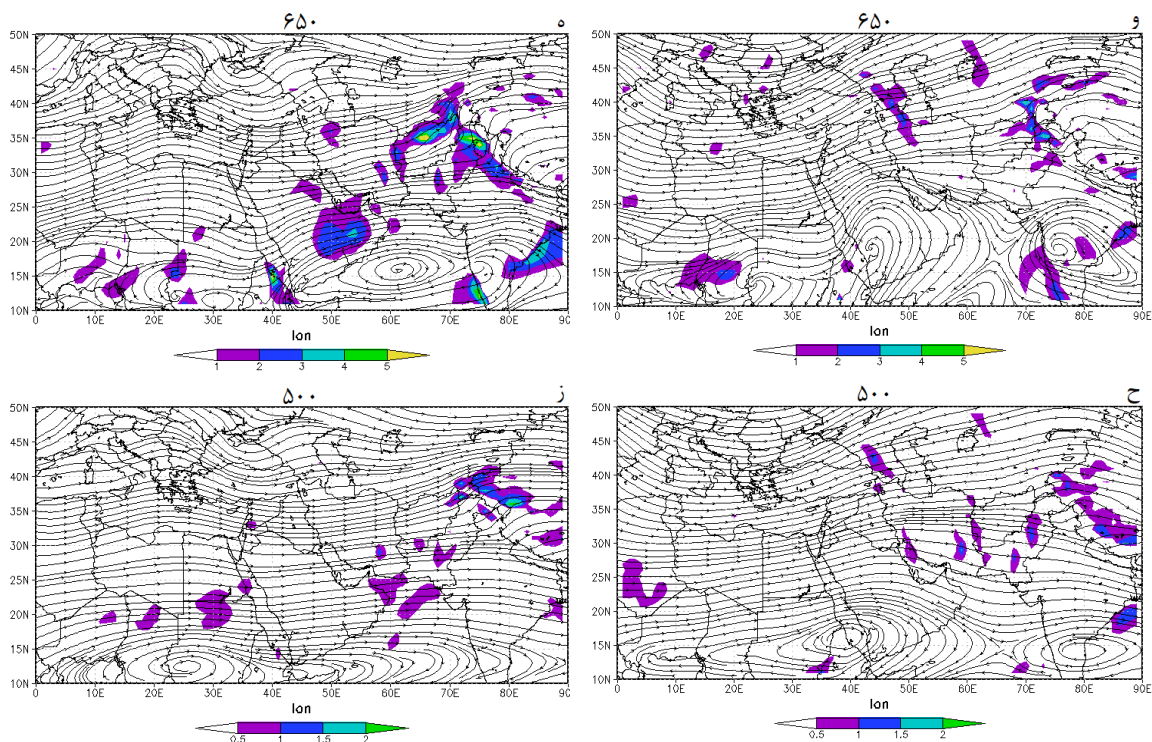


۷۵۰



۷۵۰





شکل ۱۲. نقشه‌های همگرایی شار رطوبتی ماه مارس برای چهار تراز ۸۵۰، ۷۵۰، ۶۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال. پتل سمت چپ نقشه‌های همگرایی شار رطوبتی برای مارس‌های همراه با ترسالی‌های فراگیر و پتل سمت راست نقشه‌های همگرایی شار رطوبتی برای مارس‌های همراه با خشکسالی‌های فراگیر

در ماه‌های همراه با ترسالی‌های فراگیر یک جابه‌جایی شرق‌سو داشته‌است. همین شرایط اما با تغییراتی جزئی در ماه مارس نیز مشاهده می‌شود. در ترازهای میانی جو نیز مشاهده شد که خطوط هم‌ارتفاع در مارس‌های خشک فراگیر دارای جهتی مداری‌تر و در مارس‌های تر فراگیر در جهتی نصف‌النهاری‌تر طی طریق می‌کنند (شکل ۱۴).

