

امکان‌سنجی پیش‌بینی خشکسالی سالانه بر اساس وضعیت خشکسالی در فصل بهار (پژوهش موردی آرازکوسه)

خلیل قربانی^{1*}، میثم سالاری جزئی²، محمد عبدالحسینی³

تاریخ دریافت: 1394/4/24 تاریخ پذیرش: 1394/8/20

چکیده

خشکسالی که به کمبود بارش نسبت به متوسط آن طی یک دوره زمانی گفته می‌شود از مهم‌ترین مباحث در زمینه هواشناسی است و پیش‌بینی آن می‌تواند نقش مؤثری در مدیریت منابع آب ایفا نماید. به همین دلیل، هم از روش‌های مختلف مدل‌سازی و هم از متغیرهای متعدد تأثیرگذار بر خشکسالی برای پیش‌بینی آن استفاده شده است. در این پژوهش با بررسی تأثیر بارش‌های بهاره بر وضعیت خشکسالی سالانه، امکان برآورد وضعیت خشکسالی سالانه بر پایه بارش بهاره مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای این منظور ایستگاه آرازکوسه واقع در استان گلستان با 45 سال آمار روزانه به-عنوان منطقه مطالعاتی در نظر گرفته شد و پس از محاسبه شدت خشکسالی در بازه‌های زمانی 1، 3 و 12 ماهه بر اساس نمایه بارش استاندارد شده (SPI)، ماتریس همبستگی بین نمایه SPI در بازه‌های زمانی مختلف تشکیل شد. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که بیش‌ترین همبستگی بین وضعیت خشکسالی سالانه با خشکسالی در فصل بهار به‌دست می‌آید. برای افزایش دقت پیش‌بینی، نمایه‌های خشکسالی ماه‌های فصل بهار نیز اضافه و در مدل درختی M5 وارد شد. نتایج نشان داد خشکسالی سالانه بر اساس بارش‌های بهاره با ضریب همبستگی 0/89 و جذر میانگین مربعات خطای 0/57 قابل پیش‌بینی است.

واژه‌های کلیدی: آرازکوسه، بهار، پیش‌بینی، خشکسالی، مدل درختی

مقدمه

می‌توان به چهار گروه تقسیم کرد. گروه اول شامل مطالعاتی است که به علل پیدایش خشکسالی می‌پردازد و دنبال درک بهتری از ارتباط گردش عمومی جو با خشکسالی می‌باشد. گروه دوم مطالعات به شناخت وقوع خشکسالی و مؤلفه‌های تعریفی آن مرتبط می‌شود و گروه سوم به احتمال وقوع و فراوانی خشکسالی با شدت‌های مختلف می‌پردازد. در این گروه سعی بر آن است تا اثرات خشکسالی توصیف شود و هزینه‌ها و خسارات خشکسالی شامل خسارات اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی بررسی شود. سرانجام، گروه چهارم مطالعات به دنبال مدیریت خشکسالی، روش‌یابی و کسب آمادگی برای مقابله با آن می‌باشد (Byun and Wilhite, 1999). لازمه مدیریت خشکسالی، پیش‌بینی شدت آن است. برای اندازه‌گیری شدت خشکسالی نمایه‌های متعددی پیشنهاد شده است و پژوهشگران زیادی به ارزیابی این نمایه‌ها پرداخته‌اند. از مهم‌ترین این نمایه‌ها که به‌طور وسیع مورد استفاده قرار گرفته است می‌توان به نمایه بارش استاندارد شده⁴ (SPI) اشاره کرد. نمایه SPI نخستین بار توسط مک‌کی و همکاران (McKee et al., 1993) برای پیش‌بینی خشکسالی

ایران به واسطه شرایط اقلیمی و جغرافیایی به‌طور طبیعی کشوری کم آب است و جزء کشورهای است که همواره در معرض خطر خشکسالی قرار دارد. همین امر از نظر اقتصادی خسارات سالانه زیادی را وارد می‌کند. خشکسالی نتیجه کمبود بارش نسبت به حالت نرمال یا مقدار مورد انتظار اقلیمی آن می‌باشد. وقوع آن تقریباً در تمام نقاط جهان محتمل است ولی ویژگی‌های آن از منطقه‌ای به منطقه دیگر به‌طور محسوسی فرق می‌کند. خشکسالی خود به تنهایی فاجعه نیست بلکه پیامدهای آن بر مردم و محیط زیست فاجعه است (Glantz, 2003). مطالعاتی که در زمینه خشکسالی انجام می‌شود را

- 1- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
- 2- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
- 3- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

* - نویسنده مسئول: (Email: ghorbanin.khalil@yahoo.com)

4- SPI: Standardized Precipitation Index

هر ایستگاه، مقادیر بارش فصل‌های بهار، پاییز و زمستان سال آتی را پیش‌بینی و در مقایسه با میانگین درازمدت هر فصل، نقشه‌های آنومالی را ترسیم کردند.

ابراهیمی و بارانی (1384) از مدل تلفیقی تبدیل موجکی و شبکه‌های عصبی برای پیش‌بینی خشکسالی حوضه‌ی آبخیز سدها استفاده کردند. نتایج نشان داد که استفاده از تبدیل موجک توانایی پیش‌بینی شبکه‌ی عصبی را به میزان قابل توجهی افزایش داده و باعث افزایش سرعت پیش‌بینی بدون کاهش در دقت آن می‌شود.

عابدینی و همکاران (1388) از شبکه‌های عصبی پرسپترون سه لایه با الگوریتم آموزشی پس‌انتشار خطا و تابع محرک لوگ سیگموئید برای پیش‌بینی خشکسالی بر مبنای شاخص SPI در ایستگاه مشهد استفاده کردند. نتایج نشان داد که پیش‌بینی با این روش دارای دقت بالایی بوده و شاخص SPI در مقیاس زمانی 48 ماهه با $R^2=0/95$ دارای بیش‌ترین دقت پیش‌بینی نسبت به سایر مقیاس‌های زمانی SPI بود. هم‌چنین دقت پیش‌بینی با افزایش افق زمانی کاهش می‌یافت.

