

تعیین همبستگی مکانی و الگوی تغییرات ارتفاع و حجم رواناب در زیر آبخیزهای منطقه شارقنج بیرجند

رضا چمنی - دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران.
رئوف مصطفی‌زاده* - دانشیار گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
مهین کله‌هوئی - دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران.
خدیجه حاجی - دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۲/۲۴ تأیید نهایی: ۱۴۰۲/۰۷/۲۸

چکیده

سیلاب یکی از مخرب‌ترین بلایای طبیعی و تأثیرگذار بر هدررفت خاک و آسیب به زیرساخت‌های انسانی است. هدف پژوهش حاضر، برآورد ارتفاع رواناب تولیدی حاصل از بارش مازاد و تحلیل تغییرات مکانی مقادیر ارتفاع رواناب و حجم رواناب در حوضه آبخیز شارقنج بیرجند است. در این پژوهش میزان رواناب تولیدی ناشی از حداکثر بارش ۲۴ ساعته در دوره‌های بازگشت مختلف با استفاده از روش SCS برآورد شده است. برای این کار حداکثر بارش ۲۴ ساعته ایستگاه‌های اطراف منطقه با روش عکس مجذور فاصله (IDW) میان‌یابی شد. در ادامه پس از تهیه نقشه شماره منحنی، برای تخمین رواناب نیز از روش SCS استفاده و حجم رواناب محاسبه شد. نتایج نشان داد از غرب به شرق شماره منحنی به دلیل وجود باغ‌های زرشک و اراضی زراعی آبی کاهش می‌یابد. براساس نقشه همبستگی مکانی مقادیر ارتفاع رواناب، خوشه‌های زیاد-زیاد (HL) در بخش‌های بالادست حوزه تشکیل شده است. هم‌چنین خوشه‌های کم-کم (LL) در بخش‌های پایین‌دست شکل گرفته که ناشی از مقادیر بالای بارش در بخش بالادست و شیب بالای زیرآبخیزها مرتبط دانست. مقادیر همبستگی مکانی حجم رواناب نشان داد که تجمع حجم رواناب در زیرآبخیزهای واقع در پایین دست منطقه مورد مطالعه بیش تر است و تشکیل خوشه‌های زیاد-کم (HL) کم داده است. به عبارتی در زیرآبخیزهای پایین دست و مجاور خروجی منطقه میزان حجم سیلاب بیش تر شده است. براساس نتایج عوامل مختلف از جمله شیب، کاربری اراضی، شماره منحنی و گروه هیدرولوژیکی خاک بر آن تأثیرگذار است که بر تغییرات مکانی مولفه‌های ارتفاع و حجم رواناب موثر بوده و رفتار هیدرولوژیک سیلاب را تعیین می‌کند.

واژگان کلیدی: اولویت‌بندی، تغییرات مکانی، رواناب سطحی، خودهمبستگی، الگوی مکانی.

مقدمه

آب یکی از مهم‌ترین منابع برای حفظ حیات و توسعه در جامعه است. رواناب سطحی متغیر اصلی هیدرولوژیکی است که در برنامه‌ریزی‌های مدیریت منابع آب مورد استفاده قرار می‌گیرد (عبدی و همکاران، ۱۴۰۲؛ سینگ و سینگ، ۲۰۲۲). بر همین اساس افزایش تقاضای آب ناشی از رشد جمعیت و گسترش فعالیت‌های انسانی سبب بحران در دسترسی به منابع آب شده است و ارزیابی و برنامه‌ریزی جهت استفاده پایدار از این منابع ضروری است (احمدی‌ثانی و همکاران، ۱۳۹۷). از طرفی اطلاع از میزان رواناب تولیدی از یک آبخیز به ویژه برای برنامه‌ریزی سازه‌های هیدرولیکی و انجام اقدامات لازم برای کنترل فرسایش از اهمیت حیاتی برخوردار است (روستائی و همکاران، ۱۴۰۱). بنابراین بررسی تغییرات زمانی و مکانی سیلاب و عوامل مؤثر بر آن برای ارائه راه‌کارهای مناسب برای کاهش رواناب و برنامه‌ریزی صحیح اهمیت به‌سزایی دارد (صیاد و همکاران، ۱۴۰۰). با داشتن برنامه‌ریزی اصولی و مناسب، رواناب حاصل از بارش می‌تواند در جهت رفع مشکل کمبود آب مصارف شرب، کشاورزی و صنعتی به‌خصوص در شرایط خشک‌سالی، بسیار مؤثر واقع شود. بنابراین تعیین مناطق مشارکتی در تولید رواناب در مقیاس حوضه آبخیز یک نیاز حیاتی برای مدیریت آب کارآمد و مناسب است (وفاخواه و همکاران، ۲۰۱۸). پیش‌بینی و تعیین میزان کمی فرآیندهای تولید رواناب و انتقال ایمن آن به خروجی آبخیز از اهمیت خاصی برخوردار است. در فرآیند تبدیل بارش به رواناب، دو دسته عوامل شامل پارامترهای اقلیمی و فیزیوگرافی حوضه نقش دارند. عوامل اقلیمی شامل شدت و تداوم بارش و نیز توزیع مکان بارندگی است. پارامترهای فیزیوگرافی شامل نوع کاربری اراضی، جنس خاک، مساحت حوضه آبخیز، شکل حوضه، ارتفاع، شیب، جهت و نوع شبکه زهکشی است. با توجه به روش‌های مدیریت و بهینه‌سازی حوضه‌های آبخیز، پیش‌بینی دقیق رواناب خروجی می‌تواند در بهینه‌سازی مدیریت آبخیز، بسیار مؤثر باشد (جعفری و همکاران، ۱۳۹۴). بنابراین رواناب حاصل از بارندگی را می‌توان به روش‌های مختلف برآورد نمود که یکی از روش‌های معمول در هیدرولوژی، روش شماره منحنی^۱ (CN) سازمان حفاظت خاک آمریکا^۲ (SCS) است (غفاری گیلانده و همکاران، ۱۳۹۵). این روش یکی از مناسب‌ترین و پرکاربردترین روش‌های هیدرولوژیکی محاسبه رواناب در حوضه‌های فاقد آمار است (اینسی تکل و همکاران، ۲۰۰۶؛ میسرا و همکاران، ۲۰۱۴). سازمان حفاظت خاک آمریکا در سال ۱۹۵۴، روش شماره منحنی را برای محاسبه بارش مازاد ارائه نمود که بر مبنای آن در یک رگبار، همیشه بارش اضافی یا رواناب مستقیم کوچک‌تر یا مساوی بارش کل است. همچنین این روش SCS یک توصیف کمی از ویژگی‌های کاربری اراضی، پوشش و خاک حوضه آبخیز است و بر بیلان آب استوار است (مصطفی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۶). روش CN در مطالعات هیدرولوژی جهت تعیین مقدار بارش نفوذ یافته در خاک و مقدار بارشی که به رواناب سطحی تبدیل می‌شود، کاربرد دارد. شماره منحنی تابعی از گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، شرایط رطوبتی خاک، نوع کاربری اراضی و وضعیت هیدرولوژیک بوده و مقدار آن بین صفر تا ۱۰۰ متغیر است (الگبری و همکاران، ۲۰۲۰؛ ایم و همکاران، ۲۰۰۷). مقادیر شماره منحنی بر اساس جدول‌های استاندارد که در شرایط مختلف و برای انواع کاربری‌های اراضی ارائه شده است، تخمین زده می‌شود (سرویس حفاظت منابع طبیعی، ۲۰۰۴). جداول تعیین شماره منحنی ویژگی‌های خاک با یک عامل هیدرولوژیکی که نشان‌دهنده حداقل سرعت نفوذپذیری در حالت مرطوب بودن طولانی‌مدت خاک است، بیان می‌شود. بر اساس روش سازمان حفاظت خاک آمریکا خاک‌ها به چهار گروه هیدرولوژیکی طبقه‌بندی شده و وضعیت هیدرولوژیکی اراضی بیان‌گر توان ایجاد رواناب در کاربری‌های مختلف بوده است (مک‌کوئین، ۱۹۸۲). در زمینه برآورد رواناب با روش شماره منحنی (CN) نیز مطالعات متعددی صورت گرفته که بر استفاده و ارزیابی کمی نتایج آن تأکید شده است (غفاری گیلانده و همکاران، ۱۳۹۵). حجازی و مزبانی (۱۳۹۴) مقادیر ارتفاع و دبی حداکثر رواناب با استفاده از روش شماره منحنی (CN) در حوضه آبریز سراب دره شهر برآورد کردند. نتایج نشان داد که از بین پارامترهای مورد استفاده در

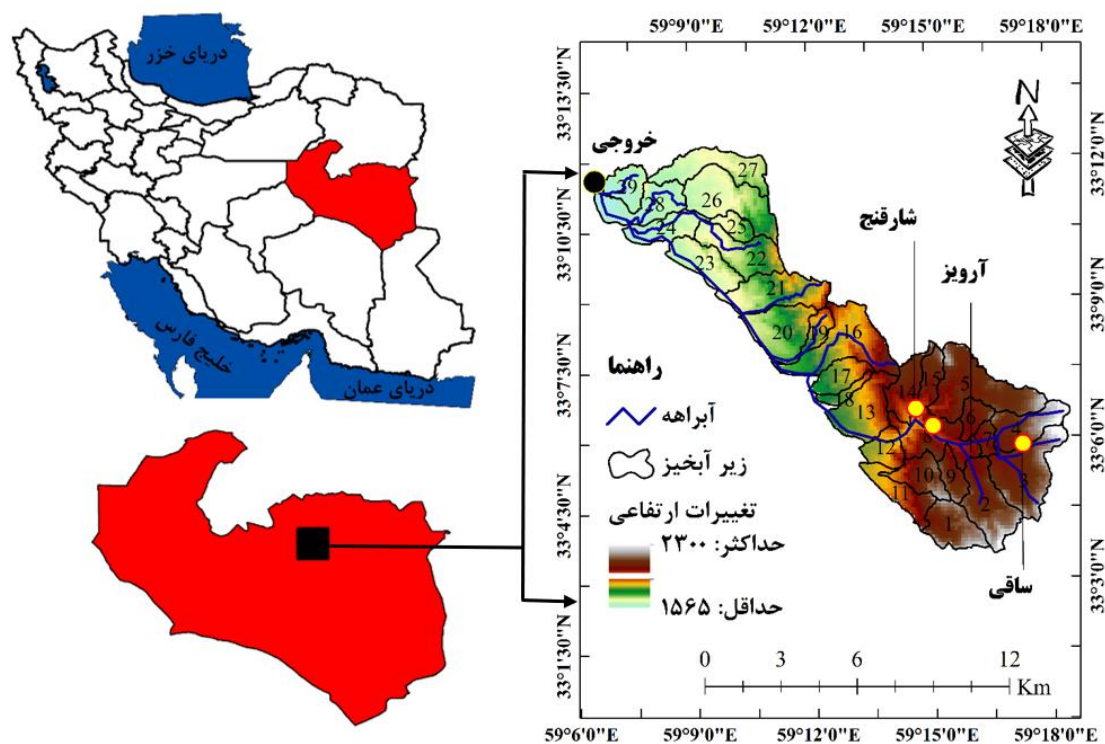
^۱. Curve Number (CN)

^۲. Soil Conservation Service (SCS)

