

تعیین مناسب‌ترین گزینه توزیع آب در شبکه آبیاری (مطالعه موردی شبکه آبیاری قوریچای)

صلاح کوچک‌زاده، محمد جواد منعم و شهرام کسب دوز
به ترتیب، استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران، استادیار
گروه مهندسی آبیاری دانشگاه تربیت مدرس و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد،
دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران
تاریخ پذیرش مقاله ۷۸/۲/۱

خلاصه

عملکرد یک روش بهره‌برداری در شبکه انتقال و توزیع آب تابع رفتار هیدرولیکی جریان در شبکه می‌باشد. از این رو ارزیابی کمی و دقیق عملکرد روشهای بهره‌برداری مستلزم تعیین رفتار هیدرولیکی جریان شبکه در طول زمان می‌باشد. از طرفی هیدرولیک جریان در یک شبکه متأثر از عواملی مانند نوع سیستم کنترل شبکه، ساختمان فیزیکی شبکه، نوع روش بهره‌برداری و بالاخره سیاست‌های مدیریتی اختصاص و تحویل آب می‌باشد. به این ترتیب ملاحظه می‌شود که مطالعه اثر عوامل فوق بر هیدرولیک جریان بدون استفاده از ابزارهای محاسباتی کارآمد غیر ممکن است. بنابراین ارزیابی دقیق عملکرد روشهای مختلف بهره‌برداری و مطالعه اثر عوامل مختلف بر عملکرد این روشها تنها با استفاده از مدل‌های ریاضی توانمند میسر خواهد بود. هدف اساسی این تحقیق معرفی شاخص‌های عملکرد برای ارزیابی روشهای بهره‌برداری یک شبکه انتقال و توزیع آب، همچنین تعیین گزینه برتر از میان گزینه‌های پیشنهاد شده می‌باشد. شبکه‌ای که در این تحقیق مورد ارزیابی قرار گرفته شبکه آبیاری و زهکشی قوریچای است که در استان آذربایجان شرقی واقع شده است. برای این شبکه سه گزینه بهره‌برداری پیشنهاد شده که عبارتند از روش بهره‌برداری جریان دائمی با دبی ثابت، جریان دائمی با دبی متغیر و جریان متناوب. بهترین گزینه بهره‌برداری گزینه‌ای است که دارای مطلوب‌ترین مقادیر شاخص‌های عملکرد باشد. در این تحقیق از شاخص‌های پیشنهادی مولدن و گیتس استفاده شده است. شاخص‌های عملکرد، خود براساس پارامترهایی استوار شده‌اند که تعیین آنها به کمک یک مدل هیدرودینامیک میسر است. در این تحقیق گزینه‌های بهره‌برداری انتخابی به کمک مدل هیدرودینامیک ICSS-POM شبیه‌سازی شده‌اند، سپس شاخص‌های عملکرد به کمک پارامترهای مختلفی که از ستاده‌های مدل استخراج شده‌اند تعیین شده‌اند. تدقیق در نتایج شاخص‌های عملکرد نشان داد که گزینه دوم را به عنوان گزینه برتر بهره‌برداری می‌توان انتخاب کرد.

واژه‌های کلیدی: مدل هیدرودینامیک، توزیع آب، شبکه آبیاری و شاخص‌های عملکرد.

هیدرولیکی خاص، این نوع شبکه‌ها غالباً از عملکرد بهره‌بر ناری
ضعیف و گاهی غیر قابل قبولی برخوردار هستند. امروزه ضرورت
استفاده بهینه از منابع آب، نامطلوب بودن عملکرد بهره‌برداری اغلب

مقدمه
بخش عمده‌ای از پروژه‌های آبیاری در جهان متشکل از
شبکه‌های انتقال و توزیع با مجاری روباز هستند. به دلیل ویژگیهای

توزیع و تحویل آب یعنی میزان دبی، زمان و تواتر تحویل جریان در دوره‌های زمانی مختلف می‌باشد. میزان توانایی یک روش توزیع در تأمین شاخص‌های عملکرد^۳ مورد انتظار ملاک بهینه بودن آن روش می‌باشد.

شاخص‌های عملکرد معیارهای کمی هستند که با کمک آنها می‌توان یک روش بهره‌برداری را مورد ارزیابی قرار داد. به عبارت دیگر موفقیت یک سیستم انتقال و توزیع آب از نظر بهره‌برداری را می‌توان از طریق بررسی چنین شاخص‌هایی مورد مطالعه و ارزیابی قرار داد. شاخص‌های عملکرد مختلفی در تحقیقات گوناگون تعریف و ارائه شده‌اند.

منعم و شورمانز در تحقیقی که برای تعیین روش بهره‌برداری و سیستم کنترل مناسب برای شبکه آبیاری کنگ - کوباداک^۴ (بنگلادش) انجام داده‌اند، از مدل هیدرودینامیک MODIS استفاده کرده‌اند (۷). تحقیق ایشان بر این اساس استوار بوده که عملکرد یک سیستم علاوه بر روش بهره‌برداری از نوع سیستم کنترل شبکه نیز متأثر است. بر این اساس سه روش بهره‌برداری و دو نوع سیستم کنترل برای شبکه فوق در نظر گرفته و ترکیبات مختلف حاصل از آنها را توسط مدل مذکور مورد شبیه‌سازی و تحلیل قرار داده‌اند. ایشان در تحلیل ترکیبات مختلف، دو نوع شاخص عملکرد به کار برده‌اند که عبارتند از:

۱ - نسبت عملکرد تحویل (DPR)^۵: این شاخص معیاری است برای ارزیابی میزان توانایی روش بهره‌برداری و سیستم کنترل شبکه در تأمین مقدار آب برنامه‌ریزی شده برای انشعابات مختلف شبکه. برای یک انشعاب منفرد DPR به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$DPR = \frac{V_e}{V_i} \dots \dots \dots (1)$$

که در آن V_e و V_i به ترتیب حجم‌های آب برنامه‌ریزی شده^۱ و مؤثر^۷ می‌باشند. این شاخص برای کل سیستم به کمک معادله ۲ قابل محاسبه است:

شبکه‌های موجود و لزوم استفاده از این شبکه‌ها به دلیل محدودیت‌های اقتصادی که بر جایگزینی آنها با شبکه‌های آبیاری جدید (با بهره‌وری قابل قبول از منابع آب) مترتب است توجه و تأکید کارشناسان را به سمت ارزیابی روشهای بهره‌برداری موجود یا پیشنهادی، تعیین روشهای بهره‌برداری بهینه، اصلاح وضعیت بهره‌برداری و افزایش بهره‌وری سیستم‌های موجود در مدت زمان کوتاه معطوف کرده است.

