



مدلسازی زنجیره مارکوف غیرهمگن برای پیش بینی کوتاه مدت خشکسالی های جنوب شرق ایران

پیمان محمودی^۱، حجت‌الدانشمند^۲ الله بخش ریگی^۴

^۱استادیار اقلیم شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان،
p_mahmoudi@gep.usb.ac.ir

^۲استادیار اقلیم شناسی، گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان، daneshmand@hammon.usb.ac.ir

^۳دانش آموخته کارشناسی ارشد اقلیم شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان،
Allahbakhsh.rigi@yahoo.com

چکیده

هدف اصلی این پژوهش پیش بینی احتمال انتقال طبقات مختلف خشکسالی های جنوب شرق کشور با استفاده از مدل زنجیره مارکوف است. جهت دستیابی به اهداف پژوهش از داده های بارش ماهانه ۴ ایستگاه سینوپتیک کشور در یک دوره ۳۱ ساله (۲۰۱۳-۱۹۸۳) استفاده شد. بعد از فراهم شدن پایگاه داده ها با استفاده از شاخص EDI چهار طبقه خشکسالی یا بعبارتی دیگر چهار حالت از خشکسالی در نظر گرفته شد. سپس با استفاده از زنجیره مارکوف غیر همگن ویژگی های مارکوفی خشکسالی های ماهانه استان سیستان و بلوچستان استخراج و در نهایت اقدام به پیش بینی حالت های مختلف خشکسالی برای یک، دو و سه ماه آینده استان گردید. نتایج حاصل از زنجیره مارکوف غیر همگن نشان داد که ایستگاه ایرانشهر بیشترین احتمال وقوع طبقه خشکسالی های شدید و خیلی شدید را با ۰/۰۷ داشته است که نسبت به سایر ایستگاه ها بیشتر بوده است همچنین ایستگاه های چابهار و زابل این طبقه از شدت خشکسالی را در دوره مورد مطالعه تجربه نکرده اند. بیشترین زمان ماندگاری طبقه خشکسالی شدید و خیلی شدید در ماه آوریل برای ایستگاه ایرانشهر رخ داده است که ۹ ماه بطول می انجامد. بیشترین زمان گذار هنگامی که ماه آغازین آوریل باشد از طبقه خشکسالی ضعیف به ترسالی در ایستگاه ایرانشهر ۶/۷۵ ماه به طول می انجامد. پیش بینی طبقات آب و هوایی برای ۱، ۲ و ۳ ماه آینده، برای حالت های آغازین (ژانویه، آوریل و اکتبر) صورت گرفت در فصل بهار طبقه پیش بینی شده برای ایستگاه زاهدان هنگامی که طبقه آغازین خشکسالی شدید و خیلی شدید باشد پیش بینی یک، دو و سه ماه آینده خشکسالی شدید و خیلی شدید خواهد بود.

واژه های کلیدی

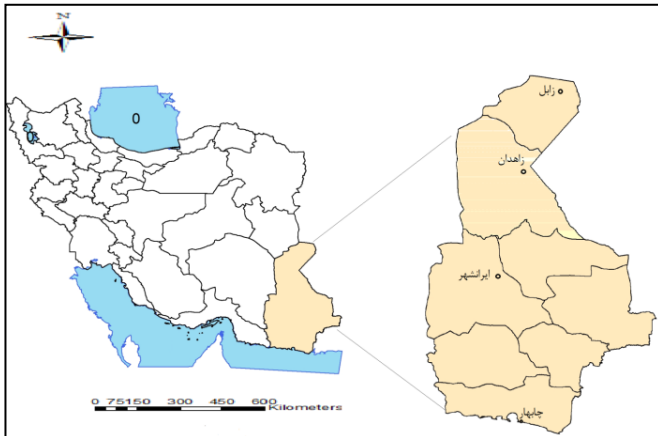
خشکسالی، زنجیره مارکوف غیرهمگن، آزمون کای اسکوار، شاخص EDI، جنوب شرق ایران

