

Research Paper

## Reliability Evaluation in Fuel Distribution Networks Using Route Graph Method

Daryoosh Borzue\*, Seyed Farhan Moosavian, Abolfazl Ahmadi

Department of Energy Systems Engineering, School of New Technologies, Iran University of Science & Technology, Tehran

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Received 21 January, 2022

Revised 19 February, 2022

Accepted 03 March, 2022

#### Keywords:

Fuel Distribution Networks

Reliability

Route Graph

Supporting Stations

### ABSTRACT

#### Introduction

The fuel distribution network in the country has a vital role and is responsible for supplying the fuel chain from the refinery to the consumption stage at the refueling station. Due to the critical role of this network in providing the required fuel to vehicles, estimating the reliability and risk and the amount of unsupplied fuel in it is of particular importance. In this study, with the aim of evaluating the reliability of complex fuel distribution networks, a numerical model based on the route graph method in MATLAB software has been developed, and the fuel distribution network of Damavand city has been studied as a case study by the model. In this regard, first, the existing fuel stations in the city are identified and classified. While forming the general graph of the distribution network and naming its nodes, the communication lines between the stations are drawn according to common standards (supporting and adjacent stations), and the developed algorithm has calculated all the available routes from the source refinery to the destination sites. Finally, with the acquisition of the routes, the final assurance of fuel supply at the destination stations has been obtained. The results show that the fuel station "Velayat Abali" with 94% reliability has the minimum amount, and the fuel station "Besat" with 96% reliability has the maximum amount of reliability in the distribution network. Also, defining the configuration of supporting stations in the distribution network increases the reliability of the system.

#### Introduction

Reliability modeling and evaluation in distribution networks, including energy, water, and fuel distribution, has progressed significantly in recent years. The statistics show that water and energy distribution networks have the largest share in the unsupplied energy of subscribers. For example, power distribution networks contribute to consumer blackouts, and water distribution networks make a significant contribution to customer water outages. Energy and fuel networks may suffer from performance and failure due to various external and internal factors. External factors mainly include earthquakes, avalanches, special weather conditions, etc., and internal factors, depending on the type of network, are due to failure of control systems, manpower error and limited useful life of

equipment. Due to the importance of maintaining network performance in such situations at the desired level, in recent years, several methods have been proposed to evaluate the performance of complex networks that express network reliability in conditions of uncertainty (critical conditions). Since energy and fuel distribution networks are generally complex systems, it is appropriate to use the concept of network equivalent graphs to simplify them.

The primary purpose of this study is to introduce an algorithm to calculate the reliability of fuel distribution networks. Achieving this goal requires considering a range to generalize the proposed model and calculate the final reliability. In this regard, by considering the fuel distribution network in Damavand city as a case study, the final reliability of this network is calculated.

\* Corresponding Author, Email: daryooshborzuei@gmail.com

### Materials and methods

Numerous methods have been developed to calculate system reliability, especially in cases where the system cannot be considered in series. The most prominent methods developed are: conditional probability method, cut method, tree diagram method, logic diagram method, connection matrix method, and path graph method. Due to the appropriate approach of the path graph method and its ability to be developed in the software platform, this method has been used in the present study. In this method, all the paths that connect the system input to its output are considered and the reliability of each path is calculated; In other words, the conditions leading to the successful operation of the

system are determined. This method is based on the concept of connection set; A connection set is a non-duplicate path of components, the failure of each of which leads to the failure of the connection set, and if any of the sets are in place, the system will function properly. Each set has a parallel connection with the other sets and its members are in series.

### Result

After determining the set of available routes developed by the algorithm and having the reliability of each fuel station, the overall reliability of the network is obtained according to Table 4.

**Table 4. Calculation of the final reliability of the fuel distribution network in Damavand city**

Selected route set	Reliability	Breakability	fuel not supplied (liters)
Routes leading to station number 5	0.940233	0.059776	2988.4
Routes leading to station number 6	0.955031	0.044969	1798.8
Routes leading to station number 7	0.958154	0.041846	1673.8
Routes leading to station number 8	0.961156	0.038844	1942.2

### Discussion and Conclusion

The summary of the results is as follows:

- Regarding the reliability of the fuel supply chain of the fuel station of Abali province, with 94% reliability, it has the minimum value. It is the critical point of the distribution network.
- Besat fuel station located on the south side

of the central area with 96.1% reliability is the most reliable station in the fuel distribution network of Damavand city.

- The use of support stations and two-way communication between adjacent stations in the fuel supply management method increases the system's reliability.

## فصلنامه سیستم‌های انرژی پایدار

سایت نشریه: <https://ses.ut.ac.ir>

مقاله پژوهشی

### ارزیابی قابلیت اطمینان در شبکه‌های توزیع سوخت شهری به روش گراف مسیر

داریوش برزوئی<sup>۱\*</sup>، سید فرحان موسویان<sup>۱</sup>، ابوالفضل احمدی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد گروه سیستم‌های انرژی، دانشکده فناوری‌های نوین، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

<sup>۲</sup> استادیار، گروه سیستم‌های انرژی، دانشکده فناوری‌های نوین، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

#### چکیده

شبکه توزیع سوخت در کشور دارای نقشی حیاتی است و وظیفه تأمین زنجیره سوخت از پالایشگاه تا مرحله مصرف در جایگاه سوخت‌رسانی را بر عهده دارد. با توجه به نقش مهم این شبکه در تأمین سوخت مورد نیاز وسایل نقلیه، برآورد قابلیت اطمینان و ریسک‌پذیری و نیز تخمین مقدار سوخت تأمین‌نشده در آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این پژوهش، با هدف ارزیابی قابلیت اطمینان در شبکه‌های توزیع سوخت، نسبت به توسعه یک مدل عددی بر مبنای روش گراف مسیر در نرم‌افزار متلب اقدام شده و شبکه توزیع سوخت شهرستان دماوند به عنوان مطالعه موردی توسط مدل یادشده بررسی شده است. در این راستا، ابتدا جایگاه‌های سوخت موجود در شهرستان شناسایی شده و طبقه‌بندی شده، سپس ضمن تشکیل گراف کلی شبکه توزیع و نام‌گذاری گره‌های آن، خطوط ارتباطی میان جایگاه‌ها بر اساس استانداردهای رایج (جایگاه‌های حامی و مجاور) ترسیم شده و کلیه مسیرهای موجود از پالایشگاه مبدأ تا جایگاه‌های مقصد توسط الگوریتم توسعه‌داده‌شده محاسبه شده است. در نهایت، با به دست آمدن مسیرها، قابلیت اطمینان نهایی تأمین سوخت در جایگاه‌های مقصد بررسی شده است. نتایج به‌دست‌آمده بیانگر آن است که جایگاه سوخت «ولایت ابعلی»، با قابلیت اطمینان ۹۴ درصد دارای کمینه مقدار و جایگاه سوخت «بعثت» با قابلیت اطمینان ۹۶ درصد دارای بیشینه مقدار قابلیت اطمینان در شبکه توزیع است. همچنین، تعریف پیکربندی ایستگاه‌های حامی در شبکه توزیع موجب افزایش قابلیت اطمینان سیستم می‌شود.

#### اطلاعات مقاله

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت ۱۴۰۰/۱۱/۰۱

تاریخ بازنگری ۱۴۰۰/۱۱/۳۰

تاریخ تصویب ۱۴۰۰/۱۲/۱۲

کلیدواژه:

ایستگاه‌های حامی  
شبکه‌های توزیع سوخت  
قابلیت اطمینان  
گراف مسیر

#### مقدمه

توجهی در خاموشی مصرف‌کنندگان و شبکه‌های توزیع آب سهم بسزایی در قطعی آب مشترکان دارند. به طور کلی، شبکه‌های انرژی و سوخت ممکن است تحت تأثیر عوامل خارجی و داخلی مختلف دچار افت عملکرد و خرابی شوند. عوامل خارجی بیشتر شامل زلزله، بهمن، شرایط آب‌وهوایی خاص و غیره بوده و عوامل داخلی نیز بسته به نوع شبکه، ناشی از خرابی سیستم‌های کنترلی، خطای نیروی انسانی و محدودیت عمر مفید تجهیزات هستند (۱). با توجه به اهمیت حفظ عملکرد شبکه در چنین

مدل‌سازی قابلیت اطمینان و ارزیابی آن در شبکه‌های توزیع، اعم از توزیع انرژی، آب و سوخت، طی سال‌های اخیر پیشرفت چشمگیری داشته است. آمارهای به‌دست‌آمده بیانگر آن است که شبکه‌های توزیع آب و انرژی، بیشترین سهم را در انرژی تأمین‌نشده مشترکان دارند. به عنوان مثال، شبکه‌های توزیع برق سهم قابل

\* نویسنده مسئول

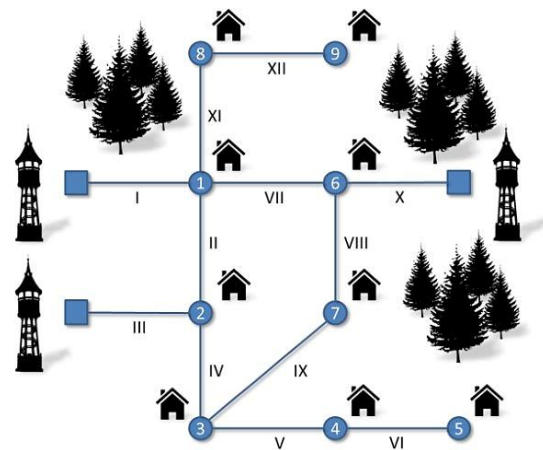
Email: daryooshborzuei@gmail.com

پس از مدل‌سازی شبکه توزیع به صورت گراف معادل و با در دست داشتن قابلیت اطمینان مربوط به هر گره، می‌توان قابلیت اعتماد نهایی سیستم را با بهره‌گیری از روش‌هایی مانند روش احتمال شرطی، روش کات ست<sup>۱</sup>، روش مجموعه اتصال<sup>۲</sup>، روش نمودار درختی، روش نمودار منطقی<sup>۳</sup> و روش ماتریس اتصال<sup>۴</sup> محاسبه کرد. با استفاده از روش‌های یادشده سیستم‌های پیچیده به سیستم‌های سری و موازی ساده‌تر تبدیل می‌شوند. اختلاف این روش‌ها در شیوه استدلال و تقسیم‌بندی سیستم به مجموعه‌های سری و موازی، (تشخیص حالت‌های عملکرد صحیح و شکست) است. مطالعات و بررسی‌های گوناگونی در قالب تحقیقات، کتاب‌ها و مقالات در خصوص مدل‌سازی شبکه‌های توزیع و محاسبه قابلیت اطمینان در آن‌ها انجام شده است. در این بخش سعی شده است که به‌اختصار برخی از این موارد تشریح شود.

