

## تعیین برداشت بهینه آب از رواناب محیطی حوضه آبریز رودخانه کر، سد درودزن

ندا اسد فلسفی زاده<sup>۱</sup> - محمود صبحی صابونی<sup>۲\*</sup>

تاریخ دریافت: ۸۷/۸/۲۵

تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۲/۴

### چکیده

در مطالعه حاضر، با بکارگیری مدل اقتصادی - زیست محیطی جامع، به بررسی آبیاری و برداشت از آب‌های سطحی در اراضی دشت رودخانه کر، سد درودزن تا دریاچه بختگان، پرداخته شد. در مدل اقتصادی - زیست محیطی جامع، سه جزء اقتصادی، هیدرولوژی و زراعی مدنظر قرار گرفت. در جزء اقتصادی، تخصیص بهینه آب تحت دو سناریو با و بدون محدودیت رواناب محیطی با استفاده از برنامه‌ریزی غیرخطی بررسی شد. یافته‌های مدل شبیه‌سازی شده زیست محیطی در جزء هیدرولوژی، به عنوان داده‌های اولیه در جزء اقتصادی مورد استفاده قرار گرفت. در جزء زراعی عملکرد واقعی محصول در سال‌های تر، نرمال و خشک با استفاده از رابطه بین عملکرد و مقدر آب آبیاری تعیین گردید. نتایج نشان داد که نحوه تخصیص آب‌های سطحی در بین سال‌های تر، خشک و نرمال در حوضه مورد مطالعه با مقدار بهینه آن متفاوت است. از دلایل این اختلاف عدم وجود بازار آب و تعیین قیمت آن با توجه به عرضه و تقاضا می‌تواند باشد. افزون بر آن، با استفاده از مدل، الگوی کشت بهینه ای برای منطقه تعیین شد که می‌تواند در جهت حفظ منابع آب سطحی مورد توجه قرار گیرد.

واژه های کلیدی: درآمد خالص انتظاری، هیدرولوژی، مدل برنامه ریزی غیرخطی، کم آبیاری

### مقدمه

مدیریت کارا و پایدار منابع آب به صورت یک سیاست هدف در دنیا تبدیل شده است. همچنین پیچیدگی مدیریت منابع آب به یک مدل اقتصادی و زیست محیطی جامع نیاز دارد که به توسعه استفاده کارا و پایدار از الگوهای مصرف آب بیانجامد.

مطالعات زیادی در زمینه تخصیص آب آبیاری و اثرات جانبی شوری در حوضه‌های آبریز دنیا انجام شده است. کوئیگین (۱۸) عکس العمل مزارع حوضه آبریز ماری دارلینگ<sup>۳</sup> استرالیا نسبت به تخصیص منابع و دسترسی به تکنولوژی های جدید را مورد بررسی قرار داد. فریا و همکاران (۱۴) به بررسی سیاست‌های مدیریت جامع حوضه آبریز در ایالت انتاریوی کانادا پرداختند. نتایج نشان داد که در نظر گرفتن توأم مسائل آب و خاک در سیاست‌گذاری‌ها به مدیریت مناسب تر حوضه آبریز می‌انجامد. کای (۹) با استفاده از مدل بهینه سازی اقتصادی به بررسی مدیریت حوضه آبریز میبو<sup>۴</sup> در شیلی پرداخت. وی در این مطالعه به بیان مشکلات کاربرد روش جامع پرداخت. نتایج نشان داد که در صورت وجود داده ها در مناطق مختلف مدل جامع پاسخ های مناسب تری ارائه می‌دهد. هینی و بل (۱۷) با ارائه مدل تحلیل شبیه سازی شوری و زمین مورد استفاده<sup>۵</sup>

آب آبیاری، یک منبع بسیار کمیاب برای بخش کشاورزی در بسیاری از مناطق دنیا از جمله ایران می باشد. در نتیجه، مدیریت منابع آب به عنوان مهم‌ترین موضوع اقتصادی و اجتماعی مطرح و ارائه راه حل‌هایی در جهت مدیریت پایدار از منابع آب ضروری به نظر می‌رسد. مدیریت ضعیف تقاضای آب در ایران منجر به افزایش تقاضا برای این نهاده حیاتی و هدر رفتن مقادیر قابل ملاحظه‌ای از آن شده و در نتیجه نه تنها آب برای آبیاری کل مناطق کافی نیست، بلکه کیفیت آن نیز رو به کاهش است (۲۰).

استفاده فزاینده از آب و کارایی پایین روش‌های بهره‌برداری آن موجب نگرانی‌های زیست محیطی شده است. انحراف گسترده آب از رودخانه و کانال به منظور آبیاری و مصارف دیگر، پدیده‌های ناخوشایند اکولوژیکی و زیست محیطی را برای مناطق پایین دست (پایین رودخانه) ایجاد کرده است. مسائل زیست محیطی، شامل کاهش آب قابل دسترس، کیفیت و افزایش شوری آب و خاک می‌باشد (۴).

3- Murray Darling Basin (MDB)

4- Maipo

5- Salinity and Landuse Simulation Analysis (SALSA)

۲۰- دانشجوی دکتری و دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل

(Email: msabuhi39@yahoo.com)

\*- نویسنده مسئول:

فعالیت‌های انجام شده از قبیل کشاورزی و دامپروری در اراضی دشت رودخانه کر، از سد درودزن تا دریاچه بختگان، می‌باشد. توسعه این مناطق بستگی مستقیم به منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی و الگوهای برداشت از آب‌های منطقه وسیع تری به نام "حوضه آبریز رودخانه کر" دارد.

#### منطقه مورد مطالعه

سد درودزن در ۷۵ کیلومتری شهر شیراز بر روی حوضه آبریز رودخانه کر بنا شده است. منطقه مورد مطالعه که شهرهای مرودشت، زرقان و خرامه در آن قرار دارد، دارای ۱۰۰ کیلومتر طول و ۳۵ کیلومتر عرض است. این منطقه دارای وسعت ناخالص حدود ۳۱۵۰۰۰ هکتار می‌باشد و توسط رودخانه کر و دو شاخه اصلی آن یعنی رودخانه‌های سیوند و مائین تغذیه می‌شود (۶).

