بهسازی سیگنال گفتار به روش حذف نویز با استفاده از ویونت

سمیرا مغانی[۱]، حسین مروی[۲] و مجتبی کبیریان[۳]
[۱]کارشناسی ارشد مهندسی الکترونیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، samira.moghani@yahoo.com
[۲]استادیار دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی شاهرود، marvi_hossein@yahoo.co.uk
[۳]کارشناسی ارشد مهندسی قدرت، دانشگاه بوعلی سینا همدان، mojtaba.kabirian@yahoo.com

چکیده – ویونت، شبکه ایست مبتنی بر شبکه عصبی و تبدیل موجک که به عنوان جایگزین مناسب در شبکه‌های عصبی پسخور جهت تخمین و تقریب توابع غیرخطی ، پیشنهاد می‌شود. در شبکه استاندارد پسخورد، تابع فعال سازی نرون لایه پنهان یک تابع سیگموئید است. حال آنکه شبکه های ویونت ، توابع موجک را به عنوان توابع فعالسازی نرون های لایه پنهان از شبکه پسخور مورد استفاده قرار می‌دهند. بهسازی گفتار یا *Speech enhancement* بیانگر گروه بزرگی از روش هاست که با انجام پردازش هایی روی سیگنال های نویزی، نهایتا منجر به بهبود کیفیت و قابلیت فهم گفتار می شود. تاکنون روشهای متعددی در زمینه بهسازی گفتار نویزی ارائه شده است. روش پیشنهادی ما در این مقاله، استفاده از ویونت در زمینه بهسازی گفتار می‌باشد. روش پیشنهادی بر روی دادگان فارسی پیاده سازی شده است و برای ارزیابی و عملکرد آن از معیار سیگنال به نویز استفاده شده است. در نهایت روش پیشنهادی با سه روش شبکه عصبی و ترکیب آن با تبدیل موجک و تبدیل موجک استفاده شده است. نتایج حاصله بیانگر افزایش کارایی سیستم در مقایسه با سایر روشها می‌باشد.

کلید واژه- بهسازی گفتار، نویز، ویونت، تبدیل موجک

۱- مقدمه

همان‌طور که می‌دانیم مهمترین وسیله ارتباطی افراد از طریق صدا و گفتار می‌باشد. به همین جهت پردازش گفتار، به جهت کاربردهای فراوان در زندگی بشر، از سالیان قبل مد نظر دانشمندان و محققین بوده است.

پردازش گفتار شامل بخشهای متفاوتی مانند :کدینگ ، تشخیص گفتار گوینده ، سنتز ، فشرده سازی ، بهسازی گفتار یا speech enhancement می باشد. یکی از مهمترین بخش های پردازش گفتار، بهسازی گفتار و تلاش برای بهبود کیفیت عملکرد سیستم های ارتباط گفتاری می‌باشد.

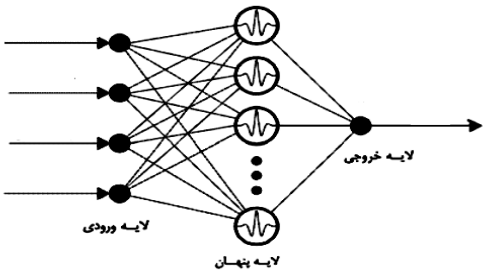
از کاربردهای بهسازی گفتار می‌توان به تشخیص خودکار گفتار و تشخیص هویت گوینده ، سیستم های تلفن ، تلفن های عمومی ، سیستم های مخابرات هوا به زمین ، اشاره کرد. با توجه به کاربرد های مهم و فراوان بهسازی گفتار ، روش های مختلفی در این زمینه پیشنهاد شده اند. از مهمترین و قدیمی ترین روش های بهسازی گفتار می توان به فیلتر وینر [۱] و مشتقات آن اشاره کرد. در این روش ها، که برای اولین بار در سال ۱۹۴۹ وارد حوزه بهسازی گفتار گردید، سعی می‌شود که تخمین سیگنال تمیز بر اساس یک معیار بهینه سازی باشد. در سال ۱۹۵۹، Widrowو Hoff فعالیتهایی در زمینه ی حذف نویز با استفاده از شبکه ی عصبی و توسعه شبکه Adaline انجام دادند[۲].

