تحلیل روند بارش سالانه استان اصفهان

حسین عساکره[1]

(تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۸۴/۴/۲)

چکیده

به منظور شناخت نظام تغییرات زمانی بارش استان اصفهان، سری های زمانی بارش سی ساله (۲۰۰۰ - ۱۹۶۹) استان براساس روش کریجینگ عام محاسبه گردید. بارش سالانه استان اصفهان طی سه دهه گذشته حاوی روند سهمی (درجه ۲) بوده است. برپایه روش میانگین انتگرال ها و با حل معادلات نرمال رگرسیون برای یاخته‌های ایجاد شده (۵۰×۱۰۰ یاخته) در استان، متوسط تغییر بارش سالانه در بازه زمانی مورد بررسی برای کل استان محاسبه گردید. میانگین تغییر سالانه طی فاز کاهشی حدود ۱۳/۳ میلی‌متر و طی فاز افزایشی حدود ۱۱/٦ میلی متر بوده است. میانگین تغییرات سالانه بارش استان حدود ۲٤/۹ میلی متر برآورد شده است. با محاسبه پهنه‌ای تغییرات، معلوم شد که دامنهٔ تغییرات بارش از ۲ میلی متر تا ٤٦ میلی متر در نوسان بوده است. رابطه بسیار قوی بین میزان بارش و مقدار تغییرات (r=۸۳۵) وجود دارد. تغییرات بارندگی حدود ۸۹ درصد مساحت استان بین ۲ تا ۱۵ میلی متر بوده است. بیشترین تغییرات بارش (٤٦ میلی متر) در شهر اصفهان رخ داده است. آزمون های آماری نشان می دهد که کل یاخته های تولید شده به روش کریجینگ حاوی روند سهمی بوده است. از این رو برای میانگین بارش پهنه‌ای یک مدل ARIMA برازش داده شد. برازنده ترین الگو، ARIMA(2,2,0) برآورد گردید.

کلمات کلیدی: روند خطی، روند سهمی، جبر نقشه، میان‌یابی و فاز.

۱- دانشگاه زنجان، گروه جغرافیا

مقدمه

شناخت نظام تغییرات زمانی بارش، برنامه ریزی و به تبع آن چیرگی برمحدودیت منابع آب را افزایش داده، خسارت های حاصل از اتلاف آب یا خشکسالی را کاهش می‌دهد. استان اصفهان اگرچه شریان حیاتی خود(یعنی زاینده رود) را عمدتا مدیون حوضه‌های آبی خارج از استان است، اما تامین آب کشاورزی بخش‌هایی از استان وابسته به نزولات جوی (کشت دیم) یا منابع آب زیر زمینی(که در واقع نوعی ذخیره از نزولات جوی به شمار می‌آیند) است. همچنین چنان که حسینی ابری (۱۳۸۲) نشان داده است، زاینده رود دوره های متناوب خشکی را تجربه نموده است[۲]. طی این دوره‌های خشک، ریزش‌های جوی نقش مهمی در تامین منابع آبی استان ایفا می‌کرد.

دراین تحقیق روند میانگین پهنه‌ای و توزیع مکانی روند بارش سالانه استان اصفهان طی دورهٔ زمانی ۲۰۰۰-۱۹۶۹ (۳۲ سال) مورد توجه، توصیف وتحلیل قرار گرفته است. استان اصفهان با وسعتی حدود ۱۰۷۰۲۷ کیلومتر مربع با مختصات زیر مشخص می شود (شکل۱):

