

## การพัฒนากระบวนการทำนายในการจำแนกอายุน้ำยางพารา ด้วยคลื่นความถี่ไมโครเวฟ

ปพนพัชญ์ ธนาเศรษฐ์วัฒน<sup>1</sup>, พรพิมล ฉายแสง<sup>2</sup>, ประพนธ์ ลีกุล<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

<sup>2</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

Email: anupon.s@rbru.ac.th<sup>1</sup>, prapan.l@rbru.ac.th<sup>2</sup>

Received: Nov 29, 2021

Revised: Apr 7, 2022

Accepted: Jun 13, 2022

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการตรวจสอบอายุของน้ำยางพาราแบบไม่ซับซ้อน โดยใช้เทคนิคการส่งผ่านคลื่นความถี่ไมโครเวฟ กำลังงานความถี่ส่งผ่านจากการจำลองในการตรวจวัดน้ำยางพารา ได้รับการวิเคราะห์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อจำแนกอายุการเก็บรักษา วิเคราะห์อายุการเก็บรักษาของน้ำยางพารา การตรวจวัดคุณสมบัติไดอิเล็กตริกอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 12 ชั่วโมง คุณสมบัติไดอิเล็กตริกของน้ำยางพาราถูกใช้พัฒนาโมเดลในการจำลองระบบ การจำลองระบบตรวจวัดน้ำยางพาราใช้การส่งผ่านคลื่น 2 คู่ ประกอบด้วย ความถี่ 10.2 กับ 10.4 กิกะเฮิรตซ์ และ 10.2 กับ 10.6 กิกะเฮิรตซ์ ค่าความต่างของกำลังงานการส่งผ่านจากการวัดน้ำยางพารา คือ พารามิเตอร์  $|S_{12}|$   $|S_{21}|$   $|S_{34}|$  และ  $|S_{43}|$  ค่าพารามิเตอร์  $S$  ถูกใช้ฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อสร้างกระบวนการตัดสินใจที่แม่นยำ โครงสร้างที่เหมาะสมประกอบด้วย 4 อินพุตโนด 8 โนดซ่อนเร้น และ 1 เอาต์พุตโนด อัตราการเรียนรู้ 0.1 ความแม่นยำอยู่ที่ 97.62% แสดงให้เห็นว่าระบบตรวจวัดสามารถแยกอายุน้ำยางพาราได้อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งาน

**คำสำคัญ:** อายุของน้ำยางพารา, คุณสมบัติไดอิเล็กตริก, การส่งผ่านความถี่ไมโครเวฟ, โครงข่ายประสาทเทียม

## Development of Regression Process for Storage Time of Natural Rubber Latex Classification using Microwave frequencies

Paponpat Thanasetwatthana<sup>1</sup>, Pornpimon Chaisaeng<sup>2</sup>, Prapan Leekul<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Management Sciences, RambhaiBarni Rajabhat University

<sup>2</sup>Faculty of Industrial Technology, RambhaiBarni Rajabhat University

Email: anupon.s@rbru.ac.th<sup>1</sup>, prapan.l@rbru.ac.th<sup>2</sup>

Received: Nov 29, 2021

Revised: Apr 7, 2022

Accepted: Jun 13, 2022

### Abstract

This work presents a low complex time storage measurement of natural latex using the microwave transmission technique. The transmission power obtained from natural latex measurements are simulated and then analyzed by artificial neural networks to classify storage time. The storage time of natural latex was analyzed by continuously measuring the dielectric properties for 12 hours. Then they were used to model in simulation. In the simulation, two pairs of double frequencies transmitting and receiving antennas: the first pair at the frequencies of 10.2 and 10.4 GHz and the second one at the frequencies of 10.2 and 10.6 GHz, were used to transmit and receive the microwave signals through natural latex. The transmission power,  $|S_{12}|$ ,  $|S_{21}|$ ,  $|S_{34}|$ , and  $|S_{43}|$  were used in training the artificial neural networks to develop the accurate decision-making process. The optimum structure of artificial neural networks consisted of four input nodes, eight hidden nodes, and one output node with the learning rate 0.1 that provided 97.62% accuracy. It shows that the efficiency of the presented decision-making process with artificial neural networks is suitable for storage time classification of natural latex application.

