

การศึกษาระบบควบคุมปริมาณน้ำให้กับพืชระยะสั้นด้วยโครงข่ายประสาทเทียม

Study of water content control systems for short-lived vegetables using neural networks

วิรัช กองสิน^{1*}
Wiruch Kongsin^{1*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้น้ำในภาคการเกษตรในบางพื้นที่การใช้น้ำมีความจำเป็นมาก แต่ปริมาณน้ำมีอย่างจำกัด งานวิจัยนี้จะทดลองกับผักคะน้า ซึ่งเป็นพืชระยะสั้นที่จังหวัดสุพรรณบุรี นิยมเพาะปลูกและบริโภคกันอย่างกว้างขวางในหลายอำเภอ จึงมีแนวคิดในการลดอัตราการใช้น้ำในการปลูกผักคะน้าเพื่อเพิ่มผลผลิต ในการทดลองจะปลูกผักคะน้าในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงมิถุนายน ที่อำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี โดยใช้พันธุ์แม่โจ้ 1 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่นิยมปลูก โดยวิธีการหว่านซึ่งแบ่งเป็น 2 แปลง แต่ละแปลงมีขนาดกว้าง 2 เมตร ยาว 3 เมตร ซึ่งอยู่ภายในโรงเรือนแบบมุ้งทรงหลังคาโค้ง แปลงแรกใช้ระบบให้น้ำแบบตั้งเวลาและแปลงที่สองใช้ระบบให้น้ำแบบโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งแปลงแรกปริมาณการใช้น้ำของผักคะน้าคำนวณจากสูตร Penman Monteith ในเดือนพฤษภาคมอยู่ที่ 26.08 ลิตรต่อวัน และเดือนมิถุนายนอยู่ที่ 21.60 ลิตรต่อวัน แปลงที่สองปริมาณการใช้น้ำของผักคะน้าจะพยากรณ์จากโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้ข้อมูลตัวแปรจากสูตร Penman Monteith และข้อมูลจากเซ็นเซอร์ร่วมกัน โดยเก็บผลการทดลองทุก 7 วัน เพื่อวัดปริมาณน้ำรวมต่อสัปดาห์ จากการเปรียบเทียบปริมาณน้ำรวมจากแบบโครงข่ายประสาทเทียมจะใช้น้ำน้อยกว่าแบบระบบตั้งเวลาอยู่ที่เฉลี่ยประมาณ 53.78 ลิตรต่อสัปดาห์ในเดือนพฤษภาคม และ 51.54 ลิตรต่อสัปดาห์ในเดือนมิถุนายน เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักของผักคะน้าไม่แตกต่างกันมากอยู่ที่ประมาณ 0.02 กรัม จากการทดลองทำให้ทราบว่าแบบโครงข่ายประสาทเทียมสามารถลดปริมาณการใช้น้ำในการปลูกผักคะน้าได้จริง

คำสำคัญ: พืชระยะสั้น ระบบโครงข่ายประสาทเทียม ผักคะน้า

Abstract

The purpose of this research was to improve the efficacy of water use in agriculture especially in the areas with limited water sources. This research focused on how to decrease amount of water to the Chinese kale, one of the most popular vegetable plant of Suphanburi, while the crop production was unaffected. The experiments were done in May and June at Samchuk district, Suphanburi province. The variety of Maejo 1 of Chinese kale was used in this research. The seeds were sowed into two beds of size 2×3 meters located in the mosquito net curved roof. The first bed treated the water by using a timer, while the other bed treated the water by using a neural network. For the first bed, after the calculation using Penman-Monteith formula, 26.08 and 21.60 liters of water per day are used in

¹ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี 72130

¹ Faculty of Industrial Education, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Suphanburi Campus, 72130

* Corresponding author. E-mail: wiruch.k@rmutsb.ac.th

May and June accordingly. However, in the other bed that used a neural network water treatment, the Penman-Monteith formula and data from the sensors every 7 days, are used to forecast the required amount of water. After the calculation, the second bed required less amount of water than the first bed by 53.78 liters per week in May and 51.54 liters per week in June. However, the average weight of the kales produced from two methods were slightly different by 0.02 gram only. Therefore, the neural network could be used to reduce the amount of treatment water.

Keywords: short-lived vegetables, neural network, Chinese kale

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม และมีการปลูกพืชหลายชนิด ถ้าจะจำแนกพืชตามอายุ แบ่งได้ 3 ประเภท คือ พืชปีเดียวหรือพืชระยะสั้น เช่น ถั่ว พักทอง ผักกาดขาวและอื่นๆ ที่มีอายุไม่เกิน 1 ปี เป็นอย่างมาก พืชค้างปีหรือพืชระยะกลางเช่น พริก ชะอม ข่า ตะไคร้และอื่นๆ ที่มีอายุไม่เกิน 2 ปีเป็นอย่างมาก พืชยืนต้นหรือพืชระยะยาวเช่น มะม่วง มะพร้าว และอื่นๆ ที่มีอายุเกิน 2 ปี การจะให้พืชเติบโตสมบูรณ์และให้ผลผลิตดีมีปัจจัยที่สำคัญหลัก คือ ธาตุอาหารในดิน ที่สมบูรณ์ ปริมาณแสงที่เหมาะสม และที่สำคัญอันดับต้นคือปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่ต้นพืชได้รับ ถ้าปริมาณน้ำที่ต้นพืชได้รับมากเกินไปจะไล่อากาศภายในดินและเป็นสภาพเอื้อต่อการเกิดเชื้อราและแบคทีเรียซึ่งเป็นอันตรายต่อระบบรากพืชทำให้ต้นพืชไม่แข็งแรงและตายในที่สุด ถ้าปริมาณน้ำที่ต้นพืชได้รับน้อยเกินไปจะทำให้ใบเหี่ยวเนื่องจากน้ำในดินมีไม่พอที่รากจะดูดไปเลี้ยงลำต้น ในช่วงที่มีการคายน้ำมาก ทำให้ขาดน้ำที่เสียไปไม่ทันทำให้ใบเหี่ยวประสิทธิภาพในการปรุงอาหารของต้นพืชลดลงอาจส่งผลถึงการเจริญเติบโตและคุณภาพของผลผลิตที่พืชผลิตออกมาจากนั้นพืชแต่ละชนิดยังใช้น้ำในการเจริญเติบโตที่ไม่เท่ากัน (จำริญ ยืนยงสวัสดิ์, 2543) งานวิจัยนี้ใช้คะแนนในการทดลองซึ่งเป็นผักที่

