تحليل فراواني و شدت خشكسالي هواشناسي استان اصفهان

سعيد سلطاني[۱] رضا مدرس[۲]

چكيده

خشكسالي، پديده‌اي اقليمي‌است كه تاثيرات آن را مي‌توان نه فقط در مناطق خشك و نيمه‌خشك، بلكه گاهي در مناطق مرطوب نيز مشاهده كرد. به‌منظور كاهش‌اين تاثيرات خشكسالي را بايد به‌صورت كاملاً علمي‌و در چارچوب صحيح مطالعه كرد. از آنجا كه خشكسالي مي‌تواند يک پديده هيدرولوژيك نيز محسوب شود، به‌منظور بررسي آن بايد از روش‌هاي مطالعه پديده‌هاي هيدرولوژيك استفاده كرد. زنجيره ماركف يكي از مدل‌هاي مهم و كلاسيك استوكاستيك است كه كاربرد زيادي در هيدرولوژي و هواشناسي دارد. دراين مطالعه به‌منظور تهيه نقشه احتمال وقوع خشكسالي، در۲۲ ايستگاه استان اصفهان وضعيت‌هاي به‌دست آمده از روش گيبز و ماهر به‌عنوان زنجيره ماركف در نظر گرفته شد و دوره بازگشت آنها براي هر ايستگاه به‌دست آمد. سپس با استفاده از روش كريجينگ معمولي نقشه دوره بازگشت خشكسالي استان اصفهان ترسيم شد.

واژه‌های كليدي: *استان اصفهان، فراواني خشكسالي، روش گيبز و ماهر، زنجيره ماركف و كريجينگ معمولي.*

۱- استاديار دانشكده منابع طبيعي، دانشگاه صنعتي اصفهان **E-mail:** ssoltani@cc.iut.ac.ir

۲- دانشجوي كارشناسي‌ارشد بيابان‌زايي، دانشگاه صنعتي اصفهان **E-mail:** Rezamod75@hotmail.com

مقدمه

خشكسالي، پديده‌اي اقليمي‌است كه تاثيرات آن را مي‌توان فقط در مناطق خشك و نيمه‌خشك، بلكه گاهي در مناطق مرطوب نيز مشاهده كرد. اگرچه خشكي يك صفت اقليمي‌است كه مختص مناطق خشك و نيمه‌خشك است و نوعي ويژگي دائمي‌آب و هواي منطقه خشك محسوب مي‌شود (۸،۷) اما خشكسالي عارضه‌اي است كه از كاهش غيرمنتظره بارش در مدتي معين در منطقه‌اي كه لزوما خشك نيست، سرچشمه مي‌گيرد(۲۲). ضرورت مطالعه خشكسالي، دقيقا به‌دليل همين تاثيرات نامطلوب است(۱۵). از اغلب تعاريف خشكسالي چنين بر مي‌آيد كه خشكسالي دوره بلندمدت زماني است كه آب در دسترس به‌طور معني‌داري زيرحد معمول است. كمتر بودن ميزان آب نسبت به‌حد معمول در شرايط متفاوت و با توجه به‌حساسيت يك فرايند نسبت به‌كمبود رطوبت تعريف مي‌شود.

در چند دهه اخير شاهد پيشرفت علوم آماري و گسترش آن به‌تمام زمينه‌هاي علمي‌بوده‌ايم. كاربرد قوانين آمار و احتمال در هيدرولوژي از آن نظر حائز اهميت است كه از گذشته‌هاي دور هيدرولوژيستها، برنامه‌ريزان و طراحان در سطح برنامه‌ريزي‌هاي محلي، منطقه‌اي و ملي با مسئله پيش‌بيني پديده‌هاي هيدرولوژيك همچون سيل و خشكسالي مواجه بوده‌اند.

تحليل‌هاي آماري كه امروزه در مورد خشكسالي‌ها به‌كار برده مي‌شود، بر اساس تئوري توالي كه توسط يوويچ (به‌نقل از ۱۴، ۱۹۸۰) ارائه شد، استوار است. دراين روش با تقسيم دوره آماري به‌دو دوره بيشتر يا كمتر از ميانگين، دوره‌هايي كه مقدار متغير مورد نظر پائين‌تر از ميانگين است، به‌عنوان خشكسالي در نظر گرفته مي‌شوند. يكي ديگر از مدل‌هاي تصادفي كه براي بسياري از متغيرهاي هيدرولوژيك استفاده مي‌شود، زنجيره ماركف است. زنجيره ماركف در هيدرولوژي براي مدلسازي بارندگي، جريان رودخانه، رطوبت خاك و ذخيره آب به‌كار مي‌رود. مطالعات زيادي كاربرد مدل‌هاي استوكاستيك را در هيدرولوژي بررسي كرده‌اند. حسني‌ها و صالحي (۱۳۷۹) وضعيت خشكسالي و روند آن را در استان زنجان بررسي و با استفاده از روش ميانگين متحرك ۳ و ۵ ساله، دوره‌هاي خشكسالي در منطقه را تعيين كردند (۲).

رضائي پژند و مهدي پور (۱۳۸۰) خشكسالي هواشناسي شهر زابل را با استفاده از مدل استوكاستيک برای پيش‌بينی خشكسالی مورد بررسي قرار دادند. آنها سال‌هاي ۱۹۷۰ و ۱۹۹٤ را خيلي مرطوب، ۱۹۸۰ را فرا مرطوب و ۱۹۷۳ و ۱۹۷۸ را خيلي خشك گزارش كردند(۵).

مرادي و عرفان‌زاده (۱۳۸۰) وضعيت ترسالي‌ها و خشكسالي‌ها را در حوزه رود هراز با استفاده از تحليل منحني‌هاي ميانگين متحرك بررسي و اظهار كردند در ايستگاه پلور اواخر دهه ٤۰ و اوايل دهه ۷۰ با ترسالي و در سال‌هاي ٥٤-٥۳ تا ۷۲-۷۱ با خشكسالي مواجه بوده‌اند. در ايستگاه كره سنگ نيز سه دوره خشكسالي و سه دوره ترسالي مشاهده شده است (۱۱).

