



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

# پژوهش‌های آبخیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

## ارزیابی تفکیک مکانی مدل‌های رقومی ارتفاعی بر دقت برآورد بارش در مقیاس سالانه

مرتضی قیصوری<sup>۱</sup>، شهرام خلیقی سیگارودی<sup>۲\*</sup>، علی سلاجقه<sup>۳</sup>، بهرام چوبین<sup>۴</sup>

۱- دانش آموخته‌ی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

۲- دانشیار دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

۳- استاد دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

۴- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران

### چکیده‌ی مبسوط

#### مقدمه و هدف

کاربران با بهره‌گیری از ایستگاه‌های باران‌سنجی داده‌های دقیقی از اندازه‌ی بارندگی را تهیه می‌کنند. با این حال، درون‌یابی داده‌های بارندگی به دلیل تغییرپذیری زمانی و مکانی دشوار است. از این رو ایستگاه‌های باران‌سنجی در بسیاری از مناطق پراکندگی مناسبی ندارند و این مشکل نیز در مناطق کوهستانی بیش‌تر است. در یک آبخیز کوهستانی، درک تعامل میان تفکیک‌پذیری مدل رقومی ارتفاعی (DEM) و متغیرهای آب و هوایی برای درون‌یابی دقیق مکانی میانگین بارندگی در بسیاری از مناطق ضروری است و از سوی دیگر نیاز به اطلاعات دقیقی در مدل‌سازی آب‌شناختی و بسیاری از بررسی‌های محیط‌زیستی و اقلیمی است. بر این اساس یکی از مشکلاتی که در بسیاری از مطالعات آب‌شناسی وجود دارد و همیشه بدون توجه به آن نقشه‌های بارشی تهیه می‌شود، تهیه‌ی نقشه‌ی بارش با استفاده از درون‌یابی و یا استفاده از مدل‌های رقومی ارتفاعی در دسترس است، که دارای خطای بارش برآوردی است.

#### مواد و روش‌ها

در این پژوهش به منظور معرفی بهترین مدل رقوم ارتفاعی برای کاربران در تهیه‌ی نقشه‌ی شیب بارش از داده‌های ۱۱ ایستگاه هواشناسی در استان کرمانشاه و چهار مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با تفکیک مکانی ۳۰، ۹۰، ۱۰۰۰

#### نوع مقاله: پژوهشی

\*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: khalighi@ut.ac.ir

استناد: قیصوری، م.، خلیقی سیگارودی، ش.، سلاجقه، ع.، چوبین، ب. ۱۴۰۳. ارزیابی تفکیک مکانی مدل‌های رقومی ارتفاعی بر دقت برآورد بارش در مقیاس سالانه. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۷ (۱): ۶۲-۴۸.

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2023.361613.1530

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۰۸، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۲/۲۱، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۳۱، تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۱/۰۱  
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۳، دوره‌ی ۳۷، شماره‌ی ۱، شماره‌ی پیاپی ۱۴۲، بهار ۱۴۰۳، صفحه‌های ۴۸ تا ۶۲.

©نویسندگان

ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس



و ۱۰۰۰۰ متر که متداول‌ترین مدل‌های رقومی ارتفاعی در پژوهش‌ها هستند، استفاده شد. با استفاده از مدل وایزی خطی برازش داده‌شده میان بلندی هر ایستگاه و میانگین بارش ۲۰ ساله، نقشه‌ی بارش سالانه برای استان کرمانشاه تهیه شد و سپس بر اساس معیارهای ارزیابی خطا بهترین مدل رقومی ارتفاعی در برآورد بارش مشخص شد.

### نتایج

نتایج این پژوهش نشان داد که در برآورد بارش مدل‌های رقومی ارتفاعی با اندازه‌ی سلولی ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ متر در مقایسه با DEM‌های با دقت مکانی ۳۰ و ۹۰ متری ( $R^2 = 0.75$ ) دقت بیشتری داشتند. در بررسی ضریب نش - ساتکلیف (NS) مشخص شد که DEM با تفکیک مکانی ۱۰۰۰ متر (یک کیلومتر) با ضریب نش - ساتکلیف ۰/۷۶، سطح معنی‌داری ۰/۰۱ و ضریب همبستگی ۰/۸۱ در مقایسه با دیگر مدل‌های رقومی ارتفاعی دقت بیشتری داشت.

### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این پژوهش می‌تواند در برآورد و تعمیم بارش در مناطق فاقد ایستگاه و هم‌چنین در تهیه‌ی نقشه‌های بارشی در مناطقی که تعداد ایستگاه محدود است، استفاده شود. افزون بر این در روش‌های درون‌یابی تک‌متغیره که دقت مناسبی به‌دلیل در نظر نگرفتن فاصله‌های مکانی ندارند، استفاده شود. هم‌چنین با توجه به پستی‌بلندی پیچیده‌ی زمین و نبودن یکنواختی ایستگاه‌های هواشناسی در سطح کره‌ی زمین، برای برآورد بارش به کارگیری مدل‌های رقومی ارتفاعی با قدرت تفکیک مکانی زیادتر نیاز است که با حذف سطوح پستی‌بلندی‌های خط‌اساز دقت برآورد مدل‌های رقومی در ارزیابی پژوهش‌های بارش افزایش خواهد یافت.

## واژگان کلیدی: آبخیز کوهستانی، استان کرمانشاه، برآورد بارش، شیب بارش، وایزی خطی، وضوح DEM

### مقدمه

۲۰۱۹)، حتی با توجه به تازه تأسیس بودن طول گروه زمانی این ایستگاه‌ها کوتاه است. از این‌رو، پژوهشگران و کارشناسان پیوسته به‌دنبال جایگزین و یا مکمل مناسب برای به‌دست آوردن اطلاعات ایستگاه‌های باران‌سنجی زمینی بوده‌اند (قادرپور و همکاران ۲۰۲۰). نبودن قطعیت‌های بزرگ در برآورد پیوسته‌ی تغییرهای مکانی بارش بر اساس مشاهددها مبتنی بر باران‌سنج وجود دارد (بیزویلانواتست و همکاران ۲۰۲۰). برای برآورد اندازه‌ی بارندگی در نقاط فاقد ایستگاه‌های هواشناسی و باران‌سنجی، روش‌های پرشماری به‌کاربرده می‌شود. به‌کارگیری تصویرهای ماهواره‌ای و روش‌های درون‌یابی از سوی پایگاه‌های بارش شبکه‌بندی‌شده جهانی به‌عنوان یکی از گزینه‌های اصلی و معتبر برای کمبود داده‌ها معرفی‌شده است (حسینی‌مغاری و همکاران ۲۰۱۶). بنابراین، روش درون‌یابی مکانی و شیب‌های بارشی برای پیش‌بینی اندازه‌های بارش در نقاط فاقد ایستگاه استفاده می‌شوند (کیم و همکاران ۲۰۱۰؛ آدیکاری و همکاران ۲۰۱۷؛ آیدین ۲۰۱۸). روش‌های درون‌یابی مکانی به داده‌های ورودی آب و هوایی مشاهده‌شده مبتنی بر زمین، بارش رادار، داده‌های ورودی آب و هوایی ماهواره‌ای مبتنی بر سنجش از راه دور یا داده‌های ترکیبی نیاز دارند (تاسومیت و سربوونگسیتانن ۲۰۰۹؛ وردین و همکاران ۲۰۱۵؛ گبرمدین و همکاران ۲۰۱۷). با این حال، برآورد بارندگی با کیفیت زیاد در وضوح‌های

