



دانشگاه گوارن و منابع آب

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و دوم، شماره اول، ۱۳۹۴
<http://jwsc.gau.ac.ir>

مدل‌سازی توأم تغییرات زمانی - مکانی بارش ماهانه (مطالعه موردی: بخشی از استان گلستان)

نفیسه حسنعلی‌زاده^۱، * ابوالفضل مساعدی^۲، عبدالرضا ظهیری^۳ و محسن حسینعلی‌زاده^۴

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، استاد دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، ^۲ استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ^۳ استادیار گروه آبخیزداری و مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۲/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۷/۲۲

چکیده

بارش یکی از تغییرپذیرترین پدیده‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی است. بررسی نحوه تغییرات زمانی - مکانی بارش به منظور مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب در مناطق مختلف یک حوضه آبریز بسیار ضروری است. خودهمبستگی زمانی - مکانی این داده‌ها از یک طرف کار تحلیل آن‌ها را مشکل می‌سازد و از طرف دیگر سبب افزایش دقت تحلیل آن‌ها می‌شود. هدف از این پژوهش، مدل‌سازی تغییرات توأم زمانی - مکانی و درونیابی بارش ماهانه در سطح استان گلستان است. در این پژوهش تغییرات بارش ماهانه ۳۰ ساله برای ۳۰ ایستگاه باران‌سنجی و هواشناسی استان گلستان مورد بررسی قرار گرفت. برای تحلیل زمانی - مکانی داده‌ها، ابتدا ماهیت اولیه آن‌ها از نظر همگنی در واریانس و مانایی در زمان و مکان بررسی شد. با بررسی مدل‌های مختلف تغییرنگار زمانی - مکانی، مدل متریک جمعی با RMSE برابر با ۰/۱۴ میلی‌متر به‌عنوان مدل مناسب انتخاب شد. سپس به کمک این مدل درونیابی با همسایگی‌های مختلف انجام شده که حاصل آن تعداد ۳۶۰ نقشه توزیع ماهانه بارندگی بود. درونیابی با تعداد ۲۰ همسایگی حداقل خطای تخمین کریجینگ را نشان داد. همچنین میانگین خطای تخمین کریجینگ نزدیک به صفر می‌باشد. براساس نتایج به‌دست آمده، الگوی تغییرات بارش در نقشه‌های استخراج شده با نقشه‌های مقادیر مشاهداتی، مشابهت زیادی دارد که نشان‌دهنده مناسب بودن روش مدل‌سازی است. از نتایج این پژوهش می‌توان به‌منظور تعیین مقادیر بارندگی در مناطق بدون ایستگاه و در هر بازه زمانی (تحت تأثیر همبستگی‌های زمانی و مکانی) استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: داده‌های زمانی - مکانی بارش، تغییرنگار زمانی - مکانی، مدل متریک جمعی، استان گلستان

* مسئول مکاتبه: mosaedi@um.ac.ir

مقدمه

تغییرپذیری جز ذاتی عناصر محیطی به‌شمار می‌آید. تغییرپذیری یکی از مباحث مهم در علوم محیطی به‌ویژه هیدرولوژی می‌باشد. در این میان بارش یکی از مهم‌ترین پدیده‌های محیطی است که به‌میزان قابل‌توجهی در بستر زمان و مکان تغییر می‌کند. تحلیل این گونه داده‌ها مستلزم تعیین ساختار همبستگی مکانی- زمانی آن‌ها است. مدل‌سازی آماری این پدیده‌ها که بر حسب زمان و مکان در حال تغییر هستند، امری ضروری است. در آمار کلاسیک مشاهدات مستقل از هم و فارغ از موقعیت مکانی فرض می‌شوند، در نتیجه نظریه استنباط آماری آن‌ها ساده است. اما در نظر گرفتن موقعیت مکانی و همچنین وابستگی مکانی بین مشاهدات نمونه، به شناخت بیش‌تر جامعه مورد بررسی کمک می‌کند.

بدون بررسی تغییرپذیری (تغییر) در مکان و زمان، هر گونه شناخت‌شناسی، اندیشه و تفکر، صورت‌بندی و مدل‌سازی، اعم از ریاضیاتی، آماری (تجربی)، فیزیکی، خطی و غیرخطی بی‌معنا و بدون جایگاه و ضرورت در جهان هستی است. همچنین بدون شناخت مشخصه و ویژگی تغییرپذیری، در نظر گرفتن هر گونه شیوه و رویکرد محاسباتی و مدل‌سازی برای پدیده‌ها و فرآیندهای محیطی، در عمل غیرممکن و بدون وجهه علمی و معرفت‌شناسی می‌باشد (محمدی، ۲۰۱۰). با توجه به این‌که در علوم کاربردی اغلب عواملی وجود دارند که علاوه بر وابستگی زمانی، نشانه‌هایی از وابستگی مکانی نیز در آن‌ها دیده می‌شود، در نظر گرفتن جداگانه پارامترهای زمان و مکان چندان منطقی به‌نظر نمی‌رسد و ممکن است نتایج بررسی را به درستی بیان نکند. این گونه مشاهدات وابسته به زمان و مکان را پس از جمع‌آوری و ثبت، مجموعه‌ای از داده‌های زمانی- مکانی و فرآیند شکل‌گیری داده‌های نام‌برده را فرآیند زمانی- مکانی می‌نامند. فرآیندهای زمانی- مکانی برای برآزش بر داده‌هایی که همبستگی مکانی و زمانی از خود نشان می‌دهند بسیار مفید است و دقت و صحت مطالعات را افزایش می‌دهد و راه را برای پیش‌بینی‌های بهتر هموار می‌کند. تحلیل این گونه داده‌ها مستلزم به‌کارگیری روش‌های پیچیده‌تر و نتایج به‌دست آمده از آن‌ها منجر به استنباط دقیق‌تر در مورد فرآیندهای زمانی- مکانی است. میزان بارندگی در مناطق مختلف و یا سطح آب‌های زیرزمینی مشخصه‌هایی هستند که با مکان و زمان تغییر می‌کنند و نوعی از داده‌های زمانی- مکانی^۱ هستند. مهم‌ترین ویژگی این نوع داده‌ها، همبستگی آن‌ها است که از یک طرف کار تحلیل آن‌ها را مشکل می‌کند و از طرف دیگر سبب افزایش دقت تحلیل آن‌ها می‌شود (صادقیان و همکاران، ۲۰۱۱). هرچه تغییرات مکانی بارش کم‌تر

1- Spatial-Temporal Data

باشد وضعیت منابع آب منطقه همگن تر است. از سوی دیگر با کاهش تغییرپذیری زمانی بارش، منابع آب نیز با ثبات تر خواهند بود و عرضه دایمی آب نیز امکان پذیر می شود. به همین دلیل تغییرپذیری زمان بارش در ارزیابی منابع آب حوضه ها و مطالعه منابع آب سطحی و منطقه ای اهمیت ویژه ای دارد (مسعودیان، ۲۰۰۶).