زیرحوضه‌ها، دو پارامتر فیزیوگرافی (مساحت و تراکم زهکشی) تأثیر بیش تری در پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبریز سراب دارند. قنوتی و همکاران (۱۳۹۵) با هدف شناخت ویژگی‌های هیدروژئومورفولوژیک حوضه‌های آبریز کلان شهر تهران با تأکید بر سیل‌خیزی نمودارهای دبی‌های حداکثر لحظه‌ای ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه نتیجه گرفتند که شکل، مساحت، طول آبراهه‌های اصلی، به‌عنوان ویژگی‌های هیدروژئومورفولوژیک حوضه‌های آبریز در بالادست در تشدید رخداد سیلاب موثر هستند. مصطفی‌زاده و همکاران (۱۳۹۶) به مقدار شماره منحنی از رویدادهای مشاهداتی بارش و رواناب در فصول مختلف و تحلیل ارتباط آن با مؤلفه‌های بارش در حوضه آبخیز جعفرآباد استان گلستان پرداختند. نتایج نشان داد که میانگین مقادیر شماره منحنی در فصل‌های تابستان و زمستان برابر با ۶۰ و در فصل‌های بهار و پاییز به ترتیب ۵۰ و ۵۶ است. با برقراری ارتباط بین شماره منحنی با ویژگی‌های بارش در نمودارهای سه متغیره، مقدار بالای شماره منحنی در بارش‌هایی با شدت بیش تر از ۱۰ میلی‌متر در ساعت و مقدار بیش از ۴۰ میلی‌متر برآورد شد. هم‌چنین در رخدادهایی با ضریب رواناب ۸۰-۴۰ درصد، مقدار شماره منحنی برآورد شده بالای ۷۰ بود. هم‌چنین تعیین شماره منحنی و برآورد پتانسیل تولید رواناب حوضه آبخیز حصارک توسط حسین‌زاده و همکاران (۱۳۹۷) مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که در زیرحوضه چپدره با شماره منحنی ۸۸ و میانگین رواناب ۲۸/۱۵ میلی‌متر بیش‌ترین حجم رواناب، زیرحوضه دوچناران با شماره منحنی ۸۹/۳ و میانگین رواناب ۲۴/۵۴ میلی‌متر و زیرحوضه تقاطع دو شاخه با شماره منحنی ۹۰/۱ و میانگین رواناب ۱۷/۳۶ میلی‌متر کم‌ترین حجم رواناب احتمالی و پتانسیل سیل‌خیزی را دارد. اما به‌طور کلی پتانسیل تولید رواناب در این حوضه آبخیز نسبتاً بالا بوده است. بیش‌ترین مقدار شماره منحنی رواناب در شرایط رطوبتی زیاد در منطقه مورد مطالعه ۹۹ و کم‌ترین مقدار ۷۸ است. زالی و همکاران (۱۴۰۱) مقایسه و اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیر حوضه‌های نکارود را با استفاده از روش مورفومتریک در سامانه اطلاعات جغرافیایی انجام دادند. ایشان از ۱۷ پارامتر مورفومتریک به منظور توصیف آبخیز و اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز استفاده نمودند و مناطق حساس به سیل و دارای اولویت بالا را مشخص نمودند. Banasik و همکاران (۲۰۱۴) با هدف تعیین مقادیر شماره منحنی و بررسی کارایی روش SCS-CN در مناطق فاقد آمار، از داده‌های ثبت شده بارش و رواناب در حوضه آبخیز شهری لوزوکرک لهستان با ۳۹ رویداد بارش-رواناب در طول ۴ سال (۲۰۱۲-۲۰۰۹) استفاده نموده و دریافتند که با طبقه‌بندی رویدادهای بارش-رواناب، مقادیر شماره منحنی برای بارش‌های سنگین از ۶۷ تا ۷۴ متغیر بوده است. Satheeshkumar و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی میزان رواناب شمال هند را با استفاده از روش SCS-CN در محیط ArcGIS برآورد کردند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، کاربرد این مدل و روش را برای تخمین رواناب در منطقه مورد مطالعه خود تأیید نمودند. Al-Ghobari (۲۰۲۰) رواناب آب سطحی برای منطقه نیمه‌خشک با استفاده از RS و GIS مبتنی بر روش SCS-CN را برآورد نمودند. نتایج نشان داد که مقادیر CN برای شرایط طبیعی (CNII) به‌ترتیب در مناطق کشاورزی و هم‌چنین شهری و صخره‌ای برابر با ۷۴ و ۹۳ متغیر است. علاوه بر این، نتایج بارش-رواناب، افزایش در رواناب روزانه منطقه مورد مطالعه با حداقل ۱۵ تا حداکثر ۷۴ میلی‌متر را نشان داد. بنابراین، این مطالعه نشان داد که روش SCS-CN یکپارچه با RS و GIS برای برآورد رواناب حوضه‌های فاقد اندازه‌گیری برای مدیریت و اهداف بهتر حوضه، حائز اهمیت است. اولویت‌بندی آبخیزها از نظر سیل‌خیزی و اقدامات مدیریتی می‌تواند مبنای برنامه‌ریزی برای مدیریت بهینه آب و خاک باشد (شاهدی و نبی بیدهندی، ۱۴۰۲). از طرفی تعیین تغییرات مکانی و همبستگی میان عوامل تولید رواناب و در نتیجه وقوع سیل می‌تواند در تعیین مناطق سیل‌خیز مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین در این پژوهش سعی شد تا از GIS جهت تهیه اطلاعات لازم و اساسی در به‌دست آوردن رواناب مستقیم با استفاده از روش شماره منحنی (CN) استفاده گردد. هدف از پژوهش حاضر، برآورد ارتفاع رواناب تولیدی حاصل از بارش مازاد و تحلیل تغییرات و همبستگی مکانی مقادیر ارتفاع رواناب و حجم رواناب در حوضه آبخیز شارنچ بیرجند است.

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز شارقنچ با مختصات جغرافیایی $59^{\circ} 6' 33/7''$ تا $59^{\circ} 18' 30/7''$ طول شرقی و $33^{\circ} 3' 32/2''$ تا $33^{\circ} 13' 30/8''$ عرض شمالی و مساحت $9478/7$ هکتار در استان خراسان جنوبی و در 28 کیلومتری شمال شرقی شهر بیرجند واقع شده است (شکل ۱). ارتفاع و شیب متوسط منطقه به ترتیب برابر با $1859/2$ متر و $23/85$ درصد است (گزارش فیزیوگرافی حوضه شارقنچ، ۱۳۹۲). متوسط بارندگی سالانه حوضه 210 میلی‌متر برآورد شده است که بین 180 میلی‌متر در نقاط پست تا 230 میلی‌متر در نقاط مرتفع متغیر است. به لحاظ ماهانه نیز بیش‌ترین بارندگی در اسفندماه به میزان $46/4$ میلی‌متر اتفاق افتاده است. متوسط درجه حرارت سالانه حوضه نیز $12/2$ درجه سانتی‌گراد است (گزارش هواشناسی حوضه شارقنچ، ۱۳۹۲). حوضه آبخیز مورد مطالعه به 29 واحد هیدرولوژیک تقسیم شده است که نحوه تقسیم‌بندی این واحدها و مساحت هر واحد به‌طور کامل در جدول ۱ ارائه شده است (گزارش فیزیوگرافی حوضه شارقنچ، ۱۳۹۲).



شکل ۱. موقعیت حوضه آبخیز شارقنچ در استان خراسان جنوبی و ایران

جدول ۱. خلاصه فیزیوگرافی حوضه آبخیز شارقنچ منطقه بیرجند

ارتفاع متوسط (متر)	شیب حوضه (درصد)	شیب آبراهه اصلی (درصد)	طول آبراهه اصلی (کیلومتر)	محیط (کیلومتر)	مساحت (کیلومتر مربع)	زیر حوضه
۲۰۶۶/۱	۳۶/۱	۶/۹	۳/۱۷	۸/۳	۳/۲۵	SH1
۲۰۴۹/۸	۳۰/۶	۸/۱	۴/۰۶	۱۱/۱	۴/۷۰	SH2
۲۰۵۵/۹	۲۵/۷	۸/۳	۳/۷۸	۱۳/۲۵	۵/۹۵	SH3
۲۰۷۵/۰	۲۹/۴	۷/۸	۳/۶۸	۹/۲۴	۳/۴۰	SH4
۲۰۱۵/۹	۲۴/۵	۵/۰	۶/۲۹	۱۵/۴۵	۶/۸۰	SH5

۱۹۸۴/۶	۱۷/۹	۶/۲	۲/۱۲	۵/۵۴	۱/۳۵	SH6
۱۹۸۳/۹	۳۰/۷	۵/۶	۴/۲	۴/۴۵	۰/۸۶	SH7
۱۹۳۶/۳	۳۱/۱	۶/۸	۲/۵۰	۱۴/۶۸	۴/۶۵	SH8
۲۰۱۵/۱	۳۰/۸	۸/۰	۲/۶۵	۶/۰۹	۱/۵۲	SH9
۲۰۰۳/۸	۳۶/۶	۷/۴	۴/۱۸	۸/۴۱	۲/۴۹	SH10
۱۹۱۴/۱	۲۲/۰	۴/۸	۵/۷۷	۱۱/۱۹	۲/۶۲	SH11
۱۸۵۷/۸	۲۴/۸	۶/۲	۴/۶۸	۵/۸۳	۱/۹۱	SH12
۱۸۵۳/۴	۲۲/۹	۷/۶	۳/۵۹	۱۰/۰۹	۴/۲۸	SH13
۱۹۷۱/۳	۲۷/۵	۵/۸	۴/۳۰	۸۳/۹	۲/۶	SH14
۲۰۰۰/۱	۲۶/۵	۶/۳	۲/۸۹	۶/۳۵	۱/۶۴	SH15
۱۸۵۵/۲	۲۳/۵	۴/۸	۶/۹۹	۱۵/۶۲	۶/۲۷	SH16
۱۸۱۵/۲	۲۶/۱	۵/۶	۳/۶۰	۶/۸۶	۲/۱۴	SH17
۱۸۱۲/۸	۲۰/۰	۷/۴	۲/۷۰	۵/۸۶	۰/۸۰	SH18
۱۸۲۰/۱	۳۱/۷	۶/۴	۳/۷۷	۸/۰۸	۱/۴۴	SH19
۱۷۳۹/۷	۲۱/۷	۵/۰	۴/۰۷	۹/۱۱	۴/۲۷	SH20
۱۷۶۸/۲	۲۷/۶	۵/۶	۵/۵۶	۱۲/۲۵	۴/۹۳	SH21
۱۷۲۷/۵	۲۵/۲	۴/۵	۴/۵۱	۱۰/۸۶	۴/۰۶	SH22
۱۶۶۲/۷	۱۶/۱	۳/۰	۳/۷۷	۹/۱۳	۳/۳۳	SH23
۱۶۲۹/۳	۸/۳	۴/۷	۲/۹۲	۸/۹۸	۲/۵۹	SH24
۱۷۰۰/۷	۲۶/۸	۶/۵	۲/۰۸	۵/۱۸	۱/۲۲	SH25
۱۶۸۸/۹	۱۸/۲	۴/۵	۶/۳۰	۱۲/۸۹	۵/۶۶	SH26
۱۶۶۹/۷	۹/۷	۱/۷	۶/۸۱	۱۴/۱۶	۴/۱۰	SH27
۱۶۰۶/۳	۱۱/۸	۲/۷	۴/۶۱	۱۲/۰۷	۳/۸۲	SH28
۱۶۰۸/۲	۱۷/۱	۳/۸	۲/۴۱	۶/۶۹	۲/۰۹	SH29

