دکتر علی‌محمد خورشید دوست، دانشگاه تبریز و آزاد اسلامی اهر
یوسف قویدل رحیمی، کارشناس ارشد جغرافیای طبیعی، دانشگاه تبریز
شماره مقاله: ۵۹۸

A.M, Khorshiddoust, Ph.D
Y. Ghavidel Rahimi

مطالعه نوسانات بارش، پیش‌بینی و تعیین فصول مرطوب و خشک زمستانه استان آذربایجان شرقی

چکیده

در این مقاله داده‌های مربوط به عنصر اقلیمی بارش در فصول مختلف یک دورهٔ آماری ۴۱ ساله برای ایستگاه‌هایی از استان آذربایجان شرقی جهت تحلیل آماری داده‌های خام بارش و مدل‌سازی، محاسبه و پیش‌بینی فصول مرطوب و خشک زمستانه مورد استفاده قرار گرفته است. روش اصلی مورد استفاده در این پژوهش عبارت از روش تجزیه و تحلیل سریهای زمانی است و برای تبیین نوسانات بارش، ازمدلهای نوسانی و میانگین متحرک و برای پیش‌بینی فصول آتی مرطوب و خشک از مدل پیش‌بینی سری زمانی تجزیه[1] استفاده شده است. به منظور تعیین کمی و تفکیک فصل مرطوب و فصل خشک، روش بارش استاندارد شده (SPI)[2] به کار رفته است.

نتایج حاصل از این مطالعه حاکی از نوسانهای شدید بارش در همه ایستگاه‌ها است که با شدت و ضعف‌هایی، توأم است. این امر بیانگر علل آب و هوایی نوسانات بارش ایستگاههای آذربایجان شرقی است. از نظر طبقه‌بندی شدت فصول مرطوب و خشک زمستانه غالبا در ایستگاه‌های مورد مطالعه حالت بارش نرمال، فصول خشک و نیز دوره مرطوب قابل مشاهده می‌باشد که فصول خشک از توالی و تداوم بیشتری نسبت به فصول مرطوب برخوردارند. این امر در پیدایش پدیده خشکسالی بی‌تأثیر نمی‌باشد.

کلید واژه‌ها: مدل‌سازی بارش، فصول مرطوب و خشک، سری زمانی تجزیه، بارش استاندارد شده مک‌کال[3]، آذربایجان شرقی.

---

1. Decomposition Method.
2. Standardized Precipitation Index (SPI).
3. McCall Standardized Precipitation Index (MCSPI).

مقدمه

خشکسالی یکی از مهمترین و متداولترین تهدیدکنندگان زندگی انسان و موضوع بسیاری از کتب و نوشتجات از زمانهای دور بوده است (*رائو و فولر،۱۹۹۹، ۹*). در مقایسه با دیگر خطرات اقلیمی خسارات اقتصادی، اجتماعی و جانی ناشی از خشکسالی از شدت و دامنه به مراتب وسیعتری برخوردار بوده است. در بین بلایای طبیعی تهدیدکننده انسان و محیط زیست، خشکسالی هم از نظر فراوانی وقوع و هم از نظر میزان خسارتهای وارده در صدر قرار دارد (کنث، ۱۹۹۹، ۵۱).

قرار گرفتن بیش از ۹۰ درصد مساحت ایران در منطقه خشک و کم آب جهان، کافی است تا دوره‌های خشکسالی و تکانه‌های ناشی از آن را که بر دوره‌های ترسالی غلبه دارد، به عنوان یکی از دغدغه‌های اصلی سیاست مداران و برنامه‌ریزان کشور قرار دهد. با توجه به پیشینهٔ تاریخی بسیار طولانی خطر خشکسالی در ایران، مطالعات متعددی در خصوص آن انجام گرفته که هریک از آنها با جنبه و هدفی خاص و با استفاده از روشهای متعدد مسأله خشکسالی را در ایران مورد بررسی قرار داده‌اند.

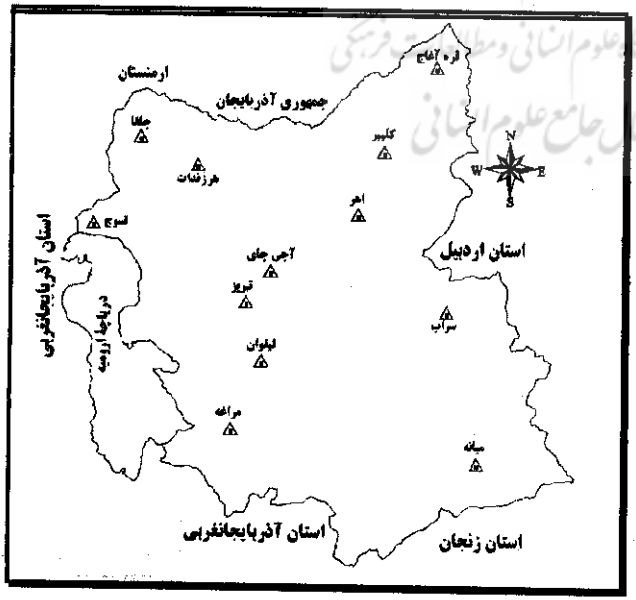
نیشابوری (*۱۳۶۵، ۱۷۲*) با استفاده از روشهای تجربی « آمبرژه »، « بانیول » و « گوسن » و انجام تغییراتی در آنها به منظور سازگار کردن معادلات با ویژگیهای جغرافیای ایران، اقدام به تعیین و تفکیک فصول مرطوب و خشک کرده است. خطیبی (*۱۳۷۴، ۱۵۴*) عوامل مؤثر بر بارش، کاهش آن، سیستم‌های باران‌آور و همچنین مکانیسم‌های بارش را مطالعه نموده و قطبهای پرباران و کم باران شمال‌غرب ایران را شناسایی کرده است. فرج‌زاده و همکاران (*۱۳۷۴، ۴۹*) با استفاده از روشهای متکی بر بارش پدیدهٔ خشکسالی را با عنایت به تعیین ویژگیهای آماری آن ازجمله، وسعت، شدت، فراوانی و تداوم زمانی آن در ایران مطالعه نموده‌اند. خوش‌اخلاق (*۱۳۷۷، ۶۹*) با استفاده از روش تجزیه و تحلیل سینوپتیک و با تأکید بر عنصر بارش اقدام به مطالعه دوره‌های خشک و مرطوب در مقاطع زمانی مختلف در ایران نموده و خشکسالی‌های فراگیر ایران را بر روی نقشه پیاده نموده است. زاهدی و قویدل رحیمی (*۱۳۸۱، ۴۴*) ویژگیهای خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایستگاه‌های حوضه آبریز دریاچهٔ ارومیه را با استفاده از روش « وینتر » مورد محاسبه قرار داده و اقدام به پیش‌بینی سالهای آتی مرطوب و خشک ایستگاه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه نموده‌اند. قویدل رحیمی (*۱۳۸۱، ۷۷*) با استفاده از چندین شاخص خصوصیات فضایی- زمانی دوره‌های مرطوب و خشک را در مقاطع زمانی ماهانه، فصلی و سالانه مورد بررسی قرار داده است. جهانبخش اصل و قویدل رحیمی (*۱۳۸۲، ۳۶*) روند نوسانات بارش سالانهٔ حوضه آبریز دریاچهٔ ارومیه را با استفاده از روش رگرسیون گام به گام مدلسازی نموده‌اند. قویدل رحیمی (*۱۳۸۳، ۷۲*) در تحلیل علل

