



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การประยุกต์ใช้งานวิศวกรรมสำหรับเกษตรอัจฉริยะในประเทศไทย

Engineering Applications for Smart Agriculture in Thailand

จาริณี จงปลื้มปิติ¹, สุรินทร์ อ่อนน้อม², สมสิน วาฆนุด² และ พลเทพ เวงสูงเนิน^{3*}Jarinee Jongpluempiti¹, Surin Ahonnom², Somsin Wangkhuntod² and Ponthep Vengsungne^{3*}¹สาขาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร ²สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์³สถาบันนวัตกรรมอาหาร แปรรูปสินค้าเกษตรเพิ่มมูลค่า และเกษตรแม่นยำ

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน 744 อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

¹Agricultural Machinery Engineering ²Electrical Engineering³Institute of Food Innovation, Value-Added Agricultural Products Processing and Precision Agriculture

Faculty of Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Isan,

744 Muang Nakhon Ratchasima Province 30000

Received: 3 November 2022

Revised: 10 February 2023

Accepted: 7 March 2023

Available online: 23 June 2023

บทคัดย่อ

การพัฒนาเศรษฐกิจชีวภาพ เศรษฐกิจหมุนเวียน และเศรษฐกิจสีเขียว (Bio-Circular-Green Economy Model) เป็นวาระแห่งชาติที่จะพาไทยไปสู่เป้าหมายของการเป็นประเทศที่มีรายได้สูงและเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน หนึ่งในอุตสาหกรรมที่สำคัญที่จะนำพาประเทศไทยไปสู่เป้าหมายดังกล่าวคืออุตสาหกรรมเกษตรและอาหาร ซึ่งเทคโนโลยีที่กำลังมีแนวโน้มที่ถูกนำมาใช้มากขึ้นอย่างต่อเนื่องคือการทำเกษตรแม่นยำ การนำเอาระเบียบวิธีการต่าง ๆ มาใช้สำหรับการทำเกษตรไม่ว่าจะเป็นการใช้อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง คอมพิวเตอร์ช่วยงานวิศวกรรม การสำรวจข้อมูลระยะไกล อากาศยานไร้คนขับ เหมืองข้อมูล ปัญญาประดิษฐ์ การประมวลผลภาพ การโปรแกรม ฯลฯ ซึ่งเทคโนโลยีต่าง ๆ เหล่านี้จะช่วยเพิ่มผลผลิตและลดต้นทุนในการทำการเกษตรของประเทศไทยทั้งในปัจจุบันและอนาคต

คำสำคัญ: วิศวกรรม เกษตรอัจฉริยะ เกษตรแม่นยำ อินเทอร์เน็ตสรรพสิ่ง ระบบควบคุม

Abstract

Bioeconomy development circular economy and green economy (Bio-Circular-Green Economy Model) is a national agenda that will lead Thailand towards the goal of becoming a high-income country and sustainable development goals. One of the key industries that will lead Thailand towards this goal is the agricultural and food industries. The technology that is becoming more and more likely to be used continuously is precision farming. adoption of farming methods, whether using the Internet of Things, Computer Aided Engineering, Remote Sensing, Unmanned Aerial Vehicles, Data Mining, Artificial Intelligence, Image Processing, Computer Programming, etc. These will help increase productivity and reduce the cost of agriculture in Thailand now and in the future.

Keywords: Engineering: Smart Agriculture: Precision Agriculture: Internet of Things: Control System

*ติดต่อ: ponthep.ve@rmuti.ac.th

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ประชากรส่วนใหญ่ทำอาชีพเกษตรกรรมเป็นหลัก จากข้อมูลจากกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ที่สรุปในปี 2563 พบว่าเกษตรกรที่ประกอบอาชีพในประเทศไทยนั้นเป็นเกษตรกรที่หาเลี้ยงชีพด้วยการปลูกพืชหรือคิดเป็น 52.31% ซึ่งถือว่าเป็นอันดับ 1 ของการทำการเกษตร รองลงมาคือการเลี้ยงสัตว์ 9.11% เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 0.71% ที่เหลือเป็นการทำการเกษตรแบบอื่น ๆ ข้อมูลจากสำนักงานสถิติแห่งชาติแสดงให้เห็นว่าในปี 2557 นั้นประเทศไทยมีเกษตรกรจำนวน 6,047,824 ครัวเรือนและในปี 2564 มีเกษตรกรเพิ่มขึ้นเป็น 7,363,226 ครัวเรือน ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีจำนวนเพิ่มขึ้นถึง 21.75% นั่นคือในอนาคตหากไม่มีการวางแผนในการเพิ่มอาหารต่อหน่วยพื้นที่ให้มากขึ้นก็จะส่งผลให้เกิดการขาดแคลนอาหารได้ หรือหากมีการส่งเสริมหรือมีการนำเอานโยบายต่าง ๆ เข้ามาช่วยเหลือเกษตรกรให้สามารถ

ดำเนินกิจกรรมทางการเกษตรได้ดีขึ้นหรือมีประสิทธิภาพมากขึ้น ก็จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ หรือค่า Gross Domestic Product (GDP) มีค่าเพิ่มขึ้นได้ ซึ่งเทคโนโลยีที่กำลังมีการพัฒนากันอย่างแพร่หลาย และมีแนวโน้มที่มากขึ้นคือเทคโนโลยีเกษตรอัจฉริยะ (Smart Farm Technology) ซึ่งจากผลงานวิจัยของต่างประเทศมีรายงานว่า การนำเอาเทคโนโลยีดังกล่าวมาใช้ อาจเพิ่มมูลค่าการทำการเกษตรได้ถึง 20% [1]

2. เกษตรและอาหารของโลก

องค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติได้รายงานไว้ว่า เมื่อวันที่ 25 กันยายน พ.ศ. 2558 ประเทศสมาชิก 193 แห่งขององค์การสหประชาชาติได้รับรอง 17 เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) ของวาระ ค.ศ.2020 (พ.ศ.2573) เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน วัตถุประสงค์ระดับโลกที่คาดว่าจะ