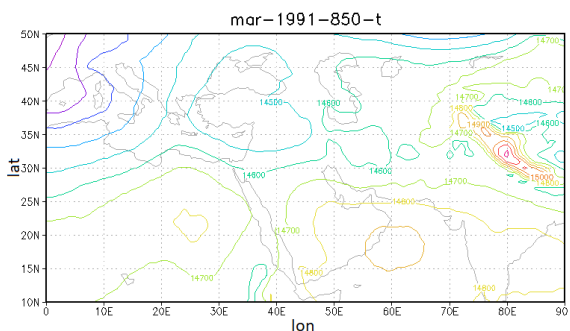
در آوریل‌های خشک فراگیر در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال هنوز جو آسیای مرکزی، خاورمیانه و شمال آفریقا تحت سیطره یک پرفشار وسیع و گسترده‌است. اما در ماه‌های می‌خشک فراگیر از گستردگی این کم‌فشار به شدت کم می‌شود به طوری‌که بخش شرقی این پرفشار هنوز بر روی شمال آفریقا و غرب دریای مدیترانه باقی می‌ماند. اما بخش شرقی آن به طور کامل محو و به جای آن یک کم‌فشار گسترده مستقر می‌شود. اما تفاوت ماه‌های فصل بهار با دیگر ماه‌های فصل زمستان در ترازهای ۷۵۰، ۶۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال می‌باشد. در ماه‌های آوریل و می پرفشار جنب حاره‌ای گسترش فضایی زیادی به سمت عرض‌های شمالی به خود می‌گیرد و جو ایران را پایدار می‌کند. در

اما علت این آرایش فضایی را می‌توان در الگوهای فضایی خطوط هم‌ارتفاع در ترازهای مختلف جو جستجو کرد. الگوهای فضایی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال ماه مارس در زمان خشکسالی‌های فراگیر شباهت بسیار زیادی به الگوی ماه‌های مربوط به فصل زمستان دارد. در این ماه نیز یک پرفشار وسیع و گسترده جو تمام آسیای مرکزی، خاورمیانه و شمال آفریقا را در بر گرفته‌است. علاوه بر این، این پرفشار بخشی از جنوب دریای مدیترانه را نیز تحت سیطره خود قرار می‌دهد. لذا تحت این شرایط ناوه مدیترانه فاقد عمق و مسیر چرخندها نیز مسیری شمالی‌تر و دورتر از مرزهای سیاسی ایران را طی طریق می‌کند. اما در زمان وقوع ترسالی‌های فراگیر این ماه علاوه بر تضعیف و عقب‌نشینی مکانی پرفشار آسیایی، یک کم‌ارتفاع گسترده بر روی شرق دریای مدیترانه و دریای سیاه شکل می‌گیرد که انتقال رطوبت دریای مدیترانه به داخل ایران را به عهده دارد. اما همانطور که در تحلیل پرفشار عربستان در ماه‌های فصل زمستان توضیح داده شد در ماه‌های همراه با خشکسالی فراگیر این پرفشار یک جابه‌جایی غرب‌سو و

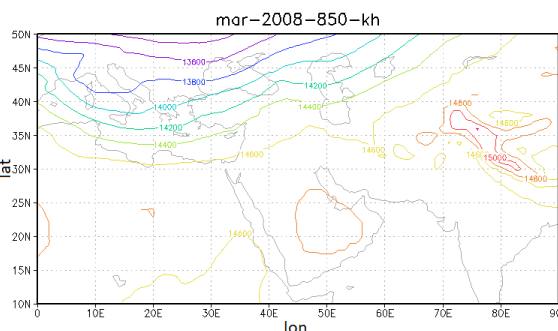
نیمه شمالی آن فعالیت دارند (نقشه‌های آنها آورده نشده است).

