فصلنامه علمی پژوهشی زمین شناسی محیط زیست
سال نهم، شماره۳۲، پاییز ۱۳۹٤

بهینه سازی بهره برداری تلفیقی ازمنابع آب سطحی و زیرزمینی وتأثیر آن بر محیط زیست(مطالعه موردی حوزه مرکزی شهرستان گرگان)

محمود ذاکری نیری[۱]،سید عرفان حسینی[۲]،سید عماد حسینی[۳] و عطا اله نجفی جیلانی[۴]
۱- استادیار مرکز تحقیقات علوم زیست محیطی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر zakeri@iiau.ac.ir
۲- مربی گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرگان
۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران، آب دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر
٤- استادیار گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر
تاریخ دریافت: ۹٤/۱۱/۲۲ تاریخ تصویب: ۹٤/۹/۲۱

چکیده
یک سیستم بهره برداری تلفیقی منابع آب مشتمل بر زیر سیستم آب سطحی و زیر سیستم آب زیرزمینی می باشد که به منظور برآورده کردن نیازهای آبی، این دو زیر سیستم با یکدیگر درتعامل می‌باشند و همانند دو مخزن موازی عمل خواهند کرد که با دادن فرمان‌های بهره برداری به آن، می توانند از حجم ذخیره همدیگر استفاده کنند. در این مقاله یک مدل شبیه ساز_ بهینه ساز جهت طراحی ابعاد و بصورت توده ای در نظر گرفته شده است که اجزای آن شامل یک سری زمانی بوده و برای کسب نتایج دقیقتر وضعیت آبی دو سال با هشت فصل که سال اول نیز پرآب تر از سال دوم بوده مورد بررسی قرار گرفته شده است. مدل های شبیه سازی درون مدل بهینه سازی می باشند و تشکیل یک مدل شبیه ساز- بهینه ساز را داده اند، نتایج بدست آمده از این مدل که در آن از برنامه ریزی غیر خطی(NLP) استفاده شده است نشان می دهد که در شرایط بهره برداری تلفیقی، رهاسازی از مخزن سد الزاماً شبیه به حالت غیر تلفیقی نخواهد بود. همچنین از دیگر نتایج می توان به طراحی بهینه اجزای مدل موردنظر مانند سد ها و چاه ها و دستور بهره برداری بهینه استفاده از آنها، اشاره نمود.

واژگان کلیدی: منابع آب سطحی و زیرزمینی، بهره برداری تلفیقی، شبیه سازی، بهینه سازی.

مقدمه

سیرگسترده فعالیت ها در زمینه های مختلف منابع آب سطحی و زیر زمینی و عدم توجه کافی به برنامه ریزی و مدیریت تلفیقی، ضرورت تحقیق در این خصوص را ایجاب می نماید. با توجه به عدم توازن در توزیع منابع آب و محدودیت‌های استفاده از آبهای سطحی، تلفیق بهره برداری از منابع آب سطحی و زیر زمینی، امری ضروری است. در رودخانه‌ای با ضریب تغییرات‌آبدهی بالا تأمین اعتماد پذیری مطلوب، حتی‌درساختگاههای مناسب توسعه نیز به امری مشکل تبدیل شده است چرا که تأمین قابلیت اعتماد بالا در این حوضه‌ها به سدهای با ارتفاع بسیاربلند ومخازن بسیار حجیم نیازمند خواهد بودکه ممکن است به لحاظ فنی یا به لحاظ اجتماعی و اقتصادی با مشکلات متعددی همراه باشند حال آنکه توجه به ظرفیت بالقوه آبخوان ها در کنار حجم مخازن در دست طراحی، می تواند تا حد زیادی این مشکل را برطرف نماید در این مطالعه مدلسازی به گونه ای انجام می گیرد که حداقل اطمینان پذیری سیستم، حداکثر و هزینه های ناشی از عدم تامین نیاز، احیای آبخوان، تخطی از ظرفیت مخزن در حال بهره برداری و اولویت های تخصیص

حداقل گردد. هدف از مدل سازی سیستم بهره برداری تلفیقی تعیین سطح مطلوب توسعه مخزن سطحی و آبخوان زیر زمینی (احجام ذخیره) همراه با ارائه برنامه انتقال بین دو زیر سیستم و بهره برداری مشترک از آنها به منظور تامین اهداف طرح است. لذا در یک سیستم بهره برداری تلفیقی بمنظور تعیین سطح توسعه‌ی مخزن سطح سطحی و زیر زمینی (ظرفیت مخزن و سیستم های انتقال ، پمپاژ و تغذیه به آبخوان) باید میزان آب انتقالی بین دو زیر سیستم ، بصورت فرمان های رهاسازی آب برای دوره های زمانی مختلف، تعیین و در هر مرحله بهره برداری اعمال شود. به همین منظور می توان از این فرمان های رها سازی آب بعنوان متغیرهای تصمیم در فرآیند بهینه‌سازی بهره برد و در یک فرآیند بهینه سازی بهترین فرمان های رهاسازی آب به منظور طراحی و بهره‌برداری مطلوب سیستم را تعیین کرد. دوهدف اصلی این تحقیق، طراحی و ارائه الگوی بهره برداری بهینه جهت استفاده از اجزای مختلف یک سیستم بهره برداری تلفیقی منابع آب است.

پیرامون شبیه سازی و بهینه سازی سیستم های مدیریت تلفیقی منابع آب مطالعات متعددی صورت گرفته است که هر کدام محدوده‌ی خاص و روشی خاص در روند تحقیق خود در پیش گرفته اند در زیر جمع بندی کلی از این مطالعات‌ارائه می‌گردد(صفوی و اسمی خانی ۲۰۱۳). مدل شبیه سازی بر اساس ماشین های بردار به منظور پیش بینی تغییرات تراز فصلی تراز آب زیر زمینی درکوهپایه سگزی در شرق زاینده رود ارائه دادند. مدل مدیریت تلفیقی شامل مدل بهینه سازی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک و مدل شبیه سازی ماشین های بردار پشتیبان که یک سیستم یادگیر کارآمد بر مبنای تئوری بهینه سازی مقید است که از اصل استقرایی یا کمینه سازی خطای ساختاری استفاده و منجر به یک جواب کلی بهینه می گردد، به منظور بهره برداری بهینه از منابع آب سطحی و زیرزمینی در جهت تامین آب مورد نیاز کشاورزی می باشد(عبدالواعظ و همکاران ۲۰۱۳) .

