

## عملکرد شبکه‌ی عصبی پیشرو در کنترل فعال نویز صوتی مدل‌سازی شده

مهرشاد سلماسی<sup>۱</sup>، همایون مهدوی‌نسب<sup>۲</sup> و حسین پورقاسم<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشکده برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد، Mehrshad\_Salmasi@yahoo.com

<sup>۲</sup> دانشکده برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد، Mahdavinabasab@iaun.ac.ir

<sup>۳</sup> دانشکده برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد، h\_pourghasem@iaun.ac.ir

چکیده - به دلیل عدم مؤثر بودن روش‌های غیرفعال و عایق‌های صوتی در فرکانس‌های پایین، استفاده از روش‌های فعال برای کاهش نویز پیشنهاد شده‌است. در این مقاله کنترل و کاهش فعال نویز صوتی با استفاده از شبکه‌های عصبی انجام می‌شود. برای انجام شبیه‌سازی‌ها، نویز صوتی مدل‌سازی شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. در روش‌های قبلی از نویزهای موجود در پایگاه‌های داده برای تحلیل روش‌های کاهش نویز استفاده می‌کردند. در نتیجه، اعتبار نتایج سیستم کنترل نویز طراحی شده منحصر به بانک داده بود. مدل‌سازی نویز صوتی امکان تغییر پارامترهای نویز را در اختیار کاربر قرار می‌دهد و می‌توان نمونه‌های مختلفی از نویز را به سیستم کنترل نویز اعمال کرد. شبکه‌ی عصبی استفاده شده یک شبکه‌ی پیشرو با الگوریتم BP می‌باشد. در این راستا، با اعمال نویزهایی با باندهای فرکانسی مختلف، شبکه‌ی عصبی را آموزش داده و عملکرد آن به ازاء نویزهای جدید مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج شبیه‌سازی‌ها توانایی شبکه‌ی عصبی پیشرو را در کاهش نویز صوتی مدل‌سازی شده نشان می‌دهد. همچنین مشاهده می‌شود که قرار گرفتن چگالی طیف توان نویزهای جدید وارد شده در محدوده‌ی چگالی طیف توان نویز استفاده شده برای آموزش، منجر به عملکرد خوب شبکه در کاهش نویز می‌شود.

کلید واژه - شبکه‌ی عصبی پیشرو، کنترل فعال نویز، مدل‌سازی نویز صوتی

و ... تعدادی از کاربردهای کنترل فعال نویز می‌باشند [۲ و ۳].

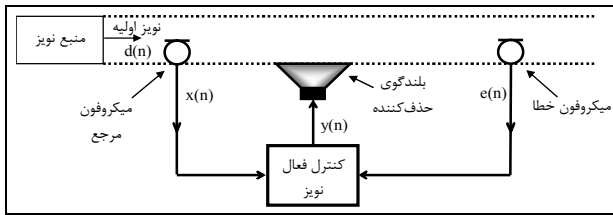
طراحی یک کنترل‌کننده‌ی فعال نویز متشکل از یک میکروفون و یک بلندگو برای اولین بار توسط Paul Lueg در سال ۱۹۳۶ مطرح شد. در سال ۱۹۵۳، Olson و May الگوریتمی را تحت عنوان الگوریتم فیدبک برای کنترل فعال نویز ارائه کردند. با وجود مطالعات فراوان در دهه‌ی ۱۹۵۰، مطالعات و تحقیقات عملی در این زمینه موفقیت‌آمیز نبود. عدم وجود امکانات و تکنولوژی لازم پیاده‌سازی عملی سیستم‌های کنترل فعال نویز را به تأخیر انداخت. با توسعه‌ی تکنیک‌های پردازش سیگنال‌های گسسته در اوایل دهه‌ی ۱۹۷۰، امکان پیاده‌سازی عملی سیستم‌های کنترل فعال نویز مهیا شد. طراحی‌های دیجیتال در سیستم‌های کنترل فعال نویز برای اولین بار در سال ۱۹۷۵ مورد استفاده قرار گرفتند [۴].

یکی از رایج‌ترین روش‌ها برای کنترل فعال نویز، استفاده از فیلترهای وفقی FIR و IIR می‌باشد. در این روش ضرایب فیلتر بر اساس الگوریتم حداقل میانگین مربعات خطا (LMS) تنظیم می‌شوند. اگرچه این سیستم‌ها در حذف نویزهای فرکانس پایین و باند باریک خوب عمل می‌کنند ولی معایبی نیز دارند. به عنوان

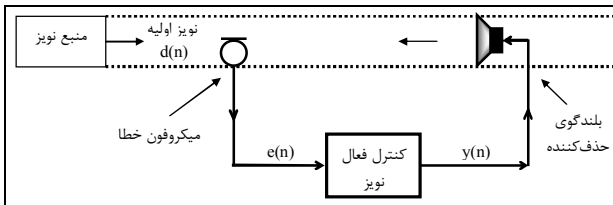
### ۱- مقدمه

با پیشرفت روزافزون تکنولوژی و افزایش جمعیت، نویز صوتی یکی از مشکلاتی است که در اکثر محیط‌ها با آن روبرو هستیم. استفاده از روش‌های غیرفعال یا جاذب‌های صوتی، مدت زمان زیادی به عنوان تنها راه‌حل موجود برای کاهش نویز صوتی بود. به دلیل پرهزینه بودن، نیاز به حجم زیاد عایق و عدم مؤثر بودن روش‌های غیرفعال در فرکانس‌های پایین، استفاده از روش‌های فعال برای کنترل نویز پیشنهاد شد [۱].