روش پژوهش

برآورد مقادیر بارش

برای تعیین حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته از آمار بارندگی سالانه و همچنین حداکثر بارش روزانه شش ایستگاه آبرین شهر، بیرجند، قائن، سربیشه، منصورآباد و موسویه مجاور حوضه در طول دوره آماری ۱۵ ساله (۱۳۹۶-۱۳۸۱) استفاده شد و با روش وزن‌دهی عکس مجذور فاصله^۱ (IDW) به میان‌یابی متغیر مورد نظر پرداخته شد در ادامه مقادیر بارندگی در منطقه مورد مطالعه بر اساس روش وزن‌دهی عکس مجذور فاصله درون‌یابی شد. دلیل استفاده از روش وزن‌دهی معکوس فاصله، تناسب روش مذکور برای درون‌یابی مقادیر بارش روزانه در پژوهش‌های قبلی است. در همین راستا، خسروی و همکاران (۱۳۹۳) با مقایسه روش‌های وزنی معکوس فاصله، کریجینگ (کریجینگ معمولی، کریجینگ با روند خارجی، کوکریجینگ) و پنج روش توابع شعاع محور و ارزیابی از طریق شاخص‌های آماری نتیجه گرفتند که بهترین روش برای درون‌یابی متغیر متوسط دمای سالانه روش کوکریجینگ و برای بارندگی سالانه IDW است. همچنین متکان و همکاران (۱۳۸۶) روش وزنی معکوس فاصله را روش مناسب برای درون‌یابی بارندگی روزانه پیشنهاد نموده‌اند. در روش وزن‌دهی عکس مجذور فاصله، وزن‌ها با توجه به فاصله هر نقطه معلوم نسبت به نقطه مجهول و بدون توجه به موقعیت و نحوه پراکندگی نقاط

^۱. Inverse Distance Weighted (IDW)

حول نقطه تخمین، تعیین می‌شوند. بدین ترتیب که به نقاط نزدیک‌تر، وزن بیش‌تری اختصاص داده می‌شود و نقاط با فاصله یکسان، وزن یکسانی را دریافت می‌کنند، در واقع نقاط با فاصله کم‌تر، اثر بیش‌تری در تخمین می‌گذارند. مقدار وزن λ_i در روش IDW بر اساس رابطه (۱) محاسبه شده است (فاطمی قیری و یزدان‌پناه، ۱۳۹۱).

$$\lambda_i = \frac{D_i^{-a}}{\sum_{i=1}^N D_i^{-a}} \quad (1)$$

ه در آن D_i فاصله نقطه مشاهده شده نام تا نقطه تخمین زده شده، α توان وزن‌دهی فاصله و n تعداد نقاط همسایگی است. هم‌چنین برای تهیه لایه‌های اطلاعاتی و تجزیه و تحلیل از نرم‌افزارهای Excel و ArcGIS استفاده شده است.

تعیین شماره منحنی (CN) و برآورد ارتفاع رواناب

ابتدا نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه و نیز نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ بر اساس گزارش فیزیوگرافی حوضه شارنچ (۱۳۹۲) خراسان جنوبی مورد استفاده قرار گرفت. به‌منظور تهیه شماره منحنی از نقشه‌های کاربری اراضی و گروه‌های هیدرولوژیک خاک استفاده شد (قنوتی و همکاران، ۱۴۰۱). در ابتدا لایه کاربری اراضی و گروه‌های هیدرولوژیک خاک با روش تلفیق^۱ در محیط نرم‌افزار ArcGIS ادغام شد. سپس با بهره‌گیری از جدول شاخص، مقدار شماره منحنی (CN) را برای هر نوع کاربری اراضی با توجه به گروه‌های هیدرولوژیک خاک بر اساس جداول مربوطه از منابع استخراج و به محیط نرم‌افزار ArcGIS اضافه شد (سرویس حفاظت منابع طبیعی، ۲۰۰۴؛ عبدی و همکاران، ۱۴۰۲). با توجه به این‌که هر زیرآبخیز از کاربری‌های مختلفی تشکیل شده است، به روش میانگین وزنی مقدار CN برای هر زیرآبخیز محاسبه شد. در حوضه‌های فاقد آمار، روش شماره منحنی به‌عنوان یکی از روش‌های تخمین رواناب مورد استفاده قرار می‌گیرد (Mishra و همکاران، ۲۰۰۶؛ حسن‌زاده و همکاران، ۱۴۰۰). این روش تابعی از برخی ویژگی‌ها از جمله، کاربری اراضی، خاک و ویژگی‌های هیدرولوژیک مانند رطوبت پیشین خاک است (میشرا و همکاران، ۲۰۰۶؛ ایم و همکاران، ۲۰۰۷؛ روشان و همکاران، ۱۴۰۱). ارتفاع رواناب ناشی از باران در این روش بر اساس رابطه (۲) محاسبه شده است.

$$QT = \frac{(PT - 0.2 S)^2}{PT + 0.8 S} \quad (2)$$

که در آن S ضریب نگهداشت سطحی، QT ارتفاع رواناب به میلی‌متر، PT ارتفاع بارندگی به میلی‌متر است. ضریب نگهداشت سطحی با نوع پوشش و نحوه بهره‌برداری از اراضی، هم‌چنین وضعیت سطح خاک از نظر نفوذپذیری در ارتباط است. رطوبت قبلی پیشین خاک عاملی مهمی در تعیین مقدار حداقل و حداکثر ضریب نگهداشت سطحی است. بر اساس نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های در آبخیزهای مختلف، به‌طور متوسط $0/2$ و $0/8$ از کل تلفات بالقوه آبخیز در قبل از شروع بارش و طول بارش، صرف نفوذ سطحی و عمقی است. ضریب نگهداشت بر اساس رابطه (۳) و عامل بدون بعد به‌نام CN به‌دست می‌آید (مددی و مددی، ۱۳۹۹؛ لی و لی، ۲۰۲۰).

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3)$$

برای محاسبه مقادیر ارتفاع رواناب در دوره بازگشت‌های مختلف، مقادیر بارش حداکثر ۲۴ ساعته با استفاده از نرم‌افزار HyfranPlus محاسبه شدند که بر اساس ماهیت داده‌ها ضرایب و مدل مناسب به داده‌های مورد بررسی برآزش داده می‌شود. در ادامه، خودهمبستگی مکانی مقادیر ارتفاع رواناب و حجم رواناب در دوره بازگشت ۲۵ ساله با استفاده از شاخص موران عمومی تحلیل شد و خوشه یا ناخوشه‌بودن آن‌ها با کمک شاخص موران محلی انسلین تعیین شدند.

¹. Intersect

شاخص موران عمومی

در محاسبه شاخص موران عمومی، مقادیر امتیاز استاندارد Z-score درجه پراکنده یا متمرکز بودن عوارض یا داده‌های مکانی را نشان می‌دهد. در محاسبه آماره عمومی موران I، فرضیه می‌شود که ویژگی مورد تحلیل به‌طور تصادفی در منطقه مورد مطالعه توزیع شده است و الگوی پراکنش داده‌ها بر اساس تصادفی یا خوشه‌ای بودن ارزیابی می‌شود (هاینینگ، ۲۰۰۴؛ گیل و همکاران، ۲۰۰۷). شاخص موران با استفاده از رابطه ۴ به‌دست می‌آید (دای و همکاران، ۲۰۱۰).

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})}{\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \right) \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})^2} \quad (4)$$

که در آن، n تعداد پدیده‌ها، x_i مقادیر مشاهداتی در مکان پدیده i ام، \bar{x} میانگین x_i هاست، w_{ij} اندازه وزن متعلق به i و j است که براساس میزان همسایگی برآورد می‌شود و نشان‌دهنده میزان همبستگی مکانی است. مجموع وزن‌ها در ماتریس وزن‌های $\{w_{ij}\}$ بیان‌گر اندازه مجموعه روابط مکانی مفروض بین نواحی است که به روش‌های مختلفی قابل محاسبه است (مصطفی‌زاده و شیخ، ۱۳۹۰). مقادیر شاخص موران عمومی بین +۱ و -۱ متغیر است و هر چه مقدار شاخص موران به عدد +۱ نزدیک‌تر باشد، داده‌ها دارای خودهمبستگی مکانی و الگوی توزیع خوشه‌ای هستند و هرچه مقدار شاخص موران نزدیک به عدد -۱ باشد، داده‌ها از هم گسسته و پراکنده هستند (کرمی و کداخدا، ۱۳۹۹). سپس نمره z در سطح اطمینان موردنظر ارزیابی می‌شود و اگر قدر مطلق نمره z مشاهده شده ($|z|$) بزرگتر از نمره z آستانه ($\pm 1/96$) باشد؛ خودهمبستگی مکانی وجود خواهد داشت.

شاخص موران محلی انسلین

تحلیل خوشه‌ای و غیرخوشه‌ای بودن در نمایش توزیع و همبستگی مکانی پدیده‌ها کاربرد دارد (انسلین و همکاران، ۲۰۰۲). در همین خصوص، مناطقی با مقدار شاخص مثبت قابل توجه خودهمبستگی هسته یک خوشه را تشکیل می‌دهند. به‌عبارت دیگر، مکان‌های با تمرکز بیش‌تر مقادیر (یک نقطه داغ) یا تمرکز کم‌تر مقادیر (یک نقطه سرد) نسبت به مناطق همسایه با استفاده از این شاخص قابل تشخیص است که بر اساس روابط ۵ و ۶ به‌دست می‌آید (مصطفی‌زاده و همکاران، ۱۴۰۰).