۱- مقدمه

این بخش وارد می نماید. در سال های ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۴ دولت استرالیا حدود ۹۲۵ میلیون دلار صرف جبران خسارات ناشی از خشکسالی کرد و یا آن که دولت آفریقای جنوبی ۲/۵ میلیارد دلار برای جبران خسارات خشکسالی در اواسط دهه ۱۹۷۰ تا نیمه دهه ۱۹۸۰ صرف نمود [۱۰]. در کشور ما نیز خشکسالی های گسترده ی سال های ۱۹۷۱-۱۹۷۰ و ۱۹۸۹-۱۹۸۸ که به ترتیب ۸۲/۲۱ و ۹۲/۰۵ درصد مساحت کشور را در بر گرفتند خسارات بسیاری را به کشور وارد کردند [۱]. منطقه جنوب شرق کشور هم با

خشکسالی یکی از بلایای طبیعی نامحسوس و حالتی نرمال و مستمر از اقلیم است که معمولاً با کاهش بارندگی و رطوبت نسبی، همچنین با افزایش درجه حرارت و سرعت باد همراه است که در یک دوره زمانی خاص حادث می شود. تمامی جوامع در ابعاد اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی و غیره از خشکسالی آسیب می بینند. بعنوان مثال در بخش کشاورزی که عمده ترین مصرف کننده آب به شمار می رود این پدیده خسارات زیادی به

توزیع و پراکنش ایستگاه های مورد مطالعه در شکل (۱) آورده شده است



شکل ۱: موقعیت ایستگاه های مورد مطالعه

بعد از تشکیل بانک اطلاعاتی مورد نیاز، برای شناسایی فراوانی درجات مختلف خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان از شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) استفاده شد. این شاخص توسط بیون و ویلهیت در سال ۱۹۹۹ جهت آشکارسازی خشکسالی و تعیین زمان آغاز و خاتمه آن توسعه داده شده است [۱۷]. شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) در شکل اصلی خود، بر خلاف دیگر شاخص های خشکسالی، بر اساس داده های روزانه محاسبه می شود؛ هرچند که اصول آن می تواند به داده های بارش ماهانه نیز تعمیم داده شود. طبقه بندی شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) شبیه طبقه بندی شاخص استاندارد شده بارش (SPI) است که در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱. طبقه بندی شاخص خشکسالی مؤثر

وضعیت	نمایه بارش مؤثر
فوق العاده مرطوب	بزرگتر یا مساوی از ۲/۵
خیلی مرطوب	بزرگتر یا مساوی از ۱/۵
کمی مرطوب	بزرگتر یا مساوی از ۰/۷
نرمال	کوچکتر از ۰/۷ و بزرگتر از -۰/۷
خشکسالی ملایم	کوچکتر یا مساوی -۰/۷
خشکسالی شدید	کوچکتر یا مساوی -۱/۵
خشکسالی بسیار شدید	کوچکتر یا مساوی -۲/۵

جهت اطلاع از روش محاسبه جبر ریاضی شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) می توان به منابع [۱۸، ۱۹، ۲۰ و ۲۱] مراجعه نمود. در این مطالعه با توجه به اینکه اندازه نمونه ها و تعداد حالت های یک سری زمانی می توانند بر روی دقت برآوردهای یک مدل زنجیره مارکوف تأثیر گذار باشند لذا چهار

بارشی کمتر و دمایی بالاتر از میانگین کشور در بیشتر سالها در معرض خشکسالی های فراوانی قرار داشته و خسارات بسیار فراوانی را متحمل گشته است. بنابراین تعیین ویژگی های خشکسالی یا ترسالی در این منطقه از کشور، می تواند یکی از نیازهای اساسی برنامه ریزان محیطی و اقتصادی به ویژه برنامه ریزی برای مدیریت منابع آب باشد. بنابراین همواره پیش بینی خشکسالی یکی از دغدغه های بزرگ هواشناسان و اقلیم شناسان بوده است و در رسیدن به این هدف از روش ها و شاخص های مختلفی استفاده کرده اند که مدل زنجیره مارکوف یکی از این روشهاست. زنجیره مارکوف این امکان را فراهم می آورد تا آینده را با بکار بردن حالت های احتمالی و ماتریس احتمال انتقال پیش بینی کرد. محققان فراوانی به پیش بینی خشکسالی با این مدل پرداخته اند که می توان به مطالعات لوهانی و لوگاناتان^۱ [۱۱] و لوهانی و همکاران [۱۲] در ایالت ویرجینیای آمریکا، آناگنوستوپولو^۲ و همکاران [۱۳] و تولیکا و ماهر^۳ [۱۴] در یونان، پائولو و پیرا [۱۵] در جنوب پرتغال، لیو^۴ و همکاران [۱۶] در چین، حجازی زاده و شیرخانی [۲] و علیزاده و آشگر توسی [۳] در خراسان، دریاباری [۴] و قمقامی و بذرافشان [۵] در گستره ایران، علیزاده و همکاران [۶] در سیستان و بلوچستان، بشیر زاده و عراقی نژاد [۷] در استان لرستان، وفاه خواه و بشری سه قلعه [۸] در حوزه آبخیز کشف رود و بنی مهد و خلیلی [۹] در حوزه رودخانه اترک اشاره نمود. لذا هدف اصلی این مطالعه پیش بینی کوتاه مدت خشکسالی در جنوب شرق ایران با استفاده از زنجیره مارکوف است که می تواند در راستای توسعه ابزارهای هشدار سریع خشکسالی های ماهانه این بخش از کشور بسیار کمک رسان باشد.

