



## مدیریت کیفیت آب در مخازن سدها با تلفیق رویکردهای سازه‌ای و غیر سازه‌ای

علی حیدری ژاله<sup>۱</sup>، رضا کراچیان<sup>۲</sup>، بنفشه زهرایی<sup>۳</sup>

دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران  
zhaleh\_58@yahoo.com

### خلاصه

امروزه کیفیت آب مصرفی در مصارف مختلف از جمله صنعتی، کشاورزی، شرب از اهمیت بسزایی برخوردار است. بنابراین لازم است سیاست‌های بهره‌برداری از مخازن سدها با توجه به جنبه‌های مربوط به کیفیت آب تدوین شوند. در این مقاله با تلفیق رویکردهای سازه‌ای و غیر سازه‌ای مدلی برای بهینه‌سازی تراز و ظرفیت درجه‌های مخزن و تدوین سیاست‌های بهره‌برداری کمی و کیفی از مخزن در گام زمانی ماهانه ارائه شده است. مدل پیشنهادی در سد 15 خرداد که دارای مشکلات مربوط به شوری آب می‌باشد مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهند در صورت وجود رویکرد سازه‌ای و غیرسازه‌ای، میزان غلظت نمک خروجی در ماه‌هایی که نیاز آبی قابل توجه است به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد.

کلمات کلیدی: کیفیت آب، بهینه‌سازی، سد 15 خرداد، تراز و ظرفیت آبیگرها

### مقدمه

امروزه کشور به دلیل افزایش جمعیت، با رشد روز افزون نیازهای مختلف غذایی و آبی مواجه است. رشد روز افزون مصرف آب، محدودیت منابع آب قابل استحصال، افزایش نقاط مصرف و فعالیت‌های صنعتی در اطراف شهرهای بزرگ و ورود آلاینده‌های مختلف به رودخانه‌های پایین‌دست سدهای مخزنی، پیچیدگی برنامه‌ریزی بهره‌برداری کمی- کیفی از مخازن را در سال‌های اخیر افزایش داده است. اهمیت این مساله، ضرورت استفاده بهینه و پایدار از منابع محدود موجود را مشخص می‌سازد. جنبه دیگری که در بهره‌برداری کمی و کیفی از سیستم‌های منابع آب نمود بیشتری دارد وجود تصمیم‌گیرندگان و به تبع آن مطلوبیت‌های متعدد می‌باشد که اغلب منجر به بروز اختلاف نظرها و تنش‌های قابل توجه در سطح مدیریت و تصمیم‌گیری سیستم‌های منابع آب و محیط زیست می‌شود. بنابراین برنامه‌ریزی کمی و کیفی سیستم‌های منابع آب به‌طور خلاصه مساله‌ای متشکل از اهداف متضاد و پیچیده و دارای متغیرهای تصمیم قابل توجه می‌باشد که برای تأمین نتایج مطلوب، استفاده از امکانات رایانه‌ای و جدیدترین نوآوری‌های موجود در زمینه تحلیل سیستم‌ها، ضروری می‌باشد. از مطالعات انجام شده قبلی می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

### مرور پیشینه مطالعات

Kaplan (1974) در قالب رساله دکتری خود یک مدل شبیه‌سازی و یک روش بهینه‌سازی غیر خطی را برای تدوین سیاست‌های بهره‌برداری از برج آبیگر سدها تلفیق نمود. در این تحقیق یک روش بهینه‌سازی تک هدفه برای انتخاب تراز برداشت بهینه در هر بازه زمانی مورد استفاده قرار گرفته است. در این مدل بازه‌های زمانی به صورت مجزا و مستقل در نظر گرفته شده‌اند و تغییرات کیفیت بلند مدت آب در مخزن در نظر گرفته نمی‌شوند. Fontane and Labadie (1981) مدل لایه بندی حرارتی یک بعدی WESTEX را با مدل بهینه‌سازی پویا ترکیب کردند. هدف از این تحقیق فقط تعیین محل خروجی‌های سد برای دسترسی به دمای آب مطلوب در پایین دست بوده و تأمین نیازهای کمی به طور مجزا مورد توجه قرار گرفته است. برای کاهش مشکلات ابعادی، پروفیل دمای داخل مخزن به صورت یک چند جمله‌ای درجه 3 فرض شده است. یکی از مشکلات این روش امکان وجود حالات مختلف خروجی و پروفیل‌های دمای آخر بازه زمانی برای یک مقدار مشخص دمای خروجی می‌باشد که عملاً راهکاری برای مقابله با آن ارائه نشده است.

