

پیش‌بینی مکانی بارندگی با استفاده از مدل رگرسیونی غیرخطی و چند متغیره در استان گلستان

معصومه عیوضی، کارشناس منابع آب شرکت پایشگر تدبیر افزار
ابوالفضل مساعدی، دانشیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد.
حمیدرضا اسلامی، مدیرعامل شرکت پایشگر تدبیر افزار
تلفن: ۰۹۱۲۶۳۹۹۷۴۵، آدرس پستی: Masoomeh.eivazi@gmail.com

چکیده

با توجه به رشد روزافزون جمعیت و ضرورت استفاده بهینه از منابع آب موجود، تعیین دقیق داده‌های بارندگی برای نیل به اهداف آبیاری، مدل‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی و توسعه منابع آب، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. ولی به دلایل اقتصادی، تعداد ایستگاه‌های بارانسنجی در اغلب موارد عمدتاً کم بوده و یا در بعضی مناطق اصلاً وجود ندارد. از این رو، در این تحقیق به منظور پیش‌بینی مکانی بارندگی در سطح استان گلستان، از معادله رگرسیون چند متغیره غیرخطی استفاده شده است. به این منظور، از ۵ پارامتر طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی، ارتفاع، شیب و جهت شیب استفاده شد. داده‌های بارندگی سالیانه ۳۲ ایستگاه بارانسنجی با طول دوره آماری ۲۶ سال در استان گلستان مورد استفاده قرار گرفت. برای این منظور از داده‌های ۲۲ ایستگاه برای مدل‌سازی و تعیین ضرایب معادله غیرخطی چند متغیره استفاده شد و از داده‌های ۱۰ ایستگاه باقیمانده برای اعتبارسنجی مدل و ضرایب محاسبه شده استفاده شد. ارزیابی نتایج و انتخاب مناسب‌ترین روش درون‌یابی بر اساس معیارهای آماری خطا انجام شد. بعد از تعیین ضرایب، با استفاده از معادله رگرسیونی بدست آمده الگوی توزیع مکانی بارندگی در سطح استان در محیط نرم‌افزار ArcGIS 9.3 تعیین شد. نتایج نشان داد که ترکیب پارامترهای توپوگرافی و جغرافیایی در درون‌یابی بارندگی نتایج مناسبی را ارائه خواهد نمود.

واژه‌های کلیدی: بارندگی، رگرسیون، پارامترهای توپوگرافی، پارامترهای جغرافیایی، معیارهای آماری، استان گلستان.

۱- مقدمه

در اکثر مسائل هیدرولوژیکی و مطالعات منابع آب، در دسترس بودن آمار و اطلاعات بارندگی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به همین دلیل همواره توجه دست اندرکاران این علم بر روی روش‌هایی بوده است تا بتوانند با استفاده از آنها، در نقاط فاقد آمار، اطلاعات بارندگی را به کمک داده‌های بارانسنجی موجود تولید نمایند. روش‌های آماری درون‌یابی متنوعی همانند نزدیکترین همسایگی وزنی، فاصله معکوس، انحای کمینه و ... وجود دارند که به کمک آنها می‌توان خطوط همباران را استخراج نمود. اما بدلیل عدم کفایت آمار و اطلاعات موجود و دقت پایین اندازه‌گیری‌ها، تخمین حاصله چندان رضایت بخش نیست. طی چند دهه اخیر مبانی علم زمین‌آمار بخوبی گسترش یافته است و توانایی‌های این شاخه از آمار در بررسی و پیش‌بینی متغیرهای مکانی مشخص شده است. تفاوت اصلی بین این روش با آمار کلاسیک آن است که در آمار کلاسیک نمونه‌های گرفته شده از یک جامعه آماری مستقل از یکدیگر بوده و وجود یک نمونه هیچگونه اطلاعاتی درباره نمونه بعدی نمی‌دهد، اما روش زمین‌آمار وجود همبستگی مکانی بین مقادیر یک متغیر در ناحیه را بررسی می‌کند [۱]. روش‌های درون‌یابی کلاسیک و زمین‌آمار به منظور درون‌یابی تنها از داده‌های نقاط اندازه‌گیری شده استفاده می‌کند و از متغیرهای توپوگرافی استفاده‌ای نمی‌کنند. از این رو روش‌های زمین‌آمار نمی‌توانند برآورد دقیقی از بارندگی در سطح حوضه به ویژه در مناطق کوهستانی داشته باشند [۲].

