



دانشگاه تهران



شرکت سهامی آب منطقه ای گیلان

پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

"گزارش نهایی"

کارفرما: شرکت سهامی آب منطقه ای گیلان

دستگاه اجرایی: دانشگاه تهران

مجری: دکتر حجت احمدی (عضو هیات علمی دانشگاه تهران)



دانشگاه تهران



شرکت سهامی آب منطقه ای گیلان

پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی





دانشگاه تهران



شرکت سهامی آب منطقه ای گیلان

پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

تشکر و قدردانی

در آغاز خداوند منان را شاکر و سپاسگزارم بر خود لازم می‌دانم از پشتیبانی های شرکت سهامی آب منطقه ای گیلان و دانشگاه تهران صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم.



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

چکیده

پایش وضعیت و عیب یابی تجهیزات و بخصوص توربین و ژنراتور نیروگاه های برق آبی به عنوان بخشی از سیستم های نگهداری و تعمیرات، به علت مزایای فراوانش همچون کاهش هزینه های نگهداری و تعمیرات، بهبود تولید و افزایش در دسترس بودن به موقع تجهیزات نیروگاه های برق آبی، به صورت جهانی کاربرد یافته است. کشف عیب قبل از اینکه باعث کاهش تولید نیروگاه شود، برای سد و نیروگاه مهم و حیاتی است. این پژوهش روشی را برای پایش وضعیت و تشخیص عیوب بر پایه سیستم استنتاج فازی (FIS) ارائه می نماید. پارمترهای موثر در خرابی توربین و ژنراتور برق آبی سد سفید رود که شامل پارمترهای مختلف توربین و ژنراتور برق آبی بوده اند شامل پارمترهای سالن توربین عبارت از ولتاژ، قدرت، و حرارت یاتاقان ها شامل (یاتاقان فوقانی، یاتاقان کف گرد، یاتاقان توربین 1، جریان هوای مولد، یاتاقان مولد، دما سنج مولد، یاتاقان توربین 2، یاتاقان فوقانی 2، یاتاقان کف گرد 2) و فشار سیستم های مختلف شامل (فشارهای مجرای توربین، محفظه حلزونی، مخزن روغن، فشار روغن پای، آب خنک کن مولد، آب خنک کن یاتاقان و آب تراوند) و از دیگر پارامترهای این سالن پارامترهای درجه باز بودن توزیعگر، درجه بار - سرعت، درجه محدود کننده، درجه استانسیم، فرکانس، درجه حرارت ترانسفرماتور و فشار مخزن هوای فشرده ترمز بعنوان پارامترهای سالن توربین و پارامترهای اطلاق فرمان که عبارت از سطح سر آب، سطح پایاب، قدرت و انرژی تولید نیروگاه شامل قدرت اکتیو، قدرت راکتیو، انرژی تولیدی و تغذیه دستگاههای فرعی جریان متناوب شامل ولتاژ، جریان و از دیگر پارامترهای اطلاق فرمان موارد درجه محدود کننده بار، فرکانس، توزیعگر، ولتاژ تحریک، جریان تحریک، اختلاف سطح، جریان فاز 1، جریان فاز 2، جریان فاز 3، دبی آب مصرفی در مرحله اول بر اساس لاگ شیت های نیروگاه انتخاب شده اند تا با نظر کارشناسان نیروگاه عوامل موثر در بروز عیب تشخیص داده شد و سپس با مشاوره و تکمیل فرمهای عیب یابی عوامل و عیوب زیر برای خروجی نرم افزار منطق فازی در نظر گرفته شد که عبارت از ارتعاشات واحد + خوردگی در چرخ توربین، مشکل در گاورنر + ارتعاشات واحد + خوردگی، افزایش دمای ژنراتور و ترانس، افزایش دمای روتور ژنراتور، اشکال در سیستم باطری خانه + شارژر، تریپ واحد، اور اسپید واحد، عیب در سیستم محدود کننده بار، عیب در سیستم محدود کننده بار، عیب در سیستم محدود کننده بار + عیب گاورنر، ارتعاش واحد، اور لود واحد، اورهال واحد، خرابی یاتاقان + افزایش دمای یاتاقان، اشکال در میزان ورود آب خنک کننده + گرفتگی سیستم خنک کننده + احتمال خرابی یاتاقان + افزایش لنگی محور توربین یا خارج از مرکزی توربین، اشکال در میزان ورود آب خنک کننده + گرفتگی سیستم خنک کننده، تریپ واحد + آسیب ژنراتور و سیم پیچ ژنراتو، تریپ واحد + کاهش سطح روغن + آلامر، سیستم کاهنده فشار دچار خوردگی + ژینگلور معیوب + عملکرد معیوب سوپاپ، اشکال در دریچه راس یا گارد، اشکال در دریچه راس یا گارد + بسته شدن شیر پروانه ای، تریپ واحد + افزایش سطح روغن + آلامر، تریپ واحد + گرفتگی ژینگلور و فیلتر، سیستم کاهنده فشار دچار خوردگی + ژینگلور معیوب + عملکرد معیوب سوپاپ، گرفتگی در فیلتر و مسیر خنک کن + آسیب دیدگی سوپاپ + آلامر، آسیب دیدگی بوش و محور توربین + آسیب دیدگی زغال ها + تریپ واحد بدون آلامر + افزایش نشتی آب، آسیب دیدگی ترانس، عدم کارکرد صحیح ترمز در زمان توقف، احتمال آسیب دیدگی کمپرسور و مخزن + در سیستم کمپرسور، عدم کارکرد صحیح ترمز در زمان توقف، آسیب دیدگی ترانس، احتمال آسیب دیدگی کمپرسور و مخزن + اشکال در سیستم کمپرسور می باشند.

پارامترهای نهایی انتخاب شده جهت طراحی FIS بکار گرفته شدند. سه نوع مختلف استنتاج فازی در توپولوژی های مختلف به عنوان طبقه بند در تشخیص عیوب استفاده شد و سپس بهترین FIS مشخص و انتخاب گردید.



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

در ادامه از منطق فازی برای تشخیص و پیشگویی عیوب توربین و ژنراتور سد سفید رود استفاده شده است ، مراحل فازی سازی و استخراج قوانین فازی و انتخاب توابع عضویت ورودی و خروجی در نرم افزار مطلب انجام گرفت و در نهایت برای راحتی کاربر در استفاده از نرم افزار فازی یک برنامه GUI برای استفاده کاربر در محیط نرم افزار مطلب ارائه گردید.



دانشگاه تهران



شرکت سهامی آب منطقه ای گیلان

پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

فصل اول



مقدمه

توربین و ژنراتورها امروزه در صنعت از مهمترین تجهیزات به شمار می‌روند. قلب یک نیروگاه توربین و ژنراتور آن است زیرا چنانچه توربین و ژنراتور از کار بایستد، نیروگاه نمی‌تواند به ادامه تولید برق ادامه دهد. وجود نقص در توربین و ژنراتور باعث از کار افتادگی کل نیروگاه و یا اختلال در آن می‌شود. بنابراین پایش دائمی وضعیت (CM)¹ توربین و ژنراتور، به منظور اطمینان از سلامت کاری آن، امری ضروری است.

هر سیستم دینامیکی، الکتریکی، هیدرولیکی یا حرارتی دارای علائم مشخصه ای است که وضعیت عادی آن دستگاه را در حین کار نشان می‌دهد. تغییر این علائم، هر چند به اندازه کمی، می‌تواند نشانه ای از بروز اشکال و خرابی در سیستم باشد. منظور از پایش وضعیت، تعیین وضعیت سیستم با اندازه گیری علائم مشخصه ی آن و بهره گیری از این اطلاعات برای پیش بینی خرابی سیستم است. پایش وضعیت با تکنیک ها و روش های مختلفی اجرا می گردد. هر تکنیک، به طور خاص، بر روی برخی علائم مشخصه از وضعیت کارکرد ماشین تمرکز دارد و پارامترهای خاصی را اندازه گیری می نماید که نشان دهنده ی وضعیت سلامت ماشین است. روش های مختلف CM عبارتند از: آنالیز ارتعاش، آنالیز صدا، آنالیز روغن و آنالیز دما. هر کدام از این روش ها کاربرد خاصی دارند و در پاره ای از ماشین ها و موقعیت ها می تواند مفید واقع شوند.

پارامترهای مختلفی از توربین و ژنراتور نیروگاه برق آبی سد سفید رود می توانند تغییر نمایند که با پایش مداوم آنها می توانیم به عیوب توربین و ژنراتور نیروگاه برق آبی سد سفید رود پی ببریم. در نیروگاه برق آبی سد سفید رود پارامترهایی مانند پارامترهای سالن توربین عبارت از ولتاژ، قدرت، و حرارت یاتاقان ها شامل (یاتاقان فوقانی، یاتاقان کف گرد، یاتاقان توربین 1، جریان هوای مولد، یاتاقان مولد، دما سنج مولد، یاتاقان توربین 2، یاتاقان فوقانی 2، یاتاقان کف گرد 2) و فشار سیستم های مختلف شامل (فشارهای مجرای توربین، محفظه حلزونی، مخزن روغن، فشار روغن پای، آب خنک کن مولد، آب خنک کن یاتاقان و آب تراوبند) و از دیگر پارامترهای این سالن پارامترهای درجه باز بودن توزیعگر، درجه بار- سرعت، درجه محدود کننده، درجه استانسیم، فرکانس، درجه حرارت ترانسفرماتورو فشار مخزن هوای فشرده ترمز بعنوان پارامترهای سالن توربین و پارامترهای اطاق فرمان که عبارت از سطح سر آب، سطح پایاب، قدرت و انرژی تولید نیروگاه شامل قدرت اکتیو، قدرت راکتیو، انرژی تولیدی و تغذیه دستگاههای فرعی جریان متناوب شامل ولتاژ، جریان و از دیگر پارامترهای اطاق فرمان موارد درجه محدود کننده بار، فرکانس، توزیعگر، ولتاژ تحریک، جریان تحریک، اختلاف سطح، جریان فاز 1، جریان فاز 2، جریان فاز 3، دبی آب مصرفی که می توانند بطور مستقیم و غیر مستقیم در عیوب توربین و ژنراتور نیروگاه برق آبی سد سفید رود نقش داشته باشند در مرحله اول بر اساس لاگ شیت های نیروگاه انتخاب شده اند تا با نظر کارشناسان نیروگاه عوامل موثر در بروز عیب تشخیص داده شوند و در مرحله دوم پس از تکمیل فرمهای تشخیص و پیشگویی عیوب پارامترهای اصلی و فرعی و نقش هر پارامتر در عیب مشخص شد و پارامترهای نهایی که عیوب ناشی از تغییر پارامترهای می باشند به شامل ارتعاشات واحد + خوردگی در چرخ توربین، مشکل در گاورنر + ارتعاشات واحد + خوردگی، افزایش دمای ژنراتور و ترانس، افزایش دمای روتور ژنراتور، اشکال در سیستم باطری خانه + شارژر، تریپ واحد، اور اسپید واحد، عیب در سیستم محدود کننده بار، عیب در سیستم محدود کننده بار، عیب در سیستم محدود کننده بار + عیب گاورنر، ارتعاش واحد، اور لود واحد، اور هال واحد، خرابی یاتاقان + افزایش دمای یاتاقان، اشکال در میزان ورود آب خنک کننده + گرفتگی سیستم خنک کننده + احتمال خرابی یاتاقان + افزایش لنگی محور توربین یا خارج از مرکزی توربین، اشکال در میزان ورود آب خنک کننده

¹ - Condition monitoring



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

+ گرفتگی سیستم خنک کننده، تریپ واحد + آسیب ژنراتور و سیم پیچ ژنراتور، تریپ واحد + کاهش سطح روغن + آلامر، سیستم کاهنده فشار دچار خوردگی + ژینگلور معیوب + عملکرد معیوب سوپاپ، اشکال در دریچه راس یا گارد، اشکال در دریچه راس یا گارد + بسته شدن شیر پروانه ای، تریپ واحد + افزایش سطح روغن + آلامر، تریپ واحد + گرفتگی ژینگلور و فیلتر، سیستم کاهنده فشار دچار خوردگی + ژینگلور معیوب + عملکرد معیوب سوپاپ، گرفتگی در فیلتر و مسیر خنک کن + آسیب دیدگی سوپاپ + آلامر، آسیب دیدگی بوش و محور توربین + آسیب دیدگی زغال ها + تریپ واحد بدون آلامر + افزایش نشتی آب، آسیب دیدگی ترانس، عدم کارکرد صحیح ترمز در زمان توقف، احتمال آسیب دیدگی کمپرسور و مخزن + اشکال در سیستم کمپرسور، عدم کارکرد صحیح ترمز در زمان توقف، آسیب دیدگی ترانس، احتمال آسیب دیدگی کمپرسور و مخزن + اشکال در سیستم کمپرسور انتخاب گردید² که جهت طراحی FIS بکار گرفته شدند. سه نوع مختلف استنتاج فازی در توپولوژی های مختلف به عنوان طبقه بند برای تشخیص عیوب توربین و ژنراتور برق آبی سد سپید رود استفاده شد و بهترین FIS مشخص و انتخاب گردید.

همانگونه که مشاهده می کنید تعداد پارامترها و اثر متقابل هرکدام از آنها آنقدر زیاد است که تحلیل همه این پارامترها با روش های معمولی امکان پذیر نمی باشد و راه حل پیشنهادی در این طرح تحقیقاتی استفاده از منطق فازی و قوانین فازی برای ترکیب و استخراج عیوب از این ویژگی ها می باشد.

یکی از شیوه های استخراج ویژگی استفاده از پارامترهای آماری و تعریف خلاقانه توابع و اعمال آن ها بر روی پارامترهای تشخیص عیب است. گاهی این توابع معنای خاصی را متذکر نمی شوند اما به خوبی از پس داده کاوی³ فضای ورودی برمی آیند و موجب کاهش این فضا و نیز افزایش دقت طبقه بند در مراحل بعدی می گردند. به منظور اهتمام بیشتر دو موضوع اشاره شده بایستی تکنیک های انتخاب ویژگی به کار گرفته شوند. بیشتر این شیوه ها مبتنی بر مقدار ایجاد تمایزی است که یک ویژگی در بین کلاس ها ایجاد می کنند. برخی از آن ها عبارتند از: درختان تصمیم⁴، آنالیز مولفه های اصلی⁵، ارزیابی فاصله بهبود یافته⁶، رتبه بندی ویژگی ها براساس نسبت تفاوت میانگین ها به مجموع واریانس ها، الگوریتم های تصادفی (الگوریتم ژنتیک⁷، کلنی مورچه ها⁸، الگوریتم رقابت استعماری، ...) و مواردی از این قبیل می باشد.

امروزه به منظور افزایش دقت و کاهش خطای ناشی از قضاوت انسان، از روش های مدل سازی برای طبقه بندی و تشخیص عیب استفاده می شود. در این راستا روش های طبقه بندی متعددی در حوزه علم آمار و هوش مصنوعی⁹ پیشنهاد شده است که از آن جمله می توان به شبکه های عصبی مصنوعی¹⁰، K-امین نزدیکترین همسایه¹¹، طبقه بند ساده بیز¹²، بردار پشتیبان

² لازم به ذکر است برخی از پارامترهای بکار رفته در نرم افزار و اصلاحات با مشاوره از کارشناسان نیروگاه سد و اینکه درک نرم افزار برای آنها راحت تر باشد عینا از اصلاحات برگه های روزانه جمع آوری اطلاعات نیروگاه استفاده شده است و معادل فارسی و یا انگلیسی آنها مد نظر نبوده است.

³ Data mining

⁴ Decision trees (DT)

⁵ Principal Components Analysis (PCA)

⁶ Improved Distance Evaluation (IDE)

⁷ Genetic Algorithm

⁸ Ant Colony

⁹ Artificial Intelligence

¹⁰ Artificial Neural Network (ANN)

¹¹ K'th Nearest Neighbor (KNN)

¹² Naive Bayes Classifier (NBC)



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

ماشین¹³، آنالیز تشخیص¹⁴، سیستم‌های استنتاج فازی¹⁵، مدل پنهان مارکوف¹⁶ و ... اشاره کرد. هر کدام از این روش‌ها معایب و مزایای خاص خود را دارند. منطق فازی جز روش‌های هوش مصنوعی محسوب می‌شود و از لحاظ فهم، پیاده سازی و هزینه بسیار ساده و مناسب است.

با توجه به مطالب فوق، در این پژوهش به بررسی عیوب متداول توربین و ژنراتور نیروگاه برق آبی سد سفید رود ناشی از تغییرات پارامترهای مختلف توربین و ژنراتور پرداخته و طراحی یک سیستم تشخیص عیب هوشمند بر پایه ی پایش وضعیت پارامترهای مختلف توربین و ژنراتور نیروگاه برق آبی سد سفید رود و منطق فازی به منظور تشخیص عیوب در توربین و ژنراتور نیروگاه برق آبی سد سفید رود پرداخته شده است.

در ادامه مشخصات کلی سد و نیروگاه سفید رود به همراه مشخصات توربین، مشخصات ژنراتور و مشخصات ترانس های نیروگاه سد سفید رود در جدول های زیر آمده است.

جدول 1- جدول ویژگی های سد

ویژگیهای سد			
نام سد	سفید رود	حجم مخزن (MCM)	1750
نام رودخانه	قرل اوزن - شاهرود	عمر پیش بینی شده (سال)	110
موقعیت جغرافیایی	شهر منجیل	عمر باقی مانده (سال)	72
نوع سد	بتنی وزنی پایه دار	حجم بدنه سد (m^3)	840000
طول تاج سد (متر)	425	نیروگاه	دارد ☒ ندارد ☐
ارتفاع از پی (متر)	106	تونل انتقال آب	دارد ☒ ندارد ☐
		سد تنظیمی	دارد ☒ ندارد ☐

¹³ Support Vector Machines (SVM)

¹⁴ Discriminant Analysis (DA)

¹⁵ Fuzzy Inference System (FIS)

¹⁶ Hidden Markov Model (HMM)



دانشگاه تهران



شرکت سهامی آب منطقه ای گیلان

پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

جدول 2- ویژگی های عمومی نیروگاه

ویژگیهای عمومی نیروگاه					
نام نیروگاه	سفید رود	سازنده تجهیزات اصلی	سال ساخت تجهیزات اصلی (میلادی)		
نام کارفرما	شرکت سهامی آب منطقه ای گیلان	توربین	شرکت نیپرپیک	توربین	1954
محل جغرافیایی نیروگاه	شهر منجیل	ژنراتور	شرکت ژمونت	ژنراتور	1954
نام پیمانکار اصلی	شرکت نیپرپیک - ژمونت	ترانسفورماتور	شرکت ژمونت	ترانسفورماتور	1967
نام مشاور		گاورنر	شرکت نیپرپیک	گاورنر	1954
نام پیمانکاران ساختمانی	شرکت ساسر	سیستم کنترل	شرکت تریندل	سیستم کنترل	
نام پیمانکاران نصب	نیپرپیک - ژمونت - تریندل	نوع قرارداد کلید در دست غیر کلید در دست			
		تعداد و قدرت واحدها (MW)	5×17/5		
		مساحت نیروگاه (m ²)	4452		

جدول 3- مشخصات فنی توربین

توربین	
نوع توربین	فرانسیس عمودی
ظرفیت اسمی توربین (MW)	18
دور توربین (RPM)	300
ماکزیمم هد توربین (m)	82/7
می نیمم هد توربین (m)	47/7
ماکزیمم دبی توربین (m ³ /S)	33
می نیمم دبی توربین (m ³ /S)	26/6
دور مخصوص توربین (RPM)	223/59
راندمان کلی توربین (%)	85% - 92/5%
وزن روتور توربین (Kg)	10170
طول روتور توربین (m)	4/115
قطر متوسط روتور (m)	0/46
تعداد یاتاقان های ژورنال	1
گاورنر	
نوع کاورنر	هیدرو مکانیکی
شماره سریال	REGLEUR 570



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

جدول 4- مشخصات فنی ژنراتور

ژنراتور	
نوع ژنراتور	سنکرون
قدرت نامی (MVA)	22
ولتاژ نامی (V)	10600
فرکانس (Hz)	50
ضریب قدرت (اعشاری)	0/8
تلفات داخلی (MW)	0.4
نوع تحریک	استاتیکی
قدرت مصرفی تحریک (MW)	0/06
سیستم خنک کاری	آب - هوا
وزن روتور (Kg)	30000
سیستم روغن کاری	هیدرو دینامیکی
قطر محور (m)	0/44
قطر پوسته (m)	4/25
طول محور (m)	5
نوع یاتاقان ها	ژورنال - تراست - هادی
نعداد یاتاقان ها	3
نوع کوپلینگ ژنراتور به توربین	پین برشی
نوع سیستم کنترل	☒ Conventional ☐ DCS ☐ CCS



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

جدول 5- مشخصات فنی ترانس های نیروگاه

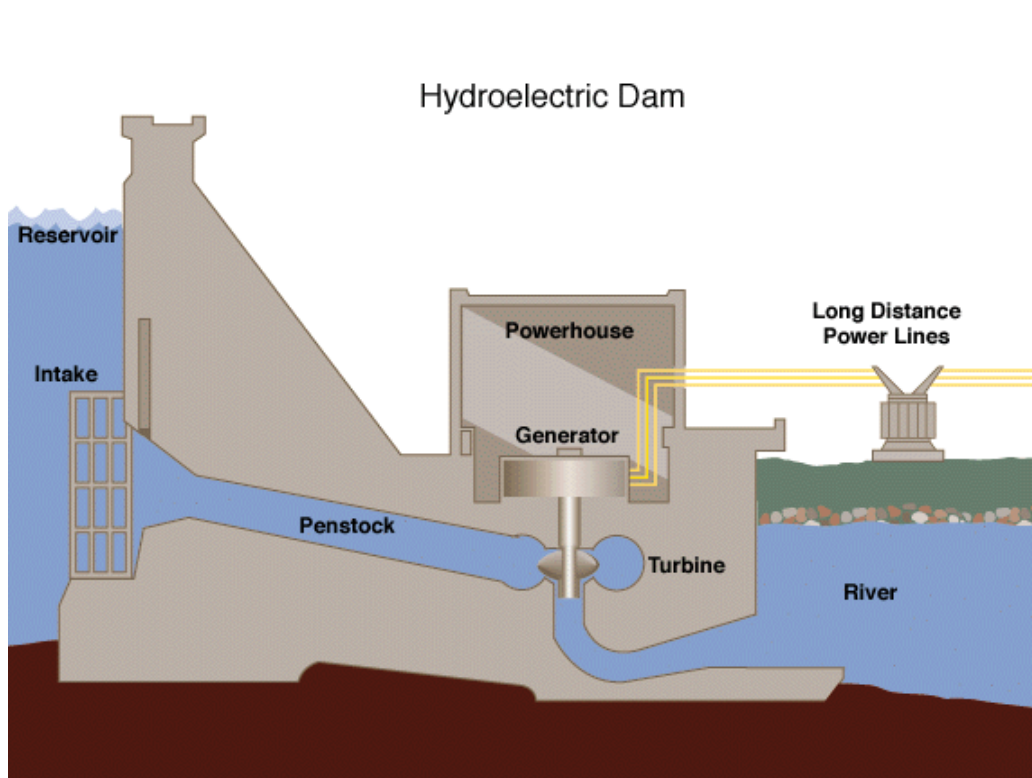
ترانسها	اصلی	تغذیه داخلی
تعداد به ازاء هر واحد	1	3
قدرت به ازاء هر واحد	22 MVA	100 KVA
ولتاژ اولیه	10600 V	10600 V
ولتاژ ثانویه	132 KV	400 V
جریان اولیه	1198 A	5/45 A
جریان ثانویه	87/3 A	144/5 A
تلفات مس	160 KW	
تلفات آهن	252 KW	
مصرف خنک کن	5 KW	
امپدانس	12/8 %	
تعداد تپ چنجر ¹⁷	3	5
نوع روغن	شل DIALA B-	شل
وزن ترانس بدون روغن	36000 Kg	700 Kg
وزن روغن	9000 Kg	140 Kg
ابعاد تقریبی ترانس	4×4/7×4 m	0/84×0/84×1/45m

¹⁷ Tap Changer



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

شکل شماره 1 شکل شماتیک از یک سد و یک نیروگاه آبی را نمایش می دهد که مشابه نیروگاه سد سفید رود می باشد.



