

การศึกษาเปรียบเทียบผลการเปลี่ยนแปลงจำนวนคำตอบ ของโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการพยากรณ์ ระดับน้ำแม่น้ำยม จังหวัดแพร่*

A Comparative Impact Study of the Changing Number of Outputs in Artificial Neuron Network on Yom River Tide Forecasting, Phrae Province

ดวงเพ็ญ เจตน์พิพัฒน์พงษ์¹ และรัชกฤช ธนพัฒน์ดล¹

Duangpen Jetpipattanapong and Ratchakrit Tanapattanadol

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับที่สามารถพยากรณ์ระดับน้ำล่องหน้า 1 - 4 วัน โดยเน้นศึกษาผลที่เกิดขึ้นจากจำนวนคำตอบต่อโครงข่าย โดยทำการศึกษาที่สถานีวัดน้ำท่าอัตรโนมิตี Y1C อำเภอเมือง จังหวัดแพร่ ซึ่งเป็นพื้นที่ในลุ่มแม่น้ำยมที่ประสบปัญหาอุทกภัยเป็นประจำทุกปี โดยทำการทดลองปรับเปลี่ยนจำนวนคำตอบต่อโครงข่ายและโครงสร้างโครงข่าย ผลการศึกษาพบว่า โครงข่ายที่พยากรณ์ล่องหน้าได้เพียง 1 คำตอบ สามารถพยากรณ์ได้ดีกว่าโครงข่ายที่สามารถพยากรณ์ครั้งละหลายคำตอบ โดยโครงข่ายที่เหมาะสมในการทำนายระดับน้ำล่องหน้า 1 - 4 วันทั้งหมดเป็นโครงข่ายแบบ 2 ชั้นซ่อน โครงข่ายที่เหมาะสมที่สุดในการพยากรณ์ระดับน้ำล่องหน้า 1, 2, 3 และ 4 วัน มีโครงสร้างเป็น 12-40-30-1 12-30-20-1 12-40-40-1 และ 12-10-20-1 ตามลำดับ และมีความถูกต้องเป็น 82.77 % 78.99% 79.71% และ 77.37% ตามลำดับ

คำสำคัญ: โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับ การพยากรณ์ระดับน้ำ แม่น้ำยม จังหวัดแพร่

Abstract

The objective of this research is to find the back-propagation neural networks model (BPNN) for 1-4 day gage height forecasting, focusing on the result from changing number of output in the neural network. The automatic gauging station—Y1C, located at Amphur

* บทความวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย

¹ อาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย

Lecturer, Faculty of Engineering, Eastern Asia University

b

Mueang, Phrae Province, was selected as a forecasting station. The study area is part of the Yom River Basin where flooding normally occurs. By experimenting with changing number of answering results and the neural network structure, the study showed that the one output neural network can forecast better than the multiple outputs network. The best models to forecast 1-4 day gage height from the experiment are 2 hidden layers. The appropriate structure models for 1-, 2-, 3- and 4- day forecast are 12-40-30-1, 12-30-20-1, 12-40-40-1 and 12-10-20-1. The percent accuracies are 82.77%, 78.99%, 79.71% and 77.37%, respectively.

Keywords: *Back-propagation Neural Networks Model; Gage Height Forecasting; Yom River; Phrae Province*

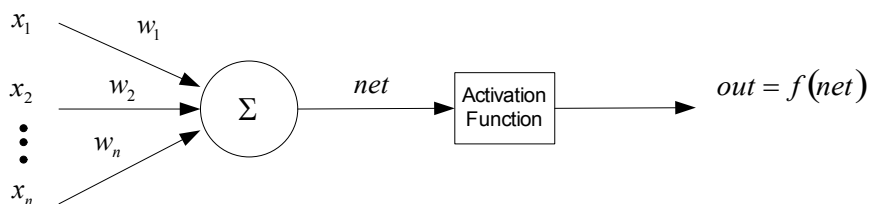
บทนำ

ในการบริหารและจัดการน้ำ ได้มีการนำเทคนิคต่างๆ มาใช้ เช่น การประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE11 โดย ธีรพันธุ์ เต็ดชาติ (2545) ในการจำลองลักษณะการไหลของน้ำ การเคลื่อนที่ของตะกอน รวมถึงการศึกษาคุณภาพน้ำ การใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์โดย อภินิษฐ์ อรุณพิทักษ์พันธ์ (2549) ในการทำนายระดับน้ำท่วมในช่วงการเกิดน้ำหลากในแม่น้ำปิง โดยใช้ข้อมูลน้ำฝน ปริมาณการไหลของน้ำ และระดับน้ำสายหลัก นอกจากนี้ ในปัจจุบันยังมีการนำแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการทำนายระดับน้ำ เช่น สมยศ ตั้งเจริญจิตกุล (2547) ได้ประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำนายระดับน้ำในแม่น้ำปิง จ.เชียงใหม่ โดยฝึกสอนโครงข่ายแยกตามช่วงเดือนต่างๆ โดยทดสอบกับโครงข่ายรูปแบบต่างๆ โดยมีค่าความถูกต้องสูงสุด 88.60% นัทธี ไร่บาป (2548) ได้ทำการพยากรณ์ระดับน้ำลงที่ปากแม่น้ำเจ้าพระยา โดยทำการวิเคราะห์องค์ประกอบน้ำขึ้นน้ำลง เพื่อระบุลักษณะน้ำขึ้นน้ำลง และใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับในการพยากรณ์ระดับน้ำขึ้นน้ำลงล่วงหน้า 1,3,6,12 และ 24 ชั่วโมง โดยมีค่าดัชนีประสิทธิผลสำหรับการประเมิน 89.36% ถึง 91.87%

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลการฝึกสอนโครงข่ายเพื่อพยากรณ์ค่าตอบแบบหลายคำตอบ เปรียบเทียบกับการฝึกสอนโครงข่ายแยกแต่ละคำตอบ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างโครงข่ายประสาทเทียมที่สามารถพยากรณ์ระดับน้ำในแม่น้ำยมล่วงหน้า 1-4 วัน เพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพผลการพยากรณ์ให้มีความถูกต้องเพิ่มขึ้น งานวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลระดับน้ำในแม่น้ำยม จังหวัดแพร่ ซึ่งมีลักษณะภูมิประเทศเป็นภูเขาล้อมรอบทั้ง 4 ด้าน เมื่อเกิดฝนตกหนักจะทำให้ปริมาณน้ำในแม่น้ำยมสะสมตัวเพิ่มสูงขึ้นจนเกิดล้นตลิ่ง และไหลเข้าท่วมพื้นที่ลุ่มต่ำใกล้เคียง ทำให้ฤดูฝนมักเกิดปัญหาอุทกภัย โดยเฉพาะในเขตตัวเมืองแพร่ งานวิจัยนี้ทำการพยากรณ์ระดับน้ำในแม่น้ำยมล่วงหน้า 1-4 วัน เพื่อเจ้าหน้าที่สามารถหาทางแก้ไข และแจ้งเตือนแก่ประชาชนล่วงหน้าก่อนเกิดอุทกภัยได้ทันเหตุการณ์

กรอบแนวคิดการวิจัย

โครงข่ายประสาทเทียม เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อเลียนแบบการทำงานของโครงข่ายสมองของมนุษย์ ซึ่งประกอบไปด้วยเซลล์ต่างๆ ที่เชื่อมต่อและส่งข้อมูลระหว่างกัน ทำให้เกิดความสามารถในการจดจำขึ้น โดยก่อนการนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้งานต้องมีการปรับค่าหรือเรียกว่าการฝึกสอนโครงข่าย เพื่อให้โครงข่ายสามารถรู้จำข้อมูลต่างๆ ได้ถูกต้อง



