

## تخصیص بهینه آب مخازن چاه نیمه به بخش کشاورزی سیستان با استفاده از برنامه‌ریزی پویای تصادفی

احمدعلی کیخا، مهدیه مسنن مظفری<sup>۱</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۲/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۲/۳۰

### چکیده

در این تحقیق، با توجه به شرایط خاص منطقه سیستان، تصادفی بودن جریان آب رودخانه هیرمند در بدو ورود به ایران و ارتباط مستقیم درآمد و هزینه کشاورزان با جریان آب رها شده از مخازن چاه نیمه، از روش برنامه‌ریزی پویای تصادفی و کاربرد زنجیره مارکوف در تخصیص بهینه آب از این مخازن استفاده شد. بدین منظور در آغاز داده‌های تبخیر، جریان رودخانه، سطح زیرکشت کشاورزی از سازمان‌های مربوطه در دوره زمانی ۲۰ ساله (۱۳۸۱-۱۳۹۱) و داده‌های ذخیره مخزن در سال ۱۳۹۱ گردآوری شد. سپس مدلی مناسب ایجاد شد که بتواند شرایط منطقه را نشان دهد. در نهایت با توجه به حالت‌های مختلف مدل در آغاز فصل زراعی و احتمال رخداد هر یک از حالت‌ها، آب بین سه منطقه زهک، میانکنگی و سیستان به صورت بهینه تخصیص یافت و سطح زیرکشت هر منطقه مشخص شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد با استفاده از برنامه‌ریزی پویای تصادفی می‌توان مخازن آب چاه نیمه را به طور بهینه مدیریت کرده، میزان آب مورد نیاز هر منطقه را تعیین و بر پایه آن سطح زیرکشت را مشخص کرد. لذا استفاده از این مدل برای مدیریت مخازن چاه نیمه توسط مدیران محلی پیشنهاد می‌شود.

طبقه‌بندی JEL: C1, Q25, C61

واژه‌های کلیدی: زنجیره مارکوف، بهره‌برداری بهینه، رودخانه هیرمند، سیستان

<sup>۱</sup> به ترتیب، استادیار گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه زابل و دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی دانشگاه زابل  
Email: mmosannan@gmail.com

### مقدمه

کمبود منابع آب از یک سو و افزایش تقاضای آن از سوی دیگر، منجر به کمبود منابع آب در بیشتر کشورهای دنیا شده است (فراتر از کمبود: قدرت، فقر و بحران آب جهانی، ۲۰۱۰). در این شرایط برای تامین آب مورد نیاز بخش‌های مختلف یا باید عرضه آب افزایش یابد که امری بسیار دشوار است و یا در دو سوی عرضه و تقاضا از منابع آب به صورت بهینه استفاده کرد (سامانی، ۱۳۸۲). در دشت سیستان که در شمال استان سیستان و بلوچستان واقع شده است، به دلیل بارندگی بسیار کم (میانگین ۵۰ میلیمتر در سال) و تبخیر بالا (۴ الی ۵ هزار میلیمتر) از یک سو و وابستگی کامل آن به رودخانه مرزی هیرمند از سوی دیگر، مساله مدیریت آب از هر دو جنبه، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند (برنامه‌ریزی منابع آب رودخانه و مخازن چاه نیمه‌های سیستان، ۱۳۹۰). در چنین شرایطی ایجاد مخزن و یا سدی که با آن بتوان آب را به صورت بهینه‌ای مدیریت کرد یکی از راهکارهای پایه‌ای است.

به همین دلیل مخازن چاه نیمه‌های یک، دو و سه از سال ۱۳۶۲ با حجم ۶۶۰ میلیون مترمکعب مورد بهره‌برداری قرار گرفت. سه سال بعد در سال ۱۳۶۵ آب این مخازن برای مصارف کشاورزی مورد استفاده قرار گرفت. مخزن چاه‌نیمه چهار نیز از سال ۱۳۸۸ باهدف تأمین آب کشاورزی با حجم ۸۲۰ میلیون مترمکعب آغاز به کار کرد. در سال‌های گذشته از مخازن چاه‌نیمه تنها برای آبیاری مناطق تحت پوشش سد سیستان استفاده می‌شد. در سال‌های اخیر با توجه به خشکسالی‌های موجود و حق استفاده همه مردم منطقه از آب چاه‌نیمه، آب این مخازن به بخش کشاورزی زهک و میانکنگی نیز منتقل می‌شود. یادآوری این نکته ضروری است که، دو منطقه زهک و میانکنگی بخشی از آب مورد نیاز کشاورزی خود را از رودخانه‌های سیستان و پریان تأمین می‌کنند ولی منطقه سیستان تنها از آب چاه‌نیمه برای آبیاری استفاده می‌کند.

بنابر آمار سازمان جهاد کشاورزی استان سیستان و بلوچستان (۱۳۹۰)، سال زراعی در این منطقه به سه دوره تقسیم می‌شود. در دوره اول که از مهر آغاز شده و تا آذر ادامه دارد، محصولات پاییزه کاشته می‌شوند. در دوره دوم که از دی تا اردیبهشت ماه است، محصولات پاییزه برداشت و محصولات بهار کاشته می‌شوند. در ماه‌های خرداد تا شهریور که دوره سوم سال زراعی منطقه است، محصولات بهار برداشت می‌شوند. از آنجا که در همه مناطق امکان تأمین آب از چاه‌نیمه وجود دارد در فصول کم آب، آب مورد نیاز از این مخازن تأمین می‌شود. با توجه به این که محصولات پاییزه در دوره اول کاشته شده و در دوره دوم برداشت می‌شوند، سود این فصل به

## تخصیص بهینه آب مخازن چاه نیمه... ۴۹

کاشت دوره اول و آب موجود در دوره دوم بستگی دارد. لذا کشاورزان در دوره دوم نیاز بیشتری به آب چاه نیمه دارند و در صورت بروز خشکسالی ممکن است بخشی یا همه محصول خود را از دست دهند. اگر محصولات کشاورزان در این دوره از بین برود کشاورزان نه تنها درآمد حاصل از تولید و فروش محصولات خود را از دست می‌دهند بلکه هزینه‌های عملیات کاشت و داشت نیز از بین خواهد رفت. در نتیجه مدیران مخازن با این پرسش روبرو هستند که چه میزان آب در دوره‌های اول، دوم و سوم از مخازن برای سه منطقه زهک، سیستان و میانکنگی رها شود تا درآمد سالانه کشاورزان حداکثر شود و یا در صورت کمبود آب هزینه‌های کشاورزان در آن سال حداقل شود.

