University of Guilan

Urban Planning Knowledge

ISSN: 2645-5412

# The Role of Graph Theory in Street Network Analysis and Modelling: From Theory to Application, Case Study: the Worn-Out Texture of Rasht City

**Zahra Seife Reihani [1] and Aliakbar Salaripour [2,*]**

[1.] M. Sc. Student of urban planning, Department of Urban Planning, University of Guilan, Rasht, Iran
[2.] Assistant Professor, Department of Urban Planning, University of Guilan, Rasht, Iran

* Corresponding Author, salaripour@guilan.ac.ir

ARTICLE INFO

**UPK, 2021**
VOL. 5, Issue 3, PP, 213-237
Received: 02 Feb 2021
Accepted: 15 Jul 2021
Research article

**KEYWORDS:** Topology, Optimization, Worn-out tissues, resilience, Street network

ABSTRACT

**Background:** There are several approaches for modelling and representing the spatial network, but there is a lack of study about the relationship between the approaches. Thus, in the network modelling phase, researchers are often unaware of the diversity of approaches in other areas of urban research and pursue previous research in their field. Worn-out urban tissues are vulnerable to natural disasters due to low connectivity and difficult accessibility. In this regard, the geometric modification of the street network without clear prioritization will increase the costs of urban management and lead to low efficiency in the field of risk management.
**Objectives:** The present study tries to reduce travel distance, increase accessibility and connectivity by prioritizing different scenarios of interventions in the field of geometric modification after examining the theoretical fields of spatial network modelling and representation.
**Methodology:** To clarify the role and application of graph theory in network modelling, qualitative content analysis was used and then the re-blocking model was tested in one of the contexts of Rasht City. In this regard, complexity index (dual graph), topological optimization (relevant algorithm), geometric optimization (relevant algorithm and programming in Matlab software), centrality and connectivity (Space Syntax software) were measured.
**Results:** The results of the qualitative content analysis indicate that the use of the dual graph will be appropriate to determine the morphological features of the urban layout. The complexity index was 8 in the studied block, which was reduced to 2 through topological optimization. Using geometric optimization, the average travel distance was reduced from 17.4 to 10.68.
**Conclusion:** The findings of the present study can be considered in regeneration projects to create resilient areas.

**Highlights:**
Reducing the vulnerability of worn-out regions by designing resilient networks.
Investigating the changes by programming in MATLAB Software.

**Cite this article:**
Seife Reihani, Z. & Salaripour, A. (2021). The role of graph theory in street network analysis and modelling: from theory to application, case study: The worn-out texture of Rasht City. *Urban Planning Knowledge*, 5(4), 213-237.
doi: https://dx.doi.org/10.22124/upk.2021.18803.1611

ISSN: 2645-5412

# جایگاه نظریه گراف در تحلیل و مدل سازی شبکه ارتباطی: از نظریه تا کاربست، مطالعه موردی: بافت فرسوده شهر رشت [1]

**زهرا سیف‌ریحانی [1] و علی‌اکبر سالاری پور [2*]**

۱. کارشناسی ارشد شهرسازی-برنامه‌ریزی شهری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۲. استادیار گروه شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

* نویسنده مسئول: salaripour@guilan.ac.ir

**اطلاعات مقاله**

***دانش شهرسازی*، ۱۴۰۰**
دوره ۵، شماره ۳، صفحات ۲۱۳-۲۳۷
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۴
مقاله پژوهشی

**کلید واژه‌ها:** توپولوژی، بهینه سازی، بافت های فرسوده، تاب آوری، شبکه معابر

**چکیده**

**بیان مسئله:** برای مدل‌سازی و نمایش شبکه فضایی، رویکردهای متعددی وجود دارد، اما فقدان بررسی و مطالعه ارتباط میان رویکردها به چشم می‌خورد. بنابراین، در مرحله مدل‌سازی شبکه، محققان غالباً بی‌اطلاع از تنوع رویکردهای موجود در سایر زمینه های تحقیقات شهری، پژوهش‌های پیشین صورت‌گرفته در رشته خویش را در پی می‌گیرند. بافت‌های مسئله‌دار به دلیل اتصال‌پذیری پایین و دسترسی دشوار، در برابر سوانح طبیعی آسیب‌پذیر می‌باشند. دراین‌خصوص اصلاح هندسی شبکه معابر نیز، بدون اولویت‌بندی مشخص، سبب افزایش هزینه‌های مدیریت شهری و بازدهی کم در حوزه مدیریت ریسک خواهد شد.

**هدف:** پژوهش حاضر سعی بر آن دارد تا پس از بررسی زمینه‌های نظری مدل‌سازی و نمایش شبکه فضایی، از طریق اولویت‌بندی مداخلات در خصوص بازگشایی و اصلاح هندسی، منجر به کاهش فاصلهٔ سفر، افزایش دسترسی و اتصال‌پذیری شود.

**روش:** جهت روشن شدن نقش و کاربرد نظریه گراف در مدل‌سازی شبکه، از تحلیل محتوای کیفی بهره گرفته شد و سپس مدل بلوک‌بندی مجدد، در یکی از بافت‌های شهر رشت، مورد آزمون قرار گرفت. دراین‌خصوص شاخص پیچیدگی (گراف دوگان)، بهینه سازی توپولوژیکی (الگوریتم مربوطه)، بهینه سازی هندسی (الگوریتم مربوطه و برنامه نویسی در نرم افزار Matlab)، مرکزیت و اتصال پذیری (Space Syntax) مورد سنجش قرار گرفتند.

**یافته‌ها:** نتایج حاصل از تحلیل محتوای کیفی بیان می‌دارند که جهت تعیین ویژگی‌های مورفولوژیکی طرح شهری، مناسب خواهد بود تا از گراف دوگان استفاده شود. شاخص پیچیدگی در بلوک مورد مطالعه ۸ به دست آمد که از طریق بهینه سازی توپولوژیکی، این عدد به ۲ کاهش یافت. با به کارگیری بهینه سازی هندسی نیز میانگین فاصله سفر از ۱۷/۴ به ۱۰/۶۸ تقلیل پیدا کرد.

**نتیجه‌گیری:** یافته‌های پژوهش حاضر می توانند در طرح‌های بازآفرینی مورد توجه قرار گیرند تا نواحی تاب آور را پدید آورند.

**نکات برجسته:**

کاهش آسیب پذیری مناطق فرسوده با طراحی شبکه های تاب آور.

بررسی تغییرات توسط برنامه نویسی در نرم افزار Matlab.

[1] این مقاله برگرفته ار پایان‌نامه کارشناسی رشد زهرا سیف ریحانی با عنوان تجزیه‌وتحلیل ساختار شهری به‌منظور ارائه مسیرهای بهینه جهت امدادرسانی و تخلیه شهر (مطالعه موردی: شهر رشت)، به راهنمایی دکتر علی‌اکبر سالاری‌پور می‌باشد.

**ارجاع به این مقاله:** سیف ریحانی، زهرا و سالاری پور، علی اکبر. (۱۴۰۰). جایگاه نظریه گراف در تحلیل و مدل سازی شبکه ارتباطی: از نظریه تا کاربست، مطالعه موردی: بافت فرسوده شهر رشت. *دانش شهرسازی*، ۵(۴)، ۲۱۳-۲۳۷. doi: https://dx.doi.org/10.22124/upk.2021.18803.1611

## بیان مسئله

امروزه غالب جمعیت جهان در نواحی شهری زندگی می‌کنند و پیش بینی می‌شود که تا سال ۲۰۵۰، تقریبا ۷۰ درصد جمعیت جهان، نواحی شهری را اشغال خواهند کرد (اماراتونگا، سریداران و هایگ[1]، ۲۰۱۹). تعداد قابل توجهی از مهاجران از شهرها و روستاهای اطراف به علت پایین بودن قیمت زمین و مسکن در نواحی فرسوده و ناکارآمد شهر رشت، به این نواحی درونی و بافت های فرسوده و تاریخی روی می‌آورند که این امر موجب افزایش روزافزون تراکم در این بافت‌ها می‌شود. تعداد بالای بن‌بست‌ها، کم عرض بودن معابر، توزیع نامناسب مسیرها، عدم دسترسی مناسب به برخی از ساختارها، تعداد کم تقاطع‌ها و ... از جمله ویژگی های رایج مناطق مسئله‌دار و ناکارامد محسوب می‌گردند (فولادی و سالاری‌پور، ۱۳۹۹). علاوه بر این، سوانح طبیعی به عنوان چالش‌های حیاتی، نواحی شهری را تهدید می‌نمایند. برای مثال قسمت قابل توجهی از شهر رشت در ناحیه ی مستعد زلزله قرار گرفته است (شکل ۱) که در نتیجه، تراکم قابل توجه، ساختار ناکارآمد و آسیب پذیری بالا در برابر بحران‌هایی مثل زلزله، در این گونه بافت‌های شهری، فراهم سازی طرح‌ها و عملیات از پیش تعیین شده را ضروری و الزامی می‌نمایند (میشیما، میاموتو، تاگوچی، کیتاگاوا، اوه و پارک[2]، ۲۰۱۳) (زالی، احمدی و فاروقی[3]، ۲۰۱۳). در کشورمان پروژه ها و طرح های بسیاری برای احیا و بازآفرینی بافت‌ها تهیه شده‌اند اما به دلیل پیروی از طرح جامع، فقدان مدیریت یکپارچه، انعطاف ناپذیری و عدم وجود مشارکت عمومی و ... به نحو مطلوب به مورد اجرا گذاشته نشده‌اند (سالاری‌پور، مهرجو و خیل‌کردی، ۱۳۹۸)

با در نظر گرفتن مسائل و مشکلات مطرح شده، شهرها به ویژه بافت‌های ناکارآمد، باید تاب‌آوری خود را در برابر بحران‌ها افزایش دهند چرا که مسئولیت و وظیفه‌ی خطیری را در خصوص ایمنی و سلامتی ساکنانی که روز به روز در حال افزایش هستند، دارند (سالاری‌پور، بابایی و رفیع‌زاده ملک‌شاه، ۱۳۹۶). به عبارتی می‌بایست در جهت توسعه‌ی پایدار، گام‌های مثبتی برداشته شده و برای دستیابی به این هدف، شهرداری‌ها بایستی نسبت به تهیه‌ی طرح اجرایی مناسب اقدام نمایند. هدف بهینه سازی و طرح‌های اصلاح هندسی، تخریب و از بین بردن هویت نواحی تاریخی نیست بلکه این رویکرد صرفا سعی بر آن دارد تا، تاب‌آوری را افزایش داده و خطرات و آسیب‌های احتمالی ناشی از بحران‌ها را کاهش دهد.

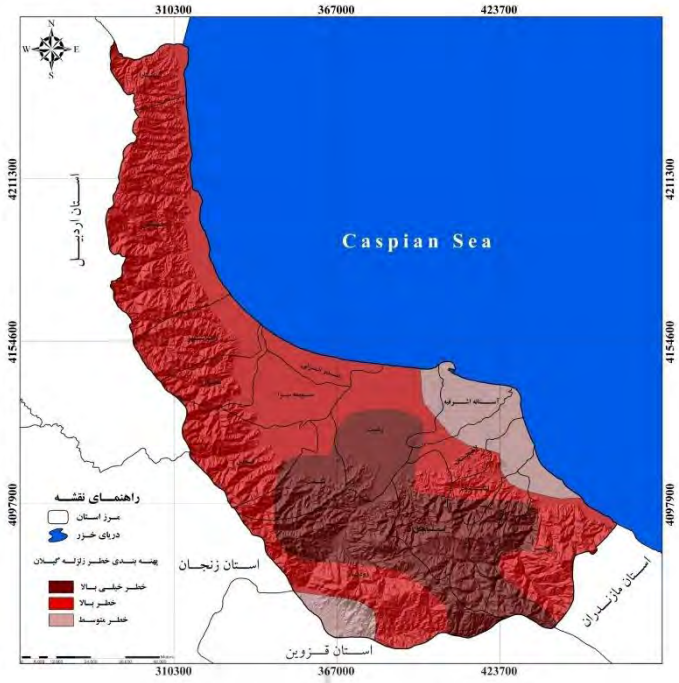
به‌کاربردن این راهکارها و ادغام آنها با نظرات ساکنان، می‌تواند منجر به ایجاد بافت‌های پایدار در شهر گردد. فرم فیزیکی شهرها تأثیر قابل‌توجهی روی تاب‌آوری شهرها دارد تا بتوانند در برابر پیامدهای ناشی از سوانح مقاومت نمایند. شبکه‌های ارتباطی به‌عنوان عناصر اصلی فرم شهری، نقش کلیدی و حساسی را در افزایش تاب‌آوری شهرها ایفا می‌نمایند، چراکه به عنوان استخوان بندی حیاتی شهرها تلقی می‌شوند. علاوه بر این آنها دسترسی به سیستم‌ها و انجام عملیات نجات را بلافاصله بعد از وقوع بحران و در طول فرایندهای بازسازی فراهم می‌کنند (آیدین، دوزگون، هاینیمن، ونزل و گنیاولی[4]، ۲۰۱۸)

برای مدل‌سازی و نمایش شبکه فضایی به‌منظور حل مسئله شهری فوق، رویکردهای متعددی وجود دارد اما فقدان ارتباط میان رویکردها، دشوار شدن ویژه سازی اصطلاحات هر رویکرد و تعیین مرزهای آن‌ها از نظر روش‌شناختی را پدید می‌آورد. بنابراین امکان پدیدارشدن نتایج تکراری، متناقض یا غیرقابل‌مقایسه وجود دارد.

در مطالعات اخیر، مدل شبکه غالب، به این صورت بوده که تقاطع‌های خیابانی به‌عنوان راس گراف و بخش‌های خطی خیابان به‌عنوان لبه‌های آن در نظر گرفته شده‌اند. بنابراین در مرحله مدل‌سازی شبکه، محققان غالباً بی‌اطلاع از تنوع رویکردهای موجود در سایر زمینه‌های تحقیقات شهری، پژوهش‌های پیشین صورت‌گرفته در رشته خویش را در پی می‌گیرند. لذا تجزیه‌وتحلیل رویکردهای موجود در هر رشته و روشن شدن روابط میان آن‌ها، می‌تواند فرصت‌هایی را برای توسعه جامع‌تر و مؤثرتر مطالعات شبکه خیابانی فراهم آورد.