یکی دیگر از روش های قدیمی و بسیار معروف بهسازی گفتار، تفریق طیفی [۳] و[۴] است که در سال ۱۹۷۵ پایه گذاری شد و در سال ۱۹۷۹ با پردازش در حوزه فرکانس مطرح شد. فیلتر کالمن هم در سال ۱۹۸۷با مقاله Paliwal & Basu [۵] وارد این حوزه گردید. روش مهم دیگر بهسازی گفتار که مبتنی بر تئوری جبر خطی می‌باشد، زیر فضای سیگنال است که در سال ۱۹۹۱ ارائه گردید و سپس بهبودهای زیادی روی آن صورت پذیرفت. از جمله روشهای بهسازی گفتار، استفاده از تبدیل موجک می‌باشد. تئوری حذف نویز در حوزه موجک توسط Donoho در سال ۱۹۹۵ مطرح گردید.

در این مقاله، ابتدا مروری بر ویونت خواهیم داشت و بعد از آن روش پیشنهادی را بیان خواهیم کرد. در مرحله آخر به ارزیابی و مقایسه روش پیشنهادی با روش تبدیل موجک، شبکه عصبی آدالاین و ترکیب آن با موجک خواهیم پرداخت و نتیجه نهایی حاصل از پیاده سازی روشهای مذکور را بیان خواهیم کرد.

۲- ویونت

شبکه ویونت یک نوع شبکه عصبی پیش سو (Feed forward) می‌باشد که از توابع موجک به عنوان تابع فعال ساز استفاده می‌کند. این شبکه در سال ۱۹۹۲ توسط دانشمندان بنونیست-(Benveniste) و ژانگ (Zhang) معرفی گردید. مدل مبتنی بر شبکه عصبی در مواجهه با مسائلی که طبیعتی بسیار غیر خطی دارند، با مشکلاتی روبرو می‌شوند. این اشکال معمولا از عدم توانایی مدل شبکه عصبی – که از توابع فعالسازی نسبتا ساده استفاده می‌کنند- برای تطابق با ساختارهای دینامیکی سیستم واقعی ناشی می‌شود. استفاده از تلفیق این مدلها با تبدیل موجک می تواند در راستای حل مشکل فوق، راهگشا واقع گردد. به کارگیری این شبکه تلفیقی به عنوان جایگزین مناسب در شبکه های عصبی پسخورد پیشنهاد می‌شود.



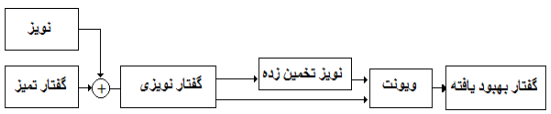
شکل ۱: شمای کلی ویونت

در شبکه استاندارد پسخورد، تابع فعال سازی نرون لایه پنهان، یک تابع سیگموئید است. حال آنکه شبکه های ویونت، توابع موجک را به عنوان توابع فعالسازی نرون های لایه پنهان از شبکه پسخور مورد استفاده قرار می‌دهد[۱۰]. این شبکه در تخمین و تقریب توابع غیرخطی و شناسایی سیستم های دینامیکی کاربرد دارد[۱۱]. شکل ۱، مدل ویونت را نشان می‌دهد.

۳- روش پیشنهادی

۳-۱- بلوک دیاگرام پیشنهادی

بلوک دیاگرام پیشنهادی در شکل ۲ آورده شده است. در این بلوک بخشهای مختلفی آمده است که در ادامه به توضیح آنها خواهیم پرداخت.



شکل ۲: بلوک دیاگرام روش پیشنهادی

۳-۲- جزئیات ویونت پیشنهادی

مدل ویونت پیشنهادی مطابق شکل ۳ از ۴ لایه تشکیل شده است، که شامل یک لایه ورودی (لایه i)، لایه موجک مادر (لایه j)، یک لایه موجک (لایه k) و لایه خروجی (لایه o) می باشد.

ورودی شبکه e1 و e2 می‌باشد. برای هر گره i در لایه ورودی، ورودی شبکه و خروجی های شبکه مطابق زیر است:

$$net_i^1 = x_i^1 \qquad (۱)$$
$$y_i^1 = f_i^1(net_i^1) = net_i^1, \quad i = 1,2$$

در حالی که $x_1^1 = e1$ و $x_2^1 = e2$ است.

گروهی از موجکها توسط اعمال مقیاس و انتقالات روی یک تابع ثابت که موجک مادر نامیده می‌شود، ساخته می‌شود. در لایه موجک مادر، هر گره نقش موجک φ_j را که از موجک مادرش استخراج شده است، اجرا می‌کند.