هزاران سال است که طرح‌های منابع آب به منظور ذخیره‌سازی آب‌های جاری و مصرف آن در زمان مورد نیاز، اجرا می‌شود. ولی توجه به مدیریت آب در سدها و مخازن کمتر از چند دهه است که به طور جدی مطرح شده و در این زمینه روش‌های ریاضی زیادی با اهداف برنامه‌ریزی درازمدت، میان‌مدت و کوتاه‌مدت ارائه شده است. در ۵۰ سال اخیر مدیریت منابع آب از شیوه‌های ساده به الگوهای پیچیده و تکامل یافته تبدیل شده است (نادالال و سیمونویچ، ۲۰۰۳).

یکی از روش‌های ساده در بهره‌برداری از مخزن، سیاست بهره‌برداری استاندارد<sup>۱</sup> است. بنابراین روش میزان آب خروجی از مخزن تابعی از میزان آب موجود در آن است به طوری که اگر آب کمتر یا برابر میزان تقاضا باشد همه آب خارج شده و در غیر این صورت آب مازاد در مخزن نگه داشته می‌شود (لاکس و همکاران، ۱۹۸۱). در صورتی که استفاده از منابع آب در سدها رقیب و یا حتی متضاد با یکدیگر بوده و عرضه و تقاضای آب در آن‌ها تحت تأثیر عواملی تصادفی می‌باشد. به همین دلیل تصمیم‌گیری در مورد جریان و یا ذخیره آب در سال بسیار پیچیده و از وظایف اصلی مدیریت سد می‌باشد. علاوه بر آن، مدیران سدها وظایف دیگری مانند کنترل سیل، تأمین تقاضای مصرف‌کنندگان و افزایش جریان رودخانه پایین‌دست به منظور حفاظت محیط‌زیست را بر عهده‌دارند (اگرل و همکاران، ۱۹۹۸). به همین دلیل از روش‌های مختلفی برای تصمیم‌گیری در مورد حجم رهاسازی آب سدها استفاده شده است. نخستین بار دورفمن (۱۹۶۲) استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی برای بهره‌برداری از مخازن سدها را پیشنهاد داد. لاکس (۱۹۷۰) مدل خطی با محدودیت تصادفی را برای بهره‌برداری بهینه از سد چند مخزنه استفاده کرد. سرین واسان و

---

<sup>۱</sup> Standard Operation Policy (SOP)

ودولا (۱۹۹۶) و ادیسینگ و همکاران (۲۰۰۰) نیز از این روش برای وارد کردن عدم حتمیت در بهره‌برداری از مخازن استفاده کردند.

برنامه‌ریزی پویا یکی از کاربردی‌ترین روش‌هایی است که امروزه برای مدل‌سازی نظام‌های بهره‌برداری از مخازن استفاده می‌شود (لاکس و بیک، ۲۰۰۵). ویژگی اصلی برنامه‌ریزی پویا آن است که برای حل مسائل چند مرحله‌ای به کار می‌رود. به همین دلیل در بهینه‌سازی نظام‌های بهره‌برداری از منابع آب نیز به طور گسترده‌ای استفاده شده است. یانگ (۱۹۶۷) از برنامه‌ریزی پویا<sup>۱</sup> برای تعیین میزان بهینه خروج آب از مخزن استفاده کرد و هدف خود را کمینه کردن خسارت تعیین نمود. پس از آن تورگن (۱۹۸۱) از برنامه‌ریزی پویای تصادفی برای بهینه‌سازی عملیات هفته‌ای یک سد چندمخزنه استفاده کرد. برنامه‌ریزی خطی تصادفی با استفاده از فرایند مارکوف توسط مان (۱۹۶۲) و توماس و واترمیر (۱۹۶۲) ابداع و توسط لاکس (۱۹۶۸) برای مدیریت مخازن استفاده شد. تیلمنت و همکاران با استفاده از برنامه‌ریزی پویای احتمالی فازی به تخصیص بهینه آب مخزن چند منظوره در مراکش پرداختند. لانگ و همکاران (۲۰۰۷) و آلسی و ماکس (۲۰۰۷) با استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی تصادفی و زائو و همکاران (۲۰۱۱) با لحاظ کردن اثر عدم قطعیت در پیش‌بینی جریان ورودی به مخزن، بهره‌برداری بهینه سد را مورد ارزیابی قرار دادند. در ایران نیز بررسی‌هایی در خصوص مدیریت بهره‌برداری از مخازن سدها انجام شده است.

پس از کاربرد قهرمان و سپاسخواه (۱۳۸۴) از برنامه‌ریزی پویای تصادفی در مدیریت منابع آب سدها و اجرای آن برای سدی در خراسان، این روش در مطالعات مومنی و رضایی (۱۳۸۷) برای سد ارس و سعدالدین و همکاران (۱۳۸۹) برای سد بوستان استان گلستان مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به این که این روش پویایی مدل و تصادفی بودن آن را با هم در نظر می‌گیرد و منطقه سیستان دارای منابع آب تصادفی است که باید در فصول مختلف بین بخش‌های سیستان تقسیم شود، در این بررسی به منظور کمک به تصمیم‌گیری بهتر مدیران در رهاسازی بهینه آب از مخازن به بخش کشاورزی از این روش برای مدیریت منابع آب چاه نیمه استفاده خواهد شد.