مساعدی و همکاران (1388) پس از برآزش مدل استوکاستیک بر سری‌های زمانی نمایه بارندگی استاندارد در مقیاس‌های زمانی 3، 6، 9، 12، 24 و 48 ماهه به پیش‌بینی‌های یک تا شش گام به جلو مقادیر SPI پرداخته و بر اساس مقایسه‌ی مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده، طولانی‌ترین مدت قابل پیش‌بینی برای هر یک از مقیاس‌های زمانی SPI را تعیین نمودند.

حجابی و همکاران (1389) بر مبنای نمایه بارندگی استاندارد در سه مقیاس زمانی شامل 3 ماهه (کوتاه مدت)، 6 ماهه (میان مدت) و 12 ماهه (بلند مدت) به مقایسه‌ی دقت مدل‌های ARIMA از نظر پیش‌بینی شدت خشکسالی‌های یک و دو گام به جلو در دو ایستگاه بندر انزلی (واقع بر ساحل دریای خزر با اقلیم بسیار مرطوب) و بوشهر (واقع بر ساحل خلیج فارس با اقلیم بسیار خشک) پرداختند. نتایج ارزیابی دقت مدل‌ها در پیش‌بینی شدت خشکسالی‌ها در ایستگاه‌های مذکور نشان داد که با افزایش مقیاس زمانی، خطای پیش‌بینی به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. هم‌چنین پیش‌بینی خشکسالی در مقیاس زمانی 3 ماهه در ایستگاه بوشهر مناسب‌تر از بندر انزلی بود اما در مقیاس‌های بزرگ‌تر تفاوت‌های چندانی بین ایستگاه‌ها وجود نداشت.

میشرا و همکاران از یک مدل هیبرید که ترکیبی از مدل‌های استوکاستیک خطی و مدل‌های شبکه‌ی عصبی مصنوعی غیر خطی می‌باشد، برای پیش‌بینی خشکسالی استفاده کردند. با استفاده از سری شاخص بارندگی استاندارد (SPI)، مدل هیبرید هم‌چنین مدل‌های استوکاستیک و شبکه‌ی عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی خشکسالی‌ها در حوضه‌ی رودخانه‌ی کانسباتی هند به کار برده شدند و عملکرد مدل‌ها با یکدیگر مقایسه شدند. مدل هیبرید در مقایسه با سایر مدل‌ها دارای دقت بالاتری بود (Mishra et al., 2007).

در ایالت کلرادو ارائه شد. این نمایه از داده‌های بارش ماهانه استفاده می‌کند و برای تشخیص کمبود میزان بارش در مقیاس‌های زمانی چندگانه طراحی شده است. این مقیاس‌های زمانی منعکس‌کننده اثرات ویژه‌ی خشکسالی روی قابلیت دسترسی به منابع آبی مختلف می‌باشد.

هایز و همکاران با استفاده از نمایه SPI به بررسی خشکسالی 1996 در دشت‌های جنوبی و جنوب غربی ایالات متحده آمریکا پرداختند. مقایسه نتایج به‌دست آمده از این نمایه و نمایه پالمر نشان داد که نمایه بارش استاندارد شده دست‌کم یک ماه زودتر از نمایه پالمر وقوع خشکسالی 1996 را پیش‌می‌نماید. بنابراین، نمایه SPI به‌عنوان ابزاری سودمند برای پایش خشکسالی به‌عنوان جایگزین نمایه پالمر در ایالات متحده مطرح شد (Hayes et al., 1999). بوردی و همکاران (2001) برای بررسی شرایط خشکسالی در ایتالیا از نمایه SPI استفاده کردند. انعطاف‌پذیری زمانی و استاندارد بودن این نمایه سبب شد تا این نمایه به‌عنوان ابزاری مناسب برای بررسی کوتاه‌مدت و درازمدت خشکسالی و به‌عنوان یک نمایه ملی در ایتالیا پذیرفته شود.

پژوهشگران مختلف تلاش‌های زیادی برای پیش‌بینی خشکسالی انجام داده‌اند تا هم از متغیرهای تأثیرگذار و هم از روش‌های مختلف مدل‌سازی استفاده کرده و دقت پیش‌بینی خشکسالی را بهبود بخشند. به‌عنوان مثال خلیلی (1380) از مدل‌های استوکاستیک AR برای تولید آمار آبدهی رودخانه‌ی شهرچای و پیش‌بینی فرکانس خشکسالی استفاده کرده و بهترین مدل پیش‌بینی خشکسالی را مدل ترکیبی ARMA معرفی نمود.

مرید و همکاران از روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی (ANN) برای پیش‌بینی خشکسالی بر اساس شاخص بارش استاندارد (SPI) و شاخص خشکسالی مؤثر¹ (EDI) استفاده کردند. پیش‌بینی‌ها با استفاده از ترکیب‌های مختلف بارش ماه‌های گذشته، SPI، EDI و شاخص‌های اقلیمی نظیر شاخص نوسان جنوبی² (SOI) و شاخص نوسان اطلس شمالی³ (NAO) انجام شد. تعدادی از مدل‌های ANN برای هر دو شاخص SPI و EDI با گام‌های زمانی 1 تا 12 ماه در چندین ایستگاه در استان تهران مورد آزمون قرار گرفته و بهترین مدل‌ها انتخاب شدند. نتایج به‌دست آمده برتری عملکرد مدل‌های پیش‌بینی EDI را نسبت به مدل‌های پیش‌بینی SPI برای همه‌ی گام‌ها و در همه‌ی ایستگاه‌ها نشان داد (Morid et al., 2007). آشگرتوسی و همکاران (1384) برای مدل‌سازی بارش‌های فصلی یازده ایستگاه سینوپتیک استان خراسان از مدل‌های باکس جنکینز (SARIMA) استفاده کردند و با استفاده از مدل‌های به‌دست آمده در

1- EDI: Effective Drought Index

2- SOI: Southern Oscillation Index

3- NAO: North Atlantic Oscillation

وضعیت خشکسالی در کل سال می‌باشد.