นิยมเพาะปลูกและบริโภคกันอย่างกว้างขวางในหลายอำเภอ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในเขต อำเภอบางปลาม้า อำเภอดอนเจดีย์ อำเภอสองพี่น้อง อำเภอเมือง และอำเภอด่านช้าง สามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี ค่ะน้ำมีระยะเวลาในการเพาะปลูกเพียงแค่ 45-55 วัน หลังจากนั้นก็เริ่มทยอยออกผลผลิตและสามารถเก็บผลผลิตได้ จากข้อมูลปี 2542 และ ปี 2543 จังหวัดสุพรรณบุรี มีพื้นที่ปลูกผักทั้งสิ้น 16,393 ไร่ ผลผลิตรวมประมาณ 34,605 ตัน ซึ่งถือว่าจังหวัดสุพรรณบุรีเป็นแหล่งผลิตผักที่มีผลผลิตค่อนข้างมาก และมีการผลิตต่อเนื่องตลอดปี รวมทั้งอยู่ใกล้กับตลาดรับซื้อและกระจายผลผลิตผักที่สำคัญ เช่น ตลาดผักผักอ่างทอง ตลาดไท ตลาดสี่มุมเมือง เป็นต้น มีการคมนาคมขนส่งผักผลผลิตการเกษตรและปัจจัยการ ผลิตที่สะดวกสบาย จึงทำให้ทุกพื้นที่ของจังหวัดสุพรรณบุรี มีศักยภาพในการผลิตผักได้ดีสิ่งที่เกษตรกรที่ปฏิบัติโดยทั่วไป ได้แก่ การปรับปรุงคุณภาพและความปลอดภัยจากสารพิษในการผลิตผัก ซึ่งเป็นที่ต้องการของตลาดเพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน (ไพฑูรย์ รื่นสุข, 2547)

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นจึงมีแนวคิด ศึกษารวบรวมให้น้ำที่เหมาะสมแก่ต้นพืชโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมช่วยในการพยากรณ์การให้น้ำแก่พืชอย่างเหมาะสมใน สภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป โดยโครงข่ายประสาทเทียมเป็นแบบจำลองทาง

คณิตศาสตร์ที่จำลองการทำงานของระบบประสาททางชีวภาพซึ่งประกอบด้วยหน่วยปฏิบัติการพื้นฐานหลายหน่วยมาเชื่อมต่อกัน เหมาะสำหรับนำมาใช้กับการควบคุมสิ่งแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ งานวิจัย ศุภพัทธพร คำบ่อ (2556) นำเสนอแบบจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเขียวโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้ถั่วงอกเป็นตัวอย่งในการทดลองตัวแปรที่ใช้ทดสอบประกอบด้วย อัตราปุ๋ย การให้น้ำ อุณหภูมิสะสมปริมาณน้ำฝน ความเข้มแสง โดยใช้ข้อมูล 162 ชุด ใช้ข้อมูล 108 ชุดข้อมูลเพื่อฝึกและ 54 ชุดข้อมูลสำหรับทดสอบโครงข่ายในการพยากรณ์ ผลการพยากรณ์ยังไม่ค่อยแม่นยำเท่าที่ควรเกิดจากข้อมูลที่ให้มีจำนวนน้อยเกินไป งานวิจัย พรพนวิภา อรุณจิตต์, นาวิ โกรธกล้า, และปิจิราวุธ เียงจินดา (2558) นำเสนอโรงเรียนปลูกผักอัตโนมัติโดยควบคุมปริมาณการให้น้ำกับพืช โดยอาศัย การวัดความเข้มแสง ความชื้นสัมพัทธ์ อากาศ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นในดิน โดยผักกาดหอมเป็นตัวอย่งในการทดลอง จากการทดลองพบว่าน้ำหนักที่ปลูกในโรงเรียนมากกว่าปลูกกลางแจ้ง 100.80 กรัม (น้ำหนักสด) งานวิจัย ศุภโชค แสงสว่าง (2559) นำเสนอการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมกับงานด้านการเกษตรเนื่องจากระบบมีการปรับเปลี่ยนตัวเองระหว่างการเรียนรู้และนิยมใช้หาความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตามไม่ว่าจะเป็นการใช้เพื่อจำแนกแยกแยะ หรือการทำนายค่าของผลลัพธ์ที่อาจจะเกิดขึ้น จึงเหมาะกับการงานในด้านการเกษตรหลายด้าน

วิธีการศึกษา

1. หลักการที่ใช้ออกแบบระบบ

1.1 โครงข่ายประสาทเทียม (neural network) (พญง มีสัจ, 2551)

การจำลองการทำงานของโครงข่ายประสาทของมนุษย์ (biological neurons) ซึ่งประกอบด้วยส่วนของการประมวลผลที่เรียกว่านิวรอน (neurons) ทุกๆ นิวรอนสามารถมีอินพุตได้หลายอินพุตแต่มีเอาต์พุตเพียงเอาต์พุตเดียว และทุกๆ เอาต์พุตจะแยกไปยังอินพุตของนิวรอนอื่นๆ ภายในโครงข่ายการติดต่อกันภายในระหว่างนิวรอนไม่ใช่ลักษณะการตอบแบบธรรมดาทุกๆ อินพุตจะมีน้ำหนักเป็นตัวกำหนดกำลังของการติดต่อภายในและช่วยในการตัดสินใจ เมื่อมาสร้างทฤษฎีทางคณิตศาสตร์และจำลองการทำงานในรูปแบบพื้นฐานโดยใช้ชื่อว่าโครงข่ายประสาทเทียมโครงข่ายประสาทเทียมแบบง่ายจะมีค่าอินพุตเป็นสเกลาร์หนึ่งอินพุต โดยไม่มีค่าเอนเอียงหรือไบแอส (bias) โดยค่าอินพุตสเกลาร์ p ถูกป้อนเข้าผ่านจุดต่อและคูณกับค่าความแข็งแรง (strength) ซึ่งเป็นค่าน้ำหนักสเกลาร์ (scalar weight : w) และได้ผลคูณเป็นค่าสเกลาร์ wp กลายเป็นค่าอินพุตที่ถูกจัดน้ำหนัก (weighted input : wp) ส่งต่อไปยังฟังก์ชันถ่ายโอน (transfer function : f) ซึ่งเกิดเป็นค่าเอาต์พุตสเกลาร์ (scalar output : a) ดังแสดง (Figure 1) ซึ่งสามารถคำนวณค่าเอาต์พุต a ได้จากสมการ

$$n = wp \quad (1)$$

$$a = f(n) \quad (2)$$

จาก (Figure 1) แสดงโครงข่ายประสาทเทียมแบบง่ายที่มีค่าอินพุตเป็นสเกลาร์หนึ่งอินพุต และมีค่าเอนเอียง b ซึ่งมีอินพุตเป็น 1 โดยค่าสเกลาร์เอาต์พุตสามารถคำนวณได้จากสมการ