ภาพที่ 1 แบบจำลองเซลล์ประสาท 1 หน่วย

แบบจำลองเซลล์ประสาท 1 หน่วย

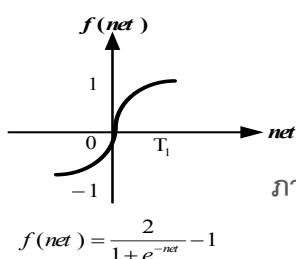
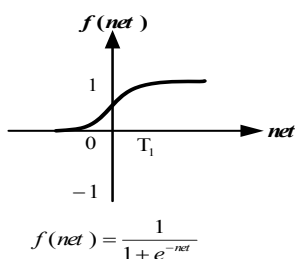
แบบจำลองการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม ประกอบด้วยหน่วยประมวลผลเชื่อมโยงกันหลายๆ ตัวในลักษณะขนาน คล้ายคลึงกับการเชื่อมต่อของเซลล์ประสาทในสมองมนุษย์ ดังภาพที่ 1 แต่ละเซลล์ประสาทหรือแต่ละโหนดนิวรอลจะรับชุดสัญญาณข้อมูลอินพุต (x_i) เข้ามายังตัวเซลล์ โดยมีค่าถ่วงน้ำหนัก (w_i) ในการเพิ่มหรือลดความเข้มของสัญญาณข้อมูลอินพุต ค่าผลรวมของผลคูณระหว่างค่าถ่วงน้ำหนักและค่าอินพุต จะถูกตัดสินใจด้วยฟังก์ชันกระตุ้น (Activation Function) ส่งออกมาเป็นค่าเอาต์พุตให้นิวรอลโหนดอื่นต่อไป โดยที่

$$net = \sum_{i=1}^n x_i w_i \quad (1)$$

$$out = f(net) \quad (2)$$

ฟังก์ชันกระตุ้น

ฟังก์ชันกระตุ้น (Activation Function) ที่ใช้ในการตัดสินใจเอาต์พุตของโครงข่ายมีทั้งชนิดที่เป็นฟังก์ชันแบบไม่ต่อเนื่อง เช่น ฟังก์ชันกระตุ้นแบบฮาร์ดลิมิต และฟังก์ชันแบบต่อเนื่อง (Zurada, 1992: 118 - 143) ซึ่งในการเลือกใช้นั้นไม่มีหลักเกณฑ์กำหนดแน่นอนว่าควรใช้ฟังก์ชันชนิดใดสำหรับโครงข่ายรูปแบบใด แต่ในงานวิจัยส่วนใหญ่นิยมใช้ ฟังก์ชันกระตุ้นแบบซิกมอยด์ (Sigmoid) ดังแสดงในภาพที่ 2 เนื่องจากสามารถแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนได้ดี

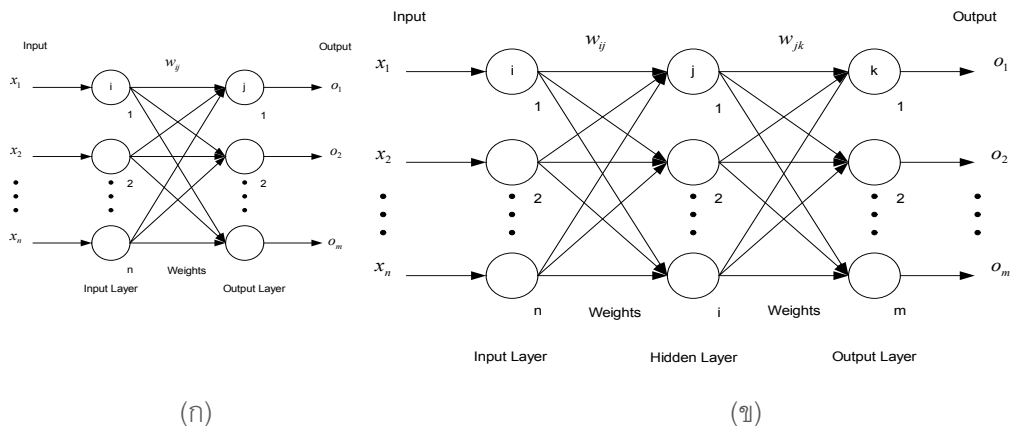


ภาพที่ 2 ฟังก์ชันกระตุ้นแบบซิกมอยด์

โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม

การทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมจะต้องเชื่อมต่อนิวรอนหลายๆ ตัวเข้าด้วยกันให้เกิดเป็นลักษณะของโครงข่ายเป็นชั้นๆ หรือที่เรียกว่า เลเยอร์ (Layer) นิวรอนแต่ละตัวที่อยู่ในชั้นเดียวกันจะไม่มีการเชื่อมต่อถึงกัน สามารถแบ่งได้ 2 แบบ คือ โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว (Single Layer Neural Network) และโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multi Layer Neural Network)

โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว จะประกอบไปด้วยเซลล์ประสาทที่จัดเรียงตัวอยู่ในชั้นอินพุต (Input Layer) และชั้นเอาต์พุต (Output Layer) โดยชั้นอินพุตเราไม่พิจารณาว่าเป็นชั้นของโครงข่าย เพราะเป็นชั้นที่ไม่มีการประมวลผลใดๆ จะทำหน้าที่เพียงแค่รับข้อมูลอินพุตเข้ามา และส่งต่อไปให้กับชั้นถัดไปเท่านั้น โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียวไม่สามารถนำมาใช้แก้ปัญหาต่างๆ ในบางกรณีได้ นักวิจัยจึงได้นำเสนอรูปแบบของโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น ซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากการจัดเรียงตัวของนิวรอนตั้งแต่ 2 ชั้นขึ้นไป (ไม่นับรวมชั้นอินพุต) แสดงดังภาพที่ 3

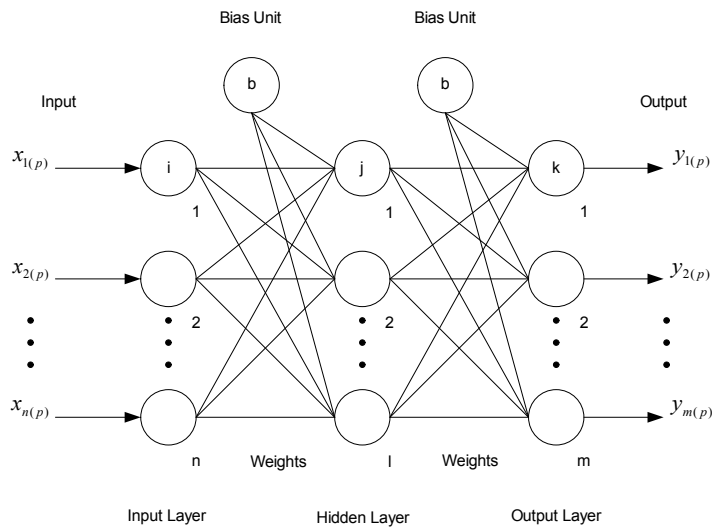


ภาพที่ 3 (ก) โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว (ข) โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น

โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น ประกอบไปด้วยชั้นต่างๆ ได้แก่ ชั้นอินพุต ชั้นเอาต์พุต และชั้นที่อยู่ระหว่างชั้นอินพุตและชั้นเอาต์พุต เรียกว่า ชั้นซ่อน (Hidden Layer) ทั้งนี้จำนวนของชั้นซ่อนสามารถมีได้มากกว่า 1 ชั้น (Wassermann, 1989: 75 - 143) ชุดข้อมูลเอาต์พุตที่ได้จากชั้นหนึ่งจะถูกส่งให้เป็นข้อมูลอินพุตสำหรับชั้นต่อไป โดยค่าเอาต์พุตในชั้นสุดท้ายคือเอาต์พุตของโครงข่ายถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าความผิดพลาดกับค่าเอาต์พุตที่ต้องการ (Target Output) ค่าความผิดพลาดที่คำนวณได้จะนำไปใช้ในการปรับค่าถ่วงน้ำหนักของโครงข่ายให้เปลี่ยนไปในทางที่ถูกต้องมากขึ้น

โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ

โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ ประกอบด้วยชั้นต่างๆ คือ ชั้นอินพุต กับ ชั้นเอาต์พุต อย่างละ 1 ชั้น และชั้นซ่อนซึ่งจะอยู่ระหว่างชั้นอินพุตกับชั้นเอาต์พุต สามารถมีกี่ชั้นก็ได้ นอกจากนี้ยังมีหน่วยไบอัส (Bias Unit) ซึ่งจะมีค่าเป็น 1 เสมอ โดยเชื่อมโยงกับทุกๆ โหนดในแต่ละชั้น ภาพที่ 4 แสดงโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ



ภาพที่ 4 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ

จากภาพที่ 4 ทุกๆโหนดในชั้นอินพุตจะส่งสัญญาณไปยังทุกๆ โหนดในชั้นซ่อนชั้นแรก และทุกๆโหนดในชั้นซ่อนชั้นแรกจะส่งสัญญาณ ไปยังทุกๆ โหนดในชั้นถัดไป จนในที่สุดทุกๆ โหนดในชั้นซ่อนชั้นสุดท้ายจะส่งสัญญาณไปยังทุกๆ โหนดในชั้นเอาต์พุต ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลในชั้นนี้จะเป็นค่าเอาต์พุตของโครงข่าย

การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ

การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ อธิบายเป็นขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1. เตรียมข้อมูลที่จะให้โครงข่ายเรียนรู้ จากนั้นกำหนดจำนวนโหนดของชั้นอินพุต จำนวนโหนดของชั้นเอาต์พุต จำนวนโหนดของชั้นซ่อน จำนวนชั้นซ่อน จำนวนรอบสูงสุดในการเรียนรู้ และค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้

2. กำหนดค่าโมเมนตัม (Momentum) และอัตราการเรียนรู้ (Learning Rate) การเรียนรู้แบบแพร่ย้อนกลับ จะกำหนดอัตราการเรียนรู้ที่มีค่าน้อยๆ โดยทั่วไปจะอยู่ระหว่าง 0.05 - 0.25 ส่วนค่าโมเมนตัมที่ใช้จะอยู่ในช่วง 0 กับ 1

3. สุ่มค่าถ่วงน้ำหนักให้เส้นเชื่อม ระหว่างโหนดในแต่ละชั้นให้ครบ โดยค่านี้จะเป็นเลขจำนวนจริงที่มีค่าน้อยๆ การกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักเริ่มต้นโดยทั่วไปจะสุ่มค่าในช่วงระหว่าง -0.5 และ 0.5 หรือช่วงระหว่าง -1 และ 1 หรืออาจจะอยู่ในช่วงระหว่างค่าใดๆ ที่เหมาะสมตามคุณสมบัติการออกแบบโครงข่ายนั้นๆ

4. รับข้อมูลตัวอย่างเข้าที่โหนดอินพุต เพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมเรียนรู้

5. คำนวณค่าผลลัพธ์ของโครงข่ายประสาทเทียม พร้อมทั้งปรับค่าถ่วงน้ำหนักของโครงข่าย จนกระทั่งโครงข่ายได้ผลลัพธ์ถึงค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ วิธีการคำนวณและสมการที่ใช้ในการหาผลลัพธ์ดังกล่าว มีดังต่อไปนี้

ในส่วนของการคำนวณไปข้างหน้า (Forward Pass) สมการที่ใช้ในการคำนวณหาผลรวมของสัญญาณอินพุตที่เข้าไปยังเซลล์ประสาท j (โหนด j) ในชั้นซ่อนคือสมการที่ (3)

$$x_j(p) = \sum_{i=1}^n x_i(p)w_{ij}(p) + b_j(p)w_j(p) \quad (3)$$

เมื่อ p แทนชุดข้อมูล (Pattern), n แทนจำนวนโหนดทั้งหมดในชั้นอินพุต, $x_i(p)$ แทนข้อมูลตัวอย่างที่เข้ามาที่โหนดอินพุตตัวที่ i , $w_{ij}(p)$ แทนค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมระหว่างโหนดอินพุตตัวที่ i ไปยังโหนด j , $b_j(p)$ แทนไบอัส มีค่าเท่ากับ 1 และ $w_j(p)$ แทนค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมระหว่างไบอัสกับโหนด j

การคำนวณค่าเอาต์พุตของเซลล์ประสาทจะใช้ฟังก์ชันซิกมอยด์ ตามสมการที่ 4 มาทำการคำนวณ เนื่องจากสามารถแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนสูงได้ดี กำหนดให้ $y_j(p)$ เป็นเอาต์พุตของชั้นซ่อนจะได้ว่า

$$y_j(p) = \frac{1}{1 + e^{-x_j(p)}} \quad (4)$$

เอาต์พุตในชั้นซ่อนจะถูกส่งต่อเป็นอินพุตให้กับชั้นต่อไป จนกระทั่งถึงชั้นสุดท้ายซึ่งก็คือ ชั้นเอาต์พุต ค่าผลรวมของสัญญาณอินพุตที่เข้าไปยังเซลล์ประสาท k (โหนด k) ที่ชั้นเอาต์พุต ($x_k(p)$) และค่าเอาต์พุต $y_k(p)$ คำนวณได้จาก

$$x_k(p) = \sum_{j=1}^l y_j(p)w_{jk}(p) + b_k(p)w_k(p) \quad (5)$$

เมื่อ l แทนจำนวนโหนดทั้งหมดในชั้นซ่อน, $y_j(p)$ แทนข้อมูลเอาต์พุตที่ออกจากโหนดในชั้นซ่อนตัวที่ j , $w_{jk}(p)$ แทนค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมระหว่างโหนดชั้นซ่อนตัวที่ j ไปยังโหนด k , $b_k(p)$ แทนไบอัส มีค่าเท่ากับ 1 และ $w_k(p)$ แทนค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมระหว่างไบอัสกับ โหนด k

$$y_k(p) = \frac{1}{1 + e^{-x_k(p)}} \quad (6)$$

สำหรับในส่วนของการคำนวณย้อนกลับ (Reverse Pass) จะทำการคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างเอาต์พุตที่คำนวณได้จากโครงข่ายกับเอาต์พุตที่ต้องการ แล้วจะทำการส่งค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวย้อนกลับมายังแต่ละโหนด โดยเริ่มตั้งแต่ชั้นเอาต์พุต และส่งต่อไปยังชั้นต่างๆ ของโครงข่าย จนกระทั่งทุกโหนดต่างได้รับส่วนแบ่งค่าความผิดพลาดนั้น จะได้รับค่าความผิดพลาดมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับว่าโหนดนั้นเป็นตัวที่ส่งผลต่อค่าเอาต์พุตมากหรือน้อยเพียงใด จากนั้นจะนำค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวมาใช้ในการปรับค่าถ่วงน้ำหนัก จะปรับค่าถ่วงน้ำหนักมากหรือน้อยเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับค่าความผิดพลาดที่ได้รับว่ามากหรือน้อยเพียงใดเช่นกัน

ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างเอาต์พุตที่คำนวณได้กับเอาต์พุตที่ต้องการ ($e_k(p)$) ของการฝึกสอนโครงข่ายในแต่ละชุดข้อมูลที่ใช้ฝึกสอน เพื่อนำใช้ในการปรับค่าถ่วงน้ำหนักในชั้นซ่อน สามารถคำนวณได้จาก

$$e_k(p) = y_{d,k}(p) - y_k(p) \quad (7)$$

เมื่อ $y_{d,k}(p)$ แทนค่าเอาต์พุตเป้าหมายที่ต้องการ และ $y_k(p)$ แทนค่าเอาต์พุตที่คำนวณได้จากโครงข่ายประสาทเทียม

สมการปรับค่าถ่วงน้ำหนักในชั้นเอาต์พุต คำนวณได้จาก

$$w_{jk}(p+1) = w_{jk}(p) + \Delta w_{jk}(p) \quad (8)$$

เมื่อ $w_{jk}(p+1)$ แทนค่าถ่วงน้ำหนักของชั้นเอาต์พุตที่ปรับใหม่, $w_{jk}(p)$ แทนค่าถ่วงน้ำหนักเดิมของชั้นเอาต์พุต, $\Delta w_{jk}(p)$ แทนค่าที่ควบคุมปริมาณการปรับค่าถ่วงน้ำหนักในครั้งก่อน (Weight Correction) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ (9)

$$\Delta w_{jk}(p) = \beta \Delta w_{jk}(p-1) + \alpha y_j(p) \delta_k(p) \quad (9)$$