**Keywords:** Storage time of natural latex, Dielectric properties, Microwave transmission, Artificial neural networks

# บทนำ

ประเทศไทยถือเป็นผู้ผลิตและส่งออกน้ำยางชั้นรายใหญ่ของโลก โดยกว่าร้อยละ 85 ของผลผลิตถูกส่งออกไปยังต่างประเทศ ในปี 2563 ปริมาณการส่งออกสูงถึง 1,148,493 ตัน มีมูลค่ากว่า 39,480 ล้านบาท [1] น้ำยางชั้นเป็นวัตถุดิบสำคัญสำหรับอุตสาหกรรมผลิตถุงมือยาง ถุงยางอนามัย โฟมลูกโป่ง จุกนมยาง ยางทันตกรรม และยางยืด เป็นต้น [2] คุณสมบัติที่สำคัญของน้ำยางพารามีอยู่หลายชนิด จำนวนกรดไขมันระเหยได้ (VFA no.) เป็นคุณสมบัติหนึ่งที่สำคัญทั้งน้ำยางพาราสดและน้ำยางชั้น เพื่อแสดงถึงปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำยาง ซึ่งเป็นสาเหตุให้น้ำยางเสื่อมสภาพ การตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำยางด้วยวิธีการนับจุลินทรีย์โดยตรงใช้เวลาถึง 5 วัน ทำให้ไม่สามารถป้องกันการบูดเน่าและเสื่อมสภาพของน้ำยางที่เกิดขึ้นเร็วมาก ดังนั้นจึงใช้วิธีการตรวจหาจำนวนกรดไขมันระเหยได้แทนการตรวจสอบจำนวนจุลินทรีย์ โดยจำนวนกรดไขมันระเหยได้แปรผันตรงกับเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำยาง จำนวนกรดไขมันระเหยได้สูงแสดงถึงปริมาณจุลินทรีย์มาก จำนวนกรดไขมันระเหยได้ถูกกำหนดเป็นมาตรฐานคุณภาพน้ำยางพาราสดและน้ำยางพาราชั้นตามมาตรฐาน ISO 2004-2010(E) โดยกำหนดให้จำนวนกรดไขมันระเหยได้ในน้ำยางสดไม่เกิน 0.06 [3] การควบคุมจำนวนกรดไขมันระเหยได้ของน้ำยางชั้น ต้องเริ่มตั้งแต่การควบคุมจำนวนกรดไขมันระเหยได้ของน้ำยางพาราสดก่อนนำเข้าสู่กระบวนการผลิต วิธีการตรวจสอบจำนวนกรดไขมันระเหยได้ที่ใช้โดยทั่วไปเป็นกระบวนการทางเคมี ซึ่งให้ผลแม่นยำ แต่มีขั้นตอนมาก เป็นการวัดแบบทำลาย ต้องเตรียมสารก่อนวัด ใช้สารเคมี [4] และใช้เวลาถึง 1 ชั่วโมง รวมถึงผู้วัดต้องมีความเชี่ยวชาญ ทำให้เป็นข้อจำกัดผู้ประกอบการขนาดเล็กที่ไม่สามารถตรวจสอบน้ำยางพาราสดที่เกษตรกรนำมาขาย ก่อนผลิตเป็นน้ำยางพาราชั้นได้ทั้งหมด ดังนั้นเพื่อป้องกันจำนวนกรดไขมันระเหยได้ของน้ำยางพาราสดสูงเกินไป จึงต้องใช้แอมโมเนียร่วมกับสารเตตระเมทิลไทยูรัมไดซัลไฟด์ (Tetramethylthiuram Disulphide: TMTD) และซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide: ZnO) เพื่อลดและ

ควบคุมจุลินทรีย์ ทำให้น้ำยางมีจำนวนกรดไขมัน  
ระเหยได้ต่ำกว่า 0.02 เป็นเวลานาน [5] เนื่องจาก  
จำนวนกรดไขมันระเหยได้จะสูงขึ้นตามระยะเวลา  
การเก็บรักษา โดยจากการทดลองของ Hassan [6]  
พบว่าน้ำยางพาราสดที่ไม่เติมสารเติมแต่ง จำนวน  
กรดไขมันระเหยได้เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บ  
รักษา จาก 0.1-0.2 ภายในระยะเวลา 16 ชั่วโมง  
ทั้งนี้สารเตตระเมทิลไฮโดรเจนไดซัลไฟด์ถูกจำกัดการ  
ใช้ในอุตสาหกรรมยางมีอยาง เนื่องจากก่อให้เกิดไน  
โตรซามีน (Nitrosamine) หรือสารก่อมะเร็ง ส่วนซิง  
ค์ออกไซด์เป็นสารกลุ่มโลหะสังกะสี และตกค้าง  
ในผลิตภัณฑ์ อาจก่อผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม  
เมื่อนำไปกำจัดทิ้ง รวมถึงการสัมผัสกับแอมโมเนียมี  
ผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ การระคายเคือง  
ต่อทางเดินอาหารและผิวหนัง [7] ดังนั้นจึงมีนักวิจัย  
นำเสนอวิธีการวัดจำนวนกรดไขมันระเหยได้ที่  
รวดเร็ว เพื่อให้สามารถตรวจสอบคุณภาพของน้ำ  
ยางพาราสดก่อนนำเข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำยางข้น  
ช่วยลดการใช้สารเคมีอันตรายเกินความจำเป็น โดย  
Wongwattana และคณะ [3] ได้นำเสนอเทคนิค  
การตรวจสอบจำนวนกรดไขมันระเหยได้ในน้ำ  
ยางพารา ด้วยอินฟราเรดย่านใกล้ (Near infrared  
spectroscopy: NIR) ซึ่งทดสอบกับน้ำยางพาราสด  
และน้ำยางข้น ที่มีช่วงจำนวนกรดไขมันระเหยได้  
ตั้งแต่ 0.0188 - 0.2707 ให้ค่าสัมประสิทธิ์  
ความสัมพันธ์ R ที่ 0.832 และผลการทดสอบ  
ประสิทธิภาพการจำแนกน้ำยางดีและน้ำยางที่  
เสื่อมสภาพออกจากกันได้ 91.86% เมื่อเทียบกับวิธี  
ISO 12099:2010(E) แต่งานวิจัยนี้ยังคงมีข้อจำกัด  
ด้านราคา และการประมวลผลที่ซับซ้อน

ดังนั้นการวิเคราะห์อายุน้ำยางพาราด้วยคลื่นความถี่ไมโครเวฟจึงได้รับการนำเสนอ โดยอาศัยคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุที่แตกต่างกันของน้ำยางพาราในแต่ละอายุการเก็บรักษา จำลองการตรวจวัดโมเดลน้ำยางพาราด้วยสายอากาศแพชพื้นฐาน 4 ตัว ขนาดของการส่งผ่านคลื่นย่านความถี่ไมโครเวฟจากการวัด ถูกใช้ในการฝึกสอนและพัฒนาระบบการตัดสินใจให้แม่นยำ

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติไดโอดอิเล็กทรอนิกส์ของน้ำยางพาราสดเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น
2. เพื่อจำลองการส่งคลื่นความถี่ผ่านโมเดลน้ำยางพาราสดที่แต่ละอายุการเก็บรักษา
3. เพื่อออกแบบโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมสำหรับการจำแนกอายุการเก็บรักษาจากคลื่นส่งผ่าน

