اقیانوس‌شناسی/ سال نهم/ شماره ۳۵/ پاییز ۴۷/۹/۱۳۹۷_۳۹
DOI: 10.29252/JOC.2018.9.1289

بررسی روش‌های درون‌یابی بر داده‌های بارش و دما حوزه جنوب دریای خزر (فصل‌های تابستان و زمستان)

محبوبه مولوی عربشاهی[1*]، کوثر شاولی کوه‌شوری[2]

۱- استادیار، هیات علمی گروه ریاضی کاربردی، دانشکده ریاضی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، پست الکترونیکی: molavi@iust.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد ریاضی کاربردی- آنالیز عددی، دانشکده ریاضی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، پست الکترونیکی: kowsarshahvali@mathdep.iust.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۷/۴/۶ ** نویسنده مسوول* *تاریخ پذیرش: ۹۷/۷/۲۳*

چکیده

هدف از پژوهش حاضر بررسی روش‌های درون‌یابی برای تخمین و بازسازی داده‌های اقلیمی است. باتوجه به این که دو عامل بارندگی و دما در تصمیم‌گیری‌های کاربردی بسیاری به عنوان تاثیرگذارترین پارامترها شناخته می‌شوند و در بسیاری از مطالعات فیزیک زمین، کشاورزی، هیدرولیکی و... از داده‌های اقلیمی استفاده می‌شوند؛ اما همواره داده‌های اقلیمی یا در تمامی بازه‌ها موجود نیستند و یا پژوهشگران نیازمند داده‌های هواشناسی برای پیش‌بینی شرایط اقلیمی هستند. در این موارد از روش‌های مختلف درون‌یابی استفاده می‌شود. لذا در این پژوهش روش‌های موجود برای درون‌یابی داده‌های دما و بارش در سه ایستگاه سینوپتیک رامسر، بابلسر و بندر انزلی طی دوره آماری سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۷ مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج پژوهش حاکی از آن است که درون‌یابی‌های نویل و اسپیلاین برای تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه، تقریب دقیق‌تری را ارائه می‌دهند. از دیگر یافته‌های پژوهش این است که درون‌یابی دما برای ماه‌های فصل تابستان نسبت به فصل زمستان دارای خطای کمتری است. همچنین تفاوت معنی‌داری بین درون‌یابی برای ایستگاه‌های مختلف دیده نشد.

کلمات کلیدی: *درون‌یابی، دما، بارش، دریای خزر.*

۱. مقدمه

برخی تغییرات اقلیمی دارای ویژگی‌های معینی مانند روندها، تغییرات سریع و نوسانات هستند. روند اقلیمی، یک افزایش یا کاهش ملایم و یکنواخت میانگین است و نوسانات اقلیمی هر شکلی از تغییر سیستماتیک، منظم یا نامنظم به جز روندها و تغییرات تند هستند. تحقیقات بسیاری در تعیین وجود یا عدم وجود روند سری‌های زمانی اقلیمی مانند دما، بارش و... در مناطق مختلف جهان صورت گرفته است (Price et al., 2000).

دما و بارش دو عامل بسیار مهم و تاثیرگذار در اکثر پژوهش‌های اقلیمی به حساب می‌آیند. نقش دما و تغییرات دمایی اقلیم‌های مختلف و روند افزایش میانگین دمای کره‌ی زمین و تاثیرات این روند بر حیات موجودات زنده، امروزه یکی از مباحث مهم و کلیدی در سراسر جهان به شمار می‌روند. تاثیر بارش نیز بر شرایط محیطی، اقتصادی، اجتماعی و همچنین نقش آن در برنامه‌ریزی خرد و کلان و اهمیت آن جهت اجرای طرح‌های عمرانی و برنامه‌ریزی‌های صحیح و قابل قبول باعث توجه محققان و پژوهشگران در سال‌های اخیر به این عنصر بوده‌است (عساکره و همکاران، ۱۳۹۳).

در تقسیم بندی نواحی اقلیمی ایران که علیجانی (۱۳۹۱) بر اساس متوسط ماهانه بارش و دما انجام داد، ناحیه خزری یکی از پنج ناحیه اقلیمی ایران است که خصوصیات کاملا متمایزی از دیگر نواحی اقلیمی ایران دارد. در ناحیه خزری که در امتداد سواحل جنوبی دریای خزر از آستارا تا گرگان گسترش یافته، بارش مهمترین پدیده جوی و محیطی آن به حساب می‌آید و تاکنون مطالعات فراوانی در زمینه علل وقوع آن انجام شده است. در تمامی این مطالعات به نقش دریای خزر به عنوان یک عامل محلی در ایجاد بارش اشاره شده است (مفیدی و همکاران، ۱۳۹۱ و ۱۳۸۶). دریای خزر به دلیل گستردگی در راستای عرض جغرافیایی، وجود رشته کوه‌های بلند البرز و همچنین سامانه‌های جوی عبوری مختلف از روی آن، نقش به سزایی در فرآیندهای جوی و تعادل آب و هوایی منطقه ایفا می‌کند. چنین نقشی نتیجه برهم کنش جو دریا است. از این‌رو مطالعه نقش دریای خزر به عنوان عامل محلی و نحوه برهم کنش جو دریا کلید اصلی درک نقش دریای خزر در وقوع بارش‌ها در سواحل جنوبی دریای خزر خواهد بود. در بسیاری از پژوهش‌ها، پژوهشگران با داده‌های عددی مواجهه هستند که ناشی از اندازه‌گیری با دستگاه طی دوره‌های زمانی متفاوت است. در این میان به دلایل مختلفی ممکن است داده‌هایی در بازه‌های زمانی خاص از بین رفته و یا موجود نباشند و یا امکان نمونه برداری و ثبت داده‌ها در آن دوره وجود نداشته باشد. در این حالت با اصطلاح داده‌ی از دست رفته مواجه هستیم.

