

بررسی دوره‌های خشک و تر تهران (مهرآباد) با استفاده از مدل زنجیره مارکوف و تحلیل‌های سینوپتیک

دکتر پرویز کردوانی

استاد گروه جغرافیای دانشگاه تهران

دکتر حسین محمدی

دانشیار گروه جغرافیای دانشگاه تهران

مژگان افشار

دانشجوی دکتری جغرافیای طبیعی (اقلیم شناسی) از دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

چکیده

به منظور تحلیل و پیش‌بینی آماری و سینوپتیکی دوره‌های خشک و تر تهران طی دوره سرد، روزهای بارش با بارش ۰/۱ میلی متر و بیشتر ایستگاه مهرآباد به عنوان روزهای مرطوب طی دوره آماری ۲۰۰۴-۱۹۸۵ به صورت روزانه انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت. جهت تعیین دوره‌های خشک و تر از مدل زنجیره مارکوف مرتبه دوم استفاده گردید. ابتدا فراوانی روزهای بارانی و خشک بر اساس تداوم آن‌ها گروه بندی و فراوانی هر کدام از توالی‌ها به صورت مجزا مطالعه گردید. سپس احتمال وقوع هر یک از توالی‌ها به صورت ماهانه و شش ماهه سرد محاسبه گردید.

حداکثر فراوانی روزهای بارانی ۵۱ روز و حداقل آن ۲۵ روز در سال است. ماه مارس با ۱۸۸ روز و ماه اکتبر با ۸۱ روز بارش به ترتیب بیشترین و کمترین فراوانی را دارا بوده اند. سال ۱۹۹۵ به عنوان خشک‌ترین و سال ۱۹۹۶ مرطوب‌ترین سال در طول دوره آماری منطقه بوده اند. پس از تعیین توالی‌ها بررسی الگوهای فشار موثر در ایجاد بارش در روزهای ۲۷ الی ۳۰ نوامبر و ۱ تا ۷ دسامبر ۲۰۰۳ به عنوان طولانی‌ترین دوره بارش منطقه و همچنین بارش روزهای ۱۰ الی ۱۳ دسامبر ۱۹۹۵ به عنوان یک دوره ۴ روزه مرطوب در خشک‌ترین سال دوره مطالعاتی مورد تجزیه و تحلیل سینوپتیکی قرار گرفته است. بدین منظور از نقشه‌های فشار سطح دریا و ۵۰۰ هکتوپاسکال همچنین نقشه‌های جهت و سرعت باد و نم ویژه در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال استفاده شده است.

مقایسه فراوانی توالی‌های پیش‌بینی شده با فراوانی توالی‌های مشاهده شده دقت مدل زنجیره مارکوف را در پیش‌بینی توالی‌های خشک و تر منطقه تهران که ناهماهنگی شدید بارش دارند نشان داد.

در بررسی سینوپتیکی از نقشه‌های هوا در سطوح ۵۰۰ هکتوپاسکال و سطح دریا و همچنین جهت و شدت باد و نم ویژه در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال مشخص گردید که مهم‌ترین منبع رطوبتی ایران دریای سرخ و خلیج عدن بوده است که توام شدن این منابع رطوبتی با خلیج فارس و پشته عربستان موجب انتقال بیشتر رطوبت به داخل ایران و تهران شده است.

مقدمه

موضوع خشکسالی آمیخته‌ای از علم و هنر است و هیچ تعریف واحدی از خشکسالی برای تمام موقعیت‌ها به کار نمی‌رود. بنابراین مردم شاخص‌های مختلفی را در نظر می‌گیرند تا خشکسالی‌ها را مورد تحقیق و اندازه‌گیری قرار دهند (Meryland department of the environment, 2005). در یک تعریف جامع، خشکسالی به‌عنوان یکی از مخاطرات طبیعی، عبارتست از: کاهش غیر منتظره بارش در مدتی معین در منطقه‌ای که لزوماً خشک نیست (علیجانی و کاویانی، ۱۳۷۴: ۲۵۸).

شرایط جغرافیایی کشور نشان می‌دهد که توزیع زمانی و مکانی بارندگی نامنظم و تا حدودی غیر قابل پیش‌بینی است. حجم قابل توجهی از نزولات جوی به دلیل کمی پوشش گیاهی به صورت جریان‌های سیلابی از دسترس خارج می‌شود که نه تنها معضلات کمبود آب را موجب می‌گردد بلکه موجب تخریب زمین‌های کشاورزی نیز می‌گردد. در زمان‌های کمی بارش همچنین تأثیرات خود را به گونه‌ای دیگر از جمله کم‌آبی‌ها و خشکسالی‌ها جلوه‌گر ساخته است.

خشکسالی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین بلایای طبیعی در جهان و ایران توانسته است اثرات مخربی بر بخش‌های مختلف اقتصادی کشور از جمله صنعت، خدمات، کشاورزی و همچنین اجتماعی و سیاسی داشته باشد. در مناطقی که شرایط خشکی حاکم است (آب و هوای خشک دارد) پدیده خشکسالی به طور مکرر اتفاق می‌افتد به عبارت دیگر، تعداد سال‌های خشک (کم بارش) بیشتر از تعداد سال‌های مرطوب با بارش بیش از شرایط معمول می‌باشد (کردوانی، ۱۳۸۰: ۱۷). حال با توجه به این که تهران در منطقه‌ای قرار دارد (شکل ۱) که شرایط خشکی بر آن حاکم است این پدیده به وضوح خود نمایی می‌کند. بنابراین شناخت تغییرات بارش در این منطقه از مهم‌ترین موارد مطالعات اقلیمی است و با شناخت قانونمندی‌های حاکم بر هر دو پدیده بالاخص خشکسالی و اتخاذ روش‌های مناسب می‌توان خسارت این بلای طبیعی را کاهش داد.

در بررسی‌های به عمل آمده در این مقاله مشاهده شده است که ۱۲ سال آماری از مجموع دوره مطالعاتی منطقه تهران بارشی کم‌تر از حد نرمال را تجربه کرده است که این امر موجب گردیده پدیده خشکسالی به‌عنوان اساس تحقیق مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به فراوانی روزهای بارش به‌عنوان پارامتر مهم بالاخص در امر کشاورزی نسبت به مقدار بارش سعی گردید از روش "زنجیره مارکوف مرتبه دوم" که یکی از متداول‌ترین و مناسب‌ترین روش‌ها جهت بررسی فراوانی توالی‌های بارش است استفاده نمود. همچنین با استفاده از نقشه‌های سینوپتیکی به تحلیل وضعیت هوای منطقه پرداخته شده است.

در این مدل احتمال وقوع یک حالت اقلیمی در زمان t بر اساس وضعیت آن در زمان قبل ($t-1$) پیش‌بینی می‌شود (علیزاده، ۱۳۸۲: ۲۸۸). اولین کاربرد مدل زنجیره‌ای مارکوف به وسیله گابریل و نیومن (Gabriel & Newmann, 1950, 90) برای پیش‌بینی روزهای بارش تل آویو صورت گرفته است. پایداری دوره‌های خشک و تر $uccl$ بلژیک با استفاده از بارش روزانه ۷۵ سال توسط Goossens & Berger, ۱۹۸۱، (۲۱) بدین وسیله انجام شده است. بارش‌های روزانه کره جنوبی و وابستگی آن‌ها به روز قبل توسط محققینی چون (Eullmoon, Ryoo & Gikwoon, 1993, 1009) بررسی شده است و ارتباط فراوانی بارش منطقه با سیکلون‌های برون حاره‌ای همراه با جبهه‌های هوا مشخص شده است. عنصر بارش به صورت روزانه در ایالت پنسیلوانیا به روش مارکوف طی دوره آماری ۱۹۳۰-۶۹ به وسیله (Katz, 1997, 671) بررسی و مطالعه شده است. در ارتباط با بررسی دوره‌های خشک ۱۹۵۸-۱۹۹۷ با استفاده از روش زنجیره‌ای مرتبه دوم مارکوف می‌توان به تجزیه و تحلیل‌های فضایی و زمانی دوره‌های خشک یونان اشاره نمود (Anagnostopoulou et

71, 2003, al). پیش‌بینی تغییرات کوتاه مدت یخچال‌های قطب جنوب تحقیق دیگری است که توسط (Chen & Yuan, 2004, 3156) انجام شده است.

از دیگر پژوهش‌های انجام شده در رابطه با خشکسالی و علل آن می‌توان به تاثیر حداقل فشار اتمسفری بر روی خشکی هوا در تابستان یونان طی ماه‌های ژوئن، ژوئیه و اوت به وسیله (Maheras, 1987, 171) اشاره نمود. (Sittle, 1994) برای مطالعه خشکسالی‌ها و علل ایجاد آن به ناهنجاری‌های SST در آمریکای شمالی اشاره داشته است (Sud et al, 2003, 3961) و (Youhang, 2002, 945-946) نیز به بررسی ارتباط این پدیده با خشکسالی اکلاهما و تگزاس پرداخته است. بررسی حوادث فوق‌العاده بارش در جنوب شرقی آمریکای جنوبی و ارتباط آن با الگوهای همرفتی در منطقه همگرایی آتلانتیک جنوبی (SACZ) توسط (Chravalho, 2002, 2377) صورت گرفته است.

بررسی ارتباط ناهنجاری قوی در سیستم فشار زیاد در مرکز قاره اروپا و آسیا با خشکسالی ۲۰۰۱ فصل بهار شرق آسیا از قبیل شبه جزیره کره به‌وسیله (Kimin et al, 2003, 223) انجام شده است. خشکسالی بخش میانی دره ابرو (Ebro) (شمال شرقی اسپانیا) تحقیقی است که توسط (Vicent, 2003, 1103) مورد بررسی قرار گرفته است. (Berbet et al, 2003, 2099) به کاهش بارش دربرزیل ناشی از جنگل‌زدایی جهت کشاورزی اشاره داشته است.