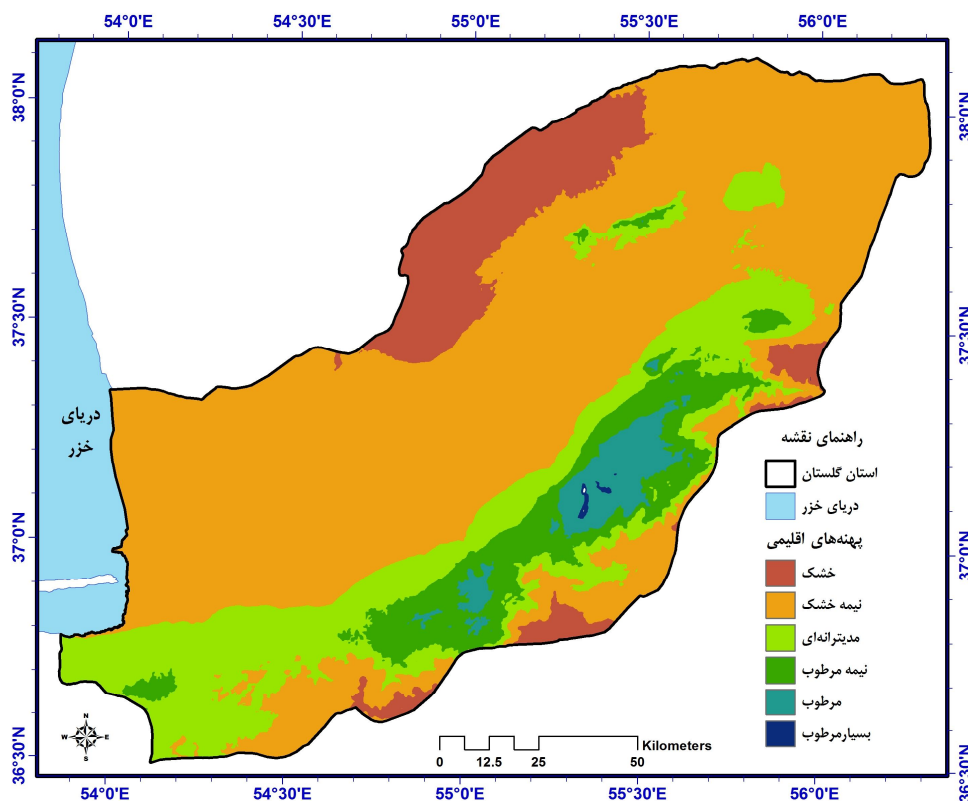
مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

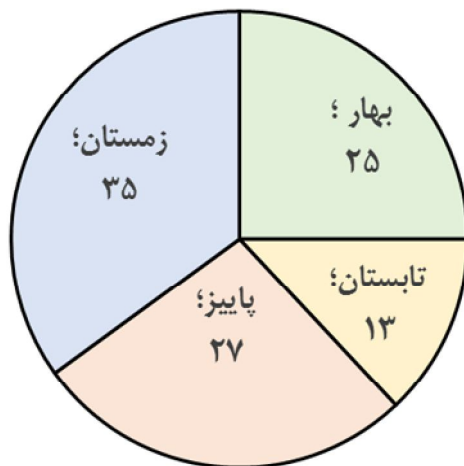
استان گلستان به‌عنوان یکی از قطب‌های کشاورزی در ایران، با توجه به موقعیت خاص جغرافیایی دارای اقلیم‌های متنوعی است (شکل 1) که بیش‌تر آن از اقلیم‌های خشک و نیمه خشک تشکیل شده است. این اقلیم‌ها در اثر وقوع پدیده خشکسالی، خسارات زیادی را متحمل می‌شوند. پیش‌بینی خشکسالی در این مناطق می‌تواند در استفاده از راهکارهای مناسب مدیریتی، برای کاهش خسارت مؤثر باشد. بر این اساس ایستگاه هواشناسی آراز کوسه متعلق به سازمان آب با دارا بودن آمار بارش ماهانه طی یک دوره آماری 45 ساله به‌عنوان منطقه مطالعاتی در نظر گرفته شد. این ایستگاه دارای موقعیت جغرافیایی به طول 55 درجه و 8 دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی 37 درجه و 13 دقیقه شمالی و ارتفاع 34/5 متر از سطح آب‌های آزاد می‌باشد. تمام فصل‌های سال در این منطقه دارای بارش است و زمستان پرباران‌ترین فصل سال آن می‌باشد. بیش از 62 درصد بارش نیز در نیمه سرد سال رخ می‌دهد (شکل 2). پس از کنترل کیفی داده‌ها، نمایه خشکسالی SPI استخراج شد.

روش‌ها و مدل‌های مختلفی در قالب داده‌کاوی وجود دارد که به جستجوی رابطه و الگوی پنهان بین داده‌ها می‌پردازند. یک سری از این روش‌ها مانند مدل درختی M5، روابط و معادلات ساده و صریحی را بیان و نتایج مطلوبی را ارائه می‌کنند. این روش‌ها در مقابل روش‌هایی مثل شبکه عصبی مصنوعی قرار می‌گیرند که معادله مشخصی را ارائه نمی‌کنند و در اصطلاح به مدل‌های جعبه سیاه شهرت دارند. در زمینه استفاده از مدل درختی M5، می‌توان به برآورد تبخیر-تعرق مرجع (صامتی و همکاران، 1392)، شبیه‌سازی دبی جریان در مقاطع مرکب (ظهیری و قربانی، 1392) و بهبود برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل با استفاده از ضریب اصلاحی (شریفان و قربانی، 1393) اشاره کرد.

