منطقه‌ای نمودن ضریب رواناب در استان همدان با استفاده از روش‌های زمین‌آماری و GIS

گلمر گلمحمدی[۱]، صفر معروفی[۱*] و کورش محمدی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۳/۱۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۶/۱۲/۲۰)

چکیده

در این تحقیق، با استفاده از قابلیت سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و به‌کارگیری روش‌های مختلف زمین‌آمار از جمله روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ (معمولی، ساده و عمومی) و هم‌چنین توابع شعاعی پایه، تغییرات مکانی ضریب رواناب سالانه استان همدان مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور با استفاده از داده‌های آماری یک دوره ۱۱ ساله تعداد ۱۸ ایستگاه آب‌سنجی موجود در منطقه و هم‌چنین استفاده از ۱۱ نقطه اضافی کمکی، به‌کارگیری نقشه رقومی استان، تغییرات مکانی ضریب جریان سالانه برآورد گردید. معیارهای ارزیابی در این پژوهش متوسط قدرمطلق خطا، متوسط خطای اریب، ریشه میانگین مربعات خطا و انحراف استاندارد عمومی، با استفاده از روش اعتبارسنجی حذفی بود. ضمناً با توجه به هم‌بستگی بالایی که بین مقادیر ضریب رواناب و شیب متوسط حوضه‌ها وجود دارد، این پارامتر به‌عنوان متغیر کمکی در برآوردهای مربوطه مورد استفاده قرار گرفت، نتایج به‌دست آمده نشان دادند که ضریب رواناب در این استان بین ۳/۵ و ۸۵ درصد تغییر می‌کند. به‌منظور تحلیل‌های مکانی ضریب رواناب در سطح استان همدان، روش کوکریجینگ عمومی با مدل دایره‌ای با توجه به مقادیر متوسط خطای اریب (۰/۰۰۱۴-)، متوسط قدرمطلق خطا (۰/۰۳۶۶)، ریشه میانگین مربع خطا (۰/۰۵۴) و انحراف استاندارد (۲۰/۱۵)، به‌عنوان بهترین روش زمین‌آمار شناخته شد. از این نظر، روش‌های کوکریجینگ معمولی و ساده با مدل دایره‌ای، با هم همسان و برابر بوده و در مرتبه بعدی قرار گرفتند.

واژه‌های کلیدی: ضریب رواناب، درون‌یابی، زمین‌آمار، کریجینگ، کوکریجینگ، توابع پایه شعاعی

مقدمه

با توجه به رشد روزافزون جمعیت و ضرورت استفاده بهینه از منابع آب موجود، تعیین دقیق داده‌های بارندگی و رواناب (در مقیاس منطقه‌ای) برای نیل به اهداف آبیاری، مدل‌سازی فرایندهای هواشناسی و توسعه منابع آب، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. لیکن به دلایل اقتصادی، تعداد ایستگاه‌های آب‌سنجی و یا باران‌سنجی در اغلب موارد عمدتاً کم بوده و یا در بعضی حوضه‌ها اصلا وجود ندارد.

استان همدان، که موضوع این تحقیق می‌باشد، دارای حوضه‌های آب‌ریز وسیع و با شرایط هیدرولوژیک متفاوت و

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و استادیار آبیاری و زه‌کشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۲. دانشیار آبیاری و زه‌کشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: marofi@basu.ac.ir / smarofi@yahoo.com

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.38.7]

تقریباً ناهمگن است و به‌دلیل تعداد کم ایستگاه‌های باران‌سنجی و آب‌سنجی در سطح استان، آمار و اطلاعات جمع‌آوری بارندگی و رواناب نمی‌تواند تغییرات مکانی تمام نقاط استان را نشان دهد. بنابراین درونیابی دقیق اطلاعات تهیه شده، امری ضروری می‌باشد. به‌عبارت دیگر، درون‌یابی به‌عنوان یک روش مناسب، برای تعمیم اطلاعات نقطه‌ای به منطقه‌ای، دارای کاربرد گسترده‌ای است.

امروزه به‌منظور تخمین متغیرهای مکانی یک منطقه (از جمله بارش و رواناب) از روشی آماری تحت عنوان زمین آمار (Geostatistics) استفاده می‌گردد. تفاوت اصلی این روش با آمار کلاسیک این است که در آمار کلاسیک نمونه‌های گرفته شده از یک جامعه آماری، مستقل از یکدیگر بوده و وجود یک نمونه هیچ‌گونه اطلاعاتی در باره نمونه بعدی نمی‌دهد. اما روش زمین‌آمار وجود هم‌بستگی مکانی بین مقادیر یک متغیر، در یک ناحیه را بررسی می‌نماید. روش‌های مختلف زمین‌آمار بسته به نوع متغیر، دقت متفاوتی را نشان می‌دهند. با توجه به امکان استفاده از این روش‌ها در سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و استفاده روز افزون از این سامانه‌ها، اهمیت انتخاب روش مناسب توسط استفاده کننده دو چندان می‌گردد.

نخستین تجربه‌ها جهت به‌کارگیری روش‌های زمین‌آماری به مفهوم امروزی آن در محاسبات تخمین ذخیره از حدود ۷۰ سال پیش با شناسایی مقدماتی الگوهای توزیع طلا در معادن آفریقای جنوبی شروع شد. هوپر (Hooper) و واترمایر (Watermeyer) پیشگامان تئوری‌های زمین‌آماری بودند که در زمینه معدن طلا تحقیق کردند. اولین مقاله در این زمینه توسط واترمایر در سال ۱۹۱۹ منتشر شد که در آن لزوم به‌کارگیری میانگین وزنی به جای میانگین حسابی بیان شده بود. در ضمن شباهت بین مقادیر نمونه‌ها به‌عنوان تابعی از فاصله نمونه‌ها ارزیابی شده و این رابطه، پایه اصلی زمین‌آمار را تشکیل می‌دهد. این رابطه را اولین بار کریج (Krige) کارشناس معدن در آفریقای جنوبی در سال ۱۹۶۶ جهت ارزیابی معادن پیشنهاد کرد. به دنبال روند تکاملی روش‌های آماری مورد استفاده در تخمین ذخایر معدنی که از سال‌ها قبل آغاز شده بود، ماترون (Matheron) با انتشار مقاله‌ای در سال ۱۹۶۲ پایه‌های زمین‌آمار نوین را بنا نهاد. در سال ۱۹۹۰ میلادی نتایج حاصل از تخمین سطح ایستابی به روش زمین‌آمار که برای بهینه کردن شبکه‌های پایش در کشور مراکش انجام شده بود، توسط بن‌جما (۱۴) و مارینو (Marino) ارائه گردید. این نتایج حاکی از برتری روش‌های زمین‌آماری بر روش‌های مبتنی بر آمار کلاسیک بود (۱۳). در تحقیق دیگری که توسط بن‌جما و مارینو در ایالت کالیفرنیای آمریکا در سال ۱۹۹۴ صورت گرفت، هم‌زمان دو پارامتر ژئوهیدرولوژیک وابسته به هم (قابلیت انتقال و دبی ویژه) با استفاده از یک روش دیگر زمین‌آماری (روش کوکریجینگ) تخمین زده شد. نتایج این تحقیق نیز تخمین‌های درست‌تری را نسبت به روش‌های سنتی مشخص می‌ساخت، اما به امکان استفاده از این روش در صورت هم‌آهنگی پارامترهای مورد اندازه‌گیری با ساختار روش‌های زمین‌آمار نیز اشاره شده بود (۱۴). مک‌کنا در سال ۲۰۰۲ برای بالا بردن دقت در تخمین و شبیه‌سازی داده‌های مؤثر بر جریان آب زیرزمینی در ایالت کلرادوی آمریکا از روش‌های زمین‌آماری که مبتنی بر استخراج تغییرنما (Variogram) بود، استفاده کرد. نتایج این آزمایش حاکی از این است که استفاده از روش‌های زمین‌آمار، معمولاً علاوه بر بالا بردن دقت تخمین داده‌ها، می تواند باعث کمتر شدن تعداد نمونه‌برداری شود (۱۶).