کاربردی از توازن مدل آب توزیع شده فضایی برای سنجش منابع آب سطحی و زیرزمینی در اتیوپی ارائه نمودند. هدف مدل تخمین و ارزیابی منابع آب موجود با استفاده از مدل تعادل و نتایج نشان داد ۷٦٪ میزان بارش از طریق بخارآب کم شده و ۱۸٪ از طریق رواناب و ٦٪ کسر آب به میزان آب زیرزمینی تعلق دارد(طبری ۲۰۰۹). برنامه بهینه بهره برداری از منابع آب داخل حوضه و احیای منابع آبی برون حوضه ای بر پایه سه هدف تامین نیاز آبی داخل حوضه‌ای، کاهش میزان آب خروجی از مرز ایران وافزایش انتقال آب به حوضه مجاور (دریاچه ارومیه)، ارائه داد. با توجه به اینکه متغیرهای تصمیم وهدف ها غیرخطی هستند برای اجرای مدل از الگوریتم ژنتیک مبتنی برجواب غیرپست استفاده که می‌توان مقادیر بهینه تخصیص از منابع و میزان آب انتقالی به حوضه مجاور را مشخص نمود.طبری، مکنون و عبادی ۲۰۰۸) .

مدل بهینه سازی چند هدفه به منظور مدیریت بهره برداری تلفیقی با استفاده از الگوریتم های SGSs و NSGAII درشهرستان کرج ارائه دادند. مدلسازی بگونه ای صورت می‌گیرد که حداقل اطمینان‌پذیری سیستم ، حداکثر و هزینه های ناشی از عدم تامین نیاز ، احیای آبخوان ، تخطی از ظرفیت مخزن در حال بهره برداری و اولویت های تخصیص حداقل گردد. برای نمایش منحنی تبادل بین این اهداف از مدل بهینه سازی الگوریتم ژنتیک مبتنی بر جواب غیر پست در مقایسه با الگوریتم ژنتیک مرحله ای استفاده شده است. نتایج نشان می دهد مدل NSGAII در مدت خیلی کمتری قادر به ارائه مقادیر بهینه تخصیص خواهد بود.

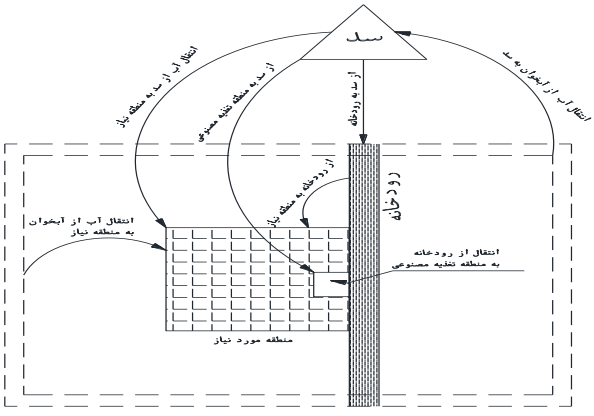
مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه: شمای کلی منطقه ی مورد مطالعه (شهر گرگان) در شکل ۱ نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می شود در آن یک مخزن، یک سیستم رودخانه و آبخوان که با هم ارتباط هیدرولیکی دارند، یک منطقه ی نیاز، یک چاه پمپاژ که در عین حال

حکم چاه تغذیه را نیز دارد منظور شده است و جریان رودخانه های آن که بهم می پیوندند بصورت یک سری زمانی ارئه شده که به لحاظ بررسی بهتر و نتایج دقیقتر شامل دو سال مشتمل بر هشت فصل است که سال اول پرآب تر از سال دوم می باشد. نیاز سالانه آبی شهر گرگان با جمعیتی حدود ۳۱۷ هزار نفر معادل ۳۹,۹ میلیون متر مکعب می باشد.

در این مقاله جهت کاربرد عملی مدل حالت ساده‌ای از داده‌های مربوط به سد کوثر در حوضه آبریز قره‌سو استفاده شده است مطالعات سد کوثر توسط مشاورین شرکت آب منطقه ای استان گلستان به انجام رسیده است و مبنای داده‌های مربوط به هزینه‌ها و داده های مربوط به آبخوان می‌باشد. همچنین فرض گردیده که رهاسازی از مخزن سد به منطقه نیاز دارای کمترین سهم آبرسانی بوده و صرفاً جهت کاربرد عملی مدل بوده است. وسعت آبخوان ۲۸۷۱/٤ کیلومتر مربع ، می باشد.

منطقه‌ی نیازدر وسط سیستم قرار گرفته و نیاز این منطقه از منابع پمپاژ آبخوان، انحراف جریان رودخانه و رهاسازی آب از سد صورت می‌گیرد. بارندگی مفید در واقع آن بخش از کل بارندگی‌است که برسطح زمین جاری شده و یا به اعماق زمین نفوذ می نماید. براساس روش بیلان ماهانه، میزان بارندگی مفید در ارتفاعات ۱۷۹/٦ میلیمتر در سال می‌باشد.