(Mullan, 1995) کاهش بارش در فصل بهار استرالیا را در ارتباط با پدیده ال نینو و رابطه آن با نوسانات میانگین فشارسطح دریا (SSLP) مورد بررسی قرار داده است (Fowler et al, 2004, 949). (Natale et al, 2004, 2015) به پیش‌بینی بارش فصلی در شرق آفریقا پرداخته است. تنوع بارش سالانه و فصلی نواحی خشک نیم‌کره شمالی توسط (Shi & Chen, 2004, 1483) مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته است.

از تحقیقات انجام شده در ایران می‌توان به محاسبه احتمال تواتر دوره‌های خشک و تر بابلسر با استفاده از روش مارکوف توسط (مشکاتی، ۱۳۶۲: ۳۷) اشاره نمود. (جعفری بهی، ۱۳۷۸) دوره‌های خشک و تر ایستگاه‌های مختلف کشور را طی فصول مرطوب محاسبه نموده است. استفاده از روش مارکوف در تجزیه و تحلیل داده‌های بارش روزانه ۲۶ ایستگاه جهت ارزیابی قابلیت‌های محیطی کشت گندم دیم توسط (مظفری، ۱۳۸۰) و تحلیل و پیش‌بینی بارش‌های لارستان با استفاده از این مدل توسط (علیجانی، جعفرپور و قادری، ۱۳۸۴: ۱) انجام شده است. (حجازی زاده، ۱۳۸۴) نیز از این روش در تعیین دوره‌های خشک کوتاه مدت خراسان استفاده کرده است. از دیگر مطالعات انجام شده می‌توان به تحقیق (محمدی و شمسی پور، ۱۳۸۲: ۱۱۵) در ارتباط با تاثیر خشکسالی‌های سال‌های ۷۹-۱۳۷۷ بر افت منابع آب زیر زمینی دشت‌های شمال همدان اشاره نمود. همچنین پیش‌بینی خشکسالی‌های تهران با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی توسط (کیارش باقرزاده، ۱۳۸۴) انجام گردیده است. (رضیی و همکاران، ۱۳۸۱: ۷۱) نیز الگوهای توزیع بارش‌های کوتاه مدت در استان تهران مورد مطالعه و بررسی قرار داده است. ارزیابی و پایش روزانه خشکسالی در استان تهران با استفاده از دو شاخص خشکسالی موثر EDI و دهک DI به‌وسیله (مقدسی، ۱۳۸۱) انجام شده است.

داده‌ها و روش کار

الف-تحلیل آماری

به منظور دسترسی به اهداف تحقیق، آمار بارش ایستگاه مهرآباد (تهران) در دوره آماری (۲۰۰۴-۱۹۸۵) به صورت روزانه از سازمان هواشناسی کل کشور و سازمان تماپ تهیه شد. در این تحقیق روزهای با بارش

۰/۱ میلی‌متر و بیشتر به‌عنوان روز بارانی در نظر گرفته شدند. سپس توالی‌های خشک و مرطوب ۱ تا ۷ روزه شمارش و شناسایی شدند. تا پس از تجزیه و تحلیل‌های انجام شده بر روی آن‌ها با استفاده از فرمول‌های مارکوفی بتوان به پیش‌بینی دوره‌های خشک و مرطوب و درصد احتمالاتی آنان در منطقه‌ای ناهمگون از نظر بارش همچون مهرآباد پرداخت. جهت تحقیق مورد نظر احتمال وقوع هر یک از توالی‌های بارش بر اساس مدل مرتبه دوم زنجیره مارکوف دو حالت در مقیاس‌های ماهانه و شش ماهه سرد به این شرح محاسبه و پیش‌بینی شد:

ابتدا ماتریس‌های احتمالات انتقالی مرتبه اول و دوم دو حالت زنجیره مارکوف مشخص و فراوانی هر یک از این زنجیره‌ها به صورت مجزا تعیین شد. برازش مدل مارکوف بر داده‌ها با آلفای ۰/۰۵ و با استفاده از آزمون کای اسکوئر (Chi-Square) انجام شد. احتمالات شرطی عناصر ماتریس زنجیره مارکوف به ترتیب در جداول زیر آماده است. در این ماتریس‌ها نماد ۱ روز بارانی و نماد ۰ روز خشک را نشان می‌دهد. به‌عنوان نمونه نماد ۱۰ یعنی امروز بارانی ولی فردا خشک است. احتمالات شرطی هر کدام از این عناصر ماتریس به این شرح محاسبه شد:

$$P01=n01/(n01+n00)$$

$$p11=n11/(n11+n10)$$

$$P00=1-p0$$

$$P10=1-p11$$

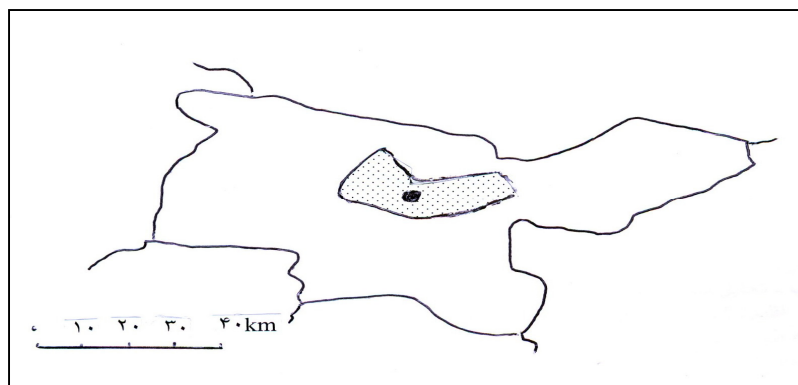
جهت آزمون برازش زنجیره مارکوف مرتبه دوم دو حالت بر سری داده‌ها ضریب همبستگی تاخیر اول سری زمانی به این صورت محاسبه شد:

$$r_1=p11-p01$$

بر اساس آزمون کای اسکوئر با آلفای ۰/۰۵ معنی دار بودن ضریب همبستگی تعیین و پیش‌بینی توالی‌های بارش در مقیاس‌های ماهانه و شش ماهه سرد از رابطه زیر انجام گردید:

$$Wm= 1+[N-m] (p01)(p10) (1-p10)^{m-1}/(p01) + (p10)$$

در این فرمول w_m تعداد دوره مرطوب m روزه در یک دوره معین، N تعداد کل روزهای دوره (ماه، شش ماهه سرد)، $p01$ و $p10$ عناصر ماتریس احتمال انتقال زنجیره مارکوف در (دوره) مورد بررسی می‌باشند. در شمارش فراوانی زنجیره‌ها هر ماه به طور جداگانه و دوره شش ماهه سرد از مجموع سه ماهه آخر هر سال (اکتبر، نوامبر و دسامبر) به همراه سه ماهه اول سال بعد (ژانویه، فوریه و مارس) به‌عنوان دوره مطالعاتی در هر سال جداگانه شمارش گردید.



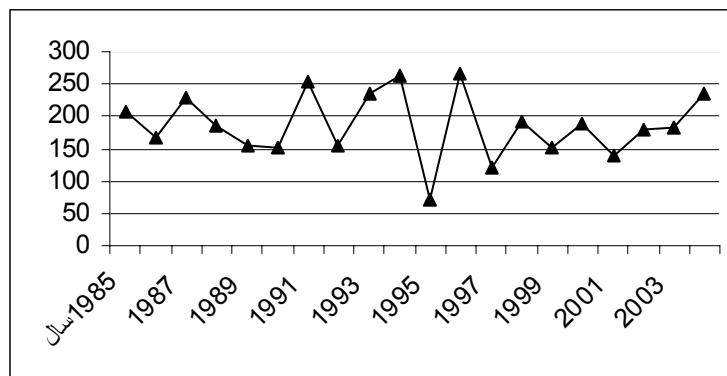
شکل ۱- موقعیت شهرستان تهران در استان

ب - تحلیل سینوپتیکی

اقلیم یک مکان معین صرفاً تحت تاثیر بودجه تابشی و رطوبتی محلی قرار نمی‌گیرد. بلکه به طور قطع از پدیده فرا رفت متاثر می‌گردد. بدین ترتیب بودجه گرما و رطوبت یک مکان معین ارتباط نزدیکی با حالت گردش عمومی جو در آن منطقه خواهد داشت (مفیدی، ۱۳۸۴: ۳۱). بر این اساس در تعیین الگوهای فشار موثر بر بارش‌های ۷ و ۴ روزه در تهران از نقشه‌های سینوپتیکی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و فشار سطح دریا، سرعت و جهت باد و نم ویژه ساعت ۱۲ گرینویچ در سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال از طریق NCCP/NCAR برای روزهای ۲۷-۳۰ نوامبر و ۷-۱۰ دسامبر ۲۰۰۳ و همچنین روزهای بارانی ۱۰ الی ۱۳ دسامبر ۱۹۹۵ استفاده گردید. بررسی نقشه‌های جهت و سرعت باد در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال ساعت ۱۲ گرینویچ طی روزهای نامبرده الگوی مناسبی را جهت انتقال منابع رطوبتی به کشور ایران از جمله تهران نشان می‌دهد.