شریفان و قهرمان (۲۰۰۶) مناسب ترین مدل برآورد بارش در استان گلستان را به کمک سری های زمانی بررسی نمودند. احمدی (۲۰۰۵) با استفاده از سری های زمانی به پیش بینی بارش سالانه در استان خراسان و ویساکول و لووانیچچای (۲۰۰۵) به پیش بینی بارش در تایلند پرداختند. در تمامی این پژوهش ها فقط بحث زمان مطرح بوده و هر سری زمانی مستقل از موقعیت های مختلف مکانی مورد بررسی قرار گرفته و در نتیجه همبستگی های مکانی بین داده ها در نظر گرفته نشده است.

در پژوهش های دیگر فقط همبستگی مکانی بارش مدنظر بوده است که از آن جمله می توان به موارد زیر اشاره نمود. مظفری و همکاران (۲۰۱۲) با دو روش کریجینگ (ساده و معمولی) برآورد بارش سالانه با استفاده از آمار ۱۱ ساله داده های بارش ۵۷ ایستگاه باران سنجی استان بوشهر، را مورد ارزیابی قرار داده و تحلیل مکانی داده ها را با نیم تغییرنگار^۱ انجام دادند. صفرزاد و همکاران (۲۰۱۳) نیز در پژوهشی تغییرات مکانی بارش در ناحیه زاگرس میانی را از طریق روش های زمین آمار مدل سازی و تشریح نمودند. ماتيو و کوریا (۲۰۱۲) در مطالعه خود، چهار روش متفاوت درون یابی بارش برای حوضه نیاندو در کنیا را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. گووارت (۲۰۰۰) در پژوهش خود در منطقه آلگارا در پرتغال، نشان داد که روش هایی از زمین آمار مانند کریجینگ با روند خارجی و کوکریجینگ با متغیر کمکی ارتفاع نسبت به دیگر روش های زمین آماری مانند کریجینگ ساده و عکس مجذور فاصله که تنها داده های بارندگی را در محاسبات خود دخالت می دهند، عملکرد بهتری را در تخمین دارند. در این مطالعات، پژوهشگران تنها به پیشگویی بارش در بُعد مکان پرداخته و بُعد زمان را در تحلیل ها به کار نبرده اند.

در سالیان اخیر در زمینه پیشگویی زمانی - مکانی بارش و یا عوامل دیگر پژوهش هایی انجام شده است. بایترت و همکاران (۲۰۰۶) در پژوهشی الگوهای زمانی و مکانی بارش را برای داده های ۱۴ ایستگاه باران سنجی در غرب رشته کوه آند اکوادور بررسی نمودند. اما در عمل تنها تغییرات مکانی آن را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و به طور توأم تغییرات زمانی - مکانی بارش را تحلیل نمودند. چو و

1- Semivariogram

همکاران (۲۰۱۰) توزیع زمانی- مکانی بارش در تعدادی از حوضه‌های رودخانه‌های چین را، مورد توجه قرار دادند. ایشان با تهیه نقشه توزیع بارش چگونگی روند تغییرات بارش را بررسی نموده و به این نتیجه رسیدند که مقادیر بارش سالانه و فصلی و تغییرات روند در مناطق و فصول مختلف، متفاوت است. عساکره (۲۰۰۷) تغییرات زمانی- مکانی بارش ایران را برای حدود ۳۰۰ ایستگاه با استفاده از روش‌های زمین‌آمار و آمار کلاسیک مورد تحلیل قرار داد و ضمن تهیه نقشه همپارام کشور براساس کریجینگ، نواحی که طی دوره آماری متحمل تغییر شده‌اند را مشخص کرد. در این پژوهش تنها چگونگی تغییرات بارش در سطح کشور مورد بررسی قرار گرفته است و هیچ‌گونه مدل‌سازی، برای تغییرات زمانی- مکانی بارندگی در کشور انجام نشده است. ریواز و همکاران (۲۰۰۷) براساس مدل تغییرنگار زمانی- مکانی تفکیک‌پذیر، پیش‌بینی آلودگی هوای تهران را مورد مطالعه قرار دادند. ایشان در پژوهش خود مناسب بودن روش بیز تجربی را نشان دادند و تنها با یک مثال کاربردی نحوه محاسبه پیشگویی بیزی را ارائه نمودند. گرالر و همکاران (۲۰۱۳) در گزارشی روی داده‌های غلظت PM_{10} سال ۲۰۰۹ در اروپا به این نتیجه رسیدند که روش درون‌یابی صرفاً مکانی، وابستگی‌های زمانی را نادیده گرفته و می‌تواند به‌عنوان یک روش درون‌یابی زمانی- مکانی دیده شود که همه همبستگی‌های زمانی در آن صفر هستند. بدیهی است که بررسی این منبع اضافی از اطلاعات، این توانایی را دارد که نقشه‌ها و به‌طور کل فرآیندهای زمانی- مکانی را بهبود بخشد.

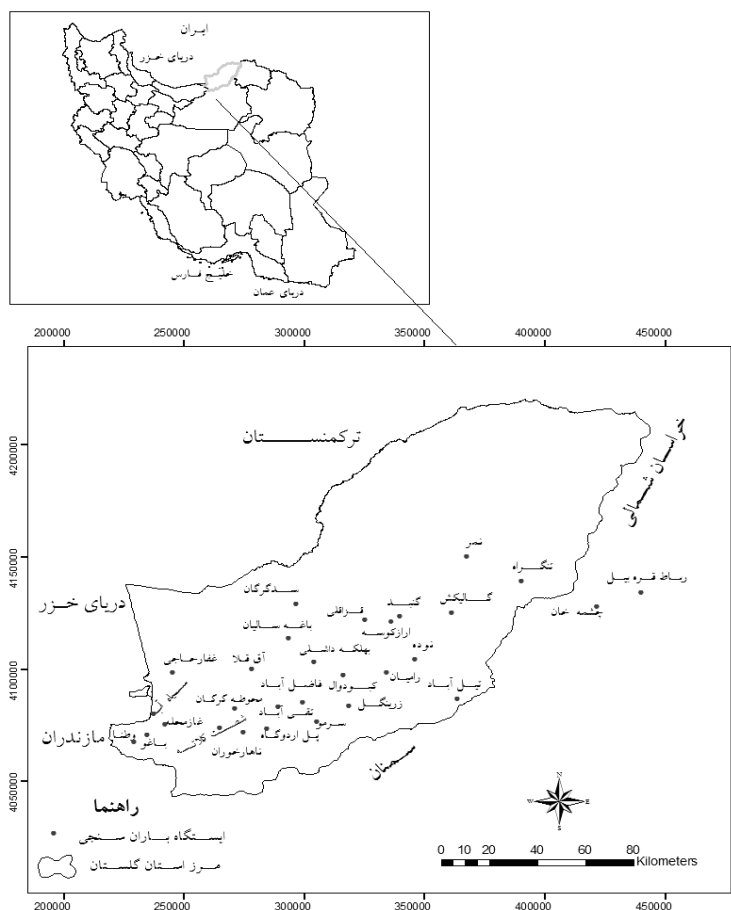
با توجه به سوابق بیان شده ملاحظه می‌شود که مدل‌های زمانی- مکانی به چندین روش مختلف بر داده‌ها برازش داده می‌شود. با وجود کاربردهای فراوان، اما به‌دلیل پیچیدگی مدل‌ها و کمبود الگوریتم‌های مناسب، کاربردها و تحلیل‌های زمانی- مکانی چندانی در مطالعات و طرح‌های پژوهشی دیده نشده است. از طرف دیگر عموماً مطالعاتی که از دیدگاه زمانی- مکانی هم انجام شده است به مدل‌سازی در بُعد مکان ولی در یک زمان محدود اختصاص یافته است. بنابراین، به‌دلیل این که بسط یک مدل مکانی به مدل‌های زمانی- مکانی به سادگی مقدور نمی‌باشد، تاکنون کم‌تر مدل‌های معتبری برای تغییرنگار و هم‌تغییرنگار^۱ زمانی- مکانی تعریف شده است. بنابراین، تجزیه و تحلیل داده‌های زمانی- مکانی، بیش‌تر به‌طور مشروط اتفاق می‌افتند، بدین معنی که ابتدا جنبه مکانی و سپس جنبه زمانی و یا عکس آن تجزیه و تحلیل می‌شود و روشی که داده‌ها را به‌صورت توأم بررسی نماید، وجود ندارد (شابنبرگر و گاتوی، ۲۰۰۴) زیرا کمبود نرم‌افزار مناسب، داده‌های