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 1. การแพร่กระจายคลื่นผ่านตัวกลาง

คุณสมบัติไดโอดอิเล็กทรอนิกส์เป็นคุณสมบัติหนึ่งของตัวกลาง ประกอบด้วยค่าสภาพยอมไฟฟ้า ( $\epsilon$ ) และค่าความซึมซาบแม่เหล็ก ( $\mu$ ) ซึ่งมีผลต่อการลดทอนแอมพลิจูด และการเปลี่ยนแปลงเฟสของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อแพร่กระจายในตัวกลาง โดยอธิบายได้ด้วยค่าคงที่การแพร่กระจายคลื่น ( $\gamma$ ) ดังสมการที่ (1) ซึ่งประกอบด้วยส่วนจริง คือค่าคงที่การลดทอน ( $\alpha$ ) แสดงถึงอัตราการลดทอนกำลังงาน และส่วนจินตภาพ คือ ค่าคงที่เฟส ( $\beta$ ) แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงเฟส [8]

$$\gamma = \alpha + j\beta = j\omega\sqrt{\mu\epsilon}\sqrt{1 - j\frac{\sigma}{\omega\epsilon}} \quad (1)$$

โดยที่

$\omega$  คือ ความถี่ในหน่วยเรเดียนต่อวินาที

$\sigma$  คือ ค่าความนำไฟฟ้าของตัวกลาง

ดังนั้นในตัวกลางที่มีคุณสมบัติไดโอดอิเล็กทรอนิกส์แตกต่างกัน ส่งผลให้การลดทอนของกำลังงานและการเปลี่ยนแปลงของเฟสของคลื่นซึ่งแพร่กระจายจากภาคส่งสัญญาณผ่านตัวกลางไปยังภาครับสัญญาณมีค่าแตกต่างกัน นอกจากนี้ค่าการลดทอนกำลังงานเป็นค่าต่อหน่วยระยะทาง ดังนั้นเมื่อคลื่นแพร่กระจายลึกเข้าไปในตัวกลางการลดทอนจึงเพิ่มขึ้น

#### 2. โครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมเป็นโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ถูกใช้ประมวลผลในระบบเซนเซอร์อย่างแพร่หลาย [9-11] เนื่องจากเหมาะกับการวิเคราะห์ระบบไม่เป็นเชิงเส้น [12] มีหลายอินพุต มีความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตที่ซับซ้อน [13] รวมถึงยังคงทำงานได้ดีแม้อินพุตได้รับผลกระทบจากสัญญาณรบกวนของสัญญาณ [14] โครงข่ายประสาทเทียมชนิดเปอร์เซ็ปตรอนหลายชั้น (Multilayer perceptron: MLP) มีโครงสร้างพื้นฐานการจัดเซลล์ประสาทเทียมเป็นชั้น ประกอบด้วยชั้นอินพุตสำหรับรับข้อมูลเข้าจำนวน  $i$  โหนด คือ  $v_1, v_2$  ถึง  $v_i$  ชั้นที่ให้ผลผลิตของโครงข่ายคือ ชั้นเอาต์พุต ส่วนชั้นอื่นๆ ที่มีส่วนในการช่วยทำการประมวลผลอยู่ภายในเรียกว่า ชั้นซ่อนเร้น (Hidden Layer) ระหว่างชั้นมีการเชื่อมต่อ โดยกำหนดเส้นค่าถ่วงน้ำหนัก คือ  $w_{1j}, w_{2j}, \dots, w_{ij}$  ไบแอสของระบบ คือ  $b_k$  และผลรวมของค่าถ่วงน้ำหนักที่คูณด้วยอินพุตกับค่าไบแอส คือ  $v_k$  จากนั้นค่า  $v_k$  ถูกนำไปใช้ในการคำนวณเพื่อหาค่า  $y_k$  เอาต์พุต โดยใช้ฟังก์ชันซิกมอยด์ ( $y_{sig}$ ) ซึ่งเป็นฟังก์ชันแอคติเวตแบบไม่เชิงเส้น ดังสมการที่ (2) [15]

$$y_k = y_{sig} \left( \frac{\sum_{j=1}^m w_{ij}x_j + b_k}{v_k} \right) \quad (2)$$

ขั้นตอนการพัฒนาโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม เริ่มจากการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อหาค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสม การฝึกสอนใช้การปรับโครงสร้างของจำนวนโนดซ่อนเร้นตั้งแต่ 4 6 8 และ 10 โหนด เพื่อให้การตัดสินใจทำได้แม่นยำและใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า ปรับเปลี่ยนอัตราการเรียนรู้เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่มีผลให้การเรียนรู้ทำได้อย่างรวดเร็วและให้ค่าความผิดพลาดต่ำสุด