แนวทางในการดำเนินการของประชาคมระหว่างประเทศในอีก 15 ปีข้างหน้า (ค.ศ.2016-2030 หรือ พ.ศ.2559 - 2573) [2] เพื่อแก้ปัญหาความยากจนและปัญหาการขาดแคลนอาหารของโลก จากข้อมูลของ <https://www.worldometers.info/> แสดงให้เห็นว่าประชากรโลกในขณะนี้ประมาณ 7.8 พันล้านคน โดยคาดว่าจะมีประชากรประมาณ 8.0 พันล้านคนในปี 2023 (พ.ศ.2566) และหมื่นล้านคนในปี 2055 (พ.ศ.2598) [3] จากข้อมูลปี ค.ศ. 2000 – 2020 แสดงให้เห็นว่าในแต่ละปีมีประชากรเพิ่มขึ้นเฉลี่ยทั่วโลกประมาณ 82 ล้านคน หรือบวกเฉลี่ย $1.2\% \pm 0.02\%$ นั่นคือหากปริมาณอาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการของประชากรที่เพิ่มขึ้นในทุก ๆ ปี ก็อาจจะส่งผลเสียต่อโลกในอนาคตได้ นั่นคือหากประเทศไทยมีเป้าหมายที่จะเป็นครัวของโลกนั้นจะต้องมีเทคโนโลยีที่นำมาซึ่งการใช้ทรัพยากรพื้นที่อย่างจำกัด เพื่อให้ได้ผลผลิตต่อพื้นที่สูงที่สุด โดยข้อมูลจากกรุงเทพธุรกิจแสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีมูลค่าส่งออกกลุ่มอาหารมากถึงปีละกว่า 1 ล้านล้านบาท ซึ่งหากมีการพัฒนาเทคโนโลยีต่าง ๆ และนำมาใช้จริงอาจจะส่งผลให้ผลผลิตที่มีอยู่สูงขึ้น หรือต้นทุนที่ใช้ในการผลิตลดลง โดยหนึ่งในเทคโนโลยีที่ถูกพูดถึงในระดับโลกคือเทคโนโลยีเกษตรแม่นยำ (Precision Agriculture Technology) เทคโนโลยีเกษตรอัจฉริยะ (Smart Agriculture Technology) หรือเทคโนโลยีการทำการเกษตรอัจฉริยะ (Smart Farming Technology) นั่นเอง

3. การเกษตรในประเทศไทย

การทำการเกษตรในประเทศไทยนั้นตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง แต่อาจยังขาดการนำเอาเทคโนโลยีต่าง ๆ เข้าไปประยุกต์ใช้กับการทำการเกษตรและอาหาร [4] โดยการทำการเกษตรของประเทศไทยนั้นมีผู้ประกอบการอาชีพเกษตรกรรวมร้อยละ 60 ของประเทศ ในยุคเริ่มต้นเป็นเกษตรที่เรียกว่าเกษตรแบบดั้งเดิมจนมีการพัฒนามาเป็นการทำการเกษตรแบบเกษตรเคมีภัณฑ์คือมีการใช้สารสกัดเพื่อเพิ่มผลผลิตให้แก่การทำการเกษตรและเป็นการทำการเกษตรแบบยั่งยืนตามลำดับ

นับตั้งแต่พุทธศักราช 1543 ประเทศไทยเริ่มทำการเกษตรที่เรียกว่าเกษตรแบบดั้งเดิม หรือเกษตรยุคโบราณโดยพึ่งพาเพียงธรรมชาติส่งผลให้ผลผลิตต่ำต่อมาจึงพัฒนาเป็นการทำการเกษตรแบบร่วมสมัยคือการใช้สารสกัดหรือปุ๋ยเข้ามามีส่วนในการดำเนินการกิจกรรมทางการเกษตรทำให้ได้ผลผลิตเพิ่มมากยิ่งขึ้นได้แก่การทำการเกษตรเชิงเดี่ยว (monoculture) ซึ่งจะเป็นการทำการเกษตรโดยอาศัยการทำปศุสัตว์ชนิดเดียว หรือปลูกพืชชนิดเดียวเท่านั้น จุดแข็งของหลักการนี้คือสามารถบริหารจัดการกิจกรรมการปลูกพืชได้ง่าย ปลูกพืชได้เป็นระเบียบ การนำเอาสารอาหารให้แก่พืชหรืออื่น ๆ สามารถทำได้ง่าย แต่จุดอ่อนของวิธีการนี้คือพืชจะดูดซึมเอาแร่ธาตุเดิมจากดินออกเป็นจำนวนมากโดยไม่มีการทดแทน จึงส่งผลให้ดินเกิดความเสื่อมโทรมง่ายขึ้น [5,6] จากนั้นจึงมีการพัฒนาระบบการทำการเกษตรของประเทศไทยมาเป็นการทำการเกษตรแบบยั่งยืน หรือระบบเกษตรกรรมทางเลือก ซึ่งเป็นการทำการเกษตรแบบมีการทำให้เกิดสมดุลของสภาพแวดล้อมทั้งในแง่ของ

ระบบนิเวศ ผลิตทางการเกษตรที่ได้ คุณภาพของ ผลผลิต ปริมาณที่เพียงพอต่อการบริโภคและการ จำหน่ายในเชิงพาณิชย์ [7] ต่อมาเป็นการทำเกษตร ยั่งยืนแบบเกษตรผสมผสาน เป็นระบบการจัดการ กิจกรรมทางการเกษตรที่มีการทำการเกษตรแบบปลูก พืชและทำปศุสัตว์หลาย ๆ ชนิดในพื้นที่เดียวกัน เพื่อให้ เกิดการเอื้อประโยชน์ซึ่งกันและกัน

4. เทคโนโลยีสำหรับเกษตรอัจฉริยะ

ในการนำเอาเทคโนโลยีเกษตรแม่นยำ เทคโนโลยีเกษตรอัจฉริยะ หรือเทคโนโลยีการทำการเกษตรอัจฉริยะ มาใช้ในการทำการเกษตรในประเทศไทยนั้นเป็นการนำเอาหลักการวิศวกรรมมาใช้ ในการบริหารจัดการการทำการกิจกรรมทางการเกษตร

ซึ่งตัวอย่างของเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ การใช้ เซ็นเซอร์ในการรับรู้สภาวะแวดล้อม สถานะของพืช หรือสัตว์ที่อยู่ในการดูแลของเกษตรกร การบริหารจัดการชลประทาน ไม่ว่าจะเป็นระดับน้ำในแหล่งน้ำ ประสิทธิภาพการให้น้ำ สภาวะแวดล้อมที่มีผลต่อการ ระบายน้ำ เป็นต้น [8] อีกส่วนคือซอฟต์แวร์หรือโปรแกรม ที่นำมาใช้ในการทำงานกิจกรรมต่าง ๆ ระบบโครงข่าย สำหรับการรับส่งข้อมูล การระบุพิกัด สัญญาณ ดาวเทียม หุ่นยนต์ และการวิเคราะห์ข้อมูล (data analytics) เป็นต้น ในบทความนี้จะทำการสรุป เทคโนโลยีที่กำลังจะก้าวมาเป็นส่วนสำคัญสำหรับการ พัฒนาระบบเกษตรอัจฉริยะต่อไปในอนาคต ซึ่งสามารถสรุปภาพรวมได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางสรุปเทคโนโลยีต่าง ๆ สำหรับเกษตรแม่นยำในอนาคต

