مدیریت شهری
شماره ۲۸، پاییز و زمستان ۱۳۸۹
No.28 Autumn & Winter
۱۲۳-۱۴۲
زمان دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۲/۲ زمان پذیرش نهایی: ۱۳۸۹/۷/۴

ساماندهی نظام استقرار ایستگاه‌های BTS، متناسب با اهداف برنامه‌ریزی شهری از طریق راهکار استفاده از ایستگاه‌های مشترک؛ مورد مطالعه: شهر تهران

مجتبی رفیعیان - دانشیارگروه شهرسازی دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
منوچهر فرجزاده - دانشیارگروه سنجش از دور دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
زاهد یوسفی* - کارشناس ارشد شهرسازی دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

چکیده
ایستگاه‌های مخابراتی آنتن تلفن همراه (BTS) از اجزای شبکه خدمات مخابراتی تلفن همراه هستندکه بیش از یک دهه است میهمان شهرهای ما شده‌اند. استقرار این ایستگاه‌ها به عنوان عناصری‌که دارای ابعاد فیزیکی بوده و ویژگی‌های مختص به خود را دارند، پیامدهای ناگواری را بر محدوده‌های شهری تحمیل کرده است‌که شدت این پیامدها به‌واسطه رعایت نکردن اصول و قواعد شهرسازی و عدم توجه به ملاحظات آن، بسیار بیشتر از میزان مورد انتظار است. یکی از مهمترین استراتژی‌های موجود در راستای‌کاهش اثرات نامطلوب ناشی از استقرار این ایستگاه‌ها به حداقل رساندن تعداد آنها از طریق راهکار تشریک سایت میان اپراتورهای مختلف است. در این پژوهش، به منظور ارزیابی امکان استفاده از این راهکار در سطح شهر تهران، متناسب با نوع داده‌ها نخست با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS وضعیت موجود شبکه ایستگاه‌های سه اپراتور فعال تلفن همراه در شهر تهران مورد بررسی قرارگرفته و سپس امکان استفاده از راهکار به اشتراک‌گذاشتن ایستگاه‌های موجود برای ساماندهی نظام استقرار آنها، با توجه به الزامات فنی شبکه ارزیابی شد. امکان جابجایی ایستگاه‌ها با توجه به فاصله ایستگاه‌های همجوار اپراتورها و استفاده از ایستگاه‌های موجود، اساس تحلیل داده‌ها قرار گرفته و ایستگاه‌های همجوار با فاصله‌های،کمتر از ۵۰ متر، ۵۰ تا ۱۰۰ متر، ۱۰۰ تا ۱۵۰ متر و ۱۵۰ تا ۲۰۰ متر مشخص شده و در نهایت مجموع همه ایستگاه‌های همجوار در فاصله‌کمتر از ۲۰۰ متر بدست آمد. یافته‌های پژوهش نشان از آن داردکه به صورت نظری و بالقوه، برای ایستگاه‌های همجوار با فاصله‌کمتر از ۵۰ متر، امکان‌کاهش ۴۳۲ ایستگاه به ۲۱۵ ایستگاه، برای فاصله ۵۰ تا ۱۰۰ متر امکان‌کاهش ۱۵۶ ایستگاه به ۷۶ ایستگاه، برای فاصله ۱۰۰ تا ۱۵۰ متر امکان کاهش ۱۸۶ ایستگاه به ۹۰ ایستگاه، برای فاصله ۱۵۰ تا ۲۰۰ متر امکان‌کاهش ۲۲۴ ایستگاه به ۱۰۶ ایستگاه و در مجموع، برای همه ایستگاه‌های همجوار با فاصله‌کمتر از ۲۰۰ متر امکان‌کاهش ۹۹۸ ایستگاه به ۴۸۷ ایستگاه وجود دارد. با توجه به ویژگی‌های فنی شبکه ایستگاه‌ها، امکان جابجایی برای فاصله‌های‌کمتر، قابلیت اجرایی بیشتری دارد و در نهایت جابجایی تعداد زیادی از ایستگاه‌های فهرست شده در عمل امکان پذیر می‌باشد.

واژگان کلیدی: ایستگاه‌های BTS، تشریک سایت، ساماندهی، مکان‌یابی، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)

Organizing BTS Sites Deployment Based on Urban Planning Goals Using Site Sharing Approach; Case Study: Tehran

Abstract
Base Transceiver Stations (BTS), are mobile communication network components. Establishment of these sites as elements that have physical dimensions and own unique features, imposed unfortunate consequences on the urban areas. The intensity of these effects is much more than what was expected through ignoring urban planning principles and rules. Minimizing the number of BTS stations through site sharing approach between different operators is one of the most important strategies in reduction of adverse effects of those sites. In this research, to evaluate possibility of applying this approach in Tehran city, based on data types, first we used ArcGIS software to study current status of network deployment of three active mobile operators in Tehran, and then we evaluated the site sharing approach to organize sites deployment systems according to the network technical requirement. Data analysis based on possibility of sites relocation, considering operators nearby sites distance and using existing sites, then neighbor sites in distance less than 50 m, 50 to 100 m, 100 to 150 m and 150 to 200 m identified. Research findings shows that theoretically and potentially for nearby sites in less than 50 m distance, it is possible to reduce 432 sites to 215 sites, for nearby sites within 50 to 100 m, from 156 sites to 76 sites, for nearby sites within 100 to 150, from 186 sites to 90 sites and for nearby sites within 150 to 200 m from 224 sites to 106 sites, and overall for all nearby sites within less than 200 m distance, it is possible to reduce 998 sites to 487 sites. Considering technical specifications of sites network, relocating of sites with less distances is more feasible and finally in practice, relocating many of the listed sites is possible.

Keywords: Base Transceiver Stations (BTS), Site Sharing, Organizing, Site Selection, Geographic Information System

* نویسنده مسئول مکاتبات، شماره تماس: ۰۹۱۸۶۵۸۸۲۵۵، رایانامه: zahed.yousefi@yahoo.com

مقدمه

بیش از دو دهه است که «**تکنولوژی**»، پدیده نوین ارتباطات سیار و تلفن همراه را به زندگی مدرن بشری معرفی نموده است. سرعت گسترش استفاده و همه‌گیری این تکنولوژی به‌گونه‌ای بوده است که تعداد کاربران آن در سطح جهان به حدود پنج میلیارد نفر رسیده است (www.gsmworld.com: Mar-20-2011). پدیده ارتباطات سیار و بویژه تلفن همراه همچون دیگر ره‌آوردهای تکنولوژی مدرن دارای ابعاد اثرگذاری و اثرپذیری گسترده‌ای در ابعاد مختلف فنی، اقتصادی، اجتماعی، فضایی و مکانی است که هرکدام از آنها در جای خود نیازمند تعمق و بررسی‌اند. بی شک این پدیده تاثیرات مستقیم و غیر مستقیم شگرفی بر زندگی بشر داشته و دارد و البته شهر جولانگاه ممتاز آزمایش و تکامل این پدیده بوده و هست و عرصه اصلی بروز اثرات آن نیز می‌باشد. این در حالی است که به‌واسطه نوین بودن و سرعت زیاد گسترش این تکنولوژی، برنامه‌ریزان و مدیران شهری از جوانب مساله‌ساز این پدیده در حیطه تخصص خود غافل مانده و یا از مهار و هدایت آنها باز مانده‌اند. تا اینکه امروزه به عنوان یک مشکل جدی در مسایل شهری مطرح گردیده است.

در حال حاضر لازمه استفاده از این تکنولوژی، استقرار ایستگاه‌های مخابراتی آنتن تلفن همراه است که در مکان و بر روی سطح زمین، نصب می‌شوند (Rappaport: 1996, 14). سازمان فضایی استقرار این ایستگاه‌ها دارای شبکه پیچیده‌ای بوده و ملاحظات بسیاری در تعیین محل مناسب برای استقرار این ایستگاه‌ها دخیل‌اند. هر ایستگاه مخابراتی آنتن تلفن همراه (BTS) دارای ظرفیت پوشش و ترافیک محدودی است، به همین جهت و به دلیل محدودیت‌های فنی برای داشتن پوشش بهتر و نیز پاسخ به مشترکین بیشتر لازم است که ایستگاه‌های بیشتری نصب و راه‌اندازی شوند (Heine: 1998, 2-30). امروزه گسترش روز افزون این گونه ایستگاه‌های مخابراتی را به وضوح می‌توان مشاهده کرد. کمتر جایی را در شهر می‌توان یافت که تا شعاع ۳۰۰ متری آن یک ایستگاه مخابراتی از این دست وجود نداشته باشد. هر ایستگاه مخابراتی BTS، جهت نصب تجهیزات، نیازمند فضایی است که این فضا بسته به نوع ایستگاه از یک تا بیش از صد متر مربع متغییر است. هم‌اکنون بیش از ۳۰۰۰ ایستگاه BTS متعلق به سه اپراتور همراه اول، ایرانسل و تالیا در شهر تهران وجود دارند که تقریبا یک سوم آنها در فضاهای شهری احداث شده‌اند که مساحت هرکدام از این نقاط بین ۱۰ تا ۱۰۰ متر مربع است. این در حالی است که این سه اپراتور در حال توسعه و تکمیل شبکه خود بوده و تعداد ایستگاه‌ها همواره در حال افزایش است. علاوه بر این، اپراتور دیگری هم با نام تأمین تلکام مجوز فعالیت خود را اخذ کرده و هم اکنون در حال طراحی و راه‌اندازی شبکه می‌باشد. شکی نیست که به‌واسطه نیاز مبرم به استفاده از این تکنولوژی، احداث ایستگاه و نصب تجهیزات مورد نیاز جهت افزایش توان پاسخگویی به‌کاربران آن امری اجتناب ناپذیر است (شرکت ارتباط مشترک شهر، ۱۳۹۰).

استقرار ایستگاه‌های BTS، اثرات نامطلوب گوناگونی به دنبال داشته است. این اثرات در محدوده‌های شهری ملموس‌تر بوده و با افزایش تعداد ایستگاه‌ها بر شدت این اثرات افزوده می‌شود. ایجاد مزاحمت‌های بصری و آلودگی منظر، اشغال فضا و مکان بویژه فضاهای سبز شهری (APA: 2006, 356)، تأثیر بر ارزش اقتصادی املاک مجاور ایستگاه (Canada: 2004, 134 Industry) و نگرانی‌های موجود در ارتباط با زیان‌بار بودن پرتوهای مغناطیسی (Bernardi: 2000, pp 1996-2002)، از مهمترین آثار نامطلوب این ایستگاه‌ها هستند. هم اکنون در بسیاری ازکشورها به این موضوع اهمیت داده شده و برای کاهش این اثرات فعالیت‌هایی نیز صورت گرفته است. درکشور ما تاکنون فعالیت مفیدی در زمینه کاهش اثرات نامطلوب ناشی از استقرار این ایستگاه‌ها انجام نگرفته و تنها اخیرا شهرداری تهران با تأسیس شرکتی به نام شرکت ارتباط مشترک شهر که فعالیت آن از آبان ۱۳۸۶ شروع شده است، نظارت بر فعالیت اپراتورها و ساماندهی ایستگاه‌های BTS را به این شرکت واگذار کرده است. شهر تهران بیش از دیگر شهرها گریبانگیر این مشکل است. اپراتورها نقاط زیادی از سطح شهر را برای احداث ایستگاه‌های خود به خدمت گرفته‌اند و تقریبا هرکجاکه لازم دیده‌اند ایستگاه خود را

احداث‌کرده‌اند (شرکت ارتباط مشترک شهر، ۱۳۹۰). این در حالی است که، با توجه به اینکه ایستگاه‌های مذکور به‌واسطه اثرات مستقیم و غیر مستقیمی که بر محیط‌های شهری می‌گذارند، موضوع برنامه‌ریزی‌های شهری قرار می‌گیرند، اما در ایران برنامه‌ریزان و مدیران شهری در فرایند طراحی و اجرای شبکه ایستگاه‌ها نقشی نداشته و در طرح‌ها و برنامه‌های شهری به این موضوع پرداخته نشده است. هر روز بر تعداد ایستگاه‌ها و درنتیجه به دامنه اثرات نامطلوب آنها افزوده می‌شود. از اینرو لازم است تا به این مساله به‌صورت جدی توجه شود.