۲- مواد و روش کار

در این تحقیق از آمار بارش ماهانه ۴ ایستگاه سینوپتیک کشور در یک دوره آماری ۳۱ ساله (۲۰۱۳-۱۹۸۳) استفاده گردید. این داده ها دارای آماری کامل و قابل اعتمادی بودند که اندک خلاء آماری داده ها با استفاده از همبستگی و مدل های رگرسیونی بازسازی شدند. همچنین جهت بررسی درجه صحت و اطمینان داده ها از نظر همگنی، از آزمون ران تست (Run Test) استفاده و همگنی آن ها در سطح بالایی مورد پذیرش قرار گرفت.

¹.Lohaniand Loganatan

². Anagnostopoulou

³. Tolika and P. Maheras

⁴.Liu

بستگی به ماه آغازین دارد که از احتمالات انتقال بین طبقات مختلف خشکسالی که برای هر ماه تعریف شده است بدست می‌آید. فرمول بندی کامل هر کدام از محاسبات چهارگانه بالا در منابع [۱۱ و ۱۲] آورده شده است.

۳- بحث و نتایج

در این پژوهش با استفاده از شاخص EDI، طبقات مختلف خشکسالی برای تمامی ماه‌های مورد مطالعه تعیین و سپس با استفاده از زنجیره مارکوف غیرهمگن، ویژگی‌های مارکوفی خشکسالی‌های ایستگاه مورد مطالعه استخراج گردید و در نهایت به پیش بینی طبقات مختلف خشکسالی‌ها پرداخته شد. از آنجایی که در ماه‌های فصل تابستان بارشی وجود ندارد و اگر هم وجود داشته باشد بسیار اندک است از محاسبه ویژگی‌های زنجیره مارکوف غیر همگن برای سه ماه جولای، آگوست و سپتامبر خودداری گردید.

در ابتدا احتمال وقوع هر طبقه از شدت خشکسالی برای ماه‌های فصل زمستان، بهار و پاییز محاسبه گردیدند که نتایج آنها در جدول ۲ ذکر گردیده است. احتمال بروز طبقه خشکسالی ضعیف در ماه‌های فصل زمستان نشان داد که بیشترین احتمال وقوع طبقه خشکسالی ضعیف در این فصل در ماه نوامبر برای ایستگاه چابهار با ۰/۶ و سپس در ماه مارس ۰/۵۷ برای ایستگاه زاهدان اتفاق افتاده است. همچنین در ایستگاه‌های زابل و ایرانشهر بیشترین احتمال وقوع طبقه خشکسالی ضعیف ۰/۴۵ در ماه ژانویه بوده است. احتمال بروز طبقه خشکسالی متوسط در ایستگاه ایرانشهر با ۰/۳۴ در ماه مارس و در ایستگاه زابل ۰/۳ رخ داده است که بیشترین درصد احتمال وقوع این طبقه در دوره مورد بررسی بوده است. نتایج بررسی وقوع احتمال طبقه خشکسالی شدید و خیلی شدید در این فصل نشان دهنده این واقعیت است که ایستگاه ایرانشهر بیشترین خشکسالی‌های شدید و خیلی شدید را نسبت به سایر ایستگاه‌ها تجربه کرده است بگونه‌ای که بیشترین درصد احتمال وقوع ۰/۰۷ بوده است که در این ایستگاه بصورت مکرر در ماه‌های مختلف سال رخ داده است. همچنین در ایستگاه زاهدان بیشترین درصد وقوع این طبقه در ماه اکتبر با ۰/۰۴ درصد اتفاق افتاده است ایستگاه‌های چابهار و زابل این طبقه از خشکسالی را تجربه نکرده‌اند.

