ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی داده‌های دمایی NCEP/NCAR در سطح حوضه‌های آبریز درجه ۲ کشور ایران

رضا مروتی[۱] و علیرضا شکوهی*[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۶/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۲۰

مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد می‌باشد.

چکیده

دما یکی از پارامترهای مهم در مطالعات اقلیمی و هیدرولوژیکی است. هدف اصلی این مقاله استفاده از داده‌های دمای سالانه از مجموعه داده‌های موسوم به Reanalysis از پایگاه جهانی NCEP/NCAR با توان تفکیک مناسب برای مطالعات منطقه‌ای می‌باشد. این پایگاه، داده‌های دما را با دقت ۲/۵ درجه در اختیار کاربران قرار می‌دهد. به دلیل تنوع توپوگرافی کشور ایران، دقت داده‌های ۲/۵ درجه پایین بوده و برای پژوهش‌های کاربردی و مطالعات منطقه‌ای باید از توان تفکیک بالاتر استفاده نمود. هدف از این پژوهش افزایش توان تفکیک داده‌های دمای پایگاه مزبور با استفاده از روش‌های درون‌یابی موجود در نرم‌افزار متلب است. در متلب چهار روش برای درون‌یابی داده‌ها موجود می‌باشند که عبارتند از: روش خطی، روش نزدیک‌ترین همسایگی، روش اسپلاین و روش همسایگی عادی (طبیعی). با به کارگیری هرکدام از این چهار روش در سطح ۳۰ زیر حوضه درجه ۲ تعریف شده توسط سازمان مدیریت منابع آب، داده‌های ۲/۵ درجه به داده‌هایی با توان تفکیک ۱ درجه تبدیل شدند. برای بررسی دقت داده‌های درون‌یابی شده، داده‌های جدید تولید شده داخل هر زیرحوضه با داده‌های دمای ایستگاه‌های سینوپتیک داخل همان زیرحوضه مقایسه گردیدند. با استفاده از معیارهای خطاسنجی RMSE، MBE، ضریب باقیمانده و ناش - ساتکلیف روش‌های نزدیکترین همسایگی و اسپلاین با برتری نسبی نسبت به روش‌های دیگر، به‌عنوان روش برتر شناخته شدند. حاصل این مطالعه تولید گره‌های اطلاعاتی مربوط به دما برای مطالعات هیدروکلیماتولوژیکی، ارائه روش برای بروزرسانی و لذا حذف نیاز محققین به جمع‌آوری، آزمون و استفاده از ایستگاه‌های زمینی و داده‌های موجود در منطقه است.

واژه‌های کلیدی: داده‌های شبکه بندی، درون‌یابی، دما، زیر حوضه درجه ۲، متلب، NCEP/NCAR.

۱ دانش آموخته رشته کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران
پست الکترونیکی : reza.morovati86@gmail.com
* [۲] دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران. تلفن تماس: ۳۳۹۰۱۱۴۷- ۰۲۸
پست الکترونیکی : shokoohi@eng.ikiu.ac.ir

مقدمه

در بسیاری از مطالعات هواشناسی، اقلیمی، هیدرواقلیمی، هیدرولوژیکی و همچنین برنامه‌ریزی‌های آبیاری وجود داده‌های دما و به ویژه توزیع مکانی آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. دما در کنار بارش از مهم‌ترین عناصر اقلیمی محسوب می‌گردد که در تعیین نقش و پراکندگی دیگر عناصر اقلیمی نیز مؤثر است. همچنین دما ازعوامل اصلی و اساسی در پهنه‌بندی و طبقه‌بندی اقلیمی محسوب می‌گردد (اسفندیاری درآباد، ۱۳۸۹). تغییرات معنی‌دار دمای کره زمین به‌عنوان بارزترین عامل تغییر اقلیم در قرن حاضر مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است. دمای هر نقطه به مجموعه‌ای از شرایط نظیر ارتفاع، عرض جغرافیایی و محتوای رطوبتی جو در آن محل بستگی دارد (مسعودیان، ۱۳۸۴). اثر همزمان عرض جغرافیایی و ارتفاع در کنار ناهمواری‌های پیچیده ایران، اختلاف دما بین بخش‌های مختلف کشور را پدید آورده است (اکبری، ۱۳۸۸). در حالی‌که برای تقریبا همه مطالعات هیدروکلیماتولوژی، هیدرولوژی، هواشناسی و کشاورزی از داده‌های دما و بارش ایستگاه‌های هواشناسی استفاده می‌گردد، بعضی مناطق به دلیل شرایط خاص جغرافیایی و صعب العبور بودن خالی از ایستگاه بوده و در این نقاط داده‌ای در دسترس نمی‌باشد. شبکه متشکل از گره‌های اطلاعاتی، بهترین راه‌حل برای پوشش یکنواخت و مطالعه یک‌دست سطوح وسیع می‌باشد. روشی که تا کنون بسیاری از محققین برای تولید شبکه‌ای از گره‌های اطلاعاتی درپیش گرفته‌اند آن است که هر کدام از آن‌ها و برای هر مورد تحقیقاتی و یا یک محقق برای تکرار یک تحقیق با چند سال فاصله زمانی، از ایستگاه‌های زمینی اطلاعات را جمع‌آوری کرده و با سلیقه خود با روشی مانند کریجینگ به درونیابی اطلاعات پرداخته است. بهترین نمونه این نوع کارها را می‌توان در تحقیقات مسعودیان (۱۳۸۲ و ۱۳۸۳) و غیور و منتظری (۱۳۸۳) دید که هر کدام با تشکیل شبکه ۱۵ km × ۱۵ km یا شبکه ۱۴ km × ۱۴ km به بررسی رژیم دمایی و شناسایی پهنه‌های حرارتی ایران پرداختند. محققین مزبور برای تکمیل این شبکه، از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک و روش کریجینگ استفاده نمودند. یکی از اهداف این تحقیق معرفی و ارتقای سطح یک بانک اطلاعاتی قابل اطمینان است که یک‌بار و برای همیشه بتواند به این مشکل محققین در زمینه تهیه اطلاعات پایه (در اینجا دما) برای تحلیل وضعیت منابع آب پایان ببخشد.

