پیش‌بینی دما و توان خروجی توربین گاز V94.2 با استفاده از سری زمانی

علی ربانی[1] و علی کریم پور[2]
[1] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق-کنترل، دانشگاه فردوسی مشهد، rabbany.ali.en@gmail.com
[2] دانشیار-دانشکده مهندسی برق -کنترل، دانشگاه فردوسی مشهد، karimpor@um.ac.ir

چکیده

پیش‌بینی توان و دمای خروجی یک استراتژی مؤثر و تعیین‌کننده برای بهبود قابلیت اطمینان، کاهش هزینه‌های تعمیرات و افزایش بهره وری است. در این مطالعه از یک شبکه عصبی سری زمانی برای پیش‌بینی دقیق توان و دمای خروجی توربین گاز برای بهبود، پیش‌بینی کار آیی بر پایه داده‌های عملکردی ارائه گردیده است. مدل سری زمانی در شرایط داده‌های عملکردی مختلفی، مورداستفاده قرارگرفته شده است. برای اعتبار سنجی مدل داده‌های یک توربین گازی V94.2 به‌عنوان توربین مورد مطالعه در نظر گرفته شده است. داده‌های توربین موردنظر برای آموزش و اعتبار سنجی مدل پیشنهادی مورد استفاده قرارگرفته‌اند. نتایج نشان داد که روش سری زمانی پیشنهادی می‌تواند توان و دمای خروجی توربین گاز را با دقت خوبی پیش‌بینی نماید.

کلمات کلیدی- پیش بینی؛ توربین گازV94.2 ؛ سری زمانی؛ شبکه عصبی

۱- مقدمه

پیش‌بینی دما و توان خروجی یک توربین گاز از اهدافی هستند، که همیشه مهندسین می‌خواهند به آن‌ها دست یابند. درک صحیح از توان و دمای خروجی توربین گاز با توجه به وضعیت سوخت و دریچه هوای ورودی و سایر پارامترها می‌تواند یک دیدگاه کلی و مناسبی از عملکرد توربین را ارائه کند. پایش وضعیت[1] یک ابزار سودمند برای بررسی وضعیت کنونی ماشین و یا شرایط کارآیی ماشین از طریق مانیتورینگ و آنالیز رفتار ماشین و فاکتورهای تأثیرگذار است[۱]. بنابراین توان و دمای خروجی ماشین که توسط پیش‌بینی و از طریق پایش وضعیت محاسبه می‌شود به‌عنوان بهترین عامل جهت تعمیرات پیشگیرانه بر پایه، پیش‌بینی وضعیت کارآیی ماشین می باشد.

مدل‌سازی شبکه عصبی سری زمانی یک مدل‌سازی دینامیکی است که در سال‌های اخیر موردتوجه محققین قرارگرفته است. هدف اصلی از مدل‌سازی سری زمانی، جمع‌آوری دقیق داده‌ها و بررسی مشکلاتی که قبلا رخداده، برای ایجاد یک مدل مناسب که ساختار ذاتی سری را توصیف نماید، می باشد. کاربردهایی از انواع پیش‌بینی سری‌های زمانی در[۲] نشان داده‌شده است.

نقش اصلی از پیش‌بینی شرایط یک ماشین، افزایش قابلیت اطمینان و جلوگیری از خطاهای فاجعه انگیز و کاهش هزینه‌های تعمیرات می باشد. هرچند تاکنون راه‌های مختلفی برای شرایط صحت عملکرد و پیش‌بینی کار آیی ماشین ارائه گردیده است. در [۳] یک روش برای تخمین عمر باقیمانده سیستم بر پایه داده‌های عملکردی و خطاها بدون دانستن اطلاعات فیزیکی ماشین ارائه گردیده است. در[۴] یک روش برای پیش‌بینی قطعات یدکی سیستم با استفاده از مدل خطر نسبی[2] براساس توزیع دوجمله‌ای ارائه گردیده است. در[۵] شرایط سالم بودن یاتاقان ماشین‌آلات با استفاده از مدل المان محدود و مدل فیزیکی ارائه شده است.

