نشریه علمی سد و نیروگاه برق آبی
سال هفتم / شماره بیست و ششم /پاییز ۹۹

Journal of Dam and Hydroelectric PowerPlant
7th Year / No. 26 / December 2020

فرمول‌بندی و پیش‌بینی ظرفیت بهینه سد در مناطق فاقد آمار به کمک تحلیل زمانی ذخیره و تکنیک GIS (مطالعه موردی: حوضه آبریز زیارت، استان گلستان)

سید حامد شکیب[۱]
سعید فرزین*[۲]

چکیده

برآورد صحیح ظرفیت مخازن به لحاظ هزینه‌های ساخت، دارای اهمیت بوده و به فاکتورهای هیدرولوژیکی و فیزیوگرافی حوضه بستگی دارد. هدف از این مطالعه، برآورد ظرفیت بهینه سدهای مربوط به زیرحوضه‌های منطقه زیارت استان گلستان و استخراج الگوی برآورد ظرفیت مخازن دیگر نواحی فاقد آمار است. در این راستا، حوضه زیارت توسط نرم‌افزار ArcGIS به نه زیرحوضه تقسیم گردید. سپس خصوصیات فیزیوگرافیک به تفکیک زیرحوضه‌ها تعیین شد. برای مدل‌سازی تغییرات حجم، رخداد تقاضا قبل و پس از بارش و همچنین رخداد تولید قبل و پس از سرریز ازجمله حالات گوناگون محتمل، در نظر گرفته شد. تاریخچه زمانی مقادیر حجم، به‌صورت یک رابطه برحسب سایر متغیرها به دست آمد. ظرفیت بهینه با استفاده از رابطه مذکور به‌عنوان تابع هدف و قیود مربوط به هزینه، تقاضا و مازاد، برای هر زیرحوضه محاسبه شد. مقادیر محاسبه‌شده در بازه ۷۰۰ تا ۵۰۰۰ میلیون مترمکعب متغیر بوده و ارتباط معناداری بین حجم و شاخص شماره منحنی مشاهده گردید. جهت استخراج رابطه پیش‌بینی ظرفیت بهینه مخازن در مناطق فاقد آمار، پارامترهای منطقه‌ای و حجم بهینه زیرحوضه‌ها در نظر گرفته شده و با استفاده از تحلیل ابعادی و در نظر گرفتن توابع مختلف، ۶ رابطه معرفی و بررسی شد. در این روابط، ۱۲ رخداد بارش حداکثر ۲۴ ساعته برای ۴ سال متوالی (۲۰۱۲-۲۰۱۵) مورداستفاده قرار گرفت. با استفاده از ضرایب تبیین تعدیل‌شده و خطای انحراف معیار، بهینه‌ترین رابطه ارائه گردید.

واژه‌های کلیدی:

ظرفیت مخزن، بهینه‌سازی، رواناب، شماره منحنی، حوضه زیارت، حوضه‌های فاقد آمار، ArcGIS

---

۱. مربی گروه مهندسی عمران دانشگاه بزرگمهر قائنات
۲. * استادیار گروه مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان saeed.farzin@semnan.ac.ir

علمی-پژوهشی

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۴/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۲/۰۱

مقدمه

محدودیت منابع آب، تکیه‌بر آب‌های زیرزمینی، رشد بی‌رویه جمعیت و مصرف سرانه بالا، باعث بروز معضل کمبود آب در اکثر استان‌های کشور شده است. افزایش هزینه‌های استحصال و محدودیت منابع مالی، توسعه بهره‌برداری از منابع آبی جدید را محدود کرده است. بیشتر این محدودیت-ها مربوط به مناطق فاقد آمار بوده که آنالیز اقتصادی اجرای طرح‌های آبخیزداری مانند احداث سدها را با چالش روبرو می‌کند.

برآورد دقیق حجم مخزن بر اساس تغییرات دقیق زمانی متغیرهای مسئله، می‌تواند در کنار تمهیدات مدیریت سیلاب و برنامه‌های هشدار سیل، لازمه ارائه یک طرح مناسب برای احداث سد باشد. هدف اولیه جمع‌آوری آب باران در مخازن، حفاظت از ذخایر آبی قابل شرب است. آب مخازن می‌تواند برای اهداف غیر شرب مثل آبیاری زمین‌های کشاورزی در زمان‌های کم‌آبی نیز استفاده شود. از سوی دیگر، مخازن سدها به‌عنوان ابزاری جهت کنترل سیلاب و کاهش بار آلودگی آن مفید هستند (برن[1] و همکاران (۲۰۰۲)، میتچل[2] (۲۰۰۷)).

مقدار آب قابل‌دسترس یک مخزن دارای تغییرات زمانی بوده که متأثر از عواملی همچون نحوه توزیع بارش-رواناب، تقاضا و حجم مخزن است. با در نظر گرفتن عوامل اثرگذار و روش گسسته سازی زمانی، رفتار مخزن قابل مدل‌سازی است (جنکیس[3] (۱۹۷۸)، فیوکز[4] (۲۰۰۰)، لیا[5] و تسائی (۲۰۰۴)، وارد[6] و همکاران (۲۰۱۰)). این شبیه‌سازی به منظور بررسی میزان حجم بهینه برای مخازن از اهمیت بالایی برخوردار است (کاستاگیر[7] و جایاسوریا (۲۰۱۰)). بررسی اثرگذاری مجموعه‌ای از مخازن بر مدیریت انتقال آب، با تحلیل آماری امکان‌پذیر است. نکته کلیدی در این نوع تحلیل‌ها، شبیه-سازی درست یک مخزن است که نمونه‌های آن‌را می‌توان در مطالعات (فیوکز (۲۰۰۰)، لیا و تسائی (۲۰۰۴)) جستجو نمود. همچنین در دهه اخیر ایروکسوز[8] و رحمان (۲۰۱۰)، کارایی استفاده از مخازن ذخیره آب باران در ساختمان‌های چندطبقه برای سه شهر استرالیا را بررسی کردند. در مطالعه ایشان، توانایی تأمین آب این نوع ساختمان‌ها توسط مخازن با اندازه مناسب، حتی در فصول خشک به اثبات رسید. همچنین فرمولی جهت پیش‌بینی میزان آب قابل ذخیره در طول سال ارائه شد. کاستاگیر و جایاسوریا (۲۰۱۰)، به تحلیل سطح اعتماد استفاده از مخازن ذخیره خانگی پرداختند و مدلی برای میزان قابلیت استحصال روزانه آن‌ها ارائه کردند. همچنین شمارگرهای مربوط به‌اندازه بهینه مخازن به تفکیک مناطق اطراف ملبورن و با در نظر گرفتن بارش روزانه، تقاضا و مساحت بام در سطح اعتماد ۹۰ درصد، تولید گردید.

ایمتیز[9] و همکاران (۲۰۱۱)، میزان قابلیت اطمینان مربوط به مخازن باران را نسبت به پارامترهای مختلف بررسی کردند. از آن جمله می‌توان به شرایط آب و هوایی، مساحت بام‌ها، حجم مخازن ذخیره باران، میزان تقاضای مربوط به مصارف خانگی و سهم موردنظر برای مخازن در تأمین آب اشاره کرد. تحلیل‌ها بر اساس سه اقلیم متفاوت در مقدار نزولات جوی و استفاده از مقادیر بارش‌های روزانه انجام شد. درنهایت، نتایج برحسب پارامترهای دخیل در شبیه‌سازی، به‌صورت مجزا ارائه شد. کامپیسانو[10] و مودیکا (۲۰۱۲)، اندازه بهینه مخازن آب باران به منظور مصارف محلی در سیسیل ایتالیا را بررسی کردند. ایشان با استفاده از داده‌های ۱۷ ایستگاه باران‌سنجی، الگوهای بارش سالانه را ارائه دادند. بر اساس نتایج شبیه‌سازی، بکار بردن داده‌های بارش ایستگاه شهر سیسیلی و درنهایت معیار کمینه کردن هزینه-ها، اندازه بهینه مخزن ارائه شد. ماتوس[11] و همکاران (۲۰۱۳)، به تعیین اندازه بهینه مخزن برای یک ساختمان تجاری پرداختند. ایشان برای رسیدن به نتایج قابل‌قبول، سناریوهای مختلفی را بررسی کردند.