برای بسیاری از تحلیل‌های مربوط به مدیریت بحران و ریسک، بانک اطلاعاتی مورد استفاده باید دارای این مشخصات باشد: ۱- دسترسی آسان ۲- پوشش یکنواخت منطقه مطالعاتی ۳- طولانی بودن دوره آماری به نحوی که استنتاج آماری حاصل از آن قابل اطمینان باشد (روسی و همکاران، ۲۰۰۳؛ بوردی و همکاران، ۲۰۰۶؛ راضیه و همکاران، ۲۰۱۰). بسیاری از بانک‌های اطلاعاتی در دسترس دارای برخی از این مشخصات می‌باشند ولی همه آن‌ها را پوشش نمی‌دهند. به همین دلیل در بسیاری از مطالعات سال‌های اخیر در سراسر دنیا و همچنین ایران ملاحظه می‌شود که از داده‌های یک مجموعه موسوم به Reanalysis استفاده شده است. (راضیه و همکاران، ۲۰۰۹، ۲۰۱۰، ۲۰۱۱؛ روسی و همکاران، ۲۰۰۳؛ بوردی و همکاران، ۲۰۰۶؛ مروتی و شکوهی، ۱۳۹۲). اطلاعات مزبور متعلق به بانک اطلاعاتی است که توسط مراکز ملی پیش‌بینی محیط / مرکز ملی تحقیقات اتمسفری[3] تهیه شده و از سال ۱۹۴۸ تاکنون مرتباً به روز شده است (کلانی و همکاران، ۱۹۹۶). پایگاه NCEP/NCAR دما را به‌صورت شبکه‌بندی شده[4] در سطح دنیا ازجمله ایران در اختیار

[3] National Centers for Environmental Prediction/ National Center for atmospheric Research; NCEP/NCAR
[4] Grid

همگان قرار می‌دهد. این پایگاه جهانی، زیر مجموعه‌ای از NOAA[5] می‌باشد و داده‌های شبکه‌بندی شده مختلفی نظیر: دما، بارش، فشار، رطوبت نسبی، سرعت باد و ... را در اختیار قرار می‌دهد. داده‌های این پایگاه به دو صورت روزانه و ماهانه ارائه می‌شوند. هر زیر مجموعه NOAA در قالب و دقت خاص خود در اختیار کاربران قرار می‌گیرد. زیر مجموعه NCEP/NCAR reanalysis با دقت $2/5^o \times 2/5^o$ طول و عرض جغرافیایی در دسترس می‌باشد. فرمت این داده‌ها به‌طور پیش فرض NetCDF[6] است که یکی از پرکاربردترین فرم داده‌ها در متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی می‌باشد. این شکل داده‌ها توسط نرم‌افزارهای Matlab، Excel و Grads قابل بازخوانی است (مروتی و شکوهی، ۱۳۹۲). استفاده موفق از داده‌های بارش تحلیل شده از این پایگاه اطلاعاتی برای بررسی خشکسالی در ایران توسط رضیئی و همکاران (رضیئی و همکاران، ۲۰۰۹، ۲۰۱۰، ۲۰۱۱) گزارش شده است. آن‌ها با استفاده از داده‌های بارش پایگاه GPCC[7] و NCEP/NCAR به بررسی خشکسالی در ایران با استفاده از شاخص استاندارد خشکسالی (SPI) در مقیاس‌های زمانی متفاوت پرداختند. در این مطالعات که محققین با استفاده از روش‌های PCA[8] به دنبال استخراج الگوهای مکانی و زمانی خشکسالی در غرب زاگرس و همچنین کل کشور بودند به مشکل زیاد بودن فاصله نقاط شبکه مورد استفاده NCEP/NCAR برای تحلیل مکانی اذعان داشتند. در این مطالعه در همه موارد، نتایج حاصل از به‌کارگیری اطلاعات GPCC که با ابعاد سلولی از $0/5^o$ تا $2/5^o$ در اختیار است با نتایج حاصل از اطلاعات ایستگاه‌های زمینی هماهنگی بیشتری نشان می‌داد.

همان‌طور که اشاره شد، دقت داده‌های پایگاه NCEP/NCAR، ۲/۵ درجه است، البته برای مواردی همچون داده دمای CRU[9] دقت ۵ درجه هم موجود است. در عرض‌های جغرافیایی ۲۵ تا ۳۸ درجه که تقریباً ایران را پوشش می‌دهد، فاصله ۲/۵ درجه طول و عرض جغرافیایی به معنای فاصله زمینی در حدود ۲۵۰ کیلومتر می‌باشد. این فاصله نسبتاً زیاد می‌تواند در صورت انجام مطالعه در مقیاس منطقه‌ای به‌منظور استخراج الگوهای مورد نظر و بررسی تغییرات مکانی به ازای همه انواع اشکال توپوگرافیکی کافی نباشد (راضیه و همکاران، ۲۰۱۱؛ بوردی و همکاران، ۲۰۰۶). رفع مشکل بزرگ بودن اندازه شبکه سلولی این بانک اطلاعات جهانی با ارزش که مرتباً به روز شده و تحت کنترل کیفی مناسبی نیز قرار دارد (کلانی و همکاران، ۱۹۹۶) یکی از عوامل اصلی طرح‌ریزی تحقیق حاضر می‌باشد. ریز کردن ابعاد سلولی که به نوعی ریزمقیاس کردن (down scaling) نیز می‌تواند قلمداد گردد، به کمک روش‌های مختلف درون‌یابی امکان‌پذیر است. سوالی که در اینجا می‌تواند برای محقق پیش آید آن است که آیا حاصل کار همه روش‌های درون‌یابی یکسان است و ممکن نیست که استفاده از یک نوع روش درون‌یابی در مقایسه با روشی دیگر منجر به حذف اطلاعات موجود و کاهش محتوای اطلاعاتی نقشه تولید شده در برخی مناطق گردد. آیا استفاده از یک روش در همه نقاط با وجود تنوع توپوگرافی شدیدی که در کشور سراغ داریم، صحیح است؟ نکته مهم دیگری که مطرح است سهولت بهره‌گیری از روش درون‌یابی هم به معنای نرم‌افزاری و همچنین میزان اطلاعات اولیه مورد نیاز برای شروع کار است. آیا همه روش‌های درون‌یابی از این نظر دارای ارزش کاربردی یکسانی هستند؟ پاسخ به این سؤالات از دیگر اهداف تحقیق حاضر می‌باشد که در بخش‌های بعد ملاحظه خواهد گشت.

[5] National Oceanic and Atmospheric Administration
[6] Network Common Data Form
[7] Global Precipitation Climatology Centre
[8] Principal Component Analysis
[9] Climate Research Unit