در [۶] و [۷] به مدل‌سازی توربین گاز توسط شبکه‌های عصبی پرداخته است. تشخیص شرایط غیر نرمال در یک توربین گاز توسط داده‌های عملکردی به‌وسیله شبکه عصبی در [۸] بررسی گردیده است. در[۹] صحت سنجی سنسورهای توربین گاز توسط شبکه‌های عصبی ارائه گردیده است. باید توجه داشت که شبکه عصبی سری زمانی برای تخمین مدل تحلیلی انتشار خطا استفاده نمی‌شود. بلکه هدف از مدل‌سازی پروسه تخریب و پروسه انتشار خطا با استفاده از داده‌های پایش وضعیت بر پایه شبکه عصبی، پیش‌بینی شرایط صحت و سلامت پروسه است. در [۱۰] روشی بر پایه شبکه عصبی برای تخمین سرعت باد برای یک توربین بادی ارائه‌شده است. در[۱۱] پیش‌بینی عمر مفید یاتاقان غلتکی با استفاده از شبکه عصبی پیش خور[3] ارائه

[1] Condition Monitoring

[2] Proportional Hazards Model
[3] Feed Forward

Archive of SID
www.SID.ir

شده است. در[۱۲] کار آیی روش شبکه عصبی و دیگر روش‌های سری زمانی در پیش‌بینی موردبحث قرارگرفته شده است و نشان داده‌شده است که روش شبکه عصبی از سایر روش‌ها عملکرد بهتری داشته است. هدف اصلی از این مقاله توسعه یک مدل سری زمانی برای پیش‌بینی دما و توان خروجی توربین گازی با استفاده از داده‌های عملکردی می باشد.

ساختار مقاله به‌صورت زیر است. ابتدا شبکه عصبی سری زمانی توضیح داده خواهد شد. سپس در بخش بعدی پیش‌بینی دما و توان خروجی توربین گاز با استفاده از شبکه عصبی سری زمانی ارائه گردیده است. در بخش پایانی مقاله به بررسی عملکرد شبکه عصبی سری زمانی در پیش بینی دما و توان خروجی توربین گاز براساس پاسخ شبکه عصبی پرداخته خواهد شد.

۲- شبکه عصبی سری زمانی

یکی از مهم‌ترین بخش‌ها در مدل‌سازی یک سیستم دینامیکی، انتخاب ساختار مدل است. در مدل‌سازی باید توجه داشت که مدل به‌دست آمده تا حد ممکن دقیق باشد و بتواند به‌صورت قابل قبولی در طراحی کنترل‌کننده مورد استفاده قرار بگیرد. مدل‌هایی که برای سیستم‌های دینامیکی وجود دارند عموما دارای دو ساختار کلی می‌باشند ساختار پیش‌بینی کننده و ساختار شبیه‌سازی. در ساختار پیش‌بینی کننده، خروجی‌های آینده سیستم بر اساس ورودی و خروجی‌های گذشته سیستم پیش‌بینی می‌شود. یکی از مدل‌های موجود، برای ساختار پیش‌بینی کننده در حالت غیرخطی مدل NARX[۴] می باشد. در ساختار شبیه‌سازی سیستم، خروجی‌های آینده سیستم تنها بر اساس ورودی‌های گذشته تعیین می‌شوند. در این مقاله از مدل NARX برای مدل‌سازی سیستم استفاده‌شده است دلیل استفاده از این مدل با توجه به مرجع[۵] به شرح زیر است.

۱: آموزش در شبکه عصبی NARX از دیگر شبکه‌های عصبی اثربخشی بهتری دارد.

۲: این شبکه همگرایی سریع‌تر و تعمیم‌پذیری بهتری نسبت به دیگر شبکه‌ها دارد.

در مقالات مختلف، کارهای زیادی درباره پیش‌بینی سری زمانی ارائه گردیده است. برنامه متلب با جعبه‌ابزار شبکه عصبی یک ابزار قوی برای پیش‌بینی است. با توجه به پیچیدگی مدل‌های غیرخطی، شبکه عصبی باید توسط داده‌های عملکردی سیستم آموزش داده شود تا رابطه بین ورودی و خروجی‌ها مشخص گردد. در این مقاله از دو شبکه عصبی، یکی برای دمای خروجی توربین گازی و دیگری برای توان خروجی توربین گازی استفاده شده است. داده‌هایی که برای پیش بینی دمای خروجی توربین گازی مورداستفاده قرارگرفته‌اند در جدول۱ و داده‌هایی که برای پیش بینی توان خروجی توربین گاز مورد استفاده قرار گرفته اند در جدول۲ ارائه گردیده است. پس از جمع‌آوری داده‌ها برای پیش بینی دما و توان، داده‌ها باید نرمالیزه گردند و در بازه $[0,1]$ قرار گیرند. جهت نرمالیزه کردن داده‌ها از رابطه۱ استفاده شده است.