طبقه خشکسالی یا عبارتی دیگر چهار حالت از خشکسالی‌ها دوباره باز تعریف شدند که به شرح زیر می‌باشند:

- بدون خشکسالی (۰)
- خشکسالی ضعیف (۱)
- خشکسالی متوسط (۲)
- خشکسالی شدید و یا بسیار شدید (۳)

آستانه‌های در نظر گرفته شده برای این طبقه بندی در واقع همان آستانه‌های پیشنهاد شده برای شاخص EDI هستند با این تفاوت که تمامی طبقات ترسالی در یک طبقه و طبقات شدید و بسیار شدید خشکسالی نیز در یک طبقه دیگر قرار داده شده‌اند.

در نهایت بعد از محاسبه و طبقه بندی شاخص خشکسالی مؤثر (EDI)، از زنجیره مارکوف غیر همگن جهت پیش بینی‌های کوتاه مدت خشکسالی‌های استان سیستان و بلوچستان بهره گرفته شد. در زنجیره‌های مارکوف غیر همگن ویژگی‌های استخراج شده سری زمانی مورد مطالعه وابستگی کاملی به زمان آغازین مورد مطالعه دارند. در فرمول بندی زنجیره مارکوف غیر همگن، ماتریس‌های احتمال انتقال، ۱۲ ماهه در نظر گرفته می‌شوند که بیانگر انتقال طبقات از ماه ژانویه به فوریه؛ فوریه به مارس؛ ... و دسامبر به ژانویه است. این ماتریس‌ها، ماتریس‌هایی چرخشی هستند که تغییرات سالانه در آن‌ها مشاهده نمی‌شود بلکه احتمالات انتقال آن‌ها تنها به ماه و نه به سال بستگی دارد. احتمال انتقال این نوع از مدل زنجیره مارکوف به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$P_{ij}^{(n,n+1)} = P[X_{n+1}=j | X_n = i], \text{ for } i, j = 1, 2, \dots, 4 \text{ and } n = 1, 2, \dots, 12 \quad (1)$$

که شکل ساده شده آن به صورت زیر می‌باشد:

$$pi, j^{(n,n+1)} = Ni, j^{(n,n+1)} / ni^{(n)} \quad (2)$$

که $Ni, j^{(n,n+1)}$ = تعداد انتقالات از طبقه i در ماه n به طبقه j در ماه $n + 1$ = تعداد وقوع طبقه i در ماه n . اگر $N_i^{(n)}$ برای برخی از، i ها، صفر شود آنگاه ما $pi, j^{(n,n+1)} = 1/4$ را برای تمامی $j = 0, 1, 2, \dots, 3$ تعریف می‌کنیم. در فرمول بندی زنجیره مارکوف غیر همگن محاسبه:

- احتمال وقوع طبقات مختلف شدت خشکسالی
- متوسط زمان ماندگاری قابل انتظار در هر طبقه از شدت خشکسالی
- زمان اولین گذار قابل انتظار از طبقات مختلف خشکسالی به طبقه ترسالی و
- پیش بینی کوتاه مدت طبقات مختلف خشکسالی



کرده‌اند. بیشترین زمان اولین گذار از طبقه خشکسالی ضعیف به طبقه ترسالی هنگامی که ماه آغازین آوریل باشد در ایستگاه ایرانشهر رخ داده است که ۶/۷۵ ماه طول می کشد.

زمان گذار قابل انتظار از طبقه خشکسالی متوسط به طبقه ترسالی فقط در فصل زمستان هنگامی که ماه آغازین ژانویه باشد در ایستگاه های ایرانشهر و زاهدان رخ داده است. زمان گذار از طبقه ۳ یعنی خشکسالی شدید و خیلی شدید در این دوره مطالعاتی رخ نداده است.

