



پنجمین کنفرانس ملی

هیدرولوژی ایران

The 5st National Conference on Hydrology of Iran

۱۲ و ۱۳ آذر ماه ۱۴۰۴ - دانشگاه ارومیه | 3 - 4 December 2025 - Urmia University



پیش‌بینی خشکسالی در ایستگاه اردبیل

دکتر یعقوب دین‌پژوه و فرزاد آبکار

بترتیب، استاد دانشگاه تبریز و دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه تبریز

ارائه دهنده: دکتر یعقوب دین‌پژوه

مقدمه و اهداف

پدیده خشکسالی یکی از بلاهای طبیعی است، که اکوسیستم و جامعه را به طرق گوناگون تحت تاثیر قرار می دهد (Wang et al., 2018; Lai et al., 2019; Mehdizadeh et al., 2020). خشکسالی در کل، در چهار کلاس متمایز شامل هواشناختی، هیدرولوژیکی، کشاورزی و اجتماعی و اقتصادی قابل مطالعه است.

شاخص بارش تبخیر-تعرق استاندارد شده (SPEI) براساس داده های بارش و تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ET_0) استوار بوده و اخیرا در علوم منابع آب به کار گرفته شده است. در مطالعات مربوط به SPEI، غالبا مقدار ET_0 با روش پنمن مانتیس تخمین زده می شود.

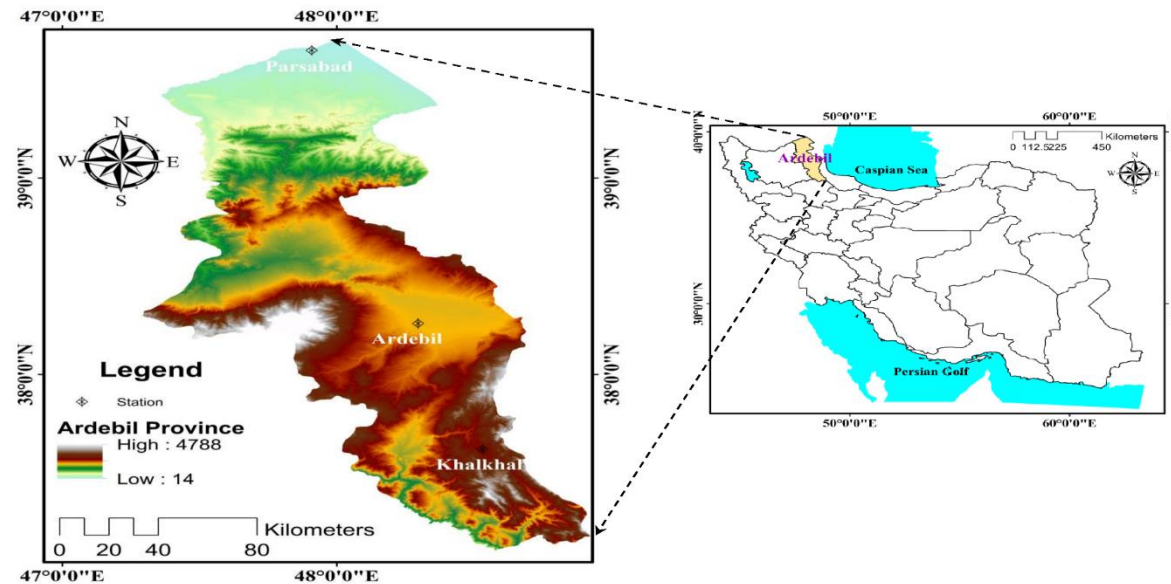
مدل سازی سری زمانی شاخص های خشکسالی به عنوان یک راهبرد مؤثر در پیش بینی شاخص و مدیریت منابع آب شناخته شده است. از میان مدل های سری زمانی پرکاربرد می توان به مدل های تصادفی ARIMA و SARIMA اشاره نمود.

