تحلیل و پیش‌بینی بارش‌های منطقه لارستان با استفاده از مدل زنجیره مارکوف

دکتر بهلول علیجانی
استاد گروه جغرافیای دانشگاه تربیت معلم تهران

دکتر زین‌العابدین جعفرپور
استادیار گروه جغرافیای دانشگاه تربیت معلم تهران

حیدر قادری
فارغ التحصیل دوره دکتری دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

چکیده

در این مقاله تحلیل و پیش‌بینی بارش های منطقه لارستان، روزهای بارش ۰/۱ میلی‌متر و بیشتر ایستگاه لار در دوره آماری ۲۰۰۳ – ۱۹٦۰ بررسی شده است. ابتدا فراوانی روزهای بارانی بر اساس تداوم آن‌ها گروه‌بندی و فراوانی هرکدام از توالی‌ها به‌صورت مجزا مطالعه گردید. سپس بر اساس مدل زنجیره مارکوف احتمال وقوع هریک از توالی‌ها به‌صورت ماهانه ، فصلی و سالانه محاسبه شد. یافته‌های تحقیق نشان داد که:

حداکثر فراوانی روزهای بارانی ٤٤ روز و حداقل آن ۱۱ روز در سال است. ژانویه بیشرین فراوانی و ماه‌های مه و ژوئیه کمترین فراوانی را دارند. زمستان فصل مرطوب و بهار فصل خشک منطقه است. شدت متوسط هر بارش ۸/۲ میلی‌متر ، فاصلهٔ متوسط بین دو بارش در دوره بارانی ٦/۲ روز، زمان متوسط شروع بارندگی ۱۷ آذر و خاتمهٔ بارندگی ۲٦ فروردین است.

مقایسه فراوانی توالی‌های پیش‌بینی شده با فراوانی توالی‌های مشاهده شده دقت مدل زنجیره مارکوف را در پیش‌بینی توالی‌های خشک و مرطوب در مناطقی مانند لارستان که ناهماهنگی شدید بارش دارند، نشان داد.

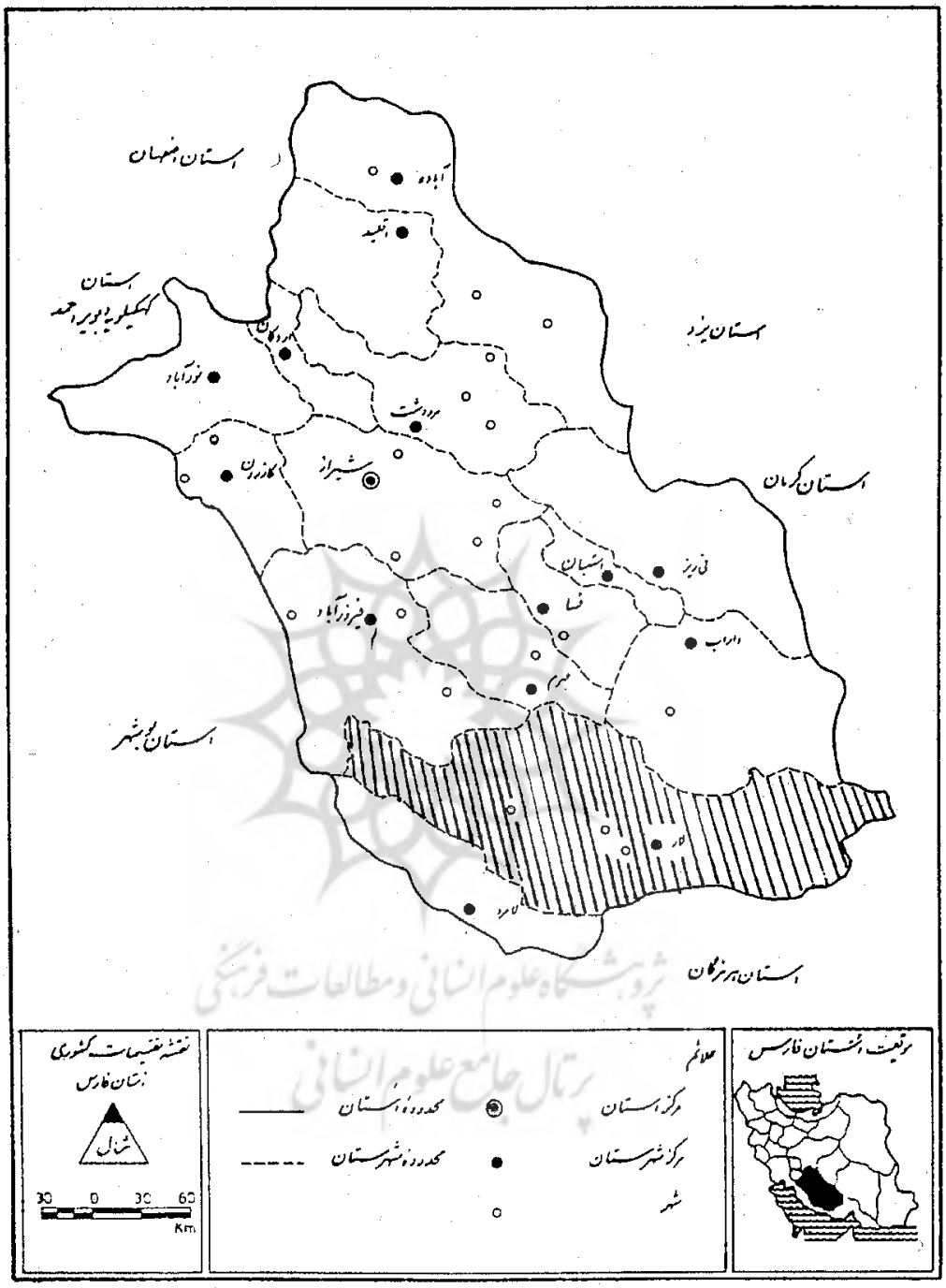
واژه‌های کلیدی: بارش‌های جنوب ایران، توالی‌های مرطوب و خشک، تحلیل و پیش‌بینی بارش‌ها، زنجیره مارکوف، لارستان.