بارش به‌عنوان یکی از پیچیده‌ترین فرآیندهای طبیعی در چرخه‌ی آب‌شناختی (هیدرولوژیکی) در مقیاس‌های مکانی و زمانی متحمل تغییرات مهمی است. از آنجایی که بارش به‌عنوان ورودی اصلی گستره‌ی وسیعی از کاربردها مانند پیش‌بینی تغییر اقلیم، پژوهش‌های زیست‌محیطی، مدل‌سازی آب‌شناختی، پیش‌بینی سیل، پایش خشک‌سالی و ارزیابی منابع آب است، نیازمند اندازه‌گیری و پایش دقیق است (چیو و مک‌ماهون ۲۰۰۲؛ چین و همکاران ۲۰۲۰؛ کیم و کیم ۲۰۲۰). هشدار و پیش‌بینی زود هنگام سیل و مدیریت خشک‌سالی برای کاهش مشکلات مربوط به آب نیازمند دقت داده‌های ورودی بارش مکانی پیش‌بینی‌شده است (برتینی و همکاران ۲۰۲۰؛ لیو و همکاران ۲۰۲۰). افزون بر این، اندازه‌گیری‌های بارش در یک تفکیک مکانی و زمانی زیاد برای شبیه‌سازی مناسب وضعیت آب‌شناختی سامانه‌های طبیعی اقدام ضروری است (لی و همکاران ۲۰۱۳). تغییر پستی‌بلندی در آبخیز کوهستانی یکی از سنجه‌های اساسی است، که نقش کلیدی بر متغیرهای آب و هوایی به‌ویژه بارش دارد. تغییرهای کوه‌نگاری یا سایه‌اندازی کوهستان با تشکیل مانع‌هایی در مقابل جبهه‌ی بارشی اثر مستقیمی بر بارش دارد (دزفولی و همکاران ۲۰۱۷). پراکنش مکانی ایستگاه‌های اقلیمی در کشورهای در حال توسعه، توزیع یکنواخت و تراکم مناسب ندارد (واشینگتن و همکاران ۲۰۰۶؛ دینکو

زمانی و مکانی مناسب موضوعی چالش برانگیز است (زی و شیونگ، ۲۰۱۱). از این رو، بررسی تغییرهای مکانی بارش، یکی از اصلی‌ترین ورودی‌ها برای مدل‌های آب‌شناختی و مسئله‌های پژوهشی در بررسی‌های اقلیمی به‌شمار می‌آید، که به دلیل تنوع مکانی و زمانی بارش حل آن بسیار مشکل است (گورلی و ویوکس ۲۰۰۶؛ گلدن ۲۰۰۹؛ سروشیان ۲۰۱۱؛ ژائو و همکاران ۲۰۱۵). بر این اساس استفاده از داده‌های شیب بارشی که مبتنی بر تغییر پستی‌بلندی زمینی است می‌تواند در شرایطی که اطلاعات ورودی در برآورد بارش محدود باشد، استفاده شود (میخائیل ۲۰۰۸). مدل رقومی ارتفاعی (DEM)<sup>۱</sup> یکی از ورودی‌های اصلی در برآورد بارش است (سلطانی‌گردفرامیزی و همکاران ۲۰۲۰)، که اغلب با استفاده از داده‌های به‌دست‌آمده از حس‌گرهای گوناگون از راه دور، مانند حس‌گرهای تصویربرداری نوری، تشخیص نور (LiDAR) و رادار دیافراگم مصنوعی (SAR)<sup>۲</sup> تولید می‌شوند (وانگ و همکاران ۲۰۱۹). وضوح مکانی DEM ها نقش اساسی در کیفیت عامل‌های خروجی از DEM دارد (شلوگل و همکاران ۲۰۱۸). از این رو انتخاب DEM در ارزیابی بارش امری ضروری است. با توجه به اهمیت موضوع، پژوهش‌های پرشماری در زمینه بررسی تغییر پستی‌بلندی بر بارش انجام شده است (نی و همکاران ۲۰۱۵؛ یانگ و همکاران ۲۰۱۷؛ بک و همکاران ۲۰۱۹؛ بیژولونوا و همکاران ۲۰۲۰؛ ژو و همکاران ۲۰۲۰؛ رضی و عزیز ۲۰۰۸؛ عساکره و سیفی پور ۲۰۱۲). در پژوهشی مداللدوست و همکاران (۲۰۰۸) نقش مدل رقومی ارتفاعی بر بهبود روش‌های درون‌یابی بارش را بررسی کردند. این پژوهش بر اساس روش درون‌یابی IDW انجام شد و نتایج تأییدکننده آن بود که چنانچه در مدل‌های درون‌یابی از مدل رقومی ارتفاعی استفاده شود، نقشه‌ی بارشی بهبود می‌یابد. در اتیوپی بتی و همکاران (۲۰۲۲) نقش وضوح مدل رقومی ارتفاعی و تأثیر آن بر الگوی مکانی دما و بارندگی در آبخیز میل را بر اساس روش درون‌یابی زمین‌آماري کریجینگ و دو مدل رقومی ارتفاعی ۹۰ و ۵۰۰ متر ارزیابی کردند. نتایج آنها نشان داد DEM با وضوح ۹۰ متری تأثیر قابل توجهی بر پیش‌بینی میانگین کمترین و بیشترین دماهای ماهانه داشت، ولی با نمونه‌برداری مجدد مشخص شد که DEM ۵۰۰ متر عملکرد نسبتاً بهتری در برآورد میانگین بارندگی، دمای ماهانه و سالانه داشت. از سوی دیگر ساری‌صراف و همکاران (۲۰۰۹) نقش پستی‌بلندی را بر بارش دامنه‌های شرقی تالش

ارزیابی کردند. بر اساس نقشه‌های تهیه‌شده از نقشه‌های پستی‌بلندی ۱:۵۰۰۰۰، ۱:۱۰۰۰۰۰، ۱:۲۵۰۰۰۰ و عکس‌های ماهواره‌ای با روش وایازی گام‌به‌گام، برآورد انواع بارش‌های سالانه و فصلی در دامنه‌های شرقی و غربی کوه‌های تالش را ارزیابی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد متغیر بلندی بیش‌ترین تأثیر را بر بارش دامنه‌های غربی داشت ولی تأثیر معنی‌داری بر دامنه‌های شرقی نداشت. تأثیر متغیرهای پستی‌بلندی در دامنه‌های شرقی تالش بیش‌تر از دامنه‌های غربی آن بود. هم‌چنین در فصل زمستان عامل‌های پستی‌بلندی و جغرافیایی کمترین تأثیر را بر بارش‌های هر دو دامنه داشتند. هادیانی و همکاران (۲۰۱۱) شرایط پستی‌بلندی در برآورد شیب بارندگی طبقه‌های بلندی مناطق کوهستانی البرز را بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که تأثیر پستی‌بلندی کوهستانی بر سامانه‌ی بارش و شیب بارندگی در شرایط غیریکنواختی تغییر شیب بارش در طبقه‌های بلندی مختلف زمین‌ریخت‌شناختی و نبودن شیب مشخص در مناطق دشتی چشم‌گیر بوده است. روش‌های ادغام خطی شامل حذف داده‌های پرت (شن و همکاران ۲۰۱۴)، معکوس فاصله‌ی وزنی (ماستراتوناس و همکاران ۲۰۱۹) و خطای میانگین مربعات (یانگ و همکاران ۲۰۱۷) است. روش‌های مبتنی بر انحراف یا روش‌های مبتنی بر باقی‌مانده شامل روش نقشه‌برداری احتمال (ژانگ و تانگ ۲۰۱۵) و تجزیه و تحلیل تفاوت/نسبت جغرافیایی (دوان و باستیانسن ۲۰۱۳؛ بای و همکاران ۲۰۱۹) است. روش‌های هموارسازی کرنل (لی و شائو ۲۰۱۰)، رویکردهای با پیچیدگی متوسط مانند وایازی وزن‌دار جغرافیایی (GWR) (چائو و همکاران ۲۰۱۸) و روش درون‌یابی بهینه (ژی و شیونگ ۲۰۱۱؛ نی و همکاران ۲۰۱۵) و دیگر روش‌های پیچیده مانند روش متوسط‌گیری بیزی (ما و همکاران ۲۰۱۸؛ رحمان و همکاران ۲۰۲۰) و دستورالعمل‌های مبتنی بر کریجینگ (مانز و همکاران ۲۰۱۶؛ جن و همکاران ۲۰۲۰ الف) است. با این حال قدرت تفکیک مکانی بارش در بیشتر پژوهش‌ها و اکثر مدل‌سازی‌های هواشناسی فراموش شده است، و اکثر پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه‌ی تغییرهای اقلیمی، در مناطق با ایستگاه‌های پراکنده و فاقد توزیع مکانی مناسب بوده است. توزیع یکنواخت ایستگاه‌های هم‌دید همراه با دوره‌ی زمانی آماری مناسب از یک طرف و افزایش دشت‌های ممنوعه‌ی بحرانی به دلیل تنش‌های آبی متأثر از خشک‌سالی در استان کرمانشاه به‌عنوان استان راهبردی در بخش تولیدهای کشاورزی زمینه‌ساز