برای رسیدن به اهداف فوق روشهای آزمون تجربی و روشهای مبتنی بر اصول نظری می‌توانند به کار روند. در روشهای آزمون تجربی تمام حالت‌های مختلف بهره‌برداری باید عملاً در شبکه به اجرا درآید تا نتایج عملی به دست آمده مورد ارزیابی قرار گیرند. پرهزینه بودن روشهای تجربی، زمان‌بر بودنشان، فقدان پایه‌های مستحکم علمی، و بالاخره تضییع منابع آب در طول دوره مطالعات که غالباً هم قابل ملاحظه می‌باشد کارایی روشهای تجربی را مورد سؤال قرار داده است. این در حالی است که روشهای مبتنی بر اصول تئوریک ضمن ارائه نتایج قابل اطمینان و دقیق و نداشتن معایب روشهای آزمون و خطایی، دارای مزایای سرعت عمل، سهولت کاربرد و قابلیت انطباق جهت کاربردهای مطالعاتی گوناگون هستند.

در این تحقیق مدل شبیه‌سازی ICSS-POM^۱ که پارامترهای هیدرولیکی، هیدرولوژیک و بهره‌برداری شبکه‌های انتقال و توزیع آب را محاسبه و ارزیابی می‌کند مورد استفاده قرار گرفته است. شبکه آبیاری که روش بهره‌برداری آن به کمک مدل فوق مورد ارزیابی قرار گرفته شبکه آبیاری قوریچای است که ۲۲۰۰ هکتار وسعت دارد و در جنوب شهرستان اردبیل واقع شده است.

تعیین روشهای بهره‌برداری بهینه در شبکه‌های انتقال و توزیع آب یکی از اساسی‌ترین پارامترها در تحقق هدف حداکثر بهره‌وری از منابع آب می‌باشد. توزیع و تحویل بهینه^۲ مقدار آب اختصاص یافته عمده‌ترین مؤلفه یک روش بهره‌برداری بهینه از شبکه می‌باشد. روش توزیع و تحویل آب عبارت از شیوه تعیین سه عامل اساسی

1 - Irrigation Conveyance System Simulation-Performance Optimization Model

2 - Delivery Schedule

3 - Performance indicators or Performance measures

4 - Ganges-Kobadak

5 - Delivery Performance Ratio

6 - Intended volume

7 - Effective volume

مختلف را به ازای یک زوج معین از a و b محاسبه می‌کند. تابع هدف در این بهینه‌سازی، راندمان حداکثر (افت حداقل) بوده و به صورت زیر تعریف شده است:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^{NP} Irr'_i \times a \times A_i \times (1 - n_i) \quad \forall t \quad (6)$$

که در آن i شماره قطعه، NP تعداد کل قطعات، Irr'_i عمق آب محاسبه شده برای قطعه i ام در دوره زمانی t ، و A_i و n_i به ترتیب سطح کل و راندمان کل آبیاری قطه i ام می‌باشند.

زیربرنامه دوم عبارت است از یک برنامه شیبه‌سازی که می‌تواند شاخص برابری را برای هر یک از برنامه‌های توزیع محاسبه شده به دست آورد. این زیربرنامه همچنین می‌تواند با استفاده از محاسبات مربوط به یک تابع تولید و بیلان رطوبتی خاک در دوره‌های زمانی مختلف، مقدار تولید محصول را برای هر برنامه توزیع محاسبه شده تعیین نماید. و بالاخره در زیربرنامه سوم با استفاده از یک روش تحلیلی بهینه‌سازی (با در نظر گرفتن دو هدف راندمان و برابری) مطلوب‌ترین برنامه از بین برنامه‌های توزیع محاسبه شده، تعیین می‌گردد.

مواد و روشها

شاخص‌های عملکرد به کار رفته در این تحقیق:

در این تحقیق از شاخص‌های ارائه شده توسط مولدن و گیتس برای ارزیابی عملکرد گزینه‌های بهره‌برداری پیشنهادی استفاده شده است (۶). این شاخص‌ها عبارتند از:

۱ - کفایت توزیع P_A : شاخصی است که بیان‌کننده میزان توانایی روش بهره‌برداری در تحویل آب به قدر تأمین نیاز. این شاخص به

کمک رابطه ۷ قابل محاسبه است.

$$P_A = \frac{1}{T} \sum_T \left[\frac{1}{R} \sum_R (P_a) \right] \quad (7)$$

$$P_a := \frac{Q_d}{Q_r} \leq 1$$

در این معادله Q_d و Q_r به ترتیب معرف مقدار آب مورد نیاز^۴ و مقدار آب تحویل شده در عمل^۵ (به طور واقعی) برای انشعاب X در دوره زمانی t بوده و نمادهای $\frac{1}{T} \sum_T$ و $\frac{1}{R} \sum_R$ به ترتیب بیان‌کننده متوسط زمانی و مکانی می‌باشند.

$$DPR_{overall} = \frac{\sum_{n=1}^k (DPR_n) \times V_{i,n}}{\sum_{n=1}^k V_{i,n}} \quad \dots\dots (2)$$

در رابطه فوق n شماره هر انشعاب منفرد و K تعداد انشعابات سیستم می‌باشد.

