

افزایش دقت نقشه‌های هم بارش ماهانه و سالانه با استفاده از متغیر کمکی در استان مازندران

علیرضا یوسفی کبریا^{۱*}، مهدی نادی^{۲*} و شمیمه شیخی ارجنکی^۳

چکیده

روش‌های درون‌یابی، کاربرد وسیعی در مطالعات هواشناسی و هیدرولوژی دارند. همچنین از این روش‌ها، در تخمین داده‌های هواشناسی در مکان‌های بدون داده استفاده می‌شود. با توجه به موقعیت خاص و توپوگرافی پیچیده استان مازندران و از طرفی نبود ایستگاه‌های هواشناسی مرتفع با آمار بلند مدت در آن و همچنین ماهیت تصادفی بودن داده‌های بارش، تعیین روش مناسب درون‌یابی داده‌های بارندگی ماهانه و سالانه در این استان ضروری به نظر می‌رسد. در این پژوهش چهار روش درون‌یابی شامل کریجینگ عمومی، کوکریجینگ، وزنی عکس فاصله و گرادیان خطی سه‌بعدی با یکدیگر مقایسه شدند. در تحلیل واریوگرافی داده‌های بارندگی، پنج مدل نیم تغییرنا بر داده‌ها برازش داده شد و ارزیابی روش‌ها بر اساس میانگین مربعات خطا و میانگین خطای اریب انجام گرفت. نتایج تحلیل واریوگرافی نشان داد مدل‌های کروی و نمایی به‌عنوان بهترین مدل نظری نیم تغییرنا هستند. با مقایسه روش‌های درون‌یابی مورد بررسی، روش گرادیان خطی سه‌بعدی، مناسب‌ترین روش درون‌یابی داده‌های بارندگی ماهانه و سالانه تشخیص داده شد؛ به‌گونه‌ای که در مقایسه با سایر روش‌های درون‌یابی، خطای تخمین بارش سالانه را بیش از ۱۰۰ میلی‌متر کاهش داد. همچنین میزان خطای اریبی آن نزدیک به صفر است. البته دقت تخمین آن در ماه‌های گرم و کم بارش کاهش می‌یابد. بررسی نقشه هم بارش سالانه با روش منتخب نشان داد که حلقه پربارش استان در سواحل غربی و کمترین بارش در ارتفاعات استان به‌وقوع می‌پیوندد. همچنین با حرکت از غرب به شرق و از شمال به جنوب از مقدار بارش کاسته می‌شود. به علاوه نتایج پژوهش نشان داد روش‌هایی که از متغیر ارتفاع به‌عنوان متغیر کمکی استفاده می‌کنند، نسبت به روش‌های دیگر از دقت بالاتری برخوردارند.

واژه‌های کلیدی: درون‌یابی، زمین‌آمار، گرادیان خطی سه‌بعدی، متغیر کمکی.

ارجاع: یوسفی کبریا، ع. نادی، م. و شیخی ارجنکی ش. ۱۳۹۹. افزایش دقت نقشه‌های هم بارش ماهانه و سالانه با استفاده از متغیر کمکی در استان مازندران. مجله پژوهش آب ایران. ۳۸: ۱۰۷-۱۱۴.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری.

۲- استادیار هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری.

۳- دانشجو کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری

* نویسنده مسئول: mehdi.nadi@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۲۹

مقدمه

در بسیاری از مطالعات اقلیمی و مدیریت منابع آب، مدل‌های هیدرولیکی، پیش‌بینی سیلاب، مطالعات تغییر اقلیم، برآورد بیلان آب، برنامه‌ریزی‌های آبیاری و مانند آن، وجود داده‌های بارندگی و به خصوص توزیع مکانی آن (نقشه هم بارش)، اهمیت ویژه‌ای دارند (نادی و همکاران، ۱۳۹۱). برآورد بارش روزانه در نقاط بدون آمار و نیز اطلاع از توزیع مکانی آن در تحلیل‌های منطقه‌ای، بارش مساحتی، استفاده در الگوهای بارش رواناب، حداکثر بارش محتمل، پیش‌بینی سیلاب و غیره مورد نیاز است (دیگمن، ۲۰۰۲). الگوریتم‌های متفاوتی برای درون‌یابی فضایی وجود دارد که به طور کلی در دو دسته آماری و زمین آماری قرار می‌گیرند (کاراتال و همکاران، ۱۹۹۸). در روش‌های آماری مانند روش گرادایانی درون‌یابی بر اساس یک رابطه آماری بین متغیر اصلی و کمکی انجام می‌شود؛ اما روش‌های زمین آماری مانند کریجینگ و ... کمیت همبستگی مکانی نقاط نمونه‌برداری شده را مدنظر قرار می‌دهد و تخمین را بر اساس موقعیت قرارگیری مکان نمونه‌های اندازه‌گیری نشده انجام می‌دهد (تازه و همکاران، ۱۳۸۷).