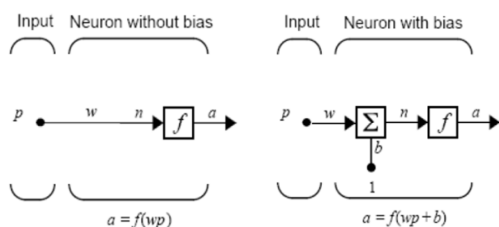


Figure 1 Neural network. (พยุ่ง มีสีจ, 2551)

ในที่นี้ f เป็นฟังก์ชันถ่ายโอน ตัวอย่างเช่น ฟังก์ชันซิกมอยด์ และฟังก์ชันชกมอยด์ เป็นต้น ทำหน้าที่รับค่าอินพุต n ($n = wp$ หรือ $n = wp + b$) เพื่อเปลี่ยนเป็นค่าเอาต์พุต a ($a = f(n)$) สำหรับค่าน้ำหนัก w และค่าไบแอส b เป็นค่าพารามิเตอร์ของโครงข่ายประสาทเทียมที่สามารถปรับได้ จุดศูนย์กลางแนวคิดเกี่ยวกับโครงข่ายประสาทเทียมก็คือค่าพารามิเตอร์ w และ b สามารถปรับเปลี่ยนได้เพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมแสดงพฤติกรรมตามที่เราต้องการ ตัวอย่างเช่น การจดจำสิ่งที่เคยเรียนรู้มาก่อน ดังนั้นเราสามารถสอนโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อให้ทำงานที่เราต้องการโดยการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ น้ำหนักและไบแอสของโครงข่ายประสาทเทียมหรือบางทีโครงข่ายประสาทเทียมจะปรับพารามิเตอร์เพื่อให้ได้สิ่งคาดหวังด้วยตัวเองอย่างอัตโนมัติ

1.2 อัลกอริทึมการเรียนรู้แบบแพร่กลับ (back-propagation algorithm) (พยุ่ง มีสีจ, 2551)

back-propagation เป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทวิธีหนึ่งที่ยินยอมใช้ใน multilayer perceptron เพื่อปรับค่าน้ำหนักในเส้นเชื่อมต่อระหว่างโหนดให้เหมาะสม โดยการปรับค่านี้อาจขึ้นกับความแตกต่างของค่าเอาต์พุตที่คำนวณได้กับค่าเอาต์พุตที่ต้องการ พิจารณาภาพต่อไปนี้ประกอบดัง (Figure 2)

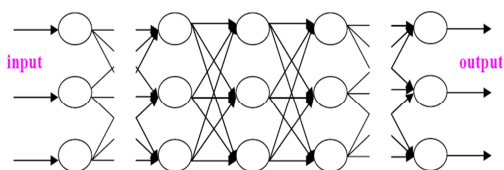


Figure 2 Back-propagation neural network. (พยุ่ง มีสีจ, 2551)

1.3 การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยอาศัยข้อมูลภูมิอากาศ (ส่วนการใช้น้ำชลประทาน, 2554)

การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยอาศัยข้อมูลภูมิอากาศหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (reference crop evapotranspiration: ETo) อาจทำได้หลายวิธีด้วยกัน ซึ่งสูตรที่ใช้จะขึ้น อยู่กับความละเอียดถูกต้องของผลลัพธ์ข้อมูลภูมิอากาศที่มีอยู่และความสามารถในการนำไปใช้งาน ฯลฯ สูตรหรือวิธีการที่นิยมใช้กันในงานด้านชลประทานและเกษตรชลประทานซึ่งเป็นที่ยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลายมีอยู่ด้วยกัน 7 วิธีการคือ modified Penman, Pan method, Penman Monteith, Blaney Criddle, Thornthwaite, Hargreaves และ radiation ซึ่งข้อมูลที่ต้องการ รายละเอียดของ

สูตร รวมทั้งวิธีการคำนวณ ดังนั้นข้อมูลที่ใช้คำนวณสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ

1) ข้อมูลสภาพภูมิประเทศ

ข้อมูลที่สำคัญของสภาพภูมิประเทศหรือทำเลที่ตั้งของสถานที่ที่ทำการคำนวณได้แก่จุดพิกัดเส้นรุ้ง (latitude) จุดพิกัดเส้นแวง (longitude) และค่าความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง (altitude above mean sea level; MSL) เป็นต้น

2) ข้อมูลภูมิอากาศหรือสถิติอุณหภูมิตาม

ข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่นำมาใช้ เป็นข้อมูลเฉลี่ยเป็นรายวัน รายสัปดาห์หรือรายเดือนก็ได้แล้วแต่ช่วงการทดลองหรือความละเอียดของผลงานที่ต้องการ ข้อมูลที่สำคัญๆ สำหรับใช้ในการคำนวณ ได้แก่

(1) อุณหภูมิของอากาศ (air temperature; °C)

สามารถแยกออกเป็น อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย อุณหภูมิเฉลี่ย

(2) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (relative humidity; %)

(3) ความเร็วลมที่ระดับความสูง 2 เมตรจากพื้นดิน (wind speed at 2.00 m. above ground; กิโลเมตรต่อวัน)

(4) ชั่วโมงแสงแดด (sunshine duration; ชั่วโมงต่อวัน)

(5) การระเหยของน้ำจากอ่างวัดการระเหยแบบ class A pan (evaporation; มิลลิเมตรต่อวัน)