در سال‌های اخیر، فاکتورهای جغرافیایی و توپوگرافی برای مدل‌سازی بارندگی در سطح منطقه با یکدیگر ترکیب شده است [۳]. بعضی از مولفین تلاش کردند تا پارامترهای توپوگرافی محلی از قبیل ارتفاع را در روش‌های زمین‌آمار ترکیب کنند [۴]. روابط بین توپوگرافی و توزیع مکانی بارندگی برای مناطق کوهستانی بررسی شده است. با توجه به موارد بیان شده می‌توان گفت که، درون‌یابی به عنوان یک روش مناسب، برای تعمیم اطلاعات نقطه‌ای به منطقه‌ای، دارای کاربرد گسترده‌ای شده است. استان گلستان، که منطقه مورد بررسی در این تحقیق می‌باشد، دارای حوضه‌های آبریز وسیع و با شرایط هیدرولوژیکی متفاوت و تقریباً ناهمگن است که به دلیل تعداد نسبتاً کم ایستگاه‌های بارانسنجی و پراکنش نامناسب آنها در سطح استان، آمار و اطلاعات موجود بارندگی نمی‌تواند تغییرات مکانی تمام نقاط استان را نشان دهد. بنابراین درون‌یابی دقیق‌تر آمار بارندگی با استفاده از تکنیک‌های جدید، امری ضروری می‌باشد.

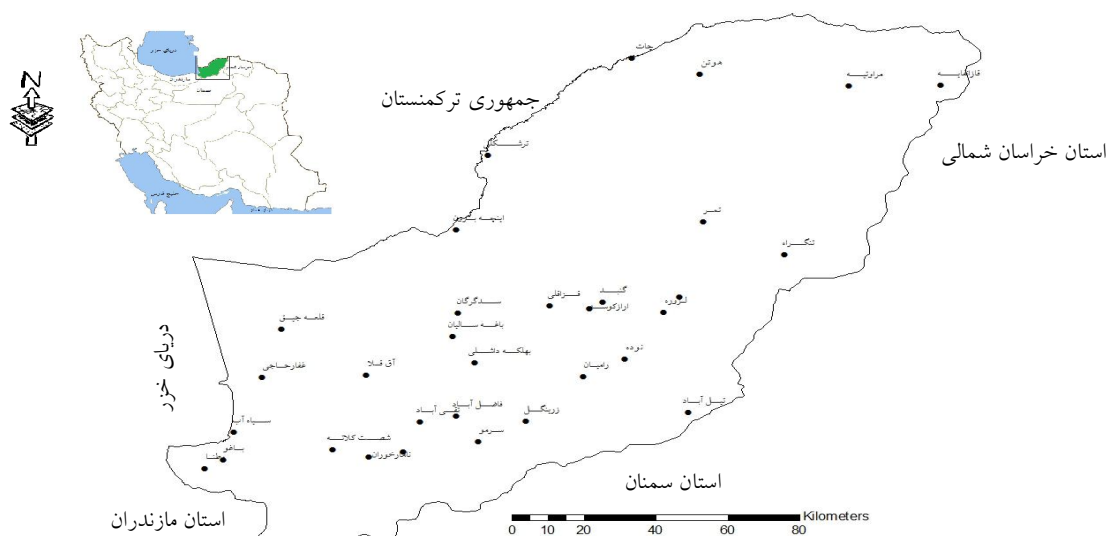
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

استان گلستان با مختصات جغرافیایی 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 در جنوب شرقی دریای خزر واقع شده است. مساحت این استان برابر با ۲۰۳۸۷ کیلومتر مربع است که در حدود ۱/۳ درصد از مساحت کل کشور را شامل می‌شود. متوسط بارندگی سالیانه در استان گلستان، حدود ۴۵۰ میلی‌متر می‌باشد [۵].