1 - Digital Elevation Model

2 - Synthetic Aperture Radar

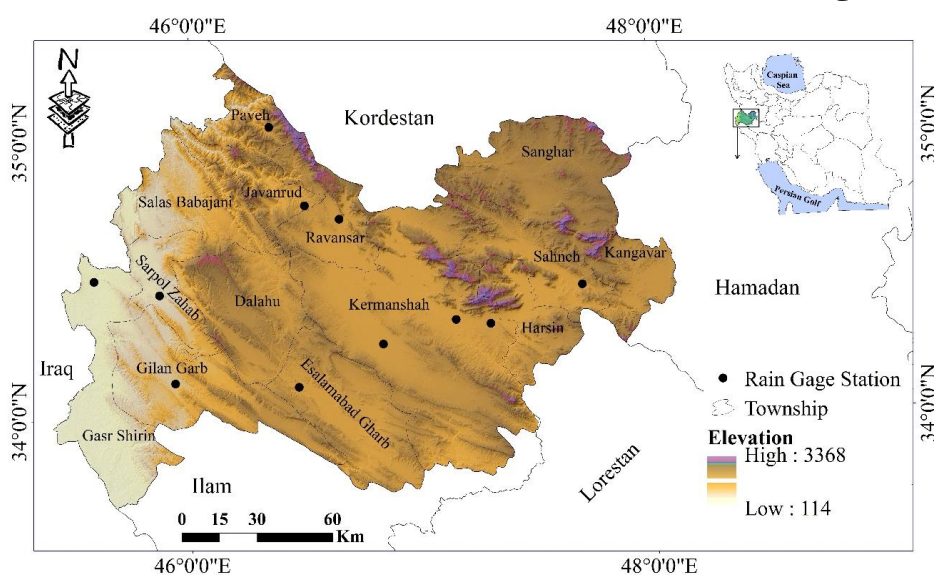
منطقه ۱۲۰۰ متر از سطح دریا است و میانگین بارش در مناطق مختلف از ۳۰۰ میلی متر در جنوب غربی سومار و نفت شهر تا ۸۰۰ میلی متر و بیش تر در بلندی ها متغیر است. در استان کرمانشاه، می توان سال را به دو فصل اصلی گرم و سرد یعنی تابستان و زمستان تقسیم کرد، فصل های بهار و پاییز بسیار کوتاه و زودگذر و میانگین دما در منطقه ی پژوهش شده  $13/4^{\circ}C$  است. با استفاده از تقسیم بندی اقلیمی آمبرژه، اقلیم های خشک سرد، نیمه خشک معتدل، نیمه خشک سرد و نیمه مرطوب سرد در سطح این شهرستان مشاهده می شود. به طور کلی شهر کرمانشاه در اقلیم نیمه خشک استپی خنک است (کله هوئی و همکاران ۲۰۱۸).

انجام پژوهش ها شده است. بر این اساس این پژوهش با هدف بررسی دقت مدل های رقومی ارتفاعی در برآورد شیب بارش در استان کرمانشاه انجام شد. نتایج این پژوهش قابل تعمیم به دیگر آبخیزهای مشابه کشور برای معرفی بهترین مدل رقومی ارتفاعی در بررسی شیب های بارشی است.

### مواد و روش ها

#### معرفی منطقه ی پژوهش شده

این پژوهش، در استان کرمانشاه با مساحت  $24867/29$  کیلومتر مربع انجام شد. استان کرمانشاه، با مرکزیت شهر کرمانشاه در انتهای غربی کشور از سه طرف با استان های ایلام، کردستان و همدان مرز داخلی دارد و از یک سمت با کشور عراق مرز بین المللی دارد (شکل ۱). میانگین بلندی



شکل ۱- موقعیت استان کرمانشاه در ایران و ایستگاه های هواشناسی در سطح استان.

Figure 1- General view, of locality and corresponding townships of Kermanshah Province, Iran.

استان از روش های درون یابی، تصویرهای ماهواره ای و سنجش از دور دشوار است (قیصوری و همکاران ۲۰۲۳)، یافتن روش های مناسب برای گسترش شبکه ی بارشی استان کرمانشاه می تواند نقش چشم گیری برای بهبود ارب و کیفیت آماری در مناطق فاقد ایستگاه بارشی داشته باشد. نمایی از موقعیت و پراکنش ایستگاه های استفاده شده در جدول ۱ و شکل ۱ ارائه شده است.

در این پژوهش در راستای بهبود بارش برای مناطق فاقد ایستگاه در استان کرمانشاه از داده های ۱۱ ایستگاه همدید سازمان هواشناسی و باران سنجی وزارت نیرو در بازه ی زمانی ۲۰ ساله (۱۴۰۰-۱۳۸۰) استفاده شد. با توجه به پیچیدگی پستی بلندی استان کرمانشاه و نیز شرایط اقلیمی خاص و تعداد اندک ایستگاه های باران سنجی با دوره ی بلندمدت به ویژه در بلندی های استان، برآورد بارش

جدول ۱- مشخصات ایستگاه های هواشناسی در منطقه ی پژوهش شده.

Table 1- Characteristics of meteorological stations in the study area.

No	Station type	Station location	Geographical attributes		Elevation (m)	Average precipitation (mm) (average of 20 years)
			Longitude	Latitude		
1	Airport synoptic	Kermanshah	47.15	34.35	1311	510
2	Main synoptic	Eslamabad-e gharb	46.47	34.12	1344	468.50
3		Sarpol Zahab	45.87	34.45	565	350
4		Ravansar	46.65	34.72	1346	526.41
5	Additional synoptic	Qasr-e Shirin	45.6	34.53	356	350.41
6		Gilan-e Gharb	45.93	31.13	826	426.92
7		Javanrud	46.5	34.76	1375	560.41
8		Mahidasht	46.48	34.28	1370	440
9	Automatically	Paveh	46.33	35.5	1700	620
10		Sahneh	47.66	34.48	1380	483.77
11	Agricultural Meteorological Research	Sararud	47.29	34.33	1373	451.66

## روش پژوهش

به‌شکل خطی در همه‌ی جهت‌ها تغییر می‌کند (قیصوری و همکاران ۲۰۲۳). در معادله‌ی وایازی خطی، مقیاس وایازی برابر با تعداد متغیرهای مستقل مؤثر بر متغیر وابسته است (ژانگ و همکاران ۲۰۲۱). در این پژوهش به‌منظور تهیه‌ی نقشه‌ی بارش، وایازی خطی از ارتباط تغییر بارش و بلندی تشکیل شد و در نهایت با استفاده مدل رقومی ارتفاعی منطقه‌ی پژوهش‌شده، نقشه‌ی بارش تهیه شد (معادله‌ی ۱).

$$P = ax + b \quad (1)$$

a: عرض از مبدأ، b: شیب بلندی، x: بلندی بر حسب متر، P: بارش سالانه پیکسل برحسب میلی‌متر است.

## مدل رقومی ارتفاعی

در این پژوهش با تغییر مدل‌های رقومی ارتفاعی (DEM)، بهترین برآورد بارش ناشی از تغییر تفکیک مکانی (پیکسل اندازه) ارزیابی شد. بر این اساس از مدل‌های رقومی با تفکیک مکانی‌های ۳۰، ۹۰، ۹۰۰ و ۱۰۰۰ متر که عمومی‌ترین مدل‌های رقومی ارتفاعی در بسیاری از پژوهش‌ها است، استفاده شد. مدل‌های رقومی ارتفاعی ۳۰ و ۹۰ با کدنویسی در محیط گوگل‌ارت‌انجین به‌دست آمدند، اما مدل رقومی ارتفاعی ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ متر به‌ترتیب از مدل رقومی ارتفاعی ۹۰ و ۱۰۰۰ متر با دستور Aggregate تهیه شدند. دلیل این‌که به‌شکل مستقیم مدل‌های رقومی ارتفاعی ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ متر از گوگل‌ارت‌انجین تهیه نشد، در نظر گرفتن سلول بیشینه به‌وسیله‌ی پردازش‌گر مرکزی گوگل‌ارت‌انجین<sup>۳</sup> و جایگزینی به‌عنوان میانگین سلول‌ها بود (جدول ۲). بر پایه‌ی نتایج جدول ۲، در تمام مدل‌های رقومی ارتفاعی میانگین تغییر بلندی به‌شکل تقریبی معادل ۱۴۳۰ متر بود، که با در نظر گرفتن اندازه‌های میانگین بلندی نزدیک به‌هم، دقت نسبی مدل وایازی در تشخیص مدل رقومی ارتفاعی برتر در بهبود بارش کمک کرد.