شکل ۱- جانمایی اجزای سیستم در مسئله مورد مطالعه

کلیات مدل

سیستم بهره برداری تلفیقی سیستمی است ترکیبی متشکل از دو زیر سیستم آب سطحی که شامل مخزن و رودخانه می‌شود و زیر سیستم آب زیرزمینی که شامل مخزن زیرزمینی یا آبخوان می‌باشد که ضمن تامین نیازهای تعهد شده، یک حلقه تعاملی بینابینی علاوه بر تعامل طبیعی و فیزیکی بین دو سیستم بوجود می‌آورند. در این صورت دو زیر سیستم همانند دو مخزن موازی عمل خواهند کرد که با دادن فرمان‌های بهره‌برداری به آن، می توانند از حجم ذخیره همدیگر استفاده کنند. سیستم بهره برداری تلفیقی در مقیاس کوچک از اجزای زیر تشکیل می گردد (باشااوقلو و مارینو ۱۹۹۹).

مخزن سطحی یا سد، رودخانه، مخزن زیر زمینی یا آبخوان، چاه‌های پمپاژ، چاه‌ها یا برکه‌های تغذیه، سیستم انتقال آب، سیستم انحراف جریان رودخانه و منطقه نیاز.

این مدل از نوع برنامه ریزی غیر خطی(NLP) می باشد که جهت حل این مدل از نرم افزار LINGO استفاده شده است. این نرم افزار از الگوریتم گرادیان کاهشی تعمیم یافته(Generalized reduction gradiant algoritm) جهت حل مسائل غیر خطی استفاده می نماید.

مدلسازی

مدل حاصله به علت وجود روابط غیرخطی در رابطه‌ی دبی اشل و هزینه ها، در حالت کلی به صورت غیرخطی می‌باشد، لذا از برنامه‌ریزی غیرخطی جهت بهینه سازی آن استفاده شده است و مهمترین فرضیاتی که در این مطالعات حاکم است به شرح ذیل می باشد.

رژیم جریان در سیستم غیر ماندگار است - رودخانه و آبخوان دارای ارتباط هیدرولیکی هستند-گام زمانی مدل فصلی است- جریان رودخانه در گام های زمانی مدل نرمال بوده و رابطه مانینگ قابل استفاده است- ازجریان در لایه غیر اشباع آبخوان ، نشت و تلفات جریان در طول سیستم انتقال آب صرفنظر شده است.

بطور کلی در یک سیستم بهره برداری تلفیقی امکان انتقال آب بین المان های سد، رودخانه و مخزن زیرزمینی جهت تامین بیشینه حد نیاز آبی منطقه نیاز وجود دارد. انتقالاتی همچون انتقال حجم از مخزن سد به رودخانه و منطقه نیاز، از آبخوان به منطقه نیاز و ... . در این سیستم رودخانه با آبخوان دارای ارتباط هیدرولیکی است و سیستم انتقال جهت انتقال آب از مخزن سطحی به محل نیاز، از مخزن سطحی به آبخوان و بالعکس و از آبخوان به منطقه نیاز ضروری است. این انتقال می‌تواند از طریق منحرف نمودن جریان رودخانه به منطقه نیاز و تغذیه‌ی مصنوعی نیز صورت گیرد. منطقه ی نیاز عموماً داخل حوضه قرار دارد بگونه ای که جریان های خروجی از آن، با سیستم در ارتباط است. آبی که به منطقه نیاز منتقل می‌شود پس از استفاده، بخشی ازآن به صورت تبخیر و سایر تلفات از سیستم خارج و بخش دیگر که عمدتاً در نواحی کشاورزی درآبخوان نفوذ نموده و بخش دیگری هم پس از تصفیه بصورت جریان برگشتی به رودخانه می ریزد. فرمان‌های رهاسازی و انتقال احجام آبی موجود بین المانهای مختلف مدل به شرح ذیل می‌باشند.

جدول۱- انتقال‌های قابل اجرا بین بخش‌های سیستم

متغیر	شرح	فرمان رهاسازی
$R_d^s(t)$	انتقال آب از مخزن سد به منطقه نیاز	Sop_{s-d}
$R_{ar}^s(t)$	انتقال آب از مخزن سد به منطقه تغذیه مصنوعی	Sop_{s-ar}
$R_{riv}^s(t)$	انتقال آب از مخزن سد به رودخانه	Sop_{s-riv}
$Divd(t)$	انتقال آب از رودخانه به منطقه نیاز	Sop_{riv-d}
$Divar(t)$	انتقال آب از رودخانه به منطقه تغذیه مصنوعی	Sop_{riv-ar}
$R_s^g(t)$	انتقال آب ازآبخوان به مخزن سد	Sop_{auq-s}
$R_d^g(t)$	انتقال آب از آبخوان به منطقه نیاز	Sop_{auq-d}

مدل سازی مخزن سد: مهمترین فرمولی که در شبیه سازی مخزن سد رابطه‌ی پیوستگی می‌باشد و بیانگر حجم ذخیره‌ی مخزن در دوره‌ی بعدی برابر با حجم آن در دوره‌ی قبلی بعد از جمع جبری با تمامی ورودی‌ها و خروجی‌های مخزن در آن دوره است.

$$S^s(t+1)=S^s(t)+Q^s(t)+R_s^g(t)-E^s(t)-R_d^s(t)-R_{ar}^s(t)-R_{riv}^s(t):\ \forall t \quad (۱)$$

$S^s(t)$ و $S^s(t+1)$ در رابطه‌ی فوق بترتیب حجم ذخیره‌ی مخزن سطحی در ابتدا و انتهای دوره‌ی t، $Q^s(t)$ حجم جریان ورودی از رودخانه به مخزن در دوره t، $R_s^g(t)$ حجم جریان ورودی از آبخوان به مخزن سد در دوره t، $E^s(t)$ حجم تبخیر از سطح مخزن در دوره t، $R_d^s(t)$ حجم تخصیص خروجی مخزن به منطقه موردنیاز در دوره t، $R_{ar}^s(t)$ حجم تخصیص خروجی از مخزن جهت تغذیه مصنوعی در دوره t ، $R_{riv}^s(t)$ حجم تخلیه مخزن به رودخانه (شامل سرریز) در دوره t، می باشند. **مدلسازی آبخوان و چاه: رابطه‌ی پیوستگی آبخوان بیانگر پیوسته بودن تغییرات احجام در مخزن آبخوان بوده و نشان دهنده‌ی عوامل تغییردهنده‌ی حجم آبخوان مورد مطالعه می‌باشد.**

$$S_g(t+1)=S_g(t)+q_{ar}(t)-q_w(t)+(q_{raq}(t)/kqv(t))+rets.fy(t)+(prc(t).seep(t).AQA/1000);\quad \forall t \quad (۲)$$