در این تحقیق از داده‌های بارندگی سالیانه ۳۲ ایستگاه در طی دوره آماری مشترک ۲۶ ساله (۶۲-۱۳۶۱ الی ۸۷-۱۳۸۶) استفاده شد. ابتدا برای کنترل همگنی بارش سالانه از روش آزمون توالی استفاده شد و بدین طریق از همگن بودن داده‌ها اطمینان حاصل

گردید. سپس برای بازسازی نواقص آماری از روش همبستگی بین ایستگاه‌ها استفاده و آمار ایستگاه‌های ناقص براساس آمار ایستگاه دارای بالاترین ضریب همبستگی تکمیل گردید. موقعیت ایستگاه‌های منتخب در سطح منطقه در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب در استان گلستان

۲-۲- روش تحقیق

فاکتورهای بسیاری در میزان بارندگی و توزیع مکانی بارندگی وجود دارد یکی از این فاکتورها عرض جغرافیایی است. ضمن آنکه معمولاً میزان بارندگی با افزایش ارتفاع افزایش می‌یابد و تغییرات آن بستگی به شیب و جهت آن دارد. میزان و شدت بارندگی در مناطق که در جهت باد هستند نسبت به مناطقی که پشت به باد هستند، بیشتر می‌باشد. همچنین با افزایش میزان شیب، تغییرات بارندگی افزایش می‌یابد [۶]. بارندگی در منطقه مورد مطالعه (استان گلستان) عمدتاً ناشی از رطوبت هوا (دریای خزر) بوده است. فاصله از دریای خزر (به عنوان یکی از منابع تامین رطوبت) در میزان بارندگی در سطح استان گلستان موثر است. بنابراین در نظر گرفتن طول و عرض جغرافیایی به عنوان دو پارامتر در تعیین میزان بارندگی منطقه مفید می‌باشد.

۳-۲- تعیین الگوی پراکنش مکانی بارندگی

جدول ۱، همبستگی بین پارامترها را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۱، بارندگی با هیچ‌یک از متغیرها به تنهایی همبستگی معنی‌داری ندارد. از این‌رو، به کارگیری هر یک از این متغیرها به صورت انفرادی در مدل‌سازی نتایج خوبی را ارائه نخواهد

کرد. به عبارت دیگر هیچ یک از متغیرهای توپوگرافی به تنهایی قادر به توضیح الگوی بارندگی نمی باشند. همچنین معادلات خطی به خوبی برای ترسیم روابط بارندگی و متغیرهای توپوگرافی مناسب نبوده است.

جدول ۱- ضریب همبستگی (R) پارامترهای مختلف

بارندگی	ارتفاع	شیب	جهت	طول جغرافیایی
ارتفاع	۰/۳۰			
شیب	۰/۴۰	۰/۱۴		
جهت	۰/۳۳	۰/۳۱	۰/۲۲	
طول جغرافیایی	۰/۲۰	۰/۰۱	۰/۱۰	۰/۰۹
عرض جغرافیایی	۰/۰۳	۰/۱۹	۰/۰۵	۰/۳۳
				۰/۲۸

بنابراین، در این تحقیق به منظور بررسی مدل سازی و پیش بینی مکانی پارامتر بارندگی از مدل رگرسیونی غیرخطی و چند متغیره (طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی، ارتفاع، شیب و جهت شیب) به صورت رابطه (۱) استفاده شد.