حقيقت‌جو و شامحمدي (۱۳۸۰) وضعيت رودخانه هيرمند را به وضعيت‌هاي خيلي خشك، خشك، نيمه‌خشك، متوسط، نيمه‌مرطوب، مرطوب و خيلي مرطوب تقسيم كرده و ماتريس احتمال انتقال وضعيت‌هاي مذكور را محاسبه‌كردند. سپس با توجه به‌ماتريس تعادلی، احتمال وقوع هر كدام از وضعيت را به‌دست آوردند (۳).

اسميت و شرايبر (۱۹۷٤) بارندگي‌هاي تابستانه را به‌دو وضعيت بارندگي (روزهاي بارانی) و بدون باران (روزهاي خشك) تقسيم كردند و ماتريس وضعيت آنها را تشكيل دادند. نتايج‌اين مطالعه نشان داد مدلي كه با استفاده از زنجيره ماركف برازش داده شده بود، چولگي كمتري نسبت به مدل‌های ديگر داشت (۲۱).

جكسون (۱۹۷۵) نيز از مدل ماركف دو وضعيتي براي بررسي دوره‌هاي خشك و مرطوب جريان رودخانه استفاده كرد. دراين مطالعه وضعيت ۱ دوره خشك يا جريان كم و وضعيت ۲ دوره نرمال جريان رودخانه را نشان مي‌دهد. ماتريس احتمال انتقال دراين حالت يك ماتريس ۲×۲ است كه عناصر آن احتمال انتقال از وضعيت ۱ به‌همان وضعيت و وضعيت ۲ و احتمال انتقال وضعيت ۲ به‌همان حالت و

وضعيت ۱ را نشان مي‌دهد. با استفاده ازاين ماتريس احتمال وقوع هر كدام از وضعيت‌هاي ۱ و ۲ به‌دست مي‌آيد(۱۸).هان و همكاران (۱۹۷٦) چنين مدلي را در مورد بارندگي روزانه ۷ ايستگاه‌ايالت كنتاكي ارائه كردند. آنها با استفاده از آمار بارندگي موجود براي هر ماه، ماتريس انتقال ۷×۷ را تشكيل دادند و با استفاده از زنجيره ماركف شاخص‌هاي مدل خود را تخمين زدند. آنها عنوان كردند زنجيره ماركف روش مناسبي براي تعيين شاخص‌هاي مدل است (۱۷). چن (۱۹۷۷) نيز با استفاده از بارندگي روزانه ۲۵ ساله صد ايستگاه‌ايالت متحده، مدل مناسب زنجيره ماركف را براي بارندگي روزانه جست‌وجو كرد (۱۳).

جورجيو و لتنماير (۱۹۸۷) نيز به‌منظور بررسي دوره‌هاي خشك و مرطوب بارندگي ماتريس احتمال انتقال را تشكيل دادند. دراين ماتريس، وضعيت ۱ مربوط به‌روزهاي بدون بارندگي و ۲ مربوط به‌روزهاي داراى بارندگى در نظر گرفته شد. سپس با استفاده از قواعد مربوط به‌زنجيره ماركف، ماتريس احتمال مطلق يا ماتريس تعادل به‌دست آمد و احتمال وقوع روزهاي باراني و بدون باران محاسبه شد(۱۵).

تامپسون (۱۹۹۹) با تركيب آزمون توالي، زنجيره ماركف و شاخص پالمر، خشكسالي‌ايالات مركزي آمريكا را از سال ۱۸۹۵ تا ۱۹۸۸ بررسي كرد. وي با استفاده از ماتريس تعادلي، احتمال وقوع وضعيت‌هاي مختلف خشكسالي را به‌دست آورد و با استفاده ازاين احتمالات، نقشه پهنه‌بندي احتمال وقوع خشكسالي درايالات مركزي آمريكا تهيه كرد(۲۲).

بيشتر مطالعات خشكسالى در كشور ما محدود به‌تعيين شدت و دوره خشكسالى بوده و احتمال وقوع و پهنه‌بندى آن كمتر در نظر گرفته شده است. براي مثال، كريمى و همكاران (۱۰) در استان فارس نقشه هم شدت خشكسالى را تهيه كردند كه فاقد خصوصيات فراوانى است. در مطالعه حاضر، بررسي خشكسالي هواشناسي در استان اصفهان به‌منظور تعيين احتمال وقوع و دوره بازگشت خشكسالي‌ها با استفاده از تركيب روش ميانگين متحرك گيبز و ماهر و فرايند ماركف مد نظر قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

يكي از ساده‌ترين روش‌هاي بررسي خشكسالي‌ها و تعيين دوره‌هاي خشك و تر، استفاده از روش ميانگين متحرك است. دراين روش وضعيت متغير هيدرولوژيك نسبت به‌ميانگين سنجيده مي‌شود. هرگاه مقدارايـن متغير از ميانگين بيشتر باشد، به‌عنوان ترسالي و هرگاه مقدار متغير كمتر از ميانگين باشد، به‌عنوان خشكسالي در نظر گرفته مي‌شود. دراين حالت ميانگين متحرك خطي به‌صورت زير نوشته مي‌شود(۱):

$$Y_t = (2k+1)^{-1} \sum_{j=-k}^{k} X_{t+j} \qquad (۱)$$

استفاده از روش ميانگين متحرك فقط مي‌تواند دوره‌هاي خشك و تر را به‌ما نشان دهد، اما قادر نيست ويژگي مهم خشكسالي‌ها يعني شدت خشكسالي را نشان دهد. به‌همين دليل گيبز و ماهر (۱۹۶۷) پيشنهاد كردند وضعيت انحراف از ميانگين به‌صورت يك دهك[۱] تعريف شود(۱٦). دراين روش دامنه بارندگي مورد مطالعه به ده دهك تقسيم مي‌شود. بر اساس دوري و نزديكي به‌ميانگين‌اين دهك‌ها تقسيم‌بندي مي‌شوند. دهك‌هاي اول، دوم و سوم به‌ترتيب خشك‌سالي بسيار شديد، شديد و معمولي، دهك‌هاي چهارم، پنجم، ششم و هفتم ميانگين و دهك‌هاي هشتم، نهم و دهم به‌ترتيب ترسالي معمولي، خيلي مرطوب و بيش از حد مرطوب در نظر گرفته مي‌شوند (جدول ۱).

