

بسمه تعالی



مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب اتاق ایران

برآورد سهم اثرات مستقیم و غیر مستقیم فعالیت‌های انسانی بر

رواناب‌های سطحی

گزارش خلاصه مدیریتی

مجری: دکتر بنفشه زهرایی،

دانشیار دانشکده مهندسی عمران، موسسه آب دانشگاه تهران

همکاران: مهندس امین کلباسی

مهندس هما صالح آبادی

مهندس مجید رفیعی

اسفند ۱۳۹۵

۱- هدف و مراحل تحقیق

این مطالعه متمرکز بر تعیین سهم اثرات مستقیم و غیرمستقیم انسانی (تغییر اقلیم) در تغییر رژیم جریان‌های سطحی در پنج حوضه‌ی آبریز تالاب گاوخونی، محدوده مطالعاتی نیشابور، حوضه آبریز رودخانه کر تا محل سد درودزن، حوضه آبریز رودخانه کرخه تا محل سد کرخه و حوضه آبریز رودخانه کارون تا محل سد گتوند است. اهداف این طرح عبارت بودند از:

- ۱- تعیین سهم تجمیعی اثرات مستقیم انسانی نظیر تغییر کاربری اراضی و برهم زدن رژیم طبیعی تبادل آب بین منابع سطحی و زیرزمینی در مقیاس سالانه و فصلی در تغییر رژیم رواناب‌های سطحی
- ۲- تعیین سهم اثرات غیر مستقیم انسانی (تغییرات آب و هوایی) در تغییر رژیم رواناب‌های سطحی در مقیاس سالانه و فصلی

آشکارسازی اثرات تغییر اقلیم بر رژیم بارش و دما، تعیین زمان شکست رژیم هیدرولوژیکی حوضه‌های مورد مطالعه و بررسی عملکرد روش‌های مختلف تعیین سهم و تطابق نتایج روش‌ها با مشاهدات میدانی برای تعیین روش برتر در صورت امکان و وجود اطلاعات، اهداف فرعی این تحقیق بوده‌اند. مراحل تحقیق و روش‌شناسی‌های مورد استفاده به شرح زیر بوده‌اند:

- ۱- کنترل همگنی اطلاعات و تعیین نقاط شکست اولین مرحله در این تحقیق بوده است. برای کنترل همگنی داده‌ها از چهار آزمون همگنی استاندارد نرمال (SNHT)، آزمون دامنه (BR) Buishand، آزمون Pettitt و Run Test (RT) و برای تعیین نقاط شکست از سه آزمون اول استفاده شده است.
- ۲- آشکار سازی روندها با استفاده از شاخص‌های اقلیمی حدی توصیه شده به وسیله گروه تخصصی آشکار سازی تغییر اقلیم و شاخص‌ها (ETCCDI) وابسته به سازمان هواشناسی جهانی (WMO) و با بهره‌گیری از نرم افزار RClimDex معرفی شده توسط همین کارگروه انجام شده است.

a. انتخاب ایستگاه‌های هیدرومتری قابل استفاده در فرآیند مدل سازی بیلان و تعیین سهم اثرات و مدل سازی بیلان هیدروکلیماتولوژی در حوضه بالادست ایستگاه‌های منتخب با استفاده از مدل‌های

بیلان McCabe & Markstrom, WASMOD-M, Rao & Al-Wadany, Guo, Jazim

- ۳- تعیین سهم اثرات مستقیم و غیرمستقیم بر تغییرات رواناب‌ها با استفاده از روش‌های زیر:

a. روش کشسانی اقلیمی با رویکردهای غیرپارامتری و مبتنی بر فرضیه بودیکو

b. روش رگرسیون خطی

c. روش تثبیت - تغییر

- ۴- مقایسه نتایج روش‌های مختلف با شواهد میدانی و جمع بندی

۲- جمع بندی سوابق تحقیقاتی مرتبط با موضوع طرح

با جمع بندی تحقیقات ملی و بین المللی، نکات زیر را می توان استخراج کرد:

- در بیشتر تحقیقات مرتبط، رواناب به عنوان متغیری که در معرض این اثرات واقع شده، انتخاب شده است. هر چند اثرات ذکر شده بر متغیرهای کیفیت آب نیز در بعضی از تحقیقات قبلی بررسی شده است.
- معمولاً میانگین رواناب مورد مطالعه قرار گرفته است. محققین در بعضی موارد نیز، اثرات بر رواناب‌های حدى را بررسی کرده‌اند.
- تفکیک اثرات تغییر اقلیم و اثرات مستقیم انسانی در بسیاری از تحقیقات قبلی در مقیاس سالانه انجام شده و تغییرات سهم این اثرات در مقیاس فصلی کمتر مورد توجه قرار گرفته می‌شود.
- استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی مختلف برای مدل‌سازی رواناب در حوضه و تفکیک اثرات در تحقیقات مختلفی صورت گرفته است.
- در بین رویکردهای مختلف روش کَشسانی اقلیمی، روش بودیکو بیش‌تر مورد استفاده قرار گرفته است.
- روش رگرسیون خطی معمولاً به صورت تک متغیره مورد استفاده قرار گرفته است. در واقع رواناب به صورت تابعی از بارش بیان شده است. این در حالی است که تبخیر-تعرق نیز عامل اقلیمی دیگری است که می‌تواند بر مقدار رواناب تولید شده اثرگذار باشد.
- نتایج حاصل از مطالعات مختلف نشان می‌دهد که در بعضی حوضه‌ها، عمده اثرات ناشی از تغییر اقلیم بوده و در بعضی دیگر اثرات مستقیم انسانی نقش عمده را بازی کرده‌اند.
- تمرکز روش‌های به کار گرفته شده در ادبیات فنی بر یافتن اثرات تغییر اقلیم و نسبت دادن دیگر اثرات به فعالیت‌های انسان است. در واقع نقدی که بر این روش‌ها وارد است این است که آن‌ها حساسیتی روی اثرات مستقیم انسانی از قبیل تغییر مصارف و یا تغییر کاربری زمین به طور مستقیم ندارند و این موارد تنها پس از محاسبات مربوط به تغییر اقلیم تعیین می‌شوند.
- در حوضه آبریز زاینده رود، پیش‌بینی‌های تغییر اقلیم، افزایش دما را تا سال ۲۱۰۰ پیش‌بینی کرده‌اند. بررسی تغییرات بارش در سالهای اخیر هم نشان دهنده عدم وجود روند در بارش سالانه و کاهش بارش زمستانه بوده است.
- در حوضه آبریز کرخه، افزایش دما، تغییر قابل توجه رژیم بارش‌ها و کاهش رواناب‌های سطحی به تغییر اقلیم منتسب شده است. رفتار متفاوت در کاهش یا افزایش بارش ناشی از پدیده تغییر اقلیم در بخش‌های مختلف حوضه آبریز پیش‌بینی شده است.
- در حوضه آبریز کارون، افزایش دما و کاهش بارش در آینده پیش‌بینی شده است.

۳- نتایج

۳-۱ انتخاب ایستگاه‌های هیدرومتری

به منظور تقسیم کردن حوضه‌های مورد مطالعه به زیرحوضه‌های کوچک‌تر، نیاز است که تعدادی ایستگاه هیدرومتری در هر حوضه انتخاب شده و به عنوان خروجی زیرحوضه‌ها در نظر گرفته شود. معیارهای انتخاب این ایستگاه‌ها، سابقه آماری مناسب، نداشتن خلأهای آماری بیش از حد مجاز، تنظیمی نبودن جریان و پراکندگی

مناسب در سطح حوضه هستند.

در حوضه‌ی گاوخونی، به دلیل محدودیت ایستگاه‌های دارای معیارهای فوق، تنها دو ایستگاه سد زاینده رود (ورودی به سد) و تنگ‌اسفرجان (کد ۰۳۳-۴۲) انتخاب شدند. زیر حوضه سد زاینده رود به مساحت تقریبی ۴۱۱۷ کیلومترمربع شامل محدوده‌های مطالعاتی چادگان، بوئین داران، چهل خانه، دامنه، یان چشمه و چلگرد-قلعه شاهرخ و زیرحوضه تنگ اسفرجان به مساحت تقریبی ۲۷۳ کیلومترمربع بخشی از محدوده مطالعاتی قمشه می باشد.

در منطقه مطالعاتی نیشابور، در این محدوده دو ایستگاه اریه-چهارباغ (کد ۰۴۳-۴۷) و مجموع درود (کد ۰۸۵-۴۷) انتخاب شدند. لذا در این منطقه مطالعاتی دو زیرحوضه چهارباغ و درود به ترتیب با مساحت تقریبی ۱۲۷ و ۱۱۲ کیلومتر مربع که بخشی از محدوده مطالعاتی نیشابور می‌باشند، مد نظر قرار گرفته‌اند.

در حوضه‌ی کر، زیرحوضه‌های ایستگاه‌های هیدرومتری دهکده سفید (کد ۰۰۳-۴۳)، جمال بیگ (خارستان) (کد ۰۱۱-۴۳) و میان حوضه سد درودزن به ترتیب با مساحت تقریبی ۶۴۲، ۱۵۴ و ۱۴۸۶ کیلومتر مربع در حوضه آبریز کر مد نظر قرار گرفته‌اند. زیرحوضه دهکده سفید منطق بر محدوده مطالعاتی خسرو شیرین، و زیرحوضه جمال بیگ و میان حوضه سد درودزن بخشی از محدوده مطالعاتی دزکرد-کامفیروز می‌باشند.

در حوضه‌ی کرخه، به استناد مطالعات قبلی محقق، چهار ایستگاه دوآب (گاماسیاب) (کد ۱۱۵-۲۱)، پل چهر (کد ۱۲۷-۲۱)، پل دختر (کشکان) (کد ۱۸۳-۲۱)، پای پل (کد ۱۹۱-۲۱) انتخاب شدند. زیرحوضه گاماسیاب به مساحت ۸۰۲۳ کیلومتر مربع و شامل محدوده‌های مطالعاتی کنگاور، اسد آباد، نهاوند، تویسرکان و ملایر، زیرحوضه پل چهر به مساحت ۱۱۱۴۲ کیلومتر مربع و شامل محدوده‌های مطالعاتی کنگاور، اسد آباد، نهاوند، تویسرکان، ملایر، دیناور، میان راهان، سنقر، صحنه و بخشی از محدوده مطالعاتی هرسین-بیستون، زیرحوضه پل دختر به مساحت ۹۲۴۲ کیلومتر مربع شامل محدوده‌های مطالعاتی پل دختر، کوه‌دشت، خرم آباد، شیراوند، الشتر و چغلون‌دی و در نهایت زیرحوضه پای پل به مساحت ۴۳۰۷۷ کیلومتر مربع مد نظر قرار گرفته‌اند. زیرحوضه پای پل علاوه بر محدوده‌های مطالعاتی ذکر شده در سه زیرحوضه دیگر، محدوده‌های مطالعاتی دره شهر، رومیشگان، شیروان، مولاب، کرمانشاه، کامیاران، روانسر سنجابی و ماهیدشت را نیز شامل می‌شود.

در حوضه کارون، زیرحوضه‌های در نظر گرفته شده در منطقه مطالعاتی حوضه آبریز رودخانه کارون عبارتند از:

- زیرحوضه ایستگاه ارمند (کد ۲۳۱-۲۱) به مساحت ۹۹۳۷ کیلومتر مربع شامل محدوده‌های مطالعاتی دوراهان، گندمان-بلداجی، مهرگرد، چشمه سلیمان، اردل، کوهرنگ، فارسان، شلمزار، شهرکرد، کیار، سفید دشت و بروجن،
- زیرحوضه کارون ۳ به مساحت ۱۴۳۵۲ کیلومتر مربع شامل محدوده‌های مطالعاتی ده بارز، مالی خلیفه، کمه، سمیرم، قبرکیخا، یاسوج، دشت روم، لردگان، جوانمردی و بازفت،
- زیرحوضه ایستگاه هیدرومتری جلوگیر (مرغاب) (کد ۹۴۵-۲۱) به مساحت ۶۶۲ کیلومتر مربع شامل بخشی از محدوده مطالعاتی مرغاب
- زیرحوضه ایستگاه هیدرومتری گتوند (کد ۲۴۳-۲۱) به مساحت ۳۲۷۹۳ کیلومتر مربع شامل محدوده‌های

مطالعاتی نام برده شده در زیرحوضه‌های قبلی به علاوه محدوده‌های لالی، اندیکا، ایزه-پیون، ده شیخ