جدول۱: پارامترها جهت پیش‌بینی دمای خروجی توربین گاز

Unit	Description
°C	Ambient_Temperature
%	Inlet_Guide_Vane_Position
°C	Compressor_Discharge_Temperature
bar	Compressor_Discharge_Pressure

جدول۲: پارامترها جهت پیش‌بینی توان خروجی توربین گاز

Unit	Description
°C	Ambient_Temperature
bar	Fuel_Gas_Pressure
°C	Fuel_Gas_Temperature
Kg/s	Fuel_Gas_Flow
bar	Compressor_Discharge_Pressure

$$\hat{x} = \frac{(x - x_{min})}{(x_{max} - x_{min})} \qquad (۱)$$

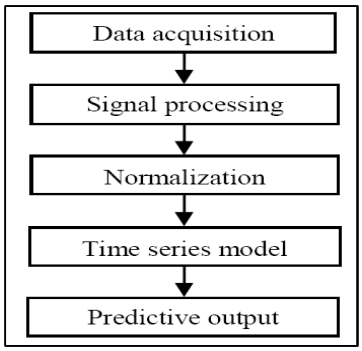
در این رابطه x داده‌های عملکردی توربین گاز برای پارامترهای جداول۱و ۲ است. داده‌ها برای شبکه عصبی در دو دسته داده‌های آموزش و داده‌های صحت سنجی از توربین گاز جمع‌آوری گردیدند. داده‌های آموزش، برای آموزش شبکه عصبی و داده‌های صحت سنجی، برای اعتبار سنجی شبکه عصبی مورداستفاده قرار گرفت. مدل سری زمانی پیشنهادی در شکل۱ نشان داده‌شده است. مدل به‌دست‌آمده برای سیستم را می‌توان با استفاده از معیار میانگین مربعات خطا به‌صورت رابطه۲ سنجید. در این رابطه، $y(t)$ خروجی واقعی و $\hat{y}(t)$ خروجی تخمین می باشد.

$$MSE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}[y(t) - \hat{y}(t)]^2 \qquad (۲)$$

[4] nonlinear autoregressive exogenous input

Archive of SID

www.SID.ir



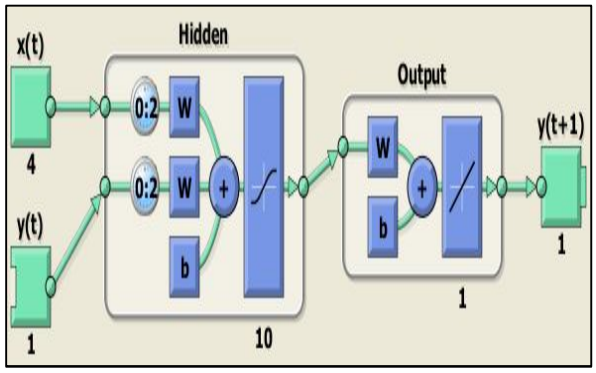
شکل۱: مدل سری زمانی پیشنهادی

۳- پیش‌بینی دما و توان خروجی توربین

در این بخش پیش‌بینی دما و توان خروجی توربین گاز توسط شبکه عصبی سری زمانی و نتایج حاصل از پیش بینی برای هر دو شبکه عصبی بررسی گردیده است.