از طرفی، کیم و کانگ نوعی روش تجزیه و تحلیل اعتبار شبکه بر مبنای شبیه‌سازی مبتنی بر الگوریتم تجزیه مجدد برای ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه‌های پیچیده زیرساختی مانند حمل‌ونقل، تأمین آب، فاضلاب، ارتباطات راه دور، و شبکه‌های برق و گاز پیشنهاد کردند. روش پیشنهادی آن‌ها دو فرایند تجزیه جداگانه برای توابع منطقی، تقاطع و اتحاد دارد و ترکیبی از این فرایندها برای تجزیه هر رویداد کلی سیستم با جفت گره چندگانه استفاده می‌شود (۶). در همین راستا، سهومیینگ و تربل برای تحلیل ریسک و قابلیت اطمینان یک نیروگاه هسته‌ای و زیرسیستم‌های مرتبط با آن، الگوریتمی جدید بر پایه محاسبات موازی ارائه کردند. آنان ادعا کردند که الگوریتم پیشنهادیشان به خلاف روش‌های پیشین (که بر مبنای محاسبات سری است) در تحلیل سیستم‌های پیچیده مؤثرتر واقع می‌شود (۷). در همین راستا، گانگ و ژو نوعی روش اصلاح‌شده مبتنی بر اجزای معادل را برای ارزیابی قابلیت اطمینان در سیستم‌های سری پیشنهاد کردند. آن‌ها تحلیلی برای ارزیابی بردار نرمال واحد، در چارچوب روش قابلیت اطمینان مرتبه اول و مرتبط با مؤلفه معادل ارائه کردند (۸).

شرایطی در سطحی مطلوب، در سال‌های اخیر روش‌های متعددی برای ارزیابی عملکرد شبکه‌های پیچیده ارائه شده است که اعتمادپذیری شبکه را در شرایط عدم قطعیت (شرایط بحرانی) بیان می‌کند. از آنجا که شبکه‌های توزیع انرژی، عموماً به صورت سیستم‌هایی پیچیده هستند، بنابراین شایسته است به منظور ساده‌سازی آن‌ها از مفهوم گراف معادل شبکه، استفاده شود.

مفهوم گراف در سال ۱۷۳۶ توسط اویلر و به عنوان راه حلی برای مسئله پل‌های کونیگسبرگ ارائه شد (۲). به طور کلی، وضعیت و حالت شبکه‌های توزیع را می‌توان توسط نمودارهایی متشکل از مجموعه‌ای نقاط و خطوط، توصیف کرد. به این منظور، مراکز تولید، توزیع و مصرف را با گره و ارتباط بین آن‌ها با بردار ترسیم می‌شود. به عنوان مثال، شبکه آبرسانی یک شهرک پیش‌فرض را می‌توان به صورت گراف معادل شکل ۱ مدل کرد.



شکل ۱. مثالی از گراف معادل شبکه توزیع آب (۳)

در راستای ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه‌های پیچیده، میسرا و کریشنا (۴)، با استفاده از ویژگی‌های گراف مسیر برای شبکه‌های دارای زیرشاخه‌های متعدد، الگوریتمی ساده و در عین حال، سریع ارائه کرد که برای تجزیه و تحلیل کامپیوتری این شبکه‌ها بسیار مناسب است. او در پژوهشی دیگر الگوریتم ام-آی-پی که بر مبنای اعداد صحیح است را برای ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های پیچیده ارائه کرد. الگوریتم پیشنهادی او با توجه به عدم وابستگی به قیود و توابع هدف برای ارزیابی و تحلیل بهینه قابلیت اطمینان سیستم سرعت زیادی داشت (۵).

1. Cut-set Analysis  
2. Tie set Analysis  
3. Logic Diagram  
4. Connection Matrix Technique

سیستم‌های تأمین آب در شرایط وقوع زلزله معرفی کردند. آنان برای تخمین میزان نشت خطوط لوله تحت شرایط لرزه‌ای اعمال شده، از روش مونت کارلو استفاده کرده و قابلیت اطمینان کل شبکه پیش‌فرض را به عنوان نتیجه نهایی گزارش کردند (۱۵). از طرفی، ریمکوویچ و همکاران یک روش کلی برای ارزیابی قابلیت اطمینان در سیستم‌های انرژی شامل شبکه‌ای از خطوط لوله ارائه کرده و روش خود را روی شبکه‌های توزیع سوخت ارزیابی کردند. در روش آنان پس از ترسیم گراف معادل شبکه، قابلیت اطمینان نهایی در چارچوب مکانیزم‌های تخریب و یکپارچگی ساختار لوله‌ها، محاسبه می‌شود (۱۶)

با توجه به پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه ارزیابی و برآورد قابلیت اطمینان در شبکه‌های توزیع انرژی، سوخت و آب مصرفی، ضرورت وجود مدلی کارآمد برای محاسبه قابلیت اطمینان نهایی در این سیستم‌ها احساس می‌شود. در این پژوهش با هدف ارائه الگوریتمی برای محاسبه قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع سوخت، ضمن توسعه یک مدل محاسباتی در نرم‌افزار متلب که مبتنی بر روش گراف مسیر است، نسبت به محاسبه قابلیت اطمینان شبکه تأمین سوخت در شهرستان دماوند به عنوان مطالعه موردی، اقدام شده است. روند ارائه مطالب به این صورت است که پس از بررسی مقدمه و پیشینه اصلی پژوهش نسبت به تشریح مدل توسعه‌داده‌شده و سپس، اعتبارسنجی آن با روش‌های محاسباتی مرسوم اقدام شده و در نهایت، قابلیت اطمینان و نرخ سوخت تأمین‌نشده در شبکه اصلی مورد مطالعه ارائه شده است.

هدف اصلی پژوهش حاضر، معرفی الگوریتمی برای محاسبه قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع سوخت است و دستیابی به این هدف نیازمند در نظرگیری محدوده‌ای برای تعمیم مدل ارائه‌شده به آن و محاسبه قابلیت اطمینان نهایی است. در این راستا، با در نظرگیری شبکه توزیع سوخت در محدوده شهرستان دماوند به عنوان مطالعه موردی، قابلیت اطمینان نهایی مربوط به این شبکه، محاسبه می‌شود.

#### منطقه مطالعه شده

شهرستان دماوند نام یکی از شهرستان‌های استان تهران در ایران است، این شهرستان با مساحتی حدود ۱۸۸ هزار

به منظور بررسی کمی و کیفی قابلیت اطمینان سیستم‌های مختلف، لوک و استراب برای تخمین و به‌روزرسانی کیفی قابلیت اطمینان سیستم‌های ساختاری با نتایج بازرسی و نظارت، مدلی مبتنی بر شبکه‌های بیزی پویا ایجاد کرده و قابلیت اطمینان سیستم‌های پیچیده را تحت این ساختار بررسی کردند (۹). در ادامه، ژینو و همکاران به بررسی کمی قابلیت اطمینان یک شبکه پیش‌فرض با تئوری‌های موجود پرداختند و قابلیت اطمینان سیستم را بر مبنای الگوی زنجیره مارکوف مونت کارلو که برای ارزیابی احتمال شکست سیستم‌های پیچیده است، شبیه‌سازی کردند (۱۰). در همین راستا، گایدوتی و همکاران یک روش احتمالی جدید برای کمی کردن قابلیت اطمینان شبکه براساس معیارهای موجود (قطر و کارایی) و معیارهای جدید (ناهم‌محوری و ناهمگنی) اتصال، با استفاده از گره‌های کمکی و همچنین، وزن گره‌ها و یال‌ها پیشنهاد کردند. آنان علت در نظر گرفتن وزن گره و یال را برجسته کردن موقعیت مکانی هر المان در توپولوژی مسئله بیان کردند (۱۱).

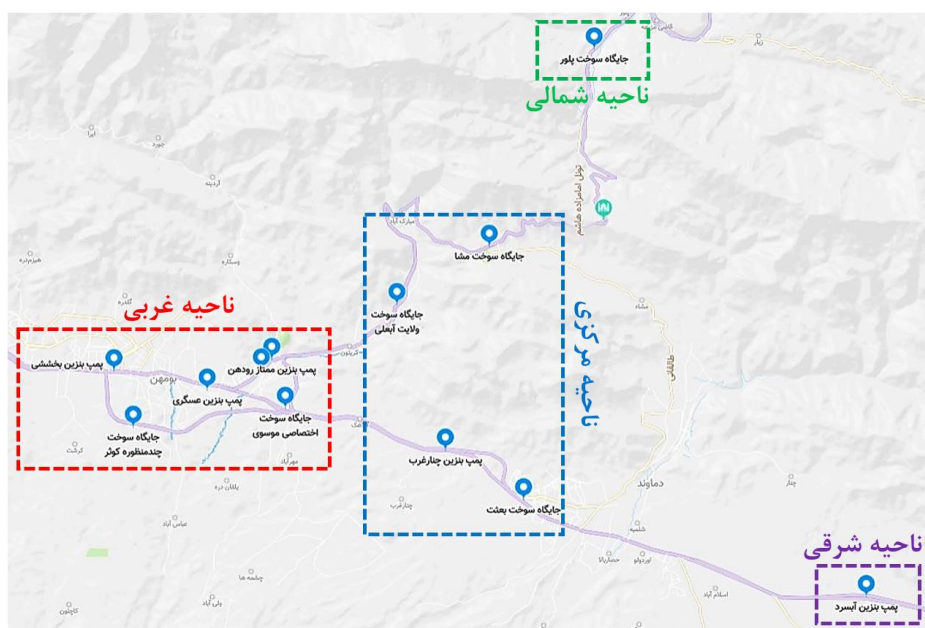
پژوهش‌هایی نیز با هدف ارزیابی قابلیت اطمینان در شبکه‌های توزیع آب و انرژی انجام گرفته است. سو و همکاران روشی یکپارچه برای ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه‌های خط لوله گاز طبیعی معرفی کردند. آنان برای توصیف مسئله از یک مدل تصادفی بر اساس مدل‌سازی مارکوف و تئوری گراف استفاده کرده و در نهایت، ظرفیت شبکه خط لوله را تحت سناریوهای مختلف محاسبه کرده و پیامدهای نقص واحدها در سیستم را بررسی کردند (۱۲).