۱- Decile

جدول ۱- دهک‌هاي بارش بر اساس تقسيم بندي گيبز و ماهر

وضعيت	دهک‌هاي بارش	کلاس (طبقه)	شدت رطوبت و خشکي	علامت اختصاري
خيلي بيشتر از ميانگين	بالاترين ده درصد	۱۰	رطوبت خيلي شديد[۱]	EW
بيشتر از ميانگين	ده درصد بعدي	۹	رطوبت شديد[۲]	SW
بيشتر از ميانگين	ده درصد بعدي	۸	رطوبت معمولي[۳]	NW
کمي‌بيش از ميانگين	ده درصد بعدي	۷	نرمال[٤]	N
ميانگين	بيست درصد مياني	۵ و ۶	نرمال	N
کمي‌پايين‌تر از ميانگين	ده درصد پايييني	۴	نرمال	N
زير ميانگين	ده درصد پايين‌تر	۳	خشکسالي معمولي[۵]	ND
کمتر از ميانگين	ده درصد پايين‌تر	۲	خشکسالي شديد[٦]	SD
خيلي کمتر از ميانگين	پائينترين ده درصد	۱	خشکسالي خيلي شديد[۷]	ED

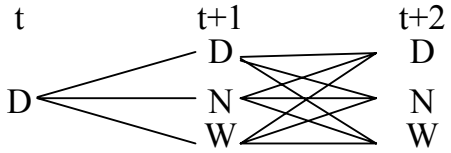
زنجيره ماركف يكي از فرايندهاي مهم و كلاسيك استوكاستيك است كه كاربرد زيادي در هيدرولوژي و هواشناسي دارد و يك روش رياضي براي مدلسازي متغيرهاي تصادفي است. از آنجا كه وقوع پديده‌هاي اقليمي‌مثل باران از قوانين استوكاستيك پيروي مي‌كند، اين مدل توانايي خوبي براي مدلسازي دارد (۱۲). اين مدل توالي يا زنجيره‌اي از مشاهدات تصادفي را شامل مي‌شود و از وضعيت متغير در زمان‌هاي قبل براي تعيين وضعيت آن در شرايط فعلي و آينده استفاده مي‌شود. به‌عبارت ديگر، وضعيت يك متغير در زمان t به‌وضعيت آن در زمان t-۱ بستگي دارد. زنجيره ماركف توالي يا زنجيره‌اي ازمشاهدات تصادفي را شامل مي‌شود. دراين روش از وضعيت متغير در زمان‌هاي قبل براي تعيين آن در شرايط فعلي استفاده مي‌شود. اين احتمال شرطي را احتمال انتقال گام اول[۸] در زنجيره ماركف مي‌نامند و به‌آن زنجيره ماركف رتبه‌اول گفته مي‌شود (۱٦).

از آنجا كه خشكسالي پديده‌اي است كه به‌آرامي‌در يك منطقه فراگير مي‌شود وتا مدتي در آن باقي مي‌ماند، مي‌توان گفت احتمال اينكه خشكسالي به‌شرايط رطوبت شديد تغيير كند كم است اما احتمال‌اينكه با خشكسالي همراه شود، زيادتر است.

درجه وابستگي بين مراحل مختلف را مي‌توان با احتمال انتقال بيان كرد. اگر X_t فرايندي باشد كه در زمان صفر آغاز شود و در طول زمان حركت كند، احتمال‌اينكه فرايند در زمان t برابر x_t باشد، به قرار زير است (۲۰ و ۱):

$$P[X(t) = x_t | X(0) = x_0, X(1) = x_1, ..., X(t-1) = x_{t-1}] \quad (1)$$

براي مثال اگر محيط در زمان t در يكي از سه وضعيت خشكسالي، نرمال و مرطوب باشد، مي‌توان حالت‌هاي انتقال را در شكل ۱ نشان داد (۲۲).



شكل ۱- مراحل انتقال متغير $X(t)$ از وضعيت‌هاي مختلف در زمان **t** به‌يك گام زماني جلوتر

۱-Extreme Wet ۲- Severe Wet ۳- Normal Wet
۴- Normal ۵-Normal Drought ۶- Severe Drought
۷-Extreme Drought ۸- Step One Transition Probability

ايـن احتمـال را بـه‌صـورت P_{ij} كـه احتمـال حركـت از وضـعيت i بـه‌وضـعيت بعـدي(j)اسـت، نشـان مي‌دهند(۱۲و۲۰).