مقدار بارش

شکل ۲ نمودار تغییرات بارش مهرآباد را در شش ماهه سرد سال نشان می‌دهد بر اساس نتایج به دست آمده حداقل و حداکثر بارش به ترتیب مربوط به سال‌های ۱۹۹۵ و ۱۹۹۶ برابر ۷۰/۵ و ۲۶۵/۵ میلی‌متر بوده است. همچنین شدت بارش در سال‌های نامبرده به ترتیب برابر ۳/۰۶ و ۵/۶۴ میلی‌متر است. میانگین بارش سالانه برابر ۱۸۵/۹۶ میلی‌متر به دست آمده است.



شکل ۲ - نمودار بارش شش ماهه سرد مهرآباد

دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۰۴

افشار، ۱۳۸۵

فراوانی و شدت روزهای بارش

در دوره مطالعاتی ۸۵۵ روز بارانی وجود دارد (جدول ۱). بیشترین فراوانی ماهانه روزهای بارش با (۱۸۸ روز) مربوط به ماه مارس و کمترین فراوانی برابر با (۸۱ روز) بارش متعلق به ماه اکتبر بوده است. بیشترین فراوانی بارش در شش ماهه سرد ۵۱ روز و کمترین آن ۲۳ روز در سال بوده است. متوسط بارش کل دوره آماری ۴۲/۷۵ روز است. حداکثر شدت بارش برابر ۵/۳۶ میلی‌متر مربوط به ماه مارس و حداقل آن برابر ۲/۸۷ میلی‌متر مربوط به اکتبر بوده است. جدول ۲ فراوانی توالی‌های ماهانه و شش ماهه سرد را به تفکیک نشان می‌دهد. همچنان که در جدول ۲ مشخص است ماه مارس بیشترین توالی‌های مرطوب ۱ تا ۴ روزه را داشته است در حالی که ماه اکتبر روزهای متوالی با بارش کمتری را در مقایسه با سایر ماه‌ها سپری کرده است.

جدول ۱- فراوانی بارش و متوسط بارش، فراوانی و شدت بارش مهرآباد

ماه	فراوانی بارش	میانگین بارش	متوسط فراوانی بارش	متوسط شدت بارش
ژانویه	۱۴۹	۳۲/۵۲	۷/۴۵	۴/۳۷
فوریه	۱۴۳	۳۱/۰۳	۷/۱۵	۴/۳۸
مارس	۱۸۸	۵۰/۴۱	۹/۴	۵/۳۶
اکتبر	۸۱	۱۱/۲۴	۴/۰۵	۲/۸۷
نوامبر	۱۲۸	۲۴/۴۲	۶/۴	۳/۸۲
دسامبر	۱۶۶	۳۶/۳۳	۸/۳	۴/۳۷
زمستان	۴۸۰	۱۱۳/۹۶	۲۴	۴/۷۵
پاییز	۳۷۵	۷۲	۱۸/۷۵	۳/۸۴
شش ماهه سرد	۸۵۵	۱۸۵/۹۶	۴۲/۷۵	۴/۳۲

افشار، ۱۳۸۵

پیش‌بینی دوره‌های خشک و مرطوب

با توجه به این که تهران در منطقه آب و هوایی خشک و نیمه خشک واقع است از یک طرف و همچنین به دلایل سیاسی، اقتصادی و اجتماعی خاصی که در منطقه حاکم است از قبیل پروازهای هوایی متعدد در یک روز، استفاده از منابع آبی در نیروگاه‌های برق، استفاده از سموم در امر کشاورزی و... که هر یک به نوعی وابستگی شدید به امر هواشناسی و اقلیمی منطقه داشته این ضرورت ایجاد می‌شود که بتوان با استفاده از روشی مناسب به پیش‌بینی دوره‌های خشک و مرطوب پرداخت تا اقدامات لازم صورت پذیرد. به همین دلیل ابتدا ماتریس زنجیره مارکوف در جدول ۲ تهیه شده است. در این جدول مشاهده می‌شود که به طور کلی توالی‌های مرطوب روزهای کمی را در مقایسه با روزهای خشک به خود اختصاص داده‌اند و توالی‌های ۳ و ۴ روزه نیز نسبت به دیگر توالی‌های مرطوب بسیار کم‌تر می‌باشند و این امر اثبات می‌کند که تهران منطقه‌ای خشک به حساب می‌آید.

جدول ۲ - فراوانی توالی‌های ۱ تا ۴ روزه مهرآباد

ماه	ژانویه	فوریه	مارس	اکتبر	نوامبر	دسامبر	شش ماهه سرد
پارامتر							
۰۱	۸۰	۷۸	۹۱	۴۵	۶۲	۷۳	۴۲۵
۱۰	۸۱	۸۳	۹۶	۳۹	۶۳	۸۱	۴۲۳
۰۰	۳۷۲	۳۳۹	۳۲۴	۴۸۳	۳۹۵	۳۶۷	۲۲۲۱
۱۱	۷۲	۵۹	۹۴	۳۸	۶۰	۸۴	۳۸۹
۰۰۰	۳۰۲	۲۶۵	۲۳۷	۴۳۵	۳۲۷	۲۹۵	۱۸۵۲
۰۰۱	۶۷	۵۸	۷۳	۴۰	۵۵	۵۶	۳۵۶
۰۱۰	۳۶	۴۴	۳۷	۱۴	۲۷	۲۹	۱۹۹
۰۱۱	۳۷	۳۲	۵۰	۲۴	۳۳	۴۰	۲۲۳
۱۰۰	۶۵	۶۷	۷۵	۲۹	۵۱	۶۳	۳۵۲
۱۰۱	۹	۱۴	۱۴	۴	۶	۱۶	۶۸
۱۱۰	۳۸	۳۴	۵۵	۲۳	۳۰	۴۸	۲۲۴
۱۱۱	۲۸	۲۲	۴۱	۱۳	۲۵	۳۵	۱۶۵
۰۰۰۰	۲۳۱	۱۹۸	۱۷۶	۳۷۸	۲۷۱	۲۴۲	۱۵۹۸
۱۱۱۱	۱۳	۱۱	۱۶	۶	۹	۲۲	۸۶

افشار، ۱۳۸۵

جدول ۳، درصد ایام خشک و مرطوب و متوسط فراوانی‌های روزهای خشک و مرطوب تهران را نشان می‌دهد. و همچنان که در جدول ۴ مشاهده می‌شود مقایسه فراوانی پیش‌بینی شده توالی‌ها از مدل زنجیره مارکوف با فراوانی واقعی آن‌ها نشان می‌دهد که دقت مدل مارکوف در پیش‌بینی توالی‌ها مناسب است و با استفاده از این روش می‌توان توالی‌های خشک و مرطوب منطقه‌ای چون تهران را با دارا بودن بی‌نظمی‌های بارش پیش‌بینی نمود. جهت اثبات این موضوع فراوانی‌های مشاهده شده و پیش‌بینی شده با استفاده از آزمون کای اسکوئر (Chi-Square) با آلفای ۰/۵ مقایسه گردید و چون محاسبات انجام شده از محاسبات جدول بزرگ‌تر بود مطابقت مقادیر اثبات گردید و فرض این که بارندگی‌های تهران تداوم مرتبه دوم دارند تایید گردید.

جدول ۳ - احتمالات خشک و مرطوب مهرآباد

پارامتر	درصد ایام خشک	درصد ایام مرطوب	فراوانی متوسط روزهای خشک	فراوانی متوسط روزهای مرطوب
ماه				
ژانویه	۰/۷۵	۰/۲۵	۲۳/۲۵	۷/۷۵
فوریه	۰/۷۶	۰/۲۴	۲۲/۰۴	۶/۹۶
مارس	۰/۷۰	۰/۳۰	۲۱/۷	۹/۷
اکتبر	۰/۸۶	۰/۱۴	۲۶/۸	۴/۲
نوامبر	۰/۷۹	۰/۲۱	۲۳/۷	۶/۳
دسامبر	۰/۷۵	۰/۲۵	۲۳/۳	۷/۷
شش ماهه سرد	۰/۷۷	۰/۲۳	۱۴۰/۱	۴۱/۹

افشار، ۱۳۸۵

جدول ۴ - مقایسه فراوانی‌های پیش‌بینی شده توالی‌ها از مدل زنجیره مارکوف با فراوانی واقعی آن‌ها

پارامتر	فراوانی‌های مشاهده شده							فراوانی‌های پیش‌بینی شده						
	روزه ۱	روزه ۲	روزه ۳	روزه ۴	روزه ۵	روزه ۶	روزه ۷	روزه ۱	روزه ۲	روزه ۳	روزه ۴	روزه ۵	روزه ۶	روزه ۷
ماه														
ژانویه	۸۰	۷۲	۲۸	۱۳	۳	۱	۰	۸۴/۵	۳۷/۶	۱۷/۵۹	۸/۳	۳/۷	۱/۶	۰/۷۹
فوریه	۷۸	۵۹	۲۲	۱۱	۴	۱	۰	۷۹/۱۷	۳۲/۸۷	۱۳/۶۴	۵/۵۱	۱/۵۷	۰/۹۴	۰/۳۹
مارس	۹۱	۹۴	۴۱	۱۶	۹	۴	۲	۹۳/۴	۴۵/۹۲	۲۳/۹۲	۱۱/۴۴	۵/۴۸	۲/۷۴	۰/۹۱
اکتبر	۴۵	۳۸	۱۳	۶	۲	۰	۰	۴۱/۸	۲۰/۶۸	۱۰/۲	۵/۸	۲/۱	۰/۸	۰/۴
نوامبر	۶۲	۶۰	۲۵	۹	۵	۱	۰	۵۵/۵	۳۰/۲	۱۴/۷	۷/۲	۳/۱۱	۱/۲	۰/۸
دسامبر	۷۳	۸۴	۳۵	۲۲	۱۰	۴	۲	۷۴/۶۷	۳۸/۱	۱۹/۴	۹/۸	۳/۳	۲/۵	۱/۳
شش ماهه سرد	۴۲۵	۳۸۵	۱۶۵	۸۰	۳۶	۱۵	۷	۴۳۰/۸	۲۱۱/۹	۱۰۴/۵	۴۸/۷	۲۲/۹۳	۱۰/۱	۷

افشار، ۱۳۸۵

در تحلیل‌های سینوپتیکی همچنان که قبلا اشاره گردید از نقشه‌های سینوپتیکی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و فشار سطح دریا، سرعت و جهت باد و نم ویژه ساعت ۱۲ گرینویچ در سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال برای روزهای ۲۷-۳۰ نوامبر و ۷-۱۰ دسامبر ۲۰۰۳ و همچنین روزهای بارانی ۱۰ الی ۱۳ دسامبر ۱۹۹۵ استفاده گردید.