رودریگز و همکاران قابلیت اطمینان را در شبکه‌های تأمین آب شرب شهری بررسی کردند و نشان دادند شبکه‌های حلقوی از شبکه‌های منشعب‌شده با یک چیدمان و اندازه مشابه، قابلیت اطمینان بیشتری دارد (۱۳). از طرفی، بن صغیر و همکاران با استفاده از روش مونت کارلو، قابلیت اطمینان در شبکه‌های سوخت‌رسانی را با در نظرگیری خطوط لوله‌ای که دارای نقص خوردگی بودند (شبکه نیمه‌معیوب فرسوده)، محاسبه کردند. نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش یادشده آن بود که روش مونت کارلو به‌رغم هزینه محاسباتی کمتر، قابلیت اطمینان را با دقت مطلوبی ارائه می‌کند (۱۴). در همین راستا، تاکادا و جوانبرگ یک مدل جامع برای ارزیابی قابلیت اطمینان

دماوند تقسیم می‌شود (۱۹). این دویخس در مجموع شامل ۵ دهستان، ۵ شهر و ۱۱۱ روستا است (۲۰ و ۲۱). شهرهای شهرستان دماوند عبارت‌اند از: دماوند (گیلان‌د و جیلارد)، کیلان، آبسرد، رودهن و آبعلی (۲۲).

با توجه به اینکه هدف اصلی پژوهش حاضر، مطالعه قابلیت اطمینان در شبکه توزیع سوخت است، در شکل ۲ شمایی از جایگاه‌های اصلی توزیع بنزین در محدوده شهرستان دماوند ارائه شده است.

هکتار در محدوده شهرستان‌های فیروزکوه، آمل، ورامین و گرمسار قرار دارد و منطقه‌ای کوهستانی است که متوسط ارتفاع آن از سطح دریا حدود ۲۰۰۰ متر است (۱۷). از میزان ۱۸۸ هزار هکتار مساحت شهرستان، ۸۳ درصد جزء منابع ملی، ۱۶ درصد جزء زمین‌های کشاورزی و یک درصد باقی‌مانده جزء حوزه شهری است (۱۸). بنا بر آخرین تقسیمات کشوری، شهرستان دماوند به دو بخش به نام‌های بخش مرکزی و بخش رودهن به مرکزیت شهر

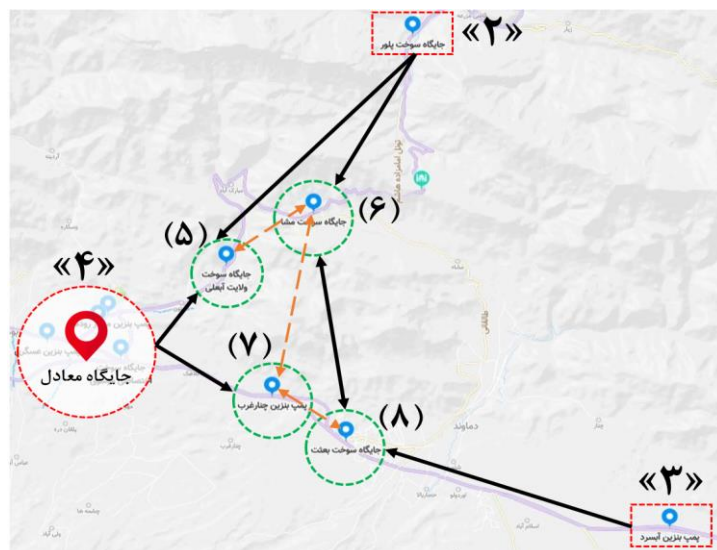


شکل ۲. نقشه جایگاه‌های اصلی توزیع بنزین در محدوده شهرستان دماوند

پیشنهاد شده است). بنابراین، با در نظرگیری ناحیه غربی به صورت یک جایگاه ترکیبی معادل و با حفظ سایر جایگاه‌ها در نواحی شمالی، مرکزی و شرقی، نقشه نهایی به صورت شکل ۳ ساده می‌شود. در این شکل با در نظرگیری پالایشگاه اصلی به عنوان جایگاه ۱ (پالایشگاه مادر)، سایر جایگاه‌ها به ترتیب از ۲ تا ۸ شماره گذاری شده‌اند.

مطابق شکل ۳، تعداد جایگاه‌های مورد بررسی به ۷ جایگاه اصلی کاهش یافته است. همچنین، با در نظر گیری پالایشگاه به عنوان المان فرضی ۱، سایر جایگاه‌ها از المان ۴ تا المان ۸ (در نقشه ارائه شده در شکل ۳) شماره گذاری شده‌اند. در جدول ۱، اطلاعات مربوط به هر جایگاه شامل شماره تخصیص یافته به آن و اطلاعات جغرافیایی مربوطه ارائه شده است.

مطابق شکل ۲ جایگاه‌های سوخت شهرستان دماوند به چهار ناحیه مجزا قابل تفکیک است. ناحیه غربی شامل جایگاه‌های موجود در شهرهای بومهن و رودهن، ناحیه مرکزی شامل جایگاه سوخت مشاء، آبعلی، چنارغرب و بعثت، ناحیه شمالی شامل جایگاه سوخت پلور و در نهایت، ناحیه شرقی شامل جایگاه بنزین آبسرد. با توجه به اینکه قابلیت اطمینان شبکه توزیع سوخت تابعی از فاصله جایگاه‌های سوخت از یکدیگر است (۱۶) (مقدار سوخت تأمین نشده و به طبع قابلیت اطمینان سیستم، به شیوه توزیع جغرافیایی و فاصله جایگاه‌ها از یکدیگر وابسته است) و با توجه به تمرکز بیش از حد تعداد جایگاه‌ها در ناحیه غربی، این ناحیه را می‌توان با یک جایگاه معادل جایگزین کرد (مشابه این مورد در مطالعه کیم و همکاران (۲۳) برای ساده‌سازی گراف اولیه،



شکل ۳. نقشه گراف معادل شبکه توزیع سوخت شهرستان دماوند در حضور جایگاه معادل

جدول ۱. مشخصات جایگاه‌های بررسی شده در گراف توزیع سوخت

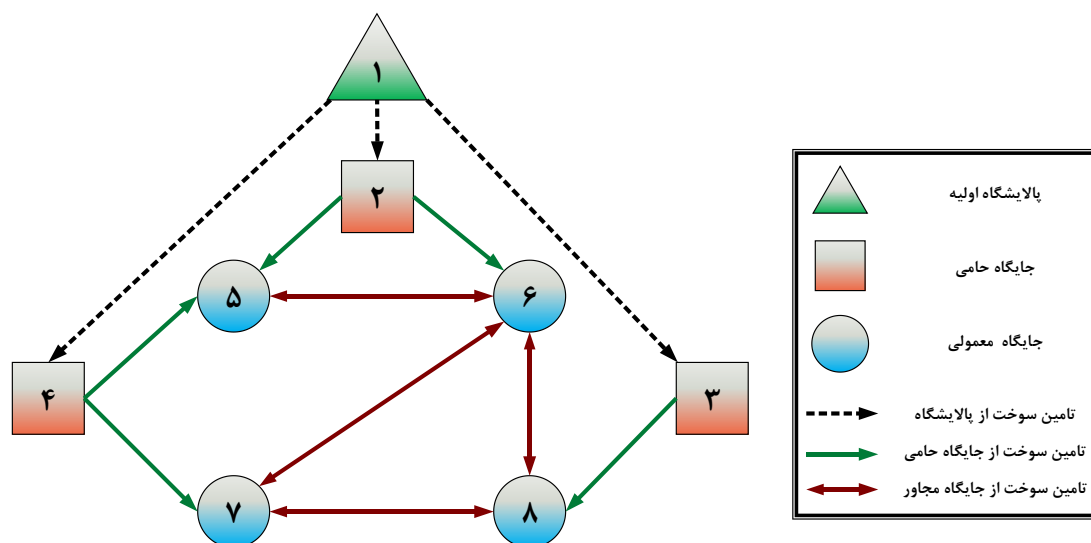
شماره تخصیص یافته	مختصات جغرافیایی جایگاه		محل جایگاه	نام جایگاه
	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی		
۱			نقطه فرضی در نظر گرفته شده به عنوان مبدأ گراف	پالایشگاه مادر
۲	۳۵/۸۳۳۴۶۹	۵۲/۰۳۵۱۵۵	جاده هراز، شهرستان پلور	جایگاه سوخت پلور
۳	۳۵/۶۶۲۰۰۵	۵۲/۱۴۲۰۶۳	جاده فیروزکوه، شهر آبسرد	جایگاه سوخت آبسرد
۴	-	-	محدوده رودهن و بومهن	جایگاه معادل ناحیه غربی
۵	۳۵/۷۵۳۵۰۲	۵۱/۹۶۰۱۴۸	جاده هراز، آبدلی	جایگاه سوخت ولایت آبدلی
۶	۳۵/۷۷۲۲۹۸	۵۱/۹۹۶۳۹۶	جاده هراز، ورودی مشاء	جایگاه سوخت مشاء
۷	۳۵/۷۲۲۲۰۹	۵۱/۹۱۱۳۷۶	جاده فیروزکوه، بعد از چنار غربی	جایگاه سوخت چنار غرب
۸	۳۵/۷۱۸۴۵۹	۵۱/۹۲۲۳۹۸	جاده فیروزکوه، بعد از مهرآباد	جایگاه سوخت بعثت

اطمینان شبکه توزیع سوخت و کاهش میزان انرژی (یا سوخت) تأمین نشده<sup>۱</sup>، ایجاد خطوط ارتباطی دو طرفه در ایستگاه‌های مجاور پیشنهاد شده است (۱۶). علت استفاده از خطوط ارتباطی دوطرفه این است که در صورت اتمام سوخت یک جایگاه، بین زمان ارسال محموله سوخت از ایستگاه حامی، جایگاه مجاور بخشی از سوخت مورد نیاز را تأمین کند و جایگاه فاقد سوخت از مدار تأمین خارج نشود. با توجه به مجاورت چهار ایستگاه در ناحیه مرکزی، خطوط ارتباطی دوطرفه برای آنان در نظر گرفته شده است. در نهایت، با در نظر گرفتن ملاحظات مطرح شده، گراف نهایی شبکه توزیع سوخت در شهرستان دماوند به صورت شکل ۴ خلاصه می‌شود.

