نشریه

ترویج و توسعه آبخیزداری
Extension and Development of Watershed Management

سال یازدهم- شماره ۴۰- بهار ۱۴۰۲ Vol. 11, No. 40, Spring 2023

ارزیابی اثربخشی اقدامات زیستی و مهندسی مؤثر بر خدمات هیدرولوژیک حوزه آبخیز افین

رضا چمنی[۱]، مهدی وفاخواه[۲*] و سید حمیدرضا صادقی[۳]

تاریخ دریافت ۱۴۰۱/۰۱/۲۱ تاریخ پذیرش ۱۴۰۲/۰۳/۱۶

DOR: 20.1001.1.26454777.1402.11.40.5.4

چکیده

امروزه برای مقابله با حوادث متأثر از تخریب و بهبود عملکرد آبخیزها، اقدامات آبخیزداری به‌عنوان رهیافتی مدیریتی و اجرایی توسط مدیران و سیاست‌گذاران مورداستفاده قرارگرفته است. لذا در این پژوهش سعی شده است میزان اثربخشی اقدامات زیستی و مهندسی پیش‌بینی‌شده در آبخیز افین در شهرستان زیرکوه استان خراسان جنوبی بر متغیرها و خدمات هیدرولوژیک مورد ارزیابی قرار گیرد. بر این اساس اطلاعات مرتبط از سازمان‌های مربوطه اخذ و مورداستفاده قرار گرفت. در این پژوهش تغییر متغیرهای CN، NDVI و شیب آبراهه اصلی موردبررسی قرار گرفت و اثر آن‌ها بر زمان تمرکز، ارتفاع و حجم رواناب تعیین شد. نتایج پژوهش حاکی از آن است که پس از اجرای اقدامات آبخیزداری، CN از ۱/۳۸ تا ۲۹/۹۲ درصد کاهش، NDVI از ۴۲/۴۴ تا ۸۷/۵۰ درصد افزایش و شیب آبراهه نیز ٦٦/٦٧ درصد کاهش می‌یابد. هم‌چنین ارتفاع و حجم رواناب نیز از ۷/۵۱ تا ۷٦/٦٦ درصد کاهش می‌یابد. اجرای اقدامات آبخیزداری نقش متفاوتی در زیرآبخیزهای مختلف داشته است و با توجه به شرایط و وضعیت زیرآبخیزها، اثربخشی آن متفاوت بوده است. لذا پیشنهاد می‌گردد در راستای مدیریت بهتر و برخورداری از بازدهی بیش‌تر راهکارهای اجرایی، مدیریت جامع حوزه آبخیز با رویکرد سلامت‌محور موردتوجه مسئولین و مدیران قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: ***اقدامات آبخیزداری، پایش اقدامات، راهکار مشکل محور، مدیریت جامع حوزه آبخیز***

مقدمه

در دهه‌های اخیر رشد جمعیت و افزایش روزافزون به آب و مواد غذایی در بسیاری از مناطق جهان، سبب بروز مشکلات متعدد ازجمله بهره‌برداری غیراصولی، استفاده بیش‌ازحد از منابع طبیعی و مداخلات سودجویانه شده است [۲]. این امر تخریب هرچه بیش‌تر و سریع‌تر آبخیزها و هدر رفت منابع آب‌وخاک را در پی داشته است [۱۸]. به‌عبارتی‌دیگر تخریب حوزه‌های آبخیز متأثر از فعالیت‌های انسانی، تغییرات اقلیمی، بروز خشک‌سالی‌ها و رخداد سیلاب‌های متعدد [٦، ۱۱ و ۱۵] تعادل رفتاری حوزه‌های آبخیز در ارائه خدمات موردنیاز جوامع محلی و سایر ذی‌نفعان را در زمینه‌های مختلف ازجمله هیدرولوژی و مدیریت منابع آب با مشکل مواجه ساخته است [۲]. زمانی بر اهمیت این امر افزوده می‌شود که تخریب حوزه آبخیز به‌عنوان بستر فعل و افعالات طبیعی، اقتصادی، اجتماعی، اکولوژیکی و سیاسی و منبع تولیدات غذایی، باعث گسترش مهاجرت غیرقابل‌برگشت، بروز فقر اقتصادی، فرهنگی و موارد مشابه می‌گردد [٤]. لذا مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز و استفاده از اصول مدیریتی و انسانی [۲۳] در کاهش تخریب خاک، افزایش و بهبود پوشش گیاهی، افزایش جریان پایه، افزایش آبدهی منابع آب (چشمه و قنات)، جلوگیری از سیلاب با افزایش زمان تمرکز و زبری سطح خاک [۲]، کاهش دبی پیک سیلاب [۲۲] و هم‌چنین ارتقاء وضعیت اقتصادی و اجتماعی ساکنین حوزه آبخیز با تکیه‌بر بهره‌برداری پایدار از منابع آب و حفظ سرمایه اولیه ضروری است [۲۳]. در این راستا اجرای اقدامات آبخیزداری ازجمله اقدامات زیستی، مهندسی و مهندسی-زیستی راه‌کاری مناسب، برای تحقق این امر و کاهش اثرات نامطلوب مشاهده‌شده در حوزه‌های آبخیز از دیرباز مورداستفاده قرارگرفته است [۳]. اما تعادل در جانمایی و اجرای راه‌کارهای پیش‌بینی‌شده در آبخیزهای دارای اولویت و هم‌چنین مشکل محور بودن اقدامات ارائه‌شده از سوی مدیران و برنامه‌ریزان سبب افزایش کارایی و بهره‌وری از منابع آب‌وخاک حوزه‌های آبخیز خواهد شد [۲۰ و ۲٦]. بنابراین آگاهی از میزان تأثیر و ارزیابی عملکرد اقدامات آبخیزداری در آبخیزها می‌تواند کمک شایانی در اتخاذ تدابیر و تصمیم‌گیری صحیح به مدیران ارائه نماید [۲۳]. در این راستا مطالعات متعددی به ارزیابی اثرات

۱- دانشجوی دکتری، علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۲- * استادان گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران vafakhah@modares.ac.ir