اما برای پیش‌بینی خشکسالی به متغیر یا متغیرهایی به نام متغیرهای پیش‌بینی کننده نیاز است. افزون بر گزینش درست مدل پیش‌بینی، انتخاب درست متغیرهای پیش‌بینی کننده از ضروریات مسئله می‌باشد. با توجه به اینکه در مسئله پیش‌بینی و به ویژه پیش‌بینی خشکسالی، فرصت لازم برای استفاده از نتایج و کاربردی کردن آن از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد، بنابراین متغیرهای پیش‌بینی کننده می‌بایست طوری انتخاب شوند که پیش‌از، یا در آغاز دوره پیش‌بینی قرار بگیرند. در این پژوهش بر اساس مصرع معروفی از شیخ بهایی، با عنوان «سالی که نکوست، از بهارش پیداست» تلاش شد تا بررسی شود آیا وضعیت خشکسالی در بهار تعیین کننده



شکل 1- پهنه‌های اقلیمی استان گلستان در سیستم اقلیمی دمارتن (دهقانی و همکاران، 1393)



شکل 2- درصد بارش فصلی ایستگاه اراز کوسه

نمایه بارش استاندارد شده (SPI):

نمایه SPI توسط مک کی و همکاران (McKee et al., 1993) بر اساس اختلاف بین مقادیر بارش و میانگین بارش برای یک بازه زمانی مشخص و تقسیم این مقدار بر انحراف معیار بارش پیشنهاد شد. اساس نمایه بارش استاندارد بر محاسبات احتمالات وقوع بارندگی برای هر مقیاس زمانی استوار است. این نمایه صرفاً از داده‌های بارندگی ماهانه استفاده می‌کند و برای تشخیص کمبود میزان بارندگی در مقیاس‌های زمانی چندگانه (3، 6، 12، 24 و 48 ماه) طراحی شده است (جدول 1). محاسبه SPI شامل برازش تابع چگالی احتمال که به عقیده مک کی مناسب‌ترین تابع، تابع توزیع چگالی گاما است، بر توزیع فراوانی بارندگی کل برای یک ایستگاه معین می‌باشد. پس از محاسبه تابع تجمعی کل، تغییر شکل هم احتمالی تابع تجمعی گاما به متغیر تصادفی نرمال استاندارد Z (یا SPI) با میانگین صفر و واریانس یک صورت می‌گیرد. در این پژوهش نمایه SPI در مقیاس زمانی 3، 6، 12 ماه محاسبه می‌شود.

جدول 1- وضعیت خشکسالی هواشناسی بر اساس طبقه‌بندی نمایه

وضعیت خشکسالی	محدوده SPI	حالت
ترسالی شدید	$SPI \leq -1.5$	0
ترسالی ملایم	$-0.5 \leq SPI \leq -1$	1
نرمال	$0.5 \leq SPI \leq 1$	2
خشکسالی ملایم	$SPI \leq -0.5$	3
خشکسالی شدید	$SPI \leq -1.5$	4

پس از استخراج و محاسبه نمایه SPI در پنجره‌های زمانی 1، 3، 6 و 12 ماهه، وضعیت خشکسالی در ماه‌ها و فصل‌های مختلف سال به صورت متغیرهایی مطابق جدول 2 تعریف شدند. ارتباط این متغیرها با وضعیت خشکسالی سالانه در قالب سناریوهای مختلف به کمک مدل درختی M5 مدل‌سازی و بررسی شد.

جدول 2- متغیرهای دخالت داده شده در مدل پیش‌بینی خشکسالی

ردیف	علامت متغیر	توضیح متغیر	ردیف	علامت متغیر	توضیح متغیر
1	F	SPI یک ماهه در فروردین ماه	8	BT	SPI شش ماهه در نیمه اول سال
2	O	SPI یک ماهه در اردیبهشت ماه	9	PZ	SPI شش ماهه در نیمه دوم سال
3	K	SPI یک ماهه در خرداد ماه	10	Z_L1	SPI سه ماهه در فصل زمستان سال قبل
4	B	SPI سه ماهه در فصل بهار	11	PZ_L1	SPI شش ماهه در نیمه دوم سال گذشته
5	T	SPI سه ماهه در فصل تابستان	12	BT_L1	SPI شش ماهه در نیمه اول سال گذشته
6	P	SPI سه ماهه در فصل پاییز	13	S_L1	SPI دوازده ماهه سال گذشته
7	Z	SPI سه ماهه در فصل زمستان	14	S	SPI دوازده ماهه

مدل درخت تصمیم¹ M5

بنابراین خالص تر هستند. پس از حداکثرسازی تمامی انشعاب‌های ممکن، M5 صفتی را انتخاب می‌کند که کاهش مورد انتظار را بیشینه نماید. این تقسیم اغلب ساختار شبه‌درخت بزرگی را تشکیل می‌دهد که باعث بیش‌برازش می‌شود. برای غلبه بر مسئله‌ی بیش‌برازش، درخت تشکیل شده بایستی هرس شود. این کار با جایگزینی یک درخت فرعی با یک برگ انجام می‌شود. بنابراین، مرحله دوم در طراحی مدل درختی شامل هرس نمودن درخت رشد یافته و جایگزینی درختان فرعی با توابع رگرسیونی خطی است. این تکنیک تولید مدل درختی، فضای پارامترهای ورودی را به نواحی یا زیر فضاهای کوچک‌تر تقسیم نموده و در هر کدام از آن‌ها، یک مدل رگرسیونی خطی برازش می‌دهد. بعد از اینکه مدل خطی به‌دست آمد برای کمینه کردن خطای تخمین با حذف کردن پارامترها، ساده‌سازی مدل انجام می‌شود. در مدل M5 از یک جستجوی حریصانه برای حذف متغیرهایی که مشارکت کمی در مدل دارند، استفاده می‌شود. البته گاهی اوقات همه متغیرها حذف شده و فقط یک مقدار ثابت باقی می‌ماند. در شکل 3 نحوه عملکرد مدل درخت تصمیم M5 برای یک مسئله فرضی هر مدل نشان دهنده یک معادله رگرسیونی خطی می‌باشد. به عنوان مثال اگر $X_1 > 2/5$ و $X_2 > 2$ باشند، آنگاه مدل سوم به فرم $Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2$ مورد استفاده قرار می‌گیرد.

