به سوی کاداستر سه و چهاربعدی در ایران
(مطالعه موردی: منطقه ۸ شهرداری تهران)

مهدی خوش‌برش ماسوله [۱]*، سعید صادقیان [۲]، غلامعلی کریمی مزرعه شاهی [۳]

۱-دانش‌پژوه آموزشکده سازمان نقشه‌برداری کشور، khoshboreshmehdi@gmail.com
۲-استادیار مرکز سنجش از دور و GIS دانشگاه شهید بهشتی، sa_sadeghian@sbu.ac.ir
۳-رئیس اداره پایگاه داده توپوگرافی سازمان نقشه‌برداری کشور، ka1389ali@yahoo.com

چکیده

امروزه هدف مدیریت زمین تنها به تعیین محدوده املاک و اراضی محدود نمی‌شود، بلکه ثبت شبکه‌های زیربنایی در بستر پایداری چون کاداستر ازجمله ضروریات مدیریت زمین به شمار می‌رود. رشد ساخت‌وساز در ابعاد مختلف، نیاز پیاده‌سازی کاداستر را به بعد سوم (ارتفاع) و چهارم (زمان) ملزم می‌سازد. توسعه شبکه‌های زیربنایی شهری و ساختمان‌سازی طی گذر زمان در شهر تهران به عنوان پرجمعیت‌ترین شهر ایران به‌سرعت رو به افزایش است، از این رو ارائه راهکاری بهینه جهت مدیریت زمین در این شهر احساس می‌شود. هدف مقاله حاضر ارائه الگویی جهت پیاده‌سازی کاداستر سه و چهاربعدی در ایران است. بر این اساس با مرور تجربیات کشورهای پیشتاز در این امر به ضرورت و ساختار کلی یک سیستم کاداستر چهاربعدی دست می‌یابیم و با بررسی ابعاد قانونی، سازمانی و فنی کاداستر چهاربعدی در کشور، نقاط ضعف و قوت این طرح را برجسته می‌نماییم و درنهایت با پیاده‌سازی یک سیستم کاداستر چهاربعدی مبتنی بر تصاویر هوایی رقومی بزرگ مقیاس در منطقه مورد مطالعه به کارایی این مدل تولید شده در کشور اشاره می‌کنیم. جهت تولید مدل سه‌بعدی از نرم‌افزار ArcGIS10 و به‌منظور ارزیابی دقت مدل تولید شده از جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب همبستگی استفاده شده است. نتایج حاصل از این ارزیابی نشان داد که دقت مؤلفه‌های X و Y به ترتیب با جذر میانگین مربعات خطا ۱/۴۷۴ متر و ۱/۴۵۳ متر و با ضریب همبستگی ۹۹ درصد و دقت مؤلفه Z مدل تولید شده با جذر میانگین مربعات خطا ۲/۶۲۵ متر و ضریب همبستگی ۷۳ درصد به میزان قابل‌توجهی به معیارهای مرجع منطبق هستند. لازم به ذکر است که معیار مرجع مسطحاتی و زمان‌سنجی، نقشه رقومی ۱:۲۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور (نقشه پایه کاداستر کشور) و معیار مرجع ارتفاعی، داده‌های حاصل از نقشه‌برداری زمینی می‌باشند.

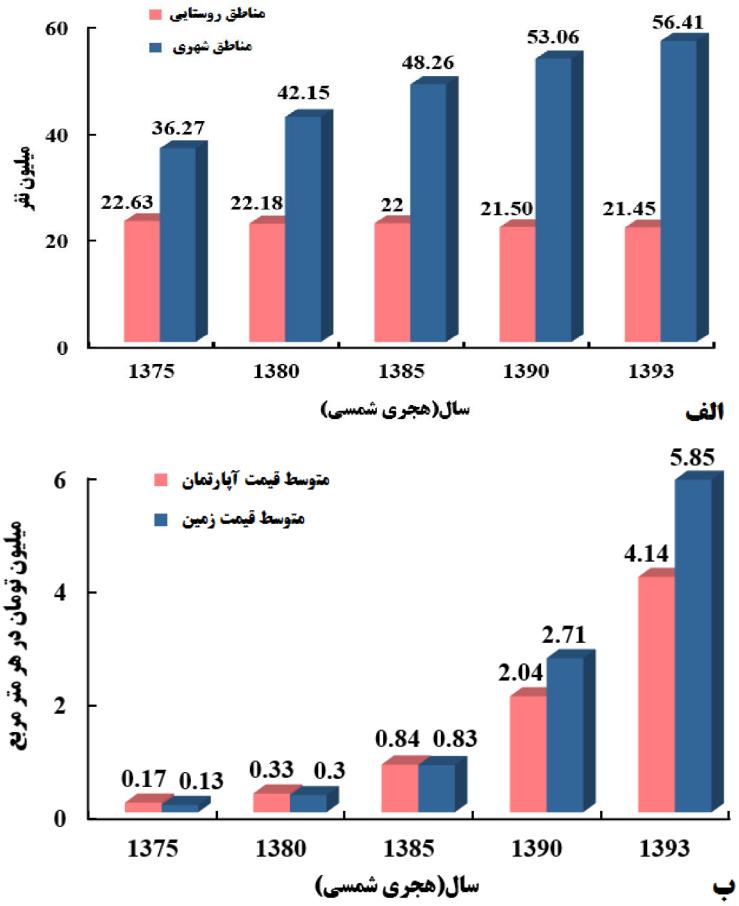
واژه‌های کلیدی: مدیریت شهری، تأسیسات زیربنایی، مدل‌سازی سه‌بعدی، کاداستر سه‌بعدی، کاداستر چهاربعدی، ایران.

۱- مقدمه

بر اساس آخرین گزارش سرشماری مرکز آمار ایران، نرخ رشد جمعیت طی بیست سال اخیر در مناطق شهری نسبت به مناطق روستایی بیشتر شده است (شکل ۱- الف)، این مسئله بیانگر توسعه شهرنشینی و افزایش ساخت‌وساز در شهرهای بزرگ ایران است. افزایش ساخت‌وساز موجب کمبود زمین برای ساختمان‌سازی در شهرها شده و به دنبال آن افزایش سریع قیمت زمین و آپارتمان را در پی داشته است (شکل ۱- ب). هرچه ارزش املاک و اراضی بیشتر شود افراد تلاش می‌کنند تا محدوده ملک خود را با دقت بیشتری مشخص کنند تا جلوی کوچک‌ترین ضررها را بگیرند. جهت افزایش دقت محدوده املاک نمی‌توان به موقعیت مسطحاتی اکتفا نمود و از سوی دیگر سیستم‌های نوین کاداستر در مدیریت شهری و تأمین نیازهای کاربران مختلف لزوم ثبت تغییرات فضاهای شهری و به‌کارگیری مدل‌های سه‌بعدی زمانمند را ایجاب می‌نماید. امروزه جهت ارائه یک مدل برای مدیریت املاک و اراضی در شهرها می‌بایست بعد سوم یعنی ارتفاع و بعد چهارم یعنی زمان را نیز در نظر گرفت [۱].

مدل‌سازی سه‌بعدی در کاداستر باید در بستر زمان ایجاد شود تا تمامی جنبه‌های مدیریت زمین را در یک کشور بر اساس گذر زمان، مورد توجه قرار دهد [۲]. در حال حاضر این مدل‌سازی سه‌بعدی زمانمند را با عنوان کاداستر چهاربعدی می‌شناسند [۳]. کاداستر چهاربعدی نیرو محرکه سیستم‌های مدیریت زمین در امر برآورده ساختن نیازهای زیرساخت اطلاعات مکانی[1] در هر کشور به شمار می‌رود [۴]. همچنین یک سیستم کاداستر چهاربعدی باید قابلیت برقراری ارتباط بین سه مؤلفه: الف) قانونی: تنظیم قوانین مالکیت در کاداستر، ب) سازمانی: ارتباط و نقش ارگان‌های مختلف در کاداستر، پ) فنی: فراهم کردن سیستم‌عاملی برای تحقق کاداستر چهاربعدی را داشته باشد [۵]. یک مدل‌سازی بهینه باید تمامی نیازهای کاربران مختلف مدیریت زمین را تشخیص دهد تا بتواند هماهنگی بهتری میان اجزای مختلف آن ایجاد کند [۶]. بر اساس پژوهش‌های انجام شده در کشورهای هلند، استرالیا و ترکیه به عنوان کشورهای باتجربه در امر استفاده از سیستم کاداستر سه و چهاربعدی، شرط لازم برای پیاده‌سازی چنین سیستمی بهره‌گیری از تمام منابع اطلاعاتی و یکپارچه ساختن این اطلاعات است [۷-۸-۹].

