

## هماهنگی رله‌های جریان زیاد با TSM گسسته و پیوسته به وسیله الگوریتم ژنتیک در شبکه - های بهم پیوسته با بکارگیری تابع شایستگی جدید فازی

داوود صولتی الکران<sup>۱</sup> حسن رستگار<sup>۱</sup> مسعود نوری<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> دانشکده برق-دانشگاه صنعتی امیرکبیر

تهران، ایران

کلمات کلیدی: رله جریان زیاد، هماهنگی، تنظیم، الگوریتم ژنتیک، فازی

### چکیده

#### ۱-مقدمه

رله‌های جریان زیاد از پرکاربردترین رله‌ها در سیستم قدرت هستند. از آنها به عنوان حفاظت اصلی در شبکه توزیع و به عنوان حفاظت پشتیبان در شبکه‌های انتقال استفاده می‌شود. برای هماهنگی و تنظیم آنها بعد از انتخاب مشخصه، باید به ازاء هر رله دو تنظیم مشخص شود. تنظیم اول، تنظیم جریانی (PSM) است که جریان شروع به کار رله را تعیین می‌کند و باید متناسب با حداکثر جریان بار عبوری از رله ( $I_{Lmax}$ ) انتخاب شود. این تنظیم در بعضی رله‌ها به صورت گسسته و از ۵۰٪ تا ۲۰۰٪ با پله‌های ۲۵٪ قابل دستیابی است. اما در رله‌های جدید (دیجیتالی) این تنظیم می‌تواند به صورت پیوسته منظور شود. تنظیم دیگر که برای بهینه‌سازی نیز مد نظر قرار می-

با توجه به محاسبات سنگین هماهنگی رله‌های جریان زیاد و دشواری‌های مربوط به تعیین نقطه شروع (Break Point) در شبکه‌های بهم پیوسته، استفاده از روش‌های سنتی برای هماهنگی رله‌های جریان زیاد توجیه پذیر نمی‌باشد. در مقالات گوناگون روش‌های متعدد بهینه‌سازی برای هماهنگی رله‌های جریان زیاد ارائه شده است تا نه تنها هماهنگی بین رله‌ها صورت پذیرد، بلکه سیستم حفاظتی در بهینه‌ترین نقطه از لحاظ زمان عملکرد قرار گیرد. از مزایای این روش عدم نیاز به تعیین نقطه شروع می‌باشد. اما روش ارائه شده توسط این مقالات و همچنین تابع شایستگی بکار رفته در آنها دارای کاستی‌هایی است که در این مقاله این موارد بررسی شده و راه کار مناسب جهت رفع آنها ارائه شده است. در پایان نیز نتایج بدست آمده با این تغییرات با نتایج قبل مقایسه شده‌اند.

گیرد، تنظیم زمانی است. این پارامتر زمان عملکرد رله را تعیین می‌کند. این تنظیم نیز در بعضی رله‌ها به صورت گسسته و از ۰/۰۵ تا ۱ و با پله‌های ۰/۰۵ تعبیه شده است؛ در رله‌های جدید (دیجیتالی) این تنظیم می‌تواند به طور پیوسته انجام شود. هدف از هماهنگی، تعیین PSM و TSM رله‌های شبکه برای دستیابی به یک سیستم حفاظتی با صفات سرعت عمل، تفاوت‌گذاری، انتخاب‌گری و قابلیت اطمینان است. روش‌های گوناگون بهینه‌سازی خطی و غیرخطی همچون سمپلکس و همچنین الگوریتم‌های ابتکاری مثل GA و PSO برای هماهنگی رله‌ها به کار رفته است. در این مقاله از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است.

خواهد بود که برای تنظیم رله‌های با TSM پیوسته مناسب است. ولی در ژنتیک باینری (BGA) هر TSM یک رشته باینری است که با رمزگشایی مناسب به یکی از اعداد گسسته مورد نظر تبدیل می‌شود. این حالت برای هماهنگی رله‌های با TSM گسسته مناسب است. در مرحله بعد تابع شایستگی (Fitness Function) که ژنتیک در پی بهینه کردن آن است، به هر کروموزوم متناسب با شایستگی آن به عنوان جواب مسأله، یک عدد اختصاص می‌دهد. در این مقاله هدف مینیم کردن زمان عملکرد رله‌ها با رعایت فاصله زمانی مناسب بین رله‌های اصلی و پشتیبان است، در نتیجه تابع شایستگی می‌تواند به صورت رابطه (۱) تعریف شود.

$$FF = \sum f(t_i) \quad (1)$$

$$\text{Subject to:} \quad \Delta t_{mb} = t_b - t_m - CTI \geq 0$$

در رابطه (۱)، n تعداد رله‌ها،  $t_i$  زمان عملکرد رله i ام به ازای جریان خطای جلوی همان رله ( $I_{cli}$ )،  $t_b$  زمان عملکرد رله پشتیبان،  $t_m$  زمان عملکرد رله اصلی و CTI فاصله زمانی هماهنگی است. از آنجایی که ژنتیک یک الگوریتم بهینه‌ساز بدون قید است، در نتیجه قیود باید به صورت یک ضریب جریمه به تابع شایستگی اضافه شود تا با کاهش شایستگی کروموزوم‌هایی که قیود را برآورده نمی‌کنند، احتمال انتخاب آنها کاهش یابد. در نتیجه تابع نهایی به صورت رابطه (۲) پیاده‌سازی می‌شود که m تعداد جفت رله‌های اصلی و پشتیبان خواهد بود و بقیه پارامترها قبلاً تعریف شده‌اند.

$$FF = \sum_{i=1}^n f(t_i) + \sum_{i=1}^m g(\Delta t_{mb}) \quad (2)$$

در پایان ژنتیک به وسیله عملگر انتخاب و متناسب با شایستگی کروموزوم‌ها، تعدادی از کروموزوم‌ها را برای عملگرهای همبری، جهش و جایگزینی انتخاب می‌کند. این

## ۲- مروری بر الگوریتم ژنتیک

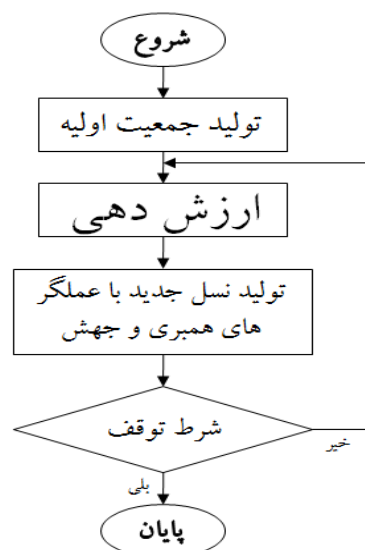
الگوریتم ژنتیک متأثر از علم ژنتیک بوده و در واقع مدل‌سازی حقایق ژنتیک می‌باشد. ژنتیک یک الگوریتم جستجوی هدفمند است که به صورت جستجوی موازی کار می‌کند؛ یعنی در اولین گام مجموعه‌ای از جوابهای ممکن به صورت تصادفی تولید می‌شوند. به هر کدام از این جوابها کروموزوم یا سناریو گفته می‌شود. در این مقاله همانند شکل (۱) هر کروموزوم یک بردار می‌باشد که TSM رله‌های مختلف را پیشنهاد می‌دهد.