غالبا برآورد بارش روزانه (ماهانه یا سالانه) در نقاط فاقد آمار و نیز اطلاع از توزیع مکانی آن در پروژه‌ها و تحقیقات مختلف مورد نیاز است. این کار اغلب با تعیین معادلات درون‌یابی از طریق وزن‌دهی به ایستگاه‌های مورد مطالعه انجام می‌شود (سیدنژاد گل‌خطمی و همکاران، ۱۳۹۲). همچنین برای تعیین روند در سری‌های زمانی اقلیمی، مطالعات قابل توجهی صورت گرفته که از روش‌های متفاوتی از جمله آزمون‌های آماری پارامتریک و ناپارامتریک برای تعیین روند با سطح اطمینان معین استفاده نموده‌اند. تحقیقات بسیاری برای بازسازی داده‌ها به خصوص داده‌های اقلیمی (موضوع مورد مطالعه در این پژوهش) انجام شده است. همچنین در برخی مواقع علاقه‌مند به پیش‌بینی اطلاعات و داده‌های اقلیمی مربوط به آینده را داریم. همچنین در کشور ما کمتر از روش‌های عددی در بررسی سری‌های اقلیمی استفاده شده است و لازم است نتایج کاربری این نوع روش‌ها مورد مطالعه و بررسی قرار بگیرند. مطالعات نشان داده است که در هر منطقه داده‌های اقلیمی مربوط به دو مولفه‌ی دما و بارش بر شرایط اقلیمی آن منطقه بیشترین تاثیر را دارند.

در زمینه‌ی بازسازی شرایط اقلیمی گذشته می‌توان به پژوهش‌های Kotlyakov و همکاران (۱۹۹۱) در بازسازی دما و پژوهش‌های Touchan و همکاران (۲۰۰۸) در زمینه‌ی بازسازی بارندگی اشاره نمود. همچنین از پژوهش‌های انجام شده در ایران نیز می‌توان به یافته‌های عساکره (۱۳۸۷) اشاره کرد. یافته‌های این محقق نشان داد که در نظر گرفتن الگوی خطی و سپس نمایی برای درون‌یابی بارش، الگوی مناسب‌تری به نظر می‌رسد. با توجه به مطالعات انجام شده به نظر می‌رسد استفاده از روش‌های درون‌یابی به منظور دست‌یابی به داده‌های از دست رفته یا ارائه‌ی یک مدل ریاضی برای استخراج داده‌های مربوط به آینده، گامی مهم در بازسازی و تکمیل داده‌های عددی از جمله داده‌های اقلیمی (داده‌های پژوهش حاضر) باشد. لذا به منظور اعتبار سنجی و مقایسه‌ی روش‌های عددی، استفاده از داده‌های واقعی و کاربردی ایده‌ی مناسبی به نظر می‌رسد.

بررسی تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد برای درون‌یابی داده‌های بارندگی روش‌های متعددی از جمله؛ روش‌های وزنی عکس فاصله، اسپلاین، کریجینگ معمولی، کوکریجینگ، کریجینگ با روند خارجی و رگرسیون کریجینگ Dirks et al., (1998; Jeffrey et al., 2001) و برای درون‌یابی داده‌های مربوط به دما از روش‌های رگرسیون خطی سه بعدی، اسپلاین، رگرسیون کریجینگ سه متغیره و غیره استفاده شده است (Dirks et al., 1998; Phillips et al., 1992; Francisco, 2010). ملاحظه شد که در درون‌یابی داده‌های دما و بارش در مناطق مختلف درون‌یابی‌های متفاوتی به کار گرفته شده است.

۲. مواد و روش‌ها

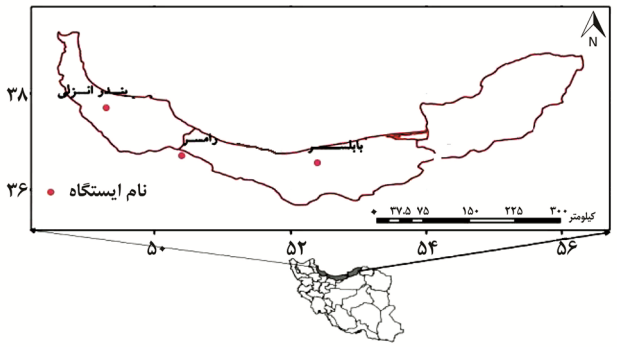
در پژوهش حاضر، درون‌یابی خطی، نویل و اسپلاین برای داده‌های دما و بارش ماهانه‌ی ایستگاه‌های سینوپتیک بندر انزلی، رامسر و بابلسر مورد بررسی قرار گرفتند. در طی این بررسی روش‌های مختلفی برای انتخاب بازه‌ی داده‌های مورد استفاده در نظر گرفته شدند و یافته‌های حاصل از هر یک با هم مقایسه و نتیجه گیری شدند. با توجه به این که سه شهر مورد مطالعه (بندر انزلی، رامسر و بابلسر) در جنوب دریای خزر واقع هستند انتظار

می‌رود که ویژگی‌های جغرافیایی و اقلیمی این مناطق نزدیک به هم باشد. مجاورت کوه و دریا، پوشش گیاهی، موقعیت جغرافیایی و حاکمیت الگوهای جوی مختلف باعث ایجاد منطقه‌ای معتدل و مرطوب، با میانگین مجموع بارش سالانه بیش از ۹۰۰ میلی‌متر در شمال کشور شده است (اوجی و غفاریان، ۱۳۹۷). لذا به منظور بررسی و مقایسه‌ی اطلاعات جغرافیایی و اقلیمی، این سه شهر به صورت بسیار کلی و مختصر، در قالب تصویر، نمودار و جدول در این بخش آمده است.