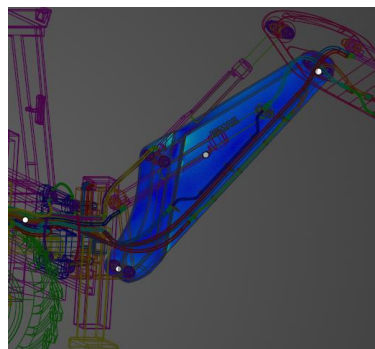
เทคโนโลยี	ความสามารถ	อ้างอิง
อินเทอร์เน็ตสรรพสิ่ง	เชื่อมต่อโครงข่ายรับส่งข้อมูลอุปกรณ์ต่ออุปกรณ์สำหรับการทำการเกษตร	[9-12]
คอมพิวเตอร์ช่วยงาน วิศวกรรม	จำลองการเกิดสถานการณ์ต่าง ๆ ก่อนการดำเนินการจริงในการทำการเกษตร	[13-16]
การสำรวจข้อมูลระยะไกล	สำรวจและประเมินผลตรวจติดตามสภาพพื้นที่ สภาพแวดล้อมและผลผลิตทางการเกษตร	[17-24]
อากาศยานไร้คนขับ	ดำเนินกิจกรรมอารักขาพืชหรือสัตว์ เฝ้าประเมินผลตรวจติดตามพื้นที่ทางการเกษตรระยะไกลแบบจำเพาะเจาะจง	[25-32]
เหมืองข้อมูล	หาความสัมพันธ์ของข้อมูลขนาดใหญ่ในการทำการเกษตรเพื่อการทำนายข้อมูลในอนาคต	[33-39]
ปัญญาประดิษฐ์	หาความสัมพันธ์ของข้อมูลทางการเกษตรเพื่อใช้ในการทำนายข้อมูลในอนาคตพร้อมตัดสินใจ	[40-44]
การประมวลผลภาพ	แปลงข้อมูลจากภาพเป็นข้อมูลในรูปแบบต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น ชนิด พันธุ์ ความสมบูรณ์ การเกิดโรค ฯลฯ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถนำมาใช้ในการจัดการทางด้านเกษตรได้เป็นอย่างดี	[45-55]
การโปรแกรม	เป็นพื้นฐานของการสร้างเทคโนโลยีทางการเกษตรในโลกอนาคต	[56-59]

4.1 อินเทอร์เน็ตสรรพสิ่ง

อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things) หรือ IoT เป็นระบบของอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่มีปฏิสัมพันธ์กันระหว่าง อุปกรณ์ดิจิทัล เครื่องจักร เครื่องยนต์ วัตถุ สัตว์ หรือบุคคลที่มีตัวระบุเฉพาะ (Unique identifier: UID) และความสามารถในการถ่ายโอนข้อมูลผ่านเครือข่ายโดยไม่ต้องใช้การปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับคอมพิวเตอร์ [9] ในปัจจุบันการนำเอา IoT มาใช้สำหรับการสร้างระบบอัจฉริยะถือว่ากำลังได้รับความนิยมและมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นในอนาคต สำหรับการทำการเกษตรที่ใช้เทคโนโลยี IoT นั้นมีส่วนช่วยให้ผู้ปลูกและเกษตรกรสามารถลดข้อเสียและเพิ่มผลผลิตได้ตั้งแต่ ปริมาณปุ๋ยที่ใช้ [10,11] ไปจนถึงข้อมูลการใช้น้ำ พืชอาหาร ปุ๋ย ฯลฯ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โซลูชันการทำฟาร์มด้วยระบบ IoT นั้นเป็นระบบที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการตรวจสอบพื้นที่เพาะปลูกโดยใช้เซ็นเซอร์ เช่น วัดแสง ความชื้น อุณหภูมิ ความชื้นในดิน สุขภาพของพืชผล ฯลฯ รวมไปถึงการนำเอาระบบไปใช้ในการทำระบบชลประทานอัตโนมัติ [12] โดย <https://www.iotsworldcongress.com> รายงานว่าการนำอุปกรณ์ IoT มาใช้ในอุตสาหกรรมเกษตรจะสูงถึง 75 ล้านอุปกรณ์ในปี พ.ศ.2606 เพิ่มขึ้น 20% ต่อปี และตลาดเกษตรอัจฉริยะทั่วโลกคาดว่าจะเพิ่มขึ้นสามเท่าภายในปี พ.ศ.2568 คิดเป็นมูลค่า 15.3 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ (มากกว่าปี พ.ศ.2559 อยู่ประมาณ 5 พันล้านดอลลาร์) ซึ่งจะเห็นว่ามูลค่าสูงขึ้นในทุกปี

4.2 คอมพิวเตอร์ช่วยงานวิศวกรรม

คอมพิวเตอร์ช่วยงานวิศวกรรม หรือ Computer-Aided Engineering (CAE) เป็นการออกแบบและการทดสอบเสมือนจริง เป็นการวิเคราะห์ที่ซับซ้อนไปจนถึงการวางแผนการผลิตทางวิศวกรรมโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในกระบวนการส่วนใหญ่ ประเภทการวิเคราะห์แบบจำลองที่ใช้บ่อย ได้แก่ การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Analysis: FEA) พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamic: CFD) การวิเคราะห์เชิงความร้อน (Thermal Analysis) พลศาสตร์การเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนหลายชิ้นส่วน (Multibody Dynamic) และการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimizations) [13] เป็นต้น

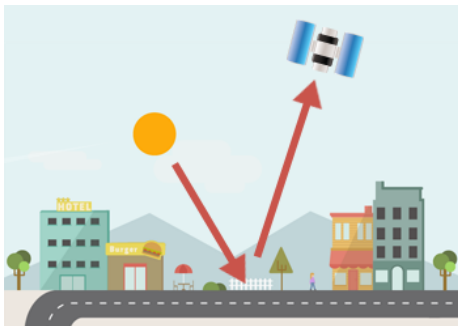


รูปที่ 1 ผลการวิเคราะห์ค่าความเค้นบนโครงสร้างรถ

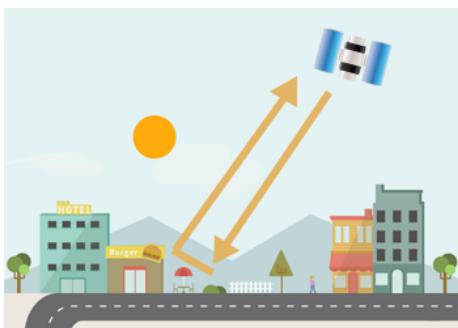
ในงานวิจัยของ Dongming Gao และคณะ ได้นำเสนอการหารูปร่างที่เหมาะสมที่สุดของชุดตายหน้าสำหรับติดตั้งรถแทรกเตอร์แสดงให้เห็นว่าสามารถลดการสั่นสะเทือนของชุดต่อพวงและช่วยให้น้ำหนักลดลงได้ [14] การนำเอาพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณไปใช้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความชื้นในโรงเรือนปลูกพืช [15] เนื่องจากความชื้นที่สูงของเรือนกระจกในช่วงกลางวันจะส่งผลให้เกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำบนใบของพืช [16] ซึ่งสามารถใช้คอมพิวเตอร์ช่วยงานวิศวกรรมมาใช้แก้ปัญหาได้