درون‌یابی[10] یکی از مهم‌ترین روش‌هایی است که اقلیم شناسان در مطالعات پهنه‌بندی از آن بهره‌مند می‌شوند (ثقفیان، ۱۳۹۰). این فرآیند به دلیل محدودیت داده‌های نقطه‌ای و ضرورت تدوین نقشه از کل پهنه به‌منظور تهیه نقشه‌های هم ارزش (هم دما، هم باران و...) انجام می‌گیرد (عساکره، ۱۳۸۷). بنابراین می‌توان درون‌یابی را به معنای تبدیل داده‌های نقطه‌ای به داده‌های پهنه‌ای دانست (تسونگ، ۲۰۰۴). استفاده از درون‌یابی برای تولید داده مقوله جدیدی نیست ولی از زمانی که GIS و تولید نقشه‌های پیوسته از نظر مکانی برای استفاده در مدل‌های ریاضی بارش - رواناب رواج یافت، شاهد استفاده روزافزون انواع روش‌های درون‌یابی هستیم (شکوهی و آراسته، ۱۳۸۷). گزارش‌های زیادی از بکارگیری روش‌های درون‌یابی در سطح دنیا موجود است که در اینجا به‌عنوان مثال به چند تجربه بین‌المللی اشاره می‌شود. آپایداین و همکاران (۲۰۰۴) با استفاده از شش روش درون‌یابی IDW، GPI، LPI، RBF، Kriging و Co-Kriging به درون‌یابی ۶ پارامتر اقلیمی تشعشع خورشیدی، مدت تابش، درجه حرارت، رطوبت نسبی، سرعت باد و بارندگی در ترکیه طی دوره آماری ۱۹۹۹-۱۹۷۱ پرداختند و از شاخص ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) به عنوان معیار ارزیابی استفاده کردند. آن‌ها نشان دادند که برای درون‌یابی داده‌های اقلیمی درجه حرارت، رطوبت نسبی و تشعشع، روش Co-Kriging و برای بارندگی و مدت تابش روش RBF مناسب است. چانگ و همکاران (۲۰۰۵) برای درون‌یابی داده‌های بارش و تخمین آن در ایستگاه‌های فاقد آمار در حوضه فیتسوی در شمال تایوان از روش معکوس فاصله وزنی و تلفیق آن با الگوریتم ژنتیک وتئوری فازی استفاده کردند. در ایران نیز تجربیات زیادی در مورد استفاده از روش‌های درون‌یابی برای مقاصد گوناگون وجود دارد. بداق جمالی و همکاران (۱۳۸۱) با استفاده از شاخص خشکسالی SPI به پهنه‌بندی و پایش خشکسالی در استان خراسان پرداخته است و در این پژوهش برای پهنه‌بندی خشکسالی، از روش‌های درون‌یابی موجود در GIS؛ از روش کریجینگ ۱۱ و معکوس فاصله وزنی ۱۲ استفاده کردند. همچنین قهرودی تالی (۱۳۸۱) در ارتباط با تهیه نقشه‌های مکانی بارش و خشکسالی در سطح یک استان به مقایسه روش کریجینگ و معکوس فاصله وزنی پرداخت و نتیجه گرفت که واریانس داده‌ها در روش کریجینگ نسبت به معکوس فاصله وزنی از تغییرات کمتری برخوردار است. فرجی سبکبار و همکاران (۱۳۸۵) میزان دقت روش‌های مختلف درون‌یابی فضایی در الگوسازی بارندگی حوضه کارده مشهد را مورد ارزیابی قرار دادند و از روش‌های درون یابی تین، معکوس فاصله وزنی ،اسپلاین و انواع کریجینگ در حوضه آبریز کشف رود استفاده کردند و دریافتند که روش‌های تین و کریجینگ درون‌یابی بهتری نسبت به سایرین داشتند. شکوهی و آراسته از دیدگاهی متفاوت با موضوع درون‌یابی برخورد نمودند. آن‌ها برای تولید اطلاعات مربوط به ضریب هدایت هیدرولیکی سفره آب زیرزمینی در حوضه آب باریک بم (کرمان)، استفاده از روش‌های زمین‌آمار نظیر کریجینگ را در صورت کمبود داده اولیه به چالش کشیده و نشان دادند که در صورت کم بودن نقاط شاهد، این روش‌ها تا چه حد می‌توانند نتایج نادرستی به‌دست دهند (شکوهی و آراسته، ۱۳۸۷). نادی و همکاران (۱۳۹۱) در درون‌یابی داده‌های بارش از هفت روش کریجینگ با روند خارجی، رگرسیون‌کریجینگ، کریجینگ عمومی، کوکریجینگ، معکوس فاصله وزنی، اسپلاین و گرادیان خطی سه بعدی استفاده کردند. مطالعات مزبور در نهایت به این نتیجه رسید که رگرسیون کریجینگ تخمین دقیق‌تری از بارش را ارائه می‌دهد. مروتی و شکوهی (۱۳۹۲) برای درون‌یابی داده‌های دمای پایگاه

[10] Interpolation

[11] kriging
[12] Inverse Distance Weight

NCEP/NCAR Reanalysis از روش‌های درون‌یابی استفاده کرده و سعی کردند تا شبکه ۲/۵ درجه موجود را به یک شبکه یک درجه تبدیل نمایند. آن‌ها برای ارزیابی صحت داده‌های شبکه جدید، میانگین دمای داده‌های ۲/۵ درجه محصور در حوضه‌های مطالعاتی را داده مشاهداتی و متوسط داده‌های دمای ۱ درجه محصور در همان زیر حوضه را داده جدید در نظر گرفتند و با ارزیابی خطای درون‌یابی توسط آماره‌های RMSE و MBE نتیجه گرفتند که روش نزدیک‌ترین همسایگی و خطی بهترین عملکرد را در بین روش‌ها دارا می‌باشند.

هدف از این پژوهش افزایش توان تفکیک شبکه اطلاعاتی بانک داده‌های NCEP/NCA برای حرارت در سطح کشور ایران با استفاده از مدول‌های ساده تعبیه شده در متلب و دوری جستن از روش‌های مرسوم زمین‌آمار نظیر کریجینگ و دیگر مواردی است که در مروری بر ادبیات موضوع بدان‌ها اشاره شد. واقعیت آن است که مدول‌های تعبیه شده در GISهایی نظیر ArcGIS مسئله درون‌یابی را بسیار تسهیل می‌نمایند ولی هنوز مشکلاتی نظیر متنوع نبودن روش‌ها و همچنین پیچیدگی تأمین اطلاعات اولیه برای روش‌های خانواده کریجینگ (به عنوان مهم‌ترین روش درون‌یابی موجود در نرم‌افزارهای GIS) که شامل تعیین نوع مدل مورد استفاده برای واریوگرام، شعاع همسایگی، زاویه همگنی داده‌ها و ... می‌شود استفاده از این روش‌ها را برای کاربران سخت می‌نماید. در نتیجه برای رسیدن به هدف فوق‌الذکر و ایجاد سهولت در انجام این مهم، به منظور بررسی بهترین روش درون‌یابی از نرم‌افزار متلب که در آن از چهار روش خطی[13]، اسپلاین[14]، نزدیک‌ترین همسایگی[15] و روش همسایگی عادی (طبیعی)[16] برای درون‌یابی استفاده می‌گردد استفاده به عمل آمده است. برای انجام این تحقیق، سطح مقایسه، با توجه به طبیعت داده‌ها، سطح حوضه‌های آبریز درجه ۲ سی‌گانه سازمان تحقیقات منابع آب ایران در نظر گرفته شد. کنترل صحت داده‌های شبیه‌سازی شده بر این اصل استوار گردیده است که با به‌کارگیری ایستگاه‌های سینوپتیک سراسر کشور با طول دوره آماری طولانی (بیش از ۲۵ سال) لازم است متوسط درجه حرارت تولید شده برای هر زیرحوضه از دو منبع اطلاعاتی از نظر آماری تفاوت معنی‌داری نداشته باشند.

مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی

محدوده مورد بررسی،کشور ایران است که وسعت آن در حدود ۱،۶۴۸،۰۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد. مطابق تقسیمات سازمان تحقیقات منابع آب، کشور ایران دارای ۳۰ زیرحوضه هیدرولوژیکی درجه ۲ می‌باشد. تعدد زیرحوضه‌ها بیانگر تنوع آب و هوایی و اقلیمی این کشور می‌باشد. شکل شماره ۱ موقعیت زیرحوضه‌های درجه ۲ و همچنین پراکنش مکانی نقاط شبکه ۲/۵ درجه NCEP/NCAR را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود برخی از زیر حوضه‌ها چند نقطه از شبکه را محصور نموده‌اند ولی در برخی دیگر حتی یک نقطه هم وجود ندارد.