۲۷ نوامبر ۲۰۰۳ روز قبل از شروع بارش

در نقشه تراز بالا مشاهده می‌گردد که کنتور بسته‌ای با فشار مرکزی ۵۶۵۰ میلی‌بار بر روی شرق ترکیه و استان آذربایجان غربی شکل گرفته است و فرود ضعیفی در نیمه غربی ایران و عراق وجود دارد (۳a). زبانه کم‌فشاری در غرب ایران و همچنین غرب و جنوب غربی دریای سرخ و غرب شبه جزیره عربستان جهت ایجاد ناپایداری مستقر می‌باشد. پرفشار سبیری بر روی دریاچه آرال و شرق کوه‌های اورال با فشار مرکزی ۱۰۳۰ هکتوپاسکال قرار گرفته است. به طور کلی ناوه مستقر در خاورمیانه اثر چندانی بر روی صعود دینامیکی در سطح زمین ندارد (۳b). استقرارهسته سرعت بر روی عربستان (۳c) در حال آماده شدن جهت انتقال رطوبت به داخل ایران با جهات غربی و جنوب غربی می‌باشد (۳d).

۲۸ نوامبر

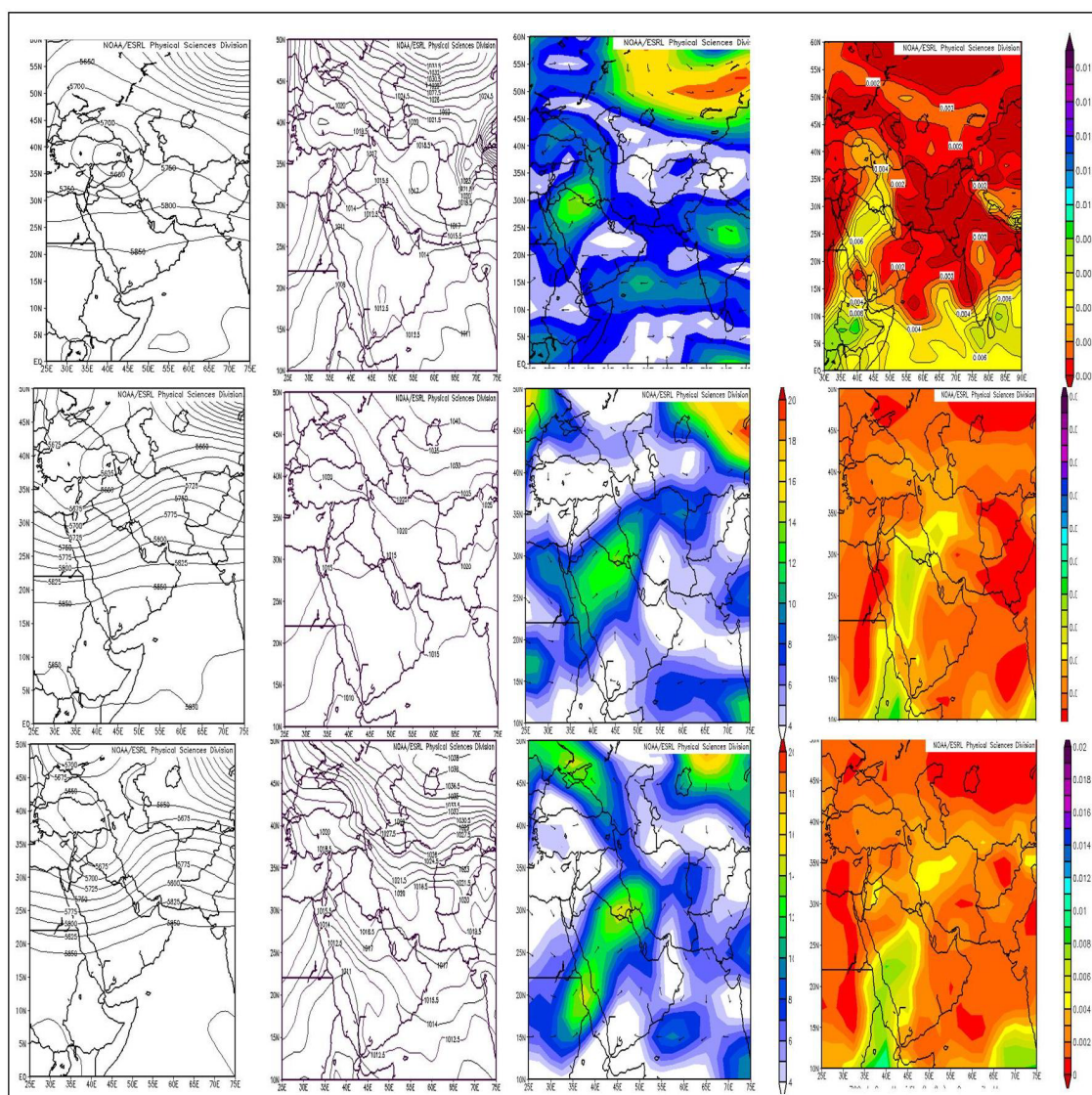
در نقشه تراز بالا تراف ضعیفی بر روی دریای سرخ شکل گرفته است و ناوه عمیقی با کنتور بسته ۵۶۲۵ میلی‌بار از شمال دریای خزر به سمت شمال غرب ایران، قفقاز و شرق ترکیه کشیده شده است و حداکثر تاوایی و به تبع آن ناپایداری بر روی محدوده شمال غرب ایران تا غرب وجود داشته است. (۳e) زبانه کم‌فشاری در جنوب غرب ایران تا نواحی کهکیلویه و بویراحمد و خوزستان پیشروی کرده است. مرکز پرفشار مستقر بر روی دریاچه آرال در عین قوی‌تر شدن نسبت به روز گذشته کمی به سمت شرق متمایل شده است (۳f) فرود واقع در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال موجب پیدایش جریانات جنوب غربی در نواحی غربی کشور همچنین تهران شده است (۳g) نقشه نم ویژه نشانگر هسته رطوبتی نسبتا خوبی برابر ۵ گرم بر کیلوگرم بر روی دریای سرخ و خلیج عدن بوده که به وسیله جریانات چرخندی موجب انتقال رطوبت به تهران گردیده است (۳h).

۲۹ نوامبر

نقشه سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال نشانگر فرود بریده عمیقی به طرف جنوب در ناحیه شمال غرب ایران بوده است. ناوه عمیقی بر روی خاورمیانه با محور شمال شرق - جنوب غرب نواحی غربی و مرکزی ایران را تحت تاثیر خود قرار داده. با حرکت پرفشار سبیری به طرف شرق دریاچه آرال از اثر جریانات شمالی بر روی ایران کاسته شده و موجب کاهش فشار در این منطقه گردیده است (۳i). در نقشه سطح زمین کنتور کم ارتفاع ۱۰۱۱ میلی‌بار بر روی دریای سرخ با دو زبانه یکی به طرف خلیج فارس و دیگری به سمت شرق مدیترانه توسعه یافته است. شیب فشار زیاد سبیری تشدید جریانات شمالی را در بخش‌های شمال شرقی ایران به همراه داشته است (۳j). در نقشه تراز ۷۰۰ جریانات هوایی مشاهده می‌گردد که هسته سرعت باد با قدرت بیشتری نواحی جنوب شرقی عراق و غرب ایران را تحت تاثیر خود قرار داده و منجر به ایجاد جریانات جنوب غربی در این نواحی گردیده است (۳k). با استقرار منبع رطوبتی برابر ۸ گرم بر کیلوگرم بر روی عربستان استان تهران توانسته است رطوبتی برابر ۴ گرم بر کیلوگرم را دریافت نماید (۳l).

۳۰ نوامبر

حرکت ناوه به طرف شرق توام با کاهش عمق در محدوده عربستان و دریای سرخ و عمق بیشتر در خلیج فارس همراه بوده است. فرود بریده واقع در شمال غرب ایران گسترش مداری خود را تا نواحی آذربایجان و غرب خزر داشته است (۴a). در تراز پایین منحنی فشار ۱۰۱۵ میلی بار دریای سرخ جنوب ایران را تحت تاثیر خود قرار داده و آنتی سیکلون واقع در دریاچه آرال جریانات شرقی را بر روی خزر ایجاد نموده است (۴b). حرکات چرخندی دریای سرخ و خلیج عدن با جهت جنوب غربی نیمه غرب و جنوب غربی نواحی شرقی ایران را تحت تاثیر قرار داده (۴c) و با انتقال منابع رطوبتی مناطق آبی مذکور بارش خوبی را به خصوص در استان تهران داشته است (۴d).



