

مدل سازی جامع تغلیظ کننده های فیلم ریزشی چهار مرحله ای به کمک ویولتها

مهدی دهقانی^۱، سیدعلی اکبر صفوی^{۲*}

۱- تبریز، دانشگاه تبریز، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، گروه مهندسی برق- کنترل

۲- شیراز، دانشگاه شیراز، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، بخش مهندسی قدرت و کنترل

پیام نگار: safavi@shirazu.ac.ir

چکیده

به دلیل بکارگیری گسترده و روز افزون تغلیظ کننده های فیلم ریزشی چند مرحله ای در صنایع غذایی، مدل سازی دقیق این فرایند از اهمیت بالایی برخوردار است. امروزه مدل سازی ابعاد مختلف تغلیظ کننده های فیلم ریزشی، بیشتر با استفاده از مدل سازی خطی و یا با استفاده از مدل های مبتنی بر قوانین طبیعی انجام می گیرد که از دقت لازم در تعیین متغیرهای خروجی فرایند برخوردار نیستند. با توجه به پیچیدگی و ناخطی بودن معادلات حاکم بر این گونه فرایندها استفاده از روش های پیشرفته جهت آنالیز داده ها، حذف سروصدا، تقریب تأخیر زمانی، و همچنین، یک مدل سازی جامع ضروری است. از آنجا که فرایندهای مدل سازی و حذف سروصدا، ذاتاً زمان بر هستند، انجام همزمان آنها و نیز تخمین مستقل تأخیر زمانی باعث کاهش قابل توجه در زمان مدل سازی و دقت بهتر و جامعیت فرایند مدل سازی جهت کاربردهای مختلف می شود. در این مقاله ابتدا با استفاده از آنالیز وابستگی داده ها، ساختار مناسب مدل سازی، طراحی و پس از آن به کمک ویولتها^۱ و شبکه های عصبی مبتنی بر ویولت که ویولت^۲ نامیده می شوند، تخمین تأخیر زمانی و حذف سروصدا از داده های عملیاتی همزمان با مدل سازی در یک سیستم تغلیظ کننده فیلم ریزشی چند مرحله ای انجام می گیرد. نتایج حاصله و مقایسه با روش های دیگر کارآمدی این نگاه جامع به مدل سازی با ابزار ویولت را نشان می دهد.

کلمات کلیدی: تغلیظ کننده فیلم ریزشی، حذف سروصدا، ویولت، ویولت، تأخیر زمانی، خود شبیهی، طیف همپوشانی

۱- مقدمه

تغلیظ کننده ها دارا می باشند. به دلیل کاربرد فراوان تغلیظ کننده های فیلم ریزشی چند مرحله ای در صنایع غذایی، مطالعه و تحلیل مدل دینامیکی که با استفاده از آن بتوان عملکرد فرایند را به طور دقیق بررسی کرد، از اهمیت بالایی برخوردار است [۱]. تاکنون مطالعات مختلفی در زمینه مدل سازی تغلیظ کننده ها انجام گرفته است. جانسون در ۱۹۶۰ یک مدل تجربی (مدل جعبه سیاه) برای تغلیظ کننده های فیلم ریزشی ارائه داد، این مدل به صورت معادلات

فرایند تبخیر، حذف حلال موجود در یک محلول چند جزئی از طریق تولید بخار است. تبخیر، یک عملیات تغلیظ کلیدی در صنایع خشک کن محسوب می شود. تغلیظ کننده ها انواع گوناگونی دارند که تغلیظ کننده های فیلم ریزشی بیشترین کاربرد را از بین انواع

1. Wavelets
2. Wavenet

مبتنی بر انجام صاف کردن داده‌ها هستند [۹]. در روش مدل‌سازی و حذف سروصدا همزمان با مدل‌سازی، حذف سروصدا توسط ویولتها همزمان با مدل‌سازی انجام می‌گیرد که می‌تواند موجب سرعت عمل بیشتر و کارایی بهتر گردد.

از سوی دیگر انتخاب درست ساختار مدل یک فرایند صنعتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تشخیص نوع وابستگی داده‌ها و انتخاب بهینه ورودی‌ها و خروجی‌های فرایند مدل‌سازی باید با دقت مناسب و همراه با بررسی خواص سیستم و ارتباط داده‌ای صورت گیرد. نکته مهم دیگر در فرایند مدل‌سازی، تخمین صحیح میزان تأخیر زمانی موجود در فرایند است که خود نیاز به استفاده از روشها و ابزارهای پیشرفته دارد. توجه صحیح و منطقی به همه این ابعاد می‌تواند زمینه ساز طراحی و اجرای مدل‌های جامع و کارآمد برای فرایند تغلیظ‌کننده فیلم‌ریزی گردد که موضوع اصلی این مقاله است.

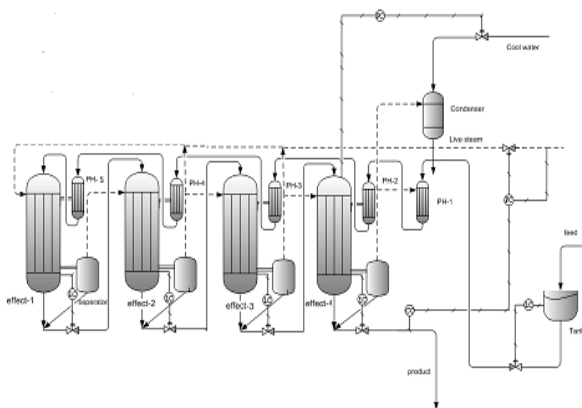
در این پژوهش، فرایند مورد مطالعه، یک تغلیظ‌کننده فیلم‌ریزی چهار مرحله‌ای شیرخشک صنعتی است که داده‌های واقعی عملکرد این تغلیظ‌کننده قبلاً گردآوری شده است. ابتدا با بررسی داده‌های آزمایشگاهی تبخیرگر آنالیز وابستگی بر روی آنها به منظور تعیین ساختار مناسب مدل و بررسی ارتباط خروجی با گذشته سیستم با در نظر گرفتن ماهیت توأم با تأخیر زمانی سیستم انجام می‌گردد. سپس از روی نتایج آنالیز صحت، ساختار مناسب شبکه عصبی مورد نظر طراحی گردیده و مدل‌سازی بر مبنای آن انجام می‌شود. با توجه به ماهیت سروصدا دار داده‌ها، همزمان با مدل‌سازی عمل حذف سروصدا توسط ویولتها انجام گرفته و مقایسه‌ای بین این نتایج با نتایج مدل‌سازی بدون توجه به وجود سروصدا ارائه می‌گردد. علاوه بر این، چگونگی تخمین مناسب تأخیر زمانی بکمک ویولتها در کاربردهای مختلف به‌عنوان یک تکنیک برتر بیان خواهد شد. در انتهای مباحث، برای روشنتر شدن کارآمدی کاربرد ویولتها، مقایسه نتایج این مدل‌سازی با نتایج به‌دست آمده با استفاده از برخی شبکه‌های عصبی مرسوم انجام خواهد گردید.

این مقاله به‌صورت زیر تنظیم شده است: در بخش ۲ تغلیظ‌کننده مورد مطالعه شرح داده می‌شود. در بخش ۳ آنالیز وابستگی برای تشخیص نوع ارتباط خروجی‌های سیستم با گذشته‌های خروجی‌ها و ورودی‌های آن انجام می‌گردد. پس از آن، با توجه به ماهیت

ریاضی قابل بیان نبود و امکان تعمیم آن به سایر تغلیظ‌کننده‌ها وجود نداشت [۲]. در سال ۱۹۶۱ آندر و ریتز یک سیستم تغلیظ‌کننده دو مرحله‌ای آزمایشگاهی را در حالت دینامیکی مورد بررسی قرار دادند، در این مدل‌سازی، نکته قابل توجه، پیچیدگی معادلات آن بود، به طوری که تغییرات چگالی بخار با زمان در داخل پوسته در نظر گرفته شده بود [۳]. آندرسون در ۱۹۶۱ یک مدل با سه معادله برای تغلیظ‌کننده یک‌مرحله‌ای به دست آورد، در این مدل‌سازی تغییرات فاز بخار با زمان در نظر گرفته نمی‌شد و انتقال گرما از پوسته به لوله‌ها با زمان تغییر نمی‌کرد. مانجاک در سال ۱۹۶۷ یک مدل تحلیلی برای پیش بینی حالت دینامیکی عملیات تبخیر یک مرحله‌ای و چندمرحله‌ای پیشنهاد کرد [۴]. وی، معادلات ناخطی به‌دست آمده در این شبیه‌سازی را خطی کرد به همین خاطر این مدل در موارد صنعتی دقت کافی نداشت. وینچستر در سال ۲۰۰۰ یک مدل دینامیکی برای تغلیظ‌کننده‌های چندمرحله‌ای فیلم‌ریزی ارائه داد. در این تحقیق، اشکالات و نواقص بسیاری که در مدل‌سازی دینامیکی و کنترل تبخیرکننده‌های فیلم‌ریزی در مطالعات پیشین به ویژه در زمینه تولید شیرخشک وجود داشته اصلاح گردیده اما هنوز مشکلات زیادی در مورد تبخیرکننده‌های چندمرحله‌ای به ویژه در زمینه تولید شیر خشک وجود داشت [۵]. در این راستا مطالعات دیگری نیز انجام شده است (برای آشنایی با سایر تحقیقات صورت گرفته به [۶] مراجعه شود). مدل‌سازی تبخیرکننده‌های فیلم‌ریزی به وسیله شبکه عصبی نیز تاکنون انجام شده که از آن جمله می‌توان به مدل‌سازی تغلیظ‌کننده‌های فیلم‌ریزی سه مرحله‌ای به کمک شبکه عصبی در سال ۲۰۰۳ اشاره کرد [۷]. این مدل‌سازی، اشکالات ناشی از خطی‌سازی و ضعفهای مدل دینامیکی را مرتفع کرد.