<sup>۱</sup> Dynamic Programming

## روش تحقیق

روش برنامه‌ریزی پویا یکی از روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی بوده و روشی عمومی برای بیشینه و کمینه کردن توابع ریاضی چند مرحله‌ای است. این برنامه‌ریزی توسط ریچارد بلمن در سال ۱۹۵۷ معرفی شد. در این روش، مسئله بهینه‌سازی اولیه و متغیرهای موجود به مسائل کوچک‌تر تقسیم می‌شوند و تعیین میزان بهینه نیازمند حل مرحله به مرحله می‌باشد. شکل عمومی برنامه‌ریزی پویا به صورت معادله (۱) نوشته می‌شود:

$$f(S_1, \dots, S_n) = \sum_{t=1}^n r_t(S_t, u_{t+1}) \quad (1)$$

$$S.t \quad u_t = \tau_t(S_t, u_{t+1}) \quad \text{for } t = 1, \dots, n$$

در معادله بالا  $u_t$  متغیر تصمیم در هر مرحله،  $S_t$  متغیر حالت،  $r_t$  تابع بازگشت،  $t$  مرحله،  $\tau_t$  معادله تبدیل مرحله به مرحله می‌باشند (پنگ و بوراس، ۲۰۰۰). برنامه‌ریزی پویا به دو شاخه قطعی و تصادفی تقسیم می‌شود. تابع بازگشتی در مدل‌های تصادفی به صورت زیر است:

$$f_t(S_t, U_t) = \text{opt}\{r_t(S_t, U_t) \otimes E[f_{t+1}(S_{t+1})]\} \quad (2)$$

که در آن  $E$  امید ریاضی سود یا خسارت بهینه است.  $r_t(S_t, U_t)$  سود یا خسارت اضافه‌شده در مرحله  $t$ ،  $f_{t+1}(S_{t+1})$  سود یا خسارت بهینه از مرحله  $t+1$  به بعد،  $S_{t+1}$  حالت مرحله  $t+1$ ،  $\otimes$  عملگری است که با توجه به ساختار مسئله می‌تواند جمع، ضرب یا تفریق باشد. در این تابع  $S_{t+1} = \tau_t(S_t, U_t)$  نشان‌دهنده حالت مدل در مرحله  $t+1$  است (پنگ و بوراس، ۲۰۰۰). یکی از موارد استفاده معادله بالا، کاربرد آن در بهینه کردن سود یا هزینه بنگاه‌ها و تبدیل آن به شرایط حال است که در این صورت این معادله به شکل زیر تبدیل می‌شود:

$$f_t(S_t, U_t) = \text{opt}\{r_t(S_t, U_t) \otimes \delta_t E[f_{t+1}(S_{t+1})]\} \quad (3)$$

که در آن  $\delta_t$  عامل تنزیل و تبدیل درآمدهای آینده به حال است و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\delta_t = \frac{1}{(1+r)^t} \quad (4)$$

که در آن  $r$  نرخ تنزیل و  $t$  زمان مورد نظر می‌باشند (پنگ و بوراس، ۲۰۰۰). یک مدل بازگشتی به طور کلی از زمان پایانی شروع شده و به سمت زمان حال حرکت می‌کند که مانند درخت تصمیم بوده و در هر مرحله تصمیم بهینه برای همه حالت‌ها مشخص می‌شود.

قانون بالا که از پایان شروع به حل مدل می‌کند به نام روش بهینه‌سازی بلمن معروف است (هارداکر و همکاران، ۲۰۰۴)

در این بررسی به منظور ایجاد مدلی که همه شرایط منطقه در آن وجود داشته باشد از فروض ساده کننده ای استفاده شد. فروض به کار گرفته شده در برنامه‌ریزی پویای تصادفی این بررسی عبارت‌اند از:

فصل زراعی پاییز به دو دوره از مهر تا آذر، دی تا اردیبهشت و فصل زراعی بهار به یک دوره خرداد تا شهریور تقسیم می‌شود.

بر پایه دوره‌های کشاورزی در یک فصل زراعی (سه دوره)، سه جریان تصادفی برای رودخانه سیستان  $Y_{1s}$ ،  $Y_{2s}$  و  $Y_{3s}$  و سه جریان تصادفی برای رودخانه پریان  $Y_{1p}$ ،  $Y_{2p}$  و  $Y_{3p}$  در نظر گرفته می‌شود.

دو فصل زراعی پاییزه و بهاره ( $f$  و  $s$ ) برای محصولات در نظر گرفته می‌شوند.

جریان رودخانه سیستان  $Y_{1s}$ ،  $Y_{2s}$  و رودخانه پریان  $Y_{1p}$ ،  $Y_{2p}$  در فصل زراعی پاییز و  $Y_{3s}$  و  $Y_{3p}$  در فصل زراعی بهار اتفاق می‌افتد. بدین معنا که فصل پاییز شامل دوره‌های اول و دوم و فصل بهار شامل دوره سوم می‌باشد.

حالت مخزن در ابتدای هر دوره با  $S_1, S_2$  و  $S_3$  نشان داده می‌شود.

حالت مخزن در ابتدای هر فصل زراعی به صورت  $S_1 = S^f$  و  $S_3 = S^s$  نمایش داده خواهد شد.

در این بررسی، یک سال زراعی به فصول زراعی کشت محصولات در منطقه سیستان (پاییزه و بهاره) تقسیم می‌شود. اگر رودخانه آب داشته باشد، آبی از ذخایر چاه‌نیمه به سه منطقه سیستان، زهک و میانکنگی منتقل نخواهد شد. در غیر این صورت آب بخش کشاورزی توسط کانال‌های انتقال آب از طریق چاه‌نیمه تأمین خواهد شد. به طور کلی، تصمیم‌گیری در مورد خارج کردن آب از مخازن به دو عامل جریان آب رودخانه و حجم آب ذخیره شده در مخزن پس از کسر تبخیر، نفوذ و تخصیص آب شرب بستگی دارد، که همه باید در مدل آورده شوند. لذا این مسئله که آب در چه حالتی، به کدام منطقه و به چه میزان انتقال یابد توسط معادله بازگشتی زیر با پیشینه کردن درآمد ناخالص کشاورزان حل خواهد شد.

$$V(S_{tr}^k) = \max_{u^k} \{E(f^k(u_{tr}^k, y_k)) + \delta^k E(V(S_t^k, u_{tr}^k))\} \quad (5)$$

