توسعه فضاهای زیرزمینی در تاب‌آوری شهرها با تأکید بر تأسیسات و زیرساخت‌های شهری

مطالعه موردی: کلان‌شهر مشهد

محمدعلی جربان: کارشناسی ارشد، پدافند غیرعامل، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران
سعید امینی ورکی *: کارشناسی ارشد، پدافند غیرعامل، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، s.aminicivil@gmail.com
امیر شکیبامنش: استادیار گروه طراحی شهری، دانشگاه هنر، تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۶

چکیده

رشد جمعیت و ملاحظات اقتصادی دو محدودیت اصلی شهرها هستند که پیامدهای متعددی ازجمله رشد عمودی و توسعه فزاینده فضاهای زیرزمینی را به ارمغان آورده‌اند. نقش‌ها، عملکردها و ظرفیت‌های فراوانی را می‌توان برای فضاهای زیرزمینی برشمرد. عدم تملک زمین، مصونیت و امکان تداوم خدمات زیرساخت‌ها، انتقال برخی از کاربری‌های ناسازگار با محیط شهری به زیر سطح زمین، کاهش مصرف انرژی، کاهش آلودگی محیط زیست، بهره‌برداری درزمینه دفاع غیرنظامی و موارد متعدد دیگر از مزایای فضاهای زیرزمینی است که به جهت استقرار در عمق زمین، برای آن‌ها ایجاد می‌شود. در این پژوهش، با بهره‌گیری از روش کیو (Q) نخست بر پایه نتایج پژوهش‌های مرتبط با موضوع فضاهای زیرزمینی، تاب‌آوری و تجزیه‌وتحلیل فضای گفتمانی موجود، شناخت جامعی از نقش توسعه فضاهای زیرزمینی در تاب‌آوری شهرها به دست آمد؛ سپس، با بهره‌گیری از مشارکت متخصصان، دیدگاه‌های مختلف در این زمینه شناسایی و دسته‌بندی شد تا ازاین‌رو گامی فراتر از مجموعه تحلیل‌های ارائه‌شده پیش رو بگذارد. یافته‌های پژوهش بر پایه تحلیل عاملی کیو، بیانگر چهار رویکرد درزمینه نقش توسعه فضاهای زیرزمینی در تاب‌آوری شهرها است. رویکرد اول بیانگر تداوم خدمات؛ رویکرد دوم، امداد و نجات؛ رویکرد سوم، ایمنی و امنیت شهری و رویکرد چهارم حفاظت از محیط زیست است. درواقع طی این پژوهش ظرفیت‌های موجود در فضاهای زیرزمینی در راستای افزایش میزان مقاومت و بازگشت‌پذیری شهرها در برابر انواع تهدیدات و حوادث تعیین می‌شود.

واژه‌های کلیدی: *تاب‌آوری، فضاهای زیرزمینی، پدافند غیرعامل، روش کیو، تحلیل عاملی*

The Role of Underground Spaces in Resilience of Cities With Emphasis on Urban Facilities and Infrastructures

(Case study: Mashhad Metropolis)

Mohammad Ali Jarban*[1], Saeed Amini Varaki [2], Amir Shakibamanseh[3]

Abstract

Population growth and economic considerations are two main urban constraints that have brought many consequences including vertical growth and increasing subsurface spaces development. Many roles, functions and abilities can be counted for subsurface spaces. Lack of land ownership, impunity and the possibility of continuity of infrastructure services, the transfer of some facilities that are harmful to urban environment to the underground level, reducing energy consumption, reducing environmental pollution, exploiting civil defense and many other issues of are among the benefits of subsurface spaces that are being deployed.

In this research, using Q methodology based on the results of studies related to subsurface spaces and resiliency and the analysis of existing discursive space, a comprehensive understanding of the role of subsurface space development in resiliency of cities was obtained; then, using experts' contributions, different perspectives were identified and categorized so that they would go beyond the set of analyses presented. The findings of the research based on Q's analysis of the factor analysis indicated four approaches to the role of sub-surface development in resilient cities. The first approach reflects the continuity of services; the second approach is rescue and relief, the third approach is urban safety and security, and the fourth approach is environmental protection. In fact, in this study, the capacity of subsurface spaces that could increase the resiliency and return ability of cities against all kinds of threats and accidents was determined.

Key words: *Factor Analysis, Passive Defense, Q Methodology, Resiliency, Subsurface Spaces*

1 – Master of Passive Defence –Malek Ashtar Industrial University
2 – Master of Passive Defence –Malek Ashtar Industrial University
3 – Assistant Professor of Urban studies faculty of Tehran Art University

۱- مقدمه

یکی از نتایج رشد فزاینده جمعیت شهرها، افزایش تقاضا برای استفاده از فضا و منابع طبیعی است [۱]. امروزه بیش از نیمی از مردم جهان ساکن شهرها هستند و پیش‌بینی‌ها حاکی از افزایش این رقم به ۶۶ درصد تا سال ۲۰۵۰ است. تا این تاریخ، عمده کلان‌شهرهای جهان در جنوب شرق آسیا، آمریکا و آفریقا متمرکز خواهند بود [۲]. رشد جمعیت و ملاحظات اقتصادی، دو محدودیت اصلی شهرها هستند که پیامدهای متعددی ازجمله رشد عمودی و توسعه فزاینده زیرزمینی را به ارمغان آورده‌اند. البته منافع مختلف استفاده از فضاهای زیرزمینی نیز در این مسئله بی‌اثر نبوده است [۳]. با توجه به ظرفیت این فضاها در تأمین برخی از نیازهای شهرهای پرتراکم امروزی، بهره‌برداری از آن‌ها در دستور کار بسیاری از شهرهای زیست پذیر قرارگرفته است.

رشد شهرها؛ به‌ویژه در کشورهای توسعه‌یافته، زیرساخت‌های فرسوده در شهرهای قدیمی‌تر، تقاضای محافظت از محیط‌زیست و مطالبه شرایط زندگی بهتر از سوی مردم، باعث ایجاد انگیزه‌های قوی در جهت بهره‌برداری از فضاهای زیرزمینی برای حل مشکلات شبکه‌ها و سامانه‌های روزمینی شده است. سه حوزه اصلی به‌کارگیری فضاهای زیرزمینی عبارت‌اند از [۴]:

کاربری‌ها و شبکه‌های حوزه حمل‌ونقل (حمل بار و مسافر، توقفگاه‌های خودرو، پیاده‌روها و مسیرهای عبور دوچرخه)؛

شبکه‌های خدماتی (مخابرات، شبکه فاضلاب و تصفیه‌خانه‌ها، تأسیسات ذخیره صنعتی) و زیرساخت‌های مدیریت توزیع انرژی و آب (تحویل، تعمیر و نگهداری و ذخیره‌سازی)؛

فضاهای تجاری و خدماتی زیرزمینی (فروشگاه‌ها و مراکز تفریحی).

از سو دیگر فضاهای زیرزمینی از ابعاد مختلفی قابل‌بررسی هستند. از دیدگاه مسائل امنیتی و دفاعی، استفاده از فضاهای زیرزمینی به‌عنوان پناهگاه و فضای امن، برای حفاظت از جان انسان‌ها در برابر انواع بلایا، خطرات و تهدیدات، همیشه موردتوجه شهر سازان بوده است. احداث پناهگاه‌ها در طول جنگ‌های جهانی و همچنین استفاده از فضاهای زیرزمینی شهری مانند مترو برای اسکان اضطراری مردم در زمان بمباران، مؤید این مطلب است. همچنین برای حفاظت از زیرساخت‌های شهری و تضمین تداوم عملکرد آن‌ها در شرایط بحران، اغلب سعی بر این است که از تونل‌های زیرزمینی برای انتقال شبکه‌های زیرساخت شهری استفاده شود. همچنین باید به این نکته توجه شود که توسعه روزافزون شهرها، تراکم کاربری‌های شهری و افزایش ارزش زمین، توجه شهر سازان را به سمت فضاهای زیرزمینی سوق داده است. فضاهایی از قبیل متروها، تونل‌ها و زیرگذرهای شهری، طبقات تحتانی ساختمان‌ها، تونل‌های تأسیسات شهری، فضاهای خدماتی زیرزمینی و غیره ازجمله فضاهای زیرزمینی موجود در شهرها هستند.

توسعه بدون برنامه زیرساخت‌های شهری و نبود برنامه‌ریزی کلان در احداث فضاهای زیرزمینی، منجر به افزایش روزافزون محدودیت در ایجاد و گسترش نظام‌مند و برنامه‌ریزی‌شده‌ی آن‌ها شده است. نگاه بخشی و عدم اتخاذ رویکرد جامع در توسعه فضاهای زیرزمینی باعث عدم بهره‌برداری از کل منافع این‌گونه فضاها در پایداری شهرها شده است [۵]. از سوی دیگر، در نظر گرفتن اصول پایداری و تاب‌آوری در مرحله برنامه‌ریزی و طراحی زیرساخت‌ها، از مهم‌ترین ملاحظات در توسعه شهری است [۶]؛ بنابراین شناخت تمامی ابعاد مثبت و منفی در مورد این فضاها و احصاء فرصت‌هایی که فضاهای زیرزمینی می‌توانند پیش روی طراحان و برنامه ریزان شهری بگذارند، می‌تواند گامی در جهت افزایش تاب‌آوری و حل برخی مشکلات و معضلات شهرها باشد.

۲- بیان مسئله

در شهرهای امروزی شبکه گسترده‌ای از تأسیسات مختلف نظیر آب، برق، گاز و لوله‌های جمع‌آوری فاضلاب وجود دارد. در اغلب اوقات محل و عمق کارگذاری تأسیسات بسیار ضعیف انجام شده و تعداد دفعات مورد نیاز برای انجام تعمیرات یا اقدامات توسعه‌ای که نیاز به آسفالت شکافی معابر دارد، افزایش یافته و باعث ایجاد مشکلات ترافیکی و تحمیل هزینه‌های سنگین بر شهر و شهروندان می‌شود. استفاده از تونل تأسیسات شهری از چند دهه قبل در بیشتر کشورهای اروپایی و آمریکایی آغاز شده است. طی سال‌های گذشته در داخل کشور نیز اقداماتی در این راستا صورت گرفته که می‌توان به مواردی مانند تونل تأسیسات شهری در کلان‌شهرهای تهران و مشهد اشاره کرد. درواقع اساس تأسیسات و تجهیزات شهری را خدمات شهری مانند سامانه‌های آب، برق، گاز، تلفن، فاضلاب تشکیل می‌دهد که کمبود آن‌ها مشکلاتی را برای آسایش و رفاه حال شهروندان در پی خواهد داشت. ازآنجایی‌که زیرساخت‌های شهری از اصلی‌ترین عناصر شاخص و تشکیل‌دهنده فرم شهر محسوب می‌شوند و تأسیسات شهری نقش تعیین‌کننده‌ای نیز در خلق منظر شهر بازی می‌کنند، لذا مدیریت این زیرساخت‌ها در شهر ضروری به نظر می‌رسد تا به کمک آن بتوان نارسایی‌های کالبدی عوامل تشکیل‌دهنده محیط را کاهش داد و به دنبال آن رضایت نسبی شهروندان را نیز تأمین کرد. نیازهای رو به رشد خدمات شهری دنیای امروز لزوم استفاده از فضاهای زیر زمین را الزامی می‌کند. تونل‌های مشترک در شهر امکانی برای سامان بخشیدن به زیرساخت‌های شهری است که نقش خود را در ایجاد منظری مناسب در شهرها به اثبات رسانده است. برخی از کشورهای پیشرفته این تونل‌ها را به‌گونه‌ای طراحی کرده‌اند که علاوه بر پاسخ به نیازهای فنی، تأسیساتی و تجهیزات شهری، می‌توان در مواقع خاص و اضطراری از آن‌ها به‌عنوان پناهگاه و یا مسیر دسترسی برای نجات جان شهروندان استفاده کرد. به دنبال این اقدامات، شهر از چهره‌ای مغشوش و ازدحام کابل‌ها، سیم‌ها و تجهیزات انتقال نیرو خالی شده و از همه مهم‌تر اینکه در زمان تعمیر و یا تغییر سامانه‌ها بدون هیچ‌گونه تخریبی در سطح شهر می‌توان به اصلاح آن اقدام کرد که موجب سهولت بیشتر در مدیریت زیرساخت‌های شهری و اصلاح آن‌ها در شهر نیز هست.