کلاس بندی شده و روش های دستی وارد نمودن داده ها، خروجی گرفتن و تحلیل این گونه داده ها از مشکلات موجود می باشد. بسته نرم افزاری spacetime (پیسما، ۲۰۱۲) از محیط نرم افزاری R، آغازی برای پر کردن این خلأها است (تیم مرکزی توسعه R، ۲۰۱۱). با توجه به موارد ذکر شده، وجود همبستگی زمانی و مکانی بین مقادیر بارندگی در مناطق مختلف و در زمان های متوالی، هدف از انجام این پژوهش، بررسی توأم تغییرات زمانی - مکانی بارش ماهانه در بخشی از استان گلستان می باشد.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه استان گلستان (به استثنای محدوده مرزی حوضه آبریز اترک) را شامل می شود. استان گلستان با مساحتی بالغ بر ۲۰۳۸۷ کیلومتر مربع در جنوب شرقی دریای خزر واقع شده است که حدود ۱/۳ درصد از مساحت کشور را شامل می شود. این استان بین ۳۶ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۳ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۱۸ دقیقه طول شرقی واقع شده است. تنوع تراز ارتفاعی و ویژگی های رشته کوه های البرز و تأثیر آن بر اقلیم منطقه سبب ناهمگونی نسبی در متغیرهای اقلیمی منطقه می شود، به طوری که اقلیم این استان از نیمه خشک در نوار مرزی و حوضه آبریز اترک، معتدل و نیمه مرطوب در مناطق جنوبی و غربی تا سرد در ارتفاعات جنوبی متغیر است (مساعدی و همکاران، ۲۰۰۷). شکل ۱ موقعیت جغرافیایی استان گلستان در کشور و ایستگاه های مورد مطالعه را نشان داده است.

در این پژوهش از داده های بارندگی ماهانه ایستگاه های باران سنجی و تبخیرسنجی شرکت آب منطقه ای استان گلستان (به جز حوضه آبریز اترک) و ایستگاه سینوپتیک هاشم آباد طی دوره آماری مشترک ۶۲-۱۳۶۱ تا ۹۱-۱۳۹۰ استفاده شده است. از دو ایستگاه رباط قره بیل و چشمه خان که در خارج از تقسیمات سیاسی استان گلستان ولی در حوضه آبریز گرگانرود قرار دارند، نیز استفاده شده است. در داده های زمانی - مکانی می توان با هر نوع داده ای (شامل داده های ناقص یا داده های کامل و یا بازسازی شده) پژوهش را انجام داد. در این پژوهش تعداد داده های مفقود بسیار ناچیز (۱/۴ درصد) بوده است که با توجه به این مطلب و این که بحث استفاده از داده ها به طور واقعی و به صورت توأم بوده است، هیچ گونه بازسازی آماری صورت نگرفته است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی استان گلستان در کشور و موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان گلستان.

برآورد تغییرنگار زمانی- مکانی: همبستگی زمانی- مکانی داده‌های بارش را می‌توان از طریق تابع هم‌تغییرنگار یا تغییرنگار زمانی- مکانی تعیین کرد (محمدزاده، ۲۰۱۲). تغییرنگار زمانی- مکانی به صورت رابطه ۱ تعریف می‌شود.

$$\gamma(h,u) = \text{Var}(Z(s,t) - Z(s+h,t+u)) \quad (1)$$

که در آن، $Z(s,t)$: متغیر مورد بررسی در موقعیت جغرافیایی s و زمان t ، $\text{Var}(Z(s,t))$: واریانس و $Z(s+h,t+u)$: متغیری که به فاصله h از s قرار دارد و در زمان $t+u$ می‌باشد.

رابطه برآورد نیم تغییرنگار زمانی - مکانی طبق رابطه ۲ می باشد.

$$\bar{\gamma}_{s,t}(h,u) = \frac{1}{\sqrt{|L(h,u)|}} \sum_{L(h,u)} [Z(s+r_s, t+r_t) - Z(s,t)]^2 \quad (2)$$

که در آن، $\bar{\gamma}_{s,t}(h,u)$: نیم تغییرنگار زمانی - مکانی و $Z(s+r_s, t+r_t)$: متغیری که به فاصله I_s از s قرار دارد و در زمان $t+r_t$ می باشد. $L(h,u)$: تعداد زوج داده‌هایی هستند که در فاصله مکانی h و فاصله زمانی u واقع شده‌اند. با قرار دادن h و u برابر صفر، به ترتیب برآورد نیم تغییرنگار صرفاً زمانی و صرفاً مکانی به دست می آید.

هم تغییرنگار رفتاری دقیقاً عکس تغییرنگار است. یعنی افزایش هم تغییرنگار به معنی افزایش همبستگی داده‌ها بر حسب فاصله است و کواریانس داده‌ها در دو موقعیت دلخواه با فاصله‌های معین را نشان می دهد. پیچیدگی توابع کواریانس زمانی - مکانی انتخاب بهترین مدل را دشوار می سازد، اما تفکیک پذیر بودن آن می تواند مدل سازی هم تغییرنگار را ساده تر کند (کلوس و همکاران، ۲۰۰۴). هم تغییرنگار زمانی - مکانی به صورت رابطه ۳ بیان می شود.

$$C_{st}(h_s, h_t) = C_s(h_s)C_t(h_t) \quad (3)$$

که در آن، $C_s(h_s)$: هم تغییرنگار صرفاً مکانی، $C_t(h_t)$: هم تغییرنگار صرفاً زمانی داده‌ها است. **فراخوانی داده‌های زمانی - مکانی**: برای سهولت، اغلب داده‌های زمانی - مکانی به قالب جدولی منفرد تبدیل می شوند. این داده‌ها به یکی از این سه قالب در می آیند (پبسم، ۲۰۱۲).

time-wide: ستون‌های مختلف، مقادیر متفاوت در زمان را منعکس می کند.

space-wide: ستون‌های مختلف، مقادیر متفاوت موقعیت‌ها را منعکس می کند.

long formats: هر رکوردی یک ترکیب زمانی و مکانی منفرد را نشان می دهد.

