

تحلیل و اصلاح شبکه توزیع آب شرب با تمرکز بر مکان یابی مخازن ذخیره (مطالعه موردی مجتمع خیج-جمعآب، خراسان رضوی)

دانیال الله یاری^{*}، حسن مرادی^۲، شهاب ریخته گر^۳، سیدجواد سیدالحسینی^۴

(۱) دانشجوی دکتری مهندسی آب (دانشگاه فردوسی مشهد) danial.allahyari@mail.um.ac.ir

(۲) مدیر دفتر فنی آبفا استان خراسان رضوی hassan.moradi.wt@gmail.com

(۳) کارشناس ارشد آبفا استان خراسان رضوی Shahab.rm1987@gmail.com

(۴) دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آب (دانشگاه فردوسی مشهد) javad8516hoseyni@gmail.com

(شرکت دانش بنیان مهندسین مشاور هیدروتک توس)

چکیده

شبکه های توزیع آب شرب به عنوان یکی از مهم ترین اجزای سامانه های تأمین آب، نقش اساسی در پایداری و کیفیت خدمات رسانی به مصرف کنندگان دارند. در بسیاری از مجتمع های روستایی، فرسودگی تأسیسات، توسعه نامتوازن شبکه، اختلاف ارتفاع و جانمایی نامناسب مخازن ذخیره موجب بروز مشکلاتی نظیر افت و نوسان فشار و ناپایداری تأمین آب می شود. در این پژوهش، اصلاح و توسعه شبکه توزیع آب شرب مجتمع خیج-جمعآب واقع در شهرستان گلبهار استان خراسان رضوی با تمرکز بر جانمایی مخازن ذخیره مورد بررسی قرار گرفت.

در گام نخست، وضعیت موجود شبکه شامل منابع تأمین، مخازن ذخیره، خطوط انتقال و شبکه توزیع بر اساس بازدیدهای میدانی بررسی و در نرم افزار WaterGEMS مدل سازی شد. پیش بینی جمعیت افق طرح بر اساس نشریه ۳-۱۱۷ انجام و نیاز آبی مجتمع محاسبه گردید. سپس دو سناریوی اصلاح و توسعه شامل احداث یک مخزن مشترک ۳۰۰ مترمکعبی و تفکیک مخازن ذخیره برای هر یک از روستاهای خیج و جمعآب طراحی و شبیه سازی شد.

نتایج تحلیل هیدرولیکی نشان داد که سناریوی مخزن مشترک به دلیل وابستگی هیدرولیکی دو روستا و نیاز به استفاده از شیرهای فشارشکن، از نظر بهره برداری با محدودیت هایی همراه است. در مقابل، سناریوی تفکیک مخازن با جانمایی متناسب با شرایط توپوگرافی، موجب بهبود توزیع فشار، کاهش نوسانات هیدرولیکی و افزایش پایداری تأمین آب شرب می شود. بر این اساس، تفکیک مخازن ذخیره به عنوان گزینه فنی و بهره برداری بهینه برای اصلاح و توسعه شبکه توزیع آب شرب مجتمع خیج-جمعآب پیشنهاد می گردد.

واژگان کلیدی: شبکه توزیع آب شرب، جانمایی مخازن ذخیره، اصلاح و توسعه شبکه WaterGEMS، مجتمع خیج-جمعآب.

* نویسنده مسئول

Hydraulic Analysis and Rehabilitation of a Drinking Water Distribution Network with Emphasis on Storage Reservoir Allocation (A Case Study of the Khij–JamAb Complex, Razavi Khorasan Province)

Abstract

Drinking water distribution networks are among the most critical components of water supply systems, playing a key role in ensuring service reliability and sustainability. In many rural water supply complexes, aging infrastructure, unplanned network expansion, elevation differences, and improper reservoir allocation result in pressure deficiencies and unstable water supply. This study investigates the rehabilitation and development of the drinking water distribution network of the Khij–Jam Ab complex located in Golbahar County, Razavi Khorasan Province, Iran, with a particular focus on storage reservoir allocation.

Initially, the existing conditions of the system, including water sources, storage reservoirs, transmission lines, and distribution network, were assessed through field surveys and hydraulically modeled using WaterGEMS software. Population forecasting for the design horizon was conducted based on guideline No. 3-117, and the water demand of the complex was estimated. Subsequently, two improvement scenarios were developed and simulated: construction of a single 300 m³ shared reservoir and separation of storage reservoirs for the Khij and JamAb villages.

