

ارزیابی و پهنه‌بندی خطر قنات‌های متروکه در شهر سبزوار

حسین رحیمی*، استادیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری - دانشگاه پیام نور مشهد

چکیده

شهر سبزوار در گذشته‌ای نه‌چندان دور منبع تأمین آب کشاورزی و شرب شهری از قنات‌ها حاصل می‌شده است. در محدوده شهر سبزوار ۱۲ رشته قنات وجود دارد که از این تعداد ۱۰ رشته در بافت مرکزی شهر قرار گرفته است. در چند دهه اخیر با گسترش شهرنشینی، حفر چاه‌های عمیق جهت تأمین آب شرب و تداوم خشک‌سالی‌ها به‌مرور زمان اکثر این قنات‌ها خشک و بایر شده‌اند. در دهه ۱۳۷۰ شهر سبزوار با توسعه بی‌رویه شهرنشینی مواجه می‌شود، در این زمان شرکت آب و فاضلاب با ایجاد سیستم شبکه فاضلاب برخی از این قنات‌ها را مسدود و از طرفی برخی از ساکنین از این مجاری قنات‌ها بجای شبکه فاضلاب استفاده کردند. با توجه به عمق قنات‌ها و جنس زمین در برخی از مناطق شهر که غیرقابل نفوذ است، آب در لایه‌های زیرین تجمع یافته و منجر به بالا آمدن سطح آب از ۱۸ متر در دهه ۱۳۵۰ به ۴ متر در حال حاضر شده است. در این پژوهش، خطر نشست زمین در شهر سبزوار مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور، با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، موقعیت رشته و میل قنات‌ها شناسایی گردیده است، سپس با استفاده از نقشه طرح جامع شهر سبزوار با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ مصوبه سال ۱۳۸۹ به بررسی کاربری‌های موجود در سطح شهر و انطباق آن با نقشه مسیر قنات‌ها پرداخته و نهایتاً با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS لایه‌های هر کاربری با یک حریم ۱۵ متر در مسیر قنات‌ها ترسیم و نقشه پهنه‌بندی خطر قنات‌ها تهیه گردیده است. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد ۸۵ درصد از بافت مرکزی شهر در معرض خطر ریزش قنات‌ها قرار دارد. در این رابطه، بیشترین کاربری در معرض خطر کاربری مسکونی با ۵۴/۷ درصد و سپس کاربری ارتباطی با ۲۵ درصد در مسیر خطر مستقیم نشست قنات‌ها واقع شده‌اند، استفاده از این کاربری‌ها تقریباً ۲۴ ساعته می‌باشد که بر میزان و شدت خطر می‌افزاید.

واژگان کلیدی: سبزوار، نشست، ریزش قنات، متروکه.

۱- مقدمه

شهر سبزوار در منطقه خشک و سرد با تابستان‌های گرم واقع شده است در گذشته بخش اعظم آب مورد نیاز این شهر و اراضی کشاورزی حومه آن از طریق سیستم قنات تأمین می‌شد. در چند دهه پیش ۱۲ رشته قنات در سطح شهر به تأمین آب شرب و همچنین نیازهای کشاورزی اختصاص داشته است. در حال حاضر اغلب این رشته قنات‌ها خشک شده و در زیرپوسته شهر پنهان مانده است. رشد شهرنشینی از سال ۱۳۴۰ و به تبع آن افزایش آب مصرفی مردم مسئله دفع فاضلاب‌های خانگی را با مشکل مواجه ساخته است. تا این زمان مردم برای دفع فاضلاب‌های خود از چاه‌های جذبی استفاده می‌کرده‌اند ولی چاه‌های جذبی در اثر بافت خاص خاک‌های منطقه به سرعت پر می‌شد و قابلیت استفاده را از دست می‌داده‌اند، لذا مجبور به تخلیه این چاه‌ها می‌شده‌اند ولی این امر با مشکلات زیادی روبرو بوده است در گذشته سیستم خاصی جهت تخلیه فاضلاب‌های خانگی وجود نداشته در نتیجه ساکنین اقدام به تخلیه این چاه‌ها به داخل باغچه‌های منزل خود می‌کرده‌اند. اما این اقدام نیز از مشکلات آن‌ها کم نکرده بلکه مشکلات خاص بهداشتی و زیست‌محیطی نیز برای آن‌ها به وجود آورده بود. در ضمن هیچ شبکه عمومی جهت دفع فاضلاب‌های خانگی نیز وجود نداشت. تمام این مسائل مشکلات عدیده‌ای را برای ساکنین شهر جهت دفع فاضلاب‌های خود به وجود آورده بود که می‌توان تمام این مسائل را ناشی از سازندهای خاص زمین‌شناسی سبزوار دانست که عمدتاً سازندهایی از جنس رس، سیلت و یک بافت ماری محکم است که قابلیت نفوذ آب را کاهش می‌دهد، اما این تنها مسئله مشکل‌ساز برای مردم نبود، بلکه فقدان عامل دیگری به نام شبکه سراسری (اگو) که دفع فاضلاب‌های شهری را بر عهده دارد نیز مزید بر این علت شده بود. شاید بتوان گفت که یکی از عللی که ایجاد این شبکه را در شهر به تعویق انداخته بود و یا از طرف مردم مورد استقبال قرار نمی‌گرفت هزینه زیادی بود که این پروژه بر ساکنین تحمیل می‌کرد، که با توجه به شرایط اجتماعی خاص زمان‌های گذشته این امر امکان‌پذیر نبود. از آن جمله می‌توان به هزینه خریداری امتیاز این سیستم اشاره کرد که در صورت خریداری هزینه‌هایی نیز برای احداث زیرساخت‌های آن در منازل شخصی باید انجام می‌گرفت. علاوه بر تمام این‌ها هزینه آبونمانی که باید همراه پرداخت می‌کردند سبب شد مردم از احداث این شبکه استقبال نکنند. در حالی که می‌دانستند شبکه‌های زیرزمینی قنات‌ها در زیر سطح شهر وجود دارد، اتصال فاضلاب‌های خانگی به آن‌ها مستلزم هزینه‌هایی جانبی نیز نمی‌باشد. در نتیجه این کار با استقبال مردم و از سویی با استقبال مالکین قنات به خاطر افزایش حق آب‌ها روبرو شده و در مسیر قنات‌ها این اتصالات انجام شده و دفع فاضلاب از طریق این شبکه انجام می‌گرفت (مهری، ۱۳۸۳: ۲۴۵).

از طرف دیگر سازمان آب و فاضلاب در سال‌های ۱۳۷۰ طرح سیستم جمع‌آوری فاضلاب را اجرا می‌کند در برخی مناطق این قنات‌ها را مسدود کرده تا مردم مجبور به خرید انشعاب شوند، این بسته شدن مسیر آب در آن سال‌ها خودش را نشان نمی‌دهد. مجاری آبی که در سطح شهر زهکش شهر بوده نباید جلوی آن بسته شود، اما آن وقتی قنات‌ها بدون کار کارشناسی مسدود می‌شوند، آب‌های سرگردان دفع نشده و کم‌کم زیر شهر تجمع پیدا کرده و از قسمت‌هایی گودتر مثل کوی گلستان بیرون می‌زند. طبق گفته مسئولین بافت مرکزی شهر امروز بر روی مخزن بزرگی از آب‌های زیرزمینی قرار گرفته است، به حدی که با حفر چاه‌هایی به عمق ۴ متر می‌توان در این محدوده به آب دسترسی داشت که علت اصلی آن انسداد قنات‌های موجود در این بافت و پس‌زدگی آب‌های این قنات‌ها می‌باشد (مدیرعامل سازمان بهسازی و نوسازی شهر سبزوار، ۱۳۹۳). در برخی مناطق که مجاری قنات‌ها خشک است در اثر ساخت‌وسازهای شهری و فشار وارده سازه بر آن موجب نشست و باز شدن زمین شده مانند چهارراه بیهق که تلفات جانی هم داشته است. همان‌گونه که از نقشه مسیر قنات مشخص است، مسیر این قنات در جهت شیب عمومی منطقه از شمال به جنوب امتداد یافته تا آب موجود در سفره‌های آب زیرزمینی را به داخل شهر زهکشی کنند. این قنات‌ها علاوه بر زهکشی آب‌های زیرزمینی وظیفه زهکشی آب‌های سطحی موجود در سطح شهر را نیز بر عهده داشته‌اند، مسیر اکثر این قنات‌ها به سمت بافت مرکزی و تاریخی شهر بوده است، در نتیجه تمام آب‌های موجود

در قنات و آب‌های زهکشی تا زمانی که این قنات‌ها پویا و آب موردنیاز مردم از آن‌ها تأمین می‌شده هیچ مسئله‌ای در خصوص ورود این آب‌ها به بافت مرکزی شهر وجود نداشته است. از اوایل دهه ۱۳۴۰ توسعه شهر در تمام جهات انجام شده که علت آن نیز آبرسانی سریع و آسان آب توسط سیستم لوله‌کشی خانگی در منازل مردم بوده است. لذا دیگر این قنات‌ها کارکرد قبلی خود را نداشته پس به فراموشی سپرده شده و از سوی مالکین هیچ کوششی جهت احیا و مرمت آن‌ها طی سالیان متمادی صورت نگرفته است. در حال حاضر شهر سبزوار با چند مشکل عمده در این زمینه مواجهه است:

۱. وجود سازندهای زمین‌شناسی (رس، سیلت، مارن) که نفوذپذیری کمی در برابر آب‌دارند و موجب تجمع آب‌های دفع نشده در زیرپوسته شهر می‌شوند.
 ۲. انسداد قنات‌هایی که در گذشته منبع تأمین آب بوده است. این مسئله نیز باعث بالا آمدن آب‌های زیرزمینی شده به حدی که در ۴ متری زیر سطح زمین به آب می‌رسیم.
 ۳. در گذشته قنات‌ها زهکش آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی موجود در سطح شهر را بر عهده داشته‌اند ولی در حال حاضر این زهکشی مسدود شده است.
 ۴. استفاده غیراستاندارد از مجاری قنات‌هایی که بعضاً خشک شده‌اند به‌عنوان سیستم دفع فاضلاب خانگی.
 ۵. فشار وارده سازه‌های مسکونی، تراکم متوسط و بالای ساختمانی، اجرای طرح‌های عمرانی در سطح شهر در مناطقی که رشته قنات‌های بایر وجود دارد که موجب تخریب قنات و فرونشست زمین شده است مانند چهارراه بی‌هق.
 ۶. خطر تخریب ۱۰ اثر تاریخی این شهر از جمله مسجد قدیمی پامنار (۲۲۶ ه.ق)، مسجد جامع ۷۰۰ ساله (۷۲۶ ه.ق) آرامگاه اسرار، امامزاده یحیی، مقبره بقراط، کاروانسرای فرامرزان، مدرسه فخریه، مدرسه شریعتمداری، حوض حاج عبدالکریم و حمام قیصریه.
 ۷. بی‌توجهی مدیران شهری به‌ویژه سازمان آب و فاضلاب در جلوگیری از استفاده مالکین مساکن در استفاده از مجاری قنات به‌جای سیستم آگو شهری.
 ۸. عدم هماهنگی بین مدیران شهری جهت اتخاذ تصمیم جدی و اساسی و تخصیص بودجه و ردیف اعتباری لازم جهت اجرای طرح شبکه آب و فاضلاب استاندارد شهری.
- با توجه به مطالب فوق می‌توان دریافت که شهر کهن و تاریخی سبزوار در اثر بی‌توجهی مسئولین در معرض خطرات جدی و جبران‌ناپذیری قرار داشته به‌گونه‌ای که استمرار بی‌توجهی مسئولان به این موضوع حوادث ناگوار و جبران‌ناپذیری را در آینده به همراه خواهد داشت.