۳-۲ آشکارسازی روندها

- شاخص CDD (روزهای خشک متوالی): این شاخص در حوضه های کارون و کرخه در اکثر نقاط روند نزدیک به صفر فاقد معناداری در سطح اطمینان ۹۵٪ داشته است. در نقاطی در مرکزی و غرب حوضه کارون و شمال شرق حوضه کرخه، روندهای معنادار نزدیک به صفر مشاهده شده است.
- شاخص CWD (روزهای تر متوالی): روندهای مشاهده شده از این شاخص داری معناداری آماری بیشتری نسبت به شاخص CDD بوده اند. در نواحی شمال و شمال شرق کرخه و غرب و جنوب غربی کارون، روندهای منفی معنادار به خوبی مشهود است. روند قالب در حوضه گاوخونی روند مثبت است که در مناطق غربی حوضه معنادار بوده است.
- شاخص R10 و R20 (تعداد روزهای سال با بارش بزرگتر ۱۰ یا ۲۰ میلیمتر): این شاخص ها تا حدودی بیانگر تغییرات توزیع بارش هستند و با توجه به تعداد زیاد روند معنادار حاصله در این دو شاخص، تغییرات توزیع بارش در حوضه های کرخه و کارون بخوبی قابل مشاهده است. شایان ذکر است به جز در یک ایستگاه و در مورد شاخص R20 در حوضه گاوخونی، سایر ایستگاه ها روند معناداری نشان نداده اند. روند های معنادار مشاهده شده برای شاخص R10 در حوضه کارون اکثراً منفی و در حوضه کرخه عموماً نزدیک به صفر بوده اند. این روندها برای شاخص R20 در هر دو حوضه منفی هستند.
- شاخص R95p و R99p (بارش سالانه روزهایی که بارش بزرگتر از ۹۵ یا ۹۹مین صدک باشد): که به نوعی نشان دهنده تغییرات در مقدار بارش های حدی هستند، در اکثر مناطق روندهای معناداری نشان نداده اند. هر دو شاخص در نواحی شمال شرق کرخه، روند های منفی معنادار داشته اند.
- شاخص RX1Day (حداکثر مقدار بارش یک روزه): این شاخص در اکثر مناطق حوضه های مورد بررسی دارای روندهای مثبت اما از نظر آماری فاقد معناداری در سطح اطمینان ۹۵٪ بوده است، لیکن در حوضه گاوخونی، میتوان روندهای مثبت معنا دار نیز روی نوار عمودی مرکزی این حوضه مشاهده کرد. روندهای منفی معنادار نیز در ایستگاه های پراکنده ای در حوضه های کرخه، کر و کارون مشاهده شده است.
- شاخص RX5Day (حداکثر مقدار بارش ۵ روزه متوالی): در نواحی شمالی کارون و شمال شرق کرخه، روندهای معنادار منفی قابل مشاهده است. روند مشاهده شده قالب در حوضه ها روند مثبت فاقد معناداری آماری است. تنها روند مثبت معنادار مشاهده شده در جنوب حوضه گاوخونی بوده است.
- شاخص SDII (نسبت بارش سالانه به تعداد روزهای تر): بیشترین مقدار معناداری را بین شاخص های مورد بررسی به نمایش گذاشته است. این شاخص در اکثر ایستگاه های مورد بررسی در حوضه های کرخه، کارون و گاوخونی دارای روند منفی معنادار بوده است. تنها روندهای معنادار مشاهده شده مربوط به نواحی مرکزی و شرقی کارون بوده اند.
- شاخص PRCPTOT (مجموع بارش سالانه): این شاخص که به نوعی بیانگر تغییرات در مجموع بارش سالانه

ایستگاه های مورد بررسی است، در نواحی شمالی کارون و شمال شرق کرخه، داری روند معنادار منفی بوده و روندهای مثبت معنادار در نواحی شمال و شمال شرق گاوخونی مشاهده شده است.

- شاخص TXx (حداکثر مقدار ماهانه از حداکثر دمای روزانه) و Tn (حداکثر مقدار ماهانه از حداقل دمای روزانه): این دو شاخص که به بررسی تغییرات دمای حداقل و حداکثر مطلق می پردازند، در تعداد قابل توجهی از ایستگاه های واقع در حوضه های مورد بررسی، روندهای معنادار نشان داده اند که موید تغییرات دمایی در منطقه است. این تغییرات در شاخص TXx مشهود تر بوده و به جز نواحی مرکزی و جنوبی کارون، در سایر مناطق حوضه های مورد بررسی روند مثبت معنادار نشان داده است.

با مرور نتایج شاخص های فوق، می توان نتیجه گرفت در مناطق مورد بررسی، تغییرات اقلیمی اغلب دارای روند آماری معنادار بوده اند که عمده تغییرات حاصله، با توجه به تغییرات شاخص های $SDII$ ، CWD ، CDD ، $R10$ و $R20$ و با در نظر گرفتن تغییرات شاخص $PRCPTOT$ ، از جنس تغییر در توزیع آماری بوده اند. بدین معنا که الگوی بارشی در مناطق مختلف در بازه زمانی مورد بررسی دچار تغییر شده است. روند معنادار و منفی شاخص $SDII$ بطور خلاصه بیان می کند که این تغییرات توزیع برای پارامتر بارش در منطقه مورد بررسی به سمت کم مقدار تر شدن و پر تعداد تر شدن روزهای با بارش بزرگتر از آستانه ۱ میلیمتر بوده است. افزایش سهم بارش های سبک در محدوده های مورد مطالعه، قطعاً منجر به افزایش تلفات تبخیر و کاهش رواناب سطحی و تغذیه منابع زیرزمینی شده است. همچنین شاخص های آماری، گویای تغییرات معنادار در میانگین های دمایی و افزایش دماهای حداقل و حداکثر بوده اند که با تلقی کلی از تغییرات حاصل از تغییر اقلیم هماهنگ است.

۳-۳ تعیین سهم اثرات مستقیم و غیرمستقیم در حوضه آبریز تالاب گاوخونی

با توجه نقاط شکست اقلیمی تعیین شده و بررسی تغییرات رواناب ها در ایستگاه های منتخب، در مورد سری زمانی ورودی به سد زاینده رود، سال های ۱۳۷۴ و ۱۳۸۵ به عنوان نقطه ی شکست برگزیده شدند. بنابراین در این زیرحوضه (زیرحوضه ی سد زاینده رود) دوره ی ۱۳۷۴-۱۳۵۵ به عنوان دوره ی مرجع و دو دوره ی ۱۳۸۵-۱۳۷۵ و ۱۳۹۱-۱۳۸۶ به عنوان دوره های اخیر مورد مطالعه قرار می گیرند. همچنین برای ایستگاه تنگ اسفرجان، سال ۱۳۸۵ به عنوان نقطه شکست و دوره های ۱۳۸۵-۱۳۶۲ و ۱۳۹۱-۱۳۸۵ به ترتیب به عنوان دوره های مرجع و اخیر شناخته شدند. جدول (۱) نتایج روش های مختلف تعیین سهم اثرات مداخلات مستقیم و غیرمستقیم انسانی در این حوضه را نشان می دهد.

الف) دوره ۸۵-۱۳۷۵

جمع بندی نتایج سالانه روش های مختلف در حوضه آبریز سد زاینده رود نشان می دهد که در دوره ۸۵-۱۳۷۵، ۲۲۰ میلیون متر مکعب کاهش رواناب نسبت به دوره مرجع ۷۴-۱۳۵۵ رخ داده است. شرایط آب و هوایی در این دوره با حدود ۴ درصد افزایش بارش و ۴ درصد افزایش تبخیر مطلوب تر از متوسط درازمدت بوده به نحوی که شرایط اقلیمی منجر به افزایش محتمل ۱۱۲ میلیون متر مکعبی رواناب سطحی ورودی به سد زاینده رود در

این دوره شده ولی با توجه به افزایش چشمگیر سطح زیر کشت اراضی کشاورزی به میزان ۱۹۰۰۰ هکتار بر اساس تفسیر عکس‌های ماهواره‌ای، نهایتاً منجر به کاهش رواناب‌های ورودی به سد شده است. در واقع میزان مصرف کشاورزی در این دوره چیزی در حدود ۹۳۰ میلیون متر مکعب بوده است. بر اساس دو مجموعه اطلاعات جمع‌آوری شده از گزارشات طرح جامع آب کشور و آخرین آماربرداری سراسری، ۶۰ تا ۶۴ درصد آب مصرفی اراضی کشاورزی و بالادست این منطقه از آب زیرزمینی تأمین می‌شود. بنابراین سهم آب سطحی در تأمین نیاز کشاورزی این دوره می‌بایست حدود ۳۳۴ تا ۳۷۲ میلیون متر مکعب بوده باشد که با افزایش ۱۱۲ میلیون متر مکعبی رواناب سطحی نسبت به دوره مرجع ناشی از پر بارشی‌ها و کاهش رواناب کل مشاهده شده ۲۲۰ میلیون متر مکعب تطابق دارد. ضریب رواناب در این دوره ۰/۳۴ بوده که نسبت به ۰/۴۴ در دوره مرجع کاهش داشته است که تا حد زیادی می‌تواند ناشی از تغییر کاربری اراضی باشد.

جدول (۱): نتایج روش‌های مختلف تعیین سهم اثرات مداخلات مستقیم و غیرمستقیم انسانی در حوضه سد

زاینده رود

زاینده‌رود ۸۵-۷۵		زاینده‌رود ۹۱-۸۶		روش		
آب و هوا	انسان	آب و هوا	انسان			
۲۹-	۱۲۹	۴۷	۵۳	غیرپارامتری	کشسانی اقلیمی	
۴۲-	۱۴۲	۸۴	۱۵	Schreiber		
۵۰-	۱۵۰	۹۹	۱	Ol'dekop		
۴۵-	۱۴۵	۹۰	۱۰	Budyko		
۴۵-	۱۴۵	۹۰	۱۰	Turc-Pike		
رگرسیون خطی		۲۳-	۱۲۳	۴۷	۵۳	تثبیت- تغییر
Guo		-	-	۵۶	۴۴	
Jazim-McCabe		۵۱-	۱۵۱	-	-	
Jazim-Rao		۴۴-	۱۴۴	-	-	

تحلیل‌های فصلی نیز برای فصل تر نتایج مشابه تحلیل‌های سالانه داشته است و مؤید اثر مثبت بارش‌ها در این دوره بر افزایش رواناب‌ها بوده است. نتایج روش‌های مختلف مورد استفاده در این تحقیق در فصل تر بسیار به یکدیگر نزدیک بوده که اطمینان‌پذیری استفاده از نتایج را افزایش می‌دهد.

در مجموع سهم اثر افزایشی تغییرات آب و هوایی در رواناب‌های ورودی به سد زاینده رود در دوره ۸۵-۷۵ به شرح زیر قابل محاسبه است:

$$\frac{(1013 - 792.2) \times 1.33}{4117.4} = 71.3 \text{ mm}$$

لازم به ذکر است که در این دوره، سهم مداخلات مستقیم انسانی به حدی بوده است که نه تنها اثر افزایش

رواناب سطحی در حد ۷۱ میلیمتر ناشی از شرایط مساعد آب و هوایی را خنثی نموده، بلکه منجر به کاهش ۲۲۰ میلیون متر مکعبی رواناب‌های ورودی به سد زاینده رود نیز شده است.

ب) دوره ۹۱-۱۳۸۶

جمع‌بندی نتایج سالانه روش‌های مختلف در حوضه سد زاینده رود نشان می‌دهد که در دوره ۹۱-۸۶، ۶۰۱ میلیون متر مکعب کاهش رواناب‌های سطحی نسبت به دوره مرجع مشاهده شده است. در این دوره، بارش ۲۲ درصد نسبت به دوره مرجع کاهش داشته و تبخیر ۵ درصد افزایش نشان داده است. ضریب رواناب در این دوره به ۰/۲۴ کاهش یافته است.

نتایج تفسیر عکس‌های ماهواره‌ای نشان‌دهنده افزایش ۳۰۰۰۰ هکتار سطح زیر کشت در سال ۱۳۸۸ نسبت به سال ۱۳۶۹ در دوره مرجع بوده است. با توجه به الگوی کشت غالب منطقه و نیاز آبی ناخالص محاسبه شده در مطالعات طرح جامع آب کشور، این میزان افزایش سطح زیر کشت بایستی نیاز آبی اراضی کشاورزی بالادست سد زاینده رود را تا ۱۱۱۰ میلیون متر مکعب افزایش داده باشد که سهم محتمل آب سطحی آن حدود ۴۰۰ میلیون متر مکعب است. افت قابل توجه سطح ایستابی آبخوان بوئین-داران نشان از افت شدید ذخیره آبخوان بعد از سال ۱۳۸۵ دارد که می‌توان نشانگر افزایش سهم برداشت از آب زیرزمینی در دوره اخیر باشد که احتمالاً اثرات غیرمستقیمی هم روی کاهش رواناب‌های سطحی داشته است. در مجموع به نظر می‌رسد که حد بالای اثرات انسانی برآورد شده از روش‌های مورد استفاده در این تحقیق واقع بینانه به نظر می‌رسد. نتایج روش‌های مختلف برای فصل تر نیز مشابه نتایج سالانه بوده و به نظر می‌رسد اطمینان‌پذیری نسبی خوبی به این نتایج وجود دارد. در مجموع سهم اثر تغییرات آب و هوایی در کاهش ارتفاع رواناب‌های سطحی زیرحوضه سد زاینده رود در دوره اخیر به شرح زیر قابل محاسبه است:

$$\frac{(1013.4 - 411.56) \times 0.45}{4117.4} = 66 \text{ mm}$$

به عبارت دیگر ۶۶ میلی‌متر از رواناب‌های سطحی این زیرحوضه ناشی از تغییرات آب و هوایی در دوره اخیر کاهش یافته است. این مقدار نسبت به متوسط رواناب سالانه در دوره مرجع، نشانگر ۲۷ درصد کاهش رواناب متوسط سطحی در حوضه آبریز سد زاینده رود است.

