

## ارزیابی طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای بر مبنای پتانسیل توسعه حوضه مبدا در حوضه سیروان کردستان

عطا امینی\*

استادیار، بخش تحقیقات آبخیزداری، مرکز آموزش و تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کردستان، سنندج، ایران<sup>۱</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۵/۱۹

### چکیده

در حوضه‌هایی که در اثر پیشی گرفتن مصارف آب از منابع آن، بحران کمبود آب رخ می‌دهد، متوازن نمودن این تراز منفی امری ضروری است. در چنین شرایطی، برای تامین منابع آب جدید، طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای به بخشی از سیاست‌های مدیریتی در کشور تبدیل شده است. در این طرح‌ها، بعضاً پتانسیل‌های حوضه مبدا و مقصد به درستی ارزیابی نمی‌شود. در این پژوهش، طرح انتقال آب بین حوضه‌ای از حوضه سیروان در استان کردستان به حوضه‌های سفیدرود و کرخه مورد ارزیابی قرار گرفت. این ارزیابی بر اساس اصول مدیریت یکپارچه حوضه و بر مبنای توانایی حوضه مبدا در تامین نیازهای فعلی و حفظ منابع آب برای توسعه آینده انجام شد. به این منظور، ضمن شناسایی مناطق مستعد، سناریوهای مختلفی برای توسعه کشاورزی و مصرف آب در حوضه سیروان تعریف شد. در تعیین سناریوهای توسعه کشاورزی معیارهای کمی با بیشترین اثرگذاری به صورت نقشه‌هایی در محیط GIS استخراج شد. همچنین، با تعیین نیاز خالص آبیاری محصولات به کمک نرم‌افزار CROPWAT، سناریوهایی نیز برای مصرف آب در بخش کشاورزی تعریف شد. نتایج نشان داد که حوضه سیروان با توجه به وضعیت منابع آب و خاک آن از پتانسیل توسعه کشاورزی مناسبی برخوردار است، به طوری که میزان آورد سالانه حوضه از نیاز آبی بخش کشاورزی آن در افق طرح، کمتر است. نتایج این پژوهش بیانگر لزوم توجه هرچه بیشتر به مدیریت یکپارچه منابع آب در مطالعات طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای در کشور است.

**واژه‌های کلیدی:** توسعه کشاورزی، سناریوی مصرف، مدیریت یکپارچه، منابع آب

### مقدمه

گذاشت و امنیت غذایی را دچار تزلزل خواهد کرد. محدودیت منابع آبی، نیاز به توسعه کشاورزی برای نیل به خودکفایی و ضروری بودن استفاده مطلوب از آب کشاورزی، حقایق انکارناپذیری هستند که باید بیشتر مورد توجه مسئولان قرار گیرند (Asadi و همکاران، ۲۰۰۸). از این رو، مدیریت آب در کشور، مستلزم راه‌کار مناسب و تحولی بزرگ است (Chakoshi و Falsoliman، ۲۰۱۱). Ebrahimi و Kalantari (۲۰۰۳) گزارش کردند که در

تامین آب سالم نقش بسزایی در ایجاد تعادل در امنیت غذایی کشورهای جهان دارد. در ایران با توجه به اقلیم خشک و پراکنش نامناسب بارش، تولید مواد غذایی و ایجاد کشاورزی پایدار، منوط به استفاده صحیح و منطقی از منابع آب و مدیریت صحیح مصرف آن است. هرگونه تنش آبی و تغییر شرایط اقلیمی و افت منابع آبی کشور، تأثیری مستقیم بر کاهش میزان تولیدات کشاورزی خواهد

\* مسئول مکاتبات: [ata\\_amini@yahoo.com](mailto:ata_amini@yahoo.com)

می‌توان به‌صورت زیر نشان داد (Zaag و Gupta, ۲۰۰۸):

$$n_b = \binom{4}{2} = \frac{4!}{2!2!} = 6 \quad (1)$$

$$n_b = \binom{8}{2} = \frac{8!}{6!2!} = 28 \quad (2)$$

نتایج ارزیابی‌های طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای نشان می‌دهند که اثر انتقال آب بر حوضه مبدأ بسیار بیشتر از حوضه مقصد و مسیر انتقال است. تا آن‌جا که Kaiser (۱۹۹۸) استدلال می‌کند که شرایط حوضه مبدأ بعد از انتقال، مبنای تصمیم‌گیری در انتقال آب است و آب فقط در صورتی اجازه انتقال دارد که حوضه مبدأ را با خطر کمبود آب و یا هر مشکل زیست محیطی دیگری مواجه نکند. سازمان یونسکو تأکید دارد که در انتقال آب بین حوضه‌ای، توسعه آینده حوضه مبدأ نباید تحت تأثیر کمبود آب واقع شود (Cox, ۱۹۹۹). بررسی یک طرح انتقال آب بین حوضه‌ای از جنوب به شمال چین نشان می‌دهد که افزایش بی‌رویه استفاده از منابع آب و کمبود آب آشامیدنی در منطقه، انتقال آب را توجیه‌پذیر می‌کند و منجر به اجرای پروژه انتقال آب در این منطقه می‌شود. حال آنکه پژوهش‌های Ma و همکاران (۲۰۰۶) بر مبنای آب مجازی نشان داد که حجم زیادی از مواد غذایی از شمال به جنوب چین (در خلاف جهت انتقال آب) در حال انتقال است. این طرح به‌عنوان یک تناقض در انتقال آب مطرح شده است. Ma و همکاران (۲۰۰۶) این سؤال‌ها را مطرح می‌کنند که آیا از لحاظ زیست محیطی و اجتماعی منطقی است که آب را به شمال منتقل و سپس به‌صورت مجازی به جنوب برگرداند؟ آیا به‌صرفه‌تر نیست که با انتقال صنایع، محصولات همان‌جا که آب هست تولید شوند؟

با این حال پروژه‌های انتقال آب بین حوضه‌ای در نقاطی از جهان از جمله در آمریکا، کانادا، کشورهای آفریقایی مانند آفریقای جنوبی و کشورهای آسیایی از جمله هند و ایران انجام شده است (Molle و Berkoff, ۲۰۰۶). در استان کردستان ارزیابی پتانسیل حوضه محدود به مطالعات مشاورین دستگاه‌های اجرایی است. از جمله می‌توان به گزارش‌های مه‌باب گستر در سال ۲۰۱۰ اشاره نمود. در حوضه سیروان در استان کردستان طرح‌های مدیریتی زیادی از جمله سدسازی و پروژه‌های انتقال آب بین حوضه‌ای در دست اجرا و مطالعه است. تعدادی از این طرح‌های انتقال آب از لحاظ سازه‌ای و حجم مصرف منابع مالی در سطح جهان بی‌نظیر هستند

ایران با توجه به مقدار آب مصرفی در بخش کشاورزی، بهره‌وری آب<sup>۱</sup> (وزن ماده خشک تولید شده به ازای واحد حجم آب) نسبت به کشورهای دیگر بسیار پایین است. از این‌رو، بقای کشاورزی در ایران در آینده‌ای نه‌چندان دور، گرفتار کمبود منابع آبی تجدید شونده خواهد شد (Azrmsa و Rasthchi, ۲۰۰۵).