นอกจากนี้ ในกรณีที่ข้อมูลที่ต้องการดังที่กล่าวมาเกิดขาดหายไปเนื่องจากไม่ได้ทำการตรวจวัดหรือเครื่องมือตรวจวัดชำรุด ก็สามารถให้ข้อมูลตัวอื่นนำมาปรับเปลี่ยนหรือแปลงค่าให้แทนกันได้ เช่น

(1) ค่าความครึ้ม ของเมฆ (cloudiness; 0-10) สามารถใช้แทนค่าชั่วโมงแสงแดด

(2) ค่าความสูงจากพื้นดินของเครื่องมือวัดความเร็วลม (height of wind vane; m.) ใช้แทนความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับความสูง 2 เมตร จากพื้นดิน ปริมาณการใช้น้ำของคณะ (ET)

$$ET = K_c * ET_o \quad (3)$$

ปริมาณใช้น้ำของพืชอ้างอิงหาได้จากสมการการคำนวณจากสูตร Penman Monteith และค่าสัมประสิทธิ์พืช (K_c) ในสูตร Penman Monteith (ประสิทธิภาพ เมฆอรุณ, 2558) ของผักคะน้าคือ 0.69 (กลุ่มงานวิจัยการใช้น้ำชลประทาน, 2554)

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 U_2)} \quad (4)$$

2. การออกแบบและการทดลอง

2.1 การออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการให้น้ำผักคะน้า

วิธีการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมที่เลือกใช้ในการศึกษาค้นครั้งนี้เป็นแบบแพร่ย้อนกลับซึ่งอยู่ในกลุ่มของ multilayer feed forward neural networks (MLFF) ซึ่งแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีวิธีการพยากรณ์ประยุกต์มาจากการวิจัยการพยากรณ์ระดับน้ำโดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมด้วยข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลอง (ยุพิน ไชยสมภาร, และ ทวี ชัยพิมลสิน, 2556) และงานวิจัยการทำนายสภาพแวดล้อมของการผลิตข้าวสาลีในอิหร่านโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Khoshnevisan, Rafiee, Omid, & Yousefi, 2013) โดยในการเตรียมข้อมูลการทดลองเบื้องต้น คือข้อมูล อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย อุณหภูมิเฉลี่ย ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเฉลี่ย ชั่วโมงแสงแดด ความเร็วลมเฉลี่ยที่

ระดับความสูง 2 เมตร จากพื้นดิน พิกัดเส้นรุ้ง พิกัดเส้นแวงประกอบด้วย 9 ตัวแปร รวมจำนวนชุดข้อมูลทั้งหมด 56 ชุดข้อมูล โดยแบ่งเป็น 39 ชุดข้อมูลในการฝึกสอนและ 17 ชุดข้อมูลสำหรับทดสอบโครงข่ายในการพยากรณ์ ซึ่งเป็นค่าในตารางการคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงโดยวิธี Penman Monteith ในเดือนพฤษภาคมถึงมิถุนายนเป็นข้อมูลของอำเภอสามชูก จังหวัดสุพรรณบุรี (ส่วนการใช้น้ำชลประทาน, 2554) เป็นข้อมูลอินพุตและใช้สูตร Penman Monteith หาปริมาณใช้น้ำของพืชอ้างอิง และนำข้อมูลจากสูตรไปหาปริมาณการใช้น้ำของคณะ (ET) โดยค่าสัมประสิทธิ์พืช (Kc) ในสูตร Penman Monteith ของผักคะน้าคือ 0.69 เป็นข้อมูลเป้าหมาย ใช้กล่องเครื่องมือโครงข่ายประสาทเทียม (neural network toolbox) ของโปรแกรม MATLAB เพื่อทำการฝึกสอนและทดสอบ โดยโครงสร้างของโครงข่ายทางด้านอินพุตมีจำนวน 9 หน่วยย่อย มีจำนวนชั้นซ่อน 1 ชั้น มี 10 หน่วยย่อย (node) และมีจำนวนชั้นเอาต์พุต 1 ชั้น มี 1 หน่วยย่อย และกำหนดฟังก์ชันการถ่ายโอน (transfer function) ในชั้นซ่อนและชั้นส่งออก คือ purelin (linear transfer function) เพื่อหาค่าน้ำหนักสำหรับที่ใช้กับโครงข่ายประสาทเทียม

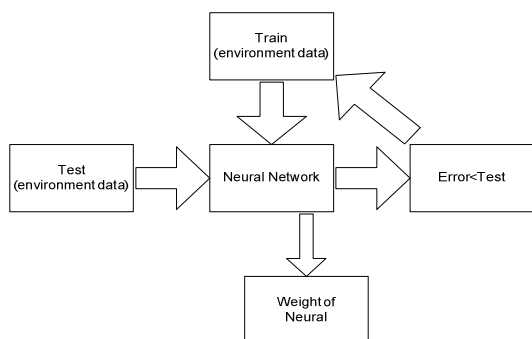


Figure 3 The weight applied to the neural network.

จาก (Figure 3) เป็นวิธีการหาค่าน้ำหนักที่จะใช้กับโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้โปรแกรม MATLAB ในการคำนวณหาค่า โดยวิธีการคือจะแบ่งข้อมูลเป็น 2 ชุด ชุดแรกใช้ในการฝึกสอนโครงข่าย ชุดที่สองใช้ในการทดสอบโครงข่าย ขั้นตอนคือนำข้อมูลชุดแรกมาฝึกสอนโครงข่ายก่อน แล้วจึงข้อมูลชุดที่สองนำทดสอบทำซ้ำจนกว่าข้อมูลเอาต์พุตจะมีความผิดพลาดน้อยที่สุดโดยในงานวิจัยนี้กำหนดให้ค่าผิดพลาดที่ยอมรับได้อยู่ที่ 0.01 โดยค่าที่ได้จะประกอบไปด้วยน้ำหนักของโหนดชั้นซ่อนจำนวน 90 ค่า และโหนดชั้นเอาต์พุตจำนวน 10 ค่า