تحلیل داده‌های زمانی - مکانی: در تحلیل زمانی - مکانی، به طور معمول مدل‌بندی ساختار همبستگی با پذیرفتن شرایط تسهیل کننده‌ای مانند مانایی، همسان‌گردی و تفکیک‌پذیری صورت می گیرد (هسلت و رفتری، ۱۹۸۹). همچنین باید فرض همگنی واریانس روی مکان و زمان برای داده‌ها بررسی شود. ساهو و همکاران (۲۰۰۶) و هوانگ و همکاران (۲۰۰۷) برای بررسی فرض همگنی واریانس در داده‌های زمانی - مکانی از نمودار انحراف معیار در برابر میانگین استفاده کردند. در این پژوهش نیز از نمودار انحراف معیار در برابر میانگین برای بررسی همگنی واریانس استفاده شد.

یکی از راه‌های شناسایی مانایی از حیث میانگین، رسم مقادیر متغیر در جهت‌های مختلف شرقی - غربی یا شمالی - جنوبی است. در صورتی که نقاط به صورت تصادفی پراکنده شده و حالت منظم نداشته باشد، میانگین ثابت است. به این منظور در این پژوهش، نمودار میانگین داده‌های بارندگی ماهانه در مقابل طول و عرض جغرافیایی برای تمامی ماه‌های سال رسم شد.

برای شناسایی همسان‌گردی لازم است تغییرنگار تجربی مشاهدات در تمام جهت‌ها رسم شود. در صورتی که تغییرنگار در تمام جهت‌ها تقریباً برهم منطبق باشند و تفاوت معنی‌داری نسبت به هم نداشته باشند، همسان‌گردی برقرار است. به این منظور در این پژوهش، تغییرنگار تجربی داده‌های متوسط بارش برای تمامی ماه‌ها ترسیم شد.

مدل‌های تغییرنگار زمانی - مکانی: پس از بررسی‌های اکتشافی داده‌ها، برازش مدل‌های تغییرنگار زمانی - مکانی مختلفی بر اساس تابع کواریانس از جمله متریک، تفکیک‌پذیر، ضربی - جمعی و مدل متریک جمعی بر روی داده‌های بارش ارزیابی شد. ساخت تابع کواریانس زمانی - مکانی معتبر را می‌توان به دو صورت تفکیک‌پذیر و تفکیک‌ناپذیر^۱ بررسی کرد. در یک تابع کواریانس تفکیک‌پذیر، ناهمسانی مکانی و تأثیرات زمانی به سهولت می‌تواند تخمین زده شود. کواریانس‌های تفکیک‌پذیر به دلیل در نظر نگرفتن اثر متقابل زمانی - مکانی در عمل بسیار محدودند و فرض شده است که به صورت صرفاً زمانی و یا صرفاً مکانی مستقل عمل می‌کنند. در توابع کواریانس تفکیک‌پذیر و ضربی - جمعی فرض می‌شود که فرآیندهای همبستگی مکانی و زمانی برای مکان و زمان منفک باشند. مدل ضربی - جمعی، ترکیبی از مدل‌های جمعی و ضربی است که هر کدام از آن‌ها به‌طور جداگانه دارای معایب و محدودیت‌هایی است که در ترکیب آن‌ها این محدودیت‌ها تا حد زیادی رفع می‌شود. در مدل جمعی به‌طور معمول مجموع توابع کواریانس مکانی و زمانی همیشه مثبت نیست. بنابراین وارون ماتریس کواریانس ممکن است موجود نباشد. از این‌رو، مدل جمعی برای پیش‌گویی زمانی - مکانی مناسب نیست. برای حل این مشکل این مدل را با مدل متریک ترکیب کرده که مدل متریک جمعی حاصل می‌شود. مدل کواریانس متریک، مدلی تفکیک‌ناپذیر است. به‌منظور استفاده از مدل متریک باید یک ساختار سه‌بعدی ساخته شود. وقتی محدوده مکانی با دو بعد ساخته شد با نشان دادن زمان، بعد سوم باید استفاده شود (پیسما، ۲۰۱۳). به عبارتی در تابع کواریانس متریک فرض می‌شود که

1- Non-Separable

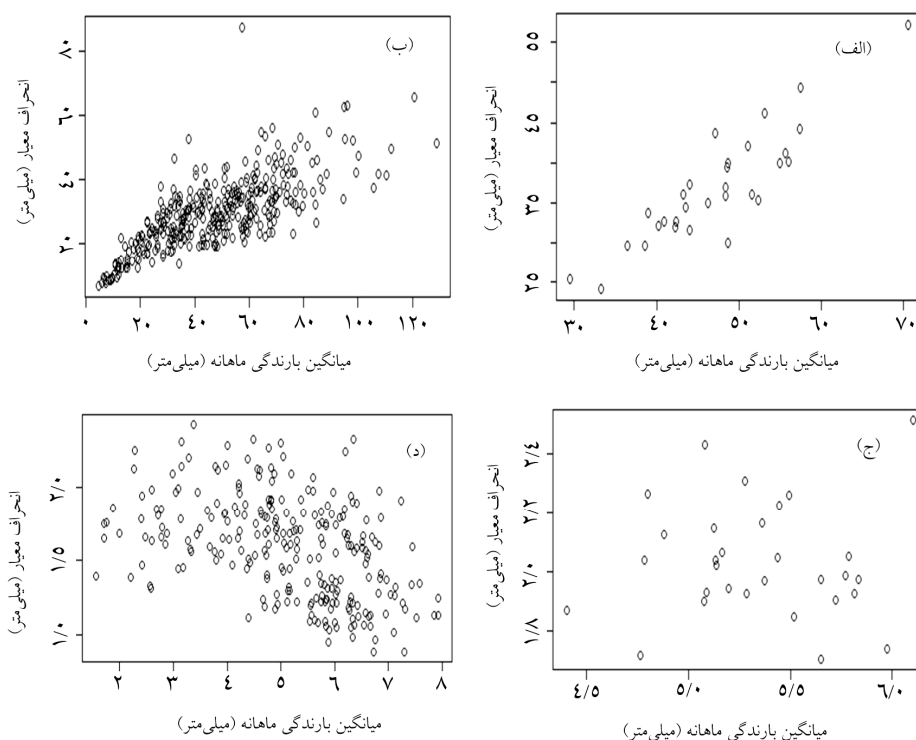
زمان یک بعد سوم با ساختار همبستگی مشابه بعد مکان، باشد. بنابراین یک تغییر مقیاس زمانی برای کاهش همسان‌گردی لازم است. از این‌رو، با مقیاس‌های متفاوت، مقدار RMSE بین تغییرنگار تجربی و مدل محاسبه شده و سپس با توجه به کم‌ترین RMSE، مقیاس مناسب انتخاب می‌شود (گرالر و همکاران، ۲۰۱۳). شرح کامل این مدل‌ها و روابط آن‌ها در مایرز (۲۰۰۴) بیان شده است. مهم‌ترین مسأله در تحلیل داده‌های زمانی- مکانی بارش، تعیین ساختار وابستگی داده‌ها و دقت در انتخاب مدل و نحوه برازش مدل‌ها است. از این‌رو، مدل‌های معتبر مختلفی به تغییرنگارها برازش داده شد تا در حد امکان دقیق‌ترین مدل برای داده‌های توأم زمانی- مکانی بارش حاصل شود. بعد از این‌که مدل‌های مختلف تغییرنگار بر روی داده‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت، ساختار همبستگی زمانی- مکانی داده‌ها تعیین می‌شود. در نهایت با استفاده از اعتبارسنجی متقابل، دقت مدل تغییرنگار مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و با کمک مدل انتخابی، درونیابی انجام شده و اقدام به پهنه‌بندی و تهیه نقشه‌های کریجینگ می‌شود.