حالیکه در ترسالی‌های فراگیر این دو ماه پرفشار جنب حاره‌ای گسترش کمتری به سمت عرض‌های شمالی داشته است. لذا جریانات غربی هنوز بر روی ایران به خصوص

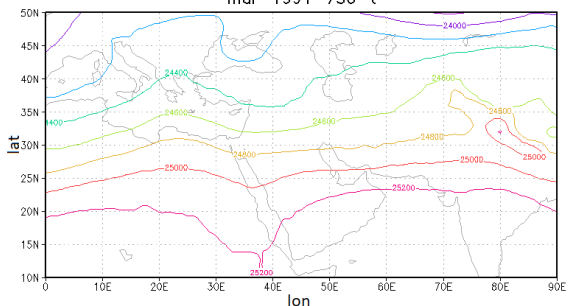
مارس تر



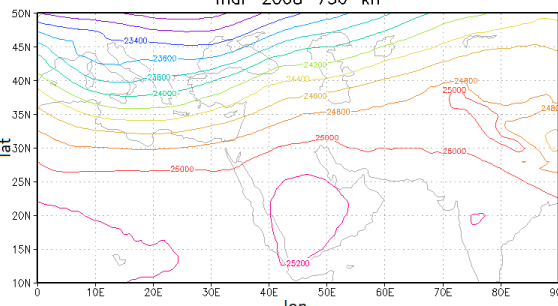
مارس خشک



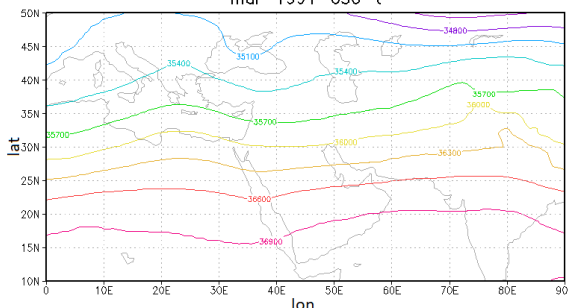
mar-1991-750-t



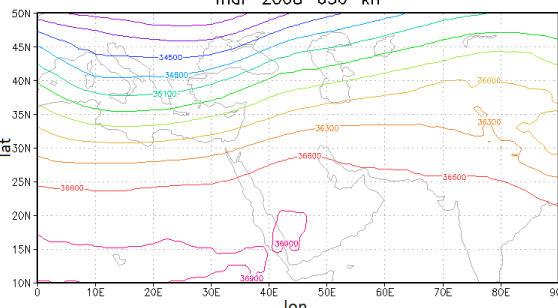
mar-2008-750-kh



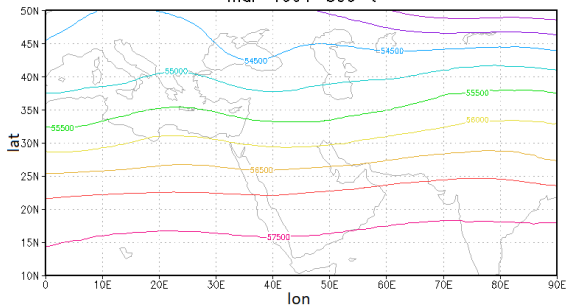
mar-1991-650-t



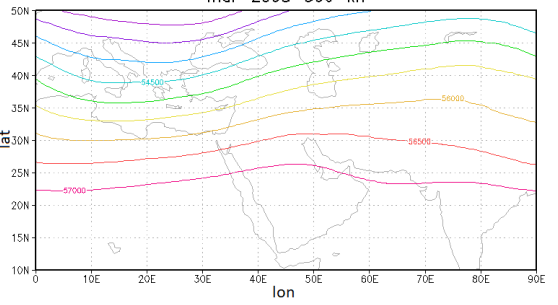
mar-2008-650-kh



mar-1991-500-t



mar-2008-500-kh



شکل ۱۴. نقشه‌های همگرایی شار رطوبتی شار اکتبر برای چهار تراز ۷۵۰، ۸۵۰، ۷۵۰ و ۶۵۰ هکتوپاسکال. پیل سمت چپ نقشه‌های همگرایی شار رطوبتی برای مارس‌های همراه با ترسالی‌های فراگیر و پیل سمت راست نقشه‌های همگرایی شار رطوبتی برای مارس‌های همراه با خشکسالی‌های فراگیر