از سوی دیگر، استفاده از شبکه‌های عصبی مبتنی بر ویولت جهت مدل‌سازی فرایندهای مختلف نیز اخیراً مورد توجه قرار گرفته اند که اساس کار این روش در [۸] بررسی شده است. در این روش از ویژگی‌های ویولت جهت ایجاد شبکه‌های عصبی استفاده می‌گردد که برتری‌های محسوسی نسبت به شبکه‌های عصبی معمولی دارند. در عین حال با توجه به اینکه داده‌های صنعتی عموماً حاوی سروصدا هستند مدل‌سازی با این گونه داده‌ها نیاز به اعمال روش‌های حذف سروصدا قبل از مدل‌سازی یا همزمان با آن دارد. این روش‌ها عموماً

تغییرات به صورت نويز و تداخل در نظر گرفته شده اند. در ساير خروجی‌ها نیز نتایج ثبت شده بر اساس محاسبه T_5 بر اثر تغییر T_2 و محاسبه T_6 بر اثر تغییر T_3 بوده است. بدین ترتیب ۳ شبکه SISO (تک ورودی تک خروجی) به صورت مجزا داریم که به ترتیب شبکه N_1 شامل ورودی T_1 و خروجی T_4 ، شبکه N_2 شامل ورودی T_2 و خروجی T_5 و شبکه N_3 شامل ورودی T_3 و خروجی T_6 خواهند بود (برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد سیستم و داده‌های مربوطه به مرجع [۱۰] رجوع شود).



(الف)



(ب)

شکل ۱- تغلیظ‌کننده فیلم‌ریزشی چهار مرحله‌ای (الف) نمای اجمالی (ب) شکل واقعی

۳- آنالیز داده‌ای در سیستم تبخیرگر

با توجه به اینکه برای انجام مدل‌سازی، داشتن آگاهی از وابستگی داده‌ها به هم و مجموعه داده‌های عاری از سروصدا ضروری است، در این بخش ابتدا آنالیز وابستگی بر روی داده‌ها انجام می‌شود و سپس روش‌های حذف سروصدا در داده‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

سروصدادار داده‌ها به موضوع قابلیت حذف سروصدا از داده‌ها توسط ویولت‌ها اشاره می‌شود. در بخش ۴ با استفاده از داده‌های سروصدا دار موجود عمل مدل‌سازی فرایند همزمان با حذف سروصدا به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی مبتنی بر ویولت انجام می‌گیرد. در بخش ۵ نتایج حاصله با نتایج مدل‌سازی انجام شده توسط چند شبکه عصبی معمولی مقایسه می‌شود. بخش ۶ به موضوع محاسبه تأخیر زمانی این فرایند به کمک ویولت‌ها می‌پردازد. نتایج حاصل از این تحقیق نیز در بخش ۷ به صورت مجمل ارائه می‌شود.

۲- تغلیظ‌کننده مورد مطالعه

سیستم مورد مطالعه یک تغلیظ‌کننده فیلم‌ریزشی چهار مرحله‌ای است که برای کاهش حجم مایع موجود در یک محصول (به طور نمونه کاهش آب موجود در شیر) به کار می‌رود. در تغلیظ‌کننده فیلم‌ریزشی چهار مرحله‌ای شیر، خوراک ورودی ابتدا در پیش‌گرم‌کن اول توسط بخاری که از جداکننده مرحله چهارم خارج می‌شود گرم شده، سپس در پیش‌گرم‌کن‌های دوم و سوم و چهارم و پنجم که به ترتیب توسط بخار مراحل چهارم و سوم و دوم و اول گرم می‌شوند دمای خوراک به دمای مناسب می‌رسد. سپس خوراک توسط پمپ به درون تغلیظ‌کننده مرحله اول انتقال یافته و از طریق توزیع‌کننده خوراک به روی لوله‌های تغلیظ‌کننده سرریز می‌شود. این تغلیظ‌کننده دارای پیچیدگی‌های بیشتری نسبت به گونه‌های با تعداد مراحل کمتر است. داده‌های این مقاله از نمونه عملکرد واقعی سیستم جمع‌آوری شده اند. بدلیل عملی بودن و پیچیدگی داده‌ها مطالعات مختلفی در این مقاله در مدنظر قرار می‌گیرد.

این سیستم دارای ۳ ورودی و ۳ خروجی است، ورودی‌ها به ترتیب شامل T_1 (شدت جریان خوراک ورودی به تبخیرکننده اول)، T_2 (شدت جریان بخار ورودی به تبخیرکننده اول) و T_3 (آب سرد ورودی) هستند. خروجی‌ها شامل T_4 (محتوای مواد تبخیر شده خروجی)، T_5 (شدت جریان خوراک خروجی) و T_6 (دمای خروجی) هستند. تعداد داده‌های صنعتی این تحقیق ۶۰۰۰ نمونه است [۱۰] که ثبت آن‌ها به صورت SISO^۱ انجام گرفته است، به این معنی که در هنگام تغییر T_1 فقط تغییرات T_4 ثبت شده است، به این دلیل که هدف، بررسی تغییرات T_4 بر اثر تغییرات T_1 بوده است و سایر

1. Single Input Single Output

۳-۱- آنالیز وابستگی داده ها

جهت بررسی ارتباط بین متغیرهای سیستم از آنالیز وابستگی استفاده می‌شود. روش‌های مختلفی برای تعیین ارتباط متغیرهای مختلف سیستم وجود دارد که این روش‌ها با توجه به ماهیت داده‌ها و نوع وابستگی بین آنها متفاوت می‌باشند. یکی از مناسبترین این روش‌ها Pearson product-moment نام دارد که از نسبت ماتریس کوواریانس متغیرهای سیستم به حاصل ضرب انحراف معیار استاندارد آنها به دست می‌آید [۱۰].

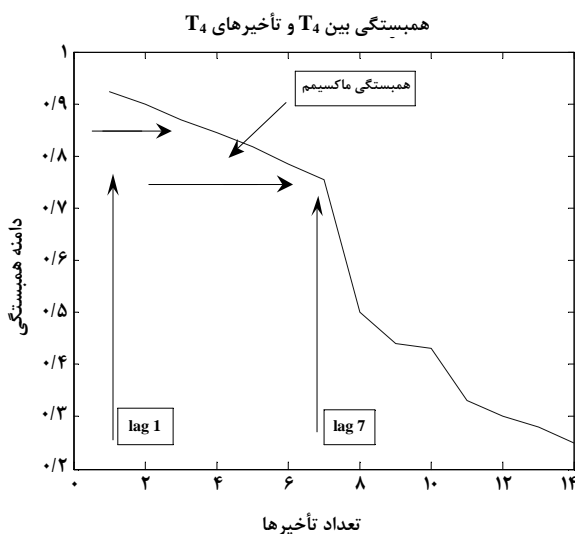
ضریب وابستگی بین دو متغیر X و Y با امیدهای ریاضی μ_X (Expected Value) و μ_Y و انحراف‌ها از معیار استاندارد σ_X و σ_Y به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\rho_{X,Y} = \frac{COV(X,Y)}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{E((X - \mu_X)(Y - \mu_Y))}{\sigma_X \sigma_Y} \quad (1)$$

این ضریب بر طبق قضیه (Cauchy-Schwarz) همواره اندازه‌ای کوچکتر از یک دارد که هر چه اندازه آن به یک نزدیکتر باشد بیانگر ارتباط بیشتر بین متغیرهای سیستم است [۱۰]. در سیستم‌های چند متغیره این ضرایب در قالب یک ماتریس مربعی ارائه می‌شود که درایه a_{ij} آن نشان‌دهنده ارتباط بین داده‌های مورد نظر می‌باشد. این کار می‌تواند با استفاده از نرم‌افزار MATLAB انجام شود [۱۱]. در این مقاله از آنجایی که این ارتباط از تحقیقات قبل شناخته شده بود نیازی به انجام این آزمایش نبود. اما برای تشخیص وابستگی هر متغیر با گذشته‌های خود به جهت ماهیت تأخیر دار سیستم از این آنالیز استفاده می‌گردد [۱۲].

(۶ مقدار تأخیر یافته اول) و ۲ مقدار تأخیر یافته از ورودی (تأخیر یافته‌های اول و دوم) ارتباط دارند. به‌عنوان نمونه، ماتریس و نمایش گرافیکی مربوط به وابستگی خروجی T_4 با مقادیر تأخیر یافته خود در قالب شکل (۲) و ماتریس بالا بهتر نمایان شده است. در این ماتریس سطرها به ترتیب شامل خروجی و مقادیر تأخیر یافته آن هستند (ماتریس‌های وابستگی و برنامه‌های مربوط بطور کامل در [۱۳] موجود هستند).

علت اینکه خروجی بیش از آنکه به ورودی و مقدار تأخیر یافته‌های آن ارتباط داشته باشد به مقادیر تأخیر یافته‌های خود خروجی ربط دارد به ماهیت سیستم و خصوصاً طبیعت دارای تأخیر زمانی آن برمی‌گردد. در این سیستم به علت وجود تأخیر زمانی، مدتی طول می‌کشد که تا تأثیر ورودی در خروجی مشاهده شود و در این مدت، خروجی، بیشتر متأثر از مقادیر تأخیر یافته‌های خود است. این مطلب به صورت مفصل در محاسبه تأخیر زمانی این تغلیظ کننده در [۱۴] مورد توجه قرار گرفته است. در بخش ۶ به صورت خلاصه این مساله بررسی خواهد شد.