เมื่อ β แทนค่าสัมประสิทธิ์โมเมนตัม, $\Delta w_{jk}(p-1)$ แทนค่าที่ควบคุมปริมาณการปรับค่าถ่วงน้ำหนักในครั้งก่อนของชุดข้อมูลก่อนหน้า, α แทนค่าอัตราการเรียนรู้, $\delta_k(p)$ แทนค่าความผิดพลาดของชั้นเอาต์พุตที่โหนด k (Error Gradient) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ (10)

$$\delta_k(p) = y_k(p)[1 - y_k(p)]e_k(p) \quad (10)$$

สมการปรับค่าถ่วงน้ำหนักในชั้นซ่อน คำนวณได้จาก

$$w_{ij}(p+1) = w_{ij}(p) + \Delta w_{ij}(p) \quad (11)$$

เมื่อ $w_{ij}(p+1)$ แทนค่าถ่วงน้ำหนักของชั้นซ่อนที่ปรับใหม่, $w_{ij}(p)$ แทนค่าถ่วงน้ำหนักเดิมของชั้นซ่อน, $\Delta w_{ij}(p)$ แทนค่าที่ควบคุมปริมาณการปรับค่าถ่วงน้ำหนักในครั้งก่อน ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ (12)

$$\Delta w_{ij}(p) = \beta \Delta w_{ij}(p-1) + \alpha x_i(p) \delta_j(p) \quad (12)$$

เมื่อ $\delta_j(p)$ แทนค่าความผิดพลาดของชั้นซ่อนที่โหนด j ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ (13)

$$\delta_j(p) = y_j(p) [1 - y_j(p)] \sum_{k=1}^m \delta_k(p) w_{jk} \quad (13)$$

เมื่อ m คือจำนวนโหนดทั้งหมดในชั้นเอาพุท

การคำนวณหาค่าความผิดพลาด และการปรับค่าถ่วงน้ำหนักของโครงข่าย จะกระทำซ้ำไปมาจนกว่าค่าผลรวมความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Mean Square Error: MSE) หรือค่าผลรวมความคลาดเคลื่อน (Sum Square Error: SSE) ในแต่ละรอบของการปรับสอนจะมีค่าลดลงถึงจุดที่ยอมรับได้ โครงข่ายจะหยุดทำการปรับสอน และนำค่าถ่วงน้ำหนักไปใช้ต่อไป สมการของค่า MSE และ SSE ดังกล่าวหาได้จากสมการ(14) และ สมการ (15) ตามลำดับ

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (y_{d,k(p)} - y_{k(p)})^2 \quad (14)$$

เมื่อ คือจำนวนชุดข้อมูลทั้งหมดที่ใช้ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม

$$SSE = \sum_{k=1}^N (y_{d,k(p)} - y_{k(p)})^2 \quad (15)$$

สมมติฐานการวิจัย

การฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมให้สามารถพยากรณ์คำตอบได้มากกว่า 1 คำตอบนั้น การปรับค่าน้ำหนักในแต่ละครั้ง จะมีผลกระทบต่อคำตอบที่เหลือนด้วย จึงทำให้การปรับค่าน้ำหนักในโครงข่ายทำได้ยาก และมีการฝึกสอนซ้ำ และผลลัพธ์ที่ได้ก็จะไม่เป็นอิสระต่อกัน เนื่องจากใช้โครงข่ายที่มีค่าน้ำหนักร่วมกัน การฝึกสอนโครงข่ายที่มี 1 คำตอบนั้น จึงน่าจะให้ผลดีมากกว่าทั้งในด้านความเร็วในการฝึกสอนและความถูกต้องที่นำไปใช้งาน

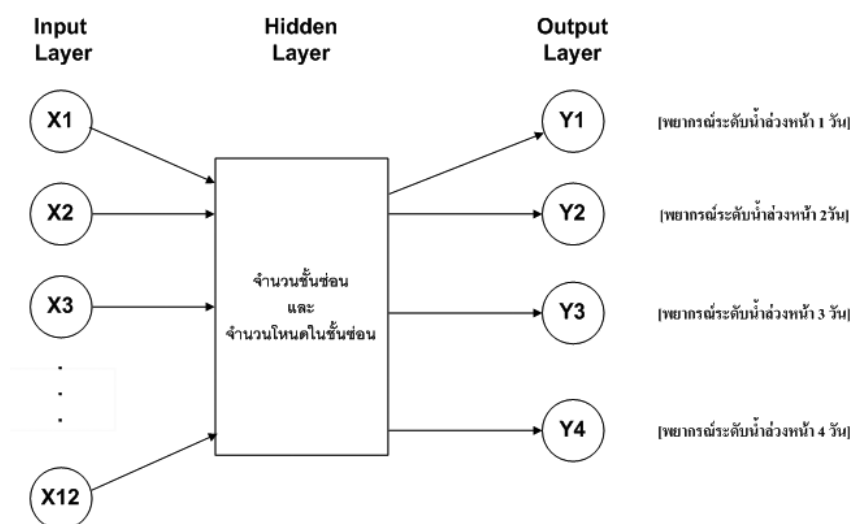
วิธีดำเนินการวิจัย

โครงข่ายประสาทเทียม

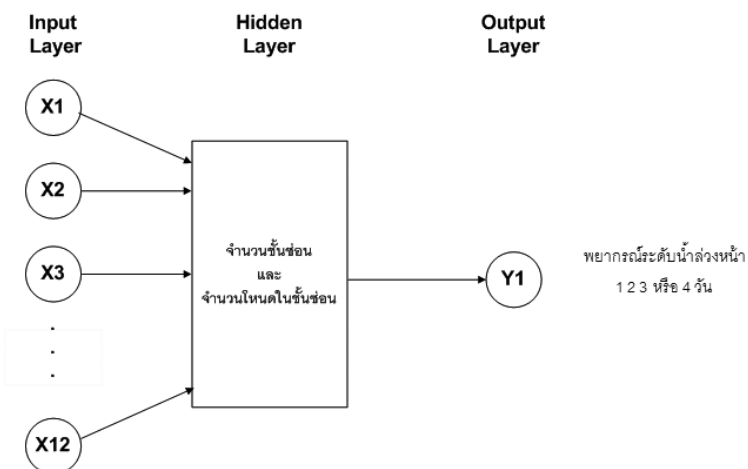
แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้แบ่งเป็น 5 แบบ คือ

1. แบบจำลองสำหรับพยากรณ์ระดับน้ำที่มีเอทพุท 4 ค่าคือ ค่าการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 - 4 วัน
 2. แบบจำลองสำหรับพยากรณ์ระดับน้ำที่มีเอทพุทเป็นการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน
 3. แบบจำลองสำหรับพยากรณ์ระดับน้ำที่มีเอทพุทเป็นการพยากรณ์ล่วงหน้า 2 วัน
 4. แบบจำลองสำหรับพยากรณ์ระดับน้ำที่มีเอทพุทเป็นการพยากรณ์ล่วงหน้า 3 วัน
 5. แบบจำลองสำหรับพยากรณ์ระดับน้ำที่มีเอทพุทเป็นการพยากรณ์ล่วงหน้า 4 วัน
- ซึ่งแบบจำลองทั้ง 5 แบบดังกล่าวมีอินพุทเป็นข้อมูลเดียวกันทั้งหมด 12 ค่า แสดงได้ดังภาพ

ที่ 5 และ 6



ภาพที่ 5 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้า 4 เอทพุท ตั้งแต่ 1 - 4 วัน



ภาพที่ 6 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้า 1 เอทพุท 1 2 3 หรือ 4 วัน