Nandalal and Bogardi (1995, 1996) برای تدوین سیاست‌های بهره‌برداری کمی - کیفی از دو مدل بهینه‌سازی و شبیه‌سازی مجزا استفاده نمودند. مدل شبیه‌سازی کیفی استفاده شده، مدل یک بعدی DYRESM می‌باشد که با یک مدل بهینه‌سازی غیر خطی، برای تعیین ترازهای خروجی

<sup>1</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه تهران

<sup>2</sup> استادیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تهران

<sup>3</sup> استادیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تهران



بهینه ترکیب شده است. در این تحقیق برای تأمین نیازهای کمی پایین دست به طور مجزا از یک مدل کمی پویای قطعی استفاده می‌گردد. در این تحقیق برای سیاست‌های بهره‌برداری کمی مشخص، بهترین محل‌های خروجی برای حصول اهداف کیفی محاسبه می‌گردند بنابراین عملاً در تعیین کل خروجی از سد، در هر بازه زمانی، اهداف کیفی مورد توجه قرار نمی‌گیرند و مدل ارائه شده خصوصیات یک مدل جامع بهره‌برداری کمی و کیفی از مخازن سدها را دارا نمی‌باشد.

Chaves et al. (2004) از روش‌های بهینه‌سازی و هوش مصنوعی برای شبیه‌سازی و بهره‌برداری از مخزن استفاده نمود. آنها یک مدل فازی پویای غیرقطعی را برای محاسبه فرایند بهینه‌سازی سیاست‌های بهره‌برداری توسعه دادند. در این تحقیق مشخصه‌ی غیرقطعی جریان رودخانه در نظر گرفته شده است اما مدل شبیه‌سازی لایه‌بندی کیفی و حرارتی مخزن را در نظر نمی‌گیرد و عملاً برداشت انتخابی مورد توجه قرار نمی‌گیرد. Kerachian and Karamouz (2006,2007) با تلفیق مدل‌های بهینه‌سازی و شبیه‌سازی و با تأکید بر رفع اختلاف بین تصمیم‌گیرندگان و استفاده کنندگان، ساختار جدیدی برای بهره‌برداری بهینه کمی و کیفی از مخازن و سیستم‌های رودخانه - مخزن ارائه نمودند. ایشان با علم به اینکه تعداد زیاد متغیرهای تصمیم‌گیری و به تبع آن، تعداد زیاد ژن‌های هر کروموزوم، کارایی مدل‌های الگوریتم ژنتیک کلاسیک را محدود می‌نماید، برای کاهش مشکلات محاسباتی مدل‌های الگوریتم ژنتیک، یک مدل الگوریتم ژنتیک با طول کروموزوم‌های افزایشی پیشنهاد نمودند. در این مدل، مسأله بهینه‌سازی بزرگ به چندین مسأله بهینه‌سازی کوچکتر شکسته شده و از جواب‌های بهینه محاسبه‌شده از مسأله کوچک بهینه‌سازی برای تهیه مقادیر اولیه (کروموزوم‌های نسل اول) در مسأله بهینه‌سازی بزرگتر استفاده می‌گردد. حیدری ژاله و همکاران (1386) با تلفیق مدل‌های بهینه‌سازی و شبیه‌سازی در یک دوره زمانی کوتاه مدت یکساله، نشان دادند تراز و ظرفیت دریاچه‌های مخزن می‌توانند در کیفیت آب خروجی مؤثر باشند. در این تحقیق، با استفاده از ابزارهای بهینه‌سازی و شبیه‌سازی، ساختار مناسبی برای مدیریت کیفی آب مخزن با استفاده از ابزارهای سازه‌ای و غیرسازه‌ای ارائه می‌شود. در مدل بهینه‌سازی، مطلوبیت‌های تصمیم‌گیرندگان و ذینفعان مربوط به کمیت و کیفیت آب تخصیص یافته به نیازها و کمیت و کیفیت آب موجود در مخزن در نظر گرفته خواهد شد و سیاست‌های بهینه خروج آب از دریاچه‌ها به همراه تراز بهینه دریاچه‌ها در یک دوره زمانی بلند مدت تعیین می‌شود. کارایی مدل پیشنهادی با استفاده از اطلاعات کمی و کیفی موجود در مورد سد 15 خرداد که دارای مشکلات مربوط به شوری آب در مخزن می‌باشند، ارزیابی شده است.

### ساختار مدل بهینه‌سازی

در این مقاله، از تابع ضربی Nash با تابع مطلوبیت‌های سه‌گانه تأمین نیازهای آبی پایین‌دست در ماه  $m$ ، حجم مخزن در انتهای ماه  $m$  و کیفیت متوسط جریان خروجی از مخزن (بر اساس غلظت متغیر کیفی شاخص) در ماه  $m$ ، به عنوان تابع هدف استفاده شده است. ساختار تابع هدف مدل بهینه‌سازی به‌صورت زیر است. در این مدل متغیرهای تصمیم، خروجی ماهانه از آبیگرهای مخزن و تراز آبیگرها می‌باشند. ظرفیت آبیگرها برابر با حداکثر مقدار خروجی بهینه در نظر گرفته می‌شود:

$$\text{Maximize: } \prod_{m=1}^{12} (f_{r,m}(\bar{R}_m) - d_{r,m})^{w_r/12} (f_{s,m}(\bar{S}_{m+1}) - d_{s,m})^{w_s/12} (f_{c,m}(\bar{C}_m) - d_{c,m})^{w_c/12} \quad (1)$$

در معادله فوق متغیرها به شرح زیر می‌باشند:

- $f_{r,m}$ : تابع مطلوبیت مربوط به میزان خروجی از مخزن در ماه  $m$  (این تابع مطلوبیت می‌تواند از بخش‌های مصرف کننده آب اخذ گردد).
- $f_{s,m}$ : تابع مطلوبیت مربوط به میزان حجم مخزن در انتهای ماه  $m$  (این تابع مطلوبیت می‌تواند از سازمان‌های تأمین کننده آب اخذ گردد).
- $f_{c,m}$ : تابع مطلوبیت مربوط به میزان غلظت متوسط متغیر کیفی شاخص در ماه  $m$  (این تابع مطلوبیت می‌تواند از سازمان‌های مصرف کننده آب یا سازمان‌های مربوط به حفاظت محیط‌زیست اخذ گردد).
- $w_s / w_r / w_c$ : به ترتیب وزن یا قدرت نسبی تصمیم‌گیرنده‌های مرتبط با حجم ذخیره مخزن، میزان جریان ماهانه خروجی و کیفیت جریان خروجی
- $d_{r,m}$ : نقطه عدم توافق متناظر با تابع مطلوبیت مربوط به میزان خروجی از مخزن در ماه  $m$
- $d_{s,m}$ : نقطه عدم توافق متناظر با تابع مطلوبیت مربوط به حجم مخزن در ماه  $m$
- $d_{c,m}$ : نقطه عدم توافق متناظر با تابع مطلوبیت مربوط به کیفیت جریان خروجی در ماه  $m$
- $\bar{S}_m$ : حجم متوسط مخزن در ابتدای ماه  $m$  (میلیون متر مکعب)
- $\bar{R}_m$ : خروجی متوسط مخزن در ماه  $m$  در دوره بهره‌برداری (میلیون متر مکعب)
- $\bar{C}_m$ : غلظت متوسط متغیر کیفی در جریان خروجی (میلی گرم در لیتر)

تابع هدف فوق، تابع ضربی Nash (Nash 1953) می‌باشد که مطلوبیت‌های مربوط به تأمین نیاز، حجم آب ذخیره شده در مخزن و کیفیت آب خروجی را در نظر می‌گیرد. محدودیت‌های این مدل بهینه‌سازی مربوط به توابع پیوستگی آب و جرم آلاینده در مخزن می‌باشند. در مدل بهینه‌سازی کیفیت آب خروجی از معادله زیر به دست می‌آید:



$$C_{k,m,y} = g(\tilde{T}, \tilde{W}, \tilde{C}_{in}, \tilde{T}_{in}, \tilde{I}, \tilde{r}_k, E_k) \quad \forall m, y, k \quad (2)$$

در معادله فوق متغیرها به شرح زیر می‌باشند:

- $\tilde{C}_{in}$ : سری زمانی غلظت متغیر کیفی در جریان ورودی (میلی گرم در لیتر)
- $g()$ : تابعی که بر اساس آن کیفیت جریان خروجی را بر اساس سری زمانی کمیت و کیفیت جریان ورودی، سری زمانی مشخصات اقلیمی و هواشناسی منطقه و سری زمانی جریان خروجی از آبگیرها، به دست می‌دهد.
- این تابع به صورت تحلیلی موجود نمی‌باشد ولی مقادیر خروجی آن به ازای مقادیر مختلف ورودی را می‌توان با استفاده از مدل شبیه‌سازی کمی و کیفی مخزن محاسبه نمود.
- $\tilde{T}$ : سری زمانی دمای محیط (درجه سلسیوس)
- $\tilde{T}_{in}$ : سری زمانی دمای جریان ورودی (درجه سلسیوس)
- $\tilde{W}$ : سری زمانی متغیرهای اقلیمی و هواشناسی مانند تشعشع خورشیدی با طول موج کوتاه، سرعت باد، نقطه‌شبنم (این متغیرها اطلاعات ورودی به مدل شبیه‌سازی کیفی مخزن می‌باشند).
- $\tilde{I}$ : سری زمانی ماهانه جریان ورودی به مخزن (میلیون متر مکعب)
- $\tilde{r}_k$ : سری زمانی جریان خروجی از آبگیر  $k$  ام مخزن (میلیون متر مکعب)
- $E_k$ : تراز آبگیر  $k$  ام (متر)

معادله فوق که توسط یک مدل شبیه‌سازی بیان می‌گردد، کیفیت جریان خروجی از هر آبگیر را در گام زمانی ماهانه به دست می‌دهد. همانطور که در این معادله نشان داده شده است تراز و خروجی آبگیرها در کیفیت آب خروجی موثرند. از آنجا که مدل بهینه‌سازی فوق غیرخطی و دارای مقدار قابل توجهی متغیر تصمیم می‌باشد در این مقاله از روش الگوریتم ژنتیک برای حل آن استفاده می‌شود.