تجزیه و تحلیل نتایج

بعد از اجرای مدل درختی M5، بین مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده پارامترهای آماری ضریب همبستگی (R)، ریشه دوم میانگین مجموع مربعات خطا (RMSE) که نشان دهنده بزرگی خطا است و متوسط خطای اریب (MBE) که نشان دهنده انحراف از خط نیمساز است به‌عنوان معیارهای ارزیابی نتایج مدل M5 مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج

در آغاز ضرایب همبستگی بین متغیرهای تعریف شده در جدول محاسبه و ماتریس ضرایب همبستگی آن‌ها تشکیل شد (جدول 3). از بین متغیرهای تعریف شده، بیش‌ترین همبستگی با وضعیت خشکسالی سالانه، در بین فصل‌های سال، با فصل بهار و در بین ماه‌های این فصل با ماه فروردین به‌دست آمد. همچنین نتایج نشان داد که خشکسالی در سال پیش تأثیر زیادی بر وضعیت خشکسالی سال بعد ندارد و همبستگی ضعیفی بین آن‌ها وجود دارد.

پس از تشکیل ماتریس ضرایب همبستگی، متغیرهایی با همبستگی بالاتری انتخاب و به عنوان متغیر مستقل در مدل درختی M5 در نظر گرفته شدند.

در مدل‌سازی پدیده‌ها، وجود شرایط محلی ممکن است باعث شود تا استفاده از یک رابطه کلی نتایج خوبی را به‌همراه نداشته باشد و تغییرات محلی به خوبی دیده نشوند. در صورت امکان، شناسایی محدوده‌های همگن و ارائه روابط ساده خطی برای هر یک از این محدوده‌ها می‌تواند باعث افزایش دقت مدل شود. بر این اساس معمولاً برای حل مسائل پیچیده، آن را به چند مسئله کوچک‌تر و ساده‌تر تقسیم نموده و سپس جواب‌های به‌دست آمده را با هم ترکیب می‌کنند. همین ایده ساده در مدل‌های درخت تصمیم مورد استفاده قرار می‌گیرد. به این منظور، فضا یا محدوده داده‌های ورودی به چند زیربازه یا ناحیه تقسیم شده و برای هر ناحیه یک معادله یا مدل مناسب استخراج می‌شود (Bhattacharya et al., 2007)

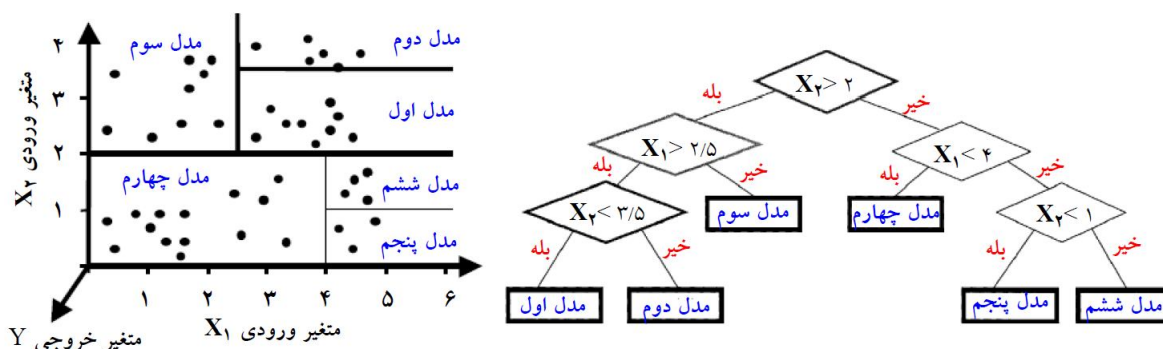
درخت‌های تصمیم روشی برای نمایش یک سری از قوانین هستند که منتهی به یک رده یا مقدار می‌شوند. درخت‌های تصمیم به کمک جداسازی متوالی داده‌ها به یک سری گروه مجزا تشکیل شده و سعی می‌شود در فرآیند جداسازی، فاصله بین گروه‌ها افزایش یابد. ساختار یک مدل درختی شامل ریشه، گره‌های داخلی و برگ می‌باشد. از مدل‌های درخت تصمیم در حل بسیاری از مسائل طبقه‌بندی و رگرسیون استفاده شده است. برای اولین بار کوینلان (1992) مدل درخت تصمیم موسوم به M5 را برای پیش‌بینی داده‌های پیوسته ارائه نمود. این مدل، بر خلاف مدل‌های درخت تصمیم معمول، که رده‌های گسسته را به‌عنوان خروجی ارائه می‌نمایند، یک مدل خطی چندمتغیره را برای داده‌ها در هر گره از مدل درختی می‌سازد. تشکیل ساختار مدل‌های درخت تصمیم‌گیری شامل مراحل ایجاد درخت و هرس کردن آن است (Quinlan., 1992; Witten et al., 2005). در مرحله ساختن درخت، از یک الگوریتم استنتاجی یا معیار تقسیم (انشعاب) برای تولید یک درخت تصمیم استفاده می‌شود. معیار تقسیم برای الگوریتم مدل M5، ارزیابی انحراف معیار مقادیر کلاسی است که به عنوان کمیتی از خطا به یک گره می‌رسد و کاهش مورد انتظار در این خطا را به عنوان نتیجه‌ی آزمون هر صفت در آن گره محاسبه می‌نماید. کاهش انحراف معیار² (SDR) از رابطه 1 به‌دست می‌آید:

$$SDR = sd(T) - \sum \frac{|T_i|}{|T|} sd(T_i) \quad (1)$$

که T بیانگر یک سری نمونه‌هایی است که به گره می‌رسد، T_i بیانگر نمونه‌هایی است که آمین خروجی سری پتانسیلی را دارند و sd بیانگر انحراف معیار است. به‌دلیل فرآیند انشعاب، داده‌های قرار گرفته در گره‌های فرزند، انحراف معیار کم‌تری نسبت به گره مادر داشته و

1 - Decision tree model

2 -SDR: Standard Deviation Reduction



شکل 3- عملکرد مدل درخت تصمیم M5. الف) تقسیم فضای پارامترهای ورودی ($X_1 \times X_2$) به 6 ناحیه. ب) بیان معیار تقسیم فضای پارامترهای ورودی به صورت درختی (سالوماتین و ژبو، 2004)

جدول 3- ماتریس درصد همبستگی بین متغیرهای پیش‌بینی کننده و متغیر پیش‌بینی شونده

S	S_L1	PZ_L1	PZ	BT_L1	BT	Z_L1	Z	P	T	B	K	O	F	
63*	2	-11	26	9	64*	6	38	1	7	71*	15	24	100	F
52*	-13	-10	15	-1	56*	8	22	-1	-24	78*	29	100	24	O
18	-5	-4	-13	-4	33	13	-7	-12	-31	51*	100	30	15	K
72*	-8	-14	17	-2	82*	3	28	-2	-14	100	51*	78*	71*	B
32	27	28	-2	13	43*	21	-15	14	100	-14	-31	-24	7	T
44*	24	28	73*	11	5	15	17	100	14	-2	-12	-1	1	P
55*	-3	-19	80*	7	13	-7	100	17	-15	28	-7	22	38	Z
14	53*	79*	6	12	14	100	-7	15	21	3	13	8	-7	Z_L1
83*	5	0	11	3	100	14	13	5	43*	82*	33	56*	64*	BT
8	83*	10	11	100	3	12	7	11	13	-3	-4	-10	9	BT_L1
65*	13	5	100	11	11	6	80*	73*	-2	18	-13	15	26	PZ
2	63*	100	5	10	0	79*	-19	28	28	-14	-4	-10	-11	PZ_L1
10	100	63*	13	83*	5	53	-3	24	27	-8	-5	-13	2	S_L1
100	10	2	65*	8	83*	14	55	44	32	72*	18	52*	63*	S

* از لحاظ آماری ضریب همبستگی در سطح اطمینان 95 درصد معنی‌دار می‌باشد.

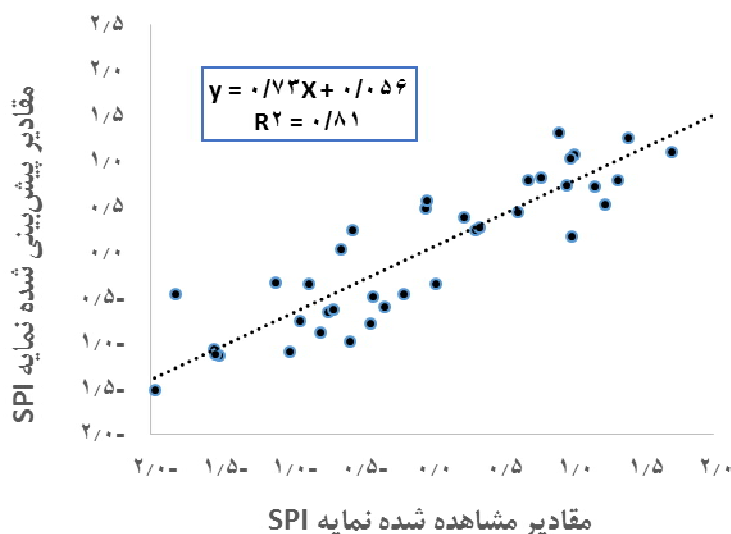
مدل درختی M5 بر اساس وضعیت خشکسالی در فصل بهار و ماه‌های آن داده را به 9 خوشه و به صورت زیر دسته‌بندی و با ارائه یک معادله در هر خوشه مقادیر شدت خشکسالی را پیش‌بینی می‌کند. این دسته‌بندی نشان می‌دهد داده‌ها، ابتدا بر اساس وضعیت خشکسالی در فصل بهار به دو دسته تقسیم‌بندی می‌شوند و سپس هر دسته نیز بر اساس وضعیت خشکسالی در ماه فروردین به دو دسته تقسیم می‌شود. بررسی‌ها نشان داد که بارش فصل بهار بیش‌ترین رابطه را با بارش کل سال برقرار می‌کند و در فصل بهار نیز بارش‌های فروردین‌ماه از اهمیت بیش‌تری برخوردار است.

پیش‌بینی خشکسالی سال با مدل درختی M5

بر اساس نحوه شرکت متغیرهای مستقل در پیش‌بینی خشکسالی سناریوهای مختلفی تعریف شد. در ابتدا مدل‌سازی بر اساس وضعیت خشکسالی در فصل بهار و ماه‌های آن انجام شد. سپس فصل تابستان نیز وارد مدل شد. هم‌چنین برای بررسی وضعیت خشکسالی در زمستان سال گذشته، این متغیر نیز وارد مدل شد. نتایج این بررسی نشان می‌دهد وضعیت خشکسالی در فصل بهار با ضریب همبستگی 89 درصد و ریشه میانگین مربعات خطای 0/57 می‌تواند وضعیت خشکسالی در طول سال را پیش‌بینی کند (جدول 4 و شکل 4).