- ژانگ و همکاران برای پیش‌بینی خشکسالی هواشناسی در حوضه هایپه در چین، از مدل تصادفی ARIMA استفاده نمودند که نتایج آن دقت خوبی را برای پیش‌بینی خشکسالی برای منطقه مورد نظر نشان داد (Zhang et al., 2017). در پژوهشی دیگر، که در اقلیم مدیترانه‌ای لبنان انجام شد، از مدل ARIMA برای پیش‌بینی دما، بارش و خشکسالی استفاده و نتایج نشان داد که این روش می‌تواند به عنوان ابزاری مفید برای مدیریت صحیح آب در هنگام خشکسالی به کار رود (Al Sayah et al., 2021). از دیگر مطالعات مرتبط با خشکسالی در جهان می‌توان به کارهای انجام شده در ایالات متحده (Otkin et al., 2024)، اروپا (Stagge et al., 2015)، شبه جزیره ایبری (Lorenzo-Lacruz et al., 2013) و حوضه رودخانه زرد در چین (Huang et al., 2025) اشاره کرد.

- در ایران نیز مطالعات مشابه بطور پراکنده انجام شده است. مثلاً در یک مطالعه، از مدل ARIMA برای پیش‌بینی خشکسالی هیدرولوژیکی در مقیاس‌های زمانی فصلی و ماهانه استفاده کردند و نشان دادند که پیش‌بینی‌ها در مقیاس فصلی خطای کمتری داشتند (Bazrafshan et al., 2015). در مطالعه‌ای دیگر برآورد و پیش‌بینی تبخیر و تعرق پتانسیل در چهار ایستگاه هواشناسی ایران (شامل انزلی، آستارا، منجیل و رشت) در مقیاس ماهانه برای دوره زمانی ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۴ انجام شده است (Ashrafzadeh et al., 2020). آن‌ها از سه نوع مدل مختلف شامل مدل میانگین متحرک تلفیقی اتورگرسیو فصلی (SARIMA)، ماشین بردار پشتیبان (SVM) و روش گروهی پردازش داده (GMDH) استفاده کردند تا مدلی مناسب برای پیش‌بینی تبخیر و تعرق در دوره‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت ایجاد کنند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که در ایستگاه‌های انزلی و رشت، بهترین پیش‌بینی‌ها از مدل SARIMA و برای ایستگاه‌های آستارا و منجیل، از مدل GMDH حاصل شد.
- هدف این مطالعه، پیش‌بینی شاخص خشکسالی SPEI با استفاده از مدل‌های سری زمانی در ایستگاه اردبیل و با استفاده از مدل‌های سری‌های زمانی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه ایستگاه اردبیل است که در منطقه کوهستانی واقع شده و دارای اقلیم نیمه خشک سرد می‌باشد. دامنه تغییرات نزولات جوی در این استان بین ۲۵۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر متغیر می‌باشد. در اردبیل حداقل مطلق دمای هوای روزانه معادل $۳۳/۸$ - درجه سلسیوس (فوریه ۱۹۸۹) و حداکثر مطلق دمای هوای روزانه $۴۰/۸$ درجه سلسیوس (اوت ۲۰۱۵) تجربه شده است.