امروزه تأسیسات خدمات شهری گستره وسیعی از عناصر شهری را تشکیل داده‌اند و به دلایل مختلف تبدیل به کلافی

سردرگم شده‌اند. به همین جهت مدیران شهری درصدد هستند تأسیسات شهری را به‌گونه‌ای نظم بخشند که در هنگام بحران، خسارت کمتری بر شهر وارد شود. در حال حاضر، استفاده از تونل‌های مشترک تأسیسات شهری از راهکارهای ارائه‌شده توسط متخصصان در برابر خطرات طبیعی و غیرطبیعی است که ضمن ایفای نقش‌های مختلف در مدیریت بحران، موجب افزایش تاب‌آوری شهری، کاهش خسارات و تلفات احتمالی ناشی از وقوع تهدیدات نیز می‌شود.

۳- انواع فضاهای زیرزمینی

کلیه فضاهای قرار گرفته در تراز پایین‌تر از سطح زمین را فضای زیرزمینی می‌نامند که اغلب شامل انبار و مخزن (غذا، آب، نفت، کالاهای صنعتی، زباله)؛ صنعت (موتورهای تأمین انرژی)؛ حمل‌ونقل (راه‌های ریلی، جاده‌ها، تونل‌های عابر پیاده)؛ تأسیسات و خطوط ارتباطی مخابراتی (آب و فاضلاب و گاز و کابل‌های الکتریکی)؛ کاربری‌های عمومی (مراکز خرید، بیمارستان‌ها؛ ساختمان‌های دفاع غیرعامل) و کاربری‌های خصوصی و شخصی (توقفگاه خودرو) است [۵].

بهره‌برداری از این فضاها در کشورهای مختلف به‌تدریج در حال تبدیل به الگویی مشخص برای هر منطقه است. اروپا یکی از پیشگامان بهره‌برداری از فضاهای زیرزمینی شهری به‌ویژه در شهرهای شمالی آن به خاطر داشتن شرایط زمین‌شناختی مناسب به‌عنوان بهترین گزینه برای توسعه این فضاها است. برای مثال، سامانه زهکشی زیرزمینی بزرگ سوئد (دارای جایگاه برتر در دنیا) اولین سامانه جمع‌آوری فاضلاب خودکار در دهه ۶۰ میلادی است. هلند به‌عنوان دارنده سامانه‌های لجستیکی زیرزمینی شناخته می‌شود. شهر هلسینکی در فنلاند دارای سامانه‌های آب‌رسانی بزرگی است. در آمریکای شمالی فضاهای زیرزمینی بیشتر به‌منظور مقابله با شرایط آب و هوایی سخت مورد استفاده قرار می‌گیرند. شهرهای مونترال و تورنتو، معروف‌ترین شهرهای زیرزمینی هستند. در آسیا (بیشتر ژاپن) در مناطق با تراکم ساختمانی بالا، تمایل زیادی برای اسکان در فضاهای زیرزمینی باهدف گریز از ازدحام جمعیت و ترافیک سنگین خودروها وجود دارد [۷].

برخلاف تصور رایج کنونی فضاهای زیرزمینی تنها به‌عنوان فضاهای ارتباطی کاربرد ندارند و می‌توان در کاربری‌هایی چون تفریحی (اماکن ورزشی، پارک‌ها و ...)، تجاری و اداری (بازارچه‌ها و کتابخانه‌ها و ...)، فرهنگی (موزه‌ها، فرهنگسراها، سینماها و ...) و خدماتی (توقفگاه‌های خودرو و ...) از ظرفیت آن‌ها برخوردار شد [۸].

در پژوهشی دیگر که ازنقطه‌نظر حق مالکیت، به تقسیم‌بندی فضاهای زیرزمینی پرداخته است، فضاهای زیرزمینی شهری شامل فضاهای دولتی، نیمه‌دولتی و خصوصی می‌شوند که در جدول ۱ به بیان عملکرد و مصادیق آن‌ها پرداخته شده است [۷]:

جدول ۱- تقسیم‌بندی فضاهای زیرزمینی برحسب عملکرد

نوع مالکیت		عملکرد	مصادیق
دولتی		پروژه‌های دفاع غیرنظامی برای شرایط اضطراری	پروژه‌های دفاع غیرنظامی مستقل (شامل مراکز فرماندهی دفاع غیرنظامی، پناهگاه عمومی، ایستگاه فوریت‌های پزشکی، انبار و غیره) و فضاهای فاقد مجوز بهره‌برداری تجاری در زمان جنگ یا صلح.
		فضاهای ویژه	فضاهای زیرزمینی مورد استفاده برای اهداف نظامی، امنیتی و غیره.
		توقفگاه خودرو محلی	کاربرد توقفگاه خودروهای عمومی برای استفاده ساکنین محلی مشابه سایر بخش‌های عمومی.
نیمه‌خصوصی	فضاهای خصوصی رقابتی	تأسیسات رفاهی عمومی	موزه، کتابخانه، مؤسسه تحقیقاتی، مراکز فعالیت قدیمی، مراکز فرهنگی، درمانی و غیره.
		کاربری‌های عمومی	فضاهای توریستی زیرزمینی.
	خدمات عمومی	تسهیلات عمومی	مخابرات، برق، گاز، آب، لوله‌ها و غیره.
		حمل‌ونقل عمومی	مترو، عوارض راهداری، تونل‌ها، ایستگاه اتوبوس، ایستگاه تاکسی، توقفگاه خودرو و غیره.
		پروژه‌های دفاع غیرنظامی در شرایط صلح	بهره‌برداری به‌عنوان کاربری‌های تجاری و خدماتی در شرایط عادی (اغلب شامل پناهگاه‌های غیرنظامی).
		کاربری‌های تجاری	مراکز فروشگاهی زیرزمینی، سوپرمارکت‌ها، رستوران‌ها، گالری‌های هنری، سینماها، باشگاه‌های بدن‌سازی، استخر و غیره.
خصوصی		تأسیسات ذخیره مواد معدنی	کارخانه‌های زیرزمینی، کارگاه‌ها، مخازن ذخیره زیرزمینی و غیره.
		فضای تدارکاتی	فضاهای تدارکاتی زیرزمینی برای توزیع، حمل‌ونقل، مدیریت، ذخیره مواد و پردازش اطلاعات.
		پروژه‌های دفاع غیرنظامی	احداث توسط بخش‌های خصوصی و جوامع محلی و بیشتر مربوط به پروژه‌های پناهگاهی.

در یک تقسیم‌بندی دیگر کاربردهای فضاهای زیرزمینی شامل موارد ذخیره‌سازی (مانند غذا، آب، کالاهای صنعتی و ضایعات)، صنعت (مانند نیروگاه‌ها)، حمل‌ونقل (مانند خطوط راه‌آهن، جاده‌ها، تونل‌های عابر پیاده)، خدمات رفاهی و ارتباطات (مانند آب، فاضلاب، گاز و کابل‌های الکتریسیته)، کاربرد عمومی (مانند مراکز خرید، بیمارستان‌ها و ساختارهای دفاع غیرنظامی) و استفاده شخصی و خصوصی (مانند توقفگاه خودرو) هستند [۹].

بر اساس مطالب مذکور، می‌توان مهم‌ترین فضاهای زیرزمینی را شامل فضاهای زیرزمینی مربوط به حمل‌ونقل، زیرساخت‌های حیاتی شهر و فضاهای خدماتی و تجاری زیرزمینی دانست.

۲-۱- فضاهای زیرزمینی حمل‌ونقلی

در بسیاری از شهرهای بزرگ جهان، ایستگاه‌ها و تونل‌های مترو و شهری، حجم بالایی از فضاهای زیرزمینی را به خود اختصاص داده‌اند. اولین شبکه مترو در ۱۸۶۳ میلادی در شهر لندن با بیش از یک‌میلیون جمعیت ساخته شد. امروزه مترو را از اجزای ضروری و حتمی شبکه حمل‌ونقل هر شهر بزرگی می‌دانند. بیش از ۱۱۰۰۰ کیلومتر خط مترو به ۱۵۰ شهر در سراسر جهان خدمات‌رسانی می‌کنند. علاوه بر این، بیش از ۱۰۰ کیلومتر مترو در حال احداث نیز در حال حاضر وجود دارد [۱۰].

این شبکه، تاب‌آوری بالایی را برابر حوادث طبیعی به‌ویژه زلزله نشان داده است؛ اما ورودی ایستگاه‌ها و مدخل تونل‌ها نسبت به سیل و سونامی آسیب‌پذیرند. درصورتی‌که شبکه متروی زیرزمینی قابلیت تفکیک و آب‌بندی را داشته باشد (مانند ایستگاه‌های مورد استفاده برای بهره‌برداری چندمنظوره، به‌عنوان ایستگاه-پناهگاه غیرنظامی)، درجه حفاظت آن در برابر تمامی حوادث طبیعی خارجی در سطح بالایی خواهد بود [۱۱]. در کنار آسیب‌پذیری مترو در برابر این حوادث، یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های این فضاها، قابلیت آن‌ها در بهره‌برداری‌های چندمنظوره و متنوع است. به عبارتی با توجه وسعت فضاهای زیرزمینی اختصاص‌یافته به حوزه حمل‌ونقل، این قابلیت وجود دارد که علاوه بر کاربری اصلی که همان تردد قطار و خودرو در شهرهاست، کاربری‌های دیگری نیز از قبیل پناهگاه غیرنظامی، انبار مواد ضروری، مسیر تخلیه اضطراری شهر، مسیر دسترسی به سایر نقاط شهر در شرایط بحران، مسیر کابل برق و مخابرات، مسیل اضطراری و ده‌ها استفاده دیگر را از آن‌ها انتظار داشت.

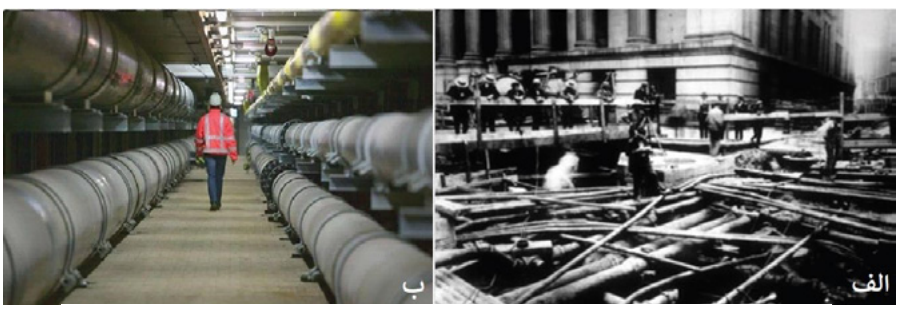
تونل‌های شهری نیز تاب‌آوری بالایی را برابر حوادث طبیعی، به‌ویژه زلزله از خود نشان داده‌اند. به‌علاوه حادثه‌ای مثل سیل باعث توقف عملکرد تونل شهری برای مدت‌زمان طولانی نخواهد شد. تونل اسمارت در شهر کوالامپور مالزی، طوری طراحی‌شده است که در روزهایی از سال از تونل ترافیکی به تونل هدایت سیل تغییر کاربری می‌دهد. حادثه آتش‌سوزی در داخل تونل جاده‌ای در آلپاین، موجب ایجاد تغییراتی در طراحی این تونل‌ها گردید که شامل پیش‌بینی خروجی‌های اضافی و یا پیش‌بینی فضاهای امن است.

۲-۲- فضاهای زیرزمینی مورد استفاده در استقرار زیرساخت‌های حیاتی شهر

تونل‌های مشترک تأسیسات در حوزه زیرساخت‌های شهری زیرزمینی[۱] می‌توانند با توجه به‌ضرورت تداوم خدمات‌رسانی شبکه‌های انتقال و توزیع آب، فاضلاب، برق، گاز و مخابرات، در ساماندهی و کاهش آسیب‌پذیری آن‌ها بسیار مفید باشد. درگذشته به‌ندرت شاهد نگاه بلندمدت در طراحی زیرساخت‌های حیاتی شهر بوده‌ایم. در شکل ۱-الف، شاهد یک شاهکار مهندسی شامل کلاف درهم‌تنیده‌ای از لوله‌ها و کابل‌ها هستیم. یقیناً تعمیر یا تعویض هرکدام، منجر به ایجاد اختلال در ترافیک عبوری خیابان، قطع خدمات این زیرساخت‌ها و احتمالاً آسیب به خطوط لوله و کابل‌های مجاور خواهد شد. در سوی دیگر، یک تونل مشترک تأسیسات شهری که محفظه‌ای امن جهت انتقال خطوط آب، فاضلاب، برق و مخابرات نشان داده شده است (شکل ۱-ب) [۱۲].