همانطور که نشان داده شد، اثرات مستقیم انسانی در دو دوره مورد بررسی به ترتیب منجر به ۲۹۲ و ۳۳۰ میلیون متر مکعب کاهش رواناب‌های سطحی ورودی به سد زاینده رود شده است. به نظر می‌رسد در صورت محدود کردن اثرات مستقیم انسانی در حد میانه دهه ۷۰ شمسی، حدود ۳۰۰ میلیون متر مکعب به رواناب‌های سطحی ورودی به سد زاینده رود اضافه خواهد شد که می‌تواند نقش قابل توجهی در کاهش تنش‌های آبی این حوضه ایفا نماید.

۳-۴ تعیین سهم اثرات مستقیم و غیرمستقیم در محدوده مطالعاتی نیشابور

برای ایستگاه درود، دو آزمون از سه آزمون مورد استفاده سال ۱۳۷۱ را به عنوان نقطه شکست تعیین کردند. بنابراین در این زیرحوضه (زیرحوضه‌ی درود)، دوره‌ی ۱۳۷۱-۱۳۵۶ به عنوان دوره‌ی مرجع و دوره‌ی ۱۳۷۱-۱۳۹۱ به عنوان دوره‌ی اخیر انتخاب شدند. در مورد ایستگاه اریه (چهارباغ)، سال ۱۳۷۱ به عنوان نقطه‌ی شکست تعیین شد. بنابراین در این زیرحوضه (زیرحوضه‌ی چهارباغ) همانند زیرحوضه‌ی درود، دوره‌ی ۱۳۷۱-۱۳۵۶ به عنوان دوره‌ی مرجع و دوره‌ی ۱۳۷۲-۱۳۹۱ به عنوان دوره‌ی اخیر انتخاب شدند. جدول (۲) نتایج روش‌های مختلف تعیین سهم اثرات مداخلات مستقیم و غیرمستقیم انسانی در این حوضه را نشان می‌دهد.

جدول (۲): نتایج روش‌های مختلف تعیین سهم اثرات مداخلات مستقیم و غیرمستقیم انسانی در محدوده

مطالعاتی نیشابور

درود		چهارباغ		روش
انسان	آب و هوا	انسان	آب و هوا	
۵۳	۴۷	۳۷	۶۳	کشسانی اقلیمی (غیرپارامتری) (بارش و تبخیر)
۵۰	۵۰	۲۱	۷۸	کشسانی اقلیمی (غیرپارامتری) (بارش)
۵۱	۴۹	۱۷	۸۳	رگرسیون خطی
۷۰	۳۰	۲۸	۷۲	تثبیت-تغییر (Jazim-Rao)

الف) زیرحوضه چهارباغ

بررسی نتایج به دست آمده از تحلیل آمار ایستگاه هیدرومتری چهارباغ نشان می‌دهد که در دوره اخیر (۹۱-۱۳۷۲) رواناب سطحی ۵ میلیون مترمکعب نسبت به دوره مرجع (۷۱-۱۳۵۶) کاهش داشته است که نشان دهنده حدود ۲۴٪ کاهش رواناب است. تفسیر عکس‌های ماهواره‌ای نشان می‌دهد که در این محدوده سطح زیر کشت در سال ۸۸ نسبت به سال ۱۳۶۵، ۳۰٪ افزایش یافته (۴۷۷-۶۱۵) است که با فرض حدود ۱۳۴۰۰ متر مکعب در هکتار نیاز ناخالص آبیاری بر اساس مطالعات بهنگام سازی طرح جامع آب کشور، ۱/۸۴ میلیون متر مکعب نیاز کشاورزی این محدوده افزایش یافته است. بر اساس آماربرداری سراسری، در محدوده حوضه بالادست ایستگاه هیدرومتری چهارباغ، ۷۳٪ نیاز آبی کشاورزی از آب‌های سطحی تأمین می‌شود که معادل ۱/۳۵ میلیون متر مکعب در سال خواهد بود. بارش و تبخیر در دوره ۹۱-۷۲ حدود ۱۲ و یک درصد کاهش داشته است. ضریب رواناب تقریباً معادل دوره مرجع بوده است. نسبت ۱/۳۵ به ۵ میلیون متر مکعب کاهش مشاهده شده، معادل ۲۷٪ است که تشابه زیادی با نتیجه حاصل شده از روش تثبیت-تغییر با مدل Jazim-Rao دارد. بنابراین به نظر می‌رسد در این حوضه ۲۸٪ سهم اثرات مستقیم انسانی و ۷۲٪ سهم اثر تغییرات آب و هوایی قابل تخمین است. بررسی نتایج فصلی در این حوضه در فصل تر نشان می‌دهد که سهم اثرات انسانی نسبت به کل سال با توجه به کمتر بودن نسبی نیازهای آبی در این دوره قابل توجیه است. در فصل خشک البته همانطور که انتظار می‌رود به

دلیل سهم قابل توجه برداشت آب برای آبیاری سهم اثرات انسانی بسیار شدید است. در این فصل تنها نتایج روش رگرسیون قابل استناد بوده است که سهم اثرات انسانی را ۱۵۱ در صد نشان می‌دهد. اثر تغییرات آب و هوایی در این فصل ۵۱ درصد در جهت افزایش رواناب بوده است که با بررسی انجام شده علت آن کاهش محدود دما و تبخیر در فصل خشک در دوزه اخیر نسبت به دوره مرجع بوده است. تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه شده در مدلسازی بیلان نیز در این حوضه در دوره اخیر نسبت به دوره مرجع کاهش نشان می‌دهد. در مجموع، سهم اثر تغییرات آب و هوایی در کاهش ارتفاع متوسط رواناب‌های سطحی حوضه ایستگاه هیدرومتری چهارباغ به شرح زیر است:

$$\text{حوضه ایستگاه هیدرومتری چهارباغ} = \frac{(20.4 - 15.36) \times 0.73 \text{ (سهم متوسط اثر تغییر اقلیم)}}{127.22 \text{ Km}^2} = 28.9 \text{ mm}$$

با استناد به این نتایج حدود ۲۹ میلی‌متر از رواناب سطحی این زیرحوضه ناشی از تغییرات آب و هوایی کاهش یافته که معادل ۱۸ درصد رواناب کل سالانه برای حوضه چهارباغ است.

ب) زیرحوضه درود

بررسی نتایج به دست آمده از تحلیل آمار ایستگاه هیدرومتری درود نشان می‌دهد که در دوره اخیر (۹۱-۱۳۷۲) رواناب سطحی ۸/۳۳ میلیون مترمکعب نسبت به دوره مرجع (۷۱-۱۳۵۶) کاهش داشته است که نشان دهنده حدود ۴۲٪ کاهش رواناب است. در دوره اخیر در این حوضه، بارش حدود ۱۴ درصد کاهش داشته و تبخیر نیز ۵ درصد کاهش یافته است. ضریب رواناب از ۰/۴۹ در دوره مرجع به ۰/۳ در دوره اخیر کاهش یافته است که نشان از تغییر جدی کاربری در حوضه دارد. تفسیر عکس‌های ماهواره‌ای نشان می‌دهد که در این محدوده سطح زیر کشت در سال ۸۸ نسبت به سال ۱۳۶۵، ۳۳٪ افزایش یافته (۳۷۸-۵۰۲) است که با فرض حدود ۱۳۴۰۰ متر مکعب در هکتار نیاز ناخالص آبیاری بر اساس مطالعات بهنگام سازی طرح جامع آب کشور، ۱/۶۶ میلیون متر مکعب نیاز کشاورزی این محدوده افزایش یافته است. بر اساس آماربرداری سراسری، در محدوده حوضه بالادست ایستگاه هیدرومتری درود، ۱۷٪ نیاز آبی کشاورزی از آب‌های سطحی تأمین می‌شود که معادل ۰/۲۸ میلیون متر مکعب در سال خواهد بود. نسبت ۰/۲۸ به ۸/۳۳ میلیون متر مکعب کاهش مشاهده شده معادل ۳/۴٪ است که هیچ تشابهی با سهم حاصل شده برای مداخلات مستقیم انسانی از روش‌های مختلف ندارد. علیرغم این که اظهار نظر دقیق در این مورد نیازمند دسترسی به اطلاعات دقیق‌تر است ولی به نظر می‌رسد نیاز ناخالص آبیاری و سهم برداشت از آب سطحی در این منطقه نسبت به فرضیات مورد استفاده بسیار بیشتر شده است.

بررسی نتایج فصلی در این زیرحوضه در مورد روش تثبیت-تغییر تفاوت محسوسی با نتایج تحلیل سالانه ندارد ولی در مورد سایر روش‌ها مشابه حوضه چهارباغ، کاهش سهم مداخلات مستقیم انسانی را نشان می‌دهد. در فصل خشک همانطور که انتظار می‌رود به دلیل سهم قابل توجه برداشت آب برای آبیاری سهم اثرات انسانی بسیار شدید است. در این فصل تنها نتایج روش رگرسیون قابل استناد بوده است که سهم اثرات انسانی را ۱۱۲ در صد نشان می‌دهد. اثر تغییرات آب و هوایی در این فصل، ۱۲ درصد در جهت افزایش رواناب بوده است که با

بررسی انجام شده علت آن کاهش محدود دما و تبخیر در فصل خشک در دوزه اخیر نسبت به دوره مرجع بوده است. تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه شده در مدلسازی بیلان نیز در این حوضه در دوره اخیر نسبت به دوره مرجع کاهش نشان می‌دهد.

۳-۵ تعیین سهم اثرات مستقیم و غیرمستقیم در حوضه آبریز سد درودزن

هر سه آزمون مورد استفاده در این مطالعه، سال ۱۳۸۶ را به عنوان نقطه‌ی شکست رواناب در ایستگاه دهکده سفید (سفید) تعیین کردند. در نتیجه در این زیرحوضه (زیرحوضه‌ی دهکده سفید)، دوره‌ی ۱۳۸۶-۱۳۵۶ به عنوان دوره‌ی مرجع و دوره‌ی ۱۳۹۱-۱۳۸۶ به عنوان دوره‌ی اخیر منظور شده‌اند. در مورد ایستگاه جمال‌بیگ (خارستان)، تنها سال ۱۳۸۵ به عنوان نقطه‌ی شکست در این ایستگاه در نظر گرفته شده است. بنابراین در زیرحوضه‌ی جمال‌بیگ، دوره‌های ۱۳۸۵-۱۳۵۶ و ۱۳۹۱-۱۳۸۶ به ترتیب به عنوان دوره‌های مرجع و اخیر در نظر گرفته شده‌اند. جدول (۳) نتایج روش‌های مختلف تعیین سهم اثرات مداخلات مستقیم و غیرمستقیم انسانی در حوضه سد درودزن را نشان می‌دهد.

جدول (۳): نتایج روش‌های مختلف تعیین سهم اثرات مداخلات مستقیم و غیرمستقیم انسانی در محدوده

مطالعاتی نیشابور

درودزن		جمال بیگ		دهکده سفید		روش	
انسان	آب و هوا	انسان	آب و هوا	انسان	آب و هوا		
۳۷	۶۳	۲	۹۸	۵۴	۴۶	بارش و تبخیر	کشسانی اقلیمی
		۴۲	۵۸	۸۴	۱۶	بارش	(غیرپارامتری)
		۴۴	۵۶	۸۰	۲۰	رگرسیون خطی	
		۴۵	۵۵	۶۳	۳۷	ثبیت-تغییر	

الف) زیرحوضه دهکده سفید

مقایسه رواناب‌های سطحی ایستگاه هیدرومتری دهکده سفید (سفید) مطابق با محدوده مطالعاتی خسرو شیرین، در دوره اخیر (۱۳۸۷-۹۱) نسبت به دوره مرجع (۱۳۵۶-۸۶) نشان‌دهنده کاهش ۵۲ درصدی رواناب‌ها از ۱۵۸ به ۷۵/۹ میلیون مترمکعب در سال است. در دوره ۹۱-۸۷، ۸ درصد کاهش بارش و ۱۱ درصد افزایش تبخیر در این حوضه تحمین زده شده است. ضریب رواناب از حدود ۰/۳۹ در دوره مرجع به ۰/۲ در دوره اخیر کاهش یافته است. افزایش پارامتر تبدیل تبخیر و تعرق پتانسیل به واقعی در مدل کالیبره شده Guo برای این حوضه در دوره اخیر، نسبت به دوره مرجع با افزایش قابل ملاحظه تبخیر در ناحیه تطابق دارد. حوضه آبریز این ایستگاه منطبق بر محدوده مطالعاتی خسرو شیرین (۴۳۲۰) می‌باشد. بر اساس داده‌های ثبت شده در بانک اطلاعات آماربرداری سراسری سال ۹۰-۱۳۸۹، در محدوده مطالعاتی خسرو شیرین، ۲/۶۲ میلیون مترمکعب آب برای مصارف مختلف

در آب‌های سطحی برداشت می‌شود. بر اساس این بانک اطلاعاتی، میزان برداشت از آب‌های زیرزمینی در این حوضه، ۱۴ میلیون مترمکعب است که با توجه به این که عمده آب برداشتی در بخش کشاورزی مصرف می‌شود. بر اساس تفسیر عکس‌های ماهواره‌ای، سطح زیرکشت این محدوده مطالعاتی در سال ۱۳۹۱، ۶۹۶۳ هکتار بوده است که با فرض ۱۰۶۷۲ مترمکعب در هکتار نیاز ناخالص آبیاری، نیازمند ۷۴/۳ میلیون مترمکعب آب برای آبیاری بوده است. بر اساس آماربرداری سراسری ۱۶٪ از مصارف آب از آب‌های سطحی تأمین شده است که معادل ۱۱/۹ میلیون مترمکعب می‌باشد. لازم به ذکر است که در گزارش بهنگام سازی طرح جامع آب کشور درصد برداشت از آب سطحی ۵٪ گزارش شده که به نظر می‌رسد عدد آماربرداری سراسری برای دوره اخیر قابل استنادتر است.