مقدمه

بارندگی از مؤثرترین عناصر جوی است که بر روی عوامل طبیعی وانسانی تأثیر بسیار شگرف بر جای می‌گذارد. به‌ویژه این‌که انحراف شدید آن از حالت نرمال چه کم (خشکسالی) و چه زیاد (سیلاب) آثار زیانباری بر جوامع، مساکن و فعالیت‌های انسانی ایجاد می‌کند. موقعیت جغرافیایی لارستان در جنوب ایران (شکل ۱) و در منطقه جنب حاره در محدوده حدفاصل اقلیم گرم با رطوبت نسبی بالا و هوای شرجی از یک سو و اقلیم نیمه خشک از سوی دیگر، شرایطی را به‌وجود آورده است که ناهماهنگی و ناهنجاری‌های شدید اقلیمی دارد. این ناموزونی به‌گونه‌ای است که تعداد ترسالی‌ها خیلی کمتر از خشکسالی‌هاست. بدین جهت شرایط اقلیمی- به‌ویژه میزان بارش - در توسعه منطقه نقش تعیین‌کننده دارد. بررسی و شناخت ویژگی‌های بارش و پیش‌بینی آن بسیار مهم است. از آن‌جا که فراوانی دفعات بارش مهم‌تر از مقدار آن است، در این تحقیق سعی شده است که ضمن بررسی فراوانی روزهای بارش آینده آن‌ها هم پیش‌بینی شود.

متداول‌ترین روش برای بررسی فراوانی توالی‌های بارش زنجیره مارکوف است. در این مدل احتمال وقوع یک حالت اقلیمی در زمان t بر اساس وضعیت آن در زمان قبل($t-1$) پیش‌بینی می‌شود (علیزاده، ۱۳۸۰). پژوهندگان بسیاری از این مدل استفاده کرده‌اند. برای نمونه گابریل و نیومن (Gabriel and Neumann, 1962) برای پیش‌بینی روزهای بارش تل آویو، ویکتور و ساستری (Victor and Sastry,1979) برای محاسبه احتمالات دوره‌های خشک زمان رشد محصول در دهلی نو، سابرمانیام وسانجیوا (Sanjeeva and Subramaniam, 1986) در بررسی تغییرات بارندگی سواحل آندرای هندوستان و درتون و همکارانش (Drton, et al., 2003) برای بررسی تورنادوها از آن استفاده کرده‌اند. پژوهندگان دیگری از این مدل برای پیش‌بینی دیگر پارامترها استفاده کرده‌اند. برای نمونه چین و یوان (Chen and Yuan, 2004) به پیش‌بینی فصلی سطح یخ قطب جنوب پرداخته‌اند و یا پیش‌بینی بی‌نظمی‌های درجه حرارت سطح اقیانوس آرام استوایی به وسیلهٔ جانسون و همکاران (Johnson, etal.,2000) انجام شده است. خامبت (Khambete, 1993) نیز برای طبقه‌بندی اقلیم کشاورزی از مدل مارکوف استفاده کرده است. سانگ وهمکارانش(Sung ,et al, 1993) بررسی جامع و کلاسیکی در باره دوره‌های مرطوب کره انجام دادند. واید و همکارانش (Vide, et al.,1998) هم بر اساس فراوانی دوره‌های خشک و مرطوب اقلیم شبه جزیرهٔ اسپانیا را طبقه‌بندی کردند. آناگنوستوپولو و همکارانش (Anagnostopoulou, etal., 2003) در پژوهشی جامع طول دوره‌های خشک کشور یونان را با استفاده از زنجیره مارکوف تعیین کرده و آن سرزمین را طبقه‌بندی کردند. بنیک و همکارانش(Banik,etal., 2002) نیز دوره‌های خشک و تر را در منطقه موسمی هندوستان با دقت کافی محاسبه و پیش‌بینی کردند.