۲- ضرورت تحقیق

در حال حاضر در شهر سبزوار ۱۲ رشته قنات اصلی و متروکه وجود دارد که از شمال به جنوب امتداد دارند. این رشته قنات‌ها به‌صورت شبکه‌ای به‌هم‌پیوسته و متصل در سطح شهر بحران بزرگی را برای این شهر تاریخی رقم زده است. در چند سال اخیر مسئله فرونشینی زمین در برخی نقاط شهر سبزوار به‌ویژه مرکز شهر معضل بزرگ مدیریت شهری سبزوار بوده است. قنات در اکثر شهرهای مناطق گرمسیری، خشک و نیمه‌خشک وجود دارد، ولیکن بحران قنات‌های متروکه در شهر سبزوار استثنا است. در سال‌های نه‌چندان دور به دلیل افزایش جمعیت شهرنشین و گسترش مناطق شهری، بسیاری از این قنات‌ها در زیر مناطق مسکونی قرار گرفته، جایگزینی منابع آب چاه عمیق به‌جای قنات موجب کم‌توجهی به این منبع آبی و نهایتاً خشک شدن بسیاری از آن‌ها شده است. این مسئله باعث شد که از کوره این قنات‌ها به‌منظور دفع فاضلاب خانگی استفاده شود، دفع فاضلاب در کوره قنات‌های داخل شهر از منظر مالکان قنات‌ها به‌عنوان مزیت شمرده می‌شود، زیرا که با اتصال چاه‌های جذبی شهری به قنات‌ها، میزان آبدهی این قنات‌ها

افزایش چشمگیری داشته و موجب رضایت مالکان قنات‌ها شده است. به دلیل تخلیه فاضلاب‌های شهری در داخل کوره قنات‌ها حرکت فاضلاب در داخل این مجاری سخت شده، به طوری که بسیاری از قنات‌ها سال‌های سال بدون اینکه لایروبی شوند مورد استفاده قرار گرفته‌اند. عدم لایروبی رشته قنات‌های شهری در بعضی از محل‌ها باعث دم زدن آب و این بالآمدگی باعث ریزش قسمت‌هایی از دیواره و سقف کوره قنات‌ها شده است. عدم زهکشی قنات‌ها و ریزش فاضلاب در این مناطق باعث شده تا سطح آب زیرزمینی بالا آمده و در بسیاری از موارد صدمات جبران‌ناپذیری را ایجاد کند. در دهه ۱۳۵۰ پس از ۱۸ متر گودبرداری به رطوبت آب‌های زیرسطحی می‌رسیدیم. در حالی که الان پس از ۴ متر گودبرداری به دریایی از آب می‌رسیم که متأسفانه امکان کاهش آب هم وجود ندارد. در حال حاضر وجود ۱۲ رشته قنات قدیمی و لایروبی نشده در مناطق مختلف شهر سبزوار و وجود یک سفره آب زیرزمینی در محدوده بافت قدیمی شهر و تهدید بناهای مسکونی و تاریخی موجود در این مناطق و نشست‌های ناشی از آن یک مشکل حاد مدیریت شهری سبزوار می‌باشد که ضرورت توجه به آن از اساسی‌ترین مسائل است (مصاحبه دکتر طالبی، شهردار سبزوار، ۲/۱۳۹۴).



شکل ۱: نشست زمین در قنات‌های متروکه شهر سبزوار



شکل ۲: بالا آمدگی سطح آب در مناطق شهری سبزوار



شکل ۳: بالا آمدگی سطح آب و پمپاژ در مناطق شهری سبزوار

۳- پیشینه تحقیق

۱. مهری (۱۳۸۳) در پایان‌نامه خود تحت عنوان «ارزیابی تنگناها و پتانسیل‌های محیطی مؤثر بر توسعه فیزیکی شهر سبزوار» به بررسی اثرات قنات‌های محدوده شهر سبزوار و تاثیر مخرب انتقال فاضلاب منازل به جای هدایت درسیستم فاضلاب شهری در مجاری قنات‌های متروکه پرداخته است.
۲. همتی سراپرده (۱۳۹۳) در پایان‌نامه‌ای تحت عنوان «ارزیابی و پهنه‌بندی خطر قنات پنهان در شهر کرمان و ارائه راهکارهای مدیریتی» به اثرات قنات‌های متروکه و پنهان در زیر شهر و مشکلاتی همچون ریزش و نشست زمین و آسیب به ساختمان‌ها، تأسیسات (خطوط لوله آب و...)، نشست آسفالت در خیابان‌ها و معابر، عمل کردن به‌عنوان مجرای انتقال فاضلاب و تشدید آلودگی در سطح شهر کرمان پرداخته است.
۳. صالحی متعهد (۱۳۹۳) در مقاله‌ای با عنوان «ارزیابی خطر قنات‌های متروکه غرب مشهد با استفاده از نرم‌افزار پلاکسیس» به ارزیابی خاک دربرگیرنده مسیر قنات‌ها، پایداری مجرای قنات تحت بارهای استاتیکی با استفاده از نرم‌افزار پلاکسیس پرداخته است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که با افزایش عمق کوره قنات، این تونل زیرزمینی بار بیشتری را تحمل خواهد کرد. به طوری که به ازای هر ۱/۲ متر افزایش عمق کوره قنات، تحمل قنات قبل از فروریزش $10(kN/M^2)$ معادل بار وارده از ساختمان یک طبقه افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش عمق، از تأثیر وجود کول (سیستم نگه‌دارنده کوره قنات) در پایداری قنات کاسته می‌شود.
۴. هاشمی سهی و هاشمی سهی (۱۳۸۴) در مقاله «قنات نشست خاک و مشکلات ساختمان‌سازی» به بررسی شیوه‌های مهار کردن قنات‌های دایر و بایر و جلوگیری از ریزش آن‌ها در مناطق شهری پرداخته است.
۵. رنجبر و جعفری (۱۳۸۸) در مقاله «بررسی عوامل مؤثر در فرونشست زمین دشت اشتهارد» به این نتیجه رسیده است که وجود کوره‌های قنات و کاهش سطح آب زیرزمینی و وجود سازندهای تبخیری از مؤثرترین عوامل فرونشست زمین در دشت اشتهارد است.
۶. رضایی و دادستان (۱۳۹۱) در مقاله‌ای با عنوان «بررسی علل نشست تدریجی خطی زمین و ارزیابی پارامترهای ژئوتکنیکی در شهرک طالقانی اشتهارد»، به بررسی قنات‌های قدیمی پوشیده شده در عمق ۱۵ متر در شهرک طالقانی شهر اشتهارد پرداخته و دلیل نشست خطی را در این شهرک ناشی از امتداد خطی میان چاه قنات می‌داند.
۷. شریعتمداری و فاضلیان (۱۳۸۱) در مقاله‌ای با عنوان «پایداری فضاهای زیرزمینی در مجموعه کاریزکیش» به بررسی مجموعه قنات کیش به کمک نرم‌افزار فلیس پرداخته است.
۸. مالکی و خورسندی آقایی (۱۳۸۴) کتاب «قنات در ایران (مطالعه موردی قنات شهر تهران)»، در این پژوهش به بررسی تاریخچه قنات در ایران و جهان و به‌ویژه در شهر تهران پرداخته شده است. بررسی‌های این تحقیق نشان می‌دهد. قنات‌ها در زیر شهر تهران در اثر توسعه شهری آسیب‌دیده‌اند، متقابلاً در اثر آسیب وارده مشکلاتی را برای ساکنان منازل، ابنیه، خیابان‌ها و دیگر سازه‌های شهری ایجاد کرده‌اند، که برنامه‌ریزی مدون و هماهنگ در رابطه با قنات‌های شهر تهران را طلب می‌کند.
۹. پلت و همکاران (۲۰۰۵) بررسی ژئوتکنیکال قنات‌ها در زمین‌لرزه بم در سال ۲۰۰۳ نتایج تحقیق به اثرات این زلزله و علل آن در تخریب قنات بم پرداخته است
۱۰. حسن الدین (۲۰۰۹) در تحقیقی روند توسعه فیزیکی شهر جاکارتا میزان فرونشست شهر جاکارتا را در حدود ۱۵-۱ سانتی‌متر در سال در دوره زمانی ۱۹۹۷-۱۹۸۳ عنوان کرده است و علت اصلی آن را رسوبات سست موجود در بستر شهر و افزایش بار مسکونی ساختمان‌ها اعلام نموده است.
۱۱. پیش‌نویس ضوابط مربوط به ساختمان‌ها و سایر مستحذات در مجاورت قنات‌ها در تهران (۱۳۹۳) سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران. در این پژوهش با توجه به عدم وجود قوانین مدون در خصوص مناطقی

که بر روی قنات‌ها ساخت‌وساز کرده‌اند به موارد لازمه و توصیه‌هایی در قالب پیش‌نویس قانون در محدوده‌های شهری پرداخته است.

۱۲. مهندسین مشاور مشهد زیست زمین (۱۳۹۴) گزارش مقدماتی مطالعات قنات و آب‌های زیرسطحی سبزوار، به بررسی منابع آب‌های سطحی و زیر زمینی منطقه سبزوار پرداخته است.

۴- محدوده مورد مطالعه

شهر سبزوار مرکز شهرستان سبزوار از نظر موقعیت جغرافیایی در محدوده طول $37^{\circ} 57'$ تا $46^{\circ} 57'$ و عرض $91^{\circ} 36'$ تا $22^{\circ} 36'$ قرار گرفته است. (شکل ۱) این شهر در دشتی نسبتاً مسطح و بر روی رسوبات آبرفتی با ارتفاع ۹۶۰ متر از سطح دریا قرار دارد. مساحت شهر مطابق آخرین طرح مصوب سطحی معادل ۳۱۰۰ هکتار است که از این میزان ۱۸۶ هکتار آن در بافت فرسوده و ۴۳ هکتار در بافت تاریخی می‌باشد. (طرح جامع شهر سبزوار، ۱۳۹۱/۸/۲۲: ۲۰)

بر اساس آخرین سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۰ جمعیت شهر سبزوار از ۲۳۱۵۵۷ نفر گزارش شده است. شهر سبزوار تا قبل از دهه ۱۳۴۰ و شروع جدی مدرنیزاسیون در ایران همانند شهرهای سایر نواحی ایران از رشدی درون‌زا و ارگانیک برخوردار بوده و تعادلی مناسب میان نرخ رشد جمعیت شهر و نرخ رشد مساحت آن برقرار بوده است. اما از دهه ۱۳۴۰ بدین سو به دنبال اصلاحات ارضی و اجرای برنامه‌های عمرانی و تبع آن شهرنشینی سریع نرخ رشد کالبدی شهر نسبت به جمعیت آن روند افزایشی یافته است. رواج اتومبیل؛ تهیه طرح‌های شهری؛ طرح‌های آماده‌سازی زمین؛ واگذاری زمین به سازمان‌ها و نهادهای دولتی و عمومی همراه با بورس‌بازی زمین و مسکن از سوی بخش خصوصی برخی از عواملی بودند که زمینه را برای پراکنده رویی شهر و افزایش مساحت آن فراهم ساختند.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که تا پیش از سال ۱۳۳۵ رشد جمعیت شهر نسبت به رشد مساحت آن بیشتر بوده است. به طوری که نرخ رشد جمعیت طی سال‌های ۱۳۰۰ تا ۱۳۳۵ برابر ۲/۴۲ درصد و نرخ رشد مساحت برابر ۱/۴ درصد بوده است، این امر را شاید بتوان به این دلیل دانست که هنوز جریان عبور و مرور در شهر بر وسایل نقلیه سنتی استوار بوده است و وسایل نقلیه شهری مدرن در حمل‌ونقل شهرها جای چندانی نداشتند. اما در فاصله سال‌های ۱۳۴۵ و ۱۳۵۵ به واسطه اجرای اصلاحات ارضی؛ اجرای برنامه‌های عمرانی سوم؛ چهارم و پنجم افزایش قیمت نفت و گسترش فعالیت‌های عمرانی شهری؛ رواج استفاده از وسایل نقلیه مدرن در شهر و گسترش مهاجرت‌های روستا شهری؛ نرخ رشد مساحت شهر بر نرخ رشد جمعیت شهر پیشی گرفته است به طوری که نرخ رشد مساحت شهر بین سال‌های ۳۵-۴۵ و ۴۵-۵۵ به ترتیب برابر با ۴/۷ و ۵/۲۳ درصد در برابر نرخ رشد جمعیتی ۳/۲۳ و ۵/۰۷ درصد بوده است. در فاصله سال‌های ۱۳۵۵ تا ۱۳۶۵؛ علیرغم افزایش نرخ رشد جمعیت شهر؛ به واسطه تهیه طرح جامع شهر در فاصله سال‌های ۱۳۵۸ تا ۱۳۶۸ که باعث کنترل روند ساخت و سازها در شهر شد و نیز وقوع جنگ تحمیلی که تغییرات اساسی را در اوضاع اجتماعی و اقتصادی کشور ایجاد نموده و کاهش قیمت نفت که باعث افت فعالیت‌های عمرانی در کشور شد؛ نرخ رشد مساحت شهر نسبت به نرخ رشد جمعیت اندکی اختلاف پیدا کرد. در این دوره نرخ رشد جمعیت شهر ۶/۳۶ و نرخ رشد مساحت آن ۴/۷۶ درصد بوده است (حسینی و قدمی، ۱۳۸۶: ۱۶۱).