TSM ۱	TSM ۲	...	TSM n
R۱	R۲		Rn

شکل (۱): شمای یک کروموزوم

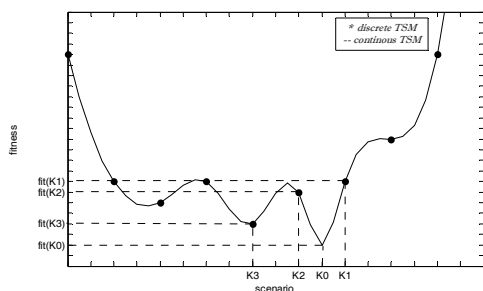
هر کدام از TSM‌ها در الگوریتم ژنتیک حقیقی (RGA) به صورت یک عدد حقیقی در بازه مجاز تعریف شده،

عملگرها جمعیت جدیدی را تولید می‌کنند و مراحل بالا تا رسیدن به شرط توقف ادامه خواهد یافت. دیاگرام الگوریتم ژنتیک در شکل (۲) نمایش داده شده است.



شکل (۲): دیاگرام الگوریتم ژنتیک

ب) با توجه به مشخص نبودن رفتار تابع ارزش نسبت به سناریوهای مختلف، می‌تواند حالتی پیش آید که یک بهینه کلی (Global optimum) با TSM‌های پیوسته حاصل شود ولی بعد از گرد کردن این TSM‌ها به TSM‌های گسسته، سناریویی حاصل شود که در واقع نسبت به سناریوهای گسسته دیگر بهینه نباشد. همانطور که در شکل (۳) نشان داده شده، واضح است که الگوریتم ژنتیک در راستای یافتن مینیمم تابع به سناریو  $K_0$  همگرا می‌شود که بعد از گرد کردن آن، به یکی از سناریوهای  $K_1$  یا  $K_2$  می‌رسد در حالی که در بین سناریوهای گسسته سناریوی  $K_3$  جواب بهینه می‌باشد.



شکل (۳): ارزش سناریوهای گسسته و پیوسته نمونه

### ۳- طرح مسأله

#### ۳-۱- پیوسته و یا گسسته بودن TSM‌ها

در بسیاری از مقالات همچون مرجع [۱]، برای هماهنگی رله‌ها با TSM گسسته، TSM‌ها به صورت پیوسته در نظر گرفته می‌شوند و در پایان برنامه و یا پایان هر مرحله تکرار با گرد کردن آنها به TSM‌های گسسته، جواب نهایی مشخص می‌شود که این روش از دو جهت قابل بررسی است:

الف) با پیوسته در نظر گرفتن TSM‌ها، تعداد حالات ممکن و در نتیجه فضای جستجو افزایش می‌یابد، ولی فضایی که جواب مورد نظر در آن است بسیار محدودتر می‌باشد، در نتیجه در شبکه‌های کوچک نیاز به تکرار بیشتر برای همگرایی خواهد بود و در شبکه‌های بزرگ، افزایش فضای جستجو می‌تواند به حدی باشد که الگوریتم را از رسیدن به بهینه کلی سیستم باز دارد.

#### ۳-۲- تابع شایستگی

تابع ارزشی که در مرجع [۱] برای هماهنگی رله‌های اضافه جریان پیشنهاد شده، به صورت رابطه (۳) است. با مقایسه روابط (۲) و (۳) مشخص می‌شود که تابع اصلی به صورت  $f(t_i) = (t_i)^2$  تعریف شده است. قید هم با رابطه  $g(\Delta t_{mb}) = (\Delta t_{mb} - \beta(\Delta t_{mb} - |\Delta t_{mb}|))^2$  به تابع ارزش اضافه شده است. حال توابع پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفته و معایب شرح داده می‌شوند:

$$FF = \alpha_1 \sum (t_i)^2 + \alpha_2 \sum (\Delta t_{mb} - \beta(\Delta t_{mb} - |\Delta t_{mb}|))^2 \quad (۳)$$

سناریوی قابل قبول است. در اینجا ضرورت انتخاب مناسب ضرایب تابع نیز مشخص می‌شود.

### ۳-۳- تعیین ضرایب

تابع ارزش بیان شده در رابطه (۳) دارای سه ضریب  $\alpha_1$ ،  $\alpha_2$  و  $\beta$  است، که این ضرایب از طریق سعی و خطا تعیین و به صورت مقادیر ثابت به تابع اعمال می‌شوند. اما این ضرایب می‌توانند بسیار وابسته به ماهیت مسأله باشند، در نتیجه برای مسائل متفاوت، نیاز به تعیین مجدد این ضرایب است. از سوی دیگر ثابت بودن این ضرایب در طول اجرای الگوریتم می‌تواند باعث همگرایی زودرس شده و مانع از رسیدن به بهینه کلی شود.

### ۴- طرح پیشنهادی

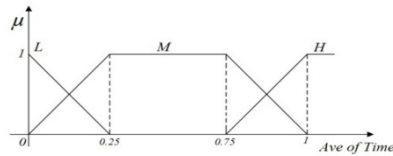
۴-۱- با توجه به موارد بیان شده در قسمت ۱-۳ پیشنهاد می‌شود برای رله‌های با TSM گسسته ژن متناظر نیز به صورت گسسته (رشته ی باینری) و برای رله‌های با TSM پیوسته ژن متناظر آن به صورت پیوسته (عدد حقیقی) انتخاب شوند. این موضوع در سیستم‌هایی که شامل هر دو نوع رله هستند، با تقسیم ژن‌ها به دو گروه پیوسته و گسسته قابل دستیابی است. با این اقدام فضای جستجو کاهش خواهد یافت و دیگر نیازی به رند کردن TSM‌ها در هر گام نخواهد بود.

۴-۲- برای رفع عیوب ذکر شده در قسمت ۲-۳ تابع شایستگی پیشنهادی به صورت رابطه (۴) بیان می‌شود.