شکل ۱- نقشه DEM و موقعیت جغرافیایی استان اردبیل

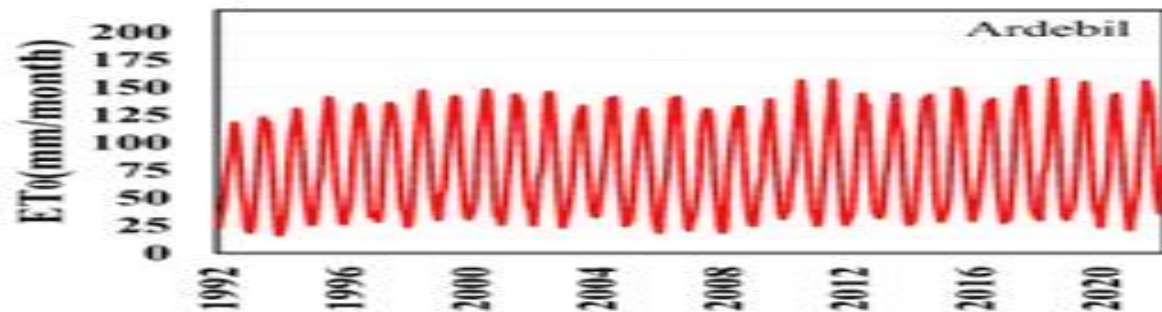
مواد و روش‌ها

در این مطالعه از داده‌های بارش، حداکثر دمای هوا (T_{max})، حداقل دمای هوا (T_{min})، حداکثر رطوبت نسبی هوا (RH_{max})، حداقل رطوبت نسبی هوا (RH_{min})، سرعت باد در ارتفاع ده متری (U_{10})، مجموع ساعات آفتابی واقعی (n) در مقیاس روزانه استفاده شد. داده‌ها از مقیاس روزانه به ماهانه تبدیل شد. شاخص SPEI یکی از شاخص‌های خشکسالی هواشناختی است که تابعی از دو متغیر بارش و تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع ET_0 می‌باشد. این شاخص از تفاضل بارش و ET_0 در مقیاس‌های زمانی مختلف محاسبه می‌شود. در این مطالعه، شاخص SPEI برای منطقه مورد نظر در مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماه محاسبه گردید. برای محاسبه شاخص SPEI ابتدا ET_0 از روش توصیه شده پنمن-مانتیس استفاده شد (Allen et al., 1998; Babamiri and Dinpazhoh, 2016).

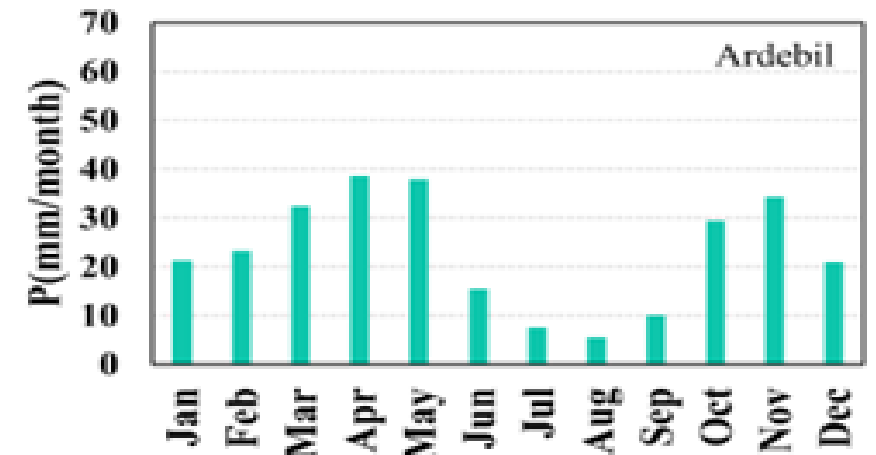
- سری SPEI با روش‌های زمانی زیر مدل‌سازی شد: مدل همبسته $AR(p)$ ، مدل میانگین متحرک $MA(q)$ ، مدل خود همبسته میانگین متحرک $ARMA(p,q)$ ، مدل خود همبسته میانگین متحرک تلفیق شده $ARIMA(p,d,q)$ و مدل خود همبسته میانگین متحرک فصلی $SARIMA(p,d,q)(P,D,Q)_S$.
- برای ارزیابی اعتبار مدل از معیارهای ارزیابی شامل ریشه میانگین مربعات خطا ($RMSE$)، ضریب تعیین (R^2)، معیار اطلاعات آکائیک (AIC) و ضریب نش-ساتکلیف (NS) استفاده شد.