۳- استاد گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

اقدامات آبخیزداری اجراشده یا سناریو محور در آبخیزهای مختلف پرداخته‌اند. به‌طور نمونه حسنی و ملکی [۱٤] با ارزیابی طرح‌های آبخیزداری اجراشده بر زندگی جوامع محلی در آبخیز حسن ابدال در شهرستان زنجان بیان داشتند طرح‌های اجراشده، موجب کنترل سیلاب، کاهش مهاجرت و افزایش درآمد کشاورزی و دامداری گردیده است. در پژوهشی دیگر معتمد وزیری و همکاران [۱۹] به ارزیابی اثربخشی سازه‌های کنترل سیلاب در آبخیز گلاب‌دره-دربند تهران پرداختند. نتایج ارزیابی هم‌زمان بارش و سیلاب در آبخیز موردمطالعه، در قبل و بعد از اجرای طرح‌های آبخیزداری نشان داد که اقدامات آبخیزداری، تأثیری مستقیم در کاهش سیلاب، افزایش نفوذ سیلاب و کنترل آن داشته است و این تأثیر، در سیلاب‌های با دوره بازگشت بالا، بیش‌تر بوده است به‌طوری‌که دبی پیک و حجم سیلاب در دوره برگشت‌های ۱۰، ۲۵ و ۱۰۰ ساله، بعد از اجرای طرح‌های آبخیزداری، به ترتیب ۱۰، ٤/۲۷ و ٤۰ درصد کاهش‌یافته است. هم‌چنین سرائی‌تبریزی و خراسانی [۲٤] به ارزیابی میدانی تأثیر اقدامات آبخیزداری و مدیریت پایدار منابع آب در آبخیز نشر همدان پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد در سطح این آبخیز ۸٥٦ سازه خشکه‌چین، سنگ و ملات و گابیونی احداث‌شده است که تأثیر احداث سازه‌های آبی مثبت بوده و منجر به افزایش منابع آبی منطقه شده است. علاوه بر این داودی و همکاران [۸] در پژوهش خود با ارزیابی شاخص‌های قابل‌اندازه‌گیری تحت تأثیر پروژه‌های آبخیزداری و بررسی ارتباط و اثر اجرای این طرح‌ها بر شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی و طبیعی در چهار حوزه آبخیز شهری در سطح استان اصفهان بیان داشتند اختلاف معنی‌داری در شاخص‌های اجتماعی و طبیعی از دیدگاه بهره‌برداران در سطح احتمال پنج درصد بین دو دوره زمانی قبل و بعد از اجرای طرح در همه حوزه‌های آبخیز وجود دارد. به‌عبارتی‌دیگر نگرش مردم به اجرای اقدامات آبخیزداری در سطح حوزه‌های آبخیز مثبت ارزیابی شد که اثر پذیرش اجتماعی طرح‌ها بر روند موفقیت طرح نیز مشاهده‌شده است. در هند نیز یونیال و همکاران [۲۷] با استفاده از مدل SWAT بیان داشتند با اجرای اقدامات آبخیزداری تغذیه آبخوان، جریان پایه و نفوذ به دلیل اجرای طرح‌های مدیریتی افزایش‌یافته است. هم‌چنین لوسی و همکاران [۱۷] به ارزیابی سیل رخداده در سال ۲۰۱۱ در تایلند پرداختند که آیا تصمیمات عملیاتی سازه‌های کنترل سیل می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی اثرات سیل را در مناطق پایین‌دست کاهش دهد؟ نتایج این پژوهش نشان داد که تغییر طرح‌های عملیاتی می‌تواند تنها عمق سیل را کاهش دهد و درعین‌حال پیشرفت‌های بسیار محدودی را ازنظر مناطق آب‌گرفته برای حوضه پایین رودخانه ارائه دهد. شبیه‌سازی ۱۷ سناریوی پیش‌بینی‌شده در این حوزه آبخیز بیان‌گر آن است که مناطق دارای خطر آب‌گرفتگی حداکثر تا ۳/٦۸ درصد کاهش می‌یابد و نقش محدود این سازه‌ها در هنگام وقایع سیلاب‌های شدید را نشان می‌دهد. جمع‌بندی پژوهش‌های پیشین به‌خوبی نشان‌دهنده اثربخشی متفاوت اقدامات آبخیزداری اجراشده در آبخیزهای مختلف است. به‌عبارتی‌دیگر طراحی، اجرا و درنتیجه کارایی اقدامات آبخیزداری وابسته به شرایط مختلف محیطی و اقتصادی- اجتماعی آبخیز است که ارزیابی کارایی آن‌ها را اهمیت بخشیده است. با توجه به گسترش بلایای طبیعی و تخریب انسانی حوزه‌های آبخیز و هم‌چنین صرف هزینه‌های هنگفت در اجرای طرح‌های آبخیزداری، اهمیت ارزیابی اثربخشی آن‌ها را دوچندان کرده است. حوزه آبخیز افین در خراسان جنوبی، یکی از قطب‌های تولید زرشک، بهره‌وری اقتصادی و معیشت جوامع انسانی آن به‌شدت به بارندگی و آبدهی چشمه‌ها و قنوات وابسته است که اجرای اقدامات آبخیزداری می‌تواند در کنترل سیلاب و افزایش آبدهی منابعی آبی آن نقشی مؤثر ایفا کند. لذا در این پژوهش سعی شده است اجرای سناریو محور اقدامات آبخیزداری بر خدمات هیدرولوژیک قبل از اجرای آن مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه موردمطالعه

آبخیز افین با مساحتی بالغبر ٦۰ هزار هکتار در استان خراسان جنوبی و شهرستان زیرکوه واقع‌شده است. این آبخیز از پنج زیرآبخیز بزرگ تشکیل‌شده است که در خروجی به ایستگاه هیدرومتری افین منتهی می‌شوند. به لحاظ تغییرات ارتفاعی آبخیز افین دامنه‌ای از ۱٤۰٤ تا ۲۷۰۷ متر از سطح دریا را شامل می‌شود. متوسط بارندگی آبخیز افین نیز ۱۳۱/۸ میلی‌متر و متوسط دمای آن ۱٤/۷ درجه سانتی‌گراد است [٥ و ٦]. شکل ۱ موقعیت حوزه آبخیز افین را نشان می‌دهد.

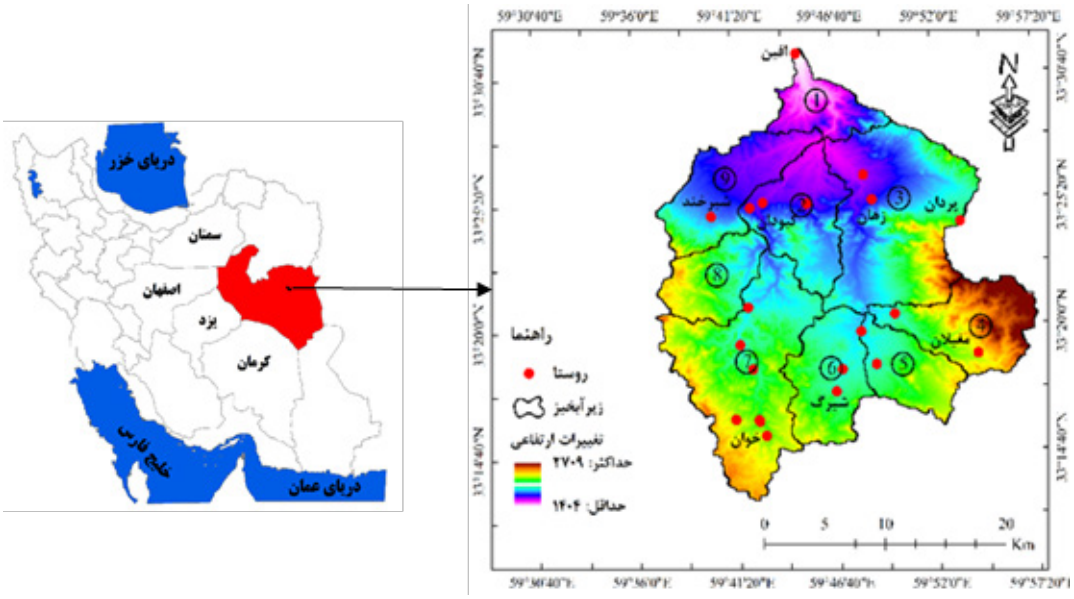
تهیه اطلاعات و نقشه‌های پایه و ایجاد پایگاه اطلاعاتی

برای انجام پژوهش حاضر، اطلاعات و نقشه‌های پایه موردنیاز آبخیز افین ازجمله برنامه‌های توسعه‌ای شامل داده‌های اقلیمی، هیدرولوژیکی، خاک‌شناسی، زمین‌شناسی، کاربری اراضی و اقدامات آبخیزداری پیش‌بینی‌شده از منابع و مراجع مربوطه تهیه و استخراج شد. سپس ذخیره‌گاه اطلاعاتی داده‌ها در محیط‌های Excel، ArcGIS، TerrSet و SPSS برای انجام پژوهش آماده شد.