همه روش‌ها و مراحل ذکر شده در این پژوهش، در محیط نرم‌افزار R (تیم مرکزی توسعه R، ۲۰۱۱) با استفاده از بسته‌های نرم‌افزاری spactime (پسما، ۲۰۱۳؛ بیوند و همکاران، ۲۰۱۳) و gstat (پسما، ۲۰۰۴) اجرا شده است.

نتایج و بحث

نمودار انحراف معیار داده‌های بارش در برابر میانگین متناظر آن‌ها در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه برای مکان (در طول دوره آماری ۹۱-۱۳۶۱) و زمان (هر ماه در طول دوره آماری مورد نظر) در شکل ۲ (الف و ب) نشان می‌دهد که با افزایش میانگین، انحراف معیار نیز افزایش می‌یابد. این مهم نشان‌دهنده این است که واریانس داده‌های بارش همگن نیست. بنابراین، لازم است با انتخاب روش تبدیلی مناسب، واریانس را همگن نمود. با بررسی تبدیل‌های مختلف، تبدیل باکس- کاکس به‌عنوان تبدیل همگن‌ساز واریانس انتخاب شد. پس از تبدیل باکس- کاکس، واریانس همگن شده است (شکل ۲ ج و د). با توجه به شکل ۲ (ج و د) هیچ‌الگویی در نمودارها ملاحظه نمی‌شود و داده‌ها به‌صورت تصادفی پراکنده شده‌اند. بنابراین، واریانس برای مقادیر بارش تبدیل‌یافته همگن است. از این‌رو، برای ادامه بررسی‌ها از داده‌های تبدیل‌یافته، استفاده شده است.

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک جلد (۲۲)، شماره (۱) ۱۳۹۴

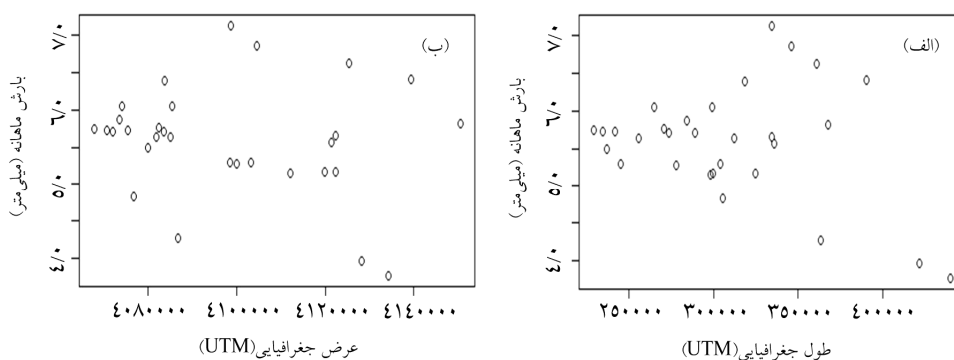


شکل ۲- انحراف معیار داده‌های بارش در برابر میانگین متناظر آن‌ها: (الف) مقادیر واقعی بارندگی در کل ایستگاه‌ها، (ب) مقادیر واقعی بارندگی در کل دوره آماری، (ج) داده‌های تبدیلی باکس- کاکس در کل ایستگاه‌ها، (د) داده‌های تبدیلی باکس- کاکس در کل دوره آماری.

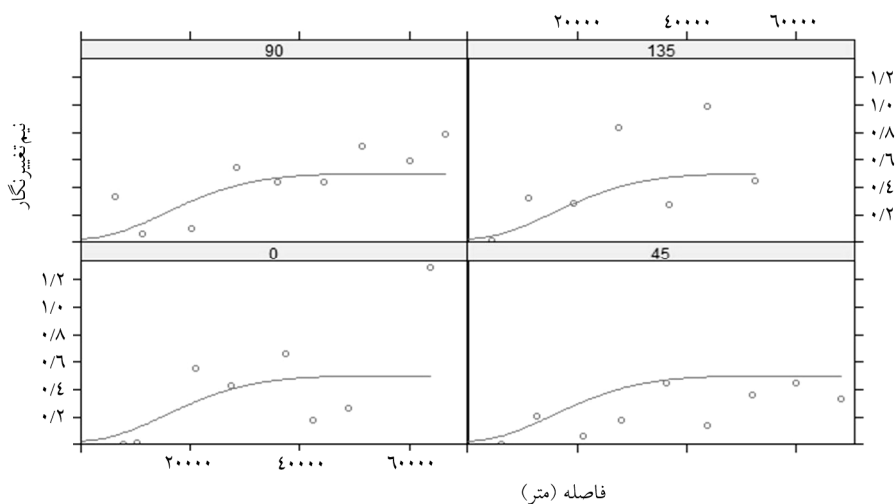
برای تشخیص مانایی میانگین، نمودار میانگین داده‌های تبدیل‌یافته بارندگی ماهانه در مقابل طول و عرض جغرافیایی رسم شد. به‌عنوان نمونه، نمودار داده‌های بارندگی دی‌ماه (در دوره آماری مورد مطالعه) در مقابل طول و عرض جغرافیایی در شکل ۳ (الف و ب) روند خاصی را نشان نمی‌دهند که تأییدکننده مانایی از حیث میانگین برای مقادیر بارندگی ماهانه تمامی ایستگاه‌ها است. همچنین نمودار داده‌ها برای سایر ماه‌های سال بیانگر این است که مانایی از نظر میانگین برقرار است.

شکل ۴ تغییرنگار تجربی داده‌های متوسط بارش در دی‌ماه (در دوره آماری مورد مطالعه) را در چهار جهت صفر، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه نشان می‌دهد که نشانگر برقراری فرض همسان‌گردی تغییرنگار است. به‌طور مشابه برای سایر ماه‌ها این فرض برقرار است.

جدول ۱ پارامترهای مدل‌های تغییرنگار زمانی- مکانی و مقدار RMSE (ریشه میانگین مربعات خطا) را نشان می‌دهد. با بررسی مدل‌های مختلف (گوسی، کروی و نمایی) و پارامترهای مختلف، مدل تغییرنگار متریک جمعی به‌عنوان مناسب‌ترین مدل انتخاب شد که در آن برای زمان، مدل نمایی و برای مکان و بخش مشترک، مدل کروی به‌عنوان بهترین مدل ارزیابی شد.



شکل ۳- وضعیت پراکندگی میانگین درازمدت بارش ماهانه دی‌ماه بر حسب طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌ها.