۲-۳- فضاهای زیرزمینی مورد استفاده در امور تجاری و خدماتی

مراکز داده، مراکز خرید، بایگانی اسناد، کتابخانه‌ها، سالن‌های هنری، استخرهای شنا، سالن‌های ورزشی، انبارها و برخی مراکز تفریحی از مصادیق این دست فضاهای زیرزمینی است [۱۳]. مقامات دولتی در هلسینکی (پایتخت فنلاند) طی سال ۲۰۱۱ به دلیل سرمای زیاد تصمیم به ساخت شهر زیرزمین گرفتند. در سال ۱۰۱۴ حدود ۴۰۰ مکان زیرزمینی شامل مراکز خرید، زمین‌های اسکی، استخر و زمین تنیس ایجاد شد. در نیویورک نیز تا سال ۲۰۱۸ پارکی زیرزمینی ساخته خواهد شد که مردم با یک قطار می‌توانستند به این مکان بروند [۱۴]. این اقدامات و بسیاری از طرح‌های مشابه دیگر، حاکی از گرایش ایجاد شده به احداث



شکل ۱. استفاده از تونل مشترک تأسیسات در ساماندهی شریان‌های حیاتی شهری
الف- زیرساخت‌های خیابان وال‌استریت شهر نیویورک، ۱۹۱۷ و ب- تونل مشترک تأسیسات شهر

کاربری‌های تجاری و خدماتی در زیرزمین است. عوامل اصلی این گرایش را می‌توان در قیمت بالای زمین و تراکم بالای کلان‌شهرها دانست.

۳- رویکردهای نوین به توسعه فضاهای زیرزمینی شهری

توسعه زیرزمینی فضاهای شهری در ابر شهرهای جهان رو به افزایش گذاشته است. دولت‌های محلی دست‌کم ۶ شهر مطرح دنیا، در قالب طرح‌های نوآورانه با عنوان شهرهای زیست پذیر برای کنار آمدن با انفجار جمعیت شهری، به استفاده از فضاهای بکر و تاریک ترازهای منفی زمین روی آورده‌اند [۶]. در قالب این نوع گسترش فیزیکی که الگوی شهرهای قرن ۲۱ نام‌گرفته، ۱۰ کاربری شهری ازجمله مراکز تجاری، تفریحی، معابر بزرگراهی و مترو به زیر سطح منتقل می‌شود تا فضاهای سطحی، برای ساختمان‌های مسکونی و نیازهای حیاتی شهر آزاد شود. تجربه شهرداری سنگاپور در این مدل شهرسازی بر سرمایه‌گذاری بخش خصوصی استوار است [۱۵].

در سنگاپور، پایتخت کشور سنگاپور و همچنین لندن، نیویورک، شانگهای، هلسینکی و مکزیکوسیتی با ایجاد شهر زیرزمینی، بخشی از ساختمان‌های اداری، مراکز تجاری و فروشگاه‌ها، مراکز ورزشی و زمین‌بازی، پارک، هتل، حمل‌ونقل عمومی، مراکز خدماتی و حتی برج‌های مسکونی، در حال انتقال به زیر سطح شهر است. در اجلاس شهرداران که اخیراً در سنگاپور برگزار شد، برای اجرای پروژه «شهر زیرزمینی» در شهرهای متقاضی این طرح، بر دو اصل کلیدی تأکید شد. اول اینکه، انتقال بخشی از شهر به زیرزمین نیازمند سرمایه‌گذاری حساب‌شده در حوزه سامانه‌های تهویه هواست و اصل دوم نیز بر کمترین خطای در طراحی کاربری‌های زیرزمینی خلاصه می‌شود [۱۶].

مطالعه فضاهای زیرزمینی شهری در سه شهر پاریس، توکیو و استکهلم، نمونه‌ای از چگونگی کاربرد این فضاهای طبقه‌بندی شده بر طبق عملکرد ارائه می‌نماید. خدمات رفاهی و حمل‌ونقل، معمول‌ترین کاربردهای زیرساخت‌های زیرزمینی شهری هستند. شهرهای مورد مطالعه بیش از ۳۲ درصد فضای زیرزمینی شهری را به حمل‌ونقل (تونل‌های خط راه‌آهن و خودرو، ایستگاه‌ها) و بیش از ۸ درصد را به خدمات رفاهی (خطوط لوله، کابل جمع کننده، فاضلاب) اختصاص داده‌اند. سایر عملکردها بسته به مشخصات هر شهر و همچنین چگونگی طبقه‌بندی داده‌ها تفاوت اساسی دارند (شکل ۲).

امکانات رفاهی در استکهلم سهم اساسی (۴۱ درصد) از زیرساخت را تشکیل داده است. این سهم می‌تواند شرایط آب و هوایی سخت و نیاز به زیرساخت‌های گرمایشی را منعکس سازد. از سوی دیگر، سهم اندک امکانات رفاهی در توکیو (۸ درصد) می‌تواند عدم وجود سامانه‌های گرمایشی شامل لوله‌کشی آب و رواج خطوط هوایی انتقال الکتریسیته محلی را منعکس سازد. توکیو بالاترین سهم نسبی را در حوزه عملکرد حمل‌ونقل (۵۵ درصد) به خود اختصاص داده است. ساختارهای زیرزمینی در حوزه حمل‌ونقل در توکیو تونل‌های خط آهن هستند، ولیکن توکیو چندین تونل بزرگ خودرو نیز دارد [۵].

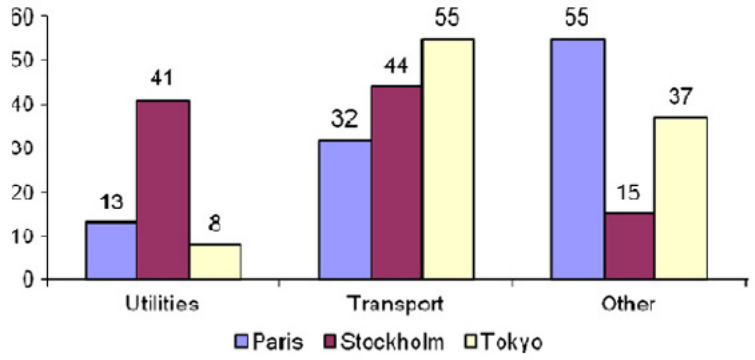
۴- نقش فضاهای زیرزمینی در تاب‌آوری شهری

اهمیت پایداری و تاب‌آوری در نیم‌قرن اخیر، با ظهور برخی حوادث و موضوع‌ها آشکارتر شده است. موضوع‌هایی از قبیل:

- دسترسی و توزیع غذای کافی و آب مناسب در آینده؛
- محدودیت انرژی فسیلی و منابع زیرزمینی؛
- حوادث ناشی از تغییرات آب و هوایی و گرمایش زمین؛
- پیش‌بینی افزایش بلایای طبیعی؛
- اثرات فزاینده حوادث بر زیرساخت‌ها و محیط مصنوع بشر؛
- افزایش خطر حملات تروریستی در سامانه‌های عمومی حیاتی [۱۱].

برخی منابع شاخص‌های تاب‌آوری شهری مرتبط با فضاهای زیرزمینی را شامل، آمادگی شهر در برابر حوادث طبیعی و غیرطبیعی، واکنش اضطراری و تسهیلات دفاع غیرنظامی، کاهش اثرات زیست‌محیطی ناسازگار در مقیاس شهری و تداوم کارکرد زیرساخت‌های حیاتی معرفی کرده‌اند [۱].

فضاهای زیرزمینی سرشار از خدمات شبکه‌های انرژی (گاز، برق)، شبکه‌های آب (شبکه آب آشامیدنی، شبکه فاضلاب شامل آب باران و فاضلاب بهداشتی)، شبکه‌های خدماتی (شامل مخابرات، برق و در برخی موارد شبکه جمع‌آوری زباله) و شبکه حمل‌ونقل (شامل حمل‌ونقل بین‌شهری، مترو، شبکه معابر و



شکل ۲. کاربرد فضای زیرزمینی شهری برحسب کارکرد

بزرگراهی) هستند. ظرفیت شهر در محدود کردن تلفات و بازسازی و احیاء سریع پس از وقوع حوادث طبیعی، به‌طور پیچیده‌ای مرتبط با تداوم عملکردهای اساسی آن‌هاست. بعضی از تأسیسات در مقایسه با برخی تأسیسات دیگر، ظرفیت بیشتری در کاهش اثر حوادث و بلایای گسترده دارند (جدول ۲). برای مثال در زمان سیل و طوفان، به‌شرط ایمنی و یا آب‌بند بودن مسیرهای دسترسی، نیروهای وارده به سازه زیرزمینی (در زمان برخورد ضربه ناشی از سیل و باد به سازه‌های سطحی) به‌دقت شناسایی و به‌سادگی مورد رسیدگی قرار می‌گیرند. در سوی دیگر، اثر ناشی از انفجار یا آتش‌سوزی داخلی به‌طورمعمول خطرناک‌تر و امدادرسانی در فضاهای زیرزمین سخت‌تر است [۶].

با توجه به پیچیدگی و به‌هم‌پیوستگی شبکه‌های زیرساختی، پیش‌بینی زمان بروز تنش‌های ناشی از حوادث و فجایع، به‌طور فزاینده مشکل‌تر می‌شود. به‌علاوه لازم به ذکر است که فقط احیاء کارکردهای فیزیکی سامانه‌ها برای تحقق تاب‌آوری کافی نیست. هدف از تاب‌آوری احیاء و بازگشت عملکرد صحیح و پایدار سامانه‌های خدماتی پس از بحران است. این بدان معنی است که وابستگی‌ها و اندرکنش‌های شبکه‌های خدماتی با مؤلفه‌های اقتصاد، تحرک پذیری و تأمین خدمات، باید بهتر درک گردد. بهره‌برداری از فضاهای زیرزمینی می‌تواند بسیاری از ابعاد تاب‌آوری شهرها را تأمین کند؛ اما باید خطرات ناشی از سیل، آتش‌سوزی داخلی، انفجار یا انتشار مواد شیمیایی در نظر گرفته شود [۱۱]. از سوی دیگر افزایش جمعیت منجر به رشد تقاضا برای زیرساخت‌های پایدار شده است. امروزه این مسئله با موضوع‌هایی مانند احتیاج به افزایش بازده انرژی و آگاهی عمومی از مسائل زیست‌محیطی همراه شده است. بهره‌برداری از فضاهای زیرزمینی می‌تواند به شهرها در پاسخگویی به این تقاضاها کمک کند [۱۷]. انواع مختلف فضاهای زیرزمینی، به علت حفاظتی که در برابر حوادث ایجاد می‌کنند، با تاب‌آوری ارتباط دارند. به‌طور مثال، فضاهای زیرزمینی مقاومت بالایی را در برابر حوادثی از قبیل زلزله، گردباد، توفان، آتش‌سوزی خارجی، انفجار خارجی، تشعشع هسته‌ای و سایر تهدیدات تروریستی دارند و از سوی دیگر در برابر بسیاری از حوادث و تهدیدات نیز آسیب‌پذیرند که باید مورد بررسی قرار گیرند.

۵- نقش فضاهای زیرزمینی در حل چالش‌های شهری

چالش‌های مربوط به رشد جمعیت، بحران انرژی، محدودیت زمین و مشکلات زیست‌محیطی، شهرسازی نوین را به اتخاذ تدابیر خلاقانه در فرایند باز توسعه شهری، فرامی‌خواند. توسعه فضاهای زیرزمینی شهری به‌عنوان گزینه پایدار در نوسازی بافت‌های متراکم مرکزی و به‌روزرسانی زیرساخت‌های عمومی، باید ازنظر اقتصادی ممکن و ازنظر مدیریتی تسهیل شود [۱۸]. معضلاتی از قبیل ترافیک سنگین، آلودگی صوتی و آلودگی هوا، عدم وجود ایمنی، امنیت و حفاظت در برابر بلایای طبیعی و سیل، افزایش جمعیت و عدم دسترسی به فضا جهت کار و تفریح، محدودیت درزمینه زیباسازی شهر و توجه به میراث فرهنگی، فرسودگی و عمر بالای زیرساخت‌ها، از مهم‌ترین مشکلات کنونی کلان‌شهرها برشمرده شده است [۱۷]. آسیب‌پذیری شهرها در برابر این معضلات و تهدیدات، برای امنیت و سلامت شهرها نگران‌کننده است؛ اما لازم به ذکر است که بسیاری از این مسائل و مشکلات با استفاده از فضاهای زیرزمینی قابل‌حل هستند. به‌عنوان‌مثال خطوط مترو در طراحی شهری، همانند جاده‌ای است که احداث و در آینده منشأ رشد محیط پیرامون خود می‌شود. از طرفی، مترو راهبردی بلندمدت است که می‌تواند شهر را برای آیندگان بیمه کند. همچنین فضاهای زیرزمینی از دیرباز به‌عنوان فضاهای امن شهری مورد استفاده قرار می‌گرفت و از انسان در برابر بسیاری از حوادث و تهدیدات محافظت می‌کرد. سابقاً این موضوع از عصر حجر و دوره غارنشینی انسان آغاز و تا اکنون نیز همیشه مورد توجه بسیاری از شهرسازان بوده است.