شکل ۲- وابستگی بین خروجی T_4 و مقادیر تأخیر یافته‌های آن

خروجی	lag1	lag2	lag3	lag4	lag5	lag6	lag7	
1	0.3	0.25	0.32	0.22	0.29	0.34	0.0007	
lag1	0.3	1	-0.32	0.0016	0.07	-13	0.09	0.08
lag2	0.25	-0.32	1	0.03	-0.055	0.21	0.11	0.05
lag3	0.32	0.0016	0.03	1	-0.04	0.13	0.006	-0.1
lag4	0.22	0.07	-0.055	-0.4	1	0.07	0.0032	0.12
lag5	0.29	-13	0.21	0.13	0.07	1	-18	0.07
lag6	0.34	0.09	0.11	0.006	0.0032	-18	1	0.09
lag7	0.0007	0.08	0.05	-0.1	0.12	0.07	0.09	1

ماتریس وابستگی =

۳-۲- سروصدا در سیستم مورد مطالعه

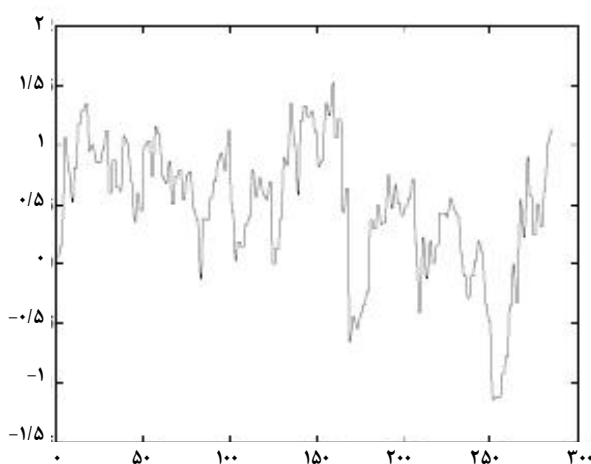
همواره جهت انجام مدل‌سازی تجربی فرایندها نیاز به جمع‌آوری داده‌های عملی از فرایند واقعی می‌باشد. این داده‌ها پایه‌های اصلی مدل‌سازی را تشکیل می‌دهند. از طرفی داده‌هایی که در عمل جمع‌آوری می‌شوند غالباً نیاز به پالایش قبل از استفاده در

با انجام آنالیز وابستگی مشخص می‌شود که T_4 با ۷ مقدار تأخیر یافته از خروجی (۷ مقدار تأخیر یافته اول) و ۲ مقدار تأخیر یافته از ورودی (تأخیر یافته‌های سوم و چهارم)، T_5 با ۸ مقدار تأخیر یافته از خروجی (۸ مقدار تأخیر یافته اول) و ۲ مقدار تأخیر یافته از ورودی (تأخیر یافته‌های دوم و سوم) و T_6 با ۶ مقدار تأخیر یافته از خروجی

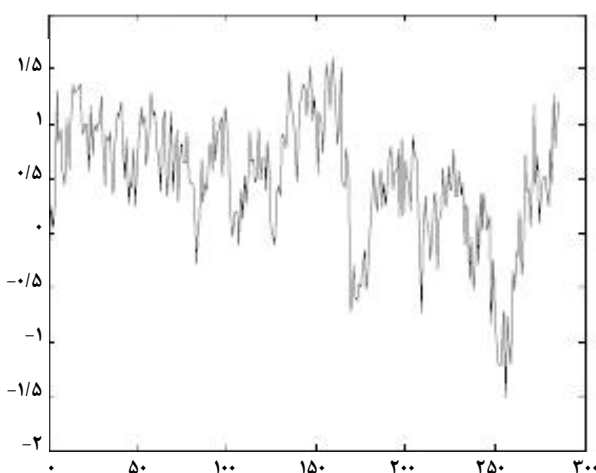
۴- مدل‌سازی و حذف سروصدا همزمان به وسیله ویونت

۱-۴ ویولتها

ویولتها دسته ای از توابع پایه ای هستند که برای بیان و تقریب سایر توابع بکار می‌روند. این پایه‌ها نسبت به سایر توابع پایه ای مانند فوریه دارای ویژگی‌هایی همچون رفتار محلی^۶ در حوزه زمان و فرکانس و ساختار مبتنی بر تقریب با کیفیت‌های متفاوت^۷ هستند. برای آشنایی بیشتر با این پایه‌های متعامد و خصوصیات آنها به مرجع شماره [۱۹] رجوع شود. شرح مختصر ویولتها و آنالیز چند مقیاسی در ادامه ارائه می‌گردد.



شکل ۳- داده‌های سروصدا دار خروجی T_4



شکل ۴- داده‌های حذف سروصدا شده خروجی T_4

مدل‌سازی دارند در غیر این صورت مدل ساخته شده ممکن است به صورت مناسب رفتار فرایند اصلی را نشان ندهد. وجود سروصدا در این داده‌ها امری طبیعی است که نیاز به توجه خاص دارد. ماهیت سروصدا و ویژگیهای آن دارای دسته بندیهای متفاوتی است و برای فرایندهای مختلف نیز دارای تفاوتی می‌باشد. برای آشنایی با سروصدا و انواع آن و کاربرد ویولتها در حذف نویز به مرجع شماره [۱۵] مراجعه شود. در اینجا صرفاً به بحث سروصدا موجود در این سیستم و نحوه حذف آن پرداخته می‌شود.

در سیستم تبخیرگر سروصداها ناشی از عوامل انسانی^۱ یا صنعتی که به دو صورت خارجی و داخلی هستند وجود دارند و در هر دو حالت از انواع سروصدا ناشناخته^۲ و جمع شونده^۳ می‌باشند [۲]. در بررسی داده‌های صنعتی تبخیرگر مشاهده گردید که اطلاعات بدست آمده حاوی سروصدا است. این سروصدا به دلیل ایراد حسگرها^۴ در مدت طولانی کار بوده که علت آن گرفتگی حسگرها بخاطر ذرات معلق ناشی از غلیظ شدن مایع بر اثر فرایند تبخیر است و باعث می‌شود اندازه گیری به درستی انجام نشود (سروصدا صنعتی) [۱۶].

در گذشته روش‌های کلاسیک متعددی برای حذف سروصدا وجود داشت که عموماً مبتنی بر صاف کردن بود و مطرح ترین آن‌ها صافی وینر^۵ نام داشت. این روش بر مبنای تجزیه فوریه صورت می‌گرفت. امروزه با توسعه ویولتها و کاربردهای آنها یکی از موثرترین روشهای حذف سروصدا، حذف سروصدا مبتنی بر ویولتها است. یکی از روشهای مرسوم حذف سروصدا به کمک ویولتها، Wavelet shrinkage نام دارد که بر اثر تحقیقات دنوهو و جانستون به دست آمده است. این روش در مقایسه با روش‌های دیگر حذف سروصدا در سیستم تبخیر کننده عملکرد بهتری دارد. تشریح کامل این روش در [۱۷] و [۱۸] آمده است. جهت بررسی چگونگی فرایند حذف سروصدا در تبخیرگر با استفاده از ویولت، این فرایند بر روی یکی از خروجی‌های سیستم اعمال (T_4) گردیده و نتایج در شکل (۳) و (۴) نمایش داده شده است.

1. Man-Made
2. Unknown Noise
3. Additional
4. Sensors
5. Wiener Filter

6. Locality
7. Multiresolution Approximation

۴-۲ شبکه‌های عصبی مبتنی بر ویولت (ویونت)

شبکه‌های عصبی مبتنی بر ویولت که ویونت نامیده می‌شوند از ترکیب دو نظریه ویولتها و شبکه‌های عصبی بوجود آمده‌اند [۲۰ و ۱۹]. این شبکه‌ها هم از مزایا و ویژگیهای شبکه‌های عصبی برخوردارند و هم جذایبیتها و انعطاف پذیریهها و مبانی ریاضی مستحکم ویولتها و آنالیز چند مقیاسی را دارا می‌باشند. در ویونت‌ها از دو دسته توابع ویولت و توابع مقیاس^۱ استفاده می‌شود. یک خانواده از توابع مقیاس $\phi(x)$ به صورت زیر معرفی می‌شوند:

$$\phi_{m,k}(x) = 2^{-m/2} \phi(2^{-m}x - k) \quad m, k \in \mathbb{Z} \quad (2)$$

اگر $\phi(x)$ را یک تابع مقیاس مادر در نظر بگیریم، مقادیر 2^{-m} و k به ترتیب مربوط به گسترش^۲ و انتقال^۳ تابع مقیاس مادر هستند. توابع مقیاس رزولوشن m ، $\phi_{m,k}(x)$ ، در اصل پایه‌های متعامد فضای برداری V_m در رزولوشن m می‌باشند. به عبارتی فضای برداری V_m حاوی کلیه تقریب‌های تابع $f(x)$ با رزولوشن m و توسط توابع $\phi_{m,k}(x)$ می‌باشد. بنابراین فضاهای برداری $\{V_m\}$ حاوی تقریب‌های مختلف تابع $f(x)$ در رزولوشنهای مختلف می‌باشند. حال اگر w_m را فضای برداری متعامد با V_m در رزولوشن m فرض کنیم آنگاه می‌توانیم دسته ای دیگر از پایه‌های متعامد فضای w_m را که ویولت $\psi(x)$ نامیده می‌شوند نیز به صورت زیر بیان کنیم [۱۹]:

$$\psi_{m,k}(x) = 2^{-m/2} \psi(2^{-m}x - k) \quad m, k \in \mathbb{Z} \quad (3)$$

در حالت کلی همه توابع فیزیکی را می‌توان به کمک ویولتها و توابع مقیاس به صورت زیر بیان کرد [۸]:

$$f(x) = f_0(x) + \sum_{m=-\infty}^0 \sum_{k=-\infty}^{\infty} d_{m,k} \psi_{m,k}(x) \quad (4)$$

$$f_0(x) = \sum_k a_{0,k} \phi_{0,k}(x) \quad (5)$$

روابط فوق بیان می‌دارند که هر تابع فیزیکی را می‌توان ابتدا به کمک

1. Scaling Functions
2. Dilation
3. Translation

تعدادی توابع مقیاس در رزولوشن صفر تقریب زد و سپس بکمک توابع ویولت در رزولوشن‌های مختلف آن تقریب را تا میزان دقت مورد نظر ادامه داد.