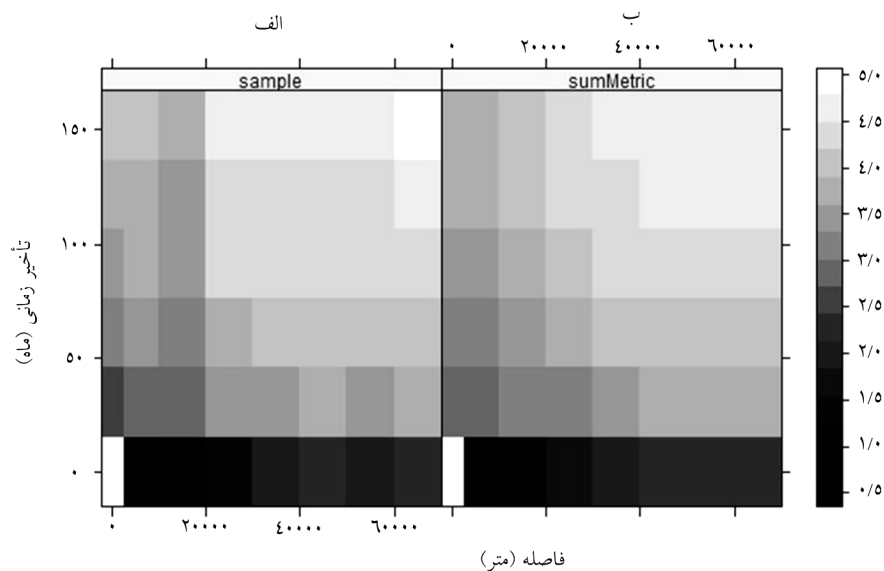
شکل ۴- تغییرنگار تجربی دی‌ماه در چهار جهت مختلف (۰، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه).

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک جلد (۲۲)، شماره (۱) ۱۳۹۴

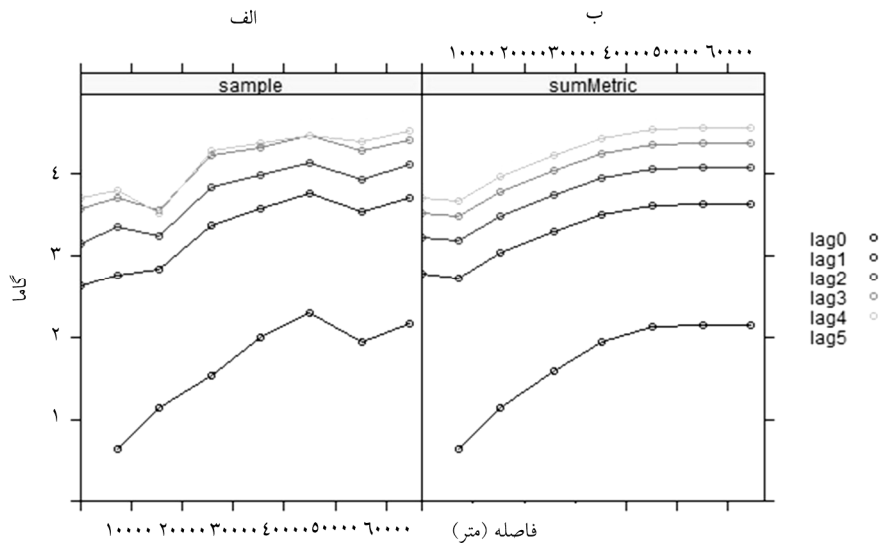
جدول ۱- پارامترهای مدل‌های مختلف تغییرنگار.

RMSE	مشترک			زمان			مکان			مدل تغییرنگار زمانی- مکانی
	اثر قطعی‌های	دامنه (متر)	حد آستانه	اثر قطعی‌های	دامنه (ماه)	حد آستانه	اثر قطعی‌های	دامنه (متر)	حد آستانه	
۰/۳۷	۰/۵	۸۰۰۰۰	۴/۲	-	-	-	-	-	-	متریک
۰/۲۵	-	-	-	۰/۲	۱۰۰	۰/۶۶	۰/۰۳	۸۰۰۰۰	۰/۹۹	تفکیک‌پذیر
۰/۲۴	-	-	-	۰	۸۰	۲/۸	۰	۸۰۰۰۰	۱/۶	ضربی- جمعی
۰/۱۴	۰/۱	۵۰۰۰۰	۰/۸۳	۰/۲	۱۱۸	۲/۱	۰/۱	۵۰۰۰۰	۱/۱۳	متریک جمعی

شکل‌های ۵ و ۶ که اطلاعات داده‌ها را به تصویر می‌کشد، به ترتیب نقشه تغییرنگار داده‌های زمانی- مکانی و تغییرنگار برای هر تأخیر زمانی در مدل متریک جمعی را نشان می‌دهد. در این شکل‌ها قسمت‌های تیره مقدار گامای کم‌تر، به عبارتی میزان همبستگی بیش‌تر را نشان می‌دهد. در ستون تأخیرهای زمانی نیز قسمت‌های تیره تأخیر زمانی کم‌تر و برای قسمت‌های روشن نیز این قضیه برعکس می‌باشد. در هر تأخیر زمانی با افزایش فاصله مکانی ایستگاه‌ها، مقادیر نیم‌تغییرنگار افزایش یافته و به‌طور کلی با افزایش هم‌زمان تأخیرهای زمانی و فاصله مکانی بین ایستگاه‌ها مقادیر نیم‌تغییرنگار (مقدار گاما) افزایش می‌یابد و از همبستگی بین داده‌های بارش کاسته می‌شود. به بیانی دیگر با تغییر تناوب از یک ماه به ماه بعد و بیش‌تر شدن فواصل مکانی، مقدار گاما به بیش‌ترین حد خود (قسمت‌های روشن) نزدیک می‌شود. همان‌طور که در هر دو شکل ملاحظه می‌شود به‌طور مثال در تأخیر صفر با افزایش فاصله مکانی ایستگاه‌ها، مقادیر گاما افزایش یافته و بعد از حدود ۵۰ کیلومتر همبستگی داده‌ها ناچیز و حتی مستقل از یکدیگر می‌شوند که این فاصله دامنه تغییرنگار می‌باشد. با استفاده از این مدل به روش کریجینگ می‌توان مقادیر بارش را در سایر نقاط منطقه مورد مطالعه که در آن‌ها ایستگاهی وجود ندارد، پیش‌بینی نمود.



شکل ۵- نقشه تغییرنگار داده‌های زمانی- مکانی الف: تغییرنگار تجربی و ب: تغییرنگار مدل برازشی (متریک جمعی).