$$p_{ij}(t) = P[X(t) = j | X(t-1) = i] \quad (۳)$$

احتمال انتقال از يك حالت به‌حالت بعد را مي‌توان در يك ماتريس خلاصه كرد كه به‌آن ماتريس احتمال انتقال گفته مي‌شود. رديفهاي‌اين ماتريس،احتمال انتقال از يـك حالـت بـه‌حالـت بعـد را نشـان مـي‌دهنـد. بـراي بـه‌دسـت آوردن عناصراين ماتريس، بايد زنجيـره وضـعيت را در زمـان‌هـاي t+1،t و t+2 تشكيل داد. دراين زنجيره احتمـال انتقـال از وضعيت مورد نظر نسبت به‌وضعيت‌هاي ديگرنسبت بـه‌كـل انتقال‌ها در ماتريس نوشته مي‌شود. هر يـك از عناصـرايـن ماتريس غير منفي و جمع عناصر هر رديف برابر يك است. اين ماتريس، ماتريس احتمالي نسبي خوانده مي‌شود. بـراي بـه‌دسـت آوردن مـاتريس احتمـال مطلـق هـر كـدام از حالات،اين ماتريس n بار در خود ضرب مي‌شود تا مـاتريس احتمال مطلق (مـاتريس تعـادلي[1])، بـه‌دسـت آيـد. بـدين ترتيـب بـراي تمـام جفـت‌هـاي i و j در شـكل ۱ داريـم (۲۰ و ۱۲):

$$\sum_{j=1}^{r} p_{ij}(t) = 1 \qquad i = 1,...r \qquad (٤)$$

كه دراينجا r برابر ۳ است. با استفاده از عناصراين ماتريس احتمال وقوع هر وضعيت به‌دست مي‌آيد.

دراين مطالعه ابتدا ۴۷ ايستگاه در استان اصفهان و چند ايستگاه از استان چهار محال و بختياري با دوره‌هاي آمـاري مختلف انتخاب شد. سپس با اسـتفاده از نـرم‌افـزار SPSS، دامنه بارندگي هر دهك براي هر ايستگاه مشخص شد. بـا مقايسـه بارنـدگي سـالانه هـر ايسـتگاه بـا دهـك‌هـاي محاسبه‌شده، وضعيت هر سال از نظر خشكسـالي بـا توجـه به‌جدول ۱ براي هر ايستگاه به‌دست آمد.

پس از تعيين زنجيره وضعيتها براي ايستگاه‌هاي مختلف، با توجه به‌قوانين شمارش ماركف (۱۲،۱) مـاتريس احتمـال انتقال تمـام ايسـتگاه‌هـاي منتخـب بـراي وضـعيت‌هـاي مختلف محاسبه شد. متاسفانه با توجه به‌كوتـاه بـودن دوره آماري بيشـتر ايسـتگاه‌هـاي منطقـه طـرح، در بسـياري از موارد،كوتـاه بـودن دوره آمـاري موجـب شـده اسـت يـك وضعيت فقط به يک وضـعيت تغييـر حالـت داشـته باشـد. به‌همين دليـل در چنـين ايسـتگاه‌هـايي امكـان محاسـبه ماتريس تعادلي وجود ندارد و حذف مي‌شوند. پـس از طـي اين مرحله، از بين ٤٧ ايسـتگاه اوليـه فقـط ۲۲ ايسـتگاه باقي ماندند كه ماتريس تعادلي آنها با استفاده از نرم افـزار SMADAبـه‌دسـت آمـد و مقـادير احتمـال آن بـه دوره بازگشت تبديل شد.

نتايج

درگام اول با توجه به‌وضعيت هر سـال، مـاتريس احتمـال انتقال براى هر ايستگاه محاسبه شد. براي مثال جداول ۲ تا ٤ ماتريس احتمال انتقال را براي برخـي ايسـتگاه‌هـا نشـان مي‌دهند. متاسفانه با توجه به‌كوتاه بودن دوره آماري بيشتر ايستگاه‌هاي منطقه طرح، در بسياري از موارد، بـراي مثـال در مورد ايستگاه‌هاي حنا، سولگان، دزك آباد و غيره، كوتاه بودن دوره آماري موجب شده است يك وضعيت بخصـوص تنها به يك وضعيت تغيير حالت داشته باشد. براي مثال در مورد ايستگاه حنـا، وضـعيت خشكسـالي شـديد فقـط بـه وضعيت نرمال تغييـر وضـعيت داده اسـت (جـدول ۵). بـه همين دليل در چنين ايستگاه‌هايي امكان محاسبه ماتريس تعادلي وجود ندارد و حذف مي‌شوند. پس از طي اين مرحله از بين ٤٧ ايستگاه اوليه فقط ۲۲ ايستگاه باقي ماندند كـه ماتريس تعادلي آنها با استفاده از نرم افـزار SMADA بـه دست آمد و مقادير احتمال آن به دوره بازگشت تبديل شد (جدول ٦).

۱- Equilibrium matrix

جدول ۲- ماتریس احتمال انتقال در ایستگاه بروجن

بروجن	ED	SD	ND	N	NW	SW	EW
ED	۰/۵	۰	۰	۰/۵	۰	۰	۰
SD	۰	۰/۵	۰	۰	۰	۰/۵	۰
ND	۰	۰	۰	۰/۳۳	۰/۳۳	۰	۰/۳۳
N	۰	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۵	۰/۰۸	۰/۰۸	۰
NW	۰	۰	۰	۰/۶۶	۰	۰	۰/۳۳
SW	۰	۰	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰	۰
EW	۰/۵	۰	۰	۰	۰	۰/۵	۰

جدول ۳- ماتریس احتمال انتقال در ایستگاه موته

موته	ED	SD	ND	N	NW	SW	EW
ED	۰	۰	۰/۲۴	۰/۶۶	۰/۱	۰	۰
SD	۰	۰	۰	۰/۵	۰	۰/۵	۰
ND	۰/۲۵	۰	۰	۰/۵	۰	۰/۲۵	۰
N	۰/۰۸	۰/۱۶	۰/۲۴	۰/۱۶	۰/۲۴	۰/۱۱	۰
NW	۰	۰	۰/۳۳	۰/۶۶	۰	۰	۰
SW	۰	۰	۰	۰/٦٦	۰	۰	۰/۳۳
EW	۰	۰/۱۲	۰	۰/۵۵	۰	۰/۳۳	۰