در خصوص شیوه ترسیم خطوط ارتباطی گراف شبکه توزیع باید خاطر نشان کرد، با توجه به اینکه در شبکه توزیع سوخت برخی از جایگاه‌ها نقش کنترلی (دیسپاچینگ محلی (۲۴)) داشته و تانکرهای ذخیره (یا حمل) سوخت را سازماندهی می‌کنند (۲۵)، مسیری یک طرفه برای آنان در نظر گرفته شده است. این جایگاه‌ها که تحت عنوان ایستگاه‌های حامی شناخته می‌شوند، عموماً در حومه ناحیه اصلی قرار گرفته و در صورت نیاز سوخت را به جایگاه‌های ثانویه ارسال می‌کنند. با توجه به موقعیت قرارگیری جایگاه‌های توزیع سوخت در نواحی مختلف، در مسئله حاضر جایگاه‌های ۲ و ۳ و ۴ به عنوان ایستگاه‌های حامی در نظر گرفته شده است. همچنین، برای افزایش قابلیت

1. Energy not supplied (ENS)





شکل ۴. گراف نهایی شبکه توزیع سوخت در شهرستان دماوند

می‌کنند، در نظر گرفته شده و قابلیت اطمینان هریک از مسیرها محاسبه می‌شود؛ به بیان دیگر وضعیت‌های منجر به عملکرد موفق سیستم تعیین می‌شود. این روش مبتنی بر مفهوم مجموعه اتصال<sup>۱</sup> است؛ مجموعه اتصال مسیری است غیر تکراری از اجزائی که شکست هر یک از آن اجزاء، منجر به شکست مجموعه اتصال می‌شود و اگر هر یک از مجموعه‌ها برقرار باشند، سیستم دارای عملکردی صحیح خواهد بود. هر مجموعه دارای اتصال موازی با سایر مجموعه‌ها است و اعضای آن با هم سری هستند (۲۶) و (۲۷). به عنوان مثال در شکل ۵، گراف مجموعه اتصال سیستم پل مفروض ارائه شده است.

مطابق شکل ۵، گراف مجموعه اتصال سیستم پل و تسون به صورت ۴ مسیر مختلف که با یکدیگر موازی هستند، نمایش داده می‌شود. برای محاسبه قابلیت اطمینان کل سیستم لازم است که در وهله اول، قابلیت اطمینان هریک از مسیرهای ساده‌سازی شده (با المان‌های سری) مطابق رابطه ۱ محاسبه شود.

$$R_{\text{مسیر}} = 1 - \prod_{\text{المان‌ها}} P_{\text{ها}} \quad (1)$$

در رابطه ۱،  $R_{\text{مسیر}}$  بیانگر قابلیت اطمینان کل مسیر و  $P_{\text{ها}}$  بیانگر احتمال شکست هر المان موجود در مسیر است. در نهایت، با داشتن قابلیت اطمینان هر مسیر قابلیت اطمینان کل سیستم مطابق رابطه ۲ به دست می‌آید.

در خصوص شیوه ترسیم خطوط ارتباطی در گراف شکل ۴، با توجه به مفروض بودن پالایشگاه مادر، خطوط مستخرج از آن به صورت خط چین نمایش داده شده و خطوط ارتباطی یکطرفه مستخرج از ایستگاه‌های حامی با رنگ سبز مشخص شده است. پس از مشخص شدن ساختار گراف شبکه توزیع، با هدف محاسبه قابلیت اطمینان شبکه یادشده، روش‌ها و تئوری حاکم مرور می‌شود.

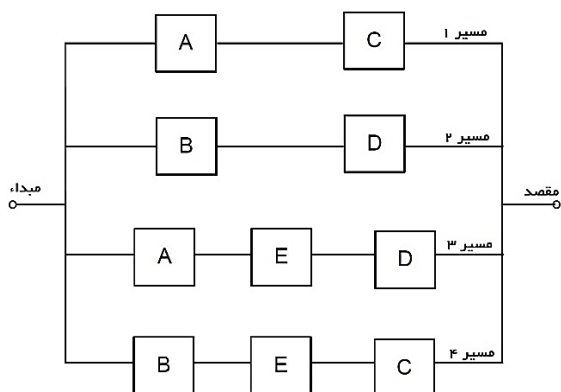
#### تئوری حاکم بر مسئله

روش‌های متعددی برای محاسبه قابلیت اطمینان سیستم به‌خصوص در مواردی که سیستم را نمی‌توان به صورت سری یا موازی در نظر گرفت، توسعه یافته است. از برجسته‌ترین روش‌های توسعه یافته می‌توان به: روش احتمال شرطی، روش کات ست (یا مجموعه قطع)، روش نمودار درختی، روش نمودار منطقی، روش ماتریس اتصال و روش گراف مسیر اشاره کرد (۲۶). با توجه به رویکرد مناسب روش گراف مسیر و قابلیت توسعه آن در بستر نرم‌افزاری، در پژوهش حاضر از این روش استفاده شده است. این روش به‌رغم ارائه دقت زیاد در محاسبه قابلیت اطمینان، دارای انعطاف قابل قبولی در زمینه شیوه پیاده‌سازی الگوریتم محاسباتی است و به همین دلیل، الگوریتم‌های مبتنی بر روش گراف مسیر، رشد چشم‌گیری در سال‌های اخیر داشته‌اند (۲۵). در این روش تمامی مسیرهایی که ورودی سیستم را به خروجی آن متصل

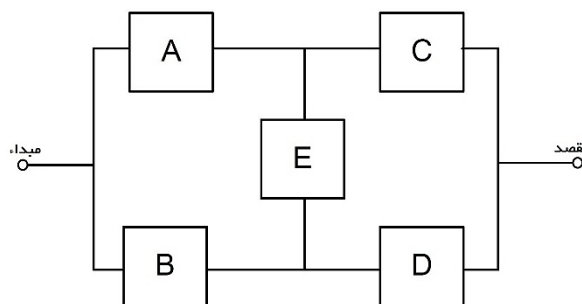
1. Tie Set



برزویی و همکاران: ارزیابی قابلیت اطمینان در شبکه‌های توزیع سوخت شهری به روش گراف مسیر



ب) گراف مجموعه اتصال مربوط به روش گراف مسیر



الف) گراف مفروض پل و تسون

شکل ۵. مثالی از پیاده‌سازی روش گراف مسیر و مفهوم مجموعه اتصال در سیستم مفروض پل و تسون

$$R_{(t)} = e^{-\lambda t} \quad (3)$$

که در آن R قابلیت اطمینان هر تجهیز، t زمان کارکرد جایگاه، و  $\lambda$  میزان شکست تجهیز مورد بررسی است. با داشتن قابلیت اطمینان هر یک از تجهیزات، قابلیت اطمینان نهایی جایگاه از روابط ۴ و ۵ به دست می‌آید. این روابط به ترتیب مربوط به قرارگیری تجهیزات در حالت سری و موازی است (۳۳).

$$R_{\text{sys}} = \prod_{i=1}^n (R_i) \quad (4)$$

$$R_{\text{sys}} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \quad (5)$$

با در نظرگیری ملاحظات و روابط یادشده و با استفاده از پیکربندی معرفی شده در پژوهش مهدوی و همکاران (۲۸) (پیکربندی پژوهش مهدوی و همکاران از نظر ساختاری منطبق بر فرضیات پایه پژوهش حاضر است) مقادیر مندرج در جدول ۲ برای قابلیت اطمینان تجهیزات موجود در نظر گرفته شده است.

در نهایت، با داشتن قابلیت اطمینان و پیکربندی اقلام و تجهیزات اصلی جایگاه‌های سوخت‌رسانی (مطابق جدول ۲)، قابلیت اطمینان نهایی هر یک از جایگاه‌های هشتگانه موجود در شبکه سوخت‌رسانی، قابل محاسبه است. در جدول ۳ قابلیت اطمینان هر جایگاه به همراه شماره گره آن در شبکه توزیع و ظرفیت مخازن زیرزمینی مربوطه ارائه شده است. همچنین، در خصوص برآورد قابلیت اطمینان پالایشگاه مادر،

$$R_{\text{کل سیستم}} = 1 - \left( 1 - \prod P_{\text{المان‌های مسیر اول}} \right) \left( 1 - \prod P_{\text{المان‌های مسیر دوم}} \right) \dots (1 - 1) \quad (2)$$

رابطه ۲ بیانگر این است که احتمال شکست کل سیستم از حاصل ضرب شکست تک‌تک مسیرهای آن به دست آمده و در صورتی که شکست کل از مقدار ۱ کسر شود، با قابلیت اطمینان کل سیستم برابر می‌شود. با توجه به مراتب یادشده، ملاحظه می‌شود که چالش اصلی در استفاده از روش گراف، مسیر مشخص کردن تک‌تک مسیرهای موجود در گراف شبکه توزیع است. به بیان دیگر، با مشخص بودن مسیرهای شبکه توزیع قابلیت اطمینان هر مسیر قابل محاسبه است و سپس، با استفاده از روابط ۱ و ۲، قابلیت اطمینان نهایی سیستم به دست می‌آید.