---

1 Amaratunga, Sridarran & Haigh,
2 Mishima, Miyamoto, Taguchi, Kitagawa, Oh & Park
3 Zali, Ahmadi & Faroughi
4 Aydin, Duzgun, Heinimann, Wenzel, & Gnyawali




*شکل ۱.* پهنه بندی تهدید زلزله در استان گیلان
برگرفته از: سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان گیلان (۱۳۹۱)

## مبانی نظری

شبکه‌های ارتباطی طی ۵۰ سال گذشته به یکی از موضوعات موردعلاقه در سطح جهان تبدیل شده‌اند و به دلیل اینکه بسیاری از فرایندها و عملیات شهری را پشتیبانی می‌کنند، موردتوجه برنامه‌ریزان شهری، معماران، جغرافی‌دانان، روان‌شناسان محیطی و اخیراً فیزیک‌دانان شده‌اند. مطالعات شبکه ارتباطی شامل بررسی ساختار شبکه، اتصال‌پذیری، مرکزیت، سلسله‌مراتب، تیپولوژی و تکامل است. کثرت رویکردها و اهداف علمی، نشان از اهمیت علمی این حوزه در رشته‌های مختلف دارد (زالی[1]، ۲۰۱۳). مطالعات کمی و محاسباتی در حوزه شبکه‌های ارتباطی، عمدتاً از روش‌های مبتنی بر نظریه گراف و علم شبکه استفاده می‌کنند. همان‌طور که باتس اشاره می‌نماید انتخاب شیوه مناسب برای ارائه و نمایش یک پدیده در قالب گراف و شبکه، برای دستیابی به نتیجه صحیح، امری کلیدی است. گراف‌ها می‌توانند واقعیت فیزیکی موجود (محیط‌های خیابانی) را از طریق خلاصه‌سازی و جداسازی به نمایش بگذارند. محققان با به‌کارگیری گراف‌ها برای نمایش ساده شبکه ارتباطی، به جداسازی عناصر اصلی پژوهش (نمونه مطالعاتی) می‌پردازند و روابط میان آن‌ها را شناسایی می‌کنند. به عبارتی گره‌ها (عناصر اصلی پژوهش) و لبه‌ها (روابط میان عناصر) در گراف مشخص می‌شوند. این مرحله، مدل‌سازی شبکه نامیده می‌شود که قاعدتاً در یک مدل بزرگ‌تر تعبیه شده است (مارشال، گیل، کروپف، تومکو و فیگوئیردو[2]، ۲۰۱۸). ارتباط متقابل از طریق پیوندهایی که عناصر مختلف را به یکدیگر متصل می‌کنند، نمایش داده می‌شود که در مطالعات سیستم‌های پیچیده، یک مفهوم اساسی و کاربردی است. به‌عنوان‌مثال، دوستان از طریق پیوندهای دوستی به هم متصل می‌شوند حال‌آنکه شهرها از طریق شبکه راه‌آهن و غیره به یکدیگر اتصال پیدا می‌کنند. به‌طورکلی هر موجودیت (شهر، شخص، سلول) از طریق طیف گسترده‌ای از مؤلفه‌ها می‌تواند به موجودیت‌های دیگر متصل شود: ایدئولوژی مشترک، مجاورت فیزیکی، ژن‌هایی مشترک، دوستی و غیره. باتوجه‌به کاربرد مدل‌سازی شبکه در سیستم‌های پیچیده (شهر)، ابتدا به تعریف مفهوم پیچیدگی می‌پردازیم (واسیلیاسکایت و رساس[3]، ۲۰۲۰) (زالی، ربانی و موتی[4]، ۲۰۱۵).

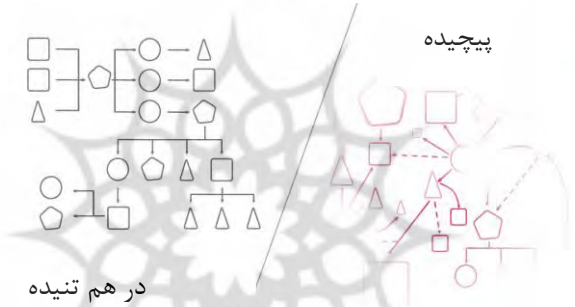
---
[1] Zali
[2] Marshall, Gil, Kropf, Tomko, & Figueiredo
[3] Vasiliauskaite, & Rosas
[4] Zali, Rabbani & Motti

## پیچیدگی

سیستم‌های شهری از جمله سیستم‌های پیچیده تلقی می‌شوند به‌گونه‌ای که مدل‌سازی شبکه مسیر نیز عموماً سعی در ساده‌سازی چنین سیستم‌های پیچیده‌ای دارد. لذا در این قسمت درک مفهوم پیچیدگی و تبیین مرزهای آن با مفاهیم مشابهی همچون درهم‌تنیدگی، موردتوجه خواهد بود.

## پیچیدگی‌ها و درهم‌تنیدگی

تمایز قائل شدن میان دو واژه پیچیده[1] و درهم‌تنیده[2] ضروری به نظر می‌رسد (شکل ۲). سیستم‌های درهم‌تنیده به سیستم‌هایی اطلاق می‌شوند که مجموعه‌ای از بخش‌های قابل‌درک هستند. به عبارتی مجموعهٔ اعضا، سیستم‌های درهم‌تنیده را شکل می‌دهد. اما سیستم‌های پیچیده سیستم‌هایی می‌باشند که روابط و تعاملات میان اعضا را نیز در نظر می‌گیرند. به عبارتی به ویژگی‌های برآمده ناشی از کنش‌های میان اعضا توجه می‌کنند. درگذشته، مدل‌های مدیریت ریسک، سیستم‌های درهم‌تنیده را به‌جای سیستم‌های پیچیده در نظر می‌گرفتند. اما این نگرش آسیب‌رسان بوده و به‌تدریج در جهان شبکه‌ای شده منسوخ شده است (مکگلید، بنکوف، ابراهامز، کوپرناک، کوتکچیا، دسانکر و هیرچ[3]، ۲۰۱۹). محققان، اخیراً سیستم‌های پیچیده را به‌عنوان جنبه مهمی برای تجزیه‌وتحلیل شهر لحاظ می‌کنند چرا که عملکرد و تاب‌آوری شهری به تئوری پیچیدگی بستگی دارد (بوئینگ[4]، ۲۰۱۸).




شکل ۲. *پیچیدگی و درهم تنیدگی*

*شکل ۳:* ظهورگرایی و تقلیل گرایی
برگرفته از: واسیلیاسکایت و رساس (۲۰۲۰)

[1] Complex
[2] Complicated
[3] McGlade, Bankoff, Abrahams, Cooper-Knock, Cotecchia, Desanker, & Hirsch
[4] Boeing

## پیچیدگی و تقلیل‌گرایی

مفهوم تقلیل‌گرایی بخش بزرگی از علم معاصر را تحت سیطره خویش درآورده است. به‌گونه‌ای که مسائل دشوار را از طریق تقسیم آن‌ها به مسائل سهل‌تر، مطالعه و بررسی می‌نماید. رویکردهای تقلیل گرایانه به هنگام مطالعه یک سیستم چندعاملی، ابتدا بر درک ماهیت و خواص هر عامل به طور جداگانه تمرکز کرده و سپس بررسی می‌کنند که عوامل چگونه نسبت به یکدیگر عمل می‌کنند. گرچه تقلیل‌گرایی نتایج مطلوبی را در طیف وسیعی از سناریوها فراهم آورده است، اما در تعدادی از مسائل مهم، ناکارآمدی آن اثبات شده است. به‌عنوان‌مثال، محققانی بر این باورند که حل تعدادی از مسائل مهم اجتماعی و اقتصادی دنیای مدرن از جمله تغییرات آب‌وهوایی و نابرابری ثروت، با رویکردهای تقلیل‌گرایانه امکان‌پذیر نیست. علم پیچیدگی، دیدگاهی را ارائه می‌دهد که مکمل تقلیل‌گرایی است (شکل ۳). در واقع، درحالی‌که تقلیل‌گرایی ابتدا عامل‌ها و سپس تعاملات آنها را مطالعه می کند، علم پیچیدگی ابتدا الگوهای فعل‌وانفعالات (تعاملات) را در نظر می‌گیرد سپس سعی می‌کند تا عوامل را به‌صورت جداگانه درک نماید. شکل (۳)، یک شبکه یا سیستم چندعاملی را نمایش می‌دهد که پیکان‌های قرمز و آبی‌رنگ به ترتیب نشان‌دهنده تقلیل‌گرایی و ظهورگرایی می‌باشند. تقلیل‌گرایی مطابق با پیکان قرمز است که از عوامل منفرد شکل می‌گیرد. ظهورگرایی با پیکان آبی نشان‌داده‌شده است که با درنظرگرفتن الگوهای فعل‌وانفعالات جمعی شروع می‌شود و پس از آن سعی بر آن دارد تا جنبه‌های خاص سیستم (عامل‌ها) را درک نماید (واسیلیاسکایت و رساس، ۲۰۲۰).

## شبکه و عناصر اصلی آن

یک شبکه (مدل ترسیمی/گراف) اغلب به‌خودی‌خود یک شیء نیست، بلکه راهی برای نمایش یک سیستم است. محقق همواره بایستی این مسئله را موردتوجه قرار دهد که آیا مدل‌سازی سیستم مدنظر به‌عنوان یک شبکه، منطقی است یا خیر. شبکه‌ها روشی برای توصیف سیستم‌های متشکل از واحدهای فرعی (عامل‌ها) هستند. به‌گونه‌ای که وابستگی متقابل میان واحدهای فرعی را به تصویر می‌کشند. در واقع از طریق خلاصه‌سازی و جداسازی، چنین شبیه‌سازی از واقعیت موجود رخ می‌دهد. همان‌طور که یک نقشه برای تمرکز بر ویژگی‌های خاص موردتوجه، از بسیاری از جنبه‌های جغرافیایی و سرزمینی چشم‌پوشی می‌کند، یک شبکه نیز بیشتر غنای واحدهای فرعی (عامل‌ها) سیستم را می‌گیرد و فقط ساختار وابستگی متقابل آن‌ها را حفظ می‌کند. شبکه‌ها این امکان را فراهم می‌کنند تا خصوصیات جمعی این وابستگی‌ها بررسی شود (واسیلیاسکایت و رساس، ۲۰۲۰).

شبکه مجموعه‌ای از راس‌ها و لبه‌ها است: یک راس (گره) نشان‌دهنده یک واحد فرعی خاص از سیستم است و لبه‌ها، واحدهای فرعی / راس‌هایی را که با یکدیگر در تعامل هستند، به یکدیگر متصل می‌کنند. ازاین‌رو شبکه‌ها روابط دوجانبه بین اشیا را به تصویر می‌کشند. به‌طورکلی هر راس دارای یک هویت منحصربه‌فرد است، اما ساختار داخلی دیگری ندارد. بسیاری از تجزیه و تحلیل‌ها از یک مجموعه داده شروع می‌شوند، که به خودی خود فاقد هرگونه نمایش شبکه‌ای است. بنابراین، وظیفه اساسی محقق بدین شرح است که گره‌ها و معیار رابطه را برای ایجاد لبه‌ها تعیین کند. کاهش داده‌هایی که هنگام ایجاد نمایش شبکه اتفاق می افتد، منجر به از دست رفتن اجتناب ناپذیر اطلاعات می‌شود. برای بدست آوردن نمایشی ساده از وابستگی متقابل در داده‌ها، بایستی از دست رفتن اجتناب ناپذیر اطلاعات را پذیرفت. شبکه‌ها در ریاضیات تحت عنوان گراف‌ها مطالعه می‌شوند. تئوری گراف شاخه‌ای از ریاضیات محض است که مربوط به خصوصیات عمومی گراف‌ها است. علم شبکه، ماورای نظریه گراف ساخته می‌شود و دامنه آن را با دربرگرفتن روش‌ها و رویکردهای فیزیک آماری بسیار گسترش می‌دهد. پایه ای ترین نوع شبکه ای که تاکنون توصیف شده است، بدین شرح می‌باشد: فقط یک نوع گره وجود دارد و اتصالات بین گره‌ها باینری است: یک لبه یا وجود دارد یا وجود ندارد. با این حال، در برخی شرایط محقق ممکن است تمایل داشته باشد تا مدل‌های پیچیده‌تر و پیشرفته تری را به کار گیرد که قابلیت تغییرپذیری و انعطاف پذیری بیشتری را فراهم می‌کنند. به عنوان مثال، پژوهشگر می‌تواند مقادیری را به لبه‌های شبکه اختصاص دهد و یک شبکه وزنی بدست آورد. وزن یک لبه نشان دهنده قدرت آن است: هرچه وزن بزرگتر باشد، اتصال بین گره‌ها قوی‌تر است. علاوه بر این، می‌توان علامتی را به این مقادیر اختصاص داد و یک شبکه علامت دار ایجاد کرد که لبه‌های آن می توانند وزن مثبت یا منفی داشته باشند. به همین ترتیب، تعیین جهت به لبه‌ها باعث ایجاد شبکه جهت‌دار می شود. به علاوه، اگر محققی بخواهد روابط غیر باینری بین گره‌ها را توصیف کند، می‌تواند از ابرگراف استفاده کند. در چنین شبکه‌ای، یک لبه بیش از دو گره را به هم متصل می‌کند. برچسب ها و دسته ها می‌توانند به گره‌ها اضافه شوند. به عنوان مثال، شبکه‌های دو بخشی دقیقاً از دو نوع گره تشکیل شده‌اند، به گونه ای به هم متصل گردیده‌اند که لبه‌ها فقط می‌توانند بین گره‌های نوع‌های مختلف وجود داشته

باشند. شبکه‌های چندلایه، تعمیم شبکه‌های دو بخشی است که در آنها چندین نوع گره وجود دارد. سرانجام، پژوهشگر می‌تواند مکانی را به گره‌ها (و لبه‌ها) اختصاص دهد و یک شبکه فضایی بدست آورد. تعریف شبکه بسیار تغییرپذیر و انعطاف پذیر است. بنابراین این رویکرد، محقق را قادر می‌سازد تا طیف گسترده‌ای از سیستم‌های واقعی را مدل‌سازی کند (واسیلیاسکایت و رساس، ۲۰۲۰).

## شبکه‌های شهری

قبل از بررسی این مسئله که شبکه‌های شهری چگونه می‌توانند در مطالعات شهری مورداستفاده قرار گیرند و مفید واقع شوند، ضروری است تا دقیقاً مشخص گردد که شبکه شهری چیست. یک شبکه از گره‌ها و لبه‌ها (پیوندهای میان آن‌ها) تشکیل شده است. یک پدیده انتزاعی است که اغلب به‌صورت گراف ریاضی یا ماتریس بیان می‌شود و فقط در صورت تعریف گره‌ها و لبه‌ها معنی می‌یابد. در یک شبکه اجتماعی، گره‌ها اغلب افراد هستند و لبه‌ها می‌توانند نشان‌دهنده دوستی یا ارتباط باشند، درحالی‌که در یک شبکه حمل‌ونقل ممکن است گره‌ها مکان‌های مشخص یا تقاطع باشند و لبه‌ها مسیرهای ممکن بین آنها را نشان دهند، و در شبکه جهانی‌سازی اقتصادی، گره‌ها شهرهای بزرگ بوده و لبه‌ها معمولاً مبادلات مالی میان آن‌ها می‌باشند. واضح است که شبکه ها بسیار انعطاف‌پذیر و تغییرپذیر بوده و می‌توانند برای توصیف طیف گسترده‌ای از پدیده‌های شهری استفاده شوند (نیل، درودر و لیو[1]، ۲۰۲۱).