جدول ٤- ماتریس احتمال انتقال در ایستگاه فلاورجان

فلاورجان	ED	SD	ND	N	NW	SW	EW
ED	۰	۰	۰/۳۳	۰/۳۳	۰	۰/۳۳	۰
SD	۰	۰	۰	۰/۲۵	۰/۲۵	۰	۰/۵
ND	۰/۳۳	۰	۰	۰/۶۶	۰	۰	۰
N	۰/۱۷	۰/۱۶	۰	۰/۵	۰/۱۶	۰	۰
NW	۰	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰	۰	۰
SW	۰/۳۳	۰	۰/۳۳	۰/۳۳	۰	۰	۰
EW	۰	۰	۰	۰/٦٦	۰	۰	۰/۳۳

جدول ۵- ماتریس احتمال انتقال در ایستگاه حنا

حنا	ED	SD	ND	N	NW	SW	EW
ED	۰	۰	۰	۰/۵	۰	۰	۰/۵
SD	۰	۰	۰	۱ تا ۱	۰	۰	۰
ND	۰	۰	۰	۰/۵	۰	۰/۵	۰
N	۰/۱۲	۰/۲۵	۰/۲۵	۰	۰/۱۲	۰/۲۵	۰
NW	۰	۰	۰	۱تا۱	۰	۰	۰
SW	۰/۳۳	۰	۰	۰/۶۶	۰	۰	۰
EW	۰	۰	۰	۱تا۱	۰	۰	۰

جدول ٦- دوره بازگشت وضعيت‌هاي مختلف در ايستگاه‌هاي منتخب

نام ايستگاه		ED	SD	ND	N	NW	SW	EW
۱	بروجن	١٤/٢٩	٧/٦٩	١٠	٢/٧٠	١٠	٧/٦٩	١٤/٢٩
۲	لردگان	١٤/٢٩	٨/٣٣	٧/١٤	٣/٠٣	١٠	٥/٥٦	٢٥
۳	دامنه	١١/١١	٧/٦٩	١٠	٣/٤٥	٦/٦٧	٧/٦٩	١٤/٢٩
۴	فلاورجان	٩/٠٩	١٠	١/٢٥	٢/٣٣	١/١١	٣/٣٣	١٤/٢٩
۵	ميمه	٨/٣٣	١٠	٨/٣٣	٢/٧٠	١٠	١٠	١/١١
۶	مقصود بيك	٧/٦٩	١٦/٦٧	٥/٨٨	٣/١٣	١٢/٥٠	٧/١٤	١٠
۷	مهيار	٥٠/١٢	١/١١	٨/٣٣	٢/٣٣	١٠	١٠	٢٥
۸	نيستانك	٢٥	١١/١١	١٦/٦٧	٢/٩٤	١٠	٥/٨٨	٧/١٤
۹	ورزنه	١٤/٢٩	١٢/٥٠	٦/٦٧	٢/٥٠	١١/١١	٧/١٤	١٤/٢٩
۱۰	جندق	١٠	١٤/٢٩	١١/١١	٢/٢٧	٨/٣٣	١٢/٥٠	٩/٠٩
۱۱	چلگرد	١٢/٥٠	١٠	١٤/٢٩	٢/٠٤	١٠	١٠	٨/٣٣
۱۲	جعفر آباد	١٠	١٤/٢٩	٦/٢٥	٣/٠٣	٧/٦٩	٦/٦٧	٣٣/٣٣
۱۳	هريزه	١٤/٢٩	٢٠	٧/٦٩	٢/٥٠	١٢/٥٠	٢٠	٩/٠٩
۱۴	ايزد خواست	١٦/٦٧	١١/١١	٥/٥٦	٢/٧٨	١٤/٢٩	١٠	٣٣/٣٣
۱۵	مورچه خورت	١٠	١٠	٩/٠٩	٢/٥٠	١٢/٥٠	٩/٠٩	١٤/٢٩
۱۶	مزرعه	٨/٣٣	١٠	١٩/٦٧	٢/٢٧	١١/١١	١٤/٢٩	١٠
۱۷	موته	١٦/٦٧	١٢/٥٠	٦/٦٧	٢/٥٠	٨/٣٣	٦/٦٧	٣٣/٣٣
۱۸	برزوك	١٢/٥٠	١١/١١	١٠	٢/٧٠	١٠	١٠	٨/٣٣
۱۹	منج	٢٠	١٠٠	١٦/٦٧	٢/٤٤	٧/١٤	٨/٣٣	٥/٥٦
۲۰	بارز	١٠	٨/٣٣	٨/٣٣	٣/٤٥	٨/٣٣	١٠	١٠
۲۱	ارمند	١٢/٥٠	٧/٦٩	٣٣/٣٣	٤/٣٥	٣/١٣	١٢/٥٠	١٠
۲۲	تيران	١٢/٥٠	١٠	٧/٦٩	٢/٥٦	٣/٣٨	١١/١١	٥٠/١٢

بنابراين با استفاده از دوره بازگشت خشكسالي‌ها با شدت‌هاي مختلف، نسبت به پهنه‌بندي آن اقدام مي‌شود. مهم‌ترين و معمول‌ترين روش تبديل مشخصات نقطه‌اي به ناحيه‌اي، استفاده از همبستگي مكاني[1] و روش كريجينگ معمولي است. فرض كنيد n نقطه i=1,2,...n با مقدار $Z_{(ui)}$ موجود است. اگر بخواهيم مقدار متغير را در نقطه‌اي كه مقدار آن معلوم نيست، براي مثال در نقطه k، $Z_{(uk)}$، تعيين كنيم از رابطه خطي زير استفاده مي‌كنيم:

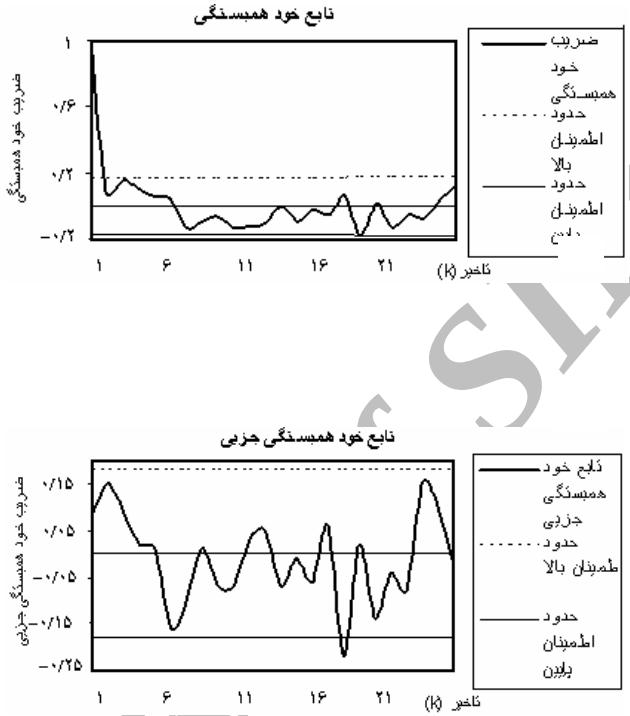
$$Z(u_k) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i Z(u_i) \qquad (5)$$

اين رابطه زماني درست است كه مجموع وزن‌هاي λ برابر يك باشد. به‌منظور پهنه‌بندي دوره بازگشت خشكسالي با استفاده ازاين روش در نرم‌افزارهاي SURFER ومقايسه آن با خروجي نرم افزار ArcView GIS، نقشه دوره بازگشت(عكس احتمال وقوع) خشكسالي با شدت‌هاي مختلف در استان اصفهان ترسيم شد (اشكال ۴-۶).

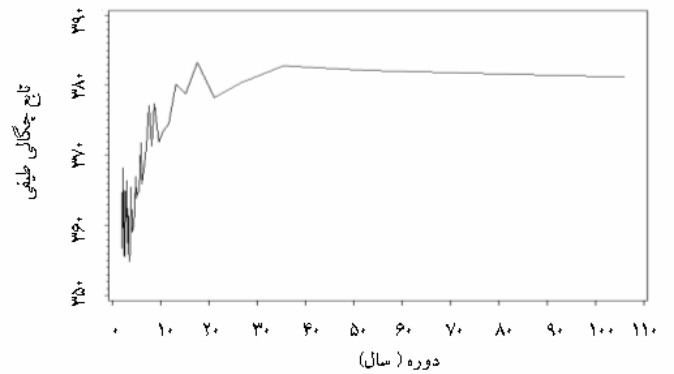
به‌منظور كنترل صحت‌اين نقشه، سري زماني ١٠٦ ساله ايستگاه شرق اصفهان مورد تحليل قرار گرفت. تابع خودهمبستگي و خودهمبستگي جزئي اين ايستگاه داراي يك ضريب خودهمبستگي معني‌دار در تاخير ١٧ است (شكل۲). شكل ۱ نيز نشان مي‌دهد ايستگاه مورد نظر روي

۱- Spatial Correlation

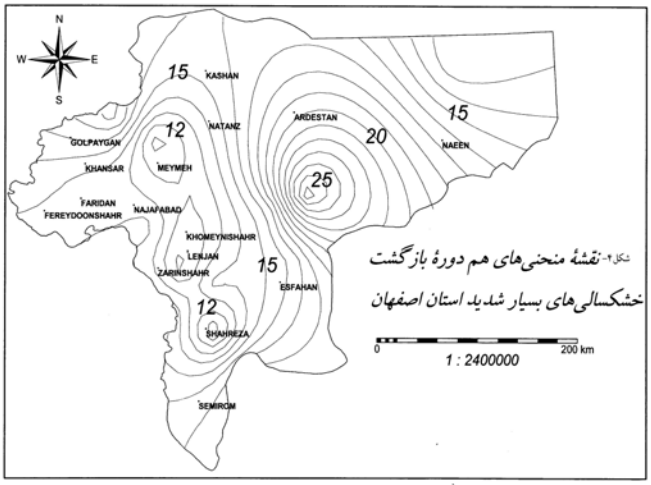
منحني ۱۷ قرار گرفته است. همچنين تابع چگـالي طيفـي آن(شكل ۳) نيـز داراي يـك اوج در دوره ۱۷ تـا ۲۰ سـاله است كه صحت نقشه توليدشده را نشان مـي‌دهـد. مطالعـه كاويانی و عساكره (۹) با اسـتفاده از تـابع چگـالی طيفـی و فوريه نيز نتايج مذكور را تاييد می‌كنند.



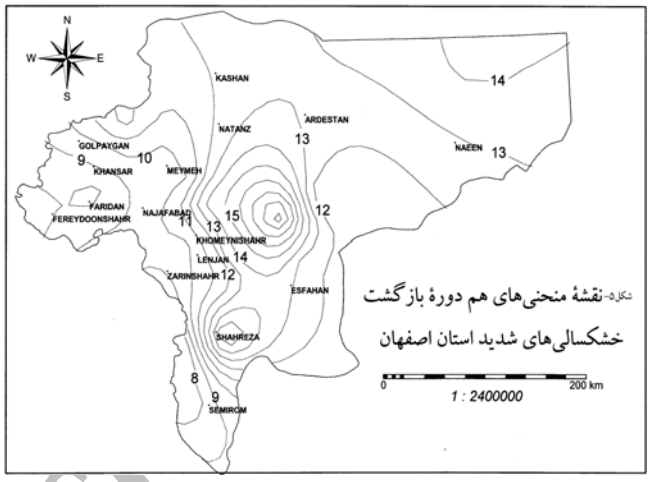
شكل۲- تابع خود همبستگي و خود همبستگي جزئي ايستگاه شرق اصفهان