۳-۱- پیش‌بینی دمای خروجی توربین گاز

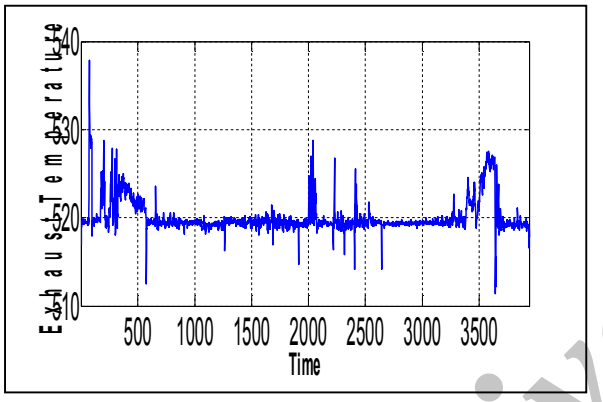
در این بخش شبکه عصبی سری زمانی مربوط به تخمین دمای خروجی توربین گاز به همراه پاسخ‌های این شبکه به داده‌های آموزش و صحت سنجی ارائه گردیده است. ساختار شبکه مورداستفاده برای این حالت در شکل۲ ارائه گردیده است. در این حالت، الگوریتم شبکه عصبی لونبرگ-مارکوارت[۵] می باشد. برای آموزش شبکه، ۱۰ لایه پنهان برای افزایش دقت و سرعت پروسه انتخاب گردید همچنین تاخیر زمانی برای این حالت برابر با ۲ نمونه در نظر گرفته شده است. خروجی سیستم در این حالت براساس رابطه۳ محاسبه می گردد.



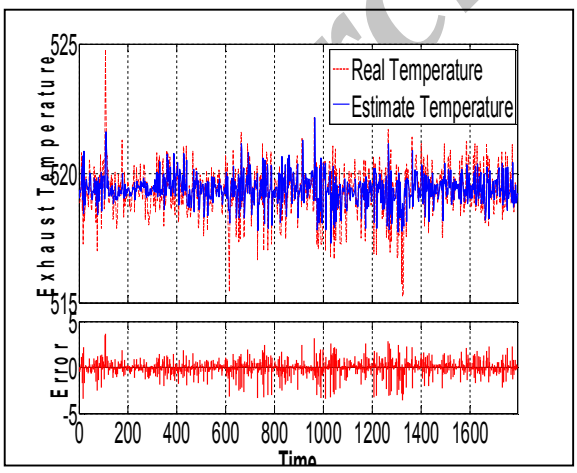
شکل۲: ساختار کلی شبکه مورداستفاده برای دمای خروجی

$$y_t = f(y_{t-1}, y_{t-2}, \dots \dots, y_{t-i}) \qquad (۳)$$

در رابطه۳، y_{t-i} نشان دهنده دمای خروجی شبیه سازی شده توربین گازی در زمان (t-i) می باشد. برای مدل شبکه عصبی مورد استفاده جهت پیش بینی دمای خروجی توربین گاز دو لایه (لایه ورودی و لایه خروجی)در نظر گرفته شد. شبکه عصبی سری زمانی توسط ۴۰۰۰ نمونه داده که توسط سنسورها، طبق جدول۱ برداشت شده بود، مورد آموزش قرار گرفت. در شکل ۳ آموزش شبکه عصبی توسط داده های آموزش نشان داده شده است. در مرحله بعد شبکه آموزش دیده توسط ۱۷۰۰ نمونه، داده صحت سنجی مورد ارزیابی قرار گرفت پاسخ شبکه عصبی به داده های صحت سنجی در شکل۴ نشان داده شده است. خطای پیش بینی در این حالت برابر با $۲/۶۳۴\times۱۰^{-۳}$ بدست آمد.



شکل۳- آموزش شبکه عصبی توسط داده های آموزش برای پیش بینی دمای خروجی توربین گاز



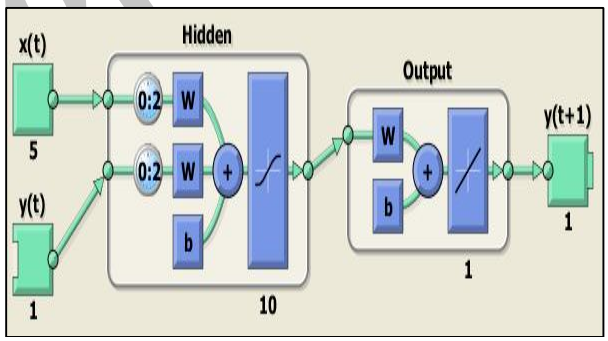
شکل۴- صحت سنجی شبکه عصبی توسط داده های صحت سنجی برای پیش بینی دمای خروجی توربین گاز