### ساختار مدل بهینه‌سازی ساده شده

الگوریتم ژنتیک یکی از روش‌های جدید بهینه‌سازی است که برای بهینه‌سازی مسائل بسیار پیچیده و غیرخطی به کار می‌رود. در ابتدا به دلیل نبود کامپیوترهای پیشرفته این تئوری با استقبال چندانی مواجه نشد اما به تدریج با پیشرفت کامپیوترها در چند سال اخیر، کاربرد این روش افزایش چشمگیری داشته است. بزرگترین عیب روش الگوریتم ژنتیک، بالا بودن زمان محاسباتی آن است. الگوریتم ژنتیک نیازمند صرف زمان نسبتاً زیادی جهت جستجو در فضای تصمیم برای رسیدن به جواب بهینه می‌باشد. برای تدوین یک مدل بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک لازم است متغیرهای تصمیم مسأله که تراز و ظرفیت آبگیرهای مخزن می‌باشند، در قالب ژن‌های کروموزوم ارائه گردند. تعداد ژن‌های هر کروموزوم در این مسأله بهینه‌سازی از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$NG = Y \times 12 \times n + n' \quad (3)$$

که در آن  $NG$  تعداد ژن‌های هر کروموزوم،  $Y$  تعداد سال‌های دوره برنامه‌ریزی،  $n$  تعداد آبگیرهای مخزن و  $n'$  تعداد آبگیرهای با تراز متغیر می‌باشد. مثلاً برای یک افق زمانی 30 ساله و 2 درجه برداشت آب به علاوه سرریز به عنوان سومین محل خروج آب با تراز ثابت، تعداد ژن‌ها برابر 362 خواهد بود. شکل (1) نمایی از کروموزوم انتخاب شده برای مدل الگوریتم ژنتیک بهینه‌سازی تراز و ظرفیت آبگیرهای سد را نشان می‌دهد.

ژن شماره	ژن شماره	ژن شماره	ژن شماره	ژن شماره	ژن شماره	ژن شماره	ژن شماره
$Y \times 12 \times n + n'$	$Y \times 12 \times n + 2$	$Y \times 12 \times n + 1$	$Y \times 12 \times n$	شماره $n$	.....	شماره 2	شماره 1
تراز درجه 2	تراز درجه 1	در $n$ درجه در ماه $Y \times 12$	.....	خروجی از $n$ درجه در ماه اول	.....	خروجی از درجه 2 در ماه اول	خروجی از درجه 1 در ماه اول

$Y$ : تعداد سال‌های دوره برنامه‌ریزی  $n$ : تعداد آبگیرهای خروج جریان  $n'$ : تعداد آبگیرهای با تراز متغیر

شکل (1). نمایی از کروموزوم انتخاب شده برای مدل الگوریتم ژنتیک بهینه‌سازی تراز و ظرفیت آبگیرهای سد و تدوین سیاست‌های بهره‌برداری از مخزن



سلطانی (1385) برای کاهش مشکلات محاسباتی مدل بهینه سازی بهره برداری کمی-کیفی از مخزن از یک مدل کمی بلند مدت و یک مدل کمی کیفی با دوره برنامه ریزی سالانه استفاده کرد. حجم‌های بهینه ابتدا و انتهای هر سال آبی به دست آمده از مدل کمی به عنوان محدودیت در مدل کمی-کیفی در نظر گرفته می‌شود. در این مقاله نیز از فرض ساده کننده فوق استفاده می‌شود. توابع هدف مدل های کمی-کیفی به صورت زیر می‌باشند.

$$\text{Maximize } \prod_{m=1}^{12} (f_{r,m}(\bar{R}_m) - d_{r,m})^{w_r/12} (f_{s,m}(\bar{S}_{m+1}) - d_{s,m})^{w_s/12} \quad (4)$$

$$\text{Maximize } \prod_{m=1}^{12} (f_{r,m}(\bar{R}_m) - d_{r,m})^{w_r/12} \times \prod_{m=3}^{11} (f_{c,m}(\bar{C}_m) - d_{c,m})^{w_c/9} \quad (5)$$

متغیرهای این دو تابع همان متغیرهای تعریف شده برای تابع هدف (1) می‌باشند.

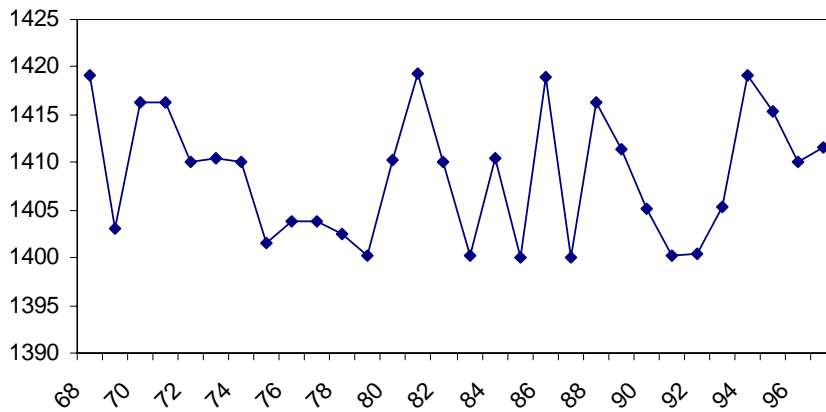
در تدوین تابع هدف مدل کمی-کیفی، 9 ماه (مارس تا نوامبر) برای بهینه‌سازی کیفیت آب و 3 ماه (دسامبر، ژانویه و فوریه) برای تخلیه نمک و آبشویی مخزن در نظر گرفته شده است. همان‌طور که در رابطه (5) دیده می‌شود، بخش مربوط به بهینه‌سازی کیفی تنها برای 9 ماه از سال تعریف شده است و مدل به‌طور هوشمند در 3 ماه باقیمانده به آبشویی مخزن می‌پردازد تا در 9 ماه مورد نظر کیفیت بهتری برای خروجی ارائه نماید. در این تحقیق، به علت نیاز به تلفیق مدل‌های بهینه سازی و شبیه سازی، یک مدل شبیه سازی یک بعدی تدوین شده توسط کراچیان (1383) که در واقع مدل اصلاح شده WQRSS می‌باشد، استفاده شده است.