آنالیز درون‌یابی بارندگی در منطقه سانتاباربارا توسط نگوین و همکاران(۱۸) انجام شده است. در این تحقیق محققان در مرحله اول سعی نمودند از دو روش کریجینگ و فاصله معکوس برای درونیابی اطلاعات استفاده نمایند. اما با رسم نیم-تغییرنماها و تفسیر آنها چون هم‌بستگی خاصی بین اطلاعات دیده نشد، روش کریجینگ مناسب تشخیص داده نشده و به جای آن روش رگرسیون چندگانه استفاده گردید. در این مطالعه اطلاعات بارندگی برای ۶۰ نقطه به‌دست آمده و در نهایت با محاسبه میزان خطای باقی‌مانده نسبی، این نتیجه به‌دست آمد که روش رگرسیون چندگانه نتایج بهتری نسبت به روش فاصله

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.38.7]

معکوس برای درون‌یابی بارندگی ارائه داده است(۱۸).

در ایران نیز از این روش‌ها در موارد مختلف استفاده شده است. به‌عنوان مثال رضوانی (۵) برای تخمین انتقال فسفر در سیلاب خروجی از حوضه‌های آبخیز، با استفاده از مقادیر فسفر اندازه‌گیری شده در حوضه، از تخمین‌های زمین‌آماری استفاده کرد. در مطالعه دیگری که توسط شمس‌الدینی در استان‌های شمالی ایران انجام شد، تغییرات منطقه‌ای بارندگی با استفاده از روش کریجینگ محاسبه گردید (۶). صفری (۷) نیز از تخمینگرهای زمین‌آماری برای ایجاد شبکه بهینه پایش تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت چمچمال استفاده کرد. میثاقی در تحقیقی الگوریتم ترکیبی زمین‌آمار و شبکه عصبی مصنوعی به‌منظور استخراج توزیع مکانی بارندگی را برای منطقه مارون در استان خوزستان بررسی نمود. نتایج تحقیق نشان داد که از بین کلیه الگوریتم‌ها و روش‌های میان‌یابی بررسی شده، تخمینگرهای زمین آمار نتیجه بهتری حاصل می‌نمایند و خطای برآورد و میان‌یابی توسط مدل‌های شبکه عصبی نسبت به روش‌های زمین‌آمار بیشتر است. لذا تخمینگرهای کریجینگ و کوکریجینگ دارای این توانایی هستند که میزان بارندگی را در نقاط فاقد آمار با دقت قابل قبولی برآورد نماید (۱۲).

رحیمی بندرآبادی روش‌های زمین‌آمار را در برآورد بارندگی مناطق خشک و نیمه‌خشک جنوب شرق ایران به‌کار برد و روش‌های کریجینگ معمولی، کوکریجینگ و TPSS (Thin Plate Smoothing Splines) بدون متغیر کمکی را برای برآورد بارش سالانه و ماهانه در منطقه جنوب شرق ایران مورد بررسی و مقایسه قرار داد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که برای بارندگی سالانه روش‌های TPSS با متغیر کمکی ارتفاع و کریجینگ به ترتیب از دقت بیشتری برخوردار می‌باشند. در مورد بارندگی ماهانه نیز روش TPSS با توان ۲ به‌عنوان بهترین روش شناخته شد (۴). مهدی‌زاده روش‌های زمین‌آمار را برای برآورد دما و بارندگی در حوضه آب‌ریز دریاچه ارومیه، مورد ارزیابی قرار داد(۱۱). به‌طورکلی از بین روش‌های TPSS، کریجینگ، کوکریجینگ و میانگین متحرک وزنی، روش TPSS با متغیر کمکی و توان ۲ برای برآورد دما انتخاب گردید و روش‌های کوکریجینگ، کریجینگ و میانگین متحرک وزنی به ترتیب در مراتب بعدی قرار گرفتند. در رابطه با بارندگی نیز روش TPSS با توان ۲ و بدون متغیرکمکی و سپس روش کریجینگ معمولی و WMA (Weighted Moving Average) اولویت دارند. در مجموع روش مناسب برای برآورد دمای متوسط ماهانه، روش TPSS با متغیر کمکی و توان ۲ می‌باشد و فقط در دی ماه توان ۳ نتیجه بهتری را ارائه می‌دهد. در مورد دمای سالانه نیز روش TPSS با متغیر کمکی و توان ۲ با خطا و انحرافی به ترتیب در حدود ۰/۵۹و ۰/۱۰ درجه سانتی‌گراد، در مقایسه با روش‌های دیگر از دقت بیشتری برخوردار است. برای برآورد بارندگی ماهانه، به غیر از ماه‌های بهمن و تیر که روش TPSS با متغیر کمکی و توان ۲ بهترین دقت را دارد، از روش TPSS بدون متغیر کمکی و توان ۲ استفاده شد، که در مقایسه با سایر روش‌ها از نتیجه بهتری برخوردار بوده است. هم‌چنین برای برآورد بارندگی سالانه، استفاده از روش TPSS بدون متغیر کمکی وتوان ۲، با خطا و انحرافی به ترتیب در حدود ۴، ۴۳ و ۵/۳ میلی‌متر در مقایسه با روش‌های میانگین متحرک وزنی و روش‌های کریجینگ، از دقت بیشتری برخوردار است (۱۱).

اقدسی به ارزیابی روش‌های زمین‌آمار برای ترسیم میزان عددی بارندگی روزانه و سالانه پرداخت (۱). در این مطالعه چند روش زمین‌آمار، شامل کریجینگ، میانگین متحرک وزنی با توان‌های ۱ الی ۵ وTPSS (با استفاده و یا بدون متغیر کمکی ارتفاع، و توان‌های ۲ الی ۵) برای منطقه‌ای کردن بارش سالانه، ماهانه، ده روزه و روزانه در منطقه دشت برخوار اصفهان واقع در بخش مرکزی ایران مورد ارزیابی قرار گرفت. معیار ارزیابی خطا در روش‌های به‌کار رفته، روش اعتبارسنجی حذفی بوده است. ارزیابی روش‌ها در هر یک از مقیاس‌های زمانی سالانه، ماهانه، ده روزه و روزانه حاکی از آن است که مناسب‌ترین روش برای برآورد بارندگی روش TPSS می‌باشد(۱). هم‌چنین لوک‌زاده به ارزیابی روش‌های مختلف بازسازی خلاهای آماری

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.38.7]

بارندگی در منطقه البرز مرکزی پرداخت. روش‌های به‌کار رفته در تحقیق مذکور شامل روش‌های کلاسیک مانند رگرسیون خطی، نسبت نرمال و عکس مجذور فاصله و نیز روش‌های زمین‌آمار است. بدین منظور از بین ایستگاه‌های موجود در منطقه، ۱۸ ایستگاه که در دوره ۲۷ ساله دارای آمار کامل و بدون خلأ بود، انتخاب گردید و در مقاطع زمانی سالانه، فصلی و ماهانه خلأهای آماری بازسازی گردید. نتایج ارزیابی، روش نسبت نرمال را در ۶۹/۲ درصد موارد و معیار ضریب هم‌بستگی همین روش را در ۵۳/۸ در موارد به‌عنوان مناسب‌ترین روش معرفی نمود (۹).

ضریب رواناب که موضوع این تحقیق می باشد، بخشی از بارندگی است که به‌طور مستقیم به رواناب تبدیل می‌شود. مفهوم ضریب رواناب برای اولین بار در قرن بیستم مطرح شده است و در حال حاضر نیز به‌منظور طرح و محاسبات مهندسی از آن استفاده می‌گردد (۱۹). هم‌چنین از ضریب رواناب به‌عنوان پارامتری برای نشان دادن میزان رواناب تولیدی در حوضه‌های آب‌ریز استفاده می‌شود، کاربرد دیگر ضریب رواناب در دستیابی به مدل‌های فراوانی سیل می‌باشد که در آنها با استفاده از میزان بارندگی فراوانی سیل تخمین زده می‌شود و در مهار آن به‌کار برده می‌شود (۲۰).