دریای خزر به عنوان بزرگترین گستره‌ی آبی محصور در خشکی‌ها نیز از این قاعده مستثنی نیست و همچنین به عنوان یک گستره‌ی آبی پهناور به جهت عبور سامانه‌های جوی مختلف روی آن، تاثیر قابل توجهی در فرآیندهای جوی و تعادل آب و هوایی مناطق اطراف خود دارد. از طرفی ویژگی‌ها ومشخصات دریای خزر به گونه‌ای است که تغییر هریک از آن‌ها می‌تواند به طور مستقیم و یا غیر مستقیم بر دیگر ویژگی‌ها و پارامترهای آن تاثیرگذار باشد. به عنوان مثال هر چه شدت وزش باد شمالی روی دریای خزر افزایش یابد، از مقادیر گرمای نهان، دمای سطح آب دریا و شدت بارش به میزان قابل ملاحظه‌ای کاسته می‌شود (مفیدی و همکاران، ۱۳۹۱). بنابراین بررسی برهم کنش بین متغیرهای جوی و اقیانوسی در این دریا از اهمیت ویژه‌ای برخودار بوده و شناخت ساز و کار حاکم اهمیت ویژه‌ای دارد.

بارش، یکی از متغیرهای محیطی بسیار مهم و بارزترین مشخصه اقلیمی منطقه خزری است. منطقه خزری به دلیل توپوگرافی خاص منطقه و قرار گرفتن در کنار منبع رطوبتی خزر، دارای آب و هوای کاملا متفاوتی از سایر مناطق ایران است، به طوری که در منطقه ساحلی دریای خزر، بیشترین میزان بارندگی در گوشه‌ی جنوب غربی و روی بندر انزلی به وقوع می‌پیوندد که متوسط بارش سالانه آن حدود ۱۸۳۰ میلی‌متر است. البته از نظر زمانی نیز بیشترین بارندگی در فصل پاییز در بندر انزلی با ۹۰۸ میلی‌متر است که به تدریج به سمت اطراف کاهش می‌یابد (علیجانی، ۱۳۷۴). در اکثر تحقیقات صورت گرفته، علل بارش در سواحل جنوبی دریای خزر ناشی از برهم‌کنش پیچیده عوامل محلی و عوامل مقیاس منطقه‌ای بیان شده است (ناظم السادات و قاسمی، ۱۳۸۳؛ جانبازقبادی و همکاران، ۱۳۹۰). اما تحقیقات کافی در زمینه نقش پارامترهای فیزیکی دریای خزر و ارتباط آنها با میزان بارش‌ها صورت نگرفته است.

موقعیت جغرافیایی سه ایستگاه مورد مطالعه در شکل ۱ آمده است. با توجه به این موقعیت، هر سه ایستگاه مورد مطالعه در حوزه‌ی ساحل دریای خزر قرار گرفته‌اند.



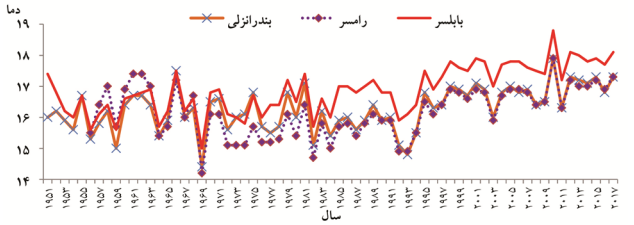
شکل ۱: موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه

بر اساس تقسیم‌بندی نواحی مختلف اقلیمی در کشور ایران که بر اساس میانگین ماهانه‌ی دو پارامتر اصلی دما و بارش است و توسط علیجانی (۱۳۹۱) صورت گرفته است، ناحیه‌ی حوزه‌ی دریای خزر یکی از نواحی مهم پنجگانه‌ی معرفی شده است. همچنین برخی از ویژگی‌های جغرافیایی سه شهر مورد مطالعه در جدول ۱ آمده است. در نهایت شکل های ۲ و ۳ که به ترتیب معرف مقایسه‌ی میانگین دمای سالانه در سه ایستگاه مورد مطالعه و مجموع بارش سالانه در این سه ایستگاه هستند، ارایه شده‌اند.

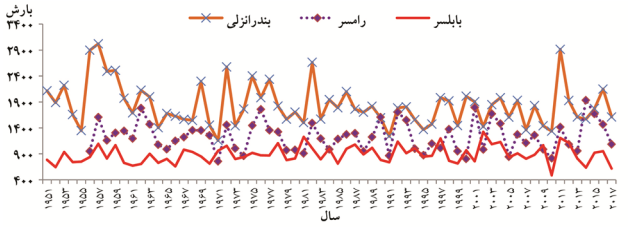
با توجه به این نمودارها و برازش خطی مربوط به هر دسته از داده‌ها و ضابطه‌ی تابع حاصل از این برازش که در کنار هر نمودار ذکر شده است، می‌توان دریافت که میانگین دمای سالانه در هر سه ایستگاه در حال افزایش است. با این تفاوت که میانگین دمای بابلسر با شیب بیشتری در حال افزایش است. همچنین مجموع بارش سالانه در ایستگاه بابلسر با شیب مثبتی در حال افزایش است و این در حالی است که مجموع بارش سالانه در دو ایستگاه دیگر با شیب منفی در حال کاهش بوده است.

جدول ۱: برخی ویژگی‌های جغرافیایی مناطق مورد مطالعه طی دوره آماری ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۷ (داده‌های مستخرج از http://www.irimo.ir)

ویژگی / شهر	رامسر	بابلسر	بندر انزلی
طول جغرافیایی	۵۰° ۴۰′ E	۵۲° ۳۹′ E	۴۹° ۲۷′ E
عرض جغرافیایی	۳۶° ۵۴′ N	۳۶° ۴۳′ N	۳۷° ۲۹′ N
میانگین دمای سالانه (^{O}C)	۱۶,۲	۱۶,۹	۱۶,۳
میانگین بارش سالانه (mm)	۱۲۲۹,۹	۸۹۷,۶	۱۸۴۲
ارتفاع نسبت به سطح دریا (m)	-۲۰	-۲۱	-۲۶



شکل ۲: مقایسه‌ی میانگین دمای سالانه (°C) در سه ایستگاه مورد مطالعه در بازه‌ی زمانی سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۷