در مورد برآورد قابلیت اطمینان یا نرخ شکست کلی هر جایگاه و تجهیزات آن، ابتدا تجهیزات موجود در هر جایگاه به دو دسته مجزا تقسیم می‌شود. دسته اول مربوط به تجهیزاتی است که نرخ شکست آنان در پژوهش‌های مختلف (۲۸-۳۱) ارائه شده است؛ دسته دوم تجهیزاتی هستند که نرخ شکست آنان در مراجعه وجود نداشته و با استفاده از آمارهای خرابی گزارش شده از سیستم‌های مشابه یا نظر افراد خبره و متخصص (استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری نظیر فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی) برآورد می‌شوند. پس از برآورد میزان شکست هر تجهیز و با دانستن مدت زمان عملکرد هر جایگاه (طول عمر فعلی) قابلیت اطمینان هر یک از تجهیزات موجود با استفاده از رابطه ۳ به دست می‌آید (۳۲).

بین پالایشگاه و هر ایستگاه، و قابلیت‌های اطمینان و شکست مربوط به هر ایستگاه و کل شبکه، به عنوان خروجی در نظر گرفته شده است.

در خصوص شیوه ورود اطلاعات (معرفی ماتریس شبکه توزیع) به برنامه دو آرایه سطری s و t در نظر گرفته شده که ماتریس شبکه توزیع سوخت را توصیف می‌کنند. شیوه وارد کردن این آرایه‌ها به این صورت است که برای تمامی اتصالات، نام گره اول در ماتریس s، و نام گره دوم در ماتریس t ذکر می‌شود. مطابق شکل ۴، گره ۱ به عنوان گره پایه نیروگاه‌های ۲ و ۳ و ۴ رسم شده است. از آنجا که گره ۱ به گره‌های ۲ و ۳ و ۴ متصل است؛ بنابراین سه درایه اول آرایه s برابر ۱ و سه درایه اول آرایه t برابر ۲ و ۳ و ۴ می‌شود و به همین ترتیب، سایر اتصالات موجود در گراف شبکه توزیع شکل ۴، در آرایه‌های s و t پیاده‌سازی می‌شود. در شکل ۷، شیوه پر کردن آرایه‌های یادشده بر مبنای مسیرهای موجود در گراف اصلی ارائه شده است.

از داده‌های ارائه‌شده در پژوهش پودل و همکاران (۳۴) استفاده شده است.

#### مدل‌سازی

به منظور محاسبه قابلیت اطمینان تک‌تک مسیرهای گراف شبکه توزیع پیش‌فرض، الگوریتمی در بستر نرم‌افزار متلب توسعه داده شده است. در شکل ۶ فلوچارت اصلی برنامه توسعه‌داده‌شده مشهود است. مطابق فلوچارت، بدنه اصلی نرم‌افزار بر پایه دو تابع «محاسبه مسیر» و «مسیرهای بین دو گره» استوار است. وظیفه تابع «محاسبه مسیر» انجام محاسبات اصلی مربوط به قابلیت اطمینان و شکست هر مسیر (یا ایستگاه) بوده و وظیفه تابع «مسیرهای بین دو گره»، ارائه تمامی مسیرهای ممکن بین دو گره از گراف شبکه توزیع (گراف ورودی مسئله) است.

در الگوریتم توسعه‌داده‌شده «ماتریس‌های تعیین شکل توزیع» و «ماتریس قابلیت اطمینان» المان‌های شبکه به عنوان ورودی، و گراف شکل کلی مسئله، مسیرهای ممکن

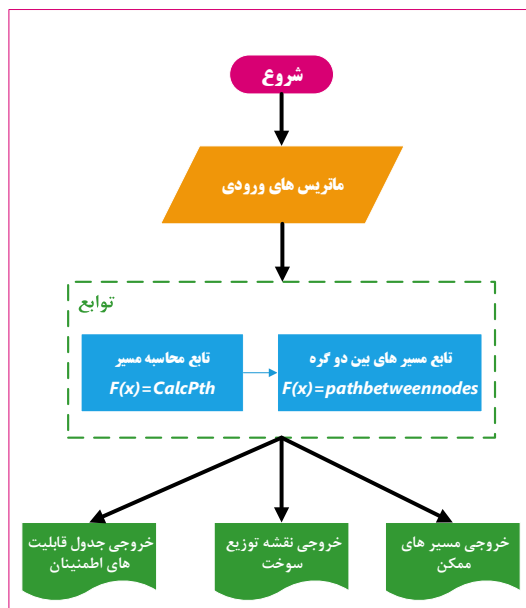
جدول ۲. قابلیت اطمینان تجهیزات موجود در جایگاه‌های سوخت‌رسانی

نام تجهیز	قابلیت اطمینان	نام تجهیز	قابلیت اطمینان
مخزن جداکننده کامپکت	۰/۹۳۶	مخازن ذخیره	۰/۸۳
کمپرسور اصلی	۰/۸۴۶	زمان سنج	۰/۵۰
شیر اطمینان مخزن	۰/۹۵۷	رطوبت سنج	۰/۷۱
مخزن آرامش	۰/۹۳	چمبر	۰/۸۷
شیر اکتوانور	۰/۹۹۳	تجهیزات کنترلی	۰/۶
مبدل حرارتی	۰/۹۰	شیر یکطرفه	۰/۹۱

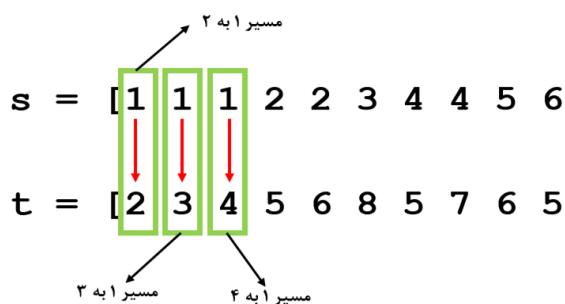
جدول ۳. قابلیت اطمینان نهایی هر جایگاه و شماره آن در شبکه توزیع سوخت شهرستان دماوند

نام جایگاه	شماره گره در شبکه	قابلیت اطمینان	ظرفیت مخزن جایگاه (لیتر)
پالایشگاه مادر	۱	۰/۸۶	-
جایگاه سوخت پلور	۲	۰/۷۸	۵۰,۰۰۰
جایگاه سوخت آبسرد	۳	۰/۷۴	۴۵,۰۰۰
جایگاه معادل ناحیه غربی	۴	۰/۷۴	۴۵,۰۰۰
جایگاه سوخت ولایت آبدلی	۵	۰/۶۹	۵۰,۰۰۰
جایگاه سوخت مشاء	۶	۰/۷۲	۴۰,۰۰۰
جایگاه سوخت چنار غرب	۷	۰/۷۴	۴۰,۰۰۰
جایگاه سوخت بعثت	۸	۰/۷۶	۵۰,۰۰۰

برزوئی و همکاران: ارزیابی قابلیت اطمینان در شبکه‌های توزیع سوخت شهری به روش گراف مسیر



شکل ۶. فلوجارت اصلی برنامه توسعه داده شده در بستر نرم افزار متلب



شکل ۷. شیوه وارد کردن مربوط به گراف شبکه توزیع در ماتریس های s و t

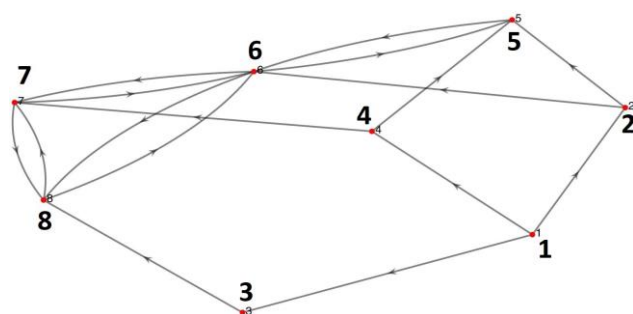
#### گراف های مسیر

گراف های مسیر شامل تمام مسیرهایی است که از پالایشگاه (گره ۱) شروع شده و به مراکز توزیع سوخت ختم می شود. از آنجا که مطابق نقشه های ارائه شده، چهار جایگاه سوخت معمولی (منظور جایگاه هایی به غیر از پالایشگاه و جایگاه های حامی است) در شبکه بررسی شده وجود دارد، بنابراین چهار مجموعه اتصال مجزا برای مسیرهای موجود از گره ۱ تا گره ۵، گره ۱ تا گره ۶، گره ۱ تا گره ۷ و گره ۱ تا گره ۸ قابل تعریف است. در شکل ۹ مجموعه اتصال های مربوط به مسیرهای موجود از پالایشگاه تا جایگاه های چهارگانه یاد شده ارائه شده است.

در نهایت، با داشتن آرایه های s و t و همچنین، قابلیت اطمینان هر گره قابلیت اطمینان کل شبکه توزیع به همراه تک تک مسیرهای موجود از گره اول تا گره آخر، (مجموعه اتصال) توسط الگوریتم توسعه داده شده محاسبه می شود.

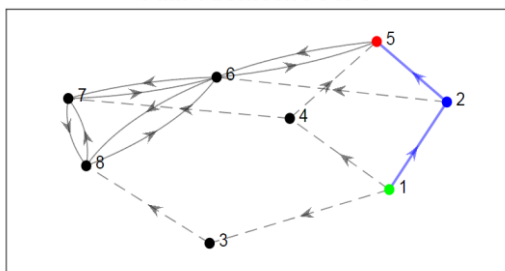
#### نتایج به دست آمده

با توجه به شبکه توزیع سوخت در شهرستان دماوند مطابق گراف شکل ۴ و سپس، معرفی آن به برنامه مطابق موارد شرح داده شده، خروجی مسئله در سه بخش مجزای گراف های مسیر، گراف کلی شبکه توزیع و جدول داده های قابلیت اطمینان ارائه می شود. در شکل ۸ شمای کلی شبکه توزیع معرفی شده به برنامه ارائه شده است.