در روش‌های فعال حذف نویز، نویز صوتی موجود در محیط با تولید یک سیگنال نویز دیگر با دامنه‌ای برابر و ۱۸۰ درجه اختلاف فاز نسبت به نویز اصلی از بین می‌رود. در حقیقت با تولید سیگنالی جدید عمل تداخل یا همان جمع آثار انجام شده و نویز اصلی از بین می‌رود [۲]. امروزه گروه‌های زیادی در زمینه‌ی کنترل فعال نویز (Active Noise Control) در کشورهای مختلف جهان در حال فعالیت هستند. کاهش نویز فن‌ها، ترانسفورماتورها، کمپرسورها، پمپ‌ها، لوله‌های تهویه‌ی هوا، لوله‌های خنک‌کننده، کاهش نویز درون اتومبیل و کابین هواپیما

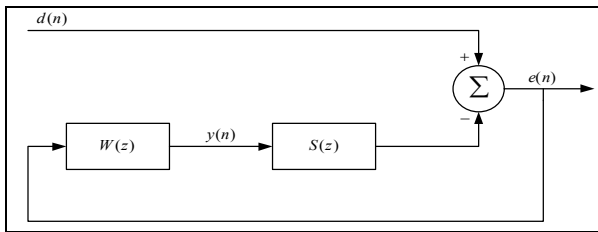


شکل ۱: ساختار سیستم کنترل فعال نویز پیشرو



شکل ۲: ساختار سیستم کنترل فعال نویز فیدبک

در این مقاله سیستم کنترل فعال نویز فیدبک مورد استفاده قرار می‌گیرد. در سیستم فیدبک، نویز اولیه  $d(n)$  موجود نمی‌باشد، بنابراین هدف اصلی در این سیستم، تخمین سیگنال  $d(n)$  با استفاده از سیگنال خطا است. بلوک دیاگرام اولیه‌ی سیستم کنترل فعال نویز فیدبک در شکل ۳ نشان داده شده‌است.



شکل ۳: بلوک دیاگرام سیستم کنترل فعال نویز فیدبک

در دیاگرام فوق  $e(n)$  بیانگر  $n$  امین نمونه از سیگنال خطا،  $d(n)$  بیانگر  $n$  امین نمونه از منبع نویز و  $y(n)$  بیانگر سیگنال ثانویه تولیدشده می‌باشد. همچنین  $W(z)$  نشان‌دهنده‌ی تابع انتقال کنترل کننده و  $S(z)$  تابع انتقال مسیر ثانویه (مسیر عبور سیگنال از بلندگو تا میکروفون) می‌باشد. با توجه به بلوک دیاگرام شکل ۳، نویز منبع را می‌توان بر حسب سیگنال خطا به دست آورد،

$$D(z) = E(z) + Y(z)S(z) \quad (1)$$

تابع انتقال مسیر ثانویه را می‌توان به صورت  $\hat{S}(z)$  تخمین زد. در نتیجه می‌توان تخمینی از نویز منبع را استخراج کرد،

$$X(z) \equiv \hat{D}(z) = E(z) + \hat{S}(z)Y(z) \quad (2)$$

از سیگنال  $x(n)$  به دست آمده، به عنوان سیگنال مرجع استفاده می‌شود. در شکل ۴ بلوک دیاگرام نهایی سیستم کنترل فعال نویز فیدبک نشان داده شده‌است.

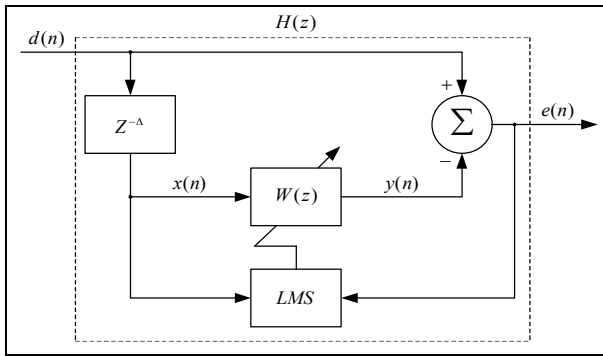
مثال فیلترهای FIR در مقابل نویزهای باند گسترده خوب عمل نمی‌کنند و فیلترهای IIR نیز ممکن است در حین فرآیند تنظیم ضرایب ناپایدار شوند [۱]. در [۵] نشان داده می‌شود در شرایطی که کانال، بلندگو و میکروفون رفتار غیرخطی از خود نشان می‌دهند شبکه‌های عصبی عملکرد بهتری را در کاهش نویز نسبت به فیلترهای وقتی نتیجه می‌دهند. تاکنون از شبکه‌های عصبی و الگوریتم‌های آموزشی مختلفی برای کنترل فعال نویز استفاده شده‌است. به عنوان مثال این کار با استفاده از شبکه‌های MLP، RBF و بازگشتی انجام شده‌است [۶، ۷ و ۸].