چو و همکاران (۲۰۰۲) مزایای استفاده از فضاهای زیرزمینی را شامل موارد ذیل می‌دانند:

الف- استفاده بهینه و مؤثر از زمین و بهبود وضعیت محیط‌زیست: استفاده از ظرفیت زیرزمین در مناطق پرتراکم شهری و پیش‌بینی کاربری‌هایی مانند پارک و کاربری‌هایی که قابل احداث مجدد هستند. انتقال بزرگراه‌ها و معابر ماشین‌رو به زیر سطح، سطح زمین را برای استفاده به‌عنوان مسیر پیاده، دوچرخه و همچنین مسیر خودروهای امدادی مهیا می‌کند.

ب- زیبایی شهر: مدفون و پنهان نمودن برخی کاربری‌های بدمنظره‌ای مثل معابر، توقفگاه‌های خودرو و فروشگاه‌های بزرگ.

ج- توسعه پایدار: رفع نیاز به نماسازی‌های خارجی منجر به صرفه‌جویی در حفظ مصالح و هزینه‌ها است.

د- حفظ انرژی: استفاده از ظرفیت طبیعی زمین در عایق‌بندی انرژی و صدا، باعث حفظ ذخایر انرژی و استفاده بهینه از سامانه‌های گرمایشی و سرمایشی می‌شود.

ه- حفاظت از جان مردم در شرایط بد جوی

و- بهره‌برداری امنیتی: به‌طور مثال به‌عنوان بانک و پناهگاه [۱۹].

همچنین باید در نظر داشت که فضاهای سطحی شهری، می‌تواند معایب و نقاط ضعفی نیز داشته باشد. به‌عنوان‌مثال برخی از سازه‌های زیرزمینی می‌توانند اثرات نامطلوبی بر روی جریان آب‌های زیرزمینی، کیفیت آب (در اثر مصالح به‌کاررفته در سازه‌های زیرزمینی) و پتانسیل گرمایی سفره‌های آب زیرزمینی داشته باشند. در جدول ۲ مهم‌ترین مزایا و معایب تأسیسات زیرزمینی با توجه به انواع مختلف حوادث ارائه شده است:

۶- ملاحظات اولیه در بهره‌برداری از فضاهای زیرزمینی

پیش از هرگونه تصمیم‌گیری درزمینه بهره‌برداری از فضاهای زیرزمینی شهری، لازم است ابعاد چهارگانه زیر مورد بررسی قرار گیرد:

الف- شناخت وضع موجود. یکی از مهم‌ترین نیازهای مربوط به این مرحله، دسترسی به اطلاعات توصیفی و داده‌های

جدول ۲. مزایا و معایب فضاهای زیرزمینی در برابر حوادث [۳]

نوع حادثه	مزایا	معایب و محدودیت‌ها
زلزله	لرزش‌های زمین در زیر سطح به‌سرعت تحلیل می‌رود سازه‌ها با خاک حرکت می‌کنند	جابجایی گسل باید همسان گردد ناپایداری در مصالح یا پیکربندی‌های ضعیف
توفان و گردباد	بار باد کمترین تأثیر را بر سازه‌های مدفون دارد	آسیب به تأسیسات مدفون در عمق کم در اثر واژگونی سازه‌های سطحی مانند درختان و خطوط انتقال نیرو
سیل و سونامی	زمین در برابر ضربه و لجن ناشی از سیل محافظت می‌کند.	زمان و هزینه زیاد برای احیاء عملکرد در زمان سیل گیری سازه
آتش‌سوزی و انفجار خارجی	زمین محافظت مناسبی را ایجاد می‌نماید	ورودی و سطوح نمایان آسیب‌پذیرند
حوادث CBR خارجی	زمین محافظت مازادی را ایجاد می‌نماید	سیستم تهویه مناسبی لازم است
آتش‌سوزی و انفجار داخلی	مقدار محدود خسارت با جداسازی مناسب فضاها	فضاهای محبوس خسارت به فضاهای داخلی و افراد را افزایش می‌دهد
نشت عوامل CBR داخلی	مقدار محدود خسارت با جداسازی مناسب فضاها	فضاهای محبوس خسارت به فضاهای داخلی و افراد را افزایش می‌دهد

مکانی (نقشه‌های GIS) مربوط به این فضاهاست. اطلاعات مربوط به زیرساخت‌ها، به‌ویژه اطلاعات مرتبط با برنامه‌ریزان، سیاست‌گذاران و تصمیم سازان شهری باید به‌صورت روشن و منطقی جمع‌آوری گردد. این موضوع ضرورت یکپارچه‌سازی اطلاعات مربوط به زیرساخت‌های حیاتی، حمل‌ونقل زیرزمینی و سایر فضاهای زیرزمینی نقطه‌ای[۲] را یادآور می‌سازد.

ب- بررسی فرصت‌های ممکن برای مستحدثات جدید یا نوسازی و بهسازی سازه‌های زیرزمینی موجود. در این خصوص، لازم است موارد متعددی موردتوجه قرار گیرد که اهم آن‌ها عبارت‌اند از:

- در نظر گرفتن نیازمندی‌ها، محدودیت‌ها و شرایط شهر؛
- توجه به قابلیت ترمیم و نوسازی متناسب با طول دوره بهره‌برداری؛
- اتخاذ رویکرد چندمنظوره سازی به‌منظور بهره‌برداری حداکثری از ظرفیت فضاها؛
- نگاه بلندمدت به سرمایه‌گذاری درزمینه احداث فضاهای زیرزمینی در جهت حل مشکلات زیست‌محیطی، حمل‌ونقل و ترافیک، تداوم خدمات ضروری و حفظ زمین (با توجه به هزینه اولیه بالا) [۶].

تعیین اینکه چه چیزی درون زمین وجود دارد و به چه صورتی کار می‌کند، به‌طورکلی با رویکردهای سنتی مورد استفاده در سطح زمین، متفاوت است. ابزارهای شبیه‌سازی سه و چهاربعدی و مدل‌سازی‌های حقیقی قادرند در این زمینه به طراحان و برنامه‌ریزان شهری کمک شایانی کنند. از این ابزارها باید برنامه‌ریزی شهری، برای شناسایی فرصت‌ها و آشکار ساختن آنچه پیش از وجود داشته است، بهره گرفت [۱۳].

ج- شناخت سیاست‌های برنامه‌ریزی، چارچوب‌های قانونی و نظارتی. به‌طورمعمول با توجه به محدودیت‌های قانونی موجود در خصوص تملک زیرزمین، عملاً گفته می‌شود که پایین‌ترین حدومرز ملک، به عمقی محدود می‌شود که مالک می‌تواند از آن استفاده کند (۶ متر پایین‌تر از پایین‌ترین قسمت ساختمان ملک)؛ بنابراین باید مجوز احداث کاربری‌های عمومی در پایین‌تر از این عمق داده شود [۱۴].

د- در نظرگرفتن فضاهای زیرزمینی در فرایند برنامه‌ریزی شهری. در طرح‌های کلان برنامه‌ریزی شهرهای معدودی، به فضاهای زیرزمینی به‌طور مشخص پرداخته‌شده است که ناشی از شرایط زمین‌شناختی و محدودیت زمین بوده است. سنگاپور و هلسینکی از نمونه شهرهای پیشگام در این زمینه هستند [۶]. شاید بتوان یکی از مهم‌ترین اقدامات مؤثر درزمینه توسعه بهره‌برداری از فضاهای زیرزمینی، موضوع تهیه سیاست یکپارچه فضاهای زیرزمینی و لحاظ آن در نظام برنامه‌ریزی شهری، باهدف آشکار ساختن ظرفیت‌های پنهان فضاهای زیرزمینی و جلوگیری از توسعه بی‌رویه آن‌ها دانست [۱۳].

به‌منظور ایجاد بستری برای پذیرش فضاهای زیرزمینی در نظام برنامه‌ریزی شهری، اتخاذ رویکرد چندمنظوره سازی در احداث فضاهای زیرزمینی، تهیه طرح جامع برنامه‌ریزی فضاهای زیرزمینی و بررسی وضعیت زمین‌شناختی شهر می‌تواند بسیار مؤثر باشد. به‌عبارت‌دیگر می‌توان گفت که علت اصلی عدم اقبال بسیاری از کلان‌شهرهای جهان به سرمایه‌گذاری درزمینه گسترش فضاهای زیرزمینی، نداشتن اشراف اطلاعاتی به ظرفیت‌های فضاهای زیرزمینی در حل بسیاری از معضلات و مشکلات شهر و عدم برخورداری از نگاه بلندمدت در توسعه شهرهاست.

۷- روش‌شناسی پژوهش

۷-۱- روش کیو

روش کیو روشی تحقیقی است که در رتبه‌بندی گویه‌های بررسی شده (عبارت، جمله، عکس، خبر و مانند آن) با استفاده از مقیاسی شبیه مقیاس لیکرت کاربرد دارد و همبستگی بین

پاسخ‌های افراد مختلف به این رتبه‌بندی معطوف است. در این روش گویه‌های بررسی‌شده بر روی کارت‌هایی که به کارت‌های کیو موسوم هستند، نوشته یا چاپ شده و در اختیار پاسخ‌گویان قرار گرفته و بر اساس ترتیب تعیین‌شده توسط پژوهشگر بر روی کارت‌های مقیاس لیکرت توزیع می‌شوند؛ به صورتی که توزیع فراوانی‌ها «شبه نرمال» باشد؛ بنابراین روش کیو، یک روش تحقیق مورد استفاده برای مطالعه ذهنیت افراد است و در این مورد که «چگونه افراد در مورد یک مقوله فکر می‌کنند»، مورد استفاده قرار گرفته است. روش کیو درواقع فنی است که پژوهشگر را قادر می‌سازد تا نخست ادراکات و عقاید فردی را شناسایی و طبقه‌بندی نماید و سپس به دسته‌بندی گروه‌های افراد بر اساس ادراکاتشان بپردازد [۲۰]. روش کیو کارکرد و قابلیت‌های قابل‌توجهی دارد؛ به‌طوری‌که برای اندازه‌گیری ذهنیت افراد به‌منزله یک روش علمی مورد استفاده قرار می‌گیرد. با بهره‌گیری از این روش می‌توان پدیده‌های مختلف روانی، اجتماعی، تربیتی، امنیتی، ارتباطی و نظایر آن‌ها را مورد مطالعه قرار داد، اطلاعات مورد نیاز را از مسئولان و نخبگان جامعه به دست آورد و ذهنیت آن‌ها را شناسایی و اطلاعات مبهم و پنهانیِ نهفته در ورای این اطلاعات آشکار را کشف کرد [۲۱]. در چارچوب اصول روش‌شناسی کیو مراحل شکل‌گیری این پژوهش به شرح زیر است:

الف- مطالعه و گردآوری فضای گفتمان

جامعه‌ی آماری پژوهش شامل پایان‌نامه‌ها و مقالات علمی-پژوهشی (با موضوعات فضاهای زیرزمینی و تاب‌آوری) است که در حوزه نشریات علمی-پژوهشی داخل و خارج کشور به چاپ رسیده‌اند و اعتبار علمی آن‌ها مورد تأیید وزارت علوم، تحقیقات و فناوری کشور است. نخست، از طریق مطالعات کتابخانه‌ای درزمینه مجلات علمی-پژوهشی مرتبط با موضوع فضاهای زیرزمینی و تاب‌آوری و جستجو در پایگاه‌های اطلاعات علمی کشور، فهرست جامعی از پژوهش‌های انجام شده در این زمینه تهیه شد و مجموعه مقالات حوزه فضاهای زیرزمینی و تاب‌آوری تفکیک گردید (گردآوری فضای گفتمان). سپس، با مطالعه آثار پژوهشی گردآوری شده، شاخص‌ها و معیارها بر پایه یافته‌های حاصل استخراج گردید.

ب- انتخاب یک نمونه معرف از فضای گفتمان (ایجاد دسته کیو[۳])

در این مقاله ابتدا به بررسی و مطالعه نشریات علمی-پژوهشی (حوزه برنامه‌ریزی شهری، شهرسازی، مدیریت بحران) و پایان‌نامه‌های (مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری) انجام‌شده درزمینه مرتبط با موضوع تحقیق در سال‌های اخیر پرداخته شد (با استفاده از روش نمونه‌گیری احتمالی). در این مرحله تمامی ظرفیت‌ها و نقش‌های متصور برای فضاهای زیرزمینی احصا گردید. در گام بعد، پس از حذف موارد تکراری و تلفیق گزاره‌هایی که دارای مفهوم یکسانی بودند، تعداد ۲۴ گزاره اصلی شناسایی شد (جدول ۳). مجموع این گزاره‌ها پس از بازبینی و ویرایش به‌منزله نمونه کیو به کار رفت و برای ایجاد دسته کیو و انجام مرتب‌سازی در مرحله‌ی بعد هر یک بر روی یک کارت (کارت کیو[۴]) درج گردید.