موقعیت حوضه آبریز دریاچه بختگان و شاخه‌های رودخانه کر تا محل سد درودزن در شکل ۱ و ۲ نشان داده شده است.

منطقه مورد مطالعه شامل دو شبکه مدرن درودزن و تلفیقی کربال، رویهم رفته ۷۷ هزار هکتار سطح زیر کشت دارد. ناحیه رودخانه کر علاوه بر قسمت دشت، شامل مناطق مهم و کم و بیش زیرکشت مانند دره علیای کر و مناطق آباد و اقلید می‌باشد. مساحت این ناحیه حدود ۴/۵ میلیون هکتار یعنی معادل یک سوم وسعت استان فارس است (۶).

تغییرات در مصرف آب و زمین و مدیریت آن‌ها در حوضه آبریز رودخانه کر که سد درودزن بر آن واقع شده، باعث ایجاد نگرانی در نحوه تخصیص و کیفیت آب و سلامت محیط زیست شده است. از پیامدهای تغییر در مصرف و استفاده بی رویه از زمین و آب در این حوضه، در معرض نابودی قرار گرفتن دریاچه بختگان واقع در قسمت انتهایی حوضه آبریز می‌باشد (۴).

با توجه به استفاده روزافزون کشاورزان ساکن در مناطق قابل کشت حوضه آبریز رودخانه کر از آب رودخانه جهت تبدیل کشاورزی دیم به زراعت آبی، خطر کم‌آبی در دشت‌های پایین دست آینده منطقه را تهدید می‌کند. به این علت انجام مطالعات جامع در رابطه با منابع آب سطحی و زیرزمینی و ارتباط آن‌ها در تمامی حوضه آبریز رودخانه کر الزامی است تا بتوان با دانستن موقعیت و کمیت منابع و پراکنندگی آن‌ها، طرح صحیحی برای نحوه توزیع و بهره‌برداری آب در تمامی منطقه تهیه کرد.

بر اساس مطالعاتی که تاکنون در این منطقه انجام شده، رودخانه کر پتانسیل آبیاری مؤثر حدود ۱۵۰۰۰۰ هکتار از اراضی را دارد که این پتانسیل با اعمال روش‌های نوین کشاورزی و آبیاری محقق خواهد شد (۷).

عکس العمل بلندمدت به محرک‌های بازار آب را در جنوب حوضه آبریز ماری دارلینگ استرالیا اندازه‌گیری کردند. ایگنرام (۱۲) برای اولین بار یک مدل تجارت آب برای بخش‌های ویکتوریایی حوضه آبریز ماری دارلینگ استرالیا ارائه کرد. این مدل، از یک سری مدل‌های برنامه‌ریزی خطی تشکیل شده بود که به آن مدل سیاست آب<sup>۱</sup> گفته می‌شود. انجمن تحقیقاتی حوضه آبریز ماری دارلینگ استرالیا<sup>۲</sup> (۱۰) با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی شوری و زمین مورد استفاده و مدل سیاست آب اثرات اجتماعی و اقتصادی جریان‌های محیطی را مورد ارزیابی قرار داد. کیورشی و همکاران (۲۱) با ارائه مدل اقتصادی و زیست محیطی جامع و به کارگیری روش‌های گوناگون، اثرات مختلف مدیریت آب زیر زمینی را در ناحیه کوئینزلند<sup>۳</sup> استرالیا و اثر مستقیم آن را بر سود دهی گیاه چغندر قند مورد مطالعه و بررسی قرار دادند.

صبحی و همکاران (۳)، به ارزیابی راهکارهای مدیریت منابع آب زیرزمینی، در دشت نیمانی استان خراسان پرداختند. نتایج به دست آمده از داده‌های جمع‌آوری شده و تابع تقاضا مشخص کرد که راهکار بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی و سیاست مالیاتی نسبت به گزینه‌های دیگر امکان رسیدن به بهره‌برداری پایدار از آب‌های زیرزمینی را فراهم می‌کند و اینکه راهکار مناسب متأثر از خصوصیات فرهنگی، اجتماعی و اقتصادی بهره‌برداران و شرایط کلی حاکم بر جامعه است. اصغری مقدم و آقازاده (۱)، به ارزیابی هیدروژئولوژیکی و مدیریت منابع آب زیرزمینی آبخوان دشت هرزندات با استفاده از مدل ریاضی پرداختند. در این تحقیق به منظور ارزیابی هیدروژئولوژیکی و شناخت بهتر آبخوان و در راستای آن مدیریت منابع آب زیرزمینی و بهره‌برداری بهینه از این منابع با استفاده از اطلاعات قبلی و مطالعات صحرایی، مدل تفهیمی و ریاضی آبخوان تهیه گردید. پس از صحت سنجی مدل و کالیبراسیون داده‌ها نتایج نشان داد که از این مدل میتوان به منظور مدیریت منابع آب زیرزمینی و بهره‌برداری بهینه از آنها در محدوده مورد مطالعه استفاده کرد. چیدری و کرامت زاده (۲)، به بررسی مدیریت منابع آب از طریق تخصیص بهینه آب بین اراضی زیر سدها، مطالعه سد شیروان پرداختند. در این مطالعه در جهت بهبود مدیریت منابع آب در اراضی زیر سد بارزوی شیروان از مدل بهینه سازی خطی استفاده و الگوی کشت بهینه برای هر منطقه تعیین شد. سپس، میزان آب قابل تخصیص به هر منطقه مشخص و درصد تغییرات آن با شرایط فعلی مقایسه شد.

هدف مطالعه حاضر، ارائه طرحی جامع و منطقی در جهت چگونگی برداشت از آب‌های سطحی با توجه به هزینه فرصت

1- Water Policy Model (WPM)

2- Murray Darling Basin Commission (MDBC)

3- Queensland

می یابد. اما، اگر آب بیش از نیاز طبیعی گیاه وجود داشته باشد عملکرد گیاه به واسطه کمبود هوا در منطقه ریشه تحت تاثیر قرار گرفته و کاهش می یابد. در نتیجه تولید نهایی آب کاهش پیدا می کند (۱۹).