جدول ۴. اولین زمان گذار قابل انتظار

	ژانویه			آوریل			اکتبر		
	μ_{10}	μ_{20}	μ_{30}	μ_{10}	μ_{20}	μ_{30}	μ_{10}	μ_{20}	μ_{30}
ایرانشهر	۱/۲۷	۰/۷۹	*	۶/۷۵	*	*	.	*	*
زابل	۰/۵۳	*	*	۶/۵	*	*	۱/۲۱	*	*
زاهدان	۰/۴۳	۰/۵۴	*	۶/۳۵	*	*	۰/۰۹	*	*
چابهار	۱/۲۱	*	*	۶/۲۱	*	*	.	*	*

پیش بینی طبقات آب و هوایی برای ۱، ۲ و ۳ ماه آینده، بررسی شده است که نتایج آن در جدول ۵ ارائه گردیده است. هنگامی که طبقه آغازین خشکسالی شدید و خیلی شدید و ماه آغازین آوریل و اکتبر برای ایستگاه ایرانشهر باشد پیش بینی برای این طبقه برای یک، دو و سه ماه آینده خشکسالی شدید و خیلی شدید خواهد بود. در ایستگاه زاهدان هنگامی که طبقه آغازین خشکسالی متوسط باشد پیش بینی یک، دو و سه ماه آینده برای فصول سال همان طبقه آغازین خواهد بود. در دو ایستگاه زابل و چابهار طبقه خشکسالی شدید و خیلی شدید در این دوره مطالعاتی رخ نداده است به همین خاطر برای این دو ایستگاه Non درج شده است.

جدول ۵. پیش بینی طبقات آب و هوایی برای ۱، ۲ و ۳ ماه آینده

		ژانویه			آوریل			اکتبر		
		t+1	t+2	t+3	t+1	t+2	t+3	t+1	t+2	t+3
چابهار	۰	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
	۱	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
	۲	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
	۳	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
ایرانشهر	۰	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
	۱	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
	۲	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
	۳	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
زابل	۰	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
	۱	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
	۲	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
	۳	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
زاهدان	۰	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
	۱	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
	۲	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
	۳	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non

ترسالی خشکسالی ضعیف خشکسالی متوسط خشکسالی شدید

جدول (۲). احتمال وقوع هر طبقه از شدت خشکسالی

	دسامبر	نوامبر	اکتبر	ژوئن	مه	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه
چابهار	۰/۳۴	۰/۲۷	۰/۲۴	۰/۴۲	۰/۴۱	۰/۴۱	۰/۴۶	۰/۳۷	۰/۳۱
	۰/۵۲	۰/۱۶	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۲۷	۰/۴۲	۰/۴۹
	۰/۱۴	۰/۱۲	۰/۲۸	۰/۱۹	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۲۷	۰/۲۱	۰/۲۱
	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
ایرانشهر	۰/۳۹	۰/۴۵	۰/۵۵	۰/۴۵	۰/۴۹	۰/۴۵	۰/۴	۰/۴۵	۰/۳۴
	۰/۴۵	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۲۴	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۲۷	۰/۴۵
	۰/۱	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲۷	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۱۷
	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۳
زابل	۰/۴	۰/۴۴	۰/۵	۰/۵	۰/۴۶	۰/۴۲	۰/۳۴	۰/۳۶	۰/۳۱
	۰/۴۲	۰/۳۱	۰/۲۴	۰/۲	۰/۲۴	۰/۲۲	۰/۲۸	۰/۲۵	۰/۴۵
	۰/۱۴	۰/۲۵	۰/۲۶	۰/۲	۰/۲	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۲۹	۰/۲۴
	۰/۰۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
زاهدان	۰/۲۸	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۴۲	۰/۴۵	۰/۳۷	۰/۲۹	۰/۳۸	۰/۳۱
	۰/۴۹	۰/۴۲	۰/۴۱	۰/۳۸	۰/۴۱	۰/۴۹	۰/۵۷	۰/۴۸	۰/۵
	۰/۱۴	۰/۲۰	۰/۱۸	۰/۱۷	۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۲۲
	۰	۰	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰	۰/۰۲	۰/۰۲