هدف پژوهش حاضر این است تا در چارچوب یک پژوهش کاربردی موردی، با تاکید بر به‌کارگیری راهکار استفاده از ایستگاه‌های مشترک و امکان سنجی کابرد آن، با استفاده از نرم افزار GIS، ابتدا به بررسی امکان جابجایی ایستگاه‌های BTS در سطح شهر تهران پرداخته و سپس با بدست آوردن فاصله ایستگاه‌های اپراتورهای تلفن همراه از همدیگر، ایستگاه‌هایی راکه با توجه به الزامات فنی و معیارهای مخابراتی امکان جابجایی آنها و استقرار تجهیزات آنها بر روی یک ایستگاه همجوار اپراتور دیگر وجود دارد مشخص نماید.

ادبیات موضوع

گسترش پیشرفت‌های تکنولوژیکی پدیده‌های نوینی را به زندگی بشری معرفی نموده و سبب گسترش اسباب و لوازم زندگی مدرن شده‌اند، بخش خدمات به شاخه‌های جدید و متنوعی تقسیم شده و گروه‌های نوین خدماتی نظیر خدمات اطلاع رسانی، خدمات فراغتی، خدمات رایانه‌ای، خدمات ارتباطات بی‌سیم و غیره، پدیدار شده و هر روز سهم بیشتری در ارایه خدمات به مردم می‌یابند. از اینرو، با توجه به نقش روز افزون فعالیت‌های خدماتی در نظام شهر نشینی، ضرورت‌های جدیدی در روند برنامه‌ریزی شهری پدید آمده است. «**پدیده صنعت و خدمات نوین، نحوه ملازمت کالبدی- کارکردی با شهر و چگونگی پراکنش و ضوابط استقرار آن در شهر و حومه، از مهمترین موضوع‌های فرایند برنامه‌ریزی شهری به شمار می‌روند**» (مرکز مطالعات برنامه‌ریزی شهری، ۱۳۸۱، ص ۵۵). با توجه به تنوع خدمات یاد شده و ویژگی کارکردی آنها، می‌توان گفت که عمدتاً خدمات با شرایط نوین شهرنشینی ملازمت داشته و زندگی شهری و حتی روستایی جدید بدون بهره‌گیری از این خدمات امکان پذیر نمی‌باشد (مرکز مطالعات برنامه‌ریزی شهری، ۱۳۸۱، ص ۵۵). پیشرفت‌های تکنولوژیکی اثرات فضایی متفاوتی به همراه آورده است و تکنولوژی ارتباطات باید به‌عنوان یکی از نمودهای برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای به شمار آید و برنامه‌ریزان شهری باید این نیاز و چالش جدید را بشناسند (Talvitie: 2003, 1).

«**ایستگاه‌های BTS[1] و شبکه تلفن همراه**» یکی از جنبه‌های ارتباطات سیار هستند. اینگونه ارتباطات اثرات شگرفی بر شهرها گذارده و هم اکنون جزء جدایی ناپذیر زندگی روزمره شهرنشینان به شمار می‌آید (Townsend: 2000, 2). با توجه به ساختار شبکه تلفن همراه، این خدمات جزو خدمات مکان محور (LBS)[2] به شمار می‌آیند. یعنی خدماتی که عملکرد آنها وابسته به مکان بوده و از طریق استقرار در مکان جغرافیایی خدمات آنها در محدوده‌ای مشخص عرضه می‌شود (Ratti: 2006, 3). ایستگاه‌های فرستنده- گیرنده (BTS) که در اصطلاح عام همان دکل‌های مخابراتی آنتن تلفن همراه هستند، موضوع مورد بررسی این پژوهش می‌باشند. ایستگاه‌های BTS مهمترین اجزای شبکه GSM[3] هستند، تعداد آنها زیاد است، تقریباً در محدوده‌های شهری که تحت پوشش شبکه است همه جا می‌توان آنها را مشاهده کرد و عموماً شبکه با آنها شناخته می‌شود. این ایستگاه‌ها از طریق دید مستقیم هوایی با امواج رادیویی «مایکروویو»[4] با همدیگر در ارتباط بوده و شبکه یکپارچه‌ای را شکل می‌دهند و ارتباط مشترکین را درون شبکه مهیا می‌سازند. برپایی یک شبکه ارتباطی سیار در یک منطقه (مثلاً در یک شهر) مستلزم استقرار شبکه‌ای به‌هم پیوسته از ایستگاه‌های BTS است که بتوانند پوشش و ترافیک مناسبی را برای همه مشترکین مهیا

1. Base Transceiver Station
2. Location Based Services
3. Global System for Mobile
4. Microwave

کنند (Rappaport: 1996, 438). در انتخاب مکان یک ایستگاه BTS در یک منطقه مشخص تنها پوشش سیگنال تعیین‌کننده نیست بلکه سطح سرویس و کیفیت شبکه به میزان تأمین ترافیک در آن منطقه بستگی دارد (Dattani: 2002, 1). و با توجه به محدودیت ظرفیتی که هر ایستگاه BTS در پشتیبانی تعداد کاربرانی که همزمان از آن استفاده می‌کنند، دارد، در محدوده‌هایی که کاربران یک شبکه زیاد هستند، تعداد زیادی از این ایستگاه‌ها مورد نیاز است. هرچند ایستگاه‌های مخابراتی آنتن تلفن همراه به نام BTS مشهورند، اما BTS تنها یکی از اجزای این ایستگاه‌هاست و ترکیبی از اجزای مختلف است که یک ایستگاه مخابراتی آنتن تلفن همراه را شکل می‌دهد: دکل، آنتن، بی تی اس، فیدر، لَدِر، کانکس، میله برقگیر، کابل گراند، چاه گراند، لینک انتقال، اجزای مربوط به تامین برق، فونداسیون و حصار یا فنس مهمترین عناصر تشکیل دهنده یک ایستگاه مخابراتی آنتن تلفن همراه هستند.

اگر بپذیریم برنامه‌ریزی شهری عبارت است از تأمین رفاه شهرنشینان، از طریق ایجاد محیطی بهتر، مساعدتر، سالمتر، آسان‌تر، مؤثرتر و دلپذیرتر، و نیز بر این باور باشیم که هرآن چیزی که در یک شهر رخ می‌دهد می‌تواند به‌صورت مستقیم یا غیر مستقیم بر رفاه شهروندان اثر بگذارد، به این نتیجه می‌رسیم که حیطه وظایف برنامه‌ریزی شهری به‌گستردگی همه پدیده‌هایی است که در یک شهر وجود دارند یا می‌توانند وجود داشته باشند (شیعه، ۱۳۸۰، ص ۱۲۰). با این وجود برنامه‌ریزی و مدیریت شهری در بسیاری از کشورهای درحال توسعه نمی‌تواند همگام با رشد سریع شهرها پیش برود. مدیریت عناصر خدماتی شهری یک چالش پیچیده است که هر روز بر میزان پیچیدگی آن افزوده می‌شود. هر روزه پی‌آمدهای اجتماعی، اقتصادی و تکنولوژیکی جدید وارد شهرها می‌شوند که شیوه‌های اجرایی و عملکردهای موجود در برخورد با آنها ناکافی می‌نمایند. در این میان تغییرات تکنولوژیکی در زمینه‌های حمل و نقل، خدمات محیطی، مخابرات و ارتباطات و انرژی، به همراه نقش فزاینده تکنولوژی اطلاعات و ارتباطات در تهیه و تدارک، اجرا و احداث و مدیریت زیرساخت‌های شهری بسیار گسترده‌تر و سریعتر رخ می‌دهند (Local Plan: 2002, 175 Cheltenham Borough).

کشورهای توسعه یافته از ابتدای قرن بیستم رشد برنامه‌ریزی شده‌ای را در جهت بهبود کیفیت زندگی با تأکید بر، خلق مکان‌هایی با آسایش بیشتر، برابرتر، سالمتر، کارآتر و جذابتر در پیش گرفتند. در این راستا توجه برنامه‌ریزان شهری بیشتر بر جنبه‌های کالبدی و فیزیکی عناصر شهری همچون سیستم‌های حمل و نقل، مسکن، محدوده‌های تجاری، پارکها و غیره معطوف بوده است. هرچند ارتباطات سیار لا یه هایی از پیچدگی را برای این عناصر شهری بوجود آورده است اما برنامه‌ریزان شهری از اثرگذاری‌های ارتباطات سیار بر شهرها و فرایند رشد و توسعه آنها تا حدودی غافل مانده‌اند (Fernback: 2010, 2) و اندک توجه برنامه‌ریزان شهری و معماران به ایستگاه‌های مخابراتی آنتن موبایل، بیشتر به طراحی و مکان‌گزینی شمار رو به افزایش دکل‌های ایستگاه‌های مخابراتی معطوف شده است (Townsend: 2000, 2). تقاضا برای سرویس‌های مخابراتی بی‌سیم بیشتر و با کیفیت‌تر در حال افزایش است. ارائه دهندگان این‌گونه سرویس‌ها بایستی برای برآورده کردن این نیاز تلاش نمایند تا محدوده‌های جغرافیایی متقاضیان را پوشش دهند. در این راستا چالشی که شهرداری‌ها با آن مواجهه می‌شوند ماهیتی دوگانه دارد: فراهم آوردن شرایط برای توسعه متناسب ارتباطات سیار، و توسعه قواعد و ضوابط منطقه بندی و طرح‌های جامع برای همسازکردن چنین محیطی است که به صورتی شتابزده در حال تغییر است. تغییرات مستمر تکنولوژی ارتباطات سیار این الزام را برای شهرداری‌ها بوجود می‌آورد که همواره به صورت دوره‌ای قواعد و ضوابط مربوط به ارتباطات سیار را باز بینی نمایند تا اطمینان حاصل کنند که می‌توانند نیازهای فعلی و آتی شهروندان و تقاضای آنها برای استفاده از این سرویس‌ها را پاسخگو باشند (APA: 2006, 355).