در این مطالعه، نیاز آبی گیاه با استفاده از روش پنمن مانیتث محاسبه شده است. کل نیاز آبی گیاه در طول ماه  $t$  با استفاده از معادله زیر می توان محاسبه کرد (۱۳):

$$REQ_t = ET_o * k_{ct} \quad (۳)$$

که در این معادله  $REQ_t$  نشان دهنده ی کل نیاز آبی گیاه در طول ماه  $t$ ،  $ET_o$  نشان دهنده ی تبخیر و تعرق مرجع در ماه  $t$  و  $k_{ct}$  نشان دهنده ی ضریب گیاه در طول دوره های رشد می باشد. نیاز آبی ناخالص گیاه  $J$  از معادله زیر به دست می آید (۱۳):

$$w_j = \frac{REQ_t - EP_t}{IE} \quad (۴)$$

که در آن  $EP_t$  نشان دهنده ی باران مؤثر در ماه  $t$  و  $IE$  مقدار کارایی آب مورد استفاده در سطح مزرعه می باشد (۷). در مطالعه حاضر، براساس اطلاعات جمع آوری شده از مسئولین جهاد کشاورزی و آب منطقه ای استان فارس سطح کارایی آب مورد استفاده ۰/۴۵ در نظر گرفته شد.

میزان استفاده از نهاده ها و عملکرد گیاهان تحت تاثیر سیاست های قیمت گذاری به خصوص بر دو نهاده ی آب آبیاری و کود می باشد. بنابراین برای به دست آوردن عملکرد واقعی به رابطه ای نیاز است که تحت تاثیر این موارد قرار نگیرد و تنها تابعی از آب، خاک و گیاه باشد. برای تعیین تابع عملکرد واقعی آب گیاه از معادله زیر استفاده شده است (۱۱):

$$y_a = y_p * \prod_{i=1}^n \left[ 1 - ky_i \left( 1 - \frac{AET_i}{PET_i} \right) \right] \quad (۵)$$

که در این معادله  $n$  مراحل مختلف رشد گیاه،  $y_a$  و  $y_p$  به ترتیب عملکرد واقعی و پتانسیل گیاه،  $AET_i$  و  $PET_i$  به ترتیب تبخیر و تعرق واقعی و پتانسیل گیاه طی مراحل مختلف رشد و  $ky_i$  نشان دهنده ی فاکتور پاسخ عملکرد گیاه طی مراحل مختلف رشد می باشد (۱۳).

### جزء اقتصادی

اساس روش مطالعه، مدل عکس العمل آبیاری، هزینه ها و درآمد انتظاری تحت سناریوهای مختلف عرضه و تقاضای آب است که با استفاده از برنامه ریزی غیرخطی انجام شده است. علی رغم محدودیت هایی که در مدل وجود دارد، مدل برای تحلیل جزئی تولید کشاورزی و میزان استفاده از منابع مورد استفاده قرار می گیرد. در این تحقیق زمین و سرمایه به صورت ثابت فرض شده لذا،

### مواد و روش ها

مدل ساخته شده دارای سه جزء هیدرولوژی، زراعی و اقتصادی می باشد که در ادامه به تشریح آنها پرداخته شده است:

### جزء هیدرولوژی

#### رواناب تصادفی محیطی

روش علمی به کار برده شده در این مطالعه، مدل رواناب محیطی تصادفی بر اساس داده های تاریخی ایستگاه هواشناسی می باشد. یکی از روش های پیش بینی داده های تصادفی روش شبیه سازی مونت کارلو است. روش مونت کارلو بر اساس تابع توزیع احتمال تجمعی<sup>۱</sup> می باشد. تابع توزیع احتمال  $F(x)$ ، تابعی است که با احتمال  $P$  متغیر  $X$  را طوری انتخاب می کند که کوچکتر و یا مساوی  $x$  باشد و به صورت زیر تعریف می شود (۱۶):

$$F(x) = P(X \leq x) \quad (۱)$$

که در آن  $F(x)$  عددی بین صفر و یک است. در نمونه گیری مونت کارلو عکس تابع فوق به صورت زیر استفاده می شود تا عدد  $x$  حاصل شود. این رابطه در شکل ۳ نشان داده شده است (۱۶).

$$x = G(F\{x\}) \quad (۲)$$

بر اساس داده های هواشناسی به دست آمده، رواناب محیطی در طی فصول مختلف به صورت چشمگیری تغییر می کنند. این موضوع بیانگر این است که حد مشخصی از رواناب در بعضی فصل ها برای سلامت زمین های مورد آبیاری نیاز است. همانطور که در بعضی سال ها به علت پر باران بودن، مقدار رواناب اضافه دارای ارزش کمتری می باشد. آب اضافی موجود در سال تر، توانایی ایجاد سیل های قوی در جلگه را دارد و بالعکس در سال های خشک حتی با مقادیر زیاد آب هم نمی توان رواناب مورد نیاز را ایجاد کرد.

یافته های به دست آمده از مدل شبیه سازی شده در تابع توزیع احتمال تجمعی، به عنوان مقادیر رواناب محیطی سال های خشک، نرمال و تر در سمت راست محدودیت های جزء اقتصادی مورد استفاده قرار گرفت.