در پژوهش‌های اقلیمی استفاده از وایازی میان ایستگاه‌های هواشناسی و قرار دادن متغیر بلندی در معادله‌ی وایازی یکی از روش‌های تهیه نقشه‌ی بارشی است. بر این اساس در این پژوهش به‌منظور برآورد بارش، بهترین قدرت تفکیک مکانی در میان مدل‌های رقومی ارتفاعی معرفی شد. می‌توان گفت که سنجه‌ی اساسی در ایجاد یک پدیده‌ی بارش در منطقه تغییر بلندی است. در همین راستا، انتخاب روش برآورد بارش که بتواند بارش را با دقت مناسبی پیش‌بینی کند متغیر است (علی و همکاران ۲۰۲۱؛ قیصوری و همکاران ۲۰۲۳).

## داده‌های هواشناسی

در این پژوهش به‌منظور به‌دست آوردن معادله‌ی شیب بارش متأثر از تغییر بلندی استان کرمانشاه اطلاعات پایه‌ی ۱۱ ایستگاه هواشناسی با مقیاس زمانی ۲۰ ساله (۱۴۰۰-۱۳۸۰) از سازمان مربوطه دریافت شد (جدول ۱). پراکنش مناسب ایستگاه‌ها در سطح کل استان و حذف نبودن قطعیت ناشی از نبودن ایستگاه و یا تراکم‌گرایی ایستگاه‌های هواشناسی از دلایل اصلی انتخاب استان کرمانشاه، بود. نقاط بلندی ایستگاه‌های هواشناسی ثبت‌شده در سازمان هواشناسی، خطای دستگاهی و انسانی داشتند و دقت مکانی کم بود. از این‌رو، با استفاده از سامانه‌ی گوگل‌ارت موقعیت مکانی مناسب هر ایستگاه جانمایی شد (شکل ۱).

## شیب خطی بارش

در روش شیب فرض می‌شود که در ناحیه‌ی پژوهش‌شده در جهت‌های مختلف روندهای متفاوتی وجود دارد، که این روند در جهت یک چندجمله‌ای درجه n است. در روش شیب خطی، فرض می‌شود که چندجمله‌ای درجه n در جهت‌های مختلف یکسان است. به‌عبارت دیگر، فرض بر این است که متغیر مکانی بررسی‌شده

جدول ۲- اندازه‌های بلندی استان کرمانشاه.

Table 2- Elevation values of Kermanshah Province.

No	DEM(m)	Average	Max	Min
1	30	1431.76	3368	114
2	90	1431.82	3353	117
3	1000	1432.49	3186	127
4	1000	1430.51	2434	95.96

### ارزیابی آماری خطا

در این پژوهش برای مقایسه‌ی اندازه‌های پیش‌بینی‌شده با داده‌های اندازه‌گیری‌شده، چند معیار مانند ضریب همبستگی (R)، ضریب تعیین (R<sup>2</sup>)، خطای جذر میانگین (RMSE) و ضریب کارایی مدل

نش-ساتکلیف (NSCE) استفاده شد. ضریب همبستگی برای اندازه‌گیری همبستگی خطی میان مشاهده‌های ایستگاهی و برآوردها استفاده می‌شود (قربانیان و همکاران ۲۰۲۲). معادله‌های مرتبط با معیارهای مزبور در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- فهرست شاخص‌های ارزیابی آماری در برآوردهای کمی بارش.

Table 3- The list of statistical evaluation indices to evaluate quantitative rain estimates.

Metrics	Equation
Correlation coefficient (R)	$\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}$
Coefficient of determination (R <sup>2</sup> )	R*R
RMSE	$\sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (Y_i - X_i)^2}{n}}$
NSCE	$1 - \frac{\sum_{t=1}^n (X_i - Y_i)^2}{\sum_{t=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$

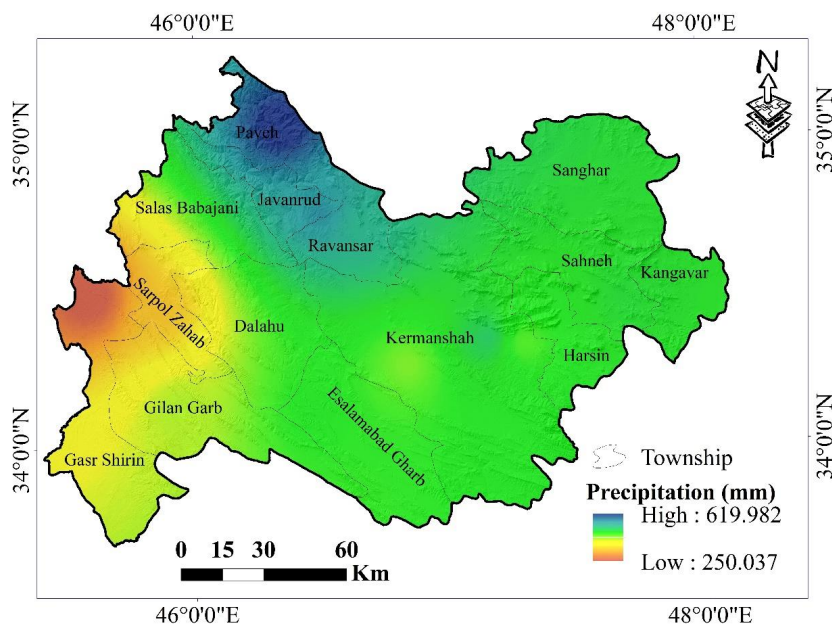
توجه: n تعداد مشاهده‌ها در نمونه است. Xi و Yi نشان‌دهنده‌ی داده‌های مشاهده‌ای و برآورد بارش است.

Note: n denotes the number of observations in the sample. Xi and Yi represent the observational and forecast precipitation data.

### نتایج

بر پایه‌ی نقشه‌ی بارشی استان کرمانشاه، بیشترین و کمترین بارش در منطقه‌ی پژوهش‌شده به ترتیب

۶۱۹/۹۸ و ۲۵۰/۰۳ میلی‌متر بود (شکل ۲). میانگین بارش سالانه در منطقه‌ی پژوهش‌شده بر اساس روش درون‌یابی ۴۶۳/۸۹ میلی‌متر برآورد شد.

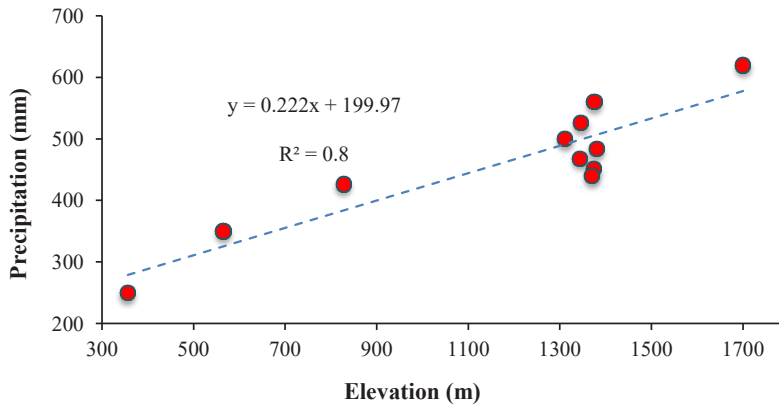


شکل ۲- نقشه‌ی بارش استان کرمانشاه بر اساس روش درون‌یابی.

Figure 2- Precipitation map of Kermanshah Province based on interpolation method.