یکی از ویژگی‌های کلیدی یک شبکه شهری، مقیاس آن است که ماهیتاً در غالب موارد، فضایی است و ازاین‌جهت که مجموعه گره‌های موجود در شبکه را تعیین می‌کند، اهمیت دارد. تولین، ولکی و لانسی[2] (۲۰۲۱) تعاملات بین ساکنان محله‌های هلند را مطالعه نمودند. در واقع آن‌ها در یک شبکه شهری در مقیاس محله متمرکز شدند که در آن، گره‌ها، افرادی هستند که در این محله زندگی می‌کنند. در نقطه مقابل، ژانگ و چن[3] (۲۰۲۱) روابط خریدار و تأمین‌کننده را در بین شرکت‌ها در صنعت فرهنگی چین مطالعه کردند و در حقیقت بر روی یک شبکه شهری در مقیاس جهانی متمرکز شدند که در آن گره‌ها، شرکت‌ها می‌باشند.

دومین ویژگی اصلی یک شبکه شهری، محتوای آن است که آنچه را که از لبه‌ها عبور می‌کند یا از طریق آن منتقل می‌شود را توصیف می‌کند. وانگ، لیزاردو و هاچن[4] (۲۰۲۱) مجموعه گسترده‌ای از تماس‌های تلفنی در اسپانیا را بررسی نمودند. ازآنجاکه از بحث‌های صورت‌گرفته در مکالمات، آگاهی نداشتند، نمی‌توانستند در خصوص نوع رابطه (دوستی، دشمنی و ...) تحلیل نمایند. اما حداقل با یک شبکهٔ ارتباطی روبه‌رو بودند. در مقابل، با مطالعه روابط بین مربیان و تعلیم دیدگان، اندریس، لیو، میتچل، آدویر و وان کلیو[5] (۲۰۲۱) شبکه‌ای را بررسی کردند که محتوای آن ظرافت بیشتری دارد: دوستی و یادگیری بین‌نسلی. در این مثال‌ها، گره‌ها افراد هستند و محتوا، نوع رابطه بین آن‌ها را در بر می‌گیرد. بااین‌حال، در مورد شبکه‌های حمل‌ونقل شهری، مردم خود، محتوای شبکه هستند. به‌عنوان‌مثال، کارپیو-پیندو[6] (۲۰۲۱) نحوه حرکت امروزهٔ مردم از طریق سیستم حمل‌ونقل مادرید را بررسی کرد، درحالی‌که ناروائز زرتوچ و داویس[7] (۲۰۲۱) چگونگی حرکت مردم در خیابان‌های محله‌های شردیچ[8] و فیتزرویا[9] را در قرن ۱۹ بررسی نمودند. وضوح در مورد مقیاس و محتوای شبکه‌های شهری به دو دلیل اهمیت دارد. اول اینکه، آن‌ها بیان می‌دارند که شبکه چیست. محقق باید بداند که گره‌های شبکه نمایانگر چه چیزی هستند (مقیاس) و لبه‌های آن چه چیزی را به نمایش می گذارند (محتوا) تا بتواند دریابد که شبکه چه معنایی را در بردارد. دوم اینکه، مقیاس و محتوا می‌توانند بیان دارند که شبکه شهری می‌تواند برای درک چه مسئله‌ای مفید باشد. به‌عنوان‌مثال، یک شبکه در مقیاس محلی در میان مردم (گره‌ها) و دوستی آنها (لبه‌ها) ممکن است برای درک چگونگی شکل گیری دلبستگی به جامعه و انسجام اجتماعی مفید باشد، اما برای درک ظهور شهرهای

---

1 Neal, Derudder, & Liu
2 Tulin, Volker, & Lancee
3 Zhang, & Chen
4 Wang, Lizardo, & Hachen
5 Andris, Liu, Mitchell, O'Dwyer, & Van Cleve
6 Carpio-Pinedo
7 Narvaez Zertuche, & Davis
8 Shoreditch
9 Fitzrovia

جهانی، کمتر مفید خواهد بود که در آن یک شبکه در مقیاس جهانی در بین شهرها (گره‌ها) و مبادلات اقتصادی آن‌ها (لبه‌ها) می تواند مفیدتر باشد (نیل و همکاران، ۲۰۲۱).

## مدل‌سازی شبکه‌های ارتباطی

شبکه‌های حمل‌ونقل یک دسته برجسته‌ای از شبکه‌های موردمطالعه در ادبیات هستند. یک شبکه معین به‌طورکلی مجموعه‌ای از عناصر و روابط بین آنها در نظر گرفته می‌شود، شبکه حمل‌ونقل یک شبکه فضایی از عناصر خطی متصل است که یا به‌صورت حضور پایدار در فضا، مانند شبکه‌های جاده‌ای و ریلی، یا به شکل شبکه‌ای از مسیرهای دوره‌ای بین مبدأ و مقصد تثبیت شده در فضا، مانند خطوط هوایی و شبکه‌های کشتی‌رانی می‌باشد. تمرکز مدل‌ها، بر مسیرهای خطی حرکت از A به B و هزینه‌های مربوط به این حرکت است (به‌عنوان‌مثال زمان، انرژی، مالی). در معمول‌ترین شبیه‌سازی گرافی، گره‌ها در یک شبکه حمل‌ونقلی به طور معمول نشان‌دهنده سکونتگاه‌ها (مانند کل شهرها، مناطق یا هر نوع مبدأ یا مقصد دیگر)، مکان‌های جداگانه اتصال یا دسترسی (تقاطع‌های غیر هم‌سطح، تقاطع‌ها، ایستگاه‌ها) یا هر نقطه انتقال یا خاتمه (شامل بن‌بست‌ها، نقاط مرزی شبکه) هستند. لینک‌ها نشان‌دهنده مسیرهای حرکت (اعم از زیرساخت فیزیکی ثابت و پایدار یا مسیرهای دوره‌ای از طریق هوا یا آب) بین آن گره‌ها می باشند. مدل‌سازی شبکه‌های حمل‌ونقلی به‌عنوان گراف زمانی که یک شباهت هندسی بین ویژگی‌های جغرافیایی و عناصر گراف وجود دارد، یک تفسیر و برگردان معمول است. گره‌های شبکه را می‌توان به‌راحتی به‌عنوان رئوس گراف و پیوندهای خطی را به‌عنوان لبه‌های گراف نشان داد. اما این تنها ارائه و نمایش ممکن نیست. معبر عبارت است از یک مسیر یا شریان ساخته شده یا مشخص شده به شکل کالبدی که وظیفه آن انتقال جریان حرکت انسان و وسایل نقلیه است. اتصال‌پذیری شبکه ارتباطی از طریق تقاطع‌ها، گره‌هایی که ممکن است رویدادهایی در آن‌ها رخ دهد، تضمین می‌شود: تغییر جهت یا تداخلات جریان حرکت که برای جلوگیری از تصادفات نیاز به مدیریت دارد. از این منظر، یک شبکه خیابانی شهری به‌سادگی یک شبکه مسیر در یک ناحیه شهری است. یک خیابان را می‌توان به‌عنوان یک عنصر خطی، مدل‌سازی کرد که مسیر حرکت، از یک انتها به سر دیگر را، فراهم می‌کند. بااین‌حال، در مطالعات شهری، نقش خیابان‌ها بسیار جامع‌تر درک می‌شود. با نگاه گسترده‌تر، یک خیابان فقط یک عنصر خطی نیست، بلکه ممکن است دربردارندۀ زندگی شهری، بازتاب و بیان جامعه مدنی باشد. یک معبر، تجمع بخش‌های خیابانی است. یک کلیت فضایی که به بخش‌های پی‌درپی خیابانی یا خطوط محوری تقسیم می‌شود. یکی از ویژگی‌های اساسی معابر شهری، تداوم آنهاست به‌طوری‌که یک معبر به طور منظم از طریق تقاطع‌ها تداوم می‌یابد. در واقع حضور و هویت متداوم معبر است که بر عملکرد و استفاده شدنش توسط مردم تأثیر می‌گذارد. بنابراین می‌توان بین معابر اصلی (سرتاسری) و خیابان‌هایی که از طریق تقاطع‌ها به یکدیگر متصل شده‌اند، تمایز قائل شد. در واقع مسیرهای حرکت می‌توانند از نظر تعداد تقاطع‌های میانی متمایز گردند. درصورتی‌که این وجه تمایز، معمولاً در مطالعات پیشین، نادیده انگاشته می‌شد (مارشال و همکاران، ۲۰۱۸).

## نمایش گرافی شبکه‌های ارتباطی

برای استفاده از الگوریتم‌های تجزیه‌وتحلیل شبکه بر روی یک مدل شبکه ارتباطی، باید آن را به نمایش گراف تبدیل کرد (شکل ۶). یک نمایش ریاضی متشکل از رئوس که توسط لبه‌های باردار شده با وزن‌ها یا برچسب‌ها به یکدیگر متصل شده‌اند، که می‌توانند جهت‌دار یا غیر جهت‌دار باشند. نمایش گره‌ها و پیوندهای یک شبکه حمل‌ونقل (شکل ۶، e) به ترتیب به‌صورت راس‌ها و لبه‌های یک گراف (شکل ۶، f)، نمایش گرافی غالب شبکه خیابانی است. این گراف توسط استدمن[1] (۲۰۰۴) به عنوان نمایش "گره–پیوند" شناخته می‌شود. در واقع برای مدل شبکه ارتباطی و نمایش گراف از یک مفهوم استفاده می‌کند زیرا تبدیل از یکی به دیگری بسیار مستقیم و شهودی است. با این حال، از آنجا که هر گرافی می‌تواند به عنوان نمایش "گره–پیوند" تفسیر شود، پیشنهاد می‌شود که (شکل ۶، f)، گراف تقاطع نامیده شود. همانطور که در شکل (۶) مشخص می‌باشد، ضرورتی ندارد که نمایش گرافی، مسیرهای خطی حرکت را با لبه‌های گراف برابر کند. تجزیه و تحلیل شبکه ارتباطی، ممکن است خیابان‌ها را به عنوان عناصر اصلی مطالعه در نظر بگیرد و آن‌ها را به عنوان رئوس یک گراف نشان دهد، در حالی که اتصالات بین خیابان‌ها (به عنوان مثال تقاطع‌های غیر هم سطح یا تقاطع‌ها) به لبه‌های گراف مربوطه تبدیل شوند. این بازنمایی، به همان اندازه منطقی و شهودی به نظر می‌رسد. از این گراف می‌توان به عنوان گراف بخش–خیابان نام برد (شکل ۶، h). به طور مشابه، یک شبکه ارتباطی می

[1] Steadman

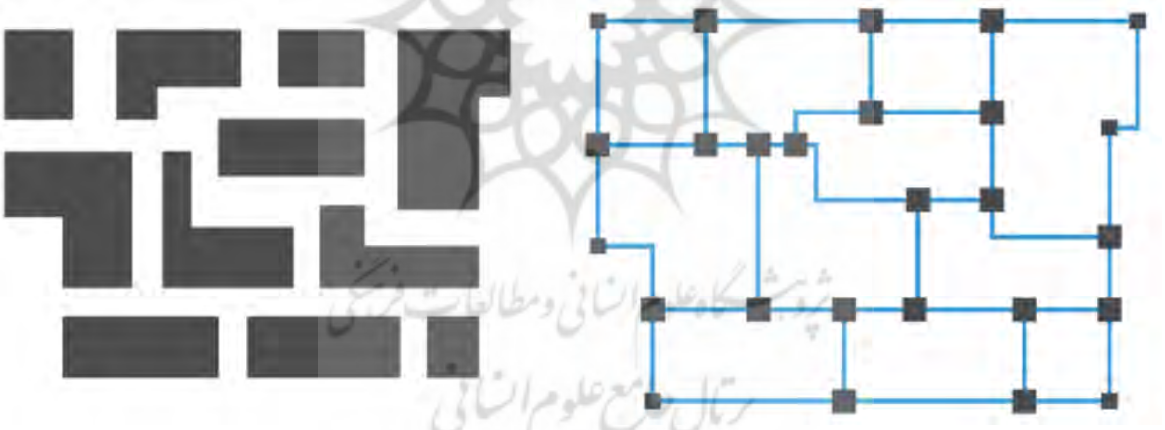
تواند توسط یک نقشه محوری (شامل خطوط محوری، شکل ۶، i) نمایش داده شود که در آن خطوط محوری با رئوس گراف نشان داده شده، در حالی که تقاطع‌های بین خطوط محوری با لبه‌ها نشان داده می‌شوند (شکل ۶، j). مدل شبکه دیگری که در شکل نمایان است، دارای گراف مربوطه می‌باشد (شکل ۶، k). هنگام استفاده از مدل شبکه ارتباطی گره و پیوند، می‌توان وزن‌هایی را از هندسه شبکه استخراج کرد و آنها را به لبه‌های گراف اختصاص داد. در مورد گراف تقاطع، این وزن به طور معمول طول لینک‌ها است. در مورد گراف بخش–خیابان، این وزن می‌تواند انحراف زاویه‌ای معابر باشد که در یک تقاطع اتفاق می‌افتد یا مجموع نصف طول هر لینک است (مارشال و همکاران، ۲۰۱۸).

## انواع گراف و کاربرد آن در مدلسازی شبکه

نمایش غالب مدل‌های شبکه ارتباطی در قالب گراف (پیوندها به عنوان لبه ها، گره ها به عنوان رأس) به عنوان نمایش اولیه شناخته می‌شود، در حالی که حالت جایگزین (خیابان‌ها به عنوان رئوس، تقاطع‌ها به عنوان لبه‌ها) به عنوان گراف دوگان مدل شبکه ارتباطی نامیده می‌شود. در حقیقت جایگاه گره‌ها و لبه‌ها در دو حالت مذکور کاملا برعکس یکدیگر می‌باشد (مارشال و همکاران، ۲۰۱۸).

## گراف اولیه

این نوع گراف، تطابق ابعاد موجودیت‌های فیزیکی (کالبدی) و ابعاد پدیده های انتزاعی گراف را حفظ می کند به عبارتی موجودیت های شهری صفر بعدی مانند تقاطع خیابان‌ها به عنوان پدیده‌های گرافی صفر بعدی (گره‌ها) و موجودیت‌های شهری یک بعدی مانند خیابان‌ها به پدیده‌های گرافی یک بعدی (لبه‌ها) تعبیر می‌شوند. به دلیل این تطابق مستقیم بین موجودیت های فیزیکی و پدیده‌های انتزاعی، این شکل از بازنمایی فضای شهری به عنوان نمایش گراف اولیه تعریف می‌شود. شکل (۴) گراف اولیه یک فضای شهری را نمایان می‌سازد (آگریزکو، الیور، تورتوسا و ویسنت[1]، ۲۰۱۷).