شکل 1 برشی از یک سد و یک نیروگاه آبی



دانشگاه تهران



شرکت سهامی آب منطقه ای گیلان

پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

فصل دوم

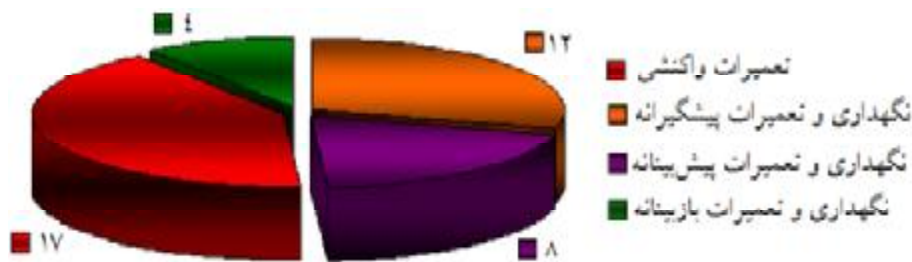


پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

نگهداری و تعمیرات

یکی از اقدامات اولیه و مؤثر در افزایش تولید و کاهش هزینه‌ها، بهینه‌سازی روش‌های نگهداری و تعمیرات (نت) است که در تمام صنایع پیشرفته دنیا بعنوان گام مؤثر و اساسی تلقی شده‌است طوری که در زمینه پیاده‌سازی استراتژی‌های نوین نگهداری و تعمیرات در راستای کاهش هزینه‌های تعمیراتی و عدم توقف‌های ناخواسته سرمایه‌گذاری‌های کلان می‌نمایند. چهار نوع از راهبردهای متداول در نت به شرح ذیل می‌باشد (شکل 2) :

1. تعمیرات واکنشی¹⁸
2. نت پیشگیرانه¹⁹
3. نت پیش‌بینانه²⁰
4. نت بازبینانه²¹



شکل 2- درصد هزینه تعمیرات از کل درآمد تولیدی در انواع متداول نت

تعمیرات واکنشی

تعمیرات واکنشی یا کار تا خرابی، همان استراتژی سنتی است که دستگاه‌ها تا مادامی که دچار خرابی نشده‌اند در سرویس قرار نمی‌گیرند، در این شیوه، هزینه‌ای صرف نگهداری نمی‌شود تا زمانی که ماشین یا سیستم خراب شود. کار تا خرابی یک تکنیک مدیریت عکس‌العملی است که قبل از انجام هر کار تعمیراتی منتظر خرابی ماشین یا تجهیزات می‌ماند که در واقع یک مدیریت بدون نگهداری می‌باشد و از طرفی گران‌ترین مدیریت تعمیراتی نیز می‌باشد. تحلیل هزینه‌های تعمیراتی نشان داده است که هزینه‌ی تعمیرات اجرا شده به شکل عکس‌العملی یا حالت کار تا خرابی سه برابر همان تعمیرات با حالت پیشگیرانه یا برنامه ریزی شده می‌باشد. برنامه ریزی برای تعمیرات، زمان تعمیر و هزینه نیروی کار آن را به حداقل می‌رساند.

نت پیشگیرانه

بعد از عمر طبیعی ماشین‌ها، احتمال خرابی نسبت به زمان با شیب تندی رشد می‌کند. در نت پیشگیرانه، برنامه‌های منظم دوره‌ای برای بازبینی، بازرسی و تعمیرات دستگاه‌ها مشخص می‌گردد. عمر طبیعی یک ماشین در شرایط مختلف کاری

¹⁸ Run To Failure

¹⁹ Preventive Maintenance

²⁰ Predictive Maintenance

²¹ Proactive Maintenance



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

متفاوت است تخمین بیش از حد منجر به از کارافتادگی ماشین و توقف سامانه‌ای می‌گردد که در ارتباط با ماشین هستند. کمتر در نظر گرفتن عمر نرمال سبب تعمیر غیر ضروری خواهد شد و نیروی کار و قطعات یدکی استفاده شده جهت تعمیر هدر خواهد رفت.

نت پیش‌بینانه

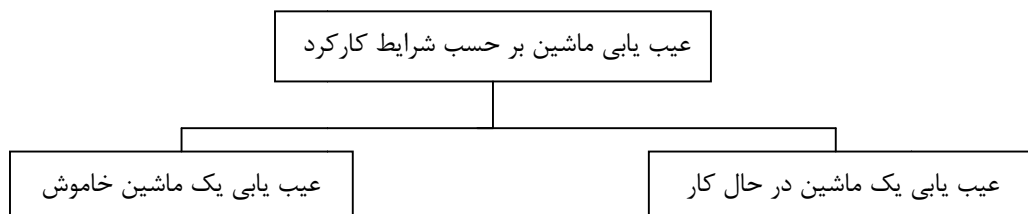
در این استراتژی، خرابی دستگاه قبل از وقوع شناسائی شده و در زمان تعیین شده تعمیر دستگاه انجام می‌گیرد و به این ترتیب تعداد تعمیرات دوره‌ای کاهش می‌یابد. در واقع تعمیرات پیش‌بینانه یک نوع برنامه‌ی تعمیرات پیشگیرانه است که محرک آن شرایط سالم ماشین نسبت به شرایط خراب می‌باشد و به جای تکیه بر میانگین عمر استاتیک ماشین (یعنی میانگین زمان تا خرابی) برای برنامه‌ریزی فعالیت‌های تعمیراتی خودش، از پایش وضعیت هر جزء ماشین استفاده می‌کند.

نت بازبینانه

در این استراتژی، ریشه و علل خرابی دستگاه نیز مشخص می‌گردد و بر رفع آن همت گمارده می‌شود. بدین منظور بایستی عیوب مختلف تشخیص و از هم تمیز داده شوند. این نت مبتنی بر یافتن عیب²²، تشخیص عیب²³ و طبقه بندی عیوب²⁴ است.

عیب یابی و شرایط کارکرد ماشین

وضعیت ماشین هم در حالت کارکرد و هم در حالت خاموش تعیین می‌گردد (شکل 3)



شکل 3 - تمایز در عیب یابی ماشین بر حسب موقعیت های کاری

عموماً تنها زمانی نتایج قابل استفاده برای عیب یابی ماشین خاموش حاصل خواهد شد که تمام قطعات ماشین باز شده و همه ی اجزای آن اعم از ساچمه های یاتاقان غلتشی جهت آزمون از نظر سایش، خوردگی، زنگ زدگی و استهلاک در دسترس باشند. این روش بسیار هزینه بر می باشد. زیرا ممکن است در اثر باز کردن ماشین، قطعات سالم نیز آسیب ببینند. از این روش در صنایع خیلی حساس مثل صنایع هواپیمایی استفاده می شود .

در حالتی که ماشین کار می کند، وجود و یا رشد آسیب ها را می توان بدون دمونتاژ ماشین و تحت شرایط عملیاتی، با اندازه گیری ویژگی‌های عیب و ارزیابی عوامل خرابی تشخیص داد. در حالت ساده، این کار به وسیله ی ارزیابی حسی اشخاص

²² Fault detection

²³ Fault diagnosis

²⁴ Fault classification



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

مثل حس شنوایی، بینایی و لامسه انجام می گردد. امروزه هنوز هم حس کردن ارتعاش با دست یا قرار دادن یک میله ی راست روی سطح ماشین جهت ارزیابی ارتعاشات ماشین به کار می رود. اعتبار این روش ها محدود و به تجربه ی شخصی که عمل ارزیابی را انجام می دهد، بستگی دارد. بنابراین دقت عمل این روش ها مشکوک بوده و نمی تواند اساس یک عیب یابی مدرن واقع شوند. برای این منظور دستگاه های اندازه گیری که توانایی ثبت دقیق و قابل تکرار مقادیر اندازه گیری را دارند، مورد نیاز است.

روش های عیب یابی

متداول ترین روش ها برای عیب یابی ماشین عبارت است از:

- اندازه گیری پارامترهای عملکردی
 - اندازه گیری دما
 - اندازه گیری فشار
 - اندازه گیری و آنالیز ارتعاشات²⁵
 - اندازه گیری و آنالیز صدا²⁶
 - روش های اندازه گیری برای جابجایی، انبساط و پارامترهای فرآیندی
 - آنالیز روغن²⁷ (اسپکتروسکوپی²⁸، فرو گرافی²⁹، روش های radionuclide)
- انتخاب هر یک از این روش ها نه تنها به ساختمان ماشین بلکه بطور عمده به میزان هزینه های اجرایی و کارآیی روش به کار برده شده نیز بستگی دارد.

عیب یابی با استفاده از اندازه گیری دما، فشار و ارتعاشات

عیب یابی بر اساس اندازه گیری دما، فشار و ارتعاشات به دو روش کلی³⁰ و تحلیلی³¹ تقسیم می شود (شکل 4). روش کلی جهت ارزیابی وضعیت کلی ماشین به صورت سریع و ارزان، با تعداد محدود مقادیر اندازه گیری (که مقادیر کلی نامیده می شوند) به کار می رود. این روش را می توان با فعالیت های پزشکی مانند اندازه گیری دما، فشار خون، ضربان و سایر علائم بیرونی قابل اندازه گیری مقایسه نمود. در روش تحلیلی، وضعیت اجزای مختلف ماشین ارزیابی شده و عیوب در حال رشد، به موقع تشخیص داده می شوند. این روش در پزشکی با روش های تشخیصی مثل آزمون های التراسونیک³²، توموگرافی³³ یا

²⁵ - Vibration analysis

²⁶ - Acoustic analysis

²⁷ - Oil analysis

²⁸ - Spectroscopy

²⁹ - Ferrography

³⁰ - Overall methods

³¹ - Analytical methods

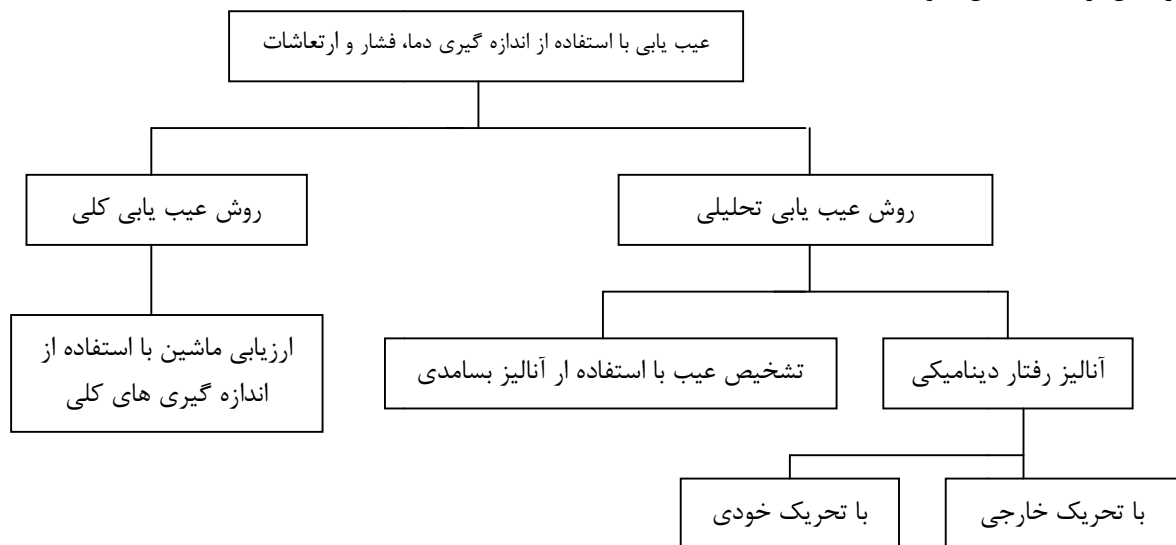
³² - Ultrasonic

³³ - Tomography



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

اشعه ی 34X می باشد، آنالیز بسامد و روش های آنالیز رفتار دینامیک، امکان تشخیص علل ایجاد عیوب در ماشین را فراهم می آورد .
در این تحقیق با توجه به شرایط استخراج داده ها و پارامترهای نیروگاه سد سفید رود از پارامترهای کلی دما، فشار و ارتعاش برای تشخیص عیوب استفاده شده است.



شکل 4 - مروری بر روش های عیب یابی مبتنی بر اندازه گیری فشار، دما و ارتعاشات

استراتژی و راهکارهای اجرای نظارت بر وضعیت تجهیزات

هدف از نگهداری و تعمیرات مبنی بر وضعیت آنی (CM)، بدست آوردن آثار و نشانه هایی دال بر نحوه عملکرد وضعیت ماشین آلات در هنگام کار می باشد تا بر اساس تحلیل های مورد نظر، دستگاه بتواند بصورت اقتصادی و ایمنی نگهداری شده و به کار خود ادامه دهد. تعداد زیادی از تکنیک ها و تجهیزات بمنظور نظارت بر وضعیت وجود دارد که همه آنها مبتنی بر پنج طبقه بندی می باشد.

1- مشاهداتی

در این روش وضعیت ظاهر از قبیل رنگ، شکل، ضخامت، بافت و غیره تجهیزات و ماشین ها مورد بررسی قرار می گیرد این کار توسط حواس و یا تجهیزات مکانیکی و الکترونیکی پیشرفته صورت می پذیرد. از جمله این آزمایش ها می توان آزمایش های غیر مخرب NDT که در زیر به تعدادی از آنها اشاره شده است را نام برد:

- تست التراسونیک (UT)
- تست رادیوگرافی (RT)
- تفسیر فیلم های رادیوگرافی (RTI)
- تست مایعات نافذ (PT)
- تست ذرات مغناطیسی (MT)



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

2- تست عملکردی

در این نوع آزمایش انواع نرخ خروجی سیستم ها مورد آزمایش و بررسی قرار میگیرد که برای مثال مواردی مانند یکنواختی نرخ خروجی، سطح کیفی خروجی ماشین و یا یکنواختی کیفیت تولید خروجی ماشین مانیتور گردد. از جمله این گونه آزمایش ها می توان به آزمایش جریان سنجی اشاره کرد.

3- تست حرارت

حرارت سنجی نیز یکی از آزمایش های بسیار ساده و ارزان وضعیت آنی ماشین آلات است که توسط انواع حرارت سنج ها بخصوص حرارت سنج های لیزری می توان آن را انجام داد. این روش مانیتورینگ می تواند بعضی از عیوب، بخصوص عیوب مربوط به یاتاقان ها را نمایش دهد.

پایش وضعیت ترموگرافی

با عکسبرداری مادون قرمز از تجهیزات و قطعات و مشخص نمودن چگونگی پراکندگی و میزان حرارت بر روی آنها عیب های موجود تشخیص داده می شود. اجرای ترموگرافی در تشخیص عیوب زیر بسیار موثر می باشد.

- عیب یابی تجهیزات الکتریکی (کشف محل لقی اتصالات، Hot Spot ها، ضعف های سیستم های خنک کننده، نشی، Overload، تضعیف یا سوختن عایق و Lamination و ...)
- عیب یابی ماشین آلات مکانیکی (عدم هم خطی Misalignment، خرابی بیرینگ ها/چرخ دنده ها، روغن کاری ناقص، لقی اتصالات، محل های اتلاف انرژی، مکان تنش رفت و برگشتی و ...)
- عیب یابی سیستم ها انرژی (بویلر، مبدل، خنک کننده ها و ...)
- عیب یابی عایق بندی
- عیب یابی سیستم های الکترونیکی (تشخیص عیوب بردهای الکترونیکی ریال وضعیت Heat sink ها ...)

4- تست ارتعاشات Vibration Condition Monitoring

آزمایش و بررسی وضعیت ماشین بر اساس ارتعاش سنجی یکی از بهترین و پر کاربردترین روشهای بررسی وضعیت آنی ماشین آلات می باشد که قادر است خیلی زود وضعیت آینده کارکرد ماشین را پیشگویی نماید. در این نوع آزمایش سطح ارتعاشات کلی ماشین مورد ارزیابی و نظارت قرار می گیرد. در ارتعاش سنجی با تجزیه و تحلیل پارامترهایی نظیر فرکانس، فرم تک موج و آمار امواج وضعیت عملکرد ماشین را مورد بررسی قرار می دهند. یکی از ویژگی های مهم تست های ارتعاش سنجی، مشخص کردن عیوب ماشین آلات در مراحل اولیه خرابی می باشد که این به نوبه خود می تواند عامل مهمی در کاهش میزان صدمات و خسارات وارد بر ماشین و یا عملیاتی باشد که ماشین عهده دار انجام آن است

5- تست ذرات فرسایشی

در این آزمایش وضعیت عملکرد ماشین آلات و تجهیزات بر اساس تجزیه و تحلیل مقدار ذرات فرسایش یافته در تجهیزات صورت می گیرد. در این روش خصوصیتی مانند توزیع اندازه ذرات، شکل ذرات و ترکیب شیمیایی ذرات فرسایش یافته مورد نظارت و ارزیابی قرار می گیرد.



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

6- آزمایش تجزیه روغن Oil Condition Monitoring

در این نوع آزمایش مقدار آلودگی روغن مورد مصرف در ماشین آلات و تجهیزات از طریق تجزیه و تحلیل عوامل مانند مشخصات فیزیکی روغن، سطح افزودنی ها و ترکیبات فیزیکی و شیمیایی روغن مورد بررسی قرار گرفته و نتایج حاصل از این آزمایش وضعیت عملکرد ماشین را نمایش می دهد. این نوع آزمایش بیشتر برای موتورهای رفت و برگشتی همراه با تست ارتعاش توصیه می شود.

پایش وضعیت روغن

برخی از مزایای به کارگیری پایش وضعیت روغن:

- تشخیص به موقع فرسایش و عیب قبل از بروز خسارت سنگین
- شناسایی عناصر آلاینده و نحوه ورود آن به داخل سیستم
- جلوگیری از تعویض مواد و قطعات قبل از پایان عمر مفید آنها
- کنترل فرسایش های غیر عادی
- کنترل کیفی مواد مصرفی نظیر روغن ها، فیلترها و افزایش عمر آنها
- کنترل و بهینه سازی برنامه PM
- افزایش بهره وری

7- تست های ترموگرافی

تست های ترموگرافی یا ترمو ویژن از جمله تست های پر کاربرد در پایش وضعیت می باشد که با استفاده از عکس های مادون قرمز در محدوده اوج الکترومغناطیس می توان به عیوب ماشین و تجهیزات که ناشی از تغییرات حرارتی و تغییرات گرادیان حرارت است پی برد.

تجزیه و تحلیل داده ها و کسب نتایج

داده های بدست آمده از آزمایش های اشاره شده، بوسیله روش های مناسب که در زیر آمده است قابل استفاده خواهند شد که در زیر به اختصار هر یک از این روشها توضیح داده شده اند.

1- نظارت بر روند Trend Monitoring

روش نظارت بر روند یکی از روش های اعمال نظارت بر وضعیت ماشین آلات و تجهیزات می باشد. در این روش می توان زمان آستانه مفیدی را برای اخطار شروع خرابی ماشین ارایه نمود. توسط این روش منحنی مربوط به نظارت بر روند کار ماشین آلات را رسم نموده و می توان اطلاعات مفیدی را از وضعیت عملکرد ماشین بدست آورد. این روش یک روش کاملا اقتصادی و عملی برای نظارت وضعیت ماشین آلات می باشد.

2- چک کردن وضعیت Condition Checking

این روش نیازمند اطلاعات و جزئیات مربوط به سوابق خرابی های قبلی دستگاه نیز می باشد. در صورتیکه اطلاعات قابل توجهی از ماشین و مشخصات خرابی آن وجود داشته باشد، با یک آزمایش از وضعیت ماشین می توانند، عملکرد آینده ماشین را مشخص نمایند و اطلاعات کافی در خصوص عملکرد آینده ماشین بدون خطر خرابی و یا برعکس آن را ارایه نمایند.



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

3- تشخیص عیب Fault Diagnosis

در این روش، اطلاعات بدست آمده از آزمایش های نظارت بر وضعیت برای نمایش بیشترین احتمال خرابی سیستم تجزیه و تحلیل شده و عیوبی که برای ماشین در حال حاضر وجود داشته و یا می تواند برای ماشین اتفاق بیفتد را مشخص می نماید.

امروزه به منظور افزایش دقت و کاهش خطای ناشی از قضاوت انسان از روش های مدل سازی برای طبقه بندی و تشخیص عیب استفاده می شود. مدل سازی ها در ابتدا بسیار ساده بودند اما با توسعه چشم گیر و فزاینده ی علم، مدل سازی ها و روابط قدیمی کم و بیش اعتبار خود را از دست دادند. در کنار این مسئله توجه به مدل سازی های پویایی که در نقاط کار متغیر عمل می کنند باعث شد که به سادگی نتوان از مدل های ساده ی معمولی استفاده نمود. غیر خطی بودن مسائل نیز عاملی است که به سادگی نمی توان از کنار آن گذشت. در این راستا روشهای مدل سازی متعددی پیشنهاد شده است که از آن جمله شبکه ی عصبی مصنوعی، کلنی مورچه ای، نظریه ی منطق فازی، الگوریتم ژنتیک و ... را می توان نام برد. هر کدام از این روش ها معایب و مزایای خاص خود را دارند. منطق فازی روشی است که از لحاظ فهم، پیاده سازی و هزینه بسیار ساده و مناسب است. به طور کلی منطق فازی اعتبار یا ارزش نسبی دقت یک چیز است. فازی روابط نسبی دقت و حقیقت یا معنا را با توابع ریاضی بیان می کند. از مزایای روش فازی نسبت به سایر روش ها می توان به موارد زیر اشاره کرد:

1. قابل فهم بودن مفهوم منطق فازی
2. ساده بودن مفاهیم ریاضی که فازی را نتیجه می دهند
3. انعطاف پذیری منطق فازی
4. مدل کردن توابع غیر خطی با هر پیچیدگی دلخواه
5. قابلیت همراهی منطق فازی با تکنیک های مرسوم در کنترل
6. پایه گذاری منطق فازی به زبان طبیعی

در روش فازی با استفاده از یک نگاشت فضای ورودی ها به فضای خروجی ها مرتبط می شود و اصول ابتدایی برای انجام این کار، یک سری از عبارات اگر-آنگاه است که به آن ها قانون می گویند. تمامی قوانین به صورت موازی ارزش گذاری می شوند. قوانین به تنهایی مهم هستند زیرا همگی آن ها به متغیر ها اشاره دارند و متغیر ها را توصیف می کنند. در روش فازی باید تمامی عباراتی که نوع استفاده از سیستم را توضیح می دهند و همچنین صفات مربوط که نوع استفاده را توضیح می دهند، تعریف شوند.