Hydraulic simulation results indicated that the shared reservoir scenario requires extensive pressure-reducing valves and leads to operational complexity due to hydraulic dependency between the villages. In contrast, the reservoir separation scenario, with reservoir locations adapted to local topographic conditions, significantly improves pressure distribution, reduces hydraulic fluctuations, and enhances supply reliability. Therefore, reservoir separation is recommended as the optimal technical and operational solution for rehabilitating and developing the drinking water distribution network of the Khij–JamAb complex.

Keywords: Drinking water distribution network; Storage reservoir allocation; Network rehabilitation; WaterGEMS; Khij–Jam Ab complex

۱- مقدمه

شبکه‌های توزیع آب شرب به‌عنوان آخرین و حساس‌ترین بخش از سامانه‌های تأمین آب، نقش تعیین‌کننده‌ای در تضمین دسترسی پایدار، ایمن و عادلانه مصرف‌کنندگان به آب شرب دارند. عملکرد نامطلوب این شبکه‌ها می‌تواند منجر به بروز مشکلاتی نظیر افت یا افزایش بیش از حد فشار، ناپایداری تأمین، افزایش تلفات آب، کاهش عمر مفید تجهیزات و نارضایتی مشترکین شود [2]. این چالش‌ها به‌ویژه در مناطق روستایی و مجتمع‌های آبرسانی کوچک، به دلیل محدودیت منابع مالی، توسعه نامتوازن، تغییرات جمعیتی و ضعف در برنامه‌ریزی اولیه، نمود بیشتری دارند [6].

یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر عملکرد هیدرولیکی شبکه‌های توزیع آب شرب، جانمایی و نحوه بهره‌برداری از مخازن ذخیره است. مخازن ذخیره علاوه بر تأمین آب در ساعات اوج مصرف، نقش کلیدی در متعادل‌سازی فشار، افزایش قابلیت اطمینان شبکه، کاهش نوسانات هیدرولیکی و مدیریت شرایط اضطراری ایفا می‌کنند [5]. جانمایی نامناسب مخازن یا بهره‌برداری مشترک از یک مخزن برای چند سکونتگاه با شرایط توپوگرافی متفاوت، می‌تواند موجب ایجاد نوسانات شدید فشار، افزایش شکستگی لوله‌ها و اختلال در توزیع یکنواخت آب شود [4].

در سال‌های اخیر، استفاده از مدل‌های هیدرولیکی و نرم‌افزارهای شبیه‌سازی پیشرفته مانند WaterGEMS به‌عنوان ابزاری کارآمد برای تحلیل، ارزیابی و بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع آب شرب مورد توجه گسترده قرار گرفته است. این ابزارها امکان شبیه‌سازی شرایط بهره‌برداری مختلف، بررسی سناریوهای اصلاح و توسعه، شناسایی نقاط بحرانی و انتخاب گزینه بهینه از نظر فنی و بهره‌برداری را فراهم می‌کنند [3]. به‌کارگیری این مدل‌ها در شبکه‌های روستایی، می‌تواند نقش مؤثری در کاهش هزینه‌ها و افزایش کارایی تصمیم‌گیری‌های مهندسی ایفا کند.

مجتمع آبرسانی خیج-جمع‌آب واقع در شهرستان گلبهار استان خراسان رضوی، نمونه‌ای از شبکه‌های توزیع روستایی است که به دلیل فرسودگی بخشی از تأسیسات، اختلاف ارتفاع قابل توجه بین محدوده‌های تحت پوشش و بهره‌برداری مشترک از مخازن ذخیره، با مشکلاتی در توزیع فشار و پایداری تأمین آب شرب مواجه است. ازاین‌رو، اصلاح و توسعه این شبکه با رویکردی مبتنی بر تحلیل هیدرولیکی و اصول فنی طراحی، امری ضروری به نظر می‌رسد.