کمی‌سازی اثربخشی اقدامات آبخیزداری

اقدامات مهندسی

برای تعیین نقش اقدامات مهندسی بر عملکرد آبخیز افین، زمان تمرکز در آبراهه موردبررسی قرار گرفت. بر این اساس شیب آبراهه به شیب حد (یک‌سوم شیب قبل از عملیات) تغییر یافت. هم‌چنین با استفاده از روش سرویس حفاظت خاک آمریکا (SCS)، ارتفاع و حجم رواناب قبل و بعد از عملیات آبخیزداری تعیین شد. در این پژوهش زمان تمرکز از رابطه ۱ با استفاده از روش کرپیچ تعیین شد. هم‌چنین ارتفاع رواناب ناشی از باران بر اساس رابطه (۲) محاسبه‌شده است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی و تغییرات ارتفاعی حوزه آبخیز افین

رابطه ۱ $t_c = 0.949(L^3/H)^{\wedge}0.385$ $t_c = 0.949(L^3/H)^{\wedge}0.3$

رابطه ۲ $$QT = \frac{(PT-0.2\,S)^2}{PT+0.8\,S}$$

در رابطه‌های ۱ و ۲: L طول آبراهه، H اختلاف ارتفاع، S ضریب نگهداشت سطحی، QT ارتفاع رواناب روزانه به میلی‌متر، PT ارتفاع بارندگی به میلی‌متر است. ضریب نگهداشت بر اساس رابطه (۳) و عامل بدون بعد به‌نام CN محاسبه شد [۱۶].

رابطه ۳ $$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

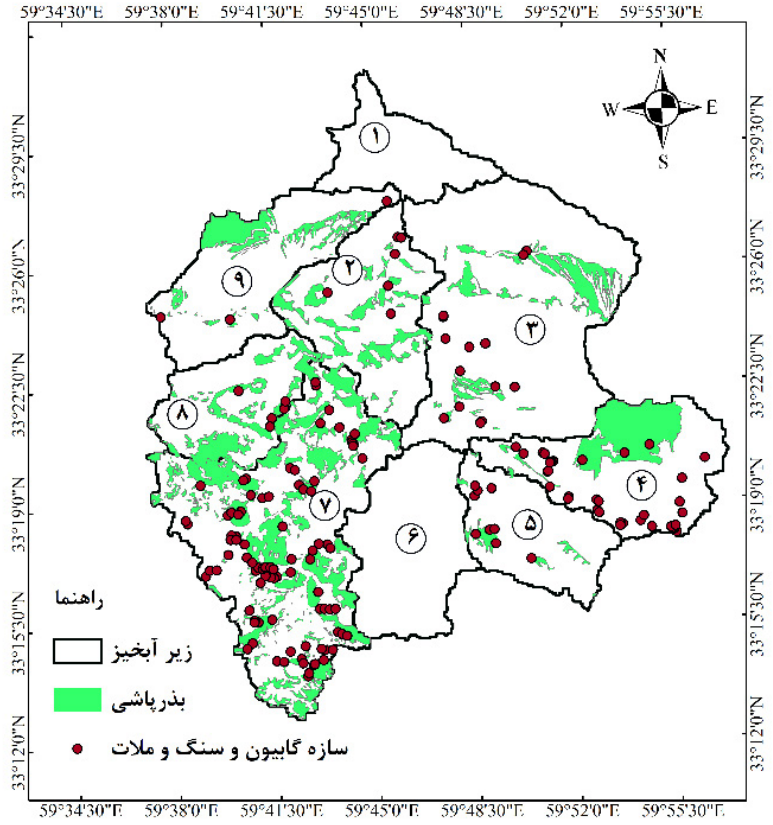
اقدامات زیستی

اقدامات زیستی مختلفی از قبیل بذرکاری، کپه‌کاری، نهال‌کاری و کنتورفارو در مطالعات آبخیزداری در حوزه آبخیز افین تعیین‌شده است که بر اساس بازدیدهای میدانی مشخص شد عملیات کنتورفارو در منطقه قابلیت اجرایی مناسبی ندارد. هم‌چنین درخت‌کاری نیز پس از مدتی به دلیل رخداد خشک‌سالی‌های مداوم با شکست مواجه شده است. لذا در راستای یکسان‌سازی اقدامات آبخیزداری قابل‌اجرا، تمام اقدامات آبخیزداری زیستی بذرپاشی در نظر گرفته شد. در ادامه برای تعیین نقش عملیات زیستی از شاخص‌های تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) و شماره منحنی (CN) استفاده شد [۲۱].

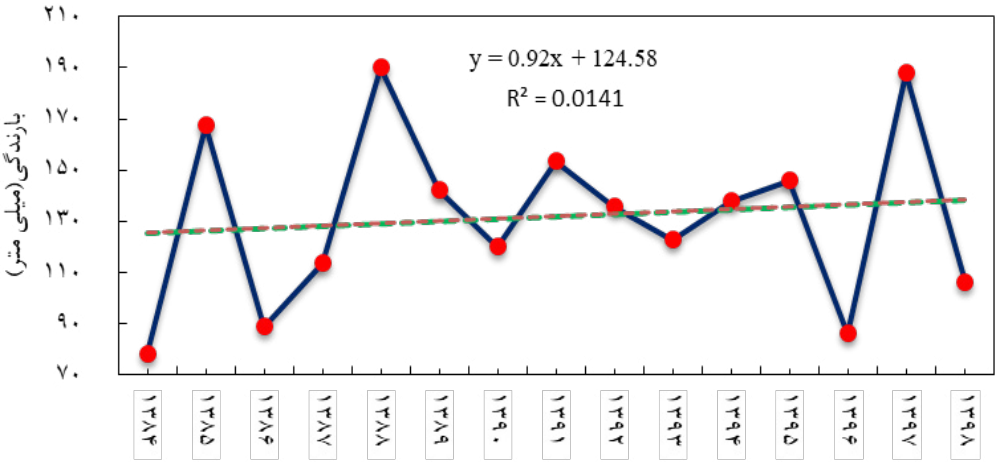
تعیین NDVI: با توجه وضعیت بارندگی منطقه و وجود سبزینگی، اردیبهشت‌ماه به‌عنوان حداکثر وجود پوشش گیاهی تعیین شد و شاخص NDVI سال ۱۳۹۸ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ باقدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر و با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین و تصحیحات اتمسفری و رادیوومتری به‌عنوان شرایط قبل اجرای اقدامات زیستی محاسبه شد. برای تعیین مقدار این شاخص بعد از اجرای اقدامات آبخیزداری، پس از اثبات ثابت بودن تغییرات یا وجود تغییرات جزئی در روند بارندگی در دوره دارای آمار بارندگی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۸، سال با بیش‌ترین بارندگی و طبعاً بیش‌ترین پوشش انتخاب گردید و میزان شاخص NDVI در آن تعیین شد و به‌عنوان مقدار این شاخص پس از اجرای اقدامات آبخیزداری مورداستفاده قرار گرفت [۳]. برای محاسبه شاخص NDVI از اختلاف بین باند مادون‌قرمز نزدیک (NIR) و نوار قرمز (RED) و مجموع این دو باند با استفاده از رابطه (٤) استفاده شد [۱۲].

رابطه ٤ $$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED}$$

تعیین شماره منحنی: با تعیین نوع اقدامات زیستی اجرایی، مراتع طبیعی پس از انجام اقدامات زیستی به‌عنوان مراتع دست کاشت در نظر گرفته شد. لذا با توجه به نوع مراتع و گروه هیدرولوژیکی خاک و عامل شرایط هیدرولوژیک خاک، شماره منحنی جدید تعیین گردید [۲۸].