$E: ۴۹^\circ \quad ۴۰' ۱'' - ۵۵^\circ ۱۹'$

$N: ۳۰^\circ ۵۰' ۴۱'' - ۳۴^\circ ۳۰'$

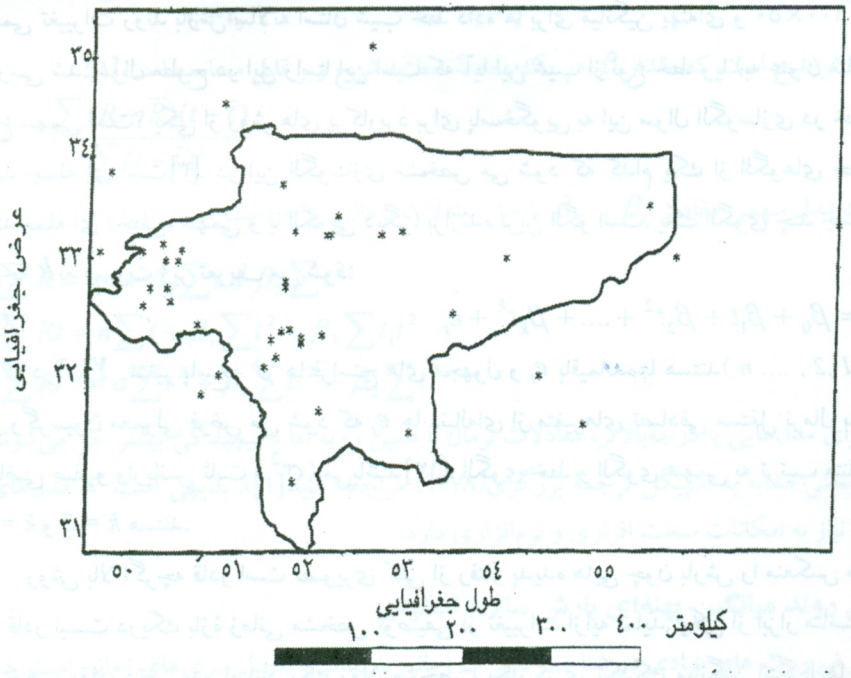
داده ها و روش‌ها

به دلیل عدم پوشش کامل ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارش و عدم توزیع یکنواخت آنها در استان اصفهان (شکل۱) و به منظور برآورد میانگین بارش سالانه مناطق بین ایستگاهی روش‌های متنوعی مورد توجه قرار گرفت. رحیمی و مهدیان (۱۳۸۲) بهترین روش برای مقادیر بارش ایران مرکزی و شرقی را روش های TPSS و کریجینگ درجه دوم می دانند. اما بر اساس آزمون های معتبر و بررسی های انجام شده بهترین روش، روش کریجینگ تشخیص داده شد[٤]. کریجینگ شامل سه نوع متداول ساده، عادی و عام است. کریجینگ عادی درمواقعی بکار می رود که داده‌ها فاقد روند فضایی باشند ودرصورت وجود روند، روش کریجینگ عام استفاده می‌شود[۹]. برای بحثی مشابه و اطلاع از بنیادهای نظری به مدنی (۱۳۷۲) و رندو ترجمه خدایاری (۱۳۷۱) مراجعه کنید[۵ و ۱۰]. براساس داده‌های موجود بارش سالانه اصفهان حاوی روند فضایی است یعنی در امتدادهای معینی مقادیر بارندگی کاهش و یا افزایش معنی‌داری نشان می‌دهند. این امر باعث انتخاب کریجینگ عام به عنوان روش میان‌یابیِ بارشِ استان اصفهان شد. در روش های برآورد نقطه‌ای مقادیر به وسیله مجموع حاصلضرب فاکتوری وزنی در مقادیر نقاط مجاور برآورد می‌شود. در روش کریجینگ فاکتور وزنی بر اساس تابع همبستگی مکانی نقاط محاسبه می گردد.

دراین پژوهش از داده های بارش سالانه ۴۸ ایستگاه (۳۴ ایستگاه در داخل و ۱۴ ایستگاه در خارج از استان) طی سال‌های ۱۹۶۹ تا ۲۰۰۰ (۳۰ سال) استفاده شده است. مجموعاً ۶۸۶ داده مربوط به بارش سالانه از ایستگاه های مورد بررسی جمع آوری شد. موقعیت این ایستگاه که شامل ایستگاه‌های سینوپتیک و کلیماتولوژی با بازه آماری متفاوت می‌باشند، در شکل ۱ ارایه شده است. بر اساس موقعیت و مقادیر این ایستگاه‌ها یک شبکه مختصاتی در چارچوب زیر تعریف شده است:

E:۴۹° ۳۵′ ۵۹″– ۵۶° ۵۵ ′ ۰″

N:۳۰° ۳۹′ ۰ – ۳۴° ۳۰′ ۵۵″



شکل۱- توزیع مکانی ایستگاه‌های سازمان هواشناسی در محدوده مورد مطالعه

محور طول‌ها در هر ″ ۲۳ ′۴ و محور عرض ها در هر ″۴۰ ′۲ با هم برخورد داشته و یک شبکه۵۰×۱۰۰ (یاخته‌ای) ایجاد گردید. سپس با استفاده از روش‌های TPSS، کریجینگ ساده، کریجینگ عام و عادی و نیز روش کوکریجینگ نقشه‌های همباران ایجاد شد. بر اساس

آزمون‌های استاندارد، بهترین روش میانی یابی، روش کریجینگ عام تشخیص داده شد. بر این اساس برای بازه زمانی ۲۰۰۰- ۱۹۶۹ تعداد ۳۰ نقشه بارش سالانه تهیه گردید. سپس با حذف سلول‌های شبکه در خارج از استان، پهنه های باقیمانده مبنای محاسبات و نیز پایه تهیه نقشه همباران سی ساله و دیگر تحلیل ها گردیده است.

با محاسبهٔ میانگین بارش پهنه‌ای استان اصفهان برای هرسال و برای کل دوره، سری زمانی بارش سالانه استان به دست آمد. با توجه به سری زمانی استخراج شده، آشکارسازی، بررسی و مدلسازی روند بلند مدت بارش استان در مجموع و نیز در پهنهٔ استان در معرض توجه قرار گرفت. سپس روند درهرکدام از یاخته های ایجاد شده نیز درمعرض آزمون قرار گرفت. به منظور داوری علمی تغییرات روند بارش سالانه استان شیب خط داده ها برای میانگین پهنه‌ای و ۵۰×۱۰۰ یاخته بررسی شد. سوال مطرح در این راستا این است که آیا این شیب از نوع خط ویا (به عنوان مثال) از نوع سهمی است؟ یکی از روش‌های پرکاربرد برای پاسخگویی به این سوال الگوسازی در خانوادهٔ چند جمله ای است[۳]. در این الگوسازی مشخص می شود که کدام یک از الگوهای خانوادهٔ چندجمله ای (خطی، سهمی و یا الگویی دیگر) برازنده ترین الگو است. یک الگوی چند جمله ای درجهٔ k به صورت زیر تعریف می شود:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + ... + \beta_k t^k + e_t \qquad (۱)$$

که درآن Y_t متغیر پاسخ، β ها فراسنج های مجهول و e_t باقیمانده‌ها هستند($t= 1, 2, ... n$). در رگرسیون معمولی فرض می شود که e_t ها دنباله‌ای از متغیرهای تصادفی مستقل نرمال با امید ریاضی صفرو واریانس ثابت (σ^2) می‌باشند[۱۳]. الگوی خط و الگوی سهمی به ترتیب متناظر با $k = 1$ و $k = 2$ هستند.