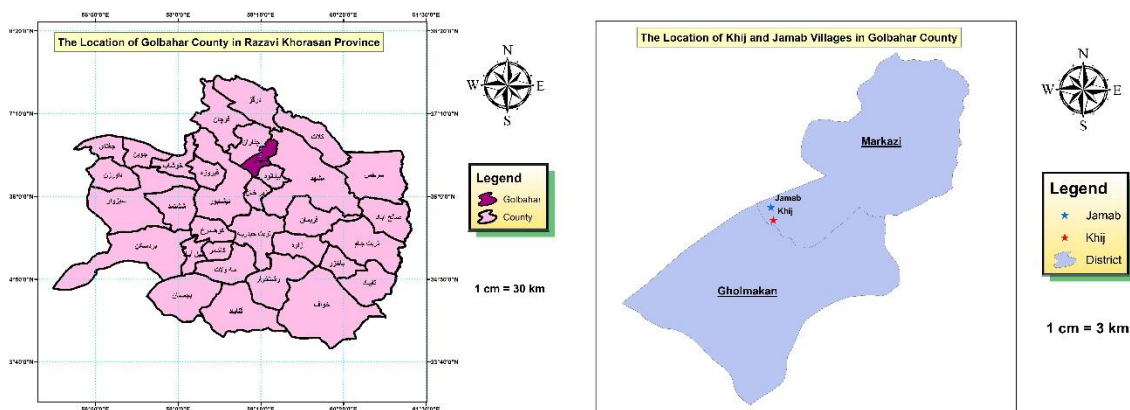
هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی وضعیت موجود شبکه توزیع آب شرب مجتمع خیج-جمع‌آب، پیش‌بینی جمعیت و نیاز آبی افق طرح بر اساس نشریه ۳-۱۱۷، تحلیل هیدرولیکی شبکه با استفاده از نرم‌افزار WaterGEMS و مقایسه سناریوهای مختلف اصلاح و توسعه با تمرکز بر جانمایی و تفکیک مخازن ذخیره است. نتایج این مطالعه می‌تواند به‌عنوان راهنمایی کاربردی برای بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع آب شرب در مجتمع‌های روستایی با شرایط توپوگرافی مشابه مورد استفاده قرار گیرد.

۲- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه (شکل ۱) شامل مجتمع خیج-جمع‌آب بوده که در استان خراسان رضوی و شهرستان گلبهار واقع شده است. این مجتمع متشکل از دو روستای خیج و جمع‌آب است که در بخش گلمکان قرار دارند و در محدوده شمال‌غربی استان خراسان رضوی واقع شده‌اند. این منطقه در فاصله‌ای نسبتاً نزدیک از شهر گلبهار و در حدود ۳۵ کیلومتری شمال‌غرب شهر مشهد قرار دارد.

از نظر جمعیتی، روستاهای خیج و جمع‌آب دارای جمعیتی محدود با بافت عمدتاً روستایی هستند. الگوی سکونت در این منطقه به‌صورت پراکنده و کم‌تراکم بوده و فعالیت‌های اقتصادی ساکنان عمدتاً مبتنی بر کشاورزی و دامداری است. با توجه

به توسعه شهر گلبهار به عنوان یکی از شهرهای جدید و برنامه ریزی شده استان، این منطقه نیز در سال های اخیر تحت تأثیر رشد جمعیتی و افزایش نیاز به خدمات زیربنایی، به ویژه تأمین آب شرب، قرار گرفته است. از نظر شرایط اقلیمی، شهرستان گلبهار در ناحیه ای با آب و هوای نیمه خشک قرار دارد که مشخصه آن بارندگی محدود، تبخیر بالا و وابستگی قابل توجه به منابع آب زیرزمینی است. ارتفاع منطقه از سطح دریا حدود ۱۳۰۰ متر بوده و توپوگرافی آن ترکیبی از اراضی نسبتاً هموار و شیب دار است که این امر نقش مهمی در طراحی و عملکرد شبکه توزیع آب ایفا می کند. شبکه توزیع آب شرب موجود در مجتمع خیج-جمعآب، به دلیل قدمت، توسعه نامتوازن، تغییرات جمعیتی و محدودیت های فشار و دبی در برخی نقاط، با چالش هایی مواجه است. از این رو، اصلاح و توسعه شبکه توزیع آب شرب و همچنین جانمایی مناسب مخازن ذخیره به منظور تأمین پایدار آب، بهبود فشار در ساعات اوج مصرف و افزایش قابلیت اطمینان شبکه، از اهمیت ویژه ای برخوردار است. انتخاب این منطقه به عنوان محدوده مورد مطالعه، با هدف ارائه راهکارهای فنی و قابل اجرا برای بهینه سازی شبکه های توزیع آب در مناطق روستایی و در حال توسعه صورت گرفته است.



شکل ۱- موقعیت مکانی روستاهای خیج و جمعآب

۳- وضعیت موجود مجتمع خیج- جمعآب

بر اساس بازدیدهای میدانی (شکل ۲) و بررسی اسناد بهره برداری، سامانه تأمین و توزیع آب شرب مجتمع خیج-جمعآب از نظر ساختار تأسیسات، قدمت شبکه و نحوه تغذیه، دارای شرایطی نسبتاً پیچیده و در برخی بخش ها فرسوده است. در حال حاضر، تأمین آب این مجتمع از طریق یک مخزن ذخیره قدیمی شامل دو مخزن ۱۰۰ مترمکعبی که به یکدیگر متصل هستند، انجام می شود. این مخازن در تراز ارتفاعی حدود ۱۳۷۲ متر از سطح دریا قرار داشته و به دلیل فرسودگی سازه ای و عمر بالای بهره برداری، نیازمند جایگزینی یا احداث مخزن جدید هستند.