عیب یابی ارتعاشی

عیب یابی بر اساس اندازه گیری ارتعاشات به دو روش کلی³⁵ و تحلیلی³⁶ تقسیم می شود. روش کلی جهت ارزیابی وضعیت کلی ماشین به صورت سریع و ارزان، با تعداد محدود مقادیر اندازه گیری (که مقادیر کلی نامیده می شوند) به کار می رود. این روش را می توان با فعالیت های پزشکی مانند اندازه گیری دما، فشار خون، ضربان و سایر علائم بیرونی قابل اندازه گیری مقایسه نمود. در روش تحلیلی، وضعیت اجزای مختلف ماشین ارزیابی شده و عیوب در حال رشد، به موقع تشخیص داده می شوند. این روش

³⁵ Overall methods

³⁶ Analytical methods



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

در پزشکی با روش‌های تشخیصی مثل آزمون‌های التراسونیک³⁷، توموگرافی³⁸ یا اشعه‌ی X³⁹ معادل می‌باشد. آنالیز فرکانس و روش‌های آنالیز رفتار دینامیک، امکان تشخیص علل ایجاد عیوب در ماشین را فراهم می‌آورد. اهمیت ویژه‌ی ارتعاشات مکانیکی به علت محتوای زیاد اطلاعات آن‌ها می‌باشد. ارتعاشات مکانیکی مشخصات برجسته‌ی معتبر زیر را فراهم می‌آورد:

- ارتعاشات مکانیکی نشانگر وضعیت ماشین می‌باشند.
- ارتعاشات مکانیکی اثرات دینامیکی ایجاد شده روی فونداسیون‌ها و محیط ماشین را آشکار می‌سازند.
- ارتعاشات مکانیکی اصول لازم برای عیب‌یابی و رفع عیوب در ماشین‌ها را فراهم می‌آورد.

پارامترهای ارتعاش

در ادامه پارامترهای مهم ارتعاش که در تشخیص عیب می‌تواند موثر باشند ارایه شده است.

1- جابجایی ارتعاش

جابجایی⁴⁰ ارتعاش، مقدار انحراف نقطه‌ی اندازه‌گیری شونده از موقعیت اولیه‌ی خود می‌باشد. اندازه‌گیری جابجایی برای قطعات با بسامد پایین اهمیت بیشتری دارد. طبیعت سیستم‌های مکانیکی طوری است که جابجایی‌های محسوس فقط در بسامدهای پایین حادث می‌شوند.

2- سرعت ارتعاش

سرعت ارتعاش، میزان سرعت حرکت نقطه‌ی اندازه‌گیری شونده حول موقعیت اولیه‌ی خود می‌باشد. سرعت به عنوان شاخص خستگی⁴¹ شناخته می‌شود.

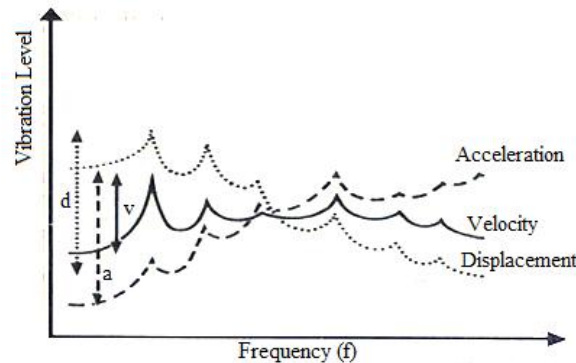
3- شتاب ارتعاش

شتاب ارتعاش، میزان شتاب حرکتی نقطه‌ی اندازه‌گیری شونده حول موقعیت اولیه‌ی خود می‌باشد. شتاب به عنوان شاخص نمایشگر نیروی ارتعاشی است و اندازه‌گیری آن برای اجزای با بسامد بالا اهمیت بیشتری دارد. برای یک حرکت نوسانی در یک فرکانس معین، هر سه پارامتر جابجایی، سرعت و شتاب ارتباط نزدیکی با هم دارند. شکل (5) نشان می‌دهد که محدوده‌ی مورد نیاز برای نمایش نمودار سرعت (V) از سایر پارامترها کمتر است و بنابراین کمترین محدوده‌ی دینامیکی را در سیستم اندازه‌گیری اشغال می‌کند و سطح بالاتری از نسبت سیگنال به نوفه⁴² را می‌دهد.

³⁷ Ultrasonic
³⁸ Tomography
³⁹ X-rays
⁴⁰ Displacement
⁴¹ Fatigue index
⁴² Noise



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی



شکل 5- محدوده‌ی دینامیکی مورد نیاز برای پارامترهای جابجایی، سرعت و شتاب در سیستم اندازه‌گیری

روش‌های پردازش سیگنال

روشهای مختلف پردازش سیگنال در تشخیص عیوب بسیار موثر می باشند که در ادامه تعدادی از آنها ارایه شده است.

1- پردازش در حوزه‌ی زمان

فاکتورهایی که بر سطح ارتعاش و مقدار خطای انتقال چرخ دنده تاثیر می‌گذارند شامل تغییرات سفتی دندانه و بار تحمل شده توسط هر دندانه به عنوان تابعی از زاویه گردش، تغییرات در هندسه چرخ‌دنده و دندانه به خاطر خطاهای گام و پروفیل آن، خارج از مرکزی و تغییر در سطح نمایی دندانه هستند.

بعضی از روش‌های پردازش سیگنال در حوزه زمان عبارتند از: میانگین‌گیری همزمان⁴³، مدولاسیون دامنه⁴⁴، تحلیل پوش تبدیل هیلبرت⁴⁵، همبستگی بُعدی⁴⁶ از جمله روش‌های دیگر این حوزه که مبتنی بر مطالعه مشخصات آماری سیگنال است، می‌توان به محاسبه پارامترهای گوناگون نظیر جذر میانگین مربعات⁴⁷، کرسٹ فاکتور⁴⁸، کرسٹوسیس⁴⁹، و ممان‌های مرتبه بالا⁵⁰ اشاره کرد مزیت این روش‌ها سادگی محاسباتی آنها و کاستی عمده آنها عدم توانایی آنها در تشخیص نوع عیب است.

در مورد یک ماشین ساده که ارتعاشات سایر اجزا باعث پوشانده شدن عیب نمی‌گردد، روش محاسبه کرسٹ فاکتور می‌تواند مفید واقع شود. این پارامتر به شکل نسبت ماکزیمم دامنه به مقدار RMS تعریف می‌شود. ضربات ناشی از عیب باعث ایجاد ضربه‌های نوک تیزی در سیگنال زمانی می‌گردند و ضریب کرسٹ را افزایش می‌دهند. ضریب کرسٹ بین چهار تا شش بیانگر شرایط عادی و شش تا دوازده نشانگر بروز عیب در سیستم است. اما متاسفانه مقادیر کوچک RMS برای چرخ دندانه‌های سالم باعث افزایش گمراه کننده در مقدار کرسٹ فاکتور هنگام وجود عیوب ناچیز در یاتاقان یا چرخ دنده می‌شود.

⁴² Time Synchronous Averaging (TSA)

⁴³ Amplitude Demodulation

⁴⁵ Hilbert Transform

⁴⁶ Correlation dimension

⁴⁷ Root Mean Squares (RMS)

⁴⁸ Crest factor

⁴⁹ Kurtosis

⁵⁰ Higher order moment



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

کرتوسیس که توسط ممان چهارم نرمال شده سیگنال زمانی تعریف می‌شود نشانگر ماهیت ضربه‌ای سیگنال است. وجود قله-های ناگهانی⁵¹ در سیگنال زمانی باعث افزایش پارامتر کرتوسیس می‌گردد، از این رو می‌تواند در تشخیص عیوب با ماهیت ضربه‌ای موثر واقع شود. برای یک سیگنال با ماهیت تصادفی مانند نوفه سفید یا ارتعاشات حاصل از کارکرد طبیعی بلبرینگ و دنده این مقدار حدود سه است. با بروز عیب کوچک و محلی به خاطر ایجاد قله در سیگنال زمانی، پارامتر کرتوسیس افزایش می‌یابد، اما با افزایش زیادتر عیب مجدداً دوباره سیگنال ماهیت تصادفی به خود می‌گیرد و بنابراین کرتوسیس کاهش می‌یابد. این موضوع باعث می‌شود تا این روش نتواند در مورد عیوب شدیدتر اظهار نظر کند. کنس (1999) در تحقیقی نحوه محاسبه پارامترهایی که سطح قله سیگنال را تشخیص می‌دهند مانند بیشینه قله، بیشینه قله تا قله، قله های بالای مقدار متوسط موثر سیگنال، نقاط بالای مقدار RMS، مقدار متوسط موثر دامنه و نظایر آن را بررسی کرده است.

2- روش‌های حوزه فرکانس

مبنای تمامی این روش‌ها انتقال اطلاعات سیگنال زمانی از حوزه زمان به حوزه فرکانس به وسیله تبدیلی موسوم به تبدیل فوری⁵² است. از آنجا که رایانه‌ها و آنالیز کننده‌ها با داده‌های گسسته کار می‌کنند، تبدیل فوری گسسته⁵³ در کاربردهای صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. الگوریتم محاسباتی سریع برای محاسبه DFT به نام FFT مبنای محاسباتی تمامی نرم افزارها و آنالیز کننده‌ها موجود را تشکیل می‌دهد. در FFT فرض بر این است که سیگنال زمانی متناوب است. به همین دلیل استفاده از توابع پنجره جهت بریدن بخشی از سیگنال و متناوب در نظر گرفتن آن رایج است. از طرفی استفاده از توابع پنجره باعث می‌شود تا از تغییرات تابع صرف نظر کرده و سیگنال را پایدار در نظر گرفت. در نهایت FFT با افراز سیگنال بر روی فضا با بردارهای پایه سینوسی و کسینوسی، حضور هر فرکانس را در سیگنال نشان می‌دهد. از آنجا که روش FFT می‌تواند هارمونیک‌های اصلی فرکانس درگیری دنده و نحوه توزیع باندهای کناری ناشی از بروز عیب را نشان دهد، دید خوبی به متخصص در مورد وضعیت ماشین می‌دهد؛ اما به مجرد پیچیده‌تر شدن دستگاه و افزایش اجزای دوار طیف فرکانسی نیز پیچیده شده و امکان تحلیل و تفسیر آن از بین می‌رود. همچنین با نگاشت اطلاعات به حوزه فرکانس اطلاعات زمانی سیگنال از بین رفته و نمی‌توان در مورد زمان یا به عبارتی محل بروز عیب اطلاعاتی به دست آورد. باید به این نکته نیز توجه کرد که به طور ضمنی فرض بر این است که سیگنال ماهیت ایستا به خود گرفته و دارای اتفاقات گذرا نیست. در حالی که در عمل این گونه نیست، چرا که عیوب موضعی همیشه خود را به شکل نوسانات جزئی و محلی در سیگنال ارتعاشی نشان می‌دهند. چون FFT خروجی مختلط به دست می‌دهد عموماً استفاده از طیف توان⁵⁴ دامنه FFT رایج است. طیف توان میزان انرژی‌ای که در هر فرکانس وجود دارد را نشان می‌دهد. میانگین‌گیری در حوزه فرکانس باعث کاهش نوفه و مولفه‌های نامعین می‌گردد، اما در مقایسه با TSA از قدرت کمتری برخوردار است. در TSA با یک افزایش 10 برابری تعداد میانگین‌گیری‌ها سطح نوفه نیز 10db کاهش می‌یابد.

⁵¹ Peakes

⁵² Fourier Transform

⁵³ Discrete Fourier Transform (DFT)

⁵⁴ Power Spectrum



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

وقتی که به سبب پیچیدگی دستگاه و افزایش اجزای دوار آن چندین خانواده هارمونیک به همراه باندهای کناری مربوطه در طیف فرکانسی ظاهر می‌شوند، تحلیل طیف فرکانسی و یافتن هارمونیک‌ها در سیگنال مشکل می‌گردد. تحلیل کپستروم⁵⁵ به عنوان تبدیل فوری معکوس لگاریتم توان طیفی سیگنال تعریف می‌شود و می‌تواند در تشخیص نحوه تکرار هارمونیک‌ها و باندهای کناری موثر باشد. همان طور که تبدیل فوری متناوب بودن در سیگنال زمانی را مشخص می‌کند، کپستروم متناوب بودن در طیف فرکانسی را معین می‌کند. در نتیجه کپستروم می‌تواند برای چرخ دنده‌های خورده شده و اجزای غلتشی یاتاقان‌ها که سیگنال ارتعاشی زمانی را دچار تغییر می‌کنند، مورد استفاده قرار گیرد و به تشخیص جزء مکانیکی معیوب کمک کند. تحلیل کپستروم بسیار مشابه تحلیل خودهمبستگی⁵⁶ است با این تفاوت که در روش خودهمبستگی دامنه هارمونیک- غالب تاثیر زیادی روی سایر هارمونیک‌ها می‌گذارد در حالی که در این روش به خاطر استفاده از لگاریتم طیف فرکانسی اثر هارمونیک‌ها با دامنه کم نیز در نظر گرفته می‌شود. به طور کلی این روش بهتر می‌تواند تناوب را در طیف فرکانسی آشکار سازد. استفاده از روش TSA نیز به دقت این روش می‌افزاید. یکی از اشکالات تحلیل کپستروم در اینجاست که با افزایش شدت عیب، دامنه قله‌ها لزوماً افزایش نمی‌یابد، در نتیجه این روش به شدت عیب حساس نیست.

3- روش‌های زمان - فرکانس

تجزیه و تحلیل سیگنال‌ها در حوزه‌های یک بعدی زمان و فرکانس معرفی شد. بدیهی است که هر حوزه، اطلاعات حوزه دیگر را به خوبی ارائه نمی‌دهد. در بعضی موارد لازم است از اطلاعات همزمان دو حوزه زمان و فرکانس برای بررسی سیگنال استفاده نمود. روش‌های زمان - فرکانس به روش‌هایی اطلاق می‌گردد که در آن‌ها اطلاعات مربوط به حوزه زمان و فرکانس با هم نمایش داده می‌شوند. در روش‌های حوزه فرکانس به طور ضمنی فرض بر این است که ارتعاشات حالت ایستا به خود گرفته و نوسانات موضعی ندارد در حالی که واقعاً این طور نیست. عیوب موضعی تولید ضربانی می‌کند که به نوبه خود باعث تغییرات موضعی و گذرا در سیگنال می‌گردد. بنابراین سیگنال ارتعاشی را باید تابعی از زمان در نظر گرفت و روشی را به کار برد که بتواند این تغییرات را شناسایی کند.

در تبدیل فوری پیوسته و گسسته بخشی از سیگنال در نظر گرفته می‌شود و محتوای فرکانسی آن به تمامی سیگنال تعمیم داده می‌شود. در محاسبه طیف توان متوسط نیز پنجره‌ای با طول مشخص بر سیگنال باز می‌شود و طیف فرکانسی برای آن محاسبه می‌گردد. سپس این پنجره در طی سیگنال حرکت داده می‌شود و پس از محاسبه طیف برای همه پنجره‌ها مقادیر به دست آمده میانگین‌گیری شده و مقدار متوسط آن‌ها به عنوان طیف فرکانسی سیگنال در نظر گرفته می‌شود. در این روش قطعه‌ای از سیگنال که اقتباس می‌گردد، همیشه دارای طول یکسانی است. بنابراین تکه زمانی به کار رفته برای تحلیل یک جزء با فرکانس بالا دارای همان طول زمانی به کار رفته، برای نوع با فرکانس پایین می‌باشد. در هر دو حالت ذکر شده اطلاعات زمانی سیگنال از بین می‌رود و تخصیص یافتگی مناسبی در حوزه زمان وجود ندارد. ساده‌ترین کار ممکن این است که هر بار که پنجره با طول ثابت روی سیگنال باز شده و طیف فرکانسی آن محاسبه می‌گردد، زمانی متناسب با آن پنجره به طیف به دست آمده اختصاص داده شود. با این کار در حین تغییر موقعیت پنجره می‌توان تغییرات طیف فرکانسی سیگنال را نیز برحسب زمان به دست آورد، چنین تبدیلی تبدیل فوری زمان کوتاه نامیده می‌شود.

⁵⁵ Cepstrum

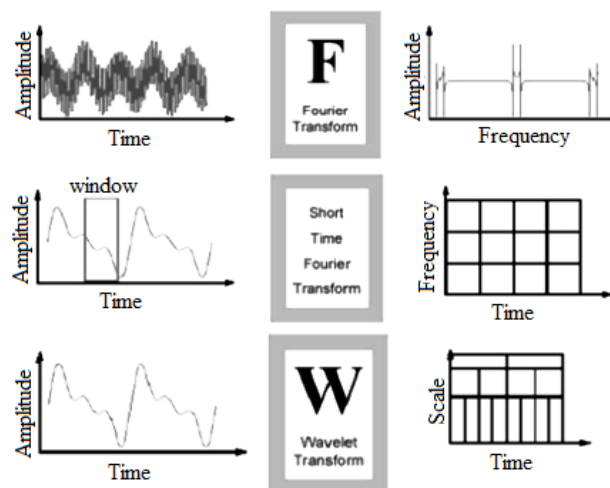
⁵⁶ Auto Correlation



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

در تبدیل فوریه کوتاه، سیگنال زمانی به بخش‌های کوچکی تقسیم می‌شود که هر کدام از این بخش‌ها را می‌توان یک سیگنال پایدار فرض نمود. برای این منظور تابع پنجره‌ای انتخاب می‌شود. پهنای این تابع باید به حدی باشد که پایدار بودن سیگنال فرض معقولی باشد. این تبدیل به علت ثابت بودن پهنای پنجره قدرت تفکیک⁵⁷ زمان - فرکانسی ثابتی را فراهم می‌کند. همچنین قدرت تفکیک زمانی و فرکانسی در جهت عکس یکدیگر عمل می‌کنند. یعنی با افزایش یکی دیگری کاهش می‌یابد.

توزیع ویگنر - وایلی⁵⁸ که یکی از مهم‌ترین تبدیل‌های زمان - فرکانس است. در سال 1932 توسط شخصی به نام ویگنر معرفی شد. بررسی اولیه در زمینه سیگنال‌ها در حوزه مشترک زمان - فرکانس توسط وایلی در سال 1949 توسط توزیع ویگنر انجام شد. این تبدیل یک فرم متفاوت از STFT می‌باشد که از طریق فرایند خود همبستگی سیگنال و تبدیل فوریه به دست می‌آید ولی بر خلاف STFT قدرت تفکیک آن با اصل عدم قطعیت محدود نمی‌شود.



شکل 6 - مقایسه تحلیل موجک، تبدیل کوتاه فوریه، تبدیل سریع فوریه

همان طور که اشاره شد تبدیل فوریه زمان کوتاه اولین رویکرد در جهت از بین بردن مشکلات تبدیل فوریه بود ولی این تبدیل نمی‌توانست دقت زمان - فرکانسی مطلوب در اکثر کاربردها را فراهم آورد. در نتیجه کاربرد تبدیل‌های موجک که می‌توانند دقت مناسبی در هر دو حوزه زمان و فرکانس داشته باشند، برای تحلیل سیگنال‌های ناپایا مورد بررسی قرار گرفت. تبدیل موجک⁵⁹ اخیراً توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است. در حدود سال 1994 نیولند⁶⁰ مقالات متعددی را منتشر کرد که در آنها تبدیل موجک معرفی شد و تئوری اساسی، روش‌ها و مثال‌های کاربردی درباره استفاده از تبدیل موجک در تحلیل سیگنال ارتعاشی بیان شده است. این تبدیل یک تبدیل خطی است که سیگنال را به یک مجموعه از توابع پایه به نام توابع موجک⁶¹ افراز می‌کند. توابع موجک با شیفت و مقیاس کردن⁶² تابع موجک مادر حاصل می‌شوند. در حقیقت تبدیل

⁵⁷ Resolution

⁵⁸ Wigner - Ville Distribution (WVD)

⁵⁹ Wavelet Transform (WT)

⁶⁰ Newland

⁶¹ Wavelet Function

⁶² Scaling



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

موجک نمونه تعمیم یافته تبدیل فوریه است که میزان حضور توابع موجک با فرکانس‌های مختلف را در زمان‌های مختلف سیگنال اصلی نشان می‌دهد. انتخاب تابع موجک مادر به گونه‌ای صورت می‌گیرد که هر چه بیشتر با ضربه ناشی از بروز عیب مشابهت داشته باشد. در تبدیل موجک گسسته⁶³ استفاده از توابع مادر متعامد مانند داوبچی⁶⁴ جهت سرعت بیشتر محاسباتی رایج است. پنگ و چو (2004) در یک تحقیق مروری شرح جامعی در مورد تبدیل موجک و کاربردهای آن در پایش وضعیت و عیب‌یابی ارائه دادند.

یکی از کاربردهای تبدیل موجک، حذف نوفه از سیگنال است. از آنجا که تبدیل موجک میزان مشابهت اجزای سیگنال را با توابع موجک بیان می‌کند و چون نوفه و مولفه‌های نامعین مشابهت ناچیزی با توابع موجک دارند، در نتیجه در تبدیل موجک به صورت اجزایی با دامنه‌های بسیار کمتر از سایر اجزا دیده می‌شوند و می‌توانند به راحتی و با تعریف یک حد آستانه از سیگنال جدا شوند. در مقایسه با فیلتر کردن معمولی این روش می‌تواند کارایی بهتری داشته باشد چون بین نوفه‌های فرکانس بالا و اتفاقات گذرای ناشی از عیب که آنها نیز فرکانس بالایی دارند تفاوت قائل می‌شود، امری که در فیلتر کردن معمولی اتفاق نمی‌افتد، در نتیجه با عبور سیگنال از یک فیلتر پایین گذر بخشی از اطلاعات مفید نیز دور ریخته می‌شود.

4- تبدیل موجک پیوسته

اغلب سیگنال‌هایی که در عمل با آنها مواجه هستیم دارای فرکانس‌های بالا در بازه‌های زمانی کوتاه و فرکانس‌های پایین در بازه‌های زمانی بلند هستند. پس تبدیلی که دارای این خاصیت باشد که در فرکانس بالا پاسخ زمانی خوب و پاسخ فرکانس ضعیف و در فرکانس‌های پایین پاسخ فرکانسی خوب و پاسخ زمانی ضعیف بدهد یک ابزار مناسب جهت تحلیل می‌باشد. همان طور که قبلاً گفته شد تبدیل موجک دارای قابلیت فوق می‌باشد. این تبدیل مشابه تبدیل فوریه کوتاه است با این تفاوت که تابع پنجره به کار رفته در آن دارای خاصیت انعطاف پذیری بوده و برای محاسبه هر طیف فرکانسی سیگنال، پهنای پنجره تغییر می‌کند.