### تخصیص بهینه آب مخازن چاه نیمه... ۵۳

که در آن  $t$  نشان دهنده سال مورد نظر،  $k$  دوره زمانی در سال که می تواند بر پایه تصمیم گیری ها متفاوت باشد (در این جا فصل زراعی در نظر گرفته شده است)،  $r$  منطقه زراعی (سه منطقه زهک، سیستان و میانکنگی)،  $f^k$  درآمد ناخالص فصل  $k$  ام،  $u_{tr}^k$  میزان آب جاری شده در سال  $t$  در دوره  $k$  به منطقه  $r$ ،  $y_k$  جریان آب رودخانه در فصل زراعی  $k$ ،  $S_t^k$  میزان ذخیره آب مخزن در سال  $t$  و در فصل زراعی  $k$  است.  $\delta^k$  که عامل تنزیل برای هر فصل زراعی است. هم چنین، تابع انتقال حالت به صورت زیر خواهد بود:

$$g^k(S_t^k, u_t^k, r_t^k) = \min\{S_t^k - u_t^k + r_t^k - L_t^k, S_{max}\} \quad (6)$$

در معادله بالا  $r_t^k$  آب وارد شده به مخزن از رودخانه در فصل زراعی  $k$ ،  $L_t^k$  میزان تبخیر و نفوذ از مخزن و  $S_{max}$  بیشینه ظرفیت مخازن می باشد. برای تعیین احتمال انتقال حالت مخزن در دو فصل زراعی از یک حالت به حالت دیگر با استفاده از داده های ۲۰ ساله، از زنجیره مارکوف استفاده می شود که در ادامه شرح داده شده است.

احتمال شرطی  $P_{ij}$ ،  $P(X_{t+1} = j | X_t = i)$ ، برای  $i, j \in E$ ، احتمال انتقال مدل از حالت  $i$  به  $j$  نامیده می شود که به صورت زیر تعریف می شود:

$$P_{ij} = P(X_{t+1} = j | X_t = i) = \frac{N(X_t = i, X_{t+1} = j)}{N(X_t = i)} \quad (7)$$

که در معادله بالا،  $N(X_t = i, X_{t+1} = j)$  تعداد انتقالات از حالت  $i$  به حالت  $j$  و  $N(X_t = i)$  تعداد کل دوره های قرار گرفته در حالت  $i$  می باشد. معمولاً  $P_{ij}$  را با توجه به حالت های یک سیستم به شکل مربعی مرتب می کنند و نتیجه آن ماتریس مربع  $P$  است که ماتریس انتقال زنجیره مارکوف  $X$  نامیده می شود.

در این بررسی  $P_{ij}^f$  احتمال انتقال از حالت  $i$  در فصل پاییز به حالت  $j$  در فصل بهار می باشد. هم چنین  $P_{ij}^s$  انتقال از حالت  $i$  در فصل بهار به حالت  $j$  در فصل پاییز است. که در آن  $i$  و  $j$  همه حالت های مختلف مخزن هستند. اجزای ماتریس های انتقال برای جریان  $u$  عبارت اند از:

$$P_{ij}^f(u^f) = P(S_j^s | S_i^f, u^f, y_1, y_2) \quad (8)$$

$$P_{ij}^s(u^s) = P(S_j^f | S_i^s, u^s, y_3) \quad (9)$$

حال می توان مدل بازگشتی را به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$E(f^k(u_{tr}^k, y_k)) = \sum P(y_i) f^k(u_{tr}^k, y_k) \quad (10)$$

$$E(V(S_t^k, u_{tr}^k)) = \sum_{k=1,2,3} P_{ij}^k(u^k) V(S_{tr}^k) \quad (11)$$

با جایگذاری معادله‌های (۱۰) و (۱۱) در معادله ۵ به تفکیک فصول زراعی و منطقه و حل معادله های به صورت بازگشتی میزان بهینه جریان خروجی از مخزن در هر فصل زراعی برای هر منطقه ( $U_{Tj}^k$ ) مشخص خواهد شد.

داده‌های مورد استفاده در این بررسی از سازمان آب منطقه‌ای سیستان و سازمان جهاد کشاورزی استان سیستان و بلوچستان در دوره زمانی ۲۰ ساله و برای سال‌های ۱۳۸۱-۱۳۹۱ و برای داده‌های حجم مخزن در ابتدای هر دوره و ذخیره احتیاطی به صورت مقطعی و برای سال ۱۳۹۱، گردآوری شد. پس از جمع آوری اطلاعات، مدل توسط نرم افزار MATLAB طراحی و معادله‌های ارتباط سطح زیرکشت با حجم مخزن با استفاده از نرم افزار EvIEWS5 برآورد شد. سپس مدل با استفاده از برنامه‌ریزی پویای تصادفی توسط نرم افزار MATLAB حل شد که نتایج آن در ادامه آورده خواهد شد.

### نتایج و بحث

برای ایجاد هدف و محدودیت‌های مدل بهینه‌سازی منطقه و حل آن بر پایه تابع‌های ذکر شده از معادله‌های متعددی استفاده شد. در این معادله‌ها ابتدا ذخیره آب چاه نیمه در هر فصل زراعی آورده شد. پس از کسر مصرف آب شرب، تبخیر، نفوذ و ذخیره احتیاطی و جمع آب ورودی به مخزن در هر دوره، آب موجود در مخزن بر پایه سطح زیرکشت هر یک مناطق زهک، میانکنگی و سیستان به آنها تخصیص یافته و کل حجم آب تخصیصی در این دوره مشخص شد. سپس همین مراحل برای دوره دوم طی شد و میزان آب جاری شده از مخزن برای هر منطقه نیز در این دوره مشخص شد. در نهایت با استفاده از سطوح زیرکشت به دست آمده از هر دوره با توجه به جریان آب مخزن تابع هزینه بر پایه سطح زیرکشت در دوره اول فصل زراعی پاییز و تابع درآمد بر پایه سطح زیرکشت در دوره دوم این فصل زراعی تخمین و میزان سود در تابع هدف جایگذاری شد.