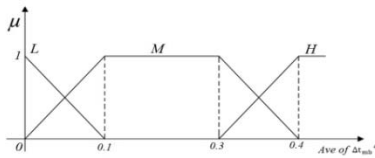
الف)  $f(t_i) = (t_i)^2$  : این تابع برای اعداد کوچکتر از ۰/۵ دارای شیب کمتر از ۱ است، در نتیجه برای زمان‌های عملکرد در این ناحیه مقداری که به عنوان شایستگی به آنها نسبت داده می‌شود، بسیار نزدیک به هم خواهد بود. به طور مثال برای دو زمان عملکرد برای رله  $t_{i,1} = 0.1$  و  $t_{i,2} = 0.2$  و ارزش‌ها به صورت  $f(t_{i,1}) = 0.01$  و  $f(t_{i,2}) = 0.09$  تعیین می‌شوند که تنها ۰/۰۸ تفاوت دارند. برای درک بهتر این عیب، فرض می‌شود سناریو ۱ زمان عملکرد رله‌های  $i$  و  $j$  را به ترتیب ۰/۱ و ۰/۹ و سناریو ۲ این زمان‌ها را به ترتیب ۰/۴ و ۰/۸۱۳ پیشنهاد دهد. تابع مورد بحث به هر دو سناریو ارزش ۰/۸۲ را نسبت می‌دهد در حالی که سناریو ۱ به وضوح جواب بهتری را ارائه داده است. از آنجایی که زمان عملکرد رله‌ها معمولاً کوچک است، در نتیجه ممکن است الگوریتم ژنتیک نتواند تفاوت مناسبی بین سناریوهای مختلف قائل شود و در نهایت از رسیدن به بهترین جواب ممکن باز بماند.

ب)  $g(\Delta t_{mb}) = (\Delta t_{mb} - \beta(\Delta t_{mb} - |\Delta t_{mb}|))^2$  : این تابع نیز به دلیل استفاده از توان دوم  $\Delta t_{mb}$  همان مشکلات بیان شده در قسمت الف را دارا می‌باشد. علاوه بر آن به علت اینکه مشتق این تابع در حوالی نقطه صفر، صفر است، توانایی رفع کامل عدم هماهنگی‌ها ( $\Delta t_{mb}$  های منفی) را ندارد. چون همواره  $\Delta t_{mb}$  های منفی وجود خواهند داشت که این تابع اعداد کوچکی را به آنها نسبت دهد. برای تشریح بیشتر فرض می‌شود  $\beta$  به گونه‌ای تعیین شده که برای  $\Delta t_{mb}$  های منفی ضریب  $(\Delta t_{mb})^2$ ، ۱۰۰ برابر  $\Delta t_{mb}$  های مثبت باشد و همچنین سناریو ۱ فاصله هماهنگی رله‌های اصلی و پشتیبان  $i$  و  $j$  را  $\Delta t_{i,j,1} = 0.1$  و سناریو ۲ این زمان را  $\Delta t_{i,j,2} = -0.01$  پیشنهاد دهند. این تابع برای هر دو سناریو، شایستگی یکسان  $g(\Delta t_{i,j}) = 0.01$  را قائل می‌شود در حالی که سناریو ۲ بیانگر یک عدم هماهنگی و سناریو ۱ یک

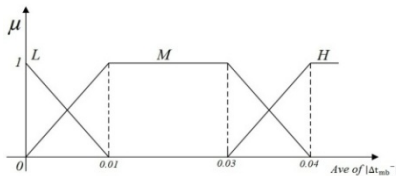
گونه‌ای تنظیم کرد که الگوریتم سریعتر به جواب کلی برسد. برای دستیابی به این منظور استفاده از یک کنترل کننده فازی پیشنهاد می‌شود که توابع عضویت ورودی و خروجی در شکل‌های (۵) و (۶) و قوانین آن در جدول (۱) آورده شده‌اند.



الف



ب

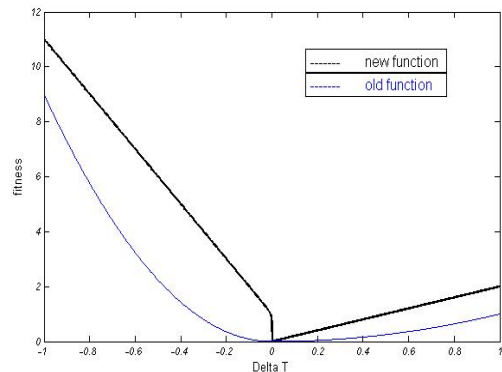


ج

شکل (۵): ورودی های فازی الف) میانگین زمان عملکرد رله‌ها ب) میانگین فاصله هماهنگی های مثبت ج) میانگین فاصله هماهنگی های منفی

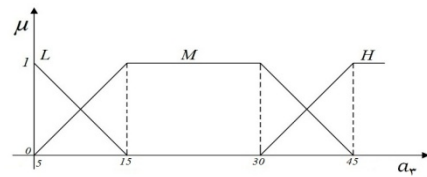
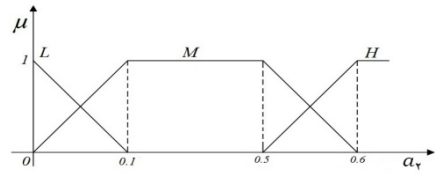
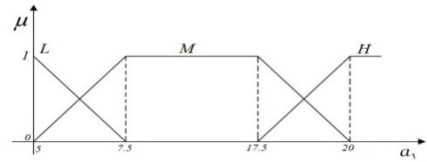
قسمت اصلی تابع  $f$  متناسب با زمان عملکرد و به صورت خطی، کروموزم‌ها را ارزش‌دهی می‌کند. با این تابع به سناریو ۱ شایستگی ۱ و سناریو ۲ شایستگی ۱/۲۱۳ تعلق می‌گیرد که به درستی نشان از برتری سناریو ۱ دارد. برای مشخص شدن تفاوت توابع مربوط به قید  $g$  این دو تابع در شکل (۴) رسم شده‌اند. تابع جدید دارای شیب در صفر منفی است که می‌توان با تنظیم مناسب  $a_2$  از انتخاب  $\Delta t_{mb}$  های منفی جلوگیری کرد؛ همچنین با انتخاب بجای  $a_3$  می‌توان مانع از انتخاب  $\Delta t_{mb}$  های بزرگ شد.

$$FF = a_1 \sum t_i + \sum \left[ \frac{|\Delta t_{mb}| - \Delta t_{mb}}{(|\Delta t_{mb}| - \Delta t_{mb})^2 + a_2} + a_3 |\Delta t_{mb}| \right] \quad (4)$$

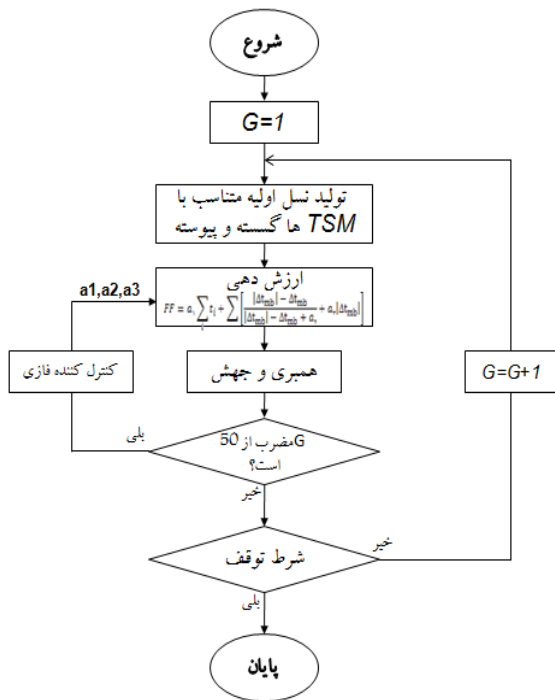


شکل (۴): مقایسه توابع مربوط به قید (g)