۲ - راندمان بهره‌برداری^۱ (e_o): این شاخص معیاری برای بیان میزان هدر رفتن آب در اثر توزیع و تحویل نامناسب آب می‌باشد. برای یک انشعاب منفرد داریم:

$$e_o = \frac{V_e}{V_a} \quad \dots\dots\dots (3)$$

که در آن V_a عبارت است از حجم آب تحویلی در عمل^۲ می‌باشد. این شاخص برای کل سیستم به صورت زیر بیان می‌شود:

$$e_{o,overall} = \frac{\sum_{n=1}^k V_{e,n}}{V_{a,overall}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

که در آن $V_{a, overall}$ حجم واقعی تنظیم شده به داخل سیستم می‌باشد.

کالو و همکاران (۴) در تحقیق خود یک روش تحلیلی برای بهینه‌سازی بهره‌برداری از شبکه‌های سطحی در شرایط خشکسالی ارائه داده‌اند (۴). از آنجا که طراحی اکثر شبکه‌های آبیاری براساس شرایط خشکسالی انجام نمی‌گیرد، موضوع تأمین معیارهای مهم راندمان و برابری یکی از مسائل عمده و مشکل‌ساز سیستم‌های مدیریت بهره‌برداری در دوره‌های کمبود آب می‌باشد. بنابراین در روش تحقیقی ایشان، مسأله راندمان و برابری توزیع مبنای بهینه‌سازی را تشکیل می‌دهد. روش کالو و همکاران بر این اساس بوده که در شرایط کمبود آب، ترکیبی از دو شیوه را می‌توان در پیش گرفت:

۱ - برای محاسبه مقدار آب مورد نیاز، کسری (a) از سطح کل قطعات در نظر گرفته شود.

۲ - مقدار آب برنامه‌ریزی شده برای قطعات (Irr) حداکثر برابر با کسر معینی (b) از مقدار مورد نیاز واقعی (Dem) باشد، به عبارت دیگر:

$$Irr \leq b \times Dem \quad \dots\dots\dots (5)$$

کالو و همکارانش یک برنامه کامپیوتری ارائه داده‌اند که از سه زیربرنامه تشکیل شده است. زیربرنامه اول با استفاده از بهینه‌سازی به روش برنامه‌ریزی خطی، بهترین برنامه توزیع آب به قطعات

1 - Delivery Efficiency

2 - Actual Volume

3 - Adequacy

4 - Required amount of water

5 - Delivery amount of water

تعیین می‌شوند، لذا علاوه بر تأثیر مستقیم این روشها بر شاخص‌های عملکرد، بر روی سایر عوامل شبکه نظیر نوع و ظرفیت تأسیسات مورد نیاز، ظرفیت کانال‌ها، سرمایه‌گذاری اولیه و هزینه‌های اجرایی، نوع سیستم کنترل شبکه، و بالاخره بر میزان عملکرد محصول مؤثراند.

توجه به مقوله‌های خاص، طبقه‌بندی‌های مختلفی برای روشهای بهره‌برداری ایجاد کرده است (۳). به عنوان مثال براساس میزان توجه به خواسته‌های مصرف‌کنندگان پایین دست (تحويل گیرندگان آب) روشهای بهره‌برداری خواست محور، نیمه خواست محور و برنامه‌ریزی شده تعریف شده‌اند. در روش بهره‌برداری خواست محور عوامل سه‌گانه توزیع و تحويل آب توسط پایین دست و یا مطابق با نیازهای به هنگام آن تنظیم می‌شوند. در روش بهره‌برداری نیمه خواست محور، اگرچه برای برنامه‌ریزی و تنظیم عوامل توزیع و تحويل آب (توسط سازمان مسئول بهره‌برداری) نیازهای به هنگام پایین دست مورد توجه قرار می‌گیرد اما به دلیل وجود محدودیت‌های مدیریتی و فنی تعدیل‌هایی بر آن اعمال می‌شود. در حالی که در روشهای بهره‌برداری برنامه‌ریزی شده، برنامه توزیع و تحويل آب به کلیه انشعابات برای دوره‌های زمانی مختلف توسط سازمان مسئول بهره‌برداری تدوین می‌شود. این برنامه‌ریزی ممکن است برای یک فصل، یک سال و یا برای چندین سال صورت گرفته و ثابت باقی بماند.

میزان قابلیت انعطاف روشهای بهره‌برداری عامل دیگری است که طبقه‌بندی روشهای بهره‌برداری براساس آن صورت می‌گیرد. در این طبقه‌بندی روشهای بهره‌برداری به روشهای قابل انعطاف و روشهای غیر قابل انعطاف تقسیم می‌شوند. در روشهای بهره‌برداری قابل انعطاف نیازهای پایین دست نقش تعیین‌کننده‌ای در تنظیم برنامه توزیع و تحويل آب می‌تواند داشته باشد در این روشها عوامل توزیع و تحويل آب می‌توانند متناسب با تغییرات واقعی نیازهای مصرفی در پایین دست دارای انعطاف و تغییرپذیری باشند. در حالی که در روشهای بهره‌برداری غیر قابل انعطاف عوامل توزیع و تحويل آب از بالادست شبکه تنظیم و کنترل می‌شوند. به عبارت دیگر روش بهره‌برداری به صورت روندی معین شده توسط سازمان مسئول بهره‌برداری اعمال می‌گردد. روشهای بهره‌برداری با جریان دائمی یا تناوبی رامی‌توان در گروه روشهای غیر قابل انعطاف قرار داد.