### مطالعه موردی

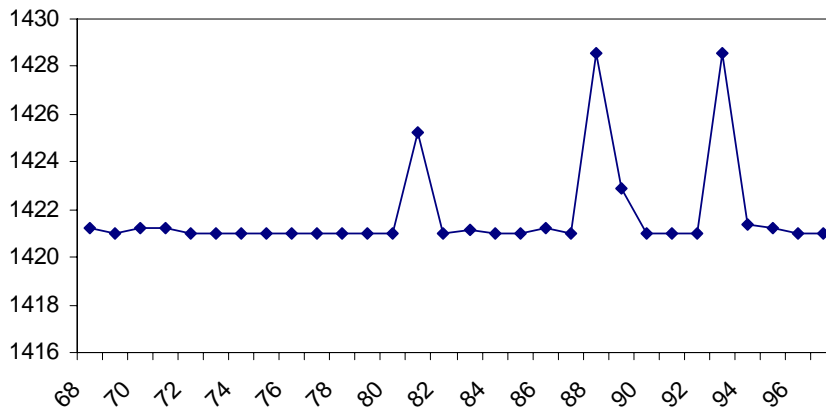
برای ارزیابی کارایی مدل پیشنهادی، از اطلاعات مربوط به سد 15 خرداد که یکی از مهمترین سدهای دارای مشکلات قابل توجه کیفی در کشور بوده و در مجاورت شهرهای دلیجان و محلات بر روی رودخانه قمرود احداث گردیده، استفاده شده است. این سد یکی از 10 سد مهم کشور است که دارای مشکلات شوری آب می‌باشد. سد 15 خرداد با 54 متر ارتفاع از بستر رودخانه و با حجم مخزن 200 میلیون متر مکعب دارای دو آبگیر بوده که آبگیر اول با ظرفیت 8 متر مکعب بر ثانیه در تراز 1415 متر و آبگیر دوم با ظرفیت 8 متر مکعب بر ثانیه در تراز 1430 متر از سطح دریا قرار دارند. هدف از احداث این سد، تأمین آب کشاورزی بیش از 8000 هکتار اراضی پایین دست، ذخیره سیلاب‌ها و آبرسانی به شهر قم می‌باشد. سد مزبور در سال 1373 به بهره‌برداری رسید و پس از گذشت حدود 2 سال از آغاز بهره‌برداری، مشکلات مربوط به کیفیت آب مخزن آشکار گردید. مهمترین مشکل کیفی سد 15 خرداد افزایش شوری آب مخزن می‌باشد به طوری که هدایت الکتریکی (EC) آب مخزن از مقدار 1000 میکروموس بر سانتی متر معادل 640 میلی‌گرم بر لیتر در سال 1373 به مقدار 4000 میکروموس بر سانتی متر معادل 2450 میلی‌گرم بر لیتر در سال 1378 رسیده است. براساس اندازه‌گیری‌های موجود و مطالعات انجام شده قبلی، یکی از مشکلات عمده سد 15 خرداد تجمع نمک در مخزن است و همواره تخلیه نمک یا به اصطلاح شستشوی مخزن به عنوان یکی از روش‌های موثر برای این امر پیشنهاد شده است. به همین منظور در تدوین توابع مطلوبیت فرض شده است که ماه‌های آذر، دی و بهمن که دارای نیاز آبی محدودی هستند به این امر اختصاص یابد و در این ماه‌ها آب شور از مخزن آزاد شود. در نتیجه بهبود کیفیت در 9 ماه باقیمانده انجام می‌گیرد.