امینی و همکاران (۱۳۹۷) با مقایسه شش روش درون‌یابی شامل عکس مجذور فاصله، وایزش خطی چندگانه، گرادایان به علاوه عکس مجذور فاصله، کریجینگ ساده، کریجینگ معمولی و کریجینگ جهانی، برای پهنه‌بندی بارش‌های میانگین ماهانه، فصلی و سالانه برای ۳۵۴ ایستگاه همدیدی اصلی کشور، دریافتند که روش گرادایان به علاوه عکس مجذور فاصله نسبت به سایر روش‌ها دقت بالاتری دارد. قربانی (۱۳۹۰) تغییرات مکانی بارش سالانه استان گیلان را بررسی کرد که روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی با روش‌های معمول درون مقایسه شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی دارای کمترین خطا بوده است. نادی و همکاران (۱۳۹۱) هفت روش درون‌یابی، شامل کریجینگ عمومی، کوکریجینگ، کریجینگ با روند خارجی، رگرسیون کریجینگ، وزنی عکس فاصله، اسپلاین و گرادایان خط سه‌بعدی را برای داده‌های بارش سالانه و ماهانه استان خوزستان را بررسی کردند که نتایج این مطالعه نشان داد، تمامی روش‌ها به جز روش گرادایان کریجینگ در برآورد مقادیر زیاد بارندگی دچار خطای کم برآوردی هستند.

نیک‌نژاد و همکاران (۱۳۹۲) به ارزیابی میزان دقت روش‌های درون‌یابی بارش متداول شامل وزنی عکس فاصله، اسپلاین و کریجینگ در نقشه میزان بارش شهرستان خرم‌آباد پرداختند که براساس نتایج حاصل روش وزنی عکس فاصله از دقت بالاتری برای منطقه مورد مطالعه برخوردار بود.

محدوده پستی و بلندی در استان مازندران بین ۶۱- تا ۵۶۱۰ متر نوسان می‌کند که باعث ایجاد اقلیم‌های گوناگون در این استان می‌شود.

از سویی دیگر وجود دریای خزر در شمال و رشته کوه البرز در جنوب استان باعث پیچیدگی بیشتر تغییرات مکانی بارش در این استان می‌شود؛ به گونه‌ای که تخمین بارش در مناطق بدون ایستگاه هواشناسی به‌خصوص در ارتفاعات صعب‌العبور استان که منبع تغذیه رودخانه‌های بزرگی است، با خطای بیشتری همراه می‌شود (نادی و همکاران، ۱۳۹۱). با توجه به اینکه ارتفاع ایستگاه‌های موجود در استان بین ۲۱- تا ۲۱۳۴ متر است، اطلاعاتی در خصوص داده‌های بارشی بالاتر از ارتفاع ایستگاه داده بارش در دسترس نیست؛ به همین منظور در این پژوهش سعی شده است اولاً با مقایسه چهار روش درون‌یابی وزنی عکس فاصله، کریجینگ، کوکریجینگ و گرادایان خطی سه‌بعدی، روش مناسب تهیه نقشه‌های هم بارش معرفی و ثانیاً نقش متغیرهای کمکی در برآورد بارش در استان بررسی شود.