شکل(۱): حوضه‌های آبریز درجه ۲ و پراکندگی داده‌های شبکه‌بندی شده ۲/۵ درجه (NCEP/NCAR)

[13] Linear interpolation
[14] Spline
[15] Nearest neighbor
[16] Natural neighbor

روش‌های درون‌یابی

به فرآیند برآورد ارزش‌های کمی برای نقاط بدون داده به کمک نقاط مجاور و معلوم، درون‌یابی می‌گویند (قهرودی تالی و همکاران، ۱۳۸۹). آنچه مسلم است شباهت نقاط مجهول به نزدیک‌ترین نقاط معلوم یا اصل نزدیک‌ترین همسایه مبنای توسعه تقریباً همه روش‌های درون‌یابی می‌باشد و آنچه که مایه تفاوت روش‌ها و یا مدل‌های مختلف می‌شود این است که چگونه این اصل مورد استفاده قرار می‌گیرد. توصیف مختصری از این روش‌ها در بخش حاضر آورده شده است. در یک دسته‌بندی کلی روش‌های درون‌یابی را می‌توان به دو رده بزرگ تقسیم نمود:

• روش‌های درون‌یابی جبری یا قطعی[17]

درون‌یابی جبری بر نقاط معلوم اندازه‌گیری شده متکی است و برای درون‌یابی از توابع و روابط ریاضی استفاده می‌کند. در این درون‌یابی فرض بر آن است که تخمین پدیده مورد نظر به‌طور قطعی انجام می‌شود و لذا می‌توان گفت که درون‌یابی قطعی یا جبری یک درون‌یابی غیراحتمالاتی است. اگر بپذیریم که در این نوع درون‌یابی اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای، دقیق و بدون خطا انجام گرفته‌اند، آنگاه تابع درون‌یابی باید به گونه‌ای تعیین شود که مقادیر برآوردی در نقاط اندازه‌گیری دقیقاً با مقادیر اندازه‌گیری شده برابر شوند.

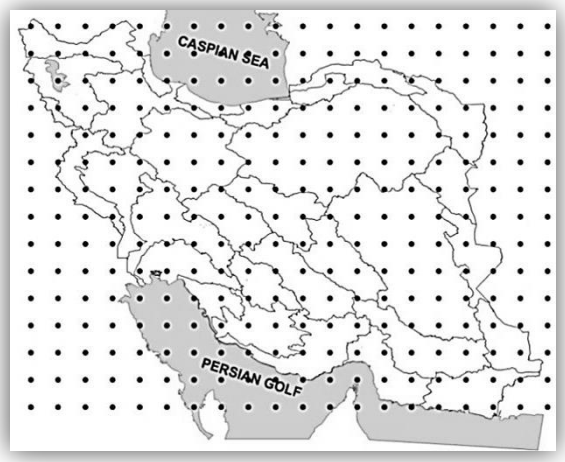
• روش‌های درون‌یابی زمین آماری[18]

علم زمین آمار، علم آمار فضایی است. روش‌های زمین آمار توابع ریاضی و آماری را در درون‌یابی به کار می‌گیرند و بر پایه ویژگی‌های آماری داده‌ها استوار می‌باشند. این تکنیک نقاط مجهول را بر اساس خود همبستگی بین نقاط اندازه‌گیری شده و ساختار فضایی آن‌ها پیش‌بینی می‌کند. در واقع درون‌یابی زمین‌آماری، یک درون‌یابی غیردقیق (Inexact) یا احتمالاتی است که در آن نقاط پیش‌بینی شده با اندازه‌های واقعی تفاوت دارند. این روش می تواند از تأثیر داده‌های نادر مثل حداکثرها و حداقل‌های مطلق جلوگیری کند.

درون‌یابی جبری به دو گروه همگانی[19] و موضعی[20] تقسیم می‌شود. تفاوت اساسی این دو گروه در آن است که در درون‌یابی همگانی برای برآورد نقاط مجهول برخلاف درون‌یابی موضعی، از داده‌های همهٔ نقاط اندازه گیری شده استفاده می‌شود. در روش درون‌یابی موضعی یا به تعداد نقاط همسایه توجه می‌شود (به این معنی که از تعداد محدودی نقطه اندازه‌گیری که تا نقطهٔ مورد نظر کم‌ترین فاصله را دارند در درون‌یابی استفاده شود)، یا فاصله نقاط همسایه از نقطه مورد نظر مورد توجه قرار می‌گیرد که در این حالت از داده‌هایی استفاده می‌شود که تا نقطهٔ مورد نظر کم‌ترین فاصله را دارند. به‌طور خلاصه در این روش، نقاط همسایه بر اساس تعداد یا فاصله تعریف می‌گردند. اگر تغییرات مکانی متغیر زیاد باشد مدل‌های موضعی نتایج بهتری به‌دست می‌دهند. در این حالت تعداد نقاط همسایه که برای برآورد یک نقطهٔ معین بکار گرفته می‌شوند در کیفیت نتایج تأثیر به‌سزایی دارد.

در این تحقیق برای تعیین دما در نقاط شبکه ۱ درجه از روی نقاط شبکه ۲/۵ درجه، از روش‌های ساده درون‌یابی جبری که در نرم‌افزار متلب تعبیه شده است استفاده به‌عمل می‌آید. شکل شماره ۲ موقعیت نقاط شبکه ۱ درجه‌ای و حوضه‌های درجه ۲ تماب را نشان می‌دهد. همانطوری که ملاحظه می‌گردد توزیع این نقاط به‌طور یکنواخت همه زیرحوضه‌ها و همچنین نقاط مرزی را تحت پوشش خود قرار می‌دهد.

[17] Deterministic
[18] Geostatistical
[19] Global
[20] Local



شکل(۲): شبکه یک درجه‌ای و زیرحوضه‌های درجه ۲

در صورت استفاده از هر یک از روش‌های درون‌یابی، از روابطی خاص برای تعیین مقدار مجهول از روی مقادیر معلوم استفاده می‌شود که در ذیل به اختصار آورده شده است.

درون‌یابی خطی

روش خطی یکی از پرکاربردترین روش‌های درون‌یابی است که با برازش یک تابع خطی بر نقاط، به درون‌یابی می‌پردازد. این روش به علت سادگی و سهولت کاربرد به صورت گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. معادله کلی روش خطی به صورت زیر است:

$$P(x)=\frac{x-b}{a-b}f(a)+\frac{x-a}{b-a}f(b) \quad (۱)$$

این معادله بین دو نقطه با مختصات (a, f(a)) و (b, f(b)) برازش داده شده است.