در این مقاله سه هدف اصلی دنبال می‌شود، اول ضرورت کاداستر چهاربعدی، دوم مؤلفه‌های یک سیستم کاداستر چهاربعدی و سوم ارائه اولین تجربه در امر مدل‌سازی سه‌بعدی برای پیاده‌سازی کاداستر سه و چهاربعدی در ایران که در ادامه به بررسی هریک از آن‌ها پرداخته شده است.



شکل ۱: الف) نمودار رشد جمعیت در مناطق روستایی و شهری در ایران بین سال‌های ۱۳۹۳- ۱۳۷۵
ب) نمودار رشد قیمت آپارتمان و زمین در شهر تهران بین سال‌های ۱۳۹۳- ۱۳۷۵ [۱۰]

1- Spatial Data Infrastructure (SDI)

۲- پیشینه تحقیق

طی دو دهه اخیر مطالعات متعددی در زمینه پیاده‌سازی کاداستر سه و چهاربعدی در سطح دنیا صورت پذیرفته است، جدول ۱ خلاصه‌ای از این تحقیقات و نتایج حاصل از آن‌ها را نشان داده است.

جدول ۱: مروری بر مدل‌های طراحی‌شده در حوزه کاداستر سه و چهاربعدی [۱-۶-۸-۱۱-۱۲-۱۳-۱۴-۱۵-۱۶-۱۷-۱۸-۱۹]

محقق	سال	مدل طراحی‌شده	زبان مدل‌سازی	فواید پیاده‌سازی
Bittner	۲۰۰۱	مدل محاسباتی برای نشان دادن مفهوم کاداستر ملکی	Haskell	مدل شبیه‌سازی شده مفهومی به واسطه رهیافت انتخابی برای دو نمونه کاداستر در اتریش
Onsrud	۲۰۰۲	ایجاد قوانین کاداستر سه‌بعدی	-	بررسی قوانین ثبت کاداستر سه‌بعدی در نروژ
Stoter	۲۰۰۴	مدل مفهومی و منطقی برای کاداستر سه‌بعدی	UML	پیاده‌سازی اولیه مدل مفهومی و منطقی در نمونه موردی هلند و کوینلند - اتریش
Tuladhar	۲۰۰۴	مدل سازمانی ایستا و پویا بر اساس قطعات ملکی در محیط GIS	UML	کاربرد خدمات تجاری در سیستم‌های فرعی پیمایشی کاداستر در نمونه موردی نپال
Van oosterom et al.	۲۰۰۶	پژوهش مقدماتی بر ابعاد مختلف کاداستر چهاربعدی	UML	ارائه توپولوژی زمانمند جهت پیاده‌سازی کاداستر چهاربعدی بر اساس نیازهای آن
Hassan et al.	۲۰۰۸	ایجاد پایگاه داده مؤثر در امر پیاده‌سازی کاداستر سه‌بعدی	UML	توسعه و آزمایش پایگاه داده سه‌بعدی برای کاداستر در مالزی
Doner et al.	۲۰۱۰	اولین بررسی شرایط پیاده‌سازی کاداستر چهاربعدی	UML	جایگاه شبکه‌های زیربنایی شهری در سیستم کاداستر چندبعدی در ترکیه
LADM ISO 19152	۲۰۱۲	مدل مرجع ملکی برای سیستم مدیریت زمین	UML	فرآیند توافق عمومی رسمی در سطح بین‌المللی
Souza & Amorim	۲۰۱۲	مدل‌سازی عوارض با استفاده از داده‌های لیدار برای کاداستر	C++	بهره‌گیری از مدل‌سازی هندسی به دلیل اهمیت آن در سیستم کاداستر برزیل
Lotfi & Salek	۲۰۱۲	ارزیابی پیاده‌سازی مدل سیستم رقومی کاداستر چندمنظوره	-	بهره‌گیری از تحلیل استراتژیک SWOT جهت بسترسازی راهبردی برای ثبت زمین در تبریز
Aien	۲۰۱۳	مدل‌سازی سه‌بعدی داده‌های کاداستر (3DCDM[۲]) مبتنی بر استاندارد LADM	UML	بهره‌گیری از مدل 3DCDM به‌عنوان یک روش کارآمد جهت ایجاد یک سیستم کاداستر سه‌بعدی در استرالیا
Vucic et al.	۲۰۱۴	ارائه مدل مفهومی پیاده‌سازی کاداستر سه و چهاربعدی	UML	تلفیق شبکه‌های زیربنایی در فرآیند پیاده‌سازی کاداستر سه و چهاربعدی در کرواسی
Lemmen & Van oosterom	۲۰۱۵	استاندارد LADM ابزاری برای مدیریت بهینه زمین	UML	دسترسی جامع به اطلاعات مربوط به زمین مبتنی بر سیاست‌ها و قوانین در هلند
Zhang et al.	۲۰۱۶	مدل‌سازی سه‌بعدی داده‌های کاداستر مبتنی بر الگوی CGA[۳]	-	بهبود روابط توپولوژیک در پیاده‌سازی کاداستر سه‌بعدی و سازگاری با استاندارد LADM در چین
Khoshboresh masouleh & Sadeghian	۲۰۱۶	تحلیل انواع مدل‌های پیاده‌سازی سیستم کاداستر سه‌بعدی مبتنی بر داده‌های لیدار	-	ارزیابی و مقایسه مدل‌های مختلف طراحی و پیاده‌سازی سیستم کاداستر سه‌بعدی به عنوان ابزاری برای مدیریت شهری در ایران

2- 3D Cadastral Data Modelling (3DCDM)
3- Conformal Geometry Algebra (CGA)

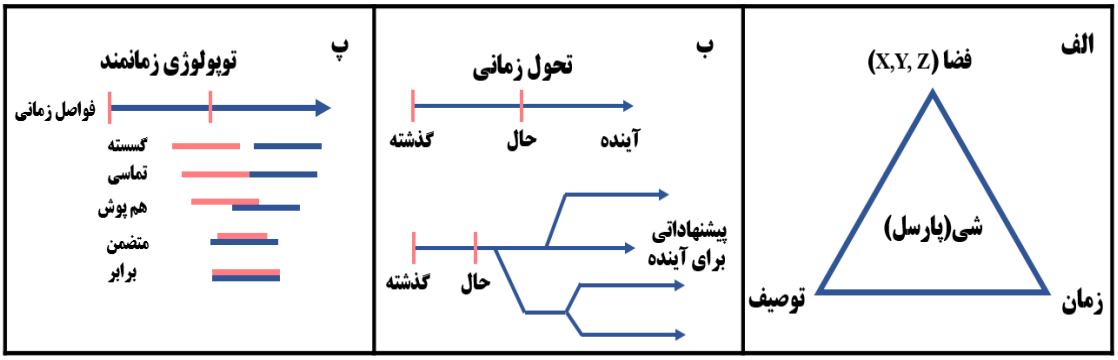
با توجه به جدول ۱ می‌توان نتیجه گرفت، در حال حاضر یکی از بهترین و کارآمدترین مدل‌ها جهت پیاده‌سازی کاداستر سه‌بعدی، مدل مدیریت املاک[۴] است که اساس شکل‌گیری آن مبتنی بر زبان مدل‌سازی یکنواخت[۵] می‌باشد. مدل مدیریت املاک یک استاندارد جهانی است که توسط سازمان استاندارد جهانی (ISO) زیر نظر کمیته‌ی فنی ۲۱۱ اطلاعات جغرافیایی و نقشه‌برداری (TC211) رشد یافته است [۱۵]. در جریان توسعه مدل مدیریت املاک (LADM) سه کلاس اصلی به نام‌های اشخاص، قوانین و قطعات زمین (املاک و مستغلات) وجود دارند [۷]. مدل مدیریت املاک پایه‌ای برای ارتباط بین سازمان‌ها و نهادهای مختلف و الگویی برای طراحی و توسعه نرم‌افزارهای اطلاعات مکانی و فناوری پایگاه داده است [۱۹]. همچنین مدل مدیریت املاک، سیستم ثبت زمین و کاداستر را در یک طیف وسیع پوشش می‌دهد [۱۳]. امروزه مدل مدیریت املاک این اجازه را به دولت‌ها و سازمان‌های مسئول در حوزه مدیریت زمین می‌دهد که نظارت کاملی بر اطلاعات مربوط به زمین و مالکیت آن داشته باشند، چرا که برنامه‌ریزی برای پیشرفت هر کشور به‌طور قابل ملاحظه‌ای وابسته به زمین و درآمدهای حاصل از آن است؛ اما استفاده از این مدل منوط به تأمین نیازها و زیرساخت‌های فنی آن بوده که اصلی‌ترین بخش این زیرساخت‌ها یک مدل‌سازی سه‌بعدی زمانمند است که ما در این مقاله به دنبال آن هستیم.