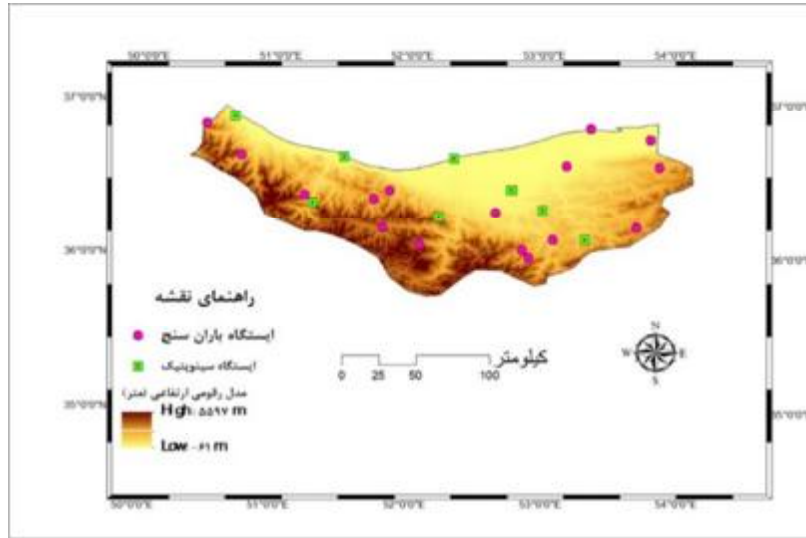
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان مازندران با داشتن ۲۳۷۵۶/۴ کیلومترمربع مساحت، بین طول جغرافیایی ۳۴° ۵۰' و ۵۴° ۱۰' و عرض جغرافیایی ۳۵° ۴۷' و ۳۶° ۳۵' در جنوب دریای خزر و در شمال رشته کوه البرز قرار دارد. عوامل مؤثر بر آب و هوای این منطقه را می‌توان به وجود کوه‌های البرز، جهت قرار گرفتن آن‌ها، ارتفاع، نزدیکی به دریا، پوشش گیاهی، بادهای محلی، عرض جغرافیایی متوسط و پیش آمدن توده هوای شمالی و غربی نسبت داد (عطایی و همکاران، ۱۳۹۳). در این پژوهش و برای ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی بارش استان مازندران از داده‌های ۲۵ ایستگاه سینوپتیک و باران‌سنجی استفاده شد که در شکل ۱ موقعیت مکانی ایستگاه‌ها نشان داده شده است. با بررسی

ارتفاع ۲۲۰۰ متر موجود نیست، به این منظور در این پژوهش از متغیر ارتفاع به عنوان متغیر کمکی استفاده شد که بتوان تخمین دقیق تری از بارش ارتفاعات داشت.

دوره آماری ایستگاهها (۲۰۱۸-۱۹۹۱) از داده‌های سال ۲۰۱۲ برای انتخاب بهترین روش درون‌یابی استفاده شد. از آنجا که ارتفاع ایستگاه‌های استان مازندران بین ۲۱۲۰ و ۲۱- متر تغییر می‌کند، داده‌های بارشی برای بالاتر از



شکل ۱- موقعیت مکانی ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده در استان مازندران

راستای طول، عرض و ارتفاع منطقه، روند خطی وجود دارد که با برازش یک رابطه رگرسیون خطی چندگانه بین متغیر اصلی و متغیرهای کمکی، می‌توان در نقاط مختلف با داشتن طول و عرض و ارتفاع آن، مقدار متغیر اصلی را برآورد کرد (نادی و همکاران، ۱۳۹۱).

در این پژوهش برای محاسبه مقادیر برآوردی مدل‌ها از نرم‌افزار GS+ و Mini tab استفاده شد. همچنین از نرم‌افزار Arc Gis برای ترسیم نقشه‌ها و از نرم‌افزار Excel برای سایر محاسبات استفاده شده است.

معیارهای ارزیابی روش‌ها

برای انتخاب بهترین روش درون‌یابی در این پژوهش، از میانگین مربعات خطا و خطای اریب استفاده شد که بر اساس معادلات (۱) و (۲) محاسبه می‌شوند:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [\hat{Z}(x_i) - Z(x_i)]^2}{N}} \quad (1)$$

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [\hat{Z}(x_i) - Z(x_i)] \quad (2)$$

که در آن، $\hat{Z}(x_i)$ مقدار برآورد شده، $Z(x_i)$ مقدار مشاهده شده و N تعداد داده‌ها هستند.

روش‌های درون‌یابی

روش‌های درون‌یابی داده‌های مکانی، برای تخمین یک متغیر در یک نقطه خاص از روی داده‌های واقعی اندازه‌گیری شده در نقاط مجاور، به کار می‌روند (نادی و همکاران، ۱۳۹۱). روش عکس فاصله با وزن‌دهی به داده‌های اطراف نقطه مورد برآورد، کمیت مجهول را به دست آورده و درون‌یابی را انجام می‌دهد. همچنین روش‌های درون‌یابی با استناد به این قانون جغرافیایی که هر پدیده‌ای مرتبط است با پدیده دیگری؛ اما پدیده‌های نزدیک نسبت به پدیده‌های دور وابسته‌ترند، از یکسری نقاط با مقادیر معلوم در اطراف نقاط با مقادیر مجهول استفاده می‌کند و مقادیر آن‌ها را تخمین می‌زنند (صالحی و همکاران، ۲۰۱۵). روش کریجینگ درون‌یابی پیشرفته‌ای است که برای داده‌هایی که دارای روندهای موضعی تعریف شده باشند، مناسب است و با کمترین واریانس تخمین، درون‌یابی می‌کند که میزان خطای آن تابع مشخصات واریو گرام است (دلآوری و همکاران، ۱۳۹۳). چنانچه متغیر کمکی در تمام نقاط شبکه موجود باشد، کوکریجینگ روش مناسبی است (فرانسیسکو، ۲۰۱۰). در روش گرادیان خطی سه‌بعدی، فرض بر آن است که در

نتایج و بحث

بررسی نیم تغییرنمای داده‌های بارش

در تحلیل واریوگرافی در این پژوهش پنج نوع مدل نیم تغییرنما شامل مدل‌های کروی^۱، گوسی^۲، نمایی^۳، خطی^۴ و خطی دارای حد آستانه^۵ بر داده‌ها برازش داده شد.