که در آن:

$$q_w(t)=R_d^g+R_s^g(t);\qquad \forall t \quad (۳)$$

$$q_{qr}(t)=R_{ar}^s(t)+DivAR(t);\forall t \quad (٤)$$

در رابطه ی فوق، $S_g(t)$ و $S_g(t+1)$ به ترتیب حجم ذخیره ی آبخوان در ابتدا و انتهای دوره ی t، $q_w(t)$ حجم آب پمپاژ شده از چاه های پمپاژ در دوره زمانی t، $q_{ar}(t)$ حجم آب تغذیه شده در چاه های تغذیه در دوره زمانی t، $q_{raq}(t)$ مقدار حجم مبادله شده بین رودخانه و آبخوان در دوره t، $kqv(t)$ ضریب تبدیل دبی

به حجم ، $rets(t)$ ضریبی است که نشان دهنده جزئی از آبرسانی است که در هر دوره t در منطقه ی نیاز در آبخوان نفوذ می کند، $fy(t)$ حجم آبرسانی به منطقه ی نیاز در دوره ی t، $prc(t)$ ارتفاع بارش در دوره زمانی t بر حسب میلی متر، $seep(t)$ ضریب نفوذ پذیری بارش در سطح دشت در دوره t، AQA مساحت گستره ی باران گیر دشت بر حسب کیلومتر مربع، $R_d^g(t)$ حجم تخصیص نیاز از آبخوان در دوره ی t، $R_s^g(t)$ حجم جریان ورودی از آبخوان به مخزن سد دردوره ی t، $R_{ar}^s(t)$ حجم تخصیص خروجی از مخزن جهت تغذیه مصنوعی در دوره ی t، $DivAR(t)$ حجم انحراف از رودخانه برای تغذیه مصنوعی در دوره t می باشند.

برای محاسبه ی نوسانات تراز آب چاه از معادلات هیدرولیکی آب های زیرزمینی ناپایا با میزان پمپاژ متغیر در نزدیکی مرز هد ثابت استفاده می شود. (مک ورتر و سانادا ۱۹۸۸)

$$S_w(t)=\frac{1}{4\pi T}\sum_{i=1}^{n}\Delta Q_i[W\left(\frac{r^2}{4a(t-t_i}\right)-W\left(\frac{r_i^2}{4a(t-t_i}\right)],t\ge t_i \qquad (۵)$$

$$a=\frac{T}{S} \qquad (۶)$$

در رابطه‌ی (۵) و (۶)، S_w میزان افت پس از پایان دوره ی n ام به متر، T قابلیت انتقال آبخوان بر حسب $\frac{m^2}{s}$، Q برآیند جریانات پمپ یا تغذیه شده، r فاصله چاه از آبخوان به متر، a قابلیت پخش هیدرولیکی آبخوان بر حسب $\frac{m^2}{s}$ که از رابطه‌ی(۶) بدست می آید، S ضریب ذخیره ی آبخوان، r_i فاصله ی چاه مجازی از آبخوان به متر می باشد. محدودیت های پمپاژ و تغذیه ی مصنوعی به شرح ذیل است:

$$q_w^{\min}(k,t)\le q_w(k,t)\le q_w^{\max}(k,t); \qquad (۷)$$

$$q_{ar}^{\min}(l,t)\le q_{qr}(l,t)\le q_{ar}^{\max}(l,t); \qquad (۸)$$

$q_w^{\max}(k,t)$ و $q_w^{\min}(k,t)$ بترتیب حدود پائین و بالای پمپاژ از چاه k در t دوره و $q_{ar}^{\min}(l,t)$ و $q_{ar}^{\max}(l,t)$ بترتیب حدود پائین و بالای تغذیه ی چاه k در t دوره می باشند که این حدود بعنوان قیودی جهت محدود نمودن مقدار پمپاژ و تغذیه ی چاه ها می باشد .

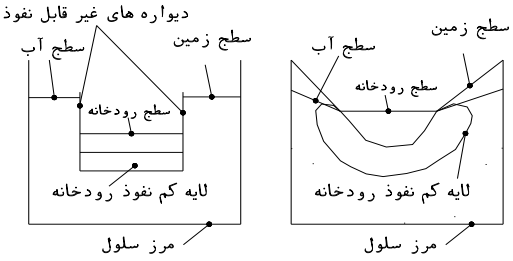
مدل سازی اندرکنش رودخانه و آبخوان: در مدل بهره برداری تلفیقی حاضر اندرکنش آبخوان و رودخانه لحاظ می‌شود که این، از جمله مزیت های این مدل به برخی مطالعات مدیریت تلفیقی منابع آب انجام شده توسط سایرین است(مک دونالدو هاربو ۱۹۹۸).

در مدل MODFIOW روابطی را برای مدلسازی عددی جریان تبادل شده بین رودخانه و آبخوان ارائه داده اند. بدین منظور آنها روابط(۹) و (۱۰) را برای تعیین دبی مبادله شده بین رودخانه و آبخوان ارائه دادند.

$$q_{raq}(t)=C_{riv}(h_{riv}^s(t)-h_{riv}^g(t)),h_{riv}^g(t)>h_{riv}^{bot} \qquad (۹)$$

$$q_{raq}(t)=C_{riv}(h_{riv}^s(t)-h_{riv}^{bot}(t)),h_{riv}^g(t)\le h_{riv}^{bot} \qquad (۱۰)$$

که در این روابط، $q_{raq}(t)$ دبی مبادله شده بین رودخانه و آبخوان در دوره‌ی زمانی t است. مقدار مثبت این متغیر نشان دهنده‌ی نشت آب از رودخانه به آبخوان و منفی آن معرف تراوش ازآبخوان به رودخانه است، C_{riv} ضریب انتقال، $h_{riv}^s(t)$ تراز آب رودخانه در دوره‌ی زمانی t، $h_{riv}^g(t)$ تراز آب آبخوان در دوره‌ی زمانی t ، $h_{riv}^{bot}(t)$ تراز کف لایه‌ی کم تراوا است.