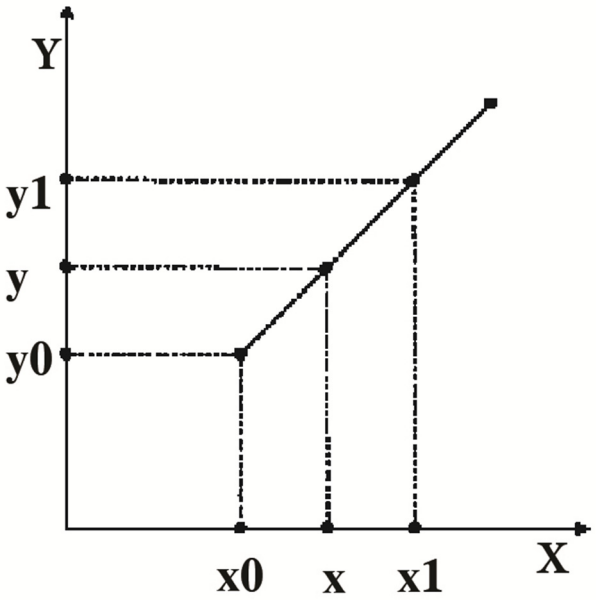


شکل ۳: مقایسه‌ی مجموع بارش سالانه (میلی‌متر) در سه ایستگاه مورد مطالعه در بازه‌ی زمانی سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۷

با توجه به این‌که دو پارامتر دما و بارش از تاثیرگذارترین مولفه‌های اقلیمی مناطق به شمار می‌روند، در پژوهش حاضر نیز داده‌های مربوط به میانگین دما و بارندگی ماهانه از سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۷ (http://www.irimo.ir) مربوط به شهرهای مورد مطالعه (رامسر، بابلسر، بندر انزلی) از ایستگاه‌های سینوپتیک مستقر در این سه شهر استخراج شدند.

به منظور دستیابی به مدل و نتایج تحقیق از بین درون‌یابی‌های رایج در داده‌های هواشناسی، با توجه به اهمیت و کاربرد بسیار زیاد توابع چند جمله‌ای از مرتبه‌های مختلف، پیوستگی توابع موردنظر و سهولت در مشتق‌گیری و انتگرال‌گیری در مواقع مورد نیاز، درون‌یابی های خطی، اسپلاین و نویل انتخاب شدند. از میان داده‌های هواشناسی مربوط به هر سال، داده‌های مربوط به سه ماه تیر، مرداد و شهریور انتخاب شدند و میانگین آنها به عنوان دمای تابستان برای هر سال در نظر گرفته شد. به طور مشابه میانگین داده‌های مربوط به سه ماه دی، بهمن و اسفند به عنوان دمای زمستان هر سال در نظر گرفته شد و بر داده‌ها بر اساس تابع دو مولفه‌ای دما و سال) و همچنین تابع دو مولفه‌ای بارش و سال به صورت جداگانه درون‌یابی‌ها اعمال شدند و نتایج حاصل پس از مقایسه با داده‌های اصلی در قالب خطای هر روش گزارش شدند. در تمامی روش‌های درون‌یابی پژوهش حاضر از نرم‌افزار Matlab، نسخه ۲۰۱۶ استفاده شد. در ادامه به صورت مختصر الگوریتم و روند هر یک از روش‌های عددی به کاربرده شده شرح داده شدند.

الف) درون‌یابی خطی[1]: این روش یکی از ساده‌ترین روش‌های روش‌های درون‌یابی داده‌ها است. فرض کنید مقادیر (x_i,y_i) به ازای $i=1,2,...,k$ با شرط $x_1<x_2<...<x_k$ مفروض باشند. حال اگر بخواهیم مقدار y مربوط به یک x متعلق به بازه‌ی (x_k,x_{k+1}) را به دست آوریم، می‌توان به صورت شکل ۴ عمل کرد.



شکل ۴: درون‌یابی خطی

در این حالت نقطه‌ی مورد نظر روی پاره خطی که دو نقطه‌ی معلوم (x_k,y_k) و (x_{k+1},y_{k+1}) را به هم متصل می‌کند، قرار دارد. لذا برای محاسبه‌ی مقدار مجهول y در نقطه‌ی مورد نظر کافی است معادله‌ی خط گذرنده از این دو نقطه را بدست آورده (رابطه ۱) و سپس مقدار x نقطه‌ی مورد نظر را در آن جایگذاری کنیم.

$$y=y_k+\frac{x-x_k}{x_{k+1}-x_k}y_{k+1}-y_k \qquad \text{رابطه ۱}$$

در این روش به علت آن‌که برای محاسبه‌ی مقدار y در نقطه از معادله‌ی خط استفاده می‌شود به آن درون‌یابی خطی می‌گویند.

[1] Linear Interpolation

همان‌طورکه گفته شد این روش ساده‌ترین و ابتدایی‌ترین روش درون‌یابی داده‌های عددی است.

ب) درون‌یابی نویل[1]: روش نویل یک الگوریتم ریاضی جهت محاسبه‌ی درون‌یابی توابع چندجمله‌ای است که توسط اریک هارولد نویل معرفی شد. با داشتن $n+1$ نقطه، تنها یک چندجمله‌ای منحصربه فرد با درجه‌ی حداکثر n می‌توان یافت که از تمام این نقاط عبور نماید. از این‌رو الگوریتم نویل این چندجمله‌ای را می یابد. در این الگوریتم ابتدا یک چندجمله‌ای از درجهٔ صفر از نقاط مختلف (x_k, y_k) به ازای $k=1,2,...,n$ به صورت $P(x_k)=y_k$ عبور می‌دهد. در تکرار بعدی مقادیر (P_i, P_{i+1}) به گونه‌ای با هم ترکیب می‌شوند که دو نقطه‌ی مربوط را میان‌یابی نمایند، که منجر به محاسبهٔ مقادیر $P_{12}, P_{23}, ...$ می‌گردد. رابطه ۲ ضابطهٔ کلی این روش است که در آن x_j ها و x_i ها نقاط گرهی برای درون‌یابی هستند.