در فاصله سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۷۵ با اتمام جنگ تحمیلی و آرام شدن نسبی اوضاع و احوال کشور؛ رونق دوباره مهاجرت‌های روستا شهری و ایجاد پهنه‌های حاشیه‌نشین در پیرامون شهر و تهیه طرح‌های آماده‌سازی برای شهر سبزوار در محدوده توسعه پیوسته و ناپیوسته آن؛ نرخ رشد توسعه کالبدی شهر افزایش چشمگیری پیدا می‌کند و این در حالی است که با اجرای برنامه‌های تنظیم خانواده و افزایش سطح آگاهی خانواده‌ها و مشکلات اقتصادی آنان؛ نرخ رشد جمعیت شهر کاهش چشمگیری را داشته است در این دوره نرخ رشد جمعیت ۲/۸ درصد، نرخ رشد مساحت ۹/۳ درصد بوده است و در نهایت در فاصله سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵ با به بار نشستن اراضی آماده‌سازی دوره پیشین و تهیه طرح جامع و تفصیلی شهر که باعث نظارت بیشتر بر روند ساخت‌وسازهای شهری شد؛ در کنار کاهش قیمت نفت در

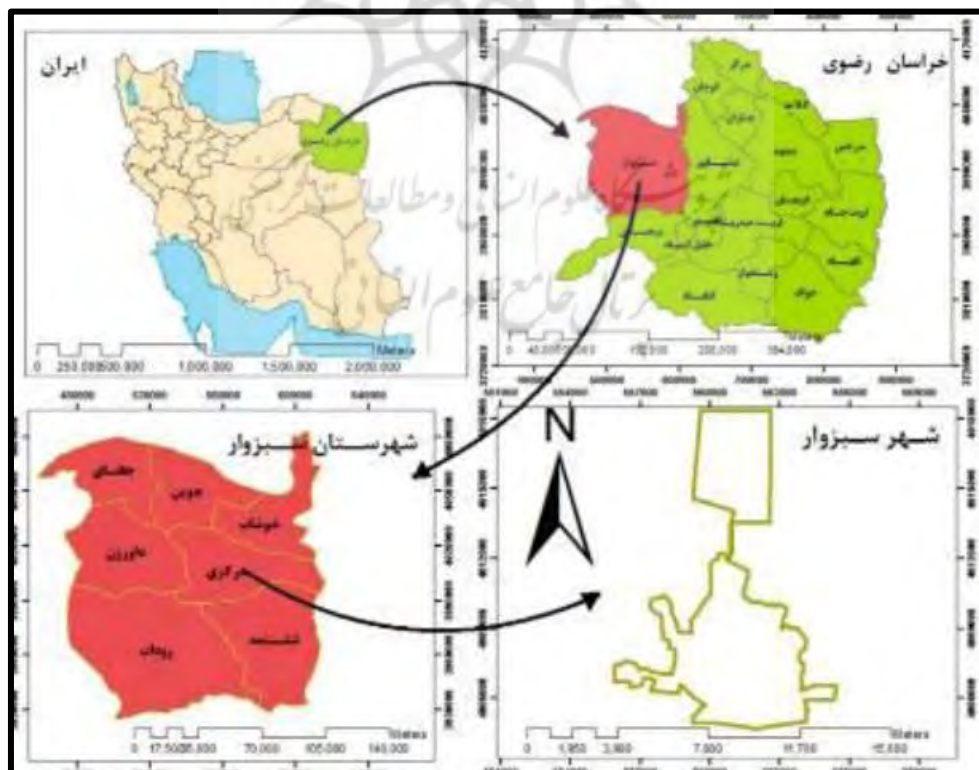
سال‌های اواخر دهه ۱۳۷۰ و اوایل دهه ۱۳۸۰ کاهش کارکرد فعالیت‌های عمرانی شهری را به دنبال داشت؛ نرخ رشد توسعه کالبدی شهر نسبت به نرخ رشد جمعیت کاهش اندکی پیدا می‌کند؛ هرچند در این دوره رشد جمعیت ۰/۴ درصدی را به خود دیده است در این دوره نرخ رشد جمعیت ۲/۴ و نرخ رشد مساحت ۱/۹ درصد بوده است (حسینی و قدمی، ۱۳۹۲: ۲۲۲).

در دوره سرشماری ۸۵ تا ۹۰ نرخ رشد جمعیت علیرغم سیاست‌های افزایشی جمعیت نرخ کاهشی داشته و به رقم ۱/۳۵ درصد تنزل می‌کند؛ درحالی‌که نرخ رشد مساحت نسبت به دوره قبل افزایش نشان می‌دهد و به ۳ درصد می‌رسد. این تفاوت گویای رشد افقی شهر سبزوار است.

جدول ۱: نرخ رشد جمعیت و مساحت شهر سبزوار از سال ۱۳۳۵-۱۳۹۰

سال	جمعیت (نفر)	نرخ رشد جمعیت (درصد)	مساحت (هکتار)	متوسط رشد سالیانه مساحت (درصد)
۱۳۳۵	۳۰۵۴۵	-	۲۱۶	-
۱۳۴۵	۴۲۴۱۵	۳/۳۳	۳۴۳	۴/۷
۱۳۵۵	۶۹۵۶۲	۵/۰۷	۵۷۱	۵/۲۳
۱۳۶۵	۱۲۹۱۰۳	۶/۳۶	۹۰۷	۴/۷۶
۱۳۷۵	۱۷۰۷۳۸	۲/۸	۲۲۱۲	۹/۳
۱۳۸۵	۲۱۶۵۲۴	۲/۴	۲۶۷۶	۱/۹
۱۳۹۰	۲۳۱۵۵۷	۱/۳۵	۳۱۰۰	۳
۱۳۳۵-۱۳۹۰	-	۳/۷۵	-	۵

منبع (سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال‌های ۱۳۳۵-۱۳۹۰، طرح جامع شهر سبزوار، محاسبات نگارنده)



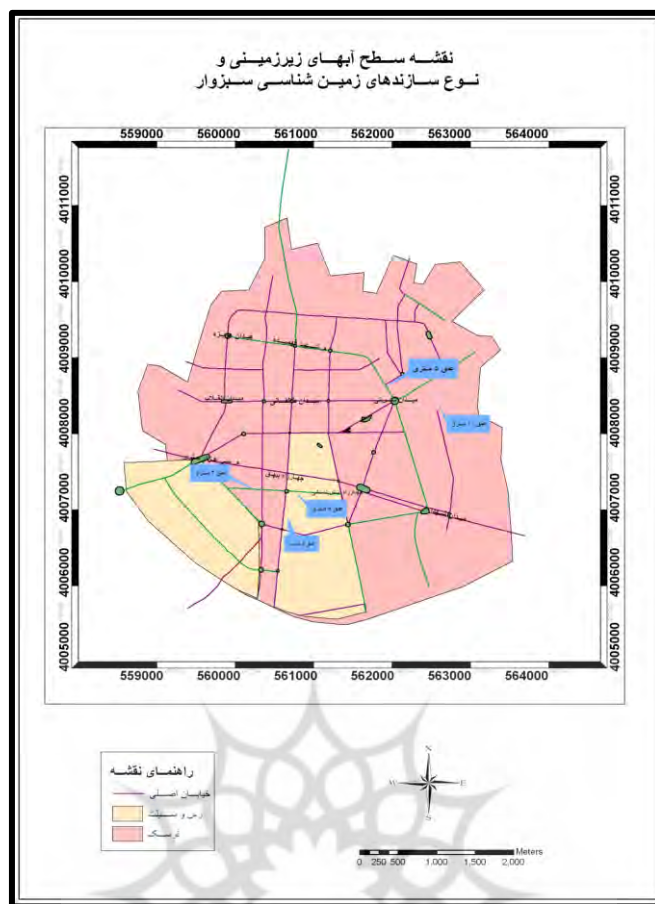
شکل ۱: موقعیت شهر سبزوار در ایران، استان خراسان رضوی و شهرستان سبزوار

۴-۱- ویژگی‌های زمین‌ساختی محدوده تحقیق

شهر سبزوار از جنوب به دشت نسبتاً مسطح سبزوار محدود می‌شود که از رسوبات آبرفتی دوران چهارم تشکیل شده است. این دشت از شرق به غرب کشیده شده و شامل عوارضی مختلفی مانند مخروطافکنه‌ها، پادگانه‌های آبرفتی، شن‌های روان و رسوبات دانه‌ریز تبخیری است. سنگ کف دشت عموماً از رسوبات تبخیری نئوژن همراه با چین‌خوردگی تشکیل شده است. بیشترین ضخامت آن حدود ۳۰۰ متر در ناحیه‌ای کوچک واقع در دشت است این سنگ در دشت سبزوار و در قسمتی که کویر به طرف مشرق و تا مرزهای جنوب شهر پیشروی می‌کند، وجود داشته و در اطراف کال شور تپه‌های ماسه‌ای دیده می‌شود.

تشکیلات سنگ‌آهک و دولو میتی دوره کربونیفر و آهک‌های متراکم و مارنی دوره کرتاسه که هسته ارتفاعات شمالی و جنوبی را تشکیل می‌دهند، شبکه سفره‌های آب زیرزمینی را به وجود می‌آورند.

در دره‌های شمال شهر با کاهش نفوذپذیری زمین، نقش تشکیلات زمین‌شناسی در تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی خیلی کم می‌شود. به طوری که تغذیه چند چشمه کوچک و بزرگ در بستر دره‌ها موجب جریان آب سطحی در اثر تمرکز رواناب‌ها و نفوذپذیری پایین آب در سنگ‌های آتشفشانی تخریب‌شده و دگرگونی می‌شود. رسوبات تبخیری (Eraprites) میوسن موجود در این کوهستان‌ها و در رشته‌کوه‌های جوبین عامل شوری آب‌های این منطقه است. برمبنای مطالعات انجام‌شده عمق سنگ کف نفوذناپذیر شهر سبزوار بالاست. رسوبات آبرفتی و سیلابی که بستر شهر را پوشانیده روی سنگ‌بستر قرار گرفته که از ضخامت کمی برخوردارند. ضخامت کم آبرفت‌ها به موازات بالا بودن سطح آب زیرزمینی، بستر زمین ساختی بسیار ناپایداری در برابر عوامل محرک تکتونیکی مانند زلزله فراهم نموده است. بررسی‌های انجام‌شده از طریق روش‌های ژئو الکتریکی و حفاری اکتشافی نشان می‌دهد که جنس رسوبات شمال شهر دارای ضخامت بسیار زیادی متشکل از رسوبات رسی به همراه لایه‌های کم ضخامت ماسه‌ای که به وسیله مواد رسی سیمانی شده است، می‌باشد. این رسوبات در شمال محدوده شهری بسیار ضخیم بوده و عمیق‌ترین چاه منطقه با عمق ۱۱۰ متر نتوانسته از این لایه عبور کند. برای به دست آوردن عمق لایه‌های عمیق‌تر نیازمند استفاده از روش‌های پیشرفته ژئو الکتریکی و حفاری اکتشافی به منظور شناسایی جنس رسوبات در مناطق مختلف می‌باشد. هر چه به سمت جنوب محدوده شهری حرکت کنیم از ضخامت لایه رسی کم شده در جنوب شهر جنس زمین از لایه‌های ماسه‌ای همراه با دانه‌های نخودی از سنگ‌های شسته شده از ارتفاعات تشکیل می‌شود. مسلماً مقدار قابلیت انتقال در این محدوده به مراتب خیلی بیشتر از نواحی شمالی شهری می‌باشد. بیشتر چاه‌های عمیق که دارای آبدهی خوبی دارند در این منطقه واقع شده‌اند. از طرفی در محدوده مناطق مرکزی شهر سبزوار سازه‌هایی با بافت فیزیکی متشکل از رس و سیلت وجود دارد که همین ساختمان فیزیکی شرایط ویژه‌ای را برای شهر در ارتباط با آب‌های زیرزمینی به وجود آورده است. در حالت طبیعی ذرات رس هیچ‌وقت نمی‌توانند به‌طور کامل خشک و عاری از آب باشند تمایل شدید ذرات رس به جذب آب به دلیل ماهیت آب‌دوستی آنهاست. هنگامی که یک توده خاک رس در مجاورت آب قرار می‌گیرد به دلیل جذب آب و پیدایش لایه آگیری در اطراف ذرات، خاک شروع به تورم کرده و فشار حاصله از این تورم به اطراف منتقل می‌شود. در نقشه (۲) سطح آب‌های زیرزمینی و نوع سازندهای زمین‌شناسی شهر سبزوار نشان داده شده است. بنابراین با توجه به مطالب فوق، دلیل عمده‌ای که امروز مسئله قنات‌ها و نشست‌های ناشی از آن‌ها در سبزوار به یک مسئله حاد تبدیل کرده است، وجود سازندهای زمین‌شناسی منطقه است که در مناطق مرکزی و جنوبی شهر از بافت نرم و رسی و در عین حال بانفوذ پذیری پایین و در مناطق شمالی و شرقی شهر از بافت سخت و محکم و در عین حال ریزدانه برخوردار است، به عبارتی می‌توان این‌گونه بیان داشت که سازندهای زمین‌شناسی منطقه به‌عنوان یک عامل تشدیدکننده در کنار قنات‌ها سبب وقوع فرونشینی‌های رخ داده در شهر می‌باشند.