۴-۳- تابع شایستگی بیان شده در رابطه (۴) دارای سه پارامتر می‌باشد، که  $a_1$  بر روی ارزش زمان عملکرد رله‌ها،  $a_2$  بر  $\Delta t_{mb}$  های منفی کوچک و  $a_3$  روی  $\Delta t_{mb}$  های بزرگ اثر می‌گذارد. پس با بررسی خروجی الگوریتم هماهنگی و متناسب با زمان عملکرد رله‌ها و فاصله هماهنگی بین آنها می‌توان پارامترهای  $a_1$ ،  $a_2$  و  $a_3$  را به



شکل (۶): خروجی‌های فازی (ضرایب تابع شایستگی)



شکل (۷): دیاگرام الگوریتم پیشنهادی

### ۵- نتایج و مقایسه

#### ۵-۱- هماهنگی رله‌های با TSM گسسته

شبکه مورد نظر در شکل (۸) آورده شده و اطلاعات مورد نیاز این شبکه در جداول (۲) تا (۵) موجود هستند. با فرض استفاده از رله‌های کاهشی معمولی با TSM گسسته با رابطه مشخصه بیان شده در رابطه (۵) هماهنگی انجام شده است. مقادیر مینا ۱۰۰MVA و ۱۵۰KV می-باشند.

جدول (۲) اطلاعات خطوط

Line	R(pu)	X(pu)	V (kV)
۱	۰.۰۰۱۸	۰.۰۲۲۲	۱۵۰
۲	۰.۰۰۱۸	۰.۰۲۲۲	۱۵۰
۳	۰.۰۰۱۸	۰.۰۲	۱۵۰
۴	۰.۰۰۲۲	۰.۰۲	۱۵۰
۵	۰.۰۰۲۲	۰.۰۲	۱۵۰
۶	۰.۰۰۱۸	۰.۰۲	۱۵۰
۷	۰.۰۰۲۲	۰.۰۲۲۲	۱۵۰

نحوه عملکرد بدین صورت است که بعد از تکرار مشخصی از الگوریتم ژنتیک (مثلاً ۵۰ تکرار)، کنترل کننده فازی متناسب با جواب‌های الگوریتم مقادیر  $a_1$ ،  $a_2$  و  $a_3$  را تعیین کرده و به تابع شایستگی اعمال می‌کند، این عمل در هر ۵۰ تکرار ژنتیک اتفاق می‌افتد تا الگوریتم جواب بهینه کلی را بیابد. دیاگرام الگوریتم پیشنهادی در شکل (۷) آورده شده است.

جدول (۱) قواعد فازی

inputs			outputs		
Ave of time	Ave of $\Delta t +$	Ave of $\Delta t -$	$a_1$	$a_2$	$a_3$
L	*	*	L	*	*
M	*	*	M	*	*
H	*	*	H	*	*
*	L	L	*	*	L
*	M	M	*	*	M
*	H	H	*	*	H
*	*	L	*	L	*
*	*	M	*	M	*
*	*	H	*	H	*

جدول (۳) اطلاعات ژنراتور

Generator	R(pu)	X(pu)	V (kV)
	۰.۰۰۰۰۰۱	۰.۱	۱۰

جدول (۴) اطلاعات ترانسفورماتور

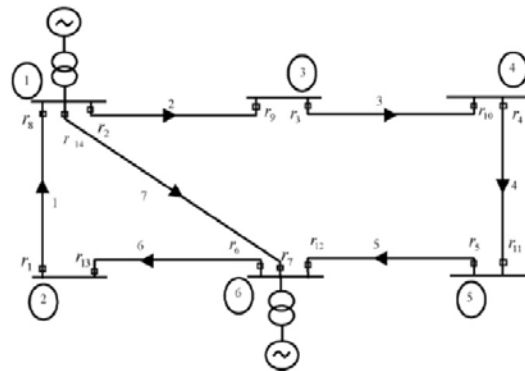
Transformer	R(pu)	X(pu)
	۰.۰۰۰۰۰۰۱	۰.۰۲۶۶۶۶

جدول (۵) جفت جریان های هماهنگی

Main Relay	Backup Relay	Main Relay SC current (A)	Backup Relay SC current (A)
۸	۹	۴۹۶۱.۷۷۰۴	۴۱۰.۸۲۲۶
۸	۷	۴۹۶۱.۷۷۰۴	۱۵۲۰.۸۹۱۱
۲	۷	۵۳۶۲.۲۹۸۳	۱۵۲۸.۰۶۶
۲	۱	۵۳۶۲.۲۹۸۳	۸۰۴.۸۷۸۲
۳	۲	۳۳۳۴.۵۱۹۱	۳۳۳۴.۵۱۹۱
۴	۳	۲۲۳۴.۳۳۰۸	۲۲۳۴.۳۳۰۸
۵	۴	۱۳۵۲.۸۷۵۱	۱۳۵۲.۸۷۵۱
۶	۵	۴۹۶۵.۰۴۴۲	۴۱۱.۳۶۷۵
۶	۱۴	۴۹۶۵.۰۴۴۲	۱۵۲۲.۹۰۸۴
۱۴	۱	۴۲۳۲.۷۲۴۳	۷۹۴.۰۹۲
۱۴	۹	۴۲۳۲.۷۲۴۳	۴۰۷.۲۲۹۲
۱	۶	۲۶۸۲.۴۹۵۹	۲۶۸۲.۴۹۵۹
۹	۱۰	۱۴۴۳.۶۶۹۹	۱۴۴۳.۶۶۹۹
۱۰	۱۱	۲۳۳۴.۶۵۱۵	۲۳۳۴.۶۵۱۵
۱۱	۱۲	۳۴۸۰.۷۵۱۱	۳۴۸۰.۷۵۱۱
۱۲	۱۴	۵۳۶۵.۰۶۰۹	۱۵۲۹.۳۶۳۸
۱۲	۱۳	۵۳۶۵.۰۶۰۹	۸۰۵.۵۶۱۸
۱۳	۸	۲۴۹۰.۷۴۵۴	۲۴۹۰.۷۴۵۴
۷	۵	۴۲۳۲.۶۳۴	۴۰۷.۲۴۷۲

$$\frac{t}{TSM} = a_1 + \frac{a_2}{M-1} + \frac{a_3}{(M-1)^2} + \frac{a_4}{(M-1)^3} + \frac{a_5}{(M-1)^4} \quad (5)$$

$$\begin{cases} a_1 = 1.98772 \\ a_2 = 8.57922 \\ a_3 = -0.46129 \\ a_4 = 0.0364465 \\ a_5 = -0.000319901 \end{cases}$$