۲ - راندمان توزیع (P_F) : عبارت است از شاخصی برای ارزیابی میزان مازاد آب تحویلی نسبت به نیاز در اثر عملکرد نامتناسب روش بهره‌برداری. این شاخص به صورت زیر بیان می‌شود:

$$P_F = \frac{I}{T} \sum_T \left[\frac{I}{R} \sum_R (P_f) \right] \dots \dots \dots (8)$$

$$P_f = Q_r / Q_d \leq 1$$

۳ - برابری توزیع (P_E) : شاخصی است که میزان تناسب موجود را بین مقادیر تحویلی و مقادیر مورد نیاز آب در انشعابات و دوره‌های زمانی مختلف ارزیابی می‌کند. این شاخص به صورت زیر بیان می‌شود:

$$P_E = \frac{I}{T} \sum_T CV_R (Q_d / Q_r) \dots \dots \dots (9)$$

که در آن CV_R نشان دهنده ضریب تغییرات مکانی است.

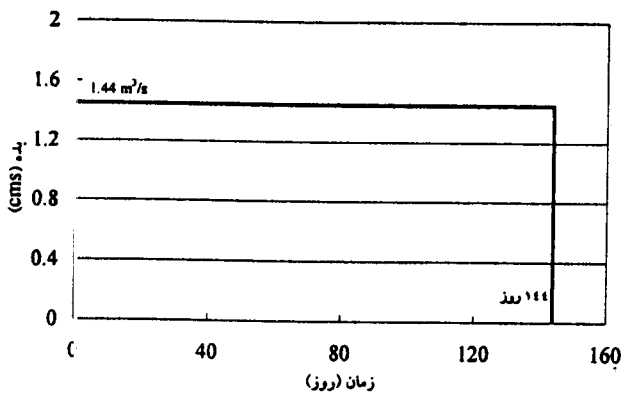
۴ - پایداری توزیع (P_D) : برای یک انشعاب منفرد شاخص پایداری را می‌توان یکواختی زمانی در تحويل آب تعریف کرد. یکواختی زمانی در تحويل به کمک ضریب تغییرات زمانی نسبت Q_d / Q_r قابل تعیین است. این شاخص برای انشعابات متعدد (سیستم) به کمک معادله (۱۰) قابل محاسبه است:

$$P_D = \frac{I}{R} \sum_R CV_T (Q_d / Q_r) \dots \dots \dots (10)$$

که در آن CV_T نشان دهنده ضریب تغییرات زمانی می‌باشد.

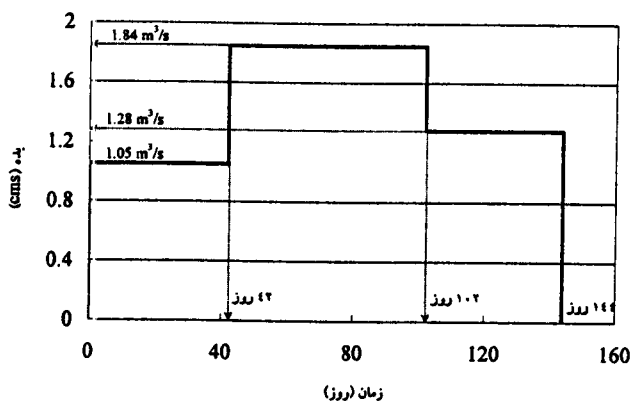
گزینه‌های بهره‌برداری

یکی از عواملی که می‌تواند عملکرد یک شبکه انتقال و توزیع را تحت تأثیر قرار دهد عبارت از روش بهره‌برداری از شبکه می‌باشد. روش بهره‌برداری (گزینه بهره‌برداری) از شبکه عبارت از روش توزیع و تحويل آب در شبکه است. به بیان دیگر، در هر روش بهره‌برداری عوامل اساسی توزیع و تحويل آب یعنی میزان جریان تحویلی، مدت زمان تحويل جریان و فواصل زمانی یا تواتر تحويل جریان به انشعابات در دوره‌های زمانی مختلف تعیین می‌شوند. با ترکیب عوامل متعددی نظیر نوع، ترتیب و زمان‌بندی انجام عملیات تنظیمی سازه‌ها، حدود تنظیمات سازه‌ها و نحوه تنظیم جریان ورودی به شبکه، روشهای بهره‌برداری مختلفی تعریف می‌شوند. تک تک عوامل یاد شده اثر مستقیمی بر رفتار هیدرولیکی جریان در نقاط مختلف شبکه و در زمان‌های مختلف ایجاد می‌کنند. از آنجاکه در روشهای بهره‌برداری چگونگی تنظیم عوامل توزیع و تحويل آب



شکل ۱- مشخصات هیدروگراف جریان ورودی به کانال اصلی در گزینه اول

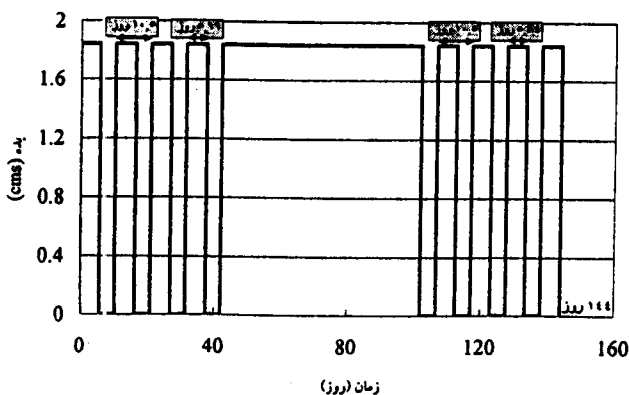
۲- روش بهره برداری با جریان دائمی و دبی متغیر (شکل ۲)



شکل ۲- مشخصات هیدروگراف جریان ورودی به کانال اصلی در گزینه دوم

۳- روش بهره برداری با جریان متناوب (شکل ۳)

گزینه های فوق شرایط جریان را در بخش اصلی



شکل ۳- مشخصات هیدروگراف جریان ورودی به کانال اصلی در گزینه سوم

صرف نظر از نوع روش بهره‌برداری سه عامل دبی، مدت و فواصل زمانی جریان‌های تحویلی همواره نقش اصلی را در روش بهره‌برداری ایفا می‌نماید. فواصل زمانی تحویل آب به انشعابات براساس شرایط خاک - گیاه - اقلیم تعیین شده و به منظور برقراری انطباق با این شرایط در طول زمان تغییر می‌یابند. دبی جریان و مدت جریان برای هر دوره تحویل آب نیز براساس مقدار نیاز آبی در دوره مربوطه، مساحت مورد نظر، ظرفیت کانال‌ها و روش بهره‌برداری تعیین می‌شوند. نکته قابل ذکر این است که در زمان طراحی شبکه‌های آبیاری بایستی جنبه‌های کلی بهره‌برداری و روش بهره‌برداری مورد نظر برای شبکه مورد توجه قرار گیرد. زیرا که نوع بهره‌برداری نه تنها تعیین کننده نوع تأسیسات مورد نیاز شبکه می‌باشد بلکه ظرفیت هیدرولیکی تأسیسات و مجاری شبکه را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. این امر اثر مستقیمی در میزان سرمایه‌گذاری اولیه و هزینه‌های اجرایی می‌گذارد (۳).