جدول ۳ نتایج مدت زمان ماندگاری را برای ماه های آغازین ژانویه، آوریل و اکتبر برای ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. برای هر ماه، سه مقدار بیان شده است که معرف طبقات خشکسالی هستند که قبلاً تعریف شده‌اند. زمانی که حالت ۱ یعنی خشکسالی ضعیف در ژانویه رخ دهد انتظار می‌رود ۳/۹ ماه در زاهدان، ۱/۷۱ ماه در زابل، ۱/۷۴ ماه در ایرانشهر به طول بینجامد و درحالی است که این حالت در ماه آوریل ۵/۰۸ ماه در زابل و ۲/۵۴ در ایرانشهر در اکتبر بطول می‌انجامد. مدت زمان ماندگاری طبقه خشکسالی متوسط در ماه های مورد بررسی برای ایستگاه های ایرانشهر و چابهار نسبت به دو ایستگاه دیگر بیشتر بوده است بطوریکه بیشترین احتمال وقوع این طبقه از شدت خشکسالی در ایستگاه ایرانشهر و چابهار در ماه آغازین آوریل به ترتیب ۴/۸۲ و ۴/۷۲ ماه بوده است. بیشترین زمان ماندگاری برای طبقه خشکسالی شدید و خیلی شدید در ماه آوریل ۹ ماه در ایستگاه ایرانشهر رخ داده است در جهت عکس ایستگاه زابل و چابهار با ۰/۳۳ ماه کمترین زمان ماندگاری را در این طبقه از خشکسالی را در ماههای مورد بررسی را نشان می دهند

جدول ۳. مدت زمان ماندگاری قابل انتظار در هر یک از طبقات خشکسالی

	اکتبر			آوریل			ژانویه		
	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳
زاهدان	۱/۱۲	۱/۱۲	۲/۳۲	۲/۱۳	۱/۹	۶/۰۴	۱/۲۸	۱/۷۲	۳/۹۸
زابل	۰/۳۳	۰/۷۵	۱/۱۳	۰/۳۳	۲/۴۴	۵/۰۸	۰/۳۳	۱/۷۲	۱/۷۱
ایرانشهر	۲	۳	۲/۵۴	۹	۶/۸۲	۳/۷۴	۱	۶/۵۲	۱/۷۴
چابهار	۰/۳۳	۰/۷۴	۱/۸۲	۰/۳۳	۶/۷۲	۳/۹۹	۰/۳۳	۴/۳۶	۱/۷

نتایج حاصل از محاسبه ویژگی اولین زمان گذار قابل انتظار به ترتیب برای سه ماه از فصل پاییز، زمستان و بهار در جدول ۴ ارائه گردیده است. مقادیری که در داخل جدول درج شده است مربوط به حالت‌ها یا طبقاتی بوده‌اند که ایستگاه‌های مورد مطالعه در طول این ۳۰ سال آن را تجربه

[۹] بنی مهد، سید ادیب و خلیلی، داور، "تحلیل انتقال گروه های خشکسالی با استفاده از زنجیره مارکوف و روش خطی - لگاریتمی: راه کاری برای اعلام هشدار اولیه"، نشریه علوم و مهندسی آبخیز داری ایران، شماره ۲۴، ۱۳۹۳.

- [1] D. A. Willhite, "The role of government in planning for drought: Where do we go from here?" p. 425-444. In: D.A. Willhite and W.E. Easterling (Eds.). Planning for drought: Toward a reduction of societal vulnerability. Westview Press, Inc. Boulder, Colo, 1987.
- [2] V. K. Lohani, and G. V. Loganathan, "An early warning system for drought management using the palmer drought index," Journal of American water Resources Association. 33: 1375-1386, 1996.
- [3] V. K. Lohani, G. V. Loganathan and S. Mostaghimi, "Long-Term Analysis and Short-Term Forecasting of Dry Spells by Palmer Drought Severity Index", Nordic Hydrology, 29 (I), 21-40, 1998.
- [4] Chr. Anagnostopoulou, P. Maheras, T. Karacostas, and M. Vafiadis, "Spatial and temporal analysis of dry spells in Greece", Theor, Appl, Climatol, 74, 77-91, 2003.
- [5] K. Tolika, and P. Maheras, "Spatial and temporal characteristics of wet spells in Greece", Theor, Appl, Climatol, 81, 71-85, 2005.
- [6] A. A. Paulo, and L. S. Pereira, "Prediction of SPI Drought Class Transitions Using Markov Chains", Water Resour Manage, 21, 1813-1827, 2007.
- [7] X. Liu, L. Ren, F. Yuan, B. yang, and P. R. Nanjing, "Meteorological drought forecasting using Markov chain model", In 11th international conference on Environmental science and Information Application Technology, Crete, Greece, 23-26, 2009.
- [8] H. R. Byun, D. A. Wilhite, "Objective quantification of drought severity and duration" J. Climate, 12, 2747-2756, 1999.
- [9] R. Akhtari, S. Morid, M. H. Mahdian, and V. Smakhtin, "Assessment of areal interpolation methods for spatial analysis of SPI and EDI drought indices", Int. J. Climatol, 29, 135-145, 2009.
- [10] N. Kalamaras, H. Michalopoulou, and H. R. Byun, "Detection of drought events in Greece using daily precipitation", Hydrol. Res. 41 (2), 126-133, 2010.
- [11] D. W. Kim, and H. R. Byun, "Future pattern of Asian drought under global warming scenario", Theor. Appl. Climatol. 98, 137-150, 2009.
- [12] S. Morid, V. Smakhtin, and M. Moghaddasi, M., 2006. Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran. Int. J. Climatol. 26, 971-985, 2006.