4.3 การสำรวจข้อมูลระยะไกล

การสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) เป็นเทคโนโลยีเชิงพื้นที่ประเภทหนึ่ง โดยใช้เครื่องมือวัดแบบไม่มีการสัมผัสโดยตรงกับวัตถุที่ต้องการวัด [17] ซึ่งจะใช้การวัดสะท้อนรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าจากระบบนิเวศ เพื่อตรวจจับและตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ เซ็นเซอร์ที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูล 2 รูปแบบด้วยกันได้แก่ เซ็นเซอร์แบบพาสซีฟซึ่งจะไม่สามารถอาศัยตัวกระตุ้นเพื่อให้เกิดการสะท้อนของข้อมูล และเซ็นเซอร์แบบแอคทีฟเป็นเซ็นเซอร์ที่จำเป็นต้องอาศัยตัวกระตุ้นส่งผลให้ใช้พลังงานมากกว่าแบบพาสซีฟแต่มีความละเอียดมากกว่า



รูปที่ 2 แนวคิดการใช้ passive sensor [18]



รูปที่ 3 แนวคิดการใช้ active sensor [18]

ในการทำการเกษตรกรรมนั้นมีการใช้ระบบการสำรวจระยะไกลกับการเกษตรแบบหมุนเวียน โดยเก็บรวบรวมข้อมูลการศึกษาดังตั้งแตปี ค.ศ. 1970

(พ.ศ. 2513) ทำการเปรียบเทียบจุดเด่น จุดด้อยของการสำรวจระยะไกล พร้อมทั้งวิวัฒนาการการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยี [19] ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีนี้ได้ให้ความสำคัญกับรูปแบบทางภูมิศาสตร์และการเปลี่ยนแปลงทางโลกมากขึ้น การสำรวจระยะไกลแหล่งน้ำและตัวชี้วัดพื้นที่ทางการเกษตรถูกพัฒนาขึ้นเพื่อติดตามและประเมินการพัฒนากการทำการเกษตรในด้านต่าง ๆ [20] หนึ่งในนั้นก็คือสามารถระบุดัชนีความแตกต่างพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI) ได้ ซึ่งตัวแปรตัวนี้เป็นดัชนีไร้มิติที่อธิบายความแตกต่างระหว่างการสะท้อนแสงที่มองเห็นได้และใกล้อินฟราเรดที่ปกคลุมพืชพรรณและสามารถนำมาใช้ในการประมาณความหนาแน่นของสีเขียวบนพื้นที่ที่ดิน [21] โดยคำนวณจากค่าของเป็นความแตกต่างระหว่างการสะท้อนแสงใกล้อินฟราเรด (NIR) และสีแดง (RED) ทหารด้วยผลรวมทั้งหมด [22] นอกจากนั้นค่า NDVI ยังสามารถนำไปใช้ในการคำนวณดัชนีสภาพพืชพรรณ (Vegetation Condition Index: VCI) เพื่อใช้ในการเฝ้าระวังภัยแล้งในพื้นที่ [23,24] ได้อีกด้วย

4.4 อากาศยานไร้คนขับ

อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicles: UAVs) เป็นอุปกรณ์ที่ถูกนำมาใช้ทั้งภาคพื้นดินและทางอากาศ ซึ่งสามารถปฏิบัติการทดแทนมนุษย์ได้ตั้งแต่ระดับความอันตรายต่ำถึงความอันตรายสูง เช่น การสอดแนมทางการทหาร การลาดตระเวน หรือการสู้รบทางการทหาร เป็นต้น [25] มีรายงานว่าในประเทศสหรัฐอเมริกา มียอดขาย UAV 8,000,000 ลำในปี ค.ศ.2020 (พ.ศ.2563) ซึ่งบันทึกว่าเพิ่มขึ้น 120% เมื่อเทียบกับปีก่อนหน้า นอกจากนี้

ตามการเชื่อมโยงของระบบยานพาหนะไร้คนขับ พบว่ามากกว่า 85% ของ UAV ได้รับการออกแบบเพื่อการเกษตร [26] ดังนั้นจึงเห็นได้ชัดว่า UAV จะมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มผลผลิตและการพัฒนาโดยรวมของภาคการเกษตร

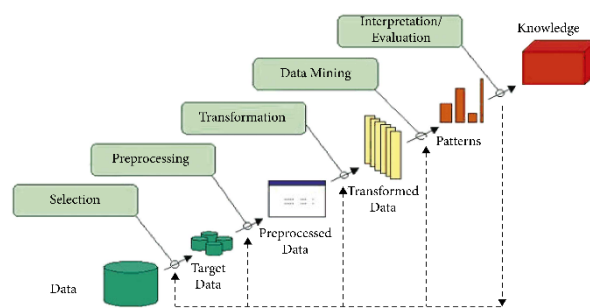
ในการดำเนินกิจกรรมทางการเกษตรก็เช่นเดียวกันอากาศยานไร้คนขับถูกนำมาใช้ในวัตถุประสงค์เพื่อส่งเสริมการปฏิบัติทางการเกษตรที่หลากหลาย เช่น การทำนายความแห้งแล้ง [27] การประเมินสุขภาพพืชผล การชลประทาน การตรวจสอบพืชผล [28] การฉีดพ่นพืชผล [29] การปลูก การวิเคราะห์ดินและการสำรวจภาคสนาม เป็นต้น [30] โดรนมีทั้งแบบที่ไม่ติดตั้งเซ็นเซอร์และแบบที่ติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ใช้ในงานเฉพาะด้าน [31] โดรนที่มีการติดตั้งเซ็นเซอร์ความร้อนหรือมัลติสเปกตรัมจะสามารถระบุพื้นที่ที่ต้องการน้ำหรือไม่ต้องการน้ำได้ เมื่อพืชผลเริ่มเติบโต เซ็นเซอร์จะระบุสุขภาพและคำนวณดัชนีพืชพรรณ ซึ่งจะส่งผลให้การใช้น้ำ ลดผลกระทบต่องี๊แวดล้อม และสารเคมีที่ไหลลงสู่ลำน้ำได้ดินได้ [32] เป็นต้น

4.5 เหมืองข้อมูล

การทำเหมืองข้อมูล (Data Mining) เป็นกระบวนการจัดเรียงชุดข้อมูลขนาดใหญ่เพื่อระบุรูปแบบและความสัมพันธ์ที่สามารถช่วยแก้ปัญหาทางธุรกิจผ่านการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งการทำเหมืองข้อมูลนั้นเป็นขั้นตอนหนึ่งในกระบวนการที่สำคัญในการค้นพบความรู้ในฐานข้อมูล (Knowledge Discovery in Databases :KDD) ผ่านกระบวนการรวบรวมข้อมูล (Data Gathering) การเตรียมข้อมูล (Data Preparation) การวินิจฉัยข้อมูลหรือการขุดข้อมูล (Mining The Data) และการพิจารณาและตีความหมาย (Data Analysis