شکل۲- ارتباط رودخانه وآبخوان ، در واقعیت (راست) و شبیه سازی(چپ)

ارزیابی هزینه: هزینه‌های سیستم شامل هزینه‌های ثابت اولیه (هزینه های ساخت) و هزینه‌های جاری(هزینه‌های بهره برداری ، تعمیر و نگهداری) می‌باشد. هزینه‌های ثابت جهت احداث سد، سیستم انتقال آب از سد به مناطق نیاز و تغذیه‌ی مصنوعی، سیستم انتقال از آبخوان به سد و بالعکس، سیستم انحراف آب رودخانه به مناطق نیاز و تغذیه مصنوعی مورد نیاز می باشند، که تابعی از ماکزیمم نرخ جریان یا ظرفیت هر یک از اجزای سیستم محاسبه می‌شوند، هزینه های جاری نیز جهت بهره برداری و نگهداری سیستم هاو همچنین توسعه و بهره برداری از چاه های پمپاژ و تغذیه می باشد. این هزینه هابه صورت تابعی از مقادیر اجزای سیستم در هر دوره ی زمانی محاسبه می‌شوند.(باشا اوقلو و مارینو ۱۹۹۹).

جدول ۲- ظرفیت انتقالات بین المان‌های مختلف سیستم و هزینه‌های آن

ردیف	ظرفیت رهاسازی (م م م) سیاست	پائیز	زمستان	بهار	تابستان	پائیز	زمستان	بهار	تابستان	مجموع	ضرائب هزینه های احداث	مجموع هزینه های احداث	ضرائب هزینه های بهره برداری	مجموع هزینه های بهره برداری
۱	سد	15.8	18.1	19.9	14.7	15.	17.9	19.9	14.2	19.9	1.5	29.85	0.05	0.995
۲	آبخوان به منطقه ی نیاز	6.3	4.8	6	9.1	5.2	408	5	7.4	47.88	3.03	25.75	0.35	32.86
۳	سد به منطقه نیاز	1.34	1.34	1.3	2.5	1	1.23	1.2	2.3	11.97	5.04	12.60	0.20	2.35
۴	رودخانه به منطقه ی نیاز	2.25	2.55	3.4	2.4	1.85	2.2	3	2.3	19.95	2.76	9.38	0.11	2.15
۵	مجموع	9.65	8.69	10.7	14.0	8.05	7.51	9.20	12.0		-	-	-	-
۶	مجموع نیاز آبی در دوره t (آب شرب شهرستان گرگان) بر حسب میلیون متر مکعب:										مجموع=	79.41	مجموع=	38.352
	تابع هدف(مجموع هزینه های احداث CONSTRUCTION-PVC و بهره برداری OMR-PVC													117.76

$$PVC = PVC(construction) + PVC(OMR) \quad (۱۱)$$

$$PVC(construction) = CD + CCD + CCAR + CD_{iv}D + CD_{iv}AR + CP \quad (۱۲)$$

$$PVC(OMR) = CW + CAR + C_{omr}CD + C_{omr}CAR + C_{omr}D_{iv}D + C_{omr}D_{iv}AR + C_{omr}P \quad (۱۳)$$

PVC: کل هزینه‌ی توسعه و بهره برداری سیستم

$PVC(construction)$: هزینه‌های ثابت و اجرایی سیستم

$PVC(OMR)$: هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری سیستم

CD و $C_{omr}D$: هزینه‌های اجرایی و بهره برداری سد

CCD و $C_{omr}CD$: هزینه‌های اجرایی و بهره‌برداری سیستم انتقال از سد به منطقه‌ی نیاز

$CCAR$ و $C_{omr}CAR$: هزینه‌های اجرایی و بهره‌برداری سیستم انتقال از سد به منطقه‌ی تغذیه‌ی مصنوعی

$CD_{iv}D$ و $C_{omr}D_{iv}D$: هزینه‌های اجرایی و بهره برداری سیستم انحراف جریان رودخانه به منطقه‌ی نیاز

CW و CAR : هزینه‌های پمپاژ و تغذیه‌ی مصنوعی

$CD_{iv}AR$ و $C_{omr}D_{iv}AR$: هزینه‌های اجرایی و بهره برداری انحراف جریان رودخانه به منطقه‌ی تغذیه مصنوعی

CP و $CO_{mr}P$: هزینه‌های اجرایی و بهره برداری سیستم انتقال از آبخوان به مخزن سد.

هزینه‌های پمپاژ از چاه تابعی از حاصلضرب دبی پمپ شده در ارتفاع مکش آب از چاه است.

بهینه سازی به روش گرادیان کاهشی تعمیم یافته

ایده اساسی این روش مانند روش برنامه‌ریزی خطی سیمپلکس که بیان کردن m (تعداد مجهولات قیود)متغیر که متغیرهای پایه (*Basic Variables*) نامیده می‌شوند، برحسب $n-m$، متغیر باقی‌مانده که متغیرهای غیر پایه (*NonBasic Variables*) نامیده می‌شوند، می‌باشد.