จาก (Figure 4) เป็นการนำค่าน้ำหนักที่จากการคำนวณด้วย MATLAB ใส่ลงในโค้ดโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับใช้ควบคุมปริมาณน้ำและโปรแกรมลงในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino MEGA 2560 R3 เพื่อควบคุมการตัดสินใจในการให้น้ำผักคะน้า โดยการทำงานจะใช้ข้อมูล 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการวัดประกอบด้วย เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ เซ็นเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ โดยจะทำการเก็บค่าข้อมูลทุกๆ 1 ชั่วโมง ตั้งแต่ 6.00-17.00 น. เป็นเวลา 12 ชั่วโมงของทุกวัน จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะนำข้อมูลที่ได้ไปทำการคำนวณเพื่อหาข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย อุณหภูมิเฉลี่ย ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเฉลี่ย ในส่วนที่สองจะเป็นค่าข้อมูลในตารางการคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงโดยวิธี Penman Monteith เมื่อได้ข้อมูลครบ 9 ค่า แล้วก็จะป้อนให้โครงข่ายประสาทเทียมทำการตัดสินใจเลือกปริมาณการให้น้ำกับผักคะน้า ดัง (Figure 5)

```

10 float hiddenLayerWeights[numberHiddenNeurons][numberSensorInputs]= {
11 {-1.2262, 1.05, 1.4817, -0.89545, -1.1397, 0.38744, -0.020933, -0.81584, -0.52021},
12 {1.4286, -1.004, -0.72277, 1.0131, 0.38592, -2.2149, -1.5368, -1.9849, 0.62698},
13 {1.2863, -0.78718, 1.8997, 0.45466, -0.011118, 0.36531, -0.40409, 1.8675, 0.23404},
14 {-2.7393, 1.4688, -1.908, 0.13578, 0.18485, -0.00027542, -0.19869, 1.3232, 1.3232},
15 {-0.70137, 1.4999, 1.6703, 0.55886, -0.80401, -1.1397, 0.38744, -0.020933, -0.81584},
16 {-0.51241, 2.2404, -0.9548, -1.8466, 0.38592, -2.2149, -1.5368, -1.9849, -0.52021},
17 {2.2025, -0.51816, -1.4209, 1.2877, -0.011118, 0.18485, 0.80401, 0.36531, 0.62698},
18 {-0.81613, -1.5868, -1.1508, 1.2018, -0.00027542, -0.19869, 1.3232, 1.8675, 0.62698},
19 {1.4245, -1.7474, 1.3858, -1.4448, -0.40409, 0.23404, 0.067905, -1.0055, 0.60044},
20 {-1.4854, -1.6546, 0.0099145, -0.085547, -2.4694, -1.3629, -0.75126, 0.011252, -0.44107}};
21 float hiddenLayerBias[numberHiddenNeurons]= {2.6961,-2.5013,-2.1378,2.9425,0.85849,0.080019,0.37114,-1.2822,2.1043,-2.7074};
22
23 float outputLayerWeights[numberHiddenNeurons]= {0.54795,-1.5799,0.76007,-3.6537,0.70312,-1.4192, 0.96299,-0.084448,1.7179,-0.19604};
24 float outputLayerBias = 1.6513;

```

Figure 4 The weight of the neural network computing with MATLAB.

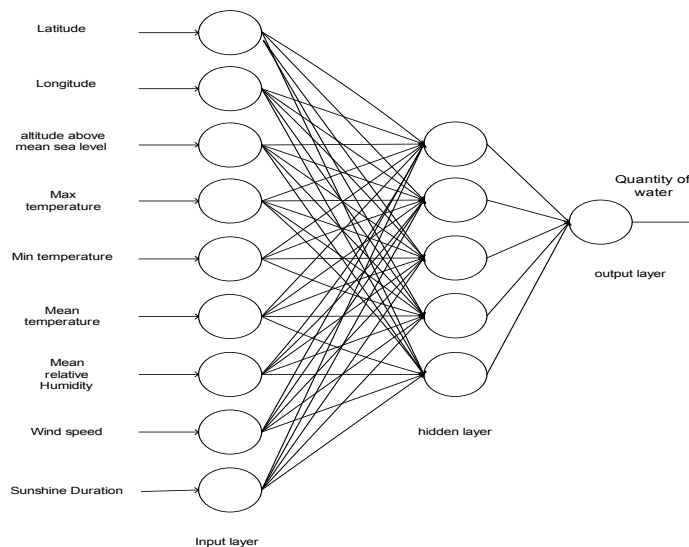


Figure 5 Neural network diagram of this research.

2.2 การทดลอง

การทดลองใช้ผักคะน้าพันธุ์แม่ไฉ้ 1 เป็นพันธุ์ที่มีลักษณะตรงกับความต้องการของผู้บริโภคลำต้นเป็นลำต้นเดี่ยวอวบ ส่วนกลางป่องใหญ่ ใบเรียบปลายใบแหลม

ตั้งขึ้น ก้านใบบาง ช่วงข้อยาว มีน้ำหนักส่วนที่เป็นลำต้นและก้านมากกว่าใบ ให้ผลผลิตสูงทุกภาคตลอดปี อายุการเก็บเกี่ยวประมาณ 45-48 วัน ขนาดลำต้นสูงเฉลี่ย 33-40 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้น

ส่วนที่ใหญ่ที่สุด คือ 2 เซนติเมตร จำนวนใบต่อดันเฉลี่ย 9 ใบ น้ำหนักเฉลี่ยต่อดัน 143 กรัมเป็นพันธุ์ที่ต้านทานต่อโรค (ประสิทธิ์ กาบจันทร์, 2557) ลำต้นแตกทำการปลูกในโรงเรือนปลูกพืชแบบทรงหลังคาโค้ง ความกว้าง 3 เมตร ความยาว 8 เมตร สูง 2.5 เมตร เป็นเหล็กกล้าปาวไนซ์ ขนาด 3 ต่อ 4 นิ้ว ความหนา 1.5 มิลลิเมตร อายุการใช้งาน 9-10 ปีขึ้นไป วัสดุคลุมโรงเรือน คลุมด้วยตาข่ายกันแมลงสีขาวความถี่ 20 ตามอายุการใช้งาน 3-5 ปี โดยประมาณ การระบายอากาศ อาศัยการถ่ายเทอากาศจากด้านข้างโรงเรือน ผ่านตาข่ายกันแมลงโครงสร้างโรงเรือนทั้งหมดเป็นแบบน็อคดาวน



Figure 6 Chinese kale greenhouses and the control system of water.