نتایج و بحث

شکل ۲ الگوی تغییرات میانگین بارش ماهانه را برای ایستگاه اردبیل نشان می‌دهد. مقادیر میانگین بارش ماهانه در دامنه ۵/۵۹ میلی‌متر تا ۵۹/۸ میلی‌متر در طول دوره آماری در نوسان می‌باشد. میانگین بارش ماهانه اردبیل در طی سال ۲۳/۰۵ میلی‌متر در ماه و انحراف معیار آن نیز ۲۰/۹۳ میلی‌متر است. شکل ۳ نمودار مربوط به سری زمانی تغییرات ET_0 ماهانه را با روش پنمن مانتیس نشان می‌دهد.

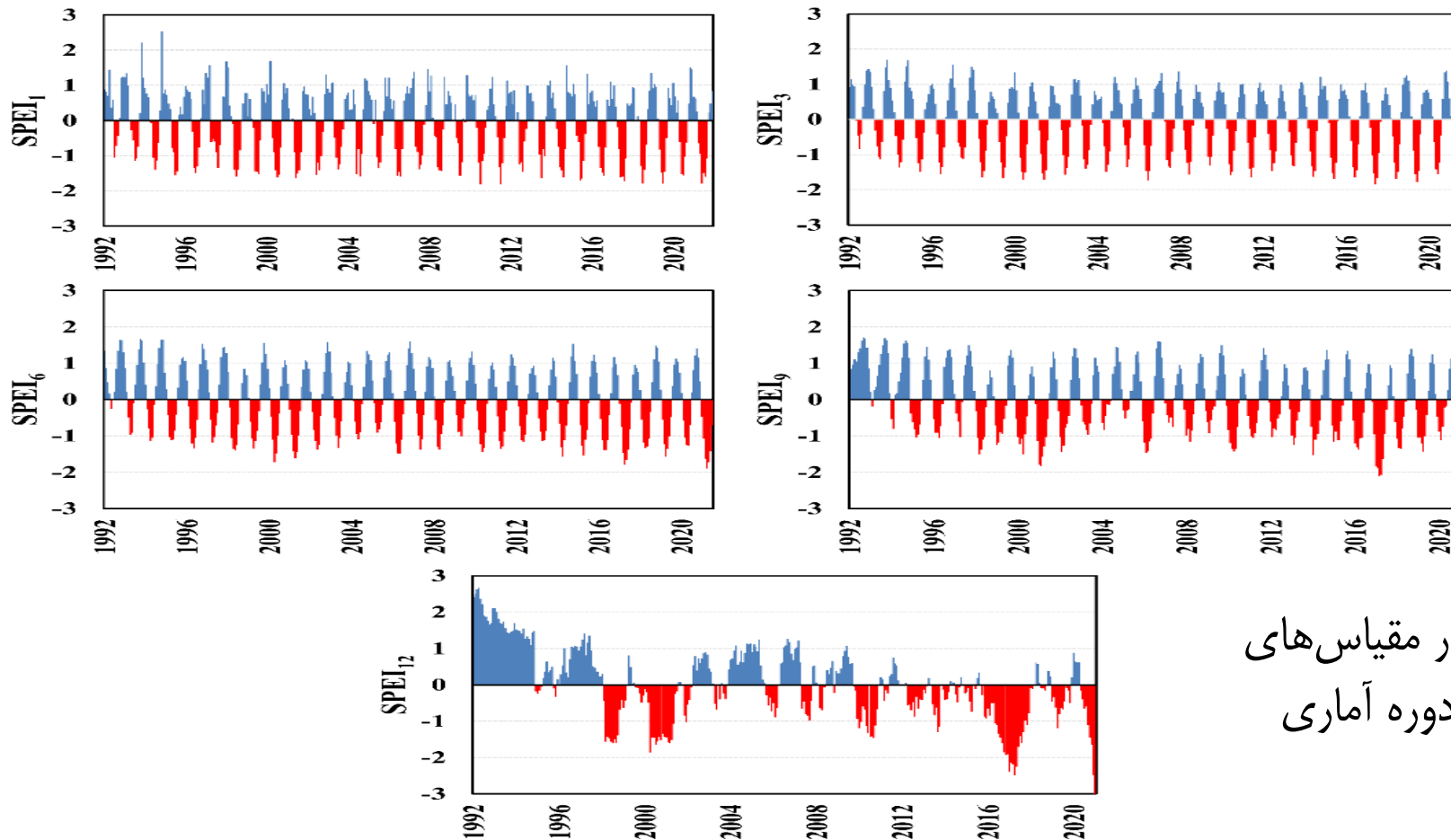


شکل ۳- تغییرات مقادیر تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع در مقیاس ماهانه در ایستگاه اردبیل.