براساس تفسیر عکس‌های ماهواره‌ای، سطح زیرکشت اراضی کشاورزی در این حوضه در سال ۱۳۶۵، ۲۹۸۴ هکتار بوده است. افزایش ۳۹۷۹ هکتاری اراضی کشاورزی، حدود ۴۲/۵ میلیون متر مکعب مصرف آب اراضی کشاورزی را افزایش داده است. با فرض ۱۶ درصد برداشت از آب‌های سطحی، مقدار اضافه برداشت برای توسعه کشاورزی حدود ۶/۷ میلیون متر مکعب بوده است. کاهش حدود ۷۴ میلیون مترمکعبی رواناب‌های سطحی که سهم اثرات مستقیم انسانی در آن در این تحقیق ۶۳ تا ۸۴ درصد برآورد شده، ۴۶ تا ۶۲ میلیون مترمکعب کاهش رواناب سطحی را به ملاحظات مستقیم انسانی منتسب می‌کند که با توسعه کشاورزی تطابق ندارد.

در گزارش مطالعات بهنگام سازی طرح جامع آب کشور، آب مصرفی بخش کشاورزی در این محدوده مطالعاتی ۸۳/۱۸ میلیون مترمکعب برای سطح زیر کشت ۱۵۷۹۵ هکتار گزارش شده است که نسبت به سال‌های پیش که در همین گزارش، بسیار متفاوت است و احتمالاً خطایی در محاسبه آن رخ داده است. در سال‌های ۷۳ و ۷۵ و ۸۰ اعداد گزارش شده سطوح زیر کشت با نتایج تفسیر عکس‌های ماهواره‌ای در این تحقیق همخوانی دارد. در این محدوده مطالعاتی، شبکه پایش آبخوان وجود ندارد و به همین دلیل امکان بررسی تغییرات دراز مدت سطح آب زیرزمینی وجود ندارد.

(ب) زیر حوضه جمال بیگ

مقایسه رواناب‌های سطحی ایستگاه هیدرومتری جمال بیگ (خارستان) در دوره اخیر (۹۱-۱۳۸۷) نسبت به دوره مرجع (۸۶-۱۳۵۶) نشان‌دهنده کاهش ۴۴ درصدی رواناب‌ها از ۵۶/۶ به ۳۱/۴ میلیون مترمکعب در سال است. در این حوضه در فاصله سال‌های ۸۷-۹۱، ۸ درصد کاهش بارش و ۱۱ درصد افزایش تبخیر رخ داده است. ضریب رواناب در این حوضه نیز از ۰/۵ در دوره مرجع به ۰/۳۱ در دوره اخیر کاهش یافته است. به عبارت دیگر، حدود ۳۸ درصد کاهش ضریب رواناب محقق شده است. افزایش پارامتر ضریب رطوبتی لایه فوقانی خاک (USM_x) در حوضه جمال بیگ در دوره اخیر نسبت به دوره مرجع به کاهش ضریب رواناب متناسب بوده است.

با توجه به این که حوضه آبریز این ایستگاه تطابقی با محدوده‌های مطالعاتی ندارد تنها آمار قابل استناد در مورد برداشت‌ها، آماربرداری سراسری است. بر اساس داده‌های ثبت شده در بانک اطلاعات آماربرداری سراسری سال ۹۰-۱۳۸۹، در محدوده حوضه آبریز ایستگاه هیدرومتری جمال بیگ، ۱/۳ میلیون مترمکعب آب برای مصارف مختلف از آب‌های سطحی برداشت می‌شود. بر اساس این بانک اطلاعاتی، میزان برداشت از آب‌های زیرزمینی در

این حوضه، ۳/۷ میلیون مترمکعب است که با توجه به این که عمده آب برداشتی در بخش کشاورزی مصرف می‌شود و با فرض سطح زیر کشت حدود ۵۵۳ هکتار (بر اساس نتایج تفسیر عکس‌های ماهواره‌ای)، تطابق قابل قبول بین میزان برداشت (در آماربرداری سراسری) با سطح زیر کشت وجود دارد. لازم به ذکر است که متوسط آب مورد نیاز برای آبیاری بر اساس گزارش بهنگام سازی طرح جامع آب کشور برای حوضه آبریز طشک-مه‌ارلو-بختگان معادل ۱۰۶۷۲ مترمکعب بر هکتار در نظر گرفته شده است. نتایج سهم‌بندی انجام شده در این تحقیق نشان می‌دهد که بین ۴۲ تا ۴۵ درصد از کاهش رواناب‌های سطحی متأثر از دخالت‌های مستقیم انسانی بوده است. یعنی بایستی حدود ۱۳ تا ۱۴ میلیون مترمکعب از کاهش آوردها ناشی از دخالت‌های مستقیم انسانی بوده باشد که با بررسی‌های انجام شده روی میزان برداشت‌ها تطابق ندارد. بررسی عکس‌های ماهواره‌ای در این منطقه نیز نشان از افزایش قابل ملاحظه سطح زیر کشت در اواخر دوره مرجع و سپس کاهش آن در سال‌های اخیر داشته است. با توجه به عدم وجود شبکه پایش آبخوان در این محدوده‌ها امکان بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی وجود نداشته است.

ج) میان حوضه بالادست سد درودزن

در میان حوضه بین سدهای ملاصدرا و درودزن، بر اساس آخرین آماربرداری سراسری، ۷۴/۸ و ۱۳۰/۷ میلیون مترمکعب به ترتیب از آب‌های زیرزمینی و سطحی برداشت می‌شود. بر اساس تغییر عکس‌های ماهواره‌ای ۱۵۱۸۹ هکتار، سطح اراضی در این محدوده است که با توجه به کشت‌های پرمصرف مثل برنج، میزان سطح زیر کشت با برداشت‌های گزارش شده تطابق دارد. با فرض سال شکست ۱۳۸۵ که همزمان با ساخت سد ملاصدرا و نیز مشابه سال‌های شکست شناسایی شده برای حوضه‌های بالادست ایستگاه‌های هیدرومتری دهکده سفید و جمال بیگ نیز هست، آورد میان حوضه ۷۳ درصد کاهش از ۴۷۱ در دوره مرجع به ۱۲۷ میلیون متر مکعب در دوره اخیر داشته است.

سهم برآورد شده اثرات مستقیم انسانی ۳۷ درصد برآورد شده که در صورتی که کشت‌های پرمصرفی مثل برنج در نظر گرفته شود، با افزایش بیش از ۵۰۰۰ هکتاری سطح زیر کشت در میان حوضه نسبت به دوره مرجع تطابق نسبی دارد. به دلیل نبود شبکه پایش آبخوان در این ناحیه، امکان ارزیابی تغییرات تراز آبخوان وجود ندارد. سهم اثر تغییرات آب و هوایی در کاهش ارتفاع متوسط رواناب‌های سطحی در این زیرحوضه به شرح زیر است:

$$\frac{(470.67 - 127.01) \times 0.63}{1486 \text{ Km}^2} = 146 \text{ mm}$$

همانطور که نشان داده شد، اثرات مستقیم انسانی در دوره اخیر مورد بررسی منجر به ۱۲۷ میلیون متر مکعب کاهش رواناب‌های سطحی در میان حوضه بین سدهای ملاصدرا و درودزن شده است. به نظر می‌رسد در صورت محدود کردن اثرات مستقیم انسانی در حد میانه دهه ۸۰ شمسی، همین میزان افزایش در رواناب‌های سطحی

ورودی به سد درودزن قابل دستیابی خواهد بود که نیازمند کاهش سطح زیرکشت در این ناحیه و تغییر الگوی کشت به گیاهان کم مصرف تر می باشد.

۳-۶ تعیین سهم اثرات مستقیم و غیرمستقیم در حوضه آبریز سد کرخه

برای ایستگاه تنگ گاماسیاب، سال ۱۳۷۴ به عنوان نقطه شکست برای این مطالعه انتخاب شد. بنابراین در این زیرحوضه، دوره های ۱۳۷۴-۱۳۵۳ و ۱۳۹۱-۱۳۷۵ به ترتیب به عنوان دوره های مرجع و اخیر شناخته شدند. در ایستگاه های پل چهر، پل دختر و پای پل، سال ۱۳۷۶ به عنوان نقطه شکست انتخاب شد لذا دوره های ۱۳۷۶-۱۳۵۳ به عنوان دوره های مرجع و دوره های ۱۳۹۱-۱۳۷۷ به عنوان دوره های اخیر منظور شده اند. جدول (۴) نتایج روش های مختلف تعیین سهم اثرات مداخلات مستقیم و غیرمستقیم انسانی در این حوضه را نشان می دهد.

جدول (۴): نتایج روش های مختلف تعیین سهم اثرات مداخلات مستقیم و غیرمستقیم انسانی در حوضه سد

کرخه

روش		گاماسیاب		پل چهر		پل دختر		پای پل	
		تثبیت	تغییر	تثبیت	تغییر	تثبیت	تغییر	تثبیت	تغییر
کشتانی اقلیمی (غیرپارامتری)		۳۳	۶۷	۳۶	۶۴	۶۶	۳۴	۵۳	۴۷
رگرسیون خطی		۲۹	۷۱	۳۱	۶۹	۴۸	۵۲	۴۲	۵۸
تثبیت-تغییر (Guo)		۱۲	۸۸	۲۳	۷۷	۲۵	۷۵	۲۶	۷۴

الف) زیرحوضه گاماسیاب

بررسی نتایج به دست آمده از تحلیل آمار ایستگاه هیدرومتری گاماسیاب نشان می دهد که در دوره اخیر (۱۳۷۵-۹۱) رواناب سطحی ۴۳۴ میلیون مترمکعب نسبت به دوره مرجع (۱۳۵۳-۷۴) کاهش داشته است که نشان دهنده حدود ۶۲٪ کاهش رواناب است. در این حوضه، در دوره ۹۱-۷۵، بارش ۱۱ درصد کاهش و تبخیر ۴ درصد افزایش یافته است. ضریب رواناب در این دوره ۶ درصد بوده که ۵۸ درصد کاهش نسبت به مقدار ۰/۱۵ برای این ضریب در دوره مرجع نشان می دهد.

سطح زیرکشت آبی این زیرحوضه در دوره مرجع ۶۴۰۰۰ هکتار در نظر گرفته شده است. با در نظر گرفتن سطح زیرکشت سال ۱۳۸۵ برای دوره اخیر معادل ۱۶۰۳۱۵ هکتار، میزان افزایش سطح زیرکشت در این زیرحوضه، ۹۶۳۱۵ هکتار بوده است. به استناد اطلاعات موجود در آخرین بهنگام سازی طرح جامع آب کشور، میزان متوسط نیاز آبی ناخالص اراضی کشاورزی این زیرحوضه، ۱۰۰۰۴ مترمکعب در هکتار برآورد شده است. بر این اساس، معادل ۹۶۳/۵ میلیون مترمکعب اضافه برداشت از منابع آب ناشی از توسعه کشاورزی است. براساس آماربرداری سراسری وزارت نیرو در سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ و بهنگام سازی طرح جامع آب کشور که سال پایه آن

۱۳۸۵ بوده است، میزان برداشت از منابع آب سطحی برای کشاورزی در این زیرحوضه به ترتیب ۱۶ و ۲۴/۳٪ گزارش شده است. به استناد این دو عدد، میزان اضافه برداشت ناشی از توسعه کشاورزی از منابع آب سطحی، ۱۵۴ و ۲۳۴ میلیون متر مکعب برآورد می‌شود. نسبت این دو عدد به کل کاهش رواناب سطحی مشاهده شده در دوره اخیر، ۳۵ و ۵۴ درصد است. بررسی آمار سطح زیرکشت دیم در این حوضه نشان می‌دهد که در سال ۱۳۸۵ به استناد مطالعات بهنگام‌سازی طرح جامع آب کشور، ۳۳۹۱۴۹ هکتار کشت دیم در این حوضه انجام شده است که احتمالاً توسعه حدود حداقل ۱۳۰ درصدی نسبت به دهه ۶۰ داشته است.