شبکه عصبی ویونت بر مبنای روابط (۴) و (۵) شکل می‌گیرد و دارای الگوریتم‌های آموزش مخصوص خود می‌باشد که در [۸] به صورت کامل مورد بررسی قرار گرفته است. لازم به ذکر است که در حالت کلی، خانواده ویولتها پیوسته نیز به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad a, b \in \mathbb{R} \quad (6)$$

و تبدیل ویولت برای توابع پیوسته به وسیله رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$W_{a,b}(f) = \tilde{f}_{(a,b)} = \langle \psi_{a,b}(t), f(t) \rangle \\ = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \psi^*\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (7)$$

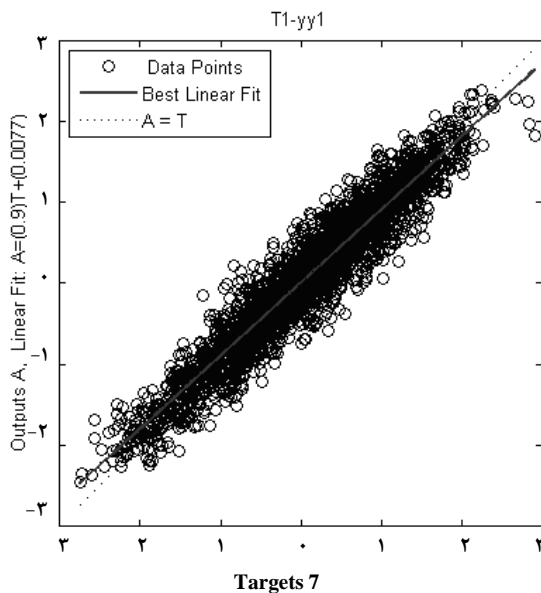
در اینجا پارامتر a به عنوان پارامتر گسترش^۴ و متناسب با فرکانس می‌باشد (بعبارت دیگر پارامتر تأخیر کوچک متناظر با فرکانس بالا و پارامتر تأخیر بزرگ متناظر با فرکانس پایین می‌باشد) و پارامتر b به عنوان پارامتر انتقال و متناسب با زمان می‌باشد. از این رابطه در بخش ۶ جهت محاسبه تأخیر زمانی استفاده خواهد شد.

۴-۳ فرایند مدل‌سازی و حذف سروصدا همزمان

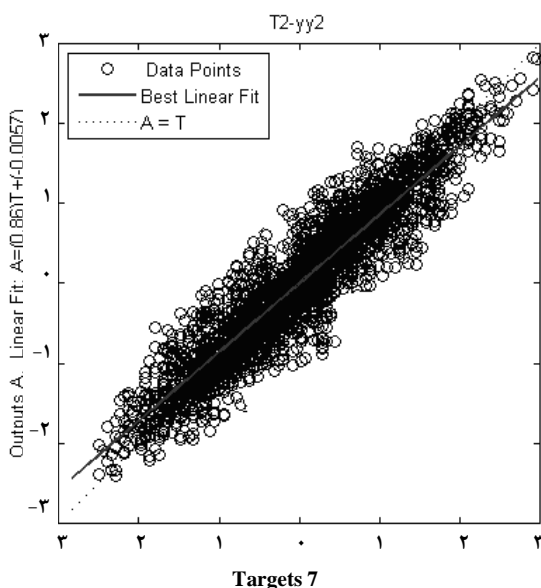
یکی از روشهای حذف سروصدا، حذف سروصدا پیش از مدل‌سازی می‌باشد. از آنجایی که این روش مشکلاتی را در عمل ایجاد می‌کند و عملاً وقت گیر بوده باعث کندی فرایند مدل‌سازی می‌شود. در روش ارایه شده در این بخش با مدل‌سازی و حذف سروصدا همزمان هم در زمان مدل‌سازی صرفه جویی قابل ملاحظه ای انجام می‌شود و هم اینکه نتایج در مقایسه با سایر روشهای مدل‌سازی از کیفیت بالاتری برخوردار خواهند بود. اساس این روش بر این مبنا است که در هنگام مدل‌سازی با توجه به اینکه ضرایب ویولتها در مدل بدست آمده به صورت سلسله مراتبی و چند رزولوشنی (و ترکیبی از ضرایب

4. Dilation Parameter

R: خطی‌سازی را نشان می‌دهد. این عدد هر چه به عدد یک نزدیکتر باشد بیانگر ارتباط بیشتر بین خروجی مدل با مقادیر واقعی است.



شکل ۵- خطی‌سازی بین خروجی دلخواه با خروجی شبکه در مدل‌سازی N_1 در حالت آزمون



شکل ۶- خطی‌سازی بین خروجی دلخواه با خروجی شبکه در مدل‌سازی N_2 در حالت آزمون

همانطور که در جدول (۱) مشاهده می‌شود مقادیر خطای مدل‌سازی بسیار اندک و قابل نظر کردن می‌باشند. ضمن اینکه

ویولتها و توابع مقیاس) هستند امکان حذف بخشی از ضرایب دارای اثر اندک در مدل و در نتیجه صاف تر کردن رفتار مدل وجود دارد. بر همین مبنا ضرایب کم اثر تبدیل ویولت پس از محاسبه و قبل از شکل‌گیری مدل سیستم حذف می‌شوند (در واقع صاف کردن ضرایب همزمان با مدل‌سازی صورت می‌گیرد). فلوجارت این عمل در شکل (۱۹) به نمایش در آمده است.

آلگوریتم مراحل کار در این روش چنین است:

- ۱- از رزولوشن صفر، $m=0$ ، کار را آغاز می‌کنیم.
- ۲- به کمک داده‌های اولیه موجود فرایند و روش ویولت، ضرایب ویولتها و توابع مقیاس در ویولت محاسبه می‌گردد.
- ۳- ضرایب کم اثر ویولتها شناسایی شده و حذف می‌شوند. در این مرحله صاف کردن مناسب بخشی از ضرایب که اثر اندکی در مدل‌سازی دارند توسط یک تابع گذر^۱ انجام می‌گیرد.
- ۴- مدل نهایی ویولت با ضرایب باقیمانده تشکیل می‌شود.
- ۵- تقریب نهایی فرایند محاسبه می‌گردد.

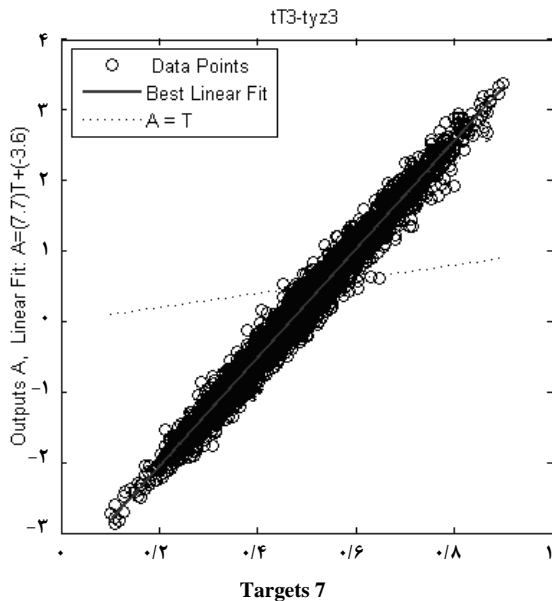
حال با توجه به مباحث ارایه شده، عمل مدل‌سازی و حذف سروصدا همزمان جهت فرایند تغلیظ‌کننده فیلم ریزشی مورد مطالعه در این قسمت انجام می‌پذیرد. با توجه به فرایند مدل‌سازی و حذف سروصدا همزمان تشریح شده در بخش قبل، سه شبکه ویولتی مجزا برای هر جفت ورودی و خروجی در نظر گرفته و طراحی می‌کنیم. علاوه بر مدل‌سازی با شبکه‌های ویولتی، مدل‌سازی با سایر شبکه‌های عصبی نیز انجام شده و در بخش ۵ نتایج مدل‌سازی با سایر روش‌ها جهت مقایسه با مدل‌سازی ویولت ارائه می‌گردد. در همه مدل‌سازی‌ها ۳۰۰۰ نمونه اول را به عنوان داده‌های آموزش و ۳۰۰۰ نمونه دوم به عنوان داده‌های آزمایش در نظر گرفته شده است. نتایج مربوط به مدل‌سازی N_1 که در آن ورودی شدت جریان خوراک اعمالی به تبخیرکننده اول و خروجی محتوای مواد تبخیر شده^۲ نتیجه است در جدول (۱) و شکل‌های (۵) و (۶) آمده است. در جدول (۱) مقیاس‌های سنجش خطا عبارتند از:

MSE (maximum square error): بیشترین مقدار مجموع مربعات خطای داده‌ها

MAE (maximum absolute error): بیشترین مقدار مطلق خطای

مدل‌سازی

1. Thersholding Function



شکل ۸- بررسی خطی سازی بین خروجی دلخواه با خروجی شبکه در مدل سازی N_3 در حالت آزمون

جدول ۳- نتایج مدل سازی N_3 با داده های حذف سروصدا شده همزمان با مدل سازی با شبکه و یونت

ویونت	NRMSE	MAE	MSE	تعداد داده ها	رزولوشن	R
آموزش	-۱	۳۰۰۰	۰/۰۰۰۱۸	۰/۷۴	۰/۱۱	۰/۹۹۵
آزمون	-۱	۶۰۰۰	۰/۰۰۰۲	۰/۸۷	۰/۱۴	۰/۹۹۲

همان طور که دیده شد در مدل سازی N_1 و N_2 هنوز ایراداتی وجود دارد. با افزایش مراحل تجزیه، (m در الگوریتم بالا) و کوچکتر کردن باند عبور تابع گذر در مرحله سوم الگوریتم، به نتایج بهتری در مدل سازی دست خواهیم یافت. این نتایج در شکل های (۹) و (۱۰) نشان داده شده است.