در پژوهشی دیگر، کامپیسانو[12] و مودیکا (۲۰۱۴)، با استفاده از روش تحلیل زمانی، میزان توان ذخیره و نگهداشت آب در مخازن زیرزمینی را بررسی کردند. ایشان از نتیجه مطالعه خود، یک نمونه آزمایشی خانگی را تولید کرده و بکار بردند. ریموندی[13] و بکیو (۲۰۱۴)، مخازن دو

[1] Burn
[2] Mitchell
[3] Jenkins
[4] Fewkes
[5] Liaw& Tsai
[6] Ward
[7] Khastagir
[8] Eroksuz& Rahman
[9] Imteaz
[10] Campisano& Modica
[11] Matos
[12] Campisano
[13] Raimondi& Becciu

قسمتی جمع‌آوری آب باران را موردمطالعه قرار دادند. بر اساس احتمال رخداد بارش‌ها با دوره‌های بازگشت مختلف، احتمالات مختلف چگونگی پر شدن مخزن و مصرف آب ذخیره موردبررسی قرار گرفت و درنهایت یک نمونه عملی از نتایج ارائه شد. کامپیسانو[۱] و همکاران (۲۰۱۴)، اثر استفاده از مخازن ذخیره باران در کاهش دبی اوج سیلاب در خروجی حوضه را بررسی کردند. در شبیه‌سازی مذکور داده‌های بارش و مقادیر تقاضا به‌عنوان ورودی مدل انتخاب‌شده و درنهایت اندازه مخازن و چگونگی الگوی مصرف مهم‌ترین عوامل در کاهش دبی اوج معرفی شد. مشفورد[۲] و ماهیپالا (۲۰۱۵)، میزان حجم قابل استحصال از مخازن را به روش دقیق بررسی نمودند. توابع توزیع بارش-رواناب، توزیع تقاضا و گنجایش نهایی مخزن از پارامترهای اصلی حاکم مسئله در مطالعه مذکور است. درنهایت مدلی ارائه شد که قادر به محاسبه دقیق میزان آب ذخیره‌شده و مقدار کل حجم موجود در هر گام زمانی بود. موریاما[۳] (۲۰۱۶)، هوشمند سازی مخازن زیرزمینی ذخیره باران را مطالعه کردند و از دیتاهای ذخیره جهت کنترل سیلاب و سنجش باران استفاده نمودند. نتایج تحقیقات برای نمونه‌های ۱۱۰ تنی و نمونه‌های خانگی کوچک‌تر به‌صورت عملی بکار رفت.

در مسائل بهینه‌سازی مربوط به بهره‌برداری از سد در کشور ما نیز، موسوی و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری به بهینه‌سازی دو تابع هدف بهره‌برداری و خروج رسوبات از سد پرداختند. بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن سد سفیدرود با هدف تأمین آب و رسوب‌زدایی در قالب یک مدل غیرخطی چند هدفِ فرمول‌بندی شد. نتایج مدل حاکی از عدم استفاده مفید از برخی سیلاب‌ها برای خروج رسوبات بوده که امکان افزایش راندمان تأمین آب را نیز در پی خواهد داشت. افشار و همکاران (۱۳۹۳) جهت بهره‌برداری بهینه از سد دز با هدف تأمین آب موردنیاز و تولید برقابی، چهار الگوریتم فراکاوشی را با یکدیگر مقایسه نمودند.

اکثر مطالعات گذشته، تغییرات حجم مخازن کوچک خانگی ذخیره آب را بررسی کرده و تغییرات حجم مخزن سدها کمتر مدنظر قرار گرفته است. این مسئله باعث بروز هزینه-های هنگفت ساخت سد بر مراجع اجرایی شده و در برخی موارد کمتر از ۵۰ درصد حجم تولیدشده قابل بهره‌برداری است. مسئله کمبود آب در کشور ما ایران، توجه به ساخت سد را افزایش داده است؛ بنابراین جهت کاهش هزینه‌های احداث، توجه به تغییرات زمانی حجم ذخیره متأثر از میزان تقاضا و مقدار بارندگی ضروری است. در پژوهش حاضر، به منظور پیش‌بینی ظرفیت بهینه سد در مناطق فاقد آمار، منطقه زیارت گرگان واقع در استان گلستان موردبررسی قرار گرفته است. بدین ترتیب که معادله تغییرات حجم مخازن سد با در نظر گرفتن توابع انتگرالی بارش و رواناب، تقاضا و مازاد و لحاظ شرایط مرزی برای هر یک از پارامترهای ذکرشده، به دست می‌آید. سپس جهت پیش‌بینی حجم بهینه مخازن در مناطق فاقد آمار بارش، متغیرهای بی‌بعد مسئله از ترکیب مقادیر بهینه محاسبه‌شده و فاکتورهای منطقه‌ای، تشکیل‌شده و طبق الگوهای مختلف برازش، رابطه‌ای برای هدف ذکرشده ارائه می‌گردد.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

حوضه آبریز زیارت در جنوب شهرستان گرگان بین ۵۴ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۴۵ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۵۹ دقیقه عرض شمالی در استان گلستان واقع‌شده است. این حوضه از مغرب به آبخیز شصت کلا[۴]، از مشرق به آبخیز چهارباغ، از جنوب به ارتفاعات لره کوه[۵] و از شمال به رودخانه قره‌سو محدود می-گردد. مساحت این حوضه بالغبر ۷۷/۹۱ کیلومترمربع بوده که شامل سه بخش حوضه آبخیز کوهستانی حوضه آبخیز شهری و حوزه آبخیز دشتی است. رودخانه زیارت در حوضه آبخیز کوهستانی از دو رشته رودخانه به نام‌های رود آبشار و رود تول بنه[۶] تشکیل‌شده که پس از اتصال این دو رودخانه، خاصه رود یا رودخانه زیارت تشکیل می‌شود. شکل (۱) موقعیت حوضه زیارت را نمایش می‌دهد.

استان گلستان با اینکه یکی از پربارش‌ترین استان‌های کشور است، لیکن با مشکلات مربوط به کمبود آب در زمان‌های بی‌آبی روبرو است. تحولات ناشی از استان شدن و مهاجرپذیری شهر نیز موجب شده است که روند تحولات جمعیت شهر متفاوت از گذشته باشد و درنتیجه تقاضا برای آب بیش از مقدار پیش‌بینی‌شده باشد.

تقسیم حوضه زیارت به چند زیرحوضه در GIS

---

[۱] Campisano
[2] Mashford& Maheepala
[3] Moriyama
[۴] Shatkala
[۵] Lorekooh
[۶] toolbane

روش‌های متعددی برای استخراج خصوصیات فیزیوگرافی حوضه‌ها وجود دارد که یکی از پیشرفته‌ترین روش‌های استفاده‌شده، برنامه HEC-HMS و همراه نمودن آن با ماژول HEC-Geo-HMS در محیط GIS است (مارتین[۱] و همکاران، ۲۰۰۵).

ابتدا لازم است مدل رقومی (DEM) از منطقه تهیه گردد. در این خصوص از تصاویر ماهواره‌ای Aster با ابعاد سلولی ۳۰ متر استفاده شد و درنهایت پس از موزاییک نمودن و واسنجی، مدل رقومی تولید گشت. سپس داده‌های مدل به برنامه کمکی Arc-Hydro واردشده و زیر پارامترهای فیزیوگرافیک حوضه به دست آمد. با توجه به موقعیت جغرافیایی حوضه زیارت نسبت به شهر گرگان و تأثیرگذار بودن آن در آب‌رسانی به بخش‌های مختلف روستایی و شهری، این حوضه در نرم‌افزار GIS به ۶ زیرحوضه اصلی و ۹ زیرحوضه تقسیم گردید (شکل (۱)). اهم نتایج به‌دست‌آمده در مورد مشخصات فیزیوگرافی حوضه در جدول(۱) نمایش داده شده است.

جدول (۱): مشخصات فیزیکی هر یک از زیر ناحیه‌ها

زیرحوضه	شماره منحنی	مساحت (km^2)	طول آبراهه (km)	شیب متوسط حوضه (%)
Z1	۷۶	۳۹/۷۹	۱۰/۷۰۴	۴۸/۶۵
Z2	۷۴	۱۶/۴۱	۲۹,۶	۶۴/۷۴
Z3	۷۳	۹/۰۹۶	-	۴۶/۹۷
Z4	۷۵	۱۲/۴۵	۲/۹۹	۰/۳۸
Z5	۷۳	۳/۶۱	-	۱/۵۶
Z6	۷۴	۳/۴۸	-	۴/۲۱
Z7	۷۴	۸/۰۱	۲/۳۱	۰/۲۰
Z8	۷۰	۶/۲۹	-	۲/۴۳
Z9	۶۹	۴/۷۴	-	۱/۳۱

با توجه به جدول (۱)، شماره منحنی تمام نواحی دارای مقادیر مشابه بوده و به این معناست که شاخص نفوذپذیری برای این مناطق، مشابه است.