روش بالا اگرچه قادر است تصویری کلی از رفتار پدیده هایی چون بارش را منعکس سازد، اما قادر نیست دریک بازهٔ زمانی مشخص توصیفی از تغییرات ارایه نماید. یکی از ابزار مناسب در تشخیص مقادیر تغییر در امتداد یک زمان مشخص، بکارگیری تکنیک میانگینِ انتگرال‌ها است (برای مباحث نظری به لیتهلد (۱۳۷۱) مراجعه کنید) [۸]. در این تکنیک تغییرات بارش نسبت به زمان($\frac{dR}{dt}$) براساس فرمول زیر قابل محاسبه است:

$$\text{Mean Change} = \frac{1}{t_1 - t_0} \int_{t_0}^{t_1} \frac{dR}{dt} dt = \frac{R(t_1) - R(t_0)}{t_1 - t_0} \qquad (۲)$$

با توجه به رابطه (۲) برای یک روند خطی ($R(t) = a + \beta t + e_t$) میانگین مقدار تغییر به شرح زیر قابل محاسبه است:

$$\text{Mean Change} = \frac{R(t_1) - R(t_0)}{t_1 - t_0} = \frac{(a + \beta t_1) - (a + \beta t_0)}{t_1 - t_0} = \beta \qquad (۳)$$

بنابراین ضریب β برای روند خطی، به معنی میانگین تغییر در بازهٔ t_0 تا t_1 است. برای یک روند سهمی ($R_t = a + \beta_1 t_1 + \beta_2 t^2 + e_t$) میانگین تغییر در بازهٔ t_0 تا t_1 به شرح زیر قابل دستیابی است:

$$\text{Mean Change} = \frac{R(t_1) - R(t_0)}{t_1 - t_0} = \frac{(a + \beta_1 t_1 + \beta_2 t_1^2) - (a + \beta_1 t_0 + \beta_2 t_0^2)}{t_1 - t_0} = \beta_1 + \beta_2 (t_1 + t_0) \qquad (۴)$$

لازم به توضیح است که مقدار β در یک معادلهٔ خط به شرح زیر قابل محاسبه است[۱]:

$$\beta = \frac{\sum (R - \bar{R})(t - \bar{t})}{\sum (t - \bar{t})^2} \qquad (۵)$$

در یک مدل سهمی مقادیر β_1 و β_2 با حل معادلات نرمال زیر به دست می آید[۱]:

$$\begin{aligned} \sum R &= na + \beta_1 \sum t + \beta_2 \sum t^2 \\ \sum Rt &= n \sum t + \beta_1 \sum t^2 + \beta_2 \sum t_1 t^2 \\ \sum Rt^2 &= a \sum t^2 + \beta_1 \sum tt^2 + \beta_2 \sum t^2 \end{aligned} \qquad (۶)$$

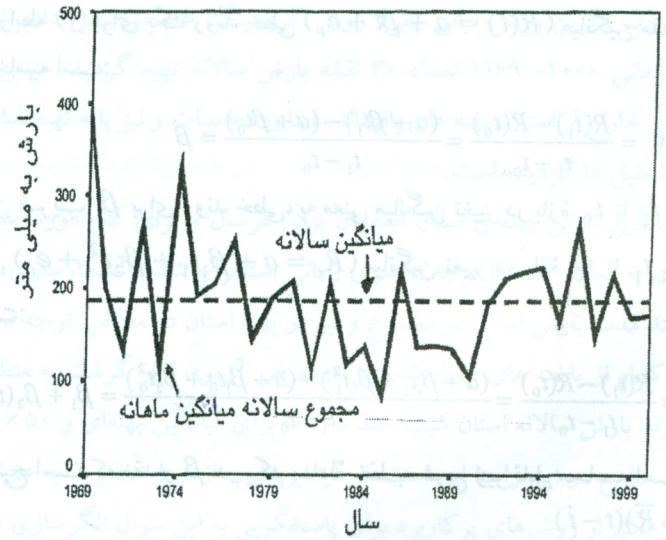
برای مدل‌هایی با درجهٔبالاتر، معادلات نرمال با همین رویه اما با پیچیدگی بیشتر حل می‌شوند (برای بحثی مشابه به اشپیگل ترجمهٔ برزگری(۱۳۷۸) مراجعه کنید[۱]). بدیهی است که مدل‌های پیچیده نیاز به امکانات سخت افزاری و نرم‌افزاری دارد.

تحلیل روند میانگین پهنه‌ای بارش سالانه اصفهان

از ضرورت های بنیادی در شناخت تغییرات زمانی بارندگی، تحلیل سری‌های زمانی است. در این راستا با استفاده از روش کریجینگ میانگین بارش سالانهٔ پهنهٔ استان از نقشه‌های تولید شده، استخراج گردید. شکل۲ سری‌های زمانی بارش استخراج شده از نقشه‌های موجود را نشان می‌دهد.

---

۱ - می دانیم که حل معادلات نرمال بوسیله تکنیک جبر ماتریس امکان پذیر است که به دلیل رعایت ایجاز از ذکر آنها خودداری خواهیم نمود. درصورت تمایل به کتاب آشنایی با ماتریس‌ها مراجعه کنید[۶] .



شکل۲- سری زمانی مجموع سالانه میانگین ماهانه بارش پهنه‌ای استان اصفهان(۲۰۰۰-۱۹۶۹)

همان گونه که در شکل دیده می‌شود، رفتار بارش استان اصفهان، نامانا[1] بوده، حول میانگین ثابتی در نوسان نمی‌باشد. بارش سالانه استان در دراز مدت تغییرات زیادی متحمل شده است (شکل۳). این شکل تغییر پذیری زمانی بارش را طی دوره آماری مورد بررسی نشان می‌دهد و برای بازه زمانی ۲۰۰۰- ۱۹۶۹ از تعداد ۳۰ نقشه بارش سالانه (R_t) ایجاد گردید.