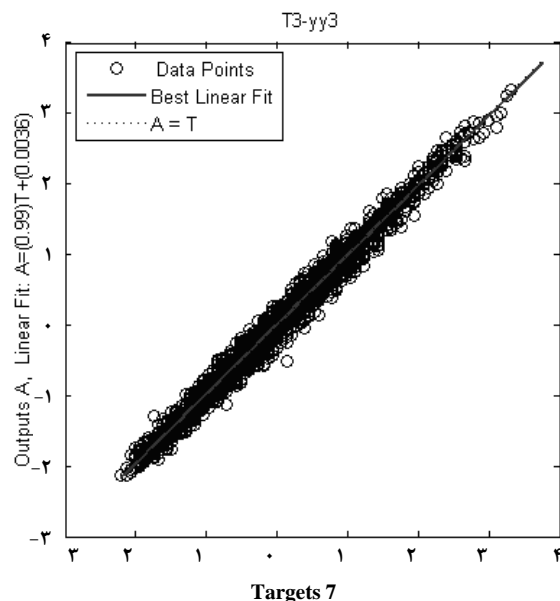
۵- مقایسه نتایج مدل سازی و یونت با سایر شبکه های عصبی

نتایج کامل مدل سازی این فرایندها با شبکه های عصبی RBF و MLP با داده های حذف سروصدا شده در [۱۳] موجود می باشد. در این مدل سازی ها از آنجا که ابتدا فرایند حذف سروصدا بر روی داده های اولیه صورت می گیرد و سپس مدل سازی انجام می شود زمان مدل سازی نسبتاً بالا است. ضمن اینکه برای داشتن دقت کافی

از روی مقادیر R مشخص است که خروجی های شبکه با دقت بسیار بالایی مشابه خروجی های واقعی سیستم می باشند. برای سایر مدلها یعنی N_2 (شامل ورودی دبی بخار و خروجی دبی خوراک منته) و N_3 (شامل ورودی آب سرد و خروجی دما) نتایج مدل سازی در جداول (۲) و (۳) و شکل های (۷) و (۸) به ترتیب نشان داده شده است.

جدول ۱- نتایج مدل سازی N_1 با داده های حذف سروصدا شده همزمان با مدل سازی با شبکه و یونت

ویونت	NRMSE	MAE	MSE	تعداد داده ها	رزولوشن	R
آموزش	۰/۳۲۲	۲/۵۴	۰/۰۰۵	۳۰۰۰	-۱	۰/۹۵
آزمون	۰/۳۲۸	۲/۵۷	۰/۰۵۲	۶۰۰۰	-۱	۰/۹۴

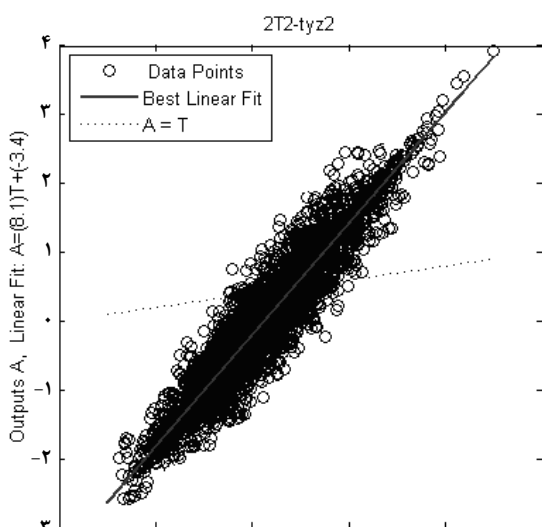


شکل ۷- بررسی خطی سازی بین خروجی دلخواه با خروجی شبکه در مدل سازی N_3 در حالت آموزش

جدول ۲- نتایج مدل سازی N_2 با داده های حذف سروصدا شده همزمان با مدل سازی با شبکه و یونت

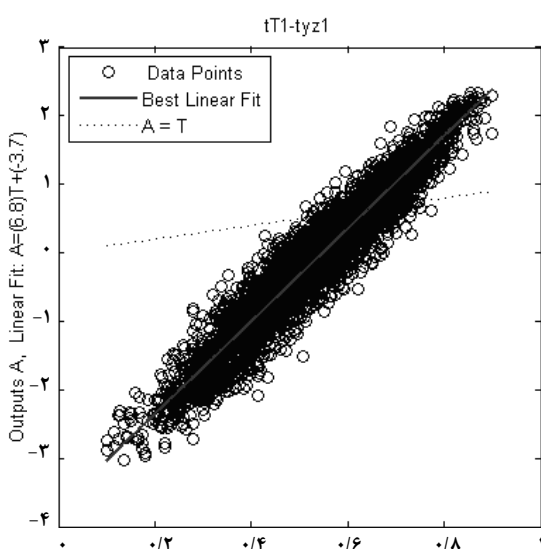
ویونت	NRMSE	MAE	MSE	تعداد داده ها	رزولوشن	R
آموزش	۰/۳۱۵	۱/۳۰۲	۰/۰۰۲	۳۰۰۰	-۱	۰/۹۵
آزمون	۰/۳۷۸	۲/۷	۰/۰۲۲	۶۰۰۰	-۱	۰/۹۲

فرایند مدل‌سازی می‌باشد [۱۳]. نتایج مدل‌سازی با شبکه‌های MLP و RBF در شکل‌های (۱۱) تا (۱۶) آمده است. در جدول (۴) مقایسه بین نتایج مدل‌سازی با این شبکه‌ها و مدل‌سازی و حذف سروصدا همزمان با ویونت آمده است. همانطور که از روی شکلها و جدول (۴) مشخص است خطای همگرایی در ویونت بسیار کمتر از سایر مدل‌سازی‌ها است. ضمن اینکه سرعت مدل‌سازی در مقایسه با سایر شبکه‌ها بسیار بالاتر می‌باشد.



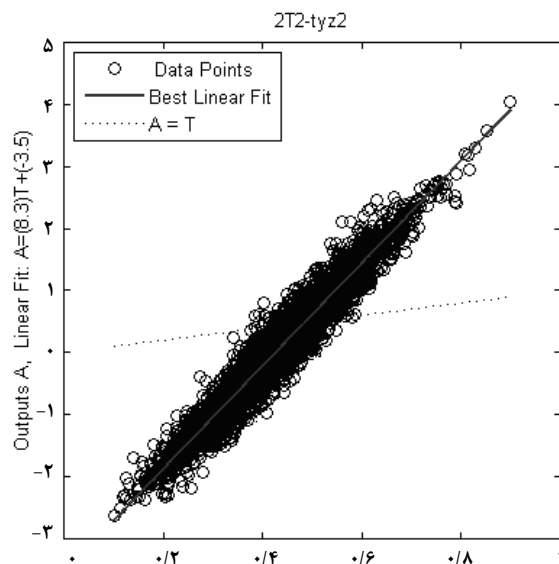
Targets 7

شکل ۱۱- بررسی خطی‌سازی بین خروجی دلخواه با خروجی شبکه در مدل‌سازی N_2 با RBF



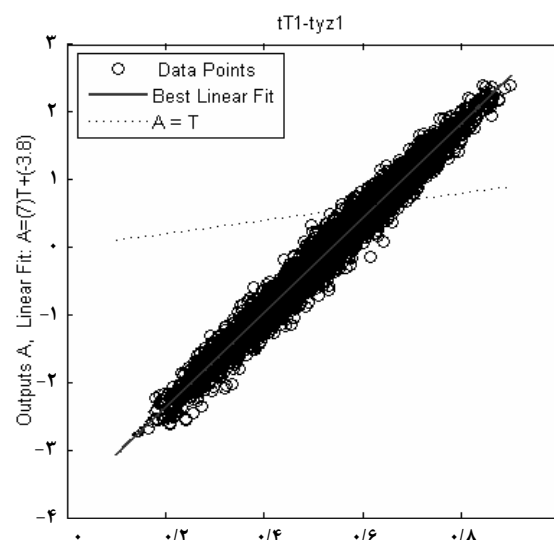
Targets 7

شکل ۱۲- بررسی خطی‌سازی بین خروجی دلخواه با خروجی شبکه در مدل‌سازی N_1 با RBF



Targets 7

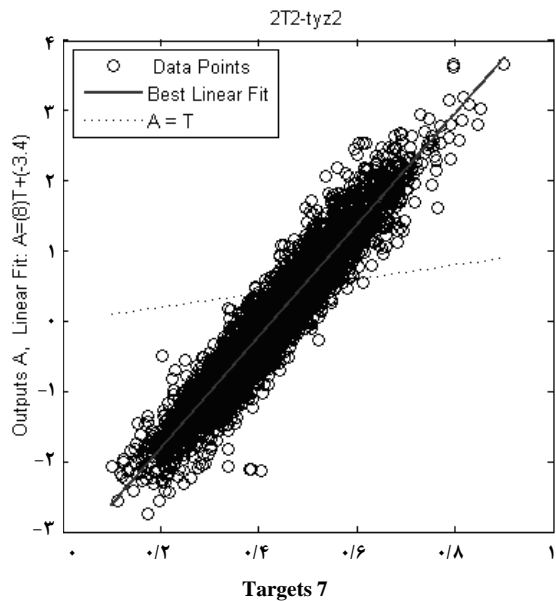
شکل ۹- بررسی خطی‌سازی بین خروجی دلخواه با خروجی شبکه در مدل‌سازی N_2 با تغییر تابع گذر- در این مرحله با کوچک کردن باند عبور تابع گذر در مرحله سوم آگوریتیم، نتایج مدل‌سازی بهبود می‌یابد.