رابطه ۲
$$P_{ij}(x)=\frac{(x_j-x)P_{i,j-1}-(x-x_i)P_{i+1,j}}{x_j-x_i}$$

این روند به صورت تکراری انجام می‌گردد تا یک هرم از مقادیر تقریبی ایجاد گردد (شکل ۵) و در نهایت دقیق‌ترین مقدار در قلهٔ هرم بدست بیاید.

$$\begin{array}{ccccccc}
p_{0,0}(x) = y_0 & & & & & & \\
 & p_{0,1}(x) & & & & & \\
p_{1,1}(x) = y_1 & & p_{0,2}(x) & & & & \\
 & p_{1,2}(x) & & p_{0,3}(x) & & & \\
p_{2,2}(x) = y_2 & & p_{1,3}(x) & & \boxed{p_{0,4}(x)} & & \\
 & p_{2,3}(x) & & p_{1,4}(x) & & & \\
p_{3,3}(x) = y_3 & & p_{2,4}(x) & & & & \\
 & p_{3,4}(x) & & & & & \\
p_{4,4}(x) = y_4 & & & & & &
\end{array}$$

شکل ۵: درون‌یابی نویل

پ) روش اسپلاین[2]: از جمله روش‌های رایج در درون‌یابی داده‌ها، روش درون‌یابی اسپلاین است که در درون‌یابی داده‌های اقلیمی نیز به فراوانی استفاده می‌شود. یکی از رایج‌ترین اسپلاین-ها، اسپلاین درجه سه است که در آن بازه‌ی داده‌ها به چند زیر بازه تقسیم شده و در هر زیر بازه تابع با یک چندجمله‌ای حداکثر از درجهٔ سه تقریب زده می‌شود. به عبارت دیگر در زیر بازه‌ی (x_0, x_1) یک چندجمله‌ای از درجه‌ی سه ساخته شده که مقدار آن در دو انتهای زیر بازه با مقدار تابع در آن نقاط یکی باشد. همچنین روی بازه‌ی (x_1, x_2) نیز یک چندجمله‌ای از درجه‌ی سه ساخته شده که مقدار آن در دو انتهای زیر بازه با مقدار تابع در آن نقاط یکی باشد. با ادامه‌ی این روند در نهایت روی کل بازه تابع چندجمله‌ای درون‌یاب، قطعه به قطعه مشخص می‌شود که فرم کلی چندجمله‌ی درجه سه به صورت رابطه ۳ خواهد بود که در این رابطه a_i ها ضرایب عددی هستند.

رابطه ۳
$$y=a_3x^3+a_2x^2+a_1x+a_0$$

تعریف ۱: فرض کنیم تابع f بر $[a,b]$ تعریف شده و $a=x_1<x_2<...<x_n=b$ مجموعه‌ای از نقاط $[a,b]$ باشد. یک درون‌یاب اسپلاین مکعبی برای f تابعی مانند S است که در شرایط زیر صدق کند.

- در هر یک از زیر بازه‌های $[x_i, x_{i+1}]$، S یک چندجمله‌ای حداکثر از درجه‌ی سه باشد.
- به ازای هر $i=1,2,...,n$ داشته باشیم: $f(x_i)=S(x_i)$
- یکی از شرایط مرزی زیر را داشته‌باشیم:

I. اسپلاین طبیعی $S''(x_0)=S''(x_n)$

II. اسپلاین مقید $S'(x_0)=f'(x_0)\ ,\ S'(x_n)=f'(x_n)$

III. اسپلاین متناوب $S^k(x_0)=f^k(x_0)\ ;\ k=1,2,3$

با برقراری این شرایط به دسته‌ای از معادلات خواهیم رسید که با حل آن‌ها، مقادیر مجهول یعنی ضرایب چندجمله‌ای درجه سه به دست آیند. استفاده از داده‌های خروجی یک مدل، زمانی ارزش پیدا می‌کند که این داده‌ها با اطلاعاتی که مورد تایید است صحت سنجی شوند. بدین منظور در بسیاری از پژوهش‌های حوزه‌ی هواشناسی و به طور کلی داده‌های اقلیمی وقتی مدلی تدوین می‌شود؛ خروجی مدل برای اعتبار سنجی، با داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک مقایسه می‌شود.

لذا، به منظور اعمال هر یک از روش‌های درون‌یابی، تابع دو مولفه‌ای (سال، دما) در نظر گرفته شد و برای داده‌های مربوط به فصل تابستان و فصل زمستان به صورت جداگانه هر سه روش درون‌یابی اعمال گردید. سپس از توابع حاصل از هریک از

[1] Neville
[2] Spline

روش‌ها جهت بدست آوردن خطای هر نقطه استفاده شد و در نهایت با استفاده از تعریف نرم ۲ خطای هر یک از روش‌ها به دست آمد. تعریف۲: اگر $\mathbf{X}$ یک بردار در $\mathbf{R^n}$ یا $\mathbf{C^n}$ به فرم $\mathbf{X=(x_1,...,x_n)}$ باشد، آن‌گاه نرم دو $\mathbf{X}$ رابطه ۴ به صورت زیر تعریف می‌شود (Atkinson, 2008).

$$\|\mathbf{X}\|_2=\sqrt{x_1^2+...+x_n^2}$$ رابطه ۴

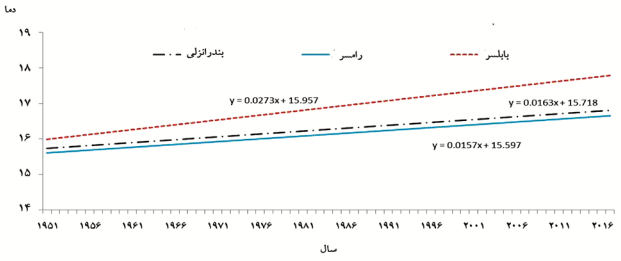
با توجه به تعریف ۲ اگر اختلاف داده‌های واقعی و داده‌های بدست آمده از روش‌های عددی به کار برده شده را برای داده‌ی iام از هر سال $\mathbf{e_i}$ بنامیم، نرم دو خطای کل به صورت رابطه ۵ خواهد بود.

$$\|\mathbf{E}\|_2=\sqrt{e_1^2+...+e_n^2}$$ رابطه ۵

با استفاده از این فرمول و داده‌های عددی ثبت شده و داده‌های استخراج شده از هر یک از روش‌ها، خطای هر روش برای فصل‌های تابستان و زمستان به صورت جداگانه محاسبه شدند. خطاهای حاصل شده در بخش نتایج عددی ثبت شده است.