شکل ۲- الگوی تغییرات بارش ایستگاه‌ها اردبیل در مقیاس ماهانه (۱۹۹۲-۲۰۲۱).

نتایج و بحث



شاخص خشکسالی SPEI
 شکل ۴ تغییرات مقادیر SPEI
 ایستگاه اردبیل را در دوره آماری
 ۳۰ ساله نشان می‌دهد.

شکل ۴- نمودارهای شاخص SPEI در مقیاس‌های
 زمانی مختلف در ایستگاه اردبیل طی دوره آماری
 (۱۹۹۲-۲۰۲۱)

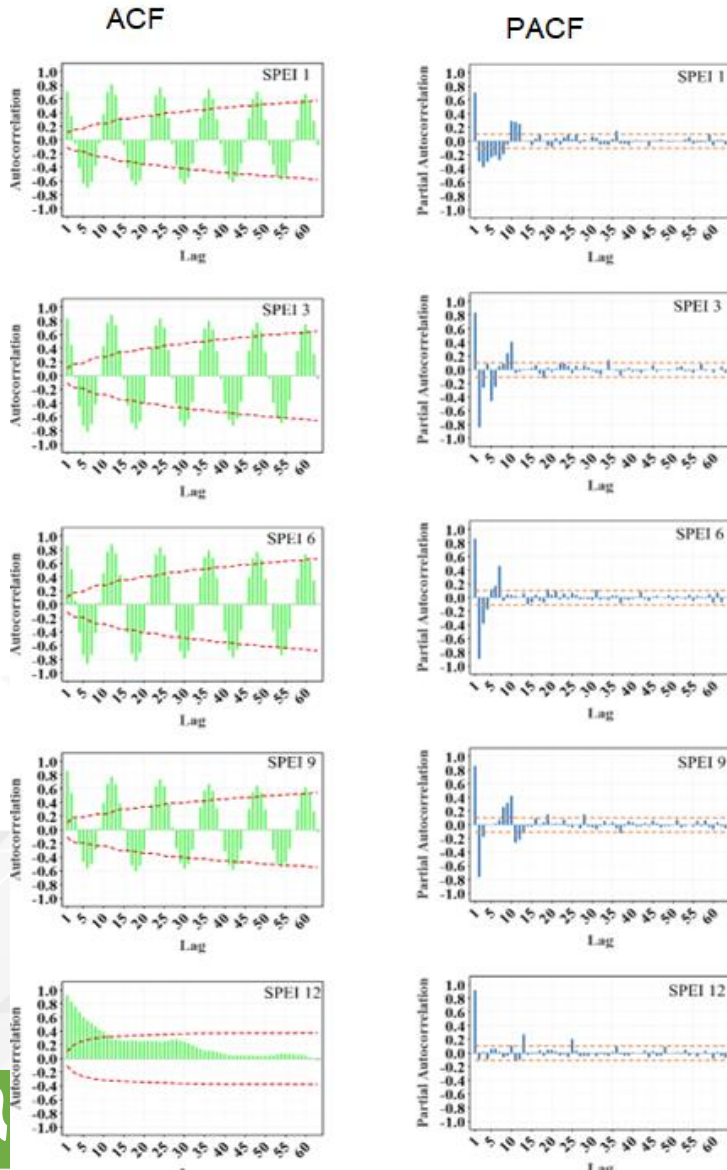
نتایج و بحث

با افزایش مقیاس زمانی تعداد دوره‌های خشکسالی کاهش و مدت دوام آن افزایش می‌یابد. اردیبهشت در پنجره ۱ ماهه در بازه‌های ۳ الی ۵ ماه به صورت متناوب خشکسالی و یا ترسالی را تجربه کرده است. در پنجره‌های ۳ و ۶ ماهه نیز همانند پنجره زمانی ۱ ماهه، دوره‌های خشکی و ترسالی تجربه شده است. با توجه به شکل ۴ می‌توان استنباط کرد که ایستگاه اردیبهشت در پنجره زمانی ۹ ماهه، تعداد رخداد‌های خشکسالی (و یا ترسالی) نسبت به پنجره‌های زمانی ۱، ۳ و ۶ ماهه کاهش یافته است، در عوض مدت دوام هر دوره خشکی افزایش یافته است. در پنجره زمانی ۱۲ ماهه، اردیبهشت در سال ۱۹۹۸ خشکسالی ملایم داشته و در بازه زمانی ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۱ دچار خشکسالی نرمال تا شدید بوده، در سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۰۷ خشکسالی نزدیک نرمال و در سال ۲۰۱۰ خشکسالی شدید را تجربه کرده است. اردیبهشت در بازه زمانی ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۵ خشکسالی نزدیک نرمال داشته و در بازه زمانی ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۸ خشکسالی شدید تا بسیار شدید را پشت سر نهاده است. اردیبهشت در سال ۲۰۱۹ خشکسالی ملایم و در سال ۲۰۲۱ خشکسالی بسیار شدید را تجربه کرده است. در اردیبهشت، در پنجره ۱۲ ماهه، شدیدترین خشکسالی در سال ۲۰۲۱، (با شدت $-۳/۰۱$) اتفاق افتاده است. همچنین طولانی‌ترین دوره خشکسالی اردیبهشت از سپتامبر ۲۰۱۵ تا مارس ۲۰۱۸ با دوره تداوم ۳۱ ماهه تجربه شده که شدت خشکسالی آن (مجموع SPEI های منفی پیاپی) معادل $-۳۷/۴۴$ بود.

نتایج و بحث

روند فصلی در داده‌ها با استفاده از تابع خود همبستگی (ACF) قابل مشاهده است (شکل ۵ ستون چپ).

شکل ۵ (ستون راست)، نمودارهای خود همبستگی جزئی (PACF) برای ایستگاه اردبیل و پنجره‌های زمانی مختلف را نشان می‌دهد. با توجه به این اشکال می‌توان مرتبه میانگین متحرک را تعداد ضرایب PACF خارج شده از باند اطمینان می‌باشد.



شکل ۵- نمودارهای تابع خودهمبستگی ACF (ستون چپ) و PACF (ستون راست) ایستگاه اردبیل (۲۰۲۱-۱۹۹۲).