شکل ۲: جانمایی عملیات مهندسی و زیستی پیش‌بینی‌شده در آبخیز افین



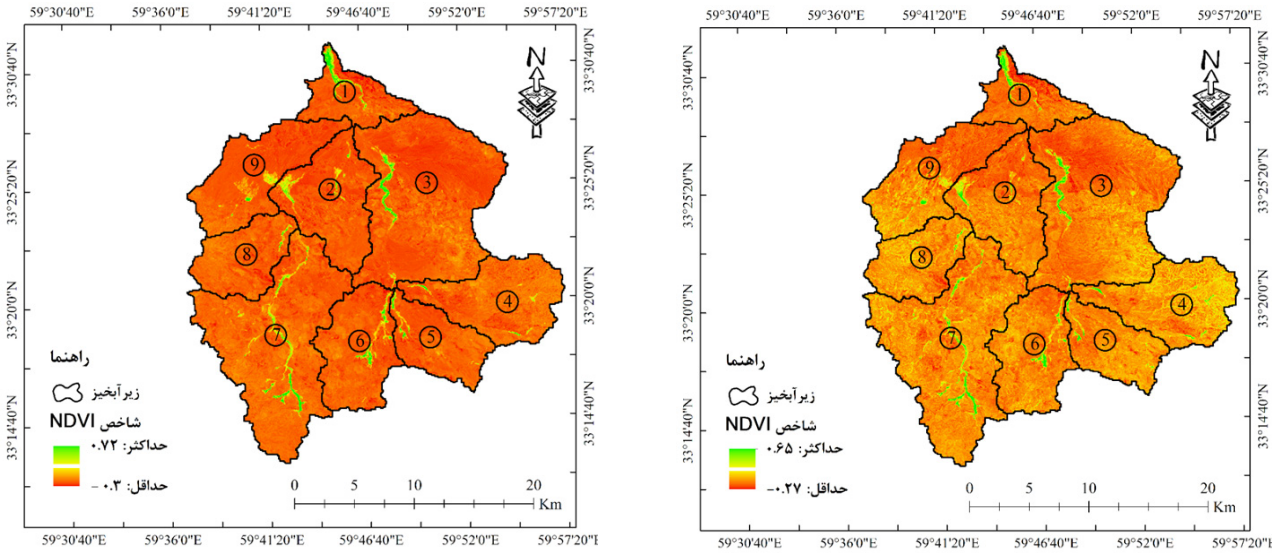
شکل ۳: توزیع زمانی بارندگی سالانه در طول دوره آماری در حوزه آبخیز افین خراسان جنوبی

نتایج

متغیرهای متأثر از اقدامات آبخیزداری

متغیر NDVI

بارندگی سالانه و روند تغییرات آن در طول دوره آماری در شکل ۳ نشان داده‌شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد بارندگی از ابتدا به انتها دوره آماری با شیب جزئی افزایش‌یافته است. در شکل ٤ مقادیر متغیر NDVI قبل و بعد از انجام اقدامات زیستی آبخیزداری نشان داده‌شده است. هم‌چنین در جدول ۱ نیز تغییرات آن در زیرآبخیزهای آبخیز افین ارائه‌شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود زیرآبخیز ۳ به مقدار ۸۷/۵۰ درصد بیش‌ترین افزایش را دارا بوده است درحالی‌که زیرآبخیز ٤ با مقدار ٤۲/٤٤ درصد کم‌ترین مقدار افزایش را به خود اختصاص داده است. علاوه بر این شاخص NDVI در زیرآبخیزهای ۲، ۵، ۷، ۸ و ۹ نیز به ترتیب ٦۲/۵۰، ٦۲/۵۰، ٥٤/۳۹، ۷۷/۷۷، ۷۵/۰۰ و ۷۵/۰۰ درصد افزایش‌یافته است. زیرآبخیزهای یک و شش فاقد اقدامات زیستی هستند و درصد افزایش آن‌ها صفر است. به‌طورکلی در سطح آبخیز افین شاخص NDVI به میزان ٦۹/۲٤ درصد افزایش‌یافته است.



شکل ٤: توزیع مکانی متغیر NDVI قبل (سمت راست) و بعد (سمت چپ) از اجرای اقدامات آبخیزداری در حوزه آبخیز افین

جدول ۱: تغییرات مقادیر متغیر NDVI قبل و بعد از انجام اقدامات زیستی

دوره	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹
قبل اقدامات زیستی	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۸
بعد اقدامات زیستی	۰/۰۹	۰/۱۳	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۰۸	۰/۱٦	۰/۱٤	۰/۱٤
درصد تغییرات	۰/۰۰	٦۲/۵۰	۸۷/۵۰	٤٤/٤٤	٦۲/۵۰	۰/۰۰	۷۷/۷۷	۷۵/۰۰	۷۵/۰۰

جدول ۲: تغییرات مقادیر متغیر شماره منحنی قبل و بعد از انجام اقدامات زیستی

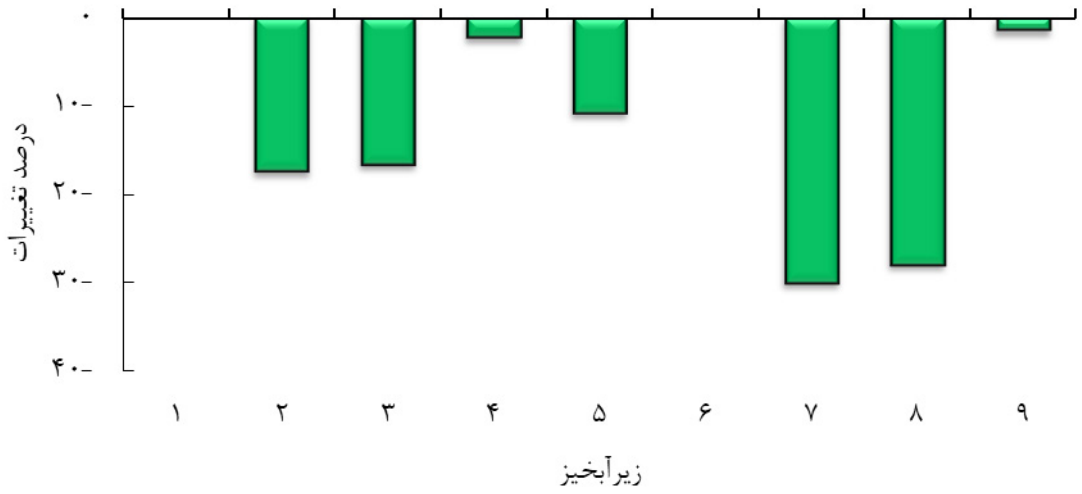
دوره	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹
قبل اقدامات زیستی	٦۹	۷۲	۷۲	٦۹	٦۵	۷۰	۷۰	۷۰	۷۲
بعد اقدامات زیستی	٦۹	٦۱	٦۲	٦۸	۵۹	۷۰	۵٤	۵۵	۷۱
درصد تغییرات	۰/۰۰	-۱۷/۳٦	-۱٦/۵۵	-۲/۱٦	-۱۰/۷۱	۰/۰۰	-۲۹/۹٦	-۲۷/۸۹	-۱/۳۸

جدول ۳: تغییرات مقادیر شیب آبراهه اصلی قبل و بعد از انجام اقدامات زیستی

دوره	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹
قبل اقدامات مهندسی	۸/٤۸	٤/۵۹	٦/۲۷	۹/۷۹	٦/۵۲	٤/٤۲	۵/۰۱	٦/۵۹	۷/۷۰
بعد اقدامات مهندسی	۲/۸۳	۱/۵۳	۲/۰۹	۳/۲٦	۲/۱۷	٤/٤۲	۱/٦۷	۲/۲۰	۲/۵۷
درصد تغییرات	-٦٦/٦۷	-٦٦/٦۷	-٦٦/٦۷	-٦٦/٦۷	-٦٦/٦۷	۰/۰۰	-٦٦/٦۷	-٦٦/٦۷	-٦٦/٦۷

متغیر شماره منحنی (CN)

متغیر مهم دیگر متأثر از اقدامات آبخیزداری شماره منحنی است که تغییرات آن در شکل ۵ و جدول ۲ نسبت به قبل از اعمال سناریوهای مدیریتی نشان داده‌شده است. بر این اساس زیرآبخیز شماره ۷ با ۲۹/۹۲ درصد کاهش بیش‌ترین کاهش را به خود اختصاص داده است. این در حالی است که کم‌ترین کاهش نیز در زیرآبخیز ۹ به میزان ۱/۳۸ درصد مشاهده‌شده است. زیرآبخیزهای ۲، ۳، ۵، ۷ و ۸ نیز به ترتیب مقادیر کاهش ۱۷/۳٦، ۱٦/۵٤، ۱۰/۷۱، ۲۹/۹٦ و ۲۷/۸۹ درصد را تجربه کرده‌اند. زیرآبخیز ۱ و ٦ نیز به دلیل عدم اجرای اقدامات زیستی فاقد هرگونه تغییر شماره منحنی هستند. به‌طور متوسط شماره منحنی ۱۵/۰٤ درصد کاهش داشته است.