درون‌یابی به روش نزدیک‌ترین همسایگی

این روش داده جدید تولید نمی‌کند، بلکه در آن با توجه به فواصل موجود، برای هر نقطه مجهول یک نقطه مرجع تعیین شده و سپس مقداری مساوی نقطه مرجع به نقطه مجهول نسبت داده می‌شود. این روش استفاده گسترده‌ای در درون‌یابی برای داده‌های مکانی دارد. همچنین از این روش در افزایش وضوح تصاویر عکس‌های ماهواره‌ای استفاده می‌شود.

درون‌یابی به روش اسپلاین مکعبی

منظور از درون‌یابی اسپلاین، پیدا کردن معادله‌ای برای درون‌یابی است که به‌طور معمول یک چندجمله‌ای می‌باشد. اسپلاین به دونوع مربعی و مکعبی تقسیم می‌گردد. تفاوت این دو تکنیک در تعداد نقاط کنترلی است که برای رسم منحنی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در نرم‌افزار متلب از اسپلاین مکعبی استفاده شده است. اسپلاین مکعبی درواقع یک درون‌یاب چندجمله‌ای درجه ۳ است که در آن مقدار مشتق اول و دوم دو چند جمله‌ای مجاور برابر است. همچنین مقدار مشتق دوم این منحنی در نقاط ابتدایی و انتهایی برابر با صفر است. شکل کلی معادله به صورت زیر می‌باشد:

$$x_j(t)=a_j+b_j(t-t_j)+c_j(t-t_j)^2+d_j(t-t_j)^3 \quad (۲)$$

$$y_j(t)=e_j+f_j(t-t_j)+g_j(t-t_j)^2+h_j(t-t_j)^3 \quad (۳)$$

$$0<t_0<t_1<\ldots<t_{n-1}<n-1$$

که در آن :

n = تعداد نقاطی که منحنی درون‌یاب از آنها عبور می‌کند.

n-1 = تعداد قطعات می باشد.

درون‌یابی به روش همسایگی عادی (طبیعی)

این روش توسط سیبسون (۱۹۸۱) گسترش داده شد. این روش بر پایه تقسیم‌بندی ورونی[21] بنا شده است. شکل کلی معادله درون‌یاب به صورت زیر است:

$$G(x,y)=\sum_{i=1}^{n} w(i) f(x_i,y_i) \qquad (۴)$$

که در آن G(x,y) تابع درون‌یاب در نقطه (x,y) و w(i) وزن نقاط و (x,y) نقاط معلوم هستند. وزن پارامتر w(i) توسط تعداد نقاطی که در شبکه‌بندی ورونی محصور شده‌اند، محاسبه می‌شود.

ایستگاه‌های سینوپتیک

در این پژوهش برای بررسی و انتخاب بهترین روش برای درون‌یابی داده‌های دمای NCEP/NCAR، از مقایسه نتایج حاصل از درون‌یابی با دمای ثبت شده در ایستگاه‌های سینوپتیک با دوره آماری بلندمدت استفاده شده است. برای انجام این مطالعه ۴۷ ایستگاه سینوپتیک با طول دوره آماری ۲۶ سال (۲۰۰۵-۱۹۹۰) انتخاب گردید که پراکندگی آن‌ها در شکل شماره (۳) ملاحظه می‌گردد. همان طور که در شکل مزبور دیده می‌شود ایستگاه‌های سینوپتیک انتخاب شده از پراکندگی نسبتا خوبی در کل کشور برخوردارند.

روش ارزیابی به این صورت است که میانگین دمای ماهانه نقاط شبکه ۱ درجه محصور در هر زیرحوضه به عنوان داده‌ی جدید حاصل از به کار بردن مدل‌های مختلف درون‌یابی، با میانگین سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک داخل هر یک از زیرحوضه‌ها به عنوان داده مشاهداتی مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

شکل(۳): پراکندگی ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده برای ارزیابی روشهای درون‌یابی

معیارهای خطاسنجی

ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای اریبی (MBE)، همچنین ضریب کارآیی مدل (Nash-Sutcliffe) و ضریب باقیمانده(CRM) مطابق روابط زیر برای ارزیابی دقت داده‌های جدید در مقایسه با داده‌های سینوپتیک مورد استفاده قرار می‌گیرند.

$$RMSE=\sqrt{\frac{\sum(Ci-\overline{O})^2}{n}} \qquad (۵)$$

$$MBE=\frac{\sum(C_i-O_i)}{n} \qquad (۶)$$

$$NS=1-\frac{\sum_i(O_i-C_i)^2}{\sum_i(O_i-\overline{O}_i)^2} \qquad (۷)$$

$$CRM=\frac{\left[\sum_{i=1}^{n}O_i-\sum_{i=1}^{n}C_i\right]}{\sum_{i=1}^{n}O_i} \qquad (۸)$$

در این روابط C_i و O_i به ترتیب داده‌های محاسبه شده (درون‌یابی شده) و داده‌های مشاهده شده و n

[21] Voroni Tessellation

تعداد مشاهدات است. شاخص RMSE برای قضاوت روی میزان درستی روش‌ها استفاده می‌گردد و هر چه مقدار آن کمتر باشد، دقت روش بیشتر است. مقادیر مثبت MBE بیش از حد برآورد کردن و مقادیر منفی کمتر برآورد کردن دما نسبت به مشاهدات را برای روش موردمطالعه نشان می‌دهد. ضریب ناش - ساتکلیف از منفی بی‌نهایت تا یک متغیر است. در صورتی که مقدار آن برابر با صفر یا کمتر از این مقدار شود، بیانگر این است که میانگین مشاهده‌ای بهتر از مقدار برآورد شده توسط مدل (درون‌یابی شده) است. همچنین اگر مقدار آن برابربا یک شود، تطابق کامل بین مقدار مشاهده شده و مدل برقرار شده است (موریاست و همکاران، ۲۰۰۷). در واقع هرچه مقدار این ضریب به یک نزدیک‌تر باشد، مدل عملکرد بهتری دارد. همچنین مقدار مثبت ضریب باقیمانده بیانگر تمایل مدل برای برآورد مقادیرکمتر از مقدار مشاهداتی است و مقدار منفی این ضریب بیانگر آن است که مقادیر برآورد شده از مدل، بزرگ‌تر از مقادیر مشاهده شده هستند. در یک مدل ایده‌آل این ضریب صفر است.