موجک مادری که در این روش بکار می رود مشتق اول تابع گوسین $\phi(x) = -x\, e^{-x^2/2}$ می‌باشد [۶].

برای گره jام داریم:

$$net_j^2 = \frac{x_i^2 - m_{ij}}{\sigma_{ij}} \qquad (۲)$$
$$y_j^2 = f_j^2(net_j^2) = \emptyset_j(net_j^2), j = 1, \dots, n$$

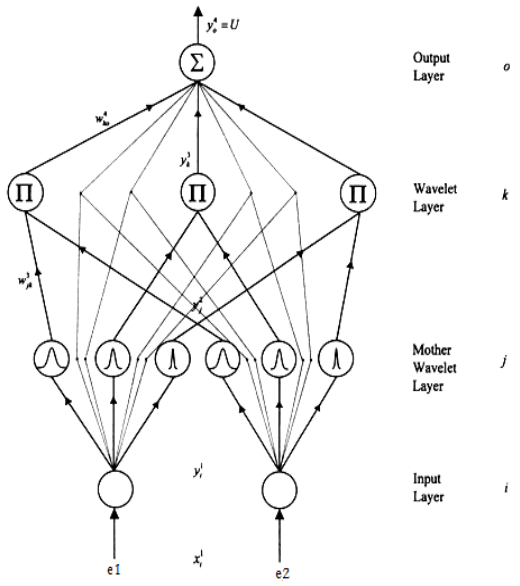
m_{ij} و σ_{ij} پارامتر انتقال و مقیاس در ترم jام از ورودی iام x_i^2 به گره لایه موجک مادر می‌باشد و n تعداد کلی موجکها با توجه به گره های ورودی است. بعلاوه، هر گره k در لایه موجک توسط Π نشان داده شده است که سیگنالهای ورودی و خروجی ها را ضرب می‌کند. برای kامین گره داریم:

$$net_k^3 = \prod_j w_{jk}^3 x_j^3, \qquad (۳)$$
$$y_k^3 = f_k^3(net_k^3) = net_k^3, \quad k = 1, \dots, l$$

x_j^3 ورودی j ام به گره لایه موجک می‌باشد. w_{jk}^3 وزنهای بین لایه موجک مادر و لایه موجک می‌باشد و واحد فرض شده است. $l = n/i$ تعداد موجکها است که هر گره ورودی همان تعداد گره های موجک مادر را دارد. تک گره o در لایه خروجی بصورت Σ علامت گذاری شده است، که خروجی کلی را با جمع همه سیگنالهای ورودی محاسبه می‌کند:

$$net_o^4 = \sum_k w_{ko}^4 x_k^4, \qquad (۴)$$
$$y_o^4 = f_o^4(net_o^4) = net_o^4, \quad o = 1$$

w_{ko}^4 وزن متصل کننده خروجی oام بدست آمده به موجک kام است. x_k^4 ورودی kام به گره لایه خروجی، و $y_o^4 = U$ خروجی می‌باشد.



شکل ۳: ساختار شبکه عصبی موجک چهار-لایه[۶]

۳-۳- مکانیزم آموزش on line

روش مورد استفاده برای بروز رسانی وزنها و پارامترها در شبکه به این صورت می‌باشد که ابتدا خطا را از تابع هدف استخراج می کنیم و سپس با قانون یادگیری بازگشتی ، خطا را به همه گره ها و پارامترها اعمال می‌کنیم. مکانیزم آموزش on-line شبکه ویونت با استفاده از روش شیب گرادیان با سرپرست انجام شده است. ابتدا تابع هدف بصورت $E = 0.5\, e^2$ تعریف می شود. وخطا (e) به صورت رابطه‌ی (۵) تعریف می‌شود.

$$e = \Theta_t - \Theta_o \qquad (۵)$$

در این رابطه، Θ_t سیگنال تارگت (گفتار آلوده به نویز) و Θ_o سیگنال خروجی شبکه می‌باشد. مکانیزم آموزش on-line مبتنی بر الگوریتم پس انتشار خطا می‌باشد.

۴-۳- منبع نویز

در این بخش برای منبع نویز دو فرض وجود دارد:

حالت اول نویز با دسترسی مستقیم: در محیط هایی که نویز وجود دارد وگوینده در حال صحبت می باشد؛ با ضبط نویز پس زمینه در لحظات سکوت گوینده، می‌توانیم نویز محیط را بدست آوریم.