شکل ۵: تغییرات متغیر شماره منحنی بعد از اجرای اقدامات آبخیزداری در حوزه آبخیز افین

جدول ٤: تغییرات مقادیر زمان تمرکز (دقیقه) قبل و بعد از انجام اقدامات زیستی

دوره	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹
قبل اقدامات مهندسی	۲۲٥/٤۹	۲۱۹/۸٥	۱۸۷/۱٥	۹۸/٥۸	۸٥/۷۰	۱۰۰/۰۹	۱٤۹/٤۳	۸٦/۸۱	۹٤/۷۰
بعد اقدامات مهندسی	۳۳٤/٥۲	۳۳٥/٦۰	۲۸٥/٦۸	۱٥۰/٤۹	۱۳۰/۸۳	۱۰۰/۰۹	۲۲۸/۱۱	۱۳۲/٥۲	۱٤٤/٥٥
درصد تغییرات	۳۲/٥۹	۳٤/٤۹	۳٤/٤۹	۳٤/٤۹	۳٤/٤۹	۰	۳٤/٤۹	۳٤/٤۹	۳٤/٤۹

شیب آبراهه اصلی

در جدول ۳ شیب آبراهه اصلی قبل و بعد از انجام اقدامات مهندسی و درصد تغییرات آن نشان داده‌شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود زیرآبخیز ٤ با ۹/۷۹ و زیرآبخیز ۲ با ٤/٥۹ درصد به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین شیب را دارا هستند. پس از اعمال اقدامات مهندسی، شیب آبراهه به شیب حد تقلیل یافت که ٦٦/٦۷ درصد از میزان شیب آبراهه کاسته شده است.

ارزیابی متغیر هیدرولوژیک مؤثر از اقدامات آبخیزداری

زمان تمرکز

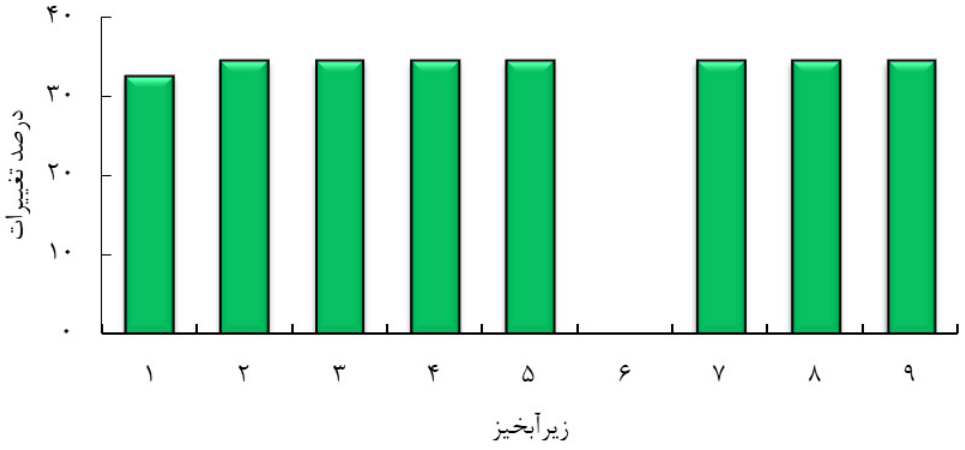
زمان تمرکز یکی از متغیرهایی است که تحت تأثیر اقدامات مهندسی آبخیزداری مورد ارزیابی قرار گرفت که تغییرات آن در شکل ٦ و جدول ٤ نشان داده‌شده است. بر این اساس زمان تمرکز در زیرآبخیز ۱ به میزان ۳۲/٥۹ درصد و سایر زیرآبخیزها به میزان ۳٤/٤۸ درصد افزایش‌یافته است. زیرآبخیز ٦ نیز فاقد اقدامات مهندسی است و زمان تمرکز در آن تغییر پیدا نکرده است. به‌طور متوسط زمان تمرکز در حوزه آبخیز افین ۳۰/٤٤ درصد افزایش‌یافته است.

حجم رواناب

در جدول ٥ و شکل ۷ حجم رواناب قبل و بعد از اجرای اقدامات آبخیزداری و هم‌چنین میزان تغییرات آن نشان داده‌شده است. بر این اساس، زیرآبخیزهای ٤ و ۷ به ترتیب با ۰/٤۰ و ۲/۳٤ میلیون مترمکعب به ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین حجم رواناب را قبل از اجرای عملیات آبخیزداری داشته‌اند. بعد از اجرای اقدامات زیستی و کاهش شماره منحنی و هم‌چنین افزایش NDVI حجم رواناب تولیدی کاهش‌یافته است به‌طوری‌که بعد از اجرای اقدامات آبخیزداری زیرآبخیزهای ٥ و ۳ به ترتیب با ۰/۲۲ و ۱/٥۰ میلیون مترمکعب کم‌ترین و بیش‌ترین حجم رواناب را به خود اختصاص داده‌اند. تغییرات رواناب نیز حاکی از آن است که زیرآبخیزهای ۹ و ۷ به ترتیب با ۷/٥۱ و ۷٦/٦٦ درصد کم‌ترین و بیش‌ترین کاهش رواناب را دارا هستند. زیرآبخیزهای ۱ و ٦ فاقد عملیات زیستی هستند و حجم رواناب در آن‌ها تغییر نکرده است. حجم رواناب به‌طور متوسط ۳٤/۹٤ درصد کاهش‌یافته است.

ارتفاع رواناب

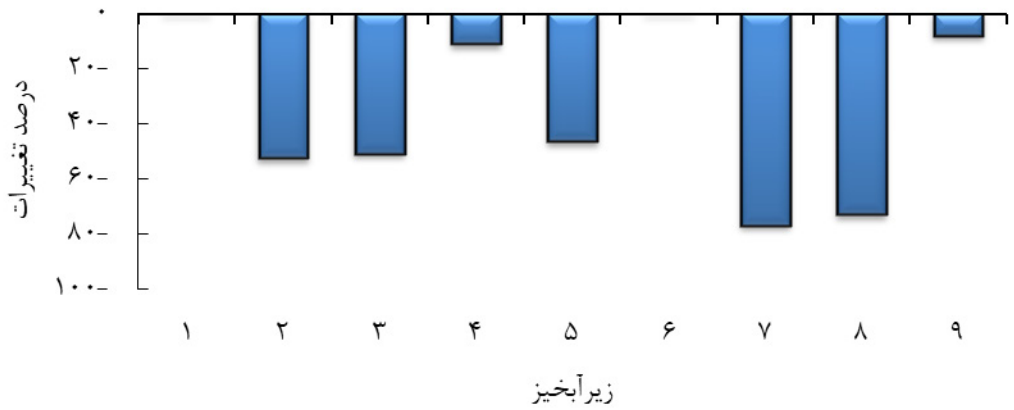
در جدول ٦ و شکل ۸ به ترتیب ارتفاع رواناب و تغییرات آن در زیرآبخیزهای مختلف نشان داده‌شده است. همان‌طور که مشاهده