در گذشته، یک حلقه چاه در مجاورت روستای خیج به عنوان منبع اصلی تأمین آب مورد استفاده قرار می گرفت که آب تولیدی آن از طریق یک خط لوله با قطر ۱۱۰ میلی متر به مخزن ذخیره منتقل می شد. با گذشت زمان و افت سطح آب های زیرزمینی، این چاه به طور کامل از مدار بهره برداری خارج شده است. در پی خشک شدن این منبع، دو حلقه چاه جدید در پایین دست روستا حفر گردید که در حال حاضر یکی از آن ها در مدار بهره برداری بوده و چاه دیگر به عنوان منبع رزرو در نظر گرفته شده است. انتقال آب از این چاه ها از طریق یک خط لوله با قطر ۹۰ میلی متر انجام می شود که در ادامه به خط لوله قدیمی ۱۱۰ میلی متری متصل شده و آب را به مخزن ذخیره منتقل می کند.



ب) روستای خیج



الف) مخزن موجود و قدیمی مجتمع



د) چاه رزرو



ج) چاه موجود در مدار

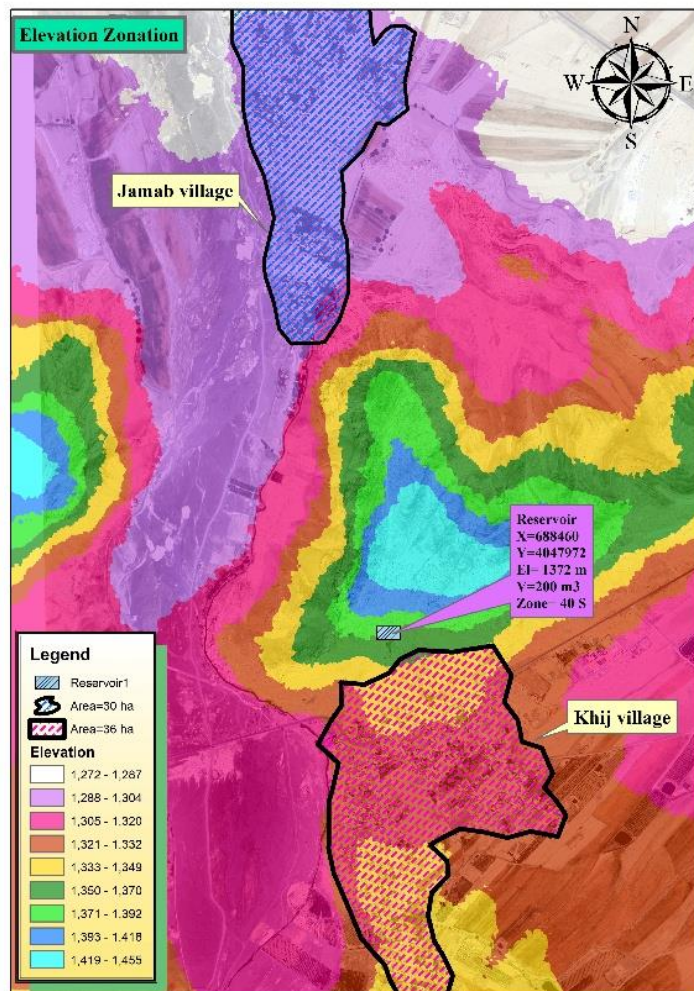
شکل ۲) تصاویر بازدید میدانی از مجتمع خیج-جمع آب

علاوه بر منابع مذکور، به منظور افزایش پایداری تأمین آب، یک انشعاب با قطر ۱۱۰ میلی‌متر از مخازن ۵۰۰۰ مترمکعبی جدید شهرستان گلبهار به شبکه مجتمع خیج-جمع آب اختصاص داده شده است. مسیر این انشعاب در شکل (۴) نشان داده شده است. این خط انتقال به خط لوله قدیمی ۱۱۰ میلی‌متری متصل بوده و صرفاً در مواقع کمبود آب و شرایط بحرانی وارد مدار بهره‌برداری می‌شود. اگرچه این راهکار نقش مؤثری در جبران کمبود آب دارد، اما به دلیل ماهیت اضطراری آن، نمی‌تواند به عنوان یک راه حل پایدار بلندمدت تلقی شود.