حالت دوم نویز بدون دسترس مستقیم: در مواردی که به عنوان مثال گفتار ضبط شده‌ی نویزی در دست داریم و هدف حذف یا کاهش نویز آن می‌باشد، دستیابی مستقیم به نویز زمینه در گفتار امکان ندارد باید با استفاده از روشهای تخمین نویز، به تخمین نویز زمینه پرداخت. دراین قسمت تخمین نویز با استفاده از تبدیل موجک صورت گرفته است.

۴- نتایج آزمایشات

در این قسمت مراحل پیاده سازی روش پیشنهادی به تفضیل بیان خواهد شد. نتایج حاصل از آزمایشات عملکرد مطلوب روش پیشنهادی را نشان می‌دهند.

در این مقاله از دادگان فارسی استفاده شده است. قبل از هر چیز لازم است فرضیات اساسی به کار رفته در روش پیشنهادی مطرح شود. در روش پیشنهادی فرض می‌شود که مولفه های سگینال تمیز مستقل از همدیگر هستند. فرض دیگر این است که نویز از سیگنال تمیز مستقل می‌باشد و همچنین نویز به صورت سیگنالی جمع شونده بر سیگنال گفتار سوار شده و گفتار آلوده-ی نویزی را بوجود آورده است.

سیگنال گفتار تمیز s(n) در اثر جمع شدن با نویز n(n) سیگنال نویزی y(n) را طبق رابطه (۶) تولید کرده است.

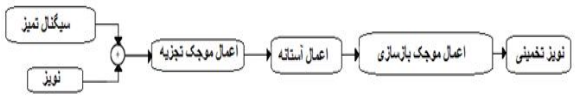
$$y(i) = s(i) + n(i) \qquad (۶)$$

در این مقاله همانطور که گفته شد، دو روش برای دسترسی به نویز، نویز با دسترسی مستقیم و نویز بدون دسترسی مستقیم، در نظر گرفته شده است. در حالت نویز با دسترسی مستقیم دست یافتن به نویز به روشی که قبلا بیان شد؛ کار ساده‌ای خواهد بود. در حالت دسترسی غیرمستقیم به نویز، باید نویز تخمین زده شود که در این حالت برای تخمین نویز از تبدیل موجک گسسته استفاده کرده ایم. به این ترتیب که ابتدا از سیگنال آلوده به نویز، تبدیل موجک گرفته ایم. پس از انتقال سیگنال به فضای موجک، چندین مجموعه ضرایب بدست می آید که هر مجموعه مربوط به یک محدوده فرکانسی خاص می‌باشند.

انرژی سیگنال غالبا در تعداد کمی از ضرایب تبدیل موجک متمرکز می‌باشند. این ضرایب نسبت به ضرایب تبدیل موجک نویز، بزرگتر هستند[۸]. بنابراین می‌توان با صفر کردن ضرایب بزرگتر و اعمال عکس تبدیل موجک، سیگنال نویز را تخمین زد. در اینجا گفتار نویزی y به کمک موجک دابیشز۵ تجزیه شده است. نتایج بدست آمده نشان داده است که به ازای ۹مرحله تجزیه سیگنال y، بیشترین افزایش سیگنال به نویز را خواهیم داشت. حاصل تبدیل موجک سیگنال y در رابطه (۷) آمده است.