۳- ضرورت پیاده‌سازی کاداستر سه و چهاربعدی در ایران

دنیایی که ما در آن زندگی می‌کنیم یک دنیای ساکن[۶] و مستقل از زمان نیست، زمان عامل تغییرات بوده و به همین دلیل بیان ارتباط اشیاء و عوارض در طی گذر زمان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۲]. کاداستر نیز از این قاعده مستثنا نیست، به دلیل اینکه با گذشت زمان شاهد تغییراتی در ساختار و بافت شهری هستیم، برای مثال در شهر تهران طی پنجاه سال گذشته تا امروز نرخ رشد ساخت‌وساز عوارضی همچون آپارتمان، شبکه‌های حمل و نقل شهری زیرزمینی و توسعه تأسیسات زیربنایی مانند شبکه‌های آب و فاضلاب، برق و گاز رو به افزایش بوده است که سازمان‌دهی تمامی این عوارض در سطح شهر نیاز به یک سیستم مدیریتی یکپارچه زمانمند در چارچوب کاداستر را دارد. به این ترتیب کاداستر چهاربعدی در واقع تلفیق زمان و کاداستر سه‌بعدی است. در حال حاضر داده‌های موجود برای پیاده‌سازی کاداستر چهاربعدی (سه‌بعدی) اغلب در دو بعد هستند به‌طوری که نقشه‌های موجود و سایر منابع تنها قابلیت بیان موقعیت عوارض را در ابعاد مسطحاتی دارا می‌باشند [۱۵]. در جمع‌آوری و مدل‌سازی داده‌ها به‌منظور پیاده‌سازی کاداستر چهاربعدی توجه به مواردی از قبیل هزینه، زمان و تجهیزات در دسترس بسیار ضروری و مهم است [۷]. جمع‌آوری داده‌ها در کاداستر چهاربعدی باید به‌گونه‌ای باشد تا دقت لازم را برای آنالیز و تحلیل بر روی عوارض مختلف ازجمله ساختمان‌ها را فراهم کند؛ بنابراین دقت داده‌ها ارتباط مستقیمی با هزینه تولید مدل‌های مورد استفاده در کاداستر چهاربعدی دارد [۱۳]. طی سالیان اخیر بارها شاهد مطالعات و پژوهش‌هایی در مورد اصول و زمینه‌های مربوط به سیستم اطلاعات مکانی بوده‌ایم اما مسئله مهم و پراهمیت ایجاد یک سیستم اطلاعات مکانی زمانمند برای سیستم کاداستر است [۱۹]، و باید توجه داشت که کاداستر چهاربعدی به معنای تعیین قوانین و تقسیم فضاها بدون هم‌پوشانی و جداشدگی به‌موازات زمان می‌باشد [۱۵]. ازجمله توابع مختلف جهت ایجاد یک سیستم اطلاعات مکانی زمانمند شامل: اطلاعات ثبتی کامل، آنالیز، بروز رسانی، کنترل کیفیت، زمان‌بندی و نمایش مناسب است [۹]. برای آنکه با مؤلفه‌های زمان بیشتر آشنا شویم نیاز است تا الگوهای مختلف زمانی در سیستم اطلاعات مکانی ازجمله کاداستر را بشناسیم. در شکل ۲- الف، مثلث فضا، زمان و توصیف را برای یک شی مانند یک پارسل[۷] (قطعه زمین) نشان داده است. یکی از مفاهیم مهم، موضوع سیر تحول زمانی است که باید به آن توجه زیادی شود (شکل ۲- ب) و همچنین ایجاد یک توپولوژی زمانمند که به واسطه آن بتوان تعریفی برای زمانمندی یک شی ارائه داد (شکل ۲- پ). با توجه به اینکه توپولوژی یکی از زمینه‌های

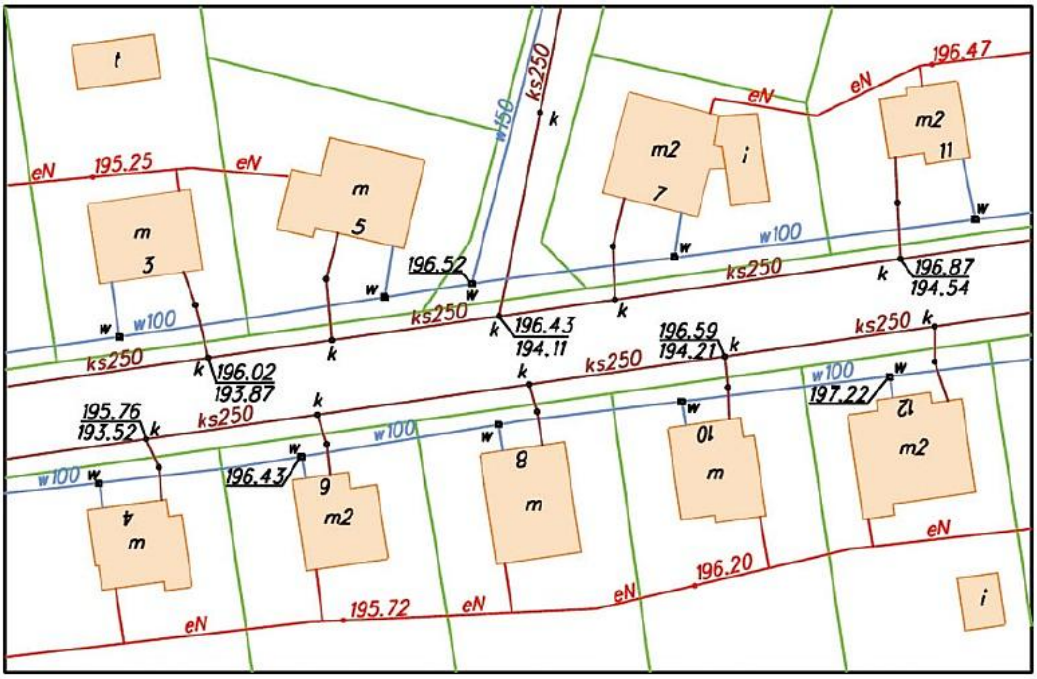
4- Land Administration Domain Model (LADM)
5- Unified Modeling Language (UML)
6- Static
7- Parcel

پراهمیت در علوم مهندسی و ریاضی به شمار می‌رود، به همین علت بهره‌گیری از توپولوژی با در نظر گرفتن ابعاد زمانی از اهمیت ویژه‌ای در کاداستر برخوردار است.