مدل‌سازی تغییرات حجم مخزن

برای اصلاح روش‌های پیشین، هر پارامتر به‌صورت یک تابع زمانی تعریف‌شده است. $q(t)$ تابع توزیع جریان ورودی و $d(t)$ تابع توزیع تقاضا بر اساس روابط (۱) و (۲) تعریف می‌گردد.

$$Q(t) = \int_{t_{i-1}}^{t_i} q(t)dt \qquad (۱)$$

$$D(t) = \int_{t_{i-1}}^{t_i} d(t)dt \qquad (۲)$$

پارامترهای Q و D، مقادیر تجمعی جریان و تقاضا است. به‌این‌ترتیب احتیاج است تا بازه‌های زمانی تعریف و مشخصات توابع در این زیربازه‌ها تبیین گردد. با توجه به نقاطی که تابع تقاضا و بارش دارای مقادیر مساوی بوده و همچنین نقاطی که این توابع ناپیوسته هستند، بازه زمانی موردمطالعه به زیربازه‌های کوچک‌تر تبدیل‌شده و روی این نواحی دو حالت مطابق رابطه (۳)، برقرار است.

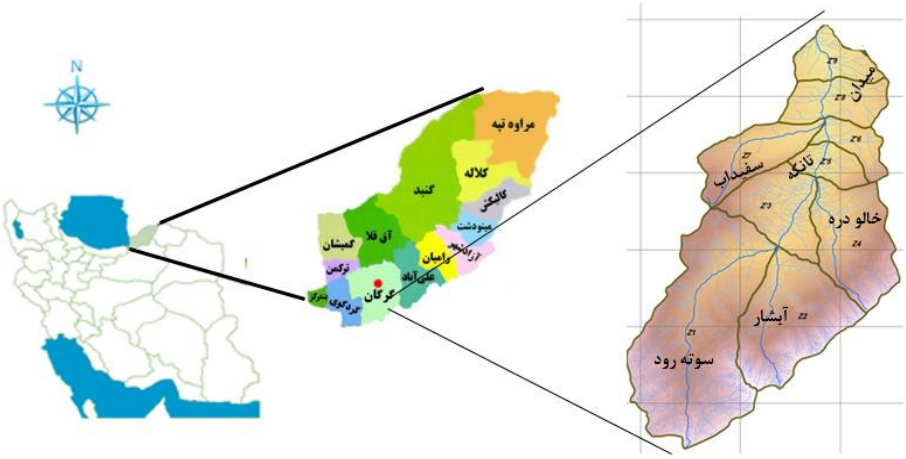
$$q(t) \geq d(t) \quad \text{or} \quad q(t) \leq d(t) \quad , \quad t \in [t_{i-1}, t_i] \qquad (۳)$$

مجموعه این نقاط ناپیوستگی و نقاط انتهایی زیربازه‌ها، کل بازه زمانی موردمطالعه را تشکیل می‌دهد. برای مدل‌سازی دقیق تغییر حجم، رخداد تقاضا قبل از بارش (DBR) و تقاضا پس از بارش (DAR) و همچنین رخداد تولید قبل از سرریز (YBS) و پس از سرریز (YAS) ازجمله حالات گوناگون محتمل، در نظر گرفته شد. متغیرها مقادیر حجم در هرلحظه به‌صورت رابطه (۴) برحسب سایر به دست آمد. شکل (۲) این حالات را در کنار شرایط مرزی نمایش می‌دهد.

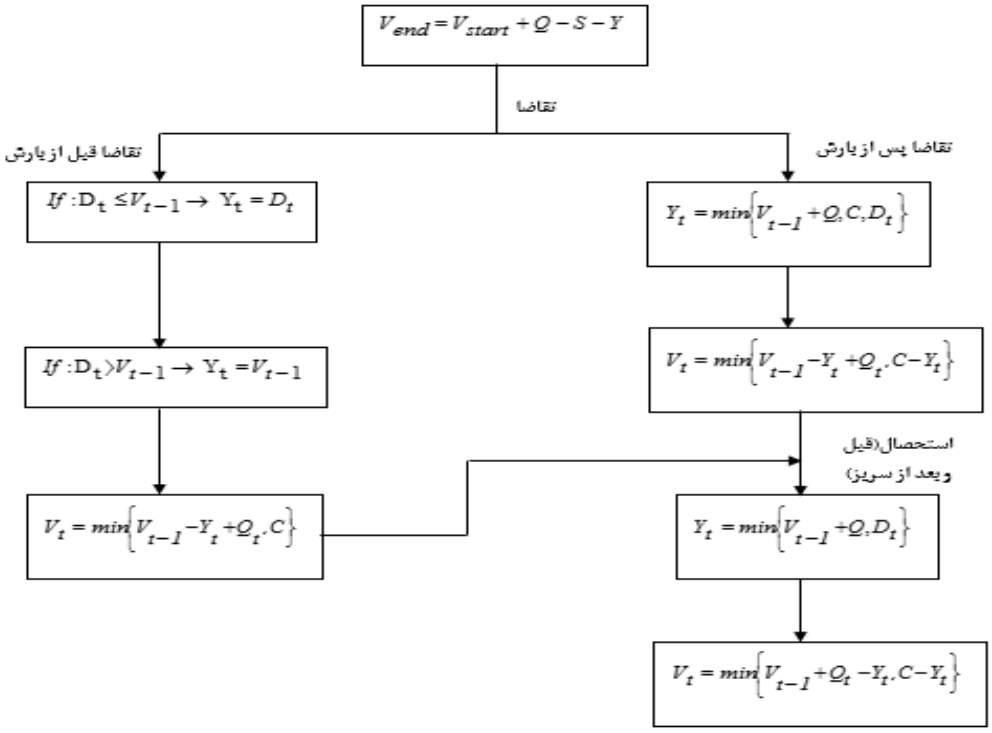
$$V_t = V_a + \int_{T_a}^{t} q(t)dt - S(t) - Y(t) \qquad (۴)$$

که در آن s(t) تابع مازاد، Y(t) تابع استحصال، V_a حجم اولیه مخزن و V_t تابع ذخیره است.

[۱] Martin



شکل (۱): نقشه موقعیت حوضه زیارت در استان گلستان



شکل (۲): نمایش مراحل اجرای کد استخراج حجم بهینه بدون در نظر گرفتن تغییرات پیوسته زمانی.

توابع زمانی مربوط به متغیرها

پس از تنظیم قوانین کلی (شکل(۲))، لازم است توابع زمانی مربوط به متغیرها، تعریف شوند. شکل این توابع با توجه به آمار مشخصات زمانی مصرف (تقاضا)، بارش و نمایه نفوذ قابل‌استخراج است. در این مطالعه، از هایتوگراف بارش در طول هرسال (شکل(۳)) و هیدروگراف‌های مشاهداتی (شکل (۴)) و همچنین میانگین مصرف روزانه (۲۰۰ لیتر بر نفر-روز) استفاده شده است.