شکل (۸): شبکه مورد مطالعه در قسمت ۵-۱

## ۵-۲- هماهنگی رله‌های با TSM پیوسته

شبکه انتخاب شده برای این قسمت، بخش توزیع سیستم ۳۰ باسه IEEE است که در شکل (۹) آورده شده است. در این مرحله فرض بر این است که رله‌ها از نوع کاهشی معمولی با TSM پیوسته هستند. به علت اینکه تعداد جفت رله‌های اصلی و پشتیبان در این شبکه زیاد است TSMها در بازه ی ۰/۰۱ تا ۲ در نظر گرفته شده‌اند. اطلاعات مورد نیاز هماهنگی رله‌های اضافه جریان این شبکه در جدول (۷) آورده شده است.

خروجی الگوریتم پیشنهادی و خروجی‌های آورده شده در مرجع [۱]، در جدول (۶) با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

مشاهده می‌شود که الگوریتم جدید با وجود کوچک بودن شبکه و کم بودن تعداد رله‌ها به جواب بهتری همگرا شده است و زمان عملکرد سیستم حفاظتی بهبود یافته است. با استفاده از تابع شایستگی جدید با کنترل فازی برای شبکه تست شکل (۸) TSM ۵ رله نسبت به قبل (تابع شایستگی مرجع [۱]) بهبود یافته است.

جدول (۶) نتایج هماهنگی با TSM گسسته برای شبکه شکل (۸)

TSM	FF new	FF old	Time	FF new	FF old	delta(t)	FF new	FF old
						$\Delta t_{1,7}$	۰.۶۱۹۸	۰.۴۶۷۳
TSM <sub>۱</sub>	۰.۱	۰.۱۵	t <sub>۱</sub>	۰.۳۹۲۹	۰.۵۸۹۴	$\Delta t_{2,7}$	۰.۱۷۶۷	۰.۰۰۲۸
TSM <sub>۲</sub>	۰.۳	۰.۳۵	t <sub>۲</sub>	۱.۰۴۳۴	۱.۲۱۷۳	$\Delta t_{2,1}$	۰.۰۵۴۱	۰.۶۲۹
TSM <sub>۳</sub>	۰.۲۵	۰.۲۵	t <sub>۳</sub>	۰.۹۶۲۱	۰.۹۶۲۱	$\Delta t_{3,2}$	۰.۰۳۳۲	۰.۲۶۵۷
TSM <sub>۴</sub>	۰.۱	۰.۱	t <sub>۴</sub>	۰.۶۶۳۶	۰.۶۶۳۶	$\Delta t_{4,3}$	۰.۲۰۵۷	۰.۲۰۵۷
TSM <sub>۵</sub>	۰.۰۵	۰.۱	t <sub>۵</sub>	۰.۳۸۳	۰.۷۶۶	$\Delta t_{5,4}$	۰.۵۷۱۵	۰.۱۸۸۵
TSM <sub>۶</sub>	۰.۲	۰.۲۵	t <sub>۶</sub>	۰.۶۰۹۹	۰.۷۶۲۳	$\Delta t_{6,14}$	۰.۶۳۵	۰.۴۸۲۵
TSM <sub>۷</sub>	۰.۲	۰.۲	t <sub>۷</sub>	۰.۷۰۵۹	۰.۷۰۵۹	$\Delta t_{14,1}$	۰.۵۴۷۳	۱.۳۱۸۱
TSM <sub>۸</sub>	۰.۲	۰.۲۵	t <sub>۸</sub>	۰.۶۱	۰.۷۶۲۵	$\Delta t_{1,6}$	۰.۰۴۱۱	۰.۰۵۳۲
TSM <sub>۹</sub>	۰.۰۵	۰.۰۵	t <sub>۹</sub>	۰.۳۴۷۹	۰.۳۴۷۹	$\Delta t_{9,10}$	۰.۳۱۷۳	۰.۳۱۷۳
TSM <sub>۱۰</sub>	۰.۱۵	۰.۱۵	t <sub>۱۰</sub>	۰.۶۸۸۳	۰.۶۸۸۳	$\Delta t_{10,11}$	۰.۲۱۹۵	۰.۲۱۹۵
TSM <sub>۱۱</sub>	۰.۲۵	۰.۲۵	t <sub>۱۱</sub>	۰.۹۸۳۵	۰.۹۸۳۵	$\Delta t_{11,12}$	۰.۰۴۹۲	۰.۰۴۹۲
TSM <sub>۱۲</sub>	۰.۴	۰.۴	t <sub>۱۲</sub>	۱.۱۸۴۷	۱.۱۸۴۷	$\Delta t_{12,14}$	۰.۰۴۸۹	۰.۰۴۸۹
TSM <sub>۱۳</sub>	۰.۱	۰.۱	t <sub>۱۳</sub>	۰.۴۶۶۵	۰.۴۶۶۵	$\Delta t_{12,13}$	۰.۸۱۳۵	۰.۸۱۳۵
TSM <sub>۱۴</sub>	۰.۱۵	۰.۱۵	t <sub>۱۴</sub>	۰.۵۹۴۴	۰.۵۹۴۴	$\Delta t_{13,8}$	۰.۰۱۰۱	۰.۲۲۹۲