برای انتخاب بهترین نیم تغییرنما از ضریب تعیین و نسبت تغییرات ساختاردار به تغییرات کل استفاده شد؛ به گونه‌ای که هرچه این نسبت و همچنین ضریب تعیین به یک نزدیک‌تر باشد، مدل انتخابی بهتر است. نتایج بهترین مدل نیم تغییرنما در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به این جدول، بهترین مدل‌ها در این پژوهش (به جز ماه گرم ژوئیه که ضریب تعیین پایینی داشته است) مدل‌های کروی و نمایی بوده است. همچنین بررسی نتایج این جدول نشان می‌دهد که در ماه‌های گرم ساختار مکانی داده‌های بارش ضعیف‌تر می‌شود. همچنین دامنه تأثیر داده‌های بارش در این استان در حدود ۳۰ کیلومتر است.

جدول ۱- پارامترهای نیم تغییرنما برای داده‌های بارندگی

ماهانه و سالانه استان مازندران

ماه	مدل	R ²	C/(C+C0)	دامنه تأثیر (m)
ژانویه	کروی	۰/۷۷	۱	۱۱۸۰۰
فوریه	کروی	۰/۲۲	۰/۹۹	۲۲۸۰۰
مارس	نمایی	۰/۲۹	۰/۹۹	۱۵۸۰۰
آوریل	نمایی	۰/۷۹	۰/۹۹	۳۷۵۰۰
می	کروی	۰/۵۸	۰/۹۹	۳۶۰۰۰
ژوئن	نمایی	۰/۱۵	۰/۶۸	۲۶۱۵۰۰
ژوئیه	کروی	۰/۷۰	۰/۹۹	۳۱۳۰۰
آگوست	نمایی	۰/۵۸	۰/۹۹	۱۳۸۰۰
سپتامبر	نمایی	۰/۷۹	۰/۹۹	۱۴۳۰۰
اکتبر	کروی	۰/۴۷	۰/۹۹	۳۸۵۰۰
نوامبر	نمایی	۰/۷۲	۰/۹۹	۳۴۱۰۰
دسامبر	نمایی	۰/۵۶	۰/۹۹	۲۲۶۰۰
سالانه	کروی	۰/۵۲	۰/۹۹	۳۵۱۰۰

انتخاب بهترین متغیر کمکی

نتایج همبستگی داده‌های بارش ماهانه و سالانه با متغیرهای طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌گونه که در این جدول مشاهده

می‌شود، پارامتر کمکی ارتفاع نسبت به سایر پارامترهای کمکی (طول و عرض جغرافیایی) در تمامی ماه‌ها به جز ماه ژوئیه، دارای همبستگی معناداری است. همچنین همبستگی متغیرهای طول و عرض جغرافیایی با بارش نیز در بعضی از ماه‌ها معنادار است؛ بنابراین در مجموع می‌توان گفت که پارامتر کمکی ارتفاع بهترین متغیر کمکی در بین سایر متغیرهای کمکی مورد بررسی برای تخمین بارش ماهانه و سالانه استان مازندران است.

جدول ۲- میزان همبستگی پارامترهای کمکی با بارش ماهانه و سالانه

ماه	طول		عرض		ارتفاع	
	r	P	r	P	r	P
ژانویه	۰/۳۴	۰/۲۰	۰/۱۰	۰/۳۳	۰	۰/۷۸
فوریه	۰/۰۸	۰/۳۴	۰/۹۴	۰/۰۱	۰/۰۷	۰/۳۸
مارس	۰/۳۵	۰/۱۹	۰/۲۳	۰/۲۴	۰/۰۳	۰/۴۳
آوریل	۰/۰۱	۰/۴۷	۰/۳۸	۰/۱۸	۰/۰۰۲	۰/۶۲
می	۰/۰۲	۰/۴۵	۰/۹۷	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۳۶
ژوئن	۰/۵۸	۰/۱۲	۰/۰۴	۰/۴۱	۰/۰۳	۰/۴۵
ژوئیه	۰/۰۴	۰/۵۵	۰/۳۰	۰/۲۱	۰/۶۷	۰/۰۹
آگوست	۰/۱۵	۰/۲۹	۰/۰۱	۰/۴۹	۰/۰۲	۰/۶۱
سپتامبر	۰/۳۲	۰/۲۰	۰/۲۹	۰/۲۱	۰/۰۱	۰/۵۰
اکتبر	۰/۵	۰/۱۴	۰/۰۳	۰/۴۱	۰/۰۷	۰/۳۸
نوامبر	۰/۰۹	۰/۳۴	۰/۰۶	۰/۳۷	۰/۰۰۳	۰/۵۹
دسامبر	۰/۹۹	۰/۰۰۲	۰/۰۲	۰/۴۵	۰	۰/۷۳
سالانه	۰/۵۳	۰/۱۳	۰/۰۲	۰/۴۶	۰	۰/۷۳

