

## شناسایی محل خطا در شبکه های حسگر بیسیم با یک روش اکتشافی مبتنی بر منطق فازی

طیبه توسلی<sup>۱\*</sup>، مسعود ماهرانی<sup>۲</sup>، عبدالرضا رسولی کناری<sup>۳</sup>

۱- کارشناسی ارشد، IT، دانشگاه غیر انتفاعی تعالی، قم

۲- کارشناسی ارشد، نرم افزار، دانشگاه پیام نور واحد بین الملل قشم

۳- دکتری، کامپیوتر، دانشگاه صنعتی، قم

### خلاصه

خطا در شبکه های حسگر بیسیم تاثیر قابل توجهی از نظر امنیتی، اقتصادی و غیره بر روی عملکرد شبکه دارد. وقوع خطا و شناسایی مکان دقیق خطا در شبکه های حسگر بیسیم یک از چالش های اصلی این شبکه های است. برای شناسایی مکان دقیق خطا در شبکه های حسگر بیسیم، هزینه تست اجزای شبکه به عنوان مهمترین مسئله محسوب می شود؛ بدین معنی که فرایند تست برای پیدا کردن محل دقیق خطا با حداقل هزینه به انجام برسد. در این مقاله یک روش اکتشافی مبتنی بر منطق فازی برای شناسایی محل خطا در شبکه های حسگر بیسیم معرفی می شود. هدف از ارائه این روش کمتر کردن هزینه های شناسایی خطا در شبکه های حسگر بیسیم است. براساس نتایج بدست آمده از شبیه سازی ها، روش ارائه شده هزینه شناسایی محل خطاها را نسبت به روش های موجود کمتر می کند و عملکرد بهتری نسبت به روش های مشابه دیگر در یافتن علت خطاها دارد.

**کلمات کلیدی:** شبکه حسگر بیسیم، شناسایی محل خطا، تست، هزینه.

### ۱. مقدمه

هر چقدر شبکه های حسگر بیسیم گسترش می یابند، پیچیدگی آن ها نیز افزایش پیدا می کند. از طرفی دیگر سرویس دهی مناسب در این شبکه ها مورد انتظار کاربران شبکه است. بطور کلی عدم شناسایی به موقع علت و مکان دقیق خطاها در شبکه های حسگر بیسیم، منجر به صدمه دیدن و از بین رفتن مقادیر قابل توجهی از تجهیزات و اطلاعات خواهد شد. با توجه به اهمیت این موضوع شناسایی محل و مکان دقیق خطا در شبکه های حسگر بیسیم موضوع مهمی است که همواره پژوهشگران برای ارائه راه حل های بهینه برای آن این موضوع را مورد توجه قرار می دهند. در این مقاله یک روش اکتشافی مبتنی بر منطق فازی برای شناسایی مکان خطا در شبکه های حسگر بیسیم ارائه می شود. به سیستمی که بتواند خطاهای موجود در سیستم (در این مقاله شبکه های حسگر بیسیم) را تشخیص داده و علت وقوع این خطاها را تعیین کند، سیستم خطایابی نامیده می شود [۳]. روش معرفی شده در این مقاله از طریق داده های انتهائیهات، خطاهای موجود در شبکه را تشخیص داده و سپس بوسیله یک روش اکتشافی و منطق فازی علت وقوع خطاها و مکان دقیق آن ها را شناسایی می کند [۱ - ۶].

\* Corresponding author: کارشناسی ارشد مهندسی فناوری اطلاعات  
Email: t.tavasoli67@yahoo.com

در ادامه مقاله در بخش ۲، مروری بر روش های پیشین ارائه شده خواهیم داشت. سپس در بخش ۳ به تعریف مسئله خواهیم پرداخت. در بخش ۴ یک جدید برای شناسایی علت خطاها در شبکه های حسگر بیسیم معرفی خواهد شد. در بخش ۵ شبیه سازی و نتایج بدست آمده از شبیه سازی ها مورد بررسی قرار خواهد گرفت و در نهایت در بخش ۶ نتیجه گیری و کارهای آتی ارائه خواهد شد.