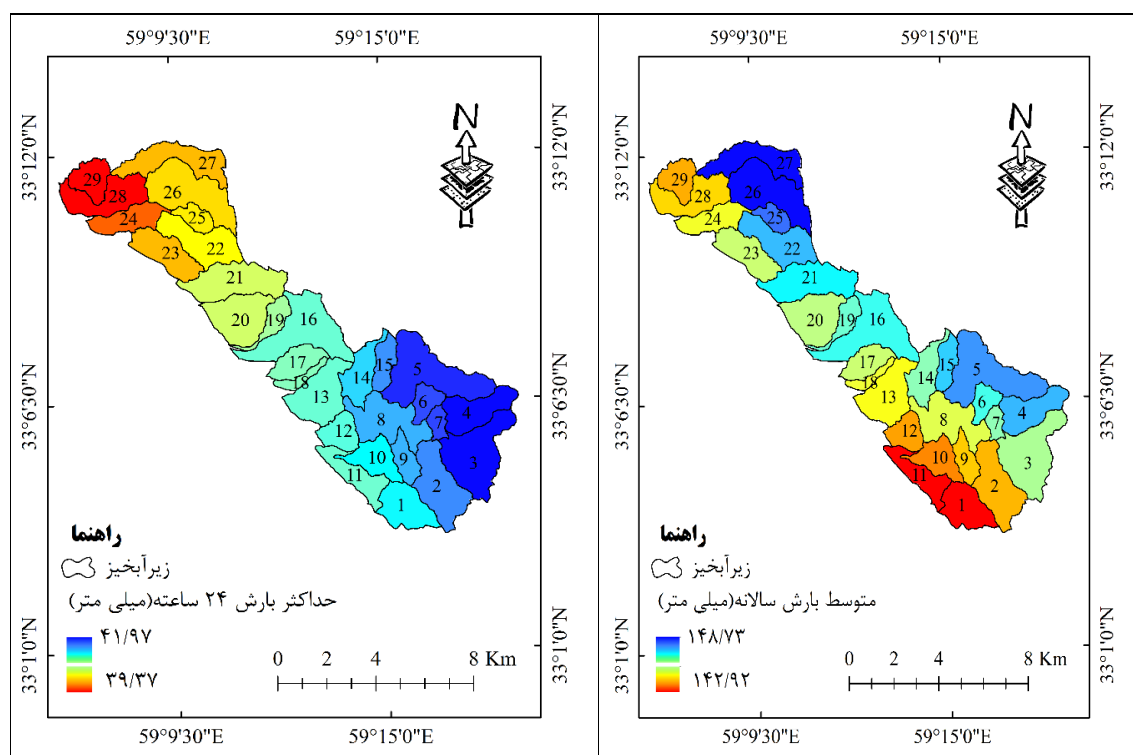
$$I = \frac{X_i - \bar{X}}{S_i^2} \sum_{j=1, j \neq i}^n W_{i,j} (X_i - \bar{X}) \quad (5)$$

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n W_{i,j}}{n-1} - \bar{X}^2 \quad (6)$$

در روابط فوق، X_i ویژگی عارضه i و \bar{X} میانگین ویژگی مربوط و $W_{i,j}$ وزن مکانی بین عارضه i و j ، n تعداد کل عارضه‌ها است. مثبت بودن مقدار I نشان‌دهنده آن است که عارضه موردنظر توسط عوارض مشابه خود محصور شده و عارضه موردنظر بخشی از آن خوشه است. اگر مقدار I منفی باشد، یعنی عارضه موردنظر توسط عوارضی که اصلاً مشابهتی با آن ندارند محصور شده است و در حقیقت ناخوشه در نظر گرفته می‌شود. لایه خروجی ایجاد شده توسط این ابزار دارای خوشه‌های مقادیر زیاد (HH)، خوشه‌های مقادیر کم (LL) و ناخوشه است که در آن یک مقدار زیاد توسط مقادیر کم محاصره شده‌اند (HL). عوارض منفرد که در آن عارضه دارای مقدار کم توسط عوارض دارای مقادیر زیاد (LH) محاصره شده‌اند و از نظر آماری معنی‌دار (در سطح ۵ درصد) هستند را از یکدیگر متمایز می‌کند (جلالی و کمریان، ۱۳۹۷). پس از محاسبه شاخص‌های اشاره شده فوق، مقادیر به‌دست آمده در تعیین خوشه‌های مشابه استفاده شدند.

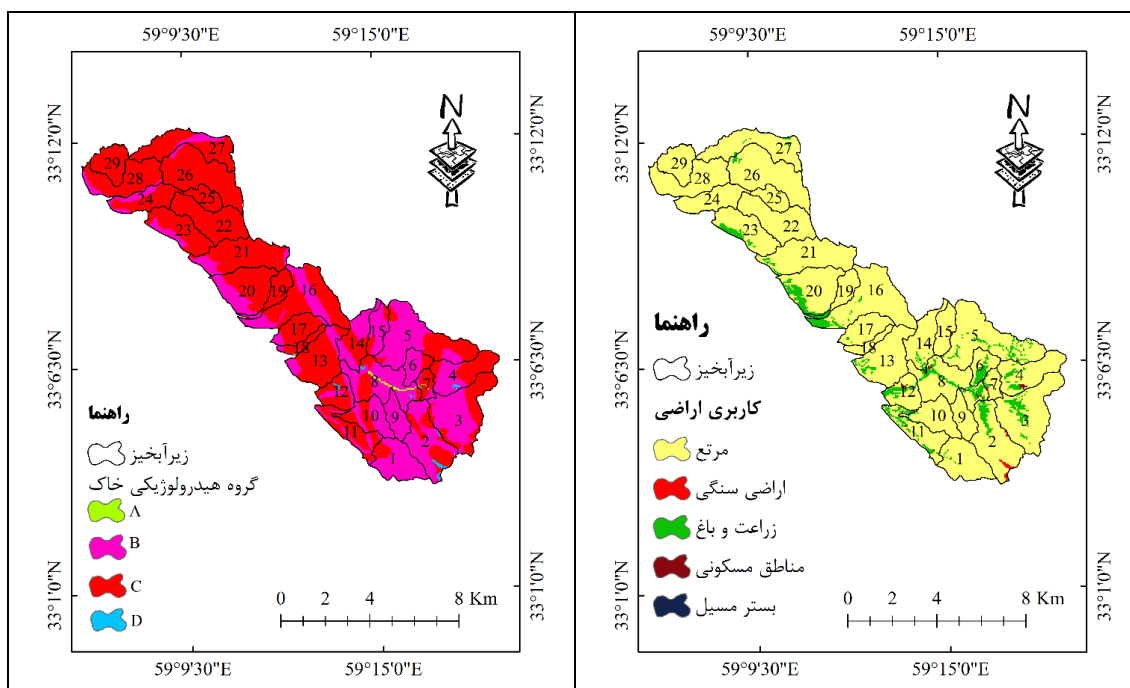
بحث و یافته‌ها

پراکنش متوسط بارندگی سالانه و حداکثر بارش ۲۴ ساعته حوضه آبخیز شارقنچ در شکل (۲) ارائه شده است. نتایج نشان داد که بیشترین بارش سالانه در بخش‌های شمال شرق تا شمال غرب حوضه رخ داده است. این در حالی است که در جنوب شرق حوضه کمترین بارش اتفاق افتاده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بارندگی سالانه تحت تأثیر ارتفاع حوضه قرار ندارد اما حداکثر بارش سالانه به‌طور خاص از تغییرات ارتفاعی حوضه پیروی می‌کند و وابسته به گرادیان ارتفاعی است. با توجه به شکل (۱) بیش‌تر ارتفاعات حوضه که در بخش شرقی واقع شده دارای بیشترین مقدار بارندگی هستند و به سمت دشت در خروجی حوضه در غرب منطقه از مقدار بارش کاسته شده است.



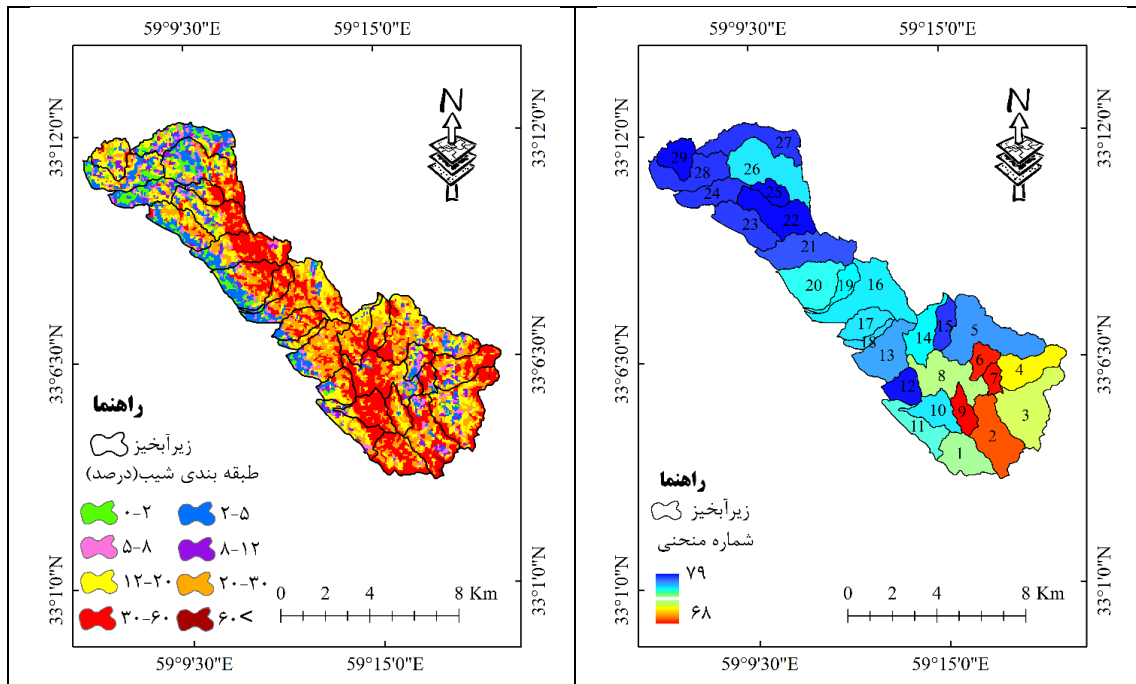
شکل ۲. پراکنش بارندگی سالانه و حداکثر بارش ۲۴ ساعته در زیرآب‌خیزهای شارقنچ

در شکل (۳) کاربری اراضی و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود هر چهار گروه هیدرولوژیکی خاک در این حوضه وجود دارد اما گروه‌های هیدرولوژیکی خاک B و C به ترتیب با $59277/9$ و $3495/3$ هکتار بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده‌اند. گروه هیدرولوژیکی خاک A که از نفوذپذیری بالایی برخوردار است فقط درصدی از مساحت حوضه را در بستر آبراهه اصلی و در سازندهای آبرفتی جدید به خود اختصاص داده است. با توجه به شکل (۳) بیشترین کاربری حوضه مراتع و سپس اراضی زراعی هستند. قرار گرفتن اراضی مرتعی نسبتاً فقیر در گروه هیدرولوژیکی C در آبخیز مذکور، به مراتب تولید رواناب را افزایش می‌دهد. این در حالی است که اراضی زراعی دیم و آبی که بخش زیادی از آن‌ها اراضی باغی هستند، در گروه هیدرولوژیکی B قرار گرفته است که از نفوذپذیری بهتری نسبت به گروه‌های C و D برخوردار است.