شکل ۲: قاعده کلی اصول زمانی در سیستم‌های اطلاعات مکانی همچون کاداستر [۱۹]

نیازهای اساسی جهت پیاده‌سازی کاداستر چهاربعدی در سه دسته طبقه‌بندی می‌شوند که شامل ثبت عوارض متحرک، مسئله اشتراک زمانی و ثبت شبکه‌های زیربنایی در منطقه مورد مطالعه است [۱۴]. شکل ۳ یک نقشه کاداستر با قابلیت ثبت اطلاعات قطعات زمین و شبکه‌های زیربنایی را نشان می‌دهد، چنین نقشه کاداستری با تلفیق مؤلفه زمان می‌تواند نیازهای کاداستر سه و چهاربعدی را تا حد قابل توجهی پاسخ دهد. نکته پراهمیت در این نقشه، سازمان‌دهی شبکه‌های زیربنایی در چارچوب یک سیستم کاداستر است. موقعیت شبکه‌های مختلف تأسیساتی با در نظر گرفتن موقعیت عوارض ساختمانی در سه بعد معنا پیدا می‌کنند و دارای اهمیت زیادی در مدیریت شهری هستند [۲۰].



شکل ۳: نقشه کاداستر تهیه شده با استفاده از اطلاعات قطعات زمین و ثبت سه‌بعدی شبکه‌های زیربنایی [۲۰]
(سبز: مرز قطعه زمین‌ها، آبی: شبکه انتقال آب، قهوه‌ای: شبکه انتقال فاضلاب، قرمز: شبکه انتقال نیرو)

۴- بررسی ابعاد پیاده‌سازی کاداستر سه و چهاربعدی در ایران

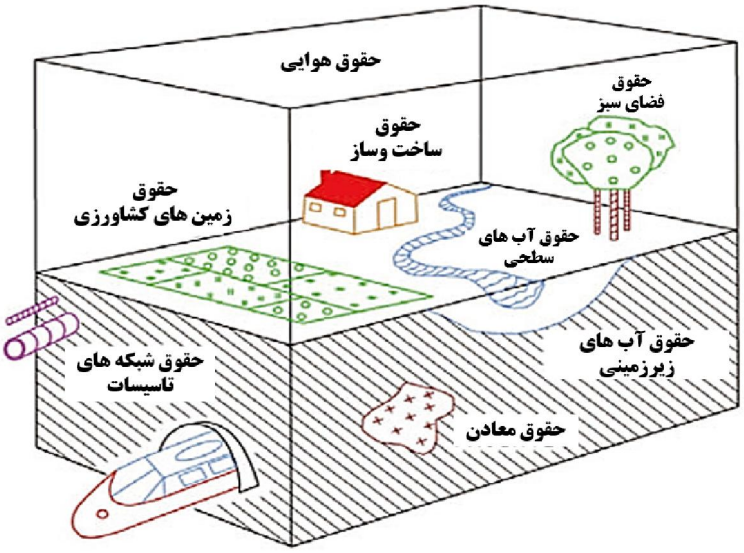
۴-۱- بُعد قانونی

جدول ۲ سیر تحول قوانین کاداستر ایران را طی شصت سال اخیر نشان می‌دهد. بر اساس مستندات موجود تاکنون قانون تعریفی از حق مالکیت در سه بعد نداشته و مهم‌ترین مسئله مورد توجه آن صدور اسنادی با ضریب امنیت بالا بوده است، اگرچه صدور اسناد با ضریب امنیت بالا بسیار مهم و پراهمیت است، اما عدم وجود قانونی برای حل مشکل حق مالکیت در سه بعد یک چالش مهم در سیستم کاداستر کشور به شمار می‌رود.

جدول ۲: سیر تحول قوانین مربوط به کاداستر در ایران [۲۱-۲۲]

سال	اقدامات	اهداف
۱۳۳۴	اولین بخشنامه‌های کاداستر کشور	-کاهش تعارضات ملکی - استقرار سیستم مالیاتی عادلانه
۱۳۵۱	قانون ثبت املاک در قالب کاداستر	- تولید نقشه‌های کاداستری مبتنی بر نقشه‌های بزرگ مقیاس
۱۳۶۸	تصویب طرح کاداستر	- تعیین محدوده‌های قانونی مالکیت مستحدثات و اراضی
۱۳۸۹	صدور سند مالکیت جدید تک‌برگ	- ارتقاء ضریب امنیت - تکمیل بانک جامع اطلاعات املاک و کاداستر
۱۳۹۳	تصویب قانون جامع کاداستر (حدنگار)	- شفاف‌سازی در امر صدور سند املاک و اراضی

توسعه سیستم کاداستر در ایران تنها به موقعیت مسطحاتی قطعه زمین‌ها توجه داشته و برای تعیین حق مالکیت سازه‌های زیرزمینی و یا بالای سطح زمین چاره‌ای اندیشیده نشده است (شکل ۴). جهت نقشه‌برداری برای هر قطعه زمین باید علاوه بر موقعیت مسطحاتی سازه، بعد سوم یعنی ارتفاع را نیز ثبت کرد [۶]، اما این بدان معنی نیست با داشتن تنها یکسری اطلاعات ارتفاعی از عوارض می‌توان کاداستر سه‌بعدی را در منطقه پیاده کرد [۳]. ارتباط مؤلفه سوم با بعد مسطحاتی در چارچوب یک نظام زمانمند کار بسیار دشواری است و علاوه بر آن به دلیل خلأهای قانونی نمی‌توان چنین حق مالکیتی را متصور شد؛ بنابراین لازم است تا فعالیت‌هایی جهت تصویب قوانینی مبتنی بر بعد سوم صورت گیرد.



شکل ۴: مفهوم حق مالکیت در سه بُعد برای عوارض بالا و زیر سطح زمین [۱۳]

۴-۲- بُعد سازمانی

سازمان ثبت اسناد و املاک کشور به عنوان یکی از قدیمی‌ترین و گسترده‌ترین دستگاه‌های حاکمیتی، مأموریت تثبیت و حمایت از حقوق مالکیت مشروع و قانونی اشخاص حقیقی و حقوقی جامعه را بر عهده داشته و نقش مؤثری در روابط و مناسبات اقتصادی، اجتماعی، استقرار و تثبیت مالکیت ایفاء می‌نماید [۲۱]. در سال ۱۳۶۸، با تصویب نمایندگان مجلس شورای اسلامی، اداره کل کاداستر به عنوان زیرمجموعه سازمان ثبت اسناد و املاک کشور تأسیس شد. بر این مبنا، کار مطالعاتی کاداستر با تشکیل شورای فنی در سال ۱۳۶۹ آغاز گردید [۲۲]. در حال حاضر سیستم مدیریت زمین در ایران رو به رشد بوده است چرا که سازمان‌های مرتبط با این امر در تلاش هستند تا با ارائه الگوهای جامع در چارچوب توسعه کاداستر در ابعاد مختلف و با در نظر گرفتن موانع قانونی و فنی کشور، این سیستم را فراگیر نمایند.