تغییرات بارش سالانه حوضهٔ آبریز دریاچهٔ ارومیه وجود «ارتباط پیوند از دور» بین ناهنجاریهای بارش سالانه و نوسانات اطلس شمالی را مورد تائید قرار داده است. در مطالعهٔ یادشده ارتباط معنی‌دار منفی بین بارش سالانهٔ آذربایجان شرقی و نوسانات اطلس شمالی مورد محاسبه قرار گرفته و با توسل به مدلهای سری زمانی، وقوع خشکسالی (کاهش بارش) در فاز مثبت و وقوع ترسالی در فاز منفی نوسان اطلس شمالی به اثبات رسیده است. محمد خورشیددوست و قویدل رحیمی (۱۳۸۳، ۹) با استفاده از روش SPI ضمن تعیین ویژگیهای اصلی خشکسالی‌ها و ترسالی‌های بهاره، با استفاده از روش«کریچینگ» آذربایجان شرقی را از نظر خطر خشکسالی پهنه‌بندی نموده‌اند. قویدل رحیمی (۱۳۸۳، ۸) با استفاده از چندین شاخص خشکسالی اقدام به تعیین، طبقه‌بندی و بازسازی زمانی- مکانی خشکسالی‌ها و ترسالی‌های آذربایجان شرقی نموده و براساس نتایج حاصله یک تقسیم‌بندی از ایستگاه‌ها به عمل آورده است. هدف این پژوهش تعیین، طبقه‌بندی و پیش‌بینی بارش و تعیین ویژگیهای زمانی و مکانی فصول خشک و مرطوب زمستانی ایستگاه‌های آذربایجان شرقی است.

داده‌ها و روشها

- داده‌ها

داده‌های بارش ۴۱ ساله فصل زمستان (۳ ماه معادل یک فصل) ۱۲ ایستگاه استان آذربایجان شرقی که توزیع جغرافیایی آنها در شکل ۱ و مشخصات آنها در جدول ۱ درج گردیده است، برای این مطالعه انتخاب گردید.



شکل ۱ توزیع فضایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح حوضه‌های آبریز استان آذربایجان شرقی

جدول ۱ ویژگیهای مکانی ایستگاه‌های مورد مطالعه

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	نام حوضه آبریز اصلی	ارتفاع (متر)
آجی چای	کلیماتولوژی	۴۶/۲۴	۳۷/۰۷	دریاچه ارومیه	۱۴۰۰
اهر	سینوپتیک	۴۷/۰۳	۳۸/۲۶	رود ارس	۱۳۹۰
تبریز	سینوپتیک	۴۶/۱۷	۳۸/۰۵	دریاچه ارومیه	۱۳۶۱
تسوج	بارانسنجی	۴۵/۲۱	۳۸/۱۹	دریاچه ارومیه	۱۳۷۰
جلفا	سینوپتیک	۴۵/۴۰	۳۸/۴۵	رود ارس	۷۳۶
سراب	سینوپتیک	۴۷/۳۲	۳۷/۵۶	دریاچه ارومیه	۱۶۸۲
قره آغاج	کلیماتولوژی	۴۷/۴۴	۳۹/۲۰	رود ارس	۷۰۰
کلیبر	سینوپتیک	۴۷/۰۴	۳۸/۵۲	دریاچه ارومیه	۱۲۱۰
لیقوان	بارانسنجی	۴۶/۲۶	۳۷/۵۰	دریاچه ارومیه	۲۱۰۰
مراغه	سینوپتیک	۴۶/۱۶	۳۷/۲۴	دریاچه ارومیه	۱۴۷۶
میانه	سینوپتیک	۴۷/۴۲	۳۶/۲۰	رود قزل اوزن	۱۱۱۰
هرزندات	بارانسنجی	۴۵/۴۵	۳۸/۳۹	رود ارس	۱۶۰۰