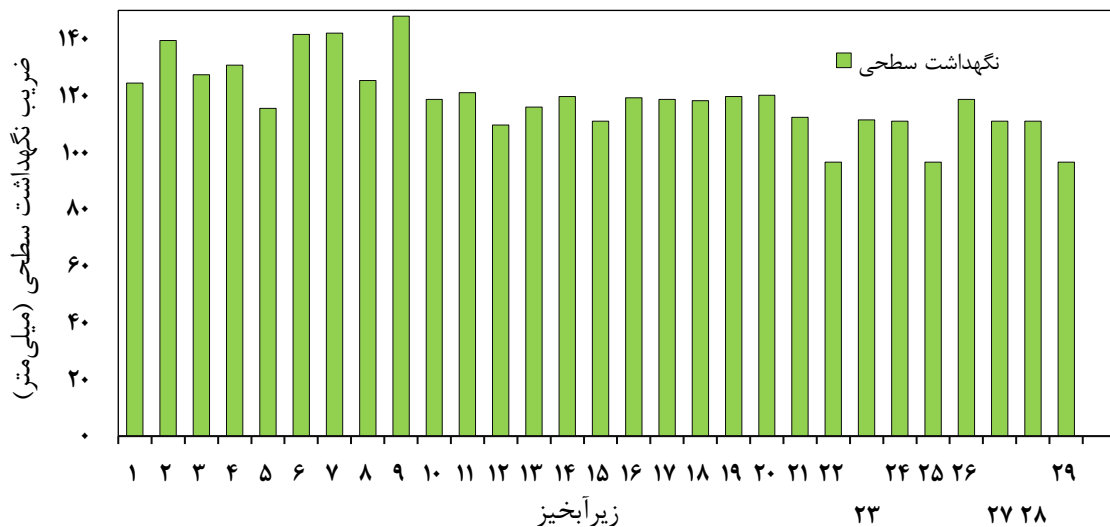


شکل ۳. نقشه کاربری اراضی و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک حوضه آبخیز شارقنج

پس از تلفیق نقشه‌های کاربری اراضی و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک در نرم‌افزار ArcGIS، نقشه شماره منحنی حوضه تهیه و در شکل (۴) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، شماره منحنی زیرآبخیزها بین ۶۸-۷۹ متغیر است و زیرآبخیز شماره ۹ با شماره منحنی ۶۸ کم‌ترین و زیرآبخیزهای ۲۲، ۲۵ و زیرآبخیز ۲۹ با شماره منحنی ۷۹ بیش‌ترین ضریب را به‌خود اختصاص داده‌اند. پراکنش مکانی شماره منحنی نشان می‌دهد شرق و جنوب شرق حوضه نسبت به شمال غرب آن از شماره منحنی کم‌تری برخوردار است. برآورد ضریب نگهداشت سطحی حوضه که در شکل (۵) ارائه شده نیز نشان‌گر آن است که با افزایش شماره منحنی، از ذخیره سطحی حوضه کاسته شده است، به‌طوری که در زیرآبخیز شماره ۹ با ۱۴۷/۹ میلی‌متر بیش‌ترین ذخیره سطحی را دارا است. زیرآبخیزهای ۲۲، ۲۵ و ۲۹ با بیش‌ترین مقدار شماره منحنی دارای کم‌ترین میزان نگهداشت سطحی (۹۶/۵ میلی‌متر) بوده‌اند. پراکنش مکانی ضریب نگهداشت سطحی نیز نشان می‌دهد شمال غرب حوضه و خروجی آن کم‌ترین نگهداشت را دارا است. وجود اراضی زراعی دیم و آبی، به‌ویژه قرارگیری باغات زرشک به‌صورت متراکم در سیلاب‌دشت‌های رودخانه اصلی و همچنین آبراهه‌های فرعی با رتبه بالا در ارتفاعات جنوب شرق حوضه سبب شده است ضریب نگهداشت در این مناطق افزایش و شماره منحنی کاهش یابد. اما در بخش‌های شمال غربی حوضه، به‌دلیل عدم وجود اراضی باغی و همچنین وجود مراتع کم‌بازده، نفوذ آب کاهش یافته که منجر به افزایش شماره منحنی شده است.



شکل ۴. نقشه شماره منحنی و شیب زیرآبخیزهای حوضه آبخیز شارقنج



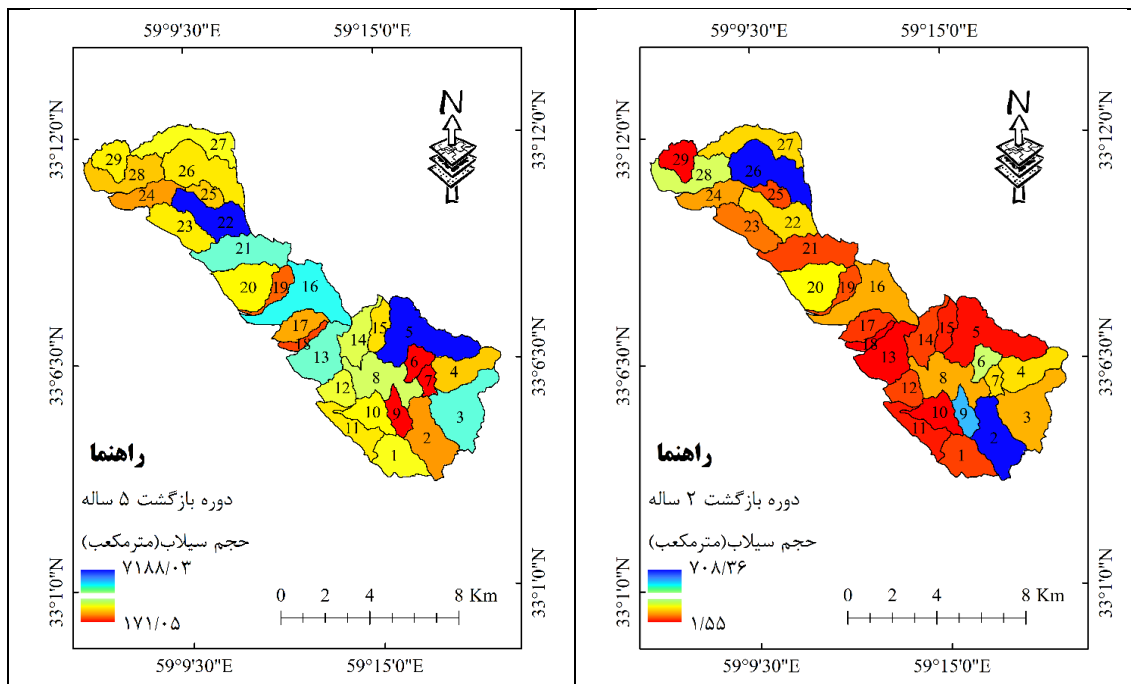
شکل ۵. مقادیر ضریب نگهداشت سطحی زیرآبخیزهای شارقنج

پس از تعیین بارندگی و مشخص شدن شماره منحنی هر زیرآبخیز، ارتفاع رواناب آن‌ها بر اساس رابطه (۲) محاسبه شد. در جدول ۲ ارتفاع رواناب ناشی از حداکثر بارش ۲۴ ساعته در دوره‌های بازگشت مختلف در زیرآبخیزها ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش دوره بازگشت، میزان ارتفاع رواناب افزایش یافته است اما این افزایش پراکنش مکانی یکسانی نداشته و در زیرآبخیزهای مختلف متفاوت است.

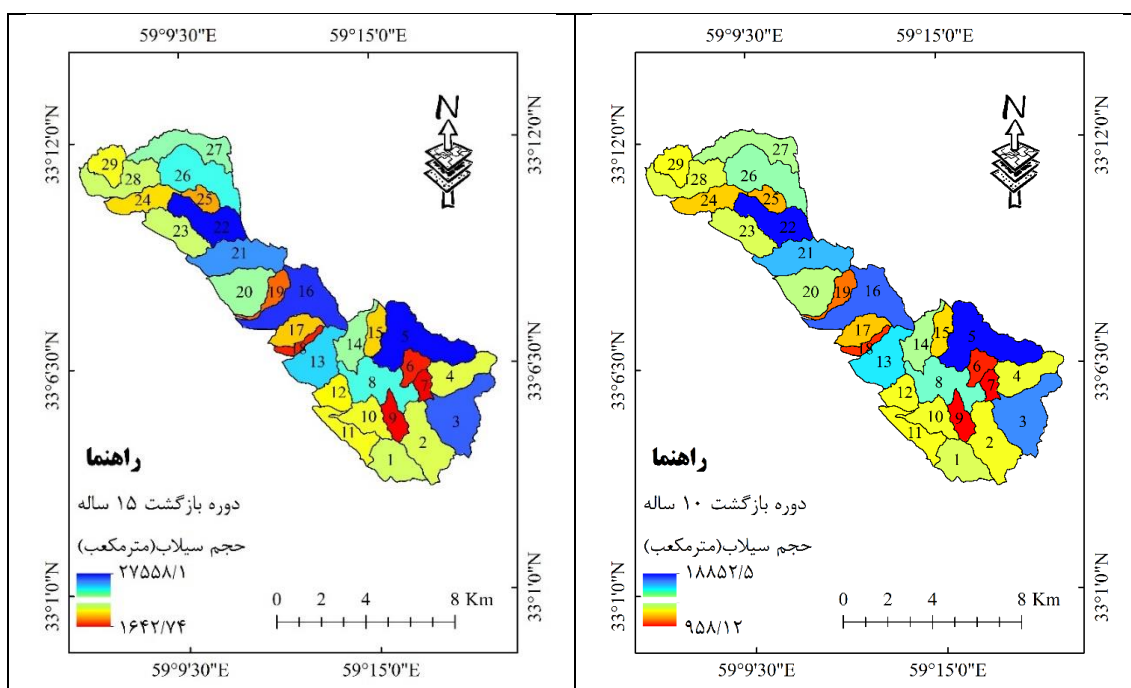
جدول ۲. ارتفاع رواناب ناشی از بارش ۲۴ ساعته در دوره‌های بازگشت مختلف در زیرآبخیزهای حوضه آبخیز شارقنج

زیرآبخیز	۲ ساله	۵ ساله	۱۰ ساله	۱۵ ساله	۲۵ ساله	۵۰ ساله	۱۰۰ ساله
SH1	۰/۱۵	۰/۲۸	۱/۲۵	۲/۰۸	۳/۳۶	۵/۵۰	۸/۱۷
SH2	۰/۰۲	۰/۶۵	۲/۰۴	۳/۱۴	۴/۷۹	۷/۵۰	۱۰/۹۱
SH3	۰/۰۳	۰/۵۸	۱/۹۰	۲/۹۶	۴/۵۸	۷/۲۵	۱۰/۶۳
SH4	۰/۰۵	۰/۵۱	۱/۷۷	۲/۸۰	۴/۳۷	۶/۹۹	۱۰/۳۴
SH5	۰/۰۱	۰/۷۶	۲/۲۶	۳/۴۳	۵/۲۰	۸/۱۲	۱۱/۸۰
SH6	۰/۰۳	۰/۶۳	۲/۰۲	۳/۱۳	۴/۸۵	۷/۷۳	۱۱/۴۴
SH7	۰/۰۵	۱/۵۰	۳/۵۴	۵/۰۳	۷/۲۳	۱۰/۷۶	۱۵/۱۴
SH8	۰/۰۷	۰/۴۵	۱/۶۸	۲/۷۲	۴/۳۶	۷/۱۹	۱۰/۹۲
SH9	۰/۰۲	۰/۶۵	۲/۰۲	۳/۰۹	۴/۶۸	۷/۲۵	۱۰/۳۷
SH10	۰/۰۵	۰/۵۲	۱/۷۹	۲/۸۱	۴/۳۵	۶/۸۷	۹/۹۷
SH11	۰/۲۱	۰/۲۱	۱/۱۱	۱/۹۱	۳/۱۶	۵/۲۸	۷/۹۶
SH12	۰/۲۱	۰/۲۱	۱/۱۱	۱/۹۱	۳/۱۷	۵/۳۱	۸/۰۲
SH13	۰/۰۱	۰/۷۴	۲/۱۹	۳/۳۲	۵/۰	۷/۷۳	۱۱/۰۹
SH14	۰/۳۱	۰/۱۱	۰/۸۴	۱/۵۲	۲/۶۱	۴/۵۰	۶/۹۲
SH15	۰/۰۱	۰/۷۰	۲/۰۸	۳/۱۳	۴/۶۸	۷/۱۷	۱۰/۱۷
SH16	۰/۰	۰/۸۸	۲/۴۱	۳/۵۵	۵/۲۴	۷/۹۳	۱۱/۱۷
SH17	۰/۰۲	۰/۶۹	۲/۱۰	۳/۲۰	۴/۸۵	۷/۵۵	۱۰/۹۲
SH18	۰/۰۵	۰/۵۲	۱/۸۳	۲/۹۰	۴/۵۷	۷/۴۳	۱۱/۱۷
SH19	۰/۰۴	۰/۵۶	۱/۹۰	۳/۰۱	۴/۷۳	۷/۶۷	۱۱/۵۰
SH20	۰/۱۱	۰/۳۶	۱/۵۰	۲/۴۷	۴/۰۱	۹/۶۷	۱۰/۱۷
SH21	۰/۰	۱/۰۲	۲/۷۶	۴/۱۱	۶/۱۵	۹/۵۷	۱۳/۹۴
SH22	۰/۰۴	۱/۴۴	۳/۴۴	۴/۹۳	۷/۱۲	۱۰/۶۵	۱۵/۰۷
SH23	۰/۰۱	۰/۷۷	۲/۲۰	۳/۲۹	۴/۸۹	۷/۴۶	۱۰/۵۷
SH24	۰/۰۲	۱/۲۷	۳/۰۸	۴/۴۰	۶/۳۰	۹/۲۹	۱۲/۸۷
SH25	۰/۰	۰/۸۷	۲/۴۲	۳/۵۹	۵/۳۲	۸/۱۱	۱۱/۵۳
SH26	۰/۰۱	۰/۷۳	۲/۱۷	۳/۲۸	۴/۹۴	۷/۶۵	۱۱/۰
SH27	۰/۰۳	۰/۶۱	۱/۹۳	۲/۹۸	۴/۵۴	۷/۰۸	۱۰/۲۰
SH28	۰/۰	۱/۰۶	۲/۷۷	۴/۰۵	۵/۹۲	۸/۹۰	۱۲/۵۱
SH29	۰/۰۱	۱/۲۰	۳/۰۱	۴/۳۴	۶/۲۸	۹/۳۵	۱۳/۰۸