## ระเบียบวิธีวิจัย

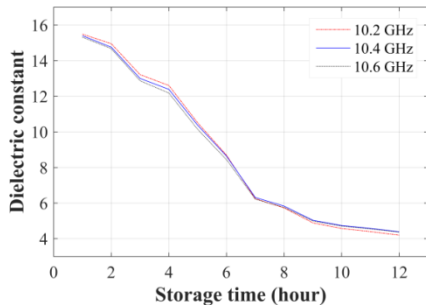
### 1. การวัดคุณสมบัติไดอิเล็กตริก

น้ำยางพาราสดมีช่วงอายุของการเก็บรักษาต่างกันตามระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยว ระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อจำนวนกรดไขมันระเหยได้สามารถสังเกตได้จากการวิจัยของ Hassan และคณะ (2015) พบว่าที่ระยะเวลาในการเก็บรักษาตั้งแต่ 0 ถึง 16 ชั่วโมง มีผลทำให้จำนวนกรดไขมันระเหยได้เปลี่ยนในช่วง 0.1 ถึง 0.2 ดังนั้นในงานนี้จึงใช้อายุการเก็บรักษาเป็นตัวแทนของจำนวนกรดไขมันระเหยได้ การวิเคราะห์เบื้องต้นในการแยกอายุการเก็บรักษาเริ่มจากการตรวจสอบคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของน้ำยางพาราสดที่ไม่ใส่สารเติมแต่งเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ตัวอย่างน้ำยางพาราที่ได้รับการทดสอบคุณสมบัติไดอิเล็กตริกเป็นน้ำยางพาราสดที่กรีดใหม่ การทดสอบทำในห้องปฏิบัติการที่ควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส การตรวจวัดใช้โพรมิโคแอกเซียลสำหรับวัดไดอิเล็กตริก รุ่น Keysight N1501A ข้อมูลถูกส่งต่อเพื่อเข้ารับการประมวลผลด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายรุ่น Fieldfox N9915A ของบริษัท Agilent technology เครื่องมือวัดได้รับการปรับเทียบ เพื่อให้การวัดมีความเที่ยงตรงประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ 1) การวัดแบบเปิดวงจรด้วยอากาศ 2) การวัดแบบลัดวงจรด้วยกล่องลัดวงจรและ 3) การวัดโหลดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จากนั้นตรวจวัดน้ำยางพาราสดตัวอย่างที่มีปริมาณ 250 มิลลิลิตร ที่ได้รับการบรรจุอยู่ในบีกเกอร์ ดังแสดงในรูปที่ 1

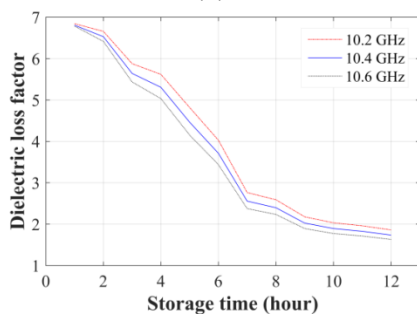


รูปที่ 1 การวัดคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของน้ำยางพารา

คุณสมบัติไดอิเล็กตริกของน้ำยางพาราสดได้รับการตรวจวัดทุก ๆ 1 ชั่วโมง ตลอดอายุการเก็บรักษาเริ่มการตรวจวัดตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1 ถึง 12 ชั่วโมง การตรวจวัดแบ่งออกเป็น 3 ความถี่ คือ ที่ความถี่ 10.2 10.4 และ 10.6 กิกะเฮิรตซ์ ค่าพารามิเตอร์ที่ได้รับจากการตรวจวัดประกอบด้วย ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ( $\epsilon_r'$ ) และค่าตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริก ( $\epsilon_r''$ ) ผลจากการตรวจวัดแสดงให้เห็นว่า เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่า  $\epsilon_r'$  ของน้ำยางพารามีค่าลดลงอยู่ในช่วง 15.5 ถึง 4.2 และลดลงอย่างชัดเจนในชั่วโมงที่ 1 ถึง 7 ซึ่งสอดคล้องกันทั้ง 3 ความถี่ ดังรูปที่ 2 (ก) และสำหรับค่า  $\epsilon_r''$  มีการเปลี่ยนแปลงลดลงเช่นเดียวกันเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 6.8 ถึง 1.6 และที่ความถี่ 10.2 กิกะเฮิรตซ์ มีค่า  $\epsilon_r''$  เฉลี่ยโดยรวมสูงกว่าความถี่ 10.4 และ 10.6 กิกะเฮิรตซ์ ดังรูปที่ 2 (ข)



(ก)



(ข)

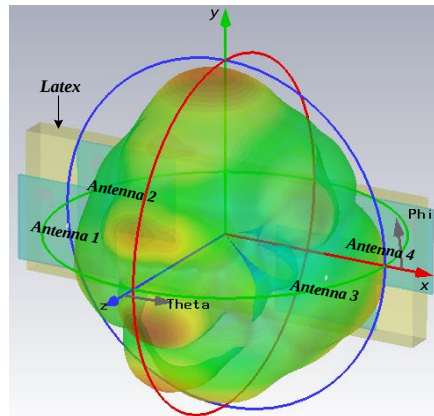
รูปที่ 2 (ก) ค่าคงที่ได้โอเล็กตริก

(ข) ตัวประกอบการสูญเสียไดโอเล็กตริก

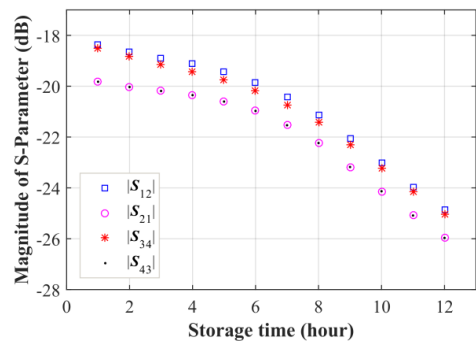
ผลจากการตรวจวัดคุณสมบัติไดโอเล็กตริกของน้ำยางแสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า  $\epsilon_r'$  และ  $\epsilon_r''$  ที่ความถี่ 10.2 10.4 และ 10.6 กิกะเฮิรตซ์ ลดลงอย่างต่อเนื่องในลักษณะเดียวกัน คุณสมบัติพื้นฐานของคลื่นเมื่อเดินทางผ่านวัสดุที่มีค่า  $\epsilon_r'$  และ  $\epsilon_r''$  ต่างกัน ส่งผลให้เกิดการลดทอน การเลี้ยวเบน การเปลี่ยนแปลงขนาด (Magnitude) [8] ดังนั้นคุณสมบัติไดโอเล็กตริกที่แตกต่างกันของน้ำยางพาราจึงถูกใช้ในการพัฒนาโมเดล เพื่อใช้ในการจำลองความสามารถของคลื่นความถี่ไมโครเวฟในการตรวจสอบอายุการเก็บรักษา น้ำยางพารา