روشها

مراحل آماده‌سازی و کنترل کیفی داده‌ها (تکمیل داده‌های مفقود و تی تست، اف تست، ران تست و جرم مضاعف) با استفاده از نرم‌افزار Data Tester انجام گرفته است. برای داده‌پردازی، مدل‌سازی و طبقه‌بندی خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها از نرم‌افزار Instat Plus استفاده شده است. به منظور تعدیل نوسانات بارش نیز از میانگین متحرک ۳ ساله در کنار منحنی مشاهدات اصلی (نوسانی) و نسبت به خط میانگین استفاده گردیده و با ترسیم منحنی روند بارش استاندارد شده خط سیر بارش هر ایستگاه بررسی شده است. برای تجزیه و تحلیل خشکسالی‌های زمستانی ایستگاه‌ها از روش SPI استفاده شده است که معادلهٔ آن توسط «آگنیو» (۲۰۰۰، ۱۳) به شرح ذیل بیان گردیده است:

$$SPI = \frac{P_{ik} - \overline{P}_i}{\sigma_i} \qquad (۱)$$

در معادله فوق، SPI: بارش استاندارد شده، P_{ik}: مقادیر بارش i امین ایستگاه در k امین مشاهده به میلیمتر، $\overline{P}_i$: میانگین بارش i امین ایستگاه به میلیمتر، σ_i: انحراف معیار داده‌های بارش i امین ایستگاه، هستند. با استفاده از مقیاس طبقه‌بندی مدل SPI (جدول ۲) فصول خشک یا مرطوب هر ایستگاه تعیین و به‌صورت گرافیک ترسیم شده و ویژگیهای اصلی آنها (فراوانی، تداوم، وسعت (فراگیری) و شدت وقوع) تعیین گردیده است.

جدول ۲ مقیاس طبقه‌بندی کیفیت بارش براساس روش SPI (هایس، ۲۰۰۰، ۶)

طبقه	بی‌نهایت مرطوب	مرطوب شدید	مرطوب متوسط	بارش نرمال	خشکی ملایم	خشکی شدید	خشکی حاد
مقدارSPI	۲ و بیشتر	۱/۵ تا ۱/۹	۱ تا ۱/۴۹	۹۹/ تا۹۹/-	۱- تا ۱/۴۹-	۱/۵- تا ۱/۹۹-	۲- وکمتر

به منظور آماده کردن داده‌ها برای پیش‌بینی دوره‌های مرطوب و خشک مقادیر SPI با استفاده از معادله ذیل تبدیل به مقادیر بارش استاندارد شدهٔ مک کال MCSPI شده است:

$$MCSPI = (10 \times \frac{P_{ik} - \overline{P}_i}{\sigma_i}) + 50 \qquad (۲)$$

در معادلهٔ فوق اعداد ۱۰ و ۵۰ ضرایب ثابت معادله می‌باشند (*ویلهایت و گلانتز، ۲۰۰۰، ۱۱۷*).

برای ترسیم مدلهای تعیین و طبقه‌بندی دوره‌های مرطوب و خشک فصلی و همچنین برای پیش‌بینی دوره‌های آتی مرطوب یا خشک از طریق مدل سری زمانی تجزیه از نرم‌افزار Time Series و برای تعیین کیفیت و شدت دوره‌های پیش‌بینی شده از جدول (۳) استفاده شده است. روش تجزیه که برای پیش‌بینی در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است از روشهای نقطه‌ای و کمی پیش‌بینی می‌باشد و از معادله سریهای زمانی به شرح ذیل پیروی می‌کند:

$$Y_t = T \times S \times E \qquad (۳)$$

در معادله فوق، Yt: سری زمانی پیش‌بینی شده، T: روند سری در طول دورهٔ آماری، S: تغییرات فصلی سری زمانی، E: تغییرات نامنظم سری هستند. دقت و صحت مدل پیش‌بینی از طریق سه پارامتر میانگین مطلق انحرافات[4]، مجذور میانگین مطلق انحرافات[5] و درصد میانگین مطلق خطاها[6] و نیز آمارهٔ کولموگورف- اسمیرنوف کنترل گردیده است. برای تعیین شدت مرطوب یا خشک بودن سالهای مورد پیش‌بینی از مقیاس طبقه‌بندی به شرح جدول ۳ استفاده گردیده است:

جدول ۳ مقیاس طبقه‌بندی کیفیت بارش پیش‌بینی شده به روش «بارش استاندارد مک کال»

وضعیت	بی نهایت مرطوب	مرطوب شدید	مرطوب متوسط	بارش نرمال	خشکی ملایم	خشکی شدید	خشکی حاد
شاخص MCSPI	۷۰ و بیشتر	۶۵ تا ۶۹/۹	۵۰ تا ۶۴/۹	۴۰/۱ تا ۴۹/۹	۴۰ تا ۳۵/۱	۳۰/۱ تا ۳۵	کمتر از ۳۰
کد وضعیت	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷

نتایج

- ویژگیهای آماری بارش زمستانه

مشاهدات اصلی بارش ۴۱ ساله ایستگاه‌ها مورد تحلیل آماری قرار گرفته و پارامترهای اصلی آن استخراج و بررسی شده است که نتایج حاصله در جدول ۴ درج شده است.

4. Mean Absolute Deviation (MAD).
5. Mean Squared Deviation (MSD).
6. Mean Absolute Percentage Error (MAPE).

جدول ۴ ویژگیهای آماری بارش فصل زمستان در ایستگاه‌های آذربایجان شرقی (۲۰۰۰-۱۹۶۰)

ایستگاه	آجی‌چای	اهر	تبریز	تسوج	جلفا	سراب	قره‌آغاج	کلیبر	لیقوان	مراغه	میانه	هرزندات	آذربایجان شرقی
میانگین	۷۶/۸۹	۸۲/۴	۸۸	۹۰/۵	۸۹/۹	۷۰/۳	۱۳۲	۱۰۱	۹۳/۵	۹۳/۲	۷۹/۳	۷۹/۳	۹۲
میانه	۷۳/۸	۷۹/۱	۷۷/۶	۶۹	۶۵/۵	۶۰/۹	۱۰۵	۱۰۴	۸۲/۸	۸۲/۸	۶۷/۲	۶۷/۲	۸۲/۵
مد	۷۳/۸	۶۲/۳	۲۸/۲	۲۰/۵	۲۵/۷	۱۸	۶۸	۲۱	۲۲/۷	۲۲/۷	۲۵/۲	۲۵/۲	۷۹/۱
انحراف معیار	۳۳/۷۳	۳۰/۸	۳۷/۷	۶۰/۷	۷۹/۷	۴۵/۲	۷۴/۷	۴۲/۸	۴۵/۱	۴۵/۱	۴۵/۴	۴۵/۴	۵۳/۵
چولگی	۰/۶۶۳	۰/۸۷	۱/۱۳	۱/۰۶	۳/۲۱	۲/۲۱	۲/۱۹	۰/۵۷	۱	۱	۱/۵۷	۱/۵۷	۲/۲۱
دامنه	۱۵۲/۱	۱۴۷	۱۷۷	۲۷۰	۴۴۹	۲۳۷	۴۰۷	۱۹۶	۲۰۶	۲۰۶	۲۰۱	۲۰۱	۴۷۴/۵
کمینه	۲۲	۲۶	۲۰۲۸	۰	۲۵/۷	۱۸	۴۳/۱	۲۱	۲۲/۷	۲۲/۷	۲۵/۲	۲۵/۲	۰
بیشینه	۱۷۴/۱	۱۷۳	۲۰۵	۲۷۰	۴۷۵	۲۵۵	۴۵۰	۲۱۷	۲۲۹	۲۲۹	۲۲۶	۲۲۶	۴۷۴/۵
ضریب تغییرات	۴۳/۹	۳۷/۴	۴۲/۸	۶۷	۸۸/۴	۶۴/۳	۵۶/۴	۴۲/۴	۴۸/۵	۴۸/۵	۴۸/۵	۵۷	۵۸

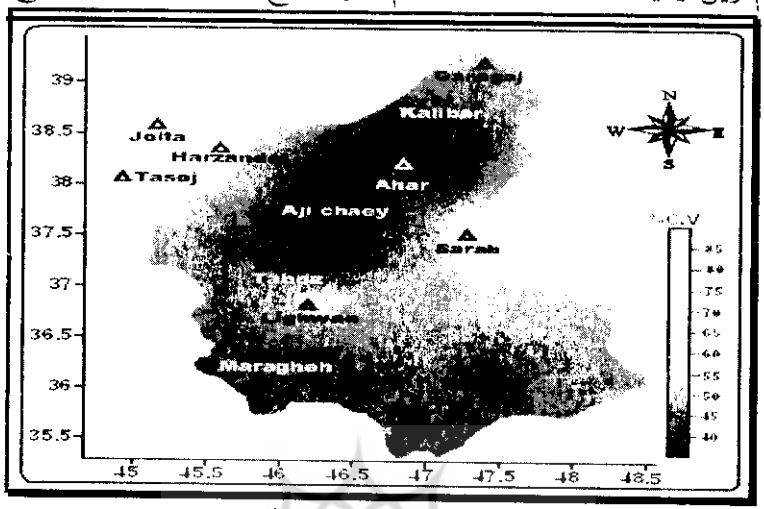
با توجه به جدول ۴ می‌توان مشخصات آماری بارشهای زمستانه ایستگاه‌های مورد مطالعه را به شرح ذیل خلاصه نمود:

۱. ایستگاه قره‌آغاج پربارانترین و ایستگاه سراب کم بارانترین ایستگاه‌های استان در زمستان هستند. ۲. انحراف معیار بارش ایستگاه جلفا از سایر ایستگاه‌ها بسیار بیشتر و انحراف معیار بارش ایستگاه اهر در فصل زمستان از دیگر ایستگاه‌های استان کمتر است. ۳. دامنه بارش ایستگاه جلفا از دیگر ایستگاه‌ها بیشتر و دامنه بارش ایستگاه اهر از سایر ایستگاه‌ها در زمستان کمتر است و این درحالی است که با توجه به حداقل بارش ثبت شده در ایستگاه تسوج که صفر میلیمتر می‌باشد و با در نظرگرفتن حداکثر بارش ۴۱ ساله (که در ایستگاه جلفا ۴۷۴/۵ میلیمتراست)، دامنه بارش به ۴۷۴/۵ میلیمتر رسیده است. ۴. حداکثر بارش ثبت شده در ایستگاه‌های جلفا و قره‌آغاج و حداقل بارش در میان حداکثرها در ایستگاه اهر دیده می‌شود. ۵. بیشترین مقدار ضریب تغییرات بارش زمستانه در ایستگاه جلفا و حداقل آن در ایستگاه اهر قرائت گردید. این امر نشانگر عدم ثبات بارشهای ایستگاه جلفا و ثبات بارش در ایستگاه اهر می‌باشد.

- تحلیل نوسانات زمانی و تغییرات فضایی بارش زمستانه

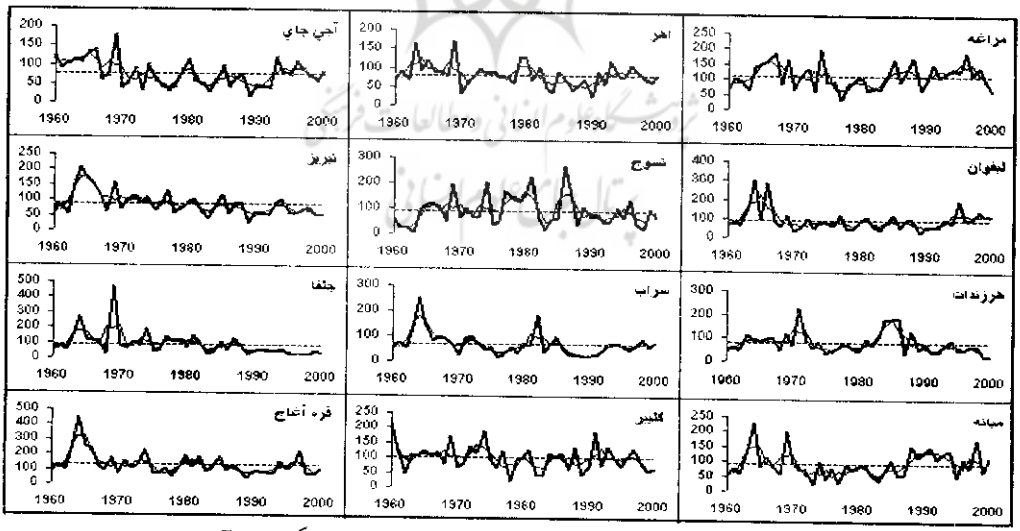
به منظور تبیین تغییرات فضایی بارش ایستگاه‌های آذربایجان شرقی از دو مدل گرافیک استفاده شده است. ابتدا به منظور نشان دادن تغییرات بارش با استفاده از داده‌های مربوط به ضریب تغییرات بارش اقدام به ترسیم نقشهٔ طیفی توزیع تغییرات فضایی بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه گردید (شکل ۲). با توجه به شکل ۲ ایستگاه اهر دارای کمترین و ایستگاه جلفا دارای بیشترین مقدار

ضریب تغییرات بارش زمستانه در محدودهٔ مورد مطالعه هستند و این بدان معنی است که ایستگاه اهر دارای منظم‌ترین و ایستگاه جلفا دارای نامنظم‌ترین توزیع بارش زمستانه در سطح استان هستند.



شکل ۲ نقشهٔ طیفی ضریب تغییرات بارش فصل زمستان در ایستگاه‌های آذربایجان شرقی (۲۰۰۰-۱۹۶۰)

به منظور تحلیل نوسانهای بارش فصل زمستان از مدلهای گرافیک نوسانی سری زمانی بارش و میانگین متحرک ۳ ساله (هر دو در یک نمودار ترسیم گردیده است) استفاده شده و در شکل ۳ نشان داده شده است.

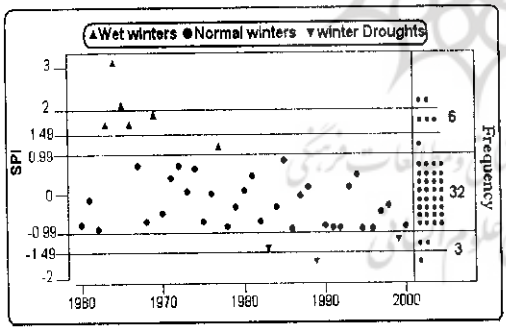


شکل ۳ مدلهای نوسانی و میانگین متحرک سه ساله بارش زمستانه ایستگاه‌های آذربایجان شرقی (خط پررنگ نشانگر بارش، خط کم‌رنگ نشانگر میانگین متحرک سه‌ساله، خط منقطع بیانگر میانگین بلندمدت ایستگاه‌ها است. محور عمودی بیانگر بارش به میلیمتر است).

با توجه به شکل ۳ نوسانهای بسیار شدید بارش در کلیه ایستگاه‌ها به ویژه ایستگاه تسوج، کلیبر و جلفا مشاهده می‌شود که از سال ۱۹۸۸ منحنی بارش آنها زیر میانگین قرار دارند. در این حال منحنی ایستگاه اهر نوسانات کمتری نسبت به خط میانگین بلند مدت نشان می‌دهد. همان‌گونه که از شکل منحنی متحرک ایستگاه‌ها معلوم است نوسانهای شدید بارش حقیقی از طریق منحنی میانگین متحرک تعدیل گردیده است. نکته جالب و مهم در نمودارهای میانگین متحرک، نزولی بودن منحنی بارش اغلب ایستگاه‌ها (به جز ایستگاه‌های سراب، لیقوان و میانه) است که گرایش به کاهش بارش و خشکی ایستگاه‌های مذکور را در زمستان نشان می‌دهند.

- تعیین و طبقه‌بندی دوره‌های مرطوب و خشک زمستانه

پس از تبدیل بارش متوسط هر فصل از ۴۱ سال آماری به مقادیر SPI اقدام به ترسیم نمودارهای تعیین کیفیت بارش (خشکسالی یا ترسالی) هر یک از ایستگاههای آذربایجان شرقی گردید که این امر با استفاده از مقیاس طبقه‌بندی شدت دوره‌های مرطوب و خشک (جدول ۲) صورت گرفته است. نمودار طبقه‌بندی کیفیت بارش براساس نمایه SPI برای هریک از ایستگاه‌ها ترسیم گردیده که در شکل ۴ مدل طبقه‌بندی کیفیت بارش و فراوانی فصول مرطوب و خشک ایستگاه تبریز به عنوان نمونه ترسیم گردیده است.



شکل ۴ مدل طبقه‌بندی کیفیت بارش و تعیین فراوانی وقوع فصول مرطوب و خشک زمستانه ایستگاه تبریز (۱۹۶۰-۲۰۰۰)

اهم نتایج حاصل از طبقه‌بندی کیفیت بارش زمستانه ایستگاه‌های آذربایجان شرقی را می‌توان به شرح ذیل خلاصه نمود:

۱. دو ایستگاه کلیبر و مراغه به ترتیب با فراوانی ۸ بار فصل خشک و ایستگاه تسوج با ۱۰ فصل مرطوب در زمستان خشکترین و مرطوبترین ایستگاه‌های استان از نظر فراوانی وقوع فصول خشک و مرطوب هستند. با توجه به مقادیر SPI کمترین تعداد فصول مرطوب زمستانه در ایستگاه‌های جلفا و سراب با فراوانی ۳ بار و بعد از آن در ایستگاه لیقوان با ۱ بار فراوانی مشاهده می‌شود. کمترین تعداد فصول خشک زمستانه از نظر فراوانی نیز در ایستگاه جلفا (به دلیل کم بودن متوسط

بارش بلند مدت زمستانه و تأثیر آن در میزان شاخص SPI) بدون فصل خشک و سپس در ایستگاه لیقوان با ۱ فصل خشک و بعد از آن در ایستگاه قره‌آغاج با فراوانی ۲ بار خشکی زمستانه قرائت گردید.

۲. شدیدترین خشکسالی ایستگاه‌ها با شاخص SPI برابر با ۲- در سال ۱۹۷۷ در ایستگاه مراغه (شکل ۲) و مرطوبترین فصل مرطوب زمستان ۴۱ ساله با شاخص SPI معادل ۴/۲۵ در سال ۱۹۶۴ در ایستگاه قره‌آغاج به وقوع پیوسته است.

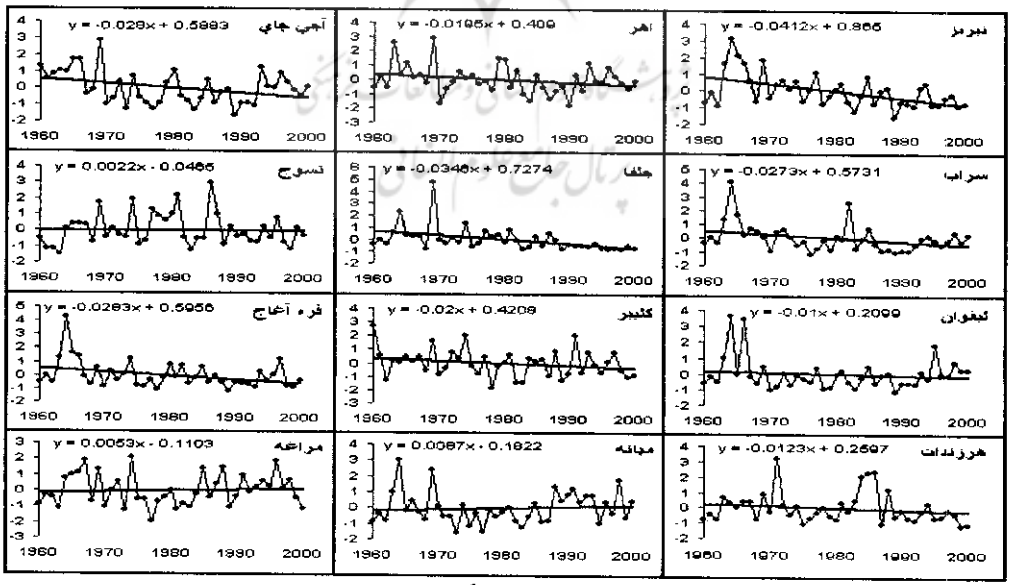
۳. از نظر تداوم وضع خشکی در زمستان حالت قابل توجهی در هیچ یک از ایستگاه‌ها مشاهده نمی‌شود. در ایستگاه قره‌آغاج یک دوره ۶ ساله فصل مرطوب زمستانه از سال ۱۹۶۲ تا ۱۹۶۷ و در ایستگاه تبریز یک دوره مستمر ۴ ساله مرطوب از ۱۹۶۳ تا ۱۹۶۶ دیده می‌شود.

۴. دوره‌های فراگیر و مرطوب فصل زمستان که در آن همه یا اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه در شرایط مرطوب قرار داشته‌اند در سالهای ۱۹۶۳، ۱۹۶۴، ۱۹۶۶، ۱۹۶۹ و ۱۹۸۰ ثبت شده است.

۵. فصول خشک زمستانه که حالت فراگیر داشته‌اند در سالهای ۱۹۶۷، ۱۹۶۸، ۱۹۷۰، ۱۹۷۱، ۱۹۷۳، ۱۹۸۳، ۱۹۸۹ اتفاق افتاده است.

- تحلیل و پیش‌بینی دوره‌های مرطوب و خشک زمستانه با استفاده از روش سری زمانی تجزیه

برای تعیین روند بارش با استفاده از داده‌های استاندارد شده ایستگاه‌ها نمودارهای روند بارش زمستانه ایستگاه‌ها به همراه معادله خطی مورد محاسبه برای هریک از ایستگاه‌ها در شکل ۵ ترسیم و نشان شده است.



شکل ۵ مدلهای روند بارش استاندارد شده ایستگاه‌های آذربایجان شرقی (۲۰۰۰-۱۹۶۰)

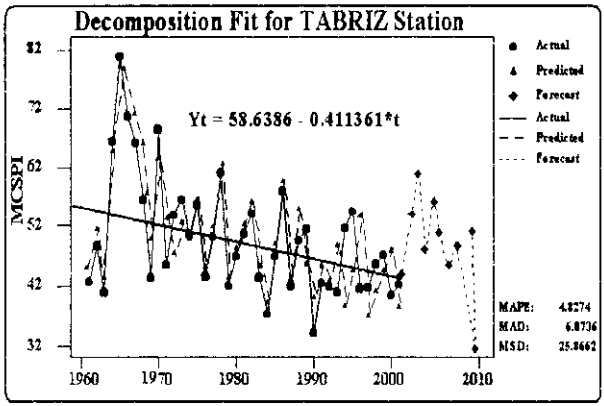
با توجه به شکل ۳ می‌توان دو گروه از ایستگاه‌ها را در سطح استان شناسایی نمود:

۱. ایستگاه‌هایی که خط روند بارش آنها حالت صعودی داشته و بیانگر حالت مرطوب در فصل زمستان هستند (تسوج، مراغه و میانه).

۲. ایستگاههایی که با توجه به روند نزولی خط برازش در وضعیت خشک یا رو به خشکی قرار دارند (سایر ایستگاه‌های استان غیر از ۳ ایستگاه مراغه و میانه و تسوج). با استفاده از معادله ۲ داده‌های SPI تبدیل به MCSPI گردیده‌اند تا برای پیش‌بینی ۱۰ زمستان (۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰) مورد استفاده قرار گیرند. مدل پیش‌بینی ایستگاه تبریز به عنوان نمونه در شکل ۶ و مقادیر بارش مک کال پیش‌بینی شده ۱۰ زمستان آیندهٔ هر یک از ایستگاه‌ها که براساس جدول ۳ طبقه‌بندی شده‌اند، در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵ پیش‌بینی و طبقه‌بندی مقادیر بارش زمستانهای ۱۰ سال (۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰) ایستگاه‌های آذربایجان‌شرقی

ایستگاه	آجی‌چای	وضعیت	اهر	وضعیت	تبریز	وضعیت	تسوج	وضعیت	جلفا	وضعیت	سراب	وضعیت
۲۰۰۱	۳۹	۵	۳۹/۵	۵	۴۰/۶	۴	۵۱/۲	۳	۴۳/۹	۴	۴۱	۴
۲۰۰۲	۵۷/۵	۳	۵۷/۸	۳	۳۵/۹	۵	۵۳/۳	۳	۴۷	۴	۴۷/۴	۴
۲۰۰۳	۳۵/۱	۵	۳۹/۹	۵	۴۳/۹	۴	۴۵/۶	۴	۳۶	۵	۵۴/۳	۳
۲۰۰۴	۵۷/۲	۳	۵۲/۲	۳	۵۴/۵	۳	۵۳/۶	۳	۵۱	۳	۵۲/۲	۳
۲۰۰۵	۴۴/۸	۴	۴۲/۶	۴	۳۸	۵	۵۴/۲	۳	۴۳/۷	۴	۳۹/۸	۵
۲۰۰۶	۳۹/۹	۵	۴۴/۳	۱	۴۱/۲	۴	۵۰	۳	۴۱/۴	۴	۳۶/۲	۵
۲۰۰۷	۵۰/۵	۳	۴۷/۸	۴	۴۳/۸	۴	۴۸/۵	۴	۴۱/۶	۴	۴۰/۳	۴
۲۰۰۸	۳۹/۵	۴	۴۵/۷	۴	۴۰	۵	۵۵/۵	۳	۳۸/۲	۵	۴۱/۵	۴
۲۰۰۹	۴۶	۴	۴۰/۲	۴	۳۰/۳	۵	۶۰/۹	۳	۴۱/۷	۴	۳۹/۳	۵
۲۰۱۰	۴۵/۲	۴	۴۱/۵	۴	۳۷/۶	۵	۴۳/۲	۴	۳۴/۶	۵	۳۷/۹	۵
ایستگاه	**قره‌آغاج**	**وضعیت**	**کلیبر**	**وضعیت**	**لیقوان**	**وضعیت**	**مراغه**	**وضعیت**	**میانه**	**وضعیت**	**هرزندات**	**وضعیت**
۲۰۰۱	۵۰/۳	۳	۵۵	۳	۴۳/۲	۴	۴۷/۸	۴	۵۳/۴	۳	۵۰	۳
۲۰۰۲	۳۸/۷	۵	۴۴	۱	۴۹/۸	۴	۵۵/۲	۳	۶۲	۳	۶۴	۳
۲۰۰۳	۴۵/۵	۴	۴۰/۲	۱	۵۷/۴	۳	۴۲	۴	۵۵/۷	۳	۶۵	۲
۲۰۰۴	۵۳/۶	۳	۵۳/۹	۳	۵۴/۵	۳	۵۶/۳	۳	۵۱/۶	۳	۶۵/۲	۲
۲۰۰۵	۳۹/۷	۵	۴۱/۴	۴	۵۰/۵	۳	۵۳	۳	۵۱/۵	۳	۴۴/۲	۴
۲۰۰۶	۴۸	۴	۵۱/۶	۲	۴۴/۲	۴	۴۹/۲	۴	۳۹/۸	۵	۴۸/۸	۴
۲۰۰۷	۳۹	۵	۵۴/۲	۳	۳۹	۵	۶۹/۵	۲	۵۸/۸	۳	۵۶/۴	۳
۲۰۰۸	۳۸	۵	۳۹/۳	۵	۴۵/۷	۴	۴۵/۵	۴	۴۵/۲	۴	۴۴/۸	۴
۲۰۰۹	۴۰/۴	۴	۵۰/۴	۳	۴۲	۴	۵۳/۳	۳	۴۸/۵	۴	۳۹/۶	۵
۲۰۱۰	۳۳/۶	۶	۲۸/۸	۷	۴۸/۷	۴	۵۸/۲	۳	۵۴/۸	۳	۴۵/۸	۴



شکل ۶ مدل سری زمانی برای پیش‌بینی و تعیین روند بارش ایستگاه سینوپتیک تبریز با داده‌های روش مک کال

با توجه به نمودارهای سری زمانی تجزیهٔ ترسیمی برای هر ایستگاه و جدول طبقه‌بندی کیفیت دوره‌های مرطوب و خشک (جدول ۵) بیشترین تعداد دوره‌های خشک در فصل زمستان در ایستگاه‌های آجی‌چای، جلفا، سراب و قره‌آغاج و بیشترین فراوانی زمستانهای مرطوب پیش‌بینی شده در ایستگاههای میانه، مراغه و تسوج قابل مشاهده می‌باشند.

شدیدترین زمستان از نظر کیفیت خشکی در سال ۲۰۰۹ در ایستگاه تبریز با مقیاس شدید ملاحظه می‌شود. دقت مدل با توجه به خطاهای مورد محاسبه و آزمون انحراف باقیمانده‌ها که با استفاده از روش کولموگروف- اسمیرنوف انجام گرفته است، در سطح خوبی قرار دارد.

بحث و نتیجه‌گیری

نوسانات شدید بارش فصل زمستان در سالهای مختلف و از ایستگاهی به ایستگاه دیگر، از ویژگیها و در عین حال مسائل مهم و مشکل‌آفرین بارش در ایستگاه‌های آذربایجان شرقی محسوب می‌گردد. نظر به نوسانات کمتر بارش ایستگاه‌هایی چون لیقوان و سراب، چنین می‌توان نتیجه‌گیری نمود که عامل ارتفاع نقش مهمی در ایجاد بارندگی‌های منظم و نسبتا باثبات زمستانه در ایستگاه‌های مذکور ایفا می‌کند. از نظر شدت وقوع دوره‌های مرطوب و خشک زمستانه، اغلب بارش ایستگاه‌ها در رده بارش نرمال طبقه‌بندی گردیده است و به ندرت می‌توان زمستانهای شدیدا خشکی مثل زمستان سال ۱۹۷۷ ایستگاه مراغه (شدیدترین فصل خشک زمستانه در کل استان با شاخص بارش استاندارد شدهٔ معادل ۲-) یا زمستانهای بسیار مرطوبی مثل زمستان سال ۱۹۶۴ ایستگاه قره‌آغاج (شدیدترین فصل مرطوب زمستانه در کل استان با شاخص بارش استاندارد شدهٔ معادل ۴/۲۵) را مشاهده نمود. بارش زمستانه ۴۷ درصد از کل بارش سالانه ایستگاه‌های استان آذربایجان شرقی را

تشکیل می‌دهد و چون غالبا نوع بارش به‌صورت برف است، از این رو ذوب تدریجی برفهای ارتفاعات نقش مهمی در تأمین آب و تداوم چرخه زیستی محدوده مورد مطالعه در طول سال ایفا می‌کند، پرواضح است که کاهش بارش تا چه حد می‌تواند حیات زیستمندان منطقه را به مخاطره اندازد. مواجهه و عبور از چنین بحرانهای محیطی فقط از طریق برنامه‌ریزی و مدیریت دقیق منابع آب موجود که از مهمترین موارد مطرح در کمیته‌های مدیریت خشکسالی و برنامه‌ریزی محیطی محسوب می‌گردد، امکان‌پذیر می‌باشد.

منابع و مآخذ

۱. جهانبخش اصل، سعید و یوسف قویدل رحیمی (۱۳۸۱): **تحلیل توزیع فضایی دوره‌های مرطوب و خشک ایستگاههای آذربایجان شرقی**، فضای جغرافیایی (۵): ۴-۳۹.

۲. خطیبی، مریم (۱۳۷۴): **مطالعه اقلیم شمال‌غرب ایران براساس تحلیلهای سینوپتیک**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی، دانشگاه تبریز.

۳. خورشیددوست، علی و یوسف قویدل رحیمی (۱۳۸۳): **کار بر دروش تحلیل سریهای زمانی تجزیه در مطالعه نوسانات بارش و پیش‌بینی فصول مرطوب و خشک بهاره در ایستگاههای آذربایجان شرقی**، فضای جغرافیایی، شماره ۹ (زیر چاپ).

۴. خوش اخلاق، فرامرز (۱۳۷۷): **تحقیق درخشکسالی‌های فراگیر ایران با استفاده از تحلیلهای سینوپتیکی**، رسالهٔ دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه تبریز.

۵. زاهدی، مجید و یوسف قویدل رحیمی (۱۳۸۱): **شناخت، طبقه‌بندی و پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از روش سریهای زمانی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه**، فضای جغرافیایی، (۶):۱۹-۴۸.

۶. فرج‌زاده، منوچهر و اصغر موحد دانش و هوشنگ قائمی (۱۳۷۴): خشکسالی در ایران، دانش کشاورزی، نشریه دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز، جلد ۵، ۵۲ - ۳۱ : ۲ و ۱.

۷. قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۱): **تجزیه و تحلیل نوسانات بارش و محاسبه دوره‌های مرطوب و خشک در آذربایجان شرقی**، رسالهٔ کارشناسی ارشد، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تبریز.

۸. قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۳): ارتباط پیوند از دوربین نوسانات اطلس شمالی و بارش سالانهٔ **ایستگاه‌های حوضهٔ آبریز دریاچهٔ ارومیه**، نشریه دانشکده علوم انسانی و اجتماعی دانشگاه تبریز، شماره ۹ (زیرچاپ).

۹. قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۳): **کاربرد نمایه‌های مبتنی بر بارش در مطالعه خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها (مطالعه موردی: استان آذربایجان شرقی)**، مقالهٔ پذیرفته شده در فصلنامهٔ پژوهش و سازندگی.

۱۰. نیشابوری، اصغر (۱۳۶۵): **روشی جدید برای تشخیص و تعیین حدود فصل خشک**، مجموعه مقالات سمینار بین‌المللی جغرافی، دانشگاه فردوسی مشهد، انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد.

11. Agnew, C.T (2000) :**"Using the SPI to identify drought"** Drought Network News . 12 (1):6 – 11.

12. Hayes.M (2000): **"Revisiting the SPI: Clarifying the process,"** Drought Network News , 12(1):13 – 14.

13. Keneth,H . F (1999): **"Climate variation,drought and desertification"**,W. M. O. Annual Report . Jeneva .

14. Rao.A; T. Voller (1999): **"Development and testing of drought indicators,"** Water Resource Management. 11: 119–139.

15.Wilhite, D; M. H. Glantz (2000): **Understanding the drought phenomenon: the role of definitions**. Water International, 10 (3):111-120.