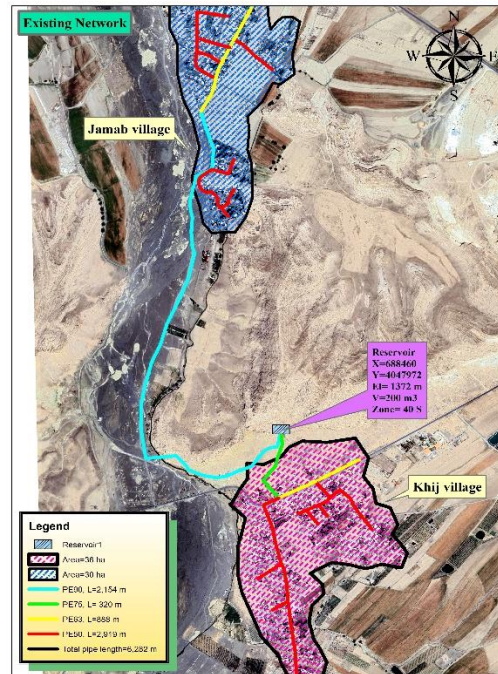
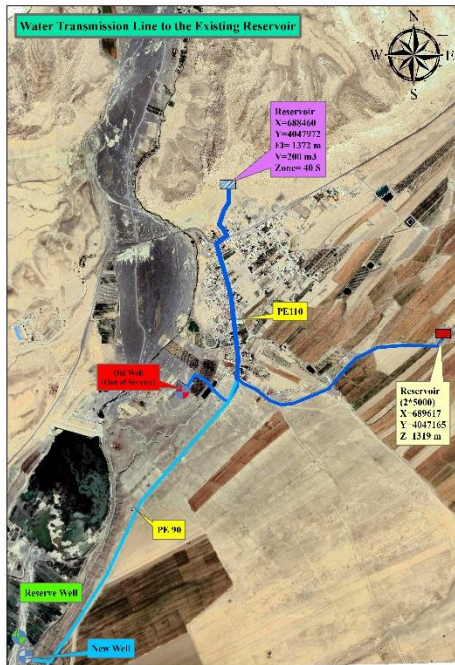
شبکه توزیع آب شرب موجود در هر دو روستای خیج و جمع آب، عمدتاً دارای قطر لوله‌های پایین بوده و در طول زمان بدون یک طرح جامع توسعه یافته است. این مسئله موجب بروز افت فشار در برخی نقاط شبکه، به ویژه در ساعات اوج مصرف شده است. همان گونه که در شکل (۴) مشاهده می‌شود، بخش‌هایی از شبکه توزیع قادر به تأمین فشار مناسب برای مشترکین نبوده و این موضوع سطح خدمات‌رسانی را کاهش داده است.

از نظر شرایط توپوگرافی، هر دو روستای خیج و جمع آب در دامنه تپه واقع شده‌اند که پهنه‌بندی ارتفاعی آن‌ها در شکل (۳) ارائه شده است. اختلاف ارتفاع موجود در محدوده تحت پوشش شبکه، تأثیر قابل توجهی بر توزیع فشار در گره‌های

شبکه دارد. مساحت تحت پوشش شبکه توزیع در روستای خیج حدود ۳۶ هکتار و در روستای جمعآب حدود ۳۰ هکتار برآورد شده است که این محدوده‌ها نیز در شکل (۳) به‌وضوح قابل مشاهده هستند. مجموع شرایط موجود نشان می‌دهد که فرسودگی مخزن ذخیره، وابستگی به خطوط انتقال با قطر کم، اختلاف ارتفاع قابل توجه و بهره‌برداری مشترک دو روستا از یک مخزن، از عوامل اصلی بروز مشکلات هیدرولیکی در شبکه توزیع آب شرب مجتمع خیج-جمعآب به شمار می‌روند. از این‌رو، بررسی و ارائه سناریوهای اصلاح و توسعه شبکه با تمرکز بر احداث مخزن جدید و بازنگری در ساختار بهره‌برداری، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است.