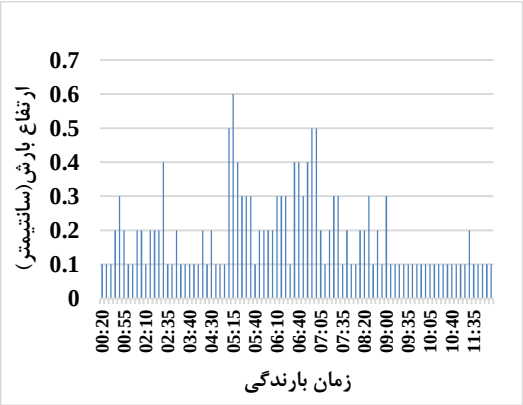
تعریف تابع مخزن

در تحقیق حاضر، شرایط مرزی اختصاصی و در نظر گرفتن تغییرات زمانی حجم نسبت به متغیرهای مسئله، تابع مخزن را به دست می‌دهد. پارامترهای مورداستفاده در این بخش شامل مازاد S، قابلیت اطمینان Re، حجم اولیه C، ارتفاع بارش R و حجم لحظه‌ای مخزن V، بوده که متغیرهای مربوط به تابع مخزن هستند. شکل کلی این تابع، مطابق رابطه (۴) است. قابلیت اعتبار مخزن عبارت است از احتمال

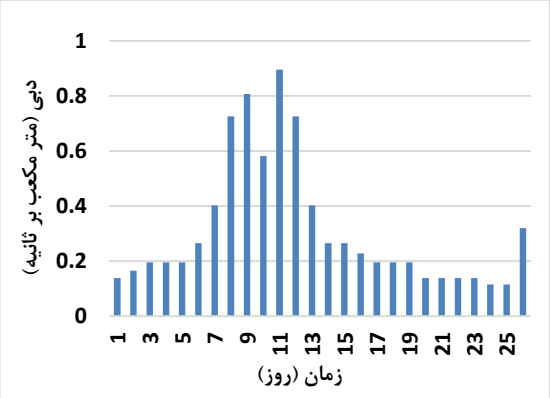
اینکه مخزن آب کافی برای تقاضا داشته باشد و مطابق رابطه (۵) محاسبه می‌شود.

$$\mathrm{Re} = \frac{P}{N} \times 100 \qquad (۵)$$

Re اعتبار مخزن خالی نشده برحسب درصد است،P مقدار روزهایی که مخزن خالی نیست و N کل روزهای ماه است.



شکل (۳): هایتوگراف[1] نمونه ورودی به مدل



شکل (۴): هیدروگراف نمونه ورودی به مخزن

با استفاده از آمار بارندگی، تابع رواناب ورودی طبق نمونه-های ارائه‌شده در شکل‌های (۳) و (۴) جایگزین متغیر q در تابع مخزن می‌گردد. سپس کد مربوط به جواب نهایی این تابع در کنار سایر شرایط مرزی اختصاصی بر اساس شکل (۵) اجرا می‌شود. همچنین با فرض توابع منطقه‌ای تقاضا و در نظر گرفتن حالات محتمل ذخیره، مقدار حجم لحظه‌ای مخزن برای هر بارش به دست می‌آید.

تعریف تابع هدف و مسئله بهینه‌سازی

بهینه‌یابی مقدار تابع چند متغیره مخزن، تحت شرایط متنوع حاکم بر مسئله به‌عنوان قیود، در روابط (۶) تا (۱۱) ارائه‌شده است. کد اصلی به‌گونه‌ای تنظیم می‌گردد که ابتدا حجم اولیه به‌صورت یک فرض به برنامه داده‌شده و سپس با در نظر گرفتن توابع هدف و قیود ذکرشده، محاسبات تکرار شود. محاسبات تا جایی ادامه می‌یابد که حجم بهینه به دست آید. نتایج به نحوی است که تابع مازاد، کمینه و تابع تولید جریان، بیشینه شود.

$$V_t = V_0 + \int_{T_0}^{t} Q(t)dt - \int_{T_0}^{t} y(t)dt - \int_{T_0}^{t} S(t)dt \rightarrow Max \qquad (۶)$$

$$V_t \geq 0.2V_c \rightarrow \mathrm{Re} = 0.2 \qquad (۷)$$

$$Cost(V) \rightarrow Min \qquad (۸)$$

$$\int Y(t)dt \rightarrow Max \qquad (۹)$$

$$\int S(t)dt \rightarrow Min, \geq 0 \qquad (۱۰)$$

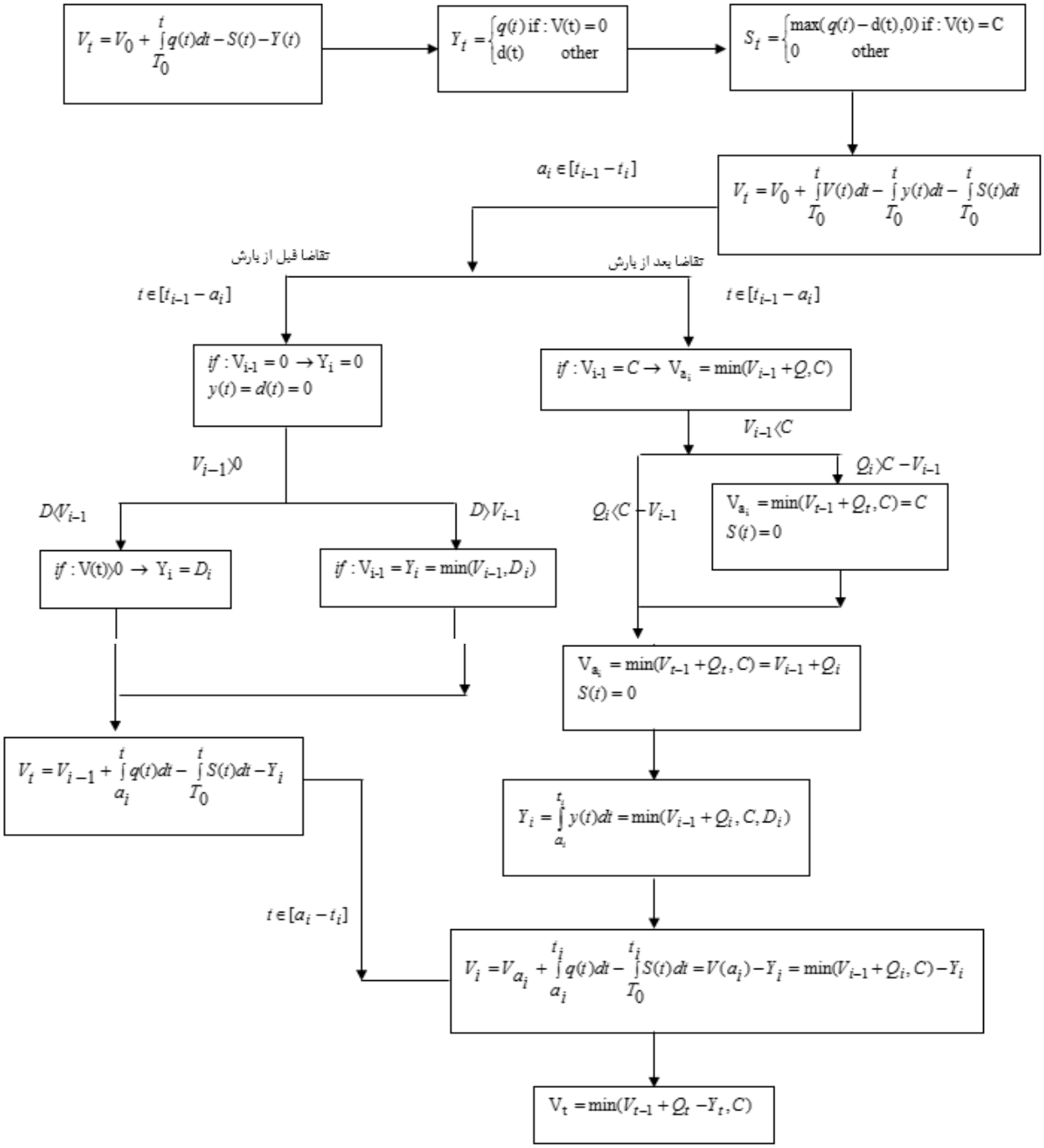
رابطه (۶)، مقدار تغییرات لحظه‌ای حجم مخزن را ارائه می‌دهد. در رابطه (۷)، حداقل ذخیره به ۲۰ درصد حجم کل محدودشده است. این بدان سبب است که حتی‌المقدور مواد ته‌نشین شونده وارد سیستم انتقال آب نگردند. رابطه (۸) گویای این واقعیت است که بین تابع عرضه (V) و تقاضا تابع (Y)، یک نقطه تقاطع وجود دارد که همان مقدار بهینه توابع مذکور است. البته این مقدار بهینه واقعی نیست چراکه دیگر قیود مسئله در آن مشارکت نداشته‌اند. رابطه (۹) جهت اجرای درست کد ارائه‌شده و نتیجه‌ای از تابع هدف است. تابع هزینه در رابطه (۱۰) نیز متأثر از چندین متغیر ازجمله کلیه هزینه‌های مربوط به ساخت سد و شبکه پمپاژ مربوطه، صرفه‌جویی‌هایی مانند برقابی و پرورش ماهی است.