امروزه به نظر می‌رسد که دیدگاه قدیمی تأمین آب با حداقل سرمایه‌گذاری تغییر کرده باشد زیرا که حداقل سرمایه‌گذاری در اغلب اوقات قابل قبول شرایط نامطلوب برای بهره‌برداری را دیکته می‌کند. در نتیجه میزان بهره‌وری از منابع آب، شاخص‌های عملکرد، عملکرد محصول و درآمد اقتصادی حاصل از آن (که در واقع بازگشت سرمایه اولی می‌باشد) دچار لطمه می‌گردند. لذا آنچه که امروزه به عنوان دیدگاه کلی در سرمایه‌گذاری بخش منابع آب (و از جمله آبیاری) مطرح است عبارت است از سرمایه‌گذاری اولیه بالا برای نیل به بهره‌وری و تولید بالاتر.

گزینه‌های بهره‌برداری پیشنهادی برای شبکه مورد مطالعه

سه گزینه بهره‌برداری برای شبکه توسط سازمان مسئول طرح

برنامه‌ریزی شده است که عبارتند از:

۱ - روش بهره‌برداری با جریان دائمی و دبی ثابت (شکل ۱)

۲ - روش بهره‌برداری با جریان دائمی و دبی متغیر (شکل ۲)

۳ - روش بهره‌برداری با جریان متناوب (شکل ۳)

گزینه‌های فوق شرایط جریان را در بخش اصلی شبکه مشخص می‌کنند. در هر سه روش بهره‌برداری نحوه توزیع جریان در بخش فرعی شبکه (توزیع آب از کانال‌های درجه ۲ به درجه ۳) به صورت تناوبی یا گردشی می‌باشد. در گزینه‌های بهره‌برداری اول و دوم کل زمان آبیاری ۱۴۴ روز بوده که شامل ۵ روز آخر فروردین ماه تا

استفاده جدا، کثر از تأسیسات موجود از طرف دیگر توصیه می‌شود که عملکرد بهره‌برداری با اصلاح ساختار مدیریتی و روشهای بهره‌برداری در مدت زمان کوتاه بهبود داده شود. تنوع سیستم‌های کنترل و روشهای بهره‌برداری در شبکه‌های آبیاری باعث پیچیدگی رفتار هیدرولیکی جریان در شبکه شده و پیش‌بینی دقیق و مطمئن آن را بسیار مشکل و یا غیر ممکن می‌سازد. در نتیجه در راه رسیدن به اهدافی نظیر ارزیابی عملکرد بهره‌برداری، افزایش بهره‌وری و بهره‌برداری بهینه با مشکلات جدی مواجه می‌شویم. برای رفع این موانع می‌بایست روشهایی ابداع گردند که بوسیله آن بتوان به اهداف ذیل دست یافت:

- ۱ - ارزیابی عملکرد روشهای بهره‌برداری موجود یا پیشنهادی.
- ۲ - تعیین و ارائه روشهای نوین بهره‌برداری و مدیریت شبکه.
- ۳ - مطالعه و تعیین راه حل‌های مؤثر و اساسی برای بهبود بهره‌برداری یا بازسازی یک سیستم.

به کمک مدل‌های ریاضی شبیه‌سازی، مطالعه رفتار هیدرولیکی شبکه‌ها تحت شرایط متفاوت طراحی و بهره‌برداری با دقت زیاد و زمان کم میسر می‌شود. از جمله مدل‌های جامع در این زمینه به مدل هیدرودینامیک ICSS-POM می‌توان اشاره کرد. این مدل در سال ۱۹۸۵ توسط مانز ارائه شده و سپس طی تحقیقات مختلف تکامل یافته است (۱ و ۵). مدل ICSS-POM که هیدرولیک شبکه‌های آبیاری و روشهای بهره‌برداری بهینه را قابل محاسبه می‌کند، نقش بسیار مهمی در دستیابی به اهداف فوق ایفا می‌نماید. هدف از تهیه مدل فوق تأمین وسیله‌ای مؤثر برای انجام محاسبات هیدرودینامیک شبکه‌های آبیاری و روشهای بهینه‌سازی بهره‌برداری از آنها می‌باشد تا از آن طریق بتوان محدوده وسیعی از مشکلات مربوط به طراحی، برنامه‌ریزی و بهره‌برداری را حل کرده و اهداف زیر را تأمین نمود:

- ۱ - ارزیابی عملکرد روشهای بهره‌برداری موجود یا پیشنهادی.
- ۲ - طراحی سیستم‌های انتقال و توزیع آب با حصول اطمینان از بهره‌برداری مؤثر و مطمئن.
- ۳ - ارزیابی و معرفی روشهای کنترل شبکه.
- ۴ - انجام تحقیقات در تمامی جنبه‌های طراحی و بهره‌برداری.
- ۵ - تعیین روشهای بهره‌برداری بهینه با در نظر گرفتن اهداف متفاوت و محدودیت‌های فیزیکی و هیدرولیکی شبکه.