۳. نتایج و بحث

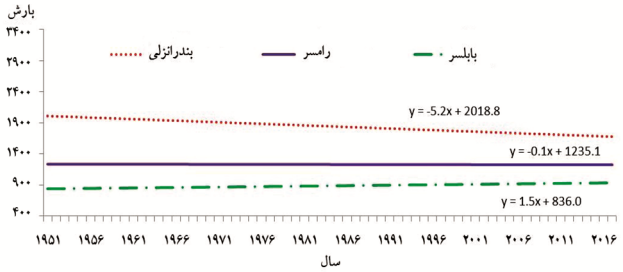
نتایج بررسی کلی از مناطق مورد مطالعه با استفاده از داده‌های عددی ثبت شده در ایستگاه‌های سینوپتیک بندر انزلی، رامسر و بابلسر و برازش خط کمترین مربعات برای هر دسته از داده‌ها نشان داد که روند کلی تغییرات دمایی و بارشی مناطق مورد مطالعه به چه صورت و با چه شیبی در حال تغییر هستند. این تغییرات در حیطه‌ی دما و بارش مناطق جغرافیایی اهمیت بررسی و پیش‌بینی این شرایط را آشکار می‌سازد. نمودارهای خط کمترین مربعات برازش شده برای داده‌های دمایی سه ایستگاه مورد مطالعه در بازه‌ی زمانی سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۷ در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶: شیب تغییرات دمایی مناطق مورد مطالعه (°C) در بازه‌ی زمانی سال‌های ۱۹۵۱تا ۲۰۱۷

همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، دمای سه ایستگاه مورد نظر با شیب مثبتی در حال افزایش است. در حال‌که دمای بابلسر نسب به دو ایستگاه دیگر با شیب تندتری در حال افزایش است.

نمودارهای خط کمترین مربعات برازش شده برای داده‌های بارشی سه ایستگاه مورد مطالعه در بازه‌ی زمانی سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۷ در شکل ۷ آمده است. با توجه به این نمودار میزان بارش شهر بابلسر با شیب مثبت افزایش یافته است، در حالی‌که بارش در دو ایستگاه دیگر با شیب منفی در حال کاهش است.



شکل ۷: شیب تغییرات بارش مناطق مورد مطالعه (میلی‌متر) در بازه‌ی زمانی سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۷

پس از درون‌یابی‌های انجام شده روی داده‌های معرفی شده در قسمت‌های قبل، با استفاده از نرم‌افزار Matlab، نسخه ۲۰۱۶ و استفاده از نرم دو معرفی شده در رابطه ۵ برای محاسبه‌ی خطای هر روش اقدام شد و نتایج حاصل از آن در جدول‌های ۲ و ۳ که در ادامه آمده است ثبت گردید.

جدول ۲: خطای روش‌ها در درون‌یابی دما ایستگاه رامسر در بازه‌ی زمانی سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۷

فصل	روش	خطا
تابستان	خطی	۲,۹۰۰۴۸
	نویل	۰,۰۰۰۰۳
	اسپلاین	۰,۰۰۰۱۴
زمستان	خطی	۰,۰۰۸۰۱
	نویل	۰,۰۰۰۰۴
	اسپلاین	۰,۰۰۰۸۱

نتایج ثبت شده در جدول ۲ از اعمال هر یک از روش‌های درون‌یابی شرح داده شده در بخش مواد و روش‌ها و محاسبه‌ی خطای هر روش از طریق رابطه ۵ روی داده‌های عددی به دست آمده از ایستگاه سینوپتیک شهر رامسر حاصل شده‌اند. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که روش‌های درون‌یابی نویل و اسپلاین

مکعبی[1] برای داده‌های عددی مربوط به دما و بارش دارای خطای کمتری هستند. این در حالی است که درون‌یابی خطی، تقریب نادقیقی را ارائه داده است. در مقایسه‌ی مجموعه داده‌های دمایی اختصاص یافته به فصل‌های تابستان و زمستان ایستگاه رامسر نیز، درون‌یابی‌های اعمال شده برای فصل تابستان در مقایسه با فصل زمستان دارای خطای کمتری هستند که می‌تواند علتی بر هموارتر بودن دسته‌ی داده‌های این فصل برای ایستگاه رامسر باشد. به طور مشابه همین روند برای داده‌های مربوط به دو ایستگاه دیگر نیز مورد بررسی قرار گرفت که نتایج تقریبا مشابهی حاصل شد و نتایج مورد نظر در جدول‌های مربوط به هر شهر (جدول‌های ۴ و ۶) در ادامه آمده است. همچنین کارهای مشابهی برای درون‌یابی مقادیر بارش سالانه در سه ایستگاه مورد مطالعه صورت گرفت که نتایج آن در جدول‌های ۳، ۵ و ۷ قابل مشاهده است.

جدول ۳: خطای روش‌ها در درون‌یابی بارش ایستگاه رامسر در بازه‌ی زمانی سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۷

فصل	روش	خطا
تابستان	خطی	۱۵,۰۱۴
	نویل	۰,۰۰۰۶
	اسپلاین	۰,۰۰۴۲۴
زمستان	خطی	۱۰,۷۰۰
	نویل	۰,۰۰۰۰۳
	اسپلاین	۰,۰۰۴۰۱

نتایج عددی حاصل شده در جدول ۳ مربوط به داده‌های میانگین بارش ماهیانه‌ی شهر رامسر و اعمال روش‌های درون‌یابی روی آن‌ها و محاسبه‌ی خطای هریک از روش‌ها است. در این بخش نیز دو روش درون‌یابی نویل و اسپلاین مکعبی تقریب دقیق‌تری را ارائه داده‌اند. در مقایسه‌ی درون‌یابی در حوزه‌ی دما و بارش برای داده‌های ایستگاه رامسر، درون‌یابی داده‌های دمایی نسبت به درون‌یابی داده‌های بارشی دارای خطای کمتری هستند.