شکل ۲: سطح آبهای زیر زمینی و نوع سازندهای زمین شناسی سبزوار

۵- روش‌شناسی تحقیق

پژوهش حاضر با استفاده از روش توصیفی-تحلیلی با هدف کاربردی به بررسی خطر ریزش و نشست قنات‌های شهر سبزوار پرداخته است. در این پژوهش از منابع کتابخانه‌ای، اسناد، نقشه‌های طرح جامع و تفصیلی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰، نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ برای تجزیه و تحلیل اطلاعات استفاده شده است، در نهایت با استفاده از نرم افزار ARC GIS به بررسی پهنه بندی خطر ریزش و نشست قنات‌های متروکه پرداخته و راهکارهایی در این زمینه ارائه شده است.

۵-۱- تاریخچه تأمین و توزیع آب در شهر سبزوار

شهرستان سبزوار با توجه به موقعیت جغرافیایی و قرار گرفتن در شاهراه اصلی جاده ابریشم از دیرباز مورد توجه بوده است، موقعیت میان راهی شهر سبزوار آن را به یک کلان‌شهر منطقه‌ای تبدیل نموده که نیاز روزافزون به منابع آبی را باعث گشته است. از گذشته مردمان سخت‌کوش این دیار با احداث قنات‌های یکی از ابداعات و افتخارات ایرانیان است، آب را از اعماق زمین به سطح رسانده و به مصارف شرب و کشاورزی می‌رسانده‌اند. این وضعیت تا سال ۱۳۴۰ ادامه داشته است.

اولین تکنولوژی تأمین و توزیع آب در حدود سال ۱۳۴۰ در شهر سبزوار مورد استفاده قرار گرفت. مصرف آب شرب از زمان‌های قدیم توسط دو رشته قنات قصبه و عبدالرحمن که در آن زمان در تملک شهرداری قرار داشت تأمین می‌گردید. آب حاصل از این دو رشته قنات به مخزن یک هزار مترمکعبی واقع در مرکز شهر فعلی انتقال داده می‌شد و

از آنجا در شبکه توزیع قرار می‌گرفت، که بر اساس آمار وزارت نیرو بین سال‌های ۱۳۴۷ تا ۱۳۵۲ جمع آبدهی این دو قنات بالغ بر ۱۰۰ لیتر در ثانیه بوده است.

رشد روزافزون جمعیت، گسترش شهرنشینی و افزایش سطح بهداشت عمومی نیاز به منابع آبی بیشتری را ایجاد می‌کرد، لذا شهرداری وقت بر آن شد که با خرید قنات دیگر از مالکین حومه شهر بر این مشکل فائق آید. ولی به دلایلی این نتیجه‌ای در بر نداشت، به‌ناچار حفر چاه راه‌حل دیگری بود که به آن توجه شد. بنابراین اولین چاه در دشت شمال غرب سبزوار در منطقه کسکن در سال ۱۳۵۰ حفر گردید، به‌تناسب افزایش مصرف میدان آبی منطقه کسکن توسعه‌یافته و تا سال ۱۳۵۴ سه حلقه دیگر به نام چاه شماره ۱، ۲، ۳، ۴ در منطقه کسکن حفاری گردید. آب استحصالی از این چاه‌ها توسط خط انتقال به قطر ۳۰۰ میلی‌متر به مخازن هزار و دو هزار مترمکعبی (مخازن قدیمی شهر) انتقال‌یافته و نهایتاً در شبکه توزیع قرار می‌گرفت. علاوه بر منابع جدید در تابستان ۱۳۵۴ قنات دیگری در غرب شهر به نام قنات دهراز به مدت ۸ ساعت در شبانه‌روز از مالکان روستای قلعه‌نو اجاره گردید که این قنات تا سال ۱۳۷۱ و قبل از بهره‌برداری از حوضه دشت بفره در ماه‌های گرم سال توسط متولی آن زمان یعنی شهرداری استفاده می‌شد. حفر چاه‌های مذکور منجر به افت شدید سطح آب سفره‌های شمال غرب منطقه گردید که عمدتاً قنات کلاته آقازاده، کلاته سیفرو دهراز را تحت تأثیر قرارداد. از این‌رو برداشت آب از دشت کسکن محدود گردید و حوضه شمالی به نام دشت کلوت نثار خانه مورد توجه قرار گرفت. از سال ۱۳۵۷ تا سال ۱۳۶۵ شهرداری اقدام به حفر ۷ حلقه چاه جدید در امتداد مسیر قنات این منطقه نموده و بهره‌برداری بیش از ظرفیت این چاه‌ها باعث افت شدید سطح آب و کاهش آبدهی قنات این منطقه بخصوص قنات قصبه گردید، تا جایی که قنات مذکور در حال حاضر خشک می‌باشد. بنابراین می‌بایست از یک‌سو برداشت آب از سفره‌های شمالی شهر که تنها منبع آب باکیفیت مناسب و در مجاورت شهر می‌باشد، محدود می‌گردید از سوی دیگر با توجه به افزایش قابل توجه جمعیت طی دهه ۵۵ تا ۶۵ افزایش منابع آبی امری اجتناب‌ناپذیر می‌نمود. لذا یافتن منابع جدید در فواصل دور دست به‌منظور تأمین آب مورد نیاز ضرورت می‌یافت. بنا بر پیشنهاد مهندسین مشاور مهتاب قدس در سال ۱۳۵۶ توسعه منابع آبی آتی شهر در فاصله ۳۰ تا ۶۰ کیلومتری غرب سبزوار یعنی پایکوه‌های جنوبی رشته جغتای متمرکز گردید. پس از مطالعات انجام‌شده در این خصوص دشت بفره (منطقه مهر و ریوند) در نزدیکی جاده سبزوار شاهرود جهت تأمین آب در نظر گرفته شد. در اولویت نخست طرح هشت حلقه چاه بین سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۷۰ حفاری گردید که هم‌زمان با اتمام اجرای خط انتقال ۶۰۰ میلی‌متری، ایستگاه پمپاژ و مخزن بیست هزار مترمکعبی واقع در روبروی بیمارستان واسعی در سال ۱۳۷۱ مورد بهره‌برداری قرار گرفت.

اولویت دوم بهره‌برداری از دشت مذکور با حفاری ۲ حلقه چاه می‌بایست توسعه یابد در خلال اجرا و راه‌اندازی طرح آبرسانی از بفره با توجه به کمبود شدید آب در سطح شهر، شهرداری ناگزیر از توجه به سایر حوضه‌ها گردید، از آن جمله چاه‌های ۶۵ دشت کسکن بین سال‌های ۱۳۶۴ تا ۱۳۶۸ چاه‌های شماره ۸ و ۹ دشت کلوت در سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۷۰ می‌باشد. با توجه به محدودیت‌های ذکر شده در ارتباط با بهره‌برداری حوضه‌های مذکور توسعه بالنسبه اندکی در خلال این سالها داشته‌اند (طرح مطالعات آبرسانی شهر سبزوار - اداره آب و فاضلاب شهر سبزوار).

۵-۲- موقعیت قنات‌های سطح شهر سبزوار

بررسی نقشه‌های ۵:۵۰۰۰۰: ۱ توپوگرافی شهر سبزوار نشانگر آن است که ۱۲ رشته قنات در سطح شهر و حریم آن وجود دارد که تعداد ۱۰ رشته به نام‌های: افضل‌آباد، حاج عباس، حاج ملا، صالح‌آباد، فتح‌آباد، جعفرآباد، کمیلی، سنجر آباد، آغاسی، نقابشک در سطح شهر سبزوار گسترده شده‌اند.

متوسط عمق دهانه چاه این قنات‌ها ۸۰ متر و میانگین طول هر رشته قنات ۱۰ کیلومتر است. قطر میل چاه قنات‌های منطقه اغلب در حدود ۱ متر و قطر مجاری زیرزمینی قنات در حدود ۱/۲-۱ متر است. فاصله میل چاه‌ها در منطقه بررسی‌شده بسیار متغیر است.

مادر چاه این ۱۲ رشته قنات عمده‌تاً در قسمت شمال و مظهر آن‌ها در جنوب شهر می‌باشد. بنا به گفته مسئولین امر مادر چاه برخی از این قنات‌ها در حال حاضر شناسایی نشده است و معتقدند که مادر چاه این قنات‌ها در قسمت کلوت‌های شمالی و یا بالاتر از این کلوت‌ها واقع شده است. در دهه‌های گذشته از این قنات‌ها برای مصارف کشاورزی و شرب و سایر مصارف شهری استفاده می‌شده است. حدوداً ۸ رشته قنات به‌صورت تقریباً موازی در امتداد شمال به جنوب وجود دارد که تا سال‌های حدود ۱۳۳۰ علاوه بر استفاده‌های کشاورزی به علت عدم وجود شبکه توزیع آب از این قنات‌ها به‌عنوان شرب نیز استفاده می‌شده است. در حال حاضر با توجه به رشد فیزیکی شهر سبزوار ۹ رشته از این قنات‌ها در بافت شهری به‌ویژه بافت مرکزی شهر قرار گرفته است (بیهقی، ۱۳۷۰: ۲۰۲).

۵-۲-۱- قنات افضل آباد

این قنات در غربی‌ترین قسمت شهر سبزوار واقع شده است مادر چاه این قنات از اراضی چهارباغ سرچشمه گرفته و بعد از طی مسیر از مناطق مسکونی از کنار هتل کاملیا عبور کرده و بعد از عبور از زیر بلوار سرداران به‌طرف پایانه مسافری حرکت کرده و در پایین‌دست اتوبان به سطح زمین راه پیدا می‌کند. میل چاه‌های این قنات در محدوده اتوبان و پایانه قابل دسترسی می‌باشند. بررسی‌های میدانی در داخل میل چاه‌ها و کوره قنات افضل‌آباد مشخص گردیده مشکلی از لحاظ ریزش نداشته و دارای دبی حدود ۲۰ لیتر در ثانیه می‌باشد.

طبق اظهارات نماینده مالکین قنات طی ۳۵ سال گذشته از میل چاه ۱۶ به بعد لایروبی و ترمیم انجام نشده است. بنابراین مشخص کردن مسیریابی قنات از این میل چاه به بعد میسر نمی‌باشد. علاوه بر این کوره قنات طبق گفته‌های مقنی دارای گاز بوده و ادامه دادن بدون تجهیزات خطرناک می‌باشد سطح آب در میل چاه‌ها اندازه‌گیری شده و در حدود ۷/۵ متر می‌باشد (مهندسین مشاور مشهد زمین‌ساخت، ۱۳۹۴: ۵).