طبق مطالعات سینگال[2] و ساینی (۲۰۰۸)، تابع هزینه را می‌توان برحسب هد توربین P و میزان توان برقابی H، طبق رابطه (۱۱) بیان کرد.

$$\begin{aligned} cost(H,P) &= 14382P^{-0.236}H^{-0.059} \\ &+4906P^{-0.372}H^{0.386} \\ &+62246P^{-0.235}H^{-0.058} \\ &+28164P^{-0.376}H^{-0.624} \end{aligned} \qquad (۱۱)$$

---

[1] hyetograph
[2] singa& Saini



شکل (۵): مراحل محاسبه حجم بهینه مخزن بر اساس توزیع زمانی بارش، ضریب رواناب و دبی مربوطه، ضابطه زمانی مصرف و شرایط اولیه مخزن.

نتایج و بحث

حوضه زیارت دارای ۶ زیرحوضه اصلی به نام‌های سوته‌رود (Z1)، آبشار (Z2)، تانکه (Z3، Z5 و Z6)، خالو دره (Z4)، سفیدآب (Z7) و میدان (Z8، Z9 و Z10) است. به دلیل تغییرات شیب زیاد در برخی از زیرحوضه‌ها و به جهت افزایش دقت محاسبات، درنهایت ۹ ناحیه بررسی گردید. کد حاصل از قیود و تابع هدف برای یک دوره بارش در دو سال متوالی (سال ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶)، متشکل از تمام رخدادهای

بارندگی سال مذکور، بارگذاری شده است. نتایج عملیات در اشکال (۶) تا (۹) ارائه شده است.

در این شکل‌ها برای هر یک از زیرحوضه‌های موردمطالعه آمار مربوط به بارش، رواناب و شاخص‌های جمعیت و مصرف به برنامه واردشده و برنامه پس از دریافت یک جواب اولیه (حجم اولیه) از کاربر، به جستجوی بهترین جواب می‌پردازد. تغییرات میزان آب مخزن برای هرسال نمایش داده شده است. در دو شکل (۶) و (۷)، قید مربوط به حداقل حجم اعمال‌شده و درنتیجه مقادیر مازاد نیز افزایش داشته است. در این حالت میزان حداقل حجم مخزن، ۲۰ درصد حجم کل در نظر گرفته‌شده برای حجم اولیه است. در اشکال (۸) و (۹)، نتایج آنالیز تغییرات حجم مخزن با در نظر گرفتن اثر قیود مشارکت‌کننده (به‌جز حجم اولیه) در مسئله بهینه-سازی، نمایش داده شده است. نتیجه آنکه با کاهش حجم اولیه، نوسانات سطح مخزن دارای افت‌وخیز بیشتری است. همچنین اگر مقدار کل تقاضا از میزان کل بارش قابل ذخیره بیشتر باشد، اندازه بهینه حجم، میزان کل بارش خواهد بود. در تمامی اشکال، مقادیر ماکزیمم و مینیمم‌های محلی بسیاری زیاد است. این مقادیر اساس تعیین حجم بهینه برای هر مخزن است.

در شکل (۶)، میانگین نقاط ماکزیمم ۲۱۱۲ میلیون مترمکعب برای سال ۲۰۱۵ و برای سال ۲۰۱۶ این عدد ۲۰۲۴ است. در شکل (۷)، مقادیر ماکزیمم به‌ترتیب برابر ۵۸۶ و ۶۱۳ میلیون مترمکعب است. برای اشکال (۸) و (۹) این مقادیر به ترتیب برابر ۱۲۴۱، ۱۳۱۰، ۲۰۶۱ و ۲۲۵۱ میلیون مترمکعب محاسبه شده است. لازم به ذکر است که بر اساس تحقیقات کاستاگیر (۲۰۱۰)، میزان قابلیت اطمینان برای مخازن سد در ماه‌های مرطوب و خشک و برای مناطق مختلف متفاوت است. در این تحقیق بر اساس منطقه موردمطالعه، عدد ۸۰ درصد در نظر گرفته شد.

شاخص تعیین حجم بهینه که در بدنه کد مدنظر قرار گرفته است، میانگین ماهانه مقادیر حداکثر است. بر این اساس، مقادیر حجم بهینه اعداد کارآمدتری خواهند بود که جدول (۲) نتیجه این قید را منعکس می‌کند. درنهایت چنین استنباط می‌شود که جواب‌های مربوط به دو سال پیاپی، اختلاف چندانی نداشته و نتایج به‌دست‌آمده می‌تواند به‌عنوان معیار طراحی مدنظر قرار گیرد.

نتایج نهایی حجم بهینه برای زیرحوضه‌های نه‌گانه به همراه سایر پارامترهای مورداستفاده در مدل‌سازی در جدول (۲) ارائه‌شده است. ستون اول نام هر زیرحوضه تحت مطالعه و ستون دوم حجم بهینه مخازن قابل احداث متناظر را نشان می‌دهد. مقادیر حجم بهینه به‌دست‌آمده از ۷۰۰ تا ۵۰۰۰ میلیون مترمکعب در بین زیرحوضه‌ها متغیر بوده و ارتباط معناداری بین حجم و شاخص شماره منحنی مشاهده می‌گردد. برای نمونه مناطق Z6 و Z7، Z8 و Z9، Z3 و Z5 دارای مقادیر حجم و شماره منحنی مساوی هستند. همچنین شاخص جمعیت برای هر منطقه در ستون سوم نمایش داده شده است. ستون آخر حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته را نمایش می‌دهد که این مقادیر برای استخراج رابطه حجم بهینه مناطق فاقد آمار در بخش بعد مورداستفاده قرار خواهد گرفت.

جهت مدل‌سازی یک پدیده لازم است، تمام پارامترهای مؤثر شناسایی‌شده و توسط روش‌های مرسوم به مجموعه‌ای از فاکتورهای بدون بعد تبدیل گردند. در این فرآیند، شکل درست ضابطه مرتبط کننده پارامترهای مذکور باید بر اساس تجربه و آمار و آزمون‌های آماری تعیین گردد. در مطالعه حاضر، با تعریف اعداد بی‌بعد طبق جدول (۳) و برقرار کردن یک رابطه بین π ها می‌توان رابطه مربوط به پیش‌بینی حجم مخزن را به دست آورد.

پارامترهایی که برای تعیین اعداد بی‌بعد مطابق جدول (۳) در نظر گرفته شد عبارت‌اند از ظرفیت بهینه مخزن C، میزان تقاضای آب سالانه D، مساحت هر زیرحوضه A_i، مقدار بارش R، درجه اطمینان ذخیره Re، طول آبراهه L، شیب متوسط هر زیرحوضه S و شماره منحنی هر زیرحوضه CN.

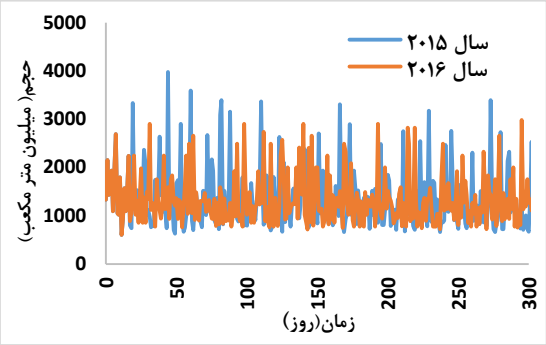
در این تحقیق، جهت برقراری رابطه بین اعداد بی‌بعد، از برازش ترکیب سه نوع تابع‌نمایی، چندجمله‌ای و سینوسی استفاده شد. مقادیر حجم بهینه برای محاسبه عدد بی‌بعد π_4 در طی ۱۲ رخداد بارش حداکثر ۲۴ ساعته برای ۴ سال متوالی ۲۰۱۲ الی ۲۰۱۵، استفاده و نتایج ۴ رخداد بارش برای نمونه در جدول (۴) آمده است.

در ادامه، مقادیر بارش برای محاسبه عدد π_5 طبق جدول (۵) مورداستفاده قرار گرفته است. مقادیر بی‌بعد به‌دست‌آمده از جداول (۴) و (۵) به تفکیک نواحی نه‌گانه بوده که درمجموع شش زیرحوضه زیارت را تشکیل می‌دهند. علاوه بر موارد اشاره‌شده، سایر پارامترهای بی‌بعد به ازای هر زیر ناحیه، مقادیر منحصربه‌فردی را دارا هستند.