جدول ۴: خطای روش‌ها در درون‌یابی دما ایستگاه بابلسر در بازه‌ی زمانی سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۷

فصل	روش	خطا
تابستان	خطی	۴,۰۰۰۳۰
	نویل	۰,۰۰۰۰۴
	اسپلاین	۰,۰۰۱۲۰
زمستان	خطی	۶,۰۹۱۰۰
	نویل	۰,۰۰۰۱۴
	اسپلاین	۰,۰۰۹۰۶

[1] Cubic Spline

جدول ۵: خطای روش‌ها در درونیابی بارش ایستگاه بابلسر در بازه‌ی زمانی ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۷

فصل	روش	خطا
تابستان	خطی	۱۳,۰۰۱۲
	نویل	۰,۰۰۱۷۰
	اسپلاین	۰,۰۰۴۰۲
زمستان	خطی	۱۳,۸۰۱۰
	نویل	۰,۰۰۱۰۳
	اسپلاین	۰,۰۰۲۰۱

جدول‌های ۴ و ۵ نتایج حاصل شده – مطابق روند ذکر شده– برای ایستگاه سینوپتیک شهر بابلسر است. یافته‌های ثبت شده در این دو جدول نیز حاکی از دقت بیشتر درون‌یابی‌های نویل و اسپلاین مکعبی برای داده‌های دما و بارش این ایستگاه است. همچنین در مقایسه‌ی نتایج حاصل از دو فصل بررسی شده برای این ایستگاه نیز، نتایج ثبت شده روشن می‌سازند که به صورت نسبی درون‌یابی مربوط به فصل تابستان برای داده‌های دمای بابلسر دارای دقت بیشتری است.

جدول ۶: خطای روش‌ها در درون‌یابی دما ایستگاه بندر انزلی

فصل	روش	خطا
تابستان	خطی	۳,۰۰۰۰۱
	نویل	۰,۰۰۰۳۵
	اسپلاین	۰,۰۰۳۳۴
زمستان	خطی	۵,۰۳۰۰۰
	نویل	۰,۰۰۶۰۱
	اسپلاین	۰,۰۱۰۰۳

جدول ۷: خطای روش‌ها در درون‌یابی بارش ایستگاه بندر انزلی

فصل	روش	خطا
تابستان	خطی	۱۱,۵۰۰۴
	نویل	۰,۰۰۲۴۰
	اسپلاین	۰,۰۰۹۲۰
زمستان	خطی	۱۶,۸۰۱۰
	نویل	۰,۰۰۹۰۶
	اسپلاین	۰,۰۱۸۵۱

در جدول‌های ۶ و ۷ نیز نتایج مشابه برای ایستگاه سینوپتیک شهر بندر انزلی ثبت شده است. به طور کلی با مقایسه‌ی کلی بین سه ایستگاه بررسی شده، با توجه به نتایج عددی بدست آمده از روش‌های مختلف درون‌یابی اعمال شده، درون‌یابی‌های نویل و اسپلاین برای مناطق مورد مطالعه هم در حیطه‌ی دما و هم در حیطه‌ی بارش، تقریب دقیق‌تری را ارائه داده‌اند. این در حالی است که درون‌یابی خطی تقریب نادقیقی را برای هریک ارائه داده است. همچنین با توجه به نتایج عددی حاصل شده، درون‌یابی برای فصل تابستان نسبت به فصل زمستان دارای خطای کمتری است. با

مقایسه‌ی درون‌یابی برای حیطه‌ی دما و بارش نیز، مشخص می‌شود که درون‌یابی حیطه‌ی دما دارای خطای کمتری است.

۴. نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت موضوع داده‌های اقلیمی و هواشناسی در نقاط مختلف کره‌ی زمین، ضرورت پژوهش‌ها در این حیطه آشکار می‌شود. در هر پژوهشی به منظور دست یافتن به بهترین نتیجه باید تمامی روش‌های موجود برای رسیدن به هدف، مورد بررسی قرار گیرد تا از بین نتایج به دست آمده از روش‌های متفاوت، هر کدام که بهترین نتیجه را در پی داشتند به عنوان مبنای کار قرار گیرد. در تحلیل‌های اقلیمی بررسی پراکنش و رابطهٔ بین متغیرها از اهمیت زیادی برخوردار است. در این پژوهش پس از مطالعه‌ی مختصر مناطق مورد بحث و بررسی شرایط جغرافیایی و اقلیمی و استفاده از داده‌های از پیش تعیین شده در ایستگاه‌های سینوپتیک شهرهای رامسر، بابلسر و بندر انزلی مشاهده شد که در حیطه‌ی دما داده‌های موجود در بازه‌ی زمانی مورد مطالعه یعنی سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۷ بیان‌گر این امر هستند که دمای این سه شهر با شیب مثبتی در حال افزایش است. این امر باتوجه به شکل‌های ۶ و ۷ و ضابطه‌ی خطی برازش شده برای هر یک از نمودارها قابل رویت است. از این میان شهر بابلسر روند افزایشی تندتری را از خود نشان داده است. نتایج به نمایش گذاشته شده در شکل ۶ و شیب خطوط برازش شده بر این نمودارها معرف این موضوع است. همچنین در حیطه‌ی بارش سالانه داده‌های موجود در بازه‌ی زمانی مورد مطالعه یعنی سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۷ بیان‌گر این امر هستند که بارش در شهر بابلسر با شیب مثبت در حال افزایش و در دو ایستگاه دیگر با شیب منفی در حال کاهش است. نمودار ۷ و شیب خطوط برازش شده بر هریک از منحنی‌های این نمودار معرف موضوع گفته شده است.