$$\begin{aligned}
 P = & b_0 + b_1h + b_2h^2 + b_3h^3 \\
 & + b_4slp + b_5slp^2 + b_6slp^3 \\
 & + b_7asp + b_8asp^2 + b_9asp^3 \\
 & + b_{10}X + b_{11}X^2 + b_{12}X^3 \\
 & + b_{13}Y + b_{14}Y^2 + b_{15}Y^3
 \end{aligned} \quad (1)$$

در این معادله، P: بارندگی بر حسب میلی متر، h: ارتفاع از سطح دریا، Slp: شیب بر حسب درجه، asp: جهت شیب بر حسب درجه، x: طول جغرافیایی بر حسب کیلومتر، y: عرض جغرافیایی بر حسب کیلومتر، b_1, \dots, b_{15} : ضرایب متغیرها و b_0 : عرض از مبدأ می باشد.

با استفاده از نقشه رقومی تغییرات ارتفاع (DEM)، در محیط نرم افزار ArcGIS، نقشه های شیب و جهت شیب ترسیم شدند. برای این منظور از داده های ۲۲ ایستگاه برای مدل سازی و تعیین ضرایب معادله غیرخطی چند متغیره استفاده شد. و از داده های ۱۰ ایستگاه باقیمانده برای اعتبارسنجی مدل و ضرایب محاسبه شده استفاده شد. همچنین به منظور بررسی و تعیین بهترین مدل پیش بینی، از معیارهای خطا سنجی شامل جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین قدرمطلق خطا (MAE) و همبستگی (R)، بر اساس روابط زیر، استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z(x_i) - Z^*(x_i))^2}{n}} \quad (2)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |Z(x_i) - Z^*(x_i)|}{n} \quad (3)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (Z(x_i) - \overline{Z(x_i)})(Z^*(x_i) - \overline{Z^*(x_i)})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Z(x_i) - \overline{Z(x_i)})^2 \sum_{i=1}^n (Z^*(x_i) - \overline{Z^*(x_i)})^2}} \quad (4)$$

$$r = \frac{Z(x_i)}{Z^*(x_i)} \quad (5)$$

$$GSD = \frac{Z(x_i)}{RMSE} \quad (6)$$

$$RE = \frac{\sum_{i=1}^n |Z(x_i) - Z^*(x_i)|}{Z(x_i)} \quad (7)$$

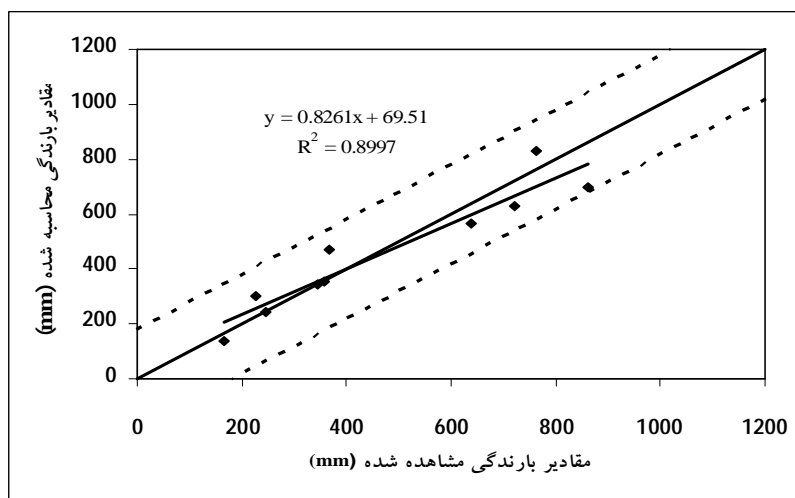
۳- نتایج

به منظور مدل‌سازی مکانی بارندگی از یک مدل رگرسیونی غیرخطی و چند متغیره استفاده شد و به منظور ارزیابی و بررسی عملکرد مدل‌های مورد آزمون و تعیین میزان دقت مدل طراحی شده از سه پارامتر میانگین قدرمطلق خطا (MAE)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب همبستگی (R) استفاده شد و در نهایت با استفاده از این پارامترها، بهترین مدل تشخیص داده شد که نتایج در جدول (۲) ارائه شد.