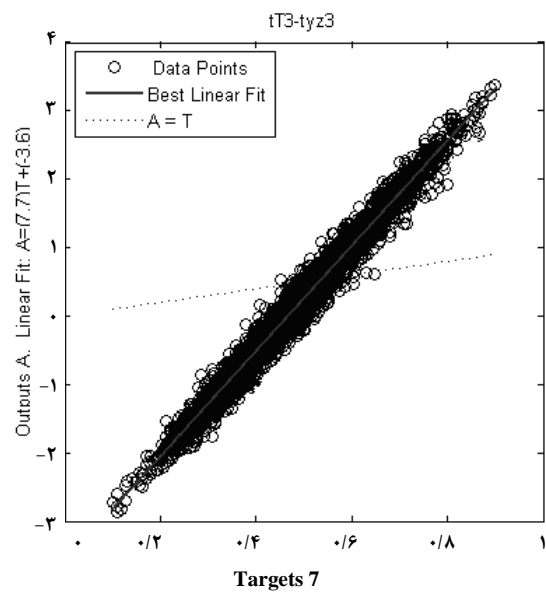
Targets 7

شکل ۱۰- بررسی خطی‌سازی بین خروجی دلخواه با خروجی شبکه در مدل‌سازی N_1 با تغییر تابع گذر- در این مرحله با کوچک کردن باند عبور تابع گذر در مرحله سوم الگوریتم، نتایج مدل‌سازی بهبود می‌یابد.

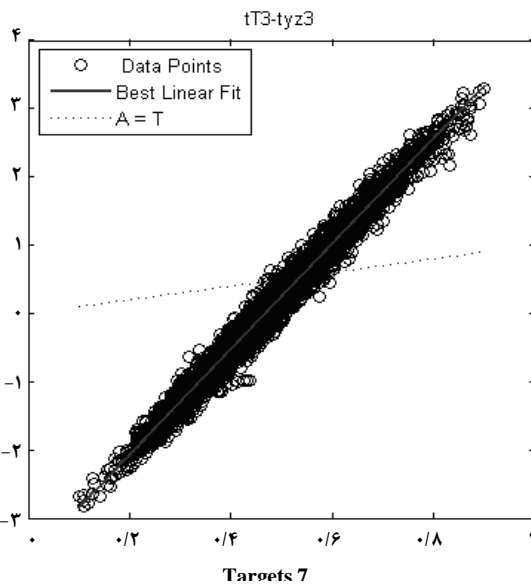
به شبکه با ابعاد بالا نیاز است، برای مثال شبکه MLP طراحی شده برای مدل‌سازی سیستم تبخیرگر دارای ۴ لایه که هر یک ۱۵ نرون دارند می‌باشد که بیانگر حجم بالای شبکه و در نتیجه کندتر شدن



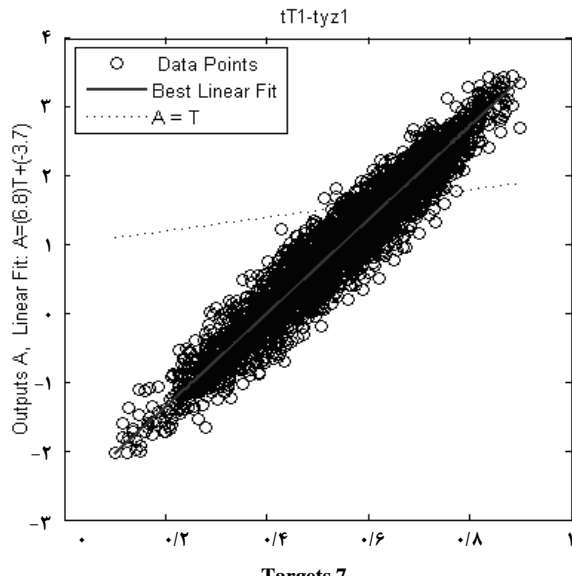
شکل ۱۵- بررسی خطی سازی بین خروجی دلخواه با خروجی شبکه در مدل سازی N_2 با MLP



شکل ۱۳- بررسی خطی سازی بین خروجی دلخواه با خروجی شبکه در مدل سازی N_3 با RBF



شکل ۱۶- بررسی خطی سازی بین خروجی دلخواه با خروجی شبکه در مدل سازی N_3 با MLP



شکل ۱۴- بررسی خطی سازی بین خروجی دلخواه با خروجی شبکه در مدل سازی N_1 با MLP

جدول ۴- مقایسه نتایج مدل سازی N_3 با wavenet, MLP, RBF

R	زمان آموزش	تعداد داده‌ها	MSE	MAE	NRMSE	ویونت
۰/۹۹۵	۵۰/۸۴۵	۳۰۰۰	۰/۰۰۰۱۸	۰/۷۴	۰/۱۱	آموزش
۰/۹۹۲	-----	۶۰۰۰	۰/۰۰۰۰۲	۰/۸۷	۰/۱۴	آزمون
R	زمان آموزش	تعداد داده‌ها	MSE	MAE	NRMSE	MLP
۰/۹۹۲۸۷	۶۰/۷۴۱	۳۰۰۰	۰/۰۰۰۱۲	۳/۱۴	۲/۱۴	آموزش
۰/۹۸۹۷	-----	۶۰۰۰	۰/۰۰۰۱۳	۳/۵	۲۱۷	آزمون
R	زمان آموزش	تعداد داده‌ها	MSE	MAE	NRMSE	RBF
۰/۹۹۲۲	۱۲۴/۵۴۱	۳۰۰۰	۰/۰۰۰۱۲	۲/۹۰۱۴	۲/۱۴۱۴	آموزش
۰/۹۹۰۲	-----	۶۰۰۰	۰/۰۰۰۱۳	۳/۴۸۵	۲/۱۴۱۷	آزمون

۶- محاسبه تأخیر زمانی

آنچه تاکنون بیان گردید مدل‌سازی کلی رفتار فرایند مورد نظر بود. در بسیاری از اوقات لازم است اجزای مختلف یک سیستم بطور دقیق و جداگانه برای کاربردهای مورد نظر بررسی قرار گیرند. مدل‌سازی تأخیر زمانی یکی از این نمونه‌ها می‌باشد. بسیاری از سیستم‌های واقعی دارای تأخیر زمانی قابل ملاحظه‌ای هستند که عملیات کنترلی روی سیستم را پیچیده تر می‌سازند. بنابراین وجود تأخیر زمانی اثر بسزایی روی کارایی و طراحی کنترل کننده‌ها به منظور کنترل فرایندها خواهد داشت. با این اوصاف، تعیین دقیق تأخیر زمانی سیستم‌های فیزیکی بسیار مهم به نظر می‌رسد. با توجه به پیچیدگی سیستم‌های فیزیکی واقعی و همچنین ناخطی بودن روش‌های شناسایی، تعیین دقیق تأخیر زمانی سیستم‌ها کارچندان ساده‌ای نیست. در این بخش از آنالیز ویولتها به عنوان ابزاری قدرتمند در شناسایی تأخیر زمانی تغلیظ کننده فیلم ریزشی ۴ مرحله‌ای استفاده شده است.

سیستمی که دارای تأخیر زمانی است اگر یک سیگنال به آن اعمال شود، تا مدتی به اندازه تأخیر زمانیش نگذشته باشد هیچگونه واکنشی به سیگنال اعمال شده نشان نخواهد داد، همچنین در این مدت هرگونه دستکاری روی سیستم بی‌نتیجه خواهد بود. پس ادعای اینکه وجود تأخیر زمانی در کنترل سیستم‌ها مشکل اساسی ایجاد می‌کند کاملاً منطقی است و کنترل سیستم‌ها بدون شناخت از تأخیر زمانی آنها تقریباً غیرممکن است (برای اطلاع بیشتر از ماهیت تأخیر زمانی و روش‌های کنترلی جبران آنها به [۲۱] و [۲۲] رجوع نمایید). در گذشته قبل از اینکه آنالیز ویولتی پایه ریزی شود روش‌هایی که برای تعیین تأخیر زمانی بکار می‌رفتند عمدتاً از تکنیک‌های زیر بهره می‌جستند [۲۱] [۲۳]:

- ۱) تعیین زمان صعود پاسخ زمانی سیستم (معمولاً پاسخ پله)
- ۲) تعیین زمان صعود یا زمان اوج بوسیله همپوشانی کردن ورودی و خروجی سیستم.
- ۳) تخمین پاسخ زمانی سیستم با یک مدل پارامتری و تعیین زمان صعود از روی پاسخ تخمینی.
- ۴) بهره‌گیری از تقریب Pade برای تقریب زدن تأخیر زمانی سیستم.

امروزه به دلیل معایبی که این روش‌ها دارند سعی می‌شود که در صورت امکان از روش‌های جایگزین استفاده شود، بعضی از این

معایب عبارتند از [۲۴]:

۱) در روش‌های اول و دوم وقتی که درجه نسبی سیستم بیش از یک واحد گردد مشکلاتی ایجاد می‌شود، چون پاسخ سیستم و همپوشانی (ورودی - خروجی) در اطراف لحظه‌ای که بیانگر تأخیر زمانی سیستم است تیزی لازم را نخواهد داشت (Smooth خواهد بود) و به همین دلیل تعیین دقیق زمان صعود غیر ممکن خواهد بود بعلاوه پاسخ و همپوشانی (ورودی - خروجی) شدیداً تحت تأثیر اغتشاش قرار می‌گیرند.