مرز و همکاران(۱۷) در سال ۲۰۰۶ مقادیر ضریب رواناب را با استفاده از داده‌های ساعتی رواناب، بارندگی و نیز تخمین-هایی از بارش برف محاسبه کردند. در این رابطه به‌طورکلی در حدود ۵۰۰۰۰ مورد رواناب در ۳۳۷ حوضه آب‌ریز اتریش با وسعتی بین ۸۰ تا ۱۰۰۰۰ کیلومتر مربع، طی سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۰ برآورد گردید و مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده بیانگر آن است که توزیع مکانی ضریب رواناب، هم‌بستگی شدیدی با میانگین بارش سالانه داشته ولی با نوع خاک و کاربری اراضی وابستگی بسیار کمی دارد (۱۷). کردان و همکاران (۱۵) در سال ۲۰۰۴ در ۳۵۴ مورد، رواناب حاصل از بارندگی را در سه حوضه با مساحت‌های مختلف در فرانسه به‌منظور مطالعه تأثیرات مساحت حوضه بر فرایند تولید رواناب مورد بررسی قرار دادند. با توجه به تجربیات کردان و همکاران، با افزایش مساحت حوضه‌ها در میزان رواناب تولیدی کاهش چشمگیری حاصل می‌شود.

جمشیدنژاد عنبرانی (۳) در سال ۱۳۷۷، تخمین ضرایب رواناب در حوضه‌های آب‌ریز دریای خزر را مورد مطالعه قرار داده و روشی استدلالی- احتمالی (با دقت قابل توجه) را معرفی و در بخشی از این حوضه آب‌ریز استفاده نمود. در تحقیق مذکور، با استفاده از برنامه کامپیوتری TR شدت‌های بارندگی ایستگاه‌های باران‌سنجی و دبی‌های حداکثر لحظه‌ای مشاهده شده مورد مطالعه و تحلیل فراوانی قرار گرفتند و ضرایب رواناب با دوره‌های برگشت مختلف محاسبه شد. نتایج این تحقیق نشان داد که ضرایب رواناب به‌دست آمده کمتر از مقادیر داده شده در مراجع معتبر (نظیر چاو و همکاران، ۱۹۹۸) بوده است. هم‌چنین پرهمت(۲) در سال ۱۳۸۱ برای بررسی مدل توزیع رواناب حاصل از ذوب برف، توزیع مکانی بارش را با استفاده از روش‌های زمین‌آمار بررسی‌کرد. در این رابطه روش‌های مختلفی در شبیه‌سازی توزیع مکانی بارش با به‌کارگیری معیارهای ارزیابی برای بارندگی در سه مقیاس روزانه، واقعه طوفان و سالانه مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج ارزیابی روش‌های مختلف نشان می‌دهد که دو روش TPSS و هم‌بستگی، نسبت به برآورد بارندگی در سه مقیاس زمانی بر اساس معیارهای موجود مناسب‌تر از بقیه روش‌ها می‌باشند. بر این اساس، نقشه توزیع مکانی بارندگی در دوره‌های منتخب در سال آبی ۷۶-۱۳۷۵ در پیکسل‌های ۳۰۰ متری از روش TPSS تهیه گردید. هم‌چنین نقشه همباران سالانه با استفاده از نقشه‌های توزیعی فوق به‌دست آمده‌اند (۲).

هدف از این تحقیق، تعیین توزیع مکانی ضریب رواناب در محدوده استان همدان بوده است. با توجه به تحقیقات انجام شده در خصوص کاربرد زمین‌آمار در تخمین توزیع بارندگی و رواناب، بیشترین روش به‌کار رفته، روش کریجینگ و توابع شعاعی پایه با تابع TPSS بوده است. به‌منظور تخمین توزیع مکانی ضریب رواناب در منطقه مورد مطالعه، علاوه بر این دو

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.38.7]

روش (با توابع مختلف)، روش‌کوکریجینگ نیز به‌کار گرفته شده، تا بتوان بهترین روش را تعیین نمود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، استان همدان می‌باشد. استان همدان یکی از نواحی کوهستانی در غرب کشور است که در حد فاصل عرض جغرافیایی شمالی ′۳۳°۳۳ تا ′۳۵°۳۸ و طول شرقی ′۴۷°۴۵ تا ′۴۹°۳۶ قرار گرفته است. مساحت استان در حدود ۱۹۵۴۵/۸۲ کیلومتر مربع می‌باشد. جهت تعیین مقدار رواناب از آمار تعداد ۱۸ ایستگاه آب‌سنجی در سطح استان همدان، که دارای طول دوره مشترک آماری ۱۱ ساله بودند، استفاده گردید. در جدول ۱ و شکل ۱، به ترتیب مشخصات و موقعیت ایستگاه‌های مذکور نشان داده شده است. ضمناً مقادیر بارندگی نیز بر اساس مطالعه گل‌محمدی (۱۳۸۵) تعیین شد که در شکل ۲ نشان داده شده است. قبل از پردازش داده‌ها، آزمون‌های مختلفی روی آنها صورت گرفت که به شرح زیر می‌باشند:

آزمون همگنی داده‌ها

بدین منظور از روش جرم مضاعف (Double mass) و آزمون توالی (Run test) با توجه به جدول مجاز تغییرات در سطح اعتماد ۹۵ درصد برای کلیه ایستگاه‌های منطقه به تفکیک استفاده گردید. نتایج مربوطه بیانگر صحت فرض‌های تصادفی بودن و همگنی داده‌ها می‌باشد.

بازسازی داده‌های ناقص

در مواردی که به هر دلیلی در سری داده‌های مربوط به هر ایستگاه داده‌های ناقص (آمار گمشده و یا پرت) وجود داشت، اقدام به بازسازی و تکمیل آنها گردید. در این رابطه از روش هم‌بستگی بین ایستگاه‌ها به‌دلیل کارایی و دقت مناسب آن استفاده گردید. در این خصوص با توجه به آمار ایستگاه مبنا (متغیر مستقل) و ایستگاه فاقد آمار (متغیر وابسته)، داده‌های مورد نظر با استفاده از نرم افزار SPSS مورد بازسازی قرار گرفت.

آزمون آماری کلموگروف- اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov)

ارزیابی نرمال بودن داده‌ها در محیط نرم‌افزار SPSS صورت گرفت. داده‌های بارندگی مورد استفاده در این تحقیق دارای توزیع نرمال بودند، لذا تبدیلی روی آنها انجام نشد ولی داده‌های مربوطه به رواناب زیرحوضه‌ها، با استفاده از تبدیل لگاریتمی به توزیع نرمال تبدیل شدند. در خصوص داده‌هایی که از توزیع نرمال پیروی نمی‌کردند، با اعمال تابع تبدیل مناسب به توزیع نرمال تبدیل گردیدند (۸).

روش‌های میان‌یابی

در این تحقیق روش‌های مختلف درون‌یابی به‌منظور محاسبه تغییرات مکانی رواناب به‌کار برده شده است. در این روش‌ها، مقادیر برآوردی از مجموع حاصل‌ضرب یک فاکتور وزنی در مقادیر نقاط مشاهده‌ای به‌دست می‌آید. معادله کلی روش‌های مختلف میان‌یابی به صورت زیر است:

$$Z^*(x_i) = \sum_{i=1}^{n} l_i . Z(x_i) \qquad [1]$$

که در آن: $Z^*(x_i)$ مقدار متغیر مکانی برآورد شده، $Z(x_i)$ مقدار متغیر مکانی مشاهده شده در نقطه x_i و l_i وزن آماری که به نمونه x_i نسبت داده می‌شود و بیانگر اهمیت نقطه i ام در برآورد است.