در سراسر فرایند تحقیق شناسه درج‌شده بر روی هر کارت مطابق جدول ۳ است.

ج- انتخاب مشارکت‌کنندگان[۵]

در گام بعدی پژوهش، با روش نمونه‌گیری هدفمند، از خبرگان و صاحب‌نظران دانشگاهی تعداد ۳۵ نفر برای مرحله مرتب‌سازی

جدول ۳. خلاصه گفتمان مطالعات نقش توسعه فضاهای زیرزمینی در تاب‌آوری شهر (دسته کیو) بر اساس یافته‌های پژوهش

شناسه	گزاره
۱	کاهش مصرف سوخت در حوزه حمل‌ونقل
۲	کاهش هدر رفت انرژی در تأسیسات زیرساختی
۳	تبدیل کاربری به‌عنوان پناهگاه عمومی در زمان حملات هوایی
۴	انتقال دارو و تجهیزات امدادی از طریق تونل‌های شهری
۵	جابجایی نیروی امنیتی و نظامی در سطح شهر
۶	کاهش آلودگی هوا در اثر گسترش حمل‌ونقل عمومی مانند مترو
۷	انتقال مراکز و کاربری‌های خاص به زیر زمین
۸	افزایش عمر تأسیسات و شبکه‌های زیرساختی
۹	انتقال مصدوم و مجروح از طریق تونل‌های شهری
۱۰	کاهش ترافیک ناشی از تعمیرات در شبکه‌های زیرساختی
۱۱	تبدیل کاربری به‌عنوان مرکز درمانی موقت امن، در شرایط بحران
۱۲	تأمین زمین برای توسعه فضای سبز (با انتقال برخی کاربری‌ها به زیر زمین)
۱۳	پیش‌بینی کاربری‌های درمانی (CBRN) ویژه در فضاهای زیرزمینی
۱۴	صرفه‌جویی در هزینه‌ها و زمان عملیات تعمیر و نگهداری تأسیسات
۱۵	انتقال مسئولان به نقاط امن یا خارج از شهر در شرایط بحران
۱۶	دسترسی به مراکز امداد و نجات از طریق تونل‌های شهری
۱۷	افزایش ایمنی شهروندان در برابر حوادث و بلایای طبیعی از قبیل زلزله و طوفان
۱۸	بهبود وضعیت منظر شهری
۱۹	کاهش ترافیک معابر از طریق دسترسی زیرزمینی مترو به کاربری‌های جاذب جمعیت
۲۰	کاهش آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها در برابر تهدیدات
۲۱	استفاده از انرژی زمین‌گرمایی و صرفه‌جویی در مصرف انرژی
۲۲	گسترش حمل‌ونقل عمومی از طریق آزادسازی ظرفیت معابر
۲۳	کاهش آلودگی صوتی و بصری از طریق انتقال کاربری‌های ناسازگار به زیر سطح
۲۴	کاهش میزان خطرزایی تأسیسات خطرناک (مانند گاز)

کیو مشارکت کردند که از این تعداد، با توجه به وقت‌گیر بودن تکمیل پرسشنامه و همکاری نکردن تعدادی از این محققان، ۲۰ نفر این پرسشنامه را تکمیل کردند. تحصیلات ۱۴ نفر از کل مشارکت‌کنندگان در سطح کارشناسی ارشد (۷۰ درصد) و ۶ نفر در سطح دکتری تخصصی (۳۰ درصد) است.

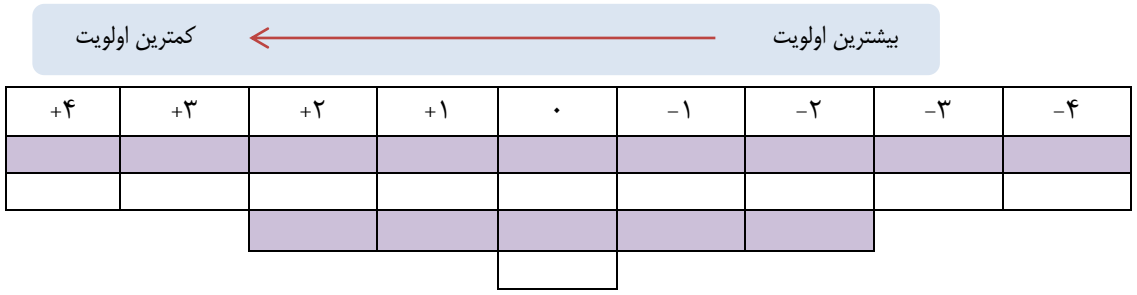
جدول ۴. مشخصات مشارکت‌کنندگان پژوهش

مشارکت‌کننده		جمع کل
کارشناسی ارشد	۱۴	۲۰
دکتری (PHD)	۶	

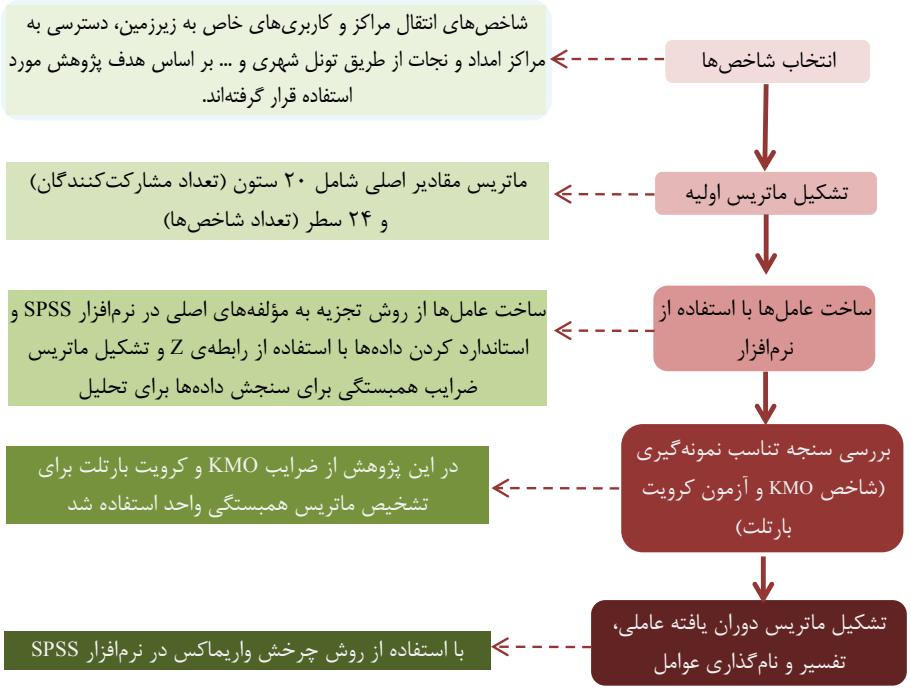
د- طراحی نمودار کیو، مرتب‌سازی و تحلیل عاملی کیو

در بیشتر پژوهش‌های انجام‌شده با روش کیو، نمودار آن به شکل توزیع نرمال بر روی صفحه‌ای طراحی می‌شود. این تصویر مانند طیف لیکرت چند طیف را در برمی‌گیرد؛ به‌طوری‌که مشارکت‌کنندگان بر اساس ادراکات و دیدگاه خود کارت‌های کیو را به ترتیب اهمیت یا میزان موافقت و یا مخالفت بر روی نمودار مرتب می‌کنند [۲۲]. در این پژوهش با توجه به ماهیت و تعداد عوامل یا عبارات کیو یک نمودار مندرج نه طیفی طراحی گردید (شکل ۳).

از روش تحلیل عاملی کیو که روشی چند متغیره است برای تحلیل آماری داده‌های حاصل از مرتب‌سازی‌ها استفاده شد. تحلیل عاملی کیو ازنظر شیوه اجرا تفاوت چندانی با تحلیل عاملی معمولی ندارد؛ اما تفاوت بنیادین در اینجاست که در تحلیل عاملی کیو به‌جای همبستگی میان متغیرها همبستگی میان افراد مشارکت‌کننده سنجیده می‌شود و افراد بر اساس نوع نگرششان دسته‌بندی می‌شوند [۲۳]. در این پژوهش نیز عوامل (رویکردها) شناسایی شد، بر اساس ماتریس عاملی چرخش یافت و بالاترین امتیازهای عاملی محاسبه‌شده با روش تحلیل مقایسه‌ای تفسیر شد. شکل ۴ مراحل روش تحلیل عاملی و نحوه دستیابی به عوامل نهایی را به تفکیک نشان می‌دهد.



شکل ۳. نمودار کیو (ردیف‌ها محل قرارگیری کارت‌های کیو هستند)



شکل ۴. مراحل روش تحلیل عاملی در ارتباط با نقش توسعه فضاهای زیرزمینی در تاب‌آوری شهرها

۸- تحلیل داده‌ها

پس از پایان مرتب‌سازی، ماتریس داده‌ها در نرم‌افزار SPSS برای تحلیل داده‌ها تشکیل شد. بر اساس منطق روش‌شناسی کیو از روش تحلیل عاملی کیو به‌عنوان اصلی‌ترین روش برای تحلیل ماتریس داده‌های کیو، استفاده شد. در گام نخست از شاخص[۶] KMO جهت تشخیص مناسب بودن داده‌ها برای انجام تحلیل عاملی استفاده شد. مقدار این شاخص همواره بین صفر و یک و حداقل مقدار قابل‌اطمینان آن برای تحلیل عاملی عدد ۰/۵ است [۲۴]. با توجه به شاخص به‌دست‌آمده (۰/۷۹۶)، داده‌ها قابل‌اطمینان تشخیص داده شد (جدول ۵).

جدول ۵. مقدار KMO

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		۰/۷۹۶
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	۴۷۰/۴۱۳
	df	۱۲۸
	Sig.	۰/۰۰۰

برای شناسایی الگوهای ذهنی (رویکردها) مشارکت‌کنندگان، تحلیل عاملی به شیوه اکتشافی با استفاده از ماتریس همبستگی انجام شد. سپس روش مؤلفه‌های اصلی[۷] به‌عنوان رایج‌ترین شیوه‌های استخراج عامل‌ها در تحلیل عاملی کیو مورد استفاده قرار گرفت. از روش واریماکس[۸] نیز برای چرخش عامل استفاده شد. سرانجام ۴ عامل یا رویکرد با مجموع واریانس ۸۱/۳۷۴ درصد شناسایی شد (جدول ۶).

مطابق با ماتریس عاملی چرخش یافته (جدول ۶)، بر اساس بارهای عاملی محاسبه‌شده چهار عامل یا رویکرد مشاهده می‌شود. برای تعیین معنادار بودن بارهای عاملی با اطمینان ۹۹ درصد از فرمول ذیل استفاده شده است:

$$\frac{2.54}{\sqrt{n}}$$

n = تعداد کارت‌های مطالعه کیو

به‌طوری‌که هفت نفر (۳۵ درصد) از مشارکت‌کنندگان در رویکرد یک، تعداد پنج نفر (۲۵ درصد) در رویکرد دو، چهار نفر (۲۰ درصد) در رویکرد سه و چهار نفر (۲۰ درصد) نیز در رویکرد چهار جای می‌گیرند. در ادامه برای تحلیل و تفسیر چهار رویکرد شناسایی شده، امتیازهای عاملی گزاره‌های ذیل هر عامل محاسبه شد. سپس گزاره‌های دارای امتیاز عاملی بالاتر از عدد ۰/۷ مبنای تفسیر و مقایسه رویکردها قرار گرفت. این مقادیر در جدول ۷ با رنگ تیره‌تر مشخص شده‌اند.

جدول ۷. ماتریس عاملی چرخش یافته.