نتایج و بحث

چهار حوضه از ۳۰ زیرحوضه، فاقد ایستگاه سینوپتیک با طول آماری بیش از ۲۵ سال می‌باشند. بنابراین مطالعات بر روی ۲۶ زیر حوضه درجه ۲ انجام شد. با استفاده از روش‌های درون‌یابی برای تمام نقاط شبکه ۱ درجه، دمای متوسط برآورد شده و سپس میانگین ریاضی آن برای هر زیرحوضه به‌دست آمد. در نهایت این عدد با میانگین ریاضی دمای ایستگاه‌های سینوپتیک موجود در زیرحوضه مقایسه گردید. برای انجام این کار پس از مرتب‌سازی داده‌ها و تفکیک نقاط شبکه و همچنین ایستگاه‌های سینوپتیک داخل هر زیرحوضه توسط نرم‌افزار ArcGIS، معیارهای خطاسنجی محاسبه شدند. نتایج حاصل در جداول (۱) و (۲) آمده است. همان طور که در جداول مزبور مشاهده می‌شود، با توجه به آماره RMSE، در ۸ مورد از ۲۶ مورد روش نزدیک‌ترین همسایگی و در ۷ مورد روش اسپلاین بهترین عملکرد را در بین روش‌ها به خود اختصاص داده‌اند. همچنین با توجه به آماره MBE در ۸ مورد روش نزدیک‌ترین همسایگی و در ۸ مورد روش اسپلاین بهترین عملکرد را داشتند. نظیر همین نتایج از دو آماره دیگر نیز بدست آمده است. با آماره ضریب باقیمانده در ۹ مورد بهترین روش برای درون‌یابی اسپلاین می‌باشد و در ۷ مورد روش نزدیک‌ترین همسایگی بهترین عملکرد را داشته است. آماره نش - ساتکلیف روش نزدیک‌ترین همسایگی در ۱۰ مورد بهترین عملکرد و روش اسپلاین مکعبی در ۷ مورد بهترین راندمان را داشته است. از نتایج بالا چنین استنتاج می‌شود که دو روش نزدیک‌ترین همسایگی و اسپلاین بهترین درون‌یاب‌ها برای داده‌های دما می‌باشند. نکته جالب دیگر در مقایسه دو روش برتر این است که نتیجه حاصل از اعمال روش‌های نزدیک‌ترین همسایگی عموماً کمتر از مقدار واقعی (میانگین ایستگاه سینوپتیک) و روش اسپلاین بیشتر از مقدار واقعی می‌باشد. نکته مهم دیگر در مورد روش خطی است که در همه موارد دارای خطایی نزدیک به دو روش برتر می‌باشد.

جدول (۱): مقدار *RMSE* برای روش‌های مختلف درون‌یابی

نام حوضه	خطی	نزدیکترین همسایگی	اسپلاین مکعبی	همسایگی طبیعی(عادی)
ارس	۲,۵۴۴	۲,۰۵۶۱	۲,۶۰۸۳	۲,۰۶۱۳
ارومیه	۱,۰۹۷۳	۲,۴۰۸۲	۱,۲۰۷۵	۰,۸۵۷۸
مرزی غرب	۴,۳۷۱۲	۴,۴۸۲	۴,۱۵۱۱	۴,۳۱۱۴
تالش	۳,۴۰۲۹	۲,۴۳۸۶	۳,۶۲۲	۳,۳۹۸۷
سفیدرود	۲,۶۴۴۲	۲,۵۱۹۹	۳,۰۲۳۶	۲,۳۳۸
کرخه	۱,۹۷۶۹	۲,۲۶۳۲	۱,۷۱۶۵	۲,۰۷۱۷
دریاچه نمک	۳,۴	۲,۸۱۷۸	۳,۷۸۸۷	۲,۸۰۶۴
کارون	۳,۴۰۸۷	۳,۷۱۶۱	۳,۵۰۲۸	۳,۰۲۳
جراحی	۱,۲۴۵	۱,۳۷۱۴	۱,۴۶۳۵	۱,۲۷۲۲
حله	۱,۳۵	۳,۷۷۹۵	۳,۷۷۹۵	۳,۶۵۴۹
مند	۴,۹۷۸۸	۷,۲۶۸۶	۴,۶۱۲	۴,۷۷۸۷
کل	۳,۶۴۲۶	۲,۴۷۴۴	۳,۶۴۲۶	۳,۵۵۰۴
سفیدرود-هراز	۱,۳۳۸۳	۰,۸۱۵۸	۱,۵۲۴۴	۱,۴۱۲۹
گاوخونی	۱,۴۸۶۶	۱,۵۱۸۷	۱,۶۷۶۶	۱,۰۹۷۱
ابرقو	۲,۵۷۶۷	۲,۰۱۱۲	۲,۱۵۲۴	۳,۰۲۷۸
هزارقره سو	۰,۷۴۹۴	۰,۹۲۷۳	۰,۸۷۴۴	۰,۹۹۷۹
گرگانرود	۱,۷۴۳۲	۰,۷۹۱۳	۱,۷۸۶۶	۱,۷۸۶۶
کویرمرکزی	۰,۷۹۶۲	۰,۹۳۹۴	۰,۸۲۰۷	۰,۸۲۹
کویر سیاه کوه	۳,۸۵۸۷	۳,۸۵۶۴	۴,۲۰۰۲	۳,۷۰۵۶
سرخس	۱,۱۱۴۲	۱,۰۱۷۸	۰,۹۹۲۱	۱,۲۲۴
کویر لوت	۱,۰۹۸۲	۱,۲۸۲	۱,۰۰۹۵	۱,۰۷۴۸
هامون-هیرمند	۱,۳۹۶	۲,۲۰۸۴	۱,۲۵۰۷	۱,۶۹۱۸
کویر درانجیر	۱,۹۴۹۱	۱,۶۵۴	۱,۸۴۴۶	۱,۹۱۶۹
جازموریان	۴,۰۶۸۹	۳,۵۶۰۷	۴,۱۷۶۶	۴,۰۲۹۹
بندرعباس	۱,۳۲۲۷	۱,۹۹	۱,۱۰۶	۱,۳۸۷۹
رودخانه‌های بلوچستان	۰,۴۴۳۷	۰,۵۵۶۳	۰,۵۹۱۴	۰,۴۵۷

جدول (۲) : مقدار MBE برای روش‌های مختلف درون‌یابی

نام حوضه	خطی	نزدیکترین همسایگی	اسپلاین مکعبی	همسایگی طبیعی(عادی)
ارس	-2.4077	-1.8675	-2.4703	-1.8921
ارومیه	-0.7431	-2.4	-0.8921	-0.3022
مرزی غرب	4.3353	4.4496	4.1148	4.2749
تالش	-3.3076	-2.3038	-3.5374	-3.3067
سفیدرود	-2.5321	2.4017	-2.9294	-2.2148
کرخه	1.8985	2.195	1.6331	1.9973
دریاچه نمک	-3.3421	-2.7506	-3.7402	-2.7382
کارون	-3.3671	-3.677	-3.465	-2.9763
جراحی	1.1312	1.2675	1.3767	1.1609
حله	1.2249	-3.7378	-3.7378	-3.6096
مند	4.9394	7.236	4.5693	4.7367
کل	-3.5901	-2.3993	-3.5901	-3.496
سفیدرود-هراز	-1.1143	-0.2895	-1.3381	-1.2172
گاوخونی	-1.3666	-1.3964	-1.5774	-0.9306
ابرقو	2.4989	1.9097	2.0605	2.9612
هزارقره سو	-0.0223	0.5415	-0.4174	-0.666
گرگانرود	-1.5531	-0.0485	-1.6069	-1.6069
کویرمرکزی	-0.3177	-0.5946	-0.3682	-0.3952
کویر سیاه کوه	-3.8022	-3.6467	-4.1492	-3.7998
سرخس	0.8204	0.659	0.6416	0.9633
کویر لوت	0.9049	1.1175	0.8048	0.8763
هامون-هیرمند	-1.2507	-2.1007	-1.0942	-1.574
کویر درانجیر	1.8283	1.7161	1.5126	1.7937
جازموریان	-4.0331	-3.5194	-4.1435	-3.994
بندرعباس	-1.2109	-1.9109	-0.9784	-1.28
رودخانه‌های بلوچستان	0.1607	-0.3733	0.4279	0.1967