### نتایج

در این مقاله، با تلفیق رویکردهای سازه ای و غیر سازه ای، در یک افق زمانی سی ساله، تاثیر میزان برداشت آب، ظرفیت و تراز آبگیرها در کیفیت آب مخزن از نظر متغیر کیفی جامدات محلول کل (TDS) بررسی شده است. در این بررسی تعداد آبگیرهای خروجی مشابه شرایط موجود، برابر با 2 ولی تراز و ظرفیت آنها متغیر در نظر گرفته شده است. بازه تغییرات تراز در پیچه اول از 1400 تا 1420 و بازه تغییرات تراز در پیچه دوم 1421 تا 1440 متر از سطح دریا در نظر گرفته شده است. نتایج مدل بهینه‌سازی بر پایه اطلاعات کمی و کیفی مربوط به سیستم در فاصله سال‌های 1348 تا 1378 نشان می‌دهند ظرفیت موجود آبگیرهای سد 15 خرداد کافی بوده و افزایش ظرفیت تأثیری در بهبود کیفیت آب خروجی ندارد ولی تراز آبگیرها و میزان برداشت آب از هر یک از آبگیرها تاثیر مستقیمی بر کیفیت آب خروجی از مخزن و همچنین میزان تجمع نمک در مخزن دارد. همانطور که در شکل 2 ملاحظه می‌گردد مقادیر بهینه تراز آبگیر اول به ازای سالهای مختلف دوره برنامه ریزی طرح دارای دامنه تغییرات مختلفی می‌باشد. در حالی که برای آبگیر دوم تغییرات تراز بهینه در طی دوره برنامه ریزی 30 ساله دارای نوسانات به مراتب کمتری است به طوری که می‌توان تراز بهینه این آبگیر را برای تمام دوره طرح ثابت و در حدود 1421 در نظر گرفت (شکل 3).



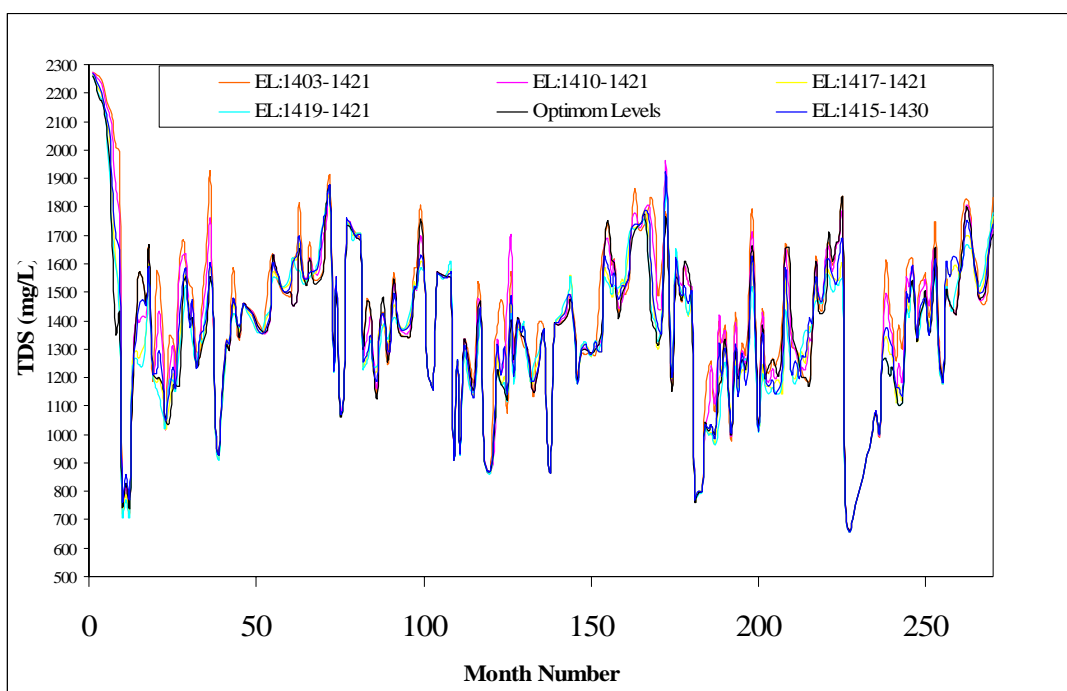
شکل (2). دامنه تغییرات تراز بهینه آبیگر اول در طی دوره طرح 30 ساله (1968 تا 1997)