در این مقاله کنترل فعال نویز صوتی با استفاده از یک شبکه‌ی عصبی پیشرو دو لایه انجام می‌شود. برای انجام شبیه‌سازی‌ها، به جای استفاده از نویزهای صوتی موجود در پایگاه‌های داده، از نویز صوتی مدل‌سازی شده استفاده می‌شود. مدل‌سازی نویز صوتی امکان تغییر پارامترهای نویز را در اختیار کاربر قرار می‌دهد. در این راستا، نویزهای صوتی با باندهای فرکانسی مختلف تولید و از آنها برای آموزش و تست شبکه‌ی عصبی استفاده می‌شود. نتایج شبیه‌سازی‌ها توانایی شبکه‌ی عصبی را در کاهش نویزهایی که باند فرکانسی آنها در محدوده‌ی باند فرکانسی نویز استفاده‌شده برای آموزش است را نشان می‌دهد.

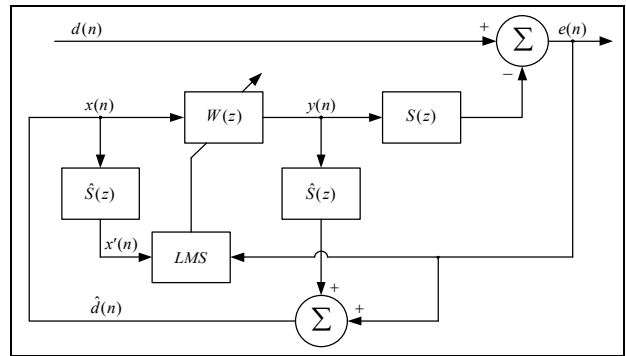
در بخش ۲ ساختارهای سیستم کنترل فعال نویز و در بخش ۳ نحوه‌ی مدل‌سازی نویز صوتی شرح داده می‌شود. ساختار شبکه‌ی عصبی استفاده‌شده و نحوه‌ی آموزش آن در بخش ۴ و شبیه‌سازی‌های انجام‌شده در بخش ۵ بیان می‌شود. در بخش ۶ نتیجه‌گیری‌های حاصل ارائه می‌شود.

## ۲- ساختارهای سیستم کنترل فعال نویز

سیستم‌های کنترل فعال نویز بر اساس ساختارهای پیشرو، فیدبک و یا ترکیبی از هر دو قابل پیاده‌سازی هستند. سیستم کنترل فعال نویز پیشرو (feed-forward) به دو دسته‌ی باندپهن و باندباریک دسته‌بندی می‌شود [۲]. در سیستم کنترل فعال نویز پیشرو با استفاده از میکروفون یا سنسورهای غیرآکوستیکی مانند تاکومتر، سیگنال‌های مرجع از منابع نویز دریافت می‌شوند، درحالی‌که سیگنال‌های مرجع در سیستم کنترل فعال نویز فیدبک در دسترس نمی‌باشند. در [۹] عملکرد ساختارهای مختلف سیستم کنترل فعال نویز در کاهش نویز صوتی مورد مقایسه قرار گرفته‌است. در شکل‌های ۱ و ۲ به ترتیب سیستم‌های کنترل فعال نویز پیشرو و فیدبک نشان داده شده‌است.



شکل ۵: بلوک دیاگرام سیستم فیدبک به عنوان پیش‌بینی‌کننده‌ی وقتی



شکل ۴: بلوک دیاگرام نهایی سیستم کنترل فعال نویز فیدبک

### ۳- مدل‌سازی نویز صوتی

در این مقاله کنترل فعال نویز بر اساس مدل‌سازی نویز صوتی انجام می‌شود. در روش‌های قبلی از نویزهای موجود در پایگاه‌های داده برای تحلیل روش‌های کاهش نویز استفاده می‌کردند. در مواردی نیز، نویز صوتی به صورت عملی از محیط دریافت و ذخیره می‌شد و سپس در طراحی سیستم کنترل نویز به کار می‌رفت. در نتیجه، اعتبار نتایج سیستم کنترل نویز طراحی‌شده منحصر به بانک داده یا محیط جمع‌آوری نویز بود.

مزیت مدل‌سازی نویز صوتی این است که در این حالت پارامترهای نویز در اختیار ما بوده و می‌توان نمونه‌های مختلفی از نویز صوتی را به سیستم کنترل فعال نویز اعمال کرد. برای نیل به این هدف لازم است نویز صوتی به نحو مناسبی مدل شود.