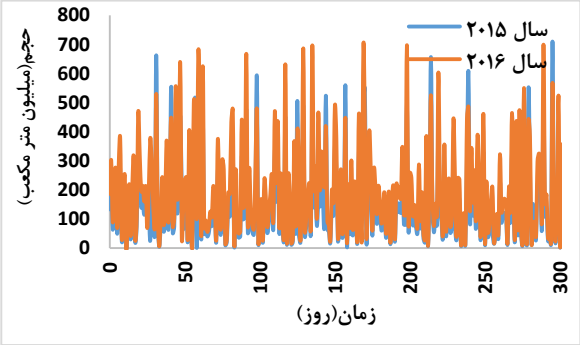
با توجه به پتانسیل آبی استان گلستان که نزدیک ۹ ماه از سال را بارش دارد، استخراج الگوی رفتاری تمامی پارامترها لازم است. به همین دلیل، با تعریف اعداد بی‌بعد حاصل از تمامی متغیرهای حاکم و برقرار کردن یک رابطه بین π ها

می‌توان رابطه مربوط به پیش‌بینی حجم مخزن را به دست آورد.

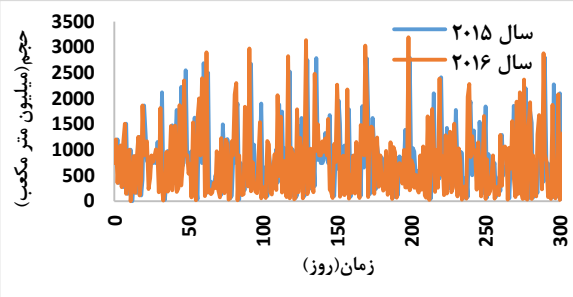
شماره منحنی از مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر روی رواناب است. در این تحقیق به‌جای در نظر گرفتن مقدار رواناب، شماره منحنی بکار گرفته‌شده است. رابطه کلی بین پارامترهای منطقه‌ای و حجم بهینه (به‌عنوان متغیر وابسته) از ترکیب روابط سینوسی، چندجمله‌ای خطی و نمایی و با در نظر گرفتن ۸ زیر ناحیه به‌صورت تصادفی به دست می‌آید.



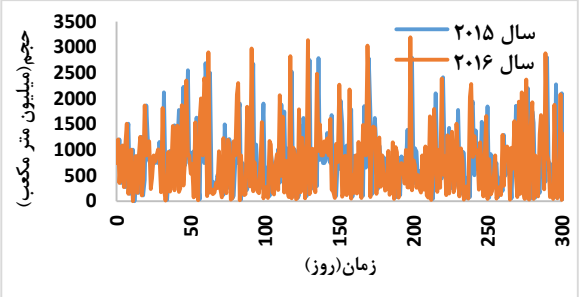
شکل (۶): نمودار تغییرات حجم مخزن زیرحوضه آبشار



شکل (۷): نمودار تغییرات حجم مخزن زیرحوضه سوته‌رود



شکل (۸): نمودار تغییرات حجم مخزن زیرحوضه سفیدآب



شکل (۹): نمودار تغییرات حجم مخزن زیرحوضه تانکه

جدول(۲): مقادیر حجم بهینه مربوط به هر زیر ناحیه

	زیرحوضه	حجم بهینه	شاخص جمعیت	حداکثر بارش ۲۴ ساعته میانگین
	Z1	۷۰۰	۲۳۸۵	۵
	Z2	۲۰۰۰	۵۶۱۰	۹/۵
	Z3	۱۸۰۰	۱۴۷۰	۵/۷
	Z4	۳۰۰۰	۴۲۰۰	۶/۳
	Z5	۱۸۰۰	۲۸۰۰	۸/۱
	Z6	۴۰۰۰	۶۳۰۰	۷/۹
	Z7	۴۰۰۰	۳۶۰۰	۷/۲
	Z8	۵۰۰۰	۴۴۵۰	۸/۶
	Z9	۵۰۰۰	۵۱۵۰	۶/۹

جدول(۳): اعداد بی‌بعد به‌دست‌آمده از روش π - باکینگهام

پارامترهای بی‌بعد	CN	S	Re	C/L^3	R/L	A/L^2
π_i	π_1	π_2	π_3	π_4	π_5	π_6

درنهایت، رابطه‌ای با عدم مشارکت ناحیه ۵، به‌صورت رابطه (۱۲) معرفی می‌شود.

$$\pi_4 = a_1 \Pi(\pi_i^{b_i}) + a_2 e^{\Pi(\pi_i^{c_i})} + a_3 \sin(\Pi(\pi_i^{d_i} + a_5) \qquad (۱۲)$$

اندیس i، معرف شماره اعداد بی‌بعد (از ۱ تا ۹ به‌جز ۴ و ۵) بوده که برای هر منطقه در یکدیگر ضرب شده‌اند. ضرایب a_1, a_2, a_3 و توان‌های b_i, c_i, d_i مجهول معادلات هستند. برای هر منطقه ۱۲ رخداد بارش و درنتیجه برای هر عدد بی‌بعد، ۱۲ حالت تولید می‌گردد. همچنین هشت ناحیه مجزا نیز وجود دارد که مجموعاً ۹۶ معادله قابل‌تولید است. رابطه کلی (۱۲) ترکیبی از سه جمله است. این سه جمله به‌صورت مجزا در روابط (۱۳) الی (۱۵) بیان‌شده و ضرایب مجهول برای هر یک محاسبه‌شده است. درمجموع ۶ رابطه مختلف قابل‌بررسی است. مقایسه این روابط در جدول (۶) به کمک ضرایب تبیین تعدیل‌شده و خطای انحراف معیار انجام‌گرفته است. این کار در قالب دو بخش آموزش و آزمایش صورت پذیرفته است.

$$\pi_4 = 0.0699\Pi(\pi_i^{1.123,0.156,0.267,0.987,1.005}) \quad (۱۳)$$

$$\pi_4 = 2.566\, e^{\Pi(0.404,0.819,0.076,2.143,0.598)} \quad (۱۴)$$

$$\pi_4 = 3.778\sin\ (\Pi(0.961,\ 1.987,\ 0.025,\ 1.167,\ 0.256) + 2.921\ ) \quad (۱۵)$$

جدول (۴): مقادیر مربوط به π_4 با در نظر گرفتن حجم بهینه مخزن در هر رخداد حداکثر بارش.

زیرحوضه/ سال	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۲۰۱۲	۱۰۸/۳۳	۱۱۸/۸۳	۱۱۸/۱۸	۱۴۰/۰۵	۱۱۲/۰۶	۶۷/۷	۱۰۸/۹	۱۱۹/۵	۱۰۹/۵
۲۰۱۳	۲۶۵	۲۹۰/۶	۲۸۹/۰۹	۳۴۲/۶۷	۲۷۴/۱۳	۱۶۵/۵	۲۶۶/۵	۲۹۲/۳	۲۶۷/۹
۲۰۱۴	۱۷۳/۸۳	۱۹۰/۶۷	۱۸۹/۶۳	۲۲۴/۷۸	۱۷۹/۸۲	۱۰۸/۶	۱۷۴/۸	۱۹۱/۷	۱۷۵/۷
۲۰۱۵	۳۹۱/۶۶	۴۲۹/۶۱	۴۷۲/۷۳	۵۰۶/۴۶	۴۰۵/۱۷	۲۴۴/۶	۳۹۳/۸	۴۳۲	۳۹۶

جدول (۵): مقادیر π_5 بر اساس حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته.

زیرحوضه/ سال	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۲۰۱۲	۱/۱۲	۳/۰۱	۳/۴۲	۲/۴۰	۲/۵۵	۰/۹۲	۱/۲۸	۲/۱۱	۰/۳۲
۲۰۱۳	۰/۸۲	۲/۱۳	۲/۳۷	۱/۹۲	۱/۸۳	۰/۹۹	۰/۹۱	۱/۷۲	۰/۴۰
۲۰۱۴	۰/۷۹	۲/۱۲	۲/۴۴	۱/۷۰	۱/۸۰	۰/۶۹	۰/۹۱	۱/۴۸	۰/۲۴
۲۰۱۵	۰/۷۹	۱/۸۷	۳/۱۲	۲/۲۷	۱/۱۹	۰/۸۴	۰/۸۷	۲/۵۸	۰/۵۶

جهت تعیین رابطه بهینه، کل داده‌های به‌دست‌آمده از محاسبات اعداد بی‌بعد، به دو بخش تقسیم‌شده است. بخش اول برای اجرای آموزش و بخش دوم به هدف آزمایش روابط ایجاد می‌گردد. برای داده‌های مربوط به هر بخش، ضرایب تبیین و خطای انحراف معیار برای هر نوع تابع به‌دست‌آمده است. درصد نشان داده شده توسط
ضریب تبیین تعدیل‌شده فقط حاصل از تأثیر واقعی متغیرهای مستقل مدل بر متغیرهای وابسته است.
ستون دوم و سوم جدول (۶)، بررسی ضریب تبیین تعدیل‌یافته برای دو گروه آموزش و آزمایش را نشان می‌دهد که تطابق مناسبی بین اعداد هم سطر ملاحظه می¬گردد. از بین روابط تک‌جمله‌ای بهترین ضریب تبیین مقدار ۰/۳۱ رادار است که برای روابط دوجمله‌ای این مقدار ۰/۳۰۵ است.