## ۲. کارهای پیشین

روش های مختلفی برای خطایابی در شبکه های حسگر بیسیم وجود دارند. هر یک از این روش ها سعی می کنند به نوعی شبکه را مدل کنند و سپس براساس مدلی که از شبکه دارند، مدیریت عیب در شبکه را به صورت کارا انجام دهند. این روش ها می توانند براساس روش های فعال و روش های غیر فعال باشند [۳]. در روش های فعال یکسری اطلاعات و بسته های اضافی به نام Probe برای تشخیص وجود خطا شبکه، بر روی شبکه ارسال می شوند. با توجه به اینکه این بسته ها و اطلاعات ارسال شده فقط برای تشخیص وجود خطا در شبکه ارسال می شوند، بنابراین بر روی ترافیک شبکه تاثیر منفی می گذارد و ترافیک شبکه افزایش پیدا می کند. اما برخلاف روش های فعال، در روش های غیرفعال از پیام های هشدار یا داده های انتهابه انتهای موجود بر روی شبکه برای تشخیص و خطایابی استفاده می شود. در این بخش به برخی از روش هایی که اخیرا برای شناسایی خطا در شبکه ها ارائه شده اند می پردازیم.

گرساسی و همکاران [۳] یک روش هیوریستیک برای شناسایی عیوب در شبکه های کامپیوتری ارائه کرده اند، این روش براساس استراتژی غیرفعال می باشد. نتایج بدست آمده در این روش نشان می دهد که این روش بدون اینکه تاثیر منفی را بر روی ترافیک شبکه داشته باشد، می تواند مکان دقیق علل وقوع خطا در شبکه را شناسایی کند. در [۱۳] یک روش مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای خطایابی در شبکه های کامپیوتری ارائه شده است. این روش نیز بدون تاثیر منفی بر روی ترافیک شبکه، خطایابی را انجام می دهد. بارفورد و همکاران [۱] یک الگوریتمی را ارائه کرده اند که تعدادی بسته را برای تشخیص مکان خطا، بر روی بخشی از شبکه در هر لحظه ارسال می کند که این سربار اضافی ترافیک را در مرحله تشخیص کاهش می دهد. ژائو و همکاران [۷] یک روش فعالی ارائه کرده اند که سنجش هر یک از مسیرهای شبکه را در چند مرحله زمانبندی می کند و براساس این زمانبندی، بخشی از لینک های شبکه را در هر مرحله بررسی و نظارت می کند، این روش باعث می شود ترافیک اضافی کاهش یابد و هزینه تست نیز کاهش پیدا می کند. بینگ وانگ و همکاران [۲] یک الگوریتم هیوریستیک برای خطایابی در شبکه های حسگر بی سیم ارائه کرده اند، این روش اجزائی را برای تست انتخاب می کند که بیشترین استفاده اشتراکی را در مسیرهای مختلف دارند، در این روش علاوه بر اینکه ترافیک اضافی در روی شبکه ارسال نمی شود، همچنین سعی می شود هزینه تست حداقل شود. لولو و همکاران [۸] روشی معرفی کرده اند که فرایند شناسایی مکان خطاها را در مراحل چندگانه تقسیم می کند، در هر مرحله فقط عملیات خطایابی را در بخش کوچکی از شبکه و با استفاده از تعداد اندکی بسته اضافی، انجام می دهد. این روش نیز تلاش می کند تاثیر مخرب کمتری را بر روی ترافیک بگذارد و شناسایی علت خطاها را با حداقل هزینه ممکن انجام دهد. پاتریک و همکاران [۹] چندین الگوریتم هیوریستیک را برای انتخاب اجزای کاندید به منظور تست این اجزا معرفی کرده اند که هزینه تست را حداقل می کند. هونگ نگوین و همکاران [۱۰] روشی ارائه کرده اند که با استفاده از اصول بیزی به شناسایی علت خطاها در شبکه های کامپیوتری می پردازند.

### ۳. تعریف مسئله و فرضیات تحقیق

شبکه های حسگر بیسیم از گره های حسگر و لینک ها که برای ارتباط گره ها با همدیگر و با سینک است، تشکیل شده اند. در واقع می توان اجزای شبکه حسگر بیسیم را به صورت یک درخت نمایش داد [۳، ۱۱]. در این مقاله برای شناسایی محل دقیق خطاها در شبکه های حسگر بیسیم شکل فیزیکی شبکه (توپولوژی فیزیکی) را به یک شکل منطقی تبدیل می کنیم. به عبارتی دیگر باید توپولوژی فیزیکی شبکه را به یک درخت تبدیل کرد. لذا شبکه ای در نظر می گیریم که داده های حس شده از محیط از منابع به سمت ایستگاه اصلی ارسال می شوند.