เป็นที่ทราบกันดีว่าการออกแบบโครงสร้างของโครงข่ายประสาทดื่ยม ซึ่งได้แก่จำนวนชั้นชอนและจำนวนโหนดในชั้นชอนที่เหมาะสมกับปัญหานั้น ยังไม่มีทฤษฎีที่กำหนดไว้อย่างแน่นอนและตายตัวได้ ดังนั้นการนำโครงข่ายประสาทดื่ยมมาแก้ปัญหาแต่ละแบบต้องมีการออกแบบโครงสร้างของโครงข่ายขึ้นมาเฉพาะสำหรับงานที่ใช้ เนื่องจากรูปแบบของแต่ละโครงข่ายมีผลต่อการแก้ปัญหาที่ไม่เหมือนกัน งานวิจัยนี้จึงมีวิธีการในการกำหนดจำนวนชั้นชอนและจำนวนโหนดในชั้นชอน โดยการทดลองปรับเปลี่ยนจำนวนชั้นชอนและจำนวนโหนดในชั้นชอนตามความเหมาะสม ที่ส่งผลให้ผลลัพธ์ของการพยากรณ์ที่แม่นยำที่สุด รูปแบบของการทดลองปรับเปลี่ยนดังกล่าวแสดงในผลการวิจัย

ตารางที่ 1 ชุดข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอนและเอาต์พุตจากโครงข่าย

โหนด	ค่า	สถานที่	หน่วย
Input1	ปริมาณน้ำฝน	สถานีวัดปริมาณน้ำฝน อ.จาว จ.ลำปาง	มิลลิเมตร
Input2	ปริมาณน้ำฝน	สถานีวัดปริมาณน้ำฝน อ.เมือง จ.แพร่	มิลลิเมตร
Input3	ปริมาณน้ำฝน	สถานีวัดปริมาณน้ำฝน อ.ร้องกวาง จ.แพร่	มิลลิเมตร
Input4	ปริมาณน้ำฝน	สถานีวัดปริมาณน้ำฝน อ.สอง จ.แพร่	มิลลิเมตร
Input5	ปริมาณน้ำฝน	สถานีวัดปริมาณน้ำฝน(Y20)ใกล้แม่น้ำยม อ.สอง จ.แพร่	มิลลิเมตร
Input6	ปริมาณน้ำฝน	สถานีวัดปริมาณน้ำฝน(Y1C)ใกล้แม่น้ำยม อ.เมือง จ.แพร่	มิลลิเมตร
Input7	ปริมาณน้ำฝน	สถานีวัดปริมาณน้ำฝน อ.ปง จ.พะเยา	มิลลิเมตร
Input8	ปริมาณน้ำฝน	สถานีวัดปริมาณน้ำฝน อ.เชียงม่วน จ.พะเยา	มิลลิเมตร
Input9	ความสูงของระดับน้ำ	สถานีวัดระดับน้ำ(Y20)บ้านห้วยสัก อ.สอง จ.แพร่	เมตร
Input10	ความเร็วของน้ำ	สถานีวัดระดับน้ำ(Y20)บ้านห้วยสัก อ.สอง จ.แพร่	ลบม. ต่อวินาที
Input11	ความสูงของระดับน้ำ	สถานีวัดระดับน้ำ(Y1C)บ้านน้ำโค้ง อ.เมือง จ.แพร่	เมตร
Input12	ความเร็วของน้ำ	สถานีวัดระดับน้ำ(Y1C)บ้านน้ำโค้ง อ.เมือง จ.แพร่	ลบม. ต่อวินาที
Output1	ความสูงของระดับน้ำ ล่วงหน้า 1 วัน	สถานีวัดระดับน้ำ(Y1C)บ้านน้ำโค้ง อ.เมือง จ.แพร่	เมตร
Output2	ความสูงของระดับน้ำ ล่วงหน้า 2 วัน	สถานีวัดระดับน้ำ(Y1C) บ้านน้ำโค้ง อ.เมือง จ.แพร่	เมตร
Output3	ความสูงของระดับน้ำ ล่วงหน้า 3 วัน	สถานีวัดระดับน้ำ(Y1C) บ้านน้ำโค้ง อ.เมือง จ.แพร่	เมตร
Output4	ความสูงของระดับน้ำ ล่วงหน้า 4 วัน	สถานีวัดระดับน้ำ(Y1C) บ้านน้ำโค้ง อ.เมือง จ.แพร่	เมตร

แหล่งที่มาและรูปแบบข้อมูล

ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ในการศึกษาข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย

พื้นที่ในการศึกษาข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ พื้นที่ลุ่มแม่น้ำยม แม่น้ำยมมีต้นกำเนิดมาจากตอยขุนยวม อำเภอบึง จังหวัดพะเยา ไหลจากเหนือลงใต้ ซึ่งครอบคลุมพื้นที่จังหวัดทั้งหมด 10 จังหวัด มีพื้นที่รับน้ำฝนประมาณ 23,616 ตารางกิโลเมตร แม่น้ำยมเป็นแม่น้ำสายหลักที่ไหลผ่านตัวเมืองแพร่ ความยาวลำน้ำจากต้นกำเนิดถึงตัวเมืองแพร่เท่ากับ 280 กิโลเมตร มีพื้นที่รับน้ำเหนือตัวเมือง 7,624 ตารางกิโลเมตร ลำน้ำสาขาสำคัญคือ ลำน้ำจาว จาก อำเภองาว จังหวัดลำปาง ไหลมารวมกับแม่น้ำยมในเขต อำเภอสอง จังหวัดแพร่ นอกจากนี้ ในเขตจังหวัดแพร่ยังมีลำน้ำย่อยๆ ที่ไหลลงสู่แม่น้ำยมโดยตรงกระจายอยู่ในพื้นที่ต่างๆ คิดเป็นพื้นที่ 3,228.93 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่า 759.75 ล้านลูกบาศก์เมตร คิดเป็นประมาณร้อยละ 41 ของปริมาณน้ำท่าทั้งหมดในพื้นที่ลุ่มแม่น้ำยม จังหวัดแพร่มีภูเขาล้อมรอบทั้ง 4 ด้าน เมื่อเกิดฝนตกหนัก จะทำให้ระดับน้ำและปริมาณน้ำในแม่น้ำยมสะสมตัวเพิ่มสูงขึ้นจนเกิดล้นตลิ่ง และไหลเข้าท่วมพื้นที่ลุ่มต่ำใกล้เคียง ทำให้ฤดูฝนมักเกิดปัญหาอุทกภัย โดยเฉพาะในเขตตัวเมืองแพร่ โดยอุทกภัยจะเกิดขึ้นเมื่อปริมาณน้ำเพิ่มสูงเกินความจุของลำน้ำคือ 1,000 ลูกบาศก์เมตร/วินาที และระดับน้ำวิกฤตที่น้ำจะเริ่มล้นฝั่งเข้าท่วมพื้นที่คือ ระดับน้ำที่มากกว่า 8.20 เมตร โดยวัดที่สถานีวัดระดับน้ำที่บ้านสะพานโค้ง อำเภอมะนัง จังหวัดแพร่ หรือเรียกว่าสถานี Y1C ด้วยเหตุนี้จึงทำให้จังหวัดแพร่ต้องประสบปัญหาอุทกภัยเป็นประจำทุกปี

โปรแกรมที่ใช้ในการฝึกสอนและทดสอบโครงข่าย

ในงานวิจัยนี้ ใช้โปรแกรม Matlab ในการสร้างแบบจำลอง ฝึกสอนและทดสอบโครงข่าย

ข้อมูลที่มีปัจจัยส่งผลกระทบต่อระดับน้ำที่สถานีวัดระดับน้ำ Y1C

ข้อมูลที่น่ามาใช้ในการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อพยากรณ์ระดับน้ำนั้น ล้วนเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อระดับน้ำที่สถานี Y1C ทั้งสิ้น ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 1 ข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อมูลในช่วงปี ค.ศ. 1996 - 2007 รวมจำนวนข้อมูลทั้งสิ้น 3,344 ชุด โดยแบ่งข้อมูลในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมจำนวน 1,672 รูปแบบ และข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมอีก 1,672 รูปแบบ