شکل ۳- پهنه‌بندی ارتفاعی مجتمع خیج-جمعآب

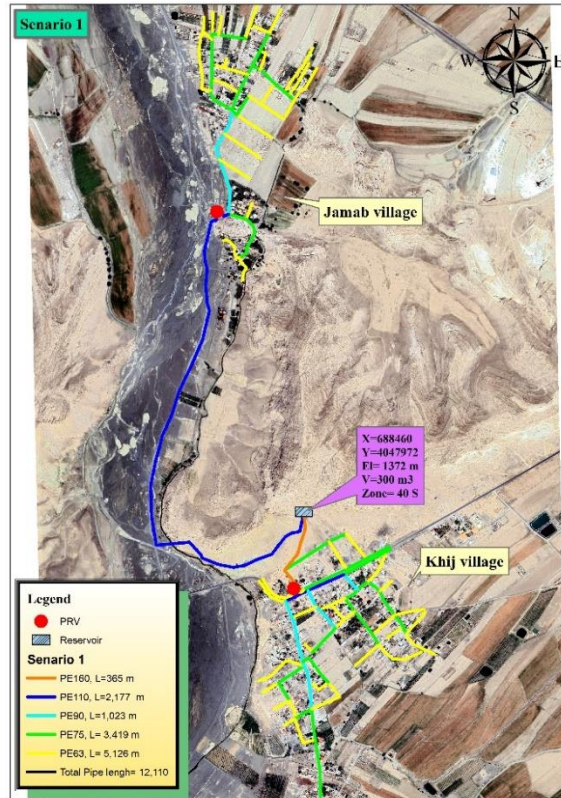


شکل 4- وضعیت موجود خط انتقال از چاه ها به مخزن و شبکه توزیع آب

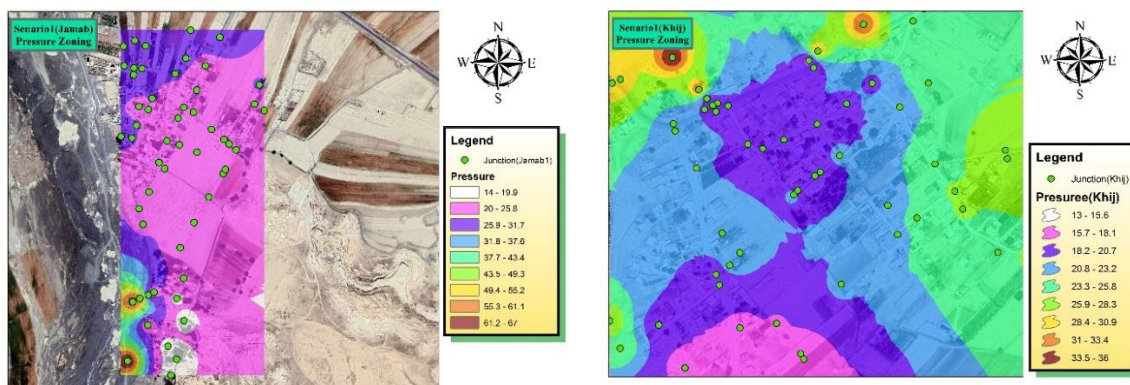
۳- نتایج

در این پژوهش، به منظور اصلاح و توسعه شبکه توزیع آب شرب مجتمع خیج-جمعآب، دو سناریوی متفاوت بر اساس پیش‌بینی جمعیت، نیاز آبی و شرایط هیدرولیکی شبکه مورد بررسی و شبیه‌سازی قرار گرفت. پیش‌بینی جمعیت بر اساس ضوابط نشریه ۳-۱۱۷ و برای افق طرح سال ۱۳۳۰ انجام شد. بر این اساس، جمعیت روستای خیج ۱۰۳۲ نفر و جمعیت روستای جمعآب ۳۶۰ نفر برآورد گردید که مجموع جمعیت مجتمع برابر با ۱۳۹۲ نفر است. نیاز آبی حداکثر مصرف روزانه برای کل مجتمع حدود ۵.۵ لیتر بر ثانیه محاسبه شد. با اعمال ضرایب حداکثر مصرف ساعتی، به ترتیب ۲.۸ برای روستای خیج و ۳ برای روستای جمعآب، دبی حداکثر مصرف ساعتی کل مجتمع حدود ۱۳ لیتر بر ثانیه برآورد گردید. بر اساس این مقادیر و معیارهای طراحی مخازن ذخیره، حجم مورد نیاز مخزن ذخیره برای کل مجتمع حدود ۳۰۰ مترمکعب محاسبه شد.

در سناریوی اول (شکل ۵)، احداث یک مخزن ذخیره با حجم ۳۰۰ مترمکعب در محل مخزن قدیمی و در تراز ارتفاعی موجود مورد بررسی قرار گرفت. در این حالت، هر دو روستا به صورت مشترک از یک مخزن تغذیه می‌شوند. نتایج شبیه‌سازی هیدرولیکی نشان داد که به دلیل اختلاف ارتفاع قابل توجه بین محدوده‌های تحت پوشش شبکه و همچنین موقعیت مکانی مخزن، برای جلوگیری از بروز فشارهای بیش از حد در شبکه توزیع، نصب شیرهای فشارشکن در ابتدای ورودی هر دو روستا الزامی است. این موضوع علاوه بر افزایش هزینه‌های اجرایی، بهره‌برداری و نگهداری شبکه را با پیچیدگی بیشتری مواجه می‌کند، چراکه تنظیم و پایش مستمر عملکرد شیرهای فشارشکن در شرایط تغییر الگوی مصرف، امری حساس و زمان‌بر است. همچنین وابستگی هیدرولیکی هر دو روستا به یک مخزن مشترک، انعطاف‌پذیری شبکه را کاهش داده و در صورت بروز مشکل در مخزن یا تجهیزات کنترلی، پایداری تأمین آب هر دو روستا به طور هم‌زمان تحت تأثیر قرار می‌گیرد. پهنه‌بندی فشار گرهِهای شبکه در این سناریو که در شکل (۶) ارائه شده است، نشان‌دهنده تداوم نوسانات فشار در برخی نقاط شبکه علی‌رغم استفاده از تجهیزات کنترلی است.