[۵] Levenberg-Marquardt

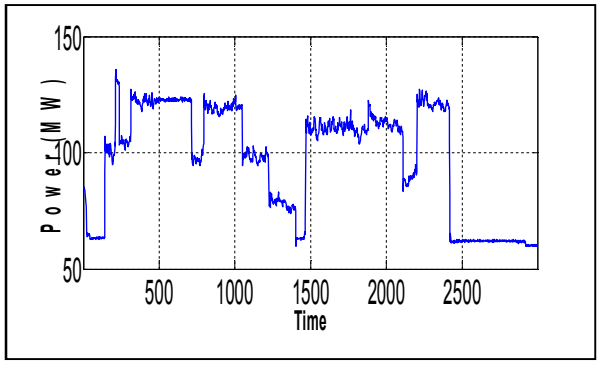
Archive of SID
www.SID.ir

۳-۲- پیش‌بینی توان خروجی توربین گاز

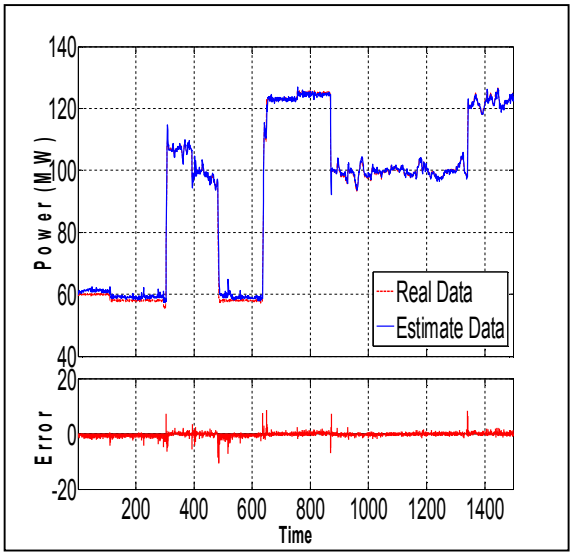
در این بخش، شبکه عصبی سری زمانی مربوط به تخمین توان خروجی توربین به همراه پاسخ‌های این شبکه به داده‌های آموزش و صحت سنجی ارائه گردیده است. ساختار شبکه مورداستفاده برای این حالت در شکل۵ ارائه گردیده است. در این حالت، الگوریتم شبکه عصبی لونبرگ-مارکوارت می باشد. برای آموزش شبکه، ۱۰ لایه پنهان با تاخیر زمانی ۲ نمونه، در نظر گرفته شد. بر طبق رابطه۳، y_{t-i} نشان دهنده توان خروجی شبیه سازی شده توربین گازی در زمان (t-i) می باشد. تعدادلایه های شبکه عصبی برابر با ۲ لایه در نظر گرفته شد. شبکه عصبی سری زمانی توسط ۳۰۰۰ نمونه داده که توسط سنسورها، طبق جدول۲ برداشت شده بود مورد آموزش قرار گرفت. در شکل۶ آموزش شبکه عصبی توسط داده های آموزش نشان داده شده است. در مرحله بعد شبکه آموزش دیده توسط ۱۵۰۰ نمونه داده صحت سنجی، مورد ارزیابی قرار گرفت پاسخ شبکه عصبی به داده های صحت سنجی در شکل۷ نشان داده شده است. خطای پیش بینی در این حالت برابر با $۸/۱۶۴\times۱۰^{-۴}$ محاسبه گردید.



شکل۱۰: ساختار کلی شبکه مورداستفاده برای توان خروجی



شکل۶- آموزش شبکه عصبی توسط داده های آموزش برای پیش بینی توان خروجی توربین گاز



شکل۷- صحت سنجی شبکه عصبی توسط داده های صحت سنجی برای پیش بینی توان خروجی توربین گاز

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله هدف اصلی پیش‌بینی توان و دمای خروجی توربین گازV94.2 با استفاده از مدل شبکه عصبی سری زمانی است. پیش بینی توان و دمای خروجی توربین گازی، یک امر مهم برای بهبود قابلیت اطمینان و کاهش هزینه های تعمیرات و افزایش بهره وری می باشد. در این مقاله روش شبکه عصبی سری زمانی برای بدست آوردن بیشترین دقت در پیش بینی دما و توان خروجی توربین گازی، برای پایش وضعیت ماشین توسعه داده شد. در مدل سری زمانی ساختار NARX، مقادیر اندازه گیری شده توسط سنسورهای پایش وضعیت توربین گازی، به عنوان ورودی و توان و دمای خروجی توربین گاز به عنوان خروجی هدف سری زمانی، مورد استفاده قرار گرفت. برای به دست آوردن مشخصات صحیحی از شبکه عصبی سری زمانی برای مدل‌سازی توان و دمای خروجی توربین گاز از جعبه‌ابزار شبکه عصبی سری زمانی در متلب استفاده گردید. برای آماده سازی سری زمانی از تکنیک تأخیر زمانی استفاده شده است که یک نیاز در پیش‌بینی سری زمانی غیرخطی است. بنابراین داده‌های عملکردی که برای پیش‌بینی سیستم موردنیاز بود ابتدا جمع‌آوری و پس از آن نرمالیزه گردید. سپس بر پایه رابطه غیر خطی بین توان و دمای خروجی با داده های پایش وضعیت ماشین، توان و دمای خروجی توربین گاز محاسبه گردید.