۴-۳- بُعد فنی

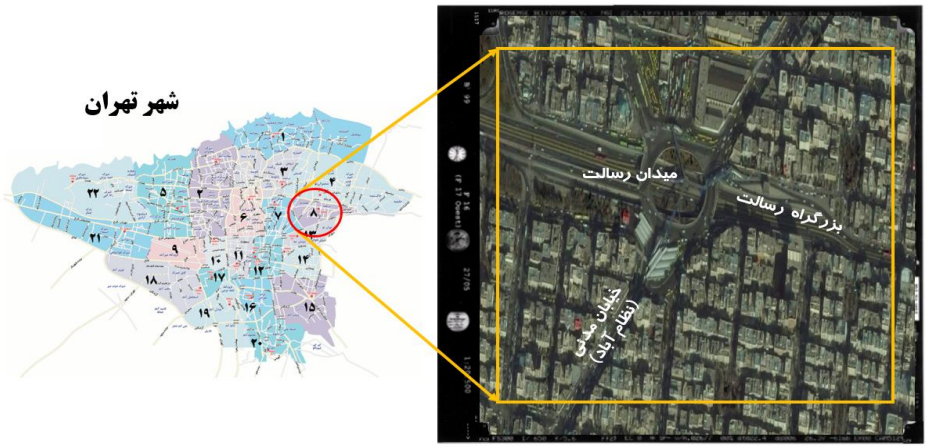
امروزه مسئله داشتن یک مدل سه‌بعدی زمانمند از شهر بیش از پیش احساس می‌شود، چرا که با وجود گسترش سیستم‌های تأسیسات شهری که در اغلب موارد به علت عدم وجود یک نقشه تأسیساتی مناسب که بیان‌کننده موقعیت این عوارض نسبت به سایر عوارض شهری باشد موجب بروز سوانح بزرگی در کشورها می‌شود. وجود یک نقشه سه‌بعدی زمانمند که دارای اطلاعات کاداستری (کاداستر چهاربعدی) باشد می‌تواند مدیران مسئول را در امر برنامه‌ریزی برای اجرای پروژه‌های مختلف در سطح شهر با کمترین هزینه و با بالاترین سرعت راهنمایی کند [۱۷]. بعد فنی کاداستر در ایران بر پایه تهیه نقشه‌های بزرگ مقیاس از مناطق مختلف به شیوه‌های نقشه‌برداری زمینی و فتوگرامتری بوده است که اولین فعالیت‌ها در سال ۱۳۵۱ مربوط به تهیه نقشه کاداستر با استفاده از نقشه‌های ۱/۵۰۰ و ۱/۱۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور از برخی مناطق همچون شهر قزوین صورت پذیرفته است [۲۲].

توسعه روش‌های تولید داده‌های سه‌بعدی و پیشرفت فناوری‌های مدل‌سازی نظیر داده‌های لیدار و فتوگرامتری رقومی موجب شده است تا فعالیت‌ها برای پیاده‌سازی کاداستر در ابعاد مختلف گسترش یابد [۱]. هدف اصلی سیستم کاداستر کشور در حوزه فنی ایجاد یک نظام دقیق و کارآمد با قابلیت بهنگام شدن نسبت به پیشرفت کشور بوده است که تا حدی می‌توان این موضوع را موفق دانست به‌طوری که با گذشت زمان، تجهیزات و فناوری نوین وارد عرصه نقشه‌برداری ایران شده‌اند که به واسطه‌ی آن می‌توان اطلاعات را ساده‌تر، سریع‌تر و دقیق‌تر برداشت نمود، اما به دلیل ناسازگاری قوانین ثبتی و همچنین ضعف فناوری‌های موجود در مسئله ثبت املاک در سه بعد این موضوع همچنان یک مشکل اساسی در سیستم کاداستر کشور به شمار می‌رود. به‌طورکلی یک سیستم کاداستر مشتمل بر داده‌های مکانی (مانند موقعیت قطعه زمین) و توصیفی (مانند نوع مالکیت) می‌شود که هر دو این اطلاعات می‌توانند یک قطعه زمین را معین و مشخص کنند.

۵- مواد و روش‌ها

۵-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه

منطقه مورد مطالعه در شرق شهر تهران در محدوده میدان رسالت واقع شده است. میدان رسالت در منطقه هشت شهرداری تهران بوده و یکی از اصلی‌ترین بزرگراه‌های شرقی – غربی شهر را در خود جای داده است. در انتخاب منطقه مورد مطالعه عواملی نظیر تراکم جمعیت و افزایش ساخت‌وساز طی بیست سال اخیر، قرار گرفتن در محدوده بافت فرسوده، متوسط رشد قیمت زمین و املاک، عبور خط ۲ مترو (نیمه شرقی)، وجود تونل رسالت در این ناحیه و همچنین بررسی شبکه‌های تأسیسات شهری به‌ویژه شبکه انتقال آب، ملاک ارزیابی ما در این مقاله قرارگرفته‌اند. به این ترتیب با توجه به موارد ذکرشده محدوده میدان رسالت یک گزینه مناسب جهت بررسی آزمایشی برای پیاده‌سازی یک سیستم کاداستر چهاربعدی است (شکل ۵).



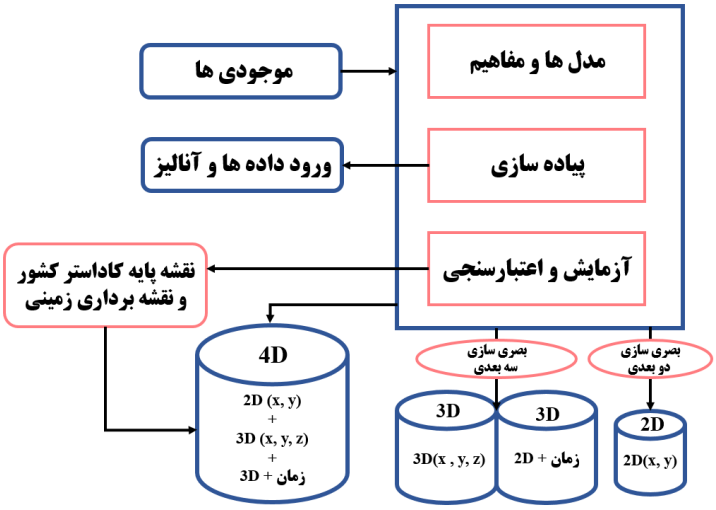
شکل ۵: محدوده مورد مطالعه در شهر تهران – میدان رسالت

در شکل ۶ مشاهده می‌شود که یک قطعه زمین در سال ۱۳۷۵ که تنها یک مالک داشته و هیچ ساخت و سازی در آن انجام نشده، اما در سال ۱۳۹۵ همین قطعه زمین به ۹ قطعه زمین مستقل که در آن ساختمان‌های چند طبقه ساخته شده‌اند تقسیم گشته و بخشی از این قطعه زمین در طرح راه‌سازی قرار گرفته است؛ بنابراین تراکم محدوده‌های ساختمانی در طی گذر زمان بیشتر شده است که این موضوع مسئله تعیین حق مالکیت سه‌بعدی زمانمند را در منطقه مورد مطالعه یادآور می‌کند.

شکل ۶: تغییرات کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه با گذر زمان، تصویر سمت چپ سال ۱۳۷۵ و تصویر سمت راست سال ۱۳۹۵ (آبی: محدوده راه‌سازی، زرد: محدوده قطعه زمین) [۲۳]

۵-۲- فرآیند پیاده‌سازی کاداستر سه و چهاربعدی در منطقه مورد مطالعه

جهت پیاده‌سازی یک سیستم کاداستر چهاربعدی نیاز به یک پایگاه داده سه‌بعدی زمانمند داریم، جهت ایجاد یک پایگاه داده باید چهار مرحله اساسی را طی کرد، این چهار مرحله شامل تهیه داده، پردازش، تولید مدل و ارزیابی دقت مدل است [۱۶-۲۰]. شکل ۷ مدل مفهومی جریان پیاده‌سازی کاداستر چهاربعدی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که این مدل مفهومی تغییر یافته مدل پیشنهادی Van Oosterom, 2010 برای پیاده‌سازی کاداستر چهاربعدی بوده است [۱۲].



شکل ۷: مدل مفهومی جریان پیاده‌سازی کاداستر چهاربعدی در منطقه مورد مطالعه

۵-۲-۱- تهیه داده

یکی از مهم‌ترین مراحل پیاده‌سازی کاداستر چهاربعدی، مرحله جمع‌آوری داده‌های سه‌بعدی می‌باشد، داده‌های تهیه شده بایستی دارای دقت لازم برای مدل‌سازی در سه بعد باشند تا بتوانند نیازهای فنی کاداستر را برآورده سازند. جدول ۳ اطلاعات جمع‌آوری شده از منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۳: اطلاعات جمع‌آوری شده از منطقه مورد مطالعه

نوع اطلاعات	منابع داده	ویژگی	هدف
اطلاعات مکانی	تصاویر هوایی رقومی	مقیاس ۱:۳۰۰۰	تولید مدل سه‌بعدی
	نقشه ۱:۲۰۰۰ رقومی	نقشه پایه کاداستر کشور	انطباق مدل با این نقشه (زمان‌سنجی)
	داده‌های GPS دو فرکانسه	سرعت بالا و سهولت در جمع‌آوری GCPs[8]	تولید نقاط کنترل زمینی با دقت کمتر از ۱cm
	نقشه شبکه انتقال آب	طراحی با توجه به شرایط منطقه	تلفیق با مدل سه‌بعدی
	نقشه‌برداری زمینی	بالا بردن دقت مدل سه‌بعدی	ارزیابی دقت ارتفاعی مدل
اطلاعات توصیفی	پلاک‌های ثبتی	بر اساس استاندارد تدوین شده کاداستر	طبقه‌بندی مدل
	داده آمایی اطلاعات	نمایش اطلاعاتی مانند حدود ملک، مالکیت	ایجاد بانک جامع املاک برای منطقه

۵-۲-۲- پردازش داده

در این مرحله نیاز است تا اطلاعات جمع‌آوری شده را متناسب با هدف موردنظر پردازش نماییم، بنابراین مراحل زیر را طی می‌کنیم:

۱- پردازش اولیه و آماده‌سازی داده‌ها برای تولید نقشه.