شناسه مشارکت‌کننده	Component			
	۱	۲	۳	۴
P۱	۰/۹۸۱	۰/۰۴۵	۰/۱۸	۰/۰۲۱
P۲۰	۰/۹۷	۰/۱۸۷	۰/۰۳۶	۰/۰۸۸
P۱۶	۰/۹۴۳	۰/۱۰۳	۰/۲۳۷	۰/۰۴۲
P۹	۰/۹۱	۰/۲۷۱	۰/۱۷۷	۰/-۰۳۳
P۱۱	۰/۸۳۵	۰/۳۰۸	۰/۰۱۱	۰/۰۳۹
P۲	۰/۷۹۲	۰/۰۴۴	۰/۰۶۳	-۰/۰۲۷
P۱۲	۰/۷۲۴	۰/۱۳۶	۰/۰۵۷	-۰/۱۵۷
P۷	۰/۳۳۲	۰/۹۴	۰/۱۷۳	۰/۰۳۵
P۱۳	۰/۲۷۴	۰/۸۷۶	۰/۱۶۷	۰/۰۶۳
P۱۹	۰/۱۴۶	۰/۸۳۳	۰/۰۸۳	-۰/۰۲۱
P۴	۰/۰۵۳	۰/۷۳۱	۰/۱۲۶	-۰/۰۴۶
P۱۴	۰/۲۴۱	۰/۷۰۹	۰/۰۱۳	۰/۰۱۷
P۶	۰/۰۷۷	۰/۱۰۴	۰/۹۳۴	۰/۰۲۶
P۱۷	۰/۳۶۷	۰/۴۱۳	۰/۸۶۱	۰/۰۸۹
P۵	۰/۱۶	۰/۲۶۱	۰/۷۰۵	-۰/۰۴۷
P۱۵	۰/۰۳۵	۰/۱۶۳	۰/۶۵۹	-۰/۰۹۳
P۸	۰/۱۳۱	۰/۰۹۲	-۰/۰۵۳	۰/۹۰۵
P۱۸	۰/-۰۱۴	۰/۱۸۲	-۰/۱۰۳	۰/۸۸۲
P۱۳	۰/۰۶۹	۰/۰۱۵	۰/۰۱۴	۰/۷۴۳
P۳	۰/۰۱۳	۰/۱۰۶	-۰/۱۴۸	۰/۶۲۱

جدول ۶. مقدار کل واریانس تبیین شده

Component	Rotation Sums of Squared Loading		
	Total	% of Variance	% Cumulative
۱	۳/۴۲۳	۲۸/۶۵۱	۲۸/۶۵۱
۲	۲/۳۷۳	۲۱/۳۴۷	۴۹/۹۹۸
۳	۱/۷۷۳	۱۷/۳۵۲	۶۷/۳۷
۴	۱/۳۰۳	۱۴/۰۰۴	۸۱/۳۷۴

جدول ۸. امتیازهای عاملی گزاره‌های نقش توسعه فضاهای زیرزمینی در تاب‌آوری شهرها

شناسه گزاره	رویکرد ۱	رویکرد ۲	رویکرد ۳	رویکرد ٤
۱	۰/۳۱۵	۰/۱۳۵	-۰/۰۲٤	۱/٤٥۳
۲	۰/٤٥۹	۰/۱۰۳	۰/۰۱٥	۱/۲٤۲
۳	۰/۳۲	۰/٦۷	۱/۷٦	-۰/۱۷٦
٤	۰/٤٦۱	۱/۳۲	۰/۳۲۳	-۰/۲۱
٥	۰/۱۷۸	۰/٦۳٤	۱/۰۲۸	-۰/۳۷٥
٦	۰/۰۷۹	-۰/۲۸٤	۱/-۰۲٦	۱/٦۹۸
۷	۰/٦۹۱	۰/٦۲	۱/۳۳۹	۰/۱٦۷
۸	۱/۸۳۱	۰/۱۸۳	-۰/۱۹	۰/۳۷٦
۹	۰/۵۷	۱/۵۷	۰/٤۳	-۰/٦۷٤
۱۰	۰/۸۹۱	۰/٦٦	۰/۳۹	۰/۱۸۹
۱۱	۰/٦۹٤	۰/۹۲۱	۰/۳٦٥	-۰/٥٦۹
۱۲	-۰/٤٤۱	۰/۳۷۷	-۰/۸۸۳	۱/۱٤۷
۱۳	۰/٤۷۱	۰/۷۹	۰/-۱۰٥	-۰/۷٦۹
۱٤	۱/٦۱	-۰/٤٦۲	-۰/۸۹۳	-۰/۲۲۹
۱٥	۰/۱۲۷	۰/۲۸۷	۰/۸۸٦	-۱/۲۳۸
۱٦	۰/۱۱۸	۱/۷٥٥	۰/۳٤	-۰/٦٥۳
۱۷	۰/٥٥۱	۰/٦۱	۱/٦٤۷	۰/۲۳۲
۱۸	۰/۲٦٦	۰/۳۱۱	۰/۱۹	۰/۷۰٤
۱۹	۰/۹۲	۰/٥۳٤	۰/۳۲۲	۰/٤۹
۲۰	۱/۱۹۳	۰/٤۷۷	۰/٦٥۱	۰/۱۰٥
۲۱	۰/۲۲۱	-۰/٤۱۱	-۰/۷٦۸	۰/۸٤۹
۲۲	۰/۹۷	۰/٥۷۹	-۰/۳٥٦	۰/٦۸
۲۳	-۰/۳۳۷	-۰/٤۲۱	-۰/۳۹۱	۰/۷۹٤
۲٤	۰/٦۹٥	۰/٥۷۷	۱/٥٤	۰/۲۷٤

۹- شرح گزاره‌های برتر در چهار رویکرد شناسایی‌شده

چهار رویکرد با توجه به تحلیل داده‌ها در نرم‌افزار SPSS، نتایج حاصل از آن (جدول‌های ۷ و ۸) و نظر متخصصان مشارکت‌کننده طی این نظرخواهی در این زمینه شناسایی شد. درواقع، جدول ۷ تعداد مشارکت‌کنندگان و شناسه آن‌ها را در هر رویکرد نشان می‌دهد و همچنین در جدول ۸ امتیازهای هر گزاره در گروه‌های شناسایی‌شده ارائه شده است. حال با توجه به شناسه هر مشارکت‌کننده، داشتن اطلاعات تکمیل‌شده پرسشنامه و قرارگیری آن در گروه‌های شناسایی‌شده (جدول ۷)، چهار رویکرد استخراج شد که در ادامه به شرح این رویکردها و مؤلفه‌های شناسایی‌شده در آن پرداخته خواهد شد (شایان‌ذکر است مبانی انتخاب رویکردها (ذهنیت‌ها)، بر مبانی امتیاز عاملی گزاره بالای ۰/۷، میزان درصد از واریانس کل و تفسیرپذیر بودن عامل‌ها است).

۹-۱- رویکرد اول: (تداوم خدمات)

رویکرد تقریباً بیش از یک‌سوم از مشارکت‌کنندگان (هفت نفر برابر با ۳۵ درصد) در این گروه جای می‌گیرد. به ترتیب اهمیت امتیاز عاملی شش گزاره در این رویکرد بیشتر از عدد ۰/۷ محاسبه شده است (جدول ۹).

۹-۲- رویکرد دوم: (امداد و نجات)

رویکرد یک‌چهارم از مشارکت‌کنندگان (پنج نفر برابر با ۲۵ درصد) در این گروه جای می‌گیرد. به ترتیب اهمیت امتیاز عاملی پنج گزاره در این رویکرد بیشتر از عدد ۰/۷ محاسبه شده است (جدول ۱۰).

۹-۳- رویکرد سوم: (ایمنی و امنیت شهری)

رویکرد یک‌پنجم از مشارکت‌کنندگان (چهار نفر برابر با ۲۰ درصد) در این گروه جای می‌گیرد. به ترتیب اهمیت امتیاز عاملی

جدول ۹: گزاره‌های دارای امتیازهای عاملی در رویکرد اول

شماره گزاره‌ها	گزاره	امتیاز عاملی
۸	افزایش عمر تأسیسات و شبکه‌های زیرساختی	۱/۸۳۱
۱۴	صرفه‌جویی در هزینه‌ها و زمان عملیات تعمیر و نگهداری تأسیسات	۱/۶۱
۲۰	کاهش آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها در برابر تهدیدات	۱/۱۹۳
۲۲	گسترش حمل‌ونقل عمومی از طریق آزادسازی ظرفیت معابر	۰/۹۷
۱۹	کاهش ترافیک معابر از طریق دسترسی زیرزمینی مترو به کاربری‌های جاذب جمعیت	۰/۹۲
۱۰	کاهش ترافیک ناشی از تعمیرات در شبکه‌های زیرساختی	۰/۸۹۱

جدول ۱۰. گزاره‌های دارای امتیازهای عاملی در رویکرد دوم

شماره گزاره‌ها	گزاره	امتیاز عاملی
۱۶	دسترسی به مراکز امداد و نجات از طریق تونل‌های شهری	۱/۷۵۵
۹	انتقال مصدوم و مجروح از طریق تونل‌های شهری	۱/۵۷
۴	انتقال دارو و تجهیزات امدادی از طریق تونل‌های شهری	۱/۳۲
۱۱	تبدیل کاربری به‌عنوان مرکز درمانی موقت امن، در شرایط بحران	۰/۹۲۱
۱۳	پیش‌بینی کاربری‌های درمانی (CBRN) ویژه در فضاهای زیرزمینی	۰/۷۹

جدول ۱۱. گزاره‌های دارای امتیازهای عاملی در رویکرد سوم

شماره گزاره‌ها	گزاره	امتیاز عاملی
۳	تبدیل کاربری به‌عنوان پناهگاه عمومی در زمان حملات هوایی	۱/۷۶
۱۷	افزایش ایمنی شهروندان در برابر حوادث و بلایای طبیعی از قبیل زلزله و طوفان	۱/۶۴۷
۲۴	کاهش میزان خطرزایی تأسیسات خطرناک (مانند گاز)	۱/۵۴
۷	انتقال مراکز و کاربری‌های خاص به زیر زمین	۱/۳۳۹
۵	جابجایی نیروی امنیتی و نظامی در سطح شهر	۱/۰۲۸
۱۵	انتقال مسئولین به نقاط امن یا خارج از شهر در شرایط بحران	۰/۸۸۶

جدول ۱۲. گزاره‌های دارای امتیازهای عاملی در رویکرد چهارم

شماره گزاره‌ها	گزاره	امتیاز عاملی
۶	کاهش آلودگی هوا در اثر گسترش حمل‌ونقل عمومی (مانند مترو)	۱/۶۹۸
۱	کاهش مصرف سوخت در حوزه حمل‌ونقل	۱/۴۵۳
۲	کاهش هدر رفت انرژی در تأسیسات زیرساختی	۱/۲۴۲
۱۲	تأمین زمین برای توسعه فضای سبز (با انتقال برخی کاربری‌ها به زیر زمین)	۱/۱۴۷
۲۱	استفاده از انرژی زمین‌گرمایی و صرفه‌جویی در مصرف انرژی	۰/۸۴۹
۲۳	کاهش آلودگی صوتی و بصری از طریق انتقال کاربری‌های ناسازگار به زیر سطح	۰/۷۹۴
۱۸	بهبود وضعیت منظر شهری	۰/۷۰۴

شش گزاره در این رویکرد بیشتر از عدد ۰/۷ محاسبه شده است (جدول ۱۱).

۹-۴- رویکرد چهارم: (حفاظت از محیط‌زیست)

رویکرد یک‌پنجم از مشارکت‌کنندگان (چهار نفر برابر با ۲۰ درصد) در این گروه جای می‌گیرد. به ترتیب اهمیت امتیاز عاملی هفت گزاره در این رویکرد بیشتر از عدد ۰/۷ محاسبه شده است (جدول ۱۲).

در جمع‌بندی کلی و بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، رویکردها، نقش‌ها و عملکردهای فضاهای زیرزمینی در جدول ۱۳ نشان داده شده است. رویکردها در چهار حوزه تداوم خدمات، امداد و نجات، ایمنی و امنیت شهری و حفاظت از محیط‌زیست خلاصه می‌شود. نقش‌ها و عملکردهای استخراج‌شده نیز در ذیل هریک از حوزه‌های عملکردی ارائه شده است.