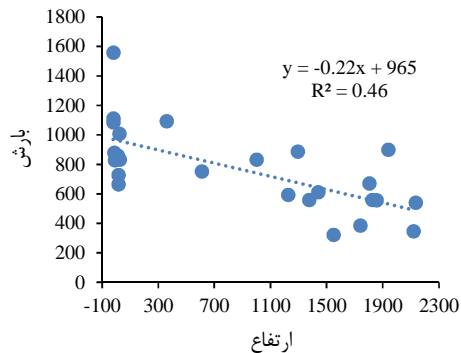
نمودار پراکنش تغییرات بارش سالانه با ارتفاع به همراه معادله رگرسیونی در شکل ۲ نشان داده شده است که برازش نسبتاً خوب معادله خطی بر نوسانات بارش با ارتفاع را نشان می‌دهد.

با توجه به نتایج به دست آمده از جدول فوق، اهمیت نقش متغیرهای طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع برای مکانی کردن داده‌های بارش مشخص شد. بنابراین برای استفاده در معادله گردایان سه‌بعدی از متغیرهای طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع استفاده شد که معادلات ماهانه برآورد بارش در جدول ۳ نشان داده شده است. شایان ذکر است که همه معادلات این جدول در حد ۹۵ درصد معنی‌دار است. با مشاهده این جدول مشخص می‌شود که

- 1- Spherical
- 2- gaussian
- 3- exponential
- 4- linear
- 5- Linear to sill

که از مقدار متوسط خطای ۲۸۴ میلی‌متر در سال خطا به ۱۸۴ میلی‌متر تقلیل یافت.

بررسی میانگین خطای اریب روش‌های درون‌یابی این پژوهش نشان داد که بیشترین خطا را روش زمین آماری کوکریجینگ داراست و در روش وزنی عکس فاصله خطای اریب کمتری نسبت به دو روش زمین آماری وجود دارد؛ ولی کمترین خطا اریب را در بین روش‌های درون‌یابی مورد بررسی روش گرادیان خطی سه‌بعدی دارد، که در جدول ۵، نشان داده شده که تقریباً نزدیک به صفر است.



شکل ۲- پراکنش بارش سالانه با ارتفاع در استان مازندران

ضریب تعیین معادلات در ماه‌های گرم کمتر می‌شود که ممکن است به علت افزایش آثار محلی و کاهش آثار سیستمی در ماه‌های خشک باشد.

مقایسه روش‌های درون‌یابی

برای مقایسه روش‌های درون‌یابی مورد بررسی از میانگین مربعات خطا و میانگین خطای اریب استفاده شد. بررسی میانگین مربعات خطا در جدول ۴، نشان می‌دهد که بیشترین خطای برآورد مربوط به ماه‌های پربارش فوریه، نوامبر و دسامبر است. نتایج نشان می‌دهد خطای روش کوکریجینگ نسبت به روش کریمینگ و وزنی عکس فاصله بیشتر است. مقایسه روش‌های مورد بررسی در ماه‌های مختلف با یکدیگر نشان داد که روش گرادیان خطی سه‌بعدی در همه ماه‌های سال دارای کمترین خطای برآورد داده‌های بارش است و به نظر می‌رسد سایر روش‌های درون‌یابی تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند. در مورد بارش سالانه نیز نتایج نشان داد روش گرادیان خطی تخمین را بیش از ۳۵ درصد کاهش داد؛ به گونه‌ای