จาก (Figure 6) แสดงโรงเรือนปลูกผักคะน้า และตู้ระบบควบคุมโดยออกแบบให้ภายในโรงเรือนใช้หัวน้ำเหวี่ยงขนาดเล็ก (mini-sprinkler) เป็นหัวจ่ายน้ำที่มีลักษณะการเกิดฝอยละอองน้ำเนื่องจากน้ำถูกความดันบีบผ่านรูฉีดไปกระทบกับตัวเหวี่ยง (rotor) ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่มีการหมุนเหวี่ยงจนเม็ดน้ำ กระจายออกไปรอบๆ หัวจ่ายน้ำชนิดนี้สามารถให้น้ำเป็นวงกว้าง 4-10 เมตร (วันชัย คุปวานิชพงษ์, 2555) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 แปลงโดยแต่ละแปลงมีขนาด 2×3 เมตร ซึ่งแปลงปลูกที่ 1 อยู่ทางด้านท้ายของโรงเรือนและแปลงปลูกที่ 2 อยู่ทางด้านทางเข้า

ของโรงเรือน โดยด้านข้างของโรงเรือนหันไปทางด้านทิศตะวันออกและตะวันตกเพื่อให้ทั้งสองแปลงรับแสงอาทิตย์พร้อมกัน โดยการออกแบบโรงเรือนที่ใช้กับโครงข่ายประสาทเทียมจะประยุกต์มาจากงานวิจัย (Pahlavan, Omid, & Akram, 2012) เพื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบ

แปลงที่ 1 ศึกษาการเจริญเติบโตของผักคะน้าในแปลงปลูกที่ใช้ระบบให้น้ำแบบตั้งเวลาโดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ปลูกคะน้าพันธุ์แม่ใจ 1 โดยวิธีการหว่านจำนวน 200 เมล็ด ในช่วงแรกจะทำการถอนต้นที่ไม่สมบูรณ์ทิ้งและเหลือไว้แต่ต้นที่มีขนาดเท่าๆ กัน ซึ่งแปลงปลูกมีขนาด 2×3 เมตร เริ่มปลูกตั้งแต่วันที่ 1 พฤษภาคมถึงวันที่ 28 มิถุนายน 2560

2. กำหนดให้ปริมาณน้ำมีค่าเท่ากับค่าที่ได้จากการคำนวณ (ส่วนการใช้น้ำชลประทาน, 2554) คือในเดือนพฤษภาคม 26.08 ลิตรต่อวัน (การจะให้น้ำกับผักคะน้าประมาณ 26 ลิตร ต้องหน่วงเวลาไว้ประมาณ 3.17 นาที) และในเดือนมิถุนายน 21.6 ลิตรต่อวัน (การจะให้น้ำกับผักคะน้าประมาณ 22 ลิตร ต้องหน่วงเวลาไว้ประมาณ 2.52 นาที) โดยให้น้ำในช่วงเย็นวันละ 1 ครั้ง เวลาประมาณ 17.00 น.

3. เมื่อคะน้าอายุได้ประมาณ 7 วัน เริ่มวัดขนาดความสูงต้นผักคะน้า (การวัดความสูงวัดตั้งแต่ใบแรกจากโคนต้นถึงยอด) และน้ำหนักโดยการเก็บผลทุกๆ 1 สัปดาห์ โดยสุ่มเลือกต้นที่มีความสมบูรณ์ที่สุด 1 กิโลกรัมและวัดน้ำหนักค่าความสูง และน้ำหนักในแต่ละต้นแล้วหาค่าเฉลี่ย

แปลงที่ 2 ศึกษาการเจริญเติบโตของผักคะน้าในแปลงปลูกที่ใช้ระบบให้น้ำแบบโครงข่ายประสาทเทียม

1. ปลูกระยะน้ำพันธุ์แม่โจ้ 1 โดยวิธีการหว่าน จำนวน 200 เมล็ด ในช่วงแรกจะทำการถอนต้นที่ไม่สมบูรณ์ทิ้งและเหลือไว้แต่ต้นที่มีขนาดเท่าๆ กัน ซึ่งแปลงปลูกมีขนาด 2×3 เมตร เริ่มปลูกตั้งแต่วันที่ 1 พฤษภาคมถึงวันที่ 28 มิถุนายน 2560

2. ปริมาณน้ำที่ให้กับแปลงปลูกได้จากการพยากรณ์ของโครงข่ายประสาทเทียม โดยให้น้ำในช่วงเย็นวันละ 1 ครั้ง เวลาประมาณ 17.00 น.

3. เมื่อคะน้ำอายุได้ประมาณ 7 วัน เริ่มวัดขนาดความสูงต้นผักคะน้ำ (การวัดความสูงวัดตั้งแต่ใบแรกจาก

โคนต้นถึงยอด) และน้ำหนักโดยการเก็บผลทุกๆ 1 สัปดาห์ โดยสุ่มเลือกต้นที่มีความสมบูรณ์ที่สุด 1 กิโลกรัม และวัดค่าความสูง และน้ำหนักในแต่ละต้นแล้ว หาค่าเฉลี่ย

ผลการศึกษา

ผลการทดลองศึกษาผักคะน้ำในแปลงปลูกที่ใช้ระบบให้น้ำแบบตั้งเวลาเปรียบเทียบกับผลทดลองศึกษาการเจริญเติบโตของผักคะน้ำในแปลงปลูกที่ใช้ระบบให้น้ำแบบโครงข่ายประสาทเทียมโดยสุ่มเลือกต้นที่มีความสมบูรณ์ที่สุด 1 กิโลกรัม เป็นดังนี้

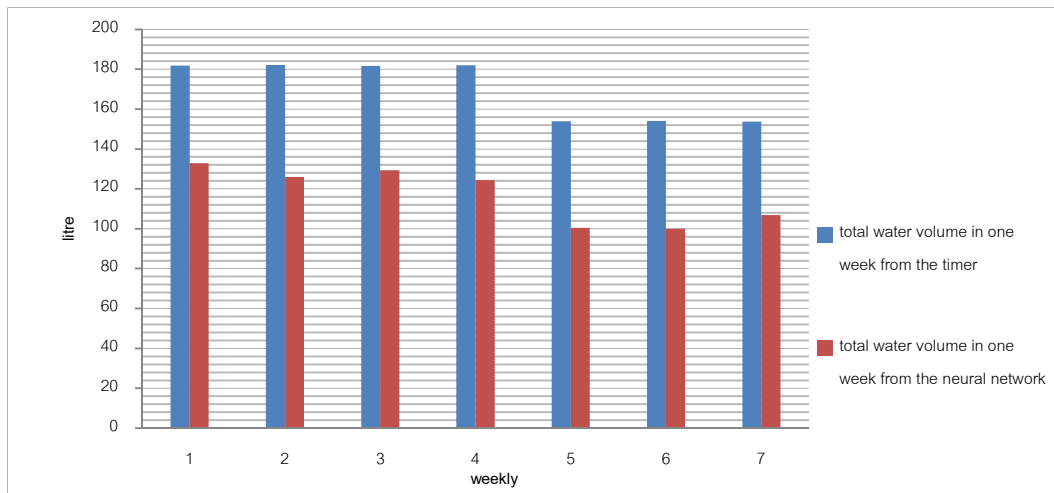


Figure 7 The amount of water used in one week from each method.