به‌منظور بررسی تغییرهای مدل رقومی ارتفاعی بر شیب بارش و بر اساس شکل ۳ معادله‌ی وایازی خطی میان بارش و بلندی هر ایستگاه به‌دست آمد. در استان کرمانشاه ۱۶ ایستگاه هواشناسی وجود دارد ولی از لحاظ

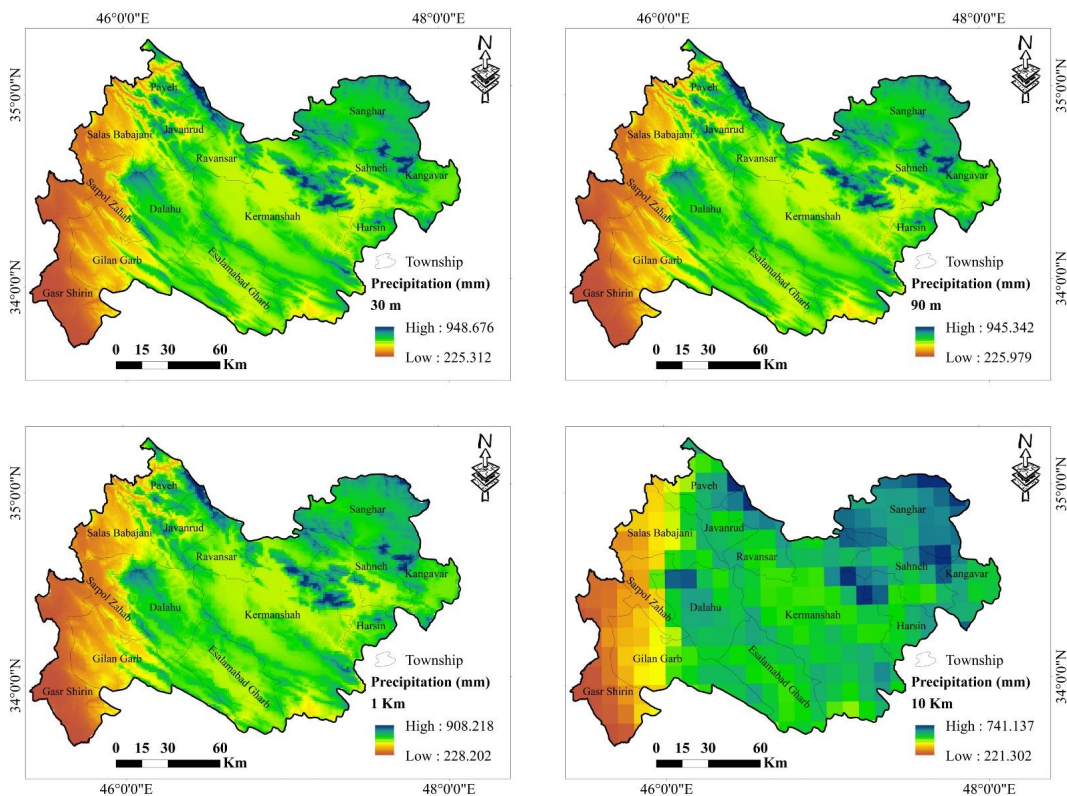
کیفیت آماری و طول دوره‌ی آماری یکسان نیستند. بنابراین، برای بهبود شیب بارش ایستگاه‌های ناقص و با آمار کوتاه‌مدت حذف شدند و در نهایت ضریب تعیین در منطقه‌ی پژوهش‌شده بیشتر از ۰/۸ شد.



شکل ۳- تحلیل وایزای داده‌های بارش.  
Figure 3- Regression analysis of precipitation data.

بررسی بیشترین بارش، سه مدل رقومی ارتفاعی ۳۰، ۹۰ و ۱۰۰۰ متر بیشترین بارش را ۳۰۰ میلی‌متر بیش‌تر نشان دادند. کوهستانی بودن منطقه تأثیر چشم‌گیری بر شیب بارش داشت. بنابراین، اندازه‌ی بارش برآوردشده با بارش اندازه‌گیری‌شده متفاوت بود. در این پژوهش با استفاده از معیارهای خطاسنجی میان داده‌های واقعی و پیش‌بینی‌شده مدل رقومی ارتفاعی مناسب با داده‌های بهتر تعیین شد و برای تهیه‌ی نقشه‌های بارشی استفاده شد (جدول ۴).

بر پایه‌ی نتایج شکل ۴، بیشترین توزیع مکانی بارش در دامنه‌های شمالی و مرکزی (شامل پاوه و جوانرود و دالاهو و اسلام‌آباد غرب) و کمترین بارش در دامنه‌های غربی و جنوب‌شرقی (شامل ثلاث باباجانی و قصرشیرین و هرسین و کنگاور) مشاهده شد. میانگین بارش در چهار مدل رقومی ارتفاعی ۳۰، ۹۰، ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ متر به ترتیب ۵۱۸/۲۵، ۵۱۸/۲۶، ۵۱۷/۹۶ و ۵۱۷/۹۷ میلی‌متر بود که در مقایسه با میانگین سالانه‌ی به‌دست آمده از ایستگاه‌ها (۴۶۳/۸۹ میلی‌متر) تقریباً در تمام روش‌ها ۵۵ میلی‌متر بارش بیش‌تر پیش‌بینی شد. در



شکل ۴- نقشه‌ی بارشی استان کرمانشاه با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ و ۹۰ متر، یک و ۱۰ کیلومتر.  
Figure 4- Precipitation map of Kermanshah Province with spatial resolutions of 30 m, 90 m, 1 km, and 10 km.

جدول ۴- اندازه‌های میانگین خطا به دست آمده از مدل برازش داده شده برای ایستگاه هواشناسی کرمانشاه.

Table 4- Mean error values obtained from the fitted model for the Kermanshah meteorological station.

No	DEM(m)	RMSE	NS	R <sup>2</sup>
1	30	47.31	0.75	0.75
2	90	46.99	0.75	0.76
3	1000	46.25	0.76	0.76
4	10000	48.12	0.74	0.81

مشاهده شده در مقایسه با بارش پیش‌بینی شده به دست آمده از چهار مدل رقومی ارتفاعی در جدول ۵ ارائه شده است. مدل رقومی ارتفاعی ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ متر در سطح ۰/۰۱ معنی دار بودند، ولی مدل رقومی ارتفاعی ۱۰۰۰ افزون بر معنی داری، ضریب همبستگی بیشتری در مقایسه با دیگر مدل‌های رقومی ارتفاعی در دو آزمون کندال و اسپیرمن داشت (جدول ۵).

بر پایه‌ی نتایج جدول ۴، مدل‌های رقومی ارتفاعی ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ متر در مقایسه با دو مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ و ۹۰ متری، بارش را با دقت بهتری پیش‌بینی کردند ولی مدل رقومی ارتفاعی ۱۰۰۰ متر در مقایسه با دیگر مدل‌های رقومی ارتفاعی اندازه‌ی نش - ساتکلیف بیشتر و خطای میانگین مربعات کمتری داشتند که می‌تواند در تهیه‌ی نقشه بارشی استفاده شود. تغییرهای بارش

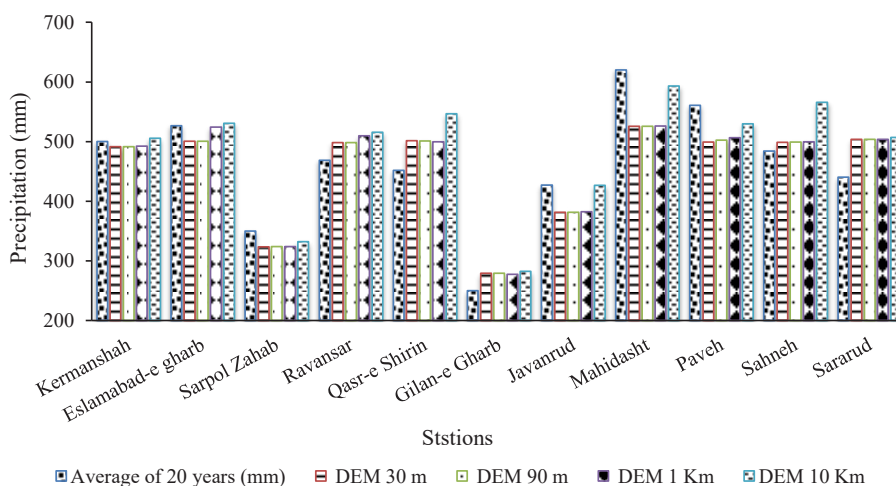
جدول ۵- اندازه‌ی ضریب‌های همبستگی و سطح معنی‌داری ایستگاه هواشناسی کرمانشاه.

Table 5- Values of correlation coefficients and significant level of Kermanshah meteorological station

No	DEM(m)	Kendall's tau_b		Spearman's rho	
		R(XY)	P-value	R(XY)	P-value
1	30	0.491*	0.036	0.636*	0.035
2	90	0.564*	0.016	0.691*	0.019
3	1000	0.661**	0.005	0.811**	0.002
4	10000	0.636**	0.006	0.764**	0.006

متر به درستی توانست روند بارشی را در مقایسه با داده‌ی واقعی ایستگاه نشان دهد (شکل ۵).