اگر $x(t)$ یک سیگنال باشد، تبدیل موجک پیوسته آن به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$CWT(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-x}^{+x} x(t) y \left(\frac{t-b}{a} \right) dt \quad (1)$$

در این تبدیل a و b دو متغیر حقیقی و $*$ نشانگر مزدوج مختلط می‌باشد. a پارامتر مقیاس می‌باشد که در واقع به صورت معکوس با فرکانس تابع موجک $\psi(t)$ در ارتباط است و پارامتر b تابع موجک را در طول سیگنال انتقال می‌دهد. هر چه a افزایش یابد، تابع موجک کشیده‌تر می‌شود. در نتیجه فرکانس نوسانات کمتر می‌شود و تابع موجک برای شناسایی مولفه‌های با فرکانس کمتر مناسب است. بدین ترتیب برای هر مقدار پارامتر a که متناظر با یک فرکانس می‌باشد؛ مقادیر ضرایب موجک برای همه مقادیر b که متناظر با زمان می‌باشند در طول سیگنال محاسبه می‌گردد. در نهایت برای همه زمان‌ها و فرکانس‌ها مقدار ضریب موجک محاسبه می‌گردد. هر چقدر ضریب موجک بزرگتر باشد نشان دهنده نزدیکی بیشتر سیگنال در یک زمان خاص به شکل مقیاس شده تابع موجک مورد استفاده می‌باشد. اندازه تبدیل موجک موسوم به اسکیلوگرم می‌باشد که برای توابع موجک و سیگنال‌های حقیقی همان مقدار ضرایب موجک می‌باشد.

⁶³ - Discrete Wavelet Transform (DWT)

⁶⁴ - Daubechies wavelets



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

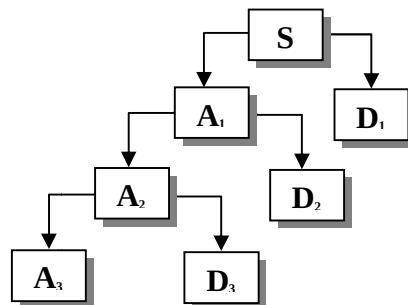
5- تبدیل موجک گسسته

در تبدیل موجک پیوسته، پارامترهای a و b به شکل پیوسته تغییر می‌کنند و در نهایت یک تابع پیوسته $CWT(a,b)$ به دست می‌دهند. این امر از لحاظ محاسباتی برای یک سیگنال بزرگ و در محدوده فرکانس وسیع، بسیار زمان بر است. در تبدیل موجک گسسته پارامترهای a و b به ترتیب با مقادیر $2^j k$ و 2^j جایگزین می‌شوند که در آن‌ها j و k شمارنده می‌باشند. در نتیجه تبدیل موجک گسسته به صورت زیر در می‌آید:

$$DWT(j, k) = \frac{1}{\sqrt{2^j}} \int_{-x}^{+x} x(t) y \left(\frac{1 - 2^{-j} k}{2^j} \right) dt \quad (2)$$

این تبدیل سیگنال $x(t)$ را به عنوان ورودی دریافت کرده و به صورت دو فیلتر بالاگذر و پایین گذر بر آن اثر می‌کند. به این ترتیب که در هر مرحله محاسبه تبدیل، گستره فرکانسی سیگنال توسط این فیلترها به دو بخش مساوی فرکانس پایین و فرکانس بالا تقسیم می‌گردد. بخش فرکانس پایین را تقریباً 65 (A) و بخش فرکانس بالا را جزئیات 66 (D) می‌نامند. شکل (7) نحوه تجزیه سیگنال به تقریبها و جزئیات تا سطح سوم را نمایش می‌دهد. برای این حالت تجزیه سیگنال به صورت رابطه زیر تعبیر می‌گردد:

$$S = A_3 + D_3 + D_2 + D_1 \quad (3)$$



شکل 7- تجزیه سیگنال تا سطح سوم تبدیل موجک گسسته

به منظور بازسازی سیگنال می‌توان جزئیات و تقریبهای سیگنال را توسط تبدیل‌های معکوس موجک با هم جمع زد و سیگنال اصلی را بازسازی کرد. لازم به ذکر است که طول بردار خروجی ضرایب به دست آمده از هر یک از فیلترها نصف طول بردار ورودی به آنها می‌باشد. یکی از کاربردهای تبدیل موجک گسسته بازسازی سیگنال با استفاده از اطلاعات یک محدوده فرکانسی مشخص می‌باشد. با این کار تنها آن بخشی از محتوای فرکانسی سیگنال که مورد نظر است در سیگنال باقی می‌ماند و همانند نوعی فیلتر با باند گذر مشخص عمل می‌کند.



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

روش‌های انتخاب ویژگی

از آنجایی که تمامی ویژگی‌های استخراج شده حاوی اطلاعات مربوط به عیب نمی‌باشند، بهتر است قبل از این که ویژگی‌ها به عنوان ورودی به یک طبقه‌بندی کننده داده شود، مرتبط‌ترین ویژگی‌ها انتخاب شوند. طوری که این ویژگی‌ها حاوی اطلاعات بیشتری از گروهی که داده به آن متعلق است، باشند. در واقع باید ویژگی‌های انتخاب شده دارای پراکندگی بیشتری در کلاس‌های طبقه‌بندی نسبت به باقی ویژگی‌ها باشند. با استفاده از روش‌های انتخاب ویژگی می‌توان مرتبط‌ترین ویژگی‌ها را انتخاب نمود. انتخاب ویژگی موجب کاهش فضای ورودی و در نتیجه کاهش زمان محاسبات در داخل طبقه‌بند خواهد شد. روش‌های متنوعی برای این کار موجود می‌باشد که از جمله می‌توان به روش ارزیابی فاصله بهبود یافته⁶⁷، الگوریتم ژنتیک، درخت تصمیم، آنالیز تشخیص اشاره کرد. در این بین روش‌های دیگری نیز وجود دارند که از همه ویژگی‌ها استفاده می‌کنند و آنها را به ویژگی‌های دیگری تبدیل می‌کنند طوری که همبستگی⁶⁸ بین آنها صفر شود مانند آنالیز مولفه‌های اصلی⁶⁹. در زیر جزئیات روش استفاده شده در این تحقیق شرح داده شده است.

1- روشی بر اساس میانگین و واریانس

اگر یک ویژگی کلاس‌های متفاوتی از نهادها را توصیف کند، نمونه‌های کلاس‌های متفاوت می‌توانند بررسی شوند. میانگین‌های مقادیر ویژگی به وسیله واریانس‌های آن نرمال‌سازی شده و سپس مقایسه می‌شوند. اگر میانگین‌ها تا حدود زیادی دور از انتظار باشند، تمایل به یک ویژگی افزایش می‌یابد و این امر، به خاطر کاربرد آن در ایجاد تمایز بین دو کلاس، توان بالقوه دارد. اگر میانگین‌ها، غیرقابل تمایز باشند، تمایل به آن ویژگی کاهش می‌یابد. معادلات بعدی به این آزمون شکل رسمی می‌دهد:

$$TEST = \frac{|mean(A) - mean(B)|}{SE(A-B)} \quad (4)$$

در رابطه (4) A و B مجموعه‌هایی از مقادیر ویژگی که برای دو کلاس متفاوت اندازه‌گیری شده‌اند، n_1 و n_2 تعداد عناصر نمونه‌ها و $mean$ میانگین می‌باشند و $SE(A-B)$ از رابطه (5) بدست می‌آید:

$$SE(A-B) = \sqrt{\frac{VAR(A)}{n_1} + \frac{VAR(B)}{n_2}} \quad (5)$$

در رابطه (5) $VAR(A)$ واریانس نمونه‌های مجموعه A می‌باشد. حال اگر دو ویژگی و دو کلاس داشته باشیم برای هر ویژگی مقدار $TEST$ محاسبه می‌گردد و ویژگی برتر مقدار $TEST$ بزرگتری خواهد داشت. این شیوه را می‌توان به m ویژگی و n کلاس نیز با مقایسه‌های دوه‌دو ویژگی‌ها در دو کلاس تعمیم داد. هر ویژگی که در مقایسه برنده بیرون آید یک امتیاز می‌گیرد و بازنده امتیازی دریافت نخواهد کرد. به وسیله رابطه (6) تعداد مقایسه‌ها بین m ویژگی و n کلاس محاسبه می‌گردد. در انتها نمرات ویژگی‌ها براساس بالاترین نمره نرمال می‌شوند.

⁶⁷ Improved Distance Evaluation (IDE)

⁶⁸ Correlation

⁶⁹ Principle Component Analysis (PCA)



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

2- هوش مصنوعی و سیستم‌های خبره

هوش مصنوعی⁷⁰، روشی است در جهت هوشمند کردن رایانه تا قادر باشد در هر لحظه تصمیم‌گیری کرده و اقدام به بررسی یک مسئله نماید. هوش مصنوعی، رایانه را قادر به تفکر می‌کند و روش آموختن انسان را تقلید می‌نماید. یکی از اهداف هوش مصنوعی، فهم هوش انسانی با شبیه‌سازی آن توسط برنامه‌های کامپیوتری است. البته بدیهی است که "هوش" را می‌توان به بسیاری از مهارت‌های مبتنی بر فهم، از جمله توانایی تصمیم‌گیری، یادگیری و فهم زبان تعمیم داد و از این رو واژه‌ای کلی محسوب می‌شود.

سیستم‌های خبره⁷¹، برنامه‌های رایانه‌ای هستند که رفتار یک انسان متخصص در یک زمینه‌ی بخصوص را تقلید می‌کنند. این برنامه‌ها از اطلاعاتی که کاربر در آن‌ها ذخیره می‌کند جهت اعلام یک عقیده در یک موضوع بخصوص استفاده می‌کند. سیستم‌های خبره معمولاً اطلاعات را به شکل واقعیات⁷² و قواعد⁷³ در پایگاه دانش به شکل ساختارمند ذخیره نموده و سپس با استفاده از روش‌هایی خاص و با استنتاج از این داده‌ها، نتایج مورد نظر را تولید می‌نمایند.

هر سیستم خبره از دو بخش مجزا ساخته شده است: پایگاه دانش⁷⁴ و موتور استنتاج⁷⁵. پایگاه دانش یک سیستم خبره از هر دو نوع دانش مبتنی بر حقایق و نیز دانش غیرقطعی⁷⁶ استفاده می‌کند. دانش حقیقی یا قطعی نوعی از دانش است که می‌توان آن را در حیطه‌های مختلف به اشتراک گذاشت و تعمیم داد، زیرا درستی آن قطعی است. دانش غیرقطعی، مبتنی بر برداشت‌های شخصی است. هرچه حدس‌ها یا دانش غیرقطعی یک سیستم خبره بهتر باشد، سطح خبرگی آن بیشتر خواهد بود و در شرایط ویژه، تصمیمات بهتری اتخاذ خواهد کرد. دانش مبتنی بر ساختار غیرقطعی در سیستم‌های خبره اهمیت زیادی دارد این نوع دانش می‌تواند به تسریع فرآیند حل یک مسئله کمک کند.

اطلاعات پایگاه دانش را می‌توان از طریق مصاحبه با افراد متخصص در این زمینه تامین نمود. مهندس دانش⁷⁷ یا مصاحبه‌کننده، پس از سازمان‌دهی اطلاعات جمع‌آوری‌شده از متخصصان یا مصاحبه‌شوندگان، آن‌ها را به قوانین قابل فهم برای رایانه به صورت اگر- آنگاه⁷⁸، که به قوانین ساخت⁷⁹ موسوم هستند، تبدیل می‌کند. روش دیگر برای ایجاد اطلاعات پایگاه دانش عبارتست از این که سیستم خبره شرایط واقعی مورد نظر را به کرات تجربه نماید و بر اساس آموخته‌های خود اقدام به ایجاد قوانین ساخت نماید. موتور استنتاج، سیستم خبره را قادر می‌کند با استفاده از قوانین پایگاه دانش، فرآیند استنتاج را انجام دهد.

⁷⁰ Artificial intelligence

⁷¹ Expert system

⁷² Facts

⁷³ Rules

⁷⁴ Knowledge base

⁷⁵ Inference engine

⁷⁶ Heuristic

⁷⁷ Knowledge engineer

⁷⁸ If-Then

⁷⁹ Production rules



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

استانداردهای مورد استفاده برای تعیین حدود هشدار و بحران

1- استاندارد ISO 10816-3:1998

استاندارد ISO 10816-3:1998: این استاندارد جایگزین خوبی برای استاندارد ISO 3945:1997 است و این اجازه را می دهد که محدوده ی وسیع تری از بسامد بین اجزا ماشین برقرار باشد .

جدول 6 - استاندارد ISO 10816-3:1998 برای پایش وضعیت پمپ ها بر اساس شدت ارتعاشات

Support class	Zone boundary	Pumps with multivane impeller and separate driver (centrifugal, mixed or axial flow above 15kW)		Pumps with multivane impeller and integrated driver (centrifugal, mixed or axial flow above 15kW)	
		Displacement, $\mu\text{m rms}$	Velocity, mm/s rms	Displacement, $\mu\text{m rms}$	Velocity, mm/s rms
Rigid	A/B	18	2.3	11	1.4
	B/C	36	4.5	22	2.8
	C/D	56	7.1	36	4.5
Flexible	A/B	28	3.5	18	2.3
	B/C	56	7.1	36	4.5
	C/D	90	11.0	56	7.1

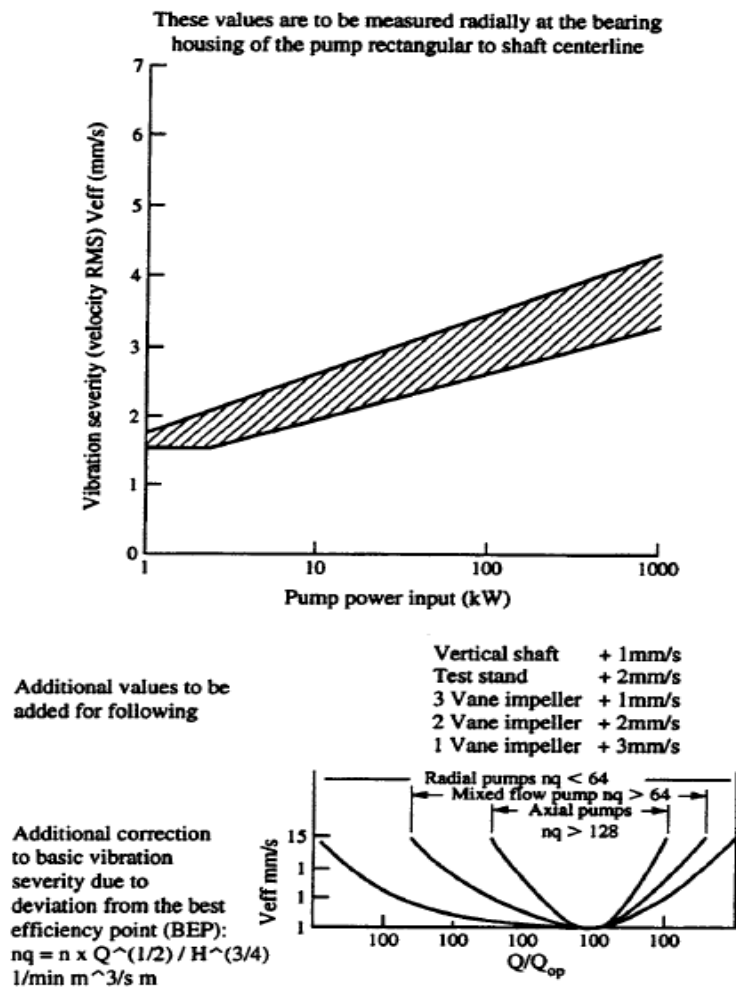
2- استاندارد API 610

استاندارد API 610: این استاندارد مقادیر ارتعاش محور پمپ را در شرایط معمول کاری و در بسامد دورانی پمپ فیلتر شده و یا فیلتر نشده، بر اساس ارتعاشات پیک تا پیک در جهت های عمودی و افقی، ارائه می نماید. این استاندارد بیشتر برای پمپ هایی که در کارهای ساختمانی استفاده می شوند مفید می باشد تا برای پمپ های صنعتی. استاندارد موسسه ی پمپ و هیدرولیک اروپا⁸⁰: این استاندارد نمودارهایی را که شدت ارتعاشات آنها بیشتر از حالت نرمال است را پیشنهاد می کند. این نمودارها بر اساس تجربه جمعی تعدادی از کارخانجات تولید پمپ در سرتاسر دنیا می باشد.

⁸⁰ - Europump and hydraulics institute



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی



شکل 8 - محدوده های ارتعاشات استاندارد موسسه ی پمپ و هیدرولیک اروپا برای پمپ های افقی با سرعت دورانی 1500 دور در دقیقه

3- استاندارد دولت کانادا

استاندارد دولت کانادا⁸¹: دولت کانادا استاندارد وسیعی را برای محدوده ی ارتعاشی ماشین های مختلف ارائه کرده است. جدول 7 سرعت ارتعاش را برای پمپ ها در دو گروه با توان کاری مختلف و در بسامد بین 10 تا 10000 هرتز نمایش می دهد.

⁸¹ - Canadian government



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

جدول 7 - محدوده های ارتعاشات یاتاقان پمپ ها بر اساس استاندارد دولت کانادا

Size	New machines		Worn machines	
	Long life (1000h to 10 000h)	Short life (100h to 1000h)	Service required	Recondition (Immediate repair if this level is reached in any octave band)
Up to 3.75kW	0.79	3.2	5.6	10
Over 3.75kW	1.4	5.6	10	18

منطق فازی

در این تحقیق از منطق فازی برای تشخیص و پیشگویی عیوب استفاده شده است که در ادامه مفاهیم اساسی حوزه منطق فازی ارائه می گردد.

1- مفاهیم اساسی منطق فازی

در منطق کلاسیک عضویت در یک مجموعه به صورت صفر و یک در نظر گرفته می شود؛ بدین گونه که در صورتی که عضوی در یک مجموعه وجود داشته باشد با 1 و در غیر این صورت با 0 نشان داده می شود و در حقیقت درجه ی عضویت تابعی است که برد آن عضو مجموعه $\{0,1\}$ می باشد. اما از طرف دیگر در منطق فازی، مفهوم درجه ی عضویت در یک مجموعه به بازه $[0,1]$ گسترش می یابد. مفهوم منطق فازی از آن جهت مورد توجه قرار می گیرد که در جهان واقعی نیز بسیاری از استدلال ها و دلایل بشر، جنبه عدم قطعیت و تقریبی دارد.

2- مجموعه های فازی

زیرمجموعه ی فازی f از مجموعه مرجع (مجموعه ی مورد بحث) U به وسیله ی تابع عضویت μ_f مشخص می شود که یک نگاشت از U به بازه ی بسته ی $[0,1]$ می باشد. بنابراین زیرمجموعه ی فازی f از مجموعه مرجع U را می توان به کمک مجموعه زوج مرتب های

$$f = \{ \langle u; \mu_f(u) \rangle | u \in U \}$$

نمایش داد که در آن u مولفه ی اول یعنی به میزان $\mu_f(u)$ به f تعلق دارد.

3- مکمل مجموعه های فازی

فرض شود f یک مجموعه ی فازی از مجموعه مرجع U باشد که با تابع عضویت μ_f مشخص می شود.

$$m_f : U \rightarrow [0,1]$$

مجموعه ی فازی f^c را مکمل فازی f با تابع عضویت μ_{f^c} در نظر گیرید و به کمک تابع



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

$$C: [0,1] \longrightarrow [0,1]$$

$$C(m_{f(x)}) = m_{f^c}(x)$$

را می توان تعریف نمود که خواص زیر را دارا می باشد:

$$\text{الف. } C(0)=1 \text{ و } C(1)=0$$

ب. اگر a و b از بازه ی بسته اختیار شوند به طوریکه $a \leq b$ باشد، آنگاه $C(a) \leq C(b)$

به بیان ساده تر اگر مجموعه ی فازی f دارای تابع عضویت μ_f باشد، مکمل آن را می توان به شکل

$$C(m_{f(x)}) = m_{f^c}(x) = 1 - m_{f(x)}$$

در نظر گرفت.

4- اجتماع و اشتراک مجموعه های فازی

فرض کنید f و g دو مجموعه فازی روی مجموعه مرجع U باشند که به کمک توابع عضویت μ_f و μ_g مشخص می

شوند:

$$m_f: U \longrightarrow [0,1] \quad \text{و} \quad m_g: U \longrightarrow [0,1]$$

در این صورت اجتماع مجموعه های فازی f و g را با $f \cup g$ نشان می دهند که تابع عضویت آن $m_{f \cup g}$ است. این

تابع به صورت $m_{f \cup g}(x) = S(m_f(x), m_g(x))$ معرفی می شود. که در آن تابع S دارای خواص زیر است و به آن S -نرم می گویند:

$$s: [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$$

الف.

$$s(0, a) = s(a, 0) = a$$

ب. اگر $a \in [0,1]$ داریم:

$$s(a, b) = s(b, a)$$

ج. اگر $a, b \in [0,1]$ آنگاه:

$$s(a_1, b_1) \leq s(a_2, b_2)$$

د. اگر $a_1, a_2, b_1, b_2 \in [0,1]$ و $a_1 \leq a_2$ و $b_1 \leq b_2$ آنگاه:

$$s(s(a, b), c) = s(a, s(b, c))$$

ه. اگر $a, b, c \in [0,1]$ آنگاه:

اشتراک مجموعه های فازی f و g را با $f \cap g$ نشان می دهند که تابع عضویت آن $m_{f \cap g}$ است. این تابع به

صورت $m_{f \cap g}(x) = t(m_f(x), m_g(x))$ معرفی می شود. که در آن تابع t دارای خواص زیر است و به آن t -نرم می گویند:

$$t: [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$$

الف.

$$t(1, a) = t(a, 1) = a$$

ب. اگر $a \in [0,1]$ داریم:

$$t(a, b) = t(b, a)$$

ج. اگر $a, b \in [0,1]$ آنگاه:

$$t(a_1, b_1) \leq t(a_2, b_2)$$

د. اگر $a_1, a_2, b_1, b_2 \in [0,1]$ و $a_1 \leq a_2$ و $b_1 \leq b_2$ آنگاه:

$$t(t(a, b), c) = t(a, t(b, c))$$

ه. اگر $a, b, c \in [0,1]$ آنگاه:



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

5- حاصلضرب کارترین دو مجموعه ی فازی

فرض کنید که A و B دو مجموعه ی فازی باشد که به ترتیب با توابع عضویت μ_A و μ_B مشخص می‌شوند. در این صورت ضرب کارترین این دو مجموعه فازی که با $A \times B$ نمایش داده می‌شود، دارای تابع عضویت زیر خواهد بود:

$$m_{A \times B}(x, y) = t(m_A(x) \times m_B(x))$$

که در آن t یک t -نرم می‌باشد.