نیمه اول شهریور ماه می‌باشد. این مدت به سه دوره زمانی تقسیم شده است که به ترتیب عبارتند از: دوره زمانی اول برابر با ۴۲ روز، دوره زمانی دوم برابر با ۶۰ روز و دوره زمانی سوم برابر با ۴۲ روز. برای دوره زمانی اول و سوم دوره‌های گردش ۷/۵ روزه در نظر گرفته شده‌اند. در گزینه بهره‌برداری سوم کل زمان آبیاری ۱۵۴/۵ روز بوده که باز هم از ۵ روز آخر فروردین ماه شروع می‌شود. در این گزینه دوره‌های زمانی اول و دوم شبیه دو گزینه قبلی بوده و دوره زمانی سوم ۵۲/۵ روز می‌باشد. دوره‌های گردش در نظر گرفته شده برای هر سه دوره زمانی اول و سوم به صورت متناوب بوده در حالی که در دوره زمانی دوم به دلیل بالا بودن میزان نیازهای آبی به صورت دائمی می‌باشد.

حال برای ارزیابی کمی عملکرد روشهای بهره‌برداری لازم است که شاخص‌های عملکرد محاسبه شوند. برای محاسبه این شاخص‌ها بایستی توزیع زمانی Q_d و Q_r تعیین شوند. توزیع زمانی Q_r با محاسبه نیاز آبی و بارش مؤثر قابل محاسبه می‌باشد. اما توزیع زمانی Q_d صرفاً به نحوه رفتار هیدرولیکی جریان در سیستم بستگی دارد و بنابراین تابع عوامل فیزیکی - سازه‌ای، مدیریتی و بهره‌برداری می‌باشد. در نتیجه برای محاسبه توزیع زمانی Q_d بایستی مجموع اثرات عوامل فوق در کلیه حالات در نظر گرفته شود و به این ترتیب ضرورت استفاده از مدل کامپیوتری در تعیین مشخصات هیدرولیکی جریان در شبکه مشخص می‌گردد.

با به دست آمدن توزیع زمانی Q_d ، شاخص‌های عملکرد برای هر یک از گزینه‌ها محاسبه شده و در مرحله نهایی با یک ارزیابی تحلیلی از مقادیر به دست آمده برای شاخص‌ها بهترین گزینه تعیین شده است. حجم ستاده‌های حاصل از مدل به گونه‌ای است که تجزیه و تحلیل آنها مستلزم بهره‌گیری از نرم‌افزارهای صفحه گسترده می‌باشد.

مدل هیدرودینامیک ICSS-POM

سهولت ظاهری استفاده از سیستم‌های متشکل از مجاری روباز برای پروژه‌های آبیاری، موجب شده که پیچیدگی واقعی تکنولوژی آن، هزینه‌های بالای ساخت و بهره‌برداری و عملکرد ضعیف آنها به طور واضح دیده نشوند. بخش عمده‌ای از طرح‌های آبیاری در جهان، متشکل از چنین سیستم‌هایی می‌باشند. در چنین شرایطی با توجه به کمبود محسوس منابع آب از یک طرف و لزوم

جدول ۱ - مقادیر شاخص‌های عملکرد به تفکیک گزینه‌ها

گزینه	شاخص عملکرد			
	برابری	پایداری	کفایت	راندمان
بهره‌برداری	۰/۰۰۲	۰/۳۵	۰/۹۰	۰/۸۷
اول	۰/۰۰۳	۰/۱۸	۰/۹۶	۰/۹۴
دوم	۰/۰۰۳	۰/۲۲	۰/۹۴	۰/۸۹
سیوم	۰/۰۰۳	۰/۳۵	۰/۹۶	۰/۹۴
حداکثر	۰/۰۰۲	۰/۱۸	۰/۹۰	۰/۸۷
حدقل				

می‌شود که براساس تعریف شاخص‌های به کار رفته، مقادیر ابده‌آل برای شاخص‌های راندمان و کفایت، عدد یک و برای شاخص‌های پایداری و برابری، عدد صفر می‌باشند. همچنین حداکثر و حداقل مقادیر به دست آمده برای شاخص‌های عملکرد که در تعیین گزینه بهینه براساس برنامه‌ریزی توافقی^۴ به کار خواهند رفت در جدول ۱ قید شده‌اند.

در اکثر مسائل بهینه‌سازی چند منظوره، اهداف مورد نظر در ارتباط با همدیگر توابعی نزولی برقرار می‌سازند. به عبارت دیگر نمودار اهداف طی وضعیت‌های مختلف بهینه‌سازی در خلاف جهت همدیگر صورت می‌گیرد. تحت چنین شرایطی به دست آوردن مقادیر بهینه برای تمامی اهداف در برنامه‌ریزی چند منظوره عملی نمی‌باشد. برای چنین مسائلی روشهای تحلیلی مختلفی به منظور یافتن وضعیت کلی بهینه ارائه شده‌اند که از جمله می‌توان به یکی از متداولترین این روشها یعنی برنامه‌ریزی توافقی اشاره کرد.

برنامه‌ریزی توافقی در واقع عبارت است از ایجاد توافقی بین اهداف مختلف برای به دست آوردن وضعیت کلی بهینه. فرض شود که در یک مسأله بهینه‌سازی، تعداد n هدف مورد نظر می‌باشند. برای هر کدام از این اهداف طی وضعیت‌های مختلف بهینه‌سازی مقادیر مختلفی به دست می‌آید که مطلوب‌ترین و نامطلوب‌ترین این مقادیر را برای هدفی نظیر i به ترتیب با O_i^+ و O_i^- نشان می‌دهیم. ساده‌ترین حالت برنامه‌ریزی توافقی عبارت است از حداقل‌سازی مجموع نسبت‌های $\frac{O_i^+ - O_i}{O_i^+ - O_i^-}$. به عبارت دیگر تابع کلی هدف به صورت زیر می‌باشد.

۶ - تعیین اثر تفکیک شده عوامل مختلف بر عملکرد و ارائه راه‌حلهای متناسب جهت اصلاح وضعیت عملکرد بهره‌برداری در سیستم.