با توجه به اینکه در روش‌های مختلف مورد استفاده در این تحقیق، سهم اثرات مستقیم انسانی ۶۷ تا ۸۸ درصد برآورد شده است، به نظر می‌رسد با توجه به تغییر کاربری قابل توجه ناشی از توسعه کشت دیم در حوضه آبریز کرخه و نیز افت ۱۱/۶ متری سطح ایستابی آبخوان‌ها بین سالهای ۷۵ تا ۸۵، به نظر می‌رسد، مقدار بدبینانه برآورد شده در مورد سهم اثرات مستقیم انسانی در روش تثبیت-تغییر، منطقی است. لازم به ذکر است که از بین زیرحوضه‌های مطالعه شده در حوضه آبریز سد کرخه، بیشترین میزان افت سطح ایستابی آبخوانها در این زیرحوضه اندازه‌گیری شده است. در مجموع میزان کاهش ارتفاع رواناب متوسط ناشی از اثرات تغییرات آب و هوایی به شرح زیر است:

$$\text{میلیمتر } 12.1 = \frac{(\text{سهم متوسط اثر تغییر اقلیم}) \times 0.26 \times (582.7 - 208.1)}{8023.1 \text{ Km}^2}$$

بررسی نتایج فصلی نشان دهنده تشدید اثرات مستقیم انسانی در فصول خشک و بخصوص تر نسبت به نتایج سالانه بوده که نشان از کمتر بودن اثرات تغییرات آب و هوایی در فصل تر دارد که با نتایج تحلیل‌های آماری انجام شده نیز تطابق دارد.

ب) زیرحوضه پل چهر

بررسی نتایج به دست آمده از تحلیل آمار ایستگاه هیدرومتری پل چهر نشان می‌دهد که در دوره اخیر (۹۱-۱۳۷۷) رواناب سطحی ۶۸۸ میلیون مترمکعب نسبت به دوره مرجع (۱۳۵۳-۷۶) کاهش داشته است که نشان دهنده نزدیک به ۵۸٪ کاهش رواناب است. ضریب رواناب در این حوضه در دوره اخیر نسبت به دوره مرجع ۵۳٪ کاهش یافته است (از ۰/۲۲ به ۰/۱). هم‌چنین در این دوره بارش ۱۲٪ کاهش داشته و تبخیر ۴ درصد افزایش یافته است. افزایش ۷۳ درصدی پارامتر ظرفیت رطوبتی خاک (S_{max}) در دوره اخیر نسبت به دوره مرجع در مدل Guo که برای این زیرحوضه کالیبره شده نیز مؤید تغییر شدید در فرآیند تولید رواناب در حوضه است. افزایش قابل ملاحظه پارامترهای ضریب تبدیل تبخیر و تعرق پتانسیل به واقعی و ظرفیت رطوبتی خاک در مدل کالیبره شده Guo نیز مؤید تغییر شدید در رژیم هیدرولوژیک حوضه هستند.

سطح زیرکشت آبی این زیرحوضه در دوره مرجع ۹۶۸۵۸ هکتار در نظر گرفته شده است. با در نظر گرفتن سطح زیرکشت سال ۱۳۸۵ برای دوره اخیر معادل ۲۱۰۷۳۹ هکتار، میزان افزایش سطح زیرکشت در این زیرحوضه، ۱۱۳۸۸۱ هکتار بوده است. به استناد اطلاعات موجود در آخرین بهنگام‌سازی طرح جامع آب کشور، میزان

متوسط نیاز آبی ناخالص اراضی کشاورزی این زیرحوضه که در فصل ۴، ارائه شده بود، ۹۵۹۸ مترمکعب در هکتار برآورد شده است که معادل ۱۰۹۳ میلیون مترمکعب اضافه برداشت از منابع آب ناشی از توسعه کشاورزی است. براساس آماربرداری سراسری وزارت نیرو در سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ و بهنگام سازی طرح جامع آب کشور که سال پایه آن ۱۳۸۵ بوده است، میزان برداشت از منابع آب سطحی برای کشاورزی در این زیرحوضه به ترتیب ۱۵ و ۳۶/۷ درصد گزارش شده است. به استناد این دو عدد، میزان اضافه برداشت ناشی از توسعه کشاورزی از منابع آب سطحی، ۱۶۴ و ۴۰۱ میلیون متر مکعب برآورد می‌شود. نسبت این دو عدد به کل کاهش رواناب سطحی مشاهده شده در دوره اخیر، ۲۴ و ۵۸ درصد است. با توجه به اینکه در روشهای مختلف مورد استفاده در این تحقیق، سهم اثرات مستقیم انسانی ۶۴ تا ۷۷ درصد برآورد شده است، به نظر می‌رسد سهم اثرات مستقیم انسانی منطقی برآورد شده و روش‌هایی که برآوردهای بدبینانه تر نسبت به سهم اثرات مستقیم انسانی ارائه داده اند مثل روش تثبیت - تغییر قابل اعتمادتر هستند. تغییر کاربری قابل توجه ناشی از توسعه کشت دیم در این زیرحوضه از حدود ۱۳۲۰۰۰ هکتار در سال ۱۳۶۲ به حدود ۳۹۰۰۰۰ هکتار در سال ۱۳۸۵ (به استناد مطالعات طرح جامع آب کشور)، قطعاً در تغییر ضریب رواناب حوضه نقش بسیار موثری ایفا کرده است. افت متوسط سطح ایستابی آبخوانها در این زیرحوضه در فاصله سالهای ۷۵ تا ۸۵، ۸/۲ متر برآورد شده است که نشان دهنده وضعیت ناپایدار آبخوان های منطقه و نیز تغییر در رژیم تبادل آب بین آب‌های سطحی و زیرزمینی منطقه است. در مجموع میزان کاهش ارتفاع رواناب متوسط ناشی از اثرات تغییرات آب و هوایی به شرح زیر است:

$$\frac{(سهم متوسط اثر تغییر اقلیم) \times 0.23 (504.3 - 1192)}{11141.7 \text{ Km}^2} = 14.2$$

بررسی نتایج فصلی نشان دهنده تناسب نسبی اثرات مستقیم انسانی در فصول خشک و تر با نتایج سالانه بوده است. نزدیک بودن بسیار زیاد نتایج روش های مختلف در فصل تر، اعتمادپذیری نتایج را افزایش می‌دهد.

ج) زیرحوضه پل دختر

بررسی نتایج به دست آمده از تحلیل آمار ایستگاه هیدرومتری پل دختر نشان می‌دهد که در دوره اخیر (۹۱-۱۳۷۷) رواناب سطحی ۸۵۲/۵ میلیون مترمکعب نسبت به دوره مرجع (۷۶-۱۳۵۳) کاهش داشته است که نشان دهنده بیش از ۴۵٪ کاهش رواناب است. در دوره اخیر، بارش حدود ۱۵٪ نسبت به دوره مرجع کاهش یافته که همزمانی آن با حدود ۲٪ افزایش تبخیر، قطعاً فرآیند تولید رواناب در حوضه را متأثر کرده است. ضریب رواناب در این دوره ۰/۲۴ بوده که نسبت به ۰/۳۷ در دوره مرجع، ۳۵٪ کاهش یافته است.

سطح زیرکشت آبی این زیرحوضه در دوره مرجع ۳۵۲۵۸ هکتار در نظر گرفته شده است. با در نظر گرفتن سطح زیرکشت سال ۱۳۸۵ برای دوره اخیر معادل ۷۳۵۱۹ هکتار، میزان افزایش سطح زیرکشت در این زیرحوضه، ۳۸۲۶۱ هکتار بوده است. به استناد اطلاعات موجود در آخرین بهنگام سازی طرح جامع آب کشور، میزان متوسط نیاز آبی ناخالص اراضی کشاورزی این زیرحوضه، ۹۷۳۳ مترمکعب در هکتار برآورد شده است که معادل ۳۷۲/۴ میلیون مترمکعب اضافه برداشت از منابع آب ناشی از توسعه کشاورزی است. براساس آماربرداری

سراسری وزارت نیرو در سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ و بهنگام سازی طرح جامع آب کشور که سال پایه آن ۱۳۸۵ بوده است، میزان برداشت از منابع آب سطحی برای کشاورزی در این زیرحوضه به ترتیب ۴۶ و ۶۸/۸٪ گزارش شده است. به استناد این دو عدد، میزان اضافه برداشت ناشی از توسعه کشاورزی از منابع آب سطحی، ۱۷۱/۳ و ۲۵۶/۲ میلیون متر مکعب برآورد می‌شود. نسبت این دو عدد به کل کاهش رواناب سطحی مشاهده شده در دوره اخیر، ۲۰ و ۳۰ درصد است. توسعه سطح زیرکشت دیم در این حوضه بسیار قابل توجه بوده است. سطح زیر کشت دیم در سال ۱۳۶۲، ۱۱۹۰۰۰ هکتار بوده که تا سال ۱۳۸۵ به ۲۹۹۰۰۰ هکتار افزایش یافته است. این افزایش نزدیک به ۲/۵ برابری، قطعاً در کاهش ضریب رواناب حوضه نقش بسیار مؤثری داشته است. با توجه به اینکه در روش‌های مختلف مورد استفاده در این تحقیق، سهم اثرات مستقیم انسانی ۳۴ تا ۷۵ درصد برآورد شده است، به نظر می‌رسد سهم اثرات مستقیم انسانی در روش تثبیت - تغییر، واقع بینانه تر برآورد شده است. لازم به ذکر است که افت متوسط سطح ایستابی آبخوانهای این زیرحوضه، ۶/۱ متر برآورد شده است. در مجموع میزان کاهش ارتفاع رواناب متوسط ناشی از اثرات تغییرات آب و هوایی به شرح زیر است:

$$\text{میلیمتر } 23 = \frac{(\text{سهم متوسط اثر تغییر اقلیم}) \times 0.25 \times (1885 - 1033)}{9242.1 \text{ Km}^2}$$

بررسی نتایج فصلی در زیرحوضه پل دختر نشان می‌دهد که در فصل خشک سهم اثرات مستقیم انسانی نزدیک به حداکثر مقدار برآورد شده در کل سال است که با توجه به حجم قابل توجه آب مصرفی برای آبیاری در این فصل منطقی به نظر می‌رسد. در فصل تر پراکندگی نتایج روش‌های مختلف همانند نتایج سالانه قابل توجه است و جمع بندی آن بدون بررسی جزئیات برداشت‌های فصلی آب که اطلاعات آنها دردسترس نیست، امکان پذیر نمی‌باشد.

د) زیرحوضه پای پل

بررسی نتایج به دست آمده از تحلیل آمار ایستگاه هیدرومتری پای پل نشان می‌دهد که در دوره اخیر (۹۱-۱۳۷۷) رواناب سطحی ۳۵۷۵ میلیون مترمکعب نسبت به دوره مرجع (۱۳۵۳-۷۶) کاهش داشته است که نشان دهنده نزدیک به ۵۴/۵٪ کاهش رواناب است. در دوره اخیر، بارش متوسط این حوضه، ۱۵ درصد کاهش و تبخیر نزدیک به دو درصد افزایش یافته است. ضریب رواناب با کاهش حدود ۴۷ درصدی از ۰/۳۲ به ۰/۱۷ کاهش یافته است. افزایش پارامتر ظرفیت رطوبتی خاک (S_{max}) و پارامتر تبدیل تبخیر و تعرق پتانسیل به تبخیر و تعرق واقعی، در مدل کالیبره شده Guo برای این حوضه، با تغییر ضریب رواناب همخوانی دارد.

براساس اطلاعات مندرج در فصل چهارم گزارش، سطح زیرکشت آبی این زیرحوضه در دوره مرجع ۱۸۸۳۵۳ هکتار در نظر گرفته شده است. با در نظر گرفتن سطح زیرکشت سال ۱۳۸۵ برای دوره اخیر معادل ۴۳۴۳۳۶ هکتار، میزان افزایش سطح زیرکشت در این زیرحوضه، ۲۴۵۹۸۳ هکتار بوده است. به استناد اطلاعات موجود در آخرین بهنگام سازی طرح جامع آب کشور، میزان متوسط نیاز آبی ناخالص اراضی کشاورزی، ۹۵۸۲ مترمکعب در هکتار برآورد شده است که معادل ۱۸۰۴ میلیون مترمکعب اضافه برداشت از منابع آب ناشی از

توسعه کشاورزی است. براساس آماربرداری سراسری وزارت نیرو در سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ و بهنگام سازی طرح جامع آب کشور که سال پایه آن ۱۳۸۵ بوده است، میزان برداشت از منابع آب سطحی برای کشاورزی در این زیرحوضه به ترتیب ۲۴ و ۵۰/۵٪ گزارش شده است. به استناد این دو عدد، میزان اضافه برداشت ناشی از توسعه کشاورزی از منابع آب سطحی، ۴۳۳ و ۹۱۱ میلیون متر مکعب برآورد می شود. نسبت این دو عدد به کل کاهش رواناب سطحی مشاهده شده در دوره اخیر، ۱۲ و ۲۵ درصد است. به استناد اطلاعات مندرج در گزارشات طرحهای جامع آب کشور، کشت دیم در این حوضه از ۵۱۱۳۸۳ هکتار در سال ۱۳۶۲ به ۱۹۴۱۹۰ در سال ۱۳۸۵ افزایش یافته است که سهم بسیار قابل ملاحظه ای در کاهش ضریب رواناب این حوضه داشته است.