۱۰- مطالعه موردی (کلان‌شهر مشهد)

۱۰-۱-کلان‌شهر مشهد و تاریخچه استفاده از تونل تأسیسات مشترک

تونل مشترک تأسیسات انرژی که تجمیع کننده خدمات برق، مخابرات و آب است، در این سال‌ها با توجه به ازدیاد جمعیت و افزایش بحث بلندمرتبه‌سازی در شهرها به‌عنوان یکی از اولویت‌های اصلی در بحث شهرسازی مطرح است. این تونل با انتقال منابع انرژی از این کانال و رفع مشکلات ترافیکی براثر حفاری‌های متعدد و بعضاً نابجا در معابر شهری و امکان حفاظت فیزیکی تأسیسات از صدمات احتمالی و هزینه‌های ناشی از آن جلوگیری می‌کند. در ایران نیز قانون اصلاحیه تونل مشترک تأسیسات در سال ۱۳۷۹ به دولت و دستگاه‌های ذی‌ربط ابلاغ شد. بر این اساس، احداث تونل انرژی جزء برنامه‌های شهرداری چند شهر بزرگ کشور قرار گرفت و کارها آغاز شد. قم و تهران پیشتاز حضور در این ماجرا بودند و پنج سال بعد مشهد هم به جمع آن‌ها پیوست. مشهد بزرگ‌ترین مرکز شهری در منطقه شرق ایران است که دومین کلان‌شهر ازلحاظ جمعیت پس از تهران بوده و سالانه پذیرای بیش از بیست میلیون زائر از سراسر ایران و دیگر کشورهای اسلامی جهان است. از همین رو احداث و بهره‌برداری از چنین شبکه‌ای (تونل مشترک تأسیسات) که مشهد را در عرصه جهانی ممتاز می‌کند، بسیار کارآمد خواهد بود. عملیات اجرایی تونل مشترک انرژی در شهر مشهد از اردیبهشت‌ماه سال ۱۳۸۵ به‌طور رسمی از سوی شرکت عمران و مسکن‌سازان ثامن آغاز شد. هم‌اکنون حدود ۱۲ کیلومتر تونل انرژی، در قالب سه پروژه جداگانه و در سه منطقه شهر مشهد اجرا شده و یا در حال احداث است. در این پروژه اجرای تونل مشترک تأسیسات انرژی که برای اولین بار در ایران در حال اجرا است، از لوله‌های GRP به قطر حدود سه متر استفاده می‌شود و منابع انتقالی آب، برق و مخابرات در آن قرار می‌گیرد. احداث ۱۷۰ کیلومتر شبکه تونل انرژی تا سال ۱۴۱۰ برای کلان‌شهر مشهد پیش‌بینی شده است.

جدول ۱۳. نقش و عملکرد فضاهای زیرزمینی شهری

رویکردها	نقش و عملکرد
تداوم خدمات	کاهش آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها در برابر تهدیدات کاهش ترافیک ناشی از تعمیرات در شبکه‌های زیرساختی کاهش ترافیک معابر از طریق دسترسی زیرزمینی مترو به کاربری‌های جاذب جمعیت افزایش عمر تأسیسات و شبکه‌های زیرساختی صرفه‌جویی در هزینه‌ها و زمان عملیات تعمیر و نگهداری تأسیسات گسترش حمل‌ونقل عمومی از طریق آزادسازی ظرفیت معابر
امداد و نجات	دسترسی به مراکز امداد و نجات از طریق تونل‌های شهری انتقال دارو و تجهیزات امدادی از طریق تونل‌های شهری انتقال مصدوم و مجروح از طریق تونل‌های شهری تبدیل کاربری به‌عنوان مرکز درمانی موقت امن، در شرایط بحران پیش‌بینی کاربری‌های درمانی ویژه (CBRN) در فضاهای زیرزمینی
ایمنی و امنیت شهری	تبدیل کاربری به‌عنوان پناهگاه عمومی در زمان حملات هوایی انتقال مسئولان به نقاط امن یا خارج از شهر در شرایط بحران جابجایی نیروی امنیتی و نظامی در سطح شهر انتقال مراکز و کاربری‌های خاص به زیر زمین افزایش ایمنی شهروندان در برابر حوادث و بلایای طبیعی از قبیل زلزله و طوفان کاهش میزان خطرزایی تأسیسات خطرناک (مانند گاز)
حفاظت از محیط‌زیست	کاهش آلودگی هوا در اثر گسترش حمل‌ونقل عمومی (مانند مترو) تأمین زمین برای توسعه فضای سبز (با انتقال برخی کاربری‌ها به زیر زمین) کاهش هدر رفت انرژی در تأسیسات زیرساختی کاهش مصرف سوخت در حوزه حمل استفاده از انرژی زمین‌گرمایی و صرفه‌جویی در مصرف انرژی کاهش آلودگی صوتی و بصری از طریق انتقال کاربری‌های ناسازگار به زیر سطح بهبود وضعیت منظر شهری

۱۰-۲-نمونه‌های اجراشده در مشهد

نمونه‌های زیر پروژه‌هایی است که در مشهد اجرا شده است که البته همه آن‌ها به اتمام نرسیده است:

اردیبهشت ۱۳۸۵ احداث تونل در پیرامون حرم آغاز شد. تونل تأسیسات انرژی هر چهار قطاع اطراف حرم را پوشش می‌دهد. قطاع یک، حدفاصل خیابان امیر تا شیرازی به طول ۱۶۰۰ متر، قطاع دوم در حدفاصل خیابان شیرازی تا طبرسی به طول ۳۱۰۰ متر، قطاع سوم حدفاصل طبرسی تا نواب صفوی به طول ۳۲۰۰ متر و قطاع چهارم حدفاصل خیابان نواب تا بازار رضا (ع) به طول ۲۰۶۰ متر، هم‌اکنون صد درصد مراحل ساخت این تونل در بولوار امیرالمؤمنین (ع) اجرایی شده است و در مرحله واگذاری به شرکت‌های خدماتی قرار دارد، همچنین طرح احداث تونل انرژی در خیابان شارستان در قطاع سه حدفاصل میدان امیر تا خیابان طبرسی و نیز خیابان شعاعی، قطاع یک حدفاصل خیابان آزادی تا حرم مطهر رضوی در حال نهایی شدن است و مقدمات آن نیز در دست اجراست.

شکل ۵. تونل تأسیسات بلوار امیرالمؤمنین (ع) شهر مقدس مشهد

خلاصه مشخصات تونل مذکور به شرح ذیل است:
قطر تونل: ۲۸۰۰ الی ۳۰۰۰ میلی‌متر
قطر تونل‌های ارتباطی: ۲۰۰۰ میلی‌متر
طول تونل (فاز اول اجرایی): ۱۲۰۰ متر
طول تونل (فازهای توسعه): ۱۲۰۰۰ متر
محل احداث تونل: بلوار امیرالمؤمنین (ع) مشهد مقدس
محل استقرار تونل: پیاده‌رو
روش نصب: مدفون
سفتی حلقوی جداره تونل: ۵۰۰۰ پاسکال
تأسیسات عبوری از تونل: خطوط لوله آب، کابل‌های برق و مخابرات
عمق دفن متوسط: ۵ متر
ضخامت متوسط پوشش روی تاج تونل: ۱ متر

- تونل انرژی «احمدآباد تا سجاد»: این تونل به طول چهار کیلومتر، فاصله پست برق طالقانی تا پست برق سجاد مشهد را دربر می‌گیرد.
- میدان شهدا: امتداد زیرگذرهای غربی و شرقی میدان شهدا، همچنین خیابان صاحب‌الزمان (عج) ازجمله مکان‌هایی است که تونل تأسیساتی در آن احداث شده است. طول تونل مشترک انرژی در این طرح ۳ کیلومتر در ابعاد ۸/ ۳ متر در ۳/۸ متر است.
- یک تونل و کانال انرژی الکتریکی از سوی شرکت برق منطقه‌ای خراسان هم آماده بهره‌برداری گردیده است. این تونل و کانال به طول ۴/۵ کیلومتر، پست برق ۱۳۲ کیلوولت سپاه پاد به پست برق بوعلی را به هم متصل می‌کند. از این مسیر یک کیلومتر تونل در عمق ۱۰ متر اجرا شده و مابقی مسیر به‌صورت کانال اجرا گردیده است. عملیات اجرایی این تونل از سال ۱۳۸۷ آغاز شده بود.

۱۰-۳- مزایای احداث تونل مشترک تأسیسات در مشهد

احداث این تونل‌ها در تمام کلان‌شهرها به‌ویژه در مشهد به‌عنوان یک ضرورت مطرح می‌شود چراکه اجرای این تأسیسات به‌عنوان زیرساخت‌های لازم در توسعه و نوسازی شهری اجتناب‌ناپذیر است. مهم‌ترین مزایای احداث تونل تأسیسات در کلان‌شهر مشهد عبارت‌اند از:

- تونل‌های تأسیسات مشترک زیرزمینی علاوه بر استفاده به‌عنوان کانال‌های انتقال انرژی می‌تواند در مواقع بحران و بلایای طبیعی در انتقال مصدومان، مواد غذایی و کمک‌های امدادی نیز مورد استفاده قرار گیرد؛
- به دلیل جنس خاص این تونل‌ها هوای داخل آن به‌راحتی و با ایجاد کمترین اختلاف فشار در ابتدا و انتهای تونل قابل جریان یافتن است و از این نظر نیز در مصرف انرژی موتورهای تهویه صرفه‌جویی زیادی خواهد شد؛
- این نوع تونل‌ها برای استفاده در مسیرهای انتقال گاز، کانال‌های فاضلاب و حتی در صورت نیاز برای احداث تونل‌های قطار شهری نیز مناسب و مقرون‌به‌صرفه است؛
- ایجاد هماهنگی و برنامه‌ریزی دقیق در اجرای پروژه‌های خدماتی؛
- ارائه خدماتی آسان و پشتیبانی خدمات؛
- رفع مشکلات ترافیکی ناشی از حفاری‌های متعدد؛
- سهولت تعمیر و تعویض لوله‌ها و کابل‌ها بدون نیاز به حفر مجدد ترانشه؛
- امکان حفاظت فیزیکی تأسیسات از صدمات احتمالی؛
- این تونل با لوله‌ای به قطر ۲۸۰۰ میلی‌متر و جنس GRP تا هشت ریشتر در مقابل زلزله مقاوم است؛
- پایان آلودگی صوتی و محیطی حاصل از حفاری و کنده‌کاری‌های دائم معابر اصلی یا فرعی شهر؛
- اجرا شدن تأسیسات زیربنایی به‌نحوی‌که به‌راحتی قابل‌کنترل باشد و در شرایط خاص و بحرانی نظیر زلزله، آتش‌سوزی‌های گسترده، جنگ و ... مدیریت شود؛
- صرفه‌جویی در هزینه‌های زیرساختی؛
- کاهش میزان آلودگی بصری موجود؛
- امکان نصب سامانه تصویری مداربسته؛
- تهویه و اطفای حریق؛
- کنترل و نظارت بهتر بر تأسیسات زیرزمینی؛
- قابلیت انعطاف بودن این تونل‌ها؛
- هوای کاملاً خنک، فضای بدون رطوبت؛
- هم‌راستا بودن احداث تونل‌ها با اهداف پدافند غیرعامل؛
- دسترسی راحت‌تر در مواقع بحران؛
- سرشکن شدن هزینه‌های احداث و بهره‌برداری میان سازمان‌های استفاده‌کننده و قابل‌مشاهده بودن تأسیسات؛
- سرعت دسترسی اورژانس به محل حادثه بعد از حوادثی چون زلزله، طوفان، سیل و غیره.

۱۱- نتیجه‌گیری

امروزه موضوع خدمات‌رسانی شهری از مهم‌ترین شاخصه‌های توسعه‌یافتگی شهرها و کشورهای جهان به شمار می‌رود. از همین رو از قرن نوزدهم میلادی به بعد شبکه‌های خدمات شهری در اروپا باهدف مشخص کردن مرز شهرها ایجاد شده‌اند. این شبکه‌ها که در بسیاری از شهرهای اروپایی فضای زیرزمینی شهرها را پرکرده‌اند شامل خطوط برق و مخابرات و خطوط انتقال آب و گاز است. این خطوط در کشورهای پیشرفته همگی در زیر زمین و از داخل تونل‌هایی به بخش‌های مختلف شهر هدایت می‌شوند و به‌صورت هوایی قابل‌مشاهده نیستند. این تونل‌های زیرزمینی، تونل مشترک تأسیسات شهری نامیده می‌شوند. درواقع تونل مشترک تأسیسات شهری ازجمله زیرساخت‌های عظیم و نوین در دنیا است که برای یکپارچه کردن و بهسازی زیرساخت‌های اساسی هر شهر از قبیل شبکه‌های برق، مخابرات، آب و فاضلاب و غیره به کار می‌رود و ایمنی بهره‌برداری از سامانه را به طرز قابل‌توجهی افزایش داده