نهادهای ملی و بین‌المللی بسیاری راهبردهایی را برای تلفن‌های همراه و ایستگاه‌های (BTS) تهیه کرده‌اند و در بسیاری از کشورها تلفن‌های همراه و ایستگاه‌های آنها در چارچوب این راهبردها و خط مشی‌ها طراحی و

پیاده‌سازی می‌شوند (GSM Association: 2004, 26). این راهبردها، نحوه مکان یابی و احداث و راه‌اندازی ایستگاه‌ها از جمله: «**فرایند تصویب مجوز، ارتفاع دکل، ایمنی الکتریکی، صلاحیت طراحان، شرایط نصب در سطح زمین، شرایط نصب در پشت بام ساختمان، صلاحیت سازنده قطعات و غیره**» (NTA[5]: 2010, 5-8) را تشریح کرده و قوانین و ضوابطی را برای آنها مشخص کرده‌اند؛ برای نمونه، در قانون ارتباطات از راه دور ۱۹۹۶ ایالات متحده آمریکا، به دولت‌های محلی این اختیار داده شده است تا در مورد مکان‌گزینی، احداث و تغییر و اصلاح تجهیزات ارتباطات بی‌سیم تصمیم‌گیری نمایند. همچنین به منظور حصول اطمینان از هماهنگی مکان‌گزینی و شرایط احداث ایستگاه‌ها مقرارت کاربری زمین در محدوده مورد نظر بایستی در فرایند استقرار ایستگاه‌ها مورد توجه قرار گیرد. این ملاحضات شامل مواردی از قبیل زیبایی بصری، حفاظت از فضاهای باز، استفاده از سازه‌های موجود، برآوردن رهنمودهای توسعه موجود، پیشگیری از مزاحمت برای توسعه آتی است (FCC[6]: 1996). **از این نظر، کابری زمین در چگونگی طراحی شبکه ارتباطات بی‌سیم نقش تعیین کننده دارد و طراحان شبکه برای تهیه طرح از داده‌های کاربری زمین بهره می‌گیرند** (Kirtner: 2008, 5).

در ایالات متحده آمریکا، ساخت، سایت‌یابی و طراحی ساختار شبکه ارتباطات سیار در سطوح مختلف ملی[7]، ایالتی[8]، و محلی، قاعده‌مند شده است. در کل، این قواعد، اجزاء و عناصر مختلفی از جمله ارتفاع دکل، نورپردازی و پلاک گذاری، مکان‌گزینی، فرکانس و سطح توان (قدرت تشعشع)، نوع و اندازه تجهیزات، حصار، علامت‌گذاری، برنامه‌ریزی منظر و غیره را در بر می‌گیرد. قواعد و ضوابط تعریف شده در مقیاس ملی و ایالتی اغلب کلی است در حالی که ضوابط محلی دارای جزئیات بیشتری هستند و در مورد کم و کیف احداث ایستگاه‌ها نظارت کامل داشته و برای نصب تجهیزات در مکان مشخص استانداردهای مشخصی را تعیین می‌نمایند که اپراتور ملزم به رعایت آنها است. بر اساس قواعد و ضوابط تعریف شده، مکان‌گزینی ایستگاه‌های مخابراتی ارتباطات سیار باید به گونه‌ای صورت پذیرد که ایستگاه‌های احداث شده، امن، کارآمد و تا حد امکان از دید پنهان باشند. سایت‌یابی این ایستگاه‌ها معمولا در یک محدوده جغرافیایی مشخصی انجام می‌شود که «**شعاع جستجو**» یا «Search Ring» گفته می‌شود که به اپراتور این امکان را می‌دهد تا پوشش مناسب خود را متناسب با ایستگاه‌های موجود یا ایستگاه‌های طراحی شده برای توسعه آتی در یک محدوده جغرافیایی مشخص تأمین نماید. کمیت و کیفیت پوشش نیز خود به تقاضای بازار برای خدمات جدید و بهبود کیفیت و افزایش ظرفیت بستگی دارد. در مجموع، سایت‌یابی باید به گونه‌ای باشد که:

- **قواعد و ضوابط فدرالی را رعایت کرده باشد؛**
- **الزامات مکان‌گزینی محلی را برآورده نماید؛**
- **از طرف جامعه مورد پذیرش واقع شود؛**
- **بالاترین میزان کیفیت خدمات را فراهم آورد؛ و**
- **برای احداث و تکمیل شبکه تا جایی که ممکن است کمترین تعداد ایستگاه ایجاد شوند** (APA: 2006, 355-356).

در واقع در بحث ساماندهی سازمان استقرار شبکه ایستگاه‌های BTS، یک هدف اساسی دنبال می‌شود و آن کاستن از نمودهای بصری این ایستگاه‌ها و پنهان نمودن آنها از دید عموم می‌باشد. این مطلوب، به طور کلی از دو راه دنبال می‌شود؛ نخست، کاستن و درکمینه نگه داشتن تعداد ایستگاه‌ها و دیگر استفاده از روش‌های استتار و اختفای تجهیزات. پوشش بهینه یک محدوده با کمترین تعداد BTS در اصل یک مسأله تخصیص/بهینه‌سازی منابع است. در سطوح مختلف محلی و جهانی، پژوهش‌هایی در زمینه رهیافت‌های بهینه‌سازی مکان یابی ایستگاه‌های BTS انجام شده

5. Nepal Telecommunications Authority
6. Federal Communications Commission
7. The National Environmental Policy Act of 1969 (NEPA)
The National Historic Preservation Act of 1966 (NHPA)
8. The Federal Communications Commission (FCC)
The Federal Aviation Administration (FAA)

است (Dattani: 2002, 2) و با توجه به الزامات و ملاحظات اقتصادی، اپراتورها سعی می‌کنند تا درهنگام طراحی شبکه به خوبی به این امر توجه کافی داشته باشند. اما هنگامی‌که چندین اپراتور در محدوده جغرافیایی مشخص فعالیت دارند بهترین گزینه برای کاستن از تعدادکل ایستگاه‌ها، رویکرد تشریک سایت یا احداث سایت‌های مشترک است.

در حال حاضر سه اپراتور همراه اول، ایرانسل و تالیا در شهر تهران مشغول به فعالیت هستند. با توجه به اینکه در گذشته و به هنگام راه‌اندازی و توسعه شبکه این اپراتورها هیچ مکانیزمی‌وجود نداشته است که آنها را تشویق یا ملزم به استفاده از سازه‌ها و ایستگاه‌های موجود نماید، شبکه ایستگاه‌های هر اپراتور به طور مستقل پیاده شده است. اگرچه بسیار بهتر و ساده‌تر بود که از ابتدا شبکه هر سه اپراتور با هماهنگی و در ارتباط با هم طراحی و اجرا شود، اما در شرایط کنونی که فقدان چنین مکانیزمی‌درگذشته، موجبات نابسامانی وضعیت موجود ایستگاه‌های BTS را فراهم آورده است. این امکان وجود دارد تا با تجمیع برخی ایستگاه‌ها و احداث ایستگاه‌های مشترک از شدت نابسامانی‌ها کاسته و گام‌هایی را در بهبود شرایط موجود برداشت.

تشریک سایت

«**تشریک سایت**»[9] یا استفاده مشترک از ایستگاه‌های BTS یک راه‌کار عملی و مناسب در زمینه ساماندهی این ایستگاه‌ها با توجه با اهداف برنامه‌ریزی شهری به شمار می‌رود. در محدوده‌هایی که بیش از یک اپراتور در آن خدمات تلفن همراه ارائه می‌دهند، معمولا طراحی و راه‌اندازی شبکه اپراتورها مستقل از هم انجام می‌شود و هر اپراتور برای تک تک ایستگاه‌های مورد نیاز خود مکل مورد نظر خود را انتخاب و پس از اجاره یا تملیک آن تجهیزات مربوطه را در آن نصب می‌نماید. در طول دو دهه گذشته، متأثر از دو دیدگاه، گرایش‌ها به احداث ایستگاه‌های مشترک شکل گرفته و شدت یافته است. دیدگاه نخست، پس از بروز اثرات نامطلوب کالبدی- بصری استقرار این ایستگاه‌ها در محدوده‌های شهری و از سوی مدیران و برنامه‌ریزان شهری مطرح شد و دیدگاه دوم در خصوص فواید اقتصادی و صرفه‌جویی‌های قابل احصال ناشی از تشریک سایت برای اپراتورها مطرح شد. بدین ترتیب از یک طرف دولت‌ها و شهرداری‌ها قواعد و ضوابطی را وضع نموده‌اند تا اپراتورها را تشویق و گاهی اجبار به استفاده مشترک از ایستگاه‌ها نمایند و از طرف دیگر منافع مالی آن سبب شده است تا اغلب اپراتورها از به اشتراک گذاشتن ایستگاه‌ها استقبال نمایند. پیشرفتهای تکنولوژیکی نیز سهولت بیشتری به عملیاتی شدن این اقدام‌ها بخشیده است.

در طول دهه گذشته استفاده مشترک از ایستگاه‌ها به جهت منافع اقتصادی آنها بسیار مورد توجه قرارگرفته است و امروزه در بسیاری ازکشورهای جهان گرایش به تشریک سایت شدت بیشتری یافته و علاوه بر صرفه‌های اقتصادی این فرصت را برای اپراتورها فراهم می‌کند تا با سرعت بیشتری شبکه خود را توسعه دهند (NTA:[10] 2010, 8). یافته‌های یک پژوهش نشان می‌دهد که اپراتورهای تلفن همراه منطقه خاور میانه و آفریقا در صورت استفاده از ایستگاه‌های مشترک می‌توانند ظرف چند سال آینده تا ۸ میلیارد دلار صرفه جویی نمایند (Darasha: 2010, 2). علاوه بر این بیشتر اپراتورهایی‌که در حال احداث شبکه یا توسعه آن می‌باشند با مشکل تملیک مکان مناسب برای نصب ایستگاه‌های (BTS) مواجه هستند. در چنین شرایطی اشتراک سایت راه مناسبی برای رفع موانع و توسعه بهبود شبکه است (Höglund: 2003, 72).

امروزه در عمل استفاده مشترک از تجهیزات، در بخش‌های مختلف، از جمله دکل، آنتن و همچنین شبکه اپراتورها امکان پذیر است (Chanab: 2007 Abou)، و البته هرگونه استفاده مشترک از تجهیزات منجر به‌کاهش تجهیزات بویژه‌کاهش تعداد دکل‌ها شده و در نتیجه از نابسامانی و آلودگی دیداری می‌کاهد (Industry Canada: 2004, 111). بسیاری از شهرداری‌ها و گروه‌های اجتماعی بر این عقیده هستند که مقوله

9. Site Sharing
10. Nepal Telecommunications Auhtority

تشریک سایت، موضوعی عمومی است و سیاست‌گذاری در زمینه مکان‌گزینی برای ایستگاه‌های BTS باید به‌صورت عمومی انجام شود.
(Industry Canada: 2004, 38)

از این رو در برخی شهرها اپراتورها ملزم به تشریک سایت، استفاده از سازه‌های موجود و در صورت لزوم، مجبور به اجازه دادن به اپراتورهای بعدی برای استفاده از فضا و تجهیزات خود هستند (Commission: 2008, 7 Kansas City Planning). تا پایان سال ۲۰۱۰ میلادی در بیش از ۳۰ کشور جهان[11] قوانین و ضوابط و مقرراتی در خصوص تشریک سایت وضع شده و در دستور کار قرار گرفته است (GLG: 2010[12]).