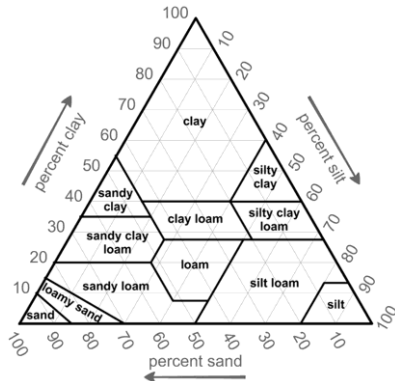
and Interpretation) [33] เทคนิคและเครื่องมือในการทำเหมืองข้อมูลช่วยให้องค์กรต่าง ๆ สามารถคาดการณ์แนวโน้มในอนาคตและตัดสินใจทางธุรกิจได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น [34]

การทำเหมืองข้อมูลในการเกษตร หรือการเกษตรอัจฉริยะนั้นเป็นหัวข้อการวิจัยที่ปัจจุบันกำลังมีแนวโน้มได้รับการวิจัยมากยิ่งขึ้น [35] เนื่องจากปัญหาของการทำการเกษตรมีความซับซ้อนและไม่เป็นเชิงเส้น อย่างเช่น การวางแผนประเมินผลผลิตที่ได้รับหลังจากทำการเกษตร ซึ่งมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องของหลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นคุณภาพดิน คุณภาพน้ำ สายพันธุ์หรืออิทธิพลจากสภาพดินฟ้าอากาศ [36] เป็นต้น การเกิดโรคในพืชก็เป็นอีกหัวข้อหนึ่งที่มีความซับซ้อนซึ่งสามารถนำเอาเทคนิคการทำเหมืองข้อมูลไปใช้ในการหาความสัมพันธ์เพื่อแก้ปัญหาการเกิดโรคได้ [37] ดังนั้นการนำเอาเทคนิคนี้มาใช้จึงการแก้ปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพ [33]



รูปที่ 4 แนวทางการทำเหมืองข้อมูล

ในเรื่องของการใช้ดินการมีความสำคัญสำหรับการทำกิจกรรมทางการเกษตรเช่นเดียวกัน เทคโนโลยีเหมืองข้อมูลได้ถูกนำไปใช้สำหรับจำแนกข้อมูลประเภทของดินโดยใช้เทคนิค Texture Triangle-Fuzzy C-Means (TEXTRI-FCM) [38] โดยใช้ USDA Soil Texture Triangle ดังรูปที่ 5 ในการระบุสัดส่วนและใช้อัลกอริทึม Fuzzy C-Means (FCM) เพื่อมาแบ่งประเภทของดิน



รูปที่ 5 USDA Soil Texture Triangle. [39]

4.6 ปัญญาประดิษฐ์

ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence :AI) หมายถึงการจำลองความฉลาดของมนุษย์บรรจุลงในเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่ได้รับการตั้งโปรแกรมให้คิดและเลียนแบบการกระทำเหมือนมนุษย์ เช่น การเรียนรู้ การแก้ปัญหา การเรียนรู้ภาษา การจดจำเสียงพูด หรือการมองเห็น เป็นต้น [40,41] คุณลักษณะในอุดมคติของปัญญาประดิษฐ์คือ ความสามารถในการหาเหตุผลและเป้าหมายของปัญหา หนึ่งในการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการแก้ไขปัญหาคือการใช้เทคนิค Machine learning (ML) ซึ่งเป็นแนวคิดที่โปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถเรียนรู้และปรับให้เข้ากับข้อมูลใหม่โดยอัตโนมัติโดยไม่ได้รับความช่วยเหลือจากมนุษย์ โดยมีเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก (Deep learning: DL) ช่วยให้การเรียนรู้อัตโนมัติสามารถเรียนรู้ข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้างจำนวนมากได้ เช่น ข้อความ รูปภาพ หรือวิดีโอ เป็นต้น โดยปัญญาประดิษฐ์ยังสามารถนำไปใช้ร่วมกับเทคนิคอื่น ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน การเกษตร เช่น การสำรวจระยะไกล [42] การทำเหมืองข้อมูล [43] หรือการประมวลผลภาพ [44] เป็นต้น

4.7 การประมวลผลภาพ

การประมวลผลภาพ (Image Processing) คือวิธีการดำเนินการบางอย่างกับรูปภาพ เป็นอีกหนึ่งประเภทของการประมวลผลสัญญาณที่อินพุตเป็นภาพ และเอาต์พุตอาจเป็นภาพหรือลักษณะ/คุณลักษณะที่เกี่ยวข้องกับภาพนั้น หรือเพื่อให้ได้ภาพที่ปรับปรุงแล้วหรือเพื่อดึงข้อมูลที่เป็นประโยชน์บางส่วนออกมา เช่น การค้นหารูปร่าง การนับวัตถุ การระบุสี หรือการวัดคุณสมบัติของวัตถุ เป็นต้น [45] การประมวลผลภาพเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่เติบโตอย่างรวดเร็ว เป็นพื้นที่การวิจัยหลักในสาขาวิศวกรรมศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ด้วย [46] สำหรับการประยุกต์ใช้งานในเชิงลึกสำหรับงานวิจัยขั้นสูงนั้นก็ทำได้ เช่น นำเอาการประมวลผลภาพไปใช้ในการประเมินติดตามพฤติกรรมการไหลบ่าของอนุภาคขนาดเล็กที่ไม่สามารถบันทึกได้ด้วยกล้องปกติได้ [47,48] การตรวจวัดรอยเชื่อมเลเซอร์ในอุตสาหกรรมที่ใช้ความละเอียดสูง [49] เทคโนโลยีการจัดการน้ำท่วมร่วมกับ Machine Learning [50] หรือจะเป็นการประยุกต์เทคนิคการประมวลผลภาพกับการใช้นับจำนวนสิ่งของหรือวัตถุที่ต้องการทราบ ดังรูปที่ 6 เป็นการนำเอาไปใช้ร่วมกับการรับจำนวนกระถางเครื่องปั้นดินเผาซึ่งเป็นสินค้าของชุมชนจังหวัดนครราชสีมา เป็นต้น