متغیرهای تصمیم در این روش را می‌توان به دو قسمت متغیرهای پایه X_B، و غیرپایه X_N دسته‌بندی نمود:

$$x=(x_B-x_N)^T \qquad (١٤)$$

مسئله بهینه سازی اکنون با استفاده از متغیرهای پایه و غیرپایه قابل تعریف مجدد به صورت زیر است:

$$Minimaze\ f(x_B,x_N)$$

محدود به:

$$g(x_B,x_N)=0$$
$$\underline{x_B}<x_B<\overline{x_B}$$
$$\underline{x_N}<x_N<\overline{x_N}$$

m متغیر پایه مسئله را می‌توان بر $n-m$ حسب تفسیر غیرپایه دیگر به صورت $x_B(x_N)$ تعریف کرد. دراین مبحث، فرض بر این است که قیود $g(x)=0$ دیفرانسیل‌پذیر بوده و ماتریس پایه m در B,m به صورت زیر بدست می‌آید:

$$B=\left[\frac{\partial g(x)}{\partial x_B}\right] \qquad (١٥)$$

که ماتریسی غیرتکین بوده و در نتیجه تنها یک جواب برای $x_B(x_N)$ موجود می باشد. غیرتکینی به این معناست که دترمینان ماتریس B مخالف صفر باشد.

هدف مسئله که هدف کاهش یافته (Re*duced Objective*) نامیده می شود را می توان بر حسب متغیرهای غیرپایه بصورت زیر بیان نمود:

$$F(x_N)=f(x_B(x_n),x_N) \qquad (١٦)$$

بدین ترتیب مسئله برنامه‌ریزی غیرخطی اولیه به مسئله کاهش یافته زیر تبدیل می گردد:

$$Minimaze\ F(x_N)$$

$$\underline{x_N}<x_N<\overline{x_N}$$

که با استفاده از تکنیک کمینه‌سازی نامقید با اعمال اصلاحات مختصر در مرزهای متغیرهای غیر پایه و با حل مجموعه ای از مسائل کاهش یافته از طریق تکنیک‌های کمینه‌سازی نامقید ، اقدام به تعیین جواب مسئله اولیه می‌نمایند.

بحث و نتایج

پس از اجرای برنامه و بهینه شدن مدل با رجوع به جداول ٣ و٤ می توان اثر بهینه سازی را در هزینه و ظرفیت های رهاسازی سیستم مشاهده نمود. میبینیم که هزینه‌ی کل سیستم از ١١٧/٧۶ میلیارد تومان به ١١٣/۵ میلیارد تومان تقلیل یافته با این تفاوت که در بخش انتقال از آبخوان به منطقه نیاز، هزینه ها افزایش پیدا کرده و در بخش های انتقال از سد و رودخانه به منطقه نیاز هزینه‌ها کاهش داشته است. با بهینه سازی انجام گرفته سودآوری برای سیستم بطور سالانه مبلغ ٢/١٣ میلیارد تومان می گردد.

جدول ٣- خلاصه نتایج حل مدل بهینه سازی

در ادامه به تحلیل بهینه سازی صورت گرفته با نمایش نمودارهای مقایسه ای المان ها می پردازیم.

شکل ۳- مقایسه رهاسازی آب از آبخوان به منطقه نیاز

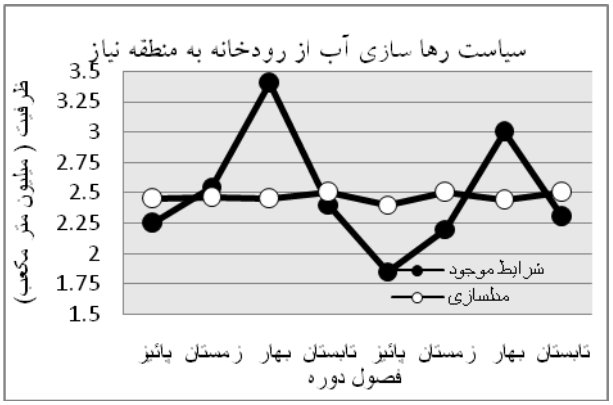
همانطور که مشاهده می گردد مقدار رهاسازی در دوره ی دوم از دوره ی اول کمتر بوده و نقش فصول گرم و سرد را در میزان رهاسازی های انجام شده می توان دید. پس از انجام بهینه سازی برنامه میزان رهاسازی را در پائیز و زمستان سال اول و سال دوم دوره کاهش داده و بالعکس در فصول گرم دوره (تابستان و بهار) این میزان را افزایش داده و در این خصوص می توان گفت در بخش هایی از نمودار که صعودی بوده برنامه مقدار رهاسازی را به صورت صعودی و در جاهایی که میزان رهاسازی به صورت نزولی بوده نرم افزار نیز رهاسازی ها را به صورت نزولی افزایش داده است به همین سبب سه قسمت از نمودارها متقاطع می باشند.

شکل ٤- مقایسه رهاسازی آب از مخزن سد به منطقه نیاز

با توجه به رهاسازی های انجام شده از مخزن سد و با در نظر گرفتن اینکه سد صرفا برای تامین نیاز آب شرب نبوده و بخش اعظم آب پشت سد برای مصارف بخش کشاورزی بوده و بخش دیگر آن برای صنعت کاربرد دارد، میزان رهاسازی ها در فصل گرم دوره بیشتر بوده ولی برنامه پس از بهینه سازی، نمودار رها سازی ها را با در نظر گرفتن ظرفیت آزادسازی آب و توان این سیستم، بصورت شیب های ملایم در آورده و بجز فصول گرم که میزان رها سازی را کاهش داده در تمامی فصول باقی مانده دوره این میزان را افزایش داده است.