6- روابط فازی

با کمی دقت می‌توان روابط فازی را نیز تعریف کرد که اگر U مجموعه مرجع و X و Y زیرمجموعه‌های دقیقی از آن باشند، در این صورت مجموعه ی فازی زیر را یک رابطه ی فازی در $X \times Y$ گویند.

$$R = \{(x, y); m_R(x, y) | x, y \in X, Y\} \quad (7)$$

7- ترکیب روابط فازی

فرض کنیم که R_1 رابطه ی فازی در $X \times Y$ و R_2 رابطه ی فازی در $Y \times Z$ باشد. ترکیب روابط فازی R_1 و R_2 را با $R_1 \circ R_2$ نشان می‌دهند که یک رابطه ی فازی در $X \times Z$ می‌باشد. این رابطه ی فازی دارای تابع عضویت به شکل زیر است:

$$m_{R_1 \circ R_2}(x, z) = \max_{y \in Y} t(m_{R_1}(x, y), m_{R_2}(y, z)) \quad (8)$$

که در آن m_{R_1} تابع عضویت R_1 و m_{R_2} تابع عضویت R_2 می‌باشند و نگاشت t یک t -نرم است که به جای آن می‌توان برای نمونه از t -نرم مینیمم و یا t -نرم حاصلضرب کمک گرفت. با t -نرم مینیمم داریم:

$$m_{R_1 \circ R_2}^{(1)}(x, z) = \max_{y \in Y} \min \{m_{R_1}(x, y), m_{R_2}(y, z)\} \quad (9)$$

و با t -نرم حاصلضرب خواهیم داشت:

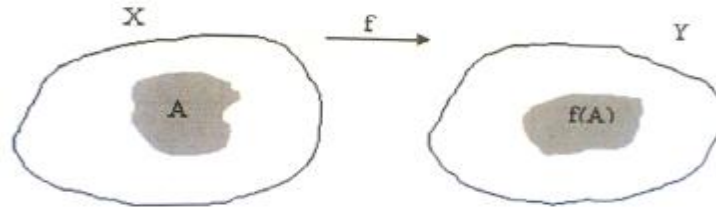
$$m_{R_1 \circ R_2}^{(2)}(x, z) = \max_{y \in Y} m_{R_1}(x, y) \cdot m_{R_2}(y, z) \quad (10)$$

8- اصل گسترش

فرض کنید f یک نگاشت از مجموعه X به مجموعه Y باشد و اگر A زیرمجموعه فازی از مجموعه X با تابع عضویت μ_A باشد، با توجه به فازی بودن مجموعه A (دامنه تابع)، باید $f(A)$ یک زیرمجموعه ی فازی از مجموعه Y باشد. در شکل 9 مجموعه های فازی A و $f(A)$ به ترتیب در X و Y به صورت توده ای ابر مانند رسم شده تا به فازی بودن آن ها تاکید شود.



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی



شکل 9 - اصل گسترش

اصل گسترش توانایی تعریف تابع عضویت مجموعه $f(A)$ را به ما می دهد. این تابع عضویت به شکل زیر معرفی می گردد:

$$m_{f(A)}(y) = \max_{x \in f^{-1}(y)} m_A(x) \quad (11)$$

که در آن f^{-1} معکوس تابع f می باشد. در اهمیت اصل گسترش همین بس که ما می توانیم تعریف توابع را بر روی مجموعه های فازی نیز گسترش دهیم.

9- متغیر های زبانی

انسان ها برای ارتباط با یکدیگر هرگز از متغیر های عددی یاری نمی گیرند. اگر اتاق خیلی گرم باشد هرگز نخواهیم گفت که درجه ی کنترل بخاری گازی را به اندازه ی 14 درجه ی سانتی گراد در جهت خلاف عقربه های ساعت می گردانیم. بلکه می گوئیم که اندکی حرارت بخاری را کم می کنیم. هر متغیری که توانایی پذیرش واژه های طبیعی را به عنوان مقدار داشته باشد، یک متغیر زبانی است. در واقع هیچ متغیری را نمی توان یافت که زبانی نباشد.

10- گزاره های فازی

در منطق کلاسیک، گزاره جمله ای است خبری که یا درست است و یا نادرست ولی نه هر دو. هر چند ممکن است درستی یا نادرستی آن بر ما معلوم نباشد. هر گزاره در منطق کلاسیک ارزشی دارد که این ارزش، درستی یا نادرستی آن می باشد. اگر درستی را با 1 و نادرستی را با 0 نشان دهیم و این گونه تصور کنیم که فرد خبره ای داریم که می توان گزاره های ما را از نظر درست یا نادرست بودن تشخیص دهد. حال اگر این فرد را تابع مشخصه بگیریم، برای پیدا کردن ارزش یک گزاره کافی است تابع مشخصه را به آن اثر دهیم حاصل یکی از دو عضو مجموعه $\{0,1\}$ خواهد بود.

بر خلاف منطق کلاسیک، هر گزاره در منطق فازی جمله ای است خبری که می تواند تا حدودی درست و تا حدودی نیز نادرست باشد. در منطق فازی، به جای استفاده از تابع مشخصه ای که تنها برد $\{0,1\}$ را دارا است، از تابع مشخصه دیگری موسوم به تابع عضویت استفاده می کند که در مورد ارزش درستی یا نادرستی یک جمله خبری، عددی از بازه ی بسته $[0,1]$ را تولید می کند. گزاره های فازی به کمک متغیر های زبانی بیان می گردند. گزاره های فازی را می توان به کمک الفاظ سه گانه "چنین نیست که"، "و" و "یا" با هم ترکیب نمود در این صورت گزاره فازی جدیدی حاصل خواهد شد که به آن گزاره فازی مرکب می گویند.



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

روش چهار مرحله ای استفاده از منطق فازی

این چهار مرحله عبارتند از:

1. فازی سازی
2. استدلال
3. ترکیب و ساخت
4. فازی زدایی

1- فازی سازی

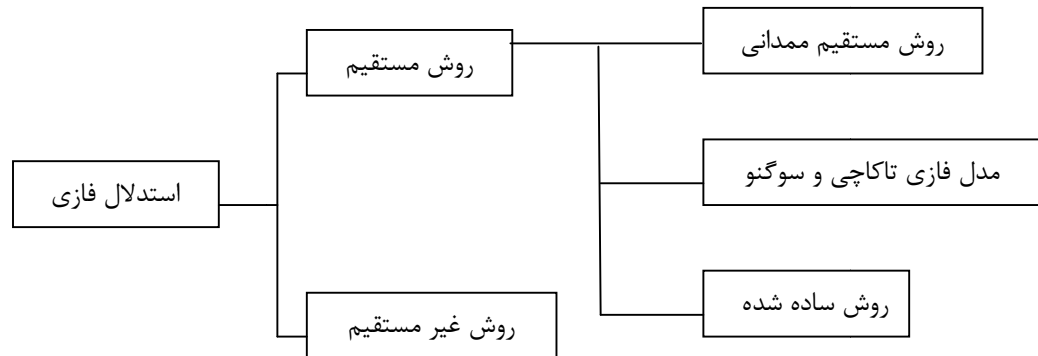
هرچند که قسمت مقدم گزاره های شرطی فازی در پایگاه دانش متغیر های زبانی هستند، ولی ورودی ها به پایگاه دانش می تواند متغیر های زبانی نباشد. برای نمونه اگر ورودی ها به شکل داده های عدد دقیق حاصل از نوعی اندازه گیری باشند، در این صورت ما صرفاً تعدادی عدد در اختیار داریم که این اعداد را می توانیم به همین صورت به پایگاه دانش وارد نماییم و یا اینکه با توجه به نحوه ی به دست آوردن آن ها که به طور قطع دارای نوبه و انحراف می باشند، تبدیل به متغیر های زبانی با تابع عضویت مناسب جهت فازی سازی استفاده کنیم که بهتر است از نوع توابع موجود در پایگاه دانش باشند. در مرحله ی فازی سازی واقعیت ها بر اساس سیستم فازی تعریف می شوند. ابتدا باید ورودی و خروجی سیستم معرفی شده، سپس قوانین اگر- آنگاه مناسب به کار گرفته شوند. برای ساخت تابع عضویت بایستی از داده های خام استفاده شود. حال سیستم برای اعمال منطق فازی آماده است.

2- استدلال فازی

برای اجرا نمودن استدلال فازی، قواعد استنتاج مورد نیاز است. قواعد استنتاج برای استدلال فازی به شکل اگر- آنگاه بیان می شود. قواعد اگر- آنگاه که در استدلال فازی استفاده می شوند، قواعد "اگر- آنگاه فازی" نامیده می شود. روش های استدلال فازی در شکل 10 دسته بندی شده است. می توان روش های استدلال فازی را به روش های مستقیم و غیر مستقیم تقسیم بندی نمود. اکثر روش های استدلالی معروف، روش های مستقیم هستند. روش های غیر مستقیم، استدلال را توسط فضای ارزش راستی، هدایت می کنند. هر چند که روش های غیر مستقیم از نظر فنی جالب هستند، اما آن ها یک شیوه ی نسبتاً پیچیده دارند.



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی



شکل 10 - دسته بندی استدلال فازی

هنگامی که ورودی ها به سیستم می رسند، موتور استنتاج، همه ی قوانین اگر- آنگاه را مورد ارزیابی قرار می دهد و درجه درستی آنها را مشخص می کند. اگر یک ورودی داده شده به طور صریح با یک قانون اگر- آنگاه مشخص نشده باشد، آنگاه تطابق بخشی مورد استفاده قرار می گیرد تا جوابی مشخص شود .

3- ترکیب و ساخت

در این قسمت برای بدست آوردن یک نتیجه ی کلی، تمامی مقادیر بدست آمده از قسمت استنتاج با هم ترکیب می شوند. قوانین فازی مختلف نتایج مختلفی خواهند داشت. بنابراین ضروری است تا همه ی قوانین در نظر گرفته شوند.

4- فازی زدایی

در این مرحله مقدار فازی بدست آمده از قسمت ساخت به یک داده قابل استفاده تبدیل می شود. این قسمت از کار اغلب پیچیده است چون مجموعه فازی نبایستی مستقیماً به داده قابل استفاده تبدیل شود. از آنجا که کنترل گره های سیستم های فیزیکی به سیگنال های گسسته نیاز دارند، این مرحله بسیار مهم می باشد. بنابراین به جای کمک گرفتن از تابع عضویت، بهترین نماینده ی مجموعه فازی حاصل از استنتاج را به عنوان خروجی پیدا کرده و مورد استفاده قرار می دهد. این عمل را فازی زدایی می نامند. روش های مختلفی برای فازی زدایی وجود دارد که هریک از این روش ها برای انتخاب نقطه ای که نماینده ی یک مجموعه فازی باشد باید موارد زیر را رعایت کند:

- نقطه ی مورد نظر باید درجه عضویت نسبتاً بالایی داشته باشد.
- این نقطه پایداری کافی داشته باشد، به گونه ای که تغییرات جزئی در تابع عضویت منجر به تغییرات فاحش در وضعیت مکانی این نقطه نگردد.

در زیر با فرض اینکه $\mu_Q(y)$ نتیجه ی نهایی استنتاج فازی می باشد، چند مورد از مهمترین فازی زداها بررسی می گردند.

روش ماکزیمم

در این روش نخست مجموعه M را به صورت زیر محاسبه می نماییم.

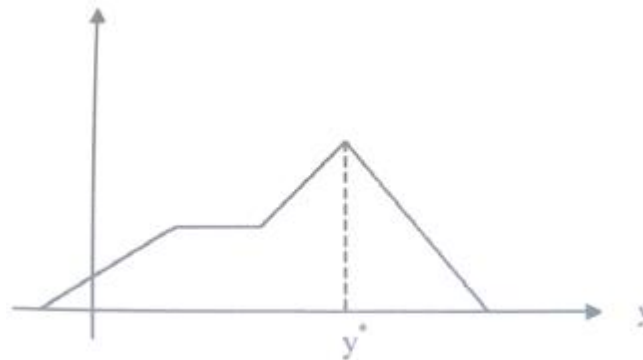


پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

$$M = \left\{ y^* \in Y \mid m_Q(y^*) = \max_{y \in Y} m_Q(y) \right\} \quad (12)$$

این مجموعه می تواند تک عضوی، چند عضوی و یا بی شمار عضو داشته باشد. برای حالت تک عضوی فرض می کنیم (شکل 11):

$$y_{defuzzy} = y^*$$



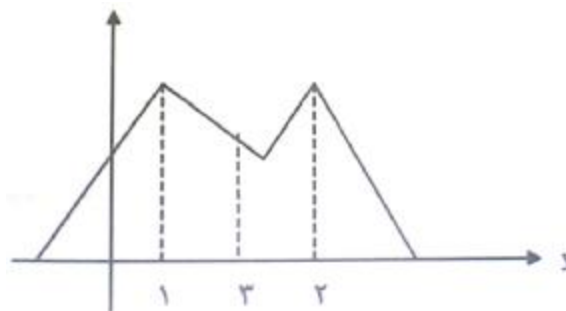
شکل 11- فازی زدایی به روش ماکزیمم برای مجموعه ی تک عضوی

در صورتیکه مجموعه M دارای n عضو باشد، می تواند به کمک یکی از سه مورد زیر به مسئله پاسخ دهد .

$$y_{defuzzy}^1 = \min M$$

$$y_{defuzzy}^2 = \max M$$

$$y_{defuzzy}^3 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i^*}{n}$$



شکل 12 - فازی زدایی به روش ماکزیمم برای مجموعه ی چند عضوی

ولی در حالتی که مجموعه M بی شمار عضو داشته باشد، برای به دست آوردن مقدار فازی زدایی می توان یکی از روش های زیر را انتخاب کرد .

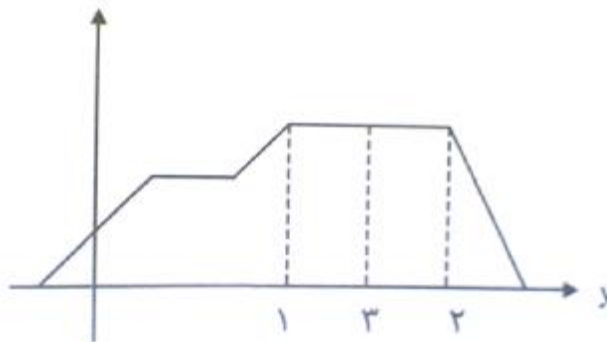


پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

$$y_{defuzzy}^1 = \min M$$

$$y_{defuzzy}^2 = \max M$$

$$y_{defuzzy}^3 = \frac{\min M + \max M}{2}$$

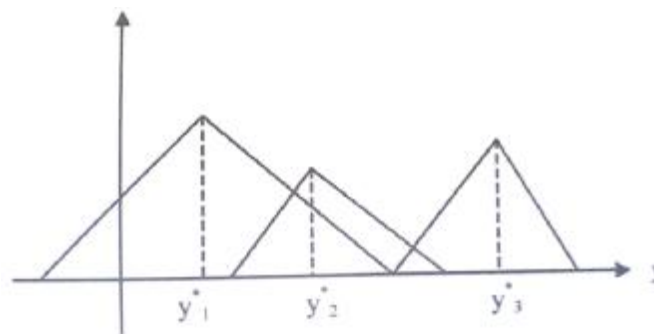


شکل 13- فازی زدایی به روش ماکزیمم برای مجموعه ی بی شمار عضوی

روش ارتفاع (میانگین مراکز)

با توجه به اینکه مجموعه فازی Q با تابع عضویت $\mu_Q(y)$ از اجتماع یا اشتراک n مجموعه فازی دیگر حاصل شده است، لذا فرض می کنیم y_i^* مرکز مجموعه فازی i ام باشد و $\mu_i(y^*)$ را درجه ی عضویت یا ارتفاع آن بگیریم. در این صورت روش فازی زدایی میانگین مراکز به صورت زیر تعریف می شود .

$$y_{defuzzy} = \frac{y_1^* m_1(y_1^*) + y_2^* m_2(y_2^*) + y_3^* m_3(y_3^*)}{m_1(y_1^*) + m_2(y_2^*) + m_3(y_3^*)} \quad (13)$$



شکل 14 - فازی زدایی به روش ارتفاع

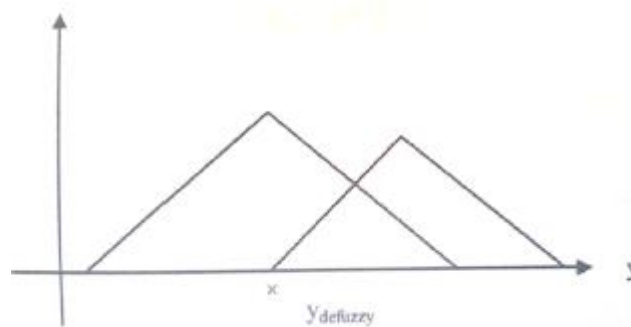
روش مرکز ثقل

روش مرکز ثقل را می توان یکی از دقیق ترین فازی زدها محسوب کرد. اگر فرض کنیم $\mu_Q(y)$ تابع عضویت مجموعه فازی Q باشد، در این صورت فازی زدای مرکز ثقل به صورت زیر تعریف می شود .



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

$$y_{defuzzy} = \frac{\int y m_Q(y) dy}{\int m_Q(y) dy} \quad (14)$$



شکل 15 - فازی زدایی به روش مرکز ثقل

طبقه بندی

به طور کلی، طبقه بندی⁸³ فرآیندی از عملکرد یادگیری است که یک قلم داده ای را به یکی از چندین گروه از پیش تعیین شده نگاشت می کند. هر طبقه بندی بر اساس الگوریتم های یادگیری استقرایی به عنوان مجموعه ای از نمونه ها ارائه می شود که شامل بردارها، مقادیر صفات (بردارهای ویژگی) و یک کلاس و طبقه متناسب می باشد. هدف یادگیری، ایجاد یک مدل طبقه بندی معروف به "طبقه ساز⁸⁴" است که طبقه ای را برای برخی موجودیت ها (یک نمونه معین) با مقایسه از صفات ورودی موجود آن پیشگویی می کند. به عبارت دیگر طبقه بندی فرآیند نسبت دادن یک مقدار برچسب گسسته (رده یا کلاس) به یک رکورد بدون برچسب می باشد و در حقیقت یک طبقه ساز را پیشگویی می کند. روش های مختلف طبقه بندی امروزه تقریباً به دلیل مقدار زیاد داده هایی که نیازمند خودکار سازی فرآیند هستند از هر روشی برای انجام طبقه بندی استفاده می کنند.

روش تعمیم یافته برای طبقه بندی مسائل در تفسیر گرافیکی ارائه می شود. یک مجموعه داده با N مشخصه ممکن است به عنوان مجموعه ای از نقاط گسسته در فضای N بعدی در نظر گرفته شود. یک قانون طبقه بندی در این فضا یک ابر مکعب است که شامل یک یا تعداد بیشتری از این نقاط است. زمانی که بیشتر از یک مکعب برای یک گروه معین وجود دارد، تمام مکعب ها به منظور فراهم کردن یک طبقه بندی کامل برای گروه یابی منطقی (OR) می شوند، مانند مثالی از دو طبقه دو بعدی در شکل 16. در یک مکعب، شرایط برای هر قسمت ضرب می شوند (AND). اندازه ی یک مکعب عمومیت آن را نشان می دهد. یعنی مکعب بزرگتر رئوس بیشتری را شامل می شود و مشخصاً نقاط نمونه بیشتری را می پوشاند.

در یک مدل طبقه بندی، ارتباط بین طبقه ها و خواص دیگر نمونه ها را می توان تعیین کرد. این فرآیند می تواند به سادگی یک نمودار گردشی یا به پیچیدگی بدون ساختار یک کتاب راهنمای رویه ای باشد. روش های داده کاوی⁸⁵ بحث را

⁸³ - Classification

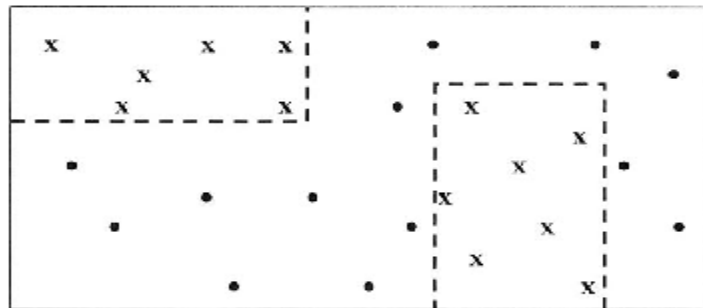
⁸⁴ - Classifier

⁸⁵ - Data mining



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

برای مدل های صوری و قابل اجرای طبقه بندی، محدود می کند. در اینجا، دو روش بسیار متفاوت وجود دارد. از یک طرف، مدل ممکن است از طریق مصاحبه یا متخصص یا متخصصان مربوطه و اغلب سیستم های مبتنی بر دانش که این روش را علی رغم مشکلات شناخته شده به کار می برند، به دست آید. متناوباً طبقه بندی های ثبت شده ی متعددی ممکن است بررسی شود و یک مدل به طور استقرایی با تعمیم مثال هایی خاص ایجاد شود که از علاقه ی اولیه برای برنامه های کاربردی داده کاوی هستند .



شکل 16 - طبقه بندی نمونه ها در یک فضای دو بعدی

درختان تصمیم

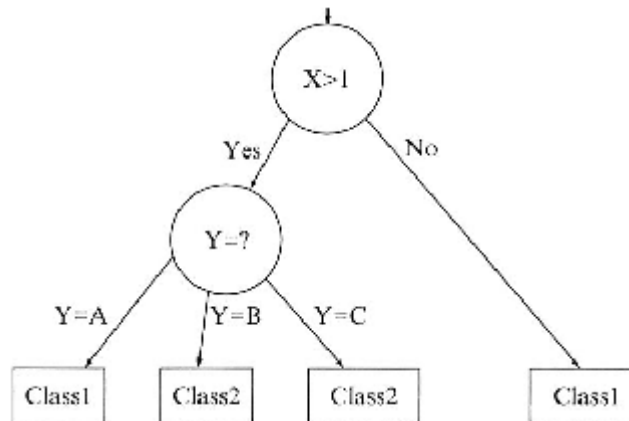
یک روش کارآمد و ویژه برای ایجاد رده بندها یا طبقه بندی کننده ها از داده ها، تولید یک درخت تصمیم است⁸⁶. درختان تصمیم و قوانین تصمیم، روش های داده کاوی هستند که در بسیاری از برنامه های کاربردی دنیای واقعی به عنوان یک راه حل قوی برای طبقه بندی مسائل به کار گرفته می شوند. نمایش درخت تصمیم به طور گسترده روش منطقی را به کار می برد. تعداد زیادی از الگوریتم های استقرایی درخت تصمیم که عمدتاً در یادگیری ماشین و ادبیات آماری کاربردی توصیف می شوند، وجود دارد. آن ها روش های یادگیری نظارتی هستند که درختان تصمیم را از مجموعه ی نمونه های ورودی - خروجی ایجاد می کنند. یک سیستم نمونه آموزشی درخت تصمیم، استراتژی بالا به پایینی را به کار می برد که راه حلی در یک بخش از فضای جستجو را ایجاد می کند. این روش، تضمین می کند که یک درخت ساده، اما لزوماً نه ساده ترین درخت، یافت خواهد شد. یک درخت تصمیم، شامل گره هایی است که دارای ویژگی های آزمایش شده هستند. شاخه های بیرونی یک گره متناسب با تمام خروجی های ممکن از آزمون در گره است. یک درخت تصمیم ساده برای طبقه بندی نمونه ها با دو مشخصه ی ورودی X و Y در شکل 18 ارائه شده است. تمام نمونه ها با مقادیر ویژگی $X > 1$ و $Y = B$ به کلاس یا طبقه ی 2 تعلق دارند (یعنی اگر $X > 1$ و $Y = B$ باشد، آنگاه نمونه های ورودی به کلاس 2 تعلق خواهند داشت). در حالی که نمونه هایی با مقادیر $X < 1$ به طبقه بند 1 تعلق دارند (با هر مقدار برای مشخصه ی Y). نمونه ها در یک گره ی بدون برگ در ساختار درختی، در امتداد شاخه ها قسمت بندی می شوند و هر گره ی فرزند زیر مجموعه ی متناسب نمونه ها را به دست می آورد. درختان تصمیم که دو جزء یا بخش تک انحرافی را به کار می برند، شکل نمایشی ساده ای دارند که به طور نسبی آن را برای کاربر و به منظور درک مدل حاصل ساده می کند. در همان زمان، آن ها یک محدودیت روی معنی دار بودن

⁸⁶ - Decision trees



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

مدل نشان می دهند. به طور کلی هر محدودیت روی نمایش درختی خاص می تواند به طور اهم فرم عملکرد و بنابراین قدرت تقریبی مدل را محدود کند. یک الگوریتم درختی در حال رشد شناخته شده برای تولید درختان تصمیم بر پایه ی دو بخشی های انحرافی، Quinlan's ID3 است که با یک نسخه توسعه یافته که C4.5 نامیده می شود، ارائه می گردد. روش های جستجوی حریصانه که رشد و هرس ساختارهای درخت تصمیم را در بر می گیرند، به طور ویژه در این الگوریتم ها برای جستجوی فضای نمایی از مدل های ممکن به کار می روند.