جدول ۳- معادله گرادیان خطی سه‌بعدی بارش ماهانه و سالانه

ماه	معادله رگرسیونی گرادیان سه‌بعدی	ضریب تعیین
ژانویه	$P = -46 + 1/36 x + 1/6 y - 0.02 z$	۰/۶۰
فوریه	$P = -44 + 13/3 x - 14/9 y - 0.02 z$	۰/۲۲
مارس	$P = -562 - 6/85 x - 2/2 y - 0.01 z$	۰/۲۱
آوریل	$P = 469 - 6/99 x - 2/5 y + 0.01 z$	۰/۵۵
می	$P = 219 - 6/18 x + 3/3 y + 0.06 z$	۰/۳
ژوئن	$P = -554 - 4/37 x + 23 y - 0.01 z$	۰/۲۷
ژوئیه	$P = 1036 - 16/82 x - 2/9 y - 0.06 z$	۰/۳۳
اگوست	$P = -87 - 9/61 x + 17/6 y - 0.01 z$	۰/۴۷
سپتامبر	$P = -1053 + 8/1 x + 20/1 y - 0.02 z$	۰/۲۱
اکتبر	$P = -2459 + 8/29 x + 57/7 y - 0.05 z$	۰/۲۵
نوامبر	$P = 2741 - 37/8 x - 15/9 y - 0.06 z$	۰/۵۴
دسامبر	$P = -237 - 8/21 x + 22/2 y - 0.05 z$	۰/۶۵
سالانه	$P = 511 - 65/8 x + 107 y - 0.22 z$	۰/۵۴

شکل می‌توان به این نتیجه رسید که نقشه هم بارش با این دو روش پراکنده‌گی بارش را با توجه به اقلیم خاص و متنوع استان مازندران، به خوبی نشان نداده است؛ اما نقشه‌های هم بارش سالانه رسم شده به روش کوکریجینگ و گرادیان خطی سه‌بعدی بهتر از دو روش دیگر است و پراکنده‌گی بارش از غرب به شرق استان را در

ترسیم نقشه‌های هم بارش

برای درک بهتر روش‌های مورد بررسی نقشه تغییرات بارش سالانه استان، با روش‌های مختلف مورد بررسی ترسیم شد (شکل‌های ۳ الی ۶). مقایسه شکل‌های ۳ و ۴ نشان می‌دهد که نقشه هم بارش وزنی عکس فاصله و کریمینگ تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند و از هر دو

غربی استان تا سواحل مرکزی استان تا شهرستان نور و نوشهر تشکیل می‌شود. همچنین هرچه از ساحل دور می‌شویم و به ارتفاعات پیش می‌رویم مقدار بارش کاهش می‌یابد. به علاوه شیب تغییرات بارش ارتفاع در غرب استان بیشتر از شرق که دلیل آن توپوگرافی خاص و پیچیده غرب استان مازندران است.

شکل‌های ۵ و ۶ می‌توان به وضوح مشاهده کرد همان‌گونه که از شکل پیداست، در بین چهار نقشه هم بارش سالانه رسم شده، بهترین نقشه هم بارش متعلق به نقشه هم بارش گرادیان خطی سه‌بعدی است که از معادله رگرسیونی جدول ۳ برای ترسیم نقشه هم بارش منطقه موردنظر استفاده شد. نقشه حاصل از روش منتخب به خوبی نشان می‌دهد که حلقه پربارش استان از منتهی‌الیه سواحل

جدول ۴- مقادیر RMSE روش‌های درون‌یابی برای داده‌های بارندگی ماهانه و سالانه

ماه	گرادیان سه خطی بعدی	کوکرچینگ	وزنی عکس فاصله	کریچینگ
ژانویه	۱۶/۱	۲۰/۵	۲۳/۷	۲۱/۱
فوریه	۴۵/۲	۶۷/۹	۵۳/۵۶	۵۳/۲
مارس	۲۰/۸	۳۱/۱	۲۶/۳	۲۷/۵
آوریل	۱۲/۵	۱۶/۲	۱۹/۳	۱۸/۰۵
می	۱۳/۵	۱۵/۴	۱۵/۲۸	۱۵/۴
ژوئن	۲۵	۳۹/۹	۳۲/۶	۳۳/۷
ژوئیه	۲۲/۵	۲۹	۲۵/۶	۲۶/۴
اگوست	۱۹/۳	۲۷/۳	۲۷/۴	۲۷/۱
سپتامبر	۴۲/۲	۵۰/۳	۴۷/۹	۴۷/۴
اکتبر	۳۰/۱	۴۰/۳	۳۶/۷	۳۷/۱
نوامبر	۵۰/۳۹	۶۷/۹	۷۴/۷	۷۱/۱
دسامبر	۳۷/۶	۶۶/۲	۶۶	۶۶/۲۹
سالانه	۱۸۴/۴	۳۱۲	۲۸۸/۲	۲۸۴/۵۴