در سال ۱۹۹۵ برای کمک به فرایند تشریک سایت در کانادا، در چارچوب یک «**بخشنامه روش کار مشتری**» (CPC)[13] تحت عنوان «**رایزنی فرایند محیطی، بخش‌های فرکانس رادیویی و کاربری زمین**» تهیه شد که یک نوع سیاست‌گذاری ابزار تنظیمی[14] است. این بخشنامه در برگیرنده دو مرجع برای تشریک سایت است، بخش نخست در ارتباط با مشتری است و بخش دیگر در ارتباط باکاربری اراضی (Industry Canada: 2004, 110). در کانادا برخی نهادهای برنامه‌ریزی محلی در زمینه طراحی مکان‌هایی تحت عنوان «**مزارع آنتن**»[15] با طراحان شبکه همکاری کرده‌اند. این مزارع، قطعاتی از زمین هستند که به احداث و توسعه ایستگاه‌های مخابراتی اختصاص داده شده‌اند و انواع مختلف آنتن می‌توانند در این مکان‌ها نصب شوند. در انگلستان نیز احداث چنین مکان‌هایی در دستور کار قرار دارد و بر اساس ماده ۱۰۶ «**قانون برنامه‌ریزی شهر و شهرک ۱۹۹۰**»[16]، یک نهاد برنامه‌ریزی محلی می‌تواند یک حکم اجرایی را برای مجوز اضافه نمودن تجهیزات بیشتر به یک ایستگاه موجود صادر نماید (Industry Canada: 2004, 118). عمده فواید تشریک سایت عبارتند از:

۱. کاهش تعداد دکل‌های مورد نیاز در سطح منطقه مورد نظر؛

۲. کاهش هزینه احداث ایستگاه؛

۳. پیرایش خط آسمان؛

۴. امکان استفاده از سازه‌های موجودی همچون ساختمان‌ها و دکل‌های برق؛

۵. امکان تشریک هزینه‌های اجاره بها، هزینه‌های اجرایی و تعمیر و نگهداری میان اپراتورها (Industry Canada: 2004, 112).

مواد و روش‌ها

با توجه به ماهیت موضوع، ابتدا شبکه استقرار ایستگاه‌های هرکدام از اپراتورها شناسایی و سپس موقعیت آنها نسبت به همدیگر مورد بررسی قرارگرفته و ایستگاه‌هایی که امکان جابجایی آنها از نظر فنی وجود دارد جهت امکان‌سنجی انتقال آنها بر روی یک ایستگاه مجاور شناسایی می‌شوند. متناسب با نوع داده‌ها و اهداف پژوهش، و با توجه به قابلیت‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) در ذخیره و نگهداری، سازماندهی، امکان تغییر، تحلیل و ارائه داده‌ها (Abdul-Rahman, 2008: 16)، از این سامانه جهت ایجاد پایگاه داده‌ها و تحلیل آنها بهره‌گرفته شده است. بر این اساس فرایند تحقیق، بر پایه نمودار شماره ۱ قرار گرفته است.

- «**داده‌های مورد نیاز برای ایجاد پایگاه داده‌ها**»: داده‌های مورد استفاده در این پژوهش، شامل برخی اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های مخابراتی آنتن تلفن همراه سه اپراتور فعال[17] در زمینه خدمات تلفن همراه در شهر تهران هستند که تا زمان نگارش، در این شهر فعالیت داشته‌اند. در طراحی شبکه، مکان هر ایستگاه و موقعیت ایستگاه‌های یک اپراتور نسبت به همدیگر بسیار حائز

۱۱. از جمله: آمریکا، انگلستان، ژاپن، برزیل، بحرین، آفریقای جنوبی، استرالیا، مکزیک، کانادا و غیره.

12. Global Legal Group
13. Client Procedures Circular
14. regulatory
15. antenna farms
16. Town and Country Planning Act 1990

۱۷. سه اپراتور همراه اول (شرکت ارتباطات سیار)، تالیا (شرکت مجتمع تعاونی رفسنجان)، و شرکت ایرانسل

نمودار ۱. ساختار کلی فرایند پژوهش؛ ماخذ: نگارندگان.

اهمیت و تعیین‌کننده است و هرگونه تغییر و جابجایی در داخل شبکه باید با رعایت الزامات شبکه صورت پذیرد بنابراین باید از تحلیل فضایی- مکانی استفاده شود. برای انجام چنین تحلیلی، داده‌های مربوط به محل دقیق تمامی ایستگاه‌های BTS مورد نیاز است. به دلایل مختلف دسترسی به چنین داده‌هایی بسیار مشکل است اما در نهایت این داده‌هاکه شامل مختصات جغرافیایی و مشخصات آندسته از ایستگاه‌های مخابراتی تلفن همراه موجود در محدوده شهر تهران است که در ارتباط با موضوع این تحقیق قرار دارند،کسب، و سپس با توجه به هدف‌های تعیین شده برای این تحقیق، ویرایش، و برای پردازش و تحلیل با استفاده از نرم افزار ArcGIS آماده گردیدند.

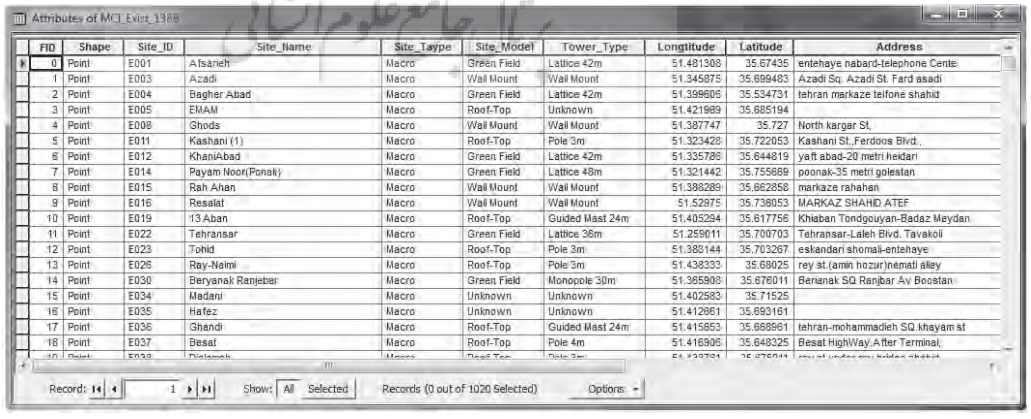
- «**ویرایش و آماده‌سازی داده‌ها**»: داده‌هایی‌که هرکدام از اپراتورها در اختیار گذاردند با فرمت مخصوص خود بوده و شامل اطلاعات غیر یکسانی بود. به همین سبب لازم بود تا ابتدا این داده‌ها به فرمت‌های مشابهی تبدیل شده و به صورت یکسانی درآیند. برای این منظور در محیط نرم‌افزار اِکسل[18] جدول‌های مشابهی برای داده‌های سه اپراتور ایجاد شدکه شامل اطلاعات مورد نیاز در تحلیل‌های هدف این پژوهش است. این جداول به ترتیب شامل اطلاعات مربوط به‌کد سایت، اسم سایت، نوع سایت (از نظر توان پوششی و ترافیکی)، مدل سایت (از نظر محل استقرار آنتن و سایر تجهیزات)، نوع دکل، مختصات جغرافیایی (طول و عرض)، و آدرس سایت است. اطلاعات مربوط به مختصات جغرافیایی ایستگاه‌ها به دلیل ماهیت فضایی- مکانی آنها مهمترین اطلاعات مورد نیاز این پژوهش هستند. از آنجاکه داده‌ها شامل تعدادی از نقاط خارج از محدوده شهری تهران نیز بودند، به منظور حذف نقاط اضافی، جداول اِکسل

18. Microsoft Office Excel

داده‌های هر سه اپراتور وارد محیط نرم‌افزار GIS شده و با قرار دادن آنها بر روی نقشه محدوده شهر تهران نقاطی که خارج از محدوده بوده شناسایی و حذف گردیدند. پس از وارد کردن داده‌ها به محیط ArcGIS، مشخص شد که تعداد زیادی از نقاط علی‌رغم متفاوت بودن کد سایت آنها دارای مختصات یکسانی هستند. برای حذف نقاط اضافی، لیست همه نقاطی که دارای چنین مشکلی بودند تهیه و وضعیت آنها از مسولین مربوطه در اپراتورها استعلام گردید. در نهایت نقاطی که دارای کد سایت درست بوده حفظ و نقاط اضافی حذف شدند. به این ترتیب برای هرکدام از اپراتورها جدولی از لیست ایستگاه‌های مستقر در شهر تهران تهیه شد.

پس از تکمیل جداول مربوط به اطلاعات ایستگاه‌ها به دو روش میزان درستی و قابلیت اعتماد داده‌ها مورد آزمون قرارگرفت. در روش نخست، ابتدا از لیست مربوط به هر اپراتور به‌صورت تصادفی چند ایستگاه (همراه اول ۳۰، ایرانسل ۲۰ و تالیا ۱۰ ایستگاه) انتخاب و سپس با استفاده GPS به موقعیت آنها مراجعه و مختصات و مشخصات آنها با مختصات و مشخصات واقعی مقایسه گردید. نتایج مقایسه نشان از آن داشت که اطلاعات تا حدود زیادی قابل قبول و درست هستند. اطلاعات مربوط به ۲۷ ایستگاه از ایستگاه‌های همراه اول، هر ۲۰ ایستگاه از ایستگاه‌های ایرانسل و ۸ ایستگاه از ۱۰ ایستگاه تالیا درست و اطلاعات مربوط به دیگر ایستگاه‌ها دارای مقداری خطا (در مختصات جغرافیایی یا در نوع ایستگاه) بود. در روش دوم، عکس این روش عمل شد. به این ترتیب که در یک بازدید چند روزه از سطح شهر به صورت تصادفی به ایستگاه‌های موجود که مشاهده می‌شدند مراجعه و اطلاعات آنها (اپراتور، مختصات، نوع ایستگاه) ثبت گردید. در این بررسی میدانی ۲۵۴ ایستگاه مورد مشاهده قرار گرفتند که از این تعداد ۱۰۷ ایستگاه متعلق به همراه اول، ۸۳ ایستگاه متعلق به ایرانسل و ۶۴ ایستگاه دیگر متعلق به تالیا بودند. پس از مقایسه اطلاعات کسب شده با اطلاعات موجود در جداول مغایرت‌هایی مشاهده شد. اطلاعات مربوط به ۴ ایستگاه بررسی و ثبت شده همراه اول و ۹ ایستگاه تالیا در جدول مربوط به ایستگاه‌های آنها وجود نداشت. از بین سه اپراتور داده‌های مربوط به ایستگاه‌های ایرانسل دارای بیشترین دقت و داده‌های تالیا دارای کمترین دقت می‌باشند، اما در مجموع، درستی اطلاعات تا حدود زیادی قابل قبول و معتبر ارزیابی شد. تمامی داده‌ها، شامل ایستگاه‌های موجود این سه اپراتور در محدوده شهرداری تهران تا پایان سال ۱۳۸۹ می‌باشند.