براساس مرجع [۲، ۳] می توان با استفاده از داده های انتها به انتهای موجود در شبکه وجود خطا در شبکه را تشخیص دهیم، اما نمی توانیم محل دقیق خطا و علت وقوع خطا را شناسایی کنیم. برای شناسایی وجود خطا به اینصورت عمل می شود که مقدار ناکافی از داده های انتهایی در ایستگاه اصلی (سینک) نشان دهنده وجود خطا در شبکه است و مقدار داده های کافی از داده ها در ایستگاه اصلی نشانگر این است که شبکه عملکرد نرمال و عادی را دارد.

وضعیت هر یک از اجزا بوسیله تست آن ها مشخص می شود. لذا تست هر جز از شبکه دارای هزینه های زیادی است. بنابراین انتخاب جز (گره یا لینک) مناسب برای تست بسیار مهم می باشد. مسئله اصلی این است که دقیقاً مشخص نیست کدام جز یا اجزا دچار خطا شده اند. برای شناسایی مکان دقیق اجزای خراب در شبکه حسگر بیسیم که منجر به وقوع خطا شده اند باید اجزایی از شبکه تست شوند. اما تست اجزا دارای هزینه های زیادی است که حداقل سازی هزینه تست مسئله اصلی این مقاله محسوب می شود. لذا این یک مسئله NP-Complete است. در ادامه یک روش اکتشافی مبتنی بر منطق فازی برای شناسایی محل دقیق خطا در شبکه های حسگر بیسیم ارائه می نمائیم و جزئیات آن را شرح می دهیم.

### ۴. الگوریتم پیشنهادی

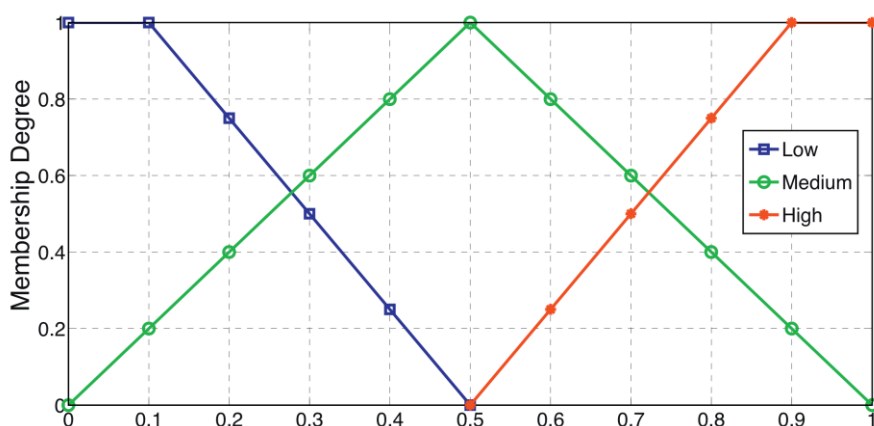
در این بخش به توضیح روش اکتشافی پیشنهادی می پردازیم که از منطق فازی برای مکانیابی شناسایی مکان خطا در شبکه های حسگر بیسیم استفاده می کند. بر اساس روش پیشنهادی در هر بار اجرای الگوریتم یک گره برای تست انتخاب می شود. گره انتخاب شده تست می شود، اگر گره خراب نباشد (سالم باشد)، در اینصورت گره بعدی را برای تست انتخاب می کند، در غیر اینصورت اگر گره خراب باشد، گره را تعمیر کرده و الگوریتم تکرار می شود.

برای همه گره هایی که در مسیرهای خراب (مسیرهایی که دچار خطا شده اند) وجود دارد، یک مقدار  $P$  (احتمال خرابی گره ها) و یک مقدار  $D$  (عمق گره در درخت) محاسبه می شود.  $P_k$  برای هر گره  $i$  براساس رابطه (۱) محاسبه می شود. که  $N_k$  تعداد مسیرهایی است که از گره های  $k$ ام استفاده می کند.  $C_k$  هزینه تست گره  $k$ ام است.  $C_k$  برای همه گره ها برابر در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه توپولوژی شبکه را به صورت یک درخت تعریف کرده ایم، بنابراین مقدار  $D_k$  برابر با عمق گره  $k$ ام در درخت (توپولوژی شبکه) خواهد بود.