بر پایه‌ی تغییرهای بارش ایستگاه‌های پژوهش شده در مقایسه با میانگین ۲۰ ساله مشخص شد که در تمام ایستگاه‌های پژوهش شده مدل رقومی ارتفاعی ۱۰۰۰



شکل ۵- نمودار ستونی تغییر میانگین بارش بر اساس مدل‌های رقومی ارتفاعی استان کرمانشاه.

Figure 5- Column chart of mean precipitation changes based on digital elevation models of Kermanshah Province.

هر ایستگاه اهمیت زیادی دارد. در شرایط عادی برای برآورد بارش از روش‌های درون‌یابی استفاده شد. در این مدل دقت نقشه‌های بارشی به دلیل در نظر نگرفتن

دقت مدل‌های رقومی ارتفاعی در برآورد بارش با روش وایازی خطی تک متغیره‌ی میانگین بارش و تغییر بلندی



به دلیل اینکه فاصله‌های بلندی میان ایستگاه‌ها را با دقت بیشتری برآورد کرد، از دیگر مدل‌های رقومی ارتفاعی عملکرد بهتری نیز داشت. استفاده از مدل‌های رقومی ارتفاعی با تفکیک مکانی متفاوت در ارزیابی اثر آب و هوا، محیط‌زیست، فعالیت‌های کشاورزی و توسعه‌ی منابع آب در مناطق کوهستانی نقش اساسی دارد (هابرلند، ۲۰۱۸). به‌طور کلی، یافته‌های این پژوهش تأیید کرد که بررسی وضوح مکانی DEM در ارزیابی‌های هواشناسی اساسی است و باید به آن توجه شود (لین و همکاران ۲۰۱۰).

### نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف دستیابی به داده‌های جدید بارشی با دقت مکانی زیاد در مناطق فاقد ایستگاه یا با ایستگاه محدود و هم‌چنین تعیین بهترین مدل رقومی ارتفاعی در محیط GIS انجام شد. با استفاده از روش وایزی خطی ارتباط میان بارش و بلندی به دست آمد. در این پژوهش از چهار مدل رقومی ارتفاعی (DEM) برای برآورد بارش استفاده شد. افزون بر آن، بهترین تفکیک مکانی برای برآورد بارش در پژوهش‌های هواشناسی و آب‌شناسی تعیین شد. در این پژوهش بر اساس نتایج و ارزیابی‌های انجام‌شده می‌توان گفت که داده‌های بارشی به‌دست آمده از DEM با اندازه‌ی سلول درشت (پیکسل اندازه بزرگ‌تر) دقت بیشتری داشت. افزون بر آن، اندازه‌ی ضریب‌های  $R^2$ ,  $R$ ,  $NS$  در DEM با پیکسل اندازه ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ نزدیک به یک بود. در بسیاری از پژوهش‌ها توجه نکردن به سنجه‌های ورودی و برآورد دقت آن‌ها یکی از مهم‌ترین مشکلات است. در این پژوهش با تأکید بر شناخت همین عامل‌ها به‌عنوان منشاء خطا، سعی شد که متداول‌ترین مدل‌های رقومی ارتفاعی در پژوهش‌های اقلیمی ارزیابی شود، که در شرایط توجه نکردن، برای کاربران خطاهایی را به‌وجود می‌آورد. پراکنش نامناسب ایستگاه‌های هواشناسی، فاصله‌های بلندی و طولی زیاد ایستگاه‌ها از هم و یا وجود نداشتن ایستگاه، استفاده از مدل‌های رقومی با قدرت تفکیک مکانی زیاد ۳۰ و ۹۰ متر را دچار خطا در برآورد بارش کرد که ناشی از تعمیم سلول‌های بزرگ به کوچک بود. با توجه به محدودیت ایستگاه‌های هواشناسی در کشور ایران، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های اقلیمی و برآورد بارش زمانی که از نقشه‌های مدل رقومی ارتفاعی استفاده می‌شود از مدل‌های رقومی با سلول‌های بزرگ (پیکسل اندازه بزرگ) استفاده شود. هم‌چنین در شرایط استفاده از روش‌های زمین‌آماری، از روش‌های چند متغیره استفاده شود.

سنجه‌ی بلندی کم است، چون که بخش بلندی و پستی‌بلندی در ایجاد بارش حذف می‌شود (قیصوری و همکاران ۲۰۲۳). مشکلی که در بسیاری از نقشه‌های بارشی در کشور ایران وجود دارد نبودن شبکه‌ی منظم ایستگاهی در سطح کشور است، که نتیجه آن تعمیم بارش مناطق با ایستگاه به مناطق فاقد ایستگاه است. در نهایت در این پژوهش برای بهبود بارش، چهار تفکیک مکانی مختلف DEM روی یک آبخیز ۲۴۸۶۷/۳۰ کیلومترمربعی آزمایش شد. کمترین و بیشترین بلندی‌ها در آبخیز به‌شکل قابل ملاحظه‌ای به دلیل وضوح DEM متفاوت بود (جدول ۱). نتایج نقشه‌ی بارشی به‌دست آمده از درون‌یابی میان ایستگاهی، بدون در نظر گرفتن سنجه‌ی بلندی نشان داد که بیشترین بارش در قسمت‌های شمالی استان کرمانشاه و کمترین بارش در قسمت‌های غربی این استان بود که در نوار مرزی با کشور عراق است (شکل ۲). نقشه‌های به‌دست آمده از وایزی خطی بارش با بلندی نیز نتایج مشابهی داشتند. در قسمت‌های شمالی مانند پاوه و ثلاث باباجانی بیشترین بارش بود و قصرشیرین کمترین بارش را نشان داد (شکل ۴). در منطقه‌ی پژوهش‌شده نتایج بررسی وضوح مکانی مدل‌های رقومی ارتفاعی نشان داد که تغییر در کیفیت وضوح مکانی DEM بر نتایج عملکرد پیش‌بینی بر بارش تأثیر نداشت. به‌طور کلی، برآورد بیش‌ازحد بیشترین بارش‌های سالانه در DEM با وضوح‌های ۳۰، ۹۰ و ۱۰۰۰ متر و نادیده گرفتن میانگین کمترین بارش سالانه به‌عنوان دو اثر متفاوت از وضوح DEM بود. استفاده از معیارهای خط‌اسنجی نشان داد که میانگین بارندگی سالانه، در DEM با تفکیک مکانی بزرگ‌تر (۱۰۰۰ متر SRTM-DEM) در پیش‌بینی مکانی با خطای کم‌تری ( $RMSE = ۴۶/۲۵$ ) در مقایسه با DEM کوچک‌تر بود. با بررسی دقیق‌تر می‌توان گفت که پراکنش نامناسب ایستگاه‌های هواشناسی متأثر از مدل‌های رقومی ارتفاعی تفکیک مکانی بزرگ‌تری داشتند، در نتیجه بارش بهتر برآورد شد. این یافته با نتایج پژوهش بتی و همکاران (۲۰۲۲) در یک راستا است. در بخشی دیگر با استفاده از ضریب‌های همبستگی کندال و اسپیرمن، سطوح معنی‌داری بارش به‌دست آمده از پیش‌بینی مدل‌های رقومی ارتفاعی گوناگون با بارش مشاهده‌شده ارزیابی شد (جدول ۵). در این راستا دو مدل ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ متر در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار بودند و مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ و ۹۰ متر در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار شدند. از میان دو مدل رقومی ارتفاعی ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ متر، مدل رقومی ارتفاعی ۱۰۰۰ متر