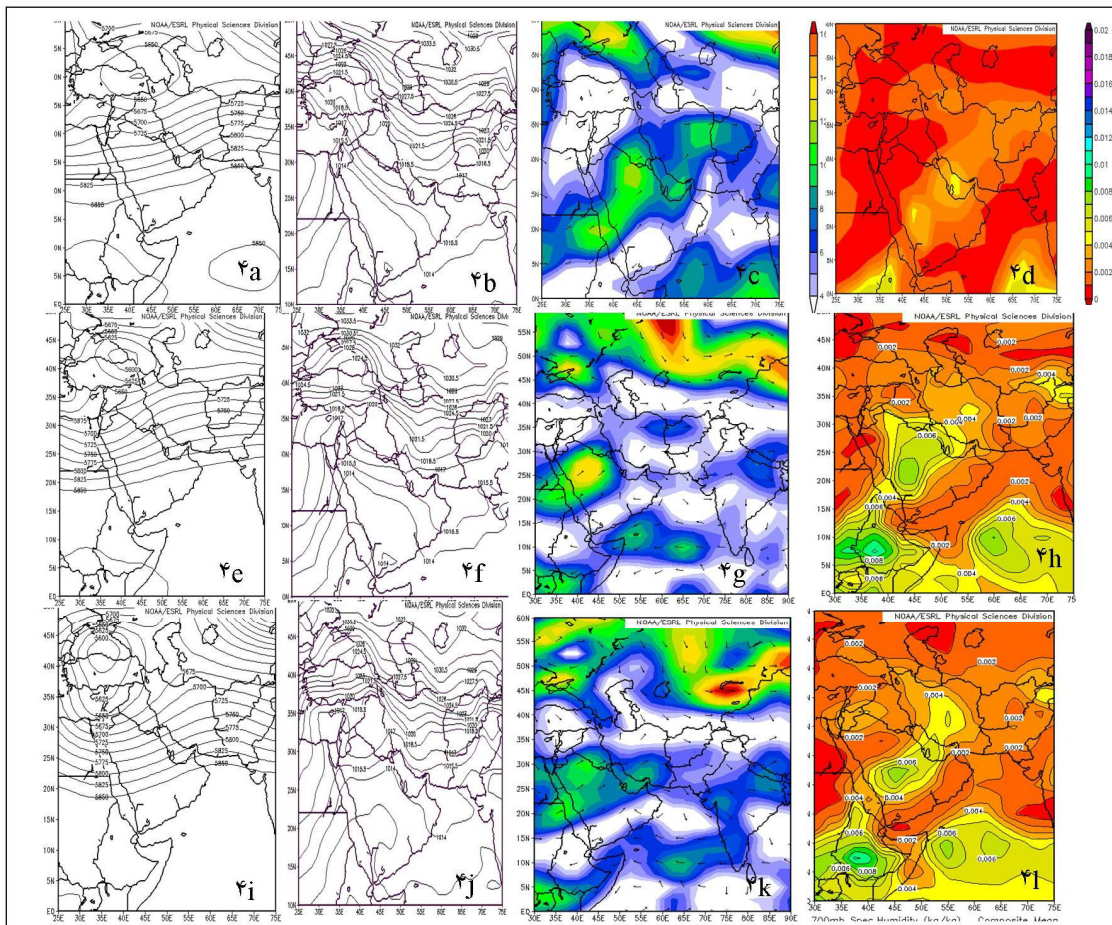
شکل ۳- وضعیت سینوپتیکی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و فشار سطح دریا، j، ۳a، ۳b، ۳c، ۳f، ۳i و ۳j، جهت و شدت باد در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، ۳c، ۳g و ۳k و نم و ویژه در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، ۳d، ۳h و ۳l ساعت ۱۲ روزهای ۲۷ و ۲۸ و ۲۹ نوامبر ۲۰۰۳

۱ دسامبر

فرود خاورمیانه کمی به طرف غرب جابه‌جا شده و کنتور بسته ۵۵۰۰ مستقر بر روی شمال شرق و شرق ترکیه واقع است (۴e) شیب فشار جریانات مستقر بر روی شرق مدیترانه تا نواحی شمال شرقی ایران افزایش یافته و دریای خزر تحت تاثیر آنتی سیکلون قوی واقع بر روی شرق آرال بوده است (۴f). جریانات جنوب‌غربی (۴g) موجب انتقال رطوبت از دریای سرخ و خلیج فارس به طرف نواحی جنوب‌غربی ایران تا استان های بوشهر و فارس بوده است (۴h).

۲ دسامبر

فرود بریده واقع در شمال شرق ترکیه به طرف شمال و مرکز ترکیه حرکت نموده و فرود خاورمیانه با دارا بودن محور شمالی جنوبی به طرف شرق عربستان حرکت داشته است (۴i) و همچنین جابه‌جایی منحنی فشار زیاد ۱۰۳۰/۵ میلی‌بار شمال شرق ایران به طرف نواحی شمالی تر دریای خزر کاهش فشار در تهران و نواحی مرکزی ایران صورت گرفته است (۴j). وجود هسته‌های سرعت زیاد بر روی دریای سرخ و عربستان و همچنین هسته ضعیف‌تری بر روی خلیج فارس و استقرار سیکلونی در غرب ایران (۴k) انتقال بیشتر رطوبت به نواحی مرکزی ایران و از جمله تهران صورت گرفته است (۴l).



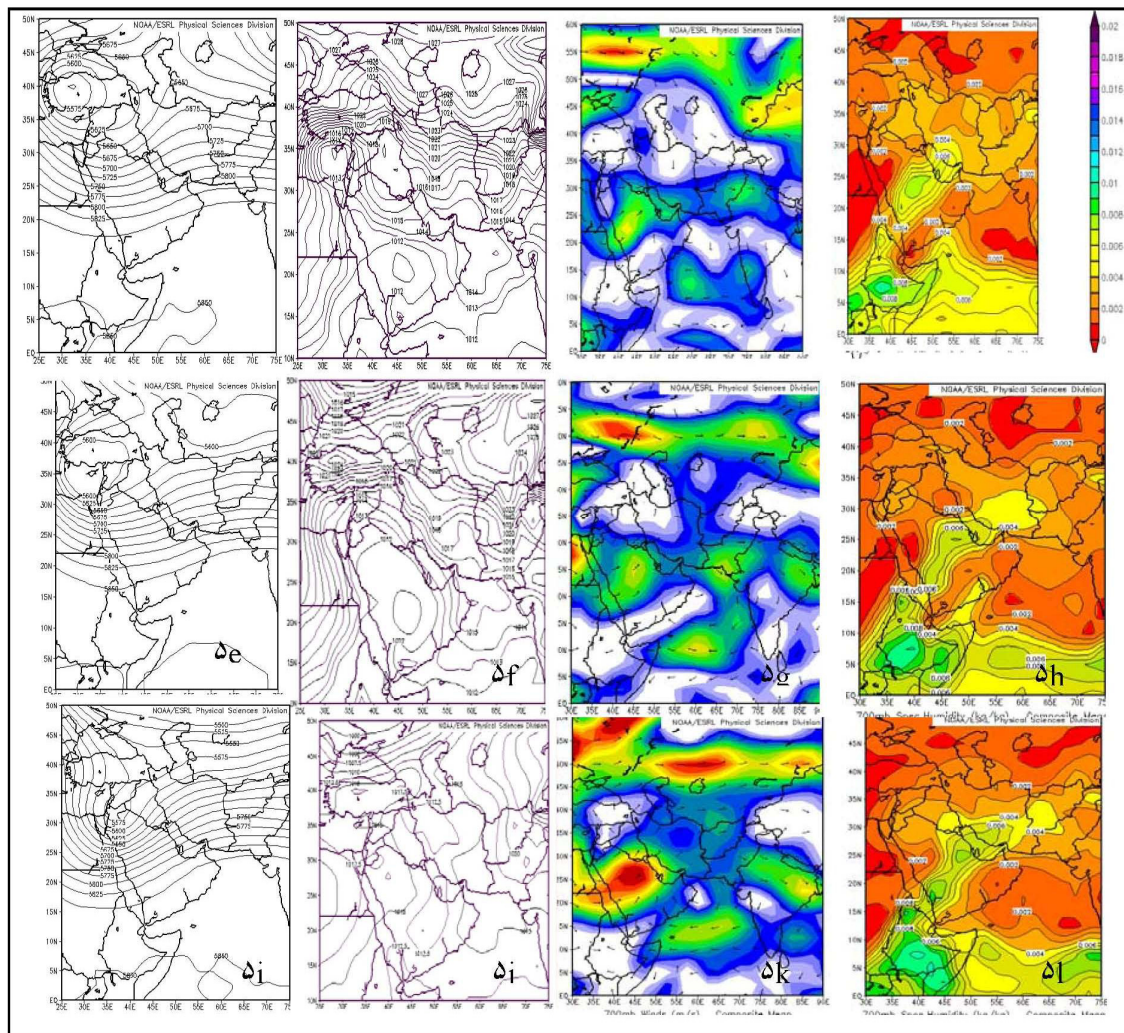
شکل ۴- وضعیت سینوپتیکی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و فشار سطح دریا، ۴a، ۴b، ۴e، ۴f، ۴i و ۴j جهت و شدت باد در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، ۴c، ۴g، ۴k و نم و ویژه در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، ۴d، ۴h، ۴l و ساعات ۱۲ روزهای ۳۰ نوامبر و ۱ و ۲ دسامبر ۲۰۰۳.