จาก (Figure 7) จากกราฟจะเห็นว่าการให้น้ำแบบระบบตั้งเวลาในช่วงสัปดาห์ที่ 1 ถึง 4 อยู่ในเดือนพฤษภาคม จากเก็บผลการทดลองปริมาณน้ำที่ผักคะน้ำมีค่าเฉลี่ยที่ 181.90 ลิตรต่อสัปดาห์ และในช่วงสัปดาห์ที่ 1 ถึง 3 อยู่ในเดือนมิถุนายน จากเก็บผลการทดลองปริมาณน้ำที่ผักคะน้ำมีค่าเฉลี่ยที่ 153.90 ลิตรต่อสัปดาห์ ในส่วนของการให้น้ำแบบโครงข่ายประสาทเทียมในช่วงสัปดาห์ที่ 1 ถึง 4 อยู่ในเดือนพฤษภาคม จากเก็บ

ผลการทดลองปริมาณน้ำที่ผักคะน้ำมีค่าเฉลี่ยที่ 128.12 ลิตรต่อสัปดาห์ และในช่วงสัปดาห์ที่ 1 ถึง 3 อยู่ในเดือนมิถุนายน จากเก็บผลการทดลองปริมาณน้ำที่ผักคะน้ำมีค่าเฉลี่ยที่ 102.36 ลิตรต่อสัปดาห์ จากการเปรียบเทียบทำให้ทราบว่าในเดือนพฤษภาคม การให้น้ำแบบโครงข่ายประสาทเทียมใช้น้ำน้อยกว่าแบบระบบตั้งเวลาอยู่ที่ 53.78 ลิตรต่อสัปดาห์ และในเดือนมิถุนายนอยู่ที่ 51.54 ลิตรต่อสัปดาห์

Table 1 Dry weight of Chinese kale comparison results.

week	dry weight from using timer method (gram)	dry weight from using neural networks method (gram)
1	0.03	0.03
2	0.03	0.03
3	0.18	0.20
4	0.21	0.23
5	0.32	0.30
6	0.32	0.25
7	0.61	0.51
average	0.24	0.22

จาก (Table 1) น้ำหนักแห้งจากให้น้ำแบบตั้งเวลามีน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ที่ 0.24 กรัม และน้ำหนักแห้งจากให้น้ำแบบโครงข่ายประสาทเทียมมีน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ที่ 0.22 กรัม โดยในช่วงสัปดาห์ที่ 1 ถึง สัปดาห์ที่ 5 จากการเปรียบเทียบการให้น้ำแบบตั้งเวลากับการให้น้ำแบบโครงข่ายประสาทเทียมมีค่าน้ำหนักที่ใกล้เคียงกัน จึงทำให้ทราบว่าผักคะน้ามีการเจริญเติบโตที่ใกล้เคียงกัน แต่ในสัปดาห์ที่ 6 และ 7 จากการเปรียบเทียบการให้น้ำแบบตั้งเวลากับการให้น้ำแบบโครงข่ายประสาทเทียมมีค่าน้ำหนักที่ดีกว่า สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เกิดจากในแปลงปลูกที่ให้น้ำแบบโครงข่ายประสาทเทียมเกิดโรคเชื้อราในแปลงทำให้พืชบางส่วนตายลง ทำให้การเก็บผลมีความคลาดเคลื่อน

อภิปรายผล

จากงานวิจัยนี้ทำให้ทราบว่าโครงข่ายประสาทเทียมสามารถตัดสินใจได้อยู่ในเกณฑ์ที่ดี ซึ่งในเดือนพฤษภาคมการให้น้ำแบบโครงข่ายประสาทเทียมใช้น้ำน้อยกว่าแบบระบบตั้งเวลาอยู่ที่ 53.78 ลิตรต่อสัปดาห์ และในเดือนมิถุนายนอยู่ที่ 51.54 ลิตรต่อสัปดาห์ โดยแบบ

ระบบตั้งเวลาใช้วิธีการคำนวณหาปริมาณน้ำให้ผักคะน้าจากวิธี Penman Monteith และแบบโครงข่ายประสาทเทียมใช้ข้อมูลปริมาณน้ำให้ผักคะน้าจากวิธี Penman Monteith ร่วมกับข้อมูลจากระบบเซ็นเซอร์วัดสภาพแวดล้อมภายนอกเพื่อให้อุปกรณ์โครงข่ายประสาทเทียมใช้ตัดสินใจซึ่งใช้ข้อมูลข้อมูลปริมาณใช้น้ำของพืชอ้างอิงในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงมิถุนายน ที่อำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี สามารถลดปริมาณน้ำที่ให้กับผักคะน้าได้ โดยที่การเจริญเติบโตของผักคะน้าทั้งสองแปลงมีค่าใกล้เคียงกันในช่วงสัปดาห์ที่ 1 ถึง สัปดาห์ที่ 5 ก่อนที่จะเกิดโรค โดยงานวิจัยจะคล้ายกับ (พรณวิภา อรุณจิตต์, นาวิ โกรธกล้า, และปิจิราวุธ เวียงจันทา, 2558) ซึ่งวิจัยเกี่ยวกับโรงเรือนปลูกผักอิตในมิติสำหรับปลูกผักหอม โดยควบคุมปริมาณการให้น้ำกับพืช โดยอาศัย การวัดความชื้นแสง ความชื้นสัมพัทธ์ อากาศ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นในดิน แต่ในงานวิจัยนี้ได้เพิ่มข้อมูลเชิงสถิติอุตุนิยมวิทยาเข้ามาใช้ในการควบคุมปริมาณการให้น้ำกับพืชและมีโครงข่ายประสาทเทียมในการช่วยตัดสินใจ ทำให้การให้น้ำกับพืชมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