تفاوت عمده روش‌های مختلف میان‌یابی، در برآورد فاکتور وزنی یاد شده می‌باشد. روش‌های به‌کار برده شده در این تحقیق به‌شرح زیر می‌باشند:

۱. روش کریجینگ

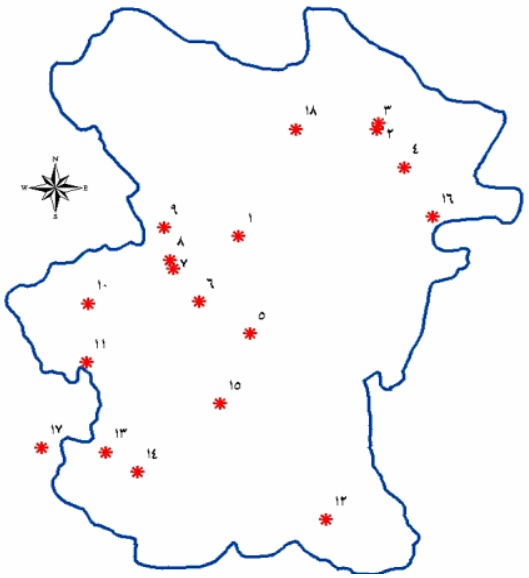
یکی از روش‌های پیشرفته زمین‌آمار است که بر اساس تحلیل نیم‌تغییرنما استوار می‌باشد. نیم‌تغییرنما یکی از روش‌های محاسبه تغییرات مکانی است که هدف اصلی از برقرار کردن تابع آن شناسایی ساختار تغییرپذیری متغیر نسبت به فاصله مکانی می‌باشد، در صورتی که آمار کلاسیک دارای

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

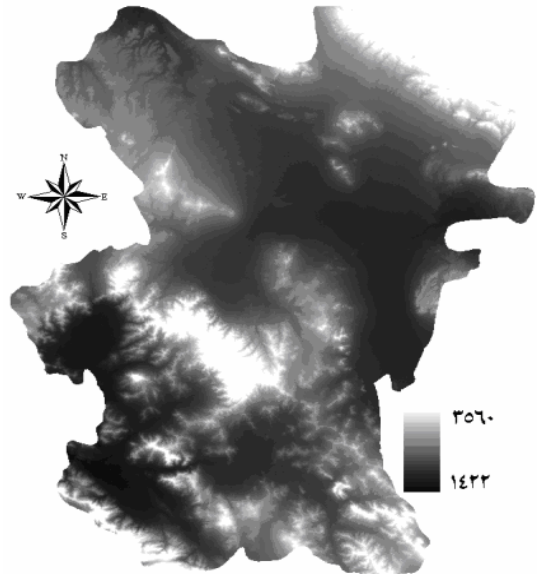
[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.38.7]

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های آب‌سنجی مورد مطالعه

ردیف	نام ایستگاه	مختصات ایستگاه (U.T.M)		ارتفاع (متر)
۱	کوشک‌آباد	۲۷۷۴۰۱/۴۱	۳۸۷۸۹۸۰/۶۳	۱۶۸۴
۲	رزن	۳۲۱۸۸۶/۱۵	۳۹۱۷۵۰۴/۸۹	۱۸۳۹
۳	پل جاده	۳۲۱۲۹۹/۲۰	۳۹۱۵۴۰۸/۱۵	۱۸۱۸
۴	زهتران	۳۳۰۱۴۲/۸۳	۳۹۰۲۳۶۵/۲۲	۱۷۶۰
۵	یلفان	۲۸۱۱۷۷/۴۱	۳۸۴۵۹۲۴/۶۷	۱۹۹۵
۶	سولان	۲۶۵۰۵۱/۷۴	۳۸۵۶۷۵۶/۶۵	۱۹۱۰
۷	صالح‌آباد	۲۵۶۷۴۴/۹۱	۳۸۶۷۹۶۳/۶۵	۱۷۸۰
۸	بهادربیک	۲۵۵۶۳۷/۲۹	۳۸۷۰۹۹۰/۶۶	۱۷۸۰
۹	قره‌آقاج	۲۵۳۷۳۹/۲۲	۳۸۸۱۹۲۱/۶۱	۱۸۷۰
۱۰	بوجین	۲۲۹۶۹۴/۰۲	۳۸۵۶۱۷۶/۳۲	۱۵۹۰
۱۱	خسروآباد	۲۲۹۱۰۳/۶۰	۳۸۳۶۰۹۵/۵۸	۱۵۱۱
۱۲	مرویل	۳۰۵۱۴۳/۰۹	۳۷۸۲۶۹۲/۲۴	۱۸۰۵
۱۳	فیروزآباد	۲۳۵۲۱۰/۳۶	۳۸۰۵۶۰۷/۸۱	۱۴۵۰
۱۴	وسج	۲۴۵۳۳۸/۹۳	۳۷۹۸۸۸۷/۰۴	۱۵۳۵
۱۵	علی‌آباد	۲۷۱۵۱۶/۷۳	۳۸۲۲۰۷۳/۶۴	۲۱۱۲
۱۶	عمرآباد	۳۳۸۹۴۶/۰۲	۳۸۸۵۵۶۱/۰۴	۱۵۷۰
۱۷	دوآب	۲۱۴۹۰۴/۵۱	۳۸۰۷۰۹۴/۶۵	۱۴۱۰
۱۸	قره آکند	۲۹۵۶۶۲/۹۶	۳۹۱۵۳۹۹/۳۹	۱۷۵۰



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های آب‌سنجی استان همدان (مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰)



شکل ۲. نقشه رقومی ارتفاع استان همدان (مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰)

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.38.7]

چنین قابلیتی نمی‌باشد. از نظر تعریف، اگر واریانس بین نقاطی با فاصله h کوچک باشد، نشانه وابستگی بیشتر متغیر بین آن نقاط است. این واریانس وابسته به فاصله، نیم‌تغییرنما نامیده می‌شود که آن را با $\gamma(h)$ نشان می‌دهند. تابع نیم‌تغییرنما، تغییرات یک پارامتر را با در نظر گرفتن فاصله به‌صورت معادله زیر نشان می‌دهد:

$$\gamma(h)=\frac{1}{2N(h)}\sum_{i=1}^{N(h)}[Z(x_i)-Z(x_i+h)]^2 \qquad [۲]$$

که در آن: $Z(x_i)$ و $Z(x_i+h)$ مقادیر متغیر به ترتیب در نقاط x_i و x_i+h و $N(h)$ تعداد جفت نمونه‌های به‌کار رفته به ازای هر فاصله h می‌باشد.

به‌عبارت دیگر، کریجینگ تخمینگری ناریب است که تنها یک متغیر را پیش‌بینی می‌نماید. شرط ناریب بودن در سایر روش‌های تخمین، نظیر روش چندجمله‌ای و معکوس فاصله نیز اعمال می‌شود ولی ویژگی کریجینگ در آن است که در عین ناریب بودن، واریانس تخمین نیز حداقل می‌باشد. به‌عبارت دیگر در این روش از اطلاعات موجود به بهترین نحو استفاده شده است. بنابراین کریجینگ همراه هر تخمین، مقدار خطای آن را نیز ارائه می‌دهد که با استفاده از این ویژگی منحصر به فرد کریجینگ می‌توان قسمت‌هایی که در آنجا خطا زیاد است و برای کاهش آن به داده‌های بیشتری نیاز است را مشخص نمود. هم‌چنین می‌توان میزان کاهش واریانس تخمین را به ازای یک نمونه اضافی قبل از نمونه‌گیری تعیین کرد. لذا با استفاده از واریانس تخمین می‌توان بهترین نقاط نمونه‌برداری را پیشنهاد نمود.

در این تحقیق از سه روش کریجینگ معمولی (OK: Ordinary Kriging)، کریجینگ ساده (SK: Simple Kriging) و کریجینگ عمومی (UK: Universal Kriging) با مدل‌های دایره‌ای (Circular)، کروی (Spherical)، نمایی (Exponential) و گوسین (Gaussian) استفاده گردید (۱۰).