## 2. การจำลองการทำงานระบบ

การจำลองระบบตรวจวัดใช้สายอากาศพื้นฐานชนิดแพทช์ 4 ตัว สายอากาศทั้งหมดได้รับการวิเคราะห์คุณสมบัติและปรับโครงสร้างให้เหมาะสม



รูปที่ 3 การจำลองระบบตรวจสอบอายุการเก็บรักษาน้ำยางพารา



รูปที่ 4 จำลองการส่งผ่านคลื่นความถี่ไมโครเวฟผ่านโมเดลน้ำยางพารา

ด้วยโปรแกรมจำลองค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า CST studio suite 2019 และสามารถทำงานได้ดีในช่วงความถี่ 10.0 ถึง 10.8 กิกะเฮิรตซ์ ผลการจำลองให้ค่าพารามิเตอร์  $S_{11}$   $S_{22}$   $S_{33}$  และ  $S_{44}$  ต่ำกว่า -10 เดซิเบล ตลอดย่านความถี่ทำงาน คุณสมบัติไดโอเล็กตริกของน้ำยางพาราถูกใช้ในการพัฒนาโมเดลเพื่อจำลองตรวจวัดจากสายอากาศทั้ง 4 ตัว สายอากาศได้รับการจัดวางเป็นคู่เพื่อตรวจวัดคู่ที่ 1 คือ สายอากาศตัวที่ 1 กับ ตัวที่ 2 ตรวจวัดที่ความถี่ 10.2 และ 10.4 กิกะเฮิรตซ์ คู่ที่ 2 คือ สายอากาศตัวที่ 3 กับ ตัวที่ 4 ตรวจวัดที่ความถี่ 10.2 และ 10.6 กิกะเฮิรตซ์ โมเดลน้ำยางพาราอยู่ตรงกลาง ดังแสดงในรูปที่ 3 โมเดลน้ำยางพารามีค่า  $\epsilon_r'$  ต่างกันตามอายุการเก็บรักษาตั้งแต่ 1 2 ถึง 12 ชั่วโมง ทั้งหมดจำนวน 12 ตัวอย่าง สายอากาศทำ

หน้าที่ส่ง-รับคลื่นความถี่ผ่านโมเดลของน้ำยางมีขนาดกว้างยาวสูง  $2.5 \times 20 \times 10$  เซนติเมตร ดังแสดงดังรูปที่ 3 การจำลองการทำงานของระบบได้รับการควบคุมให้สายอากาศตรวจวัดครั้งละ 1 คู่ คู่แรกเป็นสายอากาศตัวที่ 1 และ 2 คู่ที่สองเป็นสายอากาศตัวที่ 3 และ 4 สายอากาศแต่ละตัวทำหน้าที่ทั้งส่งและรับคลื่นของกันและกันในแต่ละคู่คลื่นเดินทางผ่านโมเดลน้ำยางพาราที่มีค่า  $\epsilon_r'$  เปลี่ยนตามอายุการเก็บรักษา กำลังงานการส่งผ่านระหว่างสายอากาศคู่ที่ 1 คือ  $|S_{12}|$  และ  $|S_{21}|$  กำลังงานการส่งผ่านระหว่างคู่ที่ 2 คือ  $|S_{34}|$  และ  $|S_{43}|$  จากผลการจำลองพบว่าที่อายุการเก็บรักษา 1 ถึง 12 ชั่วโมง ขนาดของพารามิเตอร์  $S$  ทุกตัวมีค่าลดลงขนาดของ  $|S_{12}|$  มีค่าลดลงในช่วง  $-18.36$  ถึง  $-24.85$  dB ขนาดของ  $|S_{21}|$  และ  $|S_{43}|$  มีค่าเท่ากันอยู่ในช่วง  $-19.83$  ถึง  $-25.97$  dB เนื่องจากสายอากาศที่ใช้ในการจำลองมีลักษณะเหมือนกัน ส่วนขนาดของ  $|S_{34}|$  อยู่ช่วง  $-18.50$  ถึง  $-25.03$  dB ดังแสดงในรูปที่ 4 การจำลองการส่งผ่านคลื่นความถี่ผ่านโมเดลน้ำยางพารา โดยเปลี่ยนค่า  $\epsilon_r'$  และ  $\epsilon_r''$  ตามอายุการเก็บรักษา แสดงให้เห็นว่าเมื่ออายุการเก็บรักษาของน้ำยางพาราเพิ่มขึ้นส่งผลให้ขนาดของพารามิเตอร์  $S$  ของสายอากาศทั้ง 4 ตัว ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ จากการจำลองแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการแยกแยะระดับอายุการเก็บรักษา โดยใช้เทคนิคการส่งผ่านด้วยคลื่นความถี่ 10.2 10.4 และ 10.6 กิกะเฮิร์ตซ์ตามลำดับ เพื่อให้ระบบมีความแม่นยำ โครงข่ายประสาทเทียมจึงได้รับการนำมาประยุกต์ใช้งานในการแยกอายุการเก็บรักษาน้ำยางพารา