پس از حذف سلول های شبکه در خارج از استان، پهنه های باقیمانده مبنای محاسبات و نیز پایه تهیه نقشه همباران قرار گرفته است (شکل ۳-الف). مشخصه‌های آماری بارش اصفهان بر پایه اصول جبر نقشه و با توجه به رابطه های زیر انجام گرفت:

۱- نقشه میانگین بارش سالانه

$$\overline{R} = \frac{1}{n} \sum_{t=1969}^{2000} R_t$$

1. Non- Stationary

۲- نقشه انحراف معیار پهنه‌ای بارش

$$SR = \sqrt{\frac{\sum_{t=1969}^{2000} (R_t - \overline{R})^2}{n-1}}$$

۳- ضریب تغییرات پهنه‌ای بارش

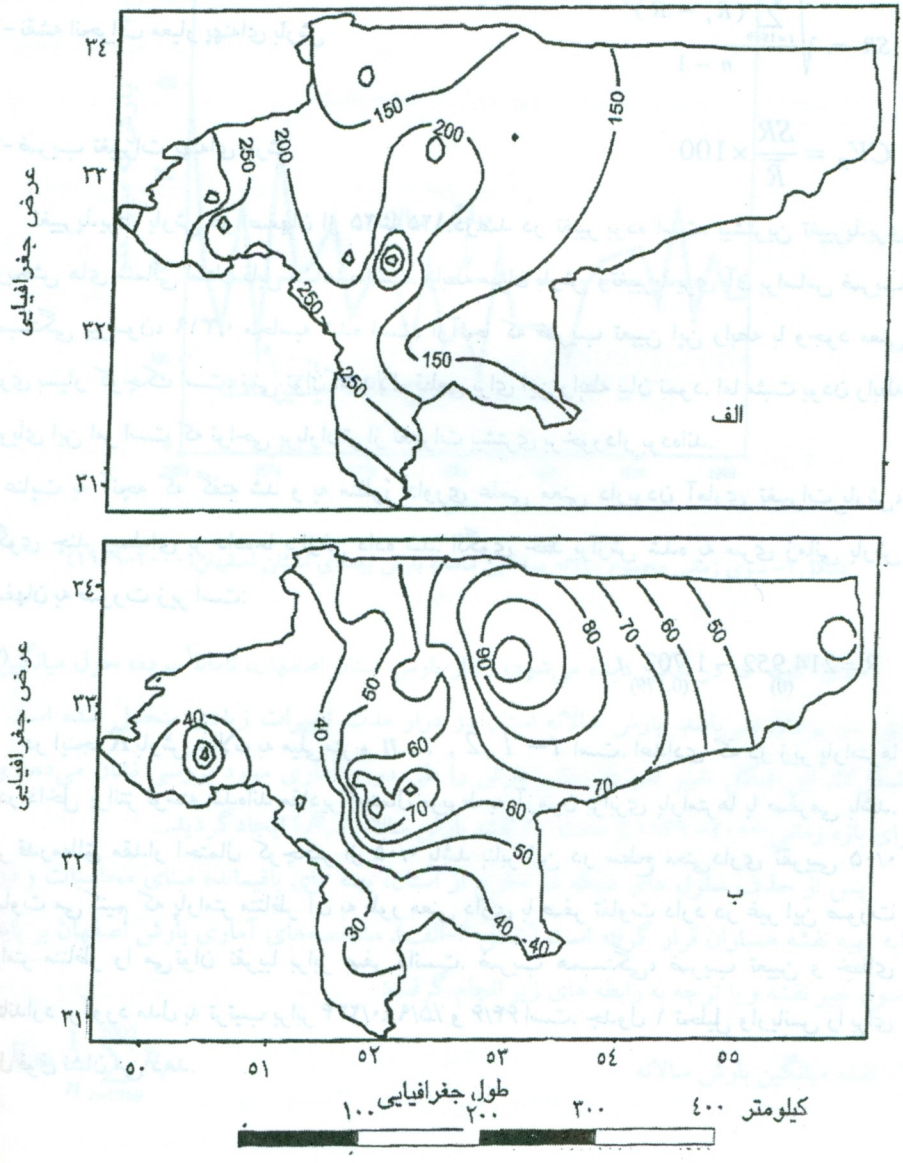
$$CV_R = \frac{SR}{\overline{R}} \times 100$$

تغییرپذیری بارش در اصفهان از ۲۵ تا ۱۲۵ درصد در تغییر بوده است. بیشترین تغییرپذیری دربخش های شمالی استان قابل مشاهده است. رابطه میزان بارش وتغییرپذیری آن براساس ضریب همبستگی پیرسون، ۰/۳۱۹ محاسبه شده است. ازآنجا که ضریب تعیین این رابطه با وجود معنی داری بسیار کوچک است، نمی توان استدلال قطعی برای این رابطه بیان نمود. اما مثبت بودن رابطه گویای این امر است که نواحی پرباران‌تر از تغییرات بیشتری برخوردار بوده‌اند.

با عنایت به آنچه که گفته شد و به منظور داوری علمی معنی داربودن آماری تغییرات بارش، الگوی چند جمله‌ای بر داده‌ها برازش داده شد. الگوی خط برازش شده به سری زمانی بارش اصفهان به صورت زیر است:

$$R = \underset{(0)}{214.952} - \underset{(0.179)}{1.702}\ t \qquad (۷)$$

در اینجا R بارش سالانه به میلی‌متر و $t = 1, 2, \ldots, n$ است. اعدادی که در زیر پارامترها و در داخل پرانتز نوشته شده‌اند مقادیر احتمال مربوط به آزمون برابری پارامترها با صفرمی باشد. اگر قدرمطلق مقدار احتمال کوچکتر از ۰/۰۵ باشد بنابر این در سطح معنی‌داری تقریبی ۰/۰۵ قضاوت می‌کنیم که پارامتر متناظر آن به طور معنی داری با صفر تفاوت دارد در غیر این صورت پارامتر متناظر را می‌توان تقریبا برابر صفر دانست. ضریب همبستگی، ضریب تعیین و خطای استاندارد برآورد مدل به ترتیب برابر ۰/۲۴۴، ۵/۹٪ و ۶۴/۶ است. جدول ۱ تحلیل واریانس را برای مدل فوق نشان می دهد.