شکل 17 - نمونه ای از درخت تصمیم همراه با تست بر روی صفات X و Y

الگوریتم ID3 با تمام نمونه های آموزشی در گره اصلی درخت آغاز می شود. یک صفت یا ویژگی برای تقسیم این نمونه ها انتخاب می شود. برای هر مقدار از صفت یک شاخه ایجاد و زیر مجموعه ی متناسب نمونه هایی که مقدار ویژگی را دارند به وسیله ی شاخه تعیین می شود و به طرف گره ی فرزند تازه ایجاد شده حرکت می کند. الگوریتم فوق، به طور بازگشتی برای هر گره فرزند به کار برده می شود تا تمام نمونه ها در یک گره از یک کلاس باشند. هر مسیر به طرف برگ در درخت تصمیم یک قانون طبقه بندی را نشان می دهد. انتخاب صفت و ویژگی در الگوریتم های ID3 و C4.5 بر پایه ی حداقل سازی (کمینه سازی) یک ارزیابی آنتروپی اطلاعات به کار رفته در مثال ها در یک گره هستند.

بسط ID3، الگوریتم C4.5 می باشد که دامنه ی طبقه بندی را از صفات رده بندی به مشخصه های عددی توسعه می دهد. برآورد و سنجش مربوط به ویژگی هایی می شوند که از تقسیم داده ها به زیر مجموعه هایی که آنتروپی گروهی پایینی دارند، به دست می آیند. اساساً الگوریتم مشخصه ای را انتخاب می کند که درجه ماکزیمم تمایز بین طبقه بندیها را به طور موضعی فراهم می کند.

برای اعمال بعضی از روش ها که بر پایه ی روش یادگیری استقرایی استوار هستند، چندین پیش نیاز اصلی باید برآورده شود:

1. توصیف مقدار ویژگی یا صفت
2. گروه ها و کلاس های از پیش تعیین شده
3. کلاس ها و گروه های گسسته
4. داده های کافی
5. مدل های طبقه بندی منطقی



فصل سوم

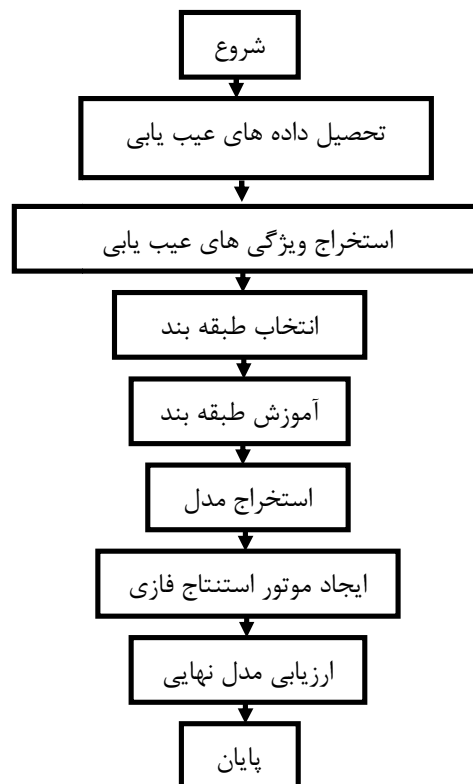


پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

هوشمند سازی تشخیص عیب

در این تحقیق، مراحل زیر جهت طراحی یک سیستم هوشمند برای استخراج ویژگی و تشخیص عیوب توربین و ژنراتور برق آبی سد سفید رود استفاده گردید. شکل شماره 18 فلوچارت مراحل هوشمند سازی تشخیص عیوب را نمایش می دهد.

- جمع آوری پارامترهای موثر در تشخیص عیوب
- استخراج ویژگی‌ها⁸⁷
- مشخص نمودن نوع طبقه بند
- تنظیم پارامترهای طبقه بند برای برازش مدل داده ها
- استخراج قوانین فازی از مدل نهایی
- ایجاد موتور استنتاج فازی بر مبنای مدل تولید شده توسط طبقه بند
- ارزیابی عملکرد مدل فازی



شکل 18- مراحل طراحی یک سیستم هوشمند مبتنی بر منطق فازی جهت استخراج عیوب توربین و ژنراتور برق آبی سد سفید رود



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

طبقه‌بندی با درخت های تصمیم

درخت های تصمیم به عنوان بخشی از سیستم های داده کاوی، ابزار قدرتمندی برای طبقه‌بندی محسوب می‌شود. در این تحقیق نیز به منظور طبقه‌بندی عیوب توربین و ژنراتور برق آبی سد سفید رود با به کارگیری ویژگی‌های مستخرج از لاگ شیت های نیروگاه (برگه های جمع آوری اطلاعات عملکردی روزانه نیروگاه)، از نرم افزار Weka و الگوریتم J48 استفاده شده است. نرم افزار Weka در دانشگاه وایکاتو⁸⁸ در زلاند نو⁸⁹ و تحت زبان برنامه نویسی جاوا⁹⁰ نوشته شده است. نرم افزار Weka مجموعه ای از الگوریتم های ماشین یادگیری⁹¹ و ابزارهای پیش پردازش داده⁹² است. این نرم افزار تمامی جنبه های پردازش کامل داده کاوی (آماده سازی داده های ورودی، ارزیابی آماری یادگیری و نموداری نمودن داده های ورودی و نتایج خروجی) را شامل می شود. چگونگی ایجاد درخت های تصمیم به وسیله ی این نرم افزار به منظور طبقه بندی عیوب مختلف توربین و ژنراتور برق آبی سد سفید رود از روی ویژگی های تشخیص عیب و ترکیب آنها را امکان پذیر می نماید.

ایجاد موتور استنتاج فازی

نمونه ای از درخت تصمیم ایجاد شده به وسیله ی نرم افزار Weka بصورت درختی ترسیم شد و قوانین استخراج گردید. برای استخراج سایر قوانین فازی نیز به همین صورت عمل گردید. باید دقت نمود که در قانون فوق اعداد روی شاخه ها در قانون وارد شده است. در واقع برای ساخت مدل فازی قوانین را باید به صورت زبانی تعریف و از وارد نمودن اعداد در آن ها جلوگیری نمود. بنابراین در پژوهش حاضر حدود هشدار و بحران برای تعیین مقادیر آستانه ای عضویت استفاده گردید و تمامی قوانین به صورت زبانی تعیین شد.

در نهایت پس از استخراج قوانین فازی و مقادیر آستانه ای توابع عضویت از روی درخت های تصمیم برای هر حالت عیوب توربین و ژنراتور برق آبی سد سفید رود، از نرم افزار MATLAB R2010a به منظور ایجاد موتور استنتاج فازی استفاده گردید. به منظور ساده نمودن آزمون مدل نهایی و اینکه کاربر بتواند از مدل ایجاد شده ی فازی به راحتی استفاده نماید، موتورهای استنتاج فازی ایجاد شده در دسته بندی های مختلف عیوب مشخص و به محیط SIMULINK نرم افزار MATLAB منتقل گردید. در این حالت کاربر می تواند پارامترهای مد نظر را به عنوان ویژگی عیوب آتی را در مدل نهایی وارد نماید و خروجی سیستم فازی را مشاهده کند.

تعیین عملکرد سیستم

عملکرد سیستم به وسیله ی برخی پارامترهای آماری از قبیل حساسیت⁹³، اختصاصی بودن⁹⁴ و درجه ی انطباق طبقه بندی کل⁹⁵ محاسبه گردید. مفاهیم این پارامترهای آماری به صورت زیر است.

- حساسیت: عبارت است از تعداد تصمیم های مثبت صحیح سیستم تقسیم بر تعداد کل تصمیم های مثبت ممکن.
- اختصاصی بودن: عبارت است از تعداد تصمیم های منفی صحیح سیستم تقسیم بر تعداد کل تصمیم های منفی ممکن.
- درجه ی انطباق طبقه بندی کل: عبارت است از تعداد تصمیم های صحیح تقسیم بر تعداد کل تصمیم های ممکن.

⁸⁸ - University of Waikato

⁸⁹ - New Zealand

⁹⁰ - Java

⁹¹ - Machine learning

⁹² - Data preprocessing tools

⁹³ - Sensitivity

⁹⁴ - Specificity

⁹⁵ - Degree of total classification agreement



فصل چهارم



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

این تحقیق در دو بخش نتایج ارایه گردیده است. در بخش اول نتایج حاصل از تحلیل پارامترهای عیب یابی در شرایط مختلف کاری توربین و ژنراتور برق آبی سد سفید رود ارائه شده است. همچنین، مقایسه ی هر یک از شرایط معیوب توربین و ژنراتور برق آبی سد سفید رود مورد بررسی قرار می گیرد. در بخش دوم، الگوریتم مناسب مبتنی بر منطق فازی به منظور هوشمند ساختن فرآیند تشخیص عیب ارائه گردید.

نتایج داده کاوی

خروجی الگوریتم J48 که به صورت درخت های تصمیم است. درخت های تصمیم رابطه ی بین ویژگی های عیوب و توربین و ژنراتور برق آبی سد سفید رود را نشان می دهند. ردیابی⁹⁶ یک شاخه از گره ی اصلی⁹⁷ تا برگ به یک وضعیت توربین و ژنراتور برق آبی سد سفید رود منتهی می شود و رمزگشایی⁹⁸ اطلاعات موجود در هر شاخه ی درخت به صورت جملات اگر- آنگاه فازی، قوانین لازم برای طبقه بندی فازی عیوب توربین و ژنراتور برق آبی سد سفید رود را فراهم می آورد. بدیهی است که در هر کدام از درخت ها، بالاترین گره، بهترین گره برای طبقه بندی است. سایر ویژگی ها در گره های درخت تصمیم به ترتیب نزولی اهمیت قرار می گیرند. همچنین در درخت های تصمیم تنها آن دسته از ویژگی های طیف قرار می گیرند که برای طبقه بندی صحیح اهمیت دارند و ویژگی هایی که اهمیت لازم برای طبقه بندی عیوب توربین و ژنراتور برق آبی سد سفید رود را ندارند از مدل بیرون نگه داشته می شوند. سطح توزیع داده ها برای مجموعه ی ویژگی هایی که یک طبقه را می سازند توسط اعدادی در داخل پرانتز در درخت تصمیم و در جلوی وضعیت توربین و ژنراتور در آن طبقه آمده است. به طوری که، اولین عدد در داخل پرانتز بیانگر تعداد داده هایی است که توسط مجموعه ی ویژگی ها به طور صحیح قابل طبقه بندی بوده است و دومین عدد بیانگر تعداد داده هایی است که به طور اشتباه در آن طبقه قرار گرفته است. در صورتی که اولین عدد در داخل پرانتز نسبت به کل داده هایی که برای بیان یک عیب در مدل وارد شده اند خیلی کوچک باشد، در این صورت آن طبقه را می توان از مدل نهایی حذف نمود.

ورودی و خروجی سیستم

پارامترهای مختلفی از توربین و ژنراتور می توانند تغییر نمایند که با پایش مداوم آنها می توانیم به عیوب توربین و ژنراتور پی ببریم. در نیروگاه برق آبی سد سفید رود پارامترهایی مانند ولتاژ، قدرت، و حرارت یاتاقان ها شامل (یاتاقان فوقانی، یاتاقان کف گرد، یاتاقان توربین 1، جریان هوای مولد، یاتاقان مولد، دما سنج مولد، یاتاقان توربین 2، یاتاقان فوقانی 2، یاتاقان کف گرد 2) و فشار سیستم های مختلف شامل (فشارهای مجرای توربین، محفظه حلزونی، مخزن روغن، فشار روغن پای، آب خنک کن مولد، آب خنک کن یاتاقان و آب تراوبند) و از دیگر پارامترهای این سالن پارامترهای درجه باز بودن توزیعگر، درجه بار- سرعت، درجه محدود کننده، درجه استانسیم، فرکانس، درجه حرارت ترانسفرماتور و فشار مخزن هوای فشرده ترمز بعنوان پارامترهای سالن توربین و پارامترهای اطاق فرمان که عبارت از سطح سر آب، سطح پایاب، قدرت و انرژی تولید نیروگاه شامل قدرت اکتیو، قدرت راکتیو، انرژی تولیدی و تغذیه دستگاههای فرعی جریان متناوب شامل ولتاژ، جریان و از دیگر پارامترهای اطاق فرمان موارد درجه محدود کننده بار، فرکانس، توزیعگر، ولتاژ تحریک، جریان تحریک، اختلاف سطح،

⁹⁶ - Tracing

⁹⁷ - Root node

⁹⁸ - Decoding



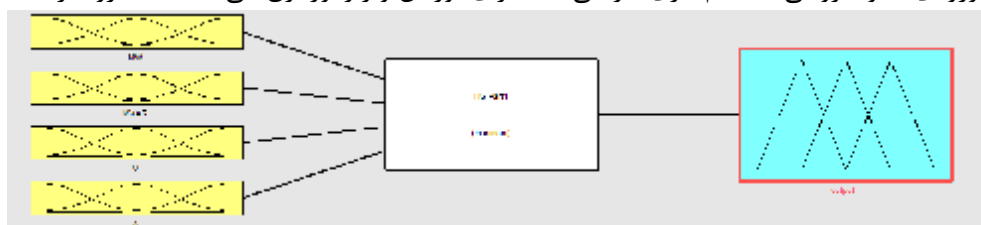
پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

جریان فاز 1، جریان فاز 2، جریان فاز 3، دبی آب مصرفی به عنوان ورودی در نظر گرفته شده است که این انتخاب با توجه به تجربه‌ی تحلیل گران و میزان تأثیر بیش‌تر این عوامل بر تحلیل وضعیت بوده است. خروجی نیز بررسی وضعیت توربین و ژنراتور برق آبی سد سفید رود می‌باشد تا مشخص گردد که توربین و ژنراتور برق آبی سد سفید رود در چه شرایطی به سر می‌برد. عیوب در نظر گرفته شده نیز عبارت از عیوب در نظر گرفته در فرم های عیب یابی توربین و ژنراتور عبارت از ارتعاشات واحد + خوردگی در چرخ توربین، مشکل در گاورنر + ارتعاشات واحد + خوردگی، افزایش دمای ژنراتور و ترانس، افزایش دمای روتور ژنراتور، اشکال در سیستم باطری خانه + شارژر، تریپ واحد، اور اسپید واحد، عیب در سیستم محدود کننده بار، عیب در سیستم محدود کننده بار، عیب در سیستم محدود کننده بار + عیب گاورنر، ارتعاش واحد، اور لود واحد، اور هال واحد، خرابی یاتاقان + افزایش دمای یاتاقان، اشکال در میزان ورود آب خنک کننده + گرفتگی سیستم خنک کننده + احتمال خرابی یاتاقان + افزایش لنگی محور توربین یا خارج از مرکزی توربین، اشکال در میزان ورود آب خنک کننده + گرفتگی سیستم خنک کننده، تریپ واحد + آسیب ژنراتور و سیم پیچ ژنراتور، تریپ واحد + کاهش سطح روغن + آلامر، سیستم کاهنده فشار دچار خوردگی + ژینگلور معیوب + عملکرد معیوب سوپاپ، اشکال در دریچه راس یا گارد، اشکال در دریچه راس یا گارد + بسته شدن شیر پروانه ای، تریپ واحد + افزایش سطح روغن + آلامر، تریپ واحد + گرفتگی ژینگلور و فیلتر، سیستم کاهنده فشار دچار خوردگی + ژینگلور معیوب + عملکرد معیوب سوپاپ، گرفتگی در فیلتر و مسیر خنک کن + آسیب دیدگی سوپاپ + آلامر، آسیب دیدگی بوش و محور توربین + آسیب دیدگی زغال ها + تریپ واحد بدون آلامر + افزایش نشتی آب، آسیب دیدگی ترانس، عدم کارکرد صحیح ترمز در زمان توقف، احتمال آسیب دیدگی کمپرسور و مخزن + اشکال در سیستم کمپرسور، عدم کارکرد صحیح ترمز در زمان توقف، آسیب دیدگی ترانس، احتمال آسیب دیدگی کمپرسور و مخزن + اشکال در سیستم کمپرسور می باشند.

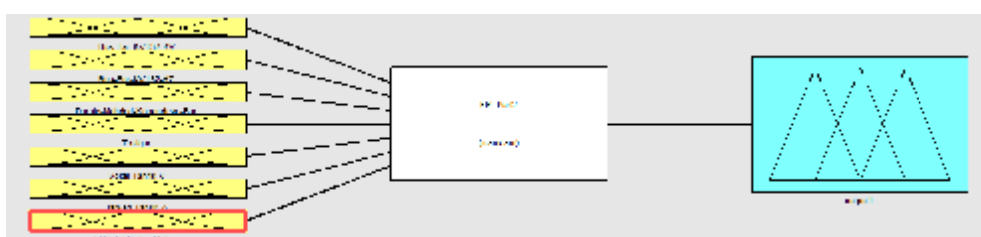


پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

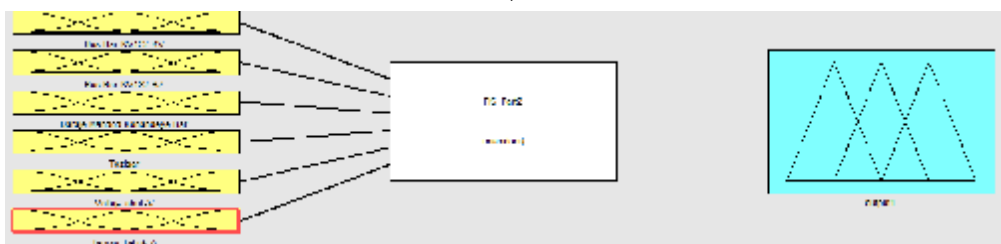
شکل شماره 19 ورودی ها و خروجی سیستم فازی طراحی شده برای توربین و ژنراتور برق آبی سد سفید رود را نمایش می دهد.



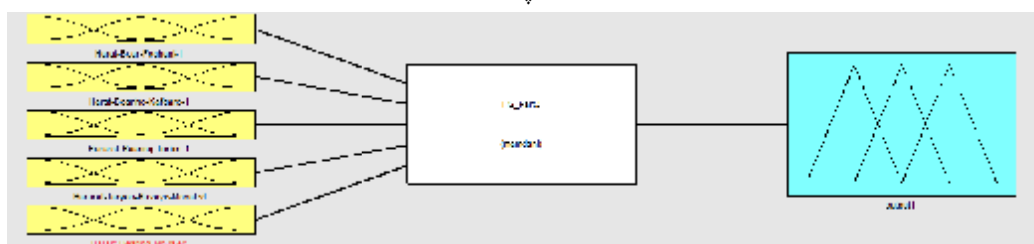
الف



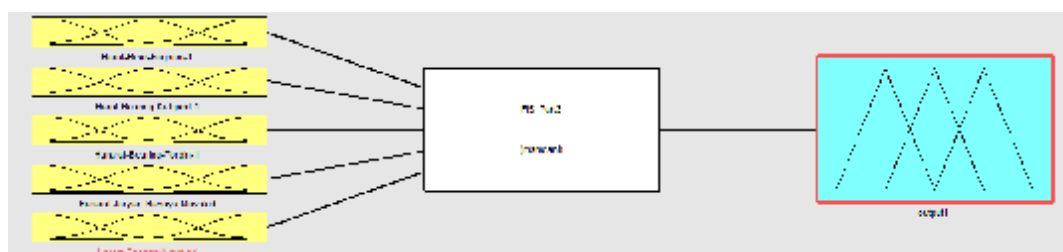
ب



پ



د



ه

شکل 19- شکل های الف تا ه ورودی ها و خروجی های برنامه ی فازی طراحی شده برای توربین و ژنراتور برق آبی سد سفیدرود



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

زیاد بودن ورودی ها و خروجی های سیستم باعث گردید یا یک GUI که مناسب استفاده کاربر می باشد برای نرم افزار طراحی و پیاده سازی شود که این کار صورت گرفت که شکل های آن در ادامه آمده است و نرم افزار در لوح فشرده پیوست موجود می باشد.

توابع عضویت

با در نظر گرفتن مقادیر به دست آمده برای ویژگی های تشخیص عیوب توربین و ژنراتور بر روی درخت های تصمیم، بر اساس این که کدام شاخه ها از درخت تصمیم برای وضعیت های مختلف توربین و ژنراتور ایجاد شده است، توابع عضویت برای آن ویژگی ها در نرم افزار MATLAB به صورت زیر مشخص گردیدند.

شکل توابع عضویت ورودی ایجاد شده برای توربین و ژنراتور در شرایط مختلف دسته بندی عیوب را نشان می دهند. در این تابع عضویت یک آستانه برای مقدار عضویت ویژگی "ماکزیمم" در نظر گرفته شده است، تا قبل از این مقدار تابع عضویت مقدار عددی "0" را تولید می نماید و بعد از آن فرض بر این گرفته می شود که به صورت خطی افزایش می یابد. تابع عضویتی که چنین پدیده ای را بیان دارد، تابع عضویت دوزنقه ای⁹⁹ است و بنابراین در این پژوهش به عنوان تابع عضویت برای ترسیم نمودن تمامی نقاط در فضای ورودی به یک مقدار عضویت به کار برده شد.

چنانچه مقدار ویژگی "ماکزیمم" از عدد کوچکتر یا مساوی باشد، تابع عضویت، که بین مقیاس 0 تا 1 مشخص گردیده است، مقدار عضویت "0" را اختصاص می دهد، به این معنی که این ماکزیمم نمی باشد. اگر مقدار آستانه ای از مقدار مینیمم بزرگتر باشد، تابع عضویت مقدار عضویت "1" را تولید می نماید. ایجاد توابع عضویت برای سایر ویژگی ها در درخت های تصمیم گیری در تمامی این پژوهش به همین منوال بود.

توابع عضویت ورودی

تابع تعلق یک مجموعه ی فازی، درجه ی عضویت یک عنصر در آن مجموعه را مشخص می کند. ابتدا با توجه به اطلاعات موجود در برگه های عیب یابی و نیز استفاده از استانداردهای مرتبط توابع فازی مربوط به هر عیب استنتاج و قانون گذاری می گردد.

در این تحقیق وضعیت ژنراتور بر اساس استاندارد با چهار کد (a, b, c و d) مطابق جدول کدگذاری شده اند. که به ترتیب، وضعیت عادی با حرف a، وضعیت مرزی قابل قبول با حرف b، وضعیت مرزی غیر قابل قبول با حرف c و وضعیت بحرانی با حرف d، کد گذاری شده است که این کد گذاری در تمام جداول بکار برده می شود.