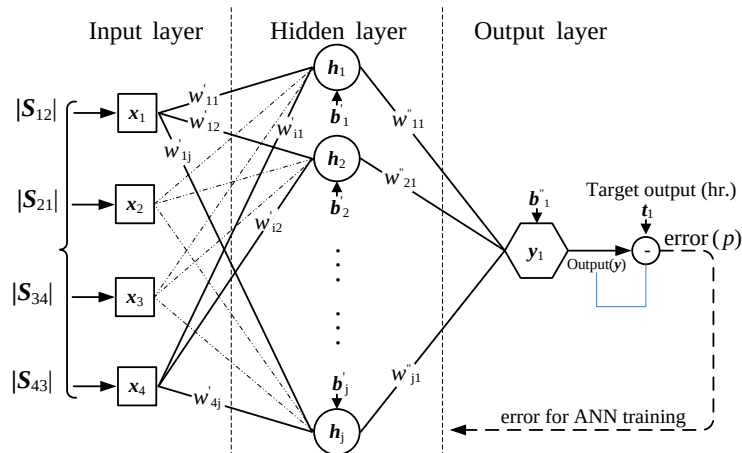
### 3. โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมได้รับการฝึกสอนและทดสอบเพื่อหาค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight:  $w$ ) ที่มีความแม่นยำในการตัดสินใจสูงสุด รวมถึงปรับปรุงโครงสร้างให้มีความซับซ้อนต่ำเหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้งาน การฝึกสอนใช้การปรับอัตรา

เรียนรู้และจำนวนโนดซ่อนเร้น โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในระบบการตัดสินใจทั้งหมด 3 ชั้น ประกอบด้วย ชั้นอินพุต ชั้นซ่อนเร้น และชั้นเอาต์พุต จำนวนโนดอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียมใช้ทั้งหมด 4 โนด คือ พารามิเตอร์  $|S_{12}|$   $|S_{21}|$   $|S_{34}|$  และ  $|S_{43}|$  ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการจำลองการตรวจวัดโมเดลน้ำยางพาราที่เปลี่ยนค่า  $\epsilon_r$  ตามอายุการเก็บรักษาตั้งแต่ 1 ถึง 12 ชั่วโมง ค่าพารามิเตอร์มีทั้งหมด 4 กลุ่มข้อมูล แต่ละกลุ่มมีทั้งหมด 12 ข้อมูล จึงมีจำนวนข้อมูลรวม 48 ค่า ข้อมูลได้รับการแบ่งเพื่อใช้ในการฝึกสอน (Training) 50% และใช้ในการทดสอบ (Testing) 50% ของข้อมูลทั้งหมด เป้าหมาย (Targets) สำหรับการฝึกสอน คือ เวลาในการเก็บรักษาอายุน้ำยางพารา โดยใช้จำนวนเอาต์พุตโนดที่ 1 โนด ชั้นอินพุตทำหน้าที่รับข้อมูล  $|S_{12}|$   $|S_{21}|$   $|S_{34}|$  และ  $|S_{43}|$  จากการจำลองการตรวจวัดของระบบมาใช้ในการเรียนรู้ จำนวนโนดอินพุต คือ  $x_1, x_2$  ถึง  $x_4$  ในชั้นซ่อนเร้น คือ  $h_1, h_2$  ถึง  $h_j$  และโครงสร้างของจำนวนโนดซ่อนเร้น ได้รับการปรับตั้งแต่ 4 6 8 และ 10 โนด และในชั้นเอาต์พุต คือ  $y_1$  เป็นเอาต์พุตจากการเรียนรู้ เอาต์พุตถูกเทียบกับเป้าหมาย คือ  $t_1$  เพื่อหาค่าความต่างและใช้ค่าความต่างปรับค่า  $w_{11}$   $w_{12}$  ถึง  $w_{4j}$  เพื่อให้ค่าความผิดพลาดลดลงและปรับค่าถ่วงน้ำหนักให้เหมาะสม โครงสร้างที่ได้รับการฝึกสอนแสดงดังในรูปที่ 5

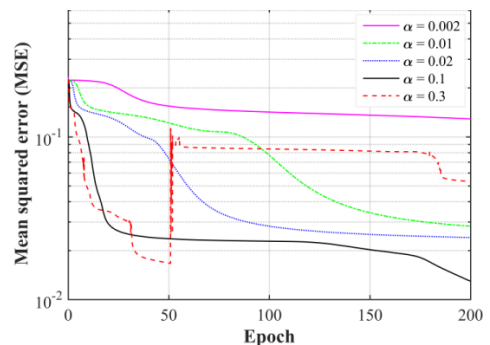
### ผลการวิจัย

การวิเคราะห์โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมเริ่มด้วยการปรับอัตราการเรียนรู้ ในการฝึกสอนเป้าหมายคืออายุการเก็บรักษาน้ำยาง อัตราการเรียนรู้ได้รับการปรับตั้งแต่ 0.002 0.01 0.02 0.1 ถึง 0.3 และอินพุตในการฝึกสอน คือ พารามิเตอร์  $|S_{12}|$   $|S_{21}|$   $|S_{34}|$  และ  $|S_{43}|$



รูปที่ 5 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่นำเสนอ

จากการจำลอง จำนวนโนดซ่อนเร้นถูกใช้เป็น 2 เท่า ของจำนวนโนดอินพุต เงื่อนไขในการวนซ้ำไม่น้อยกว่า 200 รอบ (Epoch) หรือมีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง (Mean square error: MSE) ต่ำกว่า  $10^{-2}$  การวิเคราะห์อัตราการการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมใช้ข้อมูลในการฝึกสอน 50% จากข้อมูลทั้งหมด ปรับอัตราการเรียนรู้ ( $\alpha$ ) ทั้งหมด 5 ระดับ เริ่มต้นที่ค่า  $\alpha$  อยู่ที่ 0.002 การปรับค่าตัวแปรถูกทำอย่างละเอียด การเรียนรู้ทำได้ช้าแต่สามารถลดความผิดพลาดได้อย่างต่อเนื่อง ให้ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสองที่ 200 รอบ อยู่ที่ 0.1289 จากนั้นขยายค่า  $\alpha$  เป็น 0.01 การเรียนรู้ทำได้ดีและมีความรวดเร็วเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสองอยู่ที่ 0.0282 และเมื่อเพิ่มค่า  $\alpha$  เป็น 0.02 การเรียนรู้ยังคงทำได้อย่างต่อเนื่อง และให้ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสองอยู่ที่ 0.0241 และที่การเรียนรู้สามารถทำได้ดีที่สุด คือ  $\alpha$  อยู่ที่ 0.1 ให้ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสองที่ 0.0129 และสุดท้ายที่ค่า  $\alpha$  อยู่ที่ 0.3 โครงข่ายประสาทเทียมไม่สามารถเรียนรู้เพื่อแก้ไขปัญหาได้ เนื่องจากอัตราการเรียนรู้กว้างเกินขอบเขตในการหาคำตอบและให้ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสองสูงขึ้นอยู่ที่ 0.0531 ที่ 200 รอบ ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสองและจำนวนรอบการฝึกสอน

ค่า  $\alpha$  ที่เหมาะสมถูกนำมาใช้ในการพัฒนาโครงสร้างและประสิทธิภาพในการตัดสินใจของโครงข่ายประสาทเทียม ขั้นตอนการฝึกสอนใช้ข้อมูล 50% ในการฝึกสอน โนดซ่อนเร้นได้รับ การปรับอยู่ในช่วงตั้งแต่ 4 6 8 และ 10 โนด วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง การเรียนรู้ในแต่ละจำนวนโนดซ่อนเร้นทำได้ดียกเว้นในกรณีที่ใช้ 4 โนด เนื่องจากจำนวนโนดซ่อนเร้นไม่เพียงพอ ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสองสูงอยู่ที่ 0.0402 เมื่อเพิ่มจำนวนโนดซ่อนเร้นเป็น 6 โนด การเรียนรู้มีความผันผวนเล็กน้อยในช่วงเริ่มต้นแต่ยังคงสามารถเรียนรู้ได้และให้ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสองอยู่ที่ 0.0122 เมื่อจำนวนโนดซ่อนเร้นเพิ่มขึ้นเป็น 8 และ 10 โนด ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง แปรปรวน



เล็กน้อย แต่เมื่อพิจารณาที่ 500 รอบ การเรียนรู้ของทั้ง 2 โครงสร้างทำได้อย่างมีประสิทธิภาพและให้ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสองอยู่ที่  $2.71 \times 10^{-3}$  และ  $2.69 \times 10^{-3}$  ตามลำดับ จากการฝึกสอนแสดงให้เห็นว่าจำนวนโนดซ่อนเร้นมีผลต่อการเรียนรู้ขั้นตอนการทดสอบความสามารถในการตัดสินใจของโครงข่ายประสาทเทียมใช้ข้อมูลส่วนที่เหลือ คือ 50% การใช้ค่า  $w$  ของ 4 โหนดซ่อนเร้น ให้ค่าความแม่นยำต่ำสุดอยู่ที่ 64.29% และการใช้  $w$  ที่ 6 โหนดซ่อนเร้น ให้ค่าความแม่นยำเพิ่มขึ้นอยู่ที่ 88.89% เมื่อใช้ค่า  $w$  ที่ 8 โหนดซ่อนเร้น การเรียนรู้ทำได้เป็น

อย่างดีและให้ความแม่นยำในการทดสอบอยู่ที่ 97.62% และสุดท้ายเป็นการทดสอบค่า  $w$  ที่ 10 โหนดซ่อนเร้น การตัดสินใจของโครงข่ายประสาทเทียมมีการพัฒนาเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอยู่ที่ 98.41% ซึ่งใกล้เคียงกับค่า  $w$  ที่ 8 โหนดซ่อนเร้นที่รอบการวนซ้ำเท่ากัน คือ 500 รอบ ผลการฝึกสอนและทดสอบแสดงดังตารางที่ 1 จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าข้อมูล  $|S_{12}|$   $|S_{21}|$   $|S_{34}|$  และ  $|S_{43}|$  เพียงพอต่อการฝึกสอนรวมถึงที่อัตราการเรียนรู้ที่ 0.1 การเรียนรู้ทำได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 1 การฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม

| จำนวนโนดซ่อนเร้น<br>(Hidden node) | การวนซ้ำ<br>(Epoch) | ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง<br>(MSE) | ประสิทธิภาพการทดสอบ   |        |
|-----------------------------------|---------------------|---------------------------------------|-----------------------|--------|
|                                   |                     |                                       | อัตราความผิดพลาด      | แม่นยำ |
| 4                                 | 500                 | 0.0550                                | 0.0402                | 64.29% |
| 6                                 | 500                 | 0.0153                                | 0.0122                | 88.89% |
| 8                                 | 500                 | 0.0034                                | $2.71 \times 10^{-3}$ | 97.62% |
| 10                                | 500                 | 0.0033                                | $2.69 \times 10^{-3}$ | 98.41% |

เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสองจากการใช้ค่า  $w$  ของโนดซ่อนเร้น 8 และ 10 โหนด โครงสร้างทั้ง 2 ตัดสินใจได้แม่นยำและจำแนกอายุการเก็บรักษาได้ใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาถึงทรัพยากรและความซับซ้อนของโครงสร้างที่โนดซ่อนเร้น 8 โหนด ดังนั้นโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วย 4 โหนดอินพุต 8 โหนดซ่อนเร้น และใช้ 1 โหนดเอาต์พุตที่เป็นตัวแทนของอายุการเก็บรักษาน้ำยางพารา