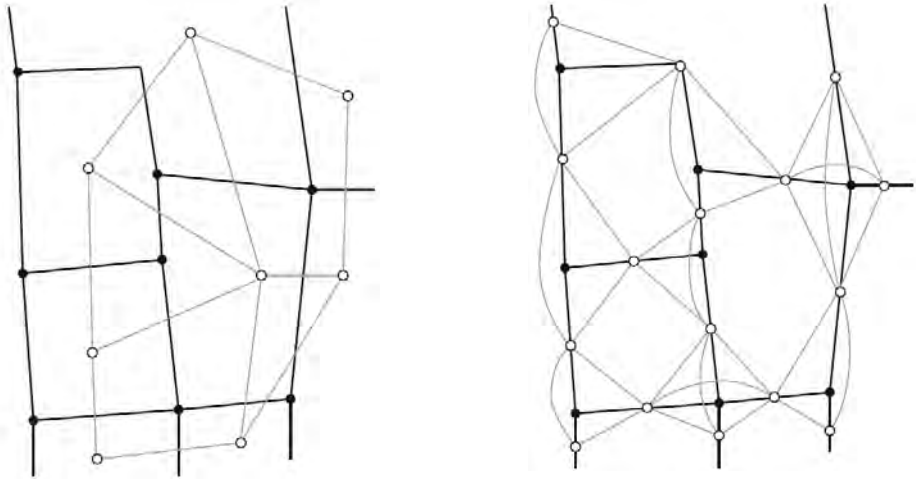


*شکل ۴*. گراف اولیه
برگرفته از: آگریزکو و همکاران (۲۰۱۷)

## گراف دوگان

رویکرد گراف دوگان، مدل دیگری برای نمایش شبکه‌های فضایی است. موجودیت‌های یک بعدی گراف اولیه به موجودیت‌های صفر بعدی گراف دوگان و پدیده‌های صفر بعدی گراف اولیه به پدیده‌های یک بعدی گراف دوگان تبدیل می شوند. به عبارت دیگر، لبه‌های گراف اولیه به گره‌های گراف دوگان تبدیل می‌شوند و برعکس، گره‌های گراف اولیه به لبه‌های گراف دوگان تبدیل می‌شوند. شکل (۵) گراف دوگان یک فضای شهری را نشان می‌دهد (آگریزکو و همکاران ، ۲۰۱۷).

[1] Agryzkov, Oliver, Tortosa, & Vicent



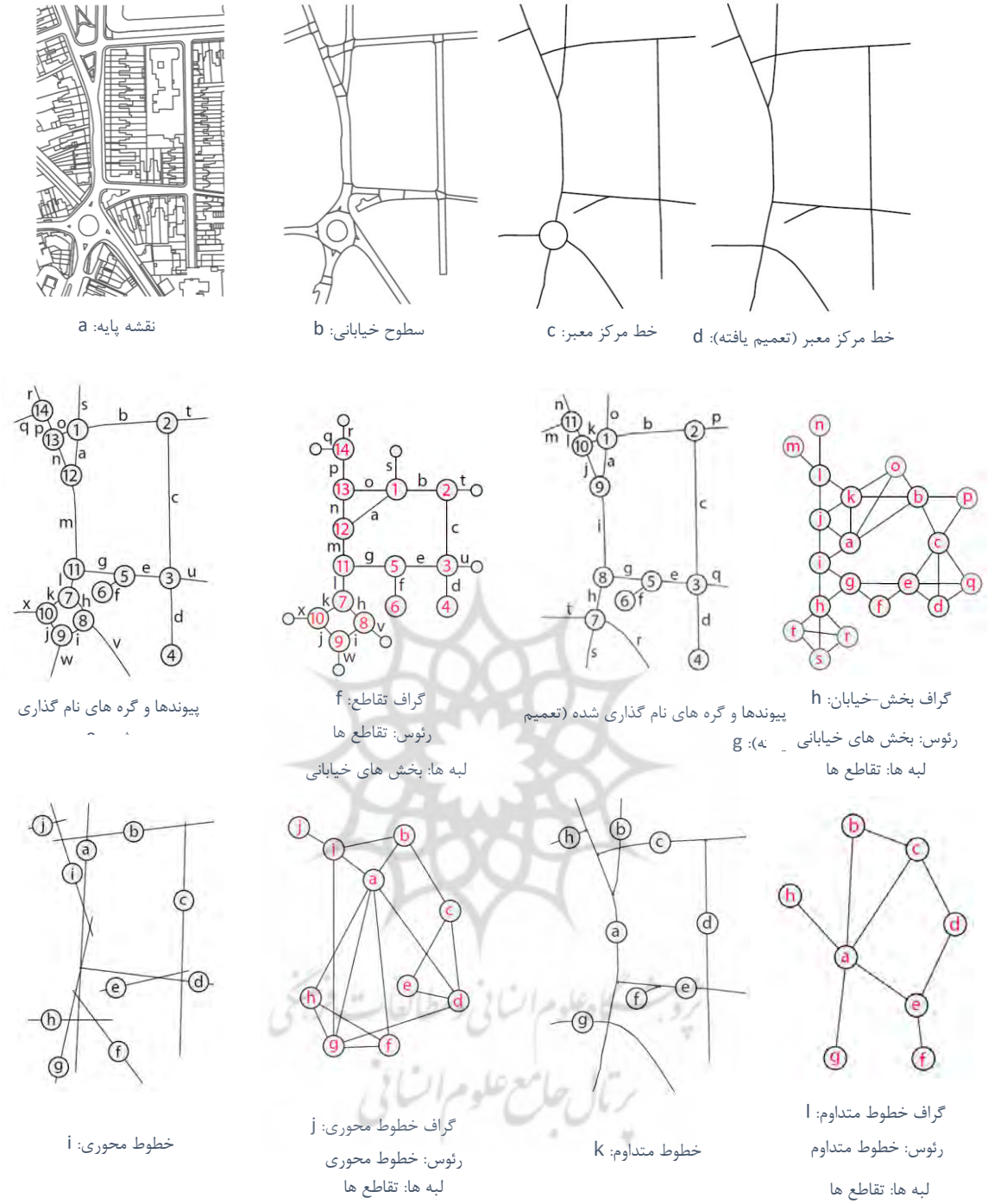
دوگان بخش خیابانی　　دوگان بلوک

*شکل ۵*. گراف دوگان
برگرفته از: (مارشال و همکاران، ۲۰۱۸)

## ایجاد مدل های شبکه خیابانی

مجموعه داده‌های "خط مرکز معبر[1]" که به طور گسترده در دسترس است، نمایشی خاص از بخش‌های خیابانی بین تقاطع‌ها، می‌باشد (شکل ۶، ردیف اول، a-d). بنابراین برای مدل‌های گره-پیوند و برای گراف‌های تقاطع یا بخش-خیابان قابل استفاده هستند (شکل ۶، ردیف دوم، e-h). سایر حالات نمایش می‌توانند از داده‌های ذیل حاصل شوند: به عنوان مثال بخش‌های خیابانی قوس دار طولانی می‌توانند به بخش‌های خطی منفرد (جداگانه) یا خطوط محوری تقسیم شوند (شکل ۶، i) یا بخش‌های خیابانی مجاور می‌توانند در قالب نمایش‌های خیابانی متداوم به صورت مجموعه درآیند (شکل ۶، k). RCL ها اغلب حاوی خطاهایی هستند چراکه اصل "قطع شدن بخش‌های خیابانی در تقاطع‌ها" در آن‌ها رعایت نمی‌شود. در واقع آن‌ها می‌توانند شامل مصنوعات بیشماری از زیرساخت‌ها مانند جزایر ترافیکی، دوربرگردان‌ها و غیره باشند که ممکن است در یک مدل شبکه خیابانی، معنی دار نباشد. داده‌های تعمیم یافته نیز می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. مجموعه داده‌های تعمیم یافته، در حالی که هندسه شبکه خیابانی را ساده‌تر می‌کنند و جزئیات اضافی نامطلوب را از بین می‌برند، از مواردی من جمله فضاهای عمومی و غیره چشم‌پوشی می‌کنند. به طور کلی محقق می‌تواند سطح ارائه (آنچه را که باید در مدل گنجانده شده باشد) را مطابق با هدف تحقیق خویش انتخاب نماید. نتایج حاصل از تحلیل محتوای کیفی بیان داشت که جهت تعیین ویژگی‌های مورفولوژیکی طرح شهری، بایستی گراف دوگان آن را بررسی و مطالعه نمود. که در این پژوهش از گراف دوگان بلوک بهره گرفته شده است (مارشال و همکاران ، ۲۰۱۸).

[1] Road Centre Line (RCL)




*شکل ۶.* سطر اول: مجموعه داده های شبکه ارتباطی، ستون اول و سوم سطرهای دوم و سوم: مدل های شبکه ارتباطی، ستون دوم و چهارم سطرهای دوم و سوم: گراف های شبکه ارتباطی
برگرفته از: مارشال و همکاران (۲۰۱۸)

## تاب آوری شهری و شبکه ارتباطی

در شرایطی که ریسک و عدم قطعیت‌ها در حال رشد می‌باشند، تاب آوری به عنوان مفهوم مواجهه با اختلالات، غافلگیری‌ها و تغییرات معرفی میشود (میچل و هریس[1]، ۲۰۱۲). دو نوع استراتژی برای مواجهه با سوانح وجود دارد که عبارتند از: استراتژی‌های

[1] Mitchell & Harris

پیش بینی و استراتژی‌های تاب آوری؛ اولی برای روبرو شدن با مشکلات و معضلات شناخته شده به کار میرود و دومی برای مقابله با مشکلات ناشناخته (نورمندین، تریین و تانگای،[1] ۲۰۰۹).

تاب آوری به دنبال کاهش میزان آسیب پذیری شهرها در برابر سوانح و حملات می‌باشد و سعی بر آن دارد تا عملکردهایی را که موجب رفاه شهروندان می‌شوند را حفظ نماید (قلی‌پور و مهدی‌نژاد، ۱۳۹۹). به عبارتی شهرهای تاب آور بازگشت سریع به عملکرد مطلوب و سازمان‌دهی مجدد یا سازگاری با یک تغییر را مورد توجه قرار می‌دهند (اصغری[2]، ۲۰۱۸؛ تیرنان، درنان، نالا، اونیانگو، موریسی و مکی[3]، ۲۰۱۹). برای رسیدن به شهرهای تاب آور، کاهش آسیب پذیری و افزایش ایمنی شهری می‌بایستی مورد توجه قرار گیرند. چرا که آسیب پذیری به سطح بالای حساسیت در برابر بحران اطلاق می‌شود و به موقعیت افراد و گروه‌های جهان فیزیکی یا اجتماعی بستگی دارد (رضویان، علیان و رستمی، ۱۳۹۷؛ سیدین، امینی وراکی، رستمی و یزدانی[4]، ۲۰۱۷). ایمنی شهری نیز محیط ایمن و مطلوب را ایجاد می‌نماید. محیطی که مطابق با استانداردهای روز مهندسی و زیست محیطی می‌باشد و تاثیر منفی بر روی مردم، ساختمان‌ها، تاسیسات و ... ندارد. برای ارزیابی و ایجاد محیط ایمن و مطلوب ضروری است تا کلیه عوامل ایمنی شهری را شناسایی کنیم. همه عوامل به گروه های زیر قابل تقسیم شدن هستند: طبیعی، معماری، اجتماعی، محیطی، تکنولوژیکی، زیرساختی و شهری (رستیاپینا و کروستلو[5]، ۲۰۱۶).

سه رویکرد در تعریف تاب‌آوری وجود دارد: تاب‌آوری مهندسی، تاب‌آوری اکولوژیکی و تاب‌آوری تکاملی (شریفی و یاماگاتا[6]، ۲۰۱۶). رهیافت‌های اول و دوم به عنوان رویکردهای ایستا تلقی می‌شوند. در مقابل، رویکرد سوم مفاهیم ذیل را در بر دارد: غیر خطی بودن، پیچیدگی و پویایی سیستم. در برنامه‌ریزی سنتی، رویکردهای اول و دوم مدنظر قرار می‌گرفتند (شریفی[7]، ۲۰۱۹). بنابراین با جهت گیری توجهات به سمت سیستم‌های پیچیده به جای سیستم‌های در هم تنیده، معنی و مفهوم تاب‌آوری نیز تغییر یافته است. توجه به مفهوم تاب‌آوری می‌تواند پایداری و پاسخگویی نواحی تاریخی و فرسوده را افزایش دهد. چرا که نواحی مسئله دار از مسائلی همچون عرض کم معابر، اتصال پذیری کم و دسترسی پایین به برخی ساختارها رنج می‌برند (تاناچاونگساکول، میشیما و فوچیکامی[8]، ۲۰۱۶؛ سرینوراک، میشیما، فوچیکامی و دوآنگتیما[9]، ۲۰۱۶). بنابراین مورد توجه قرار دادن شبکه‌های ارتباطی تاب آور در بافت‌های فرسوده برای مقابله با سوانح ضروری به نظر می‌رسد. ویژگی‌های مورفولوژیکی و توپولوژیکی شبکه ارتباطی نقش قابل ملاحظه‌ای را در کارآمدی آن دارد. همچنین یکی از رویکردهای قابل توجه برای تحلیل تاب‌آوری شبکه ارتباطی، توپولوژی شبکه می‌باشد. نظریه گراف برای بیان توپولوژی شبکه مورد استفاده قرار گرفته است. یک گراف متشکل از گره‌ها (رئوس و نقاط) و لینک‌ها (لبه‌ها، کمان‌ها و خطوط) می باشد. نظریه گراف درک ساختار پیچیده شبکه ارتباطی را ساده‌تر می‌سازد (لین و بن[10]، ۲۰۱۷). تعداد گره‌ها، لینک‌ها و نحوه قرار گیری آنها نسبت به یکدیگر برای دستیابی به شبکه ارتباطی بهینه حائز اهمیت است. با وجود اینکه در بسیاری از مناطق، شبکه ارتباطی مسطح نبوده شامل روگذرها، زیرگذرها و تونل‌هایی می باشد اما پژوهشگران بر روی مدل دو بعدی به جای مدل سه بعدی تمرکز می‌کنند زیرا مطالعاتی که رویکرد غیر مسطح را مدنظر قرار داده باشند، محدود می‌باشند (شریفی، ۲۰۱۹).