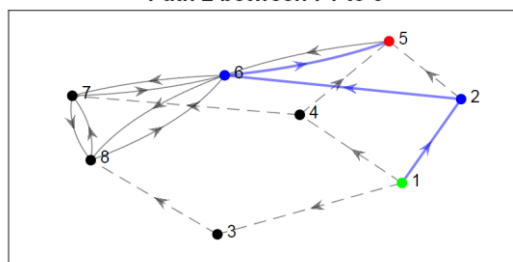


شکل ۸. شبکه توزیع معرفی شده به برنامه (شبکه توزیع سوخت شهرستان دماوند)

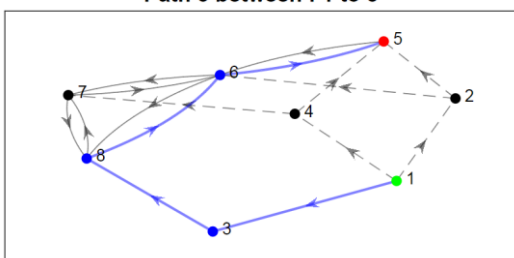
Path 1 between : 1 to 5



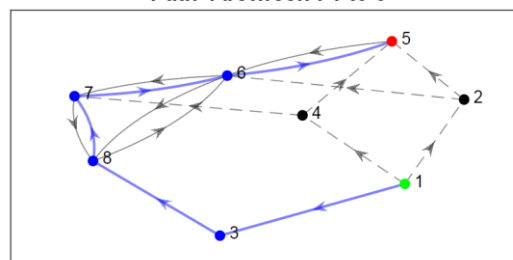
Path 2 between : 1 to 5



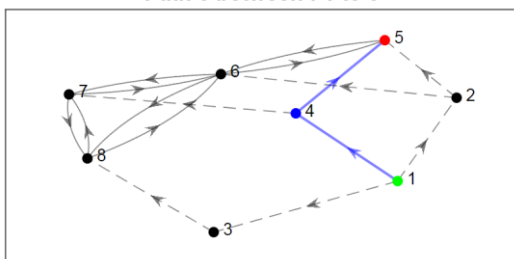
Path 3 between : 1 to 5



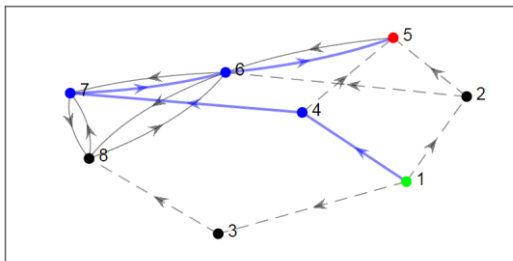
Path 4 between : 1 to 5



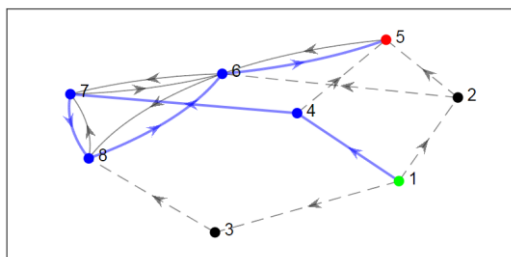
Path 5 between : 1 to 5



Path 6 between : 1 to 5



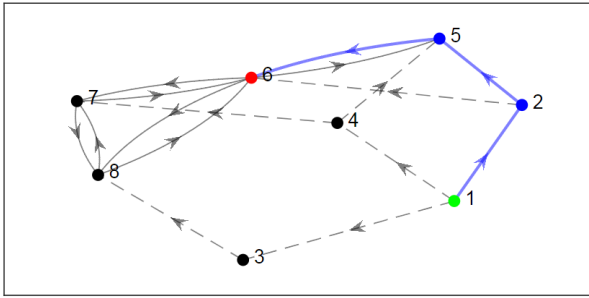
Path 7 between : 1 to 5



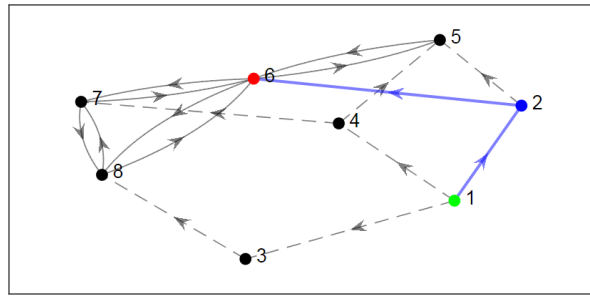
الف) مجموعه اتصال (مسیرهای موجود) میان پالایشگاه اولیه (گره ۱) و جایگاه سوخت ۵

برزویی و همکاران: ارزیابی قابلیت اطمینان در شبکه‌های توزیع سوخت شهری به روش گراف مسیر