$$\hat{y} = [A_9, D_9, D_8, D_7, D_6, D_5, D_4, D_3, D_2, D_1] \qquad (۷)$$

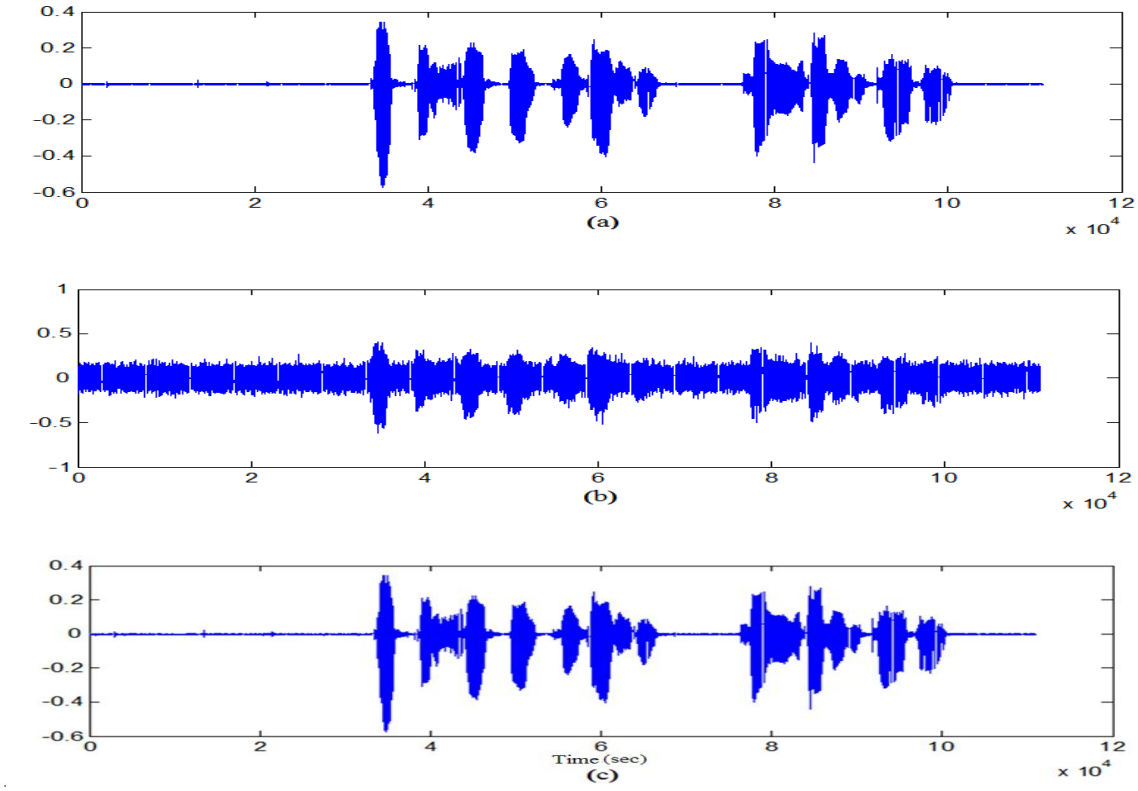
در این قسمت با استفاده از حد آستانه‌ی پیشنهادی Donoho [۶] و[۷]، آستانه را بدست آورده و آنرا بر روی ضرایب $\hat{y}$ اعمال کرده‌ایم. ضرایب بزرگتر از حد آستانه (T) را صفر در نظر گرفته-ایم.



شکل ۴: خلاصه روند طی شده در تخمین نویز روش پیشنهادی

در نهایت از سیگنال باقی‌مانده عکس تبدیل موجک گرفته و بدین ترتیب نویز سوار بر سیگنال را تخمین خواهیم زد. خلاصه-ی روند طی شده در شکل ۴ مشاهده می‌شود.

شکل ۵ در قسمت (a) نمایش دامنه‌ی سیگنال گفتار بدون نویز در حوزه زمان آورده شده است. در قسمت (b) این سیگنال که با نویز سفید گوسی آغشته شده است، را نشان می‌دهد. قسمت (c) گفتار بهبود یافته حاصل از روش پیشنهادی را نشان می‌دهد.



شکل ۵ : نمایش سیگنال گفتار تمیز(a) و گفتار آغشته به نویز سفید گوسی(b) و گفتار بهبود یافته (c)

برای بررسی بهبود یا عدم بهبود روش پیشنهادی، سه روش دیگر بهسازی گفتار پیاده سازی شدند و روش پیشنهادی با این سه روش مقایسه گردیده است. نتایج این مقایسه ها در این بخش آورده شده است. در ابتدا با استفاده از شبکه عصبی آدالاین[۸]، عمل حذف نویز بر روی سیگنال نویزی گفتار فارسی انجام و نتایج آن مورد بررسی قرار گرفته خواهد شد. در روش دوم، از ترکیب شبکه‌ی عصبی و تبدیل موجک[۲] استفاده شده است. به این صورت که از ورودی‌های شبکه قبل از ورود به شبکه، تبدیل موجک گرفته خواهد شد. در نهایت برای رسیدن به سیگنال گفتار مطلوب از خروجی این شبکه تبدیل موجک عکس گرفته می‌شود. در روش سوم از تبدیل موجک برای بهسازی گفتار[۹] استفاده شده است. در این روش ، بهسازی گفتار و کاهش نویز، با استفاده از مشخص کردن حدآستانه به کمک ضرایب تبدیل موجک نویز انجام شده است. در آزمایش های مختلف، سه نویز سفید گوسی، جنگنده F16 و همهمه در سه سطح سیگنال به نویز ۵-، ۱۰- و۵ به گفتار اضافه گردیده است. مقایسه عملکرد روش پیشنهادی با سایر روشها به کمک معیار سیگنال به نویز (SNR) نشاندهنده عملکرد مطلوب آن می‌باشد. نتایج حاصل از پیاده سازی این روشها در جدول ۱ و ۲ و۳ آمده است.