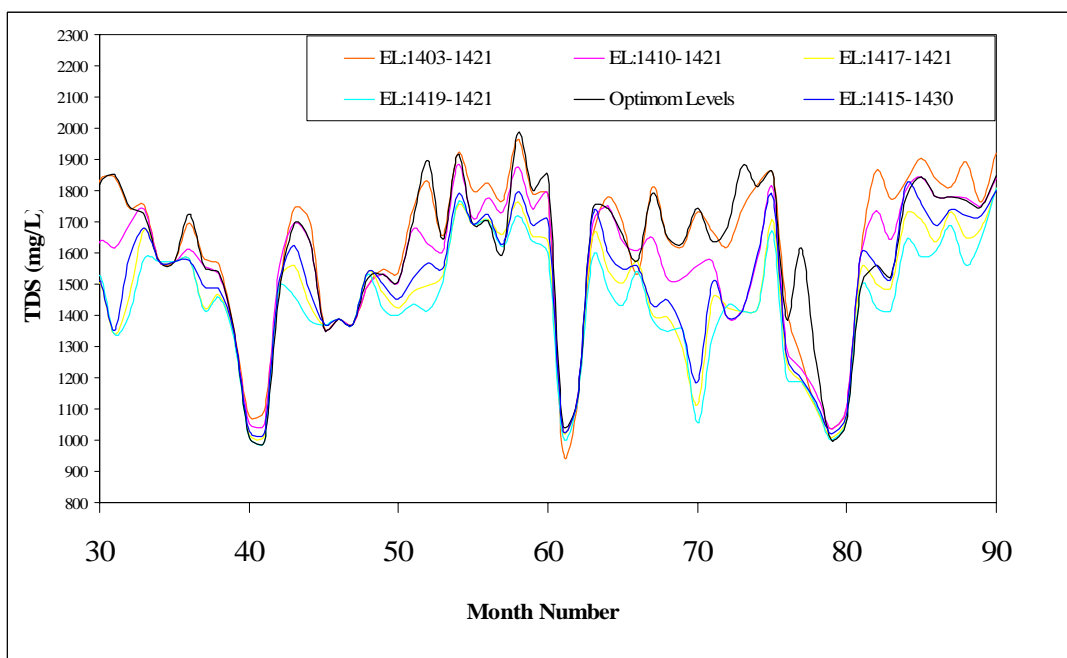
شکل (3). دامنه تغییرات تراز بهینه آبیگردوم در طی دوره طرح 30 ساله (1968 تا 1997)

همانطور که از شکل‌های (4) و (5) مشاهده می‌شود مدل در هر ماه یک تراز بهینه برای دریچه‌های مخزن سد ارائه می‌دهد. با استفاده از نتایج این تحقیق می‌توان در فاز طراحی سدها مشخصات برج آبیگر و تراز دریچه‌ها در برج را مشخص نمود. در صورتی که ساخت برج آبیگر مورد نظر نباشد، باز هم می‌توان از نتایج مدل برای تعیین بهترین تراز دو دریچه استفاده نمود. با این که سد 15 خرداد در حال بهره‌برداری است و تراز دریچه‌های آن ثابت است، در این مقاله سعی شده است با استفاده از نتایج مدل پیشنهادی، وضعیت تراز دریچه‌های آن ارزیابی شود. شکل‌های (4) و (5) متوسط کیفیت آب خروجی از مخزن را به ترتیب در ماههای اسفند تا آبان و آذر تا بهمن (ماههای تخلیه نمک) نشان می‌دهند. این دو شکل کیفیت خروجی به ازای ترازهای موجود دریچه‌ها (1415 و 1430 متر از سطح دریا)، ترازهای متغیر بهینه به دست آمده از مدل (Optimum Levels) و چند تراز ثابت برای دریچه‌ها (انتخاب شده بر اساس مقادیر بهینه تراز دریچه‌ها در شکل‌های (2) و (3)) را نشان می‌دهند. باتوجه به شکلهای (4) و (5)، عملکرد ترازهای موجود 1415 و 1430 در خروج نمک در دوران تخلیه نمک و بهبود کیفیت آب در ماههایی که نیاز پایین دست قابل توجه است، مناسب به نظر می‌رسد و تفاوت قابل توجهی بین عملکرد در ترازهای موجود دریچه‌ها و ترازهای بهینه وجود ندارد.

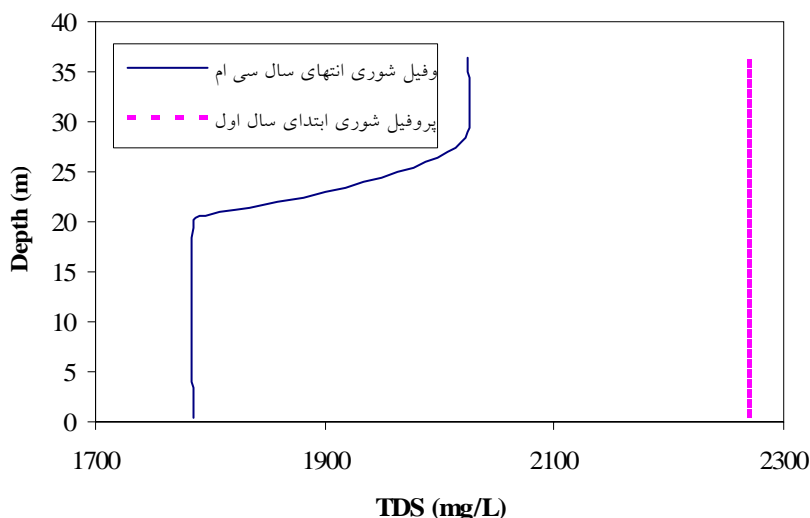
شکل (6) مقادیر شوری آب مخزن در ابتدای سال اول و انتهای سال سی ام دوره بهره‌برداری را بر اساس سیاست‌های بهینه بهره‌برداری و تراز و ظرفیت بهینه دریچه‌ها نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود مقدار شوری در انتهای سال 30 ام به ازای اعماق مختلف مخزن کاهش یافته است به طوری که کاهش مقدار شوری در کف مخزن در انتهای سال 30 ام نسبت به ابتدای سال اول به حدود 500 میلی‌گرم در لیتر می‌رسد. با توجه به این موضوع می‌توان نتیجه‌گیری کرد که با استفاده از سیاست‌های بهره‌برداری حاصل از مدل پیشنهادی، تجمع نمک در مخزن صورت نمی‌گیرد و می‌توان از شور شدن تدریجی مخزن جلوگیری کرد.