یکی از معمولترین روش‌ها برای تولید نویز، تولید نویز سفید گوسی است. استفاده از نویز سفید گوسی به عنوان مدلی برای نویز صوتی مناسب نیست. علت این امر آن است که نویز صوتی فقط فرکانس‌های صوتی را در بر می‌گیرد، در حالی که نویز سفید تمام فرکانس‌ها را در بر می‌گیرد. نویز صوتی در طبیعت یک نویز سفید نیست. نمونه‌های نویز سفید مستقل از یکدیگر هستند، در حالی که نمونه‌های نویز صوتی با یکدیگر وابستگی دارند. برای مدل‌سازی نویز صوتی می‌توان نویز سفید را به نویز رنگی تبدیل نمود. تبدیل نویز سفید به نویز رنگی باعث ایجاد همبستگی بین نمونه‌های نویز می‌شود. برای تولید نویز رنگی به ترتیب زیر عمل می‌کنیم [۱۰].

- تولید یک دنباله از متغیرهای تصادفی مستقل با توزیع دامنه‌ی گوسی

- طراحی یک فیلتر IIR

- عبور دادن دنباله‌ی تولیدشده از فیلتر طراحی‌شده

در خروجی فیلتر، نویز رنگی با توزیع دامنه‌ی گوسی مشاهده می‌شود. حال از نویز رنگی حاصل می‌توان به عنوان

با توجه به بلوک دیاگرام شکل ۴ مشاهده می‌شود،

$$x(n) \equiv \hat{d}(n) = e(n) + \sum_{m=0}^{M-1} \hat{s}_m y(n-m) \quad (3)$$

$$y(n) = \sum_{l=0}^{L-1} w_l(n) x(n-l) \quad (4)$$

که در روابط فوق،  $\hat{s}(m)$  و  $m = 0, 1, \dots, M-1$  برای تخمین مسیر ثانویه استفاده می‌شود.  $w_l(n)$  و  $l = 0, 1, \dots, L-1$  بیانگر ضرایب فیلتر وقتی FIR ( $W(z)$ ) می‌باشد که این ضرایب با استفاده از الگوریتم FXLMS تنظیم می‌شوند،

$$w_l(n+1) = w_l(n) + \mu x'(n-l) e(n) \quad (5)$$

که در آن  $\mu$  اندازه‌ی گام (step size) و  $x'(n)$  سیگنال مرجع فیلترشده می‌باشد،

$$x'(n) \equiv \sum_{m=0}^{M-1} \hat{s}_m x(n-m) \quad (6)$$

با توجه به روابط (۱) و (۲) مشاهده می‌شود در صورتی که  $\hat{S}(z) = S(z)$  باشد آنگاه  $x(n) = d(n)$  می‌شود. در این صورت سیستم کنترل فعال نویز فیدبک به سیستم کنترل پیشرو تبدیل می‌شود. اگر در روابط فوق اندازه‌ی گام را کوچک و تابع انتقال مسیر ثانویه را به صورت تأخیر زمانی  $S(z) = z^{-A}$  فرض کنیم، سیستم کنترل فعال نویز فیدبک معادل با یک سیستم پیش‌بینی‌کننده‌ی وقتی می‌شود. در شکل ۵ بلوک دیاگرام یک سیستم پیش‌بینی‌کننده‌ی وقتی که وظیفه‌ی پیش‌بینی نمونه‌های نویز را به عهده دارد نشان داده شده است.

در این مقاله به جای استفاده از فیلتر وقتی از یک شبکه‌ی عصبی پیشرو دولا به برای پیش‌بینی نمونه‌های نویز استفاده شده است که در بخش ۴ ساختار شبکه توضیح داده می‌شود. در شبیه‌سازی‌های انجام‌شده  $S(z) = z^{-1}$  در نظر گرفته می‌شود.

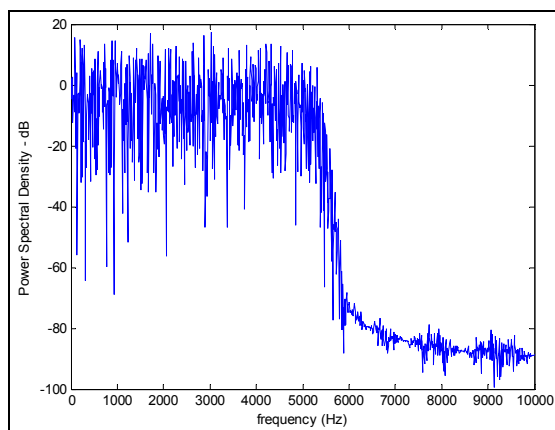
## ۵- شبیه‌سازی‌ها

شبیه‌سازی‌های انجام‌شده شامل مدل‌سازی نویز صوتی، آموزش و تست شبکه‌ی عصبی با نویزهای مدل‌شده و بررسی تأثیر کاهش پهنای باند نویز در آموزش و عملکرد شبکه‌ی عصبی می‌باشد.