- **«ایجاد پایگاه داده‌ای»**: پایگاه داده‌ای ایجاد شده برای تحلیل داده‌ها از چند لایه مختلف تشکیل شده است. ابتدا اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های سه اپراتور با فرمت اکسل وارد محیط نرم‌افزار ArcGIS شد، سپس از جداول مربوط به اطلاعات ایستگاه‌ها با فرمت .dbf خروجی‌هایی گرفته شده و برای هر اپراتور یک Table


Attributes of MCI_Exist_1388

FID	Shape	Site_ID	Site_Name	Site_Taype	Site_Model	Tower_Type	Longitude	Latitude	Address
0	Point	E001	Afsanieh	Macro	Green Field	Lattice 42m	51.481308	35.67435	entehaye nabard-telephone Cente
1	Point	E003	Azadi	Macro	Wall Mount	Wall Mount	51.345875	35.699483	Azadi Sq. Azadi St. Fard asadi
2	Point	E004	Bagher Abad	Macro	Green Field	Lattice 42m	51.399606	35.534731	tehran markaze telfone shahid
3	Point	E005	EMAM	Macro	Roof-Top	Unknown	51.421989	35.685194	
4	Point	E008	Ghods	Macro	Wall Mount	Wall Mount	51.387747	35.727	North kargar St.
5	Point	E011	Kashani (1)	Macro	Roof-Top	Pole 3m	51.323428	35.722053	Kashani St.,Ferdoos Blvd.,
6	Point	E012	KhaniAbad	Macro	Green Field	Lattice 42m	51.335786	35.644819	yaft abad-20 metri heidari
7	Point	E014	Payam Noor(Ponak)	Macro	Green Field	Lattice 48m	51.321442	35.755689	poonak-35 metri golestan
8	Point	E015	Rah Ahan	Macro	Wall Mount	Wall Mount	51.388289	35.662858	markaze rahahan
9	Point	E016	Resalat	Macro	Wall Mount	Wall Mount	51.52975	35.738053	MARKAZ SHAHID ATEF
10	Point	E019	13 Aban	Macro	Roof-Top	Guided Mast 24m	51.405294	35.617756	Khiaban Tondgouyan-Badaz Meydan
11	Point	E022	Tehransar	Macro	Green Field	Lattice 36m	51.259011	35.700703	Tehransar-Laleh Blvd. Tavakoli
12	Point	E023	Tohid	Macro	Roof-Top	Pole 3m	51.388144	35.703267	eskandari shomali-entehaye
13	Point	E026	Ray-Naimi	Macro	Roof-Top	Pole 3m	51.438333	35.68025	rey st.(amin hozur)nemati alley
14	Point	E030	Beryanak Ranjebar	Macro	Green Field	Monopole 30m	51.365908	35.676011	Berianak SQ Ranjbar Av Boostan
15	Point	E034	Madani	Macro	Unknown	Unknown	51.402583	35.71525	
16	Point	E035	Hafez	Macro	Unknown	Unknown	51.412861	35.693161	
17	Point	E036	Ghandi	Macro	Roof-Top	Guided Mast 24m	51.415853	35.668961	tehran-mohammadieh SQ.khayam st
18	Point	E037	Besat	Macro	Roof-Top	Pole 4m	51.416906	35.648325	Besat HighWay,After Terminal,

Record: 1 Show: All Selected Records (0 out of 1020 Selected) Options

تصویر ۱. جدول مشخصات ایستگاه‌های مخابراتی در محیط ArcGIS

GIS ایجاد شد. در گام بعدی جداول نهایی مربوط به داده‌های اپراتورها به فرمت shp[19] تبدیل شدند. بدین ترتیب سه لایه اطلاعاتی از نوع نقطه (Point) برای سه اپراتور ایجاد شد. در این لایه‌ها، هر ایستگاه مخابراتی با مختصات جغرافیایی مشخص و در شکل یک نقطه بر روی نقشه نمایش داده می‌شود. اطلاعات مربوط به هر نقطه نیز در جدول ویژگی‌های[20] مربوط به لایه مورد نظر قابل مشاهده است (شکل ۲).

چند نقشه از شهر تهران نیز به فراخور نیاز، «**زمین‌مرجع**»[21] گردیده و به همراه نقشه GIS نواحی و مناطق شهرداری شهر تهران به لایه‌های اطلاعاتی اضافه شدند. لایه‌ها پس از ویرایش‌های نهایی آماده تحلیل گردیدند.

- «**تحلیل داده‌ها**»: توانایی‌های نرم افزار ArcGIS این امکان را فراهم آورد تا با استفاده از ابزارهای تحلیلی آن از جهات مختلفی داده‌ها را مورد تحلیل قرار داده و خروجی‌های مورد نیاز را از آن استخراج شوند. **ابتدا با استفاده از ابزار تحلیل تراکم**[22]، **نحوه پراکندگی فضایی ایستگاه‌های هرکدام از اپراتورها در سطح شهر تهران مشخص شد و پس از آن با روی هم گذاری آنها نقشه ترکم کل نقاط تهیه گردید.** سپس با استفاده از «**ابزار تحلیل نزدیکی‌یابی**»[23]، فاصله نقاط ایستگاه‌های اپراتورها از همدیگر محاسبه و جدول فاصله ایستگاه‌های همجوار برای هر اپراتور ایجاد شد. به این ترتیب فاصله هر ایستگاه با ایستگاه‌های همجوار همان اپراتور و نیز ایستگاه‌های دیگر اپراتورها مشخص شد. در مرحله بعد با توجه به اهمیت فاصله ایستگاه‌های همجوار یک اپراتور از همدیگر، برای تشخیص بهترین سمت برای جابجایی ایستگاه‌ها از «**ابزار پلیگون‌های تیسِن**»[24]، استفاده شد. خروجی این ابزار برای کمک به تصمیم‌گیری در مورد جهت جابجایی احتمالی ایستگاه‌ها و یافتن بهترین مکان مناسب برای احداث یک ایستگاه مشترک بسیار مفید است.

نتایج و بحث

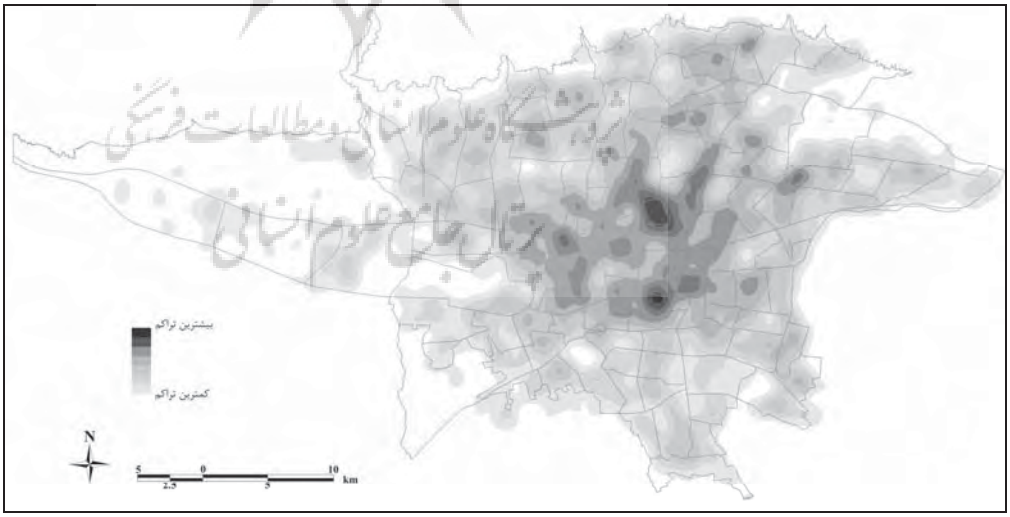
«**پراکندگی ایستگاه‌های BTS در سطح شهر تهران**»: داده‌هایی که برای تحلیل مورد استفاده قرارگرفته‌اند در

تصویر ۳. تراکم ایستگاه‌های مخابراتی تلفن همراه سه اپراتور در سطح شهر تهران

19. Shape File
20. Table Attribute
21. Georeference
22. Density
23. Near
24. Thiessen Polygons

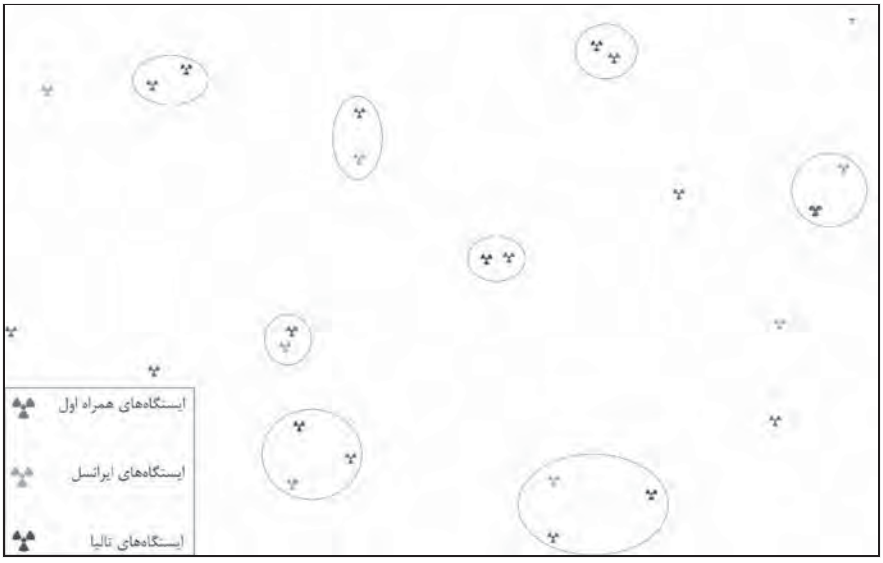
مجموع شامل اطلاعات مربوط به تعدا ۲۲۸۲ ایستگاه ماکرو[۲۵] سه اپراتور است. از این تعداد ۱۰۷۸ ایستگاه متعلق به همراه اول، ۸۱۴ ایستگاه متعلق به ایرانسل و ۳۹۰ ایستگاه متعلق به تالیا هستند. تعداد ایستگاه‌ها در مرکز و قسمت‌های شمال شهر بیشتر از سایر نقاط است. در بخش‌هایی از شهر که دارای مناطق مسکونی و تجاری کمتری هستند تراکم ایستگاه‌ها نیز کمتر است. در قسمت‌هایی از سطح شهر نیز (مثل فرودگاه مهرآباد و قلعه مرغی) ایستگاهی وجود ندارد. تعداد ۵۹۷ ایستگاه از کل ایستگاه‌ها در محدوده‌ای از مرکز شهر شامل: از شمال به جنوب حد فاصل بزرگراه آیت‌الله حکیم تا خیابان شوش و از شرق به غرب حد فاصل خیابان ۱۷شهریور تا بزرگراه یادگار امام قرار دارند. این منطقه شامل شهرداری‌های مناطق ۷، ۱۰، ۱۱، ۱۲ و قسمت‌هایی از شهرداری مناطق ۲، ۶ و ۱۷ است. این بدین معناست که در حدود ۲۶ درصد از کل ایستگاه‌های موجود، در کمتر از ۱۰ درصد از سطح شهر قرار گرفته‌اند. بیشترین میزان تراکم ایستگاه‌ها در اطراف خیابان‌های آزادی و انقلاب و در حد فاصل میدان آزادی تا میدان امام حسین مشاهده می‌شود. غرب تهران نسبت به دیگر مناطق دارای ایستگاه‌های کمتری است و منطقه ۲۲ شهرداری تهران دارای کمترین تعداد و تراکم ایستگاه‌های BTS است. تصویر شماره ۳، پراکندگی این ایستگاه‌ها در سطح شهر، و تصویر شماره ۴ تراکم آنها را نشان می‌دهد.