$$P_k = N_k \times C_k \quad (1)$$

پس از تعیین مقادیر  $P$  و  $D$  برای هر گره، از منطق فازی برای تعیین احتمال تست گره ها استفاده می کنیم. می توان مقادیر دو  $P$  و  $D$  را به صورت فازی تعریف کرد. یعنی می توان از سه متغیر فازی برای فازی سازی این پارامترها استفاده کرد. در این مقاله ما برای هر یک از پارامترها (متغیرها) سه حالت فازی در نظر گرفته ایم. طبق قوانین فازی سه وضعیت (بالا، متوسط و پایین) برای احتمال خرابی گره ها ( $P$ ) در نظر گرفته می شود، سه وضعیت (نزدیک، متوسط و دور) برای عمق هر گره ( $D$ ) در نظر گرفته می شود. براساس متغیرهای ورودی فازی که در شکل (۱) نشان داده شده اند. می توان قوانین اگر-آنگاه (*if-then*) را به صورت جدول (۱) ایجاد کرد. گرهی که دارای مقدار احتمال بیشتری است برای تست شدن انتخاب خواهد داشت. اگر گره انتخاب شده خراب باشد در اینصورت تعمیر می شود. اگر گره خراب نباشد (سالم)

باشد)، الگوریتم پیشنهادی دوباره تکرار خواهد شد تا گره دیگری برای تست انتخاب شود. الگوریتم تا زمانی همه گره های خراب شناسایی شوند و شبکه عملکرد عادی داشته باشد، تکرار خواهد شد.



شکل (۱): متغیرهای ورودی فازی در نظر گرفته شده

جدول (۱): قوانین اگر-آنگاه برای محاسبه احتمال تست گره های شبکه

عمق هر گره (P)	احتمال خرابی گره ها (P)	شانس انتخاب (مقدار احتمال)
کم	بالا	۰.۹
متوسط	بالا	۰.۸
زیاد	بالا	۰.۷
کم	متوسط	۰.۶
متوسط	متوسط	۰.۵
زیاد	متوسط	۰.۴
کم	بالا	۰.۳
متوسط	بالا	۰.۲
زیاد	بالا	۰.۱

##### ۵. شبیه سازی و ارزیابی نتایج

در این بخش به پیاده سازی روش ارائه شده پرداخته و نتایج بدست آمده از شبیه سازی ها مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد. برای ارزیابی عملکرد الگوریتم ها آن ها را در نرم افزار متلب پیاده سازی کرده و در سناریوهای مختلفی از شبکه

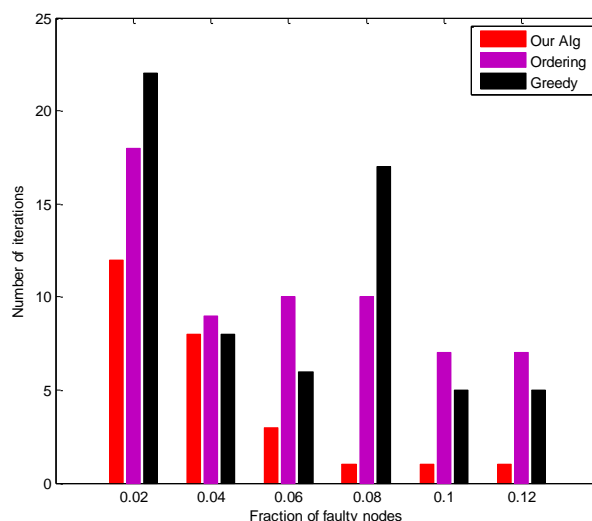
اجرا می کنیم. عملکرد الگوریتم پیشنهادی را با چند روش مشابه دیگر که اخیرا ارائه شده اند [۳، ۷]، مورد مقایسه قرار می دهیم و نتایج را مورد تجزیه و تحلیل قرار می دهیم.

برای بررسی و ارزیابی الگوریتم پیشنهادی در شرایط مختلف و بررسی عملکرد آن در مقیاس ها و شرایط مختلف شبکه، دو سناریو مختلف برای انجام آزمایشات در نظر گرفته شده است. هدف از در نظر گرفتن سناریوهای مختلف این است که عملکرد الگوریتم ها را در شرایط مختلف ارزیابی کنیم و مقیاس پذیر بودن الگوریتم پیشنهادی را ارزیابی کنیم. جدول (۲) دو سناریوی مختلف (برای انجام آزمایشات) را نشان می دهد.