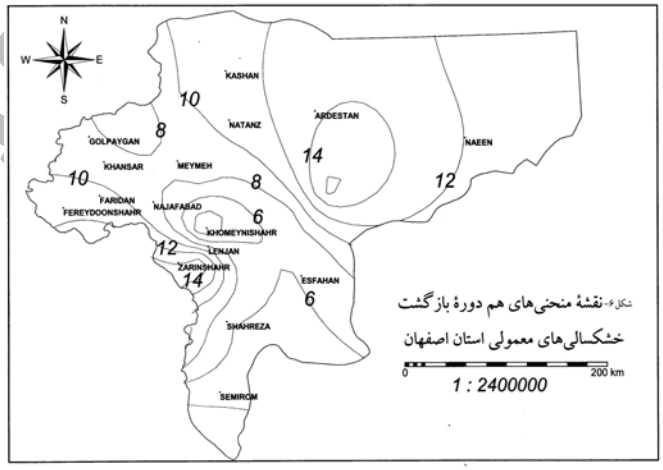
شكل ۳- تابع چگالي طيفي سري زماني بارندگی سالانه ايستگاه شرق اصفهان



شکل۴- نقشهٔ منحنی‌های هم دورهٔ بازگشت خشکسالی‌های بسیار شدید استان اصفهان



شکل۵- نقشهٔ منحنی‌های هم دورهٔ بازگشت خشکسالی‌های شدید استان اصفهان



شکل۶- نقشهٔ منحنی‌های هم دورهٔ بازگشت خشکسالی‌های معمولی استان اصفهان

بحث و نتيجه‌گيري

دراين مطالعه با استفاده از ماتريس احتمال به‌دست آمده از زنجيره ماركف، به تهيه نقشه دوره بازگشت خشكسالي با شدت‌هاي مختلف در استان اصفهان اقدام شد. با توجه به‌شكل ۴ كه دوره بازگشت خشكسالي‌هاي خيلي شديد را نشان مي‌دهد، مي‌توان گفت شهرستان‌هاي شهرضا، لنجان، زرين شهر و ميمه داراي كمترين دوره خشكسالي (۱۰ سال) هستند. به‌عبارت ديگر، خطر وقوع خشكسالي‌هاي بسيار شديد دراين شهرستان‌ها از مناطق ديگر بيشتر است و مديريت منابع آب بايد با دقت بيشتري انجام گيردس و از توسعه منابع مصرف‌كننده در آن جلوگيري شود.

شكل ۵ وضعيت دوره بازگشت خشكسالي‌هاي شديد را نشان مي‌دهد كه تقريبا در تمام استان وضعيت مشابهي دارد. نكته جالب توجه دراين نقشه كوتاه بودن دوره بازگشت خشكسالي‌ها در همان منطقه‌اي است كه دوره بازگشت خشكسالي‌هاي شديد نيز پايين بود، يعني منطقه ميمه، لنجان و شهرضا. شكل ۶ نيز نشان‌دهنده خطر زياد در همين مناطق است. اگرچه دراين حالت شهرستان‌هاي خميني‌شهر و نجف آباد را نيز مي‌توان به اين مناطق اضافه كرد.

با وجوداينكه بيشترين مصرف‌كننده آب در سطح استان اصفهان بخش كشاورزی است، ولی يازده آبياری در استان اصفهان بسيار كم و در حدود ۳۵-۳۹ درصد است (٤). پايين بودن تناوب وقوع خشكسالي‌ها به‌ويژه در ناحيه غرب استان مديريت جامع‌نگرتری را با نگاه به‌تغيير الگوی كشت به‌سمت گياهانی با نياز آبی كمتر خاطر نشان می‌كند. نكته جالب توجه اين است كه درست بر عكس شرايط مذكور، كشت برنج در قسمتی از اين منطقه شامل لنجانات و زرين‌شهر بسيار رايج است. همچنين محصولات دائمي‌باغی نظير سيب (در منطقه سميرم به‌عنوان قطب توليدكننده)، بادام (در منطقه نجف‌آباد به‌عنوان قطب توليدكننده) و "به" (منطقه ماربين به‌عنوان قطب توليدكننده) دچار خسارات شديد شده‌اند كه همگی در ناحيه غرب و جنوب غرب استان با تناوب خشكسالی پايين واقع شده‌اند. مطالعه رضيئی و همكاران (٦) با استفاده از شاخص SPI نيز موید شديدتر بودن خشكسالي‌ها در منطقه غرب استان است، به‌طوري كه عمده خسارات ناشی از خشكسالی در استان اصفهان بين سال‌های ۱۳۷۵-۱۳۸۰ در همين منطقه گزارش شده است (۴). در مطالعه كريمی و همكاران (۱۰) نيز نواحی هم‌مرز استان فارس با استان اصفهان در شمال و شمال غربی استان فارس شدت خشكسالی بيشتري را نسبت به‌ساير نقاط نشان می‌دهد كه با نتايج مطالعه حاضر به‌خوبی هماهنگ است. در نهايت‌اينكه به‌نظر مي‌رسد استان اصفهان در منطقه‌اي قرار دارد كه پتانسيل وقوع خشكسالي در آن بيشتر است. بنابراين با توجه به‌افزايش جمعيت شهري ومصرف آن دراين بخش و بازده كم بخش كشاورزی، هرگونه توسعه در منابع مصرف‌كننده آب مانند صنايع و طرح‌هاي كشاورزي بايد با دقت فراوان صورت گيرد و مديريت منطقه به‌سمت كاهش مصرف آب حركت كند.

منابع

۱- جلالي نائيني، سيد غلامرضا، ۱۳۷۶. فرايند احتمالي با كاربرد در علوم زيستي، كشاورزي، مديريت و صنايع، ناشر: وزارت كشاورزي، معاونت برنامه ريزي و پشتيباني، اداره كل آمار و اطلاعات.

۲- حسني‌ها، حسينعلي و زهرا صالحي، ۱۳۷۹. بررسي وضعيت خشكسالي بر اساس تعدادي از شاخصهاي آماري در استان زنجان، اولين كنفرانس ملي بررسي راهكارهاي مقابله با كم آبي و خشكسالي، كرمان، جلد اول، ص ۲۷-۱۷.