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่กำหนดให้กับโครงข่ายประสาทเทียมและใช้ในงานวิจัย

- กำหนดอัตราการเรียนรู้เท่ากับ 0.05
- กำหนดค่าสัมประสิทธิ์โมเมนตัมเท่ากับ 0.9
- กำหนดสมรรถนะเป้าหมาย (Goal) โดยใช้ค่า MSE เท่ากับ 0.001
- ค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบอัสเริ่มต้นที่นำมาใช้ในระบบการเรียนรู้ของโครงข่ายได้จากการสุ่มค่า

- เวลาและจำนวนรอบที่ใช้ในการฝึกสอนไม่จำกัด

- ใช้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error)

หรือ MAPE ดังสมการที่ 16 ในการวัดประสิทธิภาพการพยากรณ์ของโครงข่าย

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{Ea_i - Ef_i}{Ea_i} \right| \times 100 \tag{16}$$

เมื่อ Ea_i คือ ค่าระดับน้ำจริง (เมตร)
 Ef_i คือ ค่าระดับน้ำที่ได้จากการพยากรณ์
 N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

• วัดค่าความถูกต้องของจำนวนครั้งในการพยากรณ์ระดับน้ำในแต่ละชุดข้อมูลที่สามารถยอมรับได้โดยค่าความผิดพลาดที่สามารถยอมรับได้จะต้องไม่เกิน ± 0.5 เมตร นอกจากนี้ ยังได้ขยายช่วงความผิดพลาดที่สามารถยอมรับได้เพิ่มเติมที่ ± 0.6 และ ± 0.7 เมตรจากค่าระดับน้ำจริง

ผลการวิจัย

การทดลองนี้ทำการวัดประสิทธิภาพการพยากรณ์ระดับน้ำ โดยใช้โครงข่ายที่สามารถพยากรณ์ได้คำตอบเดียว และหลายคำตอบ โดยมีการทดลองกับโครงข่ายประสาทเทียมรูปแบบต่างๆ ในการพยากรณ์ จำนวน 20 รูปแบบ ดังตารางที่ 2 โครงข่ายแต่ละรูปแบบจะนำมาทำการพยากรณ์คำตอบแตกต่างกัน 5 ชนิด ตามแบบจำลองที่ได้นำเสนอแล้วในวิธีดำเนินการวิจัย

ตารางที่ 2 โครงสร้างของจำนวนโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการทดลอง

โครงข่ายที่	จำนวนชั้นซ่อน	จำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 1	จำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 2
1-4	1	10 20 30 และ 40 ตามลำดับ	-
5-8	2	10	10 20 30 และ 40 ตามลำดับ
9-12	2	20	10 20 30 และ 40 ตามลำดับ
13-16	2	30	10 20 30 และ 40 ตามลำดับ
17-20	2	40	10 20 30 และ 40 ตามลำดับ

ในการทดลองกับแต่ละโครงข่ายและจำนวนชั้นซ่อนที่แตกต่างกัน จะทำการทดลอง จำนวน 3 ครั้ง สามารถสรุปค่าเฉลี่ยความถูกต้อง ของการพยากรณ์ล่วงหน้าแต่ละวันที่ดีที่สุด จากการใช้โครงข่ายแบบ 1 และ 4 เอ้าท์พุท เมื่อกำหนดความผิดพลาดที่ยอมรับได้ ± 0.5 เมตร ได้ดังตารางที่ 3 ซึ่งสังเกตได้ว่า เมื่อทำการฝึกสอนโครงข่ายในรูปแบบต่าง ๆ จนถึงค่าเป้าหมายโดยใช้ค่า MSE เท่ากับ 0.001 อัตราการเรียนรู้ 0.05 และสัมประสิทธิ์โมเมนตัมเท่ากับ 0.9 ในโครงข่ายที่มีจำนวนชั้นซ่อนและจำนวนโหนดที่เท่ากัน โครงข่าย 1 เอ้าท์พุท สามารถพยากรณ์ได้ดีกว่าโครงข่าย 4 เอ้าท์พุท

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยความถูกต้องในการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์
ระดับน้ำล่วงหน้า 1-4 วัน ความผิดพลาดที่ยอมรับได้ ± 0.5 เมตร

จำนวน โหนดใน ชั้นซ่อน	วันที่ 1		วันที่ 2		วันที่ 3		วันที่ 4	
	โครงข่าย 1 output	โครงข่าย 4 output	โครงข่าย 1 output	โครงข่าย 4 output	โครงข่าย 1 output	โครงข่าย 4 output	โครงข่าย 1 output	โครงข่าย 4 output
10	71.8423	70.9778	73.6189	73.0257	73.1911	72.1937	72.2338	71.8413
20	72.6342	71.7697	74.2612	73.6680	72.1969	71.1995	72.8761	72.4836
30	76.5242	75.6597	72.5641	71.9709	74.2459	73.2485	71.1790	70.7865
40	74.5260	73.6615	71.5699	70.9767	74.8882	73.8908	70.1848	69.7923
10-10	72.3266	71.4621	72.7874	72.1942	73.3303	72.3329	72.3661	71.9736
10-20	73.1185	72.2540	71.7932	71.2000	72.3361	71.3387	73.0084	72.6159
10-30	77.3418	76.4773	73.8422	73.2490	74.3851	73.3877	71.3113	70.9188
10-40	75.0103	74.1458	74.4845	73.8913	75.0274	74.0300	70.3171	69.9246
20-10	72.2266	71.3621	72.7973	72.2041	73.4781	72.4807	72.2587	71.8662
20-20	73.0185	72.1540	71.8031	71.2099	72.4839	71.4865	72.9010	72.5085
20-30	77.2418	76.3773	73.8521	73.2589	74.5329	73.5355	71.2039	70.8114
20-40	74.9103	74.0458	74.4944	73.9012	75.1752	74.1778	70.2097	69.8172
30-10	72.4299	71.5654	73.9801	73.3869	73.6216	72.6242	72.2912	71.8987
30-20	73.2218	72.3573	74.6224	74.0292	72.6274	71.6300	72.9335	72.5410
30-30	77.4451	76.5806	72.9253	72.3321	74.6764	73.6790	71.2364	70.8439
30-40	75.1136	74.2491	71.9311	71.3379	75.3187	74.3213	70.2422	69.8497
40-10	73.0193	72.1548	73.9658	73.3726	73.6459	72.6485	72.3473	71.9548
40-20	73.8112	72.9467	74.6081	74.0149	72.6517	71.6543	72.9896	72.5971
40-30	78.7012	77.8367	72.9110	72.3178	74.7007	73.7033	71.2925	70.9000
40-40	75.7030	74.8385	71.9168	71.3236	75.3430	74.3456	70.2983	69.9058

โดยค่าเฉลี่ยความถูกต้องของการพยากรณ์ล่องหน้าแต่ละวันที่ดีที่สุด จากโครงข่ายทุกๆ แบบ เมื่อกำหนดความผิดพลาดที่ยอมรับได้ ± 0.5 เมตร เป็นดังต่อไปนี้

- การพยากรณ์ระดับน้ำล่องหน้า 1 วัน โครงข่ายแบบ 12-40-30-1 จะมีความถูกต้องของการพยากรณ์เฉลี่ยสูงที่สุดอยู่ที่ 78.7012 เปอร์เซ็นต์
- การพยากรณ์ระดับน้ำล่องหน้า 2 วัน โครงข่ายแบบ 12-30-20-1 จะมีความถูกต้องของการพยากรณ์เฉลี่ยสูงที่สุดอยู่ที่ 74.6224 เปอร์เซ็นต์
- การพยากรณ์ระดับน้ำล่องหน้า 3 วัน โครงข่ายแบบ 12-40-40-1 จะมีความถูกต้องของการพยากรณ์เฉลี่ยสูงที่สุดอยู่ที่ 75.3430 เปอร์เซ็นต์
- การพยากรณ์ระดับน้ำล่องหน้า 4 วัน โครงข่ายแบบ 12-10-20-1 จะมีความถูกต้องของการพยากรณ์เฉลี่ยสูงที่สุดอยู่ที่ 73.0084 เปอร์เซ็นต์