### جزء زراعی

نیاز آبی گیاهان به عوامل زیست محیطی و فیزیولوژیکی از جمله آب و هوا، خاک و گیاه کاشته شده بستگی دارد. در شرایطی که آب کمی در اختیار گیاه باشد، با هر واحد اضافی آب عملکرد گیاه افزایش

1- Cumulative Distribution Function (CDF)

وزنی درآمد خالص سال‌های خشک، نرمال و تر به دست می‌آید. مدل ریاضی مورد استفاده به صورت زیر می‌باشد:

مدل اثرات کوتاه مدت و فصلی بر آب تخصیصی را تخمین می‌زند. تابع هدف در مدل برنامه‌ریزی ریاضی درآمد خالص انتظاری برای حوضه آبریز (*ExpR*) می‌باشد که از حاصل جمع متوسط احتمال

Maximize:

$$ExpR = \sum_s Prob_s * \left( \sum_r \sum_j P_{rj} Yld_{rj} A_{srj} - \sum_r \sum_j OC_{rj} A_{srj} - WCh \sum_r \sum_j A_{srj} w_{srj} \right) \quad (6)$$

Subject to:

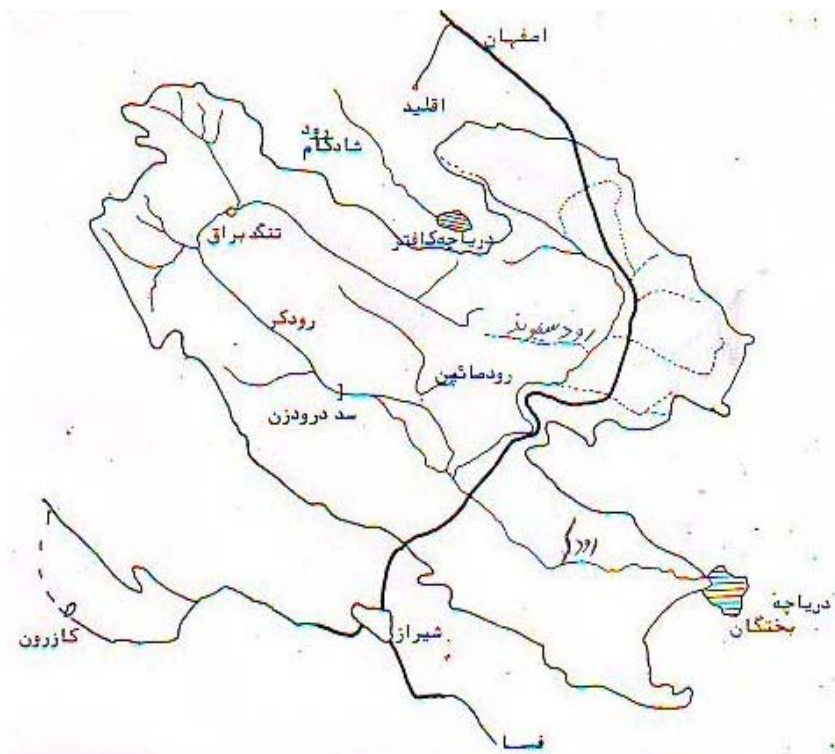
$$\sum_j w_{srj} A_{srj} \leq (1 - CLoss_r) * TotWat_{sr} - Env_{sr} \quad \forall r, s \quad (7)$$

$$\sum_j A_{srj} \leq TotLand_r \quad \forall s, r \quad (8)$$

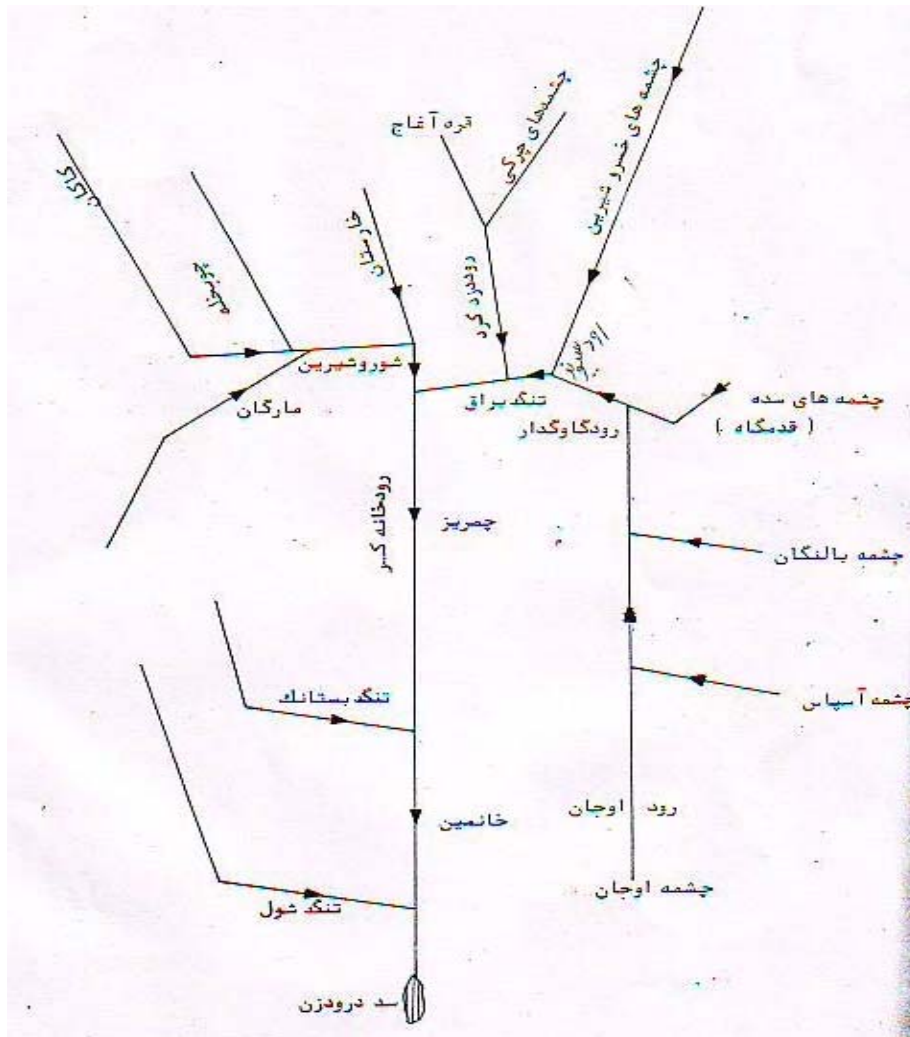
$$Dryland_{sr} = LandR_r - \sum_j A_{srj} \quad \forall s, r \quad (9)$$