۳- حقيقت جو، پرويز، زمان شامحمدي حيدري، ۱۳۸۰. كاربرد زنجيره ماركف در بررسي احتمالات خشكسالي و ترسالي منطقه سيستان با توجه به‌بده رودخانه هيرمند، مجموعه مقالات اولين كنفرانس ملي بررسي راهكارهاي مقابله با بحران آب، زابل، جلد دوم، ص ۱۷۷-۱۷۴.

۴- خشکسالی، تاثیرات و پیامدها و عملکرد ۳ ساله ستاد حوادث غیر مترقبه‌استان اصفهان در پیشگیری از عوارض ناشی از آن، ۱۳۸۱،گروه مطالعات هماهنگی اموراِیمنی و بازسازی استان اصفهان.

۵- رضائي پژند، حجت، ميترا مهدي پور، ۱۳۸۰. تحليل خشكسالي و پيش بيني بارندگي چهار سال‌آينده شهر زابل، مجموعه مقالات اولين كنفرانس ملي بررسي راهكارهاي مقابله با بحران آب، زابل، جلد سوم، ص ۳۹۵-۳۸۳.

۶- رضیئی. ط.، و همکاران. پایش پدیده خشکسالی در اطران مرکزی با استفاده از شاخص SPI. مجموعه مقالات سومین کنفرانس منطقه ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم، اصفهان، ۲۰۶-۲۱۶.

۷- كاوياني، م. ر.، ۱۳۸۰، بررسي اقليمي‌شاخص‌هاي خشكي و خشكسالي، فصلنامه تحقيقات جغرافيايي، (۶۰): ۷۱-۸۹.

۸- كاوياني، م. ر.، ۱۳۶٤، مقدمه‌اي بر مسئله خشكي و تنگناهاي كم آبي و تعيين ميزان كسري آب در مناطق خشك و نيمه‌خشك‌ايران"، مجله رشد آموزش جغرافيا، (٤۰): ۳۲-۳۹.

۹- کاویانی. م.، و ح. عساکره. ۱۳۸۲. بررسی آماری روند بلند مدت بارش سالانه ایستگاه اصفهان. مجموعه مقالات سومین کنفرانس منطقه ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم، اصفهان. ۲۵۱-۲۵۹.

۱۰- کریمی، و. و همکاران. ۱۳۸۰. بررسی خشکسالی هواشناسی در استان فارس. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد پنجم، ش چهارم، ۱-۱۲.

۱۱- مرادي، حميد رضا و رضا عرفان زاده، ۱۳۸۰. بررسي روند خشكسالي‌ها و تر سالي‌ها در حوضه رود هراز، ، مجموعه مقالات اولين كنفرانس ملي بررسي راهكارهاي مقابله با بحران آب، زابل، جلد اول، ص ۲۹۱-۲۸۳.

۱۲- هينگز، جيمز، ج و سالي كلر مكنالتي، ۱۳۷۹. مفاهيم احتمال و مدل بندي تصادفي، ترجمه دكتر علي مشكاني، انتشارات دانشگاه فردوسي مشهد، ٤۹۹ ص.

13- Chin, Edwin H., 1977. Modeling daily precipitation occurrence process with markov chain, Water Resour. Res., 13(4): 949-956.

14- Dracup, J. A., K. S. Lee and E. G. Paulson, Jr.,1980. On the definition of droughts, Water Resour. Res., 16(2): 207-302, 1980.

15-Foufoula Georgiou, Ffi and Dennis P. Lettenmaier, 1987. A markov renewal model for rainfall occurrence, Water Resour. Res., 23(2): 875-884.

16- Gibbs, W. J. and J. V. Maher, 1967. Rainfall deciles as drought indicators, Bureau of Meteorology Bulletin, No. 48, Melborne, Australia.

17- Haan, C. T, D. M. Allen and J. Street, 1976. Markov chain model of daily rainfall, Water Resour. Res., 12(2): 443-449.

18- Jackson, Barbra B. 1975. Markov mixture models for drought lengths, Water Resour. Res., 11(1): 64-75.

19- Loucks, D. P. and J. S Gladwell, Sustainability Criteria for Water Resources System, Cambridge University, 1999.

20- Salas, J. D. 1993. Analysis and modeling of hydrologic time series, In: Maidment, David, Handbook of Hydrology, Mc Graw Hill, 19.1-19.72.

21- Smith, R. E and H. A. Scherriber, 1974. Point process of seasonal thunderstorm rainfall, Z, rainfall depth probability, Water Resour. Res., 10(3): 418-423.

22- Thompson, Stephen A. 1999. Hydrology for water management, Balkema, 362 pp.

An Analysis of Meteorological Drought Frequency and Severity, Isfahan Province

S. Soltani[1] **R. Modarres**[2]

Abstract

Drought is a meteorological event the adverse effects of which can be observed not only in arid and Semi arid, but in humid regions as well. To reduce these effects, drought should be studied in a scientific manner, and in correct frameworks. As drought can also be considered as a hydrologic event, we can apply hydrologic methods to analyze it. Markov chain is one of the most important and classic stochastic models having many applications in hydrology as well as in meteorology. To prepare a map of drought probability occurrence, the probabilities of different conditions derived from Gibbs and Maher procedure for 22 stations in Isfahan province were considered as Markov chain and the return period for each condition was calculated for each station. Applying ordinary Krigging, the map of drought return period was drawn for Isfahan province.

Keywords: Isfahan province, Drought frequency, Gibbs and Maher method, Markov chain, Ordinary Krigging

1- Assistant Professor, Isfahan University of Technology, E-mail: ssoltani@cc.iut.ac.ir

2- MSc, Student of combat Desertification Isfahan University of Technology, E-mail: Rezamod75@hotmail.com