مدل ICSS-POM می‌تواند ویژگیها و مشخصات هیدرولیکی، هیدرولوژیک و بهره‌برداری سیستم‌های انتقال و توزیع را مطابق با نیازهای طراحان، برنامه‌ریزان و بهره‌برداران شبکه و همچنین منطبق با نیازهای گوناگون مطالعاتی شبیه‌سازی و محاسبه نماید. در این مدل کلیه محاسبات مورد نیاز براساس روشهای عددی انجام می‌شود. شرایط هیدرولیکی دائمی با استفاده از روش نیوتن^۱ و مشخصات جریان غیر دائمی با استفاده از شمای ضمنی چهار نقطه‌ای وزنی^۲ تعیین می‌شود.

در بخش بهینه‌سازی بهره‌برداری، یکی از جدیدترین روشهای عددی بهینه‌سازی موسوم به روش ژنتیک^۳ مورد استفاده قرار گرفته است. این روش ضمن سادگی تئوری و سهولت کاربرد، مزایای زیادی نسبت به روشهای کلاسیک بهینه‌سازی دارد. مجموع اهداف مورد نظر به صورت یک تابع اهداف تعریف می‌گردد و هیچ‌گونه محدودیتی از نظر تعداد، شکل، درجه و فرم توابع مختلف در تابع اهداف وجود ندارد. کلیه محدودیت‌های فیزیکی یا عملیاتی که به نحوی عملیات بهره‌برداری بهینه را می‌توانند محدود نمایند، می‌بایست با تعیین محدوده حداقل و حداکثر تعریف گردند (۲).

نتایج و بحث

در مرحله نهایی، اطلاعات مورد نیاز برای تحلیل و ارزیابی گزینه‌های بهره‌برداری از طریق شبیه‌سازی جریان در هر یک از گزینه‌ها توسط مدل تعیین شده‌اند. با استفاده از ستاده‌های تنظیم شده مدل و تجزیه و تحلیل‌های انجام گرفته، مقادیر Q_d برای محدوده‌های مختلف محاسبه شده است. با در دست داشتن مقادیر Q_d و Q_r در محدوده‌های زمانی مختلف (توزیع زمانی Q_d و Q_r)، متناظر با هر یک از گزینه‌های بهره‌برداری شاخص‌های عملکرد برای کانال اصلی و انشعابات آن محاسبه و در جدول ۱ قید شده‌اند. در این قسمت و به منظور مقایسه گزینه‌های بهره‌برداری، تنها به ذکر مقادیر شاخص‌های عملکرد به تفکیک گزینه‌ها اکتفا می‌شود. یادآوری

1 - Newton Method

2 - Implicit weighted four-point scheme

3 - Genetic

4 - Compromise programming

ارزشمندی در زمینه مطالعات علمی و دقیق بهره‌برداری (اعم از ارزیابی سیستم‌ها، تعیین راه حل‌های کارآمد برای افزایش بهره‌وری سیستم‌ها، روشهای بهره‌برداری و سیستم‌های کنترل بهینه و ...) دارا می‌باشند. کمبود محسوس منابع آب که بحران‌ساز سالهای آتی خواهد بود، و ارزش حیاتی و استراتژیک توان استفاده بهینه از این منابع، بکارگیری گسترده چنین تکنیک‌های مطالعاتی به ویژه برای کشوری نظیر ایران با رشد قابل توجه جمعیت، رو به زوال رفتن منابع سوخت‌های فسیلی و درآمد ناشی از آن امری ضروری می‌باشد. محدودیت شدید منابع آب و عملکرد پایین تر از حد قابل قبول بخش آبیاری به عنوان یکی از مهم‌ترین بخش‌های مصرف آب ضرورت استفاده از تکنیک‌های فوق را روشن می‌سازد.

۳ - انطباق بیشتر روشهای بهره‌برداری با تغییرات نیاز آبی مطلوبیت بیشتر عملکرد بهره‌برداری روشها را به همراه خواهد داشت. روشهای قابل انعطاف همواره عملکرد مطلوبی نتیجه داده و گام مؤثری در جهت استفاده بهینه از منابع آب می‌باشند. بنابراین سوق دادن روشهای بهره‌برداری به سمت قابلیت انعطاف بیشتر وضعیت بهره‌برداری سیستم‌ها را به طور چشمگیری مطلوب تر ساخته و نقش مهمی در افزایش بهره‌وری سیستم‌ها ایفا خواهد نمود. در این راستا انجام تحقیقات برای تدوین نظام‌های بهره‌برداری متناسب با روشهای قابل انعطاف، ضروری و غیر قابل اجتناب می‌باشد.

۴ - توان اصلی مدل‌های هیدرودینامیک و از جمله مدل ICSS-POM در تحلیل وضعیت‌های هیدرولیکی غیر دائمی در شبکه‌ها می‌باشد. لذا هر چه که شبکه تحت مطالعه دارای وضعیت هیدرولیکی غیر دائمی تری باشد (نظیر شبکه‌های بزرگ یا شبکه‌هایی که روشهای بهره‌برداری آنها چنین وضعی را ایجاد می‌کند)، از قابلیت‌های مدل‌های هیدرودینامیک در تحلیل چنین شبکه‌هایی بیشتر می‌توان بهره برد.

۵ - در زمان طراحی شبکه‌های آبیاری ضروری است که نگرش جامعی به نحوه بهره‌برداری از شبکه و مسائل کلی وابسته به آن صورت گیرد. متأسفانه تاکنون چنین جامع‌نگری در مسئله بهره‌برداری صورت نگرفته است. به همین دلیل ساختمان فیزیکی طرح شده برای شبکه غالباً از عدم هماهنگی مشکل ساز برخوردار است و گاه معضلات جدی در ارتباط با مسائل بهره‌برداری بهینه ایجاد می‌کند.