۲) در روش سوم (استفاده از تخمین پاسخ زمانی) در اعمال کردن سیگنال ورودی به سیستم‌ها محدودیت داریم (معمولاً مجاز به اعمال ورودی پله هستیم) لذا این روش‌های تعیین تأخیر زمانی به دلیل محدودیت ورودی قابل اعمال به برخی سیستم‌ها نمی‌باشند. در روش همپوشانی (ورودی - خروجی)، زمان صعود یا زمان اوج حاصل از همپوشانی بدون در نظر گرفتن برخی فرضیات روی دستگاه و ورودی آن دقیقاً بر تأخیر زمانی منطبق نمی‌شود. در روش مدل پارامتری اکثراً مدل پارامتری قبل از اینکه تأخیر زمانی سیستم واقعی سپری شده باشد شروع به پاسخ دهی می‌نماید، بنابراین مدت زمانی که از این روش به عنوان تأخیر زمانی سیستم واقعی بدست می‌آید معمولاً کمتر از تأخیر زمانی واقعی سیستم خواهد بود.

۳) در روش چهارم تقریب زدن تأخیر زمانی با روش Pade باعث می‌شود که درجه صورت و مخرج تابع تبدیل افزایش پیدا کند و اثر این بالا رفتن درجه صورت و مخرج تابع تبدیل افزایش تعداد پارامترهایی است که بایستی شناسایی شوند، این نوع شناسایی پارامترهای سیستم یک روش غیر مستقیم می‌باشد زیرا در این روش شناسایی تفکیک قسمت تأخیر زمانی از پارامترهایی که دینامیک سیستم را توصیف می‌کنند غیرممکن است. نقص دیگر این روش شناسایی این است که تقریب Pade برای سیستم‌هایی که دارای تأخیر زمانی قابل ملاحظه‌ای هستند کارایی ندارد. ضمناً این تقریب تنها در یک محدوده کوچک فرکانسی دقت دارد.

با توجه به معایب فوق استفاده از روشی تازه که معایب بالا را جبران می‌کند لازم به نظر می‌رسد. بر این اساس روش بکارگیری ویولت را مورد توجه قرار می‌گیرد. ابتدا در مورد خود شبیهی^۱ توضیحاتی ارائه می‌گردد. سپس چگونگی استفاده از ویولت در بدست آوردن تأخیر زمانی بیان خواهد شد [۲۵].

1. Self-Similarity

این معادله برای توابع اسکالر همواره صادق است. اثبات رابطه فوق در [۱۴] آمده است.

۶-۱-۲ بکارگیری آنالیز ویولت برای تعیین خودشبیهی

هرگاه سیگنالی دارای خاصیت خودشبیهی باشد تبدیل ویولت آن دارای یک سری ویژگیها خواهد بود [۲۶]. بنابر این ویژگیها حتی اگر تعیین خودشبیهی سیگنال در حوزه زمان غیرممکن باشد با استفاده از تبدیل ویولت خودشبیهی سیگنال تعیین می‌گردد و در صورتیکه ویولت آنالیز کننده یک ویولت مختلط باشد تعیین کردن خودشبیهی سیگنال، خیلی راحت تر انجام می‌گیرد.

در صورتی که تابع یا مجموعه داده‌ها دارای تأخیر زمانی باشند یعنی خاصیت خودشبیهی در آن‌ها وجود داشته باشد (رابطه ۸)) آنگاه می‌توان نشان داد که تبدیل ویولت آنها دارای خاصیت زیر است [۲۴] (a, b) در بخش ۴-۲ معرفی شده اند):

$$\tilde{f}(sa, sb + t_0) = s^{\frac{n+1}{2}} \tilde{f}(a, b + t_0) \quad s \in R, s > 0 \quad (9)$$

حال اگر منحنی آرگومان تبدیل ویولت تابع $f(t) \in L^2(R)$ رسم شود، با توجه به رابطه بالا چون $s \in R$ است بنابراین $\tilde{f}(sa, sb + t_0)$ و $\tilde{f}(a, b + t_0)$ دارای آرگومان یکسانی خواهند بود. به عبارت دیگر $(sa, sb + t_0)$ و $(a, b + t_0)$ در منحنی آرگومان روی یک خط راست واقع خواهند شد. بنابراین هر خط منحنی آرگومان می‌تواند به وسیله معادله زیر بیان شود.

$$a = sa_0, \quad b = sb_0 + t_0 \quad s > 0 \quad (10)$$

از این معادله نتیجه می‌شود که هر خط منحنی آرگومان خط راستی است که از $(0, t_0)$ عبور می‌کند یا بعبارت دیگر این خط راست محور b را در $b = t_0$ که مرکز خودشبیهی است قطع می‌کند. در نتیجه، خودشبیهی یک سیگنال با استفاده از منحنی آرگومان تبدیل ویولت آن سیگنال، قابل دستیابی است. این منحنی در شکل (۱۸) قابل مشاهده می‌باشد.

برای استفاده از خاصیت خودشبیهی در پیدا کردن تأخیر زمانی، ابتدا با سخ ضربه یا پله سیستم بدست آورده می‌شود (پاسخ پله و

روشی که در این مقاله جهت تقریب تأخیر زمانی سیستمها استفاده می‌شود راه حلی کاملاً متفاوت از روشهای پیشین است. نقطه مشترک روشهای فوق جستجوی نقطه ویژه‌ای روی پاسخ سیستم ویا روی همپوشانی (ورودی- خروجی) در حوزه زمان بود. در این مقاله روشی مؤثر برای تعیین تأخیر زمانی سیستمهای خطی پیوسته زمانی با بکارگیری آنالیز ویولت مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش حتی موقعی که روشهای سنتی از تعیین تأخیر زمانی عاجز باشند نیز کارایی دارد. روش ارائه شده در این مقاله مشابه خودشبیهی پاسخ ضربه است (با استناد به خودشبیهی پاسخ ضربه پاسخ پله هم دارای خودشبیهی است) [۲۴].

خودشبیهی پاسخ ضربه (به عبارت دیگر شباهت پاسخ ضربه سیستم با ورودی سیستم) در محدوده مشخصی حول تأخیر زمانی سیستم اتفاق می‌افتد. بنابراین تأخیر زمانی سیستم با بررسی پاسخ در محدوده مورد نظر قابل دستیابی است حتی اگر پاسخ دارای تیزی لازم در اطراف تأخیر زمانی نباشد. به منظور تعیین مؤثر خودشبیهی از تحلیل ویولت استفاده می‌شود که یک ابزار بسیار مؤثر در تعیین خودشبیهی می‌باشد. با کمی تأمل دیده می‌شود که تا اینجا تنها از ورودی ضربه و ورودی پله سخن به میان آمد. به منظور غلبه بر این محدودیت در ورودی سیستم روش ارائه شده تأخیر زمانی از روی تبدیل ویولت تابع همپوشانی بین (ورودی- خروجی) تعیین می‌شود (بنابراین، دیگر اعمال ورودی ضربه یا پله مورد توجه نیست). لازم به ذکر است که بکارگیری تابع همپوشانی در مقایسه با پاسخ پله در برابرتشاش نیز مقاوم تر می‌باشد [۲۴].

۶-۱-۱ تعیین تأخیر زمانی به کمک ویولتها

۶-۱-۱-۱ خودشبیهی

در حالت کلی به این معنی است که بخشی از سیگنال در مقیاسی بزرگتر مشابه سیگنال اصلی باشد یا به عبارت دیگر بزرگ شده بخشی از یک شیء از نظر ابعاد شبیه همان شیء با ابعاد واقعی است. همان طور که در شکل (۱۷) نشان داده شده است که قسمت درون خط چین مشابه سیگنال اصلی است [۲۵]. t_0 را مرکز خودشبیهی گویند. اگر تابع $f(t) \in R$ دارای خودشبیهی باشد یک t_0 و یک n وجود دارد به طوری که:

$$f(st + t_0) - f(t_0) = s^n [f(t + t_0) - f(t_0)] \quad s \in R, s > 0 \quad (8)$$

۶-۲ محاسبه زمان تأخیر تغلیظ‌کننده به کمک ویولتها

برای یکی از (ورودی - خروجی) های تبخیرگر (در اینجا T_1 و T_4 که به ترتیب ورودی و خروجی شبکه N_1 هستند، به بخش ۲ رجوع شود) مراحل فوق انجام داده می‌شود، این مراحل به صورت زیر هستند:

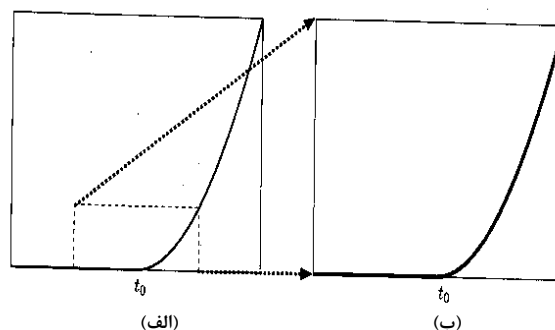
- ۱- تبدیل z خروجی محاسبه می‌شود.
 - ۲- پاسخ ضربه سیستم محاسبه می‌گردد.
 - ۳- از پاسخ ضربه سیستم تبدیل ویولت گرفته شده و ضرایب به دست آمده رسم می‌شوند.
 - ۴- نقطه همگرایی آرگومان‌های ویولتی (بلوک‌های هم‌رنگ) از روی شکل تعیین می‌شود.
 - ۵- پس از تعیین نقطه همگرایی و با توجه به مقیاس محور افقی تعداد نمونه تا رسیدن به نقطه همگرایی تعیین می‌گردد.
 - ۶- با آگاهی از فاصله نمونه برداری واقعی و تعداد نمونه تا رسیدن به نقطه همگرایی تأخیر زمانی محاسبه می‌شود.
- استفاده از طیف همپوشانی ورودی و خروجی (cross spectrum data) نیز نتایج مشابهی می‌دهد. نتیجه نهایی هر دو روش در شکل (۲۰) نشان داده شده است.