جدول ۲- نتایج حاصل از مدل‌سازی بارندگی مکانی برای هر دو دوره ساخت و ارزیابی مدل

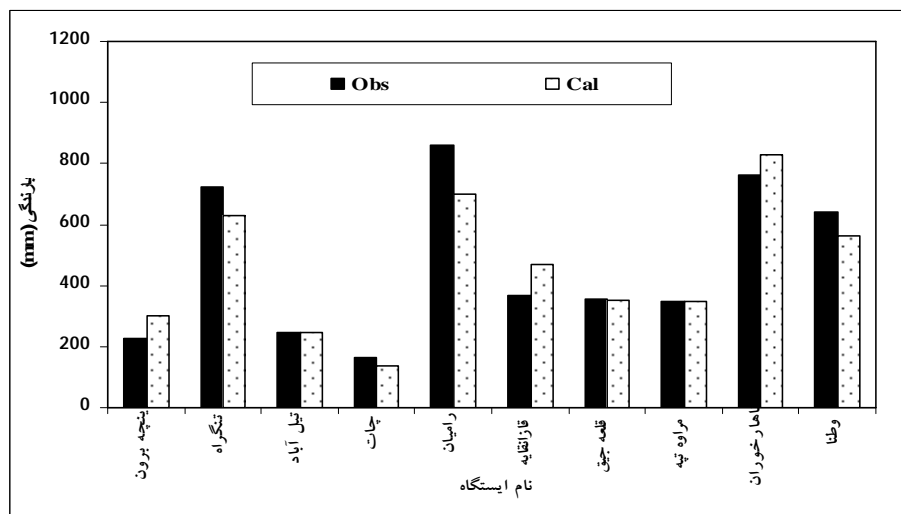
RE	r	GSD	R	RMSE	MAE	
۱۳.۹۹	۱.۰۰	۰.۱۶	۰.۹۲	۸۴.۱۸	۷۰.۲۹	مرحله ساخت مدل
۱۳.۲۲	۰.۹۸	۰.۱۷	۰.۹۵	۷۸.۸۷	۶۰.۹۶	مرحله ارزیابی مدل

به منظور بهتر نشان دادن نتایج این روش، مقادیر محاسبه شده در مقابل مقادیر مشاهده شده در شکل ۲ نشان داده شده‌اند. جهت مقایسه در این شکل‌ها محدوده $\pm 30\%$ خطا نیز نشان داده شده است. علاوه بر اینها، شیب خط رگرسیون با شیب خط ۱:۱ (خط ۴۵ درجه) مقایسه شد. نتایج نشان می‌دهد که در هر دو مرحله، مقادیر پیش‌بینی شده به اندازه کافی به مقادیر اندازه‌گیری شده نزدیک بوده و شیب خط رگرسیون اختلاف جزئی با خط ۴۵ درجه دارد.



شکل ۲- مقایسه نتایج حاصل از به کارگیری مدل رگرسیون غیرخطی چند متغیره در ایستگاه‌های مختلف