با توجه به پویا بودن برنامه آب باقیمانده پس از مصرف در فصل زراعی اول به فصل زراعی بهار انتقال یافت. در این فصل نیز پس از کسر خروجی مخازن و اضافه کردن ورودی به مخزن و تعیین جریان رودخانه و تامین آب مناطق بر پایه جریان آب رودخانه، میزان آب مورد نیاز هر منطقه مشخص و آب خروجی از مخزن بر پایه سطح زیرکشت تخصیص یافت.



### تخصیص بهینه آب مخازن چاه نیمه...۵۵

سپس، مسئله برنامه‌ریزی پویا برای ۲۰ حالت<sup>۱</sup> از ذخایر چاه‌نیمه و ۱۸ میزان رهاسازی آب<sup>۲</sup> مخزن حل شد. در جدول (۱) حالت‌های موجود و مقادیر رهاسازی به تفکیک آورده شده است. اعداد موجود در جدول بر مبنای داده‌های موجود حجم آب چاه نیمه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ و میزان رهاسازی این آب برای کشاورزی آورده شده است.

با توجه به جدول (۱) اگر حجم کل چاه نیمه‌ها ۱۴۰۰ میلیون مترمکعب بوده و در صورتی که آب موجود در چاه‌نیمه کمتر از ۳۰۰ میلیون مترمکعب باشد، به منظور کاهش اثرات خشکسالی بر مصرف آب شرب، آبی برای کشاورزی رها نخواهد شد.

جدول (۱) حالت‌های ذخیره مخزن و متغیر تصمیم جریان آب از مخازن

متغیر تصمیم (II)		متغیر حالت (S)	
ردیف	جریان آب (میلیون مترمکعب)	میزان ذخیره (میلیون مترمکعب)	ردیف
۱	۰	۲۳۹	۱
۲	۶۱	۳۰۰	۲
۳	۱۲۲	۳۶۱	۳
۴	۱۸۳	۴۲۲	۴
۵	۲۴۴	۴۸۳	۵
۶	۳۰۶	۵۴۴	۶
۷	۳۶۷	۶۰۶	۷
۸	۴۲۸	۶۶۷	۸
۹	۴۸۹	۷۲۸	۹
۱۰	۵۵۰	۷۸۹	۱۰
۱۱	۶۱۱	۸۵۰	۱۱
۱۲	۶۷۲	۹۱۱	۱۲
۱۳	۷۳۳	۹۷۲	۱۳
۱۴	۷۹۴	۱۰۳۳	۱۴
۱۵	۸۵۶	۱۰۹۴	۱۵
۱۶	۹۱۷	۱۱۵۶	۱۶
۱۷	۹۷۸	۱۲۱۷	۱۷
۱۸	۱۰۳۹	۱۲۷۸	۱۸
		۱۳۳۹	۱۹
		۱۴۰۰	۲۰

منبع: یافته‌های تحقیق

<sup>1</sup> State

<sup>2</sup> Water Release

با حل مدل برنامه‌ریزی پویای تصادفی مقادیر بهینه جریان آب در فصول زراعی برای مناطق مختلف محاسبه شد و نتایج آن به تفکیک فصول زراعی در جدول‌های (۲) و (۳) آورده شد. با توجه به این جدول‌ها اگر ذخیره مخازن کمتر از ۳۰۰ میلیون مترمکعب باشد هیچ آبی برای کشاورزی رها نخواهد شد. همچنین ستون آخر در این دو جدول نشان‌دهنده آب ذخیره شده در پایان فصل زراعی با توجه به میزان ذخیره اولیه و رهاسازی آب می‌باشد. در فصل زراعی پاییز (جدول ۲) از جریان ۳۶۱ تا ۶۰۶ میلیون مترمکعب آب به میزان برابر به سه منطقه جاری خواهد شد. پس از آن میزان جاری شدن آب به زهک ثابت مانده و آب به مناطق سیستان و میانکنگی تا ۹۱۱ میلیون مترمکعب به میزان برابر رها خواهد شد. در نهایت در ذخایر بالاتر میزان بیشتری آب به سیستان جاری می‌شود.

جدول (۲) جریان خروجی بهینه آب در حالت‌های مختلف در فصل اول زراعی (پاییز)

حالت اولیه	سیستان	زهک	میانکنگی	ذخیره در پایان فصل
۲۳۹	۰	۰	۰	۱۰۴۰
۳۰۰	۰	۰	۰	۱۰۶۳
۳۶۱	۶۱	۶۱	۶۱	۱۲۸۱
۴۲۲	۹۲	۹۲	۹۲	۱۳۷۳
۴۸۳	۱۲۲	۱۲۲	۱۲۲	۹۹۳
۵۴۴	۱۵۳	۱۵۳	۱۵۳	۹۰۲
۶۰۶	۱۸۳	۱۸۳	۱۸۳	۸۱۰
۶۶۷	۲۱۴	۱۸۳	۲۱۴	۷۴۹
۷۲۸	۲۴۴	۱۸۳	۲۴۴	۶۸۸
۷۸۹	۲۷۵	۱۸۳	۲۷۵	۶۲۷
۸۵۰	۳۰۶	۱۸۳	۳۰۶	۵۶۶
۹۱۱	۳۳۶	۱۸۳	۳۳۶	۵۰۴
۹۷۲	۳۶۷	۱۸۳	۳۳۶	۴۷۴
۱۰۳۳	۳۹۷	۱۸۳	۳۳۶	۴۴۳
۱۰۹۴	۴۲۸	۱۸۳	۳۳۶	۴۱۳
۱۱۵۶	۴۲۸	۱۸۳	۳۶۷	۳۸۲
۱۲۱۷	۴۲۸	۱۸۳	۳۶۷	۳۸۲
۱۲۷۸	۴۲۸	۱۸۳	۳۶۷	۳۸۲
۱۳۳۹	۴۲۸	۱۸۳	۳۶۷	۳۸۲
۱۴۰۰	۴۲۸	۱۸۳	۳۶۷	۳۸۲