### สรุปและอภิปรายผล

การทำงานของระบบจำแนกอายุน้ำยางพาราเริ่มจากการทดสอบคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของน้ำยางพาราสดแบบไม่ใส่สารปรับแต่ง เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจาก 1 ถึง 12 ชั่วโมง ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของน้ำยางพาราลดลงจาก 15.5 ถึง 4.2 ส่วนตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริกมี การเปลี่ยนแปลงลดลงในลักษณะเดียวกันอยู่ในช่วง 6.8 ถึง 1.6 คุณสมบัติไดอิเล็กตริกถูกใช้ในการพัฒนาโมเดลน้ำ

ยางของระบบจำลองการตรวจวัด วิเคราะห์ความสามารถในการจำแนกอายุการเก็บรักษาด้วยเทคนิคการส่งผ่านจากคลื่นความถี่ 10.2 10.4 และ 10.6 กิกะเฮิรตซ์ ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าค่าพารามิเตอร์  $|S_{12}|$   $|S_{21}|$   $|S_{34}|$  และ  $|S_{43}|$  มีผลต่ออายุการเก็บรักษาของน้ำยางพารา ระบบตรวจวัดด้วยคลื่นความถี่ไมโครเวฟได้รับการพัฒนาด้วยการวิเคราะห์ค่ากำลังงานการส่งผ่านของคลื่นความถี่ของ 2 คู่ความถี่ คือ 10.2 กับ 10.4 กิกะเฮิรตซ์ และ 10.2 กับ 10.6 กิกะเฮิรตซ์ ให้เอาต์พุตที่ประกอบด้วยค่า  $|S_{12}|$   $|S_{21}|$   $|S_{34}|$  และ  $|S_{43}|$  ข้อมูลถูกใช้ฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมและได้โครงสร้างที่เหมาะสม 4 โหนดอินพุต 8 โหนดซ่อนเร้น และ 1 โหนดเอาต์พุต โดยโนดเอาต์พุต คือ อายุการเก็บรักษาน้ำยางพารา อัตราการเรียนรู้ที่เหมาะสม 0.1 ให้ค่าความผิดพลาดจากการทดสอบอยู่ที่  $2.71 \times 10^{-3}$  ความแม่นยำอยู่ที่ 97.62% แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างที่นำเสนอมีประสิทธิภาพในการตัดสินใจและเหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้งาน

### References

- [1] Rubber Intelligence Unit, (5 November 2021). Export statistics - natural rubber [online], Available: <http://rubber.oie.go.th/ImExThaiByProduct.aspx?pt=ex>.
- [2] S. S. Ochigbo, R. A. Lafia-Araga and M. A. T. Suleiman, "Comparison of two creaming methods for preparation of natural rubber latex concentrates from field latex," *African Journal of Agricultural Research*, vol. 6, no.12, pp. 2916-2619, 18 June 2011.
- [3] N. wongwattana, S. Rittiron, R. and Lim, C. H. "The rapid determination of volatile fatty acid number in para rubber latex using Fourier transform-near infrared spectroscopy based on quantification and discrimination model," *Journal of Innovative Optical Health Sciences*, vol. 8, no.5, pp. 1-9, 2015.
- [4] A. Parichkul, and P. Saikhwan, "The use of pasteurization to control microbial growth in rubber latex," *Journal of Food Science and Agricultural Technology*, vol.1, no.1, pp.131-135, 2015.
- [5] P. Tatsanakul, A. N. Wichien and P. Pimrat, "Innovation of the production of TMTD/ZnO-free latex," *Journal of Rubber*, vol.26 (electronic), pp.2-10, September 2016.
- [6] A. A. Hassan, M. Singh, W. Z. Saad, and R. Mohamad, "Efficiency of commercial biological compounds as anticoagulant agents in natural rubber latex," *Journal of Rubber Research*, vol.18, no. 2, pp. 72-86, 2015.
- [7] S. Y. Lee, Y. X. Heng, Y. T. Q. Ling, D. T. C. Ang, and K. L. Mok, "Non-cytotoxic palm-based polymeric surfactant as a green stabilizer in natural rubber latex," *Journal of Rubber Research*, vol.24, pp.423-433, July 2021.
- [8] D. M. Pozar, "*Microwave engineering*," 4<sup>th</sup> ed. John Wiley & Sons. USA, 2012.
- [9] N. Sresungsuan and N. Hansupalak, "Prediction of mechanical properties of compatibilized styrene/natural-rubber blend by using reaction conditions: central composite design vs. artificial neural networks," *Journal Applied Polymer Science*, pp.356-365, 2013.
- [10] P. Leekul, P. Wongsiritorn, and P. Chaisaeng, "Development of humidity monitoring system in greenhouse with electromagnetic X-band and artificial neural networks," *Progress In Electromagnetics Research M*, vol.100, pp.93-103, 2021.
- [11] Amordej Puttipipatkajorn, and Amorrit Puttipipatkajorn "Development of calibration models for rapid determination of moisture content in rubber sheets using portable near-infrared spectrometers," *Journal of Innovative Optical Health Sciences*, vol. 13, no.2, pp.1-12, 2020.
- [12] C. Zhao, G. Wu, and Y. Li, "Measurement of water content of oil-water two-phase flows using dual frequency microwave method in combination with deep neural network," *Measurement*, vol.131, pp.92-99, 2019.

- [13] J. Zhang, D. Du, Y. Bao, J. Wang, and Z. Wei, "Development of multifrequency-Swept microwave sensing system for moisture measurement of sweet corn with deep neural network," *IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement*, vol.69, no.9, pp.6446-6454, September 2020.
- [14] H. A. Hassan, M. H. Essa, and A. Yahya, "Performance comparison of linear multiuser detectors and neural network detector for DS/CDMA Systems in AWGN," in *2015 Tenth International Conference on Computer Engineering & Systems (ICCES)*, Cairo Egypt, pp.307-313, 23-24 Dec. 2015
- [15] S. Haykin, "Neural Networks and Learning Machines" 3rd, Prentice Hall: USA, 2008.