از دیگر یافته‌های پژوهش این است که با توجه به این که درون‌یابی روش مناسبی برای پیش‌بینی داده‌های غیرقابل دسترس است، پس از محک سه روش درون‌یابی به کار برده شده برای داده‌های عددی مربوط به بازه‌ی زمانی سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۷، خطای روش‌ها حاکی از آن است که روش‌های نویل و اسپلاین در مقایسه با روش‌های دیگر به طور کلی تقریب قابل قبولی را برای درون‌یابی داده‌ها به دست می‌دهند. همچنین با توجه به نتایج عددی بدست آمده در جدول‌های ۲ و ۳، مشاهده شد که در درون‌یابی دما، داده‌های مربوط به فصل تابستان دارای خطای کمتری نسبت به داده‌های فصل زمستان هستند؛ این در حالی است که برای درون‌یابی بارش، تفاوت معنی‌داری از این نظر دیده نمی‌شود. موضوع قابل توجه دیگری که از مقایسه‌ی خطای روش‌های درون‌یابی قابل برداشت می‌باشد این است که با مقایسه‌ی برآیند خطای روش‌های درون‌یابی، در نظر گرفتن داده‌ها به صورت دو مولفه‌ی (سال، دما) برای درون‌یابی دما تقریب دقیق‌تری را نسبت به در نظر گرفتن داده‌ها به صورت دو مولفه‌ی (سال، بارش) به دست می‌دهد.

۵. سپاسگزاری

نویسندگان مقاله برخود لازم می‌دانند از داوران محترم مجله‌ی اقیانوس‌شناسی که با نظرات و پیشنهادات سازنده‌ی خود در بهبود کیفیت این مقاله سهیم بودند تشکر و قدردانی نمایند.

منابع

اوجی، ر.؛ غفاریان. پ.، ۱۳۹۷. شناسایی و برآورد بارش‌های فرین سواحل جنوبی دریای خزر بر اساس نظریه‌ی مقدار فرین، نشریه اقیانوس‌شناسی، سال نهم، شماره سی و چهار، صفحات ۴۸-۳۹.

جانباز قبادی، غ.؛ مفیدی، ع.؛ زرین، آ.، ۱۳۹۰. شناسایی الگوهای همدید بارش‌های شدید زمستانه در سواحل جنوبی دریای خزر. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره ۴۲، صفحات ۴۰-۲۳.

سیدنژاد گل‌خطمی، ن.؛ ثنایی نژاد، س.؛ قهرمان، ب.؛ رضایی پژند، ح.، ۱۳۹۲. درونیابی بارش روزانه حوزه‌ی آبریز دشت مشهد. نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، سال چهارم، شماره پانزدهم و شانزدهم، صفحات ۳۰-۱۸.

عساکره، ح.، ۱۳۸۷. کاربرد روش کریجینگ در میان‌یابی بارش. نشریه جغرافیا و توسعه، سال ۶، شماره دوازدهم، ۴۲-۲۵.

عساکره، ح.؛ موحدی.س.؛ سبزیپرور. ع.؛ مسعودیان.س.؛ مریانجی.ز.، ۱۳۹۳. اقلیم شناسی بارش ایران با استفاده از تحلیل همسازه. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۹، شماره چهارم، صفحات ۲۶-۱۰.

علیجانی، ب.، ۱۳۷۴. آب و هوای ایران، چاپ نهم، تهران، انتشارات دانشگاه پیام نور، ۲۳۶ صفحه.

علیجانی، ب.، ۱۳۹۱. اقلیم‌شناسی سینوپتیک، چاپ پنجم، تهران، انتشارات سمت، ۲۵۷ صفحه.

مفیدی، ع.؛ زرین،آ.؛ جانباز قبادی، غ.، ۱۳۸۶. تعیین الگوی همدیدی بارش‌های شدید و حدی پاییزه در سواحل جنوبی دریای خزر، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۳، شماره ۳، صفحات ۱۵۴-۱۳۱.

مفیدی، ع.؛ زرین، آ.؛ جانباز قبادی، غ.، ۱۳۹۱. تبیین علل کاهش یافتن مقدار و شدت بارش های زمستانه در قیاس با بارش‌های پاییزه در سواحل جنوبی دریای خزر، مجلهٔ فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۸، شماره ۱، صفحات ۱۷۷-۲۰۳.

ناظم السادات، س.م.ج.؛ قاسمی، ا.ر.، ۱۳۸۳. تأثیر نوسان های دمای سطح آب دریای خزر بر بارش فصول زمستان و بهار نواحی شمالی و جنوب غربی ایران. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی (دانشگاه صنعتی اصفهان)، جلد ۸، شماره ۴، صفحات ۱۵-۱.

Atkinson, K.E., 2008. An introduction to numerical analysis. (2nd edition), Wiley-India, 486P.

Dirks, K.N.; Hay, J.E.; Stow, C.D.; Harris, D., 1998. High-resolution studies of rainfall on Norfolk Island Part II: Interpolation of rainfall data. Journal of Hydrology, 208(3-4): 187-193.

Francisco, J.M., 2010. Comparison of different geostatistical approaches to map climate variables: application to precipitation. International Journal of Climatology, 30: 620-631.

Jeffrey, S.J.; Carter, J.O.; Moodie, K.B.; Beswick, A.R., 2001. Using spatial interpolation to construct a comprehensive archive of Australian climate data. Environmental Modelling and Software, 16: 309-330.

Kotlyakov, V.M.; Serebryanny, L.R..; Solomina, O.N., 1991. Climate change and glacier fluctuation during the last 1000 years in the Southern Mountains of the USSR. Mountain Research and Development, 11(1): 1-12.

Phillips, D.L.; Dolph, J.; Marks, D., 1992. A comparison of geostatistical procedures for spatial analysis of precipitation in mountainous terrain. Agricultural and Forest Meteorology, 58: 119-141.

Price, D.T.; McKenney, D.W.; Nalder, L.A.; Hutchinson, M.F.; Kesteven, J.L., 2000. A comparison of two statistical methods for spatial interpolation of Canadian monthly mean climate data. Agricultural and Forest Meteorology, 101: 81-94.

Touchan, R.; Meko, D.M.; Aloui, A., 2008. Precipitation reconstruction for Northwestern Tunisia from tree rings. Journal of Arid Environments, 72: 1887-1896.