⁹⁹ - Trapezoidal membership function



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

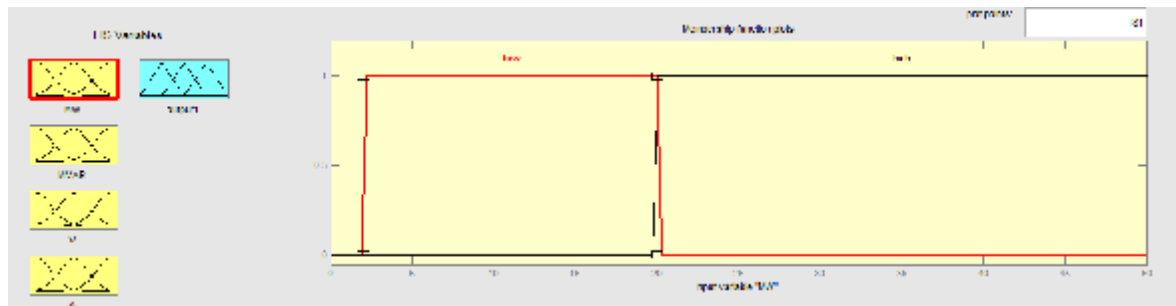
جدول 6 - کدگذاری وضعیت توربین و ژنراتور برق آبی سد سفید رود	
نوع وضعیت	کد
عادی	a
مرزی	b
مرزی غیر قابل قبول	c
بحرانی	d

برای متغیرهای خروجی عیوب مختلف تعریف شده اند. این پارامترها بر اساس شرایط عادی، مرزی و هشدار متغیرهای مانند ولتاژ، قدرت، و حرارت یاتاقان ها شامل (یاتاقان فوقانی، یاتاقان کف گرد، یاتاقان توربین 1، جریان هوای مولد، یاتاقان مولد، دما سنج مولد، یاتاقان توربین 2، یاتاقان فوقانی 2، یاتاقان کف گرد 2) و فشار سیستم های مختلف شامل (فشارهای مجرای توربین، محفظه حلزونی، مخزن روغن، فشار روغن پای، آب خنک کن مولد، آب خنک کن یاتاقان و آب تراوبند) و از دیگر پارامترهای این سالن پارامترهای درجه باز بودن توزیعگر، درجه بار- سرعت، درجه محدود کننده، درجه استانسیم، فرکانس، درجه حرارت ترانسفرماتور و فشار مخزن هوای فشرده ترمز بعنوان پارامترهای سالن توربین و پارامترهای اطاق فرمان که عبارت از سطح سر آب، سطح پایاب، قدرت و انرژی تولید نیروگاه شامل قدرت اکتیو، قدرت راکتیو، انرژی تولیدی و تغذیه دستگاههای فرعی جریان متناوب شامل ولتاژ، جریان و از دیگر پارامترهای اطاق فرمان موارد درجه محدود کننده بار، فرکانس، توزیعگر، ولتاژ تحریک، جریان تحریک، اختلاف سطح، جریان فاز 1، جریان فاز 2، جریان فاز 3، دبی آب مصرفی بیان شده است.

اکنون پس از مشخص نمودن محدوده ها، با کمک حدود بالا، میانه و پایین توابع تعلق رسم شده اند. شکل 20 این توابع برای ورودی ها از شکل های به صورت Z شکل و S شکل و مثلثی برای شرایط مختلف انتخاب گردیده است. در مورد خروجی ها نیز که شامل عیوب ارتعاشات واحد + خوردگی در چرخ توربین، مشکل در گاورنر + ارتعاشات واحد + خوردگی، افزایش دمای ژنراتور و ترانس، افزایش دمای روتور ژنراتور، اشکال در سیستم باتری خانه + شارژر، تریپ واحد، اور اسپید واحد، عیب در سیستم محدود کننده بار، عیب در سیستم محدود کننده بار + عیب گاورنر، ارتعاش واحد، اور لود واحد، اور هال واحد، خرابی یاتاقان + افزایش دمای یاتاقان، اشکال در میزان ورود آب خنک کننده + گرفتگی سیستم خنک کننده + احتمال خرابی یاتاقان + افزایش لنگی محور توربین یا خارج از مرکزی توربین، اشکال در میزان ورود آب خنک کننده + گرفتگی سیستم خنک کننده، تریپ واحد + آسیب ژنراتور و سیم پیچ ژنراتو، تریپ واحد + کاهش سطح روغن + آلارم، سیستم کاهنده فشار دچار خوردگی + ژینگلور معیوب + عملکرد معیوب سوپاپ، اشکال در دریچه راس یا گارد، اشکال در دریچه راس یا گارد + بسته شدن شیر پروانه ای، تریپ واحد + افزایش سطح روغن + آلارم، تریپ واحد + گرفتگی ژینگلور و فیلتر، سیستم کاهنده فشار دچار خوردگی + ژینگلور معیوب + عملکرد معیوب سوپاپ، گرفتگی در فیلتر و مسیر خنک کن + آسیب دیدگی سوپاپ + آلارم، آسیب دیدگی بوش و محور توربین + آسیب دیدگی زغال ها + تریپ واحد بدون آلارم + افزایش نشتی آب، آسیب دیدگی ترانس، عدم کارکرد صحیح ترمز در زمان توقف، احتمال آسیب دیدگی کمپرسور و مخزن + اشکال در سیستم کمپرسور، عدم کارکرد صحیح ترمز در زمان توقف، آسیب دیدگی ترانس، احتمال آسیب دیدگی کمپرسور و مخزن + اشکال در سیستم کمپرسور بودند نیز از توابع مثلثی استفاده شده است. به عنوان نمونه یکی از توابع تعلق در شکل 20 آورده شده است.



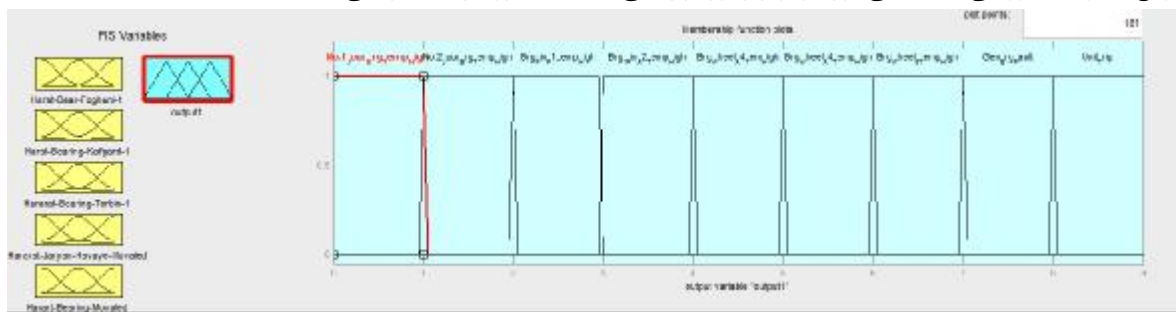
پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی



شکل 20 - توابع عضویت ورودی نرم افزار عیب یابی توربین و ژنراتور سد سفید رود

تابع عضویت خروجی¹⁰⁰

خروجی های طبقه بند فازی در واقع همان وضعیت های عیوب توربین و ژنراتور می باشد. شکل شماره 21 یک نمونه از توابع عضویت خروجی عیب یابی توربین و ژنراتور برق آبی سد سفید رود را نمایش می دهد.



شکل 21 - توابع عضویت برای خروجی فازی توربین و ژنراتور سد سفید رود

قوانین فازی

با استفاده از درخت های تصمیم ، قوانین فازی به صورت عبارات اگر- آنگاه ایجاد شدند. تمامی این قوانین با درجه ی اهمیت مساوی در مدل فازی قرار می گیرند و ترتیب قرار گیری قوانین اهمیت ندارد. در زیر قوانین ایجاد شده در هر وضعیت آمده است.

مرحله ی استنتاج

در مرحله ی استنتاج، تعدادی قاعده ی فازی به وجود می آوریم. هر قاعده ی فازی شامل دو قسمت است، یک قسمت مقدمه به صورت اگر و یک قسمت نتیجه به صورت آنگاه می باشد. این قوانین به کمک اطلاعات استخراج شده از برگه های آنالیز عیوب و تجربه ی شخص خبره و استانداردهای مرتبط تعیین شده اند. تعدادی از قوانین در شکل 22 آورده شده است. کلیه قوانین در پیوست شماره 2 آورده شده است.

¹⁰⁰ - Output membership function



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

2. If (MW is high) then (output1 is Unit_Not>Loading_Automatic) (1)
3. If (MVAR is high) then (output1 is Generator_Coil_Temperature_Increases) (1)
4. If (V is low) then (output1 is Unit_Not_Load) (1)
5. If (V is high) then (output1 is Unit_Trip_By_Over_Voltage) (1)
6. If (A is high) then (output1 is Generator_Load_Increases) (1)
7. If (A is low) then (output1 is No_Problem) (1)

شکل شماره 22 – تعدادی از قوانین فازی در خصوص پارامترهای عیوب توربین و ژنراتور سد سفید رود

خروجی فازی

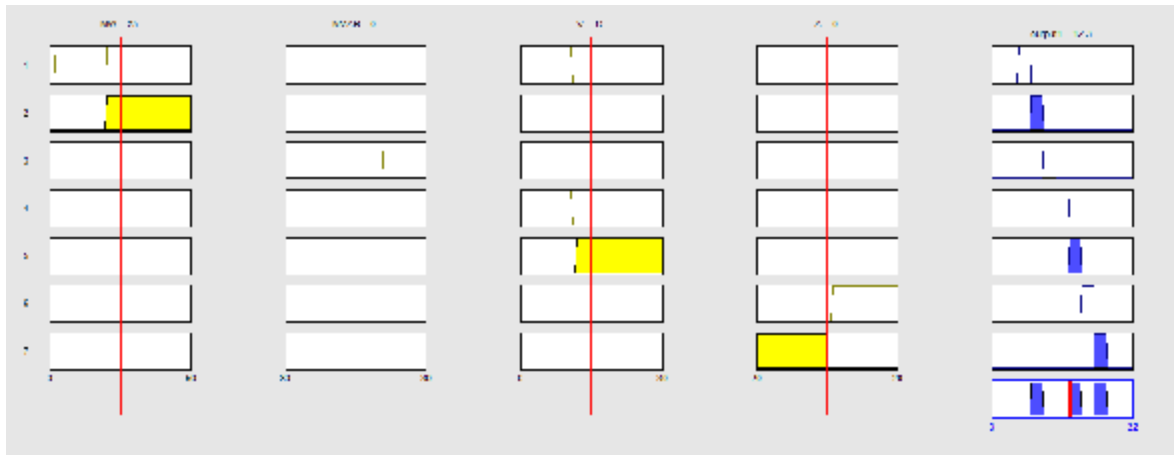
خروجی های سیستم فازی ایجاد شده را می توان در ادیتور "Rule viewer" مشاهده نمود. Rule viewer ایجاد شده برای یک سری از عیوب توربین و ژنراتور در شکل نشان داده شده است. در این شکل هر کدام از ردیف ها متناظر با یکی از عیوب توربین و ژنراتور می باشد. هر یک از ستون ها به ترتیب بیانگر توابع عضویت یکی از پارامترهای عیب یابی توربین و ژنراتور می باشد. آخرین ستون نیز متناظر با توابع عضویت ایجاد شده برای خروجی فازی می باشد. با حرکت دادن لغزنده ای که روی بلوک های هر کدام از توابع عضویت ورودی قرار دارد، می توان خروجی های مختلفی را به دست آورد. به کمک نمونه های ورودی برای هر یک از پارامترهای موثر در تشخیص عیوب وضعیت قرار گیری و یا تشخیص و پیشگویی هر عیب در خروجی مشخص می گردد.

مرحله ی غیر فازی سازی

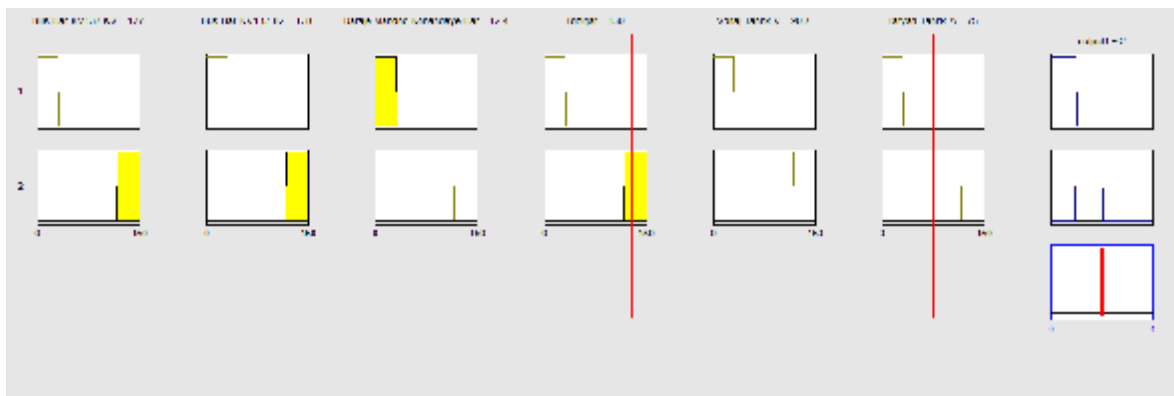
در مرحله ی غیر فازی سازی با توجه به سطحی که در مرحله ی استنتاج بدست آمده است مقداری حقیقی برای خروجی بدست می آوریم. بدین معنی که می توان با دادن مقادیر به ورودی ها مقدار خروجی که همان وضعیت نهایی ژنراتور است را بدست آورد. شکل شماره 23 نمونه ای از خروجی های حاصل از برنامه عیب یابی فازی را نمایش می دهد.



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی



الف



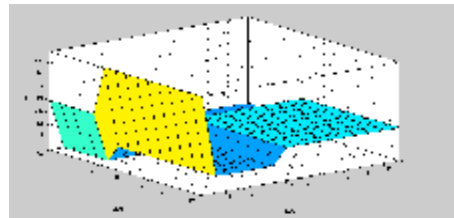
ب

شکل 23- خروجی‌های حاصل از برنامه عیب یابی فازی توربین و ژنراتور سد سفید رود

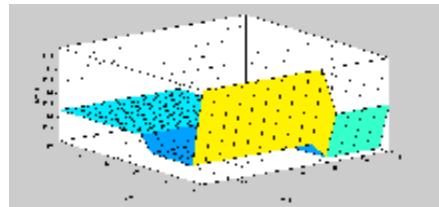


پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

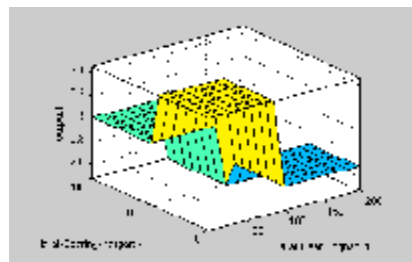
شکل شماره 24 خروجی نرم افزار بر اساس تاثیر سطوح مختلف پارامترها به صورت دو به دو را نمایش می دهد. که نتایج این پارامترها در خروجی نرم افزار تاثیر گذاشته و نتیجه را حاصل می نماید.



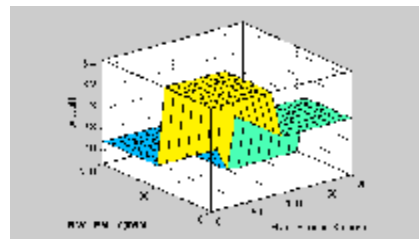
الف



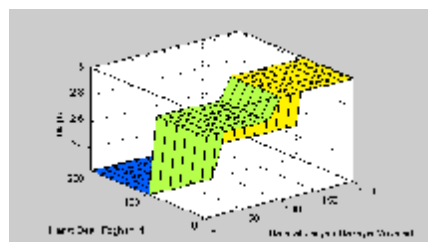
ب



پ



ت



ث

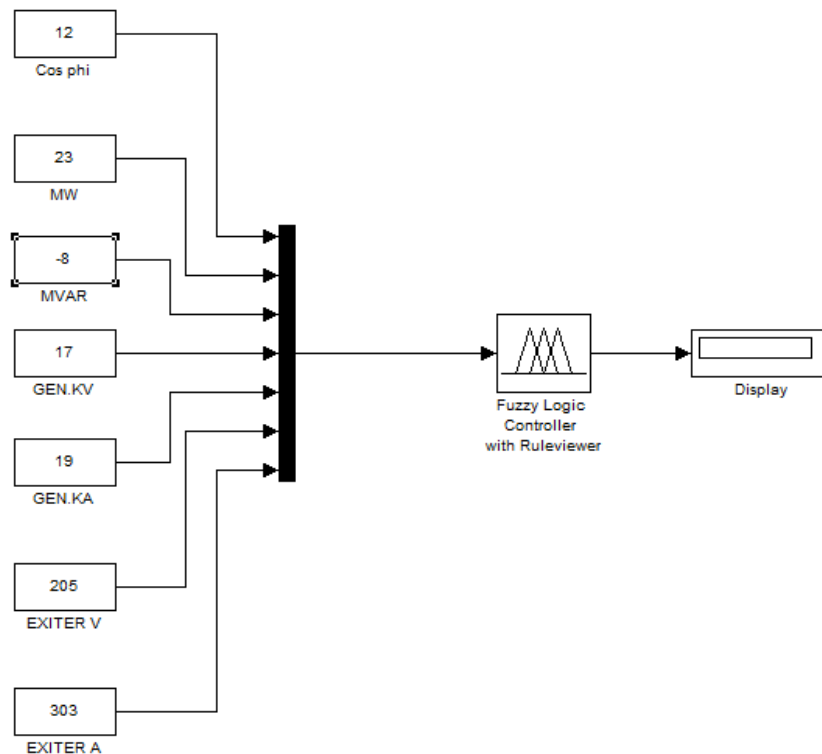
شکل 24- نمایش سطحی عوامل موثر بر دو به دو پارامترهای موثر بر عیب یابی توربین و ژنراتور سد سفیدرود



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

مدل نهایی در محیط SIMULINK

مدل نهایی شبیه سازی شده در محیط SIMULINK برای شرایط و دسته بندی های مختلف عیوب توربین و ژنراتور انجام شده است که در شکل 25 یکی از آنها نمایش داده شده است. برای دیگر شرایط عیوب نیز مدل های مشابهی ایجاد گردید.



شکل 25-مدل فازی نهایی در محیط SIMULINK برای شبیه سازی عیوب توربین و ژنراتور برق آبی سد سفید رود

زیاد بودن ورودی ها و خروجی های سیستم باعث گردید یا یک GUI که مناسب استفاده کاربر می باشد برای نرم افزار طراحی و پیاده سازی شود که این کار صورت گرفت که شکل های آن در ادامه آمده است و نرم افزار در لوح فشرده پیوست موجود می باشد.

شکل های شماره 26 تا 30 واسط گرافیکی GUI نرم افزار را نمایش می دهد. همانگونه که مشاهده می شود با استفاده از این واسط گرافیکی کاربر می تواند با تغییر هر یک از پارامترهای بروز عیب ، عیبی که اتفاق خواهد افتاد را نمایش می دهد. در ابتدا بایستی مقادیری از پارامترها که متغیر بوده، مانند مقدار توزیع گر توسط کاربر وارد شود و سپس مقادیر 37 پارامتر به ترتیب وارد شد و سپس برای تشخیص عیب کلید تشخیص عیب (Diagnosis) انتخاب شود.

شکل شماره 26 صفحه ورود داده ها در حالت وارد کردن پارامترهای عیب یابی را نمایش می دهد و شکل 27 صفحه GUI در حالت نمایش سلامت تجهیزات را نمایش می دهد. شکل 28 صفحه GUI در حالت نمایش بروز خطا در اشتباه وارد کردن مقادیر پارامترها را نمایش می دهد که کاربر می تواند نسبت تصحیح اعداد وارد شده اقدام نماید. شکل 29 صفحه GUI در



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

حالت نمایش عیب در تجهیزات برای مثال عیب در ارتعاشات واحد یا خوردگی در چرخ توربین را نمایش می دهد و شکل 30 صفحه GUI در حالت نمایش عیب در تجهیزات برای مثال تربی واحد یا کاهش سطح روغن را نمایش می دهد که در این حالت علاوه بر نمایش بصورت واژه های برای جلت بوجه کاربر چراغ قرمز رنگ نیز روشن شده و صدای بوق نیز شنیده می شود.

شکل 26 - صفحه ورود داده ها در حالت وارد کردن پارامترهای عیب یابی

شکل 27 - صفحه GUI در حالت نمایش سلامت تجهیزات



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی



شکل 28 - صفحه GUI در حالت نمایش بروز خطا در اشتباه وارد کردن مقادیر پارامترها



شکل 29 - صفحه GUI در حالت نمایش عیب در تجهیزات برای مثال عیب در ارتعاشات واحد یا خوردگی در چرخ توربین



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی



شکل 30 - صفحه GUI در حالت نمایش عیب در تجهیزات برای مثال تریپ واحد یا کاهش سطح روغن



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

نتایج بررسی های و تحلیل های مختلف روش های مختلف اجرای پایش وضعیت برای تجهیزات سد سفید رود پایش وضعیت روغن

بر اساس ممیزی و بررسی های انجام شده امکان اجرای پایش وضعیت روغن برای روغن توربین و ژنراتور وجود دارد و با توجه به مزایای اجرای پایش وضعیت به روش آنالیز روغن که در ادامه برخی از آنها ارایه شده است که شامل :

- تشخیص به موقع فرسایش و عیب قبل از بروز خسارت سنگین
 - شناسایی عناصر آلاینده و نحوه ورود آن به داخل سیستم
 - جلوگیری از تعویض مواد و قطعات قبل از پایان عمر مفید آنها
 - کنترل فرسایش های غیر عادی
 - کنترل کیفی مواد مصرفی نظیر روغن ها، فیلترها و افزایش عمر آنها
- می باشد پیشنهاد می شود با توجه به ساعت کارکرد در فواصل منظم نسبت به ارسال روغن به آزمایشگاه های رفرنس برای آنالیز روغن اقدام شود.

آنالیز طیف فرکانسی توربین و ژنراتور سد سفید رود

باتوجه به اینکه سنسورهای آنالیز جهت تحلیل بر خط عیوب ارتعاشی در نیروگاه وجود ندارد ، آنالیز های تحلیل فرکانسی برای توربین و ژنراتور انجام شد که می تواند بعنوان رفرنس جهت عیب یابی استفاده شود و در صورت عدم امکان خرید تجهیزات آنالیز ، توصیه می شود بصورت آفلاین و در محدوده زمانی هر 1 الی 2 ماه داده برداری ارتعاشی انجام شود و جهت پیشگویی عیوب با نتایج قبل مقایسه شود.

در این قسمت از گزارش کلیه طیف های مربوط به توربین و ژنراتور تحلیل و کلیه فرکانس های قسمت های مختلف شناسایی شده اند.

با مقایسه مقادیر هریک از فرکانس ها و مقایسه آنها در اندازه گیری های دوره ای می توان در صورت افزایش فرکانس های که مربوط به خرابی هر یک از اجزاء توربین و ژنراتور می باشد به آنها پی برد و یا آنها را پیشگویی نمود.