بررسی وضعیت شبکه استقرار ایستگاه‌های سه اپراتور نسبت به همدیگر: همراه اول بیش از ۱۰ سال پیش‌تر از تالیا و ایرانسل در شهر تهران مشغول به فعالیت بوده است. از این‌رو دارای شبکه کامل‌تر و گسترده‌تری است. نگاهی دقیق به نقشه شبکه استقرار ایستگاه‌های سه اپراتور، نشان دهنده وجود مشابهت‌هایی میان شبکه استقرار ایستگاه‌های آنهاست. اگرچه هر اپراتور دارای طرح مخصوص به خود است و طراحی شبکه آنها مجزا از همدیگر صورت گرفته است، در موارد بسیاری شبکه استقرار ایستگاه‌ها بسیار به هم نزدیک شده است، به نحوی که به نظر می‌رسد طراحی شبکه تالیا و ایرانسل تا حدودی از طراحی شبکه همراه اول پیروی کرده است. تعداد موارد نزدیکی ایستگاه‌های تالیا و ایرانسل به ایستگاه‌های همراه اول به حدی زیاد است که بعید به نظر می‌رسد این اتفاق به صورت تصادفی رخ داده باشد. طراحی و چیدمان فضایی ایستگاه‌های یک شبکه مخابراتی تلفن همراه در سطح یک شهر (بویژه در شهری



تصویر ۴. تراکم ایستگاه‌های مخابراتی تلفن همراه سه اپراتور در سطح شهر تهران

۲۵. دو نوع ایستگاه دیگر که میکرو و پیکو هستند دارای ابعاد کوچکتری بوده و بیشتر برای نقاط پر ترافیک، نقاط کور و داخل ساختمان‌ها استفاده می‌شوند و تعداد آنها کم است



تصویر ۵. ارتباط قابل توجه طراحی شبکه تالیا و ایرانسل با شبکه همراه اول

که دارای پستی و بلندی‌های بسیاری است)، پیچیده، هزینه‌بر، نیازمند محاسبات و پیمایش‌های میدانی زیاد و زمان‌بر است. به همین دلیل به نظر می‌رسد که این امکان وجود دارد که طراحان شبکه تالیا و ایرانسل از تجربیات همراه اول در این زمینه بهره گرفته و طراحی شبکه خود را تاحدودی مشابه شبکه این اپراتور طراحی کرده‌اند. (شکل ۵)

امکان جابجایی ایستگاه‌ها در شبکه کنونی

جابجایی یک ایستگاه ماکرو در شهر تهران و در شبکه کنونی استقرار ایستگاه‌ها با در نظر گرفتن محدودیت‌های فنی و فرکانسی تقریبا برای هر ایستگاهی تا ۵۰ متر امکان پذیر است. همچنین جابجایی بیش از ۲۰۰ متر در این شبکه برای یک ایستگاه ماکرو اگرچه غیر ممکن نیست اما امکان آن بعید است. به همین دلیل داده‌ها با فرض جابجایی ایستگاه‌ها با فواصل ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ متری تحلیل شده‌اند. برای این منظور ابتدا فاصله ایستگاه‌های اپراتورها از همدیگر با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS محاسبه شد، سپس ایستگاه‌هایی که فاصله آنها از ایستگاه‌های دیگر اپراتورها در حدی است که امکان انتقال آنها به ایستگاه اپراتور دیگر وجود دارد مشخص شد. قابلیت جابجایی ایستگاه یک اپراتور به فاصله آن ایستگاه تا ایستگاه‌های همجوار همان اپراتور بستگی زیادی دارد. هر چه فاصله ایستگاه‌ها کمتر باشد قابلیت جابجایی نیز محدودتر است. اگر فاصله دو ایستگاه ماکرو همجوار یک اپراتور کمتر از ۳۰۰ متر نباشد، معمولا تا ۲۰ درصد فاصله یک ایستگاه تا ایستگاه همجوار امکان جابجایی وجود دارد. برای مثال اگر فاصله دو ایستگاه همجوار یک اپراتور از همدیگر ۴۰۰ متر باشد می‌توان یکی از ایستگاه‌ها را تا ۸۰ متر به سمت دیگری جابجا کرد. از نظر تئوری بهترین جهت برای جابجایی ایستگاه یک اپراتور، جهت مقابل نزدیکترین ایستگاه همان اپراتور است؛ اما در عمل ممکن است اینگونه نباشد.

در اینجا ابتدا فاصله تمامی ایستگاه‌های هر اپراتور با نزدیکترین ایستگاه همجوار خود محاسبه شده است تا ایستگاه‌هایی که امکان جابجایی در جهت‌های خاصی را ندارند مشخص شوند. زیرا اگر دو ایستگاه یک اپراتور کمتر از ۳۰۰ متر از هم فاصله داشته باشند انتقال آنها به سمت ایستگاه دیگر ایجاد مشکل می‌کند. در شبکه کنونی، فاصله تمامی ایستگاه‌های دو اپراتور ایرانسل و تالیا از ایستگاه همجوار خود بیش‌تر از ۳۰۰ متر است. نزدیکترین دو ایستگاه ایرانسل به همدیگر، ۳۰۸ متر و نزدیکترین دو ایستگاه تالیا ۳۷۱ متر از همدیگر فاصله

دارند. شبکه همراه اول فشرده‌تر است و ۲۲ ایستگاه این اپراتور کمتر از ۳۰۰ متر از نزدیکترین ایستگاه همجوار خود فاصله دارند. جابجایی این ایستگاه‌ها به سمت ایستگاه نزدیک مقدور نیست. اما در دیگر جهات نه تنها مانعی ندارد بلکه برای شبکه نیز بهتر خواهد بود.

۱. «**ایستگاه‌های با قابلیت تشریک خیلی زیاد**»: منظور از ایستگاه‌های با قابلیت تشریک خیلی زیاد، آندسته از ایستگاه‌های هر سه اپراتور هستند که با یک ایستگاه از اپراتور یا اپراتورهای دیگر دارای فاصله‌ای کمتر از ۵۰ متر باشند. با توجه به داده‌های موجود در این شبکه ۸۲ ایستگاه ایرانسل با ۸۲ ایستگاه همراه اول، ۲۶ ایستگاه تالیا با ۲۶ ایستگاه از همراه اول، و ۱۰۸ ایستگاه تالیا با ۱۰۸ ایستگاه ایرانسل دو به دو در فاصله‌ای کمتر از ۵۰ متر از همدیگر قرار گرفته‌اند. یعنی ۴۳۲ ایستگاه از کل ایستگاه‌های موجود در شهر تهران در این مجموعه قرار می‌گیرند (جدول شماره ۱).

از کل این موارد، دو مورد شامل سه ایستگاه و در دیگر موارد دو ایستگاه در نزدیکی هم قرار دارند. در این صورت می‌توان ۴۳۲ ایستگاه را به ۲۱۵ ایستگاه کاهش داد (شکل شماره ۶).

۲. «**ایستگاه‌های با قابلیت تشریک زیاد**»: منظور از ایستگاه‌های با قابلیت تشریک زیاد، آندسته از ایستگاه‌های اپراتورها هستند که دو به دو نسبت به هم در فاصله‌ای بین ۵۰ تا ۱۰۰ متر قرار گرفته‌اند. اغلب ایستگاه‌هایی که دارای چنین وضعیتی هستند قابلیت جابجایی و در نتیجه استفاده از ایستگاه مشترک را دارند. ۴۲ ایستگاه همراه اول با ۴۲ ایستگاه ایرانسل، ۱۶ ایستگاه همراه اول با ۱۶ ایستگاه تالیا و ۲۰ ایستگاه تالیا با ۲۰

جدول ۱. تعداد ایستگاه‌های همجوار اپراتورها با فاصله کمتر از ۵۰ متر

	همراه اول	ایرانسل	تالیا
همراه اول	–	۸۲	۲۶
ایرانسل	۸۲	–	۱۰۸
تالیا	۲۶	۱۰۸	–
مجموع	۴۳۲	۱۹۰	۱۳۴

تصویر ۶. نقاطی که در آنها دو یا سه ایستگاه با فاصله کمتر از ۵۰ متر نسبت به هم قرار دارند؛ ماخذ: نگارندگان.

ایستگاه ایرانسل در فواصلی بین ۵۰ تا ۱۰۰ متر از هم احداث شده‌اند (جدول شماره ۲).

در چهار مورد از کل موارد سه ایستگاه و در دیگر موارد دو ایستگاه با این فاصله درکنار هم قرار گرفته‌اند. بنابراین ۱۵۶ ایستگاه از کل ایستگاه‌های موجود در شهر تهران شامل دارای چنین وضعیتی هستند و اگر امکان تشریک برای همه این موارد وجود داشته باشد می‌توان این تعداد را به ۷۶ ایستگاه‌کاهش داد (تصویر شماره ۷).

۳. «**ایستگاه‌های با قابلیت تشریک متوسط**»: منظور آندسته از ایستگاه‌های ماکرو اپراتورهای مختلف هستند که فاصله آنها از یکدیگر بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ متر است. شاید امکان ۱۵۰ متر جابجایی برای برخی از ایستگاه‌ها وجود نداشته باشد و محدودیت‌های فرکانسی این مقدار جابجایی را مقدور نسازند اما برای تعداد زیادی از ایستگاه‌ها جابجایی در برخی جهت‌ها بیش از این مقدار هم میسر است. تعدا ۵۹ ایستگاه همراه اول با ۵۹ ایستگاه ایرانسل، ۱۲ ایستگاه همراه اول با ۱۲ ایستگاه تالیا و ۲۲ ایستگاه ایرانسل با ۲۲ ایستگاه تالیا در فاصله‌ای بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ متر از همدیگر واقع شده‌اندکه دارای چنین شرایطی هستند (جدول شماره ۳).

در شش مورد از این موارد سه ایستگاه از سه اپراتور و در دیگر موارد دو ایستگاه از دو اپراتور مختلف با این فواصل درکنار هم قرار دارند. یعنی برای شش مورد از این موارد امکان تشریک ایستگاه بین سه اپراتور و در دیگر موارد میان دو اپراتور وجود دارد. اگر استفاده از ایستگاه مشترک برای همه این موارد وجود داشته باشد ۱۸۶ ایستگاه به ۹۰ ایستگاه‌کاهش پیدا می‌کنند (تصویر شماره ۸).

جدول ۲. تعداد ایستگاه‌های همجوار اپراتورها با فاصله ۵۰ تا ۱۰۰ متر از همدیگر

	تالیا	ایرانسل	همراه اول	
همراه اول	۱۶	۴۲	–	
ایرانسل	۲۰	–	۴۲	
تالیا	–	۲۰	۱۶	
مجموع	۳۶	۶۲	۵۸	۱۵۶

تصویر ۷. نقاطی که در آنها دو یا سه ایستگاه با فاصله ۵۰ تا ۱۰۰ متر نسبت به هم قرار دارند؛ ماخذ: نگارندگان.