با توجه به اینکه در روش های مختلف مورد استفاده در این تحقیق، سهم اثرات مستقیم انسانی در روش تثبیت - تغییر واقع بینانه تر برآورد شده است. لازم به ذکر است که افت متوسط سطح ایستابی آبخوان ها در این زیرحوضه، ۷/۵ متر برآورد شده است که نشان از تغییر روند دینامیک جریانات سطحی و زیرسطحی دارد. در مجموع میزان کاهش ارتفاع رواناب متوسط ناشی از اثرات تغییرات آب و هوایی به شرح زیر است:

$$\text{میلیمتر } 22 = \frac{(\text{سهم متوسط اثر تغییر اقلیم}) \times 0.26 (6663-2988)}{43076.5 \text{ Km}^2}$$

بررسی نتایج فصلی نشان دهنده تشدید اثرات مستقیم انسانی در فصل خشک بوده که با توجه به برداشت های قابل توجه کشاورزی در این فصل منطقی به نظر می رسد. در فصل تر، نتایج بدست آمده فصلی تقریباً مشابه نتایج سالانه هستند. با استناد به این نتایج در حوضه های گاماسیاب و پل چهر، تغییر آب و هوا منجر به کاهش حدود ۱۴ میلیمتر از رواناب های سطحی متوسط حوضه شده است، در صورتی که در حوضه های پل دختر و پای پل، حدود ۲۳ میلیمتر از رواناب ها، در اثر تغییرات آب و هوایی کاهش یافته اند.

به نظر می رسد در صورت محدود کردن اثرات مستقیم انسانی در حد سال های انتهایی دهه ۷۰ شمسی، رواناب های سطحی ورودی به سد کرخه در حد ۲۶۰۰ میلیون مترمکعب قابل افزایش خواهد بود که می تواند نقش قابل توجهی در کاهش تنش های آبی این حوضه و افزایش توان تنظیم و کارایی سد کرخه ایفا نماید. میزان افزایش رواناب قابل حصول در حوضه ایستگاه های هیدرومتری گاماسیاب، پل چهر و پل دختر، در صورت ایجاد شرایط ذکر شده به ترتیب، ۳۳۴، ۵۱۶ و ۶۳۱ میلیون مترمکعب خواهد بود.

۳-۷ تعیین سهم اثرات مستقیم و غیرمستقیم در حوضه آبریز سد گتوند علیا

در مورد ایستگاه ارمند، هر دو سال ۱۳۷۴ و ۱۳۸۵ کاهش قابل توجهی در مقدار رواناب های سطحی رخ داده است بنابراین هر دوی این سال ها به عنوان نقاط شکست تعیین شدند. در نتیجه دوره ی ۱۳۷۴-۱۳۵۳ به عنوان دوره ی مرجع و دوره های ۱۳۷۵-۱۳۸۵ و ۱۳۹۱-۱۳۸۶ به عنوان دوره های اخیر شناخته شدند. برای ورودی کارون ۳، سال های ۱۳۷۶ و ۱۳۸۵ به عنوان نقطه شکست تعیین شدند. بنابراین دوره ی ۱۳۷۶-۱۳۵۳ به عنوان دوره ی مرجع و دوره های ۱۳۷۷-۱۳۸۵ و ۱۳۹۱-۱۳۸۶ به عنوان دوره های اخیر شناخته شدند. آزمون های اعمال شده بر سری زمانی رواناب ایستگاه جلوگیری (مرغاب) نقطه ی شکست را در سال ۱۳۸۴ تعیین کردند. بنابراین در

زیرحوضه‌ی جلوگیر، دوره‌ی ۱۳۸۴-۱۳۶۹ به عنوان دوره‌ی مرجع و دوره‌ی ۱۳۹۰-۱۳۸۵ به عنوان دوره‌ی اخیر تعیین شدند. محاسبه‌ی مشابهی در مورد ایستگاه تنظیمی گتوند انجام شد. نقاط شکست در سال‌های ۱۳۷۶ و ۱۳۸۴ توسط سه روش فوق تعیین شد. بنابراین دوره‌ی ۱۳۷۶-۱۳۵۳ به عنوان دوره‌ی مرجع و دوره‌های ۱۳۸۴-۱۳۷۷ و ۱۳۹۱-۱۳۸۵ به عنوان دوره‌های اخیر تعیین شدند. جدول (۵) نتایج روش‌های مختلف تعیین سهم اثرات مداخلات مستقیم و غیرمستقیم انسانی در حوضه سد گتوند علیا را نشان می‌دهد.

الف) زیرحوضه ایستگاه هیدرومتری ارمند

بررسی نتایج به دست آمده از تحلیل آمار حوضه بالادست ایستگاه‌های هیدرومتری ارمند نشان می‌دهد که در دوره (۸۵-۱۳۷۵)، رواناب سطحی ۵۸۷ میلیون مترمکعب نسبت به دوره مرجع (۷۴-۱۳۵۳) کاهش داشته است که نشان دهنده حدود ۱۴٪ کاهش رواناب است. سطح زیرکشت آبی این زیرحوضه در دوره مرجع ۵۱۰۰۰ هکتار در نظر گرفته شده است. با در نظر گرفتن سطح زیرکشت سال ۸۱-۱۳۸۰ برای دوره ۸۵-۷۵ معادل ۸۷۷۱۱ هکتار، میزان افزایش سطح زیرکشت در این زیرحوضه، ۳۶۷۱۱ هکتار بوده است.

جدول (۵): نتایج روش‌های مختلف تعیین سهم اثرات مداخلات مستقیم و غیرمستقیم انسانی در حوضه سد گتوند علیا

روش		ارمند ۷۵-۸۵		ارمند ۸۶-۹۱		کارون ۳، ۷۷-۸۵		کارون ۳، ۸۶-۹۱	
		آب و هوا	انسان	آب و هوا	انسان	آب و هوا	انسان	آب و هوا	انسان
کشسانی اقلیمی	غیرپارامتری	۱۷	۸۳	۵۵	۴۵	۱۴	۸۶	۵۱	۴۹
	Schreiber	۲۹	۷۱	۱۳۲	-۳۲	۴۴	۵۶	۱۲۵	-۲۵
	Ol'dekop	۳۲	۶۸	۱۴۲	-۴۲	۵۳	۴۷	۱۴۴	-۴۴
	Budyko	۳۰	۷۰	۱۳۶	-۳۶	۴۷	۵۳	۱۳۲	-۳۲
	Turc-Pike	۲۹	۷۱	۱۳۳	-۳۳	۴۷	۵۳	۱۳۲	-۳۲
رگرسیون خطی		۲	۹۸	۵۰	۵۰	-۲۱	۱۲۱	۴۰	۶۰
تثبیت-تغییر	Guo	۷	۹۳	۴۳	۵۷	-	-	-	-
	Jazim-Rao	-	-	-	-	-۸	۱۰۸	۵۸	۴۲

به استناد اطلاعات موجود در آخرین بهنگام سازی طرح جامع آب کشور، میزان متوسط نیاز آبی ناخالص اراضی کشاورزی این زیرحوضه، ۱۲۳۹۸ مترمکعب در هکتار برآورد شده است که معادل ۴۵۵ میلیون مترمکعب اضافه برداشت از منابع آب ناشی از توسعه کشاورزی است. براساس آماربرداری سراسری وزارت نیرو در سال آبی ۱۳۸۹-۹۰ و بهنگام سازی طرح جامع آب کشور که سال پایه آن ۱۳۸۵ بوده است، میزان برداشت از منابع آب سطحی برای کشاورزی در این زیرحوضه به ترتیب ۲۷ و ۶۱٪ گزارش شده است. به استناد این دو عدد، میزان اضافه برداشت ناشی از توسعه کشاورزی از منابع آب سطحی، ۱۲۲/۹ و ۲۷۷/۶ میلیون متر مکعب برآورد می‌شود.

شود. نسبت این دو عدد به کل کاهش رواناب سطحی مشاهده شده در دوره اخیر، ۲۱ و ۴۷ درصد است. در دوره مرجع، ضریب رواناب در این حوضه ۸۰ درصد بوده است که نشانگر سهم قابل ملاحظه تغذیه زیرسطحی رواناب‌هاست. ضریب رواناب در دوره (۷۵-۸۵) به ۰/۶ کاهش یافته است. این کاهش ۰/۲۵ درصدی ضریب رواناب با توجه به کاهش پارامتر ظرفیت رطوبت خاک (S_{max}) بهینه شده در مدل منتخب بیلان (Guo) و کاهش پارامتر a نشان دهنده سهم قابل توجه تغییر رژیم آب و هوایی در کاهش ضریب رواناب است. البته ساختار روش‌های مورد استفاده در این تحقیق، چون به تغییرات زیر ماهانه بارش و تبخیر حساس نیستند، بنابراین سهم اثرات آب و هوایی را کمتر برآورد کرده‌اند. افزایش سطح ایستایی آبخوان‌ها در این دوره نسبت به دوره مرجع هم کاهش تغذیه زیر سطحی را منتفی می‌کند. در دوره ۷۵-۸۵ بارش و تبخیر ۹ و ۳ در صد افزایش داشته‌اند. مقایسه آمار سطح زیرکشت این محدوده در مطالعات طرح جامع آب در سال‌های پایه ۱۳۶۲ و ۱۳۸۵ نشان از افزایش حدود ۱۴۷ درصدی سطح زیر کشت دیم دارد که قطعاً در تغییر ضریب رواناب حوضه موثر بوده است. در مجموع به نظر می‌رسد سهم حدود ۷۰ درصدی برای انسان در این دوره با شواهد موجود مطابقت دارد. در مجموع سهم اثرات تغییرات آب و هوایی در کاهش رواناب‌های سطحی این حوضه آبریز به شرح زیر قابل محاسبه است:

$$\frac{(4078-3460) \times 0.3 \text{ (سهم متوسط اثر تغییر اقلیم)}}{9937 \text{ Km}^2} = 18.7 \text{ میلیمتر}$$

بررسی نتایج به دست آمده از تحلیل آمار حوضه بالادست ایستگاه‌های هیدرومتری ارمند در دوره (۹۱-۱۳۸۶) نشان می‌دهد که رواناب سطحی ۱۸۷۸ میلیون مترمکعب نسبت به دوره مرجع (۷۴-۱۳۵۳) کاهش داشته است که نشان دهنده حدود ۴۶٪ کاهش رواناب است. سطح زیرکشت آبی این زیرحوضه در دوره مرجع ۵۱۰۰۰ هکتار در نظر گرفته شده است. با در نظر گرفتن سطح زیرکشت سال ۸۶-۱۳۸۵ معادل ۹۰۵۱۷ هکتار، میزان افزایش سطح زیرکشت در این زیرحوضه، ۳۹۵۱۷ هکتار بوده است.

به استناد اطلاعات موجود در آخرین بهنگام سازی طرح جامع آب کشور، میزان متوسط نیاز آبی ناخالص اراضی کشاورزی این زیرحوضه، ۱۲۳۹۸ مترمکعب در هکتار برآورد شده است که معادل ۴۹۰ میلیون مترمکعب اضافه برداشت از منابع آب ناشی از توسعه کشاورزی است. با در نظر گرفتن درصد برداشت از منابع آب سطحی برای کشاورزی در این زیرحوضه به ترتیب به میزان ۲۷ و ۶۱٪ گزارش شده است. به استناد این دو عدد، میزان اضافه برداشت ناشی از توسعه کشاورزی از منابع آب سطحی، ۱۳۲/۲ و ۲۹۹ میلیون متر مکعب برآورد می‌شود. نسبت این دو عدد به کل کاهش رواناب سطحی مشاهده شده در دوره اخیر، ۷ و ۱۶ درصد است. ضریب رواناب حوضه آبریز ایستگاه هیدرومتری ارمند در این دوره نیز مشابه دوره ۷۵-۸۵، ۰/۶ بوده است. پارامتر S_{max} بهینه شده در مدل سازی بیلان برای این دوره ۲۸۸/۸ مشخص شده است که افزایش ۱۸۹ درصدی نسبت به دوره مرجع نشان می‌دهد. همچنین کاهش پارامتر a در دوره ۷۴-۸۵ در این دوره نیز ادامه پیدا کرده و تشدید نیز شده است. بنابراین به نظر می‌رسد هر دو عامل تغییر ضریب رواناب ناشی از تغییر کاربری یا پوشش گیاهی طبیعی و تغییر رژیم آب و هوایی در کاهش رواناب‌ها نقش جدی ایفا کرده‌اند. لازم به ذکر است که در این دوره

۲۲/۶ در صد کاهش بارش و ۷ در صد افزایش تبخیر نسبت به دوره مرجع رخ داده است که نشان دهنده شدت بسیار بیشتر اثرات آب و هوایی نسبت به دوره ۸۵-۷۵ است. روند افزایش سطح زیر کشت دیم نیز بر تغییر ضریب رواناب حوضه موثر بوده است. با توجه به اینکه در رو شهای مختلف مورد استفاده در این تحقیق، سهم اثرات مستقیم انسانی ۴۵ تا ۵۷ در صد در رو شهای کشسانی اقلیمی غیرپارامتری، رگرسیون خطی و تثبیت - تغییر برآورد شده است. به نظر می رسد سهم تغییرات آب و هوایی در حد ۴۳ تا ۵۵ درصد قابل اعتماد باشد. در مجموع سهم اثرات تغییرات آب و هوایی در کاهش روانابهای سطحی این حوضه آبریز به شرح زیر قابل محاسبه است:

$$\frac{(4078-2170) \times 0.49 \text{ (سهم متوسط اثر تغییر اقلیم)}}{9937 \text{ Km}^2} = 94 \text{ میلیمتر}$$

ب) زیرحوضه رودخانه خرسان و میان حوضه ایستگاه ارمند تا کارون ۳

بررسی نتایج به دست آمده از تحلیل آمار حوضه آبریز سد کارون ۳ نشان می دهد که در دوره اخیر (۸۵-۱۳۷۷)، رواناب سطحی ۱۵۸۸ میلیون مترمکعب نسبت به دوره مرجع (۷۶-۱۳۵۳) کاهش داشته است که نشان دهنده ۲۰ در صد کاهش رواناب است. سطح زیر کشت آبی این زیرحوضه در دوره مرجع ۴۵۰۰۰ هکتار در نظر گرفته شده است. با در نظر گرفتن سطح زیر کشت سال ۱۳۸۰ برای این دوره معادل ۷۹۴۷۲ هکتار، میزان افزایش سطح زیر کشت در این زیرحوضه، ۳۴۴۷۲ هکتار بوده است.