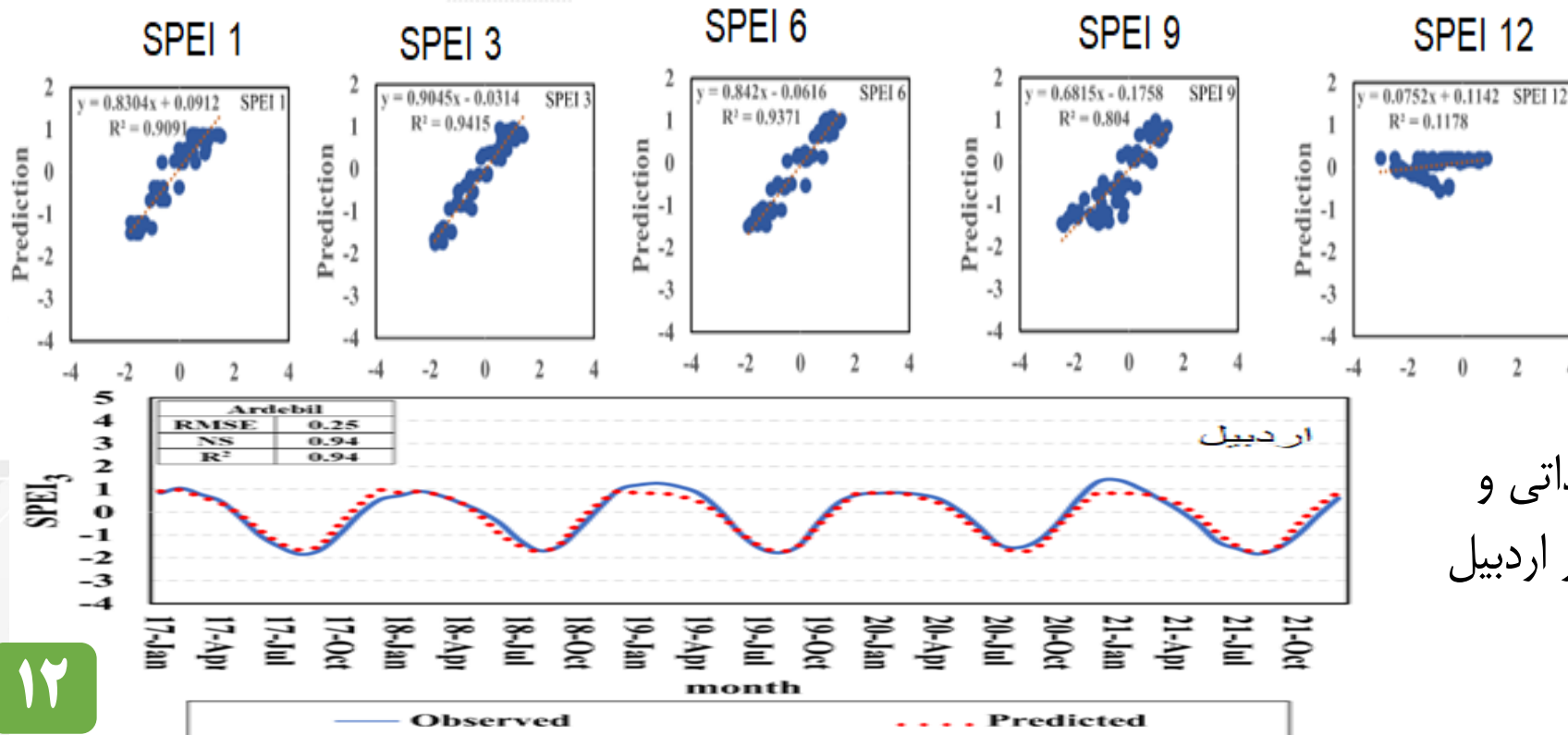
نتایج و بحث

نمودار ACF نظیر سری SPEI یک ماهه (SPEI1) در ایستگاه اردبیل روند فصلی قوی با تناوب ۱۲ ماهه را نشان می‌دهد. این روند فصلی در پنجره‌های زمانی بزرگتر (مانند ۳ ماهه و ۶ ماهه) نیز وجود دارد. در مورد سری زمانی SPEI9، اهمیت روند فصلی اندکی ضعیف شده، اما هنوز وجود دارد. بر این اساس، برای این چهار پنجره زمانی SPEI می‌توان از الگوی فصلی SARIMA استفاده نمود که دارای دوره تناوب ۱۲ ماهه است. شکل کلی این مدل با نماد $ARIMA(p,d,q)(P,D,Q)_{12}$ قابل معرفی است. با این حال، با بررسی نمودار ACF برای SPEI12 (شکل ۵ ستون چپ)، می‌توان دریافت که هیچ روند فصلی در آن وجود ندارد. بنابراین، برای این پنجره زمانی از مدل ARIMA استفاده شد.

جدول ۳- خلاصه نتایج ارزیابی مدل‌های سری زمانی SPEI در مقیاس‌های زمانی مختلف در ایستگاه اردبیل.