جدول (۲): سناریوی مختلف در نظر گرفته شده برای انجام آزمایشات

سناریوها	تعداد گره ها	تعداد منابع
سناریو اول	۶۰	۸۰
سناریو دوم	۱۵۰	۸۰

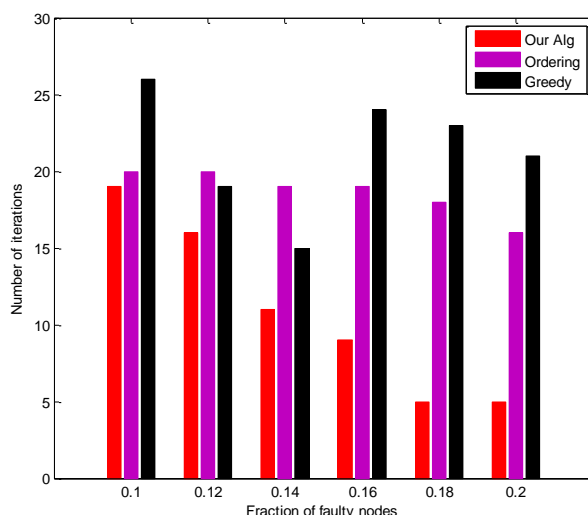
شکل (۲) نتایج بدست آمده تعداد تست هایی که برای خطایابی در سناریوی اول نیاز است را نشان می دهند. در نمودارها، محور عمودی (محور y) تعداد گره هایی که تست شده اند را نشان می دهد و محور افقی درصد گره های خراب را نشان می دهد. با توجه به نتایج نشان داده شده در شکل (۲) الگوریتم پیشنهادی (Our Alg) نسبت به الگوریتم Greedy و Ordering در سناریو اول بهتر است و تعداد تست های آن کمتر است. لذا این نتایج نشانگر این است که الگوریتم پیشنهادی می تواند هزینه تست مجموع را حداقل کند.



شکل (۲): تعداد تست در سناریوی اول

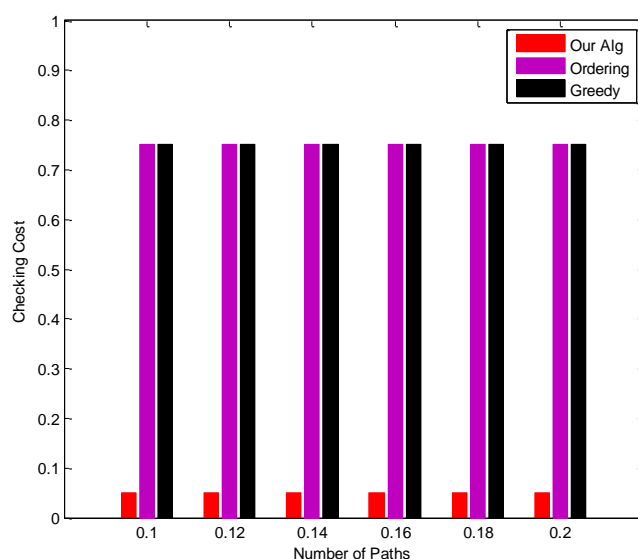
شکل (۳) نتایج بدست آمده از تعداد تست ها را در سناریوی دوم نشان می دهد. در سناریوی دوم تعداد گره ها را افزایش داده ایم، هدف از در نظر گرفتن این سناریو این است که عملکرد الگوریتم را زمانی که تعداد منابع کمتری در شبکه وجود دارد و اطلاعات کمتری می توان از گره های شبکه داشت، مورد بررسی قرار داد. با توجه به نتایج بدست آمده،

مشاهده می شود که الگوریتم پیشنهادی می تواند تعداد تست ها برای شناسایی محل دقیق خطاها را نسبت به الگوریتم های دیگر کاهش دهد. با توجه به نتایج، الگوریتم پیشنهادی عملکرد بهتری نسبت به دیگر الگوریتم ها دارد.