## پیشینه پژوهش

پیشینهٔ تحقیق غنی و پربارای دربارهٔ عنوان این پژوهش وجود دارد که دربردارندهٔ کلیدواژه‌های اصلی بافت‌های ناکارآمد، تاب آوری و شبکه‌های ارتباطی است. برلسفورد و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی با عنوان "بلوک‌بندی مجدد بهینه به عنوان یک ابزار عملیاتی برای توسعهٔ محلات"، بیان می‌دارند که چگونه طرح بافت‌های شهری می‌تواند از نظر توپولوژی دسترسی، دسته‌بندی

1 Normandin, Therrien, & Tanguay
2 Asgary
3 Tiernan, Drennan, Nalau, Onyango, Morrissey, & Mackey
4 Seyedin, Amini Varaki, Rostami, & Yazdani
5 Rastyapina, & Korosteleva
6 Sharifi & Yamagata
7 Sharifi
8 Tanachawengsakul, Mishima & Fuchikami
9 Srinurak, Mishima, Fuchikami & Duangthima
10 Lin & Ban

شود. هم چنین آنها شاخص بهینه‌سازی توپولوژیکی و شاخص بهینه‌سازی هندسی را موردتوجه قرار داده‌اند تا یک شبکه بهینه را طراحی نمایند. آنها سه شاخص فوق را در چندین سکونتگاه غیررسمی بررسی نمودند. شریفی (۲۰۱۹) در پژوهشی با عنوان "فرم های شهری تاب‌آور: مرور ادبیات پیرامون شبکه‌های ارتباطی"، شبکه‌های ارتباطی را به‌عنوان جزء اصلی از فرم شهری تلقی می نماید و مطابق نظر ایشان، شاخص‌های شبکه‌های ارتباطی به دودسته تقسیم می‌شوند: توپولوژی شبکه، طراحی و جهت‌گیری. همچنین یک سری ویژگی‌های فیزیکی را که منجر به ایجاد شبکه معابر تاب‌آور می‌شوند را بیان می‌دارد. ایدین و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی با عنوان "چارچوبی برای ارتقاء تاب‌آوری و بازیابی شبکه‌های ارتباطی تحت خطرات سوانح طبیعی"، پیرامون فرایند بازیابی و تاب‌آوری در نواحی روستایی بحث نموده و پژوهش ایشان حاوی چهار مرحله به شرح ذیل عنوان گردیده است: ۱. شناسایی استراتژی‌هایی برای افزایش عملکرد بازیابی ۲. تعیین معیارهای مبتنی بر گراف برای نشان‌دادن اتصال‌پذیری شبکه ۳. استفاده از شبیه‌سازی‌های مبتنی بر توپولوژی و مونت کارلو برای هر استراتژی ۴. تجزیه‌وتحلیل زمان‌های بازیابی برای مقایسهٔ استراتژی‌های ارتقاء دهندهٔ تاب‌آوری. الن و همکاران[1] (۲۰۱۳) در مقاله‌ای تحت عنوان "تأثیر مورفولوژی شهری بر تاب‌آوری شهرها در پی زلزله"، باور دارند که ارتقاء تاب‌آوری یک شهر از طریق طراحی مورفولوژی شهری امکان‌پذیر است. علاوه بر این طراحان شهری در شهرهای مستعد زلزله نقش قابل‌توجهی را قبل وقوع زلزله بر عهده دارند. بعد از بررسی مقالات فوق، این‌گونه نتیجه‌گیری می‌کنیم که پژوهش اول، بر روی مورفولوژی و سکونتگاه‌های غیررسمی تمرکز دارد. مقاله دوم، در مورد تاب‌آوری و فرم شهری بحث می‌نماید. پژوهش سوم، تاب‌آوری، شبکه‌های ارتباطی و نواحی شهری را مدنظر قرار می‌دهد و آخرین پژوهش مطرح شده، بر روی مفاهیم مورفولوژی و تاب‌آوری متمرکز است. پژوهش حاضر سعی بر آن دارد تا مفاهیم تاب‌آوری، مورفولوژی (شبکه‌های ارتباطی) و نواحی تاریخی و فرسوده را موردبحث قرار دهد. چراکه نواحی تاریخی و بافت‌های ناکارآمد نیازمند اقدامات و عملیات چشمگیر برای برخوردار شدن از شبکهٔ معابر بهینه و بافتی تاب‌آور در برابر سوانح طبیعی هستند.

## روش پژوهش

پژوهش حاضر سعی بر آن دارد باتوجه‌به آسیب‌پذیری بالای نواحی تاریخی و فرسوده در برابر بحران‌هایی همچون زلزله، شبکه ارتباطی بهینه با تاب‌آوری بالا را پیشنهاد نماید. محاسبهٔ پیچیدگی بلوک، افزودن شبکهٔ معابر جدید و متصل نمودن بن‌بست‌ها منجر به شکل‌گیری طرح بهینهٔ پیشنهادی می‌گردد. برای اثبات کارایی مدل، دو شاخص اتصال‌پذیری و مرکزیت مورداستفاده قرار گرفته و نتایج توسط نرم‌افزار MATLAB و SPACE SYNTAX حاصل می‌گردد (شکل ۷).

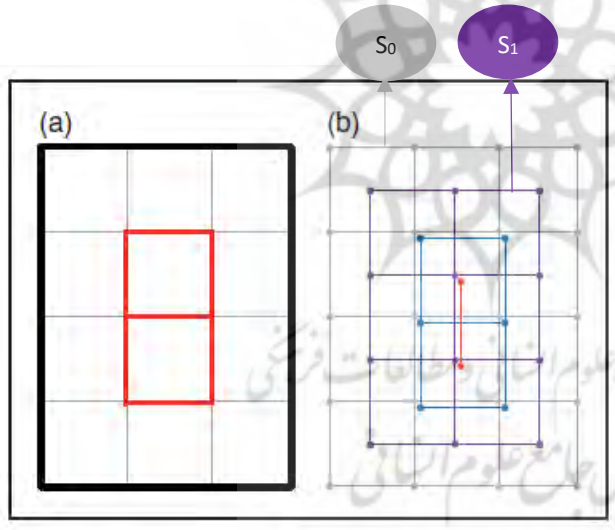
*شکل ۷.* ساختار پژوهش

[1] Allan, Bryant, Wirsching, Garcia & Teresa Rodriguez

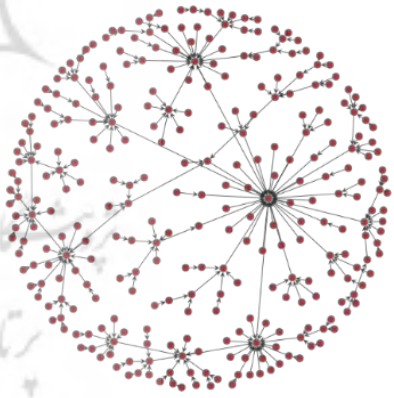
## پیچیدگی بلوک

شاخص پیچیدگی بلوک (K) عددی طبیعی (... و۱،۲،۳) بوده و مبتنی بر گراف دوگان[1] می‌باشد. گراف دوگان گراف G گرافی است که در هر ناحیه از گراف G یک راس دارد. بین دو راس در گراف دوگان یال وجود دارد، هرگاه دو ناحیه از گراف G با یک یال از یکدیگر جدا شده باشند. در گراف $S_0$، قطعات، به‌عنوان گره و مرزها به‌عنوان یال در نظر گرفته می‌شوند. شکل ۸a گراف $S_0$ را با دو قطعه درونی نشان می‌دهد. گراف $S_1$ از روی گراف $S_0$ ایجاد می‌شود به این صورت که مراکز قطعات به‌عنوان گره در نظر گرفته شده و سپس این گره‌ها توسط یال‌هایی به هم متصل می‌شوند. زمانی می‌توان دو گره را به هم متصل نمود که قطعات نظیر آنها با هم مرز مشترک داشته باشند. در این صورت گراف $S_1$، گراف بنفش رنگی خواهد بود که در شکل ۸b نشان‌داده‌شده است. گراف $S_1$ دربردارندهٔ گره‌ها و یال‌هایی است که یال‌ها زمانی ترسیم می‌شوند که قطعات متناظر گره‌ها، در کنار یکدیگر واقع شده باشند. این فرایند تا زمانی ادامه می‌یابد که به گراف درخت برسیم. شاخص پیچیدگی در گراف $S_n$ برابر با n می‌باشد. به‌طورکلی یک بلوک به طور کامل در دسترس است اگر و فقط اگر گراف $S_2$ یک درخت باشد. به عبارتی پیچیدگی بلوک برابر با ۲ باشد (K=2). شاخص پیچیدگی، سختی دسترسی به ساختارها را بیان می‌دارد. هر چه‌قدر که K بزرگ‌تر باشد دسترسی به قطعات درونی کمتر است. هر موقعیتی در بلوک با عبور کردن از K-1/2 تا مرز در دسترس خواهد بود (برلسفورد، مارتین، هند و بتنکورت[2]، ۲۰۱۸). گراف بدون جهت G با مجموعه محدودی از رئوس، درخت است (شکل ۹) اگر هر دو مورد از شرایط زیر برقرار باشد (کوردون و مافیولی[3]، ۲۰۰۴):

- $|E| = |V| - 1$
- G متصل است
- G دور ندارد




*شکل ۹.* گراف درخت



*شکل ۸.* گراف دوگان

## بهینه‌سازی توپولوژیکی

توپولوژی شاخه‌ای از ریاضیات است که به مجموعه‌ها، نقاط و اعضای درون مجموعه پرداخته و روابط بین آن‌ها را مورد تحلیل قرار می‌دهد. بهینه‌سازی توپولوژیکی یک روش ریاضی است که به لحاظ فضایی، توزیع مواد را در درون یک دامنه تعریف شده، بهینه می‌کند. هدف آن بر این است که با تبعیت از محدودیت‌ها، تابع هزینه را کاهش دهد. در این فرایند بهینه‌سازی، سه عنصر

---

1 Weak dual graph
2 Brelsford, Martin, Hand & Bettencourt
3 Cordone & Maffioli

اصلی، ۱) متغیرهای طراحی ۲) تابع هزینه ۳) محدودیت‌ها می‌باشند. بهینه‌سازی توپولوژیکی به دنبال افزایش دسترسی و نفوذپذیری در بلوک‌هایی با پیچیدگی بیشتر از ۲ می‌باشد. به عبارتی هدف شاخص بهینه‌سازی توپولوژیکی، کاهش عمق محله است. این شاخص سعی بر آن دارد تا k را به عدد ۲ کاهش داده و این عمل را از طریق ساخت کوتاه ترین مسیر و زیرساخت به انجام برساند. برای بهینه سازی توپولوژیکی دو روش (کامل و آماری) وجود دارد. الگوریتم مطرح شده در ذیل، گام های یک روش کامل را بیان می‌دارد. ابتدا شاخص پیچیدگی محاسبه شده سپس تمامی قطعات (گره های) گراف $S_K$ را تعیین می‌نماییم. در مرحله سوم، کوتاه‌ترین مسیر را در طول مرز قطعات تعریف می‌کنیم که حداقل یکی از قطعات را به معبر اصلی و بیرونی متصل نماید. در مرحله چهارم، طول هندسی مورد محاسبه قرار می‌گیرد. این فرایند تا زمانی ادامه می‌یابد که $k<3$ شده و هیچ قطعه درونی نباشد که به معبر اصلی و بیرونی دسترسی نداشته باشد. بنابراین تعریف کردن این معابر، بلوک را به طور کامل در دسترس قرار می‌دهد. استفاده از روش اول دشوار است چرا که پیدا کردن کوتاه ترین مسیر زمان بر و مشکل بوده و در انتهای فرآیند تنها و تنها یک گزینه برای طراحی شبکه ارتباطی وجود دارد. به عبارت دیگر، انعطاف ناپذیری، ویژگی اصلی این روش بوده و بایستی این نکته مد نظر قرار گیرد که تنها مردم ساکن در آن محدوده می‌توانند مناسب بودن معابر را تایید نمایند. چون کوتاه‌ترین مسیرها همیشه مناسب ترین مسیرها نیستند. مراحل بهینه سازی آماری، شبیه روش کامل می‌باشد اما به جای انتخاب کوتاه‌ترین مسیر در هرمرحله، n تا مسیر کوتاه تعیین می‌شوند و یکی از آنها انتخاب می‌گردد.

در روش دوم اگرچه گاهی کوتاه‌ترین مسیرها انتخاب نمی‌گردند اما در اصل مسیرهای انتخاب شده، مزایای دیگری را در بردارند. ازآنجایی‌که این روش، مجموعه‌ای از راه‌حل‌ها (کوتاه و واقع‌گرایانه) را پیشنهاد می‌دهد، اصل انعطاف‌پذیری را باور دارد. بدین سبب نظرسنجی کردن از ساکنان و مسئولان در این روش امکان‌پذیر خواهد بود. به‌طورکلی پژوهش حاضر ابتدا بهینه‌سازی آماری را به اجرا درآورده و سپس ساختار مطلوب را از طریق نظرخواهی عمومی به دست می‌آورد لذا بر روی روش دوم تمرکز دارد. بنابراین در این راستا مراحل زیر باید موردتوجه قرار گیرند:

۱. محاسبه شاخص پیچیدگی (K)
۲. تعیین همهٔ قطعات یا گره‌ها در گراف $S_K$
۳. تعیین کوتاه‌ترین مسیر در طول مرزهای قطعات که حداقل یک قطعه را به معبر بیرونی و اصلی متصل نماید
۴. انتخاب $n_1$ تا مسیر با ویژگی‌های مشابه (کوتاه و واقع‌بینانه)
۵. محاسبهٔ طول هندسی
۶. تعریف مجموعه‌ای از $n+1$ تا مسیر
۷. انتخاب یکی از مسیرها (مشورت کردن با مردم درباره مسیرهای انتخابی)
۸. تکرار مراحل فوق تا اینکه k مساوی دو شود
۹. جمع مسیرهای انتخاب شده در هر مرحله برای به‌دست‌آوردن طول کلی شبکه ارتباطی

بر اساس اصل ترکیبات در ریاضی، راه‌حل‌های مختلفی وجود دارد چرا که در هر مرحله می‌توان هرکدام از اعضای مجموعه را برگزید. زمانی که یک مسیر تعیین می‌گردد اساساً از یک لبهٔ درونی به یک مسیر دسترسی تبدیل شده و تعدادی از قطعات درونی خود را با شبکهٔ ارتباطی جدید وفق می‌دهند.

## توپولوژی هندسی

بهینه‌سازی توپولوژیکی سعی بر آن دارد تا طول کلی دسترسی‌های جدید را کاهش دهد اما بهینه‌سازی هندسی، در جهت کاهش فاصلهٔ سفر، مورداستفاده قرار می‌گیرد. چرا که گاهی فاصلهٔ سفر بین دو موقعیت در شبکه بهینه شده بیش از فاصله هندسی دو مکان است. در اینجا یک ماتریس فاصله سفر $n*n$ را در نظر می‌گیریم که n نشان‌دهنده تعداد قطعات در یک بلوک می‌باشد. مقادیر $T_{ij}$، درایه‌های ماتریس $n*n$ را تشکیل می‌دهند که بیان‌کننده کوتاه‌ترین فاصله بین قطعات i و j در طول معابر هستند که از این روی میانگین فاصله سفر برابر با میانگین مقادیر $T_{ij}$ خواهد بود.

$$\bar{T} = \frac{\sum_{ij}^{n} Tij}{n^2}$$

بنابراین می‌توانیم شبکه دسترسی بهینه $p^*$ را به‌وسیله بهینه‌سازی هندسی به دست آوریم که میانگین فاصله سفر را کاهش می‌دهد. متصل کردن بن‌بست‌ها، مزایای بسیاری را فراهم می‌آورد. بنابراین تعریف الگوریتم ذیل، بهترین راه برای ساخت معابر جدید برای کاهش فاصله، زمان و هزینه سفر می‌باشد:

۱. قطعه‌ای را مدنظر قرار دهید که فاصله هندسی آن تا بقیه محله، کمتر از فاصله‌ای است که بر روی شبکه معابر طی می‌کند.