$$A_{srj} = Area_{rj} \quad \text{if } jp \quad \forall s, r, j$$

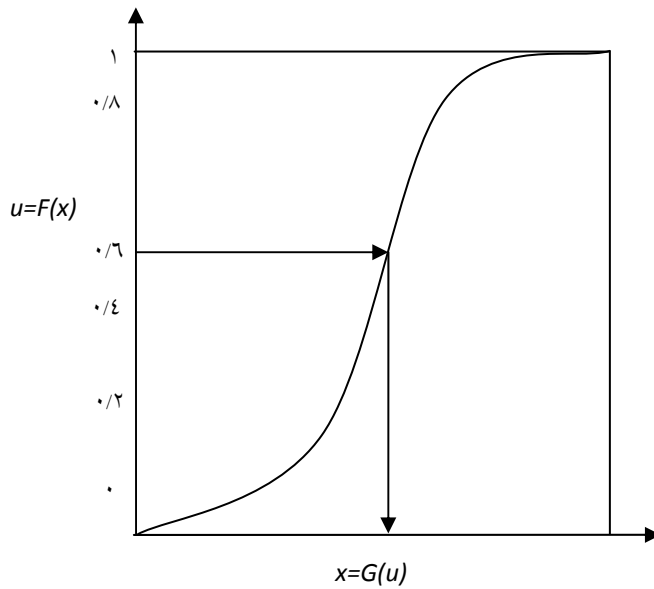
$$\sum_j A_{srj} \leq \sum_j Area_{rj} \quad \text{if } jt \quad \forall s, r \quad (10)$$



شکل ۱ - موقعیت حوضه آبریز دریاچه بختگان  
 مأخذ: سازمان آب منطقه‌ای استان فارس



شکل ۲- موقعیت شاخه های رودخانه کر تا محل سد درودزن  
مأخذ: سازمان آب منطقه ای استان فارس



شکل ۳- قاعده اصلی روش مونت کارلو با استفاده از CDF

شده اند.

رابطه ۱۰a محدودیت زمین‌های مورد استفاده فعالیت‌های دائمی منطقه ( $JP$ ) شامل انگور و فعالیت‌های دامی می‌باشد. محدودیت گفته شده در مطالعه حاضر به صورت ۲۴ محدودیت آورده شده است. در رابطه ۱۰b محدودیت حداقل زمین مورد استفاده فعالیت‌های زراعی  $JZ$  نیز اعمال شده است تا از حذف فعالیت‌هایی با سود اقتصادی کم جلوگیری شود. فعالیت‌های زراعی منطقه مورد مطالعه شامل کشت غلات، چغندرقد، دانه‌های روغنی و سبزیجات می‌باشد. فعالیت‌های زراعی در صورتی که دارای توجیه اقتصادی باشند، طبق رابطه ۱۰b می‌توانند زمین مورد استفاده در فعالیت‌های زراعی دیگر را در اختیار بگیرند.

دلیل وارد کردن محدودیت حداقل زمین آبی در مطالعه این است که طبق تحقیقات انجام شده در منطقه، فعالیت‌های زراعی حتی در سال‌هایی که دارای توجیه اقتصادی نیستند انجام می‌شوند. از دلایل این امر می‌توان به عدم تحرک پذیری منابع و یا عدم توجه صاحبان فعالیت به شرایط حاکم در بازار از جمله تغییرات قیمت اشاره کرد.

برای به دست آوردن احتمال آب تخصیصی بر حسب نوع جریان آب (جریان کم (سال خشک)، متوسط (سال نرمال) و یا زیاد (سال تر)) از داده‌های بارندگی ۲۶ سال گذشته ایستگاه هواشناسی و شاخصی به نام شاخص بارندگی استاندارد<sup>۲</sup>، استفاده شد. شاخص بارندگی استاندارد از رابطه (۱۱) قابل محاسبه است (۵):

$$SPI = \frac{(P_i - P)}{S} \quad (11)$$

در این معادله  $P_i$  بارندگی سال مورد نظر،  $P$  میانگین بارندگی بلند مدت و  $S$  انحراف معیار بلند مدت بارندگی می‌باشد. اگر شاخص مذکور بیشتر از ۱ ترسالی و اگر کمتر از ۱- باشد خشکسالی وجود دارد. اعداد بین ۱ و ۱- نشان دهنده ی سالی با بارندگی نرمال است (۵).

#### داده‌های مورد نیاز

در این مطالعه، با توجه به گستردگی اراضی دشت رودخانه کر در استان فارس و با تاکید بر بحرانی بودن موقعیت زیست محیطی دریاچه بختگان، به بررسی و مطالعه اراضی زیر کشت سد درودزن تا دریاچه بختگان پرداخته شد. اطلاعات ۲۵ ساله زراعی، دامی و هیدرولوژیکی از سال ۱۳۸۶-۱۳۶۱ مربوط به منطقه مورد مطالعه از سازمان‌هایی که در زیر توضیح داده شده، گردآوری شد.

اطلاعات زراعی و دامی از سازمان جهاد کشاورزی شهرستان‌های شیراز، مرودشت، زرقان و خرامه، اطلاعات هیدرولوژیکی مربوطه از

در رابطه ۶  $Expr$ ، درآمد خالص انتظاری در حوضه مورد مطالعه می‌باشد.  $Pr ob_s$  احتمال سال‌های تر، خشک و نرمال<sup>۱</sup> می‌باشد که نحوه به دست آوردن آن در ادامه اشاره شده است.  $P_{rj}$  قیمت محصول  $J$  در منطقه  $r$ ، عملکرد واقعی محصول  $J$  در منطقه  $r$  بر حسب تن بر هکتار و  $A_{srj}$  سطح زیر کشت آبیاری محصول  $J$  در منطقه  $r$  در سال  $s$  بر حسب هکتار می‌باشد.  $OC_{rj}$  شامل هزینه‌های متغیر و ثابت تولید محصول  $J$  در منطقه  $r$  بر حسب ریال بر هکتار،  $WCh$  آب بها بر حسب ریال بر متر مکعب و  $w_{srj}$  آب مورد استفاده محصول  $J$  در منطقه  $r$  در سال  $s$  را بر حسب مترمکعب بر هکتار نشان می‌دهد.