و درعین‌حال باعث سهولت در نگهداری و بهره‌برداری می‌شود. همچنین تونل تأسیسات مشترک می‌تواند نقش عمده‌ای را در سامان بخشیدن به‌نظام زیرساخت‌های شهری عهده‌دار شود که علاوه بر ارائه پاسخ مناسب و مطلوب بر کلیه نیازهای تخصصی و فنی و تأسیساتی مرتبط، در مواقع اضطرار به‌عنوان پناهگاه و مسیر اصلی دسترسی برای نجات جان شهروندان، خدمات‌رسانی نماید. در کشور ما نیز علی‌رغم تصویب قانون احداث تونل‌های مشترک تأسیسات شهری در سال ۱۳۷۲ و بر اساس ماده ۱ این قانون که دولت را موظف به احداث این سازه در شهرهای جدید و توسعه شهرهای موجود کرده است، آیین‌نامه اجرایی آن در سال ۱۳۸۴ تدوین و تصویب شد. در شهرهای امروزی به‌ویژه کلان‌شهرهای کشور که با محدودیت‌ها و مشکلاتی از قبیل رشد جمعیت، رشد فزاینده قیمت زمین، آلودگی‌های زیست‌محیطی و غیره روبرو هستند، توسعه فضاهای زیرزمینی امری اجتناب‌ناپذیر بوده و با گذر زمان سرعت حرکت به سمت احداث شهرهای زیرزمینی نیز در حال افزایش است. از سوی دیگر نقاط قوت و ضعف فراوانی نیز برای این قبیل فضاها متصور است که شاید مهم‌ترین مشکل توسعه زیرزمینی شهرها را در هزینه بالای احداث آن‌ها و مهم‌ترین ظرفیت آن‌ها را در ایجاد محیطی امن و مصون از بسیاری از تهدیدات دانست؛ بنابراین لازم است برنامه‌ریزی‌های دقیقی در جهت ساماندهی و یکپارچه‌سازی توسعه فضاهای زیرزمینی باهدف بهره‌برداری از ظرفیت‌ها و اجتناب از ضعف‌ها و مشکلات محتمل در کشور انجام شود. در این پژوهش نیز با بهره‌گیری از روش کیو نخست بر پایه نتایج پژوهش‌های مرتبط با موضوع فضاهای زیرزمینی و تاب‌آوری و تجزیه‌وتحلیل فضای گفتمانی موجود، شناخت جامعی از نقش توسعه فضاهای زیرزمینی در تاب‌آوری شهرها به دست آمد. یافته‌های پژوهش بر پایه تحلیل عاملی کیو، بیانگر چهار رویکرد درزمینه نقش توسعه فضاهای زیرزمینی در تاب‌آوری شهرها است:

رویکرد اول: تداوم خدمات؛

رویکرد دوم: امداد و نجات؛

رویکرد سوم: ایمنی و امنیت شهری؛

و رویکرد چهارم: حفاظت از محیط‌زیست.

درواقع در این پژوهش ظرفیت‌های موجود در فضاهای زیرزمینی تعیین گردید که بتواند میزان مقاومت و بازگشت‌پذیری شهرها را در برابر انواع تهدیدات و حوادث افزایش دهد. همچنین در ادامه پژوهش با توجه به پیش رو بودن کلان‌شهر مشهد در این موضوع، سابقه احداث تونل مشترک تأسیسات و کارکردها و مزایای احداث آن به‌منظور عینی سازی نتایج پژوهش تشریح گردید. مشهد بزرگ‌ترین مرکز شهری در منطقه شرق ایران است که ازلحاظ جمعیت دومین کلان‌شهر پس از تهران و سالانه پذیرای بیش از بیست میلیون زائر از سراسر ایران و دیگر کشورهای اسلامی جهان است. از همین رو احداث و بهره‌برداری از چنین شبکه‌ای (تونل مشترک تأسیسات) که مشهد را در عرصه جهانی ممتاز می‌کند، بسیار کارآمد خواهد بود. عملیات اجرایی تونل مشترک انرژی در مشهد از اردیبهشت سال ۱۳۸۵ از سوی شرکت عمران و مسکن‌سازان ثامن به‌طور رسمی آغاز شد. هم‌اکنون حدود ۱۲ کیلومتر تونل انرژی، در قالب سه پروژه جداگانه و در سه منطقه مشهد اجرا شده و یا در حال احداث است. در پروژه اجرای تونل مشترک تأسیسات انرژی که برای نخستین بار در ایران در حال اجرا است، از لوله‌های GRP به قطر حدود سه متر استفاده می‌شود و منابع انتقالی آب، برق و مخابرات در آن قرار می‌گیرد. احداث ۱۷۰ کیلومتر شبکه تونل انرژی تا سال ۱۴۱۰ برای کلان‌شهر مشهد پیش‌بینی‌شده است.

با توجه به نتایج حاصل از پژوهش و مطالعه موردی؛ آنچه مسلم است توسعه بدون برنامه یکپارچه زیرساخت‌های شهری و نبود برنامه‌ریزی کلان در احداث فضاهای زیرزمینی، منجر به افزایش روزافزون محدودیت در ایجاد و گسترش نظام‌مند و برنامه‌ریزی‌شده‌ی آن‌ها می‌شود. نگاه بخشی و عدم اتخاذ رویکرد جامع در توسعه فضاهای زیرزمینی، از یک‌سو باعث عدم بهره‌برداری از تمامی منافع این‌گونه فضاها در پایداری شهرها شده و از سوی دیگر یکی از مهم‌ترین ملاحظات در توسعه شهری، در نظر گرفتن اصول پایداری و تاب‌آوری در مرحله برنامه‌ریزی و طراحی زیرساخت‌ها، نادیده گرفته می‌شود؛ بنابراین شناخت تمامی ابعاد مثبت و منفی در مورد این فضاها و احصاء فرصت‌هایی که فضاهای زیرزمینی می‌توانند پیش روی طراحان و برنامه‌ریزان شهری بگذارند، می‌تواند گامی مؤثر در جهت افزایش تاب‌آوری، ارتقای پایداری، بهبود شرایط ایمنی/امنیتی شهری و حل برخی مشکلات و معضلات کلان‌شهرهای کشور باشد.

پی‌نوشت

1 Urban Underground Infrastructure-UUI

2 point oriented

۳ درروش کیو یک نمونه کیوی قابل‌اعتماد باید همه ابعاد فضای گفتمان را پوشش دهد [۲۵]. محتویات فضای گفتمان نه‌تنها شامل حقایقی است که ممکن است در پیشینه موضوع مطرح باشند، بلکه شامل تلقی‌ها و برداشت‌های شخصی افراد نیز هست که کاملاً خود مرجع بوده و ممکن است هیچ مقبولیت علمی نداشته باشد. به‌این‌ترتیب، شناسایی ذهنیت‌ها فارغ از چهارچوب‌های نظری صورت می‌گیرد و می‌توان ذهنیت‌هایی را کشف کرد که تاکنون آشکارنشده بودند (خوش‌گویان فرد، ۱۳۸۶). در این راستا از مجموع راهکارها، راه‌حل‌ها و یا پیشنهادهای علمی گردآوری‌شده، آن‌هایی که دربردارنده مفهوم یکسانی بودند ذیل یک مقوله کلی خلاصه شدند تا از این راه با حذف موارد یکسان یا تکراری شرایط خلاصه‌سازی داده‌ها ذیل مقوله‌های اصلی فراهم شود. با توجه به اینکه در تقسیم‌بندی کلی نمونه کیو به دودسته با ساختار و بی ساختار تقسیم می‌شود (خوش‌گویان فرد، ۱۳۸۶). در این مقاله برای پرهیز از سوگیری و یا جهت‌دهی به مسیر پژوهش، از نمونه کیو بی ساختار استفاده گردید.

4 Q-Card

۵ به‌طورمعمول درروش کیو مشارکت‌کنندگان به روش نمونه‌گیری هدفمند، از میان اهالی فضای گفتمان، انتخاب می‌شوند و بدین منظور همه عوامل یا رویکردهای موجود در نمونه کیو در نظر گرفته می‌شود [۲۶]. در این میان، با در نظر گرفتن ابعاد گوناگون مطالعات حوزه فضاهای زیرزمینی و تاب‌آوری، مشارکت‌کنندگان از میان پژوهشگرانی که در این زمینه از سابقه پژوهش برخوردار بودند، برای مشارکت در مرتب‌سازی کارت‌های کیو روی نمودار کیو برگزیده شدند.

6 Kaiser Meyer Olkin

7 Principal Components

8 Varimax

منابع

1. Bobylev, N, (2016). "U*nderground space as an urban indicator: Measuring use of subsurface*". Tunnelling and Underground Space Technology 55, 40–51.

2. United Nations, (2014). "*World Urbanization Prospects: The 2014 Revision*", Highlights,Department of Economic and Social Affair Population Division, ST/ESA/SER.A/352 . United Nations, New York.

3. Attarda G et al, (2017*). "Urban underground development confronted by the challenges ofgroundwater resources: Guidelines dedicated to the construction ofunderground structures in urban aquifersGuillaume*". Land Use Policy 64, 461–469.

4. Delmastro Ch et al, (2016). "Underground urbanism: Master Plans and Sectorial Plans". Tunnelling and Underground Space Technology 55, 103–111.

5. Bobylev, N, (2009). "Mainstreaming sustainable development into a city's Master plan: A case of Urban Underground Space use". Land Use Policy 26, 1128–1137.

6. Hunt. D.V.L,. Makana, L.O. Jeferson, I and Rogers, C.F.D, (2016). "Liveable cities and urban underground space". Tunnelling and Underground Space Technology 55, pp8-20.

7. Zhang Z et al., (2017). "Property rights of urban underground space in China: A public good perspective". Land Use Policy 65, 224–237.

۸. بنسر، ژاک. (۱۳۸۸)، طراحی، *توسعه و مدیریت فضاهای زیرزمینی در کانادا*، مترجمین بهزاد اسکندر افشار و مژگان محمودی راد، مجله آبادی، شماره ۶۴.

9. Montazerolhojah, m., pourjafar, m. and Taghvaee, A, (2014). "Urban underground development; an overview of historical underground city in Iran". International journal of Architectural Engineering and Urban Planing, Vol. 25, No. 1, June 2015.

10. Kaliampakos D, (2016). "Underground development: a springboard to make city life better in the 21st century". 15th International scientific conference "Underground Urbanisation as a Prerequisite for Sustainable Development". Procedia Engineering 165, 205 – 213.

11. Raymond Sterling, and Priscilla Nelson, (2013). "City resiliency and underground space use". The Society for Rock Mechanics & Engineering Geology (Singapore).

12. The National Academies Press, (2013),"UNDERGROUND ENGINEERING FOR SUSTAINABLE URBAN DEVELOPMENT", Washimgton D.C.

13. Admiraal H, Cornaro A, (2016). "Why underground space should be included in urban planning policy – And how this will enhance an urban underground future". Tunnelling and Underground Space Technology 55 , 214–220.

14. Ilkka Vahaaho,(2014). "Underground space planing in Helsinki". Journal of Rock Mechanicm and geotecnical Engineering. Vol.6. pp 387-398.

15. Mateusz Joblonski,Tomasz Lipecki,Wojciech Jaskowski, Agnieczka Ochalek (2016). "Virtual underground city Osowka", Geology, Geophysics & Environment. Vol. 42(1) pp. 77-78.

۱۶. سهامی، حبیب اله (۱۳۹۶).. فضاهای امن زیرزمینی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر.

17. Huanqing Li,)2012(. "The Way to Plan a Sustainable "Deep City": From Economic and Strategic Aspects". Proceedings REAL CORP 2012 Tagungsband.

18. Wout Broere,)2016(. "Urban underground space: Solving the problems of today's cities". Tunnelling and Underground Space Technology 55 (2016) 245–248.

19. Chow F.C et al.,)2002(. "Hidden Aspects of Urban Planning: Utilisation of Underground Space". Proc. 2nd Int. Conference on Soil Structure Interaction in Urban Civil Engineering.

۲۰. خوش‌گویان فرد، علیرضا (۱۳۸۶). روش‌شناسی کیو. تهران، مرکز تحقیقات صدا و سیمای جمهوری اسلامی ایران.

۲۱. مرادیان، فیض‌الله (۱۳۹۰). روش‌شناسی کیو. کتاب ماه علوم اجتماعی، دوره‌ی جدید، شماره‌ی ۳۷، ۹۶-۱۰۱.

1. Exel, J. V., Graaf, G., Brouwer, W. (2007). "Care for a break? An investigation of informal caregivers' attitudes toward respite care using Qmethodology", Health Policy,83, 332–342

22. Duenckmann F. (2010). "The village in the mind: Applying Q-methodology tore-constructing constructions of rurality". Journal of Rural Studies, 26, 284–295.

۲۳. زارع چاهوکی، محمدعلی (۱۳۸۹)، روش‌های تحلیل چند متغیره در نرم‌افزار SPSS، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.

24. Ellingsen, I.T., Størksen I., Stephens P. (2010). "Q methodology in social work Research". International Journal of Social Research Methodology, 13:5, 395-409.

25. Wright, P. N. (2013). "Is Q for you? : using Q methodology withingeographical and pedagogical research". Journal of Geography in Higher Education, 37:2, 152-163