نتیجه گیری

نظر به اینکه هدف اصلی تمامی مطالعات همدید، بررسی رابطه متقابل بین الگوهای جوی و پدیده‌های سطح زمین است، لذا در این مطالعه ابتدا براساس یک معیار فضایی، خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر ایران در سه مقیاس زمانی ماهانه، فصلی و سالانه برای یک بازه زمانی ۳۰ ساله (۱۹۸۶-۲۰۱۶) شناسایی و استخراج گردیدند. در ادامه ویژگی‌های فضایی و زمانی همگرایی شار رطوبتی در سه مقیاس زمانی مورد اشاره مورد بررسی دقیق قرار گرفتند و نتایج زیر حاصل آمدند:

نیمرخ‌های قائم شار رطوبتی برای ترازهای ۱۰۰۰ تا ۲۰۰ هکتوپاسکال برای ماه‌ها، فصل‌ها و سال‌های تر و خشک فراگیر ایران نشان دادند که ارتفاع و ضخامت لایه‌های انتقال رطوبت به داخل ایران نقش بسیار مهمی در وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر ایران دارند. به طوریکه در سال‌ها، فصل و ماه‌های تر فراگیر انتقال رطوبت به داخل ایران از سطوح پایین‌تر و با ضخامت بیشتر و در سال‌ها، فصل و ماه‌های خشک فراگیر این انتقال از سطوح بالاتر و با ضخامت کمتری انجام می‌شود. انتقال رطوبت در سطوح پایین‌تر و در یک ضخامت بیشتر باعث ایجاد ابرهای سطوح پایین (استراتوس، استراتوکومولوس و نیمواستراتوس) و انتقال رطوبت در سطوح بالاتر و در یک ضخامت کمتر باعث ایجاد ابرهای سطوح میانی (آلتوکومولوس و آلتواستراتوس) می‌شوند. ابرهای سطوح پایین همواره با باران و برف‌های سنگین و طولانی‌مدت و ابرهای سطوح میانی اکثراً با برف و باران‌های سبک و کوتاه‌مدت همراه هستند.

آرایش فضایی همگرایی شار رطوبتی در ترازهای مختلف نشان می‌دهد که تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال می‌تواند نسبت به دیگر ترازهای مورد مطالعه علت وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر را بیشتر آشکار نماید. در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال سال‌ها، فصل‌ها و ماه‌های تر فراگیر مشاهده می‌شود که یک نوار نسبتاً ممتد از همگرایی شار رطوبتی با جهت غربی-شرقی بر روی دریای مدیترانه در حد فاصل دو عرض جغرافیایی ۴۰-۳۵ به سمت شمال غرب ایران کشیده شده است. از جانب جنوب نیز یک نوار نسبتاً

گسترده و قوی از همگرایی شار رطوبتی با منبع تامین رطوبت دریای عرب با جهت جنوبی-شمالی به سمت نیمه غربی ایران امتداد پیدا کرده است. این دو نوار از همگرایی شار رطوبتی در شمال غرب ایران به هم متصل می‌شوند. اما در سال‌ها، فصل‌ها و ماه‌های خشک فراگیر تقریباً شاهد الگوهای فضایی متفاوت‌تری از همگرایی شار رطوبتی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکالی بر روی منطقه مورد مطالعه هستیم. نوار ممتد غربی-شرقی همگرایی شار رطوبتی که در ترسالی‌های فراگیر بر روی دریای مدیترانه بود در اکتبرهای خشک فراگیر به عرض‌های جغرافیایی بالاتر، حد فاصل بین ۴۰ تا ۵۰ درجه عرض جغرافیایی، نقل مکان می‌کنند. همین جابه‌جایی از عرض‌های جغرافیایی ۴۰-۳۵ به ۵۰-۴۰ درجه باعث دور شدن مسیر ورود سامانه‌های بارش‌زای دریای مدیترانه به داخل ایران می‌شود. این الگوها تقریباً با تفاوت‌های در شدت، مدت و وسعت در ماه‌ها، فصل‌ها و سال‌های مختلف دیگر قابل مشاهده است.