۲. روش کوکریجینگ (Co-Kriging)

در برخی موارد ممکن است از یک متغیر به اندازه کافی نمونه‌برداری نشده باشد و بر اساس نمونه‌های موجود نتوان تخمین را با دقت مورد نظر انجام داد. در چنین مواردی می‌توان با در نظر گرفتن رابطه مکانی بین این متغیر و متغیر دیگری که از آن به خوبی نمونه‌گیری شده است، تخمین را اصلاح کرد. البته به‌دلیل مشکلاتی که در مدل‌سازی تغییرنمای متقابل متغیرها وجود دارد، کوکریجینگ به لحاظ کاربردی، اعتبار کافی پیدا نکرده است. به‌عبارت دیگر همان‌طور که در آمار کلاسیک نیز روش‌های چند متغیره وجود دارد، در زمین‌آمار نیز می‌توان به روش کوکریجینگ و بر اساس هم‌بستگی موجود بین متغیرهای مختلف، روابط چند متغیره مناسبی را تخمین زد. معادله کوکریجینگ به شرح زیر می‌باشد:

$$Z^*(x_i)=\sum_{i=1}^{n}\lambda_i x_i\sum_{k=1}^{n}\lambda_k.y(x_k) \qquad [۳]$$

که در آن: $Z^*(x_i)$ مقدار تخمین زده شده برای نقطه x_i، λ_i وزن مربوط به متغیر z، λ_k وزن مربوط به متغیر کمکی y، $z(x_i)$ مقدار مشاهده شده متغیر اصلی و $y(x_k)$ مقدار مشاهده شده متغیر کمکی می‌باشد.

برای تخمین با این روش و برای محاسبه اوزان مربوطه، نیاز به محاسبه تغییرنمای متقابل به صورت زیر می‌باشد:

$$\gamma(zy)h=\frac{1}{2}n[z(x_i+h)-z(x_i)]\times[y(x_k+h)-y(x_k)] \qquad [۴]$$

که در آن: $\gamma(zy)h$ تغییرنمای متقابل بین متغیرهای z و y، $z(x_i)$ متغیر مشاهده شده و $y(x_k)$ متغیر کمکی می‌باشد.

توسعه این روش بیشتر به برای شرایطی مناسب پیشنهاد شده است که از یک متغیر تعداد محدودی نمونه در دسترس باشد. محل‌هایی که در آنها کمبود نمونه وجود دارد به کمک متغیرهای ثانوی و با استفاده از هم‌بستگی متقابل بین متغیرهای اصلی و ثانوی تخمین زده می‌شوند. وقتی تعدادی متغیر وابسته به هم تخمین زده می‌شوند، از نظر تئوری کوکریجینگ نسبت به روش‌های کریجینگ ارجحیت دارد، حتی وقتی‌که از همه متغیرها به اندازه کافی نمونه در دسترس باشد، باز هم

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.38.7]

کوکریجینگ ترکیبی از روش کریجینگ یک متغیره است. در این تحقیق، از سه روش کوکریجینگ معمولی (OK-Co)، کوکریجینگ ساده (SK-Co) و کوکریجینگ عمومی (UK-Co)، با مدل‌های دایره‌ای، کروی، نمایی و گوسین به‌منظور درون‌یابی به‌کار برده شد.

۳. روش توابع پایه شعاعی (RBF: Radial Basis Function)

از جمله روش‌های درون‌یابی می‌باشد که در آن سطح تخمین از مقادیر مشاهده‌ای عبور می‌کند. این روش حالتی از شبکه عصبی مصنوعی است. از دیگر خصوصیات این روش این است که مقادیر بیشتر از حداکثر مقادیر مشاهده‌ای و یا کمتر از حداقل مقادیر مشاهده‌ای در سطح تخمین وجود دارد. در روش فاصله معکوس نیز سطح تخمین از مقادیر مشاهده‌ای عبور می‌نماید اما این روش هیچ‌گاه مقادیر بیشتر از حداکثر و کمتر از حداقل داده‌های مشاهده‌ای را تخمین نمی‌زند. در این تحقیق از روش توابع پایه شعاعی با مدل‌های توابع نواری کاملاً منظم (Completely Regularized Spline)، چندربعی معکوس (Inverse Multiquadric)، چندربعی (Multiquadric)، نواری با کشش (Spline with Tension) و نواری با ضخامت کم (Thin Plate Spline) استفاده شده است.

معیار ارزیابی

به‌منظور مقایسه روش‌های به‌کار برده شده در این تحقیق و انتخاب مناسب‌ترین روش زمین‌آمار، از تکنیک اعتبار متقابل (Cross validation) استفاده شده است. در این روش، در هر مرحله یک نقطه مشاهده‌ای حذف شده و با استفاده از بقیه نقاط مشاهده‌ای، آن نقطه برآورد می‌شود. این کار برای کلیه نقاط مشاهده‌ای تکرار می‌شود، به‌طوری که در نهایت به تعداد نقاط مشاهده‌ای، مقادیر برآوردی وجود خواهد داشت. هم‌چنین با استفاده از مدل‌های به‌دست آمده، در تعدادی از نقاطی که اندازه‌گیری وجود داشت، مقادیر تخمینی محاسبه گردید.

معیارهای مختلفی نیز برای ارزیابی کارآیی روش‌های میان‌یابی وجود دارد، که می‌توان به میانگین خطای اریب یا انحراف (MBE: Mean Bias Error)، میانگین خطای مطلق (MAE: Mean Absolute Error)،جذر میانگین مربع خطا (RMSE: Root Mean Squared Error) و انحراف استاندارد عمومی (GSD: General Standard Deviation) اشاره کرد (۱، ۹ و ۱۱). معادلات مربوطه به قرار زیر هستند:

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left[Z^*(x_i) - Z(x_i)\right]}{n} \qquad [۵]$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left|\left[Z^*(x_i) - Z(x_i)\right]\right|}{n} \qquad [۶]$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left[Z^*(x_i) - Z(x_i)\right]^2}{n}} \qquad [۷]$$

$$GSD = \frac{RMSE}{\overline{Z}(x)} \qquad [۸]$$

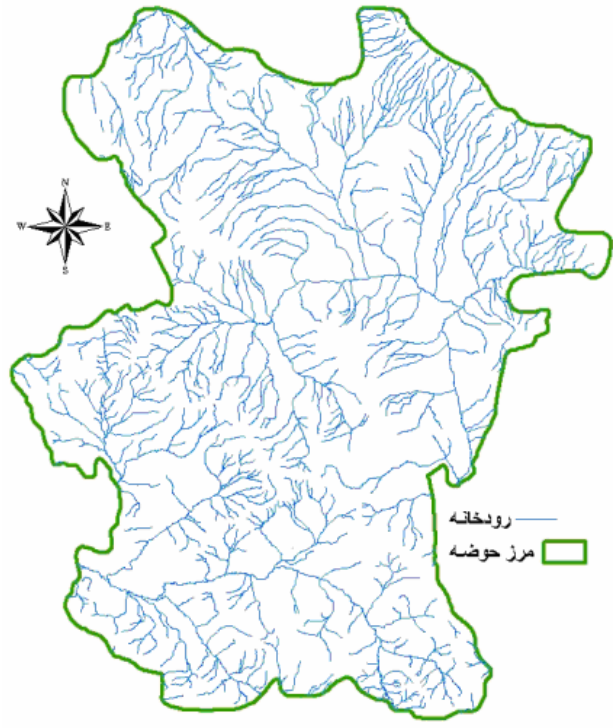
که در آنها: n تعداد نقاط مشاهده‌ای، $\overline{Z}(x_i)$ میانگین مقادیر مشاهده‌ای، $Z^*(x_i)$ مقدار برآوردی برای نقطه iام و $Z(x_i)$ مقدار مشاهده‌ای برای نقطه iام است.