در ایران نیز بررسی‌هایی، هر چند کم، با استفاده از زنجیرهٔ مارکوف صورت گرفته است. برای نمونه هاشمی (۱۳۴۷) با استفاده از زنجیرهٔ مارکوف به بررسی آمار بارندگی تهران پرداخته است. مشکانی(۱۳۶۲) احتمال تواتر دوره‌های خشک و تر بابلسر را محاسبه کرده است و یا قادر مرزی (۱۳۸۰) به تحلیل پیش‌بینی نوسانات آب و هوا در استان کردستان پرداخته است. جعفری بهی (۱۳۷۸) نیز دوره‌های خشک و تر را در چند ایستگاه مختلف کشور در طی فصول مرطوب سال با این روش بررسی کرده است. از آن‌جا که تاکنون بررسی جامع و کاملی درباره پیش‌بینی بارش‌های منطقه لارستان انجام نشده است و از طرف دیگر زنجیره مارکوف نیز مدل مناسبی برای پیش‌بینی فراوانی بارش است، در این تحقیق سعی شده است ضمن تحلیل وضعیت کنونی بارش لارستان، فراوانی دوره‌های بارش در آینده پیش‌بینی شود.



شکل ۱- موقعیت شهرستان لار در استان فارس

داده‌ها و روش کار

به منظور دسترسی به اهداف تحقیق، آمار بارش روزانهٔ ایستگاه لار در دوره آماری (۲۰۰۳- ۱۹۶۰) از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد. البته سال‌های ۱۹۶۶،۱۹۶۵، ۱۹۷۹، ۱۹۸۰ و۱۹۸۲ فاقد آمار و سال‌های ۱۹۶۰در ماه‌های می تا اوت ،۱۹۶۲ماه‌های ژانویه، فوریه و می، ۱۹۶۴ در ماه‌های مارس تا دسامبر و ۱۹۷۵ در ماه نوامبر فاقد آمار و بودند که در پردازش منظور نشدند. آمار بارندگی منطقه به این شرح پردازش شد:

۱ . روزهای با بارش ۰/۱ میلی‌متر و بیشتر به عنوان روز بارانی (Sumner, ۱۹۹۵) تلقی و شناسایی شدند. سپس دوره‌های بارش با تداوم های۱ تا ۶ روزه شمارش و شناسایی شد و هر تداوم یک توالی نامیده شد.

۲. فراوانی، میزان و شدت هر کدام از توالی‌ها در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه محاسبه شد.

۳. زمان شروع، خاتمه و فاصلهٔ بارندگی‌ها در هر سال زراعی از دوره آماری به شرح زیر استخراج گردید:

روز شروع بارش روزی است که در صورت داشتن بارش کمتر از ۱میلی‌متر فاصله بارش بعدی کمتر از یک ماه، در صورت داشتن بارش ۱ تا ۲ میلی‌متر فاصلهٔ بارش بعدی کمتر از ۴۰ روز، در صورت داشتن بارش ۲ تا ۸ میلی‌متر فاصله بارش بعدی کمتر از ۵۰ روز، و در صورت داشتن بارش بیشتر از ۸ میلی‌متر فاصلهٔ بارش بعدی کمتر از سه ماه باشد. روز پایان بارش نیز بر اساس شرایط یاد شده تعیین شد؛ با این تفاوت که فاصله بارش قبلی منظور گردید.

۴. زمان آغاز و پایان دوره بارش سالانه با احتمال ۹۵ در صد و بر اساس محاسبه فاصله از اول مهر هر سال تعیین شد. فاصله بارندگی‌ها نیز به‌صورت متوسط سالانه محاسبه گردید.

۵. امکان پیش‌بینی دوره‌های مرطوب در منطقه ناهمگنی (از نظر بارش) مانند لارستان فرضیه اصلی این تحقیق است. برای بررسی این فرضیه احتمال وقوع هریک از توالی‌های بارش براساس مدل زنجیره مارکوف یک مرتبه دو حالته در مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه به این شرح محاسبه و پیش‌بینی شد:

ابتدا ماتریس‌های احتمالات انتقالی مرتبهٔ اول دو حالته زنجیره مارکوف مشخص و فراوانی هریک از این زنجیره‌ها به صورت مجزا تعیین شدند. برازش مدل مارکوف بر داده‌ها در سطح $\alpha = ۰/۵$ و با استفاده از آزمون خی دو(Chi-Square) انجام شد.