สรุป

การให้น้ำผักคะน้าของเกษตรกรในพื้นที่อำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี โดยปกติไม่ทราบปริมาณน้ำที่ต้องใช้กับผักคะน้าทำให้ปริมาณน้ำที่ต้องให้ผักคะน้าไม่มีความเหมาะสม การใช้โครงข่ายประสาทเทียมในงานวิจัยนี้สามารถลดปริมาณการให้น้ำผักคะน้า ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงมิถุนายน ที่พื้นที่อำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรีได้จริง โดยในเดือนพฤษภาคมสามารถลดปริมาณการให้น้ำลง 53.78 ลิตรต่อสัปดาห์ และในเดือนมิถุนายนสามารถลดปริมาณการให้น้ำลง 51.54 ลิตรต่อสัปดาห์ โดยที่ผักคะน้ายังเจริญเติบโตได้ปกติ โดยใช้ข้อมูลปริมาณใช้น้ำของพืชอ้างอิง ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงมิถุนายน ที่อำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี จากสูตร Penman Monteith โดยในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงมิถุนายนสามารถใช้โครงข่ายประสาทเทียมในงานวิจัยนี้กับพืชชนิดอื่นได้โดยไม่ต้องทำการสอนโครงข่ายประสาทเทียมใหม่ เพียงแต่เปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์พืช (Kc) ตามพืชชนิดต่างๆ จากสูตร Penman Monteith ก็สามารถควบคุมปริมาณน้ำที่ให้กับพืชชนิดนั้นได้ ในกรณีที่ต้องการปลูกพืชในพื้นที่เดิมแต่เปลี่ยนช่วงระยะเวลาในการปลูกต้องใช้ข้อมูลปริมาณใช้น้ำของพืชอ้างอิงในช่วงเดือนนั้นๆ และทำการสอนโครงข่ายประสาทเทียมใหม่เพราะประเทศไทยแบ่งออกเป็น 3 ฤดู ทำให้สภาพภูมิอากาศในบางเดือนไม่เหมือนกัน และถ้าจะนำระบบควบคุมปริมาณน้ำให้กับพืชด้วยโครงข่ายประสาทเทียมไปใช้กับพื้นที่อื่นต้องมีข้อมูลปริมาณใช้น้ำของพืชอ้างอิงของพื้นที่นั้นๆ และทำการสอนโครงข่ายประสาทเทียมใหม่สรุประบบควบคุมปริมาณน้ำให้กับพืชระยะสั้นด้วย

โครงข่ายประสาทเทียม สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับพืชได้หลายชนิดทั้ง พืชระยะสั้น พืชระยะกลาง พืชระยะยาว และหลายพื้นที่ปลูกพืชทำให้การใช้น้ำกับพืชมีประโยชน์สูงสุด

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณอาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตรไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมทุกท่านที่กรุณาแก้ปัญหาและเสริมสร้างกำลังใจในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กลุ่มงานวิจัยการใช้น้ำชลประทาน. (2554). *ค่าสัมประสิทธิ์พืช (Kc) ของพืช 40 ชนิด* (เอกสารเผยแพร่). กรุงเทพฯ: สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน.
- จำเริญ ยืนยงสวัสดิ์. (2543). *หลักการกลไกการคายน้ำ*. สงขลา: ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่.
- ประสิทธิ์ กาบจันทร์. (2557). *คู่มือการปลูกคะน้าอินทรีย์* (เอกสารเผยแพร่). เชียงใหม่: ฝ่ายนวัตกรรมและถ่ายทอดเทคโนโลยี สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- ประสิทธิ์ เมฆอรุณ. (2558). การพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจด้านการบริหารจัดการน้ำ ในพื้นที่ชลประทาน ด้วยวิธี Penman Monteith กรณีศึกษาฝายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 1 โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาดงเคอรัว. *วารสารสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*, 18, 83-95.
- พรณิภา อรุณจิตต์, นาวี โกรธกล้า, และปิจิราวุธ เวียงจันดา. (2558). *โรงเรียนปลูกพืชควบคุมและมอนิเตอร์อัตโนมัติผ่านระบบเครือข่าย*. ใน *การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 16 และระดับนานาชาติครั้งที่ 8*. กรุงเทพฯ: สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย.

- พญู มีสัจ. (2551). *ระบบพืชซีและโครงข่ายประสาทเทียม*.
กรุงเทพ: คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ไพฑูรย์ รื่นสุข. (2547). *ข้อมูลเกษตรกรจังหวัดสุพรรณบุรี*.
สุพรรณบุรี: สำนักงานเกษตรจังหวัด สุพรรณบุรี
กรมส่งเสริมการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- ยุพิน ไชยสมภาร, และทวี ชัยพิมลผลิน. (2556). การพยากรณ์
ระดับน้ำโดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมด้วย
ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลอง. *วารสาร
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์
และเทคโนโลยี)*, 17, 83-90.
- วันชัย คุปวานิชพงษ์. (2555). *การออกแบบระบบให้ผ่านท่อใน
งานวิจัยเกษตรวิศวกรรม (เอกสารเผยแพร่)*.
กรุงเทพ: กลุ่มพัฒนาพื้นที่เกษตรสถาบัน วิจัย
เกษตรวิศวกรรม.
- ศุภโชค แสงสว่าง. (2559). การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาท
เทียมกับงานด้านการเกษตร. *วารสารวิชาการ
พระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, 26(2), 319-331.
- ศุภักษร คำบ่อ. (2556). *แบบจำลองการเจริญเติบโตและ
ผลผลิตของถั่วเขียวโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม
(วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหาร)*. มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.
- ส่วนการใช้น้ำชลประทาน. (2554). *คู่มือการหาปริมาณการ
ใช้น้ำของพืชปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงและ
ค่าสัมประสิทธิ์พืช*. กรุงเทพ: สำนักอุทกวิทยาและ
บริหารน้ำ กรมชลประทาน.
- Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., & Yousefi, M.
(2013). Prediction of environmental indices of
Iran wheat production using artificial neural
networks. *Energy and Environmental*, 4, 339-348.
- Pahlavan, R., Omid, M., & Akram, A. (2012). Energy
input-output analysis and application of artificial
neural Networks for predicting greenhouse basil
production. *Energy*, 37, 171-176.