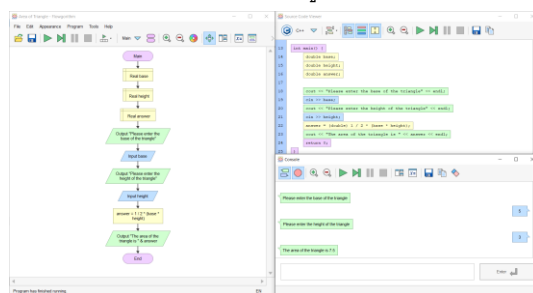


รูปที่ 6 การใช้การประมวลผลภาพในการแบ่งแยก
กลุ่มภาพและนับจำนวน

ทางด้านการเกษตรแม่นยำก็มีการนำเอาเทคนิคการประมวลผลภาพมาใช้ในการประเมินติดตามการเจริญเติบโตของพืช การวินิจฉัยความผิดปกติของเมล็ดพันธุ์ การติดตามสถานะของค่าสามารถอาหารในดินหรือปุ๋ย การจำแนกประเภทของการปลูกพืชหรือช่วงอายุของพืช [51] นอกจากนี้เทคนิคการประมวลผลภาพยังสามารถนำไปใช้ทางด้านการเกษตรในเรื่องโรคที่เกิดขึ้นในพืชหรือสัตว์ เช่น การใช้สำหรับจำแนกโรคที่เกิดบนแอปเปิล [52] หรือการตรวจสอบสุขภาพของพืชผ่านใบ [53] ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพก็สามารถทำให้นักวิจัยได้ทราบถึงโรคที่เกิดขึ้นบนพืชที่ดูแลได้ และยังสามารถใช้ในการวิเคราะห์ระดับสารอาหาร [54] โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพไฮเปอร์สเปกตรัม (Hyperspectral Image Processing) ซึ่งเป็นเทคนิคที่สามารถทราบได้ถึงลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีของผลผลิตทางการเกษตรและอาหารได้อีกด้วย [55]

4.8 การโปรแกรม

การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Computer Programming) หรือการโปรแกรม (Programming) เป็นกระบวนการในการให้ชุดคำสั่งแก่ส่วนประมวลผลที่อธิบายว่าควรดำเนินการกิจกรรมอย่างไร เริ่มต้นด้วยการใช้ตัวแก้ไขโค้ด หรือ Integrated Development Environment (IDE) [56] เพื่อเขียนสิ่งที่เรียกว่าซอร์สโค้ด เพื่อให้หน่วยประมวลผลทำงานตามที่ต้องการ ปัจจุบันมีโปรแกรมหลากหลายที่ถูกนำมาพัฒนาเพื่อใช้ในการประมวลผลต่าง ๆ เช่น Python, JavaScript, C/C++, Java, C#, Ruby และ PHP [57] ซึ่งหากโปรแกรมเมอร์มีแนวคิดหรือกรอบการคิดเบื้องต้นที่ดีแล้วก็จะช่วยให้สามารถเขียนโปรแกรมได้หลากหลายภาษา เนื่องจากในแต่ละภาษามีกรอบแนวคิดคล้ายคลึงกันแตกต่างกันเพียงโครงสร้างการเขียนโปรแกรม ตัวอย่างในรูปที่ 7 เป็นตัวอย่างของโปรแกรมที่ใช้ในการเรียนรู้โครงสร้างกรอบแนวคิดของการเขียนโปรแกรมเพื่อนำเอาไปใช้ในการเขียนโปรแกรมแบบเต็มรูปแบบ



รูปที่ 7 การใช้ flowgorithm ในการอธิบายแผนผัง

ในยุคนี้ทำงานทางด้านวิศวกรรมกับเกษตรอัจฉริยะนั้นการโปรแกรมถือเป็นหัวใจหลักที่สำคัญที่จะเชื่อมต่อเทคโนโลยีต่าง ๆ เข้ากับการทำการเกษตร รวมไปถึงการสร้างลำดับการแก้ไขปัญหาในการทำการเกษตรนั้นก็ต้องอาศัยการโปรแกรมทั้งสิ้น ไม่ว่าจะ

เป็นการนำเอาปัญญาประดิษฐ์ไปบรรจุในการสร้างระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งให้อุปกรณ์ เครื่องมือ หรือเครื่องจักรสามารถคุยกันและประมวลผลได้ หรือจะเป็นการสร้างเงื่อนไขในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของโครงสร้างโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยงานทางวิศวกรรมก็จำเป็นต้องพึ่งการโปรแกรม การใช้เทคนิค Deep Learning ก็เช่นกัน การวิจัยทางการเกษตรแม่นยำสมัยใหม่ชี้ให้เห็นว่าโครงข่ายประสาทเทียมเป็นรากฐานที่สำคัญสำหรับการเกษตรแม่นยำ [58] เนื่องจากการสามารถแก้ไขปัญหามีความซับซ้อนทางด้านการเกษตรได้ นักวิจัยหรือผู้พัฒนาจำเป็นต้องมีพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการโปรแกรม เทคนิคนี้สามารถนำไปใช้ทางการเกษตรร่วมกับเทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อใช้ในการตรวจสอบพื้นที่ทางการเกษตรที่สนใจ [59]

5. สรุป

การประยุกต์ใช้งานวิศวกรรมสำหรับเกษตรอัจฉริยะหรือเกษตรแม่นยำนั้นถือว่าเป็นสิ่งที่เป็นเรื่องที่ท้าทายสำหรับประเทศไทย และสำหรับโลก เนื่องจากหากจะต้องแก้ปัญหาทางด้านอาหารของโลกที่กำลังจะเกิดขึ้นในอนาคตนั้นจำเป็นต้องมีการทำการเกษตรที่ใช้พื้นที่น้อยแล้วให้ได้ผลผลิตที่สูงกว่าเดิมจึงจะสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้

บทความนี้ได้นำเสนอการนำเอาหลากหลายเทคนิคทางด้านงานวิศวกรรมที่นักวิจัยทั่วโลกกำลังวิจัยเพื่อจะนำมาใช้ในการทำการเกษตรเพื่อจะทำให้กิจกรรมการทำการเกษตรเป็นเกษตรอัจฉริยะ ไม่ว่าจะเป็น อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง คอมพิวเตอร์ช่วยงาน วิศวกรรม การสำรวจข้อมูลระยะไกล (remote sensing)

อากาศยานไร้คนขับ เหมืองข้อมูล ปัญญาประดิษฐ์ การประมวลผลภาพถ่าย หรือการโปรแกรม เป็นระเบียบวิธีการแห่งอนาคตสำหรับการทำการเกษตรที่มีความซับซ้อนของปัจจัยที่สูง ซึ่งจะสังเกตได้ว่าบทความหรืองานวิจัยส่วนใหญ่เน้นในการนำไปใช้ทางด้านการเกษตรอัจฉริยะจริง ๆ แล้วจำเป็นที่จะต้องให้เทคนิคที่หลากหลายมารวมกันเพื่อแก้ปัญหาหรือสร้างกระบวนการการพัฒนา ซึ่งหากประเทศไทยนำเอาหลักการดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย เช่น ข้าว มันสำปะหลัง อ้อย หรือยางพารา [60] ไม่ว่าจะเป็นการบริหารรักษา การเพิ่มผลผลิต หรือการประเมินติดตามการเจริญเติบโตของการเพาะปลูกพืชต่าง ๆ เหล่านี้ ก็จะช่วยให้เกษตรกรมีผลผลิตเพิ่มมากยิ่งขึ้น ยิ่งไปกว่านั้นในการพิจารณาถึงภาพรวมขององค์กรแล้วหากเกษตรกรหรือองค์กรใดมีองค์ความรู้เหล่านี้ก็จะช่วยส่งเสริมธุรกิจหรือองค์กรมีการพัฒนาได้อย่างรวดเร็วกว่าองค์กรที่ไม่มีองค์ความรู้เหล่านี้ นอกจากนี้ก็ยังมีอีกหลากหลายเทคนิคที่ไม่ได้กล่าวในบทความนี้และเป็นเทคนิคที่สำคัญสำหรับการทำการเกษตรในอนาคต