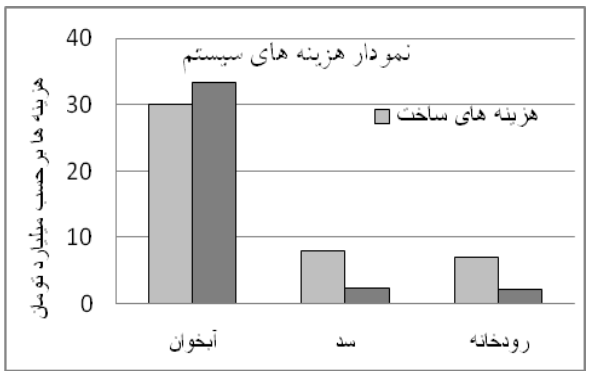
دوره	انتقال از آبخوان به نیاز		انتقال از سد به نیاز		انتقال از رودخانه به نیاز	
–	درصد میزان تغییر	حجم بهینه	درصد میزان تغییر	حجم بهینه	درصد میزان تغییر	حجم بهینه
پائیز	-5.9	5.93	14.5	1.26	8.9	2.45
زمستان	-3.3	4.64	17.9	1.58	-3.5	2.46
بهار	12.0	6.72	17.7	1.53	-27.9	2.45
تابستان	9.0	9.92	-36.8	1.58	4.2	2.5
پائیز	-13.1	4.52	14.0	1.14	29.7	2.4
زمستان	-12.3	3.58	16.3	1.43	13.6	2.5
بهار	7.2	5.36	15.8	1.39	-18.7	2.44
تابستان	7.0	7.92	-31.3	1.58	8.7	2.5

در شکل ۵ همانگونه که مشاهده می کنیم بهینه‌سازی صورت گرفته در پنج فصل افزایش و در سه فصل کاهش یافته است و نمودار بهینه سازی بصورت خیلی ملایم برای سیستم در نظر گرفته شده و این بیانگر اینست که نرم افزار از همه‌ی جهات مسئله را بررسی نموده و توان سیستم های آبرسانی را با در نظر گرفتن هزینه‌ی احداث و بهره برداری در قسمت هایی که نیاز می باشد افزایش و کاهش داده است و در نهایت مشاهده می گردد نیاز کلی سیستم تامین شده است.



شکل۵- مقایسه سیاست رهاسازی آب از مخزن رودخانه به منطقه نیاز

هزینه‌های سیستم نیز بعد از بهینه سازی طبق شکل زیر می باشند.



شکل ٦- هزینه های سیستم بعد از مدلسازی

جهت تحلیل حساسیت مدل

جدول ٤- **مجموع هزینه های احداث و بهره برداری**

قسمت مدل با تغییر در برخی پ[illegible] اجرا شده است و نتایج حاصله ارائه و مورد بررسی قرار گرفته است. تغییر توزیع نیاز سیستم: با افزایش ظرفیت

ردیف	ظرفیت (م م م) سیاست	پائیز	زمستان	بهار	تابستان	پائیز	زمستان	بهار	تابستان	پائیز	زمستان	بهار	تابستان	مجموع	ضرائب هزینه های احداث	مجموع هزینه های احداث	ضرائب هزینه های بهره برداری	مجموع هزینه های بهره برداری
1	سد	15.8	18.1	19.9	14.7	15.	17.9	19.9	14.2	19.9	17.9	19.9	14.2	19.9	1.5	29.85	0.05	0.995
2	آبخوان به منطقه نیاز	3.6	2.7	4.20	8.50	2.55	2.01	2.7	6.5	32.8	3.03	25.75	0.35	225.1				
3	سد به منطقه نیاز	3.0	3.	3.	3.	3.	3.	3.	3.	24.	5.04	15.12	0.20	4.71				
4	رودخانه به منطقه نیاز	3.0	3.	3.50	2.50	2.50	2.50	3.50	2.50	23.	2.76	9.66	0.11	2.48				
5	مجموع	9.6	8.7	10.7	14.0	8.05	7.51	9.20	12.00		-	-	-	-				
6	مجموع نیاز آبی در دوره t (آب شرب شهرستان گرگان) بر حسب میلیون متر مکعب:									79.80	مجموع=	80.38	مجموع=	233.279				
	CONSTRUCTION-PVC + OMR-PVC = 313.664 (مجموع هزینه های احداث و بهره برداری)																	

افزایش هزینه پمپاژ : با تغییرات جریان در سیستم به ازای افزایش هزینه های پمپاژ و تغذیه به میزان ده برابر مشاهده می‌شود این تغییر باعث افزایش ظرفیت انحراف از رودخانه به منطقه ی نیاز ١٦,٢ ٪ و کاهش قابل توجه پمپاژ به این منطقه ٤٣,١ ٪ گردیده است.

از طرفی تغذیه به آبخوان بدلیل افزایش هزینه‌ی آن و کاهش پمپاژ حذف شده است، به تبع این تغییرات هزینه‌های سیستم نیز تغییر نموده‌اند بنحوی که هزینه کل سیستم ٥٤,٤ ٪ افزایش یافته است.

نتیجه گیری

های آبرسانی به منطقه نیاز برای المان های سد ، رودخانه و چاه تا میزان ماکزیمم توان آبرسانی این سیستم ها مشاهده می گردد. هزینه های بهره برداری و احداث در این سیستم ها به میزان قابل توجهی افزایش یافته است، رفتار سیستم برای وضعیتی که توزیع نیاز سیستم تغییر یابد را نشان می‌دهد و چنانچه انتظار می‌رود حجم کل نیاز افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته است. سایراجزای سیستم نیز به سبب این افزایش، تغییر نموده اند.

نتایج حاصله از این مطالعه : با در نظر گرفتن تابع هدف مسئله مورد مطالعه که کمینه کردن هزینه‌های سیستم می باشد و در این خصوص جنبه مدیریت منابع آب و طراحی سیستم های آبرسانی نیز مورد بررسی قرار گرفته است، نتایج حاصله را می‌توان به دو دسته تقسیم‌بندی نمود، دسته اول نتایج اقتصادی سیستم و دسته دوم نتایجی که طی فرآیند بهینه سازی بهترین فرمان های بهره برداری محاسبه گشته و با استفاده از این سیاست ها در هر دوره میزان بهینه هر یک از خروجی ها تعیین شده و بوسیله آن اجزای سیستم طراحی می شوند عبارتند از:

هزینه های احداث و بهره برداری سیستم انتقال آب از آبخوان به منطقه نیاز حدود ۵٪ افزایش، هزینه های احداث و بهره برداری سیستم انتقال آب از سد به منطقه نیاز و سیستم انتقال از رودخانه به منطقه نیاز به ترتیب بیش از ۳۱٪ و ۲۱/۵٪ کاهش یافته است. بدین ترتیب کل هزینه‌های سیستم به میزان ۳/۵ ٪ کاهش یافته که با توجه به بودجه های مربوطه به احداث و بهره برداری از این سیستم‌ها، این مقدار، قابل ملاحظه و محسوس می‌باشد.