احتمالات شرطی عناصر ماتریس زنجیره مارکوف یعنی زنجیره‌های ۱۱، ۱۰، ۰۱، ۰۰ محاسبه شد. نماد ۱ روز بارانی و نماد ۰ روز خشک را نشان می‌دهد. نماد ۱۰ یعنی امروز بارانی ولی فردا خشک است. احتمالات شرطی هر کدام از این عناصر ماتریس به این شرح محاسبه شد:

$$P_{01} = n_{01} \ (/n_{00} + n_{01}) \quad , \quad P_{11} = n_{11} \ (/n_{11} + n_{10})$$
$$P_{00} = 1 - P_{01} \quad , \quad P_{10} = 1 - P_{11}$$

جهت آزمون برازش زنجیره مارکوف مرتبه یک و دو حالته بر سری داده‌ها ضریب همبستگی تأخیر اول سری زمانی به این صورت محاسبه شد:

$$r_1 = P_{11} - P_{01}$$

معنی‌دار بودن ضریب‌همبستگی بر اساس آزمون خی دو در سطح $\alpha = ۰/۵$ تعیین شد. برای پیش‌بینی تعداد توالی‌های بارش، در مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه از این رابطه استفاده شد:

$$w_m = ۱ + [(N - m) (P_{۰۱}) (P_{۱۰}) (۱ - P_{۱۰})^{m-۱}] / (P_{۰۱}) + (P_{۱۰})$$

در این فرمول w_m تعداد دورهٔ مرطوب m روزه، N تعداد کل روزهای دوره بررسی ، P_{10} و P_{01} عناصر ماتریس احتمال انتقالی زنجیرهٔ مارکوف است. در شمارش فراوانی زنجیره‌ها، به علت وجود سال‌های آماری ناقص، هرماه، هر فصل و هر سال جداگانه منظور شد. زمستان از ژانویه تا مارس، بهار از آوریل تا ژوئن، تابستان از ژوئیه تا سپتامبر و پاییز از اکتبر تا دسامبر منظور شده است.

نتایج

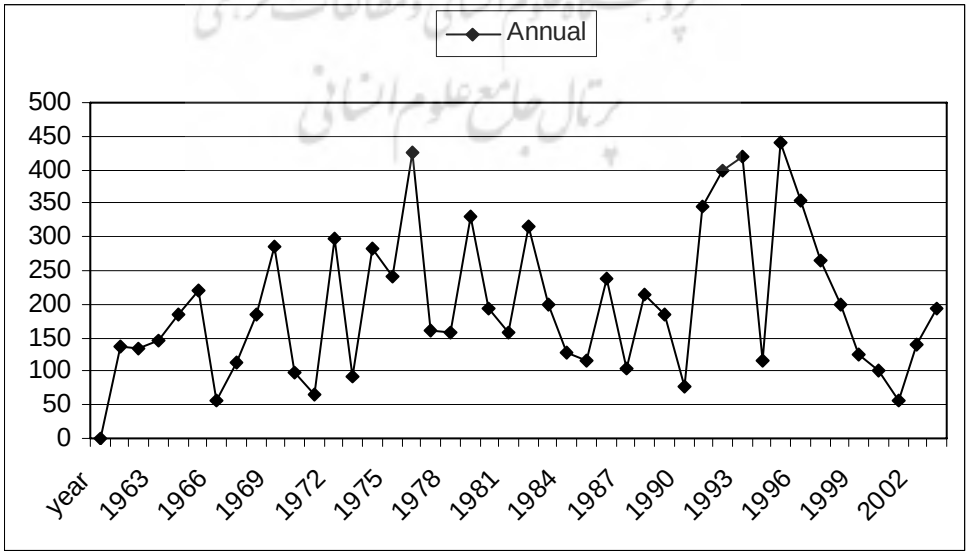
فراوانی روزهای بارش

در دوره بررسی شده در لارستان ۹۱۳ روز بارانی وجود دارد (جدول ۱). بیشترین فراوانی ماهانه روزهای بارش (با میانگین ۵ روز) در ماه ژانویه رخ داده است. بیشترین فراوانی سالانه ۴۴ روز و کمترین آن ۱۱ روز و متوسط کل دوره آماری ۲۴/۵ روز است.

طبق جدول ۲ بیشترین فراوانی ماهانه توالی‌های مرطوب یک روزه در فوریه، دو روزه و سه روزه (در ژانویه) رخ داده است. کمترین توالی یک روزه در ماه ژوئن ، دو روزه در اکتبر، سه روزه در ماه‌های مه، ژوئن و نوامبر رخ داده‌اند. در کل دوره ۱۲ توالی چهار روزه رخ داده است که در ماه‌های ژانویه ،مارس و دسامبر هرکدام سه توالی و ماه‌های فوریه، آوریل و نوامبر هر کدام یک توالی مشاهده شده‌اند. توالی‌های پنج روزه و شش روزه هرکدام ۵ بار مشاهده شده‌اند. از نظر فصلی زمستان بیش‌ترین فراوانی توالی‌های ۱تا ۶ روزه و بهار کمترین فراوانی توالی‌ها را دارا هستند.