علت وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر ایران در فصل پاییز گسترش شمال سوی پرفشار جنب حاره ای در ترازهای مختلف جو می‌باشد. پرفشار جنب حاره ای قوی تر از نرمال در نیمه گرم سال باعث انتقال لبه شمالی این پرفشار تا عرض‌های جغرافیایی تقریباً ۵۰-۴۵ درجه شمالی می‌شود. این گسترش مکانی باعث می‌شود که در فصل پاییز این پرفشار با تاخیر زمانی زیادی که تا اواخر ماه نوامبر طول می‌کشد جو ایران را ترک و به عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر نقل مکان کند. اما در ماه‌های تر فراگیر شاهد حضور کم رنگ تر پرفشار جنب حاره ای آزرورز بر جو ایران هستیم. زمانیکه پرفشار جنب حاره ای آزرورز در دوره گرم سال ضعیف باشد توان گسترش مکانی خود تا عرض‌های جغرافیایی بالا را ندارد. لذا در این شرایط لبه شمالی آن حداکثر تا عرض‌های جغرافیایی ۴۰-۳۵ درجه گسترش می‌یابد. لذا با آغاز فصل پاییز به سرعت از جو ایران خارج و شرایط را برای عبور امواج بادهای غربی فراهم می‌کنند.

نقشه‌های ارتفاعی ترازهای مختلف جو در ماه‌های تر فراگیر فصل زمستان نشان دادند که پرفشار عربستان یک جابه‌جایی شرق سو به سمت دریای عرب داشته و این جابه‌جایی باعث عمیق شدن فرود دریای مدیترانه نیز شده