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสาขาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร และสถาบันนวัตกรรมอาหาร แปรรูปสินค้าเกษตรเพิ่มมูลค่า และเกษตรแม่นยำ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่กรุณาสับสนุนข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับการเขียนบทความฉบับนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Norris J and Bland J. Precision Agriculture: Almost 20% increase in income possible from smart farming | Nesta [Internet]. www.nesta.org.uk 2015 [cited 2022 Sep 6]. Available from: <https://www.nesta.org.uk/blog/precision-agriculture-almost-20-increase-in-income-possible-from-smart-farming/>
- [2] Overview | Sustainable Development Goals | Food and Agriculture Organization of the United Nations [Internet]. [cited 2022 Aug 21]. Available from: <https://www.fao.org/sustainable-development-goals/overview/en/>
- [3] Worldometer - real time world statistics [Internet]. [cited 2022 Aug 21]. Available from: <https://www.worldometers.info/>
- [4] Thongmeethip K. Agricultural Development in Thailand in Terms of Community Development and Quality of Life. PSDS Journal of Development Studies. 2021; 4(1): 132-62.
- [5] Andr n O and K tterer T. Agriculture Systems. Encyclopedia of Ecology. 2008; 5: 96–101.
- [6] Advantages and Disadvantages of Monoculture Farming - Conserve Energy Future [Internet]. [cited 2022 Sep 3]. Available from: <https://www.conserve-energy-future.com/advantages-disadvantages-examples-monoculture.php>
- [7] Boonjarat M. Volcanic Minerals and Organic Farming in Thailand. Journal of interdisciplinary innovation review. 2022; 5.
- [8] Said Mohamed E, Belal AA, Kotb Abd-Elmabod S, El-Shirbeny MA, Gad A and Zahran MB. Smart farming for improving agricultural management. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science. 2021; 24: 971–81.
- [9] Gillis AS. What is the internet of things (IoT)? [Internet]. [cited 2022 Sep 3]. Available from: <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/Internet-of-Things-IoT>
- [10] Lavanya G, Rani C and Ganeshkumar P. An automated low cost IoT based Fertilizer Intimation System for smart agriculture. Sustainable Computing: Informatics and Systems. 2020; 28: 100300.

- [11] Andrianto H, Suhardi, Faizal A, Budi Kurniawan N and Praja Purwa Aji D. Performance evaluation of IoT-based service system for monitoring nutritional deficiencies in plants. *Information Processing in Agriculture*. 2023; 10(1): 52-70.
- [12] Almetwally SAH, Hassan MK and Mourad MH. Real Time Internet of Things (IoT) Based Water Quality Management System. *Procedia CIRP*. 2020; 91: 478–85.
- [13] What is CAE | Computer-Aided Engineering? | SimScale [Internet]. [cited 2022 Sep 4]. Available from: <https://www.simscale.com/docs/simwiki/general/what-is-cae-computer-aided-engineering/>
- [14] Gao D, Wang D, Wang G and Hao L. Topology optimization of conditioner suspension for mower conditioner considering multiple loads. *Math Comput Model*. 2013; 58: 489–96.
- [15] Zhang C, Liu R, Liu K, Yang X, Liu H, Diao M, et al. A CFD transient model of leaf wetness duration on greenhouse cucumber leaves. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2022; 200: 107257.
- [16] Mashonjowa E, Ronsse F, Mubvuma M, Milford JR and Pieters JG. Estimation of leaf wetness duration for greenhouse roses using a dynamic greenhouse climate model in Zimbabwe. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2013; 95: 70–81.
- [17] Xu J, Gu B and Tian G. Review of agricultural IoT technology. *Artificial Intelligence in Agriculture*. 2022; 6: 10–22.
- [18] Passive vs Active Sensors in Remote Sensing - GIS Geography [Internet]. [cited 2022 Sep 4]. Available from: <https://gisgeography.com/passive-active-sensors-remote-sensing/>
- [19] Jiang N, Li P and Feng Z. Remote sensing of swidden agriculture in the tropics: A review. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2022; 112: 102876.
- [20] Zahran SAES, Saeed RAH and Elazizy IM. Remote sensing based water resources and agriculture spatial indicators system. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. 2022; 25: 515–27.

- [21] Jurado JM, López A, Pádua L and Sousa JJ. Remote sensing image fusion on 3D scenarios: A review of applications for agriculture and forestry. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2022; 112: 102856.
- [22] Sruthi S and Aslam MAM. Agricultural Drought Analysis Using the NDVI and Land Surface Temperature Data; a Case Study of Raichur District. *Aquatic Procedia*. 2015; 4: 1258–64.
- [23] Liu WT and Kogan FN. Monitoring regional drought using the Vegetation Condition Index.
<http://dx.doi.org/10.1080/01431169608949106> [Internet]. 2007 [cited 2022 Sep 10]. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431169608949106>
- [24] Dabrowska-Zielinska K, Kogan F, Ciolkosz A, Gruszczynska M and Kowalik W. Modelling of crop growth conditions and crop yield in Poland using AVHRR-based indices. *International Journal of Remote Sensing*. 2002; 23: 1109–23.
- [25] What Is a Drone? Drone Definition and Uses. | Built In [Internet]. [builtin.com](https://builtin.com/drones) 2022 [cited 2022 Sep 7]. Available from: <https://builtin.com/drones>
- [26] Singh PK and Sharma A. An intelligent WSN-UAV-based IoT framework for precision agriculture application. *Computers and Electrical Engineering*. 2022; 100: 107912.
- [27] Arshad S, Reza Mobasheri M, Arshad S, Morid S and Agha Alikhani M. Development of Agricultural Drought Risk Assessment Model for Kermanshah Province (Iran), using satellite data a... Related papers Monitoring and forecasting drought impact on dryland farming areas Development of Agricultural Drought Risk Assessment Model for Kermanshah Province (Iran), using satellite data and intelligent methods. *Option Meditterrianeennes Series A*. 2008; 80.
- [28] He XK, Bonds J, Herbst A and Langenakens J. Recent development of unmanned aerial vehicle for plant protection in East Asia. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2017; 10: 18–30.
- [29] Mogili UR and Deepak BBVL. Review on Application of Drone Systems in Precision Agriculture. *Procedia Computer Science*. 2018; 133: 502–9.