مقدار بارش

مقادیر متوسط بارش لارستان در جدول ۳ درج شده‌اند. طبق این جدول متوسط سالانه ۲۰۲/۲ میلی‌متراست. ماه‌های سرد سال بیش‌ترین و ماه‌های دوره گرم کمترین مقدار را دارند. بالاترین بارش ماهانه به اندازه ۲۷۴ میلی‌متر در فوریه ۱۹۹۳ باریده است. سال ۱۹۹۵ هم با ۴۴۰/۵ میلی‌متر مرطوب‌ترین و سال۲۰۰۱ با ۵۵/۳



شکل۲ – نمودار تغییرات سال به سال بارش لارستان

جدول ۱- فراوانی و متوسط روزهای بارش ماهانه لارستان

ماه‌ها	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	زوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	جمع
فراوانی	۱۹۱	۱۴۸	۱۷۳	۷۹	۹	۹	۳۹	۵۹	۲۴	۱۰	۴۰	۱۳۲	۹۱۳
میانگین	۵	۳/۹	۴/۵۵	۲/۱	۰/۲۵	۰/۲۴	۱/۱	۱/۶	۰/۶۳	۰/۲۶	۱/۱	۳/۴۸	۲۴/۵

جدول ۲- فراوانی توالی‌ها

ماه	یک روزه	دو روزه	سه روزه	چهار روزه	پنج روزه	شش روزه
ژانویه	۵۰	۳۸	۱۴	۳	۱	۱
فوریه	۵۶	۲۹	۸	۱	–	۱
مارس	۵۵	۳۳	۶	۳	۲	۲
آوریل	۴۱	۱۱	۴	۱	–	–
مه	۷	۱	–	–	–	–
ژوئن	۵	۲	–	–	–	–
ژوئیه	۲۲	۳	۲	–	۱	–
اوت	۳۸	۹	۱	–	–	–
سپتامبر	۱۳	۴	۱	–	–	–
اکتبر	۷	–	۱	–	–	–
نوامبر	۲۰	۸	–	۱	–	–
دسامبر	۴۶	۱۸	۹	۳	۱	۱
بهار	۵۳	۱۴	۴	۱	–	–
تابستان	۷۳	۱۶	۴	–	۱	–
پاییز	۷۳	۲۶	۱۰	۴	۱	۱
زمستان	۱۶۱	۱۰۰	۲۸	۷	۳	۴
سال	۳۶۰	۱۵۶	۴۶	۱۲	۵	۵

جدول۳ - متوسط و حداکثر بارش ماهانه لارستان

ماه‌ها	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	سالانه
میانگین	۴۸/۰۷	۳۸/۵۳	۳۶/۵	۱۵/۷	۰/۷	۱/۸۷	۷/۶۸	۶/۶۷	۱/۹۲	۲/۱۸	۴/۶	۳۷/۶۹	۲۰۲/۲
ماگزیمم	۱۷۶/۶	۲۷۴	۱۳۳/۳	۱۰۹/۵	۹	۳۱	۱۰۸	۳۳	۳۱	۵۲	۳۸	۲۰۰/۳	۴۴۰/۵

میلی‌متر خشک‌ترین سال در کل دوره است (شکل۲). طبق شکل ۲ بارش سالانه منطقه رفتار تناوبی دارد. دوره‌های مرطوب در دهه ۱۹۷۰ و اوایل دهۀ ۱۹۹۰ مشاهده می‌شود. از نیمه دوم دهه ۱۹۹۰ دوره خشکسالی آغاز شده است. متوسط حداکثر مقدار بارش ماهانه در ژانویه و در دوره گرم درماه ژوئیه و متوسط حداقل در ماه مه رخ داده است.

شدت بارش

شدت بارش میزان بارندگی در طول یک شبانه روز در نظر گرفته شده است. شدت روزانه توالی‌ها در جدول ۴ درج شده است. در طول دوره آماری بیشترین بارندگی روزانه ، ۱۰۲ میلی‌متر(چهارم فوریه ۱۹۹۳)، شدید ترین توالی دوروزه با۳۳/۲ میلی‌متر متوسط روزانه در ۱۲و۱۳مارس۹۹۶ ، سه روزه با ۲۹ میلی‌متر متوسط روزانه از۲۱ تا۲۳ دسامبر ۱۹۹۲، چهار روزه با ۲۷/۲۵ میلی‌متر متوسط روزانه از ۵ تا۸ ژانویه۱۹۶۹، پنج روزه با ۲۰/۲ میلی‌متر متوسط روزانه از ۲۱ تا ۲۵ ژوئیه ۱۹۹۵ و شش روزه با ۴۳ میلی‌متر متوسط روزانه از اول تا ششم فوریه ۱۹۹۳ رخ داده است.