نتیجه‌گیری

استفاده از داده‌های پایگاه‌های جهانی نظیر GPCC برای بارش و NCEP/NCAR برای دما با توجه به پوشش و دقت مناسب آن‌ها در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از محققین و مدیران در سطح دنیا قرار گرفته است . علت این امر را می‌توان سهولت به‌دست آوردن اطلاعات و تعیین دقیق برخی پارامترها و علی‌الخصوص ایجاد پایگاه داده مناسب برای مدیریت کلان منابع آب دانست. داده‌های پایگاه‌های جهانی معمولا به‌صورت شبکه‌بندی در اختیار عموم قرار می‌گیرند. برای انجام تحلیل در سطوح بزرگ تا حد حوضه‌های درجه ۲ کشور، شبکه اطلاعاتی نمی‌تواند دارای توان تفکیک بزرگ‌تر از ۱ درجه باشد زیرا دراین حالت برخی از زیرحوضه‌های میانی و همچنین نقاط مرزی فاقد داده خواهند بود. نکته دیگری که مشوق تولید داده‌های ۱ درجه از روی شبکه ۲/۵ درجه NCEP/NCAR می‌باشد آن است که برای داده‌های بارش (از بانک جهانی GPCC) اطلاعات با رزلوشن ۱ درجه دراختیار کاربران قرار دارد. بدیهی است که هماهنگی مکانی میان این دو بانک اطلاعاتی راه را برای تحلیل و محاسبه پارامترهای موردنیاز بیلان آبی هموارتر می‌نماید. یکی از نرم‌افزارهایی که برای داده‌های شبکه‌بندی شده امکان درون‌یابی را فراهم می‌سازد نرم‌افزار متلب می‌باشد که دارای چهار روش درون‌یابی است. در این تحقیق عملکرد چهار روش مزبور در سطح حوضه‌های درجه ۲ ایران مورد بررسی قرار گرفته است. به‌منظور صحت‌سنجی درون‌یابی انجام شده از آمار دراز مدت ۴۷ ایستگاه سینوپتیک کشور استفاده به عمل آمد. به‌منظور ارزیابی، متوسط دمای نقاط شبکه یک درجه در هر زیرحوضه با متوسط دمای سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک محصور در همان زیرحوضه مقایسه گردید. در این راستا برای بررسی دقت و برآورد خطای روش‌های درون‌یابی، از معیارهای خطاسنجی RMSE و MBE استفاده شد و مشخص گردید که دو روش نزدیک‌ترین همسایگی و اسپلاین بهترین عملکرد را در میان دیگر روش‌ها دارا بوده و کم‌ترین خطا را به خود اختصاص داده‌اند. روش‌های نزدیک‌ترین همسایگی در مناطق مسطح عملکرد بهتری داشتند. علت برتری نسبی روش نزدیک‌ترین همسایگی نسبت به سایر روش‌ها در این نقاط را می‌توان در ایجاد داده‌های مشابه با داده‌های اطراف خود و عدم استفاده از تقریب‌های ریاضی دانست. همچنین روش اسپلاین در مناطق با توپوگرافی نامنظم عملکرد بهتری را از خود نشان داد که باز هم علت را می‌توان در فرم ریاضی درجه ۳ مورد استفاده در این روش که امکان برقراری ارتباط میان داده‌های توپوگرافی متنوع‌تر را به صورت غیر خطی به‌دست می‌دهد دانست. همان‌طور که از جداول ۱ و ۲ آشکار است، هیچ روشی نیست که بتوان آن را به تنهایی برای کل ایران توصیه نمود ولی به نظر می رسد که روش‌های نزدیک‌ترین همسایگی و اسپلاین بیشترین تناسب را از خود نشان داده باشند. توصیه این است که استفاده از روش‌های ترکیبی بهترین گزینه می‌باشد. این امر بدان مفهوم است که داده‌های تولید شده با روش برتر را برای هر زیر حوضه ثبت کرده و سپس با روش‌های تولید سطح از نقطه در محیط ARCGIS نظیر کریجینگ و یا هر روش دیگر به تولید نقشه دمایی ایران برای مقاطع زمانی مورد نظر پرداخت.

با انجام این پژوهش می‌توان ادعا کرد با به کارگیری روش‌های درون‌یابی داده‌های شبکه‌بندی شده در نرم‌افزار متلب به ویژه دو روش نزدیک‌ترین همسایگی و اسپلاین، تراکم بسیار خوبی از داده‌های دما در سراسر کشور در اختیار قرار می‌گیرد. با انجام این تحقیق اکنون در سطح کشور ۱۵۴ داده ۱ درجه درون‌یابی شده حاصل از پایگاه NCEP/NCAR موجود است، درحالی‌که تنها ۴۷ ایستگاه سینوپتیک با طول دوره آماری

بلندمدت وجود دارد. فاصله داده‌های ۱ درجه شبکه‌بندی شده در مقیاس واقعی در حدود km۱۰۰km ×۱۰۰است که پوشش مکانی بسیار مناسبی را به‌دست می‌دهد. این داده‌ها در مناطقی نظیر مرکز، شرق و جنوب شرق کشور که ایستگاه‌های زمینی تراکم کم و پراکندگی نامناسبی دارند، از اهمیت ویژه‌ای برای انجام مطالعات هیدرولوژی، اقلیمی و برنامه‌ریزی منابع آب برخوردار می‌باشند. داشتن ۱۵۴ نقطه در شبکه منظم یک درجه‌ای در سطح کشور، امکان تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی دما با دقت بالا را فراهم می‌نماید.

منابع

اسفندی درآباد، ف.، س. ا. حسینی، م. آزادی مبارک و ز. حجازی زاده. ۱۳۸۹. پیش‌بینی میانگین دمای ماهانه ایستگاه سینوپتیک سنندج با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه (MLP). فصلنامه علمی-پژوهشی انجمن جغرافیای ایران، شماره ۲۷، ص ۴۵ - ۶۵ .

اکبری، ط. و س. ا. مسعودیان. ۱۳۸۸. شناسایی رژیم دمایی و پهنه‌بندی نواحی دمای ایران. مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال بیستم، (۱)۳۳، ص ۷۴-۵۹.

بداق جمالی، ج.، س. جوانمرد و ر. شیرمحمدی. ۱۳۸۱. پایش و پهنه‌بندی وضعیت خشکسالی استان خراسان با استفاده از نمایه استانداردشده بارش. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. مقاله ۵۵۰.

ثقفیان، ب.، ه. رزمخواه و ب. قرمزچشمه. ۱۳۹۰. بررسی تغییرات منطقه‌ای بارش سالانه با کاربرد روش‌های زمین آمار (مطالعه موردی: استان فارس). مجله مهندسی منابع آب، سال چهارم، ص ۳۸-۲۹.