جدول 4- نتایج پیش بینی خشکسالی سالانه بر اساس وضعیت خشکسالی در فصل‌های مختلف

معیارهای ارزیابی			ورودی مدل
R	MBE	RMSE	
0/89	0/01	0/57	وضعیت خشکسالی در بهار
0/90	0/01	0/51	وضعیت خشکسالی در نیمه اول سال
0/88	0/01	0/53	وضعیت خشکسالی در زمستان سال قبل و بهار
0/90	0/01	0/51	وضعیت خشکسالی در زمستان سال قبل و نیمه اول سال
0/72	0	0/72	وضعیت خشکسالی در فروردین
0/74	0	0/70	وضعیت خشکسالی در زمستان سال قبل و فروردین



شکل 4- نمودار پراکنش مقادیر پیش بینی شده و مشاهداتی خشکسالی سالانه بر اساس وضعیت خشکسالی در بهار

$$\text{LM 4: } S = -0.2024 \times F - 0.2863 \times K + 0.52 \times B - 0.0107$$

$$\text{LM 5: } S = -0.2249 \times F - 0.2863 \times K + 0.52 \times B - 0.0518$$

$$\text{LM 6: } S = 0.2188 \times F + 0.1773 \times O - 0.2088 \times K + 0.4 \times B + 0.2037$$

$$\text{LM 7: } S = 0.22 \times F + 0.177 \times O - 0.21 \times K + 0.4 \times B + 0.24$$

$$\text{LM 8: } S = 0.2013 \times F + 0.1631 \times O - 0.2036 \times K + 0.4 \times B + 0.3769$$

$$\text{LM 9: } S = 0.2013 \times F + 0.1631 \times O - 0.2036 \times K + 0.4 \times B + 0.3901$$

$$\begin{aligned} &B \leq 0.31 : \\ &| F \leq -0.2 : \\ &| | B \leq -0.665 : \\ &| | | K \leq 0.075 : \text{LM1} \\ &| | | K > 0.075 : \text{LM2} \\ &| | B > -0.665 : \text{LM3} \\ &| F > -0.2 : \\ &| | F \leq 0.485 : \text{LM4} \\ &| | F > 0.485 : \text{LM5} \\ &B > 0.31 : \\ &| F \leq 0.68 : \\ &| | O \leq 1.235 : \text{LM6} \\ &| | O > 1.235 : \text{LM7} \\ &| F > 0.68 : \\ &| | K \leq 0.09 : \text{LM8} \\ &| | K > 0.09 : \text{LM9} \end{aligned}$$

$$\text{LM 1: } S = -0.2909 \times K + 0.5403 \times B - 0.3058$$

$$\text{LM 2: } S = -0.2983 \times K + 0.5403 \times B - 0.3349$$

$$\text{LM 3: } S = -0.2438 \times K + 0.5604 \times B - 0.2313$$

نتیجه گیری

در این مقاله از یکی از باورهای قدیم مردم و هم‌چنین مصرع شعری با عنوان "سالی که نیکوست از بهارش پیداست" الهام گرفته

خلیلی، ک. 1380. آنالیز فرکانس خشکسالی و طرح مخازن برای مصارف کشاورزی و شرب (مطالعه موردی شهرچای ارومیه)، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز.

سامتی، م.، قهرمان، ن. و قربانی، خ. 1392. کاربرد مدل M5 در برآورد تبخیر-تعرق مرجع در ایستگاه‌های شیراز و کرمانشاه. مجله پژوهش آب در کشاورزی. 27: 3: 289-298.

شریفان، ح. و قربانی، خ. 1393. بهبود برآورد تبخیر تعرق پتانسیل با استفاده از ضریب اصلاحی به کمک مدل درخت تصمی-م-5. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. 8: 1: 51-59.

ظهیری، ع. و قربانی، خ. 1392. شبیه‌سازی دبی جریان در مقاطع مرکب به کمک مدل درخت تصمیم M5. مجله پژوهش‌های حفاظت خاک و آب. 20: 3: 113-132.

عابدینی، ا.، ایزدی، ع.، کاردان مقدم، ح. و علیدوست، ا. 1388. پیش‌بینی شاخص خشکسالی SPI در مشهد به کمک شبکه‌های عصبی MLP و نرم افزار Matlab، همایش ملی الگوهای توسعه پایدار در مدیریت آب، شرکت مهندسی مشاور مهتاب ثامن، مشهد.

قربانی، خ.، خللی، ع.، علوی پناه، س. ک. و نخعی زاده، غ. 1389. مطالعه تطبیقی نمایه‌های هواشناسی خشکسالی SPI، SIAP به روش داده‌کاوی. مجله آب و خاک دانشگاه فردوسی مشهد. 24: 3: 417-426.

مساعدی، ا.، دهقانی، ا. و عیوضی، م. 1388. بررسی طول دوره‌ی قابل پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از سری‌های زمانی. اولین کنفرانس بین‌المللی مدیریت منابع آب، دانشگاه صنعتی شاهرود.

دهقانی، ا.، قربانی، خ. و کوهستانی، ن. 1393. بهینه‌سازی شبکه سنجش منابع آب (سطحی و زیرزمینی) استان گلستان با استفاده از روش‌های زمین‌آماری. گزارش طرح تحقیقاتی شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان. 122 ص.

Bhattacharya, B., Price, R.K and Solomatine, D.P. 2007. Machine learning approach to modeling sediment transport. Journal of Hydraulic Engineering. 133.4: 440-450.