### ۵-۱- مدل‌سازی نویز صوتی

برای انجام شبیه‌سازی‌ها ابتدا یک نویز صوتی با باند فرکانسی ۵-۰ kHz را مدل‌سازی می‌کنیم. برای این منظور پس از تولید ۲۰۰۰ نمونه نویز سفید گوسی، آن را از یک فیلتر پایین‌گذر IIR با ساختار چبی‌شف نوع ۲ عبور می‌دهیم. در فیلتر طراحی‌شده درجه‌ی فیلتر برابر ۹، میزان تضعیف برابر ۵۰dB و فرکانس قطع فیلتر برابر ۶ kHz در نظر گرفته شده‌است. علت انتخاب ۶ kHz به عنوان فرکانس قطع فیلتر این است که می‌خواهیم در باند فرکانسی ۵-۰ kHz، دامنه‌ی فیلتر طراحی‌شده مسطح باشد.

پس از عبور نویز سفید از فیلتر پایین‌گذر، نویز رنگی به دست می‌آید که در شکل ۷ چگالی طیف توان نویز رنگی حاصل نشان داده شده‌است. همان‌طور که مشاهده می‌شود نویز رنگی به دست‌آمده بیشترین انرژی خود را در بازه‌ی فرکانسی ۵-۰ kHz دارد. حال می‌توان از نویز رنگی حاصل که مدلی از نویز صوتی می‌باشد برای آموزش شبکه‌ی عصبی استفاده کرد. در شبیه‌سازی‌های انجام‌شده فرکانس نمونه‌برداری برابر ۲۰ kHz انتخاب شده‌است.



شکل ۷: چگالی طیف توان نویز رنگی

### ۵-۲- ساختار شبکه‌ی عصبی و نحوه‌ی آموزش آن

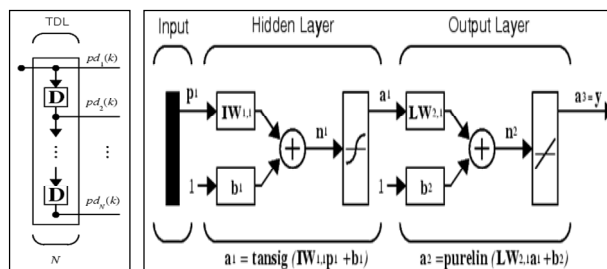
همان‌طور که گفته شد برای تعیین تعداد ورودی‌های شبکه از پاسخ ضربه‌ی فیلتر استفاده می‌شود. در شکل ۸ پاسخ ضربه‌ی فیلتر طراحی‌شده با فرکانس قطع ۶ kHz نشان داده شده‌است.

مدلی برای نویز صوتی استفاده کرد. با تغییر پارامترهای فیلتر طراحی‌شده می‌توان پارامترهای نویز رنگی را تغییر داد. روش‌های مختلفی برای طراحی فیلتر به منظور رنگی کردن نویز وجود دارد. در این مقاله، از فیلتر IIR با ساختار چبی‌شف نوع ۲ استفاده شده‌است. فیلترهای چبی‌شف نوع ۲ در باند عبور یکنواخت و در باند توقف نیز دارای ریب‌های مساوی هستند.

### ۴- نحوه‌ی طراحی شبکه‌ی عصبی

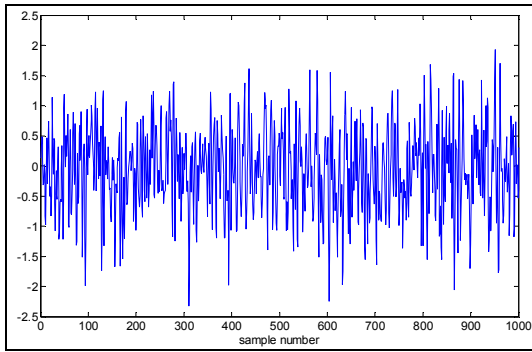
در این مقاله، شبکه‌ی عصبی N نمونه را به عنوان ورودی دریافت کرده و سپس با استفاده از این N نمونه، نمونه‌ی N+1 ام را پیش‌بینی می‌کند. نمونه‌ی پیش‌بینی شده، خروجی شبکه‌ی عصبی می‌باشد و بلندگو از این نمونه برای حذف نویز استفاده می‌کند.

شبکه‌ی عصبی که برای این منظور استفاده می‌شود یک شبکه‌ی عصبی پیشرو دو لایه می‌باشد. تابع فعالیت لایه‌ی اول سیگموئید دو طرفه و تابع فعالیت لایه‌ی دوم خطی می‌باشد. همچنین ورودی‌های شبکه‌ی عصبی به صورت ورودی‌های تأخیری (Tapped Delay Line) می‌باشند. در شکل ۶ ساختار شبکه‌ی عصبی و ورودی‌های استفاده‌شده نشان داده شده‌است.