جدول (۷) جفت جریان‌های هماهنگی برای شبکه IEEE ۳۰ باسه

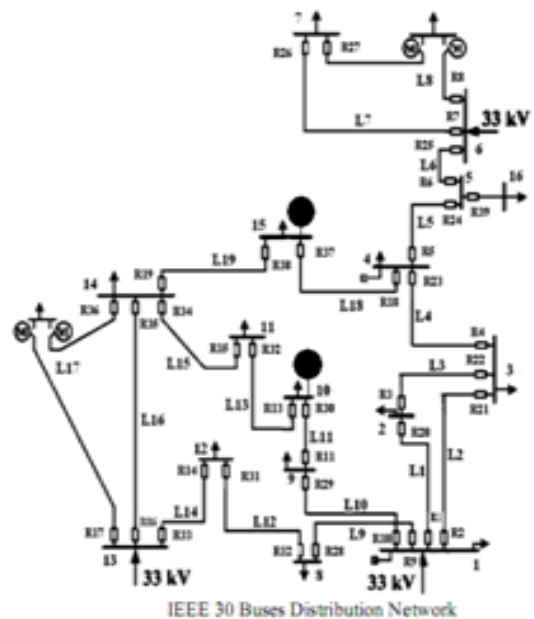
Main Num	back up num	SC_M (A)	SC_B (A)	Main Num	back up num	SC_M (A)	SC_B (A)	Main Num	back up num	SC_M (A)	SC_B (A)
۳	۱	۴۰۵۳.۹	۴۰۵۳.۹	۳۶	۱۵	۶۳۰۲.۴	۱۴۸۸.۵	۲۴	۲۵	۱۶۷۳.۴	۱۶۷۳.۴
۴	۲	۵۳۸۶.۵	۲۱۲۹.۰	۱۹	۱۶	۵۴۰۲.۳	۳۱۱۱.۵	۱	۲۸	۷۵۵۸.۰	۱۵۳۳.۲
۲۲	۲	۴۰۹۶.۴	۲۱۳۷.۴	۳۴	۱۶	۵۶۹۱.۸	۳۱۰۷.۵	۲	۲۸	۷۸۴۰.۳	۱۵۲۷.۳
۴	۳	۵۳۸۶.۵	۳۲۵۷.۶	۳۶	۱۶	۶۳۰۲.۴	۳۰۳۷.۷	۱۰	۲۸	۷۱۴۰.۱	۱۵۱۹.۹
۲۱	۳	۵۱۷۵.۷	۳۲۳۰.۵	۱۹	۱۷	۵۴۰۲.۳	۷۹۷.۰	۱	۲۹	۷۵۵۸.۰	۱۳۶۱.۳
۵	۴	۴۹۶۰.۸	۳۰۰۱.۳	۳۴	۱۷	۵۶۹۱.۸	۷۹۶.۰	۲	۲۹	۷۸۴۰.۳	۱۳۵۶.۱
۶	۵	۲۴۱۶.۰	۲۴۱۶.۰	۳۵	۱۷	۴۱۰۸.۵	۷۸۹.۹	۲۹	۳۰	۲۴۹۴.۹	۲۴۹۴.۹
۷	۶	۳۷۸۹.۰	۱۸۰۲.۹	۳۸	۱۸	۲۹۸۵.۴	۲۱۳۸.۸	۲۸	۳۱	۲۰۱۵.۸	۲۰۱۵.۸
۸	۶	۳۷۵۸.۸	۱۷۹۱.۸	۳۷	۱۹	۳۷۶۷.۹	۲۹۱۸.۸	۳۰	۳۲	۲۹۷۱.۳	۲۱۱۹.۶
۲۷	۷	۱۲۰۴.۷	۱۲۰۴.۷	۲	۲۰	۷۸۴۰.۳	۹۳۱.۱	۳۱	۳۳	۳۲۳۶.۰	۳۲۳۶.۰
۲۶	۸	۸۳۹.۵	۸۳۹.۵	۹	۲۰	۷۰۰۹.۷	۹۷۹.۶	۳۲	۳۴	۲۸۹۲.۶	۲۸۹۲.۶
۱۲	۹	۴۹۲۸.۶	۴۹۲۸.۶	۱۰	۲۰	۷۱۴۰.۱	۹۷۲.۷	۱۷	۳۵	۷۴۰۶.۸	۱۸۲۴.۷
۱۱	۱۰	۳۴۰۲.۰	۳۴۰۲.۰	۱	۲۱	۷۵۵۸.۰	۶۱۸.۰	۳۳	۳۵	۶۳۸۷.۷	۱۸۹۲.۱
۱۳	۱۱	۳۶۸۵.۸	۲۸۳۱.۲	۹	۲۱	۷۰۰۹.۷	۶۴۰.۲	۱۶	۳۶	۶۱۴۰.۶	۴۷۴.۹
۱۴	۱۲	۲۸۵۸.۵	۲۸۵۸.۵	۱۰	۲۱	۷۱۴۰.۱	۶۳۵.۷	۳۳	۳۶	۶۳۸۷.۷	۴۸۴.۶
۱۵	۱۳	۲۶۳۲.۵	۲۶۳۲.۵	۲۰	۲۲	۳۲۸۷.۲	۳۲۸۷.۲	۵	۳۷	۴۹۶۰.۸	۱۹۶۱.۰
۱۶	۱۴	۶۱۴۰.۶	۱۶۳۲.۰	۲۱	۲۳	۵۱۷۵.۷	۱۹۵۹.۸	۲۳	۳۷	۳۲۱۷.۲	۱۹۶۹.۹
۱۷	۱۴	۷۴۰۶.۸	۱۶۰۶.۱	۲۲	۲۳	۴۰۹۶.۴	۱۹۶۹.۵	۳۴	۳۸	۵۶۹۱.۸	۱۸۰۰.۵
۱۹	۱۵	۵۴۰۲.۳	۱۵۰۵.۰	۱۸	۲۴	۴۲۴۶.۵	۱۲۴۲.۹	۳۵	۳۸	۴۱۰۸.۵	۱۸۰۹.۹
۳۵	۱۵	۴۱۰۸.۵	۱۵۱۱.۰	۲۳	۲۴	۳۲۱۷.۲	۱۲۴۷.۲	۳۶	۳۸	۶۳۰۲.۴	۱۷۸۲.۹