جدول ٤ - شدت متوسط بارش روزانه توالی‌ها بر حسب ماه

توالی	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
۱ روزه	۴۰	۴۱	۳۳	۴۱	۹	۱۰	۲۳	۲۱	۲۷	۵۲	۱۴	۳۷
۲ روزه	۲۶/۷	۲۷/۵	۳۳/۲	۱۳/۵	۲/۸	۱۲/۵	۱۶/۵	۱۰	۳	–	۱۹	۱۹
۳ روزه	۲۰/۳	۲۲/۲	۲۰/۳	۲۱/۷	–	–	۸/۸	۳/۵	۲/۳	۱/۹	–	۲۹
۴ روزه	۲۷/۲۵	۶/۱۵	۸/۵۵	۱۱/۲۵	–	–	–	–	–	–	۱/۴	۲۳/۱
۵ روزه	۱۲/۷	–	۸	–	–	–	۲۰/۲	–	–	–	–	۵/۳۶
۶ روزه	۶/۵	۴۳	۱۳	–	–	–	–	–	–	–	–	۱۷/۴

زمان شروع و خاتمه بارندگی و فاصله بین بارش‌ها

زمان متوسط شروع بارندگی‌ها ۱۷ آذر و خاتمه بارندگی‌ها روز ۱۷ فروردین است. زودترین روز آغاز بارش با اطمینان ۹۵ درصد هشتم آذرماه و دیرترین زمان خاتمۀ بارندگی‌های لارستان بیست وششم فروردین ماه است. متوسط فاصله بارندگی‌ها تقریباً ۶ روز است. بیش از۸۴ در صدکل بارندگی‌های منطقه در دوره ۱۷ آذر تا ۲۶ فروردین می‌بارد.

پیش‌بینی دوره‌های مرطوب

هدف اصلی این تحقیق پیش‌بینی دوره‌های مرطوب در منطقه لارستان است. تا بر این اساس به‌توان راهنمایی‌ها و توصیه‌های کاربردی برای فعالیت‌های کشاورزی و حتی اقتصادی منطقه ارایه کرد. به منظور پیش‌بینی دوره‌های مرطوب ابتدا فراوانی عناصر زنجیره مارکوف محاسبه شد (جدول ۵). طبق این جدول زنجیره خشک بسیار فراوان و زنجیره مرطوب دو روزه کمتر از همه است. توالی‌های خشک- مرطوب هم کمتر است. در واقع منطقه شرایط خشکی گسترده و شدید دارد.

جدول۵ - متوسط فراوانی ماهانه زنجیره‌های بارش

سال	دسامبر	نوامبر	اکتبر	سپتامبر	اوت	ژوئیه	ژوئن	مه	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه	زنجیره
۱۴/۳	۲/۰۳	۰/۷۶	۰/۱۵۸	۰/۴۷	۱/۳	۰/۷۶	۰/۱۹	۰/۲۲	۱/۳۴	۲/۴۵	۲/۳۴	۲/۷۱	۰۱
۱۴/۴	۱/۹۷	۰/۷۸	۰/۱۸۴	۰/۴۲	۱/۲۷	۰/۷۶	۰/۱۹	۰/۱۹	۱/۴۷	۲/۵۳	۲/۳۹	۲/۶۸	۱۰
۳۰۲/۶	۲۴/۶	۲۷/۲	۲۹/۶۱	۲۷/۹	۲۷/۱	۲۸/۲	۲۸/۶	۲۹/۶	۲۵/۶	۲۳/۱	۲۱/۱	۲۲/۴	۰۰
۸/۴۳۶	۱/۴۲	۰/۳	۰/۰۵۳	۰/۱۶	۰/۳	۰/۳	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۵۸	۱/۸۹	۱/۳۹	۲/۲۱	۱۱

فراوانی نظری توالی‌های بارش در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه بر اساس این رابطه محاسبه و به عبارتی پیش‌بینی شد:

$$w_m = ۱ + [(N - m) (P_{۰۱}) (P_{۱۰}) (۱ - P_{۱۰})^{m-۱}] / (P_{۰۱}) + (P_{۱۰})$$

نتایج حاصل از این پیش‌بینی برای توالی‌های یک تا شش روزه در نیمه راست جدول ۶ نوشته شده‌اند.

فراوانی‌های واقعی توالی‌های مرطوب در نیمه چپ جدول ۵ درج شده‌اند. مقایسهٔ فراوانی توالی‌های پیش‌بینی شده با فراوانی‌های واقعی نشان می‌دهد که دقت مدل مارکوف در پیش‌بینی توالی‌ها مناسب است و با این مدل می‌توان توالی‌های مرطوب مناطقی چون لار را که بی‌نظمی شدید بارش دارند پیش‌بینی کرد. برای اثبات مطمئن این تطابق، فراوانی‌های پیش‌بینی شده و مشاهده شده با استفاده از آزمون خی دو در سطح۰/۵ = α با هم مقایسه شد. نتایج آزمون مطابقت مقادیر را تأیید کرد. در نتیجه فرضیه تحقیق مبنی بر توانایی مدل مارکوف در پیش‌بینی دوره‌های مرطوب مناطق خشک تأیید شد.