۴ - نتیجه گیری

برای پیش بینی احتمال انتقال طبقات مختلف خشکسالی های ماهانه از زنجیره مارکف غیر همگن استفاده شد که نتایج نشان داد که زنجیره مارکف غیر همگن به علت وابسته بودن به زمان آغازین از توانایی بیشتری برای پیش بینی احتمال انتقال طبقات مختلف نسبت به نوع دیگر زنجیره مارکف، یعنی زنجیره مارکف همگن برخوردار است نتایج پیش بینی برای تمام فصول سال برای ایستگاه ایرانشهر در حالت های آغازین طبقه خشکسالی متوسط و طبقه شدید و خیلی شدید همان طبقات خواهد بود که خشکسالی در این ایستگاه به همراه زاهدان نسبت به سایر ایستگاه ها بیشتر بوده است.

مراجع

- [۱] بذرافشان، جواد، "کاربرد مدل های لوگ خطی در تحلیل انتقال طبقات خشکسالی شاخص بارندگی استاندارد (SPI) در ایستگاه های هواشناسی قدیمی ایران طی قرن بیستم"، مجله پژوهش آب ایران، سال چهارم، شماره هفتم، ۱۳۸۹.
- [۲] حجازی زاده، زهرا و شیرخانی، علیرضا، "تحلیل و پیش بینی آماری خشکسالی و دوره های خشک کوتاه مدت در استان خراسان رضوی"، پژوهش های جغرافیایی، شماره ۵۲، ۱۳۸۴.
- [۳] علیزاده، امین و اشگر طوسی، شادی، "توسعه یک مدل برای پایش و پیش بینی خشکسالی خراسان"، مجله علوم و صنایع کشاورزی ویژه آب و خاک، جلد ۲۲، شماره ۱، ۱۳۸۷.
- [۴] دریاباری، سید جمال الدین (۱۳۸۵)، پیش بینی خشکسالی براساس مدل های ماتریس احتمال انتقال تجربی در مناطق مختلف ایران، نشریه علوم جغرافیایی، جلد ۵، شماره ۷.
- [۵] قمقما، مهدی و بذرافشان، جواد، "پیش آگاهی وضعیت خشکسالی هواشناسی در گستره ایران با استفاده از مدل زنجیره مارکوف"، مجله منابع آب و حفاظت خاک، شماره ۳، ۱۳۹۱.
- [۶] علیزاده، امین و انصاری، حسین، "پایش و پیش بینی خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان"، جغرافیا و توسعه ناحیه ای، شماره ۱۱، ۱۳۸۷.
- [۷] بشیرزاده، محمد و عراقی نژاد، شهاب، "پیش بینی شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی با استفاده از تئوری RUN و مارکوف"، مجله پژوهش های آب ایران، شماره ۶، ص ص ۹۴ - ۹۱، ۱۳۸۹.
- [۸] وفاخواه، مهدی و بشریه سه قلعه، مهدی، "بررسی احتمال وقوع دوره های ترسالی و خشکسالی هیدرولوژیک با استفاده از زنجیره مارکوف در حوزه آبخیز کشف رود"، پژوهش های آبخیز داری، شماره ۹۴، ۱۳۹۱.