นอกจากการวิเคราะห์ผลจากค่าเฉลี่ยแล้ว สามารถนำค่าความถูกต้องสูงสุดของโครงข่ายแต่ละรูปแบบมาสรุปรวมกัน ได้ค่าสูงสุดของความถูกต้องของการพยากรณ์ล่องหน้า แต่ละวันที่ดีที่สุด จากโครงข่ายทุก ๆ แบบ เมื่อกำหนดความผิดพลาดที่ยอมรับได้ ± 0.5 เมตร ตามตารางที่ 4 ซึ่งสังเกตได้ว่าในโครงข่ายที่มีจำนวนชั้นซ่อนและจำนวนโหนดที่เท่ากัน ค่าสูงสุดของความถูกต้องของการพยากรณ์ระดับน้ำของโครงข่ายแบบ 1 เอาร์ทพุท สามารถพยากรณ์ได้ดีกว่าการใช้โครงข่ายแบบ 4 เอาร์ทพุท

โดยค่าสูงสุดของความถูกต้องของการพยากรณ์ล่องหน้าแต่ละวันที่ดีที่สุดจากโครงข่ายทุกๆ แบบ เมื่อกำหนดความผิดพลาดที่ยอมรับได้ ± 0.5 เมตร เป็นดังต่อไปนี้

- การพยากรณ์ระดับน้ำล่องหน้า 1 วัน จะมีความถูกต้องสูงที่สุดอยู่ที่ 82.7652 เปอร์เซ็นต์
- การพยากรณ์ระดับน้ำล่องหน้า 2 วัน จะมีความถูกต้องสูงที่สุดอยู่ที่ 78.9879 เปอร์เซ็นต์
- การพยากรณ์ระดับน้ำล่องหน้า 3 วัน จะมีความถูกต้องสูงที่สุดอยู่ที่ 79.7085 เปอร์เซ็นต์
- การพยากรณ์ระดับน้ำล่องหน้า 4 วัน จะมีความถูกต้องสูงที่สุดอยู่ที่ 77.3739 เปอร์เซ็นต์

จะเห็นได้ว่า ค่าความถูกต้องของการทำนายระดับน้ำล่องหน้า 1 วัน มีค่าสูงที่สุด และการทำนายระดับน้ำล่องหน้า 4 วันมีค่าน้อยที่สุด แต่มีค่าแตกต่างกันเพียง 5 - 6 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น นอกจากนี้ได้ทดลองเพิ่มความผิดพลาดที่ยอมรับได้ จาก ± 0.5 เมตรเป็น ± 0.6 เมตร (ตารางที่ 5) และ ± 0.7 เมตร (ตารางที่ 6) จะทำให้ค่าสูงสุดของความถูกต้องเพิ่มขึ้นดังตารางที่ 7

ตารางที่ 4 ค่าสูงสุดของความถูกต้องในการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม
ในการพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้า 1-4 วัน ความผิดพลาดที่ยอมรับได้ ± 0.5 เมตร

จำนวน	วันที่ 1		วันที่ 2		วันที่ 3		วันที่ 4	
โหนดใน ชั้นซ่อน	โครงข่าย 1 output	โครงข่าย 4 output	โครงข่าย 1 output	โครงข่าย 4 output	โครงข่าย 1 output	โครงข่าย 4 output	โครงข่าย 1 output	โครงข่าย 4 output
10	72.0904	71.2259	76.3429	75.7497	74.4838	73.4864	74.9578	74.5653
20	73.9187	73.0542	78.6267	78.0335	73.3454	72.348	77.2416	76.8491
30	78.5882	77.7237	73.8568	73.2636	76.9699	75.9725	72.4717	72.0792
40	74.824	73.9595	72.7184	72.1252	79.2537	78.2563	71.3333	70.9408
10-10	72.5747	71.7102	74.0801	73.4869	74.623	73.6256	75.0901	74.6976
10-20	74.403	73.5385	72.9417	72.3485	73.4846	72.4872	77.3739	76.9814
10-30	80.0725	79.208	76.5662	75.973	77.1091	76.1117	72.604	72.2115
10-40	75.3083	74.4438	78.85	78.2568	79.3929	78.3955	71.4656	71.0731
20-10	72.4747	71.6102	74.09	73.4968	74.7708	73.7734	74.9827	74.5902
20-20	74.303	73.4385	72.9516	72.3584	73.6324	72.635	77.2665	76.874
20-30	79.9725	79.108	76.5761	75.9829	77.2569	76.2595	72.4966	72.1041
20-40	75.2083	74.3438	78.8599	78.2667	79.5407	78.5433	71.3582	70.9657
30-10	72.678	71.8135	76.7041	76.1109	74.9143	73.9169	75.0152	74.6227
30-20	74.5063	73.6418	78.9879	78.3947	73.7759	72.7785	77.299	76.9065
30-30	80.1758	79.3113	74.218	73.6248	77.4004	76.403	72.5291	72.1366
30-40	75.4116	74.5471	73.0796	72.4864	79.6842	78.6868	71.3907	70.9982
40-10	73.2674	72.4029	76.6898	76.0966	74.9386	73.9412	75.0713	74.6788
40-20	75.0957	74.2312	78.9736	78.3804	73.8002	72.8028	77.3551	76.9626
40-30	82.7652	81.9007	74.2037	73.6105	77.4247	76.4273	72.5852	72.1927
40-40	76.001	75.1365	73.0653	72.4721	79.7085	78.7111	71.4468	71.0543

ตารางที่ 5 ค่าสูงสุดของความถูกต้องในการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม
ในการพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้า 1-4 วัน ความผิดพลาดที่ยอมรับได้ ± 0.6 เมตร

จำนวน โหนดใน ชั้นซ่อน	วันที่ 1		วันที่ 2		วันที่ 3		วันที่ 4	
	โครงข่าย 1 output	โครงข่าย 4 output	โครงข่าย 1 output	โครงข่าย 4 output	โครงข่าย 1 output	โครงข่าย 4 output	โครงข่าย 1 output	โครงข่าย 4 output
10	73.8198	72.7583	77.7710	76.9951	76.0464	75.1045	76.4076	76.0604
20	75.7981	74.4971	80.2532	79.2649	74.9181	73.9261	78.6548	78.3443
30	80.3275	79.2671	75.4451	74.4997	78.5424	77.6016	73.9045	73.5544
40	76.6531	75.5123	74.3449	73.3656	80.8663	79.8447	72.7561	72.4361
10-10	74.4031	73.2230	75.7286	74.6223	76.1976	75.2837	76.5129	76.1927
10-20	76.2627	75.0914	74.5701	73.5849	75.1572	74.1053	78.8167	78.4966
10-30	81.9019	80.7407	78.1917	77.2087	78.6017	77.7390	74.0469	73.7163
10-40	77.1147	75.9267	80.4685	79.4920	80.9654	80.0135	72.9184	72.5886
20-10	74.3245	73.1541	75.7183	74.7372	76.3424	75.4714	76.4753	76.0557
20-20	76.1520	74.9876	74.5891	73.5918	75.2158	74.2732	78.7397	78.3292
20-30	81.9159	80.6709	78.2346	77.2083	78.8297	77.8976	73.9098	73.5983
20-40	77.0453	75.8847	80.4830	79.5623	81.1033	80.1014	72.8012	72.4679
30-10	74.5264	73.2564	78.3126	77.3473	76.4963	75.5452	76.4581	76.1149
30-20	76.3251	75.1643	80.6236	79.7761	75.7445	74.4166	78.7448	78.4217
30-30	82.1152	80.8244	75.8264	74.8402	78.9738	78.0511	73.9713	73.6718
30-40	77.2517	76.0901	74.7180	73.2218	81.2565	80.3049	72.8325	72.4933
40-10	75.1062	73.9258	78.3143	77.3329	76.5110	75.5193	76.5171	76.1749
40-20	76.9301	75.7041	80.6921	79.6058	75.3726	74.4304	78.7978	78.4773
40-30	84.5376	83.9882	75.8321	74.8458	78.9943	78.0454	74.0285	73.6872
40-40	77.8504	76.6794	74.6948	73.7075	81.2811	80.3392	72.8890	72.5395