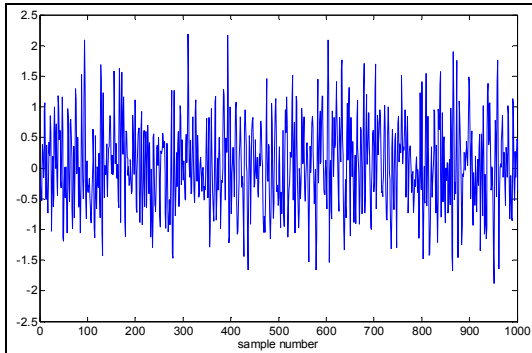


شکل ۶: ساختار شبکه‌ی عصبی و ورودی‌های استفاده‌شده

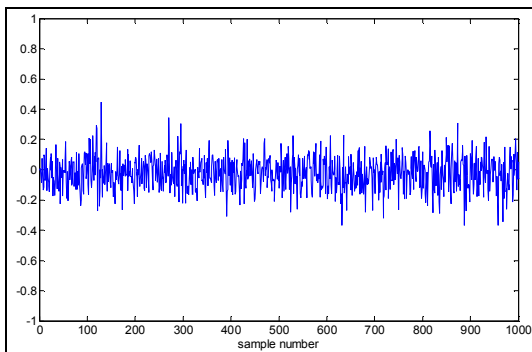
پس از انتخاب تعداد نورون‌ها، شبکه را با استفاده از الگوریتم Back Propagation و روش آموزشی Levenberg-Marquardt آموزش می‌دهیم. برای آموزش شبکه‌ی عصبی از نویز صوتی مدل‌سازی شده استفاده می‌شود. به دلیل آنکه خروجی شبکه نمونه‌ی بعدی را نشان می‌دهد، لایه‌ی خروجی شبکه دارای یک نورون می‌باشد. با عبور نویز سفید از فیلتر طراحی‌شده و تبدیل آن به نویز رنگی، مقداری همبستگی بین نمونه‌ها ایجاد می‌شود. شبکه‌ی عصبی با استفاده از وابستگی بین نمونه‌های ورودی، نمونه‌ی بعدی را پیش‌بینی می‌کند. یکی از روش‌ها برای نشان دادن میزان همبستگی بین نمونه‌های مختلف، رسم پاسخ ضربه‌ی فیلتر طراحی‌شده است. تعداد ورودی‌های شبکه‌ی عصبی بر اساس پاسخ ضربه‌ی فیلتر تعیین می‌شود.



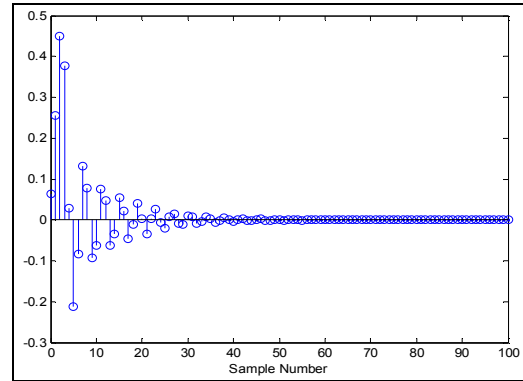
شکل ۹: نویز رنگی تولیدشده در حوزه‌ی زمان



شکل ۱۰: سیگنال آنتی نویز تولیدشده توسط شبکه‌ی عصبی



شکل ۱۱: نویز باقیمانده



شکل ۸: پاسخ ضربه‌ی فیلتر طراحی شده با فرکانس قطع ۶ kHz

همان‌طور که در شکل ۸ ملاحظه می‌شود فیلتر ایجادشده، حدوداً بین ۴۰ نمونه از نمونه‌های نویز سفید وابستگی ایجاد می‌کند. بنابراین به نظر می‌رسد که با انتخاب ورودی به صورت یک بردار ۴۰ تایی، شبکه‌ی عصبی بتواند نمونه‌ی بعدی را پیش‌بینی کند. با انتخاب تعداد نورون‌های لایه‌ی مخفی برابر ۴۰، ساختار شبکه‌ی استفاده‌شده به صورت ۴۰-۴۰-۱ می‌باشد. برای آموزش شبکه، ۱۰۰۰ نمونه از نویز رنگی تولیدشده مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نمونه‌ها به ورودی شبکه‌ی عصبی که به صورت Tapped Delay Line می‌باشد وارد می‌شوند، بنابراین مثال‌های آموزشی به صورت بردارهای ۴۰ تایی از نویز رنگی می‌باشند. به دلیل آنکه تابع انتقال  $S(z)$  به صورت تأخیر زمانی  $z^{-1}$  در نظر گرفته شده، خروجی هدف در هر مرحله نمونه‌ی بعدی می‌باشد. در حقیقت شبکه‌ی عصبی استفاده‌شده، براساس نمونه‌های  $d(n-40), d(n-39), \dots, d(n-2), d(n-1)$  نمونه‌ی  $d(n)$  را پیش‌بینی می‌کند.