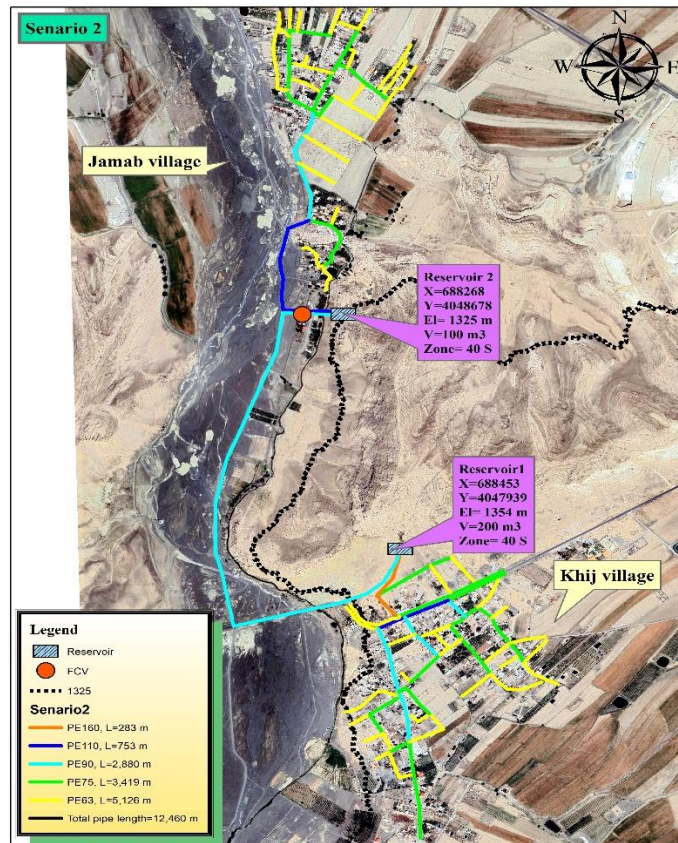
شکل 5- سناریوی اول اصلاح و توسعه (احداث مخزن جدید در محل مخزن موجود) - همراه با فشارشکن



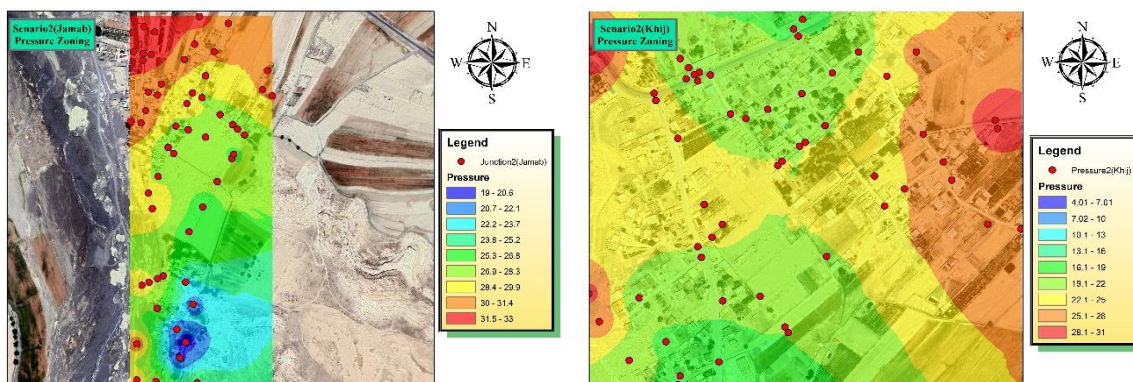
شکل 6- پهنه‌بندی فشاری گره‌های شبکه توزیع روستای خیج و جمع‌آب در سناریوی اول