- Arabian-Iraqi desert. *Annales Geophysicae*, No2-3, pp. 190-194.
4. Behboudian, J., 2002, Nonparametric method. Payame Noor University press, Tehran, Iran.
 5. Calanca, P., A. Ohmura, 1994, Atmospheric moisture flux convergence and accumulation on the Greenland Ice Sheet. IAHS Publication, 223, pp. 76-83.
 6. Darand, M., F. Pazhoh, 2019, Vertically integrated moisture flux convergence over Iran. *Climate Dynamics*, 53, pp. 3561-3582.
 7. Darand, M., P. Pazhoh, 2019, Synoptic analysis of sea level pressure patterns and Vertically Integrated Moisture Flux Convergence VIMFC during the occurrence of durable and pervasive rainfall in Iran. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*. 86, pp. 10-17.
 8. Farajzadeh Asl, M., M. Karimi Ahmadabad, H. Ghaemi, M. R. Mobasheri, 2009, Mechanism of Water Vapor Transport in Winter Rainfall Over the West of Iran (A Case Study: 1-7 January 1996). *J Spatial Plan* 13(1): 193-217.
 9. Gao, Y., L. R. Leung, E. P. Salathé Jr, F. Dominguez, B. Nijssen, D. P. Lettenmaier, 2012, Moisture flux convergence in regional and global climate models: Implications for droughts in the southwestern United States under climate change. *Geophys. Res. Lett.*, 39, L09711, doi: 10.1029/2012GL051560.
 10. Gao, Y., L. R. Leung, Y. Zhang, L. Cuo, 2015, Changes in Moisture Flux over the Tibetan Plateau during 1979-2011: Insights from a High Resolution Simulation. *J. Climate*. Vol 28, 4185-4197, doi:10.1175/JCLI-D-14-00581.1, in press.
 11. Ghaedi, S., S. Movahedi, S. A. Masoodian, 2012, The Relation between the Red Sea Trough and Heavy Precipitation in Iran. *J Geogr Sustain Environ* 2(1): 1-18.
 12. Ghaffari, D., H. Nouri, 2016, Relative Humidity and Moisture Flux Convergence during the Dusty Days in Alvand Mountain. *Journal of Ecopersia*. Vol. 4(4): 1527-1540.
 13. Ghavidel Rahimi, Y., 2011, Drawing and analysis of atmospheric Moisture Flux Convergence (MFC) during the heavy rainfall caused by Phet tropical super cyclone in Chabahar coastal region. *J Spatial Plan* 15(2): 101-118.
 14. Hejazizadeh, Z., 1993, Synoptic study of subtropical high pressure fluctuations. Dissertation, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran.
- است. در این شرایط همزمان رطوبت دریای عرب و دریای مدیترانه به داخل ایران تزریق شده و کل مساحت ایران را تحت تاثیر خود قرار داده است. اما در خشکسالی‌های فراگیر این ماه‌ها شاهد جابه‌جایی غرب سو و شمال سوی پرفشار عربستان هستیم. در این جابه‌جایی، پرفشار عربستان در شمال غرب شبه جزیره عربستان قرار گرفته است. قرارگیری این پرفشار در این موقعیت باعث می‌شود که محور فرودهای دریای مدیترانه علاوه بر جابه‌جایی به سمت عرض‌های شمالی‌تر به سمت غرب نیز جابه‌جایی داشته باشند. لذا در این شرایط انتقال رطوبت دریای مدیترانه به عرض‌های شمالی‌تر ایران منتقل و رطوبت دریای عرب و دریای سرخ نیز به ایران منتقل نمی‌شوند.
- در بهارهای خشک فراگیر در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال جو آسیای مرکزی، خاورمیانه و شمال آفریقا تحت سیطره یک پرفشار وسیع و گسترده است. اما در ماه‌های می‌خشک فراگیر از گستردگی این کم‌فشار به شدت کم می‌شود به طوریکه بخش شرقی این پرفشار هنوز بر روی شمال آفریقا و غرب دریای مدیترانه باقی می‌ماند. اما بخش شرقی آن به طور کامل محو و به جای آن یک کم‌فشار گسترده مستقر می‌شود. اما تفاوت ماه‌های فصل بهار با دیگر ماه‌های فصل زمستان در ترازهای ۷۵۰، ۶۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال می‌باشد. در ماه‌های آوریل و می پرفشار جنب حاره‌ای گسترش فضایی زیادی به سمت عرض‌های شمالی به خود می‌گیرد و جو ایران را پایدار می‌کند. در حالیکه در ترسالی‌های فراگیر این دو ماه پرفشار جنب حاره‌ای گسترش کمتری به سمت عرض‌های شمالی داشته است. لذا جریانات غربی هنوز بر روی ایران به خصوص نیمه شمالی آن فعالیت دارند.

منابع

1. Alestalo, M., 1983, The atmospheric water budget over Europe. In: Street-Perrott, A., Beran, M., Ratcliffe, R. (eds.) Variations in the Global Water Budget. Hingham, Mass.: D. Reidel, pp. 67-79.
2. Alizadeh, A., 2012, Principles of applied hydrology. Emam Reza University press, Mashhad, Iran.
3. Alpert, P., Y. Shay-El, 1993, The paradox of the winter net moisture sink over the