۲- تولید نقشه اولیه شامل اطلاعات مسطحاتی و ارتفاعی هر یک از عوارض با فرمت CAD و Shapefile.

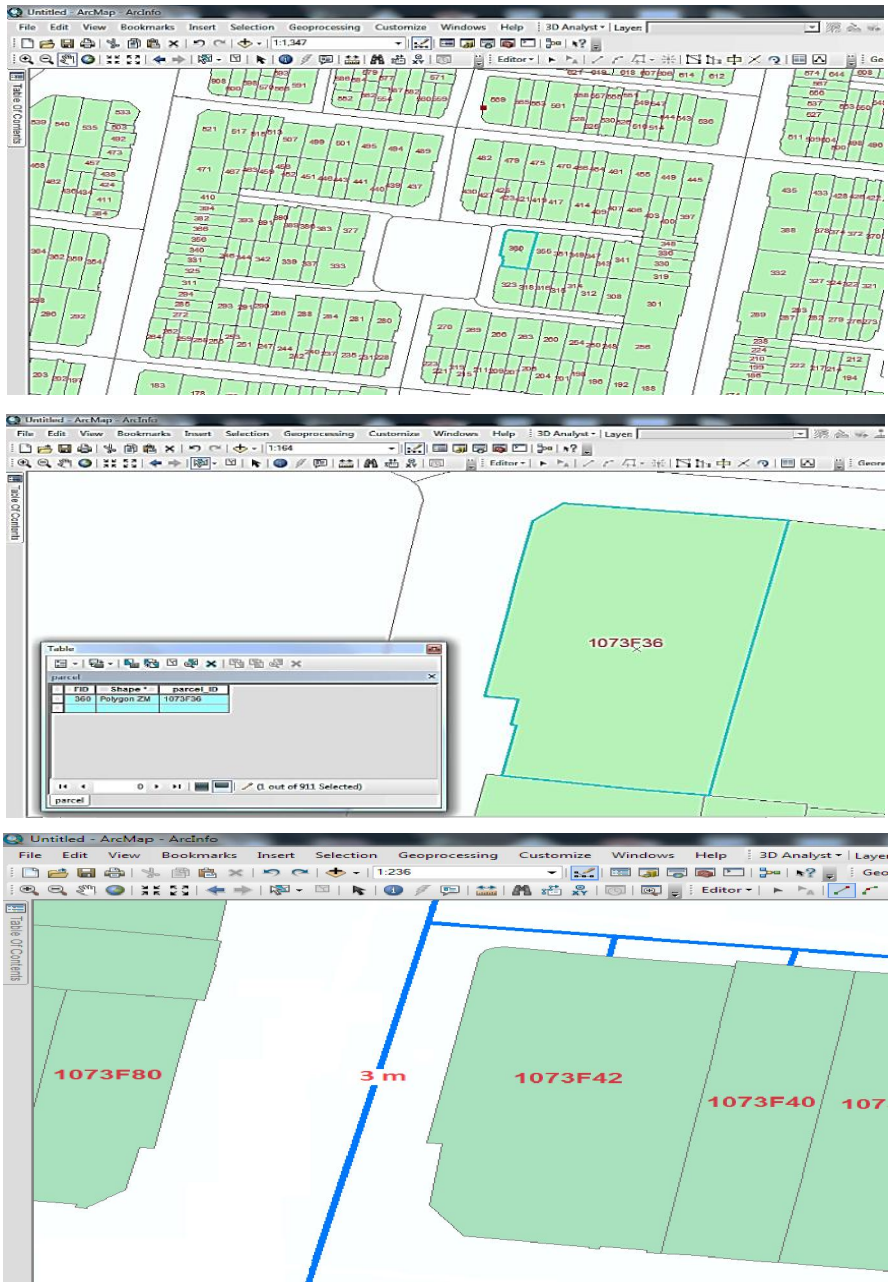
۴- تلفیق اطلاعات توصیفی با نقشه تولیدشده.

۵- تلفیق نقشه شبکه انتقال آب با مدل تولیدشده.

۶- آماده‌سازی داده‌های موجود برای ورود به مرحله تبدیل سه‌بعدی.

8- Ground Control Points (GCPs)

شکل ۸ خروجی مرحله پردازش حاصل از داده‌های موجود را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است نقشه تولید شده دوبعدی بوده و تنها قادر است تا مرزهای هریک از قطعه زمین‌ها و ساختمان‌ها و سایر عوارض موردنظر را نشان دهد، به همین منظور لازم است تا جهت دستیابی به یک مدل سه‌بعدی مرحله تبدیل سه‌بعدی را بر روی داده‌ها اعمال نماییم.