منبع: یافته‌های تحقیق

تخصیص بهینه آب مخازن چاه نیمه... ۵۷

جدول (۳) جریان خروجی بهینه آب در حالت‌های مختلف در فصل دوم زراعی (بهار)

حالت اولیه	سیستان	زهک	میانکنگی	ذخیره در پایان فصل
۲۳۹	۰	۰	۰	۲۳۹
۳۰۰	۰	۰	۰	۲۳۹
۳۶۱	۶۱	۴۶	۴۶	۳۷۶
۴۲۲	۷۶	۶۰	۶۱	۴۱۹
۴۸۳	۹۲	۶۰	۷۶	۴۳۵
۵۴۴	۱۰۷	۶۰	۹۲	۴۵۰
۶۰۶	۱۰۷	۶۰	۱۰۷	۴۶۵
۶۶۷	۱۰۷	۶۰	۱۰۷	۴۶۵
۷۲۸	۱۰۷	۶۰	۱۰۷	۴۶۵
۷۸۹	۱۰۷	۶۰	۱۰۷	۵۲۸
۸۵۰	۱۰۷	۶۰	۱۰۷	۵۸۹
۹۱۱	۲۱۴	۶۰	۱۰۷	۵۹۳
۹۷۲	۲۱۴	۱۱۹	۲۱۴	۸۷۷
۱۰۳۳	۲۱۴	۱۱۹	۲۱۴	۸۸۱
۱۰۹۴	۲۱۴	۱۱۹	۲۱۴	۹۴۲
۱۱۵۶	۲۱۴	۱۱۹	۲۱۴	۱۰۰۱
۱۲۱۷	۲۱۴	۱۱۹	۲۱۴	۱۰۶۲
۱۲۷۸	۲۱۴	۱۵۱	۲۱۴	۱۱۵۸
۱۳۳۹	۲۱۴	۱۸۱	۲۱۴	۱۲۸۰
۱۴۰۰	۲۱۴	۲۱۲	۲۱۴	۱۳۷۲

منبع: یافته‌های تحقیق

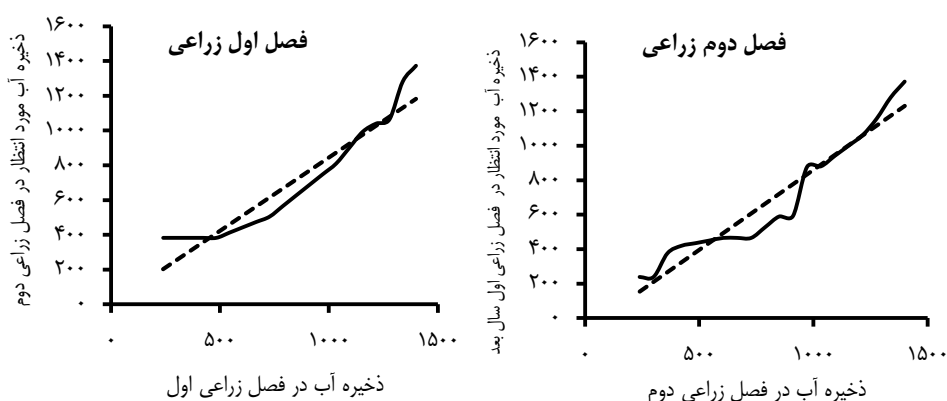
در جدول (۳)، میزان آب جاری شده به بخش کشاورزی سیستان در همه ذخایر بیشتر از زهک بوده و تا میزان ذخیره ۵۴۴ میلیون مترمکعب نیز از میانکنگی بیشتر است ولی پس از آن جز در یک مورد (۹۱۱ میلیون مترمکعب) آب جاری شده با سیستان و میانکنگی برابر خواهد بود. بدین ترتیب با استفاده از دو جدول (۲) و (۳) به خوبی مشخص می‌شود، در هر فصل با میزان ذخیره معین چه میزان آب به مناطق مختلف بر پایه سطح زیرکشت جاری شود.

پس از آن ماتریس احتمال انتقال بهینه با استفاده از ماتریس‌های احتمال مارکوف، ساخته شده و ماتریس‌های انتقال بهینه برای فصول زراعی پاییزه و بهاره محاسبه شدند. با استفاده از ماتریس‌های احتمال انتقال و معادله‌های زیر مقادیر ذخیره آب در هر فصل زراعی محاسبه شد.

$$E(S_S^*) = P_f^* S \quad (۱۴)$$

$$E(S_f^*) = P_s^* S \quad (15)$$

بردارهای  $S$  که همان مقادیر ذخیره در پایان فصل در جدول‌های (۲) و (۳) هستند برای دو فصل زراعی همراه با خط ۴۵ درجه ترسیم شده‌اند. با توجه به نمودار (۱) هنگامی که نمودار ذخیره بالاتر از خط ۴۵ درجه باشد باید حجم مخزن افزایش یابد تا میزان ذخیره در مخزن بهینه شود. در مقابل اگر نمودار زیر خط ۴۵ درجه باشد به معنای این است که مدیران باید حجم مخزن را با رهاسازی آب کاهش دهند تا ذخیره آب در مخزن بهینه شود.



نمودار (۱) میزان بهینه ذخیره آب در طول زمان

با رسم دو نمودار بالا در یک نمودار میزان بهینه ذخیره آب در ابتدای هر دو فصل زراعی مشخص خواهد شد. لذا میزان بهینه ذخیره آب در فصل دوم ۷۸۹ میلیون مترمکعب و در فصل اول ۵۸۹ میلیون مترمکعب می‌باشد.