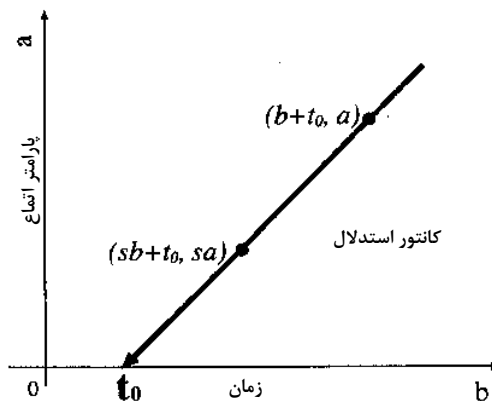
شکل ۱۹- فلوجارت چگونگی انجام مدل‌سازی و حذف سروصدا همزمان

ضربه دارای خاصیت خود شبیهی می‌باشند) سپس از حاصل، تبدیل ویولت گرفته می‌شود و با پیدا کردن آرگومان‌هایی که به یک مرکز همگرا می‌شوند میزان تأخیر زمانی که بر مرکز همگرایی واقع شده است به دست می‌آید. می‌توان به جای پاسخ ضربه از تابع چگالی طیف^۱ نیز استفاده کرد. به این روش تعیین تأخیر زمانی از روی تبدیل ویولت، تابع همپوشانی (ورودی - خروجی) گویند.

در این روش ابتدا باید روی ورودی و خروجی سیستم عمل همپوشانی انجام داد و سپس تبدیل ویولت تابع حاصل از همپوشانی را به دست آورد و بدین ترتیب با بهره‌گیری از خاصیت خودشبیهی روی تابع بدست آمده تأخیر زمانی سیستم را مشخص کرد. مزیت تعیین تأخیر زمانی از روی تابع همپوشانی (ورودی - خروجی) نسبت به تعیین تأخیر زمانی از روی پاسخ ضربه یا پاسخ پله، مقاوم بودن تابع همپوشانی در برابر اغتشاش است [۱۴].



شکل ۱۷- مشاهده خودشبیهی از روی شکل، بخش محصور در نقطه چین دارای خاصیت خودشبیهی می‌باشد



شکل ۱۸- یافتن خود شبیهی و مرکز آن از روی آرگومان‌های تبدیل ویولت

1. Spectrum Data

مدل سازی دقیق استفاده شد. نتایج این مدل سازی و مقایسه آن با نتایج سایر روش ها، کارآمدی این روش در مدل سازی تبخیرکننده را نشان داده است.

مراجع

- [1] Minton, P E., "Handbook of Evaporation Technology", Noyes Publications, New Jersey, (1986).
- [2] Johnson, D. E., "Simulation and analysis improve evaporator control", ISA Journal, 7(7), 46, (1960).
- [3] Andre, H., Ritter, R. A., "Dynamic response of a double effect evaporator" The Canadian J of chemical engineering, (1968).
- [4] Andersen, J. E., Glasson, L. W, and Lees F. P, "The control of single concentration evaporator", Transactions of the Society of Instrument Technology, (1961).
- [5] Winchester, J. A., S. Paramalingam., and C. Marsh., "On the Fouling of Falling Film evaporators Due to Film Break-Up, " Trans Ichem E, 78 (part C2) 79-84, (2000).

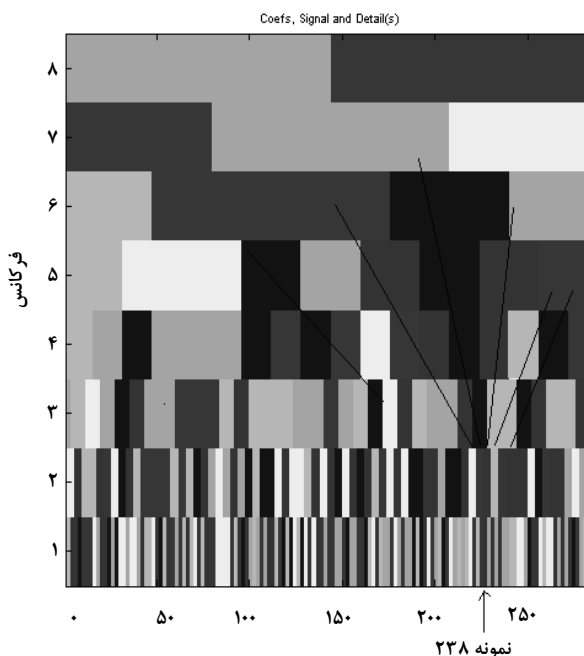
[۶] م کریمی، ع جهانمیری، "شبه سازی غیرخطی و طراحی کنترل متوالی برای تغلیظ کننده های فیلم ریزشی چندمرحله ای"، دانشگاه شیراز، دانشکده مهندسی، بخش شیمی، کنفرانس مهندسی شیمی سال (۱۳۸۲).

[۷] ع. ا صفوی، م صالحی، "شبه سازی تبخیرکننده فیلم ریزشی ۳ مرحله ای به کمک ویونت"، یازدهمین کنفرانس برق ایران، (۱۳۸۲).

- [8] Wang, D., Safavi, A. A., Romagnoli, J. A., "Wavelet-based adaptive robust M-estimator for non-linear system identification", AIChE Journal, Vol. 46, No. 8, 1607-1615, August (2000).
- [9] Won Lee, J., "Noise Reduction in Wavelet Domain", EE368, Digital image processing class project, (2000).
- [10] Technical university of Denmark (<http://www.esat.kuleuven.ac.be>)
- [11] MATLAB Document Help of Wavelet (version R2006a)
- [12] Setoodeh P., Safavi A A, "Intelligent Forecasting of rainfall & Temperature of shiraz city using Neural Networks", Iranian journal of science, vol28, (2004).

[۱۳] م دهقانی، ع. ا صفوی، " کاربرد ویولتها و شبکه های عصبی مصنوعی در آنالیز و مدل سازی تغلیظ کننده های فیلم ریزشی چندمرحله ای"، آزمایشگاه کنترل پیشرفته، دانشکده مهندسی دانشگاه شیراز، گزارش علمی شماره TR85_010. (۱۳۸۵).

در شکل (۲۰) محور عمودی معرف وضوح یا رزولوشن و محور افقی نشان دهنده داده هاست، همانطور که از روی شکل مشخص است آرگومان های ویولت (بلوک های هم رنگ) تقریباً به یک نقطه همگرا می شوند که آن نقطه برابر تأخیر زمانی است، نقطه همگرایی آرگومان ها برابر ۲۳۸ امین داده است (این مطلب از روی خطوط روی شکل مشخص است) وبا توجه به اینکه فاصله نمونه برداری بین ۲ داده متوالی ۱ ثانیه بوده است، تأخیر زمانی برابر ۲۳۸ ثانیه می شود.



(با افزایش زمان بر تعداد نمونه های ورودی افزوده می شود و در نمونه ۲۳۸ اثر ورودی در خروجی آشکار می گردد. این همگرایی با خطوط مشخص شده روی شکل، بهتر مشخص می شود.)

شکل ۲۰- ضرایب ویولت در رزولوشن های ۱۲-۱ (محور عمودی مقادیر در حوزه فرکانس و محور افقی مقادیر در حوزه زمان است)

۷- نتیجه گیری

در این تحقیق با استفاده از داده های صنعتی یک تبخیرکننده فیلم ریزشی ۴ مرحله ای، مدل سازی جامعی از این فرایند صورت گرفت. ابتدا آنالیز داده ای برای تشخیص وابستگی سیستم به گذشته ورودی و خروجی انجام پذیرفت، سپس بر مبنای این نتایج مدل سازی فرایند انجام شد. از آنجا که داده های صنعتی فرایند حاوی سروصدا بود از تکنیک حذف سروصدا همزمان با مدل سازی جهت انجام

- [22] Gawthrop, P.J., Nihtila, M. T., "Identification of Time-Delays Using a Polynomial Identification Method", *Systems and Control Letters*, Vol. 5, No. 4, pp. 267-271, (1985).
- [23] Babatunde, A., Ogunnaike, W., Harman, R., "Process Dynamics, Modeling, and Control", New York, Oxford, Oxford University Press, (1994).
- [24] Tetsuyav Tabaru, S., Seichi, Shin, A., "Dead time detection by wavelet transform of spectrum data". on *Electrical Engineering*. (1997).
- [25] Safavi, A. A., Romagnoli, J. A., "On the Two Practical issues in System Identification with Wavelets", *IFAC Symposium on System Identification*, Vol. 1, (1997).
- [26] Nakano, K., Tabaru, T., Shin, S., Toyodn, Y., "Wavelet_Based Identification for Transfer Function With Dead Time and It's Application", 11th IFAC Symposium on System Identification, Fokuoka, Japan, Vol. 1, (1997).
- [27] Moghbelli, H., Rahideh, A., Safavi, A. A., "Vector Control of Induction Machines Using Wavenet Based Controller For Traction Applications", *Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B*, Vol. 29, No. B1 (2005).
- [14] ع. ا. صفوی، م دهقانی، کاربرد ویولتها در شناسایی تأخیر زمانی فرایندهای شیمیایی، یازدهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران، آذر ماه (۱۳۸۵).
- [15] Simoncelli, E. P., Adelson, E. H., "Noise Removal via Bayesian Wavelet Coring", *IEEE signal processing society*. (1996).
- [16] Perry, M., "Chemical Engineering Handbook", 6th ed., McGraw Hill., (1990).
- [17] Bakhtazad, A., Safavi, A. A., "Recovery of process Noisy Data using Wavelet", *The 6th Iranian conference*, (1998).
- [18] Koslovski, J., Serafincuk, J., "Wavelet Shrinkage Based noise reduction from the high resolution X-ray image of epitaxial layers", *materials science* vol21, No3, (2003).
- [19] Safavi, A. A., Romagnoli, J. A., "Application of wavelet-based neural networks to modelling and optimisation of an experimental distillation column", (*IFAC Journal of Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 10, No. 3, 301-313, (1997).
- [20] wavelet tool box, www.mathworks.com
- [21] Smith, O.J.M, *Close Control of Loops with Dead Time*, *Chemical Engineering Progress*, Vol.53, No.5, pp.217-219, (1957).