۲. گره v را بر روی شبکه دسترسی مدنظر قرار دهید که حداقل فاصله را از قطعه انتخاب شده، دارد

۳. کوتاه‌ترین مسیر را بین قطعه و گره v ایجاد نمایید.

تقسیم‌بندی بلوک به دو قسمت از طریق اعمال الگوریتم فوق حاصل می‌شود. بعد از ساخت معابر جدید، ماتریس فاصله سفر و میانگین فاصله سفر را بررسی می‌نماییم تا اثرات ایجاد معابر جدید را نمایان سازیم. این فرایند را ادامه می‌دهیم تا زمانی که به نتایج و پیامدهای مطلوب دست یابیم (برلسفورد، مارتین، هند و بتنکورت[1]، ۲۰۱۵).

## آزمون کارایی مدل

جهت آزمون کارایی مدل از دو شاخص مرکزیت و اتصال‌پذیری بهره گرفته شده است. مرکزیت: یکی از شاخص‌های مرکزیت، مرکزیت نزدیکی[2] می‌باشد که دردسترس‌بودن یک موقعیت (گره) را می‌سنجد. هرچه مقدار شاخص بیشتر باشد، به این معناست که دسترسی به آن موقعیت‌ها در زمان و فاصله منطقی صورت می‌پذیرد؛ بنابراین حتی در مکان‌یابی کاربری‌های خاص از قبیل ایستگاه‌های آتش‌نشانی و مراکز اورژانس نزدیکی به این گره‌ها باید به‌عنوان یک معیار و اصل لحاظ شود (شریفی، ۲۰۱۹). اتصال پذیری: شبکه متصل دارای اتصالات (تقاطع‌ها) بالا، لینک‌های ارتباطی کوتاه و بن‌بست‌های محدود می‌باشد و جریان ترافیک را تسهیل می‌بخشد و فواصل را کاهش می‌دهد (جدول ۱)؛ بنابراین شاخص اتصال‌پذیری، شبکه تاب‌آور را فراهم می‌نماید (شریفی، ۲۰۱۹).

جدول ۱

*مرکزیت و اتصال‌پذیری*

| متغیرها | فرمول | شاخص |
|---|---|---|
| $d_{ij}$: کوتاه ترین فاصله بین گره های i و j<br>N: تعداد گره ها | $c_i = \frac{N-1}{\sum_{j=1}^{N} d_{ij}}$ | مرکزیت |
| $\beta$: شاخص بتا<br>L: تعداد لینک ها<br>N: تعداد گره ها | $\beta = \frac{L}{N}$ | اتصال پذیری |

## محدوده مورد مطالعه

شهر رشت به‌عنوان مرکز استان گیلان در قسمت شمالی کشور واقع شده است. عرض جغرافیایی رشت ۴۹ درجه و ۳۵ دقیقه و طول جغرافیایی آن ۳۷ درجه ۱۶ دقیقه می‌باشد. بر اساس آخرین سرشماری در سال ۱۳۹۵، جمعیت شهر رشت ۶۷۹۹۹۵ نفر بوده است (میرابی‌مقدم، آقائی زاده و اوجی،، ۱۳۹۸). شهر رشت نیز مانند سایر شهرهای ایران، دارای بافت‌های قدیمی و فرسوده می باشد. محله‌های قدیمی شهر مانند ساغریسازان، صومعه بیجار، رودبارتان و استادسرا، محله‌هایی هستند که فقیر و غنی بدون جدایی گزینی، در کنار یکدیگر زندگی می‌کردند و امروزه به‌عنوان نواحی فرسوده و تاریخی شناخته می‌شوند (مهندسین مشاور طرح و کاوش، ۱۳۹۴). مساحت محدوده موردمطالعه که در صومعه بیجار واقع شده است، ۲/۳ هکتار می‌باشد.

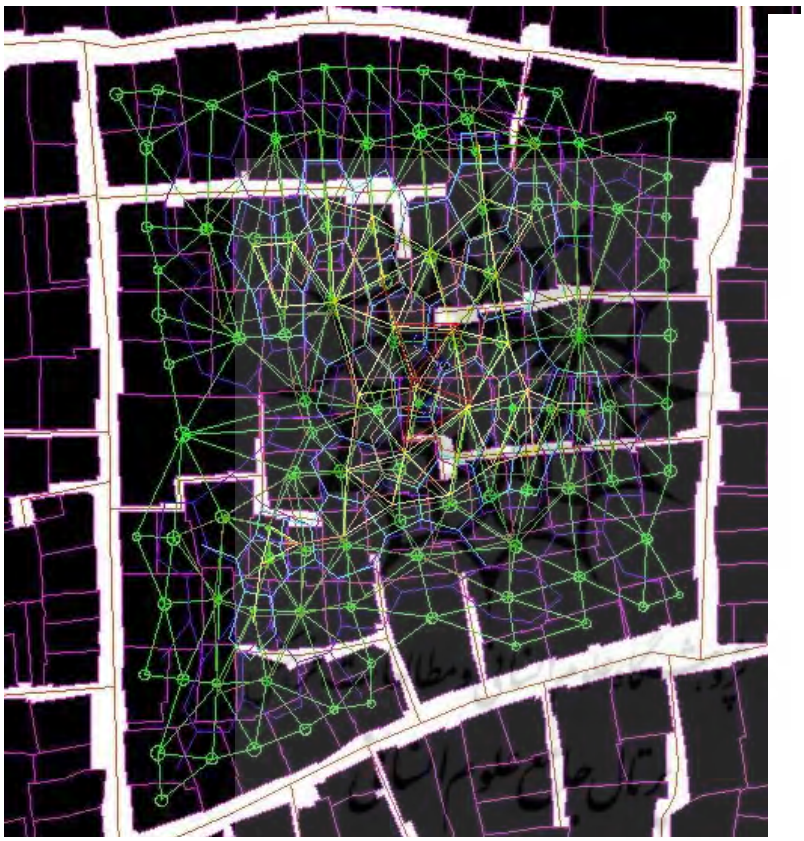
[1] Brelsford, Martin, Hand & Bettencourt
[2] Closeness centrality

## یافته‌ها و بحث

این بخش سعی بر آن دارد تا دسترسی مطلوب را در بلوک موردمطالعه، فراهم آورد تا پایداری و تاب‌آوری بافت فرسوده و تاریخی در مقابل بحران افزایش یابد. این عمل را از طریق بلوک‌بندی مجدد بهینه به انجام می‌رساند.

### دسته‌بندی بلوک‌ها

بلوک موردمطالعه ۱۰۲ قطعه دارد که در بخشی از محله صومعه بیجار شهر رشت واقع شده است. ۴۳ قطعه که در محدوده بیرونی بلوک قرار دارند، از دسترسی مستقیم به شبکه معابر برخوردار می‌باشند. معابر فرعی مسکونی که متوسط عرض آنها ۶ متر است، بلوک مدنظر را احاطه کرده‌اند (شکل ۱۰). فرض اولیه پژوهش بر این است که معابر درونی بلوک وجود ندارند. بنابراین در جهت تعیین دسترسی‌های بهینه اقدام می‌نماید. با به‌کاربردن گراف دوگان مشخص می‌گردد که شاخص پیچیدگی در این بلوک، برابر با عدد ۸ می‌باشد. گراف درخت که سه گره دارد، در مرحله هشتم شکل می‌گیرد (جدول ۲).



*شکل ۱۰*. شاخص پیچیدگی

جدول ۲
*مقادیر K در مراحل مختلف*

| مراحل | K |
|---|---|
| 1 | ۸ |
| ۲ | ٦ |
| ۳ | ٥ |
| ٤ | ٥ |
| ٥ | ٥ |
| ٦ | ٤ |
| ۷ | ٤ |
| ۸ | ٤ |
| ۹ | ٤ |
| ۱۰ | ٤ |
| ۱۱ | ٤ |
| ۱۲ | ٤ |
| ۱۳ | ۳ |
| ۱٤ | ۳ |
| ۱٥ | ۳ |
| ۱٦ | ۳ |
| ۱۷ | ۳ |
| ۱۸ | ۳ |
| ۱۹ | ۲ |

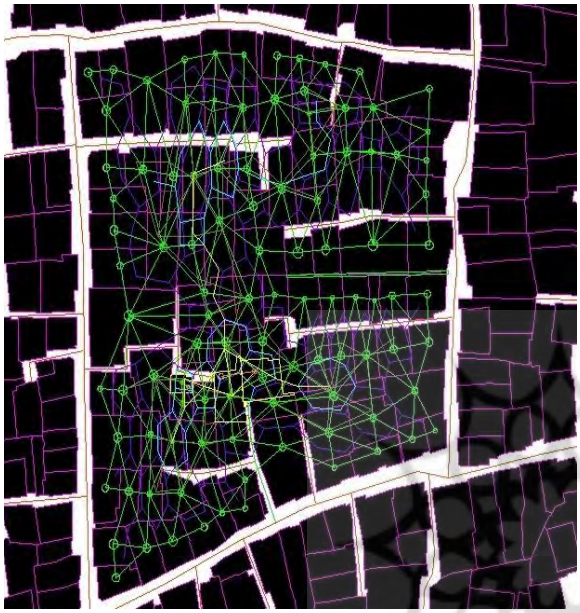
### بهینه‌سازی توپولوژیکی

اشکال ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۴ فرایند کاهش پیچیدگی بلوک (K) را نمایش می‌دهند. شکل ۱۱، طرح بلوک اولیه را نشان می‌دهد. بعد از افزودن مسیر اول، تعداد قطعات درونی که دسترسی مستقیم به آنها وجود ندارد، از ۵۹ قطعه به ۵۶ قطعه کاهش می‌یابد. تعریف نمودن مسیرهای بعدی، تعداد قطعات درونی را کاهش می‌دهد تا این که در نهایت، گراف پایانی یک درخت شده و k برابر دو می‌گردد. اشکال ۱۱ و ۱۴، شبکه معابر ابتدایی و انتهایی را نمایان می‌کنند. پیچیدگی بلوک بعد از افزودن مسیر اول، از ۸ به ۶ تنزل یافته و پس از اضافه نمودن مسیر دوم به ۵ کاهش می‌یابد. دو ساده‌سازی زیر منجر به درک سریع‌تر و آسان‌تر طرح گردیده و از پیچیدگی می‌کاهند.

۱. فرض بر این است که بین قطعات سازندهٔ بلوک شکافی وجود ندارد.
۲. الگوریتم بلوک‌بندی مجدد، معابر را به‌صورت خطوط در نظر گرفته و عرض معابر را منظور نمی‌نماید.

گام‌به‌گام مقدار پیچیدگی کاهش می‌یابد تا اینکه به عدد ۲ می‌رسد (جدول ۲) و گراف پایانی که یک درخت است، حاصل می‌شود. به عبارتی بیان می‌دارد که دیگر هیچ قطعه درونی باقی نمانده که دسترسی مستقیم نداشته باشد. ما یک عضو از هر مجموعه را انتخاب می‌نماییم و با یکدیگر جمع می‌کنیم تا طول کلی شبکه (L) حاصل شود. در مرحله نوزدهم که مرحله پایانی است گراف درخت حاصل می‌شود. همان‌طور که در شکل ۱۴ نمایان است گراف قرمزرنگ همان درخت شکل‌گرفته می‌باشد و خطوط سبزرنگ کلیه مسیرهای ایجاد شده را نشان می‌دهند.

*شکل ۱۱.* گام اول


*شکل ۱۲.* گام دوم

*شکل ۱۳.* گام هجدهم

*شکل ۱۴.* گام نوزدهم

## بهینه‌سازی هندسی

بین دو نقطه از شبکه که دورترین فاصله را از یکدیگر دارند حداقل و حداکثر تعداد لینک ارتباطی وجود دارد. هدف کاهش قابل‌توجه هزینه‌های سفر از طریق ایجاد حداقل زیرساخت جدید می‌باشد. فاصله سفر بین هر دو قطعه در یک بلوک در اشکال ۱۷ و ۱۸ نشان‌داده‌شده است. تنظیم کردن و ارائه نمودن قطعات در ماتریس، موجب به‌تصویرکشیدن فرایند خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی می‌گردد. فرض پژوهش بر این است که شبکه معابر درونی وجود ندارند، بنابراین نسبت به ساخت معابر درونی اقدام می‌نماید. مطابق اشکال ۱۰ و ۱۱، پیچیدگی بلوک شهری، ۸ می‌باشد و سه قطعه درونی به رنگ قرمز وجود دارند. کوتاه‌ترین مسیر و همچنین چندین مسیر کوتاه و واقع‌بینانه را که دسترسی را به حداقل یکی از این قطعات فراهم می‌کنند، را تعیین می‌نماییم و طول مربوط به هر یک را محاسبه می‌کنیم. در نتیجه مجموعه $X_1$ حاصل می‌شود و سپس با درنظرگرفتن مسیر انتخاب شده و اضافه شده، مجدداً پیچیدگی بلوک را می سنجیم و قطعات درونی را تعریف می‌نماییم و سپس مجدداً مجموعه جدیدی از معابر را شکل می‌دهیم.