در سناریوی دوم، تفکیک مخازن ذخیره و بهره‌برداری مستقل برای هر یک از روستاهای خیج و جمع‌آب مورد ارزیابی قرار گرفت. در این سناریو، برای روستای خیج یک مخزن ذخیره با حجم ۲۰۰ مترمکعب و برای روستای جمع‌آب یک مخزن با حجم ۱۰۰ مترمکعب پیش‌بینی شد که جانمایی آن‌ها متناسب با شرایط توپوگرافی هر روستا انجام گرفته است (شکل ۷). به‌منظور افزایش پایداری بهره‌برداری، یک خط لوله با قطر ۹۰ میلی‌متر از مخزن ۲۰۰ مترمکعبی روستای خیج به مخزن ۱۰۰ مترمکعبی روستای جمع‌آب اختصاص داده شد تا نیاز آبی روستا جمع‌آب فراهم شود. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که این سناریو موجب بهبود قابل توجه توزیع فشار در شبکه، حذف نیاز به نصب گسترده شیرهای فشارشکن و کاهش نوسانات فشار در ساعات اوج مصرف می‌شود. علاوه بر این، تفکیک مخازن باعث افزایش قابلیت اطمینان شبکه، ساده‌تر شدن

بهره‌برداری و امکان مدیریت مستقل هر روستا در شرایط تعمیرات، توسعه‌های آتی و بحران‌های احتمالی می‌گردد. بر این اساس، سناریوی دوم به‌عنوان گزینه فنی و بهره‌برداری برتر برای اصلاح و توسعه شبکه توزیع آب شرب مجتمع خیج-جمع‌آب ارزیابی شد.



شکل 7- سناریوی دوم اصلاح و توسعه (تفکیک مخازن مستقل برای هر روستا)



شکل 8- پهنه‌بندی فشاری گره‌های شبکه توزیع روستای خیج و جمع‌آب در سناریوی دوم

4- نتیجه گیری

شبکه توزیع آب شرب مجتمع خيج-جمعآب با تمرکز بر وضعیت موجود تأسیسات، پیش‌بینی جمعیت، برآورد نیاز آبی و نقش جانمایی مخازن ذخیره مورد بررسی و تحلیل هیدرولیکی قرار گرفت. نتایج ارزیابی‌ها نشان داد که فرسودگی مخزن ذخیره موجود، بهره‌برداری مشترک دو روستا از یک مخزن، اختلاف ارتفاع قابل توجه و محدودیت قطر لوله‌ها، از عوامل اصلی بروز افت و نوسان فشار در شبکه توزیع هستند. بر اساس پیش‌بینی جمعیت افق طرح و محاسبات نیاز آبی مطابق با نشریه ۱۱۷-۳، حجم کل مخزن مورد نیاز مجتمع ۳۰۰ مترمکعب برآورد شد.

به‌منظور اصلاح و توسعه شبکه، دو سناریوی متفاوت شامل احداث یک مخزن مشترک ۳۰۰ مترمکعبی و تفکیک مخازن ذخیره برای هر روستا مورد شبیه‌سازی قرار گرفت. نتایج حاصل از تحلیل هیدرولیکی نشان داد که اگرچه سناریوی مخزن مشترک قادر به تأمین حجم مورد نیاز است، اما وابستگی هیدرولیکی دو روستا و الزام به استفاده از شیرهای فشارشکن، بهره‌برداری از شبکه را با پیچیدگی و کاهش قابلیت اطمینان مواجه می‌کند. در مقابل، سناریوی تفکیک مخازن با جانمایی متناسب با شرایط توپوگرافی، موجب بهبود توزیع فشار، کاهش نوسانات هیدرولیکی، حذف نیاز به تجهیزات کنترلی گسترده و افزایش پایداری تأمین آب شرب می‌شود.

در مجموع، نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که تفکیک مخازن ذخیره و بهره‌برداری مستقل برای هر روستا، گزینه‌ای فنی، پایدار و بهره‌برداری‌پذیرتر برای اصلاح و توسعه شبکه توزیع آب شرب مجتمع خيج-جمعآب محسوب می‌شود. یافته‌های این پژوهش می‌تواند به‌عنوان راهنمایی کاربردی در طراحی و بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع آب شرب در مجتمع‌های روستایی با شرایط توپوگرافی مشابه مورد استفاده قرار گیرد.

5- منابع و مراجع

(۱) نشریه ۱۱۷-۳ ضوابط و معیارهای طراحی تأسیسات آبرسانی. سازمان برنامه و بودجه کشور.

- 2) AWWA (2012). Water Distribution Systems Handbook. American Water Works Association, McGraw-Hill.
- 3) Bentley Systems (2020). WaterGEMS User's Guide. Bentley Systems Incorporated.
- 4) Mays, L. W. (2011). Water Resources Engineering. John Wiley & Sons.
- 5) Walski, T. M., Chase, D. V., Savic, D. A., Grayman, W. M., Beckwith, S., & Koelle, E. (2003). Advanced Water Distribution Modeling and Management. Haestad Press.
- 6) WHO (2017). Guidelines for Drinking-water Quality. World Health Organization.