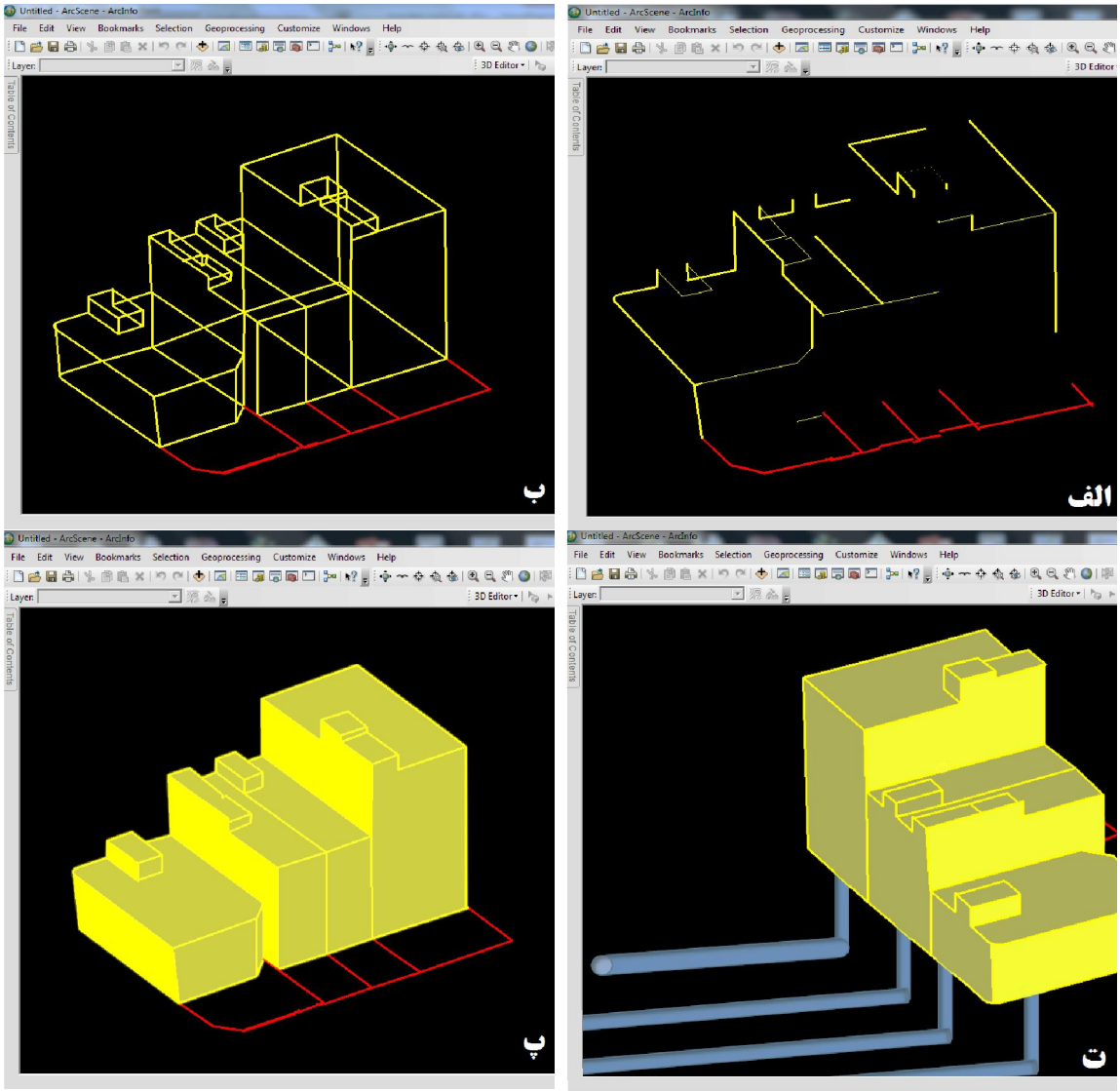


شکل ۸: کدگذاری کاداستر قطعات ملکی و تلفیق لایه مربوط به شبکه انتقال آب در منطقه مورد مطالعه

پس از مرحله کدگذاری قطعات ملکی نوبت به ادغام نقشه‌های تأسیسات با نقشه مورد نظر می‌رسد که در اینجا به عنوان نمونه نقشه شبکه انتقال آب که به‌صورت فرضی طراحی‌شده است را در نظر می‌گیریم. لازم به ذکر است عبارت "3 m" به معنای آن است که این شبکه در عمق ۳ متری زمین قرار دارد.

۵-۲-۳- تولید مدل سه‌بعدی

در این مرحله به دلیل عدم وجود یک دستورالعمل تبدیل برای عوارض سه‌بعدی، از مدلی فرضی که مبتنی بر دستورالعمل تهیه نقشه‌های کاداستر رقومی و تهیه نقشه‌های توپوگرافی بوده، استفاده شده است [۵-۱۱-۲۱]، با این ویژگی که نقاط ارتفاعی نیز به نقاط نظیر گوشه‌ای هریک از عوارض متصل شد تا مدلی سه‌بعدی تولید گردد. در این پژوهش به‌عنوان نمونه چهار قطعه زمین که دربردارنده عرصه و اعیان می‌باشد به همراه یک شبکه انتقال آب جهت مدل‌سازی در نظر گرفته‌شده‌اند. همچنین فرآیند مدل‌سازی در محیط ArcScene در نرم‌افزار ArcGIS10 و با ابزارهای 3D Editor و 3D Analyst صورت پذیرفته است [۱۴]، در شکل ۱۰ نمونه سه‌بعدی تولید شده نشان داده شده است.



شکل ۹: الف) مدل اولیه تولید شده از منطقه مورد مطالعه با استفاده از تصاویر هوایی رقومی بزرگ مقیاس

ب) مدل تکمیل شده با فرمت CAD (قرمز: مرز قطعه زمین، زرد: مرز ساختمان)

پ) مدل تکمیل شده با فرمت Shapefile

ت) تلفیق شبکه انتقال آب با مدل تولید شده (شبکه تأسیسات سه‌بعدی)

۵-۲-۴- نتایج ارزیابی دقت مدل

با توجه به اینکه نقشه ۱:۲۰۰۰ تهران که در سال ۱۳۸۳ توسط سازمان نقشه‌برداری کشور تهیه شده و به عنوان نقشه پایه کاداستر در کشور مورد استفاده قرارگرفته [۲۲-۲۱]، معیار مسطحاتی و زمان‌سنجی بر مبنای آن و معیار دقت ارتفاعی، فعالیت میدانی و تولید مجموعه داده‌های ارتفاعی دقیق به روش نقشه‌برداری زمینی از مدل های مورد نظر بوده است. در این تحقیق به‌منظور بررسی کیفیت و دقت مدل تولید شده در مقایسه با داده‌های مرجع، از ارزیابی آماری جذر میانگین مربعات خطا[۹] استفاده شده است (رابطه ۱ و ۲). RMSE ازجمله روش‌های آماری متداول به شمار می‌رود که تفاوت میان مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل مورد نظر و مقدار واقعی را نشان می‌دهد. RMSE ابزار مناسبی برای مقایسه خطاهای پیش‌بین توسط یک مجموعه داده بوده و به همین علت از این روش جهت ارزیابی دقت مسطحاتی (X,Y) و ارتفاعی (Z) مدل استفاده شده است.

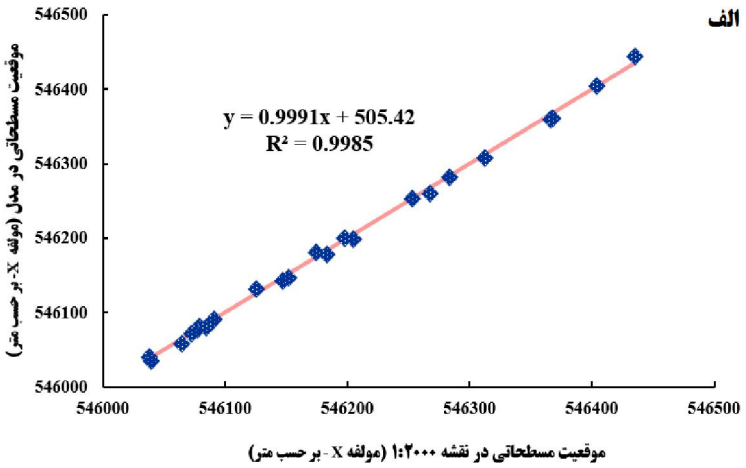
$$RMSE = \sqrt{(D^2/n)} \qquad (۱)$$

$$D^2 = d_1^2 + d_2^2 + \ldots + d_n^2 \qquad (۲)$$

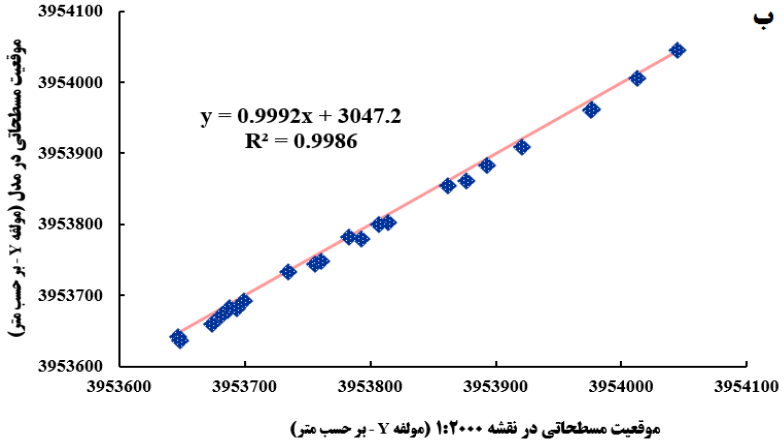
در رابطه ۱ و ۲، d_n اختلاف مختصات بین داده‌های مشاهداتی $(X_{obs}, Y_{obs}, Z_{obs})$ و داده‌های مرجع $(X_{ref}, Y_{ref}, Z_{ref})$ و n تعداد نقاط آزمایش (اندازه نمونه) است. لازم به ذکر است که از معادله خط[۱۰] و ضریب همبستگی (R^2) جهت تائید صحت نتایج نیز استفاده گردید. در جدول ۴ نتایج حاصل از این ارزیابی نشان داده شده است، با توجه به نتایج می‌توان گفت که مدل تولید شده تا حد زیادی با معیارهای مرجع تطبیق دارد.