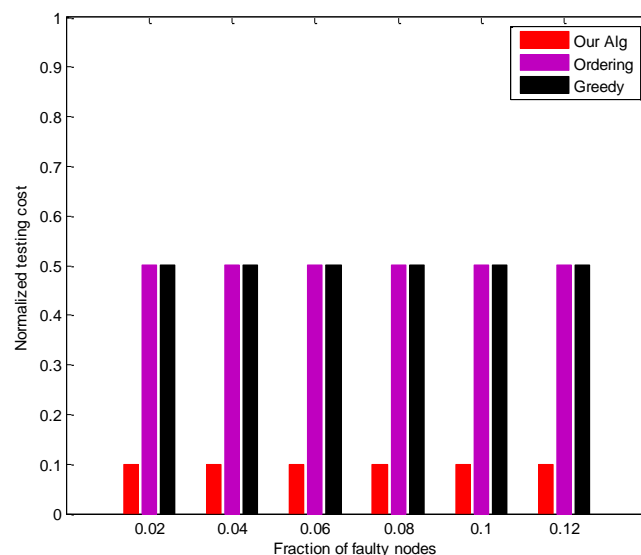


شکل (۷): تعداد تست در سناریوی سوم

شکل (۳) و شکل (۴) میانگین هزینه تست به ازای هر گره را در الگوریتم های مختلف را نشان می دهد. با توجه به نتایج نشان داده در دو شکل فوق مشاهده می شود که هزینه تست به ازای هر گره (هزینه تست نرمال) در الگوریتم پیشنهادی کمتر از دو الگوریتم دیگر است. لذا با توجه به نتایج بدست آمده از شبیه سازی ها، مشاهده می شود که الگوریتم پیشنهادی بهتر از دو الگوریتم دیگر و با هزینه کمتر می تواند علت خطاها (گره های خراب) را در شبکه شناسایی کند.



شکل (۳): هزینه تست نرمال در سناریو اول



شکل (۴): هزینه تست نرمال در سناریو دوم

#### ۶. نتیجه گیری

در این مقاله یک روش اکتشافی مبتنی بر منطق فازی برای شناسایی محل خطا در شبکه های حسگر بیسیم ارائه شد. روش ارائه شده مبتنی بر استراتژی غیرفعال بود و براساس داده های انتهایی شبکه خطاها را تشخیص داده و از طریق روش پیشنهادی علت خطاها را شناسایی می کند. براساس نتایج بدست آمده، روش ارائه شده در این مقاله عملکرد بهتری نسبت به روش های موجود دیگر دارد. کارهای عمده پیش رو برای ادامه کار می توانند به صورت زیر باشند:

۱. ارائه نسخه ای از الگوریتم پیشنهادی متناسب با محیط های ناهمگن و بلادرنگ

۲. ارائه نسخه توزیع شده از الگوریتم پیشنهادی

۳. بررسی عملکرد الگوریتم پیشنهادی تحت سناریوها و پارامترهای دیگر



1. Barford P, Duffield N, Amos R and Joel S. 2009. Network performance anomaly detection and localization. 28th IEEE International Conference on Computer Communications. Rio de Janeiro, April 19-25, pp:1377-1385.
2. Bing W, Wei W, Hieu D, Wei Z, Krishna R. 2012. Fault localization using passive end-to-end measurements and sequential testing for wireless sensor networks. IEEE TRANSACTIONS ON MOBILE COMPUTING, 11:439-452.
3. Garshasbi M.S and Jamali Sh. 2014. A New Fault Detection Method Using End-to-End Data and Sequential Testing for Computer Networks. International Journal Information Technology and Computer Science. 01, 93-100.
4. Coates M, Nowak R. 2000. Network loss inference using unicast end-to-end measurement. Modeling and Management, 23:19-28.
5. Maitreya N, Adarshpal SS, Errol L. 2008. Efficient probe selection algorithms for fault diagnosis. Telecommun Syst, 37: 109-125.
6. Małgorzata S, Adarshpal S. 2004. A survey of fault localization techniques in computer networks. Science of Computer Programming 53:165-194.
7. Zhao S, Daachi B, Djouani K. 2012. Application of fuzzy inference systems to detection of faults in wireless sensor networks. Neurocomputing, 94:111 -120.
8. LOLO M and Otman B. 2009. A new probing scheme for fault detection and Identification. IEEE International Conference on Electro/Information Technology. Windsor, USA, June 7-9, pp:90-95.
9. Patrick P, Amitava M, Mrinal K, Mita N. 2011. Minimal monitor activation and fault localization in optical networks. Optical Switching and Networking, 8:46-55.
10. Hong S, Adarshpal S. 2004. Non-deterministic fault localization in communication systems using belief networks. IEEE/ACM Transactions on Networking, 12:809-822.
11. Steinder M, Sethi A. 2002. Distributed fault localization in hierarchically routed networks. Management Technologies for E-Commerce and E-Business Applications, 125:195-207.

۱۲. گرشاسبی م.ص، جمالی ش. ۱۳۹۳. ارائه یک روش مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای مکانیابی اجزای معیوب در شبکه های کامپیوتری. اولین کنفرانس ملی ریاضیات صنعتی.

۱۳. گرشاسبی م.ص، جمالی ش. ۱۳۹۳. ارائه یک روش هیوریستیک برای مکانیابی خطا در شبکه های کامپیوتری. اولین کنفرانس ملی ریاضیات صنعتی.