### ۵-۳- تست شبکه‌ی عصبی

برای تست شبکه‌ی عصبی، مطابق قسمت ۵-۱ یک نویز صوتی جدید با باند فرکانسی ۰-۵ kHz تولید کرده و ۱۰۰۰ نمونه از نویز تولیدشده را به شبکه‌ی عصبی می‌دهیم. حال از شبکه‌ی عصبی انتظار داریم که نمونه‌های بعدی را برای ما تولید کند. در شکل‌های ۹، ۱۰ و ۱۱ به ترتیب نویز رنگی تولیدشده در حوزه‌ی زمان، سیگنال آنتی نویز تولیدشده توسط شبکه و نویز باقیمانده که از ترکیب سیگنال‌های نویز و آنتی نویز به دست می‌آید نشان داده شده‌است.

برای محاسبه‌ی میزان کاهش نویز، انرژی سیگنال‌های نویز اصلی و نویز باقیمانده مورد مقایسه قرار می‌گیرد،

$$\text{Noise Attenuation} = 10 \times \log_{10} \frac{\text{Input Noise Energy}}{\text{Remained Noise Energy}} \quad (V)$$

میزان کاهش نویز در این حالت برابر ۱۶/۰۹ dB می‌باشد. در ادامه شبکه‌ی عصبی آموزش‌دیده با نویز رنگی با باند فرکانسی ۰-۵ kHz را با استفاده از نویزهای رنگی جدید با باندهای فرکانسی مختلف مورد تست قرار داده و عملکرد شبکه را در کاهش نویز مورد بررسی قرار می‌دهیم. در جدول ۱ عملکرد شبکه‌ی عصبی آموزش‌دیده با نویز رنگی با باند فرکانسی ۰-۵ kHz به ازاء نویزهای رنگی دیگر نشان داده شده‌است. همان‌طور که در جدول ۱ ملاحظه می‌شود زمانی که چگالی طیف توان نویز جدید در محدوده‌ی چگالی طیف توان نویز مورد استفاده برای آموزش باشد شبکه‌ی عصبی عملکرد خوبی را در کاهش نویز از خود نشان می‌دهد. زمانی که باند فرکانسی نویز جدید در بازه‌ی باند فرکانسی نویز مورد استفاده برای آموزش نباشد شبکه‌ی عصبی توانایی کاهش نویز را ندارد.

نویزهای صوتی میان گذر نیز نشان داده شده است.

جدول ۳: عملکرد شبکه‌ی آموزش دیده با نویز رنگی با باند فرکانسی ۳-۲ kHz

میزان کاهش نویز (dB)			باند فرکانسی (kHz)
تست سوم	تست دوم	تست اول	
۳۳/۷۴	۳۴/۸۱	۳۴/۸۹	۲ - ۳
۳۳/۳۸	۳۳/۲۵	۳۳/۴۹	۲ - ۲/۷
۳۲/۳۱	۳۱/۵۶	۳۱/۳۲	۲/۵ - ۳

## ۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله کنترل و کاهش فعال نویز صوتی مدل‌سازی شده با استفاده از شبکه‌های عصبی انجام شد. مدل‌سازی نویز صوتی پارامترهای نویز را در اختیار کاربر قرار می‌دهد. با استفاده از مدل‌سازی نویز صوتی می‌توان نمونه‌های مختلفی از نویز صوتی را به سیستم کنترل فعال نویز اعمال کرد. نتایج شبیه‌سازی‌ها عملکرد خوب شبکه‌ی عصبی پیشرو را در کاهش نویز صوتی مدل‌سازی شده نشان داد. همچنین مشاهده شد در صورتی که چگالی طیف توان نویز جدید وارد شده در محدوده‌ی چگالی طیف توان نویز استفاده شده برای آموزش شبکه باشد، شبکه‌ی عصبی عملکرد خوبی را در کاهش نویز از خود نشان می‌دهد.