تعیین مقادیر ضریب رواناب

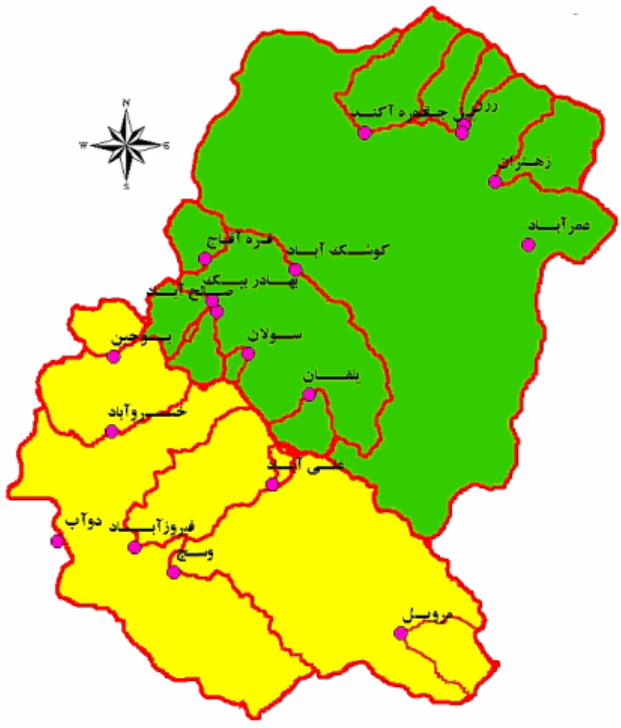
جهت محاسبه مقادیر ضریب رواناب در محل ایستگاه‌های آب‌سنجی، ابتدا با استفاده از نقشه رقومی ارتفاع استان (Digital Elevation Model) به‌عنوان نقشه پایه، و استفاده از نرم‌افزار ArcHydro، محدوده حوضه‌های آب‌ریز و موقعیت آبراهه‌ها (الگوی زهکشی) هر یک از ایستگاه‌های آب‌سنجی تحت مطالعه با اعمال پردازش لازم، تعیین گردید. در شکل‌های ۲، ۳ و ۴ به ترتیب نقشه رقومی، موقعیت آبراهه‌های استان همدان و حوضه‌های آب‌ریز تحت پوشش ایستگاه‌های آب‌سنجی آورده شده است.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

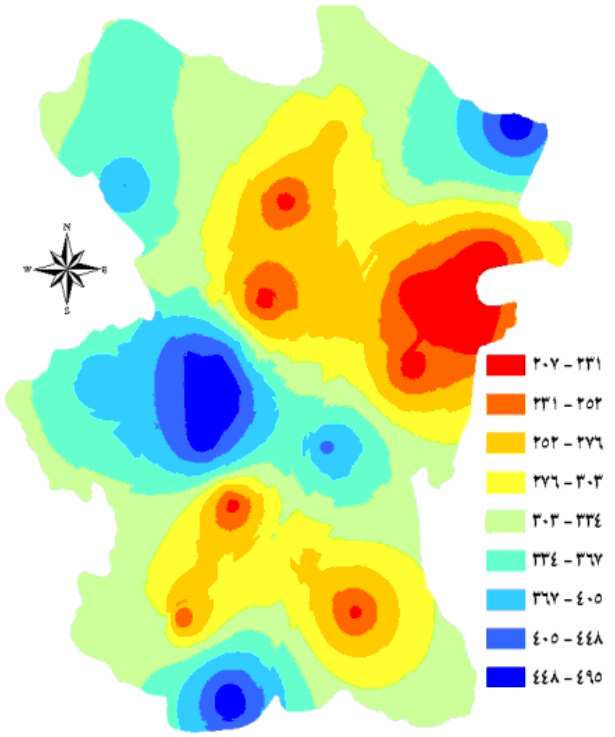
[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.38.7]



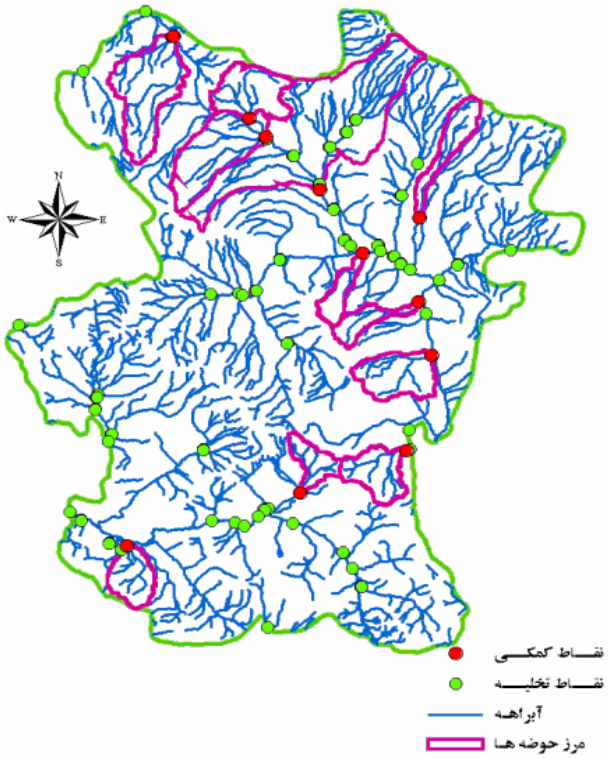
شکل ۳. نقشه موقعیت آبراهه‌های استان همدان (مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰)



شکل ۴. نقشه حوضه‌های آب‌ریز تحت پوشش ایستگاه‌های آب‌سنجی (مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰)



شکل ۵. توزیع مکانی میانگین سالانه بارندگی در سطح استان همدان، بر حسب میلی‌متر (مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰)، (۸)



شکل ۶. نقشه نقاط تخلیه آبراهه‌ها و نقاط کمکی و حوضه‌های آب‌ریز تحت پوشش آنها (مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰)

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.38.7]

جدول ۲. تعیین مشخصات حوضه‌های آب‌ریز تحت پوشش ایستگاه‌های آب‌سنجی

نام ایستگاه	مساحت حوضه (km^2)	شیب متوسط حوضه (درصد)	ارتفاع متوسط حوضه (متر)	بارندگی (mm)	ضریب رواناب (%)
کوشک‌آباد	۲۴۵۱/۸۷	۱۱/۶۵	۲۰۴۵/۰۰	۳۲۱/۱۵	۱۰/۶۶
رزن	۱۲۴/۵۱	۱۲/۴۹	۲۱۶۰/۲۵	۳۱۲/۹۹	۱۱/۴
پل‌جاده	۲۵۳/۶۱	۷/۷۷	۱۰۴۹/۹۴	۳۱۶/۱۵	۹/۸۳
زهتران	۴۲۱/۶۵	۹/۲۲	۲۰۳۲/۵۷	۳۱۸/۹۹	۷/۶۷
یلفان	۱۶۸/۴۲	۲۴/۷۵	۲۵۴۲/۰۱	۳۷۷/۶۸	۶۶/۳
سولان	۳۵/۸۳	۳۴/۶۲	۲۴۴۸/۴۷	۳۶۶/۵۰	۸۵/۱۸
صالح‌آباد	۱۷۸/۸۹	۲۱/۸۲	۲۲۰۲/۰۲	۳۱۵/۵۳	۴۲/۲۶
بهادربیک	۲۰۲/۶۰	۱۳/۵۰	۲۰۹۳/۶۱	۳۳۱/۲۹	۳۳/۸۳
قره‌آغاج	۲۰۴/۳۲	۸/۱۵	۲۰۸۴/۵۰	۳۱۶/۴۶	۱۰/۶۳
بوجین	۲۰۸/۶۵	۱۵/۶۹	۱۹۹۴/۵۶	۳۱۶/۵۷	۳۱/۵۱
خسروآباد	۹۳۸/۵۴	۱۱/۶۵	۱۸۰۴/۰۵	۳۱۹/۴۸	۸/۵۸
مرویل	۲۸۳/۶۱	۱۷/۴۱	۲۱۴۵/۶۶	۳۰۳/۴۶	۱۲/۴۹
فیروزآباد	۸۴۷/۵۴	۱۷/۲۴	۱۹۵۱/۹۰	۳۱۹/۵۹	۲۵/۵۹
وسج	۲۹۳۹/۰۲	۱۲/۹۱	۱۹۴۷/۵۶	۳۲۱/۳۲	۹/۱۷
علی‌آباد	۴۴/۹۳	۳۲/۹۵	۲۷۲۹/۹۸	۳۸۷/۳۶	۸۳/۵۵
عمرآباد	۱۴۲۷۷	۷/۰۲	۱۸۸۰/۸۵	۳۲۲/۹۶	۳/۵۲
دوآب	۷۷۰۰	۱۴/۶۴	۱۹۱۹/۳۱	۳۲۲/۸۰	۲۲/۹۳
قرآکند	۴۸۳/۷۶	۵/۵۰	۱۹۷۸/۰۸	۳۳۹/۳۹	۶/۱۶