۵-۲-۲- قنات حاج عباس (قنات قلوه)

قنات حاج عباس دارای ۱۲ مالک می‌باشد، که هرکدام چندساعتی آب قنات را مالک هستند. مظهر قنات حاج عباس کاملاً مسدود گردیده و امکان ورود مقنی به داخل مسیر کوره قنات نمی‌باشد. طبق گفته مطلعین محلی این قنات و قنات حاج ملا باهم یکی شده و از کنار خیابان هفت‌تیر روبروی پارک شهدای شلمچه به داخل جدول کنار خیابان می‌ریزد. از این مسیر به بعد آب به‌صورت سطحی طی مسیر می‌کند و بعد از عبور از اتوبان مزارع زبردست را مشروب می‌سازد. مسیر این قنات از شمال به جنوب می‌باشد، همچنین شعبات فرعی آن به شرق و جنوب غرب امتداد یافته است. از این مسیر به بعد تقریباً به‌صورت اریب از میان ساختمان‌ها می‌گذرد تا فلکه بیضی می‌رسد و از غرب خیابان اصلی ادامه می‌یابد، تا به میدان مادر و از آنجا به سراه امیر مسعود رسیده پس از طی این مسیر قنات به خیابان ناوی و دوازده متری حاج عباس می‌رسد که بیشتر از جلو خانه‌ها عبور می‌کند و از آنجا تا به زمین‌های زیر اتوبان ادامه می‌یابد و زمین‌های آنجا را مشروب می‌سازد. آلودگی آب این قنات با آب فاضلاب باعث شده محصولاتی مانند گوجه‌فرنگی و سبزی کشت نشود. (مهندسین مشاور مشهد زمین‌ساخت، ۱۳۹۴: ۶).

۵-۲-۳- قنات حاج ملا

این قنات به نام مرحوم حاج ملا محمد محمدیه (کاشمیری) نامیده می‌شود و دارای ۱۰ مالک است این قنات فاضلاب‌های نواحی کوشک و عطا ملک و دروازه عراق به آن وارد می‌شود و در زیر پمپ‌بنزین جدید سمت ورودی از شاهرود به سبزوار (خط کمربندی) ظاهر می‌شود. مدار گردش آب آن دوازده شبانه‌روز یک‌بار است، که زمین‌های

حدود ۴-۵ هکتار را آبیاری می‌کرده است. اما امروزه با توجه به کم شدن نزولات جوی یک تا دو هکتار را بیشتر آبیاری نمی‌کند، آن‌هم بیشتر از فاضلاب‌هایی است که به این قنات متصل است، که از این آب در کشاورزی محدودی برای کشت سبزیجات استفاده می‌شود. مسیر این قنات یک مسیر شمالی-جنوبی است، مجرای آن از طرف غرب خیابان اصلی به سمت جنوب امتداد می‌یابد تا به چهارراه کوشک می‌رسد. از آنجا ادامه می‌یابد تا به دروازه عراق، سپس از بین ساختمان‌ها و کوچه‌ها به بلوار امام خمینی و کوچه دوازده متری حاج عباس وارد می‌شود و از زیر مسجد زینبیه به طرف سه‌راه حارث‌آباد می‌رسد و آب خروجی از طریق جداول کنار خیابان اصلی به زمین‌های زیر اتوبان منتهی می‌شود.

۵-۲-۴- قنات صالح‌آباد

این قنات به گفته نماینده مالکین قنات از میدان پست و تلگراف به سمت میدان کارگر امتداد یافته و سپس از زیر مناطق مسکونی از مسیر خیابان فرودگاه به سمت جنوب شرق ادامه پیدا می‌کند، در ادامه این قنات به انتهای بلوار امام رضا سپس با عبور از زیر اتوبان به روستای صالح‌آباد امتداد یافته و در کنار استخری قدیمی آب خود را تخلیه می‌کرده است. در حال حاضر این قنات محدود می‌باشد که یکی از دلایل آن وجود ماسه‌های بادی در منطقه شرق سبزوار می‌باشد و دلیل دیگر آن واگذاری زمین‌های حریم میل چاه‌های قنات به مردم جهت ساخت منازل مسکونی که باعث پرکرده تمامی میل چاه‌های قنات توسط مردم شده است. همچنین در هنگام ساخت اتوبان و پل کوره قنات قطع گردیده و دیگر وصل نشده است. همچنین در بالادست نیز بیشتر مردمی که با میل چاه‌های این قنات سرکار داشتند این میل چاه‌ها را پرکرده تا امنیت منازل خود را تأمین کنند در همین مناطق نیز بعضی از افراد در سال‌های قبل فاضلاب خود را به این مجاری متصل کردند و این خود باعث ناپایداری و سست شدن این مناطق شده است. مظهر قنات صالح‌آباد کاملاً زیر منازل مسکونی می‌باشد و فقط استخری که در قدیم از آن به‌عنوان ذخیره آب استفاده می‌شده است، موجود می‌باشد (مهندسین مشاور مشهد زیست زمین، ۱۳۹۴: ۱۰).

۵-۲-۵- قنات فتح‌آباد و جعفر‌آباد و احتمالاً قنات کمیلی

این قنات‌ها گیرنده فاضلاب‌های خیابان قائم و بسیج مستضعفین، سرده، پامنار و افتخار و کوچه‌های بالاتر و پایین‌تر از خیابان اسرار و سبزی است و در زیر اتوبان ظاهر می‌شوند. قنات فتح‌آباد از جمله قناتی است که از قدمت زیادی برخوردار است، دارای مالکینی نیز می‌باشد که به‌صورت نسل به نسل به این مالکین رسیده آب این قنات در حال حاضر می‌تواند زمینی در حدود ۵ هکتار را در یک شبانه‌روز آبیاری کند. امروز این قنات تنها قناتی است که آب قابل بهره‌برداری دارد و دبی آن در حدود ۳۵ لیتر در ثانیه می‌باشد، بیشتر آب این قنات از فاضلاب‌های شهری تأمین می‌شود. این قنات دارای پیامدهای منفی زیست‌محیطی است که سبب شده دید مردم نسبت به این قنات رضایت‌بخش نباشد. البته این نکته قابل‌ذکر است که بیشتر این فاضلاب‌ها از حدود فلکه فلسطین به پایین به این قنات وصل می‌شوند. نکته دیگری که در رابطه با این قنات قابل‌ذکر است تهدیدی است که این قنات در تخریب آثار تاریخی سبزوار یعنی مسجد جامع شهر به وجود آورده و سبب ایجاد ترک در ساختمان این بنا و نشست پی آن شده است. همچنین منازلی که در مسیر این قنات در سطح پایین‌تری از آن قرار دارند از ورود این فاضلاب‌ها به خانه‌هایشان شکایت دارند. مجرای این قنات از خیابان اصلی در بین ساختمان‌ها و تأسیسات شهری قرار گرفته تا به باغ ملی می‌رسد، از آنجا تا مدرسه اسرار ادامه می‌یابد، تا در پیاده‌روهای خیابان اصلی تا به چهارراه بی‌هق می‌رسد کوچه گلستان را طی می‌کند و به‌صورت ماریپیچی به میدان اسرار می‌رسد و به جنوب امتداد می‌یابد تا به خیابان لوله نفت می‌رسد. در حال حاضر آب این قنات در کنار خیابان اسرار جنوبی و در جدول سمت راست خیابان جریان دارد تا به اتوبان می‌رسد. طبق اظهارات مردم محلی و صاحبان قنات آب این قنات با فاضلاب شهری مخلوط می‌شود و بوی نامطبوعی را ایجاد کرده است این قنات پس از حادثه فروریزش زمین در چهارراه بی‌هق و جان باختن یک موتورسوار کوره قنات مسدود و

ادامه مسیر از داخل لوله‌هایی که توسط شهرداری به همین منظور جایگذاری شده ادامه داده و تا میدان هدایت ادامه پیدا می‌کند. مظهر این قنات در حال حاضر از قسمت شمال غربی میدان هدایت از داخل لوله خارج می‌گردد و از جدول کنار خیابان هفت‌تیر به سمت میدان هفت‌تیر حرکت کرده و بعد از عبور از اتوبان اراضی پایین‌دست را مشروب می‌سازد.

۵-۲-۶- قنات نقابشک

قنات نقابشک هم مسیر با خیابان پوریای ولی به سمت شمال شهر دارای روندی شمالی جنوبی می‌باشد. مظهر این قنات از کنار خیابان پوریای ولی بیرون‌زدگی دارد. آب خارج‌شده از این قنات بسیار کدر و بدبو می‌باشد. مسیر قنات نشان می‌دهد که میل چاه‌های این قنات در زیر مناطق مسکونی می‌باشد. طبق اظهارات مردم محلی این قنات در بعضی از مکان‌ها به دلیل برخورد با مسیر فاضلاب مسدود شده است. بررسی بیشتر برای به دست آوردن مسیر و میل چاه‌های این قنات نیازمند تجهیزات و لوازم پیشرفته‌تر می‌باشد (مهندسی مشاور مشهد زمین‌ساخت، ۱۳۹۴: ۱۲)

۵-۲-۷- قنات سنجر آباد

این قنات فاضلاب اطراف شهرک ابودر و شهید باهنر (چهل متری) و چهل متری سوم را با خود می‌برد و در زیر فرودگاه ظاهر می‌شود. این قنات کاملاً توسط مناطق مسکونی پوشیده شده است مظهر این قنات در نزدیکی میدان امام حسین بیرون‌زدگی داشته است. هم‌اکنون هیچ‌گونه اثری از مظهر این قنات در این منطقه وجود ندارد. طبق گفته‌های ریش‌سفیدان محلی در حدود سی سال پیش در این منطقه استخر آبی وجود داشت که در واقع مربوط به مظهر این قنات بوده است.

۵-۲-۸- قنات آغاسی

این قنات با داشتن ۱۹ مالک در زیر مصلاهی جدید ظاهر می‌شود و زمین‌های اطراف قسمت پایینی خود تا جاده جدید مشهد- تهران (کمربندی) را آبیاری می‌کند و چون در مجاورت مظهر این قنات منازلی ساخته‌شده فاضلابشان بوی بد و زنده‌ای ایجاد کرده است. این قنات گذرگاه آب‌های بلوار دکتر چمران و انشعاباتش و خیابان‌های ابومسلم و ۲۲ بهمن و... است.

۵-۳- تأثیر رشد جمعیت شهری و توسعه فیزیکی شهر بر کارکرد قنات‌ها

سبزوار یکی از شهرهای کهن استان خراسان است که از دیرباز مهم‌ترین مکان زیستی این منطقه بوده است. در سکونت‌گزینی حیات و تحولات آن در طول تاریخ عواملی همچون شرایط طبیعی، سیاسی و نظامی، مبادلات بازرگانی و اقتصادی و فرهنگی نقش تعیین‌کننده‌ای داشته است (مهری، ۱۳۸۳: ۲۴۳).

برخی این شهر را به عهد اشکانیان می‌دانند و برخی بر این باورند که احداث این شهر هم‌زمان با تشکیل سلسله ساسانیان در ایران بوده است. محدوده سبزوار تا قبل از سال ۱۳۰۰ هجری شمسی تقریباً منطبق بر محدوده فعلی بافت قدیم شهر بوده است که در حال حاضر قسمتی از بخش مرکزی شهر را تشکیل می‌دهد. زمان شکل‌گیری بافت این محدوده به قبل از سال ۱۲۰۵ هجری شمسی برمی‌گردد که شهر محصور در برج و بارو و دارای چهار دروازه شمال، جنوب، شرق و غرب بوده است.