همچنین ستون‌های چهارم و پنجم جدول (۶) به مقادیر انحراف معیار استاندارد مراحل آموزش و آزمایش اشاره دارد. اختلاف مقادیر انحراف معیار مراحل آموزش و آزمایش، در سطرهای یک، دو و شش قابل‌قبول بوده که بهترین آن ۸/۵۲ در بخش آموزش و ۹/۶۳ در بخش آزمایش است. جمع‌بندی نتایج برای هر دو شاخص نشان می‌دهد که بهترین رابطه مربوط به سطرهای سوم و ششم بوده و به‌دلیل اختلاف بسیار کمتر شاخص انحراف معیار در سطر ۶، رابطه بهینه جهت تعیین حجم مخازن در مناطق فاقد آمار به‌صورت رابطه (۱۶) پیشنهاد می‌شود.

$$\pi_4 = 1.011\ \Pi(\pi_i^{0.923,0.845,1.667,0.922,0.599}) + 1.981 e^{\Pi\ (\pi_i^{0.625,0.977,0.852,2.222,1.098})} \quad (۱۶)$$

جدول (۶): معادلات پیشنهادی جهت شبیه‌سازی تغییرات حجم سد و ارزیابی عملکرد آن در بخش آموزش و آزمایش

	شماره معادله مورداستفاده در ترکیب	ضریب تبیین تعدیل‌یافته		خطای انحراف معیار استاندارد	
		آموزش	آزمایش	آموزش	آزمایش
	۱۳	۰/۱۲۳	۰/۱۱۵	۹/۳۵۵	۱۰/۷۶
	۱۴	۰/۲۴۷	۰/۲۳۹	۷/۷۶۳	۹/۹۱
	۱۵	۰/۳۱	۰/۲۹۲	۶/۹۸۰	۱۰/۱۲
	۱۳-۱۴	۰/۱۷۸	۰/۱۴۷	۷/۴۹۱	۱۰/۵۲
	۱۳-۱۵	۰/۲۶۲	۰/۲۶۱	۷/۱۰۵	۱۰/۱۰
	۱۴-۱۵	۰/۳۰۵	۰/۲۷۸	۸/۵۲۳	۹/۶۳

مشابه رابطه (۱۶)، هشت رابطه دیگر موردبررسی قرار گرفته است. بدین ترتیب که برای هر رابطه، یک ناحیه مشارکت نیافته وجود دارد که توسط همان رابطه مقدار حجم بهینه آن پیش‌بینی می‌گردد. درنهایت از بین ۹ رابطه، معادله‌ای که کمترین خطا را در پیش‌بینی ناحیه مشارکت نیافته مربوط به خود داشته باشد، به‌عنوان معادله نهایی ارائه گردیده است. جدول (۷) نتایج مربوط به مقایسه بین مقادیر اصلی و پیش‌بینی‌شده را ارائه می‌دهد.

جدول (۷): مقایسه میزان دقت روابط پیش‌بینی حجم بهینه مخزن

ناحیه مشارکت نیافته	حجم بهینه مخزن حاصل از رابطه دقیق	حجم بهینه پیش‌بینی‌شده توسط رابطه ۱۱	درصد خطای پیش‌بینی
Z1	۷۰۰	۸۱۲	۱۶
Z2	۲۰۰۰	۲۰۷۰	۳/۵
Z3	۱۸۰۰	۱۹۳۷	۷/۶
Z4	۳۰۰۰	۲۸۹۲	۳/۶
Z5	۱۸۰۰	۱۷۵۰	۲/۷
Z6	۴۰۰۰	۳۸۰۳	۴/۸
Z7	۴۰۰۰	۳۸۱۵	۵
Z8	۵۰۰۰	۵۱۹۲	۳/۸
Z9	۵۰۰۰	۵۱۹۲	۳/۸

با توجه به مقادیر ستون چهارم جدول (۷)، رابطه حاصل از حذف ناحیه ۵، خطایی در حدود ۲/۷ درصد در برآو د حجم بهینه مخزن در آن ناحیه را دارا است؛ بنابراین رابطه مذکور دارای دقت مناسبی است. همچنین دقت برآورد روابط مربوط به نواحی ۲، ۴، ۸ و ۹ نیز قابل‌قبول و خطای آن در بازه ۳/۶ الی ۳/۸ درصد است.

منطقه موردبررسی جزو مناطق پر بارش محسوب شده و شاید این سؤال مطرح شود که آیا رابطه حاصل، قابلیت پیش‌بینی حجم بهینه در مناطق بدون آمار با بارش کم را خواهد داشت؟ با توجه به ناحیه ۱ جدول (۷)، می‌توان چنین بیان داشت که به‌دلیل آنکه ناحیه مذکور دارای بارندگی کم (با میانگین حدود ۵ سانتیمتر در ماه) است و همچنین خصوصیات دیگر آن مانند شیب ۴۸/۶۵٪، طول ۱۰/۷ کیلومتر، مساحت ۳۲/۷۹ کیلومترمربع و شماره منحنی ۷۶، متفاوت با سایر مناطق است، دارای خطای پیش‌بینی بالا و در حد ۱۶٪ است؛ بنابراین رابطه پیشنهادی در پژوهش حاضر، برای مناطق فاقد آمار مرطوب، بسیار دقیق بوده ولی برای مناطق فاقد آمار خشک، دارای دقت کمتری است.

نتیجه‌گیری

رواناب ناشی از بارندگی می‌تواند در مخازن سد جهت تأمین آب مناطق مختلف دارای جمعیت مورداستفاده قرار گیرد. بین هزینه ساخت این مخازن و حجم آن‌ها ارتباط مستقیمی وجود دارد؛ بنابراین انتخاب حجمی بهینه به‌گونه‌ای که دارای حداکثر پاسخگویی به تقاضای آب، کمترین هدر رفت آب، بیشترین کیفیت، ظاهر زیبا مطابق اصول گردشگری و کمترین هزینه ساخت باشد، دارای اهمیت ویژه‌ای است. هدف از مطالعه حاضر، ارائه حجم بهینه سدهای مربوط به زیرحوضه‌های منطقه زیارت استان گلستان و ارائه روشی جهت برآورد حجم مخازن دیگر نواحی مشابه فاقد آمار است. در این راستا مدلی از حوضه در نرم‌افزار GIS تهیه شد و حوضه زیارت به ۹ زیرحوضه تقسیم گردید و با استفاده از TIN، نقشه DEM حوضه تهیه گردید. از DEM حوضه، خصوصیات فیزیوگرافیک موردنیاز مانند شیب متوسط وزنی، ارتفاع متوسط وزنی، مساحت، محیط و شماره منحنی به تفکیک زیرحوضه‌ها تعیین شد. برای مدل‌سازی دقیق تغییر حجم تغییرات بارش و رواناب، تقاضا و مازاد به‌صورت دقیق در نظر گرفته‌شده و رخدادهای تقاضا قبل از بارش و تقاضا پس از بارش و همچنین رخداد تولید قبل از سرریز و پس از سرریز ازجمله حالات گوناگون محتمل، موردتوجه قرار گرفت. هر پارامتر به‌صورت یک تابع زمانی تعریف شد.