به علت تشدید حوادثی چون تغییرات اقلیمی، گرمایش جهانی و تنش‌های آبی و به سبب اهمیت و تأثیر آب بر شرایط محیطی و اقتصادی-اجتماعی، مدیریت جامع منابع آب به‌عنوان یکی از ارکان توسعه پایدار در ابعاد زمانی-مکانی مورد توجه محافل مختلف علمی قرار گرفته است (Haleblian و Shbankary, ۲۰۱۰). Van Cauwenberg و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که کم‌آبی صرفاً یک نقص فیزیکی نیست، بلکه به سوء مدیریت منابع آب بر می‌گردد. از جمله روش‌های اجرایی که در کشور بیشتر مورد توجه قرار گرفته، طرح‌های سازه‌ای عظیم از جمله ساخت سد و پروژه‌های انتقال آب بین حوضه‌ای است. انتقال آب بین حوضه‌ای دارای پتانسیل اختلال و برهم زدن شرایط زیست محیطی و در نتیجه بروز منازعات ملی و بین‌المللی، به‌ویژه در رابطه با ساکنان حوضه مبدأ است. مباحث اقتصادی و زیست محیطی جدی پیرامون این موضوع بالا گرفته است. انتقال آب به خارج از مرزهای یک حوضه، اثرات عمده‌ای روی حوضه‌های مبدأ و مقصد دارد، به طوری که این اثرات قابل مقایسه با حالتی که آب در حوضه مبدأ مصرف شود، نیست. چرا که هرزآب‌های ایجاد شده در حوضه مقصد غیرقابل بازگشت به سیکل هیدرولوژیکی حوضه مبدأ می‌باشند. لذا، آب یک حوضه به‌جز در موارد بسیار حاد و بحرانی، نباید به خارج از آن حوضه منتقل شود (Myszewski, ۲۰۰۳). اگر اثرات اجرای یک پروژه در داخل یک حوضه به چهار دسته تقسیم شود (مثلاً نیازهای شرب، آبیاری، برق آبی و محیط زیست)، در مجموع شش زوج مختلف از پارامترها یا مناقشاتی که باید حل شوند، وجود خواهند داشت. حال آن‌که اگر همین پروژه در بین دو حوضه اجرا شود، این متغیرها به ۲۸ عدد افزایش خواهد یافت. اگر  $n_b$  تعداد متغیرهای مرتبطی باشند که در یک پروژه نقش دارند، به‌صورت ریاضی این موضوع را

<sup>1</sup> Water Productivity

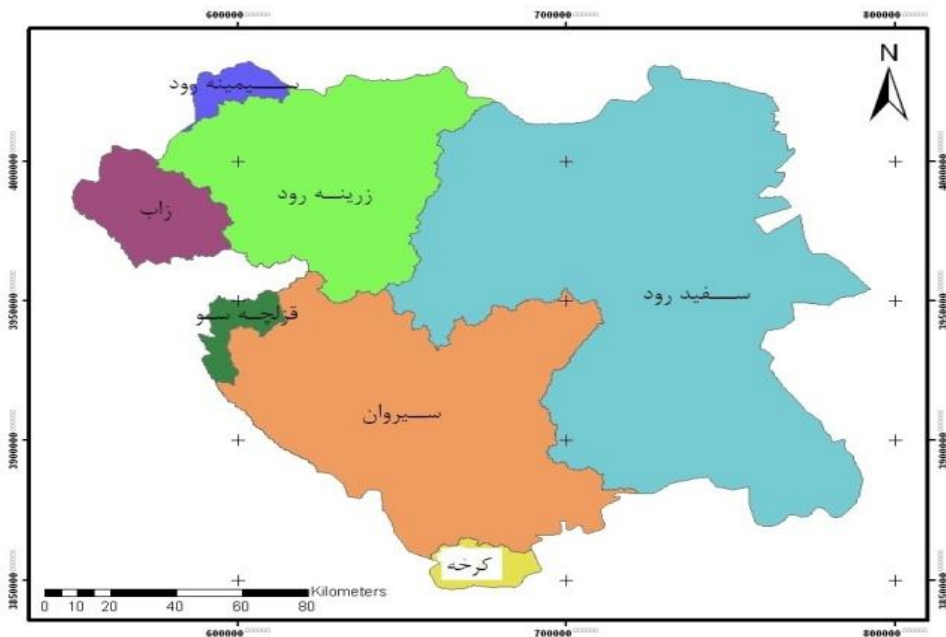
میلی متر در سال و میانگین درجه حرارت سالانه ۱۳/۲ درجه سانتی گراد است. دبی متوسط سالانه و حجم آورد سالانه آن به ترتیب ۸۸/۷۹ متر مکعب بر ثانیه و حدود ۲/۴ میلیون متر مکعب است. رودخانه سیروان با طول ۲۱۳ کیلومتر از پرآب ترین و بزرگ ترین رودخانه های غرب کشور محسوب می شود. رودخانه هایی مانند گاران، گردلان و رزاب از مهمترین سرشاخه های رودخانه سیروان هستند. حوزه آبخیز سیروان در برگیرنده شهرهای سنندج، مریوان، کامیاران و منطقه اورامان است. جدول ۱ تعدادی از سدهای ساخته شده یا در حال ساخت را در این حوزه نشان می دهد. در حال حاضر در این حوزه سه طرح بزرگ انتقال آب بین حوضه های به حوضه های سفیدرود و کرخه در حال اجرا است.

تعداد دیگری سد در حوزه سیروان از جمله سد بلبر که حجم مخزن آن ۲۲۴ میلیون متر مکعب است، در مرحله شناخت و مطالعه می باشند. مجموع حجم آب قابل تنظیم در دریاچه سدهای این حوزه معادل ۲۶۸۱/۳۸ میلیون متر مکعب است که با توجه به میزان آورد سالیانه حوزه سیروان، بیش از توان هیدرولوژیکی حوزه است. در جدول ۱ سدهای گاوشان، ژاوه، پلنگان، آزاد و داریان به منظور انتقال آب بین حوضه های ساخته شده است. حوزه آبخیز سد داریان در استان کردستان و دیواره آن در استان کرمانشاه قرار دارد.

(Khodabakhshi و Khodabakhshi, ۲۰۰۶). ایسن در حالی است که در این طرح ها پتانسیل های توسعه خود حوضه سیروان، به عنوان حوضه مبدأ در پروژه های انتقال آب بین حوضه های، به صورت جامع، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در این پژوهش با بررسی منابع آب و خاک و شرایط اقلیمی، در راستای تعیین توانایی حوضه سیروان در تأمین آب برای انتقال بین حوضه ای، پتانسیل توسعه کشاورزی این حوضه و مصارف آب مورد نیاز آن مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این پژوهش می تواند مورد استفاده متصدیان و مدیران بخش آب و خاک کشور قرار گیرد.

### مواد و روش ها

**منطقه مورد پژوهش:** این پژوهش در حوزه آبخیز سیروان در استان کردستان انجام شد. استان کردستان دارای پنج حوزه آبخیز اصلی است. در شکل ۱ حوزه های آبخیز استان و دو زیرحوضه اصلی آن نشان داده شده است. حوزه آبخیز سیروان با مساحت ۷۸۲۱ کیلومتر مربع، ۲۷ درصد از سطح استان کردستان را پوشش می دهد. این حوضه در محدوده عرض جغرافیایی  $34^{\circ} 51' 40''$  و  $30^{\circ}$  قرار دارد و از پرآب ترین حوضه های استان محسوب می شود. اقلیم حوضه سیروان مرطوب و نیمه مرطوب است. متوسط بارندگی این حوضه ۶۵۰



شکل ۱- حوزه های آبخیز استان کردستان

جدول ۱- سدهای موجود و در حال ساخت در حوضه سیروان

نام سد	حجم مفید (MCM)	حجم نرمال (MCM)	رقوم حداقل بهره‌برداری (m)	رقوم نرمال (m)
گاوشان	۴۶۹/۱۸	۵۰۴/۲۵	۱۴۸۸	۱۴۴۵/۵
قشلاق	۱۹۹	۲۲۴	۱۵۲۸	۱۵۷۱
ژاوه	۳۱۲/۵	۳۵۲/۵	۱۲۸۴	۱۳۳۰
پلنگان	۶۱	۸۰	۱۰۶۰	۱۱۱۷
آزاد	۲۰۵/۶۱	۲۲۳/۲۳	۱۴۲۹	۱۴۷۵
شوشه	۴۵/۱۶	۶۵/۸	۱۴۲۰	۱۴۵۵
گاران	۸۶/۵	۹۲	۱۳۸۳	۱۴۱۹
S9-1 (گردلان)	۱۹۸/۸	۲۵۳/۸	۱۱۰۰	۱۱۳۲
داریان	۱۸۱/۶۵	۲۷۰	۷۸۳	۸۲۵
زریبار	-	۳۰/۶	-	۱۲۹۵

#### معیارهای توسعه و الگوی کشت اراضی: تعیین سطح

اراضی قابل کشت<sup>۱</sup> مستلزم داشتن نقشه‌های مختلف خاک‌شناسی، منابع آب، اقلیم‌شناسی و اطلاعات صحرایی است که بسیاری از آن‌ها در بیشتر حوضه‌های کشور از جمله حوضه سیروان در دسترس نیست. از این رو، در این پژوهش به کمک نقشه‌های موجود و تهیه نقشه‌های جدید در محیط نرم‌افزار GIS، سطوح قابل کشت محصولات مشخص شد. با توجه به مزیت نسبی محصولات باغی، در دست اجرا بودن طرح توسعه باغات در سطح استان و پتانسیل طبیعی حوضه، در این پژوهش بیشتر پتانسیل توسعه باغات با تاکید بر آب مصرفی آن و همچنین کیفیت آب حوضه، مدنظر قرار گرفت. از سویی، مزیت نسبی درآمدزایی و اشتغال‌زایی محصولات باغی باعث شده که تمایل عمومی کشاورزان در راستای توسعه باغات باشد. به‌طوری که در صورت وجود منابع آب جدید، این منابع به توسعه باغات اختصاص خواهند یافت.

در تعیین الگوی کشت محصولات باغی مجموعه‌ای از عوامل مؤثر است. این عوامل را می‌توان به گروه‌های اقلیمی، فیزیوگرافی، خاک‌شناسی، آب و آبیاری، اقتصادی، اجتماعی، اکولوژیکی (روابط بین موجودات و گیاهان و زیست‌محیطی) تقسیم‌بندی نمود. بررسی همه این

متغیرها، به هزینه و آزمایش‌های صحرایی زیادی نیاز دارد که امکان ارزیابی آن‌ها در یک پژوهش وجود ندارد. از این رو، بر اساس تجارب کارشناسی و نظرات دیگر محققین که در نشریه شماره ۵۱۰ و نیز نشریه (FAO، ۱۹۹۲) منعکس شده، مختصات جغرافیایی حوضه‌ها، ارتفاع از سطح دریا، کیفیت آب و درصد شیب اراضی به‌عنوان اصلی‌ترین معیارهای کمی که بیشترین تاثیر را بر توسعه اراضی کشاورزی دارند، انتخاب شد (Molle و Berkoff، ۲۰۰۶). به‌دلیل وجود سابقه باغداری در حوضه، از تاثیر عوامل اکولوژیک از جمله بررسی آفات خطرناک برای هر نوع از محصولات در منطقه و نیز عوامل اجتماعی مانند سنجش رضایت زارعین صرف نظر شد. ضمن این‌که برای تعدیل خطاهای ناشی از منظور نمودن این متغیرها، بر مبنای شرایط حوضه و وضعیت فعلی باغداری در حوضه، بخشی از مساحت اراضی شناسایی شده (۳۰ درصد)، به‌عنوان اراضی متأثر از این عوامل و به تبع آن، غیرقابل کشت، منظور شد. نمونه‌ای از توسعه باغات در حوضه سیروان و در اراضی با شیب‌های بیشتر از ۷۰ درصد در شکل ۲ نشان داده شده است.

<sup>۱</sup>Cultivable area



شکل ۲- توسعه اراضی زراعی و باغی در حوضه سیروان

**عرض جغرافیایی و شرایط توپوگرافی:** عرض جغرافیایی حوزه‌های آبخیز یکی از معیارهای مهم انتخاب محصول است. موقعیت جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا

متناسب با رشد گونه های باغی بر اساس پیشنهاد نشریه ۵۱۰ در جدول ۲ ارائه شده است. گونه‌های مناسب برای حوضه با توجه به اطلاعات جدول ۲ تعیین شد.

جدول ۲- موقعیت جغرافیایی مناسب برای گونه‌های باغی

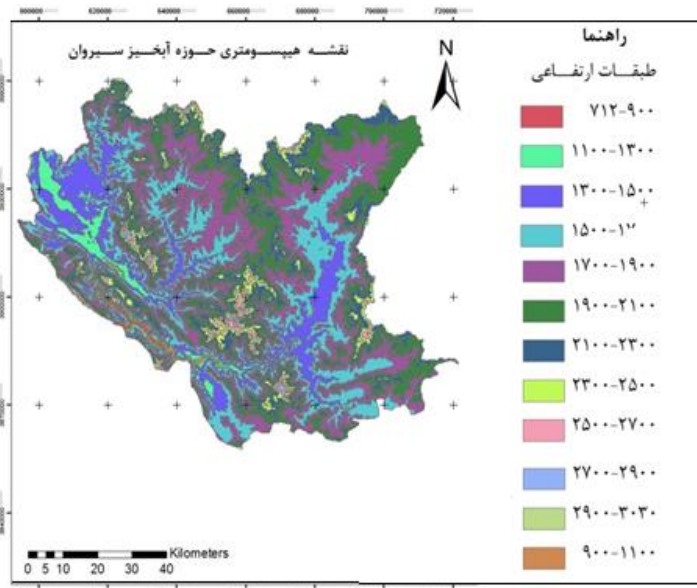
ارتفاع از سطح دریا (متر)	عرض جغرافیایی	گونه
۱۰۰-۲۵۰۰	۳۳-۳۵	سیب
۱۳۳-۲۲۰۰	۳۳-۵۵	گللابی
۴۰۰-۲۵۰۰	۲۰-۶۰	به
۲۰۰-۲۰۰۰	۳۰-۴۰	هلو و شلیل
۱۰۰۰-۲۰۰۰	۳۰-۵۰	گیلاس
۱۰۰۰-۲۰۰۰	۳۰-۵۰	آلبالو
۱۰۰۰-۱۸۰۰	۳۰-۵۰	آلو و گوجه
۷۰۰-۲۳۰۰	۳۰-۵۰	زردآلو
۱۰۰۰-۲۵۰۰	۳۰-۵۰	گردو
۱۰۰۰-۲۲۰۰	۳۰-۵۰	بادام
بیش از ۷۰۰	۳۵-۴۵	فندق
۹۰۰-۱۸۰۰	۲۷-۳۷	پسته
۲۰۰-۱۴۰۰	۳۴-۴۹	انگور
تا ۱۴۰۰	۲۷-۳۷	انار
۲۰۰-۱۸۰۰	کمتر از ۲۵	انجیر
۲۰۰-۱۵۰۰	۲۷-۳۷	زیتون
تا ۲۰۰۰	۳۳-۵۵	توت

درختانی که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت، کل درختانی است که معیار استاندارد و کمی بر اساس نشریه شماره ۵۱۰ برای آن‌ها در دسترس است. در انتخاب این گونه‌ها وضعیت فعلی باغات حوضه نیز مدنظر قرار

گرفت. یکی از مهمترین عوامل تأثیرگذار بر رشد محصولات باغی، ارتفاع محل کشت از سطح دریا است. این معیار به‌عنوان عاملی که بر تعداد دیگری از معیارهای مهم توسعه کشاورزی اثرگذاری بوده، شناخته شده است.

میوه در سطح حوضه، نقشه هیپسومتری حوضه با استفاده از نرم‌افزار GIS استخراج شد (شکل ۳).

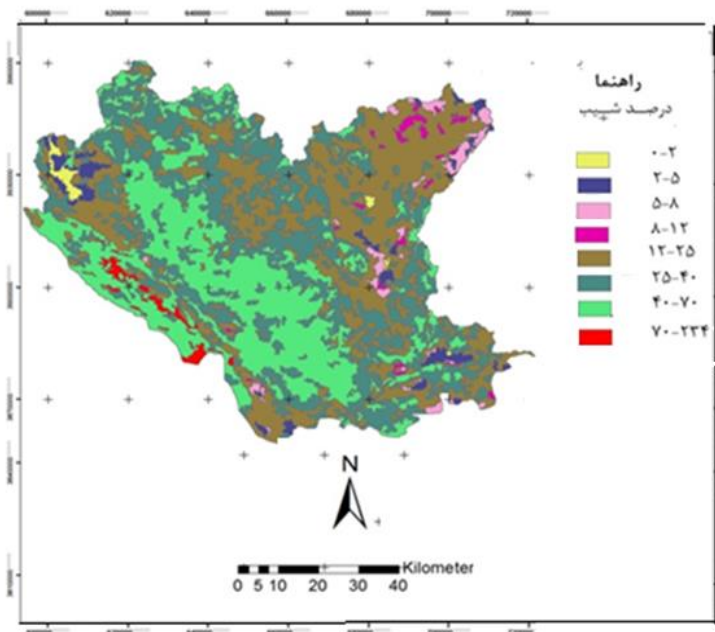
همچنین، پارامترهای اقلیمی تا حد زیادی به این عامل بستگی دارند. از این رو، برای بررسی قابلیت کشت درختان



شکل ۳- نقشه هیپسومتری حوضه آبخیز سیروان

شود. این کار با استفاده از نقشه های رقومی استان و در محیط GIS انجام شد. نقشه شیب حوضه سیروان در شکل ۴ نشان داده شده است.

کلاس بندی اراضی از لحاظ درصد شیب: شیب اراضی از جمله مهمترین عوامل در توسعه کشاورزی است. از این رو لازم است حوضه از لحاظ درصد شیب کلاس بندی



شکل ۴- نقشه شیب حوضه آبخیز سیروان

سبب کاهش کمیت و کیفیت محصول می‌شوند

کیفیت منابع آب: استفاده از آب‌های دارای کیفیت پایین

گیاه مرجع چمن برآورد و سپس ضریب گیاهی مناسب از ضرایب تعیین شده به وسیله موسسه تحقیقات خاک و آب انتخاب شد (Farshi و همکاران، ۱۹۹۷). در واقع، تبخیر و تعرق پتانسیل، معرف اثر عوامل جوی در نیاز آبی گیاه بدون توجه به نوع آن است و ضریب گیاهی اثر خصوصیات گیاه را در نیاز آبی لحاظ می کند. از حاصل ضرب این دو پارامتر نیاز آبی برای گونه های باغی غالب در حوضه تعیین شد. مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل با روش پنمن-مانتیت<sup>۳</sup> و به کمک نرم افزار CROPWAT محاسبه شد. با کم کردن باران مؤثر<sup>۴</sup> از نیاز آبی، نیاز خالص آبیاری<sup>۵</sup> که همان کمبود رطوبت اقلیم<sup>۶</sup> است و باید به وسیله آبیاری تأمین شود، به دست می آید (Amini و Heidari، ۲۰۱۴). در این پژوهش، از قابلیت نرم افزار CROPWAT که در شرایط کمبود آب، می تواند به عنوان یک راهنما برای بهبود عملیات آبیاری مورد استفاده قرار گیرد (FAO، ۱۹۹۲)، استفاده شد و سناریوهای مدیریت مصرف منابع آب تعریف شد. این سناریوها در جدول ۳ نشان داده شده است.

با ترکیب سناریوهای مصرف آب و کلاس اراضی قابل کشت، در مجموع تعداد نه سناریو برای توسعه باغات و سه سناریو برای توسعه اراضی زراعی مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به تنوع الگوی کشت و متفاوت بودن نیاز آبی محصولات، در عمل تلفیقی از سناریوهای مصرف آب در حوضه مورد استفاده قرار گرفت.

### نتایج و بحث

**سازگاری گونه ها:** در جدول ۲ نشان داده شده که بیشتر گونه های باغی قابلیت کشت در حوزه آبخیز سیروان را دارند. درختان غیرسازگار با این عرض جغرافیایی یعنی بین عرض جغرافیایی ۳۴ تا ۳۶ درجه شامل انجیر و تا حدی درختان زیتون، انار و پسته است. حال آن که مشاهدات صحرایی نشان می دهند که در حال حاضر انجیر و انار در بخش هایی از سطح حوضه کشت می شوند. این مناطق تحت محافظت کوه هاست و به همین دلیل تاثیر عوامل محیطی تا حدودی کاهش می یابد. با توجه به نقشه هیپسومتری نشان داده شده در شکل ۳، حوضه سیروان

(Lichtfouse، ۲۰۱۰؛ Stevens، ۲۰۰۶). از این رو، کیفیت منابع آب حوضه نیز مورد بررسی قرار گرفت. پارامترهای SAR<sup>۱</sup> یا نسبت جذب سدیم و EC<sup>۲</sup> یا هدایت الکتریکی املاح محلول، عمدتاً در طبقه بندی آبها به عنوان شاخص شوری مورد استفاده قرار می گیرند. هر چه شوری و ضریب جذب سدیم بالاتر باشد، کیفیت آب از سطح پائین تری برخوردار است. در این پژوهش اطلاعات کیفیت آب چشمه ها، قنوات و رودخانه های اصلی از شرکت آب منطقه ای استان کردستان دریافت و مورد تحلیل قرار گرفت. در مواردی که داده های کیفیت منابع آب وجود نداشت، با نمونه گیری و انتقال به آزمایشگاه آب و خاک، تحلیل کیفی آنها انجام گرفت.

**مرغوبیت اراضی:** با توجه به وجود اراضی مستعد حتی در شیب های بالا، محدودیت منابع آبی عامل اصلی در توسعه کشاورزی در حوضه سیروان است. در این پژوهش بر مبنای دو عامل مرغوبیت اراضی و نیاز آبی محصولات، سناریوهای توسعه باغات تعریف شد. سناریوهای مورد بررسی برای توسعه اراضی باغی بر مبنای مرغوبیت اراضی با توجه به استانداردهای موجود (نشریه شماره ۵۱۰؛ FAO، ۱۹۹۲) انتخاب شد.

**نیاز آبی:** به منظور تعیین سناریوهای مدیریتی بر مبنای نیاز آبی گیاه، داده های ماهانه درازمدت از ایستگاه های هواشناسی سازمان هواشناسی کشور و وزارت نیرو، جمع آوری و مورد پردازش و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. دوره پایه مشترک از سال ۱۳۵۳-۱۳۵۲ تا ۱۳۸۷-۱۳۸۶ به مدت ۳۵ سال انتخاب شد. در این پژوهش، از مدل CROPWAT برای آنالیز داده های هواشناسی و تعیین نیاز آبی استفاده شد. به کمک این مدل کاربردی، هواشناسان و متخصصان کشاورزی و آبیاری، محاسبات استاندارد تبخیر و تعرق گیاه مرجع، نیاز آبی و آبیاری محصولات را تخمین می زنند.

پارامترهای رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی فقط در ایستگاه های سینوپتیک قابل دسترسی بود و برای سایر پارامترها از دیگر ایستگاه های قرار گرفته در حوضه های مجاور نیز استفاده شد. با استفاده از پارامترهای هواشناسی مؤثر در تبخیر و تعرق، نیاز آبی سطح استاندارد

<sup>۳</sup> Penman-Monteith

<sup>۴</sup> Effective Precipitation (Pe)

<sup>۵</sup> Net irrigation Requirement (NIR)

<sup>۶</sup> Climate Moisture Deficit

<sup>۱</sup> Sodium Adsorption Ratio

<sup>۲</sup> Electrical Conductivity

است. ضمن این‌که بررسی این نقشه‌ها و جداول مربوطه نشان می‌دهند که گونه باغی زیتون، با این ارتفاع از سطح دریا غیرسازگار است. در واقع کشت این محصول با ریسک همراه است.

در برگیرنده ۱۲ طبقه ارتفاعی از ۷۱۲ تا ۳۰۳۰ متر است. تطابق نقشه‌های هیپسومتری حوضه با شرایط بهینه ارتفاعی برای رشد گونه‌های باغی نیز بیانگر مناسب بودن حوضه سیروان برای بیشتر درختان و محصولات باغی

جدول ۳- سناریوهای توسعه اراضی باغی در حوضه سیروان

نیاز آبی ( $m^3 yr^{-1} ha^{-1}$ )		درجه‌بندی اراضی				
مصرف سالانه	سناریو	ردیف	شیب اراضی (درصد)	سناریو	نوع محصول	ردیف
باغی	زراعی		۰-۵	بهترین کلاس	زراعی	۱
۸۰۳۵	۱۱۲۴۹	۱	۶-۲۵	بهترین کلاس		۲
۹۶۴۲	۱۲۵۸۶	۲	۲۶-۴۰	کلاس متوسط	باغی	۳
۱۱۲۴۲	۱۶۰۷۰	۳	۴۱-۷۰	کلاس نه‌چندان مرغوب		۴

و قابلیت توسعه باغات را دارا می‌باشند. **کیفیت آب آبیاری:** داده‌های کیفی و نتایج آنالیز نمونه‌های گرفته شده از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی به‌منظور تعیین کیفیت آب برای مصارف کشاورزی در روش ویلکوکس مورد استفاده قرار گرفت. بر مبنای روش ویلکوکس، SAR و EC هرکدام به چهار گروه تقسیم می‌شوند که از ترکیب این دو معیار، آب‌ها از لحاظ کیفی به ۱۶ گروه طبقه‌بندی می‌شوند. در این طبقه‌بندی C علامت شوری و S علامت سدیمی است. نتایج نشان می‌دهند که کیفیت آب رودخانه قشلاق در محدوده  $C_1S_1$  تا  $C_3S_1$  قرار دارد و کیفیت آب رودخانه گاوشان  $C_2S_1$  است که از مطلوبیت لازم برای رشد تمام گیاهان برخوردار است. آب رودخانه قزلچسوسو نیز دارای کیفیت  $C_2S_1$  تا  $C_3S_1$  در انتهای دشت بوده که از درجه شوری بالاتری برخوردار است. با در نظر گرفتن شرایط خاک و آبشویی در تابستان، می‌توان برای گونه‌های مقاوم به شوری از آن استفاده نمود. حال آن‌که در بقیه ایام سال کیفیت آب از درجه قابل قبولی ( $C_2S_1$ ) برخوردار بوده و برای رشد اکثر گیاهان قابل استفاده است. بررسی داده‌های مربوط به منطقه قزلچسوسو (چشمه‌ها و چاه‌ها) نیز نشان می‌دهد که کیفیت آب زیرزمینی در طبقه  $C_2S_1$  و در حد مناسب قرار دارد. نمونه‌ای از داده‌ها و نتایج تحلیل کیفیت آب در تعدادی از چشمه‌های موجود در حوضه مورد مطالعه در جدول ۴ ارائه شده است.

**پتانسیل خاک حوضه:** حوضه سیروان در برگیرنده شیب صفر تا ۲۳۴ درصد است. چنانچه در شکل ۴ نشان داده شد، نقشه شیب بر اساس هشت طبقه (۰-۲، ۲-۵، ۵-۸، ۸-۱۲، ۱۲-۲۵، ۲۵-۴۰، ۴۰-۷۰ و بیشتر از ۷۰ درصد) طبقه‌بندی شد. اراضی موجود در شیب‌های زیر پنج درصد بیشتر به‌صورت زراعت مورد استفاده قرار می‌گیرد. به‌طور کلی، در اکثر مناطق امکان احداث باغات در زمین‌های با شیب بین پنج تا ۲۰ درصد مناسب و اقتصادی هست. حال آن‌که مشاهدات صحرائی در حوضه سیروان نشان می‌دهند که باغداری در اراضی با شیب ۱۳۰ درصد و بیشتر نیز در سطح سیروان به‌صورت سنتی و گاه نیمه مکانیزه، توسعه یافته و منبع معیشتی بخش قابل توجهی از حوضه‌نشینان است. در این پژوهش، اراضی با شیب کمتر از ۷۰ درصد، یعنی اراضی با کم‌ترین اختلاف ارتفاع موردنیاز برای پمپاژ آب و با امکان انجام عملیات مکانیزاسیون آسان، به‌عنوان اراضی مستعد توسعه باغداری در نظر گرفته شد. بر اساس استانداردهای موجود توسعه اراضی کشاورزی با شیب بیشتر از ۳۵ درصد به علت عدم امکان شخم و فرسایش خاک برای کشاورزی مناسب نیستند. حال آن‌که برای محصولات باغی با سامانه‌های کنترل شده آبیاری، عامل شیب تنها برای مکانیزه شدن توسعه باغات محدودیت محسوب می‌شود (Jarasunas, ۲۰۱۶). همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود بیشتر اراضی حوضه سیروان دارای شیب کمتر از ۷۰ درصد بوده



Class	UTM		EC	SAR	محل
	Y	X			
C2-S1	۳۹۴۶۳۰۲	۵۹۶۳۹۹	۵۵۱	۰/۱۹	خاو
C2-S1	۳۹۴۵۴۱۳	۵۹۷۵۸۶	۴۹۴	۰/۱۸۷	میرآباد
C2-S1	۳۹۴۰۶۳۷	۵۹۸۸۷۸	۴۲۶	۰/۲۲۷	کانی میران
C3-S1	۳۹۴۵۸۹۲	۶۰۱۹۱۵	۸۰۷	۰/۲۴۹	نچی
C2-S1	۳۹۴۶۵۹۹	۵۹۵۳۳۱	۳۵۱	۰/۲۶۸	خانمه کن
C2-S1	۳۸۷۸۹۰۸	۶۹۲۳۰۰	۴۴۰	۰/۲۴۷	پنیران (تابستان)
C2-S1	۳۸۷۸۹۰۸	۶۹۲۳۰۰	۳۹۴	۰/۱۷۶	پنیران (زمستان)
C2-S1	۳۹۳۴۴۳۷	۵۹۹۷۷۷	۴۹۸	۰/۲۲۴	پیرصفا
C2-S1	۳۹۲۶۰۸۷	۶۰۳۹۶۶	۶۰۸	۰/۱۵۷	کلکه جان
C2-S1	۳۸۵۲۴۵۸	۶۶۷۲۷۱	۲۸۶	۰/۱۲۸	الک (زمستان)
C2-S1	۳۸۵۲۴۵۸	۶۶۷۲۷۱	۲۸۷	۰/۱۳۶	الک (تابستان)
C2-S1	۴۰۱۶۳۵۷	۶۳۹۱۳۲	۴۵۰	۰/۲۱۳	چاغر لو
C2-S1	۴۰۲۳۸۰۶	۶۱۲۱۵۴	۳۴۷	۰/۱۲۱	سرچاوه
C2-S1	۳۹۷۰۸۳۴	۷۴۰۲۶۴	۶۰۳	۰/۲۳۴	حسن‌آباد حومه

شده، در واقع در حال حاضر زیرکشت محصولات زراعی باشد. با توجه به تعریف سناریوهای متفاوت برای مصرف آب، این موضوع خطایی در برآورد میزان مصرف آب در حوضه ایجاد نخواهد کرد. حجم فعلی مصرف آب در حوضه سیروان برابر ۳۸۰ میلیون مترمکعب است (Mousavi و Shorian, ۲۰۰۶).

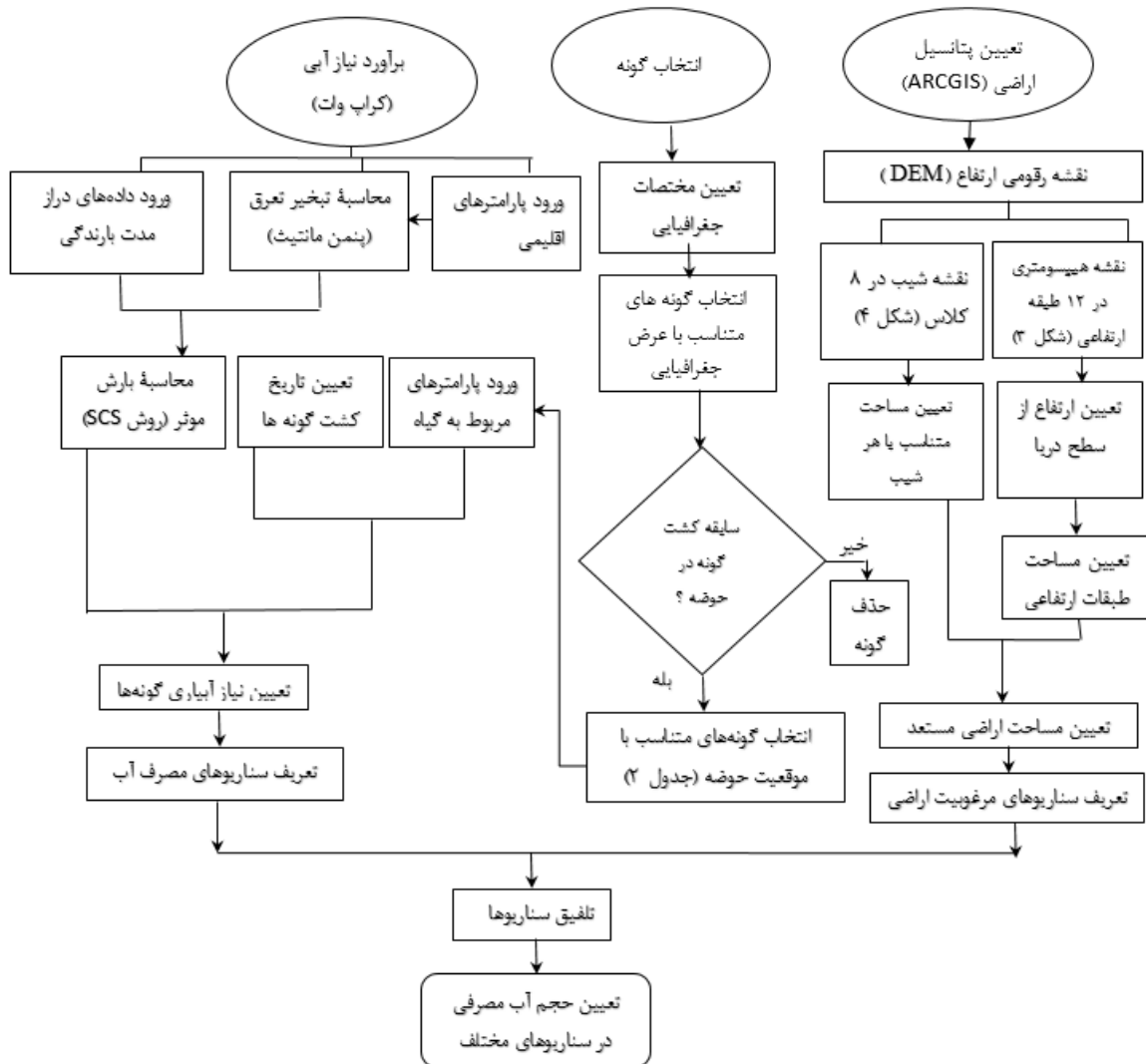
جدول ۵ نشان می‌دهد که ۵۱۲۵۸۱ هکتار (مجموع اراضی زراعی و باغی) از اراضی حوضه سیروان قابلیت کاربری کشاورزی را دارا می‌باشند. این میزان اراضی تحت سناریوی با هیدرومدول کم به بیشتر از ۴۰۰۰ میلیون مترمکعب و تحت سناریو با هیدرومدول بالا بیش از ۵۷۰۰ میلیون مترمکعب آب نیاز دارند. معیار انتخاب هیدرومدول، محاسبات نیاز آبی محصولات است که در آن گونه‌های موجود در سه طبقه با مصارف کم، متوسط و زیاد مطابق جدول ۳ تقسیم‌بندی شدند. شرکت آب منطقه‌ای استان کردستان میزان آورد سالانه حوضه سیروان را معادل ۲۴۰۰ میلیون مترمکعب گزارش می‌کند. از این‌رو، میزان آب مورد نیاز برای پوشش نیازهای توسعه کشاورزی حوضه، تحت سناریوی با هیدرومدول کم از میزان آورد سالانه حوضه بیشتر است. سطح توسعه باغات که توسط مهندسی مشاور دستگاہای اجرایی در حوضه سیروان

**سناریوهای مدیریتی:** با ترکیب سناریوهای مصرف آب و کلاس اراضی مطابق جدول ۳، در مجموع تعداد نه سناریو برای توسعه باغات و سه سناریو برای توسعه اراضی زراعی در حوضه قابل حصول است. همان‌طور که مطرح شد اراضی با شیب کمتر از ۷۰ درصد، مدنظر قرار داده شد. در این پژوهش برای کاهش عدم قطعیت‌های ناشی از حذف تعدادی از متغیرهای کیفی خاک، سنگلاخی و آهکی بودن اراضی، مراتع و منابع طبیعی و سایر کاربری‌های اراضی، علاوه بر اراضی با شیب بیشتر از ۷۰ درصد که بیشتر به‌صورت مرتع و یا غیرقابل کشت می‌باشند، ۳۰ درصد از اراضی با شیب زیر ۷۰ درصد نیز از اراضی مستعد شناسایی شده حذف شد. مراحل انتخاب سناریوها و تعیین مساحت اراضی و حجم آب مصرفی در شکل ۵ نشان داده شده است.

در جدول ۵ نتایج طبقه‌بندی اراضی مستعد و محاسبات نیاز آبی سالانه این اراضی به تفکیک سناریوهای مختلف ارائه شده است. ارقام جدول ۵ اراضی تحت پوشش فعلی را هم شامل می‌شوند. همچنین، در این پژوهش تفکیک اراضی تحت پوشش باغ یا زراعت در محدوده مورد مطالعه مقدور نبوده است. از این‌رو ممکن است بخشی از اراضی در شیب‌های مختلف که به‌عنوان باغات منظور

باغات در اراضی شیب‌دار اطراف این رودخانه‌ها، تنها محدودیت موجود، تخصیص آب است. به طوری که در صورت عدم وجود این محدودیت، تعداد زیادی از این پروژه‌ها در هر سال قابل اجرا است.

پیشنهاد شده، با نتایج این پژوهش هم‌خوانی دارد. بیشتر اراضی مستعد دارای ارتفاع کم و در حاشیه رودخانه سیروان و سرشاخه‌های آن قرار دارند. به نظر می‌رسد در خصوص اجرای پروژه‌های ایستگاه پمپاژ به‌منظور توسعه



شکل ۵- مراحل تعیین مساحت اراضی مستعد، حجم آب مصرفی و انتخاب سناریوهای مورد استفاده

جدول ۵- نتایج محاسبات نیاز آبی سالانه حوضه سیروان

نیاز آبی سالانه (میلیون مترمکعب)						کلاس اراضی
سناریوی هیدرومدول زیاد		سناریوی هیدرومدول متوسط		سناریوی هیدرومدول کم		کلاس اراضی زراعی
زراعی	باغی	زراعی	باغی	زراعی	باغی	
-	۲۸۷/۷	-	۲۳۰	-	۲۰۱/۴	۱۷۹۰۳ بهترین اراضی زراعی تا شیب پنج درصد
۲۰۳۴/۲	-	۱۷۴۳/۶	-	۱۴۵۳	-	۱۸۰۸۲۹ بهترین اراضی باغی با شیب پنج تا ۲۵ درصد
۱۷۷۷/۶	-	۱۵۲۳/۷	-	۱۲۶۹/۷	-	۱۵۸۰۲۳ اراضی کلاس متوسط باغی با شیب ۲۵ تا ۴۰ درصد
۱۷۵۲/۹	-	۱۵۰۲/۵	-	۱۲۵۲/۱	-	۱۵۵۸۲۶ اراضی کلاس کیفیت پایین باغی شیب ۴۰ تا ۷۰ درصد
۵۵۶۴/۷	-	۴۷۶۹/۸	-	۳۹۴۷/۸	-	۴۹۴۶۷۸ مجموع اراضی با شیب پنج تا ۷۰ درصد

## نتیجه‌گیری

در حوضه‌هایی که مصرف آب بیش از توان هیدرولوژیکی حوضه است، بیلان منابع آب منفی و حوضه با کمبود آب مواجه خواهد بود. متوازن نمودن این تراز منفی امری اجتناب‌ناپذیر است. انتقال آب بین حوضه‌ای علی‌رغم این که پتانسیل ایجاد مشکلات زیست‌محیطی و اقتصادی را در کشور داراست، مورد تأکید بخشی از مدیران آب کشور قرار دارد. در این پژوهش، به‌منظور ارزیابی طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای، پتانسیل توسعه اراضی کشاورزی در حوضه سیروان با تعریف سناریوهای مدیریتی توسعه اراضی و نیاز آبی محصولات بررسی شد. با استفاده از استانداردهای توسعه باغات در اراضی شیب‌دار، اراضی مستعد توسعه در حوزه آبخیز سیروان در استان کردستان شناسایی شد. ضمن این که باید توجه داشت که با توجه به محدودیت‌های موجود، در پژوهش پیشرو نحوه بهره‌برداری بهینه از منابع آب بررسی نشده است. انتخاب بهترین نحوه مصرف منابع آب نیاز به پژوهش و مطالعات بیشتری دارد. از سویی، توسعه اراضی کشاورزی با توجه به مشکلات زیست‌محیطی و نیز مفهوم آب مجازی، ماده خشک تولیدی و کارایی مصرف آب، نمی‌تواند تنها گزینه برتر برای مصرف آب باشد. بررسی پتانسیل توسعه کشاورزی در حوضه سیروان صرفاً در راستای بررسی شرایط انتقال آب بین حوضه‌ای که توسط پژوهشگران تعیین شده، انجام گرفت. به این مفهوم که در صورتی که بحث انتقال آب با اهداف توسعه باغات و کشاورزی مطرح باشد، بر مبنای

اصول توسعه پایدار و مدیریت یکپارچه حوزه‌های آبخیز، در نظر گرفتن پتانسیل‌های حوضه‌های مبدأ نیز نیاز به بررسی دارد.

نتایج این پژوهش نشان داد که بخش زیادی از اراضی با شیب کمتر از ۷۰ درصد به علت داشتن خاک و اقلیم مناسب، قابلیت تبدیل به اراضی کشاورزی و باغی را دارا هستند. حجم آب مورد نیاز این میزان توسعه اراضی بیش از میزان ظرفیت آورد حوزه آبخیز است و منابع آب‌های سطحی حوضه جوابگوی این میزان توسعه نخواهند بود. از سویی، شرایط خشک‌سالی منتهی به سال ۱۳۹۴، آورد سالانه حوضه را به‌شدت کاهش داده است. نتایج این پژوهش بر اهمیت بررسی بیشتر مطالعات پروژه‌های انتقال آب بین حوضه‌ای، لزوم مصرف آن در داخل حوضه به‌منظور کاهش هزینه تمام شده محصولات و نیز تلاش برای حفظ شرایط اکولوژیکی فعلی حوضه سیروان تأکید می‌کند. کاهش مصرف حوضه‌های مقصد متناسب با منابع آب این حوضه‌ها، توجه به مفهوم تجارت آب مجازی و توسعه مناطق بر مبنای استعدادهای طبیعی آن‌ها به‌عنوان جایگزین‌های انتقال آب بین حوضه‌ای مطرح هستند.

## تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی استانداری کردستان و بر اساس قرارداد پژوهشی شماره ۶۳-۶۵-۷۰۰ انجام شده که از حمایت و همکاری صورت گرفته، قدردانی می‌شود.

## منابع مورد استفاده

1. Amini, A. and R. Heidari. 2014. Effect of the climate on water requirements determination of orchards in Kurdistan, Iran. *Journal of Modern Agricultural Development*, 10(1): 12-21 (in Persian).
2. Asadi, H., G.R. Soltani and G. Torkamani. 2008. Agricultural water pricing in Iran, lands under Taleghan Dam. *Agriculture Economic and Development*, 15(58): 90-61 (in Persian).
3. Azrmsa, S.M. and L. Rasthchi. 2005. Current administrative measures in Gilan province in relation to irrigation management transmission. The 4th Technical Workshop on Farmers' Participation in the Management of Irrigation and Drainage Networks (principles and methods of application), Iranian National Committee on Irrigation and Drainage, 66-49 (in Persian).
4. Cox, W.E. 1999. Determining when interbasin water transfer is justified: Criteria for evaluation. *Proceedings, International Workshop on Interbasin Water Transfer, UNESCO, Paris.*
5. Ebrahimi, M.S. and K. Kalantari. 2003. Sustainable development of agriculture. *Jihad Journal*, 258: 54-46 (in Persian).
6. Jarasiunas, G. 2016. Assessment of the agricultural land under steep slope in Lithuania. *Catena*, 17(1): 176-187.
7. Falsoliman, M. and B. Chakoshi. 2011. The optimal management of agricultural water use to increase the productivity and sustainability of water resources in critical arid in the arid plains country. *Journal of Geography and Regional Development*, 16: 199-218.
8. Farshi, A., M.R. Shariati, R. Jarollahi, M.R. Ghaemi, M. Shahabifar and M.M. Tavallaei. 1997. An

- estimate of the water requirements of main field crops and orchards in Iran. Agricultural Education Publication, 629 pages.
9. Gupta, J. and P.V.D Zaag. 2008. Interbasin water transfers and integrated water resources management: Where engineering, science and politics interlock. *Physics and Chemistry of the Earth*, 33: 28–40.
  10. Halebian, A.H. and M. Shbankary. 2010. Water resources management in Iran, case study: challenges for water transfer from Beheshtabad to Zayndehrud. 4th International Congress of the Islamic World Geographiest (ICIWG, 2010), Zahedan, Iran (in Persian).
  11. Khodabakhshi, B. and F. Khodabakhshi. 2006. Inter-basin water transfer, sustainable approach to sustainable water resources management. 2nd Water Resources Management Conference, Isfahan University of Science and Water Resources Engineering, (in Persian).
  12. Lichtfouse, E. 2010. Sustainable agriculture reviews 6: alternative farming systems, biotechnology, drought stress and ecological fertilisation. *Springer Science and Business Media*, 12: 24-32.
  13. Ma, J., A.Y. Hoekstra, H. Wang, A.K. Chapagain and D. Wang. 2006. Virtual versus real water transfers within China. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 361(1469): 55-68.
  14. Molle, F. and J. Berkoff. 2006. Cities versus agriculture: revisiting intersectoral water transfers, potential gains and conflicts. *Comprehensive Assessment Research Report 10*. Colombo, Sri Lanka: Comprehensive Assessment Secretariat.
  15. Myszewski, M. 2003. Interbasin water transfer policy in Georgia: recommendations for change from the joint comprehensive water plan study committee. *Proceedings of the 2003 Georgia Water Resources Conference*, Kathryn J. Hatcher (ed.) Institute of Ecology, The University of Georgia, Athens, Georgia.
  16. Shorian, M. and G. Mousavi. 2006. Watershed optimal water resources allocation in the watershed scale with the aims of inter-basin water transfer. *Water Resources Management Conference*, Isfahan University of Science and Engineering, Association of Water Resourcesin, Isfahan, Iran (in Persian).
  17. Stevens, D. 2006. *Growing cops with reclaimed wastewater*. CSIRO Publishing. World Health Organization. *Guide Lines for Drinking Water Quality*, 2nd ed, Geneva.
  18. Van Cauwenberg, N., D. Pinte, A. Tilmant, I. Frances, A. Pulido-Bosch and M. Vanclooster. 2008. Multi-objective, multiple participant decision support for water management in the Andarax catchment, Almeria. *Environmental Geology*, 54: 479-489.