جدول (۸) نتایج هماهنگی با TSM پیوسته

TSM	TSM with New FF	operation time(s)	TSM with Old FF	operation time(s)	TSM	TSM with New FF	operation time(s)	TSM with Old FF	operation time(s)
TSM۱	۰.۷۶۰۹	۲.۰۳۵۵	۱.۲۱۳	۳.۳۴۳۹	TSM۲۰	۰.۴۶۳۴	۱.۴۸۳۷	۰.۸۴	۲.۶۷۶۵
TSM۲	۰.۹۱۷	۱.۹۸۶۹	۱.۰۷۱	۲.۳۲۲۹	TSM۲۱	۰.۶۷۵۶	۱.۵۶۸۵	۰.۶۰۳	۱.۳۴۶۶
TSM۳	۰.۹۳۰۳	۱.۹۵۸۱	۰.۹۲۶	۲.۰۱۲۲	TSM۲۲	۰.۹۱	۱.۹۲۳۲	۱.۰۹	۲.۳۲۰۴
TSM۴	۰.۶۳۸۱	۱.۴۹۶	۰.۷۷۲	۱.۹۲۰۱	TSM۲۳	۰.۷۱۴۶	۲.۰۲۶	۱.۰۴۷	۲.۹۸۵۲
TSM۵	۰.۵۴۰۱	۱.۲۲۶۳	۰.۵۸۸	۱.۴۷۳۶	TSM۲۴	۰.۹۸۸۱	۲.۳۳۸۷	۱.۱۹۹	۲.۸۱۴۲
TSM۶	۰.۳۴۳۸	۰.۹۳۱۹	۰.۳۴۶	۱.۰۸۱۵	TSM۲۵	۱.۰۱۱۱	۲.۶۴۱۵	۱.۴۷۷	۳.۷۵۴۱
TSM۷	۰.۱۸۸۷	۰.۴۳۵	۰.۲۱	۰.۵۶۶۹	TSM۲۶	۰.۰۱۲۶	۰.۰۴۷۲	۰.۰۱	۰.۱۸۷
TSM۸	۰.۱۷۰۵	۰.۳۸۲۸	۰.۱۷	۰.۴۸۷۳	TSM۲۷	۰.۰۱۴	۰.۰۳۵۸	۰.۰۱	۰.۱۲۸۲
TSM۹	۱.۳۹۸۱	۳.۱۳۲۶	۱.۵۸۳	۳.۵۰۲۲	TSM۲۸	۰.۶۹۵۸	۲.۳۳۳۴	۱.۰۶۴	۳.۵۷۱۳
TSM۱۰	۰.۳۸۱۳	۰.۹۱۱۵	۱.۶۲۶	۳.۸۶۸۱	TSM۲۹	۰.۸۵۳	۲.۶۴۱۳	۰.۶۱	۱.۹۷۸۷
TSM۱۱	۰.۱۷۰۹	۰.۴۶۱۴	۱.۳۵	۳.۶۳۴۵	TSM۳۰	۰.۰۴۹۳	۰.۱۲۹۷	۰.۸۳۲	۲.۲۳۳۱
TSM۱۲	۱.۳۴۱۳	۲.۸۶۶۷	۱.۲۷۷	۲.۶۸۸۶	TSM۱۳۱	۱.۰۵۷	۲.۵۹۹۲	۱.۲۸۸	۳.۱۶۲۴
TSM۱۳	۰.۰۱۳۴	۰.۰۲۹۲	۱.۰۹۱	۲.۳۷۴۷	TSM۳۲	۰.۲۵۲	۰.۵۵۹۲	۱.۰۶۴	۲.۳۶۹۹
TSM۱۴	۰.۹۵۳۱	۲.۳۷۱۱	۱.۰۰۹	۲.۵۱۲۸	TSM۳۳	۱.۳۶۳۴	۳.۱۳۳۱	۱.۵۶۸	۳.۶۰۸
TSM۱۵	۰.۹۷۹۴	۲.۶۱۴۹	۰.۸۶۲	۲.۲۹۳۵	TSM۳۴	۰.۴۵۷۵	۱.۰۳۵۴	۱.۳۲۷	۳.۰۰۸
TSM۱۶	۰.۸۴۵۷	۲.۳۶۵	۱.۳۷۸	۳.۸۶۴۸	TSM۳۵	۰.۷۱۷۷	۲.۳۴۱۷	۱.۱۱۲	۳.۶۵۱۳
TSM۱۷	۰.۵۹۳۷	۱.۳۴۲۹	۰.۶۶۴	۱.۵۰۴۲	TSM۳۶	۱.۳۱۹۱	۲.۷۰۹۸	۰.۲۶۹	۰.۵۵۶۷
TSM۱۸	۰.۰۱	۰.۰۲۱۱	۱.۴۳۳	۳.۰۰۷۲	TSM۳۷	۱.۰۴۹۸	۲.۲۶۵۹	۰.۹۴۶	۲.۰۴۴
TSM۱۹	۱.۱۹۳۵	۲.۶۹۵۹	۱.۲۰۸	۲.۷۱۷۴	TSM۳۸	۱.۱۰۲	۲.۷۴۴۷	۱.۲	۲.۹۸۸۷
<b>Average</b>	<b>۰.۶۸۶۲</b>	<b>۱.۶۷۹۵</b>	<b>۰.۹۵۶۱</b>	<b>۲.۳۸۲۹</b>					

نتایج شبیه‌سازی برای شبکه ۳۰ باسه با استفاده از توابع شایستگی جدید و قدیم در جدول (۸) خلاصه شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود تابع شایستگی معرفی شده در این مقاله موفق به یافتن TSM های با میانگین ۰.۶۸۶۲ و میانگین زمان عملکرد به ازای خطا جلوی رله، برابر با ۰.۹۵۶۱ ثانیه شده است. در حالیکه میانگین‌های ذکر شده توسط تابع شایستگی قدیم بترتیب برابر با ۱.۶۷۹۵ و ۲.۳۸۲۹ می‌باشند. همچنین در جدول (۹) فاصله زمانی عملکرد رله‌های اصلی و پشتیبان به ازای TSM های بدست آمده توسط هر دو تابع شایستگی، ذکر شده است. همانطور که از این جدول مشاهده می‌شود در جوابهای



شکل (۹): IEEE ۳۰ باسه

گرددیده است. بنابراین الگوریتم پیشنهادی در هماهنگی رله‌های جریان زیاد موفق تر از الگوریتم های گذشته عمل می‌کند.

بدست آمده توسط تابع قدیم فاصله‌های زمانی عملکرد رله‌های اصلی و پشتیبان در تعداد زیادی جفت رله، مقادیر منفی کوچک بدست آمده است که قابل قبول نمی‌باشد. اما این مشکل توسط تابع جدید بیان شده در این مقاله مرتفع