یافته‌های تحقیق

پردازش داده‌های بارش منطقه لارستان یافته‌های مهمی را ارائه کرد که به این شرح عرضه می شود:

۱. زمان متوسط شروع بارندگی در لارستان روز۱۷ آذر و زمان متوسط خاتمه بارندگی روز ۱۷ فروردین است. ۸۴ درصد کل بارش ها در این فاصله زمانی می‌بارد.
۲. فصل زمستان و ماه ژانویه به ترتیب مرطوب‌ترین فصل و ماه منطقه – چه از نظر فراوانی وقوع و چه از نظر شدت بارندگی – است. بهار خشک‌ترین فصل در دوره آماری است؛ زیرا در زمستان بادهای غربی هوای مرطوب و بارانی به منطقه می‌آورند و در تابستان هم جریان‌های موسمی بارش‌های رگباری ایجاد می‌کنند (علیجانی، ۱۳۷۴؛ عربی، ۱۳۷۹ ؛ و نجار سلیقه، ۱۳۷۷).

جدول ٦- مقایسه فراوانی پیش بینی شده توالی‌ها از مدل زنجیره مارکوف با فراوانی واقعی آن‌ها

فراوانی‌های پیش بینی شده						فراوانی‌های مشاهده شده						
شش روزه	پنج روزه	چهار روزه	سه روزه	دو روزه	یک روزه	شش روزه	پنج روزه	چهار روزه	سه روزه	دو روزه	یک روزه	ماه
۲/۹۸	۵/۴	۱۰/۸	۲۲/۸	۴۹/۵	۱۰۹	۱	۳	۸	۲۷	۸۴	۱۰۳	ژانویه
۱/۶	۲/۷	۵/۶	۱۳/۴	۳۴/۸	۹۲/۸	۱	۲	۴	۱۴	۵۳	۸۹	فوریه
۲/۴	۴/۲	۸/۵	۱۸/۵	۴۲	۹۶/۹	۲	۶	۱۳	۲۶	۷۲	۹۳	مارس
۱/۰۹	۱/۳	۲/۲	۵/۲	۱۵/۹	۵۴/۲	۰	۰	۱	۶	۲۲	۵۱	آوریل
۱	۱	۱/۰۱	۱/۱	۱/۹۶	۸/۷	۰	۰	۰	۰	۱	۸	مه
۱	۱/۰۱	۱/۰۷	۱/۳	۲/۵	۷/۶	۰	۰	۰	۰	۲	۷	ژوئن
۱/۰۵	۱/۱۷	۱/۶	۳/۲	۹	۲۹/۷	۰	۱	۲	۵	۱۱	۲۸	ژوئیه
۱/۰۱	۱/۰۶	۱/۳	۲/۸	۱۰/۵	۵۰/۹	۰	۰	۰	۱	۱۱	۴۸	اوت
۱/۰۲	۱/۱	۱/۴	۲/۴	۶/۱	۱۹/۹	۰	۰	۰	۱	۶	۱۸	سپتامبر
۱	۱/۰۱	۱/۰۶	۱/۳	۲/۳	۶/۸	۰	۰	۰	۱	۲	۷	اکتبر
۱/۰۴	۱/۱۶	۱/۶	۳/۲	۸/۹	۲۹/۹	۰	۰	۱	۲	۱۱	۲۸	نوامبر
۲	۳/۴	۶/۸	۱۴/۹	۳۴/۲	۸۰	۱	۳	۸	۲۲	۵۴	۷۷	دسامبر
۱/۰۷	۱/۳	۲/۱	۵/۳	۱۷/۴	۶۳/۳	۰	۰	۱	۵	۲۳	۶۰	بهار
۱/۰۷	۱/۳	۲/۳	۶/۵	۲۴/۳	۱۰۰	۰	۱	۲	۷	۲۸	۹۴	تابستان
۱/۹	۳/۳	۷/۲	۱۷/۴	۴۴/۴	۱۱۶	۱	۳	۸	۲۵	۶۷	۱۱۰	پاییز
۴/۹	۱۰/۳	۲۳/۲	۵۳/۹	۱۲۷	۳۰۱	۴	۱۱	۲۶	۶۶	۲۰۶	۲۸۱	زمستان
۵	۱۱/۸	۳۰/۱	۷۹/۷	۲۱۳/۸	۵۷۶	۵	۱۵	۳۷	۱۰۵	۳۲۹	۵۵۷	سال

۳. متوسط فراوانی بارندگی سالانه ۲۴/۵ روز است. و حداکثر فراوانی روزهای بارانی سالانه ۴۴ روز و حداقل آن ۱۱ روز است. بیشترین فراوانی توالی‌های یک تا سه روزه در ماه ژانویه و توالی‌های چهار تا شش روزه در ماه مارس به وقوع پیوسته است.