به استناد اطلاعات موجود در آخرین بهنگام سازی طرح جامع آب کشور، میزان متوسط نیاز آبی ناخالص اراضی کشاورزی این زیرحوضه، ۱۳۲۳۸ مترمکعب در هکتار برآورد شده است که معادل ۴۵۰ میلیون مترمکعب اضافه برداشت از منابع آب ناشی از توسعه کشاورزی است. براساس آماربرداری سراسری وزارت نیرو در سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ و بهنگام سازی طرح جامع آب کشور که سال پایه آن ۱۳۸۵ بوده است، میزان برداشت از منابع آب سطحی برای کشاورزی در این زیرحوضه به ترتیب ۴۳ و ۴۹٪ گزارش شده است. به استناد این دو عدد، میزان اضافه برداشت ناشی از توسعه کشاورزی از منابع آب سطحی، حدود ۲۰۷ میلیون متر مکعب برآورد می شود. نسبت این عدد به کل کاهش رواناب سطحی مشاهده شده در دوره ۸۵-۷۷، ۱۳ درصد است. کاهش قابل توجه ۲۲ درصدی ضریب رواناب از ۰/۹ به ۰/۷ در این دوره نشان از تغییر قابل ملاحظه ژئومورفولوژیک در این حوضه دارد. بررسی پارامترهای کالیبره شده مدل بیلان نیز نشان می دهد که پارامتر S_{max} (ظرفیت رطوبتی خاک) در دوره (۷۷-۸۵) نسبت به دوره مرجع تقریباً دو برابر شده است. افزایش محدود ضریب تغذیه از آبهای سطحی (K_g) در این دوره نسبت به دوره مرجع با افزایش سطح تراز ایستایی آبخوانها در این دوره تطابق دارد. کاهش ضریب a از ۱/۴۱ به ۰/۷۵ در مدل بیلان منتخب نشان دهنده تغییر قابل ملاحظه رژیم بارش هاست که با افزایش تعداد بارش های سبک تطابق دارد. در این دوره، بارش نسبت به دوره مرجع یک در صد کاهش و تبخیر ۷ در صد افزایش داشته است. در مجموع بررسی نتایج نشان می دهد که کاهش ۲۰ درصدی روانابها در این دوره با بررسی تغییرات ماهانه متغیرهای هواشناسی حداکثر تا سقف ۱۴٪ می تواند متأثر از تغییرات آب و هوایی

دانسته شود و در صورتی که فرآیند کاهش ضریب رواناب را متأثر از هر دو دسته مداخلات مستقیم و غیرمستقیم انسانی در نظر بگیریم، سطح اثرات مستقیم تا حدود ۵۳ درصد می‌تواند باشد. لازم به ذکر است که کاهش ضریب رواناب می‌تواند ناشی از تغییر پوشش گیاهی یا توسعه کشت دیم باشد که عوامل مستقیم یا غیرمستقیم می‌توانند محرک آن باشند. سطح زیرکشت دیم در این منطقه در فاصله سال‌های ۶۲ تا ۸۵، ۲۳۵ درصد افزایش یافته است. در مجموع سهم اثرات تغییرات آب و هوایی در کاهش رواناب‌های سطحی این حوضه آبریز به شرح زیر قابل محاسبه است:

$$\frac{(7938.7-6350.3) \times 0.47}{14352 \text{ Km}^2} = 52 \text{ میلیمتر}$$

(سهم متوسط اثر تغییر اقلیم)

بررسی نتایج به دست آمده از تحلیل آمار حوضه بالادست سد کارون ۳ در دوره (۱۳۸۶-۹۱) نشان می‌دهد که رواناب سطحی ۳۹۱۱ میلیون مترمکعب نسبت به دوره مرجع (۱۳۵۳-۷۶) کاهش داشته است که نشان دهنده حدود ۴۹/۳٪ کاهش رواناب است. سطح زیرکشت آبی این زیرحوضه در دوره مرجع ۴۵۰۰۰ هکتار در نظر گرفته شده است. با در نظر گرفتن سطح زیرکشت سال ۸۶-۱۳۸۵ معادل ۹۵۴۹۸ هکتار، میزان افزایش سطح زیرکشت در این زیرحوضه، ۵۰۴۹۸ هکتار بوده است. با در نظر گرفتن نیاز آبی ناخالص آبیاری این زیرحوضه معادل ۱۲۳۹۸ مترمکعب در هکتار، ۶۲۶ میلیون مترمکعب اضافه برداشت از منابع آب ناشی از توسعه کشاورزی قابل فرض است. با در نظر گرفتن ۴۶ درصد برداشت از منابع آب سطحی برای کشاورزی در این زیرحوضه، میزان اضافه برداشت ناشی از توسعه کشاورزی از منابع آب سطحی، ۲۸۸ میلیون متر مکعب برآورد می‌شود. نسبت این عدد به کل کاهش رواناب سطحی مشاهده شده در دوره اخیر، ۷ درصد است. کاهش ۳۳ درصدی ضریب رواناب از ۹/۰ به ۶/۰ در این دوره (نسبت به دوره مرجع) در کنار تغییر قابل ملاحظه ۲۴۳ درصدی پارامتر بهینه شده (S_{max}) نشان از تشدید تغییرات ژئومورفولوژیک متحمل در دوره (۸۵-۷۷) در این دوره است. عدم تغییر محسوس پارامتر a در مدل کالیبره شده Guo در این دوره نسبت به دوره (۸۵-۷۷) نشان از تثبیت روند تغییر رژیم بارش‌ها در دهه ۷۰ و ۸۰ دارد. در سال‌های ۹۱-۸۶، بارش و تبخیر نسبت به دوره مرجع به ترتیب ۲۴ و ۶ درصد، کاهش و افزایش داشته‌اند که نشان از تشدید تغییرات آب و هوایی در این دوره نسبت به دوره ۸۵-۷۷ دارد. به استناد روش‌های مورد استفاده در این تحقیق سهم تغییرات آب و هوایی در این دوره در کاهش رواناب‌های سطحی بین ۴۰ تا ۵۸ درصد تخمین زده می‌شود. در مجموع سهم اثرات تغییرات آب و هوایی در کاهش رواناب‌های سطحی این حوضه آبریز به شرح زیر قابل محاسبه است:

$$\frac{(7938.7-4022.6) \times 0.49}{14352 \text{ Km}^2} = 133 \text{ میلیمتر}$$

(سهم متوسط اثر تغییر اقلیم)

ج) زیرحوضه ایستگاه هیدرومتری جلوگیر

بررسی نتایج به دست آمده از تحلیل آمار حوضه بالادست ایستگاه هیدرومتری جلوگیر نشان می‌دهد که در دوره اخیر (۸۵-۹۰)، رواناب سطحی ۲۵۸ میلیون مترمکعب نسبت به دوره مرجع (۸۴-۱۳۶۹) کاهش داشته است که نشان دهنده ۸۶ درصد کاهش رواناب است. این زیرحوضه تطابق نسبتاً خوبی با محدوده مطالعاتی مرغاب (۲۳۰۹)

دارد. متأسفانه در گزارشات بهنگام سازی طرح جامع آب کشور تغییرات سطح زیرکشت محدوده مطالعات مرغاب به صورت تلفیقی با محدوده مطالعاتی ایزه گزارش شده است. براساس اطلاعات گزارش شده مجموع سطح زیرکشت اراضی این دو محدوده مطالعاتی براساس آمارهای پایه سالهای ۱۳۷۵، ۱۳۸۰ و ۱۳۸۵، به ترتیب ۵۰۰۰، ۳۸۵۵ و ۳۰۱۱ هکتار گزارش شده است که نشان دهنده کاهش تدریجی سطح زیرکشت در این منطقه بوده است. در زیرحوضه جلوگیر، در دوره ۹۰-۸۵، ۲۵ درصد کاهش بارش و حدود یک درصد افزایش تبخیر تخمین زده شده است. ضریب رواناب در این دوره ۰/۳۲ بوده که نسبت به دوره مرجع معادل ۰/۷۲ کاهش بسیار چشمگیری داشته است که البته براساس بررسی‌های محلی انجام شده، بخشی از جریانات سطحی در محدوده ایستگاه هیدرومتری جلوگیر به صورت زیر سطحی از حوضه خارج شده و به همین دلیل آمار ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری به طور دقیق رواناب سطحی تولید شده در حوضه را نشان نمی‌دهد. در این حوضه، افت سطح ایستابی آبخوان نیز رخ داده است که به علت کیفیت نامناسب آب سطحی و تمرکز مصرف بر منابع آب زیرزمینی بوده است. تغییرات پارامترهای مدل بیلان منتخب (Jasim-Rao) نشان دهنده افزایش سهم باران از کل بارش و کاهش قابل ملاحظه ظرفیت رطوبتی لایه خاک سطحی است که بایستی قاعداً رواناب بیشتری تولید کند. در مجموع سهم اثر تغییر اقلیم در این حوضه به شرح زیر است:

$$\frac{(\text{سهم اثر تغییر اقلیم}) \times 0.52 \times (344 - 125.9)}{663 \text{ Km}^2} = 171 \text{ میلیمتر}$$

ارقام محاسبه شده در فوق نشان می‌دهد که تشابه نسبی بین سهم اثر تغییرات آب و هوایی در کاهش رواناب های سطحی بین زیرحوضه های مختلف حوضه آبریز سدگتوند وجود دارد. با توجه به روابط فوق و جداول ارائه شده در بخش های قبل، سهم اثر تغییرات آب و هوایی در دوره بعد از سال ۱۳۸۵، بین ۴۹ تا ۵۲ درصد برآورد شده است که نشان دهنده سهم تقریباً مساوی بین مداخلات مستقیم و غیرمستقیم انسانی است.

د) زیرحوضه گتوند

بررسی نتایج به دست آمده از تحلیل آمار حوضه بالادست ایستگاه هیدرومتری گتوند نشان می‌دهد که در دوره (۱۳۷۷-۸۴)، رواناب سطحی ۱۸۷۸ میلیون مترمکعب نسبت به دوره مرجع (۱۳۵۳-۷۶) کاهش داشته است که نشان دهنده حدود ۱۳٪ کاهش رواناب است. سطح زیرکشت آبی این زیرحوضه در دوره مرجع ۱۳۰۰۰۰ هکتار در نظر گرفته شده است. با در نظر گرفتن سطح زیرکشت سال ۸۱-۱۳۸۰ برای دوره ۸۴-۷۷ معادل ۱۷۲۷۳۲ هکتار، میزان افزایش سطح زیرکشت در این زیرحوضه، ۴۲۷۳۲ هکتار بوده است.

به استناد اطلاعات موجود در آخرین بهنگام سازی طرح جامع آب کشور، میزان متوسط نیاز آبی ناخالص اراضی کشاورزی این زیرحوضه، ۱۲۷۹۲ مترمکعب در هکتار برآورد شده است که معادل ۵۴۶/۶ میلیون مترمکعب اضافه برداشت از منابع آب ناشی از توسعه کشاورزی است. براساس آماربرداری سراسری وزارت نیرو در سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ و بهنگام سازی طرح جامع آب کشور که سال پایه آن ۱۳۸۵ بوده است، میزان برداشت از منابع آب سطحی برای کشاورزی در این زیرحوضه به ترتیب ۳۴ و ۵۷٪ گزارش شده است. به استناد این دو

عدد، میزان اضافه برداشت ناشی از توسعه کشاورزی از منابع آب سطحی، ۱۸۵/۸ و ۳۱۱/۶ میلیون متر مکعب برآورد می شود. نسبت این دو عدد به کل کاهش رواناب سطحی مشاهده شده در دوره اخیر، ۱۰ و ۱۷ درصد است. ضریب رواناب در این حوضه در دوره مرجع ۰/۷ بوده که در دوره ۷۵-۸۴ به ۰/۶ کاهش یافته است. این کاهش ضریب رواناب در مقایسه با سایر زیرحوضه‌های مورد بررسی کمتر بوده است. کاهش یک درصدی بارش و افزایش ۹ درصدی تبخیر در این دوره، شمایی از تغییرات آب و هوایی نسبت به دوره مرجع را نشان می‌دهد. با توجه به عدم امکان مدلسازی بیلان آب در این حوضه، اظهار نظر دقیق در مورد سهم اثرات مستقیم و غیرمستقیم امکان‌پذیر نیست.