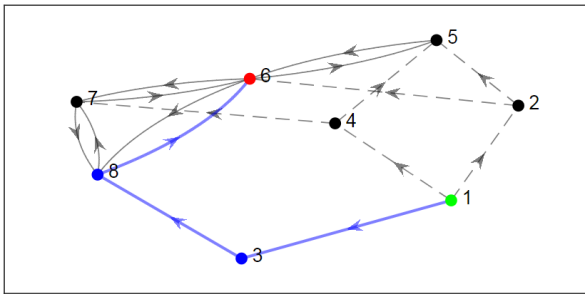
Path 1 between : 1 to 6



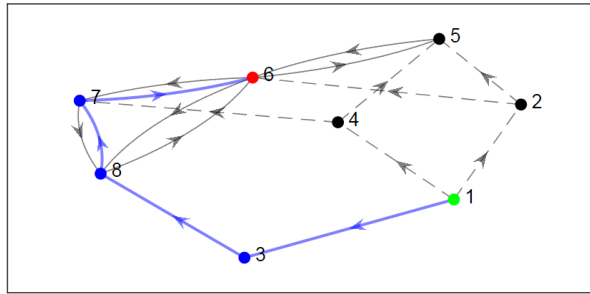
Path 2 between : 1 to 6



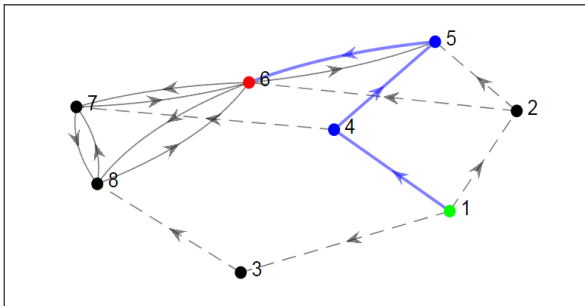
Path 3 between : 1 to 6



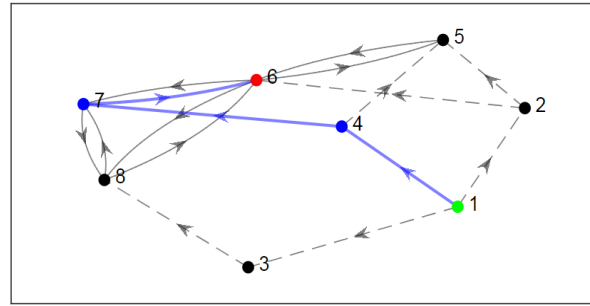
Path 4 between : 1 to 6



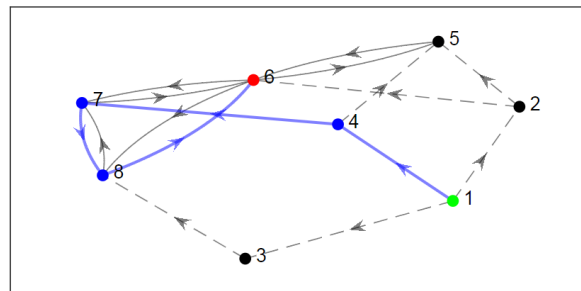
Path 5 between : 1 to 6



Path 6 between : 1 to 6

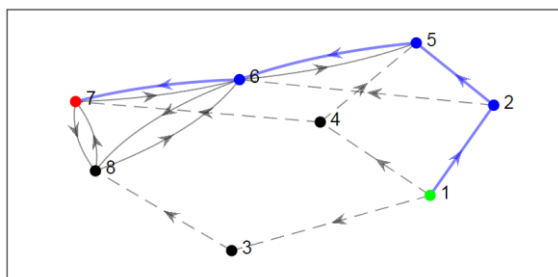


Path 7 between : 1 to 6

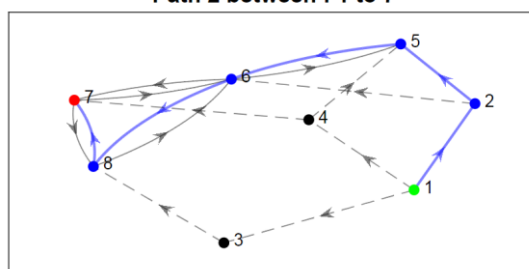


ب) مجموعه اتصال (مسیرهای موجود) میان پالایشگاه اولیه (گره ۱) و جایگاه سوخت ۶

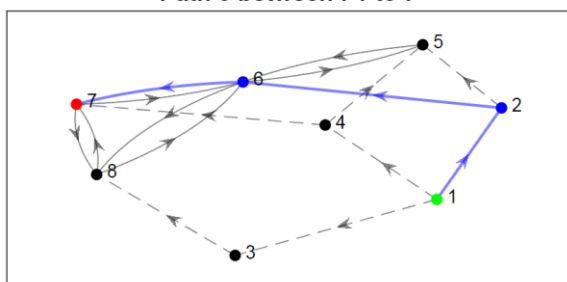
Path 1 between : 1 to 7



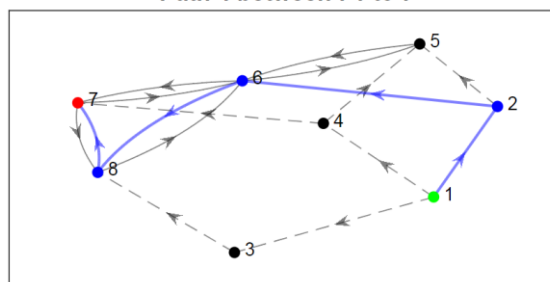
Path 2 between : 1 to 7



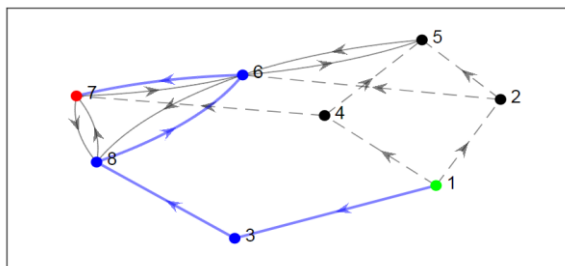
Path 3 between : 1 to 7



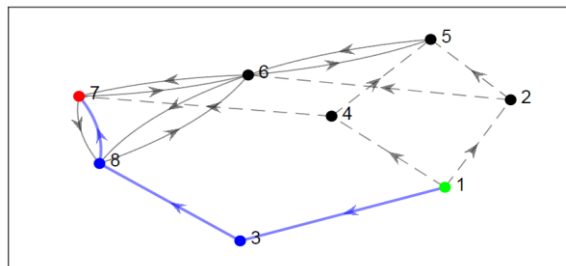
Path 4 between : 1 to 7



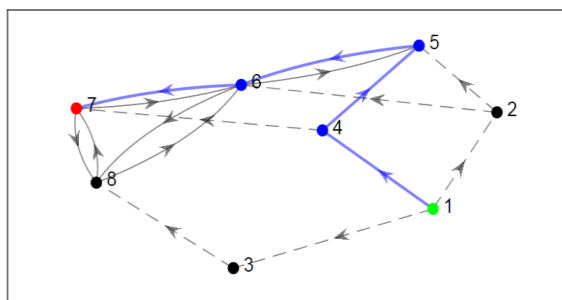
Path 5 between : 1 to 7



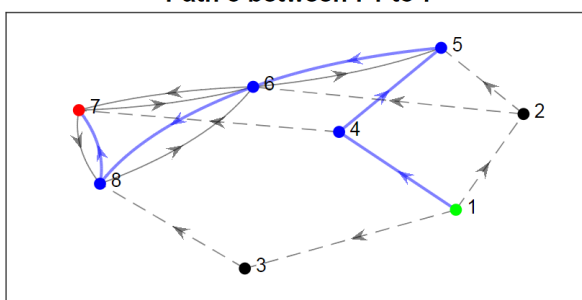
Path 6 between : 1 to 7



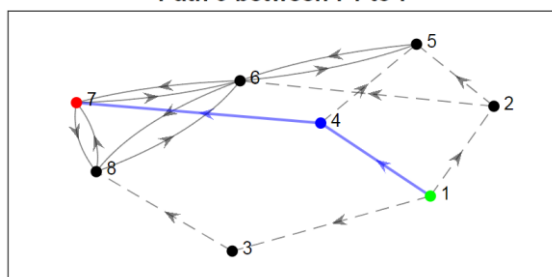
Path 7 between : 1 to 7



Path 8 between : 1 to 7

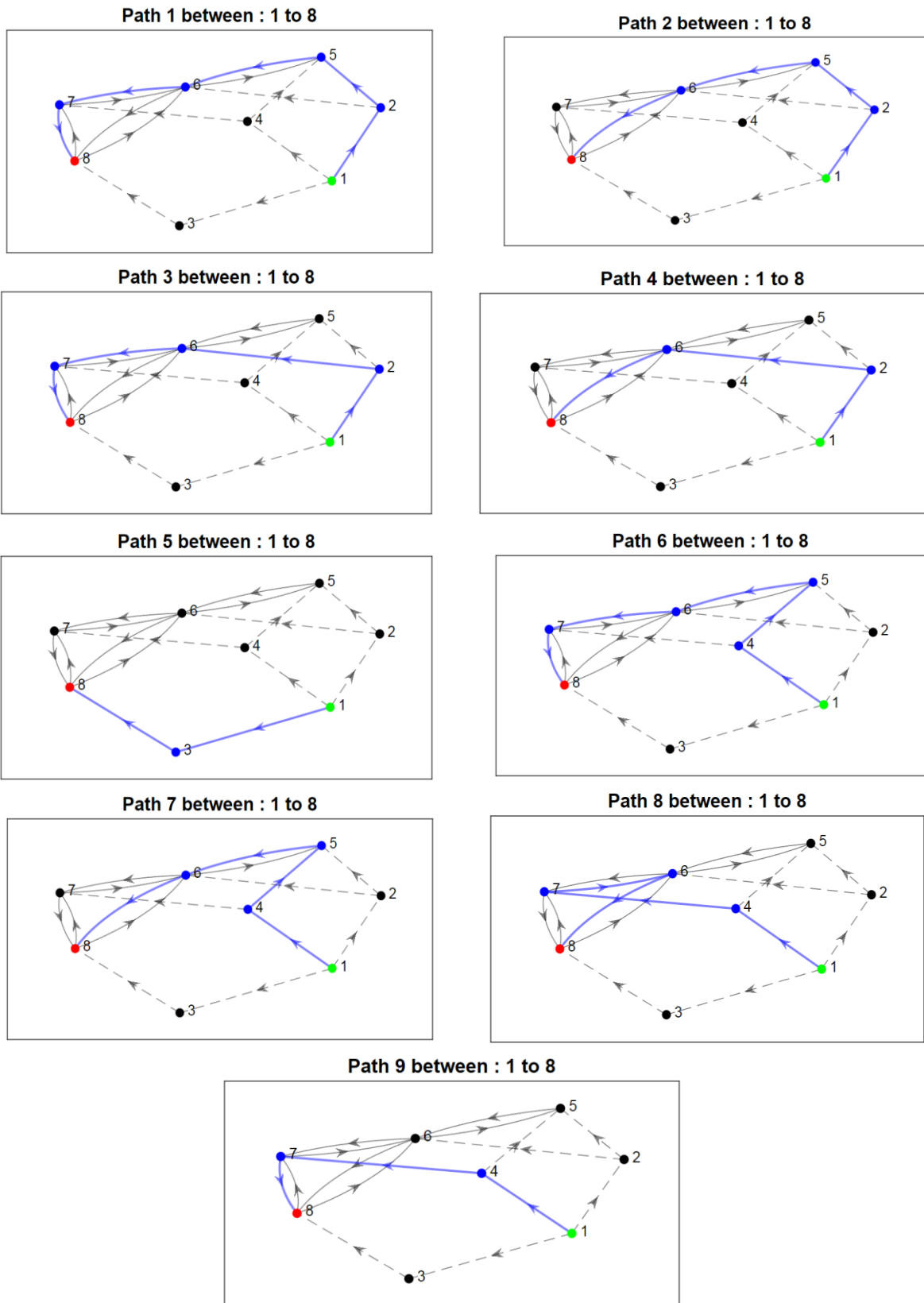


Path 9 between : 1 to 7



ج) مجموعه اتصال (مسیرهای موجود) میان پالایشگاه اولیه (گره ۱) و جایگاه سوخت ۷

برزویی و همکاران: ارزیابی قابلیت اطمینان در شبکه‌های توزیع سوخت شهری به روش گراف مسیر



د) مجموعه اتصال (مسیرهای موجود) میان پالایشگاه اولیه (گره ۱) و جایگاه سوخت ۸

شکل ۹. مجموعه مسیرهای موجود میان پالایشگاه اولیه و جایگاه‌های سوخت‌رسانی معمولی در شبکه توزیع سوخت شهرستان دماوند



## قابلیت اطمینان هر جایگاه

قابل محاسبه است. با توجه به اینکه مجموعه‌های اتصال برای گره‌های هدف ۵ و ۶ و ۷ و ۸ محاسبه شده، قابلیت اطمینان تأمین و توزیع سوخت (از پالایشگاه تا جایگاه مقصد) در جدول ۴ ارائه شده است.

پس از مشخص شدن مجموعه مسیرهای موجود توسط الگوریتم توسعه‌داده شده و با داشتن قابلیت اطمینان هر یک از جایگاه‌های یادشده (مطابق داده‌های موجود در جدول ۳) قابلیت اطمینان کلی شبکه مطابق جدول ۴

جدول ۴. محاسبه قابلیت اطمینان نهایی شبکه توزیع سوخت در شهرستان دماوند

مجموعه اتصال مورد بررسی	قابلیت اطمینان	قابلیت شکست	مقدار سوخت تأمین‌نشده (لیتر)
مسیرهای منتهی به جایگاه ۵	۰/۹۴۰۲۳۳	۰/۰۵۹۷۷۶۷	۲۹۸۸/۴
مسیرهای منتهی به جایگاه ۶	۰/۹۵۵۰۳۱	۰/۰۴۴۹۶۹	۱۷۹۸/۸
مسیرهای منتهی به جایگاه ۷	۰/۹۵۸۱۵۴	۰/۰۴۱۸۴۶	۱۶۷۳/۸
مسیرهای منتهی به جایگاه ۸	۰/۹۶۱۱۵۶	۰/۰۳۸۸۴۴	۱۹۴۲/۲
مجموع مقدار سوخت تأمین‌نشده (لیتر)			۸۴۰۳/۲

جایگاه‌های موجود در آن شماره‌گذاری شدند. در این میان، با توجه به پیشنهاد استفاده از جایگاه‌های حامی در پژوهش‌های پیشین، ضمن در نظرگیری سه جایگاه حامی در طرفین ناحیه مرکزی، نسبت به تعیین شیوه ارتباط جایگاه‌های شبکه با یکدیگر اقدام شد. شیوه ارتباطی در نظر گرفته شده به این صورت است که هنگام اتمام سوخت یک جایگاه و در حد فاصل ارسال سوخت از جایگاه حامی، جایگاه‌های مجاور نسبت به تأمین سوخت آن اقدام می‌کند و این شیوه باعث افزایش قابلیت اطمینان زنجیره تأمین سوخت و کاهش مقدار سوخت تأمین‌نشده می‌شود.