نتایج به خوبی نشان داد که مدل سری زمانی شبکه عصبی می‌تواند به طور قابل قبولی پایش وضعیت را برای یک توربین گاز

Archive of SID

www.SID.ir

V94.2 انجام دهد. روش پیشنهادی دارای دقت بالایی می‌باشد، که پیش بینی توان و دمای خروجی توربین گازی را مؤثرتر می‌نماید. با استفاده از این روش می‌توان شرایط غیرعادی را پیش بینی نمود. عمومیت و دقت این روش در تصمیم‌گیری های تعمیراتی، کمک خوبی در فرآیندهای تعمیرات، افزایش قابلیت اطمینان و بهره‌وری دارد. همچنین می‌توان از این مدل برای کلیه واحدهای نیروگاهی در جهت بهبود استراتژی تعمیرات استفاده نمود.

مراجع

[1] L. Ma, "Condition monitoring in engineering asset management," 2007.

[2] G. J. Kacprzynski, M. J. Roemer, G. Modgil, A. Palladino, and K. Maynard, "Enhancement of physics-of-failure prognostic models withsystem level features," in Aerospace Conference Proceedings, 2002.IEEE, 2002, pp. 6-2919-6-2925 vol. 6.

[3] C. Xiongzi, Y. Jinsong, T. Diyin, and W. Yingxun, "Remaining useful life prognostic estimation for aircraft subsystems or components: A review," in Electronic Measurement & Instruments (ICEMI), 2011 10thInternational Conference on, 2011, pp. 94-98.

[4] K. Tracht, G. Goch, P. Schuh, M. Sorg, and J. F. Westerkamp, "Failure probability prediction based on condition monitoring data of wind energy systems for spare parts supply," CIRP Annals-Manufacturing Technology, 2013.

[5] S. Marble and B. P. Morton, "Predicting the remaining life of propulsion system bearings," in Aerospace Conference, 2006 IEEE, 2006, p. 8 pp.

[6] M. Bazazzadeh, H. Badihi, and A. Shahriari (2011). "Gas Turbine Engine Control Design Using Fuzzy Logic and Neural Networks" Hindawi Publishing Corporation International Journal of Aerospace Engineering Volume 2011, Article ID 156796, 12 pages

[7] Yari, M. ; Aliyari Shoorehdeli, M. ; Yousefi, I. (2013). "V94.2 gas turbine identificationusing neural network" Robotics and Mechatronics (ICRoM), 2013 First RSI/ISM International Conference on

[8] Kumar,A. , Banerjee,A., Srivastava,A. Goel,A.(2013). "Gas turbine engine operational data analysis for anomaly detection:Statistical:vs neural network approach." Electrical and Computer Engineering (CCECE), 2013 26th Annual IEEE Canadian Conference on.

[9] Thomas Palmé, Magnus Fast, Marcus Thern (2011). "Gas turbine sensor validation through classification with artificial neural networks" Elsevier Applied Energy. Volume 88, Issue 11, November 2011, Pages 3898–3904

[10] S. Riahinia, A. Abbaspour, M. Fotuhi-Firuzabad, and M. Moeini-Aghtaie, "A neural network-based model for wind farm output in probabilistic studies of power systems," in Electrical Engineering (ICEE), 2013 21st Iranian Conference on, 2013, pp. 1-6.

[11] N. Z. Gebraeel and M. A. Lawley, "A neural network degradation model for computing and updating residual life distributions," IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, vol. 5, p. 154, 2008.

[12] L. Chen and X. Lai, "Comparison between ARIMA and ANN models used in short-term wind speed forecasting," in Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2011 Asia-Pacific, 2011, pp. 1-4.

Archive of SID

www.SID.ir