شکل(4). مقادیر شوری به ازای ترازهای مختلف آبگیر های سد 15 خرداد در ماههای اسفند تا آبان در طول دوره برنامه ریزی 30 ساله



شکل(5). مقادیر شوری به ازای ترازهای مختلف آبگیر های سد 15 خرداد در ماههای آبان تا بهمن در طول دوره برنامه ریزی 30 ساله



شکل (6). پروفیل غلظت جامدات محلول (شوری) آب در مخزن سد 15 خرداد در ابتدای سال اول و انتهای سال سی ام دوره بهره‌برداری

#### خلاصه و جمع بندی

در این مقاله با تلفیق رویکردهای سازه ای و غیر سازه ای، یک روش جدید برای تدوین سیاست‌های بهره‌برداری کمی کیفی از مخازن سدها همزمان با یافتن ظرفیت و تراز بهینه آنگیر سدها در گام زمانی ماهانه در یک دوره برنامه‌ریزی بلند مدت تدوین شد. برای کاهش مشکلات محاسباتی مدل، از الگوریتم تلفیق مدل کمی بلند مدت و مدل‌های کمی - کیفی سالانه استفاده شده است. برای ارزیابی کارایی مدل از اطلاعات مربوط به مخزن سد 15 خرداد که دارای مشکلات مربوط به شوری آب می‌باشد استفاده شده است. می‌دهند ظرفیت موجود آنگیرهای سد 15 خرداد کافی بوده و افزایش ظرفیت تاثیری در بهبود کیفیت آب خروجی ندارد ولی تراز آنگیرها و میزان برداشت آب از هر یک از آنگیرها تاثیر مستقیمی بر کیفیت آب خروجی از مخزن و همچنین میزان تجمع نمک در مخزن دارد. همچنین نشان داده شد با استفاده از سیاست‌های بهره‌برداری حاصل از مدل پیشنهادی، تجمع نمک در مخزن صورت نمی‌گیرد و می‌توان از شور شدن تدریجی مخزن جلوگیری کرد.

#### مراجع

1. Kaplan E., (1974) "Reservoir Optimization for Water Quality Control", Ph.D. dissertation, Univ. of Pennsylvania, Philadelphia.
2. Fontane, D. Labadie J., and Loftis, B. (1981). "Optimal Control of Reservoir Discharge Quality through Selective Withdrawal", *Water Resources Research*, Vol. 17, No. 6, 1594-1604.
3. Nandalal, K.D.W., and Bogardi, J., (1995), "Reservoir Management for Improving River Water Quality", *Proceedings of the Int. Conference on Water Resources Management under Drought or Shortage Conditions*, Rotterdam.
4. Nandalal, K.D.W., and Bogardi, J.J., (1996), "Multi-objective Consideration in Satisfying Quantity and Quality Requirements: Operation of a Reservoir with Inflow Diversion Facility", *Proceedings of the Fifth Water Resources Operation Management Workshop*, ASCE, Virginia.
5. Chaves, P., Tsukatani, T., Kojiri, T., (2004), "Operation of Storage Reservoir for Water Quality by using Optimization and Artificial Intelligence Techniques", *Mathematics and Computers in Simulation*, Vol. 67, No. 4.
6. Kerachian, R. and M. Karamouz, (2006), "Optimal Reservoir Operation considering the Water Quality Issues: A Deterministic and Stochastic Conflict Resolution Approach", *Water Resources Research*, AGU, Vol. 42, 1-17.
7. Kerachian, R., and M. Karamouz, (2007), "A Stochastic Conflict Resolution Model for Water Quality Management in Reservoir-River Systems", *Advances in Water Resources*, Elsevier, Vol. 30, 866-882.
8. Nash, J.F., (1953), "Two-person cooperative game", *Econometrica*, 21, pp. 128-140.



9. حیدری ژاله، ع، کراچیان ر. و زهرایی ب. (1386)، «بهینه‌سازی تراز و ظرفیت آبیگرهای سدها با توجه به کیفیت آب»، نخستین کنفرانس روز جهانی محیط زیست، تهران، ایران.
10. سلطانی ف. (1385)، "بهره برداری بهینه کمی-کیفی از مخازن سدها به کمک تلفیق سیستم استنتاج تطبیقی عصبی-فازی الگوریتم ژنتیک"، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران، گرایش آب دانشکده فنی دانشگاه تهران، به راهنمایی دکتر رضا کراچیان.
11. کراچیان، ر. (1383)، "مدیریت کمی-کیفی سیستم های رودخانه-مخزن"، رساله دکتری مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، به راهنمایی دکتر محمد کارآموز.