Bordi, I., Frigio, S., Parenti, P., Speranza, A and Sutera, A. 2001. The analysis of the Standardized Precipitation Index in the Mediterranean area: large-scale patterns. Annals of Geophysics. 44:5-6.

Byun, H.R and Wilhite, D.A. 1999. Objective quantification of drought severity and duration. Journal of Climate. 12.9: 2747-2756.

Glantz, M.H. 2003. Climate Affairs: A Primer.

شد تا امکان پیش‌بینی خشکسالی سالانه بر اساس وضعیت خشکسالی در فصل بهار بررسی شود. مهم‌ترین یافته‌های این پژوهش عبارتند از: در منطقه مطالعاتی، با وجود اینکه تنها 25 درصد از بارش سالانه متعلق به فصل بهار است، وضعیت خشکسالی در فصل بهار بالاترین همبستگی را با وضعیت خشکسالی سالانه دارا می‌باشد. از بین ماه‌های فصل بهار نیز وضعیت خشکسالی در فروردین ماه بالاترین همبستگی را با وضعیت خشکسالی در طول سال برقرار می‌کند.

وضعیت خشکسالی در فصل زمستان سال قبل با وضعیت خشکسالی سالانه همبستگی پایینی را نشان می‌دهد و دخالت دادن آن در مدل پیش‌بینی، افزایش معنی‌داری را در دقت مدل پیش‌بینی به همراه ندارد. بر این اساس در استفاده از مدل‌های سری زمانی در پیش‌بینی بارش و خشکسالی دقت بیشتر را داشت.

با توجه به اینکه فصل بهار در ابتدای سال قرار دارد. بنابراین مقدار بارش در این فصل می‌تواند متغیر مهمی در پیش‌بینی بارش و خشکسالی سالانه در نظر گرفته شود و قابل توجه این که در این فصل نیز، بارش در فروردین ماه نقش مؤثرتری در بارش و خشکسالی سالانه دارد. بر این اساس می‌توان بیان کرد که بارش فروردین ماه نقش تعیین‌کننده‌ای در بارش سالانه دارد.

مدل درختی M5 با تفکیک داده‌ها به گروه‌های مجزا و ارائه روابط ساده رگرسیونی ساده برای هر گروه می‌تواند ابزار مناسبی برای پیش‌بینی و مدل‌سازی وضعیت خشکسالی باشد.

منابع

ابراهیمی، ل. و بارانی، غ. 1384. معرفی مدل تلفیقی تبدیل موجکی و شبکه‌های عصبی برای پیش‌بینی خشکسالی حوضه‌های آبخیز سدها، دومین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک، دانشگاه کرمان.

آشگر طوسی، ش.، علیزاده، ا. و شیرمحمدی، ر. 1384. مدل‌سازی SARIMA بارندگی‌های فصلی (مطالعه موردی: الگوسازی و پیش‌بینی بارندگی در استان خراسان)، دو فصلنامه تحقیقات منابع آب ایران. 3: 41-53.

حجابی، س.، بذرافشان، ج. و بختیاری، ب. 1389. مقایسه کارایی مدل‌های ARIMA برای پیش‌بینی خشکسالی‌ها در اقلیم‌های حدی ساحلی ایران، اولین کنفرانس بین‌المللی مدل‌سازی گیاه، آب، خاک و هوا، مرکز بین‌المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

- Engineering. DOI 10.1061/(ASCE)1084-0699,12:6(626).
- Morid,S., Smakhtin,V and Bagherzadeh,K. 2007. Drought forecasting using artificial neural networks and time series of drought indices. *International Journal of Climatology*. 27.15: 2103-2111.
- Quinlan,J.R. 1992. Learning with continuous classes. In 5th Australian joint conference on artificial intelligence. 92: 343-348.
- Witten,I.H and Frank,E. 2005. Data mining: practical machine learning tools and techniques with Java implementations. Morgan Kaufmann: San Francisco: 664.
- Washington, D.C.: Island Press.
- Hayes,M.J., Svoboda,M.D., Wilhite,D.A and Vanyarkho,O.V. 1999. Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 80.3:429-438.
- McKee,T.B., Doesken,N.J and Kleist,J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*. Boston, MA, USA: American Meteorological Society. 17. 22: 179-183.
- Mishra,A.K., Desai,V.R and Singh,V.P. 2007. Drought forecasting using a hybrid stochastic and neural network model. *Journal of Hydrologic*

Feasibility study of the Prediction of Annual Drought Based on Drought Conditions in the Spring Season

Kh. Ghorbani^{1*}, M. Salari Jazi², M. Abdolhosseini³

Received: Jul.15, 2015

Accepted: Nov.11, 2015

Abstract

The drought defined as the lack of precipitation from its average along a period of time is one the most important subjects in meteorology and its prediction can play an effective rule in the field of water resources management. Therefore, both different modelling strategies and different affective variables on drought characteristics are applied for drought prediction. Considering the effect of spring rainfalls on annual drought conditions, the feasibility of the estimation of annual drought based on spring rainfall is investigated in this study. However, Arazkooseh station located in Golestan province, Iran with 45 years recorded daily data were selected as case study. After calculation of drought severity factor based on standardized precipitation index (SPI), for 1, 3, and 12 months' time scales, the correlation matrix was created. The results indicated highest correlation values between annual drought and drought in spring season. In order to find more accurate results, monthly drought indices for spring season were added to an M5 model. The results showed the predictability of annual drought using spring rainfalls as its correlation coefficient was 0.89 and the root mean square error was 0.57.

Keywords: Drought, Prediction, Spring, M5 model, Arazkooseh

1- Assistant Profesor., Department of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

2- Assistant Profesor., Department of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

3- Assistant Profesor., Department of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

(*-Corresponding Author Email: ghorbanin.khalil@yahoo.com)