## فهرست منابع

- Adhikary SK, Muttil N, Yilmaz AG. 2017. Cokriging for enhanced spatial interpolation of rainfall in two Australian catchments, *Hydrological Processes*. 31(12): 2143-2161.
- Asakereh H, Seifipour Z. 2012. Spatial modeling of annual precipitation in iran. *geography and development*. 10(29):15-30. (In Persian).
- Aydin O. 2018. Evaluation of kriging with external drift method in spatial modelling of precipitation: a case of Aegean Region, Turkey, *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*. 56:1-18.
- Baez-Villanueva-test OM., Zambrano-Bigiarini M, Beck HE, McNamara I, Ribbe L, Nauditt , Birkel C, Verbiß K, Giraldo-Osorio JD, Xuan Thinh N. 2020. RFMEP: A novel Random Forest method for merging gridded precipitation products and ground-based measurements. *Remote Sensing Environment*. 239:1-19. doi.org/10.1016/j.rse.2019.111606.
- Bai X, Wu X, Wang P. 2019. Blending long-term satellite-based precipitation data with gauge observations for drought monitoring: Considering effects of different gauge densities. *Journal of Hydrology*. 577:124007. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124007.
- Bati HG. 2022. Digital Elevation Model resolution and its impact on the spatial pattern of rainfall temperature prediction at the catchment scale: The case of the Mille catchment, Ethiopia. *Meteorology Hydrology and Water Management. Research and Operational Applications*. 10 p. doi. 10.26491/mhwm/149231.
- Beck HE, Wood EF, McVicar TR, Zambrano-Bigiarini M, Alvarez-Garretón C, Baez-Villanueva OM, Sheffield J, Karger DN. 2020. Bias correction of global high-resolution precipitation climatologies using streamflow observations from 9372 catchments. *Journal of Climate*. 33(4):1299-1315. doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0332.1.
- Bertini C, Buonora L, Ridolfi E, Russo F, Napolitano F. 2020. On the use of satellite rainfall data to design a dam in an ungauged site. *Water*. 12(11):1-20. doi.org/10.3390/w12113028.
- Cantet P. 2017. Mapping the mean monthly precipitation of a small island using kriging with external drifts. *Theoretical and Applied Climatology*. 127:31-44.
- Chao L, Zhang K, Li Z, Zhu Y, Wang J, Yu Z. 2018. Geographically weighted regression based methods for merging satellite and gauge precipitation. *Journal of Hydrology*. 558:275-289. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.01.042.
- Chen F, Gao Y, Wang Y, Li X. 2020 a. A downscaling-merging method for high-resolution daily precipitation estimation. *Journal of Hydrology*. 581:124414. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124414.
- Chen HE, Chiu YY, Tsai TL, Yang JC. 2020. Effect of rainfall, runoff and infiltration processes on the stability of foot slopes. *Water*. 12(5):1-19. doi.org/10.3390/w12051229.
- Chiew FH, McMahon TA. 2002. Modelling the impacts of climate change on Australian streamflow. *Hydrological Processes*. 16(6):1235-1245. doi.org/10.1002/hyp.1059.
- Dezfuli AK, Zaitchik BF, Badr HS, Evans J, Peters-Lidard CD. 2017. The role of low-level, terrain-induced jets in rainfall variability in Tigris–Euphrates headwaters. *Journal of Hydrometeorology*. 18(3):819-835. doi.org/10.1175/JHM-D-16-0165.1.
- Dinku T. 2019. Challenges with availability

- and quality of climate data in Africa, [in:] Extreme Hydrology and Climate Variability: Monitoring, Modelling, Adaptation and Mitigation, A.M. Melesse, W. Abtew, G. Senay (eds.), Elsevier. pp. 71-80.
- Duan Z, Baſtiaanssen WGM. 2013. First results from Version 7 TRMM 3B43 precipitation product in combination with a new downscaling-calibration procedure. Remote Sensing of Environment. 131:1-13. doi.org/10.1016/j.rse.2012.12.002.
- Gebremedhin MA, Lubczynski MW, Maathuis BHP, Teka D. 2021. Novel approach to integrate daily satellite rainfall with in-situ rainfall, Upper Tekeze Basin, Ethiopia. Atmospheric Research. 248:1-15. doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105135.
- Gheysouri M, Khalighi Sigaroodi S, Choubin B. 2023. Improve rainfall maps using Precipitation products of IMERG V06 Final satellite and interpolation methods. ECOPE RSIA. 11(1):47-64. doi.org/20.1001.1.2322.2700.2023.11.1.5.5.
- Ghorbanian A, Mohammadzadeh A, Jamali S, Duan Z. 2022. Performance Evaluation of Six Gridded Precipitation Products throughout Iran Using Ground Observations over the Last Two Decades (2000-2020). Remote Sensing. 14(15):3783. doi.org/10.3390/rs14153783.
- Ghaderpour E, Ben Abbes A, Rhif M, Pagiatakis SD, Farah IR. 2020. Non-stationary and unequally spaced NDVI time series analyses by the LSWAVE software. International Journal of Remote Sensing. 41(6):2374-2390. doi.org/10.1080/01431161.2019.1688419.
- Golding BW. 2009. Uncertainty propagation in a London flood simulation. Journal of Flood Risk Management. 2(1):2-15. doi.org/10.1111/j.1753-318X.2008.01014.x.
- Gourley JJ, Vieux BE. 2006. A method for identifying sources of model uncertainty in rainfall-runoff simulations. Journal of Hydrology. 327(1-2):68-80. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.11.036.
- Haberlandt U. 2007. Geostatistical interpolation of hourly precipitation from rain gauges and radar for a large-scale extreme rainfall event. Journal of Hydrology. 332(1-2):144-157. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.06.028.
- Hadiani O, Jahanbakhsh S, Rezai BM, Dinpajouh Y. 2011. The effect of topographic condition in evaluating the precipitation gradient in different elevation classes of mountainous region (case study: northern slope of central alborz mountain, mazandaran province). Journal of Sciences and Techniques in Natural Resources. 6(2):15-25. (In Persian).
- Hosseini Moghari SM, Iraquejad SH, Ebrahimi K. 2016. Evaluation of global rainfall bases and their application in drought monitoring-Case (Karkheh basin). Journal of Agricultural Meteorology. 102(2):14-26.
- Kalehhouei M, Soltani A, Soltani A, Gholami L. 2018. Drought Zoning of Kermanshah Province Using CZI Index. Journal of Rainwater Catchment Systems. 6(1):1-10. (In Persian).
- Kim C, Kim DH. 2020. Effects of rainfall spatial distribution on the relationship between rainfall spatiotemporal resolution and runoff prediction accuracy. Water. 12(3):846. doi.org/10.3390/w12030846.
- Kim SN, Lee WK, Shin KI, Kafatos M, Seo DJ, Kwak HB. 2010. Comparison of spatial interpolation techniques for predicting climate factors in Korea. Forest Science and Technology. 6(2):97-109. doi.org/10.1080/21580103.2010.9671977.
- Li M, Shao Q. 2010. An improved statistical approach to merge satellite rainfall estimates and raingauge data. Journal of Hydrology. 385(1-4):51-64. doi.org/10.1016/j.

- jhydrol.2010.01.023.
- Li Z, Yang D, Hong Y. 2013. Multi-scale evaluation of high-resolution multi-sensor blended global precipitation products over the Yangtze River. *Journal of Hydrology*. 500:157-169. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.07.023.
- Lin S, Jing C, Chaplot V, Yu X, Zhang Z, Moore N, Wu J. 2010. Effect of DEM resolution on SWAT outputs of runoff, sediment and nutrients. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*. 7(4):4411-4435.
- Lu S, Ten Veldhuis MC, Van Giesen N. 2020. A methodology for multiobjective evaluation of precipitation products for extreme weather (in a data-scarce environment). *Journal of Hydrometeorology*. 21(6):1223-1244. doi.org/10.1175/JHM-D-19-0157.1.
- Ma Y, Hong Y, Chen Y, Yang Y, Tang G, Yao Y, Long D, Li C, Han Z, Liu R. 2018. Performance of optimally merged multisatellite precipitation products using the dynamic bayesian model averaging scheme over the Tibetan Plateau. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 123(2):814-834. doi.org/10.1002/2017JD026648.
- Manz B, Buytaert W, Zulkafli Z, Lavado W, Willems B, Robles LA, Rodríguez- Sánchez JP. 2016. High-resolution satellite-gauge merged precipitation climatologies of the Tropical Andes. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 121(3):1190-1207. doi.org/10.1002/2015JD023788.
- Mastrantonas N, Bhattacharya B, Shibuo Y, Rasmy M, Espinoza-D'avalos G, Solomatine D. 2019. Evaluating the benefits of merging near-real-time satellite precipitation products: a case study in the Kinu Basin Region, Japan. *Journal of Hydrometeorology*. 20(6):1213-1233. doi.org/10.1175/JHM-D-18-0190.1.
- Michele Di. 2008. Correlation between channel and hillslope lengths and its effects on the hydrologic response. *Journal of Hydrology*. 362(3-4):260-273. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.08.022.
- Modallaldoust S, BayatF, Soltani B, Soleimani K. 2008. Applying digital elevation model to interpolate precipitation. *Journal of Applied Sciences*. 8(8):1471-1478.
- Nie S, Luo Y, Wu T, Shi X, Wang Z. 2015. A merging scheme for constructing daily precipitation analyses based on objective bias-correction and error estimation techniques. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 120(17):8671-8692. doi.org/10.1002/2015JD023347.
- Rahman KU, Shang S, Shahid M, Wen Y, Khan Z. 2020. Application of a dynamic clustered bayesian model averaging (DCBA) algorithm for merging multisatellite precipitation products over Pakistan. *Journal of Hydrometeorology*. 21(1):17-37. doi.org/10.1175/JHM-D-19-0087.1.
- Rezai T, Azizi Gh. 2008. Investigation of Spatial Patterns of Seasonal and Annual Precipitation in Western Iran. *Physical Geography Research Quarterly*. 40(65):93-108. (In Persian).
- Sari Saraf B, Rajaei A, Masri Alamdari P. 2009. Investigating the relationship between precipitation and topography in the eastern and western slopes of Talash mountain region. *Geography and Environmental Planning (Isfahan University Humanities Research Journal)*. 20(3):63-84. (In Persian). doi.org/10.22111/GDIJ.2023.44795.3497.
- Schlögel R, Marchesini I, Alvioli M, Reichenbach P, Rossi M, Malet JP. 2018. Optimizing landslide susceptibility zonation: Effects of DEM spatial resolution and slope unit delineation on logistic regression models. *Geomorphology*. 301:10-20. doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.10.018.
- Shen Y, Xiong A, Hong Y, Yu J, Pan Y, Chen Z, Saharia M. 2014. Uncertainty analysis of five satellite-based precipitation products