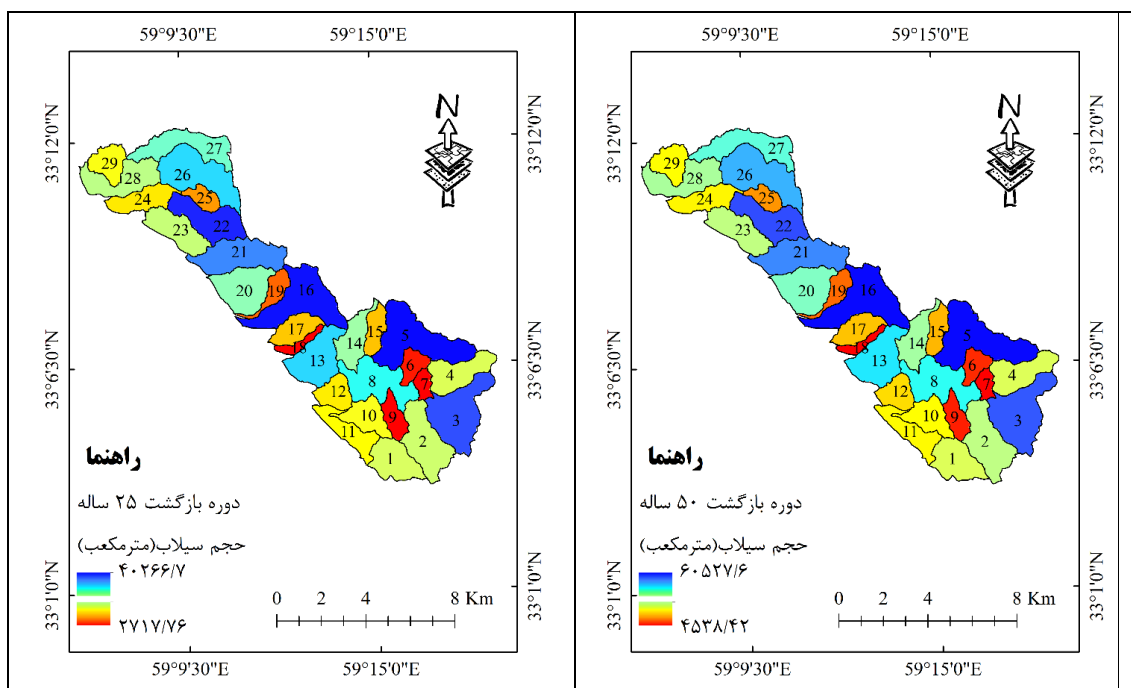
پس از تعیین ارتفاع رواناب و مساحت هر زیرآبخیز، حجم تولیدی ناشی از حداکثر بارش ۲۴ ساعته زیرآبخیزها محاسبه و در شکل‌های ۶ تا ۹ برای دوره‌های بازگشت مختلف نشان داده شده است. در دوره بازگشت دوساله حجم رواناب بین ۱/۷۰۸-۵۵/۳۶ مترمکعب متفاوت بوده است. این در حالی است که در دوره بازگشت ۵ ساله این مقادیر بین ۱۷۱/۰۵ تا ۷۱۸۸/۰۳ مترمکعب تغییر خواهد کرد. بر اساس شکل ۷ حجم رواناب تولیدی در دوره‌های بازگشت ۱۰ و ۱۵ ساله به ترتیب در زیرآبخیزهای مختلف بین ۱۸۸۵۲/۵-۹۵۸/۱۲ و ۲۷۵۵۸/۱-۱۶۴۲/۷۴ مترمکعب متغیر است. شکل‌های ۸ و ۹ نیز نشان‌دهنده افزایش رواناب به میزان ۴۰۲۶۶/۷-۲۷۱۷/۷۶ و ۶۰۵۲۷/۶-۴۵۳۸/۴۲ و ۸۵۰۷۲/۷۰-۶۸۴۱/۶۵ مترمکعب به ترتیب در دوره‌های بازگشت ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله تغییر خواهد کرد.



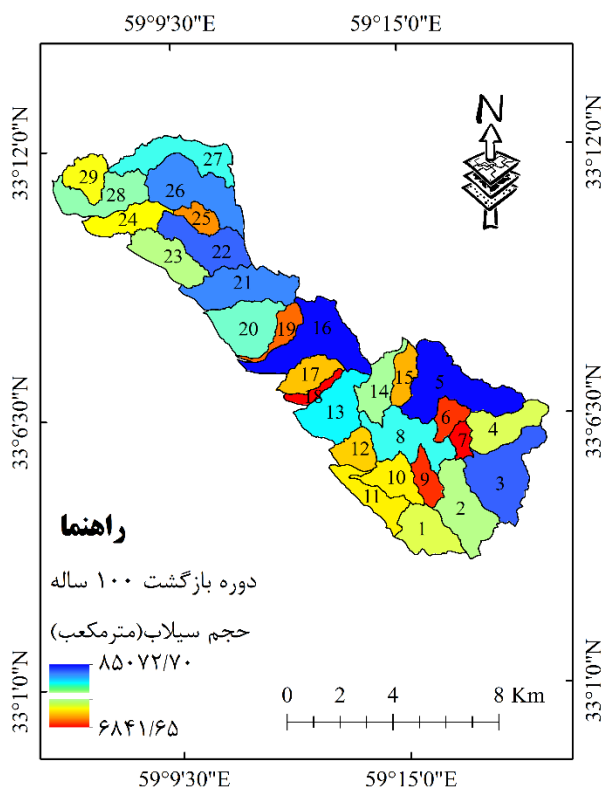
شکل ۶. حجم رواناب ۲۴ ساعته با دوره بازگشت ۲ و ۵ ساله در زیرآببخیزهای شارفنج



شکل ۷. حجم رواناب ۲۴ ساعته با دوره بازگشت ۱۰ و ۱۵ ساله در زیرآببخیزهای شارفنج

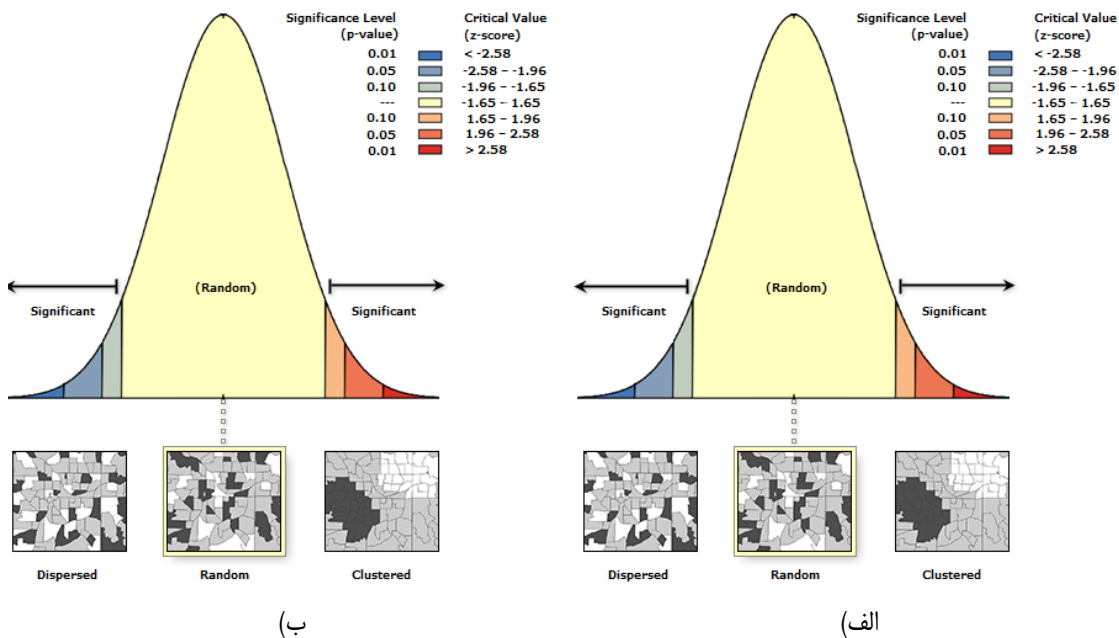


شکل ۸. حجم رواناب ۲۴ ساعته با دوره بازگشت ۲۵ و ۵۰ ساله در زیرآب‌خیزهای شارنچ



شکل ۹. حجم رواناب ۲۴ ساعته با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله در زیرآب‌خیزهای شارنچ

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود حداکثر بارش ۲۴ ساعته در بخش‌های شرقی و جنوب شرقی حوضه نسبت به غرب و شمال غرب آن از مقدار بیش‌تری برخوردار است. اما میزان رواناب تولیدی در دوره‌های بازگشت مختلف (شکل‌های ۶ تا ۹) از پراکنش مکانی متفاوتی برخوردار است. عوامل مختلفی از جمله شیب، کاربری اراضی، گروه هیدرولوژیکی خاک و ضریب نگهداشت سطحی خاک بر تولید رواناب تأثیرگذار است. بر اساس شکل ۳ در شرق حوضه در برخی از زیرآب‌خیزها کاربری باغ و زراعت آبی دیده می‌شود که سبب افزایش ضریب نگهداشت آب، کاهش شماره منحنی می‌شود. از طرفی دیگر پراکنش گروه هیدرولوژیکی خاک با درجه نفوذ پذیری A و B در زیرآب‌خیزهای شرقی دیده می‌شود که این مجموعه عوامل سبب کاهش تولید رواناب در بخش شرقی حوضه آبخیز علیرغم بیش‌تر بودن شدت بارندگی آن‌ها شده است. نتایج حاصل از محاسبه همبستگی مکانی مقادیر ارتفاع رواناب و حجم رواناب شامل شاخص موران، امتیاز استاندارد، معنی‌داری و واریانس در دوره‌های بازگشت ۲۵ ساله در منطقه مورد مطالعه در شکل ۱۰ و جدول ۳ آورده شده است.

