

## جایابی چند منظوره فیلترهای فعال توزیع شده در شبکه توزیع برق

۰۲۱۳۱

وحید چاکری

مهرداد طرفدارحق

معاونت بهره برداری - دیسپاچینگ فوق توزیع

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

برق منطقه ای تهران

دانشگاه تبریز

تهران، ایران

تبریز، ایران

چکیده: فیلترهای فعال از ادوات مهم برای جبران‌سازی هارمونیک شبکه‌های قدرت هستند. با افزایش بارهای غیرخطی در سیستم، افزایش ظرفیت و بهینه‌سازی عملکرد این فیلترها بسیار مورد توجه قرار گرفته‌است. یکی از روش‌های مطلوب برای بهبود کیفیت توان در یک شبکه توزیع برق، به‌کارگیری چندین فیلتر فعال به‌صورت توزیع شده در شبکه است. این امر تاثیر مهمی در افزایش قابلیت اطمینان شبکه خواهد داشت. هدف اصلی این مقاله، مشخص نمودن تعداد، مکان و اندازه مناسب چندین فیلتر فعال توزیع شده جهت کاهش آلودگی هارمونیک سیستم، با به‌کارگیری الگوریتم جستجوی پرندگان می‌باشد. بدین منظور، تابع هدف جهت حداقل نمودن جریان تزریقی و تعداد فیلترها برای دستیابی به کیفیت ولتاژ مطابق با استاندارد در تمامی باس‌های یک شبکه توزیع برق ارائه شده است. در نهایت، الگوریتم پیشنهادی در یک شبکه ۳۷ باسه مورد بررسی قرار گرفته و نتایج حاصل مورد تحلیل قرار گرفته است.

واژه های کلیدی- فیلترهای فعال توزیع شده؛ الگوریتم بهینه‌سازی ذرات؛ جایابی بهینه؛ اعوجاج هارمونیک کل

### ۱. مقدمه

از طرف دیگر فیلترهای فعال به دلیل قابلیت‌های فراوان در حذف هارمونیک‌های ولتاژ و جریان مورد توجه قرار گرفته‌اند. تنها عامل بازدارنده در استفاده از فیلترهای فعال، قیمت نسبتاً بالای آن‌ها است. از طرفی با افزایش بارهای غیرخطی در صنایع، نیاز به افزایش ظرفیت فیلترهای فعال نیز وجود دارد. در چنین شرایطی استفاده از چندین فیلتر فعال توزیع شده در یک شبکه توزیع برق متشکل از چندین بار غیرخطی، می‌تواند بدلیل صرفه‌جویی در هزینه‌های طراحی، به کاهش قیمت و افزایش قابلیت اطمینان کمک کند. مساله جایابی فیلترهای فعال توزیع شده در شبکه، در مراجع مختلف در چندین حالت مورد بررسی قرار گرفته است. به‌طور مشخص می‌توان مسئله جایابی را برحسب تعداد فیلتر نصب شده، تابع هدف مورد نظر و .... تقسیم‌بندی نمود [۳-۱۰].

افزایش روند خصوصی‌سازی شرکت‌های توزیع نیروی برق و ایجاد فضای رقابتی هر چه بیشتر از یک سو و افزایش آگاهی مشترکین به مسائل و مشکلات کیفیت توان از سوی دیگر باعث توجه هر چه بیشتر پژوهشگران و صنعتگران به مسائل و مشکلات کیفیت توان در چند دهه اخیر شده است. امروزه راه‌کارهای مختلفی برای بهبود کیفیت توان مطرح می‌شود که یکی از آن‌ها استفاده از فیلترهای پسیو و فیلترهای فعال می‌باشد [۱ و ۲].

فیلترهای پسیو به دلیل مشکلاتی مانند ایجاد رزونانس، کاربرد محدود در حذف هارمونیک‌ها و کندبودن سرعت جبران، برای کاربردهای صنعتی با هارمونیک‌های متغیر گزینه مناسبی نمی‌باشند،

### ۳. تابع هدف و قیود

انتخاب تابع هدف مناسب، نقش بسیار مهمی در انجام جایابی مطلوب فیلترها دارد، از آنجایی که یکی از عوامل تعیین‌کننده قیمت فیلترهای اکتیو، مجموع جریان موثری است که می‌تواند تزریق کنند، این فاکتور را می‌توان به عنوان یکی از فاکتورهای اصلی تابع هدف پیشنهادی در نظر گرفت، همچنین تعداد فیلترهای نصب‌شده به‌عنوان دیگر پارامتر دوم در تابع هدف پیشنهادی لحاظ می‌گردد. از این رو، تابع هدف پیشنهادی، شامل ۲ قسمت بوده و از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$OF = A \times \text{Sum of } I + B \times C \text{ factor} \quad (۳)$$

#### ۱.۳. حداقل کردن جریان موثر تزریقی هر فیلتر

قیمت فیلترها رابطه مستقیمی با مقدار جریان تزریقی فیلترها دارد، لذا باید اندازه جریان تزریقی به حداقل مقدار خود برسد. مقدار جریان تزریقی از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$I_m = \left\{ \sum_{m=1}^{\text{filternumber}} \left[ \alpha_m \times \sum_{h=2}^{\text{harmonicnumber}} \{ (I_m^{h,r})^2 + (I_m^{h,i})^2 \} \right] \right\}^{0.5} \quad (۴)$$

که در آن filternumber تعداد فیلترهای فعال توزیع‌شده به‌کارگرفته شده در شبکه توزیع برق و harmonicnumber برابر تعداد هارمونیک‌های مورد جبران‌سازی و ضریب قیمتی فیلتر هارمونیک m می‌باشد.

#### ۲.۳. انتخاب تعداد فیلتر مورد نیاز

الگوریتم پیشنهادی با در نظر گرفتن یک فیلتر متغیر برای هر هارمونیک، بدنبال پیدانمودن حداقل تعداد فیلتر مصرفی می‌باشد، لذا جهت حداقل‌سازی تعداد فیلتر بکارگرفته شده، ضریب همگرایی (Cfactor) را در تابع هدف، در نظر می‌گیریم تا تعداد فیلتر مصرفی را به سمت حداقل فیلترهای مورد نیاز هدایت نماید. میزان این ضریب در تابع هدف با افزایش تعداد فیلترهای پسیو بکارگرفته‌شده در یک باس کاهش خواهد یافت. مقدار Cfactor به‌صورت زیر محاسبه می‌شود. از آنجایی که برای هر هارمونیک یک متغیر فیلترگذاری در نظر گرفته‌ایم، مقدار اولیه Cfactor را برابر حاصل جمع یک تا (تعداد هارمونیک-۱) در نظر می‌گیریم.

تعدادی از مراجع، ساده‌ترین حالت جایابی، یعنی پیدانمودن بهترین مکان نصب برای یک فیلتر با اندازه و ظرفیت معین در یک شبکه جهت به‌دست آوردن THD استاندارد را مورد بررسی قرار داده‌اند [۱۱]. بدیهی است که در این حالت، عمل جایابی به‌طور محدود مورد بررسی قرار گرفته است. گروهی دیگر از مراجع راه‌حل فوق را توسعه داده و عمل مکان‌یابی فیلترهای فعال توزیع‌شده در شبکه توزیع را به‌منظور دستیابی به اندازه، تعداد و مکان بهینه نصب انجام داده‌اند. در این حالت، مسئله بهینه‌سازی به یک مسئله پیچیده برنامه‌ریزی غیرخطی تبدیل می‌شود، به‌منظور حل مسئله فوق، استفاده از الگوریتم‌های هوشمند راه‌حلی مناسب به‌نظر می‌رسد [۸-۱۰].

این مقاله یک راه‌حل بهینه جهت دستیابی به مقادیر استاندارد هارمونیک برای تمامی باس‌ها، با حداقل تعداد فیلتر و حداقل هزینه را ارائه می‌کند. بر همین اساس مسئله جایابی فیلترها مطرح شده و با ارائه یک روش جامع با استفاده از الگوریتم جستجوی پرندگان [۱۲ و ۱۳]، تابع هدف به‌منظور دستیابی به حداقل تعداد و حداقل اندازه و مکان مناسب نصب جهت ارضای قیود استاندارد هارمونیک به‌دست خواهد آمد. در نهایت روش پیشنهادی بر روی یک شبکه توزیع ۳۷ باسه استاندارد مورد تحلیل قرار گرفته و تعداد و اندازه فیلترها جهت ارضای شرایط فوق به‌دست آمده، سپس با بررسی نتایج، نتیجه‌گیری کلی ارائه خواهد شد.

### ۲. مدل فیلتر اکتیو

از آنجایی که فیلترهای اکتیو منابع جریانی هستند که جریان‌های هارمونیک تزریق می‌کنند، می‌توان آن‌ها را در هر هارمونیک به‌صورت یک منبع جریان مدل کرد. فازور جریان هارمونیک هر فیلتر اکتیو موجود در شبکه با  $I_m^h$  نمایش داده شده است.

$$I_m^h = I_m^{h,r} + j I_m^{h,i} \quad (۱)$$

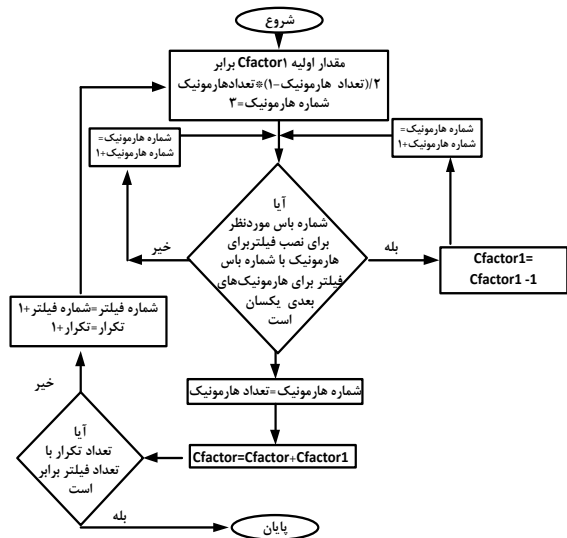
که m شماره باس متصل به آن و h مرتبه هارمونیک است. r و i نیز به ترتیب معرف قسمت‌های حقیقی و موهومی می‌باشند. مقدار موثر جریان هر فیلتر را می‌توان از معادله زیر به‌دست آورد.

$$I_m = \left[ \sum_{h=2}^H \{ (I_m^{h,r})^2 + (I_m^{h,i})^2 \} \right]^{1/2} \quad (۲)$$

ابتدا پخش بار مستقیم بر پایه جریان شاخه‌ها [۱۵ و ۱۴] جهت بدست آوردن مقادیر ولتاژ باس‌ها برای هارمونیک اصلی انجام خواهد گرفت و ولتاژ بدست آمده هر باس در ماتریسی به عنوان ورودی جهت محاسبه THD به برنامه PSO داده می‌شود.

از آنجایی که در شبکه‌ها، با بارهای غیرخطی، معمولاً بهترین مکان نصب فیلتر، بارها با جریان تزریقی بیشتر می‌باشند، لذا بمنظور همگرایی سریعتر برنامه، نصف جمعیت اولیه PSO جهت انتخاب مکان نصب را از بین باس‌ها با بیشترین جریان تزریقی (باس‌ها با جریان تزریقی بیشتر از ۱۰ درصد جریان باس با حداکثر جریان تزریقی) انتخاب نموده و نصف دیگر جمعیت را بصورت رندم در نظر می‌گیریم.

در ادامه با اجرای برنامه PSO، پخش بار هارمونیک را برای شبکه، انجام داده و مقدار حداقل تابع هدف را بدست می‌آوریم برنامه داخل یک حلقه While اجرا می‌گردد و تا زمانی که قیود مساله ارضا نشده باشند، تعداد فیلترها یک واحد اضافه می‌گردد. فلوجارت اجرای الگوریتم پیشنهادی در شکل ۲ آورده شده است.



شکل ۱: فلوجارت چگونگی تاثیر ضریب همگرایی در تابع هدف

در صورتی که مکان نصب برای هر هارمونیک با مکان نصب برای هارمونیک‌های بعدی یکسان باشد، یک واحد از Cfactor کم می‌شود. مراحل فوق را به تعداد فیلترهای موجود انجام می‌دهیم.

### ۳.۳. ارضای قیود استاندارد

جایابی فیلترهای فعال در شبکه جهت ارضای قید استاندارد اعوجاج هارمونیک کل یعنی بدست آوردن THD کمتر از ۵ درصد و ارضای قید استاندارد اعوجاج تکی ولتاژ برای هر هارمونیک یعنی بدست آوردن اعوجاج تکی ولتاژ کمتر از ۳ درصد صورت خواهد گرفت.

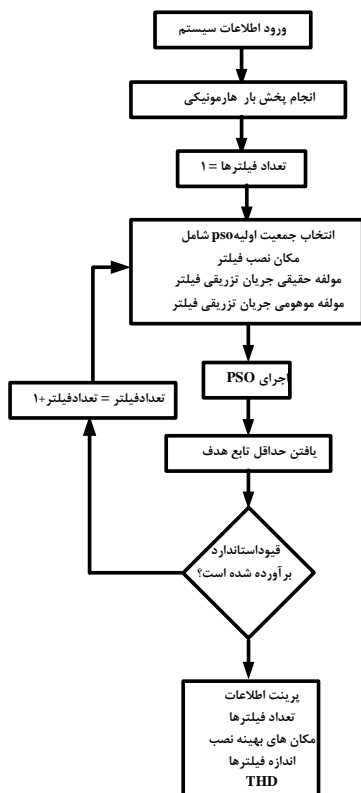
### ۴. پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی

مسئله جایابی فیلتر را با سه مجموعه متغیر برای الگوریتم PSO به صورت زیر حل می‌نماییم.

متغیر اول، مکان فیلترها بوده که شامل یک ماتریس  $N \times H$  خواهد بود و در آن  $N$  تعداد فیلترها و  $H$  تعداد هارمونیک‌های جبران‌سازی شده می‌باشند.

متغیر دوم، اندازه فیلتر فعال جهت جبران مولفه حقیقی جریان تزریقی خواهد بود که یک ماتریس  $N \times H$  می‌باشد.

متغیر سوم، اندازه فیلتر فعال جهت جبران مولفه موهومی جریان تزریقی خواهد بود که یک ماتریس  $N \times H$  می‌باشد.



شکل ۲: فلوجارت الگوریتم پیشنهادی جهت جایابی فیلترهای فعال

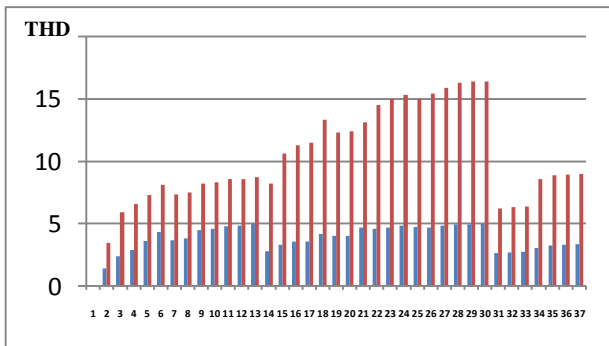
توزیع شده

جدول ۱: نتایج حاصل از پخش بار هارمونیک بعد از نصب فیلتر

Filter Number	Bus no	Filter current limit p.u	THD ave%	Filter Size p.u
1	21	1.5	3.80	2.15
2	15,26	0.75	3.71	1.53
3	16,21,26	0.5	3.65	1.29
4	16,19,25,29	0.35	3.60	1.11
No	-	-	10.1	0

Max Vh/V1	Number of Vh/V1>3%	Max THD	Number of THD>5%
9.83	135	16.44	35
	Total=333		Total=37



شکل ۴: مقایسه THD قبل و بعد از نصب فیلتر در باس ۲۱

مسئله جایابی را به منظور دستیابی به THD کمتر از ۵ درصد و ولتاژ هارمونیک کمتر از ۳ درصد در کل باس‌ها انجام می‌دهیم. نتایج حاصل از اجرای PSO برای به صورت «جدول ۱» خواهد بود. «شکل ۴» مقایسه THD قبل و بعد از نصب فیلتر در باس ۲۱ را نشان می‌دهد.

### ۵-۱- بررسی تاثیر تغییر ساختار شبکه در جایابی

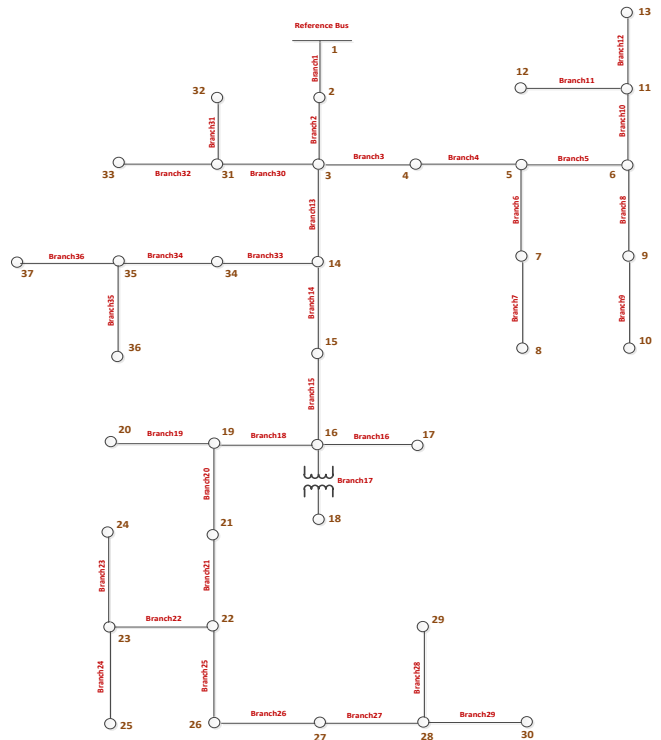
به منظور بررسی تاثیر ساختار شبکه بر جایابی فیلترها، در شبکه ۳۷ باسه نمونه، باس ۳۰ را از طریق یک خط، به باس ۱۷ متصل می‌کنیم. نتایج حاصل از پخش بار هارمونیک قبل از نصب فیلتر بصورت «جدول ۲» خواهد بود. نتایج حاصل از اجرای PSO برای شبکه حلقوی بصورت «جدول ۳» خواهد بود.

### ۵. نتایج عددی

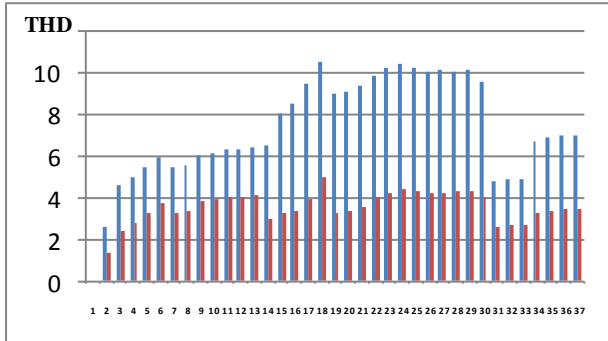
به منظور بررسی تاثیر محل نصب فیلترها، مکان یابی مناسب و به دست آوردن حداقل جریان تزریقی هر فیلتر، مطالعات بر روی یک شبکه توزیع نمونه ۳۷ باسه استاندارد انجام خواهیم داد. مساله جایابی را به منظور دستیابی به THD کمتر از ۵ درصد و ولتاژ هارمونیک کمتر از ۳ درصد در کل باس‌ها انجام می‌دهیم.

به منظور بررسی تاثیر محل نصب فیلترها، مکان یابی مناسب و به دست آوردن حداقل جریان تزریقی هر فیلتر، مطالعات بر روی یک شبکه توزیع نمونه ۳۷ باسه استاندارد به صورت «شکل ۳» انجام خواهیم داد.

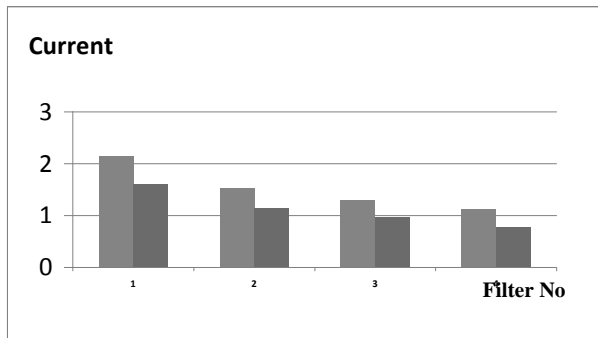
ولتاژ فرکانس اصلی ابتدائی ترین باس شبکه برابر ۲۰ کیلوولت و ولتاژهای هارمونیک آن برابر صفر در نظر گرفته شده است. همچنین اتصال طرف فیدر ترانس همه باس‌ها، به جز باس‌های ۴ و ۶ و ۱۰ از نوع مثلث است و جریان هارمونیک سوم در این باس‌ها به شبکه منتقل نمی‌گردد.



شکل ۳: شبکه ۳۷ باسه نمونه



شکل ۵: مقایسه THD قبل و بعد از نصب فیلتر در باس ۱۹



شکل ۶: مقایسه مقدار جریان موثر تزریقی فیلترها بر اساس تعداد فیلتر برای شبکه شعاعی و حلقوی

## ۲-۵ - بررسی تاثیر تفاوت در هزینه جبران سازی

از آنجاکه در شرایط واقعی، قیمت جبران سازی برای هارمونیک‌های مختلف، متفاوت بوده و با افزایش مرتبه هارمونیک، هزینه جبران سازی کاهش می‌یابد، لذا برای تحقق این هدف، مسئله جایابی را با متفاوت در نظر گرفتن هزینه جبران سازی برای هارمونیک‌های مختلف و اختصاص ضریب قیمتی با نسبت توان دوم ۹ تا ۱ به هارمونیک‌های فرد ۳ تا ۱۹ بررسی می‌کنیم. نتایج حاصل از جایابی در «جدول ۴» آورده شده است.

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که با اعمال تاثیر ضریب قیمتی در عمل جایابی، تغییر محسوسی در اندازه جریان موثر تزریقی فیلترها ایجاد می‌گردد، از طرفی با اعمال ضریب قیمتی، به دلیل اختصاص قیمت پایین تر به هارمونیک‌های مرتبه بالاتر، برنامه سعی در کاهش جریان تزریقی به هارمونیک‌های مرتبه پایین تر خواهد داشت.

جدول ۲: نتایج حاصل از پخش بار هارمونیک قبل از نصب فیلتر

باس	H5	H7	H11	H13	H17	H19
1	0	0	0	0	0	0
2	0.4	0.5	0.9	1	1.3	1.4
3	0.7	1	1.6	1.9	2.4	2.6
4	0.8	1.1	1.8	2.1	2.6	2.8
5	0.9	1.2	2	2.3	2.8	3.1
6	0.9	1.4	2.2	2.5	3.1	3.3
7	0.9	1.2	2	2.3	2.8	3.1
8	0.9	1.3	2	2.3	2.9	3.2
9	1	1.4	2.2	2.6	3.1	3.4
10	1	1.4	2.2	2.6	3.2	3.4
11	1	1.5	2.3	2.6	3.3	3.5
12	1	1.5	2.3	2.7	3.3	3.5
13	1	1.5	2.4	2.7	3.3	3.5
14	1	1.4	2.2	2.7	3.4	3.8
15	1.3	1.8	2.8	3.4	4.2	4.7
16	1.4	1.9	3	3.6	4.5	5
17	1.5	2.1	3.2	3.9	5	5.6
18	1.7	2.4	3.6	4.5	5.5	6.1
19	1.5	2	3.1	3.7	4.7	5.2
20	1.5	2	3.1	3.8	4.8	5.3
21	1.5	2	3.2	3.9	4.9	5.5
22	1.6	2.2	3.4	4.1	5.2	5.8
23	1.7	2.2	3.5	4.2	5.4	6
24	1.7	2.3	3.6	4.3	5.5	6.1
25	1.7	2.2	3.5	4.2	5.4	6
26	1.6	2.2	3.4	4.1	5.3	5.9
27	1.6	2.2	3.5	4.1	5.3	5.9
28	1.6	2.2	3.4	4.1	5.3	5.9
29	1.7	2.2	3.5	4.1	5.4	6
30	1.6	2.1	3.3	4	5.1	5.6
31	0.7	1	1.7	2	2.5	2.7
32	0.8	1	1.7	2	2.5	2.8
33	0.8	1	1.7	2	2.5	2.8
34	1.1	1.5	2.3	2.8	3.5	3.9
35	1.1	1.5	2.4	2.9	3.6	4
36	1.1	1.5	2.4	2.9	3.6	4
37	1.1	1.5	2.4	2.9	3.6	4

جدول ۳: نتایج حاصل از پخش بار هارمونیک بعد از نصب فیلتر

Filter Number	Bus no	Filter current limit p.u	THD ave%	Filter size p.u
1	19	1.5	3.4	1.59
2	21,26	0.75	3.3	1.14
3	17,19,23	0.5	3.3	0.96
4	18,19,24,29	0.35	4	0.77
No	-	-	7.29	0

Max Vh/V1	Number of Vh/V1>3%	Max THD	Number of THD>5%
6.1	88	10.58	30
	Total=333		Total=37

«شکل ۵» مقایسه THD قبل و بعد از نصب فیلتر در باس ۱۹ نشان می‌دهد. با توجه به نتایج بدست آمده، میزان فیلتر فعال مورد نیاز جهت تعدیل اعوجاج هارمونیک در شبکه حلقوی نسبت به شبکه شعاعی در شرایط یکسان، کمتر است. «شکل ۶» مقایسه بین جریان تزریقی مورد نیاز فیلترها برای شبکه شعاعی و حلقوی نشان می‌دهد.



جدول ۶: مقایسه میزان جریان تزریقی دوفیلتر به ازای اعمال تاثیر

ضریب همگرایی

Bus no	H5	H7	H11	H13	H17	H19	Filter size	Price Factor
15	0.18	0.28	0.40	0.55	0.70	0.46	1.53	YES
26	0.12	0.26	0.45	0.51	0.48	0.54		
12	0	0	0	0	0.31	0	1.42	NO
16	0	0	0	0.52	0	0		
19	0	0	0.33	0	0	0.48		
20	0.033	0.35	0	0	0	0		
21	0	0	0.41	0	0	0		
24	0.12	0	0	0	0	0		
26	0	0	0	0.46	0	0.44		
27	0	0	0	0	0.66	0		
29	0	0.24	0	0	0	0		

### ۶. تحلیل و بحث

اندازه موثر فیلتر فعال مورد نیاز برای شبکه با توزیع شعاعی در مقایسه با شبکه با توزیع حلقوی بیشتر می‌باشد. در یک شبکه توزیع با منابع هارمونیک محدود، باس‌های تولیدکننده هارمونیک، مناسب‌ترین کاندیدها جهت نصب فیلترها می‌باشند.

با افزایش مرتبه هارمونیک، به دلیل افزایش راکتانس خط، میزان موثر فیلتر فعال مورد نیاز جهت کاهش اثرات هارمونیک بارهای هارمونیک مرتبه بالاتر، در شرایط یکسان، بیشتر خواهد بود.

در صورت ایجاد تفاوت در جبران‌سازی هارمونیک‌ها با مراتب مختلف و اعمال قیمت بیشتر به هارمونیک‌های مراتب پایین‌تر، بهتر است سعی شود تا میزان استاندارد THD از طریق کاهش و به حداقل رساندن هارمونیک‌های مرتبه بالاتر صورت گیرد، به عبارت دیگر بهتر است عمل جایابی با تاکید بر کاهش ولتاژ هارمونیک هارمونیک‌های مرتبه پائین‌تر به حداکثر استاندارد ( $V < 3\%$ ) و بر کاهش ولتاژ هارمونیک هارمونیک‌های مرتبه بالاتر به حداقل مقدار با رعایت حداقل جریان تزریقی صورت گیرد.

انتخاب تعداد فیلتر نصب‌شده و اندازه آنها تا حدودی مربوط به هدف کاربر از انجام عمل فیلترینگ خواهد داشت، لذا می‌توان در برخی مواقع فاکتور تعداد فیلترها بر فاکتور حداقل اندازه فیلتر نصب‌شده برتری داده و به جای استفاده از یک یا چند فیلتر فعال در یک باس با اندازه بزرگتر، از دو فیلتر یا چند فیلتر فعال با اندازه‌های

«جدول ۵» مقایسه میزان جریان تزریقی، به ازای نصب دوفیلتر در شبکه حلقوی، با اعمال و عدم اعمال ضریب قیمتی نشان می‌دهد.

جدول ۴: نتایج حاصل از پخش بار هارمونیک بعد از نصب فیلتر در

شبکه حلقوی

Filter Number	Bus no	Filter current limit p.u	THD ave%	Filter size p.u
1	16	1.5	3.4	1.92
2	16,26	0.75	3.62	1.32
3	16,20,26	0.5	3.62	1.1
4	15,18,23,24	0.35	3.9	0.72
No	-	-	7.29	0

Max Vh/V1	Number of Vh/V1>3%	Max THD	Number of THD>5%
6.1	88	10.58	30
Total=333		Total=37	

جدول ۵: مقایسه میزان جریان تزریقی دوفیلتر به ازای اعمال تاثیر

ضریب قیمتی

Bus no	H5	H7	H11	H13	H17	H19	Price Factor
16	0	0	0.12	0.39	0.62	0.54	YES
26	0	0	0.18	0.38	0.57	0.65	
21	0.12	0.19	0.27	0.36	0.47	0.40	NO
26	0.13	0	0.32	0.39	0.37	0.52	

### ۳-۵- بررسی تاثیر تغییر ضریب همگرایی در جایابی

با کاهش ضریب همگرایی موجود در تابع هدف، تعدادی از فیلترهای مورد نیاز جهت ارضای قیود استاندارد، به جای تجمع در یک باس، در باس‌های مختلف قرار می‌گیرند. این امر نیاز به استفاده از فیلترهای پسیو را افزایش و به کارگیری فیلترکتیو را کاهش خواهد داد. «جدول ۶» نتایج حاصل را به ازای ضریب همگرایی صفر و حداکثر برای جایابی دو فیلتر در شبکه توزیع شعاعی را نشان می‌دهد.

مشاهده می‌شود که با حذف ضریب همگرایی، میزان کل جریان موثر تزریقی جهت نصب کاهش محسوسی پیدا نمود، اما این امر سبب پراکندگی شدید فیلترگذاری و افزایش تعداد فیلترها، به صورت فیلتر پسیو می‌شود. از این رو با انتخاب مقدار مناسب برای این ضریب بر اساس هدف و شرایط موجود، می‌توان به پاسخ مناسب رسید.

- Tabu Algorithm in Distribution Network,” 2010 International Conference on Electrical and Control Engineering.
- [6] S.M.R.Rafiei, M.H.Kordi, G.Griva and H.Yassami, “Multi objective optimization based optimal compensation strategies study for power quality enhancement under distorted voltages”, IEEE Int.Symp.on Industrial Electronics 1,3284, 2010.
- [7] A.Moradifar and H.R.Soleymanopur, “A fuzzy based solution for allocation and sizing of multiple active filters”, J.Power Electronics 12(5),830-841, 2012.
- [8] I.Ziari and A.Jalilian, “Optimal placement and sizing of multiple APLCs using a modified discrete PSO”, Int.J.Electrical Power and Energy Systems,43(1),630-639, 2012.
- [9] D.Bula, D.Grabowski, M.Lewandowski, M.Maciazek, M.Pasko, A.Piwowar and J.Walczak, “Analysis and Optimization of Active Power Filter Allocation”, The Publishing House of the Silesian University of Technology, Gliwice, 2013.
- [10] M.Maciazek, D.Grabowski and M.Pasko, “Active power filters-optimization of sizing and placement”, Bullent of the Polish Academy of Sciences, Technical Sciences, Vol.61, No.4, 2013
- [11] I.Ziari and A.Jalilian, “Optimal Placement of an Active Filter in a Power System”. IEEE-UPEC 2007, pp. 1150-1154.
- [12] N.He, D.Xu and L.Huang, “The application of particle swarm optimization to passive and hybrid active filter design”, IEEE Trans. On Industrial Electronics 56(8), 2841-2851, 2009.
- [13] I.Ziari and A.Jalilian, “Optimal Allocation and Sizing of Active Power Line Conditions Using a New Particle Swarm Optimization-based Approach”, Electric Power Components and Systems, Volume 40, Issue 3, 2012.
- [14] Jen.H. Teng and C.Y. Chang, “A Novel and Fast Three-Phase Load Flow for Unbalanced Radial Distribution Systems” IEEE Trans on Power Systems, vol. 17, no. 4, November 2002.
- [15] U. Eminoglu and M. H. Hocaoglu, “Distribution Systems Forward/Backward Sweep-based Power Flow Algorithms: A Review and Comparison Study”, Electric Power Components and Systems, Volume 37, Issue 1, pages 91-110, 2008.

کوچکتر استفاده نمود. بدیهی است این حالت مشکلات مخصوص خود از جمله مشکل هماهنگ‌سازی و ... را خواهد داشت.

محدودیت اندازه فیلترها در عمل جایی، فاکتور بسیار مهم می‌باشد و در صورت وجود محدودیت در اندازه موثر جریان تزریقی برای یک فیلتر، تعداد فیلترهای نصب شده جهت ارضای استانداردهای هارمونیک می‌تواند افزایش پیدا کند.

## ۷. نتیجه گیری

هدف اصلی این مقاله تعیین اندازه، مکان و تعداد مناسب برای فیلترهای فعال توزیع شده جهت نصب در شبکه برق می‌باشد. در این راستا با بررسی روش‌های ارائه شده، به ارائه یک الگوریتم جایی جامع با استفاده از PSO پرداخته شده است. در ادامه بایباده‌سازی روش فوق بر روی یک شبکه ۳۷ باسه شعاعی با بارهای هارمونیک پراکنده، توانایی روش فوق جهت جایی فیلتر در شبکه‌ها، بایبارهای غیرخطی متعدد مورد آزمایش قرار گرفته است. سپس با اتصال دو باس از شبکه به یکدیگر شبکه را به یک شبکه حلقوی تبدیل نموده و عمل جایی فیلترها بر روی آن انجام گرفته است. در ادامه به بررسی تاثیر پارامترها و مقایسه مقادیر پرداخته شده و نتایج مطلوبی حاصل شده است.

## مراجع

- [1] Hayrettin Gokozan, Sezai Taskin, Serhat Seker, Huseyin Ekiz, “A neural network based approach to estimate of power system harmonics for an induction furnace under the different load conditions”, Electr Eng 97:111-117, 2015.
- [2] Shady H. E. Abdel Aleem, Ahmed F. Zobaa, “Optimal C-type filter for harmonics mitigation and resonance damping in industrial distribution systems”, Electr Eng 99:107-118, 2017.
- [3] R.Keypour, H.Seifi and A.Y.Varjani, “Genetic based algorithm for active power filter allocation and sizing”, Electric Power Systems Research 71, 41-49, 2004.
- [4] W.M. Grady, M.J. Samotyj, A.H. Noyola, “The application of network objective functions for actively minimizing the impact of voltage harmonics in power systems”, IEEE Trans. Power Delivery 7, 1379-1386, 2004.
- [5] W.Y.Song, S.Hua, L.X.Min, L.Jun and G.S.bo, “Optimal Allocation of the Active Filters Based on the