شهر سبزوار همچون سایر شهرهای ایران از اوایل قرن چهاردهم هجری شمسی مرحله جدیدی از رشد و توسعه خود را آغاز نمود که با دوره‌های قبل متفاوت بود و سبب تغییر در چهره و بافت فیزیکی شهر شد، به تبعیت از رشد جمعیت، توسعه فیزیکی شهر نیز رخ داده است مساحت اضافه‌شده در فاصله سال‌های ۱۳۳۵-۱۳۰۰ حدود ۶۲ هکتار بوده است که رشد اندکی را نشان می‌دهد. در سال‌های ۱۳۳۵ به بخش‌هایی از شهر در شمال، شرق و غرب در مقیاس

محدود به وسعت شهر افزوده شد که بیشتر جمعیت نیز در بافت قدیم و موجود سبزوار ساکن بوده‌اند. در طی سال‌های ۱۳۳۵-۱۳۶۵ شهر به آرامی در تمام جهات گسترش می‌یابد، این توسعه عمدتاً در سمت شرق اما ناپیوسته صورت گرفته است. همچنین در سمت جنوب و جنوب شرق توسعه در شعاع محدودتر ولی پیوسته صورت می‌گیرد. در دهه ۱۳۴۵-۱۳۵۵ شهر با شتاب بیشتری نسبت به دوره قبل، تقریباً در تمامی جهات رشد می‌کند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که بیشترین میزان توسعه شهر در جهات شرق و شمال صورت گرفته است. توسعه شهر در دو طرف جاده‌های ارتباطی، جاده قدیم سبزوار- مشهد به سمت شرق به سرعت بیشتری صورت گرفته است، بعد از جهت شرق و شمال شهر، شهر به سمت غرب و در مسیر جاده ارتباطی سبزوار-تهران بیشتر از سایر جهات توسعه و رشد فیزیکی می‌یابد.

توسعه فیزیکی شهر سبزوار طی دهه ۱۳۴۵-۱۳۵۵ با وقوع انقلاب اسلامی و به دنبال آن شروع جنگ ایران و عراق تغییرات ساختاری در ابعاد اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی یافت، رشد شهرنشینی یکی از پیامدهای آن بود. در این دوره شهر سبزوار عمدتاً در سمت شرق و شمال شرق بیشترین توسعه را داشته است که از علل مهم آن واگذاری زمین از طرف اداره زمین شهری در سال ۱۳۶۵ بود که سبب ایجاد محله‌های مسکونی جدید تحت عنوان شهرک فرهنگیان و شهرک شهید هاشمی نژاد شد، همچنین زمین شهرک ابوذر را بنیاد مسکن انقلاب اسلامی در سال ۱۳۵۹ به مردم واگذار کرد که طی دهه ۶۰ به مرور زمان ساخته شد. در پی این رشد شهری بخش‌های وسیعی از اراضی کشاورزی از چرخه تولید خارج گشته و به کاربری‌های مسکونی و شهری تغییر یافته است.

در دهه‌های ۱۳۶۵-۱۳۷۵ توسعه فیزیکی شهر با رشد شتابانی صورت می‌گیرد به گونه‌ای که بافت‌های حومه‌ای در اطراف شهر با ایجاد شهرک توحید در ۴ کیلومتری حد نهایی شمال شهر به‌طور ناپیوسته شکل می‌گیرد و شهرک اندیشه در محدوده پیوسته شمال شرقی شهر وجود می‌آید.

در دهه ۱۳۷۵-۱۳۸۵ در محدوده شهرک توحید در شمال شهر فرآیند ساخت‌وساز بر اساس طرح از پیش تعیین شده آغاز و گسترش می‌یابد. روند گسترش جمعیت در ساخت‌وسازهای بی‌ضابطه در مناطق حاشیه‌ای شرق (شرق کال عید گاه)، غرب (قلعه‌نو دهرآز)، شمال غرب (غرب نیروگاه)، جنوب غرب (کلات سیفر) و جنوب شرق (صالح‌آباد کوچک) در این دوره ادامه می‌یابد. همچنین ساخت‌وسازهای منطقه فرهنگیان در قسمت شمال شهر نیز با سرعتی بالا انجام می‌پذیرد.

همان‌گونه که اشاره شد توسعه فیزیکی شهر سبزوار تا اواخر دهه ۱۳۳۰ به‌ویژه در همان بافت مرکزی تاریخی بوده است و دلیل اصلی آن همان مسئله تأمین آب موردنیاز مردم بوده که در اواخر این دهه آب مصرفی شهر همچنان توسط قنات‌ها تأمین می‌شده است.

این نکته قابل‌ذکر است که از اوایل دهه ۱۳۴۰ توسعه شهر در جهات مختلف انجام گرفته است که همین مسئله نیز متأثر از چگونگی تأمین آب ساکنین می‌باشد. در این دهه با گسترش وسیع و جایگزینی چاه‌های عمیق و نیمه عمیق به جای قنات‌ها دیگر مردم مجبور نبودند که برای مکان‌گزینی و سکونت در تبعیت از قنات‌ها باشند با استفاده از فناوری‌های نوین در اوایل دهه ۱۳۴۰ سیستم‌های جدید آبرسانی و به عبارتی لوله‌کشی خانگی آب در شهر سبزوار مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر همین اساس مردم در تمام جهات و حتی در خلاف جهت شیب عمومی شهر دست به ساخت‌وسازهای مسکونی زده و سبب پراکندگی و گسترش شهر در حول هسته مرکزی و قدیمی شهر شدند. در این زمان دیگر احتیاجی برای تأمین آب از قنات‌ها احساس نمی‌شد. قنات‌ها آرام‌آرام در زیرساخت و سازها و تأسیسات گوناگون شهری مدفون شده و از دیده‌ها پنهان و به‌عنوان یک پدیده تاریخی به تاریخ پیوسته و شاید بتوان گفت از خاطرات مردم نیز محو شده است. به این ترتیب جمعیت شهر روزبه‌روز افزایش می‌یافت و مردم هم دیگر دغدغه‌ای به نام تأمین آب نداشتند.

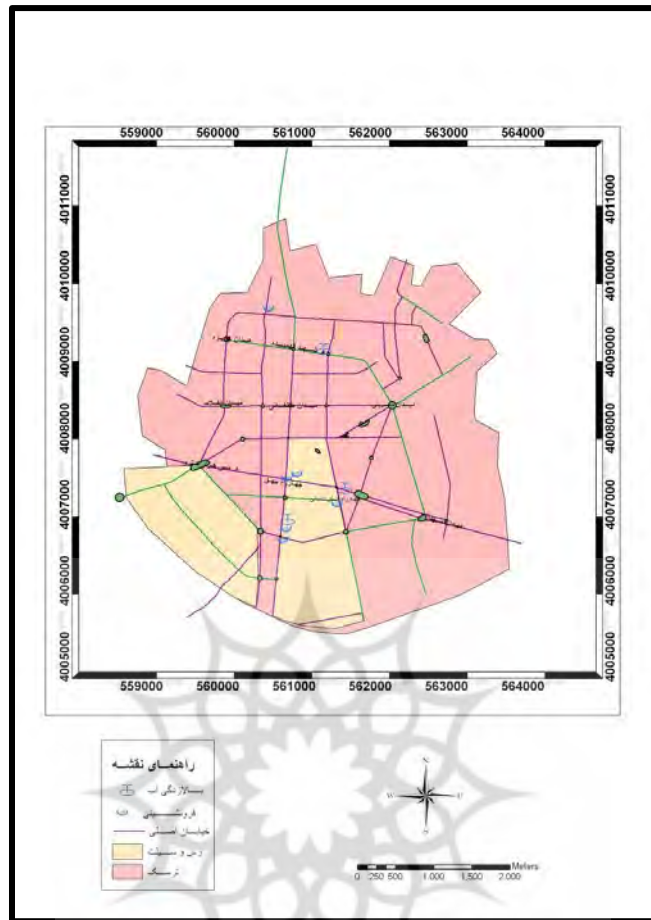
چون آب موردنیاز شهر از کیلومترها دورتر از طریق چاه‌های عمیق و نیمه عمیق تأمین می‌شد. در پی این موضوع با افزایش جمعیت شهری تغییر و تحولات زیادی در چگونگی ساختار شهر و مناطق مسکونی رخ داد، مسلماً ساکن شدن انسان‌ها در هر نقطه‌ای مستلزم داشتن زیرساخت‌های لازم (شبکه آب و فاضلاب و برق و گاز، مخابرات) جهت استقرار و تداوم سکونت است. علاوه بر این با افزایش جمعیت در مصرف آب نیز تغییراتی به وجود آمد، به عبارتی افزایش جوامع انسانی افزایش مصرف را در هر زمینه‌ای در پی دارد و آب نیز یکی از عواملی است که انسان ناچار به استفاده از آن است. در نتیجه مصرف آن افزایش یافته و سبب ایجاد مسئله جدیدی با عنوان دفع فاضلاب شد. ساکنین شهر در مواجهه با این امر دچار مشکل شدند که خود این مسئله نیز متأثر از دو موضوع بوده است:

۱. نبود یک شبکه فاضلاب شهری

۲. سازندهای زمین ساختی سبزوار

در گذشته به دلیل اینکه گسترش و توسعه شهری در اکثر مناطق ایران بدون طرح و ساختاری درست انجام می‌شده است، تمهیداتی برای این‌گونه نیازهای شهری اندیشیده نشده بود و یا اگر هم این موضوع در شهر اجرا می‌شد، به دلیل سنگین بودن هزینه‌های آن مردم توان پرداخت هزینه‌های اجرای این پروژه‌ها را نداشتند به همین دلیل هر مالکی اقدام به حفر چاه‌های جذبی در منزل خود می‌کرد. اما این کار نیز مشکلی از اهالی شهر سبزوار حل نکرد، چون سازندهای زمین ساختی سبزوار دارای بافتی بانفوذ پذیری پایین و در مناطقی بافت سخت و محکم است که همین امر حفر چاه‌ها را با محدودیت همراه کرده است و در صورت حفر با هزینه‌های هنگفت خیلی زود قابلیت استفاده خود را از دست می‌داده به عبارتی زود پر می‌شده و احتیاج به تخلیه داشته است و از آنجاکه در زمان‌های گذشته هیچ سیستم خاصی برای تخلیه چاه‌های فاضلاب شهری وجود نداشته است، مردم اقدام به تخلیه این چاه‌ها در باغچه‌های حیاط منزل خود می‌کردند این مسئله موجب اشاعه انواع بیماری‌ها می‌شده است. لذا بتدریج فاضلاب خانگی را به این قنات‌ها متصل کرده تا هم از مشکلات زیست‌محیطی تخلیه چاه بکاهد و هم از این طریق دبی خروجی قنات‌های خود را برای استفاده در امور کشاورزی افزایش دهند. از این پس قنات‌ها تبدیل به تونل‌های زیرزمینی دفع فاضلاب‌های شهری در زیرپوسته شهر شدند. پدیده دفع فاضلاب به درون قنات‌های موجود در سطح شهر سبزوار تا سالیان متمادی اجرا می‌شد. در طی سالیان با ورود بیشتر فاضلاب‌ها به مجاری زیرزمینی کم‌کم ته‌نشست لجن‌های ایجادشده توسط فاضلاب‌ها تا حدودی فضای این مجاری را مسدود کرده اما هنوز مشکل جدی برای تأسیسات شهری به وجود نیامده بود. ولی با پیشرفت امکانات دستگاه‌های مدیریت شهری مانند شهرداری، اداره آب و فاضلاب کم‌کم تصمیم گرفتند که در سطح شهر اقدام به تأسیس شبکه فاضلاب شهری (اگو) نمایند تا مشکلات مربوط به دفع فاضلاب‌ها را مرتفع سازند. از اوایل دهه ۱۳۷۰ در سطح شهر حفاری‌های زیادی صورت می‌گیرد و تونل‌های زیادی حفر می‌شدند. اما در این میان شاید هیچ توجهی به آبراهه‌های قدیمی دفع فاضلاب‌ها، یعنی قنات‌های موجود نشده بود همچنان با حفاری‌هایی که انجام می‌شد در برخی نقاط با مسیرهای قنات‌ها برخورد داشته و همین امر سبب ریزش دیواره‌ها و مسیر قنات‌ها می‌شده است که خود این موضوع نیز تبعاتی را برای شهر در پی داشته است. همان‌گونه که قبلاً ذکر شد قنات‌ها وظیفه حمل فاضلاب‌ها را بر عهده داشته و دارای جریان آب بوده‌اند که تخریب دیواره‌ها در مسیر این قنات‌ها سبب شده که همین آب‌ها در قسمت‌های بالادست قنات‌ها جمع شده و در نقاطی از زیر سطح زمین تشکیل سفره‌های آب زیرزمینی را بدهند، همان‌گونه که امروز در اطراف مسجد جامع شهر و بافت تاریخی شهر مشاهده می‌شود. این آب‌ها امروزه توسط پمپاژ از زیر سطح زمین در چهارراه بیهق استخراج می‌شود. طبق اظهارات سازمان بهسازی و نوسازی شهر سبزوار تعداد ۱۱ قنات از قنات‌های حال حاضر در بافت مرکزی شهر بر روی مخزن بزرگی از آب قرار دارند با مشاهده این مشکل یعنی بالا بودن سطح آب‌های زیرزمینی در اطراف مسجد جامع توجه سازمان‌ها به این مسئله و دلایل ایجاد آن جلب شده و در پی علل وقوع این پدیده برآمده‌اند. این نکته نیز قابل ذکر است که از این زمان به بعد

در نقاط بیشتری از سطح شهر پدیده فرونشستی اتفاق افتاده است که دلیل عمده این گونه وقایع نیز تخریب قنات‌هایی است که در این مکان‌ها وجود داشته است (مهری، ۱۳۸۳: ۲۴۹).