ماتریس، قطعات را به شرح زیر طبقه‌بندی می‌نماید. زمانی که فاصله بین دو قطعه کوتاه باشد، رنگ آبی پررنگ برای نمایش آن به کار می‌رود. اما وقتی که فاصله بین دو قطعه کمی بیشتر گردد، با آبی نشان داده می‌شوند. برای فواصل خیلی دورتر، آبی روشن مورداستفاده قرار می‌گیرد. بهینه‌سازی هندسی، دسته سوم (آبی روشن) را موردتوجه قرار می‌دهد. به عبارتی هدف اصلی بهینه‌سازی هندسی کاهش تعداد سلول‌هایی است که رنگ آبی روشن را به خود اختصاص داده‌اند. شکل ۱۹، بهینه‌سازی توپولوژیکی و شکل ۲۰، بهینه‌سازی هندسی را نمایش می‌دهد. بعد از افزودن تقسیم کننده‌های بلوک، میانگین فاصله سفر کاهش می‌یابد و شدت و غلظت رنگ آبی افزایش می‌یابد. برای محاسبه فاصله هر قطعه از قطعات دیگر، از نرم‌افزار MATLAB استفاده شده است. برای ساده‌سازی روابط بین قطعات، گراف زیر را ایجاد می‌نماییم (اشکال ۱۵ و ۱۹). مجموعه S دربردارنده گره‌های ابتدایی (مبداها) می باشد. شماره گره تکرار می‌شود اگرچنان‌که گره مذکور کنار گره دیگری باشد یا یک لینک ارتباطی بین آنها وجود داشته باشد (شکل ۱۶). مجموعه T نقاط انتهایی (مقصدها) را در بر دارد. گره‌هایی که در کنار یکدیگر هستند، توسط لینک به یکدیگر مرتبط نمی‌شوند و نمره صفر را به‌عنوان فاصله آنها لحاظ می‌کنیم. اما برای گره‌هایی که فاصله قابل‌ملاحظه‌ای از یکدیگر دارند و توسط لینک ارتباطی به یکدیگر متصل شده‌اند، نمره یک اختصاص می‌دهیم. فرض بر این است که لینک‌ها به طور تقریبی با یکدیگر برابر می‌باشند. مجموعه W را تعریف می‌کنیم که مقادیر فاصله را در بر دارد. با دستور کوتاه‌ترین مسیر در نرم‌افزار MATLAB، گراف G را شکل می‌دهیم و کوتاه‌ترین فاصله بین هر دو قطعه را محاسبه می‌نماییم. در نهایت درایه‌های ماتریس ۱۰۲*۱۰۲، توسط مقادیر کوتاه‌ترین فاصله‌ها، اشغال می‌شوند.

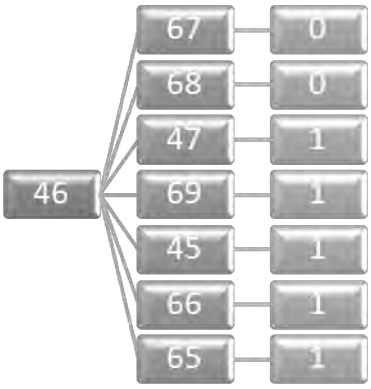
جداول ۳ و ۴، که بخشی از ماتریس را نشان می‌دهند، بیان می دارند که پس از اتصال بن بست ها، فاصله بین قطعات کاهش می‌یابد.

$$\bar{T} = \frac{\sum_{ij}^{n} Tij}{n^2} = \frac{5 + 24 + \cdots + 14 + 21}{25} = 17.4$$

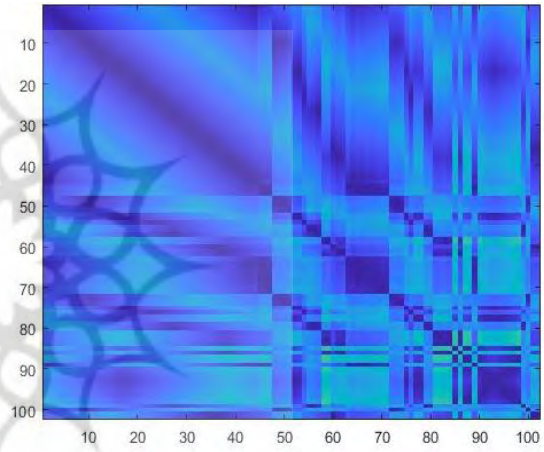
$$\bar{T} = \frac{\sum_{ij}^{n} Tij}{n^2} = \frac{5 + 9 + \cdots + 14 + 13}{25} = 10.68$$

از محاسبات فوق نتیجه می‌گیریم که با افزودن دو مسیر تقسیم کننده یا به عبارت دیگر اتصال بن بست ها، میانگین فاصله ی سفر کاهش می‌یابد. در نتیجه زمان سفر و هزینه سفر کاهش پیدا می‌کند.

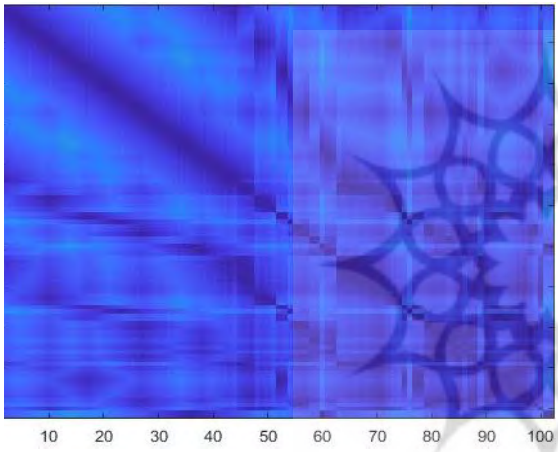
*شکل ۱۵*. شماره ی قطعات




*شکل ۱۶*. مثال هایی از روابط میان قطعات




*شکل ۱۷*. ماتریس فاصله قبل از متصل کردن بن بست ها




*شکل ۱۸*. ماتریس فاصله بعد از متصل کردن بن بست ها

*شکل ۱۹*. شبکه ایجاد شده

*شکل ۲۰*. معبر افزوده شده برای متصل نمودن بن بست ها

جدول ۳
*بخشی از ماتریس فاصله*

| | قطعه ۸۹ | قطعه ۸۸ | قطعه ۸۷ | قطعه ۸۶ | قطعه ۸۵ |
|---|---|---|---|---|---|
| قطعه ۱ | ۵ | ۲۴ | ۲۵ | ۱۰ | ۲۵ |
| قطعه ۲ | ۶ | ۲۳ | ۲۴ | ۱۱ | ۲۴ |
| قطعه ۳ | ۷ | ۲۲ | ۲۳ | ۱۲ | ۲۳ |
| قطعه ۴ | ۸ | ۲۱ | ۲۲ | ۱۳ | ۲۲ |
| قطعه ۵ | ۹ | ۲۰ | ۲۱ | ۱۴ | ۲۱ |

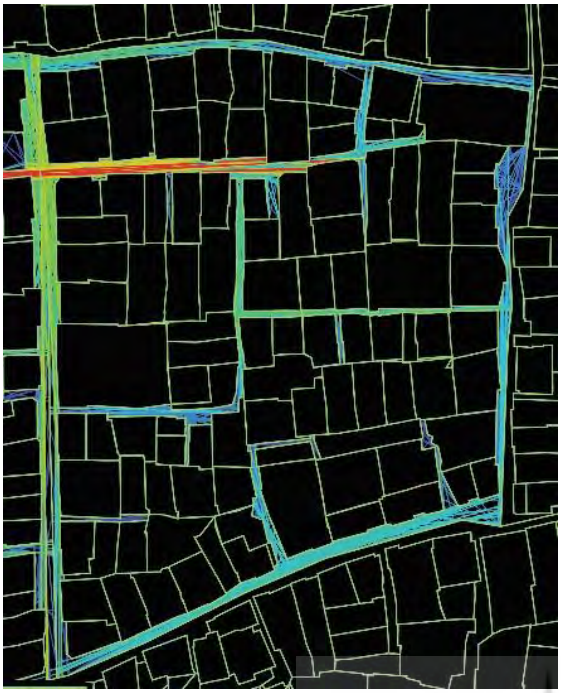
جدول ۴
*بخشی از ماتریس فاصله*

| | **قطعه ۸۹** | **قطعه ۸۸** | **قطعه ۸۷** | **قطعه ۸۶** | **قطعه ۸۵** |
|---|---|---|---|---|---|
| **قطعه ۱** | ۵ | ۹ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ |
| **قطعه ۲** | ۶ | ۱۰ | ۱۱ | ۱۱ | ۱۱ |
| **قطعه ۳** | ۷ | ۱۱ | ۱۲ | ۱۲ | ۱۲ |
| **قطعه ۴** | ۸ | ۱۲ | ۱۳ | ۱۳ | ۱۳ |
| **قطعه ۵** | ۹ | ۱۲ | ۱۳ | ۱۴ | ۱۳ |

## آزمون کارایی مدل

مرکزیت: افزودن مسیرها و به هم متصل کردن بن‌بست‌ها، موجب افزایش مقدار شاخص مرکزیت نزدیکی می‌شود. ۱۰۲ گره در محدوده موردمطالعه وجود دارد. به‌عنوان‌مثال برای رسیدن از قطعه شماره ۵۷ به قطعه شماره ۵۰، در شبکه ارتباطی وضع موجود، بایستی از ۱۶ لینک که اندازه‌های تقریباً برابر دارند، بگذریم لذا در این حالت مقدار شاخص مرکزیت نزدیکی، برابر با $\frac{102-1}{16} = 6.31$ می‌باشد در حالی که بعد از اضافه نمودن معابر جدید، کافیست از ۸ لینک عبور کنیم که در این صورت، مقدار شاخص مرکزیت نزدیکی، $\frac{102-1}{8} = 12.62$ خواهد بود (لازم به ذکر است که در مخرج فرمول، تنها فاصله بین دو قطعه مذکور مطرح شده است. برای حاصل شدن مقدار دقیق شاخص مرکزیت نزدیکی مثلا قطعه ۵۷، بایستی در مخرج کسر، فاصله این قطعه تا تک تک قطعات ذکر و جمع گردند). لذا شاهد افزایش قابل توجهی در مقدار شاخص مرکزیت نزدیکی می‌باشیم. اتصال پذیری: نرم افزار SPACE SYNTAX، شبکه معابر را دسته‌بندی می‌نماید رنگ قرمز را به معابر با اتصال پذیری بالا و رنگ آبی را به معابر با اتصال پذیری پایین اختصاص می‌دهد. قبل از متصل کردن بن‌بست‌های تعیین شده در مرحله‌ی بهینه سازی هندسی و الگوریتم مربوطه، معبری با رنگ قرمز در میان معابر درونی مشاهده نمی‌شود. اما بعد از متصل نمودن آن ها، معبری با رنگ قرمز نمایان می شود (اشکال ۲۱ و ۲۲).

*شکل ۲۱*. تحلیل‌های space syntax قبل از متصل کردن بن بست‌ها



*شکل ۲۲*. تحلیل‌های space syntax بعد از متصل کردن بن بست‌ها

بافت‌های فرسوده شهری غالباً در مناطق مرکزی شهرها وجود دارند. شورای‌عالی معماری و شهرسازی ایران مقاومت پایین ساختمان‌ها، نفوذپذیری کم و اندازه کوچک اکثر قطعات را به‌عنوان معیارهای تشخیص این بافت‌ها تعیین کرده است. همچنین، این شورا بر نقش دسترسی و نفوذپذیری شبکه معابر در افزایش کیفیت زندگی ساکنان تأکید می‌کند. مطالعه حاضر به دنبال ارائه یک راه‌حل کم‌هزینه برای بهبود آنها (دسترسی و نفوذپذیری) در بخش مرکزی شهر رشت است. بدیهی است که با بهبود نفوذپذیری با حداقل دخالت فیزیکی در بافت، ارزش متوسط املاک منطقه افزایش‌یافته و راه برای سرمایه‌گذاری جهت نوسازی بافت هموار می‌شود. در ادامه مهم‌ترین نتایج تحقیق، بررسی شده و تفاوت‌ها و شباهت‌های آن با مطالعات قبلی موردبحث قرار گرفته است.

شباهت‌های بین مطالعه حاضر و تحقیقات قبلی به شرح زیر است: (۱) پس از محاسبه پیچیدگی بلوک موردمطالعه، مطالعه حاضر با افزودن معابر، پیچیدگی (K) را از ۸ به ۲ کاهش داد. همچنین، برلسفورد با اضافه نمودن مسیرها، پیچیدگی محله خایلیتشا در شهر کیپ[1] در آفریقای جنوبی را از ۱۱ به ۲ کاهش داد. (۲) شناسایی و اتصال نقاط بن‌بست حیاتی در شبکه، بیشترین تأثیر را در افزایش اتصال‌پذیری (کاهش فواصل قطعات) داشته است (اشکال ۱۷ و ۱۸). در نتیجه، میانگین فاصله سفر (T) از ۱۷,۴ به ۱۰,۶۸ کاهش یافت. در مطالعه برلسفورد، متصل نمودن بن‌بست‌ها، میانگین مسافت طی شده در خایلیتشا را از ۱۸۱ متر به ۱۴۱ متر کاهش داد (برلسفورد و بتنکورت، ۲۰۱۹). بنابراین، نتایج حاصل با نتایج تحقیق قبلی مطابقت دارد. تفاوت این تحقیق با تحقیقات قبلی به شرح زیر است: (۱) این مطالعه علاوه بر شاخص‌های برلسفورد، شاخص‌هایی مانند اتصال‌پذیری و مرکزیت را در نظر گرفت. شریفی، در مقاله مروری خود، روش‌های مختلفی را برای محاسبه این دو شاخص پیشنهاد کرد که مطالعه حاضر به ترتیب شاخص بتا و مرکزیت نزدیکی را برای اندازه‌گیری اتصال‌پذیری و مرکزیت انتخاب نمود (شریفی، ۲۰۱۹). (۲) مطالعه قبلی محله‌ای از یک سکونتگاه غیررسمی را به‌عنوان مطالعه موردی انتخاب کرد، اما مطالعه حاضر بلوکی از بافت فرسوده را انتخاب نمود. آسیب‌پذیری بالای این بافت‌ها به هنگام وقوع بلایا، دلیل اصلی انتخاب این نوع بافت‌ها می‌باشد. بنابراین، این مطالعه سعی در بررسی مفاهیم تاب‌آوری، بافت‌های فرسوده و مورفولوژی و بیان روابط بین آنها داشت. ساختار غیر ایمن بافت‌های قدیمی، آسیب‌پذیری آنها در برابر بحران‌ها را افزایش می‌دهد. بااین‌حال، با تغییر هندسی، تاب‌آوری آنها در برابر بلایا افزایش می‌یابد. در نتیجه، رابطه بین متغیرها به شرح زیر است (شکل ۲۳):

[1] Cape town

شکل ۲۳. *چارچوب تحلیلی*

## نتیجه‌گیری

شبکه‌ها یکی از بهترین و کارآمدترین ابزارها برای توسعه بینش در مورد مجموعه داده‌های پیچیده هستند. درحالی‌که روش‌های آماری در کشف روابط بین متغیرها مؤثر هستند، نظریه شبکه، برای مطالعه چگونگی ساختار این روابط، بسیار مناسب است. در این پژوهش موضوعاتی پیرامون مدل‌سازی و نمایش مطرح گردید که برای توسعه مطالعات شبکه ارتباطی حائز اهمیت هستند. طیف متنوعی از مدل‌ها و گراف‌های مربوطه وجود دارد که برای تجزیه‌وتحلیل‌های جابه‌جایی، اتصال‌پذیری و مرکزیت مناسب هستند. باید تاکید کرد که اصولاً هر نوع تجزیه و تحلیلی می‌تواند با استفاده از هر نوع گرافی صورت پذیرد اما بسته به هدف پژوهش، برخی از آن‌ها از بقیه معنادارتر می‌باشند و نتایج دقیق‌تری را به همراه دارند. به‌عنوان‌مثال نمایش‌های تفکیک شده‌تر (متشکل از عناصر خیابانی جداگانه از جمله تقاطع‌ها و...) سطح جزئیات بیشتری را در تجزیه‌وتحلیل فراهم می‌کنند. درحالی‌که مدل‌های یکپارچه‌تر و به‌صورت مجموعه درآمده شده‌تر، ویژگی‌های ساختاری را ارائه می‌دهند و بیشتر برای تجزیه‌وتحلیل توپولوژیکی مناسب هستند. لذا چنانچه در هدف پژوهش، جزئیات و فضاهای عمومی حائز اهمیت و مرکز توجه باشد، حالت اول و چنانچه ساختار و توپولوژی موردتوجه قرار گیرد، حالت دوم مطلوب خواهد بود.