۳ دسامبر

با حرکت چرخندی تراف خاورمیانه به طرف شرق (5a) و استقرار جریانات آنتی سیکلونی شمالی علاوه بر دریای خزر بر روی استان تهران (5b) جریانات شمالی بر این مناطق حاکم گردیده (5c) و به دلیل عقب نشینی هسته رطوبت به طرف خلیج فارس و عدم انتقال رطوبت به نواحی داخلی ایران کاهش بارش در این مناطق از جمله شرق استان اتفاق افتاده است (5d).

۴ دسامبر

تضعیف فرود واقع بر روی دریای سرخ در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بارز است (5e). در نقشه سطح زمین کنتر بسته‌ای با فشار مرکزی ۱۰۱۲ میلی‌بار بر روی عربستان شکل گرفته است (5f) با ایجاد این کم فشار و جریانات جنوبی (5g) بخش‌های وسیعی از نواحی جنوبی و جنوب شرقی ایران و از جمله تهران افزایش بارش را تجربه نموده است (5h).



شکل ۵- وضعیت سینوپتیکی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و فشار سطح دریا، 5a، 5b، 5c، 5e، 5f، 5i، 5j جهت و شدت باد در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، 5c، 5g، 5k و نم و ویژه در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، 5d، 5h و 5l ساعت ۱۲ روزهای ۳، ۴ و ۵ دسامبر ۲۰۰۳.

۵ دسامبر

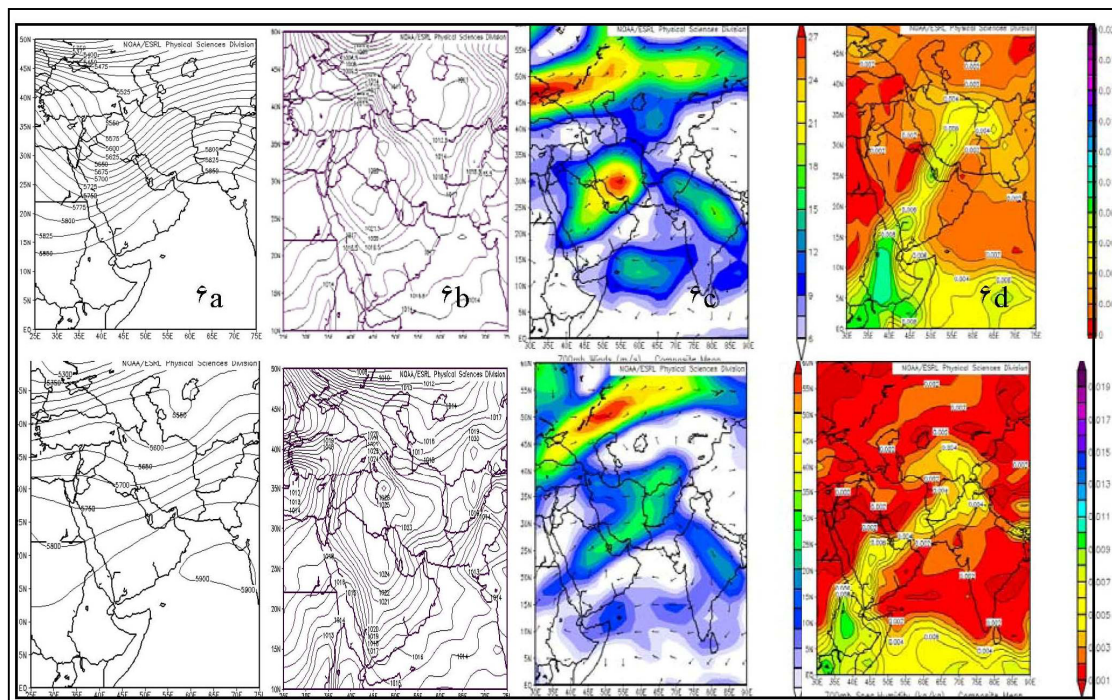
در ضمن عمیق تر شدن فرود خاورمیانه حرکت به طرف غرب انجام گردیده است. با استقرار محور فرود بر روی دریای سرخ انتقال رطوبت به ایران شدت یافته است (۵i) در نقشه سطح زمین نواحی مرکزی ایران از جمله تهران فشار ۱۰۱۲/۵ میلی بار را دارا می باشند (۵j) و جریانات جنوب غربی (۵k) توام با وجود هسته های رطوبتی دریای سرخ، خلیج عدن، تنگه باب المندب و همچنین خلیج فارس و تاثیر پشته عربستان بارش بیشتری را در استان تهران و نواحی داخلی ایران نسبت به روز قبل ایجاد نموده است (۵l).

۶ دسامبر

تراف واقع بر روی عربستان عمیق تر شده و جهت کاملاً شمال شرقی - جنوب غربی محور تراف بارز است (۶a) در نقشه سطح زمین غرب ایران تحت تاثیر فشار زیاد ۱۰۲۳ قرار گرفته است (۶b) هسته سرعت باد دقیقاً در کشور ایران و بر روی استان های فارس، کهگیلویه و بویر احمد و چهارمحال و بختیاری مستقر شده است. سیکلون کوچکی در شمال غرب ایران و شرق ترکیه قرار دارد و جریانات جنوب غربی (۶c) موجب انتقال رطوبت بیشتری نسبت به روز گذشته در استان تهران شده است در نقشه نم ویژه پیشروی هسته رطوبتی به نواحی مرکزی و شمال شرقی نشان داده شده است و عامل افزایش بارش توام بودن نقش رطوبتی دریای سرخ و خلیج عدن با منابع رطوبتی خلیج فارس بوده است (۶d).

۷ دسامبر

فرود نسبتاً ضعیفی در ایران شکل گرفته (۶e) و افزایش فشار در غرب ایران برابر ۱۰۲۶ میلی بار (۶f) کاملاً مشخص است. با حرکت هسته های سرعت ضعیف شده به طرف شرق ایران (۶g) و خروج منابع رطوبتی از نوار شرقی و شمال شرقی کشور کاهش بارش در نیمه غربی ایران از جمله تهران صورت گرفته است (۶h).

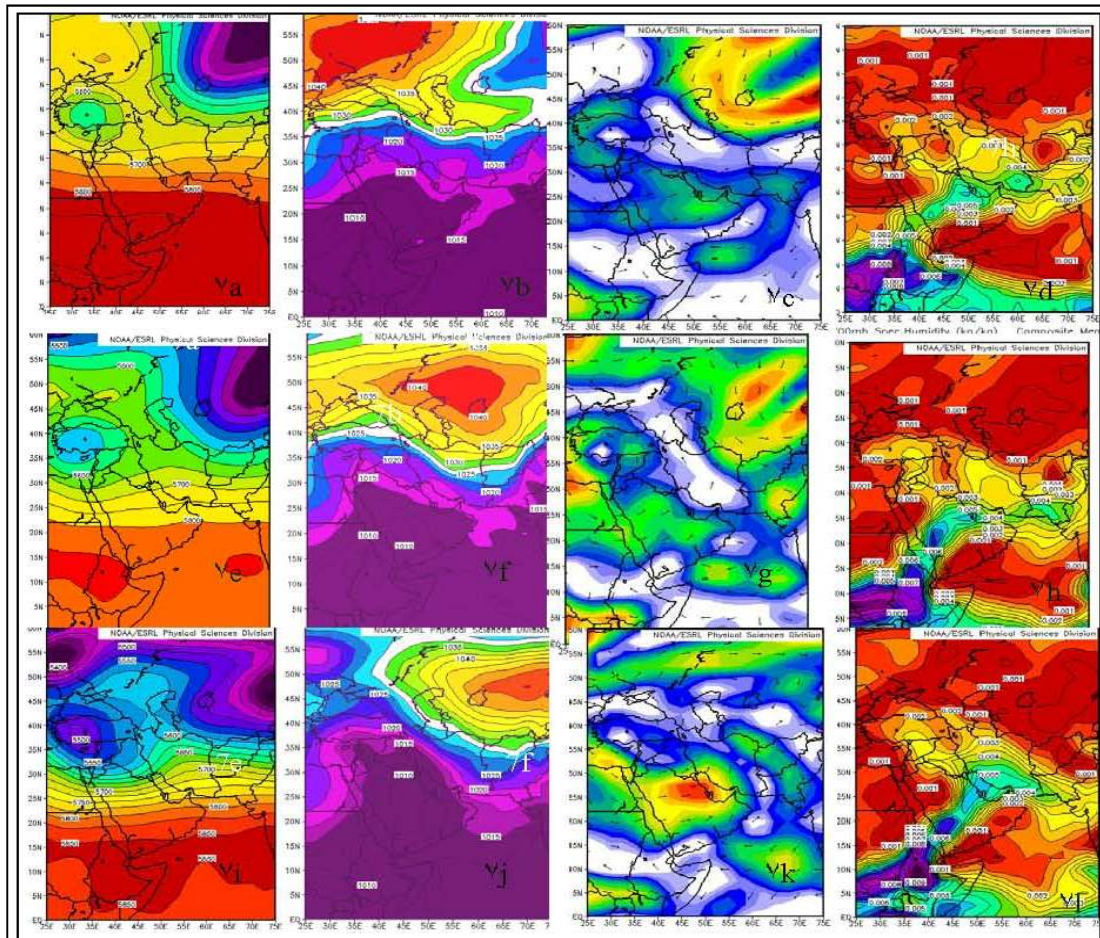


شکل ۶- وضعیت سینوپتیکی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و فشار سطح دریا ۶a، ۶b، ۶c، ۶d جهت و شدت باد در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، ۶c و ۶g و نم ویژه در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، ۶d و ۶h ساعت ۱۲ روزهای ۶ و ۷ دسامبر ۲۰۰۳.

تحلیل سینوپتیکی بارش در روزهای ۹ الی ۱۳ دسامبر ۱۹۹۵ به عنوان خشک‌ترین سال مهرآباد در دوره آماری مطالعاتی.

۹ دسامبر

در روز قبل از بارش در استان تهران، در نقشه تراز بالا ایران تحت تاثیر جریانات مداری قرار گرفته است. فرود بریده‌ای با فشار مرکزی ۵۵۵۰ میلی‌بار در مرکز ترکیه مستقر شده است. پرفشار سیبری با محور شمال شرق - جنوب غرب علاوه بر دریاچه آرال نیمه شرقی خزر را نیز تحت تاثیر خود قرار داده که با حرکت واپرخندی خود موجب جریانات شمال غربی بر روی خزر گردیده است (۷a). در نقشه تراز پایین مرکز کم‌فشار ۱۰۱۰ میلی‌بار بر روی دریای سرخ گسترش یافته و به طرف نواحی داخلی و سواحل جنوبی خزر افزایش فشار حاکم بوده است (۷b). در نقشه جریانات هوایی تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال مشاهده شده است که استان تهران تحت تاثیر جریانات جنوب شرقی قرار گرفته و دو هسته سرعت باد واقع در شمال شرق ایران و شرق عربستان است و یک جریان آنتی سیکلونی در شمال غرب ایران مستقر می‌باشد (۷c). در نقشه نم ویژه هسته رطوبتی برابر ۸ گرم بر کیلوگرم در جنوب دریای سرخ و سودان قرار گرفته است همچنین هسته رطوبتی دیگری برابر ۵ گرم بر کیلوگرم در جنوب خلیج فارس و بلوچستان شکل گرفته است تحت این شرایط نواحی جنوبی ایران در این روز از بارش نسبتاً خوبی بهره‌مند بوده‌اند (۷d).



شکل ۷- وضعیت سینوپتیکی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و فشار سطح دریا، ۷a، ۷b، ۷c، ۷d، ۷e، ۷f، ۷g، ۷h، ۷i، ۷j جهت و شدت باد در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، ۷c، ۷g، ۷k و نم ویژه در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، ۷d، ۷h، ۷l ساعت ۱۲ روزهای ۹، ۱۰ و ۱۱ دسامبر ۱۹۹۵.

۱۰ دسامبر

تراف ضعیفی بر روی دریای سرخ خودنمایی می‌کند و جریانات از حالت مداری در روز قبل خارج گشته و کنتور بسته مرکزی با فشار ۵۵۵۰ میلی‌بار بر روی ترکیه شکل مداری تری به خود گرفته و تا حواشی شمال غرب ایران پیشروی داشته است آنتی سیکلون سیبری تقریباً وضعیت قبلی خود را حفظ نموده است (۷e). نقشه سطح زمین حاکی از یک شکل‌گیری یک مرکز کم‌فشار در جنوب غرب ایران و وجود پرفشاری برابر با ۱۰۴۰ میلی‌بار بر روی دریاچه آرال و شمال شرق خزر می‌باشد این امر موجب افزایش شیب فشار به نواحی داخلی ایران شده است (۷f) و به دنبال آن پیدایش جریانات شمالی بر روی خزر و جریانات غربی در نیمه شرقی و شمال شرقی ایران بوده است (۷g). نقشه نم ویژه نشانگر جابه‌جایی منابع رطوبتی به طرف شمال شرق ایران می‌باشند (۷h).

۱۱ دسامبر

فرود بریده واقع در شمال غرب ایران گسترش خود را به سمت نوار غربی شمال غرب ایران نشان داده است. عمق تراف تا جنوب عربستان امتداد یافته و آنتی سیکلون سیبری نسبتاً ضعیف شده است (۷i). عقب نشینی پرفشار سیبری به طرف شمال شرق و گسترش کم‌فشار سرخ به سمت نواحی جنوب غربی و غرب ایران در نقشه تراز پایین نمایان است (۷j). هسته سرعت باد بر روی شرق عربستان و جنوب خلیج فارس قرار دارد و تراف عربستان موجب انتقال جریانات هوایی با جهت جنوبی به داخل ایران شده (۷k) و این امر منجر به انتقال رطوبت دریای سرخ به طرف جنوب و جنوب غربی ایران و همچنین نواحی جنوبی تهران گردیده است (۷l).

۱۲ دسامبر

در این روز ایران دقیقاً در پیشانی تراف عمیق عربستان و دریای سرخ قرار گرفته است کنتور بسته واقع در شمال غرب ایران در حال تضعیف شدن می‌باشد (۸a). زبانه‌های کم‌فشار تا نواحی مرکزی ایران (۸b) امتداد یافته و افزایش شیب فشار تراف با جریانات غربی - جنوب غربی، (۸c) موجب انتقال رطوبت بیشتری بر روی ایران از جمله استان تهران گردیده است (۸d).

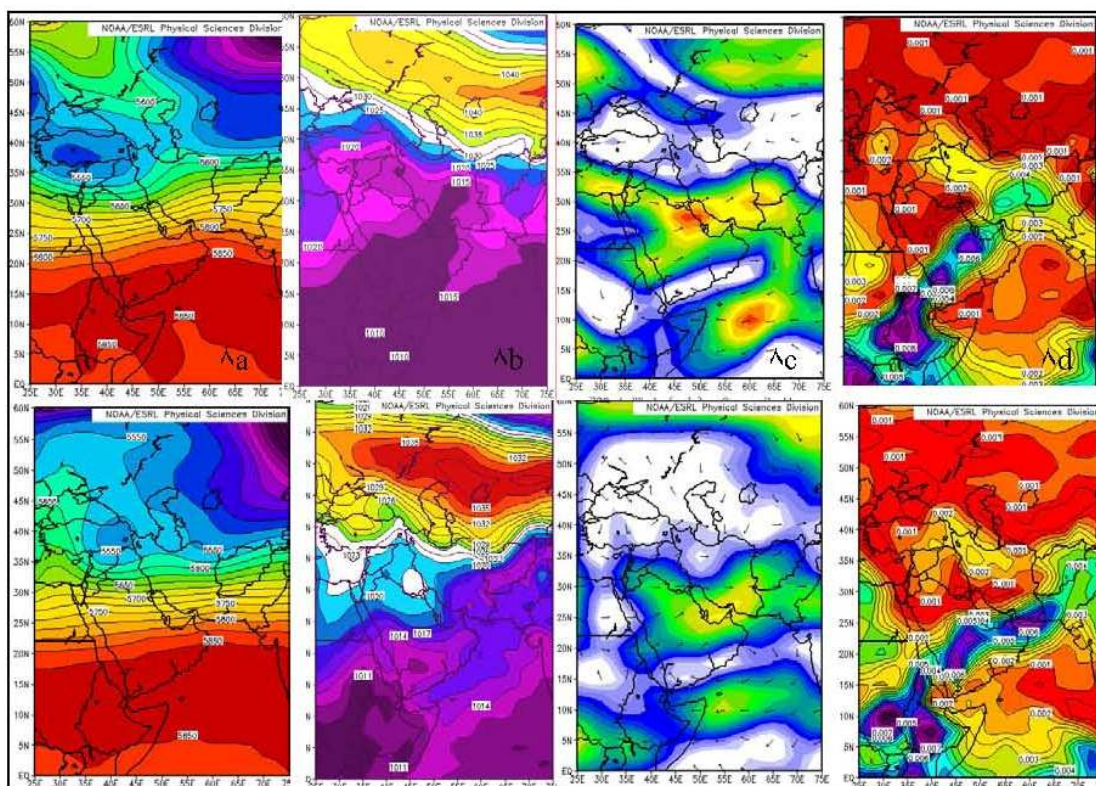
۱۳ دسامبر

با تضعیف تراف واقع در غرب ایران و ایجاد جریانات مداری (۸e) عقب‌نشینی کم‌فشار دریای سرخ و استقرار توده فشار زیاد ۵/۱۰۲۳ میلی‌بار در غرب ایران صورت پذیرفته است و افزایش شیب فشار زیاد (۸f) مانع نفوذ جریانات هوایی از طرف جنوب گردیده و استان تهران تحت تاثیر جریانات غربی متأثر از جریانات شمالی قرار گرفته است (۸g). با حرکت هسته سرعت و همچنین هسته‌های رطوبتی به طرف عرض‌های جنوبی تر از جمله نواحی شرقی خلیج فارس و سیستان و بلوچستان و پاکستان کاهش بارش در ایران و از جمله منطقه مطالعاتی نمایان شده است (۸h).

نتایج :**الف - نتایج تحلیل‌های آماری**

- پس از بررسی و تجزیه و تحلیل داده‌های بارش تهران بر اساس روش زنجیره‌ای مارکوف، نتایجی به شرح ذیل به دست آمد:

۱- ماه مارس با فراوانی ۱۸۸ روز بارش و اکتبر با ۸۱ روز بارش در طول دوره آماری به ترتیب مرطوب‌ترین و خشک‌ترین ماه‌های منطقه بوده‌اند.



شکل ۸- وضعیت سینوپتیکی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و فشار سطح دریا با a, b, c, d, e, f, g, h جهت و شدت باد در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال a, c و g, h و نم و ویژه در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال a, d, h و ساعت ۱۲ روزهای ۱۲ و ۱۳ دسامبر ۱۹۹۵.

۲- سال‌های ۱۹۹۵ و ۱۹۹۶ به ترتیب با دارا بودن بارشی برابر $70/50$ و $265/50$ میلی‌متر خشک‌ترین و مرطوب‌ترین سال تهران می‌باشد. و این در حالیست که میانگین بارش در منطقه طی دوره آماری برابر $186/23$ میلی‌متر بوده است.

۳- بالاترین فراوانی بارش در فصل زمستان برابر ۴۰ روز مربوط به سال ۱۹۹۶ و کم‌ترین فراوانی در این فصل مربوط به سال ۱۹۹۷ برابر ۱۴ روز است. در فصل پاییز فراز و فرود فراوانی‌ها به ۳۱ و ۱۴ روز می‌رسد که به ترتیب مربوط به سال‌های ۲۰۰۱ و ۱۹۹۵ است. سال‌های ۱۹۹۳، ۱۹۹۴ و ۲۰۰۴ با دارا بودن ۵۱ روز بارش بالاترین و سال ۱۹۹۵ با ۲۳ روز بارش کم‌ترین فراوانی را به خود اختصاص داده‌اند با توجه به این که متوسط فراوانی بارندگی برابر $42/25$ روز بوده است.

۴- ماه مارس با $5/36$ میلی‌متر بارش و اکتبر با $2/87$ میلی‌متر به ترتیب شدیدترین و ضعیف‌ترین شدت بارش را دارا بوده‌اند. متوسط شدت ماهانه بارش $4/18$ میلی‌متر است.

۵- بیشترین شدت بارش برابر با $5/64$ میلی‌متر مربوط به سال ۱۹۹۶ و کم‌ترین آن برابر $3/01$ به سال ۲۰۰۱ مربوط بوده است. متوسط شدت سالانه بارش $4/38$ میلی‌متر است.

۶- توانایی مدل مارکوف در پیش بینی دوره‌های مرطوب در مناطق ناهنجار از نظر بارش همچون تهران با احتمال ۹۵ درصد می‌تواند مفید باشد. از این مدل می‌توان جهت پیش بینی‌های کوتاه مدت در امر هواشناسی در زمینه پیش‌بینی هوای مناسب جهت حرکت هواپیماها در روزهای آتی، مقدار نیاز برق مصرفی از نیروگاه‌های آبی در ساعات و روزهای خاص، و به‌طور کلی کشاورزی و... استفاده نمود.

ب- نتایج تحلیل‌های سینوپتیکی

۱- در زمان استقرار پرفشار سبیری بر روی دریاچه آرال و دریای خزر و نیمه جنوبی سواحل خزری بادهای غالب بر منطقه شمالی بوده که این امر موجب کاهش بارندگی در سواحل و از جمله تهران گردیده است.

۲- در نقشه‌های تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال مشخص گردید که با قرارگیری ترف عمیق خاورمیانه بر روی عربستان و کم‌فشار روی دریای سرخ با محور شمالی و شمال شرقی، عموماً جریانات غربی و جنوب‌غربی بر ایران و از جمله تهران حاکم گردیده است. همچنان که در نقشه‌های جهت و شدت باد در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال کاملاً بارز است.

۳- با عقب‌نشینی آنتی سکلون سبیری و پرفشار شرق کوه‌های اورال در نقشه‌های فشار سطح دریا، حرکت کم‌فشارهای سودانی و دریای سرخ به طرف ایران صورت گرفته است.

۴- با توجه به نقشه‌های نم ویژه در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال مشخص گردید که عامل اصلی منابع رطوبتی در ایران و بارندگی‌های استان تهران در روزهای ۲۸ الی ۳۰ نوامبر و اول تا هفتم دسامبر ۲۰۰۳ و همچنین بارش‌های ۱۰ الی ۱۳ دسامبر ۱۹۹۵ تماماً دریای سرخ و خلیج عدن بوده است.

۵- خلیج فارس و پرفشار دینامیکی عربستان در برخی از روزهای بارانی موجب انتقال بیشتر رطوبت به داخل ایران بوده اند.

منابع

- ۱- جعفری بهی، خدابخش، ۱۳۷۸، تحلیل آماری دوره‌های خشک و تر با استفاده از مدل زنجیره مارکوف، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- ۲- حجازی‌زاده، زهرا و علیرضا شیرخانی، ۱۳۸۴، تحلیل و پیش‌بینی آماری خشکسالی و دوره‌های خشک کوتاه مدت در استان خراسان، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۲: ۲۳-۱۳. ۳- رضی، طیب و بهلول علیجانی، ۱۳۸۲، تعیین الگوی توزیع زمانی بارش‌های کوتاه مدت در استان تهران، نیوار، شماره ۴۷-۴۶: ۸۰-۷۱.
- ۴- علیجانی، بهلول، زین‌العابدین جعفرپور و حیدر قادری، ۱۳۸۴، تحلیل و پیش‌بینی بارش‌های منطقه لارستان با استفاده از مدل زنجیره ای مارکوف، فصل‌نامه جغرافیایی سرزمین، شماره ۷: ۱۰-۱.
- ۵- علیزاده، امین، ۱۳۸۲، اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات آستان قدس رضوی، جلد ۱۶، صفحه ۲۸۸.
- ۶- کاویانی، محمدرضا و بهلول علیجانی، ۱۳۷۴، چاپ چهارم، مبانی آب و هواشناسی، انتشارات سمت، ۲۵۸.
- ۷- کردوانی، پرویز، ۱۳۸۰، خشکسالی و راه‌های مقابله با آن، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران، صفحه ۱۷.
- ۸- کیارش باقرزاده، چهره ۱۳۸۴، ارزیابی سیگنال‌های هواشناسی در پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در استان تهران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

- ۹-محمدی، حسینمراد و علی اکبر شمسی پور، ۱۳۸۲، تاثیر خشکسالی‌های اخیر در افت منابع آب زیر زمینی دشت‌های شمال همدان، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۵: ۱۲۹-۱۱۵.
- ۱۰-مشکاتی، محمدرضا، ۱۳۶۲، بررسی احتمال تواتر روزهای بارانی و خشک بابلسر از دیدگاه بیز تجربی، مجله آب، شماره ۳: ۳۷-۴۹.
- ۱۱-مظفری، غلامعلی، ۱۳۸۰، ارزیابی قابلیت‌های محیطی کشت گندم دیم در استان کرمانشاه، رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۱۲-مفیدی، عباس، ۱۳۸۴، تحلیل سینوپتیکی ماهیت سامانه‌های کم‌فشار سودانی، فصل‌نامه جغرافیایی سرزمین، شماره ۶: ۳۱.
- ۱۳-مقدسی، مهنوش، ۱۳۸۱، ارزیابی و پایش خشکسالی در استان تهران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- 14-Anagnostopoulou,C., Maheras, P., Karacostas,T., & Vafiadis,m. 2003. Spatial and ternal analysis of dry spells in Greece. Theoretical and applied climatology, 7 74:71-91.
- 15-Berbet, M., & Costa, M. 2003. Climate change after tropical deforestation: seasonal variability of surface albedo and its effects on precipitation change. journal of climate ,16 :2099-20114.
- 16-Bergerand, A., Goossens, c. (1981). Persistence of wet and dry spells at ucclle (Belgijm).C.1983 by the royal meteorological society.0196-1748/83/010021-14\$01-40,21-33.
- 17-Carvalho, L. 2002. Extrem precipitation events in southeastern south America and large – scale convective patterns in the south Atlantic convergence zone.journal of climatology ,15:2377-2394.
- 18-Chen, D., & Yuan,X. 2004. A markov model for seasonal forecast of Antarctic Sea Ice. Journal of climate,17:3156-3168.
- 19-Drought information and indicators, Retrieved November 9, 2005, from <http://Mary land department of the environment>.
- 20-Eull Moon, S., Boom Ryoo, S., & Gikwon, J. 1994. A markov chain model for daily precipitation occurrence in south korea.International Journal of climatology, 14:1009-1016.
- 21-Fowler, A., & Adams, K. 2004. Twentieth century droughts and wet periods in Auckland (New Zealand) and their relation ship to ENCO. International Journal of climatology, 24: 1947 -1961.
- 22-Gabriel, K.R. & Neumann, J. 1962.Amarkov chain model for daily rain fall occurrence at Tel Aviv, Quarterly journal of meteorological society,88:90-95.
- 23-Katz, R.W.1977.Percipitation as a chain-Dependent process. Journal of applied meteorology, 16:671-676.
- 24-Kimin, S. Tae kwon.W. Hyung Park. E. ,&Choi. Y. ,2003. International Journal of limatology, 23: 223-233.
- 25-Maheras, P. 1987. Delimitation of the summer – dry period in Greece according to the frequency of –weather- types.Theoretical and applied climatology, 39:171-176.
- 26-Ntale, H. K. Gan.,T.Y., & Mwale, P. 2003. Notes and correspondence prediction of east African seasonal rainfall using simplex canonical correlation analysis. Journal of climate, 16:2105-2112.
- 27-Shi, N., & Chen, L. 2004. Evolution and features of global land June – August dry/ wet periods during 1920 -2000. International Journal of climatology , 24: 1483-14903.
- 28-Sud, Y.C., Mocko, D.M.,Jau, K.M., & Atlas, R.2003. Simulating the mid western u.s. drought of 1988 with a GCM. Journal of climate, 16:3946-3965.
- 29-Vicente – Serrano, S.M.& Begueria – Portugues, S.2003. Estimating extreme dry spell risk in the middle Ebro valley (Northeastern spain): a comparative analysis of partial duration series with a general pareto distribution and annual maxima series with a gumbel distribution. International Journal of climatology, 23:1103 –1118.
- 30-Youhong, S. 2002. The 1998 Oklahama-texas drought: mechanistic experiments with NCCP global and regional model. Journal of climate, 15:945-963.