جدول۱: مقایسه روش پیشنهادی با روش های آدالاین، آدالاین و موجک، موجک و ویونت پیشنهادی الف وب بر حسب SNR برای نویز سفید گوسی

Input SNRs(dB)↓ Methodes→	Output SNRs(dB) ↓				
	Adaline	Adaline & wavelet	Wavelet	Wavenet (a)	Wavenet (b)
-۵	۹.۱۶	-۲.۰۲	۲.۵	۶.۱۲	۲.۵۷
-۱	۴.۵	۱.۶۱	۴.۷	۹.۰۱	۴.۹
۵	۶.۲۴	۶.۲۵	۹.۱	۱۵.۱۴	۸.۶۳

جدول۲ : مقایسه روش پیشنهادی با روش های آدالاین، آدالاین و موجک، موجک و ویونت پیشنهادی الف وب بر حسب SNR برای نویز همهمه

Input SNRs(dB)↓ Methodes→	Output SNRs(dB) ↓				
	Adaline	Adaline & wavelet	Wavelet	Wavenet (a)	Wavenet (b)
-۵	-۱.۹۷	-۱.۹۳	-۴.۸	۵.۰۲	- ۴.۸
-۱	۱.۶۶	۱.۶۵	-۰.۵	۸.۵۳	-۰.۸
۵	۶.۲۵	۶.۲۱	۵.۵	۱۴.۴۸	۵.۲

جدول ۳: مقایسه روش پیشنهادی با روش های آدالاین، آدالاین و موجک، موجک و ویونت پیشنهادی الف وب بر حسب SNR برای نویز F16

Input SNRs(dB)↓ Methodes→	Output SNRs(dB) ↓				
	Adaline	Adaline & wavelet	Wavelet	Wavenet (a)	Wavenet(b)
-۵	-۱.۹	-۲.۰۱	-۳.۵	۴.۵	-۳.۱۷
-۱	۱.۷۲	۱.۶۸	۰.۵۹	۸.۳	۲.۶۴
۵	۶.۳	۶.۲۵	۶.۲۶	۱۴.۱	۶.۴۶

در این جدولها، wavenet (a) به روش پیشنهادی ما در حالت اول و wavenet (b) به روش پیشنهادی ما در حالت دوم اشاره دارد. همانطورکه قبلا بیان شد، برای روش پیشنهادی، سیگنال خطایی تعریف شد که هدف ما در اجرای این روش، به حداقل رساندن این سیگنال می‌باشد. معیار متوسط مربع خطا (MSE) در چهار روش شبکه عصبی آدالاین، ترکیب آن با موجک، ویونت با نویز حالت مستقیم و حالت غیرمستقیم ، در جدول ۴ آورده شده است. ابتدا الگوریتم آموزش همه‌ی روشها را تا ۵ بار تکرار کرده‌ایم. نتایج MSE بدست آمده نشان می‌دهد، هر دو روش پیشنهادی سیگنال خطای کوچکتری نسبت به دو روش دیگر ایجاد کرده اند و این نشان دهنده‌ی دقت شبکه‌ی پیشنهادی ما در تکرارهای پایین می‌باشد. همین فرایند را تا ده مرحله تکرار برای هر چهار روش انجام دادیم. همچنان روش پیشنهادی کمترین معیار خطا را ایجاد کرده است[۱۲].