باتوجه‌به این که رشته‌های مختلف به هنگام مطالعه شبکه، به نتایج مطلوبی دست یافته‌اند اما ارزشمند خواهد بود چنانچه محققان هر رشته، از رویکردهای موجود در سایر رشته‌ها آگاهی یافته و بتوانند انتخاب آگاهانه‌ای در خصوص مدل‌سازی و نمایش گرافی سیستم داشته باشند. این امر به دلیل کثرت رویکردها، مدل‌ها و نمایش‌های گرافی ضرورت دارد. به‌طورکلی نگرش یکپارچه و جامع‌تری بایستی در خصوص شبکه ارتباطی وجود داشته باشد. در این مسیر ضرورت دارد تا ابتدا آگاهی کافی در خصوص تک‌تک رویکردها حاصل شود. محقق بایستی بتواند آگاهانه مدل و گراف مربوطه را برگزیند و انتخاب خویش را توجیه نماید. مدل و گراف انتخابی محقق، مرتبط باهدف پژوهش خویش خواهد بود. پژوهشگر در صورت لزوم می‌تواند مدل‌های مختلف را برگزیند چرا که هر یک جنبه خاصی از شبکه ارتباطی را بیشتر موردتوجه قرار می‌دهند. در واقع مدل‌ها مکمل یکدیگر خواهند بود. در مرحله دوم نیاز است تا مقایسه دقیق‌تر رویکردها، مدل‌ها و گراف‌ها موردتوجه قرار گیرد و روابط بین آنها بررسی شود تا مبانی نظری جامع و یکپارچه‌ای دراین‌خصوص پدید آید. در مرحله سوم نیاز است تا قوت‌ها و محدودیت‌های هر یک از رویکردها، مدل‌ها و گراف‌ها بررسی گردد. در مجموع پژوهش حاضر سعی بر آن داشت تا به معرفی و مقایسه رویکردها، مدل‌ها و گراف‌های متعدد بپردازد. پژوهش‌های آتی می‌توانند در خصوص تجزیه‌وتحلیل‌هایی که گراف‌ها و مدل‌ها می‌توانند برای آنها مناسب باشند، بررسی های عمیق‌تری را به انجام رسانند.

این مطالعه باهدف افزایش تاب‌آوری بافت‌های قدیمی در برابر بحران‌ها انجام شده است. پژوهشگران پژوهش حاضر با تهیه مدلی برای اصلاح هندسی معابر و اتصال بن‌بست‌ها، کارآمدترین طرح را برای افزایش اتصال‌پذیری و مرکزیت و کاهش مسافت سفر، زمان سفر و هزینه‌های سفر ارائه دادند؛ بنابراین، آنها یک ساختار بهینه را فراهم کرده و تاب‌آوری بافت را افزایش دادند. سازمان‌های برنامه‌ریزی، بافت‌های فرسوده را در نظر نمی‌گرفتند تا اینکه مطالعات مشترک سازمان مدیریت بحران و آژانس همکاری بین‌المللی ژاپن (۱۳۷۸) اهمیت و ضرورت توجه به این بافت‌ها را روشن کرد. تاکنون بیشتر اقدامات انجام شده برای این مناطق به شرح زیر است: افزایش عرض معابر بدون درنظرگرفتن اولویت آنها، ایجاد بزرگراه‌ها و ساختمان‌های تجاری–مسکونی در نزدیکی آنها برای جبران هزینه‌های تملک زمین و ساخت بزرگراه‌ها و تجمیع قطعات. بنابراین اقدامات یکپارچه و هماهنگی برای افزایش تاب‌آوری انجام نشده است. برنامه‌های تاب‌آوری شهری می‌بایستی در دستور کار شهرداری‌ها قرار گیرد که می‌تواند متشکل از مطالعه حاضر و برنامه‌های خروج ساکنان باشد که مسیرهای خروج بهینه را تعیین می‌کنند. محاسبات پژوهش حاضر برای بلوک‌های بزرگ دشوار است زیرا نرم‌افزار MATLAB می‌تواند مقدار مشخصی از داده‌ها را بپذیرد. در نتیجه، تحقیقات آتی باید تلاش نمایند تا راه‌حل‌های خلاقانه و به‌روزتری را برای انجام این محاسبات و دستیابی به هدف مذکور دریابند.

## منابع

رضویان، محمدتقی؛ علیان، مهدی؛ رستمی، حسین. (۱۳۹۷). ارزیابی آسیب‌پذیری مکانی زیرساخت‌های استان یزد با رویکرد پدافند غیرعامل. *مجله علمی*، ۱۰ (۱)، ۳۱-۶۳.

سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان گیلان. (۱۳۹۱). طرح آمایش استان گیلان. گیلان.

قلی پور، سودابه؛ مهدی نژاد، جمال الدین. (۱۳۹۹). تاب‌آوری ارزش‌های خیابان‌های تاریخی در راستای حفاظت از آنها (نمونهٔ موردی: خیابان چهارباغ اصفهان). *باغ نظر*، ۱۷ (۸۷)، ۴۳-۵۸.

مهندسین مشاور طرح و کاوش. (۱۳۹۴). طرح جامع شهر رشت. گیلان.

میرابی‌مقدم، مهرنوش؛ آقائی زاده، اسماعیل؛ اوجی، روح‌اله. (۱۳۹۸). بررسی مطلوبیت فضای سبز مجتمع‌های مسکونی شهری (مطالعهٔ موردی: شهر رشت). *پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری*، ۷ (۲)، ۲۶۵-۲۸۳.

سالاری پور، علی اکبر؛ مهرجو، مهرداد؛ خیل کردی، مائده. (۱۳۹۸). ارزیابی تاثیر پروژه های بزرگ مقیاس بر نگرش شهروندان به مدیریت شهری نمونه موردی: میدان شهرداری شهر رشت. *نشریه مدیریت شهری*، ۱۸(۵۶)، ۹۳-۱۰۸.

سالاری پور، علی اکبر؛ بابایی، محمد؛ رفیع زاده ملکشاه، المیرا. (۱۳۹۶). ارزیابی تأثیر معیارهای محیطی بر امنیت محلات شهری، مطالعه موردی محله زرجوب شهر رشت. *فصلنامه علمی - پژوهشی پژوهش و برنامه ریزی شهری*، ۸(۲۸)، ۸۳-۹۸.

فولادی، شیوا؛ سالاری پور، علی اکبر. (۱۳۹۹). تبیین عوامل موثر بر ارتقا سطح مردم گرایی در محلات سنتی (مورد مطالعه: محلات استادسرا، چله خانه و پیرسرا شهر رشت). *توسعه محلی (روستائی-شهری)*، ۱۲ (۲)، ۴۴۷-۴۷۱.

## References

Agryzkov, T., Oliver, J. L., Tortosa, L., & Vicent, J. F. (2017). Different Types of Graphs to Model a City. *WIT Trans. Eng. Sci*, 118, 71-82.

Allan, P., Bryant, M., Wirsching, C., Garcia, D., & Teresa Rodriguez, M. (2013). The influence of urban morphology on the resilience of cities following an earthquake. *Journal of Urban Design*, *18* (2), 242-262.

Amaratunga, D., Sridarran, P., & Haigh, R. (2019). *Making Cities Resilient Report 2019: A snapshot of how local governments progress in reducing disaster risks in alignment with the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction*. United Nations Office for Disaster Risk Reduction.

Andris, C., Liu, X., Mitchell, J., O'Dwyer, J., & Van Cleve, J. (2021). Threads across the urban fabric: Youth mentorship relationships as neighborhood bridges. *Journal of Urban Affairs*, 43(1), 77-92.

Asgary, A. (Ed.). (2018). *Resettlement challenges for displaced populations and refugees*. Springer.

Aydin, N. Y., Duzgun, H. S., Heinimann, H. R., Wenzel, F., & Gnyawali, K. R. (2018). Framework for improving the resilience and recovery of transportation networks under geohazard risks. *International journal of disaster risk reduction*, *31*, 832-843.

Boeing, G. (2018). Measuring the complexity of urban form and design. *Urban Design International*, *23* (4), 281-292.

Brelsford, C., Martin, T., & Bettencourt, L. M. (2019). Optimal re-blocking as a practical tool for neighbourhood development. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, *46* (2), 303-321.

Brelsford, C., Martin, T., Hand, J., & Bettencourt, L. M. (2015). The topology of cities. *Recuperado de*.

Brelsford, C., Martin, T., Hand, J., & Bettencourt, L. M. (2018). Toward cities without slums: Topology and the spatial evolution of neighborhoods. *Science advances*, *4* (8), eaar4644.

Carpio-Pinedo, J. (2021). Multimodal transport and potential encounters with social difference: A novel approach based on network analysis. *Journal of Urban Affairs*, 43(1), 93-116.

Consulting Engineers of Tarh-o-Kavosh. (۲۰16). *Rasht comprehensive plan*. Guilan. (In Persian)

Cordone, R., & Maffioli, F. (2004). On the complexity of graph tree partition problems. *Discrete Applied Mathematics*, *134* (1-3), 51-65.

Fouladi, S., Salaripour, A. (2021). Exploring the factors affecting the Sociopetality in Traditional Neighborhoods of Rasht (Case Study: Ostadsara, Chelehkhane and Pirsara). Community Development (Rural and Urban Communities), 12(2), 447-471

Gholipour, S., & Mahdinejad, J. D. (2020). Resilience the values of Historical Streets in Order to Protect them (Case Study: Chaharbagh Street, Isfahan). *The Monthly Scientific Journal of Bagh-E Nazar*, *17* (87), 43-58. (In Persian)

Lin, J., & Ban, Y. (2017). Comparative analysis on topological structures of urban street networks. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, *6* (10), 295.

Management and Planning Organization of Guilan (2018). *Spatial Plan of Guilan Province.* Guilan. (In Persian)

Marshall, S., Gil, J., Kropf, K., Tomko, M., & Figueiredo, L. (2018). Street network studies: from networks to models and their representations. *Networks and Spatial Economics*, 18(3), 735-749.

McGlade, J., Bankoff, G., Abrahams, J., Cooper-Knock, S. J., Cotecchia, F., Desanker, P., & Hirsch, F. (2019). *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2019*. United Nations Office for Disaster Risk Reduction.

Mirabimoghaddam, M., Aghaeizadeh, E., & Oji, R. (2019). An Investigation of Urban Green Space Suitability in Residential Complexes (Case Study: Rasht City). *Geographical Urban Planning Research (GUPR)*, *7* (2), 265-283. (In Persian)

Mishima, N., Miyamoto, N., Taguchi, Y., Kitagawa, K., Oh, Y. S., & Park, S. G. (2013). Development of a two-way evacuation route database based on interviews conducted with historic preservation area residents. *International Journal of Contents*, *9* (2), 48-57.

Mitchell, T., & Harris, K. (2012). Resilience: A risk management approach. *ODI background note*, 1-7.

Narvaez Zertuche, L., & Davis, H. (2021). From city networks to network economies: Revisiting the effects of urban form in the knowledge-based economy. *Journal of Urban Affairs*, 43(1), 157-181.

Neal, Z., Derudder, B., & Liu, X. (2021). Using urban networks to gain new insight into old questions: Community, economy, bureaucracy. *Journal of Urban Affairs*, 43(1), 2-15.

Normandin, J. M., Therrien, M. C., & Tanguay, G. A. (2009, June). City strength in times of turbulence: strategic resilience indicators. In *Proc. of the Joint Conference on City Futures, Madrid* (pp. 4-6).

Rastyapina, O. A., & Korosteleva, N. V. (2016). Urban safety development methods. *Procedia engineering*, *150*, 2042-2048.

Razavian, M., Alian, M., Rostami, H. (2018). Assessment of spatial vulnerability infrastructures in Yazd province, with passive defense approach. *Town and Country Planning*, 10 (1), 31-63. (In Persian)

Roads and Urban Development Organization of Guilan (2007). *Renovation of worn-out textures in Rasht.* Guilan. (In Persian)

Seyedin, A., Amini Varaki, S., Rostami, H., & Yazdani, M. H. (2017). Place Vulnerability Assessment of Ardabil's Infrastructures Using Passive Defense Approach. *Town and Country Planning*, 9(2), 333-362.

Sharifi, A. (2019). Resilient urban forms: A review of literature on streets and street networks. *Building and Environment*, *147*, 171-187.

Sharifi, A., & Yamagata, Y. (2016). Principles and criteria for assessing urban energy resilience: A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1654-1677.

Srinurak, N., Mishima, N., Fuchikami, T., & Duangthima, W. (2016). Analysis of urban morphology and accessibility character to provide evacuation route in historic area. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 216, 460-469.

Steadman, P. (2004). Developments in space syntax. *Environ Plann B: Plann Des,* 31(4), 483–486

Tanachawengsakul, T., Mishima, N., & Fuchikami, T. (2016). A simulation study on fire evacuation routes in primary stage for a historic canal residential area. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 216, 492-502.

Tiernan, A., Drennan, L., Nalau, J., Onyango, E., Morrissey, L., & Mackey, B. (2019). A review of themes in disaster resilience literature and international practice since 2012. *Policy design and practice*, 2 (1), 53-74.

Tulin, M., Volker, B., & Lancee, B. (2021). The same place but different: How neighborhood context differentially affects homogeneity in networks of different social groups. *Journal of Urban Affairs*, 43(1), 57-76.

Vasiliauskaite, V., & Rosas, F. E. (2020). Understanding complexity via network theory: a gentle introduction. *arXiv preprint arXiv:2004.14845*.

Wang, C., Lizardo, O., & Hachen, D. S. (2021). Using big data to examine the effect of urbanism on social networks. *Journal of Urban Affairs*, 43(1), 40-56.

Zali, N., Rabbani, T., & Motti, V. V. (2015). Application of prospective structural analysis for identification of strategic variables in the future development of Baneh City in Iran. European Spatial Research and Policy, 22(1), 153-171.

Zali, N., Ahmadi, H., & Faroughi, S. M. (2013). An analysis of regional disparities situation in the East Azarbaijan Province. Journal of Urban and Environmental Engineering, 7(1), 183-194.

Zali, N. (2013). Strategic forecasting in regional planning and development. Strategic Studies Institute.

Zhang, X., & Chen, K. (2021). Which scale matters? Rethinking cultural industry development policies from a city network perspective. *Journal of Urban Affairs*, 43(1), 140-156.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی