

## استفاده از روش ژنتیک برای پیش‌بینی سیگنال‌ها در زمان آینده

حیدر صامت  
 دانشجوی دکتری مهندسی برق - قدرت، دانشگاه صنعتی اصفهان  
 محمد اسماعیل همدانی گلشن  
 دانشیار دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی اصفهان  
 فرید شیخ الاسلام  
 دانشیار دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی اصفهان

### چکیده

با پیش‌بینی توان راکتیو کوره قوس در نیم سیکل بعد می‌توان عملکرد SVC را در جبران فلیکر ناشی از عملکرد کوره بهبود داد. به این منظور لازم است ضرایب رابطه پیش‌بینی با حل یک مسئله بهینه‌سازی که خطای پیش‌بینی اختلاف بین مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی را حداقل کند، به دست آیند. عملکرد مناسب این روش در بسیاری از شرایط، با استفاده از ضرایب ثابت که به صورت offline محاسبه می‌شوند، نشان داده شده است. با وجود این، با توجه به تغییر فرکانس غالب فلیکر در طی عملکرد کوره قوس ناشی از شرایط بار و سیستم، برای رسیدن به عملکرد قابل قبول لازم است اصلاحاتی در الگوریتم پیش‌بینی صورت پذیرد. در این مقاله الگوریتم اصلاح شده مبتنی بر تجدید ضرایب پیش‌بینی با استفاده از الگوریتم ژنتیک به‌هنگام پیشنهاد می‌شود. به این ترتیب عملکرد الگوریتم اولیه در شرایط تغییر در فرکانس سیگنال مورد پیش‌بینی به شدت بهبود می‌یابد. عملکرد روش پیشنهادی با استفاده از سیگنال‌های مختلف ساخته شده و همچنین با به کار بردن آن در سیستم کنترل جبران کننده توان راکتیو در سیستم شبیه‌سازی شده مجتمع فولاد خوزستان نشان داده می‌شود. برنامه بهینه‌سازی ژنتیک به‌هنگام توسط یک تابع در نرم افزار MATLAB نوشته شده است. سیستم واقعی در نرم افزار PSCAD/EMTDC اجرا می‌شود و در حین اجرا، نرم افزار MATLAB به آن لینک می‌شود.

**کلمات کلیدی:** پیش‌بینی توان راکتیو، کوره قوس، SVC، ژنتیک، جبران فلیکر.

## Using genetic algorithm for prediction of signals in future times

H. Samet, M. E. Hamadani Golashan and F. Sheikholeslam  
 Faculty of Electrical and Computer Engineering, Isfahan University of  
 Technology

### Abstract

The performance of static VAR compensator (SVC) for flicker mitigation can be improved with prediction of reactive power for half cycle ahead. For this purpose it is necessary to obtain the coefficients of prediction equation to minimize prediction error. The proper performance had been achieved for most cases with offline calculating of these coefficients. But for example the frequency of arc furnace reactive power variation is not constant due to the nature of load and system condition. In this paper an adaptive genetic algorithm for online calculation of prediction coefficients is suggested. The performance of new algorithm has been proved with using it in prediction of different built up signals and also applying it in the SVC control system of Khuzestan steel plant. The real arc furnace system has been simulated with PSCAD/EMTDC software and the online genetic algorithm is written as MATLAB function that is linked to main system.

**Key words:** Reactive power compensation, Arc furnace, SVC, Flicker compensation, Genetic.

## ۱- مقدمه

واقعی به صورت offline محاسبه نمود. در [۳، ۴ و ۵] عملکرد مناسب رابطه پیش‌بینی با ضرایب ثابت، نشان داده شد. از آن جایی که فرکانس فلیکر غالب ناشی از کوره قوس الکتریکی دائماً در حال تغییر است و از طرفی میزان توان کوره و همچنین شرایط سیستم تغذیه کننده کوره با زمان تغییر می‌کند، در این مقاله یک کنترل کننده برای SVC با استفاده از پیش‌بینی توان راکتیو کوره با تجدید ضرایب رابطه پیش‌بینی به صورت به‌هنگام پیشنهاد می‌شود. به منظور عملی بودن اصلاح به‌هنگام ضرایب پیش‌بینی در کاربردهای مثل جبران توان راکتیو کوره و با توجه به سرعت تغییرات شرایط سیستم و بار از الگوریتم ژنتیک به‌هنگام که در موارد مشابه همچون [۷] به کار رفته است، استفاده می‌شود. سازماندهی مقاله به این صورت است که پس از این مقدمه و در بخش دوم، مروری بر ایده اصلی چگونگی پیش‌بینی یک سیگنال برای زمانهای آینده انجام می‌شود. در بخش سوم نحوه تجدید ضرایب رابطه پیش‌بینی با استفاده از الگوریتم ژنتیک به‌هنگام بیان می‌شود. سپس نتایج کاربرد الگوریتم پیشنهادی به برخی از سیگنالهای ساخته شده ارائه و مورد بحث قرار می‌گیرد و در خاتمه کاربرد این الگوریتم برای جبران توان راکتیو کوره‌های قوس مجتمع فولاد خوزستان ارائه می‌شود.

## ۲- پیش‌بینی یک سیگنال در زمان آینده

در اینجا ایده اصلی به کار گرفته شده در [۳ و ۴] برای تخمین یک سیگنال در  $T$  ثانیه بعد معرفی می‌شود. در این روش تابع پیش‌بینی  $e^{sT}$  که در عمل قابل ساخت نیست به وسیله ترکیب توابع  $e^{-nsT}$  یعنی مقدار سیگنال در زمان  $nT$  گذشته تقریب زده می‌شود.

$$e^{sT} \cong \sum_{n=0}^M k_n e^{-nsT} \quad (1)$$

در رابطه فوق  $M$  تعداد نمونه‌های مورد استفاده در زمان گذشته است. در [۳ و ۴] ثابت شده است که با افزایش تعداد نمونه‌های زمان گذشته حساسیت روش فوق به هارمونیکها و نویز بیشتر می‌شود. با انجام شبیه‌سازی‌های متعدد معلوم شد که در

بسیاری از کنترل‌کننده‌ها و جبران‌کننده‌های توان راکتیو به‌طور ذاتی دارای تاخیر زمانی غیرمطلوب هستند که باعث کم شدن کارایی سیستم جبران‌سازی می‌شود. یک مثال عملی استفاده از جبران‌کننده‌های توان راکتیو استاتیک (SVC) در جبران کوره‌های قوس می‌باشد. کوره قوس الکتریکی، یک بار الکتریکی غیر خطی، نامتعادل و متغیر با زمان است که تغییرات سریع توان راکتیو آن باعث تغییرات ولتاژ در باس اصلی می‌شود. این تغییرات ولتاژ باعث پدیده‌ای مرسوم به فلیکر شده و می‌تواند باعث عملکرد نامطلوب بارهای الکتریکی مجاور یا حتی آسیب دیدن آنها شوند [۱]. برای کاهش این تغییرات از جبران‌کننده‌های توان راکتیو مانند TSC یا TCR استفاده می‌شود. این ادوات با تزریق توان راکتیو در جهت عکس توان راکتیو کوره باعث کاهش تغییرات توان راکتیو سیستم و در نتیجه کم شدن فلیکر ولتاژ می‌شوند [۲]. در عمل ثابت شده است که به دلیل وجود تاخیر زمانی (در حدود 10msec) در پاسخ این جبران‌کننده‌ها به‌واسطه محدودیت در زمان روشن شدن تریتورها، آنها قادر به حذف کامل فلیکر نیستند و کارایی خود را در حذف تغییرات سریع توان راکتیو به‌خصوص در فرکانسهای فلیکر 15Hz به بالا از دست می‌دهند [۳، ۴ و ۵].

یک راه برای حل این مشکل، استفاده از وسایل جبران با تاخیر زمانی کمتر همچون STATCOM است [۶]. به‌واسطه گران بودن این وسایل در قدرت‌های بالا، سازندگان و مصرف‌کنندگان همچنان ترجیح می‌دهند از SVC برای جبران فلیکر تولید شده توسط کوره استفاده نمایند. راه دیگر آن است که با پیش‌بینی توان راکتیو کوره برای نیم سیکل (یا ۱۰ میلی ثانیه بعد) تاخیر ذاتی نیم سیکل موجود در تجدید توان راکتیو SVC جبران شود. به همین منظور در این مقاله روش جدیدی برای جبران و کاهش این تاخیر زمانی ارائه شده است. این روش مبتنی بر پیش‌بینی توان راکتیو کوره در زمان آینده با استفاده از اطلاعات آن در زمان حاضر و لحظات گذشته می‌باشد. توان راکتیو کوره برای زمانی برابر با تاخیر زمانی SVC در تغییر توان راکتیو خروجی‌اش پیش‌بینی می‌شود.

پیش‌بینی توان راکتیو کوره با استفاده از ترکیب وزن‌دار مقدار آن در زمان فعلی و زمانهای قبل انجام می‌شود. وزنهای ضرایب رابطه پیش‌بینی را می‌توان با حل یک مسئله بهینه‌سازی برای حداقل کردن خطای پیش‌بینی مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر

قدر که این عدد بیشتر باشد شانس انتخاب کروموزومها بیشتر می‌شود.

در هر بار تولید نسل جدید همه کروموزومها بررسی می‌گردند. کروموزومها می‌توانند به صورت اعداد باینری و یا اعداد اعشاری باشند. در الگوریتم پیشنهادی این مقاله، از کروموزومهای اعشاری در الگوریتم ژنتیک به‌هنگام استفاده شده است. جمعیت مورد نظر شامل ۳۰ کروموزوم در هر 10msec یکبار فرا خوانده می‌شود و در هر بار فراخوانی یک نسل جمعیت تولید می‌گردد.

هر کروموزوم دارای سه ژن  $k_0$ ،  $k_1$  و  $k_2$  بوده که این ژنها همان وزن‌های به کار رفته در معادله (۴) هستند. ورودی برنامه ژنتیک  $y(t)$ ،  $y(t-T)$ ،  $y(t-2T)$  و  $y(t-3T)$  می‌باشند. تابع زیر برای کروموزوم  $i$  ام به عنوان ورودی تابع برازندگی در نظر گرفته شده است.

$$f_n(i) = \sum_{m=n-100}^n abs(y(m) - k_0(i)y(m-1) - k_1(i)y(m-2) - k_2(i)y(m-3))) \quad (5)$$

هر چه ژنهای یک کروموزوم دقیقتر باشند، تابع  $f(i)$  آن دارای مقدار کوچکتری خواهد بود. تابع برازندگی به‌صورت زیر می‌باشد [۸]:

$$Fit(i) = \frac{2(pos(i) - 1)}{N - 1} \quad (6)$$

$pos(i)$  موقعیت کروموزوم  $i$  است، هنگامی که کروموزومها با توجه به تابع  $f(i)$  به صورت نزولی چیده شده باشند.  $pos(i)$  برای کروموزوم دارای بیشترین مقدار  $f$  برابر ۱ و برای کروموزوم دارای کمترین مقدار  $f$  برابر  $N$  می‌باشد. بنابراین مقدار تابع  $Fit$  برای بدترین جواب برابر صفر و برای بهترین جواب برابر ۲ است. برای انجام عمل ترکیب، ژنهای متناظر دو کروموزوم به‌صورت زیر ترکیب می‌شوند [۸].

$$\begin{aligned} y1 &= x1 + a.b.c.d \\ y2 &= x2 - a.b.c.d \end{aligned} \quad (7)$$

محیطهای هارمونیکی بهترین مقدار برای  $M$  عدد ۲ می‌باشد. به این ترتیب تابع  $e^{sT}$  به صورت زیر تقریب زده می‌شود:

$$e^{sT} \cong k_0 + k_1 e^{-sT} + k_2 e^{-2sT} \quad (2)$$

بنابراین سیگنال  $y$  در  $T$  ثانیه بعد با استفاده از مقدار فعلی و مقادیر آن در زمان‌های  $T$  و  $2T$  ثانیه قبل به‌صورت زیر پیش‌بینی می‌شود:

$$y(t+T) = k_0 y(t) + k_1 y(t-T) + k_2 y(t-2T) \quad (3)$$

به‌علاوه نشان داده شد که برای پیش‌بینی تغییرات توان راکتیو مربوط به هر فرکانس نیاز به وزنهای متفاوتی داریم. بنابراین با توجه به تغییر فرکانس غالب فلیکر در طی عملکرد کوره وزنهای ثابت کارایی لازم را نخواهند داشت و نیاز به حل مسئله بهینه‌سازی به‌هنگام برای تعیین وزنهای مناسب در هر شرایط کار سیستم و کوره است. از این رو برای حل مسئله بهینه‌سازی حداقل شدن خطای پیش‌بینی به‌صورت به‌هنگام از الگوریتم ژنتیک به‌هنگام استفاده می‌شود.

معادله (۳) برای سیگنال‌های پیوسته نوشته شده است. برای سیگنال‌های گسسته با زمان نمونه‌برداری  $T$  ثانیه معادله پیش‌بینی به‌صورت زیر می‌باشد:

$$y(n+1) = k_0 y(n) + k_1 y(n-1) + k_2 y(n-2) \quad (4)$$

### ۳- محاسبه ضرایب رابطه پیش‌بینی به صورت به‌هنگام با استفاده از الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یک روش جستجوی تصادفی هدفدار می‌باشد که از نظریه تکامل نسل‌های جمعیت موجود در طبیعت استفاده می‌کند. در این روش ابتدا یک جمعیت اولیه تصادفی تولید می‌شود که به هر فرد از این جمعیت یک کروموزوم گفته می‌شود. هر کروموزوم نیز به چند ژن تقسیم می‌شود که نشان دهنده جوابهای احتمالی مساله می‌باشند. توسط سه عمل ترکیب، جهش و انتقال مستقیم روی این نسل، نسل بعدی تولید می‌شود. انتخاب کروموزومهایی که در نسل بعدی دخالت دارند توسط عدد برازندگی مربوط به هریک از آنها انجام می‌شود. هر

کار گرفته می‌شوند. البته نتایج برای سیگنالهای پیوسته قابل تعمیم می‌باشند. برای این منظور سیگنالهای زیر را در نظر می‌گیریم:

$$\begin{aligned} y_1(n) &= \sin(20 \times 0.01 \times n) \\ y_2(n) &= \sin(50 \times 0.01 \times n) \\ y_3(n) &= \sin(90 \times 0.01 \times n) \\ y_4(n) &= y_1(n) + y_3(n) \\ y_5(n) &= y_1(n) + y_2(n) + y_3(n) \\ y_6(n) &= \begin{cases} y_4(n) & 1 < n < 200 \\ y_1(n) & 201 < n < 400 \\ y_3(n) & 401 < n < 600 \end{cases} \end{aligned}$$

$y_7(n)$  تا  $y_9(n)$ ، نویز سفید با واریانس ۱ و میانگین صفر هستند که به ترتیب از فیلترهای پایین گذر با فرکانس قطع 10 Hz، 14 Hz و 18 Hz گذرانده شده‌اند.

شکل‌های (۱) تا (۹) این سیگنالها را به همراه خطای پیش‌بینی توسط الگوریتم ژنتیک و نیز ضرایب پیش‌بینی را نشان می‌دهند. خطای پیش‌بینی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$e(n) = y(n) - y_e(n-1) \quad (12)$$

که  $y_e(t)$  سیگنال پیش‌بینی شده می‌باشد. جدول (۱) انحراف معیار خطای به دست آمده توسط روش پیش‌بینی با ضرایب ثابت، روش پیش‌بینی توسط الگوریتم ژنتیک و همچنین در حالتی که از روش پیش‌بینی استفاده نمی‌شود را نشان می‌دهد. خطای عدم استفاده از پیش‌بینی به صورت زیر فرض شده است:

$$e(n) = y(n) - y(n-1) \quad (13)$$

ضرایب ثابت در روش پیش‌بینی پیشنهاد شده در [۳] به صورت زیر هستند:

$$k_0 = 2.16, k_1 = 1.68, k_2 = 0.37$$

$x1$  و  $x2$  ژن‌های متناظر دو کروموزوم نسل قبل و  $y1$  و  $y2$  ژنهای متناظر دو کروموزوم نسل بعد می‌باشند. ضرایب  $a, b, c, d$  به صورت زیر تعریف می‌شوند.  $a$  با احتمال 0.35 برابر 1، با احتمال 0.35 برابر -1 و با احتمال 0.3 برابر صفر است.  $b$  برابر نصف دامنه تغییر هر ژن میباشد.  $c$  به صورت زیر تعریف می‌شود [۸].

$$c = \sum_{n=0}^{19} \alpha_i 2^{-i} \quad (8)$$

که  $\alpha_i$  با احتمال 0.05 برابر یک و با احتمال 0.95 برابر صفر است.

$d$  به صورت زیر تعریف می‌شود [۸]:

$$d = \frac{x2 - x1}{\|p1\| - \|p2\|} \quad (9)$$

$\|p1\|$  نرم کروموزوم ۱ می‌باشد. یعنی اگر کروموزوم ۱ دارای ۳ ژن  $k_0, k_1, k_2$  باشد، آنگاه:

$$\|p1\| = \sqrt{k_0^2 + k_1^2 + k_2^2} \quad (10)$$

عمل جهش روی یک ژن به صورت زیر تعریف می‌شود [۸].

$$mut(x) = x + e.b.c \quad (11)$$

$e$  با احتمال 0.1 برابر 1، با احتمال 0.1 برابر -1 و با احتمال 0.8 برابر صفر است.

در عمل به علت کم بودن جمعیت نیاز به احتمال جهش بالایی مانند 0.2 داریم. زیرا در غیر این صورت همه ژنها به یک مقدار ثابت میل خواهند کرد و در صورت فراخوانی دوباره برنامه ژنتیک، مقدار جدیدی به خود نخواهند گرفت.

#### ۴- نتایج شبیه‌سازی

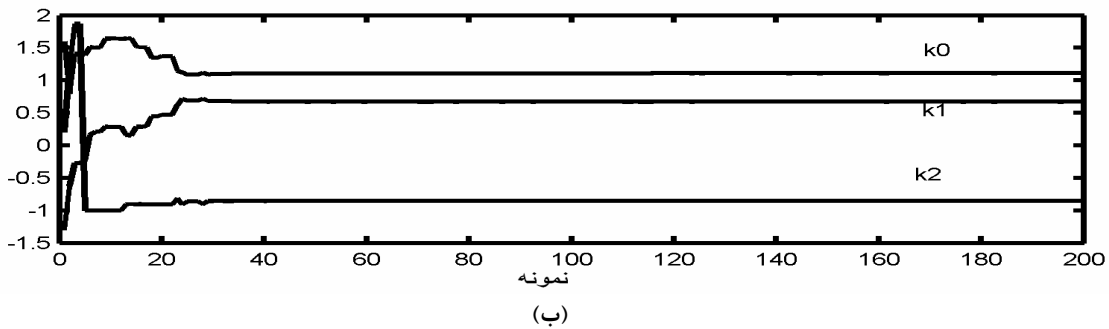
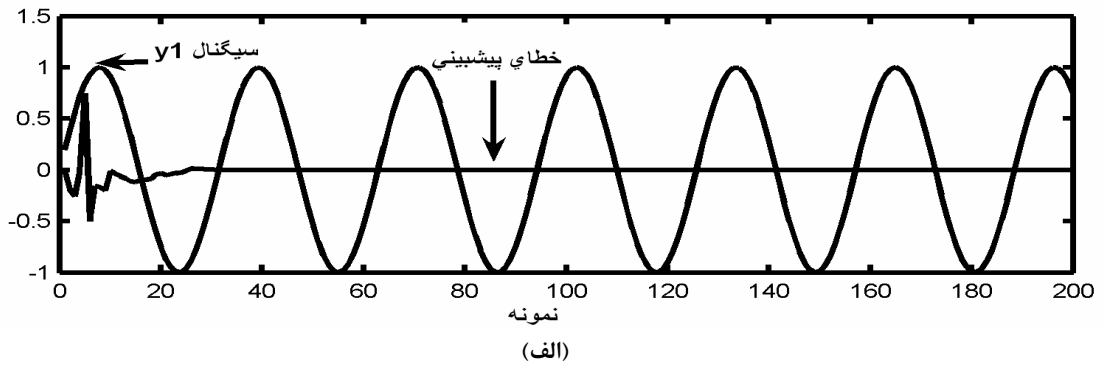
در این بخش پیش‌بینی آینده سیگنالها توسط روش ژنتیک با استفاده از سیگنالهای مختلف، بررسی می‌شود. چون در عمل با سیگنالهای گسسته سروکار داریم در اینجا سیگنالهای گسسته به

نتایج مزیت روش پیش‌بینی توسط الگوریتم ژنتیک را بر روش پیش‌بینی با ضرایب ثابت نشان می‌دهند. همچنین قابلیت بکارگیری روش مذکور برای سیگنالهای مختلف نیز واضح است.

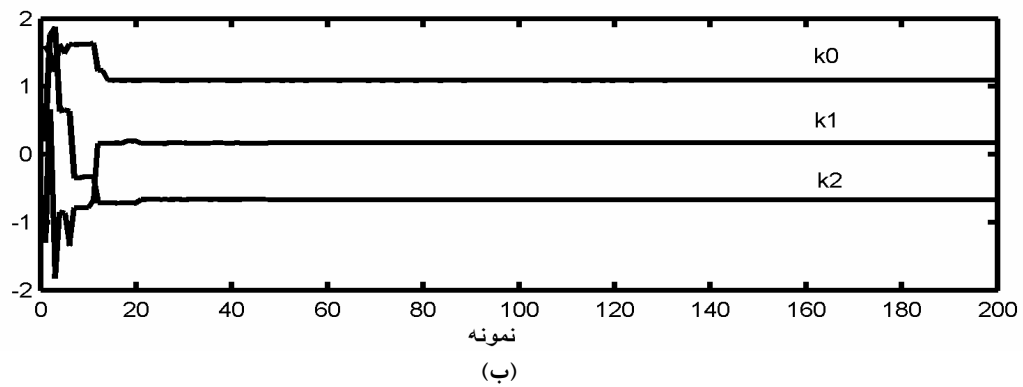
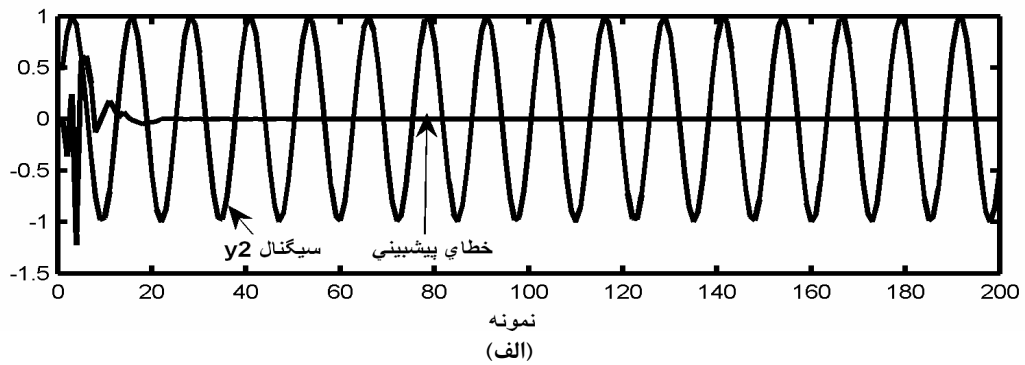
این وزنها طوری انتخاب شده‌اند که بهترین دقت پیش‌بینی با وزندهای ثابت در فرکانس 50rad/s پدید آید. با توجه به جدول (۱) و شکل‌های (۱) تا (۹) معلوم می‌شود که روش ژنتیک کارایی مناسبی برای پیش‌بینی سیگنالها را دارد.

جدول ۱- انحراف معیار خطا در حالت‌های مختلف

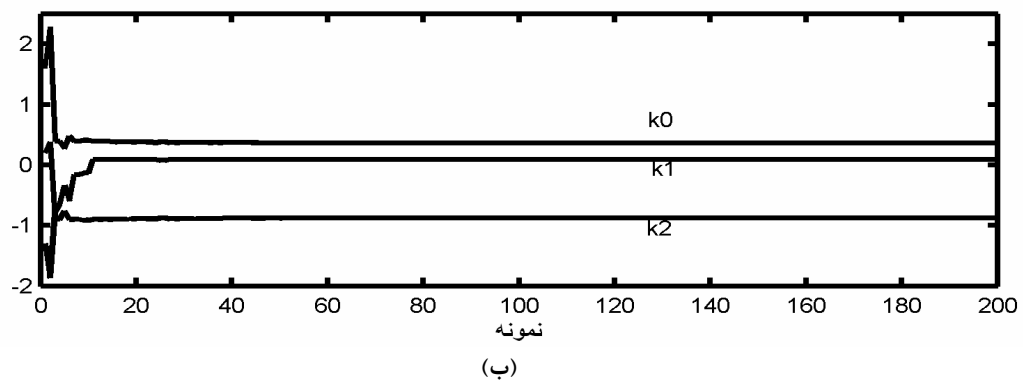
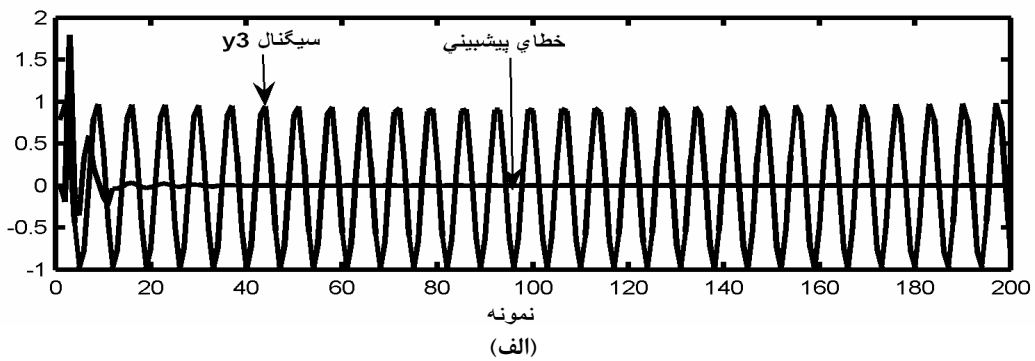
انحراف معیار خطا در حالت استفاده از پیش‌بینی با استفاده از الگوریتم ژنتیک	انحراف معیار خطا در حالت استفاده از پیش‌بینی با ضرایب ثابت	انحراف معیار خطا هنگامی که سیگنال پیش‌بینی نمی‌شود	سیگنال
0	0.0892	0.1414	$y_1$
0	0.0118	0.3504	$y_2$
0	0.3147	0.6159	$y_3$
0.1009	0.3272	0.6324	$y_4$
0.1741	0.3274	0.7226	$y_5$
0.0253	0.052	0.1758	$y_7$
0.0712	0.1079	0.2785	$y_8$
0.1378	0.223	0.3789	$y_9$



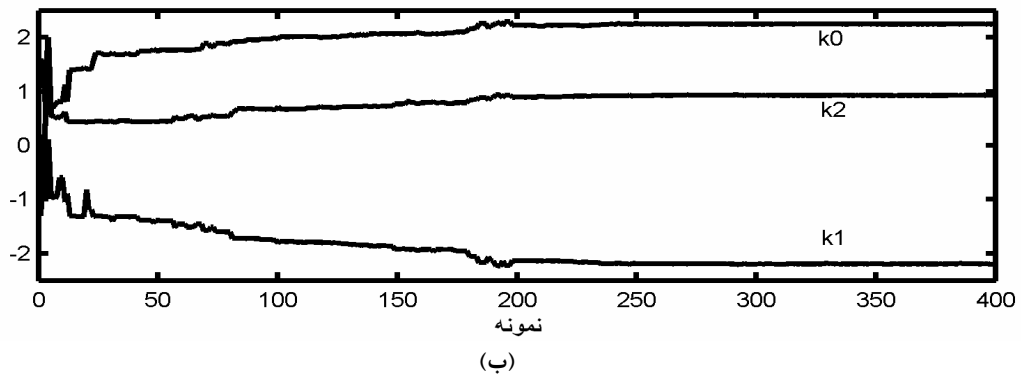
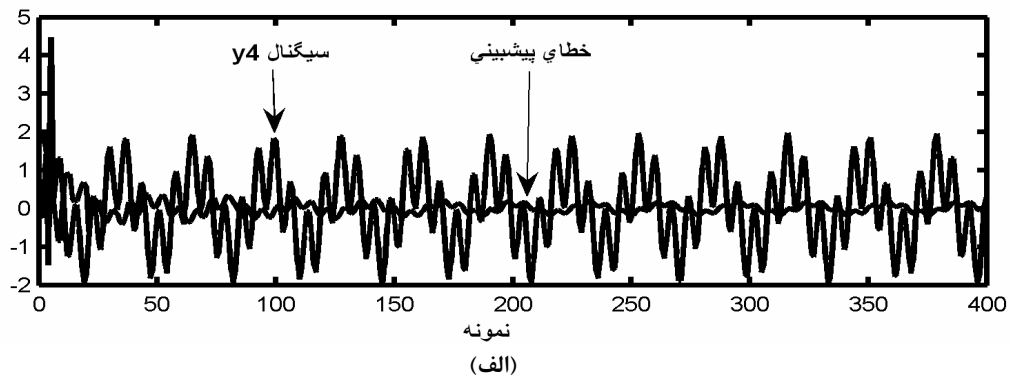
شکل ۱- الف) سیگنال  $y_1(n)$  و خطای پیش‌بینی توسط روش پیشنهادی (ب) تغییرات ضرایب پیش‌بینی



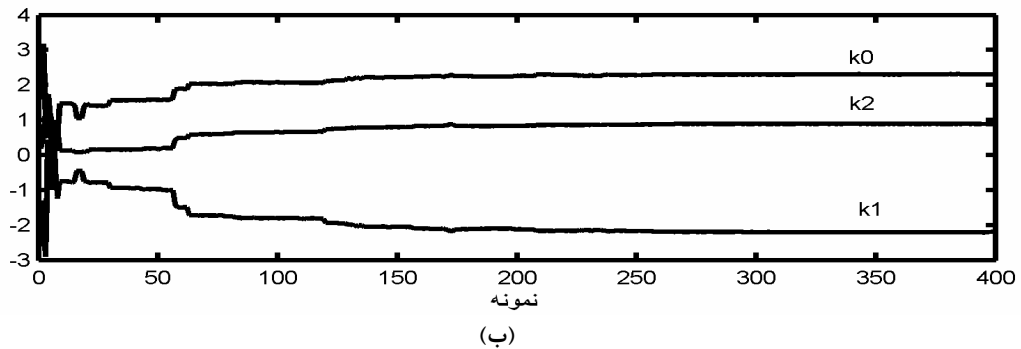
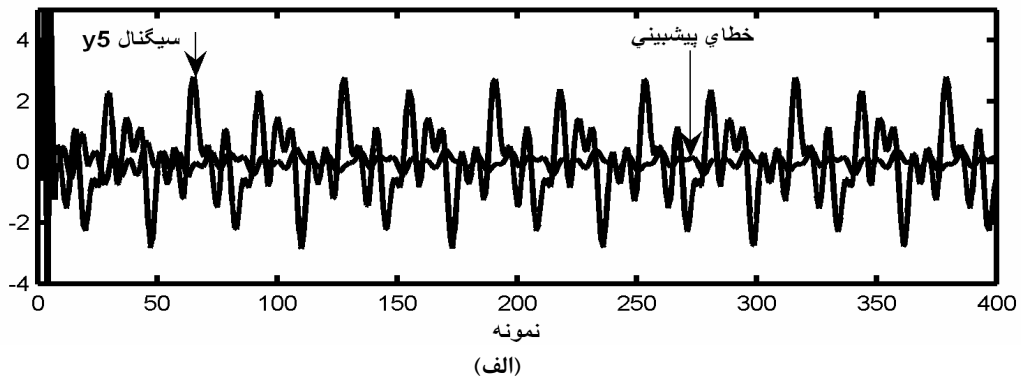
شکل ۲- الف) سیگنال  $y_2(n)$  و خطای پیش‌بینی توسط روش پیشنهادی (ب) تغییرات ضرایب پیش‌بینی



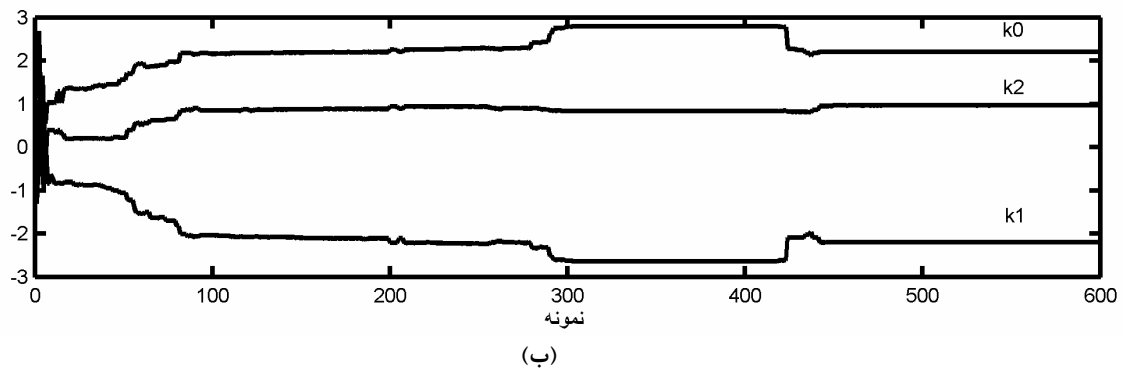
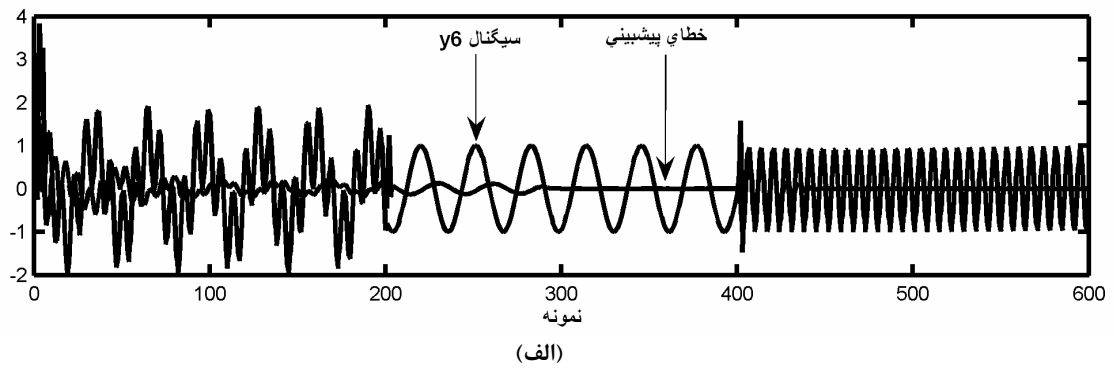
شکل ۳- الف) سیگنال  $y_3(n)$  و خطای پیش‌بینی توسط روش پیشنهادی (ب) تغییرات ضرایب پیش‌بینی



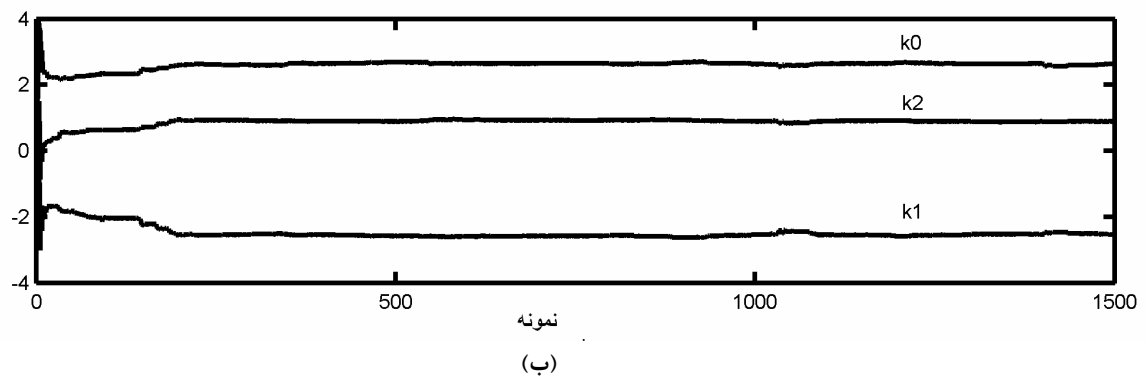
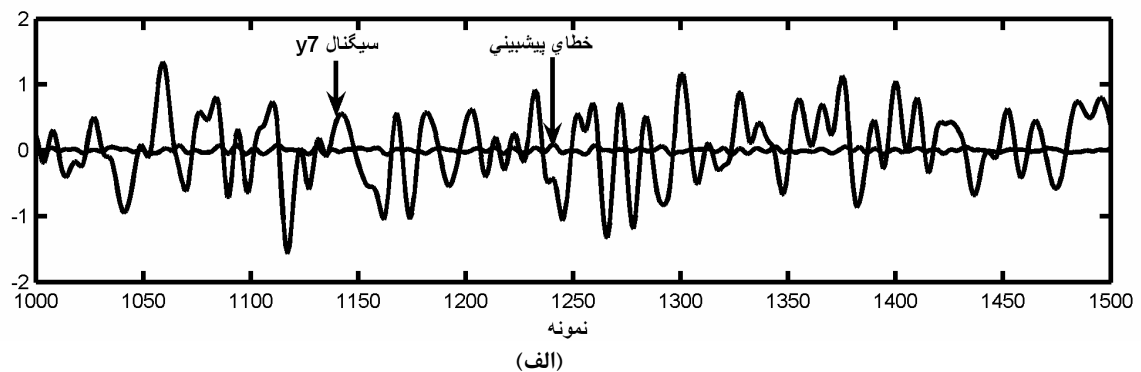
شکل ۴- الف) سیگنال  $y_4(n)$  و خطای پیش‌بینی توسط روش پیشنهادی (ب) تغییرات ضرایب پیش‌بینی



شکل ۵- الف) سیگنال  $y_5(n)$  و خطای پیش‌بینی توسط روش پیشنهادی (ب) تغییرات ضرایب پیش‌بینی

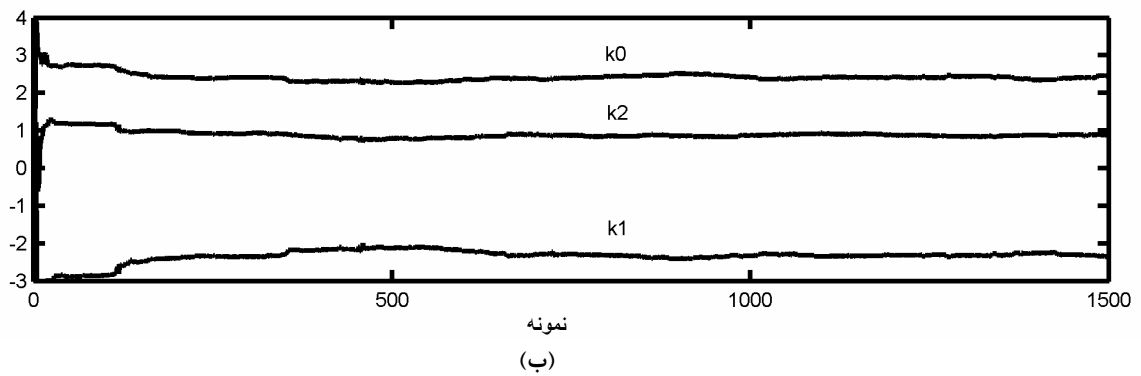
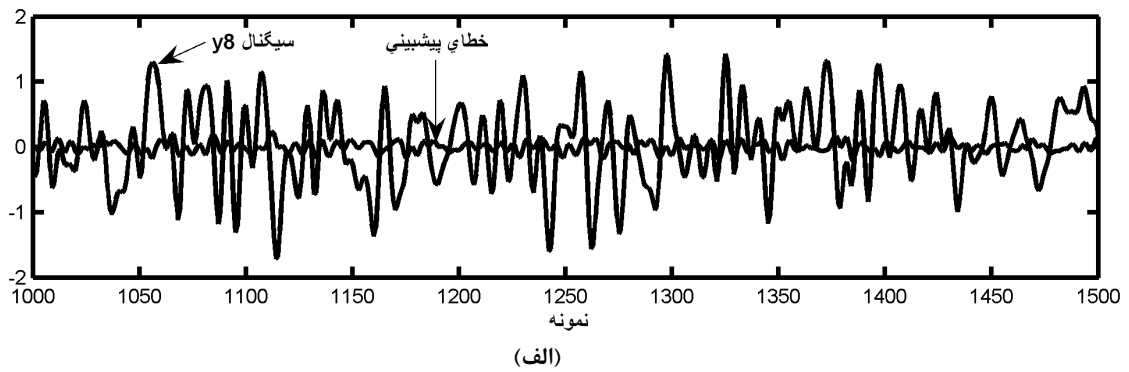


شکل ۶- الف) سیگنال  $y_6(n)$  و خطای پیش‌بینی توسط روش پیشنهادی (ب) تغییرات ضرایب پیش‌بینی

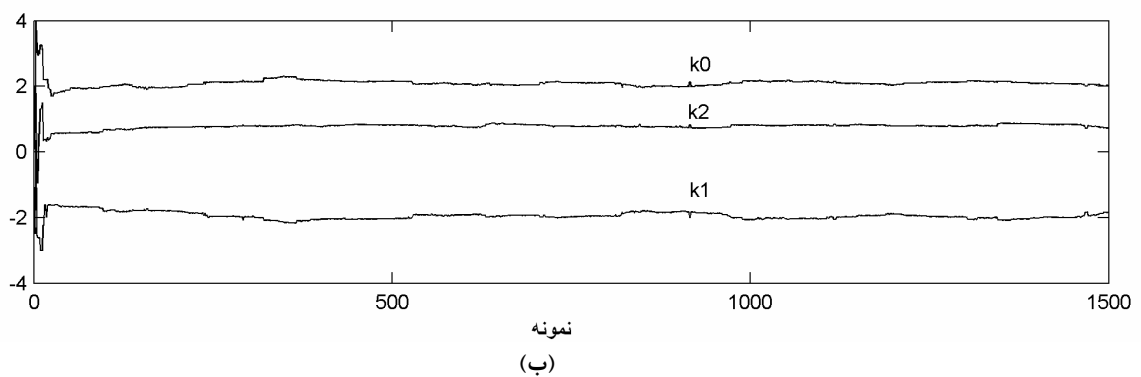
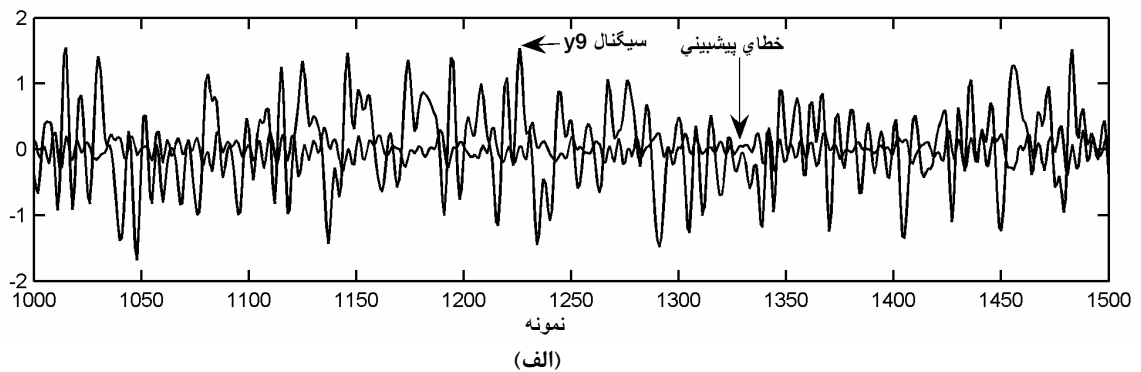


شکل ۷- الف) سیگنال  $y_7(n)$  و خطای پیش‌بینی توسط روش پیشنهادی (ب) تغییرات ضرایب پیش‌بینی





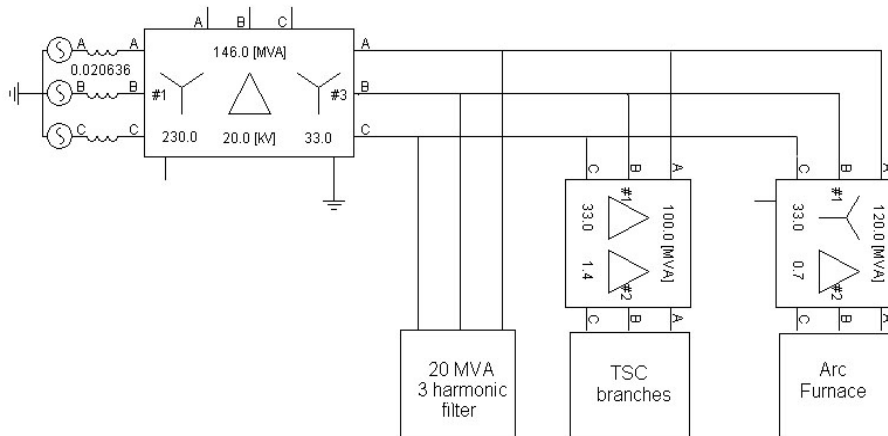
شکل ۸- الف) سیگنال  $y_8(n)$  و خطای پیش‌بینی توسط روش پیشنهادی (ب) تغییرات ضرایب پیش‌بینی



شکل ۹- الف) سیگنال  $y_9(n)$  و خطای پیش‌بینی توسط روش پیشنهادی (ب) تغییرات ضرایب پیش‌بینی

تکفاز TSC دارای قدرت 1.5MVAR می‌باشد. در این سیستم نیز از یک فیلتر هارمونیک ۳ با قدرت 2MVA استفاده شده است. سیستم کنترل TSC با اندازه‌گیری ولتاژ و جریان بار، توان راکتیو بار را با استفاده از رابطه (۱۴) در هر نیم سیکل محاسبه کرده و سپس تعداد خازن مورد نیاز را معین می‌کند. TSC می‌تواند مقدار تغییرات توان راکتیو را به دو برابر توان راکتیو هر پله خود محدود نماید. به طور مثال توان راکتیو هر پله مجتمع فولاد خوزستان 1.5MVAR است بنابراین در صورت عملکرد صحیح، TSC باید بتواند تغییرات توان راکتیو را در 3 MVAR محدود نماید.

$$Q = \frac{2}{T} \int_{T/2}^T v(t - \frac{T}{4}) i(t) dt \quad (14)$$



شکل ۱۰- سیستم قدرت مجتمع فولاد خوزستان

### ۵- کاربرد روش پیشنهادی به سیگنالهای عملی

در این بخش کاربرد روش پیشنهادی را به کوره‌های مجتمع فولاد خوزستان نشان می‌دهیم. شمای سیستم قدرت مجتمع فولاد خوزستان در شکل (۱۰) آمده است. جبران‌کننده‌ها در باس 34kV قرار دارند. مشخصات این سیستم به صورت زیر هستند.

#### - مشخصات سیستم قدرت مجتمع فولاد خوزستان

ترانسفورماتور اصلی: 0.08 pu, 230/34kV, Y-Δ-Y, 146MVA

ترانسفورماتور کوره: 0.1 pu 34/0.7kV, ΔΔ, 120 MVA,

سطح اتصال کوتاه در باس 230 kV : 8160MVA

#### - مشخصات TSC

ترانسفورماتور TSC: 0.05 pu, 100 MVA, 34/1.4kV, ΔΔ

TSC دارای ۳۰ پله در هر فاز می‌باشد. هر پله دارای ۹ خازن

موازی 271.5μF و یک سلف سری 2mH است. بنابراین هر پله

می‌توانند دو مقدار متفاوت داشته باشند. اعداد C و D برای یک کوره نمونه به صورت زیر می‌باشند [۹].

$$C_a=190000 \text{ w}, C_b=39000 \text{ w}, D_a=D_b=5000 \text{ A}$$

$C_a$  و  $D_a$  برای بخش افزایشی جریان کوره و  $C_b$  و  $D_b$  برای جریان کاهشی می‌باشند.  $V_{at}$  ولتاژی است که به طول قوس بستگی دارد و عموماً در مدل‌سازی‌ها به صورت ثابت، سینوسی یا تصادفی در نظر گرفته می‌شود. فرکانس نوسانات ولتاژ همان فرکانس تغییرات  $V_{at}$  می‌باشد. بنابراین فرکانس تغییرات

### ۵-۱- مدل‌سازی کوره قوس الکتریک

برای مدل‌سازی کوره از مدل هذلولی [۹] استفاده می‌کنیم.

رابطه ولتاژ و جریان در این مدل به صورت زیر می‌باشد:

$$v(t) = \text{sign}(i(t)) \left( V_{at} + \frac{C}{D + |i(t)|} \right) \quad (15)$$

در معادله (۱۵)  $v(t)$  و  $i(t)$  ولتاژ و جریان کوره می‌باشند. C و D اعداد ثابتی هستند که متناظر با علامت مشتق جریان کوره

به جای توان راکتیو در زمان فعلی با استفاده از شبیه‌سازها نشان داده می‌شود.

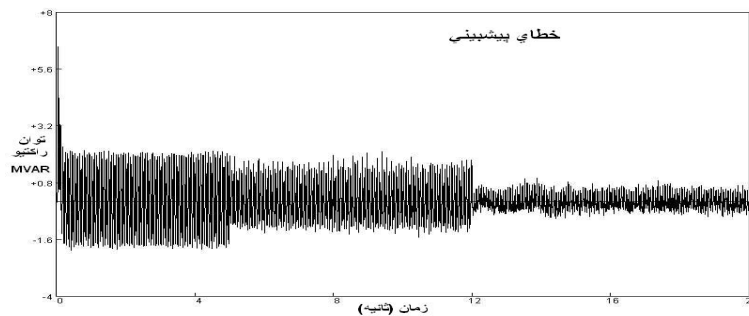
شکل (۱۱-الف) خطای پیش‌بینی توان راکتیو کوره را نشان می‌دهد. از لحظه صفر تا ۵ ثانیه توان راکتیو بدون پیش‌بینی مطابق با روشهای معمول جبران می‌شود. در زمان ۵ تا ۱۲ ثانیه سیستم توسط پیش‌بینی توان راکتیو با وزنهای ثابت جبران شده و در زمان ۱۲ تا ۲۰ ثانیه سیستم توسط روش پیش‌بینی پیشنهادی در این مقاله جبران می‌شود. شکل (۱۱-ب) تغییرات توان راکتیو منبع و توان راکتیو کوره قوس و شکل (۱۱-ج) تغییرات ضرایب پیش‌بینی را نشان می‌دهد. دیده می‌شود که روش پیش‌بینی ژنتیک دارای بهترین عملکرد است.

می‌تواند بین ۰ تا ۲۵ هرتز باشد. در شبیه‌سازی‌های انجام شده  $V_{at}$  به صورت زیر در نظر گرفته شده است:

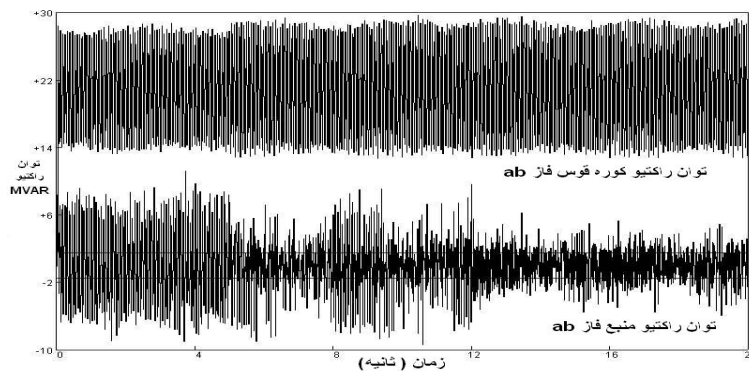
$$V_{at} = 320 + 50\sin 90t \quad (16)$$

توجه کنید که اغلب مدل‌های موجود برای کوره قوس دارای یک معادله غیر خطی استاتیک و یک بخش متغیر با زمان هستند و نوع معادله غیر خطی تاثیر چندانی روی نتایج الگوریتم حاضر ندارد.

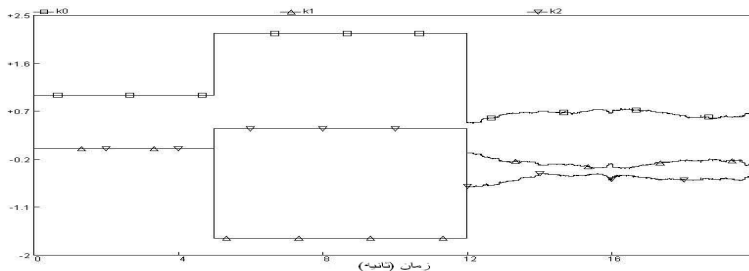
حال تاثیر استفاده از پیش‌بینی توان راکتیو کوره قوس الکتریکی و استفاده از آن به عنوان ورودی سیستم کنترل TSC



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۱۱- الف) خطای پیش‌بینی توان راکتیو کوره قوس ب) تغییرات توان راکتیو فاز ab کوره (qlab) و منبع (qsab) ج) تغییرات ضرایب پیش‌بینی

## ۶- نتیجه گیری

در سیستم‌های دارای تاخیر زمانی، پیش‌بینی آینده یک سیگنال برای جبران تاخیر زمانی موجود می‌تواند عملکرد سیستم را بهبود بخشد. در این مقاله با توجه به طبیعت متغیر سیگنالها، الگوریتم ژنتیک بهنگام برای تعیین وزن‌های پیش‌بینی، ارائه شد. کارایی این روش و مزیت آن نسبت به روش پیش‌بینی با ضرایب ثابت با توجه به شبیه‌سازی‌های انجام شده روی سیگنال‌های مختلف اثبات شد. نتایج حاکی از قابلیت انعطاف‌پذیری روش مذکور برای انواع مختلف سیگنال‌ها می‌باشد. در عمل با توجه به حجم محاسبات روش پیشنهادی و نیز قدرت پردازنده می‌توان فرکانس استفاده از الگوریتم ژنتیک را تغییر داد. یعنی برای پردازنده‌های قوی با زمانهای کوتاهتری الگوریتم ژنتیک را فرا خواند و برای پردازنده‌های ضعیفتر، این زمان را بیشتر کرد تا پردازنده زمان کافی برای محاسبات را داشته باشد. همچنین با توجه به توانایی پردازش موازی در الگوریتم ژنتیک می‌توان از پردازش موازی روی چند کامپیوتر همزمان استفاده کرد.

## مراجع

- [۴] صامت، حیدر؛ "بررسی عملکرد انواع جبران کننده های ایستا برای جبران کوره های قوس الکتریک"، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی شریف، آبان ۱۳۸۱.
- [۵] صامت، حیدر. و پرنیانی، مصطفی؛ "ارائه روشی جدید برای بهبود عملکرد TSC و TCR در جبران کوره های قوس الکتریک"، مجموعه مقالات یازدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، دانشگاه شیراز، ۱۳۸۲.
- [6] Cerrada A. G., Garcia-Gonzalez P., Collantes R. and Gomez T. "Comparison of Thyristor-Controlled Reactors and Voltage –Source Inverters for Compensation of Flicker Caused by Arc Furnaces", IEEE Trans. on Power Deliv., vol. 15, no. 4, pp. 1225-1231, Oct. 2000.
- [7] Ahmad, M., Zhang, L. and Readle, J. C. "Online genetic algorithm tuning of a PI controller for a heating system" Genetic Algorithms In Engineering Systems: Innovations And Applications, (Conf. Publ. no. 446), pp. 510-515, 2-4 Sep. 1997.
- [8] Chipperfield A., Fleming P., Pohlheim H. and Fonseca C. "Genetic Algorithm Toolbox User's Guide", department of automatic control and system engineering, University of Sheffield.
- [9] Montanari, G. C., Loggini M., Cavallini A., Pitti L. and Zaninelli D. "Arc Furnace Model for the Study of Flicker Compensation in Electrical networks", IEEE Trans. on Power Del., vol. 9, no.4, pp 2026-2034, Oct. 1994.
- [1] Manchur G. and Erven C. C. "Development of a model for predicting flicker from electric arc furnaces", IEEE Trans. on Power Deliv., vol. 7, no. 1, pp. 416-426, 1992.
- [۲] میلر، کنترل توان راکتیو در سیستم‌های الکتریکی، قاضی رضا (مترجم)، چاپ نخست، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، زمستان ۱۳۷۱
- [3] Samet H. and Parniani M. "Predictive method for improving SVC speed in electric arc furnace compensation", IEEE Trans. on Power Deliv., vol. 22, no. 1, pp 732-734, 2007.