جدول ۳. ضرایب هم‌بستگی بین ضریب رواناب با مساحت، شیب و ارتفاع

پارامتر	ضریب هم‌بستگی پیرسون (r)	سطح معنی‌داری (p)
شیب متوسط	۰/۹۵	۰/۰۰۱
ارتفاع متوسط	۰/۸۷	۰/۰۰۱
مساحت	-۰/۳۰	۰/۰۵

نتایج و بحث

در پژوهش حاضر سعی شده است که روش‌های گوناگون درون‌یابی، به‌منظور برآورد دقت آنها در تعیین ضریب رواناب، مورد مقایسه قرار گیرند. نتایج به‌دست آمده در این خصوص به شرح زیر می‌باشد:

محاسبه توزیع مکانی باران

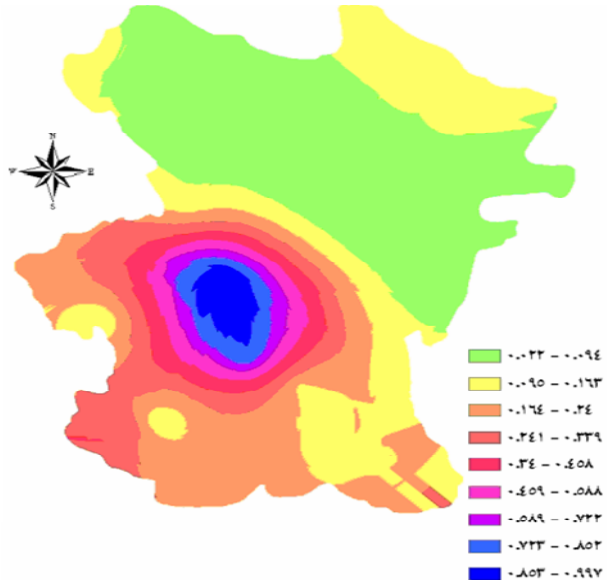
بر اساس نتایج به‌دست آمده از تحقیق گلمحمدی، توزیع مکانی میانگین سالانه بارندگی بر اساس روش کریجینگ ساده (با مدل نمایی) که بهترین روش تعیین بارش منطقه می‌باشد، محاسبه گردید (۸). با توجه به شکل ۵ که نقشه توزیع

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.38.7]

جدول ۴. مقادیر ضریب رواناب در نقاط کمکی (درصد)

نقاط کمکی	ضریب رواناب	نقاط کمکی	ضریب رواناب
نقطه ۱	۶/۳۸	نقطه ۷	۵/۴۷
نقطه ۲	۵/۵۵	نقطه ۸	۲/۱۰
نقطه ۳	۳/۶۰	نقطه ۹	۱۰/۸۸
نقطه ۴	۳/۸۶	نقطه ۱۰	۱۴/۹۴
نقطه ۵	۴/۴۲	نقطه ۱۱	۱۳/۳۹
نقطه ۶	۳/۴۴		



شکل ۷. توزیع مکانی ضریب رواناب (مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰)

مکانی میانگین سالانه بارندگی را نشان می‌دهد، حجم بارندگی کلیه حوضه‌ها محاسبه شد.

محاسبه توزیع مکانی ضریب رواناب

بدین منظور با استفاده از رواناب عبوری از هر یک از ایستگاه آب‌سنجی و حجم بارندگی محاسبه شده در حوضه‌های آب‌ریز بالادست آنها، مقدار ضریب رواناب در محل هر ایستگاه آب‌سنجی محاسبه گردید. مقادیر ضریب رواناب به‌دست آمده در جدول ۲ ارائه شده است.

برای دستیابی به نتایج بهتر، در مناطق فاقد ایستگاه هیدرومتری، با توجه به موقعیت نقاط تخلیه در مسیر آبراهه‌ها، تعدادی نقاط کمکی انتخاب گردید و سپس نسبت به تعیین ضریب رواناب در آنها اقدام شد (شکل ۶). بدین منظور ابتدا رابطه هم‌بستگی بین ضریب رواناب و پارامترهایی چون شیب، ارتفاع و مساحت حوضه‌ها به کمک نقشه رقومی ارتفاع و نقشه شیب در محیط GIS تعیین گردید (جدول ۳). سپس با استفاده از این هم‌بستگی به‌دست آمده، اقدام به تعیین مقدار ضریب رواناب در ۱۱ نقطه کمکی (نقاط جدید) گردید که در جدول ۴ ارائه شده‌اند.

نتایج مربوط به محاسبه ضریب رواناب در جدول ۵ خلاصه شده‌اند. این نتایج نشان می‌دهند که در روش کریجینگ

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.38.7]

جدول ۵. نتایج ارزیابی روش‌های درون‌یابی برای برآورد ضریب رواناب در سطح استان همدان

روش	مدل	MBE	MAE	RMSE	GSD
OK	دایره‌ای	۰/۰۰۹	۰/۰۸۷	۰/۱۵۲	۷۷/۱۳۵
	کروی	۰/۰۱۲	۰/۰۹۰	۰/۱۵۵	۷۸/۵۸۷
	نمایی	۰/۰۰۸	۰/۰۹۷	۰/۱۶۰	۸۰/۹۰۳
	گوسین	۰/۰۱۱	۰/۰۸۵	۰/۱۵۲	۷۶/۸۴۷
SK	دایره‌ای	۰/۰۰۹	۰/۰۸۱	۰/۱۴۶	۷۳/۷۳۷
	کروی	۰/۰۱۴	۰/۰۸۵	۰/۱۵۰	۷۶/۰۲۶
	نمایی	۰/۰۲۴	۰/۱۱۰	۰/۱۶۳	۸۲/۵۲۹
	گوسین	۰/۰۱۹	۰/۱۱۱	۰/۲۰۱	۱۰۱/۴۸۳
UK	دایره‌ای	۰/۰۰۹	۰/۰۸۷	۰/۱۵۲	۷۷/۱۳۵
	کروی	۰/۰۱۲	۰/۰۹۰	۰/۱۵۵	۷۸/۵۸۷
	نمایی	۰/۰۰۸	۰/۰۹۷	۰/۱۶۰	۸۰/۹۳۷
	گوسین	۰/۰۱۱	۰/۰۸۵	۰/۱۵۲	۷۶/۸۴۷
RBF	اسپلاین کاملاً منظم	۰/۰۰۹۳	۰/۰۹۳۰	۰/۱۵۷۷	۷۹/۷۸۲۳
	مولتی کوادریک معکوس	۰/۰۰۴۸	۰/۰۹۰۳	۰/۱۵۸۰	۷۹/۸۹۴۹
	مولتی کوادریک	-۰/۰۰۵۶	۰/۰۹۵۵	۰/۱۵۹۹	۸۰/۸۹۵۶
	اسپلاین با کشش	۰/۰۱۲۶	۰/۰۹۴۴	۰/۱۵۹۱	۸۰/۴۵۳۲
	اسپلاین صفحه نازک	-۰/۰۲۲۴	۰/۱۱۹۴	۰/۱۹۸۰	۱۰۰/۱۴۳۱
OK-Co	دایره‌ای	-۰/۰۰۲۷	۰/۰۳۷۷	۰/۰۵۵۰	۲۰/۵۵۱۹
	کروی	-۰/۰۰۱۶	۰/۰۳۹۱	۰/۰۵۷۸	۲۱/۶۲۱۸
	نمایی	-۰/۰۰۳۸	۰/۰۳۸۸	۰/۰۵۸۵	۲۱/۸۸۸۹
	گوسین	۰/۰۰۵۳	۰/۰۵۲۱	۰/۰۹۴۳	۳۵/۲۶۱۹
SK-Co	دایره‌ای	۰/۰۰۰۰	۰/۰۳۷۷	۰/۰۵۵۰	۲۰/۵۵۱۹
	کروی	۰/۰۰۰۰	۰/۰۵۶۳	۰/۰۷۰۴	۲۶/۳۲۱۹
	نمایی	۰/۰۰۰۰	۰/۰۵۴۴	۰/۰۷۲۸	۲۷/۲۲۱۳
	گوسین	-۰/۰۰۵۲	۰/۰۳۳۹	۰/۰۵۵۱	۲۰/۵۸۸۴
UK-Co	دایره‌ای	-۰/۰۰۱۴	۰/۰۳۶۶	۰/۰۵۳۹	۲۰/۱۵۱۹
	کروی	-۰/۰۰۱۴	۰/۰۳۹۳	۰/۰۵۷۸	۲۱/۶۲۵۷
	نمایی	۰/۰۰۷۱	۰/۰۵۲۸	۰/۰۷۶۹	۲۸/۷۶۳۵
	گوسین	۰/۰۰۷۰	۰/۰۵۲۶	۰/۰۹۴۹	۳۵/۴۹۳۳