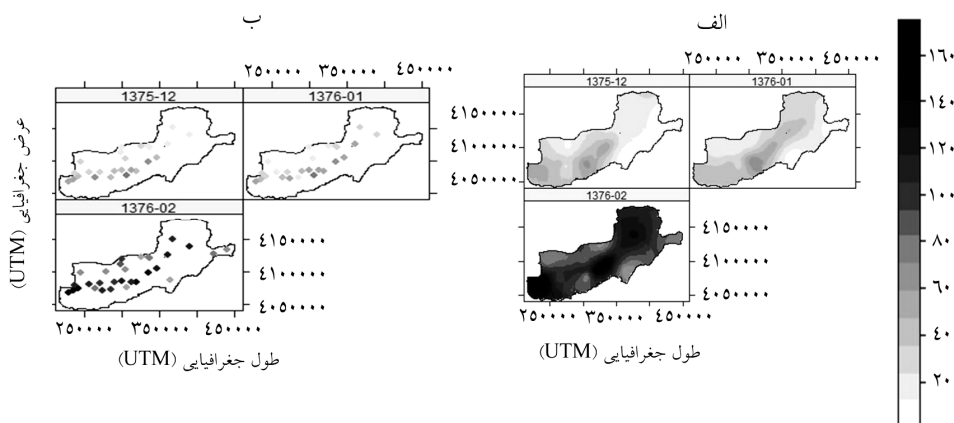
شکل ۶- نمودار تغییرنگار برای هر تأخیر زمانی (بدون تأخیر تا ۵ تأخیر)، الف: تغییرنگار تجربی و ب: تغییرنگار مدل برازشی (متریک جمعی).

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک جلد (۲۲)، شماره (۱) ۱۳۹۴

همان‌گونه که بیان شد درون‌یابی مقادیر بارندگی ماهیانه با روش کریجینگ معمولی (به دلیل عدم وجود روند و داشتن توزیع نرمال) انجام شده است. در این پژوهش تعداد متفاوتی از همسایگی (از ۵ همسایگی تا ۲۵ همسایگی) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده از درون‌یابی با تعداد همسایگی‌های مکانی ۱۰ و ۲۰ در جدول ۲ ارایه شده است که با توجه به آن درون‌یابی با تعداد ۲۰ همسایگی حداقل خطای تخمین کریجینگ را نشان می‌دهد. همچنین میانگین خطای تخمین کریجینگ نزدیک به صفر می‌باشد. در مرحله آخر درون‌یابی، مقادیر پیش‌بینی به حالت اولیه برگردانده شده است. به این ترتیب ۳۶۰ نقشه پیش‌بینی بارندگی در زمان و مکان برای طول دوره ۳۰ ساله (۳۶۰ ماه از سال آبی ۶۲-۱۳۶۱ تا ۹۱-۱۳۹۰) تولید شد. در شکل ۷ یک سری زمانی از نقشه‌های درون‌یابی شده و نقشه‌های مقادیر بارندگی (داده‌های مشاهداتی) به عنوان نمونه ارایه شده است. شکل ۷- الف توزیع زمانی و مکانی بارندگی در شهریور ماه سال آبی ۷۶-۱۳۷۵ (ماه دوازدهم از سال آبی مورد نظر) و دو ماه مهر و آبان از سال آبی ۷۷-۱۳۷۶ (ماه‌های اول و دوم از سال آبی مورد نظر) را نشان می‌دهد. در شکل ۷- ب مقادیر بارندگی در همین دوره‌ها در هر یک از ایستگاه‌ها نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود مقادیر مشاهداتی با مقادیر مدل شده در محدوده مطالعاتی تفاوت زیادی ندارند. به عبارتی الگوی بارش مدل شده به خوبی از الگوی بارش منطقه پیروی می‌کند. وضعیت بارندگی کم‌تر در نیمه شرقی استان نسبت به سایر مناطق به خوبی مشهود است. همچنین بیش‌ترین میزان بارندگی در نیمه جنوبی استان می‌باشد که این روند تغییرات در نقشه‌های مقادیر مشاهداتی (شکل ۷- ب) مشهود است. به عبارتی در مکان‌های مختلف استان و در بازه‌های زمانی متفاوت (در اینجا ماه‌های شهریور، مهر و آبان) این تغییرات قابل مشاهده است.

جدول ۲- نتایج درون‌یابی با همسایگی‌های مختلف.

تعداد حداکثر همسایگی	RMSE (میلی متر)	MAE (میلی متر)
۱۰	۲/۵۴	۲/۰۳
۲۰	۲/۴	۱/۹



شکل ۷- الف) نقشه بارش مدل شده و ب) نقشه بارش مشاهداتی در شهر یورما تا آبان ماه سال ۱۳۷۵-۷۶.

نتیجه گیری

در این پژوهش، به کمک همبستگی توأم در زمان و مکان (نه صرفاً در زمان و یا صرفاً در مکان)، اقدام به مدل سازی بارش ماهانه در بخش وسیعی از استان گلستان شده است. در روش درون یابی صرفاً مکانی، الگوی تغییرات مکانی بارندگی مستقل از توزیع زمانی در دوره های قبل در نظر گرفته می شود. اما در روش درونیابی زمانی - مکانی توأم، با توجه به این که در این مطالعه داده های بارش ماهانه مورد بررسی قرار گرفته است، برای هر ماه از هر سال یک نقشه خروجی حاصل شده است که در این نقشه ها علاوه بر تأثیر الگوی تغییر بارندگی از یک نقطه به نقطه دیگر، الگوی تغییر بارندگی از یک ماه به ماه دیگر هم در نظر گرفته شده است. بر این اساس با تولید ۳۶۰ نقشه (۱۲ نقشه برای هر سال و در طول دوره ۳۰ ساله) تغییرات زمانی - مکانی بارندگی با دقت بیش تری قابل بررسی است. ضمن آن که به کمک هر یک از این نقشه ها می توان مقدار بارش ماهانه را در هر ماه برای مکان هایی که در آن ها هیچ ایستگاه باران سنجی وجود ندارد تعیین نمود. در این پژوهش به منظور همگن نمودن واریانس و حذف همبستگی بین واریانس و مقدار بارندگی، تبدیل های مختلفی مورد بررسی قرار گرفتند که تبدیل باکس - کاکس مناسب ترین تبدیل می باشد. همچنین از بین مدل های مختلف تغییرنگار زمانی - مکانی (شامل مدل های متریک، تفکیک پذیر، ضربی - جمعی و مدل متریک جمعی)، مدل تغییرنگار متریک جمعی با اثر قطعه ای برابر ۰/۱، دامنه ۵۰۰۰۰ متر و حد آستانه ۰/۸۳ با RMSE

برابر با ۰/۱۴ میلی‌متر به‌عنوان مناسب‌ترین مدل تشخیص داده شد که در آن برای زمان، مدل نمایی و برای مکان و بخش مشترک، مدل کروی به‌عنوان بهترین مدل ارزیابی شد.

با توجه به این‌که در مدل‌های زمانی- مکانی توأم از تعداد داده‌های بیش‌تری در مقایسه با مدل‌های صرفاً زمانی و یا صرفاً مکانی استفاده می‌شود و با توجه به همبستگی بیش‌تری که بین داده‌های زمانی- مکانی وجود دارد، نتایج حاصله از خطای کم‌تری برخوردار است. بنابراین استفاده از این مدل‌ها از اهمیت بسیار بالایی می‌تواند برخوردار باشد. برای سایر متغیرها و محدوده‌های متفاوت، می‌توان مدل‌های توأم را استفاده نمود تا مدل‌سازی بهتر و دقیق‌تری برای داده‌های تصادفی صورت گیرد. پیشنهاد می‌شود در پژوهشی دیگر به کمک مدل‌های به‌کار گرفته شده در این پژوهش به پیش‌بینی توأم تغییرات زمانی و مکانی بارندگی در درازمدت با روش بیزین پرداخته شود.