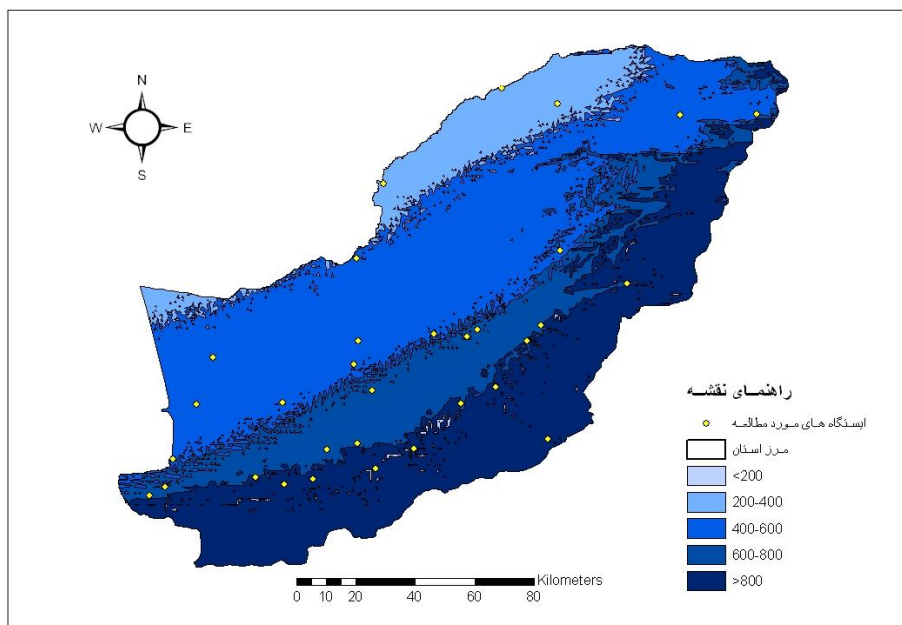
همچنین به منظور نشان دادن کارایی این روش، مقادیر مشاهده شده به همراه مقادیر محاسبه شده در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به شکل (۳) مدل ارائه شده بخوبی توانسته است که تغییرات بارندگی را در ایستگاه‌های مختلف شناسایی و پیش‌بینی نماید.



شکل ۳- مقایسه نتایج پیش‌بینی مدل با مقادیر اندازه‌گیری شده

بعد از مدل‌سازی و تعیین بهترین ضرایب در محیط ArcGIS، توزیع مکانی بارندگی نیز رسم شد. شکل (۴) توزیع مکانی بارندگی در سطح استان گلستان را نشان می‌دهد. این شکل در مجموع به خوبی توانسته است که پراکنش مکانی بارندگی را در سطح استان گلستان نشان دهد. البته به نظر می‌رسد که این مدل نمی‌تواند مقادیر بارندگی را در ارتفاعات جنوبی به خوبی نشان

دهد. زیرا بر اساس تجربیات محلی، ارتفاعات جنوبی استان، بارندگی نسبتاً کمتری را دریافت می‌کنند که با توجه به عدم پوشش این مناطق توسط ایستگاه‌های باران‌سنجی این موضوع در مدل نتوانسته‌است در نظر گرفته شود.



شکل ۴- توزیع مکانی بارندگی بر اساس مدل رگرسیونی چند متغیره غیرخطی در استان گلستان

۴- فهرست منابع

- [۱] میثاقی، ف.، محمدی، ک. (۱۳۸۵). پهنه‌بندی اطلاعات بارندگی با استفاده از روش‌های امار کلاسیک و زمین آمار و مقایسه با شبکه‌های عصبی مصنوعی. مجله علمی کشاورزی، ۲۹(۴)، ۱-۱۳.
- [2] Sharples J, Hutchinson MF, Jellett DR. (2005). On the horizontal scale of elevation dependence of Australian monthly precipitation. *Journal of Applied Meteorology* 44(12):1850–1865.
- [3] Johansson B, Chen DL. (2005). Estimation of areal precipitation for runoff modeling using wind data: A case study in Sweden. *Climate Research* 29(1):53–61.
- [4] Goovaerts P. (2000). Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. *Journal of Hydrology* 228(1):113–129.
- [۵] مساعدی، ا.، شریفان، ح.، و شهابی، م. (۱۳۸۶). طرح پژوهشی مدیریت ریسک با شناخت میکروکلیمای استان گلستان. سازمان هواشناسی کشور، ۱۷۱ ص.
- [6] Fu B. (1992). The effects of topography and elevation on precipitation [in Chinese with English abstract]. *Acta Geographica Sinica* 47(4):302–314.