رضیئی، ط. و ا. فتاحی. ۱۳۹۰. ارزیابی کاربرد داده‌های بارش NCEP/NCAR در پایش خشکسالی ایران. مجله فیزیک زمین و فضا، شماره ۲، ص ۲۴۷-۲۲۵.

شکوهی، ع. و پ. دانشکار آراسته. ۱۳۸۷. مقایسه روش‌های تخمین هدایت هیدرولیکی سفره آب زیرزمینی به منظور استفاده در مدل‌های شبیه‌سازی. مجله تحقیقات فنی و مهندسی، جلد ۲، شماره ۹، ص ۹۵-۱۱۲.

عساکره، ح. ۱۳۸۷. کاربرد روش کریجینگ در میان‌یابی بارش. مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۱۲، ص ۴۲-۲۵.

غیور، ح. و م. منتظری. ۱۳۸۳. پهنه‌بندی رژیم‌های دمایی ایران با مؤلفه‌های مبنا و تحلیل خوشه‌ای. مجله جغرافیا و توسعه، سال دوم، شماره ۴، ص ۲۱-۳۴.

فرجی سبکبار، ح. ع. و ق. عزیزی. ۱۳۸۵. ارزیابی میزان دقت روش‌های درون‌یابی فضایی مطالعه موردی: الگوسازی بارندگی حوضه کارده مشهد. مجله پژوهش‌های جغرافیایی .شماره ۵۸. ص ۱۵-۱.

قهرودی تالی، م. ۱۳۸۱. ارزیابی درون‌یابی به روش کریجینگ. مجله پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۳، ص ۱۰۸-۹۵.

مروتی، ر. و ع. شکوهی. ۱۳۹۲. ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی داده‌های شبکه‌بندی شده دما (مورد مطالعاتی:کشور ایران). دوازدهمین همایش ملی آبیاری و کاهش تبخیر.

مسعودیان، س. ا. ۱۳۸۲. تحلیل ساختار دمای ماهانه ایران. مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان (علوم انسانی). جلد پانزدهم، شماره ۱ و ۲، ص ۸۷ - ۹۶.

مسعودیان، س. ا. ۱۳۸۳. بررسی روند دمای ایران در نیم سده‌ی گذشته. مجله جغرافیا و توسعه، سال دوم، شماره ۳، ص ۸۹ - ۱۰۶.

مسعودیان، س. ا. ۱۳۸۲. تحلیل ساختار دمای ماهانه ایران. مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان. جلد پانزدهم. شماره ۱و۲، ص ۸۷ - ۹۶ .

مسعودیان، س. ا. ۱۳۸۴. بررسی روند دمای ایران در نیم سده گذشته. مجله پژوهش‌های جغرافیایی.شماره ۵۴، ص ۲۹-۴۵.

نادی، م.، م. جامعی، ج. بذرافشان و س. جنت رستمی. ۱۳۹۱. ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی داده‌های بارندگی ماهانه و سالانه (مطالعه‌ی موردی: استان خوزستان). مجله پژوهش‌های جغرافیایی. سال۴۴، شماره۴، ص ۱۳۰-۱۱۷.

Apaydin H., K. Sonmez and E. Yildirim. 2004. Spatial interpolation techniques for climate data in the GAP region in Turkey. J. Climate Research, 28:31-40.

Bordi, I., K. Fraedrich, M. Petitta, and A. Sutera. 2006. Large-scale assessment of drought variability based on NCEP/NCAR and ERA-40 re-analyses.Water Resour. Manage, 20: 899–915.

Chang, C. L., S. L. Lo and S. L.Yu. 2005. Applying fuzzy theory and genetic algorithm to interpolate precipitation. Journal of Hydrology 314 :92–104

oly, D., L. Nilsen, R. Fury A. Elvebakk, and T. Brossard. 2003. Temperature Interpolation at a Large Scale: Test On A Small Area In Svalbard. International Journal of Climatology. 1637–1654.

Kalnay, E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, A. Leetmaa, R. Reynolds, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K. C. Mo, C. Ropelewski, J. Wang, R. Jenne and D. Joseph. 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project, Bull. Amer. Meteor. Soc., 77:437–471.

Moriasi, D. N., J. G. Arnold, M. W. Van Liew, R. L. Bingner, R. D. Harmel, and T. L. Veith. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations.Transactions of the ASABE, Vol, 50, No,3, pp: 885-900.

Raziei , T., I. Bordi, , L. S. Pereira and A. Sutera. 2010. Space- time variability of hydrological drought and wetness in Iran using NCEP/NCAR and GPCC datasets. Hydrology and Earth System Science, 14: 1919–1930.

Raziei, T., I. Bordi and L. S. Pereira. 2011. An Application of GPCC and NCEP/NCAR Datasets for Drought Variability Analysis in Iran. Water Resour Manage., 25:1075–1086

Raziei, T., B. Saghafian, A. A. Paulo, L. S. Pereira, and I. Bordi. 2009. Spatial and temporal variability of drought in western Iran. Water Resour. Manage., 23: 439–455.

Rossi, G. 2003. Requisites for a drought watch system, in G. Rossi et al. (Eds) Tools for drought mitigation in Mediterranean regions. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 147–157.

Sibson, R. 1981. A brief description of natural neighbor interpolation (Chapter 2). In V. Barnett. Interpreting Multivariate Data. Chichester: John Wiley.

Tssung, C. K. 2004. Introduction to geographic information system, 2nd edition, Mc Graw Hill.

Evaluation of different interpolation methods for NCEP/NCAR temperature data over the 2nd order watersheds in Iran

Reza Morovati[1] , Alireza Shokoohi[2]

Abstract

Temperature is one the most important parameters in climatology and hydrological investigations. The main purpose of this article is enhancing the resolution of the gridded annual temperature data of the NCEP/NCAR reanalysis dataset to a reasonable level. In this data base, temperature is available at the resolution of 2.5 degree. For regional studies in Iran, due to the diversity of topographical features, the precision of the available resolution is not enough. In this research, it is intended to replace a finer resolution of 1 degree by applying the interpolation methods embedded in the MATLAB. There are 4 different methods for interpolation in the MATLAB: Linear, Nearest Neighborhood, Spline and Natural Nearest Neighborhood. By applying these methods over the 30 second order watersheds across Iran, a network of 1*1 degree resolution was obtained from the 2.5*2.5 degree resolution. To examine the precision of the simulated data, the annual average temperature for each sub-watershed was calculated via the long term data of the 47 synoptic stations distributed unevenly across the country. Using RMSE,MBE, Nash-Sutcliffe and CRM statistics the Nearest Neighborhood and Spline methods was identified as the best methods for interpolation of the NCEP/NCAR reanalysis temperature data. The main result of this research is the generation of gridded temperature data for hydro-climatological studies, introducing a method for its updating and henceforth, omitting the labor of gathering, testing and using local data.

Keywords: Gridded data, Interpolation, Temperature, 2nd order watersheds, Matlab, NCEP/NCAR.

[1] M.Sc graduate of water engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

[2] Associate professor, Imam Khomeini International University, Faculty of Engineering and Technology, Water Engineering Department, Qazvin, Iran.
shokoohi@eng.ikiu.ac.ir