شکل ٦: تغییرات زمان تمرکز بعد از اجرای اقدامات آبخیزداری در حوزه آبخیز افین

جدول ٥: تغییرات مقادیر حجم رواناب (میلیون مترمکعب) قبل و بعد از انجام اقدامات زیستی

دوره	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹
قبل اقدامات زیستی	۰/٦۱	۱/۳۳	۳/۰۲	۰/۷۸	۰/٤۰	۰/۹۳	۲/۳٤	۰/۷۹	۱/۳٤
بعد اقدامات زیستی	۰/٦۱	۰/٦٤	۱/٥۰	۰/۷۰	۰/۲۲	۰/۹۳	۰/٥٥	.۰/۲۲	۱/۲٤
درصد تغییرات	۰/۰۰	-٥۲/۱۸	-٥۰/٤٥	-۱۰/٦٦	-٤٦/۱۷	۰/۰۰	-۷٦/٦٦	-۷۲/۷٤	-۷/٥۱

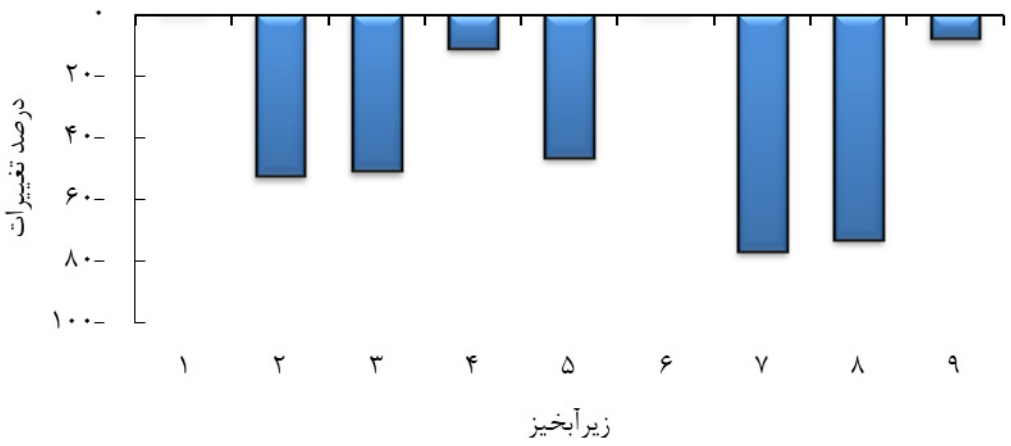


شکل ۷: تغییرات حجم رواناب بعد از اجرای اقدامات آبخیزداری در حوزه آبخیز افین

جدول ٦: تغییرات مقادیر ارتفاع رواناب (میلی‌متر) قبل و بعد از انجام اقدامات زیستی

دوره	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹
قبل اقدامات زیستی	۱۸/٥۱	۲۱/۷٦	۲۲/۰۸	۱۲/٥۲	۹/۸۳	۱٦/٤۸	۱۸/۰۳	۱۹/۰٥	۲۱/۹۸
بعد اقدامات زیستی	۱۸/٥۱	۱۰/٤۰	۱۰/۹٤	۱۱/۱۹	٥/۲۹	۱٦/٤۸	٤/۲۱	٥/۱۹	۲۰/۳۳
درصد تغییرات	۰/۰۰	-٥۲/۱۸	-٥۰/٤٥	-۱۰/٦٦	-٤٦/۱۸	۰/۰۰	-۷٦/٦٦	-۷۲/۷٥	-۷/٥۱

می‌شود زیرآبخیزهای ٥ و ۸ به ترتیب با ۹/۸۳ و ۱۹/۰٥ میلی‌متر کم‌ترین و بیش‌ترین ارتفاع رواناب را به خود اختصاص داده‌اند. پس از اجرای اقدامات زیستی در آبخیز افین و تغییر NDVI و CN، ارتفاع رواناب نیز کاهش‌یافته است به‌طوری‌که زیرآبخیزهای ۷ و ۹ به ترتیب با ٥/۱۹ و ۲۱/٥۸ میلی‌متر به ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین ارتفاع رواناب بعد از اجرای اقدامات آبخیزداری را دارا هستند. تغییرات رواناب نیز حاکی از آن است که زیرآبخیزهای ۱ و ۷ به ترتیب با ۱/۸٥ و ۷٦/٦٦ درصد کم‌ترین و بیش‌ترین کاهش رواناب



شکل ۸: تغییرات ارتفاع رواناب بعد از اجرای اقدامات آبخیزداری در حوزه آبخیز افین

را دارا هستند. زیرآبخیزهای ۱ و ٦ فاقد عملیات زیستی هستند و حجم رواناب در آن‌ها تغییر نکرده است. ارتفاع رواناب به‌طور متوسط ۳٤/۹٤ درصد کاهش‌یافته است.