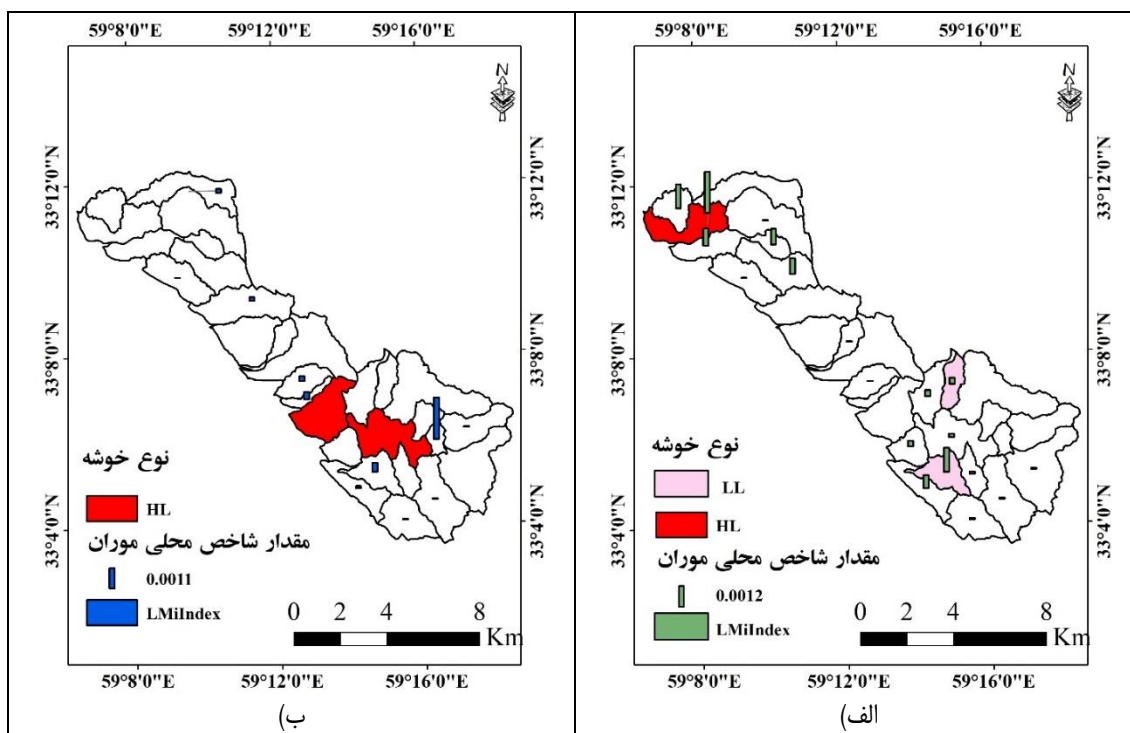


شکل ۱۰. مقادیر همبستگی مکانی مقادیر ارتفاع رواناب و حجم رواناب در دوره بازگشت ۲۵ ساله در زیرآب‌خیزهای منطقه مورد مطالعه

جدول ۳. نتایج ارزیابی همبستگی مکانی ارتفاع و حجم رواناب در زیرآب‌خیزهای منطقه مورد مطالعه

حجم رواناب	ارتفاع رواناب	آماره
۲۶۹۴/-۰	۱۸۲۸/۰	شاخص موران
۰۳۵۸/۰	۰۳۶۰/-۰	واریانس
۲۳۳/-۱	۱۵۰/۱	آماره Z
۲۱۷۳/۰	۲۴۹/۰	معنی‌داری

بر اساس مقادیر شاخص موران عمومی ارائه شده در جدول ۳ و شکل ۱۰، مقدار شاخص مذکور در مورد ارتفاع رواناب و حجم رواناب به ترتیب برابر ۰/۱۸۲۸ و -۰/۲۶۹۴ به دست آمد. با توجه به معنی‌داری مقادیر محاسباتی، به نظر می‌رسد الگوی مکانی مقادیر ارتفاع و حجم رواناب معنی‌دار نیست. نتایج حاصل از تهیه نقشه تغییرات مکانی ارتفاع و حجم رواناب به همراه وضعیت خوشه‌های (خوشه‌ای یا غیرخوشه‌ای بودن) زیرآب‌خیزهای مورد مطالعه در شکل ۱۱ ارائه شده است.



شکل ۱۰. نقشه همبستگی مکانی و الگوی وضعیت خوشه‌ای مقادیر ارتفاع رواناب (الف)، و حجم رواناب (ب) در زیرآب‌خیزهای منطقه مورد مطالعه

نقشه همبستگی مکانی مقادیر ارتفاع رواناب در شکل ۱۰ (الف) نشان می‌دهد که خوشه‌های زیاد-زیاد (HL) در بخش‌های بالادست حوزه تشکیل شده است، به عبارتی در بخش‌های بالادست حوزه ارتفاع رواناب بیش‌تر است که دلیل آن را می‌توان با بالا بودن مقادیر بارش در بخش بالادست و نیز شیب بالای زیرآب‌خیزهای بالادست مرتبط دانست. همچنین مقادیر شاخص موران نشان می‌دهد که خوشه‌های کم-کم (LL) در بخش‌های پایین‌دست نشان‌دهنده تولید رواناب کم‌تر در بخش‌های پایین‌دست است. این در حالی است که مقادیر همبستگی مکانی حجم رواناب در شکل ۱۰ (ب) نشان می‌دهد که تجمع حجم رواناب در زیرآب‌خیزهای واقع در پایین‌دست منطقه مورد مطالعه بیش‌تر است و تشکیل خوشه‌های زیاد-کم (HL) کم داده است. به عبارتی در زیرآب‌خیزهای پایین‌دست و مجاور خروجی منطقه میزان حجم سیلاب بیش‌تر شده است که ناشی از تجمع رواناب در بخش‌های مذکور است.

نتیجه‌گیری

رخداد سیلاب در دوره‌های بازگشت مختلف سبب بروز خسارت به زیرساخت‌های انسانی و تغییر در عملکرد و حوضه‌های آبخیز می‌شود. بر همین اساس در این پژوهش حجم سیلاب ناشی از حداکثر بارش ۲۴ ساعته در دوره‌های بازگشت مختلف در زیرآب‌خیزهای حوضه آبخیز شارنچ بیرجند با استفاده از روش شماره منحنی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج پژوهش نشان داد عوامل مختلفی از جمله کاربری اراضی، شیب، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک و ضریب نگهداشت سطحی به همراه شدت بارش بر بروز سیلاب تأثیرگذار است. به‌طور کلی با توجه به نقشه‌های حجم رواناب حوضه آبخیز شارنچ که در بیش‌تر سطح منطقه مورد مطالعه، پتانسیل تولید رواناب زیاد است، باید اقدامات اساسی برای جلوگیری از ایجاد رواناب و سیل در مواقع بارندگی صورت گیرد. در راستای تأیید نتایج روش شماره منحنی و صحت آن در برآورد رواناب می‌توان به پژوهش‌های Satheeshkumar و همکاران (۲۰۱۷) در شمال هند و Al-Ghobari (۲۰۲۰) اشاره نمود. نتایج پژوهش

نشان داد که در بخش‌های بالادست حوزه ارتفاع رواناب بیش‌تر است که با مقادیر بالای بارش و شیب ارتباط دارد. این در حالی است که حجازی و مزبانی (۱۳۹۴) در حوضه سراب دره‌شهر دو پارامتر فیزیوگرافی (مساحت و تراکم زهکشی) را در تشدید پتانسیل سیل‌خیزی معرفی نمودند. هم‌چنین نتایج قنواتی و همکاران (۱۳۹۵) نشان داد که عوامل شکل، مساحت، طول آبراهه‌های اصلی در تشدید رخداد سیلاب در حوضه‌های بالادست کلان شهر تهران موثر بوده‌اند. در خصوص تغییرات مکانی حجم سیلاب نتایج نشان داد که در زیرآبخیزهای پایین‌دست و مجاور خروجی منطقه میزان حجم سیلاب بیش‌تر برآورد شده است. در این خصوص باید اشاره شود که موقعیت مکانی زیرحوزه‌ها از عواملی است که باید در تجمع حجم رواناب مدنظر قرار گیرد، به عبارتی علاوه بر مساحت زیرحوزه، شدت تولید رواناب در واحد سطح از مواردی است که به ایجاد حجم بالای رواناب و در نتیجه سیل‌خیزی شود. از جمله اقدامات اساسی در راستای افزایش نفوذ آب، افزایش پوشش گیاهی از طریق بوته‌کاری گیاهان مرتعی ضروری است. اجرای این اقدامات اصلاحی می‌تواند شرایط را برای گسترش پوشش گیاهی و کاهش رواناب حوضه آبخیز مساعدتر کند. نتایج تحلیل همبستگی مکانی با استفاده از شاخص موران محلی نشان داد که مقادیر ارتفاع رواناب در بخش‌های بالادست حوزه خوشه‌های زیاد-زیاد (HL) تشکیل داده است که منشاء تشکیل رواناب سطحی هستند. هم‌چنین همبستگی مکانی مقادیر حجم رواناب نشان داد که در بخش‌های پایین‌دست خوشه‌های کم-کم (LL) تشکیل شده است و تجمع حجم رواناب در زیرآبخیزهای پایین‌دست اتفاق افتاده است. در مجموع می‌توان گفت که تفاوت در الگوی خوشه‌ای مقادیر ارتفاع رواناب و حجم رواناب در یک راستا نیست و این تفاوت به عوامل موثر در تولید رواناب شامل مقادیر بارش در بخش‌های مختلف و نیز تفاوت در توپوگرافی بستگی دارد. باید اشاره شود که تحلیل‌های انجام شده بر اساس مقادیر ارتفاع و حجم در دوره بازگشت ۲۵ سال بوده است و با توجه به نتایج روش شماره منحنی انتظار می‌رود که الگوی تغییرات در سایر دوره‌های بازگشت نیز مشابه نتایج ارائه شده باشد. بر اساس نتایج پژوهش حاضر، می‌توان گفت که مناطقی با مقادیر بالای رواناب مستعد خسارات ناشی از سیلاب است که بیش‌تر در اطراف آبراهه‌ها واقع شده است. قابل ذکر است که عناصر در معرض خطر شامل اراضی زراعی آبی و باغات در دشت‌های سیلابی هستند که می‌تواند در اولویت اقدامات مدیریتی قرار گیرد. از طرفی بر اساس نتایج، می‌توان گفت که نوع اقدامات کنترل رواناب سطحی و یا کنترل حجم سیلاب متفاوت خواهد بود که می‌تواند راهنمای مناسبی برای تعیین نوع عملیات کاهش خسارت باشد. علاوه بر این، مطالعات تکمیلی در راستای تحلیل همبستگی مکانی متغیرهای ارتفاع و حجم رواناب با سایر ویژگی‌های حوضه و نیز عوامل اقلیمی می‌تواند در تحلیل بهتر تغییرات مکانی مؤثر باشد. تشکیل رواناب سطحی تابع عوامل مختلف مرتبط با بارش و شرایط زمین است که می‌تواند در پژوهش‌های آتی مدنظر قرار گیرد.