- effected on super heavy rainfall in Iran. 4th International Congress of the Islamic World Geographers (ICIWG), 14-16 April, Zahedan, Iran.
26. Mckee, T. B., N. J. Doesken, J. Kleist, 1993, The relationship of drought frequency and duration to time scales. 8 Confj, Applied climatology.
 27. Mckee, T. B., N. J. Doesken, J. Kleist, 1995, Drought Monitoring with Multiple time scales. 9 Conf. Applied climatology, 15 - 20 Jan, Dallas 233 - 236 pp.
 28. Mohammadi, Z., H. Lashkari, 2018, Effects of Spatial Movement of Arabia Subtropical High Pressure and Subtropical Jet on Synoptic and Thermodynamic Patterns of Intense Wet Years in the South and South West Iran. Physical Geography Research Quarterly, 50(105), 491-509.
 29. Peixoto, J. P., 1973, Atmospheric vapor flux computations for hydrological purpose. WMO, No. 357.
 30. Pourasghar, F., H. Ghaemi, S. Jahanbakhsh, B. Sari Sarraf, 2013, Studying of moisture flux during wet and dry periods over southern part of Iran from adjacent Seas. J Clim Res 4(15): 2-16.
 31. Ramakrishna, S. S. V. S., V. B. Rao, B. R. S. Rao, D. H. Prasad, N. N. Rao, R. Panda, 2016, A study of 2014 record drought in India with CFSv2 model: role of water vapor transport. Clim Dyn, DOI 10.1007/s00382-016-3343-9.
 32. Sahin, S., M. Turkes, S. H. Wang, D. Hannah, E. Warren, 2015, Large scale moisture flux of Med Basin and relationships with drier and wetter conditions. Clim Dyn, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2015, DOI 10.1007 / s00382-015-2545-x.
 33. Tan, E., 2015, Variability in Moisture Flux Convergence Rates on Turkey. 5th International Conference on Meteorology and Climatology of the Mediterranean.
 34. Wei, J., H. Su, Z. L. Yang, 2015, Impact of moisture flux convergence and soil moisture on precipitation: a case study for the southern United States with implications for the globe. Clim Dyn, DOI 10.1007/s00382-015-2593-2.
 35. Zangeneh, S., H. Lashkari, M. Moradi, 2015, Synoptic analysis of Saudi pressure and effect on drought the South and South West of Iran. Geography and Sustainability of Environment, 5(15), 17-31.
 36. <https://www.ecmwf.int/>
 15. Karimi Ahmad Abad, M., 2007, Analysis of the moisture supplying sources for Iran's precipitation. Dissertation, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran.
 16. Karimi, M., M. Farajzadeh, 2012, Moisture flux and spatial -temporal patterns of moisture supply resources in precipitation of Iran. J Appl Res Geogr Sci 11(22): 109-127.
 17. Karimi, M., F. Noruzi, M. Jafari, F. Khoshakhlagh, A. Shamsipour, 2022, Arabian anticyclone's spatial variations at 850 hPa simultaneously with precipitation of October to March in Iran. Physical Geography Research Quarterly, 53(4), 509-529.
 18. Lashkari, H., A. Matkan, M. Azadi, Z. Mohammadi, 2017, Synoptic analysis of Arabian subtropical high pressure and subtropical jet Stream in shortest period of precipitation in South and South West of Iran. Environmental Sciences, 14(4), 59-74).
 19. Liu, J., C. Han-Ru, E. S. Ronald, 2002, Characteristics of the water vapour transport over the Mackenzie river basin during the 1994/95 water year. Atmosphere-Ocean, 40:2, 101-111, DOI: 10.3137/ao.400202.
 20. Mahmoudi, P., T. Tavousi, S. Kordi Tamandani, 2022, Identifying patterns of Synoptic Anomalies Resulting in Pervasive Droughts and Wet periods in Iran. Physical Geography Research Quarterly, doi: 10.22059/jphgr.2022.267431.1007286.
 21. Mahmoudi, P., M. Khosravi, S. A. Masoodian, B. Alijani, 2012, Synoptic Anomalies Resulting in Pervasive Frosts in Iran. Journal of Geography and Environmental Hazards, 1(1), 1-17.
 22. Malik, K. M., P. A. Taylor, 2011, Characteristics of Moisture Flux Convergence over the Mackenzie River Basin for Water Years 1991-2008. Atmosphere-Ocean, 49:3, 279-288, DOI: 10.1080/07055900.2011.609528.
 23. Malik, K. M., P. A. Taylor, K. Szeto, 2015, Characteristics of moisture flux convergence in Central Southwest Asia. Theor Appl Climatol, Springer-Verlag, DOI: 10.1007/s00704-014-1192-1.
 24. Masoodian, S. A., 1998, Investigation of the system of temporal-spatial variations of precipitation in Iran. Dissertation, University of Isfahan, Isfahan, Iran.
 25. Masoodian, S. A., B. Mahammadi, 2010, The analysis of frontogenesis frequency