Station	Time window	Model type	Validation		
			RMSE	AIC	NS
Ardebil	SPEI ₁	SARIMA(2,0,1)(0,1,2) ₁₂	0.33	339.5	0.89
	SPEI ₃	SARIMA(0,0,2)(3,1,0) ₁₂	0.46	-144.9	0.94
	SPEI ₆	SARIMA(0,0,0)(1,1,1) ₁₂	0.28	-240.7	0.93
	SPEI ₉	SARIMA(1,0,0)(0,1,2) ₁₂	0.5	-19.2	0.78
	SPEI ₁₂	ARMA(1,1)	1.21	221.95	-0.75

همبستگی بین مشاهدات و پیش‌بینی برای ایستگاه اردبیل در پنجره $SPEI_{12}$ ضعیف‌تر از پنجره‌های زمانی کوچکتر بود (شکل ۶). در ایستگاه اردبیل بهترین پیش‌بینی مربوط به سری زمانی $SPEI_3$ با R^2 حدود ۰/۹۴ حاصل شد. اما برای پنجره زمانی $SPEI_{12}$ در مقایسه با سایر پنجره‌های زمانی، مشاهده نشد. شکل ۷ نمودار $SPEI$ مشاهداتی و پیش‌بینی را در مقیاس زمانی ۳ ماهه در اردبیل نشان می‌دهد.



شکل ۶- نمودارهای پراکنش نقاط $SPEI$ (در مقیاس‌های مختلف زمانی) در ایستگاه اردبیل (۲۰۱۷-۲۰۲۱).

شکل ۷- نمودارهای سری زمانی مشاهداتی و پیش‌بینی شده برای $SPEI$ سه ماهه در اردبیل (۲۰۱۷-۲۰۲۱).

نتیجه گیری

- مدل های سری زمانی به عنوان یک ابزار مناسب به منظور پیش بینی شاخص SPEI در ایستگاه اردبیل می باشد. توانمندی سری زمانی SARIMA و ARIMA در تخمین میزان SPEI در این پژوهش مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که:
- ۱- طولانی ترین دوره خشکسالی در ایستگاه اردبیل برای پنجره زمانی ۶ ماهه به مدت ۳۳ ماه روی داده است.
 - ۲- قوی ترین شدت خشکسالی در ایستگاه اردبیل برای پنجره زمانی ۱۲ ماهه با شدت خشکسالی (SPEI) برابر ۳/۸۹- تجربه شده است.
 - ۳- مناسب ترین مدل تصادفی سری زمانی خطی در ایستگاه اردبیل برای شاخص SPEI6 مدل $SARIMA(2,0,0)(0,1,4)_{12}$ بود.
 - ۴- طبق نتایج حاصل از پژوهش حاضر، پیش بینی ها در پنجره های زمانی کوتاه مدت (۱، ۳، ۶، ماهه) دقیق تر از پنجره های زمانی بلند مدت (۹ و ۱۲ ماهه) بودند.
- در ادامه این کار پژوهشی پیشنهاد می شود که تحلیل خشکسالی با روش شاخص SPEI برای سناریوهای مختلف تغییر اقلیم در ایران تحلیل گردد.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. *Fao, Rome, 300*(9), D05109.

Hoseini, S. M., Dinpashoh, Y. and Babamiri, O. (2025). Prediction of hydrological drought using the GRI index and linear random time series models (Study area: Ardabil Plain aquifer). *Hydrogeology, 9* (2), 77-92. doi: [10.22034/hydro.2025.64314.1321](https://doi.org/10.22034/hydro.2025.64314.1321) (In Persian)

Lorenzo-Lacruz J, Vicente-Serrano SM, González-Hidalgo JC, López Moreno JI, Cortesi N (2013) Hydrological drought response to meteorological drought in the Iberian Peninsula. *Clim Res* 58:117-131 <https://doi.org/10.3354/cr01177>

Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate, 23*(7), 1696-1718. DOI: <http://dx.doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>

Zhang, Y., Li, W., Chen, Q., Pu, X., & Xiang, L. (2017). Multi-models for SPI drought forecasting in the north of Haihe River Basin, China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 31*, 2471-2481. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00477-017-1437-5>