جدول ۵- مقادیر MBE روش‌های درون‌یابی برای داده‌های بارندگی ماهانه و سالانه

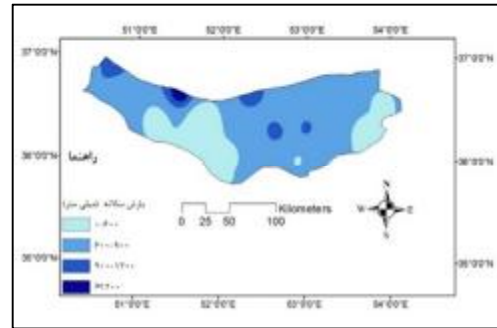
ماه	گرادیان خطی	کوکرچینگ	وزنی عکس فاصله	کریچینگ
ژانویه	-۰/۰۴	-۲/۵۳	-۲/۵	-۲/۹
فوریه	-۰/۰۵	-۰/۱	-۰/۴۷	-۰/۲۳
مارس	-۰/۰۴	-۲/۲	-۳	-۳/۵
آوریل	-۰/۰۵	-۳/۹	-۸/۳۷	-۶
می	-۰/۰۳	-۱/۱۶	-۱/۱	-۱/۳
ژوئن	-۰/۰۵	-۱/۸۸	-۱/۴	-۰/۵۳
ژوئیه	-۰/۰۴	-۱	-۱/۱۸	-۰/۳۶
اگوست	-۰/۰۵	-۰/۹	-۰/۱۵	-۰/۷۳
سپتامبر	-۰/۰۶	-۱/۲	-۰/۸۴	-۰/۴۷
اکتبر	-۰/۰۴	-۱/۸	-۲/۷	-۳/۸۴
نوامبر	-۰/۰۵	-۴/۵	۱	-۲/۴۹
دسامبر	-۰/۰۴	-۱/۸۳	۲	۰/۰۳
سالانه	-۰/۰۲	-۱۶/۵	-۲/۲	-۵/۸

نتیجه‌گیری

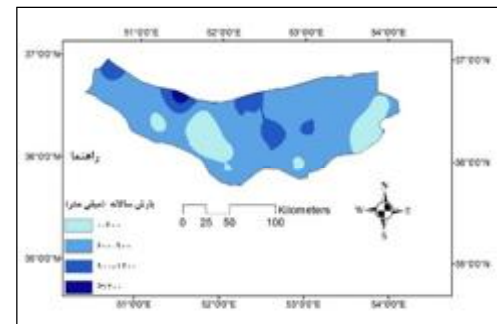
در این پژوهش برای تعیین بهترین روش درون‌یابی داده‌های بارش ماهانه و سالانه استان مازندران، چهار روش درون‌یابی، شامل وزنی عکس فاصله، کریجینگ، کوکریجینگ و گرادیان خطی سه‌بعدی با یکدیگر مقایسه شدند. بررسی میانگین مربعات خطا و میانگین خطا اربب نشان داد که بهترین روش درون‌یابی برای بارش‌های دراز مدت ماهانه روش گرادیان خطی سه‌بعدی است؛ اما مشکل این روش و روش‌های مورد بررسی در این پژوهش، بیش‌برآورد کردن بارش ایستگاه‌های مرتفع و کم‌برآوردی بارش در نواحی ساحلی و جلگه‌ای استان که دلیل آن کمبود ایستگاه در ارتفاعات بالاتر از ۲۰۰۰ متر استان مازندران است؛ به همین سبب، برآورد بارش در ارتفاعات استان با خطا مواجه می‌شود. بررسی نقشه‌های هم بارش سالانه نشان داد که روش‌های کوکریجینگ و گرادیان خطی سه‌بعدی، تخمین منطقی‌تری از تغییرات مکانی بارش در این استان دارند. بر اساس نمودار تغییرات بارش-ارتفاع به‌نظر می‌رسد در این استان به ازای هر ۱۰۰۰ متر افزایش ارتفاع به‌طور متوسط ۵۰۰ میلی‌متر از بارش سالانه کاسته می‌شود. از بررسی نقشه هم بارش سالانه با روش منتخب می‌توان دریافت که تنها سواحل غربی استان بارش بیش از ۱۰۰۰ میلی‌متر در سال را در استان تجربه می‌کنند. همچنین شیب تغییرات بارش با ارتفاع در غرب استان بیشتر از شرق است و به‌دلیل توپوگرافی پیچیده غرب استان، سواحل غربی بارش بیشتری نسبت به ارتفاعات غرب دارد.