شکل ۳: مناطق بالا آمدگی و فرونشست زمین در شهر سبزوار

۶- پهنه‌بندی خطر ریزش و نشست قنات‌های متروکه

در تحلیل آسیب‌پذیری کاربری‌های موجود در سطح شهر سبزوار بر اثر ریزش قنات‌های متروکه از نقشه طرح جامع شهر سبزوار با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ و نیز نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ مربوط به منطقه سبزوار برای تعیین موقعیت دقیق رشته قنات‌ها استفاده شده است، همچنین با استفاده از نقشه تراز سطح آب زیرزمینی آبخوان سبزوار و نیز استفاده از نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) موقعیت تمامی قنات‌ها استخراج و به صورت یک‌لایه GIS تهیه گردید، سپس این قنات‌ها بر روی نقشه طرح جامع شهر موقعیت‌یابی شدند. انطباق لایه کاربری‌های شهر سبزوار و لایه موقعیت قنات‌های موجود در سطح شهر با حریم ۱۵ متر و نقشه تراز سطح آب زیرزمینی آبخوان سبزوار نتایج زیر را نشان می‌دهد:

۱. شهر سبزوار با مساحت ۳۱۰۰ هکتار بر روی ۱۲ رشته قنات اصلی و فرعی گسترده شده است، متوسط طول این رشته قنات‌ها ۱۰ کیلومتر برآورد شده است.
۲. جهت کلی جریان آب زیرزمینی از ارتفاعات شمال شرقی، شمالی و جنوبی به سمت مرکز آبخوان آبرفتی و غرب دشت (جبهه خروجی زیرزمینی) می‌باشد. شیب هیدرولیکی در نقاط مختلف دشت یکسان نبوده و بین ۰/۱ تا ۰/۱٪ تغییر می‌کند. (مهندسین مشاور مشهد زمین‌ساخت، ۱۳۹۴: ۲۹)

۳. تفاضل ارقام عمق سطح آب اندازه‌گیری شده، در فاصله شهر به‌ورماه سال ۸۸-۱۳۸۷ لغایت شهر به‌ورماه سال ۱۳۹۲-۹۳؛ مقدار افت سطح آب را در یک دوره ۵ ساله در چاه مشاهده‌ای "قره قولی" در بخش شمال شرقی آبخوان آبرفتی برابر ۱۹/۶۱ متر برآورد شده است، در حالی که در چاه مشاهده‌ای "فلشور" در منته‌الیه جنوب غربی آبخوان سطح آب ۳/۰۷ متر بالا آمده است، همین‌طور در چاه "کلاته آهنگران" در جنوب شهر سبزوار مقدار ۰/۴۴ متر سطح آب بالا آمدگی نشان می‌دهد (مهندسین مشاور مشهد زمین‌ساخت، ۱۳۹۴: ۲۹). علاوه بر این بالا آمدگی آب زیرزمینی در ۵ متری سطح زمین در محدوده حدفاصل چهارراه آتش‌نشانی و چهارراه بیهق و بالا آمدگی در سطح ۱۰ متری در برخی محدوده‌های شرقی شهر سبزوار حاکی از نوسانات سطح آب در محدوده تحقیق است. بالا بودن سطح آب در مناطق یادشده و ترکیب با فاضلاب و پساب شهری در نتیجه انتقال آن بجای چاه‌های جذبی به میل قنات‌ها، موجب آلودگی سفره آب زیرزمینی شده است.

۴. وجود سازندهای زمین‌شناسی که مسئله قنات‌ها و نشست‌های ناشی از آن را در شهر سبزوار به یک مسئله حاد تبدیل کرده است. از جمله این سازندها وجود سازندهای ریزبافت رس و سیلت بانفوذ پذیری پایین در مناطق مرکزی و جنوبی شهر و وجود سازندهایی با بافت سخت و متراکم و درعین حال ریزدانه (ترسک) در محدوده شمالی و شرقی شهر به‌عنوان یک عامل تشدیدکننده در کنار قنات‌ها سبب فرونشینی‌های رخ داده در شهر می‌باشند. بررسی بافت خاک در گمانه‌های حفر شده نشان می‌دهد که در لایه‌های زیرین، بافت خاک یکپارچه نیست بلکه میان لایه‌ها لزهایی که ریزدانه هستند وجود دارد. این امر باعث کاهش نفوذپذیری قائم و به دنبال آن افزایش نفوذپذیری افقی شده است. کوره قنات که مجرای افقی و یا با شیب کم است در طی زمان‌های متمادی به‌صورت یک کانال وظیفه انتقال آب را به عهده داشته است. این کانال‌ها به دلیل روش‌هایی که مقنی‌ها در گذشته استفاده می‌کردند، همانند گل‌آلود کردن آب در بالادست که تراوش قائم آب را می‌کاسته است و همچنین به دلیل رسوب‌گذاری آب در طول زمان وعدم لایروبی قنات توسط مالکین و هدایت فاضلاب شهری به آن به مرور زمان به یک کانال نفوذناپذیر تبدیل شده است و بجای اینکه همانند یک زهکش برای آب‌های سطحی و پساب شهری عمل کند، باعث بالا آمدن آب و ریزش قسمت‌هایی از دیواره و سقف کوره قنات‌ها و نهایتاً نشست سطح زمین در بالای میل چاه قنات‌ها گردیده است.

با توجه به نتایج فوق اثرات فرونشست زمین در سطح شهر سبزوار به تفکیک کاربری‌های شهری با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS به شرح زیر است:

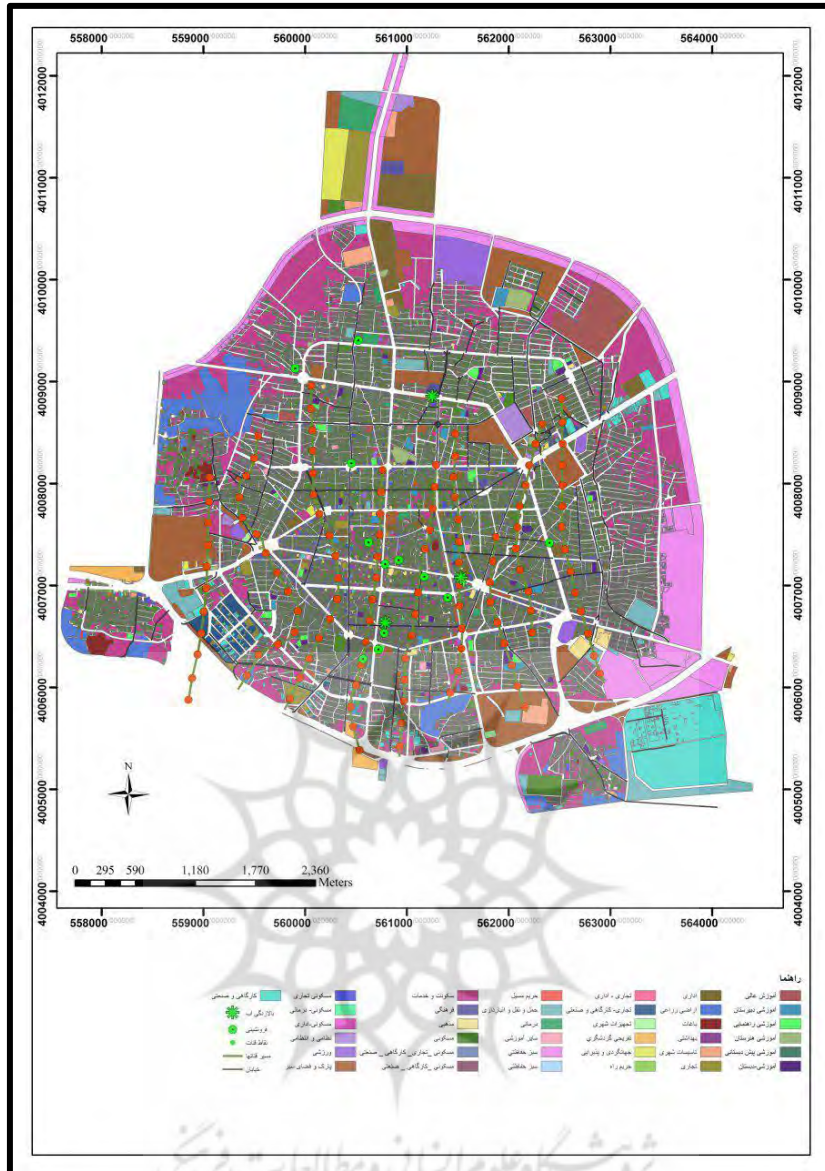
- بررسی نقشه طرح جامع شهر سبزوار و انطباق آن با نقشه مسیر قنات‌ها و پدیده فرونشست و بالا آمدگی آب نشان می‌دهد که بخش‌های مرکزی و بافت فرسوده شهر سبزوار که ۱۸۶ هکتار (۷٪) از کل مساحت شهر را شامل می‌شوند، بیشترین فرونشست را داشته است، به عبارتی ۸۵ درصد این نشست‌ها در این بافت رخ داده است.

- نتایج لایه‌های GIS کاربری‌های شهر سبزوار نشان می‌دهد که از کل کاربری‌های شهری که در معرض خطر نشست قرار دارند، ۵۴/۷ درصد مربوط به کاربری مسکونی در تراکم کم، متوسط و بالا می‌باشد که در مسیر خطر مستقیم نشست قنات‌ها واقع شده‌اند. مدت استفاده از این کاربری ۲۴ ساعته است.

- شبکه حمل‌ونقل که بخش وسیعی از سطح شهر را پس از کاربری مسکونی به خود اختصاص می‌دهد، در پهنه خطر مستقیم واقع است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که ۲۵ درصد از شبکه ارتباطی در امتداد و یا مجاورت مسیر طولی قنات‌های سطح شهر احداث شده‌اند. تردد شبانه‌روزی وسایل نقلیه به‌ویژه در روز بر روی رسوبات سست ریزدانه و ناپایدار زیرین خطر فرونشست را تشدید می‌کند. حادثه نشست زمین در چهارراه بیهق که منجر به فوت یک شخص موتورسوار شد از پیامدهای این پدیده است.

- کاربری‌های مسکونی، تجاری، کارگاهی، صنعتی با مساحتی معادل ۱۹ درصد در معرض خطر مستقیم ریزش قنات‌های محدوده تحقیق قرار دارند.