رابطه شماره (۷) محدودیت آب قابل دسترس در حوضه آبریز می‌باشد. این محدودیت نشان می‌دهد که کل آب مورد نیاز محصول  $J$  در منطقه  $r$  طی سال‌های تر، خشک و نرمال از تفاضل کل مقدار آب قابل دسترس ( $TotWat_{sr}$ ) و هدر رفت آب از طریق انتقال  $CLOSS_r$  و رواناب محیطی  $Env_{sr}$ ، بیشتر نخواهد شد. محدودیت آب قابل دسترس در قالب شش معادله برای دو منطقه مرودشت و کربال خرامه و زرقان که اراضی زیر کشت در حوضه آبریز سد درودزن می‌باشند و در سه حالت سال‌های تر، نرمال و خشک آورده شده است.

رابطه شماره (۸) محدودیت زمین آبی قابل دسترس می‌باشد. محدودیت زمین نشان می‌دهد که  $TotLand_r$  کل اراضی موجود در منطقه  $r$ ، برای هر حالت احتمالی  $s$ ، از کل اراضی موجود برای کشت تمام محصولات بیشتر نمی‌باشد. در مطالعه حاضر، محدودیت زمین قابل دسترس در قالب شش محدودیت برای دو منطقه و در سه حالت احتمال وقوع سال تر، خشک و نرمال آورده شده است.

رابطه شماره (۹) محدودیت زمین‌های آبی و دیم قابل دسترس در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. با استفاده از این رابطه، در صورتی که استفاده از زمین‌های کشاورزی به صورت آبی توجیه اقتصادی نداشته باشند، به صورت دیم زیرکشت می‌روند. در رابطه ۹،  $LandR_r$  کل زمین‌های آبی قابل دسترس در منطقه  $r$  می‌باشد. این محدودیت نشان می‌دهد که برای هر حالت احتمالی  $s$ ، مجموع زمین‌هایی که به علت اقتصادی نبودن فعالیت آبی در آن‌ها به زمین دیم تبدیل شده اند و زمین‌های آبی برابر با کل زمین‌های در دسترس برای منطقه می‌باشد. در واقع این معادله امکان انتخاب فعالیت‌ها با سود بیشتر را با توجه به نحوه ی تخصیص آب و شرایط بازار ایجاد می‌کند. محدودیت زمین‌های آبی و دیم قابل دسترس در قالب شش محدودیت برای دو منطقه و در سه حالت احتمال وقوع سال تر، خشک و نرمال آورده

تقاضا می‌کنند، در تخصیص واقعی آب نمود پیدا می‌کند. بنابراین انتظار می‌رود که قیمت سایه‌ای آب در سال‌های خشک بالاتر و بالعکس در سال‌های تر به علت فرصت بیشتر برداشت آب از رواناب محیطی، قیمت سایه‌ای آب پایین‌تر باشد.

جدول ۱- مقادیر تخصیص رواناب محیطی بر اساس CDF حاصل از شبیه‌سازی

سطح تخصیص	۲۵٪	۵۰٪	۷۵٪	مقدار متوسط
تخصیص رواناب (م.م.م)*	۷۲۴/۶۷	۱۰۱۷/۹۲	۱۵۵۹	۱۱۲۹

مأخذ: یافته‌های تحقیق

\*- میلیون متر مکعب

نتایج به دست آمده، از اجرای دو سناریو حاصل شده است. سناریوی اول، حالت بدون محدودیت رواناب محیطی و سناریوی دوم با محدودیت رواناب محیطی در نظر گرفته شده است. آب در دسترس، مورد استفاده، درآمد خالص و الگوی کشت محصولات در مناطق مورد مطالعه در جدول شماره ۲ آورده شده است. الگوی کشت پیشنهادی در این جدول نتیجه حاصل از اجرای سناریوی دوم می‌باشد. با توجه به جدول شماره ۲ ملاحظه می‌شود که در منطقه مردودشت سطح زیرکشت چغندر قند و جو به ترتیب با ۴۹/۲ و ۲۳/۰۱- درصد بیشترین تغییرات را نسبت به الگوی کشت فعلی نشان می‌دهند. در منطقه کربال زرقان و خرامه بیشترین تغییرات نسبت به الگوی کشت فعلی مربوط به چغندر قند و ذرت دانه‌ای به ترتیب با ۳۰/۶۲ و ۵/۴- درصد می‌باشد. این تغییرات نشان می‌دهند که الگوی کشت پیشنهادی منجر به استفاده بهینه از آب موجود در منطقه می‌شود.

نتایج به دست آمده از اجرای دو سناریو با و بدون محدودیت رواناب محیطی در جدول شماره ۳ آورده شده است. با توجه به جدول ملاحظه می‌شود که درآمد خالص فعلی منطقه برابر ۳۱۴۶/۲۹ هزار ریال در هکتار است که در مقایسه با درآمد حاصل از اجرای دو سناریو رقم کمتری می‌باشد. نظر به اینکه شرایط ایجاد شده در سناریوی دوم، استفاده بهتری از رواناب محیطی را در بر دارد و با توجه به درآمد بالاتر از شرایط فعلی، سناریوی دوم به عنوان سناریوی بهتر مورد توجه است. همچنین، با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت به علت عدم وجود بازار آب و عدم تعیین قیمت آب با توجه به نیروهای عرضه و تقاضای، قیمت آب به صورت ناکارآمدی تعیین می‌شود و در نتیجه باعث برداشت بی‌رویه از منابع آب در حوضه آبریز رودخانه کر شده است.

سازمان آب منطقه‌ای استان فارس، اداره امور آبیاری شهرستان مرودشت و ایستگاه‌های هواشناسی احمدآباد و دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز جمع‌آوری شد. اطلاعات مربوط به ضریب پاسخ گیاه در طول دوران رشد جهت به دست آوردن عملکرد واقعی از مجله سازمان غذا و کشاورزی، شماره ۲۵۶ به دست آورده شد.

بر اساس اطلاعات به دست آمده از سازمان آب منطقه‌ای استان فارس، منطقه مورد مطالعه به هشت بخش<sup>۱</sup> تقسیم بندی شده است. در این مطالعه، سیزده فعالیت کشاورزی- دامی که بطور عمده در اراضی زیر کشت سد درودزن تا دریاچه بختگان انجام می‌شوند مورد بررسی قرار گرفت. فعالیت‌های زراعی مورد بررسی شامل کشت گندم بهاره، گندم زمستانه، جو، چغندر قند، سیب‌زمینی، گوجه‌فرنگی، یونجه، ذرت دانه‌ای و کلزا می‌باشند. فعالیت باغی عمده، کشت انگور و فعالیت‌های دامی مورد بررسی در منطقه، دو فعالیت دامی و مرغ‌داری می‌باشند.

## نتایج و بحث

در این مطالعه، یک مدل جامع اقتصادی زیست محیطی در اراضی زیر کشت سد درودزن تا دریاچه بختگان طراحی شد تا بر اساس آن به بررسی و تحلیل نحوه آبیاری و برداشت از آب‌های سطحی با توجه به هزینه فرصت‌های موجود در منطقه مورد مطالعه، پرداخته شود.

با اجرای شبیه‌سازی مونت کارلو بر داده‌های تاریخی حوضه آبریز و با توجه به اصل "آب بیشتر در سال‌های تر و آب کمتر در سال‌های خشک"، مقادیر شبیه‌سازی شده رواناب با استفاده از تابع توزیع تجمعی در سه سطح ۲۵ درصد، ۵۰ درصد و ۷۵ درصد در جدول شماره ۱ آمده است.

توزیع به دست آمده، بر اساس اندازه‌گیری نسبی رواناب محیطی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد و اصل اشاره شده نیز در آن صدق می‌کند. بنابراین مقادیر به دست آمده در سطوح احتمال تجمعی ۲۵ درصد، ۵۰ درصد و ۷۵ درصد به ترتیب به عنوان مقادیر سمت راست محدودیت جزء اقتصادی طی سال‌های خشک، نرمال و تر مورد استفاده قرار گرفت. همچنین مقدار متوسط رواناب محیطی به صورتی که نیاز آبی فعالیت‌های منطقه را برطرف کند، ۱۱۲۹ میلیون متر مکعب می‌باشد و همانطور که مشاهده می‌شود به مقدار رواناب سال نرمال (سطح احتمال تجمعی ۵۰ درصد) نزدیک است.

فرض اولیه که کشاورزان به علت باران‌های مؤثر کمتر و تبخیر و تعرق بالاتر در سال‌های خشک، آب بیشتری را برای تولیدات خود

جدول ۲- آب در دسترس، مورد استفاده، درآمد خالص و الگوی کشت محصولات در منطقه مرودشت و کربال

منطقه	آب در دسترس (م.م.م)	آب مورد استفاده (م.م.م)	درآمدخالص (هزارریال در هکتار)
مرودشت	۸۲۳/۴۷	۷۰۸/۱۹	۱۹۰/۱/۴
کربال زرقان و خرامه	۵۴۸/۹۸	۴۲۸/۲۱	۱۲۶۷/۶
منطقه مرودشت			
محصول	الگوی کشت فعلی	الگوی کشت پیشنهادی	درصد تغییر
گندم بهاره	۱۱۵۲۰	۱۲۹۵۶	۱۲/۴
گندم زمستانه	۷۶۸۰	۷۲۹۴	-۵/۰۲
جو	۳۷۸۰	۳۹۱۰	-۲۳/۰۱
چغندر قند	۵۸۶/۷	۸۷۵/۴	۴۹/۲
سیب زمینی	۱۹۲۸	۲۱۲۵	۱۰/۲۱
گوجه فرنگی	۱۵۰۰	۱۶۵۷	۱۰/۴۷
یونجه	۷۱	۱۰۴	۴۶/۴۷
ذرت دانه ای	۴۱۴۰	۳۴۹۶	۱۵/۵۶
کلزا	۶۷۵	۵۴۶	۱۹/۱۱
انگور	۵۰۰۰	۵۰۸۹	۱/۷۸
منطقه کربال زرقان و خرامه			
محصول	الگوی کشت فعلی	الگوی کشت پیشنهادی	درصد تغییر
گندم بهاره	۹۰۰۰	۱۰۲۱۵	۱۳/۵
گندم زمستانه	۶۰۰۰	۶۲۸۳	۴/۷۲
جو	۳۵۰۰	۳۶۴۴	۴/۱۱
چغندر قند	۱۰۲۱/۲۵	۱۳۳۴	۳۰/۶۲
سیب زمینی	۹۶۴/۰۵	۱۰۶۲	۱۲/۲۶
گوجه فرنگی	۶۵۰	۶۹۵	۶/۹۲
یونجه	۲۸۰	۳۵۲	۲۵/۷۲
ذرت دانه ای	۲۵۰۰	۲۳۶۵	-۵/۴
کلزا	۳۵۰	۳۸۷	۱۰/۵۷
انگور	۱۵۰۰	۱۶۹۴	۱۲/۹۳

مأخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۳- آب مورد استفاده انتظاری و درآمد خالص بعد از اجرای سناریوی ۱ و ۲

سناریو	سناریوی اول	سناریوی دوم
آب مورد استفاده (م.م.م)	۱۳۷۲/۴۶	۹۱۳/۳۷
درآمدخالص (هزارریال در هکتار)	۴۹۵۷/۶۰	۳۳۶۹/۸۰
قیمت سایه‌ای آب (ریال / م.م)	۴۸۲/۰۰	۵۱۸/۰۰

مأخذ: یافته‌های تحقیق

## نتیجه گیری

داد که نحوه برداشت از آب‌های سطحی در این حوضه آبریز به صورت بهینه نبوده و منجر به برداشت بی‌رویه از منابع آب گردیده است. همچنین درآمدهای ناشی از الگوی برداشت آب در منطقه با حالت در نظر گرفتن محدودیت رواناب محیطی مقایسه شد. نتایج

در این مطالعه از طریق رویکرد جامع که دربردارنده سه جزء هیدرولوژی، زراعی و اقتصادی است، به تعیین برداشت بهینه از آب‌های سطحی رودخانه کر پرداخته شد. نتایج به دست آمده نشان



رودخانه (دریاچه بختگان) خواهد شد. تعیین قیمت آب با توجه به عرضه و تقاضا، برقراری، اجرای قوانین برداشت از آب‌های سطحی یا به عبارتی به وجود آمدن بازار آب توسط دولت و اعمال پرداخت جریمه‌های زیست محیطی به عنوان راهکاری در جهت بهینه کردن مصرف منابع آب پیشنهاد می‌شود.

نشان داد که مقدار درآمد منطقه کمتر از درآمد در حالت با محدودیت می‌باشد. با توجه به کمیابی نهاده حیاتی آب برداشت بهینه و منطقی از منابع امری بسیار ضروری است. به نظر می‌رسد رعایت محدودیت‌های زیست محیطی در استفاده از رواناب، از یک طرف به ایجاد درآمد خالص بالاتر در منطقه (وجود صرفه‌های اقتصادی) و از طرف دیگر موجب تداوم حیات زیست محیطی در مناطق پایین دست

## منابع

- ۱- اصغری مقدم ا. و آقازاده ن. ۱۳۸۵. ارزیابی هیدرولوژیکی و مدیریت منابع آب زیرزمینی آبخوان دشت **هرزندات** با استفاده از مدل ریاضی. دانش کشاورزی، ۱۶(۱): ۸۲-۷۳.
- ۲- چیدری ا. و کرامت زاده ع. ۱۳۸۴. مدیریت منابع آبی از طریق تخصیص بهینه آب بین اراضی زیر سدها: مطالعه موردی سد بارزو شیروان. پژوهش و سازندگی، ۱۸(۴): ۵۲-۴۰.
- ۳- صبوحی م.، سلطانی غ. و زیبایی م. ۱۳۸۶. ارزیابی راهکارهای مدیریت منابع آب زیر زمینی: مطالعه موردی دشت نریمانی در استان خراسان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۱۱(۱): ۴۸۴-۴۷۵.
- ۴- عبدالمهی م.، بخشوده م.، گیلانیور ا.، حسین زاد ج. و کیانی راد ع. ۱۳۸۶. سیاست‌ها و راهکارهای پیشنهادی. ششمین کنفرانس اقتصاد کشاورزی ایران. ششمین کنفرانس اقتصاد کشاورزی. ۹-۸ آبان، مشهد.
- ۵- نجفی حاجیور م.، کوهپیما ا. و طهماسبی ا. ۱۳۸۵. بررسی شاخص‌های تعیین خشکسالی در استان چهارمحال و بختیاری. اولین همایش منطقه ای بهره برداری از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده رود. دانشگاه شهرکرد.
- ۶- وزارت نیرو، سازمان آب منطقه‌ای استان فارس، گزارش نهایی سد درودزن. ۱۳۵۴. جلد چهارم و پنجم، فصل اول، صفحه ۶-۴.
- ۷- وزارت نیرو، سازمان آب منطقه‌ای استان فارس، گزارش نهایی سد درودزن. ۱۳۵۴. جلد چهارم و پنجم، فصل دوم، صفحه ۱۴-۶.
- 8- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., and Smith M.S. 1998. Crop evapotranspiration. Irrigation and Drainage Paper, FAO, Rome, 56: 300.
- 9- Cai X. 2008. Implementation of holistic water resources-economic optimization models for river basin management – Reflective experiences. Environmental Modeling and Software, 23: 2-18.
- 10- Council of Australian Governments (COAG). 2004. Intergovernmental Agreement on a National Water Initiative. Council of Australian Governments, Canberra.
- 11- Doorenbos J., and Kassam A.H. 1979. Yield Response to Water: FAO 256. Food and Agriculture Organization.
- 12- Eigenraam M., Crean J., Wimalasuriya R., and Jayasuria R. 2003. Economic Analysis of Environmental Flow Scenarios in the Murray River System, Stage 1. Final Report prepared for SERP “The Living Murray”, Economics and Policy Research Branch Publications, Department of Primary Industries, Victoria.
- 13- Evans E.M., Lee D.R., Boisvert R.N., B., Steenhuis T.S., Prano M., and Poats S.V. 2003. Achieving efficiency and equity in irrigation management: an optimization model of the EL Angel watershed, Carchi, Ecuador. Agriculture Systems. 77: 1-22.
- 14- Ferreryra C., Loe R.C., and Kreutzwisser D. 2008. Imagined communities, contested watersheds: challenges to integrated water resources management in agricultural areas. Journal of Rural Studies, 24: 304-321.
- 15- Hall N., Poulter D., and Curtotti R. 1994. ABARE Model of Irrigation Farming in the Southern Murray-Darling Basin. ABARE Research Report 94.4. Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics, Canberra.
- 16- Hardaker J.B., Huirne B.M., Anderson R., and Lien G. 2004. Coping with Risk in Agriculture. CABI publishing.
- 17- Heaney A., Bear S., and Bell R. 2001. Targeting Land and Water Use Options for Salinity management in the Murray-Darling Basin. ABARE report to the Murray-Darling Basin Commission, Canberra.
- 18- Quiggin J. 1988. Murray River salinity: an illustrative model, American Journal of Agricultural Economics. 70: 635-645.

- 19- Qureshi M.E., Connor J., Kirby M., and Mainuddin M. 2004 .Economic assessment of acquiring water for environmental flows in the Murray Basin. *The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 51: 283-303.
- 20- Qureshi M.E., Kirby M., and Mainuddin M. 2004. Integrated water resources in the Murray Darling Basin, Australia. CSIRO Land and Water, Acton ACT 2601. International Conference on Water Resources and Arid Environment.
- 21- Qureshi M.E., Qureshi S.E., Bajracharya K., and Kirby M. 2007. Integrated Biophysical and Economic Modeling Framework to Assess Impacts of Alternative Groundwater Management Options. Springer science.