جدول (۹) مقایسه فاصله های هماهنگی

Delta for Old FF	Delta for new FF	Main Relay	Backup Relay	Delta for Old FF	Delta for new FF	Main Relay	Backup Relay	Delta for Old FF	Delta for new FF	Main Relay	Backup Relay
-۰.۰۰۵۱۳	۱.۷۸۶۳	۱۶	۳۳	-۰.۰۰۰۲۷	۲.۴۰۱۳	۲۰	۱۰	۰.۰۰۳۱۳	۰.۰۰۰۱۰	۱۰	۲۰
۱.۰۰۳۱۴۶	۰.۰۰۹۲۶	۱۶	۳۳	۰.۰۰۳۱۳	۱.۵۰۲۹	۲۱	۱	۰.۰۰۳۰۳	۰.۰۰۳۰۳	۱	۲۱
۰.۰۱۱۱۱۱	۰.۰۰۱۰۴	۱۷	۹۱	۰.۰۰۳۱۳	۰.۲۷۹۴	۲۱	۹	۰.۰۰۱۲۵	۰.۰۰۱۲۵	۹	۲۱
۰.۰۰۱۳۰۸۱	۱.۷۶۸۸	۱۷	۳۴	۰.۰۰۷۰۶	۲.۵۲۵۱	۲۱	۱۰	۰.۰۰۳۰۳	۰.۰۰۳۰۳	۱۰	۲۱
۰.۰۰۶۰۶۶۳	۰.۰۰۴۸۴	۱۷	۳۵	-۰.۰۰۲۲۳	۰.۰۰۶۲۸	۲۲	۲۰	۰.۰۰۳۰۳	۰.۰۰۳۰۳	۲۰	۲۲
۰.۰۰۲۸۷۸۱	۰.۰۰۳۲۱۱	۱۹	۳۷	۰.۰۰۳۰۳	۰.۰۰۳۰۳	۲۳	۲۱	۰.۰۰۳۰۳	۰.۰۰۳۰۳	۲۱	۲۳
۰.۰۵۳۶۴۳۲	۱.۵۴۰۱	۲۰	۲	۰.۰۰۳۰۳	۲.۰۵۵۸	۲۴	۱۸	۰.۰۰۳۰۳	۰.۰۰۳۰۳	۱۸	۲۴
-۰.۰۰۱۰۵۴	۰.۱۴۷۶	۲۰	۹	۰.۰۰۳۰۳	۰.۰۰۴۸	۲۴	۲۳	۰.۰۰۳۰۳	۰.۰۰۳۰۳	۲۳	۲۴
۰.۰۳۸۳۵۲	۱.۱۳۶۶	۳۶	۱۶	۰.۰۰۳۰۳	۰.۰۰۸۱۶	۲۵	۲۴	۰.۰۰۳۰۳	۰.۰۰۳۰۳	۲۴	۲۵
۰.۰۰۶۷۹۶۴	۰.۰۰۳۴۰۳	۳۶	۳۳	۰.۰۰۳۰۳	۰.۰۰۲۵۹۲	۲۸	۱	۰.۰۰۳۰۳	۰.۰۰۳۰۳	۱	۲۸
۰.۰۵۵۶۳۶	۰.۰۰۸۱۰۷	۳۷	۵	۰.۰۰۳۰۳	۰.۰۰۳۱۳۹	۲۸	۲	۰.۰۰۳۰۳	۰.۰۰۳۰۳	۲	۲۸
-۰.۰۰۶۰۷۲	۰.۰۰۰۹۴	۳۷	۲۳	-۰.۰۰۶۰۷	۱.۳۹۷۱	۲۸	۱۰	۰.۰۰۳۰۳	۰.۰۰۳۰۳	۱۰	۲۸
۰.۰۳۸۵۰۹۵	۱.۷۰۸۸	۳۸	۳۴	۰.۰۰۳۰۳	۱.۱۹	۲۹	۱	۰.۰۰۳۰۳	۰.۰۰۳۰۳	۱	۲۹
۰.۰۴۱۸۲۳۳	۰.۰۰۳۹۷	۳۸	۳۵	۰.۰۰۳۰۳	۱.۲۴۷۸	۲۹	۲	۰.۰۰۳۰۳	۰.۰۰۳۰۳	۲	۲۹
۱.۳۹۰۴۹	۰.۰۰۴۴۷	۳۸	۳۶	۰.۰۰۳۰۳	۰.۰۰۹۵۵	۳۰	۲۹	۰.۰۰۳۰۳	۰.۰۰۳۰۳	۲۹	۳۰
-۰.۰۰۰۸۱۳	۰.۱۴۸۶	۲۳	۲۲	۰.۰۰۳۰۳	۰.۰۰۱۹۳۴	۳۱	۲۸	۰.۰۰۳۰۳	۰.۰۰۳۰۳	۲۸	۳۱
۰.۰۰۹۳۷۶۵	۰.۰۰۶۳۵	۱۶	۱۹	۰.۰۰۳۰۳	۰.۰۰۵۱۵	۳۲	۳۰	۰.۰۰۳۰۳	۰.۰۰۳۰۳	۳۰	۳۲
۰.۰۰۹۰۴۷	۰.۰۰۲۷۳۲	۳۵	۳۳	۰.۰۰۳۰۳	۰.۰۰۵۵۷۷	۳۳	۳۱	۰.۰۰۳۰۳	۰.۰۰۳۰۳	۳۱	۳۳
				۰.۰۰۳۰۳	۰.۰۰۲۰۵۷	۳۴	۳۲	۰.۰۰۳۰۳	۰.۰۰۳۰۳	۳۲	۳۴
				۰.۰۰۳۰۳	۲.۱۸۵۱	۳۵	۱۷	۰.۰۰۳۰۳	۰.۰۰۳۰۳	۱۷	۳۵

### ۶- نتیجه گیری

اول استفاده از تابع شایستگی جدید در الگوریتم ژنتیک بمنظور دستیابی به جوابهای مناسب بود؛ یعنی ایجاد فاصله هماهنگی مناسب بین رله اصلی و پشتیبان. مورد دوم استفاده از روش فازی برای کنترل ضرایب تابع شایستگی

در این مقاله روشی جدید برای تنظیم و هماهنگی رله‌های جریان زیاد در شبکه‌های بهم پیوسته معرفی گردید. در این روش دو مورد نسبت به روشهای گذشته بهبود یافت. مورد

[۳] D. Birla, R.P. Maheshwari, H.O. Gupta, Time-overcurrent relay coordination: a review, *Int. J. Emerg. Electr. Power Syst.* ۲ (۲) (۲۰۰۵).

[۴] C.W. So, K.K. Li, Overcurrent relay coordination by evolutionary programming, *Electr. Power Syst. Res.* ۵۳ (۲۰۰۰) ۸۳-۹۰.

[۵] B. Chattopadhyay, M.S. Sachdev, T.S. Sidhu, An on-line relay coordination algorithm for adaptive protection using linear programming technique, *IEEE Trans. Power Deliv.* ۱۱ (January) (۱۹۹۶) ۱۶۵-۱۷۳.

[۶] H.A. Abyaneh, et al., A new optimal approach for coordination of overcurrent relays in interconnected power systems, *IEEE Trans. Power Deliv.* ۱۸ (April (۲)) (۲۰۰۳).

بمنظور همگرایی به جوابهای بهینه؛ چراکه ضرایب تابع شایستگی وابستگی زیادی به شبکه مورد مطالعه دارند و با استفاده از کنترل فازی می‌توان این ضرایب را در محدوده مناسب قرار داد. بدین ترتیب الگوریتم پیشنهادی از یک سو با بکارگیری BGA برای رله‌های با TSM گسسته و RGA برای رله‌های با TSM پیوسته و از سوی دیگر با رفع عیوب تابع شایستگی و به روز رسانی ضرایب تابع به وسیله کنترل کننده فازی، الگوریتم ژنتیک را به سوی جواب بهینه کلی رهنمون می‌کند. همان‌طور که از نتایج برمی‌آید، الگوریتم پیشنهادی در هماهنگی رله‌های اضافه جریان موفق تر از الگوریتم های گذشته عمل می‌کند.

## ۷-مراجع

[۱] F.Razavi, H.A. Abyaneh, M. Al-Dabbagh, R. Mohammadi, H. Torkaman. A new comprehensive genetic algorithm method for optimal overcurrent relays coordination *Electr. Power Res.* ۷۵ (June(۲-۳)) (۲۰۰۵) (Elsevier).

[۲] H.K. Kargar, H.A. Abyaneh, V. Ohis, M. Meshkin, Pre-processing of the optimal coordination of overcurrent relays, *Electr. Power Res.* ۷۸ (۲۰۰۸) ۷۱۳-۷۲۰ (۲۰۰۵) (Elsevier).