بررسی نتایج به دست آمده از تحلیل آمار حوضه بالادست ایستگاه هیدرومتری گتوند نشان می‌دهد که در دوره (۱۳۸۵-۹۱)، رواناب سطحی ۶۸۱۶ میلیون مترمکعب نسبت به دوره مرجع (۷۶-۱۳۵۳) کاهش داشته است که نشان دهنده حدود ۴۸٪ کاهش رواناب است. با در نظر گرفتن سطح زیرکشت سال ۸۶-۱۳۸۵ برای دوره اخیر، معادل ۱۹۰۹۱۸ هکتار، میزان افزایش سطح زیرکشت در این زیرحوضه، ۶۰۹۱۸ هکتار بوده است. با فرض میزان متوسط نیاز آبی ناخالص اراضی کشاورزی این زیرحوضه معادل ۱۲۷۹۲ مترمکعب در هکتار، ۷۷۹ میلیون مترمکعب اضافه برداشت از منابع آب ناشی از توسعه کشاورزی نسبت به دوره مرجع محقق شده است. با فرض میزان برداشت از منابع آب سطحی برای کشاورزی در این زیرحوضه به ترتیب معادل ۳۴ و ۵۷٪ که در مطالعات قبلی گزارش شده، میزان اضافه برداشت ناشی از توسعه کشاورزی از منابع آب سطحی، ۲۶۴/۹ و ۴۴۴ میلیون متر مکعب برآورد می‌شود. نسبت این دو عدد به کل کاهش رواناب سطحی مشاهده شده در دوره اخیر، ۳/۹ و ۶/۵ درصد است. ضریب رواناب در این دوره ۰/۵ بوده که نسبت به دوره مرجع و دوره ۷۷-۸۴ کاهش نشان می‌دهد. کاهش ۲۰ درصدی بارش و افزایش حدود ۵ درصدی تبخیر، وضعیت تغییرات آب و هوایی را نسبت به دوره مرجع تا حدودی نشان می‌دهد. در این دوره نیز بر اساس بررسی‌های انجام شده امکان جمع‌بندی در مورد سهم اثرات مستقیم و غیر مستقیم وجود ندارد.

با توجه به جمع بندی انجام شده در مورد سهم اثرات مستقیم انسانی در کاهش رواناب‌های سطحی در مقطع ایستگاه هیدرومتری گتوند، به نظر می‌رسد با محدود کردن اثرات مستقیم انسانی در حد اواخر دهه هفتاد شمسی، رواناب‌های سطحی در این مقطع از رودخانه کارون، تا حد نزدیک به ۳۵۰۰ میلیون متر مکعب قابل افزایش خواهد بود. با فرض اینکه بخشی از کاهش رواناب‌های سطحی ذکر شده متأثر از تغییر شرایط هیدرولوژیک حوضه متأثر از ساخت سدها در حوضه کارون باشد، عدد ذکر شده برای افزایش رواناب سطحی قابل حصول، خوش بینانه است.

۴- جمع بندی

روش کشت‌سانی اقلیمی با رویکرد غیرپارامتری در همه‌ی حوضه‌ها یک بار با در نظر گرفتن بارش و تبخیر و بار دیگر با در نظر گرفتن تنها بارش اعمال شد. مقایسه‌ی نتایج نشان می‌دهد که در اکثر حوضه‌ها در نظر گرفتن

بارش به تنهایی، نتایج منطقی‌تری به همراه داشته است. دلیل این موضوع، همبستگی کم تغییرات تبخیر با رواناب در حوضه‌های مورد مطالعه است.

روش کَش‌سانی اقلیمی مبتنی بر فرضیه‌ی بودیکو نیز در همه‌ی حوضه‌ها مورد استفاده قرار گرفت که در برخی از آن‌ها جواب‌های نزدیک به نتیجه‌گیری نهایی و در برخی دیگر جواب‌های غیرمنطقی را نتیجه داده است. با مقایسه‌ی حوضه‌هایی که عملکرد این روش در آن‌ها مناسب و نامناسب بوده است، یکی از جمع‌بندی‌های این تحقیق از منظر روش‌شناسی به شرح زیر استنباط شده است. سایر جمع‌بندی‌های گزارش از منظر روش‌شناسی نیز در ادامه آورده شده‌اند.

- استفاده از روش کَش‌سانی اقلیمی مبتنی بر فرضیه‌ی بودیکو در حوضه‌هایی که شاخص خشکی آن‌ها بیشتر از ۱/۵ باشد، توصیه نمی‌شود. نکته‌ی جالب توجه دیگر آن است که در زیرحوضه‌هایی که روش مبتنی بر فرضیه بودیکو در آن‌ها عملکرد مناسبی داشته است (زاینده‌رود، ارمند و کارون ۳)، تنها در دوره‌ی میانه‌ی دهه‌ی هفتاد تا میانه‌ی دهه‌ی هشتاد این عملکرد خوب مشاهده شده است به طوری که در همین زیرحوضه‌ها و در دوره‌ی میانه‌ی دهه‌ی هشتاد تا سال ۹۱ کیفیت نتایج به شدت افت کرده است. به این ترتیب به نظر می‌آید که این روش تنها در مواقعی قابل اطمینان است که شرایط اقلیمی دوره‌ی اخیر تفاوت فاحشی با شرایط اقلیمی دوره‌ی مرجع نداشته باشد. در بین چهار تابع استفاده شده در این روش، توابع Ol'dekop و Budyko، Turk-Pike بهترین عملکرد را داشتند. نتایج حاصل از روش Ol'dekop اطمینان‌پذیری کمتری نسبت به سایر روش‌ها دارد.
- جمع‌بندی دیگر مربوط به روش رگرسیون خطی است که در همه‌ی زیرحوضه‌ها به غیر از حوضه ارمند در دوره‌ی ۸۵-۷۵ و کارون ۳ در دوره‌ی ۸۵-۷۷، سهم تغییرات آب و هوایی و اثرات مستقیم انسانی را با اختلاف حداکثر ۱۰ درصد نسبت به نتیجه‌گیری نهایی که با مقایسه نتایج مدل‌های مختلف و با استناد به داده‌های میدانی انجام شده، تخمین زده است. بنابراین به نظر می‌رسد که این روش در کل عملکرد مناسبی داشته است و استفاده از آن در سایر حوضه‌ها نیز توصیه می‌شود.
- در میان تمام مدل‌های بیلان استفاده شده در روش تثبیت-تغییر، مدل‌های Guo (مدل منتخب برای زیرحوضه‌های رودخانه کرخه، حوضه آبریز ایستگاه هیدرومتری ارمند - کارون و زیرحوضه دهکده سفید-کر)، Jazim-Rao (حوضه‌های کارون ۳، ایستگاه هیدرومتری جلوگیر، سد زاینده‌رود و نیشابور) و Jazim-Guo در زیرحوضه جمال بیگ-کر بهترین عملکرد را داشته‌اند. دقت این مدل‌ها در حوضه‌های ذکر شده مناسب بوده و استفاده از آنها توصیه می‌شود. در حوضه‌های مورد مطالعه، روش تثبیت تغییر، به جز در حوضه‌های کارون ۳ و ارمند در دوره میانی، گاماسیاب و جلوگیر، جواب‌های نسبتاً نزدیکی به جمع‌بندی نهایی ارائه نموده است. در اکثر حوضه‌های چهارگانه ذکر شده، شاخص‌نش-سائکلیف در دوره واسنجی کمتر از ۰/۷ بوده است که می‌تواند عاملی برای توجیه عدم دقت مدل‌ها و قابل استناد نبودن نتایج آنها باشد.

نتایج روش‌های مختلف به همراه بررسی داده‌های میدانی نشان دهنده این است که در حوضه‌های سد زاینده رود، ارمند و کارون ۳ که دارای دو نقطه شکست در میانه دهه‌های هفتاد و هشتاد شمسی بوده‌اند، بعد از سال ۱۳۸۶، سهم تغییرات آب و هوایی در کاهش رواناب‌های سطحی نسبت به دوره ۸۵-۱۳۷۵ پررنگ‌تر بوده است. در دوره بعد از سال ۱۳۸۶، سهم تغییرات آب و هوایی در کاهش رواناب در سه حوضه سد زاینده رود، حوضه ایستگاه هیدرومتری ارمند (کارون) و حوضه سد کارون سه، به ترتیب ۴۵، ۴۹ و ۴۹ درصد بوده است. در دوره ۸۵-۱۳۷۵، سهم تغییرات آب و هوایی در کاهش رواناب در این سه حوضه به ترتیب ۳۳- (در جهت افزایش رواناب)، ۳۰ و ۴۷ درصد بوده است. در حوضه سد کرخه، سال ۱۳۷۶ به عنوان نقطه شکست تعیین شده و سهم تغییرات آب و هوایی در کاهش رواناب‌های سطحی در این حوضه، ۲۶ درصد برآورد شده است. در محدوده مطالعه نیشابور، تنها در حوضه ایستگاه هیدرومتری چهارباغ امکان جمع بندی نتایج وجود داشته است که در این حوضه، سال ۱۳۷۱ به عنوان نقطه شکست مشخص شده است و سهم اثرات تغییرات آب و هوایی در کاهش رواناب‌های سطحی ۷۳ درصد برآورد شده است.

در مجموع بررسی نتایج نشان می‌دهد که روش‌های ذکر شده، پتانسیل خوبی برای سهم بندی اثرات تغییرات آب و هوایی و اثرات مستقیم انسانی در حوضه آبریز کشور دارند هر چند که اولاً در تفسیر و مقایسه نتایج آنها و جمع بندی نهایی، حتماً بایستی صحت سنجی نتایج با مطالعات میدانی صورت گیرد. دوماً، در حوضه‌های دارای اثرات مستقیم انسانی شدید مثل محدوده مطالعاتی نیشابور، این روش‌ها قابل استفاده نیستند. در محدوده‌های پایین دست سدهای مخزنی، به دلیل رژیم تنظیمی جریان، این روش‌ها به طور مستقیم قابل استفاده نیستند و نیاز به اطلاعات تفصیلی در مورد برداشت‌های مختلف آب در این مناطق بیشتر احساس می‌شود.

موارد زیر زمینه‌های استفاده کاربردی از نتایج این تحقیق را نشان می‌دهد:

- در صورتی که نقشه پهنه بندی سهم اثرات مستقیم و غیرمستقیم برای کل کشور تهیه شود، در حوضه‌هایی که سهم اثرات تغییر اقلیم زیاد باشد، تمرکز بر سناریوهای سازگاری با تغییر اقلیم، می‌تواند منجر به کاهش خسارات و افزایش پایداری جوامع روستایی و فعالیت‌های اقتصادی وابسته به آب شود.
- در حوضه‌هایی که مثل حوضه آبریز کرخه، سهم مداخلات مستقیم انسانی زیاد باشد، پیاده سازی ضوابط سخت گیرانه برای تغییر کاربری و متعادل سازی آبخوان‌ها می‌تواند منجر به جلوگیری از تشدید روند کاهش رواناب‌های سطحی شود. در این حوضه‌ها، در میان مدت، می‌توان راهبردهایی برای احیاء شرایط پیش از شکست (از منظر مداخلات مستقیم انسانی) را تدوین و پیاده سازی کرد. قطعاً این راهبردها برای هر حوضه متفاوت خواهد بود ولی چهارچوب‌های کلی مثل پرداخت برای خدمات اکوسیستمی (PES) می‌تواند راه را برای بازگشت به شرایط گذشته هموار نماید. تجارب بین المللی در مورد پیاده سازی الگوهای PES نشان دهنده اثربخشی آنها در تنوع بخشی به معیشت و پایداری بیشتر جوامع بومی و محلی و جهت دهی فعالیت‌های اقتصادی این جوامع برای حفاظت از منابع طبیعی بوده است. رویکرد PES می‌تواند منابع مالی

لازم برای پیاده سازی راهبردهای سازگاری با تغییر اقلیم یا کاهش اثرات مستقیم انسانی را به این جوامع تزریق کند و از تبعات منفی اجتماعی و سیاسی پیاده سازی این راهبردها بکاهد.

- در حوضه‌هایی که سهم اثرات مستقیم انسانی قابل توجه ارزیابی شود، ساخت تاسیسات تنظیم و انتقال آب که منجر به افزایش مصرف آب برای مصارف مختلف از جمله کشاورزی شود، بایستی محدود شود. به عبارت دیگر، تهیه نقشه‌های سهم بندی، در هر دو زمینه مدیریت مصارف و برنامه ریزی توسعه می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

توسعه سامانه‌های پایش هیدرولوژیک به منظور شناسایی سهم اثرات مستقیم و غیرمستقیم انسانی ضروری است. برای بسط نتایج این تحقیق در سایر حوضه‌ها و شناسایی سهم اثرات در سال‌های آتی، برنامه ریزی برای توسعه سامانه‌های پایش هیدرولوژیک ضروری است. نکته آخر اینکه هر میزان کاهش در رواناب‌های سطحی یا تغییر غیرطبیعی در رژیم طبیعی حوضه‌ها قطعاً منجر به ایجاد ناپایداری‌هایی در اکوسیستم‌ها خواهد شد. متأسفانه تاکنون حساسیت دستگاه‌های دولتی ذیربط یا متخصصان تنها وقتی برانگیخته شده که کاهش رواناب‌ها در فعالیتهای اقتصادی وابسته به آب اختلال ایجاد کرده است. کمترین تحقیقات و بررسی‌ها در مورد اثرات کاهش رواناب‌ها بر ناپایداری اکوسیستم‌ها و گونه‌های جانوری و گیاهی صورت گرفته است. به نظر می‌رسد توسعه تحقیقات در این زمینه نیز، ضروری باشد.