ตารางที่ 6 ค่าสูงสุดของความถูกต้องในการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม
ในการพยากรณ์ระดับน้ำล้นหน้า 1-4 วัน ความผิดพลาดที่ยอมรับได้ ± 0.7 เมตร

จำนวน	วันที่ 1		วันที่ 2		วันที่ 3		วันที่ 4	
โหนดใน	โครงข่าย	โครงข่าย	โครงข่าย	โครงข่าย	โครงข่าย	โครงข่าย	โครงข่าย	โครงข่าย
ชั้นซ่อน	1 output	4 output	1 output	4 output	1 output	4 output	1 output	4 output
10	76.1668	75.0577	79.2314	79.3442	78.2456	77.5057	78.7385	78.8567
20	78.1543	76.7851	82.4306	81.3047	77.1073	76.1671	81.0057	80.2405
30	82.6947	81.5654	77.6157	76.5494	80.7516	79.8039	76.2651	75.2506
40	78.9891	77.8114	76.5851	75.4854	83.1655	82.9461	75.1179	74.8320
10-10	76.7483	75.5213	77.8595	76.6721	78.4360	77.4850	78.8235	78.4689
10-20	78.6789	77.3101	76.7325	75.6641	77.1964	76.3567	81.6776	80.7928
10-30	84.2487	83.6394	80.3721	79.2285	80.8429	79.2404	76.4978	76.3125
10-40	79.4659	78.2756	82.1289	81.5018	83.2346	82.2159	75.2493	74.9848
20-10	76.6907	75.4328	77.5787	76.7871	78.5810	77.6720	78.3362	78.3619
20-20	78.6987	77.2662	76.9495	75.8416	77.4552	76.6746	81.1906	80.3251
20-30	84.2671	82.9656	80.3952	79.2584	81.1689	80.7099	76.2747	75.3945
20-40	79.3815	78.1432	82.2434	81.6120	83.3427	82.1028	75.1620	74.2641
30-10	76.8326	75.5971	80.4733	79.3871	78.0355	77.7666	78.8195	78.4113
30-20	78.6723	77.4638	82.7844	81.8289	77.6837	76.6189	81.5257	80.7079
30-30	84.4814	83.1230	77.9863	76.8910	81.2213	80.2735	76.3323	75.9683
30-40	79.5649	78.7858	76.8781	75.2016	83.2967	82.3063	75.1734	74.7825
40-10	77.4824	76.1243	80.4748	79.3817	78.2502	77.7206	78.8786	78.4701
40-20	79.2363	78.6128	82.6525	81.6516	77.6108	76.8318	81.3587	80.2735
40-30	86.8838	86.2865	77.9920	76.8953	81.5335	80.2168	76.0894	75.2834
40-40	80.1967	78.6785	76.8852	75.7183	83.5273	82.5406	75.2495	74.8307

ตารางที่ 7 ผลการพยากรณ์เมื่อเพิ่มค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้

จำนวนวันที่ พยากรณ์ ล่วงหน้า	ค่าสูงสุดของความถูกต้อง		
	ค่าความผิดพลาด ที่ยอมรับได้±0.5	ค่าความผิดพลาด ที่ยอมรับได้±0.6	ค่าความผิดพลาด ที่ยอมรับได้±0.7
1	82.7652	84.5376	86.8838
2	78.9879	80.6236	82.7844
3	79.7085	81.2811	83.5273
4	77.3739	78.8167	81.6776

สรุปผล

การพยากรณ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่มีผลลัพธ์หลายเอาร์ทพุท ควรทำการฝึกสอนโครงข่ายให้พยากรณ์แต่ละเอาร์ทพุท จะได้ผลดีกว่าพยากรณ์ค่าตอบร่วมกันโดยใช้โครงข่ายเดียว และโครงข่ายที่เหมาะสมสำหรับแต่ละเอาร์ทพุทนั้นอาจมีรูปแบบที่ไม่เหมือนกัน โดยจะต้องทำการทดลองเพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมแยกจากกัน แต่อย่างไรก็ตาม การใช้โครงข่ายที่มีจำนวน 2 ชั้นซ้อนจะได้ผลดีกว่าการใช้โครงข่ายที่มีเพียงชั้นซ่อนเดียว

โครงข่ายที่เหมาะสมที่สุดในการทำนายระดับน้ำล่วงหน้า 1 วัน มีโครงสร้างเป็น 12-40-30-1 มีความถูกต้องของการพยากรณ์สูงที่สุดอยู่ที่ 82.77% การพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้า 2 วัน โครงข่ายที่เหมาะสมมีโครงสร้างเป็น 12-30-20-1 มีความถูกต้องของการพยากรณ์ 78.99% การพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้า 3 วัน โครงข่ายที่เหมาะสมมีโครงสร้างเป็น 12-40-40-1 มีความถูกต้องของการพยากรณ์ 79.71% การพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้า 4 วัน โครงข่ายที่เหมาะสมมีโครงสร้างเป็น12-10-20-1 มีความถูกต้องของการพยากรณ์ 77.37% โดยหากเพิ่มค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้เป็น ± 0.7 เมตรจะทำให้มีความถูกต้องของการพยากรณ์เพิ่มขึ้นอีก 4% โดยประมาณ

ในการทดลอง นอกจากจำนวนเอาร์ทพุทและจำนวนโหนดในชั้นซ่อนแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นๆ อีกมากในการทดสอบ เช่น อัตราการเรียนรู้ สัมประสิทธิ์โมเมนตัม ค่าเป้าหมาย หรือแม้แต่ลำดับของอินพุทที่เหมาะสม ในการทำนายระดับน้ำล่วงหน้า นอกจากปัจจัยเรื่องโครงข่ายแล้ว ข้อมูลอินพุทก็มีส่วนสำคัญ โดยข้อมูลที่น่ามาใช้ในการฝึกสอนโครงข่ายสำหรับการพยากรณ์ล่วงหน้าในแต่ละวันนั้น อาจจะต้องมีการปรับเปลี่ยนอินพุทที่เหมาะสมของแต่ละวันตามไปด้วย นอกจากนี้แล้วชุดข้อมูลที่น่ามาใช้อาจต้องจัดกลุ่มข้อมูลที่เหมาะสม เช่น จัดกลุ่มตามฤดูกาล หรือ เดือน และทำการฝึกสอนโครงข่ายแยกจากกัน เพื่อให้ชุดข้อมูลมีลักษณะแตกต่างกัน และไม่มีผลกระทบในโครงข่ายเดียวกัน ซึ่งการใช้ข้อมูลอินพุทหลายตัวที่มีความสัมพันธ์ต่อกัน อาจทำให้โมเดลที่ได้มีผลขึ้นกับปัจจัยเหล่านั้นมากเกินไป นอกจากนี้ ในการปรับโครงสร้างของโครงข่าย อาจจะใช้วิธีการ Pruning หรือการ Growing โครงสร้างของโครงข่าย เพื่อให้สามารถหาโครงข่ายที่เหมาะสมได้ละเอียดขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- ธีรพันธุ์ เด็ดขาด. 2545. การศึกษาสภาพน้ำท่วมในลุ่มน้ำลำพั้งชู โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE11. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นัทธี ไร่บาป. 2548. การพยากรณ์ระดับน้ำลงที่ปากแม่น้ำเจ้าพระยาโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สมยศ ตั้งเจริญจิตกุล. 2547. การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายระดับน้ำแม่น้ำปิง ณ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อกนิษฐ์ อรุณพิทักษ์พันธ์. 2549. การทำนายระดับน้ำท่วมของแม่น้ำปิง จากสถานี P.67 ถึงสะพานนวรัฐในจังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- Wassermann P. D. 1989. Neural Computing Theory and Practice. New York : Van Nostrand Reinhold Co.
- Zurada J. M. 1992. Introduction to Artificial Neural System. San Francisco: West Publishing Company.