۴. «**ایستگاه‌های با قابلیت تشریک کم**»: آندسته از ایستگاه‌های اپراتورهاکه در فاصله بین ۱۵۰ تا ۲۰۰ متر از همدیگر قرار گرفته‌اند در برخی از قسمت‌های شبکه و تحت شرایطی امکان جابجایی و انتقال به روی ایستگاه دیگر را دارند. در مناطقی که تراکم ایستگاه‌هاکم و فاصله ایستگاه‌های یک اپراتور از همدیگر زیاد است، جابجایی این ایستگاه‌ها امکان‌پذیرتر است. بر اساس اطلاعات ایستگاه‌های موجود در شهر تهران، بیش از ۲۸ درصد از ایستگاه‌های ایرانسل، ۷ درصد از ایستگاه‌های همراه اول، و حدود ۳۵ درصد از ایستگاه‌های تالیا بیش از یک کیلومتر با نزدیکترین ایستگاه مجاور از شبکه خود فاصله دارند. با این حساب جابجایی در حدود ۲۰۰ متر این ایستگاه‌ها، مشکل چندانی برای شبکه آنها بوجود نمی‌آورد. تعداد ۶۶ ایستگاه همراه اول با ۶۶ ایستگاه ایرانسل، ۲۱ ایستگاه همراه اول با ۲۱ ایستگاه تالیا و ۲۵ ایستگاه ایرانسل با ۲۵ ایستگاه تالیا در شبکه فعلی استقرار ایستگاه‌ها در فواصل بین ۱۵۰ تا ۲۰۰ متر از همدیگر واقع شده‌اند (جدول شماره ۴).

در ۱۲ مورد از کل موارد سه ایستگاه از سه اپراتور و در دیگر موارد دو ایستگاه از دو اپراتور مختلف با فاصله‌های ۱۵۰ تا ۲۰۰ متر نسبت به هم قرارگرفته‌اند؛ یعنی در ۱۲ مورد امکان تشریک ایستگاه با سه اپراتور و در دیگر موارد با دو اپراتور وجود دارد. به این ترتیب ۲۲۴ ایستگاه این مجموعه قابلیت کاهش به ۱۰۶ ایستگاه مشترک را خواهند داشت (تصویر شماره ۹).

مجموع: اگر مجموع ایستگاه‌های این چهارگروه جمع بسته شده و کل ایستگاههایی که در فاصله کمتر از ۲۰۰

جدول ۳. تعداد ایستگاه‌های همجوار اپراتورها با فاصله ۱۰۰ تا ۱۵۰ متر از همدیگر

	همراه اول	ایرانسل	تالیا
همراه اول	–	۵۹	۱۲
ایرانسل	۵۹	–	۲۲
تالیا	۱۲	۲۲	–
مجموع	۷۱	۸۱	۳٤

تصویر ۸. نقاطی که در آنها دو یا سه ایستگاه با فاصله ۱۰۰ تا ۱۵۰ متر نسبت به هم قرار دارند؛ ماخذ: نگارندگان.

متری آنها حداقل یک ایستگاه از اپراتور دیگر وجود دارد، مد نظر قرار گیرند، تعداد ۲۴۹ ایستگاه همراه اول با ۲۴۹ ایستگاه ایرانسل، ۷۵ ایستگاه همراه اول با ۷۵ ایستگاه تالیا و ۱۷۵ ایستگاه ایرانسل با ۱۷۵ ایستگاه تالیا در شبکه فعلی استقرار ایستگاه‌ها، در این گروه جای می‌گیرند. به عبارت دیگر ۳۲۴ ایستگاه از کل ۱۰۷۸ ایستگاه همراه اول (۳۰٪)، ۴۲۴ ایستگاه از کل ۸۱۴ ایستگاه ایرانسل (۵۲٪) و ۲۵۰ ایستگاه از کل ۳۹۰ ایستگاه تالیا (۶۴٪)، واقع در شهر تهران در مکانی مستقر شده‌اند که در فاصله کمتر از ۲۰۰ متری آنها حداقل یک ایستگاه از اپراتور دیگری مستقر است (جدول شماره ۵).

به این ترتیب در وضعیت کنونی ۹۹۸ ایستگاه از کل ۲۲۸۲ ایستگاه BTS مستقر در شهر تهران که چیزی بیش از ۴۳ درصد از کل این ایستگاه‌ها را شامل می‌شوند در مکانی استقرار یافته‌اند که در فاصله‌ای کمتر از ۲۰۰ متر از آنها حداقل یک ایستگاه از اپراتور دیگر نیز وجود دارد. در ۲۴ مورد، سه ایستگاه از سه اپراتور مختلف و در دیگر موارد دو ایستگاه از دو اپراتور مختلف دارای چنین وضعیتی هستند. اگر فرض را بر این بگیریم که امکان استفاده مشترک از یک ایستگاه برای همه این موارد وجود دارد، با اعمال این راهکار می‌توان ۹۹۸ ایستگاه را به ۴۸۷ ایستگاه کاهش داد که ۲۴ ایستگاه از این ایستگاه‌ها میان سه اپراتور و سایر آنها میان دو اپراتور به اشتراک گذارده شده‌اند (تصویر شماره ۱۰).

پلیگون‌های تیسن: موقعیت نسبی یک ایستگاه نسبت به سایر ایستگاه‌های همجوار در شبکه ایستگاه‌های یک اپراتور، اهمیت ویژه‌ای در تعیین جهت جابجایی آن

جدول ۴. تعداد ایستگاه‌های همجوار اپراتورها با فاصله کمتر از ۲۰۰ متر

	همراه اول	ایرانسل	تالیا
همراه اول	–	۶۶	۲۱
ایرانسل	۶۶	–	۲۵
تالیا	۲۱	۲۵	–
مجموع	۸۷	۹۱	٤٦

تصویر ۹. نقاطی که در آنها دو یا سه ایستگاه با فاصله ۱۵۰ تا ۲۰۰ متر نسبت به هم قرار دارند؛ ماخذ: نگارندگان.

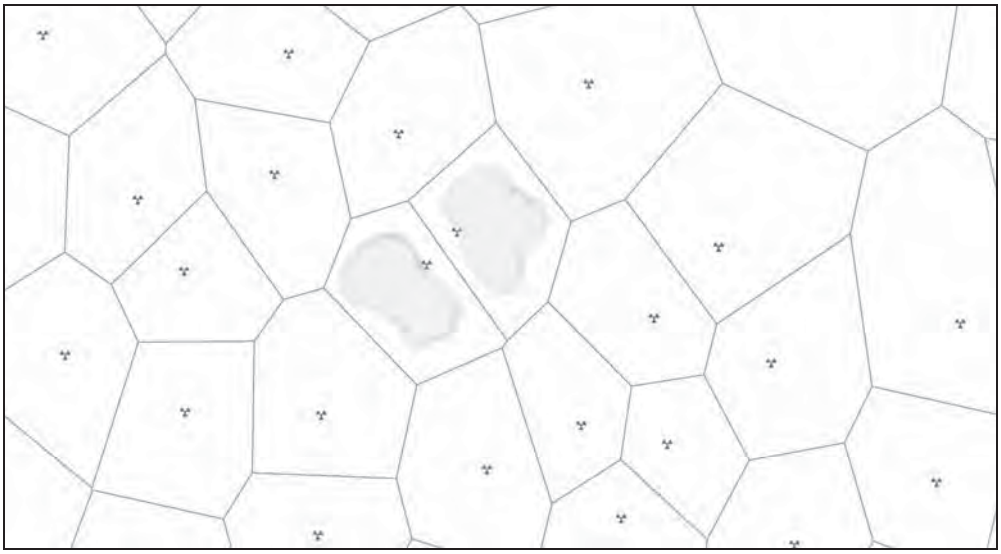
ایستگاه دارد. برای تصمیم‌گیری در مورد جابجایی یک ایستگاه باید موقعیت ایستگاه‌های همجوار همان اپراتور بررسی و مورد توجه قرار گیرد. استفاده از ابزار تحلیل پلیگون‌های تیسِن در نرم‌افزار GIS برای تشخیص موقعیت ایستگاه‌های یک اپراتور نسبت به همدیگر، روش بسیار مناسبی است. خروجی این تحلیل نقشه‌ای است که جهت‌های مناسب و نامناسب برای جابجایی یک ایستگاه را به دست می‌دهد (تصویر شماره ۱۱).

در مرکز تصویر دو ایستگاه با فاصله کمی از همدیگر وجود دارند. با استفاده از پلیگون‌های تیسِن می‌توان جهت‌های مناسب و میزان تقریبی جابجایی را تخمین زد. استفاده از این پلیگون‌ها حتی برای بهینه‌سازی فنی شبکه نیز می‌تواند مفید باشد. با روی‌هم‌گذاری لایه‌های مربوط به پلیگون‌های تیسِن اپراتورها بر روی همدیگر بررسی وضعیت ایستگاه‌های سه اپراتور نسبت به همدیگر آسان‌تر صورت می‌گیرد. همچنین تشخیص محدوده مناسب برای انتخاب مکان جهت استقرار یک ایستگاه جدید در نقطه‌ای مشترک میان دو یا سه ایستگاه موجود، با استفاده از این پلیگون‌ها امکان‌پذیر است. بهترین مکان برای احداث یک ایستگاه جدید به منظور استفاده مشترک اپراتورها از آن، محلی است که برای همه اپراتورها مناسب باشد. پلیگون‌های تیسن می‌توانند به تصمیم‌گیری در مورد انتخاب محدوده مناسب برای احداث ایستگاه جدید کمک کرده و به فرایند تصمیم‌گیری سرعت ببخشند.

جدول ۵. تعداد ایستگاه‌های همجوار اپراتورها با فاصله کمتر از ۲۰۰ متر

	همراه اول	ایرانسل	تالیا
همراه اول	–	۲۴۹	۷۵
ایرانسل	۲۴۹	–	۱۷۵
تالیا	۷۵	۱۷۵	–
مجموع	۳۲٤	٤۲٤	۲۵۰

تصویر ۱۰. نقاطی که در آنها دو یا سه ایستگاه با فاصله کمتر از ۲۰۰ متر نسبت به هم قرار دارند؛ ماخذ: نگارندگان.



تصویر ۱۱. تشخیص جهت‌های مناسب و نامناسب برای جابجایی یک ایستگاه با استفاده از پلیگون‌های تیسن

نتیجه گیری و جمعبندی

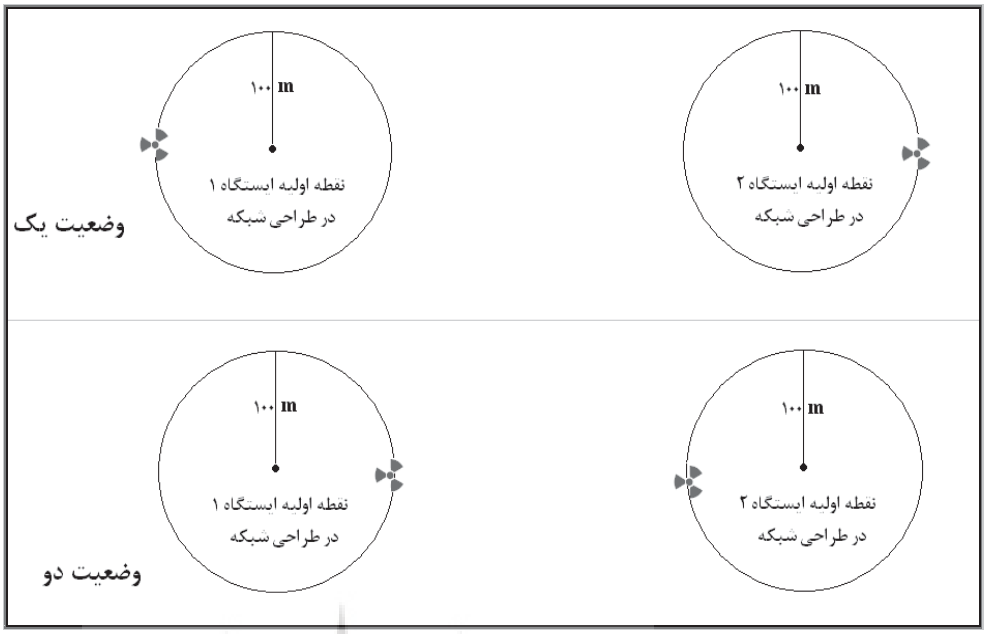
نتایج به‌دست آمده از تحلیل داده‌ها نشان از آن دارد که استفاده از راهکار تشریک سایت، می‌تواند نقش مفیدی در ساماندهی شبکه استقرار ایستگاه‌های موجود در شهر تهران ایفا کند. حذف هر ایستگاه به مثابه برداشتن گامی به سوی بهینه‌سازی شبکه استقرار ایستگاه‌ها در راستای اهداف شهرسازی و کاهش اثرات ناگوار این ایستگاه‌هاست. با استفاده اپراتورها از ایستگاه‌های مشترک، امکان برچیدن تعداد زیادی از ایستگاه‌های موجود در سطح شهر تهران وجود دارد. باید در نظر داشت که امکان به اشتراک گذاشتن ایستگاه برای همه مواردی که در اینجا استخراج شده‌اند وجود ندارد و نیازمند مطالعات تکمیلی است. همچنین نتایج این پژوهش بنا به دلایلی تنها قسمتی از ایستگاه‌هایی را شامل می‌شود که امکان جابجایی دارند و فعالیت‌هایی که می‌توان با راهکار استفاده از ایستگاه‌های مشترک برای کاستن از ایستگاه‌های موجود انجام داد محدود به نتایج این پژوهش نیست، زیرا:

- اطلاعاتی که برای تحلیل در اختیار این پژوهش بوده‌اند کاستی‌هایی داشته است.

- محاسبات و تحلیل‌های این پژوهش با فرض استفاده از یک ایستگاه موجود برای به اشتراک گذاردن انجام گرفته است. در حالی که می‌توان به مرور زمان ایستگاه‌های موجود را جمع آوری کرده و هر دو یا سه ایستگاه را به نقطه مناسب دیگری منتقل کرده و ایستگاه جدید را به صورت مشترک احداث کرد.

- محاسبات برای جابجایی یک ایستگاه تا حداکثر ۲۰۰ متر انجام شده است.

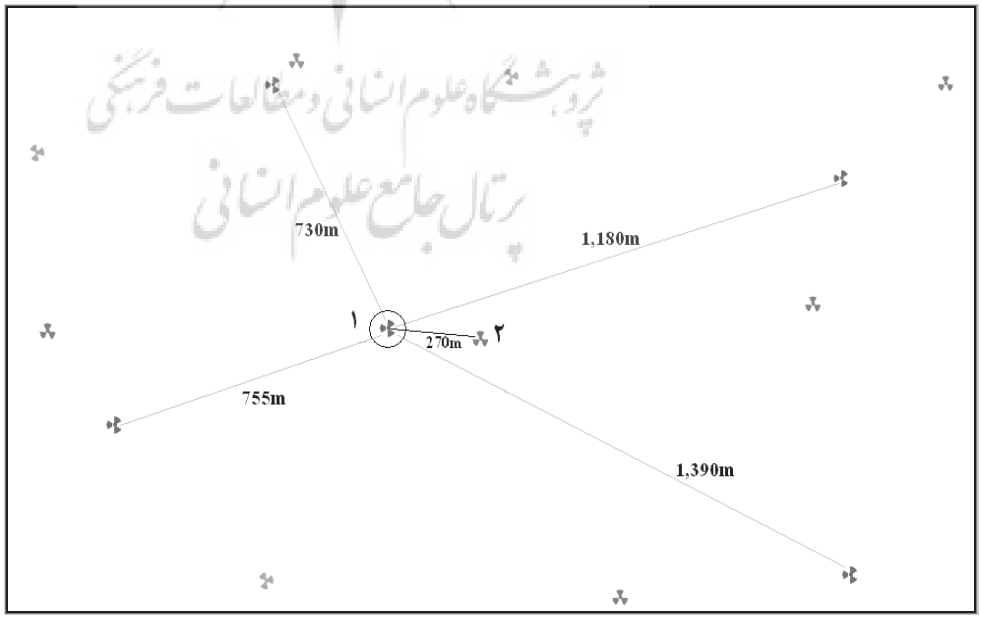
در اینجا با فرض اینکه از یک ایستگاه موجود برای استفاده مشترک از آن بهره‌گرفته می‌شود داده‌ها تحلیل و بررسی شده‌اند. در حالی که امکان احداث یک ایستگاه جدید در حد فاصل دو یا چند ایستگاه نیز وجود دارد و در این صورت می‌توان برای تعداد ایستگاه‌های بیشتری از این راهکار استفاده کرد. زیرا موارد زیادی وجود دارد که با انتخاب یک نقطه جدید در فاصله مناسبی از دو یا سه ایستگاه می‌توان مقدار جابجایی ایستگاه‌های موجود را به حداقل رساند. همچنین حداکثر مقداری که برای امکان جابجایی یک ایستگاه فرض شده است، ۲۰۰ متر است. در حالی که امکان جابجایی بیش از این مقدار نیز تحت شرایطی وجود دارد. برای مثال، شعاع محدوده جستجو برای یافتن مکان مناسب برای یک ایستگاه در بسیاری از نقاط شهر، بویژه در مناطقی که تراکم کاربران شبکه کمتر است، در طراحی اولیه شبکه حدود ۱۰۰ متر است. اگر دو ایستگاه مجاور هم در طرح اولیه یک شبکه



تصویر ۱۲. موقعیت دو ایستگاه مجاور احداث شده در شبکه نسبت به طرح اولیه

در نهایت در منتهی‌الیه این محدوده مکان‌یابی شده باشند در عمل ممکن است حداکثر به مقدار ۴۰۰ متر از هم فاصله گرفته یا به هم نزدیک شده باشند (تصویر شماره ۱۲).

اگر دو ایستگاه مجاور نسبت به محل پیشنهادی در طرح، در مکان‌گزینی تا منتهی‌الیه محدوده مجاز از هم فاصله گرفته باشند (وضعیت ۱) جابجایی هرکدام از آنها به سمت ایستگاه دیگر، و اگر به هم نزدیک شده باشند (وضعیت ۲)، جابجایی هرکدام از آنها در سمت مخالف تا بیش از ۲۰۰ متر هم امکان‌پذیر است. مواردی از این قبیل، در شبکه استقرار ایستگاه‌های اپراتورها در شهر تهران وجود دارند (تصویر شماره ۱۳).



تصویر ۱۳. امکان جابجایی بیش از ۲۰۰ متر به دلیل جابجایی ایستگاه‌ها نسبت به محل اولیه در طرح

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع و کتاب شناسی

۱. شرکت ارتباط مشترک شهر، وابسته به شهرداری تهران، **اسناد و اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های BTS**

۲. شیعه، اسماعیل (۱۳۸۰) **مقدمه‌ای بر مبانی برنامه‌ریزی شهری**، انتشارات دانشگاه علم و صنعت، چاپ دهم.

۳. مرکز مطالعات برنامه‌ریزی شهری (۱۳۸۱) **معیارها و ضوابط ساماندهی صنایع و خدمات شهری؛ جلد اول، مبانی و مفاهیم پایه**، مهندسان مشاور فرنهاد، دفتر برنامه‌ریزی عمرانی وزارت کشور، انتشارات سازمان شهرداری‌های کشور.

4. Abdul-Rahman, Alias, Morakot Pilouk, 2008, "Spatial Data Modeling for 3D GIS", New York, Springer publication

5. Abou Chanab, Louay, et al., 2007, "Telecom Infrastructure Sharing: Regulatory Enablers and Economic Benefits", Booz Allen Hamilton, available at: http://www.booz.com/, access date: Mar 05, 2011

6. APA (American Planning Association), 2006, "Planning and Urban Design Standards", John Wiley & Sons, New York

7. Cheltenham Borough Local Plan, 2002, "Utilities Infrastructure", Second Review, first deposit

8. Darasha, Yazad, 2009, "Telecom operators in MEA can save up to $8bn by tower sharing", Emirates Business 24/7 2009, available at: www.zawya.com/, access date: Dec 04, 2010

9. Dattani R B, 2002, "Efficient Determination of Optimum Base Station Locations in Urban Areas", Advanced Telecommunications II (ECE-T612) Term Report, available at: www.pages.drexel.edu/, access date: Mar 07, 2011

10. FCC (Federal Communications Commission), "Telecommunications Act of 1996", available at: http://www.fcc.gov/telecom.html, access date: Mar 05, 2011

11. Fernback, Jan and Shaffer, Gwen, 2010 "Urban Planning Unplugged: How Wireless Mobile Technology Is Influencing Design Elements in Seven Major U.S. Cities", Communications of the Association for Information Systems: Vol. 27, Article 35., available at: http://aisel.aisnet.org/, access date: Feb 09, 2011

12. Global Legal Group, 2010, "The International Comparative Legal Guide to: Telecommunication Laws and Regulations" available at: http://www.glgroup.co.uk/, access date: Feb 04, 2011

13. GSM Association, 2004, "Base Station Planning Permission In Europe", Dublin, Ireland, available at: http://www.gsmeurope.org/, access date: Jan 25, 2011

14. Heine, Gunnar, 1998, "GSM Networks: Protocols, Terminology, and Implementation", Artech House, mobile communications library

15. Höglund, Kenth and Björn Ternby, 2003, "Co-siting solutions", Ericsson Review, No. 2, 2003, P 72-79

16. Industry Canada, 2004, "Report On: the National Antenna Tower Policy Review", Industry Canada Registration Number 54220B, available at: http://www.ic.gc.ca/ access date: Mar 01, 2011

17. Kansas City Planning Commission, 2008, "Telecommunications Ordinance", available at: www.wycokck.org/planning/, access date: Feb 04, 2011

18. Kirtner, Jody, Harry R. Anderson, Ph.D., P.E., 2008, "The Application of Land Use/Land Cover Data to Wireless Communication System Design", available at: http://www.EDX.com/, access date: Feb 10, 2011

19. NTA (Nepal Telecommunications Auhtority), 2010, "Consultation Paper on NTA Guideline on Erection of Antenna Structures and Protection from Non - Ionizing Radiation from Radio Base stations", available at: http://www.nta.gov.np/, access date: Jan 11, 2011

20. P. Bernardi, M. Cavagnaro, S. Pisa, and E. Piuzzi, 2000, "Human Exposure to Radio Base Station Antennas In Urban Environment", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 48, 11, pp. 1996-2002, November 2000.

21. Ratti C, Pulselli R M, Williams S, Frenchman D, 2006, "Mobile Landscapes: using location data from cell phones for urban analysis" Environment and Planning B: Planning and Design 33(5) 727 – 748

22. Talvitie, Juha, 2003, "The Impact Of Information And Communication Technology On Urban And Regional Planning", Helsinki University of Technology, Institute of Real Estate Studies

23. Theodore, S. Rappaport, 1996, "Wireless Communications: Principles & Practice", Prentice Hall, New Jersey

24. Townsend M., Anthony, 2000, "Life in the Real-Mobile Telephones and Urban Metabolism", Journal of Urban Technology, Vol. 7, No. 2., pp. 85-104.

25. http://www.gsmworld.com/, access date: Mar 20, 2011