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n \left(K_i \frac{O_i^+ - O_i^-}{O_i^+ - O_i^-} \right) \dots \dots \dots (11)$$

که در آن O_i مقدار به دست آمده برای هدف نام در هر یک از وضعیت‌های بهینه‌سازی و K_i اهمیت نسبی هدف نام می‌باشند. انتخاب مقادیر ایده‌آل و یا مشاهده شده برای O_i^+ و O_i^- بستگی به نظر کاربر دارد. بدین ترتیب ملاحظه می‌شود که برنامه‌ریزی توافقی یافتن وضعیتی است که در آن مجموع فاصله‌های نسبی (L) اهداف مختلف از مطلوبترین مقدار مربوطه حداقل می‌باشد. این مجموع برای هر یک از گزینه‌های بهره‌برداری با در نظر گرفتن اهمیت نسبی یکسان ($K_i = 1$) محاسبه شده و در جدول ۲ قید شده است. در اینجا مقدار محاسبه شده L برای گزینه اول به عنوان مثال ارائه

$$L = \frac{0.003 - 0.002}{0.003 - 0.002} + \frac{0.35 - 0.35}{0.35 - 0.18} + \frac{0.96 - 0.9}{0.96 - 0.9} + \frac{0.94 - 0.87}{0.94 - 0.87} = 3$$

جدول ۲ نشان می‌دهد که گزینه دوم دارای حداقل فاصله L می‌باشد. بنابراین این گزینه به عنوان گزینه برتر انتخاب می‌شود. قابل ذکر است که چنانچه در اینجا حداقل و حداکثر مقادیر ایده‌آل (صفر و یک) به کار می‌رفت، اعداد متفاوتی برای L به دست می‌آمد اما در ترتیب گزینه‌ها تغییری ایجاد نمی‌شد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

براساس نتایج این تحقیق، نکات زیر را می‌توان مورد تأکید

قرار داد:

۱ - تغییر در روش بهره‌برداری یک سیستم انتقال و توزیع آب، وضعیت عملکرد آن را به طور قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین یکی از طرق عمده بازسازی شبکه‌های آبیاری و افزایش بهره‌وری آنها، تعیین روشهای بهینه عملی برای بهره‌برداری است.

۲ - انجام این تحقیق کاربردی روشن می‌سازد که مدل‌های ریاضی شبیه‌سازی سیستم‌های انتقال و توزیع آب، قابلیت بسیار

جدول ۲ - مقادیر L برای هر یک از گزینه‌های بهره‌برداری

L		
گزینه سوم	گزینه دوم	گزینه اول
۲/۲۸	۱/۰۰	۳/۰۰

REFERENCES

مراجع مورد استفاده

- ۱ - منعم، م. ج. ۱۳۷۵. معرفی مدل مشابه سازی شبکه‌های آبیاری و بهینه‌سازی بهره‌برداری از آنها. هشتمین سمینار کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.
- ۲ - منعم، م. ج. ۱۳۷۶. استفاده از روش ژنتیک در مدل مشابه سازی شبکه‌های آبیاری برای بهینه سازی عملکرد آنها. مجموعه مقالات اولین کنفرانس هیدرولیک ایران.
- 3 - International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering. 1992. Principles of Irrigation Management. IHE DELFT, the Netherlands.
- 4 - Kalu, I. L., G. N., & A. D. Gupto. 1995. Equity and efficiency issues in irrigation water distribution. Agricultural Water Management, Elsevier, Vol. 28(4).
- 5 - Manz, D. H. 1985. Implicit finite difference solution of the one-dimensional equations of unsteady gradually varying open channel flow. Research report No. CE85 - 6, Civil Engrg. Dept., University of Calgary, Calgary, Canada.
- 6 - Melden, D. J., & T. K. Gates. 1990. Performance measures for evaluation of irrigation water delivery systems. J. of Irrigation and Drainage Engrg., ASCE, Vol. 116(6).
- 7 - Monem, M. J., & W. Schuuramns. 1992. Performance of Canal Delivery strategies and control systems. CEMAGREF-IIMI international workshop on the application of Mathematical Modeling for the improvement of Irrigation Canal Operation, Montpellier, France.
- 8 - Monem, M. J., & D. H. Manz. 1994. Application of simulation techniques for improving the performance for irrigation conveyance systems. Iranian Journal of Water Resources Engrg., Vol. 2(1).

Determination of the Optimal Water Distribution Policy in an Irrigation Network (Case Study: Qurichay Network)

S. KOUCHAKZADEH, M. J. MONEM, AND SH. KASBDOUZ

Assistant Professor, Irrigation and Reclamation Engrg. Dept. University of Tehran,

Assistant Professor, Irrigation, Dept. University of Tarbiyat Modarres

and Former Graduate Student, Irrigation and Reclamation

Engrg. Dept. University of Tehran

Accepted Apr. 21, 1999

SUMMARY

The performance of an open irrigation system is a complex function of many factors such as the hydraulic capacity of the system, the types of the utilized structures, control systems, delivery strategies, and management policies for water distribution. The impact of each factor on the operational performance of an irrigation system is very difficult to determine. The hydraulic condition in the network for the variety of possible operations and control systems that might be applied could not be determined manually. To achieve reliable assessment of the network performance, advanced computational facilities (hardware and software) should be utilized. Only with such facilities the effect of various delivery strategies could be determined and the influence of different factors on the operational performance evaluated. The main objectives of the current paper are to introduce some performance indicators that have been used recently in the literature and to determine the best operation (water delivery strategy) for Qurichay irrigation network based on performance indicators given by Molden and Gates. In this research a hydrodynamic model called ICSS-POM was utilized. Three delivery strategies were considered and simulated by the model. These delivery strategies are: continuous flow with a fixed flow rate, continuous flow with variable flow rates, and non-continuous flow. The performance indicators were evaluated for these strategies using the output of the simulation. Based on the determined indicators the second delivery strategy was chosen as the most appropriate for the studied network.

Keywords: Hydrodynamic Models, Irrigation network, Water distribution & Performance indicators.