مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی
Management of Natural Ecosystems
دوره ۵، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۴، ۲۴-۱۳
Volume 5, Issue 4, Winter 2026, 13-24
http://emj.ardakan.ac.ir/article_735564.html

تحلیل مقایسه‌ای رواناب شهرستان‌های اصفهان با استفاده از سنجش از دور و مدل SCS-CN در گوگل ارث انجین

نگار نورمهناد*[۱]، هادی سیاسر[۲]

مقاله پژوهشی

۱. استادیار، گروه کشاورزی، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران.
negar.nourmahnad@pnu.ac.ir
* نویسنده مسئول
۲. استادیار، گروه کشاورزی، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران.
hadisiasar@pnu.ac.ir

شناسه مقاله: ۲۵۱۲-۱۱۴۵
شماره صفحه پیاپی: ۱۲۰۶-۱۲۱۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۱۰
انتشار آنلاین: ۱۴۰۵/۰۲/۱۸
زمان پذیرش: ۱۲۴ روز

استناددهی:
نورمهناد، ن.، و سیاسر، ه. (۱۴۰۴). تحلیل مقایسه‌ای رواناب شهرستان‌های اصفهان با استفاده از سنجش از دور و مدل SCS-CN در گوگل ارث انجین. مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی، ۵(۴)، ۲۴-۱۳.

چکیده

تخمین دقیق رواناب سطحی در مناطق خشک و نیمه‌خشک برای مدیریت یکپارچه منابع آب، کنترل سیلاب و برنامه‌ریزی توسعه پایدار از اهمیت بنیادین برخوردار است. استان اصفهان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین قطب‌های صنعتی و کشاورزی ایران مرکزی، در سال‌های اخیر با بحران کم‌آبی و هم‌زمان مخاطرات سیلاب مواجه بوده که ضرورت شناخت دقیق پتانسیل رواناب را دوچندان کرده است. هدف این پژوهش، تحلیل مقایسه‌ای رواناب سالانه در ۱۹ شهرستان استان اصفهان طی دوره ۲۶ ساله (۲۰۰۰ تا ۲۰۲۵) با استفاده از روش شماره منحنی (SCS-CN) در بستر پلتفرم ابری گوگل ارث انجین است. داده‌های بارش از پایگاه CHIRPS، کاربری اراضی از محصول MODIS و اطلاعات خاک از مجموعه OpenLandMap استخراج گردید. نتایج نشان داد که توزیع مکانی رواناب از گرادیان غربی–شرقی تبعیت می‌کند، به‌گونه‌ای که شهرستان‌های کوهستانی و غربی استان از جمله فریدونشهر و سمیرم به ترتیب با میانگین رواناب ۳۵۴/۶۳ و ۲۹۵/۷۶ میلی‌متر بیشترین و شهرستان‌های شرقی نظیر نایین با میانگین رواناب ۷۰/۵۵ میلی‌متر، کمترین میزان رواناب سالانه را ثبت کردند. میانگین رواناب سالانه استان ۱۶۶/۴۱ میلی‌متر و میانگین ضریب رواناب ۸۱/۱۶ درصد محاسبه شد. ضریب تغییرات مکانی بارش و رواناب در سطح استان به‌ترتیب ۵۳/۳۳ و ۵۷/۶۵ درصد به‌دست آمد که بیانگر تنوع مکانی بالای این پارامترها است. یافته‌های این پژوهش می‌تواند مبنای علمی مناسبی برای برنامه‌ریزی استحصال آب باران، طراحی سازه‌های آبخیزداری و مدیریت ریسک سیلاب در استان اصفهان فراهم آورد.

واژگان کلیدی:

ضریب رواناب، گوگل ارث انجین، استان اصفهان، مناطق خشک، مدیریت منابع آب.

شاپا: ۲۸۲۱-۰۱۸۲
DOI: 10.22034/emj.2026.2082316.1145

۱- مقدمه

ایران کشوری است که به دلیل واقع شدن در عرض جغرافیایی ۲۵ الی ۴۰ درجه شمالی دارای نزولات جوی اندک در مقایسه با سایر مناطق کره زمین است. کمبود رطوبت ذخیره شده در خاک در شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک و عدم بهره‌برداری مناسب از ریزش‌های جوی از سوی ساکنین این گونه مناطق، از عوامل اصلی در کاهش تولیدات گیاهی، تشدید فرسایش خاک و هدر رفت آب حاصل از بارش می‌باشد (Doulabian et al., 2021). میانگین بارش سالانه کشور با ۲۵۰ میلی‌متر، کمتر از یک‌سوم متوسط جهانی است (رنجبر نایینی و همکاران، ۱۳۹۶)، در حالی‌که ضریب تغییرات مکانی و زمانی بارش به بیش از ۶۵ درصد می‌رسد که این امر پیچیدگی مدیریت منابع آب را دوچندان می‌کند (Vaghefi et al., 2019). بنابراین مدیریت رواناب سطحی در مناطق خشک و نیمه‌خشک و توسعه سیستم‌های دقیق پایش و رواناب اهمیت زیادی در این مناطق دارد.

استان اصفهان به‌عنوان قلب صنعتی و کشاورزی ایران مرکزی، نمونه بارزی از چالش‌های مدیریت آب در مناطق خشک است. این استان با مساحت ۱۰۷/۰۱۸ کیلومتر مربع و جمعیت بیش از ۵/۳ میلیون نفر، در دهه‌های اخیر با بحران بی‌سابقه آب مواجه شده که منجر به خشک شدن زاینده‌رود، افت شدید سطح آب‌های زیرزمینی و تنش‌های اجتماعی گسترده شده است. زاینده‌رود مهم‌ترین منبع آب سطحی در مرکز ایران است. حوضه آبریز این رود در طول ۱۵ سال گذشته تحت تأثیر دو دوره خشکسالی قرار گرفته است (Mohajeri et al., 2016). در عین حال، وقوع سیلاب‌های ناگهانی در فصول بارش که سالانه خسارات قابل توجهی به زیرساخت‌های شهری و روستایی وارد می‌کند، نشان می‌دهد که مدیریت جامع رواناب می‌تواند نقش کلیدی در کاهش بحران آب و تعدیل مخاطرات هیدرولوژیکی ایفا کند (دخانی و سلیمانی، ۱۴۰۱). روش شماره منحنی که توسط سرویس حفاظت خاک آمریکا توسعه یافته، یکی از پرکاربردترین روش‌های تخمین رواناب در سطح جهان محسوب می‌شود که به دلیل سادگی مفهومی، نیاز به داده‌های ورودی محدود و قابلیت تلفیق با سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، کاربرد گسترده‌ای در مطالعات هیدرولوژیکی یافته است (Hawkins et al., 2008). این روش بر اساس دو پارامتر کلیدی کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیکی خاک، شماره منحنی را تعیین کرده و از آن برای محاسبه رواناب استفاده می‌کند. مطالعات متعدد در نقاط مختلف جهان نشان داده‌اند که این روش به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که داده‌های هیدرومتری محدود است، نتایج قابل اعتمادی ارائه می‌دهد (Al-Ghobari and Dewidar, 2021).

در ایران، کاربرد روش شماره منحنی در حوضه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعه نقیبی و همکاران (۱۳۸۸) در استان فارس نشان داد که این روش با ضریب همبستگی ۰/۹۹ قادر به تخمین رواناب با دقت قابل قبولی است. جوادی و همکاران (۱۳۹۰)، کارایی این روش را در شرایط خشک تأیید کرده و نشان دادند که تلفیق آن با داده‌های سنجش از دور می‌تواند دقت تخمین را بهبود بخشد. در مطالعه حوضه بیرجند با استفاده از گوگل ارث انجین[1] امکان پردازش سریع و کارآمد داده‌های مکانی در مقیاس منطقه‌ای را نشان دادند که الگویی برای مطالعات مشابه در سایر مناطق کشور فراهم می‌آورد (یوسفی روبیات و همکاران، ۱۴۰۴).

سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور نقش مهمی در مدیریت منابع آب دارند. خیلی از فعالان این حوضه با محدودیت دسترسی به ابزارها و منابع محاسباتی برای استفاده مناسب از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور مواجه هستند. پلتفرم محاسباتی ابری گوگل ارث انجین با ارائه دسترسی آزاد به پتابایت‌ها داده ماهواره‌ای و قدرت پردازش ابری، انقلابی در مطالعات محیطی و هیدرولوژیکی ایجاد کرده است (Gorelick et al., 2017). این پلتفرم امکان پردازش داده‌های عظیم در مقیاس‌های مکانی و زمانی گسترده را فراهم می‌آورد که با روش‌های سنتی عملاً غیرممکن یا بسیار زمان‌بر بود. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که استفاده از گوگل ارث انجین در تحلیل‌های هیدرولوژیکی می‌تواند زمان پردازش را از ماه‌ها به ساعات کاهش داده و در عین حال دقت و رزولوشن مکانی تحلیل‌ها را به‌طور قابل توجهی افزایش دهد (Markert et al., 2020). تاکنون مطالعات محدودی در زمینه تحلیل جامع رواناب در سطح استان اصفهان با رویکرد مقایسه‌ای بین شهرستان‌ها انجام شده است. اکثر پژوهش‌های موجود بر حوضه‌های خاص متمرکز بوده و فاقد دید جامع استانی هستند (اسدی و همکاران، ۱۳۹۸؛ حاتمی و قهرمان، ۱۳۸۷). همچنین، بیشتر مطالعات از داده‌های ایستگاهی محدود استفاده کرده‌اند که قابلیت تعمیم نتایج را کاهش می‌دهد (حاتمی و قهرمان، ۱۳۸۷). استفاده از قابلیت‌های پلتفرم گوگل ارث انجین برای تحلیل رواناب در تمام شهرستان‌های استان با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای یکسان و روش‌شناسی واحد، نوآوری اصلی این پژوهش محسوب می‌شود که امکان مقایسه دقیق و علمی بین مناطق مختلف را فراهم می‌آورد.

این پژوهش با هدف اصلی محاسبه و تحلیل مقایسه‌ای رواناب سطحی در ۱۹ شهرستان استان اصفهان با استفاده از روش شماره منحنی در محیط گوگل ارث انجین انجام شده است. اهداف فرعی شامل: (۱) تعیین میزان رواناب سالانه و فصلی در هر شهرستان برای دوره ۲۰۲۵-۲۰۰۰، (۲) شناسایی الگوهای مکانی رواناب و عوامل مؤثر بر آن، (۳) تحلیل رابطه بین پارامترهای اقلیمی، کاربری اراضی و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک با میزان رواناب. نتایج این تحقیق می‌تواند مبنای علمی مناسبی برای برنامه‌ریزی منابع آب، طراحی سازه‌های آبخیزداری و مدیریت ریسک سیلاب در استان فراهم آورد.

1. Google Earth Engine

۲- مواد و روش‌ها

استان اصفهان با مساحت ۱۰۷/۰۱۸ کیلومتر مربع در مرکز فلات ایران واقع شده و از نظر موقعیت جغرافیایی بین عرض‌های ۳۰ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۷ دقیقه شمالی و طول‌های ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۲ دقیقه شرقی قرار دارد. این استان از نظر تقسیمات کشوری شامل ۱۹ شهرستان است که تنوع اقلیمی و توپوگرافی قابل توجهی را در بر می‌گیرد. آب و هوای استان متغیر بوده و طیفی از اقلیم خشک در نواحی شرقی، شمالی و مرکزی تا اقلیم مدیترانه‌ای و نیمه‌مرطوب در نواحی غربی و جنوبی را شامل می‌شود، به‌گونه‌ای که تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد از ویژگی‌های غالب اقلیمی این استان محسوب می‌شوند (گندمکار، ۱۳۹۶). میانگین بارش سالانه استان از حدود ۸۰ میلی‌متر در نواحی شرقی تا بیش از ۴۵۰ میلی‌متر در ارتفاعات غربی متغیر است که این گرادیان بارش تأثیر مستقیمی بر الگوی مکانی رواناب دارد.

تحقیق حاضر بر اساس رویکرد نظری- تجربی و با تلفیق اصول کلاسیک هیدرولوژی و فناوری‌های نوین پردازش ابری طراحی و اجرا شده است. مدل اصلی مورد استفاده، مدل شماره منحنی سرویس حفاظت خاک ایالات متحده[1]است که توسط سازمان حفاظت خاک وزارت کشاورزی آمریکا[2] توسعه یافته و برای برآورد رواناب مستقیم در حوضه‌های آبخیز کاربرد گسترده‌ای دارد. اعتبار این مدل در مطالعات موردی بین‌المللی متعدد و پژوهش‌های منطقه‌ای در اقلیم‌های مختلف از جمله مناطق خشک و نیمه‌خشک تأیید شده است (Hawkins et al., 2008؛ Soulis and Valiantzas, 2012). پارامتر کلیدی این مدل، شماره منحنی است که بر اساس ترکیب سه عامل اصلی شامل مقدار و شدت بارش، ظرفیت نفوذپذیری خاک و نوع پوشش سطحی زمین تعیین می‌شود و مقادیر آن در محدوده‌ای از ۳۰ برای سطوح با نفوذپذیری بالا و پوشش گیاهی متراکم تا ۱۰۰ برای سطوح کاملاً نفوذناپذیر قرار دارد (کرمی‌مقدم و همکاران، ۱۴۰۰).

اجرای این تحقیق در پنج گام علمی متوالی انجام پذیرفت که گام نخست شامل جمع‌آوری داده‌های فضایی چندمنظوره از منابع بین‌المللی معتبر نظیر داده‌های ماهواره‌ای، پایگاه‌های اطلاعاتی اقلیمی و فیزیکی خاک بود (Isnaini et al., 2024). در گام دوم، پردازش، کنترل کیفیت و تطبیق زمانی و مکانی داده‌ها برای آماده‌سازی پارامترهای ورودی مدل شماره منحنی انجام شد که این مرحله شامل حذف داده‌های پرت، پر کردن شکاف‌های زمانی، هم‌مرجع‌سازی لایه‌های مکانی بود (Shi and Wang, 2020). گام سوم به تهیه نقشه‌های شماره منحنی بر اساس تلفیق اطلاعات کاربری اراضی و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک مطابق با جداول استاندارد اختصاص داشت (Soulis and Valiantzas, 2012).

در گام چهارم، الگوریتم‌های محاسباتی شماره منحنی برای تخمین رواناب در مقیاس‌های زمانی روزانه، ماهانه و سالانه اعمال شد و محاسبات برای هر یک از ۱۹ شهرستان استان به‌صورت جداگانه و برای دوره ۲۵ ساله (۲۰۰۰ تا ۲۰۲۵) انجام گرفت (عالم و همکاران، ۱۳۹۸). نهایتاً در گام پنجم، تحلیل‌های آماری شامل محاسبه میانگین، انحراف معیار، ضریب تغییرات و تحلیل سری زمانی برای شناسایی روندها و الگوهای تغییرات بین‌سالی صورت گرفت (Rizal et al., 2023).

تمامی عملیات پردازش داده‌ها بر بستر پلتفرم ابری گوگل ارث انجین انجام شده است که زیرساختی جامع برای تحلیل داده‌های ژئوفیزیکی و محیطی در مقیاس سیاره‌ای ارائه می‌دهد. مزایای استفاده از این پلتفرم شامل دسترسی به پتابایت‌ها داده ماهواره‌ای آرشیوشده، قدرت پردازش ابری بدون نیاز به زیرساخت محلی و امکان اجرای الگوریتم‌های پیچیده بر روی داده‌های حجیم در زمان کوتاه است (Gorelick et al., 2017). برنامه‌نویسی الگوریتم‌ها در محیط توسعه یکپارچه گوگل ارث انجین با استفاده از زبان جاوااسکریپت و رابط برنامه‌نویسی کاربردی اختصاصی این پلتفرم صورت گرفت و کد توسعه‌یافته شامل توابع محاسبه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، شماره منحنی، پارامتر S و رواناب برای هر پیکسل و هر بازه زمانی است.

در خصوص مجموعه داده‌های مورد استفاده، اطلاعات بافت خاک از مجموعه داده OpenLandMap در بستر گوگل ارث انجین استخراج شد که شامل طبقه‌بندی بافت خاک بر اساس سیستم استاندارد وزارت کشاورزی ایالات متحده آمریکا با رزولوشن مکانی ۲۵۰ متر است. بر اساس بافت خاک، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک شامل چهار گروه A، B، C و D تعیین گردید که گروه A شامل خاک‌های شنی با نفوذپذیری بالا، گروه B شامل خاک‌های لومی شنی با نفوذپذیری متوسط، گروه C شامل خاک‌های لومی رسی با نفوذپذیری نسبتاً پایین و گروه D شامل خاک‌های رسی با نفوذپذیری پایین است (کرمی‌مقدم و همکاران، ۱۴۰۰). نقشه کاربری اراضی از محصول MODIS/MCD12Q1 استخراج شد که طبقه‌بندی آن بر اساس استاندارد برنامه بین‌المللی ژئوسفر- بیوسفر (IGBP) شامل ۱۷ کلاس کاربری با رزولوشن مکانی ۵۰۰ متر است و برای این مطالعه میانه تصاویر سالانه در دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ به‌منظور کاهش اثر تغییرات موقتی محاسبه و استفاده شد (Isnaini et al., 2024). داده‌های بارش از پایگاه CHIRPS که با ترکیب داده‌های ماهواره‌ای مادون قرمز حرارتی و مشاهدات ایستگاهی بارش روزانه را با رزولوشن مکانی تقریباً ۵/۵ کیلومتر ارائه می‌دهد استخراج گردید و مرزهای اداری شهرستان‌ها از لایه FAO/GAUL نسخه ۲۰۱۵ در سطح دوم تهیه شد.

برای تهیه نقشه شماره منحنی، ابتدا نقشه بافت خاک به ۱۲ کلاس بافتی طبقه‌بندی و سپس با استفاده از جداول تبدیل استاندارد USDA-NRCS هر کلاس بافتی به گروه هیدرولوژیکی متناظر نسبت داده شد. در مرحله بعد، یک ماتریس ترکیبی ۱۷×۴ شامل ۱۷ کلاس کاربری و ۴ گروه خاک ایجاد گردید که هر سلول آن حاوی مقدار CN متناظر بر اساس جداول استاندارد TR-55 است، به‌عنوان مثال برای اراضی شهری در گروه خاک D

1. SCS-CN
2. USDA-NRCS

مقدار CN برابر ۹۲ و برای جنگل در گروه خاک A مقدار CN برابر ۳۰ تعیین شد. نقشه نهایی CN با اعمال این ماتریس بر ترکیب لایه‌های کاربری و گروه خاک در محیط گوگل ارث انجین تولید گردید.

مدل شماره منحنی بر این فرض استوار است که نسبت رواناب واقعی به رواناب بالقوه برابر با نسبت نفوذ واقعی به نفوذ بالقوه است و با در نظر گرفتن تلفات اولیه معادل S۰/۲، معادله رواناب به‌صورت رابطه (۱) می‌باشد:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)}$$ رابطه (۱)

برای شرایط $P \geq 0.2S$ استخراج می‌شود که در آن Q عمق رواناب بر حسب میلی‌متر، P عمق بارش بر حسب میلی‌متر و S ظرفیت نگهداری بالقوه حوضه بر حسب میلی‌متر است. در صورتی که بارش کمتر از تلفات اولیه باشد، رواناب صفر در نظر گرفته می‌شود. پارامتر S نیز از رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$ رابطه (۲)

محاسبه می‌شود که در آن CN شماره منحنی بدون بعد است و واحد ثابت‌های ۲۵۴۰۰ و ۲۵۴ میلی‌متر از تبدیل واحدهای اصلی اینچی به متریک حاصل شده است. این روش بر اساس پروتکل‌های رسمی سازمان حفاظت خاک آمریکا و مستندات فنی TR-55 پیاده‌سازی شد و اعتبار آن در مطالعات مشابه در ایران تأیید گردیده است (یوسفی روبیات و همکاران، ۱۴۰۳).

نتایج این پژوهش بر اساس محاسبات انجام‌شده در پلتفرم گوگل ارث انجین برای دوره ۲۰۲۵–۲۰۰۰ ارائه می‌شود. تحلیل‌ها شامل آمار کلی استانی، مقایسه بین‌شهری، الگوهای مکانی و بررسی سری زمانی است. تمام مقادیر رواناب (Q) با استفاده از معادلات شماره منحنی محاسبه شدند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- آمار کلی استان

تحلیل جامع رواناب سطحی در استان اصفهان بر اساس محاسبات انجام‌شده در پلتفرم گوگل ارث انجین برای دوره ۲۶ ساله (۲۰۲۵–۲۰۰۰) انجام شد. میانگین بارش سالانه برای کل استان ۲۰۴/۲۴ میلی‌متر و میانگین رواناب سالانه ۱۶۶/۴۱ میلی‌متر محاسبه گردید که معادل ضریب رواناب۸۱/۱۶ درصد است. این ضریب که بالاتر از مقادیر معمول در مناطق خشک (۱۰ تا ۲۰ درصد) می‌باشد، ناشی از ترکیب عوامل متعددی شامل شیب‌های تند در نواحی کوهستانی زاگرس، ویژگی‌های خاک و پوشش گیاهی اندک در نواحی بایر است. ضریب تغییرات رواناب ۵۷/۶۵ درصد محاسبه شده که نشان‌دهنده تنوع قابل توجه این پارامتر در شهرستان‌های مختلف است.

توزیع مکانی رواناب تحت تأثیر گرادیان اقلیمی و توپوگرافی قرار دارد نواحی غربی (نزدیک زاگرس) با دریافت بارش بیشتر و شیب‌های بالاتر (شکل ۱)، رواناب بیشتری تولید می‌کنند، در حالی‌که شرق و دشت‌های مرکزی با بارش کمتر (کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر) و نفوذ بالاتر، مقادیر پایین‌تری نشان می‌دهند.

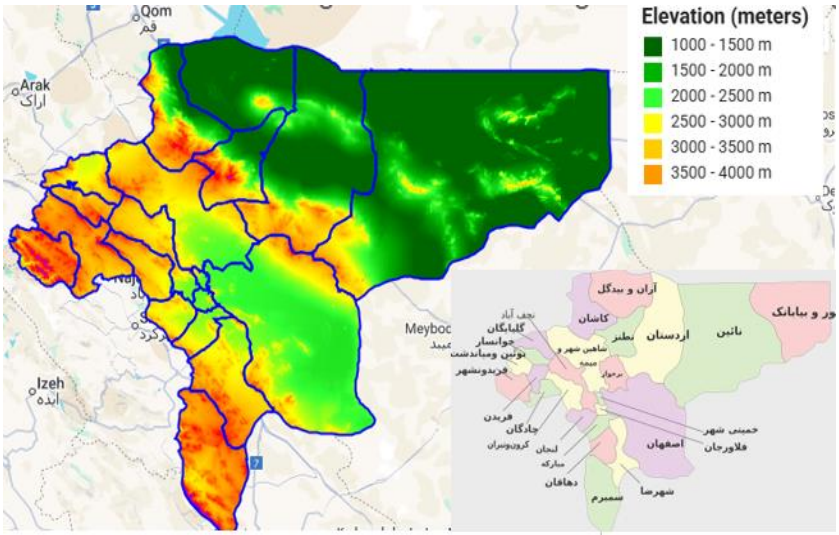
نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک در شکل (۲) نشان داده شده است. بخش اعظم استان اصفهان از مناطق بیابانی و کویری (بخش‌هایی از دشت کویر و حاشیه آن) تشکیل شده و خاک‌های بیابانی ذاتاً درصد شن بالایی دارند. بنابراین با این معیار، تقریباً تمام مناطق بیابانی و خشک استان در گروه A یعنی با نفوذپذیری زیاد قرار می‌گیرند. در بررسی عبدی و افشارزاده (۱۳۹۱) بافت خاک در منطقه بادرود در شمال نطنز شنی، لوم شنی و شن لومی هست. که همگی در گروه با نفوذپذیری بالا قرار می‌گیرند. در بررسی قره شیخلو و همکاران (۱۳۸۹) مشخص شد بافت خاک در منطقه اردستان نیز اغلب لوم و لوم شنی بود. در پژوهش گیوی و یغماییان مهابادی (۱۳۹۶) بافت خاک سطحی در منطقه زواره در شمال شرق اصفهان در گروه لوم شنی و لوم سیلتی بود که جزو خاک‌های با نفوذ پذیری بالا و متوسط هستند و در بعضی قسمت‌ها در افق سطحی خاک میزان رس به صفر می‌رسید. در واقع طبق این دسته‌بندی بیشترین مساحت استان اصفهان دارای خاک‌های با نفوذپذیری زیاد و متوسط هست. اما خاک‌های بیابانی این استان علی‌رغم داشتن درصد شن بالا، به دلایل زیر نفوذپذیری واقعی بسیار پایینی دارند: اولاً، پدیده سله‌بندی سطحی[1]در خاک‌های بدون پوشش گیاهی بیابانی بسیار رایج است و لایه‌ای نفوذناپذیر در سطح خاک ایجاد می‌کند. ثانیاً، وجود افق‌های کلسیک[2]و ژیپسیک[3] در زیرسطح این خاک‌ها، که از ویژگی‌های بارز خاک‌های مناطق خشک ایران است، لایه‌های سیمانی‌شده‌ای ایجاد می‌کند که مانع نفوذ عمقی آب می‌شود. ثالثاً، فرش بیابانی[4]که عبارت از پوشش سنگریزه‌ای و ریگی سطح خاک است، ورود آب به پروفیل خاک را به شدت محدود می‌کند. رابعاً، شوری و سدیمی بودن بسیاری از خاک‌های بیابانی استان باعث تخریب ساختمان خاک، پراکنش ذرات رس و در نتیجه کاهش چشمگیر نفوذپذیری می‌شود. خامساً، عمق کم خاک تا سنگ بستر

1. Surface Crusting
2. Calcic
3. Gypsic
4. Desert Pavement

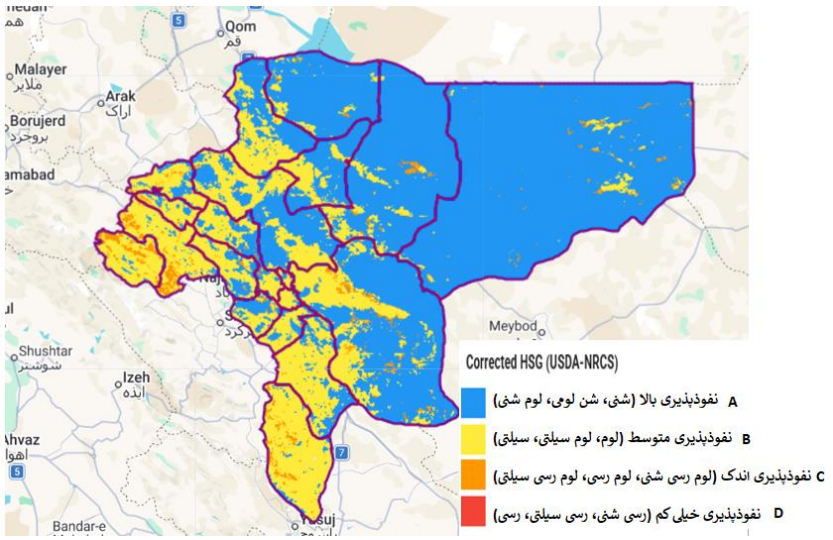
یا لایه‌های غیرقابل نفوذ در بسیاری از نقاط بیابانی، ظرفیت ذخیره و انتقال آب را محدود می‌سازد که این موضوع سبب می شود حتی میزان رواناب زیاد باشد.

۳-۲- تحلیل مقایسه‌ای شهرستان‌های استان اصفهان

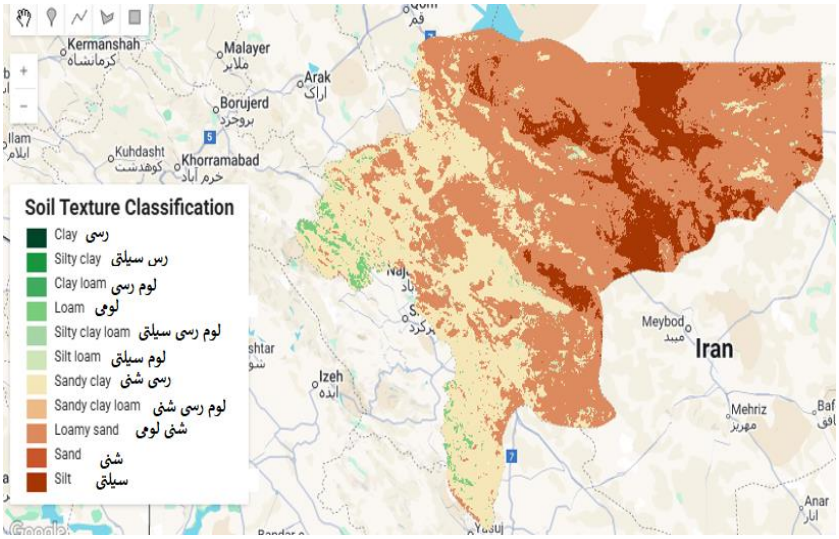
تحلیل مقایسه‌ای رواناب در نوزده شهرستان استان اصفهان، بر اساس میانگین ۲۶ ساله (۲۰۲۵-۲۰۰۰)، تنوع مکانی قابل توجهی را در پاسخ هیدرولوژیکی حوضه‌های آبخیز این استان آشکار می‌سازد. این تنوع که ریشه در تفاوت‌های اقلیمی، توپوگرافی، خاک‌شناسی و کاربری اراضی (شکل‌های ۱ تا ۴) دارد، اهمیت رویکرد مکان‌محور در مدیریت منابع آب را برجسته می‌نماید. نکته قابل توجه در این مطالعه آن است به دلیل هدف مقایسه‌پذیری بلندمدت و ایجاد یک پایه ثابت برای در نظر گرفتن پارامترهای دیگر (مانند بارش و نوع خاک)، از یک نقشه کاربری اراضی متناظر با میانگین شرایط دوره استفاده شد. این فرض اگرچه ساده‌سازی است، اما در مطالعات هیدرولوژیکی بلندمدت با تمرکز بر تغییرات اقلیمی (و نه تغییرات پوشش زمین) رایج است.



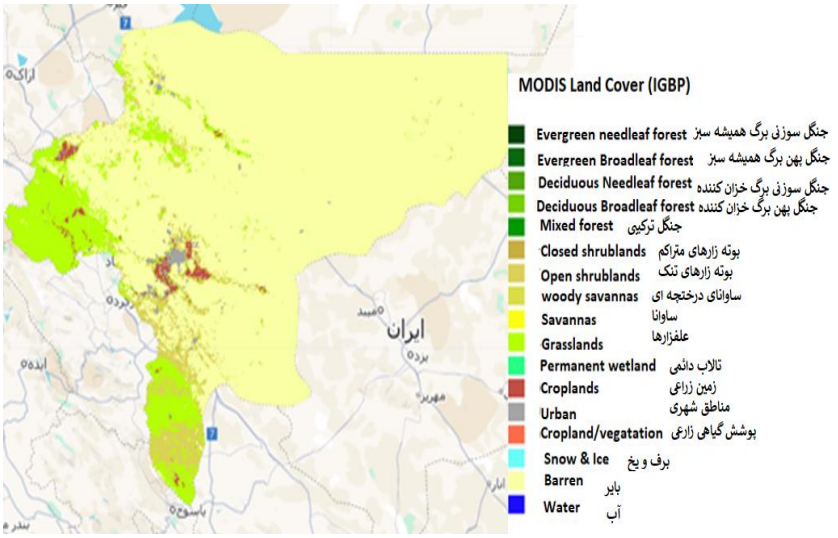
شکل (۱): نقشه توپوگرافی استان اصفهان به تفکیک شهرستان



شکل (۲): نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک (گروه A، B، C و D)



شکل (۳): نقشه بافت خاک در استان اصفهان



شکل (٤): نقشه کاربری اراضی در استان اصفهان

۳-۳- توزیع مکانی بارش و رواناب

بررسی داده‌های جدول (۱) نشان می‌دهد که الگوی مکانی بارش و رواناب در استان اصفهان از گرادیان غربی- شرقی تبعیت می‌کند. شهرستان‌های واقع در دامنه‌های شرقی رشته‌کوه زاگرس، به دلیل دریافت رطوبت ناشی از سیستم‌های جبهه‌ای غربی، بارش و رواناب بیشتری را تجربه می‌کنند. فریدونشهر با میانگین بارش سالانه ۴۲۰/۶۲ میلی‌متر و رواناب ۳۵۴/۶۳ میلی‌متر در صدر جدول قرار دارد، در حالی‌که نایین در شرق استان با میانگین بارش ۸۷/۵ میلی‌متر و رواناب ۷۰/۵ میلی‌متر کمترین مقادیر را ثبت کرده است. این تفاوت بیش از چهار برابری در میزان رواناب، گستره تنوع هیدرولوژیکی درون‌استانی را به روشنی نمایان می‌سازد.

سمیرم در جنوب‌غربی استان نیز با میانگین بارش ۳۷۳/۰۵ میلی‌متر و رواناب ۲۹۵/۷۵ میلی‌متر، جایگاه دوم را از نظر تولید رواناب به خود اختصاص داده است. این شهرستان که در ارتفاعات جنوبی زاگرس واقع شده، از شرایط اقلیمی مشابه فریدونشهر برخوردار است. در مقابل، شهرستان‌های مرکزی و شرقی استان شامل آران و بیدگل (۹۱/۷۸ میلی‌متر بارش، ۷۳/۰۹ میلی‌متر رواناب)، اردستان (۱۰۷/۹۸ میلی‌متر بارش، ۸۹/۴۴ میلی‌متر رواناب) و نایین در گروه کم‌بارش و در نتیجه کم‌رواناب قرار می‌گیرند.

۳-٤- تحلیل ضریب رواناب

ضریب رواناب[1] که نسبت رواناب به بارش را نشان می‌دهد، شاخص مهمی برای درک وضعیت هیدرولوژیکی حوضه‌های آبخیز محسوب می‌شود. بر اساس داده‌های جدول (۱)، این ضریب در شهرستان‌های مختلف استان اصفهان از ۷۲/۴۸ درصد (فلاورجان) تا ۸۵/۲ درصد (کاشان) متغیر است.

1. Runoff Coefficient

میانگین ضریب رواناب استانی ۸۱/۱۶ درصد محاسبه شده که مقدار قابل توجهی برای یک منطقه نیمه‌خشک به‌شمار می‌رود. نکته قابل تأمل آن است که ضریب رواناب شهرستان‌هایی نظیر کاشان (۸۵/۰۲ درصد)، نجف‌آباد (۸۵ درصد)، نطنز (۸۴/۵ درصد) و برخوار و میمه (۸۴/۸ درصد) نسبت به شهرستان‌های پربارش بالاتر بود. این پدیده را می‌توان به عوامل متعددی نسبت داد: نخست، گسترش مناطق شهری و سطوح نفوذناپذیر (آسفالت، بتن و ساختمان‌ها) به نسبت مساحت شهرستان که نفوذ آب به خاک را کاهش داده و رواناب سطحی را افزایش می‌دهند. دوم، ویژگی‌های خاک‌شناسی این مناطق که عمدتاً نفوذپذیری پایینی دارند.

جدول (۱): آمار توصیفی بارندگی و رواناب در شهرستان‌های استان اصفهان(۲۰۲۵-۲۰۰۰)

شهرستان	میانگین بارش (میلی‌متر)	انحراف معیار بارش	ضریب تغییرات بارش (درصد)	میانگین رواناب (میلی‌متر)	انحراف معیار رواناب	ضریب تغییرات رواناب (درصد)	ضریب رواناب
شهرضا	۲۳۱/۷۲	۷۸/۵۰	۳۳/۸۸	۱۸۵/۵۹	۷۵/۴۲	۴۰/۶۳	۷۹/۶۴
سمیرم	۳۷۳/۰۶	۱۱۸/۶۷	۳۱/۸۱	۲۹۵/۷۶	۱۱۴/۲۶	۳۸/۶۳	۸۲/۸۳
مبارکه	۱۸۸/۱۵	۵۷/۳۵	۳۰/۴۸	۱۴۳/۵۴	۵۴/۲۹	۳۷/۸۳	۸۴/۰۸
لنجان	۲۱۵/۵۲	۶۵/۴۷	۳۰/۳۸	۱۷۶/۸۴	۶۳/۵۰	۳۵/۹۱	۸۳/۱۰
تیران	۲۲۹/۹۰	۶۹/۵۱	۳۰/۲۴	۱۹۲/۸۹	۶۷/۹۲	۳۵/۲۱	۷۲/۴۸
خمینی‌شهر	۱۳۹/۴۶	۴۰/۱۰	۲۸/۷۵	۱۰۵/۶۰	۳۷/۸۴	۳۵/۸۳	۸۲/۴۴
نجف‌آباد	۱۸۱/۲۴	۵۱/۳۱	۲۸/۳۱	۱۵۴/۰۶	۵۰/۳۴	۳۲/۶۸	۸۴/۳۱
اصفهان	۱۳۵/۶۶	۳۸/۲۸	۲۸/۲۶	۱۱۲/۵۷	۳۷/۲۹	۳۳/۱۳	۷۹/۳۳
فلاورجان	۱۴۶/۰۵	۴۱/۰۱	۲۸/۰۸	۱۰۵/۸۷	۳۸/۱۸	۳۶/۰۵	۸۵/۲۸
فریدونشهر	۴۲۰/۶۲	۱۱۰/۱۳	۲۶/۱۸	۳۵۴/۶۳	۱۰۸/۱۴	۳۰/۵۰	۷۵/۷۱
آران و بیدگل	۹۱/۷۸	۲۳/۸۴	۲۵/۹۷	۷۳/۰۷	۲۳/۹۶	۳۲/۹۷	۸۱/۰۴
خوانسار	۲۴۵/۵۸	۶۲/۱۱	۲۵/۲۹	۱۹۹/۰۳	۶۰/۱۷	۳۰/۲۳	۸۲/۰۵
گلپایگان	۱۸۶/۶۲	۴۷/۱۹	۲۵/۲۹	۱۴۸/۰۵	۴۵/۳۱	۳۰/۶۱	۷۶/۲۸
فریدن	۳۵۵/۲۱	۸۸/۳۴	۲۴/۸۷	۲۹۲/۸۶	۸۶/۹۶	۲۹/۴۲	۸۰/۶۲
برخوار و میمه	۱۶۴/۰۱	۳۷/۹۶	۲۳/۲۹	۱۳۷/۰۷	۳۶/۹۶	۲۶/۹۷	۸۵/۰۰
اردستان	۱۰۷/۹۹	۲۴/۲۴	۲۲/۴۵	۸۹/۴۵	۲۳/۶۵	۲۶/۴۴	۸۴/۵۶
کاشان	۲۱۰/۳۷	۴۵/۹۹	۲۱/۸۶	۱۷۹/۴۱	۴۵/۰۹	۲۵/۱۳	۷۹/۲۷
نایین	۸۷/۵۰	۱۸/۴۶	۲۱/۰۹	۷۰/۵۵	۱۷/۹۴	۲۵/۴۳	۸۰/۰۹
نطنز	۱۷۱/۴۹	۳۴/۴۲	۲۰/۰۷	۱۴۵/۰۳	۳۳/۶۵	۲۳/۲۱	۸۳/۹۰

در مقابل، فلاورجان با ضریب رواناب ۷۲/۴۸ درصد، پایین‌ترین مقدار را ثبت کرده است. این شهرستان که در دشت مرکزی اصفهان و در حاشیه زاینده‌رود واقع شده، از خاک‌های آبرفتی با نفوذپذیری نسبتاً بالا و کاربری غالب کشاورزی برخوردار است که هر دو عامل به کاهش ضریب رواناب سطحی کمک می‌کنند.

۳-۵- تحلیل آماری تغییرات

بررسی انحراف معیار و ضریب تغییرات بارش و رواناب در شهرستان‌های مختلف، اطلاعات ارزشمندی درباره پایداری و قابلیت پیش‌بینی منابع آب سطحی ارائه می‌دهد. شهرضا با ضریب تغییرات بارش ۳۳/۸۸ درصد و ضریب تغییرات رواناب ۴۰/۶۳ درصد، ناپایدارترین رژیم هیدرولوژیکی را در میان شهرستان‌های استان دارد. این ناپایداری که برنامه‌ریزی منابع آب را دشوار می‌سازد، نیازمند راهکارهای انعطاف‌پذیر مدیریتی است. سمیرم با انحراف معیار بارش ۱۱۸/۶۷ میلی‌متر و انحراف معیار رواناب ۱۱۴/۲۶ میلی‌متر، بیشترین نوسان مطلق را تجربه کرده است. این نوسان بالا، هم فرصت (در سال‌های پرآب) و هم تهدید (در سال‌های خشک) برای این شهرستان ایجاد می‌کند و ضرورت احداث سازه‌های ذخیره آب را برجسته می‌سازد. در مقابل، شهرستان‌های نطنز (۲۰/۰۷ درصد) و نایین (۲۱/۰۹ درصد) کمترین ضریب تغییرات بارندگی را دارند که نشان‌دهنده پایداری نسبی رژیم بارش در این مناطق خشک است. این پایداری، هرچند در سطح پایین بارش، می‌تواند برنامه‌ریزی منابع آب را تسهیل نماید. در سطح کل استان، ضریب تغییرات داده‌های بارندگی ۵۳/۳۳ درصد و ضریب تغییرات رواناب ۵۷/۶۵ درصد محاسبه شده است. این مقادیر بالا نشان‌دهنده تغییرات قابل توجه این دو پارامتر در نواحی مختلف استان بوده و اهمیت رویکرد مکان‌محور در مدیریت منابع آب را تأیید می‌کند.

نتایج این تحلیل نشان می‌دهد که حدود ۸۷ درصد مساحت استان در کلاس رواناب بالا قرار دارد که از یک سو پتانسیل قابل توجهی برای استحصال و بهره‌برداری از رواناب سطحی فراهم می‌آورد و از سوی دیگر، ریسک سیلاب را به‌ویژه در شهرستان‌های غربی و جنوب‌غربی افزایش می‌دهد. بنابراین، برنامه‌ریزی یکپارچه منابع آب در استان اصفهان باید هم‌زمان بر دو هدف استحصال آب و کنترل سیلاب متمرکز باشد.

۳-۶- تفاوت‌های منطقه‌ای و عوامل مؤثر

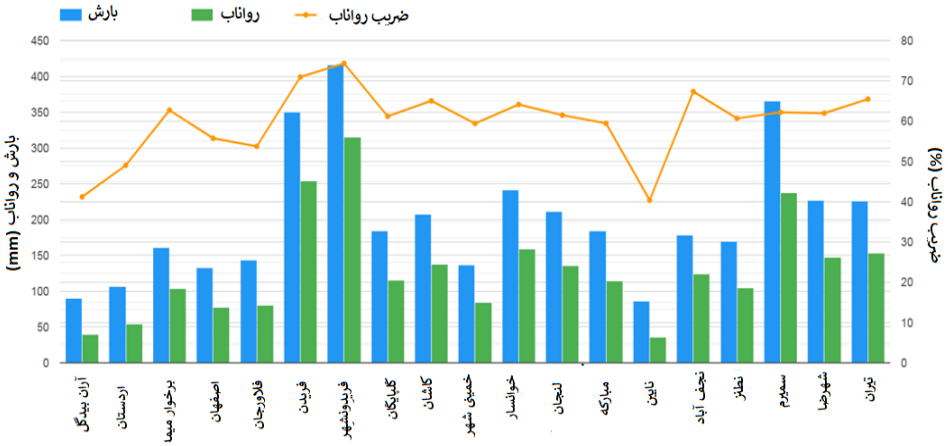
همان‌طور که نشان داده شد تحلیل آماری داده‌های رواناب در استان اصفهان، تنوع مکانی و زمانی قابل توجهی را آشکار می‌سازد. انحراف معیار رواناب در سطح استان ۹۵/۹۳ میلی‌متر و ضریب تغییرات ۵۷/۶۵ درصد محاسبه شده است که نشان‌دهنده پراکندگی نسبتاً بالای مقادیر رواناب در شهرستان‌های مختلف می‌باشد. این تنوع عمدتاً به سه دسته عوامل نسبت داده می‌شود.

عوامل اقلیمی: گرادیان بارش از غرب به شرق استان، که تحت تأثیر سیستم‌های جبهه‌ای غربی و اثر اورگرافیک رشته‌کوه زاگرس قرار دارد، مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده الگوی مکانی رواناب است. نواحی غربی استان با دریافت بارش بیشتر (تا ۴۵۰ میلی‌متر در سال)، رواناب بالاتری تولید می‌کنند، در حالی‌که نواحی شرقی با بارش کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر، رواناب محدودتری دارند.

عوامل خاکی: بر اساس نقشه‌های تولیدشده در محیط گوگل ارث انجین، حدود ۶۵ درصد مساحت استان دارای خاک‌های با نفوذ پذیری زیاد و متوسط هست. اما خاک‌های بیابانی این استان علی‌رغم داشتن درصد شن بالا، به دلایلی که پیشتر ذکر شد نفوذپذیری واقعی بسیار پایینی دارند بنابراین ضریب رواناب بالاتری دارند. به‌عبارتی اگر چه میزان بارندگی در این مناطق اندک هست اما بخش اعظمی از آن به رواناب تبدیل می‌شود.

عوامل توپوگرافی: شیب‌های تند در نواحی کوهستانی غرب و جنوب‌غرب استان (۱۵ تا ۲۵ درصد) منجر به تولید رواناب سریع می‌شوند. مطالعات Grillone et al. (۲۰۱۴) در تحلیل هیدرولوژیکی مناطق نیمه‌خشک تأکید کرده‌اند که شیب‌های بالای ۱۰ درصد می‌توانند سرعت رواناب را تا ۳۰ درصد افزایش دهند. این یافته با مشاهدات در نواحی غربی استان اصفهان همخوانی دارد که حدود ۵۵ درصد کل رواناب استان را تولید می‌کنند.

تحلیل نمودار ترکیبی (شکل ۵) که میانگین بیست‌وشش‌ساله بارش، رواناب و ضریب رواناب را برای هر شهرستان نمایش می‌دهد، امکان مقایسه همزمان این سه پارامتر را فراهم می‌آورد. این نمودار به وضوح نشان می‌دهد که رابطه بین بارش و رواناب خطی نیست و ضریب رواناب به‌عنوان متغیر واسطه‌ای، تحت تأثیر عوامل محلی قرار دارد.



شکل (۵): نمودار ترکیبی بارش، رواناب و ضریب رواناب

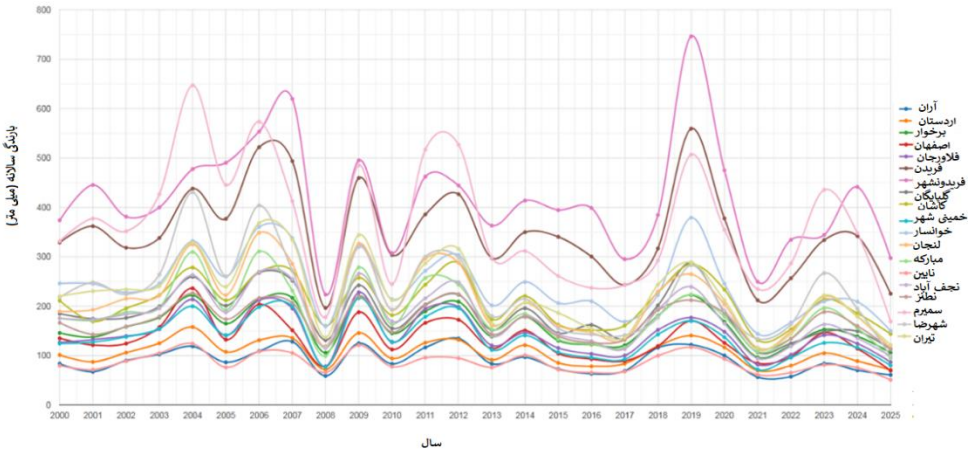
شهرستان‌های غربی (فریدونشهر، فریدن، سمیرم و گلپایگان) با میانگین بارش بالای ۳۰۰ میلی‌متر، گروه شهرستان‌های با منابع آبی بیشتر را در استان تشکیل می‌دهند. این شهرستان‌ها که در ارتفاعات زاگرس واقع شده‌اند، از اثر اورگرافیک بر بارش بهره‌مند هستند. شیب‌های تند (بیش از ۱۵ درصد)، پوشش جنگلی و مرتعی نسبتاً مناسب و خاک‌های کم‌عمق کوهستانی، ویژگی‌های مشترک این گروه محسوب می‌شوند. شهرستان‌های مرکزی (اصفهان، نجف‌آباد، خمینی‌شهر، لنجان، مبارکه و فلاورجان) با میانگین بارش ۱۳۰ تا ۲۱۰ میلی‌متر، گروه میانی را تشکیل می‌دهند. این شهرستان‌ها که در دشت مرکزی و حاشیه زاینده‌رود واقع شده‌اند، از تراکم جمعیتی و توسعه شهری بالایی برخوردارند. گسترش مناطق شهری و صنعتی در این گروه، ضریب رواناب را افزایش داده اما حجم کل رواناب به دلیل بارش کمتر، در سطح متوسط باقی مانده است. شهرستان‌های شرقی (آران و بیدگل، اردستان، نایین و نطنز) با میانگین بارش کمتر از ۱۷۰ میلی‌متر، گروه کم‌آب استان را تشکیل می‌دهند. اقلیم خشک، پوشش گیاهی اندک، و خاک‌های عمیق با نفوذپذیری متغیر، ویژگی‌های این گروه هستند. با وجود بارش کم، ضرایب رواناب نسبتاً بالا (بیش از ۸۰ درصد) در برخی از این شهرستان‌ها، نشان‌دهنده پتانسیل استحصال آب باران حتی در شرایط کم‌بارش است.

نکته قابل توجه در این نمودار، رفتار متفاوت ضریب رواناب نسبت به مقادیر مطلق بارش و رواناب است. شهرستان‌هایی نظیر کاشان نطنز، نجف‌آباد، اصفهان، برخوار و میمه، اردستان و فریدونشهر ضرایب رواناب بالاتری نسبت به سایر شهرستان‌ها دارند. این در حالی است که برخی از این شهرستان‌ها (مانند کاشان و نطنز) از نظر میزان مطلق بارش در رتبه‌های پایین‌تری قرار دارند.

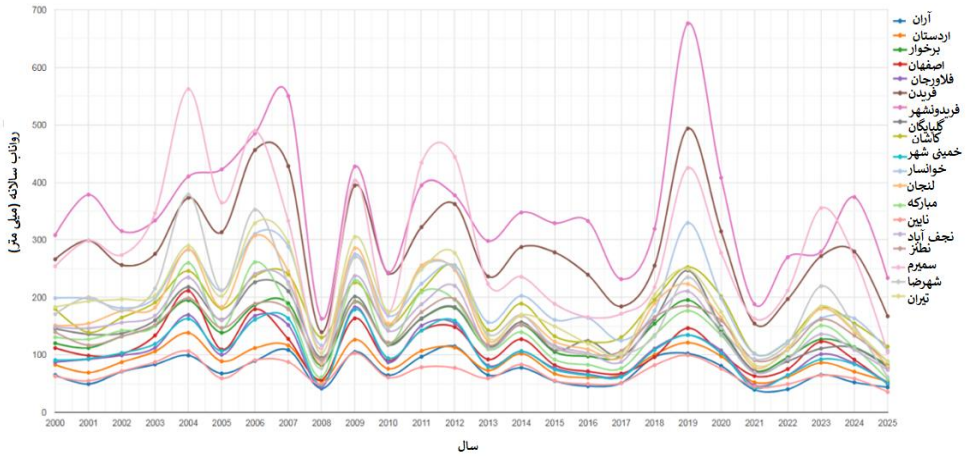
این پدیده را می‌توان به عوامل متعددی از جمله گسترش مناطق شهری و صنعتی با سطوح نفوذناپذیر، خاک‌های با نفوذپذیری پایین گروه‌های هیدرولوژیکی C و D، شیب‌های تند در برخی مناطق و کاهش پوشش گیاهی نسبت داد. در مقابل، فلاورجان با ضریب رواناب ۷۰/۳۵ درصد، پایین‌ترین مقدار را ثبت کرده که احتمالاً ناشی از خاک‌های آبرفتی حاصل‌خیز و کاربری غالب کشاورزی در این شهرستان است.

۳-۷- تحلیل میزان بارش و رواناب در شهرستان‌های استان اصفهان

نمودارهای سری زمانی بارش (شکل ۶) و رواناب (شکل ۷) در بازه ۲۶ ساله (۲۰۲۵-۲۰۰۰) برای نوزده شهرستان استان اصفهان ترسیم گردیده است. بررسی این نمودارها نشان می‌دهد که هر دو پارامتر از الگوی زمانی مشابهی پیروی می‌کنند، به‌گونه‌ای که نقاط اوج و فرود در تمامی شهرستان‌ها همزمان رخ داده است. این همبستگی بالا میان بارش و رواناب مؤید آن است که در مقیاس سالانه، بارش عامل غالب در تعیین میزان رواناب محسوب می‌شود. با این حال، تفاوت در فاصله عمودی میان منحنی‌های دو نمودار برای شهرستان‌های مختلف، نشان‌دهنده تأثیر عوامل محلی شامل پوشش گیاهی، توپوگرافی، بافت و ساختمان خاک و سایر ویژگی‌های هیدرولوژیکی بر ضریب رواناب است.



شکل(٦):. سری زمانی بارش در شهرستان‌های مختلف استان اصفهان (۲۰۲۵-۲۰۰۰)



شکل(۷): سری زمانی رواناب در شهرستان‌های مختلف استان اصفهان (۲۰۲۵-۲۰۰۰)

تحلیل بصری نمودارها آشکار می‌سازد که فریدونشهر در تمام دوره مطالعاتی بالاترین مقادیر بارش و رواناب را ثبت کرده است، هرچند در برخی سال‌ها نظیر ۲۰۱۹، سمیرم از نظر میزان بارش بر این شهرستان پیشی گرفته است. در مقابل، شهرستان‌های آران و بیدگل و نایین کمترین مقادیر را در طول دوره نشان می‌دهند (شکل‌های ۶ و ۷).

حدود ۷۰ درصد رواناب سالانه در فصل زمستان تولید می‌شود. سال‌های ۲۰۰۴، ۲۰۰۷، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ به‌عنوان سال‌های پرآب و سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۱۷ و ۲۰۲۱ به‌عنوان سال‌های خشک شناسایی شدند.

۳-۸- پیامدهای مدیریتی

نتایج این تحلیل مقایسه‌ای، پیامدهای مهمی برای مدیریت منابع آب و برنامه‌ریزی توسعه در استان اصفهان دارد. پتانسیل بالای تولید رواناب در شهرستان‌های غربی، مشروط به انجام مطالعات اقتصادی و زیست‌محیطی جامع، فرصت مناسبی برای انتقال آب به مناطق کم‌آب شرقی فراهم می‌آورد. به‌علاوه ضرایب رواناب بالا در مناطق شهری، هشداری برای مدیریت سیلاب شهری و ضرورت توسعه زیرساخت‌های زهکشی است.

٤- نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف تحلیل مقایسه‌ای رواناب سطحی در ۱۹ شهرستان استان اصفهان طی دوره ۲۶ ساله (۲۰۲۵-۲۰۰۰)، با تلفیق مدل هیدرولوژیکی شماره منحنی و قابلیت‌های پردازش ابری پلتفرم گوگل ارث انجین انجام شد. یافته‌های تحقیق به وضوح تأثیر غالب گرادیان اقلیمی غربی- شرقی را بر توزیع مکانی رواناب در استان نشان داد، به‌گونه‌ای که شهرستان‌های غربی و کوهستانی (نظیر فریدونشهر و سمیرم) با بیش از ۳۵۰ میلی‌متر رواناب سالانه، به‌عنوان کانون‌های اصلی تولید رواناب شناسایی شدند، در حالی‌که شهرستان‌های شرقی (مانند نایین) با کمتر از ۷۰ میلی‌متر، در رده مناطق کم‌رواناب قرار گرفتند. میانگین ضریب رواناب استان (۸۱/۱۶ درصد) که بسیار بالاتر از مقادیر متعارف در مناطق خشک است، حاکی از کارایی هیدرولوژیکی پایین حوضه‌ها و نقش تعیین‌کننده عوامل غیراقلیمی نظیر ویژگی‌های ویژه خاک‌های بیابانی (سله‌بندی، شوری و وجود لایه‌های محدودکننده)، کاهش پوشش گیاهی و توسعه سطوح نفوذناپذیر شهری دارد. تحلیل‌های آماری نیز تنوع مکانی بالا (ضریب تغییرات ۵۷/۶۵ درصد برای رواناب) و ناپایداری زمانی قابل توجه (به‌ویژه در شهرستان‌های مرکزی و جنوبی) را در رژیم رواناب استان تأیید کرد. مهم‌ترین دستاورد این مطالعه، اثبات کارایی رویکرد یکپارچه سنجش از دور و محاسبات ابری در مطالعات هیدرولوژیکی در مقیاس منطقه‌ای بود. استفاده از گوگل ارث انجین، امکان پردازش حجم عظیمی از داده‌های مکانی- زمانی با سرعت و دقت بالا و در عین حال، ایجاد یک چارچوب استاندارد و قابل تکرار برای مقایسه عادلانه بین واحدهای مختلف اداری-جغرافیایی را فراهم نمود.

پیامدهای مدیریتی این یافته‌ها دوگانه و ضروری است: از یک سو، پتانسیل قابل توجه استحصال آب از رواناب در شهرستان‌های غربی و حتی مناطق خشک شرقی (با ضریب رواناب بالا) فرصتی استراتژیک برای مقابله با بحران کم‌آبی و تغذیه مصنوعی سفره‌ها به‌شمار می‌رود. از سوی دیگر، ریسک بالای سیلاب در همین مناطق، به‌ویژه با توجه به نوسانات اقلیمی و تشدید رگبارهای شدید، لزوم طراحی و به‌روزرسانی سیستم‌های کنترل و هدایت سیلاب و همچنین ادغام مدیریت ریسک سیل در برنامه‌ریزی‌های شهری و منطقه‌ای را نشان می‌دهد.

به‌عنوان محدودیت‌های پژوهش می‌توان به استفاده از یک نقشه میانگین برای کاربری اراضی در طول دوره بلندمدت و عدم اعتبارسنجی مستقیم نتایج با داده‌های زمینی ایستگاه‌های هیدرومتری (به دلیل پراکندگی و ناکافی بودن این ایستگاه‌ها) اشاره کرد. برای تکمیل و تعمیق این پژوهش، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی، تأثیر تغییرات پویای کاربری اراضی و پوشش گیاهی بر رواناب در نظر گرفته شود، مدل با داده‌های مشاهداتی رواناب (در صورت امکان) واسنجی و اعتبارسنجی گردد و تحلیل‌های اقتصادی- زیست‌محیطی برای ارزیابی امکان‌سنجی پروژه‌های پیشنهادی استحصال آب انجام پذیرد. در نهایت، این پژوهش اطلاعات پایه برای مطالعات تکمیلی را فراهم می‌کند و تعمیم این چارچوب به سایر استان‌های کم‌آب کشور می‌تواند نقشه راهی علمی برای مدیریت یکپارچه و خردمندانه منابع آب سطحی در ایران فراهم آورد.

منابع

اسدی، م.، جباری، ا.، و حصادی، ه. (۱۳۹۸). مدل‌سازی سیلاب در مناطق خشک و نیمه خشک با بهره‌گیری از مدل HEC-HMS (مطالعه موردی: حوضه آبریز سد استقلال میناب). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، (۳)۸، ۳۳-۱۷.

جوادی، م.، میردارهریجانی، ف.، و چترسیماب، ز. (۱۳۹۰). برآورد ارتفاع رواناب با استفاده از روش شماره منحنی در محیط نرم افزاری Arc GIS با ابزار Arc CN-Runoff. کاربرد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در برنامه‌ریزی، (۳)۲، ۶۲-۵۵.

حاتمی یزدی، ا.، و قهرمان، ب. (۱۳۸۷). بررسی و تعمیم روابط بارش- رواناب ماهانه و سالانه به حوضه‌های فاقد آمار مطالعه موردی: حوضه‌های نهرین و کریت واقع در منطقه طبس استان یزد. کشاورزی، (۴)۳، ۱۵-۱.

رنجبرنائینی، ع.، گرشاسبی، ع.، و چترسیماب، ز. (۱۳۹۶). مقایسه نقش قنوات، چاه‌ها و چشمه‌ها در تخلیه سفره‌های زیرزمینی در حوزه‌های آبخیز اصلی کشور. آبخوان و قنات، (۱)۱، ۴۹-۳۸.

عالم، ح.، فلاحی، م.، و فرمانیه، ص. (۱۳۹۸). تخمین رواناب با استفاده از روش SCS-CN بر اساس سیستم اطلاعات جغرافیایی، مطالعه موردی (شهرستان های شیروان، بجنورد، فاروج، صفی‌آباد و مشکان). یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، (۲۶)۱۳، ۱۶۶-۱۵۶.

عبدی، م.، و افشارزاده، س. (۱۳۹۱). بررسی فلوریستیک منطقه شمال بادرود، استان اصفهان. علوم زیستی گیاهی، (۱۳)۴، ۱۲-۱.

کرمی مقدم، م.، مرادی مطلق، سبزواری، ت.، و محمدپور، ر (۱۴۰۰). کاربرد فنون سنجش از دور و GIS در مدل SCS-CN مطالعه موردی: حوضه بالارود، خوزستان. محیط زیست و مهندسی آب، (۱)۷، ۱۶۹-۱۵۷.

گندمکار، ا. (۱۳۹۳). توزیع مکانی و زمانی شاخص اقلیم آسایش گردشگری استان اصفهان. تحقیقات جغرافیایی، (۳)۲۹، ۲۱۴-۲۰۳.

دخانی، س.، و سلیمانی، ک. (۱۴۰۱). بررسی آماری اثر روش های جمع آوری آب باران بر کاهش میزان سیل و رواناب در مناطق نیمه خشک تا نیمه مرطوب ایران مرکزی (مطالعه موردی در ۹ زیرحوزه آبخیز در استان اصفهان). مهندسی اکوسیستم بیابان، (۴)۶، ۷۶-۷۱.

قره شیخلو، ا.، وهابی، م.، و کریم‌زاده، ح. (۱۳۸۹). مقایسه خصوصیات خاک‌های دارای پوشش با سطوح عاری از پوشش گیاهی در حوضه آبخیز دق سرخ اردستان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، آب و خاک، (۵۳)۱۴، ۹۷-۸۹.

نقیبی، ا.، سلیمان پور، س. م.، و مهدوی، م. (۱۳۸۸). واسنجی ضریب تلفات اولیه در روش شماره منحنی(CN) مطالعه موردی حوزه آبخیز آب ماهی استان فارس. همایش ملی مدیریت بحران آب. دانشگاه آزاد مرودشت.

گیوی، ج.، و یغمائیان مهابادی، ن. (۱۳۹۶). مشخصات و رده‌بندی برخی خاک‌های بادرفتی دارای لملا در مناطق خشک (مطالعه موردی: منطقه زواره، شمال شرق استان اصفهان). مدیریت خاک و تولید پایدار، (۲)۷، ۱۶۵-۱۵۱.

یوسفی روبیات، ا.، خزاعی،ا.، و صحراگرد، ف. (۱۴۰۴). محاسبه میزان رواناب در گوگل ارث انجین با استفاده از روش شماره منحنی (مطالعه موردی: دشت بیرجند). آبخوان و قنات، ۵(۲)، ۱۷۴-۱۵۵.

Al-Ghobari, H., and Dewidar, A.Z. (2021). Integrating GIS-based MCDA techniques and the SCS-CN method for identifying potential zones for rainwater harvesting in a semi-arid area. Water, 13(5), 704.

Doulabian, S., Toosi, A.S., Calbimonte, G.H., Tousi, E.G., and Alaghmand, S. (2021). Projected climate change impacts on soil erosion over Iran. Journal of Hydrology, 598, 126432.

Grillone, G., Baiamonte, G., and D'Asaro, F. (2014). Empirical determination of the average annual runoff coefficient in the Mediterranean area. American Journal of Applied Sciences, 11(1), 89-95.

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., and Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. Remote Sensing of Environment, 202, 18-27.

Hawkins, R.H., Ward, T.J., Woodward, D.E., and Van Mullem, J.A. (Eds.). (2008, November). Curve number hydrology: State of the practice. American Society of Civil Engineers.

Isnaini, F.N., Lismadanti, A., Fiore, K., Fauziah, L.M., Girsang, M.R.B., Athaya, M.F., Budiman, S., Nugroho, T.S., and Hadi, M.P. (2024). SCS-CN Model for Quantifying Surface Runoff Potential in the Ecoregion Segmentation of Bantul Regency. GeoEco, 10(2), 250.

Markert, K.N., Markert, A.M., Mayer, T., Nauman, C., Haag, A., Poortinga, A., ... and Saah, D. (2020). Comparing sentinel-1 surface water mapping algorithms and radiometric terrain correction processing in southeast asia utilizing google earth engine. Remote Sensing, 12(15), 2469.

Mohajeri, S., Horlemann, L., Sklorz, S., Kaltofen, M., Ghanavizchian, S., and Nuñez von Voigt, T. (2016). Integrated water resource management in Isfahan: The Zayandeh Rud catchment. In Integrated water resources management: concept, research and implementation (pp. 603-627). Cham: Springer International Publishing.

Rizal, N.S., Umarie, I., Munandar, K., and Wardoyo, A.E. (2023). Calibration and validation of CN values for watershed hydrological response. Civil Engineering Journal, 9(1), 72-85.

Shi, W., and Wang, N. (2020). An improved SCS-CN method incorporating slope, soil moisture, and storm duration factors for runoff prediction. Water, 12(5), 1335.

Soulis, K.X., and Valiantzas, J.D. (2012). SCS-CN parameter determination using rainfall-runoff data in heterogeneous watersheds–the two-CN system approach. Hydrology and Earth System Sciences, 16(3), 1001-1015.

Vaghefi, S.A., Keykhai, M., Jahanbakhshi, F., Sheikholeslami, J., Ahmadi, A., Yang, H. and Abbaspour, K.C. (2019). The future of extreme climate in Iran. Scientific Reports. 9(1), 1464.

Management of Natural Ecosystems
Volume 5, Issue 4, Winter 2026, 13-24
http://emj.ardakan.ac.ir/article_735564.html

Comparative Analysis of Runoff in the Isfahans' Counties Using Remote Sensing and the SCS-CN Model in Google Earth Engine

Negar Nourmahnad [*1], Hadi Siasar [2]

CC BY

Research Article

1. Assistant Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran.

negar.nourmahnad@pnu.ac.ir

* Corresponding author

2. Assistant Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran.

hadisiasar@pnu.ac.ir

Article Code: 2512-1145
Countinus Pagination: 1206-1217

Received: 28 December 2025
Accepted: 30 April 2026
Online: 08 May 2026
Review speed: 124 days

Citation:
Nourmahnad, N., and Siasar, H. (2026). Comparative Analysis of Runoff in the Isfahans' Counties Using Remote Sensing and the SCS-CN Model in Google Earth Engine. Management of Natural Ecosystems, 5(4), 13-24.

Abstract

Accurate estimation of surface runoff in arid and semi-arid regions is fundamentally important for integrated water resource management, flood control, and planning for sustainable development. Isfahan Province, as one of the central industrial and agricultural hubs of Iran, has faced both water scarcity crisis and concurrent flood hazards in recent years, emphasizing the need for accurate assessment of runoff potential. This study aims to conduct a comparative analysis of annual runoff across 19 counties in Isfahan Province during a 26-year period (2000–2025) using the Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) method implemented on the Google Earth Engine cloud platform. Precipitation data were sourced from the CHIRPS database, land use data from MODIS database, and soil information from the OpenLandMap dataset. The results showed that the spatial distribution of runoff follows a west-east gradient, such that mountainous and western counties of the province, including Fereydunshahr and Semirom, recorded the highest annual runoff with averages of 354.63 mm and 295.76 mm, respectively, while eastern counties such as Naein, with an average runoff of 70.55 mm, recorded the lowest annual runoff. The provincial average annual runoff was calculated at 166.41 mm with an average runoff coefficient of 81.16 Spatial coefficients of variation for precipitation and runoff across the province were 53.33% and 57.65%, respectively, indicating significant spatial heterogeneity of these parameters. The findings provide a scientific basis for rainwater harvesting planning, watershed structure design, and flood risk management in Isfahan Province.

Key Words:

Runoff coefficient, Google Earth Engine, Isfahan Province, Arid regions, Water resource management.

DOI: 10.22034/emj.2026.2082316.1145
ISSN: 2821-0182