## مراجع

- [1] C.K. Chen, T. D. Chiueh and J. H. Chen "Active Cancellation System of Acoustic Noise in MR Imaging," *IEEE Trans. on Biomedical Engineering*, vol. 46, no.2, pp. 186-191, Feb. 1999.
- [2] S. M. Kuo and D. R. Morgan, "Active Noise Control: a Tutorial Review," *Proc. IEEE*, vol. 87, no.6, pp. 943-973, June 1999.
- [3] T. Habib and M. Kepesi, "Open Issues of Active Noise Control Applications," *Int. Conf. Radioelektronika*, pp. 1-4, April 2007.
- [4] S. J. Elliott and P. A. Nelson, "Active Noise Control," *IEEE Signal Processing Mag.*, vol. 10, pp. 12-35, Oct 1993.
- [5] Y. L. Zhou, Q. Z. Zhang, X. D. Li and W. S. Gan, "Analysis and DSP Implementation of an ANC System Using a Filtered-Error Neural Network," *Journal of Sound and Vibration*, vol. 285, Issue 1-2, pp. 1-25, Aug. 2004.
- [6] A. Montazeri, J. Poshtan and M. J. Motlagh "Evaluating the Performance of a Nonlinear Active Noise Control System in Enclosure," *IEEE Conf. Industrial Electronics Society*, Taipei, pp. 2484-2488, Nov. 2007.
- [7] H. S. Yazdi, J. Haddadnia and M. Lotfizad, "Duct modeling using the generalized RBF neural network for active cancellation of variable frequency narrow band noise," *Journal on Advances in Signal Processing*, vol. 2007, Issue 1, pp. 1-7, 2007.
- [8] R. T. Bambang, K. Uchida and R. R. Yacoub, "Active Noise Control in Free Space Using Recurrent Neural Networks with EKF Algorithm," *Journal on Applied Soft Computing*, vol. 8, Issue 4, pp. 1498-1504, Sep. 2008.
- [9] A. A. Milani, G. Kannan and I. M. S. Panahi, "On Maximum Achievable Noise Reduction in ANC Systems," *IEEE Int. Conf. Acoustics speech & Signal Processing*, Dallas, pp. 349-352, 2010.
- [10] A. Siravara, N. Magotra, and P. Loizou, "A Novel Approach for Single Microphone Active Noise Cancellation," *Int. Symp. Circuits and Systems*, Oklahoma, vol. 3, pp. 469-472, Aug. 2002.

جدول ۱: عملکرد شبکه‌ی آموزش دیده با نویز رنگی با باند فرکانسی ۵-۰ kHz

میزان کاهش نویز (dB)			باند فرکانسی (kHz)
تست سوم	تست دوم	تست اول	
-۱۰/۴۱	-۹/۴۸	-۸/۴۹	۰ - ۶
۱۶/۶۴	۱۶/۴۶	۱۶/۰۹	۰ - ۵
۱۶/۶۲	۱۶/۶۲	۱۶/۸۷	۰ - ۴
۱۵/۶۷	۱۵/۶۹	۱۵/۸۴	۰ - ۳
۱۵/۲	۱۵/۰۶	۱۴/۶۳	۰ - ۲
۱۴/۳۴	۱۴/۶۱	۱۴/۵۷	۰ - ۱

## ۵-۴- تأثیر کاهش پهنای باند نویز در عملکرد شبکه

در این قسمت می‌خواهیم اثر کاهش پهنای باند نویز صوتی را بر روی میزان کاهش نویز بررسی کنیم. برای این منظور شبکه‌ی عصبی را به ترتیب با نویزهای رنگی با پهنای باند ۳ kHz و ۱ kHz آموزش می‌دهیم. برای این منظور به ترتیب شبکه‌ی عصبی با نویزهای رنگی با باند فرکانسی ۰-۳ kHz و ۲-۳ kHz آموزش داده می‌شود. سپس عملکرد شبکه‌های آموزش دیده را با نویزهای رنگی جدید مورد بررسی قرار داده و نتایج به دست آمده را مقایسه می‌کنیم. برای تست شبکه‌های عصبی از نویزهای رنگی با باندهای فرکانسی مختلف استفاده می‌شود. در جدول‌های ۲ و ۳ به ترتیب عملکرد شبکه‌های آموزش دیده با نویزهای رنگی با باندهای فرکانسی ۰-۳ kHz و ۲-۳ kHz نشان داده شده است.

جدول ۲: عملکرد شبکه‌ی آموزش دیده با نویز رنگی با باند فرکانسی ۳-۰ kHz

میزان کاهش نویز (dB)			باند فرکانسی (kHz)
تست سوم	تست دوم	تست اول	
-۷/۵۸	-۶/۲۳	-۷/۳	۰ - ۴
۲۲/۹۶	۲۱/۰۳	۲۲/۰۹	۰ - ۳
۲۱/۸۳	۲۱/۷۴	۲۲/۶	۰ - ۲
۱۹/۸۷	۲۱/۰۱	۱۹/۸۴	۰ - ۱

شبکه‌ی آموزش دیده با نویز رنگی با باند فرکانسی ۰-۳ kHz برای نویزهایی با باند فرکانسی مشابه (۰-۳ kHz)، کاهش نویزی حدود ۲۲ dB از خود نشان می‌دهد، در حالی که شبکه‌ی آموزش دیده با نویز رنگی با باند فرکانسی ۰-۵ kHz، نویزهایی با باند فرکانسی ۰-۵ kHz را حدود ۱۶ dB کاهش می‌دهد. دلیل این امر آن است که کاهش پهنای باند باعث ایجاد همبستگی بیشتر بین نمونه‌های نویز و در نتیجه افزایش میزان حذف نویز می‌شود. در جدول ۳، علاوه بر نشان دادن اثر کاهش پهنای باند در افزایش میزان حذف نویز، توانایی شبکه‌ی عصبی در کاهش