بحث و نتیجه‌گیری

شیب آبراهه یکی از مهم‌ترین متغیرهای مؤثر بر سرعت تشکیل رواناب و هم‌چنین تجمع جریان و وقوع سیلاب در آبخیزهای مختلف است که با انجام اقدامات مهندسی تعدیل می‌شود. بر اساس جدول ۳ پس از اجرای اقدامات مهندسی، شیب آبراهه اصلی در زیرآبخیزهای مختلف تا ٦٦/٦۷ درصد کاهش‌یافته است. این کاهش شیب سبب تغییر بارز در زمان تمرکز جریان در آبراهه می‌گردد و سرعت جریان را کاهش می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۷ نیز ارائه‌شده است تحت تأثیر اقدامات مهندسی آبخیزداری زمان تمرکز در زیرآبخیزهای مختلف افزایش‌یافته است. پوشش گیاهی یکی دیگر از عوامل مهم و تأثیرگذار بر سامانه عملکردی حوزه‌های آبخیز است و نقش اساسی در کاهش سیلاب و فرسایش و رسوب دارد. تقویت پوشش گیاهی تحت تأثیر اقدامات آبخیزداری یکی از رهیافت‌های مدیریتی جوامع انسانی در مقابله با تهدیدات انسانی تعیین‌شده است. همان‌طوری که در شکل ٦ نشان داده‌شده است بارندگی طی دوره آماره با شیب جزئی افزایش‌یافته است اما مقدار CN کاهش‌یافته است. لذا با توجه به ثبات تقریبی در بارندگی، بذرپاشی می‌تواند سبب افزایش پوشش سطح زمین و مقدار NDVI گردد. در همین راستا بر اساس شکل ۳ و جدول ۱ اجرای اقدامات زیستی در سطح اراضی مستعد بذرپاشی آبخیز افین حاکی از آن است که با اجرای این اقدام مدیریتی، میزان سبزینگی در سطح اراضی موردنظر افزایش‌یافته است به‌طوری‌که در سطح زیرآبخیزهای مختلف از ٤۲/٥٤ تا ۸۳/۸۹ درصد افزایش مقدار شاخص NDVI به‌خوبی مشاهده می‌شود. با افزایش مقدار NDVI شماره منحنی نیز کاهش‌یافته است که در شکل ٦ و جدول ۲ نمایش داده‌شده است. بهبود پوشش گیاهی و کاهش سطح اراضی بدون پوشش در سطح حوزه آبخیز افین سبب شده است که ارتفاع رواناب ناشی از حداکثر بارش ۲٤ ساعته و هم‌چنین حجم رواناب با کاهش مواجه شود. لذا همان‌طور که در شکل ۹ نشان داده‌شده است ارتفاع رواناب متأثر از اقدامات زیستی آبخیزداری از ۱/۸٥ تا ۷٦/٦٦ درصد در زیرآبخیزهای مختلف کاهش را تجربه کرده است. با کاهش ارتفاع رواناب، حجم رواناب سطحی نیز با کاهش مواجه شده است که بر اساس شکل ۸ و تحت تأثیر اقدامات زیستی آبخیزداری حجم رواناب از ۱/۸٥ و ۷٦/٦٦ درصد در زیرآبخیزهای مختلف کاهش‌یافته است. مطالعات انجام‌شده توسط طالبی و همکاران [۲٥] با استفاده از الگوریتم توزیع در آبخیز زوجی کاخک نشان داد طی سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱٤، اجرای اقدامات آبخیزداری به‌طور ۱۰۰ درصد بر کاهش جریان خروجی از آبخیز تأثیر داشته است، اما در جریان‌های حجم بیش‌تر بین ۳۸/۲ تا ۷٤/۲ درصد سبب کاهش حجم جریان خروجی شده است که در راستای نتایج این پژوهش است. هم‌چنین احمدآبادی و همکاران [۱] در ارزیابی و بررسی تحلیل اثرات اقدامات آبخیزداری بر خصوصیات هیدروژئومورفولوژی حوضه آبریز عنبران چای با استفاده از مدل نیمه توزیعی SWAT دریافتند میانگین CN پیش از اقدامات از ۷٥/٦۸ به ٦۱/۲٤ در حال حاضر تغییر کرده که درنتیجه آن در افزایش نفوذپذیری و جریان‌های زیر قشری مشاهده‌شده است و نتایج این پژوهش را تعیین می‌کند. زمان تمرکز نیز متأثر از اقدامات آبخیزداری افزایش‌یافته است. در همین راستا ارزیابی عملکرد اقدامات مهندسی و زیستی آبخیزداری توسط دارابی و همکاران [۸] بر وضعیت سیل‌خیزی آبریز سد سیوند استان فارس با استفاده از اندازه‌گیری ارتفاع چکدم‌ها، طول مخزن و شیب آبراهه‌ها نشان داد پروژه‌های آبخیزداری موجب افزایش متغیرهایی ازجمله زمان تمرکز و کاهش ۷۲ درصدی در حجم سیلاب سالانه شده است. در صورت رخداد حداکثر بارش ۲٤ ساعته نیز سیل‌خیزی منطقه به علت بهبود کاربری‌های مرتعی (از وضعیت ضعیف به خوب) و احداث سازه‌های آبخیزداری کاهش‌یافته است. در پژوهشی دیگر مطالعات حیدری مورچه‌خوردتی و صبوحی [۱۳] در حوزه آبخیز بودجان دهاقان نیز نشان‌دهنده آن است که احداث بندهای آبخیزداری با کاهش سرعت جریان، اثرات مخرب سیلاب‌های

فصلی را کاهش داده و با افزایش زمان نفوذ آب، سبب بهبود تغذیه آبخوان شده است. هم‌چنین فروتن [۱۰] در پژوهشی با تلفیق روش شماره منحنی، AHP و GIS اقدام به تهیه نقشه حساسیت به سیل نمود و نقش اقدامات زیستی آبخیزداری در حساسیت به سیلاب را موردبررسی قرار داد. نتایج نشان داد که عامل شماره منحنی دارای بیش‌ترین درصد وزنی (۲۷/٤٤) و نفوذپذیری سنگ‌ها دارای کم‌ترین درصد وزنی (۳/۲۰) است. مقایسه طبقه‌های سیل‌خیزی در شرایط فعلی و آینده نیز نشان داد که با انجام اقدامات بیولوژیکی آبخیزداری، طبقه‌های سیل‌خیزی زیاد و متوسط به ترتیب ۷/۳ و ۳۹/۷ درصد کاهش و طبقه‌های با حساسیت کم و خیلی کم به ترتیب ۲۲/۱۸ و ۲۲/۸۲ درصد افزایش خواهد یافت که هم‌راستا با نتایج این پژوهش است.

آبخیز افین در خراسان جنوبی یکی از مراکز مهم تولید زرشک است که تولیدات زراعی و جمعیت ساکن در آن به‌طور قابل‌توجهی به منابع آبی طبیعی چشمه و قنات متکی هستند. بروز خشک‌سالی‌های متعدد و هم‌چنین رگباری شدن بارندگی‌ها سبب کاهش آبدهی منابع آبی و رخداد سیلاب و هدر رفت آب‌شده است. به‌منظور بهبود شرایط موجود اقدامات مهندسی و زیستی رهیافت مدیران و برنامه‌ریزان در این حوزه آبخیز است. لذا در این پژوهش اثربخشی اقدامات مهندسی و زیستی بر متغیرهای مختلف و خدمات هیدرولوژیک ناشی از آن مورد ارزیابی قرارگرفته است. همان‌طور که نتایج نشان داد پس از اجرای اقدامات مهندسی و زیستی، متغیرهای CN، NDVI و شیب آبراهه اصلی در حوزه آبخیز به‌طور متوسط ۱۵/۰٤، ٦۹/۲٤ و ٦٦/٦۷ درصد افزایش‌یافته است. به‌تبع از تغییر این متغیرها، زمان تمرکز ۳۰/٤٤ درصد افزایش و ارتفاع و حجم رواناب به‌طور مشترک ۳٤/۹٤ درصد به‌طور متوسط در حوزه آبخیز افین کاهش‌یافته است. همان‌طور که نتایج پژوهش نشان داد اثر اجرای اقدامات آبخیزداری در زیرآبخیزهای مختلف متفاوت است و ارائه یک راهکار برای تمام آبخیز نتایج یکسانی نخواهد داشت. لذا توصیه می‌گردد ارائه راهکارهای متنوع و غیر سازه‌ای و مبتنی بر مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز و با مشارکت مردم بیش‌تر موردتوجه قرار گیرد. هم‌چنین به دلیل کاهش بارندگی‌ها، استفاده از روش‌های افزایش بهره‌وری در کشاورزی توأم با کاهش مصرف آب و استفاده بهینه در مصرف آب شرب، افزایش توان اقتصادی جوامع محلی و جلوگیری از مهاجرت نیروی کار می‌تواند قدمی مؤثر در حل بحران کم‌آبی موجود باشد.

منابع

1. Ahmad Abadi, A., Kiani, T., Ghafourpour Anbaran, P. 2017. Analysis of the effects of watershed operations on the hydrogeomorphological characteristics of Anbranchai watershed using the semi-distributive SWAT model. Planning and preparation of space, 21(2): 35-55 (In Persian).

2. Chamani, R., Azari, M., and Kralisch, S. 2020. Hydrological response to future climate changes in Chehelchay Watershed in Golestan Province. Watershed Engineering and Management, 12(1): 72-85 (In Persian).

3. Chamani, R., Mostafaei Yungali, S., Sadeghi, S.H.R. 2022. The role of biological measures on the soil erosion process using the InVEST model in the Sharganj watershed, South Khorasan. Journal of water and soil protection. Online (In Persian).

4. Chamani, R., Sadeghi, S.H.R., Vafakhah, M., and Naghdi, M. 2022. Reliability, resilience and vulnerability of Chalus watershed based on drought. Watershed engineering and management scientific-research journal, 14(1): 65-75 (In Persian).

5. Chamani, R., Vafakhah, M. and Sadeghi, S.H.R. 2023. Changes in reliability–resilience–vulnerability-based watershed health under climate change scenarios in the Efin Watershed, Iran. Nat Hazards 116, 2457–2476.

6. Chamani, R., Vafakhah, M., and Sadeghi, S. H. R. 2022. Effect of drought on spatio-temporal changes of the Efin watershed health. Watershed Engineering and Management, (In Persian).