جدول ۴ : مقایسه MSE روش پیشنهادی با روش های آدالاین، آدالاین و موجک و ویونت پیشنهادی الف وب بر حسب تعداد تکرارهای مرحله آموزش

Number of Iterations↓ Methodes→	MSE (Mean squared normalized error) ↓			
	Adaline	Adaline & wavelet	Wavenet (a)	Wavenet(b)
۵	۰.۰۰۴۴	۰.۰۰۴۴	۳.۸e-۰۰۴	۵.۷e-۰۰۶
۱۰	۰.۰۰۳۳	۰.۰۰۳۴	۳.۱e-۰۰۴	۴.۱۳e-۰۰۶

۵- نتیجه‌گیری

همانطور که از نتایج مشاهده می‌شود، ویونت پیشنهادی در این مقاله می‌تواند نویز را از سیگنال آلوده نویزی حذف کند. در این مقاله دوحالت برای دسترسی ما به نویز در نظر گرفته شد. در حالت اول به دسترسی مستقیم به نویز و در حالت دوم به دسترسی غیرمستقیم به نویز اشاره شد. در حالت دسترسی غیر مستقیم از تخمین نویز استفاده کردیم. این تخمین را با استفاده از موجک دابیشز ۵ انجام داده ایم. هدف ما از بکارگیری ویونت، بالابردن دقت سیگنال گفتار بهبود یافته می‌باشد.

برای پیاده سازی روش پیشنهادی، سیگنال گفتار تمیز با سه نویز سفید گوسی، همهمه و F16 و در چهار سطح سیگنال به نویزهای ۵-، ۱۰-، ۵ و ۱۰ جمع گردید و سپس با معیار سیگنال به نویز به ارزیابی روش پرداخته شد. همچنان نتایج روش پیشنهای با سه روش معروف دیگر بهسازی گفتار (شبکه عصبی آدالاین و ترکیب آدالاین و موجک و روش موجک) مقایسه شد. بررسی نمودارها و جداول موجود، نشان می‌دهد که روش پیشنهادی ما عملکرد مطلوبی در مقایسه با سایر روشها خواهد داشت.

منابع

[1] Wiener. N, (1949), Extrapolation, Interpolation and Smoothing of Stationary Time Series: Engineering Application, MIT Press, Cambridge, Mass

[2] kh. d. ibrahim, N. abu-isbeih and m. alfauri, speech Signal Enhancement Using Neural Network and Wavelet Transform, epartment of Communication and Electronics Engineering, Philadelphia University, P.O.Box 1, Amman .19392, Jordan, 2009 6th International Multi-Conference on Systems , Signals and Devices

[3] Berouti. M and Schwartz. R, Makhoul. J and Cambridge . M. A, (1979) , Enhancement of Speech Corrupted by Acoustic Noise, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, pp. 208-211, Washington,DC, USA

[4] Boll. S ,(1979), Suppression of Acoustic Noise in Speech Using Spectral Subtraction, IEEE Transaction on Aocostic, Speech and Signal Processing, Vol. 27, No. 2, pp. 113-120

[5] Paliwal. K. K and Basu. A, (1987), A Speech Enhancement Method Based on Kalman Filtering, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, pp. 177-180, Dallas, Texas, USA

[6] Jang Wai. R , Ming Chang . J, Intelligent control of induction servo motor drive via wavelet neural network, Elsevier, Electric Power Systems Research 61 (2002) 67–76.

[7] Ganbari.M. Karami-Mollaei, Elsevier, A new approach for speech enhancement based on the adaptive thresholding of the wavelet packets, December2005

[8] Ban Fah.L , Hussain.A & Abdul Samad.S.(2000 IEEE). Speech Enhancement by Noise Cancellation Using Neural Network. Multimedia Signal Processing Research Group Department of Electrical, Electronic & Systems Engineering Faculty o Engineering, Universiti Kebangsaan Malaysia 43600 UKM Bangi, Selangor D.E.

[۹] نصری. م. نظام آبادی .ج. "ارائه یک روش وفقی برای حذف نویز سیگنال در قلمرو موجک" نشریه مهندسی برق و کامپیوتر ایران.شماره۱ بهار ۱۳۸۷

[۱۰] پورتقی. ا. لطف اللهی یقین.م. امین فر.م. قلی زاده.س."ارزیابی کارایی شبکه عصبی موجکی در تخمین نیروها هیدرودینامیکی طولی و عرضی در اعضا استوانه فلز قائم با زبر جزئی"اولین کنفرانس ملی سازه و فولاد

[۱۱] عبداله زاده.م. محجوب.م. زرین قلم.ر."شناسایی سیستم دینامیکی چندورودی چند خروجی"هفدهمین کنفرانس بین المللی ۱۳۸۸

[۱۲] مغانی.س .پایان نامه "بهسازی گفتار با استفاده از ویونت". دانشگاه شاهرود. تابستان ۱۳۹۱