- [30] Boursianis AD, Papadopoulou MS, Diamantoulakis P, Liopa-Tsakalidi A, Barouchas P, Salahas G, et al. Internet of Things (IoT) and Agricultural Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in smart farming. A comprehensive review Internet of Things. 2022; 18: 100187.
- [31] Abbassi Y and Benlahmer H. The Internet of Things at the service of tomorrow's agriculture. Procedia Computer Science. 2021; 191: 475–80.
- [32] 5 IoT Applications in Agriculture Industry | Smart Farming Solutions [Internet]. [cited 2022 Sep 3]. Available from: <https://www.biz4intellia.com/blog/5-applications-of-iot-in-agriculture/>
- [33] Majumdar J, Naraseeyappa S and Ankalaki S. Analysis of agriculture data using data mining techniques: application of big data. J Big Data [Internet]. 2017 [cited 2022 Sep 6]. Available from: <https://journalofbigdata.springeropen.com/articles/10.1186/s40537-017-0077-4>
- [34] What is Data Mining? [Internet]. [cited 2022 Sep 6]. Available from: <https://www.techtarget.com/searchbusinesanalytics/definition/data-mining>
- [35] Ait Issad H, Aoudjit R and Rodrigues JJPC. A comprehensive review of Data Mining techniques in smart agriculture. Engineering in Agriculture, Environment and Food. 2019; 12(4): 511–25.
- [36] Mohammed S, Elbeltagi A, Bashir B, Alsafadi K, Alsilibe F, Alsalman A, et al. A comparative analysis of data mining techniques for agricultural and hydrological drought prediction in the eastern Mediterranean. Computers and Electronics in Agriculture. 2022; 197: 106925.
- [37] Ait Issad H, Aoudjit R and Rodrigues JJPC. A comprehensive review of Data Mining techniques in smart agriculture. Engineering in Agriculture, Environment and Food. 2019; 12: 511–25.
- [38] Aarthi R and Sivakumar D. An Enhanced Agricultural Data Mining Technique for Dynamic Soil Texture Prediction. Procedia Computer Science. 2020; 171: 2770–8.

- [39] Groenendyk DG, Ferré TPA, Thorp KR, and Rice AK. Hydrologic-Process-Based Soil Texture Classifications for Improved Visualization of Landscape Function. PLoS One [Internet]. 2015 [cited 2022 Sep 10]. 10:e0131299. Available from: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0131299>
- [40] What Is Artificial Intelligence (AI)? [Internet]. [cited 2022 Sep 6]. Available from: <https://www.investopedia.com/terms/a/artificial-intelligence-ai.asp>
- [41] What is Artificial Intelligence (AI)? Definition, Benefits and Use Cases [Internet]. [cited 2022 Sep 6]. Available from: <https://www.techtarget.com/searchenterpriseai/definition/AI-Artificial-Intelligence>
- [42] Jung J, Maeda M, Chang A, Bhandari M, Ashapure A and Landivar-Bowles J. The potential of remote sensing and artificial intelligence as tools to improve the resilience of agriculture production systems. Current Opinion in Biotechnology. 2021; 70: 15–22.
- [43] Liu LW, Ma X, Wang YM, Lu CT and Lin WS. Using artificial intelligence algorithms to predict rice (*Oryza sativa* L.) growth rate for precision agriculture. Computers and Electronics in Agriculture. 2021; 187: 106286.
- [44] Patrício DI and Rieder R. Computer vision and artificial intelligence in precision agriculture for grain crops: A systematic review. Computers and Electronics in Agriculture. 2018; 153: 69–81.
- [45] da Silva EAB and Mendonca GV. Digital Image Processing. The Electrical Engineering Handbook. 2005; 891–910.
- [46] 1. Introduction to image processing | Digital Image Processing [Internet]. [cited 2022 Sep 6]. Available from: <https://sisu.ut.ee/imageprocessing/book/1>
- [47] la Forgia N, Herø EH and Jakobsen HA. High-speed image processing of fluid particle breakage in turbulent flow. Chemical Engineering Science: X. 2021; 12: 100117.
- [48] Kim Y and Dodbiba G. A novel method for simultaneous evaluation of particle geometry by using image processing analysis. Powder Technology. 2021; 393: 60–73.

- [49] Patil DB, Nigam A and Mohapatra S. Image processing approach to automate feature measuring and process parameter optimizing of laser additive manufacturing process. *Journal of Manufacturing Processes*. 2021; 69: 630–47.
- [50] Munawar HS, Hammad AWA and Waller ST. A review on flood management technologies related to image processing and machine learning. *Automation in Construction*. 2021; 132: 103916.
- [51] Xu N. Image Processing Technology in Agriculture. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021; 1881: 32097.
- [52] Samajpati BJ and Degadwala SD. Hybrid approach for apple fruit diseases detection and classification using random forest classifier. *International Conference on Communication and Signal Processing*. 2016; 1015–9.
- [53] Singh V, Varsha and Misra AK. Detection of unhealthy region of plant leaves using image processing and genetic algorithm. *Conference Proceeding - 2015 International Conference on Advances in Computer Engineering and Applications*. 2015; 1028–32.
- [54] Suganya E, Sountharajan S, Shandilya SK and Karthiga M. IoT in Agriculture Investigation on Plant Diseases and Nutrient Level Using Image Analysis Techniques. *Internet of Things in Biomedical Engineering*. 2019; 117–30.
- [55] Jia B, Wang W, Ni X, Lawrence KC, Zhuang H, Yoon SC, et al. Essential processing methods of hyperspectral images of agricultural and food products. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. 2020; 198: 103936.
- [56] What is an IDE? [Internet]. www.redhat.com2019 [cited 2022 Sep 7]. Available from: <https://www.redhat.com/en/topics/middleware/what-is-ide>
- [57] Wilkins J. What is Computer Programming? [Internet]. www.freecodecamp.org/2021 [cited 2022 Sep 7]. Available from: <https://www.freecodecamp.org/news/what-is-programming/>

- [58] Dhanya VG, Subeesh A, Kushwaha NL, Vishwakarma DK, Nagesh Kumar T, Ritika G, et al. Deep learning based computer vision approaches for smart agricultural applications. Artificial Intelligence in Agriculture [Internet]. 2022 [cited 2022 Oct 4]. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2589721722000174>
- [59] Din A, Ismail MY, Shah B, Babar M, Ali F and Baig SU. A deep reinforcement learning-based multi-agent area coverage control for smart agriculture. Computers and Electrical Engineering. 2022; 101: 108089.
- [60] กรรณิการ์ ดวงเนตร และ สุพรรณิกา ลือชาวัศมี การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างราคาพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย. วารสารเศรษฐศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2018; 22(1): 59-92.