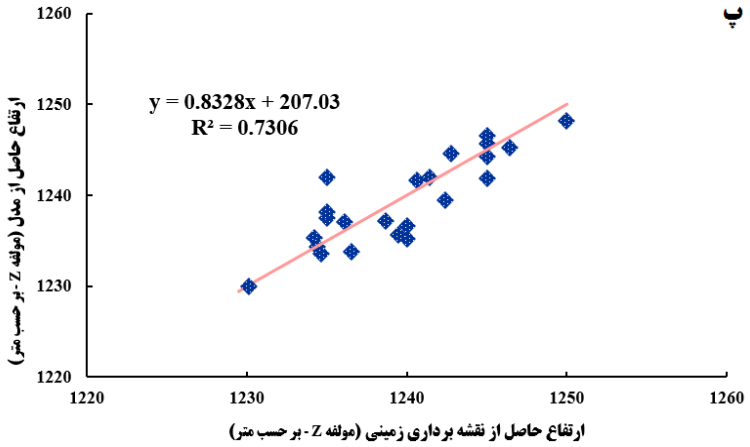
جدول ۴: نتایج آماری دقت داده‌های مشاهداتی نسبت به مقادیر مرجع

پارامترهای آماری / مؤلفه‌های موقعیتی	RMSE (متر)	ضریب همبستگی (R^2)	شیب‌خط (m)	عرض از مبدأ (c)
شکل ۱۰- الف) اختلاف مؤلفه‌های X ($X_{obs} - X_{ref}$)	1.4742	0.9985	0.9991	505.42
شکل ۱۰- ب) اختلاف مؤلفه‌های Y ($Y_{obs} - Y_{ref}$)	1.4531	0.9986	0.9992	3047.2
شکل ۱۰- پ) اختلاف مؤلفه‌های Z ($Z_{obs} - Z_{ref}$)	2.6250	0.7306	0.8328	207.03



9- Root Mean Square Error (RMSE)
10- y = mx+c (m : شیب خط، c : عرض از مبدا)





شکل ۱۰: نمودار همبستگی داده‌های مشاهداتی و مرجع

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

به این ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که اگرچه یک سیستم کاداستر چندبعدی و به‌طور خاص سه‌بعدی یا چهاربعدی در هیچ یک از کشورهای جهان به‌طور کامل و گسترده پیاده‌سازی نشده است، اما با این حال اغلب کشورهای جهان درصدد هستند تا با ارائه راهکارهای مناسب به چنین سیستمی دست یابند چرا که همان‌طوری که اشاره شده با داشتن چنین سیستم کاداستری بسیاری از مشکلات مربوط به مدیریت زمین و بحران‌های مربوط به آن قابل‌حل خواهد بود. در این مقاله اولین نمونه آزمایشی پیاده‌سازی کاداستر چهاربعدی در محدوده میدان رسالت تهران با استفاده از تصاویر هوایی رقومی بزرگ مقیاس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج این مدل‌سازی نشان داد که مدل تولیدشده با معیارهای دقت تطبیق زیادی دارند چرا که RMSE کمتر و ضریب همبستگی بالاتر، ($RMSE_X = 1.4742m,\ RMSE_Y = 1.4531m,\ RMSE_Z = 2.625m$) بیانگر دقت زیاد مدل هستند؛ اما نقطه ضعف این مدل، عدم دسترسی به موقعیت طبقات هریک از ساختمان‌ها و همچنین ادغام سایر شبکه‌های تأسیسات شهری مانند برق و گاز با این مدل است که می‌توان برای حل مشکل اول از نقشه‌های تفکیکی آپارتمان‌ها استفاده نمود اما مشکل دوم ابعاد وسیع‌تری پیدا می‌کند و دلیل آن هم عدم وجود نقشه‌های تأسیساتی مناسب به خاطر قدیمی بودن این سیستم‌ها است. به همین منظور پیشنهاد می‌شود در کارهای آینده روش‌هایی کارآمد جهت تلفیق شبکه‌های تأسیساتی مختلف در بستر مدل‌سازی سه‌بعدی شهر و ارائه الگویی برای اعتبارسنجی دقت مدل یادشده در مقیاس بزرگ‌تر فعالیت شود.

مراجع

[1] Khoshboresh masouleh, M., & Sadeghian, S. (2016). Possibility of implementation of 3D Cadastre using LiDAR data as a tool of urban management, The 3rd Congress on New Horizons in the Civil Engineering, Architecture, Culture and Urban Management of Iran, Tehran.

[2] Doner, F., Thompson, R., Stoter, J., Lemmen, C., Ploeger, H., van Oosterom, P., & Zlatanova, S. (2010). 4D cadastres: First analysis of legal, organizational, and technical impact-with a case study on utility networks, Land Use Policy.

[3] Doner, F., Thompson, R., Stoter, J., Lemmen, C., Ploeger, H., van Oosterom, P., & Zlatanova, S. (2011). Solutions for 4D cadastre - with a case study on utility networks. International Journal of Geographical Information Science.

[4] Aien, A. (2013). 3D Cadastral Data Modelling, Thesis (PhD), University of Melbourne, Australia.

[5] Ho, S., & Rajabifard, A. (2012). Delivering 3D Land and Property Management: A Consideration of Institutional Challenges in an Australian Context, 3rd International Workshop on 3D Cadastres, Shenzhen.

[6] Hassan, M. I., Ahmad-Nasruddin, M. H., Yaakop, I. A., & Abdul-Rahman, A. (2008). An Integrated 3D Cadastre - Malaysia as an example, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.

[7] Seifert, M., Gruber, U., & Riecken, J. (2015). Germany on the way to 4D cadastre, WCS-CE, Istanbul.

[8] Stoter, J. E. (2004). 3D cadastre, Thesis (PhD), TU Delft.

[9] Valstad, T. (2006). Developments of the 3D Cadastre in Norway, FIG Working, Munich.

[10] http://amar.sci.org.ir/index_e.aspx, Accessed 14 March 2016.

[11] Lotfi, S. & Salek, R. (2012). Assessment of implementing multipurpose cadastre, Iranian Journal of Remote Sencing & GIS, Shahid Beheshti University.

[12] Van Oosterom, P., & Stoter, J. (2010). 5D Data Modelling: Full Integration of 2D/3D Space, Time and Scale Dimensions, S.I. Fabrikant (Ed.), GIScience Berlin Heidelberg Springer-Verlag.

[13] Babalola, S. O., & Abdul-Rahman, A. (2015). A Brief Review of Land Administration Domain Model and Its Temporal Dimension, Journal of Advanced Review on Scientific Research.

[14] Qudsia Hamid, Q., Chauhdry, M. H., Mahmood, SH., & Farid, M. (2016). ArcGIS and 3D Visualization of Land Records: A Case Study of Urban Areas in Punjab, National Academy Science Letters.

[15] Lemmen, C., & Van Oosterom, P. (2015). The Land Administration Domain Model, Land Use Policy.

[16] Karki, S., Thompson, R., & McDougall, K. (2013). Representing 3D data in a Cadastral database - Queensland Case, GIS and RS Research Conference University of Otago, New Zealand.

[17] Vucic, N., Roic, M., & Markovinovic, D. (2014). Towards 3D and 4D Cadastre in Croatia, FIG Working, Dubai.

[18] Zhang, J. Y., Yin, P. C., Li, G., & Gu, H. (2016). 3D Cadastral Data Model Based on Conformal Geometry Algebra, ISPRS, International Journal of Geo-Information.

[19] Van Oosterom, P., Ploeger, H., Stoter, J., Thompson, R., & Lemmen, C. (2006). Aspects of a 4D Cadastre: A First Exploration, FIG Working, Munich.

[20] Siejka, M., Slusarski, M., & Zygmunt, M. (2013). 3D+time Cadastre, possibility of implementation in Poland, Survey Review.

[21] http://www.cadastreiran.ir/en/default.aspx, Accessed 29 March 2016.

[22] http://www.ncc.org.ir/, Accessed 4 April 2016.

[23] Google Earth (2016), from http://www.google.com/earth/index.html, Accessed 18 May 2016.