- and evaluation of three optimally merged multi-algorithm products over the Tibetan Plateau. *International Journal of Remote Sensing*. 35(19): 6843-6858. doi.org/10.1080/01431161.2014.960612.
- Soltani Gerdefaramarzi S, Gheysouri M, Saberi A, Ghasemi M. 2020. Evaluation of Hydrological Softwares in Physiographic Parameters Extraction of Watershed. *Journal of Environmental Science and Technology*. 22(7):69-82. (In Persian).
- Sorooshian S, AghaKouchak A, Arkin P, Eylander J, Foufoula-Georgiou E, Harmon R, Hendrickx JM, Imam B, Kuligowski R, Skahill B, Skofronick-Jackson G. 2011. Advanced concepts on remote sensing of precipitation at multiple scales. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 92(10):1353-1357.
- Taesombat W, Sriwongsitanon N. 2009. Areal rainfall estimation using spatial interpolation techniques. *Science Asia*. 35(3):268-275. doi: 10.2306/scienceasia1513-1874.2009.35.268.
- Verdin A, Rajagopalan B, Kleiber W, Funk C. 2015. A Bayesian kriging approach for blending satellite and ground precipitation observations. *Water Resources Research*. 51(2):908-921. doi.org/10.1002/2014WR015963.
- Wang Q, Guo Y, Li W, He J, Wu Z. 2019. Predictive modeling of landslide hazards in Wen County, northwestern China based on information value, weights-of-evidence, and certainty factor. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. 10(1):820-835. doi.org/10.1080/19475705.2018.1549111.
- Washington R, Harrison M, Conway D, Black E, Challinor A, Grimes D, Jones R, Morse A, Kay G, Todd M. 2006. African climate change: taking the shorter route. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 87(10):1355-1366. doi.org/10.1175/BAMS-87-10-1355.
- Xie P, Xiong AY. 2011. A conceptual model for constructing high-resolution gauge-satellite merged precipitation analyses. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 116(D21):1-20. doi.org/10.1029/2011JD016118.
- Xu L, Chen N, Moradkhani H, Zhang X, Hu C. 2020. Improving global monthly and daily precipitation estimation by fusing gauge observations, remote sensing and reanalysis datasets. *Water Resources Research*. 56(3):1-20. doi.org/10.1029/2019WR026444.
- Yang Z, Hsu K, Sorooshian S, Xu X, Braithwaite D, Zhang Y, Verbišt KMJ. 2017. Merging high-resolution satellite-based precipitation fields and point-scale rain gauge measurements-A case study in Chile. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 122(10):5267-5284.
- Zhang G, Tian G, Cai D, Bai R, Tong J. 2021. Merging radar and rain gauge data by using spatial-temporal local weighted linear regression kriging for quantitative precipitation estimation. *Journal of Hydrology*. 601:126612. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126612.
- Zhang X, Tang Q. 2015. Combining satellite precipitation and long-term ground observations for hydrological monitoring in China. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 120(13):6426-6443. doi.org/10.1002/2015JD023400.
- Zhao HG, Yang ST, Wang ZW, Zhou X, Luo Y, Wu LN. 2015. Evaluating the suitability of TRMM satellite rainfall data for hydrological simulation using a distributed 42 hydrological model in the Weihe River catchment in China. *Journal of Geographical Sciences*. 25:177-195.



# Evaluating the Spatial Resolution of Digital Elevation Models (DEMs) on the Accuracy of Rainfall Estimation at the Annual Scale

Morteza Gheysouri<sup>1</sup>, Shahram Khalighi Sigaroodi<sup>\*2</sup>, Ali Salajegheh<sup>3</sup>, Bahram Choubin<sup>4</sup>

1- Ph.D. of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran

2- Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran

3- Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran

4- Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, West Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Urmia, Iran

## Extended Abstract

### Introduction and Goal

Users prepare accurate data of the amount of rainfall by using rain gauge stations. However, an interpolation of rainfall data is difficult due to temporal and spatial variability. Therefore, rain gauge stations are not well distributed in many areas, especially in mountainous areas. In a mountainous area, understanding the interaction between the resolution of the Digital Elevation Model (DEM) and climate variables is necessary for accurate spatial interpolation of average rainfall in many areas, and on the other hand, the need for accurate information in hydrological modeling and many environmental studies and it is climatic. One of the problems that exists in many hydrological studies is that rainfall maps are always prepared using interpolation or available DEM, regardless of rainfall, which have an estimated rainfall error.

### Materials and Methods

In this study, four DEMs with spatial resolutions of 30, 90, 1000, and 10000 m, which are the most common DEMs in studies, were used to introduce the best elevation digital model for extracting the rainfall gradient map from the data of 11 meteorological stations in Kermanshah province. A rainfall map for Kermanshah province was prepared using a linear regression model fitted between the height of each

### Article Type: Research Article

\*Corresponding Author E-mail: khalighi@ut.ac.ir

**Citation:** Gheysouri, M., Khalighi Sigaroodi, SH., Salajegheh, A., Choubin, B. 2024. Evaluating the spatial resolution of digital elevation models (DEMs) on the accuracy of rainfall estimation at the annual scale. *Watershed Management Research*. 37(1): 48-62.

**DOI:** 10.22092/WMRJ.2023.361613.1530

**Received:** 27 February 2023, **Received in revised form:** 11 May 2023, **Accepted:** 21 June 2023,

**Published online:** 20 March 2024

*Watershed Management Research*, VOL. 37, No.1, Ser. No: 142, Spring 2024, pp. 48-62.

**Publisher:** Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center ©Author(s)



station and the 20-year average rainfall. The best DEM for rainfall estimation was then determined on the basis of error evaluation criteria.

### **Results**

The results of this research showed that in estimating rainfall, DEMs with cell sizes of 1000 and 10000 m ( $R^2 = 0.76, 0.81$ ) were more accurate than DEMs with spatial accuracy of 30 and 90 m ( $R^2 = 0.75$ ). In the examination of the Nash–Sutcliffe coefficient (NS), compared to other digital height models of accuracy, DEM with a spatial resolution of 1000 m (one km) with a Nash–Sutcliffe coefficient of 0.76, a significance level of 0.01, and a correlation coefficient of 0.81 was found to have greater accuracy.

### **Conclusion and Suggestions**

The results of the present study can be used to estimate and generalize rainfall in areas that do not have stations and to prepare rainfall maps in areas where the number of stations is limited. In addition, it should be used in univariate interpolation methods that do not have proper accuracy because spatial distances are not considered. In addition, due to the complex topography of the earth and the non-uniformity of meteorological stations on the earth's surface, high-resolution models with higher spatial resolution are required for the estimation of rainfall, which increases the accuracy of digital models in the evaluation of rainfall studies by removing topographical levels that cause errors.

**Keywords:** DEM resolution, Kermanshah province, linear regression, mountainous watershed, rainfall estimation, rainfall gradient