منابع

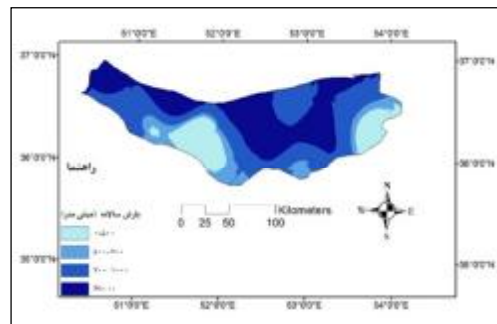
۱. امینی م. هدایتی دزفولی ا. و آزادی م. ۱۳۹۷. پهنه‌بندی بارش بر روی ایران با استفاده از روش‌های مختلف درون‌یابی. مجله علمی ترویجی نیوار. ۱۰۱-۱۰۰(۱): ۶۸-۷۴.
۲. تازه م. کوثری م. بخشایی م. و خسروی ی. ۱۳۸۷. پهنه‌بندی خشکی، بر اساس نمایه ترانسو با استفاده از روش‌های زمین آماری و GIS استان اصفهان. اولین کنفرانس بین‌المللی گاه‌شناسی درختی و تغییر اقلیم در اکوسیستم‌های خزر، استان ساری، پژوهشکده اکوسیستم‌های خزر، ۲۷ اردیبهشت. ۲۳-۳۲.



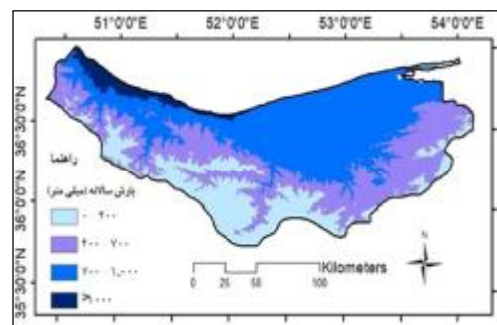
شکل ۳- نقشه توزیع مکانی بارش استان مازندران بر اساس روش وزنی عکس فاصله



شکل ۴- نقشه توزیع مکانی بارش استان مازندران بر اساس روش کریجینگ



شکل ۵- نقشه توزیع مکانی بارش استان مازندران بر اساس روش کوکریجینگ



شکل ۶- نقشه توزیع مکانی بارش استان مازندران بر اساس روش گرادیان خطی سه‌بعدی

International Journal of Climatology. 30: 620-631.

۳. دلاوری د. میرزایی‌زاده م. و تارک م. ۱۳۹۶. ارزیابی روش‌های مختلف کریجینگ، در پهنه‌بندی بارندگی استان ایلام. دومین همایش ملی معماری، عمران و محیط‌زیست شهری، همدان، دانشکده شهید مفتح، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، مرکزبنیان همایش اندیشه‌سازان توسعه بوعلی، ۱۲ مرداد. ۴۵-۵۵.

۴. صالحی ه و زندوکیلی ه. ۱۳۹۲. ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی و انتخاب مناسب‌ترین روش درون‌یابی مکانی (مطالعه موردی: غرب شهر مریوان، ایران). مجله ایران اکولوژی. ۱(۳): ۱۵۳-۱۶۶.

۵. عطایی ه. توانا م و پارسا ل. ۱۳۹۳. تحلیل آب و هوای استان مازندران و پهنه‌بندی اقلیمی استان مازندران، با استفاده از نرم‌افزار GIS. دومین همایش ملی گردشگری جغرافیا و محیط‌زیست، استان همدان، ۲۲ آبان. ۱۱۸-۱۲۸.

۶. قربانی خ. ۱۳۹۰. رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی، روشی برای ترسیم نقشه‌های هم بارش استان گیلان. نشریه آب و خاک. ۲۶(۳): ۷۴۳-۷۵۲.

۷. نادری م. جامعی م. بذرافشان ج. و جنت رستمی س. ۱۳۹۱. ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی، داده‌های بارندگی ماهانه و سالانه استان خوزستان. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. ۴۴(۴): ۱۱۷-۱۳۰.

۸. نیک‌نژاد م. مهدوی ع. و کریمی ا. ۱۳۹۲. ارزیابی میزان افت روش‌های مختلف درون‌یابی، در تهیه نقشه میزان بارش شهرستان خرم‌آباد. اولین همایش گردشگری، جغرافیا و محیط‌زیست پایدار. محل برگزاری دانشکده شهید مفتح همدان، همدان- انجمن ارزیابان محیط‌زیست هگمتانه، ۳۰ آبان. ۸۹-۹۸.

9. Carratal A. Gomez A. and Bellot j. 1998. Mapping Rain Composition in the East of Spain by Applying Kriging- Water, Air and soil Pollution. 104(1-2): 9-27.
10. Dingman S. L. 2002. Physical. Hydrology (second edition). Prentice_ hall, Inc., Nejersey. 664 p.
11. Francisco J. M. 2010. Comparison of Different Geostatistical Approaches to Map Climate Variables: Application to Precipitation.