کلیه فرکانس های اجزاء مختلف از جمله فرکانس چرخش و برخورد محورد (Rotor Rub frequency) که مربوط به گردش روتور روی یاقان می باشد، فرکانس عدم استقرار روغن (Oil Instabil frequency) که مربوط به زمانی می باشد که فیلم روغن بطور منظم سطح یاتاقان را پر نمی کند مخصوصا در نواحی فشاری، فرکانس لقی روتور و یاتاقان که با (Clearance frequency) نمایش داده می شود و فرکانس خط (Line frequency) و فرکانس سیم پیچ (Coil Pass frequency) محاسبه و در جداول مربوطه آورده شده است.

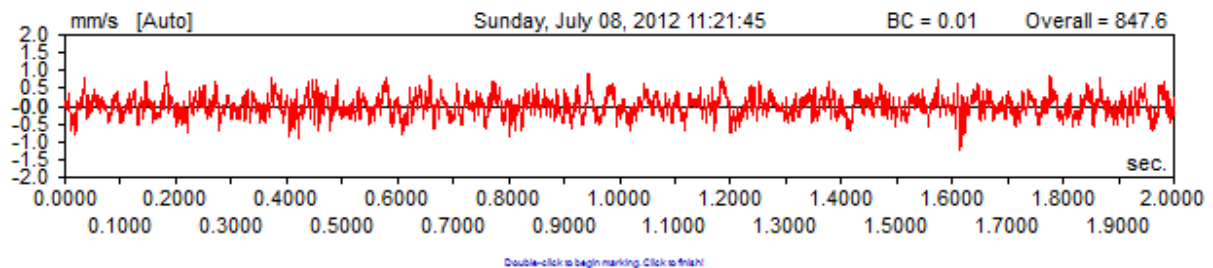
توصیه می شود در صورت عدم امکان نصب سیستم های آنالیز ، جهت عیب یابی و پیشگویی عیوب بصورت آفلاین و در فواصل زمانی 1 الی 2 ماه اقدام به ارتعاش سنجی شود.

نمونه شکل موج استخراج شده از یاتاقان شماره 1 واحد توربین و ژنراتور شماره یک در شکل 31 آمده است.



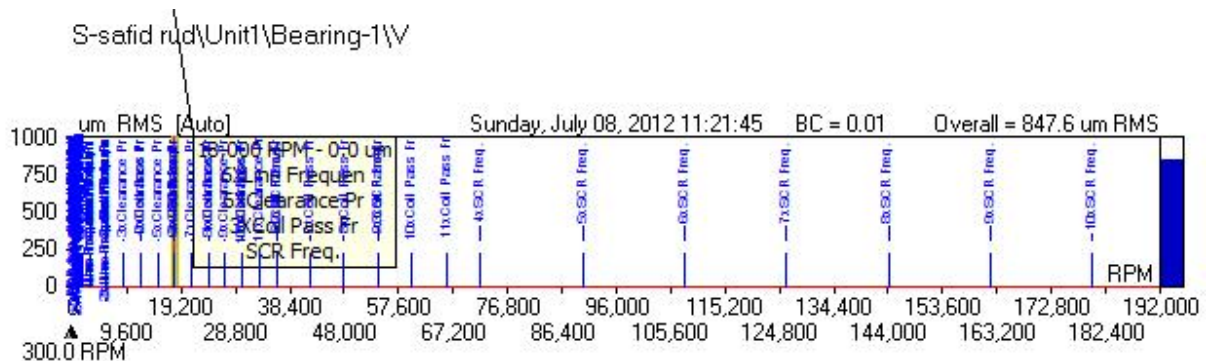
پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

S-safid rud\Unit1\Bearing-1\V



شکل 31 - موج استخراج شده از یاتاقان شماره 1 واحد توربین و ژنراتور شماره یک

شکل شماره 32 طیف فرکانسی همراه با فرکانسی معرفی شده برای تشخیص عیوب توربین و ژنراتور برای یاتاقان شماره یک واحد شماره یک نیروگاه را نمایش می دهد. همانگونه که مشاهده می شود به دلیل زیاد بودن تعداد فرکانسی محاسبه شده در شکل قابل رویت نمی باشد که در جداول پیوست شماره 1 کلیه فرکانس های پیشگویی خرابی ارایه شده است.



شکل 32 - شماره طیف فرکانسی همراه با فرکانسی معرفی شده برای تشخیص عیوب توربین و ژنراتور برای یاتاقان شماره یک واحد شماره یک نیروگاه



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

جدول شماره 7 فرکانس های محاسبه شده برای تشخیص عیوب توربین و ژنراتور سد سفید رود را نمایش می دهد. بقیه جداول که کلیه عیوب در آنها مشخص شده است در پیوست شماره 1 آورده شده است که کارشناسان نیروگاه می تواند از این جداول فرکانسی برای تشخیص و پیشگویی عیوب استفاده نمایند .

جدول شماره 7 - فرکانس های محاسبه شده برای تشخیص عیوب توربین و ژنراتور سد سفید رود

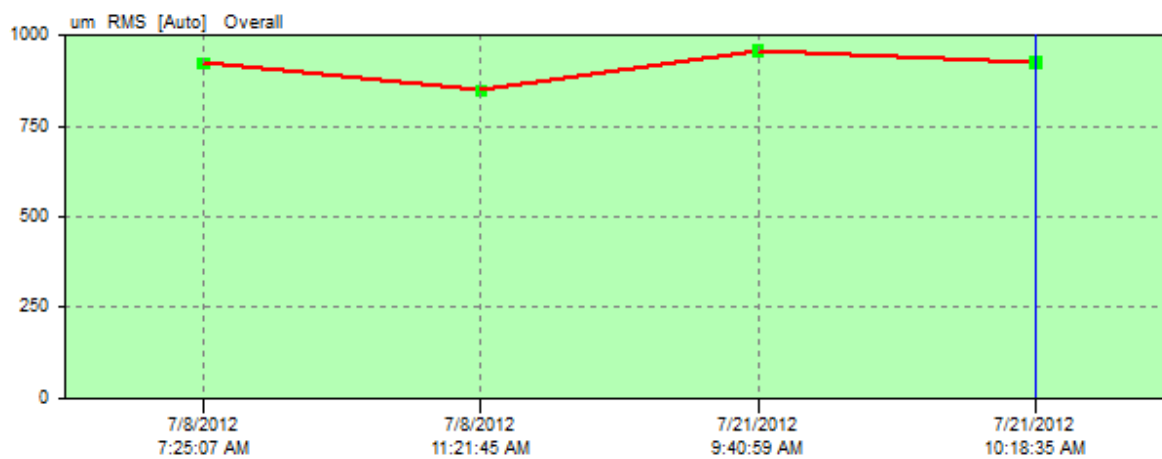
Nos	Frequency (RPM)	um RMS	Observations(+/-7.5 RPM)
1	50.8	832.5	
2	587.7	3.7	7XOil Instabil-1XPrimary RPM
3	891.4	1.4	
4	1,196.0	0.9	4XPrimary RPM, RBP freq +3XPrimary RPM, 2XRBP freq +2XPrimary RPM, 3XRBP freq +1XPrimary RPM, 4XRBP freq , 5XRBP freq - 1XPrimary RPM, 6XRBP freq -2XPrimary RPM, 7XRBP freq -3XPrimary RPM, 3XRotor Rub Fr+3XPrimary RPM, 6XRotor Rub Fr+2XPrimary RPM, 9XRotor Rub Fr+1XPrimary RPM
5	1,491.8	0.4	9XRotor Rub Fr+2XPrimary RPM
6	1,365.3	0.3	
7	1,791.6	0.3	
8	1,995.7	0.2	
9	2,090.3	0.2	
10	2,415.3	0.1	
11	2,297.4	0.1	
12	2,264.8	0.1	
13	2,952.0	0.1	
14	2,985.2	0.1	
15	3,103.0	0.1	
16	2,505.2	0.1	
17	2,746.4	0.1	
18	2,713.8	0.1	
19	2,862.3	0.1	
20	3,200.5	0.1	
21	3,310.8	0.1	
22	3,376.8	0.1	
23	5,107.5	0.1	
24	3,852.4	0.1	
25	3,736.0	0.1	
26	6,370.4	0.0	
27	5,298.4	0.0	
28	6,673.0	0.0	
29	3,494.4	0.0	
30	4,059.6	0.0	



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

در ادامه شکل ترند تغییرات یاتاقان شماره 1 واحد 1 نیروگاه در شکل شماره 33 آورده شده است. همانگونه که مشاهده می شود با توجه به مقادیر توصیه شده سازنده توربین و ژنراتور مقادیر اندازه گیری شده در محدوده سبز می باشند. جدول شماره 10 نیز نتایج مقادیر جابجایی یاتاقان شماره 1 را نمایش می دهد.

S-safid rud\Unit1\Bearing-1\V



شکل 33 - ترند تغییرات یاتاقان شماره 1 واحد 1 نیروگاه

جدول شماره 8 - نیز نتایج مقادیر جابجایی یاتاقان شماره 1

Nos	Measuring date	um RMS	Alarm status	BC
1	08-Jul-12 07:25 AM	922.2	Ok	0.014
2	08-Jul-12 11:21 AM	847.6	Ok	0.013
3	21-Jul-12 09:40 AM	957.1	Ok	0.014
4	21-Jul-12 10:18 AM	924.9	Ok	0.013



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

جدول شماره 11 مقادیر هشدار و بحران برای یاتاقان شماره 1 توربین و ژنراتور واحد 1 نیروگاه را نمایش می دهد که بر اساس استانداردهای سازنده مشخص شده است، را نمایش می دهد. جدول شماره 12 نیز مقادیر 5 فرکانس اصلی برای یاتاقان مربوطه را نمایش می دهد.

جدول شماره 9 - مقادیر هشدار و بحران برای یاتاقان شماره 1 توربین و ژنراتور واحد 1 نیروگاه

1. S-safid rud\Unit1\Bearing-1\V

Danger	Warning	Alarm status	Measuring date :Sunday, July 08, 2012 07:25
2000.0	1500.0	Ok	Total value = 922.2 um RMS
-	-		BC = 0.01 g
-	-	---	Envelope = --- gE

Shaft Speed=300.0 RPM

جدول شماره 10 - نیز مقادیر 5 فرکانس اصلی برای یاتاقان

Frequency list

Nos	Frequency	um RMS	Observations(+/-7.5 RPM)
1	50.7	907.1	
2	587.0	3.6	
3	889.6	1.3	
4	1,206.9	0.9	4XPrimary RPM
5	1,305.3	0.4	

نتایج کامل آنالیز ارتعاش و تحلیل کامل طیف های فرکانسی توربین و ژنراتور و ترند های کلیه قسمت های توربین و ژنراتور و مقادیر هشدار و بحران و 5 فرکانس اولیه توربین با بیشترین مقادیر جابجایی در جداول پیوست شماره 1 آمده است.

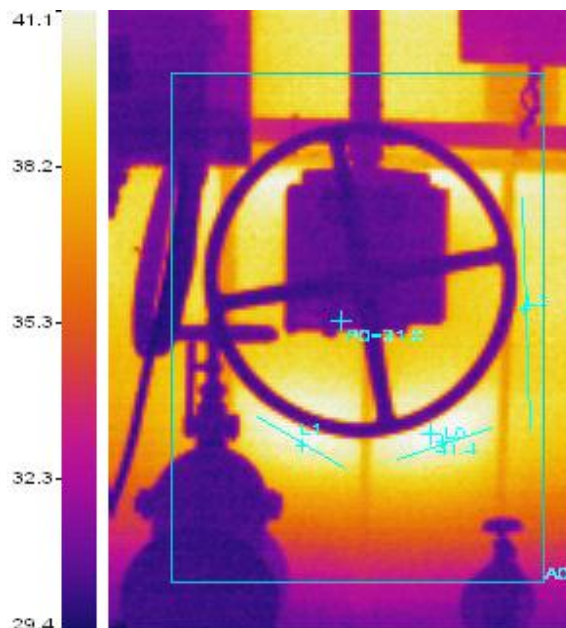


پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

نتایج حاصل از ترموگرافی

در حین اجرای پروژه با عکسبرداری مادون قرمز از تجهیزات و قطعات و مشخص نمودن چگونگی پراکندگی و میزان حرارت بر روی آنها، امکان پیشگویی عیوب وجود دارد. با اجرای ترموگرافی در تشخیص عیوب زیر بسیار موثر می باشد.

- عیب یابی تجهیزات الکتریکی (کشف محل لقی اتصالات، Hot Spot ها، ضعف های سیستم های خنک کننده، نشتی، Overload، تضعیف یا سوختن عایق و Lamination و ...)
 - عیب یابی ماشین آلات مکانیکی (عدم هم خطی Misalignment، خرابی بیرینگ ها/چرخ دنده ها، روغن کاری ناقص، لقی اتصالات، محل های اتلاف انرژی، مکان تنش رفت و برگشتی و ...)
 - عیب یابی سیستم ها انرژی (بویلر، مبدل، خنک کننده ها و ...)
 - عیب یابی عایق بندی
 - عیب یابی سیستم های الکترونیکی (تشخیص عیوب بردهای الکترونیکی ریال وضعیت Heat sink ها ...)
- تجهیزات سد سفید رود ترموگرافی انجام شده است و بعنوان پایه ای برای پیشگویی عیوب می تواند مورد استفاده قرار گیرد . توصیه می شود که عملیات ترموگرافی نیز در فواصل 2 الی 3 ماه برای تجهیزات انجام شود.
- شکل شماره 34 نتایج آنالیز ترموگرافی بدنه ترانسفورماتور 3 پایین نیروگاه را نمایش می دهد.



شکل شماره 34 - بدنه ترانسفورماتور 3 پایین



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

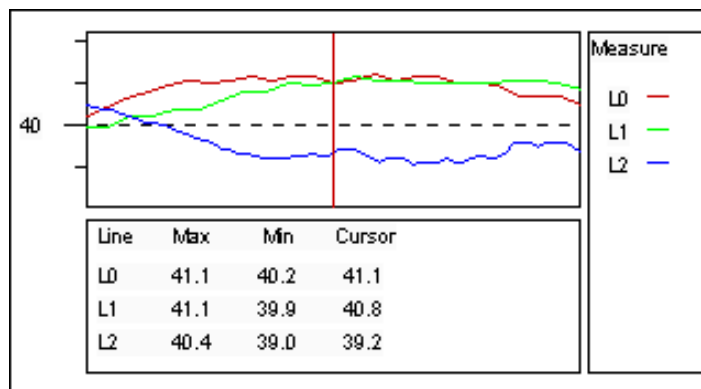
جدول شماره 12 مقادیر و مشخصات زمان تصویر برداری گرمانگاری را نمایش میدهد و در جدول شماره 11 بیشترین مقادیر اندازه گیری شده برای محدوده اندازه گیری عکس ترموگرافی را نمایش می دهد. شکل شماره 35 ترند تغییرات حرارت در محدوده مشخص شده و علامت گذاری شده در شکل شماره 34 را نمایش می دهد. کلیه عکس های ترموگرافی انجام شده از تجهیزاتی که قابلیت اجرای پایش وضعیت به شکل ترموگرافی را دارا میباشند در پیوست شماره 2 بطور کامل آمده است.

جدول شماره 12 مقادیر و مشخصات
زمان تصویر برداری گرمانگاری

جدول شماره 11 بیشترین مقادیر اندازه گیری شده برای
محدوده اندازه گیری عکس ترموگرافی

IRSee Report Information	Value
Create Date	2012-07-13
Target Parameter	Value
Emissivity	0.95
Target Distance	1.00m
Ambient Temperature	30.0C
Ambient Humidity	0.60

Label	Value(C)
P0 : Temperature	31.0
L0 : Max	41.1
L1 : Max	41.1
L2 : Max	40.4
A0 : Max	41.4



شکل شماره 35 ترند تغییرات حرارت در محدوده مشخص شده و علامت گذاری شده در شکل شماره 35

در پیوست شماره 2 نتایج ترموگرافی ارایه شده است.



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

جداول قوانین مربوط به عیوب توربین و ژنراتور سد سفید رود

کلیه قوانین مربوط به عیوب توربین و ژنراتور سد سفید رود در پیوست شماره 3 ارائه شده است. این قوانین ناشی از تکمیل فرم های عیب یابی توسط متخصصین نیروگاه بوده است و تبدیل به قوانین فازی برای نرم افزار مطلب و نهایتا تشخیص و پیشگویی عیوب استفاده شده است. جداول عیب یابی در پیوست شماره 4 ارائه شده اند.



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

منابع و مراجع

1. تمیزی، ه، رضایی، و، و خسروی، م. ا. 1381. عیب یابی ماشین آلات دوار. نشر حسام و پورنگ. چاپ اول.
2. شعبانی نیا، ف. و سعید نیا، س. 1386. مقدمه ای بر منطق فازی با استفاده از MATLAB چاپ اول. انتشارات خانیران.
3. شیرازی ف. آ.، عیب یابی توربین آبی به وسیله پردازش و تحلیل سیگنال ارتعاشی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی دانشگاه تهران، 1386
4. کاظمی، غ. 1387. چگونه مراقب وضعیت ماشین های دوار باشیم (آنالیز ارتعاشات و ترايبولوژی). کتاب الکترونیک. www.mcclearn.com
5. B.A.Paya, I.I.Esat, M.N.M. Badi., Artificial Neural Network based fault diagnostics of rotating Machinery using Wavelet Transforms as a preprocessor, Mechanical Systems and Signal Processing, Vol11-No 5, 751-756, 1997.
6. B.Samanta and K.R.Al-Balushi. Artificial Neural Network Based fault diagnostics of rolling element bearings using time-domain features. Mechanical Systems and Signal Processing, VOL17. No2, 317-328, 2003.
7. Bagheri B, H. Ahmadi, and R. Labbafi, 2010, "Application of Data Mining and Feature Extraction on Intelligent Fault Diagnosis by Artificial Neural Network and k-Nearest Neighbor," in ICEM 2010, Rome, Italy, 2010, p. 7.
8. Chinmaya.K, A.R.Mohanty. Vibration and current transient monitoring for gearbox fault detection using multiresolution Fourier transform. Journal of Journal of Sound and Vibration. 2008; 311(2): 109-132.
9. Gayme, D. and Menon, S., 2003, Fault Diagnosis in Gas Turbine Engines using Fuzzy Logic, IEEE, pp. 3756-3762
10. Giarratano, J. C. and Riley, G. 2004. Expert systems, principles and programming. 4th edition. Course Technology Press, 856 pages.
11. Harmonic wavelet-based data filtering for enhanced machine defect identification 2010 Journal of Sound and Vibration Ruqiang Yan, Robert X.Gao
12. Hassan-Beygi. S. R., B. Ghobadian, R. Amiri Chayjan, and M. H. Kianmehr, 2009, Prediction of Power Tiller Noise Levels Using a Back Propagation Algorithm, J. Agric. Sci. Technol. (2009) Vol. 11: 147-160
13. Hellmann, M. 2008. Fuzzy logic introduction. Laboratory of Antennas Radar Telecom Report, University of Rennes Publication.
14. J. Rafiee, P. W. Tse, A. Harifi, and M. H. Sadeghi, "A novel technique for selecting mother wavelet function using an intelligent fault diagnosis system," Expert Systems With Applications, Jan 1 2009.
15. Kantardzic, M. Data Mining: Concepts, Models, Methods, and Algorithms. Wiley-IEEE Press: Totowa, NJ, 2003.
16. Kenneth R. Piety, Vibration data analysis based time waveform parameters, United States patent. No. 5,943,634, Aug. 24, 1999
17. Kong, F. and Chen. R. 2004. A combined method for triplex pump fault diagnosis based on wavelet transform, fuzzy logic and neuro-networks. Journal of Mechanical Systems and Signal Processing, 18: 161-168
18. Kwang H. Lee First Course on Fuzzy Theory and Applications, Springer, 2005
19. Lee, S.K. and White, P.R., "The Enhancement of Impulsive noise and vibration signals for fault detection in rotating and reciprocating machinery, Journal of sound and vibration, Vol 217, No. 3, pp 485-505, 1998.



پایش وضعیت تجهیزات سد سفید رود و تشخیص و پیشگویی عیوب به کمک منطق فازی

20. Lo, C. H., Chan, P. T., Wong, Y. K., Rad, A. B. and Cheung, K. L. 2007. Fuzzy-genetic algorithm for automatic fault detection in HVAC systems. *Applied Soft Computing*, 7: 554–560.
21. Luis, J., De Miguel, L. and Blázquez, F. 2005. Fuzzy logic-based decision-making for fault diagnosis in a DC motor. *Journal of Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 18: 423-450.
22. MATLAB R 2010b Wavelet Toolbox, 2010.
23. McFadden, P.D., "Interpolation Techniques for time domain averaging, of gear vibration, *Mechanical Systems and Signal Processing*", Vol.3, No.1, pp.87-97, 1989.
24. Mendonga, L.F., and Sousa, J.M., 2003, Fuzzy Model-Based Fault Detection and Isolation, *IEEE*, pp.768-774.
25. Murphey, Y.L., 2002, Intelligent Signal Segment Fault Detection using Fuzzy Logic, *IEEE*, PP.12-17
26. N.R. Sakthivel, V. Sugumaran, Binoy. B. Nair, Comparison of decision tree-fuzzy and rough set-fuzzy methods for fault categorization of mono-block centrifugal pump, 2010, *Mechanical Systems and Signal Processing*
27. Nicks, J.E. and Krihnappa, G., A Preliminary study into the use of Phase Demodulation techniques for the analysis of gear vibration data, National Research Council, Ottawa, TR-ENG-005, NRC Report No.32083, 1989.
28. Pan Y, Jin Chen, Xinglin Li, Bearing performance degradation assessment based on lifting wavelet packet decomposition and fuzzy c-means, 2010, *Mechanical Systems and Signal Processing*
29. Peng, Z.K, and Chu, F.L. Application of Wavelet Transform in Machine condition monitoring and fault diagnosis: a review with bibliography, *Mechanical Systems and Signal processing* Vol.18, pp.199-221, 2004
30. Ren, X. P. Shao, W. Yang, W. Z and Su, F. Q. 2006. Extraction of Gearbox Fault Features from Vibration Signal Using Wavelet Transform. *Journal of Physics: Conference Series* 48: 490–494.
31. Sauter, D. and Mary, N., 1994, Fault Diagnosis Systems Using Fuzzy Logic, *IEEE*, PP. 883-888.
32. Tran, V. T., Yang, B. S., Oh, M. S. and Tan, A. C. C. 2008. Fault diagnosis of induction motor based on decision trees and adaptive neuro-fuzzy inference. *Expert Systems with Applications*, doi:10.1016/j.eswa.2007.12.010.
33. Wang, H.Q. and Chen, P. 2007. Fault diagnosis of centrifugal pump using symptom parameters in frequency domain. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*, Manuscript IT 07 005. Vol. IX.
34. Wang, J. and Hu, H. 2006. Vibration-based fault diagnosis of pump using fuzzy technique. *Measurement*, 39: 176–185.
35. Wang, J. and Hu, H. 2006. Vibration-based fault diagnosis of pump using fuzzy technique. *Measurement*, 39: 176–185.
36. Zheng, H., Li, Z., and Chen, C.W., Locating defects of gear system by the technique of wavelet transform, *Mechanism and Machine Theory*, Vol.35, pp1169-1182, 2000.