دسته دوم نتایج که درصد افزایش یا کاهش مقادیر برای احجام انتقالی آب بین اجزای سیستم می باشد بشرح جدول شماره ٤ می‌باشد که در بالا آورده شده است.

استفاده از مدل Excel Solver و تطابق خروجی ها با بهینه سازی اجرا شده در نرم افزار Lingo ، که همانگونه که مشاهده می‌شود تفاوت معنی‌داری در حل این مدل توسط دو برنامه به چشم نمی‌خورد و با توجه به زمان کم اجرا و کاربرپسند بودن مدل اکسل، پیشنهاد می گردد زین پس در مسائل بهینه سازی ازمدلسازی با Excel استفاده شود. جهت سنجش صحت مدل، آزمون هایی از طریق کنترل مواردی چون بالانس حجمی جریان در تمامی اجزای آن، تغییر منطقی و مورد انتظار ابعاد و خروجی های سیستم با تغییر پارامترهای ورودی، و رفتار منطقی سیستم در شرایط مختلف انجام پذیرفته است. با توجه به میزان توان آبرسانی هر المان نتایج نشان می دهد که استفاده بهینه و منطقی از سیستم های موجود تاثیر قابل ملاحظه ای در کاهش هزینه و افزایش راندمان کاری دارد.

در مسائل مورد بررسی منبع آب زیر زمینی بصورت پشتیبانی برای منابع آب سطحی عمل نموده است که این وضعیت بخصوص در دوره های متوالی خشکسالی نمود بیشتری دارد. برخلاف روال اکثر مطالعات کنونی که در آنها گرایشی به درنظر گرفتن گزینه های مختلف نمی باشد، در توسعه مدل های این مطالعه سعی شده است که کلیه گزینه های مختلف و امکانپذیر مورد توجه قرار گیرند. برنامه برخلاف وضع موجود مقادیر رهاسازی را بگونه ای انتخاب نموده که اولاً نیاز مربوط به هر فصل تامین گردد و ثانیاً توازن محسوسی بین ظرفیت آبرسانی هر المان و حجم نیاز منطقه را برقرار نموده است.

منابع

- **علی محمدی، س.(۱۳۸٤).**"طراحی و بهره برداری بهینه تلفیقی از سیستم آب های سطحی و زیر زمینی با رویکرد ذخیره سیکلی."پایان نامه دکترا، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران.٤۱۲ص.

- **قادری، ک. (۱۳۸۵) .**" بهره برداری بهینه تلفیقی از منابع آبهای سطحی و زیرزمینی دشت تهران- شهریار". رساله دکترا، دانشگاه تربیت مدرس. ۳۸٦ص.

- **مهندسین مشاور کنکاش عمران.(۱۳۸۸).** "گزارش بهنگام سازی تلفیق مطالعات منابع آب حوزه آبریز رودخانه های قره سو و گرگان". ۱۵۱ص.

- **نیکبخت،ج.(۱۳۸۵).** "مدل بهره برداری تلفیقی از آب سطحی و زیرزمینی در شرایط محدودیت کمی و کیفی آب". رساله دکترا، دانشگاه تربیت مدرس. ۳۱۰ص.

- **Afshar A, Zahraei SA, Mariño MA (2008)** "Cyclic storage design and operation optimization: hybrid GA decomposition approach". Internat Jour Civil Engrg 6(1):34–47

-**Ajay Singh & Sudhindra Nath Panda,(2013),**"Optimizationand Simulation Modelling for Managing the Problems of Water Resources,# Springer Science+Business Media Dordrecht

2013,Water Resour Manage (2013) 27:3421–3431

- **Barlow PM (1997)** ,"Dynamic models for conjunctive management of stream-aquifer systems of glaciated Northeast. PhD dissertation, Univ. of Connecticut

-**Barlow PM, AhlfeldDP, Dickerman DC (2003)**," Conjunctive- anagementmodels for sustained yield of stream-aquifer systems. J Water Resour.
Plan Manage 129(1):35–48

-**Basagaoglu, H., Mariño, M., and Shumway, R. H. _(1999)_**. "Delta-form approximating problem for a conjunctive water resources management model." Adv. Water Resour., 7_2_, 214–222.

Optimizing the conjunctive use of Surface and underground water resources and its impact on the environment (Case Study of the central city of Gorgan)

[1]Mahmoud Zakeri Nnayeri,[2]Seyed Erfan Hosseini,[3]Seyed Emad Hosseini & [4]Ataollah najafi jilani

[1]Assistant Professor, Research Center of Environmental Sciences,Islamic Azad University of Eslamshahr,
[2] Lecturer, Department of Civil, Faculty of Engineering, Islamic Azad University of Gorgan
,[3]Graduated in civil engineering graduate - Islamic Azad University of Eslamshah
, [4]Assistant Professor, Faculty of Engineering Islamic Azad University of Eslamshahr

Abstract

An integrative operating system consists of a surface water subsystem and groundwater subsystem. To satisfy water demands, these subsystems interact with each other. They will act as two parallel tanks that they can use each other's storage volume through sending the operating commands. This paper presents a simulation-optimization model for designing dimensions as a mass form whose components include periodic series.For more accurate results, water status relating to two years with eight seasons, in the first year, the amount of water was more than the second year, have also been studied. In this method, simulation method is placed in optimized model so that it forms a simulation-optimization model. The results, which were based nonliner programming, revealed that release from the dam reservoir will not necessarily be similar to non-consolidated model.
Also based on the other results, we can refer to the optimized design of model components such as dams and wells and optimal usage command.

Keywords: optimizing، conjunctive use, simulation ، ground and surface water