۴. متوسط شدت روزانه بارندگی‌ها۸/۲ میلی‌متر و متوسط فاصله بین دو بارش شش روز است. شدیدترین بارش روزانه به مقدار ۱۰۲ میلی‌متر در روز چهارم فوریه ۱۹۹۳ بوده است. دامنه تغییرات بارش بین حداقل۵۵/۳ تا حداکثر ۴۴۰/۵ میلی‌متر می‌باشد . بارش‌های سنگین (بیش از ۳۰ میلی‌متر در روز) درطول دوره آماری موجود ۴۵ بار و بارش‌های بسیار سنگین (بیش از ۵۰ میلی‌متر در روز) ۱۰ بار در منطقه لارستان به وقوع پیوسته است.

۵. توانایی مدل مارکوف در پیش‌بینی دوره‌های مرطوب با اثبات معنی‌داری فرضیه تحقیق در سطح۰/۵ = α

تأیید شد. بنابراین می‌توان از این مدل در پیش‌بینی دوره‌های مرطوب برای برنامه‌ریزی کشاورزی و غیره در اکثر نقاط ایران استفاده کرد.

منابع:

۱. جعفری بهی، خدابخش، ۱۳۷۸ . تحلیل آماری دوره‌های خشک و تر با استفاده از مدل زنجیره مارکوف، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تهران.

۲. عربی، زهرا، ۱۳۷۹، تحلیل و ارایه الگوهای سینوپتیکی حاکم بر بارش‌های شدید و فراگیر فصل تابستان ایران، رساله دکترا، دانشگاه تربیت مدرس.

۳. علیجانی، بهلول، ۱۳۷۴. آب و هوای ایران، انتشارات دانشگاه پیام نور.

۴. علیزاده، امین، ۱۳۸۰، هیدرولوژی کاربردی، انتشارات آستان قدس رضوی، صفحه ۲۶۶.

۵. قادرمرزی ، حسن، ۱۳۸۰، تحلیل و پیش بینی نوسانات آب و هوا در استان کردستان با استفاده از مدل زنجیره مارکوف، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم.

۶. مشکانی، محمدرضا، ۱۳۶۳، بررسی احتمال تواتر روزهای خشک بابلسر از دیدگاه تجربی، مجله علوم آب، ۳ : ۵۱- ۳۷.

۷. نجار سلیقه، محمد، ۱۳۷۷، بررسی سینوپتیکی بارشهای موسمی جنوب شرقی ایران، رساله دکترا، دانشگاه تربیت مدرس.

۸. هاشمی، فریدون، ۱۳۴۷، تجزیه و تحلیل استاتیستیکی بارندگی سالانه، ماهانه و روزانه تهران، سازمان هواشناسی کشور.

9-Anagnostopoulou, Chr., Maheras, P., Karacostas, T., and Vafiadis, M. 2003. Spatial and temporal analysis of dry spells in Greece. *Theoretical and Applied Climatology*, 74: 77-91.

10-Banik, P., Mandal, A., and Rahman, MS. 2002. Markov chain analysis of weekly rainfall data in determining drought proneness. *Discrete dynamics in nature and society*, 7:231-239.

11-Chen, D. and Yuan, X. 2004. A markov Model for Seasonal Forecast of Antarctic Sea Ice. *Journal of Climate*, 17: 3156-3168.

12-Drton,M. Marzban, C., Guttorp, P. and Schaefer, J. T. ,2003.,"A Markov Chain Model of Tornadic Activity.''*Monthly Weather Review*,.131: 2941-2953.

13-Gabriel, K. R. and Neumann, J. 1962. A Markov chain model for daily rainfall occurrence at Tel Aviv, *Quarterly Journal of Meteorological Society*, 88 : 90-95.

14-Johnson, S.D. Battisti, D.S. and Sarachik,E.S. 2000: Seasonality in an Empirically Derived Markov Model of Tropical Pacific Sea Surface Temperature Anomalies. *Journal of Climate*, 13: 3327-3335.

15-Khambete, NN. 1993. Use of Markov chain model in Agri-climatic classification for assessment of crop potential. *Journal of Maharashtra Agricultural University*, 18:174-177.

16-Sumner,G. 1995. Daily precipitation patterns over wales:Toward a detailed precipitation climatology. *Transactions of Institution o f British Geographer*, 21: 157-179.

17-Subramaniam, AR. And Sanjeeva Rao, P. 1986. Dry spell sequences in south coastal Andhra, *Mausam*, 40: 57-60.

18-Sung -Euii Moon, Sang-Boom Ryoo and Jae- Gi Kwon. 1993. A Markov chain Model for daily Precipitation Occurrence in South Korea. *Jornal of Climatology* ,14: 1009-1016.

19-Victor, US. And Sastry, PS. 1979. Dry spell probability by Markov chain model and it's application to crop development stages. *Mausam*, 30: 479-484.

20-Vide, Javier M.and Lidia Gomez,.1999. Regionalization of Peninsular Spain based on the length of Dry spells. *International Journal of climatology*, 19: 537-548.