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.38.7]

معمولی، مدل گوسین، در روش کریجینگ ساده، مدل دایره‌ای، در روش کریجینگ عمومی، مدل گوسین و در روش توابع پایه شعاعی، تابع نواری کاملاً منظم، کمترین مقدار خطا را در درون‌یابی مقادیر ضریب رواناب دارا هستند. هم‌چنین در روش‌های کوکریجینگ معمولی، ساده و عمومی، مدل دایره‌ای دارای بهترین برازش می‌باشد. شکل ۷ بیانگر بهترین توزیع مکانی ضریب جریان در سطح استان همدان می باشد که انطباق قابل توجهی با نقشه‌های بارندگی (شکل ۵) و مدل رقومی منطقه (شکل ۲) دارد، که نشان‌دهنده صحت نتیجه به‌دست آمده است.

با توجه به وسعت زیاد استان همدان و محدود بودن تعداد ایستگاه‌های آب‌سنجی، تخمین منطقه‌ای رواناب در طراحی سازه‌های مربوط به طرح‌های مختلف مهندسی منابع آب منطقه، امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. بنابراین داشتن بهترین روش درون‌یابی ضریب رواناب کمک زیادی به تخمین دقیق جریان در محل سازه‌های مذکور (که البته معمولاً توأم با خطا می‌باشد) خواهد نمود.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده از این تحقیق موارد زیر قابل استنتاج می‌باشد:

۱. روش‌های کوکریجینگ (با مدل‌های مختلف) نسبت به بقیه روش‌ها نتایج بهتری را ارائه می‌دهند.
۲. در بین روش‌های مختلف کوکریجینگ، روش‌های عمومی و ساده به ترتیب کمترین خطا را در بر دارند.
۳. در بین مدل‌های مختلف روش‌های مختلف کوکریجینگ، مدل دایره‌ای و کروی به ترتیب کمترین خطا را در بردارند. بین دو مدل گوسین و نمایی تفاوت قابل توجهی وجود ندارد.
۴. به‌طور کلی روش کوکریجینگ عمومی با (مدل دایره‌ای) به‌عنوان بهترین روش برای تخمین توزیع مکانی ضریب رواناب در سطح استان همدان انتخاب شده است.

منابع مورد استفاده

۱. اقدسی، ف. ۱۳۸۳. ارزیابی چند روش زمین‌آماری ترسیم میدان عددی بارندگی روزانه و سالانه- مطالعه موردی دشت برخوار. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.

۲. پرهمت، ج. ۱۳۸۱. مدل توزیع رواناب حاصل از ذوب برف با استفاده از داده‌های سنجش از دور. رساله دکتری آبیاری- هیدرولوژی و منابع آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران.

۳. جمشیدنژاد عنبرانی، ج. ۱۳۷۷. تخمین ضرائب رواناب در حوضه‌های آب‌ریز دریای خزر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۴. رحیمی بندرآبادی، س. ۱۳۷۹. بررسی کاربرد روش‌های ژئواستاتیستیک در برآورد بارندگی مناطق خشک و نیمه خشک جنوب شرق ایران. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

۵. رضوانی، س. ۱۳۷۵. کاربرد مدل ANSWERS برای تخمین انتقال فسفر در سیلاب خروجی از حوضه‌های آبخیز با استفاده از مقادیر فسفر اندازه‌گیری شده در حوضه آبخیز و مقادیر تخمین زده شده به‌وسیله روش‌های ژئواستاتیستیکی. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

۶. شمس‌الدینی، ع. ۱۳۷۹. تغییرات منطقه‌ای بارندگی با استفاده از روش کریجینگ در استان‌های شمالی، سمینار کارشناسی‌ارشد آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

۷. صفری، م. ۱۳۸۱. تعیین شبکه بهینه اندازه‌گیری سطح آب زیرزمینی با کمک روش‌های زمین‌آماری مطالعه موردی دشت چمچمال.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.38.7]

پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زه‌کشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۸. گلمحمدی، گ. ۱۳۸۵. تخمین توزیع مکانی ضریب رواناب با استفاده از روش‌های زمین‌آمار در سطح استان همدان با استفاده از GIS. پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زه‌کشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

۹. لوک‌زاده، ص. ۱۳۸۳. ارزیابی چند روش مختلف بازسازی خلاءهای آماری بارندگی در مقاطع زمانی مختلف در منطقه البرز مرکزی. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.

۱۰.مدنی، ح. ۱۳۷۷. مبانی زمین‌آمار. دانشگاه صنعتی امیرکبیر، واحد تفرش.

۱۱.مهدی‌زاده، م. ۱۳۸۱. ارزیابی روش‌های زمین‌آماری برای برآورد دما و بارندگی در حوضه آب‌ریز دریاچه ارومیه. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.

۱۲.میثاقی، ف. ۱۳۸۳. توسعه الگوریتم ترکیبی زمین آمار و شبکه عصبی مصنوعی به‌منظور استخراج توزیع مکانی بارندگی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زه‌کشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

13. Ben-Jemaa, F. and M. A. Marino. 1990. Optimization of a groundwater well monitoring network. International Conference on Optimizing the Resources for Water Management, Forth worth, Texas, U.S.A., 17-21 April, PP. 610-615.
14. Ben-Jemaa, F., M. A. Marino and H. A. Loaiciga. 1994. Multivariate geostatistical design of ground-water monitoring networks. J. Water Res. Pl. 120(4): 505-522.
15. Cerdan, O., Y. Le Bissonnais, G. Govers, V. Leconte, K. Van Oost, A. Couturier, C. King and N. Dubreuil. 2004. Scale effects on runoff from experimental plots to catchments in agricultural areas in Normandy. J. Hydrol. 299: 4-14.
16. McKenna, S. A. 2002. Simulating geological uncertainty with imprecise data for groundwater flow and advective transport modeling. PP. 1-15. Department of Geology and Geological Engineering, Colorado School of Mines Golden, Colorado, U.S.A.
17. Merz, R., G. Bloschl and J. Parajka. 2006. Spatio-temporal variability of event runoff coefficients. Institute for Hydraulic and Water Resources Engineering, Vienna University of Technology, Wien, Austria.
18. Nguyen, R. T., D. Prentiss and J. E. Shively. 1998. Rainfall interpolation for Santa Barbara County. UCSB, Department of Geography, USA.
19. Sherman, L. 1932. Streamflow from rainfall by unit hydrograph method. PP. 501-505. Engineering News Records 108, Chicago, U.S.A.
20. Sivapalan, M., G. Bloschl, R. Merz and D. Gutknecht. 2005. Linking flood frequency to long-term water balance: incorporating effects of seasonality. Water Resour. Res. 41(6): W06012, doi: 10.1029/2004WR003439.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.38.7]