تاریخچه زمانی مقادیر حجم در رابطه (۴) برحسب سایر متغیرها به دست آمد. بازه‌های زمانی به‌صورت روزانه برای ورود داده‌ها به مدل مذکور انتخاب گردید. درنهایت حجم بهینه با استفاده از رابطه مذکور به‌عنوان تابع هدف و قیود مربوط به هزینه، مصرف و سرریز، برای هر زیرحوضه محاسبه شد. مقادیر به‌دست‌آمده از ۷۰۰ تا ۵۰۰۰ میلیون مترمکعب متغیر بوده و ارتباط معناداری بین حجم و شاخص شماره منحنی مشاهده گردید. برای نمونه مناطق Z6 و Z7، Z8 و Z9، Z3 و Z5 دارای مقادیر حجم و شماره منحنی مساوی بودند. مقادیر حجم بهینه برای محاسبه عدد بی‌بعد π_4 در طی ۱۲ رخداد بارش حداکثر ۲۴ ساعته طی سال‌های ۲۰۱۲ الی ۲۰۱۵، استفاده شد. ۹۶ معادله به‌همراه مجهولات مربوط به ضرایب و توان‌های اعداد بی‌بعد تولید شد. با در نظر گرفتن توابع برازش سینوسی، نمایی و چندجمله‌ای خطی و همچنین تمامی ترکیبات توابع مذکور، ۶ رابطه مختلف بررسی شد. جهت تعیین دقیق‌ترین رابطه از بین ۶ رابطه موجود، ضرایب تبیین تعدیل‌شده و خطای انحراف معیار محاسبه شد. این کار در قالب دو بخش آموزش و آزمایش صورت گرفت. بین روابط تک‌جمله‌ای، بهترین ضریب تبیین، برابر ۰/۳۱ در مرحله آموزش و ۰/۲۹ در مرحله آزمایش بود. اختلاف مقادیر انحراف معیار مراحل آموزش و آزمایش، برای رابطه ۱۳ و رابطه ۱۴ و همچنین ترکیب روابط ۱۴ و ۱۵ قابل‌قبول بود. بیشترین اختلاف نیز، برای رابطه ۱۵ بین اعداد ۶/۹۸ و ۱۰/۱۲ مشاهده گردید. درنهایت، رابطه‌ای به‌عنوان رابطه بهینه جهت تعیین حجم مخازن در مناطق فاقد آمار ارائه گردید. این رابطه با مشارکت نیافتن منطقه ۵ در محاسبات به‌دست آمد و توانست حجم بهینه در این منطقه را با کمترین خطا (برابر ۲/۷ درصد) پیش‌بینی کند. رابطه پیشنهادی، برای مناطق فاقد آمار مرطوب، از دقت بالایی برخوردار بود ولی برای مناطق فاقد آمار خشک، دقت کمتری داشت. در ادامه پژوهش حاضر، پیشنهاد می‌شود که علاوه بر بارش، تأثیر دیگر جریان‌های ورودی به سدهای منطقه موردمطالعه -در صورت دسترسی به داده‌های کافی و قابل‌اطمینان- در مدل‌سازی‌ها لحاظ گردد.

منابع

۱- موسوی، س. ج. اشرف واقفی، س؛ و زهرائی، ب. (۱۳۹۳)."بهینه-سازی چند هدفه بهره‌برداری از مخزن سد با در نظر گرفتن رسوب‌زدایی و تأمین نیاز پایین‌دست به کمک الگوریتم رقابت استعماری". نشریه علمی پژوهشی سد و نیروگاه برقابی، سال اول، شماره دوم

۲- افشار، م.ه.، رضایی سنگدهی، س.ا. و معینی، ر. (۱۳۹۳)."الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچگان در مسئله بهره‌برداری بهینه از مخازن سدها: مطالعه مقایسه‌ای چهار الگوریتم". نشریه مهندسی عمران فردوسی، سال بیست و پنجم، شماره دو

3- Burn, L. S., De Silva, D., and Shipton, R. J. (2002). Effect of demand management and system operation on potable water infrastructure costs. Urban Water, 4(3), 229-236.

4- Campisano, A., Di Liberto, D., Modica, C., and Reitano, S. (2014). Potential for peak flow reduction by rainwater harvesting tanks. Procedia Engineering, 89, 1507-1514.

5- Campisano, A., and Modica, C. (2012). Optimal sizing of storage tanks for domestic rainwater harvesting in Sicily. Resources, Conservation and Recycling, 63, 9-16.

6- Campisano, A., and Modica, C. (2014). Selecting time scale resolution to evaluate water saving and retention potential of rainwater harvesting tanks. Procedia Engineering, 70, 218-227.

7- Eroksuz, E., and Rahman, A. (2010). Rainwater tanks in multi-unit buildings: A case study for three Australian cities. Resources, Conservation and Recycling, 54(12), 1449-1452.

8- Fewkes, A. (2000). Modelling the performance of rainwater collection systems: towards a generalised approach. Urban water, 1(4), 323-333.

9- Imteaz, M. A., Ahsan, A., Naser, J., and Rahman, A. (2011). Reliability analysis of rainwater tanks in Melbourne using daily water balance model. Resources, Conservation and Recycling, 56(1), 80-86.

10- Khastagir, A., and Jayasuriya, N. (2010). Optimal sizing of rain water tanks for domestic water conservation. Journal of Hydrology, 381(3), 181-188.

11- Liaw, C. H., and Tsai, Y. L. (2004). Optimum storage volume of rooftop rain water harvesting systems for domestic use. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 40(4), 901-912.

12- Maheepala, S., Loonat, N., Mirza, F., and Coultas, E. (2011). Quantifying potable water savings of rainwater tanks at a city scale by considering the effect of spatial lumping. In Proc. Of Water Conference, 1-9.

13- Martin, P. H., LeBoeuf, E. J., Dobbins, J. P., Daniel, E. B., and Abkowitz, M. D. (2005). Interfacing GIS with water resource models: A state-of-the-art review. Journal of the American Water Resources Association, 41(6), 1471-1487.

14- Mashford, J., and Maheepala, S. (2015). A general model for the exact computation of yield from a rainwater tank. Applied Mathematical Modelling, 39(7), 1929-1940.

15- Matos, C., Santos, C., Pereira, S., Bentes, I., and Imteaz, M. (2013). Rainwater storage tank sizing: case study of a commercial building. International Journal of Sustainable Built Environment, 2(2), 109-118.

16- Mitchell, V. G. (2007). How important is the selection of computational analysis method to the accuracy of rainwater tank behaviour modelling?. Hydrological processes, 21(21), 2850-2861.

17- Moriyama, T., Nishiyama, K., Izumi, S., Morisita, K., and Hirose, S. (2016). Smart Rainwater Tanks as a Rainguage Network and Dam for Flood Control. Procedia Engineering, 154, 243-246.

18- Raimondi, A., and Becciu, G. (2014). Probabilistic design of multi-use rainwater tanks. Procedia Engineering, 70, 1391-1400.

19- Singal, S. K., and Saini, R. P. (2008). Cost analysis of low-head dam-toe small hydropower plants based on number of generating units. Energy for Sustainable development, 12(3), 55-60.

20- Ward, S., Memon, F. A., and Butler, D. (2010). Rainwater harvesting: model-based design evaluation. Water Science and Technology, 61(1), 85-96.

Formulation and prediction of Dam's optimum capacity in un-gaged regions according to time analysis of store and GIS technique

Seyed Hamed Shakib[25]
Saeed Farzin*[26]

Abstract

Correct estimation of reservoir volume in terms of construction costs, has importance and depend on hydrological and physiographical factors. Aim of this study is to estimate the optimized volume of reservoir in un-gaged basins and extract the estimation pattern of reservoir capacity for other regions. For this purpose, Ziarat was divided to 9 sub-basins using ArcGIS and the physiographical parameters was determined for each of them. for modelling of volume variation, demand before and after rain and also product before and after spill, were considered as different of Possible scenarios. Time history for amount of volume, was obtained as an equation according to other variables. The optimized volume calculated by mentioned equation as objective function and constrains.i.e. cost, demand and spill for each sub-basin. These volumes vary from 700 to 5000Mm3 and significant relation between volume and curve number index was observed. To extract a relation for prediction of reservoir optimized volume in un-gaged regions, regional parameters and optimized volume was considered and 6 equations was prepared by dimensional analysis and different functions. in this equations, 12 rainfall of 24-h probable maximum event were used for 4 consecutive years (2012-2015). Finally, using R-square and standard deviation error, the more optimized equation was presented.

Key words:

Reservoir capacity, Optimization, Run-off, Curve number, Ziarat basin, ArcGIS

[1]Msc, Faculty of Civil Engineering, Bozorgmehr University of Qaenat, Qaen, Iran
[2]Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran
*saeed.farzin@semnan.ac.ir

Received: 2017/07/21 Accepted: 2018/02/20