منابع

1. Ahmadi, F. 2005. Forecasting of annual rainfall in Khorasan province (Iran) with using of Time Series. M.Sc. Thesis of Ferdowsi University of Mashhad, Irrigation Dep. 284p. (In Persian)
2. Asakereh, H. 2007. Temporal and spatial variation of precipitation in Iran during recent decades. *J. Geograph. Dev.* 10: 164-145. (In Persian)
3. Bivand, R.S., Pebesma, E., and Gomez-Rubio, V. 2013. Applied spatial data analysis with R, Second edition. Springer, NY. <http://www.asdar-book.org/>.
4. Buytaert, W., Celleri, R., Willems, P., Bièvre, B.D., and Wyseure, G. 2006. Spatial and temporal rainfall variability in mountainous areas: A case study from the south Ecuadorian Andes. *J. Hydrol.* 329: 3. 413-421.
5. Chu, J., Xia, J., Xu, C., Li, L., and Wang, Z. 2010. Spatial and temporal variability of daily precipitation in Haihe river basin, 1958-2007. *J. Geograph. Sci.* 20: 2. 248-260.
6. Goovaerts, P. 2000. Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. *J. Hydrol.* 228: 113-129.
7. Gräler, B., Rehr, M., Gerharz, L., and Pebesma, E. 2013. Spatio-temporal analysis and interpolation of PM10 measurements in Europe for 2009. Institute for Geoinformation (IfGI), University of Münster, Germany. 1022: 4.
8. Haslett, J., and Raftery, A.E. 1989. Space-Time modelling with long-memory dependence: Assessing Irelands wind-power resource (with discussion), *Applied Statistics.* 38: 1-50.
9. Huang, H.C., Martinez, F., Mateu, J., and Montes, F. 2007. Model comparison and selection for stationary space-time models. *Computational statistics and data analysis.* 51: 4577-4596.

10. Kolvos, A., Christakos, G., Hristopulos, D.T., and Serre, M.L. 2004. Methods for generating nonseparable spatio-temporal covariance models with potential environmental applications advance in water resources. *J. Adv. Water Resour.* 27: 815-830.
11. Masoodian, S.A. 2006. Regionalization of water resources zones of Iran using precipitation. *Entropy J. Univ. Isfahan.* 20: 1. 1-14. (In Persian)
12. Mohammadi, J. 2010. Epistemology models of spatial and temporal in environmental sciences. Tehran Press. 170p. (In Persian)
13. Mohammadzadeh, M. 2012. Spatial Statistics and Its Applications. Tarbiat Modares University Press. 416p. (In Persian)
14. Mosaedi, A., Sharifan, H., and Shahabi, M. 2007. Risk management by identification of Golestan province microclimate. Iran Meteorological org, 171p. (In Persian)
15. Mozafari, G., Mirmousavi, H., and Khosravi, Y. 2012. Evaluation of the geostatistic methods and linear regression to determine the spatial distribution of rainfall in the Bushehr province. *J. Geograph. Dev.* 10: 27. 63-76. (In Persian)
16. Mutua, F., and Kuria, D. 2012. A comparison of spatial rainfall estimation techniques: A case study of Nyando river basin Kenya. *J. Agric. Sci. Technol.* 14: 2. 149-165.
17. Myers, D.E. 2004. Estimating and modeling space-time variograms. Spatial-accuracy.org. Department of mathematics, University of Arizona.
18. Pebesma, E. 2004. Multivariable geostatistics in S: the gstat package. *J. Com. Geosci.* 30: 683-691.
19. Pebesma, E. 2012. Spacetime: Spatio-Temporal Data in R. *J. Stat. Software.* 51:7. 1-30. URL <http://www.jstatsoft.org/v51/i07/>.
20. Pebesma, E. 2013. Spatio-temporal geostatistics using gstat. Ifgi, Institute for Geoinformatics, University of Münster. Pp: 1-11.
21. R Development Core Team. 2011. R: A language and environment for statistical computing.
22. Rivaz, F., Mohammadzadeh, M., and Khaledi, M. 2007. Empirical bayes prediction for space-time data under separable model. *J. Stat. Sci.* 1:1. 45-60. (In Persian)
23. Sadeghian, A., Vagheiy, Y., and Mohammadzadeh, M. 2011. Spatial-temporal prediction of groundwater level in Birjand region using Kriging method. *Water and Wastewater.* 1: 94-100. (In Persian)
24. Safarrad, T., Faroukhi, H., Azizi, A., and Abaspour, A. 2013. Spatial analysis of rainfall variations in central Zagros using geostatistic methods (2004-1995). *J. Geograph. Dev.* 31: 149-164. (In Persian)
25. Sahu, S.K., Gelfand, A.E., and Holland, D.M. 2006. Spatio-Temporal modeling of fine particulate matter. *J. Agric. Biol. Environ. Stat.* 11: 61-86.

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک جلد (۲۲)، شماره (۱) ۱۳۹۴

26. Schabenberger, O., and Gotway, C. 2004. Statistical methods for spatial data analysis. Chapman and Hall, Boca Raton.
27. Sharifan, H., and Ghahraman, B. 2006. Evaluation of rainfall forecasting in Golestan province using time series. J. Agric. Sci. Natur. Resour. 14: 3. 196-209. (In Persian)
28. Weesakul, U., and Lowanichchai, S. 2005. Rainfall forecast for agricultural water allocation planning in Thailand. Thammasat Int. J. Sci. Tech. 10: 3. 18-27.

Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 22(1), 2015
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Modeling Spatio-temporal variation of monthly precipitation (Case Study: Golestan province)

N. Hasanalizadeh¹, *A. Mosaedi², A.R. Zahiri³ and M. Hosseinalizadeh⁴

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²Professor, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, ³Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ⁴Assistant Prof., Dept. of Watershed and Arid Zone Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 03/12/2014; Accepted: 10/14/2014

Abstract

Precipitation is a highly variable Meteorological and hydrological meteorological. Investigate spatio-temporal variation of precipitation for water resources planning and management in different parts of the catchment is essential. Autocorrelation of this kind of data however makes their analysis complex, but increases their analysis accuracy. The goal of this study is, modeling Spatio-temporal variation and interpolation of monthly precipitation in Golestan province. So, 30-yr monthly precipitation variations for 30 meteorology and rain gauge stations was studied. To analyse spatio-temporal precipitation, variance homogeneity and space/time stationarity were assessed. By examining different models of the Spatio-temporal variogram, Sum Metric model with RMSE of 0.14 mm was selected as the most suitable spatio-temporal variogram model. Then, with this model, by different neighbors, interpolation was done. Therefore, 360 monthly precipitation distribution maps were produced. Kriging interpolation with 20 neighborhoods minimum estimation error is revealed. The mean of kriging estimation error is close to zero. Based on the results, pattern of variation in precipitation in these maps with observed maps, have Similarity that show the suitability of the modeling approach. Results of this study can be used in determining precipitation in zones with no station in every time (under the influence of spatio-temporal autocorrelation).

Keywords: Precipitation spatio-temporal data, Spatio-temporal variogram, Sum Metric model, Golestan province

* Corresponding Author; Email: mosaedi@um.ac.ir