- کاربری فضای سبز، پارک‌ها، باغات، فضاها، سبزی‌حفاظتی، اراضی زراعی مجموعاً ۷/۵ درصد از کل پهنه خطر را تشکیل می‌دهند.
 - کاربری‌های تجاری و تجاری اداری با ۷/۱ درصد مساحت از کل کاربری‌های شهری در قالب تجاری روزانه، هفتگی، محله‌ای و منطقه‌ای در مسیر رشته قنات‌های پرخطر قرار دارند، زمان مدت استفاده از این کاربری در ساعات ۸-۱۲ و ۲۱-۱۵ شبانه روز می‌باشد.
 - مراکز آموزشی در تمامی مقاطع تحصیلی سطحی معادل ۴/۴۳ درصد از کل کاربری‌ها را در محدوده پهنه خطر به خود اختصاص داده است. ساعات استفاده از این کاربری بین ۸ تا ۱۰ ساعت در مقاطع تحصیلی مختلف متغیر است.
 - کاربری حمل‌ونقل و انبارداری ۲ درصد از کل کاربری‌های پهنه خطر را به خود اختصاص داده است.
 - کاربری‌های تفریحی و گردشگری و نیز جهانگردی- پذیرایی با ۱/۰۶ درصد بخشی از محدوده خطر را تشکیل می‌دهند.
 - کاربری بهداشتی - درمانی با وسعتی معادل ۰/۶۴ درصد از کل محدوده خطر را تشکیل می‌دهد.
 - کاربری ورزشی ۰/۴۶ درصد بخشی از مساحت محدوده خطر را تشکیل می‌دهد.
 - کاربری تأسیسات شهری شامل: شبکه آب، برق، فاضلاب، گاز و... مجموعاً ۰/۵ درصد از پهنه خطر را به خود اختصاص داده است.
 - مراکز فرهنگی، تاریخی و مذهبی با ۰/۴۷ درصد از مساحت کل کاربری‌ها در معرض آسیب جدی نشست و بالآمدگی آب قرار دارند. از جمله این مراکز، مسجد جامع ۷۰۰ ساله شهر سبزوار است که در کانون خطر و بر روی مخزنی از آب واقع شده است، همچنین سایر مراکز تاریخی این شهر همچون آرامگاه اسرار، امامزاده یحیی، مسجد بزرگ پامنار، مقبره بقراط، کاروانسرای فرامرز خان، مدرسه فخریه، مدرسه شریعتمدار، حوض حاج عبدالکریم و حمام قیصریه که در بافت تاریخی و مرکزی شهر واقع‌اند، در پهنه خطر شدید قرار دارند.
 - کاربری ورزشی با ۰/۴۶ درصد بخشی از زمین‌های پرخطر را تشکیل می‌دهند.
 - مراکز نظامی و انتظامی با مساحتی در حدود ۰/۲۵ درصد از کل محدوده خطر بخشی از پهنه خطر را تشکیل می‌دهند.
 - حریم مسیل‌ها ۰/۲ درصد از پهنه خطر را شامل می‌شوند.
- البته لازم به ذکر است که در پهنه‌بندی خطر فرونشست زمین عوامل دیگری همچون نوع مصالح ساختمانی، رعایت اصول ساخت‌وساز، استحکام بستر بنا و عمر بنا، ارتفاع سازه و طبقات ساختمان‌ها، تراکم مسکونی، جنس رسوبات زمین در محدوده کاربری، عمق و طول رشته قنات، سطح ایستایی آب در میزان خطر فرونشست زمین مؤثر می‌باشند.



شکل ۴: پهنه بندی خطر نشست قنات‌ها در محدوده کاربری‌های مختلف شهری (با حریم ۱۵ متر در هر رشته قنات)

با توجه به آنچه مطرح شد، پیشنهادات زیر ارائه می‌گردد:

۱. تدوین ضوابط فنی و حقوقی برای ترغیب مالکین ساختمان‌های ساخته‌شده بر روی قنات به شناسایی و رفع خطر و نیز تعیین تکلیف دست‌اندرکاران مراحل مختلف احداث ساختمان‌ها و تأسیسات جدید (مجاز) در پهنه‌های با احتمال وجود قنات.
۲. انجام بازدیدهای میدانی و مصاحبه با افراد محلی و مقنی‌های ماهر: در بازدید میدانی و مصاحبه با افراد محلی بعضاً می‌توان میله‌های اطراف و زیر ملک را شناسایی و با نقشه‌ها و عکس‌های هوایی موجود کنترل کرد. باید موقعیت مسیر قنات در صورت وجود نسبت به محل بنا با انجام بازدید مشخص و همچنین نشست‌های احتمالی زمین ناشی از فرونشست قنات و مشخصات ساختمان‌های اطراف بررسی گردد و مستندات کافی از بررسی‌های انجام‌گرفته به همراه کروکی دقیق از قنات و ساختمان تهیه شود.

۳. بررسی‌های ژئوفیزیکی باید با استفاده از روش GPR یا روش‌های معتبر و دقیق دیگر انجام شود. این بررسی‌ها باید هرگونه ناهنجاری مشکوک با حداقل عمقی برابر با منحنی هم تنش ۱۰٪ پی‌های بنای موردنظر را شناسایی نماید.
۴. انجام مطالعات ژئوفیزیکی و ژئو الکتریکی جهت شناسایی لایه‌های زمین‌شناسی و رسوبات مدفون نقاط مختلف محدوده شهری.
۵. مشخص نمودن قنات‌های دایر یا متروک و جنبه‌های ملکی و حقوقی مربوط به آن.
۶. بررسی امکان بالا آمدن آب در زیر و اطراف بنا و تأثیر آن بر پی سازه فوقانی و توصیه تدابیر لازم.
۷. سازمان راه و شهرسازی و شهرداری موظفانند بر اساس نقشه پهنه‌های احتمال وجود قنات در شهر سبزوار کلیه پلاک‌های ثبتی (اعم از زمین، آپارتمان، مغازه و...) را مشخص کرده و موضوع را در پرونده آن‌ها به نحوه مناسب انعکاس دهند، به‌نحوی که در هنگام صدور هرگونه گواهی ساختمانی یا پاسخ هرگونه استعلام ثبتی یا دیگر استعلام‌هایی که با منافع مالک یا ذی‌نفعان املاک در پلاک ارتباط می‌یابد، موضوع قرارگیری در پهنه با احتمال وجود قنات در زمین مربوط به مالک ثبتی به‌طور صریح بیان شود.
۸. شناسایی محل‌های ریزشی و مسدود شده مسیرهای قنات شناسایی شده و تلاش برای بازگشایی مسیر قنات و زهکشی طبیعی.
۹. مدیریت زمان در اجرای پروژه زهکشی مسیرهای قنات جهت جلوگیری از بحران‌های احتمالی آینده.
۱۰. ایجاد برنامه‌های طرح ترافیک در محیط‌های شناسایی شده و تهیه نقشه پهنه‌های لرزه‌ای با خطر بالا.
۱۱. حفر چاهک‌های اکتشافی و تشکیل شبکه پی‌زومتری کامل در محدوده شهری سبزوار جهت پایش سطح آب زیرزمینی.
۱۲. اتصال تمامی مشترکین آب و فاضلاب به طرح جمع‌آوری فاضلاب (اگو) و جلوگیری از تخلیه فاضلاب در کوره قنات قدیمی.
۱۳. تزریق مواد حجیم شونده و پرکننده در حفره‌ها و محیط‌های شناسایی شده در محدوده شهری.
۱۴. انجام مطالعات زمین رادار GPR جهت شناسایی حفرات و کوره قنات مدفون تا عمق حداکثر ۴۰ متری در محدوده شهری.
۱۵. استفاده از نقشه‌های SAR اینتر فرامتری (IN SAR) جهت نمایش و کنترل جابجایی‌های پوسته زمین در اثر عواملی مثل: زلزله، رانش، نشست زمین و غیره و همچنین ترسیم نقشه‌های پهنه‌بندی خطر نشست زمین در مناطق مختلف محدوده شهری سبزوار.

۷- منابع

۱. اداره آب و فاضلاب شهر سبزوار، طرح مطالعات آب‌رسانی شهر سبزوار.
۲. حسینی، سید هادی، قدمی، مصطفی (۱۳۹۲). تحلیل الگوی توسعه کالبدی- فضایی شهر سبزوار، فصلنامه علمی، پژوهشی فضای جغرافیایی، سال سیزدهم، شماره ۴۴، زمستان ۱۳۹۲، صص ۲۲۲-۱۶۱.
۳. رضایی، فریدون، دادستان، احمد (۱۳۹۱). بررسی علل نشست تدریجی خطی زمین و ارزیابی پارامترها ژئوتکنیکی در شهرک طالقانی اشتهارد، فصلنامه علوم زمین، سال ۲۱، شماره ۸۳، صص ۱۲-۳.
۴. رنجبر، محسن، جعفری، نسرین (۱۳۸۸). بررسی عوامل مؤثر در فرونشست زمین دشت اشتهارد، نشریه علمی پژوهشی انجمن جغرافیای ایران، شماره ۱۸، ۱۹، صص ۱۶۶-۱۵۵.
۵. زنگنه، یعقوب (۱۳۸۱). تحلیلی بر عوامل مؤثر بر توسعه کالبدی شهر سبزوار، رساله دکتری دانشگاه تربیت مدرس تهران.
۶. سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران، حوزه معاونت پیشگیری و کاهش خطر (۱۳۹۳). ضوابط مربوط به ساختمان و سایر مستحدثات در مجاورت قنات‌ها در تهران.

۷. شریعتمداری، نادر، فاضلیان امیرفرضان (۱۳۸۱). بررسی پایداری فضا‌های زیرزمینی در طرح کاریزکیش، سومین همایش بین‌المللی مهندسی ژئوتکنیکی و مکانیک خاک ایران، تهران، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور انجمن مکانیک خاک و مهندسی پی (ژئوتکنیک) ایران.
۸. شمشکی، امیر انتظام، سلطانی، ایمان (۱۳۸۳). بررسی اجمالی فرونشست جنوب غرب تهران، مدیریت زمین‌شناسی مهندس سازمان زمین‌شناسی کل کشور.
۹. صالحی متعهد، فهیمه (۱۳۸۹). ارزیابی خطر فروریزش قنات متروکه منطقه ۱۱ شهرداری مشهد، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.
۱۰. صالحی متعهد، فهیمه و همکاران (۱۳۹۳). ارزیابی خطر قنات‌های متروکه غرب مشهد با استفاده از نرم‌افزار پلاکسیس، نشریه زمین‌شناسی مهندسی، جلد هشتم، شماره ۳، صص ۲۳۰۰-۲۲۷۷.
۱۱. طالبی، محمدعلی (۱۳۹۴/۱۲/۲). مصاحبه با شهردار وقت سبزوار.
۱۲. طرح توسعه و عمران (جامع) شهر سبزوار (۱۳۸۸). سازمان مسکن و شهرسازی استان خراسان رضوی.
۱۳. طریقی، مهدی (۱۳۸۸). ۷۰ متر کاهش سطح آب زیر زمینی و فرونشست دشت مشهد، مجله سبز زیست، سال دوم، شماره سوم، صص ۲۴-۲۱.
۱۴. گوبلو، هانری (۱۳۷۱). قنات فنی برای دستیابی به آب، ترجمه ابوالحسن سروقد مقدم و محمدحسین پاپلی یزدی، انتشارات آستان قدس رضوی.
۱۵. مالکی، احمد، خورسندی آقایی، احمد (۱۳۸۴). قنات در ایران مطالعه‌ی موردی قنات شهر تهران: انتشارات پردازش و برنامه‌ریزی شهری (وابسته به شهرداری تهران).
۱۶. مهری، فاطمه (۱۳۸۳). ارزیابی تنگناها و پتانسیل‌های محیطی مؤثر بر توسعه فیزیکی شهر سبزوار، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت‌معلم سبزوار.
۱۷. مهندسین مشاور مشهد زیست زمین (۱۳۹۴). گزارش مقدماتی مطالعات قنات آب‌های زیرسطحی سبزوار.
۱۸. هاشمی سهی، سیدحسن، هاشمی سهی، سیدمهدی (۱۳۸۴). قنات نشست خاک و مشکلات ساختمان‌سازی، کنفرانس بین‌المللی قنات، کرمان، دانشگاه باهنر کرمان، جهاد دانشگاهی استان کرمان.
۱۹. همتی سراپرده، علیرضا (۱۳۹۳). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر قنات پنهان در شهر کرمان و ارائه راهکارهای مدیریتی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
20. Abidin, H. Z., Andreas, H., Gumilar, I., Gamal, M., Fukuda, Y., & Deguchi, T. (2009). Land subsidence and urban development in Jakarta (Indonesia). In 7th FIG regional conference, spatial data serving people: land governance and the environment, Hanoi, Vietnam (pp. 19-22).
21. Pellet, F., Hosseini, K. A., Jafari, M. K., Zerfa, F. Z., Mahdavifar, M. R., & Bakhshayesh, M. K. (2005). Geotechnical performance of Qanats during the 2003 Bam, Iran, earthquake. *Earthquake Spectra*, 21(S1), 137-164.