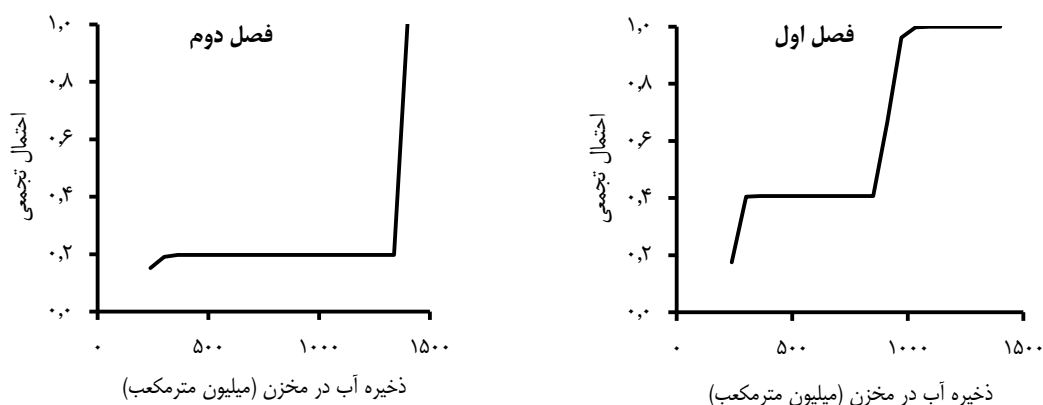
برای محاسبه حالت‌های تصادفی مختلف ذخیره مخزن، بردارهای احتمال  $Z_{s,t}$  و  $Z_{f,t}$  برای دو فصل زراعی پاییز و بهار محاسبه شدند. این بردارها نشان‌دهنده احتمال وجود آب مخزن در حالت خاصی در سال  $t$  می‌باشند. مثلاً اگر در فصل پاییز حالت اولیه میزان مشخص ۴۸۳ میلیون مترمکعب باشد، یعنی مخزن در حالت پنجم قرار داشته و بردار احتمال حالت به شکل زیر خواهد بود:

$$\hat{Z}_{f,t} = [0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]$$

با ضرب  $Z_{f,t}$  در ماتریس بهینه ذخیره فصل پاییز احتمال وجود حالت‌های مختلف برای سال اول در فصل بهار مشخص خواهد شد. با ضرب مجدد این بردارها در یکدیگر احتمال حالت‌های

### تخصیص بهینه آب مخازن چاه نیمه... ۵۹

جدول (۱) در سال‌های مختلف برای فصول زراعی پاییز و بهار مشخص خواهد شد. حالت‌های مختلف برای ۶ سال محاسبه شد. با استفاده از معادله‌ها و احتمالات بالا مقادیر بهینه ذخیره مخزن در فصول زراعی اول و دوم تعیین و در نمودار (۲) ترسیم شد. با توجه به این نمودار اگر در فصل زراعی پاییز میزان اولیه ذخیره مخزن در حالت پنجم (جدول ۳) باشد و مدیران به صورت بهینه آب را تخصیص دهند، مخزن در ۹۵ درصد مواقع در ابتدای فصل پاییز و با احتمال ۱۸ درصد در ابتدای فصل بهار پر خواهد بود.



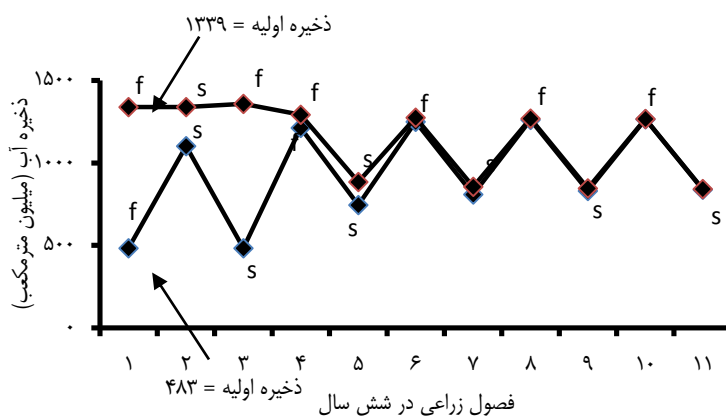
نمودار (۲) میزان تصادفی بهینه ذخیره در ابتدای هر فصل زراعی

در نهایت میزان بهینه سطح آب در مخزن محاسبه خواهد شد. میزان بهینه مخزن در فصل پاییز ۵۸۹ و در فصل بهار ۷۸۹ میلیون مترمکعب است که نتایج قبل را تایید می‌کند. همچنین میانگین سطح زیرکشت بهینه هر منطقه با توجه به آب موجود در مخزن در ابتدای فصل زراعی به صورت جدول (۴) خواهد بود. با توجه به این جدول، سطح زیرکشت همه مناطق در فصل بهار (دوم زراعی) بیشتر از فصل پاییز است که می‌توان گفت به دلیل آب بیشتر در مخزن و رودخانه در این فصل است که باعث افزایش سطح زیرکشت خواهد شد.

جدول (۴) سطح زیر کشت بهینه در مناطق مختلف

سطح زیر کشت مورد انتظار			ذخیره بهینه مورد انتظار (میلیون مترمکعب)		ذخیره بهینه مورد انتظار (میلیون مترمکعب)		میانگین انحراف معیار
فصل دوم		فصل اول		فصل دوم		فصل اول	
میانکنگی	سیستان	زهک	میانکنگی	سیستان	زهک	فصل دوم	فصل اول
۸۰۰۶	۳۲۱۸۱	۱۴۷۳۷	۴۲۰۴	۱۷۹۴۲	۴۶۰۴	۷۸۹	۵۸۹
۴۳۹۵	۱۴۶۶۸	۶۷۹۴	۱۵۱۷	۶۴۷۴	۱۶۶۱	۴۲۲	۱۵۸

با استفاده از جدول‌ها و با کاربرد فرمول‌های بالا میزان بهینه مخزن در حالت‌های مختلف هر فصل محاسبه خواهد شد. از این داده‌ها میزان بهینه رهاسازی آب در هر سال زراعی به دست می‌آید. نمودار (۳) میزان بهینه را برای دو حالت اولیه پنجم و نوزدهم نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار هنگامی که مخزن ۱۳۳۹ میلیون مترمکعب ذخیره اولیه دارد تا ۱۲۹۱ میلیون مترمکعب آب به میزان زیادی رها نمی‌شود ولی پس از آن راه بهینه آن است که آب مخزن برای بخش کشاورزی رها شود. ولی هنگامی که مخزن ذخیره اولیه ۴۸۳ میلیون مترمکعب دارد مخزن باید هرچه زودتر افزایش حجم پیدا کند تا به حالت بهینه برسد. همچنین، در هر دو حالت آب طی فصل زراعی اول (بهار) ذخیره شده و در فصل زراعی دوم مورد استفاده قرار می‌گیرد. باید توجه نمود که راه حل بهینه ذکر شده راه حل مورد انتظار بوده و با میزان بهینه واقعی به دلیل تصادفی بودن مدل تفاوت دارد. (f نشان‌دهنده فصل پاییز و s نشان‌دهنده فصل بهار هستند)