منابع

- احمدی ثانی، ن.، سلیمانی، ک.، رزاق‌نیا، ل.، مصطفی‌زاده، ر.، زندی، ج.، ۱۳۹۷. ارزیابی کارایی ابزار Arc-CN Runoff در برآورد میزان رواناب و مقایسه‌ی تغییرات آن در سال‌های ۱۳۷۵ و ۱۳۹۰ در آبخیز هراز استان مازندران. هیدروژئومورفولوژی، دوره ۵، شماره ۱۶، صص ۱۵۸-۱۳۹.
- جعفری، م.، وفاخواه، م.، توسلی، ا.، ۱۳۹۴. تخمین ضریب رواناب رگبار با استفاده از سیستم استنباط فازی-عصبی تطبیقی (ANFIS) در حوزه آبخیز بار اریه نیشابور. علوم آب و خاک، دوره ۱۹، شماره ۷۳، صص ۱۷۷-۱۶۵.
- جلالی، م.، کمربان، و.، ۱۳۹۷. تحلیل الگوهای فضایی توفان‌های تندری در شمال غرب ایران. فضای جغرافیایی، دوره ۱۸، شماره ۶۱، صص ۸۱-۶۳.
- حجازی، ا.، مزبانی، م.، ۱۳۹۴. برآورد مقادیر ارتفاع و دبی حداکثر رواناب با استفاده از روش شماره‌ی منحنی (CN) مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبریز سراب دره‌شهر، هیدروژئومورفولوژی، دوره ۲، شماره ۵، صص ۸۱-۶۳.

- حسن‌زاده، ر.، اسفندیاری درآباد، ف.، اصغری سراسکانرود، ص.، ۱۴۰۰. ارزیابی نتایج تغییرات کاربری اراضی بر دبی رودخانه دره رود در بازه زمانی سی ساله با استفاده از مدل *HEC-HMS*. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۱۰، شماره ۳، صص ۱۷۴-۱۵۷.
- حسین‌زاده، م.، نصرتی، ک.، ایمنی، س.، ۱۳۹۷. تعیین شماره منحنی و برآورد پتانسیل تولید رواناب حوضه آبخیز حصارک. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، دوره ۱۸، شماره ۵۱، صص ۱۵۰-۱۳۳.
- خسروی، ر.، همای، م.ر.، ملکیان، م. ۱۳۹۳. مقایسه روش‌های زمین آمار به‌منظور تعیین بهترین روش درون‌یابی داده‌های زیست اقلیمی در مدل‌سازی پراکنش گونه‌های جانوری در مرکز ایران. بوم‌شناسی کاربردی، شماره ۳، جلد ۸، صص ۵۵-۶۸.
- روستایی، ش.، افتخار، ح.، کرمی، ف.، نگهبان، س. ۱۴۰۱. سیر سیبرنتیک ضریب سیل‌خیزی حوضه‌های آبخیز شهری با استفاده از مدل توزیع نرمال (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شیراز). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۱۱، شماره ۳، صص ۳۸-۲۳.
- روشان، س.ح.، حبیب‌نژاد روشن، م.، شاهدی، ک.، گرمانسکی، ی. ۱۴۰۱. تهیه نقشه شماره منحنی و برآورد ارتفاع رواناب با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در حوضه کارون شمالی، سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، دوره ۱۱، شماره ۳، صص ۳۷-۲۲.
- زالی، م.، سلیمانی، ک.، حبیب‌نژاد روشن، م.، میریعقوب‌زاده، م. ۱۴۰۱. مقایسه و اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیر حوضه‌های نکارود با استفاده از روش مورفومتریک در سامانه اطلاعات جغرافیایی، سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، دوره ۱۳، شماره ۲، صص ۴۰-۲۰.
- شاهدی، م.، نبی بیدهندی، غ. ۱۴۰۲. نقش توزیع مکانی واحدهای هیدرولوژیکی حوضه بر تغییرات دبی اوج سیلاب با استفاده از مدل هیدرولوژیکی *HEC-HMS* (مطالعه موردی: حوضه آبخیز صفارود). سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، دوره ۱۴، شماره ۴، صص ۲۰-۱۷.
- صیاد، د.، قضاوی، ر.، امیدوار، ا. ۱۴۰۰. ارائه استراتژی‌های مناسب مدیریتی زیرساخت‌های شهری در برابر سیلاب از منظر پدافند غیرعامل با استفاده از *SWOT* و *QSPM* مطالعه موردی: شهر کاشان. مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، دوره ۲، شماره ۱، صص ۵۲-۴۵.
- عبدی، م.، نهتانی، م.، دهقانی، م.، خاکسفیدی، ع. ۱۴۰۲. تعیین تغییرات سیل‌خیزی ناشی از دوره‌های خشکسالی در حوزه آبخیز دهک استان خراسان جنوبی. مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، دوره ۳، شماره ۱، صص ۱۶۴-۱۴۹.
- غفاری گیلانده، ع.، سبحانی، ب.، استادی باباکندی، ا. ۱۳۹۵. برآورد شماره‌ی منحنی و ارتفاع رواناب در محیط *Arc-GIS* (مطالعه‌ی موردی: شهرستان مشکین‌شهر). هیدروژئومورفولوژی، دوره ۳، شماره ۹، صص ۱۷۵-۱۵۹.
- فاطمی‌قیری، س.، یزدان‌پناه، ح. ۱۳۹۱. ارزیابی روش‌های مختلف میان‌یابی به‌منظور برآورد داده‌های بارش استان اصفهان، فضای جغرافیایی، سال ۱۲، شماره ۴۰، صص ۶۳-۴۶.
- قنواتی، ع.، پارسا برومند، م.، احمدآبادی، ع. ۱۴۰۱. تحلیل همبستگی فضایی تغییرات پوشش گیاهی با ارتفاع رواناب در حوضه آبریز گرگانرود، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، <https://doi.org/10.22034/GMPJ.2023.368016.1391>
- قنواتی، ع.، صفاری، ا.، کرم، ا.، نجفی، ا.، جهاندار، غ. ۱۳۹۵. بررسی ویژگی‌های هیدروژئومورفولوژیک حوضه‌های آبریز کلان شهر تهران با تأکید بر سیل‌خیزی. هیدروژئومورفولوژی، شماره ۳، جلد ۶، صص ۵۴-۳۳.
- کرمی، م.، کدخدا، ا. ۱۳۹۹. مدل‌سازی روابط فضایی بارش- ارتفاع در شمال شرق کشور با استفاده از مدل *GWR*. علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره ۲۲، شماره ۶، صص ۱۵-۱.
- گزارش فیزیوگرافی. ۱۳۹۲. مطالعات حوزه آبخیز شارقنج.

- گزارش هواشناسی. ۱۳۹۲. مطالعات حوزه آبخیز شارفتج.
- متکان، ع.، شکیبیا، ع.، یزدانی، آ. ۱۳۸۶. ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی به‌منظور تخمین بارندگی روزانه مطالعه موردی: استان فارس. جغرافیایی سرزمین، جلد ۴، شماره ۱، پاییز ۱۳، صص ۷۰-۵۶.
- مددی، ع.، اصغری، ص.، بادامکی، م.، قلعه، ا. ۱۳۹۹. پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه آبریز قوری‌چای کورائیم در استان اردبیل، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۹، شماره ۲، صص ۹۷-۸۱.
- مصطفی‌زاده، ر.، شیخ، و.ب. ۱۳۹۰. بررسی تراکم شبکه باران‌سنجی استان گلستان با استفاده از روش همبستگی مکانی. پژوهش‌های آبخیزداری، شماره ۹۳، صص ۸۷-۷۹.
- مصطفی‌زاده، ر.، مرادزاده، و.، علائی، ن.، حزباوی، زینب.، ۱۴۰۰. کاربرد شاخص هرست در تعیین حافظه طولانی‌مدت سری‌های زمانی بارش و دبی ایستگاه‌های منتخب استان اردبیل. حفاظت منابع آب و خاک، دوره ۱۱، شماره ۲، صص ۱۳۱-۱۱۳.
- مصطفی‌زاده، ر.، میرزایی، ش.، ندیری، پ.، ۱۳۹۶. تعیین شماره منحنی از رویدادهای بارش و رواناب و تغییرات آن با مؤلفه‌های بارش در یک حوضه آبخیز جنگلی. علوم آب و خاک، دوره ۲۱، شماره ۴، صص ۲۸-۱۵.
- Al-Ghobari H., Dewidar A., Alataway, A. Estimation of surface water runoff for a semi-arid area using RS and GIS-based SCS-CN method. *Water*, 2020; 12(7): 1-16.
- Anselin L, Syabri I, Smirnov O. 2002. Visualizing multivariate spatial correlation with dynamically linked windows. *New Tools for Spatial Data Analysis: Proceedings of the Specialist Meeting, Santa Barbara*.
- Banasik K., Krajewski A., Sikorska A., Hejduk L. Curve Number estimation for a small urban catchment from recorded rainfall-runoff events. *Archives of Environmental Protection*, 2014; 40(3): 75-86.
- Dai X, Guo Z, Zhang L, Li D. 2010. Spatio-temporal exploratory analysis of urban surface temperature field in Shanghai, *Environ Risk Assess*, 24, 247-257. <http://dx.doi.org/10.1007/s00477-009-0314-2>
- Gail M, Krickeberg K, Samet J, Tsiatis A, Wong W. 2007. *Statistics for Biology and Health*, USA Springer, 402.
- Haining R. 2004. *Spatial Data Analysis: Theory and Practice*. UK: Cambridge University Press.
- Im S., Park S., Jang T. Application of SCS curve number method for irrigated paddy field. *KSCCE Journal of Civil Engineering*, 2007; 11(1): 51-56.
- Inci Tekel Y., Akguül S., Dengiz O., Aküzüm T. Estimation of flood discharge for small watershed using scs curve number and geographic information system, *River Basin Flood Management Journal*, 2006; 2(1): 527-538.
- Lee H.K., Lee K.H. Impact of representative SCS-CN on simulated rainfall runoff. *Journal of Environmental Science International*, 2020; 29(1): 25-32.
- McCuen R.H. *A Guide to Hydrologic Analysis Using SCS Methods*; Prentice-Hall, Inc: Englewood Cliffs, NJ, USA, 1982; 145pp.
- Mishra S.K., Chaudhary A., Shrestha R.K., Pandey A., Lal M. 2014. Experimental verification of the effect of slope and land use on SCS runoff curve number. *Water Resources Management*, 28(11): 3407-3416.
- Mishra S.K., Tyagi J.V., Singh V.P., Singh R. 2006. SCS-CN-based modeling of sediment yield. *Journal of Hydrology*, 324(1-4): 301-322.
- NRCS U. 2004. Estimation of direct runoff from storm rainfall. *National Engineering Handbook Part*, 630.
- Satheeshkumar S., Venkateswaran S., Kannan R. Rainfall-runoff estimation using SCS-CN and GIS approach in the Pappiredipatti Watershed of the Vaniyar sub basin, South India. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2017; 3(24): 1-8.

- Singh A.K., Singh V. (2022) Estimation of surface runoff using USDA SCS-CN method. *The Pharma Innovation Journal*, SP-11(10): 1321-1324.
- Vafakhah M., Karamizad F., Sadeghi S.H.R., Noor H. Spatial variations of runoff generation at watershed scale. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2018; 1-16.