7. Chamani, R., Vafakhah, M., Tavosi, M. and Zaree, S. 2022. Assessment of the effect of climate change on the health status of Atrak watershed in Northeastern of Iran. Arab J Geosci 15, 1745.

8. Darabi, M., Maleki Nejad. H., Talebi, A., Haidari, M. 2020. Evaluation of the performance of watershed management plans on the flood situation of Sivand dam watershed, Fars province. hydrogeomorphology, 6(23): 83-105 (In Persian).

9. Davodi, S.M., Daghani, S and Ghazavi, R. 2022. Evaluating the effects of watershed structures in dry and semi-arid areas of Isfahan province from the perspective of economic, social and natural indicators. Scientific Quarterly Journal of Aquatic Sciences and Techniques, 3(4): 77-93 (In Persian).

10. Forotan, E. 2021. Evaluation of the effect of biological measures of watershed management on flooding (case study: Pardisan watershed in Qom province). Geographical information scientific-research quarterly, 30(120): 171-186 (In Persian).

11. Gholami, A., Vafakhah, M., and Najafpour, Sh. 2013. The effect of construction of Lar Dam on hydraulic changes

and its suspended sediment load on the aquatic life of Heraz River, Shilat - Islamic Azad University of Azadshahr, 7(3): 46-46 (In Persian).

12. Hagras, A. 2023. Estimating water erosion in the EL-Mador Valley Basin, South-West Matrouh City, Egypt, using revised universal soil loss equation (RUSLE) model through GIS. Environmental Earth Sciences, 82(1), 1-17.

13. Haidari Morchekhorti, F., and Sabuhi, R. 2020. Investigating the effect of watershed operations on quantitative and qualitative changes of underground water sources in Budjan Dahaghan watershed. Watershed engineering and management, 12(2): 535-546 (In Persian).

14. Hasani, H., and Maleki, M. 2019. Evaluation of the socio-economic effects of watershed management projects implemented from the point of view of stakeholders (case study: Hassan Abdal watershed, Zanjan province). Iranian Journal of Watershed Science and Engineering, 13(45): 54-62 (In Persian).

15. Kavian, A., Shahedi, K., Chamani, R., and Dehghani, M. 2021. Analysis of Spatial-temporal Trend in climatology Variable by using GIS and statistical technic (A case study: Southern-Khorasan province). Extension and Development of Watershed Management, 9(33): 54-67 (In Persian).

16. Lee, K.H. 2020. Impact of representative SCS-CN on simulated rainfall runoff. Journal of Environmental Science International, 29(1): 25-32.

17. Loc, H.H., Emadzadeh, A., Park, E., Nontikansak, P., Deo, R. C. 2023. The Great 2011 Thailand flood disaster revisited: Could it have been mitigated by different dam operations based on better weather forecasts? Environmental research, 216, 114493.

18. Melaku, N. D., Renschler, C. S., Holzmann, H., Strohmeier, S., Bayu, W., Zucca, C., Ziadat, F. and Klik, A. 2018. Prediction of soil and water conservation structure impacts on runoff and erosion processes using SWAT model in the northern Ethiopian highlands. Journal of Soils Sediments, 18, 1743–1755.

19. Moetamed Vaziri, B., Kiadaliri, H., and Arefi, S. 2022. Evaluating the effectiveness of flood control structures in the Golab Dareh-Darband watershed of Tehran. Natural ecosystems of Iran, 13(2): 1-17 (In Persian).

20. Mosaffaie, J., Ekhtesasi, M.R., Dastorani, M.T., Azimzadeh, H.R., and Zare Chahuki, M.A. 2015. Temporal and spatial variation of the water erosion rate. Arabian Journal of Geosciences, 8: 5971– 5979.

21. Motaghian, M., Alavi nia, S.H., and Ghazavi, R. 2022. Evaluation of the performance of watershed measures on changing the hydrological behavior of the watershed in arid and semi-arid areas. Geographical studies of dry areas. Online (In Persian).

22. PourNabi, Y., Vafakhah, M., and Moradi rekabkolaei, H.R., 2014. The effect of watershed operations on flood characteristics. Quarterly Journal of Water and Soil Sciences, 18(67): 199-212 (In Persian).

23. Sadeghi, S.H.R., Payfeshoordeh, A., Pirooznia, Z., Pir, S., Hamzeh Bibalani, M., Khairparast, M., Sarouneh, F., Mostafaei Younjali, S., Naderi Marangelu, N., Noori, A., Havasi, M., Chamani, R. 2023. Revisiting the detailed-implementation studies of the Fakhran Watershed in South Khorasan based on the integrated watershed management plan. Integrated Watershed Management, winter, 2(4): 1-16 (In Persian).

24. Saraei tabrizi, M., and Mohamadian khorasani, Sh. 2022. Field evaluation of the impact of watershed operations and sustainable management of water resources on reducing erosion and sedimentation from floods. Applied soil research, 10(3): 104-116 (In Persian).

25. Talebi, A., Shaghi zadeh, M., Dasturani, M.T., and Azim zadeh, M.R. 2014. Investigating the effect of watershed operations on the distribution of surface flow by introducing the algorithm of distribution of multiple flow directions. Ecohydrology, 1(2): 83-97 (In Persian).

26. Tali Khoshk, S., Mohseni Saravi, M., Vafakhah, M., and Kholighi Sigaroudi, Sh. 2015. Comparison of neurophase and SCS methods in prioritizing subwatersheds in order to implement watershed measures (case study: Taleghan watershed). Pasture and Watershed Magazine, 68(2): 213-225 (In Persian).

27. Uniyal, B., Jha, M.K., Verma, A.K., Anebagilu, P.K. 2020. Identification of critical areas and evaluation of best management practices using SWAT for sustainable watershed management, Science of the Total Environment, 744(1): 140737.

28. Vafakhah, M., and Moghadamnia, A.R. 2019. Flood control. The second volume, Tarbiat Modares University Publications (In Persian).

نشریه

ترویج و توسعه آبخیزداری

Extension and Development of Watershed Management

Vol. 11, No. 40, Spring 2023

سال یازدهم- شماره ۴۰- بهار ۱۴۰۲

Abstract

Evaluating the Effectiveness of Biological and Engineering Measures Affecting the Hydrological Services of the Efin Watershed

R. Chamani[1], M. Vafakhah[2]* and S. H.R. Sadeghi[3]

Received: 2023/04/10 Accepted: 2023/06/06

Today, watershed measures are used as a managerial and executive approach by managers and policymakers to deal with incidents affected by the destruction and improvement of watershed performance. Therefore, in this research, an attempt has been made to evaluate the effectiveness of engineering and biological measures planned in the Efin watershed located in Zirkuh county and south Khorasan province, Iran on hydrological variables and services. To do this, relevant information was obtained and used from relevant organizations. In this research, the changes of Curve Number (CN), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the slope of the main river were investigated and their effect on time of concentration, runoff depth and volume were determined. The research results indicate that after the implementation of watershed measures, CN decreases from 1.38% to 29.92% and NDVI increases from 42.44% to 87.50% and the slope of the main river decreases by 66.67%. The runoff depth and volume also decrease from 7.51% to 76.66%. The implementation of watershed management measures has played a different role in different sub-watersheds, and its effectiveness has varied according to the conditions and status of the sub-watersheds. Therefore, it is suggested that in order to achieve better management and more efficient implementation measures, the comprehensive watershed management with a health-oriented approach should be taken into account by officials and managers.

Keywords: Comprehensive watershed management, Watershed measures, Monitoring measures, Problem-oriented solutions.

1. Ph.D. Student, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

2* Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: vafakhah@modares.ac.ir

3. Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University,Tehran, Iran.