در نهایت، با هدف محاسبه قابلیت اطمینان نهایی زنجیره تأمین سوخت در جایگاه‌های ۵ و ۶ و ۷ و ۸، با استفاده از الگوریتم توسعه‌داده شده در نرم‌افزار متلب در گام اول نسبت به استخراج کلیه مسیرهای موجود از گره ۱ (پالایشگاه) تا جایگاه‌های مقصد چهارگانه یادشده اقدام و پس از به دست آمدن مسیرهای یادشده، قابلیت اطمینان هریک از آنان مطابق روابط ارائه شده محاسبه شد. نتایج به دست آمده بشرح ذیل است:

- ✓ از نظر مقدار قابلیت اطمینان زنجیره تأمین سوخت جایگاه سوخت ولایت ابعلی، با قابلیت اطمینان ۹۴ درصد دارای کمیته مقدار است و نقطه بحرانی شبکه توزیع است.
- ✓ جایگاه سوخت بعثت واقع در ضلع جنوبی ناحیه مرکزی با قابلیت اطمینان ۹۶/۱ درصد،

داده‌های به دست آمده در جدول ۴ بیانگر آن است که مقدار قابلیت اطمینان زنجیره تأمین سوخت از مبدأ (پالایشگاه) تا مقصد در جایگاه ۵ (جایگاه سوخت ولایت ابعلی) دارای کمیته مقدار و در جایگاه ۸ (جایگاه سوخت بعثت) دارای بیشینه مقدار ممکن است. علت این امر در شیوه قرارگیری جایگاه‌های یادشده در گراف شبکه توزیع سوخت و همچنین، مقدار قابلیت اطمینان هر جایگاه به صورت منفرد، است.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، میانگین قابلیت اطمینان در هر یک از حالت‌های یادشده برابر ۰/۹۵۴ است؛ به این معناست که احتمال تأمین نشدن سوخت در هر یک از جایگاه‌های ناحیه میانی، کمتر از ۵ درصد است. درخور یادآوری است که احتمال یادشده با در نظرگیری جایگاه‌های حامی به دست آمده است و در صورت عدم احتساب ماهیت جایگاه‌های حامی در شبکه توزیع سوخت، قابلیت اطمینان نهایی کاهش می‌یابد.

## بحث و نتیجه‌گیری

پژوهشی به منظور ارزیابی قابلیت اطمینان در شبکه توزیع سوخت شهرستان دماوند با استفاده از روش گراف مسیر تعریف شد. در این میان، ضمن تشریح کامل موقعیت مکانی مسئله و جایگاه‌های سوخت‌گیری موجود در شهرستان دماوند، نسبت به طبقه‌بندی جایگاه‌های یادشده در چهار ناحیه غربی، مرکزی، شمالی و شرقی اقدام شد. در ادامه، گراف کلی شبکه توزیع سوخت استخراج شده و

- [12]. Su H, Zhang J, Zio E, Yang N, Li X, Zhang Z. An integrated systemic method for supply reliability assessment of natural gas pipeline networks. *Applied Energy*. 2018;209:489-501.
- [13]. Martínez-Rodríguez JB, Montalvo I, Izquierdo J, Pérez-García R. Reliability and tolerance comparison in water supply networks. *Water resources management*. 2011;25(5):1437-48.
- [14]. Ben Seghier MeA, Bettayeb M, Correia J, De Jesus A, Calçada R. Structural reliability of corroded pipeline using the so-called Separable Monte Carlo method. *The Journal of Strain Analysis for Engineering Design*. 2018;53(8):730-7.
- [15]. Javanbarg M, Takada S. Seismic reliability assessment of water supply systems. *Safety, Reliability and Risk of Structures, Infrastructures and Engineering Systems*, Furuta, Frangopol & Shinozuka (eds), Taylor & Francis Group, London. 2010.
- [16]. Rimkevicius S, Kaliatka A, Valincius M, Dundulis G, Janulionis R, Grybenas A, et al. Development of approach for reliability assessment of pipeline network systems. *Applied energy*. 2012;94:22-33.
- [17]. Moradi A, Maghsoudi M, Moghimi E, Yamani M, Rezaei N. A Comprehensive Assessment of Geomorphodiversity and Geomorphological Heritage for Damavand Volcano Management, Iran. *Geoheritage*. 2021;13(2):1-25.
- [18]. Riahi V, Azizi S, Saeid NZ. Assessing the concept of rural development with emphasis on the views of villagers (Case study: Damavand city). *Journal of Community Development*. 2021.
- [19]. Ghajari A, Lotfali E, Ahmadi NA, Nazer Fassihi P, Shahmohammadi N, Ansari S, et al. Isolation of different species of *Candida* in patients with vulvovaginal candidiasis from Damavand, Iran. *Archives of Clinical Infectious Diseases*. 2018;13(6).
- [20]. Portal NS. List of country-rural divisions. Ministry of Interior. 2011.
- [21]. Ali Akbar N, Kobra N. Rural tourism capacity assessment and its role in spatial and economic development of summer areas Case: Central part of Damavand city. *Economics and rural development*. 2021;10(35):69-90.
- [22]. Interior Mo. Country Division Database-City Search. Ministry reports. 2014.
- [23]. Kim I-W, Jin S-H, Kim T-W, Kim I-T, Yeo Y-K. A study on reliability analysis and quantitative risk analysis for liquefied petroleum gas station. *Journal of the Korean Institute of Gas*. 2001;5(4):40-8.

مطمئن‌ترین جایگاه در شبکه توزیع سوخت شهرستان دماوند است. ✓  
 استفاده از جایگاه‌های حامی و ارتباط دوطرفه میان جایگاه‌های مجاور در شیوه مدیریت تأمین سوخت، قابلیت اطمینان سیستم را افزایش می‌دهد.

#### منابع

- [1]. Farajollahi M, Goharzay M, Borzuei D, Moosavian SF. Stress, sensitivity and frequency analysis of the corrugated diaphragm for different corrugation structures. *Smart Structures and Systems*. 2021;27(5):837-46.
- [2]. Barnett JH. Early writings on graph theory: Euler circuits and the Königsberg bridge problem. Colorado State University. 2005:197-200.
- [3]. Braun M, Piller O, Deuerlein J, Mortazavi I. Spectral Propagation of Parameter Uncertainties in Water Distribution Networks 2017.
- [4]. Misra KB. An algorithm for the reliability evaluation of redundant networks. *IEEE Transactions on Reliability*. 1970;19(4):146-51.
- [5]. Misra KB, Sharma U. An efficient algorithm to solve integer-programming problems arising in system-reliability design. *IEEE Transactions on Reliability*. 1991;40(1):81-91.
- [6]. Kim Y, Kang W-H. Network reliability analysis of complex systems using a non-simulation-based method. *Reliability engineering & system safety*. 2013;110:80-8.
- [7]. Sihombing F, Torbol M. Parallel fault tree analysis for accurate reliability of complex systems. *Structural Safety*. 2018;72:41-53.
- [8]. Gong C, Zhou W. Improvement of equivalent component approach for reliability analyses of series systems. *Structural Safety*. 2017;68:65-72.
- [9]. Luque J, Straub D. Reliability analysis and updating of deteriorating systems with dynamic Bayesian networks. *Structural Safety*. 2016;62:34-46.
- [10]. Zuev KM, Wu S, Beck JL. General network reliability problem and its efficient solution by subset simulation. *Probabilistic Engineering Mechanics*. 2015;40:25-35.
- [11]. Guidotti R, Gardoni P, Chen Y. Network reliability analysis with link and nodal weights and auxiliary nodes. *Structural Safety*. 2017;65:12-26.

- [24]. Borzuei D, Moosavian SF, Farajollahi M. On the Performance Enhancement of the Three-Blade Savonius Wind Turbine Implementing Opening Valve. *Journal of Energy Resources Technology*. 2021;143(5):051301.
- [25]. Salimi F, Vahdani B. Designing a bio-fuel network considering links reliability and risk-pooling effect in bio-refineries. *Reliability Engineering & System Safety*. 2018;174:96-107.
- [26]. Elperin T, Gertsbakh I, Lomonosov M. Estimation of network reliability using graph evolution models. *IEEE Transactions on Reliability*. 1991;40(5):572-81.
- [27]. Satyanarayana A, Schoppmann L, Suffel CL. A reliability-improving graph transformation with applications to network reliability. *Networks*. 1992;22(2):209-16.
- [28]. Shahnaz M, Seyed MohammadReaz L. Reliability Assessment of CNG Station by employing Reliability Blocks Diagram (RBD). *Iranian Journal of Occupational Health*. 2014;11(3):22-9.
- [29]. Rausand M, Vatn J. Reliability centred maintenance. *Complex system maintenance handbook*: Springer; 2008. p. 79-108.
- [30]. Ahmed Q, Khan FI, Raza SA. A risk-based availability estimation using Markov method. *International Journal of Quality & Reliability Management*. 2014.
- [31]. Borzuei D, Moosavian SF, Ahmadi A, Ahmadi R, Bagherzadeh K. An Experimental and Analytical Study of Influential Parameters of Parabolic Trough Solar Collector. *Journal of Renewable Energy and Environment*. 2021.
- [32]. Vaez N, Nourai F. RANDAP: An integrated framework for reliability analysis of detailed action plans of combined automatic-operator emergency response taking into account control room operator errors. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2013;26(6):1366-79.
- [33]. Zio E. *An introduction to the basics of reliability and risk analysis*: World scientific; 2007.
- [34]. Poudel SR, Marufuzzaman M, Bian L. Designing a reliable bio-fuel supply chain network considering link failure probabilities. *Computers & Industrial Engineering*. 2016;91:85-99.