شکل ۳- (الف) میانگین و (ب) ضریب تغییرات بارش سالانه استان اصفهان (۲۰۰۰-۱۹۶۹)

جدول۱- تحلیل واریانس مدل خطی بارش سالانه اصفهان

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	سطح معنی داری
رگرسیون	۷۹۰۲/۶	۱	۷۹۰۲/۶۳۱	۱/۸۹۴	۰/۱۷۹
باقیمانده	۱۲۵۱۸۹/۱	۳۰	۴۱۷۲/۹۷۱		
مجموع	۱۳۳۰۹۱/۷	۳۱			

بدین ترتیب با توجه به این که در الگوی خطی فرض $\beta = 0$ پذیرفته شد، لذا الگوی دو، سه و ... جمله ای آزمون شد. از میان الگوهای آزمون شده الگوی دو جمله ای بهترین برازش را بر داده ها نشان می دهد. بدین ترتیب با اضافه نمودن متغیر توضیحی t^2 به الگوی خطی، الگوی سهمی زیر حاصل شد:

$$R = \underset{(0)}{280.529} - \underset{(0.008)}{13.274}t + \underset{(0.017)}{0.351}t \qquad (۸)$$

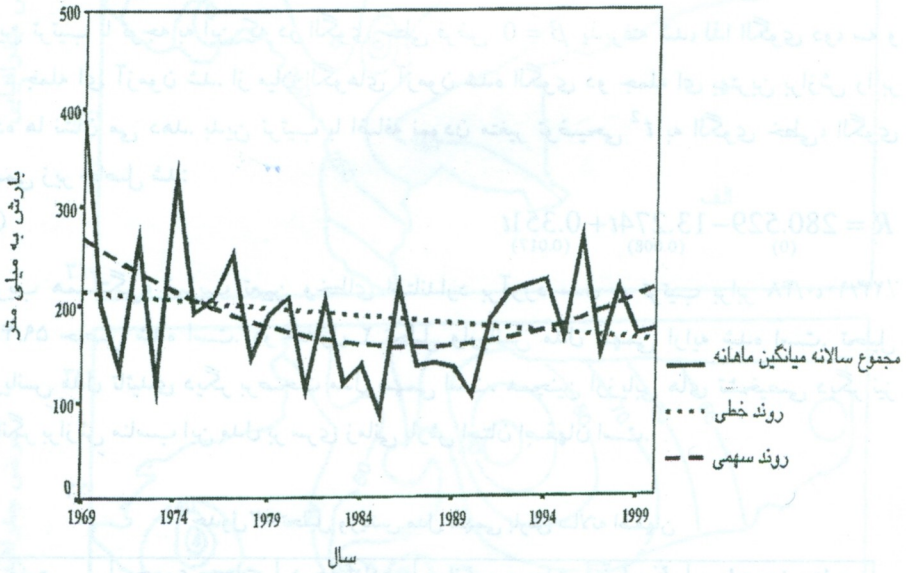
ضریب همبستگی، ضریب تعیین وخطای استاندارد برآورد مدل به ترتیب برابر ۰/۴۸، ۲۳/۱٪ و۵۹/۴۲ حاصل شده است. در جدول ۲ تحلیل واریانسِ مدلِ سهمی ارایه شده است. تحلیل واریانسِ مدل تائیدی دیگر برصحت مدل سهمی است. همچنین ارزیابی های تشخیصی دیگر نیز نشانگر برازشِ مناسب این مدل بر سری زمانی بارش استان اصفهان است.

جدول۲- تحلیل واریانس مدل سهمی بارش سالانه اصفهان

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	سطح معنی داری
رگرسیون	۳۰۷۱۴/۸۷۶	۲	۱۵۳۵۷/۴۳۸	۴/۳۵	۰/۰۲۲
باقیمانده	۱۰۲۳۷۶/۹	۲۹	۳۵۳۰/۲		
مجموع	۱۳۳۰۹۱/۷	۳۱			

شکل۴ خط و سهمی برازش یافته بر سری زمانی بارندگی اصفهان را نشان می دهد. با توجه به آنچه که در روابط ۲ تا ۴ نشان داده شد و براساس رابطهٔ $\text{Mean Change} = \beta_1 + \beta_2(t_1 + t_0)$، برآورد میانگین تغییرات سالانهٔ بارش طی دورهٔ آماری ۲۰۰۰ - ۱۹۶۹ برابر با ۲۴/۸۵۷ (۱۳/۲۷۴+۰/۳۵۱(۱+۳۰)) میلی متراست. لازم به توضیح است که در یک معادلهٔ خط مقدار β علاوه برمیزان تغییرات قادر است جهت آنها را نیز نمایش دهد اما در یک رابطهٔ سهمی تنها مقدار تغییرات قابل برآورد است. توجه به شکل سهمی می تواند علت این امر را توجیه کند. چه، بخشی از یک سهمی روند کاهشی، در بخشی دیگر روند نسبتا

ثابت و در بخش سوم روندی افزایشی قابل مشاهده است (به سهمی برازش یافته در شکل ۴ توجه کنید). البته مقادیر β_1 و $\beta_2(t_1+t_0)$ قادر است در هرفاز به طور جداگانه جهت تغییرات را نمایش دهد. بنابراین میانگین پهنه ای بارش طی فاز کاهشی سالانه حدود ۱۳/۲۷۴ میلی متر و طی فاز افزایشی حدود ۱۱/۵۸۳ میلی متر تغییر داشته است.



شکل۴- سری زمانی، روند خطی و سهمی مجموع سالانه میانگین ماهانه بارش پهنه‌ای استان اصفهان (۲۰۰۰-۱۹۶۹)

تغییرات مکانی روند بارش سالانه استان اصفهان

آنچه در بخش پیشین ارایه شد وضعیت میانگین پهنه‌ای ۵۰×۱۰۰ یاخته است. چه بسا نقاطی تغییرات کمتر یا بیشتر از میانگین (۲۴/۸۵۷ میلی متر) را تجربه کرده باشند. براین اساس مقادیر تغییر کاهشی (β_1) و افزایشی ($\beta_2(t_1+t_0)$) براساس معادلات نرمال (معادلات ۶) و برای هریک از یاخته‌های استان را محاسبه نموده‌ایم. این محاسبات با استفاده از تکنیک‌های GIS و از طریق محاسبهٔ ماتریس های ارایه شده دررابطه (۶) برای پوشش استان حاصل شده است (جدول۳). شکل ۵ پراکندگی مکانی مقادیر $\beta_2(t_1+t_0)$ و β_2 را نشان می‌دهد.

جدول ۳- میزان تغییرات بارش سالانه اصفهان طی دورهٔ کاهش بارندگی و درصد مساحت تحت پوشش آن

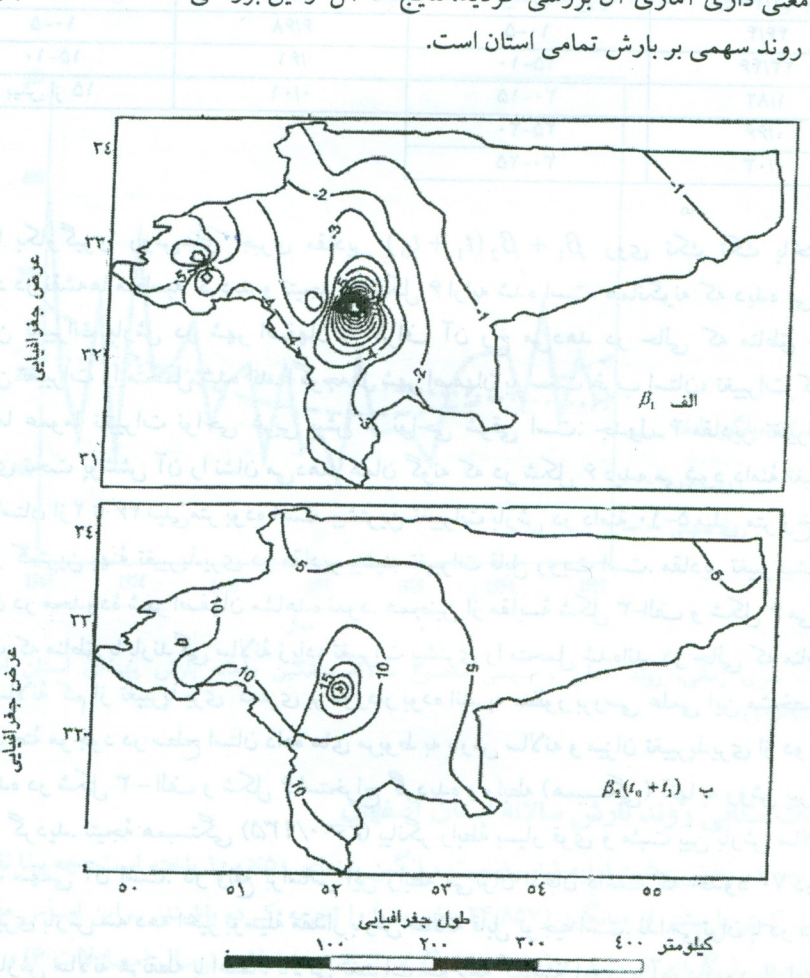
دورهٔ کاهش بارندگی		دورهٔ افزایش بارندگی	
میزان تغییربارش به میلی‌متر	درصد مساحت تحت پوشش	میزان تغییربارش به میلی‌متر	درصد مساحت تحت پوشش
۵-۰	۹۲/۷	۵-۰	۲۷/۳۶
۱۰-۵	۶/۶۸	۱۰-۵	۴۶/۴
۱۵-۱۰	/۶۱	۱۵-۱۰	۲۳/۴۶
بیش از ۱۵	۰/۰۱	۲۰-۱۵	۱/۸۲
		۲۵-۲۰	۰/۶۶
		۳۰-۲۵	۰/۰۳

با بکارگیری روش‌های جبری مقادیر $\beta_1 + \beta_2(t_1 + t_0)$ روی تک تک یاخته‌های موجود در نقشه‌ها محاسبه گردید و نتیجه در شکل ۶ ارایه شده است. همانگونه که دیده می‌شود، بیشترین تغییرات بارش در شهر اصفهان و اطراف آن رخ می‌دهد در حالی که مناطق شرقی کمترین تغییرات را متحمل شده اند. اگرچه از شهر اصفهان به سمت غرب استان، تغییرات کاهش یافته اما عموما تغییرات نواحی غربی بیش از نواحی شرقی است. جدول ۴ مقادیر تغییرات و پهنه‌های تحت پوشش آن را نشان می‌دهد. همان گونه که در شکل ۶ دیده می‌شود دامنهٔ تغییرات بارش استان از۲ تا ۴۶ میلی‌متر بوده است. بیشترین تغییرات بارش در دامنهٔ ۱۰-۵ میلی متر رخ داده است و کمترین پهنهٔ تغییرپذیری در مقادیر بیشینه تغییرات قابل رویت است. مقادیر تغییر بیشینه را می‌توان در محدودهٔ شهر اصفهان مشاهده نمود. همچنین از مقایسهٔ شکل ۳-الف و شکل ۶ می‌توان دریافت که مناطق با بارندگی سالانهٔ زیاد، تغییرات بیشتری را متحمل شده‌اند. در حالی که مناطق با بارش سالانهٔ کم از تغییرپذیری کمتری برخوردار بوده اند. به منظور بررسی علمی این مشخصه، از ۲۸۴۵ یاختهٔ موجود در سطح استان داده های مربوط به بارش سالانه و میزان تغییرپذیری از دو نقشهٔ ارایه شده در شکل ۳ - الف و شکل ۶ استخراج گردیده و رابطه (همبستگی) آنها به روش پیرسون محاسبه گردید. نتیجهٔ همبستگی ($r=۰/۹۳۵$) بیانگر رابطهٔ بسیار قوی و مثبت بین بارش سالانه و تغییرات سهمی آن است. در واقع براساس این رابطه می‌توان اذعان داشت که حدود ۷۰ درصد تغییرپذیری بارش سه دهه اخیر بوسیلهٔ مقدار بارش سالانه قابل توجیه است. لذا می‌توان با در دست داشتن بارش سالانهٔ هرنقطه با اعتماد بالایی تغییرات سه دههٔ گذشتهٔ آن را برآورد نمود. از این رو رابطهٔ رگرسیونی بارش سالانه و تغییرات سهمی آن را می‌توان به شرح زیر ارایه نمود:

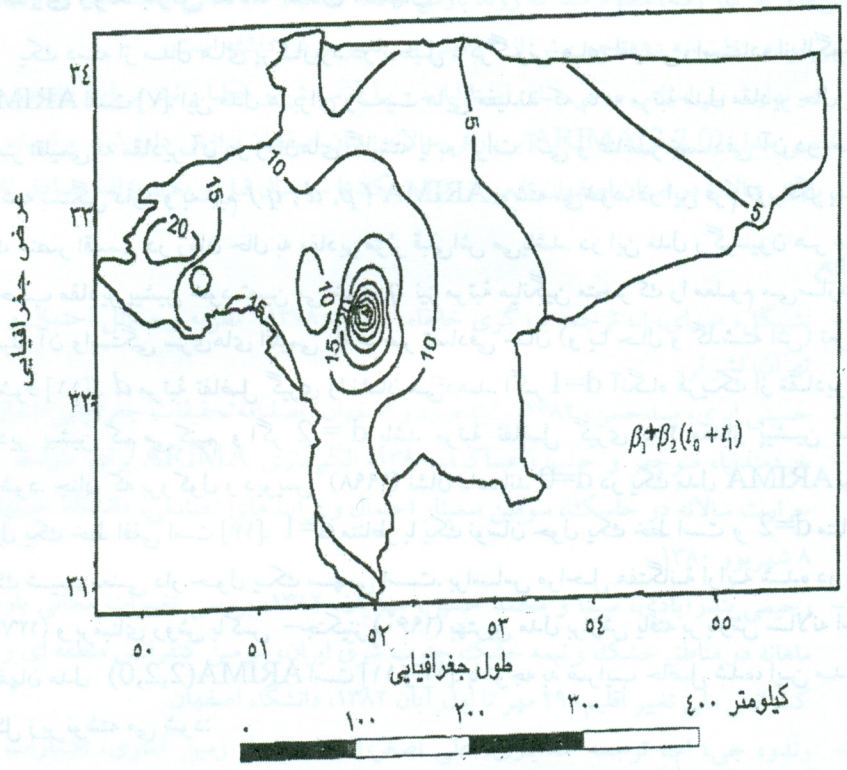
$$Mean\ Change = 0.0074R - 4.134 \qquad (۹)$$

در این رابطه R بارش سالانهٔ هرنقطه در محدودهٔ استان اصفهان است.

علیرغم آنچه که گفته شد باز این سوال مطرح است که آیا روند سهمی از الگوی مکانی تبعیت می کند یا خیر؟ و آیا در تمامی استان روند بارش سهمی بوده یا روند شکل دیگری را تجربه نموده است؟ از این رو انواع روند احتمالی برای تمامی یاخته های استان اصفهان محاسبه شده و معنی داری آماری آن بررسی گردید. نتایج حاصل از این بررسی ها نشان دهندهٔ برازش مناسب روند سهمی بر بارش تمامی استان است.



شکل۵- پراکندگی مکانی تغییر الف: کاهشی (β_1) و ب: افزایشی($\beta_2(t_0+t_1)$) بارش سالانه استان اصفهان (۲۰۰۰-۱۹۶۹)



شکل ۶- پراکندگی مکانی تغییرات سهمی بارش اصفهان (۲۰۰۰-۱۹۶۹)

جدول ۴- میانگین تغییرات بارش سالانه اصفهان و درصد مساحت تحت پوشش آن طی دورهٔ ۲۰۰۰-۱۹۶۹

میزان تغییر بارش به میلی متر	درصد مساحت تحت پوشش
۵-۲	۲۳/۵
۱۰-۵	۴۲/۸
۱۵-۱۰	۲۲/۷۴
۲۰-۱۵	۷/۹۸
۲۵-۲۰	۱/۹۲
۳۰-۲۵	۰/۵۱
۳۵-۳۰	۰/۲۸
۴۰-۳۵	۰/۱۶
۴۵-۴۰	۰/۱
+۴۵	۰/۰۱

مدلسازی روند بارش سالانه استان اصفهان

یک دسته از مدل های پرکاربرد در تحلیل دگرگونی های اقلیمی، استفاده از الگوهای ARIMA است [۷]. این مدل ها برای وضعیت هایی مفیدند که بنا به مرتبهٔ مدل مقادیر حال یک عنصر اقلیمی به مقادیر آن در زمان‌های گذشته یا به اثرات آنی و عناصر تصادفی آن در حال و گذشته بستگی دارد و به فرم ARIMA (p, d, q) نوشته می‌شود. در این فرم p بیانگر بستگی یک عنصر اقلیمی در زمان حال به مقادیر مؤثر قبلی‌اش می‌باشد. در این مدل رگرسیون هر عنصر بر حسب مقادیر پیشین خود تعیین می شود. q نیز مرتبهٔ میانگین متحرک را معلوم می‌سازد که بوسیلهٔ آن وابستگی سری‌های اقلیمی به عناصر تصادفی حال (و یا حال و گذشته اش) تعریف می‌شود [۱۱]). d مرتبهٔ تفاضل گیری را نشان می‌دهد. اگر d=1 آنگاه هریک از مقادیر را از مقادیر پیشین کم می‌کنیم و اگر d = 2 باشد مرتبهٔ تفاضل گیری به ۲ مقدار پیشین منتقل می‌شود. چنان که بروکول و دیویس[1] (۱۹۹۸) نشان داده اند d=0 در یک مدل ARIMA نوسان حول یک خط افقی است [۱۴]. d=1 متناظر با یک نوسان حول یک خط است و d=2 متناظر با یک شیب معنی دار حول یک سهمی است. براساس مراحل هفتگانهٔ ارایه شده در وئی (۱۳۷۶) و برمبنای روش باکس –جنکینز (۱۹۶۰) بهترین مدل برازش یافته بر بارش سالانه استان اصفهان مدل ARIMA(2,2,0) است [۱۱ و ۱۲]. با توجه به ضرایب حاصل شده، این مدل به شکل زیر نوشته می شود:

$$R_t = R_{t-1} - 0.42(R_{t-1} - R_{t-2}) - 0.99(R_{t-2} - R_{t-3}) + a_t \qquad (۱۰)$$

در این مدل R_t بارش سال t ام و R_{t-i} بارش i سال قبل از سال t و a_t مؤلفهٔ تصادفی است. بنابراین بارش سالانه در استان اصفهان تابعی از بارش یک تا سه سال قبل و یک مؤلفهٔ تصادفی است.

نتیجه گیری

دراین تحقیق با تلفیق روش‌های تحلیل سری‌های زمانی و زمین آماری و با بکارگیری تکنیک‌های GIS تغییرات زمانی – مکانی روند بارش دراستان اصفهان به منظور شناخت نظام تغییرات زمانی– مکانی بارش استان توصیف و تحلیل شد. به منظور دستیابی به اهداف این تحقیق از روش های آماری در پهنه های ۵۰×۱۰۰ یاخته ای استان اصفهان بهره گرفته شد. براساس

1. Brockwell and Davis

روش‌های به کار رفته، معلوم شد که روند بارش سالانه اصفهان در تمامی یاخته ها حاوی روند سهمی بوده و طی سه دهه اخیر بیش از ۲۴ میلی متر تغییر بارش داشته است.

در نهایت بر اساس روش های استاندارد و با آزمایش و خطا و نیز برپایهٔ وارسی های تشخیصی مدل ARIMA(2,2,0) بر بارش سالانه استان اصفهان برازش داده شد. براساس این مدل بارش سالانه در استان اصفهان تابعی از بارش یک تا سه سال قبل و یک مؤلفهٔ تصادفی است.

منابع

۱- اشپیگل، مورای، ا.، ترجمه برزگری خانقاه، عباس، ۱۳۷۸، نظریه و مسائل احتمال و آمار، تهران، نشر نی.

۲- حسینی ابری، سیدحسن، ۱۳۸۲، زاینده‌رود و اصفهان، فصلنامه‌تحقیقات جغرافیایی شماره ۷۰.

۳- خردمندنیا، منوچهر و حسین، عساکره، ۱۳۸۰، الگوسازی ARIMA برای متوسط درجه حرارت سالانه در جاسک، سومین سمینار احتمال و فرایندهای تصادفی، دانشگاه اصفهان ۷و ۸ شهریور ۱۳۸۰.

۴- رحیمی بندرآبادی، سیما و محمد حسین، مهدیان، ۱۳۸۲، بررسی تغییرات مکانی بارندگی ماهانه در مناطق خشک و نیمه خشک جنوب شرق ایران، سومین کنفرانس منطقه ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم، ۲۹ مهر تا اول آبان ۱۳۸۲، دانشگاه اصفهان.

۵- رندو، جی، ام.، ترجمه خدایاری، علی اصغر،۱۳۷۱، اصول زمین آماری، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی اصفهان.

۶- سیدموسوی، سیدحسین، ۱۳۷۳، آشنایی با ماتریس ها، تهران انتشارات مدرسه.

۷- قائمی، هوشنگ و حسین، عساکره، ۱۳۸۲، تحلیلی آماری بر روند تغییرات دمای مشهد طی سدهٔ گذشته و رابطهٔ آن با نوسانات اطلس شمالی، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی شماره ۷۱.

۸- لیتهلد، لوئیس، ترجمه بهزاد، مهدی، محسن، رزاقی،سیامک، کاظمی و اسلام، ناظمی، ۱۳۷۱، حساب دیفرانسیل و انتگرال و هندسه تحلیلی، تهران، انتشارات نشر دانشگاهی.

۹- محمد زاده، محسن، انوشیروان، کاظم نژاد، سقراط، فقیه و یدالله، واقعی، ۱۳۸۱، استفاده از کریجینگ عام در همه گیری شناسی جغرافیایی بیماری ها، ششمین کنفرانس بین المللی آمار ایران، ۴ تا ۶ شهریور ماه ۱۳۸۱ دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۱۰- مدنی، حسن، ۱۳۷۳، مبانی زمین آمار، انتشارات دانشگاه امیر کبیر.

۱۱- وئی، ویلیام، دبلیو، اس.، ترجمهٔ نیرومند، حسنعلی، ۱۳۷۶، تحلیل سری های زمانی، انتشارات دانشگاه فردوسی.

12. Box, G.E.P. and Jenkins,G.M., 1960, Time Series Analysis: Forecasting and Control Holden-Day, San Francisco.
13. Biau Gerard, Zorita Ednardo, Von Storch Hans and Wackernagel Hanse, 1999, Estimation of Precipitation by Kriging in the EOF Space the Sea . Level Pressure Field, Journal of Climate, Vol. 12. 1070–1082.
14. Bloomfield, Peter and Nychka, Douglas, 1992, Climate Spectra and Detecting Climate Change, Climatic Change, 21: 275-287.
15. Brockwell, Peter, J., and Davis, Richard, A., 1998, Introduction to Time Series and Forecasting. Springer-Verlag, New York.