# روش نوین افزایش قابلیت اطمینان شبکه فیلدباس به کمک حلقه‌های داخلی در مطالعه موردی پالایشگاه امام خمینی(ره)

**امیرابوالفضل صورتگر*[1]، محسن خیرآبادی[2]**

[1]استادیار، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

[1]استادیار، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه اراک، اراک، ایران

[2]کارشناس ابزاردقیق، شرکت پالایش نفت امام خمینی، شازند، ایران- دانشگاه آزاد اسلامی اراک، اراک، ایران

دریافت: 93/1/15 پذیرش: 95/6/16

**چکیده**

در این مقاله طرحی برای بهینه سازی شبکه foundation fieldbus بیان شده است.در این طرح نحوه بستن ادوات در داخل سایت تغییر کرده تا قابلیت اطمینان به این شبکه بالاتر رود. نحوه توزیع ادوات داخل field در شبکه foundation fieldbus به ساختار سلول‌های برگ برخی گیاهان شباهت‌هایی دارد. نحوه رساندن مواد غذایی در برگ گیاهان که توسط آوندها در برگ‌ها انجام می‌شود متفاوت می‌باشد. در بعضی از برگ‌ها آوندها بصورت کاملا شعاعی می‌باشد و در بعضی دیگر آوندها دارای حلقه‌ای داخلی می‌باشند.

روش پیشنهادی این مقاله نیز در جهت انطباق ساختار توزیع ادوات در شبکه foundation fieldbus با برگ درختان با حلقه‌های داخلی می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** شبکه برگی، قابلیت اطمینان، فیلدباس، حلقه‌های داخلی

## مقدمه

بررسی‌ها در مورد شبکه foundation fieldbus نشان می‌دهد که این سیستم قابلیت اطمینان بالایی ندارد. لذا اگر بتوان در این سیستم قابلیت اطمینان را بالاتر برد یکی از مشکلات اساسی سیستم حل خواهد شد [1]. برای این منظور foundation fieldbus خود روش‌هایی اجرا کرده است تا بتوان قابلیت اطمینان را تا حدی بالا برد. ساختار آوندهای برگ‌های درختان به عنوان یکی از ساختارهای موجود در طبیعت به ساختار شبکه‌های حمل و نقل و یا سیستم انتقال اطلاعات تقریباً شبیه است. از این‌رو با الهام از سیستم برگ

*a-suratgar@aut.ac.ir

این طرح توسط پالایشگاه امام خمینی(ره) حمایت گردیده است که بدینوسیله مراتب قدردانی ابراز می‌گردد.

درختان می‌توان تغییری در physical layer این شبکه داد تا قابلیت اطمینان را بالا برد [2,3,4]. از روش حلقه‌های داخلی در برگ درختان در شبکه توزیع برق نیز می‌توان استفاده کرد.[5]

ساختار آوندهای برگ‌های درختان به دو دسته کلی قابل تقسیم بندی می‌باشند. یک دسته از برگها ساختار شعاعی (مانند شکل 2) بدون حلقه‌های داخلی دارند و دسته دیگر از ساختار شعاعی همراه با حلقه‌های داخلی (مانند شکل 1) بهره می‌برند. ساختار شعاعی بدون حلقه داخلی مانند ارتباط ادوات با شبکه foundation fieldbus می‌باشد.

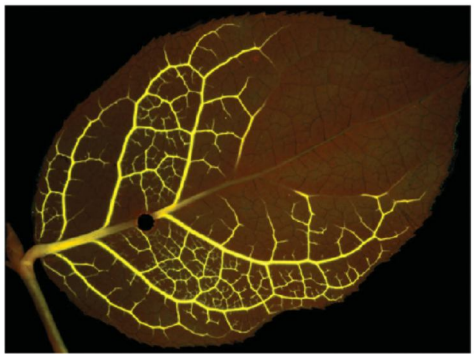
اتصال ادوات در field در شبکه FF مشابه ساختار آوندهای برگ درختان با حلقه‌های داخلی، قابلیت اطمینان افزایش زیادی می‌یابد. شبکه FF با الهام از ساختار برگ بر این اصل استوار است که اگر در یک برگ با ساختار آوندی همراه با حلقه‌های داخلی یک اختلال بوجود آید شبکه بدون مشکل به انتقال اطلاعات خود ادامه می‌دهد. این امر در طبیعت هم وجود دارد اگر در یک برگ با ساختار حلقه‌ای- آوندی قطع شود مسیرهای جایگزین جهت رساندن مواد غذایی به سلول‌های انتهایی برگ وجود دارد همین امر ایده اصلی استفاده از ساختاری شبیه برگ درختان در FF است. در شبکه FF بغیر از ادوات در field بقیه تجهیزات بصورت افزونگی سخت افزاری نصب شده است. با استفاده ازاین روش نحوه سیم‌بندی در سایت نیز به‌صورت افزونگی اجرا می‌شود. در این روش با استفاده از بستن ادوات به همدیگر و تولید حلقه‌های داخلی در سایت با قطع شدن سیم اطلاعات را از دست نمی‌دهیم، با این کار امنیت شبکه را بالاتر می‌بریم.

این مقاله شامل چهار بخش است. در بخش دو مروری بر ساختار برگ درختان بیان می‌گردد. در بخش سه استفاده از ساختار حلقه داخلی در برگ برای FF نمایش داده می‌شود و مثالی عملی آورده می‌شود، در بخش چهار اثبات و در بخش پنج نتیجه‌گیری است.

## مروری بر اساس ساختار برگ درختان با حلقه‌های داخلی

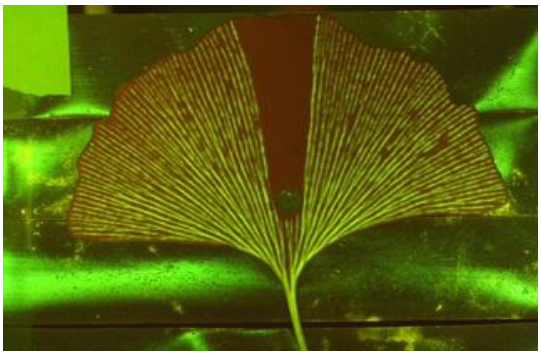
در شکل (1) برگی با ساختار آوندی شعاعی همراه با حلقه‌های داخلی نشان داده شده است. همانگونه که در شکل نشان داده شده است با عکس‌برداری از برگ و تزریق مواد فلورسانس دیده می‌شود با بروز یک اختلال در برگ به علت وجود حلقه‌های داخلی بخش‌های پایین دست محل بروز اختلال به حیات خود ادامه داده و مواد معدنی و آب مورد نیاز خود را دریافت کرده‌اند.

در حالی که حلقه‌های داخلی در ساختار برگ وجود نداشته باشند با بروز یک صدمه در برگ تمام نقاط پایین دست محل بروز صدمه و اختلال نمی‌توانند مواد مورد نیاز خود را تامین کنند. دقت شود که این عیب در شاه‌راه یک آوند اصلی در ابتدای امر رخ داده که نشان می‌دهد عیبی بسیار اساسی است و ساختار برگ اثر آن را رفع کرده است.



**شکل 1. برگ درخت با حلقه‌های داخلی به‌هنگام بروز صدمه**

شکل (2) برگی با ساختار کاملاً شعاعی بدون هیچ حلقه داخلی را به هنگام بروز اختلال نشان می‌دهد. با بروز صدمه در چنین برگ‌هایی تمامی بخش‌هایی که در پایین دست محل بروز خطا می‌باشند دچار قطعی شده و آب و مواد معدنی به آنها نخواهد رسید. برگ‌هایی که ساختار شعاعی ساده دارند به هنگام بروز خطا بخش بزرگ‌تری را از دست می‌دهند به این سبب قابلیت اطمینان کل سیستم در این حالت بسیار کمتر خواهد بود.



**شکل 2. برگ درخت با ساختار کاملا شعاعی به‌هنگام بروز صدمه**

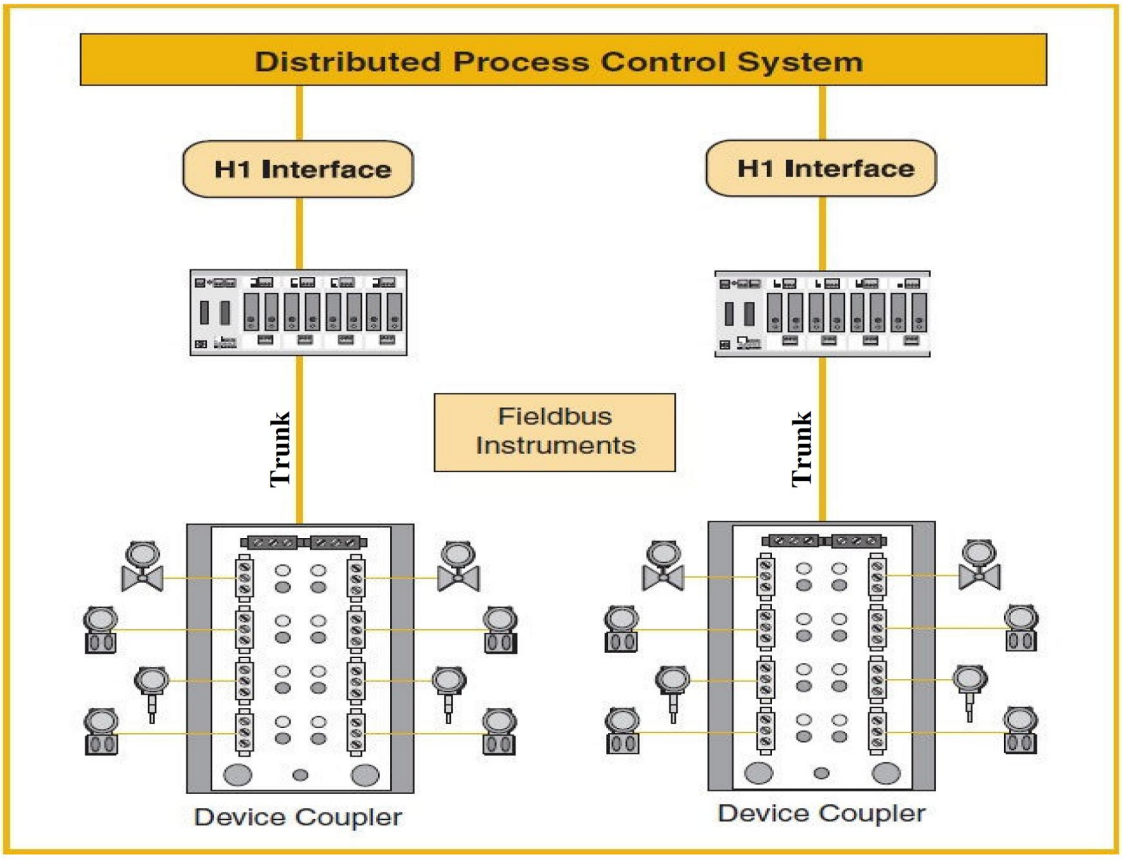
**الگوبرداری از ساختار برگ درختان و ارائه یک توپولوژی نوین اتصال در Foundation Fieldbus**

در حال حاضر نحوه اتصال ادوات داخل field به شبکه FF مشابه ساختار شعاعی بدون حلقه داخلی برگ، (شکل 2) می‌باشد. در این الگوبرداری ادوات در FF دوگان سلول‌های برگ درختان در نظر گرفته شده است و سیم‌های اتصال شبکه FF دوگان آوندهای برگ در نظر گرفته شده است. ساختار فعلی دوگان ساختار برگ شکل (2) است و ساختار نوین پیشنهادی دوگان ساختار برگ شکل (1) ارائه می‌شود.

درصورتی که نحوه اتصال ادوات در این شبکه مانند برگ‌هایی با حلقه‌های داخلی که نمونه‌ای از آن در شکل(1) نشان داده شده است تغییر نماید باعث می‌شود اگر قطعی در کابل انتقال داده به‌وجود آید اطلاعات کمی از دست رود و سیستم به کار خود بدون هیچ خطایی ادامه می‌دهد و در نتیجه قابلیت اطمینان بسیار

زیاد افزایش خواهد یافت.

درشکل (3) یک قسمت از یک شبکه foundation fieldbus در فاز II پالایشگاه امام خمینی(ره) برای نمونه انتخاب شده است:

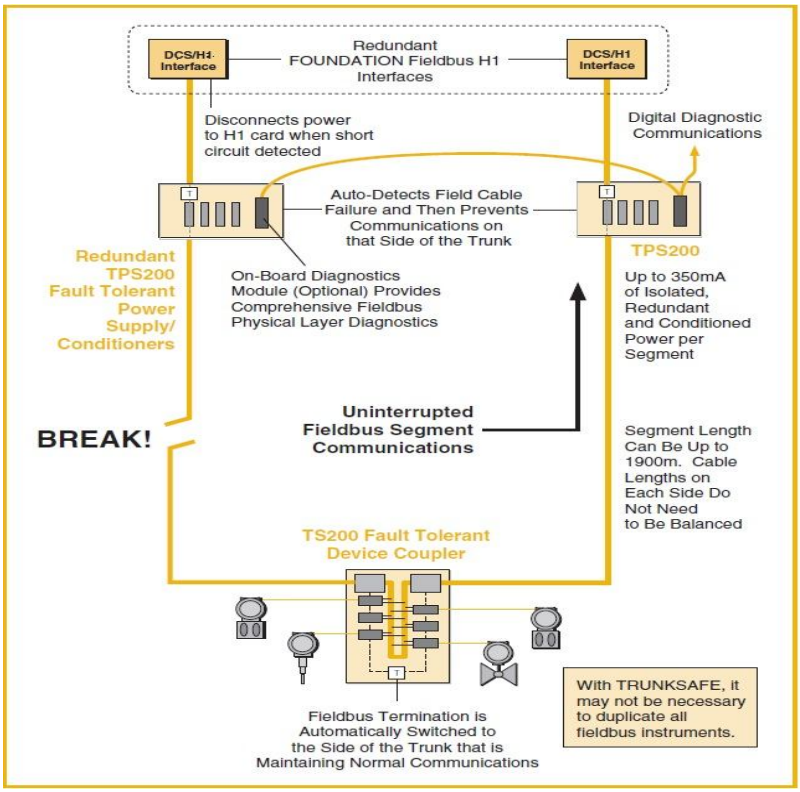



**شکل3. قسمتی از یک شبکه foundation fieldbus**

همان‌طور که در شکل بالا مشاهده می‌شود اگر قطعی در یکی از trunk ها ایجاد شود اطلاعات و کنترل روی دستگاه هایی که روی این trunk قرار دارند از دست می‌روند.

چون این شبکه‌ها کنترل بخشی از واحد را بر عهده دارند لذا کنترل یک قسمت از واحد از دست داده می‌شود در نتیجه برای کنترل پروسه خطرناک می‌باشد.

شرکت سازنده FF پالایشگاه برای رفع این مشکل خود از Redundancy معمولی استفاده کرده است و طرحی ارائه داده است که به صورت شکل (4) می‌باشد:




**شکل4. نوع خاصی از اتصال ادوات در شبکه foundation fieldbus**

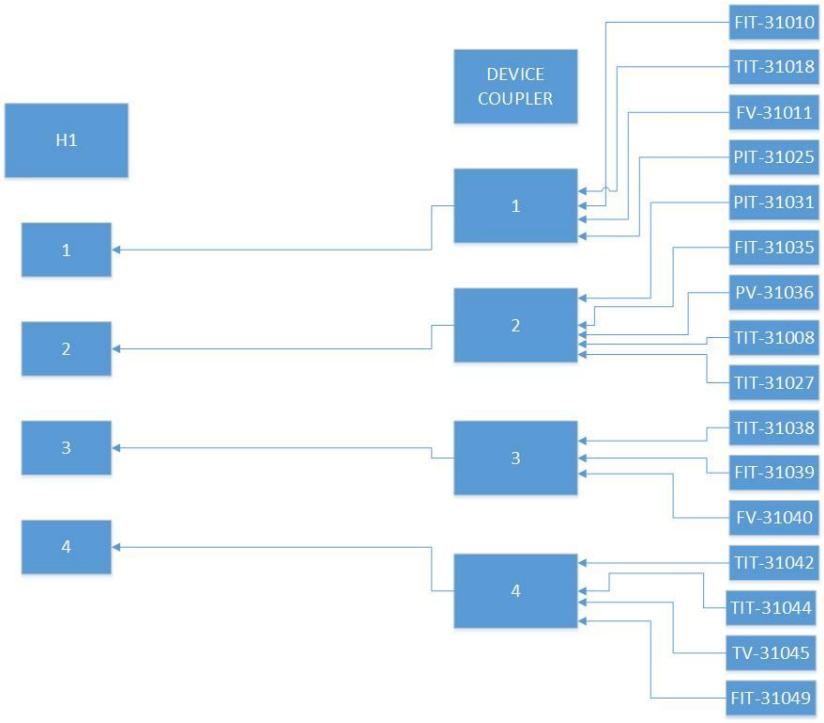
همانطورکه مشاهده می‌شود این کار هزینه زیادی را در بر دارد و خود شرکت نیز این مسئله را بیان کرده است. ولی می‌توان در مکان‌های حساس از این روش استفاده کرد .

## طرح پیشنهادی برای ساختار فیزیکی در Fieldbus Foundation با الگوبرداری از حلقه‌های داخلی برگ درختان

این روش با استفاده از حلقه‌های داخلی به صورتی ادوات را با هم مرتبط می‌کند که اگر مشکلی در خط اصلی هر یک از segmentها بوجود آید اطلاعات آن segment ازطریق حلقه‌های داخلی که به‌وجود آمده است منتقل می‌شود.

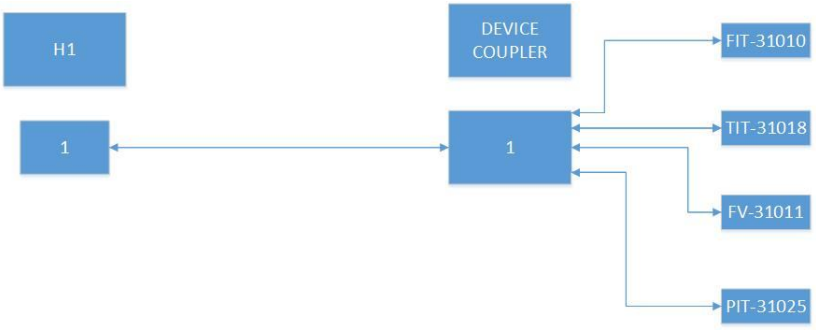
این روش را برای ادواتی که اهمیت بالایی دارند می‌توان استفاده کرد. مزیت روش پیشنهادی نسبت به روش فعلی بطور مفصل در ادامه توضیح داده خواهد شد.

به طور نمونه چندین نمونه لوپ در لایه فیزیکی FF را به صورت شکل (5) انتخاب می‌کنیم:




**شکل 5. قسمتی از یک شبکه Foundation Fieldbus نمونه**

در شکل (5) به‌طور نمونه چندین ترانسمیتر و کنترل ولو به device coupler مربوط به خود متصل شده است. دیوایس‌هایی که به یک device coupler خاص متصل می‌باشند یک segment را تولید می‌کنند. هرکدام از کارت‌های H1 با یک trunk به دیوایس‌های مربوط به segment مخصوص خود وصل می‌باشد. دیتاهای آن دیوایس‌ها از طریق trunk خودش با یک زمان‌بندی خاص به کارت H1 انتقال می‌یابد.
در شکل (6) طریقه انتقال اطلاعات به طور نمونه در یک segment نشان داده شده است:



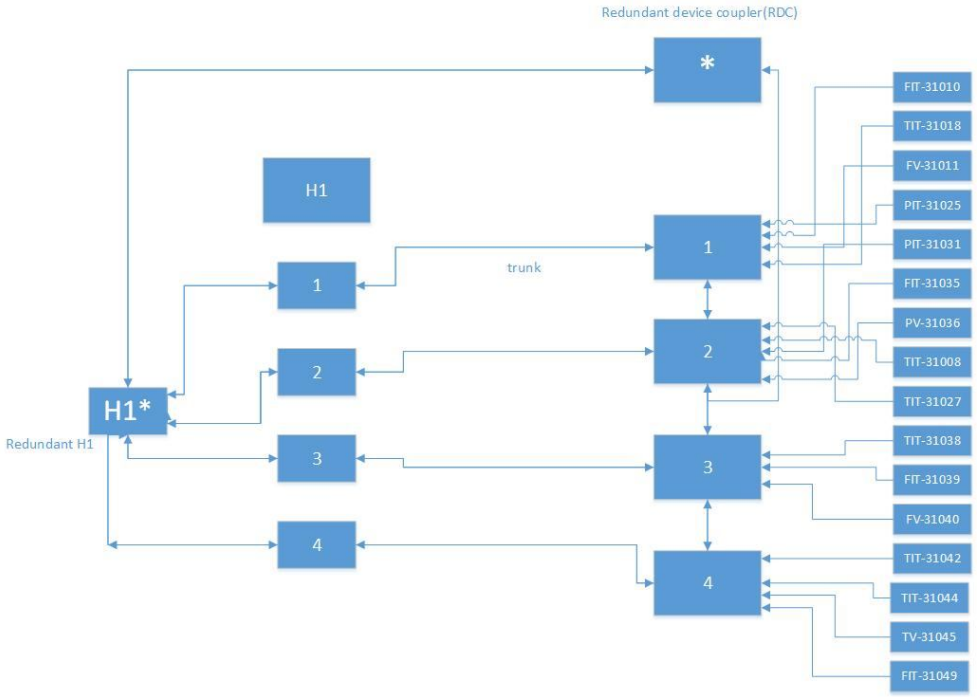

**شکل 6. طریقه انتقال اطلاعات در یک segment**

حال اگر فرض کنیم trunk مربوطه به هر علتی در سایت قطع شود دیگر اطلاعات ادوات متصل شده به این trunk انتقال نمی‌یابد و دیگر کنترلی از اتاق کنترل برروی پروسه نداریم و این امر در point های مهم باعث

اختلال و اشکال در پروسه می‌شود.

به‌همین منظور ما طرحی را پیشنهاد کردیم که با قطع شدن trunk بازهم اطلاعات از طریق دیگر به اتاق کنترل انتقال می‌یابد.

در این طرح ما از leaf network کمک گرفته‌ایم که به صورت شکل (7) عمل کرده‌ایم:




**شکل 7. طرح پیشنهادی به کمک حلقه‌های داخلی**

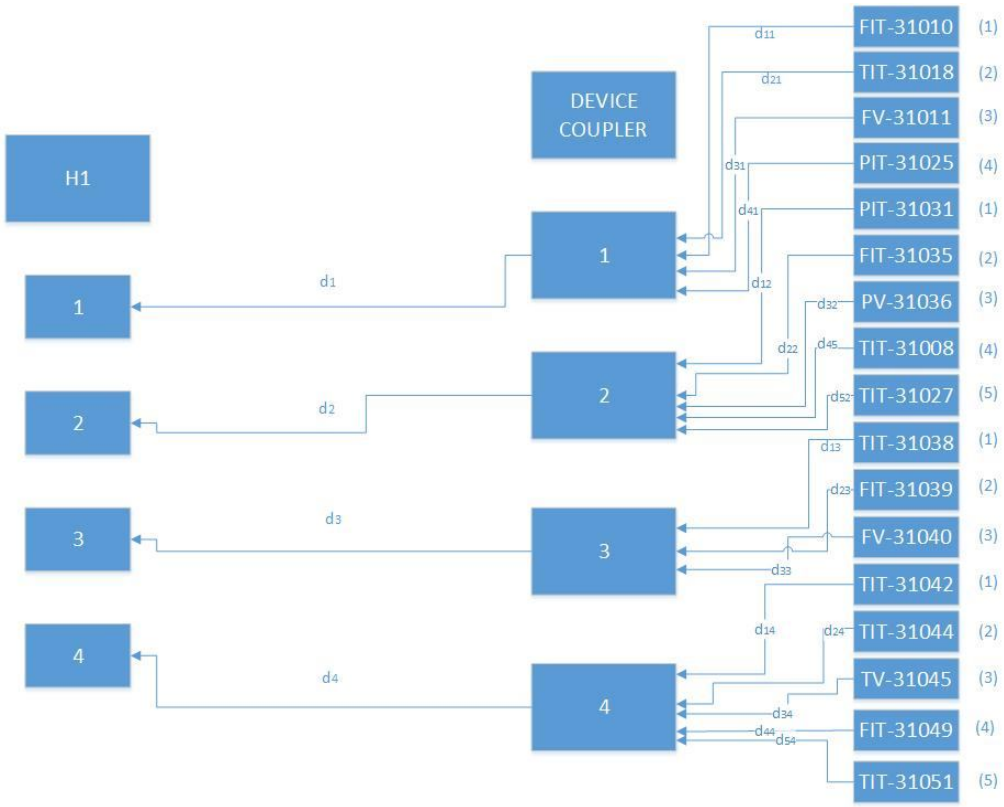
یک کارت با نام *(RDC) را در سایت قرار می‌دهیم که به کارت redundant H1 متصل می‌باشد. کارت H1 که spare قرار دادیم به بقیه کارت‌های H1 متصل است و هنگامی که یکی از trunk ها قطع شود کارت H1 مربوط به آن سگمنت به کارت spare H1 اطلاع می‌دهد و این کارت spare اطلاع پیدا می‌کند که کدام segment قطع شده است و از طریق کارت * به آن segment متصل می‌شود. در ضمن تمامی اطلاعات مربوط به کارت H1 که segment آن قطع شده برروی spare H1 لود می‌شود و این کارت از این پس دقیقا کار کارت H1 قطع شده را انجام می‌دهد.

coupler Device های مورد نظر در سایت تماما به طریقی به کارت * متصل می‌باشند. هنگامی که ارتباط یکی از device coupler ها با کارت H1 قطع شد device coupler مورد نظر اطلاعات خود را برروی تمامی خطهای خروجی خود قرار می‌دهد و از این طریق به کارت * در واحد متصل می‌شود.

در این صورت سیستم به کار عادی خود ادامه می‌دهد و آلارمی به اتاق کنترل ارسال می‌شود که نشان دهنده قطع شدن trunk می‌باشد. این کار برای لوپ‌های بسیار مهم قابل استفاده می‌باشد زیرا برای نصب چنین سیستمی هزینه بالاتری باید صرف شود.

**اثبات**

برای اثبات این موضوع ما به روش زیر عمل کرده‌ایم:




**شکل 8. قسمتی از یک شبکه foundation fieldbus با نامگذاری مسیرها**

همانطور که در شکل (8) مشاهده می‌شود نامگذاری به طریق زیر انجام شده است:

Trunk مربوط به segment یک می‌باشد: $d_1$

Trunk مربوط به segment دو می‌باشد: $d_2$

Trunk مربوط به segment سه می‌باشد: $d_3$

Trunk مربوط به segment چهار می‌باشد: $d_4$

مسیر مربوط از device1 به device coupler 1: $d_{11}$

مسیر مربوط از device2 به device coupler 1: $d_{21}$

مسیر مربوط از device3 به device coupler 1: $d_{31}$

مسیر مربوط از device4 به device coupler 1: $d_{41}$

مسیر مربوط از device1 به device coupler 2: $d_{12}$

مسیر مربوط از device2 به device coupler 2: $d_{22}$

مسیر مربوط از device3 به device coupler 2: $d_{32}$
مسیر مربوط از device4 به device coupler 2: $d_{42}$
مسیر مربوط از device5 به device coupler 2: $d_{52}$

مسیر مربوط از device1 به device coupler 3: $d_{13}$
مسیر مربوط از device2 به device coupler 3: $d_{23}$
مسیر مربوط از device3 به device coupler 3: $d_{33}$

مسیر مربوط از device1 به device coupler 4: $d_{14}$
مسیر مربوط از device2 به device coupler 4: $d_{24}$
مسیر مربوط از device3 به device coupler 4: $d_{34}$
مسیر مربوط از device4 به device coupler 4: $d_{44}$
مسیر مربوط از device5 به device coupler 4: $d_{54}$

روابط برای شکل (8) به صورت زیر می‌باشد:

$$\begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} & d_{14} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} & d_{24} \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} & d_{34} \\ d_{41} & d_{42} & \circ & d_{44} \\ \circ & d_{52} & \circ & d_{54} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \end{bmatrix}$$

$$= d_{11}d_1 + d_{12}d_2 + d_{13}d_3 + d_{14}d_4 + d_{21}d_1 + d_{22}d_2$$
$$+ d_{23}d_3 + d_{24}d_4 + d_{31}d_1 + d_{32}d_2 + d_{33}d_3 + d_{34}d_4$$
$$+ d_{41}d_1 + d_{42}d_2 + \circ \times d_3 + d_{44}d_4 + \circ \times d_1 + d_{52}d_2 + \circ \times d_3 + d_{54}d_4 =$$
$$d_1(d_{11} + d_{21} + d_{31} + d_{41}) + d_2(d_{12} + d_{22} + d_{32} + d_{42} + d_{52})$$
$$+ d_3(d_{13} + d_{23} + d_{33} + \circ) + d_4(d_{14} + d_{24} + d_{34} + d_{44} + d_{54})$$

همانطور که مشاهده می‌شود طبق فرمول به‌دست آمده اگر Trunkهای $d_1$ یا $d_2$ یا $d_3$ یا $d_4$ هر کدام قطع شوند اطلاعات ادوات مربوط به آن Trunk را از دست می‌دهیم:

$$\text{if} \quad d_1 = \circ \quad \Rightarrow \quad \circ \times (d_{11} + d_{21} + d_{31} + d_{41})$$

اطلاعات ادوات 1، 2، 3 و 4 از سگمنت 1 انتقال نمی‌یابد.

$$\text{if} \quad d_2 = \circ \quad \Rightarrow \quad \circ \times (d_{12} + d_{22} + d_{32} + d_{42} + d_{52})$$

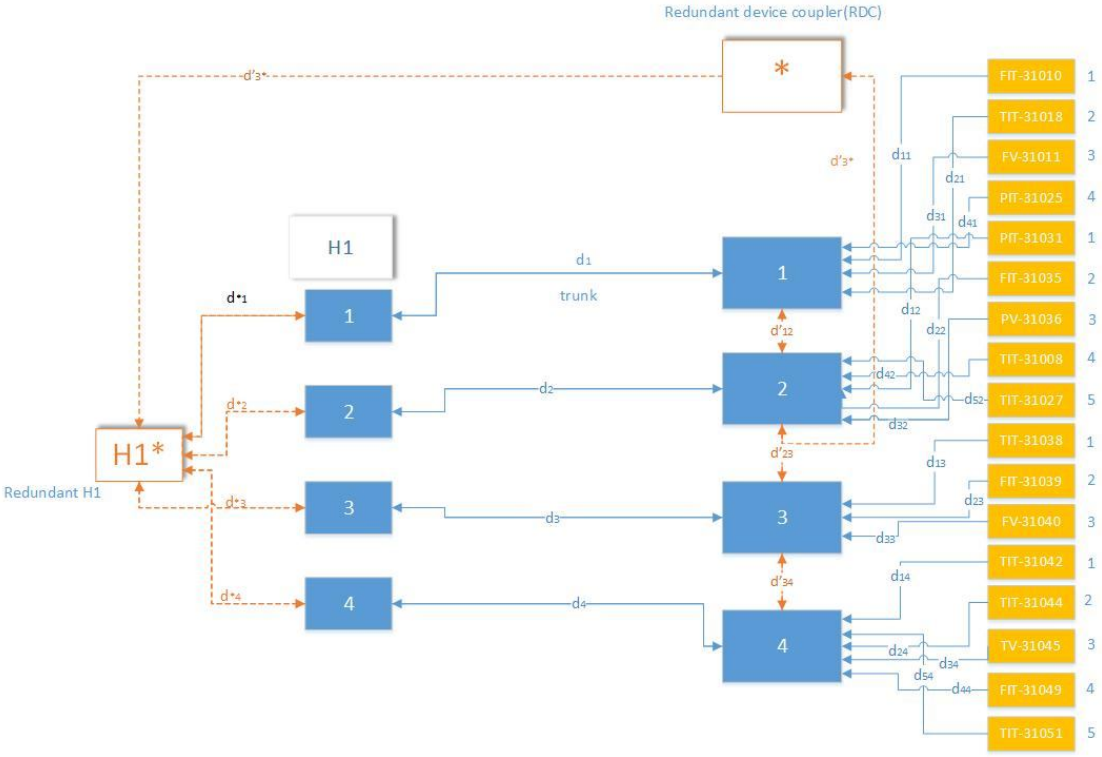
اطلاعات ادوات 1، 2، 3، 4 و 5 از سگمنت 2 انتقال نمی‌یابد.

$$\text{if} \quad d_3 = \circ \quad \Rightarrow \quad \circ \times (d_{13} + d_{23} + d_{33})$$

اطلاعات ادوات 1، 2 و 3 از سگمنت 3 انتقال نمی‌یابد.

$$\text{if} \quad d_4 = \circ \quad \Rightarrow \quad \circ \times (d_{14} + d_{24} + d_{34} + d_{44} + d_{54})$$

اطلاعات ادوات 1، 2، 3، 4 و 5 از سگمنت 4 انتقال نمی‌یابد.




**شکل 9. طرح پیشنهادی به کمک حلقه‌های داخلی با نامگذاری مسیرها**

در شکل (9) نام‌گذاری به طریق زیر می‌باشد:

مسیر مربوط از device coupler1 به device coupler 2: $d'_{12}$

مسیر مربوط از device coupler2 به device coupler 3: $d'_{23}$

مسیر مربوط از device coupler3 به device coupler 4: $d'_{34}$

مسیر مربوط از device coupler2 به RDC: $d'_{3*}$

مسیر مربوط از RDC به H1*: $d_*$

مسیر مربوط از H1* به کارت H1 شماره یک: $d_{*1}$

مسیر مربوط از H1* به کارت H1 شماره دو: $d_{*2}$

مسیر مربوط از H1* به کارت H1 شماره سه: $d_{*3}$

مسیر مربوط از *H1 به کارت H1 شماره چهار: $d_{*4}$

روابط مربوط به شکل (9) به صورت زیر می‌باشد:

$$\begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} & d_{14} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} & d_{24} \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} & d_{34} \\ d_{41} & d_{42} & \circ & d_{44} \\ \circ & d_{52} & \circ & d_{54} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} & d_{14} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} & d_{24} \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} & d_{34} \\ d_{41} & d_{42} & \circ & d_{44} \\ \circ & d_{52} & \circ & d_{54} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} d'_{12} \times d'_{3*} \times d_* \times d_{*1} \\ d'_{3*} \times d_* \times d_{*2} \\ d'_{23} \times d'_{3*} \times d_* \times d_{*3} \\ d'_{34} \times d'_{23} \times d'_{3*} \times d_* \times d_{*4} \end{bmatrix}$$

$$= d_1(d_{11} + d_{21} + d_{31} + d_{41}) + d_2(d_{12} + d_{22} + d_{32} + d_{42} + d_{52})$$
$$+ d_3(d_{13} + d_{23} + d_{32} + \circ) + d_4(d_{14} + d_{24} + d_{34} + d_{44} + d_{54})$$
$$+ (d'_{12} \times d'_{3*} \times d_* \times d_{*1})(d_{11} + d_{21} + d_{31} + d_{41})$$
$$+ (d'_{3*} \times d_* \times d_{*2})(d_{12} + d_{22} + d_{32} + d_{42} + d_{52})$$
$$+ (d'_{23} \times d'_{3*} \times d_* \times d_{*3})(d_{13} + d_{23} + d_{33})$$
$$+ (d'_{34} \times d'_{23} \times d'_{3*} \times d_* \times d_{*4})(d_{14} + d_{24} + d_{34} + d_{44} + d_{54})$$

همانطور که در عبارت بالا مشاهده می‌شود اگر Trunkهای $d_1$ یا $d_2$ یا $d_3$ یا $d_4$ قطع شوند اطلاعات ادوات از طریق دیگر انتقال پیدا می‌کند.

$$\text{if} \quad d_1 = \circ \;\Rightarrow\; (d'_{12} \times d'_{3*} \times d_* \times d_{*1})(d_{11} + d_{21} + d_{31} + d_{41})$$

در این طرح اگر $d_1$ قطع شود، اطلاعات ادوات 1، 2، 3 و 4 مربوط به سگمنت 1 از طریق مسیر $d'_{12}, d'_{3*}, d_*, d_{*1}$ انتقال می‌یابد.

$$\text{if} \quad d_2 = \circ \;\Rightarrow\; (d'_{3*} \times d_* \times d_{*2})(d_{12} + d_{22} + d_{32} + d_{42} + d_{52})$$

اگر $d_2$ قطع شود، اطلاعات ادوات 1، 2، 3، 4 و 5 مربوط به سگمنت 2 از طریق مسیر $d'_{3*}, d_*, d_{*2}$ انتقال می‌یابد.

$$\text{if} \quad d_3 = \circ \;\Rightarrow\; (d'_{23} \times d'_{3*} \times d_* \times d_{*3})(d_{13} + d_{23} + d_{33})$$

اگر $d_3$ قطع شود، اطلاعات ادوات 1، 2 و 3 مربوط به سگمنت 3 از طریق مسیر $d'_{23}, d'_{3*}, d_*, d_{*3}$ انتقال می‌یابد.

$$\text{if} \quad d_4 = \circ \;\Rightarrow\; (d'_{34} \times d'_{3*} \times d_* \times d_{*4})(d_{14} + d_{24} + d_{34} + d_{44} + d_{54})$$

اگر $d_4$ قطع شود، اطلاعات ادوات 1، 2، 3، 4 و 5 مربوط به سگمنت 4 از طریق مسیر $d'_{34}, d'_{3*}, d_*, d_{*4}$ انتقال می‌یابد.

## نتیجه گیری

سیستم آوند برگ درختان به عنوان یک سیستم طبیعی بهینه با شبکه‌های انتقال داده و سیستم‌های حمل و نقل مشابهت‌هایی دارند. برگ درختان با حلقه‌های داخلی یک سیستم بهینه از نظر تلفات و قابلیت اطمینان است. بدین صورت که با بروز خطا یا صدمه در یک نقطه از برگ بخش خطادار در حداقل ناحیه محدود شده و بقیه برگ به حیات خود ادامه می‌دهد از این رو در این مقاله روش نوینی برای بهینه سازی قابلیت اطمینان شبکه foundation fieldbus مبتنی بر حلقه‌های داخلی پیشنهاد گردید. با استفاده از حلقه‌های داخلی که در physical layer شبکه foundation fieldbus ایجاد شد با از دست دادن trunk یا field barrier هیچ مشکلی از لحاظ انتقال داده در شبکه به‌وجود نمی‌آید و در نتیجه امنیت شبکه بالا می‌رود.

## منابع

1. Gong, Z., Liu, B., Yang, S., Gui, X., Analysis of Industrial Ethernet’s Reliability and Realtime Performance ,IEEE CONFERENCE PUBLICATIONS 978-1-4244-4905-7/09/$25.00©2009 IEEE.
2. Ebrahim kafoori, K., Motamedi, A., Ziaei, A., Foundation Fieldbus H1 physical layer diagnosis Improvement ,IEEE AFRICON 2009 23 - 25 September 2009, Nairobi, Kenya.
3. Katifor, E., Szollosi,G.J., Magnasco, M.O., Damage anf fluctuations induce loops in optimal transport networks, Physical Review Letters, American Physical Society., Vol. 104, Iss. 4, pp. 048704(4), 2010.
4. Corson, F., Fluctuations and redundancy in optimal transport, Physical Review Letters, American Physical Society., Vol. 104, Iss. 4, pp. 048703(4), 2010.
5. hashemi-dezaki, H., askarian abyaneh, H., suratgar , A.A., ansari, S., reliability optimization of electrical distribution systems using internal loops to minimize ENS , European transactions on electrical power, 25-feb-2012.
6 . تکنولوژی فیلدباس و کاربردهای آن. محمدرضا ماهر، احمد حیدریان
7. شبکه صنعتی مدباس. محمدرضا ماهر، حمیدرضا رفیعیان