نمودار (۳) میزان بهینه رهاسازی آب برای حالت‌های مختلف مخزن

## نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این بررسی پس از ساخت مدلی مناسب، برای تخصیص آب چاه نیمه به سه بخش زهک، میانکنگی و سیستان از برنامه ریزی پویای تصادفی استفاده شد. مدیران و تصمیم‌گیران با استفاده از این مدل می‌توانند با در نظر گرفتن حالت‌های اولیه مخزن در سال‌های مختلف میزان بهینه رهاسازی آب از مخازن برای مناطق مختلف را به دست آورده و میزان ذخیره بهینه در مخزن را تعیین کنند. هم‌چنین با استفاده از این مدل می‌توان پیش‌فرض‌های مختلف مدیریتی مانند کاهش سطح زیرکشت و حالت‌های مختلف را بررسی نمود و سطح بهینه مخزن را در هر فصل زراعی با توجه به آب اولیه موجود تعیین و سطح زیرکشت را بر پایه میزان رهاسازی آب مشخص نمود. لذا پیشنهاد می‌شود مدیران قبل از رهاسازی آب بر پایه میزان آب موجود در مخزن، میزان بهینه تخصیص آب به مناطق مختلف را محاسبه کرده و سپس به رهاسازی آن اقدام کنند.

## منابع

- سامانی، ج. ۱۳۸۲. مدیریت منابع آب و توسعه پایدار. گزارش معاونت پژوهشی. دفتر مطالعات زیربنایی.
- سعدالدین، ا. هلیلی، م.ق و مساعدی، ا. ۱۳۸۹. مدیریت بهره برداری از مخزن با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در سد مخزنی بوستان استان گلستان. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران ۱۱: ۶۱-۵۳.
- قهرمان، ب. و سپاسخواه، ع. ۱۳۸۴. مدیریت بهره‌برداری از مخازن سدها. تحقیقات منابع آب ایران، ۲(۱): ۱-۱۵.
- مؤمنی، م. و رضایی، ن. ۱۳۸۷. مدل بهره‌برداری از مخزن سد ارس با استفاده از برنامه‌ریزی پویا. نشریه مدیریت صنعتی، ۱(۱): ۱۳۹-۱۵۲.
- وزارت جهاد کشاورزی. ۱۳۹۰. جهاد کشاورزی استان سیستان و بلوچستان، زابل.
- وزارت نیرو. ۱۳۹۰. گزارش برنامه‌ریزی منابع آب رودخانه و مخازن چاه نیمه‌های سیستان. جلد دوم، شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان سیستان و بلوچستان، زابل.
- Agrell, P., Lence, B., and Stam, A. 1998. An interactive multi criteria decision model for multipurpose reservoir management: the Shell mouth reservoir. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 7: 61-86.
- Alcigeims B., and Max B. 2007. Evaluation of stochastic reservoir operation optimization models. *Advances in Water Resources*, 32: 1429-1443.

- Dorfman, R. 1962. Mathematical models: The multi structure approach. Design of water resources systems, Harvard Univ, Cambridge.
- Edirisinghe, N.C.P., Patterson, I. and Saadouli, N. 2000. Capacity planning model for a multipurpose water reservoir with target-priority operation. *Annals of Operation Res*, 100: 273-303.
- Hardaker, J.B., Hurine, R.B.M., Anderson, J. R. and Lein, G. 2004. Coping with Risk in Agriculture. 2<sup>nd</sup> den, CABI, Wallingford, Oxford, U.K.
- Human Development Report. 2010. Beyond scarcity: Power, poverty and the global water crisis .2006. Published for the United Nations Development Program (UNDP)
- Long N., Madsen H., and Rosbjerg D .2007.Simulation and optimisation modeling approach for operation of the Hoa Binn reservoir, Vietnam. *Hydrology*,336:269-281.
- Loucks, D. P. and Beek, E. V. 2005. Water Resources Systems Planning and Management, and Applications, UNESCO.
- Loucks, D.P. 1968. Computer models for reservoir regulations. *Journal of Sanitary Engineering*, 94: 657-669.
- Loucks, D.P., Stedinger, J.R. and Haith, D.A. 1981. Water resource systems planning and analysis, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- Loucks, D. P. 1970. Some comments on linear decision rules and chance constraints. *Water resources research*, 11(6): 668-671.
- Manne, A.S. 1962. Product mix alternatives: Flood control, electric power and irrigation. *International Economics Review*, 8: 30-54.
- Nadalal, K. D. W., and Simonovic, S. P. 2003. State-of-the-art report on systems analysis methods for resolution of conflicts in water resources management. A Report Prepared for Division of Water Sciences UNESCO.
- Peng, C.S. and Buras, N. 2000. Dynamic Operation of Surface Water Resources System. *Water Resources Research*, 36(9):2701-2709.
- Sreenivasan, K.R. and Vedula, S. 1996. Reservoir operation for hydropower optimization: A chance- constrained approach. *Sadhana*, 21: 503-510.
- Thomas, H.A. and Watermeyer, P. 1962. Mathematical models: A stochastic-sequential approach in design of water resources systems, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 540-564.
- Turgeon, A. 1981. Optimal short-term hydro scheduling from the principle of progressive optimality. *Water Resources Research*, 17: 481-486.
- Yang, G. K. 1967. Finding reservoir operation rule. *Journal of hydraulics division, ASCE*, 93(6): 297-321.
- Zhao T., Cai X., and Yang D. 2011. Effect of streamflow forecast uncertainty on real time reservoir operation. *Advances in Water resources*, 34:495-504.